

PosVim 快速使用手册

——我的第一个可靠性分析项目

目 录

1 创建项目	1
2 录入产品组成结构信息	3
2.1 手工添加产品结构信息	3
2.2 通过 EXCEL 格式文件导入产品结构信息	7
2.3 其他操作与说明	9
3 可靠性预计	11
3.1 手工方式可靠性预计	11
3.2 智能可靠性预计	14
3.3 机械件的可靠性预计	16
3.3 T-S 仿真	17
3.4 失效率统计	18
3.5 报表输出	19
3.6 其他操作与说明	19
4 可靠性建模 (RBD)	20
4.1 创建项目及产品结构树	20
4.2 创建任务剖面	20
4.3 创建 RBD	23
4.4 绘制 RBD	26
4.5 设置 RBD 节点参数	27
4.6 RBD 计算	30
4.7 RBD 节点失效率参数设置	31
4.8 创建复杂的 RBD	33
4.9 子图管理	39
4.10 添加节点图片	42
4.11 结果查看与输出	43
4.12 其他操作与说明	44
5 可靠性分配	45
5.1 可靠性分配	45
5.2 分配结果调整	48
5.3 固定元件可靠度的分配	48
5.4 设置元件不参与分配	49
5.5 其他操作与说明	50
6 FMEA 分析	52
6.1 分析方法、标准预定义	52
6.2 FMEA 分析	52
6.3 控制计划&DVP	59
6.4 转为故障关系图	61
6.5 转为故障树	62
6.5 故障模式库管理	63
6.6 计算配置	65
6.7 检测方法库管理	67
6.8 故障纠正措施库管理	67

7 故障树分析	68
7.1 创建故障树	68
7.2 故障树计算与分析	72
7.3 多功能/共模故障分析	73
7.4 其他操作与说明	75
8 降额设计	77
8.1 降额标准选择	77
8.2 降额参数设置	77
8.3 降额符合性检查	78
8.4 报表输出	78
8.5 自定义降额准则	79
9 维修性预计	79
9.1 维修性模型绘制	79
9.2 维修性预计计算	81
9.3 结果输出	81
10 维修性分配	82
10.1 维修性分配	82
10.2 分配结果调整	83
10.3 固定元件维修性指标的分配	84
10.4 设置某个元件不参与分配	85
10.5 其他操作与说明	85
11 寿命周期费用分析 (LCC)	86
11.1 创建寿命周期费用分析记录	86
11.2 使用 EBS 费用估计法	87
11.3 使用 CBS 费用估计法	91
11.4 敏感性分析	93
11.5 其他说明	94
12 以可靠性为中心的维修分析 RCMA	97
12.1 逻辑决断图分析	98
12.2 确定预防性维修间隔期	100
12.3 预防性维修级别的选择	100
12.4 结构以可靠性为中心的维修分析	101
12.5 故障后果和保养工作分析	101
12.6 使用检查分析	102
12.7 操作人员监控或功能检测分析	103
12.8 定时拆修或定时报废分析	104
13 加速寿命试验设计与分析	106
13.1 加速寿命试验设计与分析模块简介	106
13.2 加速寿命试验方案设计	107
13.3 加速寿命试验方案优化	109
13.4 试验数据录入	110
13.5 数据处理与分析	111
14 加速退化试验设计与分析	113
14.1 加速退化试验方案设计	113

14.2	加速退化试验方案优化.....	115
14.3	试验数据录入.....	116
14.4	数据处理与分析.....	118
15	威布尔分析.....	120
15.1	威布尔分析模块简介.....	120
15.2	创建威布尔分析记录.....	121
15.3	录入数据.....	122
15.4	数据计算与分析.....	122
15.5	图形的文本标签编辑.....	126
15.6	精度验证.....	126
16	可靠性评估.....	128
16.1	可靠性评估模块简介.....	128
16.2	评估类型与方法的选用依据.....	129
16.3	设备可靠性评估.....	130
16.4	系统可靠性评估.....	143
16.5	综合可靠性预计数据的评估.....	149
16.6	试验数据相容性检验.....	151
16.7	试验项目管理.....	151
16.8	设备库管理.....	152
17	测试性分配.....	154
17.1	测试性分配.....	154
17.2	测试性分配结果调整.....	155
17.3	固定元件的测试性分配.....	155
17.4	设置元件的参与不参与分配.....	156
18	测试性预计.....	157
19	测试性建模与分析.....	158
19.1	测试性建模.....	159
19.2	测试性计算及诊断决策树生成.....	167
19.3	分析结果导出.....	169
19.4	某飞行控制系统 CMS 的测试性建模与分析.....	169
20	修理级别分析.....	175
20.1	选择产品平台与类型.....	175
20.2	非经济性分析.....	175
20.3	经济性分析.....	176
20.4	分析结果汇总输出.....	177
21	使用与维修工作分析.....	178
21.1	使用工作分析.....	178
21.2	使用资源分析.....	179
21.3	维修工作分析.....	179
21.4	维修资源分析.....	180
22	备件分析.....	182
22.1	备件保障概率计算.....	182
22.2	备件量计算.....	183
22.3	备件费用计算.....	185

22.4	备件清单导出	186
22.5	消耗品清单分析	186
22.6	消耗品清单导出	187
23	维修性与测试性试验方案设计	188
23.1	维修性试验方案设计	188
23.2	维修性试验数据管理	191
23.3	测试性试验方案设计	193
23.4	测试性试验数据管理	196
23.5	测试性建模与仿真验证功能	198
24	可靠性试验设计与数据分析	199
24.1	定时/定数试验方案设计	199
24.2	定时/定数试验数据验证	201
24.3	序贯试验方案设计	201
24.4	序贯试验验证	203
24.5	一次抽样检验试验方案设计	204
24.6	一次抽样检验验证	205
24.7	序贯抽样检验试验方案设计	205
24.8	序贯抽样检验试验验证	207
24.9	威布尔分布抽样检验试验方案设计	208
24.10	威布尔分布抽样检验试验验证	209
25	试验数据管理	211
26	马尔可夫分析	213
26.1	马尔可夫简介	213
26.2	马尔可夫分析流程	213
26.3	不同类型系统的马尔可夫模型	214
26.4	绘制马尔可夫状态转移图模型	217
26.5	状态转移概率设置	218
26.6	计算	219
27	RMS 参数管理	220

说明：本快速使用手册通过一个 demo 项目“我的第一个项目”，以案例的形式，详细介绍从项目创建、产品结构树建立、可靠性预计、可靠性建模、可靠性分配、FMEA、FTA 到加速试验设计、分析等如何操作。旨在对 PosVim 的所有功能模块有整体的了解。

1 创建项目

登录 PosVim 软件后，点击【创建新项目】，打开创建新项目的编辑窗口，如图 1-1。

输入项目名称“我的第一个项目”（名字可以自己取），并选择该项目的管理员、责任部门。除了项目名称必填外，其他默认即可，可以不填写。如图 1-2。

点击【保存】按钮，创建项目成功。创建成功后，系统会自动打开当前项目。

注意：如果已经创建了项目，则无需创建，直接打开项目即可

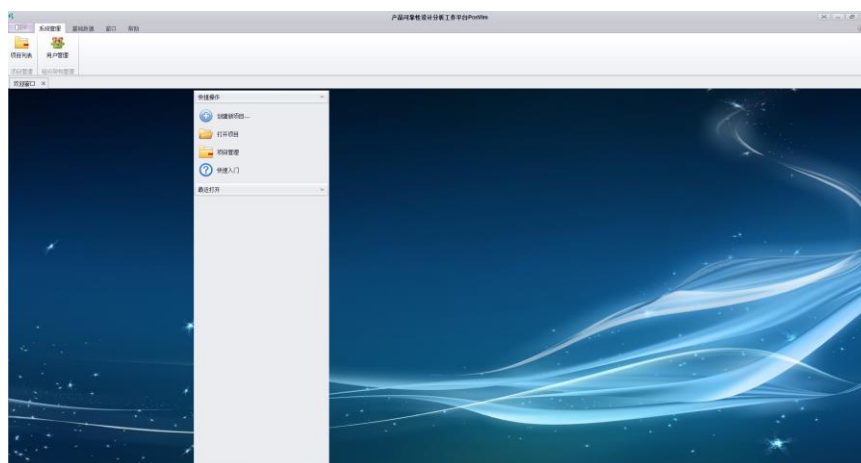


图 1-1 进入欢迎界面

The screenshot shows a software window titled "编辑项目" (Edit Project). It contains the following fields and controls:

- * 项目名称:** Text input field containing "我的第一个项目".
- * 项目状态:** Dropdown menu with "正常" selected.
- * 建模方法:** Dropdown menu with "产品结构建模" selected.
- 创建者:** Text input field containing "管理员".
- * 项目负责人:** Dropdown menu with "管理员" selected.
- 责任部门:** Dropdown menu.
- 项目描述:** Large text area.
- 备注:** Large text area.
- Buttons:** "保存" (Save) and "取消" (Cancel) buttons at the bottom.

图 1-2 创建项目

2 录入产品组成结构信息

打开新创建的项目“我的第一个项目”后，显示如下界面。如图 2-1 所示。

PosVim 后续的可靠性预计、FMEA、可靠性建模、降额设计、维修性预计、维修性分配等模块，都需要用到产品结构树信息。所以，在创建了名为“我的第一个项目”的项目后，建议首要做的事情是录入产品的组成结构信息。PosVim 提供两种方式录入产品组成结构信息。一种是手工逐个添加；一种是通过 excel 模板文件导入。

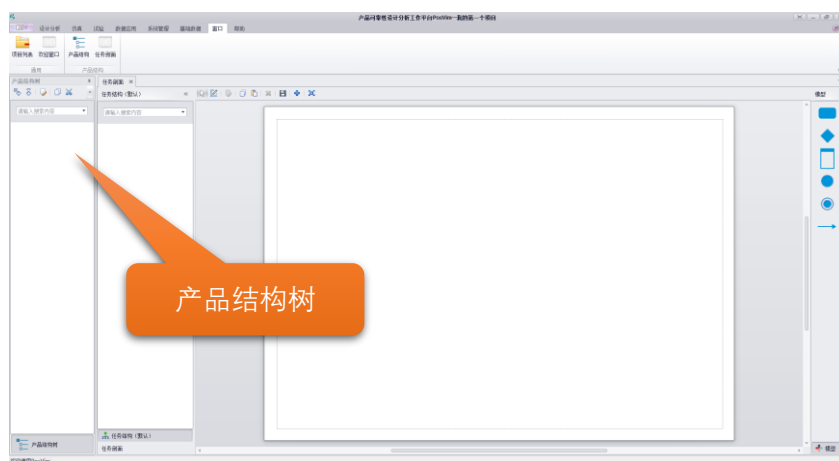


图 2-1 打开项目

2.1 手工添加产品结构信息

2.1.1、创建根节点

打开项目后，在主界面左边的“产品结构树”窗口的空白处，点击右键并选择弹出菜单的“添加子节点”选项，或者直接点击界面上方的图标，添加子节点，如图 2-2 所示。

在弹出的“编辑节点”信息窗口中输入节点名称等基本信息。例如，在节点名称栏输入“XXX 系统”，节点类型在下拉列表中选择“系统”。至此，创建根节

点成功。如图 2-3 所示。

注：需要注意的是，创建节点时，切记要选择节点的类型（PosVim 的产品类型分为系统、分系统、设备、模块、板、元器件、机械部件、计算机软件等），否则系统默认认为该节点是组件/模块，后面开展可靠性预计时，无法使用 GJB299C、SR332 等标准进行可靠性预计。

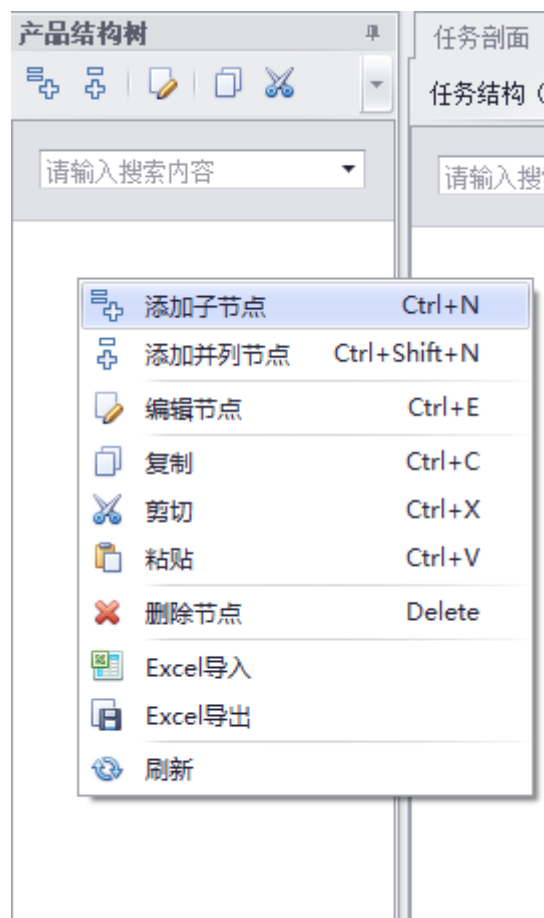


图 2-2 增加节点

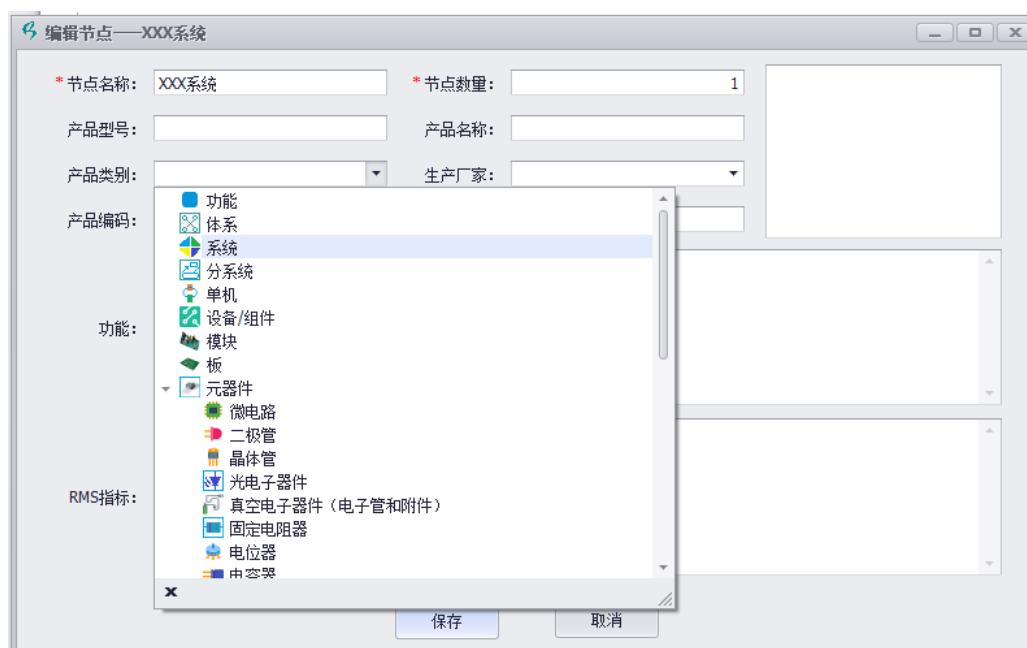


图 2-3 创建根节点

2.1.2、录入子节点信息

假设我们分析的对象为“XXX 系统”，根节点“XXX 系统”下又有模块 A、模块 B 两个模块。其中，模块 A 和模块 B 下面包含有多个元器件。录入根节点“XXX 系统”的子节点信息的操作步骤为：

步骤 1：首先，在根节点“XXX 系统”下面增加“模块 A”的子节点：点击根节点“XXX 系统”，然后点击右键菜单选择“添加子节点”或者直接点击界面上方的图标，添加子节点。输入节点信息“模块 A”，节点类型选择“模块”。如图 2-4 所示。

步骤 2：在创建的“模块 A”节点下面，添加属于模块 A 的元器件。创建方法是：

选择“模块 A”节点，点击右键在弹出菜单选择“添加子节点”或者直接点击界面上方的图标进行添加子节点。输入子节点信息“2CW52”，类型选择

“二极管”。如图 2-5 所示。

采用同样的方法，选中“模块 A”节点，分别再添加子节点“EPM703”、“RJ45-01”，类型分别选择“微电路”、“固定电阻器”。若有需要，可继续添加需要预计的元器件，操作方法相同。

步骤 3：采用同样的方法，创建与模块 A 并列的模块 B 节点，模块 B 下面有元器件电阻“RJ4501”、“RJ4502”和机械件“M01”。元器件电阻“RJ4501”、“RJ4502”的添加方式参考步骤 2。添加机械件“M01”时，节点类型选择“机械部件”即可。如图 2-6 所示。

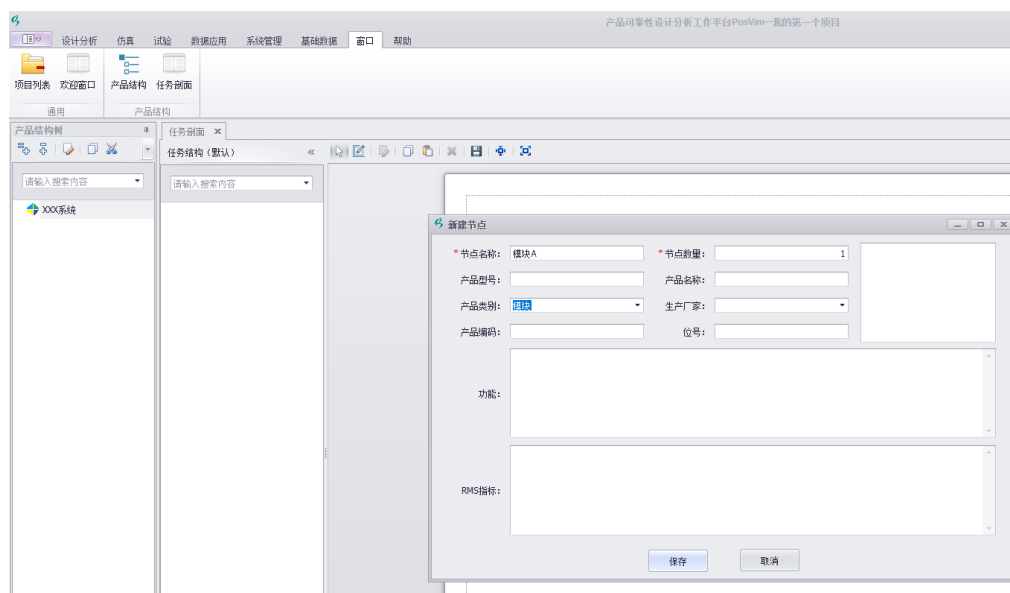


图 2-4 添加“模块 A”节点

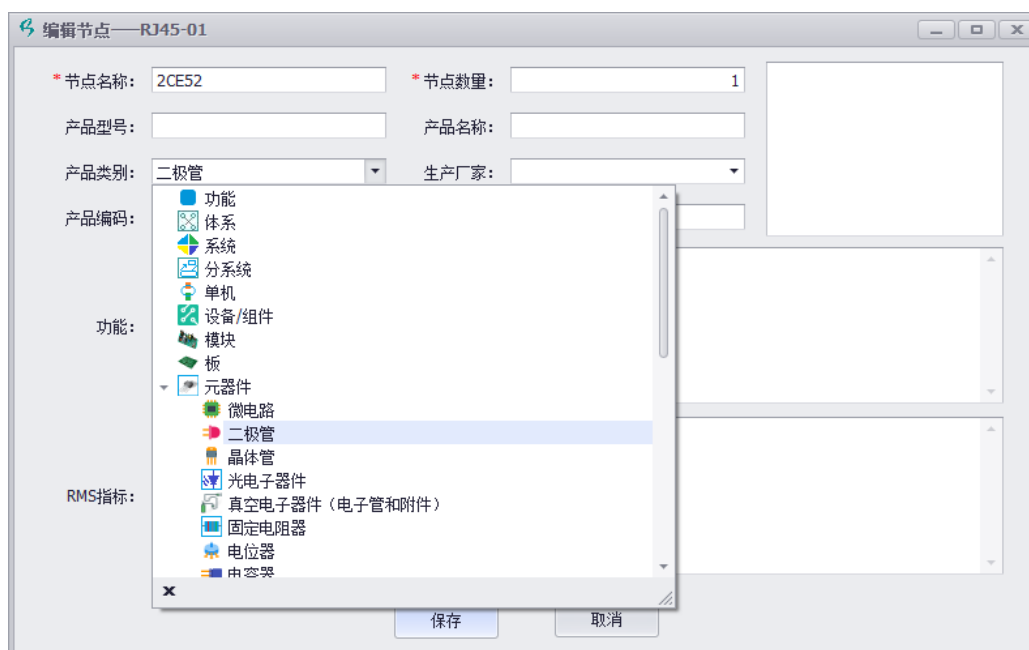


图 2-5 添加模块 A 的元器件节点



图 2-6 添加模块 B 的机械部件 M01

2.2 通过 EXCEL 格式文件导入产品结构信息

除了上面通过手工逐个添加产品的组成节点信息外,PosVim 提供通过 Excel 文件导入产品信息。导入 excel 格式文件时, Excel 文件格式要符合 PosVim 提

供的模板要求，模板文件可在 PosVim 安装目录下 “\Template\SysTree.xls” 找到。

操作步骤：

步骤 1：按照 PosVim 提供的模板格式（见 PosVim 安装目录下 “\Template\SysTree.xls” ），创建 excel 文件。切记检查格式是否符合!!!

步骤 2：假设要在 “XXX 系统” 的模块 A 下导入 excel 文件的元器件，操作方法是：

2a：选中 “模块 A”，然后点击右键并选择右键菜单 “excel 导入”，打开导入编辑界面。

2b：在 excel 导入编辑界面，选择浏览按钮，并选择所需导入的 excel 文件。这里我们假设导入 PosVim 的模板文件 SysTree.xls 中的元器件到模块 A 中。找到 PosVim 安装目录下 “\Template\SysTree.xls” ，并选中。

2c：点击导入按钮，即可将 excel 文件中的元器件导入到模块 A 中。如图 2-8 所示。

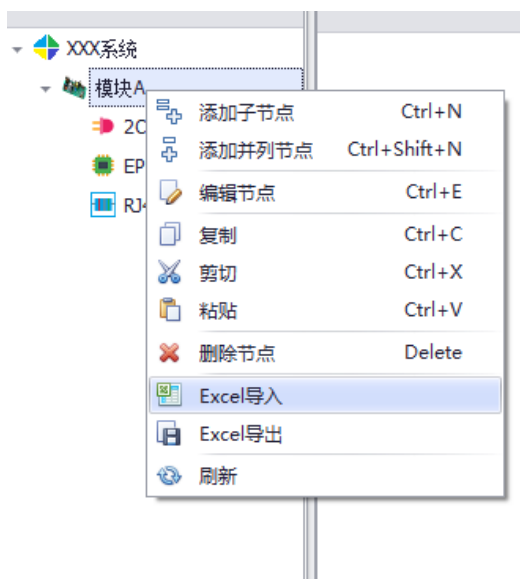


图 2-7 导入 Excel

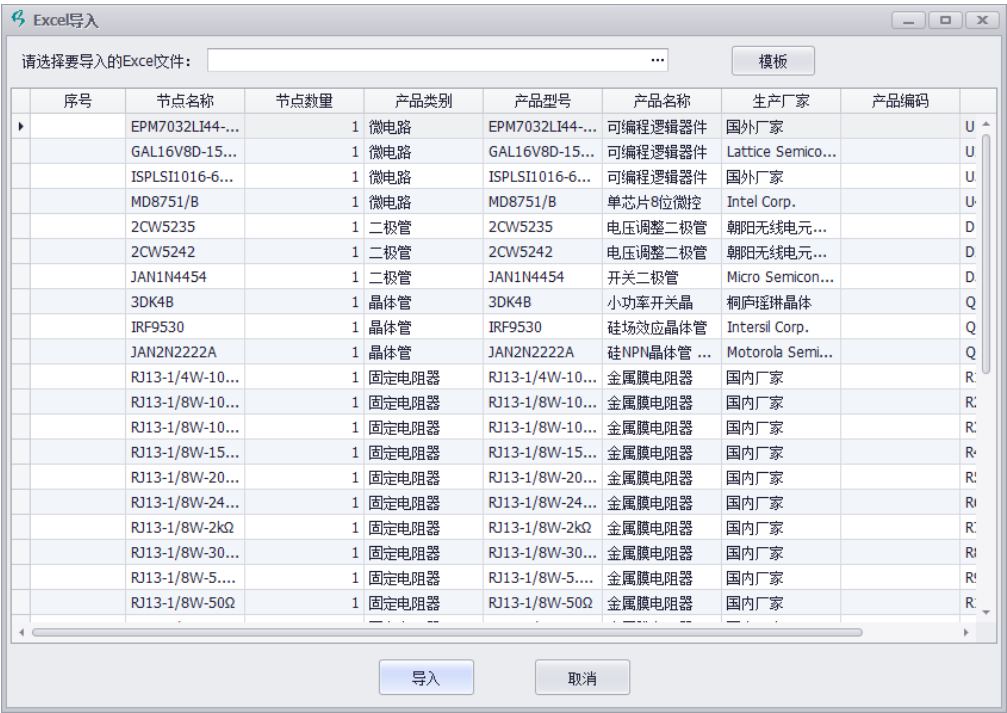


图 2-8 导入元器件到模块 A

2.3 其他操作与说明

2.3.1 产品类型说明

在创建产品结构树时，切记要选择节点的产品类别，否则可靠性预计过程中可能由于无法识别节点类型而不能预计。PosVim 的产品类别如下图所示。

产品类别	图标
功能	
体系	
系统	
分系统	
单机	
设备/组件	
模块	
板	
元器件	
微电路	
二极管	
晶体管	
光电子器件	
真空电子器件（电子管和附件）	
固定电阻器	
电位器	
电容器	
感性元件（变压器）	
继电器	
开关	
电连接器	
微特电机（同步器和分解器）	
磁性元件	
印制板、焊接点与SMT互连	
振荡器和谐振器	
滤波器	
电池	
灯	
激光器	
压电陀螺	
光纤互连器件	
焊点(连接)	
仪表表头	
保险丝、避雷器、吸收器和保护装置	
其他电子元件	
机械部件	
计算机软件	

图 2-9 产品类别

2.3.2 产品结构信息的复制粘贴

在创建产品结构树时，PosVim 支持复制产品结构树的任一节点、任意层次的子树，并粘贴到新的产品结构树节点下。操作方法是：

复制：选中希望复制的节点或者子树，点击产品结构树窗体上方工具栏的  图标或者右键选择“复制”或者使用快捷键“CTRL+C”，即可复制。

粘贴：选中希望粘贴节点信息的节点，点击工具栏的  图标，或者右键选择“粘贴”或者使用快捷键“CTRL+V”，即可完成粘贴。

3 可靠性预计

PosVim 提供了手工方式可靠性预计以及智能可靠性预计两种方式，可根据需求选择预计方式。

需要注意的是——通过可靠性预计模块得到的可靠性指标是基本可靠性指标（一般是得到失效率和 MTBF）!! 如果您需要得到任务可靠性指标（例如任务可靠度），需要使用 PosVim 的 RBD 模块获得。

由于 PosVim 的可靠性预计模块的预计方式是自下而上，即由产品最底层的元器件、元件可靠性预计开始，先进行元器件的可靠性预计，然后逐步往上进行可靠性预计，得到各层次组件、模块、子系统、系统的可靠性预计结果。所以，我们要完成后续的可靠性预计工作，首先需要按照产品组成结构，逐层建立产品结构，直至元器件层。如何构建产品结构树并录入产品结构信息，[见第 2 节](#)。

3.1 手工方式可靠性预计

创建了产品的组成结构信息后，点击 PosVim 软件界面上方的“设计分析”中可靠性预计模块图标，即可进行可靠性预计，如图 3-1 所示。

PosVim 提供了常用的可靠性预计标准进行预计，包括 GJB299C、SR332、NSWC 等多个电子、机械元件的可靠性预计标准。需要根据用户方要求或者可靠性预计工作要求确定具体使用哪个标准进行可靠性预计。

可靠性预计一般是从最底层的元器件开始进行可靠性预计!! 假设从模块 A 的元器件进行可靠性预计开始，逐层进行可靠性预计。具体操作步骤：

步骤 1：确认您已经进入了可靠性预计模块，在主界面左方的产品结构树窗口中，点击“模块 A”节点。此时的界面如下图 3-1 所示。界面的左边是产品结

构树，中间部分显示的是当前选中节点“模块 A”的所有子节点列表，下方是元器件可靠性预计输入参数窗口。

步骤 2：在软件界面的中间部分的节点列表中，双击需要进行可靠性预计的节点。例如，双击“2CE52”节点，下方弹出该节点需要输入的可靠性预计参数。

步骤 3：依次选择可靠性预计方法、环境、子类别参数，环境、子类别的选项，是与可靠性预计标准/方法关联的，即选择不同的可靠性预计标准/方法时，可以选择的环境类别、子类别参数选项是不同的。GJB299C、SR332、NSWC 等标准的各类元件可靠性预计参数说明，可参阅相应标准。假设预计方法选择“GJB299C 应力法”、环境选择“GB 地面良好”，子类选择“普通硅二极管”。如图 3-2 所示。

步骤 4：选择了预计方法/标准、环境类别、子类后，将会根据您选择的选项，弹出对应的可靠性预计参数需要您输入。例如，“2CE52”二极管需要输入质量等级、工作温度等参数。如图 3-2 所示。

步骤 5：录入元件的可靠性预计参数后，点击参数录入窗口上方的【计算】按钮，即可计算得到该元件的可靠性预计结果。如图 3-3 所示。

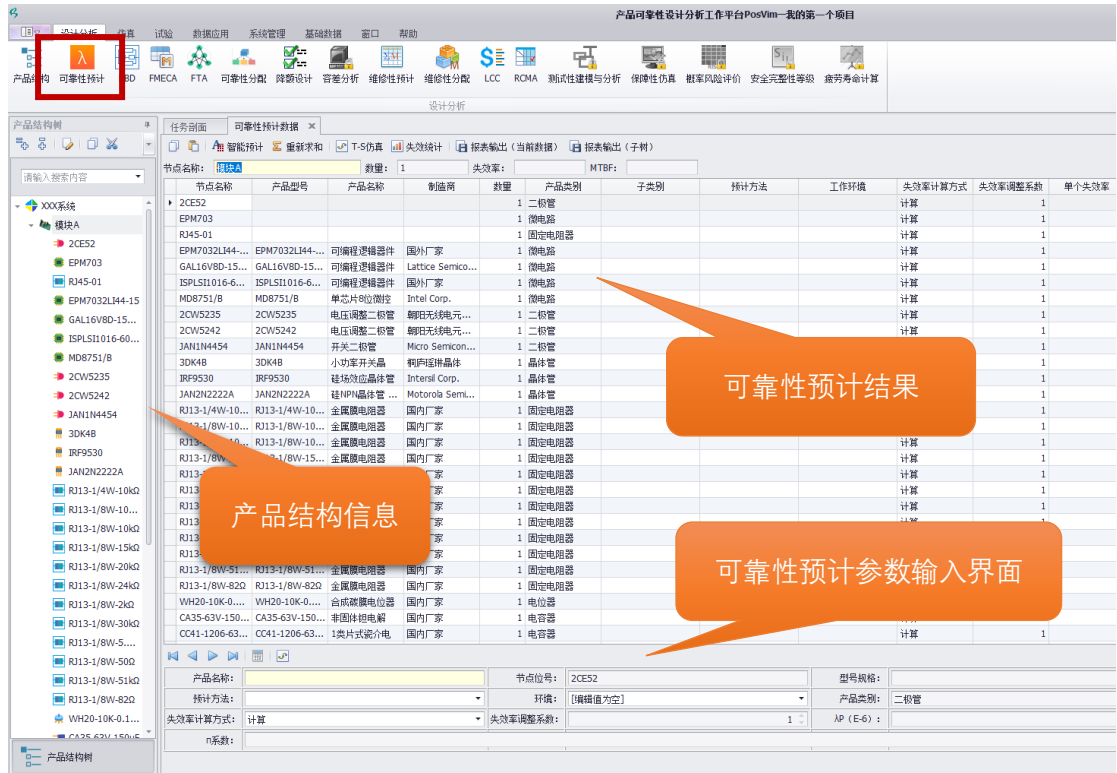


图 3-1 打开可靠性预计

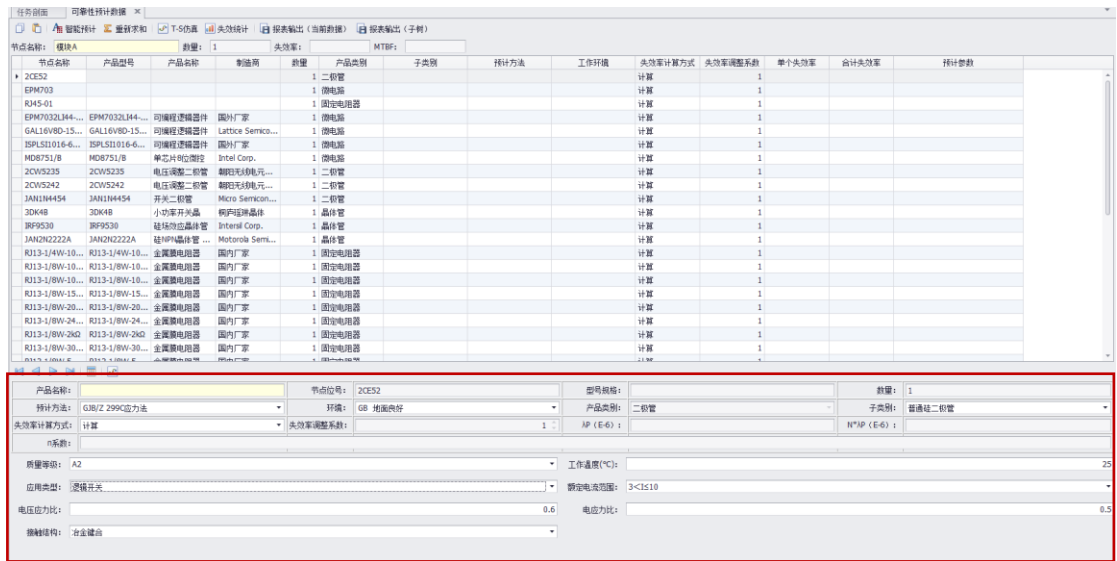
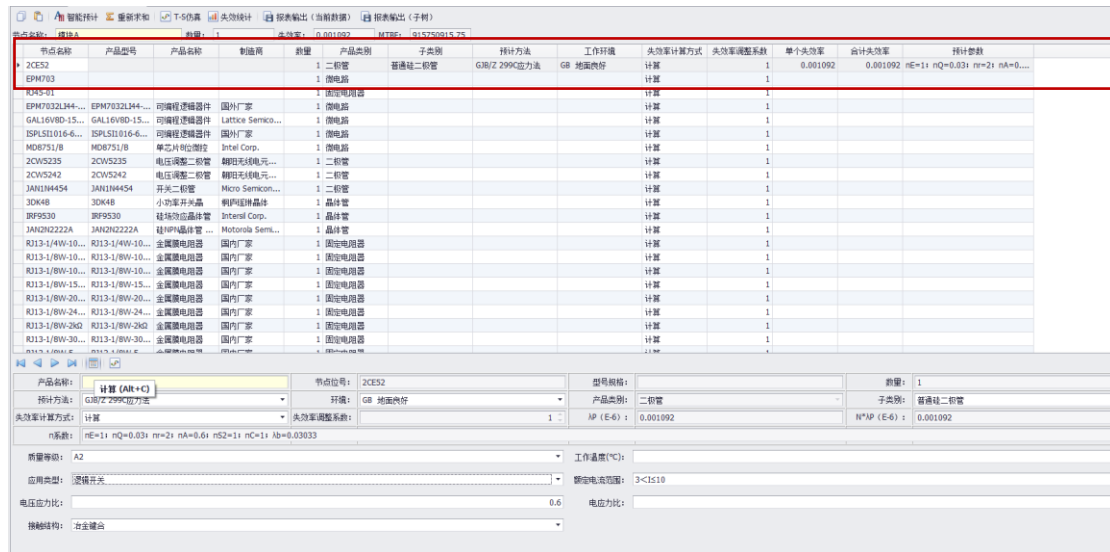


图 3-2 可靠性预计参数录入



序号名称	产品型号	产品名称	制造商	数量	产品类型	子类型	计算方法	工作环境	失效率计算方法	失效率调整系数	单台失效率	合计失效率	预计参数
2CE52				1	二极管	普通硅二极管	G00/Z 2090C应力法	G00 地面存储	计算	1	0.001092	0.001092	nE=1; nQ=0.03; nR=2; nA=0...
EPH703				1	集成电路				计算	1			
K205-01				1	固定电阻器				计算	1			
EPH7032L344...	EPH7032L344...	可编程逻辑器件	国外厂家	1	集成电路				计算	1			
GA11090D-15...	GA11090D-15...	可编程逻辑器件	Lattice Semico...	1	集成电路				计算	1			
ISPLSI016-6...	ISPLSI016-6...	可编程逻辑器件	国外厂家	1	集成电路				计算	1			
MD8751/8	MD8751/8	单芯片微处理器	Intel Corp.	1	集成电路				计算	1			
2CW5235	2CW5235	电压调整二极管	精达光电元...	1	二极管				计算	1			
2CW5242	2CW5242	电压调整二极管	精达光电元...	1	二极管				计算	1			
JA01N4454	JA01N4454	开关二极管	Micro Semicon...	1	二极管				计算	1			
3DK48	3DK48	小功率晶体管	朝阳电子晶体	1	晶体管				计算	1			
89C50	89C50	超大规模集成电路	Intel Corp.	1	晶体管				计算	1			
JA02N2223A	JA02N2223A	硅MOS晶体管	Motorola Semi...	1	晶体管				计算	1			
R213-1/BW-10...	R213-1/BW-10...	金属膜电阻器	国内厂家	1	固定电阻器				计算	1			
R213-1/BW-10...	R213-1/BW-10...	金属膜电阻器	国内厂家	1	固定电阻器				计算	1			
R213-1/BW-10...	R213-1/BW-10...	金属膜电阻器	国内厂家	1	固定电阻器				计算	1			
R213-1/BW-15...	R213-1/BW-15...	金属膜电阻器	国内厂家	1	固定电阻器				计算	1			
R213-1/BW-20...	R213-1/BW-20...	金属膜电阻器	国内厂家	1	固定电阻器				计算	1			
R213-1/BW-24...	R213-1/BW-24...	金属膜电阻器	国内厂家	1	固定电阻器				计算	1			
R213-1/BW-24Q	R213-1/BW-24Q	金属膜电阻器	国内厂家	1	固定电阻器				计算	1			
R213-1/BW-30...	R213-1/BW-30...	金属膜电阻器	国内厂家	1	固定电阻器				计算	1			

图 3-3 可靠性预计结果查看

步骤 6: 按照同样的操作方法，完成模块 A 和模块 B 下的元件可靠性预计。

即可得到模块 A 和模块 B 的可靠性预计结果。要查看根节点“XXX 系统”的可靠性预计结果，在左边的产品结构树界面点击“XXX 系统”即可看到。若没看到结果，选中“XXX 系统”后，点击工具栏上方的 重新求和 图标即可。

3.2 智能可靠性预计

除了上述使用手工方式逐个进行元件的可靠性预计外，PosVim 还提供了智能可靠性预计的方法，可以快速、批量完成可靠性预计工作。可以大大提升可靠性预计工作效率。特别是当企业的产品命名较为规范的情况下，一键式可批量预计 70-80%的元件，极大提高了工作效率。

假设现在需要进行模块 A 的可靠性预计，使用智能可靠性预计方式进行模块 A 的可靠性预计操作步骤如下：

步骤 1: 确认您主界面左方的产品结构树窗口中已经选中了“模块 A”节点，然后点击可靠性预计上方的 智能预计 图标，弹出智能可靠性预计设置界面。如

图 3-4 所示。

步骤 2: 在弹出的可靠性智能预计设置界面中，选择一个模板。假设选择“车辆”这个模板。此时，窗口显示“车辆”模板的默认配置信息，这些配置信息都可以更改。例如，修改环境为“GB 地面良好”，只需在环境栏选上“GB 地面良好”，把【替换】前面方框勾上，即可修改模板中的配置信息（Ps：修改后的模板，可以另存为新模板，以便后续使用）。如图 3-4 所示。

步骤 3: 完成配置后，点击预计按钮，PosVim 自动进行可靠性预计。请耐心等待。

步骤 4: 预计完成后，关闭智能预计窗口，您将可以看到 70%左右的元器件自动完成了可靠性预计。

步骤 5: 没有可靠性预计结果的节点，可能是缺少某个参数。此时，您需要逐个双击没有可靠性预计结果的元器件，然后输入缺少的可靠性预计参数，按照**手工可靠性预计方式**进行可靠性预计即可。

至此，即可完成智能可靠性预计工作。如图 3-5 所示。

可靠性智能预计

应用平台: 车辆 车辆 预计 保存 另存为 删除

预计方法:	☐ 替换	GJB/Z 299C应力法	GJB/Z 299C进口件应力法
环境:	☒ 替换	GB 地面良好	GB 地面良好
集成电路质量等级:	☐ 替换	A6	C-1
分立器件质量等级:	☐ 替换	B2	B-2
阻容器件质量等级:	☐ 替换	B2	M
其他器件质量等级:	☐ 替换	C	完全按照商用识别图纸采购的产品
环境温度:	☐ 替换	35	
集成电路结温:	☐ 替换	55	
应力比(降额):	☐ 替换	0.7	

预计 关闭

图 3-4 可靠性智能预计模板配置

节点名称: 模块A 数量: 1 失效率: 0.001092 MTBF: 915759915.75

节点名称	产品型号	产品名称	制造商	数量	产品类别	子类别	预计方法	工作环境	失效率计算方式	失效率调整系数	单个失效率	合计失效率	预计参数
2CE52				1	二极管	普通硅二极管	GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1	0.001092	0.001092	$nE=11$ $nQ=0.031$ $nA=21$ $nB=0...$
EPH703				1	二极管		GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1			
R45-01				1	固定电阻器		GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1			
EPH7032LH4...	EPH7032LH4...	可编程逻辑器件	国外厂家	1	二极管		GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1			
GAL16V80-15...	GAL16V80-15...	可编程逻辑器件	Lattice Semico...	1	二极管		GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1			
SP551016-4...	SP551016-4...	可编程逻辑器件	国外厂家	1	二极管		GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1			
MD8751/8	MD8751/8	集成电路	Intel Corp.	1	二极管		GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1			
2CV5235	2CV5235	电压调整器	德州仪器	1	二极管	电压调整器	GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1	0.006951	0.006951	$nE=11$ $nQ=0.11$ $nA=0.651$ $nB=...$
2CV5242	2CV5242	电压调整器	德州仪器	1	二极管	电压调整器	GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1	0.006951	0.006951	$nE=11$ $nQ=0.11$ $nA=0.651$ $nB=...$
JAN118454	JAN118454	开关二极管	Micro Semicon...	1	二极管		GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1			
3DK48	3DK48	小功率晶体管	杭州三晶	1	晶体管	普通硅晶体管	GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1	0.006949	0.006949	$nE=11$ $nQ=0.11$ $nA=0.71$ $nB=...$
89F520	89F520	硅场效应晶体管	Intel Corp.	1	晶体管	大功率场效应晶体管	GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1	0.116051	0.116051	$nE=11$ $nQ=0.11$ $nA=61$ $nB=...$
JAN202222A	JAN202222A	硅MOS晶体管	Motorola Sem...	1	晶体管		GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1			
R113-1/RW-10...	R113-1/RW-10...	金属膜电阻器	国内厂家	1	固定电阻器	金属膜电阻器	GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1	0.000492	0.000492	$nE=11$ $nQ=0.31$ $nR=11$ $nB=0.0...$
R113-1/RW-10...	R113-1/RW-10...	金属膜电阻器	国内厂家	1	固定电阻器	金属膜电阻器	GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1	0.00033	0.00033	$nE=11$ $nQ=0.31$ $nR=11$ $nB=0.0...$
R113-1/RW-10...	R113-1/RW-10...	金属膜电阻器	国内厂家	1	固定电阻器	金属膜电阻器	GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1	0.00033	0.00033	$nE=11$ $nQ=0.31$ $nR=11$ $nB=0.0...$
R113-1/RW-10...	R113-1/RW-10...	金属膜电阻器	国内厂家	1	固定电阻器	金属膜电阻器	GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1	0.00033	0.00033	$nE=11$ $nQ=0.31$ $nR=11$ $nB=0.0...$
R113-1/RW-20...	R113-1/RW-20...	金属膜电阻器	国内厂家	1	固定电阻器	金属膜电阻器	GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1	0.00033	0.00033	$nE=11$ $nQ=0.31$ $nR=11$ $nB=0.0...$
R113-1/RW-20...	R113-1/RW-20...	金属膜电阻器	国内厂家	1	固定电阻器	金属膜电阻器	GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1	0.00033	0.00033	$nE=11$ $nQ=0.31$ $nR=11$ $nB=0.0...$
R113-1/RW-20...	R113-1/RW-20...	金属膜电阻器	国内厂家	1	固定电阻器	金属膜电阻器	GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1	0.00033	0.00033	$nE=11$ $nQ=0.31$ $nR=11$ $nB=0.0...$
R113-1/RW-30...	R113-1/RW-30...	金属膜电阻器	国内厂家	1	固定电阻器	金属膜电阻器	GJB/Z 299C应力法	GB 地面良好	计算	1	0.00033	0.00033	$nE=11$ $nQ=0.31$ $nR=11$ $nB=0.0...$

70%左右的元件自动完成了可靠性预计

产品名称: 2CE52 节点位置: 2CE52 数量: 1

预计方法: GJB/Z 299C应力法 环境: GB 地面良好 产品类别: 二极管 子类别: 普通硅二极管

失效率计算方式: 计算 失效率调整系数: 1 AP (E-6): 0.001092 H*AP (E-6): 0.001092

内参数: $nE=11$ $nQ=0.031$ $nA=21$ $nB=0.61$ $nC=11$ $nD=0.03033$

质量等级: A2 工作温度(°C): 35

应用类型: 逻辑开关 额定电流范围: 3<I<1510

电压应力比: 0.6 应力比: 0.5

接触结构: 冶金键合

图 3-5 智能可靠性预计结果

3.3 机械件的可靠性预计

前面的模块 A 中包含的主要是电子元器件。而模块 B 不仅包含了电子元器件, 还包含了机械部件。如何机械部件的可靠性预计呢? 操作步骤如下:

步骤 1: 确认您已选中了模块 B。

步骤 2: 在可靠性预计主界面的中间部分的节点列表中，双击前面我们已经创建好的机械部件节点“M01”。

步骤 3: 在下方的可靠性预计参数输入窗口，默认已经选择了 NSWC 标准。如果没有选择，手工点一下。

步骤 4: 在可靠性预计参数输入窗口的子类中，选择“静态密封圈、垫圈”。
注：具体该部件是什么子类类别，需要根据您的产品实际情况选择。这里假设是“静态密封圈、垫圈”。

步骤 5: 选中子类类别后，软件将显示该类别机械件需要输入的可靠性预计参数，分别输入即可。具体每个参数如何输入，可参阅 NSWC 标准。

输入了可靠性预计参数后，点击  计算按钮，即可得到该机械部件的可靠性预计结果。



图 3-6 机械部件可靠性预计

3.3 T-S 仿真

PosVim 的 TS 仿真功能，可以进行不同温度、电应力的产品可靠性预计。例如，产品 A 已经开展了可靠性预计工作，假设产品 B 是在产品 A 的基础上改进

或者更换使用平台、使用环境，那么可以对 A 进行 TS 仿真，了解改进后在 B 环境下的失效率情况。

假设需要对模块 A 进行 TS 仿真，操作步骤如下：

步骤 1：确认您当前选中了模块 A，然后点击【T-S 仿真】按钮。在弹出的 TS 仿真界面配置中，提供了两种方式的仿真供选择。一种是按温度仿真；一种是按应力仿真。假设选择“按温度”仿真。

步骤 2：输入温度的起始值、步长、截止值。然后点击【计算】按钮，即可运行仿真。

步骤 3：查看仿真结果。运行仿真后，得到仿真结果，如下图所示。

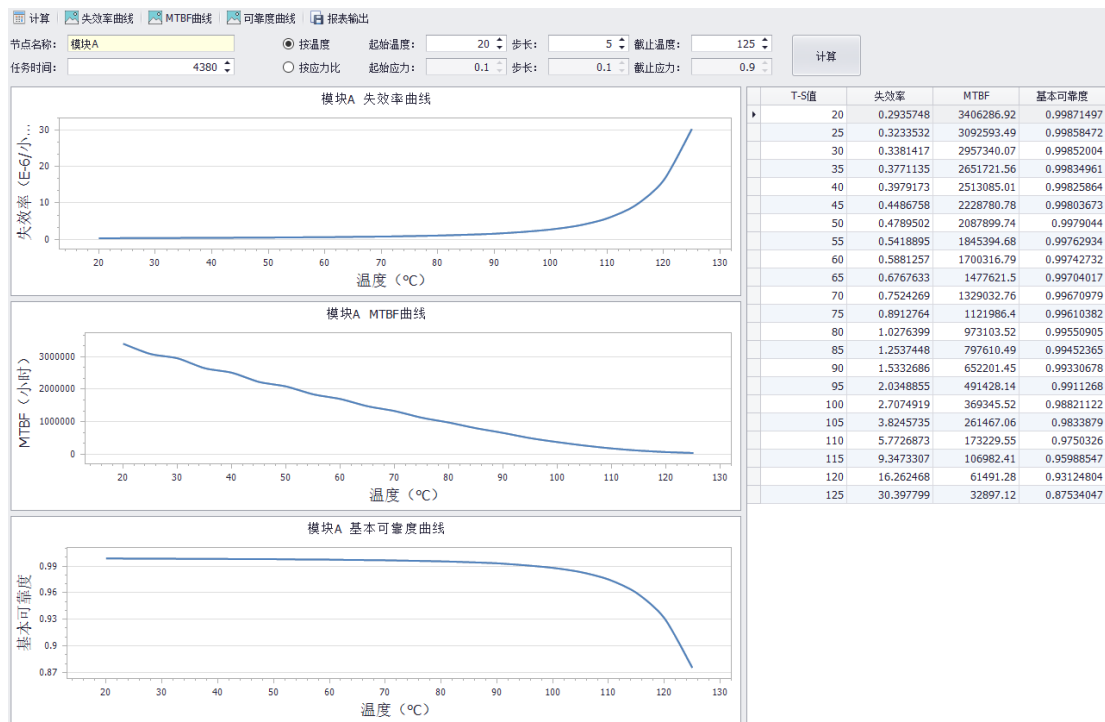
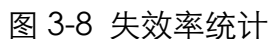


图 3-7 T-S 仿真结果

3.4 失效率统计

完成所有元器件、元件的可靠性预计后，一方面，您可以点击主界面左方的



完成可靠性预计后，点击上方的 按钮，可导出当前选中的节点（左边产品结构树）下的元件的失效率预计结果。

(1) 直接输入失效率

对于一些组件、部件来说，一般是沒有相应的可靠性预计标准可供您直接进行预计的。此时，可以采用直接输入方式。假设节点“M01”无法使用可靠性预计标准进行预计，此时，采用直接输入失效率的具体操作方法：

步骤 1: 确认您选中了模块 B。

步骤 2: 双击“M01”，弹出的可靠性预计参数输入界面中，计算方法选择“直接输入”，在 λp 输入框中，输入失效率，然后点击  按钮即可。

图 3-9 直接输入失效率

4 可靠性建模 (RBD)

通过可靠性预计模块得到的可靠性指标是基本可靠性指标（一般是得到失效率 and MTBF）!! 如果您需要得到任务可靠性指标（例如任务可靠度），分析整个产品的任务可靠性，则需要使用 PosVim 的 RBD 模块获得。

使用可靠性建模 (RBD) 进行产品可靠性计算时，需要考虑产品各个组成部分的串联、并联、冗余、表决等关系，也需要考虑不同使用阶段的各部件的工作状态、占空比等因素。

4.1 创建项目及产品结构树

创建项目，参见[第 1 节](#)。若已经创建，可跳过。

创建产品结构树，参见[第 2 节](#)。若已经创建，可跳过。

4.2 创建任务剖面

由于产品在使用过程中，不同的时间段的产品各组成部分的工作状态可能不同。为此，一般需要建立任务剖面。当然，如果任务剖面相对比较简单，可以不创建任务剖面。

假设新建的项目“我的第一个项目”中的“XXX 系统”，在使用过程中分为两个任务阶段。其中，任务阶段 1 的持续时间是 0-24 小时，任务阶段 2 的持续时间是 24-48 小时。任务阶段 1 需要模块 A 和模块 B 共同工作，任务阶段 2 需要模块 B 工作。对于“XXX 系统”，创建“XXX 系统”的任务剖面的步骤如下：

步骤 1：确认您已经打开了名为“我的第一个项目”的项目。

步骤 2：点击【任务剖面】界面（或者通过点击菜单栏的“窗口”，然后选择

“任务剖面” 切换到任务剖面建模界面)。

步骤 3: 进入任务剖面界面后，从右边的模型列表中，拖拽两个阶段框、两个任务节点进入任务剖面绘图区。阶段框分别输入名称“任务阶段 1”、“任务阶段 2”。如下图 4-1 所示。

步骤 4: 双击其中一个任务节点，命名为“任务 1”，开始时间输入 0，结束时间输入 24 小时。点击“关联产品”选项，切换到关联产品的编辑界面。双击模块 A、模块 B，此时自动添加模块 A、模块 B 到任务 1 的关联产品列表中。如下图 4-2、图 4-3 所示。

双击另外一个任务节点，命名为“任务 2”，采用类似的操作完成任务时间设置以及关联产品设置，关联的产品选择模块 B。

然后点击右边的模型列表，选择连接线，把任务 1 和任务 2 连接起来。如图 4-4 所示。

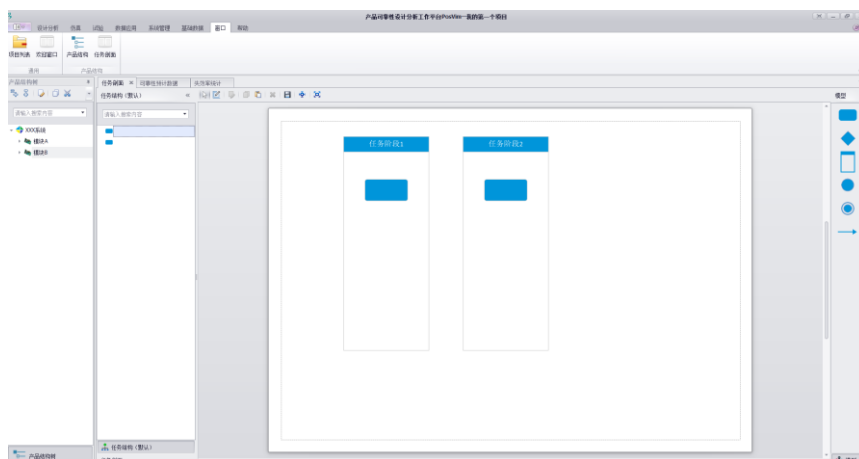


图 4-1 创建任务剖面

编辑任务

任务信息 关联产品

任务名称: 任务1

开始时间: 0 结束时间: 24

任务描述:

保存 取消

图 4-2 设置任务信息

编辑任务

任务信息 关联产品

产品结构树 (双击添加)

- XXX系统
 - 模块A
 - 模块B

产品名称	数量
模块A	1
模块B	1

保存 取消

图 4-3 设置任务关联的产品

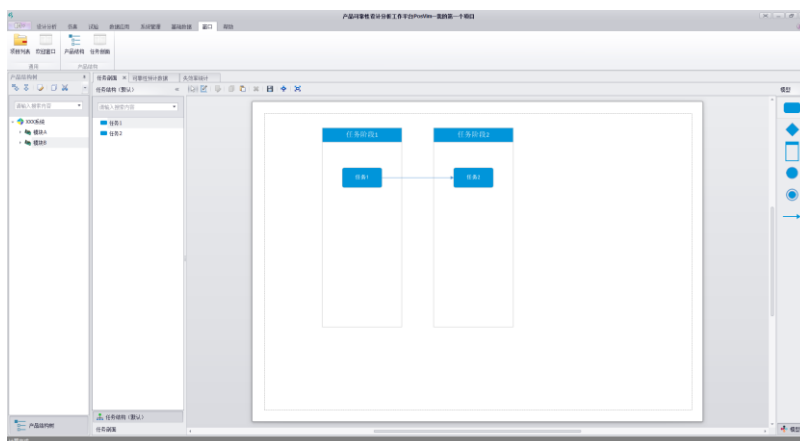


图 4-4 任务节点连接

注意：PosVim 的任务剖面建模，支持层次化的任务剖面建模，即任务可以包含多层次的子任务。选中任务节点，然后选择“打开子任务”，即可进入子任务的设置界面。具体可自己了解如何创建子任务。

4.3 创建 RBD

PosVim 的可靠性模型（RBD）可以跟任务剖面的任务节点关联，也可以不关联。创建 RBD 分为两种模式操作。一种模式是从任务剖面中，选择相应的任务节点，创建相应的任务节点的可靠性框图；另一种模式是，直接进入可靠性建模（RBD）模块中，创建 RBD，然后选择 RBD 是否与现有的任务节点关联。下面分别介绍操作方法。

