

电力可靠性管理培训教材 管理篇

电力可靠性管理 基础

国家电网公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电力可靠性管理培训教材 **管理篇**

电力可靠性管理 基础

国家电网公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为了进一步提升国家电网公司系统电力可靠性管理人员和各级从事电力可靠性工作的专业人员的业务素质,国家电网公司组织编写了本套教材。本套教材分理论篇、管理篇、操作篇三部分,每一部分按照可靠性管理内容和专业知识分成若干册。

本书为《电力可靠性管理培训教材 管理篇 电力可靠性管理基础》,主要内容包括电力可靠性管理和统计基础知识、国家电网公司电力可靠性管理组织体系和要求、电力可靠性统计评价内容和评价指标、电力可靠性目标的确定与分解、电力可靠性数据管理内容和要求、电力可靠性过程管理控制、电力可靠性数据分析与应用、电力可靠性管理监督与评价、电力可靠性技术应用及发展以及一些电力可靠性管理的典型经验案例等。

本书供电力可靠性管理网络中主管电力可靠性的负责人和高级管理人员等使用,也可供相关专业管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电力可靠性管理培训教材. 管理篇. 电力可靠性管理基础 / 国家电网公司组编. —北京: 中国电力出版社, 2012.6
ISBN 978-7-5123-3178-5

I. ①电… II. ①国… III. ①电力系统—系统可靠性—技术培训—教材 IV. ①TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 130126 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

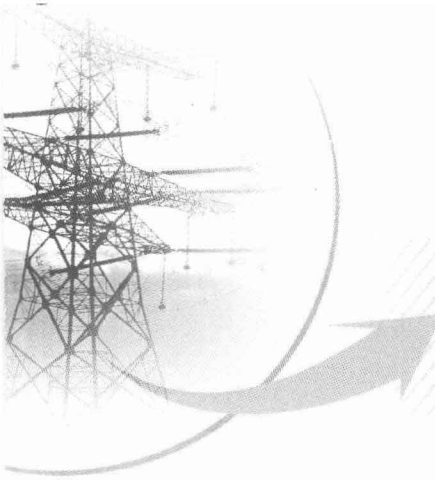
*

2012 年 9 月第一版 2012 年 9 月北京第二次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 13 印张 306 千字
印数 3001—8000 册 定价 36.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前言

近年来,随着我国电力工业步入大电网、大机组、大容量、特高压、交直流混合、远距离输电、智能电网的阶段,电力系统的复杂性明显增加,电网的安全稳定问题日渐突出,作为提升电力企业管理水平、电网及设备健康水平的一种科学管理方法,电力可靠性管理是电力系统安全经济运行的重要保证,也是电力工业实现可持续发展的基本要求。电力可靠性指标作为反映电力企业管理水平和电力系统安全运行状况,以及电力工业对国民经济用电需求满足程度的基础性指标,在电网规划设计、产品制造和安装、设备运行和检修维护、营销服务等方面的指导作用日益显著。

为了进一步提升电力可靠性管理水平和可靠性管理人员的业务素质,深入开展电力可靠性管理工作,国家电网公司组织所属相关单位编写了一套适合电力可靠性管理各环节及各管理层次人员日常工作、学习、培训的《电力可靠性管理培训教材》。本套教材编写遵循“有效实用”的原则,将近年来电力可靠性管理理念、可靠性规定和标准、工作要求及管理经验等知识和内容编制其中,基本涵盖电力可靠性管理各个层面、各个专业。本套教材包括理论篇、管理篇、操作篇三部分;按照“统一领导、分级管理”的电力可靠性管理模式中不同管理和工作对象(即可靠性管理人员、各级可靠性专业人员等)进行分册,并按照电力可靠性管理内容进行专业划分。本套教材理论篇包含《电力可靠性理论基础》一册;管理篇包含《电力可靠性管理基础》、《供电系统用户供电可靠性管理》、《输变电设施及系统可靠性管理》等;操作篇包含《供电系统用户供电可靠性工作指南》、《输变电设施可靠性工作指南》等。

本书为本套教材管理篇中的《电力可靠性管理基础》,由河南省电力公司编写,共九章,系统地介绍了电力可靠性管理和统计基础知识、国家电网公司电力可靠性管理组织体系和要求、电力可靠性统计评价内容和评价指标、电力可靠性目标的确定与分解、电力可靠性数据管理内容和要求、电力可靠性过程管理控制、电力可靠性数据分析与应用、电力可靠性管理监督与评价、电力可靠性技术应用及发展以及一些电力可靠性管理的典型经验案例等内容。

