润新 RUNXIN
浙江省名牌产品

# 润新阀之應用

第一版
First Edition

# Application of Runxin Valve



温州市润新机械制造有限公司

# 前言

近年来，随着我国经济的快速发展，工农业及生活用水量不断增加，与之相伴的水处理设备需求也日益增长。而水处理过滤设备、软化设备的核心控制阀，却在2003年以前一直采用国外引进的自动控制阀或由多个阀门手动控制，这极大地增加了水处理设备的成本和操作难度，并在一定程度上阻碍了水处理设备的推广普及。

水处理系统用自动控制阀的研究始于20世纪60年代的美国，主要采用橡胶活塞结构和凸轮结构，其密封部件为橡胶件与塑料。润新公司2003年首次研发出陶瓷平面密封结构的水处理系统用控制阀，其采用高平面度的陶瓷密封片作为密封部件，具有密封性能好、使用寿命长、定位方便等特点，成熟的生产工艺更使其具备了互换性良好、性价比高等优势。经不断进行系列化开发及生产，至今已形成了产水量1-50$m^3$/h、时间型及流量型、手动及自动、LED或LCD及指示灯显示等近140种规格的控制阀。

陶瓷平面密封结构的水处理控制阀完全有别于国外同类产品的结构，因此，它在功能、特性及应用等方面也有着其独特之处。为使润新阀的广大用户能全面了解润新阀，更好地应用润新阀，使其发挥最大的使用价值，最大程度地帮助用户解决水处理过程中的问题，我们根据近几年的实际应用案例，总结了用户遇到的现场问题，并参考了有关方面的技术资料后，编写了这本《润新阀之应用》。

随着润新阀越来越多的系列产品的推出，各种与之配套的产品也越来越丰富。陶瓷硬密封球阀正是其中一个让陶瓷密封技术再次得到完美应用的范例。它不仅可为润新平面阀提供配套，更可广泛地应用于给水处理、污水处理、食品工程、太阳能、石油、化工、冶金、轻工、造纸等多个领域。因此，我们将陶瓷硬密封球阀作为一个单独的章节加以介绍，让更多的朋友能够深入了解它。

本书共九章，主要包括：润新阀概述、水处理系统用多功能控制阀、润新过滤阀的应用、润新软化阀的应用、润新阀在除盐水处理中的应用、润新阀在特质水处理中的应用、润新阀在民用水处理系统中的应用、润新多功能控制阀的维护、陶瓷硬密封球阀。本书主要由周英、伍孝荣、刘璎、原海林、叶茂感、伍先水、王桂荣等编写，书中的应用案例由沈阳洁明水处理设备有限公司、青岛迪美热电设备有限公司、石家庄市陆升水处理设备有限公司、北京同创富来科技开发有限公司、天津市华钜水处理设备贸易有限公司、科林普尔环保科技有限公司、四川省海德论机电有限公司、巴西及匈牙利等“润新阀”代理商提供，在此一并表示感谢。

书中的设计计算参考了相关的水处理书籍、标准及规范，有些摘录未经著作所有者授权同意，在此表示歉意。应用实例为客户现场的安装情况，未经使用方的授权，引用时均以某公司说明。

限于编者的水平，书中疏漏之处在所难免，欢迎读者与同行专家批评指正。

编者

2020年11月

# 目录

第一章润新阀概述.....1
1.1 润新阀简介.....1
1.2 润新阀特点.....1
1.2.1润新阀结构特点.....1
1.2.2润新阀的设计理念.....1
1.2.3关键部件（陶瓷部件）性能.....1
1.3 水处理系统用控制阀特点.....2
1.3.1 以一阀取代多阀.....2
1.3.2 润新控制阀的性能特点.....2
1.4 润新阀的用途和适用范围.....3
1.4.1 润新过滤阀和软化阀的用途和适用范围.....3
1.4.2 特质水处理控制阀的用途和适用范围.....4
1.4.3 球阀的用途和适用范围.....5
第二章水处理系统用多功能控制阀.....6
2.1 多功能控制阀的基本原理.....6
2.1.1 单阀芯控制阀的原理.....6
2.1.2 双阀芯控制阀的原理.....10
2.1.3 活塞式控制阀的原理.....12
2.2 多功能控制阀的分类及其编号.....14
2.2.1 按控制方式分类.....14
2.2.2 自动控制阀按启动再生的方式分类.....14
2.2.3多功能控制阀按应用场合分类.....15
2.2.4 软化阀按运行与再生时液流方向分类.....16
2.2.5 自动控制阀按控制的交换罐数量分类.....16
2.2.6 多功能控制阀的编号规则.....19
2.3 自动控制阀的显示和设置.....21
2.3.1 自动控制阀的显示.....21
2.3.2 自动控制阀的参数设置.....22
2.3.3 自动控制阀的参数查询和修改设置办法.....22
2.3.4 自动控制阀进行自动再生和临时手动再生示例 .....23
2.3.5 最大间隔再生天数的设置.....23
2.4 自动控制阀的接口.....24
2.4.1 主要接口功能.....24
2.4.2 控制阀各接口的应用功能.....24

2.4.3 信号输出端口功能应用说明.....25
2.4.4 互锁功能应用说明.....28
2.4.5 远程控制端口应用说明.....29
2.5 各接口在水处理系统中的应用.....29
2.5.1 多台水处理设备，实现同时供水，错开再生.....29
2.5.2 利用单流量计，实现双（多）罐同时供水，依次按顺序再生.....29
2.5.3 一用一备软水系统.....30
2.5.4 反渗透（RO）系统前置预处理.....30
第三章润新过滤阀的应用.....32
3.1 过滤作用及其原理.....32
3.2 常用过滤设备及系统 .....32
3.2.1 压力式过滤器.....32
3.2.2 纤维过滤器.....35
3.2.3 活性炭吸附过滤.....35
3.3 滤料的选择.....37
3.3.1 滤料的化学稳定性.....37
3.3.2 滤料的粒径和不均匀系数.....37
3.4 影响过滤运行的因素.....38
3.4.1 滤速.....38
3.4.2 反洗.....39
3.4.3 水流的均匀性.....40
3.5 润新阀在过滤系统中的应用.....41
3.5.1 过滤阀动定片及其在各工位时的液流流向.....41
3.5.2 过滤阀的选用.....42
3.5.3 应用方案举例.....44
3.6 应用实例介绍.....46
3.6.1 过滤阀在净化过滤处理系统中的应用.....46
3.6.2 控制阀在活性炭过滤系统中的应用.....46
3.6.3 控制阀在多级过滤系统中的应用.....47
第四章润新软化阀的应用.....49
4.1 软水器简介.....49
4.1.1 自动软水器的结构.....49
4.1.2 软化处理的基本原理.....52
4.1.3 树脂的再生.....57
4.2 软水器系统的分类和选用.....63
4.2.1 单阀单罐软水器系统.....63

4.2.2 单阀双罐软水器系统.....63
4.2.3 单阀三罐串连运行软水器系统.....63
4.2.4 多阀多罐软水器系统.....64
4.3 软水器相关工艺计算.....65
4.3.1 运行制水的周期设置.....65
4.3.2 再生时的相关工艺计算.....66
4.3.3 射流器的设计与选配.....68
4.3.4 软水器运行经济性评价.....69
4.4 软化降碱处理.....71
4.4.1 部分软化法.....71
4.4.2 氢-钠离子交换法.....71
4.4.3 铵-钠离子交换法.....76
4.5 润新软化阀应用实例.....78
4.5.1 锅炉补给水软化处理系统的应用.....78
4.5.2 润新阀在氢-钠离子交换软化降碱处理系统中的应用.....82
4.5.3 需严格控制硬度的生产用水软化处理系统.....85
4.5.4 对出水硬度控制要求不严的各类用途软化水处理系统应用.....88
第五章润新阀在除盐水处理中的应用.....92
5.1 水的离子交换除盐处理.....92
5.1.1 离子交换除盐原理.....92
5.1.2 常见离子交换除盐系统.....93
5.1.3 除碳器.....96
5.1.4 一级除盐系统的运行.....98
5.1.5 除盐系统的交换器再生.....100
5.1.6 周期制水量的估算.....102
5.1.7一级除盐系统自动控制的再生启动.....103
5.2 混床的运行和再生.....106
5.2.1 混床处理概述.....106
5.2.2 混床的设备结构.....106
5.2.3 混床的再生和运行操作.....107
5.3 反渗透除盐处理.....110
5.3.1 反渗透膜处理概况.....110
5.3.2 膜污染及其防止.....112
5.4 润新自动控制阀在除盐系统中的应用.....113
5.4.1 润新阀在离子交换除盐系统中的应用.....113
5.4.2 润新阀在反渗透装置预处理系统中的应用.....113

5.4.3 润新阀在除盐水处理系统中的应用案例.....113
第六章润新阀在特质水处理系统中的应用.....119
6.1 润新阀在除铁除锰系统中的应用.....119
6.1.1 含铁锰的水对生活的影响.....119
6.1.2 常见的除铁除锰的水处理工艺.....119
6.1.3 除铁锰滤料.....120
6.1.4 常用的氧化二价铁锰的方法.....122
6.1.5 除铁除锰系统的实际应用.....123
6.2 润新阀在常温式除氧系统中的应用.....129
6.2.1 水中溶解氧对锅炉的影响.....129
6.2.2 常见的锅炉给水除氧方法.....129
6.2.3 润新阀在常温除氧系统的应用案例.....130
6.3 润新阀在除氟系统中的应用.....132
6.3.1 含氟水的危害.....132
6.3.2常见的除氟方法.....132
6.3.3 润新阀在除氟系统的实际应用案例.....133
6.3.4 除氟工艺中润新控制阀应用的选用原则.....134
6.4 润新阀在其它特质水处理系统中的应用.....135
6.4.1 润新阀在除硝酸盐与亚硝酸盐的净化系统中的应用.....135
6.4.2 润新阀在除砷系统中的应用.....137
6.4.3 润新阀在除硼系统中的应用.....139
第七章润新阀在民用水处理系统中的应用.....140
7.1 润新过滤阀在民用水处理过滤系统中的应用.....140
7.1.1 前置过滤器.....140
7.1.2 中央净水机.....141
7.2 润新软化阀在民用软化水系统中的应用.....143
7.2.1 软化水的优点.....143
7.2.2 家用软水机的组成及分类.....144
7.2.3 家用软水机的特殊功能.....144
7.3 润莱全屋水系统的应用案例.....146
7.3.1 民用软水机的应用.....146
7.3.2 家用全屋水处理系统典型案例.....146
第八章润新多功能控制阀的维护.....148
8.1 润新阀的安装.....148
8.1.1使用条件.....148
8.1.2安装要求.....148

8.1.3 安装注意事项.....150
8.2 常见问题原因分析.....152
8.2.1 控制阀及系统的问题及解决办法.....152
8.2.2 多功能控制阀的程序问题.....155
8.3 系统常见故障案例.....156
8.3.1 周期制水量减少.....156
8.3.2 软水器出水硬度超标.....157
8.3.3 不吸盐或者吸盐过慢.....158
8.3.4 活塞阀持续排水.....160
8.3.5 流量计不准.....161
8.4 控制阀故障排除方法.....163
8.4.1 出水不合格的故障查找.....163
8.4.2 活塞阀串水的故障查找.....163
8.4.3 活塞阀不吸盐的故障查找.....164
8.4.4 平面阀不吸盐的故障查找.....164
8.4.5 显示“E1”的故障查找.....164
8.4.6 显示“E2”的故障查找.....165
8.4.7 显示屏非正常重复显示的故障查找.....165
8.4.8 软化阀工位不动作的故障查找.....165
8.4.9 显示屏不亮的故障查找.....166
第九章润新陶瓷硬密封球阀.....167
9.1 概述.....167
9.1.1陶瓷硬密封球阀的组成.....167
9.1.2 陶瓷硬密封球阀的特点.....168
9.1.3 陶瓷硬密封球阀的分类.....168
9.1.4命名规则.....169
9.1.5 不同陶瓷材料的性能.....170
9.1.6 陶瓷硬密封球阀与截止阀的比较.....172
9.2 陶瓷硬密封球阀的应用.....173
9.2.1 陶瓷硬密封球阀在水处理上的应用.....173
9.2.2球阀在水处理系统中的应用案例.....176
9.2.3 陶瓷硬密封球阀在农业灌溉上的应用.....179
9.2.4 陶瓷硬密封球阀在化工行业的应用.....179

# 第一章 润新阀概述

## 1.1 润新阀简介

“润新阀”，是指由温州市润新机械制造有限公司（简称润新公司）生产的各类控制阀的统称。润新公司于2000年成立，前期主要制作太阳能热水器配套用混水阀、浮球阀、止回阀及陶瓷阀芯水龙头、角阀、截止阀等阀门；2003年开始研制水处理系统用多功能控制阀；2010年将多功能控制阀应用于民用终端水处理产品，研制了家用净水机、软水机、前置过滤器等系列产品；2013年开始制作陶瓷硬密封球阀。

根据产品应用特点，润新阀主要分为：太阳能热水器用混水阀及浮球阀、陶瓷阀芯水龙头、水处理系统用多功能控制阀、陶瓷硬密封球阀、陶瓷芯止回阀等。其中水处理用多功能控制阀又分为过滤阀、软化阀、除盐阀等；软化阀又根据单阀控制软水器的罐体数量、启动再生的方式、再生液流向、控制方式等的不同分为多种类型（详见2.2）。

太阳能热水器用混水阀及浮球阀、陶瓷芯水龙头、陶瓷芯止回阀，应用较为简单，且市场上比较常见，不再具体介绍。本书主要介绍水处理系统用多功能控制阀、陶瓷硬密封球阀的应用。

## 1.2 润新阀特点

### 1.2.1 润新阀结构特点

润新阀，无论是多功能控制阀，还是太阳能热水器用控制阀、止回阀、水龙头等均采用端面密封专利技术。

在需要多流道控制的水处理系统用多功能控制阀和太阳能热水器用控制阀上，以一阀集成控制取代传统的多阀手工操作，其主要专利技术是将各流道需要的功能集成在端面密封片上，由两片(或两片以上)带有多个通孔或盲孔且具有极高平面度的陶瓷片与复合材料片平面相贴合，其中定片固定，动片按程序进行同一中心的旋转，对应阀体的相对通道，产生事先设计所需的多条流体通道，从而实现各工位控制液流的功能。

### 1.2.2 润新阀的设计理念

润新阀始终遵循“少切削、无切削”的设计理念，主要体现在以下方面：

（1）控制阀体一般采用“少切削、无切削”方式设计制造，主要有塑料阀体与金属阀体两种。塑料阀体采用优质工程塑料注塑成型，常用材料有：POM、PP、ABS、PPO、UPVC等。金属阀体采用中温蜡模铸造成型，常用材料有304、316、316L等。

（2）起柔性密封作用的橡胶件，采用模具一次性成型。

（3）密封关键部件的阀芯，采用高强度、高精度研磨抛光加工的陶瓷。

### 1.2.3 关键部件（陶瓷部件）性能

**（1）加工**

润新阀所用的陶瓷材料均为刚玉陶瓷，其$Al_2O_3$含量超过95%。

陶瓷部件经注浆成型或干压成型后，经1680℃超高温烧结而成。

利用金刚石研磨膏，采用双面研磨技术研磨抛光，制成高精度光学镜面。

**（2）产品性能**

硬度高，可达HRA85度以上，因此耐颗粒杂质、耐磨损。

平面阀芯经研磨抛光后，平面度可达0.0003mm，平行度0.02mm，贴合时密封性好。在高平面度贴合情况下，实际密封面在1mm即可很好地密封气体、液体。

陶瓷硬密封球阀的球芯与阀座，经金刚石粗磨、精磨后，再将球与阀座配对研磨，使球体的球度控制在0.0006mm以内，通过球与阀座的硬密封，实现对气体、液体的密封。

$Al_2O_3$化学结构稳定，对酸、碱、盐等的腐蚀有较强的抵抗能力。

## 1.3 水处理系统用控制阀特点

### 1.3.1 以一阀取代多阀

相对于安装多个普通阀门的传统过滤器和软水器来说，用一个多功能控制阀取代多个普通阀门，具有以下优点：

**（1）管路连接方便**

传统的过滤器要实现过滤、反冲洗、正冲洗等功能需要安装五个阀门；软水器实现软化、反洗、吸盐+慢洗、向盐箱补水、正洗等功能至少需要安装七个阀门以及一个射流器或盐水泵；阴阳离子交换器和混床系统实现各项功能甚至需要安装十一个阀门和两个射流器。多个阀门组成的管路连接复杂，泄漏点多。

润新多功能控制阀相当于将多个直通阀门的功能集成在一个阀门上，安装时只需要将多功能控制阀与罐体连接，再连接好各进出管路即可，连接方便、泄漏点少。

**（2）维护方便**

由于连接管路少，泄漏点少，当多功能控制阀出现问题时，直接更换控制阀的相应配件即可解决。

**（3）易于实现自动化**

采用普通多阀控制的水处理系统，需多个阀门进行开启或关闭转换，开、关时间长，易窜水；若要实现自动化需要对多个阀门分别进行控制，并需要进行较复杂的编程。采用多功能控制阀，只需要一个多功能控制阀，使其在程序设置的工位停留即可实现对应的某一功能。

### 1.3.2 润新控制阀的性能特点

**（1）端面密封材料及结构**

多功能控制阀的动定片采用高度贴合的端面密封技术，为了防止分子间引力造成端面密封片咬死，动定片采用了不同的材料。其中动片采用1680℃超高温烧结而成的刚玉陶瓷，硬度可达HRA≥85°；定片采用高强度的复合材料，耐腐蚀性好，可耐低浓度的酸碱。因此，控制阀可用于采用酸碱再生的阴阳树脂床。

针对软化阀，在设计时，由于运行与再生各步骤的流量相差较大，如果进水压力较高，有可能因扭矩增大而造成密封端面上承压过大而磨损。因此，设计时采用与机械密封中的部分平衡结构类似的设计，使作用在密封端面上所受的压力部分卸载，基本不随进水压力的升高而明显增大，从而避免密封端的磨损。

**（2）可带压操作**

润新控制阀采用端面密封技术，由于采用两片高平面度的密封片相互贴合旋转，在各个功位相互切换时，可直接带压操作。

市面上有些结构的控制阀采用弹簧将塑料件压紧在橡胶上，通过水压与弹簧的压力来实现橡胶件与塑料的密封。这类控制阀在各个工位切换时，为防止橡胶损坏或冲出，需关闭进水阀门，即不可带压操作。

（3）原水旁通的选择

软水器再生过程约需2小时，由于再生时不能制取软水，因此针对锅炉等对给水硬度要求较严格的用水设备，需设置合适的储水箱，以便在软水器再生时能够向锅炉提供硬度合格的给水，或者采用一用一备的连续供水系统。但有的用水设备，尤其是民用水处理系统，通常对给水硬度要求不严，短暂使用硬水影响也不大，因此一般不设储水箱，可选择有原水旁通的控制阀，保证软水器再生时不断水，即软水器再生时，未经软化的原水可从出水口流出，以避免用水设备缺水。

GB/T18300《自动控制钠离子交换器技术条件》规定：用于锅炉的软水器，再生过程中不应有硬水从交换器出口流出。因此，润新工业用软水器控制阀，均为无原水旁通结构（所谓无原水旁通，是指控制阀在再生或冲洗时自动阻断设备的出水管路，阻止未经处理的原水进入系统）。用于对给水硬度要求不高的民用水处理系统，为避免再生时缺水，可采用带原水旁通结构的控制阀。

## 1.4 润新阀的用途和适用范围

润新阀规格、种类齐全，可应用于各类水处理系统中。常用的过滤阀和软化阀，不仅可用于锅炉和各种工业设备用水的过滤、软化处理，而且可用于除盐、除氧、除铁等多种特质水处理以及民用生活设施水处理等；球阀可用于各类流体管道的液流控制。

### 1.4.1 润新过滤阀和软化阀的用途和适用范围

润新过滤阀和软化阀作为过滤器和软水器的水处理系统核心部件，应用领域很多，其中应用最为广泛的是工业锅炉补给水的软化处理。水中存在的钙镁离子进入锅炉后，容易在高温受热面形成坚硬的水垢。水垢的传热性很差，锅炉结垢后，不仅会显著降低锅炉出力和热效率、浪费大量燃料，而且会引起垢下腐蚀，严重时堵塞炉管或造成金属超温，并发生变形、鼓包，甚至爆管的安全事故。因此，为确保锅炉安全、节能、经济运行，锅炉补给水必须进行处理。根据GB/T1576《工业锅炉水质》标准规定：额定蒸汽压力≤2.5MPa的蒸汽锅炉或汽水两用锅炉，补给水采用软化处理的，要求给水硬度≤0.03mmol/L；3.8MPa>额定蒸汽压力>2.5MPa的蒸汽锅炉，要求给水硬度≤0.005mmol/L，其补给水必须采用软化或除盐处理；热水锅炉补给水采用软化处理的，给水硬度应≤0.6mmol/L。

除了工业锅炉补给水需要过滤、软化处理外，容易发生结垢的换热设备、循环冷却系统等工业设备用水以及反渗透膜处理前置预处理也需要过滤、软化处理。另外，有些洗涤业、养殖业等用水量较大的行业，若水中硬度较高，也需要软化处理。采用软水洗涤衣服、床被单、餐布等，不仅洗洗剂用量减少、洗得更干净，而且洗后布料柔软；养殖业中有些花卉植物采用软水或纯水浇灌，可使花朵更鲜艳、生长更理想。目前软水器还被广泛用于民用生活，例如家用电热锅炉、热水器、地暖等装置的用水，采用软水器降低水中硬度后，可避免管道结垢，节省用电，延长加热装置设备的使用寿命；长期使用高硬度的生活水，不仅易使烧水壶等结垢，而且洗脸洗澡易使皮肤粗糙，饮用口感差，有的甚至易引起结石，影响健康，因此硬度较高地区的生活用水也需要软化处理。对于水源水质很差，硬度很高的地区，需要城镇生活用水集中处理，往往需采用过滤、软化

等多阀多罐组合的水处理系统。对于反渗透除盐处理系统，通常需在反渗透膜处理系统前设置二级深度过滤（石英砂过滤+活性碳过滤）和软化处理，以避免进水中的颗粒物、有机物、余氯、钙镁离子等杂质污染和损伤反渗透膜表面，防止因结垢造成膜孔堵塞而影响脱盐率，延长RO膜的使用寿命。

压力相对较高的自然循环蒸汽锅炉、各类强制循环蒸汽锅炉和大型热水锅炉对软化水硬度需要严格控制；而压力较低的小型蒸汽锅炉和汽水两用锅炉、中小型热水锅炉、普通工业设备、民用和家用生活用水处理等，对出水硬度的要求往往不太严格。润新公司开发了多种型号的控制阀，可以根据实际情况选择合适的控制阀配置软水器，以满足用户的需求。

目前过滤阀和软水阀单台最大水处理量可达到50$m^3$/h，单台配置的软水器处理原水硬度最高10mmol/L，通过配置多台过滤器和软水器的串联、并联系统，水处理量可达到200$m^3$/h以上，最高可处理原水硬度达20mmol/L；而且通过系统中的互锁配置，可达到自动控制滤罐或软化罐轮流冲洗或再生，确保系统有序运行、出水水质合格。

### 1.4.2 特质水处理控制阀的用途和适用范围

#### 1.4.2.1 除盐处理

除了电站锅炉补给水需采用除盐水，在一些有特殊要求的实验室、化验室、电镀厂、集成电路制造、医药制剂、生物化学、饮用水、化妆品等行业领域用水，都需要用到纯水或超纯水。采用离子交换法制作纯水和超纯水一般方法如下：

（1）一级除盐制取纯水：采用由阳离子交换器（简称阳床）与阴离子交换器（简称阴床）串联而成阴阳离子交换除盐系统，阳床中填装$H^+$型阳离子交换树脂，阴床中填装$OH^-$型阴离子交换树脂。运行时，进入阳床的水中所有的阳离子被$H^+$置换而除去，出水呈酸性；进入阴床后，所有的阴离子被$OH^-$置换而除去，$H^+$与$OH^-$中和，最终出水即为除盐水。当树脂失效后，通常阳离子交换树脂采用盐酸（利用$H^+$）再生，阴离子交换树脂采用氢氧化钠（利用$OH^-$）再生。

（2）混床除盐制取超纯水：将阳离子交换树脂与阴离子交换树脂以1∶2的比例在同一个罐体中混合均匀（简称为混床），并由控制阀自动控制制水与再生。阴、阳离子交换树脂混合后，相当于在罐体中形成了无数个阴阳离子交换，使水中阴阳离子除去更彻底，出水电导率较一级除盐系统出水更低，因此称为超纯水。混床再生时，需将阴阳离子交换树脂分层，然后通过控制阀吸酸、吸碱分别进行再生。但混床再生效果不如一级除盐系统，而且如果深度失效，很难使树脂恢复原有的交换能力。因此，一般混床进水通常采用一级除盐出水（电导率≤20μs/cm），混床除盐也称二级除盐，当出水电导率≥0.5μs/cm时宜进行再生。

目前由润新控制阀组成的混床除盐系统可做到的最大流量为4$m^3$/h，如果需要更大流量的除盐系统，可采用润新陶瓷硬密封球阀组成的混床系统，可达到50$m^3$/h。

#### 1.4.2.2 除铁除锰过滤处理

含铁、含锰的地下水在我国分布很广，铁锰在地下水中常以溶解度较高的二价铁、二价锰形式存在。地表水中由于有溶解氧，铁锰主要以不溶于水的$Fe(OH)_3$和$MnO_2$状态存在。因此含有二价铁离子的地下水，刚从井中抽取的水没有颜色，存放一段时间后变为褐红色混浊水，主要就是水中的$Fe^{2+}$被氧化为$Fe^{3+}$。而$Fe^{3+}$能促进管网中铁细菌的生长，在管网内形成黏性膜，引起金属管道腐蚀；易使衣服和器皿着色，对生活、生产用水造成污染。锰也可使器皿和洗涤物着色，会在水管内壁形成一层被覆物，并随水流流出，形成黑色沉淀，饮水中若含锰，长期摄入会对人体造成损害。

常用的除铁除锰系统主要有：曝气后采用锰砂去除、用特殊低密度材料去除、臭氧氧化+特殊树脂去除。由润新过滤阀与填装有锰砂的过滤罐组成的除铁除锰系统，先曝气后经锰砂催化氧化再过滤后去除，需要定期反冲洗以防止锰砂板结，失去过滤效果，其流量可按石英砂过滤系统进行设计，主要是需要按反洗流量进行设计。由润新软化阀与特殊低密度滤料组成的除铁除锰系统，曝气后经滤料去除水中的铁锰，达到一定的去除率后，需要进碱液再生以恢复其去除铁锰的效果，其设计可按软化系统设计。

目前采用锰砂作为滤料的系统采用润新过滤阀即可，单阀冲洗流量可达60$m^3$/h，如采用多台互锁系统可达到240$m^3$/h以上的冲洗流量。采用特殊滤料用碱再生的除铁锰系统，可采用润新软化阀，单阀运行流量可达20$m^3$/h。

#### 1.4.2.3 除氧处理

氧腐蚀是指金属材料在水中溶解氧的电化学作用下发生的破坏。氧腐蚀是锅炉系统中最常见的腐蚀形态。如锅炉给水不采取除氧处理或除氧不当时，溶解氧将全部或部分进入锅炉系统，造成给水管路、水箱、省煤器、汽包、蒸汽管路以及凝结水系统的氧腐蚀，这种腐蚀对金属构件强度造成严重损坏。

常用的除氧方法有真空除氧、热力除氧、化学药剂除氧及海绵铁除氧。采用润新阀控制的海绵铁除氧系统，是利用海绵铁与水中的溶解氧反应达到除氧的目的。海绵铁与溶解氧反应至一定程度后，需要通过控制阀来冲洗海绵铁，以洗脱生成的氧化铁，并防止海绵铁板结。由于海绵铁比重大，需要很大的反洗流量才能将其冲洗干净，而除氧时运行流速又不能太大，其反洗流量与运行流量至少相差4倍，普通的控制阀难以实现，润新除氧阀组成的除氧系统通过将滤室分为左右两室，运行时左右室同时进水，冲洗时左右两室分开冲洗，则冲洗流速可提高一倍，达到了较好的清洗效果。

目前润新除氧控制阀的最大流量为4$m^3$/h，通过互锁可以实现12$m^3$/h，如果采用陶瓷硬密封球阀，可组成50$m^3$/h以上的除氧系统。

#### 1.4.2.4 除氟处理

我国有不少地区地下水中含有一定量的氟，一般含量为0.4mg/L～0.5mg/L，但高氟地区可达10mg/L甚至更高。人体中的微量氟是组成牙齿和骨骼的重要成分，但人体若摄入过量的氟，则会引起氟中毒。慢性氟中毒的主要表现为氟斑牙（黄牙）和氟骨症，对人体的健康影响较大。因此强制性国家标准GB5749-2015《生活饮用水卫生标准》中规定饮用水氟含量不得大于1.0mg/L，当饮用水中氟含量达到1.5mg/L或更高时，需考虑除氟。

目前较为有效的除氟方法是采用除氟滤料吸附除去，即将含氟的原水以一定的流速流经除氟滤料层，通过除氟滤料吸附截留氟离子，使出水成为低氟或无氟水；当除氟滤料中的氟趋于饱和，出水中氟含量≥1.0mg/L时，说明除氟滤料失效，需用再生剂对除氟滤料层进行强制逆流再生，恢复除氟滤料的除氟能力。采用润新控制阀可很好地进行各种含氟水的处理。

### 1.4.3 球阀的用途和适用范围

润新陶瓷硬密封球阀为一种硬密封球阀，在管路中主要用于切断、分配和改变介质的流动方向，它只需要用旋转90度的操作和很小的转动力矩就能关闭严密。由于采用陶瓷球与陶瓷阀座，具有轻扭矩、耐腐蚀、耐磨损、零泄漏、寿命长等显著特点，通过选用不同的橡胶密封材料，可广泛适用于水、蒸汽、油品、有机酸、无机酸、溶剂、碱、化学品等多种介质。在水处理系统中，通过不同的球阀组合，可以组成过滤系统、软化系统、混床除盐系统等。

目前润新陶瓷硬密封球阀已批量制作的规格从DN15到DN80，最大可做到DN200。

# 第二章 水处理系统用多功能控制阀

## 2.1 多功能控制阀的基本原理

多功能控制阀，又叫多路阀，是指可以实现三个或三个以上流体通道及三个或三个以上控制功能的阀门。常见的用于水处理系统的多功能控制阀根据通路不同，可分为三位五通阀（过滤阀）、五位六通阀（软化阀、离子交换除盐阀）等。

润新多功能控制阀控制流体通道主要依据端面密封的原理，由两片(或两片以上)带有多个通孔或盲孔、具有高平面度的动片与定片平面相贴合，通过手动或自动控制的电机带动动片，在水处理设备运行功能转换时，进行同一中心的旋转，当动片转动到某一设定的工位时，阀体通孔对应的流体通道开启，对应盲孔的密封阻断流体，从而使水处理设备进行某一功能运作；当该功能运作完成后，再继续按水处理设备运作程序，使动片转动到下一工位，进行下一个功能运作，这样依次进行，使水处理设备投入正常运行。

例如图2-1所示，多功能过滤阀集成设置了过滤、反冲洗、正冲洗的通路，可实现过滤器所需的过滤、反冲洗、正冲洗等功能。

图2-2为一种多通路阀，可实现从进口进入的水按功能所需分别从其它接口流出。

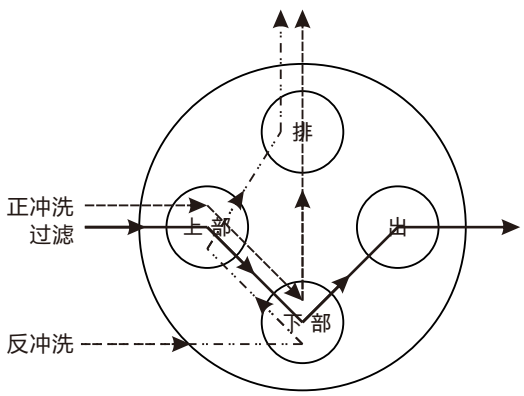



图2-1 过滤通路

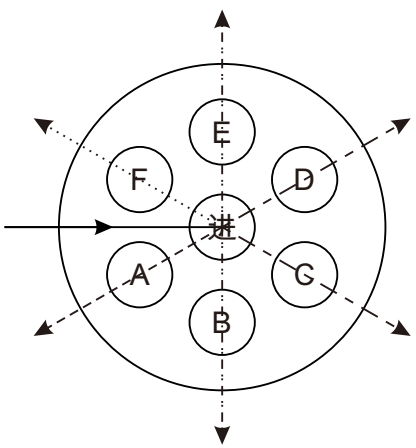



图2-2 多通路阀

对于自动控制阀，工位转换通常采用电机驱动。驱动电机的信号，过滤阀通常采用压差或时间信号；软化阀和除盐阀通常采用时间信号、制水流量信号或控制阀能接收的其它信号（如软水器出水硬度信号、除盐离子交换器出水电导率信号等）。以软水器制水运行和再生为例，当制水运行时间达到程序设定的时间或制水量达到设定的周期制水量，或在线检测出水硬度不合格时，自动控制阀按设置的程序启动再生，通过程序控制电机驱动动片转动，分别进行反洗、吸盐水+慢洗、向盐箱补水、正洗等功能运作。对于过滤阀而言，控制阀的工作原理与软化阀基本相同，只是仅有制水运行、反洗、正洗等功能，没有吸盐和向盐箱补水等功能。

### 2.1.1 单阀芯控制阀的原理

图2-3所示为一款常用软化阀的动片、定片示意图。定片固定在阀体上，在阀体上设有进出水口、排水口、吸盐口、罐体内的上下布水器接口，并与定片上的通孔对应相通。动片有一通孔与进水口常通，另有两个导流盲孔，通过旋转与定片贴合，形成不同的流道，从而分别形成运行、反洗、吸盐、补水、正洗等工位。

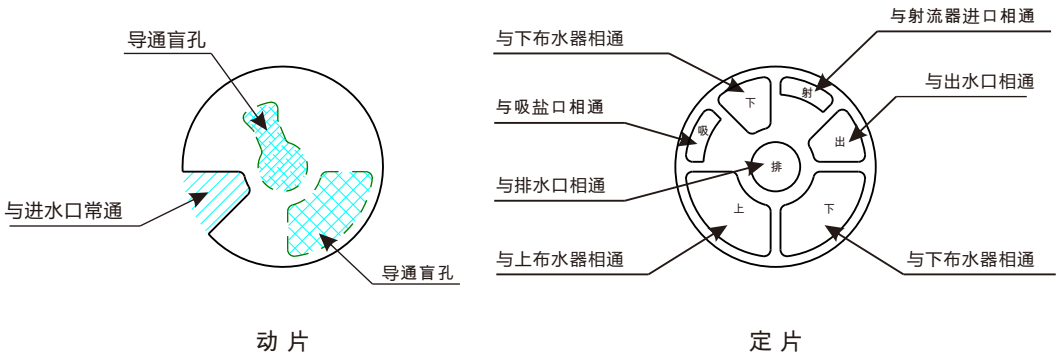


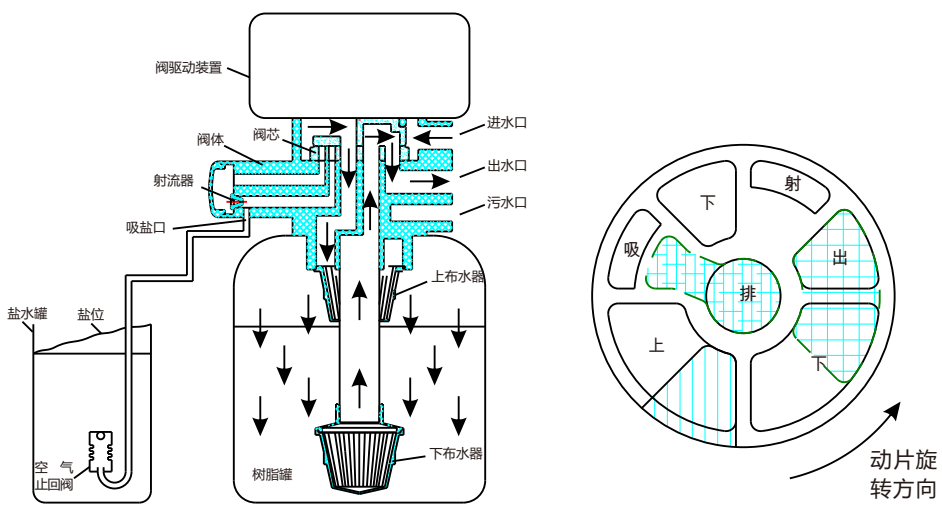

图2-3 63604动定片示意图

上述动定片只是一个示例，根据所需功能或各接口的布局不同，定片的各个接口可以采用五等分、六等分、七等分甚至十等分或不成等分的形式，动片可根据定片的孔的位置来进行布置，有很多种不同的动定片结构。

下面以软水器控制阀为例，对运行和再生过程的液流流向及软化阀中的工位加以说明：

2.1.1.1 运行（制取软水）

通过转动手柄或程序驱动电机控制动片旋转，使动片与定片形成如图2-4所示的贴合状态，此时原水经动片通孔进入定片、阀体、上布水器，经树脂软化后，从下布水器、中心管返回定片，由动片的导通盲孔导流，最后从出水口流出。当运行至预设的时间或周期制水量或出水硬度不合格时，停止运行，进入再生过程。




a)运行时的液流流向　　b)运行时动定片贴合图

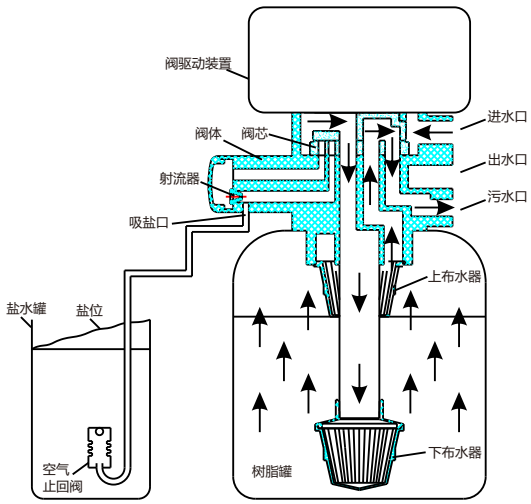
图2-4 运行状态示意图

2.1.1.2 再生过程

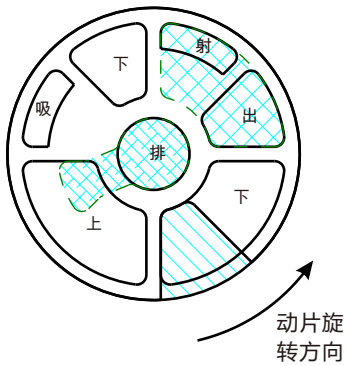
再生过程的步骤为：反洗→吸盐和慢洗→盐罐补水→正洗，合格后运行。

(1) 反洗

停止运行后，转动手柄或由电机驱动动片，使动片旋转至与定片形成如图2-5所示的贴合状态时，原水经动片通孔进入定片、阀体、中心管，从下布水器流出，向上清洗树脂层，废水经上布水器、阀体，由动片的导通盲孔导流至排水口排出。




a)反洗时液流流向



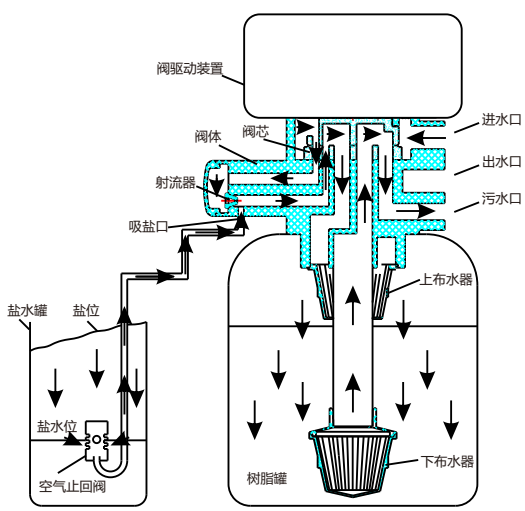

b)反洗时动定片贴合图

图2-5　反洗状态示意图

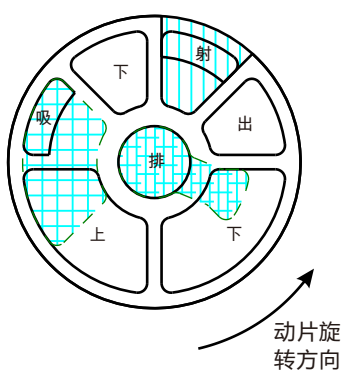
（2）吸盐+慢洗

吸盐：反洗结束后转动手柄或当反洗时间达到程序设定值时，程序控制电机转动动片，使动片与定片形成如图2-6所示的贴合状态，进水经动片通孔进入定片，流经射流器时，在射嘴出口产生负压，将盐罐中的饱和盐水吸入，与进水混合（有的型号是将软水箱或另一个罐产生的软水作为进水来进行再生，与软水混合）稀释成一定浓度后，从上布水器由上至下流入树脂层，使离子交换树脂再生还原，废水从下布水器、中心管返回定片（如果是逆流再生，则稀释后的盐水通过中心管至下布水器从下至上流过树脂层，经上布水器返回定片），再由动片的导通盲孔导流，最后从排水口排出。

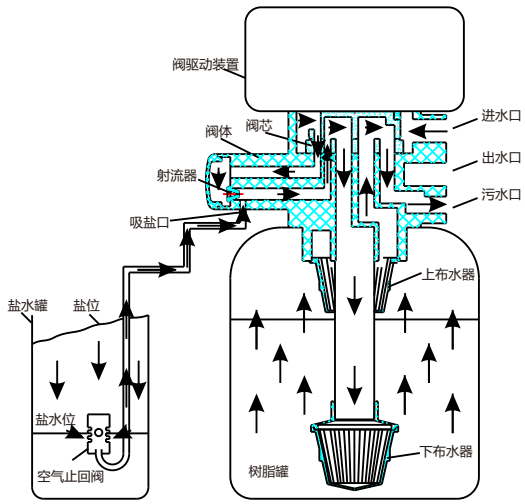
慢洗：盐罐中的盐水吸完后，进水继续通过吸盐时相同的阀体工位、液流方向和流速清洗树脂，同时利用存留在树脂罐内的盐水继续还原树脂。由于慢洗与吸盐状态基本相同，因此通常将两者设置为同一步骤进行，只是盐罐内的盐水吸完后，安装在盐罐内的空气止回阀关闭，堵住盐水管入口，防止空气进入树脂罐。




a)顺流再生吸盐时液流流向




b)顺流再生吸盐+慢洗时动定片贴合图

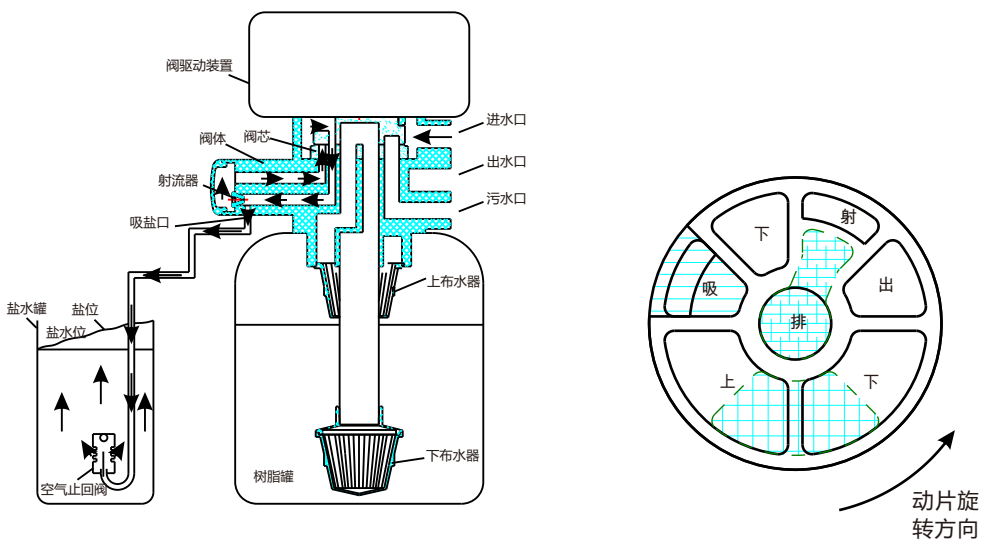



c)逆流再生吸盐+慢洗时液流流向

图2-6 吸盐+慢洗状态示意图

（3）盐罐补水

转动手柄或当吸盐+慢洗时间达到程序设定值时，程序控制电机转动动片，使动片与定片形成如图2-7所示的贴合状态时，原水经动片通孔进入定片，经射流器后，从吸盐口注入盐箱，使盐罐内的液位达到设定的高度，以供下次再生吸盐。

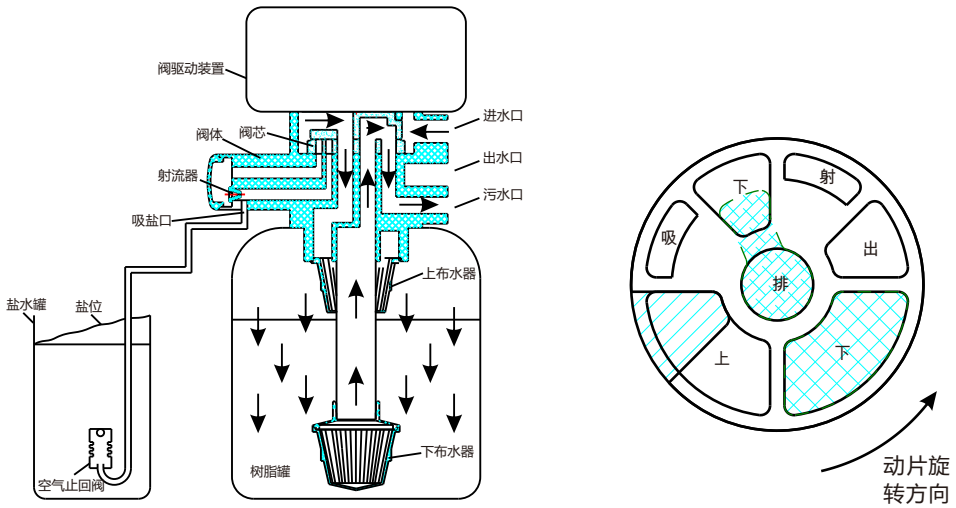



a)盐罐补水时液流流向　　b)盐罐补水时动定片贴合图

图2-7 盐罐补水状态示意图

（4）正洗状态

转动手柄或当补水时间达到程序设定值时，程序控制电机转动动片，使动片与定片形成如图2-8所示的贴合状态时，原水经动片通孔进入定片、阀体、上布水器，从上往下清洗树脂层后，从下布水器、中心管返回定片，由动片的导通盲孔导流至排水口排出。




a)正洗时液流流向　　b)正洗时动定片贴合图

图2-8 正洗状态示意图

### 2.1.2 双阀芯控制阀的原理

由于多功能控制阀的陶瓷阀芯动定片需要在同一个平面上布置多个通孔，以便与上布水器、下布水器、进水口、出水口、排水口、射流器进出水口等相通，因此水处理流量越大，所需通孔越大，动定片直径也就越大。一般水处理量为10m$^3$/h左右的多功能控制阀，动定片直径约需100mm 直径超过100mm时则会大大降低陶瓷片烧结成品率。为了保证产品质量，对于水处理量大于10m$^3$/h的控制阀，采用两组陶瓷平面阀芯的专利设计，来实现所需功能，其中一组控制进水（称进水阀芯），另一组控制出水（称出水阀芯）。

图2-9至图2-12 分别为出水阀芯定片、进水阀芯定片、出水阀芯动片、进水阀芯动片的示意图。在进水阀芯定片上，设有与上布水器、下布水器、射流器进口相通的通孔；在出水阀芯定片上，设有与上布水器、下布水器、出水口、排水口相通的通孔；阀体中与定片对应相通的进水阀芯的上布水器接口、下布水器接口与出水阀芯的上布水器接口、下布水器接口通过工艺孔对应连通。射流器的出口根据需要，设计为顺流再生时，可以与上布水器连通；设计为逆流再生时，可以与下布水器连通。图2-13和2-14为运行和反洗工位时，动定片贴合状态的示意图。其结构图如图2-15所示。

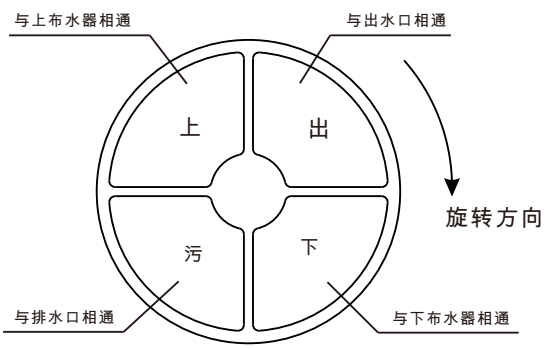



图2-9 出水阀芯定片

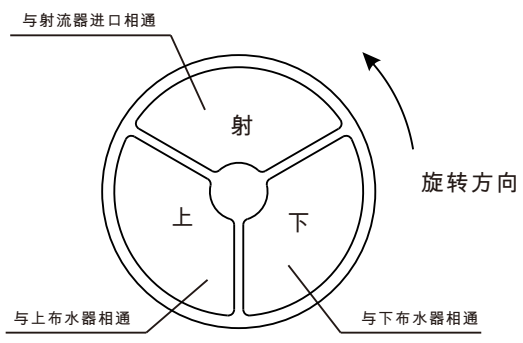



图2-10 进水阀芯定片

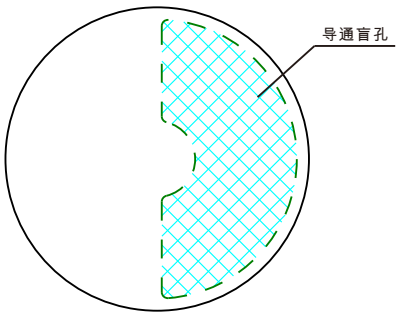



图2-11 出水阀芯动片

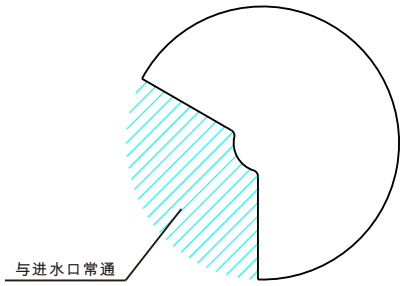
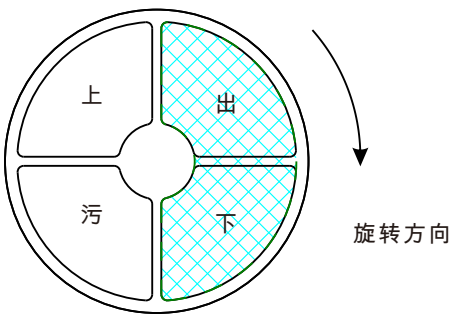
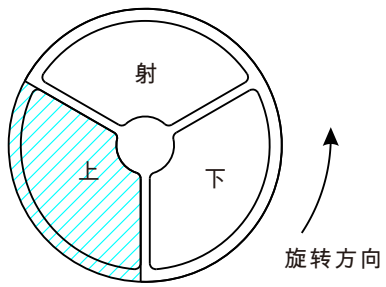



图2-12 进水阀芯动片

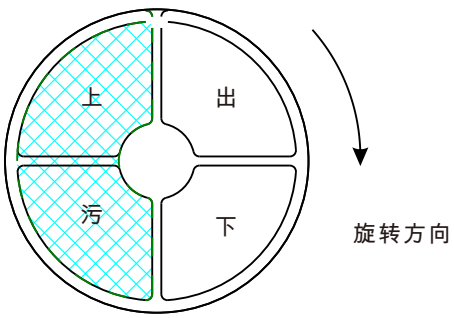



a、出水阀芯

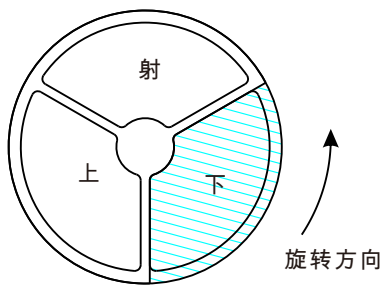



b、进水阀芯

图2-13 运行状态时，进水阀芯与出水阀芯的动定片贴合图




a、出水阀芯




b、进水阀芯

图2-14 反洗状态时，进水阀芯与出水阀芯的动定片贴合图

**（1）运行状态（制取软水）**

通过转动手柄或程序控制电机转动两个阀芯的动片，使动片与定片形成如图2-13所示的贴合状态，此时原水进入右边的进水阀芯，经进水阀芯动片通孔、进水阀芯定片、阀体、上布水器进入树脂罐，经树脂软化后，从下布水器经中心管进入出水阀芯定片，由出水阀芯动片的导通盲孔导流至出水口流出。

**（2）反洗状态**

转动手柄或当制水时间或流量达到程序设定值时，程序控制电机转动两个阀芯的动片，使两组阀芯的动片与定片形成如图2-14所示的贴合状态时，原水进入右边的进水阀芯，经进水阀芯动片通孔进入进水阀芯定片、阀体、中心管，从下布水器流出，向上冲洗树脂层，再经上布水器、阀体，进入出水阀芯动片的导通盲孔导流至排水口排出。

（3）控制阀的正洗状态，也可通过类似的操作来实现。吸盐状态、补水状态需要在阀体的吸盐口增设一个小型电动球阀来实现。

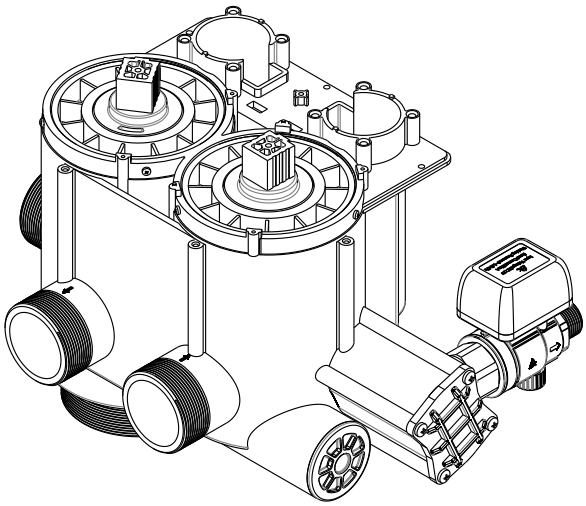


图2-15 双阀芯控制阀结构图

### 2.1.3 活塞式控制阀的原理

当控制阀的水处理流量大于20m³/h时，如采用平面陶瓷阀芯，动定片的直径将会达到200mm以上，陶瓷片烧结合格率将显著降低。为了解决这个问题，专利设计采用由一个分配阀控制四个三通活塞阀来实现水处理设备运行和再生（清洗）所需的各项功能。分配阀用于驱动活塞阀来实现相应的流道，而流量的实现通过三通活塞阀来实现。

图2-16所示为63650的四个三通活塞阀A、B、C、D的结构示意图，通过一个分配阀来驱动四个三通活塞阀。图2-17、图2-18所示为63650分配阀的动定片示意图，图2-19为63650分配阀在制水状态时的贴合示意图。动片上设有四个通孔及一个导通盲孔；定片中心设有一个通孔G安装在阀体上与大气相通，定片上分别设有A上、A下、B上、B下、C上、C下、D上、D下等八个通孔，分别与三通活塞阀A、B、C、D的上腔及下腔相通。通过电机驱动分配阀控制三通活塞阀，按程序设定使四个活塞在进行运行、反洗、吸盐+慢洗、正洗、运行初期时+盐箱补水等过程中分别处于不同位置，实现各步骤功能。A1、A2、A3分别为三通活塞阀A的三个接口。

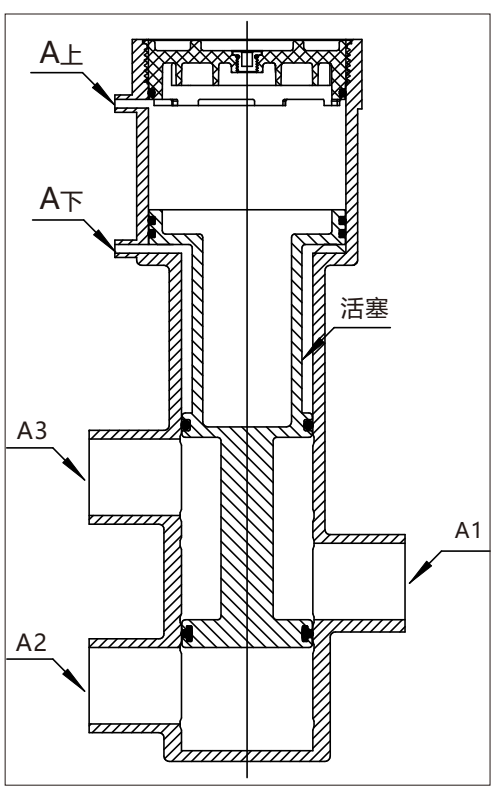



图2-16 三通活塞阀的结构示意图

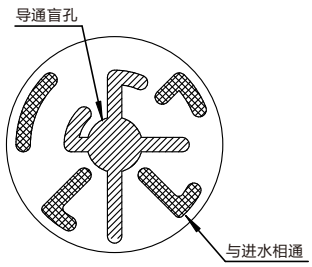



图2-17 动片示意图

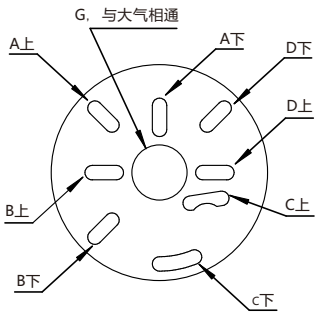



图2-18 定片示意图

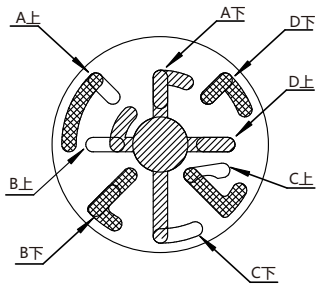



图2-19 制水时动定片贴合图

（1）运行（制取软水）

制水时，如图2-19的制水时动定片贴合图，分配阀控制四个三通活塞阀实现A活塞向下、B活塞向上、C活塞向下、D活塞向上，即形成图2-20的流程图。

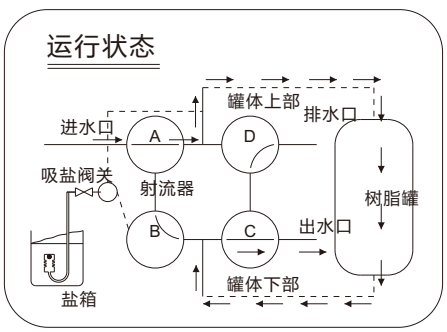



图2-20 制水状态时的流程图

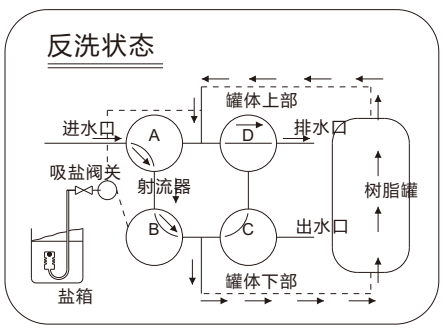



图2-21 反洗状态时的流程图

（2）反洗

反洗时，通过分配阀不同的动定片贴合状态，使分配阀控制四个三通活塞阀实现A活塞向上、B活塞向上、C活塞向上、D活塞向下，即形成图2-21的流程图。

（3）吸盐+慢洗

吸盐时，通过分配阀形成不同的动定片贴合状态，使分配阀控制四个三通活塞阀实现A活塞向上、B活塞向下、C活塞向上、D活塞向上，同时程序控制吸盐球阀打开即形成图2-22的流程图，吸盐结束后，程序控制吸盐球阀关闭即进入慢洗状态。

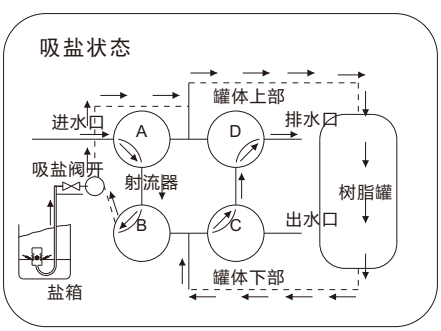



图2-22 吸盐+慢洗状态时的流程图

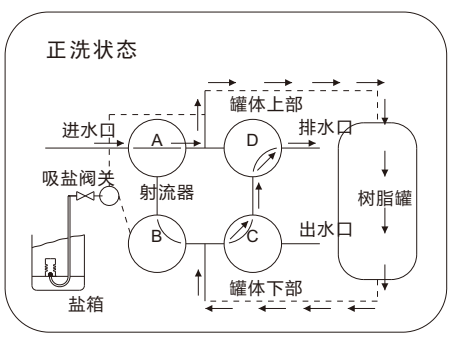



图2-23 正洗状态时的流程图

（4）正洗

正洗时，通过分配阀形成不同的动定片贴合状态，使分配阀控制四个三通活塞阀实现A活塞向下、B活塞向上、C活塞向上、D活塞向上，即形成图2-23的流程图。

（5）盐箱补水

正洗完成后，程序控制阀门进入运行状态，同时控制电动球阀开启，一小部分原水经射流器进入盐箱，实现补水，当达到设定的时间后停止补水，控制电动球阀关闭。

63650软化阀通过分配阀将压力源引入四个三通活塞阀，利用活塞阀中的活塞由于上下受力面积不同而形成的压力差控制活塞上下移动。为了使活塞形成一定的压力差，电控阀增加了一个隔膜泵使**进水压力≥0.2MPa，且大于主阀的进水压力（同时应确保定片与大气排水口G相通）**。

活塞式控制阀用作过滤器系统时，分配阀只需控制活塞实现运行、反洗、正洗等功能即可。

## 2.2 多功能控制阀的分类及其编号

### 2.2.1 按控制方式分类

多功能控制阀按控制方式可分为：手动控制、半自动控制、自动控制、WIFI控制等。

（1）手动控制

手动控制，是指通过人工手动操作来实现水处理设备运行、冲洗、再生等所需要的功能，即设备运行、再生或冲洗时，由人工手动转动阀门旋钮到相应工位，在每个工位停留相应的时间后，再手动转至下一工位。

（2）半自动控制

半自动控制，是指通过人工手动来启动再生或冲洗，后续的过程由程序自动完成。

（3）自动控制

自动控制，是指控制阀根据程序内设置的时间或流量或收到的输入命令自动控制阀门启动再生或冲洗，且后续各过程自动按程序设定完成的控制阀。

自动控制阀根据显示方式的不同又分为：LED显示、LCD显示、指示灯显示等。

（4）WIFI控制

WIFI控制，是指可通过手机APP远程控制阀门进行运行和启动再生或冲洗，并按照设置程序自动完成各项操作的控制阀。

### 2.2.2 自动控制阀按启动再生的方式分类

根据对运行终点及启动再生的方式不同，自动控制阀可分为时间型控制阀、流量型控制阀和在线监测型控制阀等。

（1）时间型控制阀

时间型控制阀是指通过设置固定的运行时间启动过滤器冲洗或软水器再生的控制阀。时间型控制阀分为以天计、以小时计两种。以天计的控制阀，自动再生最短间隔时间为一天一次，如果一天需再生两次或两次以上，需手动进行额外再生。以小时计的控制阀自动再生最短间隔时间为一小时，一天可自动再生多次。不过软水系统不宜过于频

繁地再生，一般再生次数不宜超过一天两次。过滤系统根据水质情况最多可以两小时冲洗一次。

时间型控制阀的不足之处在于：只要过滤器或软水器处于运行工位，控制阀就会持续计时，哪怕冲洗或再生后没有实际制水、用水，控制阀到了设定的时间也会启动冲洗或再生。这样有时就会造成浪费，或者供水需求变化波动较大的，需水量猛增时又容易造成出水不合格。因此对于间断运行的锅炉或其他工业用水设备，如果供水时间无规律，软水器停启变化较大，就不宜选用时间型控制器，而应选用流量型控制器。

**（2）流量型控制阀**

流量型控制阀是指通过设定周期制水量启动冲洗或再生的控制阀。由于流量型控制阀运行时由控制阀内的流量计对流过的水量进行计量，当运行制水量达到设定的水量时，自动进行冲洗或再生。因此流量型控制阀的再生设定比时间型控制阀更为合理，不管是连续运行还是间断运行，用水量是否稳定都可适用。

根据启动再生的时刻不同，流量型控制阀又可分为流量即时型和流量延迟型。

a)流量即时型：当周期制水量达到设定值时，立即启动冲洗或再生；

b)流量延迟型：当周期制水量达到设定值时，并不立即冲洗或再生，而是延迟到设定的时刻才启动冲洗或再生，这对于某些供水紧张、水压不稳，需要调整到某时间段进行冲洗或再生的工况较为适用。

**（3）在线监测型控制阀**

在线监测型控制阀通过在线检测水处理系统的相应参数，当检测的参数超出设定值时，能够控制阀门自动启动冲洗或再生。对于过滤器，可以检测进出水口的压力降或出水的浊度；对于软水器，可以检测出水硬度；对于阴阳离子交换除盐系统，可以检测出水电导率等。

在线监测型控制阀既可保证出水质量又可避免提前冲洗或再生的浪费，是较理想的控制阀。但目前由于出水硬度自动检测尚难做到准确的定量控制，因此在线监测型控制阀在软水器上应用不多，将来即使得到普遍应用，也需要定期进行人工检测校对。

### 2.2.3 多功能控制阀按应用场合分类

多功能控制阀根据应用场合不同，可分为：过滤阀、软化阀、特质水用控制阀等。

**（1）过滤阀**

过滤阀是指用于过滤系统的多功能控制阀，具有运行（过滤）、反冲洗、正冲洗等三种主要功能。随着家用过滤器的普及应用，有的家用过滤阀产品还具有关闭功能，即收到信号（如漏水产生的信号）后，可以把控制阀关闭，切断进水。

**（2）软化阀**

软化阀是指用于采用钠离子交换树脂来降低硬度的软水系统的多功能控制阀，其主要功能有运行（软化）制水、反洗、吸盐再生、慢洗、向盐箱补水、正洗等功能，根据再生方式的不同，功能顺序会略有不同。

