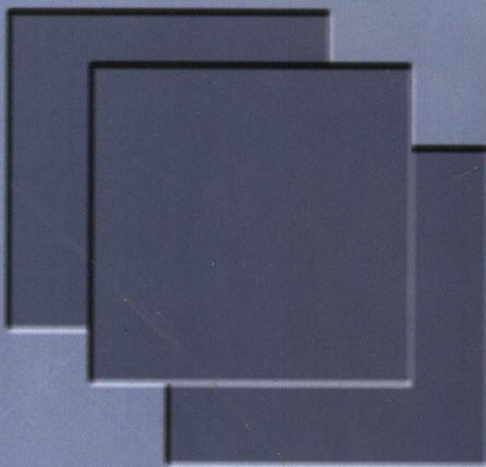




全国高职高专电气类精品规划教材

输配电线路设计

主编 刘增良 杨泽江



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

第2版

中国电力出版社“十二五”规划教材

配电线路设计

（第2版）



中国电力出版社
CHINA ELECTRICITY PRESS

全国高职高专电气类精品规划教材

输配电线路设计

主 编 刘增良 杨泽江

副主编 林世治 李 燕 虞菊英 叶书明



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材较全面地叙述了输配电线路设计的基本知识。全教材共分 14 章,包括输配电线路的基本知识,线路设计用气象条件,力学基本知识,导线和避雷线的机械物理特性和荷载,导线和避雷线的弧垂和应力,输电线路的挡距和线间距离,特殊情况导线弧垂应力的计算,导线和避雷线的不平衡张力,导线和避雷线的振动和防振,杆塔型式的选择,杆塔荷载计算,线路的路径选择和初步设计,杆塔定位和施工图设计,电力电缆线路设计。

本教材是高职高专学校电力工程类专业的专业教材,同时可作为电力系统输配电职工岗位培训用书,还可供从事输配电力工程设计、运行、管理等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

输配电线路设计/刘增良,杨泽江主编. —北京:中国水利水电出版社,2004.8
全国高职高专电气类精品规划教材
ISBN 7-5084-2205-8

I. 输... II. ①刘... ②杨... III. 输配电线路—设计—高等学校:技术学校—教材 IV. TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 064244 号

书 名	全国高职高专电气类精品规划教材 输配电线路设计
作 者	主编 刘增良 杨泽江
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京安锐思技贸有限公司
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×960mm 16 开本 17.5 印张 342 千字
版 次	2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—4100 册
定 价	27.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

教育部在《2003-2007 年教育振兴行动计划》中提出要实施“职业教育与创新工程”，大力发展职业教育，大量培养高素质的技能型特别是高技能人才，并强调要以就业为导向，转变办学模式，大力推动职业教育。因此，高职高专教育的人才培养模式应体现以培养技术应用能力为主线 and 全面推进素质教育的要求。教材是体现教学内容和教学方法的知识载体，进行教学活动的基本工具；是深化教育教学改革，保障和提高教学质量的重要支柱和基础。因此，教材建设是高职高专教育的一项基础性工程，必须适应高职高专教育改革与发展的需要。

为贯彻这一思想，2003 年 12 月，在福建厦门，中国水利水电出版社组织全国 14 家高职高专学校共同研讨高职高专教学的目前状况、特色及发展趋势，并决定编写一批符合当前高职高专教学特色的教材，于是就有了《全国高职高专电气类精品规划教材》。

《全国高职高专电气类精品规划教材》是为适应高职高专教育改革与发展的需要，以培养技术应用为主线的技能型特别是高技能人才的系列教材。为了确保教材的编写质量，参与编写人员都是经过院校推荐、编委会答辩并聘任的，有着丰富的教学 and 实践经验，其中主编都有编写教材的经历。教材较好地反映了当前电气技术的先进水平和最新岗位资格要求，体现了培养学生的技术应用能力和推进素质教育的要求，具有创新特色。同时，结合教育部两年制高职教育的试点推行，编委会也对各门教材提出了