4.3.1 从任务剖面中创建关联任务的 RBD

前面我们已经创建了 2 个任务阶段、2 个任务节点（任务 1、任务 2）。创建任务 1 的关联可靠性模型（RBD）的方法如下：

步骤 1：确认您已经在任务剖面编辑窗口中。在任务剖面界面，点击“任务 1”节点，点击右键并选择“创建 RBD”。如图 4-5 所示。

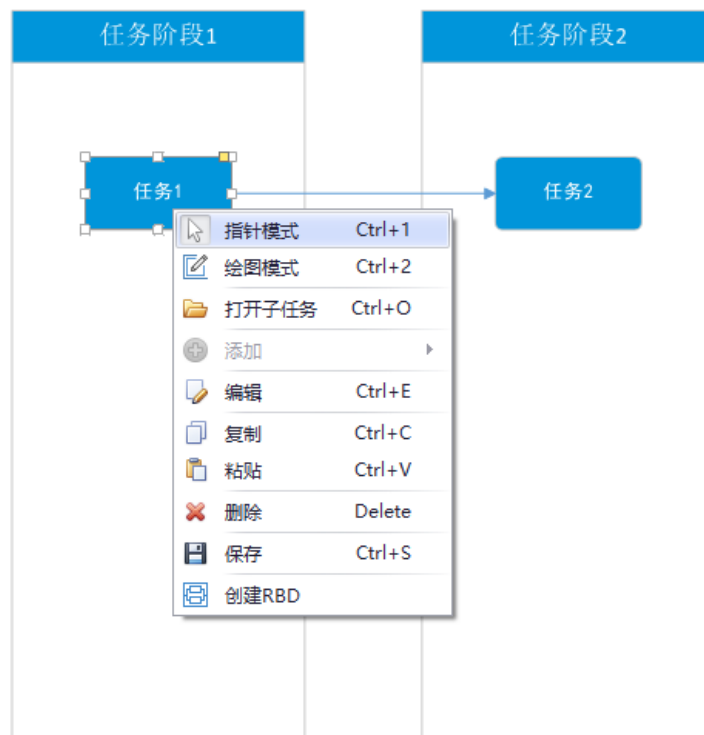


图 4-5 创建 RBD

步骤 2: 在 RBD 创建编辑窗口中，按照如下格式输入信息。

图 4-6 编辑 RBD 基本信息

步骤 3: 点击保存后，即可进入该 RBD 建模界面，界面如下。

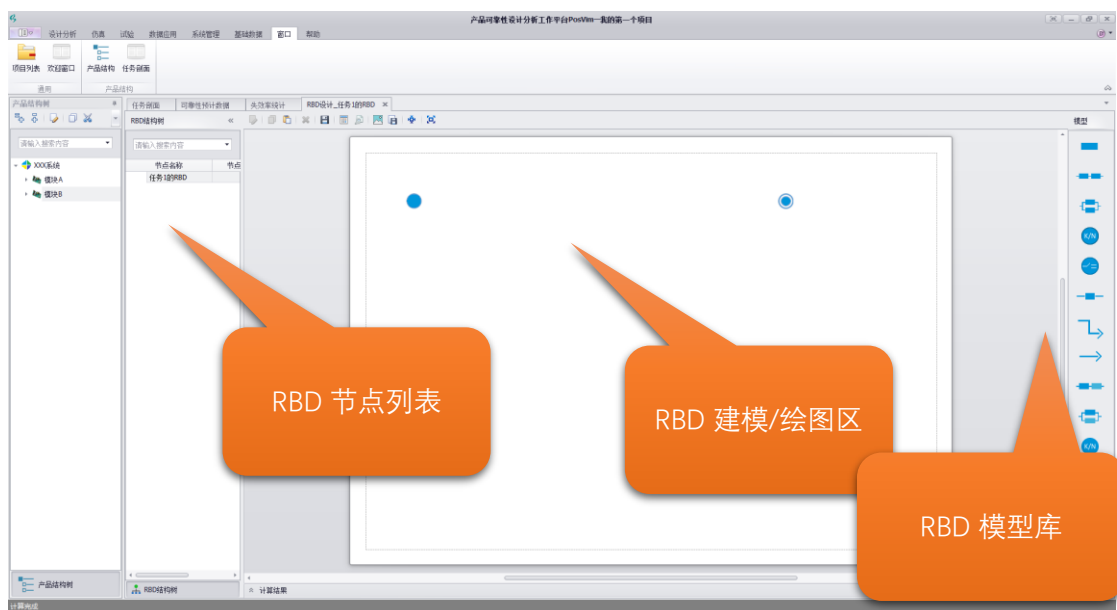


图 4-7 RBD 主窗口

步骤 4: 完成 RBD 创建后，进入绘制 RBD 操作，见 4.4 小节。

4.3.2 直接创建 RBD

直接创建 RBD 的方法如下：

步骤 1: 选择菜单栏的“设计分析”部分中的“RBD”  图标，点击打开。此时，弹出 RBD 管理窗口，需要输入创建的 RBD 基本信息。如下图。

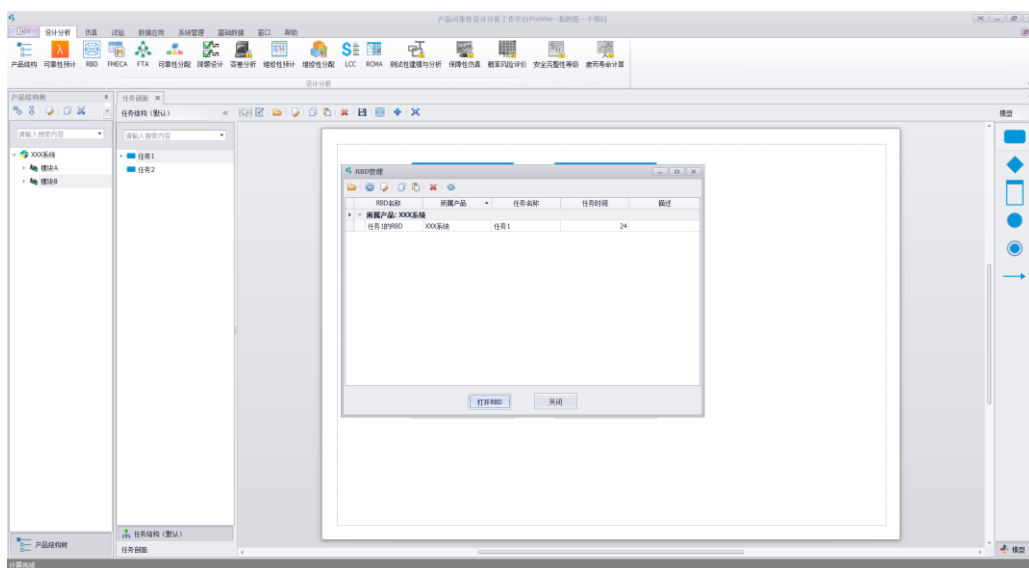


图 4-8 创建 RBD 记录

步骤 2： 点击 ，增加一个 RBD 记录。弹出如图 4-6 所示的窗口，按照如下图格式输入信息。名称“任务 2 的 RBD”，任务名称下拉列表中选择“任务 2”。



图 4-9 设置 RBD 基本信息

步骤 3： 点击保存。此时打开类似图 4-7 所示的窗口。

步骤 4： 完成 RBD 创建后，进入绘制 RBD 操作，[见 4.4 小节](#)。

4.4 绘制 RBD

创建了 RBD 记录（假设以前面 4.3.1 小节创建的“任务 1 的 RBD”为例）后，即可进行 RBD 图的绘制。具体操作：

步骤 1： 从 RBD 界面左边的 RBD 模型库列表中，拖拽两个单元节点（单元节点 1、单元节点 2）到绘图区，然后分别连接开始节点、单元节点 1、单元节点 2、结束节点。如下图所示。

注： 上面拖拽的是简单的单一节点模型，您也可以拖拽其他复杂的节点创

建 RBD，例如，从 RBD 模型列表中拖拽包括并联、冗余、表决 (n 中取 k) 等节点。



图 4-10 创建 2 个单元节点

4.5 设置 RBD 节点参数

配置 RBD 节点参数是 RBD 建模与计算的关键工作。具体操作如下：

步骤 1：编辑单元节点信息。双击单元节点 1，弹出节点信息编辑窗口。如下图所示。关联产品选择“模块 A”。节点类型默认是“单元”。您也可以更改为串联组、并联组等。若更改为串联组、并联组，需要输入组合的单元个数等信息。

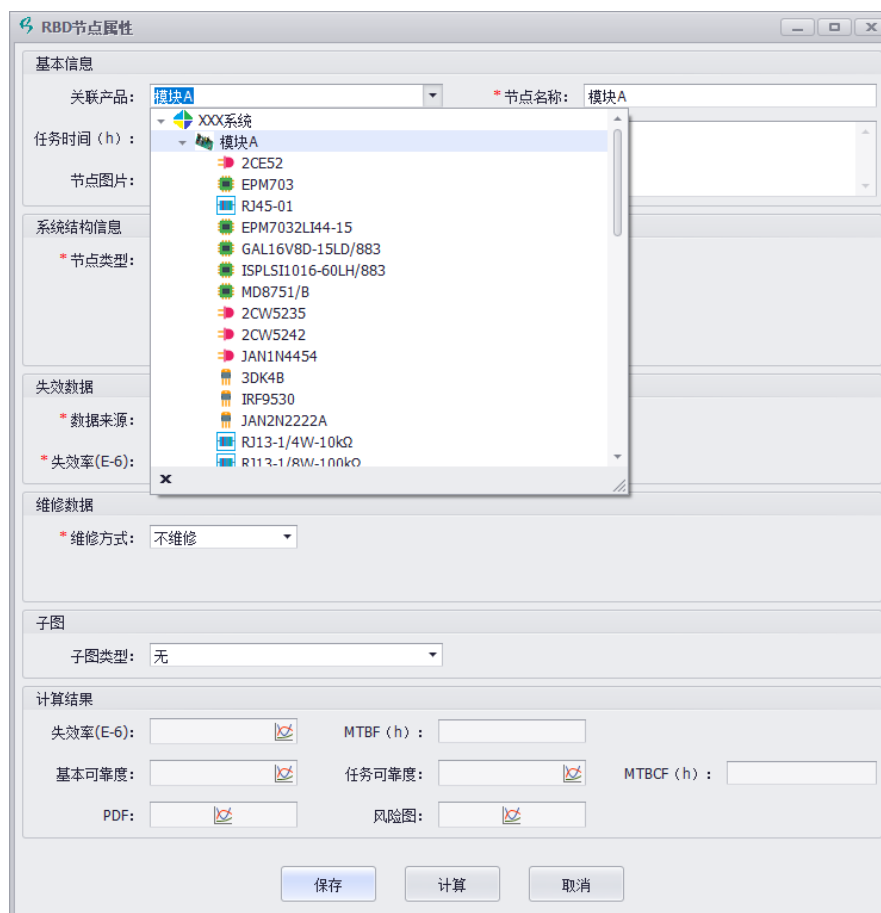
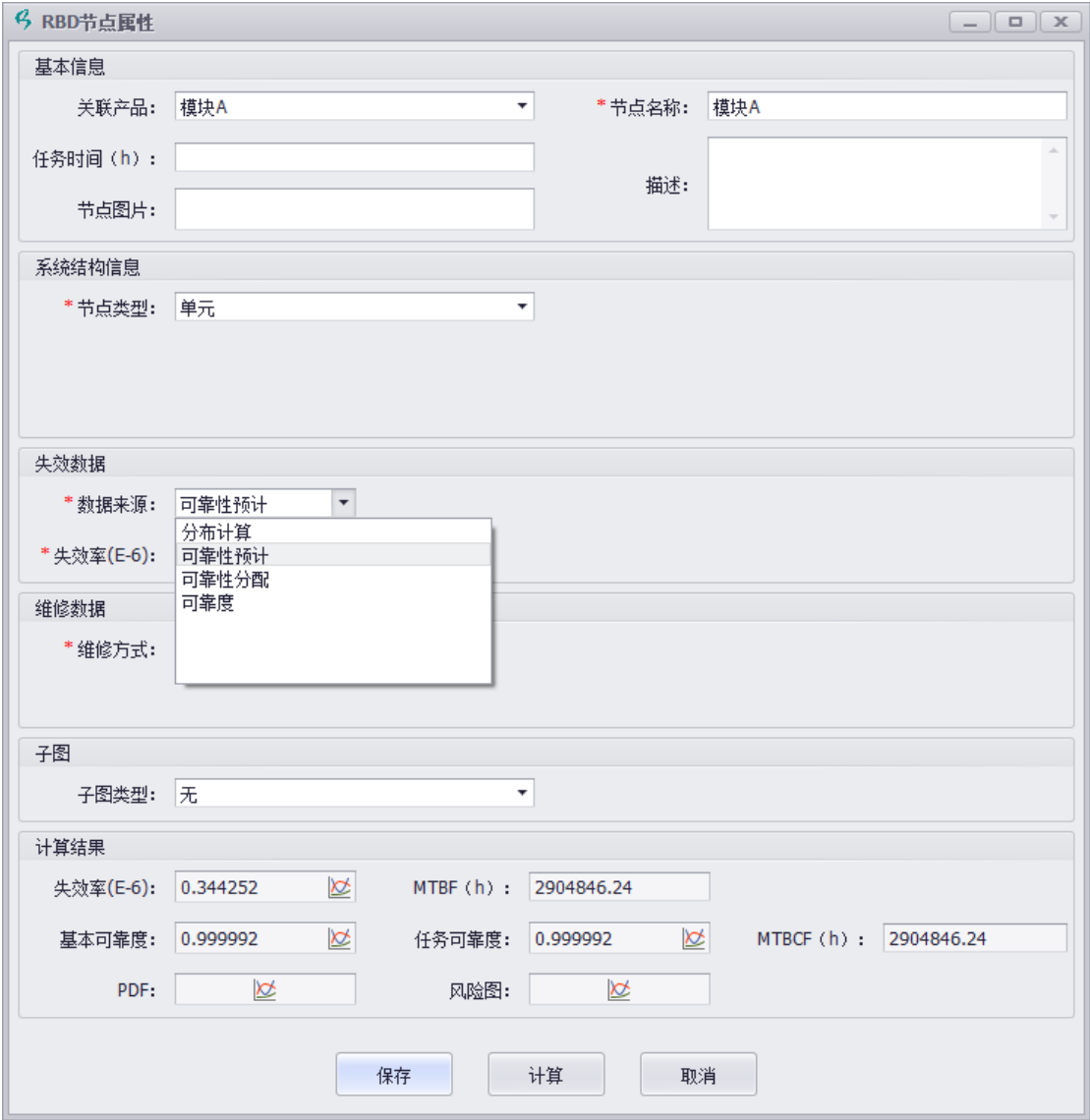


图 4-11 关联产品设置

步骤 2: 失效率数据来源，选择可靠性预计。PosVim 提供了直接输入、分布计算、可靠性预计、可靠性评估等方式输入失效率数据。这里我们选择【可靠性预计】，获取前面我们已经做好的模块 A 的可靠性预计数据。如下图所示。



RBD节点属性

基本信息

关联产品: 模块A * 节点名称: 模块A

任务时间(h): 描述:

节点图片:

系统结构信息

* 节点类型: 单元

失效数据

* 数据来源: 可靠性预计
分布计算
可靠性预计
可靠性分配
可靠度

* 失效率(E-6):

维修数据

* 维修方式:

子图

子图类型: 无

计算结果

失效率(E-6): 0.344252 MTBF(h): 2904846.24

基本可靠度: 0.999992 任务可靠度: 0.999992 MTBCF(h): 2904846.24

PDF: 风险图:

保存 计算 取消

图 4-12 失效数据来源设置

步骤 3: 点击计算按钮。即可得到该节点的可靠性计算结果。如图 4-13 所示。

步骤 4: 点击任务可靠度显示框的, 可以查看不同时刻的任务可靠度曲线。如下图 4-13 所示。

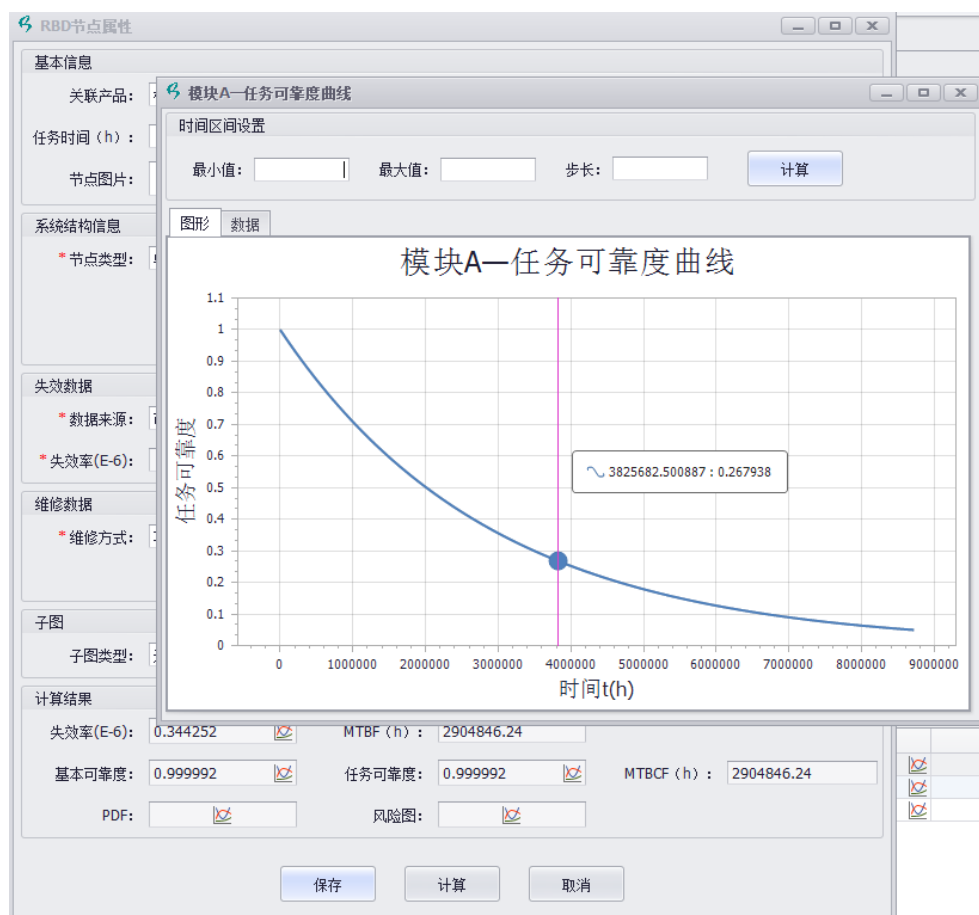


图 4-13 可靠度随时间变化曲线

步骤 5: 双击单元节点 2 后，使用相同方法，设置单元节点 2 的参数。单元 2 关联的产品是模块 B。

4.6 RBD 计算

完成节点参数配置后，即可进行整个 RBD 图的计算（注：如果存在未配置参数的节点，软件会提示缺少数据，并以红色标记）。

RBD 计算操作如下：

步骤 1: 设置完单元节点 1 和单元节点 2 的参数后，点击工具栏的 ，计算可靠度。此时，下方显示相应的可靠性计算结果列表。如下图所示。

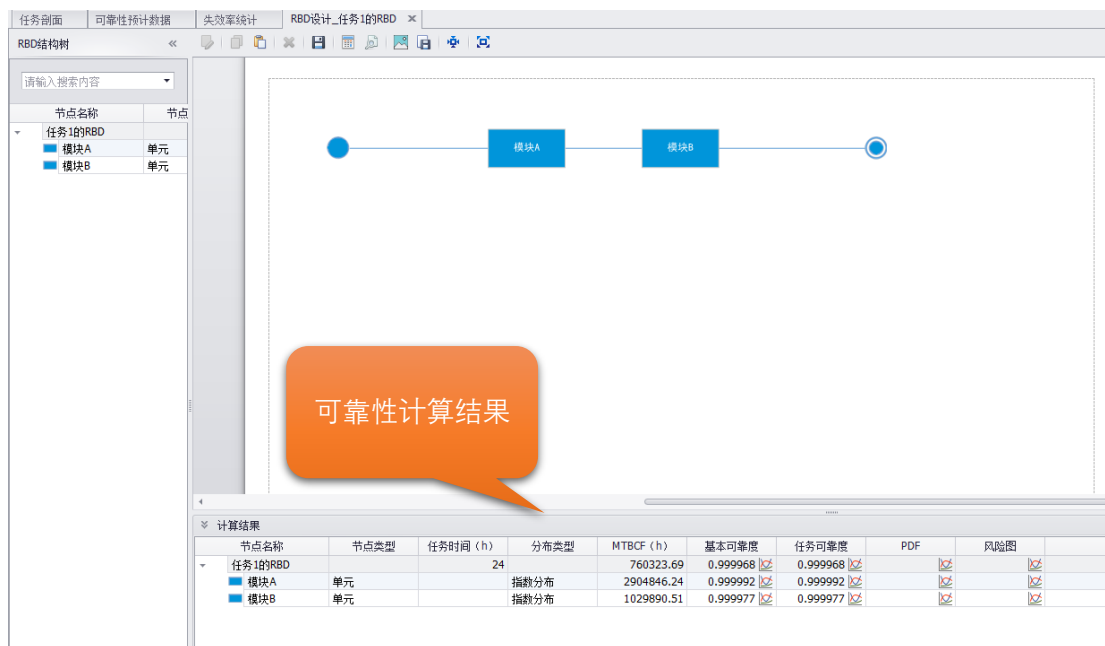


图 4-12 可靠性计算结果

4.7 RBD 节点失效率参数设置

如前所述，在设置节点失效率参数时，可以选择直接输入可靠度、按分布计算、获取可靠性预计结果、获取可靠性分配结果方式完成。

直接输入可靠度：在弹出的节点参数编辑窗口，数据来源选择“可靠度”，然后直接输入即可。

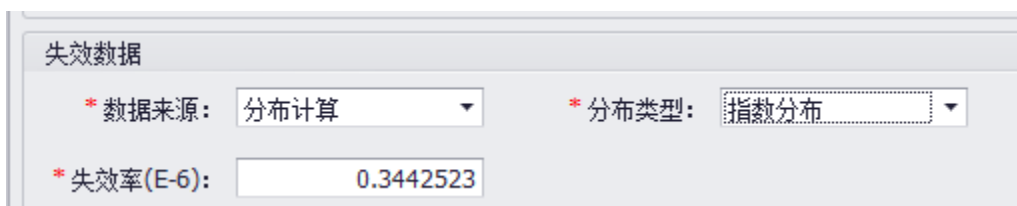
失效数据

* 数据来源: 可靠度

* 可靠度: 0.3442523

图 4-13 直接输入可靠度

按分布计算：在弹出的节点参数编辑窗口，数据来源选择“分布计算”，然后选择分布类型，并输入分布参数即可。例如选择指数分布，输入失效率。选择不同分布类型时，所需要输入的参数不相同。



失效数据

* 数据来源: 分布计算

* 分布类型: 指数分布

* 失效率(E-6): 0.3442523

图 4-14 按分布计算

获取可靠性预计数据: PosVim 的各个模块的数据高度集成在一起, 保证各个模块的数据一致性, 并提高工作效率。其中, RBD 模块可以获取可靠性预计、可靠性分配数据。要获取可靠性预计的数据的方法是:

(1) 关联产品输入框中, 必须选择产品结构树中的相应节点。否则无法获取可靠性预计数据。例如, 如果想获取模块 A 的可靠性预计数据作为单元节点 1 的失效率数据, 那么关联产品下拉列表中选择“模块 A”。

(2) 在数据来源处选择“可靠性预计”选项。



RBD节点属性

基本信息

关联产品: 模块A

* 节点名称: 模块A

任务时间(h):

节点图片:

描述:

系统结构信息

* 节点类型: 单元

失效数据

* 数据来源: 可靠性预计

* 失效率(E-6): 0.3442523

维修数据

* 维修方式: 不维修

子图

子图类型: 无

计算结果

失效率(E-6): 0.344252

MTBF (h): 2904846.24

基本可靠度: 0.999992

任务可靠度: 0.999992

MTBCF (h): 2904846.24

PDF:

风险图:

保存 计算 取消

图 4-15 获取可靠性预计数据

获取可靠性分配数据：获取可靠性分配数据的方法，操作与获取可靠性预计数据的方法相同。

4.8 创建复杂的 RBD

前面构建的 RBD 模型相对比较简单，只有 2 个节点，且是串联的。这里详细介绍如何创建复杂的 RBD 模型。该 RBD 模型包括串联组、并联组、n 中取 k、子图等。

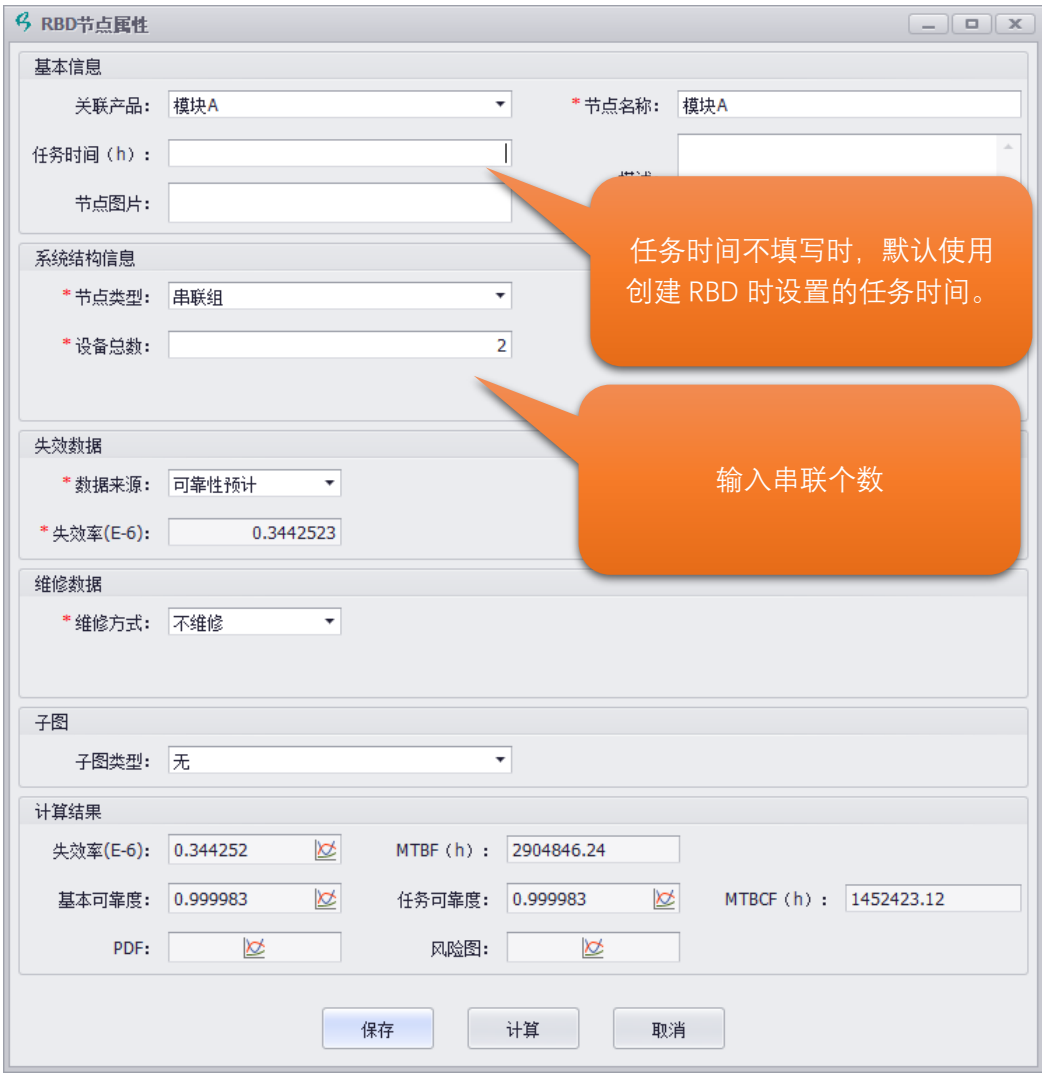
步骤 1： 点击  图标，按照 4.3.2 小节直接创建一个名为“复杂 RBD”的记录。RBD 名称录入“复杂 RBD”，所属系统选“XXX 系统”，任务名称留空（也可以选择前面建立的任务 1、任务 2），任务时间输入 24 小时。点击保存。



图 4-16 创建 RBD 记录

步骤 2： 添加一个串联组（相同单元）。这种方法适用于多个相同单元串联的情况。从右边的 RBD 模型列表中，点击  图标并拖拽到绘图区，创建一个串联组。双击该串联组节点，弹出的节点属性窗体中，关联产品选择模块 A，

节点类别选择“串联组”，设备总数输入 2（可以输入任意自然数）、数据来源选择可靠性预计。点击计算，即可得到这个串联组的可靠性结果。



RBD节点属性

基本信息

关联产品: 模块A * 节点名称: 模块A

任务时间(h):

节点图片:

系统结构信息

* 节点类型: 串联组

* 设备总数: 2

失效数据

* 数据来源: 可靠性预计

* 失效率(E-6): 0.3442523

维修数据

* 维修方式: 不维修

子图

子图类型: 无

计算结果

失效率(E-6): 0.344252 MTBF(h): 2904846.24

基本可靠度: 0.999983 任务可靠度: 0.999983 MTBCF(h): 1452423.12

PDF: 风险图:

保存 计算 取消

任务时间不填写时，默认使用创建 RBD 时设置的任务时间。

输入串联个数

图 4-17 设置串联组参数

步骤 3: 添加一个串联组（不相同单元）。前面添加的是相同的单元构成的串联组，这里创建一个不同单元组成的串联组。操作步骤：

3a: 从 RBD 主界面右边的 RBD 模型库中，点击  图标（注意，两个颜色是不一样的），并拖拽到绘图区。此时，会弹出串联个数的窗口的输入提示框，输入个数 2。点击确定后，显示图 4-19 所示的界面，添加了单元 3、单元 4 两个串联系节点。

3b: 分别双击单元节点 3、单元节点 4 进行节点参数配置，具体配置方法参考 4.5 节。



图 4-18 设置串联个数

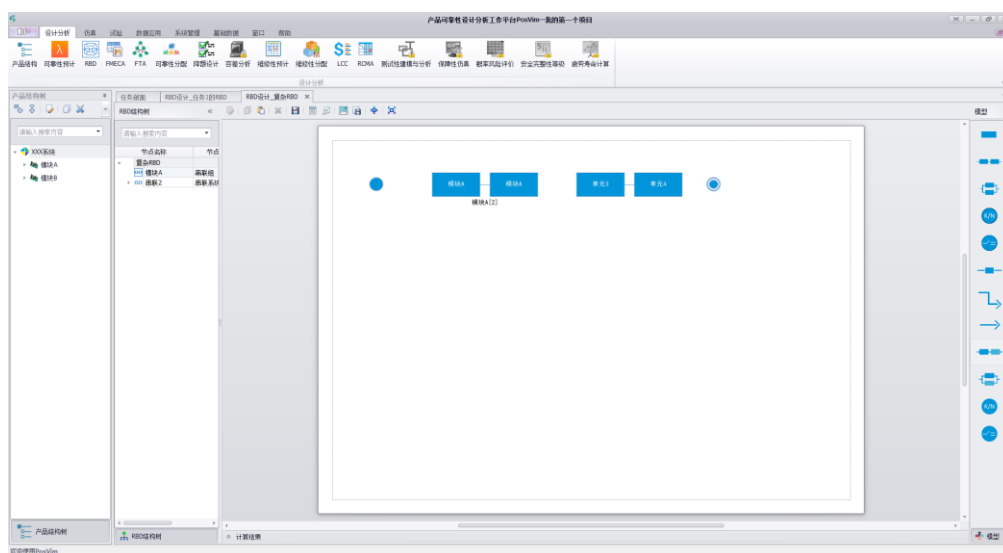


图 4-19 串联组绘图界面

步骤 4: 创建 N 中取 K 节点（相同单元）。 N 中取 k 是可靠性建模过程中较为常用的模型，例如雷达设备。具体操作方法：

4a: 从 RBD 主界面右边的 RBD 模型库中，点击  图标，并拖拽到绘图区。

4b: 双击 n 中取 k 节点，弹出的节点属性编辑窗口中，关联产品选择“模块 B”，节点类型选择“冗余组”，设备总数 3，所需设备数输入 2（表示 3 中取 2，3 个设备中只需其中 2 个正常，则系统正常工作）。失效率数据来源选择可靠性预计，点击计算并保存。如下图所示。

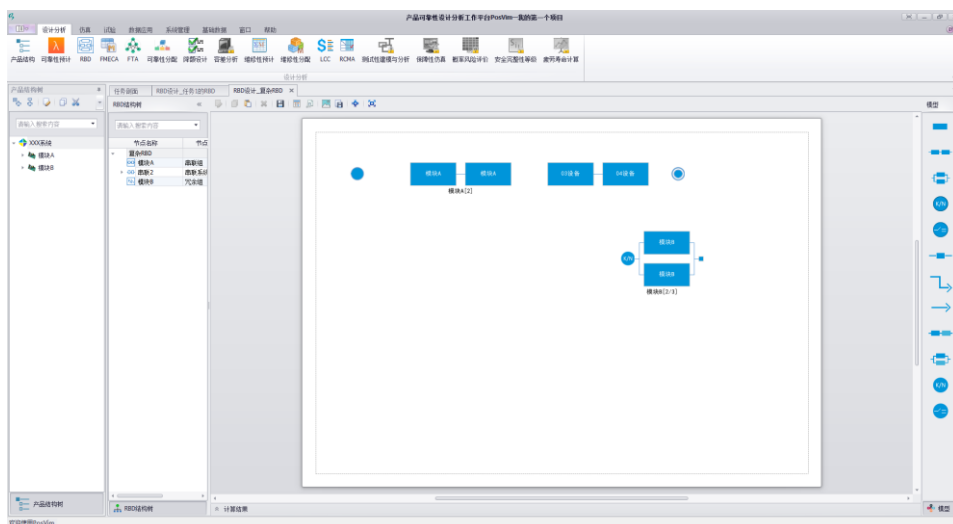


图 4-20 添加 n 中取 k 节点

RBD节点属性

基本信息

关联产品: 模块B

* 节点名称: 模块B

任务时间 (h):

节点图片:

描述:

系统结构信息

* 节点类型: 冗余组

* 设备总数: 3

* 所需设备数: 2

失效数据

* 数据来源: 可靠性预计

* 失效率(E-6): 0.970977

维修数据

* 维修方式: 不维修

子图

子图类型: 无

计算结果

失效率(E-6): 0.970977

MTBF (h): 1029890.51

基本可靠度: 0.99993

任务可靠度: 1

MTBCF (h): 858242.09

PDF:

风险图:

保存

计算

取消

图 4-21 设置 N 中取 K 节点参数

步骤 5: 创建子图。对于复杂的 RBD，为了更好显示 RBD 结构，更好理解 RBD 结构关系，有时候需要使用子图方式，将部分 RBD 模型以子图方式显示。

或者 RBD 图由不同的人、不同部门创建时,可以把别人创建的 RBD 图作为子图,汇总、嵌入到您绘制的 RBD 图中。

具体操作方法:

5a: 从 RBD 主界面右边的 RBD 模型列表中,拖拽一个单元节点到绘图区。

当然,在实际使用过程中,也可以将绘图区中的某个节点,改为子图。改子图的方法是双击该节点,然后在弹出的节点属性窗体中,将该节点改为子图,具体操作见 4.9 节。

5b: 在弹出的节点属性编辑窗口中,子图类别选择“直接子图”。然后点击保存。此时,主界面的节点图标变为带有“+”号的图标。

5c: 双击节点图标的“+”号,或者选中该节点后,右键选择菜单“打开子图”,进入该子图的建模界面。子图的建模与正常的 RBD 建模一样。这里,我们在子图中创建一个串联组,并把开始节点、串联组、结束点连接起来,并配置串联组的节点参数(方法见步骤 2)。如图 4-23 所示。

5d: 创建子图后,点击  图标,返回上一层。



RBD节点属性

基本信息

关联产品: *节点名称: 子图01

任务时间(h): 描述:

节点图片:

系统结构信息

*节点类型: 单元

失效数据

*数据来源: 分布计算 *分布类型: 指数分布

*失效率(E-6):

维修数据

*维修方式: 不维修

子图

子图类型: 直接子图

计算结果

失效率(E-6): MTBF(h):

基本可靠度: 任务可靠度: MTBCF(h):

PDF: 风险图:

保存 计算 取消

选择“直接子图”

图 4-22 创建子图

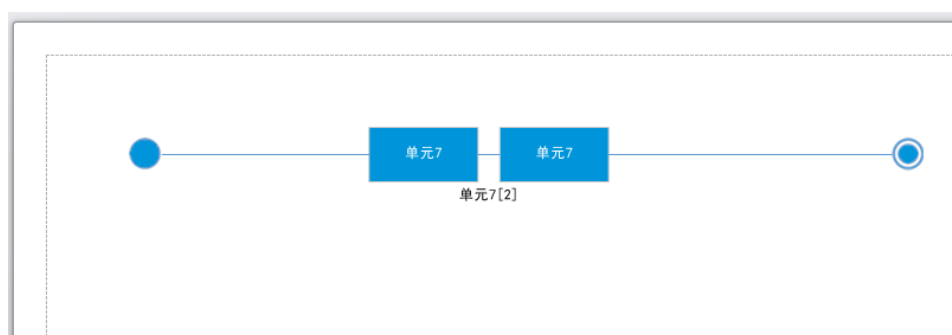


图 4-23 子图绘制

步骤 6: 按照如下图 4-24 的顺序，将前面创建的串联组、n 中取 k、子图节点连接起来。然后点击计算，即可得到该复杂 RBD 的计算结果。

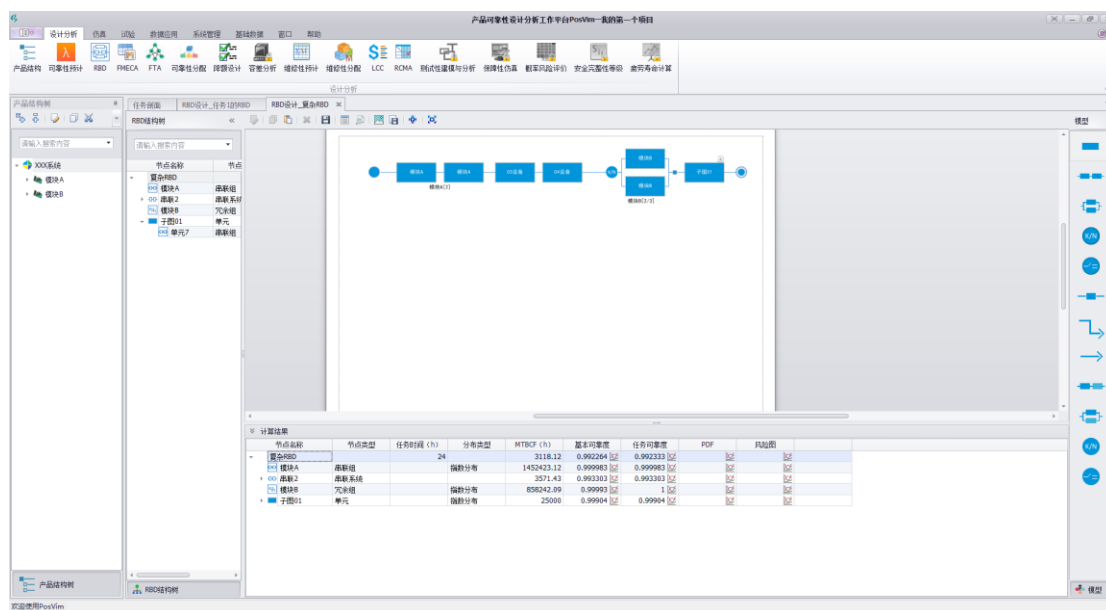


图 4-24 RBD 计算

4.9 子图管理

对于复杂的系统来说，为了更好地表示 RBD 各模块之间的关系，有时候需要用到子图。另外，复杂系统的 RBD 模型较为庞大、复杂，此时，可能不同人员负责不同的 RBD 模型构建，需要使用子图将不同人的 RBD 图汇总。

基于上述考虑，PosVim 提供了子图管理功能。

4.9.1 直接子图

直接子图是在当前的 RBD 模型中，直接添加一个子图。使用子图的功能设置，可以实现分层构建 RBD 图的目的。

操作方法：

步骤 1：确认您已进入了可靠性框图 RBD 模块。

步骤 2：创建 RBD 记录。具体操作见 4.3 节。假设创建一个名为“子图测试 RBD”的 RBD 记录。

步骤 3: 从 RBD 主界面右边的 RBD 模型列表中，拖拽一个单元节点进入绘图区。

步骤 4: 双击该节点，在节点属性编辑窗口中，节点名称改为“子图 01”，子图类别改为“直接子图”。此时，主界面的节点图标变为带有“+”号的图标。



The image shows a software window titled "RBD节点属性" (RBD Node Properties). It contains several sections for configuring a node:

- 基本信息 (Basic Information):** Includes fields for "关联产品" (Associated Product), "任务时间 (h)" (Task Time in hours), "节点图片" (Node Image), "节点名称" (Node Name) set to "子图01", and a "描述" (Description) text area.
- 系统结构信息 (System Structure Information):** Includes a dropdown for "节点类型" (Node Type) set to "单元" (Unit).
- 失效数据 (Failure Data):** Includes dropdowns for "数据来源" (Data Source) set to "分布计算" (Distribution Calculation) and "分布类型" (Distribution Type) set to "指数分布" (Exponential Distribution). It also has a field for "失效率(E-6)" set to "25".
- 维修数据 (Maintenance Data):** Includes a dropdown for "维修方式" (Maintenance Method) set to "不维修" (No Maintenance).
- 子图 (Sub-diagram):** Includes a dropdown for "子图类型" (Sub-diagram Type) set to "直接子图" (Direct Sub-diagram).
- 计算结果 (Calculation Results):** Displays calculated values for "失效率(E-6)", "MTBF (h)", "基本可靠度" (Basic Reliability), "任务可靠度" (Task Reliability), "MTBCF (h)", "PDF", and "风险图" (Risk Diagram). Each field has a small icon to its right.

At the bottom of the window are three buttons: "保存" (Save), "计算" (Calculate), and "取消" (Cancel).

图 4-25 设置子图

步骤 5: 双击节点图标的“+”号，或者选中该节点后，右键选择菜单“打开子图”，进入该子图的建模界面。子图的建模与正常的 RBD 建模一样。建好子图后，点击图标，返回上一层。至此，完成子图设置工作。

4.9.2 引用子图

引用子图是一种非常有用的功能。比如不同人负责不同的分系统，并分别建

立了分系统的 RBD 图时，可以在汇总建立整个产品或者系统的 RBD 图时，直接引用已经建好的 RBD 子图。或者不同项目之间的 RBD 图的引用等。具体操作方式：

步骤 1：假设通过 4.3 节，已经创建了两个 RBD 子图“任务 1 的 RBD”、“任务 2 的 RBD”。如果没有创建，可参考 [4.3 节](#) 步骤进行创建。

步骤 2：确认您打开的项目名称是“我的第一个项目”，并已经进入了 RBD 建模模块。创建 RBD 记录。具体操作见 [4.3 节](#)。假设创建一个名为“引用子图测试 RBD”的 RBD 记录。

步骤 3：从 RBD 主界面右边的 RBD 模型列表中，拖拽 2 个单元节点（单元节点 1、单元节点 2）进入绘图区。

步骤 4：双击单元节点 1，在弹出的节点属性窗体中，子图类型选择“引用子图”，关联子图选择“任务 1 的 RBD”。同理，双击单元节点 2，关联子图选择“任务 2 的 RBD”。

步骤 5：配置完成后，并连接上述节点，点击计算按钮即可得到计算结果。

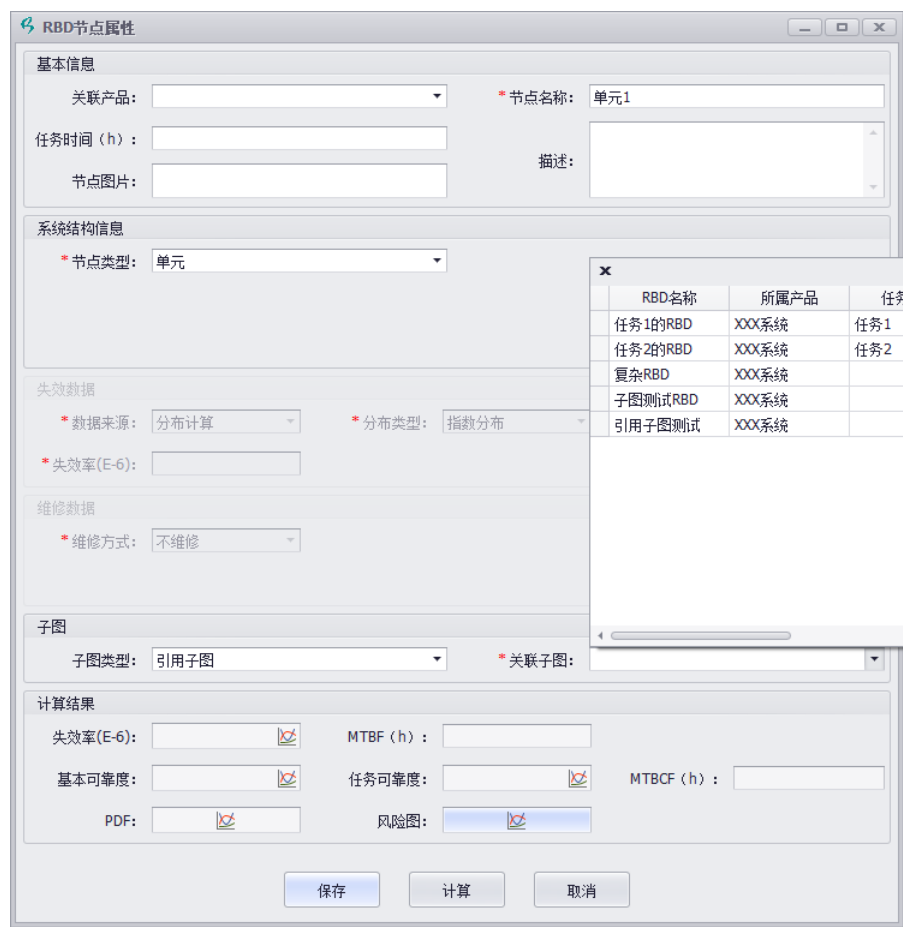


图 4-26 引用子图

4.10 添加节点图片

为了更形象展示 RBD 图形结构，在绘制 RBD 模型时，PosVim 支持设置各个节点的背景图片。操作方式是：双击需要配置图片的节点，在弹出的节点属性编辑界面，在【节点图片】右边空白输入框中，右键，然后选择“调用”，浏览您需要导入的图片即可。

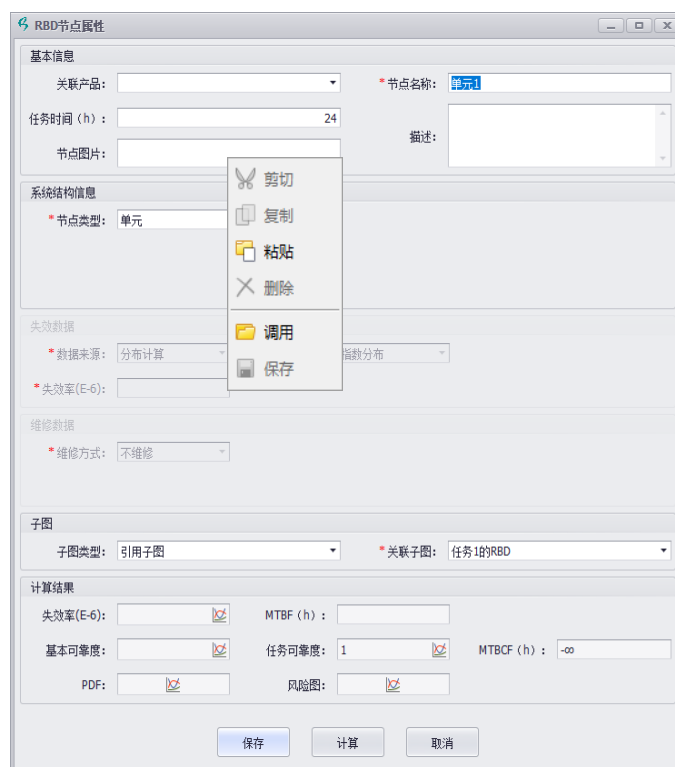


图 4-27 设置节点背景图片

4.11 结果查看与输出

完成 RBD 建模以及计算后，可查看 RBD 计算结果。

选中 RBD 模型中的任意一个节点，然后点击工具栏上方的，即可计算当前节点的可靠性参数。

不选择任何节点，在当前打开的 RBD 模型情况下，点击工具栏上方的，即可计算当前 RBD 图整体的可靠性参数。

点击即可查看当前打开的 RBD 模型的整体可靠性计算结果。

点击可以将 RBD 图导出。

点击可以导出 EXCEL 文件格式的 RBD 计算结果。

4.12 其他操作与说明

RBD 计算结果中：

基本可靠度：可靠度是指产品在规定的条件下，在规定的时间内、产品完成规定功能的概率。它是时间的函数，记作 $R(t)$ ，也称为可靠度函数。 $R(t) = p(T > t)$ 。基本可靠度是把产品的组成结构都当成串联，然后按照上面的计算公式进行计算。

任务可靠度：与基本可靠度不同的是，任务可靠度是根据产品的串并联故障逻辑关系模型，按照公式进行计算。

MTBF：平均故障间隔时间 MTBF，是指产品故障间隔时间平均值。例如某产品使用中产生 N 次故障，每次故障修复后又继续工作。MTBF 就是各次故障间隔时间求平均值。

MTBCF：平均关键故障间隔时间或者致命性故障间隔时间。与 MTBF 不同的地方是，这里考虑的故障只是致命性的故障或者关键故障。而 MTBF 不管是否致命或者关键，都算故障。因此，一般计算得到的 MTBCF 值比 MTBF 大。

PDF：概率密度函数

风险图：是失效率与可靠度之间的比。即 $f(t)/R(t)$ 的值。

5 可靠性分配

可靠性分配是自上而下，将顶层的可靠性指标逐层往下分配到各分系统、各模块中。

5.1 可靠性分配

可靠性分配与可靠性预计、可靠性建模 RBD 相比而言，操作较为简单。假设已经创建了项目名为“我的第一个项目”的项目，并且建立了根节点为“XXX 系统”的产品结构树，现在要将“XXX 系统”的可靠性指标分配到模块 A 和模块 B 中。操作步骤：

步骤 1：创建项目，参见[第 1 节](#)。若已经创建，可跳过，直接打开项目即可。这里假设我们已经按照第 1 节创建了项目“我的第一个项目”。直接打开这个项目即可。

步骤 2：创建产品结构树，参见[第 2 节](#)。若已经创建，可跳过。这里假设我们已经按照第 2 节创建了产品结构树，无需再创建。

步骤 3：确认您已经打开“我的第一个项目”，并进入了可靠性分配模块，在左边产品结构树中选中“XXX 系统”。如下图所示。

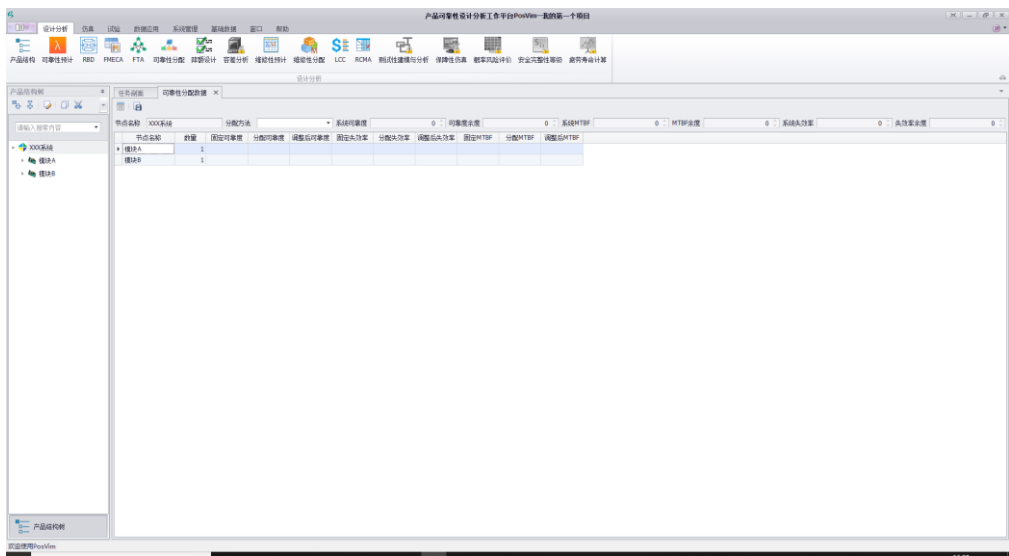


图 5-1 进入可靠性分配界面

步骤 4：选择分配方法。根据用户方要求或者项目本身要求，确定具体使用的可靠性分配方法。关于各种分配方法的内涵，可参考相应的书籍或者标准资料。这里，假设我们选择“AGREE 分配法”。此时，右方的系统可靠度、可靠度余度输入框变为可编辑状态。



图 5-2 分配方法选择

步骤 5：输入分配指标。由于选择的分配方法是 AGREE 分配法，可以进行分配的指标是可靠度。输入分配的系统可靠性指标（即输入您需要往下分配的指标要求）0.9，可靠度余度输入 0.1（一般工程上都保留一定可靠度分配余度），也可以不输入，留空。关于可靠度分配余度的含义，见[第 5.5 小节](#)。

分配方法		AGREE分配法		系统可靠度		0.9		可靠度余度
						0.1		系统
任务时间 (	部件数量	重要性因子	固定可靠度	分配可靠度	调整后可靠度	固定失效率	分配失效率	调整后失效率
1								
1								

图 5-3 分配指标设置

步骤 6: 输入分配参数。选择不同的分配方法，所需要输入的分配参数不同。这里选择的是 AGREE 法，需要输入包括任务时间、部件数量、重要性因子。如下图所示输入相应参数。

步骤 7: 分配计算。点击即可完成分配计算。结果如下图所示。

任务剖面 可靠性分配数据											
节点名称 XXX系统		分配方法 AGREE分配法		系统可靠度 0.9		可靠度余度 0.1		系统MTBF 0		MTBF余度	
节点名称	数量	任务时间 (	部件数量	重要性因子	固定可靠度	分配可靠度	调整后可靠度	固定失效率	分配失效率	调整后失效率	固定MTBF
模块A	1	24	1	0.8		0.942457			2469.3796...		404.96
模块B	1	24	1	0.7		0.934511			2822.1482...		354.34

图 5-4 分配结果

步骤 8: 分配调整。分配得到的结果，需要综合考虑可实现性。因此，分配得到的结果，可能需要进行调整。操作方法见 5.2 节。这里假设把模块 B 的分配结果调整为 0.92。

步骤 9: 下一层次的分配。通过步骤 1-8，已经得到了模块 A 和模块 B 的分配结果。假设现在需要继续往下分配。以模块 B 为例，将模块 B 的分配结果继续往下分配到下一层。具体操作步骤：

9a: 在可靠性分配主界面的左边产品结构树中，选中“模块 B”，此时，模块 B 的可靠性分配指标要求显示 0.92, 表明已经把上一层的分配结果自动获取过来了（当然，这个数据是可以修改的）。

9b: 按照步骤 4-6，分别完成分配方法选择、分配指标设置（默认已经获取了上一层的结果）、分配参数输入。

9c: 点击分配计算，即可得到模块 B 指标往下分配的结果。如下图所示。

节点名称		模块B		分配方法		AGREE分配法		系统可靠度		0.92		可靠度余度		0		系统MTBF		354.34		MTBF余度							
节点名称		数量		任务时间 (		部件数量		重要性因子		固定可靠度		分配可靠度		调整后可靠度		固定失效率		分配失效率		调整后失效率		固定MTBF		分配MTBF		调整后MTBF	
M01		1		24		1		0.9				0.96959						1286.7528...						777.15			
RJ4501		1		24		1		0.8				0.965854						1447.5969...						690.8			
RJ4502		1		24		1		0.7				0.961072						1654.3965...						604.45			

图 5-5 分配结果

5.2 分配结果调整

根据前面选择相应的分配方法得到产品各层次的可靠性分配指标后，有时候需要对个别分系统、模块的分配结果进行调整，比如对分配的指标取整处理，或者研发风险高设备需要调低可靠性指标要求等。此时，需要使用分配结果调整功能。

假设根据 5.1 节已经完成了 XXX 系统的可靠性指标分配。现在需要对分配结果进行调整。

步骤 1：直接在“调整后可靠度”栏目中，分别调整其可靠度分配结果即可。例如，模块 A 的可靠度分配结果，由原来的 0.942457，调整为 0.95，模块 B 的分配结果由原来的 0.934511，调整为 0.92。

节点名称	XXX系统	分配方法	AGREE分配法		系统可靠度	0.9		可靠度余度
节点名称	数量	任务时间 (h)	部件数量	重要性因子	固定可靠度	分配可靠度	调整后可靠度	固定失效率
模块A	1	24	1	0.8		0.942457	0.95	
模块B	1	24	1	0.7		0.934511	0.92	

图 5-6 可靠性分配结果调整

5.3 固定元件可靠度的分配

在可靠性分配时，往往遇到有些部件的可靠性指标已知的情况。此时，在开展可靠性分配时，可以设置这些部件的可靠性指标为固定。然后再进行可靠性分

配。

假设模块 B 包含 3 个元件，模块 B 的可靠度要求是 0.92（上一层次分配得到的结果），其中 M01 机械部件的可靠度指标已经知道是 0.98。那么进行模块 B 的可靠性分配的操作步骤是：

步骤 1：假设根据 5.1 节的步骤 1-8 进行可靠性分配后，得到了模块 B 的可靠性分配结果。

步骤 2：在产品结构树中选中模块 B，然后分配方法选择“AGREE 分配法”，可靠度分配指标 0.92（由上一层次分配得到的结果）。

步骤 3：在输入可靠性分配参数时，在 M01 节点的固定可靠度栏目中，输入 0.98。然后按照下图输入各元件的任务时间、部件数量、重要性因子等参数。

步骤 4：点击  按钮，即可得到可靠性分配结果，如下图所示。

节点名称		模块B		分配方法		AGREE分配法		系统可靠度		0.92		可靠度余度		0		系统MTBF		354.34		MTBF余度	
节点名称		数量	参与分配	任务时间 (		部件数量	重要性因子	固定可靠度	分配可靠度	调整后可靠度	固定失效率	分配失效率	调整后失效率	固定MTBF	分配MTBF	调整后					
M01		1	☒	24		1	0.9	0.98	0.98												
RJ4501		1	☒	24		1	0.8		0.961283			1645.2780...				607.8					
RJ4502		1	☒	24		1	0.7		0.955875			1880.3354...				531.82					

图 5-7 固定可靠度分配

5.4 设置元件不参与分配

产品研制过程中，往往有些组件、部件是成熟产品，一般不参与可靠性分配。

此时，在开展可靠性分配时，只需将相应元件的参与分配的勾去掉即可。

节点名称	数量	参与分配
M01	1	☐
RJ4501	1	☒
RJ4502	1	☒

图 5-8 设置不参与分配

5.5 其他操作与说明

分配方法：选择不同的分配方法，可进行分配的指标是不一样的。选择等分配法时，可以进行系统可靠度、MTBF、失效率的分配；选择 AGREE 法时，只能进行系统可靠度的分配。当选择等分配法、评分分配法时，可进行系统可靠度、MTBF、失效率等多个指标分配，您可以输入其中一个指标即可。当然，您也可以输入多个指标。

系统可靠度：这栏目是要求输入您想往下分配的可靠度指标。比如系统的可靠性要求是 0.9, 要求把这 0.9 的指标往下分配, 那么系统可靠度一栏中输入 0.9。

可靠度余度：一般工程上开展可靠性分配时，需要考虑后期研制过程中是否能达到该指标，需要考虑后期的一些不确定性因素可能会影响指标的实现。为保证产品研制成功，一般分配时都留有一定的余量。所以，使用 PosVim 开展可靠性分配工作时，如果不想保留余量，那么可靠度余度一栏输入 0（软件默认）；如果想保留余量，则输入 5%~15%值即可，软件将按照输入的系统可靠度，加上相应可靠度余度进行分配。

MTBF 余度：含义与可靠度余度类同。

失效率余度：含义与可靠度余度类同。

固定可靠度：当已知该节点的可靠度或者认为该节点不采用可靠性分配结果赋予的值时，直接输入其可靠度值。

调整后可靠度：选择可靠性分配方法进行分配后，得到各节点的分配结果。一般分配结果带有小数点或者直接套用分配方法分配得到的结果与实际存在差别时，可以在调整后可靠度栏目中输入调整值。比如根据评分分配方法确定 A 设备的可靠度为 0.9625 小时，综合考虑后，认为该设备的实现技术相对成熟，可

