

清华大学电气工程系列教材

电力系统可靠性原理和应用 (第2版)

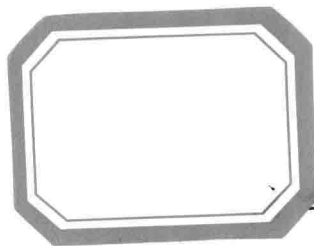
Principles and Applications
of Power System Reliability

(Second Edition)

程林 何剑 编著

Cheng Lin He Jian

清华大学出版社



华 大 学 电 气 工 程 系 列 教 材

电力系统可靠性原理和应用 (第2版)

Principles and Applications
of Power System Reliability

(Second Edition)

程林 何剑 编著

Cheng Lin He Jian

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

近年来,以概率方法和随机过程理论为基础的可靠性分析技术在电力系统规划和运行中发挥着越来越重要的作用。本书系统地阐述了电力系统可靠性分析的原理和应用,内容包括:可靠性的基本概念;概率与随机过程;元件可靠性分析方法;系统可靠性分析的网络法、状态空间法及蒙特卡洛法;发电系统、互联系统、发输电系统、配电系统、发电厂及变电站主接线系统的可靠性评估;可靠性与经济性的协调;电力系统运行可靠性;电力系统可靠性统计评价。

本书可作为电力系统专业高年级本科生和研究生教材,也可供电力系统可靠性领域的广大科研和工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电力系统可靠性原理和应用/程林,何剑编著.--2版.--北京:清华大学出版社,2015

清华大学电气工程系列教材

ISBN 978-7-302-35375-1

I. ①电… II. ①程… ②何… III. ①电力系统—系统可靠性—高等学校—教材 IV. ①TM711

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 020919 号

责任编辑:张占奎

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:32.25 字 数:784 千字

版 次:1986 年 1 月第 1 版 2015 年 2 月第 2 版 印 次:2015 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:65.00 元

产品编号:052094-01

作者简介

程林,1973年8月出生于湖南,清华大学副教授,博士生导师,中国电工技术学会电工产品可靠性研究会常务理事,IEEE PES RRPA(可靠性分委会)委员,CIGRE C6(配电与分布式发电)中国专委会委员。1996年本科毕业于天津大学自动化系电力系统及其自动化专业,2000年12月于清华大学电机系获工学博士学位(电力系统及其自动化专业),主要从事电力系统可靠性分析、电力系统安全稳定分析与控制等方面的教学与科研工作。主讲过“电力系统可靠性评估与应用”、“可靠性工程原理”、“电力系统广域监测与控制(WAMS)”、“电力系统动态控制理论与技术”、“现代电厂发电技术”、“计算机硬件技术基础”等课程。承担和参与了包括国家自然科学基金重大项目、国家973、国家863、国家科技支撑计划等在内的多项电力系统可靠性分析和安全稳定分析科研项目,获得教育部科技进步奖三等奖1项,河南省科学技术进步奖三等奖1项、国家电网公司科学技术进步奖二等奖1项、中国南方电网公司科学技术奖三等奖2项,在国内外学术期刊和学术会议上发表论文100余篇,合著出版专著1部。



何剑,1983年4月出生于云南,中国电力科学研究院高级工程师,IEEE会员,CIGRE会员。2005年本科毕业于清华大学电机系电气工程及其自动化专业,2010年7月于清华大学电机系电气工程专业获工学博士学位(电气工程专业),就读博士期间曾于2008年9月至2009年9月获得国家公派留学资格,赴英国曼彻斯特大学访问学习。主要从事电力系统可靠性分析、电力系统安全稳定分析与控制等方面的研究和工作的。承担和参与了包括国家973、国家863、国家科技支撑计划、国家电网公司重大专项等在内的多项电力系统可靠性分析和安全稳定分析科研项目,获国家电网公司科技进步二等奖1项,在IEEE、IET、中国电机工程学报等学术期刊和国内外学术会议上发表论文20余篇,合著出版专著1部、IEEE国际标准1项、中国电力行业标准1项,授权国家发明专利4项。



