

国家电网公司



STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

农网供电可靠性 培训教材

国家电网公司农电工作部 编

STATE GRID
CORPORATION OF CHINA



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

农网供电可靠性 培训教材

国家电网公司农电工作部 编



中国电力出版社

www.cepp.ccm.cn

内 容 提 要

为了提高农网供电可靠性管理工作水平,国家电网公司农电工作部与中电联可靠性管理中心组织编写了《农网供电可靠性培训教材》,旨在提高农网供电可靠性管理技术人员的业务素质,确保农网安全稳定运行。

本书共七章,主要包括:概述,可靠性数学基础知识,评价概念及指标,数据统计管理和分析,农网供电可靠性管理,提高农网供电可靠性的技术措施,供电可靠性经济评估。此外,还附录了相关规程和网络版评价软件的知识。

本书作为农网供电可靠性管理技术人员培训使用,也可供相关管理人员参考学习。

图书在版编目(CIP)数据

农网供电可靠性培训教材/国家电网公司农电工作部编. —北京:中国电力出版社,2006
ISBN 7-5083-4843-5

I. 农... II. 国... III. 农村配电-供电可靠性-技术培训-教材 IV. TM727.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第118693号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006年10月第一版 2006年10月北京第一次印刷

850毫米×1168毫米 32开本 8.75印张 216千字

印数0001—3000册 定价18.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

《农网供电可靠性培训教材》

编写人员名单

主 编 曹永新 胡小正

副主编 欧阳亚平 贾立雄 朱 军

统 稿 郭喜庆

参编人员 屈瑞谦 周家启 程建翼 李 健

盛万兴 李红梅 王 熠 张秀玲

陈文高

前 言

国家电网公司“供电服务‘十项承诺’”及2005年社会责任报告的发布，对国家电网公司供电可靠性管理工作提出了更高的要求。农网供电可靠性管理工作作为公司供电可靠性管理工作的一个重要组成部分，受到了公司党组的高度重视，同时也越来越多地引起了政府、社会的普遍关注。

为提高农网供电可靠性管理技术人员的专业素质，提升农网供电可靠性管理水平，确保农网安全稳定运行，满足农村经济发展对安全可靠和优质供电的要求，更好地服务于社会主义新农村建设，实现“新农村、新电力、新服务”农电发展战略，国家电网公司农电工作部与中国电力企业联合会可靠性管理中心组织编写了《农网供电可靠性培训教材》。全书共分7章，系统介绍了供电可靠性管理和统计基础知识、供电可靠性评价指标计算方法、供电可靠性管理方法、供电可靠性经济效益评估、提高供电可靠性技术措施及供电可靠性评价软件使用等内容，以方便于农网广大供电可靠性管理技术人员的工作和学习。

本书的编写得到了山东电力公司农电部和中国电力科学研究院农电所的大力帮助和支持，在此表示衷心的感谢。由于编写时间仓促和能力所限，本书的编写难免存在疏漏之处，希望广大的专家和读者多提宝贵意见，我们将在教材修订时加以改进和提高。

编 者

二〇〇六年八月九日

目 录

前 言

■ 第一章 概 述	1
第一节 电力系统基本知识	1
第二节 可靠性的基本概念	5
第三节 电力系统可靠性	7
第四节 农村电网可靠性现状	19
■ 第二章 可靠性数学基础知识	25
第一节 概率基本知识	25
第二节 元件可靠性分析	43
第三节 系统可靠性分析简介	52
■ 第三章 供电可靠性评价基本概念及评价指标	70
第一节 基本概念和名词术语	70
第二节 供电系统状态及停电相关概念	73
第三节 供电系统用户供电可靠性评价指标	77
第四节 电力可靠性管理代码	99
■ 第四章 供电可靠性数据统计、管理和分析	111
第一节 统计对象、范围及相关规定	111
第二节 供电可靠性数据管理	114

第三节	供电可靠性指标分析	141
■	第五章 农网供电可靠性管理	145
第一节	农网供电可靠性管理网络与职责	145
第二节	供电可靠性指标控制流程管理	149
第三节	供电可靠性工作管理	154
■	第六章 提高农网供电可靠性的技术措施	168
第一节	影响可靠性的技术因素	168
第二节	合理建设与改造农村电网	170
第三节	采用电网运行自动化技术	175
第四节	采用电网运行管理新技术	185
■	第七章 供电可靠性经济评估	190
第一节	概述	190
第二节	工程经济评价方法	193
第三节	停电损失及其估算方法	205
	附录 A 供电系统用户供电可靠性评价规程	211
	附录 B 输变电设施可靠性评价规程	228
	附录 C 国家电网公司农村电网供电可靠性 管理办法	235
	附录 D 供电系统用户供电可靠性管理信息系统简介	242

