



“十三五”普通高等教育本科规划教材

输电线路工程系列教材

输电线路工程课程设计

祝贺王娜 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”

普通高等教育“十三五”规划教材

输电线路工程系列教材

输电线路工程课程设计

主编 祝 贺 王 娜

编写 孔 伟 肖 琦 龚 靖

白俊峰 王德弘

主审 徐建源



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书共分为五章。主要包括输电线路设计课程设计, 输电杆塔设计课程设计, 杆塔基础课程设计, 输电线路施工课程设计, 课程设计制图规范。

通过设计的内容, 并绘制出相应配套的设计图纸。导地线的设计首先要确定导线、避雷线型号, 计算导地线的各种参数, 通过计算出的这些参数, 绘制出导地线的应力弧垂曲线, 最后根据以上数据曲线进行杆塔定位, 绘制出平断面图与杆塔定位图。

本书可供高校输电工程专业学生做课程设计使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

输电线路工程课程设计/祝贺, 王娜主编. —北京: 中国电力出版社, 2016.8

“十三五”普通高等教育本科规划教材, 输电线路工程系列教材

ISBN 978-7-5123-8616-7

I. ①输… II. ①祝… ②王… III. ①输电线路-电力工程-课程设计-高等学校-教学参考资料 IV. ①TM726-41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 135673 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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 8 月第一版 2016 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.5 印张 347 千字

定价 29.00 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

前言

课程设计是高等工科院校教学中不可缺少的实践性环节。随着电力工业的迅速发展,输电线路工程方面专业技术人才的需求,同时,随着大容量、超高压以及特高压输电线路的出现,对输电线路工程技术人才的要求越来越高。《输电线路工程课程设计》是为高等院校输电工程相关专业所编写的一本课程设计指导书。本书旨在使读者综合运用所学理论知识,并培养独立分析问题和解决问题的能力。

本书具有以下几方面的特点:

(1) 目前,《输电线路工程课程设计》是唯一一本涵盖了输电工程所有相关专业课程设计的教材。

(2) 注重内容的完整性、条理性和尽量简明扼要,在本书中详细罗列了与课程设计相关的公式和各种常用参数及图表,并且详细介绍了制图标准。

(3) 注重工程实践性,书中课程设计贴近工程实践项目,设计题材大部分来自于电力设计的实际设计项目,力求可以使学生得到工程实践的实际训练,提高其应用能力及动手能力。

(4) 注重最新设计知识,本书的编写是参照我国现行的各有关设计规范、规程。

在本书编写过程中,编者参考和引用了有关教材的内容和插图,在此对这些教材的编者表示衷心的感谢。本书由祝贺、王娜主编。祝贺(东北电力大学)编写第一章、第二章、第四章;王娜(沈阳化工大学信息工程学院)编写第五章;孔伟(东北电力大学)、肖琦(东北电力大学)、龚靖(东北电力大学)、白俊峰(东北电力大学)、王德弘(东北电力大学)编写第三章。全书由祝贺统稿。另外,感谢东北电力大学硕士研究生严俊韬、刘豪、刘程、李映桥、于卓鑫、何旭,辅助编写、绘制图表等工作。本书承沈阳工业大学徐建源教授细心审阅,并提供了很多宝贵的意见,在此表示衷心感谢。

限于编者水平,书中不当之处,敬请批评指正、提出宝贵意见。

编者

2016年3月

目 录

前言

第一章 输电线路设计课程设计	1
第一节 输电线路设计课程设计的目的和内容	1
第二节 输电线路设计课程设计的方法及步骤	2
第三节 输电线路设计课程设计实例	31
第二章 输电杆塔设计课程设计	55
第一节 输电杆塔设计课程设计的目的和内容	55
第二节 输电杆塔设计课程设计的方法及步骤	56
第三节 输电杆塔设计课程设计实例	97
第三章 杆塔基础课程设计	132
第一节 杆塔基础课程设计的目的和内容	132
第二节 杆塔基础课程设计的方法及步骤	133
第三节 杆塔基础课程设计实例	158
第四章 输电线路施工课程设计	170
第一节 输电线路施工课程设计的目的和内容	170
第二节 输电线路施工课程设计的方法及步骤	170
第三节 输电线路施工课程设计实例	178
第五章 课程设计制图规范	208
第一节 图纸内容	208
第二节 铁塔构造	209
第三节 图面一般规定	215
第四节 铁塔部分结构及铁塔加工说明	218
参考文献	223