满足这一发展需要的内容编写要求,可以说,这套教材既能适应三年制高职高专教育的要求,也适应两年制高职高专教育的要求。

《全国高职高专电气类精品规划教材》的出版,是对高职高专教材建设的一次有益探讨,因为时间仓促,教材可能存在一些不妥之处,敬请读者批评指正。

《全国高职高专电气类精品规划教材》编委会

2004年8月

前

言

本教材是高职高专学校输配电工程、供用电技术、电力系统及自动化等电力工程类专业的专业教材，是一门实践性很强的课程，涉及的公式较多、计算量较大。因此，本教材在编写过程中，坚持“针对性、实用性、适用性”的原则，即针对高等职业教育教学改革的方向以及电力工程类专业教学改革的要求，结合本课程实践性强的特点，在理论知识够用为度的前提下，充实实际应用知识的内容。在注重讲清基本概念、基本原理、基本方法的同时，尽可能避免烦琐的数学公式推导和大篇幅的理论分析。

与其他同类教材比较，本教材中增加了“力学基本知识”内容，这是考虑到随着高职高专学校教学改革的不断深入，专业总学时在减少，有些学校已不再单独开设工程力学课，同时也方便自学，尤其是工程技术人员参考。由于电力电缆线路在输配电工程中使用的越来越多，特别是在城市电网中，因此，本教材增加了“电力电缆线路设计”一章。

河北工程技术高等专科学校刘增良编写第2、14章，四川水利职业技术学院杨泽江编写第7、12、13章，福建水利电力职业技术学院林世治编写第9、10、11章，河北工程技术高等专科学校李燕编写第3、5章，南昌工程学院虞菊英编写第1、4章，三峡大学职业技术学院叶书明编写第6、8章。全书由刘增良副教授统稿，河北农业大学的霍利民教授主审。

本教材在编写过程中，得到了邢杰、张留岗、王克新、吕瑞明、宋玉红等工程师和徐明清、杨中瑞老师的帮助，并提供了部分资料，刘国亭副教授、李铁玲高级实验师为本教材绘制了部分插图，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，加之时间紧迫，书中难免存在错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

2004年8月

目 录

序

前言

第1章 输配电线路的基本知识	1
1.1 输配电线路的作用和特点	1
1.2 输电线路的结构及各部件分类	3
1.3 导线截面的选择方法	17
复习思考题	21
第2章 线路设计用气象条件	22
2.1 气象资料	22
2.2 气象资料搜集内容	23
2.3 设计用气象条件的选取	25
2.4 设计用气象条件的组合及典型气象区	29
复习思考题	32
第3章 力学基本知识	33
3.1 弹性变形体静力学分析基础	33
3.2 杆件的内力分析	38
复习思考题	48
第4章 导线和避雷线的机械物理特性和荷载	49
4.1 导线和避雷线的机械物理特性	49
4.2 导线和避雷线的安全系数	51
4.3 导线的比载	53
复习思考题	56
第5章 导线和避雷线的弧垂和应力	57
5.1 概述	57
5.2 导线的解析方程式	59

5.3 悬点等高时导线弧垂应力及线长的计算	60
5.4 悬点不等高时导线弧垂应力及线长的计算	62
5.5 导线的状态方程式	65
5.6 临界挡距	68
5.7 导线应力弧垂特性曲线	73
5.8 避雷线最大使用应力的确定	74
5.9 导线安装曲线	77
复习思考题	80
第6章 输电线路的挡距和线间距离	82
6.1 水平挡距和垂直挡距	82
6.2 导线在杆塔上的排列方式及线间距离	87
6.3 允许挡距	90
复习思考题	91
第7章 特殊情况导线弧垂应力的计算	92
7.1 兼受集中荷载时导线弧垂应力的计算	92
7.2 孤立挡导线的计算	99
7.3 导线的过牵引计算	102
复习思考题	104
第8章 导线和避雷线的不平衡张力	105
8.1 概述	105
8.2 固定型横担线路断线张力图解法	107
8.3 固定型横担线路断线张力的衰减系数法	111
8.4 转动型横担线路断线张力图解法	114
8.5 不均匀覆冰或不同时脱冰时不平衡张力的计算	120
8.6 避雷线支持力的计算	125
复习思考题	131
第9章 导线和避雷线的振动和防振	132
9.1 导线和避雷线振动的类型和特点	132
9.2 振动的基本理论	134
复习思考题	145