第一章

概 述 >>

本章主要讲述可靠性基本概念。通过学习，掌握可靠性的定义、电力系统可靠性的概念及其分类，了解可靠性管理的任务及农村电网可靠性管理状况。

第一节 电力系统基本知识

一、电力系统及电力网

1. 电力系统的构成及特点

电力系统是由分布各地的发电厂、升压和降压变电所、输配电线路及电力用户受电器所组成的，它们分别完成电能的生产、变压、输配及使用。电力系统还包括为保证其安全可靠运行的继电保护和自动装置、调度自动化和通信等相应的辅助系统。电力系统的根本任务是向用户提供充足、可靠、合格的电能。

电力系统的特点是电能的生产、输配和使用始终处于动态平衡之中，即电能的发、输、变、配与使用在同一瞬间进行并完成。若电能供需出现不平衡，将导致电源频率出现偏差，发电控制设备将根据这一特点来动态调节发电机出力以维持电能的供需平衡。当系统发生故障或出力严重不足时，频率偏差较大，低频自动减载装置便会自动甩减负荷，以维持电力系统运行的稳定性。

随着对用电量和供电质量要求的不断提高，电力系统的规

模日益扩大。组成大型电力系统的优点是：

(1) 合理开发利用一次能源，使发电量不受地方负荷限制，提高发电效率，降低电能成本。

(2) 有利于利用各类电厂的工作特点，合理地分配负荷，提高系统运行的经济性。

(3) 便于在系统发生故障时，各地区间电力的相互支援，提高系统运行的安全性和供电可靠性。

(4) 有利于采用大容量和标准化的发电机组及电力设备，节约建设投资和运行费用，以提高经济效益。

2. 电力网及其分类

电力系统中输送、变换和分配电能的各电压等级电力线路、变电所（包括变压器和相应的配电装置及建筑设施）连接构成了电力网。电力网包括输电网和配电网。

输电网主要是将远离负荷中心的发电厂所发出的电能经过变压器升高电压，并通过高压输电线路送到邻近负荷中心的枢纽变电所。同时，输电网还有联络相邻电力系统和联系相邻变电所的作用。输电网的额定电压通常为（220~750）kV或更高，它的结构与电力系统运行的安全性及经济性关系极大，是整个电力系统的主干网络。

配电网是将电能从高压变电所分配到用户去的电力网。配电网按电压等级来分类，可分为高压、中压和低压配电网。高压配电网的电压一般为（35~110）kV；中压配电网的电压一般为（3~20）kV；低压配电网的电压一般为三相四线制的380/220V。如果按供电区的功能来分类，配电网又可分为城市配电网和农村配电网。相对于输电网来说，它的电压等级和供电范围都要小一些，但它在结构上最大的特点是作为电力网的末端而与用户相连，直接地反映用户在电力供应安全、可靠、经济等方面的要求。

此外，按照电力网的运行方式划分，电力网可分为开式电

方网和闭式电力网两类。用户只能从一个电源（或方向）得到供电的电力网称为开式电力网。若用户能从两个或两个以上电源（或方向）得到供电的电力网称为闭式电力网。闭式电力网的供电可靠性高于开式电力网。

二、农村电力网及其特点

1. 农村电力网的定义

农村电力网是指为县（含县级市、旗、区）辖区域内的城镇、农村或农场及林、牧、渔场各类用户供电的 110kV 及以下各级配电网的总称。农村电力网的定义可从以下三个方面进行界定。

（1）服务对象和范围界定。其服务对象和范围主要是县辖范围的城镇、农村及林牧业各类用户。我国县及以下行政区域大都与农业密切相关，其行政机关的一项重要工作是与农业、农村和农民相关的工作。显然，这种界定比较符合我国的国情，而且这种服务范围与我国大多数农村电网的管理范围也是一致的。

（2）电网功能界定。农村电力网界定为配电网。我国把电力网分为输电网和配电网两类。配电网属于直接为用户服务的电力网，由于配电网会因用户负荷的不同而具有不同的特点，配电网又分为城市配电网和农村配电网。

