

# 先进压水堆核电厂保护系统 需求分析的层次结构

丁书华<sup>1</sup>, 杨燕华<sup>1</sup>, 朱学农<sup>2</sup>, 林 萌<sup>1</sup>

(1. 上海交通大学, 上海 200240; 2. 上海核工程研究设计院, 上海 200260)

**摘要:**为提高核电厂的安全性和运行裕量,本工作在已有技术的基础上自主进行核电厂数字化保护系统需求分析,完成需求分析报告。需求分析报告采用1种三等级的金字塔式层次结构,该结构可直观阐明先进压水堆核电厂数字化保护系统的设计特性和逻辑实现。

**关键词:**先进压水堆; 数字化保护系统; 需求分析

中图分类号: TL362 文献标识码: A 文章编号: 1000-6931(2007)02-0215-04

## Hierarchy of Requirement Analysis of Reactor Protection System for Advanced Pressurized Water Reactor Nuclear Power Plant

DING Shu-hua<sup>1</sup>, YANG Yan-hua<sup>1</sup>, ZHU Xue-nong<sup>2</sup>, LIN Meng<sup>1</sup>

(1. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. Shanghai Nuclear Engineering Research and Design Institute, Shanghai 200260, China)

**Abstract:** In order to improve the security and the margin of safety of nuclear power plant, the research on requirement analysis of digital reactor protection system for advanced pressurized water reactor nuclear power plant was developed. Based on the known technology, a requirement analysis report was performed. A kind of three-levels pyramidal hierarchy was adopted in the requirement analysis, and the design characteristics of the requirement analysis were described in the analysis report. This hierarchy can directly illuminate the design characters and logical achievement of the requirement analysis for advanced pressurized water reactor digital protection system.

**Key words:** advanced pressurized water reactor; digital reactor protection system; requirement analysis

核电厂仪控系统自动化的发展大致可分为模拟控制、部分数字化与全数字化3个阶段<sup>[1]</sup>。全数字化仪控系统是发展的必然趋势。在当今核电站领域内,代表这一最新技术水平的系统

有:德国西门子的 TELEPERM XS + XP 系统;日本日立等公司开发的 NUCAMM290 系统;法国法玛通公司 N4 控制系统;美国燃烧工程公司 ABB 公司的 NUPLEX80 + 系统;美国

西屋公司的 Eagle21 (或 Advant) + WDPF II 系统等<sup>[2]</sup>。在国内,清华大学核能与新能源技术研究院对 10 MW 高温气冷堆研制了数字化的核电厂保护系统<sup>[3]</sup>;中国核动力研究设计院研发了核电厂的数字化保护系统样机,并研发出了数字化反应堆控制系统样机、先进控制室研究开发平台、高精度实时核蒸汽供应系统(NSSS)仿真机以及相关的 17 个计算机软件<sup>[4]</sup>。

考虑到国外数字化保护系统的技术先进性、价格相对便宜、有一定的安全运行经验等优点,可以全面引进。但因数字化保护系统的重要性,必须抓紧核电厂数字化仪控系统的自主科研,逐步提高自主设计和系统集成能力,加快核电厂数字化仪控系统的国产化的进程。

保护系统以其安全重要性成为核电厂仪控系统的最关键的部分。本着自主设计、安全第一、工艺先进、着眼未来、全套掌握的原则,本工作进行先进压水堆核电厂数字化保护系统需求分析研究。

## 1 需求分析工作的重要性

作为自主设计数字化保护系统的第 1 步,需求分析即是对系统的软件设计、研发工作提出明确要求的过成<sup>[5]</sup>。例如,确定需要什么样的数据仪表、怎样的逻辑控制等,从而需要编写什么样的计算机软件、触发什么样的控制,解决软件开发工作的目标是什么,系统包括哪些组成部分,应该由什么人(部件)来完成工作,要遵循什么标准等。显然,需求分析是为软件开发和硬件设计提供纲领性文件。就软件方面,需求分析从宏观上提供需要实现的目标、需要遵循的法规、要达到的精度等,而不关心具体实施过程;在硬件上,需求分析提出硬件需要实现的功能,安全程度等,而不关心其具体设计。数字化保护系统的需求分析直接指导保护系统软件的开发者,确保核电厂关于安全的各种要求合理解决,所有的需求均不能有任何程度的假设或者省略。因此,数字化保护系统需求分析的质量直接影响到保护系统软件的完整性和完备性,进而影响到核电厂的安全。欲建立完善实用的数字化保护系统的软硬件,必须谨慎、缜密地做好需求分析。