第 10 章 杆塔型式的选择	146
10.1 杆塔型式的分类	146
10.2 常用杆塔型式的优缺点	149
10.3 选用杆塔型式的注意事项	151
10.4 杆塔头部尺寸设计	152
复习思考题	157
第 11 章 杆塔荷载计算	158
11.1 荷载种类及计算条件	158
11.2 各种档距的确定	160
11.3 荷载确定及荷载图	160
11.4 杆塔荷载计算的注意事项	167
复习思考题	168
第 12 章 线路的路径选择和初步设计	169
12.1 输电线路的路径选择	169
12.2 输电线路的勘探及线路路径方案的比较	171
12.3 初步设计	176
12.4 野外选线	178
复习思考题	182
第 13 章 杆塔定位和施工图设计	183
13.1 杆塔定位原则	183
13.2 定位用弧垂模板的制作及选择	185
13.3 杆塔定位后各部分设计条件的检查或校验	186
13.4 施工图设计	196
13.5 输电线路施工图设计举例	199
复习思考题	210
第 14 章 电力电缆线路设计	211
14.1 概述	211
14.2 电力电缆的种类和结构	212
14.3 电缆型式与截面选择	219
14.4 电缆线路的路径设计	223
14.5 电缆敷设时牵引力和侧压力的计算	225

14.6 电缆供油装置允许供油压力计算	228
14.7 电力电缆的敷设设计	231
复习思考题	244
附录1 常用导线的规格和机械物理特性	245
附录2 常用导线的比载	251
附录3 1~35kV 电力电缆的允许持续载流量和敷设时的校正系数	260
附录4 敷设条件不同时电缆允许持续载流量的校正系数	265
参考文献	267

输配电线路的基本知识

众所周知，电能在现代生活里已成为国民经济发展和提高人民生活水平必不可少的二次能源。电气化的水平标志着现代社会的现代化水平。

输配电线路是电力系统中进行电能传输和分配的环节，包括架空线路和电缆线路。其任务是输送和分配电能，是电力系统的动脉，其运行状态直接决定电力系统的安全和效益。

输电线路设计正确与否，将对电力系统运行的可靠性、经济性，以及线路本身建设的技术经济指标是否合理起着决定性作用。

输电线路工程设计的主要特点是：综合协作性强，业务牵涉面广，签订协议对象多，技术专业面广，往往需要勘测方面的测量、地质、水文、气象、物探等专业人员与设计方面的电气、结构、通信、施工组织等专业人员，会同施工、运行单位有关人员共同参加确定方案，还需要与受线路影响的军事、交通、航运、邮电、农林、水利、工矿企业、城市规划等部门取得协议。因此，输电线路设计人员不仅要精通本专业，而且还要了解其他各专业的知识、各部门特殊要求以及有关的国家方针政策。

1.1 输配电线路的作用和特点

1.1.1 输配电线路的分类及在电力系统中的作用

现代大型电厂大部分建在动力资源所在地，如水力发电厂建在水力资源点，即集中在江河流域水位落差大的地方，火力发电厂大都集中在煤炭、石油和其他能源的产地；而大电力负荷中心则多集中在工业区和大城市，因而发电厂和负荷中心往往相距很远，就出现了电能输送的问题，需要用输电线路进行电能的输送。因此，输电线路是电力系统的重要组成部分，它担负着输送和分配电能的任务。

1.1.1.1 输配电线路的分类

1. 按电压等级分类

(1) 输电线路。电力网中,从发电厂将电能输送到变电所的高压架空电力线叫做输电线。电压等级一般为 35kV 及以上。其中,又可分为高压输电线路和超高压输电线路。在我国,通常称 35~220kV 的线路为高压输电线路,330~500kV 的线路为超高压输电线路。

