

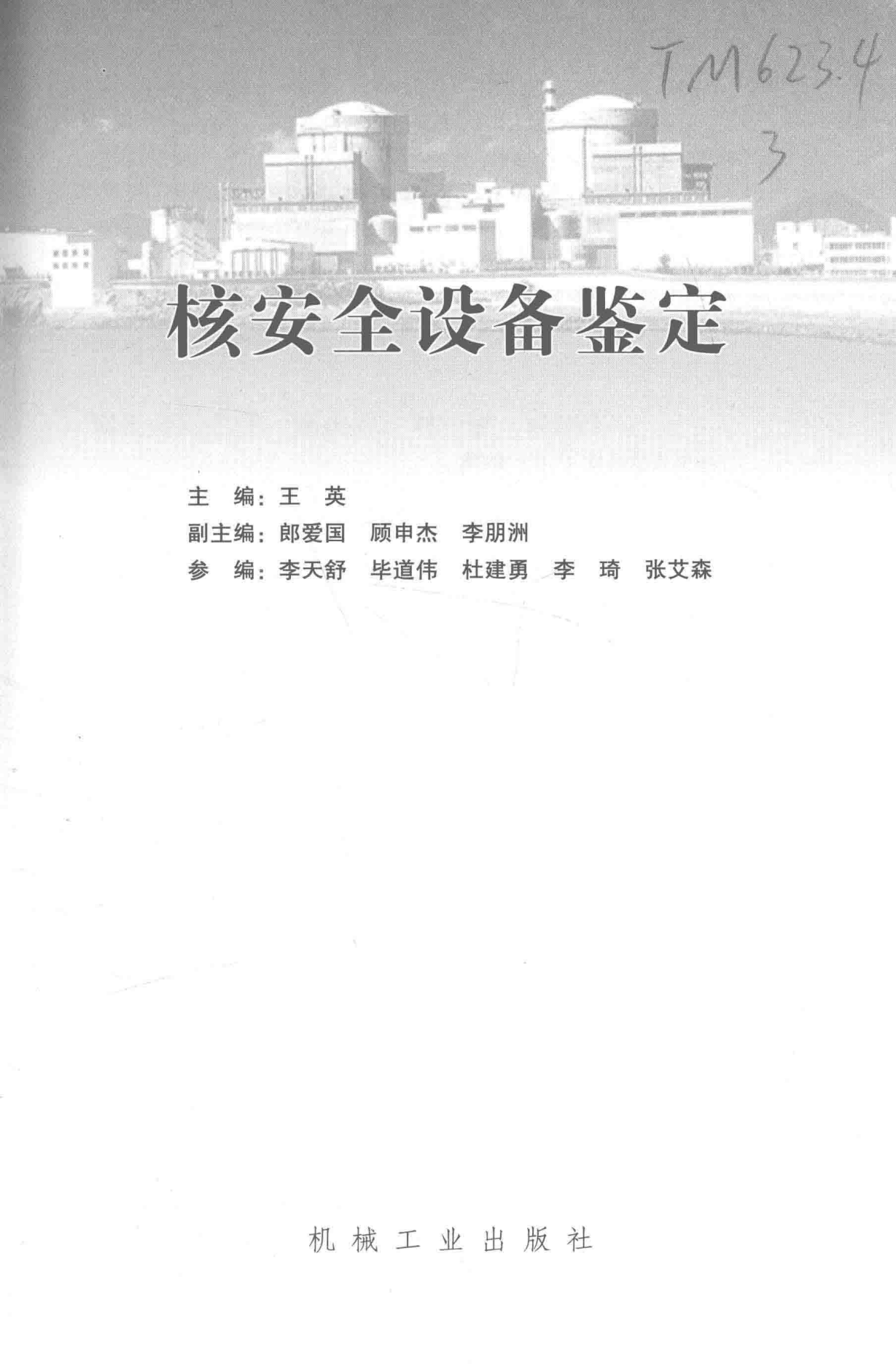
核安全 设备鉴定

主 编 王 英

副主编 郎爱国 顾申杰 李朋洲



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TM623.4
3

核安全设备鉴定

主 编：王 英

副主编：郎爱国 顾申杰 李朋洲

参 编：李天舒 毕道伟 杜建勇 李 琦 张艾森

机 械 工 业 出 版 社

本书从理论和实践两个方面全面阐述了核安全设备的鉴定技术,从核电站安全相关电气设备和机械设备鉴定的含义、发展历史、法规标准、设备使用条件、鉴定方法出发,着重阐述了核安全设备鉴定程序、老化效应、抗震鉴定、电磁兼容和软件验证与确认,结合典型设备案例给予实践应用指导,适用于政府、核电设计院与研究所、核电站与工程公司、设备制造商等技术人员和管理人员,为核安全设备鉴定的开展提供了良好的借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

核安全设备鉴定/王英主编. —北京:机械工业出版社,
2015. 12

ISBN 978-7-111-52327-7

I. ①核… II. ①王… III. ①核电站-安全设备-设备