本书主要适用于电力可靠性管理网络中主管电力可靠性的负责人和高级管理人员等使用，也可供相关专业管理人员参考使用。

本书虽然经过国家电网公司组织的专家评审，但由于编写时间仓促，编者水平有限，疏漏和不足之处在所难免，恳请专家和读者批评指正，以便修订时完善。

编 者

2012 年 5 月

《电力可靠性管理培训教材》

编委会名单

主任 尹昌新

副主任 胡庆辉 张晓华 陈安伟 闫卫国

委员 沈力 田洪迅 赵仲民 宁丙炎 王宏刚

董国伦 殷军 张劲 张双瑞 姜国庆

郝建国 王锐 管珊莲 王文 程建翼

夏骏 韩克存 朱晓锋 吴建军 贾志辉

《电力可靠性管理基础》

编写人员名单

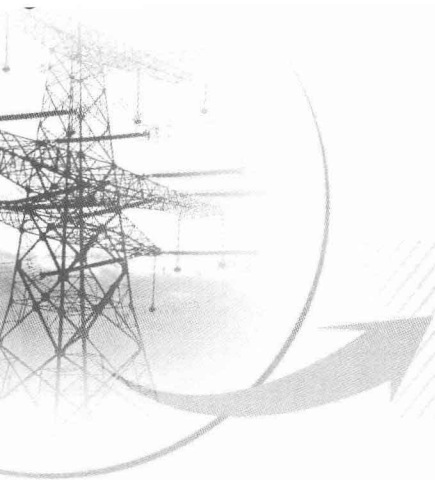
主编 沈力 赵仲民

副主编 田洪迅 宁丙炎

主审 王宏刚 姜国庆

编写 管珊莲 臧建伟 邵利坤 张朋飞 王允平

程建翼 李力 谢开贵 王琳琳



目 录

前言

第一章 概述 1

- 第一节 可靠性基本概念 1
- 第二节 国内外电力可靠性管理概况 4
- 第三节 电力可靠性技术的应用领域 13
- 第四节 国家电网公司电力可靠性管理要求 16

第二章 电力可靠性统计评价 21

- 第一节 电力可靠性理论基础 21
- 第二节 发电设备可靠性统计评价 25
- 第三节 输变电设施可靠性统计评价 29
- 第四节 输变电系统可靠性统计评价 32
- 第五节 用户供电可靠性统计评价 35
- 第六节 直流输电系统可靠性统计评价 45
- 第七节 国内外可靠性统计评价差异 47

第三章 电力可靠性目标管理 52

- 第一节 电力可靠性目标管理介绍 52
- 第二节 电力可靠性目标的确定 54
- 第三节 电力可靠性目标值的分解 58

第四章 电力可靠性数据管理 72

- 第一节 电力可靠性数据管理的范围与内容 72
- 第二节 电力可靠性管理信息系统 73
- 第三节 电力可靠性数据管理要求 76

第五章 电力可靠性过程管理控制 80

- 第一节 规划设计环节的主要措施 80

第二节	物资采购环节的主要措施	82
第三节	基建建设环节的主要措施	83
第四节	调度运行环节的主要措施	84
第五节	生产运维环节的主要措施	86
第六节	营销服务环节的主要措施	88
第六章	电力可靠性数据分析与应用	90
第一节	电力可靠性数据分析	90
第二节	电力可靠性数据应用	95
第七章	电力可靠性管理监督与评价	104
第一节	电力可靠性工作监督	104
第二节	电力可靠性工作评价	106
第八章	电力可靠性技术应用及发展	116
第一节	可靠性经济学	116
第二节	设备全寿命周期成本管理	120
第三节	输电网规划的风险分析	125
第四节	配电网可靠性静态评估	134
第九章	电力可靠性管理案例	141
第一节	案例 1—协同各部门工作,提高电网运行可靠性水平	141
第二节	案例 2—制定标准作业工期,提升可靠性管理水平	145
第三节	案例 3—加强过程管理,提升供电可靠性指标	148
第四节	案例 4—高可靠性示范区的建设与实施	152
附录 A	《国家电网公司电力可靠性工作管理办法》	159
附录 B	DL/T 837—2012《输变电设施可靠性评价规程》(节选)	163
附录 C	DL/T 836—2012《供电系统用户供电可靠性评价规程》(节选)	183
附录 D	近几年主要电力可靠性指标一览表	194
	参考文献	199

概述

电力可靠性管理是提高电力系统可靠性水平、保证电力系统安全稳定运行的基础性工作。它不仅能进一步加强电力企业管理、增强企业核心竞争力，同时能提升电力企业服务水平，以实现企业经济效益与社会效益的有机衔接。本章主要介绍可靠性的基本概念、国内外电力可靠性管理概况、电力可靠性管理的应用领域、国家电网公司电力可靠性管理要求等四部分内容。

