

上海超高压输变电公司 编



超高压输变电操作技能培训教材

S 输电线路

Shudian xianlu

(第四册)



首套500kV超高压输变电
操作技能指定培训教材



依据规范编写、只讲操作
技能、突出岗位技能鉴定



全国500kV超高压输变电系统
安全操作和技能考核规范读本



全国各网省市超高压输变电企业
运行维护、检修试验等生产人员



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

超高压输变电操作技能培训教材

输 电 线 路 (第四册)

上海超高压输变电公司 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

随着国民经济以每年近 10% 的发展速度的增长, 作为国民经济先行官的电力系统近几年来正以超常规速度增长, 大型变电所如雨后春笋, 变电所设备技术发展升级更新加快, 尤其在一些计算机技术、电力电子技术、通信技术方面已经越来越多地融合进变电所控制设备的核心中。面对如此技术进步的步伐, 为了满足全国联网和西电东送的战略决策以及超高压交直流输变电建设和运行的需要, 根据国家标准、行业标准和《电力行业职业技能鉴定规范》以及有关输变电运行岗位规范等的要求, 并结合超高压输变电运行的实际情况, 上海超高压输变电公司在总结多年来超高压输变电运行经验和教育培训的基础上组织编写了《超高压输变电操作技能培训教材》(一套 7 册), 以满足全国超高压输变电企业为适应超高压输电网发展所需的队伍建设、岗位培训和技能鉴定的培训需要。

《输电线路》是本套教材的第四册, 共分 14 章, 主要内容是: 第一章输电线路基本部件与材料, 介绍线路组成和钢、水泥、导线和避雷线、绝缘子、金具、杆塔等; 第二章施工维修用工具, 介绍起重抱杆及滑车、钢丝绳、U 型环、牵张机械、双钩紧线器、手拉链条葫芦、临时地锚和施工器具等; 第三章输电线路机械计算, 介绍架空线机械物理特性、比载计算和均布载荷、气象变化及非均布载荷下的架空线计算; 第四章线路测量, 介绍经纬仪的使用和测量、线路设计和施工测量; 第五章杆塔基础, 介绍混凝土和现浇基础施工、冬季施工、钻孔灌注桩施工、钢管桩施工以及验收和施工问题处理; 第六章钢管杆, 介绍加工与检测、插接式和法兰连接式施工要求及验收; 第七章铁塔组立, 介绍铁塔对料、外拉线和内拉线抱杆组立铁塔施工、铁塔验收; 第八章导线展放与附件安装, 介绍导线展放、连接要求、紧线和附件安装、弧垂调整计算和验收; 第九章接地装置, 介绍防雷与接地设计、施工、土壤电阻测量; 第十章线路检修, 介绍检修周期项目、安全技术和检修内容; 第十一章线路运行维护, 介绍线路运行标准及巡视要求、绝缘子污闪及预防、线路防振、缺陷管理、技术管理; 第十二章带电作业工器具与材料, 介绍带电作业用绝缘、金属、加工和常用工器具使用保管和试验; 第十三章带电作业安全技术, 介绍带电作业气象条件、安全距离、静电感应防护、使用工器具安全技术和要求; 第十四章超高压线路带电作业项目, 介绍带电检测、更换直线和耐张绝缘子串、更换防振锤、拆塔引线、修补导线。另外, 各章后均附思考题。

本书可作为全国超高压输变电企业电力生产人员、技术人员和管理干部等学习、了解超高压输电线路方面岗位知识和操作技能的培训教材, 也可作为电力职业专科学校和电力大专院校的专业课程辅助教材, 以及岗位技能培训和职业技能鉴定的培训教程。

图书在版编目 (CIP) 数据

输电线路/上海超高压输变电公司编. —北京: 中国电力出版社, 2006
超高压输变电操作技能培训教材
ISBN 7-5083-4056-6

I. 输… II. 上… III. 超高电压-输电线路-技术培训-教材 IV. TM726.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 001224 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>)
航远印刷有限公司印刷
各地新华书店经售

2006 年 3 月第一版 2006 年 3 月北京第一次印刷
787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 19.75 印张 526 千字
印数 0001—3000 册 定价 31.00 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)

《超高压输变电操作技能培训教材》

编 审 委 员 会

主任委员： 沈兆新

副主任委员： 林 锋

编委人员： 陈海波 邹 俭 乔卫东 吴 钧 刘新平

徐伯成 周 红 戴春怡 金红核

主 编： 陈海波

主 审： 邹 俭

统 筹： 陶象雯

策划编辑： 杨元峰

● 第四册 输电线路 ●

编 审 人 员

分册主编： 刘新平

编 写： 杨庆华 高国平 叶坚平 袁 奇 谢小松

史理水

审 核： 侯晓明

责任编辑： 潘 琳 潘宏娟

序



当前,由于全国联网和西电东送的国家战略决策以及超高压交直流输变电的迅速发展,电力系统输变电容量不断增大,电压等级逐步升高,500kV及以上超高压已成为输变电网络的主要电压等级。因此,在500kV超高压输变电生产人员、技术人员和管理干部等的培训领域迫切需要一套完整而又贴近生产实际情况的超高压输变电操作技能培训教材,以加快500kV超高压输变电各专 业岗位技能和职业技能人才的培养步伐。