鉴定 IV. ①TM623. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 295873 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:付承桂 责任编辑:闫洪庆

版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:路恩中 责任印制:李 洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2016 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·14.25 印张·266 千字

0001—2500 册

标准书号:ISBN 978-7-111-52327-7

定价:59.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网 络 服 务

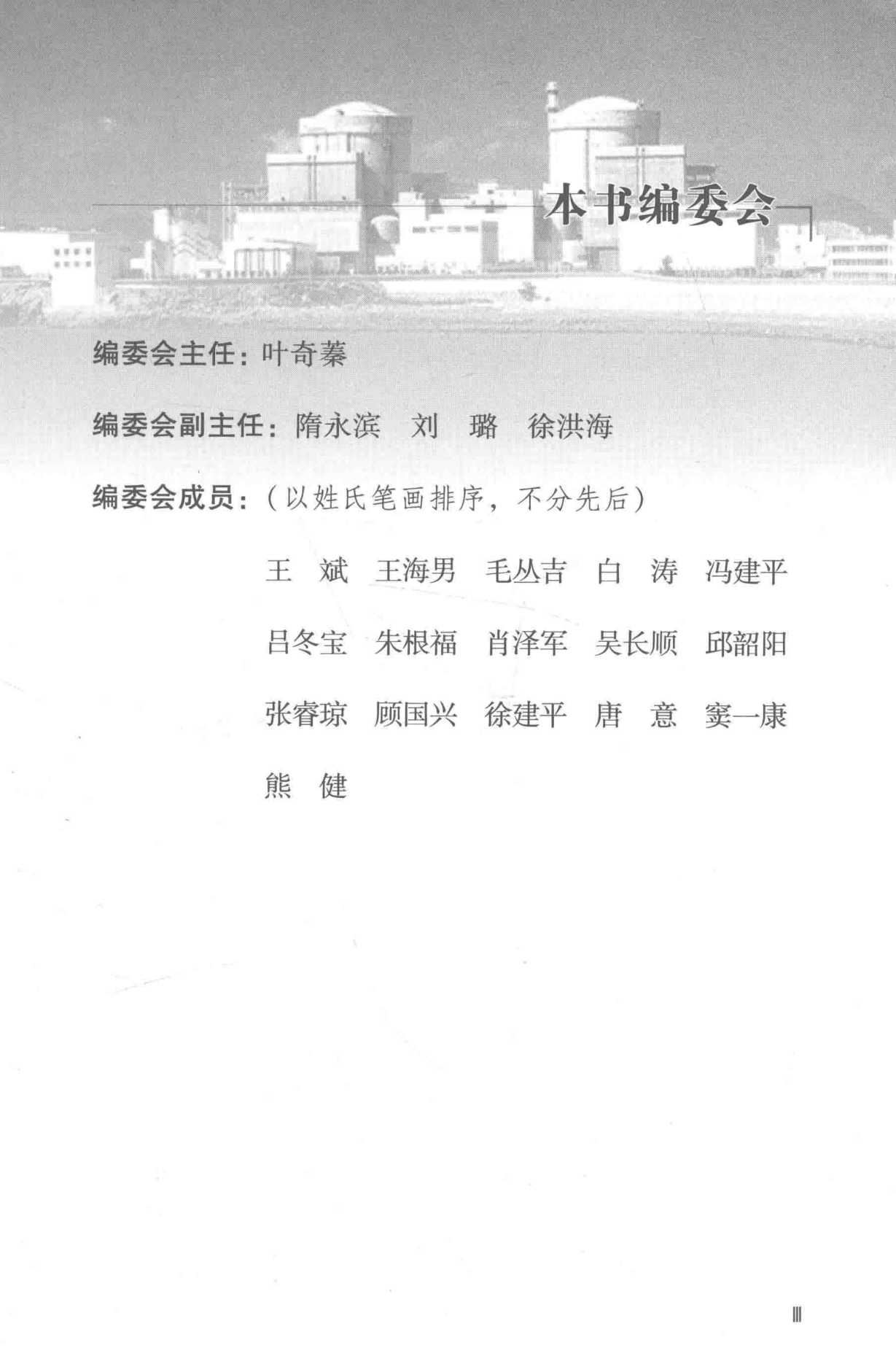
服务咨询热线:010-88361066 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294 机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203 金 书 网:www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com