第一章 输电线路设计课程设计

第一节 输电线路设计课程设计的目的和内容

一、课程设计的目的

输电线路设计课程设计是土木工程专业（输电方向）本科生必修的一个重要实践教学环节，也是学生第一次较全面、规范地进行设计训练，其主要目的是：

（1）培养学生理论联系实际的设计思想，训练学生综合运用架空输电线路设计课程和其他先修课程的基础理论并结合生产实际进行分析和解决实际工程问题的能力，巩固、深化和扩展学生有关输电线路设计方面的知识。

（2）全面检验和巩固架空输电线路设计课程学习效果的一个有效方式。通过课程设计，可以使學生进一步加深对所学架空输电线路设计课程的理解和巩固。

（3）通过对架空输电线路的设计，可以综合所学的架空输电线路设计相关知识来解决实际问题，可以使學生得到工程实践的实际训练，提高其应用能力及动手能力。

本课程设计模拟 500kV 输电线路连续倾斜档的实际工程设计，使學生将学到的理论知识运用到具体的设计实践中，掌握连续倾斜档线路的设计的方法和步骤，掌握如何利用地形图绘制确定平断面图，熟悉输电线路设计软件，能利用软件绘制导线应力弧垂曲线及杆塔定位，培养學生分析、解决实际工程问题和独立工作的能力。

二、课程设计的内容

（1）各组地形条件，按分组情况分配。地形由教师选定。

（2）教师分配各组气象条件。

（3）根据实际工程选定架空线型号。

（4）每组學生计算相应气象条件，绘制相应气象条件的应力弧垂曲线安装曲线，并最后形成完整的应力弧垂曲线及安装曲线。

（5）每组學生根据所分配的地形条件自行设计（不能雷同），并进行排塔定位。

（6）最终完成排塔定位的校验。

三、设计成果

1. 完成设计计算书一份

内容包括：

（1）根据实际工程以及气象条件，选择导地线型号。

（2）计算导地线比载。

（3）判定控制气象，编制程序解状态方程式，绘制导线应力弧垂曲线。

（4）确定杆塔形式，绘制杆塔定位平断面图，确定杆塔位置。

（5）杆塔定位之后，进行杆塔校验计算。

2. 绘制施工图（1 张 2 号加长图纸或 1 号加长图纸）

（1）导地线应力弧垂曲线及安装曲线图。

(2) 杆塔定位平断面图。

第二节 输电线路设计课程设计的方法及步骤

一、工程设计资料

(一) 主要气象资料的搜集内容

为了保证架空输电线路的可靠运行,使其机械强度和电气间距在气象条件变化时满足要求,必须对沿线地区的气象情况进行全面了解,详细搜集线路设计所需要的气象资料。主要气象资料的搜集内容及用途,见表 1-1。

表 1-1 主要气象资料及其用途

序号	搜集内容	用 途
1	最高气温	计算架空线的最大弧垂,保证对地或跨越物有一定的安全距离
2	最低气温	计算架空线所产生的最大应力,检查架空线的上拔、悬承绝缘子串的上扬等
3	平均气温	微风震动的防震设计条件,计算内过电压下的电气间距,耐张绝缘子串的倒摔等
4	历年最低气温月的平均气温	计算架空线的杆塔安装、检修的气象参数之一
5	历年最低气温月的最低平均气温	用于线路断线事故的气象组合
6	最高气温月的最高平均气温	计算导线的发热和温升
7	最大风速及相应月的平均气温	考虑架空线和杆塔强度的基本条件,也用于检查架空线、悬承串的风偏
8	地区最多风向及其出现频率	用于架空线的防震、防腐及绝缘的防污设计
9	覆冰厚度	架空线和杆塔强度的设计依据,计算架空线的最大弧垂,验算不均匀覆(脱)冰时架空线的不平衡张力、上下层架空线间的接近距离等
10	雨天、雾淞天、雪天的持续小时数	计算电晕损失的基本数据
11	平均雷电日数(或小时数)	防雷设计的依据
12	土壤冻结深度	用于杆塔基础设计
13	常年洪水位及最高航行水位、相应气温	用于确定跨越杆塔高度,盐酸交叉跨越距离

气象资料应选用线路附近 100km 以内的气象台(站)的记录,当此范围内的气象台(站)较少时,可以扩大搜集范围或向省级气象台搜集。附近已有线路的运行经验,是气象资料的重要来源。邮电、铁路和军事部门等其他非专业气象单位,也是气象资料的重要搜集对象,但其数据应交有关气象单位鉴定。必要时应进行实地考察,访问当地群众。若沿线气象台(站)的记录存在很大差异且线路较长(100km 以上)时应考虑分为若干气象区段进行搜集。

