

基层供电企业员工岗前培训系列教材

输电线路运行与检修

河南省电力公司 组编

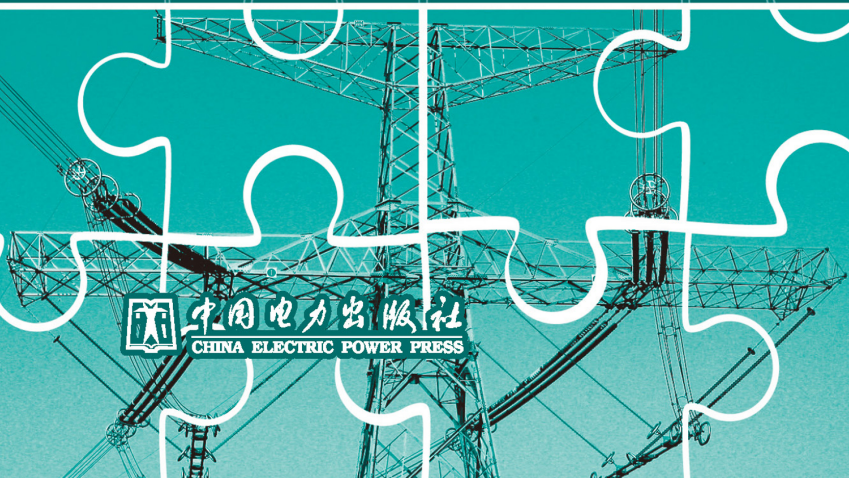
张 敏 张 刚 主编

丁旭峰 赵 杰 主审

专业类



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



基层供电企业员工岗前培训系列教材

输电线路运行与检修

河南省电力公司 组编

张 敏 张 刚 主编

丁旭峰 赵 杰 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

《基层供电企业员工岗前培训系列教材》是依据《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》，结合生产实际编写而成的。

继2010年本套教材推出14个分册之后，2012年又推出8个分册。目前，本套教材共有22册。本册为《输电线路运行与检修》分册，主要内容有：电力网概述，输电线路运行检修管理，线路的巡视与检测，线路的故障及预防，输电线路停电检修及抢修，带电作业初步知识等。

本书可作为基层供电企业新员工、复转军人入职和生产技术人员提升职业能力的培训用书，也可供电力职业学校教学使用。

图书在版编目（CIP）数据

输电线路运行与检修/张敏，张刚主编；河南省电力公司组编. —北京：中国电力出版社，2012.9

基层供电企业员工岗前培训系列教材

ISBN 978-7-5123-3466-3

I. ①输… II. ①张… ②张… ③河… III. ①输电线路—电力系统运行—岗前培训—教材 ②输电线路—检修—岗前培训—教材 IV. ①TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 211086 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>）

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012年9月第一版 2012年9月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 12.25印张 225千字

印数 0001—3000册 定价 30.00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

《基层供电企业员工岗前培训系列教材》

编 委 会

主 任：凌绍雄

副 主 任：焦银凯 杨义波

委 员：孙永阁 陈水增 王 静 张 静 邓启民
李忠强 惠自洪 郭海云 戴 泌 付红艳
易 帆 王生甫 赵玉谦

前言

为了增强基层供电企业员工岗前培训的针对性和实效性，进一步提高岗前培训员工的综合素质和岗位适应能力，河南省电力公司牵头组织，技术技能培训中心郑州校区和南阳校区的教学管理人员及部分教师共同策划、编写了《基层供电企业员工岗前培训系列教材》。该套教材按照电网主要生产岗位的能力素质模型和岗位任职资格标准，实施基于岗位能力的模块培训，提高培训教学的针对性和可操作性，培养具有良好职业素质和熟练操作技能、快速适应岗位要求的中级技能人才。

该套教材针对基层供电企业员工岗前培训的特点，在编写过程中贯彻以下原则：

第一，从岗位需求分析入手，参照国家职业技能标准中级工要求，精选教材内容，切实落实“必须、够用、突出技能”的教学指导思想。

第二，体现以技能训练为主线、相关知识为支撑的编写思路，较好地处理了基础知识与专业知识、理论教学与技能训练之间的关系，有利于帮助学员掌握知识、形成技能、提高能力。

第三，按照教学规律和学员的认知规律，合理编排教材内容，力求内容适当、编排合理新颖、特色鲜明。

第四，突出教材的先进性，结合生产实际，增加新技术、新设备、新材料、新工艺的内容，力求贴近生产实际，缩短培训与企业需要的距离。

继 2010 年本套教材推出 14 个分册之后，2012 年又推出 8 个分册。目前，本套教材共有 22 册。本册为《输电线路运行与检修》。本书共六个单元，主要介绍了电力网、输电线路运行检修管理、线路的巡视与检测、线路的故障及预防、输电线路停电检修及抢修和带电作业初步知识等内容。本书由河南省电力公司技术技能培训中心张敏、张刚编写，张敏编写单元一、单元三、单元五，李郑宇编写单元二、