(2) 配电线路。担负分配电能任务的线路,称为配电线路。

我国配电线路的电压等级有 380/220、6、10kV,其中,又可分为高压配电线路和低压配电线路。

1) 高压配电线路。1~10kV 线路称为高压配电线路。从变电站将电能送至配电变压器的架空(或电缆)电力线,叫做高压配电线;电压等级一般为 10kV 或 6kV。

2) 低压配电线路。把 1kV 以下的线路称为低压配电线路,担负着从配电变压器将电能送至各个用电点的任务。按我国标准,其电压等级一般为 0.38、0.22kV。

2. 按结构分类

(1) 架空线路。架空线路主要指架空明线。

(2) 电缆线路。电缆线路又可分为架空电缆线路和地下电缆线路。

3. 按电能性质分类

(1) 交流输电线路。

(2) 直流输电线路。

1.1.1.2 输配电线路在电力系统中的作用

1. 架空线路在电力系统中的作用

架空线路是电力系统中进行电能传输、交换、调节和分配的主要环节。通过架空线路,可实施远距离输电,有效节约资金,同时,还可以进行系统间联网。不仅可以实现系统间的电能交换和调节,而且还使系统可安装大型机组,建设大型电厂,错开高峰负荷,实现跨区域流域调节,减少系统备用容量,缩短电气距离,增强系统稳定性,提高系统抗冲击负荷的能力。

2. 电缆线路在电力系统中的作用

随着我国城市电网改造工作的不断推进及城市电网建设的迅猛发展,架空绝缘线路和地下电缆输电线路在城市电网中得到广泛的应用。

1.1.1.3 直流输电线路简介

目前,国内外都在逐步发展直流输电,一般认为直流与交流输电相比的优点是:架空线路或电缆线路的建设费用较低,没有稳定性问题,对长距离输电有利,可将非同期或异周波的电网联系起来,不增大电力系统的短路容量。



1882 年法国建设了一条长为 40km、电压为 2kV、输送容量为 15kW 的直流线路。这以后,由于直流输电在经济上、技术上都不能与交流输电竞争,所以在世界上一直发展缓慢。直至 20 世纪 60 年代后期,出现了大功率晶闸管元件,高压直流输电方得以很快发展,20 世纪 80 年代已建成 21 项直流输电工程,输送容量为 $1278 \times 10^4 \text{ kW}$,在建的有 16 项工程,输送容量为 $2576 \times 10^4 \text{ kW}$,还有很多项目在进行可行性研究。

直流输电的经济长度与两端换流设备的造价有关。随着可控硅换流技术的发展,使直流终端设备与线路造价之比不断降低。美国西屋公司最近声称,直流输电的经济距离是 500~600km 以上。

我国水利资源主要在西南部,但用电负荷较多的是东南沿海地区,输电距离都在 1000km 以上,特别是三峡的开发建设,更体现了远距离高压直流输电的明显优越性。我国目前建设的第一条葛洲坝—上海超高压直流输电线路的情况是:电压等级为 500kV,导线为 $4 \times \text{LGJQ}-300$ 型,输送容量为 $120 \times 10^4 \text{ kW}$,线路长度为 1080km。

1.1.2 输电线路特点

1.1.2.1 架空输电线路的特点

与电缆线路相比,采用架空输电线路具有以下显著优点:

- (1) 结构简单,加工制造容易,施工简便,建设速度快,施工周期短。
- (2) 投资少,经济效益好。
- (3) 输送容量大。
- (4) 容易发现运行线路中的故障,并易于修复。

1.1.2.2 绝缘线路的特点

绝缘线路与架空明线相比具有许多优点:

- (1) 如发生断线事故时,仅在断线两断头处有电,中间线路对外无电,从而减轻了对外界的危险程度。
- (2) 架空明线因电动力易造成混线,在穿越树林时易引起短路或接地故障,而使用架空绝缘导线即可避免上述事故。