(二) 气象台的选择及气象分段

(1) 为反映线路经过地区的实际气象情况,应搜集尽量靠近沿线路周围各气象台(站)的气象资料。所选气象台(站)距线路一般应不大于 100km。

(2) 若沿线路气象台(站)较少,且距线路较远时,除应加强对非专业性单位(如铁路、邮电、电业等)的调查访问外,可选更远的气气象台(站)或向省级气象台搜集资料以供参考判断,并将选定结果送交有关气象台(站)鉴定。

(3) 调查风、冰灾情及群众反映情况。访问当地群众,进行风、冰灾情调查(这对缺乏气象观测资料的地区及在需要验证气象资料准确性的时候都是很必要的),再根据群众反映的自然物及建筑物的破坏情况,判断风、冰等气象的严重程度。

(4) 大风、气温等资料以年代较长、完整者为主,结冰资料则以电业、邮电、铁路及军事部门提供的各类架空线结冰资料为主。

(5) 若沿线几个台(站)的记录值相差悬殊且线路较长(100km以上),可考虑将全线划为若干个不同的气象区段,此时尚须注意:

1) 分析差异原因,如观测台(站)的环境、测点高度、使用仪器及整个地形地貌特征等。

2) 线路上不同气象区段的具体分界地点,应与当地气象部门共同确定。

(6) 搜集当地已运行线路的设计气象条件和与气象有关的运行情况。

(7) 利用 GBJ 9—1987《建筑结构荷载规范》或地区气象部门编制的《基本风压分布图》,按设计规定的重现期和基准风速高度,将基本风压换算成风速,以供选择最大设计风速时参照。

(三) 设计气象条件的选定原则

(1) 设计气象条件,应根据沿线的气象资料和附近已有线路的运行经验,按表 1-2 规定的气象“重现期”,提出适当的风、冰与气温相组合的气象条件。若沿线的气象与典型气象区中的数据接近时,宜采用其中所列数值。

(2) 所谓重现期 T (年)的气象数据,即 T 年一遇的气象数据,指每年出现等于或超过该气象数据的概率(或频率) p , $p = 1/T$ 。如重现期 T 为 30 年,相当于 30 年一遇,即每年出现的概率 $p = 1/30$ 。

表 1-2 线路设计规定的气象重现期

线路设计类别	重现期 T (年)
500kV 大跨越工程	50
500kV 线路工程	30
110~330kV 大跨越工程	30
110~330kV 线路工程	15

(3) 确定架空线路最大设计风速时,首先应计算最大风速的统计值,即以当地气象台、站统一观测高度下的历年连续自记 10min 时距平均最大风速作样本,并宜采用极值 I 型分布函数作为概率统计模型,以规定的重现期 T ,求出相应重现期下的观测最大风速,再以表 1-3 中所列不同线路类别所规定的风速基准高度 h_s 求出最大风速统计值。

表 1-3 最大风速的基准高度 h_s

线路类别	基准高度 h_s (m)	备注
110~330kV 线路工程	距地面以上 15	约为平地线路导、地线的距地平均高度

续表

线路类别	基准高度 h_s (m)	备注
500kV 线路工程	距地面以上 20	约为平地线路导、地线的距地平均高度
各级电压大跨越工程	距历年大风季节平均最低水位以上 10	

(4) 一般架空线路的最大设计风速, 应按沿线附近气象台站的最大风速统计值选取。山区架空线路的最大设计风速, 若无可靠资料时, 应按附近平原地区的统计风速值提高 10% 选用。110~330kV 架空线路的最大设计风速应不低于 23.5m/s; 500~750kV 架空线路计算导线荷载和张力以及杆塔荷载时, 最大设计风速应不低于 27m/s。

(5) 确定线路大跨越工程的最大设计风速时, 若跨越地点无可靠的最大风速统计值资料, 宜将附近平地架空线路的风速统计值换算到与大跨越线路相同电压等级陆上线路重现期下历年大风季节平均最低水位以上 10m 处的风速, 并增加 10%, 然后考虑水面影响再增加 10% 后作为最大设计风速 (常称为设计基准风速)。此值应不低于相连接的陆上架空线路的最大设计风速。必要时, 还宜按稀有风速作为验算条件。当计算跨越处导、地线荷载和张力以及杆塔荷载、检查风偏间隙时, 尚应以设计基准风速为基础, 考虑架空线平均高度处的高空风速。

(6) 线路大跨越工程的最大设计冰厚, 除无冰区外, 宜较附近一般架空线路的最大设计覆冰厚度增加 5mm。必要时。对大跨越和重冰区 (设计冰厚为 20mm 及以上), 宜按稀有覆冰条件进行验算。

