

输 电 线 路 施 工

苏州电力技工学校 王清葵 主编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是全国电力技校统一编写教材，共分三篇十二章。第一篇输电线路，主要阐述测量、基础、架线、接地装置、500kV线路、大跨越等施工全过程和施工质量的检查与验收。第二篇配电线路，主要阐述架空、电缆配电线路和配电变压器台、开关台的施工技术。第三篇室内线路，主要阐述室内低压线路和异步电动机及其起动设备的选择安装。

全书采用现行的设计规程、验收规范、工艺标准和新图例，可操作性强。本书既有教材全面、系统、侧重实际的特点，又反映了我国近期500kV线路和大跨越施工中的新材料、新工艺、新技术。

本书可作电力技校输配电线路运行和检修专业、输电线路施工专业教材，可作线路工人初、中级自学和培训教材，也可供线路高级工培训及线路技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

输电线路施工/王清葵主编. -北京: 中国电力出版社, 1997

电力技工学校教材
ISBN 7-80125-255-1

I. 输... I. 王... II. 输配电线路-工程施工-技工学校-教材 IV. TM752

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 18196 号

中国电力出版社出版

(北京三里河路6号 邮政编码100044)

北京市地矿局印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1997年5月第一版 1997年5月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 29.75印张 680千字

印数0001—4070册 定价27.20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)

前 言

本书为全国电力技校第三轮统一编写教材，根据电力建设技校“输电线路施工”专业、电力技校“输配电线路运行和检修”专业，并结合试办四年制电力工业学校的要求而编写。

输电线路施工共分三篇十二章，主要阐述输电线路、配电线路和室内线路的施工技术。全书采用现行的设计规程、验收规范、工艺标准和新图例，可操作性强。本书既有技工教材全面、系统、侧重实际的特点，又反映了我国 500kV 线路和大跨越施工中采用的新材料、新工艺、新技术。

本书在 1989 年立项，原拟和录像教材同时出版，所以调查研究较为深入。编者和拍摄人员曾二次深入天生桥到广州的 500kV 天广线多个施工段工地，还较长时间在安徽繁昌到无锡斗山的 500kV 繁斗线施工工地调查学习并拍摄录像。也曾实地考察了长江、珠江、西江、黄浦江上多个大跨越工程，葛洲坝到上海的±500kV 葛上线和换流站，上海 220kV 地下变电所，全电缆线路的佛山工业开发区。走访请教了超高压公司，北京、江苏、华东、甘肃、广东、广西、福建、陕西等送变电公司及电力建设研究所的许多总工、副总，在工地上和技术人员、工人交换对施工中关键工艺的看法，翻阅了“电力技术”和“电力建设”从创刊以来全部有关线路施工经验文章。到出版前又历经验收规范更新、混凝土配制实行新标准，试办四年制新型电力工业学校而修订教学大纲，故长期酝酿，反复修改，几易其稿，才编成这本教材。

本书由苏州电力工业学校王清葵主编，杨泉生、单中圻及长春电力工业学校巴永和参编，牡丹江电力工业学校尹实来主审。杨泉生编写了第四章，单中圻编写了第三章，巴永和编写了第九章（其中第三节为杨泉生编写）和第十章，王清葵编写了其余部分并全书统稿。

在编写出版中，得到中电联职教处原处长杨富生同志、原电力技校电教会主任罗慰擎同志多方面关怀、鼓励，得到许多送变电公司、供电局及电力技校许多同志的支持帮助，在此一并谨致谢意。

本书尚有许多不妥和错误之处，恳请读者指正。

编 者

1996 年 6 月

目 录

前 言

第一篇 输 电 线 路

第一章 绪论	1
第一节 电力建设发展概述	1
第二节 输电线路的分类、组成	6
第三节 架空输电线路施工的工艺流程	23
第二章 测量	26
第一节 测量仪器及工具	26
第二节 基本测量方法	35
第三节 施工测量	48
第三章 杆塔基础施工	60
第一节 基坑开挖	60
第二节 混凝土及其配制	65
第三节 现浇混凝土施工	77
第四节 装配式基础施工	85
第五节 桩式基础施工	89
第六节 岩石基础施工	96
第七节 石坑开挖和爆破的一般知识	99
第八节 基础操平找正	105
第四章 杆塔组立	113
第一节 常用起重工器具及选择	113
第二节 钢筋混凝土电杆起立前各项工作	137
第三节 铁塔的结构、识图、对料及地面组装	149
第四节 输电线路杆塔整体起立	163
第五节 整体起立各部受力计算和分析	178
第六节 杆塔分解组立	193
第五章 架线施工	215
第一节 导线和避雷线的展放	215
第二节 紧线施工	222
第三节 附件安装	230
第四节 导线和避雷线的连接方法	234
第五节 弧垂观测	250
第六章 接地装置施工	262
第一节 线路防雷与接地电阻	262

第二节	接地装置及施工	264
第三节	接地电阻测量	268
第七章	500kV 线路施工	272
第一节	500kV 线路的杆塔施工	272
第二节	张力架线技术——张力放线	286
第三节	张力架线技术——紧线、平衡挂线和附件安装	301
第四节	大跨越施工	313
第八章	施工质量的检查和验收	327
第一节	工程管理制度	327
第二节	施工验收	331

第二篇 配 电 线 路

第九章	架空、电缆配电线路施工	339
第一节	配电线路的组成和要求	339
第二节	架空配电线路施工的特点	355
第三节	电缆配电线路施工的特点	370
第十章	配电变压器台、开关台的施工	378
第一节	配电变压器台的组成和要求	378
第二节	配电变压器台的安装	383
第三节	开关台的组成、要求和安装	385

第三篇 室 内 线 路

第十一章	室内低压配电线路概述	389
第一节	室内低压配电线路的组成和要求	389
第二节	室内线路的导线和熔断器的型号及选择	398
第三节	绝缘导线的连接方法	407
第十二章	照明配电线路的安装	415
第一节	照明设备的安装	415
第二节	室内线路的安装	425
第十三章	动力配线及安装	445
第一节	异步电动机的选择	445
第二节	电动机的安装	451
第三节	异步电动机起动设备的选择和安装	455
第四节	动力配电箱(板)的安装	463