// 第一节 可靠性基本概念

一般所说的“可靠性”指的是“可信赖的”或“可信任的”。比如说一台机器，当我们要求它工作时，它就能工作，则说它是可靠的；当我们要求它工作时，它不一定就能工作，而是有时工作，有时不工作，则认为它是不可靠的。可靠性最初应用在电子产品领域，经过几十年的发展，目前已广泛应用于各个行业。本节从电力系统可靠性的内涵出发，分别对可靠性的起源与发展、可靠性基本概念、电力可靠性等内容进行介绍。

一、可靠性的起源与发展

可靠性研究起源于战争，并首先在军用电子设备中得到应用。二战时期，出现了有些火箭在起飞台上发生爆炸，还有一些掉进了英吉利海峡的现象，针对该问题，德国提出并运用串联模型计算火箭系统可靠度，开创了系统可靠性理论应用的先河；二战期间还出现了航空无线电设备有 60% 不能工作，因可靠性问题损失的飞机数量比被击落的飞机还多的现象。由此，引起人们对可靠性问题的认识，并开始通过大量现场调查进行故障分析，采取对策，从而诞生了可靠性这门学科。

可靠性最初在电子产品领域获得广泛应用，究其根源，是由电子产品发展的三个特点来决定的。

(1) 电子产品的复杂程度不断增加。电子产品从最初的矿石收音机，到随后出现的收录机、电视机、影碟机、录放机、通信机、雷达、制导系统、电子计算机、手机、数码相机以及航天控制设备，电子设备所需的元器件数量和复杂程度不断增长。一般来说，电子设备所用的元器件数量越多，其可靠性问题就越严重，为保证设备或系统能可靠地进行工作，对元器件可靠性的要求就越高、甚至苛刻。

(2) 电子设备的使用环境日益严酷。随着电子产品应用领域的不断扩大，其使用环境日趋复杂，从室内到室外，从热带到寒带，从深海到陆地，经受着不同环境条件的严峻考验。

影响电子产品可靠性的环境因素也较复杂，除温度、湿度外，还有大气压力、太阳辐射、电磁干扰等环境因素和自然因素。

(3) 电子设备的装置密度不断增加。第一代电子产品以电子管为核心，20 世纪 40 年代末诞生了第一只半导体三极管，20 世纪 50 年代末出现了第一块集成电路，此后集成电路从小规模集成电路迅速发展到大规模集成电路和超大规模集成电路。由此发展的结果导致装置密度不断增加，并造成了其内部温升增高，散热条件恶化。而电子元器件将随环境温度的增高，降低其可靠性，致使元器件的可靠性引起人们的极大重视。

经过几十年发展，可靠性已成为一门遍及各学科各行业的工程技术学科，已经从电子产品的可靠性发展到机械和非电子产品的可靠性，从硬件的可靠性发展到软件的可靠性，从重视可靠性统计试验发展到强调可靠性工程试验。当前，可靠性已经成为衡量产品质量的重要指标。由于可靠性管理涉及产品规划、设计、制造、使用的全过程，所以从某种意义上说，可靠性可以反映产品的综合质量。

二、可靠性的基本概念

可靠性通常是指元件或系统在规定的条件下和规定的时间区间内能完成规定功能的能力。该定义包括规定条件、规定时间和规定功能三个基本要素。

(1) 规定条件。包括使用时的环境条件和工作条件。例如，同一辆汽车，是在高速公路行驶，还是在崎岖的山路上行驶，亦或是在泥泞的土路上行驶，不同的路况其可靠性功能表现大不一样。因此要谈论产品的可靠性必须指明规定的条件。

(2) 规定时间。指产品规定的任务时间。随着产品任务时间的增加，产品出现故障的概率将增加、可靠性功能将下降。因此，谈论产品的可靠性离不开规定的任务时间。例如，1 台刚出厂的电视机与用了 5 年后相比，5 年后故障的概率显然大了很多。

(3) 规定功能。指产品规定的必须具备的功能及其技术指标。产品所要求功能多少和技术指标的高低，直接影响到其可靠性指标的高低。例如，电风扇的主要功能有转叶、摇头与定时，那么考核其可靠性时，是三项功能都要，还是仅需要扇叶能够转动吹风，所得出的可靠性指标也大不一样。

对确定和满足实体的可靠性要求所进行的一系列组织、计划、规划、控制、协调、监督、决策等活动和功能的管理，称为可靠性管理。可靠性管理内容主要包括组织可靠性的质量保证系统，规定要管理的任务与有关部门、负责人员的职责，指导、检查和督促分担任务的协作单位的可靠性工作，制订可靠性计划并检查督促计划的执行等。

在可靠性管理活动中，可对设备或系统可靠性进行两方面分析：一方面是对过去的行为做出统计分析与评价；另一方面是根据过去的统计信息对未来的性能进行预测与评估。

可靠性评价是对现有系统或系统组成部分的可靠性所达到的水平进行分析和确认的过程。可靠性评价可以对现运行系统进行如下分析：

- (1) 发现薄弱环节和系统瓶颈；
- (2) 了解可靠性逐年变化趋势；
- (3) 制定将来可靠性标准的参考依据；
- (4) 校验原来的预测值；
- (5) 检测设计方案更改的影响。