单元四，张刚编写单元六。河南省电力公司技术技能培训中心丁旭峰、赵杰审稿，在编写过程中得到了郑州供电公司陈松山、黄浩军和河南送变电建设公司肖东坡的大力支持与帮助，在此表示感谢。

由于编写时间仓促，水平有限，难免出现疏漏，敬请读者在使用中多提宝贵意见，以便修订时加以完善。

编 者

2012 年 7 月

目 录

前言

单元一 电力网概述 1

课题一 输电线路建设概况	1
思考与练习	4
课题二 电力系统及电力网	4
思考与练习	7

单元二 输电线路运行检修管理 8

课题一 输电线路运行检修的任务	8
思考与练习	11
课题二 输电线路运行管理	11
思考与练习	18
课题三 输电线路反事故措施	18
思考与练习	21
课题四 电力生产事故调查和安全考核	21
思考与练习	28
课题五 检修质量管理	28
思考与练习	33

单元三 线路的巡视与检测 34

课题一 架空输电线路的巡视	34
任务一 巡视的分类	34
思考与练习	40
任务二 架空输电线路巡视的要求及内容	40
思考与练习	48

课题二 架空输电线路各元件的运行要求·····	48
任务一 杆塔、基础的运行要求·····	48
思考与练习·····	51
任务二 导线与地线的运行要求·····	51
思考与练习·····	54
任务三 绝缘子、金具的运行要求·····	54
思考与练习·····	59
任务四 接地装置的运行要求·····	59
思考与练习·····	61
课题三 特殊区段的运行要求·····	61
思考与练习·····	67
课题四 架空输电线路的检测·····	67
任务一 输电线路检测的内容·····	67
思考与练习·····	73
任务二 架空导线限距及弧垂的测量·····	73
思考与练习·····	76
任务三 绝缘子电压分布及检测·····	76
思考与练习·····	78
任务四 绝缘子污秽检测·····	79
思考与练习·····	82
任务五 红外成像测温·····	82
思考与练习·····	87
任务六 接地电阻的测量·····	87
思考与练习·····	90

单元四	线路的故障及预防	91
------------	-----------------	-----------

课题一 概述·····	91
思考与练习·····	94
课题二 雷害事故及预防·····	94
思考与练习·····	101
课题三 污闪事故及预防·····	101
思考与练习·····	106
课题四 覆冰事故及预防·····	106

思考与练习	111
课题五 振动及防振	111
任务一 微风振动及防振	111
思考与练习	118
任务二 导线舞动	118
思考与练习	122
课题六 其他多发事故的预防	122
思考与练习	127

单元五	输电线路停电检修及抢修	128
------------	--------------------	-----

课题一 停电检修概述	128
思考与练习	131
课题二 停电检修组织和技术措施	132
思考与练习	137
课题三 停电检修的安全措施	137
思考与练习	144
课题四 绝缘子、金具更换	144
任务一 绝缘子更换	144
思考与练习	147
任务二 金具的更换	147
思考与练习	151
课题五 导线、避雷线检修	152
思考与练习	156
课题六 拉线、叉梁和横担更换	156
思考与练习	159
课题七 接地装置检修	159
思考与练习	161
课题八 基础维护	162
思考与练习	163
课题九 抢修组织措施	163
思考与练习	165

单元六	带电作业初步知识	166
课题一	带电作业基本原理及方式	166
思考与练习		174
课题二	带电作业安全技术	174
任务一	带电作业安全距离的确定	174
思考与练习		180
任务二	带电作业工具试验及保管	180
思考与练习		185
参考文献		186

