

VVER-1200安全相关及正常运行仪控系统提资分析与设计研究

VVER-1200 Safety Related and Normal Operation I&C System Input Analysis and Design Research

★ 北京广利核系统工程有限公司 姚磊, 蔡亚伟, 高连国

摘要: 本研究通过对VVER-1200堆型仪控功能层级化架构特点的分析, 提出了一种基于标准功能图和自动化工具软件的VVER-1200安全相关及正常运行系统仪控功能图的标准化设计方法。该方法能够解决手动设计方法在VVER-1200安全相关及正常运行仪控功能图设计上的效能低下问题, 提升了工程设计质量, 节约了人力成本, 也为先进核电仪控系统功能图设计提供了一种新的解决思路。

关键词: VVER-1200; 功能组; 仪控功能图; 标准功能图

Abstract: Through the analysis of the hierarchical architecture characteristics of VVER-1200 reactor I&C function, a standardized design scheme of VVER-1200 safety related and normal operation system I&C function diagram is put forward based on standard function diagrams and a customized automation tool software. This method can solve the inefficiency problem in design of VVER-1200 safety related and normal operation I&C function diagram by manual design method, not only improve the quality of engineering design and save manpower cost, but also provide a new method for function diagram design of advanced nuclear power I&C system.

Key words: VVER-1200; Function group; I&C function diagram; Standard function diagram

1 概述

VVER系列核反应堆来自俄罗斯, 是当今世界商运核电中具有代表性的堆型之一, 至今已发展为国际公认的第三代核电堆型, 首堆于2017年商运^[1], 国内首个VVER-1200堆型核电站已经开工建设。安全相关及正常运行仪控系统用于控制设备等级为2级和3级工艺部件(根据IEC 61513), 实现核电站连锁、保护、自动和远程控制、过程报警和自动控制功能。本文通过对VVER-1200安全相关及正常运行仪控系统提资文件特点的分析, 提出一种基于标准功能图和自动化工具软件的提资转化和设计方法, 为先进仪控系统功能图设计提供一种高效可行的方案。

2 VVER-1200仪控系统提资分析

核电厂明确的工艺系统架构是工艺系统控制的前提, VVER-1200堆型核电站在项目前期基于KKS编码*的标识体系, 定义了一套清晰完整的工艺功能架构和规则。VVER-1200堆型利用基于面向工艺功能的方法, 将控制设备(现场设备与部件、自动化系统的硬件和软件、过程操作和管理系统)根据其执行的工艺功能任务按照功能分区、功能子区和功能组进行布置。该架构按层级顺序对可分割的任务进行排列, 任务的复杂性在工艺功能架构中自下而上逐渐增加, 核电厂操作员、仪控人员和维护人员等能清楚地分辨出上下级的关联性。可以说这种层级化的工艺功能架构是满足现代过程控制要求的自动化系统配置的基础。VVER-1200堆型电厂工艺功能组织架构如图1所示。

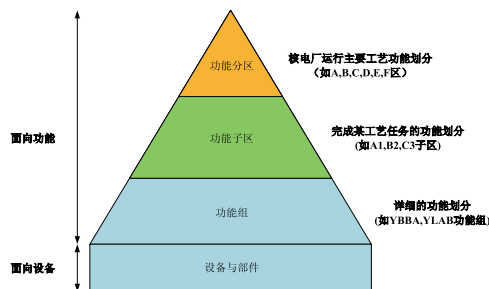


图1 VVER-1200堆型电厂工艺功能组织架构图

同样地, 这种层级化架构也体现在VVER-1200安全相关及正常运行仪控系统的提资设计上。在每个功能分区内, 各个工艺功能子区通过组控制、子组控制、子环控制、闭环控制以及单独设备连锁控制的层级化组合编制出以功能组为单位的核电站完整的过程自动化控制系统。核电厂操作员通过工艺控制系统发出命令, 各功能组子过程将依次投入运行或停止运行, 实现核电站的启动和关闭。如图2所示。