因此,采用架空绝缘导线有利于线路降低事故率,提高城市供电网的安全可靠性。但是,建设成本有所提高,且地下电缆输电线路不易检修。

1.2 输电线路的结构及各部件分类

1.2.1 输电线路的构成

架空输电线路的组成元件主要有导线、避雷线(或称架空地线,简称地线)、金



具、绝缘子、杆塔、拉线和基础等。如图 1-1、图 1-2 所示。

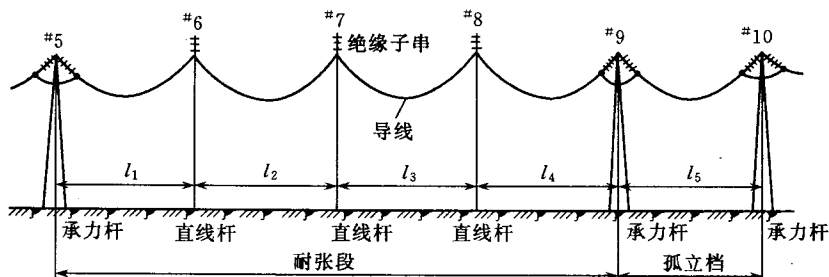


图 1-1 输电线路的组成

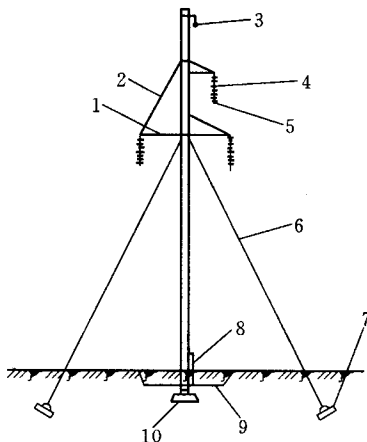


图 1-2 输电线路的组成元件

1—横担；2—吊杆；3—避雷线；4—绝缘子；5—导线；
6—拉线；7—拉线盘；8—引下线；9—接地装置；10—底盘

1.2.2 各部件作用及分类

1.2.2.1 导线

导线是用来传导电流、输送电能的元件。

一般的架空输电线采用裸金属线，又称裸导线。导线是固定在杆塔上输送电流用的金属线，由于导线常年在大气中运行，经常承受拉力，并受风、冰、雨、雪和温度变化的影响，以及空气中所含化学杂质的侵蚀，因此，导线的材料除了应有良好的导电率外，还须具有足够的机械强度和防腐性能。



1.2 输电线路的结构及各部件分类



架空导线和避雷线通常用铝、铝合金、铜和钢材料做成，它们具有导电率高，耐热性能好，机械强度高，耐振、耐腐蚀性能强，重量轻等特点，常见的导线种类、用途以及选用原则见表 1-1 所示。

表 1-1 导线的种类、用途及选用原则

导线类型	品 种	型 号	用途及选用原则
硬铝线	铝绞线	LJ	对 35kV 架空线路铝绞线截面不得小于 35mm^2 ，对 35kV 以下线路不小于 25mm^2
钢芯铝绞线	钢芯铝绞线	LGJ	$\text{Al}/\text{Ag} > 4.5$ 钢芯铝绞线用于一般地区 $\text{Al}/\text{Ag} \leq 4.5$ 钢芯铝绞线用于重冰区或大跨越地段
铝合金绞线	铝合金单线 铝合金绞线	LH LHAJ LHBj	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
钢芯铝合金绞线	钢芯铝合金绞线	LHAGJ LHBGJ	抗拉强度高，用于超高压线路及大跨越地段
防腐型钢芯 铝绞线和钢 芯铝合金绞线	轻防腐 中防腐	LGJF LHAGJF1 LHBGJF1 LHAGJF2 LHBGJF2	用于沿海及有腐蚀性气体的地区
铝包钢绞线	铝包钢绞线	GLJ	线路的大跨越及地线通信使用
压缩型 (光体) 钢芯铝绞线	压缩型	LGJY	$\text{Al}/\text{Ag} > 4.5$ 适用于农村、山区小挡距及具有一定拉力强度的线路 $\text{Al}/\text{Ag} \leq 4.5$ 适用于农村、山区大挡距拉力强度较大的线路 与普通钢芯铝绞线比较，同截面时强度高，同强度时外径小，空气动力系数低，故承受风压荷载、冰雪荷载较小
硬铜线	硬圆铜单线 硬铜绞线	TY TJ	铜导线在一般情况下不推荐使用。必须使用铜线时，导线最小截面规定如下：35kV 以上线路不许使用单股线；绞线截面不小于 25mm^2 ；10kV 及以下线路单股线不小于 16mm^2 ，绞线不小于 16mm^2
镀锌钢线	镀锌铁单线	GY	一般均作架空避雷线使用。用作导线时，35kV 以上架空线路不许使用单股线，绞线截面不小于 16mm^2
	镀锌钢绞线	GJ	10kV 以下线路单线直径不小于 3.5mm，绞线截面不小于 10mm^2 ，大跨越段可采用高强度镀锌钢绞线做芯线或导线，但做导线时应具有较高的导电率