第一篇 输 电 线 路

第一章 绪 论

第一节 电力建设发展概述

一、输电线路在电力系统中的地位和作用

电力系统包括发电厂、电力网和用电设备。电力网包括变电所和各种不同电压等级的输电线路。

水力发电厂和抽水蓄能电站都建在沿江河的高山峡谷地带；火力发电厂则尽量建立在蕴煤区，以就地消化劣质煤，也可建在沿江、沿海的港湾等煤炭运输方便的地方；核电站不能建在人口稠密地区。现代化大型电厂距负荷中心很远，这就需要高压、超高压输电线路把电厂（站）和负荷中心连接起来。

多个孤立地区电力网用高压输电线连接成区域电力网；多个区域电力网还要连成跨省的大电网，全国各个大电网之间还应尽可能联系起来，这样可使供电更加经济、可靠。

随着工业的发展，国民经济实力的增强，大容量机组大量投产，西南、西北、中南地区水电资源的大量开发，输电线路越来越长，容量越来越大，所以输电电压越来越高。目前我国各大电网一般采用 330kV 或 500kV 超高压输电线路为主干线路电压等级，甚至还选用没有电抗、电容，只有电阻的直流输电方式，葛洲坝到上海的 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电线路已实现了华中电网和华东电网的非周期并列运行。

工业的发展、开发区的建设、高压线引入城市中心给环保带来影响等，都提出了城市电力网中较多采用电缆线路的要求，现在已开始采用以 110kV 电缆线路直接进入城区无人值班变电所或地下变电所，将 110kV 直接降压为 10kV（也有采用 20kV 等级），配电线路用 10kV 电缆环网供电到各配电变压器，各配电变压器出线用低压电缆送到各负荷中心。

总之超高压交、直流输电线路、高压输电线路、低压输电线路和各电压等级的电缆线路就像人体中血管输送血液一样将电能输送到用户。

二、腾飞的新中国电力建设

我国电力建设已有 113 年历史，早在 1882 年英商在上海创办了一个容量为 12kW 的电灯厂，这是中国的第一座发电厂，也是中国电力建设史的开始。但在旧中国的近 70 年中，电力发展极其缓慢，我国自己不能制造发电设备，依靠进口，加上连年战乱，民不聊生，电力建设可谓历尽沧桑、几度消亡，到 1949 年全国解放时，我国发电设备装机总容量只有 184.86 万 kW，不及现在一个电厂的容量；当年发电量仅有 43.1 亿 kWh。装机容量和发电量分别列世界第 21 位和 25 位。

新中国建立后，大力发展电力工业，特别是改革开放以来，电力建设迅猛发展，取得

了举世瞩目的巨大成就。全国装机容量增长 108 倍，发电量增长 215 倍，各个时期年平均装机容量如表 1-1 所列。从表中可看出我国电力建设发展迅猛，除了 3 年和“六五”调整时期外，各个时期的年平均装机容量都是上升的，“二五”比“一五”，“四五”比“三五”，“七五”比“六五”都翻了一番。改革开放后 16 年中装机容量总和比前 30 年的装机容量总和翻了一番还多。1987 年末，全国发电装机容量突破 1 亿 kW，成为世界上少数几个装机容量超过 1 亿 kW 的国家之一，位列第六，仅次于美国、苏联、日本、西德和加拿大。1989 年装机容量已达 1.266386 亿 kW，提前 1 年实现了 10 年翻一番的目标，并超过了西德和加拿大，位列世界第四。1987 年以来，连续 7 年每年装机容量都超过 1000 万 kW，1995 年末全国装机总容量将达到 2.1 亿 kW，年发电量可达到 1 万亿 kWh。

表 1-1 各个时期年平均装机容量(万 kW)

时 期	“一五”	“二五”	调 整	“三五”	“四五”	“五五”	“六五”	“七五”	“八五”
年均装机容量	53	108	68	174	393	449	424	942	1430

发电装机的腾飞发展，必然对输电线路建设提出了更高的要求。截止到 1994 年底全国已建成 500kV 线路 11172km，330kV 线路 4797km，220kV 线路 87399km，110kV 线路 139424km；66kV 线路 39805km，35kV 线路 244982km，电缆线路 4459km。

我国是能源生产的大国，多年来电力建设以世界罕见的速度持续发展，但人均用电水平又是很低的，长期以来电力短缺制约着国民经济的发展，成为影响人民生活水平提高的重要因素。因此，国家把发展电力工业放在突出位置。要解决全国的用电问题，必须从传统计划经济体制向社会主义市场经济转变，根据电力需求，增加对电力的投入，保持相当的电力工程建设规模。要解决全国的用电问题，还需要抓紧电力扶贫共富工程。尽管我国电力工业发展很快，但目前全国仍有 16 个无电县，还有 9000 万居住在老少边穷地区的人口没有用上电。这些，都给电力建设继续腾飞提出了更高的要求，也有了充分的市场。

电力建设在“九五”期间任务更加繁重，到 2000 年，我国发电装机总容量将达到 3 亿 kW，年发电量将达到 1.4 万亿 kWh，220kV 以上线路将达到 17.12 万 km，还要解决 7000 万无电农村人口的用电，要消灭无电县，达到农村电气化标准的县将达 1000 个。

电力建设的任务光荣而艰巨；满足社会发展的用电需求，电力工业任重道远。

三、电力建设队伍不断壮大，建设装备不断加强

40 多年来电力建设设计施工队伍从无到有，从小到大，从弱到强。我国第一支火电施工专业队伍——阜新工程队始建于 1949 年 5 月；第一支送变电施工专业队伍组建于 1952 年，承担东北的松东李线输变电工程。1955 年 7 月电力工业部成立，同时成立基本建设总局，并按行政区域划分，下辖沈阳、北京、上海、西安、武汉等基建局，领导全国 36 个火电和送变电工程处，并相继组建东北、华北、华东、西北、中南电力设计院。到目前，全国各省、市、自治区除新建的海南省外，都拥有 1~4 支火电施工专业队伍和一支以上送变电施工队伍。在改革开放以来，各市、县供电局也都成立输变电建设队伍。为电力建设发展提供了基本保证。随管理体制变革，地区基建局和电力建设总局相继撤消，各电建施工