本书编委会

编委会主任：叶奇蓁

编委会副主任：隋永滨 刘 璐 徐洪海

编委会成员：（以姓氏笔画排序，不分先后）

王 斌 王海男 毛丛吉 白 涛 冯建平

吕冬宝 朱根福 肖泽军 吴长顺 邱韶阳

张睿琼 顾国兴 徐建平 唐 意 窦一康

熊 健



序

核能作为一种安全、可靠、经济的清洁能源，已被世界各国广泛利用。我国将核能用于发电主要采取了压水堆核电技术路线，并成为世界上少数几个拥有比较完整核工业体系的国家之一。

核安全设备鉴定是核安全保障的基础性工作，是一个产生并保持证据的过程，证明核电厂安全重要设备或设施能在其预期的鉴定合格寿期内的任意时刻及时投运，并满足系统所需性能要求，从而确保核电厂安全。设备鉴定的实质就是验证并确认安全重要系统和设备具备所需安全功能的过程，其目标是验证并显示核电厂安全重要设备在其预期的鉴定合格寿期内，不存在因设计、制造缺陷，或因储存、运输、安装、调试或使用不当，而导致设备出现故障或失效的依据，从而为“单一故障准则”、冗余度、“独立性准则”等安全准则在核电厂安全重要系统中的有效实施，提供一个高可信度的保障，合格鉴定的结果意味着可以获得一个高可信度的设备可靠性的保障。

核安全设备鉴定是保障电厂安全功能完整的一项重要措施，也是核安全文化的重要体现。我国目前正在从核电制造大国向制造强国迈进，高度重视和安全保障体系的研究和实践，乃是当务之急、刻不容缓。随着核电站建设规模的不断扩大，核电安全至关重要，历史上三哩岛和切尔诺贝利核事故的发生，近期日本福岛事件的发生，为安全发展核电敲响了警钟，而核安全设备是核电厂安全保障的基石。要有效实施设备鉴定，需要采用科学的方法和严谨的态度，识别和分析影响安全问题的要素和实质，借鉴国外先进经验，逐步建立起科学、合理而又适合中国国情的核安全设备的鉴定体系，把安全监管、质量监督、市场准入、用户采购使用等环节科学规范起来，为我国核电产业健康安全发展提供有力的保障。

