

文章编号：0258-0926(2015)S1-0034-03；doi：10.13832/j.jnpe.2015.S1.0034

三代压水堆核电厂仪控总体设计介绍

张 坚，李 广，张聪杰，刘 顺

台山核电合营有限公司，广东台山，529228

摘要：本文介绍三代压水堆核电厂仪控总体设计的内容及实践经验，重点说明仪控总体设计的各个组成部分及在三代压水堆核电厂实践的情况，各个阶段的具体考虑及具体实施。

关键词：仪控总体设计；核电厂实践；执照申请

中图分类号：TL363 文献标志码：A

Overall Design of Instrumentation and Control for Third Generation PWR NPP

Zhang Jian, Li Guang, Zhang CongJie, Liu Shun

Taishan Nuclear Power Joint-Venture Company, Guangdong Taishan, 529228, China

Abstract: This paper focus on the content and practice of the overall design of Third Generation PWR instrument and control. It mainly presents the methodology of overall I&C design and the detailed implementation rules, and therefore describes how the methodology and rules are applied for the third generation pressurized water reactor project. And also, it presents the problems faced in the licensing process and provides experience for future projects.

Key words: Overall design of instrument and control, Nuclear reactor plant practice, Licensing

0 前言

仪控总体设计是核电厂设计的组成部分，可以细分为 6 个步骤：确定仪控设计原则；人机交互接口的要求；功能分析与分配；功能要求；仪控技术规范；项目的实施。前 5 个步骤一般在核电厂的概念设计、初步设计时完成，步骤之间并无严格的分界或先后关系，但相互之间存在输入和输出，如：步骤 需要步骤 的结果作为输入。仪控总体设计从时间上来说横跨核电厂的设计、采购、安装、调试的全过程，开始于确定仪控设计原则，结束于仪控总体调试试验，与仪控的生命周期一致。仪控总体设计的流程如下：

(1) 确定与核电厂其它部分的设计接口，明确需求。

(2) 明确仪控设计需执行的法规、标准，并负责解释及落实执行。

(3) 确保设计过程的可控，负责总体验证和确认 (V&V) 的制定及落实。

(4) 设计方法、工具、设计程序的策划、组织与实施。

三代压水堆核电厂仪控总体结构宜在步骤就结合潜在的平台的特点开展设计，在步骤时考虑具体的平台完成结构的固化。

1 三代压水堆核电厂仪控总体结构

三代压水堆核电厂的仪控总体结构分 3 层，0 层为工艺接口层；1 层为系统自动化层；2 层机组监视与控制层。各仪控功能子系统执行电厂正常运行管理功能、安全保护功能、自动调节功能和

提供人机界面功能。仪控功能的实现平台主要基于 TXS、SPPA-T2000,各功能子系统之间通过硬接线或网络连接,按照安全等级进行严格的功能分配,并实施充分的隔离措施,各子系统相互协作,完成其负责的保护、控制和监视功能。

2 三代压水堆核电站仪控总体设计

2.1 仪控设计原则

遵从核电站总体设计关于标准的选择原则,仪控设计所应遵守或参照的技术标准或选用的原则很明确,如:三代压水堆核电站仪控总体设计的顶层标准为 IEC 61513。

对于安全要求的分解:三代压水堆核电站对于承担不同级别的系统和/或设备,在单一故障准则(能动或非能动)物理和电气隔离、应急供电、定期试验、质量保证、抗震等级等方面体现不同的设计要求,同时对于功能分级 F1B 强调功能的多样性来满足单一故障准则。

对于可靠性的分解:三代压水堆核电站的设计采用确定论为主、概率论为辅的结合方式,概率论的工具作为设计的平衡手段在设计中使用,二者之间通过将功能/系统/设备的安全分级与概率安全评估(PSA)的目标要求对应来建立关联。如:功能分级 F1A 的仪控系统和设备的拒动概率要求为 10^{-4} /指令。在三代压水堆核电站数字化仪控的实施过程中,经验表明合适的 PSA 模型和方法有助于设计的实施。

为达成从电厂层面分解的可靠性的要求,必须考虑到电厂本身设计的限制。

仪控平台种类的最大数量、平台技术选择的原则(微处理器、现场可编程门阵列)、多样化原则、纵深防御线的设置原则等应当明确,以形成初步的仪控总体功能结构。仪控总体功能结构将初步确定结构的层次、仪控功能子系统的设置及信号流的初步情况。

设计程序、设计文档/过程的规范的策划是仪控设计原则的另一项重要内容,需综合考虑后续设计过程中协调设计资料互提的内容、格式规范、实施过程的控制以及所应遵守的详细规定等的策划等。