以把该设备的可靠度调高（调为 0.97），而其他设备相对可以调低一些，那么在调整后可靠度可输入 0.97。此时，分配结果将采用 0.97 而不是 0.9625。

固定失效率：含义与固定可靠度类同。

调整后失效率：含义与调整后可靠度类同。

固定 MTBF：含义与固定可靠度类同。

调整后 MTBF：含义与调整后可靠度类同。

6 FMEA 分析

故障模式、影响及危害性分析 (FMECA)，是一种可靠性、安全性分析工程技术，也是维修性、保障性、测试性设计分析的重要基础。FMECA 是分析系统中每一产品/工艺工序所有可能产生的故障模式及其对系统造成的所有可能影响，并按照每一个故障模式的严重程度、检测难易程度以及发生频度予以分类的一种归纳分析方法。应用 FMECA 分析方法：

- ✓ 在工程设计完成后，FMECA 可供检查和分析设计图纸用；
- ✓ 确定能够消除或减少潜在失效发生机会的措施；
- ✓ 采用新设计、新技术、新过程时，或者对现有设计或者过程修改、将现有设计或者过程用于新的环境、场所或应用时，一般需要开展 FMEA。

6.1 分析方法、标准预定义

PosVim 软件支持 GJB1391、AIAG 等 FMEA 标准，支持功能/硬件、工艺、软件 FMEA。PosVim 软件内置了 GJB1391、AIAG（汽车）行业的 FMEA 标准模板。这里假设直接使用 PosVim 软件内置的 GJB1391 标准模板进行 FMEA 分析。

6.2 FMEA 分析

6.2.1 约定层次选择

FMEA 是一种自下而上的可靠性分析方法。FMEA 分析过程中，约定层次、初始约定层次的选择，会影响 FMEA 的分析深度，影响 FMEA 分析的工作量。

假设以第 2 节（[见第 2 节](#)）创建的“XXX 系统”的产品结构树为例，其中，

选择“XXX 系统”为初始约定层次，模块 A 和模块 B 的元件作为最低约定层次。

即从模块 A 和模块 B 的元件开始进行 FMEA 分析。操作步骤：

步骤 1：确认您当前打开了名为“我的第一个项目”的项目，并进入了 FMEA 模块。若没创建项目及产品结构树，分别按[第 1 节](#)和[第 2 节](#)创建。

步骤 2：选中模块 B 下面的元件“M01”。从元件开始进行 FMEA 分析。

6.2.2 故障模式信息添加

步骤 3：点击工具栏上方的，添加故障模式

步骤 4：在“产品或功能标志”栏输入产品或功能标记，在“功能”栏输入功能描述，在故障模式栏的“识别号”输入故障模式编码，在“模式”栏直接输入故障模式，或者从下拉选择框中选取故障模式。如下图所示。

注：PosVim 提供了故障模式库，故障模式库包含了常用的机械故障模式、电子故障模式。您可以选择菜单栏的“基础数据”的【故障模式】图标，点开，进入故障模式的维护与管理。

单个添加	删除	控制计划	DVP	分析计算	计算配置	故障关系图	转为故障
产品或功能标志	功能	故障模式		原因			
产品或功能标志	功能	识别号	模式	原因			
F001	制动	FM00101	疲劳失效或高...	疲劳失效			

图 6-1 故障模式信息添加

6.2.3 故障影响分析信息添加

依据 GJB1391 标准，故障影响包括局部影响、高一层次影响、最终影响三部分。

步骤 5：输入局部影响、高一层次影响。由于当前分析的对象是部件 M01，上一层是模块 B，所以高一层次影响是指对模块 B 的影响。最终影响只能在 6.2.1 小节选定的初始约定层次“XXX 系统”层选择。本层次不属于初始约定层次，所以是不能输入的。

6.2.4 定性分析信息添加

依据 GJB1391 标准，定性分析需要填写的信息如下图所示。其他标准需要填写的信息不同，需依据具体标准要求填写。（注：PosVim 支持自定义标准及自定义填写内容及格式要求）。

定性分析				
严酷度类别	故障模式概率	故障检测方法	设计改进措施	使用补偿措施

一般在初始约定层次选

一般分 5 级

根据实际填写

根据实际填写

根据实际填写

图 6-2 定性分析信息编辑

步骤 6：由于当前分析的对象是部件 M01，属于最低约定层次，所以严酷度类别不需要填写。分别在故障模式概率、故障检测方法、改进措施、使用补偿措施根据实际填写相应信息。

注：每次填写的故障检测方法、改进措施、补偿措施，PosVim 都会把这些数据作为经验保存到数据库中，下次使用时，自动弹出包含了上次填写的数据内容项，可供选择，提高工作效率。

6.2.5 定量分析信息添加

依据 GJB1391 标准，定量分析栏目需要填写的信息如下图所示。不同的标准所需填写的定量分析内容不同，可参阅相应标准。

定量分析					
数据来源	故障模式频数比	故障模式影响概率	失效率	任务时间	故障模式危害度
可靠性预计 ▾	0.2	0.2	0.967015	24	

可选预计、统计、评估等

一般输入
0-1 的值

一般输入
0-1 的值

默认获取预计数据，可改

根据实际填

计算，不可编辑

图 6-3 定量分析信息编辑

步骤 7：在定量分析部分，按照如下操作：

7a：首先选择数据来源，可以选择可靠性预计、可靠性评估、可靠性试验等选项。默认情况下，PosVim 会把对应元件的可靠性预计失效率数据获取过来。

7b：然后，在【故障模式频数比】栏目输入频数比，一般是 0-1 的数值；

7c：在【故障模式影响概率】（即该故障模式出现后，导致初始约定层次某种严酷度等级出现的概率）栏目填写影响概率，影响概率 β 的取值可参考下面的表格填写。

序号	1		2		3	
方法来源	本标准推荐采用		国内某歼击飞机采用		GB7826	
β 规定值	实际丧失	1	一定丧失	1	肯定损伤	1
	很可能丧失	0.1~1	很可能丧失	0.5~0.99	可能损伤	0.5
	有可能丧失	0~0.1	可能丧失	0.1~0.49	很少可能	0.1
	无影响	0	可忽略	0.01~0.09	无影响	0
			无影响	0		

7d：【失效率】栏目默认根据可靠性预计的结果，自动获取过来，您也可以手工修改。

7e：在【任务时间】栏目根据实际情况填入任务时间。

6.2.6 中间层次的故障模式影响迭代分析

通过前面的步骤 1-7，完成了部件 M01 的故障模式编辑、定性分析、定量分析。但是，这只是完成最低约定层次部件 M01 本身的故障信息编辑与分析，还需要进一步分析该故障模式对上一层次、高一层次的影响，直至到达初始约定层次“XXX 系统”为止。操作方法：

步骤 8： 点击软件主界面左边的“产品结构树”列表中的模块 B。此时，可以看到在故障模式、故障原因栏目中，已经把下一层节点 M01 的信息获取过来。

产品或功能标志	功能	故障模式		原因
产品或功能标志	功能	识别号	模式	原因
			模块B功能失效	M01：疲劳失效或高温烧毁

图 6-4 继承模块 B 的故障信息

按照如下方法进行模块 B 的故障影响分析（包括继承上来的 M01 故障信息以及模块 B 本身新增的故障模式信息，这里选择继承上来的 M01 故障信息进行分析，不新增模块 B 的故障模式信息）：

8a： 在【产品或功能标志】栏目、【功能】栏目、【识别号】栏目分别填入相应信息。

产品或功能标志	功能	故障模式		原因
产品或功能标志	功能	识别号	模式	原因
F010	执行信号处理	F01001	模块B功能	M01：疲劳失效或高温烧毁

图 6-5 模块 B 的故障信息录入

8b： 参照 6.2.3、6.2.4、6.2.5 小节的方法，分别完成该记录的故障影响分析信息添加、定性分析信息添加、定量分析信息添加。如下图所示。

故障影响			定性分析				
局部影响	高一层次影响	最终影响	严酷度类别	故障模式概率	故障检测方法	设计改进措施	使用补偿措施
模块B失效	信号处理功能	信号处理功能		D(很少发生)	信号检测	增加冗余设计	定期检查

定量分析					
数据来源	故障模式频数比	故障模式影响概率	失效率	任务时间	故障模式危害度
可靠性预计	1	0.2	0.970977	24	

图 6-6 模块 B 的定性、定量分析录入

6.2.7 初始约定层次的故障分析

通过步骤 8，得到了中间层次模块 B 的故障影响分析结果。模块 B 的故障影响将作为初始约定层次“XXX 系统”的故障模式，模块 B 的故障模式将作为初始约定层次“XXX 系统”的故障原因。

进行初始约定层次“XXX 系统”的故障影响分析操作步骤：

步骤 9：在软件主界面的左边“产品结构树”列表中，点击选中“XXX 系统”。

此时，系统自动把下一层次（模块 B）的信息继承上来了。

9a：在【产品或功能标志】栏目、【功能】栏目、【识别号】栏目分别填入相应信息。

产品或功能标志	功能	识别号	模式	原因
F101	导航定位	F10101	信号处理功能	模块B：模块B功能失效

图 6-7 初始约定层次的故障信息录入

9b：在填写局部影响时，由于该层次是最高层次（初始约定层次），所以只需填写【局部影响】栏目的信息，高一层次影响、最终影响信息无需填写，而且是不可编辑状态。

在填写定性分析栏目信息时，除了按照 6.2.4 节的填写方法填写相应的故障模式概率等级、故障检测方法、设计改进措施等信息外，**切记要选择【严酷度类别】**。

按照 6.2.5 的方法，填写定量分析各栏目信息。

定性分析				
严酷度类别	故障模式概率	故障检测方法	设计改进措施	使用补偿措施
III类(中等的)	D(很少发生)	信号检测	增加冗余设计	定期检查

图 6-8 定性分析

6.2.8 其他信息添加

上述完成了模块 B 的故障信息录入。为更好了解 PosVim 的功能，这里对模块 A 也进行故障影响分析。

步骤 10：依照 6.2.1 至 6.2.5 的方法，在模块 A 的元件“2CE52”也添加一条故障模式分析记录。

产品或功能标志	功能	故障模式	原因	故障影响	严酷度类别	故障模式概率	故障检测方法	设计改进措施	使用补偿措施	数据来源	故障模式频数比	故障模式影响
F001	线性放大	F00101	光敏元件或发... 温度	线性放大功能 模块A温度控制	III类(中等的)	D(很少发生)	信号检测	更换型号	定期检查	可靠性统计	0.2	0.1

图 6-9 模块 A 的元件故障信息录入

步骤 11：依照 6.2.6 的方法，在模块 A 添加一条故障分析记录（由元件“2CE52”故障继承上来的信息）。

产品或功能标志	功能	故障模式	原因	故障影响	严酷度类别	故障模式概率	故障检测方法	设计改进措施	使用补偿措施	数据来源	故障模式频数比	故障模式影响
F010	温度控制	F01001	2CE52：光敏元件或发... 易处理功能失效	温度控制失效 停机	III类(中等的)	C(偶然发生)	信号检测	更换型号	定期检查	可靠性统计	0.3	0.3

图 6-10 模块 A 的故障信息录入

步骤 12：依照 6.2.7 的方法，在初始约定层次“XXX 系统”添加一条记录，如下图所示。

产品或功能标志	功能	故障模式	原因	故障影响	严酷度类别	故障模式概率	故障检测方法	设计改进措施	使用补偿措施	数据来源	故障模式频数比	故障模式影响
F101	导航定位	F10101	模块B：模块B功能失效	XXX系统导航... 系统停机	III类(中等的)	D(很少发生)	信号检测	增加冗余设计	定期检查	可靠性统计	0.533	0.2
F102	导航定位	F10102	模块A：模块A温度控制失效	系统停机	III类(中等的)	D(很少发生)	信号检测	更换型号	定期检查	可靠性统计	0.167	0.2

图 6-11 初始约定层次的故障信息录入

6.2.9 分析计算

完成了上述步骤 1-12 后，即可进行计算。

步骤 13： 点击工具栏的  分析计算 图标，进行计算。

此时，软件的界面将切换到计算结果查看界面。如下图所示。可以通过点击左边的结果列表，切换查看不同的计算结果。



图 6-12 FMEA 分析结果

6.3 控制计划&DVP

通过 FMEA 可分析、确定不同的故障模式的影响等级、设计改进措施及应对方法。要将这些改进措施、应对方法落实，需要制定相应的控制计划，以及进行相应的试验、检测验证。PosVim 提供了控制计划制定、DVP 的功能。

操作方法：

步骤 1： 确认您进入了项目 “我的第一个项”，并进入了 FMEA 分析模块。

步骤 2： 点击主界面左边的产品结构树中的 “模块 B” 节点，然后点击主界面上方的  控制计划 图标，即可弹出控制计划制定窗口。

步骤 3: 在控制计划编辑窗口，输入针对模块 B 的故障模式、故障原因的控制计划信息，如下图所示。



该截图显示了一个名为“FMEA控制计划”的窗口，其中包含以下字段和值：

所属设备:	故障模式:
模块B	模块B功能失效

故障原因:
M01: 疲劳失效或高温烧毁

控制计划编号:
A-B-0001电阻值稳定性

机器/设备/工具需求:	机器/设备/工具编号:
万能表	W0-001

产品特征:
(-10°C~40°C)电阻值变化≤1Ω

过程/工艺特征:	特征类别:

规范/公差:
(-10°C~40°C)电阻值变化≤1Ω

方法规范:	检测设备:
(-10°C~40°C)电阻值变化≤1Ω	万能表

样品大小:	样品频率:
3	3件/批

控制方法:
A级控制

窗口底部有两个按钮：“保存”和“取消”。

图 6-13 控制计划编辑

步骤 4: 当企业根据控制计划，实施相应的设计改进，并开展相应的检测、试验后，需要填写 DVP 表单。保证“模块 B”选中的状态下，点击工具栏的  DVP 图标，在弹出界面按照如下图所示填写相应的信息，点击保存即可。

FMEA设计验证计划和报告 (DVP)

所属设备:	模块B	故障模式:	模块B功能失效
故障原因:	M01: 疲劳失效或高温烧毁		
DVP编号:	M666		
测试项目名称:	电阻值稳定性		
接收标准:	(-10°C~40°C)电阻值变化≤1Ω	测试阶段:	研发
责任人:	李亚飞	测试工程等级:	A
测试结果:	0.85Ω		
样品要求数:	3	样品实测数:	3
计划开始时间:	2018-07-01	实际开始时间:	2018-07-01
计划完成日期:	2018-07-04	实际完成日期:	2018-07-04
测试设备:	万能表	测试地点:	宝顺
附件名称:	[Upload Icon]		
批准人:	王耀		
备注:			

保存 取消

图 6-14 DVP 编辑

6.4 转为故障关系图

除了通过列表方式查看产品各层次故障的影响关系，PosVim 还提供了图形化查看各层次故障影响关系的功能。这对于复杂、大型系统来说，更为直观，更容易进行故障逻辑分析。操作方法：

步骤 1：确认您当前进入了“我的第一个项目”的 FMEA 分析模块。

步骤 2：在软件主界面的左边产品结构树列表中，点击并切换到您想查看的故障关系图的层次。例如，点击“XXX 系统”。

步骤 3：在主界面中间的故障分析记录列表中，右键点击任意一个故障分析记录选择“故障关系图”，或者点击工具栏的  图标，即可打开导致该故障发生的所有相关故障模式影响图。例如，点击“信号处理功能失效”记录，然后右键选择“故障关系图”，打开如下图所示界面。

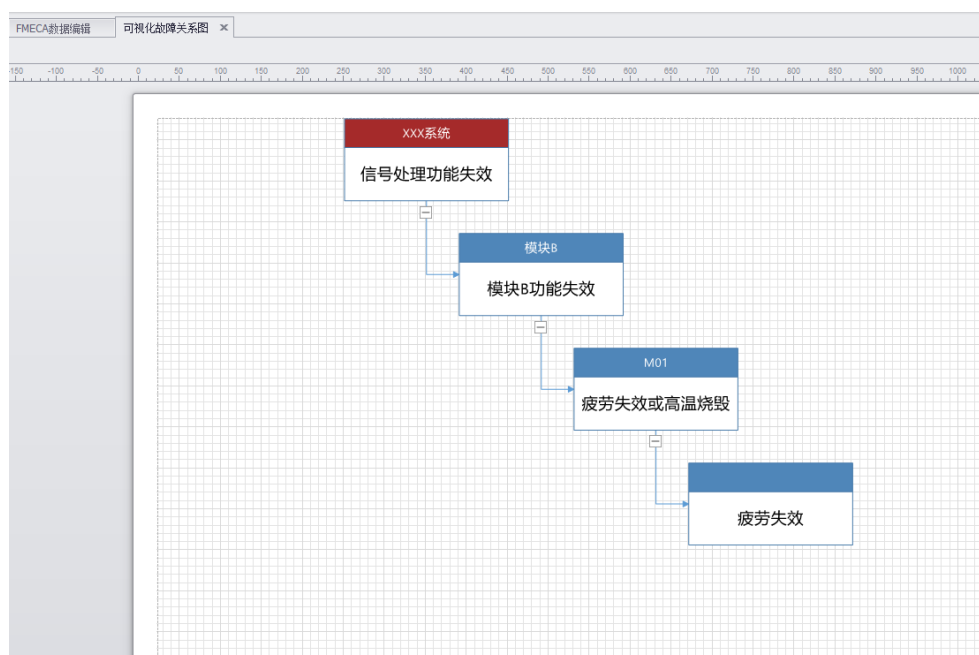


图 6-15 故障关系图查看

6.5 转为故障树

除了可以图形化查看各层次故障关系，PosVim 还提供了智能将 FMEA 数据转为 FTA 的功能。这样对于设计师来说，只需要做 FMEA 分析工作，FTA 由软件自动绘制，大大提高工作效率。也保证了 FMEA 和 FTA 工作的数据一致性、有效性。

操作步骤：

步骤 1：确认您当前进入了“我的第一个项目”的 FMEA 分析模块。

步骤 2：在软件主界面的左边产品结构树列表中，点击并切换到您想转为故障树的最高层次，即顶事件所在层次。例如，点击“XXX 系统”。

步骤 3：在主界面中间的故障分析记录列表中，右键点击任意一个故障分析记录选择“转为故障树”，或者点击工具栏的  转为故障树 图标，即可创建该故障为顶事件的故障树。例如，点击“信号处理功能失效”记录，然后右键选择“转

为故障树”，此时弹出是否转为故障树提示窗口，点击确定，即可打开如下图所示界面。

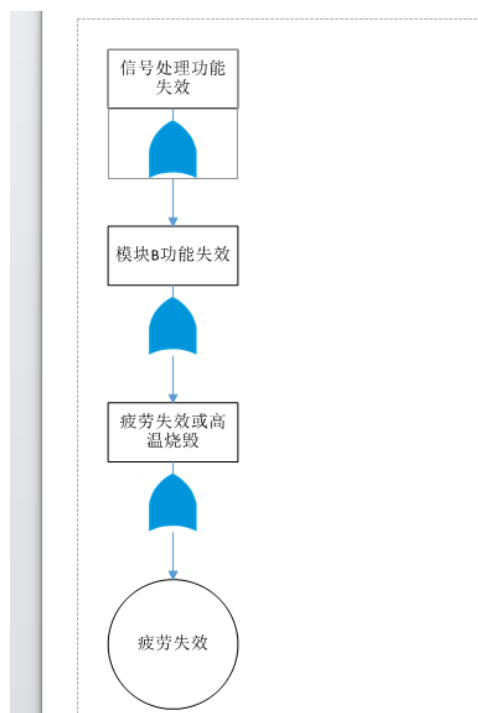


图 6-16 转为故障树

6.5 故障模式库管理

开展 FMEA 工作,故障模式库的维护至关重要。PosVim 提供了常用的机械、电子元件的故障模式库。这些故障模式库可以进行增加、删除、编辑、修改。具体办法：

6.5.1 添加故障模式

添加故障模式的操作步骤如下：

步骤 1：点击菜单栏上的【基础数据】，然后点击  图标。即可进入故障模式库管理界面。界面分成两部分，左边是故障模式，右边是故障模式属性。



图 6-17 故障模式库管理

步骤 2: 点击左边故障模式列表的图标  添加，然后在输入栏输入一条“疲劳失效”的故障模式。



图 6-18 添加故障模式

6.5.2 设置故障模式属性

添加了故障模式后，可以对该故障模式的属性进行编辑。通过故障模式属性编辑，可以指定该故障模式主要用于哪些类别的产品，以便在进行 FMEA 分析时，软件能够自动筛选出可供选择的故障模式。

操作步骤（接上述步骤 2）：

步骤 3: 添加了“疲劳失效”故障模式后（切记要让故障模式输入框变为非

编辑状态，否则还是停留在输入故障模式的状态时，无法添加属性。操作方法是：

鼠标点击一下任意空白处切换输入状态)，在右边的故障模式属性列表上方的工具

栏，点击  添加属性，弹出添加故障模式属性的窗口。各栏目的含义及设置方法如下图所示。其中，“产品类别”栏目是指想把这个故障模式归属于哪类产品，

“预计类别”是指想把这个故障模式归属于预计标准中分类方法的哪类产品，故障原因、设计改进、补偿措施、检测方法是该故障模式对应的原因、改进措施等，设置后，软件后续将默认填写这些信息，无需人工填写。“是否默认”栏目如果勾上，则前面的设置将生效，否则不生效。

故障模式属性	
 添加属性  删除属性  刷新	
故障模式名称	疲劳失效
产品型号	
产品类别	开关
预计类别	限制开关
自定义类别	
故障原因	疲劳失效或高温烧毁
设计改进措施	加强疲劳测试试验
使用补偿措施	定期检查
检测方法	信号检测
频数比	
描述	
是否默认	☒

故障模式关联到开关类产品

故障模式关联到预计标准中的限制开关产品

设置故障模式的默认故障原因

设置故障模式的默认改进措施、检测等

勾选默认，下次使用时，遇到开关产品将自动匹配该模式

6.6 计算配置

开展 FMEA 定性分析、定量分析时，涉及到不同层次的故障信息继承、同属一个部件的不同故障信息处理等诸多问题。PosVim 提供了智能处理这些问题的功能，例如频数比归一化处理、故障影响继承等。设置 FMEA 配置信息的方法：

步骤 1： 点击工具栏的  计算配置 图标，弹出的在弹出的定性分析、定量分

析、归一化处理等界面中，根据需要进行配置即可。如图 6-19~21。

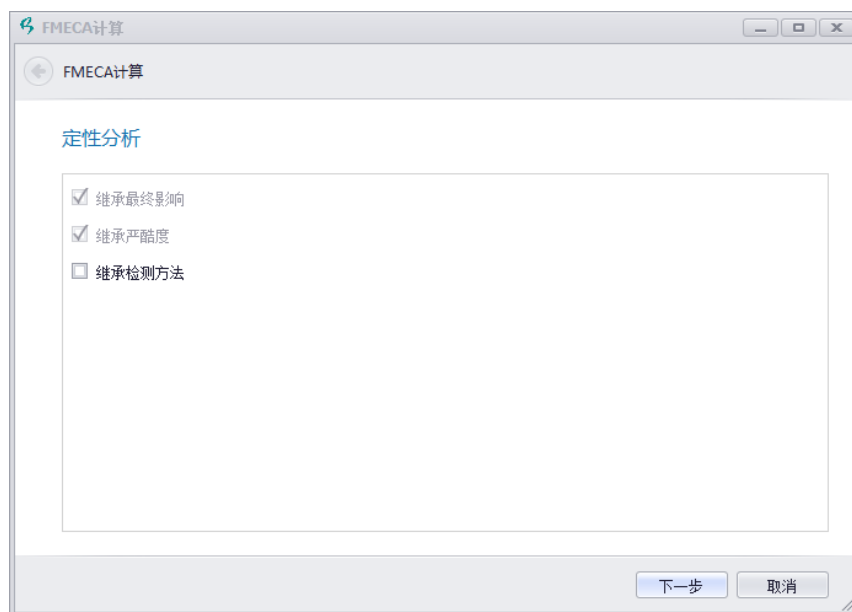


图 6-19 定性分析设置

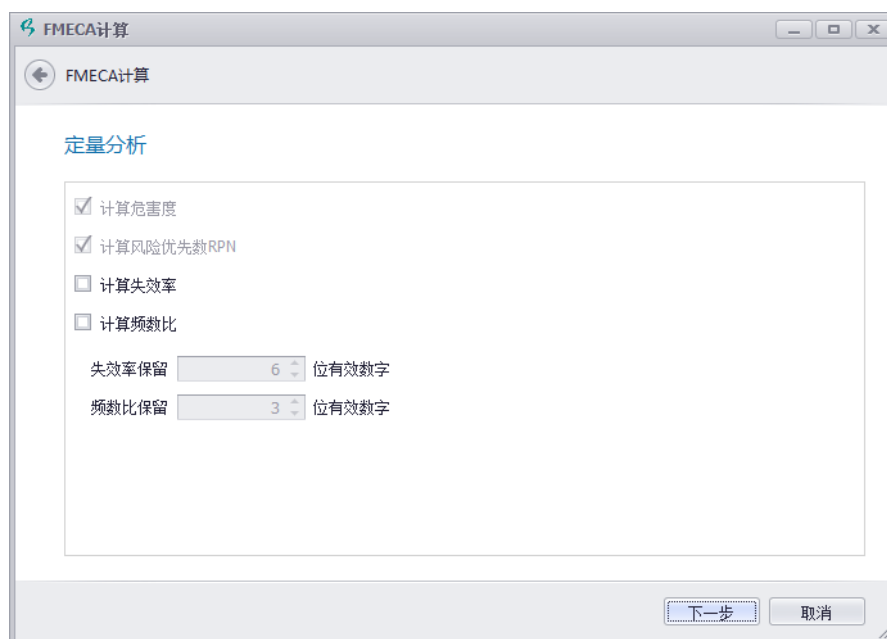


图 6-20 定量分析设置

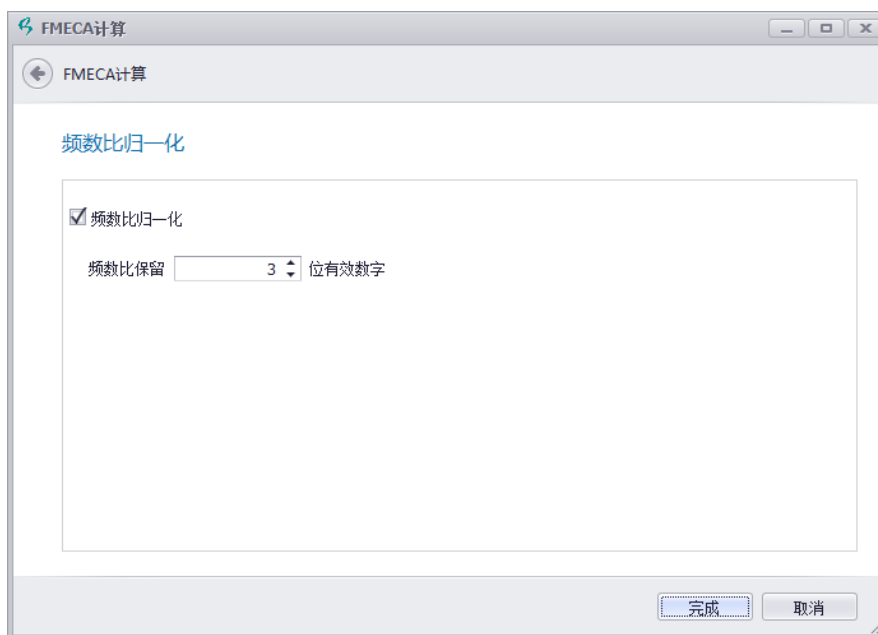


图 6-21 频数比设置

6.7 检测方法库管理

可以通过 PosVim 的检测方法库管理功能，对单位内部的常用检测方法进行规范化管理。操作方法是：

选择菜单栏的“基础数据”，点击  图标。进入检测方法库管理界面。

点击 ，添加检测方法记录。

6.8 故障纠正措施库管理

可以通过 PosVim 的故障纠正措施库管理功能，对单位内部的常用故障纠正措施进行规范化管理。操作方法是：

选择菜单栏的“基础数据”，点击  图标。进入检测方法库管理界面。

点击 ，添加检测方法记录。

7 故障树分析

7.1 创建故障树

故障树是开展可靠性、安全性分析工作过程中的一项重要、常用的技术手段。

7.1.1 创建故障树记录

一个项目可以创建多棵故障树。项目与故障树是一对多的关系。因此，我们首先需要创建一个故障树分析记录。操作步骤：

步骤 1：确认您当前打开了名为“我的第一个项目”项目，并进入了故障树模块（点击菜单栏的设计分析部分，然后点击  图标）。

步骤 2：在弹出的故障树管理界面，点击  图标，新增故障树记录，名称输入“XXX 系统无法正常工作”。如下图所示。然后点击打开故障树。

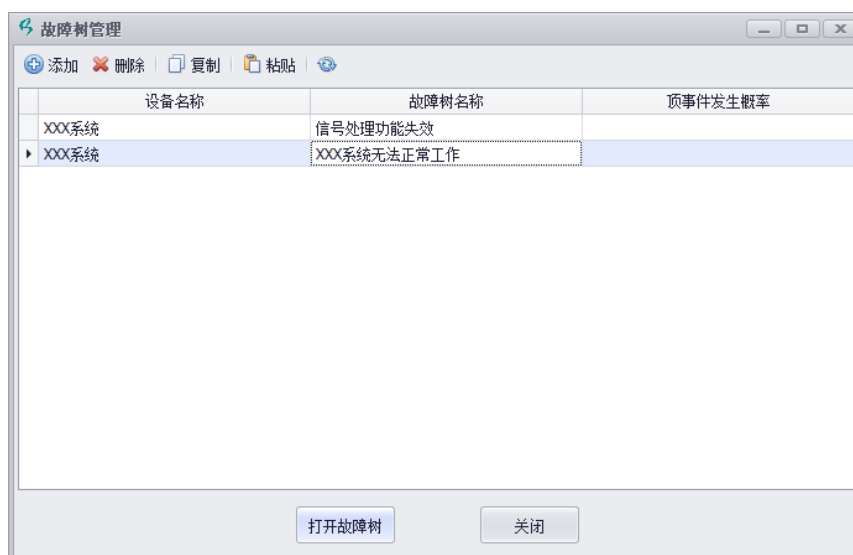


图 7-1 故障树记录创建

7.1.2 绘制故障树模型

打开故障树记录后，进入故障树分析的主界面。界面最左边是产品结构树，然后是故障树结构列表（根据中间的故障树绘图，实时显示故障树的结构信息），中间是故障树绘图主界面，右边是故障树模型库。如下图所示。

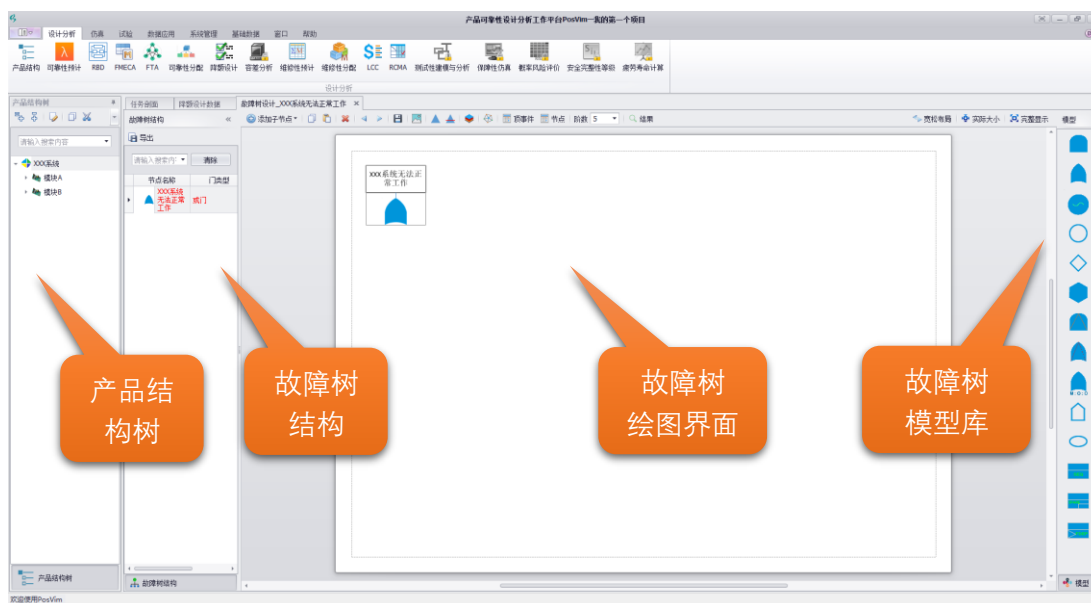


图 7-2 故障树绘制界面

假设我们已经创建的顶事件为“XXX 系统无法正常工作”，导致 XXX 系统无法正常工作的中间事件是 A 模块故障或者 B 模块故障，导致 A 模块故障的底事件是各个元件故障，导致 B 模块故障的底事件是 B 模块的元件同时故障。也就是说，我们要创建的故障树包括三层，第一层是顶事件“XXX 系统无法正常工作”，中间层是 A 模块、B 模块故障，第三层是底事件即各元件故障。

创建该故障树的操作步骤：

步骤 3（接前述步骤 2）：从右边的故障树模型库中，分别拖拽一个与门、一个或门到绘图区。并双击新添的与门、或门，修改门描述为“A 模块功能失效”、“B 模块功能失效”。

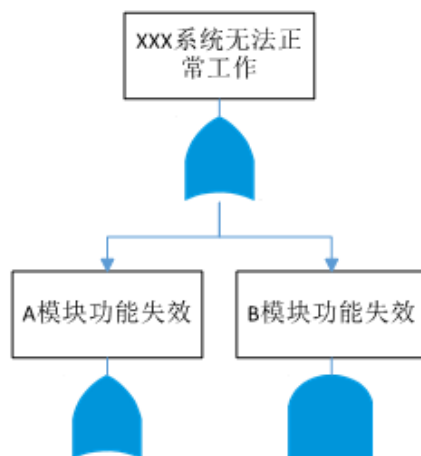


图 7-3 添加与门、或门

步骤 4: 从模型库中拖拽 3 个基本事件，放在“A 模块功能失效”的或门下面；同理，拖拽 3 个基本事件，放在“B 模块功能失效”的与门下面。双击添加的基本事件，按照下面图的命名方法，修改各个事件的名称。

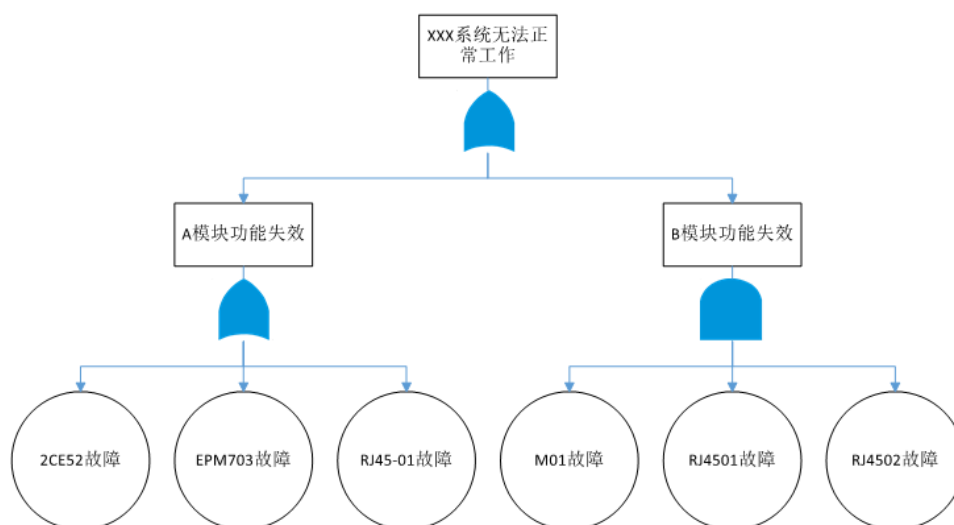


图 7-4 添加基本事件

编辑故障树节点

多功能组 共因组 概率计算

基本信息

* 节点名称: 2CE52故障 * 门类型: 基本事件

是否打开: ☐ N: K:

概率计算

发生概率: 输入模式: 直接输入概率 分布类型:

暴露时间: 失效率:

参数1: 参数2: 参数3:

MTBF: MTTR:

保存 取消

图 7-5 修改节点名称

7.1.3 故障树底/基本事件发生概率计算

要获得顶事件的发生概率，需要设置所有的基本事件/底事件的发生概率。是指底事件/基本事件的发生概率方法如下：

步骤 5（接前述步骤 4）：双击名为“2CEW52”节点，弹出节点的属性框。PosVim 提供了多种设置事件发生概率，包括直接输入发生概率方式、分布计算方式等。这里选择分布计算方式设置，分布类型选择“指数分布”，暴露时间（或任务时间）输入 24 小时，失效率输入 0.5。点击保存。同理，其他节点采用相同方法设置。

至此，故障树完成了构建。即可转入计算。

7.2 故障树计算与分析

7.2.1 顶事件计算

步骤 1: 点击工具栏上的  顶事件 图标，即可计算顶事件的发生概率。计算结果如下图所示。包括顶事件发生概率计算结果、最小割集、事件重要度、各阶割集数量统计、各阶发生概率统计等。

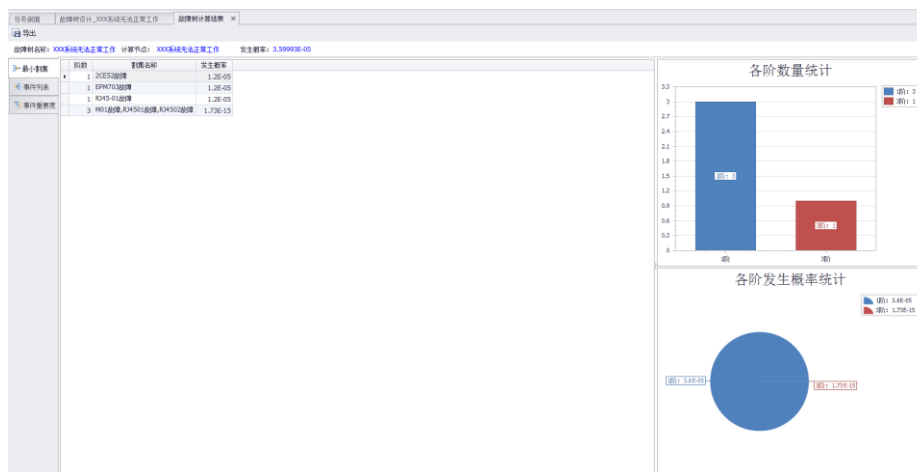


图 7-6 故障树计算结果（顶事件）

7.2.2 任意节点的计算

PosVim 不仅可以计算顶事件的发生概率等指标，也可以选择故障树的任意节点，计算该节点的事件发生的概率等指标。假设要计算模块 A 功能失效的发生概率，操作方法：

选中模块 A，然后点击  节点 图标，即可计算得到模块 A 的发生概率，以及相应的割集、重要度等指标。

故障树名称: XXX系统无法正常工作 计算节点: A模块功能失效 发生概率: 3.59993E-05			
最小割集	阶数	割集名称	发生概率
事件列表	1	2CE52故障	1.2E-05
事件重要度	1	EPM703故障	1.2E-05
	1	RJ45-01故障	1.2E-05

图 7-7 故障树计算结果 (A 模块功能失效节点)

7.2.3 限定割集阶数

对于复杂的故障树来说，割集较多，割集达到几十万甚至上千万个。此时，如果要过滤掉一些高阶的割集，可以通过工具栏的  选项，输入割集阶数最大值，即可把高阶的割集过滤。

7.3 多功能/共模故障分析

PosVim 除了支持常规的故障分析外，还支持多功能节点（特殊的共因）的故障树分析、含共模故障的故障树分析。假设“模块 A 功能失效”门事件下的 RJ4501-1 事件，与“模块 B 功能失效”门事件下的 RJ4501 事件，同属于一个元件，即该元件即可完成模块 A 的功能，也完成模块 B 的功能。要开展多功能节点故障分析，具体操作如下：

步骤 1：考虑到模块 B 下面的 3 个事件的发生概率较小，而且是与门，这样计算出来的结果很小。为了更好对比体验是否设置多功能的分析结果差异，把“模块 B 功能失效”门类型改为或门。修改方法是双击该门，然后类型改为或门。

步骤 2：点击计算，计算得到没有设置多功能节点的顶事件发生概率。

故障树名称: XXX系统无法正常工作 计算节点: XXX系统无法正常工作 发生概率: 7.19972E-05			
最小割集	阶数	割集名称	发生概率
事件列表	1	2CE52故障	1.2E-05
事件重要度	1	EPM703故障	1.2E-05
	1	RJ45-01故障	1.2E-05
	1	M01故障	1.2E-05
	1	RJ4501故障	1.2E-05
	1	RJ4502故障	1.2E-05

图 7-8 未设置多功能节点的计算结果

步骤 3: 切回故障树绘图界面，双击“模块 A 功能失效”门事件下的“RJ4501-1 故障”事件，在弹出的属性编辑框中，点击  图标，弹出多功能设置界面。

步骤 4: 输入多功能组名称“RJ4501 多功能”，然后双击可选事件列表中“模块 B 功能失效”下的“RJ4501 故障”。如下图所示。点击保存。

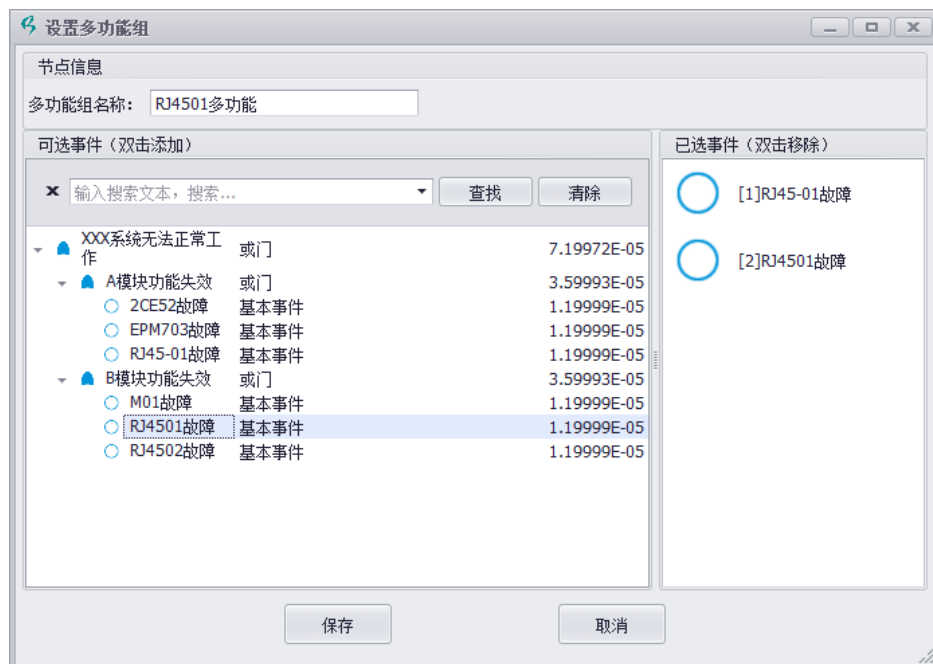


图 7-9 设置多功能组

此时，可以看到故障树绘图界面中“RJ4501-1 故障”和“RJ4501 故障”这两个事件的边框变为红色，表明多功能设置成功。

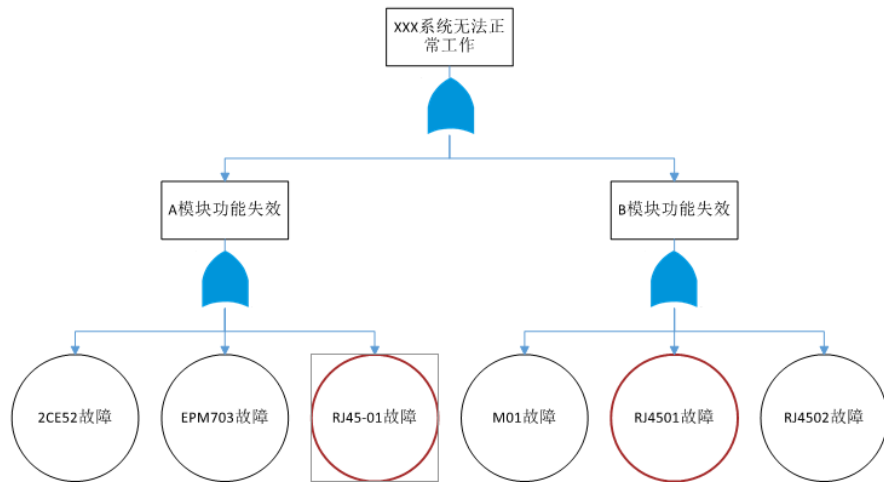


图 7-10 含多功能节点的故障树

步骤 5: 点击  顶事件 图标，进行顶事件计算。可以看出，设置了多功能节点后，顶事件发生概率为 $5.9998E-05$ (未设置多功能时是顶事件发生概率 $7.1997E-05$)。

任务剖面	故障树设计_XXX系统无法正常工作	故障树计算结果	×
导出			
故障树名称: XXX系统无法正常工作 计算节点: XXX系统无法正常工作 发生概率: 5.99981E-05			
最小割集	阶数	割集名称	发生概率
事件列表	1	RJ45-01故障	1.2E-05
事件重要度	1	EPM703故障	1.2E-05
	1	M01故障	1.2E-05
	1	RJ4502故障	1.2E-05
	1	2CE52故障	1.2E-05

图 7-11 含多功能节点的故障树计算结果

7.4 其他操作与说明

- (1) PosVim 故障树分析模块可输出故障树图形以及各种计算结果。
- (2) PosVim 故障树分析模块支持基本事件、房型事件等 10 多种事件类型。
- (3) PosVim 故障树分析模块支持与门、或门、异或门等 10 多种布尔逻辑模型。

(4) 支持分页显示，支持宽松布局和紧凑布局。

(5) 所有的操作提供了右键菜单操作。

上述功能可根据实际需求进行体验。

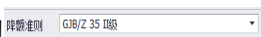
8 降额设计

8.1 降额标准选择

PosVim 支持 GJB/Z 35、ECSS-Q-30-11-A、AS-4613 等降额标准，而且可以自定义降额准则，自定义降额准则的设置见 8.5 小节。

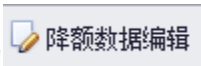
假设选择 GJB/Z 35 的 II 级降额准则进行模块 A 的元件降额设计。

步骤 1：确认您已经进入了名为“我的第一个项目”的项目，并进入了降额设计模块。点击主界面左边的产品结构树的模块 A。

步骤 2：点击工具栏上的 ，选择 PosVim 内置的 GJB/Z 35 标准的 II 级降额准则。

8.2 降额参数设置

步骤 3（接前述步骤）：选中降额设计主界面中间列表的任一元器件节点，例如选择“2CE52”二极管。

步骤 4：点击工具栏上方的 ，或者双击“2CE52”二极管节点，在界面下方弹出降额参数设置界面。

步骤 5：选择子类“普通二极管”，然后输入电流、电压等参数的降额值设置，如下图所示。

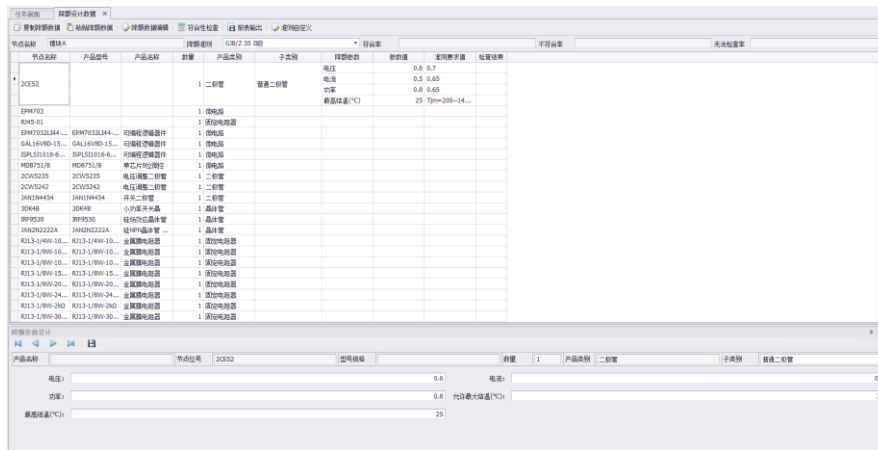


图 8-1 降额参数设置界面

步骤 6：其他器件类似，逐个设置降额参数。

8.3 降额符合性检查

逐个设置元器件的降额参数后，点击  符合性检查，得到降额符合性检查结果。

如下图所示。

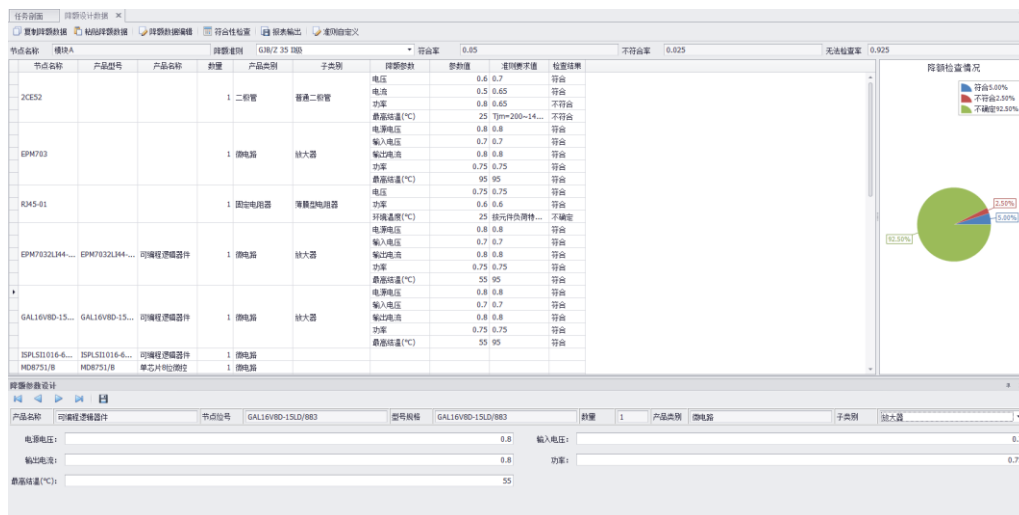


图 8-2 符合性检查

8.4 报表输出

点击  报表输出 图标，可输出降额设计及检查结果。

8.5 自定义降额准则

除了 PosVim 内置的降额标准外，可以自定义降额准则。

步骤 1： 点击  图标，弹出自定义准则界面。在自定义准则界面点击  ，然后在准则名称输入 “我的准则”。

步骤 2： 可以直接输入各准则要求值，也可以直接复制 GJB35 的准则的要求值，然后进行各项准则参数的修改。

修改后，点击保存图标即可。

准则名称 我的准则						
		复制GJB/Z 35 Ⅲ级	复制GJB/Z 35 Ⅱ级	复制GJB/Z 35 Ⅰ级		
产品类别	子类别	降额参数	准则要求值	GJB/Z 35 Ⅲ级	GJB/Z 35 Ⅱ级	GJB/Z 35 Ⅰ级
微电路	放大器	电源电压	0.7	0.8	0.8	0.8
		输入电压	0.6	0.7	0.7	0.7
		输出电流	0.7	0.8	0.8	0.8
		功率	0.8	0.75	0.8	0.8
		最高结温(°C)	80	95	105	105
	比较器	电源电压	0.7	0.8	0.8	0.8
		输入电压	0.7	0.8	0.7	0.7
		输出电流	0.7	0.8	0.8	0.8
		功率	0.7	0.75	0.8	0.8
		最高结温(°C)	80	95	105	105
	电压调整器	电源电压	0.7	0.8	0.8	0.8
		输入电压	0.7	0.8	0.8	0.8
		输出电流	0.7	0.8	0.85	0.85
		输入输出电压差	0.7	0.75	0.8	0.8
		功率	0.7	0.75	0.8	0.8
	模拟开关	最高结温(°C)	80	95	105	105
		电源电压	0.7	0.8	0.85	0.85
		输入电压	0.8	0.85	0.9	0.9
		输出电流	0.75	0.8	0.85	0.85
		功率	0.7	0.75	0.8	0.8
	双极型电路	最高结温(°C)	80	95	105	105
		输出电流	0.8	0.9	0.9	0.9
		频率	0.8	0.9	0.9	0.9
		最高结温(°C)	85	100	115	115
		电源电压	0.7	0.8	0.8	0.8
	MOS型电路	输出电流	0.8	0.9	0.9	0.9
		频率	0.8	0.8	0.9	0.9
		最高结温(°C)	85	100	115	115
		功率密度(W/cm2)	0.75	0.75	0.75	0.75
		最高结温(°C)	85	100	115	115
	混合集成电路(薄膜)	功率密度(W/cm2)	0.6	0.6	0.6	0.6
		最高结温(°C)	85	100	115	115
		功率密度(W/cm2)	0.6	0.6	0.6	0.6
		最高结温(°C)	85	100	115	115
		改进散热方式以降底结温	改进散热方式以降底结温	改进散热方式以降底结温	改进散热方式以降底结温	改进散热方式以降底结温
晶体管	大规模集成电路	最高结温(°C)	降低+10dBm	降低+10dBm	降低+10dBm	降低+10dBm
	声表面波器件	输入功率	0.6	0.7	0.8	0.8
	普通晶体管	反向电压	0.6	0.7	0.8	0.8

图 8-3 自定义降额准则

9 维修性预计

9.1 维修性模型绘制

假设现需要对 “XXX 系统” 的模块 A 和模块 B 的维修性进行预计。操作方法：

步骤 1： 首先确认您打开了名为 “我的第一个项目” 的项目，并点击  图

标进入了维修性预计模块。

步骤 2: 点击主界面左边的产品结构树列表中的“XXX 系统节点”。此时，可以看到上方显示模块 A 和模块 B 的维修性预计结果，中间是维修性图形化建模界面，右边是维修模型库。

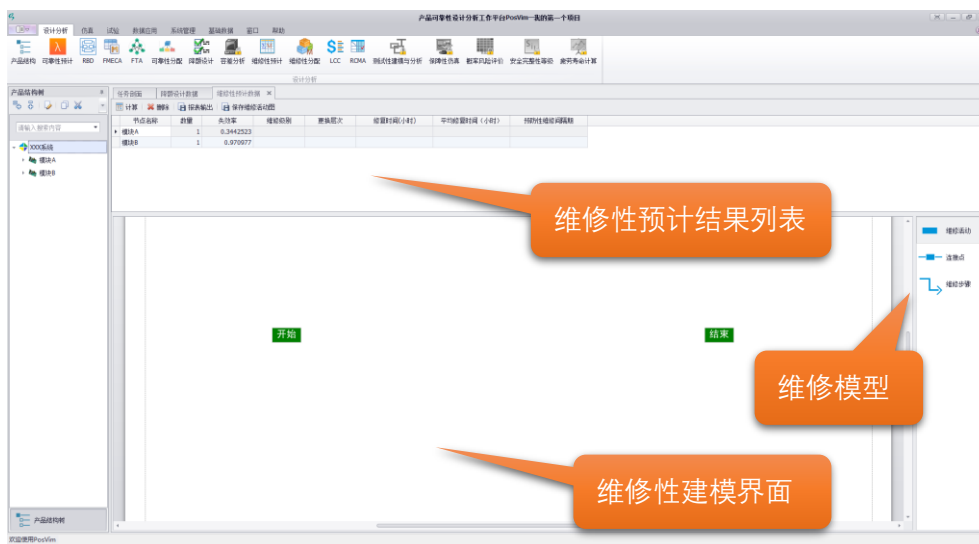


图 9-1 维修性预计界面

步骤 3: 选中维修性预计结果列表的“模块 A”节点，然后从右边的维修模型中拖拽一个维修活动节点到维修性建模界面中，并与开始点、结束点连接。双击该节点，弹出属性编辑框。维修事件输入 0.25，维修人数输入 2。如下图所示。点击上方的  计算 图标，预计模块 A 的维修性参数。



图 9-2 维修性建模

步骤 4: 同理，选择模块 B，拖拽 3 个维修活动节点，然后按照如下图所示

连接并输入参数。点击上方的  计算 图标，预计模块 B 的维修性参数。

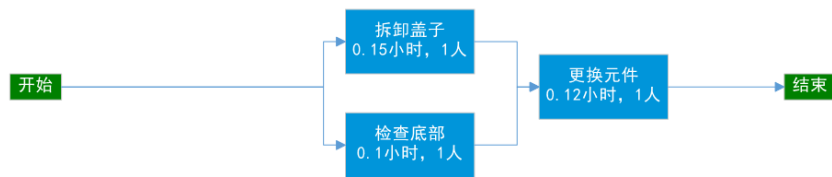


图 9-3 模块 B 的维修性模型

9.2 维修性预计计算

由前面步骤 1 到步骤 4，可得到模块 A 和模块 B 的维修性预计结果。对于复杂的系统，逐层按照步骤 1-4 的流程，即可得到系统的维修性预计结果。

9.3 结果输出

维修性预计结束后，点击  报表输出 可把维修性预计结果输出。点击

 保存维修活动图 可保存维修性模型图。

10 维修性分配

10.1 维修性分配

维修性分配的操作方法、流程，与[第 5 节](#)的可靠性分配方法相近。如果您掌握了第 5 节的可靠性分配使用方法，将比较容易使用维修性分配模块的功能。

现假设要将“XXX 系统”的维修性指标分配到下一层次的模块 A 和模块 B 中。操作方法如下：

步骤 1：首先，确认您当前打开了名为“我的第一个项目”的项目，并点击菜单栏的“设计分析”部分中的图标，打开维修性分配模块。

步骤 2：点击维修性分配模块界面的左边产品结构树列表中的节点“XXX 系统”。此时，可以看到界面中间的列表中，显示的模块 A 和模块 B 的可靠性预计数据已经获取过来了。如果没有获取过来，可以点击图标，将对应节点的可靠性预计数据获取过来。如下图所示。

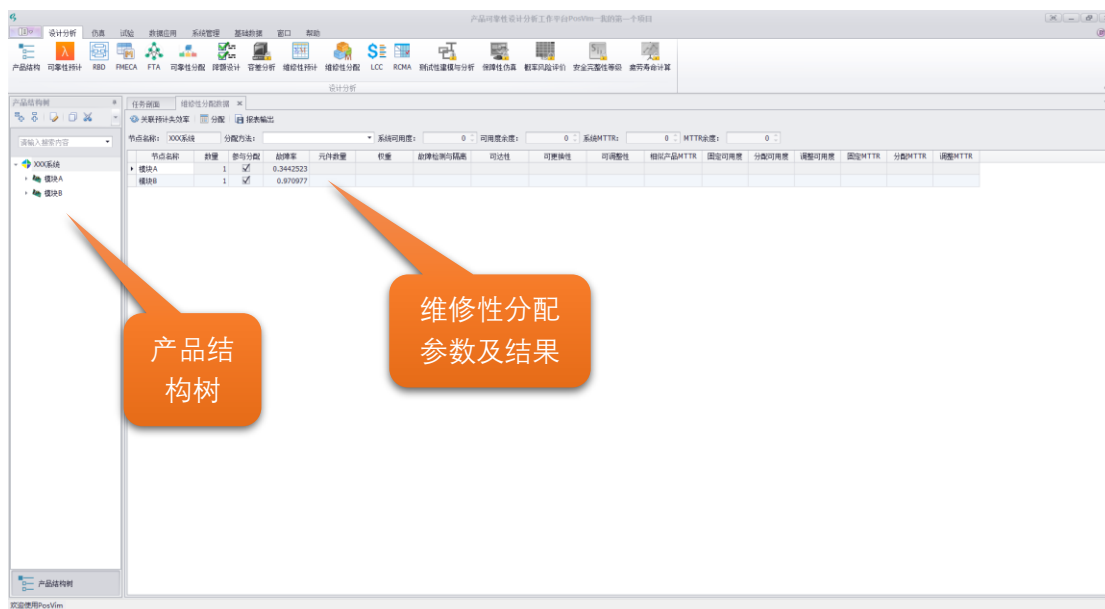


图 10-1 维修性分配界面

步骤 3：选择分配方法。PosVim 提供了工程常用的维修性分配方法（参见

GJB/Z 57)，支持等值分配法、按故障率分配法、按故障率和设计特性综合加权分配法、保证可用度和考虑个单元复杂性差异的分配法、相似产品分配法等。各种方法的选用要求，可参见 GJB/Z 57。这里假设选择按故障率分配法。