单位和省电力设计院都归大区电业管理局和省、市、自治区电力局直接领导，大区电力设计院归电力规划设计总院领导。

40多年来，这支电力建设大军南征北战，转战全国，并开始迈向国外。建成大中小电厂千余个，从35~500kV交直流输电线路50多万km，大电网11个，其中东北、华北、华东、华中电网容量都已超过3000万kW，华东网已达4000万kW左右。不少施工企业已跨入东南亚地区，承包了巴基斯坦、孟加拉、印尼和菲律宾等国的电厂和输变电建设工程。广东省大力发展电力工业，仅1994年装机即达485万kW，全省装机容量已达1961万kW，大大超过了山东、江苏等省，跃居全国第一，从广东一个省可看到全国电力建设的飞速发展，队伍的不断壮大。

建设装备在建国初期施工机械很少，施工主要靠滑轮、抱杆、卷扬机、搅拌机简单机械和人力、畜力来完成。到1953年底，全国电力施工机械不到500台，总功率2.2万kW，动力装备率不到0.735kW/人。

到70年代，机组单机容量已发展到50万、60万和80万kW，输电线路电压已发展到交直流500kV和200m以上的高塔。安装工程采用3000~4000tm塔吊、250t履带吊、800t的液压提升装置、一次牵引4根导线的大型张力放线机。除了大型施工机械外，在建筑安装工程中，大量推广采用了电动、风动、液压传动中小机具，代替手工操作，减轻劳动强度，提高了劳动生产率。到1994年末统计，全国火电、送变电安装企业拥有施工机械80692台，装备价值43.9亿元，比1953年增长了365倍。总功率达186万kW，动力装备率6.2kW/人。在当前已进入安装大机组、建设大电厂，施工超高压和长距离输电线路的时代，施工企业的技术装备强弱，已成为能否多快好省地完成建设任务的决定性因素。1994年山东省电力施工企业人均技术装备率为20652元/人，占全国之冠，而完成的施工产值达15亿元，也是全国第一，山东省完成电力建设速度之快，工期之短，在全国也数一流，因此，机械化始终是电力建设的技术发展方向。

四、国外输电线路发展概况

世界上设计和建设超高压，特高压线路最早的是苏联、美国和加拿大三国。

早在30年代，美国就已建设了胡佛顿—洛杉矶的287kV线路，1952年瑞典建设了卡尔斯帕伦盖特—赫尔辛堡第一条380kV线路，而到1953年美国开始建设330~345kV架空线路。1956年苏联古比雪夫—莫斯科的两条400kV单回线路投入运行。1959~1961年苏联两条单回500kV线路——长度为1000km的伏尔加格勒到莫斯科线路投入运行。美国、加拿大和日本的第一条500kV线路于1964~1967期间先后投入运行。1966年加拿大735kV架空线路投入运行，1967年苏联第一条750kV工业性试验线路投入运行，而到1969年美国第一条765kV线路投入运行，长度为110km。苏联、美国还相继着手建造1150kV或1200kV输电线路。

西欧各国联网采用400kV电压等级，也在进行750kV建网工作。东欧国家（经互会成员国）电力系统组成“和平”电力系统并列运行，由位于布拉格的中心调度局执行总的调度，在1978年，为了加强现有苏联统一电力系统220kV和400kV电压网与其它国家（经互会成员国）间联系，建设了匈牙利—苏联间750kV线路和苏联—波兰和苏联—罗马尼亚

—保加利亚 750kV 线路，共同决定以 750kV 为这一系统的所有国家下一个电压等级。

采用 500kV 线路等级的国家还有日本、埃及、巴西和阿根廷等国。到 1979 年全世界超高压架空线路总长度为 30 万 km，见表 1-2 所列。

表 1-2 1979 年初世界各国超高压输电线路长度(km)

国名	线路长度	国名	线路长度	国名	线路长度	国名	线路长度
315~345kV 线路		巴西	3200	挪威	600	500kV 线路	
巴西	6200	匈牙利	900	葡萄牙	450	巴西	3100
加拿大	10000	民主德国	3400	苏联	550	埃及	1600
中国	540	希腊	900	土耳其	3400	加拿大	5000
苏联	22400	丹麦	550	芬兰	3000	苏联	23200
美国	50400	西班牙	5900	法国	8200	美国	24000
380~400kV 线路		意大利	4400	西德	7300	日本	2500
奥地利	600	印度	1500	瑞士	1100	750~800kV 线路	
英国	9300	墨西哥	3700	瑞典	8500	匈牙利	270
保加利亚	600	荷兰	900	南斯拉夫	2800	加拿大	6100
						苏联	1950
						美国	2500

现有直流输电最高额定电压为±750kV，最大输送能力 6000MW。虽然有些专家对建立直流电网的技术可能性有许多乐观的看法，但到目前为止仅建造只有两个终端变电所的直流输电工程。

值得指出的是在采用铁塔建设超高压架空输电线路的同时，苏联在世界上首先推广采用离心式钢筋混凝土电杆建设 330~500kV 架空输电线路，在 330kV 输电线路中已达 65%，在 400~500kV 架空线路中也有 6%。采用钢筋混凝土杆的比重不断增加，可以节约大量钢材。

研究证明，当输电电压从 420kV 向 765kV 和从 765kV 向 1050kV 过渡时，架空线路路径每米宽度的单位输送功率指标 (MW/m) 大致增加一倍，可以达到 100MW/m 左右，这说明升高输电线路电压等级对人口稠密的国家和地区是很有必要的。

五、我国输电线路施工技术发展概况

建国以来我国输电线路施工技术方面，在完成生产建设任务的同时，创造和积累了一套适合我国国情的施工工艺，培养造就了一支具有专业施工能力的技术队伍。

80 年代以来，线路基础、组塔、架线施工技术进展显著，大幅度地变革了施工面貌。较重要的技术进展表现在原状土基础施工工艺、液压提升装置在高塔吊装中的应用、张力架线工艺深入发展和直升飞机应用于施工四个方面。