（3）电压等级界定。农村电力网电压界定为 110kV 及以下。我国是按电压等级的分界线划分输电网和配电网的，但从电力发展的前景看，电压分界线有逐步提高的趋势。

2. 农村电力网电源

我国农村电力网供电电源大体有以下两种方式。

（1）由大电力系统供电的电源方式。这种农村电力网可从大电网一点或几点引进电源，其本身由 110（66）、35、10（6）和 0.38kV 四级电压的电网构成，多数为开式电力网，部分为闭式网开式运行。有的地区，由于负荷密度大，在简化电

压等级时取消了 35kV 电压级。在东北地区，农村电力网是由 66、10 和 0.38kV 三个电压级构成。

(2) 由小型电站供电的电源方式。这种农村电力网主要出现在我国南方省区，它以中小型水电站为主要供电电源，目前我国有 500 多个县主要由小水电站供电。小型电源还有小型火电厂和热电厂，主要靠小火电站供电的县约有几十个。在县域内，由电力网把主要的小电站联在一起形成小电力系统，电网电压为 35kV 或 110kV，电网的接线方式多数为闭式电力网。有些距离大电网较近的小电网常与大电网相联，还有一些邻近的小电网互连接形成较大的小电网，以提高供电可靠性和增加电网效益。

3. 农村电力网的特点

(1) 农村用电负荷的特点。①负荷密度低。由于农村地域广阔，用电设备较少，平均每平方公里的负荷为几十到几百千瓦，多的也只有几千千瓦。而在城市中心区，每平方公里的负荷可达几千或几万千瓦，甚至更大；②季节性较强，负荷峰谷差较大，年最大负荷利用小时数低，因而年用电量相对也比城市少得多；③用户数量多，每户用电量少。

(2) 农村电力网的特点。①送电负荷小，送电量少，送电距离远，设备利用率低，送电成本高；②覆盖面积大、规模大，不便于运行管理；③由于存在大量的配电变压器和异步电动机，农村电力网的自然功率因数比较低；④我国农网的供电量约占全社会用电量的 50% 左右，高于世界上任何国家。农网是发展农业生产和农村经济，提高近 8 亿农民生活的关键性农村基础设施，其重要性也为世界之最。特别是在建设社会主义新农村的过程中，农网作用更加突出。

以上特点，使我国农网有着特有的技术经济规律。因此，在解决农网供电可靠性问题时，应该充分考虑农网的特点。

第二节 可靠性的基本概念

一、可靠性的概念

所谓可靠性 (Reliability), 是指元件、设备和系统在预定的时间内、规定的条件下完成规定功能的概率。其中预定的时间是可靠性定义的核心, 因为不谈时间则无可靠性而言, 但时间长短却因不同元件或研究对象而异。规定的条件, 主要指元件或系统的使用环境、维护方式、操作技术等方面的不同对可靠性造成的不同影响。规定的功能, 通常用元件或系统的各项性能指标来表示, 如电气元件的额定功率、电力系统的节点电压等。如果元件或系统在运行中各项指标达到预定的要求, 则称能够完成规定的功能, 否则称为丧失功能。一般把元件或系统丧失规定功能的状态, 称为失效或故障。概率是个数学概念, 将可靠性定义为一个概率量便使得元件或系统的可靠性有了可以测度和计算的定量标准, 从而实现了数量刻画。因此, 可靠性问题就是在一定规定条件下, 研究元件或系统发生失效的统计规律, 而概率论与数理统计则是可靠性分析的理论基础。

从可靠性研究的对象而言, 元件、设备和系统根据使用过程的不同, 分为可修复和不可修复两大类。可修复元件、设备和系统是指它们损坏后经过修理能恢复到原有功能而可以再投入使用者。不可修复元件、设备和系统是指它们在损坏后无法修复或无修复价值者。在研究两类不同对象的可靠性问题时, 我们需用具体的可靠性指标来衡量。对不可修复元件、设备和系统常用在规定条件下和预定时间内未发生故障这一事件的概率作为可靠性指标, 称为可靠度。而对可修复元件、设备和系统, 除了要测度它们发生故障的概率外, 还要计算它们在发生故障后可修复的概率, 因此, 它们的可靠性指标常用可用度来

表示。其定义为：可修复元件、设备和系统在长期运行中处于或准备处于工作状态的时间所占的比例。实际上，可用度也是一个概率值。在实际应用中，为便于进行可靠性分析，对不同的元件、设备和系统还定义了若干个其他的可靠性指标，这些可靠性指标也都是用概率量或统计量来表示的。