**（3）特质水用控制阀**

特质水用控制阀包括曝气除铁除锰的控制阀（过滤阀）、采用海绵铁去除水中溶解氧的除氧控制阀、采用特殊滤料除氟的控制阀等。

### 2.2.4 软化阀按运行与再生时液流方向分类

软化阀根据运行与再生时液流方向不同，可分为顺流再生、逆流再生、顺逆流再生、浮动床控制阀。

（1）**顺流再生控制阀**

顺流再生控制阀，指再生时盐液流向与运行时的水流方向一致，均为由上而下流动的控制阀。顺流再生步骤简单、易控制，因此顺流再生软化阀应用最广。

（2）**逆流再生控制阀**

逆流再生控制阀，指再生时盐液流向与运行时的水流方向相反，一般指运行时水流方向由上而下、再生吸盐和慢洗时水流方向由下而上的控制阀。

逆流再生具有省盐省水的优点，其前提是要避免树脂乱层。为了防止反洗时树脂乱层，在进水过滤后浊度很低的情况下，不必每次再生都进行反洗，润新逆流再生软化阀可根据进水浊度大小设置反洗间隔次数，实现运行多个周期、反洗一次，例如设定4个周期反洗一次，那么前3个周期再生时，第一步不反洗，直接吸盐；运行第4个周期再生时，第一步进行反洗，然后再吸盐。

（3）**顺逆流再生控制阀**

顺逆流再生控制阀，指控制阀同时具有顺流再生与逆流再生两种功能，可根据实际需要通过程序进行设定。主要用于民用软化系统。

（4）**浮动床用控制阀**

浮动床用控制阀，指运行时水流方向由下而上，并使树脂在运行时整体上浮；再生时树脂回落，吸盐和慢洗时水流方向由上而下的控制阀。

有关顺流再生、逆流再生和浮动床的特点及其优缺点见4.1.3.2。

### 2.2.5 自动控制阀按控制的交换罐数量分类

根据控制阀所控制的交换罐数量不同，自动控制阀有单阀单罐、单阀双罐、单阀三罐控制阀，其中单阀双罐与单阀三罐主要用于软化系统，为软化阀。

（1）单阀单罐控制阀：如图2-24和图2-25所示，即一个控制阀只控制一个水处理罐。由于冲洗或再生期间不产水，因此单台的单阀单罐控制阀所配置的软水器，只适用于用水量较稳定，并间歇运行的设备。对于需要连续运行的设备，可以通过配置两个单阀单罐软水器并联运行，错开再生时间，来达到连续供水；也可采用配置有储水箱的较大的单罐系统来实现。

此外，单阀单罐软化阀还有再生时有旁通出水和再生时不出水之分。再生时有原水流出是为了避免用水设备缺水，在再生时将进水通过旁路直接流出软水器，即再生时的出水是未经软化的原水，适用于对软化水要求不高，允许短时间使用硬水的设备，不适用对软化水硬度要求严格的锅炉等设备。GB/T18300《自动控制钠离子交换器技术条件》规定：用于锅炉的软水器，再生过程中不应有硬水从交换器出口流出。因此，用于锅炉的软水器应选配再生时无出水的软化阀，如果选配的软化阀再生时有出水，需增设电磁阀，防止再生时交换器出口的硬水进入软水箱，造成锅炉给水硬度超标，引起锅炉结垢等不良后果。




图2-24 单阀单罐自动控制阀




图2-25 单阀单罐自动控制软水器

（2）单阀双罐控制阀：如图2-26和图2-27所示，主要用于软化系统。即由一个控制阀控制二个交换罐，其中一个交换罐运行制水，另一个交换罐处于再生或备用状态。单阀双罐软水器可以连续制水，较适用于需要连续运行的用水设备。

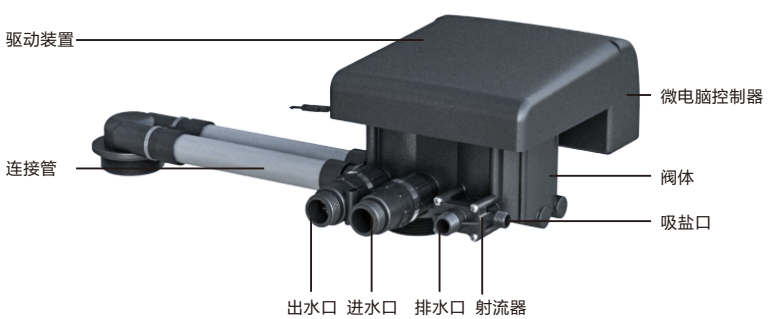



图2-26 单阀双罐自动控制阀




图2-27 单阀双罐自动控制软水器

（3）单阀三罐控制阀：如图2-28和图2-29所示，主要用于需二级软化的高硬度（原水硬度超过10mmol/L）水处理系统，即由一个控制阀控制三个交换罐的运行和再生，其中两个交换罐串联运行，一个交换罐处于再生或备用状态。二级串联的交换罐，当运行至第一级罐失效时，自动将第二级交换罐切换为第一级，原再生后备用的交换罐串联为第二级，失效的交换罐再生后备用。这样，整套系统一直都有两个交换罐串联运行，而且再生好的罐体作为第二级，可确保出水水质。

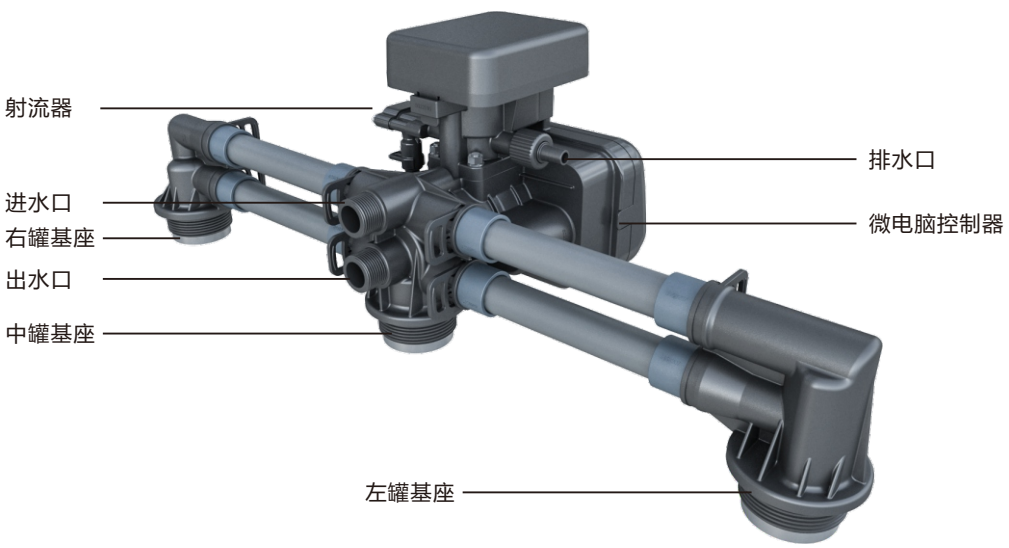
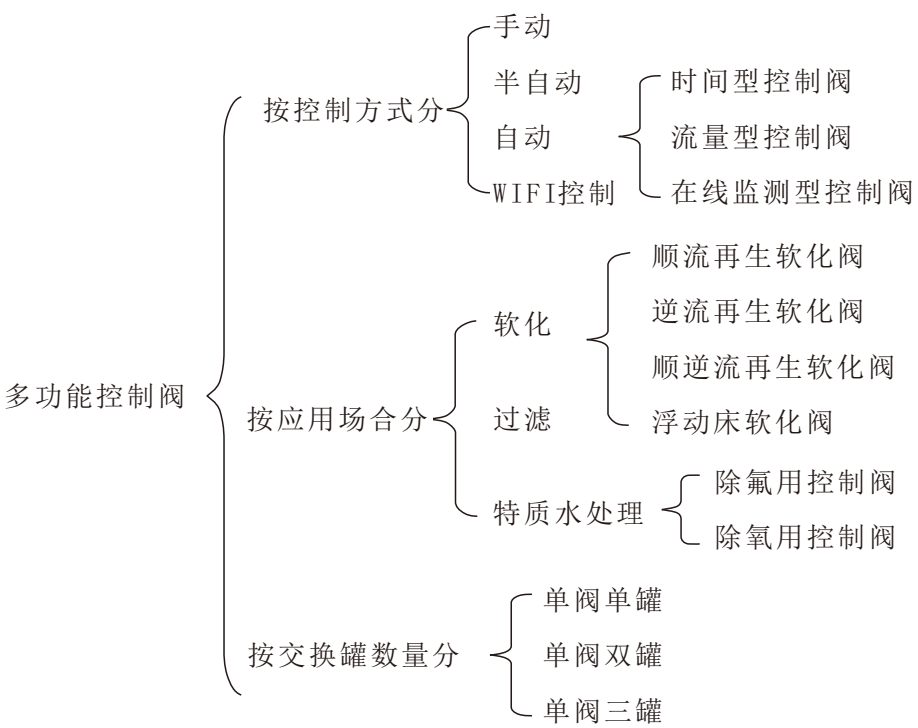



图2-28 单阀三罐自动控制阀




图2-29 单阀三罐自动控制软水器

综上所述，各类控制阀的分类如下所示：




### 2.2.6 多功能控制阀的编号规则

为便于使用，润新阀根据用途、控制方式及手柄或启动再生的方式不同，作出如表2-1、2-2、2-3所示的分类及代号表示：

表2-1 控制阀根据用途不同的分类及代号

| 编号 | 1 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 表示意义 | 特殊用途 | 配件 | 过滤 | 软化，顺流再生 | 软化，逆流再生 | 软化，顺逆流再生 | 浮动床 |

表2-2 控制阀根据控制方式不同的分类及代号

| 编号 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 表示意义 | 半自动 | 手动控制 | 自动控制，LCD 显示 | 自动控制，LED 显示 | 自动控制，指示灯显示 | 自动控制，数码管显示 | 自动控制，WIFi控制 |

表2-3 控制阀根据启动再生方式不同的分类及代号

| 编号 | 0 | 1 | 2 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 表示意义 | 无控制方式 | 手动控制，金属手柄 | 手动控制，塑料手柄 | 自动控制，时间型 | 自动控制，流量型 | 自动控制，在线监测型 |

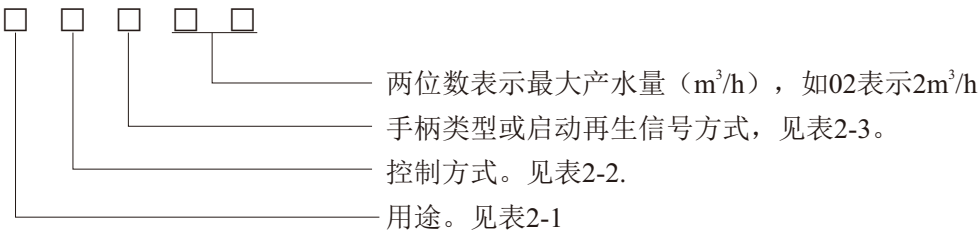
表2-4 特殊用途控制阀的分类及代号

| 编号 | 11 | 13 | 15 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|
| 表示意义 | 除氟用控制阀 | 除氧用控制阀 | 混床用控制阀 | 单用双罐控制阀 | 单阀三罐控制阀 |

表2-5 配件的分类及代号

| 编号 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 表示意义 | 旁通阀 | 三通阀 | 盐阀 | 在线监测装置 | 叠片式过滤器 | 独立控制器 | 消毒装置 | 缺盐报警装置 |

润新控制阀型号采用五个数字表示。其表示方法及意义如下：




注：编号以1或4开头的为特殊控制阀或配件，第二位表示的意义与表2-2不同，前两位数字代表意义见表2-4、表2-5

编号示例：

编号为53610的控制阀，5表示过滤，3表示LED显示的自动控制，6表示流量型，10表示产水量为10m³/h，即53610表示产水量为10m³/h的流量型自动过滤阀。

编号为62504控制阀，6表示顺流软化，2表示LCD显示的自动控制阀，5表示时间型，04表示产水量为4m³/h，即62504表示产水量为4m³/h的时间型顺流再生软化阀。

编号为17610的控制阀，17表示单阀双罐，6表示流量型自动控制软水阀，10表示产水量为10m³/h，即17610表示产水量为10m³/h的单阀双罐流量型自动控制软水阀。

## 2.3 自动控制阀的显示和设置

### 2.3.1 自动控制阀的显示

以采用LED显示的软化阀控制器面板为例，如图2-29所示，由微电脑控制，可通过菜单按键进行设置或修改运行周期及再生过程的各个参数，操作方便，并有图标显示。润新软化阀流量型与时间型基本相同，只是将运行设置由时间改为制水量，并在内部装置中增加了流量计。

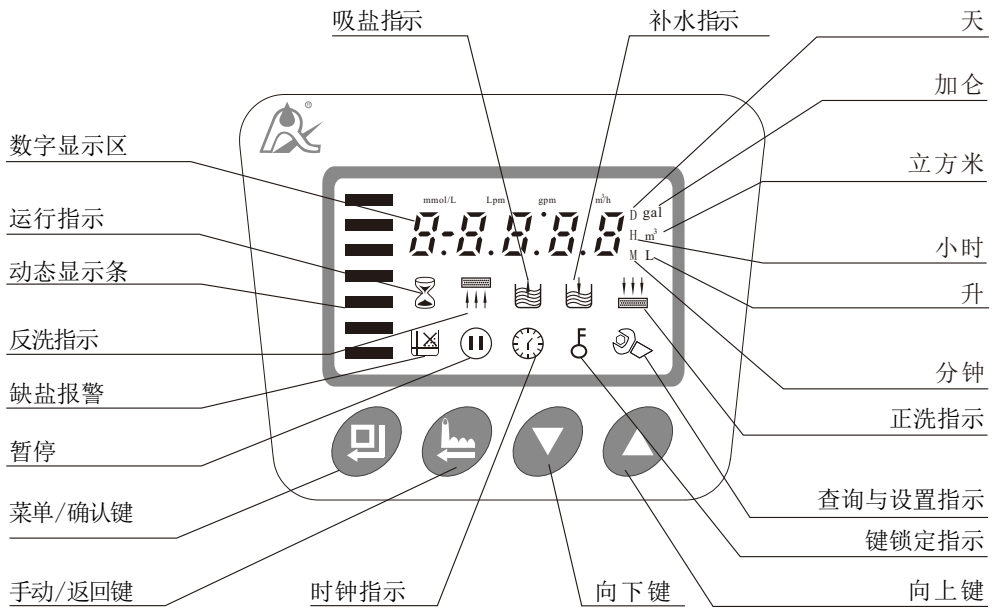



图2-29 控制器的显示面板

（1）运行和再生过程图形

面板上的图形区在进行运行和再生过程的各个步骤的图形，其代表的意义为：代表运行；代表反洗；代表吸盐+慢洗；代表补水；代表正洗；表示暂停；表示缺盐报警。

（2）其他功能键图形

a) ：代表时间。当闪烁时，表示曾经长时间停电（停电时间超过三天），需重新设置当前时间（短时停电有记忆功能，不需重设）；当亮起时，上方数字区显示的数字为当前时间。

b) ：代表锁定按键。当超过一分钟不对面板上的按键进行操作时，控制器将自动锁定按键，且亮起，这时按任何一个键都将不起作用。当需要进行设置操作时，可同时按住和键约5秒钟，至灯熄灭，键盘解锁。

c) ：代表设置。亮时，表示可查询所设置的参数；闪烁时，表示可修改所设置的参数。

d)：代表暂停。亮时，表示该阀处于等待状态。主要应用于一用一备等系统。

e）：代表缺盐报警。亮时，表示盐箱缺盐。主要用于民用软水系统用控制阀。

（3）运行和自动再生过程面板的显示

运行时：面板左侧的动态显示条闪烁，或亮起，数字区以30秒或15秒间隔时间循环显示：剩余的运行天数（时间型）或制水量及瞬时流量（流量型）、当前时间、再生时间等信息（各型号控制阀显示略有不同）；

再生过程中：面板左侧的动态显示条不闪烁，再生过程每一步骤进行时，相应的图形亮起，数字区循环显示当前时间和该步骤剩余时间（即尚需进行的时间）。

（4）其它情况下的显示

程序出现故障：当程序或控制部分出问题时，显示屏的数据区会显示“—E1—”等故障代码，并会持续闪烁。

### 2.3.2 自动控制阀的参数设置

不同类型的控制阀，有一些特别的参数可自行设置，常见的有：

（1）自动过滤阀可设定冲洗增加次数

当原水浊度较高，或者过滤器压差较大、反洗不足，滤料层容易积聚较多的杂质，即使冲洗时间延长，被截留的污物也不易冲走，可采用多次重复冲洗，将污物冲洗干净。

例如设置冲洗（反洗、正洗）增加次数：F-01表示冲洗增加一次，即运行一次，反洗、正洗两次。流程为：运行→反洗→正洗→反洗→正洗→运行。

（2）逆流再生软化阀可设定反洗间隔次数

逆流再生的再生液流向与运行时水流方向相反，为提高再生效果，需防止树脂乱层，对于进水浊度较低的软水器，不需要每次再生都反洗，可根据原水浊度大小选择合适的反洗间隔次数。例如设置反洗间隔次数为F-02，表示隔两次再生反洗一次，即运行三次反洗一次。

（3）流量型可设定最大间隔再生天数（0～40天）

当用户用水量较少时，需要较长时间才能达到设定的周期制水量。由于树脂再生与失效是可逆过程，再生好的树脂长时间不用，也会失效。因此，流量型控制阀可设定最大间隔再生天数，即使制水量未达到设定的周期制水量，但到达了最大再生间隔天数后的特定时间，程序也会启动再生。当设置为0时，该功能失效，表示只有达到周期制水量，才会启动再生。

（4）再生的每个步骤可设定的时间范围为0～99分钟

由于原水硬度不同，可能配置的罐体大小、填装的树脂体积等会有较大差异，以致再生过程需要的反洗、吸盐或正洗时间会有所不同。为此，自动控制阀的每个再生步骤均可根据需要进行合理的设定，以适应更大的应用范围。

GB/T 1576《工业锅炉水质》标准中规定：软水器再生后出水氯离子含量不得高于进水氯离子含量1.1倍。因此，需要调节控制阀的正洗时间，使之既可以彻底清洗再生废液，又不致过度正洗造成浪费。

### 2.3.3 自动控制阀的参数查询和修改设置办法

首先将键盘解锁（同时按住和键约5秒钟，至不亮），然后根据需要进行以下操作：

按 键，亮起，通过按 或 键，可对各参数进行查询（数字区将显示亮起的图形所对应的参数，例如 亮起时，数字显示当前时间； 亮起时，数字显示设置的运行天数或制水量），如果不需修改，可按 键退出查询，返回工作状态；如果需要修改，可在查询状态按下 键，此时 闪烁，表示可对该参数进行修改，连续按 或 键，直至数字区显示要设定的数值，再按 键，可听到“嘀”一声，表明设置成功，同时返回查询状态。

例如，某软水器的自动控制阀原设定正洗时间为10分钟，由于每次再生后投入运行的初期，出水氯离子总是偏高，说明正洗时间不够，现欲将正洗时间延长3分钟，可通过以下操作进行修改：

①按 键，亮起；②连续按 或 键，直到 亮起，这时数字区显示为：5-10M（5表示第5个参数，10M表示10分钟）；③按 键，和10闪烁；④连续按 键，直至10改为13；⑤再按 键，听到“嘀”一声，画面停止闪烁，返回查询状态；⑥若还要对其他参数进行修改，可重复上述②至⑤的方法继续修改；若不作其他修改，按 键退出查询，屏幕显示当前工作状态。

### 2.3.4 自动控制阀进行自动再生和临时手动再生示例

（1）自动再生过程

当软水器运行至设定的制水周期时，控制器按设置的时间参数自动完成以下再生过程（下述的时间为工业用标准配置的时间，不同的配置或民用软水系统会有所不同）。

① 亮起，进行反洗（时间约10分钟）；

② 亮起，先吸盐，盐水吸完后继续慢洗（时间共60分钟～65分钟）；

③ 亮起，进行盐箱补水（时间一般5分钟～6分钟，补水至盐箱中盐水液位到合适高度）；

④ 亮起，进行正洗（时间一般为10分钟～15分钟）；

⑤ 亮起，进行制水。

（2）临时手动再生

当设定的制水时间或制水量尚未达到设定值，但检测软水器出水硬度不合格时，需要立即进行一次临时的再生，可按 键结束运行，控制器将按设置的时间参数自动进行一次即时再生（不影响原设定的运行周期）。在再生过程中，如果要提前结束某一步骤，按一下 键，即可进入下一个步骤。

再生后应对出水进行取样化验，确保硬度合格，且出水氯离子含量不大于进水氯离子含量的1.1倍。

### 2.3.5 最大间隔再生天数的设置

对于使用流量型控制阀的软水器，当流量计出现问题，但暂时没有维修配件时，可以利用最大间隔再生天数H-30将其改为时间型。

方法如下：例如A-01流量延滞型，设定所需要的再生引发时间，将H-30改为拟设定的运行周期，如需2天再生一次，可改为H-02，这样即转化为一款时间型控制阀。

## 2.4 自动控制阀的接口

### 2.4.1 主要接口功能

**（1）信号输出接口**

主控板上设置信号输出接口，程序可以输出信号，用于控制外部线路。中间接口为公共端COM，另两端口分别为常闭端（线路板上有NC字样）及常开端（线路板上有NO字样）。

可用于控制进水增压泵、深井泵（深井供水时）、进水电磁阀、出水电磁阀等。其应用接线图见“2.4.2控制阀各接口的应用”。

**（2）互锁接口**

工业用自动控制阀的主板上，设置有两个端口，一个互锁输入、一个互锁输出。主要作用：对于由多个过滤器和软水器组合的水处理系统，或由多个控制阀组成的串联、并联或串并联系统，通过互锁，确保系统有序运行、分别冲洗或再生。即使有2个或2个以上罐体需要冲洗或再生，因互锁的作用，使系统只启动一个控制阀按程序设置进行冲洗或再生，避免几个阀同时启动再生或冲洗。

**（3）远程控制端口**

该端口可接收外部有源信号，电压DC5～24V，来控制阀门。如可接收PLC发出的信号、电导率仪发出的信号等。当接收到信号后，程序控制阀门进入下一个工位。如控制阀在运行状态，当远程控制端口接收到一个信号后，控制阀进入反洗状态；控制阀在吸盐状态时，当远程控制端口接收到一个信号后，控制阀进入下一个状态。

**（4）485端口**

485为远程通信端口，远程实现对控制阀现场数据的采集、控制。与PLC等上位机配合使用，可远距离操作控制阀。

**（5）其它端口**

由于不同国家要求不同，对于家用控制阀，部分产品还设置有可接收缺盐信号后报警的缺盐报警端口；有再生状态时电解盐水产生次氯酸用来消毒树脂罐的消毒端口等。这些端口主要是单一的功能，不作详述。

### 2.4.2 控制阀各接口的应用功能

润新控制阀的控制板各接口功能应用如表2-6，信号输出端口的输出信号状态见表2-7。

**表2-6 控制板各接口的应用功能**

| 功能名称 | 应用 | 说明 |
|---|---|---|
| 信号输出端口b-01 | 控制出口电磁阀或电动球阀 | 用于严格要求出水口无硬水流出或控制储水箱液位 |
| | 控制进水泵 | 用于再生或冲洗时增压；利用储水箱液位控制器，控制水泵，确保储水箱有水 |
| 信号输出端口b-02/泄压端口 | 控制进口电磁阀、电动球阀或旁路泄压 | 进水压力较高时，在控制阀旋转过程中关闭或停止进水，防止电机转不动 |

| | | |
|---|---|---|
| 互锁接口 | 确保系统中不超过一个控制阀再生或冲洗 | 反渗透预处理、同时供水分别再生、二级钠离子交换设备等 |
| 远程控制端口 | 接收信号使控制阀到下一位置 | 用于与在线监测系统、PC 机连接，实现自动或远程控制阀门 |
| 485 端口 | 实时传输数据 | 与PLC、电脑等连接，与控制阀实时通信 |

表2-7 信号输出端口的输出信号

| 状态 | 设置：b-01 | | | 状态 | 设置：b-02 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | COM 与 NO | COM 与 NC | | | COM与 NO | COM与 NC |
| 运行工位 | 不通 | 相通 | | 工作位置 | 不通 | 相通 |
| 其他状态 | 相通 | 不通 | | 工位转换 | 相通 | 不通 |

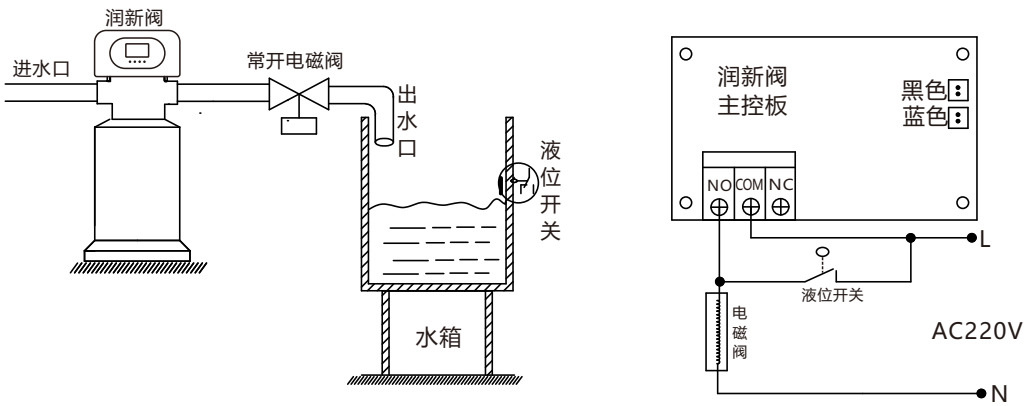
### 2.4.3 信号输出端口功能应用说明

#### 2.4.3.1 控制出口电磁阀或电动球阀（设为b-01）

通过控制出口电磁阀可控制水箱液位。对用于锅炉等要求严格控制出水硬度的软水器，再生过程中需确保出水口无硬水流出，可在出水口加装电磁阀，其接线方式如图2-30，其主要功能为：

a)当控制阀处于“运行”位置，如果水箱水位低，电磁阀开通，向水箱中补充软水；当水箱水位达到设定的高水位时，电磁阀得电关闭出水，停止向水箱中补充软水。

b)当控制阀处于“反洗、吸盐+慢洗、盐箱补水、正洗”等再生过程的工位时，NO点和COM点相通，电磁阀得电关闭，切断出口水路，即再生时软水器不出水，确保不会向软水箱中注入未经软化的水。




系统示意图　　系统接线图

图2-30 控制出口电磁阀的接线图

#### 2.4.3.2 控制进口电磁阀或电动球阀（设为b-02）

（1）工位转换时泄压：当进水口压力高于0.6MPa时，在进水口接入电磁阀。输出控制

模式设为b-02，系统会在控制阀转换各工位时进行泄压（该设置与泄压端口的功能一致），其接线如图2-31所示。

其主要功能为：当进水水压很高时，为保证多路阀能正常进行工位转换，在进水口加装一电磁阀。当软水阀处于“运行、反洗、吸盐+慢洗、盐箱补水、正洗”或过滤阀处于“运行、反冲洗、正冲洗”等工作位置时，电磁阀失电，开通进水，系统正常工作；当一个工位结束，转换至下一个工位时刻，电磁阀得电，切断进水口，使控制阀在无压状态下进行工位切换。此法可同时解决控制阀在工位切换过程中的混流及水锤现象。

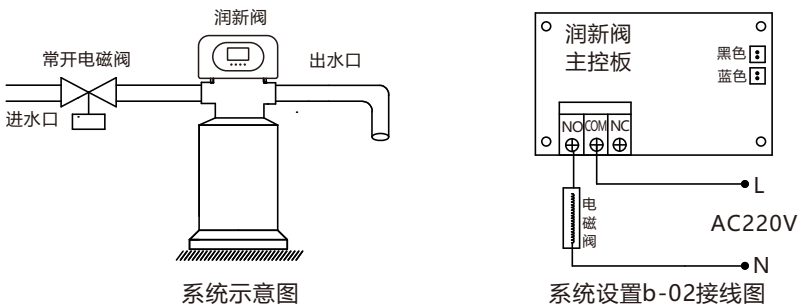
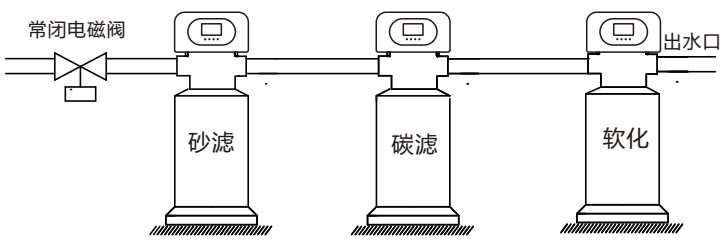



图2-31 控制进口电磁阀的接线图

（2）互锁控制：当多个水处理设备组成串联系统时，例如多级过滤、反渗透预处理或二级软化处理，可通过连接互锁线，在多级串联设备并用时，仅有一个控制阀进行冲洗或再生，不影响其他设备正常运行。采用多级串联互锁时，进口电磁阀接线如图2-32所示。



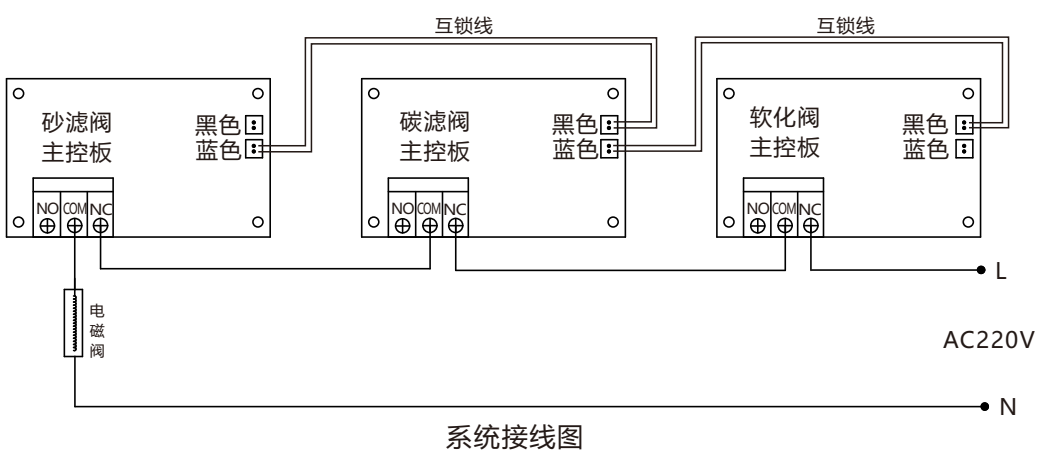
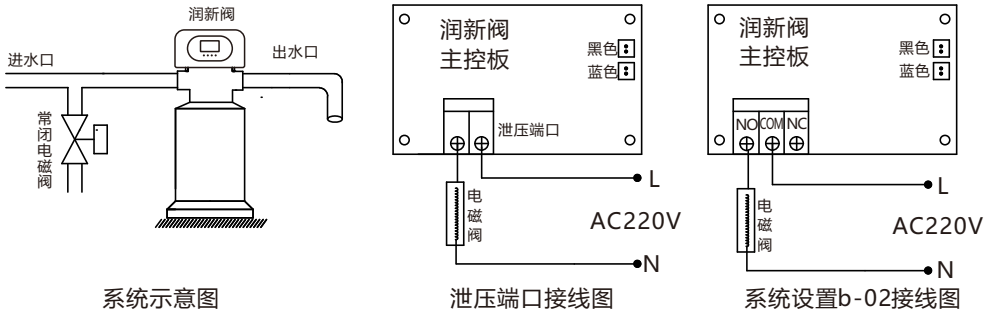




图2-32 多级串联互锁时控制进口电磁阀的接线图

（3）旁路泄压：在采用进水增压泵或井水供水的系统中，阀门旋转时，因阀门切换可能导致流量变化，使系统中的压力增大或减小，对系统耐压要求较高。通过在进水管

路上加装电磁阀与排水口或与原水箱相连，当阀门旋转时，泄压电磁阀打开，向排水口排出或回流至原水箱，防止因阀门旋转时出现的瞬间关闭，导致进口压力骤升，对系统造成损坏。其接线如图2-33所示。




系统示意图　　泄压端口接线图　　系统设置b-02接线图

图2-33 泄压端口的接线图

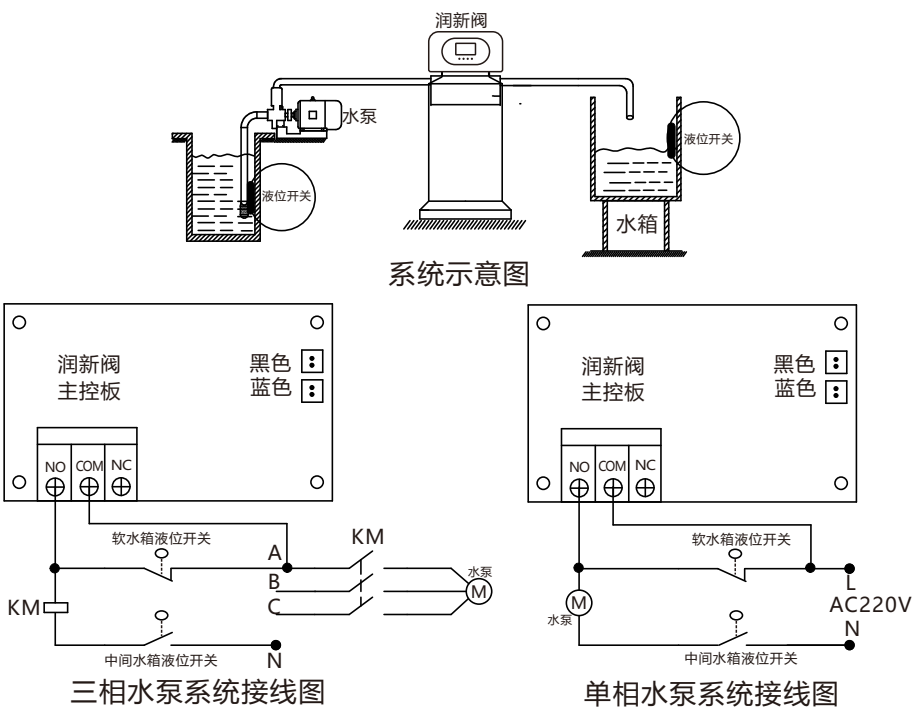
### 2.4.3.3 通过水箱液位开关控制进水泵（两相电机或三相电机）（设为b-01）

对采用地下水或中间水箱供水的系统，可通过储水箱的液位开关与控制阀一起来控制进水泵的开启与关闭。其接线如图2-34所示，其中单相水泵采用两相电机，三相水泵采用三相电机及交流接触器，主要功能为：

（1）当控制阀处于“运行”位置时，如果水箱水位低，启动水泵；如果水箱水位达到高水位，水箱液位开关节点断开，水泵失电，停止工作。

（2）当过滤阀处于“反冲洗、正冲洗”或软化阀处于再生各步骤的工位时，不论水箱水位如何，水泵都处于正常工作状态，保证水冲洗或再生时进水口按要求供水。

（3）水井内（或反渗透处理系统的中间水箱等）设置液位开关，可防止因水源水量不足，开空泵而损坏水泵设备。




系统示意图

三相水泵系统接线图　　单相水泵系统接线图

图2-34 通过水箱液位控制进水泵的接线图

#### 2.4.3.4 控制进口增压泵（可设为b-01或b-02）

当进水压力低于0.15MPa时，往往达不到反冲洗效果或难以吸盐，需在进水口接入增压泵，输出控制模式设为b-01。其控制电路连接按图2-35所示，增压泵电流大于5A的，必须接入图2-35中的交流接触器。

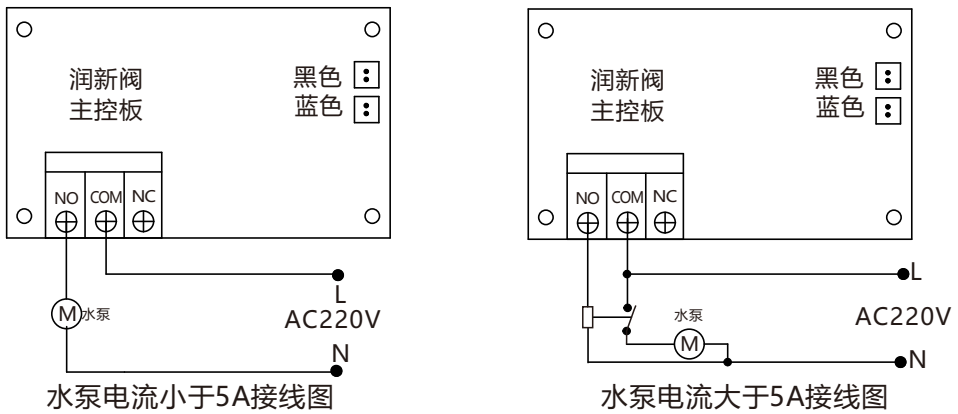



图2-35 进口接增压泵的接线图

主要功能为：在软水器或过滤器进口加装增压泵，当进水压力较低时，信号输出端口可控制增压泵在再生或冲洗状态时开启，增加进水压力，以保证吸盐效果或冲洗效果。

#### 2.4.4 互锁功能应用说明

有些水处理系统需要采用多个过滤器或二级软化器组合的串联系统，或者由多个过滤器或软水器组成并联系统等。通过连接互锁线，可使多个水处理控制阀组成的串联、并联或串并联系统有序进行运行、冲洗、再生等，避免发生多个控制阀同时启动冲洗或再生的不良影响。

互锁线路连接时仅需将前一个阀的CN8（黑色）与后一个阀的CN7（蓝色）相连；当多个系统互锁时，互锁线断开则从断开处自动分成两个互锁系统，其接线如图2-36所示，其主要功能为：

（1）用于由n台水处理设备组成并联系统时，可实现只有一个阀在再生或冲洗，（n-1）台设备在供水或暂停，即可实现同时供水分别再生。

（2）用于多台设备串联的水处理系统时（例如二级软化处理或反渗透预处理系统），可实现只有一个阀在再生或冲洗，确保系统每一级再生或冲洗时有水。

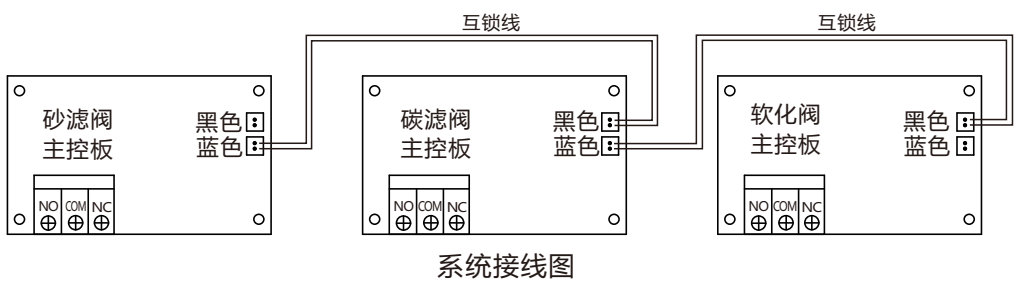



图2-36 互锁的接线图

### 2.4.5 远程控制端口应用说明

当控制阀用于离子交换除盐处理制取纯水或其它可在线监测的系统或与PC机等相连时（如图2-37），当电导率或其它参数达到设定值或PC机发出信号，需要系统再生时，可通过信号线传输至阀体主板上的远程控制端口使阀门立即启动再生。该端口在收到信号后等同于按一下手动按钮。其接线如图2-38所示：




图2-37 在线监测远程控制

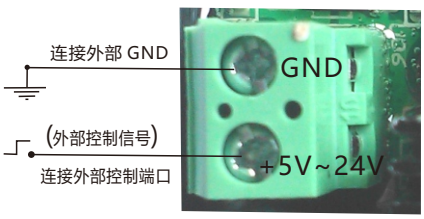



图2-38 远程控制端口的接线图

功能延伸：如需采用PLC来控制软化阀，可将软化阀各时间参数设为最大值，需要再生时，由PLC发出信号给软化阀，即可进入反洗状态；如PLC上的反洗时间设为20分钟，当时间到后（此时软化阀设置的时间有可能尚未到），PLC发出信号控制软化阀结束反洗进入下一程序，以此类推。

## 2.5 各接口在水处理系统中的应用

### 2.5.1 多台水处理设备，实现同时供水，错开再生

对于多台水处理设备，需要一台以上同时供水，又要避免同时冲洗或再生，只需将多个阀门连接互锁线即可实现。其接线如图2-39所示：

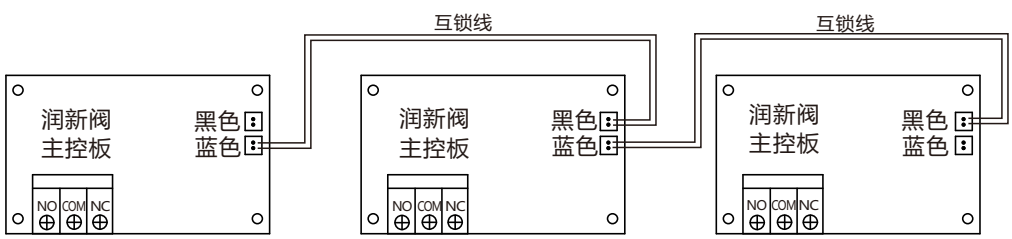



图2-39 同时供水、分别再生系统线路图

### 2.5.2 利用单流量计，实现双（多）罐同时供水，依次按顺序再生

对于水处理系统中配有一台流量型控制阀，又配有时间型控制阀的，可将两个或多个阀门互锁，并将时间型控制阀的运行周期设为最大值，将一台流量型控制阀的信号输出端口与时间型控制阀的远程控制端口连接，即可实现同时供水、按顺序依次再生，其接线如图2-40所示。

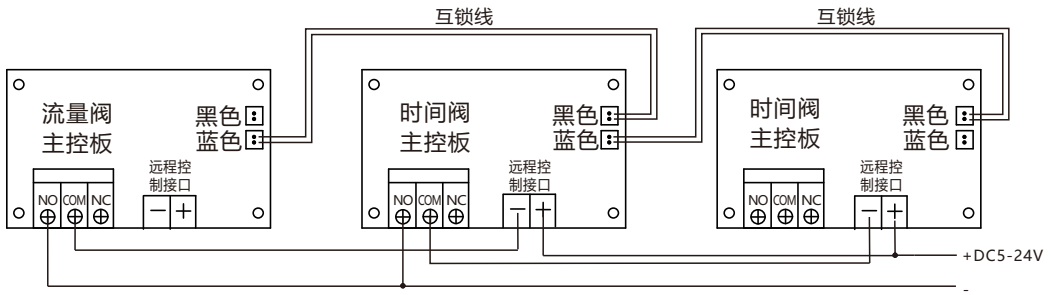



图2-40 同时供水 顺序再生线路图

应用说明：当流量型控制阀再生时，信号输出端口输出信号，发送给时间型控制阀的远程控制端口，时间型控制阀的远程控制端口收到信号时，也需要再生，由于该系统已互锁，流量型控制阀正在再生，则准备再生的时间型控制阀进入等待状态，待流量型控制阀完成再生后，时间型控制阀再进行再生；同样控制下一个时间型控制阀在前一个控制阀完成再生后，再进入再生序列，以此类推，达到同时供水，按顺序依次再生的目的。

这样的连接应用方式可用于阴阳床系统。

### 2.5.3 一用一备软水系统

将两个63510、63515或63520阀与一个42020三通阀即可组成一用一备供水系统，需将控制阀互锁，并与三通阀进行连接，其接线图如2-41所示。

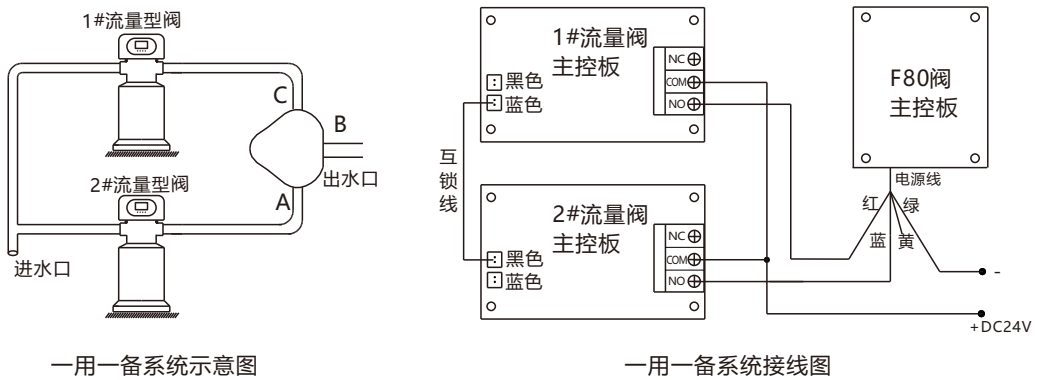



图2-41 双阀双罐组成的一用一备系统

应用说明：如2-41左图所示，当1#控制阀处于运行状态时，三通阀处于C与B相通状态，2#阀为再生状态或再生完成后备用的状态；当1#控制阀的制水量或制水时间达到设定值时，控制阀进入再生状态，同时控制三通阀转换至A与B相通状态。（由于1#与2#互锁，1#进入再生状态时，2#一定会处于运行状态，反之亦然），即实现一用一备的功能。

### 2.5.4 反渗透（RO）系统前置预处理

对于采用二级过滤（石英砂过滤+活性碳过滤）、软化前置预处理后再进行反渗透（RO）处理的供水系统，可通过储水箱的液位开关与控制阀一起来控制水泵的开启与关闭

润新阀信号输出控制模式设为b-01，前置预处理的控制阀互锁，信号输出端口与进水增压泵、高压水泵及水箱液位开关按图2-42所示连接，其主要功能为：

a）水箱液位低时，开启进水增压水泵和高压水泵；

b）水箱水满时，停止增压水泵和高压水泵；

c）控制阀进入再生状态时，开启增压水泵，同时停止高压水泵；

d）单向阀作用：当预处理供水量不足，且无低压开关保护或者低压开关失灵的情况下，防止高压水泵使前置系统产生负压，避免预处理的罐体被吸扁。

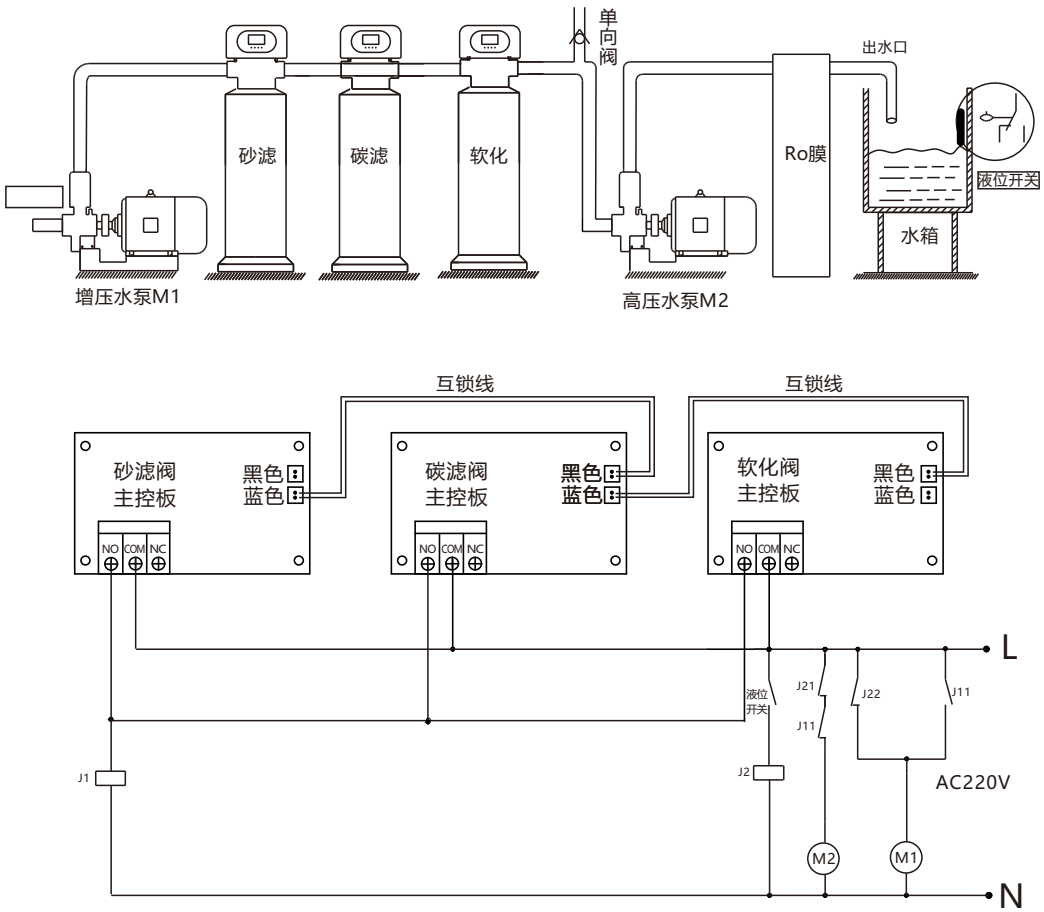



图2-42 预处理及反渗透系统的接线图

# 第三章 润新过滤阀的应用

一般天然水中往往含有较多的悬浮物和胶体物质，经混凝处理后虽然其中大部分悬浮物和胶体物质可被除去，但仍难免会残留少量细小的悬浮颗粒，需进一步用过滤的方法除去，才能满足后继的离子交换处理、膜处理等水处理装置对进水的要求，尤其对于反渗透膜处理系统来说，即使看起来比较澄清的水，也需经过精密过滤处理后才能进入反渗透装置，以免发生膜污堵，确保正常运行。

## 3.1 过滤作用及其原理

过滤系统和滤料的选择通常需根据进水水质、后续水处理工艺对进水的要求以及处理水量等因素确定。一般过滤的作用主要是截污，就是通过适当的滤层较为彻底地除去水中的悬浮物和胶体物质等杂质，最常用的过滤方法为粒状滤料过滤，因为这种方法的设备比较简单，且当滤层失效后易于用反洗的方法恢复其过滤能力。其过滤原理一般认为是表面吸附和机械阻留等的综合结果：首先，当水开始自上部进入滤层时，水中部分悬浮物由于吸附和机械阻留作用，被滤层表面截留下来。此时，悬浮物之间会彼此发生重叠和架桥等作用，所以经过一段时间后，在滤层表面就好象形成了一层附加的滤膜。在以后的过滤中，这层滤膜就会起主要的过滤作用，这种过滤过程称为薄膜过滤。在实际过滤运行中，起过滤作用的不仅是滤层的表面，事实上当水流进入滤层中间时，也会因吸附和混凝的结果起到截留悬浮物和胶体物质的作用。

## 3.2 常用过滤设备及系统

传统的常用过滤设备主要是以粒状介质为滤料的过滤设备，根据设备的结构、液体流向及滤料配置不同，又有多种分类，以下简要介绍常用的几种过滤设备及系统。

### 3.2.1 压力式过滤器

常用压力式过滤器主要有单流式过滤器和双流式过滤器。

#### 3.2.1.1 单流式过滤器

（1）结构

普通单流式过滤器又称机械过滤器，这种过滤器通常是一个密闭的立式圆柱形容器，过滤器内填装有合适的滤料，并设有进水装置、配水系统，有的还装有进压缩空气的装置。过滤器外设有各种必要的管道、阀门和仪表等。

在单流式过滤器中，为了反洗时滤层膨胀的需要，进水装置与滤层之间需留有一定空间。由于运行时此空间一直充满着水，可以起促进水流均匀的作用，因此这类过滤器的进水装置一般比较简单，例如在进水管出口端设置一个口向上的漏斗。

过滤器中配水系统是一个重要部件，它的作用除了保证水流在滤层中分布均匀外，还可防止滤料泄漏。配水系统的类型较多，目前常用的有：排水帽式、支管开缝式和滤布式（穿孔板夹铺滤布或支管包滤布）等。

（2）使用

普通单流式过滤器运行流速一般为8m/h～10m/h。当运行至水流通过滤层的压力降（即进口与出口的压力之差）增大至一定值时，需停止运行，进行反洗。此时，应

先将过滤器内的水排放到滤层上缘，然后由下部送入一定强度的压缩空气[不同的滤料，所需压缩空气强度不同，滤料越重，所需强度越大，一般石英砂滤料的压缩空气反洗强度为(18～25) L/($m^2$•s)]，搅动吹洗3min～5min后，在继续供给压缩空气的同时，向过滤器内送入反洗水，其强度应使滤层膨胀10%～15%。反洗水送入2min～3min后，停送压缩空气，继续用水反洗1min～2min，此时反洗水的强度应增大至使滤层膨胀率达到40%～50%。最后，用水正洗，直至出水合格，又可开始过滤运行。

过滤器运行期间应监测出水的浊度，但单流式过滤器的运行终点通常不是根据出水的浊度变化来判断，而是通过调试取得合适的压力降来确定。这是因为单流式过滤器中滤料的分布是上细下粗，随着水流通过滤层，悬浮杂质越来越多地被截留在滤层表面，相当于形成了一层越来越密的滤膜，使出水浊度降低，并使得水流通过的压力降也越来越大。如果过滤器一直运行至压力降超过某极限值，这层滤膜就会发生突然的破裂，这时表层大量的悬浮杂质将会迅速分布于整个滤料层，使得出水浊度很快恶化，并且污染后的滤料层很难反洗干净，影响以后的过滤效果。因此单流式过滤器应在浊度增大之前（即压力降未达到极限前）就必须确定运行终点进行反洗。例如某机械过滤器中装载了粒径为0.6mm～1.2mm的石英砂滤料，滤层高约0.7m。刚反洗干净时，水流通过滤层的压力降约4.9kPa，运行的最大压力降约为40kPa时，出水浊度开始显著增大，因此过滤器不可运行至此极限值，一般运行到压力降达到20kPa～30kPa时，就应进行反洗。

#### 3.2.1.2 双流式压力过滤器

双流式压力过滤器外形与单流式过滤器相似，不同之处在于增设了中间配水装置，运行时分别由上下两路进水，过滤后由中间出水。双流式过滤器滤料总高度为2m～2.4m，中间配水装置一般设在离滤料表层0.6m～0.7m的滤层中。用石英砂为滤料时，颗粒粒径为0.4mm～1.5mm，平均粒径宜控制在0.8mm～0.9mm，不均匀系数$K_{80}$为2.5～3。虽然双流式过滤器的滤料分布仍然是上细下粗，但由于大部分水流从下至上先遇到大颗粒滤料，随后是逐渐细小的滤层，可使得整个滤料层通过这种“反粒度过滤”得到充分的利用。另外，由上部进水向下流通过表层小颗粒滤料时，虽然水头损失很快，水流量也逐渐减少，但可起到防止下部水流向上过滤时滤层往上膨胀，使过滤过程更加稳定。

双流式过滤器运行时，开始阶段上、下进水各占约50%，但随着过滤进行，上部滤层阻力增大，水流量逐渐减少，下部水流量比例增大，至运行末期下部水流量约占出水流量的80%左右。与普通单流式过滤器相比，双流式过滤器具有出力大、运行周期较长的优点，但清洗操作和维护较为复杂，且出水浊度不如单流式过滤器低。

双流式过滤器失效后的清洗方法为：先用压缩空气吹洗5min～10min，接着用清水从中间进入，向上冲洗上部滤层。然后关闭压缩空气，由中间和底部同时进水，自上部排出，冲洗整个滤层，控制反洗强度(16～18) L/($m^2$•s)，时间10min～15min。最后，停止反洗，进行运行方向的清洗，至出水合格又可开始过滤运行。

#### 3.2.1.3 多层滤料过滤器

普通单流式过滤器，在反洗水的冲洗下，滤料自然按“上细下粗”排列。因此这种过滤器主要是利用滤层表面的薄膜作用进行过滤，而下层滤料大都未能发挥其过滤作用，因此它的平均截污能力低，运行周期短，而且滤层的水头损失增加很快。为了改善这种情况，对于单流式过滤器，设计了多层滤料。目前使用的多层滤料过滤器，多数为双层或三层滤料。此外，还有一种由两种不同粒径的滤料混合而成的变孔隙过滤器。

**（1）双层滤料过滤器**

它的结构与普通过滤器相同，只是在滤床中分层安放着两种不同的滤料。上层为相对密度小、粒径大的滤料，下层为相对密度大、粒径小的滤料。通常采用的是：上层为无烟煤（相对密度1.5～1.8），下层为石英砂（相对密度2.6左右）。由于它们的相对密度差别较大，因此即使无烟煤颗粒的粒径较大，反洗后仍能处于颗粒较小的石英砂的上面。这样，可使整个滤层的颗粒形成“上粗下细”的排列，这对过滤非常有利。

双层滤料过滤器能否达到良好的运行效果，关键是反洗时两种滤料能否良好分层。为了在反洗时不使两种滤料混层，必须适当选择两种滤料的粒径。实践表明，当无烟煤的相对密度为1.5时，最大的煤粒粒径与最小的石英砂粒径之比，应不大于3.2。在实际应用中，很难做到两种滤料完全不混层，一般要求控制混层厚度小于10cm即可。

普通的石英砂过滤器可直接改为双层滤料过滤器，此时可将其上层200mm～300mm高度的最小颗粒取走，使余下的石英砂表面层的颗粒粒径为0.65mm～0.75mm，然后再装入粒径为1.0mm～1.25mm的无烟煤滤料。这样，过滤时水中大部分悬浮物就会渗入无烟煤颗粒间的孔隙中，并得以截留，剩余的可被下层石英砂所阻留。

**（2）三层滤料过滤器**

三层滤料床的原理和结构与双层床相似，它相当于在双层滤料床下面加了一层相对密度更大，颗粒更小的滤料。常采用的大密度滤料有：石榴石、磁铁矿或钛铁矿等，它们的化学性质稳定，其中石榴石的密度为4.2g/cm$^3$，磁铁矿的密度为(4.7～4.8)g/cm$^3$。

三层滤料的粒径范围一般为：上层的无烟煤0.8mm～2.0mm；下层的大密度滤料0.25mm～0.5mm；中层的石英砂粒径可根据上下两种滤料的条件确定，要求无明显混杂。各层滤料的厚度在总厚度中所占比例可根据进水水质情况确定，一般为：下层滤料约占5%～10%；中层滤料约占25%～35%；上层滤料约占60%～65%。

双层滤料过滤器虽然比单层的截污能力大、流速高（一般为12m/h～16m/h），但由于下部石英砂的粒径较大，为防止悬浮物穿过滤层，滤速还是不能过大。而在三层滤料过滤器中，由于滤料的粒径从上至下由大到小地排列，而且下层的滤料粒径小、表面积大，滤层的截污能力可得到充分发挥，因而其滤速甚至可提高到30m/h以上，仍能有效地防止悬浮物的穿透。因此，这类过滤器的优点为滤速高，截污能力大，过滤周期长，出水水质好，而且对于进水浊度高和浊度波动大的水源适应性也比较强，它的水流阻力与普通过滤器的相当。

#### 3.2.1.4 变孔隙过滤器

变孔隙过滤器也是在单流式过滤器的基础上特殊设计的，其主要特点是过滤器中的滤层由两种不同粒径的滤料充分混合而成。滤料配比为：占滤层总体积约96%的，是粒径为1.2mm～2.8mm的粗滤砂；4%左右的是粒径为0.5mm～1.0mm的细滤砂，两者混合后滤层的总高度为1.5m～2m。

在变孔隙滤层中，细滤料均匀地混杂在粗滤料的孔隙中间，使得整个滤层孔隙率大为降低，这样当水流通过滤层时通道曲折变长，有利于截留悬浮物。

运行经验表明，变孔隙过滤器运行状况是否良好，关键是反冲洗效果是否好，小粒径的滤料是否能够充分混合于大粒径滤料中并分布均匀。一般反冲洗过程为：先用水反洗2min；然后用空气擦洗，同时配以水反洗，时间也为2min；最后再用水反冲洗2min，反洗强度为(15～16)L/(s·$m^2$)。反洗完后，还需通压缩空气，使大小滤料充分混合，才能投入运行。在变孔隙过滤器中，进行的主要是渗透过滤。在反洗良好的情况下，它有滤层阻力小，截污能力大，滤速较高等优点。

### 3.2.2 纤维过滤器

纤维过滤器是利用纤维材料作过滤介质而得名。目前已得到应用的主要有胶囊挤压式纤维过滤器和浮动纤维水力调节密度式过滤器。设备的本体结构基本上与单流式压力过滤器相同，内部滤料是悬挂一定密度的合成纤维，水由下而上经过滤层过滤。其中胶囊挤压式纤维过滤器是在纤维滤层中设置数个不透水胶囊，过滤时胶囊充水扩张将纤维弯曲压紧，使水流通过时得到过滤。清洗时，排去胶囊中水，放松纤维，利用压缩空气进行水、气合洗，将纤维滤层清洗干净。

纤维滤料通常是丙纶纤维制成的长丝，具有抗张强度高、化学稳定性好、吸水率低、表面积大、水流阻力小、容易清洗等优点，是一种比较理想的过滤材料。实践证明，纤维过滤器是一种较为高效的过滤器，其特点为：

a）运行流速高，截污容量大。当水流速为30m/h时，截污容量为4.9kg/$m^2$；当水流速为50m/h时，截污容量为2.3kg/$m^2$。其截污容量比砂滤器高5～10倍。

b）出水水质较好。纤维过滤既可用于澄清过滤，也可用于接触过滤，当进水经混凝处理时，出水浊度可达到≤1NTU。

c）水头损失小，运行压力低。运行时平均过滤压差为0.02MPa～0.06MPa，一般最大不超过0.2MPa。

### 3.2.3 活性炭吸附过滤

经过滤处理后的水虽然浊度可降至较低，但常会残留一些有机物和游离氯，这对于下一步离子交换水处理的交换树脂或者反渗透膜处理时膜的使用寿命很不利，应尽量除去。用普通的压力式过滤器，以活性炭作滤料，可较好地除去水中的游离氯，同时降低水中有机物含量。由于活性炭价格较高，且强力水冲洗时易碎裂，因此其过滤的主要作用不是截污，而是通过吸附来降低水中游离氯和有机物含量。为保证其吸附效果，避免大量悬浮物和胶体物质等污染活性炭，通常活性炭过滤前需设置砂滤，降低水的浊度后再进入活性炭过滤。

活性炭是一种吸附力较强的吸附剂，其过滤作用主要以物理吸附为主。它通常由果壳类炭（如椰子壳、核桃壳、杏核）、煤炭、木炭等经过药剂处理或高温焙烧等活化处理而制成。经活化处理后，活性炭的表面和内部形成了无数相互连通的毛细孔道，孔径由1nm～100nm不等，因而具有很大的吸附比表面积，一般可达500$m^2$/g～1500$m^2$/g。用于吸附过滤的活性炭通常制成粒径为1mm～4mm的颗粒，使用时可根据需要进行选取。

用活性炭过滤可较为有效地除去水中的游离氯。在这过程中，除了活性炭对$Cl_2$的物理吸附作用外，还由于活性炭表面具有某种催化作用，可促使游离氯$Cl_2$的水解，并加速新生态氧[O]的产生。而新生态氧可与活性炭中的碳或其它易被氧化的组分反应，进一步促进游离氯的除去。

用活性炭吸附过滤虽然能够降低水中有机物含量，但是由于水中的有机物种类繁多，分子大小差别很大，因此活性炭对其吸附能力有所不同，通常吸附效果与活性炭的活化特性及水中有机物的组成等有关，例如由果壳类制作的活性炭中，从常规吸附性指标看，椰子壳活性炭最好；但对于天然水中有机物的吸附，则是由核桃壳或杏核制作的活性炭为好。另外，有实验表明，一般活性炭对分子量为500～3000的有机物有较好的吸附除去作用，而对分子量小于500或大于3000的有机物则难以除去。通常活性炭过滤对一般水中的有机物吸附率约为20%～80%。

在运行中，当活性炭受悬浮物或胶体污染而影响吸附过滤时，可采用反冲洗的方法来清洗。但如果活性炭的吸附性能已消失，则应进行再生处理，或者更换新的。活性炭再生处理的方法一般有：①用蒸汽吹洗；②高温焙烧，使所吸附的有机物分解与挥发；③用合适的溶液，如NaOH或NaCl溶液等浸泡，把所吸附的杂质解吸下来；④用有机溶剂萃取。然而，这些再生技术迄今仍不成熟，有待进一步的研究探索。

活性炭过滤常用于对水质要求较高时的精密过滤。由于活性炭价格较高，且吸附饱和后不易再生，因此活性炭过滤的主要目的不在于截污，而在于吸附游离氯和部分有机物及少量细小杂质。活性炭过滤通常设在普通机械过滤之后，这样进水浊度不至于过高，可延长活性炭的使用寿命。

## 3.3 滤料的选择

用作滤料的物质，应具备以下条件：化学性能稳定，不影响出水水质；机械强度良好，使用中不碎裂；粒度大小适当，均匀性好。此外，还应价廉，便于取材。常用于截污的滤料有石英砂、无烟煤、大理石等。

### 3.3.1 滤料的化学稳定性

为了试验滤料的化学稳定性，可在一定条件下，分别用中性溶液（可采用浓度为500mg/L的NaCl溶液）、酸性溶液（可用HCl配成pH≈2的水溶液）、碱性溶液（可用NaOH配成pH≈12的水溶液）将滤料各浸泡24h左右，观察此水溶液被污染的情况。若用于锅炉水处理的，应测定浸泡前后水中的硬度，若浸泡后水中硬度明显增高，说明该滤料容易溶出钙或镁。一般情况下，石英砂适用于中性和酸性的水，而不能用于例如石灰处理的碱性水，因为$SiO^{2-}$会在碱性溶液中溶解。石灰处理时，可用无烟煤或半烧白云石作滤料。

### 3.3.2 滤料的粒径和不均匀系数

（1）粒径

滤料的粒径有两种表示法：平均粒径d50，是指有50%（按质量计）的滤料能通过的筛孔孔径；有效粒径d10，表示有10%（按质量计）的滤料能通过的筛孔孔径。

不同的滤料和不同的过滤工况，对滤料粒径有不同的要求，使用时应根据具体情况选取，不宜过大或过小。粒径过大时，细小的悬浮物易穿过滤层，而且在反洗时难以使滤层充分松动，造成反洗不彻底，以致沉积物和滤料结成硬块，并由此产生水流不均匀，出水水质降低和过滤器很快失效的现象；粒径过小，则水流阻力大，过滤时滤层中水头损失也增加得很快，从而缩短过滤周期，反洗水的消耗量也就会相对增加。