前言

自 20 世纪 30 年代, W. J. Lyman 和 S. M. Dean 等人将概率统计理论应用于设备维修和备用容量确定等问题的研究以来, 电力系统可靠性分析在概念、模型、算法、软件和工程应用取得了一系列成果, 在理论上取得了显著进步, 并成功应用于电力系统规划设计和运行分析等领域。近年来, 随着风电、光伏等间歇式电源的规模化接入, 电力系统规划和运行面临更大的不确定性, 以概率方法和随机过程理论为基础的可靠性分析技术发挥着越来越重要的作用。

郭永基老师编著的《电力系统可靠性原理和应用》上、下册分别于 1985 年和 1986 年由清华大学出版社出版, 是电力系统可靠性领域一套理论与工程应用相结合的经典教材。为了适应当前电力系统可靠性分析的需求, 我们对该书进行了全面修订。本次修订在保持原书深入浅出、系统严谨、理论与工程结合紧密、便于自学等特点的基础上, 从结构和内容上对原书进行了全面梳理和重新调整, 包括对部分章节的合并、删减、补充和新编, 其中主要的变化有:

(1) 原书分为上、下两册, 上册主要介绍可靠性的基本理论和分析方法, 下册着重介绍可靠性理论在电力系统各个环节的具体应用。修订后的版本将全书整合为一册, 共 14 章, 体系结构更加紧凑。其中, 第 1 章为绪论, 第 2 章为概率与随机过程的数学理论, 第 3~6 章介绍可靠性的基本理论, 第 7~14 章介绍电力系统可靠性原理及其工程应用。

(2) 删减了原书集合论的基本知识, 补充了概率论的相关内容, 并将其与随机过程合为第 2 章, 系统地介绍了可靠性数学基础。

(3) 重新梳理了可靠性的基本理论, 将原书上册内容整合成第 3~5 章。随着近年来计算机技术的广泛应用, 蒙特卡洛法在复杂系统的可靠性分析中的优势日益突出, 为此新增了第 6 章系统可靠性分析的蒙特卡洛法。

(4) 删减了原书发电系统、互联系统、配电系统和电气主接线系统可靠性评估的部分章节, 补充完善了一些内容, 例如删除了原书中苏联关于发电系统可靠性的估计方法等章节, 增加了主接线可靠性评估的数学模型等内容。

(5) 重编了原书“大容量电力系统可靠性估计”章节内容, 从充裕性和安全性两个方面

重新编写了第 9 章发输电系统可靠性评估。

(6) 重编了原书“可靠性经济学”章节内容,从冗余经济学、停电损失评估、可靠性价值评估等方面重新编写了第 12 章可靠性与经济性的协调。

(7) 新增第 13 章电力系统运行可靠性评估,系统地介绍了电力系统运行可靠性的概念、指标、模型和评估方法。

(8) 删减了原书“电力设备可靠性数据的统计和处理”章节,新增第 14 章电力系统可靠性统计评价,结合我国现行可靠性统计评价标准介绍了发电设备、输变电设施、供电系统以及直流输电系统的统计评价体系。

(9) 新增了附录部分,详细介绍了国际通用的可靠性测试系统 IEEE RTS 和课题组结合中国国情提出的 TH-RTS2000 可靠性测试系统,以供读者在学习和研究中使用。

(10) 新增大量参考文献,力争反映可靠性领域的经典著作以及一些最新研究成果,以便读者了解本书内容的主要来源或进一步查阅某些感兴趣的问题。

先师已逝,音容宛在,对郭永基老师严谨的学风和高深的学术造诣致以崇高的敬意!衷心感谢郭永基老师夫人朱爱菁教授在本书修编过程中给予的大力支持!课题组的多位研究生对本书的文字校稿付出了努力,在此表示感谢!