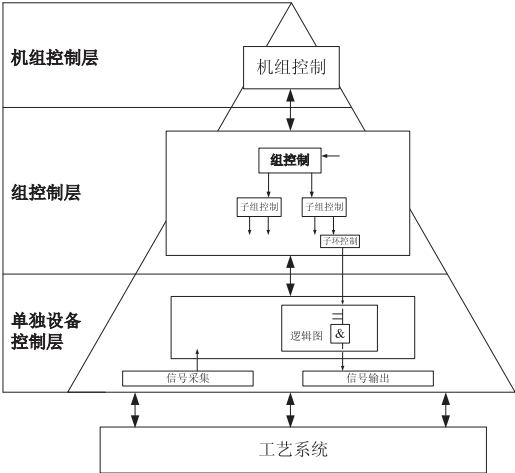


图2 VVER-1200仪控功能层级化架构图

上述VVER-1200堆型安全相关及正常运行仪控系统功能组提资层级化和规范化的特点，为仪控功能图的设计优化打开了思路。实际执行中，通过对组控制、子组控制、子环控制、闭环控制等功能组工艺逻辑控制要素进行标准化建模，形成仪控标准功能图集，然后利用定制开发的工具软件实现功能组仪控功能图的标准化和自动化设计。

3 仪控功能图标准化、自动化设计

3.1 手动设计方法

功能图是DCS产品设计与制造的输入，在产品出厂测试、电厂调试、电厂运行、电厂维修等方面发挥着重要作用^[2]。仪控功能图手动设计方法需要设计人员按照组态原理和流程进行手动绘图，对提资文件数据进行合并、拆分、转换等手动操作。这种设计方法存在以下问题：

第一，针对大量测点和设备的基础逻辑组态，缺少一套标准的设计方案（或模板），导致设计输出因人而异，标准化水平低；

第二，设计方案不统一，导致设计审查工作困难，设计质量不易控制；

第三，手动设计方法效率低下，亟待向自动化方向转变。

这些问题制约了仪控系统工程设计的进一步发展。因此，需要一种替代方法。它不仅要解决设计自动化的问题，还要实现设计标准化、批量化的目标，以此有效提高设计质量和降低人力成本。

3.2 VVER-1200改进设计方法

VVER-1200安全相关及正常运行仪控系统功能组控制要素的层级化与规范化特点，使仪控功能图标准化设计有了可能。

首先，VVER-1200设计方案为约200种工艺功能控制要素建立了一套完整的具有连线清晰、仪控算法块布局合理的标准功能图库，VVER-1200标准功能图与上述组控制、子组控制、子环控制、闭环控制以及单独设备控制分类的完整对应关系，如表1所示。

表1 标准功能图与VVER-1200仪控功能层级化架构的对应关系

VVER-1200工艺功能控制要素	控制含义	标准功能图名	KKS码	备注
组控制	组合顺控	STD_EB	EB	
子组控制	顺控	STD_EC	EC	
子环控制	备自投控制	STD_ED	ED	
	投切控制	STD_EE	EE	
闭环控制	闭环自动控制	STD_xx	DP、DT、DL等	xx为字母，用于区分闭环被调量类型。
单独设备	泵、阀、加热器等设备	STD_xxx_nn	AA、AP、AH等	xxx为字母，用于区分设备类型；nn为数字，用于区分设备操作显示位置。
	普通I/O信号	STD_xxxn	CP、CT、CL等	xxx为字母，用于区分AI、AO、DI、DO；n为数字，用于区分信号报警限值级数。

通过标准功能图的应用，将不同设计院及不同工艺系统的设计提资转化成规范标准且风格一致的功能图作为设计输出。

其次，VVER-1200设计方案还定制开发了配套的工具软件，它能根据设计人员的需要配置相关参数（如点名、内部参数等），将差异化的信息自动生成到仪控功能图中，实现自动化设计的目的。

图3是VVER-1200安全相关及正常运行仪控系统功能图设计方案，整个设计方案包含三部分内容。

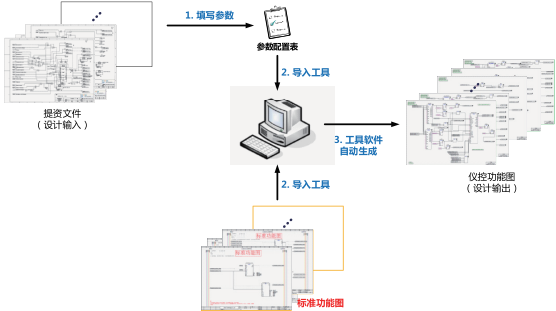


图3 VVER-1200安全相关及正常运行仪控系统功能图设计方案

3.2.1 标准功能图

它是满足VVER-1200核电厂所有安全相关及正常运行仪控系统工艺要求的典型仪控功能图的集合，是完成功能组各种控制要素功能，用于提资文件转化的一套标准“模具”。无论核