（2）不均匀系数

对滤料粒度的均匀性常用不均匀系数K80来表示，它是指80%（按质量计）的滤料能通过的筛孔孔径（d80）与10%的滤料能通过的筛孔孔径（d10）之比，即：K80＝d80 / d10 。

滤料颗粒的大小不均匀，有两种不良的后果：一是使反洗操作困难，如反洗强度太大会带出微小颗粒，而反洗强度太小又不能松动下部滤层；二是易使过滤情况恶化，颗粒大小不匀通常意味着有细小的滤粒，这些细小的滤粒往往会集中在滤层的上面，结果造成污物都堆积在滤层表面，使水头损失增加得很快，过滤周期变短。

一般当用石英砂或大理石作滤料时，有效粒径可采用0.35mm，不均匀系数应不大于2；当用无烟煤时，有效粒径可采用0.6mm，不均匀系数应不大于3。

## 3.4 影响过滤运行的因素

一般过滤设备的运行情况是：运行时水流从上向下通过滤层，除去水中的悬浮物；当水流通过滤层的水头损失（又称压力降）达到允许值或出水浊度开始超过允许值时，为了恢复其截污能力，要用快速水自下而上进行反洗，以清除滤层中在运行时所截留的泥渣和因滤料碎裂所生成的粉末；反洗后再用水自上而下正洗至出水浊度合格，然后再投入下一循环的过滤运行。因此，过滤运行呈周期性循环，由运行过滤、反洗和正洗三个步骤组成一个周期。两次反洗之间的实际运行时间称为过滤周期。

过滤的运行效果，通常由两个方面来评价：一是出水水质，往往用浊度来表示；二是滤层的截污能力，又称泥渣容量。它是指在保持过滤设备出水水质合格的条件下，在整个过滤周期中，单位体积的滤料所能截留的泥渣质量。

影响过滤效果的因素有很多，主要有滤速、反洗和水流的均匀性等，分述如下。

### 3.4.1 滤速

过滤时的滤速（v）可按下式计算：

$$v=Q/S \quad m/h \qquad (3—1)$$

式中：Q—— 过滤器的出力，$m^3/h$；

S —— 过滤器的过滤截面积，$m^2$。

由此式可知，这里的滤速并非指水通过滤料间孔隙时的实际速度，而是假定滤料不占有空间时水通过滤池的速度，是表示滤池中水流快慢的一种相对数据。

过滤过程是过滤层由上至下逐渐被水中悬浮物饱和的过程。因此，滤速的大小不仅影响到悬浮物向滤料表面的输送，而且对已被滤料所截留或吸附的悬浮物有水力剪切的作用。如果滤速太快，水力剪切作用大于吸附作用，就会使出水浊度上升，水头损失增加，缩短过滤周期。如果滤速过慢，则意味着过滤器单位面积的出力减少，如要达到一定出力，就得增大过滤面积，使设备变得庞大，且增加投资。因此，过滤器的最佳过滤速度应根据滤料特性和进出水的水质条件等，通过调试确定。过滤时最大允许滤速主要取决于滤料的粒径。粒径愈小，允许的滤速愈小。常用过滤器的运行滤速可参考表3-1。

表3-1 过滤器滤速

| 过滤器类型 | | 滤速m/h |
|---|---|---|
| | | 经混凝澄清后的滤速 |
| 精细石英砂或细砂 | | 6～8 |
| 单层滤料 | 单流 | 8～10 |
| | 双流 | 15～18 |
| 双层滤料 | | 12～16 |
| 三层滤料 | | 20～30 |
| 变孔隙过滤 | | 18～20 |
| 纤维过滤 | | 20～40 |
| 活性炭过滤 | | 吸附有机物为主时：5～10 |
| | | 吸附游离余氯为主时：≤20 |

### 3.4.2 反洗

运行时过滤效果的好坏，可用测定出水浊度来监督。但这个指标不能表示滤层截污的进展情况，因为在过滤运行时，出水浊度的变动规律性不强，当运行到出水浊度显著增大时，滤层往往已经受到严重污染，如果这时才反洗，将难以使滤层冲洗干净。因此，在运行中确定过滤器是否需反洗的实际监督指标并不是浊度，而是水流通过滤层的水头损失，这是因为过滤运行中水头损失的变动较明显，而且压力的测量也比较简单。

当过滤器运行到水头损失（即压差）达到一定值时，就应停止运行，进行反洗。过滤器不能运行至压差过大后才反洗的原因是：水头损失很大时，要达到一定出力，必须增大进水压力，这样易造成滤层破裂，大量水流就会从滤膜裂纹处穿过，破坏过滤作用，使出水水质很快变差。在实际运行中，应将过滤器压差控制在比造成滤层破裂时的压差低很多。这样，可避免因滤层受污染过多，而使反洗不易彻底，并造成滤料结块等不良后果。

反洗时水流速度的大小可用“反洗强度”来表达，其单位是L/($m^2$ • s)，表示每秒钟内流过每平方米过滤截面的反洗水量（升）。反洗强度应掌握适当，既要足以使滤层充分松动，使颗粒间能相互碰撞和磨擦，同时冲走泥渣和微小的滤料碎末，又不至于将正常的滤料颗粒带走。

在各种具体运行条件下，最适宜的反洗强度应通过实验求得。因为它与滤料颗粒的粒径和密度，以及水温等许多因素有关，很难估算。一般来说，石英砂的反洗强度为（13～16）L/($m^2$ • s)，水洗时间10min～15min，空气擦洗时间3min～5min；而无烟煤因密度较小，反洗强度为（10～12）L/($m^2$ • s)，反洗时间5min～10min；活性炭反洗强度为（7～10）L/($m^2$ • s)，反洗时间20min～30min。各类过滤器滤料级配与反洗强度可参考表3-2。

反洗时，由于水流快速向上流动，使得滤料颗粒松动，滤层发生膨胀。滤层膨胀后所增加的高度与膨胀前的高度之比称为滤层膨胀率，这是用来衡量反洗强度的一个指标。一般滤层的膨胀率宜25%～50%。

为了提高反洗效果，减少反洗用水，有些过滤设备还装设有压缩空气管道，以便借助压缩空气把滤料搅动起来。

表3-2 过滤器滤料级配及反洗强度表

| 过滤器类型 | 滤料 | | | 反洗强度 L/($m^2$ • s) | | | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 种类 | 粒径 mm | 层高 mm | 水反洗 | 空气与水合洗 | | |
| | | | | | 空气 | 水 | |
| 压力式细砂过滤器 | 石英砂 | 0.3～0.5 | 600～800 | 10～12 | 27～33 | — | 空气擦洗 3～5 min<br>水洗历时 10～15 min |
| 压力式单层滤料过滤器 | 石英砂 | 0.5～1.2 | 1200 | 13～16 | 20 | — | 空气擦洗 3～5 min<br>历时 5～10 min |
| | 无烟煤 | 0.5～1.2 | 800 | 10～12 | 10 | — | 历时 5～10 min |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 压力式双层滤料过滤器 | 无烟煤 | 0.8～1.8 | 400 | 13～16 | 10～15 | 8～10 | 历时 5 min～10 min |
| | 石英砂 | 0.5～1.2 | 800 | | | | |
| 压力式三层滤料过滤器 | 无烟煤 | 0.8～1.6 | 450～600 | 16～18 | — | — | 历时 5～10 min<br>不宜采用空气擦洗 |
| | 石英砂 | 0.5～0.8 | 230 | | | | |
| | 重质矿石 | 0.25～0.5 | 70 | | | | |
| 压力式纤维过滤器 | 丙纶纤维束 | — | 1200～1300 | — | 60 | 向上洗 3～5<br>向下洗 6～10 | 历时 20 min～60 min |
| 活性炭过滤器 | 活性炭 | 0.8～1.6 | 1500～2000 | 7～10 | — | — | 历时 20～30 min<br>不宜采用空气擦洗 |

注：1 表中所列反洗强度是反洗水温为 20℃ 时的参数，水温每增减 1℃，反洗强度需相应增减 1%；应根据全年水温、水质变化情况，适当调整反洗强度。

2 适宜的滤料反洗膨胀率：石英砂单层滤料为 45%、双层滤料为 50%、三层滤料为 55%。

3 采用水反洗和压缩空气交替反洗时，水反洗强度应当降低。

4 滤料的相对密度：无烟煤 1.4～1.6，石英砂 2.6～2.65，重质矿石 4.7～5.0。

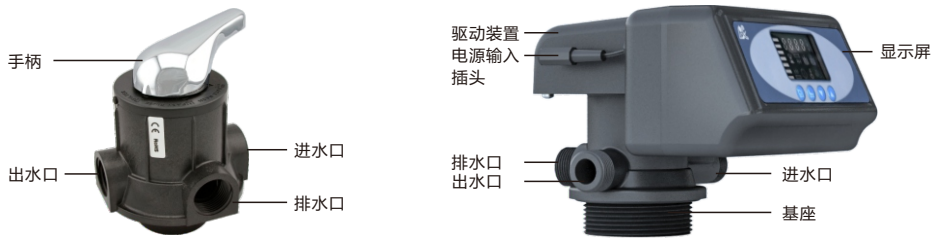
### 3.4.3 水流的均匀性

过滤设备在过滤或反洗的过程中，都要求沿滤层截面各部分的水流分布均匀，否则，就会影响其发挥最大的效能。然而，由进水总管进入的水，在通过滤层的各个部位时，由于所流经路程远近不同，所以沿途压力损失总有差别，这样也就不可能做到各部分的水流绝对平均。

在过滤设备中，对水流均匀性影响最大的是配水系统（或称排水系统）。配水系统是指安置在滤层下面，过滤时收集经过滤的水，反洗时用来送入反冲洗水的装置。为了使水流均匀，配水系统的设计必须合理。

## 3.5 润新阀在过滤系统中的应用

润新过滤阀安装方便，操作简便，如图3-1所示，即使是手动过滤阀也可以一阀取代多阀，只需转动手柄即能完成过滤器的各步骤操作；自动过滤阀则可全自动完成所有操作，过滤阀的应用简要介绍如下。



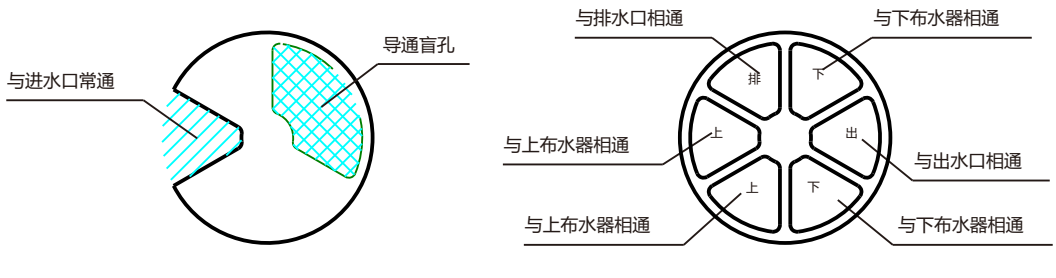

a.手动过滤阀　　b.自动过滤阀

3-1 润新过滤阀外观

### 3.5.1 过滤阀动定片及其在各工位时的液流流向

过滤器运行和冲洗过程的步骤为：运行至失效→反洗→正洗→运行。常用的过滤阀动定片、各步骤的液流方向及阀体工位示意如下：

（1）动定片：如图3-2所示，动片采用一个通孔，与进水口常通，一个盲孔用于导流；定片采用带有多个通孔的密封片，其不同的通孔与阀体相对应的接口（如上布水器、下布水器、进水口、出水口、排水口等）相通。




动片　　定片

图3-2 常见的过滤阀动定片示意图

（2）**运行**：如图3-3所示，运行制水时，进水从控制阀进水口进入上布水器，向下流过滤层，过滤后的水通过下布水器、中心管至出水口流出。

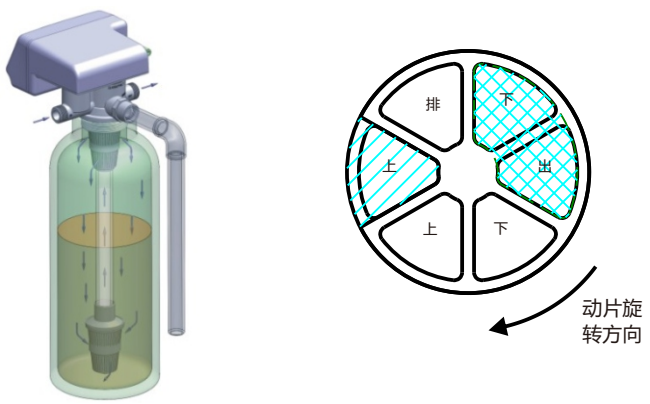



图3-3 制水状态及动定片贴合图

（3）**反洗：**当过滤器运行至压差达到设定值或出水浊度增大时，停止运行，进行反洗，手动或程序控制使动片旋转至如图3-4所示的状态，此时进水从控制阀进水口通过中心管进入下布水器，由下至上清洗滤料层，同时松动滤料层并将截留的污物经上布水器由排水口排出。

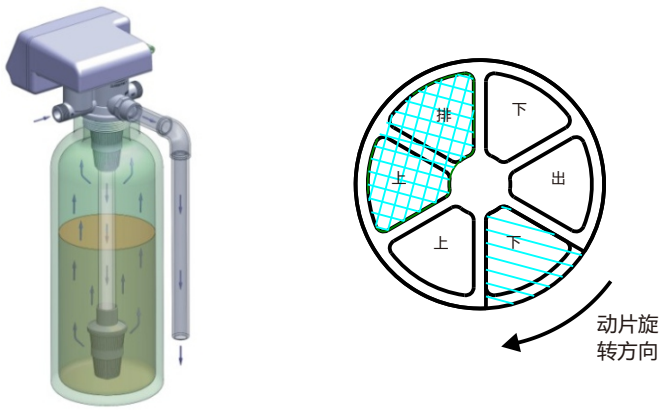



图3-4 反洗状态及动定片贴合图

（4）**正洗：**如图3-5所示，反洗结束后，手动或程序控制使动片旋转至如图所示的状态，此时进水从控制阀进水口进入上布水器，从上至下通过滤料层，清洗废液通过下布水器、中心管至排水口排出。

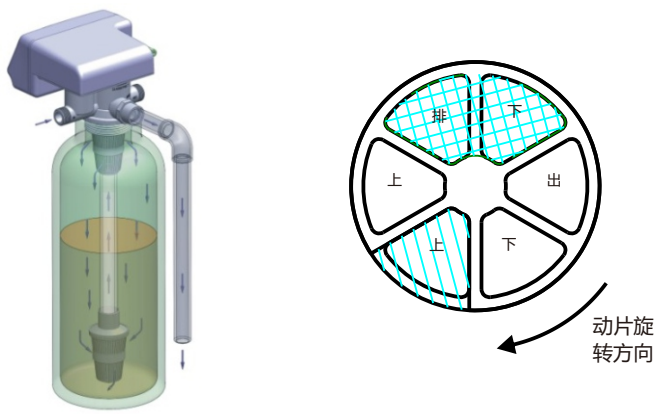



图3-5 正洗状态及动定片贴合图

### 3.5.2 过滤阀的选用

过滤阀的选用与水源水质、制水流量、罐体大小、滤料材质和颗粒大小等很多因素有关。一般来说，运行流速相对较低，反洗流速要高得多，因此控制阀选型时应注意：除了需与配套的过滤器相适应，以满足运行出力的要求，还应考虑压差与流速相对应的流量性能曲线，选择符合运行及反洗流量要求的控制阀。一般情况下，在设计运行流速时，主要看过滤系统在压差0.1MPa下的运行流量，而反洗由于是排水口直接排出，流量可以在0.175MPa压差下选取。

**过滤阀选型时，应根据系统设计的反洗强度，并结合润新阀的反洗流量曲线，选择合适的控制阀，**而不宜仅根据系统的产水量与控制阀的最大产水量来选型，几种常用润新自动过滤阀的流量性能曲线见表3-3。

表3-3 常用润新过滤阀的流量曲线

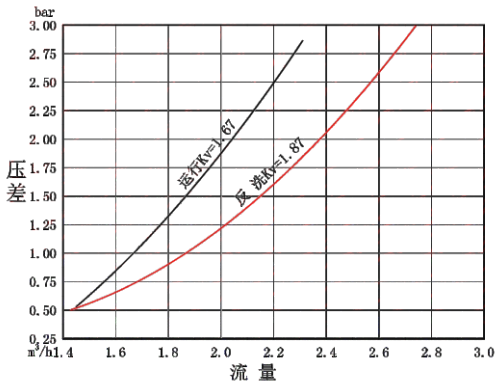
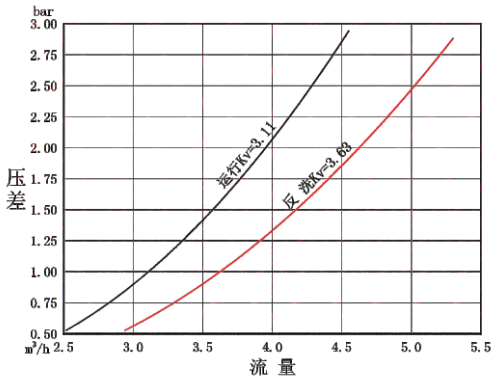
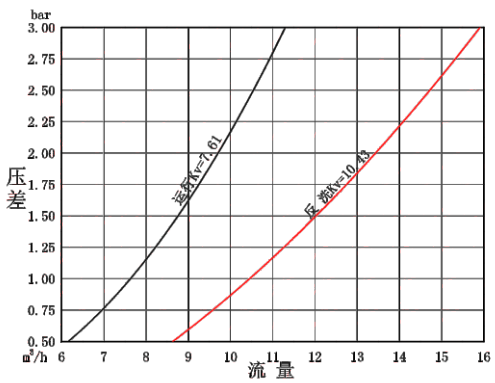
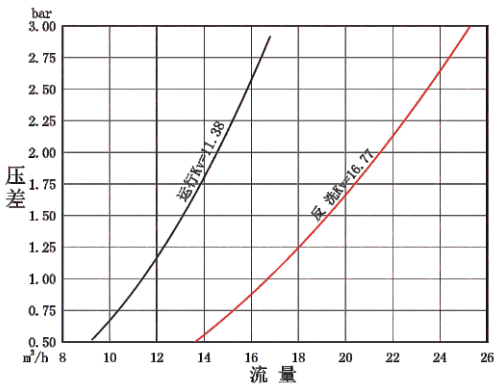
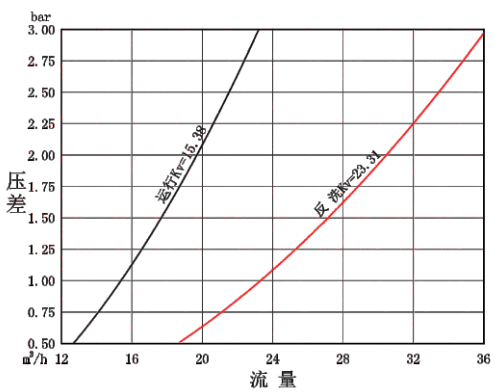
<table>
<tr><td>型号：53502</td><td>型号：53504</td></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>型号：53510</td><td>型号：53515</td></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>型号：53520</td><td></td></tr>
<tr><td>
</td><td></td></tr>
</table>

表3-3中，流量曲线是以进出水口的压力差为纵坐标，经过出水口或排水口的流量为横坐标做的曲线。曲线上的点表示在这样的压差下，能达到的流量数值。控制阀的连续出水量一般是在压差为0.1MPa时，出水口的流量，在多台设备串联时，需按此选择；峰值出水量一般是在压差为0.175MPa时，出水口的流量，在单台设备独立使用时，可按此选择；控制阀的反洗流量是在压差为0.175MPa时，排水口的流量。

运行与反洗$K_v$值表示控制阀在运行或反洗状态时，压差为0.1MPa下的流量。

### 3.5.3 应用方案举例

一客户的配置需求：某公司需要设置一套产水量为10$m^3$/h的活性碳过滤系统，应如何配置？

方案讨论：①根据表3-1过滤器滤速，选择活性炭过滤器的运行流速为10m/h，则：

按式Q＝v×S可得，过滤罐内的滤料截面积：S=Q/v=10$m^3$/h÷(10m/h)＝1$m^2$

按式S＝3.14×$D^2$/4，计算出罐体内径：$D^2$＝4S/3.14＝1.27，D≈1.13m

根据滤罐的生产规格，罐体配置可选直径1.2m，高度2.4m的罐体。

②根据表3-2过滤器的反洗强度表，选择活性炭过滤器的反洗强度为7L/($m^2$•s)，换算成反洗流速为：7L/($m^2$•s)×3600/1000＝25.2m/h

则反洗流量为：Q＝v×S＝25.2×3.14×$(1.15/2)^2$≈26.2$m^3$/h

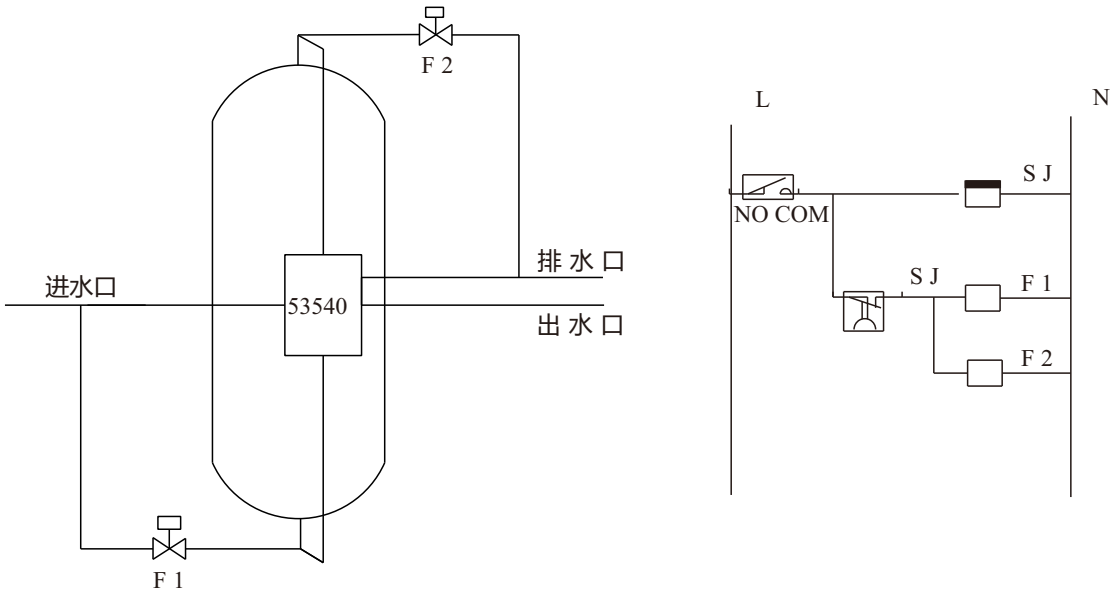
③根据反洗流量与控制阀的流量曲线表，在0.175MPa压差下时，53520的反洗流量可达28.9$m^3$，因此可选配控制阀53520。

由于过滤器反洗流量通常要比运行流量大很多，为了既可使控制阀满足制水运行流量，又保证有足够的反洗流量来确保反洗效果，因此提供如下两种增加反洗流量的办法。

**方法一：增设旁通阀提高反洗流量**

此方法针对侧装式控制阀，如图3-6所示：通过在进水口与排水口处增设阀门（F1和F2），这两个阀门在运行和正洗状态时处于关闭状态；在反洗状态时，通过53540阀自带的信号输出端口控制旁通阀门F1、F2自动开启，使部分原水直接从罐体底部进入，对滤料进行反冲洗，然后从罐体顶部排出至排水口，从而达到增强系统反洗流量的目的。其控制信号的线路接线如图3-6。

要求设置53540控制阀参数为：b-01；NO、COM为53540的信号输出接线点；F1、F2为常闭阀门；SJ为时间继电器，由于F1和F2两个阀只需在反洗时打开，正洗和运行时关闭，所以设置SJ时间与反洗时间一致。




（a）旁通阀设置示意图　　（b）电子线路接线图

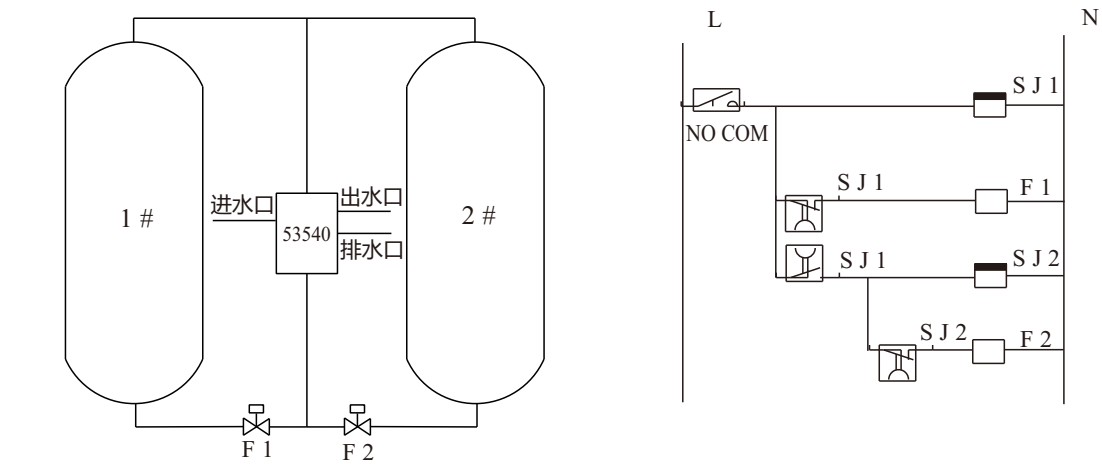
图3-6 增设旁通阀提高反洗流量的装置和电子线路示意图

**方法二：单阀双罐并联运行，分别反洗**

针对侧装式控制系统，采用一个阀控制两个罐，制水时两罐并联运行，反冲洗时分别冲洗，这样运行的流量仅为冲洗流量的一半。

如图3-7所示：一只53540自动控制阀配两个罐体，制水运行时两个罐同时供水，F1、F2为常开型阀门。反冲洗时先关闭F2阀反洗1#罐，结束后关闭F1阀，再开启F2反洗2#罐，从而实现反洗流量是运行流量的2倍。其控制信号的线路接线如图3-7。

要求设置53540控制阀参数为：b-01；NO、COM为53540的信号输出接线点；SJ1、SJ2为时间继电器，分别控制F1、F2两阀的关闭时间和两个罐各自的反洗时间；53540反洗时间设置等于SJ1+SJ2（F1、F2两阀关闭）的时间。




（a）装置及阀门示意图　　（b）电子线路接线图

图3-7 单阀双罐并联运行、分别反洗装置和电子线路示意图

## 3.6 应用实例介绍

### 3.6.1 过滤阀在净化过滤处理系统中的应用

（1）应用背景

河北石家庄某客户采用地下水为生活用水的源水，由于地下水中常含有泥砂、铁氧化物等颗粒物质，对日常生活产生较大的影响，而且对用水设备，如热水器、水龙头、沐浴喷头等易造成伤害。因此，地下水用作生活用水时，需要经过滤除去颗粒杂质，使之澄清透明。

（2）工程概况

为满足用户日用水量和水质要求，需配置出力为8$m^3$/h的不锈钢过滤罐，采用多层石英砂过滤，按10m/h运行流速、10L/$m^2$•s反洗强度设计。由于运行流量为8$m^3$/h，需要反洗流量约28$m^3$/h，查控制阀的流量曲线表，选配53520控制阀在压差0.175MPa时，其反洗流量为28.9$m^3$/h，能够满足要求。

（3）过滤器配置

过滤系统采用润新53520自动控制过滤阀，配套直径1m、高度2.2m的不锈钢罐体，罐内填装粒径2～4mm、厚度100mm的粗砂作为承托层，以使布水均匀；中部填装粒径1～2mm的石英砂作为第二承托层；上部填装0.6～1.2mm的石英砂过滤。

系统工艺流程：井水→抽水泵无塔变频供水→过滤器→清水箱。

设备安装如图3-8。



图3-8 过滤器安装图

（4）运行效果

原水平均浊度：10NTU；过滤器出水浊度：≤5NTU

该系统自2014年投入使用，系统运行一直保持稳定，出水浊度达到用户要求，自动定时反冲洗，效果良好。

### 3.6.2 控制阀在活性炭过滤系统中的应用

（1）应用背景

为保护环境，工业污水均需经处理达标后方可排放。天津市某音乐金属制品厂，在产品制作过程中产生的生产废水，其色度和悬浮物超过国家强制标准GB 8978《污水综合排放标准》中城镇排水系统最高允许的排放浓度，因此需要进行污水处理，以达到色度＜50mg/L、悬浮物＜70mg/L的一级排放标准，并能符合环保局定点检测河道排放标准。

（2）工程概况

由于生产废水的色度和悬浮物超标严重，采用沉淀池加药絮凝沉淀固化后，再用水泵将水抽取出来，采用纤维过滤去除悬浮物；采用活性炭过滤脱色；采用树脂软化降低硬度，要求处理流量为50m³/h。

采用两台润新53540自动控制过滤阀，配套直径1.8m、高度2.8m的过滤罐，填装活性炭，两台并联产水，同时配置如图3-6所示的球阀，增加反洗流量，实现每台产水量25m³/h，两台产水量50m³/h。再经过两台润新63650自动控制软水阀配套直径1.5m、高度2.4m的树脂罐，填装钠离子交换树脂进行软化。

废水处理的工艺流程为：需处理的废水→污水池（加药絮凝沉淀）→变频水泵→纤维过滤器→活性炭过滤器→软化器→水箱。其流程如图3-9。

（3）运行效果

该系统自2015年投入使用，一直运行稳定，降浊脱色效果良好，符合环保局定点检测河道排放标准。

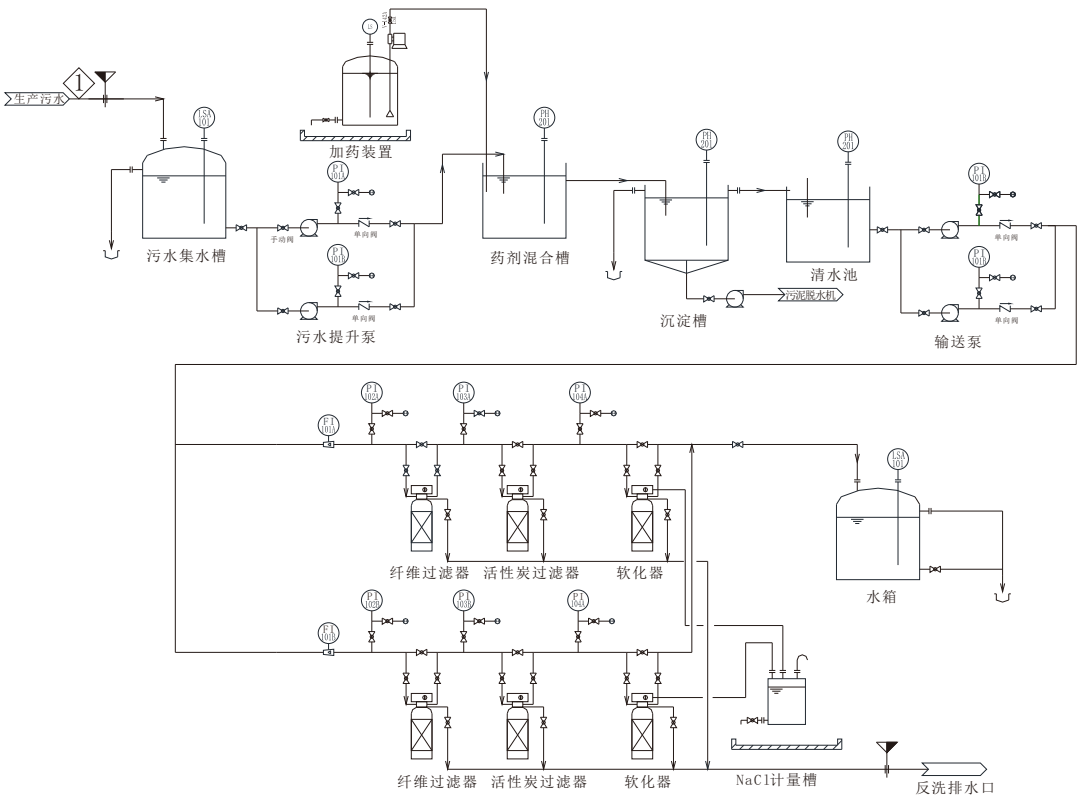



图3-9 控制阀在污水处理的过滤系统安装图

### 3.6.3 控制阀在多级过滤系统中的应用

（1）应用背景

云南某机场，由于远离市区，自来水没有送达。采用地下水作为水源，经处理后用于机场工作人员、机组人员和旅客的安全饮用水。

（2）工程概况

根据测试，当地的地下水水质易随季节的不同而变化，有时浊度较高，达到甚至超过20NTU，硬度约40mg/L（以$CaCO_3$计），有一定异味，达不到生活饮用水标准。由于机场人员及往来旅客较多，处理水量需25$m^3$/h。

本项目主要是去除浊度及异味等，设计采用石英砂过滤器降低浊度；利用活性炭过滤器去除异味；用精密过滤器去除微小杂质；用紫外线灭菌器消毒杀菌，以达到生活饮用水的标准要求。

项目设计采用三套砂滤炭滤系统并联运行，通过互锁端口互锁，实现三套系统同时供水分别冲洗，确保日常供水量达到要求。每套砂滤炭滤系统由一台内装石英砂的过滤器与一台内装活性炭的过滤器串联组成，产水量9$m^3$/h/套。每台过滤器采用润新53518自动控制阀，配套直径1m、高度2.4m的不锈钢过滤罐。利用PLC采集进出水压力降信号，在需要冲洗时，发出信号给控制阀实现自动冲洗。

系统的工艺流程为：原水→石英砂过滤器→活性炭过滤器→精密过滤器→紫外线杀菌器→微孔过滤器→出水。设备安装如图3-10。

（3）运行效果

该系统自2017年投入使用，一直运行稳定，出水水质清澈、无异味，优于生活饮用水卫生标准。



图3-10 控制阀在多级过滤系统中的安装图

# 第四章 润新软化阀的应用

润新软化阀是用于软水器的自动控制装置，是自动软水器的关键组成。软水器也称钠离子交换器，是除去或者降低水中钙、镁离子等硬度物质的水处理设备，被广泛应用于锅炉、换热设备、热水器等需要软化水的设备，以及民用生活用水、养殖业、洗涤业等的水处理中。

## 4.1 软水器简介

### 4.1.1 自动软水器的结构

#### 4.1.1.1 软水器的主要组成及其功能

自动软水器通常由自动控制阀（也称软化阀）、树脂罐和盐水罐组成，一般由供应商根据用户需要配置而成，自动软水器一般有顶装与侧装两种，其组成如图4-1和图4-2所示，各组成的主要功能分别为：

a) 控制阀：自动控制软水器进行制水运行及失效后的再生全过程。控制阀的种类和型号有很多，详见第二章2.2。

b) 树脂罐：用来填装软化处理的钠离子交换树脂的罐体。

c) 树脂：软水器一般采用钠型强酸性阳离子交换树脂，常用的型号为001×7。

d) 盐水罐：装盐及盐液的罐，当树脂失效时，提供盐水使离子交换树脂得到再生。




图4-1 单阀顶装的自动软水器

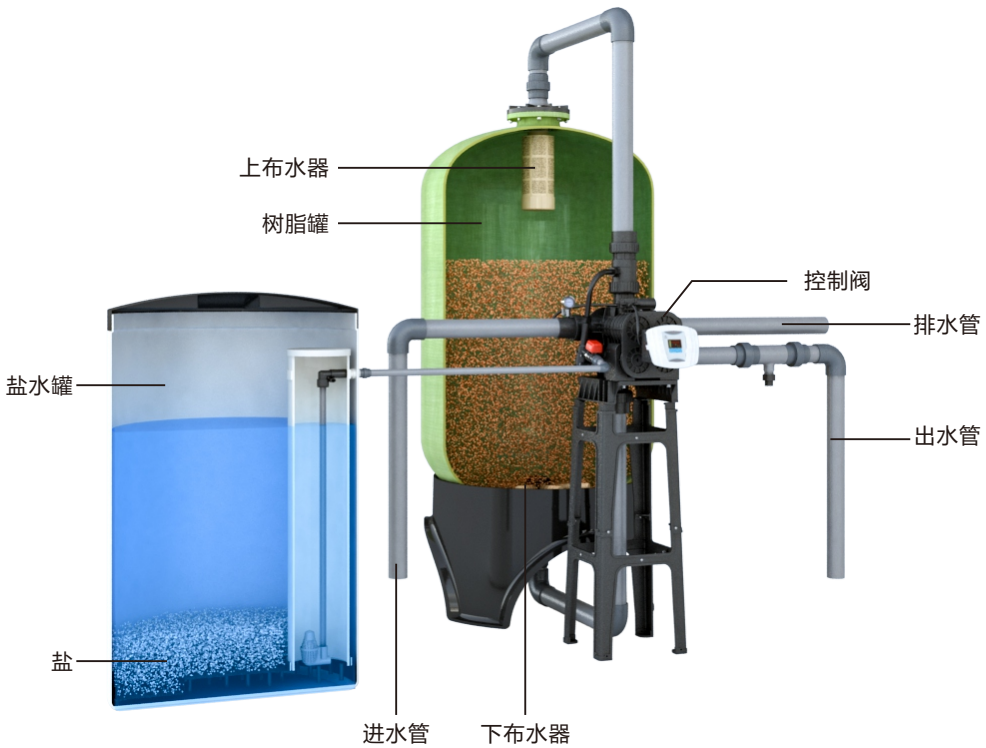



图4-2 单阀侧装的自动软水器

#### 4.1.1.2 树脂罐

树脂罐内部配有中心管和上、下布水器，并装有$Na^+$交换树脂，基本要求如下：

**（1）罐体质量**

自动软水器的罐体通常由玻璃钢制作，也有少数由不锈钢或其他材质制作。如果用碳钢制作，其内表面应有防腐涂层或衬里。

玻璃钢罐体质量要求：内表面应平整光滑，罐体不应含有对使用性能有影响的龟裂、分层、针孔、杂质及气泡等。开口平面应和轴线垂直，无毛刺及其它明显缺陷。为了防止进水压力升高造成罐体破裂，要求罐体至少能承受1.5倍的最大工作压力。

**（2）中心管及布水装置**

树脂罐内中间为中心管，用于出水或反洗时进水，以及逆流再生时进盐水。中心管两端设有上布水器和下布水器，以保证布水均匀、不产生偏流，并避免树脂漏失。一般直径较小的树脂罐，布水器通常为一个大水帽，也有的采用叠片式布水器；大直径树脂罐应配置支叉式布水器（见图4-3），以使布水更均匀。布水器缝隙大小应合适，既要避免跑漏树脂，又不致影响水流通过。上布水器的缝隙不宜过小，一般略小于树脂颗粒为宜。缝隙过小，反洗时悬浮杂质和破碎树脂无法洗出，易造成树脂层中悬浮物积聚污染树脂，严重时使树脂与污泥结聚成团，影响再生效果，降低树脂的交换能力；若缝隙过大，当反洗强度较大时，容易造成树脂冲出而流失。

为了避免运行时树脂表层积聚过多的悬浮物和胶体杂质，从而影响再生效果、降低树脂交换能力，一般要求软水器进水浊度≤5NTU。如果原水浊度较高，应在软水器前设置过滤器，确保软水器进水浊度符合要求。



a. 小直径树脂罐布水装置　　b.大直径树脂罐布水装置

图4－3 自动软水器的布水装置

**（3）树脂填装**

树脂罐内填装$Na^+$交换树脂，填装时应注意避免树脂进入中心管内（树脂填装时，可在中心管口临时包层塑料布或塞子或用专用的可封堵中心管的漏斗）。树脂层高度应根据罐体大小、原水水质和出水水质要求确定。一般锅炉或其他工业设备用水处理，树脂层高度不应小于800mm，且树脂层之上应留有树脂层高的40%～50%反洗膨胀空间；浮动床的树脂层高应不小于1200mm，且树脂填装高度需占罐内高度约90%，保留10%左右的水垫层空间，既可使再生时不乱层，又能满足树脂再生时的膨胀量。一般来说，进水硬度越高，树脂层高度需相应增高，配置的树脂罐也需相应增大。

4.1.1.3 **盐罐**

软水器配套的盐罐材质通常为塑料，内设隔盐板、盐液井、液位控制器、空气止回阀等装置（见图4-4）。盐罐应加盖，其有效容积应在指定的盐液浓度范围内，至少能满足一次再生的用量，并且便于加盐操作。一般情况下，盐罐内应始终保持有固体盐存在，使盐液处于饱和或者过饱和状态。盐罐部件的要求为：

**（1）盐液过滤**

为了避免盐液中的固体杂质堵塞射流器，影响再生效果，盐罐应有良好的过滤装置，一般通过隔盐板、盐液井等多道过滤来达到。

**（2）隔盐板**

隔盐板是打有许多细孔，并与盐罐底部有一定间距的隔板。再生用盐置于隔盐板之上，溶解的饱和盐水透过隔盐板，进入盐液井。隔盐板除了起到过滤作用外，还能促进盐液浓度达到均匀。因为盐罐补水（再生后重注水）时，水经盐水管、盐液井从隔盐板底部注入盐罐，而隔盐板上盐溶解后的盐水密度比水大，易往下流，这样就形成对流，可促进饱和盐水浓度均匀。有的软水器盐罐内未配置隔盐板，固体盐沉在盐罐底部，由于盐液不易流动，几次再生后易造成盐液井周围盐水浓度偏低，影响再生效果。

**（3）空气止回阀和液位控制器**

为了防止盐水吸完后空气被吸入树脂罐，盐罐的盐液井内应设有空气止回阀。空气止回阀内设有止回小球，当盐罐内有盐水时小球浮起；当盐水吸完时小球落下，堵住盐水管口避免空气进入树脂层。若盐液管未设空气止回阀，盐罐内的盐液吸完后继续抽吸，容易使空气进入树脂层，并形成很多小气泡而使布水不匀，影响再生和运行时制水质量。

液位控制器实际上是一个小浮球阀，一般装在空气止回阀的杆上，可根据需要作上、下调整。有的软水器没有液位控制器，盐水液位主要取决于盐罐补水时间。由于补水注入速度与进水压力有关，因此无液位控制器的软水器在进水压力不稳定的情况下，有时会难以控制盐水液位至合适的高度。



（a）盐罐内部装置



(b) 空气止回阀



(c)装有液位控制器的止回阀

**图4－4 自动软水器盐罐内的装置**

### 4.1.2 软化处理的基本原理

#### 4.1.2.1 水中的硬度（YD）和碱度（JD）

硬度通常是指水中钙、镁离子（$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$）的含量，它是衡量锅炉等受热设备是否容易引起结垢的一项重要技术指标，软水器的主要作用就是除去或降低水中的钙、镁离子。通常将含有硬度的水称为硬水，除去硬度的水称为软化水或软水。

钙镁离子是天然水中的主要阳离子，几乎存在于所有的天然水中，通常人们将钙硬度和镁硬度在水中的总含量称为“总硬度”，其中钙硬度包括：碳酸氢钙、碳酸钙、硫酸钙、氯化钙等；镁硬度包括：碳酸氢镁、碳酸镁、硫酸镁、氯化镁等。此外，硬度还可按所组成的阴离子种类分为碳酸盐硬度和非碳酸盐硬度两大类。

**（1）碳酸盐硬度**

水中钙、镁离子与碳酸氢根或碳酸根组成的盐类浓度称为碳酸盐硬度。天然水中的碳酸盐硬度通常以碳酸氢盐为主，因此天然水呈中性。碳酸盐硬度在高温水中会发生下列分解反应而生成沉淀，如果沉淀在受热面上析出就会形成水垢，如果在锅水中析出则形成水渣，水渣可以通过锅炉排污除去，但如果排污不及时，水渣也会转化成水垢。

$$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3\downarrow + H_2O + CO_2\uparrow$$

$$Mg(HCO_3)_2 \rightarrow MgCO_3\downarrow + H_2O + CO_2\uparrow$$

$$MgCO_3 + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2\downarrow + CO_2\uparrow$$

**（2）非碳酸盐硬度**

非碳酸盐硬度是指水中除碳酸盐之外，钙、镁离子与其他阴离子（如硫酸根、氯离子、硅酸根等）组成的盐类含量。含非碳酸盐硬度的水进入锅炉后，随着锅炉蒸发浓缩，离子浓度不断增大，而且硫酸钙和硅酸盐等在水中的溶解度和溶度积会随着温度的升高而降低，当离子的浓度积大于溶度积时便会析出沉淀，并在受热面上结生水垢。

**（3）碱度**

碱度是表示水中能够接受氢离子（$H^+$）的一类物质的量。水中的碱度主要由$OH^-$、$CO_3^{2-}$、$HCO_3^-$及其它少量的弱酸盐类组成。在天然水中，碱度大多以$HCO_3^-$形式存在，只有极少数的天然水，若碱度很高，会有少量$CO_3^{2-}$存在；$HCO_3^-$在锅水中受热后分解成$CO_3^{2-}$，并会进一步水解生成$OH^-$。因此，锅炉水中的碱度大多以$CO_3^{2-}$和$OH^-$形式存在。

碳酸盐硬度既构成碱度又是硬度的一部分，如果含碳酸盐硬度的水进入锅炉，会因生成碳酸盐水垢或水渣而使锅水中的碱度降低；如果采用软化水作锅炉给水，由于软化水只是除去硬度，保留了碱度，随着锅炉蒸发浓缩，锅水中的碱度会随之升高。因此，当锅炉用水碱度过高时，需进行软化-降碱处理。

**（4）硬度与碱度的关系**

天然水的硬度与碱度有以下三种情况：

a) 硬度大于碱度：在这种水中，$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$首先与 $HCO_3^-$形成碳酸盐硬度，剩余的$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$与$SO_4^{2-}$、$Cl^-$等其它阴离子形成非碳酸盐硬度，大多数天然水属于这种情况；

b) 硬度等于碱度：在这种水中，所有的$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$全部与$HCO_3^-$形成碳酸盐硬度，这时既没有非碳酸盐硬度，也没有剩余碱度，天然水中极少有这种情况；

c) 碱度大于硬度：这种水称为碱性水，$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$全部与$HCO_3^-$形成碳酸盐硬度，剩余的$HCO_3^-$则与$Na^+$、$K^+$形成钠钾碱度，也称为负硬度。这种水中基本没有非碳酸盐硬度，被称为负硬水或碱性水，只有个别地区存在这种天然水。

**（5）硬度和碱度的计量单位**

硬度和碱度的常用计量单位有三种表示方法，分述如下：

a) 以毫摩尔/升（mmol/L）表示

GB/T1576《工业锅炉水质》标准规定，锅炉水质指标中的硬度和碱度都是以mmol/L为计量单位，并规定都以一价离子为基本单元，即硬度的基本单元为：1/2 $Ca^{2+}$、1/2$Mg^{2+}$，碱度的基本单元为：$OH^-$、1/2$CO_3^{2-}$、$HCO_3^-$。

应注意的是：除了锅炉用水外，其他行业（如自来水、循环冷却水、环保等）的水质检测，以及GB/T6909《锅炉用水和冷却水分析方法硬度的测定》标准中，硬度的基本单元为$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$，两者基本单元的区别和关系为：1mmol/L($Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$)＝2mmol/L(1/2$Ca^{2+}$、1/2$Mg^{2+}$)。本书中水的硬度、碱度、树脂的工作交换容量等凡涉及摩尔概念的，均以一价离子为基本单元。在相关工艺计算中尤其需注意。

b) 用“德国度”（$^0$G）表示

这是以前专门用来表示硬度大小的一种计量单位，其定义是：当水样中硬度离子的浓度相当于10 mg/LCaO时，称为1德国度（1$^0$G）。

由于1/2CaO的摩尔质量为28g/mol，所以：

$$1\text{mmol/L}\ (1/2Ca^{2+}、1/2Mg^{2+})=2.8\ ^0\text{G}$$

c) 用毫克/升$CaCO_3$（ppm）表示

有不少水质分析资料用此单位来表示硬度的含量，其定义是：当水样中硬度的离子浓度相当于1 mg/L$CaCO_3$时，为1ppm硬度。

由于1/2$CaCO_3$的摩尔质量为50g/mol，所以1mmol/L硬度就相当于50mg/L$CaCO_3$或50ppm$CaCO_3$。

上述三种单位的换算关系可表示为：

1mmol/L（$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$）＝5.6$^0$G＝100ppm（$CaCO_3$）

1mmol/L（1/2 $Ca^{2+}$、1/2$Mg^{2+}$）＝2.8 $^0$G＝50ppm（$CaCO_3$）

#### 4.1.2.2 阳离子交换树脂的主要化学性能

软水器的工作原理主要是利用阳离子交换树脂除去硬度，从而使水得到软化处理或软化-降碱处理。因此，树脂的化学性能对离子交换处理效果的影响很大。

**（1）阳离子交换树脂的选择性**

离子交换树脂对溶液中各种离子的交换能力并不相同，对同一种离子交换树脂来说，有些离子很容易被树脂吸附交换，置换下来却很困难；而另一些离子较难被吸附交换，置换下来却较容易，树脂的这种性能称为离子交换树脂的选择性。

影响离子交换树脂选择性的因素很多，例如离子交换树脂的种类、性质、溶液浓度等。由于软化处理需除去$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$等阳离子，所以需采用阳离子交换树脂。根据树脂中起交换作用的活性基团性质，阳离子交换树脂分为强酸性阳离子交换树脂和弱酸性阳离子交换树脂两大类，它们对各类阳离子的选择性顺序规律如下：

a）强酸性阳离子交换树脂对常见阳离子的选择性顺序为：

$$Fe^{3+} > Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+} \approx NH_4^{+} > Na^{+} > H^{+}$$

b）弱酸性阳离子交换树脂对常见阳离子的选择性顺序为：

$$H^{+} > Fe^{3+} > Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+} \approx NH_4^{+} > Na^{+}$$

根据阳离子交换树脂的选择性可知：

①$Fe^{3+}$、$Al^{3+}$很容易被树脂交换吸附，而不容易置换下来。树脂如果被铁铝离子吸附污染，将显著影响其对其他离子的交换能力，这种现象称为树脂“中毒”。为了保持树脂的交换能力，应尽量避免树脂受铁铝离子污染。如果受到污染，需通过酸洗进行复苏处理。

②在稀溶液中，树脂对$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$的选择性优于$Na^{+}$，因此软水器运行时，进水中的$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$容易与树脂中的$Na^{+}$交换，但树脂失效后用盐再生时，需要提高盐水浓度（增大$Na^{+}$含量）才能将$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$从树脂中置换下来。

③弱酸性阳离子交换树脂最容易交换吸附$H^{+}$，因此弱酸性阳离子交换树脂失效后很容易用酸再生，通常只需使用较低浓度的酸溶液就可使树脂得到较好的再生。由于弱酸性阳离子交换树脂吸附$Na^{+}$的能力很弱，很难用盐水再生，因此软化处理通常采用强酸性阳离子交换树脂；对于除盐处理来说，要除去$Na^{+}$也需采用强酸性阳离子交换树脂；而对于高硬度、高碱度的原水，采用氢-钠离子交换软化降碱处理时，氢离子交换器采用弱酸性阳离子交换树脂具有交换容量大、酸耗低、废酸浓度低易处理等优点。

另外，上述选择性顺序只适用于低含盐量的水，如在高含盐量溶液中，选择性顺序会有一些不同，某些低价离子会优先于高价离子。例如钠离子交换器再生时，在一定浓度的盐液中，有时树脂对$Na^{+}$ 的交换吸附会优先于$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$。

（2）树脂的交换容量

交换容量是表示树脂能够交换离子数量的一项技术指标。其常用的计量单位有两种：一是质量单位表示法，通常指单位质量的干离子交换树脂能够交换离子的量，常用mmol/g表示；另一种是体积单位表示法，通常指单位体积的湿态离子交换树脂能够交换离子的量，常用$mol/m^3$表示。在实际应用中，交换容量常用以下两种方法表示：

a) 全交换容量：表示一定量的离子交换树脂中活性基团的总量，反映了树脂中所有的交换基团全部起作用时所能交换离子的量，强酸性阳离子交换树脂的全交换容量一般≥4.2 mmol/g。但实际工作中，树脂中的交换基团并不能全部起作用，因此全交换容量反映的是理论上能够交换的离子量。

b) 工作交换容量：工作交换容量是指树脂在工作状态下所能交换离子的量，一般用体积单位来表示。在实际工作中，这是一项十分重要而又实用的指标。由于影响工作交换容量的因素很多，因此即使是相同的离子交换树脂，在不同的软水器中，工作交换容量也可能有所不同。通常影响树脂工作交换容量的因素主要有以下几方面：

①树脂颗粒度。体积相同的同种树脂，颗粒越小，其比表面积越大，交换容量也就越大。但颗粒过小，水流通过树脂层的压力损失较大，将影响软水器出力。

②树脂层高度。树脂层越高，利用率越高，工作交换容量越大。因此工业用软水器的树脂层高一般不宜低于0.8m。

③进水水质。在同样的流速下，进水的含盐量、硬度及$Na^+$含量增高，工作交换容量将下降。

④软水器构造。软水器的布水分配是否均匀、树脂罐的内径与树脂层高的比例、再生方式等都对工作交换容量有一定影响。

⑤运行条件。主要是流速和温度对工作交换容量影响较大：流速过高，交换容量下降；提高温度，能加快离子交换速度，从而提高工作交换容量。因此，在软水制取和再生过程中，适当地控制流速和提高温度，都是有利的。

⑥溶液的酸碱性。溶液的酸碱性对树脂交换过程有较大的影响。例如：对于阳离子交换树脂，当溶液的pH值降低时，会使树脂的酸性基团活性下降，其工作交换容量也会随之降低；而对于阴离子交换树脂，当溶液的pH值降低时，却能加速树脂中碱性基团的离解，从而提高其工作交换容量。在除盐系统中，通常都将阴离子交换放在氢型离子交换之后，其原因之一，便是为了提高阴树脂的工作交换容量。

⑦再生程度。树脂的再生程度对工作交换容量有很大影响。再生越充分，工作交换容量越大。但在实际应用中，若为了使树脂充分再生，而耗费过多的再生剂，也是不经济的。一般应选择合适的再生剂比耗，既能使树脂得到较好的再生，又不消耗过多的再生剂。

⑧树脂质量。树脂本身质量差或运行中受悬浮物和有机物污染、$Fe^{3+}$“中毒”或被游离氯氧化等，都会大大降低树脂的工作交换容量。

（3）离子交换反应的可逆性

软水器制取软水是利用$Na^+$交换树脂的交换作用除去钙镁离子，而树脂的离子交换反应是可逆的，当含有硬度的水通过$Na^+$交换树脂时，水中的$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$与树脂中的$Na^+$ 进行交

换反应，使出水得到软化。如果以R代表树脂中的离子交换基团，RNa代表钠型树脂，$R_2Ca$（$R_2Mg$）代表失效树脂，则软化制水过程的反应式为：

$$2RNa + Ca^{2+}（Mg^{2+}）\rightarrow R_2Ca（R_2Mg）+ 2Na^{+}$$

有效树脂　进水(硬水)　失效树脂　出水(软水)

当离子交换树脂失效后，为了恢复其交换能力，需用再生剂进行再生，软水器最常用的再生剂为盐水（氯化钠溶液），即利用NaCl电离出的$Na^{+}$处理失效树脂，利用离子交换反应的可逆性，使盐水中的$Na^{+}$与树脂中的$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$进行交换反应，使树脂恢复软化能力，其反应式可表示为：

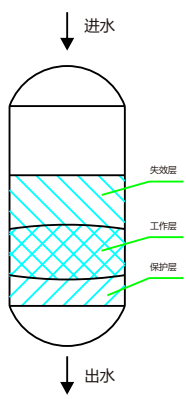
$$2Na^{+} + R_2Ca（R_2Mg）\rightarrow 2RNa + Ca^{2+}（Mg^{2+}）$$

盐水　失效树脂　有效树脂　废液排放

这两个反应，实质上是可逆反应中正、反方向化学平衡移动的结果。由此可见，离子交换反应的可逆性，是离子交换树脂可以交换、再生反复使用的依据，也是软水器的工作原理。

#### 4.1.2.3 软水器的运行

一般软水器运行时，水流从上至下通过树脂层时，水中的$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$与钠型树脂中的$Na^{+}$进行交换反应，出水得到软化；当水流接触的上层树脂失效后，继续进入下一层树脂进行离子交换，从而使交换工作层不断下移。如图4—5所示，交换器内整个树脂层可分为三个区域。上部是失效层，在这一层中由于前期的运行，Na型树脂全部转变为$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$型，失去了继续软化的能力，水通过这层时不再发生变化，故这一层称为失效层；在它下面一层是交换层，也称工作层，水通过这一层时，水中的$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$与有效树脂中的$Na^{+}$进行交换反应，因此这层树脂中既有Na型的，也有Ca、Mg型的；工作层下面是尚未起交换反应的有效树脂层。随着交换器的运行，失效层的区域不断增大，工作层不断下移，未交换区域随之减少。当工作层下移至接近树脂层底部时，出水中将会因$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$穿透而出现硬度，所以为了保证出水合格，最底层应该保留一定的Na型树脂起保护作用，当工作层到达底部之前，就应进行再生。




1、失效层　2、工作层　3、尚未交换层（保护层）

**图4-5 软水器中树脂的工作情况**

从以上分析可知，实际上软水器运行至失效时，工作层或保护层中仍有部分树脂呈钠型，并未完全发挥离子交换的作用，因此它们在整个树脂层中所占的比例越小，树脂

利用率越高，这也是增加树脂层高度，可提高软水器制水量的原因。此外，在软水器运行中，离子交换工作层厚度对工作交换容量的影响也是显而易见的，影响工作层厚度的因素很多，主要有：

a)运行流速：水通过树脂层的流速越快，工作层越厚，树脂利用率低；

b)原水水质：原水硬度越高，工作层越厚；

c)水流温度和树脂颗粒：水流温度低，树脂颗粒大，交换反应速度慢，工作层就越厚。

在实际运行中，当原水硬度增大，冬季温度降低时，可适当降低运行流速，以使工作层和保护层不至变厚，从而保持工作交换容量和出水质量。

### 4.1.3 树脂的再生

树脂的再生是软水器使用过程中十分重要的环节，树脂的再生程度显著影响运行时出水质量和制水量。在树脂质量良好、盐罐有盐的情况下，能否保证再生工艺合理控制，使树脂得到有效再生是评价软化阀性能是否良好的重要依据。

#### 4.1.3.1 再生工艺过程及要求

软水器运行至出水硬度不合格时，需停止运行进行再生处理，软水器的再生工艺过程为：反洗→吸盐→慢洗（置换清洗）→盐罐补水→正洗→出水合格后运行制水。各步骤的目的和要求为：

a)反洗：对树脂进行逆向清洗，除去运行时截留在树脂表面的悬浮物、污泥等杂质以及树脂层中的破碎树脂，同时松动在运行中被压实的树脂层。反洗强度应控制合适，强度过小，树脂层中的杂质冲洗不干净，树脂表面容易被悬浮物或胶体物质等污染物包裹，影响离子交换；反洗强度过大，易冲出颗粒完整的树脂，造成树脂的流失。反洗时间根据进水浊度或树脂受污染程度而定，一般约需10min～15min。

b)吸盐：即吸取盐水对树脂进行再生，利用盐水中的$Na^{+}$与失效树脂中的$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$进行交换反应，使树脂恢复软化能力。自动软水器吸盐是利用进水压力，通过射流器将盐罐中的盐液吸入并稀释成一定浓度后进入树脂罐对树脂进行再生。吸盐时流速应慢，使盐水与树脂有充分的接触时间，如果流速过快，会使得部分盐水尚未起交换作用就被排出，对于逆流再生的还会造成树脂乱层，影响再生效果。但盐水的流速也并非越慢越好，由于树脂的离子交换是可逆反应，置换出的$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$若没有及时排出，有可能又返回到树脂中，因此盐水流速过慢或浸泡，反而有可能影响再生程度，且降低工作效率。吸盐时间与树脂量、盐水浓度和流速等因素有关，将在相关工艺计算中作具体介绍。

c)慢洗：也称置换清洗，是在吸完盐水后，以吸盐时相同的流向和略低的流速进行水清洗，其目的是充分利用已进入树脂罐中的盐水进一步与树脂进行交换反应，同时排除再生废液，提高再生程度。慢洗时间一般宜接近吸盐时间，但对于逆流再生软水器，如果采用进水进行慢洗，时间应适当缩短，以免进水中的钙镁离子使底部保护层中较多的树脂失效，影响制水质量。另外，由于多数软化阀吸盐和慢洗是同一时间工位，时间设置是两者的总时间，因此实际慢洗时间是吸盐后剩余的时间。

d) 盐罐补水：因吸盐时盐罐内的盐液被吸完，需向盐罐内补水至下次再生所需盐液高度，并使固体盐溶解至盐水浓度达到饱和或过饱和（首次使用需要人工向盐罐内加水）。

e) 正洗：以制水运行时相同的流向进行水清洗，进一步排除再生废液，使出水合格，以便投入制水运行。

#### 4.1.3.2 顺流再生与逆流再生

软水器失效后的树脂再生，按盐水流动方向不同，分为顺流再生和逆流再生两种方式。

**（1）顺流再生**

再生时盐水流动方向与制水运行时水流方向一致的称为顺流再生。顺流再生一般都是由上向下流动，由于盐水首先接触的是树脂罐上部已完全失效的树脂，当盐水从上至下流至树脂罐底部的保护层树脂时，经过交换反应后的盐水中不但$Na^{+}$含量已很低，而且还含有大量被交换下来的$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$，从离子交换的可逆性可知，这种情况非常不利于平衡向再生方向移动。因此，顺流再生时树脂罐下部的树脂一般不能获得较好的再生，有时底部的保护层树脂甚至会被再生下来的$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$污染，影响出水质量。为了提高树脂的再生程度，就需要增加再生用盐量，因此顺流再生时盐耗往往比较大。

顺流再生软化阀的工作流程通常设置为：（运行至失效）→反洗→吸盐和慢洗→盐罐补水→正洗→出水合格后运行制水。由于顺流再生步骤简单、易控制，因此顺流再生软化阀应用最广。

**（2）逆流再生**

再生时盐水流动方向与制水运行时水流方向相反的称为逆流再生，或称对流再生。目前常用的逆流再生有两种：一种是运行时水流方向从上往下流动，再生时盐水从下往上流动，习惯上称此为固定床逆流再生工艺；另一种是运行时水流方向从下往上流动，利用水流的动能，使树脂以密实的状态整体浮动在树脂罐上部，而再生时，树脂往下回落，盐水从上往下流动，习惯上称此为浮动床工艺。浮动床适用于连续运行，不适宜停启过于频繁。

逆流再生时，盐水首先接触的是树脂中失效程度较低的保护层，当流动至失效程度最高的树脂层时，虽然交换下来的$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$浓度较高，但由于会很快被排出，因此十分有利于平衡朝再生方向移动，再生效果较好。由于逆流再生可使树脂保护层（出水处）再生十分彻底，所以即使树脂表层（进水处）的再生度差一些，也不会影响其出水质量。

理想的逆流再生与顺流再生相比，具有：再生程度高、出水质量好、再生剂比耗低、工作交换容量大等优点。但顺流再生也有设备及管路简单，再生控制方便，有利于自动控制等优点。另外，体现逆流再生的优点需两个前提：一是树脂不能乱层（反洗和再生时因水流由下往上流动较快而使得树脂的失效层、保护层被打乱的现象称为乱层）；二是吸盐及之后进行的慢洗宜采用软水。如果采用硬度较高的进水，易造成底部保护层树脂失效而影响出水质量。为了避免每次再生前反洗使树脂乱层，有些软水器采用间隔几个周期反洗一次，并采用软水进行吸盐和慢洗，但需要比顺流再生复杂的管路和控制器，因此自动软水器采用顺流再生的更为普遍。

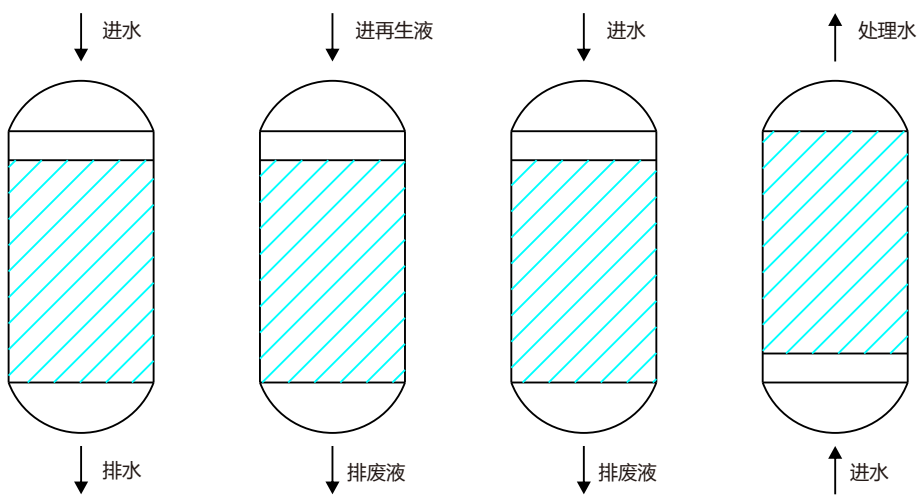
逆流再生软化阀的工作流程与顺流再生相似，通常设置为：（运行至失效）→反洗（有的软化阀可设置几个周期反洗一次）→吸盐和慢洗→盐罐补水→正洗→出水合格后运行，其中吸盐和慢洗时液流流向与运行时水流方向相反。为了防止乱层，逆流再生的吸盐和慢洗时流速要比顺流再生时低（宜控制2m/h～4m/h）。