为此,根据原国家电力公司、中国电力企业联合会、国家电网公司、中国南方电网有限责任公司等对超高压输变电岗位技能、职业技能等提出的培训要求,从2001年开始,在上海市电力公司的领导下,上海超高压输变电公司组织了500kV超高压输变电各专 业领域、多年运行经验的30多位技术人员和专家,根据国家标准、行业标准和《电力行业职业技能鉴定规范》以及有关输变电运行岗位规范等的要求,并紧密结合500kV超高压输变电运行维护的实际情况,精心编写了这套由以下八个专业组成的《超高压输变电操作技能必读教材》(一套7册),以充分反映我国当前500kV超高压输变电实际运行技术水平和最新发展状况,并以满足全国超高压输变电企业为适应超高压输变电网发展所需的队伍建设、岗位培训和技能鉴定的需要。

《超高压输变电操作技能必读教材》分册是:第一册 变电运行;第二册 变电设备检修;第三册 变电所自动化与监控;第四册 输电线路;第五册 交直流电源与计量;第六册 继电保护;第七册 电力通信。

由于这套教材是针对岗位技能和职业技能培训而编写的,因此在内容安排上突出了操作技能的特点,除了专业原理和结构的讲解外,更加侧重实际运用和运行操作的介绍,在培训功能上具有较强的针对性和实用性,既可作为超高压输变电岗位技能培训和职业技能鉴定的必读教材,也可作为电力专业大专院校学生的课程教材,尤其能为新进输变电企业的大中专毕业生尽快适应本职工作提供了帮助和学习教材。本书的编写出版得到了同行业技术专家和中国电力出版社的热情支持,在此,我谨代表编委会向他们表示衷心感谢。

上海超高压输变电公司总经理

沈尧新

2005年9月

前言



输电线路是电力系统不可或缺的重要组成部分,担负着整个电网的电力输送任务,其重要性不言而喻。因此需要不断培养输电线路的专门人才,即要有一大批熟练掌握专业技术的运行、维修人员与高水平的专业管理人员。本书结合输电线路专业生产管理现状,从专业基础理论到运行维护、施工检修,较全面地介绍了相关的专业知识,以尽可能满足广大线路专业人员的需求。

我们根据国家标准、行业标准和《电力行业职业技能鉴定规范》以及线路专业有关技术规范的要求,并结合输电线路专业的实际运行维护情况,组织编写《超高压输变电操作技能必读教材》(第四册 输电线路),以提高专业人员的基础理论水平与岗位技能、职业技能的实际应用能力。

全书共分十四章,第一章输电线路基本部件与材料,重点介绍线路的各类器材与性能指标;第二章施工维修用工器具,介绍线路施工及运行维修中常用的各种工器具;第三章导线的机械计算,介绍线路导、地线在运行、施工时的计算方法;第四章线路测量,介绍测量仪器的使用方法与施工测量;第五章杆塔基础,着重介绍上海地区输电线路采用的各种杆塔基础;第六章钢管杆,介绍近年来推广应用的钢管杆特点与加工工艺;第七章铁塔组立,介绍常见的铁塔组立方法;第八章导地线的展放与附件安装,增加 OPGW 的展放与附件安装;第九章接地装置,介绍杆塔的防雷接地装置要求;第十章线路检修,主要介绍运行线路的检修规定与检修要求;第十一章运行维护,介绍线路的运行技术管理,着重叙述了防污闪,防振等技术工作;第十二章带电作业工器具与材料,主要介绍上海地区线路带电作业常用的各类工器具、绝缘材料;第十三章带电作业安全技术,介绍带电作业相关的技术条件与要求;第十四章带电作业项目,主要介绍上海地区 220~500kV 线路经常开展的带电作业项目。

本书第一、二、三、六、十二、十三、十四章由刘新平、谢小松编写,第四、五、七、八章由杨庆华、高国平编写,第九、十一章由史理水、袁奇编写,第十章由叶坚平编写,全书由谢小松整理统稿,侯晓明审核。在本书的编写过程中,参考了有关资料、文献,参考书目已列于全书后面,在此对资料和文献的作者表示谢意。

由于编者的水平有限,在本书编写过程中,难免会出现一些不当和谬误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2005 年 9 月

