

国家科技重大专项资助项目系列丛书

核动力厂物项分级

—— 案例分析

环境保护部核与辐射安全中心 / 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

国家科技重:

丛书

核动力厂物项分级

—— 案例分析

环境保护部核与辐射安全中心 / 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书是国家科技重大专项课题“CAP1400 安全审评技术及独立验证试验”(2010ZX06002-10-10)子课题 10“安全分级问题”研究成果之一。全书共 27 章,在综合国内多个机组的安全分级参考标准及审评经验的基础上编写而成,书中给出了一部分对核动力厂物项进行安全分级的案例。

本书可供核与辐射行业相关从业人员参考,也可作为高等院校核工程与核技术等相关专业本科生、研究生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

核动力厂物项分级:案例分析/环境保护部核与辐射安全中心编著. —北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.12

ISBN 978-7-114-12713-7

I. ①核… II. ①环… III. ①核动力—分级—案例
IV. ①TL99

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 001835 号

书 名:核动力厂物项分级——案例分析

著 作 者:环境保护部核与辐射安全中心

责任编辑:吴燕伶

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:880×1230 1/32

印 张:4.375

字 数:97 千

版 次:2015 年 12 月 第 1 版

印 次:2015 年 12 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-12713-7

定 价:18.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

本书编写组人员

主 编	王忠秋	路 燕		
编 者	王忠秋	路 燕	刘 鹏	
	孙造占	文 静	初起宝	
	冯 燕	刘 乐	张云波	
	乔 宁	王 庆	房永刚	
	徐 宇	贾盼盼	高 晨	
	王 臣	凌礼恭	张 新	
	马若群	李海龙	郭银辉	
	张 奇	董晓璐	孔 静	
	商昌忠	司恒远		

前 言

自核反应堆设计和运行初期,人们就意识到了根据不同物项的安全重要性而对其进行分级的必要性,这对于实现核能开发利用中安全性与经济性的平衡具有重要意义。国家核安全局发布的《核动力厂设计安全规定》(HAF 102)第 5.1.1 条规定,“必须首先确定属于安全重要物项的所有构筑物、系统和部件,包括仪表和控制软件,然后根据其安全功能和安全重要性分级。它们的设计、建造和维修必须使其质量和可靠性与这种分级相适应。”在国内外的核安全监管中,安全分级问题历来是全局性的至关重要的问题,它既影响核设施的安全性,同样也严重影响核能发展的成本和代价,是行业发展部门与核安全监管部门达成共识的基础,也是保证核能事业安全、高效发展的重要条件之一。

我国核电事业经历了起步和发展期,目前正努力向大型先进核电机组完全自主化的目标前进,国家科技重大专项之一的 CAP1400 型核电示范工程则是其一项具体体现。CAP1400 的设计在很大程度上参考了美国的 AP1000 型核电机组设计。因其“非能动安全”理念与以往堆型核电机组的“能动安全”理念具有很大差别,使得原来适用的核动力厂物项分级相关规范和标准,对于 AP1000 型核动力厂物项分级部分内容不再适用。这给相应的核安全审评带来了相当的难度,也势必需要更多的时间和人力。

为保证国家科技重大专项“大型先进压水堆及高温气冷堆核电厂”的顺利实施,必须同步开展相应的先进监管技术的研究。“大型先进压水堆及高温气冷堆核电厂”被列为《国家中长期科学

和技术发展规划纲要(2006—2020)》确定的16个重大专项之一，“CAP1400安全监管技术及独立验证试验”被确定为该重大专项的子课题，“安全分级问题”是该子课题的组成部分。

安全分级如何实施，在国内外已有多个标准，但各标准的分级方法并不完全统一。实际上，安全分级问题是一个复杂的问题，不可能用一套通用的方法解决所有不同堆型的分级问题。环境保护部核与辐射安全中心审评人员在综合国内多个机组的安全分级参考标准及审评经验的基础上编写了本书，书中给出一部分对核动力厂物项进行安全分级的案例，以供大家在核安全从业过程中参考使用。

全书由王忠秋、路燕主编。

其中第1章由王忠秋编写；第2章由孙造占编写；第3章由文静编写；第4章由路燕编写；第5章由初起宝编写；第6章由路燕编写；第7章由冯燕编写；第8章由刘乐编写；第9章由张云波编写；第10章由刘鹏编写；第11章由乔宁编写；第12章由王庆编写；第13章由房永刚编写；第14章由徐宇编写；第15章由刘鹏编写；第16章由贾盼盼编写；第17章由高晨编写；第18章由王臣编写；第19章由凌礼恭编写；第20章由张新编写；第21章由马若群编写；第22章由李海龙编写；第23章由郭银辉编写；第24章由张奇编写；第25章由商昌忠、司恒远编写；第26章由董晓璐编写；第27章由孔静编写。