在《核安全设备鉴定》一书出版之际，谨对我国核安全设备鉴定工作



所取得的成果表示祝贺，相信本书的出版将对我国核安全设备鉴定和监管工作起到积极的促进作用。

叶奇蓁

叶奇蓁 院士

2015年11月24日



前言

众所周知，核电作为清洁能源，已成为我国能源工业的重要支柱之一，现今核电发展已经进入“快车道”。核安全设备是核电站安全运行的关键保障系统，而设备鉴定是确定其是否满足预期设计安全要求的验证手段，是核与辐射安全监管的重要内容。现今国内外的鉴定方法和鉴定要求各有差异，鉴定水平参差不齐。本书的编写致力于推动我国核安全设备鉴定水平的提升，规范鉴定方法和操作程序，为核与辐射安全监管提供技术支撑。

本书的编写参考和借鉴了国际原子能机构的工作文件、IEC 标准、IEEE 标准和我国 GB、EJ 以及 NB 标准，解读了各国标准法规，结合编者的丰富实践经验，内容覆盖核安全设备的鉴定机理、鉴定方法和程序、鉴定试验、失效判据以及故障诊断和分析等。全书共分为 10 章，第 1 章是对核安全设备鉴定的总体概述，第 2 章描述核安全设备的使用条件及其影响，第 3 章介绍设备鉴定的程序，第 4 章阐述老化效应如何评估，第 5~6 章介绍设备抗震鉴定、电磁兼容性鉴定，第 7 章是安全软件验证和确认，第 8 章介绍机械设备鉴定，第 9 章是设备鉴定的质量保证，第 10 章是设备鉴定典型案例。

本书适用于从事核安全设备相关的专业人员使用，包括政府、设计院、工程公司、核电站业主、产品制造商、实验室等。在内容选择和安排上，为便于理解，力求从浅入深、循序渐进，编写过程中有机地将理论和典型案例相结合，可操作性强，适用于鉴定实践指导。

本书由上海工业自动化仪表研究院组织行业优秀专家进行编写，得到了行业单位的支持与响应，尤其是环境保护部核与辐射安全中心、上海核工程研究设计院、核动力设计研究院。本书凝聚了业内专家的智慧，表达了其独到的见解，以专业而深入的视角来诠释，全面透视核安全设备鉴定技术。



在本书完成之际，作者特别要感谢环境保护部核与辐射安全监管一司给予的关心和指导，本书的编写得到 2013 年度核与辐射安全监督管理技术项目的支持（项目号：JG201321）。最后还要感谢同事、家人和朋友在工作和生活方面的鼓励和帮助，使本书能够顺利完成。

因作者水平有限，书中错误和不足之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者

2015 年 11 月 1 日



目 录

本书编委会

序

前言

第1章 设备鉴定概述	1
1.1 设备鉴定的基本概念	2
1.2 设备鉴定方法	4
1.3 设备鉴定过程	5
1.4 设备鉴定有关的法规和标准	6
1.5 设备鉴定的发展	12
第2章 设备使用条件及其影响	15
2.1 概述	16
2.2 设备使用条件	16
2.2.1 使用条件的分类	16
2.2.2 正常和异常运行条件	16
2.2.3 设计基准事件条件	17
2.3 环境或运行载荷及其影响	17
2.3.1 概述	17
2.3.2 温度	18
2.3.3 辐照	19
2.3.4 气压	20
2.3.5 湿度、潮湿和水喷淋	20
2.3.6 蒸汽	21
2.3.7 浸水	21



2.3.8 化学制剂	21
2.3.9 振动和地震	22
2.3.10 设备运行	22
2.4 小结	23

第3章 鉴定程序

25

3.1 概述	26
3.2 设计与执照申请基准	26
3.2.1 设计准则要求	26
3.2.2 执照申请	27
3.3 鉴定设备	28
3.3.1 鉴定设备的标识	28
3.3.2 鉴定样品的选择	28
3.3.3 接口/辅助设备	28
3.3.4 安全功能	29
3.3.5 性能指标	29
3.3.6 使用条件	29
3.3.7 安装要求	30
3.4 鉴定目标及要求	30
3.4.1 鉴定寿命目标	30
3.4.2 裕度	30
3.4.3 验收准则	31
3.4.4 老化机理评定	31
3.4.5 维护和更换要求	32
3.5 鉴定方法选择	32
3.5.1 鉴定方法概述	32
3.5.2 型式试验法	33
3.5.3 分析论证法	34
3.5.4 运行经验法	34
3.5.5 组合法	35
3.6 和缓环境和严酷环境	35
3.6.1 和缓环境下的设备鉴定	35