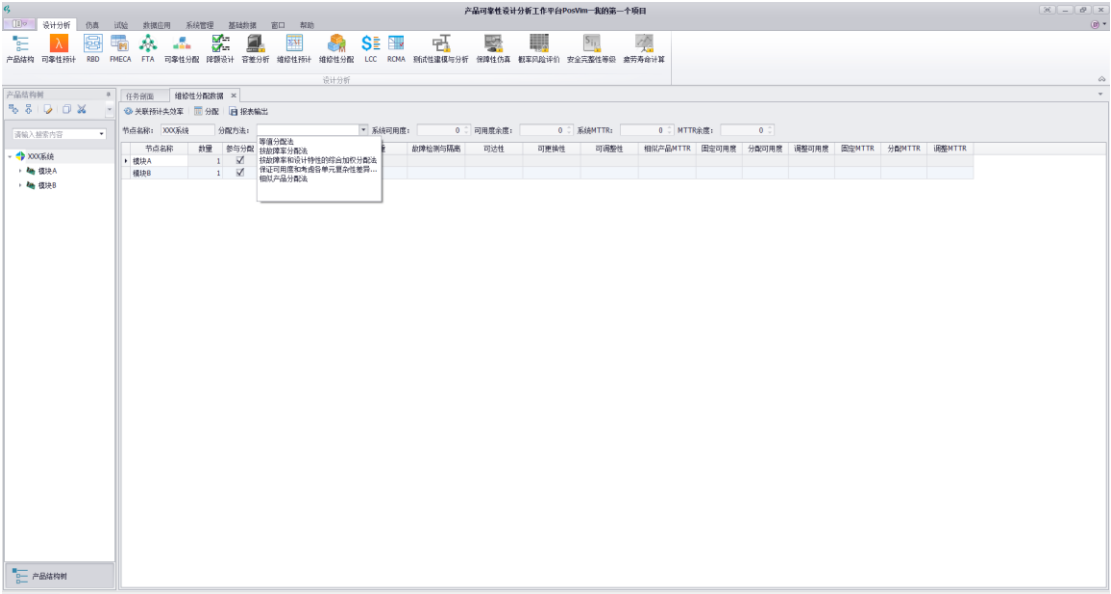


图 10-2 维修性分配方法选择

步骤 4：输入维修性分配指标要求。系统可用度输入框 0.9，系统 MTTR 输入 0.5。即将维修性指标 MTTR——0.5 分配到下一层模块 A 和模块 B 中。

步骤 5：点击  图标，进行分配。即可看到模块 A 和模块 B 的 MTTR 分配结果。如下图所示。

节点名称		数量	参与分配	故障率	固定可用度	分配可用度	调整可用度	固定MTTR	分配MTTR	调整MTTR
模块A		1	☒	0.3442523					0.96	
模块B		1	☒	0.970977					0.34	

图 10-3 维修性分配

10.2 分配结果调整

根据前面选择相应的分配方法得到产品各层次的维修性分配指标后，有时候需要对个别分系统、模块的分配结果进行调整，比如对分配的指标取整处理，或

者复杂的设备需要调低维修性指标要求等。此时，需要使用分配结果调整功能。

假设根据 10.1 节已经完成了 XXX 系统的维修性指标分配。现在需要对分配结果进行调整。

步骤 1：直接在“调整 MTTR”栏目中，分别调整其 MTTR 分配结果即可。例如，模块 A 的 MTTR 分配结果，由原来的 0.96，调整为 0.95，模块 B 的分配结果由原来的 0.34，调整为 0.35。

任务剖面 维修性分配数据 ×									
关联预计失效率 分配 报表输出									
节点名称:	XXX系统	分配方法:	按故障率分配法	系统可用度:	0.9	可用度余度:	0	系统MTTR:	0.5
								MTTR余度	
节点名称	数量	参与分配	故障率	固定可用度	分配可用度	调整可用度	固定MTTR	分配MTTR	调整MTTR
模块A	1	☒	0.3442523					0.96	0.95
模块B	1	☒	0.970977					0.34	0.35

图 10-4 MTTR 分配结果调整

10.3 固定元件维修性指标的分配

在维修性分配时，往往遇到有些部件的维修性指标已知的情况。此时，在开展维修性分配时，可以设置这些部件的维修性指标为固定。然后再进行维修性分配。

假设模块 B 包含 3 个元件，模块 B 的 MTTR 要求是 0.34（上一层次分配得到的结果），其中，已知其中一个 M01 机械部件的 MTTR 指标已经知道是 0.21(固定值)。那么进行模块 B 的维修性分配的操作步骤是：

步骤 1：假设根据 10.1 节的步骤 1-4 进行维修性分配后，得到了模块 B 的维修性分配结果。

步骤 2：在产品结构树中选中模块 B，然后分配方法选择“按故障率分配”，维修 MTTR 分配指标 0.34（由上一层次分配得到的结果）。

步骤 3：在输入维修性分配参数时，在 M01 节点的“固定 MTTR”栏目中，输入 0.21。系统可用度要求输入 0.92，然后点击  按钮，即可得到维修性分配结果，如下图所示。

节点名称：	模块B	分配方法：	按故障率分配法	系统可用度：	0.92	可用度余度：	0	系统MTTR：	0.35	M
节点名称	数量	参与分配	故障率	固定可用度	分配可用度	调整可用度	固定MTTR	分配MTTR	调整MTTR	
M01	1	☒	0.967015				0.21	0.21		
RJ4501	1	☒	0.001981					0.35		
RJ4502	1	☒	0.001981					0.35		

图 10-5 固定维修性指标的分配

10.4 设置某个元件不参与分配

产品研制过程中，往往有些组件、部件是成熟产品，而且其维修性指标都经过了试验或者现场验证，已知其具体的指标值，这样的元件一般不参与可靠性分配。此时，在开展可靠性分配时，只需将相应元件所在列的“参与分配”栏目的勾去掉即可。

节点名称	数量	参与分配	
M01	1	☐	
RJ4501	1	☒	
RJ4502	1	☒	

图 10-6 设置不参与分配

10.5 其他操作与说明

(1) 本例中使用的是按故障率分配方法进行操作，其他分配方法可分配的指标以及需要输入的分配参数可能不相同。可参阅 GJB/Z 57 标准了解。

(2) 分配过程中一般需要保留余度，关于分配余度的解释，可以参考 5.5 小节。

11 寿命周期费用分析 (LCC)

11.1 创建寿命周期费用分析记录

PosVim 的寿命周期费用分析模块 (LCC)，不仅支持国际先进、主流的参数估计法（或称为估算分解法 EBS），也支持传统的费用分解法（CBS），支持 GJB1364 装备费用-效能分析、GJB/Z 20463 军用雷达寿命周期费用估算手册的费用分解模型与费用管理。

要开展寿命周期费用分析，首先需要创建一个费用分析记录，并选择您使用的费用分解方法，因为不同的分解方法，使用流程相差较大。

步骤 1：首先确认您当前打开了名为“我的第一个项目”的项目，并点击菜单上“设计分析”部分的  图标。打开寿命周期费用分析模块。并在主界面左边的产品结构树列表中，选中“XXX 系统”节点，表示后续的费用分析，以该节点为根节点进行分析。

步骤 2：点击费用分析记录管理窗口的  图标，新增一个分析记录。分析方法选择 EBS。名称命名为“XXX 系统 EBS”。点击打开，界面的最左边是产品结构树，然后是参数估计项列表，右边是参数估计项对应的费用估算模型。

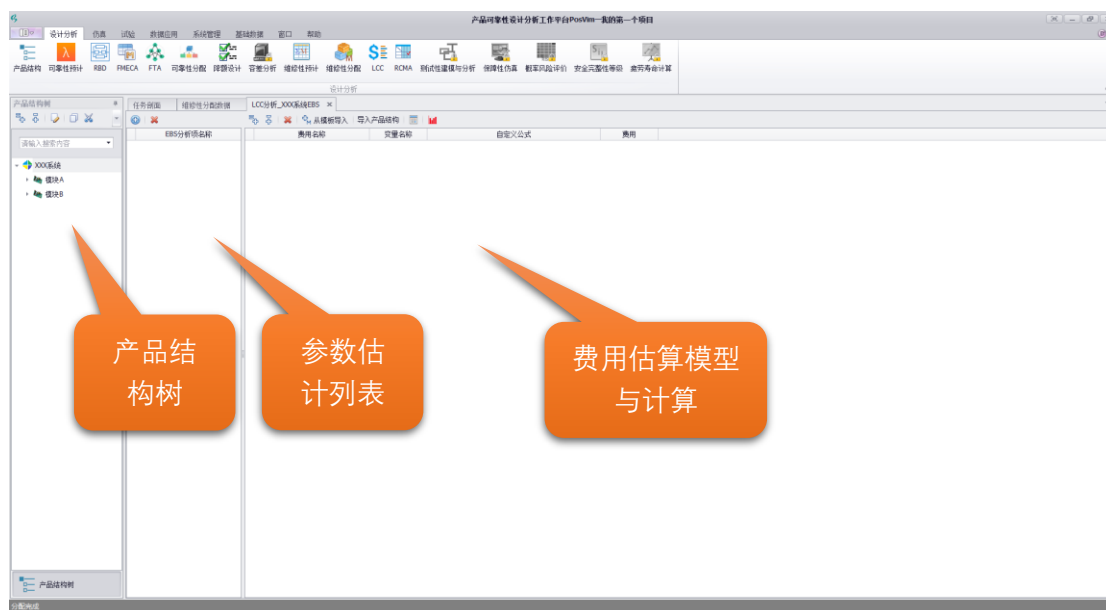


图 11-1 费用分析界面

11.2 使用 EBS 费用估计法

EBS 费用估计法，核心是将产品全生命周期的费用，与产品的各个环节的相关参数或者工艺进行关联，从而构建费用与各项输入参数之间的关系模型。要建立关联关系模型，首先需要进行估算结构的层层分解，分解到具体的基本结构或者设备，然后通过基本结构或设备的相关参数来拟合或者估算出费用与相关参数的关系。

EBS 费用估计法的概要思路是：将估算结构（比如划分为研发费）层层分解，直至分解至一种基本的结构或设备，这种基本的结构或设备的费用可以用数学关系式估算得到。估算分解结构的顶层结构是费用元素，主要包括：电子器件的费用、机械结构件的费用、外购件的费用、装配费用、改装费用、微电路(微电子)芯片的费用、设计综合费用、硬件软件综合费用、装配与测试费用等等。

估算分解结构的进一步分解按装备系统的组成进行。例如对于飞机，首先可以分解为机翼、机身、起落架、机载航空电子系统、航空武器系统等较大级别的

分系统，进一步又可对每一个分系统进行分解，如机翼可分解为主机翼、垂直尾翼、水平尾翼等；机身可分解为座舱、设备舱、燃油系统、液压系统、空调系统等；机载航空电子系统可分解为雷达系统、显示系统、导航系统、电子对抗系统等。分解后的每一分系统或设备按需要可进一步分解，直至有确定的输入参数为止。对于每一分系统或设备，都对应上面的各项费用元素，当然如果没有某项费用则可以在程序中直接跳过，不予考虑。

EBS 是以 WBS（工作分解结构）为基础建立的，同时又和 WBS 有所不同：WBS 虽然也可以根据需要进行裁剪，但总体来说是比较固定的，国军标有明确的规定；EBS 则基本根据需要确定，分解为哪些分系统，分解到哪一级，如何分解取决于系统或设备性能参数的确定。一个分系统或设备如果有了明确的可以全面衡量其性能的参数(包括物理参数)就可以用参数关系式进行估算，如果这一分系统或设备还可进一步分解为具有明确性能参数的子系统或设备，则可将这一分系统或设备作为一个相对独立的系统，对其中的每一子系统或设备继续应用参数关系式进行估算，并考虑硬件软件综合费用、装配与测试费用等费用元素，最后累加得到一个更精确的估算结果。

假设现在需要对“XXX 系统”进行费用估算，方法选择 EBS。费用项假设设定为 3 项，即电子器件的费用、机械结构件的费用、外购件的费用。假设操作步骤如下：

步骤 1：在 EBS 分析项（参数估算项）列表，点击 ，新增 3 个分析项，命名为电子器件的费用、机械结构件的费用、外购件的费用。

EBS分析项	
图片	名称
	电子器件的费用
	机械结构件的费用
	外购件的费用

图 11-2 EBS 分析项设置

步骤 2: 选中 EBS 分析项的“电子器件的费用”，接下来要将与该费用项关联的产品关联起来。点击选中界面最左边的产品结构树的模块 B，然后点击工具栏的 **导入产品结构** 图标，导入模块 B 的产品结构。假设模块 B 中的 RJ4501 器件是外购件、M01 是机械件、RJ4502 是电子器件。导入了产品结构后，需要删除不属于“电子器件的费用”类的产品。找到刚到入的产品结构的 RJ4501 器件，点击工具栏的  或者右键选择“删除”，同理，找到 M01 并删除。

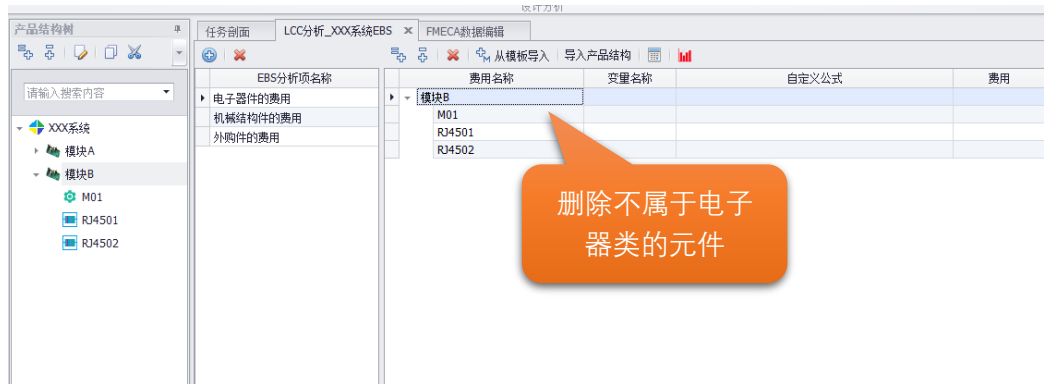


图 11-3 费用与产品关联

步骤 3: 选中 EBS 分析项的“机械结构件的费用”，接下来要将与该费用项关联的产品关联起来。点击选中界面最左边的产品结构树的模块 B，然后点击工具栏的 **导入产品结构** 图标，导入模块 B 的产品结构。导入了产品结构后，需要删除不属于“机械结构件的费用”类的产品。找到刚到入的产品结构的 RJ4501 器件、RJ4502 器件，删除。

步骤 4: 选中 EBS 分析项的“外购件的费用”，接下来要将与该费用项关联的产品关联起来。点击选中界面最左边的产品结构树的模块 B，然后点击工具栏的 **导入产品结构** 图标，导入模块 B 的产品结构。导入了产品结构后，需要删除不属于“外购件的费用”类的产品。找到刚到入的产品结构的 RJ4502 器件、M01，删除。

PS: 由步骤 2-步骤 5 的操作过程可以看出此可以看出，EBS 分解的第一层是费用，第二层是费用关联的产品结构，不同费用项关联的产品结构可以不相同，其目的就是要找到费用与相匹配的产品结构，通过产品的相关参数估算和拟合出与费用之间的关系模型。这也是与传统 CBS 以及 WBS 不同之处。

步骤 5: 选中“机械结构件的费用”，然后双击右边的“M01”节点，弹出 EBS 树节点编辑窗口。选择参数估计法页面，输入重量、加工精度、运行环境、工艺成熟度等参数，一般需要添加多条记录才可以进行参数估计，然后点击估计费用，即可估算出制造复杂度。根据估算出的制造复杂度，利用费用 C 与复杂度的关系模型，得到当前参数下的费用计算结果。



复杂度估计	选中	费用名称	重量	制造复杂度	费用
	☒	M01	20	3.575600196...	

图 11-4 参数估计（制造复杂度估计）

有时候通过参数拟合的方式，得到费用与各项参数的关系模型比较困难。所以，除了使用参数估计法得到费用值，PosVim 提供了相应的经验模型，可以直接使用这些经验模型进行费用估算。

步骤 6：同理，进行电子器件的费用、外购件的费用的计算。

点击  即可计算全部的费用。

11.3 使用 CBS 费用估计法

11.3.1 创建费用分析记录

参考 11.1 小节，创建费用分析记录，费用分解方法选择 CBS。然后打开。



图 11-5 创建 CBS 费用分析记录

11.3.2 费用分析

要使用 CBS 方法进行费用分析，首先需要对产品的费用结构组成进行分析。假设“XXX 系统”的费用第一层包括投资费 C_{tz} 、运用维修费 C_{yw} 。投资费又可以分为设备与材料费 C_{sc} 、工程费 C_{gc} 、安装费 C_{az} ，运用维修费 C_{yw} 又

可以分为修复维修费 Cxf、定期维修费 Cdq。根据上述费用分解结构，应用 CBS 方法进行“XXX 系统”费用分析的步骤如下：

步骤 1：打开费用分析记录后，在左边的费用分析界面，点击  图标或者右键选择添加子节点，按照如下图所示，添加费用结构树。



费用名称	变量名称
投资费	Ctz
设备与材料费	Csc
工程费	Cgc
安装费	Caz
运用维修费	Cyw
修复维修费	Cxf
定期维修费	Cdq

图 11-6 创建 CBS 结构

步骤 2：设置各底层费用项的费用值。双击“设备与材料费”，弹出的窗口的“费用”栏输入 20，同理，工程费、安装费分别输入 50、10。

步骤 3：使用自定义公式计算费用。双击投资费，在弹出的窗口右边，分别双击变量 Csc、Cgc、Caz，按照如下格式定义费用 Ctz 与变量 Csc、Cgc、Caz 的费用关系。点击保存。



父项名称: * 费用名称: 投资费

变量名称: Ctz 费用:

自定义公式: $Csc + Cgc + 10 * Caz$

函数及变量: Csc, Cgc, Caz, +, -

保存 取消

图 11-7 自定义费用公式

步骤 4：同理，设置运用维修费下面的底层参数费用值，然后通过自定义公

式计算运用维修费。

步骤 5: 点击  即可计算全部的费用。

任务剖面		LCC分析_XXX系统EBS	LCC分析_XXX系统CBS		
		从模板导入	导入产品结构		
	费用名称	变量名称	自定义公式	费用	
▼	投资费	Ctz	Csc+Cgc+10*Caz	170	
	设备与材料费	Csc		20	
	工程费	Cgc		50	
	安装费	Caz		10	
▶	运用维修费	Cyw	Cxf+Cdq	45	
	修复维修费	Cxf		15	
	定期维修费	Cdq		30	

图 11-8 计算总费用

11.4 敏感性分析

以 11.3 小节计算得到的 CBS 费用分析结果为例，现需要分析工程费对于项目总经费的影响。点击工具栏上方的 ，在弹出的敏感性分析界面，敏感费用项选择“工程费”，费用下限设置 25，步长为 1。点击敏感性分析按钮，即可得到敏感性分析结果。本案例构建的公式、模型相对比较简单，对于实际工程，费用公司、计算模型非常复杂，使用敏感性分析可以直观看到各费用参数项对总费用的影响，包括线性的、非线性的影响。

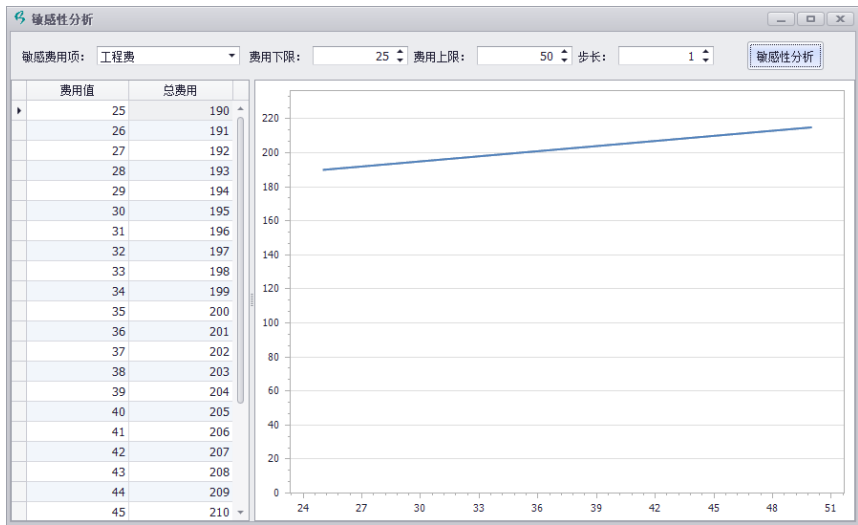


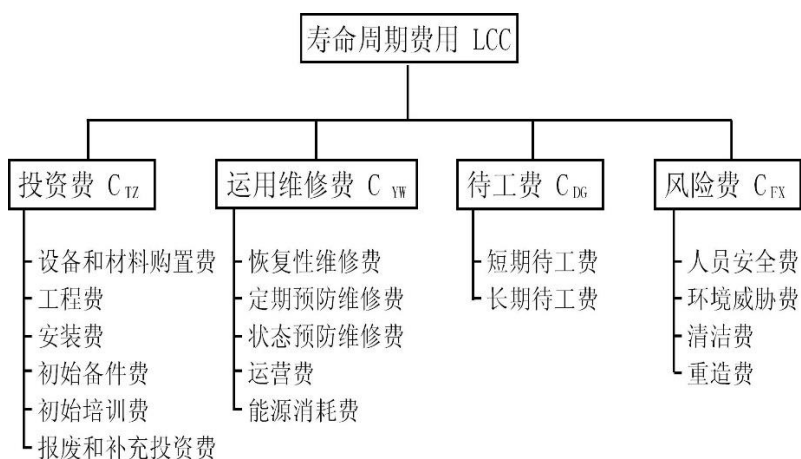
图 11-9 敏感性分析

11.5 其他说明

(1) PosVim 的寿命周期费用分析模块 (LCC)，不仅支持国际先进、主流的参数估计法 (或称为估算分解法 EBS)，也支持传统的费用分解法 (CBS)，支持 GJB1364 装备费用-效能分析、GJB/Z 20463 军用雷达寿命周期费用估算手册的费用分解模型与费用管理。

(2) 为更好指导使用 CBS 方法进行费用分析，下面给出北欧轨道交通设备的寿命周期费用分解模型。

费用总模型：



投资费用模型：C_{TZ}

- $C_{TZ} = C_{SC} + C_{GC} + C_{AZ} + C_{BJ} + C_{PX} + C_{CB}$
- C_{SC}: 设备和材料费
- C_{GC}: 工程费
- C_{AZ}: 安装费
- C_{BJ}: 初始备件费
- C_{PX}: 初始培训费
- C_{CB}: 处置和补充投资费

运用维修费用模型 C_{YW}:

- $C_{YW} = C_{XF} + C_{DQ} + C_{ZT} + C_{HQ} + C_{NH}$
- C_{XF} : 修复性维修费用
- C_{DQ} : 定期预防性维护费用
- C_{ZT} : 状态预防性维护费用
- C_{HQ} : 后勤管理费用
- C_{NH} : 能源消耗费用

修复性维修费用 C_{xf} :

- $C_{XF} = N_{XF}(T_{XGS} * C_{GS} + C_{BJ}) + C_{XH}$
- N_{XF} : 修复性维修次数
- T_{XGS} : 每次修复性维修所需的平均工时总数; $T_{XGS} = MTTR * R$; $MTTR$ 为平均修复时间; R : 为修复性维修平均所需要的人员数目。
- C_{GS} : 每次修复性维修人工费
- C_{BJ} : 每次修复性维修备件费用
- C_{XH} : 每次修复性维修的后勤保障费用

定期预防维修费用 C_{dq} :

- $C_{DQ} = N_{DQ}(T_{DQS} * C_{GS} + C_{DBJ}) + C_{DH}$
- N_{DQ} : 定期预防维修次数
- T_{DQS} : 每次定期预防维修所需的平均工时总数;
- C_{GS} : 每次定期预防维修人工费
- C_{DBJ} : 每次定期预防维修备件费用
- C_{DH} : 每次定期预防维修的后勤保障费用

状态预防性维护费用 C_{zt} :

- $C_{ZT} = T_{ZG} * C_{GS} + C_{ZB} + C_{ZH}$
- T_{ZG} : 状态预防修的工时数
- C_{GS} : 每个维修工时的人工费
- C_{ZB} : 状态预防修的备件费
- C_{ZH} : 状态预防修的后勤保障费, 其中包括状态检测设备的运用维修费用。

后勤管理费用 C_{hq} :

- $C_{HQ} = C_{HQ} + C_{YY} + C_{PX} = T_{HQ} * C_{HGS} + T_{YY} * C_{YYS} + T_{PX} * C_{PGS}$
- C_{HQ} 、 C_{YY} 、 C_{PX} : 后勤、运用、培训费用
- T_{HQ} 、 T_{YY} 、 T_{PX} : 后勤、运用、培训工时数
- C_{HGS} 、 C_{YYS} 、 C_{PGS} : 后勤、运用、培训工时的人工费

待工费用 C_{dg} :

- $C_{DG} = N_{DD} * C_{DG} + N_{CD} * C_{DG}$

- N_{DD} :引起短期待工的次数
- C_{DG} :每次短期待工费用
- N_{CD} :引起长期待工的次数
- C_{DG} :每次长期待工费用

风险费用 C_{FX} :

- C_{FX} : 风险费用（可能事故或者其它意外事件而发生的费用）

- $C_{FX} = N_{FX} * C_{FX}$

- N_{FX} : 产品故障引起的风险事件或事故的次数
- C_{FX} : 一次风险事件或事故所发生的费用

12 以可靠性为中心的维修分析 RCMA

PosVim 的以可靠性为中心的维修分析 RCMA 模块,符合 GJB 1378A-2007 标准,支持 MSG-3 的维修决策模型。

根据 GJB 1378A 标准,对于系统、设备类,以可靠性为中心的维修分析 RCMA 的分析流程为(对于结构类,参见 12.4 小节):

a) 确定以可靠性为中心的维修分析项目。

b) 对以可靠性为中心的维修分析项目按 GJB/Z 1391 进行故障模式和影响分析(见第 6 节的 FMEA 分析流程)。分析时应重点考虑以可靠性为中心的维修分析项目的功能、功能故障、故障原因和故障影响。

c) 应用逻辑决断图确定预防性维修工作类型。针对以可靠性为中心的维修分析项目各功能故障原因应按逻辑决断图的流程进行分析,选择适用而有效的预防性维修工作类型;对于没有找到适用的和有效的维修工作类型的项目应根据其故障后果的严重程度确定是否更改设计。

d) 确定预防性维修工作间隔期。应依据零部件、元器件的可靠性数据、类似项目的经验或生产商的建议,确定预防性维修工作的间隔期。对于没有这些数据的,可根据工程判断暂定其初始间隔期。对于有安全性或重大任务性和经济性后果的故障,确定其预防性维修工作间隔期时,应建立相应的模型,定量评估。

e) 提出预防性维修级别的建议,预防性维修级别的选择可参照 GJB 2961,并结合装备的作战和使用要求、维修的经济性等条件提出建议,除特殊需要外,一般应将预防性维修工作确定在耗费最低的维修级别。

f) 对非重要功能产品,应按以往类似项目的经验或承制方建议,确定是否进行预防性维修工作,如果需要,应确定其所需预防性维修工作类型和间隔期,提

出维修级别的建议。

注：关于确定以可靠性为中心的维修分析项目，可根据实际情况确定产品结构中哪些需要开展分析；关于对以可靠性为中心的维修分析项目按 GJB/Z 1391 进行故障模式和影响分析，本手册[第 6 节](#)详细介绍了如何开故障模式和影响分析(FMEA)。这里假设已经确定了分析对象以及完成了 FMEA 工作。

12.1 逻辑决断图分析

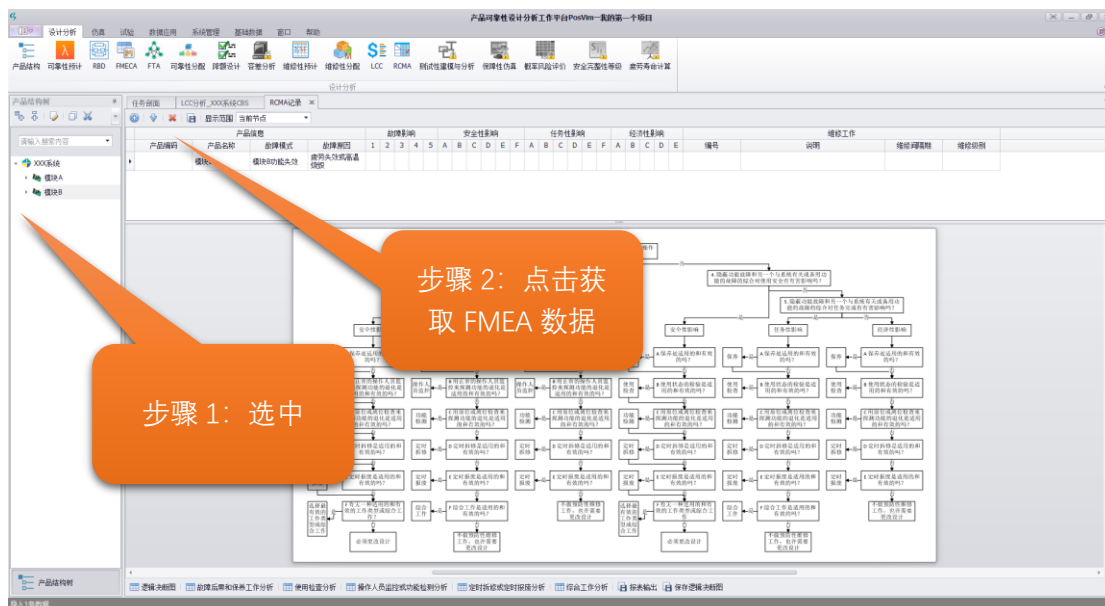
开展可靠性为中心的维修分析 RCMA 分析工作，首先需要应用逻辑决断图对产品各层次的元件进行预防性维修工作类型的判断。

假设需要对“XXX 系统”的模块 A 和模块 B 进行预防性维修工作类型判断。

操作步骤如下：

步骤 1：首先确认您当前打开了名为“我的第一个项目”的项目，并进入了 RCMA 模块。

步骤 2：点击最左边的产品结构树中的“模块 B”节点，然后点击工具栏上的  图标，获取模块 B 的 FMEA 分析结果。如下图所示。

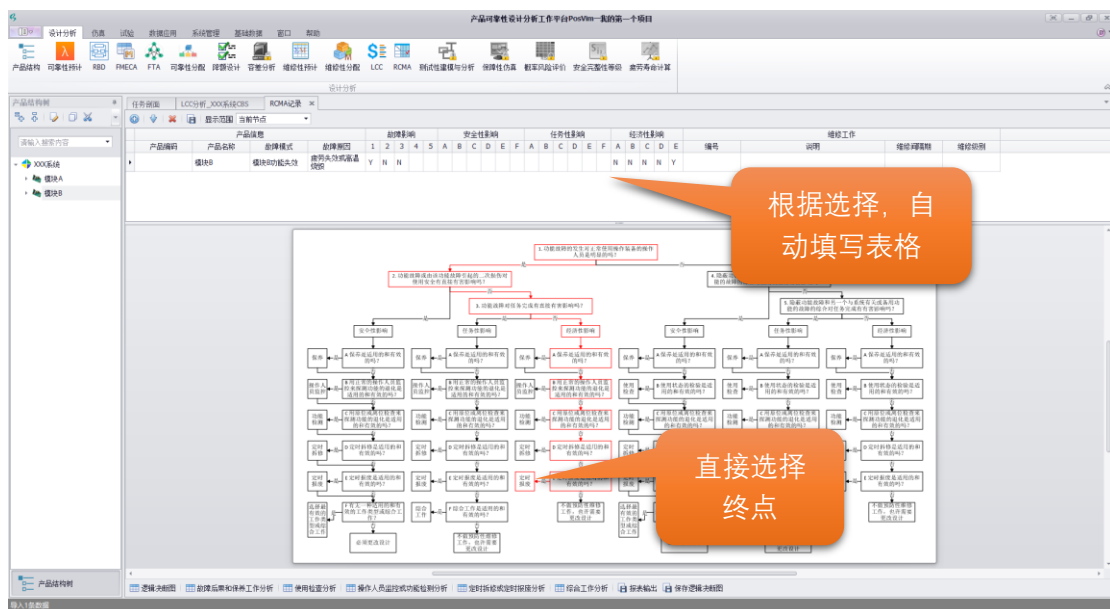


步骤 3: 根据主界面的逻辑决断图流程，逐步进行判断，或者直接选择最终节点，确定其维修工作类型。

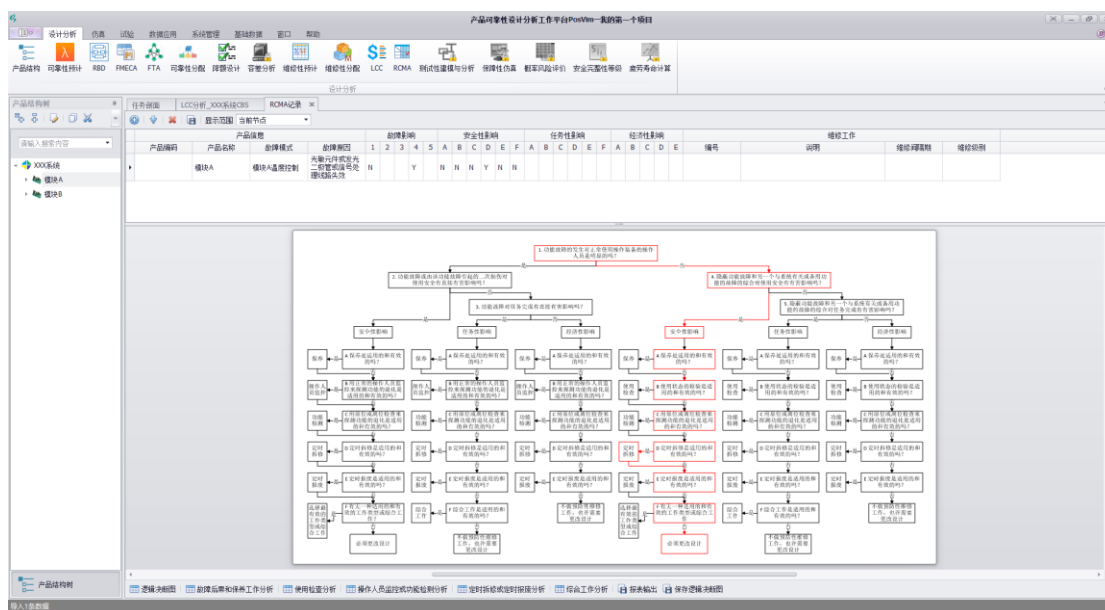
单步逐步判断流程如下：首先点击决策图的根节点，会弹出提示框，让您选择是/否。然后根据您选择的选项，顺着路线继续逐个点击，选择即可。

多步判断/直接选择最终节点的流程如下：多步或者直接最终节点判断的方法，适用于比较容易判断的情况下，无需采用单步逐步进行判断。例如，通过判断，直接认为该模块 B 定时报废选项比较合理，然后选择决策图中间的“E 定时报废是使用和有效的吗”，双击，弹出了从根节点到该节点的所有路线判断结果，如果确认，那么系统直接帮您选择定时报废选项，并自动记录所有的判断路线结果。如下图所示。

假设模块 B，我们通过判断（单步/逐步或者直接选择的方式），确定该模块的预防性维修方式是定时报废。



步骤 4: 点击左边产品结构树的“模块 A”节点，然后点击工具栏上的  图标，获取模块 A 的 FMEA 分析结果。与模块 B 同理，通过逻辑决断图判断，选择其维修工作类型为“定时拆修”，而且必须更改设计。



12.2 确定预防性维修间隔期

步骤 5 (接上述步骤 4): 通过逻辑决断图分析, 确定了模块 A 的维修方式是定时拆修。点击维修间隔期, 输入维修间隔期 1950 小时。预防性维修间隔期的确定, 可参考 GJB1378A 的附录 A1.4、附录 E。例如, 已知模块 A 服从正态分布 ($\mu=2140$, $\sigma=50$), 且要求模块 A 的故障概率 P_f 小于 $10E-4$, 那么可以通过以下公式盐酸或者反算出预防性维修间隔期。通过下面的公式验证, 说明确定维修间隔期 1950 小时是能够满足要求的。

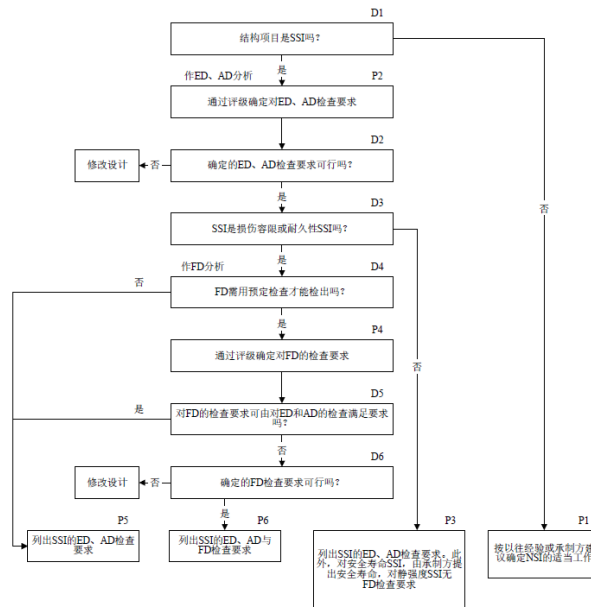
$$P_f = \phi\left(\frac{1950 - 2140}{50}\right) = 7.2 \times 10^{-5} < P_{ac} = 10^{-4}$$

12.3 预防性维修级别的选择

确定了维修工作类型, 以及维修间隔期后, 预防性维修级别的选择可参照 GJB 2961。点击“维修级别”栏目, 选择对应的维修级别即可。

12.4 结构以可靠性为中心的维修分析

针对结构类产品，依据 GJB1378A 标准，可按照结构以可靠性为中心的维修分析流程开展。



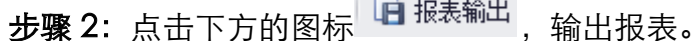
12.5 故障后果和保养工作分析

前述针对模块 A 和模块 B，根据逻辑决断图进行了维修工作类型的判断，以及完成预防性维修间隔期确定、维修级别的确定后，工程上一般需要对维修分析结果进行汇总、归类或者进行更细化的分析，输出所需的报表、清单，包括故障后果和保障工作分析、使用检查分析、操作人员监控或功能检测分析、定时拆修或定时报废分析、综合工作分析等。

假设通过前面 12.1-12.4 小节的操作步骤，完成了模块 A 和模块 B 的维修分析。按照如下操作步骤进行故障后果和保障工作分析结果汇总：

步骤 1：在左方的产品结构树中，选中“XXX 系统”节点，点击界面下方的

 图标，切换到故障后果和保障工作分析结果页面，在工具栏的



与故障后果和保养分析同理，假设通过前面 12.1-12.4 小节的操作步骤，完成了模块 A 和模块 B 的维修分析。按照如下操作步骤进行使用检查分析结果汇总：

102

任务名称

LEC分析、XOQ和HCRS

和PMA记录

✕

📍📌🚩📄

显示范围

当前节点的子节点

▼

产品信息		故障影响		安全故障影响		任务性故障影响		经济性故障影响		维修工作													
产品编码	故障模式	故障原因	1	2	3	4	S	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	编号	说明	维修周期	维修依据	
*	螺栓	螺栓的配头劣化 螺母头劣化或紧固件 缺陷	Y	N	N										N	Y	N	N	Y			1000	基础版

使用位置分析记录表

产品信息		维修工作使用性		维修工作		维修工作特性						
产品编码	产品名称	故障模式	故障原因	故障后果	故障产品故障	维修工作说明	维修周期	维修级别	故障频率	故障时间	有无经济效果	是否适用
*	螺栓	螺栓的配头劣化 螺母头劣化或紧固件 缺陷	经济			1000	基础版		0.570977		是	是

查看视图

故障危害和维修工作分析

使用位置分析

结合人员品控或产能控制分析

定时跟踪或定时跟踪分析

综合工作分析

数据输出

保存草稿

删除记录

报表输出

12.7 操作人员监控或功能检测分析

与故障后果和保养分析同理，假设通过前面 12.1-12.4 小节的操作步骤，完成了模块 A 和模块 B 的维修分析。按照如下操作步骤进行操作人员监控或功能检测分析结果汇总：

步骤 1：在软件界面左方的产品结构树中，选中“XXX 系统”节点，点击界面下方的  图标，切换到操作人员监控或功能检测分析页面，在工具栏的  图标选择“当前节点的子节点”，汇总“XXX 系统的”操作人员监控或功能检测分析结果。如下图所示（由于本例中，模块 A 和模块 B 选择的维修类型都不涉及监控、检测工作所以汇总后的结果为空）。个别栏目需要补充信息，比如“是否适用”栏目。

任务树图

LCC分析_XXX系统CBS

ROMA记录

显示范围 当前节点的子节点

产品信息				故障影响					安全性影响					任务性影响					经济性影响					维修工作					
产品/编码	产品名称	故障模式	故障原因	1	2	3	4	5	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	编号	说明	维修周期/频率	维修级别

操作人员监控或功能检测分析记录表																			
产品信息				故障影响					维修工作适用性					维修工作		维修工作有效性			
产品/编码	产品名称	故障模式	故障原因	故障后果	探测到自抗故...	可探测到的量在...	量在故障运行功...	是否为操作人...	维修工作说明	维修周期/频率	维修级别	故障的维修率	故障的可接受	有无经济效果	是否适用				

编辑决策树图

故障后果和保养工作分析

使用检查分析

操作人员监控或功能检测分析

定时拆修或定时报废分析

寿命工作分析

报表输出

保存编辑决策树图

步骤 2：点击下方的图标 ，输出报表。

12.8 定时拆修或定时报废分析

与故障后果和保养分析同理，假设通过前面 12.1-12.4 小节的操作步骤，完成了模块 A 和模块 B 的维修分析。按照如下操作步骤进行定时拆修或定时报废分析结果汇总：

步骤 1：在软件界面左方的产品结构树中，选中“XXX 系统”节点，点击界面下方的  图标，切换到定时拆修或定时报废分析页面，在工具栏的  显示范围 当前节点的子节点 图标选择“当前节点的子节点”，汇总“XXX 系统的”定时拆修或定时报废分析结果。如下图所示。个别栏目需要补充信息，比如“是否适用”栏目。

任务剖面

LCC分析_XXX系统CBS

RCMA记录

显示范围 当前节点的所有子节点

产品信息				故障影响					安全性影响					任务性影响					经济性影响					维修工作					
产品编码	产品名称	故障模式	故障原因	1	2	3	4	5	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	编号	说明	维修间隔期	维修级别
	模块B	模块B功能失效	传感器失效或高温烧毁	Y	N	N																						1000	基层级
	模块A	模块A温度控制	光源元件或发光二极管或信号处理线路失效	N		Y			N	N	N	Y	N	N													拆卸更换	1950	基层级

定时拆修或定时报表分析记录表

产品信息				维修工作适用性				维修工作				维修工作有效性			
产品编码	产品名称	故障模式	故障原因	故障后果	项目的耗时	项目工作至耗...	能否构项目依...	维修工作说明	维修间隔期	维修级别	故障的概率	故障的可修复	有无经济效果	是否适用	
	模块B	模块B功能失效	传感器失效或高温烧毁	经济					1000	基层级	0.970977		是	是	
	模块A	模块A温度控制	光源元件或发光二极管或信号处理线路失效	安全隐患					1950	基层级	0.3442523		是	是	

逻辑决策图 故障后果和保养工作分析 使用检查分析 操作人员监控或功能检测分析 定时拆修或定时报表分析 综合工作分析 报表输出 保存逻辑决策图

步骤 2： 点击下方的图标  报表输出，输出报表。

13 加速寿命试验设计与分析

13.1 加速寿命试验设计与分析模块简介

随着科学技术的发展，产品的可靠性水平不断提升，高可靠、长寿命成为当前的产品主要特点。加速寿命试验、加速退化试验是在不改变产品的失效机理基础上，采用加大工作应力或者环境应力的方法，快速获得产品的故障或者退化信息，进而采用加速试验信息外推产品在正常应力水平下的各种可靠性指标、寿命参数。为及时掌握产品的可靠性水平、缩短研发周期、降低研制成本，企业需要采用加速寿命试验、加速退化试验手段快速暴露产品故障问题，以及评估产品可靠性水平，实现产品可靠性增长。

广州宝顺信息科技有限公司结合多年来积累的丰富加速寿命试验工程经验，研发了适用于元件、组件、设备、整机各层次设备的加速寿命与加速退化试验设计与分析软件 PosVim@ALT/ADT。该软件提供包括试验方案设计、方案评估与优化、数据采集与管理、寿命分析与评估等 4 部分功能，为企业实施产品的加速寿命试验、加速退化试验，提供了规范化、流程化的整体解决方案。企业应用 PosVim@ALT/ADT 实施加速寿命试验、加速退化试验方案设计与数据分析，可直观地量化分析产品使用过程中的各应力、因素对产品寿命的影响，可帮助企业快速设计有效的试验方案以达到预期的试验目的（如实现产品可靠性增长、可靠性验证或评估目的），可有效帮助企业减少试验时间，加快产品上市时间，降低产品研发成本，提升产品的可靠性水平，提高产品的鲁棒性。

13.2 加速寿命试验方案设计

假设“XXX 系统”的模块 A 的 EPM703 需要开展加速寿命试验，使用加速寿命试验设计与分析模块进行试验方案设计的操作如下：

步骤 1：确认您当前打开了名为“我的第一个项目”的项目，并切换菜单到

“试验”部分，点击  图标进入加速寿命试验方案设计界面。

步骤 2：在左边的产品结构树中，选中模块 A 下面的 EPM703 元件，点击试验方案设计界面的 ，添加一条试验方案记录。名称为“模块 A 试验方案”。如下图所示。点击保存。



图 13-1 创建试验方案记录

步骤 3：点击保存后，此时，软件弹出试验方案设计向导。可以跟着向导一步一步操作，完成试验方案设计。当然，您也可以直接关闭向导，在试验方案设计界面逐项进行设计。这里假设使用向导进行设计。

步骤 4：在子类选择数字电路（产品类别支持电子、机械元件、组件、模块、分系统、系统等，这里以电子元件为例），然后根据故障机理分析，选择温度作为加速应力。如下图所示。点击下一步。

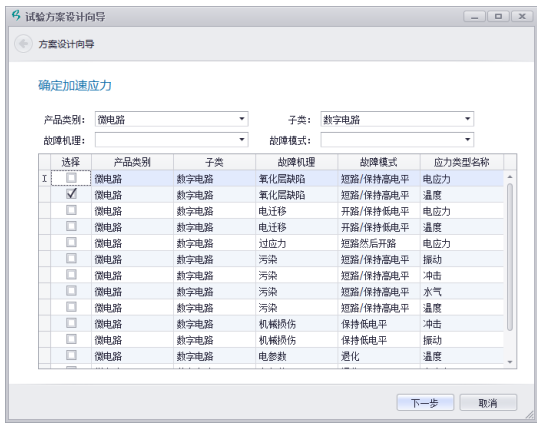


图 13-2 选择敏感/加速应力

步骤 5：设计应力参数。根据前面步骤 4 确定了温度作为加速应力，然后输入温度的使用值和最高值，以及初步的样品总数，其他默认。如下图所示。点击下一步。

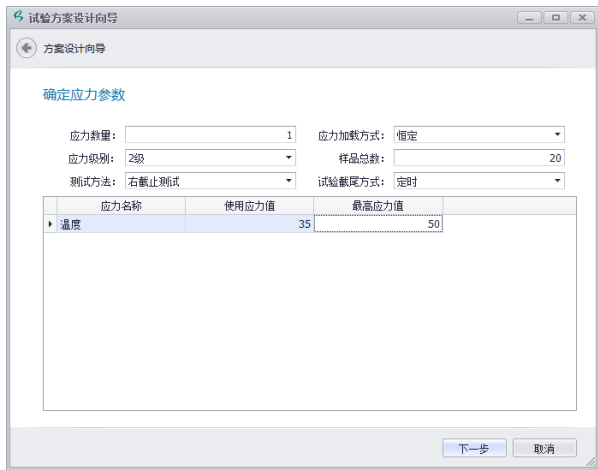


图 13-3 设置应力参数

步骤 6：加速模型选择。当您在步骤 5 点击下一步时，弹出的加速模型选择窗口，已经自动根据前面选择的加速应力，推荐相应的适用的加速模型。您可以选择采用推荐的加速模型，也可以根据您的判断选择其他加速模型，一般可选择默认。点击完成，初步得到了加速寿命试验方案。

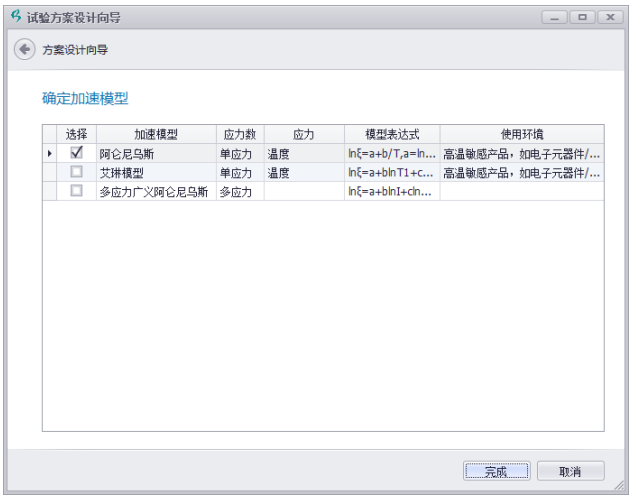


图 13-4 确定加速模型

步骤 7：应力谱设计。假设设计了 3 个温度应力水平进行加速试验。在软件界面的应力谱图界面，点击  图标，分别添加 3 个应力水平，试验截止时间可以填写初步估计值，然后可按 13.3.1 小节的操作流程确定最优的试验截止时间。如下图所示。

应力谱图			
   计算截止时间			
温度	样品数量	截止时间	
35	5	1500	
40	10	1000	
45	5	800	

图 13-5 应力谱设计

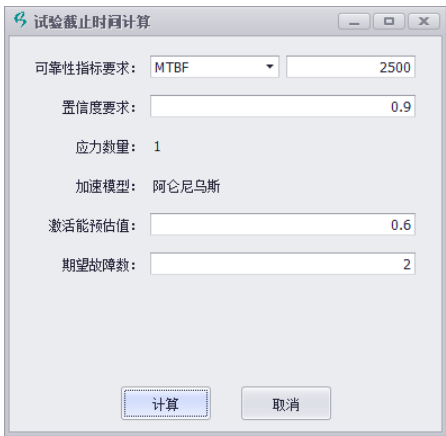
13.3 加速寿命试验方案优化

13.3.1 试验截止时间优化

根据前面的 13.2 小节，设计了初步的加速寿命试验方案，并确定了初步的试验截止时间。假设已知该产品的 MTBF 要求时 2500 小时，置信度 0.9，激活能预估 0.6，可以采用如下操作流程进行试验截止时间的优化。

步骤 1： 点击工具栏的  图标，弹出试验截止时间计算界面。

步骤 2： 输入可靠性指标要求、置信度要求、激活能（预估值）、期望故障数（即期望试验过程中至少出现多少个样品故障）。点击计算，即可得到各应力水平下的试验截止时间。根据计算得到的试验截止时间，结合实际需求，取整后（往大的方向取）即可得到试验时间。这里假设取整后，分别是 1500、950、700 小时。



试验截止时间计算对话框，包含以下输入项：

- 可靠性指标要求：MTBF (下拉菜单)
- 置信度要求：2500 (文本框)
- 置信度要求：0.9 (文本框)
- 应力数量：1 (文本框)
- 加速模型：阿伦尼斯 (下拉菜单)
- 激活能预估值：0.6 (文本框)
- 期望故障数：2 (文本框)

底部有“计算”和“取消”按钮。

图 13-6 试验截止时间计算



应力谱图窗口，显示了试验截止时间计算结果。

温度	样品数量	截止时间
35	5	1329.53
40	10	916.63
45	5	639.39

图 13-7 试验截止时间计算结果

13.3.2 试验方案验证与优化

PosVim 提供了 D/I/O 三种方式的试验方案验证与优化。

13.4 试验数据录入

完成试验方案设计后，按照试验方案开展加速寿命试验。将试验结果录入到

PosVim 的加速寿命试验设计与分析模块。操作流程如下：

步骤 1： 点击菜单栏“试验”部分的  图标。进入数据分析模块。

步骤 2： 新建一个试验数据分析记录。点击 ，新建一个试验数据分析记录。试验方案选择“EPM703 试验方案”，试验编号写“EPM703DATA”。然后点击保存。

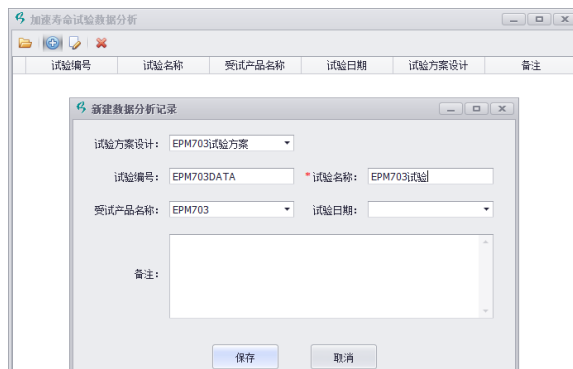


图 13-8 创建试验数据分析记录

步骤 3： 分别录入 3 个应力下的试验数据。如下图所示。然后关闭试验数据录入窗口。

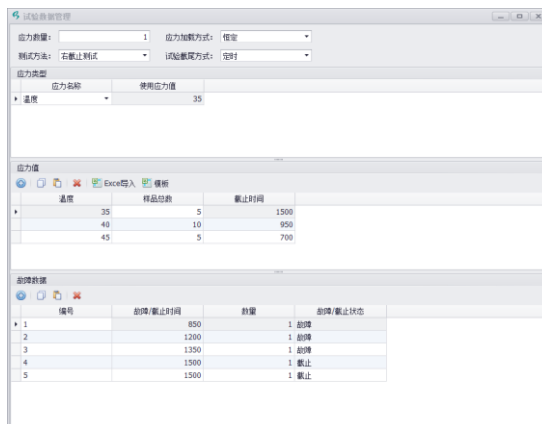


图 13-9 试验数据录入

13.5 数据处理与分析

步骤 4（接前述步骤 3）： 当关闭试验数据记录窗口后，软件自动根据输入的数据

进行处理与分析, 包括异常值检验、散点图、分布检验、分布拟合、加速参数计算、寿命计算等, 可以通过切换页面查看不同的计算结果。

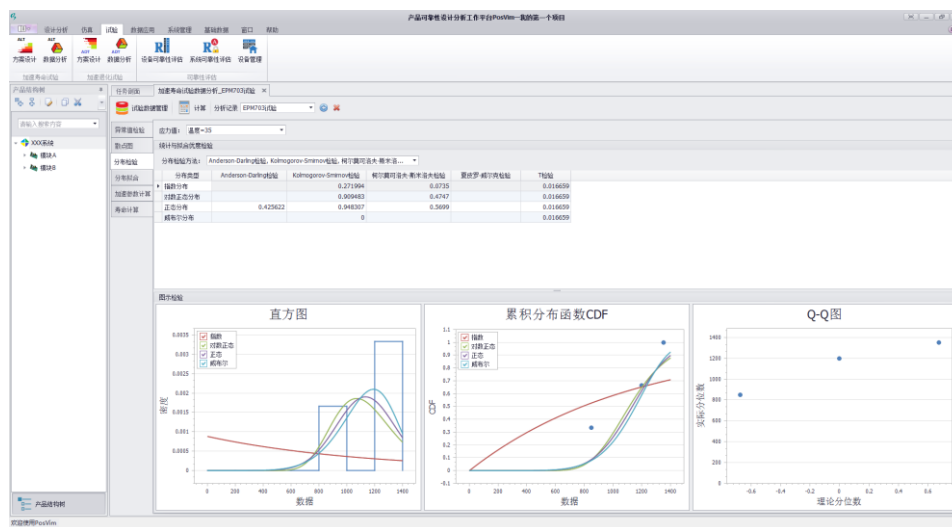


图 13-10 试验数据计算结果

步骤 5: 可以切换不同的应力水平、切换不同的分布类型、不同的参数估算方法（极大似然、最小二乘法），查看对应的计算结果。

14 加速退化试验设计与分析

14.1 加速退化试验方案设计

假设“XXX 系统”的模块 B 的用户方要求在 6 个月时间内，完成对该电子设备的可靠性试验与评估。该产品的可靠性要求是：需要评估该产品在工作温度 80°下，能够满足 15 年（MTBF 大约为 130000h）的使用要求（置信度要求 0.9）。

根据使用要求以及 FMEA 分析，确定该电子设备的故障判据是：与初始值相比，其输出功率下降值大于 0.5（dB）则判定为故障。

通过分析，确定该电子设备的主要敏感应力为温度，且在低温情况下，功率下降值比较缓慢，若使用低温开展试验需要耗费很长的试验时间，很难在 6 个月内完成试验工作。因此，采用 PosVim 的加速退化试验方案设计功能，进行试验方案的设计。