目 录



序
前言

第一章 输电线路基本部件与材料	1
第一节 概述	1
一、输电线路任务 (1) 二、输电线路分类 (1) 三、输电线路组成部分 (2)	
第二节 钢	3
一、钢分类 (3) 二、钢机械性能 (4) 三、钢化学成分对其性能的影响 (5) 四、规定和要求 (5)	
第三节 水泥	6
一、水泥品种 (6) 二、水泥标号 (7) 三、水泥凝结硬化过程 (7) 四、水泥技术特性 (8) 五、水泥储存 (8)	
第四节 导线和地线	9
一、架空线材料、种类和用途 (9) 二、地线种类 (11) 三、导线及地线质量要求 (12)	
第五节 绝缘子	12
一、常用绝缘子 (12) 二、绝缘子性能要求 (19) 三、绝缘子技术质量要求 (20) 四、绝缘子验收和试验 (20)	
第六节 金具	20
一、常用金具 (20) 二、金具产品技术要求 (23) 三、金具产品质量要求 (23) 四、金具产品验收 (24)	
第七节 杆塔	24
思考题	26
第二章 施工维修用工器具	27
第一节 起重抱杆	27
一、抱杆分类 (27) 二、抱杆结构参数选择 (28) 三、抱杆设计和核算 (29)	
第二节 起重滑车	30
一、滑车分类 (30) 二、牵引绳从定滑车或动滑车绕出的受力计算 (31) 三、起重滑车规格和选用 (32) 四、起重滑车使用须知 (33)	
第三节 钢丝绳	34
一、钢丝绳类型及用途 (34) 二、钢丝绳应用和选型 (35) 三、钢丝绳使用须知 (39)	
第四节 绳类	40
一、棕绳类型 (40) 二、起重白棕绳选用 (40) 三、棕绳使用 (41)	
第五节 U 型环	42

一、U型环类型及用途(42) 二、U型环强度验算(42) 三、各种U型环规格(43) 四、U型环使用须知(44)

第六节 牵张机械 45

一、张力机及线轴架(45) 二、牵引机及钢绳卷车(47)

第七节 双钩紧线器 49

一、双钩紧线器构造(49) 二、常用双钩紧线器主要技术参数(49) 三、双钩紧线器使用须知(50)

第八节 手拉链条葫芦 50

一、手拉链条葫芦特性及用途(50) 二、手拉链条葫芦使用须知(51)

第九节 临时地锚 52

一、临时地锚类型(52) 二、临时地锚使用须知(53) 三、校验地锚抗拔力(55)

第十节 导线及地线施工常用器具 56

一、放线滑车和紧线滑车(56) 二、导线放线架(59) 三、导线、地线卡线器(59) 四、导线、地线挂线器(60) 五、飞车(61)

思考题 61

第三章 输电线路机械计算 62

第一节 架空线机械物理特性 62

一、钢芯铝绞线弹性系数(62) 二、钢芯铝绞线温度膨胀系数(62) 三、钢芯铝绞线瞬时破坏应力(63) 四、钢芯铝绞线抗弯刚度(63)

第二节 架空线比载计算 63

一、垂直比载(64) 二、水平比载(64) 三、综合比载(65)

第三节 均布荷载下架空线计算 65

一、架空线悬链线方程积分普遍形式(65) 二、等高悬点架空线弧垂、线长和应力(66) 三、不等高悬点架空线弧垂、线长和应力(68) 四、架空线弧垂、线长和应力计算公式简化(72) 五、架空线平均高度与平均应力(77)

第四节 气象条件变化时架空线计算 79

一、架空线状态方程式(79) 二、临界档距(81) 三、最大弧垂判定(83) 四、架空线应力弧垂曲线和安装曲线(84)

第五节 对均布荷载下架空线计算的进一步研究 85

一、架空线初伸长及其处理(85) 二、架空线施工中的过牵引(86) 三、架空线设计施工中常用的几种档距(87)

第六节 非均布荷载下架空线计算 91

一、架空线悬挂曲线方程一般形式(91) 二、非均布荷载下架空线应力和线长(92) 三、孤立档架空线应力和线长(93) 四、孤立档架空线状态方程式(98) 五、孤立档控制条件(101) 六、非均布垂直载荷和水平载荷共同作用下架空线计算(102)

