

Rodline

世界上最常用的数字化棒控系统





原理

棒控系统旨在进行控制棒束的插拔，以调节反应堆功率，并在反应堆关闭时提供负反应性裕量。

棒控系统主要由控制柜和多个电源柜组成。

控制柜根据其输入信号、位置联锁以及预定义的单个和重叠程序来管理子组的移动。它向电源柜提供每个步骤和每个子组的插拔命令脉冲。这些命令的频率与运动速度相对应。

根据控制柜的移动命令，每个电源柜为其控制的 CRDM 线圈产生适当的电流，从而使棒束就位或使其移动。它们代表系统设备的主要部分。例如，61个控制棒束划分为16个子组，每个子组对应一面19英寸的电源柜。

罗尔斯·罗伊斯最新一代棒控系统 — Rodline

Rodline 是罗尔斯·罗伊斯罗尔斯·罗伊斯 第四代棒控系统，是从 80 多个核反应堆超过 40 年的应用经验中得出的成果。Rodline 是一种强大且可靠的数字技术，易于操作和维护。

Rodline 已被世界各地的主要项目选中，例如中国 18 座 CPR1000 反应堆建设项目，或者法国 20 多座反应堆的现代化改造项目（1300MW 反应堆群）。



一种稳健、标准化且经过验证的技术。

架构

控制柜接收多个信号：控制室的操作模式选择和手动控制信号、过程仪表系统的温度控制速度信号和反应堆保护系统的授权信号。

每个电源柜包括一个逻辑控制单元（cyclor）和一组电源转换器。

Cyclor 为转换器产生逻辑设定值，可随时对每根线圈所需的电流进行编码。存在移动命令时，cyclor将生成预定的设定值序列做为响应；若没有移动命令，cyclor将为分配给静止夹具的转换器生成稳定且已降低的电流设定值。