在本书编写过程中，虽然经过反复斟酌和修改，但由于时间紧迫，难免存在不足之处，诚望广大读者提出宝贵意见，以便再版时修改完善。

编者

2015年12月

目 录

第 1 章	概述	1
第 2 章	缩略语及定义	5
§ 2.1	缩略词列表	6
§ 2.2	定义	7
第 3 章	案例 1——功能和系统的安全分级	15
§ 3.1	设计基准事件	16
§ 3.2	最大设计基准事故	17
§ 3.3	安全相关级功能和系统	18
第 4 章	案例 2——压水堆辅助给水系统的分级	19
§ 4.1	系统功能	20
§ 4.2	系统安全相关功能	20
§ 4.3	非安全相关级系统部分	20
§ 4.4	系统接口	22
第 5 章	案例 3——辅助给水控制阀分级	25
§ 5.1	部件描述	26
§ 5.2	部件安全相关功能要求	26
§ 5.3	部件安全分级	27
第 6 章	案例 4——蓄电池间采暖、通风和空气调节系统的分级	29
§ 6.1	系统功能	30
§ 6.2	系统安全相关功能	30
§ 6.3	非安全相关级部分	32
§ 6.4	系统接口	32

第 7 章 案例 5——蓄电池间采暖、通风和空调系统	
风阀分级	33
§ 7.1 覆盖的系统	34
§ 7.2 部件描述	34
§ 7.3 部件安全相关功能要求	34
§ 7.4 部件安全分级	35
第 8 章 案例 6——执行机构液压密封的分级	37
§ 8.1 零件描述	38
§ 8.2 制造厂商/零件号	38
§ 8.3 上游部件	38
§ 8.4 零件安全相关功能要求	38
§ 8.5 零件安全分级	39
第 9 章 案例 7——执行机构液压液分级	41
§ 9.1 零件描述	42
§ 9.2 制造商/零件编码	42
§ 9.3 上游部件	42
§ 9.4 零件安全相关功能要求	42
§ 9.5 零件安全分级	43
第 10 章 案例 8——辅助电源系统同步指示仪分级	45
§ 10.1 涉及的部件	46
§ 10.2 部件描述	46
§ 10.3 部件安全相关功能要求	46
§ 10.4 部件安全分级	48
第 11 章 案例 9——安全相关级柴油机暖机系统分级	49
§ 11.1 系统功能	50
§ 11.2 系统安全相关功能	50
§ 11.3 非安全相关级部分	50
§ 11.4 系统接口	51

第 12 章 案例 10——安装螺钉分级	53
§ 12.1 零件描述	54
§ 12.2 制造商/零件号	54
§ 12.3 上游部件	54
§ 12.4 零件安全相关功能要求	54
§ 12.5 零件安全分级	54
第 13 章 案例 11——平垫圈分级	55
§ 13.1 零件描述	56
§ 13.2 制造商/零件号	56
§ 13.3 上游部件	56
§ 13.4 零件安全相关功能要求	56
§ 13.5 零件安全分级	57
第 14 章 案例 12——O 型环润滑剂分级	59
§ 14.1 零件描述	60
§ 14.2 制造商/零件号	60
§ 14.3 上游部件	60
§ 14.4 零件安全相关功能要求	60
§ 14.5 零件安全分级	60
第 15 章 案例 13——O 型环分级	61
§ 15.1 零件描述	62
§ 15.2 制造商/零件号	62
§ 15.3 上游部件	62
§ 15.4 零件安全功能要求	62
§ 15.5 零件安全分级	63
第 16 章 案例 14——防松螺母的分级	65
§ 16.1 零件描述	66
§ 16.2 制造商/零件编码	66
§ 16.3 上游部件	66

§ 16.4	零件安全相关功能要求	66
§ 16.5	零件安全分级	66
第 17 章	案例 15——位置指示开关分级	67
§ 17.1	物项描述	68
§ 17.2	制造商/型号	68
§ 17.3	上游部件	68
§ 17.4	物项安全相关功能要求	68
§ 17.5	物项安全分级	68
第 18 章	案例 16——泄漏率试验用氮气的分级	69
§ 18.1	零件描述	70
§ 18.2	制造商/零件编码	70
§ 18.3	上游部件	70
§ 18.4	零件安全相关功能要求	70
§ 18.5	零件安全分级	71
第 19 章	案例 17——液压控制单元蓄压箱所用 氮气的分级	73
§ 19.1	零件描述	74
§ 19.2	制造商/零件编码	74
§ 19.3	上游部件	74
§ 19.4	零件安全相关功能要求	74
§ 19.5	零件安全分级	75
第 20 章	案例 18——堆芯保护计算系统中电阻器的 分级	77
§ 20.1	零件描述	78
§ 20.2	制造商/零件编码	78
§ 20.3	上游部件	78
§ 20.4	零件安全相关功能要求	78
§ 20.5	零件安全分级	78