思考题 103

第四章 线路测量 104

第一节 经纬仪介绍及使用 104

一、DJ₆型光学经纬仪的构造(104) 二、DJ₆型光学经纬仪读数方法(105) 三、仪器对中、整平及使用

注意事项 (106)	
第二节 经纬仪基本测量方法	109
一、水平角观测 (109) 二、竖直角观测 (110) 三、角度测量产生误差原因 (112) 四、视距和高差测量 (112)	
第三节 输电线路设计测量	114
一、输电线路设计测量概述 (114) 二、输电线路初勘测量 (114) 三、输电线路选线测量 (116) 四、输电线路定线测量 (117) 五、输电线路平断面测量 (118) 六、输电线路交叉跨越测量 (121) 七、输电线路杆塔定位测量 (121)	
第四节 输电线路施工测量	126
一、输电线路施工测量概述 (126) 二、输电线路复测 (126) 三、输电线路施工基面测量 (127) 四、输电线路杆塔基础分坑测量 (128) 五、输电线路弧垂测量 (133)	
思考题	137
第五章 杆塔基础	138
第一节 混凝土知识	138
一、概述 (138) 二、混凝土有关知识 (138)	
第二节 现浇混凝土基础施工	142
一、线路复测 (142) 二、分坑放样 (145) 三、基础开挖 (149) 四、混凝土配合比设计 (150) 五、钢筋配制绑扎 (153) 六、模板安装 (155) 七、混凝土浇筑 (156) 八、混凝土养护 (158) 九、拆模 (158)	
第三节 混凝土冬季施工	159
一、概述 (159) 二、施工工艺 (159)	
第四节 钻孔灌注桩基础施工	161
一、成孔 (161) 二、钻孔灌注桩施工 (161) 三、水下灌注混凝土 (162) 四、常见问题及处理方法 (164)	
第五节 钢管桩施工	165
一、概述 (165) 二、施工工艺 (165)	
第六节 基础验收	167
一、一般规定 (167) 二、现场浇筑基础 (167) 三、浇筑铁塔基础 (167) 四、整基铁塔基础 (168)	
第七节 混凝土基础施工中的问题及处理	168
一、缺陷分类及产生原因 (168) 二、缺陷处理方法 (169)	
思考题	169
第六章 钢管杆	170
第一节 加工工艺要求与检测	170
一、加工要求 (170) 二、试组装 (170) 三、检验 (171) 四、包装与运输 (171)	
第二节 插接式、法兰连接式施工要求	171
一、组立钢管杆施工步骤 (171) 二、组立钢管杆施工现场及质量安全注意事项 (172)	
第三节 验收	173
思考题	174

第一节 铁塔对料	175
第二节 外拉线抱杆组立铁塔施工	175
一、外拉线分解组塔工艺概述 (176) 二、外拉线抱杆分解组塔施工准备 (179) 三、外拉线抱杆组立铁塔施工顺序及操作方法 (182)	
第三节 内拉线抱杆组立铁塔施工	185
一、概述 (185) 二、内拉线抱杆分解组塔特点 (186) 三、内拉线抱杆分解组塔施工现场布置 (186) 四、内拉线抱杆分解组塔施工方法 (192)	
第四节 铁塔验收	194
思考题	196

第八章 导地线展放与附件安装

197

第一节 放线准备	197
一、搭设跨越架 (197) 二、布线 (199) 三、直线杆塔绝缘子串安装 (200) 四、绝缘子串和放线滑车的悬挂 (200)	
第二节 导地线展放	201
一、概述 (201) 二、放线一般要求 (202) 三、人力放线注意事项 (202) 四、机械牵引放线注意事项 (203) 五、小张力机放线 (203)	
第三节 连接要求	204
一、一般规定要求 (204) 二、液压连接 (205)	
第四节 紧线准备	206
一、杆塔与展放导线的检查处理 (206) 二、杆塔补强 (206) 三、现场布置及其要求 (207)	
第五节 紧线	208
一、普通紧线施工 (208) 二、张力架线紧线施工 (211) 三、其他紧线方法简介 (220)	
第六节 附件安装	222
一、直线塔附件 (223) 二、间隔棒安装 (223) 三、阻尼线安装 (223) 四、跳线安装 (224)	
第七节 弧垂调整计算	224
第八节 导线验收	226
思考题	227

第九章 接地装置

228

第一节 电力线路防雷与接地	228
一、雷击过电压产生过程及机理 (228) 二、线路遭受雷击形式 (229) 三、雷击危害 (229) 四、雷电参数 (230) 五、架空输电线路防雷保护 (230)	
第二节 接地设计	232
第三节 接地装置施工	233
第四节 土壤电阻率与接地电阻的测量	233
一、接地电阻测量接线 (234) 二、接地电阻测量要求 (234) 三、土壤电阻率测量 (234)	

思考题	235
第十章 线路检修	236
第一节 检修项目及周期	236
一、输电线路检修与抢修概念 (236) 二、架空输电线路检修分类 (236) 三、超高压输电线路常规检修、维护标准项目及周期 (237)	
第二节 检修安全技术	238
一、断开电源和验电 (238) 二、挂接地线 (238) 三、登杆检修注意事项 (238)	
第三节 导线与地线检修	239
一、导线、地线损伤处理标准 (239) 二、导线、地线连接方法 (240) 三、导线补修和局部换线 (241)	
思考题	242
第十一章 线路运行维护	243
第一节 线路运行标准及巡视要求	243
一、杆塔 (243) 二、导线及地线 (243) 三、绝缘子 (244) 四、连接金具 (245) 五、接地装置 (245) 六、线路沿线环境 (245)	
第二节 绝缘子污闪故障及预防	245
一、绝缘子污闪过程 (246) 二、绝缘子污闪事故特点及危害 (247) 三、防止污闪事故措施 (247)	
第三节 输电线路防振要求	250
一、导线振动类型及危害 (250) 二、防止导线振动和舞动措施 (252)	
第四节 缺陷分类与缺陷管理	254
一、设备缺陷管理目的 (254) 二、缺陷管理 (254) 三、设备缺陷等级划分原则 (255) 四、设备缺陷处理程序 (255)	
第五节 输电线路技术管理	256
一、概述 (256) 二、输电线路技术管理内容 (256)	
思考题	258
第十二章 带电作业工器具与材料	259
第一节 常用绝缘材料性能和分类	259
一、概述 (259) 二、绝缘材料特点和性能 (259)	
第二节 带电作业用绝缘材料	260
一、硬质绝缘材料 (260) 二、软质绝缘工具 (262) 三、绝缘遮蔽系列 (264)	
第三节 常用金属材料	264
一、金属材料性能 (265) 二、黑色金属及其合金 (266) 三、有色金属及其合金 (267)	
第四节 工器具加工材料选择	269
一、绝缘材料选择 (269) 二、金属材料选择 (269)	
第五节 工器具设计与加工原则	269
一、安全可靠 (269) 二、结构合理 (270) 三、向系列化和标准化发展 (270) 四、制作工艺 (270) 五、金属材料热处理 (270)	