在本书修编过程中,我们虽尽最大努力开展了体系安排、素材选取、文字校对等工作,但限于作者水平,书中错误和不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编著者

2014 年 10 月于北京

第1版 前言



可靠性技术是在第二次世界大战后首先从航天工业和电子工业发展起来的,目前已渗透到宇航、电子、化工、机械等许多工业部门。可靠性技术渗透到电力工业和电工设备制造业始于20世纪60年代中期,以后发展得非常迅速,逐步形成了电力系统可靠性这门崭新的学科。电力系统的功能是向用户尽可能可靠地经济地提供合格的电能,它的可靠性可定义为向用户提供质量合格的、连续的电能的能力,这种能力通常用概率表示。所谓质量合格,就是指电能的频率和电压必须保持在规定范围以内。

自从1970年比灵顿(R. Billinton)发表第一部电力系统可靠性的专著——《电力系统可靠性估计》以来,许多有关电力系统可靠性的书刊相继问世,内容极为丰富,但是适合我国高等院校电气工程有关专业的师生和科学技术人员参考的书刊仍然不多。

1980年9月至11月作者为水电部在北京举办的“全国第一届电力系统可靠性及最优控制理论”学习班上讲授电力系统可靠性时,首先编写了《电力系统可靠性理论和应用》的讲义,并先后在北京电机工程学会、浙江省电机工程学会、辽宁省电机工程学会、吉林省电机工程学会作为教材用过几遍。自1981年起,清华大学电机系开设了电力系统可靠性的选修课,随后又开始招收电力系统可靠性方面的研究生。考虑到近二十年来可靠性技术迅速发展的状况,考虑到我国高等教育和科学技术迅速发展的需要,以及在职工程技术人员学习新技术进行知识更新的需要,深感有对上述讲义进行修改充实的必要。本书正是在这种情况下,总结了作者教学经验和科学研究成果编写而成的。

目前,利用可靠性理论分析电力系统可靠性的书籍日益增多。但是关于如何把数学理论分析与解决工程实际问题结合好的书籍仍显不足。在编著本书时,作者力求把可靠性基本理论和分析解决工程问题结合起来,既注意提高理论水平,又注意解决工程问题。在讨论系统可靠性的基本分析方法时,为了使读者能够得到较为清晰的概念和培养应用理论的能力,作者选择了具有不同特点的例题进行讲述,以期读者通过典型问题的分析,体会和掌握电力系统可靠性的分析方法。

本书共十三章,分上、下两册出版。

上册共五章,着重讲述可靠性的基本理论和分析方法。第一章介绍了电力系统可靠性的基本概念,研究电力系统可靠性的任务和意义,以及不可修复元件和可修复元件的分析方法和基本的可靠性指标。第二章较系统地介绍了逻辑代数的基本概念和运算方法,介绍了串联系统、并联系统、 $k/n(G)$ 系统等基本可靠性模型,介绍了最小路集、最小割集的基本概念以及运用它们分析计算通用网络系统可靠性的基本方法。第三章侧重讨论了故障树分析法和故障模式、后果和危险度分析法。第四章介绍了马尔可夫过程和马尔可夫链的基本概念和基本方程式,讨论了瞬时状态概率和平稳状态概率的求解问题。在第五章中,应用马尔可夫过程分析了可修复系统的可靠性,介绍了频率及持续时间法、状态合并法、最小割集状态法、状态空间截断法,这些方法是运用马氏过程解决电力系统可靠性问题的具体发展。

下册共分八章,着重讲述了如何运用可靠性的基本理论分析解决电力系统有关问题。因为电力系统包括的内容太多,在研究可靠性时,我们把电力系统分成若干子系统。电源系统、输电系统、配电系统、电气主接线系统等都是子系统。第六章介绍了输电线的可靠性。因为输电线是露天的,所以在建立输电线的可靠性模型时,特别要考虑天气的影响,这是研究输电线可靠性的特点。第七章介绍了电气主接线系统的可靠性。在这一章中引入了美国 and 苏联的一些研究成果,例如用于分析主接线可靠性的逻辑表格法、逻辑代数法以及最小路集法。第八章介绍了电源系统的可靠性,其中包括停运容量概率表的建立、LOLP法、频率持续时间法(F&D法)。第九章介绍互联电力系统的可靠性。第十章介绍了配电系统的可靠性,包括配电系统的可靠性指标,配电系统的可靠性模型。第十一章介绍了大电力系统可靠性的估计方法。第十二章介绍了可靠性经济学的基本内容,其中包括停电损失的估计,可靠性与经济性综合评定的方法。第十三章介绍了电气元件可靠性参数的统计方法,包括随机变量分布的检验方法和参数的点估计和区间估计的基本方法。