可靠性评估是对元件或系统的工作固有能力、性能等改进措施的效果是否满足规定的可靠性准则而进行分析、预计和认定的过程。可靠性评估可以对系统进行如下分析研究：

- (1) 运行方式和维修策略比较；
- (2) 提供设计和增强性方案的决策依据；
- (3) 识别系统瓶颈；
- (4) 可靠性成本和价值分析比较。

可靠性评价与可靠性评估是两个不同的概念，两者内涵完全不同，但在应用中又有内在联系。可靠性评价是从统计的角度对已经发生的可靠性事件进行记录，通常用数据库便能简单解决。可靠性评估是以利用概率论、网络理论、被评估系统知识等为理论基础，建立相应的可靠性评估理论、模型和算法，对既有的或规划的系统进行评估。两者的方法、理论基础、结果含义、技术范畴与作用均不相同。两者的联系体现在：一是可靠性评价为可靠性评估奠定了坚实基础；二是可靠性评估结果应在一定概率意义上与可靠性统计评价结果相一致。

三、电力系统可靠性基本概念

将可靠性工程的一般原理、分析方法与电力系统实际问题相结合，就形成了电力系统可靠性应用学科。目前该学科已渗透到电力系统规划、设计、制造、建设安装、运行和管理等各方面，并得到了广泛应用。

电力系统可靠性是指电力系统按可接受的质量标准和所需数量不间断地向电力用户提供电力和电量能力的量度。电力系统可靠性包括充裕性和安全性两方面特征。充裕性是指电力系统稳态运行时，在系统元件额定容量、母线电压和系统频率等允许的范围内，并考虑系统中元件的计划停运以及合理的非计划停运条件下，向用户提供全部所需电力、电量的能力。充裕性又称静态可靠性，即在静态条件下，电力系统满足用户电力、电能的能力。安全性是指电力系统在运行中承受例如短路或系统中元件意外退出运行等突然扰动的能力。安全性也称动态可靠性，即在动态条件下电力系统经受住突然扰动，并不间断地向用户提供电力和电能的能力。

在对电力系统可靠性进行分析时包括两方面：一方面是对电力系统进行评价；另一方面是对电力系统进行评估。鉴于电力系统规模庞大、结构复杂，因而将其作为一个整体来研究或管理是非常困难的。在实际应用中，按照电力生产过程及电网结构特性，一般将电力系统分为发电、输电和配电等主要环节。在对电力系统可靠性进行评价时，根据其主要环节可分为若干子系统，如元件可靠性包括发电设备可靠性、输变电设施可靠性、配电系统元件可靠性等，系统可靠性包括供电系统可靠性、输变电系统可靠性、直流输电系统可靠性、大电网可靠性等。对这些子系统可靠性的评价通过量化的可靠性指标来测度，其中应用较多的主要有以下3类：

- (1) 概率类指标：如可靠度、可用率等。
- (2) 频率类指标：如单位时间内的平均故障次数。
- (3) 时间类指标：如故障停电平均持续时间、某一类设施停电平均持续时间等。

上述3类指标各自从不同角度描述了系统的可靠性状况、优点和局限性。在实际应用过程中往往采用多种指标描述同一个系统，从而弥补单指标种类测度的不足，全方位透视其性能。

电力系统可靠性评估是指对电力系统设施或网架结构的静态或动态性能,或各种性能改进措施的效果是否满足规定的可靠性准则进行分析、预计和认定等系列工作。

DL/T 861—2004《电力可靠性基本名词术语》对电力系统可靠性准则的定义是指在电力系统规划或运行中,为了使系统可靠性达到一定的要求需满足的指标、条件或规定。

电力系统可靠性准则的应用范围为发电系统、输电系统、发输电合成系统和配电系统的规划、设计、运行和维修等工作。不同地理、气候、社会环境和不同的经济条件的国家或地区,所制定的准则也有很大的差异。如配电系统规划使用可靠性准则的目的,是要在合理投资的限度内减少未来用户的停电事件和损失。

根据各国采用和研究的电力系统可靠性准则来看,若按研究问题的性质而言,一般分为技术性准则和经济性准则,其中,技术性准则是指保证系统供电质量和供电连续性系统应承受的考核和检验条件。经济性准则是指按事故停电损失、固定费用和运行费用等总费用最小为目标的最优化。另外,描述电力系统可靠性准则的还有确定性准则和概率性准则等,确定性准则是指电力系统连续运行应能承受的一组性能检验条件,概率性准则是指规定电力系统可靠度目标水平或不可靠度上限的一组概率数值参量。