第六节 常用工器具	271
一、屏蔽服 (271) 二、绝缘杆 (274) 三、绝缘梯架 (275) 四、卡具 (277) 五、承力工具 (278)	
第七节 带电作业工器具使用保管和试验	279
一、带电作业工具机械试验 (279) 二、带电作业绝缘工具电气试验 (279) 三、带电作业绝缘工具使用前检查 (280)	
思考题	280

第十三章 带电作业安全技术 281

第一节 带电作业气象条件	281
第二节 带电作业安全距离规定	281
一、人身与带电体安全距离 (281) 二、绝缘工具最短有效绝缘长度 (282) 三、等电位作业人员对邻相导线最小距离 (282) 四、组合间隙 (282) 五、带电更换绝缘子或在绝缘子上作业时必须具备的良好绝缘子片数 (283)	
第三节 静电感应防护	283
一、带电作业中静电感应 (283) 二、静电感应对作业人员影响 (283) 三、静电感应防护措施 (283) 四、应注意的问题 (284)	
第四节 带电作业用工具安全技术	284
一、绝缘工具最短有效绝缘长度 (284) 二、绝缘绳机电性能 (285)	
第五节 带电作业用工具使用要求	285
一、检测零值绝缘子安全要求 (285) 二、使用绝缘梯安全要求 (286) 三、使用绝缘操作杆安全要求 (286) 四、使用绝缘高架斗壁车安全要求 (287) 五、穿着屏蔽服安全要求 (287)	
思考题	288

第十四章 上海地区 220 ~ 500kV 线路常见带电作业项目介绍 289

第一节 带电检测	289
一、适用范围 (289) 二、人员组织及作业手资格 (289) 三、工器具配置 (289) 四、作业程序 (289)	
第二节 带电更换直线绝缘子串	290
一、适用范围 (290) 二、人员组织及作业手资格 (291) 三、工器具配置 (291) 四、作业程序 (291)	
第三节 带电更换耐张绝缘子串	293
一、适用范围 (293) 二、人员组织及作业手资格 (293) 三、工器具配置 (293) 四、作业程序 (294)	
第四节 带电更换防振锤	296
一、适用范围 (296) 二、人员组织及作业手资格 (296) 三、工器具配置 (296) 四、作业程序 (297)	
第五节 带电拆塔引线	298
一、适用范围 (298) 二、人员组织及作业手资格 (298) 三、工器具配置 (298) 四、作业程序 (299)	
第六节 带电修补导线	300
一、适用范围 (300) 二、人员组织及作业手资格 (300) 三、工器具配置 (300) 四、作业程序 (301)	
思考题	302
参考文献	303

第一章

输电线路基本部件与材料

第一节 概 述

一、输电线路任务

地球上的煤、石油和江河等动力资源的分布是由自然决定的,通常远离电力负荷中心。火力发电厂可以建在能源基地,也可以建在负荷中心附近,这取决于远距离输电经济还是运送燃料经济。一座 300 万 kW 的燃煤发电厂,其年耗原煤 1500~2000 万 t,若将其建在负荷中心附近,所耗原煤的年运输量将超过一条铁路专用线的年运输量,此外,负荷中心往往是人口密集区,这么多原煤燃烧会产生严重的环境污染。因此从技术、经济 and 环境污染等方面比较,现代化的大型火力发电厂均应建在能源基地,水力发电厂则只能建在水力资源处。因此,这些电厂发出的电能需要通过输电线路向负荷中心输送。

发电厂、输电线路、升降压变电所以及配电设备和用电设备构成电力系统。为了减少系统备用容量,错开高峰负荷,实现跨区域跨流域调节,增强系统的稳定性,提高抗冲击负荷的能力,在电力系统之间采用高压输电线路进行联络(联网)。电力系统联网,既提高了系统安全性、可靠性和稳定性,又可实现经济调度,使各种能源得到充分利用。起系统联络作用的输电线路可进行电能的双向传输,实现系统间的电能交换和调节。

