

核电主控室控制盘标准化设计的研究与应用

Research and Application of Standardized Design of Control Panel in Main Control Room of Nuclear Power Plant

★北京广利核系统工程有限公司 宋立平, 周坤, 曾刚, 郭毅飞

摘要: 华龙一号核电站主控室控制盘是核电站控制系统的重要备用控制手段, 其主要控制设备为马赛克设备。本文通过对马赛克设备工程应用功能进行归纳总结, 利用EPLAN工具, 开发出典型原理图宏文件、设备信息表和Typical文件, 实现了工程设计的标准化。

关键词: 典型原理图宏文件; Typical文件; EPLAN工具

Abstract: The control panel of the main control room of Hualong One nuclear power plant is an important backup control method for the nuclear power plant control system, and its main control equipment is mosaic equipment. This article summarizes the engineering application functions of mosaic equipment, and uses EPLAN tools to develop typical schematic macro files, equipment information tables and typical files to achieve the standardization of engineering design.

Key words: Typical schematic macro files; Typical files; EPLAN tools

1 引言

华龙一号核电站主控室控制盘主要包括辅助控制盘 (Assistant Control Pallet, ACP)、多样性人机接口盘 (DHP)、严重事故盘 (SAP), 其分别为核电站计算机信息和控制系统、多样性驱动系统、严重事故仪控系统的备用控制手段。ACP、DHP和SAP控制盘都使用马赛克设备进行操作与监视。所使用的马赛克设备数量达500余个, 类型为24种。在以往的工程设计中, 设计人员都依靠手动完成每个马赛克设备原理图页的设

计。操作起来工作量大、重复性高, 且设计过程中容易出错, 设计风格不一致。为了解决以往设计中的弊端, 我们力求实现项目设计的标准化。

2 标准化设计方案的可行性研究

标准化设计方案的可行性是开展该项研究的先决条件, 具体研究如下:

(1) 工具的可行性研究:

· EPLAN Electric P8^[1]可用于原理图宏文件设计, 从而实现工程设计的标准化;

· EEC One可依托原理图宏和项目相关信息表格, 自动生成EPLAN Electric P8项目的原理图页。

(2) 控制盘设计的可行性研究: 根据EPLAN Electric P8、EEC One^[2]工具所具备的功能, 将控制盘设计分解成三个部分的设计: 系统供电设计、马赛克原理图设计、设备信息表设计。

(3) 应用的可行性研究: 开发出典型马赛克原理宏文件, 覆盖马赛克所有型号的应用功能; 开发出设备信息表, 包含所需工程数据; 开发出Typical文件, 完成对原理图宏文件的配置属性和设备信息表的数据在Typical文件中的组合与设置。详细的可行性研究如图1所示。

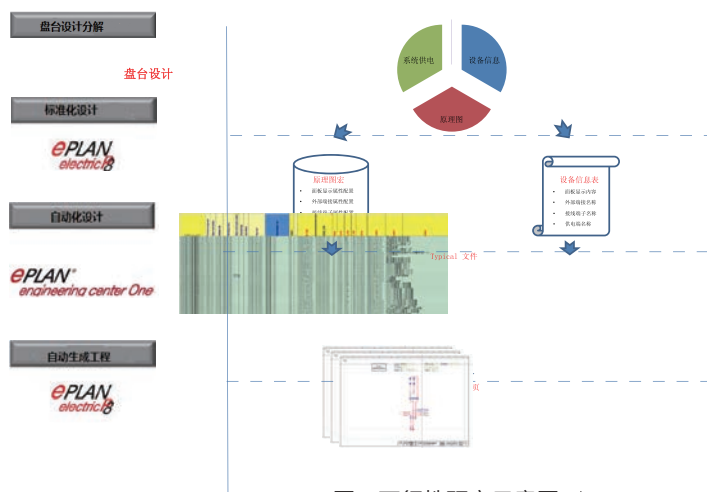


图1 可行性研究示意图

3 设计工具EPLAN

标准化辅助设计工具为EPLAN Electric P8和EEC One。如下介绍了EPLAN设计工具的功能，本文围绕其功能开展控制盘的应用设计。

3.1 EPLAN Electric P8

EPLAN Electric P8是洛飞腾集团开发的软件系统，是针对电气、自动化系统集成的设计工具，是一种高效的标准化设计工具。

(1) 提供了自动编码、自动连线、自动关联功能和各类报表自动生成功能；提供了遵循国际标准的符号库、器件库、部件库和模板，提高了绘制原理图的效率。

(2) 支持宏技术，即可将典型原理图保存为宏文件，并可以对宏里的器件进行占位符对象定义。本文利用宏技术完成了原理图宏的绘制与定义，利用占位符保存原理图宏中的项目变量，实现了原理图宏可重新用于不同的变量项目，即在生成原理图时，项目变量被不同的值代替即可。