示例 $N-1$ 准则即正常运行方式下的电力系统中任一元件故障或因故障断开,电力系统应能保持稳定运行并能正常供电,其他元件不过负荷,电压和频率均在允许范围内。

电力系统可靠性评估有两方面目的:一是为电力系统的发展规划进行长期可靠性评估;二是为制订短期的运行调度计划进行短期可靠性预测。从国内外总体发展水平来看,长期可靠性评估研究比较成熟,不仅取得了不少理论成果,并且达到实用阶段;短期可靠性评估正处于理论探索阶段,仍有大量问题需要解决。

电力系统可靠性评估有两种基本方法:状态枚举法(如解析法)和模拟法(如蒙特卡洛模拟法)。一般而言,如果元件的失效概率很小,或不考虑复杂运行情况,则采用状态枚举法效果较好;如果严重事件的数量相对较大,或考虑复杂运行工况时,蒙特卡洛模拟法更为方便。

作为电力系统可靠性学科的一个重要组成部分,电力系统可靠性管理就是从系统观点出发,制定定量评价指标或准则,按照既定的可靠性目标对电力设备、电力系统生命周期中的各项工程技术活动进行规划、组织、协调、控制与监督。其要求供电企业在协调可靠性、经济性基础上对电力系统可靠性进行综合评价,提出改进和提高可靠性水平的具体措施,组织或协调有关部门加以落实,从而实现全面的质量管理与安全管理。因此,电力系统可靠性管理是现代电力工业管理的一种重要手段,其随着科学技术和经济管理的发展形成与壮大,不仅是电力工业现代化的必然产物,更是现代化社会的重要标志。

// 第二节 国内外电力可靠性管理概况

目前,国际上经济发达、现代化程度较高的国家和地区在电力工业领域大都采用了先进的、符合自身国情的电力可靠性管理方法。美国、加拿大、英国、法国、日本等国先后建立了较为完善的评价体系,成立了专门的研究管理机构负责电力系统可靠性原始数据的收集、

整理与分析工作，并将分析结果用于指导电网规划设计、调度运行及企业管理机制建设等诸多方面，提高了电力系统的安全性、可靠性和供电质量。

一、国外电力可靠性管理概况

（一）美国

1. 电力可靠性管理机制

美国可靠性管理工作开展较早，统计报告系统也较为完善。早在 1965 年美国东北部发生大停电事故后，美国联邦电力委员会随即在 1967 年的报告中对于大电力系统提出在与经济有任何矛盾时“可靠性有优先权”的观点，翌年成立国家电力可靠性协会。1981 年加拿大加入该协会后更名为北美电力可靠性协会（North American Electric Reliability Council, NERC）。2003 年“8·14”大停电事故发生后，美国更加重视大电网的安全可靠运行。2007 年，联邦能源管理委员会（FERC）授权北美电力可靠性协会作为美国唯一的电力可靠性组织，并改称北美电力可靠性公司（North American Electric Reliability Corporation, NERC），同时授权 NERC 制定强制性可靠性标准。

NERC 是 FERC 授权的非盈利、非官方的电力可靠性管理组织。该机构负责发输电系统的可靠性管理工作，确保北美发输电系统的可靠性运行。其主要职责有 4 方面：一是制定发输电系统可靠性标准，监督强制相关企业执行，并以 3 年为周期对美国所有电力公司相关标准完成情况进行检查，公布违规情况，提出改进措施；二是负责发输电系统的可靠性评估工作，即通过 10 年一期的预测对发输电系统进行充裕度评估以及安全性评价，发布一份未来 10 年的可靠性评估报告，报告针对负荷预测和电网规划提出可靠性提升措施；三是对发输电系统进行监测，组织典型事故调查；四是负责行业内的培训、认证等工作。

在发输电可靠性方面，美国绝大部分区域都处于 NERC 的控制范围之内。NERC 下辖 8 家区域委员会，分别是田纳西电力可靠性协会（ERCOT）、佛罗里达可靠性协调委员会（FRCC）、中西部可靠性组织（MRO）、东北电力协调委员会（NPCC）、Reliability First 公司（Reliability First）、SERC 可靠性公司（SERC）、西南电力交易所（SPP）和西部电力协调委员会（WECC），其任务主要包括协调各电网的发展规划和设计准则，进行负荷预测；对电网运行数据做统计分析；制定和执行可靠性标准；对标准执行情况进行检查和审计。

美国配电系统可靠性主要由各州的公共事业委员会（State Public Utility Commission, PUC）负责。由于美国各州的 PUC 相对独立，可靠性管理模式也不尽相同，因此各州各自负责统计所辖区域内的可靠性数据，并制订相应措施以提高辖区内的配电网可靠性水平。