因此,输电线路的任务就是输送电能,并联络各发电厂、变电所,使之并列运行,实现电力系统联网。高压输电线路是电力工业的大动脉,是电力系统的重要组成部分。

二、输电线路分类

输送电能的线路统称为电力线路。电力线路有输(送)电线路和配电线路之分。由发电厂向电力负荷中心输送电能的线路以及电力系统之间的联络线路称为输(送)电线路,由电力负荷中心向各个电力用户分配电能的线路称为配电线路。

电力线路按电压等级分为低压、高压、超高压和特高压线路。电压等级在 1kV 以下的是低压线路,1kV 及以上的是高压线路,330kV 及以上的是超高压线路,750(±800)kV 及以上的是特高压线路。一般地,输送电能容量越大,线路采用的电压等级就越高。相邻的电压等级通常相差 2~3 倍。目前我国配电线路的电压等级有 10、35、110kV;输电线路的电压等级有 35、(60)、110、(154)、220、330、500、750、1000kV,其中 60 和 154kV 新建线路不再使用。采用超高压输电,可有效地减少线路电能损耗,降低线路单位造价,少占耕地,使线路走廊得到充分利用。目前国外输电线路的电压等级已达到 1150kV。

输电线路按结构特点分为架空线路和电缆线路。架空线路由于结构简单,施工简便,建设费用低,施工周期短,检修维护方便,技术要求较低等优点,得到广泛的使用。电缆线路受外界环境因素影响小,但需用特殊加工的电力电缆,费用高,施工及运行检修的技术要求高,目前仅用

于城市居民稠密区和跨海输电等特殊情况。

输电线路按电流的性质分为交流和直流线路。最常见的是三相交流线路。与交流线路相比,在输送相同功率的情况下,直流线路需要的投资较少,主要材料消耗低,线路的走廊宽度较小;作为两个电网的联络线,改变传送方向迅速方便,可以实现相同频率甚至不同频率交流系统之间的不同步联系,能降低主干线及电网间的短路电流。随着换流技术的不断完善和换流站造价的降低,超高压直流输电有着广泛的应用前景。1987年9月我国建成了第一条 $\pm 500\text{kV}$ 超高压直流输电工程,该葛(葛洲坝)上(上海)线全长1051km,每极采用 $4 \times \text{LGJQ}-300$ 导线,输送容量120万kW。

架空输电线路按杆塔上的回路数目分为单回路、双回路和多回路线路。除地线外,单回路杆塔上仅有一回三相导线,双回路杆塔上有两回三相导线,多回路杆塔上有三回及以上的三相导线。

三、输电线路组成部分

架空输电线路主要由导线、地线、绝缘子(串)、线路金具、杆塔和拉线、基础以及接地装置等部分组成。

1. 导线

导线用以传导电流、输送电能,它通过绝缘子串长期悬挂在杆塔上。导线常年在大气中运行,长期受风、冰、雪和温度变化等气象条件的影响,承受着变化拉力的作用,同时还受到空气中污物的侵蚀。因此,除应具有良好的导电性能外,还必须有足够的机械强度和防腐性能,并要质轻价廉。

2. 地线

地线又称架空地线,悬挂于导线之上,主要作用是防止雷电直击导线,同时在雷击杆塔时起分流作用,对导线起耦合和屏蔽作用,降低导线上的感应过电压。

3. 绝缘子

绝缘子用来支持或悬挂导线和地线,保证导线与杆塔间不发生闪络,保证地线与杆塔间的绝缘。绝缘子长期暴露在自然环境中,经受风雨冰霜及气温突变等恶劣气候的考验,有时还受到有害气体的污染,因此,绝缘子必须具有足够的电气绝缘强度和机械强度,并应定期检修。

4. 线路金具

金具是输电线路所用金属部件的总称。金具种类繁多,常用的有线夹、接续金具、连接金具、保护金具以及拉线金具等。

在设计线路时,应尽量选择标准金具,保证具有足够的机械强度。与导线相连的金具,还必须具有良好的电气性能。

5. 杆塔和拉线

杆塔用来支持导线、地线和其他附件,使相导线以及地线之间彼此保持一定的安全距离,并保证导线对地面、交叉跨越物或其他建筑物等具有允许的安全距离。

拉线用来平衡杆塔的横向荷载和导线张力,减少杆塔根部的弯矩。使用拉线可减少杆塔材料的消耗量,降低线路的造价。

6. 杆塔基础

杆塔基础的作用是支承杆塔,传递杆塔所受荷载至大地。杆塔基础的形式很多,应根据所用杆塔的形式、沿线地形、工程地质、水文和施工运输等条件综合考虑确定。

7. 接地装置

接地装置的作用是导泄雷电流入地，保证线路具有一定的耐雷水平。根据土壤电阻率的大小、接地装置可采用杆塔自然接地或人工设置接地体。接地装置的设计应符合电气方面的有关规定。