2.2 人机交互及接口的要求

仪控总体结构提供了核电站大部分的人机界面及与第三方系统的接口,因此人机界面的交互

方、交互的地点或位置、交互的类型以及接口的要求等需要进行规划。

人机界面的交互方需要指明需要进行人机交互的对象和要求,如:人员包括操作员、维修人员、调试人员,以及在进行仪控修改时避免维护人员误动作的组织和运行要求。

交互的地点或位置主要指仪控总体结构需要提供的人机界面的地点,应考虑集中的就地操作等操作点是否设置、是否设置集中的维修操作点以及相应的要求。

交互的类型主要指对象需要通过界面完成的任务的分类及分析、实施的方法。

接口主要应考虑仪控总体结构之外由于平台选择或要求规范的限制,如:负荷或响应时间的限制及需要依托第三方来实现的情况。

2.3 功能分析与分配

功能分析与分配是一个自上向下的分析,主要可分为功能分析、任务分析及分析结果的 V&V。

(1) 确定目标:明确电厂的总体运行目标的层次结构。在后续设计中分解为更为细化和准确的子目标。

(2) 识别功能:细化支持实现子目标所需要的功能并将其文档化,尽可能细化并结合考虑人机交互方的贡献。

(3) 分析信号流:确定信息的要求,完成电厂功能的仪控平台的信号流和处理能力。此时应当考虑仪控的设计原则和限制。

(4) 任务分析:进行任务的分配、控制的集中或就地、自动化水平、仪控系统和操作员的有效性分析。任务分析在功能分析建立的总目标及其分解的目标的基础上进行,开始于对运行活动的识别,如:启堆、停堆、事件的缓解等。每个运行活动应分解为单个的任务,对于每个任务的完成,仪控系统和操作员的分工应当识别并明确。

(5) 每项任务均需要判定就地控制与集中控制的分配。每项任务均需要判定自动化的水平,判定需综合考虑系统的响应时间要求、操作的负载程度、人的负荷等,同时自动的失效也应当在考虑范围内。

(6) 有效性分析:确定仪控系统能否完成给定的任务的有效性,是否满足预期的要求。

(7) 分析结果的 V&V:分析是否符合设计的

原则和期望,同时证明控制室的功能符合预期。

2.4 功能要求

在经过节2.1至2.3所述设计阶段的设计活动组织,分配到仪控功能子系统完成的任务统称为仪控功能。作为仪控功能,其相应的基本要求将明确,如:功能分级、功能要求、性能、独立性的要求、所要求的功能的可靠性。

(1) 功能分级和设备分类,细化安全分级和系统、设备的对应关系,细化不同安全分级的系统所应遵守的设计要求的。

(2) 在仪控功能结构的基础上实现由若干设备完成的功能的集合与分隔,并保证仪控功能相应的要求得到实现。此外。设备的保护、优先级的管理、定期试验、降级模式时的性能要求、过程监视的要求(如:报警的处理、规程辅助的要求等)设计过程等分解、细化的要求也应当明确。在仪控功能的集合和分隔的过程中,作为基本的要求,纵深防御的评估必须实施。作为从电厂总体目标的分解项,必须进行仪控功能的可信性评估,以评价仪控功能的可靠性、可维护性、完整性和安全要求得到满足。

(3) 人机界面的要求应满足人机界面的设计原则、人因工程的要求、控制室(主控室、辅助控制室、技术支持中心等)的设计要求。

(4) 与工艺过程不直接相关的功能要求:主要有与场外支持中心的链接、与电网调度的链接、长期数据的归档、监视和诊断、运行和维护相关的功能要求等。

2.5 仪控技术规范

在这个阶段将明确仪控功能实现平台的技术规范。技术规范将给出技术平台及其选择的原则和要求、人机界面和人机工程要求、仪表选型、过程接口功能隔离和数据通信、供电、电磁兼容和接地、布置和电缆敷设的细化要求。技术规范应当结合具体的平台完成固化。

2.6 项目的实施

在这一阶段通常意味着仪控设计将进入详细设计和实施。这时仪控总体设计的平台已确定、上游输入的进度/要求已明确、生命周期各阶段的计划已制定、仪控设计/管理所需要的程序已具

备、方法和工具已确定,仪控总体设计的更多的是着重于对已有的要求在项目中的执行和落实的检查和落实。

3 执照申请

作为新的设计,三代压水堆核电厂在国内外已有多个项目实施的实例如:芬兰 OLKILUOTO 3、法国 Flamanville 3、三代压水堆核电厂分别于2005年7月、2007年12月、2009年10月开工建设(FCD)。在数字化仪控的执照申请方面,各个项目面临的难点、困难不同,特别是2009年11月,三个国家的安全审评机构联合对仪控结构提出质疑,仪控结构进行了优化。

三代压水堆项目到目前为止面临的主要的执照申请难点问题为:独立性,如:低级别影响高安全级别、功能的独立性;仪控结构的设计和可靠性;仪控硬件和软件的鉴定、测试;接口部件的安全分级等。

4 结论

数字化仪控的特点,如:生命周期的确定、配置管理、文档的严格要求(需求的明确与规范),在三代压水堆核电厂的建造过程中使得这些特点对于项目的进度和造价的重要性更加突出,而三代压水堆核电厂新设计及多重安全分级(F1A、F1B)体系使项目执行的复杂程度超出以往。三代压水堆核电厂建造过程中可以供参考的经验如下:

(1) 重视安全分级对于仪控结构设计的影响,采取适当的措施简化设计。

(2) 重视需求的规范化要求,尽可能早地策划规范性的工作,不要轻视文档的标准化对项目顺利推进的作用。

(3) 重视对潜在平台的预研工作,尽可能早地确定平台,以期使仪控结构的尽早固化。

(4) 重视仪控总体设计在项目前期对于设计方法、工具、过程控制的策划,并在执行中落实。

(责任编辑:王中强)