目前也有采用满罐树脂的逆流再生软水器，即树脂填装高度为树脂罐内高度约90%～95%，只留少量空间作为树脂再生时的膨胀空间。再生过程可减少反洗步骤，即设置为：（运行失效）→吸盐和慢洗→盐罐补水→正洗→出水合格后运行。虽然吸盐和慢洗的液流方向也是由下往上，但由于树脂流动空间少，又减少了反洗步骤，所以可避免树脂乱层，其吸盐和慢洗的流速可与顺流再生相同（4m/h～6m/h），可起到一定的松动树脂作用。这样不仅可缩短整个再生时间，而且可提高再生效果和周期制水量。但这个方法对进水浊度要求高，软水器前应设置过滤器，确保软水器进水浊度低于2NTU；而且要求布水均匀，不产生偏流。另外，进水压力不宜过大，否则运行时容易使树脂层过于密实，再生时难以松动，不利于离子交换，也会影响再生效果和制水质量，必要时运行一段时间后，需掏出树脂进行体外清洗，并避免树脂层过于密实，这是此方法不足之处。

**（3）浮动床**

浮动床也属于逆流再生，只是液流方向与固定床逆流再生相反：制水时水流由下往上将树脂整体托起后运行；再生时树脂回落，盐水和置换清洗水由上往下流过树脂层。因此，浮动床软化阀的工作流程通常设置为：（运行至失效）→落床（静止或少量排水使树脂回落）→吸盐和慢洗→盐罐补水→成床和顺洗（将树脂整体托起由下往上清洗）→出水合格后制水运行。另外，吸盐和慢洗宜采用软化水，否则上层的树脂容易呈失效态，投运后易影响出水质量。润新软化阀用于单阀单罐浮动床的，采用水泵抽取软水箱中的软水用于吸盐、慢洗和盐罐补水；单阀双罐浮动床的，利用运行中的树脂罐出水作为另一个树脂罐再生时的吸盐、慢洗和盐罐补水，可促使树脂的再生效果良好。

浮动床的液流方向如图4-6所示：




（a）落床；　（b）吸盐；　（c）置换清洗；　（d）成床、顺洗和制水

图4－6 浮动床再生时的液流流向

浮动床失效后停止运行，待树脂落床后进行再生，落床的方式有两种：

a)排水落床：停止运行后，下部短时排水，使树脂层整齐下落。注意排水时间一般应少于1min，以避免树脂罐内的水位低于树脂层。这种落床方式速度快，树脂层扰动小，适用于水垫层稍高的浮动床。

b)重力落床：停止运行后，利用树脂层本身的重力自然落床，时间一般为2min～3min。这种落床方式速度较慢，适用于水垫层较低，且软化阀未设置排水落床的浮动床。

浮动床要求上下布水均匀，且启动和运行时需要以较快的流速将树脂整体托起上浮（一般以20m/h～30m/h的流速成床，运行流速可提高至20m/h～60m/h）。如果布水不匀或流速较低，树脂层上浮呈松动散乱状易影响出水质量，因此软化阀配置需考虑进水压力低的影响。

**浮动床的优点和局限性**

**a)浮动床的优点**

①运行流速高，出力大：浮动床允许较高的流速运行，因此同样体积的交换器，浮动床的出力要比一般固定床大得多。

②再生剂比耗低，出水水质好：浮动床的再生剂比耗一般为1.1～1.4，再生剂的利用率为70%～90%，由于再生剂利用率高，排放废液少，减轻了对环境的污染。同时由于采用软水再生，树脂中的保护层一直保持着良好的再生度，因此出水水质好，而且对进水的硬度含量适应性大。

③本体设备结构简单，操作方便：再生时，操作步骤少，而且由于再生液是从上至下流动，所以不必担心再生时乱层。

**b)浮动床的局限性**

①树脂中的杂质污物不易清洗，树脂需体外清洗：浮动床中树脂的填装量高达罐体容积的90%左右，没有足够的反洗空间，因此无法在再生时将树脂中的杂质和破碎树脂洗去，所以浮动床对进水的浊度要求较高，且每隔一定时间需将树脂输送到专设的体外清洗罐中清洗。

②不适用于停、启过于频繁的运行：浮动床最好能在成床后一直连续运行，直到失效后落床再生，这样浮动床的优点方能充分体现出来。如果运行中停、启过于频繁，则在成床或落床的过程中，都会不同程度地造成乱层，影响出水水质（对出水硬度要求不严格的，影响不大）。另外，浮动床要求进水有一定的压力并且应尽量稳定，如果进水压力过低，交换器不能很好地成床，也会显著影响出水水质。

**4.1.3.4 影响再生效果的因素**

影响软水器再生效果的因素有很多，主要有下列几方面。

**（1）再生方式**

如上所述，逆流再生若能保证树脂不乱层，且采用软水吸盐和慢洗，其再生效果比顺流再生好。

**（2）再生用盐量**

一般来说用盐量是影响软水器再生程度的重要因素，它对树脂交换能力的恢复和经济性有直接关系。用盐量不足或盐水浓度过低，树脂再生度低，工作交换容量受影响，制水周期缩短，交换器自耗水量增大，有时甚至会影响出水质量；适当增加再生剂的比耗，可提高树脂的再生程度，但增加到一定量后，再生程度不会再有明显提高，如果再增加用盐量就会造成浪费，所以采用过高的再生剂比耗也是不经济的。

（3）进水压力

自动软水器再生时，通常利用进水压力通过射流器将盐罐中的盐液吸入并稀释成一定浓度后进入树脂罐对树脂进行再生。进水压力应符合软化阀的设计要求，压力过低影响盐液吸入，易使盐水浓度过低而影响再生效果。因此，当进水压力过低时需设增压泵，水压波动较大的需设稳压装置及压力表，以保证盐水吸取速度和吸取量的稳定，使再生达到良好效果。

（4）盐水浓度与射流器配置

在一定范围内，适当增大盐水浓度，可提高再生程度，但浓度高到一定程度后，继续增大盐水浓度，不但不能继续提高再生程度，反而会因高浓度盐水对树脂基团的压缩作用而影响交换能力；而且当用盐量一定时，盐水浓度越高，盐水体积越小，与树脂接触时间少，也影响再生度。一般顺流再生时，经射流器稀释后的盐水浓度宜控制在6%～10%，逆流再生时宜控制在5%～8%。为保证盐水浓度控制在合适范围，需达到三个条件：一是盐罐中的盐液浓度应保持饱和或过饱和（一般盐罐内应始终保持有固体颗粒盐存在）；二是射流器的选配应合适；三是吸盐进水压力需符合要求。

（5）吸盐和慢洗时的流速

吸盐时盐水流过树脂层的速度，是影响再生程度的一个重要因素。维持适当的流速，实质上就是使再生液与树脂之间有适当的接触时间，以保证再生的交换反应充分进行，并使盐水得到最大限度的利用。

再生时，控制一定的流速非常重要。如果流速过快，盐水与树脂接触时间过短，交换反应尚未充分进行，盐水就已被排出交换器，既影响再生效果，也浪费盐。对于逆流再生来说，流速过快还容易造成乱层。一般顺流再生和浮动床逆流再生时，盐水由上至下，树脂不会乱层，吸盐和慢洗时的流速宜控制在4m/h～ 6 m/h；盐水由下至上的逆流再生，为了防止树脂乱层，宜控制在2m/h～4m/h。

（6）盐罐中盐液高度

正常情况下，软水器每次再生时会把盐罐内的盐液吸完，因此自动软水器一次再生用盐量主要取决于盐罐补水后的盐液高度，而与盐罐中有多少剩余的固体盐量无关。盐液高度不足，再生时吸盐量过少，降低再生效果，从而影响制水；盐水液位过高，吸盐时间过长不仅造成盐的浪费，而且会导致慢洗时间缩短。因此，软水器调试时，应通过调节盐罐中的液位控制器或再生后盐罐补水时间，控制盐液在合适的高度，既确保每次再生时实际用盐量足够、吸盐时间合理，又不造成盐的浪费。

（7）吸盐时间

吸盐时间过短，盐水与树脂接触不充分，易影响再生效果，为了使再生时交换反应充分进行，一般认为再生液与树脂交换接触的时间应不少于30min。但吸盐时间也不可过长，由于“吸盐”与“慢洗（即置换清洗）”两者的流向通道和流速相同，因此自动控制器往往将两者设成同一时间工位，如果盐罐内盐水液位过高，吸盐时间长，慢洗时间就会缩短，易造成正洗时再生废液清洗不干净，导致正洗后投运开始阶段出水中氯离子含量偏高，有时甚至出水硬度也偏高。

**（8）再生用盐**

再生用盐中氯化钠纯度对树脂的再生程度和出水水质影响也较大，如果盐中杂质多，尤其是钙、镁离子含量高，容易降低再生程度，且出水水质也会受影响。另外，若进水硬度较高，再生用水（包括盐罐补水）最好采用软化水，否则用高硬度的进水溶解盐及吸盐，会使盐水中钙、镁离子含量升高，影响再生效果。

自动软水器再生用盐最好用特制的小球状盐或粗颗粒的工业盐，不得采用精制细盐或者加碘食盐。因为细盐过饱和时容易结块并形成“盐桥”，导致盐溶解不充分，造成盐水浓度不足，影响再生效果。当进水压力较高时，细盐甚至会被吸入盐水管和射流器，造成堵塞而无法吸盐；加碘盐易氧化树脂，影响树脂使用寿命。

**（9）温度**

温度对离子交换反应速度的影响较大，温度越低，反应越慢，因此冬季水温低时，宜适当降低再生和运行流速。

**（10）进水硬度**

一般软水器的盐罐补水大多采用进水，如果进水硬度很高，则盐水中的硬度也会增高，易影响再生效果。另外，对于逆流再生软水器来说，慢洗时进水由下布水器出来向上清洗，如果进水硬度较高，慢洗过程中易造成底部保护层树脂失效，并导致运行初期出水硬度不合格或正洗时间延长。因此，在进水硬度很高情况下，再生过程（即进盐水、慢洗和盐罐补水）最好能采用软化水。

## 4.2 软水器系统的分类和选用

自动软水器设备和系统的类型及其性能主要取决于软化阀的特性，根据软水器的组成和软化阀所控制的树脂罐数量不同，自动软水器有单阀单罐、单阀双罐、单阀三罐串联运行及多阀多罐并连运行等多种系统。

### 4.2.1 单阀单罐软水器系统

即一个软化阀控制一个树脂罐，是最简单的软化水处理系统。由于软水器再生期间不能制取软水，因此单台的单阀单罐软水器，只适用于用水量较稳定，并间歇运行的锅炉等设备。对于需连续供水运行的锅炉等需要持续使用软化水的设备，需配置出水量大于设备用水量的软水器，并且配置一个至少可供2小时用水的软水箱（例如设备用水量为4$m^3$/h，则至少需配置8$m^3$的软水箱），以确保软水器再生过程中贮存有足够的软水供锅炉补水；或者通过配置两台单阀单罐软水器，一用一备或者错开再生时间，来达到连续供水。

此外，单阀单罐软水器还有再生时无旁通出水和有旁通出水之分。再生时有出水是为了避免用水设备缺水，在再生时将进水通过旁路直接流出软水器，即再生时的出水是硬水，适用于对软化水要求不高，允许短时间使用硬水的设备，不适用对软化水硬度要求严格的锅炉等设备。GB/T18300《自动控制钠离子交换器技术条件》规定：用于锅炉的软水器，再生过程中不应有硬水从交换器出口流出。因此，用于锅炉的软水器应选配再生时无出水的软化阀，如果选配的软化阀再生时有出水，需增设电磁控制阀，防止再生时交换器出口的硬水进入软水箱，造成锅炉给水硬度超标，引起锅炉结垢的不良后果。

### 4.2.2 单阀双罐软水器系统

即由一个软化阀控制二个树脂罐，其中一个树脂罐运行时，另一个树脂罐处于再生或备用状态。单阀双罐软水器系统可以连续制水，可用于需连续供水运行的锅炉等设备，而且两个树脂罐共用一个盐水罐，占地面积小，采购成本比配置两台软水器低。另外，对于逆流再生的单阀双罐软水器，可以利用运行罐制取的软水用于另一个罐的树脂再生，提高再生效果。

采用单阀双罐软水器时，如果进水硬度较小，制水周期较长，有时再生后的树脂罐备用时间较长，切换投运时，刚开始制水时出水硬度往往会超标。为了解决这个问题，用于单阀双罐软水器的软化阀往往采取延迟正洗的方法，即进行再生的树脂罐在盐罐补水后暂停，直到另一个树脂罐接近运行终点，需要切换之前才进行正洗。这样就能保证备用树脂罐切换后投运一开始就能保证出水合格。

### 4.2.3 单阀三罐串连运行软水器系统

单阀三罐串连运行的软水器系统主要用于高硬度进水（硬度大于6mmol/L）或者对出水硬度要求特别严格（要求硬度小于0.01mmol/L），需要二级软化处理才能使出水硬度达到合格的供水系统。一般二级软化需要二台软水器串连运行，如果要求连续供水，为满足再生时供水，普通软水器需配置二套串连设备，即安装4台软水器，其中2台串连运行，2台再生或备用，设备利用率较低。润新公司开发的单阀三罐串连运行控制阀，即一

个软化阀控制三个树脂罐，轮流进行二个串连运行，一个再生备用，不仅可提高软水器利用率，而且可降低采购成本。单阀三罐串连运行的模式为：一个软化阀自动控制三个树脂罐（例如分别编号为A、B、C），当A与B串连运行时（即A出水进入B进行二级软化），C进行再生或处于备用状态；当第一级的A出水硬度增大至一定值时停止运行，同时启动C运行（此时B转为第一级，出水进入C二级软化），A进行再生后备用。这样A、B、C轮流依次进行第一级、第二级运行和再生处理，既可保证制水硬度合格，又提高树脂的利用率。需注意的是，第一级树脂罐不可运行至出水硬度很高才停用再生，一是因为第一级出水硬度过高，容易造成二级出水硬度不合格；二是如果树脂罐中的树脂深度失效，将难以使树脂再生彻底，再生后作为第二级软化运行时，易造成出水不合格。

#### 4.2.4 多阀多罐软水器系统

多阀多罐软水器系统可以实现多罐同时供水、分别再生。

当制水量大于50m³/h时，可采用多阀多罐的并联系统或串并联合用的软化处理系统。即由多台软水器（其中可以是单阀单罐、单阀双罐、单阀三罐软水器）并联组成一个总制水量达到供水要求的软化水处理系统，通过互锁装置由微电脑控制轮流对其中一个树脂罐进行再生，确保制水质量和产水量满足供水需要。

由于单阀单罐软水器不能连续供水，对于需要连续供水的锅炉等用水设备，通常采用配置两套单阀单罐软水器系统，通过互锁并联供水，实现两套系统同时供水分别再生。对于要求产水量较大的水处理系统，也可以采用多罐串联系统，例如需要连续产水量100$m^3$/h的水处理系统，可以配置3套产水量50$m^3$/h的单阀单罐软水系统，通过互锁实现至少两套系统供水，确保出水量。考虑到软水器再生需要2小时左右，因此该方式建议不要采用超过4套以上的单阀单罐串联系统，以防止其中一套系统再生时，另一套系统也需要再生。

## 4.3 软水器相关工艺计算

### 4.3.1 运行制水的周期设置

正确设定并合理调整控制器的再生周期十分重要。如果设定不合适，就有可能树脂层已失效却未及时再生，造成出水硬度超标；或者树脂层尚未失效却提早再生，造成再生用盐和自耗水的浪费。虽然控制器通常在出厂时已设置了再生过程的各个参数，供应商也会在新购设备投运前上门调试，并对再生程序进行设定，但用户在运行过程中仍需根据原水水质、制水质量要求、设备用水量等因素的变化及时进行调整。另外，由于目前大多数自动软水器无自动监测出水硬度的功能，因此在运行过程中，仍需操作人员定期取样化验，确认出水硬度是否合格。当出水硬度不合格时，应及时检查原因，调整再生设定、更换树脂或维修软水器。

**（1）软水器周期制水量计算**

软水器的周期制水量可根据树脂填装量及其所能除去的硬度总量，按式（4-1）进行估算，对于流量型软水器来说，可以直接按此估算结果设置周期制水量。

$$Q=\frac{V_R\times E}{YD\times K} \tag{4-1}$$

式中：Q——软水器在运行周期制取的软水量，$m^3$；

$V_R$——树脂罐内树脂的填装体积，$m^3$；

（$V_R=\pi\times R^2\times h_R$，其中R为树脂罐内壁半径，m；$h_R$为树脂的填装高度，m）

E——树脂的工作交换容量，$mol/m^3$。一般新的钠离子交换树脂可按1000mol/$m^3$～1200mol/$m^3$，旧树脂按800mol/$m^3$～1000mol/$m^3$计算；（注：以一价离子为基本单元）

K——为保证运行后期软水硬度不超标所需的安全系数，一般可取1.1～1.8（原水硬度较大或流速较高时，取较大值；反之取较小值）；

YD——进水平均总硬度，mmol/L（注：基本单元为1/2$Ca^{2+}$、1/2$Mg^{2+}$）；

**（2）时间型软水器的运行制水时间计算**

时间型自动软水器运行时间（天数或小时）可根据树脂周期制水量和软水日平均用量等因素估算，一般可按式（4-2）估算运行天数，按式（4-3）估算运行小时：

$$d=\frac{V_R\times E}{YD\times K\times Q_t\times T}=\frac{Q}{Q_t\times T}\ （天，取计算值的整数） \tag{4-2}$$

$$t=\frac{V_R\times E}{YD\times K\times Q_t}=\frac{Q}{Q_t}\ （小时） \tag{4-3}$$

式中：d——再生后可运行的天数，d；

$Q_t$——软水器单位时间产水量（用于锅炉给水的，也可近似按锅炉蒸发量计）t/h 这里的单位时间是指小时

T——软水器日制水时间（小时）或锅炉日运行时间，h/d；

t——再生后可运行时间（以小时计），h；

其余符号同式（4-1）。

**举例**4-1 某台单阀双罐流量型自动控制软水器，两个树脂罐内各装250L树脂，测得进水平均硬度为4.0mmol/L，若树脂的工作交换容量为1000mol/$m^3$，安全系数取1.4，则软水器周期制水量设定多少为宜？

解：

$$Q=\frac{V_R\times E}{YD\times K}=\frac{0.25\times 1000}{4.0\times 1.4}\approx 44.6\ m^3$$

因软水器流量计设置没有小数点，为避免再生前出水硬度超标，宜设定周期制水量为44吨。

**举例**4-2 一台蒸发量为2t/h的燃油锅炉，所配的自动控制软水器内装0.15$m^3$树脂，锅炉每天实际运行约10小时，如原水的硬度为2.6mmol/L，交换器应设定几天再生一次？（安全系数取1.2）

解：

$$d=\frac{V_R\times E}{YD\times K\times Q_d\times T)}=\frac{0.15\times 1000}{2.6\times 1.2\times 2\times 10}=2.4$$

为了确保锅炉安全运行，防止软水硬度超标，根据计算结果取整数，宜定为2天（即隔天）再生一次。

上述运行周期的估算仅为参考，设定后还应定时化验出水硬度，并及时按实际运行终点时出水硬度进行调整，既保证制水周期内软水器出水硬度符合标准要求，又尽量避免提前再生而造成盐和水的浪费，提高软水器运行经济性。

### 4.3.2 再生时的相关工艺计算

#### 4.3.2.1 一次再生用盐量估算

虽然自动软水器的盐水罐中加入的盐量往往可进行多次再生，而不是每次再生都加盐，但仍需通过式（4-4）估算一次再生所需的用盐量(mz)，以便估算吸盐时间，并可对实际用盐量的合理性进行评估。

$$m_z=\frac{V_R\times E\times k\times M}{1000\varepsilon} \tag{4-4}$$

式中：mz——再生一次所需的用盐量，kg；

$V_R$——树脂罐内树脂的填装体积，$m^3$；

E ——树脂的工作交换容量，一般钠离子交换树脂为(800～1200)mol/$m^3$，通常可按1000mol/$m^3$计算；

k ——再生剂比耗，对于钠离子交换树脂一般逆流再生时取1.2～1.7，顺流再生时取1.8～2.2；

M——再生剂的摩尔质量，用盐再生时，NaCl为58.5；

ε ——再生剂的纯度，一般食盐或工业盐中NaCl含量为95%～98%。

#### 4.3.2.2 盐罐中所需盐液高度计算

在保持盐罐内存在固体盐，且设置的吸盐时间充足的情况下，自动软水器实际再生用盐量主要取决于盐罐内的盐液高度。常温下饱和盐水浓度为26.3%，因此将1kg的盐溶解成饱和溶液约需2.8L水，则盐罐补水所需控制的盐水液位高度可按式（4-5）估算：

$$H = \frac{2.8 \times m_{cz} \times 10^{-3}}{\pi \times R_Y^2} \tag{4-5}$$

式中：H——自动软水器盐罐补水后液位高度，m；

$m_{cz}$—— 一次再生所需用盐中氯化钠的量（$m_{cz}=m_z \times \varepsilon$），kg；

$R_Y$ —— 盐罐内壁半径，m。

#### 4.3.2.3 再生时吸盐时间估算

当一次再生用盐量和再生流速确定后，理论上吸盐时间的设定可按式（4-6）估算。由于自动软水器吸盐是通过射流器吸入饱和盐水并稀释后进入树脂罐，因而实际进盐流速和稀释后的盐水浓度和体积与软水器配置的控制阀、射流器以及进水压力等因素有关。润新软水阀可在使用说明书中根据树脂罐直径大小选配合适的软水阀和射流器，进而查得对应的盐水体积和进盐流速，从而得到再生吸盐时间。

$$t = \frac{60 \times V_z}{S \times v} \quad \text{min} \tag{4-6}$$

$$\text{其中:} V_z = \frac{m_{cz}}{C \times \rho \times 10^3} \quad m^3$$

式中：t ——再生时吸盐时间，min；

$V_z$——盐水稀释后进入树脂罐的体积，$m^3$；

S——树脂层截面积，$m^2$；

v ——再生液（盐水）流速，m/h；

$m_{cz}$——再生一次所需用盐中氯化钠的量（$m_{cz}=m_z \times \varepsilon$），kg；

C——稀释后进入树脂罐的盐水浓度，%（一般6%～8%）；

ρ ——稀释后进入树脂罐的盐水密度（＜1. 06，可忽略不计）。

**举例4-3**：一台顺流再生的软水器，树脂罐内径为0.5米，树脂填装高度为1.4米；通过配置的软水阀和射流器，从说明书查得再生时控制盐水浓度6%，进盐流速为5m/h。问：再生一次需要氯化钠含量96%的工业盐多少kg？若盐罐内径为0.4m，再生后盐罐补水高度多少为宜？再生吸盐宜设置多长时间?

解答：

①该软水器树脂体积：$V_R=3.14\times0.25^2\times1.4\approx0.27\ m^3$

顺流再生比耗取2，树脂工作交换容量以1000mol/$m^3$计，再生一次需要盐量：

$$m_z = \frac{V_R \times E \times k \times M}{1000\varepsilon} = \frac{0.27 \times 1000 \times 2 \times 58.5}{1000 \times 96\%} \approx 33kg$$

②一次再生用盐中纯氯化钠含量mcz＝33×96%≈32 kg，盐罐补水适宜高度：

$$H = \frac{2.8 \times m_{cz} \times 10^{-3}}{\pi \times R_Y^2} = \frac{2.8 \times 32}{3.14 \times 0.2^2 \times 1000} \approx 0.72\ m$$

③树脂罐内树脂层截面积$S=3.14\times(0.5/2)^2\approx0.2m^2$，再生吸盐设置时间：

$$t = \frac{60 \times m_{cz}}{S \times v \times C \times 1000} = \frac{60 \times 32}{0.2 \times 5 \times 6\% \times 1000} = 32\ min$$

#### 4.3.2.4 软水器的主要性能指标要求

软水器的主要性能指标见表4-1。

表4-1 自动控制软水器的主要性能参数

| 连接系统 | | 运行流速[a] m/h | 反洗流速 m/h | 吸盐和慢洗流速 m/h | 正洗流速 m/h | 再生液浓度[b] % | 盐耗 g/mol | 工作交换容量[c]/(mol/m³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 一级钠 | 顺流再生 | 20～30 | 10～20 | 4～8 | 15～20 | 6～10 | ≤120 | ≥800 |
| | 逆流再生 | 20～30 | 10～20 | 2～4 | 15～20 | 5～8 | ≤100 | ≥900 |
| | 浮动床 | 30～50 | — | 2～5 | 15～20[d] | 5～8 | ≤100 | ≥900 |
| 二级钠 | | ≤60 | 10～20 | 4～8 | 20～30 | 5～8 | — | — |
| 1 用于工业设备软化水处理的软水器再生吸盐时间一般应不少于 30 分钟。<br>2 再生过程结束时出水氯离子含量应不大于进水氯离子含量的 1. 1 倍。 | | | | | | | | |
| a 工业用软水器运行流速上限为短时最大值；民用软水器运行流速可适当放宽，但不应影响用户对制水质量的需求。<br>b 再生液浓度指常温下经射流器稀释后进入离子交换树脂层的盐水浓度。<br>c 指钠离子交换树脂的工作交换容量。弱酸性阳离子树脂工作交换容量≥1800 mol/m³。<br>d浮动床正洗指再生后从下往上的顺洗。 | | | | | | | | |

### 4.3.3 射流器的设计与选配

自动控制阀一般是将射流器集成在一起，在设计制造时，即根据需要配套的树脂罐直径大小，考虑到射流器的吸射比，以使其能满足GB/T18300《自动控制钠离子交换器技术条件》中的软水器再生时的再生流速要求及盐液浓度要求。

根据国家标准GB/T 18300《自动控制钠离子交换器技术条件》的规定，顺流再生时进入树脂罐的再生液浓度为6%～10%，再生液流速为4m/h～8m/h；逆流再生时进入树脂罐的再生液浓度为5%～8%，再生液流速为2m/h～4m/h。常温下，一般饱和盐液的浓度为26.3%。因此，用于逆流再生软水器的射流器在设计时，其吸射比（即吸入的盐液流量与进入射流器的水流量比）控制在1∶4.3到1∶2.3之间；用于顺流再生软水器的射流器的吸射比控制在1：3.4到1：1.6之间。

通过再生液流速与配套罐体的直径（内径）值，可以计算出所需要的射流器出口总流量（即射流器进水流量与吸入的饱和盐水流量之和，也就是稀释后的盐水流量）。因此，射流器的吸射比是在控制器设计时确定，不同的树脂罐选用哪种射流器需要在选型时确定，即在软水器配套设计时确定。

例如：配套直径为400mm的树脂罐，采用顺流再生时，其所需要的稀释后的再生液流量为：$Q=v\times S=（4\sim8）\times 3.14\times 0.2^2=（0.5\sim1.0）m^3/h$

为确保不同直径的树脂罐，在再生时的吸盐和流速都能符合要求，润新控制阀针对不同直径的树脂罐设计了不同型号的控制阀及相应的射流器，供软水器配套时选用，不过在实际选型时，同一种射流器也可以配套在不同的控制阀上（由于控制阀的流道不同，水阻略有不同，射流器的出口总流量、慢洗流速及补水流速均略有不同），有时相同的罐体也可选配不同的控制阀，需根据原水水质、进水压力、实际制水需求等多种因素综合考虑，并试运行进行验证。

### 4.3.4 软水器运行经济性评价

在软水器正常运行情况下，通常可通过盐耗或比耗、工作交换容量等指标来评价软水器运行经济性是否良好。

#### 4.3.4.1 再生盐耗和比耗

使离子交换树脂恢复1mol的交换能力，所消耗再生剂的量（g），称为再生剂的耗量，用盐再生时，也称为盐耗。从理论上计算，使钠离子交换树脂恢复1mol的软化能力，需58.5gNaCl。但实际再生时，所需的盐耗往往要大于理论值，通常将再生时盐的实际消耗量与再生剂的摩尔质量（即理论量）的比值称为再生剂比耗。一般软水器的再生剂比耗，顺流再生不应大于2.5，逆流再生不应大于2，否则认为经济性不好，需检查原因。软水器实际再生盐耗(g/mol)和比耗可分别按式（4-7）和（4-8）计算：

$$盐耗=\frac{m_{cz}}{(YD-YD_C)}\approx\frac{m_{cz}}{QxYD}\ g/mol \tag{4-7}$$

$$盐耗再生比=\frac{再生剂盐耗}{再生剂摩尔质量}=\frac{盐耗}{58.5} \tag{4-8}$$

式中：$m_{cz}$——再生一次用盐中氯化钠的量（按100%NaCl计），g；

Q——软水器的周期制水量，$m^3$；

YD——制水周期中原水的平均硬度，mmol/L；

$YD_C$——软化水的残留硬度，当它比原水硬度小很多时，可忽略不计。

58.5—— NaCl的摩尔质量，g/mol。

自动软水器的盐耗及比耗过高时，一般可从以下几方面检查其原因并进行调试和改进：

a) 盐罐中盐水液位是否过高，导致吸盐过多？

b) 设置的周期制水量是否过少，以致尚未失效就提前再生？

c) 树脂是否受污染或“中毒”以致交换作用降低？

d)树脂是否有流失，以致树脂层高度不足，在用盐量不变情况下周期制水量减少？

#### 4.3.4.2 工作交换容量

工作交换容量是指树脂在工作状态下所能交换离子的量，一般新树脂的工作交换容量大于1000mol/$m^3$，但对于自动再生软水器，为了确保制水周期内出水合格，周期制水量的设置会比较保守，以致实际工作交换容量会打折扣。另外，树脂使用后由于受到污染或者再生效果不好等原因，也会使工作交换容量下降，这种情况需要查明原因后加以改进。一般自动再生软水器实际工作交换容量下降至小于500mol/$m^3$（手动再生交换器为小于800mol/$m^3$），认为运行经济性不好，需检查原因并加以改进。钠离子交换树脂的实际工作交换容量E（mol/$m^3$）可按式（4-9）测算：

$$E=\frac{Q(YD-YD_C)}{V_R}\approx\frac{Q.YD}{V_R} \tag{4-9}$$

式中：Q——交换器周期制水量，t或$m^3$；

YD——交换器进水的平均硬度，mmol/L；

$YD_C$——钠离子交换器出水硬度，mmol/L；（该值很小时可忽略不计）

$V_R$——树脂罐中树脂的体积，$m^3$。

当树脂工作交换容量明显降低，可从以下几方面检查其原因并改进：

a) 树脂再生是否达到要求？（例如：盐罐中的盐是否足够？盐液高度是否合适？进水压力、盐水浓度和流速是否符合要求？）

b) 树脂是否受污染或“中毒”？

c)树脂层高度是否足够？

d) 运行制水的流速是否过快？

e) 设置的周期制水量是否过少，以致尚未失效就提前再生，树脂未得到充分利用？

**举例4-4**：某台流量型软水器，树脂填装体积0.5$m^3$，用于蒸汽锅炉补给水处理，平均进水硬度3.6mmol/L，要求出水硬度小于0.03mmol/L，设置软水器周期制水量90 t可保证出水合格，每次向盐罐内加盐200kg（NaCl含量96%），平均再生3次后盐罐内无固体盐，需重新加盐，问该软水器运行经济性如何？

解答：

（1）该软水器实际盐耗＝(200÷3×1000)×96%÷(90×3.6)≈198 g/mol

实际再生剂比耗＝198÷58.5≈3.4

（2）实际工作交换容量：E＝90×3.6÷0.5＝648 mol/$m^3$

该软水器用盐比耗较高，需查明原因。由于实际工作交换容量符合要求，且再生之前仍能保证出水合格，说明树脂和周期制水量的设置正常，可能的原因是盐罐的液水液位过高导致盐耗高，检查并调节盐水液位控制器和吸盐时间，并进行测试确认。

有些地区采用非国际标准单位，软化阀相关计算时需进行换算，常见单位换算为：

1mmol/L（1/2$Ca^{2+}$、1/2$Mg^{2+}$）＝50PPM（以$CaCO_3$计）

1mmol/L（1/2$Ca^{2+}$、1/2$Mg^{2+}$）＝2.92grain/gallon（格令 / 加仑）

1grain/gallon（格令 / 加仑）＝17.1PPM（以$CaCO_3$计）

1$m^3$＝264gallon(US)（美加伦）＝220gallon(UK)（英加伦）

1kg＝2.2pounds（英磅）

1PPM＝1mg/L。

## 4.4 软化降碱处理

对于水源水中碱度较高的地区，锅炉补给水若完全采用钠离子交换的软化水，由于钠离子交换除去了钙镁硬度，水中保留的碱度将随着锅水蒸发浓缩而越来越高。过高的碱度不仅容易影响蒸汽质量，严重时还将对金属产生碱性腐蚀，如果为了降低锅水碱度而过于提高锅炉排污率则不利于节能减排。因此，碱度较高的原水（碱度＞2.5mmol/L）用于锅炉补给水的，不但要进行软化处理，而且要考虑降碱处理。工业锅炉常用的软化降碱处理方法主要有：部分软化法、氢-钠离子交换法、氨-钠离子交换法。

### 4.4.1 部分软化法

部分软化法主要有二种情况：一是对于高硬度水，采用一级软化，除去大部分钙镁离子，将高硬度水处理成低硬度水；二是对于高硬度高碱度原水，一部分经过软化处理除去硬度，然后再与原水以一定比例混合，使混合后水中的硬度低于碱度1mmol/L～2mmol/L。

部分软化处理的水适用于额定蒸发量≤4t/h，且额定蒸汽压力≤1.0MPa的自然循环蒸汽锅炉、汽水两用锅炉和额定功率≤4.2MW的热水锅炉。这些锅炉工作压力和热负荷较低，补给水采用部分软化处理后，水中残留的钙镁离子进入锅炉后，可与碱度物质发生反应，生成水渣后通过排污除去。通过部分软化处理（必要时向锅炉内加适量阻垢剂），使锅炉水质达到GB/T1576《工业锅炉水质》中锅内水处理的标准，既可防止锅炉结垢，又可避免锅水碱度过高，并减少锅炉排污及热损失，而且可降低水处理成本。

### 4.4.2 氢-钠离子交换法

氢-钠离子交换法处理，是将一部分原水通过$H^+$交换树脂处理，使水呈酸性；另一部分原水通过$Na^+$交换树脂处理，除去硬度呈碱性水，两者混合后得到中和，在除去硬度的同时，降低水中的碱度，以便锅炉在正常蒸发浓缩和合理排污情况下，锅水碱度能够符合标准要求。H-Na离子交换处理系统中包括有$H^+$交换和$Na^+$交换两个过程，它有多种运行方式，下面介绍几种常用方式。

#### 4.4.2.1 采用弱酸性$H^+$交换树脂的H-Na离子交换法

（1）采用弱酸性$H^+$交换树脂的H-Na离子交换软化、降碱原理

采用弱酸性$H^+$交换树脂降低水中碱度是一种比较好的方法，具有：不产生强酸、交换容量大、容易再生、易控制等优点。因为弱酸性树脂与$SO_4^{2-}$、$Cl^-$等强酸性阴离子的盐类难以进行离子交换，一般仅与弱酸盐类发生交换反应，因此交换处理后不产生强酸，而且

弱酸性$H^+$树脂交换$Na^+$的能力比较弱，出水中会保留部分$NaHCO_3$，因此弱酸性$H^+$交换器的主要作用是除去水中的碳酸盐硬度（即碳酸氢钙、碳酸氢镁），其反应可用下式综合表示：

$$R(-COOH)_2+\left.\begin{matrix}Ca\\Mg\\Na_2\end{matrix}\right\}(HCO_3)_2\rightarrow R(-COO)_2\left\{\begin{matrix}Ca\\Mg\\Na_2\end{matrix}\right.+2H_2CO_3$$

弱酸性质$H^+$树脂　　进水　　失效树脂　　出水

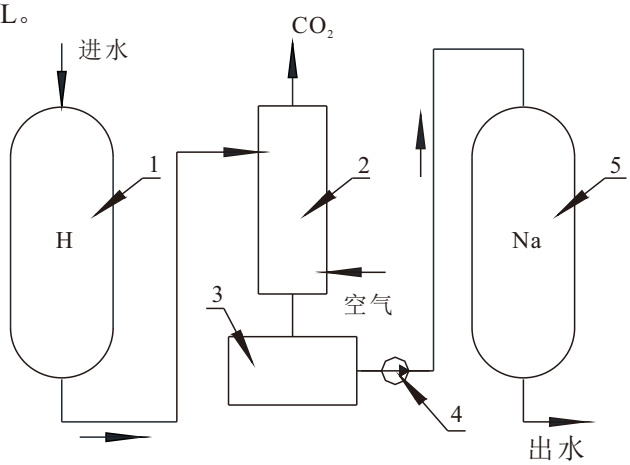
$$H_2CO_3\rightarrow H_2O+CO_2$$

$H^+$交换器出水中的$CO_2$通过除碳器除去，然后再进入钠离子交换器，除去其他各类非碳酸盐硬度，从而既降低碱度，又除去硬度。此外，弱酸性$H^+$交换树脂的交换容量（即除去碳酸盐硬度的能力）几乎是强酸性阳离子交换树脂的2倍，而且树脂失效后，很容易用酸再生，酸耗低，通常再生剂比耗仅为1.1左右，排出的废酸浓度低，较易处理。因此，虽然弱型树脂价格较高，但由于运行费用低，所以总体来说还是较为经济且相对安全。

**（2）采用弱酸性$H^+$交换树脂的H-Na离子交换系统**

采用弱酸性$H^+$交换树脂和强酸性$Na^+$交换树脂的H-Na离子交换系统如图4-7所示。原水先进入弱酸性$H^+$交换器，除去碳酸盐硬度，产生的二氧化碳通过除碳器除去，再进入$Na^+$交换器，进一步除去非碳酸盐硬度。

由于H-Na离子交换系统最终出水都经过钠离子交换处理，所以弱酸性$H^+$交换器运行终点的控制不需太严格，只要出水中硬度降低量与进水碱度基本相当即可，系统的制水质量主要以控制$Na^+$交换器出水硬度为运行终点。为了使$H^+$交换器与$Na^+$交换器同步失效、同时再生，弱酸性$H^+$交换树脂与强酸性$Na^+$交换树脂的比例应根据原水的碳酸盐硬度（即原水碱度）和非碳酸盐硬度（即原水总硬度与碱度之差值）的比例来确定。同时还应使系统出水保留一定碱度。一般用于工业锅炉的补给水，保留碱度宜控制在0.4 mmol/L～1.0mmol/L。




1、弱酸性$H^+$交换器；　2、除碳器；　3、中间水箱；　4、水泵；　5、$Na^+$交换器

**图4-7 采用弱酸性$H^+$交换树脂的H-Na离子交换系统示意图**

对于自动控制交换器系统来说，设计时制水周期的设定也可以按式（4-1）估算周期制水量，按式（4-2）或（4-3）估算周期制水时间。但公式中的硬度应作相应修改：对于弱酸性$H^+$交换器，YD为碳酸盐硬度（即原水碱度）；对于$Na^+$交换器，YD为非碳酸盐硬度（即原水总硬度与碱度之差值）；工作交换容量E：$Na^+$交换树脂仍按1000mol/$m^3$计算，弱酸性$H^+$交换树脂可按1800mol/$m^3$～2000mol/$m^3$计算。如果两个交换器制水周期差异较大，不利于自动控制，需调整两个交换器的大小及树脂填装量，同时还应考虑最终出水保留一定的碱度。

有些资料介绍将弱酸性$H^+$交换树脂和强酸型$Na^+$交换树脂放在同一树脂罐进行混合处理，这种方法虽然可简化系统，减少设备占地面积，降低采购和安装成本，但运行时存在如下缺点：

a) $H^+$交换产生的$CO_2$不经除碳器除去，影响降碱效果；

b) 钠离子交换树脂在酸性条件下，交换能力下降；

c) 增加再生时的酸性废水处理量。

#### 4.4.2.2 采用强酸性阳离子交换树脂的H-Na离子交换法

**（1）强酸性树脂H-Na离子交换的软化、降碱原理**

强酸性阳离子交换树脂用酸再生后成为$H^+$交换树脂（RH）。进水经$H^+$交换树脂处理后，水中各种阳离子都被$H^+$所交换，其交换反应可用下式综合表示：

$$2RH+\begin{cases}Ca\\Mg\\Na_2\end{cases}\begin{cases}(HCO_3)_2\\SO_4\\Cl_2\end{cases}\rightarrow R_2\begin{cases}Ca\\Mg\\Na_2\end{cases}+\begin{cases}2H_2CO_3\\H_2SO_4\\2HCl\end{cases}$$

$H^+$树脂　　进水　　失效树脂　酸性出水

由反应式可知，经$H^+$交换后，原水中各种强酸阴离子与$H^+$形成了强酸，所以出水呈较强的酸性。由于阳离子交换树脂对钠离子的交换能力弱于对钙镁离子的交换能力，所以$H^+$交换树脂失效时，出水中$Na^+$含量首先增大。当$H^+$交换器以控制出水的$Na^+$含量为运行终点时，出水酸度和原水中强酸阴离子的量相当。但如果$H^+$交换器出水$Na^+$含量增高（也称漏钠）后并不再生，而是继续运行到出水出现硬度（也称漏硬度）时才进行再生，即交换器运行以控制硬度为终点，则从漏钠到漏硬度这段运行期间，出水中的酸度将下降。

原水经$Na^+$交换器处理后，水中各种阳离子被$Na^+$交换，其交换反应可综合表示如下：

$$2RNa+\begin{cases}Ca\\Mg\end{cases}\begin{cases}(HCO_3)_2\\SO_4\\Cl_2\end{cases}\rightarrow R_2\begin{cases}Ca\\Mg\end{cases}+\begin{cases}2NaHCO_3\\Na_2SO_4\\2NaCl\end{cases}$$

$Na^+$树脂　进水　　失效树脂　　出水

由反应式可知，经$Na^+$交换后，除去了硬度而碱度不变，即出水成为碱性水。

将$H^+$交换处理后的酸性水与$Na^+$交换处理后的碱性水互相混合，发生中和作用，其反应式如下：

$$2NaHCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O + 2CO_2\uparrow$$

$$NaHCO_3 + HCl \rightarrow NaCl + H_2O + CO_2\uparrow$$

中和后产生的$CO_2$可用除碳器除去。

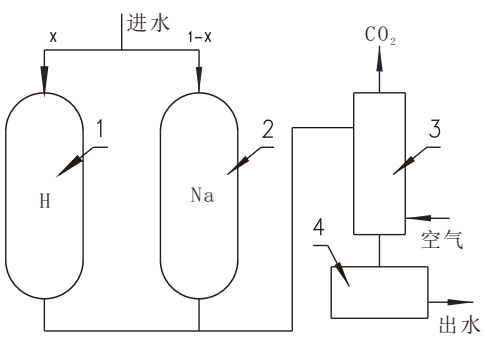
**（2）强酸性树脂的H-Na离子交换系统常见形式**

强酸性树脂的H-Na离子交换系统常见形式主要有并列系统和串联系统两种：

a）并联H-Na离子交换系统

系统的设置如图4-8所示，将进水分成两部分，分别送入$H^+$交换器和$Na^+$交换器，然后把两者的出水进行混合，中和产生的$CO_2$由除碳器除去。需说明的是：采用并联H-Na离子交换系统时，$H^+$交换器运行终点以控制出水$Na^+$为宜。如果以出水漏硬度为运行终点，虽然可以延长制水周期，但$H^+$交换器出水$Na^+$增大后，系统混合出水的碱度会逐渐增高，需增大$H^+$交换器出水配比；而当$H^+$交换器再生后又需及时减少配比，否则会导致混合出水碱度过低，有时甚至会成为酸性水，影响锅炉安全运行。也就是说$H^+$交换器运行终点若以出水硬度为运行终点，需经常调整两种交换器的制水配比，不易控制。

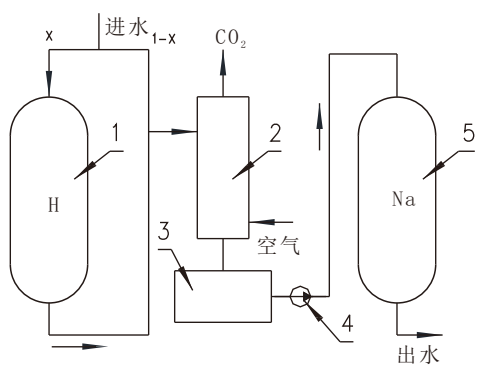
对于自动$H^+$交换器来说，以出水$Na^+$增大为运行终点，还有利于通过测定出水电导率来自动控制交换器的再生。在进水电导率基本稳定情况下，出水$Na^+$增大即意味着$H^+$降低，这时出水电导率测定值会随之明显降低，可指示交换器启动再生。




1、$H^+$交换器；　2、$Na^+$交换器

3、除碳器；　4、水箱

**图4-8 并列H-Na离子交换系统**




1、$H^+$交换器；　2、除碳器

3、水箱；　4、泵；　5、$Na^+$交换器

**图4-9 串联H-Na离子交换系统**

b）串联H-Na离子交换系统

系统的设置如图4-9所示，该系统也将进水分成两部分，一部分送入$H^+$交换器中，另一部分与$H^+$交换器的出水混合。这样，$H^+$交换器出水中的酸性物质和原水中的碳酸盐发生中和反应，产生的$CO_2$由除碳器除去，除碳后的水通过水箱再由泵打入$Na^+$交换器。在串联系统中，除碳器应安置在$Na^+$交换器之前，否则含$CO_2$的水通过$Na^+$交换器时，就会产生$NaHCO_3$，使软水碱度重新增加。

（3）并联和串联H-Na离子交换系统的比较

从设备来说，由于并联系统中只有一部分原水送入$Na^+$交换器，而在串联系统中，全部处理水最后都要通过$Na^+$交换器，所以在出力相同时，并联系统中Na离子交换器所需的容量较小，而串联系统的较大。因此，并联系统比较紧凑，投资较少。

从运行来看，串联系统的运行不必严格控制和调整处理水量的配比，因为串联时即使一时出现经$H^+$交换水和原水混合后呈酸性，由于还要经过$Na^+$交换（$H^+$都将被交换成$Na^+$），所以最终出水不会呈酸性，故串联系统较为安全可靠，且$H^+$交换器的交换能力可以得到充分利用。而并联系统中的$H^+$交换器若要运行到漏硬度时进行再生，就必须及时调整并严格控制两种交换器处理水量的配比，以保证混合后的软水保持一定的碱度。

（4）H-Na离子交换的处理水量配比

采用H-Na离子交换处理时，应根据原水水质来合理调整两种离子交换器处理水量的比例，以保证两个交换器出水混合后保留碱度为0.4 mmol/L～1.2mmol/L。

设X为$H^+$交换器处理水量占总水量的份额，则（1－X）为：并联系统中经$Na^+$交换器处理水量的份额；或串联系统中不经$H^+$交换器处理的那部分水量的份额。

由于H-Na离子交换处理后，混合软水中仍需保留一定的碱度，因此无论是采用并联还是串联系统，两种水混合后，都应满足式（4-10）要求：

$$（1－X）JD－XSD＝JD_C \tag{4-10}$$

整理该式，得：

$$X=\frac{JD-JD_C}{JD+SD}\times 100\% \tag{4-11}$$

式中：JD——原水的碱度，mmol/L($HCO_3^-$)；

$JD_C$——经过H-Na离子交换处理后水中应保留的碱度，mmol/L($HCO_3^-$)；

SD——$H^+$交换器出水酸度，mmol/L（$H^+$）；当以控制$Na^+$为交换器运行终点时，相当于原水中强酸阴离子的总含量；当以控制硬度为运行终点时，相当于原水中非碳酸盐硬度的量。

由此可见，$H^+$交换器和$Na^+$交换器的处理水量配比，因$H^+$交换器的控制终点不同而分为两种情况：

a）$H^+$交换器以控制$Na^+$增高为运行终点，其处理水量配比可直接按式（4-11）进行估算；

b）$H^+$交换器以控制漏硬度为运行终点，这时出水酸度相当于原水中非碳酸盐硬度的量，而原水的碱度相当于碳酸盐硬度，因此两者之和即为原水的总硬度（YD），所以此时式（4-11）可改为式（4-12）：

$$X=\frac{JD-JD_C}{YD}\times 100\% \tag{4-12}$$

举例4-5：某工业锅炉所用的原水水质为：硬度＝5.6mmol/L、碱度＝4.8mmol/L，采用H-Na并联系统处理，要求处理后的软化水保留碱度约1.0mmol/L，总处理水量为20m³/h。$H^+$交换器以控制$Na^+$为运行终点时，出水平均酸度为2.3mmol/L，求$H^+$交换器以控制$Na^+$ 为终点，或者两个交换器都以出水硬度为控制终点时，$H^+$交换器和$Na^+$交换器的处理水量配比分别为多少？

解：①$H^+$交换器以控制$Na^+$为终点时的水量配比：

$$X=\frac{JD-JD_C}{JD+SD}\times 100\%=\frac{4.8-1.0}{4.8+2.3}\times 100\%=53.5\%$$

即当以控制$Na^+$为终点时，两个交换器的处理水量分别为：

$H^+$交换器的处理水量＝53.5%×20=10.7m³/h；

$Na^+$交换器的处理水量＝20－10.7＝9.3m³/h。

②$H^+$交换器以控制硬度为终点时的处理水量配比：

$$X=\frac{JD-JD_C}{YD}100\%=\frac{4.8-1.0}{5.6}\times 100\%\approx 68\%$$

此即表明，当$H^+$交换器出水$Na^+$含量增高后，由于出水酸度降低，$H^+$交换器的处理水量应增至为：68%×20≈13.6m³/h；$Na^+$交换器的处理水量减少为：20－13.6＝6.4 m³/h。但$H^+$交换器再生后，处理水量又需调整回10.7 m³/h，所以不方便控制。

### 4.4.3 铵-钠离子交换法

#### 4.4.3.1 铵-钠离子交换软化降碱的原理

阳离子交换树脂用铵盐再生后，变成$NH_4^+$ 型（RNH4），进水经$NH_4^+$型离子交换器交换后，水中各种阳离子被交换成$NH_4^+$，其交换反应可用下式综合表示：

$$2RNH_4+\begin{matrix}Ca\\Mg\\2Na\end{matrix}\Bigg\}\begin{cases}(HCO_3)_2\\SO_4\\2Cl\end{cases}\rightarrow R_2\begin{cases}Ca\\Mg\\Na_2\end{cases}+\begin{cases}2NH_4HCO_3\\(NH_4)_2SO_4\\2NH_4Cl\end{cases}$$

铵型树脂　　进水　　失效树脂　　出水

反应生成的碳酸氢铵（$NH_4HCO_3$）在锅水中受热分解：

$$NH_4HCO_3\rightarrow NH_3\uparrow+CO_2\uparrow+H_2O$$

因此，$NH_4^+$交换除了有软化、降碱作用外，还有部分降盐作用，而且$NH_3$进入蒸汽系统可以中和$CO_2$，并在钢铁表面起到钝化作用。

反应生成的氯化铵（$NH_4Cl$）和硫酸铵[$(NH_4)_2SO_4$]在锅水中同样受热分解，并产生强酸：

$$NH_4Cl\rightarrow NH_3\uparrow+HCl$$

$$(NH_4)_2SO_4\rightarrow 2NH_3\uparrow+H_2SO_4$$

另一部分原水经$Na^+$交换器交换后，软水中生成的碳酸氢钠($NaHCO_3$)进入锅炉后，在锅水中也受热分解，并产生碱：

$$2\,NaHCO_3\rightarrow Na_2CO_3\uparrow+CO_2\uparrow+H_2O$$

$$Na_2CO_3+H_2O\rightarrow 2NaOH+CO_2\uparrow$$

由上述反应中产生的酸和碱在锅水中发生中和反应：

$$H^++OH^-\rightarrow H_2O$$

$$2H^{+}+CO_3^{-}\rightarrow H_2O+CO_2\uparrow$$

所以，$NH_4$－Na离子交换的原理和H－Na离子交换基本相同，其不同之处为：

（1）$NH_4$－Na离子交换的降碱、降盐效果，只有软化水进入锅炉受热后发生分解反应才表现出来。而不象H－Na离子交换系统，在进锅炉前已经降低碱度。

（2）经$NH_4^{+}$交换的水只有在受热后才呈现强酸性，而且不用酸再生，因此水处理设备和管道不需作严格的防酸处理。但$NH_4Cl$和$(NH_4)_2SO_4$在水中偏酸性，因此$NH_4^{+}$交换器及管道应采用耐酸腐蚀的材质。

（3）经$NH_4^{+}$交换的水在受热前并不分解出$CO_2$，因此$NH_4$－Na离子交换系统不需设置除碳器。

（4）$NH_4^{+}$交换出水受热后产生的氨气与蒸汽一起进入蒸汽系统，可以中和$CO_2$，对蒸汽管道有一定的防腐作用，但是对热力系统或换热设备中的铜部件易发生腐蚀。另外，如果蒸汽直接接触被加热物料，有可能影响产品质量。所以经$NH_4$－Na离子交换后的软化水在进入锅炉前，最好用热力除氧器除去氧、氨、二氧化碳等。

#### 4.4.3.2 铵－钠离子交换系统及注意点

（1）$NH_4$－Na离子交换系统一般采用并联方式，不宜采用串联系统或树脂混合方式。因为阳离子交换树脂对$NH_4^{+}$的选择性略强于$Na^{+}$，若采用串联运行，经$NH_4^{+}$交换的水再经过$Na^{+}$交换器时，水中的$NH_4^{+}$又会被$Na^{+}$所置换，从而使软水碱度重新增高；而采用混合式时，铵盐和钠盐再生剂同时对相同树脂进行再生，如果再生后$NH_4^{+}$树脂占比过多，有可能造成锅水碱度不足，甚至呈酸性，影响锅炉安全运行；如果$NH_4^{+}$树脂占比过少，则碱度偏高，不易控制且难以及时调整。

（2）$NH_4^{+}$交换器再生时，通常用5%～8%的$NH_4Cl$作再生剂。如果用$(NH_4)_2SO_4$作再生剂，则其浓度不宜超过3%，以免再生时产生$CaSO_4$沉淀，附着在树脂颗粒表面而降低其交换能力。$NH_4^{+}$交换器的再生剂用量也可参照式（4-4）进行估算，只是再生剂为$NH_4Cl$时，摩尔质量为53.5。

（3）$NH4^{+}$交换器和$Na^{+}$交换器都是以控制出水硬度为运行终点，其中$NH_4^{+}$交换器出水中的强酸阴离子铵盐（即受热后将呈强酸性的铵盐）含量相当于非碳酸盐硬度。因此，$NH_4^{+}$交换器处理水量占总处理水量的占比X也可按式（4-12）计算，$Na^{+}$交换器的处理水量占比则为1－X。由于强酸阴离子铵盐的强酸性在常温下不能充分体现，所以不能仅以两个交换器出水混合后的保留碱度来评估两者处理水量占比是否合适，而是应以监测实际锅水碱度来进行评估和调整，用式（4-12）计算$NH_4^{+}$交换器处理水量占比时，保留碱度$JD_C$一般宜取1.0 mmol/L～1.2mmol/L。

## 4.5 润新软化阀应用实例

润新软水阀适用于各类水质，目前已在全球得到广泛应用，其中部分典型应用案例介绍如下，以供参考。

### 4.5.1 锅炉补给水软化处理系统的应用

锅炉给水中若含有钙、镁等硬度物质，容易造成受热面结垢和垢下腐蚀，不仅显著影响传热，浪费燃料，而且易损坏受热面金属，影响锅炉设备安全运行。因此锅炉补给水都需要进行软化处理，其特点是需严格控制出水硬度，保证出水达到锅炉给水标准的要求，以防止锅炉结垢。

#### 4.5.1.1 并联供水的锅炉水处理系统

**（1）应用背景**

某跨国食品公司在南非设有一工厂，生产所需配置的锅炉要求给水硬度≤0.5mg/L（0.01mmol/L），供水量需达到120$m^3$/h。原水采用市政自来水，硬度平均值约60mg/L（1.2mmol/L），虽然原水硬度不高，但出水硬度控制要求严格，因此补给水需进行深度软化处理。由于蒸汽需用于食品生产，所以软水器中需填装食品级离子交换树脂，操作员每班检测一次出水硬度。

**（2）工程概况**

由于系统流量要求120$m^3$/h，单罐软水器很难达到这样的流量，为此设计采用了多套并联供水系统（如图4-10所示）：配置4套直径1.2m、高度1.8m的树脂罐，选用63640软水阀，罐内填装食品级树脂1000升，软化水处理系统的工艺流程为：自来水→软水器→生产用水。各罐控制阀采用互锁，实现同时供水分别再生，既能保证锅炉供水，又提高软水器的利用率。



图4-10 并联运行分别再生的软水处理系统

**（3）运行效果**

该系统设备自2017年投入使用，一直运行良好，完全满足锅炉用水需求，且能保证出水质量合格，出水硬度检测结果经常为0mg/L，客户非常满意。

#### 4.5.1.2 过滤-软化串联用水处理系统

（1）应用背景

某跨国公司在非洲某国新建饮料厂，配备的蒸汽锅炉要求给水硬度小于0.03mmol/L，供水量30m³/h。采用的原水为市政所供自来水，但供水质量不稳定，进水浊度比较大，进水硬度时高时低，最高时达到450mg/L（9mmol/L），超过了常规单级软水器进水硬度的最高上限（标准要求不大于6.5mmol/L）。为保证锅炉给水达到合格要求，防止锅炉结垢，避免因原水浊度过大而污染离子交换树脂并影响软化处理效果，设计的水处理系统采用了过滤-软化串联用系统，由操作员手动检测过滤器出水浊度和软水器出水硬度。

（2）工程概况

由于原水质量较差，不仅硬度较高，而且常含有悬浮物和颗粒泥砂等，因此设计的水处理工艺流程为：叠片过滤器 → 活性碳过滤器 → 软水器 → 储水箱，设备安装如图4-11。

水处理过滤系统第一级配备安装了叠片式过滤器，采用润新45040过滤器，目的是有效除去悬浮物和颗粒杂质，使出水浊度小于2NTU；第二级过滤器配置安装了直径2m、高度2.2m的金属罐，采用润新53540时间型控制阀；滤料为活性炭，填装高度1. 4m，主要目的是除去水中的余氯，降低有机物含量，同时进一步降低浊度，避免氧化和污染离子交换树脂，延长树脂使用寿命，并配置如图3-6所示的球阀，增加反洗流量。

由于该厂所在地原水硬度变化大，为了确保进水硬度高达9mmol/L时，软水器出水硬度仍能达到合格要求，采取适当加高树脂罐，增加树脂填装高度来解决。因此，软化系统配备了二台直径2m、高度2.2m的金属罐软水器，填装4000L钠离子交换树脂，控制系统采用润新63650软水阀。

水处理系统中的活性碳过滤器控制阀和软水器控制阀通过互锁来确保反洗和再生程序不同时发生。并且针对市政供水、供电不稳定的状况，采用时间型控制器来设置过滤器的反洗，软水器根据供水状况设置为延时再生。



图4-11 过滤-软化串联用水处理系统

（3）运行效果

该水处理系统自2015年11月完成安装并运行以来，可靠性和稳定性得到合格验证，运行五年来，客户方没有报告过设备出现故障或者出水硬度超标的情况。

#### 4.5.1.3 浮动床应用于热网换热站软化水处理

**（1）应用背景**

换热站是把锅炉供热一次热网得到的热量，连续地转换为向用户供热及采暖用水的二次热网交换站。即热水（或蒸汽）从机组的一次热网侧入口进入板式换热器进行热交换后，从机口一次网侧出口流出；二次热网侧回水经过滤器除去垢渣后，通过二次侧循环水泵进入板式换热器进行热交换，生产出与采暖、空调或生活用水等不同温度的热水，以满足用户的需求。所有热网所供热水及采暖用水，都需要软化处理。

中国北方某城市集中供热换热站，原水为市政所供自来水，平均硬度8.5mmol/L，浊度不大于5NTU，要求软化水处理系统出水流量不低于19$m^3$/h、出水硬度小于0.03 mmol/L，而且要求采用中央集中控制、出水硬度自动检测，盐水罐自动监控盐水浓度，缺盐时自动报警。

**（2）工程概况**

该换热站由于所用原水平均硬度高达8.5 mmol/L，超过普通固定床单级软水器进水硬度的最高上限要求（标准为不大于6.5mmol/L），而且换热站对软水水质要求较高，普通单级固定床软水器很难满足要求，二级钠离子交换软化处理则设备成本高。为此设计采用增高树脂层的浮动床软水处理系统。

该换热站原水浊度虽然低于5NTU，能够满足普通固定床的进水要求，但浮动床由于罐内几乎装满树脂，没有反洗空间清洗树脂，若进水浊度偏高易污染树脂，从而显著影响浮动床的运行出力和出水质量，因此要求浮动床进水浊度不高于2NTU，为此在软水器系统前设置精密过滤器，以满足浮动床进水浊度要求。

该软水系统配置了2套直径为ϕ700×2300mm的浮动床树脂罐，罐内填装钠离子交换树脂至离上布水器10cm高，单罐出水流量20$m^3$/h。选用润新93620浮动床自动控制阀；配套一个润新42020电动三通阀，实现一用一备。同时为了保证制水运行过程中，上浮的树脂不会乱层，浮动床进水采用变频加压泵供水，保持进水压力恒定，以确保出水硬度小于0.03 mmol/L。另外，为了提高再生效果及出水硬度快速合格，采用软化水进行再生时的吸盐、慢洗和向上顺洗。例如当1#罐检测出水不合格或者制水量达到设定值时，通过42020电动三通阀切换，2#罐运行制水，1#罐启动再生，93620软水阀控制电动阀打开，自动开启再生泵，抽取软化水进行1#罐再生；1#罐再生结束后电动阀关闭，再生泵自动停止，1#罐处于备用状态。

该软水系统总出口配置润新44310出水硬度在线监测器，自动测定出水硬度，当出水硬度超标（超过0.03mmol/L时）时，发出信号到PLC控制柜，PLC控制柜发出指令给93620控制阀的远程控制端口，自动启动再生。在盐水罐中安装密度在线检测器，实时监测盐水密度，当发现盐水密度低于1.2g/$cm^3$时（说明盐水未达到饱和），发出信号至PLC控制柜并启动自动溶盐系统。

在系统总出水口加装电动阀门并与软水箱中设置的水箱液位控制器连接，当软水箱液位达到高液位时，总出水口的电动阀门自动关闭；当软水箱处于低液位时，出水口的电动阀门自动打开补水。

通过中控系统设置，自动控制无负压变频供水系统、过滤器系统、浮动床离子交换系统、出水硬度在线监测系统、盐液密度在线监测系统、水箱液位控制器以及再生泵的启动和停止等。其中软水处理系统主要是利用93620控制阀内部干触点信号，控制42020电动三通阀自动转换、控制再生泵的启动和停止，并将信号传输给PLC控制柜，对外输出两个控制阀的运行、再生远程信号。利用44310在线监测器的内部干触点信号，在测得出水硬度不合格时，自动发出信号传输给PLC，并对外输出远程报警信号，同时将启动信号传输给93620控制阀，强制启动失效罐的再生，并引发42020电动阀的转换，启动备用罐的运行。

换热站的整体水处理系统配置及自动控制器连接见图4-12，其中浮动床软水处理系统装置见图4-13。

（3）运行效果

该水处理系统自2018年10月完成安装并投入使用以来，一直运行状况良好，出水质量合格。相比之下，普通固定床软水处理系统软化高硬度原水需采用二级软化，产水流量20m3/h的软水器，需要配置4个树脂罐（2套×2个罐串联二级软化，一用一备）或3个树脂罐（轮流2个罐串联，1个罐再生）。而浮动床只需配置2个罐，投资少，产水周期长，节约再生水耗20%，即减少废水排放20%，并降低了盐耗、水耗；系统采用自动监测、自动运行和再生，在确保出水水质的同时，节省了人工操作和检测，降低了运行的人力成本。

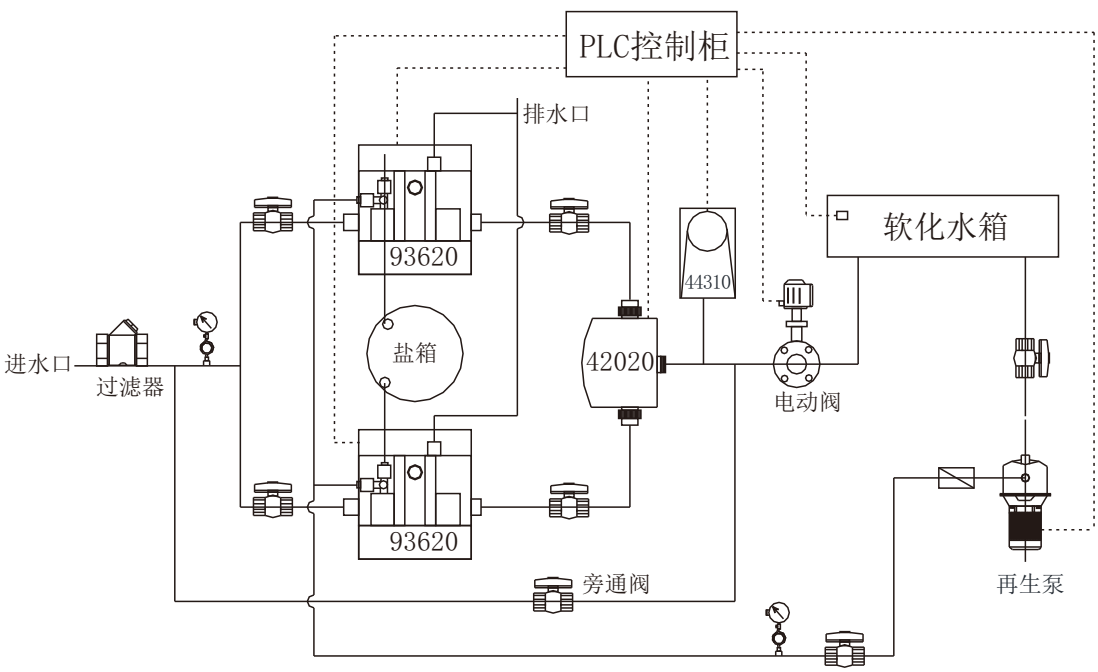



图4-12 换热站水处理系统配置及自动控制器连接示意图



图4-13 浮动床自动控制软水处理系统

### 4.5.2 润新阀在氢-钠离子交换软化降碱处理系统中的应用

#### 4.5.2.1 氢-钠离子交换软化降碱处理的必要性

高硬度、高碱度原水用于锅炉时，单纯的软化处理，虽然除去了硬度，却保留了过高的碱度，进入锅炉后，随着锅炉运行的蒸发浓缩，锅水碱度将急剧增高，不仅将增大锅炉排污，浪费燃料，降低锅炉热效率，并增加锅炉补给水量，而且将显著影响蒸汽质量，严重的甚至发生汽水共腾事故和锅炉金属的碱腐蚀。因此，高硬度、高碱度原水需要进行软化降碱处理，以达到除去硬度，降低碱度至适当值的目的。