本书主要是针对电力有关专业研究生学习的需要而编著的,同时考虑了本科学生学习的要求以及在职工程技术人员的学习要求。因此,在编著本书的过程中,力求由浅入深,以便使具有一定的概率论数理统计和电力系统基础知识的高年级大学生以及在职工程技术人员都可以阅读。书中各章均有习题并附有习题答案,便于读者巩固所学知识,检查学习效果。

在编著本书的过程中,作者曾参阅和利用了已有著作的结果,其中的一部分已列入书末的参考文献,以便读者了解本书内容的主要来源和进一步查阅某些问题,同时也表示对原著作者的感谢。

在编著本书的过程中,电机系的领导给予了全面支持和帮助。黄眉教授、孙绍先教授给予了指导。研究生延发龙参加了部分章节的校阅和部分习题答案的整理,在此向他们表示衷心的感谢。由于作者水平有限和时间仓促,书中还会有一些缺点和不足,敬请读者批评指正。

郭永基

1983年8月10日于北京清华大学

目录

第 1 章 绪论	1
1.1 可靠性的基本概念	1
1.2 可靠性工程在电工领域的应用简况	3
1.3 电力系统可靠性的发展	4
1.4 电力系统可靠性的基本概念	5
1.5 电力系统可靠性学科的主要任务	6
第 2 章 概率与随机过程	7
2.1 概率的定义与性质	7
2.2 随机变量及其分布	8
2.3 随机过程	16
2.3.1 确定性过程与非确定性过程	16
2.3.2 随机过程的定义	16
2.3.3 随机过程的分类及表示方法	17
2.4 马尔可夫过程	18
2.4.1 特征根法	21
2.4.2 拉氏变换法	22
2.4.3 平稳状态概率求解	25
2.5 马尔可夫链	26
2.5.1 一步转移概率矩阵和 m 步转移概率矩阵	26
2.5.2 平稳状态概率	27
2.5.3 短期状态概率的求法	30
第 3 章 元件可靠性分析	35
3.1 元件和系统	35

3.2 不可修复元件的可靠性·····	36
3.2.1 概率描述·····	36
3.2.2 统计描述·····	38
3.2.3 典型故障率函数·····	38
3.3 可修复元件的可靠性·····	41
3.3.1 元件状态划分·····	41
3.3.2 元件工作寿命及故障率·····	41
3.3.3 元件修复率·····	42
3.3.4 元件可靠度与可用度·····	42
3.3.5 元件状态分析·····	43
习题·····	50
 第4章 系统可靠性分析——网络法·····	 52
4.1 概述·····	52
4.2 串联系统与并联系统分析·····	53
4.2.1 串联系统·····	53
4.2.2 并联系统·····	57
4.3 储备系统·····	60
4.3.1 完全切换的储备系统·····	60
4.3.2 不完全切换的储备系统·····	60
4.4 $k/n(G)$ 系统·····	61
4.5 应用布尔展开定理分析复杂系统的可靠性·····	63
4.6 应用全概率公式分析复杂系统的可靠性·····	64
4.7 三态系统的可靠性·····	66
4.8 用最小路集法求系统的工作概率·····	70
4.8.1 图的基本概念·····	70
4.8.2 求网络最小路的方法·····	71
4.8.3 由最小路集求系统可靠工作概率的准确方法·····	75
4.9 用最小割集法求系统的故障概率·····	78
4.9.1 基本概念·····	78
4.9.2 由最小路求最小割的方法·····	79
4.9.3 由最小割集求系统失效概率的准确方法·····	85
4.9.4 由最小割集求系统失效概率的近似方法·····	87
4.10 用结构函数描述网络系统·····	87
4.10.1 结构函数的定义·····	87
4.10.2 单调结构系统和关联系统·····	88
4.10.3 用结构函数描述系统·····	89
4.10.4 关联系统的路集和割集表示·····	90
4.11 可靠度分配·····	93