(一) 基础施工

长期以来我国输电线路铁塔都采用大开挖、回填土的大块混凝土基础，混凝土杆都用预制的底盘、卡盘基础。挖填大量土方，耗费很多劳力，破坏了原状土强度。我国在 500kV 平武线上开始采用人工按基础外型掏挖成土胎，然后在土胎内置钢筋骨架浇灌混凝土的掏挖式基础，1985 年甘肃送变电公司研制了适用于黄土高原的人推钻扩机，东北电管局研制

的 YZK—100 型液压钻扩机开创了我国钻扩机研究的先河。

岩石基础也是原状土基础特殊形式，对风化岩石采用逐层松动爆破或延期雷管控制时差的多孔控制爆破技术都是成功的，轻型组合式凿岩机的试制成功为风化岩石锚杆基础的应用创造了很好的条件，这些都标志着我国对风化岩石嵌固基础施工有了突破性的发展。

大直径灌注桩施工质量的无损探伤检测已取得成功，广东电力设计院应用水电效应法取得清晰的数据，超声检测法和超声脉冲检测法对桩基探测亦均取得成功。

螺旋桩施工，可利用原状土压力，并不破坏地面环境，在城区电网改造有很大使用潜力，正在推广使用之中。

（二）杆塔施工

建国以来杆塔吊装工艺不断革新，50 年代开创了倒落式抱杆整体组立法和外拉线抱杆分解组塔法，60 年代推广了悬浮抱杆（内拉线抱杆）分解组塔法，70 年代又提出了倒装组高塔法，到 80 年代又诞生了液压提升装置，使杆塔吊装工艺推进到一个新水平。

液压提升装置代替了由大量钢丝绳和滑轮组成的提升系统、平衡系统和牵引系统，使倒装组高塔工艺更趋完善。液压提升装置还能应用在高塔上吊装整个塔头，一次就位成功。

甘肃送变电公司 80 年代初发明的内摇臂抱杆组塔法，四副摇臂，一侧摇臂起吊，另三侧摇臂平衡起外拉线作用，随塔身组装高度增高，倒提接长抱杆。这种吊装方法对塔型、地形的适应性好。在加装落地拉线后，吊装 150m 以下自立式高塔是极为适宜的。

江苏、山西送变电公司分别用无落地拉线旋转式悬臂抱杆法、内附着塔吊法，成功地吊装了高 179.75m、质量 537.57t 的镇江五峰山大跨越高塔，高 235.75m，质量 1056t 珠江狮子洋大跨越高塔，说明我国特高、特重塔的施工技术已经成熟。

（三）架线施工

张力架线施工技术已接近国外水平，并已形成一套具有我国特点的张力架线工艺，河南送变电公司在耐张塔平衡挂线方面开创挂铝合金工作台，高空临锚、高空挂线新工艺，使工效和质量大为提高。在 220kV 线路上开始使用张力架线技术，相应建立了完整工艺和相适应的轻型牵张设备。

在不停电、不停航架线方面也取得了很大进展。电力建设研究所研制的带电跨越架，可在不停电条件下搭设并实行张力放线，有巨大经济效益和社会效益。北京送变电公司应用 $\phi 6m$ 氢气球升力，在江中锚船上系留氢气球作为空中三个支点，使导引绳通过滑车悬挂于空中，以牵引船牵引过江，实现不停航放导引绳的任务，它简单易行、经济实用、安全可靠，符合国情。

（四）应用直升飞机、热气飞艇施工

1985~1987 年 3 年中在葛（洲坝）—上（海）线吉阳大跨越段、宜昌长江大跨越段、葛洲坝—常德—株洲线大山区段、宜昌换流站接地极引出段和沙江线河网段 5 个施工现场应用直升飞机直接放牵引绳、放导引绳、整体吊运、分段吊装、拉线杆吊装、吊运塔材和混凝土均得到成功。蜜蜂六号是装有 30.87kW 推进发动机的热气飞艇，它重量轻用一辆卡车可装完，采用尼龙线轴放在热气飞艇上展放 $\phi 6$ 尼龙绳，在山区深谷最困难地段展放尼龙绳近 6km 也得到成功。

这些尝试积累了经验，锻炼了直升飞机施工队伍，为今后特殊情况下完成施工任务提供了条件。

第二节 输电线路的分类、组成

一、输电线路的分类

输电线路按输电电压分类，可分为低压配电线路、高压配电线路、高压输电线路、超高压输电线路和特高压输电线路。

低压配电线路是指线对地电压在 1kV 以下的线路；1~10kV 输电线路称高压配电线路；35kV 线路以前归属高压输电线路，但随我国电力工业发展，35kV 线路工程一般都是城市与农村，或在本城市内的联络工程，已不再是电网之间的联络线路，在很多城市中已经成为城市配电网的一部分（有较大城市甚至 110kV 线路也成为城市供配电工程），所以 GBJ233—90 架空线路施工验收规范已不将它列入；110kV（包括 66kV）到 220kV 线路称为高压架空线路；一般将 330kV 和 500kV 线路称为超高压输电线路；而将 750kV 以上线路称为特高压输电线路。

输电线路的输电电压决定于输电容量和输电距离。电压越高，在一定输送容量下，输送距离可越远；在一定的输送距离下，可输送的容量就越大。但输电电压越高，线路及两端电气设备绝缘强度要求越高，从而使线路和设备的投资增大。因此应通过技术经济比较，确定输电电压与输电容量、距离的合理关系。各级输电电压的合理输电容量和距离如表 1-3 所列。

表 1-3 各级输电电压的合理输电容量和距离

送电电压 (kV)	送电容量 (万 kW)	送电距离 (km)	送电电压 (kV)	送电容量 (万 kW)	送电距离 (km)
10	0.02~0.2	20~6	220	12~25	300~200
35	0.2~1	50~20	330	30~60	500~250
110	3~7	150~100	500	80~120	1000~600