单元一

电力网概述

本单元主要介绍输电线路建设概况，要求大家熟悉输电线路的电压等级、电力网、电力系统等基本概念。

课题一 输电线路建设概况

学习目标

1. 了解世界范围内输电线路的发展情况。
2. 掌握国内输电线路的建设概况。
3. 了解特高压输电线路的基本情况。

知识点

1. 我国第一条 110、220、500、750、1000kV 线路的建设时间及概况。
2. 交流特高压实验示范工程的技术创新内容。

技能点

1. 知道发展特高压输电线路的意义。
2. 掌握我国输电线路的建设发展历程。

学习内容

一、输电线路发展情况

电力工业在开创阶段，西欧和美国差别不大，但十几年后美国遥遥领先。1920 年全世界发电装机容量 3000 万 kW，美国占 2000 万 kW。美国在 1920 年已普及 132kV 输电线路，并于 1923 年开始使用 220kV 输电线路，而英国在 1938 年才完成 132kV 国家电网，日本在 1943 年才在中国东北和朝鲜建设 220kV 输电线路。美国于 1954 年建成第一条 345kV 线路，1965 年，加拿大建成世界第一条 735kV 线

路，此后美国于 1969 年建成 765kV 线路。前苏联于 1952 年建成第一条 330kV 线路，1967 年建成 750kV 线路，1985 年建成第一条 1150kV 特高压输电线路。

中国的电力工业，从 1882 年在上海南京路第一次装机发电以来，至今已有 130 年，在此期间，电力工业几经兴衰起落，仍得到不断发展壮大，对促进中国社会生产力的发展和社会进步起了很大的作用。在中国电力工业发展史上，中华人民共和国的建立是中国电力工业迅速发展的里程碑。在中华人民共和国诞生前的近 70 年里，电力工业发展极其缓慢，到 1949 年底全国的发电装机容量为 185kW，年发电量仅 43 亿 kWh，在世界各国分别排在第 21 位和第 25 位，技术装备十分落后。中华人民共和国成立以后，经过 60 多年的努力，电力工业得到迅速发展，到 2011 年底，全国装机容量达 10.56 亿 kW，年发电量达 4.6 万亿 kWh。

二、输电线路建设概况

随着电力系统的发展，发电厂高参数、大容量、大机组的投运，使输电线路也向着长距离、超高压、大容量的方向发展。现阶段我国架空输电线路的发展，已达到世界先进水平。建国初期我国输电电压为 35kV，东北电网为 154kV，1952 年以自己的技术建设了 110kV 输电线路，逐渐形成了京津唐 110kV 输电网。1954 年建成丰满—李石寨 220kV 输电线路，把当时一次网 154kV 升压为 220kV，以后迅速形成了东北电网 220kV 骨干网架。此后，我国兴建了大量的 220、110、63kV 电压的铁塔和钢筋混凝土杆线路。1972 年配合刘家峡水电站的建设，第一条从刘家峡水电站到汉中变电站的全长 534km 的 330kV 超高压输电线路问世。1981 年投运了第一条 500kV 输电线路（从平顶山姚孟电厂至湖北武汉凤凰山变电站，全长 595km），接着于 1984 年又投运全部国产设备的第二条 500kV 超高压线路（东北董家—辽阳）。

750kV 输变电示范工程由国家电网公司出资建设，投资概算 10.9 亿元，于 2005 年 9 月 26 日正式竣工投产。该工程包括青海官亭至甘肃兰州东近 141km 的 750kV 输电线路和两座主变压器容量均为 150 万 kVA 的变电站，目前运行良好，这也是目前我国电压等级最高、海拔最高的输变电工程。2006 年 8 月 19 日，国家电网公司 1000kV 晋东南—南阳—荆门工程正式奠基，这是我国首个特高压交流试验示范工程。该工程起于山西晋东南（长治）变电站，经河南南阳变电站，止于湖北荆门变电站，全长 640km，跨越黄河和汉江。它是我国发展特高压输电技术的起步工程，工程于 2009 年 1 月 6 日投入商业运行，2010 年 8 月 13 日通过国家验收，2011 年底，晋东南—南阳—荆门特高压交流线的扩建工程成功投运，进一步验证了特高压交流的输电能力和安全性、经济性、优越性。

在直流输电方面，从 1977 年第一条 31kV 直流输电工业性试验线路投运后，

20 世纪 80 年代初开始了浙江舟山跨海直流输电工程建设, 输电容量 5 万 kW, 于 1987 年投运。我国第一条±500kV 直流输电线路, 从湖北宜昌到上海奉贤县, 全长 1064km, 于 1985 年动工, 1988 年初第一期工程投运, 达到了世界直流输电的水平。±800kV 四川—上海直流特高压示范工程于 2007 年底开工, 2010 年 7 月投运。中国乃至世界首条±1000kV 从新疆昌吉到江西的高压直流输电线路最快有望在“十二五”期间兴建。