3.6.2 严酷环境下的设备鉴定	36
3.7 基于计算机技术的仪控设备鉴定	37
3.7.1 设备特点	37
3.7.2 鉴定要求	38
3.7.3 EMC 鉴定要求	38
3.8 小结	40
第4章 老化效应评估	41
4.1 概述	42
4.2 老化载荷、老化机理和故障模式	42
4.2.1 老化载荷和老化机理	42
4.2.2 老化机理及其故障模式	43
4.3 显著老化机理	44
4.4 老化模型及其局限性	45
4.4.1 老化模型	45
4.4.2 老化模型的局限性	49
4.5 鉴定寿命	50
4.5.1 鉴定寿命的确定	50
4.5.2 和缓环境设备的鉴定寿命	51
4.5.3 保持鉴定寿命/状态的 EQ 维护	51
4.5.4 状态监测	52
4.5.5 环境监测	53
4.5.6 鉴定寿命的重新评价	53
4.5.7 库存寿命	54
4.6 小结	54
第5章 抗震鉴定	57
5.1 概述	58
5.2 基本概念	58
5.2.1 地震	58
5.2.2 地震模拟	59
5.2.3 阻尼	60



5.2.4	抗震类别	61
5.2.5	抗震设计要求	61
5.2.6	抗震等级	62
5.2.7	抗震裕度	62
5.3	抗震鉴定方法	62
5.3.1	常用方法	62
5.3.2	方法选择	62
5.4	抗震鉴定程序	63
5.5	型式试验法	64
5.5.1	概述	64
5.5.2	抗震鉴定试验步骤	64
5.5.3	抗震试验装置	64
5.5.4	试验试件要求	70
5.5.5	安装要求	71
5.5.6	测点布置要求	72
5.5.7	抗震鉴定试验准备	72
5.5.8	抗震试验方法	74
5.5.9	试验评定	83
5.6	分析法	84
5.6.1	介绍	84
5.6.2	动力法	84
5.6.3	静力法	85
5.7	分析与试验结合	85
5.7.1	复杂大型设备	85
5.7.2	相似设备的外推	85
5.8	运行经验法	86
5.9	鉴定文档	86
5.9.1	型式试验法	86
5.9.2	分析法	86
5.9.3	运行经验法	86
5.10	小结	87

第6章	电磁兼容性鉴定	89
-----	---------	----

6.1 概述	90
6.2 电磁兼容标准和法规要求	91
6.2.1 美国 EMC 标准和法规	91
6.2.2 欧洲 EMC 标准和法规	92
6.2.3 我国 EMC 标准和法规	94
6.3 鉴定试验程序	94
6.3.1 EMC 抗扰度试验选择原则研究	94
6.3.2 严酷度等级的选择	95
6.3.3 抗扰度试验分类	95
6.3.4 静电放电抗扰度	96
6.3.5 射频电磁场辐射抗扰度	97
6.3.6 电快速瞬变脉冲群抗扰度	98
6.3.7 浪涌 (冲击) 抗扰度	99
6.3.8 射频场感应的传导骚扰抗扰度	101
6.3.9 工频磁场抗扰度	102
6.3.10 脉冲磁场抗扰度	103
6.3.11 阻尼振荡磁场抗扰度	105
6.3.12 电压暂降、短时中断和电压跌落抗扰度	105
6.3.13 谐波、谐间波抗扰度	106
6.3.14 0~150kHz 共模传导骚扰抗扰度	107
6.3.15 传导发射	108
6.3.16 辐射发射	108
6.4 电磁兼容评估及实现	109
6.4.1 EMC 试验判据	109
6.4.2 电磁兼容评估	109
6.4.3 电磁兼容设计和故障诊断	110
6.4.4 核安全设备 EMC 生命周期管理	110
6.5 鉴定文档	111
6.5.1 设备鉴定样机技术规范书要素	111
6.5.2 设备鉴定大纲要素	111
6.5.3 试验计划要素	112
6.5.4 试验报告要素	112
6.5.5 设备、系统关键 EMC 性能	112