按线路架设方法可分为架空输电线路和电缆线路。

架空输电是将输电导线用绝缘子和金具架设在杆塔上，使导线对地面和建筑物保持一定距离。架空输电具有投资少、维护检修方便等优点，因而得到广泛应用。其缺点是易遭受风雪、雷击等自然灾害影响，因而发生事故的机会多。

电缆送电就是利用埋在地下或敷设在电缆沟中的电力电缆来输送电力。电缆是包有绝缘层和内外护层的导线。这种送电线路优点是占地少，不受外界干扰，因而比较安全可靠，不影响地面绿化和整洁。缺点是工程造价高，而且事故检查和处理比较困难。电缆线路主要用于一些城市配电线路，以及跨江过海的输电线路。

按输送电流的种类分，可分为交流输电和直流输电两种。

发电厂发出的交流电电压不可能很高，必须升压后再输送，而用户用电设备一般都是

低压的，所以输电线路必须经过数次降压才能使用，因此目前国内外广泛采用交流输电。直流输电是将交流电整流为直流电，输送到受电地区后再将直流电逆变为交流电的一种输电方式。直流输电只需要两根导线，且其中一根可利用大地，所以金属和绝缘材料消耗、功率损失均相应减少。它具有线路造价低，运行费用少，以及运行稳定性好等优点。但是直流输电线路两端的换流设备比较复杂，造价高，同时目前尚无适用的直流高压断路器，在直流线路上无法引出分支线，因此使用范围受到限制。目前直流输电主要运用于远距离，大功率的输电，海底电缆输电，以及不同频率的电力系统之间联络，我国1987年建成的从葛洲坝到上海±500kV直流输电线，全长1080km，输送功率120万kW。

二、架空输电线路的组成

架空输配电线路主要由基础、杆塔、导线、避雷线、绝缘子、金具及接地装置等部件组成，如图1-1所示。

导线的作用是传送电能。为保持导线对地面或其它建筑物的安全距离，必须将导线架设在支撑的杆塔上。杆塔和导线之间用绝缘子串连接，使导线与杆塔绝缘。杆塔要稳定耸立于地面之上，必须借助基础。为了避免直接雷击导线，在杆塔顶部设有避雷线（架空地线）以作保护，同时在杆塔处之地下设有接地装置，用接地引下线或杆塔本身将雷电流导入大地。

下面仅将架空送电线路主要部件作一般介绍，其它架空线结构特点，将在各章中介绍。

（一）杆塔

杆塔是钢筋混凝土电杆（或木杆）与铁塔的总称。木杆在送电线路已不采用。

1. 杆塔的分类

杆塔按其作用及受力分为承力杆塔和直线杆塔两种。

承力杆塔又可分为耐张杆塔、转角杆塔、终端杆塔、分歧杆塔及耐张换位杆塔5种。它们在正常情况下均承受具有各自特点的力的作用，在断线时都能承受断线拉力。

直线杆塔也有普通直线杆塔、换位直线杆塔和跨越直线杆塔等，它们都用于线路直线段上，支持导线垂直和水平荷载，有的直线杆塔也能兼小转角。

杆塔又可分为有拉线与无拉线两种类型。拉线可以承受较大风载荷及断线载荷，这样可以减轻杆塔的结构，节省原材料。

2. 钢筋混凝土电杆

钢筋混凝土电杆是220kV以下送配电线路最广泛使用的杆塔材料。它坚实耐久、维护工作量少、结构简单、分段组装可满足各种跨越高度要求。其缺点是易产生裂纹，笨重给运输、施工带来不便。防止裂缝的最好办法就是在电杆浇注时将钢筋预拉，使混凝土在承

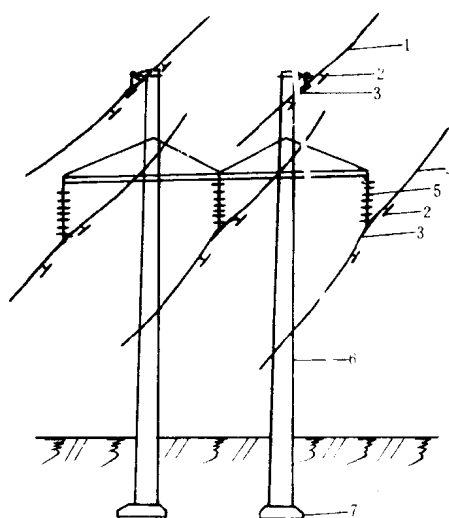


图 1-1 输配电线路的主要部件示意图

1—避雷线；2 防振锤；3 线夹；4—导线；
5—绝缘子；6 杆塔；7 基础

载前就受到一个预压应力。当电杆承载时，受拉区混凝土所受拉应力与预压应力部分抵消不致产生裂纹，这种电杆叫预应力钢筋混凝土电杆。使用预应力钢筋混凝土杆，可以节省大量钢材，壁厚也相应减少，故杆重减轻、价格下降是今后的发展方向。

单柱钢筋混凝土杆广泛使用在 110kV 以下的电力线路上，可分为拔梢杆、等径杆两类。拔梢杆一般不带拉线，其主杆梢径为 $\phi 190 \sim \phi 270 \text{mm}$ ，圆锥度为 1/75。等径带拉线的单杆可用于 220kV 电压等级以下线路。拉线一般对称布置，为了减少断导线时杆柱所受的扭矩作用，一般采用转动横担或压屈横担，其杆型如图 1-2 和图 1-3 所示。

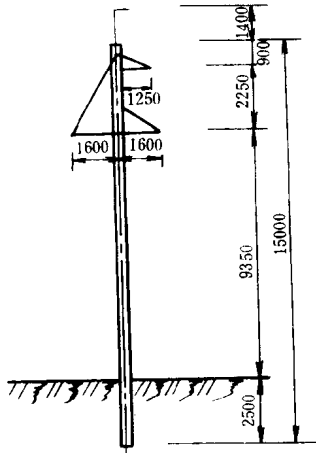


图 1-2 35kV $\phi 190 \text{mm}$ 拔梢单杆

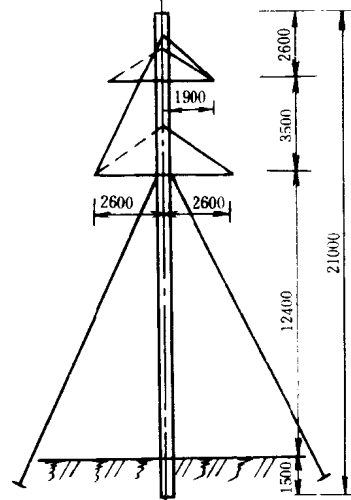


图 1-3 110kV $\phi 300 \text{mm}$ 等径拉线单杆

门型钢筋混凝土电杆不但是 330kV 以下线路直线杆的主要杆型，也是 35~220kV 线路耐张、转角杆的主要杆型，后者拉线类型和数量比前者复杂，其直线杆型如图 1-4 所示。