三、特高压输电线路的概况

1. 特高压输电的意义

- (1) 降低线损的需要。
- (2) 断路器开断容量不足的需要。
- (3) 输电走廊紧缺的需要。
- (4) 经济发展与能源分布不平衡的需要。
- (5) 国际经验。
- (6) 我国电力发展的标志。对于我国电力发展意义重大, 如设备制造行业。

2. 发展特高压电网的主要目标

- (1) 大容量、远距离从发电中心向负荷中心输送电能。
- (2) 超高压电网之间的强互联, 形成坚强的互联电网, 目的是更有效地利用整个电网内各种可以利用的发电资源, 提高各个互联电网的可靠性和稳定性。
- (3) 在已有的、强大的超高压电网之上覆盖一个特高压输电网, 目的是把送端和受端之间大容量输电的主要任务从原来的超高压输电传送到特高压输电上来, 以减少超高压输电的网损, 提高电网的安全性, 使整个电力系统能继续扩大覆盖范围, 并更经济、更可靠地运行。

3. 交流特高压实验示范工程的技术创新

- (1) 开发研制了超大吨位复合悬式棒型绝缘子。
- (2) 提出了交流特高压过电压综合控制方案。
- (3) 提出了调压器与变压器分离设计方案。
- (4) 研制特高压合成绝缘非电容式套管。
- (5) 研究开发交流特高压 SF₆ 断路器短路开断试验方案。
- (6) 研究多分裂导线综合防舞措施, 提出了具有明确的防舞设计思想的线夹回转式间隔棒双摆防舞器。

4. 特高压输电曾引发的争议

- (1) 特高压输电的确可以降低线损, 但是目前建设时机不成熟。
- (2) 在现有 500kV 的基础上增容已有丰富的经验。

- (3) “远煤，近电”。
- (4) 按照惯例应该是先有电厂，再有电网。
- (5) 资金从何而来。
- (6) 西部不适合建大型的坑口电厂。

思考与练习

- 1. 我国第一条 220、500、750、1000kV 线路分别于哪一年建成，分别是从哪里到哪里？
- 2. 发展特高压电网的主要目标是什么？
- 3. 交流特高压实验示范工程做了哪些技术创新？

课题二 电力系统及电力网

学习目标

熟悉输电线路的电压等级、电力网、电力系统等基本概念。

知识点

- 1. 电力系统、电力网的概念。
- 2. 电力网的分类，输电电压与配电电压的分类。

技能点

会利用电能质量标准分析电能质量的优劣。

学习内容

一、电力系统及电力网的组成

1. 电力系统的组成

(1) 电力系统。发电机生产电能，变压器、电力线路输送、分配电能，电动机、电炉等用电设备消耗电能。由生产、输送、分配和消费电能的发电机、电力线路、各种用电设备联系在一起组成的统一整体就是电力系统。

(2) 电力网络。它是发电厂和用户之间不可缺少的中间环节，是由变电设备和各种电压等级的输电线路组成的网络。

2. 电力网的分类

电力网按其作用可分为输电网和配电网。输电网由发电厂的升压变电站、输电线路以及连接这些线路的变电站组成。其中电压等级高、重要性强的输电线路的变电站是电力系统的主网络，在电力系统中起到骨架的作用，所以又称网架。例如河

南省电网的主网架从 220kV 转变为 500kV。输电网的主要作用是输送电力。配电网由配电线路和配电站组成，其任务是分配电力到各配电站后，再向用户供电。

电力网按供电范围可分为地方电力网和区域电力网。地方电力网为电压在 110kV 或 63kV 以下的电网，输电距离近，容量小。区域电力网为电压在 110kV 或 63kV 以上的电网，输电距离远，容量大。

交流电网：对地电压在 1kV 以下的交流电网称低压电网；1kV~220kV 之间的交流电网称高压电网，330~1000kV 之间的交流电网称超高压电网，特高压电网被称为“电力高速路”，指 1000kV 交流电网。

直流电网：±500kV 及以下的直流电网称高压直流电网，±800kV 直流电网称特高压直流电网。

包括我国在内，目前世界各国目前普遍采用 500kV 以下交流电网进行输电。与现有电网相比，特高压电网具有容量大、距离长、损耗低等明显优势，但其技术尚不成熟，耗资巨大，在电网安全、设备制造、环境保护等方面存在不可忽视的风险。

电力网按电网本身结构方式可分为开式电力网和闭式电力网。凡是用户只能从单方向得到电能的电力网称为开式电力网；凡是用户可以从两个及两个以上方向同时得到电能的电力网称为闭式电力网。配电线路接成环网，用户的电源可从两条线路上得到，每个配电用户处有三个环网开关，两个接在两端线路上，另一个接用户变压器。在大、中城市为了用电可靠，在城区周围接成环形输电网。上海、北京都建成了 500kV 环形网；河南省 220kV 环形网解环运行，现已建成了以 500kV 为主网架的环形网。