第二节 钢

钢在国民经济建设中的地位十分重要，是一切工业发展的物质基础，在架空送电线路工程上钢用量是很大的。

一、钢分类

钢分为普通钢和优质钢两大部分，普通钢包括普通碳素结构钢和普通低合金结构钢两种。

1. 普通碳素结构钢

普通碳素结构钢适用于热轧普通碳素结构钢及钢板，以平炉、氧气转炉和空气转炉冶炼，按脱氧程度分为镇静钢、半镇静和沸腾钢。在送电线路工程上多用此类钢。

根据国家标准，普通碳素结构钢按保证条件分为以下三类。

(1) 甲类钢，保证按机械性能供应。它的基本保证条件是：抗拉强度和伸长率应符合表 1-1 的规定；硫、磷含量和铜的残余量应符合表 1-2 的规定。

表 1-1 普通碳素结构钢（甲类、特类）的机械性能

钢号	抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服点 σ_s (MPa)	伸长率（不小于，%）		180°冷弯试验
			标准长试件 σ_{10}	标准短试件 σ_5	
0	≥ 32	1	18	22	$d = 2a$
1	32 ~ 40	1	28	33	$d = 0$
2	34 ~ 42	22	26	31	$d = 0$
3	38 ~ 40	24	23	27	$d = 0.5a$
3	41 ~ 43	24	22	26	$d = 0.5a$
3	44 ~ 47	24	21	25	$d = 0.5a$
16Mn	≥ 52	≥ 33	≥ 21	≥ 21	$d = 0.5a$
25MnSi	60	40	≥ 24	24	—

表 1-2 普通碳素结构钢（乙类、特类）的化学成分 %

钢 类	碳 (C)	硅 (Si)	锰 (Mn)	磷 (P)	硫 (S)
				不大于	
B ₃	0.14 ~ 0.22	0.12 ~ 0.30	0.40 ~ 0.65	0.045	0.055
B ₃ F	0.14 ~ 0.22	≤ 0.07	0.30 ~ 0.60	0.045	0.055
BJ ₃	0.10 ~ 0.20	0.10 ~ 0.30	0.30 ~ 0.60	0.045	0.055
BJ ₃ F	0.10 ~ 0.20	≤ 0.07	0.30 ~ 0.60	0.045	0.055
BS ₃	≤ 0.14	0.12 ~ 0.35	0.25 ~ 0.55	0.085	0.065
BS ₃ F	≤ 0.14	0.12 ~ 0.35	0.25 ~ 0.55	0.085	0.065
16Mn	0.12 ~ 0.20	0.40 ~ 0.60	1.30 ~ 1.60	0.045	0.050
25MnSi	0.20 ~ 0.29	0.60 ~ 0.90	1.20 ~ 1.60	0.045	0.050

(2) 乙类钢，保证按化学成分供应。它的基本保证条件、钢的化学成分符合表 1-2 的规定。

(3) 特类钢, 保证机械性能和化学成分供应, 它的基本保证条件是钢的化学成分应符合表 1-2 的规定, 在保证各项性能的条件下, 碳、锰、硅含量的下限可以不限; 抗拉强度、屈服点、伸长率、冷弯试验应符合表 1-1 的规定。

普通结构钢的涂色标志: 1 号钢为蓝色, 2 号钢为黄色, 3 号钢为红色, 4 号钢为黑色, 5 号钢为绿色, 6 号钢为白色, 7 号钢为红色 + 棕色, 特类钢在 7 号钢涂色标志的基础上再加涂明白色一条。

送线路工程使用的钢材一般采用 A3 号钢 (或 A3F 钢) 及 16Mn 钢制作, 其质量标准应符合国家标准《普通热轧碳素钢钢号和一般技术条件》(GB700—1988) 的规定。

2. 普通低合金结构钢

普通低合金结构钢是在普通碳素结构钢的基础上, 从我国资源的实际情况出发, 加入我国富有的合金元素, 使这类钢与普通碳素结构钢相比, 强度较高, 综合性能较好, 具有耐磨, 耐蚀或中、低温下有较好的机械性能及工艺性能。如 16Mn 钢就比普通碳素结构钢 A3 号钢的屈服强度高约 30%, 即 1t16Mn 钢约可顶 1.3tA3 号钢用, 因此, 在使用上比较经济, 使用寿命和使用范围也超过普通碳素结构钢。

普通低合金结构钢也轧制成板材和型材, 用于比较重要的结构, 它的化学成分和机械性能按国家标准《低合金高强度钢》(GB 1591—1994) 的规定。

根据国家标准规定, 普通低合金钢的硫、磷含量要比优质钢高, 硫控制在 0.050% 以内, 磷控制在 0.045% 以内, 所以普通低合金钢仍然属于普通钢的范围, 适合大量生产和推广使用。