3. 铁塔

铁塔是用角钢焊接或螺栓连接的钢架。它坚固、可靠，使用年限长，但钢材消耗大，造价高，施工工艺复杂，维护工作量大。故 220kV 以下线路中，铁塔多用于交通不便和地形复杂的山区，或一般地区的大荷载的终端、耐张、大转角、大跨越等处。拉线铁塔可节省大量钢材，较多用于直线塔。常用铁塔塔型图如图 1-5 所示。

(二) 基础

杆塔的地下部分的总体统称基础，它是送电线路重要组成部分，一般基础投资占本体投资 15%~30%，工期占施工总工期 30%~50%。

钢筋混凝土杆基础通常由地下部分电杆和三盘（底盘、卡盘和拉线盘）组成。三盘一般由钢筋混凝土预制而成，也有用天然石材做成。如图 1-6 所示。

铁塔基础根据铁塔类型、地形地质及施工条件的不同，采用不同类型。图 1-7 是常用的铁塔基础类型图。

(三) 导线

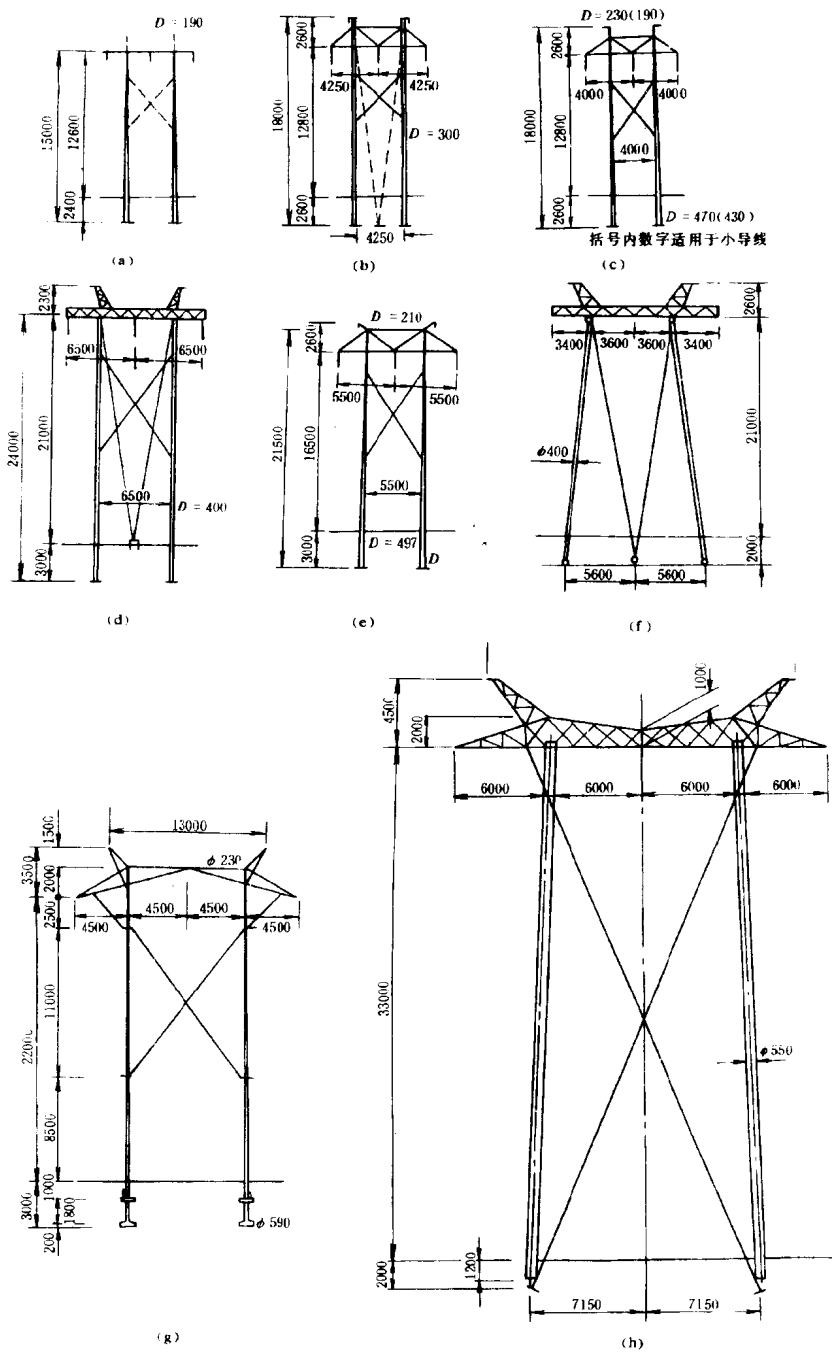


图 1-4 门型直线杆常用杆型

(a) 35kV 直线杆型 (拔梢杆柱, 有时带叉梁、地线); (b) 110kV 直线型杆型之一 (等径杆柱, 带叉梁, 有时兼带 V 型拉线); (c) 110kV 直线杆型之一 (拔梢杆柱, 带叉梁); (d) 220kV 直线杆型之一 (等径杆柱, 带叉梁和 V 型拉线, 立体桁架方横担); (e) 220kV 直线杆型之一 (拔梢杆柱, 带叉梁, 平面桁架式横担); (f) 220kV 撇腿门型直线杆 (带 V 型拉线和立体桁架式横担); (g) 330kV 直线杆 (拔梢杆柱, 带叉梁); (h) 500kV 直线杆型 (等径杆柱, 有撇腿带 X 型拉线)