3.2 EEC One

EEC One是在Excel基础上开发的配置工具。它将项目配置属性和项目数据列入表格结构，即所谓的Typical表格，从而完成原理图宏和项目数据之间的匹配和组合。项目配置属性包含原理图宏属性和占位符对象值集项。项目数据包含配置属性所对应的项目信息。EEC One在项目信息、宏和一个Typical表格的基础上自动生成原理图页。

4 应用设计

规划设计流程，归纳影响因素，提出解决方案是本次应用设计所遵循的设计理念。

4.1 设计流程分析

控制盘的三部分设计内容之间相互联系、相互制约，因此需要梳理其设计的顺序。系统供电设计涉及的内容，如马赛克设备的供电方式、供电端接分配方式等内容制约了原理图宏文件的设计；原理图宏设计涉及的内容，如马赛克面板可显示字符位数、显示信息种类制约了设备信息表的设计。根据上述分析，确定具体设计流程：第一步，系统供电；第二步，原理图宏；第三步，设备信息表。

4.2 原理图宏文件设计

原理图宏被设计为标准化模块，可在自动生成项目原理图页时被反复调用和赋值。

4.2.1 原理图宏文件设计分析

原理图宏文件设计之初，需要考虑影响其设计的全部因素，具体影响因素如下：

- (1) 典型马赛克设备有多少种类型，可覆盖所有在工程中应用到的型号；
- (2) 原理图宏文件中需要体现多少种信息，可覆盖所有设计内容；
- (3) 每一类典型马赛克设备的供电采用哪种供电方式，如内部供电或外部供电或无供电；
- (4) 外部端接采用哪种方式，如共正端或共负端；是否需要增加继电器，有多少种输出方式；
- (5) 如何确定典型马赛克面板显示字符高度及位数；
- (6) 如何实现马赛克应用的属性配置；
- (7) 如何实现原理图宏与项目数据之间链接属性的配置；
- (8) 如何实现设备信息表和原理宏文件之间配置属性的匹配与组合。

4.2.2 原理图宏文件设计方法

(1) 原理图宏文件数量评估：综合考虑影响原理图宏设计的因素，并将各种因素整理到表1中，最终归纳出原理图宏文件的数量应为43个。

表1 原理图宏文件数量评估

序号	马赛克类型	马赛克供电			外部端接方式		继电器		输出方式/种	原图宏文件数量/个
		内部	外部	无供电	共正	共负	有	无		
1	CTE-02-201	●	●					●	2	43
2	CTE-04-301		●	●			●	●	4	
3	CTE-05-101	●		●			●	●	4	
4	CTE-05-111			●				●	1	
5	CTE-05-112	●		●			●	●	2	
6	CTE-05-201			●				●	2	
7	CTE-05-211			●				●	2	
8	CTE-06-201		●					●	1	
9	CTE-06-311		●					●	1	
10	CTE-07-101	●						●	1	
11	CTE-01-101/201/301		●					●	3	
12	CTE-01-102		●					●	1	
13	CTE-03-107/108	●						●	1	
14	CTE-03-243	●			●			●	1	
15	CTE-03-231	●			●			●	1	
16	CTE-04-102			●				●	6	
17	CTE-04-201			●				●	6	
18	CTE-04-301	●					●		1	

另外，字符高度是开展原理图宏文件设计的先决条件，因其制约了马赛克面板显示信息的属性配置。对马赛克设备和控制盘进行人因分析后确定其高度。根据GB-10000-1988^[3]的人体测量尺寸，取男子18~60岁第95百分位及成年女子18~55岁第5百分位分别代表最高限值及最低限值。因此，人体站姿眼高：