操作步骤：

步骤 1：确认您已打开了名为“我的第一个项目”的项目，选择产品结构树的模块 B，并点击菜单“试验”部分的  图标，进入加速退化试验方案设计界面。

步骤 2：创建试验方案。在试验方案记录创建界面，输入试验方案名称、编号等信息。如下图所示。

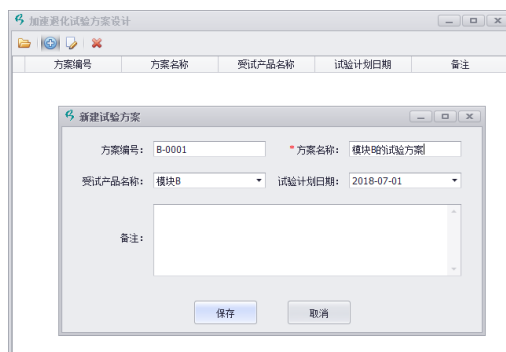


图 14-1 加速退化试验方案记录创建

步骤 3: 在试验方案设计向导处, 选择产品类别“微电路”, 子类选“数字电路”, 敏感应力选择退化类的温度。

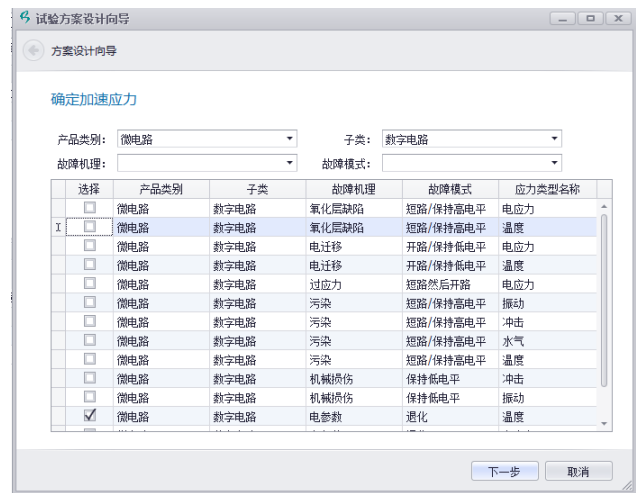


图 14-2 加速应力选择

步骤 4: 在应力参数设计界面, 使用应力输入 80 度, 最高应力 250 度, 样品总数 34 个。考虑该电子设备的使用温度为 80°, 且最高温度为 250°, 选择三级应力策略设计应力进行加速退化试验。考虑操作性, 选择恒定应力以及定时截尾方式试验。

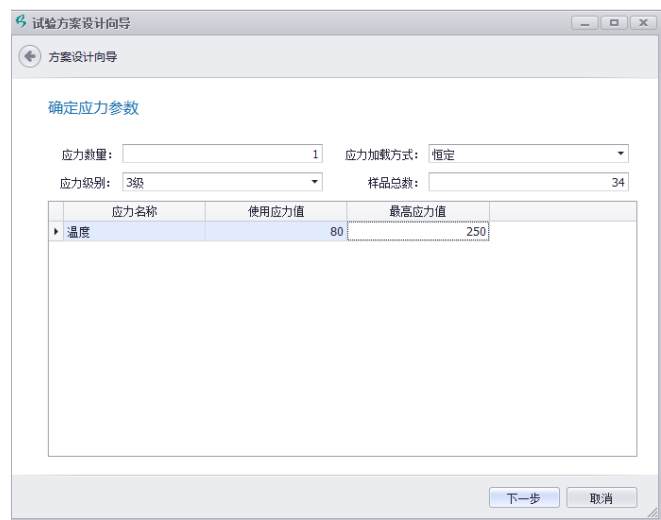


图 14-3 应力参数选择

步骤 5: 根据前面选择的加速应力, 软件自动根据产品特点推荐使用阿仑尼乌斯模型作为加速模型, 默认即可。

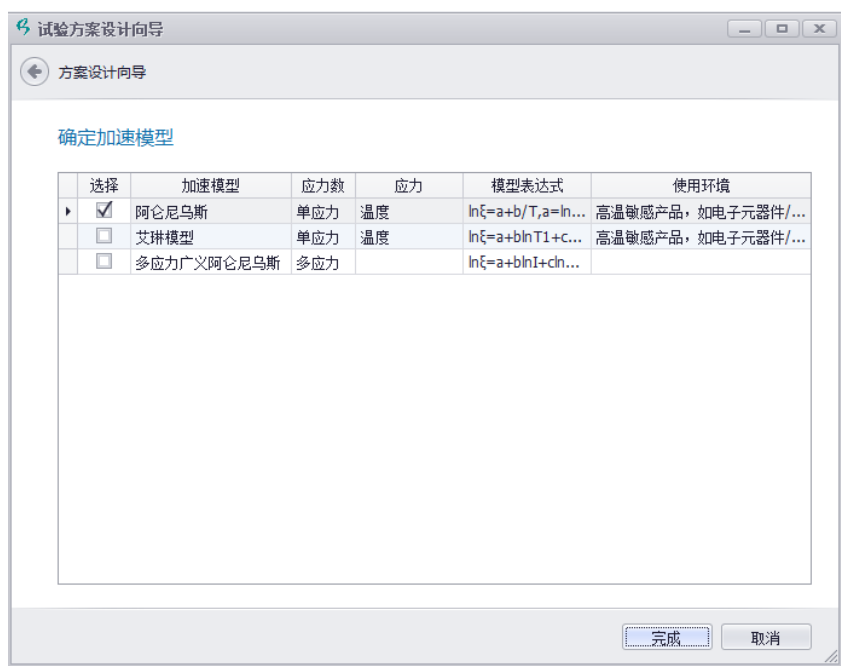


图 14-4 加速模型选取

14.2 加速退化试验方案优化

14.2.1 试验截止时间优化

该电子设备的可靠性要求是 MTBF 为 130000h，且置信度为 0.9。根据前面分析已知，试验应力采用三级应力设计，加速模型是阿仑尼乌斯，激活能根据该单位以往产品的统计数据，取 0.6。试验截止时间优化的操作流程如下：

- 步骤 1：** 点击工具栏的  图标，弹出试验截止时间计算界面。
- 步骤 2：** 输入可靠性指标要求、置信度要求、激活能（预估值）、期望故障数（即期望试验过程中至少出现多少个样品故障）。点击计算，即可得到各应力水平下的试验截止时间。根据计算得到的试验截止时间，结合实际需求，取整后（往大的方向取）即可得到试验时间。这里假设取整后，分别是 4000、2000、1000 小时。

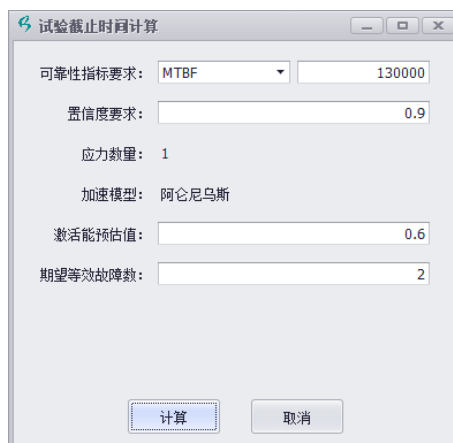


图 14-5 试验截止时间优化

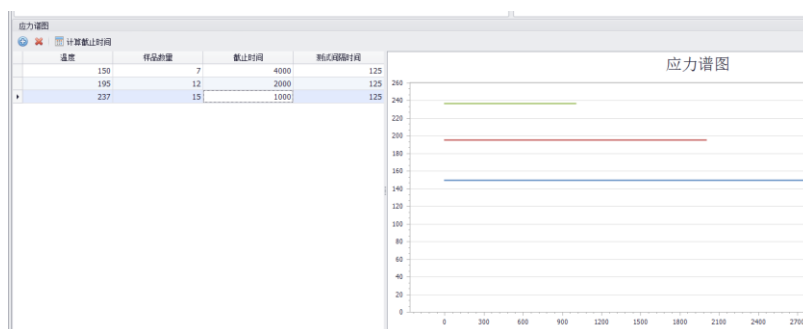


图 14-6 试验截止时间优化

14.2.2 试验方案验证与优化

PosVim 提供了 D/I/O 三种方式的试验方案验证与优化。

14.3 试验数据录入

根据前面的试验方案实施试验后，得到各样本的退化数据。将试验数据以 EXCEL 格式导入到 PosVim 中。

步骤 1: 点击菜单栏“试验”部分的  图标。进入数据分析模块。

步骤 2: 新建一个试验数据分析记录。点击 ，新建一个试验数据分析记录。试验方案选择“模块 B 的试验方案”。然后点击保存。

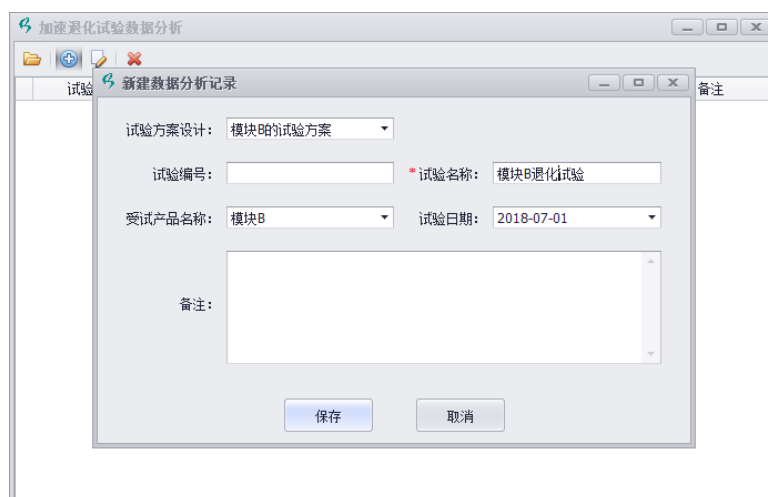


图 14-7 创建试验数据分析记录

步骤 3: 录入试验数据的方式有两种，一种是手工逐个录入，另外一种是通过 EXCEL 格式录入。加速退化试验的数据记录相对较多，这里使用 excel 格式文件导入方式，录入试验数据。

3a: 当步骤 2 点击保存后，会弹出试验数据管理界面（或者点 ），点击窗口的  图标，下载 PosVim 提供的试验数据模板，然后参考该模板的数据样表格式，把试验数据拷贝到 excel 文件中。

3b: 在测试参数填入试验过程中测量的参数名称，以及阈值（输入 0.5）。**注意!!!!输入的测量参数名称必须与 excel 文件的名称一致!!!!,否则无法计算。**

3c: 点击试验数据管理界面的  图标，导入前面编辑的保存有试验数据的 excel 文件。

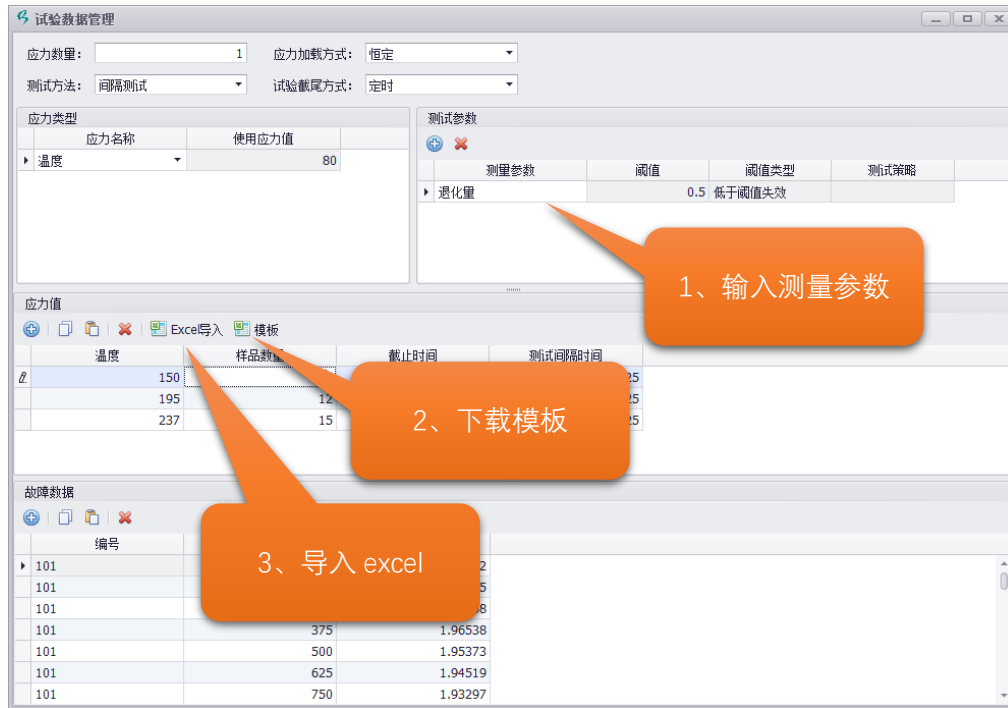


图 14-8 试验数据录入

14.4 数据处理与分析

步骤 4（接前述步骤 3）：当关闭试验数据记录窗口后，软件自动根据输入的数据进行处理与分析，包括退化曲线拟合、伪寿命计算、异常值检验、散点图、分布检验、分布拟合、加速参数计算、寿命计算等，可以通过切换页面查看不同的计算结果。

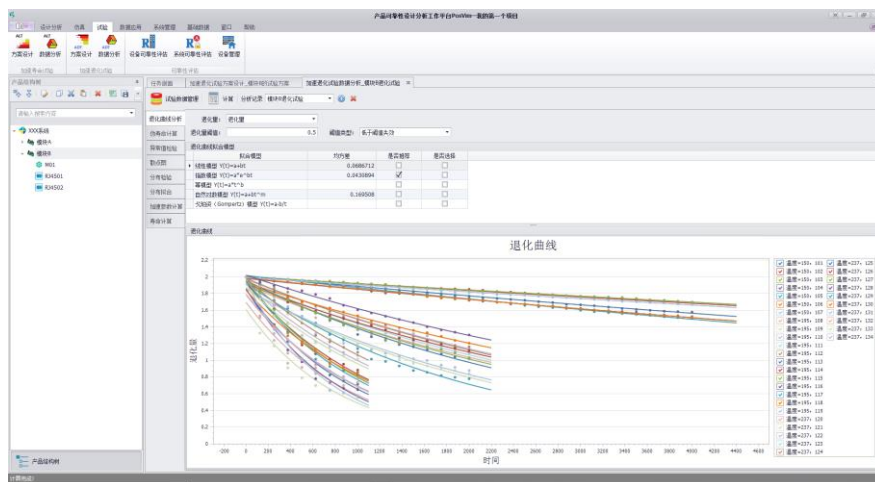


图 14-9 加速退化试验数据计算结果

步骤 5: 可以切换不同的应力水平、切换不同的分布类型、不同的参数估算方法（极大似然、最小二乘法），查看对应的计算结果。

15 威布尔分析

15.1 威布尔分析模块简介

威布尔分析模块，是以 GB34987-2017、IEC 61649-2008 等威布尔分析标准要求为指导，以解决可靠性工程中的常用数据处理工作需求为目的，功能涵盖数据采集、数据预处理、分布检验、分布拟合与参数估计、寿命分析等内容的工具。

威布尔分析模块（PosWei）的关键特征、特点：

- 符合标准与工程要求

符合 GB34987-2017、IEC 61649-2008 等标准要求。

- 适用于所有数据类型

适用于处理工程常见的数据类型，包括完全故障数据、右删失数据、搁置数据、间隔/阶段测试数据、性能退化数据、退化试验数据等。

- 支持丰富的分布类型

支持威布尔分布、正态分布、对数正态分布、指数分布等分布类型的数据处理及分布拟合、参数估计。

- 满足不同应用使用场景

适用于可靠性试验数据的处理、加速寿命试验数据处理、加速退化试验数据处理、产品运行故障或退化数据处理等场合。

- 全面的预处理与检验分析

提供包括早期失效判断、异常值检验等预处理功能，以及多达 5 种的分布检验手段，全方位进行分布检验。

- 丰富的数据与图表输出

提供包括参数估计结果、可靠度、失效率、MTBF、CDF、BX%寿命、置信限等多种多样的数据与图表输出。

15.2 创建威布尔分析记录

假设模块 A 开展了可靠性试验，现需要对试验数据进行分析，并计算其 B10 寿命。该模块 A 的 15 个样本分别进行 300 次循环测试，测试过程中测量产品的阻值是否超标，如果阻值超标即认为该产品失效。该产品的测试结果如下：300+、239、300+、288、137、300+、258、175、300+、207、102、153、276、279、300+。标记 300+ 的数据表示 300 次循环测试结束后，样品尚未失效。

现选择威布尔分布、0.90 置信度（双侧），分别使用极大似然法、最小二乘法，使用威布尔分析模块进行计算。

步骤 1：确认您当前打开了名为“我的第一个项目”的项目。

步骤 2：从菜单的“数据应用”中点击  图标，在新建威布尔分析记录窗口输入分析名称“模块 A”。如下图所示。



图 15-1 创建威布尔分析记录

15.3 录入数据

威布尔分析模块的数据录入，提供了两种方式，一种是手工逐个添加；一种是通过 excel 文件格式导入方式录入。

手工方式录入：创建完威布尔分析记录后，切换到数据录入页面，点击工具栏上的  图标，按照如下图所示录入数据



任务剖面 威布尔分析_模块A x

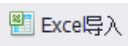
计算

数据录入 数据类型: 寿命数据

异常值检验 添加 复制 粘贴 删除 Excel导入 模板

分布检验	编号	故障/截止时间	数量	故障/截止状态
分布拟合	1	300	1	截止
分析结果	2	239	1	故障
	3	300	1	截止
	4	288	1	故障
	5	137	1	故障
	6	300	1	截止
	7	258	1	故障
	8	175	1	故障
	9	300	1	截止
	10	207	1	故障
	11	102	1	故障
	12	153	1	故障
	13	276	1	故障
	14	279	1	故障
	15	300	1	截止

图 15-2 录入数据

EXCEL 文件格式导入：创建完威布尔分析记录后，切换到数据录入页面，点击工具栏上的  图标并选择寿命数据类模板，下载 PosVim 提供的 EXCEL 格式的数据模板。把试验数据按照模板样式进行填写。然后点击工具栏上的  图标，导入编辑好的 excel 文件即可。

15.4 数据计算与分析

点击工具栏上的  图标，即可进行数据计算。计算完成后，通过切换异常值检验、分布检验、分布拟合、分析结果页面，查看相应的数据计算与分析结果。

15.4.1 异常值检验

无论是对寿命数据处理，还是对退化数据进行处理，通过试验、测试或者其他渠道获得相应的数据后，首先需要进行异常值检验。PosVim 的威布尔分析模块的异常值检验包括是否有早期失效数据、是否有奇异值/异常值存在等判断。

其中，是否存在异常值的判断方法是采用箱图法，判断依据提供了两种方式，使用过程中可以根据要求选择相应的判断依据。

默认情况，若原始数据存在异常值，则会剔除异常值，后续的计算使用剔除异常值后的数据进行可靠性分析、寿命计算。若您不想剔除异常值，把

☒ 是否剔除异常值 的勾选去掉即可。

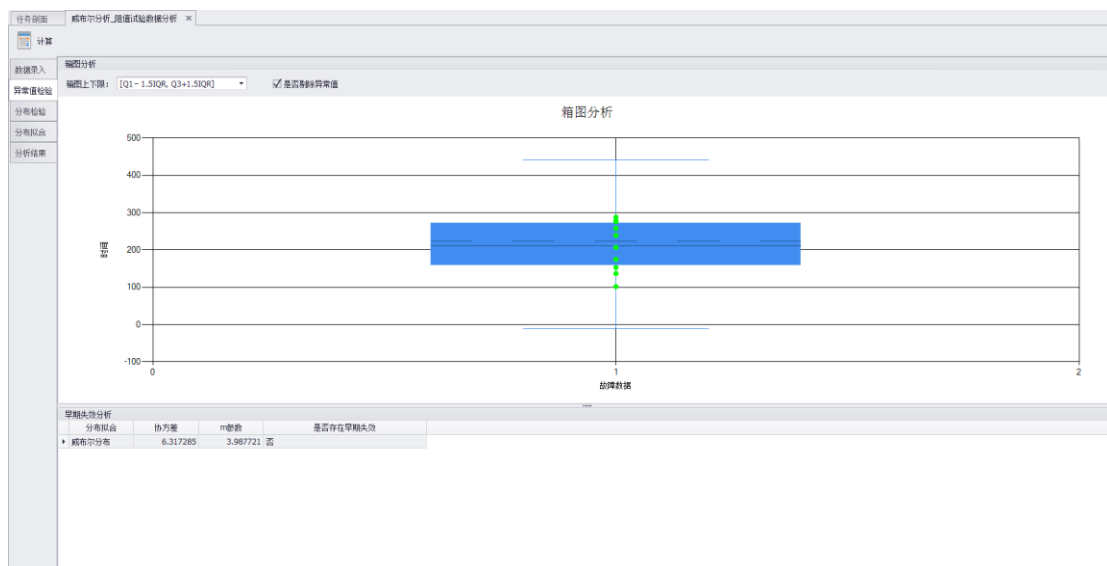


图 15-3 异常值检验（含早期失效数据判断）

15.4.2 分布检验

PosVim 的威布尔分析模块提供了分布检验功能，支持 AD 检验、T 检验、KS 检验等多种检验方法，同时，给出直方图、CDF 图、Q-Q 图等图示方式的分布检验方法。当点击工具栏上的  图标，软件自动完成分布检验计算，并给出检

验结果。

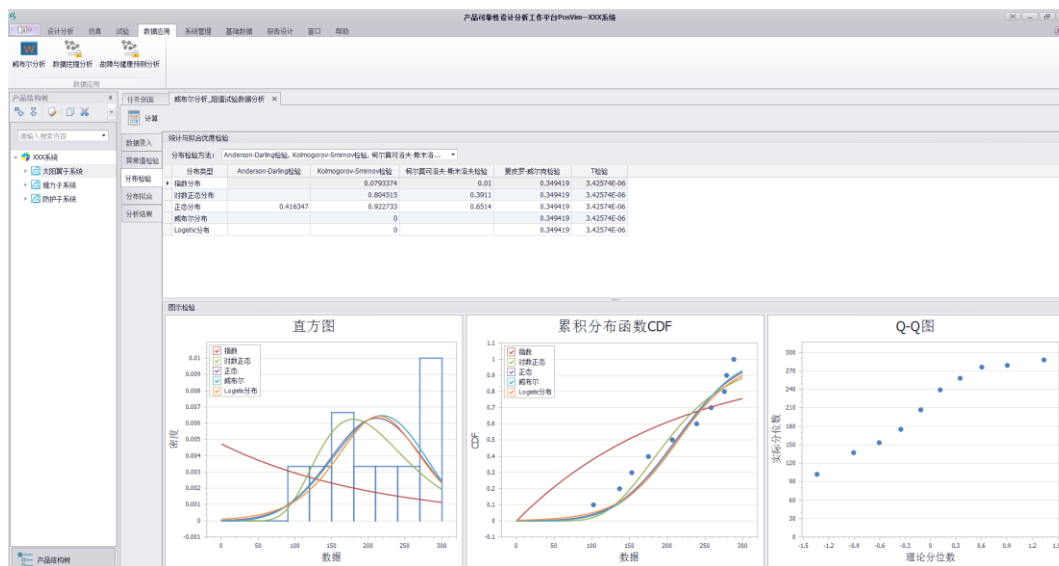


图 15-4 分布检验（含解析检验、图示检验）

15.4.3 参数估计及分布拟合

在完成了前述数据预处理、分布检验后，即可进行参数估计、分布拟合。

在进行参数估计、分布拟合时，可以设置分布类型、计算方法、置信度。其中，分布类型可以选择指数分布、正态分布、威布尔分布、对数正态分布、Logistic分布等。计算方法可以选择极大似然法、最小二乘法。置信度根据参数估计要求设置。

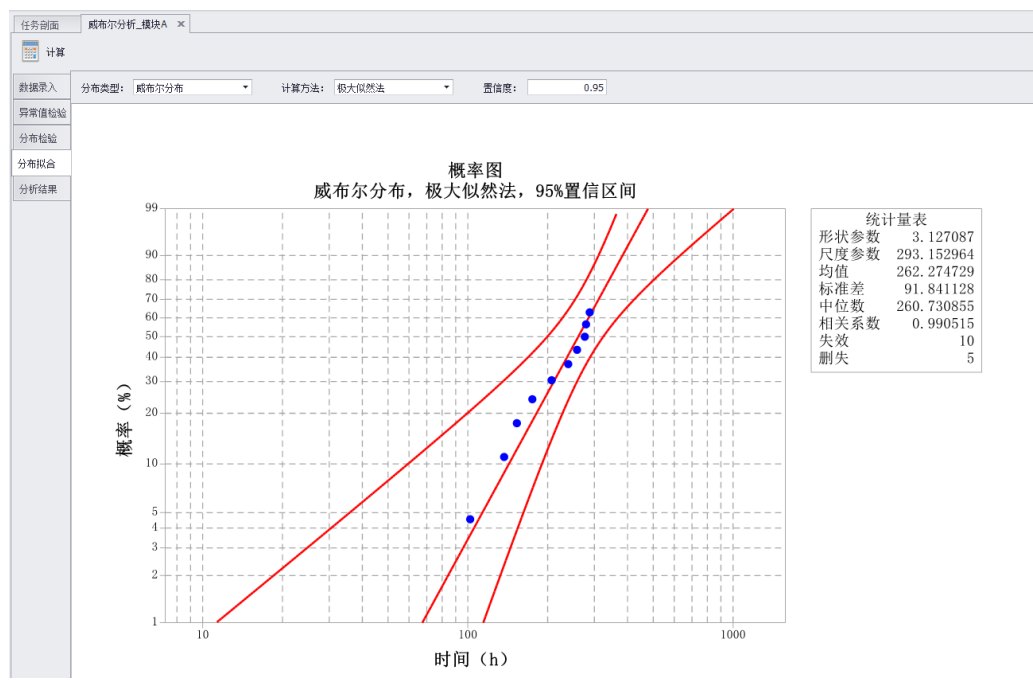


图 15-5 分布拟合结果

可以切换分布类型、计算方法（极大似然、最小二乘法）得到不同的计算结果。

在分析结果界面，要计算可靠度、条件可靠度、可靠寿命等参数，需要分别输入时间、已使用时间、可靠度等约束条件，才能计算。如下图所示。

数据录入	分布类型: 威布尔分布	计算方法: 极大似然法
异常值检验	分布参数	
分布检验	形状参数: 3.127087	尺度参数: 293.152964
分布拟合	均值: 262.274729	标准差: 91.841128
分析结果	中位数: 260.730855	相关系数: 0.990515
可靠度		
时间(h): 500		
可靠度: 0.00494187		
概率密度函数PDF: 0.000164118		
累积分布函数CDF: 0.995058		
已经使用时间(h): 200		
条件可靠度: 3.36468E-07		
寿命		
可靠度: 0.8		
可靠寿命(h): 142.744677		
B10寿命(h): 142.744677		
中位寿命(h): 260.730855		
MTBF(h): 262.274729		
失效率		
失效率(E-6): 0.0332097		

图 15-6 计算结果汇总

15.5 图形的文本标签编辑

概率图的标签编辑: 概率图的图标、横坐标、纵坐标、计算结果标签等, 都可以编辑、修改。修改方式是直接双击即可修改。

分布检验结果图的标签编辑: 双击直方图、Q-Q 图, 是图形最大化。然后输入您想修改的标签名即可。

15.6 精度验证

使用威布尔分析模块 (PosWei) 内置的极大似然估计法、最小二乘法等分布参数估计算法具有非常高的精度, 完全满足工程要求。利用模块 A 的故障数据

处理结果为例，与国外同类软件的精度对比，误差<0.01%，完全满足工程的精度要求。

输入数据			
300+、239、300+、288、137、300+、258、175、300+、207、102、153、276、279、300+		是否删失	标记+的为右删失数据
计算设置	计算软件	PosVim 的威布尔分析模块	国外 M 软件
	计算方法	极大似然	极大似然
	置信度	0.90（双侧）	0.90（双侧）
	分布类型	威布尔	威布尔
计算结果	形状参数 β	3.127087	3.12771
	尺度参数 η	293.152964	293.153

16 可靠性评估

16.1 可靠性评估模块简介

诸如航天器、飞机（含发动机）、核电系统、大型通信系统、弹载类产品等产品，具有大型化、复杂化等特点，且由于技术、经费、试验组织等方面的原因或约束，不可能进行或大量进行系统级别的可靠性试验，如何利用单元和系统层级的各种试验信息对系统可靠性评估，是研制单位/使用方必须解决的问题。

可靠性评估方法是有效解决试验样本少、综合利用各层次试验信息进行综合可靠性评估问题的有效手段。目前，可靠性评估方法已经在我国航天器、火工品、弹载类产品、通信类产品、核电产品、航空发动机等众多行业广泛应用。

本可靠性评估模块，是以《QW 航天器可靠性评估方法》标准为主要依据，结合单位常年积累的丰富可靠性评估经验进行设计研发。本可靠性评估模块按照评估对象层次，分为设备可靠性评估、系统可靠性评估两类。其中，设备可靠性评估提供指数分布、二项分布/成败型分布、威布尔分布、正态分布等类型产品的可靠性评估方法；系统可靠性评估提供串联、并联、 n 中取 k 、冷备系统的可靠性评估。可靠性评估方法提供经典法（CMSR）、贝叶斯法、SR332 可靠性评估三种方法。

主要参考标准

- ✓ Q/W 航天器可靠性评估方法
- ✓ SR-332 Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment
- ✓ GB/T 4087-2009 数据的统计处理和解释-二项分布可靠度单侧置信下限
- ✓ GB/T 4885-2009 正态分布完全样本可靠度置信下限

✓ GJB 367A-2001 军用通信设备通用规范 附录 A

16.2 评估类型与方法的选用依据

为了更好地使用本可靠性评估模块开展可靠性评估工作，需要根据评估对象进行评估类别以及评估方法的选择。

(1) 可靠性评估需要一定量的试验数据支撑，否则无法得到满足置信度要求的可靠性评估结果。要判断可靠性评估的数据源是否充足，可以在开展可靠性评估工作之前，首先对目前掌握的系统本身、下一层级设备的试验数据进行折算。通过折算后，得到的等效试验时间/等效任务数要满足一定量要求，具体要求的数值，可参考 GJB899A 等标准。

(2) 元器件失效率（一般是可靠性预计得到）数据可为单机的可靠性评估提供验前信息，可以作为航天器等产品可靠性评估“极小子样问题”的一种有效途径。但是，使用可靠性预计等得到的元器件失效率数据，融合在系统进行可靠性评估时，需要考虑相容性问题。

(3) 本可靠性评估模块分设备可靠性评估、系统可靠性评估两大类。在开展可靠性评估时，需要确认当前的评估对象是属于设备还是系统，以免选错评估方法。

(4) 在选择分布类型时，针对一些电子系统等，宜用指数寿命型失效分布进行可靠性评估；对于火工装置、弹载产品等宜用成败型/二项分布描述；对于显著性能参数退化的产品宜用正态分布描述；对于一些非电产品、活动和耗损性产品宜用威布尔分布描述。

16.3 设备可靠性评估

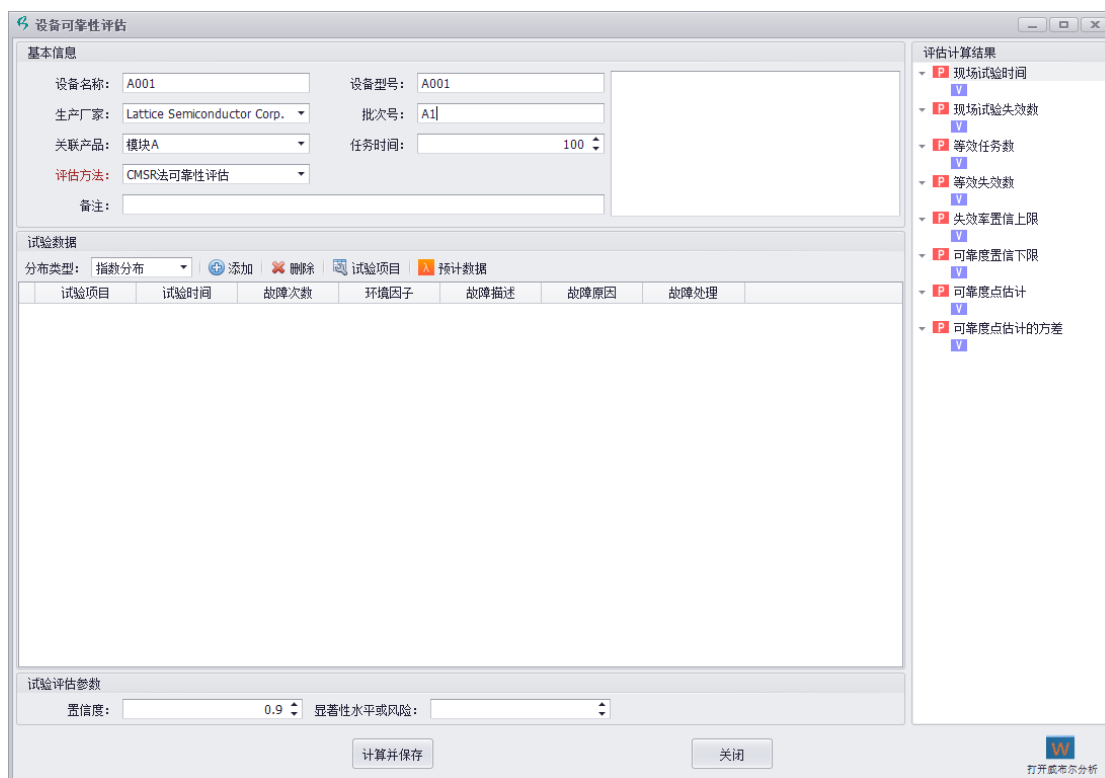
16.3.1 指数寿命型设备可靠性评估

如前所述，服从不同寿命类型的产品所选用的可靠性评估方法是不同的。对于一些电子产品、电子设备、电子系统，可以选择指数寿命型评估方法进行评估。

假设您已经打开了“我的第一个项目”，并点击“试验”菜单。若没有创建项目，可参见第 1 节创建项目。

步骤 1： 点击菜单栏上面的  图标，进入设备可靠性评估模块。此时，打开设备可靠性评估界面如下。

步骤 2： 输入产品基本信息，包括设备名称、设备型号（必填项）、生产厂家、批次号、任务时间，如果这个设备属于项目的产品结构树中的一个设备，或者需要与产品结构树节点关联，可以点击关联产品下拉列表，选择“模块 A”关联。如下图所示。



设备可靠性评估

基本信息

设备名称: A001 设备型号: A001

生产厂家: Lattice Semiconductor Corp. 批次号: A1

关联产品: 模块A 任务时间: 100

评估方法: CMSR法可靠性评估

备注:

试验数据

分布类型: 指数分布

添加 删除 试验项目 预计数据

试验项目	试验时间	故障次数	环境因子	故障描述	故障原因	故障处理
------	------	------	------	------	------	------

试验评估参数

置信度: 0.9 显著性水平或风险:

计算并保存 关闭

评估计算结果

- 现场试验时间
- 现场试验失效数
- 等效任务数
- 等效失效数
- 失效率置信上限
- 失效率置信下限
- 可靠度估计
- 可靠度估计的方差

图 16-1 设备可靠性评估界面

步骤 3: 选择评估方法。可靠性评估模块提供了经典法 (CMSR)、贝叶斯法、SR332 法供选择。这里假设选择经典法。

步骤 4: 输入试验数据。在设备可靠性评估界面，首先确认选择的分布类型是“指数分布”，然后点击 **添加** 按钮，添加试验数据记录。录入的试验记录信息包括试验项目、试验时间、故障次数、环境因子、故障原因描述等。

添加试验记录时，试验项目为下拉选择项，这个试验项目基础数据可以维护、管理，设置方法是点击 **试验项目**，然后进入试验项目管理界面进行试验项目基础数据的维护，包括增加、删除、编辑。

需要注意的是：

a、一个设备可以添加多个试验数据记录；

b、环境因子一般是指试验时的环境相对于产品实际使用环境的严酷程度，物理含义是产品在两种环境下的失效率比值，可以是大于 1，也可以是小于 1 的

值。产品的环境试验、可靠性试验、基地试验、外场试验、部队试验等试验的环境因子，可参考 GJB367A、GJB299C 等标准确定，或者根据单位自己积累的试验、使用数据统计得到。

步骤 5：输入评估参数。输入置信度、显著性水平或风险值 α 。其中，置信度为 0-1 的数值，一般常输入 0.7、0.8、0.9、0.95。较为成熟的产品置信度可以取高一点。反之取值低一些；显著性水平或风险值 α 是用于试验数据与可靠性预计等其他数据进行相容性检验判断、或者不同层级的试验数据综合时的相容性检验判断用。一般输入 0.05~0.1 的数值。



设备可靠性评估

基本信息

设备名称: A001 设备型号: A001
生产厂家: Lattice Semiconductor Corp. 批次号: A1
关联产品: 模块A 任务时间:
评估方法: CMSR法可靠性评估
备注:

试验数据

分布类型: 指数分布 添加 删除 试验项目

试验项目	试验时间	故障次数	环境因子	故障原因	故障处理
高温试验	1000	2			
温湿度	250	0	1	问题	改进工艺

评估计算结果

- 现场试验时间: 1250
- 现场试验失效数: 2
- 等效任务数: 12.5
- 等效失效数: 2
- 失效率置信上限: 3111.77613589394
- 可靠度置信下限: 0.732583747484467
- 可靠度点估计: 0.852143788966211
- 可靠度点估计的方差: 0.009294707674543...

试验评估参数

置信度: 0.9 显著性水平或风险: 0.1

计算并保存 关闭

① 输入设备基本信息
② 选择评估方法
③ 输入试验信息
④ 输入评估参数

图 16-2 设备可靠性评估参数输入

步骤 6：点击 **计算并保存**，即可得到相应的设备可靠性评估结果。包括试验时间、试验失效次数、等效任务数、等效失效数、失效率置信下限、可靠度置信下限、可靠度点估计等。

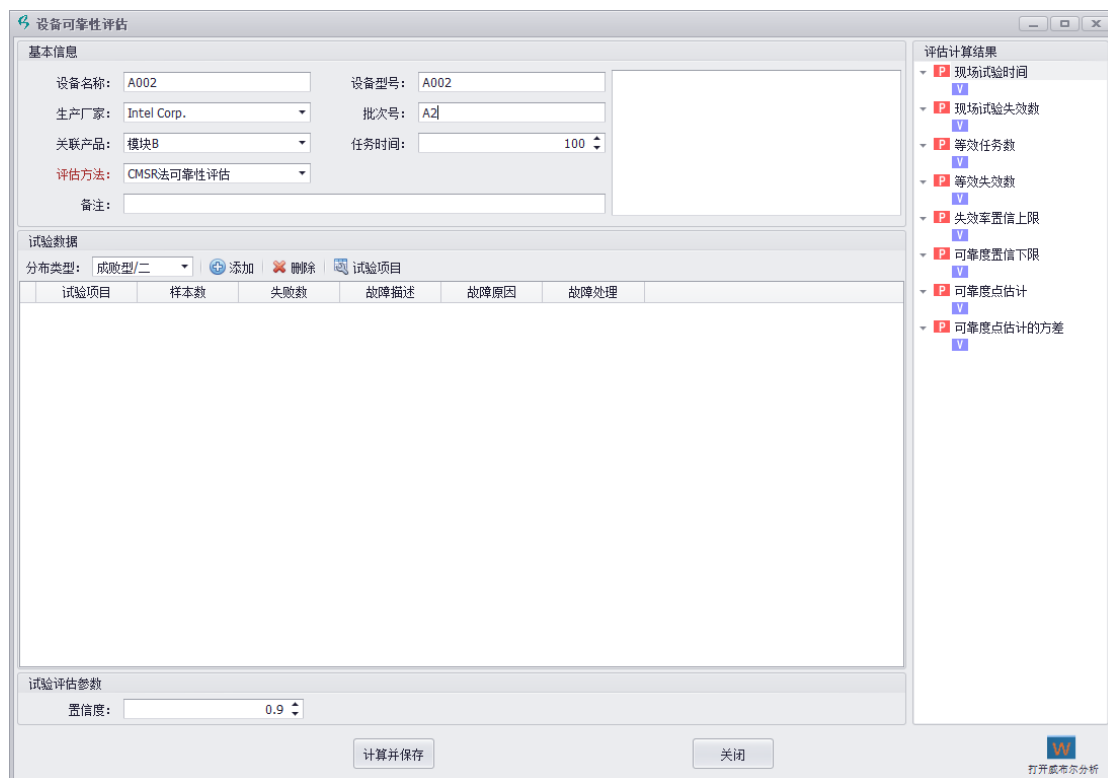
16.3.2 成败型/二项分布设备可靠性评估

诸如火工产品、弹载产品等属于成败型产品。这些产品在可靠性评估时，宜选择成败型进行可靠性评估。

步骤 1：与前面的指数分布相似，首先确认您当前打开了可靠性评估模块，并点击  图标进入了设备可靠性评估界面。

步骤 2：输入设备基本信息。输入方法与前面指数分布类型输入方法相同。这里假设输入设备名称为 A002，输入设备名称、设备型号（必填）、任务时间等信息。

步骤 3：选择评估方法。这里假设选择经典法（CMSR）进行评估。



设备可靠性评估

基本信息

设备名称: A002 设备型号: A002

生产厂家: Intel Corp. 批次号: A2

关联产品: 模块B 任务时间: 100

评估方法: CMSR法可靠性评估

备注:

试验数据

分布类型: 成败型/二

添加 删除 试验项目

试验项目	样本数	失效数	故障描述	故障原因	故障处理
------	-----	-----	------	------	------

试验评估参数

置信度: 0.9

计算并保存 关闭

评估计算结果

- 现场试验时间
- 现场试验失效数
- 等效任务数
- 等效失效数
- 失效率置信上限
- 可靠度置信下限
- 可靠度点估计
- 可靠度点估计的方差

图 16-3 成败型设备可靠性评估

步骤 4：录入试验数据。成败型的设备录入的试验数据与指数分布的不同。录入的试验数据包括试验项目、样本数、失效数、故障描述等。

录入方法是：点击  按钮，添加试验数据记录。录入试验项目、样本数、

失效数、故障描述等信息。

添加试验记录时，试验项目为下拉选择项，这个试验项目基础数据可以维护、管理，设置方法是点击  试验项目，然后进入试验项目管理界面进行试验项目基础数据的维护，包括增加、删除、编辑。

步骤 5：输入评估参数。输入置信度水平，一般是 0~1 的数值，一般常选择输入 0.7、0.8、0.9、0.95。

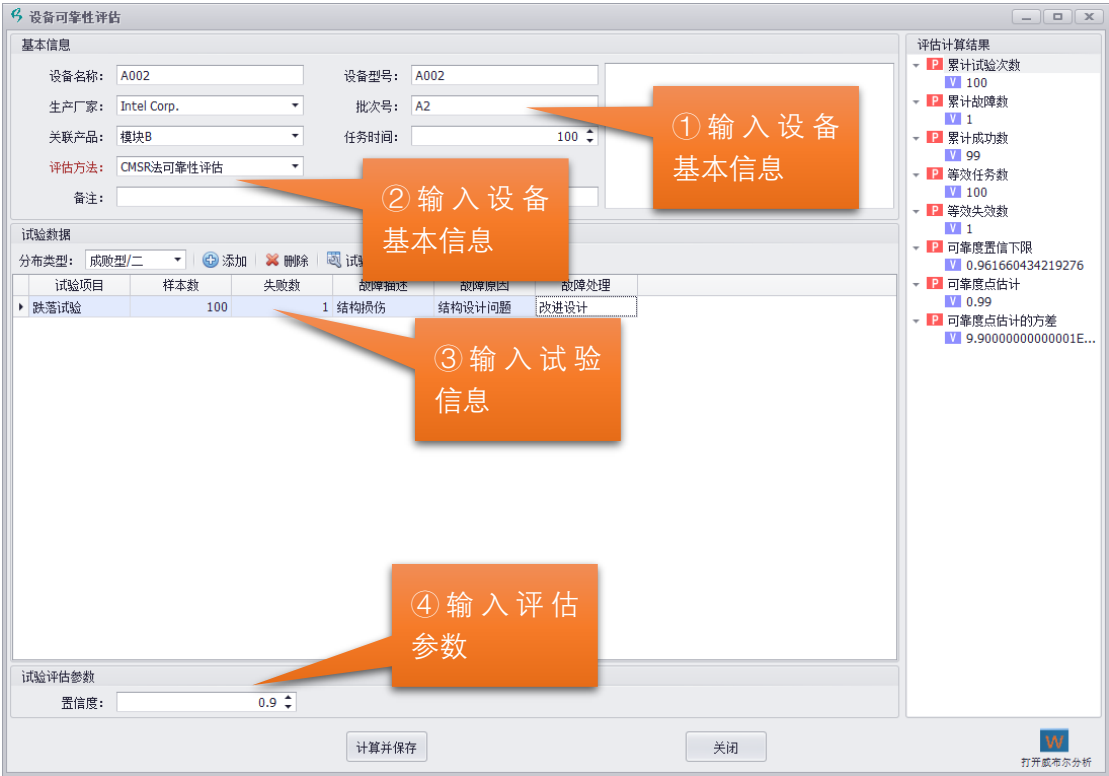


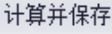
图 16-4 展示了设备可靠性评估软件的操作界面。界面主要分为几个区域：

- 基本信息：**包含设备名称（A002）、设备型号（A002）、生产厂家（Intel Corp.）、批次号（A2）、关联产品（模块B）、任务时间（100）、评估方法（CMSR法可靠性评估）和备注。
- 试验数据：**包含分布类型（成败型/二）、添加、删除、试验按钮。下方是一个表格，列出了试验项目、样本数、失败数、故障描述、故障原因和故障处理。表格中有一行数据：试验项目为“跌落试验”，样本数为100，失败数为1，故障描述为“结构损伤”，故障原因为“结构设计问题”，故障处理为“改进设计”。
- 试验评估参数：**包含置信度（0.9）。
- 评估计算结果：**显示了评估结果，包括累计试验次数（100）、累计故障数（1）、累计成功数（99）、等效任务数（100）、等效失效数（1）、可靠度置信下限（0.961660434219276）、可靠度点估计（0.99）、可靠度点估计的方差（9.900000000000001E...）。

图中还标注了四个步骤：

- ① 输入设备基本信息
- ② 输入设备基本信息
- ③ 输入试验信息
- ④ 输入评估参数

图 16-4 成败型设备可靠性评估参数录入

步骤 6：点击 ，即可得到相应的设备可靠性评估结果。包括累计试验次数、累计故障次数、累计成功数、等效任务数、等效失效数、可靠度置信下限、可靠度点估计等。

16.3.3 正态分布类型产品可靠性评估

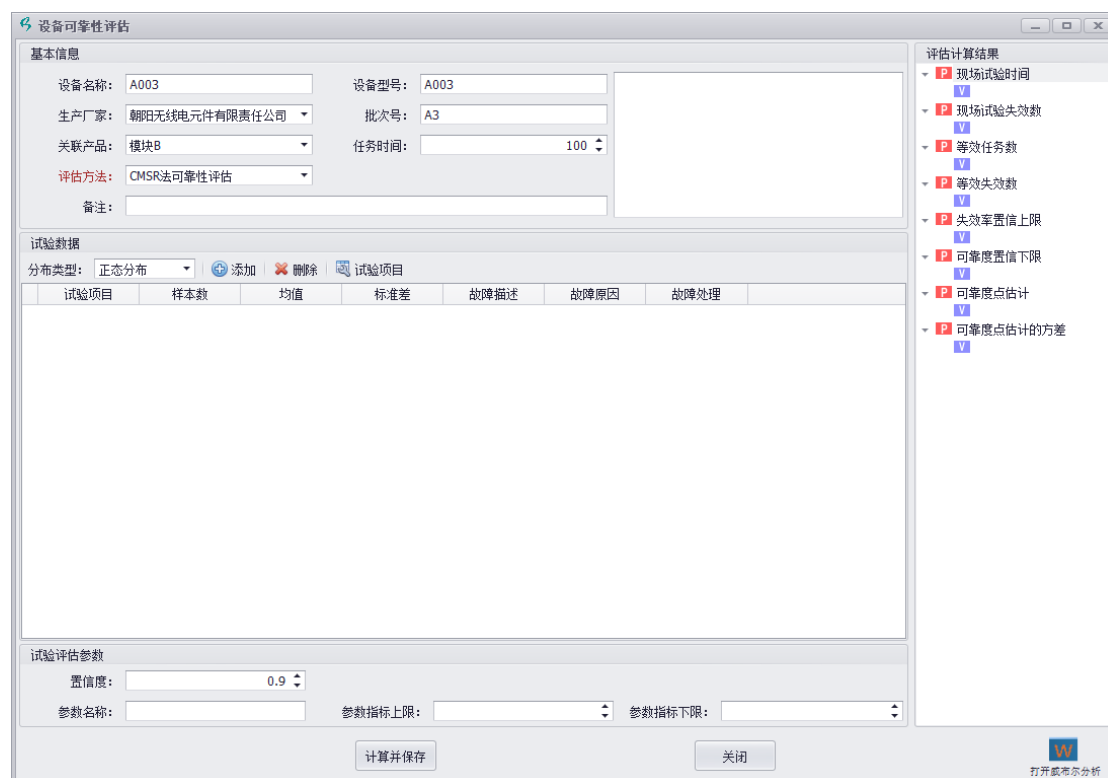
对于一些关键参数存在退化的产品，或者需要进行性能可靠性评估、结构可

可靠性评估的产品，宜选用正态分布。例如，分析钢的抗拉极限、火箭发动机的推力、活塞式发动机汽缸头的气体压力参数造成的产品失效/退化时，可以选用正态分布。特别是当产品技术要求给定了性能下限 L 或上限 U 或者双边限时，通常需要采用正态分布进行性能可靠性评估。

步骤 1：与前面的指数分布相似，首先确认您当前打开了可靠性评估模块，并点击  图标进入了设备可靠性评估界面。

步骤 2：输入设备基本信息。输入方法与前面指数分布类型输入方法相同。这里假设输入设备名称为 A003，输入设备名称、设备型号（必填）、任务时间等信息。

步骤 3：选择评估方法。这里假设选择经典法（CMSR）进行评估。



设备可靠性评估

基本信息

设备名称: A003 设备型号: A003

生产厂家: 朝阳无线电元件有限责任公司 批次号: A3

关联产品: 模块B 任务时间: 100

评估方法: CMSR法可靠性评估

备注:

试验数据

分布类型: 正态分布

试验项目	样本数	均值	标准差	故障描述	故障原因	故障处理
------	-----	----	-----	------	------	------

试验评估参数

置信度: 0.9

参数名称: 参数指标上限: 参数指标下限:

计算并保存 关闭

评估计算结果

- 现场试验时间
- 现场试验失效数
- 等效任务数
- 等效失效数
- 失效率置信上限
- 可靠度置信下限
- 可靠度点估计
- 可靠度点估计的方差

打开威尔逊分析

图 16-5 正态分布类型设备可靠性评估

步骤 4：输入试验数据。正态分布输入的试验数据包括试验项目名称、样本数、均值、标准差、性能参数名称（试验过程中测试的参数）、参数上限、参数

下限。

步骤 5：输入评估参数。输入置信度参数。一般是 0~1 的数值，一般常选择输入 0.7、0.8、0.9、0.95。

① 输入设备基本信息

② 选择评估方法

③ 输入试验信息

④ 输入评估参数

图 16-6 正态分布类型设备可靠性评估参数录入

步骤 6：点击 **计算并保存**，即可得到相应的设备可靠性评估结果。包括样本数、均值、标准差、单边允许置信下限可靠度、单边允许上限可靠度等。

16.3.4 威布尔分布类型产品可靠性评估

对于一些非电产品、活动和耗损性产品宜用威布尔分布描述，选用威布尔分布类型的可靠性评估方法进行评估。

步骤 1：与前面的指数分布相似，首先确认您当前打开了可靠性评估模块，并点击  图标进入了设备可靠性评估界面。

步骤 2：输入设备基本信息。输入方法与前面指数分布类型输入方法相同。

这里假设输入设备名称为 A004，输入设备名称、设备型号（必填）、任务时间等信息。

步骤 3：选择评估方法。这里假设选择经典法（CMSR）进行评估。

设备可靠性评估

基本信息

设备名称: A004 设备型号: A004

生产厂家: Micro Semiconductor Corp. 批次号: A4

关联产品: 模块B 任务时间: 100

评估方法: CMSR法可靠性评估

备注:

试验数据

分布类型: 威布尔分布

试验项目

试验项目	样本数	故障描述	故障原因	故障处理
------	-----	------	------	------

添加 删除

编号	故障/截止时间	数量	故障/截止状态
----	---------	----	---------

试验评估参数

置信度: 0.9

计算并保存 关闭

评估计算结果

- 现场试验时间
- 现场试验失效数
- 等效任务数
- 等效失效数
- 失效率置信上限
- 可靠性置信下限
- 可靠性点估计
- 可靠性点估计的方差

图 16-7 威布尔分布类型设备可靠性评估

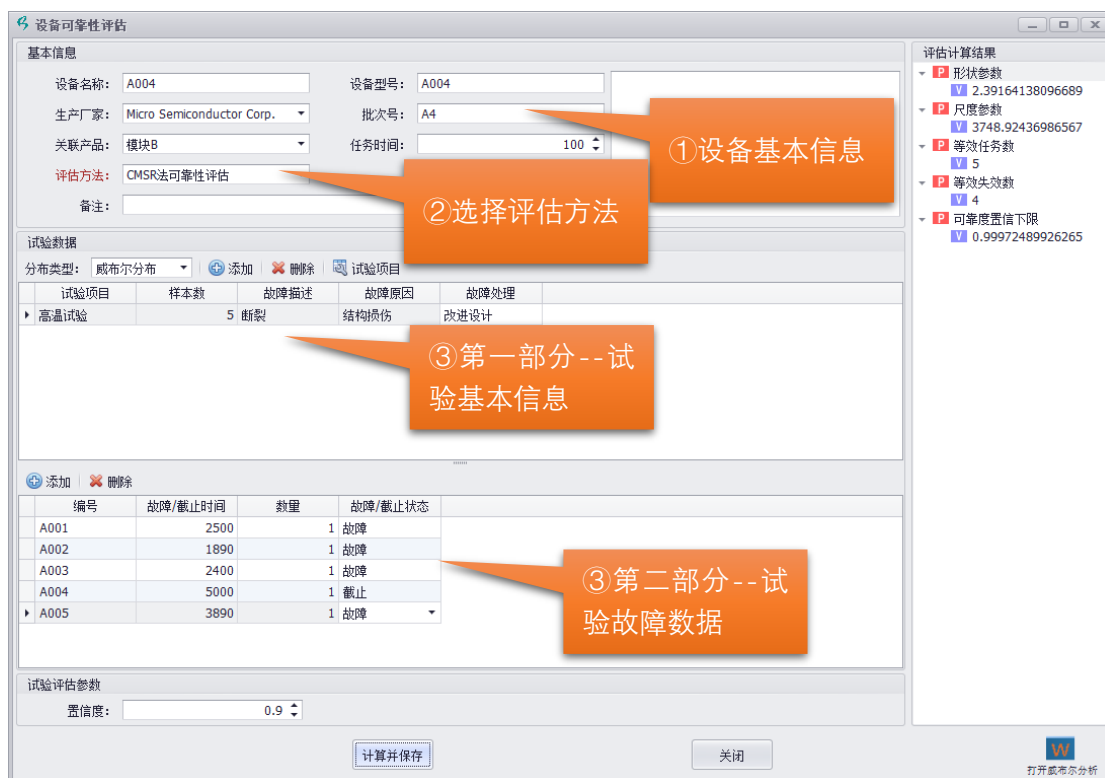
步骤 4：输入试验数据。威布尔分布类型的设备可靠性评估，需要输入的试验数据分为两部分。第一部分是试验项目基本信息，包括试验项目名称、样本数，可以添加多条试验项目基本信息。第二部分是故障信息，包括样本编号、故障 / 截止时间、数量、故障/截止状态。需要注意的是，第二部分输入的故障信息中的样本数量总数，要与第一部分的样本数一致。如果不一致，若第一部分的样本数大于第二部分的，则认为超出部分的样本均为截止。

输入试验数据方法：

a、点击  添加 按钮，在第一部分—试验项目基本信息部分输入试验项目、样本数等信息。可以添加多条试验项目基本信息。这里假设只填 1 条记录，样本数

输入 5 个。

b、选中第一部分填入的其中一条试验项目，然后点击第二部分上方的  添加图标，添加对应的试验项目中各试验样本的故障信息。包括输入试验样本编号、故障时间（或者截止时间）、数量、故障/截止状态（截止状态是指到试验结束时，样本仍未故障）。分别输入 A001、A002 等 5 个样本在试验过程中的故障信息。如下图。其中，样本 A004 到 5000 小时试验结束时仍未故障，则故障/截止状态选择“截止”，其他样本选择“故障”。



①设备基本信息

②选择评估方法

③第一部分--试验基本信息

③第二部分--试验故障数据

试验项目	样本数	故障描述	故障原因	故障处理
高温试验	5	断裂	结构损伤	改进设计

编号	故障/截止时间	数量	故障/截止状态
A001	2500	1	故障
A002	1890	1	故障
A003	2400	1	故障
A004	5000	1	截止
A005	3890	1	故障

置信度: 0.9

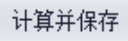
计算并保存 关闭

评估计算结果

- 形状参数: 2.39164138096689
- 尺度参数: 3748.92436986567
- 等效任务数: 5
- 等效失效数: 4
- 可靠度置信下限: 0.99972489926265

图 16-7 威布尔分布类型设备可靠性评估参数录入

步骤 5: 输入评估参数。输入置信度参数。一般是 0~1 的数值，一般常选择输入 0.7、0.8、0.9、0.95。

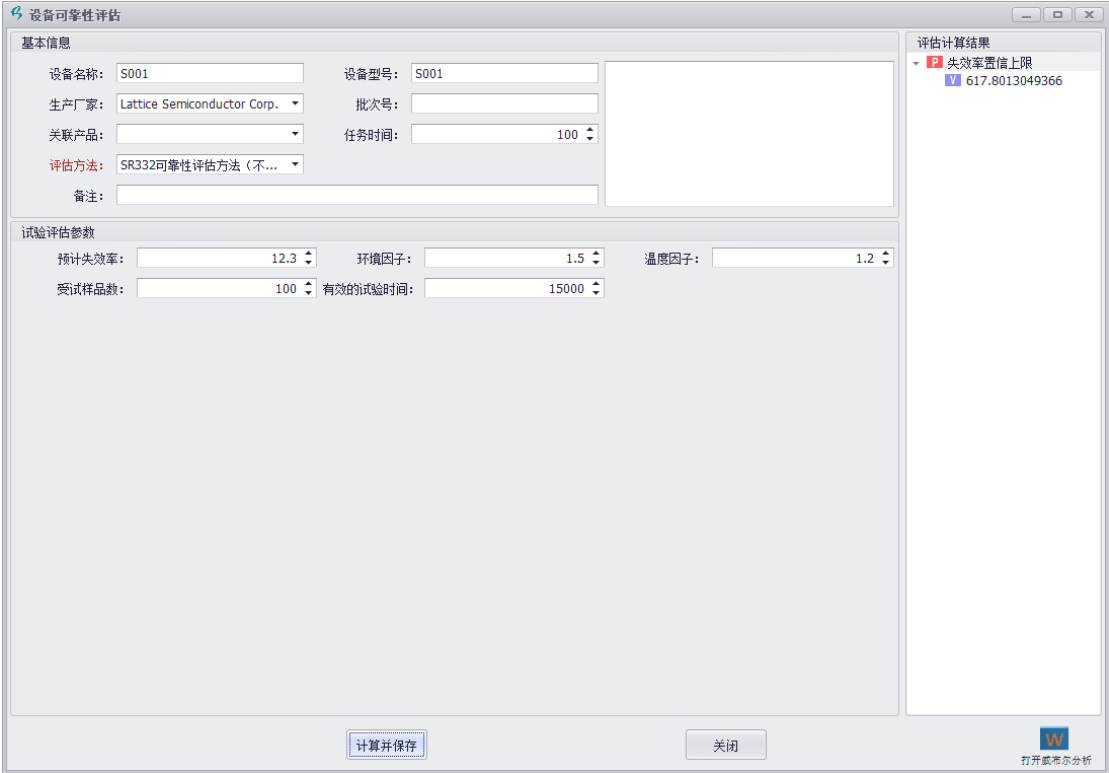
步骤 6: 点击  计算并保存，即可得到相应的设备可靠性评估结果。包括形状参数、尺度参数、等效任务数、等效失效数、可靠度置信下限等值。