二、可靠性工程

可靠性工作是一个涉及多种学科的复杂的系统工程，也是系统工程进行技术经济评价的一个重要方面，通常称之为可靠性工程，它贯穿在产品和系统的整个开发过程之中。可靠性工程具有丰富的内涵和具体的工作内容，属于新兴的应用学科。

可靠性工程具有三大特点，即实用性、科学性和时间性。实用性是指可靠性工程从诞生之日开始就和工程实践紧密联系与结合，具有强大的生命力；科学性是指可靠性工程有一整套独特的科学理论和方法；时间性是指可靠性存在于产品或系统的整个开发过程之中，不论研究、设计、制造、应用等各个阶段都在起作用，其中任何一个阶段对可靠性问题考虑不全面，都将对整个系统的可靠性产生影响。

可靠性工程的内容可以从不同的角度来划分：从时间顺序划分，包括有研究、设计、制造、试验、运输、存储、安装、使用及维修等各个阶段；从产品和系统的形成划分，包括有原材料、元器件、零部件、设备及系统等各个环节；从工作内容划分，包括有可靠性理论研究、设备失效数据统计、可靠性定量评估、可靠性分析标准、可靠性工程技术、可靠性管理、可靠性与经济性的协调等各个方面。

可靠性工程从工作性质来看，主要分为可靠性工程技术与可靠性管理两个方面。可靠性工程技术，就是为了使产品和系统达到预定的可靠性要求所进行的有关设计、制造、安装、试验、维护和保养等一系列的工程技术活动。所谓可靠性管理，就是从系统的整体出发，按照一定的可靠性目标，对产品或系

统全寿命周期中的各项可靠性工程技术活动进行规划、组织、协调、控制与监督，并保持全寿命周期费用最省。它是一切可靠性活动的核心。

可靠性工程已成为系统工程中的一个重要组成部分，评价一个系统的生命周期，评估一项工程活动的技术性能，都必须考虑可靠性问题，否则分析就不全面，论证就不充分。因此，一切为提高元件、设备和系统健康水平和安全经济运行水平的活动都属于可靠性工程的工作范畴。

第三节 电力系统可靠性

一、电力系统可靠性概念与分类

1. 电力系统可靠性的概念

所谓电力系统可靠性，是指把可靠性工程的一般原理和方法与电力系统中的工程问题相结合所形成的一门应用学科。目前它已渗透到电力系统规划、设计、制造、安装、运行和管理等各方面，并得到了广泛的应用，如图 1-1 所示。

电力系统可靠性科学的形成时间是在 20 世纪 60 年代之后，随着可靠性工程理论应用于电力工业的不断深入和取得的积极成果，极大推动了电力系统可靠性的发展，其主要原因包括以下几个方面：

(1) 电力系统不断向高电压、远距离、大机组、大容量方向发展，在提高系统经济性的同时，系统的安全可靠性问题也突出起来。从 20 世纪 70 年代以来，许多国家的大电网相继发生了重大事故，引起大面积长时间的停电，这不但造成了巨大的经济损失，而且危及社会秩序，同时也给从事电力系统规划和运行的人员以极大的教训。因此，为了预防这些事故的发生，定量评价和改善电力系统可靠性的研究，便越来越受到人们的重视。