一般输电线路每相采用单根导线，对于超高压大容量输电线路，为了减小电晕以降低电能损耗，并减小对无线电、电视等的干扰，多采用相分裂导线，即每相采用两根、三根、四根或更多根导线。

架空输电线路用的电线，一般采用以单根金属线为中心，将数根乃至数十根导线绕制而成的绞线。最近采用的电线多为两种以上不同金属材料制成的绞线。

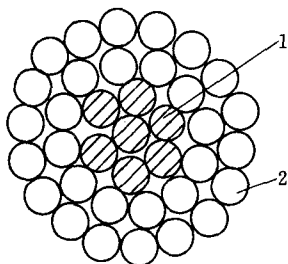


图 1-3 钢芯铝绞线截面示意图

1—钢芯；2—铝线

现在的输电线路多采用中心为机械强度高的钢线，周围是电导率较高的硬铝绞线的钢芯铝绞线，如图 1-3 所示。钢芯铝绞线比铜线电导率略小，但是具有机械强度高、重量轻、价格便宜等特点，特别适用于高压输电线路。钢芯铝绞线由于其抗拉强度大、弧垂小，所以可以使挡距放大。

钢芯铝绞线按其铝、钢截面比的不同，分为正常型、加强型、轻型三种。在高压输电线路中，采用正常型较多。在超高压线路中采用轻型较多。在机械强度高的地区，如大跨越、重冰区等，采用加强型的较多。至于应采用哪种类型导线，应通过技术经济论证后确定。

国标中，钢芯铝绞线的标号是由汉语拼音字母和阿拉伯数字组成。

例如：LGJ 型，表示正常型钢芯铝绞线；LGJJ 型，表示加强型钢芯铝绞线；LGJQ 型，表示轻型钢芯铝绞线。欧美国家是用 ACSR 表示钢芯铝绞线。

铝合金线比纯铝线有更高的机械强度，大致与钢芯铝绞线强度相当，但重量比钢芯铝绞线轻，因而弧垂减小，挡距可放大，可使杆塔基数减少或降低高度，但导电性能比铝线稍差。因此，铝合金线有一定的优越性，但目前在生产上尚有一定困难，故我国只在个别线路上使用。

国外生产的铝合金线，机电性能良好。如日本生产的 #1 铝合金线抗拉强度为 308.7MPa (N/mm²)；美国生产的 6201 铝合金线抗拉强度为 313.6~333.2MPa (N/mm²)，均大于我国生产的钢芯铝绞线的抗拉强度。

此外，还有以下几种特殊用途的导线：

(1) 大挡距导线。国外大跨越中，要求导线具有特高抗拉强度，采用过硅铜线、镀锌钢线、铝包钢线等。

(2) 防腐蚀导线。线路经过海边及污秽地区，为提高导线的抗腐蚀能力，延长使用寿命，制造了各种防腐蚀导线，如镀铝钢线、钢芯涂防腐油等。北欧一些国家生产钢芯铝绞线时，钢芯就涂以凡士林进行防腐蚀保护。意大利跨越麦西拿海峡的导线涂有防腐剂。美国用镀铝钢线作钢芯。