6.5.6 设备安装验收要素	113
第7章 安全软件验证和确认	115
7.1 概述	116
7.2 软件 V&V 标准规范	117
7.2.1 IEC 标准	117
7.2.2 IEEE 标准体系	119
7.2.3 美国 RG 导则	120
7.3 软件 V&V 生命周期及过程	121
7.3.1 软件分类方法	122
7.3.2 安全软件 V&V 生命周期	123
7.3.3 软件编码	124
7.3.4 软件测试	125
7.3.5 可追踪性分析	126
7.4 软件 V&V 配置管理	127
7.5 软件 V&V 文档	127
7.5.1 软件质量保证大纲	129
7.5.2 软件 V&V 大纲	129
7.5.3 软件配置管理大纲	130
7.5.4 软件 V&V 报告	131
第8章 机械设备鉴定	133
8.1 概述	134
8.2 鉴定目的	134
8.3 机械设备分类	134
8.4 试验件的选择	135
8.5 鉴定步骤和方法	136
8.6 基准试验	137
8.7 老化试验	137
8.7.1 辐照老化试验	137
8.7.2 热老化试验	137
8.7.3 湿热循环试验	138
8.7.4 运行老化试验	138

8.7.5 振动老化试验	138
8.8 地震试验	139
8.8.1 概述	139
8.8.2 动态特性探查试验	140
8.8.3 地震试验准备	140
8.8.4 地震试验方法	141
8.9 事故环境试验	142
8.9.1 事故工况下的辐照试验	142
8.9.2 事故工况下的环境试验	143
8.10 鉴定试验后的功能试验	143
8.11 裕量	143
8.12 分析法	143
8.12.1 概述	143
8.12.2 数学模型建立	144
8.12.3 分析方法	144
8.13 运行经验法	145
8.14 鉴定结论	146
8.15 小结	146
第9章 设备鉴定的质量保证	147
9.1 核安全质量保证的特点	149
9.2 设备鉴定中的责任	151
9.3 设备鉴定要求的传递	154
9.3.1 设计输入与设计输出	154
9.3.2 标准要求的传递	155
9.3.3 质量标准的传递与质量保证分级	156
9.4 设备鉴定实施中的核安全文化	158
第10章 设备鉴定典型案例	161
10.1 仪表和控制系统鉴定	162



10.1.1	鉴定分类	162
10.1.2	鉴定试验项目	162
10.1.3	质量鉴定程序	163
10.1.4	基准试验	164
10.1.5	正常环境下极限值试验	165
10.1.6	老化试验	165
10.1.7	模拟事故工况试验	167
10.1.8	安全级软件的验证和确认 (V&V)	167
10.2	1E级交流电动机鉴定	168
10.2.1	概述	168
10.2.2	EQ 要求	168
10.2.3	EQ 程序	170
10.2.4	文件	171
10.3	蓄电池鉴定	173
10.3.1	总述	173
10.3.2	1E级蓄电池鉴定要求	174
10.3.3	使用条件	175
10.3.4	老化	175
10.3.5	鉴定方法	175
10.4	电缆鉴定	179
10.4.1	概述	179
10.4.2	鉴定	180
10.4.3	鉴定试验	183
10.5	安全级干式变压器鉴定	184
10.5.1	概述	184
10.5.2	鉴定要求	185
10.5.3	型式试验	189
10.5.4	文件要求	190
10.6	柴油发电机组鉴定	191
10.6.1	概述	191
10.6.2	柴油发电机组鉴定标准	191

10.6.3 工厂试验	191
10.6.4 柴油发电机组鉴定试验	192
附录 术语与定义	195
参考文献	203