4.12	故障树分析法	95
4.12.1	概念	95
4.12.2	FTA 法的基本实施步骤	96
4.12.3	用结构函数描述故障树	104
4.13	故障模式和后果分析法	108
4.13.1	概念	108
4.13.2	FMEA 法的基本实施步骤	109
4.13.3	FTA 与 FMEA 的简单比较	112
习题		112
第 5 章	系统可靠性分析——状态空间法	115
5.1	概述	115
5.2	频率和持续时间法	117
5.3	吸收状态及平均首次故障时间	124
5.3.1	吸收状态	124
5.3.2	由状态方程求系统的平均首次故障时间 MTTF 的方法	124
5.3.3	由马尔可夫链求系统的平均首次故障时间	126
5.4	状态的合并	129
5.5	混合乘法	134
5.6	系统可靠性等值	136
5.6.1	串联等值	136
5.6.2	并联等值	138
5.6.3	$k/n(G)$ 等值	140
5.7	非指数分布的修复时间	141
5.7.1	追加变量法	141
5.7.2	分级法	142
5.8	故障后果分析	146
5.9	状态枚举法	149
5.10	状态空间截断法	151
5.11	最小割集状态法	154
5.12	储备系统分析	160
5.13	不可修复系统分析	163
5.14	考虑天气影响时的故障分析	165
5.15	计划检修停运	176
5.16	过负荷停运	177
5.17	共同模式故障分析	178
5.18	网络法和状态空间法的比较	181
习题		182

第 6 章 系统可靠性分析——蒙特卡洛法	185
6.1 概述	185
6.2 蒙特卡洛法的基本原理	185
6.2.1 蒙特卡洛法的基本思想	185
6.2.2 蒙特卡洛法的一般原理	187
6.2.3 蒙特卡洛法的收敛性	187
6.3 随机变量的模拟	189
6.3.1 单位均匀分布随机数的产生	189
6.3.2 连续随机变量的模拟	190
6.3.3 模拟离散型随机变量的方法	192
6.4 方差减小技术	192
6.4.1 对偶变量法	193
6.4.2 控制变量法	193
6.4.3 重点抽样法	194
6.4.4 分层抽样法	195
6.4.5 匕首抽样法	196
6.4.6 状态空间分割法	197
6.5 可靠性评估中的蒙特卡洛法	199
6.5.1 状态抽样法	199
6.5.2 状态持续时间抽样法	201
6.5.3 系统状态转移抽样法	202
习题	204
第 7 章 发电系统可靠性评估	205
7.1 概述	205
7.1.1 发电系统可靠性评估的基本假定	205
7.1.2 发电系统可靠性评估的应用	206
7.1.3 发电系统可靠性评估的模型和基本步骤	206
7.1.4 发电系统可靠性评估方法	207
7.1.5 发电系统可靠性标准	208
7.2 停运容量概率模型的建立	209
7.2.1 建立模型时对一些工程问题的处理	209
7.2.2 安装容量、可用发电容量和停运容量	210
7.2.3 机组类型相同时停运容量概率表的制定	211
7.2.4 用递推公式建立停运容量概率模型	214
7.3 负荷模型	219
7.3.1 一般考虑	219
7.3.2 不同计算方法所使用的负荷模型	219
7.4 发电系统可靠性指标的计算	221

7.4.1	电力不足时间概率 LOLP	221
7.4.2	电力不足期望值 LOLE 和电力不足小时期望值 HLOLE	222
7.4.3	电量不足期望值 EENS	222
7.4.4	频率和持续时间	223
7.4.5	裕度容量模型	225
7.5	计划检修的处理方法	229
7.5.1	发电机的有效容量与迦弗尔公式	230
7.5.2	特征斜率的意义	231
7.5.3	按等风险度法安排计划检修	232
7.6	电源发展规划	236
7.7	发电机组故障率和负荷预测的不确定性	239
7.7.1	概述	239
7.7.2	机组不可用率的不确定性	239
7.7.3	负荷预测的不确定性	241
7.8	随机生产模拟	244
7.9	发电系统可靠性评估实例	246
7.9.1	原始数据	246
7.9.2	评估结果及分析	247
	习题	248
第 8 章	互联系统可靠性评估	249
8.1	概述	249
8.1.1	研究互联系统的基本假定	249
8.1.2	研究互联系统的方法	250
8.2	用 LOLP 法评估两个系统互联时的可靠性	251
8.2.1	LOLP 法	251
8.2.2	联网效益的估算	259
8.3	用频率和持续时间法评估两个系统互联时的可靠性	261
8.4	具有相关负荷的两个系统互联	270
8.5	多区域电力系统互联时的可靠性评估	273
	习题	278
第 9 章	发输电系统可靠性评估	280
9.1	概述	280
9.2	发输电系统充裕性评估	281
9.2.1	充裕性评估的基本原理	281
9.2.2	充裕性评估指标	281
9.2.3	元件可靠性模型	283
9.2.4	系统状态选择	286