· 直立时，增加鞋高，男性眼高为1684mm（P95），女子眼高为1396mm（P5）；

· 低头、弯腰时，减去形态面长后，男子眼高1554mm（P95），女子眼高1296mm（P5）。

根据NUREG 0700-2002^[4]，字符高度最小应使视角达到15分（字符高度为视距乘以0.004）。字符高度计算公式： $h=2 \times d \times \tan(\Phi/2)$ 。当最小视角为15°时， $h=0.004 \times d$ 。 Φ 为最小视角， d 为视距， h 为字符。盘台报警区的最大视距为751mm，操作区的最大视距为865mm，根据字符高度计算公式得出其字符高度不小于3mm。由人因分析确定，报警灯的字符高

度为6mm、5mm，控制设备的字符高度为3mm。另外，根据在马赛克设备上的位置不同、字符高度的不同，确定字符位数。

(2) 原理图宏文件配置属性

结合表1的分类原则，开始对每一个典型原理图宏文件进行属性配置。原理图属性配置分为应用功能属性配置和链接属性配置。

(3) 应用功能属性配置包括：面板显示属性配置、工作电路属性配置和端接属性配置。

· 面板显示属性配置用于完成马赛克设备的信息显示。面板显示属性配置内容包括：设备功能信息、设备操作信息、设备位置信息、设备类型信息等；

· 工作电路属性配置用于完成工作电路原理示意。主要内容包括：马赛克设备工作原理图绘制和接线端子预置；

· 端接属性配置用于完成马赛克设备内/外部接线端子、供电端子、电缆型号等信息的配置。

考虑到EPLAN Electric P8提供了功能属性，其可对宏文件进行属性配置，且“增补说明”可被自定义，因此选择通过配置“设备标识符”、“部件编号”、“增补说明”显示属性；工作电路中接线端子通过配置“连接点代号”来实现，仅用于连接。内、外接线端可用中断点和端子配置，电缆型号可用电缆定义配置。

(4) 链接属性配置用于完成设备信息表与原理图宏文件之间数据的链接，通过占位符完成链接属性配置。链接属性配置项包含应用功能的所有属性项。

4.3 设备信息表设计

根据供电系统设计和工程应用需求，将显示信息（设备名称、操作与反馈说明）、接线端子信息名称、外部端接名称、供电端名称、盘台信息、设备安全级别等整理到设备信息表中，该表包含了所有相关工程的应用数据，并作为自动生成工程原理图页的基础数据库。

5 自动生成工程原理图

利用EEC One工具功能即在项目信息、原理图宏文件和一个Typical文件的基础上自动生成原理图页。Typical文件通过EEC One工具生成。在Typical文件

中载入用于原理图生成的原理图宏文件（宏名称、配置属性名称）和工程数据。工程数据取自设备信息表，其数据载入在Typical文件中原理图文件配置属性项下，从而实现设备信息表和原理图宏文件之间配置属性的匹配与组合。EEC One自动生成的工程原理图页如图2所示。

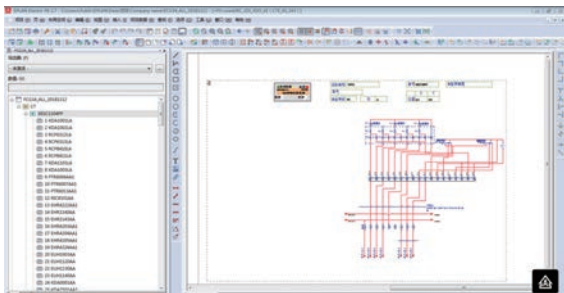


图2 自动生成的工程原理图页

6 结论

本文以达到标准化设计核电站主控室控制盘为目标，进行研究和应用设计，包括：确定方案可行性、确定设计工具和确定工程设计方案。通过原理图宏文件和设备信息表的设计来覆盖整个工程设计内容，从而实现自动生成原理图页的目的。

本套标准化设计方案已成功应用于中广核华龙一号项目控制盘设计中，其覆盖了控制盘工作量的80%，节约了50%以上的人力资源成本。该方案突破了以往手动设计的思维方式，提高了工作效率。核电站工程标准化设计为工程质量的不断优化提供了可依托的方案基础，为工程设计的安全性分析提供了可追溯的数据基础。AP

作者简介：

宋立平（1982-），男，吉林松原人，中级工程师，硕士，现就职于北京广利核系统工程有限公司，主要从事核安全级数字化仪控系统研究工作。

参考文献：

[1] 覃郑. EPLAN Electric P8官方教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.
[2] 覃郑. EPLAN 高效工程精粹官方教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.
[3] GB/T 10000-1988, 中国成年人人体尺[S].
[4] NUREG-0700-2002, Human- System Interface Design Review Guidelines[S].