#### 4.5.2.2 氢-钠离子交换软化降碱处理典型案例

（1）应用背景

中国东北某化工企业配备2台额定工作压力为1.6MPa、蒸发量为35$m^3$/h的蒸汽锅炉，其中一台锅炉24小时连续运行，另一台锅炉以备用为主，生产量大时需两台同时运行。采用地下水作为原水，其水质检测结果：平均硬度为6.2mmol/L、平均碱度为5.9mmol/L；属于高硬度、高碱度水，需要进行软化降碱处理。考虑各种因素，决定采用氢-钠离子交换系统进行软化降碱处理。为防止锅炉结垢、提高蒸汽质量、降低锅炉排污率，要求系统出水硬度＜0.03mmol/L、碱度≤0.9mmol/L，确保锅炉排污率不超过5%（锅水浓缩不低于20倍）的情况下，锅水碱度符合GB/T1576《工业锅炉水质》标准的要求（即锅水浓缩20倍后，碱度≤24.0 mmol/L）。

（2）工程概况

考虑到锅炉原水所采用的地下水不仅硬度和碱度较高，而且可能含有泥砂等杂质，因此采用叠片式过滤器去除泥砂，以确保离子交换器进水浊度小于5NTU。

对于氢离子交换树脂的选择，相比于强酸性$H^+$离子交换树脂，弱酸性$H^+$离子交换树脂具有：交换容量大、出水不产生强酸、系统出水质量易控制、再生酸耗低、废酸浓度低、废液处理成本低等优点。以下将两种树脂通过树脂填装量、再生用酸量的计算结果进行比较：

**a) 树脂填装量计算：**

为了使$H^+$交换器与$Na^+$交换器基本同步失效、同时再生，$H^+$交换树脂与$Na^+$交换树脂的比例需根据原水的碳酸盐硬度（即原水碱度）和非碳酸盐硬度（即原水总硬度与碱度之差值）的比例以及保留的碱度来确定。已测得原水总硬度6.2mmol/L、碱度5.9mmol/L，则原水中碳酸盐硬度=碱度=5.9mmol/L，非碳酸盐硬度=总硬度-碱度=6.2－5.9=0.3mmol/L，要求软化降碱处理后系统出水碱度≤0.9 mmol/L，因此$H^+$交换需除去的碳酸盐硬度为5.9－0.9=5mmol/L，$Na^+$交换需除去的硬度为6.2－5=1.2mmol/L。查得弱酸性阳离子交换树脂的工作交换容量为1800～2000mol/$m^3$，强酸性阳离子交换树脂的工作交换容量为800～1200mol/$m^3$；锅炉蒸发量为35$m^3$/h，考虑到锅炉排污等损耗，锅炉补给水处理量按38$m^3$/h计，24小时连续运行，以每天再生一次，计算弱酸性$H^+$交换树脂填装量$V_{弱H}$、强酸性$H^+$交换树脂填装量$V_{强H}$、$Na^+$交换树脂填装量$V_{Na}$如下：

$$V_{弱H}=\frac{Q\times YD\times k}{E}=\frac{38\times24\times5\times1.05}{1800}\approx2.8m^3$$

$$V_{强H}=\frac{Q\times YD\times k}{E}=\frac{38\times24\times5\times1.5}{1000}\approx6.8m^3$$

$$V_{na}=\frac{Q\times YD\times k}{E}=\frac{38\times24\times1.2\times1.45}{1000}\approx1.6m^3$$

式中：

Q——交换器周期制水量，按24小时再生一次计，单位为$m^3$；

YD—— 需除去的硬度，单位为mmol/L；

k ——保证出水硬度合格的安全系数，一般弱酸性$H^+$交换树脂取1～1.2，强酸性阳离子交换树脂（包括$H^+$交换和$Na^+$交换），取1.2～1.8；

E——树脂的工作交换容量，单位为mol/$m^3$。

从计算结果可知：由于弱酸性$H^+$交换树脂的工作交换容量远大于强酸性$H^+$交换树脂，因此仅需填装2.8$m^3$弱酸性$H^+$交换树脂，如果采用强酸性$H^+$交换树脂则需6.8$m^3$。

**b) $H^+$交换树脂一次再生用酸量计算：**

根据上述计算的树脂填装量，对于顺流再生软水器，弱酸性$H^+$交换树脂和强酸性$H^+$交换树脂再生时，一次再生用酸量分别计算如下：

$$m_{Z弱酸}=\frac{V_R\times E\times k\times M}{1000\varepsilon}=\frac{2.8\times1800\times1\times36.5}{1000\times30\%}\approx613kg$$

$$m_{Z强酸}=\frac{V_R\times E\times k\times M}{1000\varepsilon}=\frac{6.8\times1000\times2\times36.5}{1000\times30\%}\approx1655\ kg$$

式中：

$m_z$——再生一次所需的浓酸量，kg；

$V_R$——树脂罐内填装的树脂体积，$m^3$；

E ——树脂的工作交换容量，一般强酸性$H^+$交换树脂按1000mol/$m^3$计算，弱酸性$H^+$交换树脂按1800mol/$m^3$计算；

k ——再生剂比耗，对于强酸性$H^+$交换树脂一般逆流再生时取1.2～1.8；顺流再生时取2～3.5；弱酸型$H^+$交换树脂一般只需取1.0～1.1；

M——再生剂的摩尔质量，用酸再生时，HCl为36.5；

ε ——再生剂的纯度，一般工业用浓盐酸（HCl）30%～33%。

从计算结果可知：虽然弱酸性阳离子交换树脂比强酸性阳离子交换树脂价格高，但树脂填装量和再生用酸量要少得多；而且再生酸液浓度，一般弱酸性树脂再生仅需1.5%～2%HCl，强酸性树脂再生需3%～4%HCl。因此，选用弱酸性阳离子交换树脂，总体投资成本和再生成本以及废液处理成本低得多，且环保压力少。

通过分析比较，本系统采用弱酸性$H^+$交换树脂除去碳酸盐硬度，并通过除二氧化炭器（简称除碳器）除去碳酸盐硬度经$H^+$交换后产生的$CO_2$，以达到降碱目的；然后再进入填装有强酸性阳离子交换树脂的$Na^+$交换器，进一步除去非碳酸盐硬度和剩余的碳酸盐硬度。其水处理工艺流程为：原水→原水泵→叠片式过滤器→弱酸性$H^+$交换器→除碳器→除碳水箱→中间水泵→$Na^+$交换器→软水箱→锅炉补给水泵→进锅炉；弱酸性$H^+$交换器再生时的废酸液排入化工厂污水池统一处理。

**（3）系统配置**

根据上述计算结果，考虑到交换器反洗所需膨胀高度和树脂罐产品的规格尺寸，设计配置氢-钠离子交换软化降碱水处理系统为：$H^+$交换树脂罐采用两台直径为1.5m、高度2.4m，罐内填装2.8$m^3$弱酸性$H^+$交换树脂；$Na^+$交换树脂罐采用两台直径为1.2m、高度2.2m，罐内填装1.6$m^3$$Na^+$交换树脂；配套用于$H^+$交换器再生的盐酸罐和$Na^+$交换器再生的盐水罐各一台，罐体直径为1.5m、高度1.2m；选用耐酸腐蚀的润新63640流量型控制阀，组成二套双阀双罐的$H^+$交换系统和双阀双罐的$Na^+$交换系统，可实现一用一备或2套并联运行（分别再生），产水量达到38$m^3$/h～76$m^3$/h。

由于H-Na离子交换系统最终出水都经过钠离子交换处理，所以弱酸性$H^+$交换器运行终点的控制不需太严格，只要出水中硬度降低量与进水碱度基本相当即可，系统的出水质量主要以控制$Na^+$交换器出水硬度为运行终点。为此在钠离子交换器出口安装润新44310在线硬度监测仪，实时检测出水硬度，当出水硬度高于0.03 mmol/L时，仪器报警并发出信号，使系统实现无人职守（定期人工复测）的自动控制管理。

两套弱酸性$H^+$交换器和$Na^+$交换器均采用润新阀特有的互锁线互锁，使氢-钠离子交换系统至少有一套处于运行状态，确保氢-钠离子交换系统始终有合格的出水来满足锅炉给水需求。另外，为了降低设备的能耗，确保系统的供水压力，原水泵、除炭水泵采用

变频控制。

该系统的设备安装见图4-14、图4-15：



图4-14 软化降碱氢-钠离子交换系统



图4-15 氢-钠软化降碱的除炭器及除炭水箱

（4）运行效果

该氢-钠离子交换软化降碱水处理系统投入运行近一年来，系统运行和再生及监测均可实现自动控制，通过每周对出水水质进行抽样复测验证，系统出水硬度和碱度均符合要求，锅炉给水和锅水水质达到国家标准要求，锅炉排污率和锅炉热效率达到节能减排要求，蒸汽质量得到保证，用户反映良好。

### 4.5.3 需严格控制硬度的生产用水软化处理系统

有不少企业的多种产品在生产中需要使用大量软化水，而且对供水的硬度有严格要求，否则会明显影响产品质量，因此需要配备可靠的软水处理系统，典型案例介绍如下。

#### 4.5.3.1 酿酒企业生产用水的软化处理

（1）应用背景

水是酒厂缺一不可的原材料，且酒的质量在很大程度上往往取决于水的品质。对酒厂的生产用水来说，浊度和硬度是优质酒生产工艺必须达到的品管要求。

中国某大型酿酒厂，采用地下水作为水源，原水平均浊度10NTU、平均硬度8 mmol/L；作为酿酒生产用水，要求浊度小于2NTU、硬度小于0.03mmol/L；生产用水量要求200$m^3$/h。

（2）工程概况及设备配置

由于原水浊度较高，在软化之前，需要降低浊度，采用多介质过滤器来降低浊度，确保原水浊度由大于10NTU降至低至小于2NTU，然后再进行钠离子交换软化处理。

供水处理系统要求流量达到200$m^3$/h，单台过滤器和软水器都很难达到这样的流量，为此设计采用8台过滤器和8台软水器组成8套并联供水系统，通过互锁装置，实现连续运行供水、分别再生，产水量可达到200～250$m^3$/h。

多介质过滤由三种滤料组成，以便实现滤料布置上细下粗，提高过滤效果和出水质量。每台过滤器内填装滤料：下层为粒径2-3mm瓷砂（约占滤料总量5%）；中间层为粒径1-2mm生物陶粒（约占滤料总量35%）；上层为粒径0.5-1mm生物陶粒（约占滤料总量60%）。过滤罐直径1.5m、高度2.4m，滤料总高度约1.5m，采用润新53540自动控制过滤阀。

由于原水硬度较高，采用加高树脂罐、增加树脂填装量的方式来确保出水硬度合格。每台软水器的树脂罐直径为1.5m、高度2.4m，罐内填装2200L的钠离子交换树脂，采用润新63640自动控制软水阀，配套直径为1.5m、高度1.5m的盐液罐。每台软水器与一台过滤器串联组成一套制水系统，共设八套并联制水系统，通过互锁装置，自动控制轮流进行一套过滤器反洗和软水器再生，若一套系统尚未完成反洗和再生，另一套也失效时将会等待，其余出水合格的系统并联运行供水。

因再生比较频繁，考虑到多套系统盐水箱加盐不方便的问题，专门设置了一个大容量溶盐池，将整车盐卸入溶盐池，通过再生泵定量输送饱和或过饱和盐液到每台软水器配置的盐水箱，并确保盐水的浓度及均匀性，实现加盐自动化，节省了劳动力。另外，配置一个100m$^3$的软水池，以便设备故障时也能确保临时应急供水。

该水处理供水系统工艺流程为：原水→原水泵供水→多介质过滤器→软水器→软水池→生产用水，系统的设备装置如图4-16。



图4-16 八组过滤-软化并联水处理系统

（3）运行效果

经多介质过滤器处理后，将原水浊度由10NTU降低至小于2NTU；当过滤器达到设定的运行时间或过滤器进水与出水压降大于0.05MPa时，通过程序自动启动反冲洗；原水硬度为8mmol/L，软化处理后不大于0.03mmol/L。设备自2010年投入使用，一直运行良好。

4.5.3.2 炭黑生产用水的软化水处理系统

（1）应用背景

炭黑的生产，需要用到大量的软化水。中国山东某炭黑生产企业，其生产用水要求硬度≤0.03mmoI/L；所用原水为地下深井水，硬度为5mmol/L，用户自备500m$^3$半地下储备水池，要求软水处理流量为60～80m$^3$/h。

（2）工程概况及设备配置

由于进水硬度较高，且流量要求60～80m³/h，设计时采用多套并联供水的方式。采用3套φ1200×2400mm的树脂罐，每只罐体内填装001×7的树脂1500L，选配润新63640自动控制软水阀，通过互锁装置，采用三罐并联，同时供水分别再生的方式。

为操作方便并节省用盐，采用集中溶盐供液（23-26%洁净饱和再生盐水，由专用供液槽车定时供应加注，盐液储备箱设置有液位自动提醒频闪报警灯，可远距离监控）的方式，设置一个10m³的PE材质盐液储备箱（加高安装）向三台软水器的盐水箱自流提供饱和盐水；设置三个盐液计量箱（盐箱），每个盐液计量箱设置一台润新Q931015C-25电动球阀作为自动补液电动球阀，当对应软水控制阀再生完毕时，通过信号控制柜利用63640控制阀内部干触点信号，自动打开该控制阀对应的盐液计量箱的补液电动球阀补液，盐水达到设定液位时，补液电动球阀自动关闭，这样可以确保盐水浓度及再生耗盐的体积；把每一台63640软水控制阀的盐箱补水时间设置为0，即去除其补水程序；

该系统采用的工艺流程为：原水储备池→原水泵（一用一备，恒压变频控制）→软水器并联系统（三罐并联，同时产水、分别再生）→电动阀门→软水箱；软化水处理系统主要由交换罐（三台）、控制阀（三台）、盐水计量箱（三台）、储盐箱（三台合用）、管路管件等组成。设备实际安装见图4-17。



图4-17 软化水处理系统安装图

（3）运行效果

利用互锁和63640自动控制阀内部干触点信号，实现三台软水器的再生互锁功能（三台同时运行、分别再生）。当三台软水器都在运行状态时，流量可达100m³/h以上，当其中一台再生时，另二台流量约70m³/h，出水硬度符合要求，可以满足生产供水需要，设备自2015年投入使用，一直运行良好。

### 4.5.4 对出水硬度控制要求不严的各类用途软化水处理系统应用

原水硬度过高，对有些生产和生活用水会产生显著影响，因此也需要进行软化水处理，但不需严格控制硬度，只需将出水硬度降低至一定值即可。GB/T18300《自动控制钠离子交换器技术条件》规定自动软水器的运行流速为20m/h～30m/h，是因为流速过高易因离子交换不完全而造成出水硬度不合格，主要是针对锅炉用水和其他需严格控制硬度的软化水处理的要求。对于出水硬度控制要求不严格的软化水处理，可考虑适当提高运行流速，在出水硬度符合要求的前提下，配置相对较小的树脂罐，降低设备购置成本。以下介绍一些生产或生活用水软化水处理的应用案例，以供参考。

#### 4.5.4.1 机场跑道清洗中的应用

**（1）应用背景**

机场跑道一旦有油脂类的污浊物，可能会导致飞机机轮滑翔时的意外失控，超出飞机舱内的仪表设置范围。因此机场跑道在监测仪搜索到超标数据时，应及时进行压力喷洗，而且清洗用水需要加药，而硬水会降低药效和增大药物的使用量，且高硬度的水易产生沉积物会堵塞喷洗机的管路和出水喷头，因此清洗跑道时需要用软水进行喷洗。另外，冬季的积雪往往会造成结冰，而结冰中掺杂着油类是造成冲洗的最大障碍。所以，机场跑道清洗一般都是采用温度超过60℃的软水进行冲洗，以保持清洁畅通。

中国北方某机场大型跑道清洗软水处理系统，原水为平均硬度6.8mmol/L的地下水，采用无塔变频供水，要求软化处理后出水硬水小于0.6 mmol/L，供水流量为100$m^3$/h。

**（2）工程概况及设备配置**

考虑到机场跑道清洗时，需要快速清洗干净，用水量较大，且清洗时间不固定，因此设计软化水处理系统采用四台软水器，选用润新63640自动控制软水阀，组成多阀多罐软水处理系统，并装设互锁系统，实现同时供水分别再生。每台软水器配套树脂罐的直径为1.5m、高度2.4m，罐内填装001×7钠型离子交换树脂2.5$m^3$；配套再生用盐水箱直径为1.5m、高度1.5m。系统产水量为70$m^3$/h～100$m^3$/h。

水处理工艺流程为：原水→无塔变频供水→软水处理系统→板式玻璃钢水箱→喷射器清洗用水。设备装置如图4-19。



图4-19 四台互锁软水器并联系统

**（3）运行效果**

系统出水硬度小于0.6mmol/L，满足机场跑道清洗要求。设备自2012年投入使用，一直运行良好。

#### 4.5.4.2 婴儿游泳馆供水

（1）应用背景

婴儿在温水里游泳可以促进血液循环、增加肺活量、提高免疫力等。目前各个城市设立了很多婴儿游泳馆、婴儿水疗馆，专为0～12个月的婴儿提供游泳、洗澡、抚触的场所。由于婴儿皮肤比较敏感，所以水质需要软化处理。

某城市一家婴儿游泳馆，用水由市政供水，原水硬度6mmol/L，要求软化处理后出水硬度小于0.6 mmol/L，制水流量需15$m^3$/h以上。

（2）工程概况及设备配置

软化水处理系统采用两台软水器，每台配套树脂罐直径为0.9m、高度2m，罐内填装001×7钠离子交换树脂750L，配套直径为0.9m、高度1.2m盐水罐，选配润新63618自动控制软水阀，组成双阀双罐系统，通过互锁实现同时供水、分别再生，产水量为15～30$m^3$/h。考虑瞬间使用水量大，配置食品级材质的304不锈钢软水箱，以满足营业期间不间断用水。软水处理系统及设备见图4-20。

软水处理工艺流程为：原水→加压泵→软水器→304不锈钢软水箱→泳池输送管道。

（3）运行效果

该设备自2017年投入使用，系统出水能够满足婴儿游泳用水硬度小于0.6mmol/L的要求，运行状况一直良好。



图4-20 婴儿游泳馆软水处理装置

#### 4.5.4.3 洗涤业用水软化水处理系统

（1）应用背景

酒店宾馆用的大量床单、被罩、毛巾、桌布、衣物等经常需要清洗，如果采用硬度很高的硬水清洗，钙镁等硬度离子易与洗涤剂发生反应，不仅降低清洗效果，增加洗涤剂用量，而且形成的沉淀物易渗进面料的纤维里，使得清洗后面料手感粗硬，而且容易被氧化，形成黄色的“污迹”。如果采用低硬度软水清洗，即便使用普通洗衣粉，也可以保证衣物柔软、颜色纯正。因此，洗涤企业清洗酒店宾馆及其他客户的各类衣物均需要采用软水。

山东某洗涤公司，专业为酒店宾馆等客户提供各类衣被等洗涤服务。原水采用自备井水，有些混浊并含有少量大颗粒泥砂，平均硬度16mmol/L。要求过滤、软化处理供洗涤用水的流量达到4m³/h以上，出水硬度＜1mmol/L。

**（2）工程概况及设备配置**

由于所采用井水中含有少量泥砂，若不除去，易污染树脂，并导致布水器堵塞，且有可能损坏控制阀的密封面，因此需要采用过滤器来除去泥砂、降低浊度。设计采用石英砂＋无烟煤双介质过滤＋精度5微米的5芯40寸滤芯组成的精密过滤器，产水量达到7.5m³/h。

由于原水硬度高达16mmol/L，普通单罐固定床很难达到软化处理出水硬度的控制要求。为此，设计采用浮动床软水器，通过增高树脂层高度来提高软化效果和产水流量。因此，配套两个浮动床树脂罐（直径0.5m，高度1.8m），由于进水经精密过滤，再生时不需反洗，因此树脂填装至离上布水器8cm，选用润新17606一阀双罐的浮动床自动控制阀，一用一备，出水流量4m³/h～6m³/h。

供水系统工艺流程为：原水→原水泵供水→双介质过滤和精密滤芯过滤器→浮动床软水器→软水池→生产用水。

设备安装见图4-21。



**图4-21 一用一备自动控制浮动床软水器**

**（3）运行效果**

原水经双介质过滤和精密过滤器过滤后，去除了泥砂等杂质，确保浊度降低至小于2NTU再进入浮动床软水系统，大大降低了对树脂的污染，因此不进行反冲洗也能保证浮动床正常运行。采用加高的树脂罐，且树脂填装至离上布水器仅8cm，使整个树脂层高度大大增加，虽然原水平均硬度高达16mmol/L，也能保持出水硬度符合使用要求。设备自2017年安装使用以来，运行状况良好。

#### 4.5.4.4 海产品加工生产用水软化处理

**（1）应用背景**

海产品生产加工用水对水质硬度也有一定的要求，水的硬度太高或过低都会影响产品质量和口味。大连某水产公司的海产品生产加工用水，要求水的硬度控制在2.8mmol/L左右。原水采用当地的地下水，平均硬度为8.9mmol/L，浊度小于5NTU。生产要求供水量不低于6$m^3$/h。

**（2）工程概况及设备配置**

由于生产用水要求控制硬度为2.8mmol/L，虽然进水硬度高达8.9mmol/L，但软水器再生后投入运行时，出水硬度通常先是较低，临近失效时变大，难以控制在2.8mmol/L。因此采用部分软化法处理，即配置一台软水器，一部分水经软化，将硬度降低至一定值，然后与原水按一定比例进行混合，确保供生产的用水硬度保持在（2.8±0.2）mmol/L。

配置软水器的树脂罐直径0.6m、高度1.9m，罐内填装350L树脂，采用63610自动控制软水阀。经过系统调试，软水器出水流量5$m^3$/h，出水硬度0.1mmol/L～0.3mmol/L，与硬度为8.9mmol/L的原水2.2$m^3$/h混合，可使供水硬度保持在（2.8±0.2）mmol/L。

该水处理系统采用的工艺流程为：原水→原水泵（变频控制）→软水器→软水箱（按比例加入原水混合）→供生产用水。向软水箱加原水的管道系统配置带流量控制的润新电动球阀，自动控制原水混合与软水器运行同步进行，并在软水器再生期间，自动停止往软水箱中加原水。

**（3）运行效果**

软水处理系统自2014年投入使用，一直运行良好，并满足生产工艺用水要求。

# 第五章 润新阀在除盐水处理中的应用

除盐水处理的目的是除去水中各类盐类杂质，以制取纯水或超纯水。除盐水处理广泛应用于中压及中压以上的锅炉补给水处理、电子工业、医药行业、纯净水行业、化妆品生产及美容行业、各行业实验室制取检测试验用水等。

目前除盐水处理的方法主要有离子交换一级除盐处理（纯水制取）、一级除盐+混床处理（超纯水制取）、反渗透（RO）+混床处理、反渗透+电除盐（EDI）全膜处理等。其中离子交换除盐处理，是用阳、阴离子交换树脂通过离子交换反应，除去盐类物质，属于化学除盐；反渗透和电除盐膜处理以物理除盐为主，是近年来发展较快的除盐处理方法。

## 5.1 水的离子交换除盐处理

离子交换除盐过程就是用$H^+$型阳离子交换树脂将水中各种阳离子都交换成$H^+$，用$OH^-$型阴离子交换树脂将水中各种阴离子都交换成$OH^-$，然后$H^+$ 与$OH^-$ 结合成$H_2O$。经这样交换处理后，水中的各种盐类几乎都可被除尽，所以称为水的离子交换除盐处理或化学除盐处理。

### 5.1.1 离子交换除盐原理

当水通过阳离子交换器（以下简称阳床）中的$H^+$交换树脂时，水中的各种阳离子被树脂中的$H^+$交换后留在树脂上，而$H^+$则到了水中，如以R表示树脂，其离子交换反应可用下式综合表示：

$$2RH+\begin{matrix}Ca\\Mg\\Na_2\end{matrix}\Bigg\}\begin{matrix}Cl_2\\SO_4\\(HCO_3)_2\\(HSiO_3)_2\end{matrix}\rightarrow R_2\begin{matrix}Ca\\Mg\\Na_2\end{matrix}\Bigg\}+\begin{matrix}2HCl\\H_2SO_4\\2H_2CO_3\\2H_2SiO_3\end{matrix}$$

H型树脂　　阳床进水　　失效树脂　　阳床出水

由上述反应可知，阳床出水中含有和进水中阴离子相应的$H_2SO_4$和HCl等强酸，以及$H_2CO_3$和$H_2SiO_3$等弱酸，因此呈酸性。其中$H_2CO_3$在酸性水中成为$CO_2$，经除碳器除去，然后再进入阴离子交换器（以下简称阴床），这时水中各种阴离子被$OH^-$树脂交换吸着，树脂上的$OH^-$则被置换到水中，并与水中的$H^+$ 结合成$H_2O$，其交换反应可用下式综合表示：

$$2ROH+\begin{matrix}2HCl\\H_2SO_4\\2H_2CO_3\\2H_2SiO_3\end{matrix}\Bigg\}\rightarrow R_2\begin{matrix}Cl_2\\SO_4\\(HCO_3)_2\\(HSiO_3)_2\end{matrix}\Bigg\}+2H_2O$$

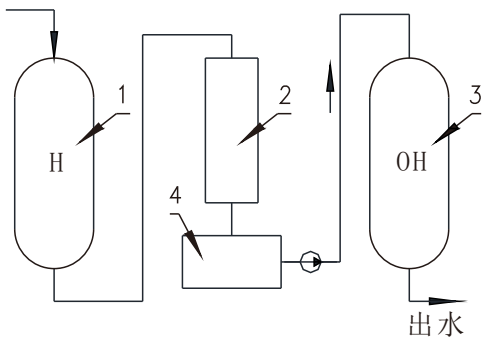
OH型树脂　　阴床进水　　失效树脂　　阴床出水

通过一级除盐处理后的除盐水，各种阴阳离子被基本除去，水中仅残留微量的钠离子和二氧化硅（通常控制在100μg/L以下），出水电导率可达到5μS/cm以下，可满足高压以下热电厂锅炉补给水的需要，以及一般行业对纯水的要求。对于高压及其以上的高参数锅炉或者电子行业，需要制取超纯水（电导率≤0.2μS/cm；$SiO_2$≤20μg/L），则需要在一级除盐处理后加装混床处理，进一步除去水中残留的阴阳离子。

### 5.1.2 常见离子交换除盐系统

#### 5.1.2.1 一级复床除盐系统

离子交换除盐处理系统中，最简单的是一级复床除盐系统，如图5-1所示，其中将H型和OH型交换树脂分别装在两个交换器中的形式称为复床。习惯上将装有H型树脂的交换器称为阳床；将装有OH型树脂的交换器称为阴床；将H型树脂和OH型树脂混装在一起的交换器称为混床。




1-强酸性H型交换器； 2-除碳器；3-强碱性OH型交换器； 4-中间水箱

图5-1 一级复床除盐系统

在离子交换除盐系统中，一般都是阳床在前，阴床在后，这个顺序通常不可以颠倒，其原因主要有以下几点：

（1）如果阴床在前，水中钙、镁、铁等盐类物质经OH型阴树脂交换后，在运行中就会析出$Mg(OH)_2$、$Ca(OH)_2$、$Fe(OH)_3$等沉淀物，并附着在树脂表面，阻塞和污染树脂，以致交换反应不能正常进行。

（2）阳床在阴床前，经阳离子交换后的酸性水进入阴床后，$H^+$能立即与$OH^-$中和，有利于阴树脂碱性基团的解离，可提高阴树脂的交换容量，对阴离子交换反应十分有利。

（3）除硅是除盐处理的难点之一，如果水中的$Na^+$不除去，除硅就会更加困难，并会加快阴床的失效。

（4）阳树脂的化学稳定性和抗污染能力比阴树脂要好一些，而且价格比阴树脂便宜得多，阳床在阴床前可起到保护阴树脂的作用。

在一级复床除盐系统中，阳床中填装的是强酸性阳离子交换树脂；阴床中填装的是强碱性阴离子交换树脂。对于含盐量较高的原水除盐处理，也可以利用弱型树脂具有交换容量大、且容易再生的优点，在强型交换器前设置弱型交换器。但由于弱阳树脂交换

钠离子能力弱，弱阴树脂交换碳酸根能力弱，并且几乎不能除硅，因此要除去水中的钠离子和二氧化硅，需在弱型床后设置强型床。

通常阳离子交换树脂失效后用盐酸再生，阴离子交换树脂失效后用氢氧化钠再生，为了方便再生废液的中和处理，宜将阴阳离子交换器及其树脂填装设计为同步失效，同时再生。由于阴离子交换树脂的交换容量通常比阳离子交换树脂小得多（见表5-1），所以阴床的配置通常应比阳床大，或者将阴离子交换设置成弱阴床和强阴床联合处理。

另外，离子交换树脂往往会由于水中含氧化性物质（如游离余氯）和重金属离子（如$Fe^{3+}$）等影响而引起变质和污染。实践证明，当进水中含有0.5mg/L游离余氯（$Cl_2$）时，仅运行4～6个月，树脂就会显著变质，其表现为：颜色变淡、体积变大、有效交换容量降低。当原水中$Fe^{3+}$含量较高或离子交换系统及管路的防腐措施不良时，易引起树脂“中毒”，使工作交换容量急剧下降。这时即使采用10%HCl进行复苏处理，也只能得到暂时好转，运行几个周期后，交换容量又会急剧降低。因此，采用离子交换除盐处理时，应特别注意设备及管路系统必须有良好的防腐措施。

表5-1 几种常用离子交换树脂的工作交换容量

| 树脂型号 | 类型 | 全交换容量 mmol/g | 工作交换容量 mol/m³ | 出厂型 | 主要用途 |
|---|---|---|---|---|---|
| 001×7 | 强酸性阳树脂 | ≥4.2 | 1100～1500 | $Na^+$ | 硬水软化，除盐处理 除阳离子，废水处理 |
| D001 | 大孔强酸性阳树脂 | ≥4.0 | 1100～1400 | $Na^+$ | |
| 111 | 弱酸性阳树脂 | ≥12.0 | 2000～2500 | $H^+$ | 硬水软化，除盐处理除阳离子 |
| D111 | 大孔弱酸性阳树脂 | ≥9.0 | 1800～2200 | $H^+$ | 水处理，电镀含镍铜废水处理 |
| 201×4 | 强碱Ⅰ型阴树脂 | ≥3.5 | 350～450 | $Cl^-$ | 除盐处理除阴离子 |
| D201 | 大孔强碱Ⅰ型阴树脂 | ≥3.0 | 450～500 | $Cl^-$ | 除盐处理除阴离子 |
| 303×2 | 弱碱性阴树脂 | ≥5.0 | 800～1000 | $Cl^-$ | 除盐处理除阴离子 |
| D301 | 大孔弱碱性阴树脂 | ≥4.0 | 1000～1200 | 游离胺 | 除盐处理除阴离子 |
| D311 | 大孔弱碱性阴树脂 | ≥6.5 | | 游离胺 | 除盐处理，苦咸水淡化 |

### 5.1.2.2 离子交换树脂的选择性

阴阳离子交换树脂选择性顺序的规律一般如下：

（1）强酸性阳离子交换树脂对常见阳离子的选择性顺序为：

$$Fe^{3+} > Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ \approx NH_4^+ > Na^+ > H^+$$

（2）弱酸性阳离子交换树脂对常见阳离子的选择性顺序为：

$$H^+ > Fe^{3+} > Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ \approx NH_4^+ > Na^+$$

（3）强碱性阴离子交换树脂对常见阴离子的选择性顺序为：

$$SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^- > OH^- > HCO_3^- > HSiO_3^-$$

（4）弱碱性阴离子交换树脂对常见阴离子的选择性顺序为：

$$OH^- > SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^- > HCO_3^-$$

从上述规律可以看出，强酸性阳离子交换树脂$H^+$排在末位，说明不容易再生，需要增大再生剂浓度才可有效再生；弱酸性阳离子交换树脂的$H^+$和弱碱性阴离子交换树脂的$OH^-$排在首位，说明弱型树脂很容易再生；但弱酸性阳树脂交换$Na^+$能力较弱，弱碱性阴树脂交换$HCO_3^-$能力很弱，对$HSiO_3^-$则不能交换。由此可见，设置弱型树脂可降低再生剂的耗量，但若要除去水中的$Na^+$和$HSiO_3^-$ 则必须采用强酸性阳离子交换树脂和强碱性阴离子交换树脂。另外还可以看出，$Na^+$和$HSiO_3^-$总是最后被交换，因此对于$H^+$交换树脂，通常将出水漏$Na^+$作为阳床运行控制终点，而对于强碱性$OH^-$交换树脂，则将出水漏$HSiO_3^-$作为交换器运行控制终点。

#### 5.1.2.3 各种常见离子交换除盐系统

除了简单的一级复床系统，还可以根据原水水质情况及对补给水质量的要求不同，通过配置不同的离子交换设备和树脂，组成合适的除盐系统，以达到符合要求的除盐效果及良好的经济性。另外，为了避免悬浮物、胶体物质、有机物、游离余氯等污染，保证离子交换树脂的使用寿命，通常需在离子交换器之前设置石英砂（或纤维、多介质）过滤器和活性碳过滤器。常见离子交换除盐处理系统的配置及其适用性如下：

（1）石英砂(或纤维)过滤器→活性碳过滤器→强阳床→除碳器（中间水箱）→强阴床→一级除盐水箱。

这种最简单的一级除盐系统，适用于碱度、含盐量和硅含量不高的原水，也适用于对除盐水水质要求不高的处理。

（2）石英砂(或纤维)过滤器→活性碳过滤器→强阳床→除碳器（中间水箱）→弱阴床→强阴床→一级除盐水箱。

该系统在强阴床之前串联了一个弱阴床，适用于含盐量或硅含量较高，但碱度不高的原水。主要是利用弱阴树脂交换容量大、易再生的特点，在运行时先通过弱阴树脂除去水中大部分强酸阴离子，可显著促进强阴树脂更好地除去硅酸根离子，确保出水硅含量达到合格。而在再生时，只需浓度较低的再生碱液就可使弱阴树脂得到较好的再生。因此系统中增设弱阴床设置，既可保证出水质量（尤其是除硅质量）合格，又提高了系统运行的经济性。

（3）石英砂(或纤维)过滤器→活性碳过滤器→弱阳床→强阳床→除碳器（中间水箱）→强阴床→一级除盐水箱。

该系统在强阳床之前设置弱阳床，适用于原水碳酸盐硬度和碱度较高，但硅含量不太高的原水。主要也是利用弱阳树脂交换容量较大且容易再生的特点，通过弱酸性阳离子交换树脂除去碳酸盐类阳离子，而且利用强阳床排出的再生废液来再生弱酸性阳离子交换树脂，降低再生酸耗。

（4）石英砂(或纤维)过滤器→活性碳过滤器→弱阳床→强阳床→除碳器（中间水箱）→弱阴床→强阴床→一级除盐水箱。

该系统适用于原水碱度和含盐量都较高的水，设置弱酸性阳离子交换树脂和弱碱性阴离子交换树脂，既可提高离子交换除盐能力，又可降低再生剂耗量。

（5）石英砂(或纤维)过滤器→活性碳过滤器→强阳床→除碳器（中间水箱）→强阴床→一级除盐水箱→混床→二级除盐水箱。

该系统适用于对水质要求较高的除盐处理（出水电导率≤0.2μs/cm）。

（6）石英砂(或纤维)过滤器→活性碳过滤器→弱阳床→强阳床→除碳器（中间水箱）→弱阴床→强阴床→一级除盐水箱→混床→二级除盐水箱。

该系统适用于原水碱度、含盐量和硅含量较高，并且对除盐水水质要求较高的除盐处理。不过目前对于这种水更多的采用反渗透+混床处理。

#### 5.1.2.4 双层床和双室双层床

有的除盐系统中，将弱酸性阳树脂和强酸性阳树脂，或者弱碱性阴树脂和强碱性阴树脂设置在同一交换器内，即设置成双层床或双室双层床交换器。双层床交换器是利用弱酸（或弱碱）树脂密度比强酸（或强碱）树脂密度小，使得弱型树脂在强型树脂上部，运行时水自上而下，先通过弱型树脂交换，再进行强型树脂交换；再生时再生液自下而上，先再生强型树脂，再对弱型树脂进行再生。双室双层交换器是在交换器中用多孔隔板分成上、下二室，将弱型树脂和强型树脂分开装填，组成双室双层床或双室双层浮动床（强型树脂在上室，弱型树脂在下室，运行时水自下而上，再生时再生液由上而下）。

双层床和双室双层床的优点是：在不增加设备的情况下，利用弱型树脂交换容量大、易再生的突出优点，达到既提高交换器效力又降低再生剂耗量的效果。尤其是阳离子交换的双层床，优点较为明显。

对于阴离子交换的双层床和双室双层床来说，虽然有上述优点，但也有明显的缺点，就是容易造成树脂的胶体硅污染。这是由于在同一个交换器内再生强阴树脂和弱阴树脂时，从强阴树脂中排出的再生废液中含有较高的硅化合物，流经弱阴树脂时，因弱阴树脂容易吸着$OH^-$，降低了再生液中的pH值，从而容易使硅化合物形成胶体硅酸，并沉积在树脂中，尤其是温度较低时往往易使再生后的清洗产生困难，并因树脂受胶体硅污染而造成出水硅含量偏高，影响除盐水水质和周期制水量。为防止胶体硅污染，可采取以下措施：

a）分步再生：先用1%NaOH再生液以较快的流速进行再生，使树脂得到初步再生，这时交换出来的硅酸量不多，但能使弱阴树脂得到初步再生，并使树脂层呈碱性。然后再用3%～4%NaOH以较低的流速进行再生，这样可避免因pH值降低而析出胶体硅酸。

b）适当提高再生液温度，可通过增设加热器或者用凝结水配置再生液，使NaOH再生液的温度提高至50℃左右，提高再生效果。

### 5.1.3 除碳器

#### 5.1.3.1 设置除碳器目的

在除盐系统中，一般都在阳床之后设置除碳器。因为原水经$H^+$交换后，水中的碳酸盐基本上都转化成碳酸，并很容易分解成水和二氧化碳，当水中的pH值低于4.3时，水中的碳酸化合物几乎全部以游离的$CO_2$形式存在，可用除碳器较为方便地除去。

设置除碳器的目的：一方面是由于在酸性水中碳酸基本上都以$CO_2$存在，可用除碳器除去；另一方面，除去$CO_2$后可减轻阴床负担，提高除硅效果。如果不设置除碳器或

者除碳效果差，则水中的$CO_2$进入阴床后又转化成$HCO_3^-$，需由阴离子交换树脂除去，不仅影响了阴树脂除硅效果，而且缩短周期制水量，增加再生剂耗量，降低出水质量。因此，为了确保除碳器达到良好的除碳效果，应定期对中间水箱水进行$CO_2$测定，并定期检修除碳器，及时更换损坏的填料。

#### 5.1.3.2 除碳器设备及工作原理

水中游离的$CO_2$可以看作是溶解在水中的气体，它在水中的溶解度符合气体溶解定律（即：任何气体在水中的溶解度与此气体在水面上的分压力成正比）。因此，只要降低水面上气体中的$CO_2$分压就可除去水中游离$CO_2$，除碳器就是根据这一原理设计的。

在各种离子交换水处理系统中，最常用的除碳器是鼓风式除碳器。其结构如图5-2所示。鼓风式除碳器的工作原理为：溶解在水中的$CO_2$与逆向鼓入的空气接触，由于空气中的$CO_2$含量很少（约占大气压力的0.03%），因此根据气体溶解定律，水中的$CO_2$将不断逸出，直至其分压力平衡为止。通过鼓风式除碳器，一般可将水中的$CO_2$含量降至5mg/L以下。

鼓风式除碳器是一个圆柱形设备，柱体通常用金属或塑料制成。如用金属制造，其内表面应采取防腐措施。柱体内充装的填料一般为：瓷环、不锈钢Ω形圈或蜂窝格等。运行时，水从柱体的上部进入，经配水装置淋下，流过填料层后，从下部进入中间水箱。鼓风机的作用是不断地从下部送入新鲜空气，同时从上部将含有$CO_2$的空气不断地排出。填料的作用是将水流分散，使鼓入的空气与水有非常大的接触表面积，以便$CO_2$更容易从水中逸出并立即被带走。

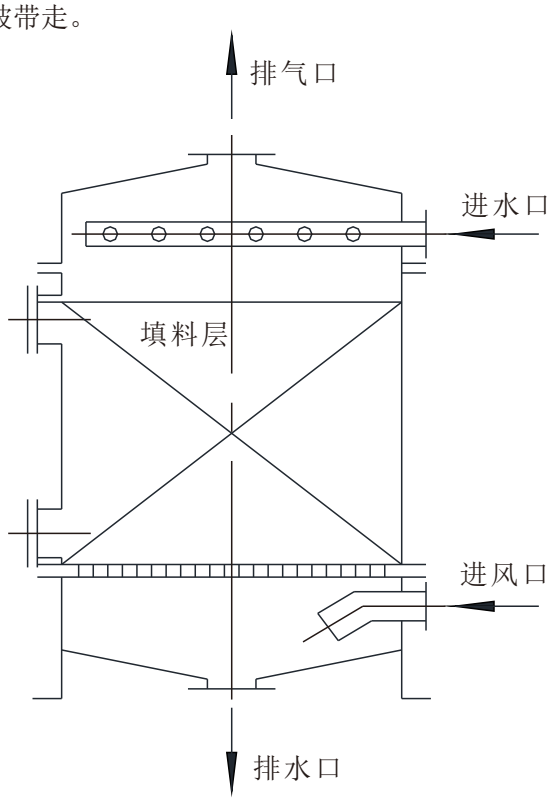



图5-2 鼓风式除碳器结构示意图

#### 5.1.3.3 影响除碳器除二氧化碳效果的因素

影响除碳器除$CO_2$效果的因素主要有以下几点：

a）pH值：当温度一定时，水中各种碳酸化合物的相对量与pH值有关，pH值越低，碳酸化合物越容易以游离的$CO_2$形式存在，对除去$CO_2$越有利。

b）温度：温度越高，$CO_2$在水中的溶解度越小，除$CO_2$效果就越好。

c）设备结构：在鼓风式除碳器中，水和空气接触面积越大、接触时间越长，除$CO_2$效果越好。

### 5.1.4 一级除盐系统的运行

#### 5.1.4.1 阳离子交换器（阳床）的运行控制

由阳离子交换树脂对阳离子的选择性顺序可知，当含有$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$、$Na^{+}$等离子的水通过阳床时，H离子交换树脂将首先交换吸着$Ca^{2+}$，其次是$Mg^{2+}$，而后才交换吸着$Na^{+}$，并且继续进入的$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$还会把已被树脂吸着的$Na^{+}$置换下来，故当整个床体接近失效时，阳床出水中$Na^{+}$含量首先增大（当出水$Na^{+}$含量超过限定量时称为漏钠）。因此，通常以测定出水的$Na^{+}$含量来控制强酸性阳离子交换器运行的终点，为了除去水中的盐类物质，强阳床应在出现漏$Na^{+}$时停止运行，进行再生。

（1）弱酸性阳离子交换器（弱阳床）运行

弱酸性阳离子交换树脂一般只能除去碳酸盐硬度，而难以与其他盐类的阳离子进行交换，若以RL表示弱酸性阳离子交换树脂，则弱阳床内的交换反应可表示如下：

$$2R_LH+\begin{cases}Ca(HCO_3)_2\\Mg(HCO_3)_2\end{cases}\rightarrow R_{L2}\begin{cases}Ca\\Mg\end{cases}+2CO_2+2H_2O$$

通常弱阳床与强阳床串联运行，同时再生。因此，对弱阳床出水质量不需严格控制，但通过测定弱阳床出水的电导率和酸度，可判断强阳床进水的含盐量，并估算周期制水量和工作交换容量。

由于弱酸性阳离子交换树脂非常容易再生，因此通常采用强阳床与弱阳床串联再生，即再生液从强阳床排出后继续进入弱阳床对弱阳树脂进行再生。这样可降低再生剂耗量，并减少再生废液的排放，降低污水处理成本，减轻环保压力。

（2）强酸性阳离子交换器（强阳床）运行

水经强酸性$H^{+}$交换处理后，$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$被彻底除去，$Na^{+}$基本除去，水中的阳离子几乎都被置换成$H^{+}$，故阳床出水呈酸性。在正常运行时，阳床出水的酸度大小与进水的含盐量有关，一般原水的含盐量越高，阳床出水的酸度就越大，电导率也越大；如果进水的含盐量稳定，则出水的酸度和电导率也将保持平稳，直到强阳床开始漏钠，交换器失效，出水酸度和电导率随之下降。因此，在原水水质稳定，交换器进水电导率变化不大的情况下，根据出水电导率或者出水酸度下降，可以初步判断阳床是否失效，这有利于自动控制器通过在线监测电导率来启动再生。但是如果进水含盐量（电导率）波动较大，则仅根据出水电导率和酸度的变化难以准确判断阳床是否真正失效，因为阳床出水的电导率和酸度将随着进水的含盐量变化而变化，无法准确反映出水中盐类阳离子的残

留量。所以在进水电导率经常变化的情况下，需要测定出水$Na^+$含量来判断阳床的失效程度。对于一级复床除盐系统，强阳床运行终点一般控制为：$Na^+$≤100μg/L（如果用pNa计测定，则应控制pNa≥5.36）。

#### 5.1.4.2 阴离子交换器（阴床）的运行控制

由阴离子交换树脂对阴离子的选择性顺序可知，弱碱性阴离子交换树脂和强碱性阴离子交换树脂对强酸根阴离子的交换吸着能力都很强，而对弱酸阴离子（如$HCO_3^-$）的吸着能力较弱，对$HSiO_3^-$的吸着能力最差，尤其当水中含有大量NaOH时，除硅的作用往往不完全，而且弱碱性阴树脂几乎不能除硅。因此在一级除盐系统中，阴离子交换器通常布置在强酸性H型阳离子交换器及除碳器的后面，这不仅是因为除去了$HCO_3^-$后，可减少阴床的负担，而且进水中的$H^+$可立即中和阴离子交换所产生的$OH^-$，可提高阴离子交换树脂中活性基团的电离能力，有利于除硅。

**（1）弱碱性阴离子交换器（弱阴床）运行**

弱碱性阴离子交换树脂虽然对$SO_4^{2-}$、$NO_3^-$、$Cl^-$等强酸根离子交换能力较强，并且具有交换容量大、容易再生的优点，但由于其对弱酸根$HCO_3^-$的交换能力很弱，对更弱的酸根$HSiO_3^-$不能交换，而且交换吸着过程只能在酸性溶液中进行，因此弱阴床应设置在强阳床及除碳器之后，并且其后面必须设置强阴床。

当弱阴床与强阴床串联运行，同时再生时，主要是控制强阴床的出水水质，弱阴床出水水质一般不需严格控制，通常测定弱阴床出水电导率和$Cl^-$，主要是判断弱阴树脂失效程度，并预计强阴床的运行周期，估算树脂的工作交换容量。当弱阴床与强阴床分别再生时，弱阴床应监测并控制出水的$Cl^-$，当$Cl^-$含量增高时，应对弱阴床进行再生。

**（2）强碱性阴离子交换器（强阴床）运行**

一级除盐系统运行中，当阴床与阳床同时失效时，一般阴床出水pH值变化不大，电导率和硅含量则都会很快上升。在实际工作中有时阴床和阳床并不同时失效，阴床出水的水质指标变化也有所不同。例如当阴床失效，阳床尚未失效时，阴床出水的pH值将下降（有时甚至呈酸性），硅含量上升，而电导率则常常出现先略微下降尔后很快上升的情况；反之，如果阴床尚未失效，阳床已经失效，则出水的pH值、电导率和Na+含量都将上升，同时由于阴床中NaOH含量增加，影响树脂的除硅效果，以致出水中的硅含量也会较快上升。所以，阳床和阴床应分别进行监督，并在失效时及时进行再生。

一级除盐系统正常运行时，阴床出水中由于含微量$Na_2SiO_3$，因此pH大都在7～9之间，电导率为(0.5～5)μS/cm，含硅量以$SiO_2$计一般＜50μg/L，运行终点一般控制$SiO_2$＜100μg/L。

对于用水硅含量要求不严的行业，一级除盐处理系统可通过监测阴床出水的电导率判断运行终点。但对于需要严格控制硅含量的电厂锅炉补给水处理来说，阴床运行终点的控制，应通过测定$SiO_2$来判断是否失效，而不能单纯以电导率来代替二氧化硅的测定。因为$SiO_2$的导电性极弱，即使硅含量严重超标，对电导率的影响也非常小，只有当出水中其他阴离子含量增高时，电导率才会明显增高，但这时出水中$SiO_2$含量往往早已严重

超标。另外，阳床失效后若不及时切换再生，也会导致阴床出水的电导率增高，阴床进水中$Na^+$含量高，还会加快阴床失效，降低阴床的制水能力。

离子交换除盐系统运行时，如果水的流速过快（＞40m/h）或者过慢（≤2m/h），都会发生出水水质下降、电导率增大的现象。停备用交换器重新投入运行时，刚开始的出水水质往往会不合格，需要先正洗一下，至出水水质合格才能投入运行。

**（3）提高阴离子交换除硅效果的措施**

为了防止锅炉和汽机等热力系统结生硅酸盐水垢，电站锅炉必须严格控制补给水中的硅含量，但由于阴离子交换树脂吸着硅的能力相对较差，因此需要采取各种措施提高除硅效果，主要措施归纳如下：

a）提高除碳器除去二氧化碳的效果，减轻阴床的负担；

b）设置弱阴离子交换，除去水中大部分强阴离子后，再进入强阴床，可避免强酸阴离子将硅酸化合物从树脂上置换下来，可显著提高强阴树脂的除硅效果；

c）尽量控制阳床出水的钠离子含量，避免$Na^+$含量过高影响除硅效果；

d）通过适当提高再生液温度，两步再生等措施，提高阴离子交换树脂的再生程度。

### 5.1.5 除盐系统的交换器再生

#### 5.1.5.1 再生剂用量和再生液浓度

在一级除盐系统中，阳床和阴床失效后，其再生步骤和操作方法与钠离子交换器的再生基本相同，只是再生系统和所用的再生剂、再生液浓度有所不同。

（1）常用再生液及浓度：再生强阳离子交换树脂：3%～4%HCl；再生强阴离子交换树脂：2%～3%NaOH。

（2）一次再生所需的再生剂用量($m_z$)，可以按式（5-1）估算：

$$m_z=\frac{V_R\times E\times k\times M}{10^3\times\varepsilon} \tag{5-1}$$

式中：mz——再生一次所需再生剂用量，kg；

$V_R$——交换器内树脂的填装量， $m^3$；

（$V_R=\pi\times R^2\times h_R$，其中R为交换器内壁半径，m；$h_R$为树脂的填装高度，m）

E ——树脂的工作交换容量，一般强酸性阳离子交换树脂为(800～1200)mol/$m^3$，强碱性阴离子交换树脂为(300～450)mol/$m^3$，弱碱性阴离子交换树脂为(600～1000)mol/$m^3$。如果采用自动控制再生，需要乘0.6～0.9系数。

k ——再生剂比耗，对于强型离子交换树脂一般逆流再生时取1.2～1.8；顺流再生时取2～3.5；弱型离子交换树脂若单独再生一般只需取1.0～1.1即可；

M——再生剂的摩尔质量，HCl为36.5、NaOH为40；

ε——再生剂纯度，一般工业用浓盐酸（HCl）和浓碱（NaOH）约30%～33%。

注意：对采购的浓酸和浓碱应抽样检测其纯度，一般应采用标准溶液进行酸、碱滴定，而不能仅用密度计测定密度来判断其浓度。另外，必要时还应检测酸中的$Na^+$和碱中的$Cl^-$ 防止再生剂中反离子含量过高，影响再生效果。

#### 5.1.5.2 再生液流速和再生时间

除盐处理的离子交换树脂用酸或碱再生时，再生液流速与软化处理时相似，一般顺流再生的流速为4m/h～6m/h；逆流再生无顶压的，流速宜控制在2m/h～4m/h。电站锅炉补给水除盐处理的离子交换器直径通常比较大，采用逆流再生时一般需采用压缩空气顶压来防止乱层，在顶压情况下，再生液的流速控制在4m/h～8m/h。进再生液时间的计算可参见软水器相关工艺计算。

举例5-1 一台直径为2m的逆流再生阴离子交换器，要求树脂填装高度为2m，若使用的201×4树脂的湿视密度为0.7g/mL，工作交换容量为400mol/$m^3$，再生剂比耗为1.6，若再生时再生液的浓度为3％（密度1.03），再生液流速控制为3m/h，问：

①该交换器内需装201×4树脂多少？

②再生一次需要多少30％的氢氧化钠？

③再生时进再生液需多长时间？

解：① 需装填树脂量：$m=V_R \cdot \rho=3.14\times(2/2)^2\times2\times0.7=6.28\times0.7\approx4.4$ t

②再生一次需要氢氧化钠：$m=\dfrac{V_R \cdot E \cdot k \cdot M}{10^3 \varepsilon}=\dfrac{6.28\times400\times1.6\times40}{10^3\times30\%}\approx536kg$

经射流器稀释成3%的再生液体积：

$$V_Z=\frac{m_{cz}}{C\cdot\rho\cdot10^3}=\frac{536\times30\%}{3\%\times1.03\times1000}=5.2\ \mathrm{m}^3$$

③进再生液的时间：

$$t=\frac{60\cdot V_Z}{S\cdot v}=\frac{60\times5.2}{3.14\times1^2\times3}\approx33\ \mathrm{min}$$

#### 5.1.5.3 弱型树脂的再生

对于设有弱型树脂的离子交换器，为了降低再生剂耗量，通常利用弱型树脂容易再生的优点，将强型床与弱型床串联再生，也就是利用强型床排出的再生废液来再生弱型树脂。但是对于弱阴床来说，如果强阴床排出的再生废液中含有较高浓度的硅酸化合物，在再生弱阴树脂时，容易造成树脂的硅污染。因此，当弱阴床与强阴床串联再生时，为了防止硅污染，可采用两步再生法，即：先用1%NaOH再生液以较快的流速进行再生，使树脂得到初步再生；再用3%～4%NaOH以较低的流速进行再生。也可将相同浓度的再生液分次再生，开始时只再生强阴树脂（此时排出的再生废液中硅含量较高，需排掉）；后半部分再生液进入时，将强阴床与弱阴床串联再生，此时强阴床排出的再生废液中硅含量已降低，可送入弱阴床对弱阴树脂进行再生。另外，也可以将强阴床与弱阴床分别再生，用于再生弱阴树脂的再生液通常为1.5%～2.5%NaOH。

### 5.1.6 周期制水量的估算

#### 5.1.6.1 一级复床离子交换器周期制水量估算

（1）阳床周期制水量可按式（5-2）估算：

$$Q=\frac{E\times V_R\times\delta}{JD+SD_C} \tag{5-2}$$

式中：

Q—— 周期制水量，$m^3$；

E——树脂的工作交换容量，$mol/m^3$，可参考表5-1；

$V_R$——交换器内树脂的填装体积，$m^3$；

δ ——对于自动控制器再生的交换器，为保证运行后期出水合格的保留系数，一般取0.6～0.9（进水电导率较高，取较小值；反之取较大值）；

JD——制水周期中阳床进水平均碱度，mmol/L；

$SD_C$—— 制水周期中阳床出水平均酸度，mmol/L；

（2）阴床周期制水量可按式（5-3）估算：

$$Q=\frac{E\times V_R\times\delta}{SD_J+SiO_2+CO_2} \tag{5-3}$$

式中：

$SD_J$—— 制水周期中阴床进水平均酸度，mmol/L；

$CO_2$——制水周期中阴床进水$CO_2$平均含量，mmol/L，如果除碳效果好，$CO_2$残余量很少，可忽略不计；

$SiO_2$——制水周期中阴离子交换器进水二氧化硅平均含量，mmol/L；

其余符号意义同公式（5—2）。

#### 5.1.6.2 弱阳床—强阳床串连系统中，弱型和强型树脂周期制水量的估算

（1）弱阳床周期制水量可按式（5-4）估算：

$$Q=\frac{E\times V_{Rr}\times\delta}{YD_T-\alpha)} \tag{5-4}$$

式中：

$YD_T$——制水周期中平均进水碳酸盐硬度(一般情况下即进水碱度)，mmol/L；

$V_{Rr}$——弱酸型树脂的体积，$m^3$；

α ——弱阳床出水平均碳酸盐硬度残余量，mmol/L，当α值难以测定时，也可按表5-2选取；

其余符号意义同公式（5-2）。

表5-2 α值参考数据

| 进水水质 | 硬度÷碱度 | 1.0～1.4 | | 1.5～2.0 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $YD_T$（mmol/L） | ＜2 | ＞2 | ＜3 | ＞3 |
| α值（mmol/L） | | 0.15～0.2 | 0.2～0.3 | 0.1～0.2 | 0.3～0.4 |

（2）与弱阳床串联运行的强阳床周期制水量可按式（5-5）估算：

$$Q=\frac{E\times V_{Rq}\times\delta}{SD_C+\alpha} \tag{5-5}$$

式中：

$V_{rq}$——强酸性阳离子交换树脂的体积，$m^3$；

$SD_C$——制水周期中强阳床出水平均酸度，mmol/L；

其余符号意义同公式（5-4）。

#### 5.1.6.3 弱阴床—强阴床串连系统中，弱型和强型树脂周期制水量的估算

（1）弱阴床周期制水量可按式（5-6）估算：

$$Q=\frac{E\times V_{R,r}\times\delta}{SD-\beta} \tag{5-6}$$

式中：

$V_{R,r}$—— 弱阴树脂的体积，$m^3$；

SD——制水周期中弱阴床进水平均酸度，mmol/L；

β——弱阴床出水中平均强酸根阴离子残余量，mmol/L。β值近似于弱阴床出水平均酸度，无酸度时可近似按出水氯离子平均含量计（以mmol/L为单位）。

其余符号意义同公式（5-2）。

（2）与弱阴床串联运行的强阴床周期制水量可按式（5-7）估算：

$$Q=\frac{E\times V_{R,q}\times\delta}{CO_2+SiO_2+\beta} \tag{5-7}$$

式中：

$V_{R,q}$—— 强阴树脂的体积，$m^3$；

其余符号意义同公式(5-3)和式(5-6)。

### 5.1.7 一级除盐系统自动控制的再生启动

#### 5.1.7.1 电导率的在线监测

除盐处理各项水质指标中最容易测定的是电导率，采用在线监测电导率，不仅仪器相对便宜，而且测定数据较为稳定可靠。然而电导率虽然能够反映水中离子浓度的变化，但不同的离子对电导率的影响不同，因此欲通过电导率判断某种离子（例如阳床出水的$Na^+$）含量，需要了解其中的对应关系。

（1）水中离子成分对电导率测定的影响

电导率的测定原理主要是根据电解质（酸、碱、盐）溶解在水中后电离成具有导电性的正、负离子，其导电能力大小用电导率表示。通过测定水溶液的电导率，通常可反映出水中离子浓度。但不同的离子当其所带电荷数不同、导电时定向迁移速度不同时，其表现的导电能力不同。因此，电解质浓度相同的水溶液，若电解质离子成分不同，则测得的电导率并不相同。查得部分常见离子在25℃无限稀释水溶液中的摩尔电导系数 $\lambda_0$(S•cm²/mol)见表5-3。

表5-3 水中部分常见离子在25℃无限稀释水溶液中的摩尔电导系数

| 阳离子 | $H^+$ | $Na^+$ | $1/2Mg^{2+}$ | $1/2Ca^{2+}$ | $1/2Fe^{2+}$ | $1/3Fe^{3+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\lambda_0^+$(S·cm²/mol) | 349.7 | 50.1 | 53.1 | 59.5 | 53.5 | 68.5 |
| 阴离子 | $OH^-$ | $Cl^-$ | $HCO_3^-$ | $1/2CO_3^{2-}$ | $1/2SO_4^{2-}$ | $C_2H_5COO^-$ |
| $\lambda_0^-$(S·cm²/mol) | 199 | 76.3 | 44.5 | 72 | 79.8 | 31 |

一般来说，电导系数越大的离子，导电能力越强，其测得的电导率也越大。从表中可知，大多数阳离子的电导系数相差不大，只有$H^+$ 电导系数比其他阳离子要大数倍；阴离子电导系数的差异比阳离子大，$OH^-$的电导系数比$H^+$低，但也比其他阴离子大2～6倍；有机盐离子的电导系数往往较小。因此，盐类离子浓度相同的水样，若pH相差较大时，电导率的测定值会有很大的不同，往往是酸性水最大，碱性水其次，中性水则较小。

（2）阳床进出水电导率的变化

对于离子交换除盐系统来说，经过阳床处理后各种阳离子被交换成$H^+$，出水呈酸性，因此阳床出水电导率比进水电导率显著增高，其增大量与进水含盐量（尤其是非碳酸盐含量）有关，非碳酸盐含量越高，出水电导率增高越显著。不过在运行中如果进水含盐量变化不大，则出水电导率将基本保持稳定，直至床体树脂开始失效，出水中$Na^+$含量增大、$H^+$含量降低，电导率随之明显降低，当达到一定程度时，就需要对阳床进行再生。但如果进水电导率变化较大，例如有的地区原水含盐量容易随着季节气候、枯水期与丰水期等的变化而变化，如果不及时加以调整，则当原水含盐量增大时，阳床出水电导率和酸度相应增高，$Na^+$含量却有可能超标不合格，并导致最终阴床出水不合格；而当原水含盐量降低时，阳床出水电导率随之降低，但实际上树脂层并未失效，提前再生造成酸和水的浪费。因此，当原水电导率变化较大时，仅凭出水电导率难以反映实际树脂层是否失效，需要同时监测出水$Na^+$含量才能正确判断是否需要再生。为了及时了解进水电导率变化，阳床进水处也应设置在线电导率测定仪，以便正确判断和及时调整周期制水量，保证出水质量合格。

（3）阴床进出水电导率的变化

阳床出水经除碳器除去$CO_2$后，水中存在的离子主要是氢离子、微量钠离子、强酸阴离子、硅酸根离子和残留的碳酸氢根离子。经过阴离子交换后，所有的强酸阴离子和碳酸根离子被除去，硅酸根离子基本除去，同时$OH^-$与$H^+$中和，在阴床树脂层未失效的情况下，不管进水电导率多高，不影响出水电导率，只要阳床出水$Na^+$合格，阴床出水电

导率可保持基本稳定（＜10μS/cm），进水电导率的变化主要影响周期制水量。当阴床失效时，由于硅酸根离子($HSiO_3^-$)最难被交换，所以出水中首先是硅酸根含量增大，由于硅酸根离子是弱电介质，导电性差，其含量变化对电导率影响不大，直到阴床出水$Cl^-$增大，电导率才会随之明显增大。因此，对于硅酸根要求不严格的纯水制取，或者后面还需进行混床处理的，可以采用在线监测出水电导率的方法来启动阴床再生；但对于需要严格控制出水硅含量的电厂锅炉补给水处理，需要同时采用在线硅表测定$SiO_2$来启动再生。另外，需注意的是，如果阳床出水$Na^+$控制不严格，在阴床树脂未失效的情况下，出水中含NaOH呈碱性，也会导致出水电导率明显增高，因此阴床出水还需要监测pH值进行正确判断。

#### 5.1.7.2 再生的启动设置

除盐系统离子交换器再生启动的自动控制，虽然也可以采用设定周期制水量或者在线监测出水电导率等指标来实现，但并不象软化处理仅测定进水和出水硬度就可以简单设定。除盐处理出水水质的变化不仅影响因素多，而且出水质量指标测定需要特定仪器。无论是采用设定周期制水量还是采用在线监测，或者是两者相结合，在除盐系统安装后，都应该预先通过几个运行周期的调试测定，确认可靠后才能投入自控运行，并且在进水水质发生明显变化时需及时进行调整。

从上述周期制水量估算公式可知，采用设定周期制水量启动再生，需要在调试阶段测定了解原水的碱度（碳酸盐硬度）、硅含量和阳床出水酸度。采用在线监测启动再生的，建议阳床和阴床的进、出口都需设置电导率仪；阴床出口还应设置pH测定仪，以便阴床出水电导率明显增高时，可正确判断是阳床失效还是阴床失效或是两个床体都失效，并防止出水呈酸性或碱性而造成危害；对于硅含量有严格要求的，阴床出口宜设置硅表来启动阴床再生。由于不同的水源水所含离子组成不同，阳床出水的酸度、$Na^+$含量与电导率之间的关联值有所不同，因此需要在调试时通过测定各交换器进、出口的各项水质指标，确认阳床出水电导率与$Na^+$含量的对应关系，以便确定启动再生的电导率设定值；阴床可采用出水电导率超标启动再生，但同时应在出口设置pH测定仪，并宜有提醒功能，当阴床出水pH＜6.5很可能是阳床失效导致电导率增高。当然，最好在系统设计和树脂选配时，能使阳床和阴床尽量同步失效、同时再生。

## 5.2 混床的运行和再生

### 5.2.1 混床处理概述

混床是将阴、阳离子交换树脂混合在同一个交换器的精除盐设备简称。由于混床中的H型树脂和OH型树脂在运行时均匀混合，相当于形成了成千上万级复床的阴、阳离子交换反应，而且阳离子交换产生的$H^+$和阴离子交换产生的$OH^-$立即生成$H_2O$，基本上消除了反离子的影响，可使交换反应进行得十分彻底，因此可使出水水质达到很高的纯度。

混床运行至树脂失效时，需要将阴、阳离子交换树脂分离后进行再生；经再生并清洗后，再将两种树脂混合均匀，必要时还可以通过压缩空气将树脂混合得更加均匀，然后再投入运行。为了使混床中的阳树脂和阴树脂在再生时能够较好地分离，在运行时又能均匀混合不分层，选用的阳树脂和阴树脂的湿真密度应合适，一般两者的湿真密度差宜控制在15%～20%（注意不是湿视密度）。

通常混床都设置在一级离子交换的强阴床之后或者反渗透处理之后。离子交换一级除盐处理后的除盐水中残留的阳、阴离子主要是钠离子和硅酸根离子，因此混床中填装的树脂必须是强酸性阳离子交换树脂和强碱性阴离子交换树脂，并且由于阳树脂的交换能力通常比阴树脂至少大两倍，所以混床中的阳树脂与阴树脂之比通常为1∶2。但对于用作凝结水精处理的混床，由于要除去的主要是金属阳离子，阴离子非常少，所以阳树脂与阴树脂之比一般为2∶1。