16.3.5 SR332 可靠性评估方法（不含老化试验数据）

使用 SR332 可靠性评估方法（不含老化试验数据），主要是综合可靠性预计数据以及相应的试验数据，综合评估设备的可靠性。详细介绍可参阅 SR332 标准。操作步骤：

步骤 1： 点击菜单栏上面的  图标，进入设备可靠性评估模块。此时，打开设备可靠性评估界面。如下图。

步骤 2： 评估方法选择“SR332 可靠性评估方法(不含老化数据)”。根据 SR332 标准规定的可靠性评估方法，分别输入相应的参数，包括预计失效率、环境因子、温度因子、受试样品数、有效的试验时间等。环境因子、温度因子可以参考下面图 16-9（从标记 7 的一列选择）和表 16-1 进行选择输入。这里假设输入环境因子 1.5，温度因子 1.2。其他参数如下图所示输入。



设备可靠性评估

基本信息

设备名称: S001 设备型号: S001

生产厂家: Lattice Semiconductor Corp. 批次号:

关联产品: 任务时间: 100

评估方法: SR332可靠性评估方法(不含老化数据)

备注:

试验评估参数

预计失效率: 12.3 环境因子: 1.5 温度因子: 1.2

受试样品数: 100 有效的试验时间: 15000

评估计算结果

失效率置信上限

617.8013049366

计算并保存 关闭

打开或显示分析

图 16-8 SR332 可靠性评估（不含老化）参数录入

Operating Ambient Temperature °C	Temperature Stress Curve									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4
31	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5
32	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5
33	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6
34	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6
35	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7
36	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7
37	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8
38	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8
39	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9
40	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
41	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1
42	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2
43	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3
44	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4
45	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5
46	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6
47	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.6	1.8
48	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.7	1.9
49	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	2.1
50	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.9	2.2
51	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	2.0	2.4
52	1.1	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.9	2.2	2.6
53	1.1	1.2	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	1.9	2.3	2.8
54	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.9	2.0	2.4	3.0
55	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.1	2.6	3.3
56	1.1	1.2	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.7	3.5
57	1.1	1.2	1.3	1.5	1.7	2.0	2.1	2.4	2.9	3.8
58	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	3.1	4.1
59	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.1	2.3	2.6	3.3	4.4
60	1.1	1.2	1.4	1.6	1.9	2.2	2.4	2.7	3.5	4.8
61	1.1	1.3	1.4	1.7	1.9	2.3	2.5	2.9	3.7	5.1
62	1.1	1.3	1.4	1.7	2.0	2.3	2.6	3.0	3.9	5.5
63	1.1	1.3	1.5	1.7	2.0	2.4	2.8	3.1	4.1	5.9
64	1.1	1.3	1.5	1.8	2.1	2.5	2.9	3.3	4.4	6.3
65	1.1	1.3	1.5	1.8	2.2	2.6	3.0	3.4	4.6	6.8
70							3.7			
75							4.4			
80							5.4			
85							6.4			
90							7.7			
95							9.2			
100							11			
105							13			
110							15			
115							18			
120							20			
125							24			
130							27			
135							32			
140							36			
145							41			
150							47			

图 16-9 温度系数

表 16-1 环境条件和环境系数 πE

环境	环境符号缩写	πE	规定环境条件
地面，固定，控制	GB	1	振动、冲击力：低 大气变化：低 温度循环应力：低 应用实例：办公中心，数据中心， 环境控制室，环境控制远程庇护 所，环境控制用户区
地面，固定的，不受控制（限制的）	GL	1.5	振动、冲击力：低到中等 大气变化：低到中等

			温度循环应力：中度到高 应用实例：天气保护远程终端，户外设备，以及无线电塔设备。
地面，固定的，不受控制的（中等）	GF	2	振动、冲击力：中度到高 大气变化：低到中等 温度循环应力：中度到高 应用实例：在人控远程终端和户外设备，铁路，公路附近，空中交通
地面，移动（包括车载式和便携式）	GM	4（符合行业标准）	振动、冲击力：极端 大气变化：低到中等 温度循环应力：高（由于运输和不同位置的变化） 应用实例：可以相对地面快速运动的设备，包括手机、手持设备，便携式的操作设备，测试设备。
航空，商业	AC	6（符合MIL 国军标标准）	振动、冲击力：极端 大气变化：高 温度循环应力：高（由于运输和不同高度、不同位置的变化） 应用实例：商用飞机客舱。
空间、商业（低地球轨道）	SC	15（见MIL217或其他适用标准）	振动、冲击力：极端 大气变化：高 温循环应力：高（由于运输和不同高度、不同位置的变化） 应用实例：通讯卫星

步骤 3： 点击【计算并保存】按钮，即可得到计算结果。

16.3.6 SR332 可靠性评估方法（含老化试验数据）

使用 SR332 可靠性评估方法（含老化试验数据）的操作方法与 16.3.5 操作类似，不同地方是输入的参数不同。温度加速因子的取值参考图 16-9 的标记 7 的一系列选择。假设输入的参数如下图所示。然后点击计算即可。

图 16-10 SR332 可靠性评估（含老化数据）

16.3.7 SR332 可靠性评估方法(含现场数据)

在开展可靠性评估时，考虑到产品的继承性、相似性，往往可以使用相似产品现场使用数据，或者同型号的现场使用数据进行可靠性评估。操作步骤如下。

步骤 1： 点击菜单栏上面的  图标，进入设备可靠性评估模块。此时，打开设备可靠性评估界面。如下图。

步骤 2： 评估方法选择“SR332 可靠性评估方法（含现场数据）”。根据 SR332 标准规定的可靠性评估方法，分别输入相应的参数，包括预计失效率、调整因子、现场统计的工作时间、现场的故障数。调整因子表示的是现场使用环境和当前评估的产品的使用环境的失效率比较系数，可以参考表 16-1 选取。

步骤 3： 输入参数后，点击【计算并保存】按钮，即可得到计算结果。

16.4 系统可靠性评估

对于航天器、核电系统等大型、复杂来说，它是由多个分系统、设备组成，各组成部分之间以串联、并联、冗余、储备等方式组合以完成系统的功能。要评估这样的复杂系统的可靠性，需要使用系统可靠性评估功能。其大体流程是：首先，根据系统的组成结构、层次结构，以可靠性树方式建立系统各组成部分的可靠性逻辑关系；然后，分别录入各组成部分的试验数据；最后进行系统可靠性计算即可。

16.4.1 创建可靠性树

假设我们需要对 XXX 系统进行可靠性评估，XXX 系统包含模块 A 和模块 B。

步骤 1：首先确认您打开了名为“我的第一个项目”的项目，并选择菜单选项中的“试验”。点击  图标，进入系统可靠性树管理界面，如下图。若未创建“我的第一个项目”，参考第 1 节创建。

步骤 2：点击打开的可靠性树管理界面中的  图标，添加一个可靠性树记录，名称输入“XXX 系统可靠性评估”，然后点击【打开可靠性树】按钮，打开可靠性树。

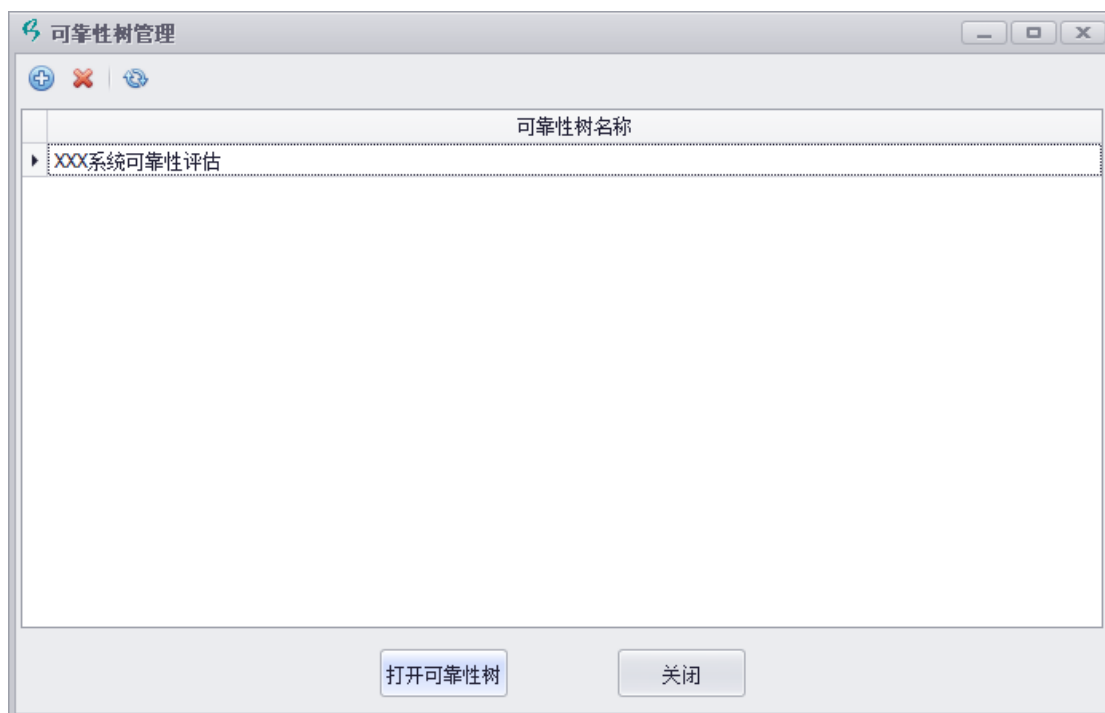


图 16-11 可靠性树管理

步骤 3: 打开可靠性树之后，可以看到系统可靠性评估的主界面。最左边是产品结构树，紧跟着是可靠性树节点列表，中间部分是可靠性建模主界面，右边是可靠性模型库，以及本项目已有的设备库，这些设备库中的设备可以直接拖拽过来使用。如下图所示。

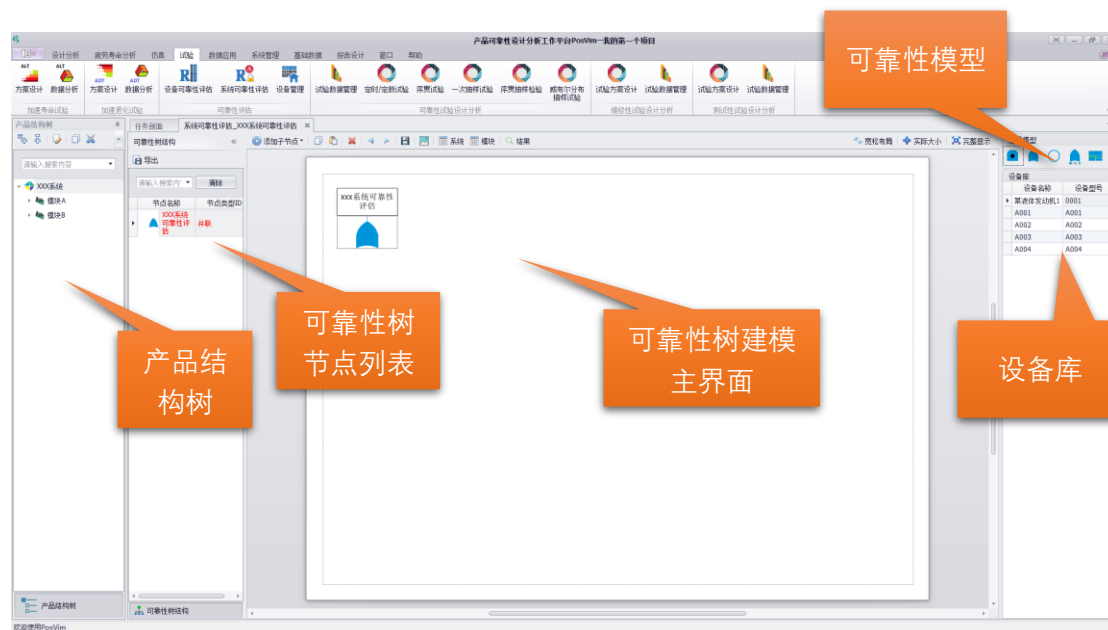


图 16-12 可靠性树建模界面

步骤 4: 拖拽建立可靠性树模型。首先，从可靠性模型库中分别拖拽一个串

联，一个并关节点进来，操作方式是：

a、点中模型，拖拽进来即可；然后，在串关节点下面，从设备库拖拽设备 A001、A002（16.3 节已经创建好的）进来。同理，在并关节点下面，从设备库拖拽设备 A003、A004（16.3 节已经创建好的）进来。若当前设备库中没有创建好的设备 A001、A002、A003、A004，可以参考 16.3 节操作方法先创建，或者参考下面的步骤 b 添加。

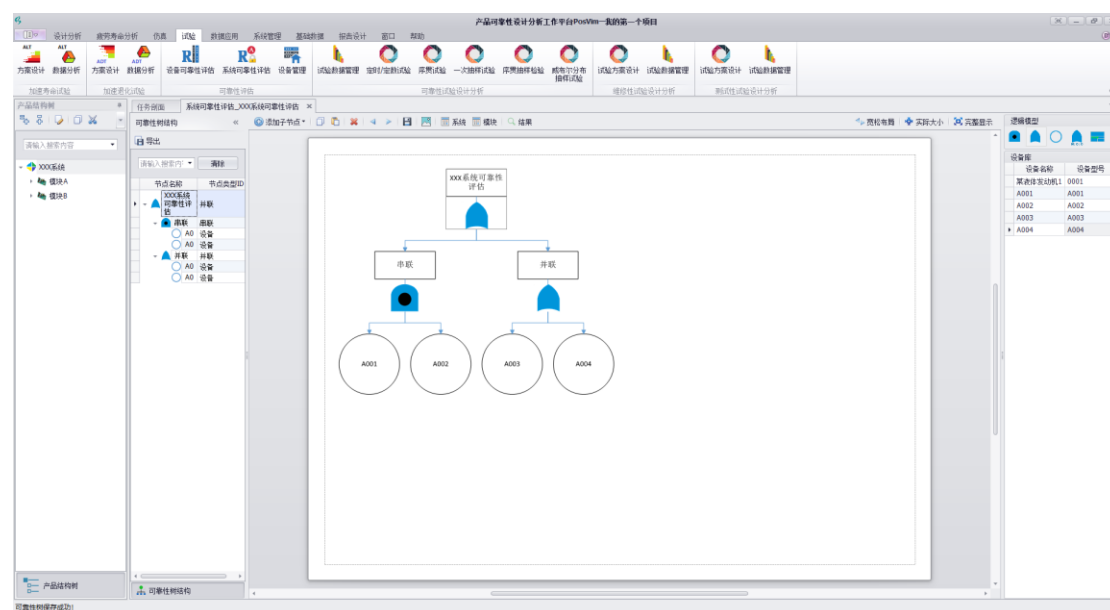


图 16-13 创建可靠性树模型

b、添加空设备节点。若不想直接引用设备库的设备，可以添加空设备节点。例如，本案例在并关节点下面，从可靠性模型中点击图标，拖拽添加一个名称为 A005 的设备，双击拖拽进来的空设备图标，弹出“编辑设备节点”界面，然后点击界面中的新增设备图标，在弹出的设备可靠性评估界面输入设备名称 A005、分布类型选择指数分布，试验时间输入 1000 小时，故障数输入 1，置信度输入 0.9，点击计算并保存，退出设备可靠性评估。此时，可以看到默认情况下，该设备关联了我们添加的设备 A005。

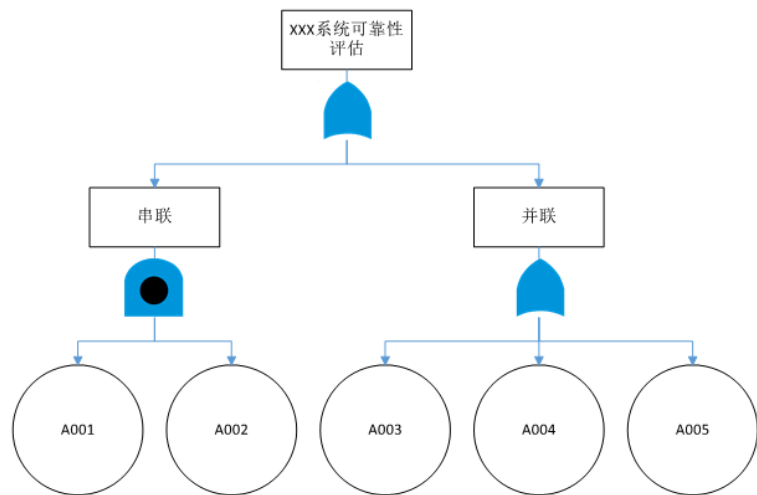


图 16-14 增加一个空设备节点 A005

编辑设备节点

节点属性

节点名称:	设备	节点类型:	设备	
节点数量N:	1	工作数量K:	1	
字体大小:	0	字体:		

设备属性

新增设备

编辑设备

关联设备:		设备序列号:		
失效率置信上限:		可靠度置信下限:		可靠度点估计: 0.00
等效任务数:	0.00	等效失效数:	0.00	

保存

取消

图 16-15 编辑空设备节点

设备可靠性评估

基本信息

设备名称: A005

设备型号: A005

生产厂家: 桐庐远瑞晶体管厂

批次号: A5

关联产品:

任务时间: 100

评估方法: CMSR法可靠性评估

备注:

试验数据

分布类型: 指数分布

添加

删除

试验项目

预计数据

试验项目	试验时间	故障次数	环境因子	故障描述	故障原因	故障处理
高温试验	1000	1	1			

试验评估参数

置信度: 0.9

显著性水平或风险: 0.1

计算并保存

关闭

评估计算结果

现场试验时间

1000

现场试验失效数

1

等效任务数

10

等效失效数

1

失效率置信上限

2302.58509299405

可靠度置信下限

0.794328234724281

可靠度点估计

0.90483741803596

可靠度点估计的方差

0.006187307530779...

图 16-16 新增设备可靠性评估数据录入

编辑设备节点

节点属性

节点名称:	A005	节点类型:	设备
节点数量N:	1	工作数量K:	1
字体大小:	0	字体:	

设备属性

新增设备

编辑设备

关联设备:	A005	设备序列号:	A005		
失效率置信上限:	2302.59	可靠度置信下限:	0.79	可靠度点估计:	0.90
等效任务数:	10.00	等效失效数:	1.00		

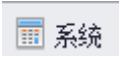
保存

取消

图 16-17 关联新增的设备

16.4.2 可靠性评估

当创建好可靠性树后，即可进行系统可靠性评估。系统可靠性评估提供了经典法、贝叶斯法两种方法。这里假设选择经典法进行评估。

步骤 1: 选中当前可靠性树的根节点（顶节点），然后点击工具栏上的 系统图标，弹出系统可靠性评估界面。

147

步骤 2：在基本信息部分，输入任务时间（100）、置信度（0.9），评估方法选择经典法（CMSR），试验评估参数的显著性水平输入 0.1，然后点击【计算并保存】按钮，即可得到相应的计算结果。如下图。

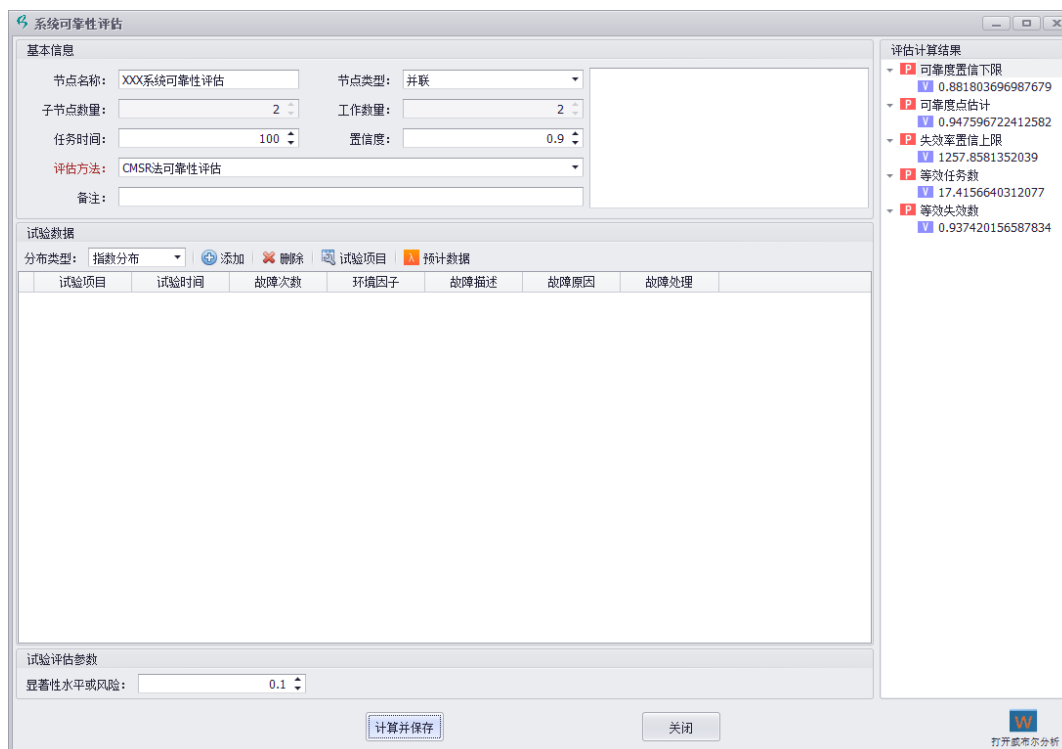


图 16-18 可靠性评估、计算

如果想查看可靠性树中根节点下任意节点的可靠性评估结果，可以选中该节点，然后点击工具栏的  图标，即可计算当前选中节点的可靠性评估结果。

16.4.3 系统本身有试验数据时的可靠性评估

当系统本身也开展了一小部分试验，也有试验数据时，往往需要综合系统本身的试验数据以及下层次折算上来的数据，进行综合可靠性评估。操作方法：

步骤 1：假设接着上面 16.4.2 节继续操作。在系统可靠性评估界面，根据系统类型（指数、威布尔、正态、成败），选择对应的分布类型，然后录入试验数据。不同分布类型的产品试验数据录入方法参考 16.3 节。假设选择指数分布，录入一项高温试验，试验时间 1000 小时，故障数 1，环境因子输入 1。

步骤 2: 录入试验数据结束后, 点击【计算并保存】按钮, 即可得到相应的计算结果。如下图。

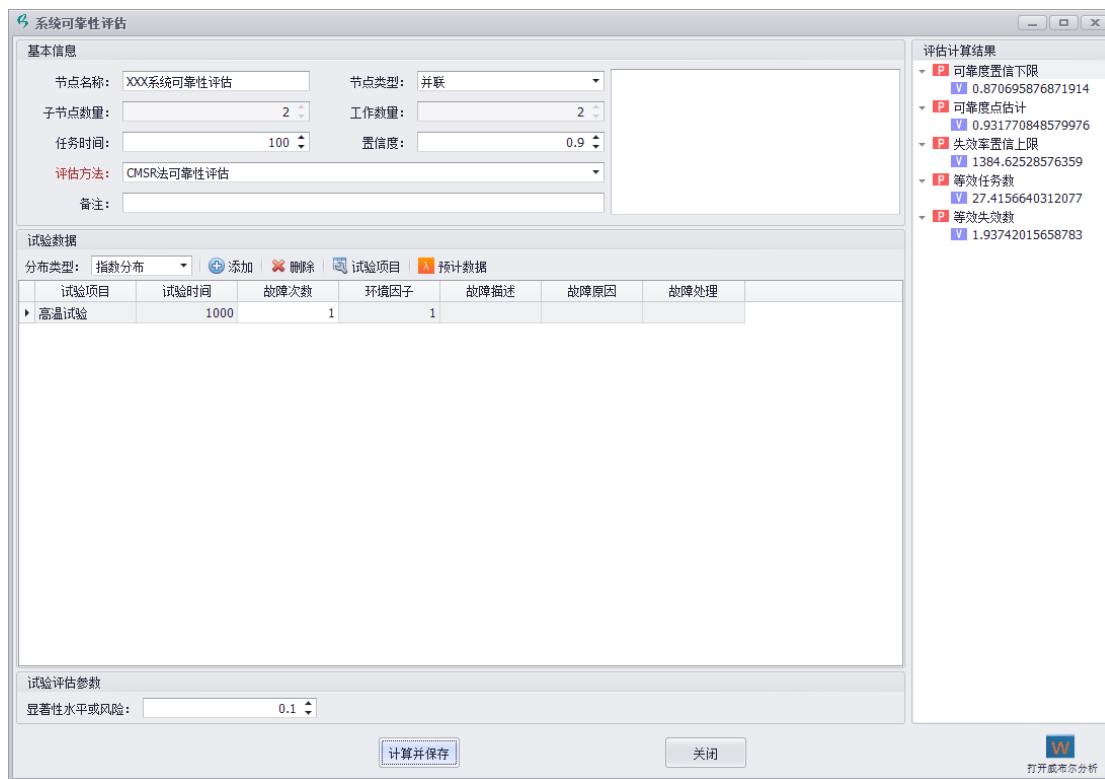


图 16-19 本身含试验数据的系统可靠性评估

16.5 综合可靠性预计数据的评估

对应航天器等大型、贵重设备, 往往在研制过程中, 一个型号就研制 1 台或者 2 台, 此时, 如何进行系统的可靠性评估变得极为困难。

根据《航天器可靠性评估方法》等标准规定, 元器件失效率信息可以为单机/设备的可靠性评估提供验前信息, 可以弥补航天器等系统可靠性评估“极小子样问题”的一种有效途径。

可靠性评估模块提供了综合可靠性预计数据的可靠性评估方法。以设备可靠性评估为例, 操作方法如下:

步骤 1: 点击菜单栏上面的  图标, 进入设备可靠性评估模块。

步骤 2: 在设备可靠性评估界面，分别输入设备名称 P001、任务时间 100、方法选择 CMSR 法可靠性评估。

步骤 3: 试验数据部分，分布类型选择“指数分布”，然后添加 1 条试验记录，试验项目选择“高温试验”，试验时间 1000 小时，故障数 1，环境因子 1，置信度输入 0.9，显著性水平输入 0.1。

步骤 4: 点击  预计数据 图标，进入“可靠性预计数据”录入界面。分别录入两条元器件及失效率数据，如下图。若您在步骤 3 选择关联产品时，设置设备 P001 与产品结构树中的节点关联，那么“可靠性预计数据”界面中的  从预计结果获取清单 变为亮色，点击一下即可导入关联节点的元器件清单及可靠性预计数据，无需手工录入。

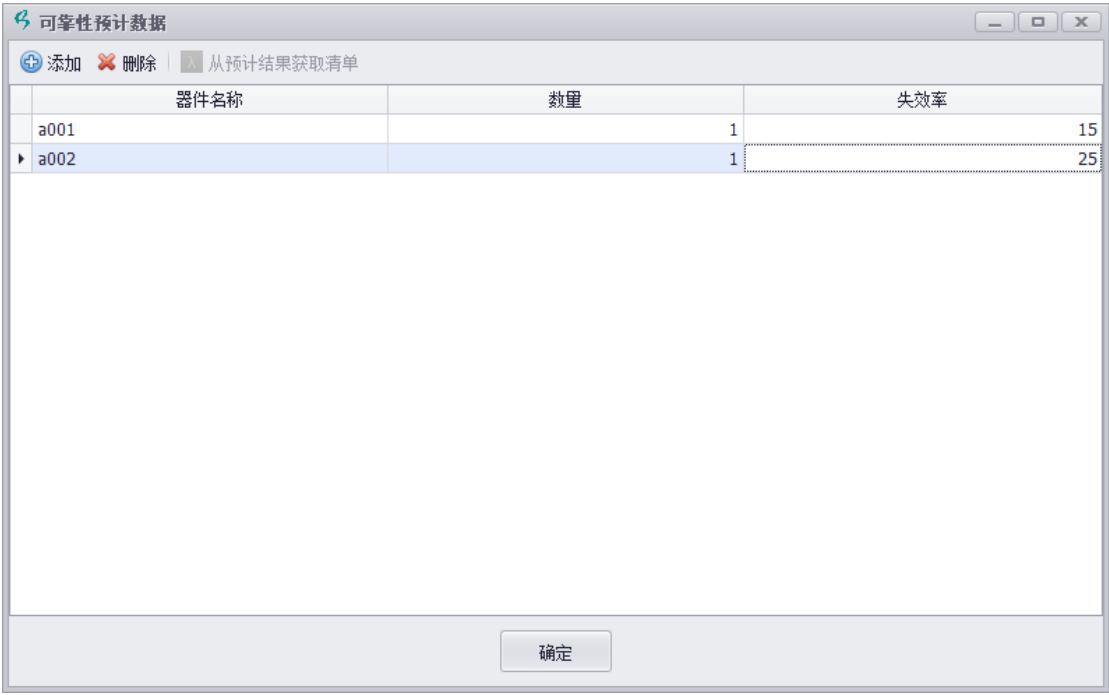


图 16-20 展示了“可靠性预计数据”录入界面。界面顶部有“添加”、“删除”和“从预计结果获取清单”三个按钮。下方是一个表格，包含“器件名称”、“数量”和“失效率”三列。表格中已录入两条数据：a001（数量 1，失效率 15）和 a002（数量 1，失效率 25）。界面底部有一个“确定”按钮。

器件名称	数量	失效率
a001	1	15
a002	1	25

图 16-20 可靠性预计数据录入

步骤 5: 录入完可靠性预计数据后，关闭并切换回设备可靠性评估界面，点击【计算并保存】按钮，即可得到可靠性评估结果。若计算结果中验前时间数据不为空，则表明验前（可靠性预计）数据与试验数据相容，若为空，表明不相容，

舍弃掉可靠性预计数据。是否相容可参考 16.6 节了解。

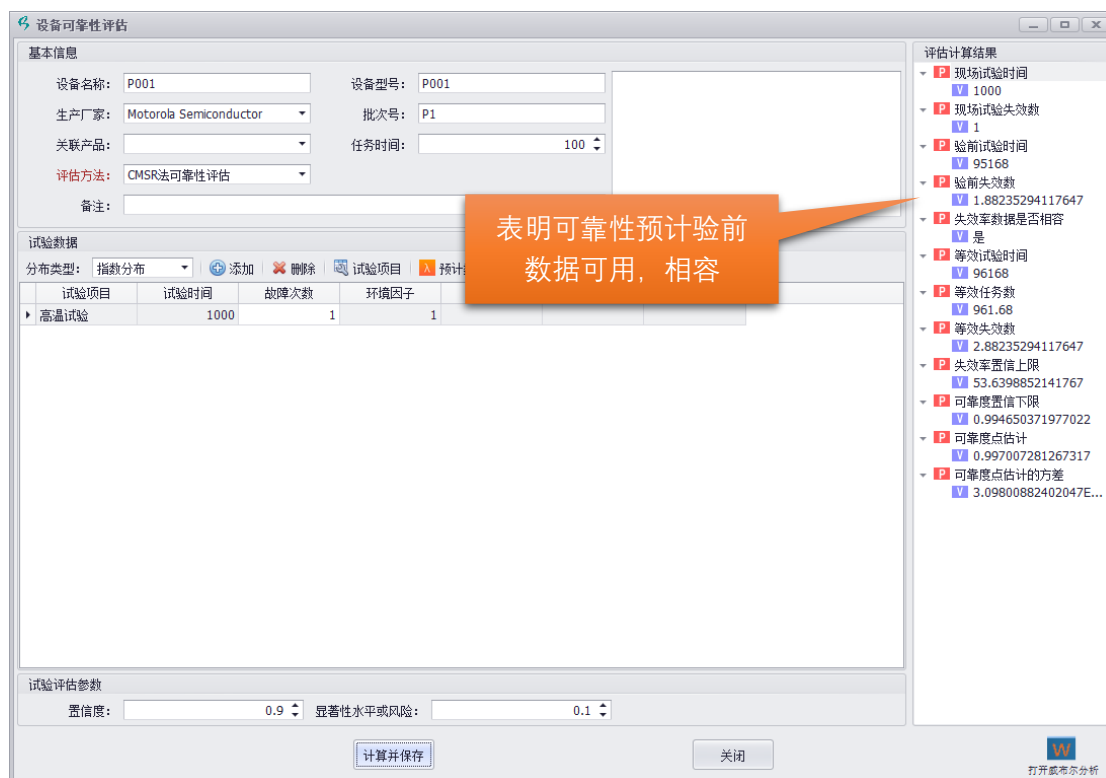


图 16-21 综合可靠性预计数据的可靠性评估

16.6 试验数据相容性检验

无论是在设备可靠性还是系统可靠性评估过程中，各种用于可靠性评估的数据都要进行相容性检验，包括可靠性预计数据、下层次折算到上层的等效试验数据等。

可靠性评估模块内置了数据相容性检验方法，使用卡方检验方法进行检验。若相容，则综合各种数据进行可靠性评估，否则，使用本节点的试验数据进行可靠性评估，舍弃可靠性预计或者下层次等效的试验数据。

16.7 试验项目管理

在录入设备试验数据时，需要输入试验项目信息。可靠性评估模块提供了试

验项目管理功能，可以将本项目开展或者涉及的试验项目进行规范化管理。

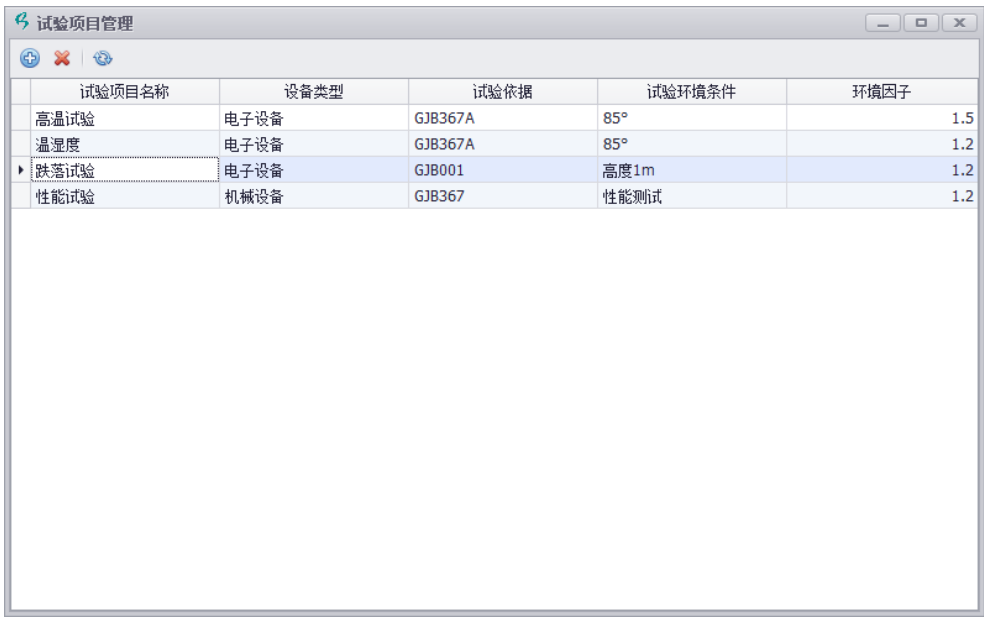
操作方法：

步骤 1：打开设备可靠性评估界面，点击界面的 试验项目 图标，打开试验项目管理界面。

步骤 2：点击 图标，即可添加一条试验项目记录，然后录入试验项目适用的设备类别、试验依据、试验条件、环境因子等数据。

步骤 3：为确保数据的同步更新，建议添加或者删除试验项目数据后，点击 图标进行数据更新。

完成试验项目管理后，在设备/系统可靠性评估界面录入试验数据时，即可直接从基础表下拉选择相应的试验项目。



试验项目管理

试验项目名称	设备类型	试验依据	试验环境条件	环境因子
高温试验	电子设备	GJB367A	85°	1.5
温湿度	电子设备	GJB367A	85°	1.2
跌落试验	电子设备	GJB001	高度1m	1.2
性能试验	机械设备	GJB367	性能测试	1.2

图 16-22 试验项目管理

16.8 设备库管理

当您在创建设备并进行可靠性评估时，可靠性评估模块的设备库自动将设备保存到设备库中，以便在系统可靠性评估中使用，也可以复制设备库的数据，在

其他项目中使用。

点击菜单上的 图标，进入设备管理界面。此时，界面将显示当前项目所有的设备。

双击其中的任意一个设备，可以进行设备的参数编辑。

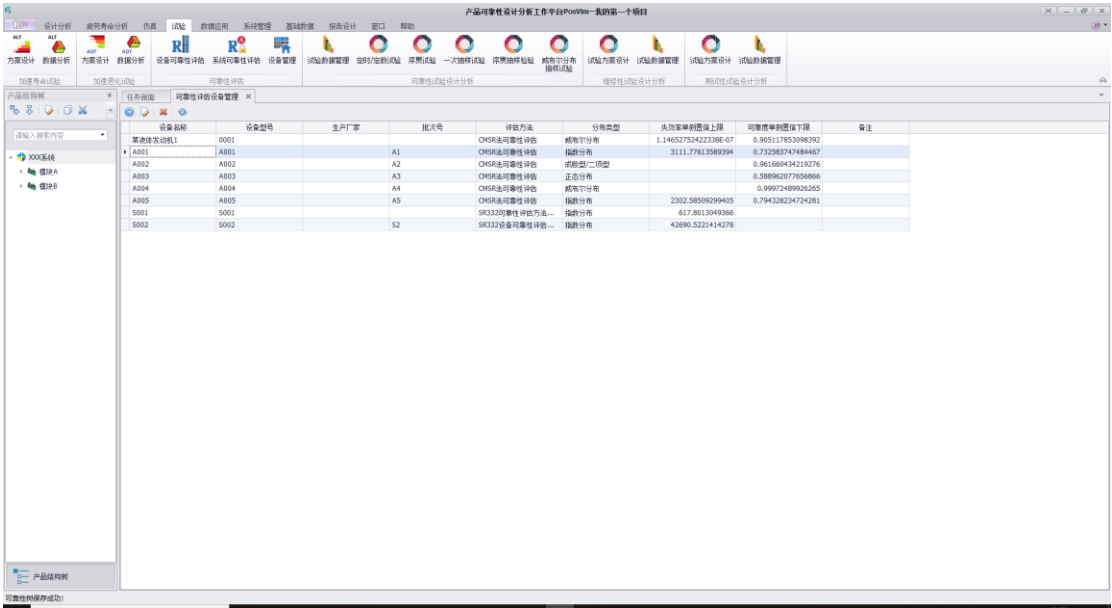


图 16-23 设备库管理

17 测试性分配

测试性分配是自上而下，将顶层的测试性指标（故障检测率、故障隔离率等）逐层往下分配到各分系统、各模块中。

17.1 测试性分配

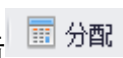
假设已经创建了项目名为“我的第一个项目”的项目，并且建立了根节点为“XXX 系统”的产品结构树（具体操作见第 1、2 节），XXX 系统下面包含模块 A 和模块 B，现在要将“XXX 系统”的测试性指标分配到模块 A 和模块 B 中。

操作如下：

步骤 1：确认您已经打开了名为“我的第一个项目”的项目，并选择设计分析部分，点击  图标，打开测试性分配界面。

步骤 2：选择测试性分配方法，这里假设选择“按故障率分配”。此时，显示需要输入的相关参数。其中，故障检测率输入 0.8，故障隔离率输入 0.8。

步骤 3：点击  图标，获取模块 A 和模块 B 的可靠性预计数据。若无可靠性预计数据，可以手工在对应节点的故障率栏目中直接输入。

步骤 4：点击  图标，即可进行测试性分配。

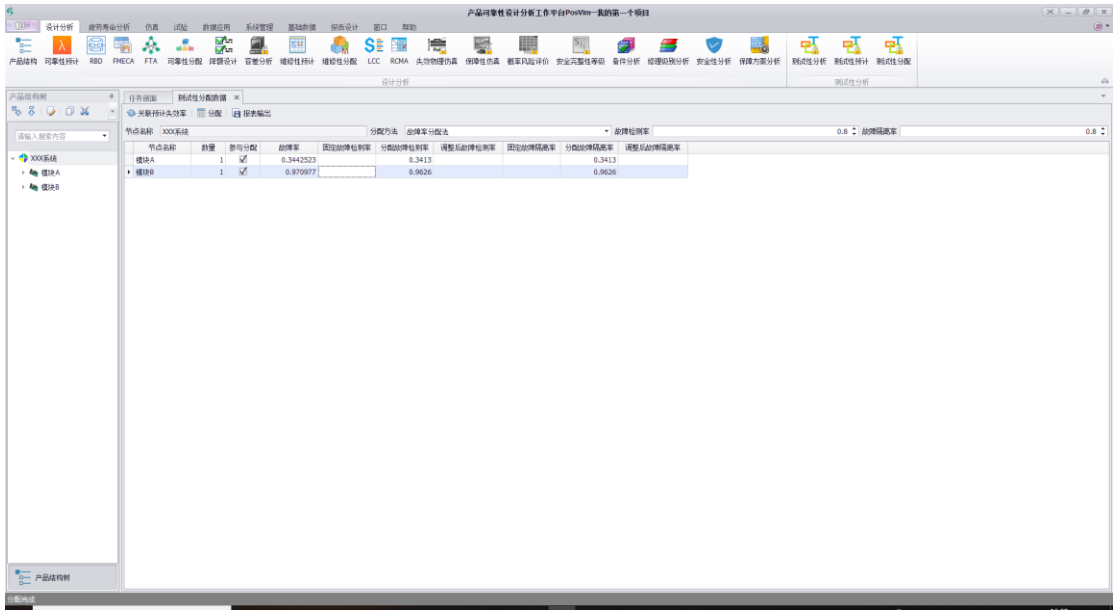


图 17-1 测试性分配

17.2 测试性分配结果调整

一般情况下，需要根据实际情况对测试性分配方法得到的故障检测率、故障隔离率分配结果进行调整，比如取整调整、模块分配结果之间的权衡调整等。

当得到分配结果后，直接在调整后的故障检测率、调整后的故障隔离率等栏目输入调整的数值即可。

任务剖面 测试性分配数据										
关联预计失效率 分配 报表输出										
节点名称 XXX系统				分配方法 故障率分配法			故障检测率			
节点名称	数量	参与分配	故障率	固定故障检测率	分配故障检测率	调整后故障检测率	固定故障隔离率	分配故障隔离率	调整后故障隔离率	
模块A	1	☒	0.3442523		0.3413	0.35		0.3413	0.35	
模块B	1	☒	0.970977		0.9626	0.96		0.9626	0.96	

图 17-2 测试性分配结果调整

17.3 固定元件的测试性分配

往往工程中，系统的某些组成部件的测试性指标是已知的。此时，可以采用固定元件的测试性分配方法。具体操作是：

当得到测试性分配结果后，选中需要固定测试性指标的元件，然后输入固定

的测试性指标即可。

17.4 设置元件的参与不参与分配

工程中，往往有些产品是成熟产品或者陪试产品，不需要进行测试性指标分配。此时，可以把对应节点的“参与分配”栏目下面的勾去掉即可

任务剖面 测试性分配数据 ×										
关联预计失效率 分配 报表输出										
节点名称 XXX系统				分配方法 故障率分配法			故障检测率			
节点名称	数量	参与分配	故障率	固定故障检测率	分配故障检测率	调整后故障检测率	固定故障隔离率	分配故障隔离率	调整后故障隔离率	
模块A	1	☒	0.3442523		0.3413	0.35		0.3413	0.35	
模块B	1	☒	0.970977		0.9626	0.96		0.9626	0.96	

图 17-3 设置参与分配的元件

18 测试性预计

测试性预计可以进行 BIT 预测、系统预测。

操作步骤：

步骤 1：首先确认您当前打开了项目，并创建了产品结构树。若没创建，可参考第 1、2 节创建。假设我们已经创建了第 1、2 节创建了名为“我的第一个项目”，并创建了产品结构树。

步骤 2：点击菜单栏上的图标，进入测试性预计模块。点击产品结构树的任意节点，假设选中“XXX 系统”节点。

步骤 3：点击图标，添加一条测试性预计记录。然后分别填入产品的失效率、故障模式、频数比、测试编号等数据。假设输入两条记录，输入的数据如下图所示。

产品失效号	故障模式	频数比	故障模式失效号	测试编号	PBIT	IBIT	PBIT	ATE测试	人工测试	UD	检测方法	故障率1	故障率2	故障率3	故障率4	虚警率	备注
15 开路		0.2	3 T001	有效	有效	有效		有效			有效						
10 短路		0.8	8 T002	有效	无效	无效		有效			有效						
节点名称:	PBIT:	IBIT:	MBIT:	ATE测试:	人工测试:	UD:	所有方法:	故障率1:	故障率2:	故障率3:	故障率4:	虚警估计:					
XXX系统	11	3	3		11		11	3	3								

图 18-1 测试性预计

步骤 4：输入结束后，界面下方自动统计处 PBIT、IBIT 等预计结果。

19 测试性建模与分析

测试性建模与分析模块，是采用基于多信号流建模技术构建。通过分层构建产品的测试性模型，计算处相关性矩阵 D 矩阵，然后进行包括测试性参数分析（静态、动态），诊断决策树生成等。

PosVim 的测试性建模与分析模块的操作流程如下图所示。

首先，建立“图形化建模”的项目，必须选择使用“图形化建模”方法，否则不能建立图形化的测试性模型。

建立了项目并打开项目之后，分层次绘制产品的测试性模型，描述产品由哪些模块组成，各模块之间有哪些接口等。

分层建立了测试性图形化模型之后，即可进行测试性三要素配置，包括设置信号、设置故障模式、设置测试点及测试项目。

配置完测试性三要素之后，即可进行测试性计算、分析，可计算分析得到相关性矩阵、 D 矩阵、故障检测率、故障隔离率、冗余测试、模糊组、未检测故障等分析结果。

同时，依据相关性矩阵，软件自动生成诊断决策树，可以对诊断决策树进行深入分析。

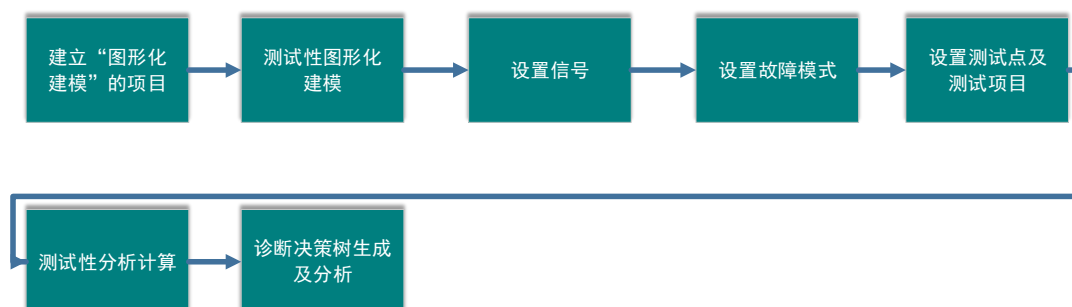


图 19-1 测试性建模与分析模块操作流程

19.1 测试性建模

19.1.1 建立图形化模型

测试性建模需要将产品的组成结构信息以图形化方式建立。因此，首先需要建立产品的图形化测试性模型。

操作步骤：

步骤 1 (若已创建图形化建模的项目,可跳过步骤 1): 点击菜单栏的“窗口”, 然后点击  , 打开项目管理界面, 新建一个项目, 名称输入“XXX 系统测试性分析”, 建模方法选择“图形化建模”。然后点击保存。

若您创建项目时选择的建模方法是“图形化建模”, 则步骤 1 可跳过。否则, 需要新建一个使用图形化建模的项目。



图 19-2 新建项目

步骤 2: 打开项目。此时, 进入测试性建模主界面。界面最左边是产品结构树, 紧跟着是当前项目的测试性模型组成结构列表 (列出有哪些模块、哪些测试点、哪些信号), 中间是绘图主界面, 右边是模型库。

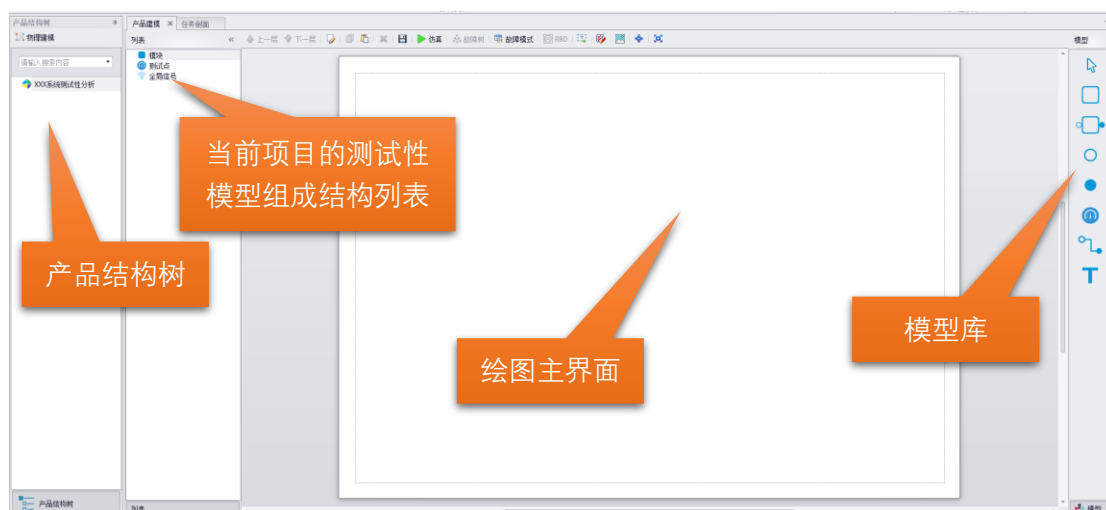


图 19-3 测试性建模界面

步骤 3: 从模型库中拖拽节点进来，点中  图标，拖拽即可。假设在第一层拖拽进来 1 个节点，第二层拖拽进来 3 个节点。进入第二层的方法是点击第一层的节点，右键菜单选择“下一层”即可进入第二层。右键点击第二层空白处，在弹出的右键菜单选择“上一层”即可进入上一层。实现不同层次的切换。

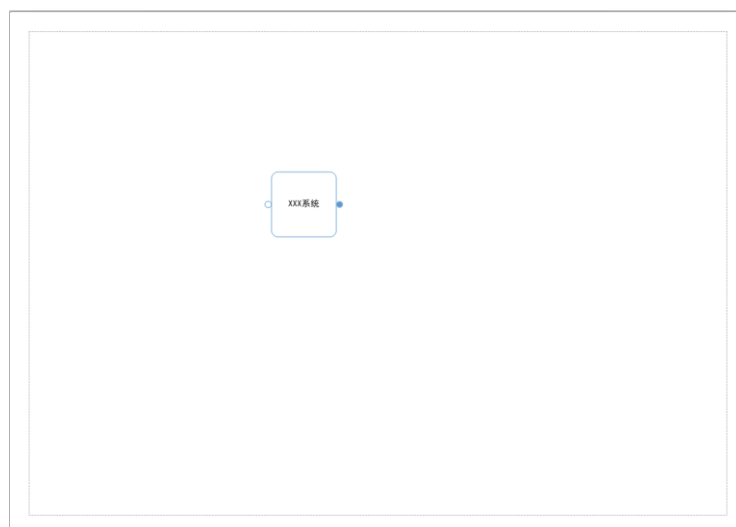


图 19-4 案例第一层

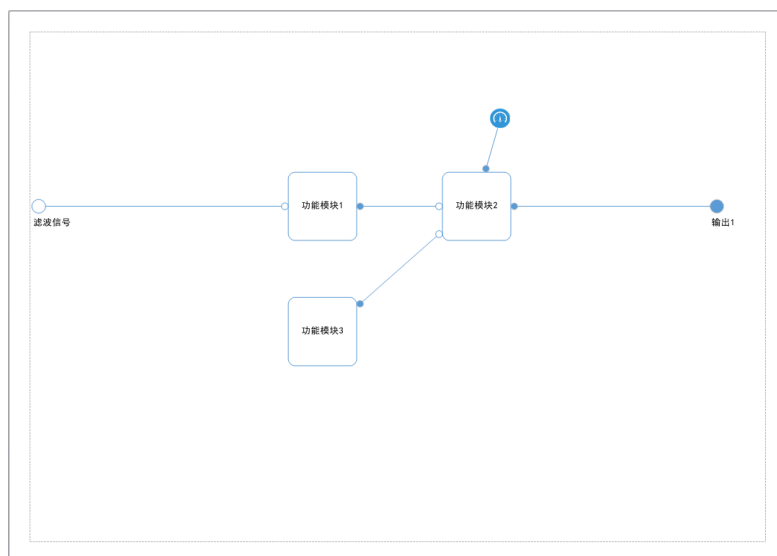


图 19-5 案例第二层

步骤 4: 分别双击各节点，在弹出的节点信息窗口中，输入节点的名称。

步骤 5: 点击  图标，分别把各功能模块节点连接起来。

19.1.2 设置信号

添加信号时，一种方法是直接添加，一种方法是通过读取信号基础库的数据添加。

步骤 1: 双击图形中需要配置信号的节点，假配置功能模块 1 的信号，双击该节点，在弹出的界面中，切换到信号标签页。

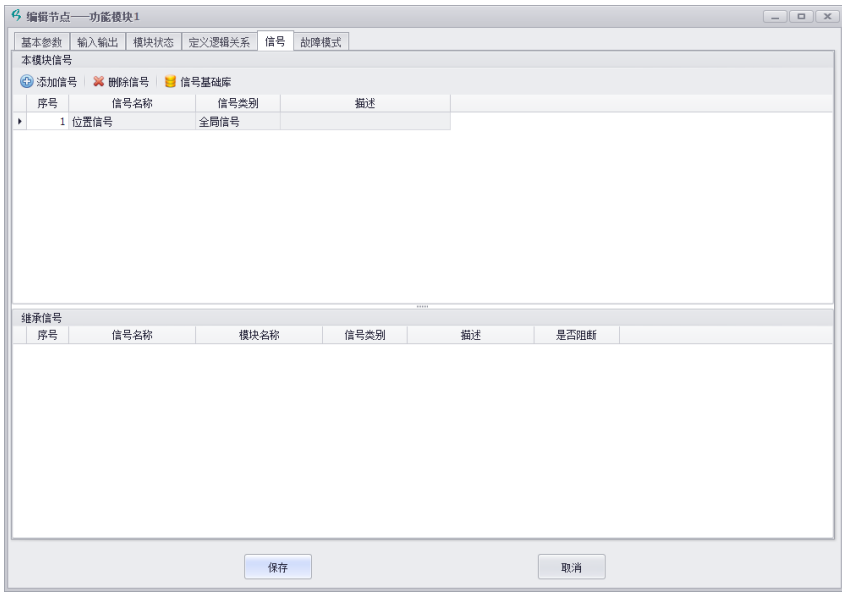


图 19-6 节点属性编辑

步骤 2: 点击  **信号基础库**，弹出信号基础库数据管理界面。分别添加两个信号，即位置信号、电压信号。如下图。添加完毕后，关闭该窗口。若是直接手工添加信号，不从信号基础库选择添加时，可以跳过本步骤。

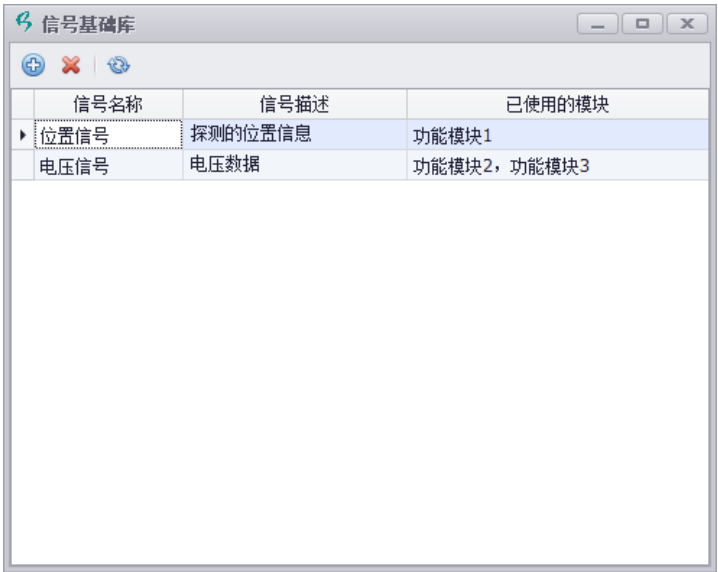


图 19-7 信号基础库管理

步骤 3: 返回“功能模块 1”节点的属性编辑界面。点击  **添加信号** 图标，添加一个信号到功能模块 1。信号名称选择或直接输入“位置信号”，信号类别选择“全局信号”。同理，设置功能模块 2、功能模块 3 的信号。

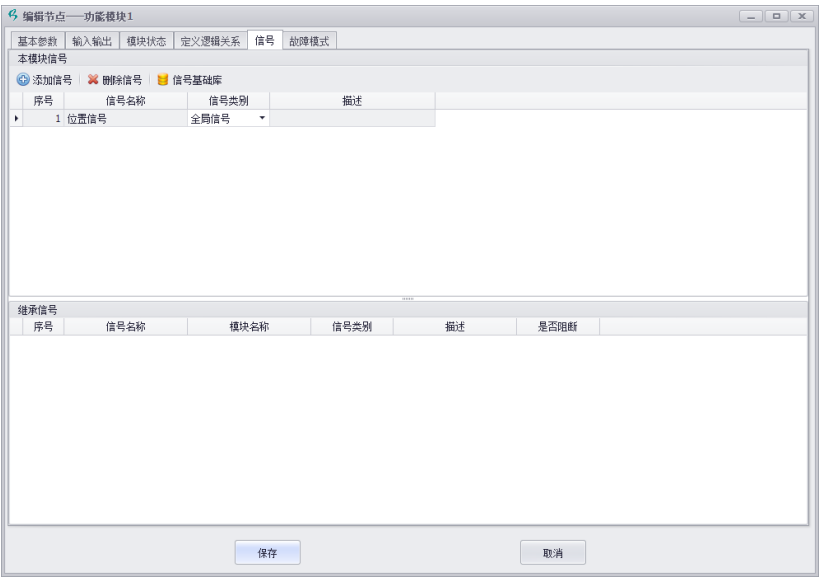


图 19-8 配置信号

如果其他节点与该节点有连接，并有输入信号到本节点，那么继承信号部分会显示其他节点传递到本节点的所有信号。

19.1.3 设置故障模式

测试性建模时，一般区分功能性故障和全局故障。

要设置各节点的故障模式，操作方法是：

步骤 1： 双击图中的任意一个节点，假设双击功能模块 1 节点，在弹出的节点信息编辑界面，切换到“故障模式”标签页。

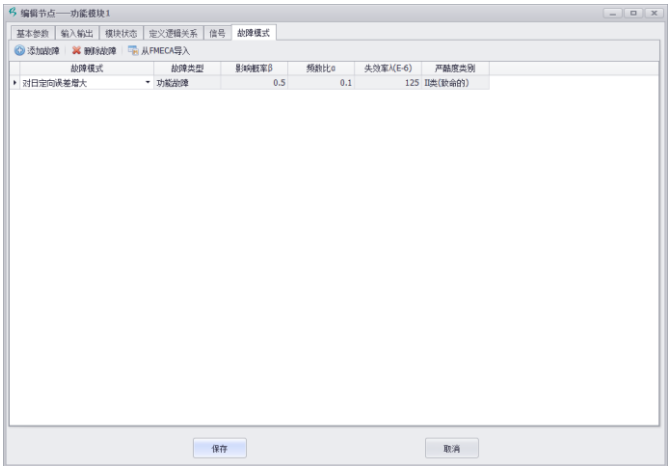


图 19-9 设置故障模式

步骤 2: 软件提供了直接添加故障模式、从 FMECA 模块导入等多种方式添加故障模式。这里假设使用直接添加方法。点击  添加故障 图标，添加一条故障模式记录，然后故障模式栏目可以直接输入故障模式名称，也可以下拉选择（从故障模式基础库选择）。然后输入故障类型（全局故障/功能故障，全局故障是整个设备故障，功能故障只影响指定的功能）。输入影响概率、频数比、失效率等数据（如果是从 FMECA 模块导入，则无需输入，自动获取过来）。同理，添加功能模块 2、模块 3 的故障模式。