二、钢机械性能

钢的机械性能, 主要从强度、塑性、韧性、硬度和疲劳等方面来衡量。

1. 强度

强度是指钢材在外力作用下抵抗变形和断裂的能力, 即单位面积上所受的应力, 常以 σ 表示单位极限和比例极限等。

(1) 抗拉强度 (又叫极限强度) σ_b 。是指金属材料在拉断前所承受的最大应力, 如 A3 号钢的屈服极限不小于 373MPa。

(2) 屈服强度 (又叫屈服点) σ_s 。金属材料在拉伸过程中, 当负荷不再增加或开始有所降低时, 仍继续发生明显的塑性变形, 这种现象称为塑性; 开始出现塑性变形的应力称为屈服强度, 如 A3 号钢的屈服极限不小于 235MPa。

(3) 弹性极限 σ_e 。是指金属材料能保持弹性变形的最大应力。

(4) 比例极限 σ_p 。对金属材料施加拉力, 金属存在着力与变形成直线比例的阶段。

2. 塑性

钢材在受力破坏前可以经受永久变形的性能, 称为塑性。塑性的指标通常用伸长率和断面收缩率来表示。伸长率和断面收缩率越大, 则塑性越好, 反之则差。

(1) 伸长率又称延伸率 δ 。是指试样在拉断后, 其标距部分所增加的长度与原标距长度的百分比。

(2) 断面收缩率 Ψ 。是指试样拉断后, 其断裂外横截面积的缩减量与原横截面积的百分比。

(3) 韧性。是指金属材料为抵抗冲击力的作用而不被破坏的能力, 通常用冲击韧度 α_k 来度量, 低碳钢的冲击韧性值为 $6\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ 。

3. 硬度

金属材料抵抗硬的物体压陷表面的能力, 称为硬度。根据试验方法和适用范围的不同, 可分

为布氏硬度、洛氏硬度和肖氏硬度等几种。肖氏硬度 HS 测定较准确可靠，但只适用于 $HS \leq 100$ 范围内的金属材料，对于较硬的钢不适用。

4. 冷弯

冷弯是测定钢材加工时承受变形的能力，通常要求弯成 180° 试样不出现裂纹，即可认为合格。

5. 疲劳

金属材料在受重复或交变力时，虽然其所受的应力远小于其抗拉强度，甚至小于弹性极限，但经多次反复后，在无显著外观变形的情况下而会发生断裂，这种现象称为疲劳。

三、钢化学成分对其性能的影响

碳素钢由于在冶炼时所用的原材料以及冶炼方法和工艺操作等影响，钢中难免有少量的其他元素存在，如碳、锰、钛、磷、硫等。这些元素的存在，虽有时也起到一些有益的作用，但其中大多数会产生不利的影响。下面分别介绍它们对钢性能的影响。

1. 碳

碳在炼钢中是一种良好的脱氧剂，在高温时与氧起化合作用。碳素钢的强度和它的性能，主要是按含碳量的高低来区分。

(1) 低碳钢在钢材中含碳少 ($C \leq 0.25\%$)，韧性、塑性及可焊性好，但强度较低。

(2) 中碳钢在钢材中含碳较高 ($C = 0.30\% \sim 60\%$)，但韧性、塑性及可焊性较差，而强度则比低碳钢高。

(3) 高碳钢在钢材中含碳量高 ($C > 0.60\%$)，韧性、塑性及可焊性差，但强度高。

因此，在送线路工程中多采用低碳钢。

2. 硅

硅在炼钢中常作为还原剂和脱氧剂，一般钢中含有 $0.2\% \sim 0.3\%$ 的硅。如钢中含硅量超过 0.4% 时，即算作硅合金钢。硅能显著提高钢的弹性极限、屈服强度和抗拉强度，故广泛用于制造弹簧及低合金高强度钢。

3. 锰

锰有良好的脱氧和去硫作用，一般钢中含有 $0.3\% \sim 0.5\%$ 的锰。锰能消除或减弱钢因过热所引起的热脆性，改善钢的热加工性能，在碳素钢上加入 $0.7\% \sim 1.8\%$ 及以上的锰时，就叫锰钢。锰钢的机械性能要比碳素钢好得多，有较高的强度和硬度，能提高钢的淬透性，故锰是普通低合金钢的重要元素。

4. 磷

磷在钢中有抗大气腐蚀能力，能提高钢的抗拉强度，改善钢的切削加工性，但是磷可以增加钢的脆性，尤其是低温的脆性，磷也是造成钢比较严重偏析的有害元素，磷易使钢在焊接过程中产生裂纹，所以在钢中要控制磷的含量。

5. 硫

硫在钢中一般被认为是残存在钢中的有害元素，它生成低熔点的硫化铁，引起钢的热脆性。硫化物降低钢的延伸性及韧性，损害钢的抗蚀性。在焊接时，硫易使焊缝产生热裂纹及疏松和气体，所以在钢中要控制硫的含量。

四、规定和要求

(1) 工程使用的钢材，如无出厂证明时，必须进行下列检验：