### 5.2.2 混床的设备结构

混床的设备及管路系统如图5-3所示。设备的壳体与压力式过滤器相似，为圆柱形密闭容器。壳体中常装置有上部进水装置、下部配水装置和压缩空气装置；对于体内再生

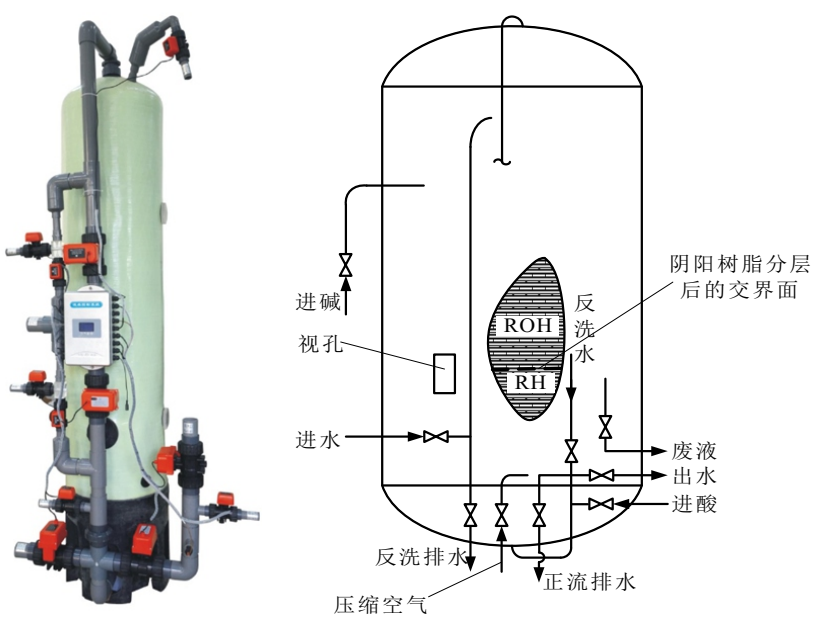



图5-3 混床设备及管路系统示意图

的混床，还设有上部进碱装置、下部进酸装置、中部配水和排废装置。混床的壳体上通常设有上中下三个窥视镜，下面一个设在阴、阳树脂分界处，用来观察再生时树脂的分层情况；中间一个用来观察阴树脂的层高及运行时混合树脂的状况；上面一个观察反洗分层时，树脂的膨胀状况。

### 5.2.3 混床的再生和运行操作

混床的再生与单层树脂的再生有较大不同，其主要的再生和运行操作方法简要介绍如下:

**（1）反洗分层**

混床运行至失效后，再生前首先需将阳、阴树脂分离，并且分离的程度是再生效果的首要关键。目前较为常用的是采用水力筛分法将阳、阴树脂分层，这种方法就是借反洗的水力将树脂悬浮起来，使树脂层达到一定的膨胀率，然后利用阳、阴树脂的湿真密度差，密度较大的阳树脂沉降快，先落到下层；密度较小的阴树脂沉降慢，落在上层，从而达到分层的目的。控制得当，两层树脂间会有一明显的分界面。

反洗操作时应注意：刚开始反洗时，流速宜小，待树脂层松动后，再逐渐加大流速至20m/h左右，使整个树脂层膨胀率达到50%以上，反洗时间一般10min～20min。

另外需注意的是，阳、阴树脂是否能明显分层，除了与树脂的湿真密度差和反洗水的流速有关外，还与树脂的失效程度有关。树脂失效程度大，容易分层，反之则不易。这是由于树脂吸着不同的离子后，其密度会增大，尤其是失效的阴树脂湿真密度（例如$SO_4^{2-}$型）接近于未失效的阳树脂（H型），导致分层困难。此外，H型树脂和OH型树脂有时会产生互相粘结（即抱团）的现象，也会造成分层困难。为了使分层较为容易，可以在分层前先通入适量NaOH再生液，将阴树脂再生成OH型，阳树脂转变为Na型，以此增加两种树脂的密度差，同时消除树脂的粘结现象。

**（2）再生**

混床的再生方法主要有二种：体内再生和体外再生，后一种方法目前已较少采用，下面主要介绍体内再生方法。

体内再生就是树脂在交换器内进行再生。根据进酸、进碱和清洗的步骤不同，又可分为两步处理法和同步处理法。

a）两步处理法：大多数混床采用碱和酸分步通过阴、阳树脂层两步处理法，其过程示意如图5-4，具体操作方法为：

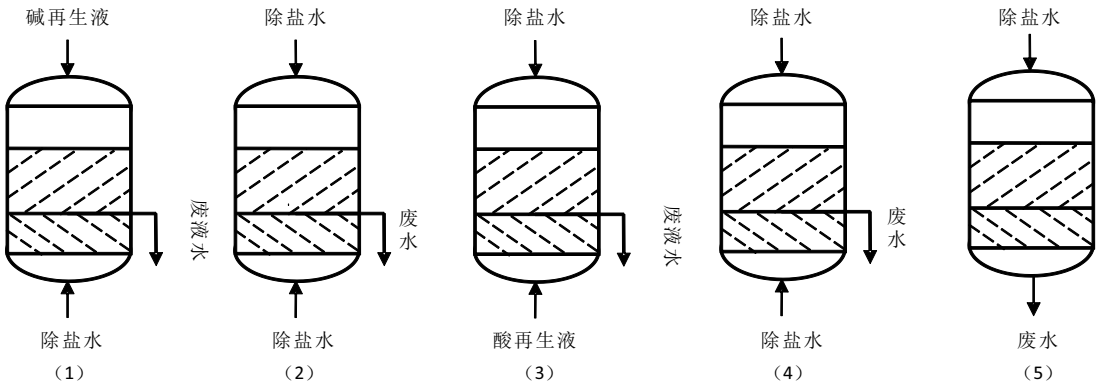
①阴树脂进碱：反洗分层完成后，将交换器中的水放至树脂表面上约10cm处，从上部送入2%～4%NaOH再生液对阴树脂进行再生，同时从底部进除盐水通入阳树脂，以减少碱液污染阳树脂的可能性，再生废液从阴、阳树脂分界的中排排出；

②进碱后清洗：碱再生液进完后，用除盐水以上述同样的流向和流速上下同时通过树脂层，清洗至排出水的碱度降至（$OH^-$）0.5mmol/L以下；

③阳树脂进酸：从底部送入3%～5%酸再生液（通常用HCl）对阳树脂进行再生，同时从上部进小流量的除盐水清洗阴树脂，并避免酸液进入阴树脂层，再生废液仍从阴、阳树脂分界处排出；

④进酸后清洗：酸再生液进完后，用除盐水以第③步同样的流向和流速通过树脂层，清洗至排出水的酸度降至（$H^+$）0.5mmol/L以下；

⑤整体正洗：从上部进除盐水，底部排水，一直洗至排出水电导率小于1.5μS/cm。清洗过程中，有时为了消除死角，也可以进行一次2min～3min的短时间反洗来提高清洗效果。




(1)-阴树脂进碱；　(2)-进碱后清洗；　(3)-阳树脂进酸；　(4)-进酸后清洗；　(5)-整体正洗

**图5-4 混床体内两步再生法过程示意图**

b）同步处理法：就是再生时同时将碱从上部进入阴树脂层，酸从底部进入阳树脂层，再生废液从阴、阳树脂分界处排出，其再生时间的长短取决于阴树脂的再生时间，清洗过程与两步法相同。此法的优点是再生时间短，缺点是不易控制，若要得到满意的再生效果，需要精心设计的再生系统和精确的操作。

采用体内再生，应注意避免酸、碱对运行时的出水污染，设计时应注意酸、碱液与出水的隔离，例如在连接出水管的进酸管上应设置两个阀门。另外，阴、阳树脂的装填量应恰好使两种树脂交界于中排处。否则分层后，若阴树脂低于中排或阳树脂高于中排，都会使这部分树脂得不到再生，从而影响工作交换容量。

混床再生的再生剂比耗，一般阳树脂为理论量的2倍，阴树脂为理论量的3倍。

**（3）阴、阳树脂混合**

树脂经再生和清洗后，在投入运行前必须将分层的树脂重新混合均匀。为了更好地使树脂混合均匀，可采用从底部通入压缩空气的办法进行搅拌混合，所用的压缩空气应经过净化处理，防止压缩空气中的油类杂质污染树脂。树脂混合前，应把交换器中的水面下降到树脂层表面上100mm～150mm处。混合时，通入的压缩空气压力一般为0.1MPa～0.15MPa，流量为（2.5～3.0）$m^3/(m^2•s)$ ，混合时间视树脂是否混合均匀为准，一般为0.5min～1.0min，压缩空气通入时间过长易磨损树脂。

有的混床在树脂混合后，往往下层阴、阳树脂的比例比较接近于预期的混合比，而上层树脂的混合比相差较大，原因多数是由于树脂混合后排水不及时或排水速度不够，以致树脂沉降过程中又重新分层。为了使树脂整体混合均匀，除了通入适当的压缩空气，并保持一定时间外，在关闭压缩空气时应及时以足够大的排水速度，迫使树脂迅速降落，同时还可在顶部进水，加速树脂沉降，避免其重新分离。

（4）正洗

混合后的树脂层，在投入运行前还需用除盐水进行正洗。一般正洗流速为10m/h～20m/h，洗至出水合格后才能投入制水运行。正洗初期，如果排出水较混浊，可排入地沟，待排水变清后，可回收利用。

（5）制水运行

当混床正洗至出水电导率≤0.2μS/cm、硅含量≤20μg/L时，即可转入制水运行，操作方法与普通固定床相同，但可以采用比单层床更高的运行流速。

对混床而言，树脂层的高度和运行流速在一定范围内，对出水电导率的影响不大，但树脂层高过低时（如低于0.6m），则提高流速将会明显影响出水水质。混床运行流速过慢，树脂颗粒表面形成较厚的边界水膜，影响离子交换速度，会降低出水水质；而流速过快时，会因离子来不及扩散到树脂内部进行交换就被水流带出，使出水电导率升高，并且过快的流速，增加了保护层厚度，降低树脂的工作交换容量。因此，一般混床运行流速取40m/h～60m/h较为合适。

混床的出水水质较为稳定，电导率通常可达到0.1μS/cm以下。一般情况下，进水水质和树脂的再生程度，对出水电导率的影响不大，但对周期制水量有明显影响。由于混床中的树脂再生度不高，交换容量利用率较低，要保证一定的制水周期，进水电导率和含硅量不宜过高，一般宜控制混床进水水质为：电导率≤10μS/cm、硅含量≤100μg/L。

间断运行对混床的出水质量影响较小。与单层床一样，交换器停用后再投入运行时，刚开始出水电导率往往会不合格，需要进行短时间的正洗，才能使出水合格。不过混床达到合格的正洗时间一般只需3min～5min，而单层床通常需10min以上。

混床的运行终点较为明显，当接近交换器失效时，出水电导率上升较快，因此比较容易通过在线监测电导率及时启动再生，方便自动控制。

## 5.3 反渗透除盐处理

### 5.3.1 反渗透膜处理概况

反渗透膜处理是二十世纪发展起来的除盐水处理技术，近年来随着膜处理技术的不断发展，以及膜的价格大幅降低，反渗透除盐处理得到越来越普遍的应用。在海水淡化、锅炉、电子、制药、医疗、实验室检测、饮用水等很多领域的水处理系统中得到广泛应用。

反渗透主要用来去除溶解在水中的无机盐，大幅降低水中的含盐量。反渗透处理装置（也称RO装置），不仅自动化程度高，设备占地面积小，而且较为环保、基本无污染。

与传统的离子交换除盐处理相比，反渗透装置一次性投资费用较高，但日常运行费用相对较低，尤其对于含盐量较高（电导率高于500μS/cm）的原水来说，运行经济性优于阴阳离子交换除盐处理，而且对水的适用性强，出水质量稳定有保证，并能减轻环保压力。

反渗透水处理装置如图5-5，通常包含：保安过滤器、高压泵、反渗透膜元件及膜壳、仪表及连接管线、电气控制装置和电缆等。此外，还应有前置预处理装置、反渗透阻垢剂加药装置和化学清洗装置等。其中反渗透膜是反渗透装置的核心，是确保除盐效果的关键。



图5-5 反渗透装置

**需注意的是：**与离子交换除盐不同，反渗透出水纯度（电导率）与进水含盐量和产水率（也称原水回收率）有很大关系，当产水率固定不变时，进水含盐量越高，出水电

导率会随之增大，出水硬度也会增高；降低产水率，出水质量会有所提高，但制水效率降低，能耗增大，且有可能仍达不到合格要求。因此反渗透出水通常不能完全满足锅炉给水要求，对于工业锅炉需增设进一步的软化处理，对于电站锅炉或其他需要制取超纯水的，需进一步进行离子交换混床处理或电除盐深度处理。

一般情况下，要求反渗透装置的脱盐率（即除去的盐量与进水含盐量的百分比）为95%～98%，可按式(5-8)计算：

$$\eta\% = \frac{S_J - S_C}{S_J} \times 100\% \qquad (5\text{-}8)$$

式中：η% ——脱盐率，%；

$S_J$——进水含盐量（或电导率），mg/L（μS/cm）；

$S_C$——产品水含盐量（或电导率），mg/L（μS/cm）。

案例：四川某企业配备型号为SZS55-1.25-Q型的蒸汽锅炉，要求控制补给水的电导率≤20μS/cm、硬度≤0.03mmol/L，原水的平均电导率为836μS/cm、平均硬度4.8mmol/L，新安装的RO二级处理装置脱盐率要求达到98%，问出水质量能否达到锅炉补给水要求？

解答：转换公式5-8，脱盐率按98%计算时可算得：出水电导率为16.7μS/cm、硬度为0.096mmol/L，虽然出水电导率符合用水要求，但硬度超标，不符合国家标准规定；即使降低产水率，出水质量可有所提高，也难以达到合格标准。何况RO装置运行一段时间后脱盐率将会逐步下降，原水的水质也会有波动，因此给水硬度难以达标，容易造成锅炉结垢。解决的办法是：在RO装置前设置软水器，大幅降低反渗透进水硬度，既可以防止反渗透膜结生水垢，延长膜的使用寿命，又可以确保出水硬度达到锅炉给水标准要求。

为了节省投资费用，不少用户将反渗透处理与离子交换处理相结合，既降低投资成本，又确保产品水质量符合锅炉给水或其他制取纯水或超纯水的要求。常见典型的除盐处理组合系统有：

（1）砂滤或多介质过滤→活性炭过滤→钠离子交换→反渗透→除盐水箱（适用于制取纯水或高含盐量的原水制取低含盐量的软化水）；

（2）砂滤或多介质过滤→活性炭过滤→弱酸性$H^+$离子交换→除碳器→中间水箱→反渗透→除盐水箱（适用于含盐量和碳酸盐硬度都较高的原水制取纯水或制取低含盐量的软化水）；

（3）清水→砂滤或多介质过滤→活性炭过滤或超滤→二级串联反渗透→除盐水箱（适用于高含盐量水制取纯水，反渗透前需加阻垢剂）；

（4）清水→砂滤或多介质过滤→活性炭过滤或超滤→二级串联反渗透→阴阳离子交换混床→除盐水箱（适用于制取超纯水，反渗透前需加阻垢剂）；

（5）清水→砂滤或多介质过滤→活性炭过滤或超滤→弱酸性$H^+$交换器→除碳器→中间水箱→二级串联反渗透→阴阳离子交换混床→除盐水箱（适用于含盐量和碳酸盐硬度都较高的原水制取高纯水）。

其中二级串联的反渗透系统，第二级排出的浓水可返回作第一级进水。

### 5.3.2 膜污染及其防止

在膜处理过程中，膜污染是一个经常遇到的问题。所谓膜污染通常是指被处理液体中的微粒、胶体粒子、有机物和微生物等大分子溶质与膜产生物理化学作用或机械作用而在膜表面或膜孔内吸附、沉淀，使膜孔变小或堵塞，导致膜的透水量或分离能力下降的现象。

#### 5.3.2.1 膜污染形式

膜污染主要有膜表面覆盖污染和膜内孔阻塞污染等形式。膜表面污染层大致呈双层结构，上层为较大颗粒的松散层，紧贴于膜面上的是小粒径的细腻层，一般情况下，松散层污染尚不足以对膜性能产生大的影响，反洗时在水流剪切力的作用下可以冲洗掉。膜表面上的细腻层则对膜性能的正常发挥有较大的影响。因为该污染层的存在，将使大量的膜孔被覆盖，而且该层内的微粒及其他杂质之间长时间的相互作用极易凝胶成滤饼，增加透水阻力。膜孔堵塞是指细微粒子进入膜孔内，或者膜孔内壁因吸附蛋白质等杂质形成沉淀而使膜孔变小或者完全堵塞，这种现象的产生一般是不可逆过程，并将严重破坏膜的性能。

#### 5.3.2.2 常见污染物质

常见污染物质大致可分为以下几种类型：

（1）胶体污染：胶体主要是存在于地表水中，特别是随着季节的变化，水中的粘土、淤泥等胶体和悬浮物，均布于水体中，它对滤膜的危害性极大。因为在膜处理过程中，大量胶体微粒随着透过膜的水流涌至膜表面，长期的连续运行，被膜截留下来的微粒容易形成凝胶层。有些与膜孔径大小相当或者小于膜孔径的粒子甚至会渗入膜孔内部，堵塞流水通道而产生不可逆的劣化现象。

（2）有机物污染：水中的有机物，有的是天然水中存在的，如腐殖酸、丹宁酸等，有的则是在水处理过程中人为加入的，例如表面活性剂、清洁剂、高分子聚合絮凝剂等。这些物质也容易吸附于膜表面而损害膜的性能。

（3）微生物污染：微生物污染对于膜的安全运行也是一个危险因素。一些营养物质被膜截留而积聚于膜表面，细菌在这种环境中迅速繁殖，活的细菌连同其排泄物质，形成微生物粘液而紧紧粘附于膜表面，这些粘液与其他沉淀物相结合，构成了一个复杂的覆盖层，其结果不但影响到膜的透水量，也包括使膜产生不可逆的损伤。

（4）结垢：当原水在膜元件内被浓缩到一定程度时，浓水侧中所含难溶盐类及易结垢物质因过饱和而析出沉淀，并沉积于膜表面或浓水通道中，这种现象称“结垢”，易造成膜孔堵塞，影响水通量。

#### 5.3.2.3 膜污染的防止

为了防止膜污染，RO装置前需设置预处理装置。一般需设置多介质或石英砂过滤器，以除去原水中的悬浮杂质和胶体物质；设置活性碳过滤器，以除去有机物和余氯；设置钠离子交换器，以除去或降低硬度，防止膜结垢（有些采用加阻垢剂来防止结垢）；设置微滤或超滤，可以较为彻底的除去胶体物质和微生物，但投资成本较高，且滤膜容易被与膜孔径相近的微粒或凝胶物质所堵塞，因此在膜处理系统中，需添加合适的杀菌剂，并定期对膜表面进行化学清洗。

## 5.4 润新自动控制阀在除盐系统中的应用

### 5.4.1 润新阀在离子交换除盐系统中的应用

润新自动控制阀的材质具有耐酸、耐碱性能，因此可适用于阴阳离子交换器的除盐处理。润新的软化阀均可适用于阴、阳离子交换器，只是实际使用时，再生采用碱或酸再生，而不是采用盐再生。对于制取超纯水的混床（阴阳离子交换树脂按比例放在同一个混床用树脂罐内），润新控制阀适用于混床的主要型号为15702、15704，混床用控制阀内置两个射流器，可分别吸酸、吸碱或洗酸、洗碱。

### 5.4.2 润新阀在反渗透装置预处理系统中的应用

反渗透装置预处理系统中常设预处理系统为：砂滤或多介质过滤→活性炭过滤→钠离子交换→反渗透；如果原水中硬度和碱度都比较高，也可设置为：砂滤或多介质过滤→活性炭过滤→弱酸性$H^+$离子交换→除碳器→反渗透，可利用弱酸性离子交换树脂对碳酸盐硬度交换容量大，且易再生的优点，除去碳酸盐硬度，避免膜结垢。适用的自动控制阀与一般过滤器和软水器的控制阀相同。

### 5.4.3 润新阀在除盐水处理系统中的应用案例

#### 5.4.3.1润新阀在饮用水除盐系统中的应用

（1）应用背景

在欧洲不少国家，一些大型的工厂、加油站、高速公路服务区等人员比较集中或人流比较多的地方，需要提供大量生活饮用水。而这些地方，一般在偏远地区，远离城市，自来水很难送达，主要都是采用地下水进行处理后作为饮用水，而地下水的水质情况比较复杂，简单处理往往难以达到饮用水要求，需要进行反渗透处理。

（2）工程概况

巴西WATER WAREHOUSE公司为一家加油站建造管理和收费系统的工作人员及路过加油的客户提供饮用水系统。原水采用地下水，其水质平均测定结果：TDS为1500mg/L，硬度为300ppm（6mmol/L），铁含量4ppm～5ppm，锰含量0～2ppm，氯化物含量为450mg/L，属于高含盐量、高硬度的苦咸水。要求制取澄清、TDS≤80mg/L、硬度≤30 ppm(0.6 mmol/L)、氯化物含量≤30mg/L，制水流量为0.5$m^3$/h的饮用水。为此，设计采用RO系统降盐、降硬度。

考虑到地下水铁锰含量超标，易对RO膜造成污染，在进行预处理时，原水加氯气及氢氧化钠后，经除铁锰装置，再经活性碳过滤、树脂软化后进入反渗透系统。采用两套53502自动过滤阀，配置除铁锰和活性碳过滤器；一套63502自动软水阀，配套直径0.4m、高度1.65m的树脂罐，组成预处理装置。整套水处理装置的工艺流程图为：井水→水泵→加氯气及氢氧化钠→除铁锰过滤→活性碳过滤→软化→RO主机→饮水箱→增压泵→消毒→饮水点。系统装置的布置见图5-6，设备安装见图5-7。

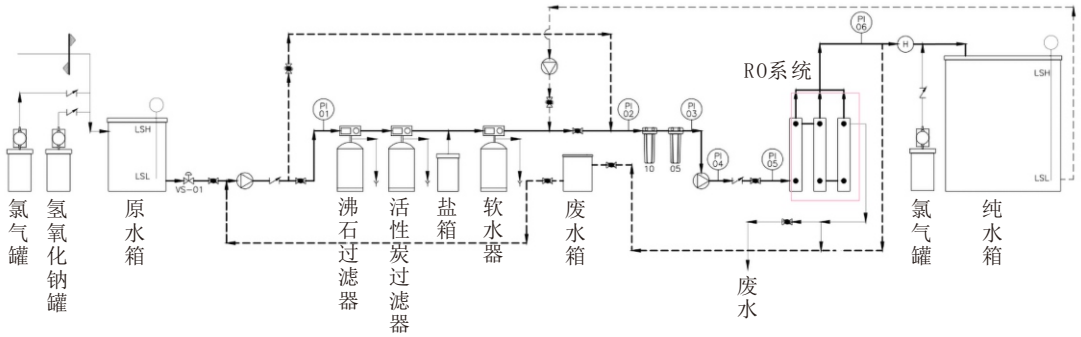



图5-6 饮水处理系统布置示意图




图5-7 RO 装置预处理系统

（4）运行效果

该装置自2017年初安装使用以来，系统运行稳定，产水合格，自动化控制良好。

5.4.3.2 润新阀用于反渗透除盐系统在植物种植时的应用

随着社会发展和科技进步，反渗透除盐的纯净水设备在饮用、化工、食品加工、制药、养殖、种植等领域得到广泛应用。由于反渗透膜容易受杂质污染，尤其当进水浊度、硬度偏高时，膜表面易受损伤，且容易堵塞膜孔通道，显著影响反渗透处理的脱盐率和产水率。因此，一套完善的反渗透纯净水装置，前置过滤和防垢预处理不容忽视，润新自动控制阀应用于反渗透脱盐装置的前置过滤、软化处理，可为系统的长期稳定运行保驾护航。以下介绍润新自动控制阀在反渗透系统的预处理中应用案例，以供参考。

（1）应用背景

贵州省贵阳市某珍稀菇种产业园，原水为市政供水，平均含盐量286mg/L，平均硬度4.4mmol/L。由于水中含盐量（电导率）偏高，影响产品质量和生长，因此设计采用二级反渗透脱盐装置（即RO装置），降低原水的含盐量（电导率），以满足珍稀菇灌溉用水的需要。由于水中的硬度偏高，容易造成反渗透膜表面因结垢而堵塞膜孔，为了防止

反渗透膜受损，延长膜的使用寿命，确保RO装置的脱盐率和产水率，在RO装置前设置预处理系统：配置石英砂过滤器（简称砂滤器）、活性炭过滤器（简称碳滤器）二级过滤，要求出水浊度＜1.0NTU；配置软水器，控制出水硬度≤0.06mmol/L。

（2）工程概况及设备配置

a)砂滤器配置：400×1650玻璃钢罐，罐内填装200kg(10～20目）石英砂，选配润新51106过滤阀。

b) 碳滤器配置：400×1650玻璃钢罐，罐内填装75kg果壳活性炭，选配润新51106过滤阀。

c)软水器配置：400×1650玻璃钢罐，罐内填装150L钠离子交换树脂，200L盐水箱，选配润新63604全自动流量型软化阀。

该系统现场有专人维护，定时监测出水质量指标。软化阀设置为A-02流量即时型，以保障软水供应RO主机；同时信号输出设置b-01，当软水器再生时，输出信号，RO主机停止运行，再生结束后，自动恢复运行，防止软化水设备再生时，高压泵无水运行损坏。

水处理系统工艺流程为：市政供水→原水箱→原水泵→砂滤器→碳滤器→软水器→RO主机→纯水箱→增压泵→灌溉用水点。设备装置见图5-8。



图5-8 砂滤-碳滤-软化预处理及RO系统

（3）运行效果

系统产水经检测完全符合用水标准，自2019年初安装投运至今，系统运行稳定，产水水质合格，自动化控制良好，客户给予肯定。

5.4.3.3 润新阀在超纯水制取系统中的应用

（1）应用背景

中国内蒙古某制药企业，生产需要超纯水。原水采用地下水，其水质测定情况：浊度8NTU～9NTU、电导率1100 μs/cm～1200μs/cm、硬度4 mmol/L～5.5 mmol/L。要求制

取电导率≤0.3μs/cm的超纯水，制水量要求8m³/h～12m³/h。为此，设计采用二级RO反渗透＋EDI电除盐处理，并前置石英砂过滤和活性炭过滤来满足反渗透装置的进水要求。

**（2）工程概况**

由于原水浊度和硬度不是很高，系统设计采用石英砂过滤和活性碳过滤后的出水，加入防止RO膜结垢的阻垢剂，作为反渗透装置进水，经二级反渗透处理后的纯水再进入EDI深度除盐处理，制作超纯水。预处理系统配置石英砂过滤器和活性碳过滤器各一台，配套罐体直径1.5m、高度2.4m，两台过滤器均采用润新53530时间型自动控制过滤阀。

水处理系统工艺流程为：原水箱→原水泵→多介质过滤器→活性炭过滤器→阻垢剂加药→保安过滤器→高压泵→二级串联反渗透装置→中间水箱→EDI进水泵→EDI电除盐→超纯水箱→供水泵→终端过滤器→紫外线杀菌→医药制剂用水。工艺流程简图见图5-9，设备安装见图5-10。

**（3）运行效果**

该系统自2018年初安装使用，运行稳定，产水质量符合生产要求，自动化控制良好。

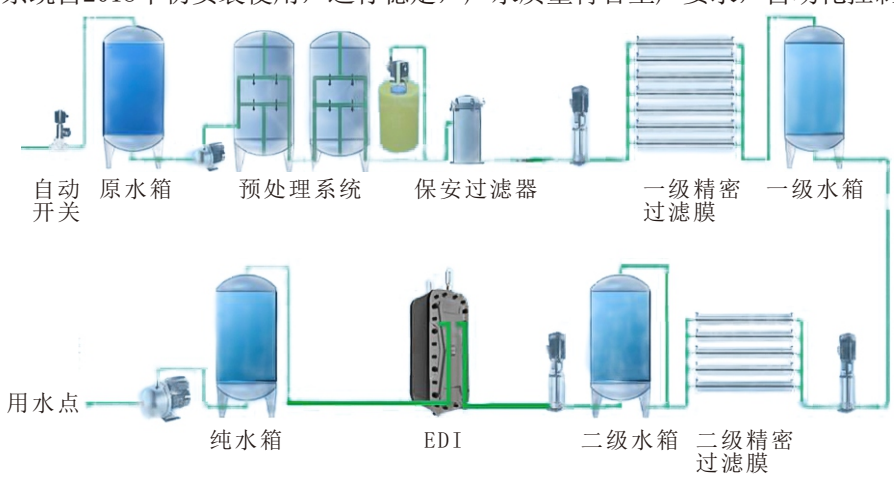



图5-9 过滤器和双级反渗透的工艺流程图



图5-10 过滤器和双级反渗透系统

#### 5.4.3.4 润新阀在锅炉补给水除盐处理中的应用

（1）应用背景

四川西昌某啤酒厂，原有一台蒸发量为6m³/h的燃煤锅炉，补给水采用自动控制钠离子交换器软化处理。为适应国家环境保护新政策，淘汰了原来的燃煤锅炉，改用为相同蒸发量的电加热锅炉。由于电加热锅炉对给水的质量要求提高，原来的软化水处理已不能满足锅炉给水要求，需要更新升级。为此，补给水采用软化后再经过二级反渗透处理。该厂所用原水为市政自来水，其水质平均测定结果为：pH值7.2、硬度1.8mmol/L、总碱度0.9mmol/L。要求出水硬度＜0.03mmol/L，电导率≤5μS/cm，制水流量10m³/h。

（2）工程概况

为了防止RO膜污染，延长膜的使用寿命，配置一台石英砂过滤器，以去除悬浮杂质，降低浊度；一台活性碳过滤器，以去除余氯和有机物。配套的两台过滤器玻璃钢罐体：直径1.5m、高2.2m，分别填装石英砂和活性碳，采用53530自动控制过滤阀；保留原有的自动软水器，降低硬度；过滤和软化后的出水经保安过滤器后进入高压泵，经二级串联的RO装置处理后进入除盐水箱，再经水泵送到除氧器后供锅炉给水。

系统工艺流程为：市政自来水→原水箱→原水泵→多介质过滤器→活性碳过滤器→软水器→保安过滤器→二级串联反渗透RO系统→除盐水箱。设备安装如图5-11。

（3）运行效果

该系统自2018年初安装使用，系统运行稳定，产水完全符合锅炉用水要求，自动化控制良好。



图5-11 RO系统及预处理装置

### 5.4.3.5 润新阀在混床中的应用

**（1）应用背景**

金属银粉的生产制取工艺过程中，需要在沉淀罐及过滤机内用去离子水反复清洗，才能得到高纯银粉。如果清洗不彻底，会遗留杂质和引起银粉在干燥时结团。清洗用的去离子水一般要求电阻率15MΩ.cm以上。

**（2）工程概况**

某公司需要的清洗工艺去离子水用水量10$m^3$/h，电阻率≥15MΩ.cm，水源取自市政自来水，采用活性碳过滤+软化处理+反渗透处理系统+混床离子交换系统制取去离子水。混床离子交换系统配置三台直径300mm，高度2000mm的混床专用玻璃钢罐，罐内按1：2比例填装强酸性阳树脂和强碱性阴树脂，选用三台润新15704混床控制阀，形成三套混床离子交换系统并联运行供水，设备安装如图5-12。混床设计运行平均流速50m/h（一般40~60m/h），反洗分层流速10m/h，再生流速5m/h，通过电阻率仪在线监测出水水质，当出水电阻率超出设定值时，混床控制阀自动开启再生。润新混床控制阀采用耐酸碱的陶瓷平面密封结构，阴、阳树脂再生时采用同步再生法，再生效果较好。控制阀配置有酸、碱射流器通过射流虹吸分别吸入酸和碱液同步再生阳树脂和阴树脂。

该系统采用的水处理工艺流程为：原水→活性碳过滤→软化处理系统→反渗透处理系统→中间水箱→增压泵→混床离子交换系统→去离子水箱。

**（3）运行效果**

原水经系统去离子处理后，出水电阻率＞15MΩ.cm，最高可达17.6Ω.cm，每天运行8小时，约半个月再生一次，去离子效果好，工人操作强度低，运行成本低。



图5-12 混床处理系统

# 第六章 润新阀在特质水处理系统中的应用

本章所述特质水处理主要是指：除去水中含有的铁、锰、溶解氧、氟、砷、硝酸盐和亚硝酸盐以及铜、铅、锌、镍等重金属离子的处理。

## 6.1 润新阀在除铁除锰系统中的应用

### 6.1.1 含铁锰的水对生活的影响

含铁、含锰的地下水在我国分布很广，铁和锰可以共存于地下水中，并常以溶解度较高的二价铁、二价锰形式存在。地表水中由于溶解氧含量较高，铁锰主要以不溶于水的$Fe(OH)_3$和$MnO_2$的形态沉积于水下。二价铁与二价锰在缺氧的地下水中较稳定，但一旦接触空气就易氧化成难溶于水的$Fe_2O_3$和$MnO_2$。因此，对于二价铁离子含量较高的地下水，常可看到刚从井下抽上来的无色地下水，过段时间就逐渐变为混浊的褐红色，且铁含量越高颜色越深，这是因为水中的二价Fe被氧化为$Fe_2O_3$。

当水中铁含量＜0.3mg/L时，难以察觉其存在；超过0.3mg/L，易使衣服和器皿着色发黄；当铁含量大于0.5mg/L时，水就会发黄，色度可大于30度；达到1.0mg/L时，会有明显的铁锈气味。铁离子还易促进管网中铁细菌的生长，在管网内形成黏性膜，对生活、生产用水造成污染，对管路造成损害。另外，铁含量高的水进入锅炉和换热设备，易结生氧化铁垢和垢下腐蚀；铁含量较高的原水进入离子交换器，易使树脂中毒。

当水中锰含量＞0.1mg/L时，会使饮用水发出令人不快的味道，并使器皿和洗涤物着色；如果溶液中二价锰的化合物被氧化，会形成沉淀，造成结垢；当水中锰的含量达到0.2mg/L时，就会在水管内壁形成一层被覆物，并随水流流出，造成黑色沉淀。

锰是人体及动植物所必需的微量元素之一，但摄入过量的锰会引起中毒，长期接触锰化合物也可造成锰中毒。早期表现为疲乏无力、头昏、头痛、失眠、下肢无力等，重度中毒还可出现言语障碍，讲话含糊不清、吐字困难、说话不连贯。含锰水会使水有色、臭、味，影响纺织、造纸、酿造、食品等工业产品质量，也会对家用器具造成污染，洗涤衣物会有微黑色或浅灰色的斑渍。

因此，富含铁、锰离子的水对人类生活、工农业生产会造成较大危害，需要经过处理后方可使用。

### 6.1.2 常见的除铁除锰的水处理工艺

#### 6.1.2.1 除铁

地下水中的二价铁不稳定，常使用曝气法去除。地下水中二价铁盐通常以重碳酸铁$Fe(HCO_3)_2$的形式存在。一般是将地下水通过水泵抽入曝气池中，并在输水管路或曝气池中通入压缩空气或通过射流法在管路中混入空气，从而使空气中的氧气与水充分混合，达到将二价铁氧化成三价铁的目的；再通过锰砂或其他除锰滤料过滤，去除氧化铁沉淀物。

天然锰砂（主要成分是二氧化锰）是二价铁氧化成三价铁的良好催化剂。当pH值大于5.50时（一般应保持原水pH值为6.5~7.0可取得较好的处理效果），能加速二价铁

氧化成三价铁的过程。其化学反应方程式如下：

$$4Fe^{2+}+O_2+8OH^-+2H_2O\rightarrow 4Fe(OH)_3\downarrow$$

氧化过程中，水中必须保持足够的溶解氧，才能将二价铁氧化成三价铁，并在水解后呈胶体氢氧化铁以褐色絮状物沉淀，可经锰砂滤层过滤将铁除去。

#### 6.1.2.2 除锰

氧化除锰基本与除铁一样，含锰水经曝气后经过锰砂滤料，在锰砂滤料表面的锰质活性滤膜作用下，$Mn^{2+}$被溶解氧氧化为$MnO_2$，吸附在滤料表面，使滤膜得到更新，该过程也是自催化反应。其反应式为：

$$2Mn^{2+}+O_2+4OH^-\rightarrow 2MnO_2\downarrow+2H_2O$$

水中的二价锰盐在过滤时，也可能因MnO吸附而发生下列化学反应：

$$MnO_2\bullet H_2O+Mn^{2+}+2OH^-\rightarrow MnO_2\bullet MnO\bullet H_2O+H_2O$$

有效锰砂　　失效锰砂

锰砂与$Mn^{2+}$结合生成三氧化二锰后，便失去了除锰的性能。需要加入氧化剂再生。使$MnO_2\bullet MnO$重新氧化成$MnO_2$。一般生产中多采用往水中加氯（$Cl_2$）的方法，来恢复锰砂的除锰性能。其反应式为：

$$MnO_2\bullet MnO\bullet H_2O+2H_2O+Cl_2\rightarrow 2MnO_2\bullet H_2O+2HCl$$

锰的去除远比除铁困难，铁、锰共存时，铁对锰的去除有干扰。在滤层中，要先完成对铁的去除，才能开始除锰，因此要获得稳定的除锰效果，$Fe^{2+}$的浓度不应超过2mg/L。

#### 6.1.2.3 铁锰共存的去除方法

（1）当原水中铁锰含量较高，含Fe量超过5mg/L、含锰量超过1.5mg/L时，若用锰砂同时进行处理，由于铁比锰易于氧化，二价锰较难被氧化为四价锰。因此，一般需要采用二次过滤法，即采用先除铁，使$Fe^{2+}$的浓度低于2mg/L，再除锰。其流程为：

地下水→深井泵（变频泵）→曝气→一级过滤（除铁）→二级过滤（除锰）

（2）如果铁锰浓度较低，含铁量低于5mg/L、含锰量低于1.5mg/L时，可以采用一次过滤去除。其流程为：

地下水→深井泵（变频泵）→曝气→过滤（同时除铁除锰）

### 6.1.3 除铁锰滤料

目前国内常用除铁锰的滤料有：锰砂、SS滤料、人工合成的分子筛“JM-3型”滤料，主要是采用化学反应和吸附截留的原理来实现。

锰砂主要是利用表面的锰质活性滤膜$MnO_2$进行除锰；SS滤料是一种含硅、铁、铝的多孔状颗粒滤料，具有良好的过滤、吸附和絮凝沉淀作用；JM-3型滤料是一种硅、铝、氧的晶格状四面体，其采用吸附与离子交换两种方式去除。

JM-3除铁锰滤料中的硅与铝交换，而铝是三价、硅是四价，缺少一个电荷，需要正电荷的离子补充。当水与JM-3滤料接触时，水中带正电荷的离子可补充JM-3滤料中缺少的电荷，从而被滤料吸附，达到净水的目的。它可以有效地去除水中绝大部分无机盐类和部分有机物，去除率在70%～90%，特别是处理毒理学物质中的氟、砷、汞、铅、

镉、硒、钼以及铁、锰、锌、钙、镁等，效果显著。

JM系列滤料本身是多孔物质，内含很多孔道，孔径为0.5～1.6纳米之间，具有极大的比表面积，一般为（500～1000）$m^2/g$。生产中采用物化方法使其活化，达到去除离子的目的，因此可再生重复使用。该材料坚固，耐酸碱、耐高温，使用寿命可达数十年。

常见除铁、除锰滤料的比较见表6-1。

**表6-1 常见除铁除锰的滤料比较**

| 对比项目 | 锰砂滤料 | JM-3 滤料 | SS 滤料 |
|---|---|---|---|
| 堆积比重 | (1.8～3.2)kg/cm³ | (0.9～1.1)kg/cm³ | (0.5～0.8)kg/cm³ |
| 滤料成份 | 天然锰矿石[含锰的化合物] | 人工合成材料 | 人工合成材料 |
| 除锰原理 | 吸附截留 | 化学反应及吸附截留 | 吸附截留 |
| 使用寿命 | 平均二年 | ＞**10** 年 | 平均二年 |
| 除铁、锰操作方法 | 先除铁后除锰，曝气除铁后再加碱剂提升水的 pH 值后除锰；再加酸剂调正出口水的 pH 值至 **8.2** 以下。 | 曝气后顺流进入滤料层，铁锰被吸附截留，出水铁含量＜ **0.3mg/L** 、锰含量 ＜ **0.1mg/L**。 | 先除铁，再曝气并加碱提升水的 pH 值后除锰。 |
| 再生方式 | 利用含铁、锰水反冲洗，水中加氯或臭氧等氧化物质再生锰砂滤料 | 用 **2.5%**稀碱液，采用动态、静态各浸泡 3 小时左右恢复除铁锰能力。 | 利用含铁、锰水反冲洗 |
| 过滤流速 | 顺流，流速 8.0m/h | | |
| 滤料更换周期 | **1**～**2** 年更换 | 10 年内不用更换 | **1**～**2** 年更换 |
| 反洗次数/水耗 | 运行 **4**～**8** 小时反洗 **1** 次，水耗量大。 | 运行一个周期反洗 **1** 次，水耗低，节水。 | 运行 **4**～**8** 小时反洗 **1** 次，水耗大。 |
| 罐体材质及使用寿命 | 采用碳钢罐体，平均使用寿命为 **8** 年；每年应做表面防腐处理。 | 罐体为玻璃钢结构，平均使用寿命＞**20** 年属绿色环保型材质。 | 罐体为玻璃钢绕丝结构或碳钢罐体。 |
| 设备一次性投入 | 相对较低 | 相对较高 | 相对较低 |
| 滤后水纯净度 | 含微小的锰砂细砂粒 | 无细砂粒 | 含微小的炉灰细砂粒 |
| 酸、碱耗量对比 | 相对高 | 低 | 相对高 |
| 系统综合寿命 | ＜**5** 年 | ＞**10** 年 | ＜**5** 年 |
| 综评 | 可除铁、除锰，操作管理难，运行成本大。综合成本过高，且系统出水质量不稳定。 | 除铁、锰工艺简单，管理容易，运行成本低。综合成本低、系统出水质量稳定。 | 可除铁、除锰，操作管理难，运行成本大。综合成本过高，且系统出水质量不稳定。 |

### 6.1.4 常用的氧化二价铁锰的方法

根据铁锰含量及工程项目情况，常用的使二价铁锰氧化的方法主要有：曝气法和臭氧氧化法。

#### 6.1.4.1 曝气法

常用曝气法又分为跌落曝气法、射流曝气法和直接曝气法，其特点分别为：

（1）跌落曝气法：是将地下水通过深井泵抽取上来，直接由高处向水池落下。水从高处落下过程中，水体与空气接触，从而增加水中的溶解氧。该方法曝气不太充分，主要应用于含铁锰不高的地下水。

（2）射流曝气法：是将地下水通过深井泵抽取上来的过程中，在输送的管路上，增加射流器，水体经过射流器主管道，产生负压，将空气吸入混合，最后进入水池。该方法的充氧能力高于跌落曝气法。

（3）直接曝气法：是将地下水通过深井泵抽取到一个水池中，在水池中布置曝气装置，通入除油后的压缩空气来曝气。

#### 6.1.4.2 臭氧氧化法

（1）臭氧氧化法的原理：通过在过滤系统中加装臭氧发生器，利用臭氧促进二价铁和锰氧化，再通过除铁锰的滤料除去。美国有些远离城市的家庭，由于自来水管路难以铺设，而地下水铁锰含量高，场地又受限，因此常采用臭氧氧化法去除铁锰。臭氧氧化铁锰离子的氧化还原反应为：

$$6Fe^{2+}+O_3+8OH^-+7H_2O\rightarrow 6Fe(OH)_3\downarrow+4H^+$$

$$3Mn^{2+}+O_3+2OH^-+H_2O\rightarrow 3MnO_2\downarrow+4H^+$$

（2）臭氧氧化法的主要设备及工艺

设备由曝气罐和过滤罐组成，臭氧发生器产生的臭氧进入曝气罐，过滤罐填装专用除铁锰的滤料，选用润新软化阀进行自动控制。水处理工艺流程为：

a)运行：水流先进入曝气罐经臭氧曝气氧化后进入过滤罐，通过专用除铁锰滤料层过滤除去氧化后的铁锰胶体沉淀物。当滤料去除铁锰达到设定的制水量或周期时间后，需要通过反洗去除过滤罐和曝气罐中的沉淀物，通过程序控制启动反冲洗。

b)反冲洗：水流从过滤罐下部进入，由下至上冲洗并松动滤层，将过滤时截留在滤层中的铁锰胶体沉积物清洗出来流至曝气罐的下部；继续由下至上清洗，将曝气罐下部的沉积物连同上部的残余废气一起从控制阀排出。铁含量小于10mg/L时，可直接用原水反冲洗，当铁含量大于10mg/L时，需要采用除铁后的水来反冲洗。

c)进臭氧：反冲洗结束后，控制阀控制程序转至吸盐状态（同时臭氧发生器启动），使臭氧进入曝气罐，当罐体内臭氧达到一定量时，控制程序转换至正洗状态。

d)正洗：水流先进入曝气罐曝气氧化，然后进入过滤罐由上至下冲洗滤料。正洗结束后，转换至正常运行状态。

用于臭氧氧化法除铁锰的过滤器，宜选用自动控制软化阀，但因无盐罐不需补水，故需将补水程序设为0，而且当软化阀转至吸盐位置时，启动并控制臭氧发生器，将臭氧吸入曝气罐内。其安装简图如图6-1所示，右边罐体为曝气罐，左边罐内填装滤料。




图6-1 臭氧除铁锰系统

### 6.1.5 除铁除锰系统的实际应用案例

#### 6.1.5.1 润新自动控制阀应用于除铁除锰

##### 6.1.5.1.1 农村饮用水改造——自来水厂采用爆气过滤除铁锰

（1）应用背景

我国北方不少自来水厂采用地下水作为水源供水，但有的区域地下水中铁锰含量比较高，必须经过处理后才能输送到用户家里。

吉林西北部的某镇，其自来水厂日供水量1200m$^3$，水源水采用地下水。国家标准要求自来水的铁含量低于0.3mg/L，锰含量低于0.1mg/L，但当地的地下水铁含量为1.0mg/L，锰含量0.4mg/L，菌落总数超标，不符合国家集中式供水的水质标准，需要经过处理后才能对居民供水。

（2）工程概况

考虑到源水铁锰含量超标不太严重，因此采用曝气后再用SS滤料等过滤除铁锰。系统采用水泵将井水抽到水箱，经鼓风机曝气后，进入除铁除锰过滤系统，该系统由直径1.5m、高度2.2m的过滤罐（内填装SS滤料）选配润新53540自动控制阀组成，经过滤处理后的水再经过二氧化氯发生器进行杀菌消毒，然后进入净水箱，由水泵输送至各用水点。

除铁除锰系统采用的水处理工艺如图6-2所示，其流程为：井水→抽水泵抽至井水箱→同时鼓风机曝气→原水泵→除铁锰过滤器→杀菌消毒（二氧化氯发生器）→净水箱，过滤器系统装置见图6-3。

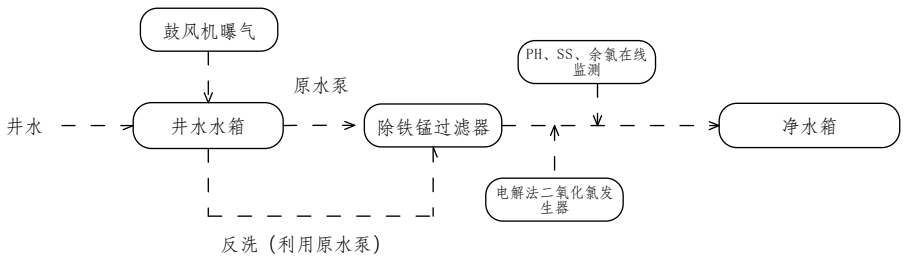



图6-2 水厂曝气过滤除铁锰处理流程



图6-3 除铁锰过滤装置及系统

（3）运行效果

井水经曝气后，将$Fe^{2+}$氧化成$Fe^{3+}$，$Mn^{2+}$氧化成$MnO_2$，经SS滤料吸附过滤后去除，系统出水的铁含量低于0.3mg/L，锰含量低于0.1mg/L；出水处通过二氧化氯发生器进行杀菌消毒。供水铁锰含量和菌落总数符合国家标准，该系统自2018年投入使用，一直运行良好。

6.1.5.1.2 工厂污水处理除锰

（1）应用背景

某些金属加工厂，生产过程中产生的废水铁锰含量较高。一般情况下，通常排入污水站进行处理，但这样会浪费大量的水资源。青岛某不锈钢公司，主要生产冷轧薄板，生产过程中产生的废水锰含量高达1.5mg/L～2.5mg/L，超过锰含量不大于0.1mg/L的排放标准，废水中含有的一些金属杂质颗粒，也需要处理后才能重复回收利用。处理水量为10$m^3$/h，且需要连续处理供水。

（2）工程概况

将锰含量从1.5mg/L～2.5mg/L降至0.1mg/L以下，需要曝气处理后再经锰砂处理。为确保连续供水，除锰过滤器采用一用一备的方式。

由于废水中含有金属杂质颗粒，因此采用沉淀和隔栅网去除，将废水排进沉降池，沉降池中内置隔栅网闸，颗粒杂质被截留在一侧，沉淀初滤后的废水进入收集池，同时通入压缩空气曝气；利用自吸增压泵将废水收集池中的废水加压经袋式过滤器过滤，然后进入锰砂过滤器过滤后，干净的水进入水池。过滤系统采用两φ900×2200mm的碳钢过滤罐（内衬胶），罐内填装1.2吨锰砂，选配润新53520自动控制阀，另加三通阀组成一用一备系统。

该废水处理系统的工艺流程为：废水→废水沉降池→隔栅网闸→废水收集池（压缩空气曝气）→自吸增压泵（根据水池液位启停）→袋式过滤器→电动三通阀（运行、反洗、正洗转换）→锰砂过滤器（一用一备）→电动三通阀（一用一备）→储备水池，系统布置如图6-4所示。

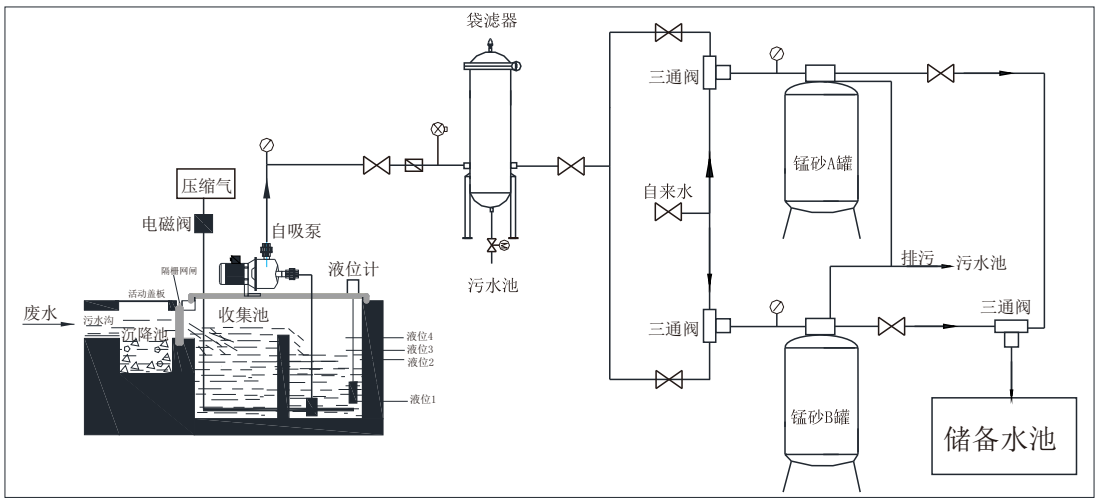



图6-4 废水除锰处理系统布置图

（3）系统及装置要求

①沉降池和拦截网闸的设置如图6-5所示。

②废水收集池前，往地下挖深0.5m、边长1.2m的混凝土沉降池，将进水的大颗粒杂质沉降到池底部，溢流口装设抽插式拦截网（滤网网孔18目，精度830微米），可实现定期在线人工清挖沉淀池底部杂质，清洗拦截网，无需停机。

③废水收集池尺寸：长×宽×高约为2m×2m×2.5m，将中间隔开，内部采用曝气管连通，压缩空气根据水位启闭，水位较低时关闭。

④为确保连续供水，设置两台自吸增压泵，根据水池液位开启。当水池水位达到高水位时，两台水泵同时启动；低于高水位，高于低水位时，单台启动；低于低水位时，两个水泵停止。

⑤两台锰砂过滤器一用一备，采用自来水进行反冲洗，当A罐过滤器达到预定的运行周期时，通过润新53520控制阀和三通阀自动将A罐出水切换成B罐出水，然后A罐

进入反冲洗，清洗结束后转至运行状态，设备装置如图6-6所示。

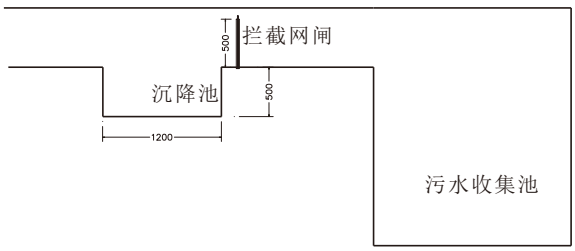



图6-5 沉降池和拦截网闸的设置



图6-6 锰砂过滤器系统

（4）运行效果

该废水处理系统于2017年6月投入使用，24小时连续运行，一直运行正常。废水处理后的再生水重复利用，具有良好的经济效益和社会效益。

6.1.5.2 润新电动陶瓷球阀应用于除铁除锰

在特质水处理系统中，当单个多功能控制阀不能满足用户对不同水处理方式及制水需求时，可以采用由多个电动陶瓷球阀与电动球阀控制器组成控制回路来完成对除铁除锰设备系统工序的自动控制要求，以满足用户制水及对供水量的要求。

多阀控制工艺由一台控制器与多个电动陶瓷球阀采用同一系统中设置不同点位的电动陶瓷球阀，在不同时间内以不同的开闭顺序来完成不同的工序动作，从而依次完成除铁除锰时所需的氧化、过滤运行、再生、反洗、正洗等工序动作，形成除铁除锰工艺动态链，达到降低铁锰含量、净化水的目的。以下为某城市集中供暖锅炉给水采用此系统除铁的案例。

（1）应用背景

我国北方辽河流域地下水系中富含铁、锰，地下水质不够理想，但由于地表水不足，该地域供水主要仍采用地下水。作为供暖锅炉的给水，为防止供暖锅炉结垢、腐蚀，必须对给水进行除铁除锰处理。某地区最大热力供暖公司，负责当地60%供暖面积的供暖

服务。其中一个供暖项目需采用两台100m³/h热水锅炉为所在片区供暖，采用地下水作为源水，其水中铁离子平均含量为29.5mg/L、锰离子含量3.5mg/L，为防止锅炉受热面沉积铁锰氧化物水垢，并避免软化处理时铁离子污染离子交换树脂，必须先进行除铁除锰处理，再进行软化水处理。

（2）**工程概况**

根据GB/T 1576《工业锅炉水质》标准，热水锅炉补给水中铁含量应不大于0.3mg/L。该原水中铁含量高达29.5mg/L，超标严重。为使除铁处理达到标准规定要求，采用充分曝气后再进行除铁和除锰处理。

本工程采用JM-3滤料，同时去除铁和锰。运行时，先将进水pH值调到8.5，再经过曝气装置（无油空压机）将水充分曝气，使二价铁和锰氧化成三价铁和四价锰，再经过装有JM-3滤料的过滤器同时去除铁锰，以满足锅炉给水制取要求。当除铁除锰运行制水量达到设定的流量后，需用2.5%浓度的NaOH溶液将滤料循环再生，使滤料恢复处理效果。再生时，通过再生泵将0.8倍滤料体积、浓度为2.5%的NaOH溶液泵入滤料后，再回到再生液箱，如此循环三个小时后，关闭再生泵，浸泡三个小时，再用原水将罐体内的再生液洗出，直至出水PH值小于8.5，即可去除存积在滤料中的铁锰氧化物沉淀，从而实现滤料的重复使用。

由于地下水中铁含量较高，因此系统设计采用较低的流速过滤，一般控制运行流速为8m/h；系统配置一组直径1.8m、高度2.85m的玻璃钢罐，罐内填装JM-3滤料，由多个润新DN50球阀与专用球阀控制器形成自动控制系统，组成除铁除锰系统满足供水。水处理系统设备安装如图6-7所示，系统工艺流程如下：

地下水→变频泵→调节pH装置→曝气装置（无油空压机）→除铁锰设备（配再生装置）→净水箱→变频泵→用户



图6-7 除铁除锰系统及设备

采用球阀的除铁锰系统安装简图如下：

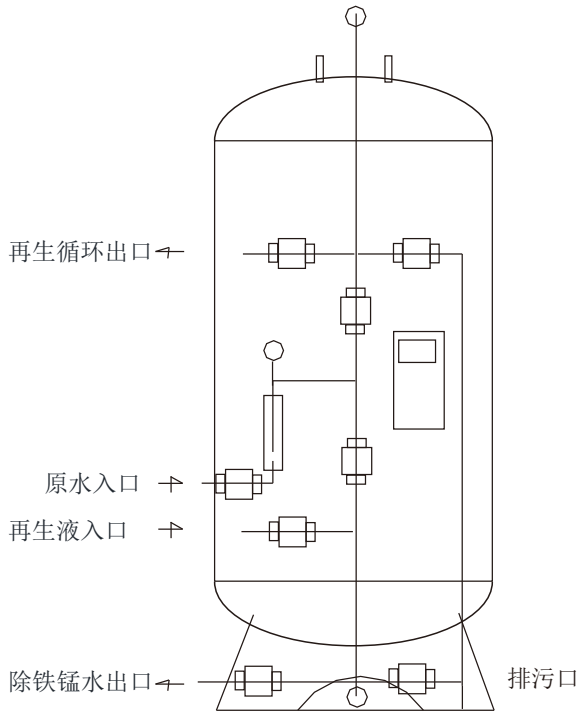



图6-8 除铁锰系统安装简图

（3）运行效果

地下水曝气后，二价铁锰氧化后生成的胶体氧化物通过JM-3滤料吸附和化学反应的方式去除。经检测，过滤后出水铁含量<0.1mg/L、锰含量<0.05mg/L，贮水箱水质清澈透明、无色无味。由于滤料可及时通过NaOH再生恢复除铁除锰效果，不像锰砂等滤料需定期更换，运行成本低，JM-3滤料使用寿命长，平均可达10年以上。该系统于2011年投入使用，至今仍正常运行。

## 6.2 润新阀在常温式除氧系统中的应用

### 6.2.1 水中溶解氧对锅炉的影响

锅炉金属的腐蚀主要分为氧腐蚀、酸性腐蚀或碱性腐蚀以及垢下腐蚀。酸性或碱性腐蚀可以通过控制给水和锅水的pH值和碱度来避免；垢下腐蚀通过控制给水硬度，防止锅炉结垢，或对已结垢的锅炉清洗除垢来避免。目前锅炉最常见的腐蚀是氧腐蚀，金属表面受到氧腐蚀后，将造成金属壁厚减薄，显著降低锅炉承压能力，易造成锅炉损坏，影响锅炉安全、经济运行。防止氧腐蚀的措施，除了做好停炉保养，在运行中进行给水除氧是防止锅炉氧腐蚀的有效方法，GB/T1576《工业锅炉水质》标准中，对锅炉用水溶解氧含量的规定见表6-2。

表6-2 不同压力条件下锅炉给水溶解氧标准　　单位：mg/L

| 额定蒸汽压力（MPa） | 蒸汽锅炉 | | | | 热水锅炉 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | p≤1.0 | 1.0＜p≤1.6 | 1.6＜p≤2.5 | 2.5＜p≤3.8 | 补给水 | 锅水 |
| 溶解氧（mg/L） | ≤0.10 | ≤0.050 | | | ≤0.10 | ≤0.50 |

### 6.2.2 常见的锅炉给水除氧方法

**（1）热力除氧法**

主要原理是利用亨利定律，气体在液相中的溶解度与其在汽液分界面上气相中的平衡分压呈正比。在敞口设备中，将水加热到沸点，使水沸腾，水面上水蒸气的压力和外界压力相等，其他气体的分压则为零。此时，溶解在水中的气体将全部逸出，从而除去水中的溶解氧。热力除氧通常适用于蒸汽锅炉，热水锅炉由于除氧温度不足，一般不适用热力除氧，常采用化学药剂除氧或常温海绵铁除氧。

**（2）真空除氧**

真空除氧的原理与热力除氧原理类似，利用水在沸腾状态时气体的溶解度接近于零的特点，来除去水中所溶解的氧和二氧化碳等气体。由于水的沸点和压力有关，在常温下，可利用抽真空的方法使之呈沸腾状态，即当水温一定时，压力愈低（即真空度愈高），则水中残余的氧及二氧化碳含量愈少。

**（3）化学药剂除氧法**

将化学药剂加入水中与溶解氧起化学反应而除去氧的方法。由于加入化学药剂，增加了给水的含盐量，且除氧反应较慢，效果有限，通常用作辅助除氧。

锅炉化学除氧常用药剂主要有：联胺（电站锅炉辅助除氧）、亚硫酸钠（仅限工业锅炉）。

**（4）常温海绵铁除氧法**

常温过滤式除氧属化学除氧法，采用专业生产的活性海绵铁（直接还原铁）来除去水中溶解氧。海绵铁主要成分是铁，其疏松多孔的内部结构，提供的比表面积是普通铁屑的5万倍～10万倍。将含氧的水通过此特制的海绵铁滤料，由于其具有巨大的表面积，可使水中的溶解氧与铁发生氧化反应，从而因为氧被消耗而使出水氧含量小于0.05mg/L。

其化学反应式为:

$$2Fe+2H_2O+O_2\rightarrow 2Fe(OH)_2\downarrow$$

$$4Fe(OH)_2+2H_2O+O_2\rightarrow 4Fe(OH)_3\downarrow$$

反应生成的产物$Fe(OH)_2$、$Fe(OH)_3$为不溶于水的松软絮状物，当其累积到一定程度后,可通过反洗将其从滤料中冲洗掉，恢复到初始的过滤能力。海绵铁的消耗量很低，根据处理水量与水质的不同，一般3～6个月补充一次。

### 6.2.3 润新阀在常温除氧系统的应用案例

热力除氧法、真空除氧及化学药剂除氧法，均可直接对给水进行加热或抽真空、加除氧药剂等处理，不需要控制阀进行控制，下面仅例举润新阀在海绵铁除氧系统的应用。

（1）应用背景

北方供热站大多采用地下水作为锅炉补给水，一般地下水的氧含量不高，但硬度较高，需要通过软化处理除去或降低硬度，在软化过程中空气中的氧容易溶解在水中，因此为防止锅炉氧腐蚀，也需要进行除氧处理。河北某地供热站，采用地下深井水作为原水，经软化处理后测得水中溶解氧含量约8.5mg/L，要求通过除氧使进入锅炉的补给水溶解氧含量小于0.1mg/L。

（2）工程概况

采用海绵铁常温除氧，配置两台直径为1.6m、高度2.6m的钢罐，罐内填装专制海绵铁，选用润新53530过滤控制阀，形成两套海绵铁除氧系统并联运行供水，设计平均流速12m/h（一般8m/h～15m/h），按设定运行天数进行反冲洗，同时配置如图3-6所示的球阀，增加反洗流量，通过互锁线互锁后防止两台过滤器同时进行冲洗。除氧后的水进入一个密封水箱，供作锅炉补给水。

该系统采用的水处理工艺流程为：原水箱→原水泵→软化处理系统→海绵铁除氧过滤器→除氧密封水箱→供锅炉补水。海绵铁除氧过滤器装置见图6-9。



图6-9 采用自动过滤阀的海绵铁除氧过滤器装置

（3）运行效果

软化水经海绵铁除氧后，其氧含量可低于0.05mg/L，每半年补充一次海绵铁，除氧效果好，运行成本低。

在实际使用中，根据系统的大小，也可以采用润新电动球阀与专用的球阀控制器来组成自动控制海绵铁除氧系统，罐体内部分为左右两室，运行时左右两室同时运行，冲洗时左右两室分开冲洗，从而提高冲洗强度。其安装简图见图6-10。

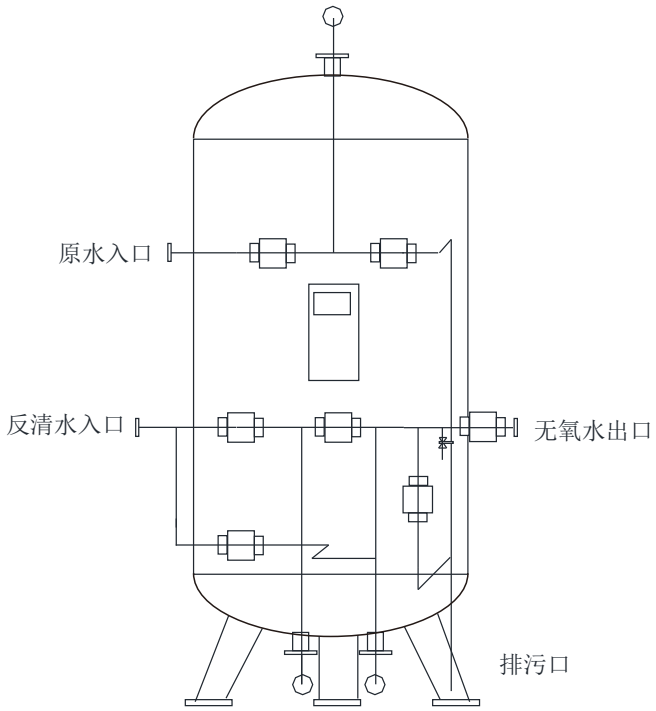



图6-10 采用球阀控制的海绵铁除氧过滤器安装简图

## 6.3 润新阀在除氟系统中的应用

### 6.3.1 含氟水的危害

氟(fluorine)具有很高的化学活泼性，在自然界中主要是以萤石$CaF_2$、氟磷酸钙$Ca_{10}F_2(PO_4)_6$、冰晶石$Na_3AlF_6$化合物的形式存在。地下水与这些矿物接触后会溶入氟的化合物，使地下水中含有一定量的氟，一般可达0.4mg/L～0.5mg/L，高的甚至达到10mg/L或者更高。