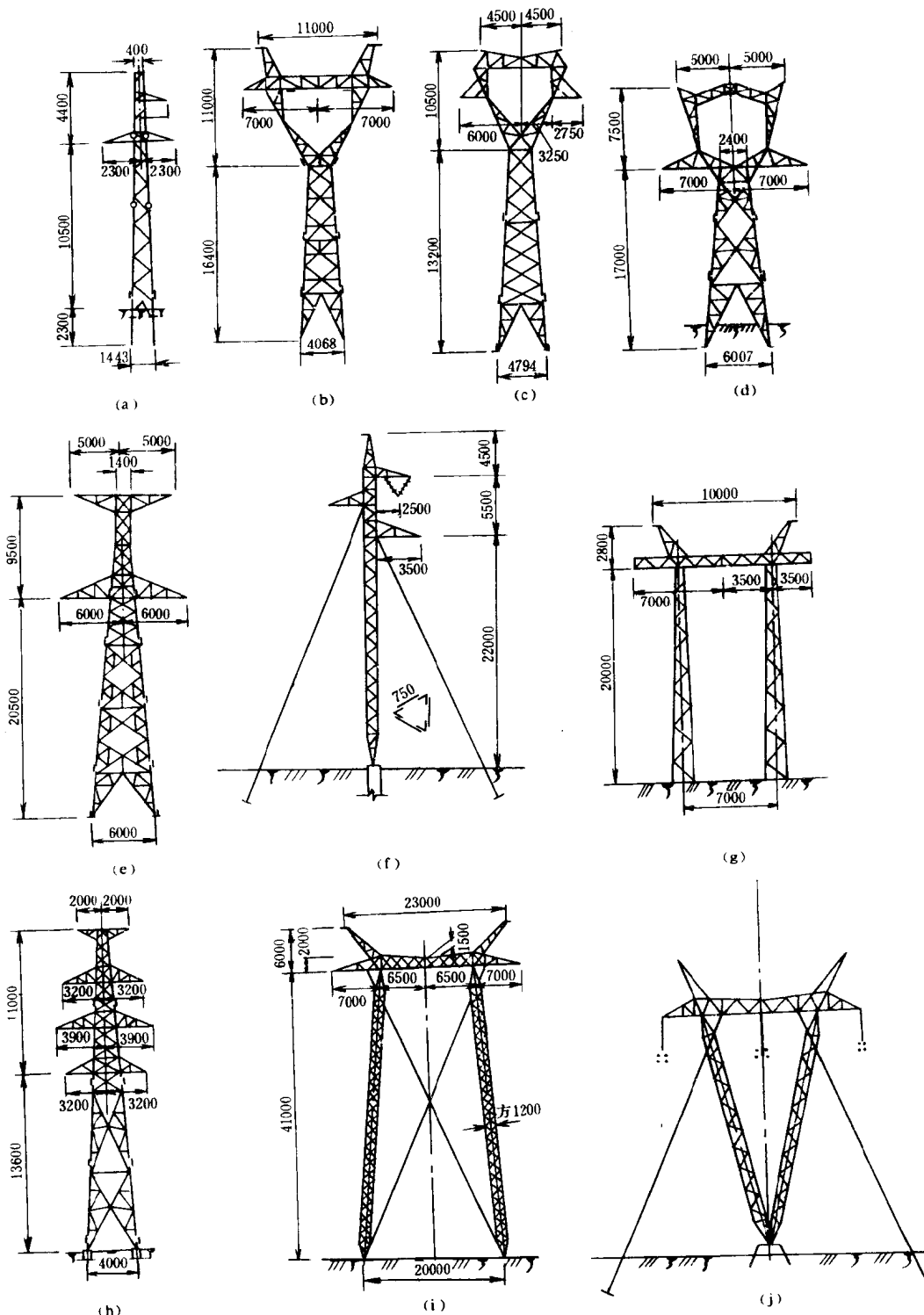


图 1-5 常用铁塔塔型图

(a) 上字型塔; (b) 酒杯型塔; (c) 中国猫头型塔; (d) 桥型耐张型塔; (e) 干字型耐张塔; (f) 拉线三角形排列跨越塔; (g) 门型塔; (h) 六角型双回路塔; (i) 500kV 交叉拉线门型塔; (j) 500kV 拉线 V 型塔