## 2 先进压水堆核电厂数字化需求分析报告的层次结构

需求分析的具体实现是形成需求分析报告。该需求分析报告的层次结构针对两环路 300 MW 先进压水堆核电厂数字化保护系统而设计。依据从扼要到具体的原则,需求分析报告共分 3 层(图 1):1) 基本概念,给出总的原则和设计目标等;2) 根据基本概念对保护系统的功能进行分类,使得保护各个通道的功能分工较为明确;3) 保护系统的具体实现,由保护系统的功能描述、逻辑图的绘制、多样性触发准则等组成。

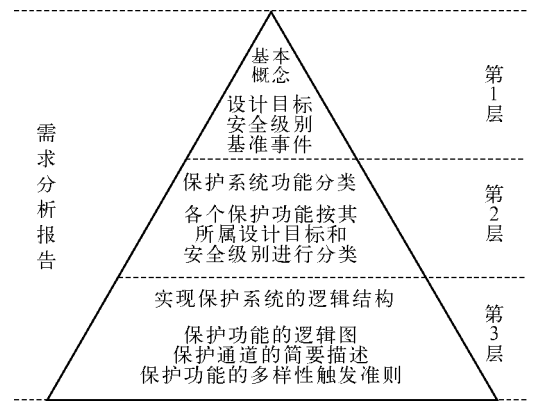


图 1 先进压水堆核电厂数字化保护系统需求分析报告的层次结构

Fig. 1 Hierarchy of requirement analysis report of advanced PWR digital protection system

### 2.1 基本概念

先进压水堆核电厂数字化保护系统需求分析报告采用更为严格的设计目标,安全级别的分类更加详细,根据模拟电厂的经验,在基准事故方面基本上无变动。

#### 1) 设计目标

为数字化保护系统提供 1 套合适的功能实现逻辑,以保证设计的保护系统功能正常实现。

#### 2) 实施方案

通过适当的冗余性和多样性组合把共模失效潜能减少到最小;只提供适当、必要、合理的报警信息,以使操纵员的人因失误最小化;在不减少保护系统使用可靠性的同时,提高核电厂的安全性和运行裕量;采用先进的测量仪器和数据处理方法,对堆芯参数(DNBR、线功率密

度等)实时检测和保护;合理地设计过程参数保护,减少不必要的停堆等。

3) 安全级别

安全级别分为 F1A、F1B 和 F2。F1A 实现事故时使反应堆回归可控状态的功能;F1B 实现反应堆由可控状态回归到安全状态和减少放射性泄漏危险的功能;F2 实现与电厂安全相关的其它功能。1E 级功能细化,事故工况下有助于操纵员率先执行优先级高的操作(F1A)。

4) 设计基准事故

在设计基准事故方面,模拟保护系统在已有核电站运行经验和取得的成果业已证明了已有设计基准事故已非常完备和科学,因此,在设计数字化保护系统时仍将已有分类作为设计“触发点”。

2.2 保护系统功能分类

通过对设计基准事故分析,保护系统最终可分为 6 类:启动保护、功率保护、热阱保护、超压保护、热转移保护和其他保护(图 2)。

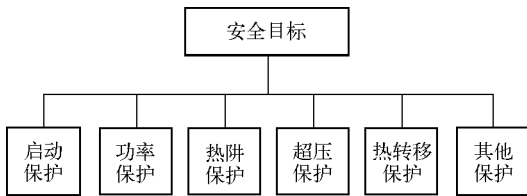


图 2 先进压水堆核电站数字化保护系统需求分析报告的系统功能分类

Fig. 2 Classify of system function for requirement analysis of advanced PWR digital protection system

启动保护包括源量程高中子通量紧急停堆、中间量程高中子通量紧急停堆和功率量程高中子通量(低值)紧急停堆;功率保护包括功率量程高中子通量(高值)紧急停堆、功率量程高正(负)中子通量变化率紧急停堆等;热阱保护包括 SG 低水位紧急停堆等;超压保护包括稳压器高压力紧急停堆、稳压器高水位紧急停堆等;热转移保护包括超功率保护(OPΔT)、超温保护(OTΔT)等。