2. 电力可靠性标准和准则

在输电系统方面，2005 年之前 NERC 制定的《北美大电力系统可靠性标准》一直处于自愿执行状态。2003 年“8·14”大停电事故后，美国电力系统管理遇到了一个问题：电力系统可靠性准则仍维持“自愿执行”，还是改为“强制性法规”。最后，美国国会于 2005 年 7 月 29 日通过了 H.R.6 2005 能源政策法案，提出建立一个在北美地区具有制定和执行强制性可靠性标准行政权力的电力可靠性组织（REO）议案。2007 年 5 月，FERC 根据 2005 年能源法要求发布了《大电力系统强制性可靠性标准》。此后，该可靠性标准正式成为强制性规定。

在配电系统方面，电气电子工程师学会（IEEE）曾于 1980 年形成第一个供电系统用户

供电可靠性的行业推荐标准 IEEEStd-493—1980, 以后大约每 5 年修订 1 次, 最近的版本为 IEEEStd-493—2007。当时美国有 3000 家供电公司, 没有全国统一供电可靠性准则, 各公司执行自定的准则, 对用户“10 年 1 天”的缺电时间概率 (LOLP) 仍是北美电力系统、各电力公司所共同遵守的最基本的可靠性准则。IEEEStd-493 的发布为各公司制定准则提供了全面翔实的理论方法和数据基础。标准在要求供电公司提供电网结构图的细目中, 提到要标出各主要设备的可用率, 还在停电损失计算中给出了工业和商业大楼临界停电持续时间, 即不致引起相应用户造成损失的最大停电持续时间推荐值。在该推荐标准中, 全面论述和提供了工业、商用 (含居民、市政办公等) 配电系统规划设计可靠性的丰富资料, 包括可靠性概率评估方法的基本概念、电力系统可靠性评估基础、可靠性经济分析基础、停电损失数据、设备可靠性数据与可靠性分析实例等, 还包括事故和工作备用、预防性维修、现运行系统可靠性及其改善措施等方面的内容。此外, IEEE 的 IEEEStd-1366—2001 系列标准则主要对供电企业可靠性汇报进行了规范, 目前该系列标准最新版本为 IEEEStd-1366—2003。

(二) 加拿大

1. 电力可靠性管理准则

加拿大在可靠性管理机构、管理机制以及输电系统规划设计准则方面与美国非常的相似, 但在配电可靠性管理标准和准则方面存在一定差异。早在 20 世纪 40 年代, 加拿大的电力工作者就认识到用定量指标来描述电力系统供电充裕度的必要性。1959 年加拿大建立了供电连续性委员会, 规定了用户停电小时数、停电千伏安·时数、平均停电频率和停电连续时间等量度供电系统充裕度指标。1962 年建立了由参加加拿大电气协会全年供电系统连续性调查人员和供电系统可靠性技术委员会成员共同组成的全国性报告系统, 1963 年该系统发表了第一份统计报告, 到 1973 年, 统计报告已经覆盖 90% 的用户。1976 年加拿大电气协会配电系统可靠性工程委员会制定了《配电系统可靠性工程指南》, 旨在提供一个对供电可靠性定量评价方法, 并建立一个供电水平标准能为管理方面接受的可靠性准则。1983 年与 1984 年, 加拿大 Saskatchewan 大学工学院院长、IEEE 电力系统可靠性分委员会主席 Rov Billinton 出版的《工程系统可靠性评估》和《电力系统可靠性评估》两本专著, 至今还是电力系统可靠性评估研究的重要理论基础。

与美国相似, 加拿大没有全国性统一准则, 各公司自愿采用相应的准则, 或制定自己的可靠性准则。加拿大《配电系统可靠性工程指南》规定, 各电力公司的供电可靠性准则必须使用户需要与对供电充裕度要求相一致。用户需要主要从供电质量、供电连续性两种基本形式考虑。供电质量以允许的电压和频率水平表示; 供电连续性以连续满足用户供电质量要求的指标—频率、平均停运持续时间以及年停运时间期望值等参数来评价。供电系统设计的可靠性水平应根据供电用户的重要水平而定, 不同等级的用户线路, 设定不同的供电可靠性标准。

2. 加拿大电力可靠性管理特点

加拿大供电系统用户供电可靠性管理工作有以下 5 个特点:

(1) 供电系统的用户供电可靠性管理工作始终围绕着供电的连续性和可靠性两方面进行, 既强调对历史状况的统计分析, 又强调对未来状况的预测评估。

(2) 针对不同等级的用户供电线路规定不同的供电可靠性标准, 针对不同的用户规定了

不同的供电连续性允许水平。

(3) 对供电系统用户供电可靠性采用两类指标：一类是以用户为基础而建立的指标，如系统平均停电频率、系统平均停电持续时间、用户平均停电持续时间及系统平均供电可靠率；另一类是以负荷、电量为基础的指标，如平均负荷停电、平均系统缺电、平均用户缺电。这些指标也是北美电力可靠性协会（NERC）各成员公司所属配电网共同采用的指标。