9.2.5	系统状态分析	289
9.2.6	发输电系统充裕性评估整体流程	293
9.2.7	可靠性灵敏度分析	296
9.2.8	发输电系统充裕性评估算例分析	297
9.3	发输电系统安全性评估	313
9.3.1	安全性评估的概念	313
9.3.2	概率稳定分析模型与分析方法	314
9.3.3	安全性评估算法	316
9.3.4	安全性指标体系	317
9.3.5	安全性评估算例	318
	习题	319
第 10 章	配电系统可靠性评估	320
10.1	概述	320
10.2	配电系统的可靠性指标	321
10.3	放射状配电系统的可靠性评估	324
10.4	有备用电源、手动分段的配电系统可靠性评估	326
10.5	不同停运模式重叠时等效故障率及持续停运时间的计算	328
10.6	气象条件对配电系统可靠性的影响	333
	习题	336
第 11 章	发电厂及变电站电气主接线可靠性评估	338
11.1	概述	338
11.2	继电保护装置的可靠性	339
11.2.1	继电保护装置的工作状态及其可靠性指标	339
11.2.2	我国继电保护装置统计评价方法	341
11.2.3	继电保护方案的可靠性评估	342
11.3	电气主接线可靠性评估的数学模型	343
11.3.1	元件的可靠性模型	343
11.3.2	故障搜索与概率、频率的计算	346
11.4	按不可修复系统评估电气主接线的可靠性	348
11.4.1	基本原理和假定	348
11.4.2	几种常用终端变电站电气主接线的分析	348
11.5	按可修复系统评估电气主接线的可靠性	356
11.5.1	计算方法及步骤	356
11.5.2	详细计算步骤	357
11.5.3	分析	362
11.6	发电厂电气主接线的可靠性评估	362
11.6.1	方法要领	362

11.6.2	元件可靠性指标	363
11.6.3	可靠性框图的建立	363
11.6.4	求电源点到负荷点之间的最小路	366
11.6.5	按给定的可靠性准则进行最小路的组合	367
11.6.6	化相交最小复合路为不交最小复合路	369
11.6.7	计算系统的可靠性指标	370
11.6.8	算例	371
11.6.9	可靠性指标与经济指标的联系	374
习题		374
第 12 章	可靠性与经济性的协调	376
12.1	概述	376
12.2	冗余经济学	377
12.3	修理和维修的经济学	380
12.4	可用率分析	383
12.5	货币时值的计算及经济分析方法	385
12.5.1	货币时值的分类及折算	385
12.5.2	经济分析中常用的比较方法	386
12.6	停电损失	387
12.6.1	停电影响	387
12.6.2	停电损失的分类	388
12.6.3	各国停电损失的估计	388
12.6.4	停电损失的评估方法	390
12.6.5	停电损失经济计算案例分析	395
12.7	可靠性价值评估	398
12.7.1	可靠性价值指标	399
12.7.2	可靠性价值评估方法	399
12.8	供电可靠性承诺与赔偿方案	400
12.8.1	可靠性经济性的 3 个层次	400
12.8.2	可靠性承诺与赔偿方法的条件和计算公式	401
12.8.3	案例	402
习题		404
第 13 章	电力系统运行可靠性	406
13.1	概述	406
13.2	电力系统运行可靠性的概念与理论框架	407
13.2.1	运行可靠性的概念与特点	407
13.2.2	运行可靠性的理论框架	408
13.3	电力系统运行可靠性指标体系	409