根据以上不同的系统功能即可对设计基准事故分类。如此分类的优点是可直观看出事故对核电站的危害程度,事故发生时涉及的探测

信号以及相对应的保护逻辑;事故涉及交叉类别的存在可确定多样性触发信号。

2.3 实现保护系统的逻辑结构

作为需求分析报告的主要部分,实现保护系统的每个保护通道内容列于表 1。

表 1 先进压水堆核电站数字化保护系统需求分析报告中保护通道内容

Table 1 Protection channels' contents for requirement analysis of advanced PWR digital protection system

| 保护通道内容        | 简要说明                                                  |
|---------------|-------------------------------------------------------|
| 概述            | 简述该信号的作用                                              |
| 设计依据          | 设计依据的标准                                               |
| 功能逻辑图         | 信号的逻辑实现,包括手动信号逻辑、P 信号及 C 信号的逻辑关系                      |
| 信号和状态参量的显示和控制 | 确定在主控室内必须显示的信号和状态参量,根据这些量确定所需的仪表。确定每个信号在特殊情况下的手动触发控制器 |
| 警报器           | 当该信号任何一个触发条件满足并启动响应的保护动作时,在主控室根据情况报警                  |
| 触发和触发逻辑       | 由于测量信号的冗余特性,根据情况设计触发逻辑如 2/4 等                         |
| 精度            | 确定主要测量元件,传输和转换系统等的精度要求                                |
| 量程            | 确定测量元件的量程和显示仪表显示量程                                    |
| 时间响应          | 确定触发动作的时间响应,触发动作的时间延迟等                                |
| 过载和恢复特性       | 确定实际值超量程后,在实际值恢复到仪器的量程范围时仪器(仪表)的响应要求                  |
| 噪音(波动)要求      | 确定测量过程中信号发生波动时测量系统的响应要求                               |
| 整定值           | 确定信号触发的限值                                             |
| 试验要求          | 实现实时测试要求                                              |

3 小结

先进压水堆核电站数字化保护系统研发需求分析是发展的必然。需求分析报告采用 1 种三等级的金字塔式层次结构,第 1 层为基本概

念;第2层根据基本概念对保护系统的功能进行分类;第3层是保护系统的具体实现。该结构可以直观阐明先进压水堆核电站保护系统的设计特性和逻辑实现。

#### 参考文献:

- [1] 郑明光,徐济璠,张琴舜,等.压水堆核电站仪表控制与计算机化的发展概况[J].核技术,2000,23(12):899-903.  
ZHENG Mingguang, XU Jiyun, ZHANG Qinshun, et al. The evolution of instrumentation, control and computerization in nuclear power plant[J]. Nuclear Techniques, 2000, 23(12): 899-903(in Chinese).
- [2] 史凯,蒋明瑜,郑健超,等.核电站仪表与控制系统(I&C)系统数字化关键技术研究现状[J].测控技术,2004,23(2):29-32.  
SHI Kai, JIANG Mingyu, ZHENG Jianchao, et al. Current status for upgrades of key technology

- of digitized instrument and control system in nuclear power plant[J]. Measurement & Control Technology, 2004,23(2):29-32(in Chinese).
- [3] 杨岐.核电站数字化 I&C 系统关键技术研究现状及发展策略[J].核动力工程,2002,23(2):66-69.  
YANG Qi. Status and development tactics for key technology of digitized instrument and control system for nuclear power plant[J]. Nuclear Power Engineering, 2002,23(2):66-69(in Chinese).
- [4] David C, 孙学涛,赵凯,等.需求分析[M].北京:清华大学出版社,2004:16-17.
- [5] 李富,安珍彩,张良驹,等.HTR-10 数字化保护系统的验证与确认[J].核动力工程,2001,22(6):508-512.  
LI Fu, AN Zhencai, ZHANG Liangju, et al. Digital protection system in HTR-10[J]. Nuclear Power Engineering, 2001, 22(6): 508-512 (in Chinese).

## 硼或浓缩硼-10 在 $UO_2$ 中的用途

【公开日】2006.04.19

【分类号】G21C3/32

【公开号】CN1760991

【申请号】CN200510-109634.1

【申请日】2005.09.14

【申请人】西屋电气有限责任公司

【文摘】本发明提供一种核燃料组件,其中含硼化合物用作可燃毒物且分布在该组件的大多数棒内。该组件包括多个燃料棒,每一燃料棒含有多个核燃料芯块,其中在燃料组件内大于50%的燃料棒中至少一个燃料芯块包括金属氧化物、金属碳化物或金属氮化物和含硼化合物的烧结混合物。

摘自中国原子能科学研究院《核科技信息》