Rodline 系统的功率转换器采用三相半波晶闸整流器。电源采用 Z 形连接交流发电机，可以承受由该转换器拓扑产生的电流瞬态的高同极直流分量。

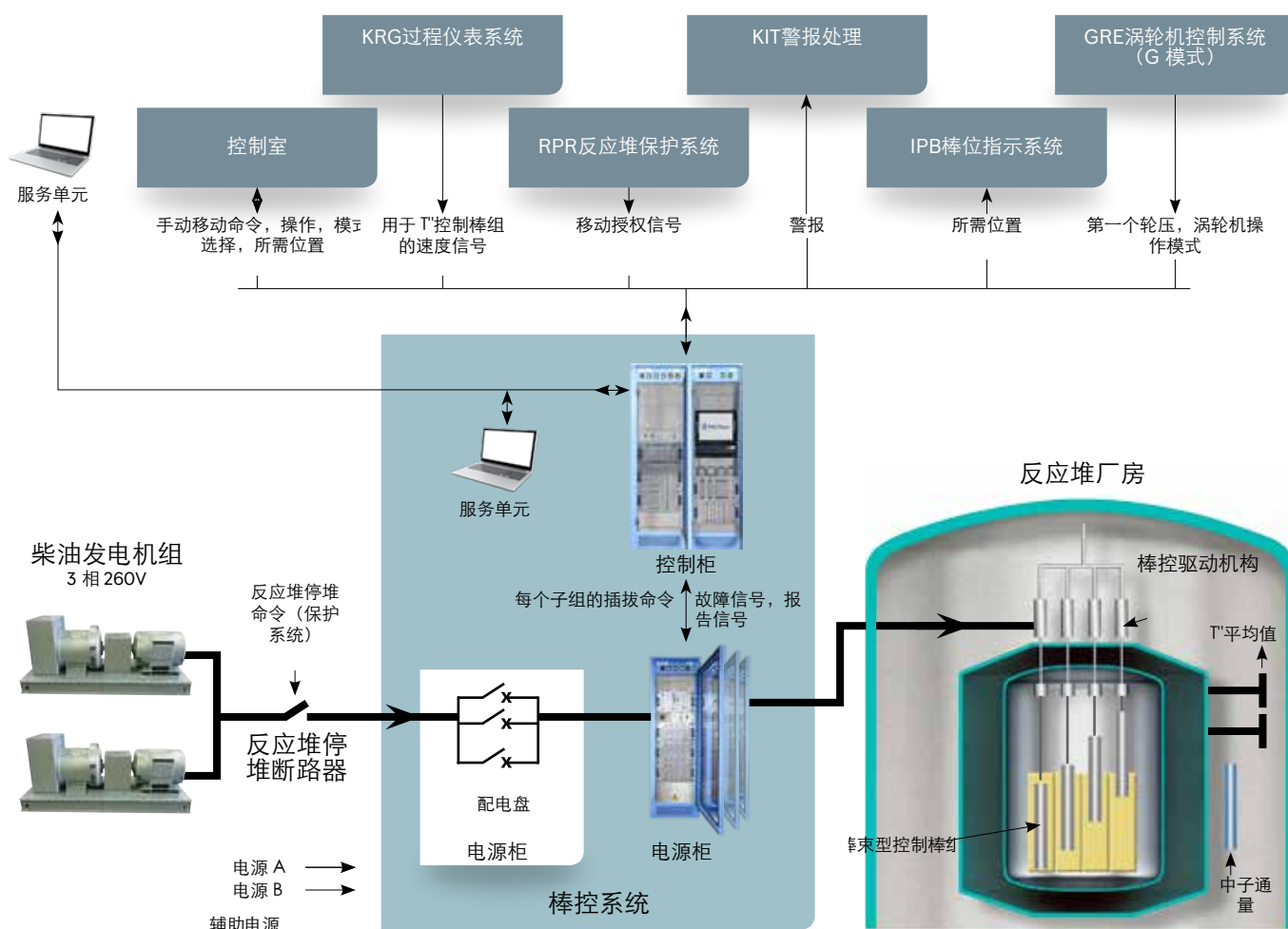
如果发生可能导致棒脱落的故障，则电源柜为其控制的 CRDM 两个

夹具通电，避免反应堆意外停堆，即双保持功能。电源柜还具有维护功能，允许反应堆运行期间进行故障排除和修理。

标准电源通常为 400 kVA。

当电源通过电缆而不是汇流排连接到电源柜时，需要采用配置断路器的配电盘来保护这些电缆。

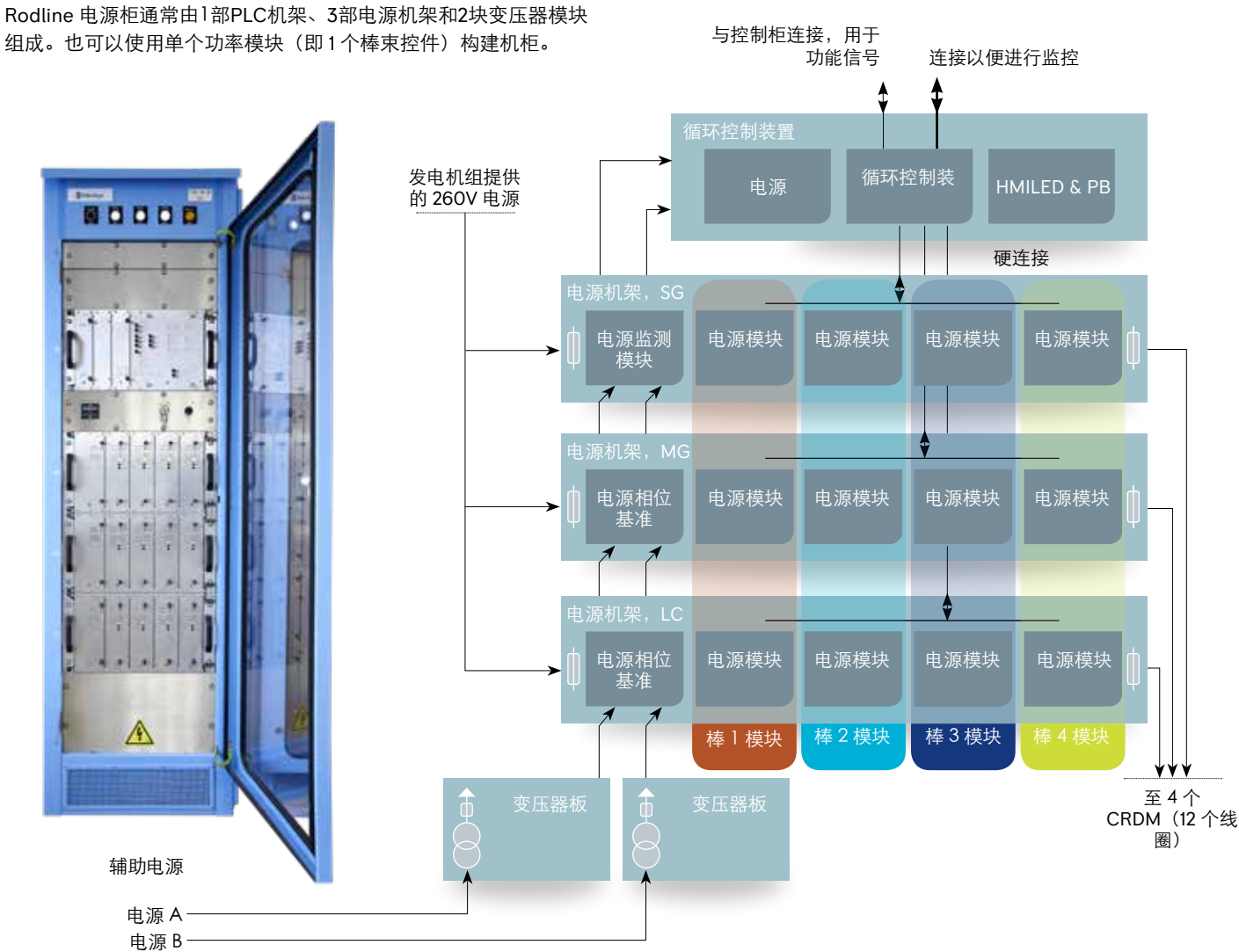
架构简单，易用、高效。





Rodline 电源柜

Rodline 电源柜通常由1部PLC机架、3部电源机架和2块变压器模块组成。也可以使用单个功率模块（即1个棒束控件）构建机柜。



Rodline 电源模块

Rodline 技术包括两种电源模块类型：MDP 电源模块和 ALSYN 模块。MDP 模块通过为相关线圈供电来驱动 CRDM。ALSYN 模块为电源模块的电流控制部分和监控部分提供单独的电源。

每个机柜均包括 12 个 MDP 模块和 3 个 ALSYN 模块。

标准化电源模块

同种模块可用于 3 种类型的线圈：SG、MG、LC。

电源模块包括 3 组参数。通电后，模块会根据安装的机架自动选择一组参数。

参数：控制部分的电流设定值，监控部分的电流阈值和超时设定。

这些模块也可用于具有 3 种以上线圈的机构。

热插拔电源模块

当电源机架（例如 SG）上的模块解锁时，将切断相应的输出电流，以避免底板连接器形成电弧。