氟对人体有着重要的生理功能，是组成牙齿和骨骼的重要成分。正常情况下，牙齿含氟量为200ppm～600ppm，成年人牙齿的含氟量为11mg/100g，而患有龋齿的人，牙齿含氟量仅为6mg/100g。然而人体摄入过量的氟，会引起氟中毒。慢性氟中毒的主要表现为氟斑牙（黄牙）和氟骨症。如图6-11，患氟斑牙者，牙齿表面失去光泽、粗糙，有的出现黄色、褐色、黑色色素沉着，严重的可出现片状或大块缺损，牙釉质破坏脱落。

氟骨症患者早期出现四肢、脊柱骨骼和全身各关节疼痛、全身乏力，严重的可造成肢体功能发生障碍，全身骨骼和关节变形，甚至瘫痪。



氟斑牙患者　　氟骨症病人

**图6-11　氟中毒后的氟斑牙和氟骨症**

据不完全统计，地方性氟中毒在我国分布广泛，在26个省市、自治区的574个县中，大约涉及47000个村庄，受影响的人群大约4500万。其中以华北、西北地区尤为严重，例如我国内蒙阿拉善右旗雅布赖盐池地区，由于饮用水中氟含量高达10mg/L，常见此病症。

综合考虑饮水中氟含量不大于1.0mg/L时对人体影响较小和氟的防龋齿作用，因此强制性国家标准　GB5749-2015《生活饮用水卫生标准》中规定饮用水氟含量不得大于1.0mg/L。从防止氟中毒的角度来看，当饮用水中氟含量达到1.5mg/L或更高时，需考虑除氟。

### 6.3.2 常见的除氟方法

（1）除氟剂吸附法：是较常用的除氟方法，将含氟水以一定滤速通过除氟剂过滤，滤柱出水即可达到符合饮用水含氟量的规定要求。常用的除氟剂有：磷酸三钙、骨炭、活性氧化铝、改性树脂等，前两者机械强度较差，且需用强碱强酸再生，使用不便。活性氧化铝机械强度较好，再生不用强碱强酸，但易使出水铝含量增高。对于生活饮用水

处理，不宜采用含铝除氟剂除氟工艺，因为采用含铝除氟剂处理含氟水时，虽然氟含量可达标，但过滤后水中铝含量易超标，铝的超标对人类的危害有可能比氟超标对人类健康的危害更严重。

（2）除盐法除氟：常用的电渗析(electroosmosis)、反渗透(reverse osmosis)以及阴阳离子交换(ion exchange)除盐处理，可以在除盐的同时除氟。但这些除盐水处理工艺比单纯采用除氟剂复杂，设备投资也较高，对于含盐量和含氟量都高的水，采用这些方法处理时往往废水较多。

（3）JM-1型除氟滤料过滤处理：JM-1型除氟滤料是一种多孔物质，孔径通常为0.5nm～1.6nm，具有极大的比表面积，其除氟时采用吸附和离子交换两种方式去除。JM-1型除氟滤料中不含活性铝，其除氟反应式为：

$$F^-(\text{含氟水})+R(\text{除氟滤料})\rightarrow FR(\text{截留物})+H_2O$$

当含有氟的原水以一定的流速顺流流经除氟滤料层时，原水中所含有的氟离子被除氟滤料的交换层顺利截留下来，使出水成为低氟或无氟水；滤料中形成含氟物质FR，当除氟滤料中FR趋于饱和，出水中氟含量≥1.0mg/L时，说明除氟滤料失效，需立即用配制好的再生剂对除氟滤料层进行强制逆流再生，恢复除氟滤料的除氟能力。

对于氟含量≤20mg/L的原水，一般采用一级（单罐）除氟处理即可；如果原水中氟离子含量＞20mg/L，需采用双级（双罐）或多级（多罐）串连除氟系统，使高氟水通过一个除氟系统处理即可达到除氟标准。JM-1型除氟滤料可通过再生重复使用，使用寿命可达十年。

（4）其他除氟方法：成本最低的方法是采用硫酸或石灰絮凝、沉淀除氟，但效率较差，且处理过程对环境有影响，目前较少采用。在电费便宜的地区可以考虑用蒸馏法，即用含氟水制取蒸馏水。

### 6.3.3 润新阀在除氟系统的实际应用案例

**（1）应用背景**

吉林洮南位于吉林省西北部的偏远地区，人口1万多，无自来水供应，只能依靠自建小型集中式水厂分时供水来解决饮用水问题。但当地地表水资源贫乏，地下水含氟量超过4mg/L，严重超过了GB5749-2006《生活饮用水卫生标准》中规定的饮用水氟含量不得大于1.0mg/L的规定。按人均每天生活用水80L～100L计算，需要每天处理82t～100t水，按每天供水2.5小时，则要求水处理流量为32.8m³/h～40m³/h。

**（2）工程概况**

本工程采用JM-1除氟滤料除氟，配置直径1.8m、高度2.85m的玻璃钢罐体，罐内填装高度为2m的JM-1滤料，采用多个润新DN50手动球阀，组成一套除氟系统。每套处理水量为10m³/h，采用四套并联运行实现40m³/h供水需求。

由于地下水中含有泥砂，需要在除氟前去除泥砂；然后将原水pH值调节到6.5，再经过JM-1滤料除氟，水流采用从上至下的方式运行。去除大部分或全部氟的低氟水进入净水箱，通过泵与管道送至用户。当出水氟含量超过1.0mg/L时，说明滤料吸附饱和，需要采用专用再生剂再生，以实现滤料的重复使用，设备安装见图6-12，系统运行的工艺流程为：

含氟地下水→变频泵→除砂器→pH值调节装置→除氟设备（再生装置）→净水箱→泵→用户



图6-12 吉林洮南供水除氟系统

（3）运行效果

该系统初始出水检测氟含量小于0.25mg/L，低于《GB5749-2006生活饮用水卫生标准》中规定饮用水氟含量不得大于1.0mg/L，自2011年运行至今，出水稳定。

### 6.3.4 除氟工艺中润新控制阀应用的选用原则

（1）润新手动陶瓷球阀需要组合成侧装手控回路，采用“顺流过滤净化、逆流再生”的除氟工艺；

（2）润新电动陶瓷球阀可以与多阀控制器组合成侧装自动控制回路，采用“顺流过滤净化、逆流再生”的除氟工艺；

（3）润新侧装多路阀采用“顺流交换、逆流再生”的自动控制阀。

图6-13为润新阀在除氟工艺设备中的实际应用：



球阀组成除氟控制系统



多路阀除氟控制系统

图6-13 润新球阀和多路阀在除氟水处理系统中的应用图

## 6.4 润新阀在其它特质水处理系统中的应用

### 6.4.1 润新阀在除硝酸盐与亚硝酸盐的净化系统中的应用

#### 6.4.1.1 硝酸盐和亚硝酸盐对健康的影响

硝酸盐和亚硝酸盐广泛存在于自然环境的水体、土壤、植物中。大量摄入硝酸盐可诱导人体产生高铁血红蛋白血症，临床表现为口唇、指甲发绀，皮肤出现紫斑等缺氧症状，严重者可致死亡，而亚硝酸盐是公认的致癌物，对人体健康影响很大。

GB5749-2006《生活饮用水卫生标准》中规定饮用水中硝酸盐（以氮N计）应不大于10mg/L，小型集中式供水和分散式供水以及地下水源受限制的个别地区可放宽至20mg/L；亚硝酸盐含量应不大于1mg/L。

#### 6.4.1.2 去除方法

目前，去除硝酸盐和亚硝酸盐的方法，主要采用三甲基胺基［-$N(CH_3)_3OH$］的阴离子交换树脂进行离子交换去除。当树脂失效时，采用工业盐（NaCl）再生即可恢复树脂的除硝酸盐和亚硝酸盐能力。

但需特别指出：不同树脂交换流速不同，采用阴离子交换树脂去除硝酸盐和亚硝酸盐时需采用较低的交换流速，因此在设备选型时应注意低流速时的制水流量。

除硝酸盐和亚硝酸盐的水处理工艺流程为：地下水→变频泵→多介质过滤器→除硝酸盐离子交换器→精滤器→贮水箱→供水泵→用户

硝酸盐、亚硝酸盐与树脂的离子交换反应式如下：

$$NO_3^- + NO_2^- + 2RN(CH_3)_3Cl = RN(CH_3)_3NO_3 + RN(CH_3)_3NO_2 + 2Cl^-$$

硝酸盐　亚硝酸盐　有效树脂　　失效树脂　　失效树脂　　出水

#### 6.4.1.3 实际应用

（1）应用背景

沈阳于洪区某安居小区生活用水采用自备地下井水供小区居民生活用水，使用一段时间后发现居民中有口唇、指甲发绀、皮肤出现紫斑等缺氧症状出现，将水样送疾控中心检测，发现水中硝酸盐含量（以氮计）为27.5mg/L，超过国家标准规定的2.75倍，必须处理后方可使用。

（2）工程概况

该小区共有居民7000人，平均日耗水量约560$m^3$，由于小区还有餐饮服务行业用水，因此每天总用水量约600$m^3$，按水处理设备平均每天运行15个小时计，设计系统制水量为40$m^3$/h。除硝酸盐的离子交换运行和再生与软化处理相似，均是采用工业盐再生，但运行流速略低。本工程配置直径1.2m、高度2.4m的玻璃钢树脂罐，罐内填装Ⅰ型强碱性阴离子交换树脂1600L，采用润新63620控制阀，并在控制阀的出水口处安装球阀来调整出水量至设计流量，配备二套离子交换装置，一用一备，其设备安装如图6-14。运行效果良好，出水硝酸盐含量达到标准规定要求。



图6-14 除硝酸盐的离子交换装置

表6-3 除硝酸盐和亚硝酸盐的手控、自动净软化设备润新阀的配置表（供参考）

| 序号 | 配套树脂罐直径 mm | 软化阀型号 | 盐箱容积 |
|---|---|---|---|
| 1 | 1600～1800 | 63650 | 2500～3000L |
| 2 | 1500～1600 | 63650 | 2000～2500L |
| 3 | 1200～1400 | 63640 | 1500～2000L |
| 4 | 1000～1200 | 63620 | 1000L |
| 5 | 800～900 | 63618 | 800～1000L |
| 6 | 600～800 | 63610 | 350～500L |
| 7 | 500 | 63606 | 300L |
| 8 | 400 | 63604 | 300L |
| 9 | 350 | 63604 | 300L |
| 10 | 300 | 63602 | 200L |
| 11 | 250 | 63602 | 200L |

注意：如用户考虑选用手动控制软化阀时，可选择对应的相同出水量手动软化阀。

### 6.4.2 润新阀在除砷系统中的应用

#### 6.4.2.1 砷对人体的影响

砷及其化合物具有很大毒性，当人体摄入砷的量过多时，就会造成砷中毒。其中三氧化二砷又称砒霜，经口服5mg～50mg即可中毒，60mg～100mg即可致死。长期食用含砷的水或食物也会在人体中积累砷，影响身体健康。

砷侵入人体后，除由尿液、消化道、唾液、乳腺中排泄外，主要蓄积于骨质疏松部、肝、肾、脾、肌肉、头发、指甲等部位。砷易作用于神经系统，刺激造血器官，长时期少量侵入人体，对红血球生成有刺激影响，长期接触砷易损伤人体细胞和毛细血管，加重脏器损害，还有可能诱发恶性肿瘤。为此，我国国家标准对食品中砷的最高限量规定为不大于0.7mg/kg，鲜乳为不大于0.2mg/kg。GB5749《生活饮用水卫生标准》规定饮用水中砷的限量为0.01mg/L，小型集中式供水和分散式供水限量为0.05mg/L。

#### 6.4.2.2 除砷方法

除砷的方法主要有反渗透、JM-2滤料吸附法等。反渗透设备投入成本比较高，一般水源中含砷的地方，水资源相对缺乏，而反渗透除砷会产生较大的水源浪费，后期的使用成本高，维护也麻烦。JM-2滤料是一种专用除砷滤料，通过吸附与离子交换的方式来实现对砷的去除。

#### 6.4.2.3 实际应用案例

**（1）应用背景**

沈阳新民市某敬老院地处偏僻地方，无法提供城市自来水，附近也没有地表水，生活用水只能采用地下水。经检测，该地下水砷含量为0.12mg/L，超过国家标准GB/T 5749-2006《生活饮用水卫生标准》中规定的不大于0.01mg/L限量，因此需除砷处理后方可使用。由于该地下水较混浊，因此在除砷前需先进行去除泥沙的多介质过滤处理。

**（2）工程概况**

该敬老院共居住260人，日耗水量约15.6$m^3$，按设备平均日工作8小时，配备一个8$m^3$的净水箱作为缓冲急用水量，因此设计采用处理水量为2$m^3$/h的除砷水处理设备。

采用JM-2滤料除砷时，应设置较低的交换流速，一般宜设4m/h。另外进水pH值需调节至8.5～9.0。配置直径1.0m、高2.4m的玻璃钢罐体，罐内填装除砷专用的JM-2滤料，选配润新DN25的球阀与控制器，并在控制阀的出水口处安装球阀来调整出水量至设计流量。在运行初期，每2小时取样检测一次出水砷含量；接近产水周期时，1小时检测一次；当出水砷含量超标时，说明滤料吸附饱和，需要采用专用再生剂再生，以实现滤料的重复使用，设备安装见图6-15。该系统自安装投用以来运行效果良好，出水砷含量达到标准规定要求。该水处理系统的工艺流程如下：

含砷地下水→变频泵→去泥过滤器→pH值调节装置→除砷设备（配再生装置）→净水箱→用水点



图6-15 手动球阀控制除砷处理系统

对于除氟、除砷、除重金属、除硝酸盐等特质水处理系统，也可根据出水量的大小，选用不同通径的电动陶瓷球阀与专用的球阀控制器组成控制系统。采用球阀控制的特质水处理设备安装简图如图6-16所示：

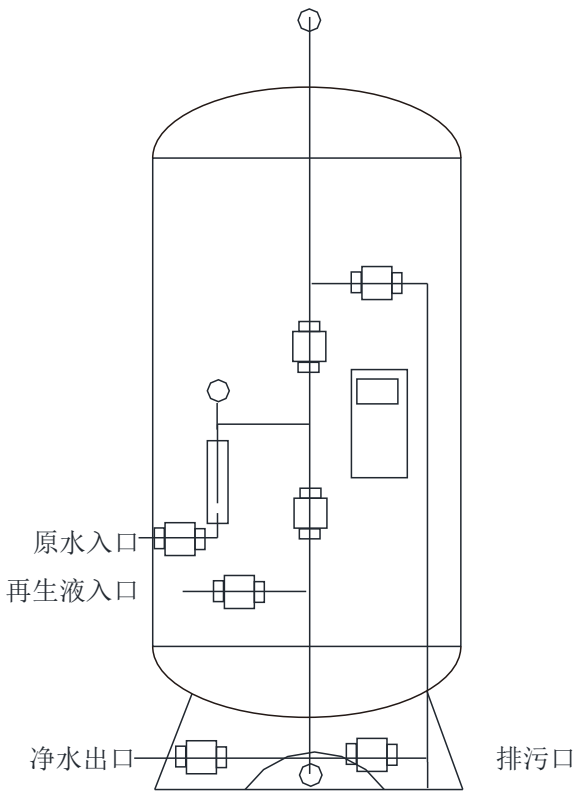



图6-16 除氟、砷、重金属等特质水处理设备安装简图

### 6.4.3 润新阀在除硼系统中的应用案例

**（1）应用背景**

养殖家禽的农场，一般都处在远离城市的偏远地区，自来水难以送达，用水主要采用就近的地表水或地下水。为了保证家禽产品符合标准，防止肉、蛋中有害物质超标，通常需要对家禽的饮水进行杀菌除害处理。

匈牙利某家禽养殖公司，采用地下水作为水源，该地下水中硼含量较高，通常以硼酸$H_3BO_3$和硼酸盐$H_3BO^{2-}$的形式存在于水中，需要处理降低其含量后方可供家禽饮用。另外，地下水中有可能还会含一些细菌，为防止细菌对家禽造成传染病等伤害，需要先进行杀菌消毒处理，并排除地下水中残留的气体。为此，设计采用氯气杀菌，反渗透（RO膜）处理除硼，该养殖公司家禽养殖量大，日常需水量约为10$m^3$/h。

**（2）工程概况**

本工程采用深井泵抽取地下水，采用氯气发生器定时向管道添加氯气进行杀菌，再配置三个直径0.9m、高度2.4m的玻璃钢罐体，罐内填装活性炭，配套选用润新53520控制阀，组成三套活性炭过滤系统去除杂质和余氯等；为避免RO膜结垢，在反渗透装置前设置软化处理装置，选用润新63610控制阀，配置直径0.6m、高度1.8m的树脂罐，内装钠离子交换树脂的软水器，组成三套软化系统来降低进水硬度；再由RO膜去除水中的其它杂质，处理后的出水进入10$m^3$的储水箱，在储水箱中设置液位开关来控制水位，最后通过增压泵将水箱内的水输送到各用水点。在RO系统中，配置CIP原位清洗系统，以防止出水被微生物和细菌污染。设备安装如图6-17，水处理工艺流程如下：

地下水→深井泵→消毒（配氯气发生器）→活性炭过滤器→软水器→调节PH值→RO反渗透系统（配套CIP原位清洗系统）→储水箱→增压泵→用水点



图6-17 除硼系统的设备安装图

# 第七章 润新阀在民用水处理系统中的应用

我国是一个水资源相对贫乏的国家，近年来随着工农业生产和城镇化建设的快速发展及城镇人口的不断增长，生活用水需求与优良水资源紧张的供需矛盾越来越严重，有些地区水源水中不但钙镁硬度极高，而且还存在各种有机物、重金属离子、工业废水及洗涤剂或农药残留物等对人体有害的污染物，导致自来水处理越来越困难，并需添加更多的杀菌消毒剂。随着城市高楼大厦越建越高，出现了二次供水形成的污染问题；城市中的老旧管网也容易导致居民供水污染问题。在北方，地下水越采越深，水中硬度等杂质含量越来越高，而人们对生活用水尤其是饮用水的要求也越来越高。因此，针对城市自来水或集中式供水的深度处理越来越受到人们重视。

润新公司自主研发并生产的润莱家用全屋水处理系统，针对水中存在的各种杂质进行全面处理，为提供优质生活用水所研制的系列产品主要有：智能防泄漏叠片式前置过滤器、智能防泄漏中央净水机、家用净水龙头、中央软水机、沐浴软水机、RO机（纯水机）和山泉水过滤器等系列产品。润莱家用水处理器实现了全屋净水系统的全覆盖，并在软化水处理细分领域不断延伸和渗透，成功开发了超高硬度橱下式软水机、智能双罐并联软水机、智能防泄漏软水机、手机远程控制软水机等独具特色的产品，成为越来越多寻常百姓家庭生活水处理的理想之选。

## 7.1 润新过滤阀在民用水处理过滤系统中的应用

### 7.1.1 前置过滤器

由于自来水管路的老化或维修，自来水从水厂输送到各家庭的过程中，可能会存在一些泥砂、铁锈等杂质，为保障生活用水的卫生健康和保护家庭用水设备，有必要对自来水供水作进一步的处理。有些发达国家还对供水系统提出更高要求，例如德国政府在1988年立法（DIN1988）规定：兴建的所有建筑物必须在供水系统中安装保护性杂质过滤器。

因此，前置过滤器是对全屋用水的第一道粗过滤设备。通常安装在家庭用水管路水表后端，是家中的第一道净水卫士，主要用以过滤自来水供水管网二次污染中的泥沙、铁锈等颗粒状或絮状杂质，是一种可靠的杂质过滤装置。主要作用是防止城市及小区供水管网中产生的大量沉淀杂质对人体造成伤害，并且对暗敷管道、水龙头、水暖、热水器、锅炉、中央空调、洗衣机、洗碗机、咖啡机及其他用水家电（净水机、纯水机、软水机）等起到积极的预保护作用。

市场上常见的家用前置过滤器大都采用不锈钢滤网式滤芯过滤，可以定期手动进行正冲洗，将滤网截留的杂质清除。因采用正冲洗，夹杂在滤网间的杂质很难清洗出来，冲洗效果不理想，且絮状物难以清除，易附着在过滤网上导致流量越来越小。

工业水处理中有一种采用叠片作为滤芯的过滤器，通常由多个均匀分布众多凹槽的圆盘片状优质工程塑料片堆叠起来构成过滤屏障，清洗时松开叠片即可将污物有效洗清干净，重新压紧叠片即可恢复过滤，理论上可以无限次重复使用。

家用过滤系统需要功能多，易操作及维护、安装方便的过滤器。为使过滤器便于自动冲洗，免于维护，润莱叠片式前置过滤器利用端面密封的优势，将陶瓷阀芯与叠片式滤芯集成（如图7-1），通过电机可以方便地控制阀芯转动，从而利用水流的切换，实现叠片滤芯的过滤及反冲洗。反冲洗时，叠片滤芯在水压的作用下，自动松动且旋转搓洗，使截留的杂质可以方便的排除；另外，为使冲洗过程中，用户不会断水，设计的控制阀具有冲洗旁通功能。



图7-1 叠片式前置过滤器

### 7.1.2 中央净水机

#### 7.1.2.1 生活用水对人体健康的影响

饮用水中有害物质的摄入对人体健康的影响已广为人知，但生活用水中的化学物质通过洗浴等途径与皮肤接触而被人体吸收的危害却往往被忽视。有研究表明，不少看起来澄清透明的水中，却存在着一些有毒有害的化学物质（如甲苯、乙苯、苯乙烯等）容易被人的皮肤所吸收。例如，当洗浴水中含有三氯乙烯时，由于其在热水中的挥发性，使得人们在沐浴时吸入这种化学物质的可能性远大于直接吞咽。表7-1为某些化学物质被成年人和儿童的皮肤吸收与口腔吸入的吸收率比较，这些吸收率可认为与人们对饮用水中其他常见化学物质的吸收相似。

表7-1 某些化学物质通过皮肤吸收与口腔吸入的平均比值

| | 暴露时间 | 皮肤吸收 | 口腔吸入 | 水的消耗量 |
|---|---|---|---|---|
| 成人洗澡 | 15min | 63% | 27% | 2L |
| 婴儿洗浴 | 15min | 40% | 60% | 1L |
| 儿童游泳 | 1h | 88% | 12% | 1L |
| 总的平均 | | 64% | 33% | |

表中的数据表明，皮肤对于某些化学物质的吸收率是很惊人的，因此人们在游泳和盆浴时应尤其要注意！事实上，热水中的挥发性化学物质通过呼吸吸入要比从口腔进入的要多6～80倍。

因此，仅仅注意饮用水的质量是不够的，为了全面保障全家人的身体健康，需要配置一个对家庭所有生活用水都进行净化处理，并可定期自动进行反冲洗的水处理设备，即中央净水机。

#### 7.1.2.2 中央净水机分类

市场上常见的中央净水机有两类：一是超滤膜结构的中央净水机；二是采用活性炭作为滤料的中央净水机。

超滤膜结构的中央净水机，主要采用超滤膜作为过滤元件，去除水中大于0.1μm的杂质、细菌等，但不能去除水中的余氯等气味。产品主要采用正冲洗，将截留的杂质通过排水口正向排出，而被截留在膜孔内的杂质无法冲出，絮状物类的杂质也较难冲出。

活性炭作为滤料的中央净水机，采用活性炭作为过滤材料，通过活性炭的吸附及截留作用来实现净化的目的。活性炭中央净水机可配置具备反冲洗功能的控制阀，定期对滤料进行反冲洗，以达到防止二次污染、延长滤料使用寿命的目的。

#### 7.1.2.3 活性炭中央净水机

通常，城市自来水中的最主要问题是余氯、有机物、THM'S和铅。其中，余氯是自来水厂为防止水在运输过程中产生细菌而加入的消毒剂，只能在终端用户使用时进行去除处理。图7-2为各种型号的活性炭过滤器，能够显著、有效地减少这些主要污染物。



图7-2 各种型号的民用活性炭中央净水机

活性炭中央净水机主要通过活性炭、石英砂等滤料来吸附水中的余氯、重金属、病毒、有机物、农药、藻类等有害物质，并过滤掉铁锈、固体悬浮物等杂质，能有效解决自来水输送过程中因为消毒杀菌、管网老化、二次供水等原因造成的二次污染，可稳妥保障家庭用水的安全。

活性炭在吸附有机物、澡类等杂质后，需要及时将杂质清理出去，以防止再次产生污染。在山田贤次（日本）所著的《建筑物内优质水－安全可口饮用水》一书的结论中特别强调：“为了解决由活性碳等吸附装置及膜处理生成的微生物及其繁殖问题，应设置反冲洗装置定期反冲。”因此，中央净水机的关键：一是看过滤后的效果，出水的浊度及余氯的去除情况，其主要跟活性炭的质量有关；**二是一定要具备反冲洗功能，理想的设备应能自动定期对滤芯、滤料进行反冲洗，不仅能避免因长期使用而导致的污染物堆积、细菌滋生等二次污染，而且可大大延长滤芯、滤料的使用寿命，降低后期维护费用。**市场上有些净水器产品不具备反冲洗装置，使用不久后便出现堵塞、出水质量降低

等情况，只能对里面的滤芯滤料全部更换后才能继续使用，维护成本较高。

润莱活性炭中央净水机采用活性炭对水中的余氯、有机物、THM'S和铬、铅等重金属离子进行吸附处理，主要具有以下作用：

a) **除臭**：除去由酚、有机质等引起的异臭；

b) **脱色**：去除由铁、锰及植物分解生成物或有机质等污染物所形成的色度；

c) **脱氯**：除去由于在自来水中投加消毒剂所残余的氯及造成的气味；

d) **去除TOC(总有机炭)**，可除去10%～60%有机物——农药、杀虫剂、氯化烃等；

e) **去除重金属**：可去除汞、铬、铅等重金属离子；

f) **去除合成洗涤剂及合成染料等；**

g) **去除病毒、放射性物质、致突变物质等。**

以润新中央净水机为例，可根据适用户型及家庭人数进行如下配置：

| 型号 | J60 | J120 | J150 |
|---|---|---|---|
| 额定流量 | 600L/h | 1200L/h | 1500L/h |
| 适用人数 | 1～3 人 | 2～4 人 | 3～6 人 |
| 适用类别 | 1 卫、中小户型 | 1～2 卫、中小户型 | 2 卫、别墅/大中户型等 |

## 7.2 润新软化阀在民用软化水系统中的应用

### 7.2.1 软化水的优点

天然水中往往含有较高的钙镁离子（称为硬水），在人们洗脸、洗发、沐浴和洗衣时，钙镁离子容易与肥皂、洗发水、沐浴液、洗衣液（粉）等洗涤用品发生反应，形成难溶微粒或絮状物，堵塞人体毛细孔或使衣料板结硬化；硬水用于烧开水或蒸煮食物时，既影响口感，又易使热水壶、蒸锅等结生水垢；用于热水器和挂壁炉等用热设备更容易结垢，影响传热，并增加电能或燃气消耗。因此，生活用水需要进行软化处理。使用软化水的主要优点有：

a) 更好地清洁并柔化皮肤和头发。“软水沐浴、皮肤和头发更好”。采用软化水沐浴，可将肌肤、头皮及毛发细胞内的污物彻底清除，延缓皮肤衰老，使清洗后的皮肤无紧绷感，光泽细腻，头发柔顺光滑。因此，美容院一般都采用软化水。

b) 避免用热设备和炊具结垢。使用软化水，可防止壁挂炉、热水器、蒸锅和烧水壶等结生水垢，防止因结垢而造成受热管烧损，大大减少设备维修次数，热水器寿命可延长一倍以上，用热设备或炊具所用煤气费或电费可减少29%～32%，家庭内墙中安装的水管不结垢、不阻塞。

c) 改善居家生活的洗涤效果。使用软化水，可使洗涤衣物柔软洁净、色泽如新，并可显著减少洗衣液（粉）使用量；清洗餐具、瓷器光洁如新，无水渍痕迹，减少洗涤剂用量；马桶、水槽、浴缸不发黄、不结垢、无异味；淋浴喷头的小孔不结生白色水垢，水流畅通无阻。

### 7.2.2 家用软水机的组成及分类

家用软水机主要由树脂罐（罐内填装树脂）、控制阀、盐阀与盐箱等组成。根据外形不同，家用软水机主要分为一体式软水机与分体式软水机（如图7-3和7-4所示）。一体式软水机指填装树脂的罐体与盐水箱放在同一壳体内，占地面积小，且比较美观。分体式软水机指树脂罐与盐箱分设为两个部分，一般产水量较大的软水器采用分体式软水机。

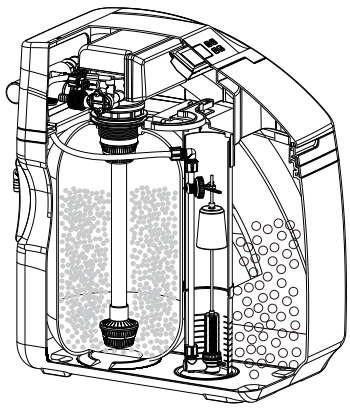


图7-3 一体式软水机

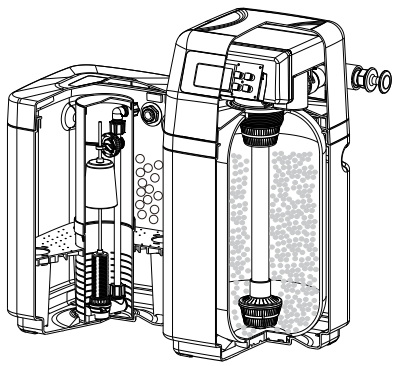


图7-4 分体式软水机

### 7.2.3 家用软水机的特殊功能

润莱家用软水机的特殊功能主要体现在控制阀上，根据所配套的不同控制阀，具有不同的特殊功能。常用的有以下备选功能：

**（1）干盐模式**

一体式软水机的树脂罐置放于盐箱内，在软水机运行期间，通常盐箱内存有大量的盐水，使得树脂罐长期浸泡在盐水中，对树脂罐和盐水都会造成一定的负作用，可能会造成盐水污染并通过再生吸盐时污染树脂。

干盐模式，是指软水机在制水期间，盐箱中保持无水，避免树脂罐长时间浸泡在盐水中，防止树脂罐或盐水变质；当软水机流量或时间达到设定值时，在再生前4小时向盐箱补水，补完水后溶盐4小时，然后进行再生。这样，软水机在运行期间，盐箱基本是干的，所以叫干盐模式。

**（2）缺盐报警**

软水机在达到设定的制水量时，应对失效树脂进行再生，因此需要定期加盐。而民用的软水机由于没有专人管理，加盐周期又往往较长，有的加盐周期可能在1个月以上，用户有可能会忘记加盐，导致树脂得不到有效再生，从而导致出水达不到软化要求。

为了保持盐箱始终有盐，确保树脂失效后能够得到有效再生，润新公司开发了一款具有缺盐报警功能的控制阀，当盐箱中缺盐时能够报警，以提醒用户加盐。目前缺盐报警有以下几种方式：

a)比重法：定期自动检测盐箱内盐水的比重，当低于设定值时能够报警，提醒用户加盐。此方式只适用于不带干盐模式功能的软水机；

b)折射或反射法：通过发光灯管照射盐箱，通过固体盐与水的反射或折射情况不同来

判定盐箱是否有盐，并在测得缺盐时报警。

c)计算法：通过计算每次再生所需要盐量与每次加入的固定盐量比较，计算出每次加盐后可以再生多少次，从而在再生次数达到后报警。

**（3）氯气消毒**

树脂罐中的树脂在长期运行后，会产生细菌，易造成水质变化。部分欧洲国家要求，需要定期对树脂罐进行消毒。氯气消毒是通过在吸盐口加装电解装置，使软水机在吸盐再生过程中进行电解，即电解盐水中的NaCl，产生的$Cl_2$溶于水形成次氯酸，从而对树脂罐进行消毒。

**（4）度假模式**

软水机长时间不用时，树脂容易失效、滋生细菌并结块，再次启用时可能造成树脂破碎。度假模式就是在用户长时间出差或度假前，向树脂罐里吸入一定量的盐水浸泡树脂，然后关闭阀门，度假结束后，开启阀门将罐体内的盐水清洗干净即可正常投入使用。

**（5）软水溶盐**

常见的软水机盐箱补水大多采用原水，但当原水硬度较高时，会使盐水中钙镁含量增高，影响再生效果；另外，原水中含有铁锰等离子时，会使盐箱变色，易对盐箱造成污染。为了解决这个问题，有些控制阀采用软水向盐箱补水，即采用软水溶解盐箱中的盐，既可以提高再生效率，又可避免盐箱变色等问题。

**（6）再生时出原水**

在GB/T 18300《自动控制钠离子交换器 技术条件》中规定，用于锅炉等工业设备水处理的离子交换器再生过程中不应有硬水从交换器出口流出。这主要是为了防止给水硬度增高，导致锅炉等热力设备受热面结垢，造成热效率降低或产生安全隐患。一般情况下，软水机再生需要1～2小时，工业用软水设备一般设有软水箱，使得软水机在再生过程中，软水箱中有足够的软水供给锅炉用水。而家用软水机通常不配置软水箱，如果再生过程中软水机出口无水的话，会造成用水设备断水，影响用户的使用；有的虽然将软水机再生时间设定到晚上再生，但也可能遇到临时用水的情况。因此，针对这样的情况，家用软水机一般都配置再生时出口通原水的控制阀，使软水机在再生过程中，未经软化的原水可以从出口流出，以供用户急需。

**（7）硬水旁通**

生活用水中的硬度并非越低越好，例如饮水中硬度过低对人体不利。因此，在意大利、比利时等一些欧洲国家，要求使用软水机的出水硬度应控制在50～90mg/L（以$CaCO_3$计）。家用软水机再生后，出水硬度大都低于30mg/L，为了满足要求，可向软水机出水中添加部分未经软化的硬水，调节两者混合后的水中硬度在50～90mg/L，也即硬水旁通功能。

**（8）WIFI功能**

随着物联网的快速发展，软水机等家用电器也可通过手机来进行控制。只要软水机有无线信号，无论您在哪里都可通过手机查询软水机的工作状况，设置软水机的参数等。利用该功能也可以更好地完善和提升售后服务。

## 7.3 润莱全屋水系统的应用案例

### 7.3.1 民用软水机的应用

民用软水机可广泛应用于家用壁挂炉、热水器、洗衣机、地暖、热水锅炉、暖通（中央空调）、集中供热的换热站等行业。

**（1）应用于热水锅炉配套**

位于新疆喀什的部队训练营，当地原水硬度为415mg/L（以$CaCO_3$计），在冬天需要采暖并供提供洗浴用水，为防止电加热锅炉的结垢问题，需要对原水进行软化处理。

由于人员不多，且有较大的储水箱，故采用一套家用软水机供采暖锅炉补水，软水机出水硬度达到标准要求，有效地解决了防止锅炉结垢的问题，降低了锅炉的能耗。其安装示意如图7-5。

**（2）应用于壁挂热水器**

对于已经装修好的家庭，前期未考虑到对水的软化处理，管路未做预留。为了延长燃气热水器的使用寿命，并获得更好的软水洗浴体验感，可后期加装壁挂式软水机，解决热水器的供水和沐浴所需软水，其安装如图7-6。




图7-5 热水锅炉配套软水器　　图7-6 用于洗浴的壁挂式软水器

### 7.3.2 家用全屋水处理系统典型案例

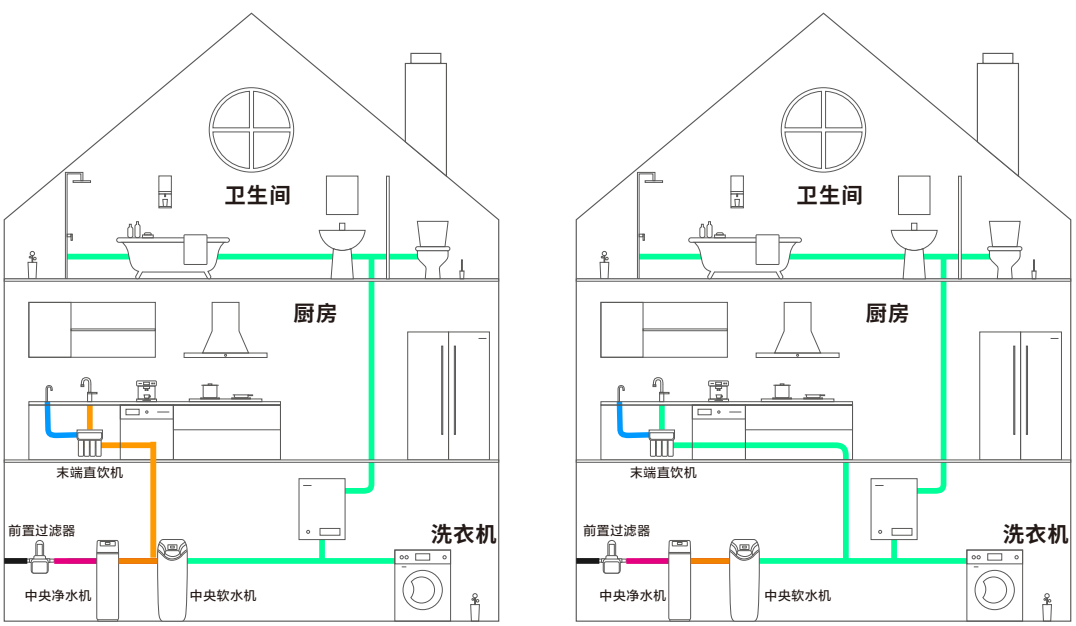
**前置过滤+吸附过滤＋软化处理和反渗透（RO）**

我国南方大多数区域生活用水的原水取自于江水、湖水、河水、水库水等地表水，不同地区地表水的水质差异较大。相对于地下水来说，通常地表水的硬度不是很高，但由于受水中生物、藻类和养殖业等影响，有机物含量较高，而且水质很容易受雨季和枯水期影响；有的地表水因受到污染，水中往往存在影响人体健康的重金属离子、化学物质、病毒细菌等。城市自来水虽然经过处理，除去了大部分杂质，但难免仍会有残留物存在，而且需要加入一定量的杀菌剂；有些沿海城市，每当大潮汛来临，海水易倒灌，会显著导致水质恶化，对人们的生活用水产生较大影响；此外，有的家庭饮用水常采用

市场上出售的桶装“纯净水”，但水的品质往往良莠难分，而且桶装“纯净水”存放时间过长容易滋生细菌。受以上诸多因素影响，采用全屋水处理提高生活品质已是大势所趋。

本案例家用全屋水处理系统应用在南方某城市住宅，当地自来水全年水质变化范围：硬度125mg/L～175mg/L（以$CaCO_3$计）；碱度1.5mmol/L～2.2mmol/L；电导率180μs/cm～300μs/cm。直接采用自来水供热水器、地暖与加热炉的循环水时，热水器和加热炉容易因加热管结垢而导致耗电量增加，地暖水管也易因结垢而减少流通面积，甚至产生堵塞，显著影响采暖效果。另外，由于杀菌需要，自来水中的余氯通常保持在标准上限，用于饮用水口感不佳，开水泡制茶水影响茶叶色泽，为此客户希望配置全屋水处理系统，日常总处理水量约20$m^3$/月（每天约700L），根据当地自来水水质和水的不同用途，全屋水处理系统设计配置为：在自来水入户总管处配置一套前置过滤器，用于去除水管中的泥砂、铁锈等大颗粒杂质及絮状物；再配置一台活性碳过滤器，过滤阀采用润新53502，过滤罐罐体直径为250mm、高度为890mm，罐内填装活性炭12kg，制水量约1500L/h。过滤器出口之后分成两路，其中一路直接接至厨房，用于烧饭、煲汤等；一路配置一台型号为R150的一体式自动软水器，用于加热炉地暖循环系统（地暖面积约160$m^2$）、热水器、沐浴、洗衣等用水，出水量为1500L/h；另在厨房再配置一台末端直饮机（内置超滤膜加紫外线杀菌装置），用于直接饮用水等，出水量2L/min，正常日处理水量约700L。该全屋水处理系统布置如图7-7a所示，安装应用效果良好。由于水处理系统自动化程度高（除了软水器需定期手动加盐），安装调试后按照使用说明书要求操作和维护，使用方便，出水质量达到客户要求。

如果原水硬度较高（以$CaCO_3$计，大于300mg/L），全屋水处理系统中厨房用水也宜经软化处理，末端直饮机宜改为反渗透膜加紫外杀菌装置（如图7-7b所示）。




a、原水硬度不高的全屋水处理系统　　b、原水硬度高的全屋水处理系统

图7-7 某住宅全屋水处理系统布置图

# 第八章 润新多功能控制阀的维护

## 8.1 润新阀的安装

### 8.1.1 使用条件

润新阀及其配套的软水器使用条件应符合表8-1的要求。

表8-1 润新阀及配套的软水器使用条件

| 项目 | | 要求 |
|---|---|---|
| 工作条件 | 工作压力 | 0.2MPa～0.6MPa |
| | 进水温度 | 5℃～50℃ |
| 工作环境 | 环境温度 | 5℃～50℃ |
| | 相对湿度 | ≤95%（25℃时） |
| | 适用电源 | AC100～240V/50 Hz 或 60Hz |
| 进水水质 | 浊度 | 顺流再生＜ 5FTU；逆流再生＜ 2FTU；浮动床＜2FTU；过滤器＜20FTU |
| | 硬度 | 一级钠＜6.5mmol/L；二级钠＜10mmol/L |
| | 游离氯 | ＜0.1mg/L |
| | 含铁量 | ＜0.3mg/L |
| | 耗氧（CODMn） | ＜2mg/L（$O_2$） |

注：表中，一级钠指单一钠离子交换器独立运行，二级钠指采用二个钠离子交换器串联运行。

### 8.1.2 安装要求

#### 8.1.2.1 设备安装位置

润新阀配套设备的安装位置及环境要求如下：

a) 应按工艺流程有序排列，减少对主要操作区的噪声干扰；

b) 留有一定的空间，便于设备的操作和维修；

c) 设备宜布置在室内。当水处理设备布置在室外时，控制器其运行操作部位及仪表、取样装置、阀门等宜集中布置，并应有防雨、防冻、防晒的措施。

d) 酸碱贮存槽可布置在室外，寒冷地区碱贮存槽应布置在室内，酸碱贮存槽宜靠近废水中和池。

e) 过滤器或软水器与排水口的距离越短越好；

f) 软水器配套盐箱应靠近软水器；

g) 不要将设备安置在有酸碱、强磁场、强振动等环境中，以免造成电子控制系统失灵；

h) 不要将设备装置及排水口、溢流管件等安装在低于5℃或高于50℃的环境；

ı) 应尽可能将系统安装在出现漏水情况时，可能造成的损失最小的地方。

### 8.1.2.2 罐体和控制阀安装

以如图8-1所示的软水器部件为例，控制阀是顶装的过滤器或软水器安装步骤如下：

a) 将控制阀与罐体旋紧，调整好罐体位置，再拧下控制阀。

b) 将罐体定位后，把中心管与下布水器用胶封固，放入罐体底部，将中心管超过罐口部分截断，并将管口外圈倒圆；用胶带封住中心管口，以防滤料或树脂漏入，也可以用专用漏斗盖住中心管。

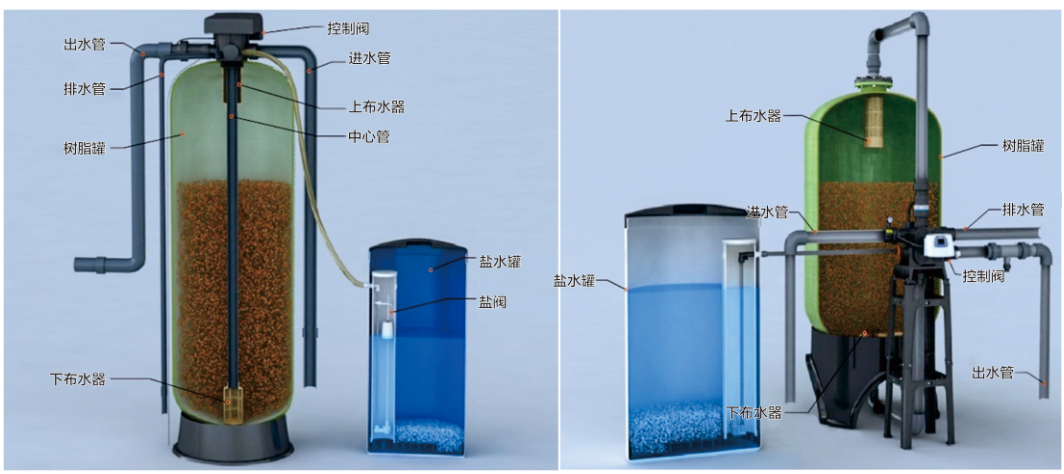
c) 在罐体内灌入约罐体高度1/3的水（可使树脂在水中均匀下沉，避免空气在树脂层中形成汽泡，如果树脂已失水，宜灌入盐水），然后将滤料（石英砂）或树脂沿中心管周围空隙投入罐体（注意不得漏入中心管内），填装高度根据设计要求。

d) 滤料或树脂装填完成，取下中心管的封口胶带。应注意使中心管始终保持在罐口的中央位置。

e) 将上布水器安装到控制阀上，中心管经上布水器插入控制阀内，将控制阀旋紧在罐体接口上。

f) 安装盐罐、盐阀，连接盐液管等。

如控制阀是侧装的，将罐体固定后，装好下布水器并连接好控制阀，向罐内灌入约罐体高度1/3的水，然后从罐体顶部开口装入滤料或树脂至一定高度，再将上布水器与顶部法兰及管道连接；将控制阀固定后，连接各管路。




a) 控制阀顶装的软水器　　b) 控制阀侧装的软水器

图8-1 软水器部件示意图

注意：

（1）中心管安装后不得高于罐口2mm，也不得低于罐口5mm（具体要求请根据控制器相应的安装说明书）。

（2）安装时，中心管端部应呈光滑的倒角或呈圆角，并在中心管端部涂少许润滑脂（肥皂水或洗洁精等），以防损坏中心管及阀体内的O形密封圈。

（3）填装树脂时，应防止絮状物进入罐体。

（4）安装控制阀时，应防止基座O形圈脱落。

#### 8.1.2.3 管路安装

为便于设备的维修，建议将设备按如图8-2所示安装。该安装采用三个球阀与多功能控制阀及进出水管相连。其中，阀B与多功能控制阀的进水口连接；阀C与多功能控制阀的出水口连接。

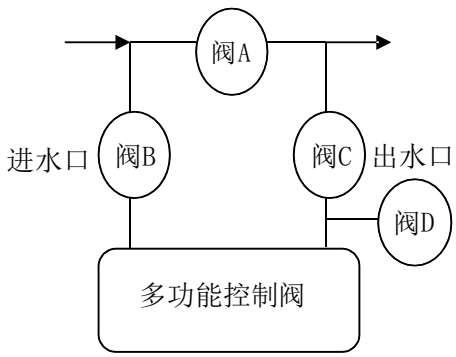



图8-2 进出水管路安装

当需要更换滤料或检测罐体内部时，打开阀A，关闭阀B、阀C；正常使用时，打开阀B、阀C，关闭阀A。阀D为取样阀。

根据相应设备说明书的要求，安装进出水管、排水管、吸盐管。

#### 8.1.2.4 内置功能的选择

根据设计的系统要求，看是否需要连接信号输出端口、远程控制端口、泄压端口、互锁等功能。具体连接方式见相应控制阀说明。

### 8.1.3 安装应注意事项

#### 8.1.3.1 总体要求

a)搬运时，严禁将手动阀的手柄或控制阀体用做提手搬运罐体，以免脱落造成伤害。

b)严禁扳动射流器体，不得将射流器作为把手或用力支点。

c)当进水浊度大于使用条件时，应先进行沉淀处理或在软水器前加装过滤器。

#### 8.1.3.2 管路要求

a)控制阀的基座螺纹主要采用2.5-8NPSM及4-8UN两种标准（均为美标）。与阀门配套的罐体螺纹需要符合相应的螺纹标准。

b)安装进出水管时，建议使用PPR管、波纹管或UPVC管，避免使用铝塑管。

c)安装各管路接口，旋合管接头时不要过度用力，以防螺纹滑丝或接触面开裂。

d)安装各管路时，应确保管路平直，不得使阀门各接头受力。

e)安装带有侧装件的控制阀配套上下开口的罐体时，请注意侧装件的方向，“TOP”接罐的上开口，“BOTTOM”接罐的下开口。

f)如安装型号为63504、63502、73504、73502、63510软化控制阀的系统出水管路或储水箱高于控制阀，则必须在盐箱内安装液位控制器或在出水口安装单向阀，以防止反洗时，出水管路或储水箱的水倒流到盐箱内。

g)排水口不得高于控制阀。

h)原水水压较低时，可能会影响冲洗或再生的效果，可在进水口处设增压泵。

#### 8.1.3.3 软化阀安装注意事项

a)安装自动软化阀时，如用户对出水硬度控制要求较严格，可在出水口加装电磁阀，以便在再生时关闭出水，防止未经软化的原水进入用水系统。

b)盐箱应尽可能靠近树脂罐，其连接长度不得超过2m，避免因吸盐管太长而导致吸盐异常。

#### 8.1.3.4 型号为63540、63550活塞式控制阀的安装注意事项

a)进水浊度要求＜2FTU

进水浊度过大可能导致活塞工作不顺畅，且易使活塞划伤。如果进水浊度超标，需要在进口端加装过滤装置。

b)排水口的要求

①排水口应低于控制阀；

②排水口到控制阀的距离：对于63540、63550系列软化阀，排水口距控制阀不得超过5m；对于53530、53550系列过滤阀，排水口距控制阀不得超过3m。

c)吸盐管路的要求

①球阀到盐箱内盐阀的管路弯头不能超过4个，且应有活接以方便检测盐阀；

②使用清洁的盐加入盐箱，防止盐阀堵塞。

d)流量计的安装要求

安装63540、63550系列软化阀的流量计时，流量计的直线段应满足前10倍后5倍管道直径的距离。

## 8.2 常见问题原因分析

### 8.2.1 控制阀及系统的问题及解决办法

软水器使用中经常出现的控制阀或系统常见问题及解决办法如表8-2所示。

表8-2 软水器系统常见问题及解决办法

| 问题 | 可能的原因 | 解决办法 |
|---|---|---|
| 1.软水器不能自动再生 | A.系统供电中断<br>B.再生参数设置不正确<br>C 电源适配器损坏<br>C.主控板损坏<br>D.电机损坏<br>E.阀芯卡死<br>F.流量计中的涡轮被卡死或有铁锈<br>G.流量计探头导线损坏<br>H. 流量计不准 | A.检查供电是否正常<br>B.重新设置<br>C 检查和更换适配器<br>C.更换主控板<br>D.检查或更换电机<br>E.检查阀芯<br>F.拆下流量计用水冲洗，若仍不能转动则更换流量计<br>G.更换探头导线<br>H. 检查流量计及管路系统 |
| 2.不按设定时间再生 | A.当前时间设置不正确<br>B.停电超过三天，当前时间不正确 | A.检查并重设当前时间<br>B.重设当前时间 |
| 3.出水硬度一直超标 | A.旁通阀打开或渗漏<br>B.盐箱太小或盐箱内盐太少<br>C.射流器堵塞<br>D.盐箱补水不足<br>E.中心管0形圈漏水<br>F.阀体内部窜水<br>G.再生时间设定不正确或原水水质恶化<br>H.树脂量不够<br>I.原水水质差或流量计叶轮卡住<br>J.树脂受污染或变质 | A.关闭或检修旁通阀<br>B.保证盐箱容积且盐箱内有足够的固体盐<br>C.更换或清洗射流器<br>D.检查盐箱补水时间和补水后盐水液位<br>E.确保中心管及0形圈未破裂<br>F.检查维修阀体或更换<br>G.正确设定及调整再生时间或周期制水量<br>H.加树脂至适当高度，并找出树脂流失原因<br>I.降低进水浊度，清洗或更换流量计<br>J.适当增加反洗流量和时间，清洗复苏树脂或更换新树脂 |
| 4.出水量明显减少甚至不出水 | A 上布水器被悬浮物严重堵塞<br>B 大量树脂破碎<br>C 运行周期过长树脂层压实<br>D 浮动床树脂长时间未清洗 | A 软水器前增设过滤器，控制进水浊度＜5FTU；加强反洗；必要时取出树脂清洗<br>B 更换树脂<br>C 适当缩短运行时间，加强反洗<br>D 将树脂从罐中取出，清洗后再装回 |
| 5.出水中氯离子含量偏高 | A 射流器有夹杂物或故障<br>B 盐水控制阀不能闭合<br>C 吸盐时间过长，导致置换清洗时间过短，或者正洗设置时间过短 | A 清洗或检修射流器<br>B 检修或清洗夹杂物<br>C 合理设定盐罐补水时间（控制盐水液位高度合适）、吸盐和慢洗时间、正洗时间 |

| | | |
|---|---|---|
| 6. 周期制水量减少（尚未达到设定的制水量或运行时间，出水提前不合格） | A 再生设置不正确<br>B 树脂“中毒”或氧化变质<br>C 反洗不够彻底，树脂被悬浮物污染，有结块现象，产生偏流<br>D 用盐量设置不正确，再生效果差<br>E 硬度或交换容量设定不正确<br>F 树脂层高度不足<br>G 原水水质恶化<br>H 流量计中涡轮卡住<br>I 射流器与罐体配套不正确 | A 按正确的要求重新设置和再生<br>B 树脂复苏处理或更换新树脂<br>C 适当增大反洗流量和时间，如果进水浊度较大，软水器前增设过滤器<br>D 重新设定合适的用盐量，提高再生效果<br>E 根据化验结果，重新计算和设定<br>F 检查树脂流失原因，并增加树脂填装量<br>G 临时手动即时再生，并重新设定再生周期或制水量<br>H 维修或更换涡轮<br>I 按说明书要求重新配套射流器 |
| 7. 水压损失或管路中有铁锈 | A. 软水器内或管路内有铁物质堆积<br>B. 原水铁含量过高，树脂受污染 | A. 清洗软水器及管路<br>B. 系统中增设除铁设施。 |
| 8. 控制阀反洗时不出水 | A. 进出水口接反<br>B. 上布水器被堵死<br>C. 进水系统被切断<br>D. 排水限流圈不适合，反洗强度大 | A. 重新布置进出水口<br>B. 清洗或更换上布水器<br>C. 检查供水系统或电磁阀等<br>D. 更换合适的限流圈 |
| 9. 平面阀的排水口持续排水 | A. 阀体内部窜水<br>B. 反洗或正洗时停电<br>C. 水压过高，阀门不到位 | A. 检查维修阀体或更换<br>B. 手动至运行位或关闭旁通阀，待供电正常后再打开<br>C. 降低水压或设置泄压管路泄压 |
| 10. 活塞阀的排水口持续排水 | A. 进水压力过低，低于 0.2MPa<br>B. 排水管太长或有背压<br>C. 分配阀的进水管或排水管被堵塞<br>D. 隔膜泵损坏<br>E. 进水浊度太高造成阀体活塞拉坏或有异物进入阀体 | A. 提高系统进水压力至控制阀所要求的压力<br>B. 将分配阀的排水管从主排水口拔出，直接排到大气中<br>C. 检查清理分配阀进水管、排水管<br>D. 更换隔膜泵<br>E. 进水加装叠片式过滤器，确保进水水质 |
| 11. 不吸盐 | A. 进水压力过低<br>B. 吸盐管路堵塞或吸盐管过长<br>C. 盐液管不密封，使得盐液管内有空气进入（有气泡产生）<br>D. 射流器堵塞或故障<br>E. 控制阀内部窜水<br>F. 排水不畅（排水管太长等）<br>G. 布水器被杂质堵塞<br>H. 射流器及排水限流圈与罐体不配套<br>J. 带球阀的控制阀球阀未打开 | A. 设增压泵，调整水压到控制阀所要求的压力<br>B. 检查管路，排除堵塞物，吸盐管尽可能短<br>不要使用细盐，以免吸盐管堵塞<br>C. 检查并密封盐液管各接头<br>D. 清洗或更换射流器<br>E. 检查维修或更换控制阀<br>F. 检查排水管路<br>G 清理堵塞布水器的杂质（破碎的树脂和泥沙等）<br>H. 按说明书的要求选配射流器及排水限流圈<br>J. 检查维修或更换球阀或连接线 |

| | | |
|---|---|---|
| 12. 间断或不规则吸盐 | A. 水压不稳或水压低<br>B. 射流器堵塞或故障<br>C. 树脂罐内进空气<br>D. 逆流再生时树脂罐内有絮状物 | A. 提高水压至到控制阀所要求的压力<br>B. 清洗或更换射流器<br>C. 检查找出进空气的原因并解决<br>D. 清除树脂罐内的絮状物 |
| 13. 系统用盐过多 | A. 用盐量设定不当<br>B. 盐箱中水量过多（补水量过多） | A. 调节盐水液位控制器，设定合适的补水和吸盐时间<br>B. 参看问题 14 的处理方法 |
| 14. 盐箱水过量或外溢 | A. 盐阀中有异物，补水不受控制<br>B. 盐箱补水时间过长<br>C. 吸盐后剩余的水过多<br>D. 程序在吸盐位置停电且未安装液位控制器或液位控制器损坏<br>E. 球阀关闭不严<br>F．软水箱高于排水口，导致 63502、63504、63510 等型号的软水器在反洗时，出水管路的水倒流回盐箱 | A. 清洗盐阀及管路，检查维修液位控制器<br>B. 重新设置盐箱补水时间<br>C. 检查射流器及吸盐管路有无堵塞<br>D. 关闭进水阀,待来电后再开启，安装或维修液位控制器<br>E. 维修或更换球阀<br>F．在出水管加装单向阀 |
| 15. 树脂经排水管排出 | A. 系统内有空气<br>B. 布水器损坏<br>C. 反洗强度过大或上布水装置破损 | A. 对系统进行排气<br>B. 更换布水器<br>C. 调整反洗强度（如果进水浊度较大，增设过滤器），或者检修上布水装置 |
| 16. 控制阀持续循环 | A. 位置信号线线路断开<br>B. 控制器发生故障<br>C. 电机小齿轮或大齿轮损坏<br>D. 程序内相应参数设置为 0<br>E. 定位板损坏<br>F. 大齿轮或上面的磁铁损坏 | A. 重新插好信号线<br>B. 更换控制器<br>C. 检查并更换齿轮<br>D. 检查并重新调整参数<br>E. 更换定位板<br>F. 更换大齿轮 |
| 17. 进出水口开裂、手柄脱落、拨叉断裂 | A. 使用非本公司出品的橡胶配件导致<br>B. 安装不规范<br>C. 通过手柄搬运罐体 | A．杜绝使用非本公司配件<br>B. 严禁使用铝塑管，安装时管道要平直<br>C. 严禁通过手柄来搬运罐体 |

### 8.2.2 多功能控制阀的程序问题

使用中控制阀经常出现的程序问题及解决办法如表8-3所示：

表8-3 常见程序问题及解决办法

| 显示 | 问题原因 | 解决办法 |
| --- | --- | --- |
| 1.显示屏所有符号、图形全部亮起或无显示 | A.显示板与控制板连接线故障或损坏<br>B.主控板损坏<br>C.电源适配器受潮或损坏<br>D.显示板损坏<br>E. 供电中断 | A.更换连接线<br>B.更换主控板<br>C.检查或更换电源适配器<br>D.更换显示板<br>E.检查线路及供电 |
| 2.显示屏显示 E1 并闪烁（控制阀旋转1 分钟后找不到位置） | A.定位板与主控板连接线故障<br>B.定位板损坏<br>C.机械传动装置损坏<br>D.主控板损坏<br>E.电机与主板连线故障<br>F.电机损坏 | A.更换连接线<br>B.更换定位板<br>C.检查机械传动装置<br>D.更换主控板<br>E.更换电机与主板连接线<br>F.更换电机 |
| 3.显示屏显示 E2 并闪烁（程序找到2 个或 2 个以上位置信号） | A.定位板上霍尔元件故障<br>B.定位板与主控板连线损坏或两插头进水<br>C.主控板损坏 | A.更换定位板<br>B.更换连接线或擦干<br>C.更换主控板 |
| 4.显示E3或E4并闪烁 | A.主控板损坏 | A.更换主控板 |
| 5.重复全屏显示-显示型号-全屏显示 | A.电机损坏<br>B.阀芯卡死<br>C.电源损坏 | A.更换电机<br>B.检查阀芯<br>C.更换电源 |
| 6.出现跳工位或时间没到就转下个工位 | A.定位板与主控板连接线损坏或松动<br>B.互锁线插错 | A.检查定位板与主孔板连接线<br>B 检查互锁线 |
| 7.电机一直启停 | A.阀芯扭矩过大<br>B.主板损坏 | A.检修阀芯与主板<br>B.更换主板 |

## 8.3 系统常见故障案例

### 8.3.1 周期制水量减少

**（1）射流器不匹配**

某家用软水机的供应商反映，他们组装的软水机在使用过程中，周期制水量逐渐减少。

经了解，该家用软水机的供应商，从润新公司采购标准配置的软化控制阀用于家用软水机中。润新公司标准配置的软化阀用于产水量为2m$^3$/h的软水器时，一般配套的树脂罐直径250mm、高度1350mm，标准配置5#射流器和限流垫圈。而家用软水机，一般配套的树脂罐直径250mm或200mm、高度890mm或430mm，如果同样配置5#射流器，由于实际树脂罐高度较低、树脂填装量少，为控制再生盐耗，供应商调试时往往会缩短补水时间，减少盐水量，射流器吸盐过程很快完成，从而使树脂与盐液的接触时间大大缩短，有的甚至不足标准要求的一半，导致树脂得不到充分再生，造成周期制水量减少或原设定的制水后期出水不合格。

因此，在选择软化控制阀时，不仅需要考虑树脂罐的直径，还需要考虑树脂罐的高度及树脂填装量。对于罐体直径较大，但高度较低的软水机，可选择更小号的射流器，以延长盐水与树脂的接触时间，提高树脂的再生效果。

**（2）树脂中毒或被有机物污染**

江苏无锡某羊毛加工厂，采用河水作为原水，经絮凝沉淀后进入软水器，软化后的水用于清洗羊毛。使用一段时间后，软水器在设定的周期制水量后期出水硬度不达标，即周期制水量逐步减少。

经检查，软水器进水浊度较大，其主要原因是：河水中有机物含量较高，并且由于降雨量减水，河水的水位逐渐降低，河水浊度越来越高，沉淀处理效果不理想，出水浊度较高；打开树脂罐检查，发现树脂被大量絮凝的有机物包裹（如图8-3），造成能够起到交换作用的有效树脂越来越少，从而导致周期制水量减少。



图8-3 有机物污染后的树脂

解决措施：清洗或更换树脂，同时提高原水沉淀处理效果，并在软水器前增设过滤器，保持软水器进水浊度符合规定要求。如果干旱期原水经沉淀和过滤处理后，出水浊度仍达不到要求，宜采用自来水作为软水器进水。

**（3）流量计涡轮卡住**

某软水器用户反映，一套采用63618控制阀的软化系统，树脂罐直径0.9m、高度2.1m，罐内填装900L树脂；原水采用地下水，平均硬度为9.6mmol/L，软水器进水压力0.3MPa。使用过程中，周期制水量越来越小，控制器显示的瞬时出水流量减少，但实际出水量却是正常的。

经检查对比发现，控制阀显示的出水流量比软水器出口实际出水量要低，进水流量符合要求，瞬时出水流量越来越小，判断可能是流量计的问题。将流量计拆开后，发现因进水浊度太高，导致涡轮卡滞且磨损严重，运转不畅（如图8-4所示），计量不准，表现为控制器显示的流量小于实际出水量。且当实际制水量已达到设定制水量，本应启动再生时，却因控制器计量的周期制水量尚未达到设定值而不能及时再生。更换一套流量计后，周期制水量显示正常。



图8-4 流量计涡轮卡住的问题

说明：软水器的进水浊度＜5FTU，超过该值时应需要增加混凝沉淀或过滤器。

### 8.3.2 软水器出水硬度超标

**（1）中心管破损**

有客户反映：软水器再生后投入运行时，一直存在出水硬度超标现象。将软水器拆开检修时，发现有颗粒杂质及焊渣划伤中心管，出现渗漏，小部分原水未经软化就进入出水口，导致出水不合格。进一步检查后发现由于进水管采用铁管焊接，安装时管路中焊渣未清除干净，从而使软水器进水中含有较坚硬的焊渣及小颗粒杂质。运行过程中，颗粒杂质或焊渣进入上布水器，使用一段时间后出现再生时吸盐较慢的情况。

**（2）中心管O型圈破损**

湖南长沙一用户反馈，其使用的一套控制阀为63610的软化系统，新安装使用时出水即不合格。经检查发现中心管O型圈破损，但更换新的中心管O型圈后，问题同样存在。再经仔细检查，发现由于中心管的管口未倒角，安装时管口锋利的边角将中心管O形圈划破，导致管口不密封，少量原水未经树脂软化就直接窜流到出水中，从而使出水硬度超标。中心管重新倒角后，更换O形圈，问题得以解决。

**（3）盐箱太小**

如图8-5所示，安装在吉林的两套配置63640控制阀的软水器，配套的罐体直径1000mm、高度2400mm，填装树脂1250L，两套系统通过互锁并联出水为锅炉设备供水，再生时两个并联系统共用一个300L容积的盐箱。客户反应，软水器出水硬度经常超标。

技术人员现场查看，发现系统配套的盐箱过小。按每升树脂再生耗盐120g计算，

1250L树脂再生需要盐量150Kg，溶解为饱和盐水420L。盐箱的容积一般是指满水时的容积，实际盐水体积还需要除去固体颗粒盐体积和盐水溢流口到顶部的距离。因此，一般盐箱仅有2/3的容积可容纳饱和盐水。该案例由于盐箱太小，盐箱实际能够容纳的饱和盐水不足200升，导致树脂再生时，进盐量不足，部分树脂未得到有效再生，从而出现出水硬度超标的现象。一般树脂体积为1250L的软水器，需要配备800L以上的盐箱。两套并联运行的软水器，如果能错开时间再生，可以共用一个盐水箱，但如果需要同时进行再生，则各需配置一个盐水箱。