(4) 对供电系统用户供电可靠性收集的数据有两类：一类是面向用户或负荷点的数据，即仅统计用户停电的情况；另一类是面向设备的数据，记录设备停运造成或不造成用户停电的连续情况。前者提供系统充裕度的历史记录，后者提供制定设计、运行和维修的策略依据，两者相互补充，缺一不可。

(5) 建立了一套行之有效的用户供电可靠性预测评估技术和费用与效益计算方法，该可靠性模型指标已普遍作为大多数国家制定准则的重要参考。

(三) 英国

1. 电力可靠性管理机制

英国电力可靠性管理职权归于其电力监管机构天然气和电力市场管制办公室（OFGEM）。在输电方面，英国的输电企业每年需要汇报电网性能方面的情况（目前，输电企业开始向天然气和电力市场管理局 GEMA 进行汇报），且输电企业必须依照大不列颠供电安全 and 质量标准（GB Security and Quality of Supply Standard, SQSS）的要求规划、运行其他电网。近年来，OFGEM 又出台了输电网可靠性激励方案（Electricity transmission network reliability incentive schemes），希望通过经济手段提高其输电网可靠性。在配电方面，OFGEM 通过配电证、《服务质量监督说明与指导》等相关法规准则对可靠性进行管理。配电企业需以特定形式向 OFGEM 汇报其电网性能，接受 OFGEM 的审查、处罚和激励。1989 年的英国电力法赋予 OFGEM 独立地位，2000 年之后有所变动，OFGEM 须向天然气与电力市场管理局（GEMA）和天然气与电力消费者委员会（GECC）汇报工作，并且竞争委员会有权否决、修改 OFGEM 颁发的各种许可证。

2. 电力可靠性标准和准则

在规划设计准则方面，英国输电企业必须依据 SQSS 的要求规划、运行电网。在配电方面，配电企业需遵守《服务质量监管说明与指导》等相关法规和准则。近年来，为提高输电公司投资积极性与电网反事故能力，OFGEM 还颁布了输电网可靠性激励方案。在该方案中，如果输电网年度可靠性超过事先确定标准，则按照其超出标准给予相应财政激励；反之，则对输电企业进行处罚。

在统计分析准则方面，英国在 20 世纪 60 年代，各地方电力公司就已建立了可靠性设计标准。1964 年，英国电力委员会制定了《国家标准故障和停电报表》，统一了全国的报表及导则，广泛开展系统故障频率、原因及停电持续时间的统计分析。另外也涉及负荷特性、停电损失、可靠性费用及经济效益等。1975 年，英国电力委员会又发布《全国设备缺陷报表》，规定了供电系统中的各种电力设备缺陷统一的含义、分类及填报方法。1978 年，新的《供电安全导则》颁布后，又修订和完善了统计办法和安全导则。1980 年，英国电力委员会颁布了对高压系统典型事故按编码填写事故报告的内容，供电系统可靠性研究和应用得到了不断的发展。此外，自 2005 年 4 月，英国国家电网公司作为大不列颠输电网的运营商（GBSO），

要求按照《输电系统安全标准和服务质量》规定，每年以固定方式向 OFGEM 和 GEMA 汇报其年度系统的可靠性情况。

3. 英国电力可靠性管理特点

英国的供电系统可靠性指标一般按统计目的和用途可分为两大类：一类是年统计指标，用于对当年运行状况进行分析；另一类是趋向性指标，以 5 年作为一个统计区间，连续滚动计算，以较长一段时间内的统计和分析来判断可靠性变化和发展趋势。英国供电系统制定可靠性统计指标的目的：一方面在于获取并传递供电系统设备运行的可靠性资料，为研究供电系统发生故障时的性能提供资料；另一方面为编制供电系统运行、控制、检修和维护方式提供可靠性资料，提出数据明确而统一的供电标准，为进一步提高可靠性水平做准备。

英国的供电系统可靠性管理文件和统计分析指标较为全面，既有事故和停电的统计报表，又有设备缺陷统计报表以及供电安全导则；既有反映充裕度的指标，又有安全性指标；既考虑了系统及设备的供电能力，又考虑了系统的安全水平；既有年度分析指标，又有 5 年连续滚动计算的趋向性指标；既可以进行一年一度的分析比较，又可以从一个较长的时期去观察和分析其统计规律。因此，英国供电系统建立的指标全面反映了对用户的综合服务质量、故障和预安排停电的状况、系统和设备的性能以及系统外部可能带来的影响等各个方面。基于英国供电系统可靠性指标的全面性，国际上很多国家供电系统可靠性的统计与分析都参照英国模式。