然后，可用机架（如 MG）对棒执行保持操作。机柜处于双保持状态。

开始操作之前，操作员应启动双保持功能，否则系统将自动触发该功能。

在系统层面，控制柜将收到电源柜是否可用于远程操作的通知。

减少备件类型，优化运行和储存成本，减少维护。



MDP 模块



ALSYN 模块



Rodline 循环控制装置

每个电源柜包括一个逻辑单元(cycler),为转换器生成逻辑设定值,可随时对每个线圈所需的电流进行编码。存在移动命令时(cycler),将生成预定的设定值序列做为响应;若没有移动命令(cycler),将生成夹持电流设定值并提供给相应勾爪。

Rodline 逻辑单元 通过已针对 Rodline 电源模块进行优化的罗尔斯•罗伊斯技术实现。它包括 3 个标准化模块: 电源 (ALIC)、循环控制装置主板 (UCC) 和 HMI 板 (IHMC)。

逻辑单元也可以使用通用 PLC 替代,接口和大小保持不变。

循环控制装置的主要功能

- 管理电源机架:
 - 为下列电源机架生成逻辑设定值信号: FC、RC、ZC
 - 状态/序列: 仅保持、抽出、插入、双保持、
 - SG 测试、MG 测试、LC 测试, 第一步抽出、释放 (ATWT)
- 管理电源机架故障
- 如果需要, 生成双保持命令, 即故障安全信号。
- 为 LC 机架生成 LC 抑制信号, 以便重新调整
- 在棒被另一个可用机架保持时对电源机架的测试进行管理。在 HMI 板 (IHMC) 上使用按钮执行测试
- 与控制柜和计算机化的 HMI 通信
- 机柜故障管理
- 备用故障输入
- I/O 到本地 HMI (IHMC)