图8-5 配套盐箱过小

### 8.3.3 不吸盐或者吸盐过慢

**（1）吸盐管路过长**

如图8-6所示，中间的63618控制阀吸盐管路过长（超过3m），吸盐阻力大，导致控制阀不吸盐，而右边的63618控制阀（盐箱在右边）吸盐则正常。



图8-6 吸盐管路太长

**（2）吸盐管路堵塞**

如图8-7所示，安装在延安某石油企业的软化水处理设备，用户反应再生时吸盐慢，在设定的吸盐时间70分钟后盐水尚未吸去一半。打开吸盐装置检查，发现采用布水器作为盐阀，但由于盐中杂质太多，作为盐阀的布水器严重堵塞，导致吸盐速度很慢。




图8-7 吸盐管路堵塞

（3）上布水器堵塞

如图8-8所示，安装在上海某用户的一套控制阀为17610的软水器，再生时出现不吸盐的现象，经检查发现上布水器被悬浮杂质和破碎树脂堵塞，由于该控制阀为逆流再生，上布水器堵塞后导致不吸盐。将罐内的破碎树脂通过反冲洗（暂时去掉上布水器）排出罐外，即恢复了正常的吸盐状态。




图8-8 上布水器堵塞

（4）射流器堵塞

某用户配置的用于锅炉给水的软化水处理系统，采用63510控制阀。软水器使用一段时间后，发现再生时不吸盐。

根据本章节8.2.1表2中的第11条逐项检查，打开吸盐装置，发现射流器被砂石堵住（如图8-9所示），进一步检查原因，发现是软水器前设置的过滤器中砂滤系统的下布水器损坏，滤料漏料，石英砂进入软水系统，堵住了射流器的喷嘴，从而导致不吸盐。清理干净后即恢复了吸盐功能。

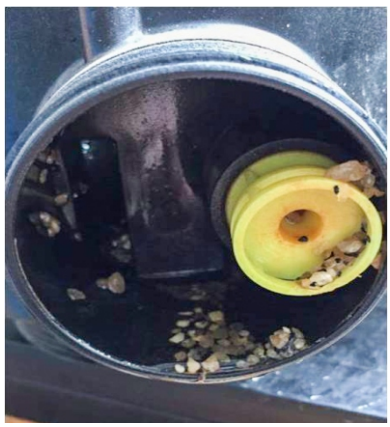


图8-9 射流器被堵塞

### 8.3.4 活塞阀持续排水（主要是63540、63550型号软化阀）

**（1）排水管路有背压**

安装在危地马拉某地自来水厂的净化水处理系统（如图8-10所示），采用12台控制阀为53530的过滤器并联运行，要求产水量250m³/h；清洗过程中的废水排放至二楼（楼上）再利用，发现过滤器运行过程中窜水。

用户反馈意见后，经技术人员检查分析，由于过滤器反洗时需将排水排至二楼，造成排水口有背压，而分配阀的排水口与主管道的排水口相连接，分配阀排水口的背压，导致了活塞不能顺畅地动作。

**解决办法：**将分配阀的排水口从主管道的排水口连接处分开（如8-16所示），不与主排水管连接，直接排入一楼的回收池，并用堵头将主排水口上原连接分配阀的排水口螺纹封堵。改进后，活塞动作顺畅，窜水问题即解决。




图8-10 软化处理系统排水管路有背压

**（2）排水管路过长**

如图8-11所示，安装在天津某污水处理厂，由6个53530自动控制阀组成的三套过滤系统，一个石英砂罐与一个活性炭罐组成一套过滤系统，三套过滤系统并联出水。以自来水为水源，进水压力为0.15MPa。

安装完成后，调试时，过滤系统的排水口总是不停地排水，各组过滤系统中的活性炭过滤器上的压力表显示没有压力。

经检查发现，系统进水压力低于0.2MPa，且排水管管路布置过长（超过15m），造成分配阀的排水口有背压，使得活塞难以正常回位、不能正常转换工位，以致排水口持续排水。

改进措施：缩短设备排水管道，加装增压设备，使变频泵进水压力提高至0.3MPa，同时将6台设备的分配阀进水管独立连接，提高分配阀压力，使活塞能顺畅动作，正常转换工位。



图8-11 排水管路长

（3）进水浊度超标

有客户发现使用中的软水器控制阀的排水口一直排水，维修人员拆开控制阀检修，发现阀芯全被污泥堵住（如图8-12所示）。将阀芯清洗干净后重新安装使用，恢复正常运行。因此，对于浊度超标的原水，应在软水器之前加装过滤器或预先絮凝沉淀处理。



图8-12 进水浊度超标造成阀芯堵塞

（4）活塞被异物卡死

台州某工厂安装的控制阀为63640的软水器（如图8-13所示），使用过程中出现持续排水的现象。经现场检查，发现控制阀的腔体内有个外部进来的小塑料件使活塞卡住并损坏，导致活塞无法动作，造成窜水。建议：进水水质较差或水体质量不明时，软水器前端宜加装叠片过滤器，以防止异物进入控制阀的阀体。




图8-13 活塞被异物卡死

8.3.5 流量计不准

（1）出水流量过小

安装在上海某工厂的软化水处理系统，采用三套自动控制阀63640组成的流量型软水器供水系统，软水箱设在高度8米的楼顶（如图8-14所示），水箱进水装有机械浮球开关。安装使用后，用户反馈：运行时剩余制水量不递减、软水系统不会自动再生。

经现场检查，由于用水量较少，机械浮球开度很小，因此软水供水系统出水量也很小，难以推动流量计的涡轮运转，从而使得控制器显示的剩余制水流量不递减，瞬时流量为0 $m^3$/h，以致流量计累计的制水量一直没有达到设定值，而不会自动再生。

解决办法：在高位软水箱进水处加装液位开关，控制出水口电磁阀，当软水箱处于高水位时，液位开关控制电磁阀关闭；软水箱处于低水位时，液位开关控制电磁阀打开，启动软水系统运行，向软水箱供水。改进后避免了系统出现小流量出水现象。




图8-14 采用机械浮球控制水箱液位

（2）流量计叶轮卡死或损坏

如图8-15所示，由于进水水质太差，导致叶轮损坏、流量计卡死。因此应注意软水器进水浊度一般不应大于5FTU，原水浊度过高的，应在前端配置过滤器。



图8-15 流量计叶轮卡死

## 8.4 控制阀故障排除方法

### 8.4.1 出水不合格的故障查找

（1）故障描述：某软水设备安装后，刚开始投入使用时出水合格，但使用一段时间后，再生后出水仍不合格。

（2）故障查找方法

a)先按表8-2中的第3条中的相关内容进行分析排查，如仍难以判别原因，再按以下步骤查找原因；

b) 拆下控制阀的阀体，检测中心管（针对顶装）或下布水器（针对侧装）内水的硬度，根据测定结果进行如下判断：

① 如水中硬度合格，说明是控制阀窜水导致的出水不合格；

② 如管内的水与出水硬度相差不大，都不合格，则可能是软水器配置不合理、再生效果不好或树脂中毒失效引起出水不合格。

### 8.4.2 活塞阀串水的故障查找

#### 8.4.2.1 新设备调试就出现窜水

①对照使用说明书检查管路是否安装得当，排水管是否畅通、是否有背压，如排水管超过5m或排水管有背压，需缩短排水管或解决排水管的背压。如以上均符合要求则：

②打开进水阀门，手动切换控制阀，每个状态在隔膜泵（控制阀上自带的小泵）停止工作两分钟后，检查是否窜水。如有窜水，表明活塞内部有卡死现象；如无窜水，则可正常工作。

#### 8.4.2.2 使用一段时间后出现窜水

①找出窜水工位：打开进水阀门，手动切换控制阀，待阀头上自带的隔膜泵停止1分钟后，检查是否窜水；再依次手动切换控制阀至其它工位，检查是否窜水。从而判定出在哪个工位窜水。




图8-16 分配阀的排水管

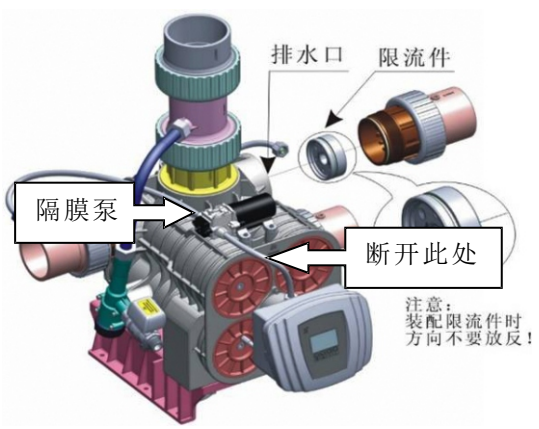



图8-17 检查隔膜泵

②检查是否排水口背压引起：将控制阀与连接主排水的Φ12 黑色排水管拔出（如图8-16所示），打开进水阀门，手动切换控制阀，待阀头上自带的隔膜泵停止工作1分钟后，检查工位的状态，查看是否窜水？如果步骤①窜水的工位此时不窜水，则按图8-16将排水管打开，封堵主排水管口即可解决；如果步骤①窜水的工位仍窜水，继续下一步检查。

③检查隔膜泵是否能正常运转：断开隔膜泵的出水口（如图8-17所示），开启隔膜泵，用拇指堵一下出水口，如压力不大（一般应有0.3MPa以上），则需要更换隔膜泵；如压力正常，则需要检修主阀腔，检查主阀活塞是否被卡住。

### 8.4.3 活塞阀不吸盐的故障查找

（1）故障描述：一台配套活塞阀的软水器在使用一段时间后不吸盐。

（2）故障查找方法：

a) 首先检查活塞阀是否窜水，排除窜水故障；

b)检查进水压力是否符合要求：一般正常情况下吸盐的进水压力会大于其他位置的压力（恒压系统除外），活塞阀进水压力需不低于0.2MPa；

c)拧开吸盐管路上的活接，检查是否有吸力，如有吸力而不能吸盐，说明是盐阀故障；如无吸力，继续按下述方法检查；

d)关闭进水阀，拧开控制阀与上布水器连接管路上的铜接头，用软管与铜接头连接，打开进水阀，观察是否能吸盐：

①如能够吸盐，可能是罐体内部上布水器或下布水器堵住或罐体内的其它问题，需要开罐检查。

②如不能吸盐，则是控制阀的问题。

### 8.4.4 平面阀不吸盐的故障查找

（1）故障描述：一台配套平面阀的软水设备，在使用过程中不吸盐。

（2）故障查找方法：

a)先按表8-2中的第11条“不吸盐”的相关内容分析排查，如仍难以判别具体原因，可按以下步骤进一步分析；

b)拧开吸盐螺母或拆开吸盐管，用手堵住吸盐口，检查吸盐口是否有吸力。如有吸力，故障应为盐阀或盐阀连接处泄漏；如无吸力，故障可能在树脂罐（上下布水器堵塞）或控制阀（射流器堵塞或阀体内部窜水）；

c)对于吸盐口无吸力的控制阀，在条件许可的情况下，可将控制阀从树脂罐上拧下，接好进水管及吸盐管，观察控制阀能否吸盐，并作如下判断：

①能够吸盐，故障可能在树脂罐内（上下布水器堵塞或树脂破碎严重、有杂质等）；

②不能吸盐，很可能是控制阀出现故障。

### 8.4.5 显示“E1”的故障查找

（1）故障描述：型号为63618控制阀，使用时显示屏显示“E1”并发出报警声。

（2）故障查找办法：

a) 断开阀的电源后再接通；全屏10秒后，显示控制阀型号，再显示—00—，此时注意电机是否转动，并作如下判断：

① 如电机不转，表示电机损坏或者电机插头与主板的电机插座松动；

②打开控制盒，检查电机插头是否松动。如松动则重新插好，断电后上电；如电机在显示—00—时还无法转动，表明电机损坏。

b)检测控制阀的电机故障：断开电源后再上电，在显示—00—时，用万用电表检测主控板的两个电机插座，如插座输出DC24V电压，表明该插座对应的电机损坏；如无万用表，可将两个电机与插座对换位置后再检查电机，不转的电机是损坏的；如两个电机都不转，则可能是两个电机都损坏或者主控板损坏。

c)如显示—00—时，电机一直转，直到显示“E1”时才停止，可能的故障原因是：大齿轮和电机齿轮打滑、定位板连接线松动或者损坏、主板损坏等，需分别排除。

### 8.4.6 显示“E2”的故障查找

（1）故障描述：型号为63604控制阀，使用中显示屏出现“E2”故障信号。

（2）故障查找方法：

a) 断开电源后，打开控制阀的防尘罩，将定位板连接线拔出，检查定位板连接线插头和主板上对应的插座是否有水珠，如有水珠，擦干或者吹干。接好后，将控制阀通电，若仍显示“E2”，按下面步骤检查；

b) 打开控制盒，用上述方法检查定位板连接线与定位板相连的地方，干燥后如果还显示“E2”，则很可能是定位板损坏或者主控板损坏。

### 8.4.7 显示屏非正常重复显示的故障查找

（1）故障描述：型号为63610控制阀，一直重复出现：显示屏全亮—显示型号—显示屏全黑。

（2）故障查找方法：

a) 打开控制盒拔掉电机连接线，如显示屏显示—00—，且不出现上述“故障描述”中的现象，说明电机或电源损坏；如仍出现“显示屏全亮-显示型号-显示屏全黑”，则可能是主板损坏。

b) 检查是否电机或电源损坏：换个合格的电源后检查控制阀能否正常工作，如果不能，表明电机损坏。

### 8.4.8 软化阀工位不动作的故障查找

（1）故障描述：型号为63504控制阀，在调试时不吸盐、不补水。

（2）故障查找办法：

a）、断开电源后再通电，查看开机后显示的型号是否为63504。如显示的型号不是63504，则重新断电，同时按住 和 键后再通电，直到显示型号以及设置图标时，按 或 键调整型号为63504，再按 键保存。

b）、如显示的型号为63504，则再按如下办法检查：

①键盘解锁后，进入查询界面，按 键进入参数查询界面，通过按 或 键，查看各工位的参数。如参数设置为0，将其重新设置到相应的数值；如参数设置不为0，再按下面方法检查；

②打开防尘罩和控制盒，检查定位板连接线两端与插座是否有松动、定位板是否损坏。

### 8.4.9 显示屏不亮的故障查找

（1）故障描述：型号为73604控制阀，使用时显示屏不亮。

（2）故障查找办法：

a）断开电源后再通电，主板是否有“滴”的一声。

①如有，则显示板或显示板连线损坏；

②如通电时，主板没发出“滴”的一声，则电源、主板、显示板都可能损坏，按下面方法继续检查。

b)换个电源，看是否正常。如不正常，将主板上的连接线全拔掉，再给主板接通电源。

①如主板没发出“滴”的一声，表明主板已损坏；

②如主板发出“滴”的一声，表明主板无故障；再逐个将各连接线插到主板上依次观察、排除。

# 第九章 润新陶瓷硬密封球阀

## 9.1 概述

球阀是一种启闭件为球体，由阀杆带动，并绕球体轴线作旋转运动的阀门。它具有流体阻力小、开关迅速的特点，在管道输送系统中应用广泛，主要分为软密封球阀和硬密封球阀两类。

软密封球阀是指阀座密封副（即阀座密封面与球体密封面）中的一个密封部件为橡胶或塑料等柔性材料组成的球阀；硬密封球阀指阀座密封副均为金属或陶瓷等高硬度的密封材料组成的球阀。软密封球阀由于采用柔性密封，对球或阀座的要求不高；硬密封球阀的球与阀座均为高硬度材料，对球面的配合要求高，需要配磨。

硬密封球阀相对于软密封球阀大大提高了密封压力、使用温度和使用寿命，因此适用的介质范围更广，通过选用不同的材质，可分别适用于水、蒸汽、油品、有机酸、无机酸、溶剂、碱、化学品等多种介质。

陶瓷硬密封球阀是硬密封球阀的一种，除具有金属硬密封球阀的绝大多数优点外，更具有超强的耐腐蚀、耐磨损、耐高温及耐冲蚀等优点，主要应用于电力、石油化工、冶金、采矿、造纸、水处理等领域的管道输送系统中。

### 9.1.1 陶瓷硬密封球阀的组成

球阀主要是由阀体、球与阀座组成的密封副、与球连接的阀杆及通过阀杆控制球转动的驱动装置组成。陶瓷硬密封球阀，指阀座与球均为陶瓷的球阀，结构见图9-1所示。

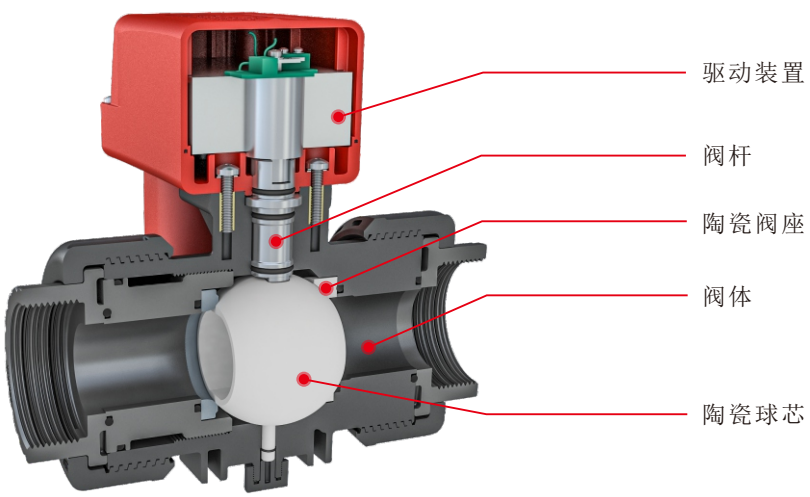



图9-1 陶瓷芯球阀的结构示意图

### 9.1.2 陶瓷硬密封球阀的特点

陶瓷材料是工程材料中刚度最好、硬度最高的材料，其硬度大多在1500HV 以上，而且化学稳定性优异，在高温下不易氧化，并对酸、碱、盐等具有良好的抗腐蚀能力。陶瓷硬密封球阀的球芯、阀座等均采用经1680℃以上超高温烧结而成的结构陶瓷材料，具有极高的硬度（≥HRA85）和化学稳定性。润新陶瓷硬密封球阀具有如下特点：

**（1）轻扭矩**

润新陶瓷硬密封球阀采用专利设计的低摩擦密封副结构，大大减小球阀的启闭扭矩，并远低于其他公司的同类产品，其最大扭矩的对比见下表：

| 规格 | 公称通径 | DN15 | DN20 | DN25 | DN32 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 接口尺寸 | 1/2 " | 3/4 " | 1 " | 1-1/4 " |
| 其它球阀产品扭矩（N·m） | 0.6MPa | 12 | 12 | 24 | 30 |
| | 1.0MPa | 18 | 27 | 30 | 42 |
| 润新陶瓷球阀扭矩（N·m） | 0.6MPa | 1.5 | 1.5 | 2.0 | 7 |
| | 1.0MPa | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 12 |

**（2）耐腐蚀**

陶瓷具有优异的化学稳定性，与绝大多数化学介质不发生反应。

**（3）耐磨损**

陶瓷经1680℃以上超高温烧结而成，具有极高的硬度（≥HRA85），能够适应各种高磨损、高冲刷工况。

**（4）零泄漏**

陶瓷球芯与阀座通过配对精密研磨而成，确保密封零泄漏。

### 9.1.3 陶瓷芯球阀的分类

陶瓷硬密封球阀的种类很多，根据陶瓷球与阀座的结构不同，可分为固定球和浮动球球阀；根据陶瓷覆盖的部位，分为全衬陶瓷和半衬陶瓷球阀；按通径大小，分为全径、通径和缩径球阀；根据球芯材料不同，有氧化铝、碳化硅、氧化锆等材质的球阀；根据阀体材料不同，分为金属阀体（304、316、316L等）和非金属阀体（PPO、UPVC、CPVC等）球阀；根据操作控制方式不同，分为手动和自动（自动又可分为电动和气动等）球阀；按连接方式，分为法兰连接、螺纹连接和对焊连接等球阀；根据控制器的不同，可分为二线控制、三线控制、带反馈、AC220V、DC24V、DC12V等球阀。

### 9.1.4 命名规则

润新陶瓷硬密封球阀的命名规则：

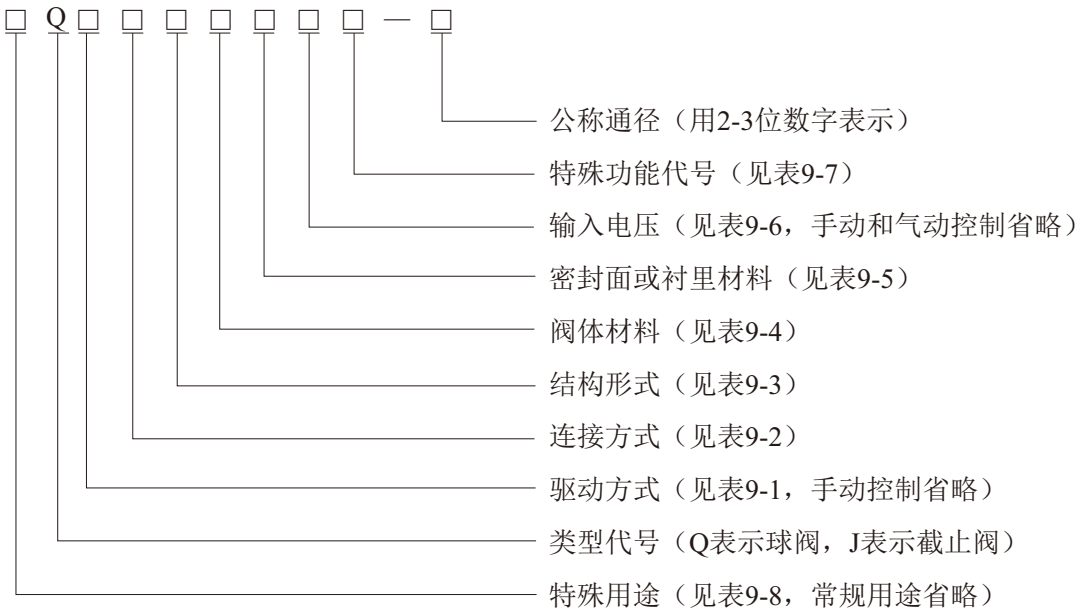



表9-1 驱动方式代号

| 驱动方式 | 电磁驱动 | 蜗轮 | 锥齿轮 | 气动 | 电动 |
|---|---|---|---|---|---|
| 代号 | 0 | 2 | 5 | 6 | 9 |

手动驱动时省略；对于气动操作的阀门：常开式用6K；常闭式用6B表示。

表9-2 连接方式代号

| 连接方式 | 内螺纹 | 外螺纹 | 胶接 | 法兰式 | 热熔 | 焊接式 | 对夹式 | 卡箍式 | 卡套式 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 代号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

表9-3 陶瓷硬密封球阀的结构形式代号

| 结构形式 | | 代号 | | 结构形式 | | 代号 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 浮动球 | 直通流道 | 1 | 固定球 | 四通流道 | | 6 |
| | Y形三通流道 | 2 | | 直通流道 | | 7 |
| | L形三通流道 | 4 | | T形三通流道 | | 8 |
| | T形三通流道 | 5 | | L形三通流道 | | 9 |

表9-4 阀体材料代号

| 阀体材料 | PP0 | HPb59 -1 | 304 | 316 | 316L | UPVC | CPVC | PPH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 代号 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

表9-5 密封面或衬里材料代号

| 输入电压 | $95Al_2O_3$ | SiC | $ZrO_2$ | $Si_3N_4$ | $99Al_2O_3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 代号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

表9-6 输入电压代号

| 输入电压 | DC6V | DC12V | DC24V | DC36V | AC220V |
|---|---|---|---|---|---|
| 代号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

表9-7 特殊功能代号

| 功能 | 代号 | | 功能 | 代号 |
|---|---|---|---|---|
| 可设定启闭时间段 | A | | 三线控制 | C |
| 可设定启闭时间点 | A1 | | 二线控制带位置反馈 | D |
| 二线断电复位 | B | | 三线控制带位置反馈 | E |
| 三线断电复位 | B1 | | 手机 WIFI控制 | S |

当阀门还具有其它功能作用或带有其他特异结构时，在阀门类型代号前再加注一个汉语拼音字母作代号，如表9-8所示：

表9-8 具有其它功能作用或带有其他特异结构的阀门代号

| 功能名称 | 防火型 | 缓闭型 | 排渣型 | 快速型 | 辅助手动型 | 调节型 | （阀杆密封）波纹管型 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 代号 | F | H | P | Q | S | V | W |

### 9.1.5 不同陶瓷材料的性能

不同的材料，其结构强度及性能不同，表9-9为常用陶瓷材料的物理性能，表9-10为常用材料耐化学腐蚀性能，润新陶瓷硬密封球阀的应用选型见表9-11。

表9-9 常用陶瓷材料性能表

| | Y-$ZrO_2$ | Mg-$ZrO_2$ | $95Al_2O_3$ | $99Al_2O_3$ | S i3N4 | SiC |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 密度 g/$cm^3$ | 6.0~6.05 | 5.72~5.74 | 3.6~3.75 | 3.9~3.95 | 3.2~3.33 | 3.15~3.25 |
| 硬度 HRA | 87 | 85 | 90 | 92 | 92 | 94 |
| 抗弯强度 MPa | 1150 | 900 | 370 | 450 | 1200 | 470 |
| 抗压强度 MPa | 2000 | 1800 | 2000 | 2200 | 2800 | -- |
| 热膨胀系数×$10^{-6}$/℃ | 9.6 | 10 | 7.8 | 8.3 | 3.4 | 4 |
| 弹性模量 GPa | 200 | 200 | 330 | 350 | 300 | 400 |
| 压碎强度 KN(φ6mm) | 15 | 10 | 3.6 | 4 | 18 | 3.5 |
| 吸水率% | 0 | 0 | 0.01 | 0 | 0 | 0.5 |

表9-10 常用材料耐腐蚀性能表

| 介质 | 温度 | $ZrO_2$ | $99Al_2O_3$ | SiC | Si3N4 | 氟橡胶 | PPO | SS304 | SS316 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20%HCL | 60℃ | A | A | A | B | A | A | C | B |
| 20%HCL | 95℃ | A | A | A | C | A | A | -- | C |
| 90%$H_2SO_4$ | 60℃ | A | A | A | A | A | A | C | B |
| 90%$H_2SO_4$ | 95℃ | A | A | A | B | A | A | C | C |
| 60%$H_3PO_4$ | 60℃ | A | A | A | C | A | A | C | A |
| 60%$H_3PO_4$ | 95℃ | A | A | A | C | A | A | C | A |
| 10%HF | 60℃ | C | B | A | A | A | A | C | B |
| 46%HF | 95℃ | C | C | A | C | A | A | -- | C |
| 60%$HNO_3$ | 60℃ | A | A | A | C | A | A | A | C |
| 60%$HNO_3$ | 95℃ | A | B | A | C | A | A | B | C |
| 30%NaOH | 60℃ | A | B | A | B | A | A | A | A |
| 30%NaOH | 95℃ | B | B | A | C | A | A | B | A |

说明：

A：<0.1mmg/$cm^2$/day，表示材料在介质中，无腐蚀或可以忽略，推荐使用；

B：0.1~0.3 mmg/$cm^2$/day，表示材料在介质中，轻微腐蚀或较少腐蚀，适合使用；

C：> 0.3mmg/$cm^2$/day，表示材料在介质中，腐蚀中等或较大腐蚀，不推荐使用。

表9-11 润新陶瓷硬密封球阀的应用选型表

| 阀体 | 密封圈 | 阀杆 | 阀座 | 适用介质 |
|---|---|---|---|---|
| PPO<br>UPVC | EPDM | 316L | 单陶瓷阀座 | 适用于不含固体颗粒的非腐蚀性介质和酸碱类、盐类、醇类、海水等化学物质。不适合于氧化性酸、氢氟酸、氟硅酸、盐酸、硫酸铁、硫酸铵、盐酸盐、溴、次氯酸盐、芳香烃、氯化烃、有机酸、酮类、汽油、合成润滑油等。 |
| 316 | EPDM | 316L | 单陶瓷阀座 | 适用于不含固体颗粒的非腐蚀性介质和酸碱类、盐类、醇类、极性溶剂等化学物质。不适合于氧化性酸、氢氟酸、氟硅酸、盐酸、硫酸铁、硫酸铵、盐酸盐、溴、次氯酸盐、有机酸、汽油、合成润滑油等。 |
| PPO<br>UPVC | EPDM | 316L | 双陶瓷阀座 | 适用于非腐蚀性介质和酸碱类、盐类、醇类、海水等化学物质。不适合于 除硝酸外的氧化性酸、氢氟酸、氟硅酸、盐酸、硫酸铁、硫酸铵、盐酸盐、溴、次氯酸盐、有机酸、酮类、汽油、合成润滑油等。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 316 | EPDM | 316L | 双陶瓷阀座 | 适用于非腐蚀性介质和酸碱类、盐类、醇类、 极性溶剂等化学物质。不适合于 除硝酸外的氧化性酸、氢氟酸、氟硅酸、盐酸、硫酸铁、硫酸铵、盐酸盐、溴、次氯酸盐、有机酸、汽油、合成润滑油等。 |
| PPO<br>UPVC<br>316 | VMQ | 316L | 双陶瓷阀座 | 仅建议适用于非腐蚀性介质和有机酸。 |
| PPO<br>UPVC | FKM | 哈 C 合金 | 双陶瓷阀座 | 仅建议适用于除硫酸、硝酸外的氧化性酸、过氧化氢和含铝盐、铁盐在内的大部分硫酸盐、盐酸盐、氧化性酸盐。 |
| PPO<br>UPVC | FKM | 哈 B 合金<br>/20 号合金 | 双陶瓷阀座 | 仅建议适用于各种浓度硫酸、盐酸和除铝盐、铁盐之外的大部分硫酸盐、盐酸盐。 |

### 9.1.6 陶瓷硬密封球阀与截止阀的比较

截止阀是一种启闭件为塞形阀瓣、密封面呈平面或锥面的阀门，阀门的启闭通过阀瓣沿流体的中心线作直线运动来实现。截止阀属于强制密封式阀门，所以在阀门关闭时，必须向阀瓣施加压力，以强制密封面不泄漏。陶瓷硬密封球阀与截止阀的对比见表9-12.

**表9-12 陶瓷硬密封球阀与截止阀的对比表**

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 截止阀 | 硬密封 | 流阻大 | 密封性良好 | 开关较快 | 不适用于带颗粒、粘度较大、易结焦的介质 | 启闭力较大 |
| 陶瓷芯球阀 | 硬密封 | 流阻小 | 密封性优异 | 开关迅速 | 适用介质更广 | 启闭力小 |

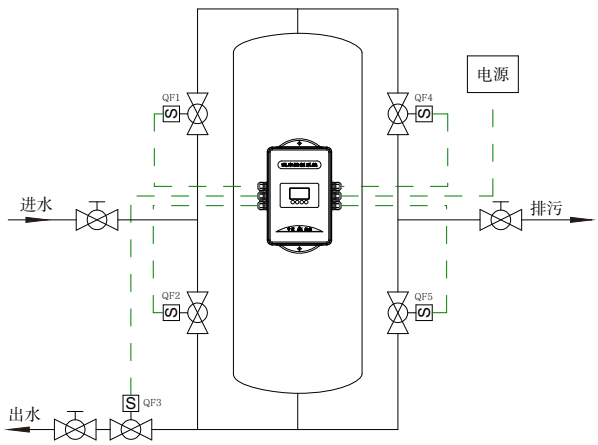
## 9.2 陶瓷硬密封球阀的应用

陶瓷硬密封球阀应用广泛，因其具有耐腐蚀、耐磨损、耐高温及耐冲蚀等优点，主要应用于电力、石油、化工、冶金、采矿、造纸、水处理等领域的管道输送系统中。

### 9.2.1 陶瓷硬密封球阀在水处理上的应用

#### 9.2.1.1 应用于水过滤系统

采用控制器与五个陶瓷硬密封球阀组合，通过控制不同球阀的启闭状态，可组合应用于水处理过滤系统，实现过滤、反冲洗滤料、正冲洗滤料等功能。球阀的启闭及结构如图9-2所示：

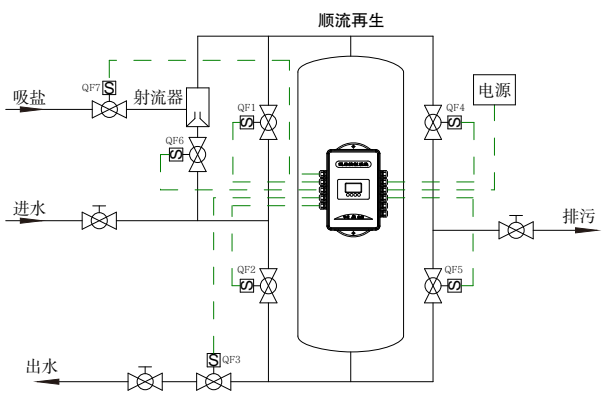



| 工位 | 球阀状态 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | QF1 | QF2 | QF3 | QF4 | QF5 |
| 运行 | 开 | 关 | 开 | 关 | 关 |
| 反洗 | 关 | 开 | 关 | 开 | 关 |
| 正洗 | 开 | 关 | 关 | 关 | 开 |

图9-2 球阀应用于水处理过滤系统的结构图及阀门启闭状态图

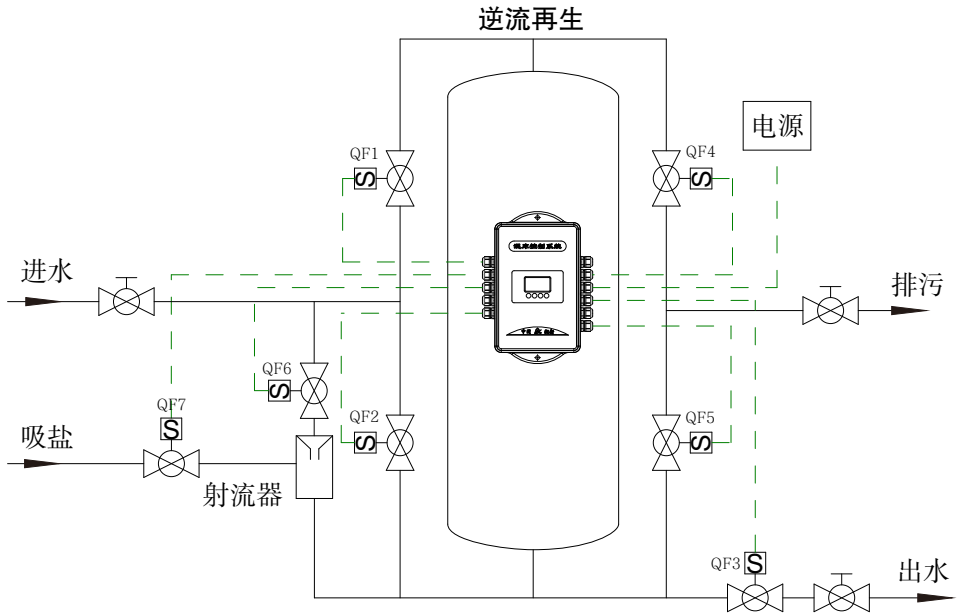
#### 9.2.1.2 应用于软化水处理系统

采用控制器与七个陶瓷硬密封球阀及射流器组合，通过控制不同球阀的启闭状态，可组合应用于水处理软化系统，实现制取软水、反洗树脂、顺流或逆流吸盐再生树脂、向盐箱补水、正洗树脂等功能。球阀的启闭及结构如图9-3与图9-4所示：




| 工位 | 应用于水软化顺流再生时各球阀状态 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | QF1 | QF2 | QF3 | QF4 | QF5 | QF6 | QF7 |
| 运行 | 开 | 关 | 开 | 关 | 关 | 关 | 关 |
| 反洗 | 关 | 开 | 关 | 开 | 关 | 关 | 关 |
| 顺流吸盐 | 关 | 关 | 关 | 关 | 开 | 开 | 开 |
| 慢洗 | 关 | 关 | 关 | 关 | 开 | 开 | 关 |
| 正洗 | 开 | 关 | 关 | 关 | 开 | 关 | 关 |
| 补水 | 开 | 关 | 开 | 关 | 关 | 关 | 开 |

图9-3 球阀应用于水处理软化系统顺流再生的阀门结构图及阀门启闭状态图

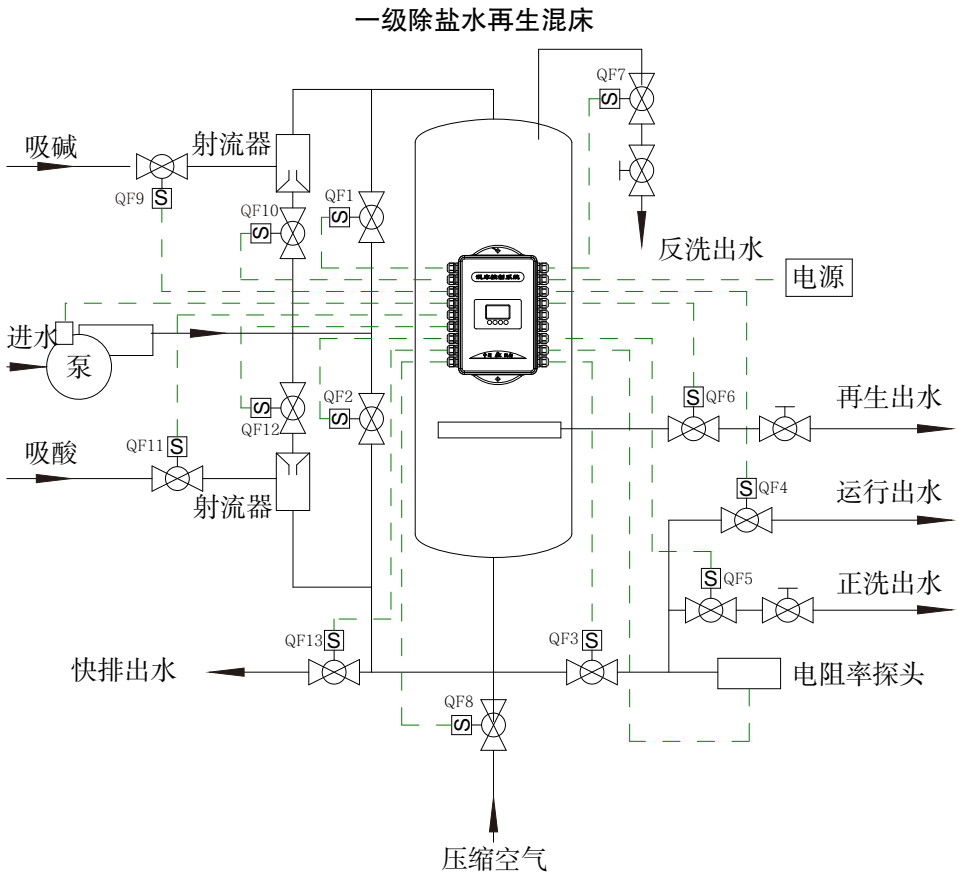



| 工位 | 应用于水软化逆流再生时各球阀状态 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | QF1 | QF2 | QF3 | QF4 | QF5 | QF6 | QF7 |
| 运行 | 开 | 关 | 开 | 关 | 关 | 关 | 关 |
| 反洗 | 关 | 开 | 关 | 开 | 关 | 关 | 关 |
| 逆流吸盐 | 关 | 关 | 关 | 开 | 关 | 开 | 开 |
| 慢洗 | 关 | 关 | 关 | 开 | 关 | 开 | 关 |
| 正洗 | 开 | 关 | 关 | 关 | 开 | 关 | 关 |
| 补水 | 开 | 关 | 开 | 关 | 关 | 关 | 开 |

图9-4 球阀应用于水处理软化系统逆流再生的阀门结构图及阀门启闭状态图

9.2.1.3 应用于混床系统

采用控制器与13个陶瓷硬密封球阀、吸酸吸碱射流器、电阻率仪及压缩空气气源组合，通过控制不同球阀的启闭状态，可组合应用于水处理混床系统，实现制取纯水、反冲洗树脂、静置分层、吸碱、吸酸、洗酸碱、排水、混合、正洗等多种功能。球阀的启闭及结构如图9-5所示：




| 工位 | 各球阀及泵的工作状态 | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | QF1 | QF2 | QF3 | QF4 | QF5 | QF6 | QF7 | QF8 | QF9 | QF10 | QF11 | QF12 | QF13 | 泵 |
| 运行 | 开 | 关 | 开 | 开 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 开 |
| 反洗 | 关 | 开 | 关 | 关 | 关 | 关 | 开 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 开 |
| 静置 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 开 | 开 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 |
| 预吸碱 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 开 | 关 | 关 | 开 | 开 | 关 | 开 | 关 | 开 |
| 吸酸碱 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 开 | 关 | 关 | 开 | 开 | 开 | 开 | 关 | 开 |
| 洗酸碱 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 开 | 关 | 关 | 关 | 开 | 关 | 开 | 关 | 开 |
| 排水 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 开 | 开 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 |
| 混合 | 关 | 关 | 关 | 关 | 开 | 关 | 开 | 开 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 |
| 快排 | 关 | 关 | 开 | 关 | 开 | 关 | 开 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 开 | 关 |
| 排气 | 开 | 关 | 开 | 关 | 开 | 关 | 开 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 开 |
| 正洗 | 开 | 关 | 开 | 关 | 开 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 关 | 开 |

图9-6 球阀应用于混床除盐系统的阀门结构图及阀门启闭状态图

### 9.2.2 球阀在水处理系统中的应用案例

#### 9.2.2.1 球阀用于软化水处理系统

（1）工程背景

集成式的软化控制阀由于阀体内部通路比较多，结构比较复杂，对含泥砂等杂质较多的水源，宜采用混凝沉淀后再进行处理，以免泥砂杂质对控制阀造成损害。但有些场合由于受到场地限制，无法进行沉淀。因此，就出现了一种采用多个球阀组成的多阀系统。

石家庄某焦化厂，在2012年采用F78A3配套的软水系统，几年后，原水水质发生了变化，泥砂含量增大，而原有的系统未设计泥砂过滤器，导致控制阀内部由于积存泥砂而损坏。后改造为采用7只陶瓷硬密封球阀与控制器组成的软化系统来代替。

（2）工程概况

由于球阀为直通结构，水阻相对较小，采用DN50球阀2只、DN40球阀3只、DN25球阀2只，以及射流器、流量计等来组成软化系统，其流量可达到20～30m$^3$/h。其设备及管路系统见图9-6。

（3）运行效果

2016年初改造后，稳定运行至今，完全解决了之前存在的问题，客户十分满意。




图9-6 球阀应用于软化系统

#### 9.2.2.2 球阀用于锅炉软化系统

（1）工程背景

锅炉用水硬度超标对锅炉的危害很大，给水硬度越高越容易在锅炉受热面产生水垢，并因此而降低热效率、增加能耗、故障率升高、锅炉使用寿命降低等一系列危害，严重时甚至发生锅炉安全事故。因此锅炉给水硬度，必须达到国家相关标准。

常见的锅炉软化水系统大多采用多路集成阀配套树脂罐来实现软化，但对于流量需

求很高的工况，集成式控制阀并不适用，此时需要采用多个阀门通过程序控制来实现软化处理。

（2）工程概况

石家庄某能源公司的采暖蒸汽锅炉，利用市政自来水为原水，平均硬度约8.6mmol/L。原水硬度严重超标，需要软化处理至小于0.03mmol/L，以达到蒸汽锅炉给水标准，流量要求80m³/h。

设计软化水处理系统采用两台软水器，配置两套陶瓷硬密封球阀组成多阀自动控制系统，通过互锁实现同时供水、分别再生。每套系统采用DN65球阀、DN65流量计、DN32射流器等，分别配套直径1.5m、高2.4m的玻璃钢罐，内填装2250L树脂，配2000L盐箱，并在软水器出水口加装F84硬度在线检测装置，当出水硬度高于0.03mmol/L时，F84发出信号，自动启动多阀系统进入再生程序，以保证出水水质。软化水处理系统安装如图9-7，水处理工艺流程图如下：

市政自来水→过滤器→离子交换器→硬度自动检测→软水箱→增压泵→锅炉用水




图9-7 球阀应用于锅炉补给水软化处理系统

（3）运行效果

软化水处理系统产水经相关部门检测完全符合蒸汽锅炉给水标准，自2017年10月安装至今，系统运行稳定，产水水质合格，自动化控制良好，客户给予肯定。

陶瓷芯电动球阀在过滤、软化系统中均可使用，通过对进水、出水、正洗、反洗球阀口径的选择，可使过滤和软化设备在最佳工况条件下运行。

9.2.2.3 应用于纯净水、纯化水、超纯水设备

现代的纯净水、纯化水、超纯水设备的设计和生产中，一般需要在高压泵前布置使用进水控制阀门，布置浓水侧低压、高压冲洗控制阀及纯水侧膜内淡水排放控制阀。设

计时，习惯使用220V的常闭型电磁阀。电磁阀的工作原理决定了高压泵前的进水控制阀需要长期为电磁阀线圈通电，只要设备处于工作当中，系统就需要持续为其通电。长期的运行会加速电磁阀线圈的老化失效，造成其使用寿命的衰减；电磁阀启动与关闭的动作瞬间完成的特性，使得每个使用电磁阀的点位都需要承受水锤的冲击。大流量纯水系统中，通常使用电动蝶阀配合水泵软启动或变频启动完成，过程控制需要依赖可编程控制器PLC或时间继电器来完成。软密封的电动蝶阀、电动球阀等产品，其执行器的电机功率高，执行器的体积大、重量重，布置在纯净水系统中时必须要很大的空间和足够强度的管道支撑，增加了设备设计工作的负担，也增加了生产成本。

陶瓷硬密封球阀的轻扭矩特性使其在只需直流24V安全电压的情况下，可以设置3s-12s启闭的电动球阀，可以降低水锤，且由于扭矩很小，同样规格的陶瓷硬密封球阀，它的执行器尺寸仅仅是其他球阀产品的20-30%，这样就大大减少了执行器的尺寸和重量，节约了生产成本，给设备设计提供更多的空间。

#### 9.2.2.4 应用于多介质过滤器、活性炭过滤器、阴阳离子混床、盘式过滤器

目前的软化水处理设备在流量50$m^3$/h以下的系统中，多路阀具有不可比拟的优势，较多地使用各类品牌的多功能水处理控制阀产品。但是在超过80$m^3$/h的大流量系统中，多路阀因结构设计的原因，无论是平面阀、活塞阀，还凸轮结构阀，单阀都难以实现。使用由球阀控制器与多个陶瓷硬密封球阀组成的多阀系统，可以根据配套的球阀通径不同，而实现不同的流量。

在过滤系统中，一些过滤材料需要比运行流速高几倍的反冲洗流速，一般的多路阀难以达到。设计选型时，要通过反冲洗流量来选择多路阀，而不是设计的过滤流量，这无形中增加了控制阀的采购成本。采用球阀控制器与多个陶瓷硬密封球阀可以很好的解决这个问题，需要较大流量的反冲洗部分，可以设置较大口径的控制阀来满足反冲洗速率上的要求。因此在大流量系统中，使用更具优势的陶瓷硬密封球阀反而节约了成本，即使出现了售后服务的情况，可以通过更换某个电动球阀，使维修工作更简单、经济。

阴阳离子混床的水流工艺较为复杂，通常使用控制器配合管道阀门进行设计，润新球阀的陶瓷阀芯、陶瓷阀座的设计本身对酸、碱再生溶剂就有着天生的抵抗力，非常适合应用在这类阴阳床系统中。

用于过滤大颗粒物的盘式过滤器经常要面对各类泥沙、残渣等大颗粒物的挑战，目前大量使用隔膜阀的盘式过滤器产品的隔膜阀经常会因为进入阀门的细碎颗粒物对隔膜造成永久性的损伤，降低隔膜阀的使用寿命，影响过滤水的品质，陶瓷硬密封球阀的球面硬密封可以很好解决这样的问题，颗粒物无法通过陶瓷硬密封球阀的密封面，不会划伤高硬度的陶瓷球面，拥有更耐久的密封性。

#### 9.2.2.5 应用于除铁锰、除氟等特质水处理设备

特质水处理领域的处理方法是多种多样的，相对于软化水、活性炭等净水设备，特质水处理设备要求更加缓慢的过滤速度、更大冲洗速率、更加复杂的处理工艺。

以除铁锰设备为例，经曝气处理后，二价的铁离子会氧化升价，形成不溶于水的铁氧化物，一般我们俗称之为“铁锈泥”。使用蝶阀、软密封球阀等阀门设计系统，随时随地氧化的“铁锈泥”很容易通过水流进入到阀门的密封元件处，造成软密封元件的永久性损伤，使设备失效。

陶瓷硬密封球阀的硬密封特点，使得“铁锈泥”这类物质不能通过密封面，可很好地保护密封元件的密封面，延长了密封元件的使用寿命。当铁锈在关闭的密封面堆积时，轻扭矩的特性，也使得陶瓷硬密封球阀更加容易地启动，不易卡死。

特质水处理设备中，再生系统通常使用高浓度的酸或碱溶液对滤料进行再生激活，陶瓷硬密封球阀耐腐蚀的特点，可以确保阀门不会因强酸或强碱溶液对阀门密封元件造成腐蚀。

### 9.2.3 陶瓷硬密封球阀在农业灌溉上的应用

中国每年的水资源浪费严重，全国农业灌溉用水量约为3900亿立方米/年，占全国总用水量的64%，主要是由于全国大部分地区仍采用“土渠输水，大水漫灌”的古老方式，水的浪费十分严重，有效率只有50-55%，而发达国家由于实现了输水渠道防渗化、管道化，大田喷灌、滴灌化，灌溉达到自动化、科学化，水的有效利用率达到70-80%。

润新陶瓷硬密封球阀可以通过湿度感应自动开启；或时间控制开启；也可远程控制开启，应用于农业灌溉，达到节水的目的。

### 9.2.4 陶瓷硬密封球阀在化工行业的应用

#### 9.2.4.1 球阀应用于电镀液的重金属回收装置

电镀液中含有大量的重金属，如铬、镍、金等，这些重金属如直接排放，对环境会造成严重污染，有些重金属还非常昂贵。通过采用回收装置将重金属回收后，一是可以去除废液中的重金属，使其可以达到排放标准；二是可以提炼重金属。

某电镀厂进行废液处理，要求流量为2$m^3$/h，采用阴、阳离子交换树脂来提炼废液。由于树脂饱和后，需要用酸碱进行再生，所以本系统采用耐酸碱的陶瓷硬密封球阀，通过PLC控制，来实现各个流道的自动转换。本装置采用2个直径为340mm、高为1370mm的树脂罐，分别填装阴阳树脂，组成一套阴阳床系统来对废液进行处理，进水压力为0.2MPa，设备安装如图9-8所示。，其工艺流程图如9-9所示当树脂失效需要再生时，阴树脂采用5%～7%浓度的NaOH溶液来进行再生，阳树脂采用浓度为10%的盐酸来再生。



图9-8 球阀用于电镀液重金属回收装置

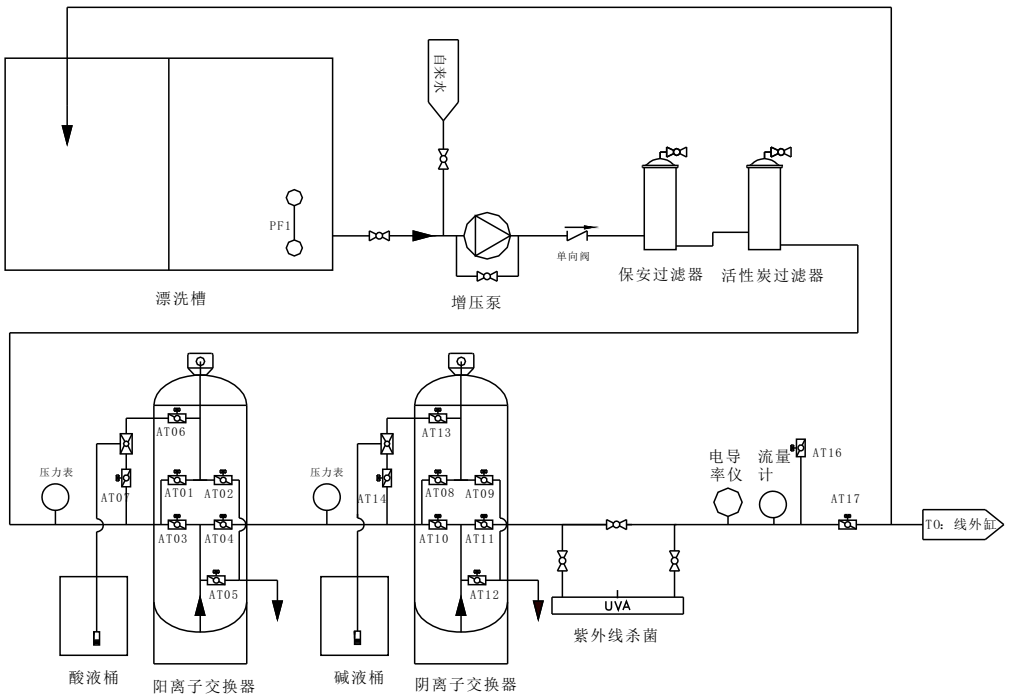



图9-9 球阀用于电镀液重金属回收装置的工艺流程图

### 9.2.4.2 球阀应用于次氯酸钠发生器

润新陶瓷硬密封球阀采用氧化铝或者碳化硅陶瓷球芯，密封结构为陶瓷硬密封，同时具有耐腐蚀、耐磨损的特点，克服了传统阀门只能单方面耐磨损或者耐腐蚀的缺点。采用润新独有的专利技术进一步降低了球阀的扭矩，可以使用较为小型的执行器，节省了安装空间，节约了动力消耗。

在次氯酸钠发生器中，高浓度盐水通过电解反应产生次氯酸钠溶液，高浓度盐水易结晶且具有腐蚀性，次氯酸钠溶液具有强腐蚀性和强氧化性，需要阀门能同时耐磨损和耐腐蚀，使用陶瓷硬密封球阀可以同时满足耐腐蚀和耐磨损性的技术要求，从而使设备可以长期稳定地运行。其安装如图9-10所示。

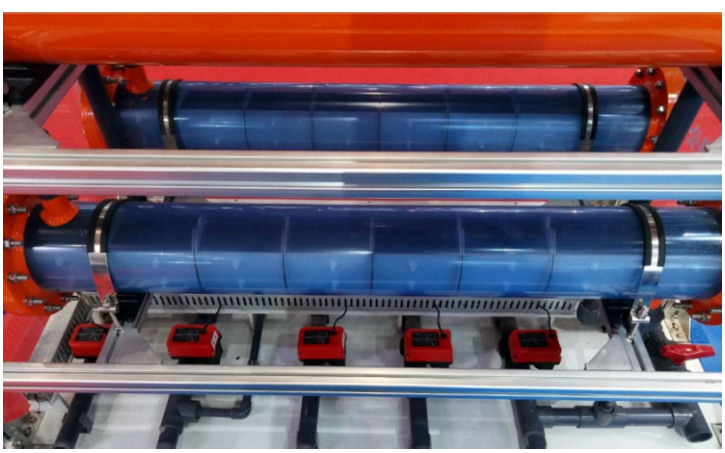


图9-10 球阀应用于次氯酸钠发生器

参考资料

1.工业锅炉水处理技术 郝景泰、于萍、周英主编，气象出版社，2000.4

2.工业锅炉水处理设施运行效果与监测（GBT16811-2005）

3.水处理技术规范与水处理设备操作维护实用手册　黄士萍主编，-西安，三秦出版社，2003.6

4.GB/T18300《自动控制钠离子交换器技术条件》

5.GB/T50109《工业用水软化除盐设计规范》

6.GB/T1576《工业锅炉水质》

7.GB 8978《污水综合排放标准》

8.CJ/T 43《水处理用滤料》

9.中国专利：ZL200420078956.5 水处理系统用多功能控制阀 伍孝荣、丁锋阳、杨润德

10.中国专利：ZL200720045551.5 一种全自动水处理控制装置 伍孝荣、伍先水、杨润德

11.中国专利：ZL201320732225 一种球阀 原海林、伍孝荣

# 附1：产品参数配置表

| 类别 | 型号 | 旧型号 | 进/出水口 | 排水口 | 吸盐口 | 基座 | 中心管 | 最大产水量 m3/h | 配套罐体尺寸（in） | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 手动过滤 | 51101A | F52 | 1/2″F | 1/2″F | | M82×3 | Φ16.5 | 1 | 6″～10″ | |
| | 51101B/C | F56B/F56C | 1/2″或 3/4″F | 1/2″或 3/4″F | | Tr95×6 或 Tr118×6 等 | 1.05″OD | 1 | 配 10″/20″滤壳 | |
| | 51102 | F56E | 1/2″或 3/4″F | 1/2″或 3/4″F | | 2.5″-8NPSM | 1.05″OD | 2 | 6″～10″ | |
| | 51104 | F56A | 1″F | 1″F | | 2.5″-8NPSM | 1.05″OD | 4 | 6″～12″ | |
| | 51106 | F56F | 1″F | 1″F | | 2.5″-8NPSM | 1″D-GB | 6 | 6″～14″ | |
| | 51110 | F56D | 2″F | 2″F | | 4″-8UN | 1.5″D-GB | 10 | 10″～24″ | |
| | 51218 | F77BS | 2″M | 2″M | | 4″-8UN | 1.5″D-GB | 18 | 14″～30″ | |
| | 51230 | F112BS | DN65 | DN65 | | DN80(上下布) | / | 30 | 24″～42″ | 侧装 |
| 自动过滤 | 53502 | F71B | 3/4″M | 3/4″M | | 2.5″-8NPSM | 1.05″OD | 2 | 6″～10″ | |
| | 53504 | F67B | 1″F | 1″F | | 2.5″-8NPSM | 1.05″OD | 4 | 6″～12″ | |
| | 53506S | F67B-A | 1″F | 1″F | | 2.5″-8NPSM | 1″D-GB | 6 | 6″～14″ | |
| | 53510 | F75A | 2″M | 2″M | | 4″-8UN | 1.5″D-GB | 10 | 10″～24″ | |
| | 53518 | F77B | 2″M | 2″M | | 4″-8UN | 1.5″D-GB | 18 | 14″～30″ | |
| | 53520 | F95B | 2″M | 2″M | | 2″M（上下布） | / | 20 | 18″～36″ | 侧装 |
| | 53520 | F111B | 2″M | 2″M | | 4″-8UN | 1.5″D-GB | 20 | 18″～36″ | |
| | 53530 | F112B | DN65 | DN65 | | DN80(上下布) | / | 30 | 24″～42″ | 侧装 |
| | 53540 | F96B | DN80 | DN80 | | DN100(上下布) | / | 40 | 24″～48″ | 侧装 |
| 手动软化顺流再生 | 61202 | F64B | 3/4″F | 1/2″M | 3/8″M | 2.5″-8NPSM | 1.05″OD | 2 | 6″～12″ | |
| | 61104 | F64A | 1″F | 1/2″M | 3/8″M | 2.5″-8NPSM | 1.05″OD | 4 | 6″～18″ | |
| | 61206 | F64F | 1.5″M | 3/4″M | 1/2″M | 4″-8UN | 1.25″D-GB | 6 | 10″～24″ | |
| | 61210 | F64D | 2″M | 1″M | 1/2″M | 4″-8UN | 1.5″D-GB | 10 | 10″～30″ | |
| | 61218 | F77AS | 2″M | 1.5″M | 3/4″M | 4″-8UN | 1.5″D-GB | 18 | 24″～40″ | |
| | 61240 | F112AS | DN65 | DN65 | 3/4″M | DN80(上下布) | / | 40 | 36″～60″ | 侧装 |
| 自动软化顺流再生 | 63502 | F65 | 3/4″M | 1/2″M | 3/8″M | 2.5″-8NPSM | 1.05″OD | 2 | 6″～12″ | |
| | 63504 | F63 | 1″M | 1/2″M | 3/8″M | 2.5″-8NPSM | 1.05″OD | 4 | 6″～18″ | |
| | 63505 | F130 | 1″M | 3/4″M | 3/8″M | 2.5″-8NPSM | 1″D-ANSI | 5 | 6″～22″ | |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 自动软化顺流再生 | 63508 | F133 | 1.5″M | 3/4″M | 1/2′M | 4″-8UN | 1.25″D-GB | 8 | 10″～30″ | |
| | 63510 | F74 | 2″M | 1″M | 1/2″M | 4″-8UN | 1.5″D-GB | 10 | 10″～30″ | |
| | 63515 | F99 | 2″M | 1.5″M | 3/4″M | 4″-8UN | 1.5″D-GB | 15 | 24″～40″ | |
| | 63518 | F77A | 2″M | 1.5″M | 3/4″M | 4″-8UN | 1.5″D-GB | 18 | 24″～40″ | |
| | 63520 | F95A | 2″M | 1.5″M | 3/4″M | 2″M（上下布） | / | 20 | 24″～42″ | 侧装 |
| | 63520 | F111A | 2″M | 1.5″M | 3/4″M | 4″-8UN | 1.5″D-GB | 20 | 24″～42″ | |
| | 63540 | F112A | DN65 | DN65 | 3/4″M | DN80（上下布） | / | 40 | 24″～60″ | 侧装 |
| | 63650 | F96A | DN80 | DN80 | | DN100（上下布） | / | 50 | 24″～63″ | 侧装 |
| 自动软化逆流再生 | 73502 | F69 | 3/4″M | 1/2″M | 3/8″M | 2.5″-8NPSM | 1.05″OD | 2 | 6″～12″ | |
| | 73504 | F68 | 1″M | 1/2″M | 3/8″M | 2.5″-8NPSM | 1.05″OD | 4 | 6″～18″ | |
| | 73505 | F92 | 1″M | 3/4″M | 3/8″M | 2.5″-8NPSM | 1″D-ANSI | 5 | 6″～22″ | |
| 自动软化顺逆流再生 | 82602 | F79 | 3/4″M | 1/2″M | 3/8″M | 2.5″-8NPSM | 1.05″OD | 2 | 6″～12″ | |
| | 82602 | F105 | 3/4″M | 1/2″M | 3/8″M | 2.5″-8NPSM | 1.05″OD | 2 | 6″～12″ | |
| | 82603 | F97 | 3/4″M | 1/2″M | 3/8″M | 2.5″-8NPSM | 1.05″OD | 3.5 | 6″～16″ | |
| | 82603 | F136 | 1″M | 1/2″M | 3/8″M | 2.5″-8NPSM | 1.05″OD | 3.5 | 6″～16″ | |
| | 82604 | F82 | 1″M | 1/2″M | 3/8″M | 2.5″-8NPSM | 1.05″OD | 3.5 | 6″～16″ | |
| 单阀双罐 | 17603 | F73 | 1″M | 1/2″M | 3/8″M | 2.5″-8NPSM | 1.05″OD | 3.5 | 6″～14″ | |
| | 17606 | F98 | 1″M | 3/4″M | 1/2″M | 1″M（上下布） | / | 3.5 | 6″～22″ | 侧装 |
| | 17610 | F88 | 1.5″M | 1″M | 1/2″M | 1.5″M（上下布） | / | 10 | 10″～30″ | 侧装 |
| | 17610 | F135 | 1.5″M | 1″M | 1/2″M | 4″-8UN | 1.5″D-GB | 10 | 10″～30″ | |
| 单阀三罐 | 18601 | F120 | 1″M | 1/2″M | 3/8″M | 2.5″-8NPSM | 1.05″OD | 2 | 6″～12″ | |
| | 18604 | F118 | 3/4″M | 1/2″M | 3/8″M | 2.5″-8NPSM | 1.05″OD | 3.5 | 6″～16″ | |

说明：F-内螺 M-外螺OD-外径D-GB表国标公称直径。表中的旧型号为早期编制的型号，按顺序编号，无实际意义。

# 附2：产品分类索引

| 最大产水量 m³/h | 过滤 | | 手动软化 | 自动软化 | | | 浮动床 | 单阀双罐 | 单阀三罐 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 手动 | 自动 | 顺流再生 | 顺流再生 | 逆流再生 | 顺逆流再生 | | | |
| 1-2 m³/h | 51101<br>F56B | | | | | 82502<br>F79 | | | |
| | 51102<br>F56E | 53502<br>F71 | 61202<br>F64B | 63502<br>F65/F117 | 73502<br>F69 | 82502<br>F79/F105/F122 | | | 18601<br>F120 |
| 3-4 m³/h | | | | | | 82503<br>F97/F136 | | 17603<br>F73 | |
| | 51104<br>F56A | 53504<br>F67 | 61104<br>F64A | 63504<br>F63/F116 | 73504<br>F68 | 82504<br>F82 | 93504<br>F83A | | 18604<br>F118 |
| 5-6 m³/h | | | | 63505<br>F130 | 73505<br>F92 | | | 17606<br>F98 | |
| | 51106<br>F56F | 53506<br>F67B-A | 61106<br>F64F | | | | | | |
| 8-12 m³/h | | 53508<br>F134 | | 63508<br>F133 | | | | 17610<br>F88/F135 | |
| | 51110<br>F56D | 53510<br>F75 | 61210<br>F64D | 63510<br>F74 | | | | | |
| 15-25 m³/h | | | | 63515<br>F99 | | | | | |
| | 51218<br>F77BS | 53518<br>F77B | 61218<br>F77AS | 63518<br>F77A | | | 91218<br>F77CS | | |
| | | 53520<br>F95B/F111B | | 63520<br>F95A/F111A | | | | | |
| 30-50 m³/h | 51230<br>F112BS | 53530<br>F112B | | | | | | | |
| | | 53540<br>F96B | 61240<br>F112AS | 63540<br>F112A | | | 91540<br>F112CS | | |
| | | | | 63550<br>F96A | | | | | |

自动再生软化阀均有时间型与流量型之分，表中仅列出时间型或流量型，时间型第三位数为5，流量型第三位数为6。

同一种流量下面，有两种型号，表示安装方式不一样或者采用了两种原理做了同一种流量的控制阀。

周英　伍孝荣　刘璎　伍先水　原海林　叶茂感等编

封面书名由温州市润新机械制造有限公司董事长杨润德书写

润新® RUNXIN
浙 江 省 名 牌 产 品

www.run-xin.com

**温州市润新机械制造有限公司**
WENZHOU RUNXIN MANUFACTURING MACHINE CO.,LTD

地址：浙江省温州市山福镇润新路169号
No.169, Runxin Road,Shanfu Town, Wenzhou, Zhejiang, China

电话（Tel）：+86-577-88635628 88630038　邮编（P.C）：325021
传真（Fax）：+86-577-88633258　　E-mail:sales@run-xin.com