岛还是常规岛的提资文件，均可与标准功能图建立对应关系，实现“去差异化”的输出结果。因此，标准功能图是VVER-1200设计方案的核心，标准功能图样例如图4所示。

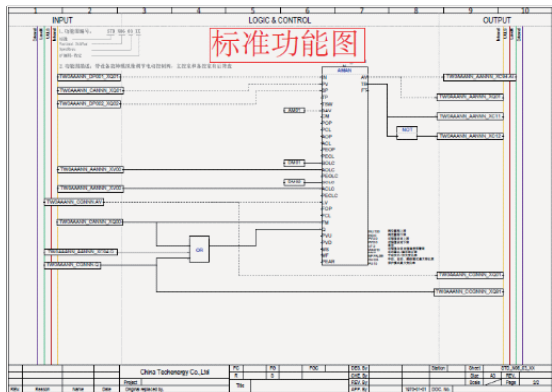


图4 标准功能图样例

3.2.2 参数配置

标准功能图是实际仪控功能图的“模具”，“模具”中的点名和内部参数有预设默认值。设计时，它们将被实际点名和实际内部参数替换掉。CSD标准功能图中的所有默认点名T70AAANN_AANNN（其中A表示字母，N表示数字），通过工具软件被替换成了T70JNB10_AA102，如图5所示。

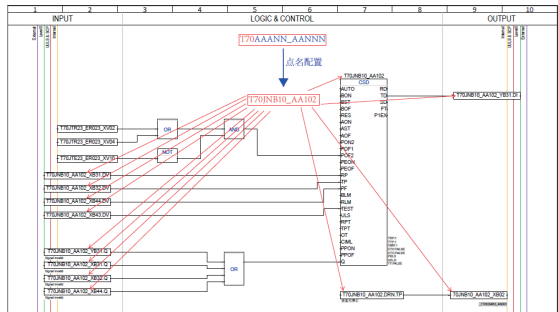


图5 标准功能图点名配置样例

标准功能图中的内容参数，通过工具软件实现自动化配置（导入Excel参数表格），对于无需修改的内部参数，则使用标准功能图的预设默认值。

3.2.3 工具软件设计与使用

作为标准功能图和参数配置的落脚点，VVER-1200改进设计方法开发了一套自动化工具软件IComposer，以实现仪

控功能图的标准化、自动化设计。仪控功能图设计过程分以下四步：

第一步：将标准功能图作为工具软件IComposer的“模具”，纳入模具库进行管理；

第二步：导入某实际功能组的测点和设备清单，通过工具软件IComposer，替换默认点名；

第三步：填写Excel参数表格，导入工具软件IComposer，配置测点和设备的内部参数；

第四步：工具软件IComposer识别第二步和第三步导入的信息，自动实现标准功能图到仪控功能图的批量实例化，如图6所示。

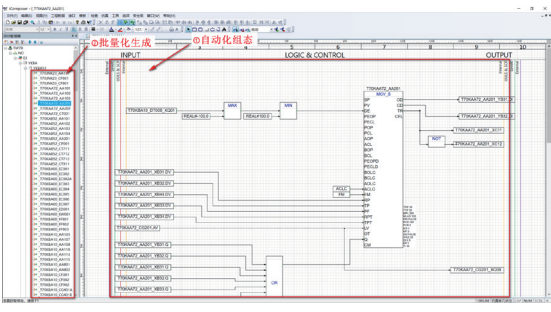


图6 工具软件IComposer自动生成仪控功能图

4 结论

本文通过对VVER-1200堆型核电厂工艺功能组织架构和仪控功能层级化架构的分析与研究，建立了一种基于标准功能图和自动化工具软件的VVER-1200安全相关及正常运行系统仪控功能图的设计方法。标准功能图的应用，能够提升工程设计质量，促进形成标准化、规范化的设计流程。通过自动化工具软件的使用，最终实现仪控功能图自动化、批量化设计。随着三代核电堆型更多组控、顺控等复杂自动化控制手段的使用，本研究将得到更加广泛的应用。AP

作者简介：

姚 磊（1980-），男，陕西咸阳人，高级工程师，硕士，现就职于北京广利核系统工程有限公司，主要从事核电非安全级DCS系统设计工作。

参考文献：

[1] 李石. VVER-1200设计优化分析[J]. 电工技术, 2021, (12) : 39 - 40.
[2] 周亮, 张黎明, 胡雪峰, 等. CPR1000核电厂安全级DCS功能图设计[J]. 核科学与工程, 2010, (12) : 87 - 90.