提供大量满足客户需求的功能。



UCC 模块



IHMC 模块



ALIC 模块

Rodline 控制柜

控制柜用于接收多个信号：控制室选择的操作模式和手自动模式、过程仪表系统产生的棒控速度和反应堆保护系统的授权信号。

控制柜为定制设计。它可以通过罗尔斯•罗伊斯安全平台 — Spline 或符合性能要求的现成 PLC 来实现。

HMI 可根据需要进行定制。



操作员主界面



重新调整命令

效益

Rodline 是一种可靠、可用、易于操作和维护的数字化技术。

Rodline 是罗尔斯•罗伊斯以其在棒控系统领域超过 40 年经验的基础上奉献的巅峰之作，可用于各种使用范围、客户和监管机构。

Rodline 已被安装在法国和中国的许多核电厂，并投入运行。

主要优势

轻松排除故障

- 诊断：一旦出现电流故障，操作员将立即知道与其相关的线圈和模块
- 修理：更换电源模块时，会对几乎所有与线圈相关的部件进行更换，如控制和电源功能组件、监控功能组件和电流传感器

模块小型化—只有一个线圈

- 电源模块由单块工业制造 PCB 组成
- 手动操作少，无接线

备件种类少

- 3 种线圈类型仅使用一种电源模块
- 降低制造成本和库存成本

技术效益

- 电源模块的尺寸根据 LC 设计，对于 SG 和 MG 则过大
- 得益于 T°，不同的 CRDM 供应商供应的线圈之间无电流差异
- 无需 LC 抑制晶闸管—简化系统，降低功耗
- 柜内热点较少

在精度、响应时间和可靠性方面提供更好的性能表现。



参考



40 余年来，罗尔斯·罗伊斯已在全球参与了 830 座核反应堆的现代化改造和新建项目，在棒控系统领域积累了丰富经验。

中国 — CPR1000 新建计划

目前，我们正在为 18 座 CPR1000 反应堆新建计划提供 Rodline。2015 年底，已有 11 座在运反应堆采用 Rodline 技术。400 个 Rodline 机柜和 800 个棒位探头已交付完毕。本地化水平已从 1%（1991 年的第一个项目）上升到 85%（2015 年）。

法国 — 34 座反应堆 (900MW) 的局部现代化改造

34 座 EDF 900MW 反应堆棒控系统（逻辑和循环控制装置）的局部现代化改造。从 2006 年到 2015 年，已按时对 27 座反应堆进行现代化改造，现已投入正常运行。

法国 — 20 座反应堆 (1300MW) 的整体现代化改造

罗尔斯·罗伊斯对 20 座 EDF 1300MW 反应堆进行仪表与控制 (I&C) 系统整体现代化改造，这也是目前全球最大的现代化改造项目。现代化改造项目涵盖反应堆保护系统、中子测量仪表系统、棒控系统、以及与控制室的接口。本项目将提供 1000 个 Spline 和 Rodline 机柜。

首批安装已于 2015 年 4 月完成。整个安装部署将一直持续到 2023 年。



34 座反应堆局部现代化改造实施前后对比图



Rolls-Royce Civil Nuclear SAS
23, Chemin du Vieux Chêne
38240 Meylan
France
电话: +33 476 611 500

Rolls-Royce International Ltd.
IBC Building, Pobrezni 3
Prague 8 - 186 00
Czech Republic
电话: +420 224 835 070

Rolls-Royce Commercial (Beijing) Co., Ltd.
305-306, Indigo Building1
20, Jiuxianqiao Road,
Beijing, 100016,
中国
电话: +86 10 8565 5000

Rolls-Royce
994-A Explorer Blvd.
Huntsville, AL 35806
USA
电话: +1 423-756-9730

Rolls-Royce Nuclear Engineering Services
技术服务部
465 Malcolm Drive,
Moon Twp, PA 15108,
USA
电话: +1 800-895-0215

www.rolls-royce.com/nuclear
电子邮件地址: rolls-royce@nuclearsolutions.com



© Rolls-Royce plc 2016

本文档中的信息是 Rolls-Royce plc 的财产，未经 Rolls-Royce plc 明确书面同意，不得复制或向第三方传播，或用于其他任何目的。

虽然这些信息基于 Rolls-Royce plc 可获得的最新信息，但对于这些信息，我们不提供任何保证或声明，也不得用于对 Rolls-Royce plc 或其任何子公司或联营公司具有约束力的合同或其他承诺。

参考编号: 0006/TS/16