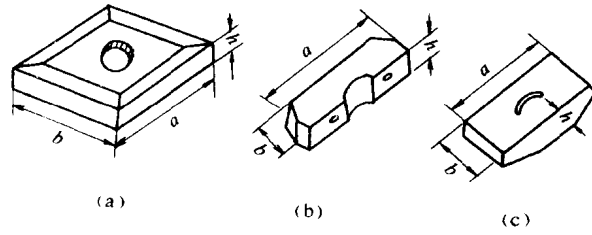


图 1-6 常用三盘外形图
(a) 底盘; (b) 卡盘; (c) 拉线盘

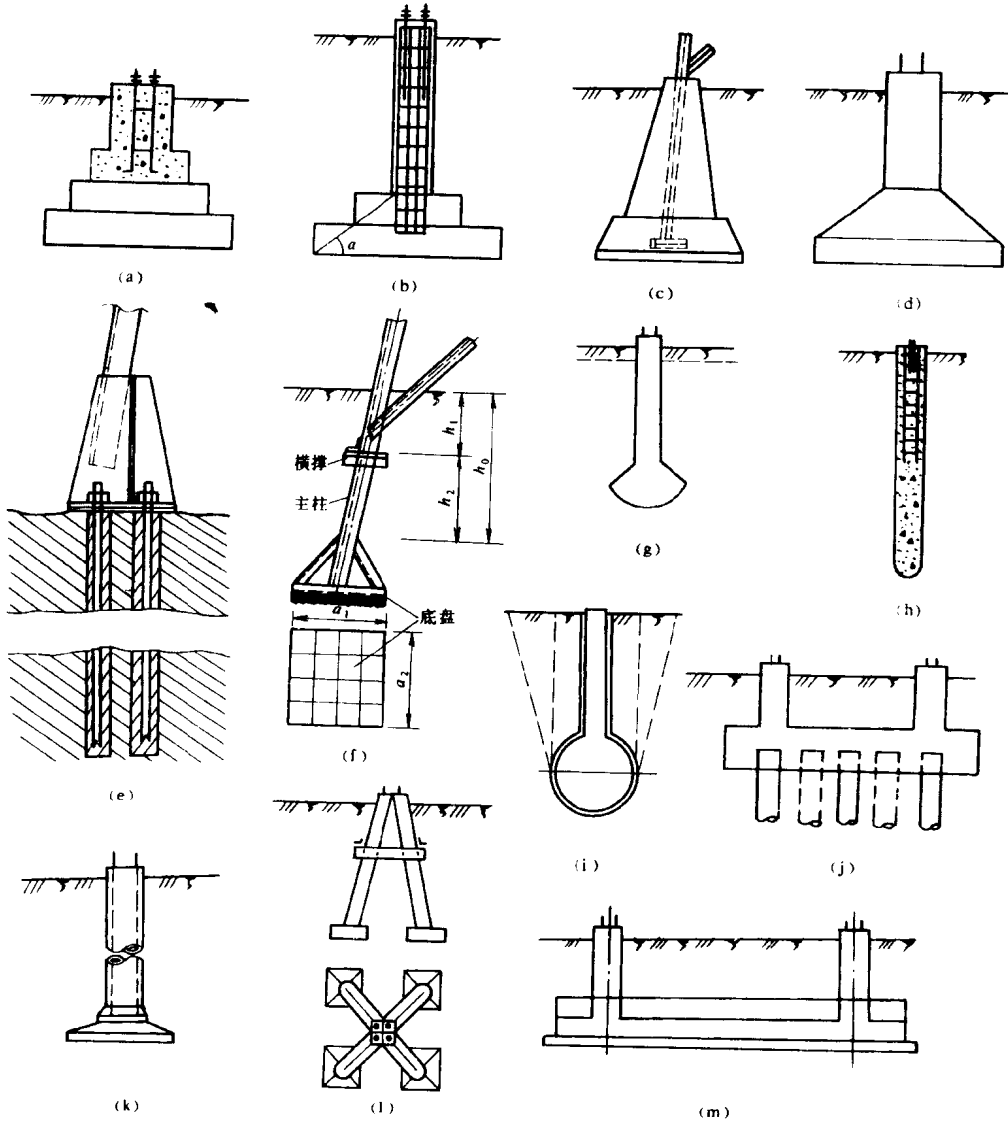


图 1-7 常用铁塔基础图
(a) 大块混凝土基础; (b) 钢筋混凝土基础; (c) 主角钢插入式基础; (d) 掏挖式基础;
(e) 岩石基础; (f) 金属基础; (g) 机扩基础; (h) 灌注桩基础; (i) 爆扩桩;
(j) 联合桩基础; (k) 圆柱固结式基础; (l) 人字型基础; (m) 联合基础

导线是架空送电线路主要组成部分，其作用是传导电能。导线的种类、性能和截面的大小，不仅对杆塔、避雷线、绝缘子、金具有影响，而且直接关系到线路的输送能力，运行的可靠性和建设费用的大小。

导线必须具有良好的导电性能。此外，由于架空送电线路导线架设在空中，要承受自重、风压、冰雪荷载等机械力的作用和空气中有害气体的侵蚀，故要求导线有较高的机械强度和较好的抗腐蚀性能。

导线由铝、钢、铜等材料制成，在特殊情况下也可使用铝合金。铜是理想的导线材料，但由于铜资源少，价格高，使用不多。为了提高导线机械强度，架空线路导线采用绞合的多股导线，常用的有铝绞线、钢芯铝绞线，少数情况下也采用铝合金线、铝包钢绞线及硬铜线。钢芯铝绞线中铝线部分和钢线部分截面积的比值不同，机械强度也不同，可分为普通钢芯铝线（铝线截面积之比值为 5.2~6.1）、加强型钢芯铝线（比值为 4~4.5）和轻型钢芯铝线（比值为 7.6~8.3）。各种导线种类及用途可参见表 1-4。

表 1-4 各种导线的种类及用途

导线种类	品 种	型 号	导线结构概况	用途及选用原则
硬铝线	铝绞线	LJ	用圆铝线多股绞制的绞线	对 35kV 架空线路，铝绞线截面一般小于 35mm ² ；对 35kV 以下线路不小于 25mm ²
钢芯铝绞线	钢芯铝绞线 轻型钢芯铝绞线 加强型钢芯线	LGJ LGJQ LGJJ	内层（或芯线）为单股或多股镀锌钢绞线，主要承担张力；外层为单层或多层硬铝绞线，为导电部分	LGJ、LGJQ 型钢芯铝绞线用于一般地区，LGJJ 型钢芯铝绞线用于重冰区或大跨越地段
防腐型钢芯铝绞线	轻防腐 中防腐 重防腐	LGJF	结构型式及机械、电气性能与普通钢芯铝绞线相同。轻防腐仅在钢芯上涂防腐剂；中防腐仅在钢芯及内层铝线上涂防腐剂；重防腐在钢芯和内外层铝线均涂防腐剂	用于沿海及有腐蚀性气体的地区
铝合金线	铝合金单线 铝合金绞线 钢芯铝合金绞线	LH LHJ LHGJ	以铝、镁、硅合金拉制的圆单线或用多股作成的绞线，抗拉强度接近铜线，导电率及重量接近铝线	抗拉强度高，可减少弧垂，降低线路造价。单股线在线路上不许使用
铝包钢绞线	铝包钢绞线	GLJ	以单股钢线为芯，外面包以铝层，作成单股及多股绞线	线路的大跨越及地线通信使用
硬铜线	硬圆铜单线 硬铜绞线	TY TJ	用硬铜拉制成的单股线或用多股制成的绞线	一般不使用，必须使用时，导线最小截面规定如下：35kV 以上线路不许使用单股线，多股绞线导线截面不小于 25mm ² ；10kV 及以下线路单股线不小于 16mm ² ，绞线不小于 16mm ²