3. 联合电力系统的优点

若干地区的电力系统用电网连接起来就组成联合电力系统。联合电力系统能减少个别机组故障的影响，提高供电的可靠性和电能质量。利用东西部的时差、南北地区季节和负荷的不同性质，可错开高峰负荷出现的时间，并且可以错开时间检修，从而可以减少系统的装机容量，提高设备利用率。联合电力系统的装机容量大，为系统内安装经济性好的大机组创造了条件。联合电力系统内的多种发电形式，优势互补，也能合理利用动力资源，提高运行的经济性。

二、输电电压与配电电压的划分

我国低压配电电压：380/220V，中压配电电压：6、10、20kV，高压配电电压：35~110kV。输电电压：高压输电电压 220kV，超高压输电电压 330、500、750kV，特高压输电电压 1000kV 以上。华北电网电压系列：500/220/110/35/10/0.38kV，东北电网的电压系列：500/220/63/10/0.38kV，西北电网的电压系列：330/110kV、220/110kV。

三、电力网的额定电压

目前我国输配电线路（交流）的电压等级为 220/380V、3kV、6kV、10kV、35kV、63kV、110kV、220kV、330kV、500kV、750kV、1000kV。

（1）两点建议。

1) 任一国家内，相邻两级电压之比不应小于 2 倍。

2) 任一地理区域内，对括号内各种电压等级只能选其中一种（245、300、363kV），（363、420kV），（420、525kV）。

（2）电力线路的额定电压是线路上的平均电压，它与用电设备的额定电压相等，即 $U_e = (U_1 + U_2) / 2$ ，其中 U_1 是线路的首端电压， U_2 是线路的末端电压。

在电力网络中，电力经线路、变压器传输时，会产生电能损耗。同时由于负荷的变化，电压损耗也随之变化，因而线路中各点电压不是恒定的。因此，在运行中只能使所有用电设备的运行电压尽量接近额定电压，为达到此要求，需要采取许多措施，其中对用电设备、发电机、线路和变压器的运行电压作了如下特殊的规定：

1) 规定用电设备允许运行的电压偏移值。

2) 电力线路的电压损耗不超过 10%。

3) 带直配负荷的发电机额定电压比线路额定电压高 5%。

变压器的一次绕组是输入电能的，相当于用电设备，因此，变压器一次绕组的额定电压应等于用电设备的额定电压。但当变压器直接与发电机连接时，其一次额定电压就应与发电机额定电压相等。变压器二次额定电压是空载时的电压，其电压应比线路电压高 5%。再加上变压器本身电压损耗 5%，所以变压器二次侧额定电压要比线路额定电压高 10%，反之，降压变压器也是一样。

电力网电压的调整可通过改变变压器分接头以改变变压比进行调整，可分为有载调压和无载调压。

四、对电力系统提出的要求

（1）保证供电的可靠性。

（2）保证良好的电能质量。频率和电压是衡量电能质量的两个重要指标。我国电力系统的标称频率为 50Hz。频率的变化率：300 万 kW 以上的系统，不得超过 $\pm 0.2\text{Hz}$ ；300 万 kW 以下的系统，不得超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。电压的变化率：35kV 及以上电压偏移为正负偏差绝对值不超过 10%；10kV 及以下和低压三相用户电压偏移为 $\pm 7\%$ ；照明用户为 $+7\%$ 、 -10% 。

衡量电能质量的指标还有波形、电压波动、闪变和三相电压不平衡度。

任一高次谐波的瞬时值不得超过同相基波电压瞬时值的 5%。电压波动引起照明的照度波动。

闪变是说明不同频率电压波动引起灯闪的敏感程度及引起人眼闪变刺激性程度的电压波动值，是人眼对照度波动的一种主观感觉。

对三相电压的不平衡度要求，我国规定电力系统公共连接点正常电压不平衡度允许值为 2%，短时不得超过 4%。

(3) 保证供电的经济性。降低燃料消耗，以降低发电成本；降低厂用电率；降低线路损耗，线路损耗一般为 3%~10%；实现保护、监测、控制自动化。



思考与练习

1. 什么是电力系统和电力网？
2. 联合电力系统的优越性有哪些？
3. 输电电压和配电电压如何划分？
4. 对电力系统有哪些要求？