第 21 章 案例 19——某型焊料分级	79
§ 21.1 零件描述	80
§ 21.2 制造商/零件编码	80
§ 21.3 上游部件	80
§ 21.4 零件安全相关功能要求	80
§ 21.5 零件安全分级	81
第 22 章 案例 20——指示灯分级	83
§ 22.1 零件描述	84
§ 22.2 制造商/零件编码	84
§ 22.3 上游部件	84
§ 22.4 零件安全相关功能要求	84
§ 22.5 零件安全分级	84
第 23 章 案例 21——液压阻尼器密封包的分级	85
§ 23.1 零件描述	86
§ 23.2 制造商/零件编码	87
§ 23.3 上游部件	87
§ 23.4 零件安全相关功能要求	88
§ 23.5 零件安全分级	88
第 24 章 承压边界接口等级的典型案例	89
§ 24.1 案例 1	93
§ 24.2 案例 2	93
§ 24.3 案例 3	95
§ 24.4 案例 4	95
§ 24.5 案例 5	96
§ 24.6 案例 6	96
第 25 章 EPR 堆型安全注入系统分级	99
§ 25.1 系统描述	100
§ 25.2 系统功能识别	100

§ 25.3	RIS 功能分级	102
§ 25.4	设备质量分级	102
§ 25.5	电气仪控分级	103
第 26 章	一组限制正常运行和限制事件的案例	105
§ 26.1	工况 PC-1	106
§ 26.2	工况 PC-2	107
§ 26.3	工况 PC-3	108
§ 26.4	工况 PC-4	109
§ 26.5	工况 PC-5	109
第 27 章	安全相关零件分级	111
§ 27.1	主泵零部件分级	112
§ 27.2	蒸汽发生器	114
§ 27.3	非能动余热排出热交换器	115
§ 27.4	压力容器一体化堆顶组件	116
参考文献		117

第 1 章 概 述

本书提供了典型的系统、部件和零件的安全分级案例。这些案例说明了任何物项的分级都是基于物项的功能和核动力厂取证基准。这些案例的目的是帮助使用者落实分级方法和准则,并不针对特定核动力厂的应用。这里案例介绍的信息不是设计建议,因为它们并不完全代表核动力厂真实情况或取证承诺。不同章节提供的案例的格式和详细程度用于说明安全分级方法的应用。

另外,关于设备的零部件分级,RCC-M(2002版) A4100和A4240/4241一起给出完整的定义,具体规定如下所述。

(1)A4100 遵守 RCC-M 规定的部件,包括:

- 承压部件(Pressure-retaining Components):容器、热交换器、泵、阀门、管道。
- 其他部件(Other Components):反应堆压力容器堆内构件、承压设备和储罐的支承件、低压或常压储罐。

(2)A4240 部件的零件分级。

(3)A4241 零件和制品:

- 承压部件的零件(Parts of Pressure-retaining Components)的级别应与该部件的级别一致。

- 其他部件的零件或制品(Other Component Parts or Products)不受 RCC-M 要求的制约,除非在规定了适用要求的 B、C、D 篇中有特别规定(例如,表 B2200、C2200、D2200 中的技术参考规范,B、C、D 篇的 4500 中关于表面耐磨堆焊的规则等)。

从 RCC-M 规范要求可看出,归属于承压部件的容器、热交换器、泵、阀门和管道,其零件的安全级别应与该部件的安全级别一致。不过目前国内机组的通用做法是,承压机械设备的承压部件按照 RCC-M 规范执行,而非承压部件按照相应的机械设备设计规范和技术规格书要求执行。本书就设备的零件分级也给出部分案例供参考。

第 2 章给出本书中用到的缩略语及其定义。

第 3 章案例 1 介绍使用取证基准来定义设计基准事件 (DBE), 从中可以确定最大的 DBE 及缓解其后果所需的系统和功能。

第 4 章案例 2 和第 6 章案例 4 介绍了系统的安全分级。该安全分级是通过确定系统功能、取证基准和核动力厂对最大 DBE 响应来定义的。该系统的安全相关功能使用 ANS 58.14-2011 第 4 章中的准则的来定义。之后确定系统接口和安全相关级边界。

第 5 章案例 3 和第 7 章案例 5 分别介绍了从第 4 章案例 2 和第 6 章案例 4 中的系统中选取的部件的安全分级。第 10 章案例 8 介绍了电气部件的安全分级并假设其所属系统已被评估。通过评估该部件功能以确认哪些是安全相关; 由此, 可以确定该部件的安全分级。

第 8 章案例 6 和第 9 章案例 7 介绍了零件的安全分级, 即为第 7 章案例 5 中评估的部件的零件。该零件的安全分级通过评估其功能来确定, 这主要取决于其对所属部件的安全相关功能的支持。

第 11 章案例 9 介绍了用于保证安全相关级系统准备就绪的一个子系统的安全分级。

第 12 章案例 10 至第 23 章案例 21 进一步演示了零件安全分级方法和准则的应用。在这些案例中均假设其所属部件的安全分级已经被预先确定。

第2章

缩略语及定义