（四）法国

1. 电力可靠性管理机制

作为欧洲电网的一部分，法国输电网可靠性管理很大部分权限由欧洲输电网联盟（UCTE）行使。UCTE 是欧洲大陆输电网运营商的联合组织，负责协调系统内各电网的调度、规划、故障恢复、停运安排等。UCTE 电网的组织结构为分布式，不存在中央调度机构。每个 TSO 独立负责自己的控制区，监视整个区域内系统的运行情况，并协调与邻近电力企业的行动。一般而言，一个国家就是一个控制区，但有些国家由多个控制区组成，相应有着多个 TSO。UCTE 电网运行联合会负责制定大电网运行的技术标准和条例，并协调成员国之间的合作。另外，UCTE 的管理主要通过 UCTE 运行手册等文件来实现。

法国国内可靠性管理机构为法国能源监管委员会（CRE），2000 年成立之初为电监会，2003 年改组为能源监管委员会。CRE 根据国家法律授权负责实施电力和天然气事务监管。CRE 通过制定相关法规和技术导则对全国电网的可靠性能最低标准作出规定，接受法国输电公司（RTE）和配电企业的性能汇报，审查其汇报数据，根据激励方案对输电和供电企业进行奖惩等。

2. 法国电力可靠性管理特点

法国供电系统按中压、低压电网分别计算故障停电、工程停电和输电系统停电造成的用户平均停电时间、故障率、电量损失、损坏设备和故障原因分布等内容加以分析。法国 2004 年用户年平均停电时间为 63.8min，相当于供电可靠率为 99.988% 左右，扣除计划停电影响后用户年平均停电时间缩短为 57.1min，相当于供电可靠率为 99.989% 左右。

法国电力公司面对日益严峻的环境约束和质量要求差异的矛盾，规定了电力用户付费补偿可靠性限值标准，见表 1-1。

表 1-1

电力用户付费补偿可靠性限值标准

1995~1998 年	农村	中、小城市	大城市	城市中心
长时间停电最高次数	6	3	3	2
短时间停电最高次数	30	10	3	2
2005 年	农村	中、小城市	大城市	城市中心
长时间停电最高次数	2	1	1	<1
短时间停电最高次数	5	2	1	<1

注 以上数值计入用户承受的全部故障。

（五）日本

1. 电力可靠性管理机制

目前，日本电力系统可靠性管理由常规电力公司（GPU）和日本电力系统委员会（ESCJ）共同管理。日本政府经济、贸易和工业省则通过每年的供电计划报告来监控电力供应的可靠性。常规电力公司包括九大电力公司和冲绳电力公司，负责自己所属的电力系统可靠性管理，在强制性规定下确保电网的安全供电、平衡供需及调度运行。日本电力系统委员会建立于 2003 年，负责电力系统可靠性规则的制定和各公司电力系统可靠性监督，并监管各电力公司间的联络、协调等。日本电网的长期规划和建设必须经过政府经济、贸易和工业省和 ECSJ 的评估，以确保规划能够满足长期的电力需求。根据日本电力事业法规定，每财年年底，各电力公司需要向经济、贸易和工业省提交 10 年电力供需规划，经编译后于年底出版。ECSJ 也要求在每财年年底编制《供电可靠性评估报告》，对电力公司和独立发电商的可靠性进行披露和评估。

2. 电力可靠性标准与准则

电力可靠性管理在日本大约始于 1961 年。1963 年，东京电力公司制定了由故障频度、故障停电率、停电功率、停电时间、负荷加权指数、地区差别系数等因素决定的可靠性度量尺度。1971 年，电气学会工厂配电专业委员会发表《关于工厂配电供电可靠度文献调查》的技术报告，对可靠性技术术语进行统一解说，列举了工厂供电系统供电可靠度的计算方法与提高工厂供电可靠度的措施。1972 年，电气学会配电专业委员会发表《从系统运行和可靠性的观点出发研究配电设备最佳组成方法》，系统论述了供电系统可靠性的定义、指标、计算方法，提供了提高可靠度的措施及实施效率分配算法、可靠度预测方法等，为供电系统用户供电可靠性管理的实际应用建立了统一基础。1989 年，配电系统调查专业委员会发布《配电系统供电可靠度评价方法和缩短停电时间技术》的报告。根据不同电力用户的需求，规定不同的目标值，并从故障停电和作业停电两方面对防止重复停电和长期停电实行个别可靠度的微观极限值管理。同时立足于电力用户方面，以供电线路区段为单位，考虑对电力用户供电的各个配电系统的结构和故障修复程序问题。在此基础上系统可预测在任意地点、任意设备上发生故障时电力用户所经历的停电时间，从而把供电可靠性管理和应用推进到一个崭新的阶段。

3. 日本可靠性管理特点

日本对供电系统用户供电可靠性的管理与欧美有显著的不同，主要表现在以下 5 个方面：