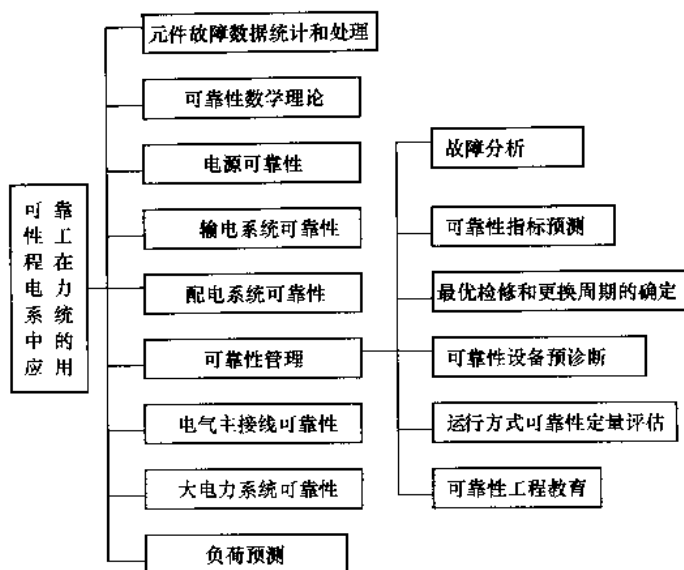


图 1-1 可靠性工程在电力系统中的应用

(2) 随着现代电力系统规模的不断扩大, 新技术和新设备的开发与应用, 都要求不断提高电力系统的可靠性。据美国爱迪生电气学会和联邦电力委员会研究, 发电机组的单机容量不断扩大, 作为衡量机组可靠性的重要指标强迫停运率 (指机组强迫停运小时数占运行小时总和的百分比) 也随机组容量的增大而上升。同时, 随着负荷的不断增长及供电范围的不断扩大, 电网的干线和分支数量将不断增多, 电网的结构不断复杂化。虽然供电容量获得了显著增长, 但发生故障的因素和可能也会相应增大, 这些都说明研究电力系统可靠性的必要性和迫切性。

(3) 电力已成为国民经济现代化的能源物质基础, 关系到整个国计民生, 特别是现代社会的高度信息化、工业生产的自动化、城市功能的现代化以及家庭生活的电气化, 使人们对电

力的依赖越来越强，任何短时间的停电或瞬时的电压下降，都会对生产和生活带来很大影响。因此，电力行业作为公用事业为了连续不断向用户提供质量合格的电能，就必须不断提高电力系统可靠性。

(4) 其他工业部门对可靠性工程技术研究和应用的成果，推动了电力系统可靠性的发展，例如航天工业、电子工业、机械工业、化学工业、原子能工业等在研究和应用可靠性技术与理论方面取得了积极的成果，并且分别总结出一整套保证元件和系统有效地完成其预定功能的科学方法，这些都极大地推动了电力系统可靠性的发展。

可以说，电力系统可靠性这门科学的形成和发展是电力工业本身发展的客观规律所决定的，是电力工业现代化的必然产物。电力系统可靠性已成为现代电力工业管理的一种重要手段。

2. 电力系统可靠性的分类

对电力系统可靠性的研究，一般是将电力系统分成若干个子系统分别进行的。这一方面是因为近代电力系统规模十分庞大，把整个系统作为一个统一体来进行可靠性分析和计算，即使有大型计算机装置，仍然是不现实的。另一方面是因为各子系统有不同的特点，其故障模式、可靠性指标及分析方法各有不同。因此人们常把电力系统可靠性问题划分为发电系统（电源系统）可靠性、输变电系统可靠性和配电系统可靠性三大部分。其中配电系统可靠性问题是我们讨论的重点。

另外，从可靠性研究的相对关系来说，又可以分为元件可靠性和系统可靠性问题，这种划分适用于任何可靠性研究的领域或对象。

(1) 元件可靠性。

由于电力系统主要由发电机、变压器、开关、输配电线路等电气设备所组成，这些电气设备统称为元件。虽然元件又往

往由许多部件所组成，但在研究系统可靠性问题时，通常把元件看作是一个不再分割的实体，即不再对其部件进行可靠性分析。例如在研究开关设备的故障特性时，不再分析开关发生故障是由哪一个部件所引起的。

元件根据使用的情况，一般划分为两大类，即如前所述为可修复元件和不可修复元件。虽然在很多应用场合不可修复元件（如电子元件等）占优势，但对电力系统来说，绝大部分元件都是可修复元件。在可靠性研究中，这两类元件的可靠性指标无论在概念上还是处理方法上都是不相同的，不过可靠性的理论基础首先是建立在不可修复元件上，后来才发展到可修复元件上的。

对于元件的可靠性研究，主要包括三项内容，即定义元件可靠性参数、建立元件可靠性模型和确定元件可靠性参数的估计方法。获取元件的可靠性数据通常采用实用的估计方法来进行，一般是根据元件长期运行记录的结果，经过数理统计分析后得到其估计值。而并非通过多次破坏性或损伤性的试验来获取，因为电力系统大多数元件属于贵重设备，那样做在经济上是不可取的。当给出每个元件的可靠性数据之后，才能进行系统可靠性的分析和计算。

（2）系统可靠性。

系统是指由若干基本单元或子系统有机地结合起来，可完成某种特定功能的整体。元件与系统是相对的，要视具体问题分析而定。如果把变电站定义为一个系统，那么元件就是指变压器、断路器、调相机等电力设备，但如果我们单独把变压器定义为一个系统，那么元件又当是这台变压器的线圈、铁心、套管等部件。由元件组成的系统也可分为两类：可修复系统和不可修复系统。由于电力设备几乎都是可修复元件，所以电力系统属于可修复系统。

系统的可靠性通常与组成系统的元件和系统的结构有关。