13.3.1	运行可靠性状态类指标	411
13.3.2	运行可靠性程度类指标	412
13.4	电力系统元件的运行可靠性模型	415
13.4.1	保护动作致停运模型	416
13.4.2	偶然失效模型	425
13.5	电力系统运行可靠性评估	430
13.5.1	运行可靠性短期评估	431
13.5.2	条件相依的运行可靠性评估	436
第 14 章	电力系统可靠性统计评价	444
14.1	概述	444
14.2	发电设备可靠性统计评价	445
14.3	输变电设施可靠性统计评价	449
14.4	用户供电可靠性统计评价	452
14.5	直流输电系统可靠性统计评价	458
附录 A	IEEE-RTS 测试系统数据	462
A.1	系统概况	462
A.2	负荷模型	463
A.3	发电系统	464
A.4	输电系统	466
A.5	其他数据	471
附录 B	TH-RTS2000 测试系统数据	472
附录 C	部分习题答案	476
参考文献		492

起作用。如果在设计阶段不考虑可靠性,到制造阶段就会出现事倍功半的情况。

可靠性按学科分类,一般可分为可靠性数学、可靠性工程、可靠性管理和可靠性物理等分支。但是从可靠性技术在生产过程各阶段应用的目的和任务划分,大致可分为以下5个分支。

(1) 可靠性设计——通过设计奠定产品的可靠性基础,研究在设计阶段如何预测和预防各种可能发生的故障和隐患。

(2) 可靠性试验——通过试验测定和验证产品的可靠性,研究在有限的样本、时间和试验费用下如何获得合理的评定结果。

(3) 制造阶段可靠性——通过制造实现产品的可靠性,研究制造偏差的控制、缺陷的处理和早期故障的排除,保证设计目标的实现。

(4) 使用阶段可靠性——通过使用维持产品的可靠性,研究产品运行中的可靠性监视、诊断预测,采用售后服务和维修策略等防止可靠性劣化。

(5) 可靠性管理——组织实施以较少的费用、时间实现产品的可靠性目标,研究可靠性目标的实施计划和数据反馈系统。

也有按照对故障处理的先后程序将可靠性技术划分为事前、事中和事后分析技术。

事前分析指在产品设计、制造阶段预测和预防故障和隐患的发生。

事中分析指在产品使用阶段,通过故障监控和诊断技术来预测和预报故障的征兆和发展趋势,以便及时进行预防性维修。

事后分析指在产品失效或发生故障后进行失效机理分析,将信息反馈给设计,制造部门,以便采取改进对策。

可靠性的技术基础包括:概率论和数理统计;材料、结构、物性学;故障物理;基础试验技术;环境技术等。

在可靠性工程中,一方面应用数理统计评定技术和现场使用信息反馈等手段,建立起能收集复杂产品可靠性的管理体系;另一方面通过对故障物理、试验技术的研究,提供有关产品故障的机理分析、检测、诊断和设计等技术。

可靠性工程与传统的技术概念有很大不同,其特点如下:

(1) 管理和技术高度结合

可靠性工程是介于固有技术和管理科学之间的一门边缘学科。日本把可靠性技术比喻为“病疫学”和“病理学”密切结合的技术。所谓病疫学是指分析和追踪故障的起因及产生的环节,从而将信息反馈给有关单位、指导设计、制造环节的改进,即是可靠性管理的任务。“病理学”则是研究具体故障的消除和预防技术。管理和技术结合,通过管理指导技术的合理应用,这就是可靠性技术的基本思想。

(2) 众多学科的综合

产品、系统的可靠性不是孤立存在的,它受许多环节、因素的影响。因此,可靠性技术和很多领域的技术密切相关,需要得到如系统工程、人机工程、生产工程、材料工程、环境工程、数理统计等学科以及以往的失效经验的支持,它综合应用这些领域的技术成果解决产品的可靠性问题。

(3) 反馈和循环

一个产品的可靠性首先是靠设计,通过制造实现设计目标。为了要把可靠性设计到产