19.1.4 设置测试点

设置测试点的步骤如下：

步骤 1: 点击模型库的  图标，拖拽添加一个测试点。输入测试点名称（测试点 1）及层级后，点击  图标，将测试点与模块 2 连接起来。

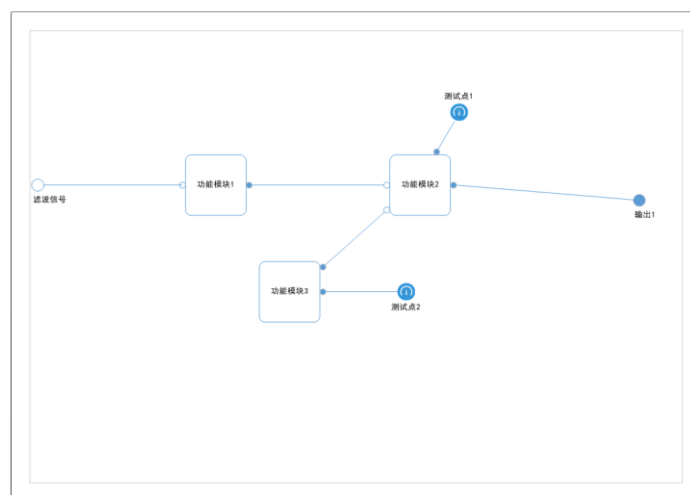


图 19-10 设置测试点

步骤 2: 配置测试点的测试属性。双击功能模块 2 上的测试点 1，弹出测试点属性编辑界面。

点击  添加 图标，添加一个测试项目。需要说明的是：一个测试点可以对应

多个测试项目。

然后输入测试项目名称、测试类型、测试方法，并点击测试信号栏目，从弹出的可选测试信号界面中选择需要测试的信号即可（假设选择电压信号）。也可以直接从测试项目库选择添加。操作方法是点击  从测试项目库选择 图标，然后在弹出的测试项目库管理界面选择其中一个测试项目即可。



图 19-11 配置测试位置及测试信号

步骤 3：同理，在功能模块 3 上也配置一个测试点，测试电压信号。

19.1.5 信号阻断设置

测试性建模过程中，信号区分全局信号、局部信号。而且上一节点传递进来的信号，也可能被当前节点阻断。假设设置功能模块 2 的位置信号阻断，操作方法：

步骤 1：双击功能模块 2 节点，弹出节点编辑窗口。

步骤 2：在继承信号部分，选中“位置信号”，然后在是否阻断栏目，勾选上即可。

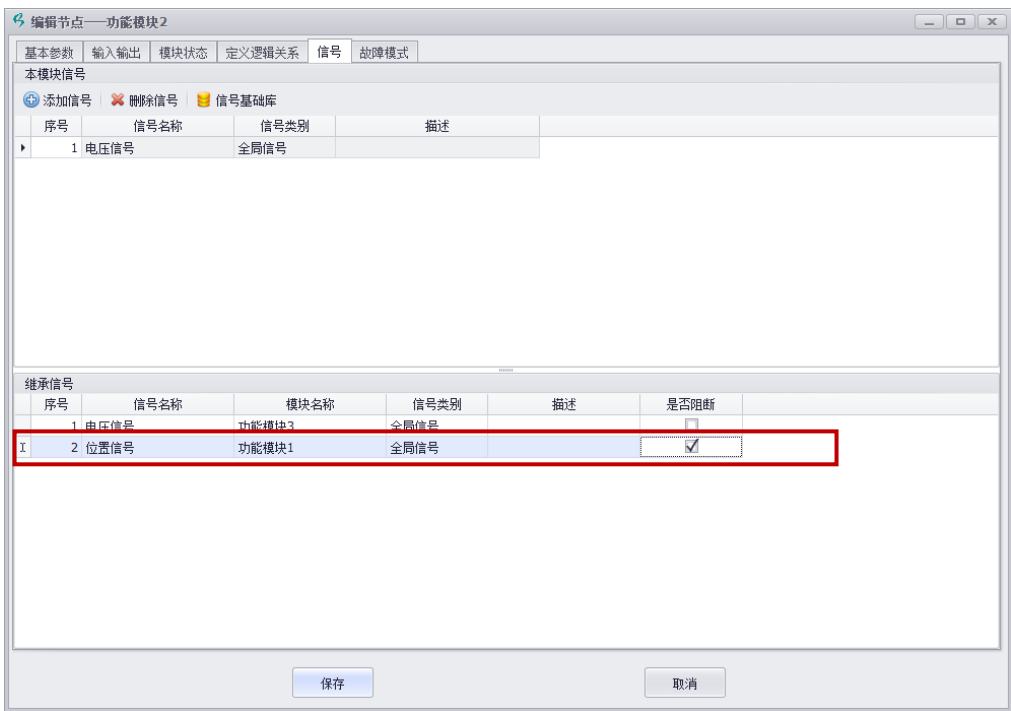


图 19-12 设置阻断信号

19.1.6 上下层切换

上下层切换的方法有两种：

第一种，点击工具栏上的  图标，即可进行上下层切换。

第二种，是点击任意一个节点，右键点击，然后在右键菜单中选择上一层、下一层即可。

19.1.7 测试性模型导出

点击工具栏上的  图标，即可将测试性模型导出。

19.1.8 测试性模型浏览

当创建测试性模型时，软件自动把测试性模型包含的模块、测试点、信号等自动保存到基础库。若需要查看当前测试性模型/项目的详细信息，可点击测试

性模型组成结构列表查看。通过点击相应的模块、测试点或者信号，也可以快速定位到该节点。

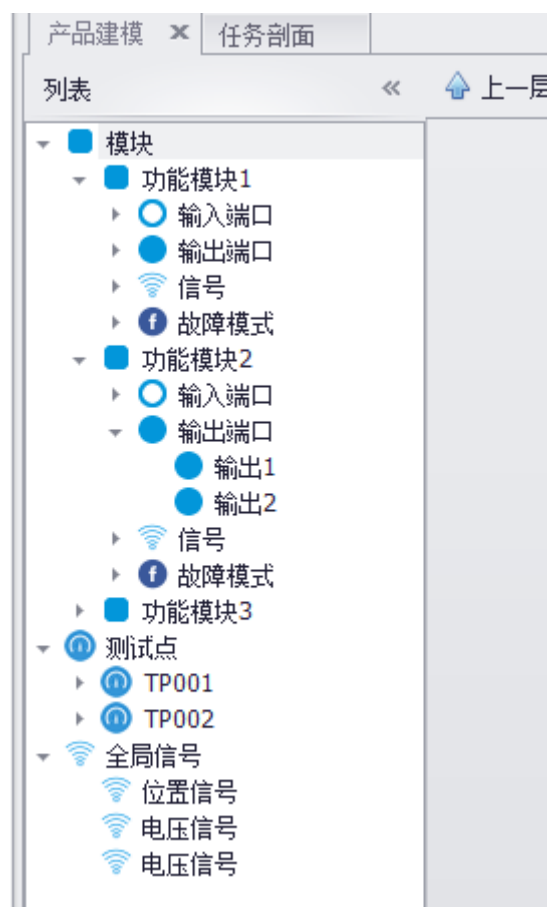


图 19-13 测试性模型组成结构查看

19.2 测试性计算及诊断决策树生成

19.2.1 测试性计算

建完模型之后，点击  图标，即可进行测试性参数计算。

步骤 1： 点击  图标，进入测试性计算界面。如下图所示。

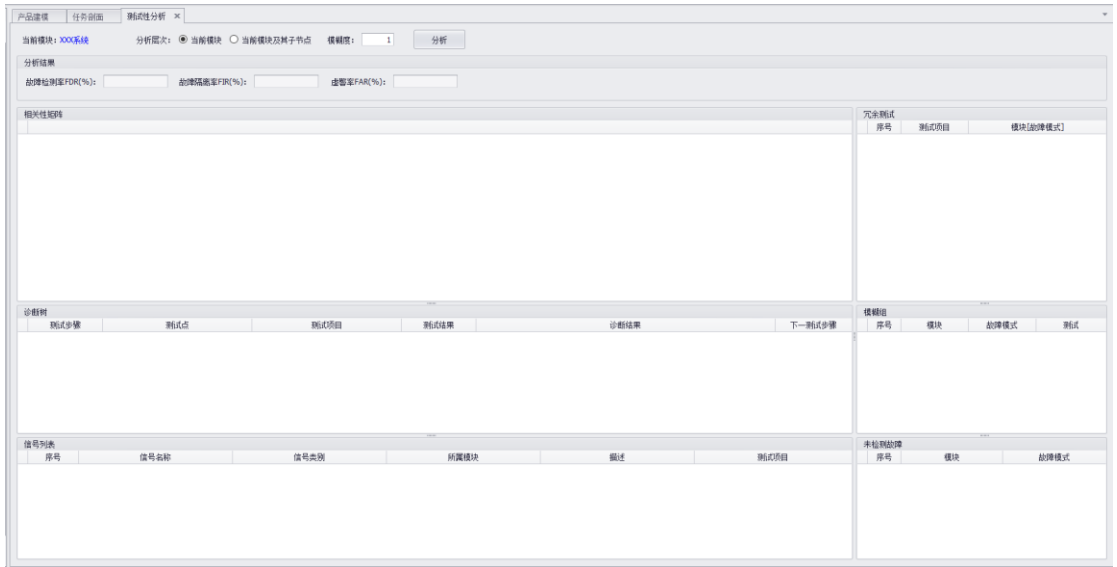


图 19-14 分析界面

步骤 2：选择分析的层次、模糊组大小。然后点击【分析】按钮。即可得到分析结果。可以得到相关性矩阵、D 矩阵、冗余测试、模糊组、未检测故障。

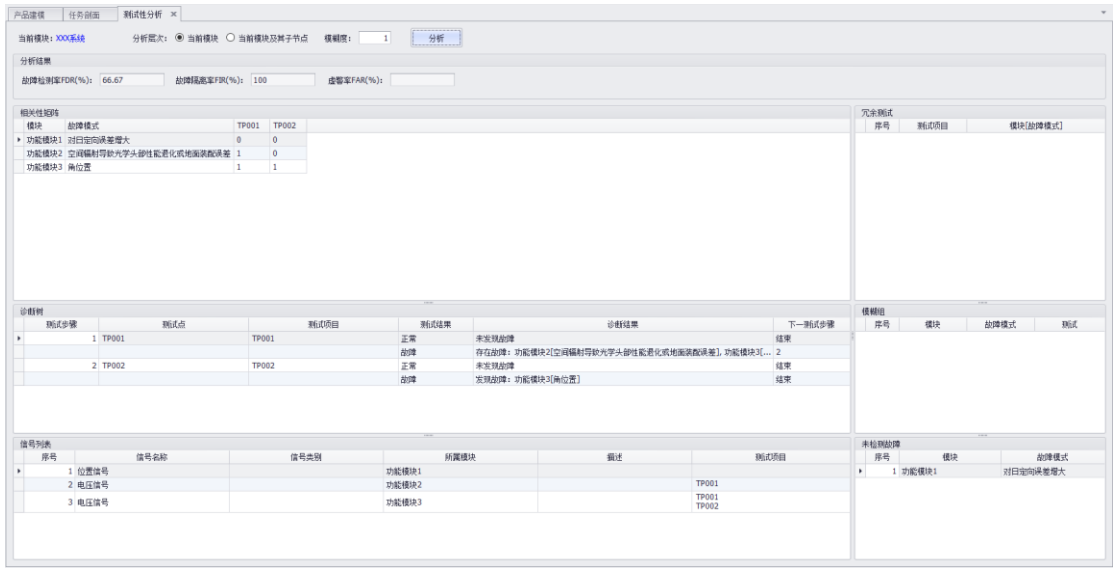


图 19-15 测试性参数计算

19.2.2 诊断决策树生成与分析

进入测试性分析界面后，点击【分析】按钮，可得到诊断树分析结果。

可以点击 **下一测试步骤**，逐步查看诊断决策树分析结果。

诊断树	测试步骤	测试点	测试项目	测试结果	诊断结果	下一步测试步骤
	1	TP001	TP001	正常	未发现故障	2
				故障	存在故障：功能模块2[空间辐射导致光学头部性能退化或地面装配误差]，功能模块3[...	3
	2	TP001	TP003	正常	未发现故障	
				故障	发现故障：功能模块1[对日定向误差增大]	结束
	3		TP002	正常	未发现故障	4
				故障	发现故障：功能模块3[角位置]	结束
	4	TP001	TP003	正常	未发现故障	结束
				故障	发现故障：功能模块1[对日定向误差增大]	结束

图 19-16 诊断决策树分析

19.3 分析结果导出

选择需要导出的分析结果，然后点击右键，选择“excel 导出”即可。

19.4 某飞行控制系统 CMS 的测试性建模与分析

根据前面的操作步骤，详细介绍某飞行控制系统 CMS 的测试性建模、分析。

19.4.1 建立图形化模型

参考 19.1.1 节绘制一个两层的产品模型。

第一层绘制 4 个模块，分别是飞行管理系统 cms、飞行控制系统、MCDU、起落架系统。如下图所示，拖拽方式绘制第一层即可。

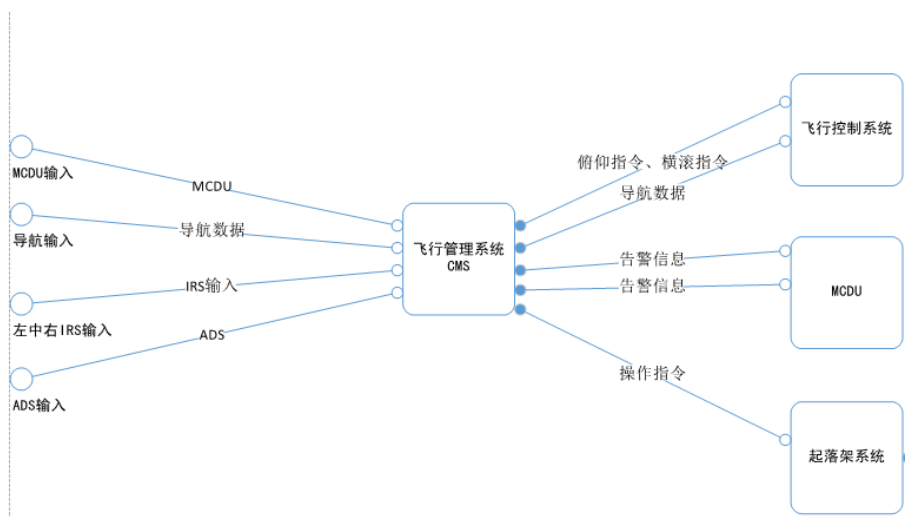


图 19-17 第一层（某飞机系统）

点击飞行管理系统 CMS，然后进入第二层。在飞行管理系统 CMS 的下一层

次，通过拖拽方式，创建包含 IRS 数据综合功能模块、无线电位置计算、导航数据库、位置滤波器、精密滤波器、导航精度监视等模块。并按照如下图所示，进行连接。

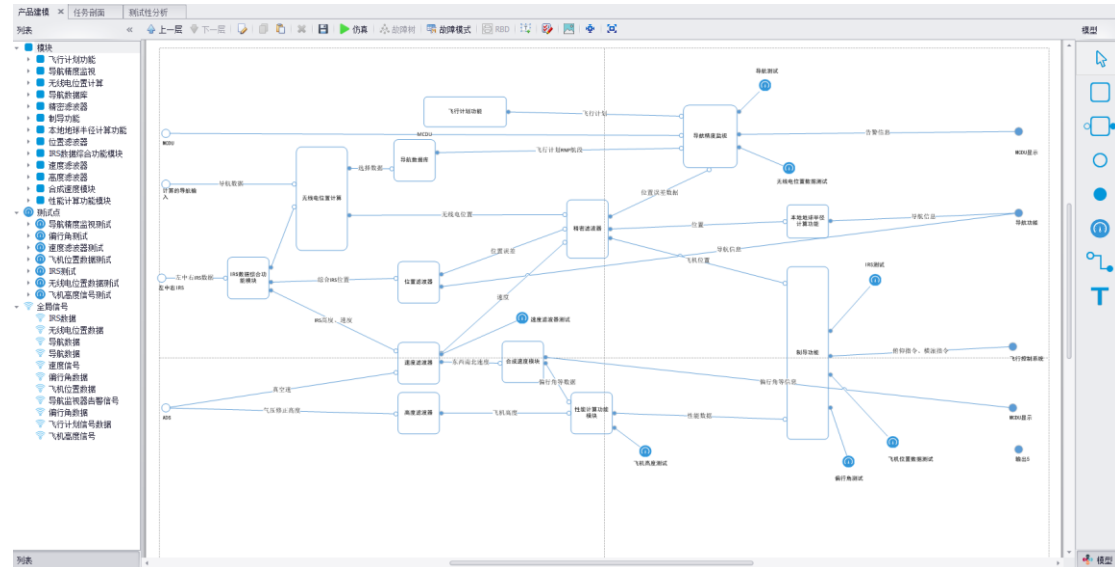


图 19-18 第二层（飞机飞行管理系统 CMS）

19.4.2 设置信号

分别进行各模块的信号设置，例如，点击第二层的“无线电位置计算”模块，在弹出的信息编辑界面，切换到信号标签页，然后参考 19.1.2 节设置信号。其他模块采用同样的设置方法设置。

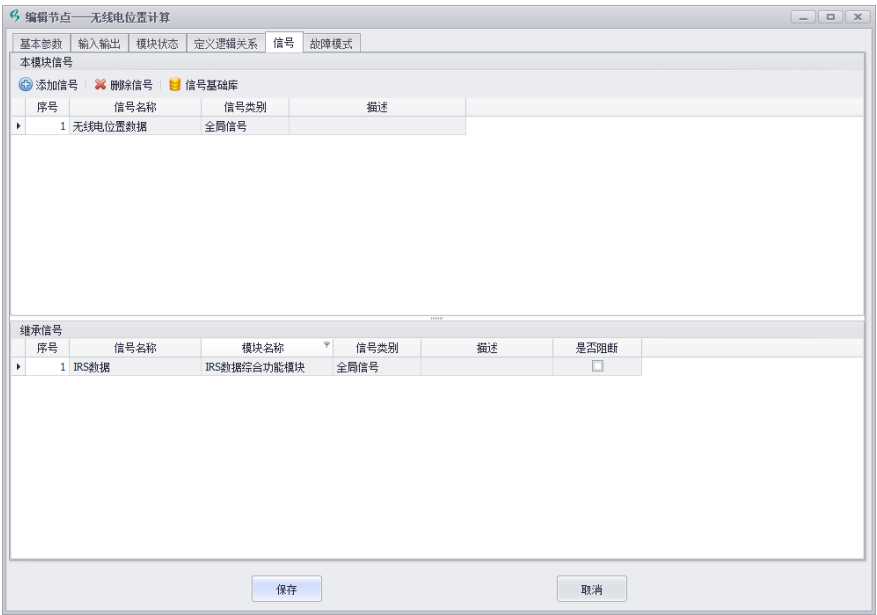


图 19-19 设置信号

19.4.3 设置故障模式

参考 19.1.3 节，设置各个模块的故障模式。例如，点击第二层的“无线电位置计算”模块，在弹出的信息编辑界面，切换到故障模式标签页，点击 添加故障图标添加一条故障模式。如下图所示。

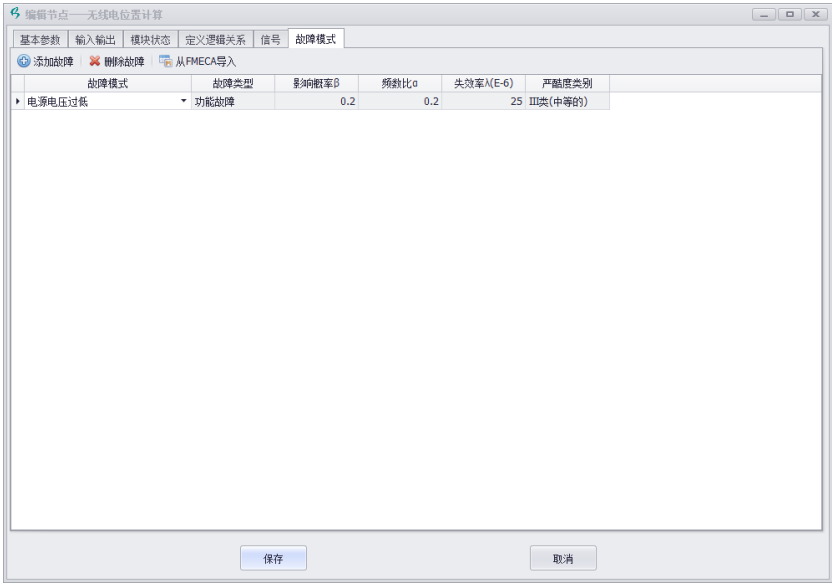


图 19-20 设置故障模式

19.4.4 设置测试点

测试点的放置根据系统实际的设计进行放置。例如，前面我们添加的“无线电位置计算”模块的故障，我们可以在“导航精度监视”模块的输出端进行测试。因此，我们拖拽一个测试点到“导航精度监视”模块旁边，然后双击该测试点。在弹出的测试设置界面，参考 19.1.4 节操作方法，添加测试项目，并关联测试信号。这里选择前面添加的“无线电位置数据”信号。其他模块的测试采用类似方法进行操作。

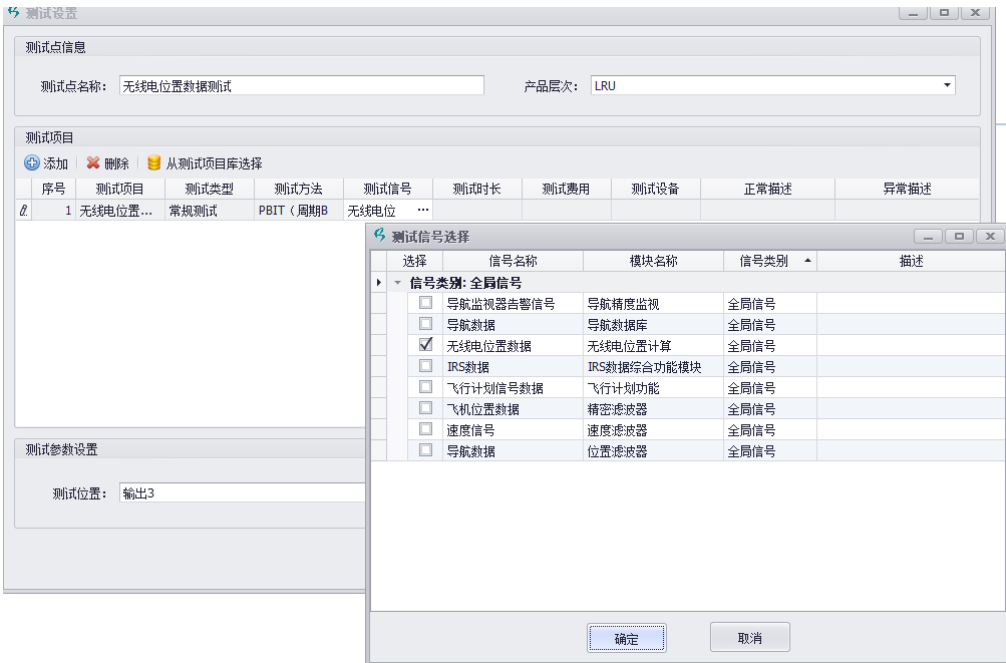


图 19-21 设置测试点、测试项目

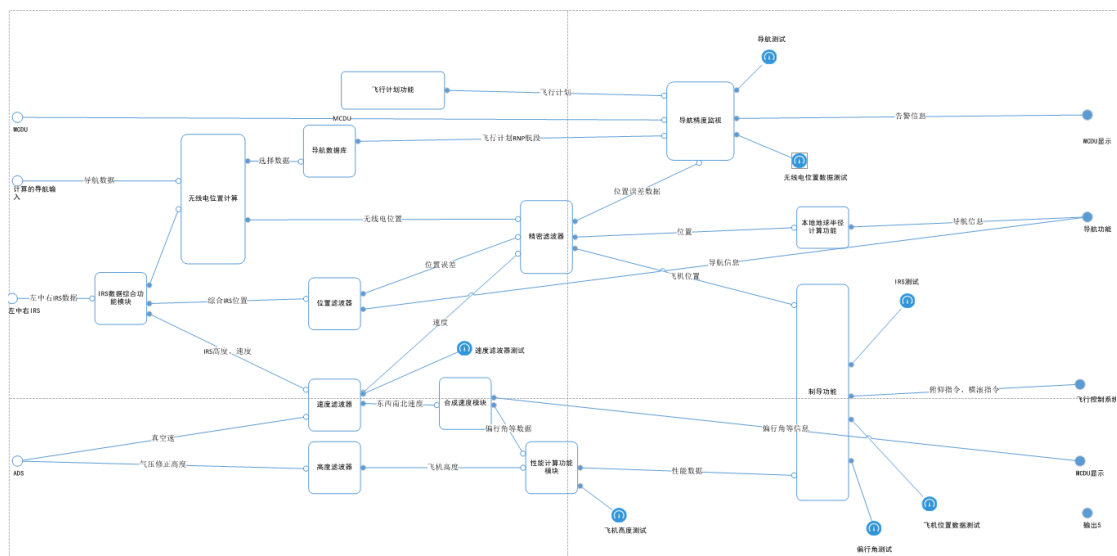


图 19-22 飞行管理系统 CMS 的测试点设置

19.4.5 测试点及测试项目查看

对于复杂系统来说，可能建立的模型层次较多。直接通过图形查看不方便。此时，可以用测试性模型的组成结构列表查看本项目创建的测试性模型，包含哪些模块、每个模块包含什么输入、输出端口、关联的信号、故障模式等信息。操作方法是点开绘图界面左边的测试性模型列表即可查看。如下图。

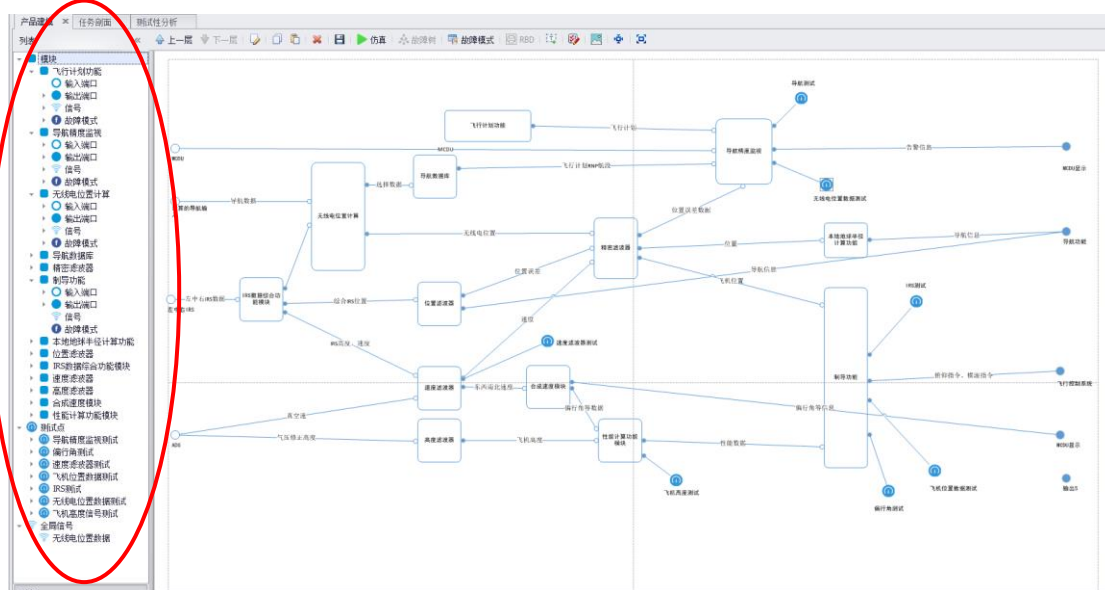
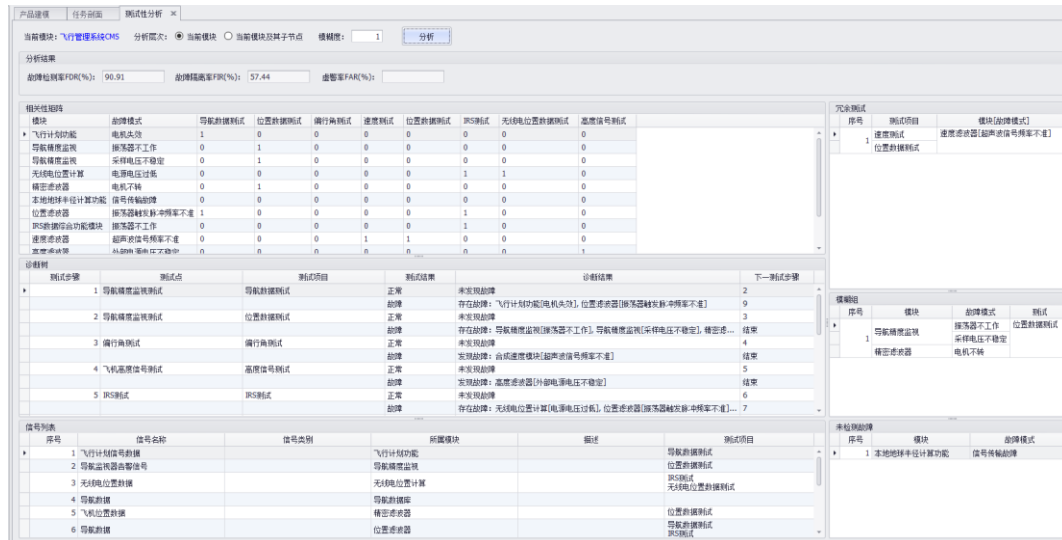


图 19-23 查看测试性模型信息

19.4.6 测试性分析

当把所有的测试点、测试项目都配置好以后，点击菜单栏上的  图标，进行计算。计算结果如下图所示。可以参考 7.3 节进行各种测试性分析结果的导出。



该截图展示了测试性分析的结果界面。顶部显示了分析结果摘要，包括故障检出率 FDR(%) 为 90.91，故障漏检率 FRR(%) 为 57.44，虚警率 FAR(%) 为 0。下方是一个详细的数据表格，列出了各种测试项及其结果。右侧有一个“完整测试”面板，显示了测试项的树状结构。底部有一个“信号列表”表格，列出了信号名称、信号类别、所属模块、描述、测试项目和测试结果。

测试步骤	测试点	测试项目	测试结果	诊断结果	下一步测试步骤
1	导航精度监视测试	导航精度监视测试	正常	未发现故障	2
2	导航精度监视测试	位置数据测试	故障	存在故障：飞行计划功能[电机失速]、位置滤波器[滤波滤波器频率不准]...	9
3	偏行角测试	偏行角测试	正常	未发现故障	3
4	飞机高度信号测试	高度信号测试	正常	未发现故障	4
5	IRS测试	IRS测试	故障	存在故障：高度滤波器[滤波滤波器频率不准]、位置滤波器[滤波滤波器频率不准]...	5
6	IRS测试	IRS测试	故障	存在故障：高度滤波器[滤波滤波器频率不准]、位置滤波器[滤波滤波器频率不准]...	6
7	IRS测试	IRS测试	故障	存在故障：高度滤波器[滤波滤波器频率不准]、位置滤波器[滤波滤波器频率不准]...	7

图 19-24 测试性分析结果

19.4.7 诊断树生成与分析

点击菜单栏上的  图标，可得到所有的测试性分析结果，包括诊断决策树。点击“下一测试步骤”，可以逐步查看诊断步骤。



该截图展示了诊断决策树的界面。表格列出了测试步骤、测试点、测试项目、测试结果和诊断结果。表格右侧有一个“下一测试步骤”按钮，用于逐步查看诊断步骤。

测试步骤	测试点	测试项目	测试结果	诊断结果	下一测试步骤
9	IRS测试	IRS测试	正常	未发现故障	10
10	导航精度监视测试	位置数据测试	正常	未发现故障	11
11	偏行角测试	偏行角测试	正常	未发现故障	12
12	飞机高度信号测试	高度信号测试	正常	未发现故障	13
1	导航精度监视测试	导航精度监视测试	正常	未发现故障	2
2	导航精度监视测试	位置数据测试	正常	未发现故障	3
3	偏行角测试	偏行角测试	正常	未发现故障	4
4	飞机高度信号测试	高度信号测试	正常	未发现故障	5
5	IRS测试	IRS测试	正常	未发现故障	6
6	IRS测试	IRS测试	故障	存在故障：高度滤波器[滤波滤波器频率不准]、位置滤波器[滤波滤波器频率不准]...	7

图 19-25 诊断决策树

20 修理级别分析

修理级别分析是针对产品各组成部分 SRU/LRU/SSRU，通过非经济性和经济性分析手段，判断、决策其最佳的维修级别，以及是否需要报废。修理级别分析模块以 GJB2961 标准为主要依据。

20.1 选择产品平台与类型

由于不同的应用平台、不同的产品，其修理级别分析流程各不相同。修理级别分析模块内置了包括陆军装备、航空装备、海军舰船装备的修理级别分析流程。这些流程可以进行配置管理。

这里假设以陆军装备为例。其他平台的操作方法相同。

步骤 1：假设已经进入了名为“我的第一个项目”的项目，该项目的产品结构树已经建立，并点击  图标，进入了修理级别模块。若未创建项目及产品结构树，可参考第 1、2 节创建。

步骤 2：选中产品结构树节点模块 A，点击



选择陆军装备。若是属于其他类型装备，点击切换即可。

20.2 非经济性分析

步骤 3：选择了平台后，右边显示当前平台的修理级别分析决策树，可参考该决策树进行分析。这里假设是陆军装备。从左边的决策树可见，第一步是开展非经济性分析。

步骤 4：点击切换到非经济性分析界面。目前选中的节点是模块 A。操作步骤：

4a: 从软件内置的非经济性分析要素（共 11 条），逐条判断是否有哪条适用于模块 A 的非经济性分析的。假设模块 A 要考虑安全性因素，只能在中继级和基地级维修。那么，在第一条（安全性）的“是否限制”勾选上，然后分别点击中继级、基地级，并在下拉选项中选择维修。如下图所示。



图 20-1 非经济性分析流程

4b: 点击 **非经济性分析计算** 按钮，进行非经济性分析。

4c: 点击 **应用** 按钮，将会采信当前的维修级别分析结果，并在分析方法栏目显示当前得到的分析结果所使用的方法是“非经济性分析”。

20.3 经济性分析

当完成了非经济性分析后，往往不能确定明确的维修级别。此时，需要采用经济性分析手段，进行不同维修级别的权衡、判断。

步骤 5: 保持选中模块 A 的状态下，切换到经济性分析页面。此时，界面显示模块 A 的经济性分析需要考虑的因素，包括备件费用、设施费用、维修人力费用、资料费用等。这些经济性分析因素项可以配置，软件内置了不同应用平台下的修理级别分析的经济性分析因素模板，可以直接使用，也可以进行配置。这里

步骤6: 点击  按钮, 即可得到经济性分析结果以及对应的维修

步骤 7: 点击 按钮，可以应用经济性分析结果作为修理级别判断结

步骤 8: 点击  保存 图标，可以将分析结果保存。

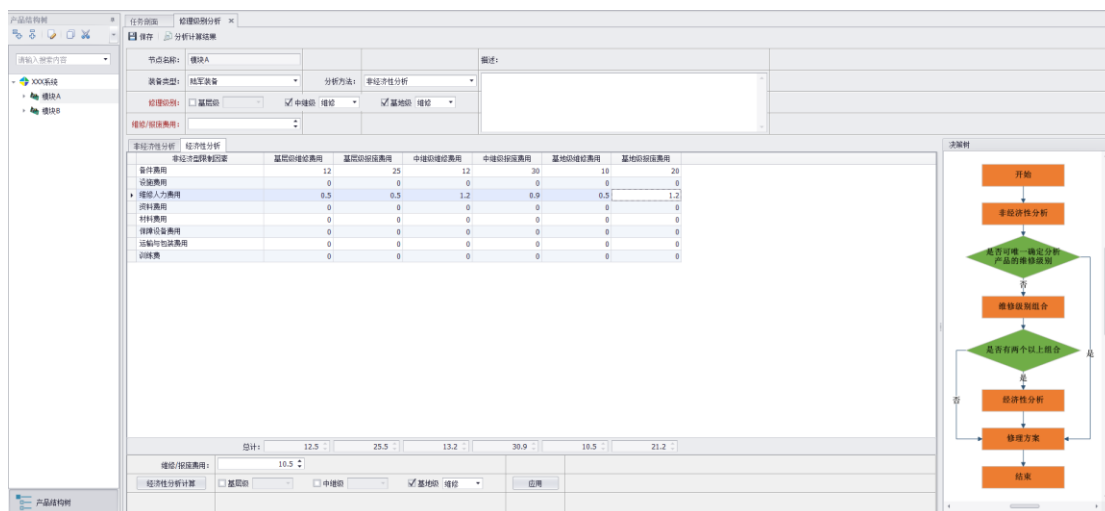


图 20-2 经济性分析

20.4 分析结果汇总输出

步骤 9: 点击  分析计算结果 图标，即可查看相应的修理级别分析结果。

步骤 10: 点击  导出到Excel，可以将分析结果导出。

任务剖面修理级别分析修理级别分析结果

显示范围当前产品刷新导出到Excel

产品名称	修理级别	分析方法	维修/报废费用	描述
模块A	基地级维修	经济性分析	10.5	

图 20-3 分析结果查看与输出

21.2 使用资源分析

使用资源分析是以使用工作分析得到的操作步骤为输入，且均与使用工作编码关联。即一个使用工作编码对应一个使用操作步骤集合、以及一个使用资源集合。进行使用资源分析的步骤：

步骤 1：选中前述添加的使用工作编号，例如选中前面添加的编号为 A001 的使用工作记录，然后在下方的页面点击 使用资源分析，切换到使用资源分析页面。此时，对应 A001 使用工作的操作步骤信息全部获取过来了。

步骤 2：对于每一个操作步骤，分别输入备件/消耗品名称及数量、工具和设备名称、技术文件名称等。如下图所示。

任务剖面		使用工作分析		维修工作分析				
添加		删除						
使用编号		任务阶段	使用保障工作名		使用保障工作内容		备注	
A001		地面阶段	检查外观		发动机、起落架			

图 21-2 使用资源分析

分析过程中的备件、工具、设备、技术文件等保障资源，可以直接调用保障资源库的数据，选择对应的保障资源。保障资源库可进行管理、维护，可以进行增加、删除、编辑、查看保障资源。

21.3 维修工作分析

维修工作分析的操作方法与使用工作的操作相似。

- 步骤 1：**选中产品结构树的任意一个节点。假设选择“XXX 系统”节点。

步骤 2：点击 维修工作分析 × 切换到维修工作分析页面。点击界面上方的 + 添加

图标，添加一条维修工作记录。并输入维修工作控制编号（唯一标识）、维修工作类别（预防性维修、修复性维修、战场抢修）、作业频次、修理级别（基地、中继、基层级）等基本信息，如下图所示。假设输入的维修编号为 R001。

步骤 3：选中前面添加的其中一条使用工作编号，然后点击下方图标，将该维修工作进行详细的分解，即分解成多个维修作业。逐个按顺序填入维修作业编号、维修作业说明、作业开始时间、作业结束时间、作业频次等。

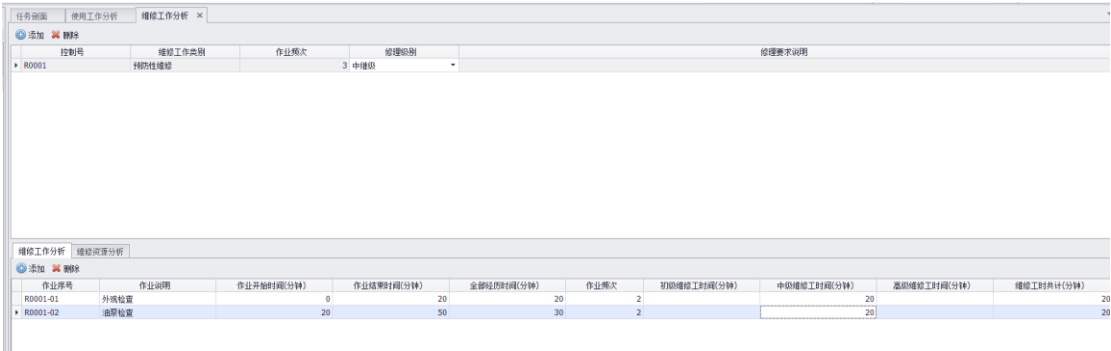


图 21-3 维修工作分析

21.4 维修资源分析

维修资源分析是以维修工作分析得到的维修作业为输入，且均与维修工作控制编码关联。即一个维修工作控制编号对应一个维修作业集合、以及一个维修资源集合。进行维修资源分析的步骤：

步骤 1：选中前述添加的维修作业控制编号，例如选中前面添加的编号为 R001 的维修工作记录，然后在下方的页面点击，切换到维修资源分析页面。此时，对应 R001 维修工作的维修作业信息全部获取过来了。

步骤 2：对于每一个维修作业，分别输入更换件名称、数量、测试/保障设备名称、数量等。如下图所示。

任务树图		维修工作分析		维修工作分析		✕			
添加		删除							
控制号		维修工作类别		作业频次		故障级别		故障需求说明	
RD001		预防性维修		3		中低级			

22 备件分析

备件分析是以 GJB 4355 标准为依据，合理确定各产品所需要配备的初始备件清单、消耗品清单等。

22.1 备件保障概率计算

这里假设以 XXX 系统为例，选择模块 A 进行备件保障概率计算。

步骤 1: 确认已打开了名为“我的第一个项目”的项目，创建了产品结构树，并点击  图标进入了备件分析模块。若未创建项目和产品结构树，参考第 1、2 节创建。

步骤 2: 选中产品结构树中的模块 A 节点。在备件清单页面中，点击  添加一条备件清单分析记录。分别输入名为“设备 001”、编码 A001、生产单位、单机用数 2、初始保障时间 10，修理周转期 2，MTBF3000h。

步骤 3: 点击  图标，打开备件保障概率计算界面。分别输入 MTBF 参数、MCT 参数、可用度要求、供应反应时间，点击计算，即可得到备件保障概率 p 的数值。



备件保障概率p计算

备件名称: 设备1001

装备平均故障间隔时间 (TBF): 300

平均修复时间 (Mct): 3

使用可用度 (AO): 0.98

平均供应反应时间 (TSR): 24

备件保障概率p: 0.869898

计算 保存 取消

图 22-1 备件保障概率计算

22.2 备件量计算

确定了备件量保障概率后, 可以点击  图标, 进入备件量计算界面, 计算所需的备件量。

步骤 4: 此时, 可以看到本模块提供了多种方法供选择, 点击计算方法下拉列表即可看到具体提供的方法, 包括指数分布寿命件的计算方法、威布尔分布的寿命件计算方法、正态分布寿命件计算方法、战时修理计算模型等。这里假设选择指数分布寿命件的计算方法。

备件量计算方法	方法描述	备件保障概率p默认取值
▶ 指数分布寿命件	该模型主要适用于具有恒定失效率的零部件。一般说，正常使用的电子零部件都属于指数寿命件，如：印制电路板插件、电子部件、电阻、电容、集成电路等。	0.8~0.99
威布尔分布寿命件	该模型主要适用于机电件。如：滚珠轴承、继电器、开关、断路器、某些电容器、电子管、磁控管、电位计、陀螺、电动机、航空发电机、蓄电池、液压泵、空气涡轮发动机、齿轮、活门、材料疲劳件等。	0.8~0.99
正态分布寿命件	该模型主要适用于机械件。如：汇流环、齿轮箱、减速器等。	0.8~0.99
战时修理		
工程经验法	有寿命、有使用期或首翻期的备件	
工程经验法	军用飞机不修复备件	

图 22-2 备件量计算方法、模型

步骤 5：备件量保障概率 p 、单机用数量等数据默认已经获取过来，也可以修改。补充输入累计工作时间、失效率参数即可。

步骤 6：点击计算，即可得到该模块 A 对应的备件量需求。



备件名称: 设备1001

计算方法: 指数分布寿命件

备件保障概率P: 0.869898 计算

单机用数N: 2

累积工作时间: 1500

失效率(E-6): 200

备件量: 1

计算 保存 取消

图 22-3 备件量计算

22.3 备件费用计算

步骤 7: 点击  费用计算 图标，打开费用计算界面。此时，可以看到费用计算提供了初始备件购置费计算、考虑物价指数和工资指数的备件费用计算等方法。可以根据需要选择合适的方法。这里假设选择初始备件购置费计算方法。

步骤 8: 直接输入费用参数，然后点击计算即可。点击保存，退出。

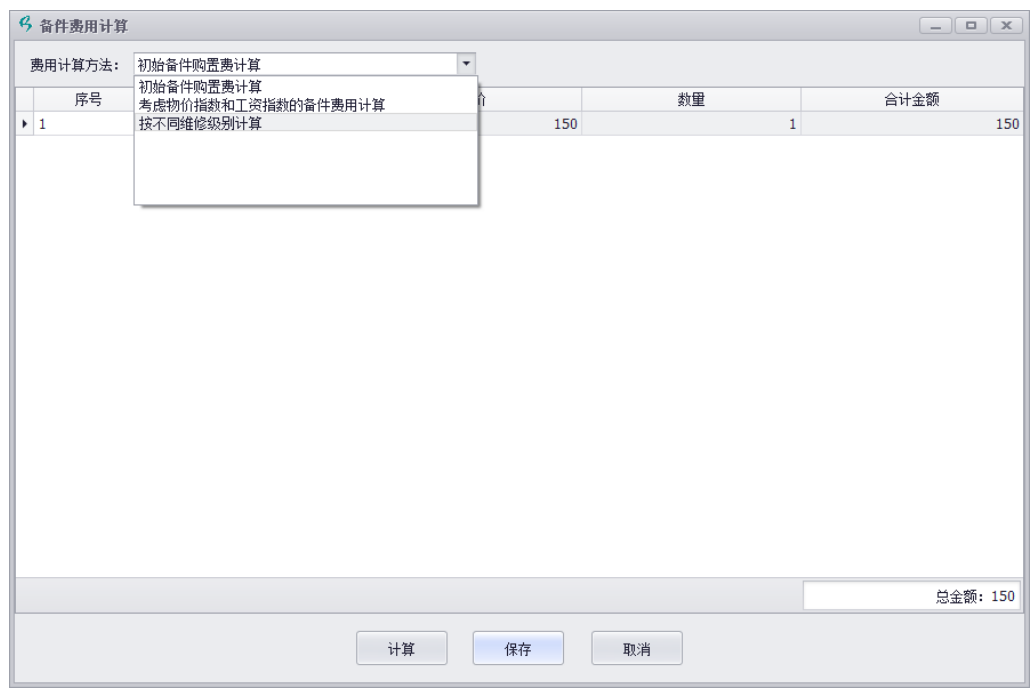


图 22-4 备件费用计算

22.4 备件清单导出

点击  图标，即可将备件清单导出。

22.5 消耗品清单分析

除了上面备件分析外，还可以对消耗品类清单进行分析。

操作步骤：

步骤 1：假设选中模块 A，点击  添加一条消耗品分析记录。

步骤 2：分别填入名称、型号、用量、供应间隔时间、配置级别等。单价可

以直接输入，也可以点击  按钮进行计算，计算方法与 22.3 节相同。

消耗品清单

🔄

✖

🧮 费用计算

📄 导出清单

配置级别												
序号	名称	型号	单机用量(数)	单位	供应时间间隔(h)	基层级	中地级	基地级	单价	数量	合计金额	备注
▶ 1	消耗品001	S001	2	个	100	☐	☒	☐	150	2	300	
											总金额: 300	

图 22-5 消耗品清单分析

22.6 消耗品清单导出

单击
 
 图标，即可将消耗品清单导出。

23 维修性与测试性试验方案设计

23.1 维修性试验方案设计

维修性试验方案设计功能模块是依据 GJB2072《维修性试验与评定》设计，用于制定维修性试验方案，包括用于验证修复时间均值 MTTR 的维修时间平均值试验方法、用于验证均值与最大修复时间组合要求的均值与最大修复时间的组合序贯试验方法等，关于这些方法的详细介绍，可参阅 GJB2072。维修性试验方案设计功能模块包括试验方案设计及试验数据管理两部分。

23.1.1 试验方案设计

创建试验方案的操作流程：

步骤 1：首先确认您已经打开了名为“我的第一个项目”的项目，建立了产品结构树。关于如何创建项目、创建产品结构树，参见第 1、2 节。

步骤 2：菜单栏切换到“试验”部分，然后选中产品结构树的“XXX 系统”，以节点“XXX 系统”为对象进行维修性试验方案设计，点菜单栏上方的  图标进入了维修性试验设计界面。此时，弹出维修性试验管理界面。

步骤 3：点击界面的  图标，添加一条维修性试验方案记录。并在方案名称输入“XXX 系统维修性试验”。点击保存。

The screenshot displays a software window titled "维修性试验方案管理" (Maintenance Test Plan Management). Inside, there is a table with four columns: "方案名称" (Plan Name), "受试产品名称" (Test Product Name), "计划试验日期" (Planned Test Date), and "备注" (Remarks). Overlaid on this is a "新建试验方案" (Create New Test Plan) dialog box. The dialog box contains the following fields and controls:

- * 方案名称:** A text input field containing "XXX系统维修性试验".
- 受试产品名称:** A text input field containing "XXX系统".
- 计划试验日期:** A date selection dropdown menu.
- 备注:** A large text area for additional notes.
- Buttons:** "保存" (Save) and "取消" (Cancel) buttons at the bottom.

图 23-1 维修性试验方案创建

步骤 4: 点击保存后，默认打开了试验方案设计界面。维修性试验方案设计功能模块提供了维修时间均值验证方法等多种方法，可以根据实际使用需求选用。按照要求，分别输入方差、维修时间均值可接受值 u_0 、维修时间不可接受值 u_1 等参数，如下图所示。

步骤 5: 点击计算，即可得到样本量计算结果。

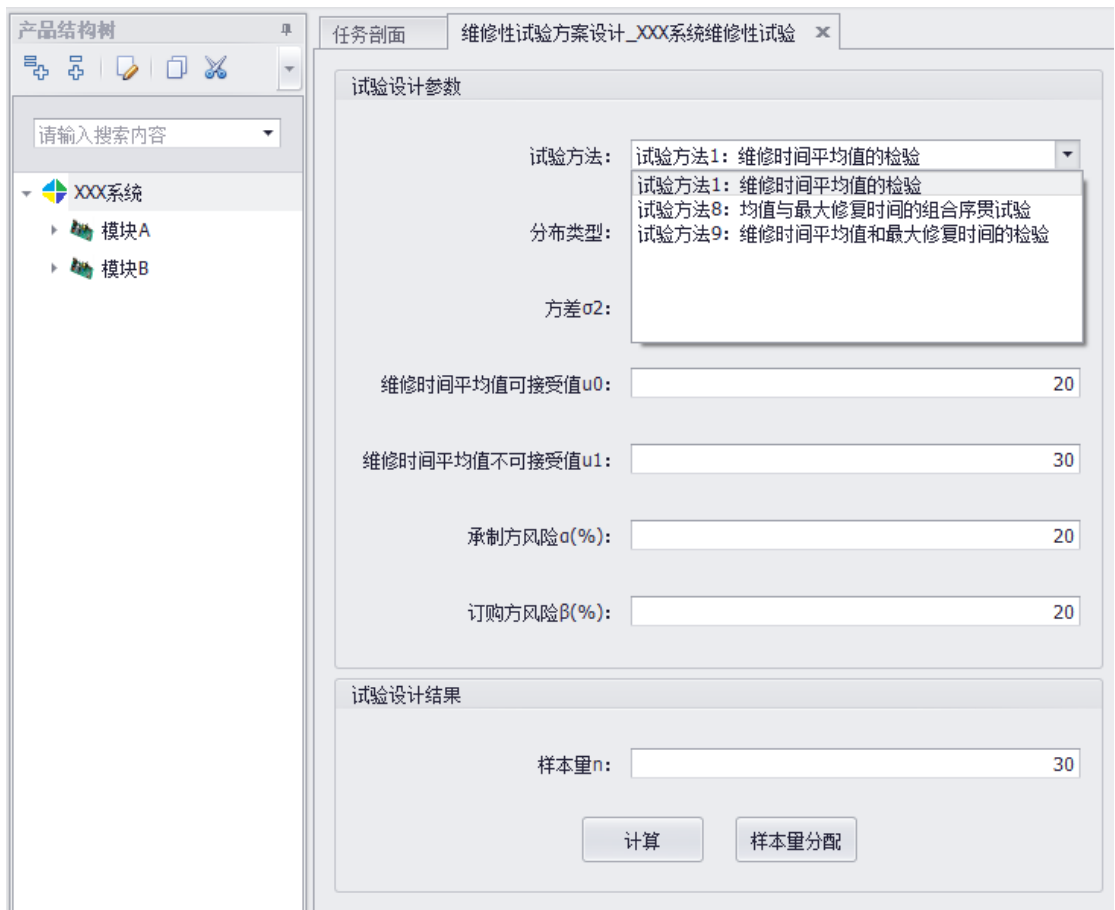


图 23-2 维修性试验方案设计

23.1.2 样本量分配

当完成上述样本量计算后，可对试验过程中各种维修作业进行样本分配，具体操作流程如下

步骤 6：接上述步骤 5，在维修性试验方案设计界面中点击【样本量分配】按钮，打开样本量分配界面。假设分析的对象为某雷达系统，点击图标，添加一条维修作业记录。然后分别录入组成单元名称、需维修的产品、维修作业、估计的维修时间、故障率或频率的参数，如下图所示。

步骤 7：点击【分配】按钮，完成样本量分配。

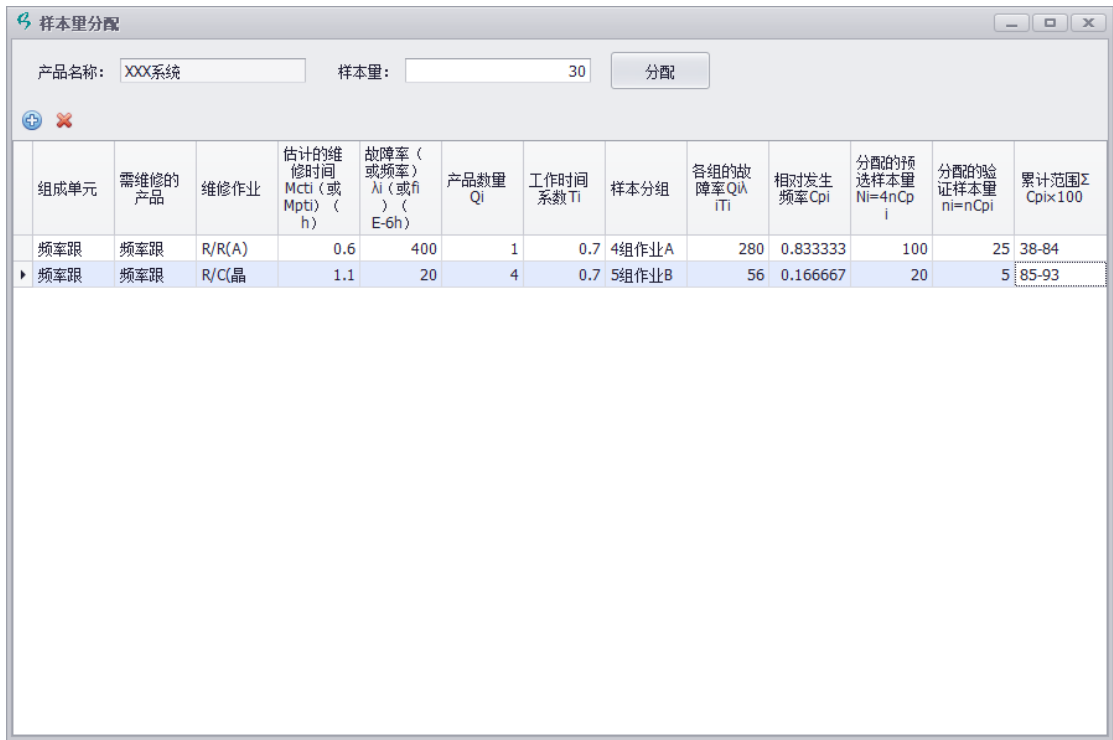


图 23-3 样本量分配

23.2 维修性试验数据管理

23.2.1 维修性试验数据的录入

当根据维修性试验方案实施维修性试验后，采集到相应的维修性试验数据。可通过维修性试验数据管理功能模块，实现试验数据的采集、处理。

步骤 1：选中产品结构树的任意一个节点（注意：只有选中与前面进行试验方案设计相同的节点，后续验证才能选择对应的试验方案进行验证），点击菜单栏上试验部分的  图标，进入维修性试验数据管理功能模块。

步骤 2：点击  图标，增加一条试验数据记录。名称输入“XXX 系统的维修性试验数据”，点击保存。

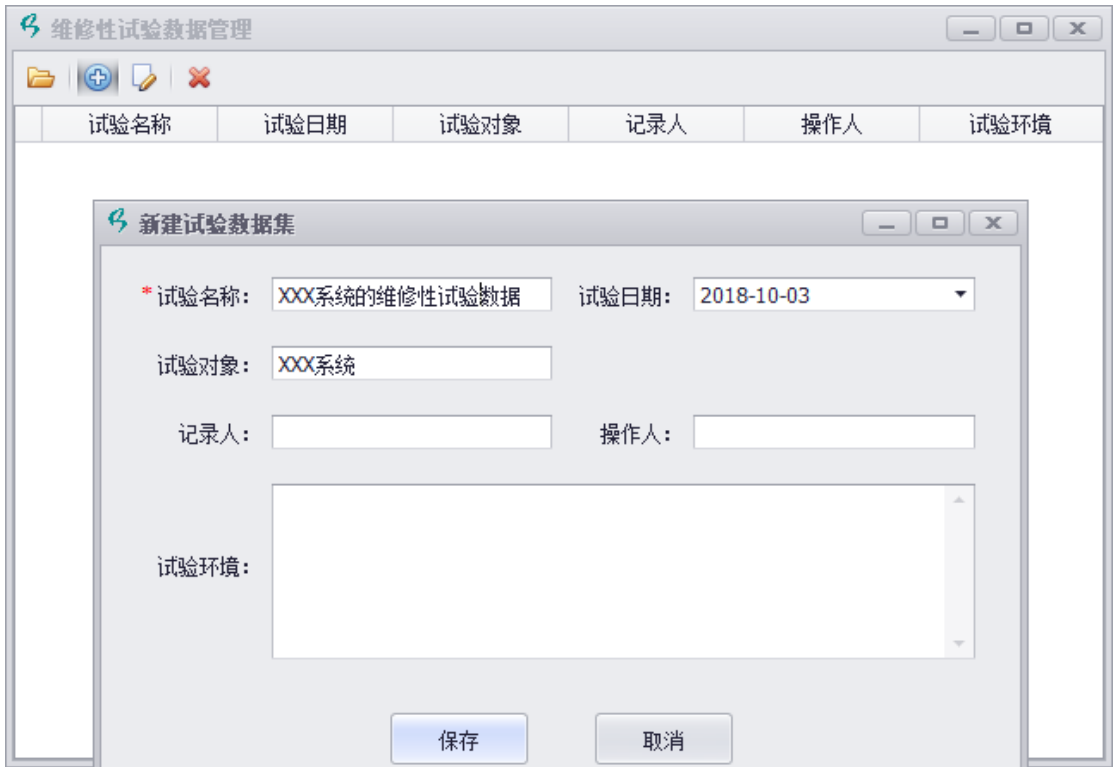


图 23-4 维修性试验数据记录创建

步骤 3: 在打开的维修性试验数据录入界面，点击 图标，新增一条维修性试验数据，然后分别填入编号、单元或零部件名称、自然或模拟故障、工具等信息。逐条添加即可。

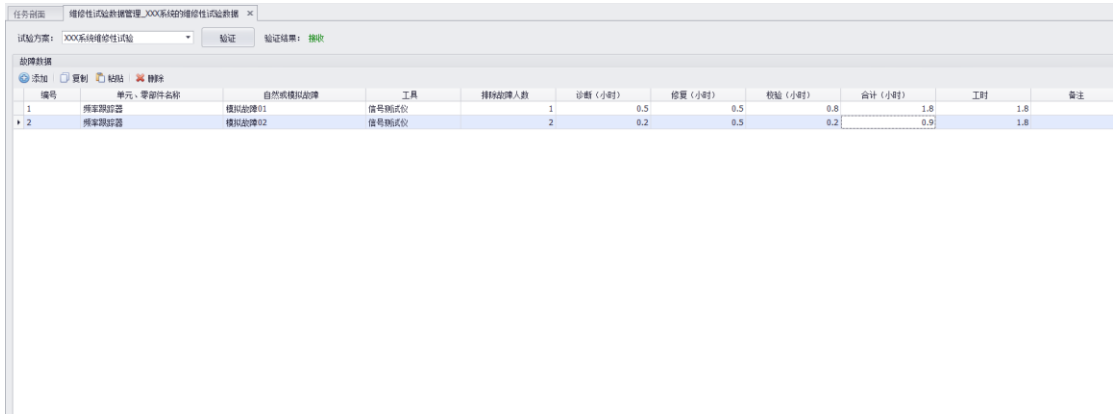


图 23-5 维修性试验数据录入

23.2.2 维修性指标验证

当录入完维修性试验数据后，可以根据原来的试验方案设计进行指标符合性验证，判断是否可接收。

步骤 4：接上述步骤 3，在界面中选择试验方案 ，选择 23.1.1 小节设计的试验方案。然后点击【验证】按钮。

此时，将会根据录入的试验数据，以及设计的试验方案进行验证计算。若接收，则在界面的验证结果处显示“接收”。



图 23-6 结果验证

23.3 测试性试验方案设计

23.3.1 试验方案设计

创建测试性试验方案的流程：

步骤 1：选中产品结构树中的任意节点，这里假设选中的是节点“XXX 系统”。

然后点击菜单栏上方的  图标，进入测试性试验方案管理界面。

步骤 2：在测试性试验方案管理界面，点击  图标，添加一个试验方案，并输入名称“XXX 系统测试性试验”。点击保存。

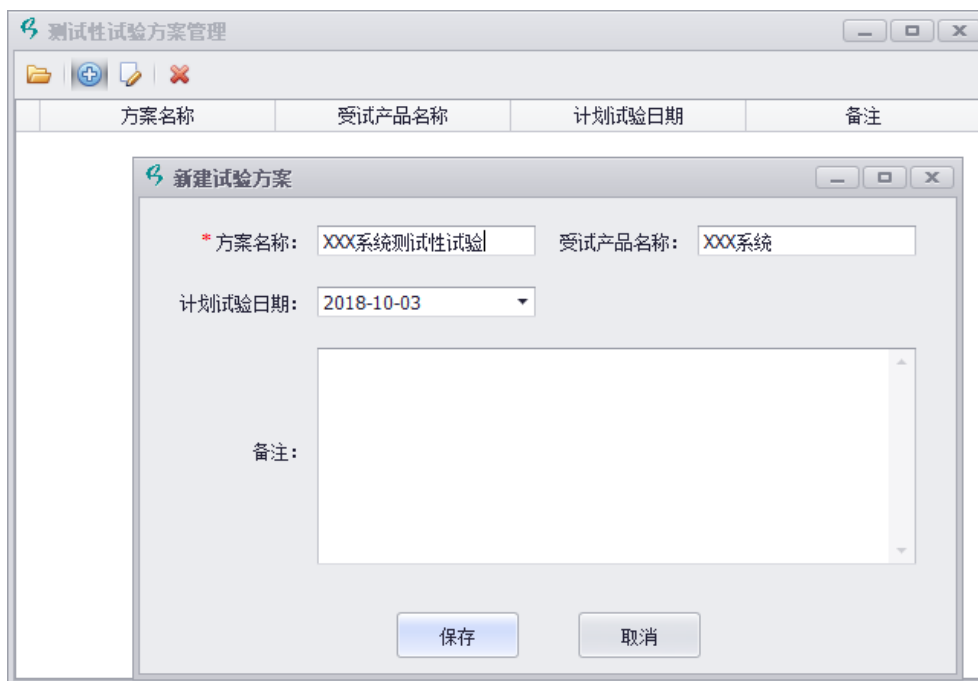


图 23-7 测试性试验方案记录创建

步骤 3: 点击保存后，自动打开了测试性试验方案设计界面。如下图所示。

首先根据产品特点选择分布类型（对数正态、正态、指数等），然后输入方差，选择需要通过测试性试验检测的参数（故障检测率/隔离率等），输入参数的可接受值 u_0 和不可接受之值 u_1 ，以及双方的风险值。

步骤 4: 点击【计算】按钮，即可计算得到样本量。

任务剖面 维修性试验数据管理_XXX系统的维修性试验数据 测试性试验方案设计_XXX系统测试性试验

试验设计参数

分布类型: 对数正态分布

方差 σ^2 : 0.5

检验参数: 故障检测率

不可接受值 u_0 : 0.9

不可接受值 u_1 : 0.8

承制方风险 α (%): 20

订购方风险 β (%): 20

试验设计结果

样本量 n : 103

计算 样本量分配

图 23-8 测试性试验方案设计

23.3.2 样本量分配

当完成上述样本量计算后,可对试验过程中各种维修、测试作业进行样本分配,具体操作流程如下

步骤 6: 接上述步骤 5,在测试性试验方案设计界面中点击【样本量分配】按钮,打开样本量分配界面。假设分析的对象为某雷达系统,点击 $\oplus$ 图标,添加一条维修、测试作业记录。然后分别录入组成单元名称、需维修测试的产品、维修测试作业、估计的维修测试时间、故障率或频率的参数,如下图所示。

步骤 7: 点击【分配】按钮,完成样本量分配。

样本量分配

产品名称: XXX系统

样本量: 103

分配

组成单元	需维修的产品	维修作业	估计的维修时间 Mcti (或 Mpti) (h)	故障率 (或频率) λi (或fi) (E-6h)	产品数量 Qi	工作时间 系数Ti	样本分组	各组的故障率 Qλi iTλi	相对发生频率 Cpi	分配的精选样本量 Ni=4nCpi i	分配的验证样本量 ni=nCpi	累计范围 ΣCpi×100
雷达位...	雷达位...	R/RA	0.5	35	1	0.8	6组	28	0.777778	320	80	
偏移角...	偏移角...	R/RA	0.5	10	1	0.8	7组	8	0.222222	92	23	

图 23-9 样本量分配

23.4 测试性试验数据管理

23.4.1 测试性试验数据的录入

当根据测试性试验方案实施测试性试验后，采集到相应的测试性试验数据。可通过测试性试验数据管理功能模块，实现试验数据的采集、处理。

步骤 1：选中产品结构树的任意一个节点（注意：只有选中与前面进行试验方案设计相同的节点，后续验证才能选择对应的试验方案进行验证），点击菜单栏上试验部分的图标，进入测试性试验数据管理功能模块。

步骤 2：点击图标，增加一条试验数据记录。名称输入“XXX 系统的测试性试验数据”，点击保存。

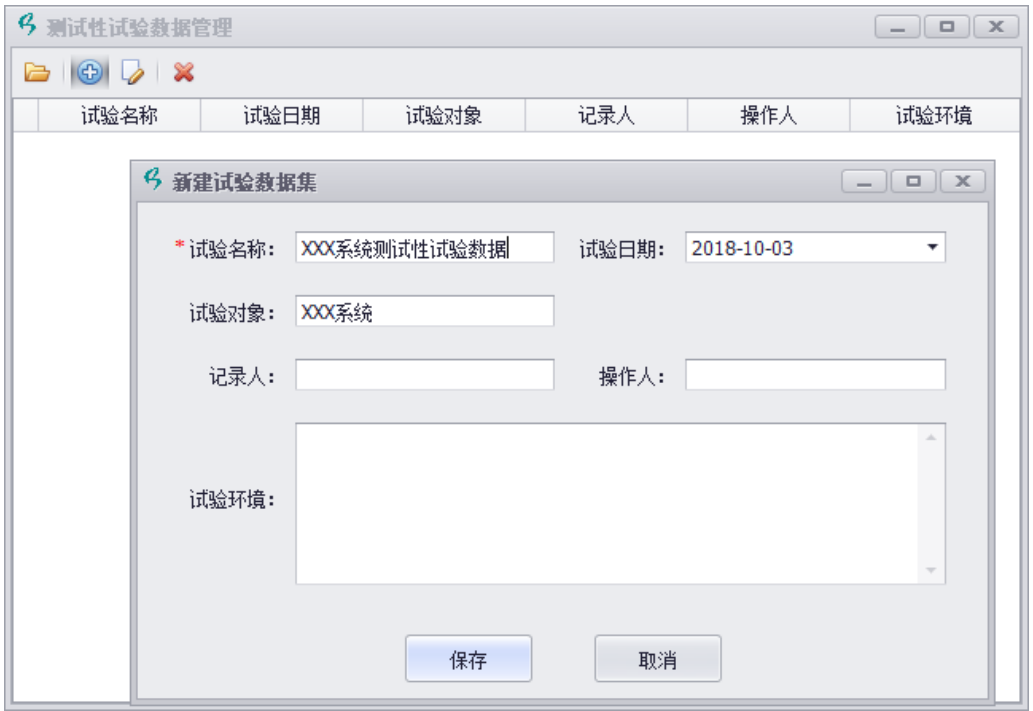


图 23-10 测试性试验数据记录创建

步骤 3: 在打开的测试性试验数据录入界面，点击 图标，新增一条测试性试验数据，然后分别填入编号、故障检测结果、那一层级进行的测试。逐条添加即可。

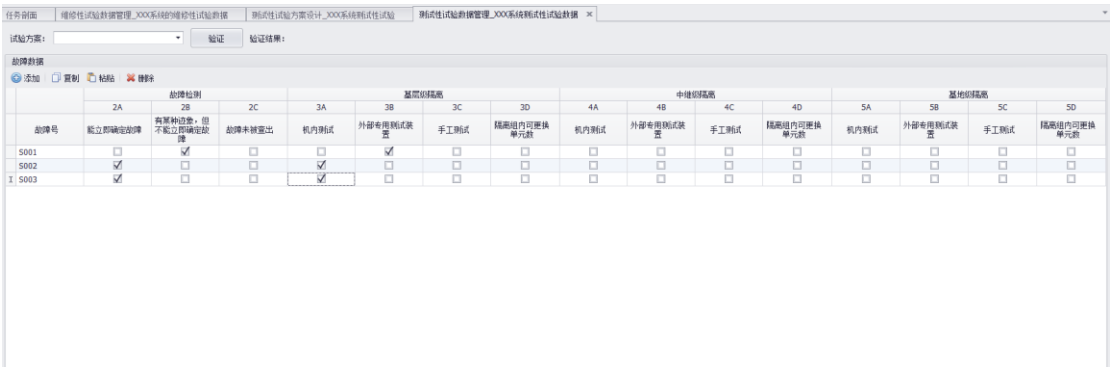


图 23-11 测试性试验数据录入

23.2.2 测试性指标验证

当录入完测试性试验数据后，可以根据原来的试验方案设计进行指标符合性验证，判断是否可接收。

步骤 4: 接上述步骤 3，在界面中选择选择 23.1.1 小节设计的试验方案 “XXX

系统测试”。然后点击【验证】按钮。



图 23-12 测试性指标验证

此时，将会根据录入的试验数据，以及设计的试验方案进行验证计算。若接收，则在界面的验证结果处显示“接收”。

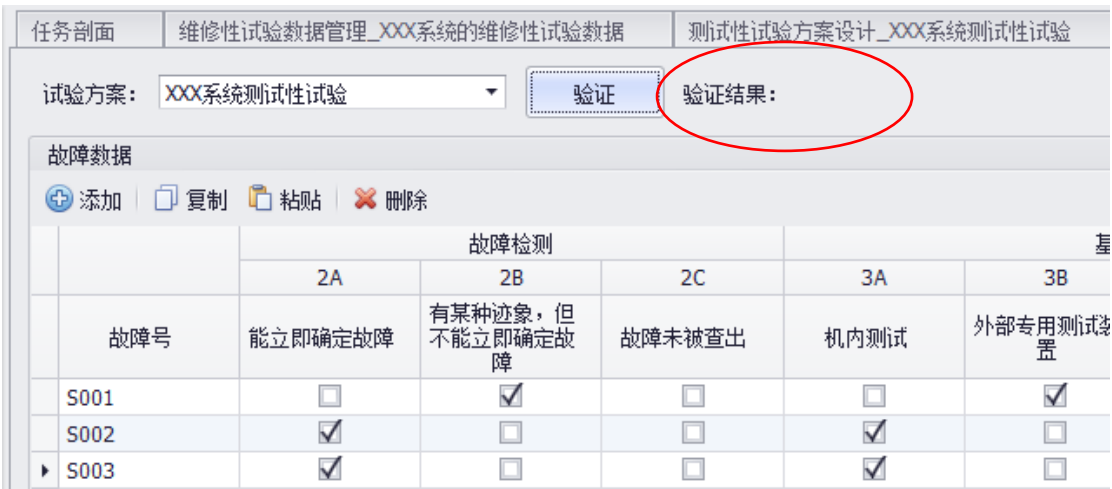


图 23-13 结果验证

23.5 测试性建模与仿真验证功能

根据设计的测试性试验方案，可以调用第 19 节的测试性建模与分析模块进行测试性的建模、仿真分析。从而分析当前设计的测试性试验方案的合理性，以及可能得到的试验结果，为测试性指标的验证、优化提供支撑。

24 可靠性试验设计与数据分析

可靠性试验设计与数据分析模块，是以 GJB899A、GJB 179、GB 2828.1-2012、GB2828.5-2012 等标准为依据进行设计，提供定时、定数试验方案设计、序贯试验方案设计、一次抽样检验方案设计、序贯抽样检验方案设计、威布尔分布抽样检验方案设计等功能。

24.1 定时/定数试验方案设计

定时/定数试验方案设计的流程如下：

步骤 1：打开已经创建的“我的第一个项目”项目，菜单栏切换到试验部分。

步骤 2：在产品结构树中选中需要开展试验的设备/节点，然后点击菜单栏的



图标。这里假设选中“XXX 系统”节点。

步骤 3：在弹出的试验方案设计界面中，点击图标，添加一条试验方案记录。然后在试验名称输入“定时试验方案”。点击保存。

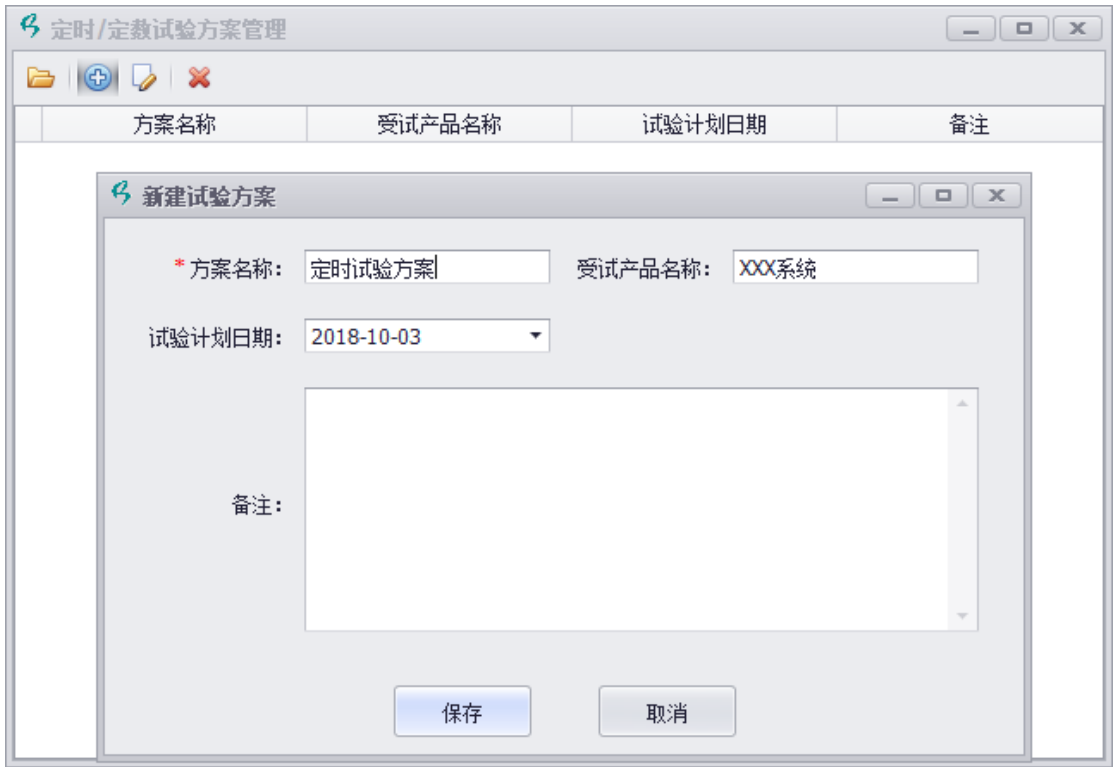


图 24-1 定时试验方案记录创建

步骤 4： 点击保存后，自动打开试验方案设计界面，如下图。在试验设计参数部分，首先选择试验类型（定时替换、定时无替换、定数替换、定数无替换），然后分别输入生产方风险、使用方风险、检验上下限。具体输入的参数见下图。置信度参数默认自动计算，也可以手工调整。



图 24-2 定时试验方案设计

步骤 5: 点击右边的【计算】按钮，即可计算得到试验时间值、拒收故障数、点估计值等。

24.2 定时/定数试验数据验证

当根据设计的试验方案开展定时/定数试验后，输入试验的数据，进行验证。
操作如下：

步骤 6: 接上述步骤 5，在试验验证部分，输入实际试验时间、实际故障数，然后点击【验证】按钮，即可得到验证结果（接收/拒收）。

图 24-3 试验验证

24.3 序贯试验方案设计

序贯试验方案设计的流程如下：

步骤 1: 打开已经创建的“我的第一个项目”项目，菜单栏切换到试验部分。

步骤 2: 在产品结构树中选中需要开展试验的设备/节点，然后点击菜单栏的



序贯试验图标。这里假设选中“XXX 系统”节点。

步骤 3: 在弹出的试验方案设计界面中，点击图标，添加一条试验方案记录。然后在试验名称输入“XXX 系统序贯试验”。点击保存。

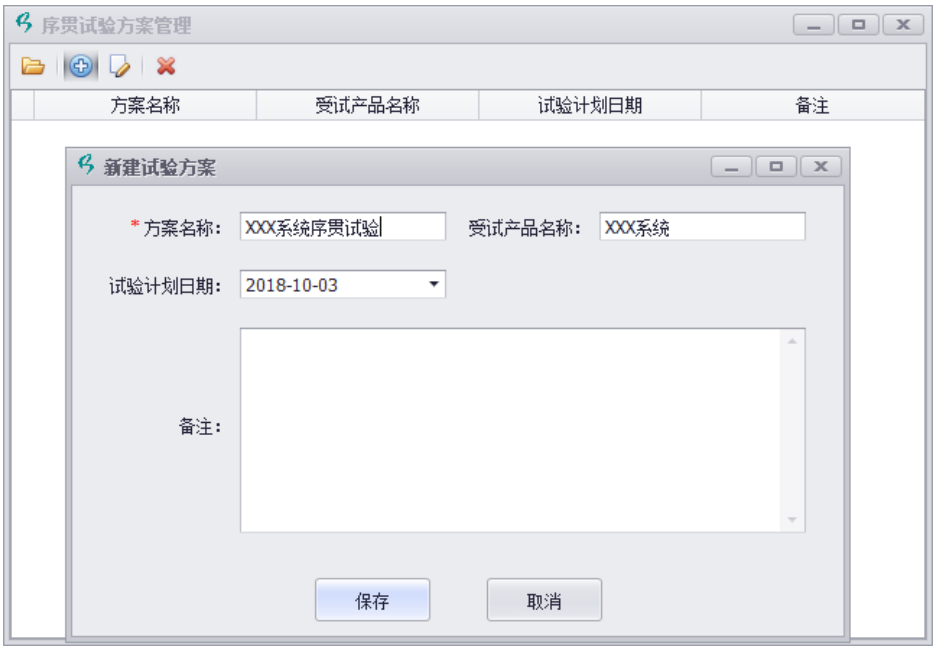


图 24-4 序贯试验方案记录创建

步骤 4: 点击保存后，自动打开试验方案设计界面，如下图。在试验设计参数部分，分别输入生产方风险、使用方风险、检验上下限。具体输入的参数见下图。置信度参数默认自动计算，也可以手工调整。



图 24-5 序贯试验方案设计

步骤 5: 点击右边的【计算】按钮，即可计算得到试验时间值、拒收故障数、点估计值等。

步骤 6: 点击【接收性图】按钮，打开接收性图。可以查看故障数和累计试验/工作时间的关系图。

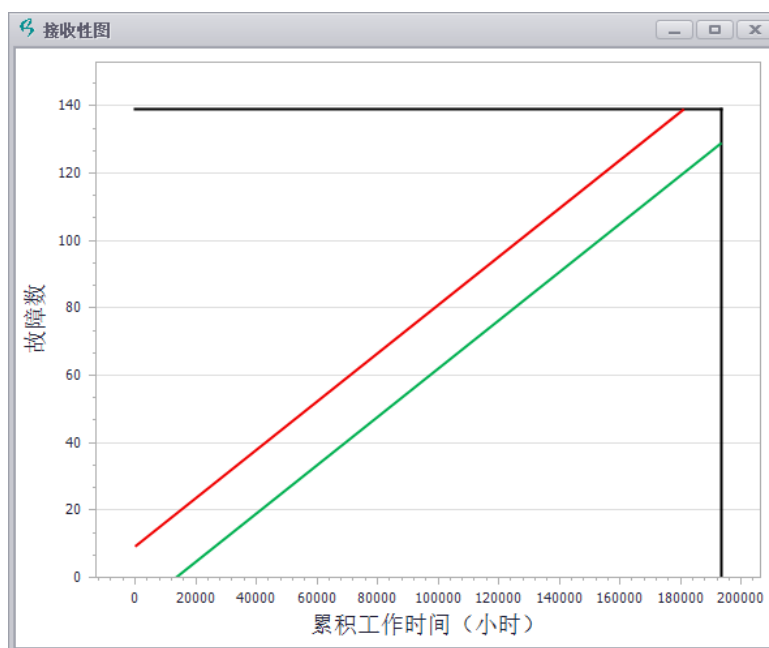


图 24-6 接收性图

24.4 序贯试验验证

当根据设计的试验方案开展序贯试验后，输入试验的数据，进行验证。操作如下：

步骤 7: 接上述步骤 6，在试验验证部分，输入实际试验时间、实际故障数，然后点击【验证】按钮，即可得到验证结果。

该图是一个名为“试验验证”的窗口，包含两个输入框和两个按钮。第一个输入框标注为“实际试验时间”，右侧显示数值“200000”。第二个输入框标注为“实际故障数”，右侧显示数值“138”。在输入框右侧有一个“试验数据”按钮。在输入框下方，标注为“试验结果”，右侧显示蓝色文字“继续”。在窗口右下角有一个“验证”按钮。窗口标题栏包含“试验验证”字样。

图 24-7 试验验证

24.5 一次抽样检验试验方案设计

一次抽样检验试验方案设计的流程如下：

步骤 1：打开已经创建的“我的第一个项目”项目，菜单栏切换到试验部分。

步骤 2：在产品结构树中选中需要开展试验的设备/节点，然后点击菜单栏的

 图标。这里假设选中“XXX 系统”节点。

步骤 3：在弹出的试验方案设计界面中，点击  图标，添加一条试验方案记录。然后在试验名称输入“XXX 系统一次抽样试验”。点击保存。

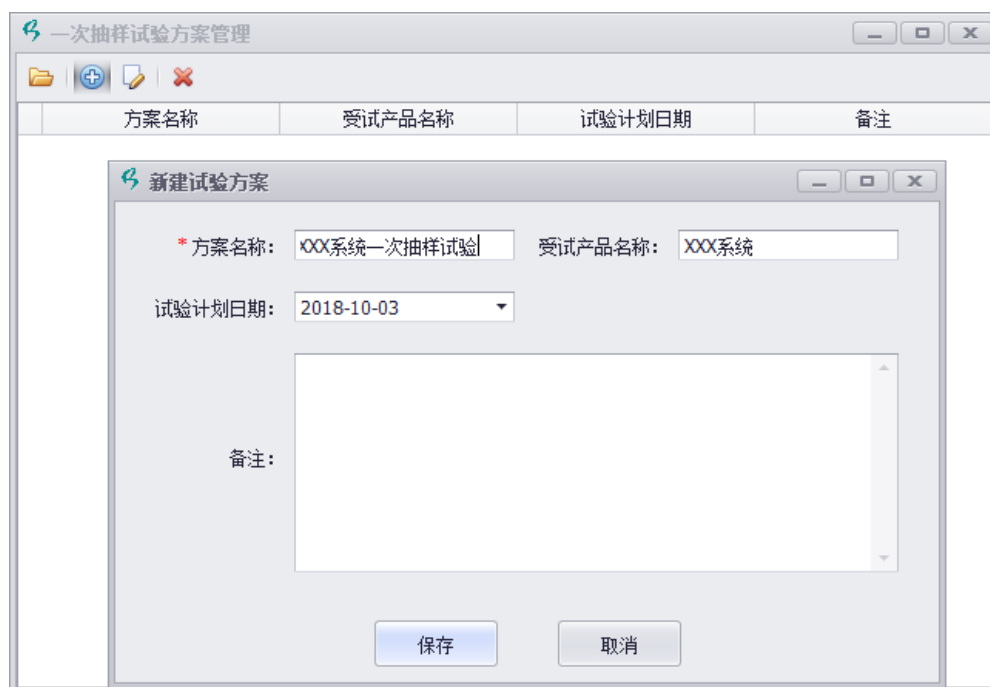


图 24-8 一次抽样试验方案记录创建

步骤 4：点击保存后，自动打开试验方案设计界面，如下图。在试验设计参数部分，分别输入批量数、AQL、检验水平等级。具体输入的参数见下图。置信度参数默认自动计算，也可以手工调整。

任务剖面

序贯试验方案设计_XXX系统序贯试验

一次抽样试验方案设计_XXX系统一次抽样试验

试验设计参数

批量数N: 15000

可接收质量水平AQL: 0.015

检验水平等级: 一般 II

验证参数

置信度 (%): 0.8

默认采用
C=(1-2β)*100%
作为置信度

试验设计结果

正常检验: 样品量: 315, 接收数Ac: 0, 拒收数Re: 1 ☒ 选用

加严检验: 样品量: 315, 接收数Ac: 0, 拒收数Re: 1 ☐ 选用

放宽检验: 样品量: 125, 接收数Ac: 0, 拒收数Re: 1 ☐ 选用

计算

试验验证

实际抽样样品数:

实际失效数:

试验数据

试验结果:

验证

可靠性点估计:

可靠性上限:

可靠性下限:

图 24-9 一次抽样检验试验方案设计

步骤 5: 点击右边的【计算】按钮，即可计算得到正常检验、加严检验、放宽检验的样品数、接收数、拒收数等。然后根据实际需要选择其中的一项即可。

24.6 一次抽样检验验证

输入实际抽样样品数，故障/失效数，点击【验证】按钮即可得到验证结果，以及可靠性计算点估计、上下限参数等。

24.7 序贯抽样检验试验方案设计

序贯抽样检验试验方案设计的流程如下：

- 步骤 1:** 打开已经创建的“我的第一个项目”项目，菜单栏切换到试验部分。

步骤 2: 在产品结构树中选中需要开展试验的设备/节点，然后点击菜单栏的

图标。这里假设选中“XXX 系统”节点。

步骤 3: 在弹出的试验方案设计界面中，点击图标，添加一条试验方案记录。然后在试验名称输入“XXX 系统序贯抽样试验”。点击保存。

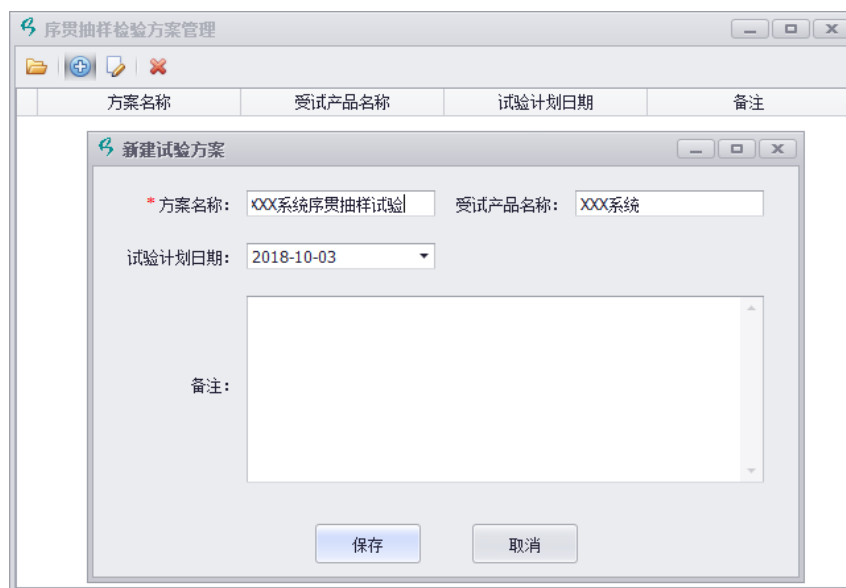


图 24-10 序贯抽样试验方案记录创建

步骤 4: 点击保存后，自动打开试验方案设计界面，如下图。在试验设计参数部分，分别输入批量数、AQL、检验水平等级。具体输入的参数见下图。置信度参数默认自动计算，也可以手工调整。



图 24-11 序贯抽样检验试验方案设计

步骤 5: 点击右边的【计算】按钮，即可计算得到正常检验、加严检验、放宽检验的样品数、接收数、拒收数等。然后根据实际情况选择其中的一项即可。

步骤 6: 点击【接收性图】按钮，可弹出接收性图。如下图所示。

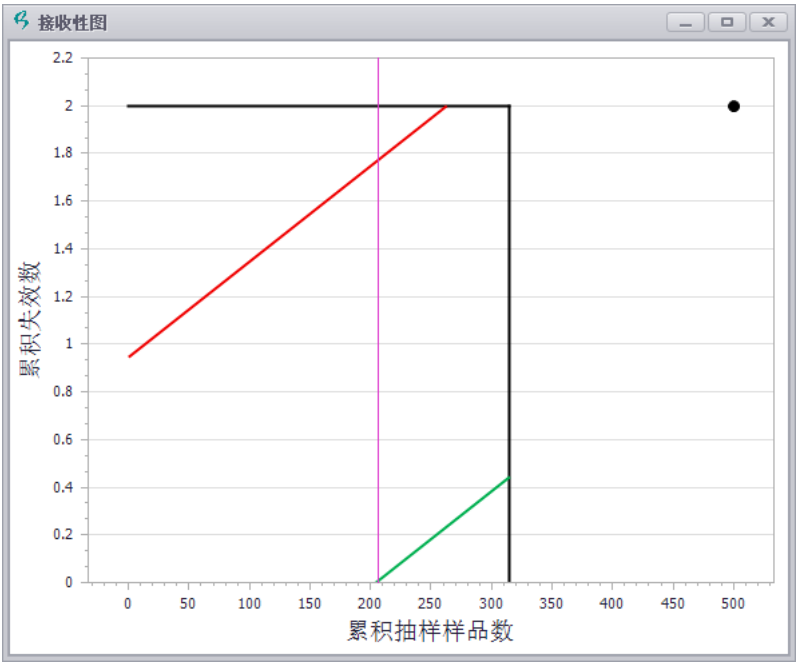


图 24-12 接收性图

24.8 序贯抽样检验试验验证

输入实际累积抽样样品数、失效数，然后点击【验证】按钮，即可得到试验结果，以及可靠性点估计、可靠性下限计算结果。

任务剖面

序贯抽样检验方案设计_XXX系统序贯抽样试验

试验设计参数

批量数N:

8000

可接收质量水平AQL:

0.15

检验水平等级:

一般

III

验证参数

置信度(%)

80

默认采用
C=(1-2B)*100%
作为置信度

试验设计结果

正常检验:

hA=0.819,hR=0.946,g=0.00401,nt=315,Act=2

☒ 选用

加严检验:

hA=0.811,hR=0.948,g=0.00251,nt=315,Act=2

☐ 选用

放宽检验:

hA=0.8522,hR=0.935,g=0.00655,nt=125,Act=2

☐ 选用

计算

接收性图

试验验证

实际累积抽样样品数:

500

试验数据

实际累积失效数:

2

试验结果:

继续

接收数: 0

拒收数: 3

验证

可靠性点估计:

0.996

可靠性上限:

可靠性下限:

0.991442

图 24-13 序贯抽样检验试验验证

24.9 威布尔分布抽样检验试验方案设计

威布尔分布抽样检验试验方案设计的流程如下：

步骤 1：打开已经创建的“我的第一个项目”项目，菜单栏切换到试验部分。

步骤 2：在产品结构树中选中需要开展试验的设备/节点，然后点击菜单栏的



图标。这里假设选中“XXX 系统”节点。

步骤 3：在弹出的试验方案设计界面中，点击图标，添加一条试验方案记录。然后在试验名称输入“XXX 系统威布尔分布抽样试验”。点击保存。

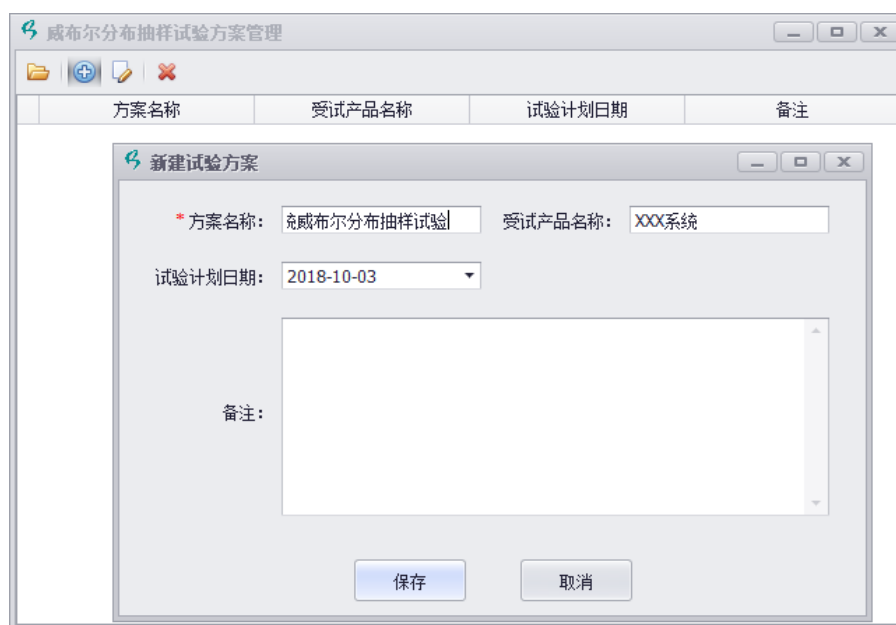


图 24-14 威布尔分布抽样试验方案记录创建

步骤 4：点击保存后，自动打开试验方案设计界面，如下图。在试验设计参数部分，分别输入使用方风险、批量数、AQL、检验水平等级等。具体输入的参数见下图。置信度参数默认自动计算，也可以手工调整。

任务剖面

威布尔分布抽样试验方案设计_XXX系统威布尔分布抽样试验

试验设计参数

使用方风险 β (%) :

20

默认不超过30%

批量数N:

10000

可接收质量水平AQL:

0.015

检验水平等级:

一般

II

形状参数m:

2

验证参数:

平均寿命

平均寿命:

1000

试验设计结果

正常检验:

Ac=0, tc=101.43

☒ 选用

加严检验:

Ac=0, tc=101.43

☐ 选用

放宽检验:

Ac=0, tc=160.86

☐ 选用

计算

验证参数

置信度 (%) :

60

默认采用
 $C=(1-2\beta)*100\%$
作为置信度

置信度 (%) :

60

试验验证

实际累积试验时间t:

300

试验数据

实际累积失效数r:

1

试验结果:

拒收

验证

MTBF点估计:

300

MTBF上限:

186.4

MTBF下限:

363.91

图 24-15 威布尔分布抽样检验试验方案设计

步骤 5： 点击右边的【计算】按钮，即可计算得到正常检验、加严检验、放宽检验的样品数、接收数、拒收数等。然后根据实际需要选择其中的一项即可。

24.10 威布尔分布抽样检验试验验证

输入实际累积抽样样品数、失效数，然后点击【验证】按钮，即可得到试验结果，以及可靠性点估计、可靠性下限计算结果。

试验验证

实际累积试验时间t:

300

实际累积失效数r:

1

试验结果:

拒收

MTBF点估计:

300

MTBF上限:

186.4

MTBF下限:

363.91

试验数据

验证

图 24-16 威布尔分布抽样检验试验验证

25 试验数据管理

试验数据管理模块，可以对项目研制过程中的可靠性增长试验、可靠性鉴定/验收试验，以及其他试验数据进行统一的管理。操作步骤：

步骤 1： 点击菜单栏  图标，进入试验数据管理界面。

步骤 2： 在弹出的试验数据管理界面，创建试验数据记录。

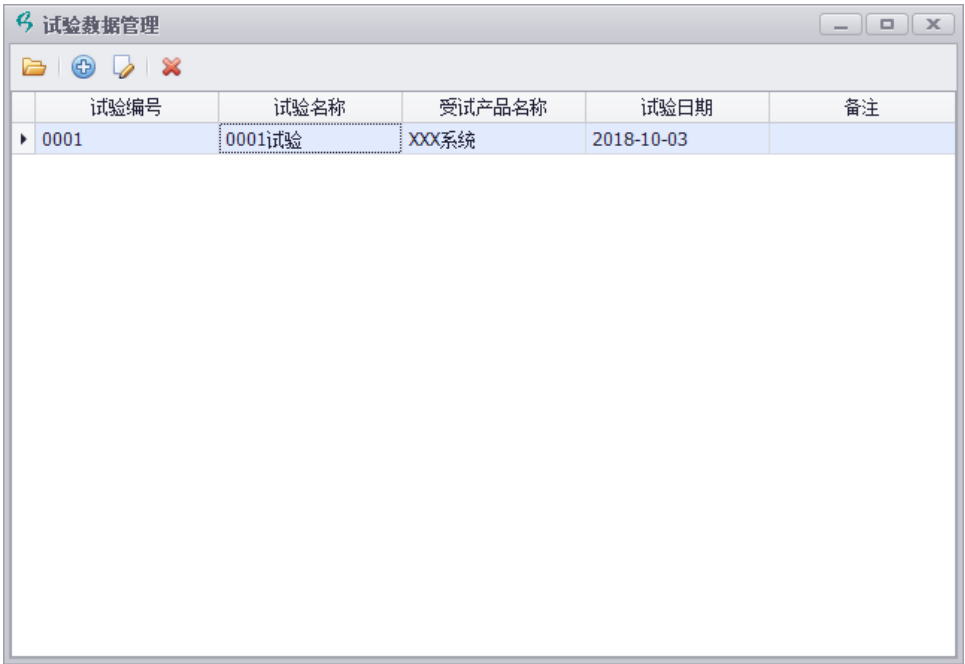


图 25-1 创建试验数据记录

步骤 3： 创建了试验数据记录后，打开将弹出试验数据录入界面。逐条录入试验数据即可。



图 25-2 试验数据录入

步骤 4 (可选): 试验数据管理模块提供了 EXCEL 格式文件导入功能, 可以编辑好 EXCEL 格式文件, 通过 EXCEL 格式文件导入。

步骤 5 (可选): 试验数据管理模块提供了模板导入功能, 可以根据软件提供的模板, 按照模板要求录入数据后, 直接通过模板将数据导入到软件中。

26 马尔可夫分析

26.1 马尔可夫简介

马尔可夫模型由俄国数学家马尔可夫提出，他定义了马尔可夫过程。马尔可夫过程中，下一个状态仅取决于现在状态而与以往的状态无关，即无记忆性，是一种常见的无后效性随机过程。一般采用状态转移图的方法构建马尔可夫模型。如下图为 2 阶状态转移图，圆表示模块处于正常状态与失效状态，箭头弧线表示正常到失效或失效到维修的可能性行为。 λ 为模块的故障率， μ 为模块的修复率。

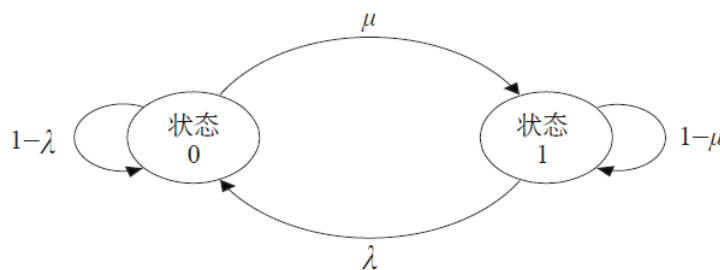


图 26-1 马尔可夫链模型

马尔可夫模型各状态的概率通常利用转移概率矩阵计算。 N 阶矩阵 (N 代表状态数) 表示各个状态之间变化的概率，式 (1) 为 3 阶随机转移概率矩阵 T 。转移概率矩阵第 1 行代表状态 0 向各状态转移的概率，第二行代表状态 1 向各状态转移的概率，依此类推得到系统的转移概率矩阵。状态矩阵 S_n 可以通过上一状态矩阵 S_{n-1} 与转移矩阵 T 得到。

$$T = \begin{bmatrix} 1-2\lambda & 2\lambda & 0 \\ \mu & 1-(\lambda+\mu) & \lambda \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

26.2 马尔可夫分析流程

使用马尔可夫过程解决可靠性问题时，一般按照如下步骤进行：

- (1) 画出状态转移图；
- (2) 列出状态方程系数矩阵（由转移矩阵 T 得到）；
- (3) 列出状态方程，即各状态的方程式（微分方程组）；
- (4) 求解状态方程组。

使用本软件的马尔可夫过程分析模块进行可靠性分析时，我们只需开展步骤（1）、步骤（2）的工作，即绘制系统的状态转移图以及设置各状态转移概率即可，其他由软件自动完成计算。

26.3 不同类型系统的马尔可夫模型

26.3.1 n 个不同单元串联系统可靠性模型

假设系统由不同单元串联组成，系统的工作状态只有故障和正常两种，当其中一个单元故障后，系统停止工作，并立刻进行修复（假设只有一组维修人员）。注意，这里描述的是当出现单元故障立刻进行维修，若当其中一个单元故障后不立刻进行维修时，绘制的状态转移图是不一样的。

根据马尔可夫过程分析的步骤，首先绘制状态转移图。要绘制状态转移图，需要列出系统的可能状态：

状态 0：系统各单元均正常；

状态 1：单元 1 故障，其余正常；

状态 2：单元 2 故障，其余正常

依次类推，列出系统的所有可能状态。

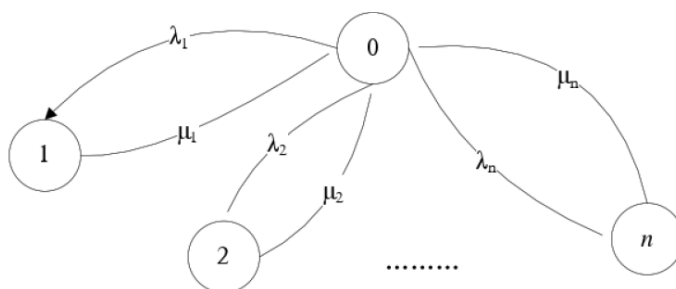


图 26-2 不同单元串联系统可靠性模型

$$\begin{bmatrix} -\sum_{i=1}^n \lambda_i & \lambda_1 & \lambda_2 & \cdots & \lambda_n \\ \mu_1 & -\mu_1 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \mu_n & 0 & 0 & \cdots & -\mu_n \end{bmatrix}$$

图 26-3 状态转移概率矩阵

26.3.2 n 个相同单元串联系统可靠性模型

假设系统由 n 个相同单元串联组成，系统的工作状态只有故障和正常两种，当其中一个单元故障后，系统停止工作，并立刻进行修复（假设只有一组维修人员）。

根据马尔可夫过程分析的步骤，首先绘制状态转移图。要绘制状态转移图，需要列出系统的可能状态：

状态 0：系统正常；

状态 1：系统故障

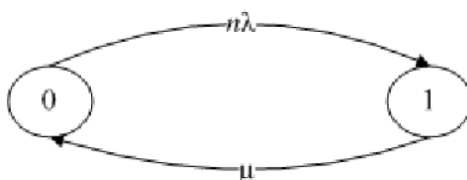


图 26-4 相同单元串联系统的状态转移图

$$\begin{bmatrix} -n\lambda & n\lambda \\ \mu & -\mu \end{bmatrix}$$

图 26-5 状态转移概率矩阵

26.3.3 不同单元并联冗余系统可靠性模型

以 2 单元的并联系统为例，假设系统由 2 个不同单元并联组成。首先列出系统的状态：

状态 0：单元 1、2 都正常，系统正常

状态 1：单元 1 正常，单元 2 故障，系统正常

状态 2：单元 2 正常，单元 1 故障，系统正常

状态 3：单元 1 修理，单元 2 待修，系统故障

状态 4：单元 2 修理，单元 1 待修，系统故障

一般情况下，可以把状态 3、4 合并。

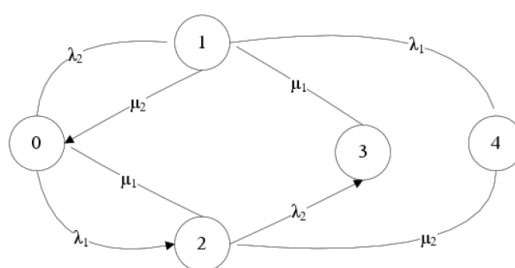


图 26-6 不同单元并联系统的状态转移图

26.3.4 相同单元并联冗余系统的可靠性模型

假设由 2 个相同单元组成的并联冗余系统，绘制的系统状态转移图如下：

状态 0：单元 1、2 都正常，系统正常

状态 1：有一个单元故障，系统正常（也可以定义为功能降级/退化）

状态 2：两个单元故障，系统故障

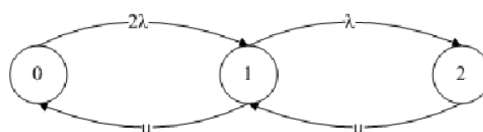


图 26-6 相同单元并联系统的状态转移图

$$\begin{bmatrix} -2\lambda & 2\lambda & 0 \\ \mu & -(\lambda + \mu) & \lambda \\ 0 & \mu & -\mu \end{bmatrix}$$

图 26-7 状态转移概率矩阵

26.4 绘制马尔可夫状态转移图模型

如前所述，要进行马尔可夫分析，首先需要根据系统的可能的状态空间，建立系统的马尔可夫状态转移图模型。然后，设置各个状态之间的转移参数/概率，即可计算不同状态的瞬态、稳态概率，以及可靠度、可用度等参数。

创建马尔可夫状态图的步骤：

步骤 1：确认您当前打开了项目，并创建了产品结构树（这里假设以前面创建的“我的第一个项目”为例，若没创建项目和产品结构树，参考第 1、2 节创建），点击菜单栏上的  图标，进入马尔可夫分析界面。

步骤 2：在弹出的马尔可夫图管理界面中，点击  添加 图标，添加一条马尔可夫图记录。输入马尔可夫图名称、任务时间，其他栏目由后续计算得到，无需填入。假设输入的马尔可夫图名称为“XXX 系统的马尔可夫分析”。点击 ，可打开刚创建的马尔可夫图。

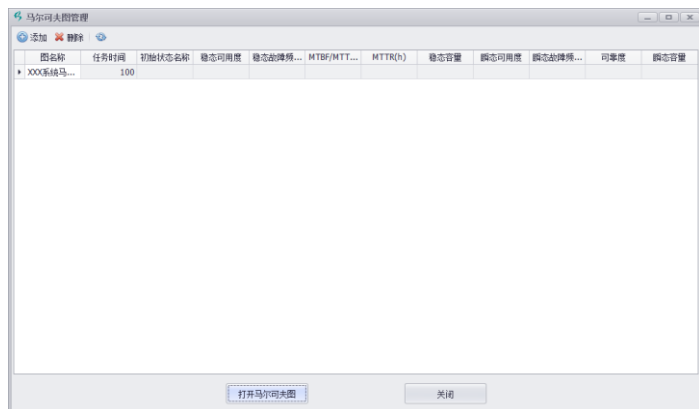


图 26-8 创建马尔可夫记录

步骤 3：进入马尔可夫绘图界面后，可以看到整个界面分为几部分。上方是

工具栏，右边是模型库，中间是主界面即绘图区，下方是结果显示区。

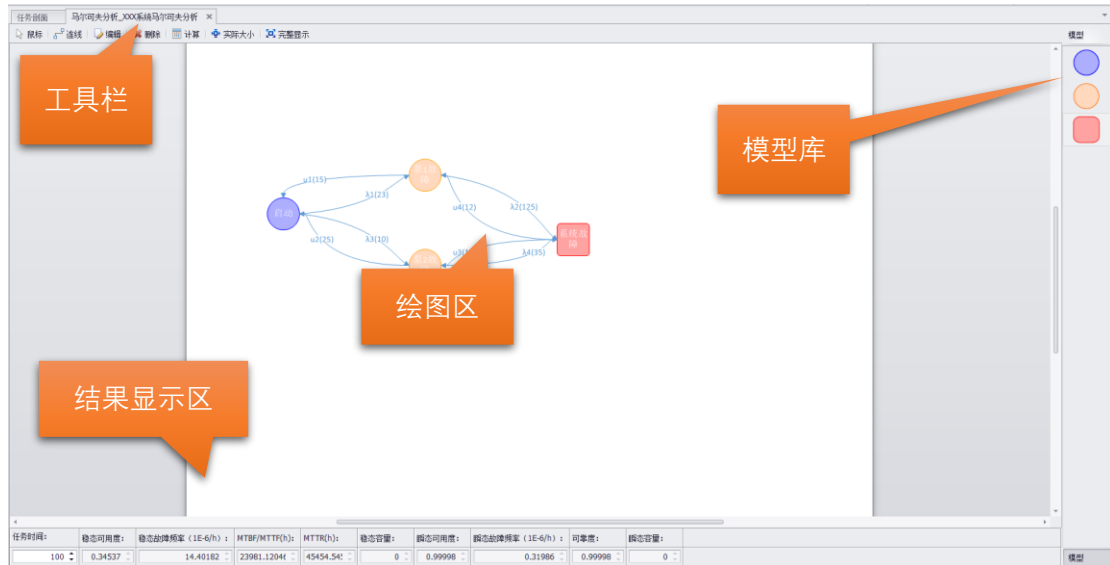


图 26-9 马尔可夫建模界面

步骤 4: 点击模型库的节点，拖拽方式，拖拽一个起始点、两个正常点、一个故障节点进来，分别双击节点，在弹出的节点属性页面输入节点的名称（假设节点分别是启动、泵 1 故障、泵 2 故障、系统故障）。然后点击工具栏上方的连线，按照上图进行连线。

26.5 状态转移概率设置

绘制了马尔可夫状态图之后，需要设置各状态之间的转移概率。各状态的转移概率往往可使用的是故障率/修复率数据。操作方法：

步骤 1: 双击其中一条连线，在弹出的事件编辑窗口中，输入链名称（假设输入 λ_1 ），输入故障/修复率（假设输入 23）。然后点击保存。如下图所示。

步骤 2: 逐条设置各状态之间的转移概率。假设分别添加了共 4 对 8 条连线，如下图所示。

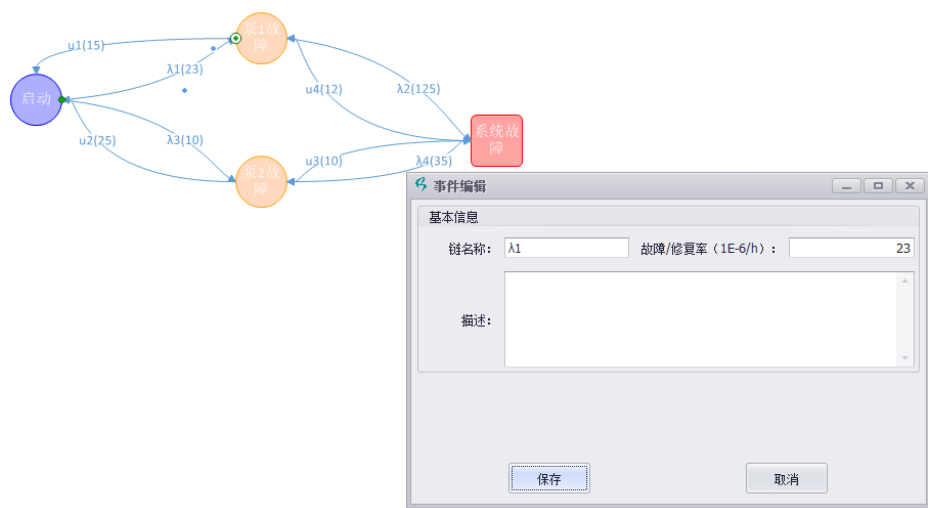


图 26-10 设置状态转移概率

26.6 计算

绘制了马尔可夫状态转移图，并且输入了状态转移概率后，点击工具栏上方的  图标，即可得到计算结果。计算结果将显示在界面的下方。

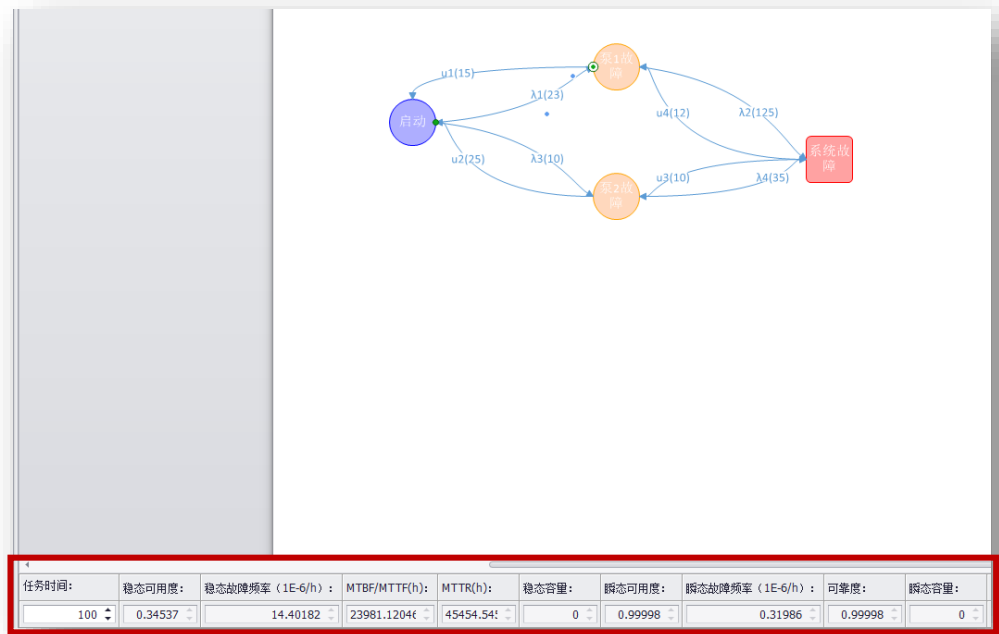


图 26-11 马尔可夫计算结果

27 RMS 参数管理

RMS 参数管理的操作步骤如下：

步骤 1：选中产品结构树的节点，假设选中“XXX 系统”节点，点击菜单栏

的“基础数据”选项，然后点击  图标，即可进入 RMS 参数管理界面。

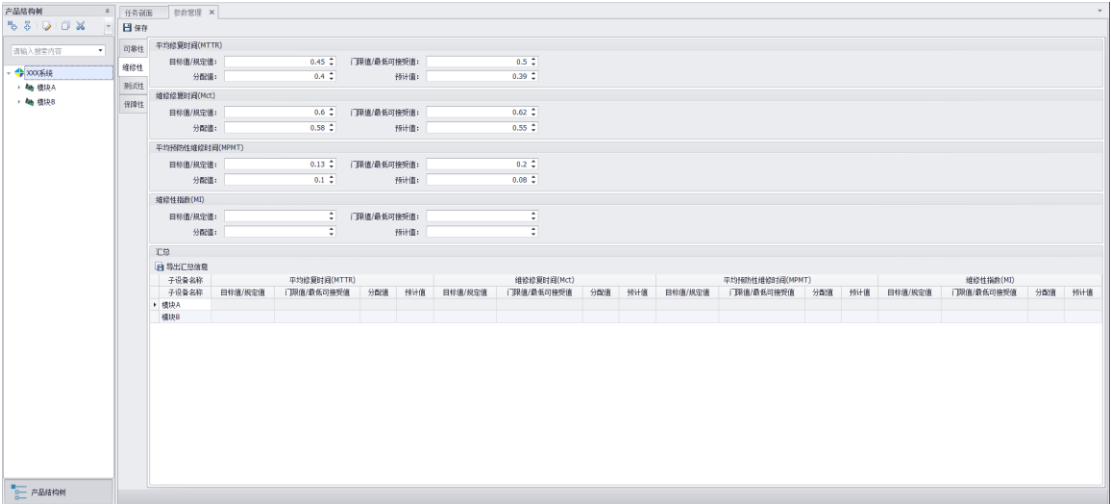


图 27-1 RMS 参数管理

步骤 2：分别输入可靠性、维修性、保障性等参数。逐层输入。

步骤 3：点击  导出汇总信息 图标，即可将 RMS 参数信息导出。