(7) 架空线路位于河岸、湖岸、高峰以及山谷口等特殊地形以及容易产生强风的地带, 设计风速应较附近一般地区适当增大。

(四) 最大设计风速的选择

我国规定: 线路最大基本风速按电压分级, 330kV 及以下的为距地面 15m 高处, 15 年一遇, 10min 平均的最大风速; 500kV 的为距地面 20m 高处, 30 年一遇, 10min 平均的最大风速。因此, 确定最大基本风速, 需将搜集到的不同高度、不同时距、不同观测次数的历年最大风速资料, 统一换算为某一高度的连续自记 10min 的平均值, 再根据保证率的要求 (如 15 年一遇), 经过概率计算, 求出最大风速值。

1. 风速观测高度的换算

由于测风仪离地面高度不一, 故需换算至统一高度, 我国多采用以下经验公式, 即

$$v_0 = v_h \frac{\lg h_0 - \lg Z_0}{\lg h - \lg Z_0} = K_0 v_h \quad (1-1)$$

式中 v_0 ——距地面高度为 15、20m 或 30m 高的连续自记 10min 平均风速, m/s;

h ——观测高度, m;

v_h ——距地面高度为 h (观测高度) 的连续自记 10min 平均风速, m/s;

h_0 ——基本高度, m;

Z_0 ——地面状况系数, 一般在 0.01~0.2, 对空旷平坦的观测地区可取 0.03, 对海面取 0.003;

K_0 ——基本高度的风速换算系数, 空旷地区基本高度分别为 15m、20m 或 30m 时的换算系数。见表 1-4。

表 1-4 不同观测高度与基本高度的风速换算系数表 K_0

观测高度 h (m)		8	10	12	14	15	16	18	20
K_0	基本高度 15m	1.113	1.070	1.037	1.011	1.000	0.990	0.971	0.956
	基本高度 20m	1.164	1.119	1.085	1.058	1.046	1.036	1.016	1.000
	基本高度 30m	1.237	1.189	1.153	1.124	1.112	1.100	1.080	1.062
观测高度 h (m)		22	24	26	28	30	32	34	36
K_0	基本高度 15m	0.942	0.930	0.920	0.909	0.900	0.890	0.884	0.877
	基本高度 20m	0.986	0.973	0.961	0.951	0.941	0.933	0.925	0.917
	基本高度 30m	1.047	1.033	1.021	1.010	1.000	0.991	0.982	0.974

2. 风速次时换算

我国许多气象台(站)以往多采用一天定时观测 4 次的 2min 平均风速,显然会漏掉不少大风风速。因此,对于定时观测风速,必须经过观测时距和次数的两重订正,即次时换算,才能将定时 2min 平均风速换算为连续自记 10min 平均风速。这种换算是根据具有定时和连续自记的平行观测资料,通过相关分析建立回归方程进行的。表 1-5 中列出了全国各地区建立的换算公式(即回归方程)。

表 1-5 自记风速与 v_2 换算公式

地区	换算公式	应用范围
华北	$v=0.822v_2+7.82$	北京、天津、河北、山西、河南、内蒙古和关中、汉中等地
东北	$v=1.04v_2+2.20$	辽宁、吉林、黑龙江
西北	$v=1.004v_2+1.57$	陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆、西藏
四川	$v=1.25v_2$	四川
湖北	$v=0.732v_2+7.0$	湖北、江西
湖南	$v=0.68v_2+9.54$	湖南
广东	$v=1.03v_2+4.15$	广东、广西、福建、台湾
江苏	$v=0.78v_2+8.41$	上海、江苏
山东	$v=1.03v_2+2.19$	山东
云贵	$v=0.751v_2+6.17$	云南、贵州
渤海	$v=0.93v_2+0.35$	海南

3. 最大设计风速的选取

设计上通常采用“几年一遇的最大风速”一词,应该从概率概念上来理解,即求出一定保证出现频率下的最大风速,如 20 年一遇相当于 5% 的出现频率,即 $p=1/20=0.05$ 。

线路设计中可采用较粗略但简便的“经验频率法”,其计算公式为

$$p=\frac{m}{n+1}$$

(1-2)

式中 p ——风速出现频率;
 m ——将统计年份内出现的全部风速值由大到小按递减顺序列表编号(每个风速不论数值是否相同,皆需占一个编号),则序号即为该风速的 m 值;

n ——统计风速的总计数。

几点说明:

(1) 如已知某地区 1905~1957 年, 48 年中(中间缺 5 年)的最大风频率分布, 求该地区 10 年或 20 年一遇的最大风速值时, $n=48$ 。

(2) 插入法的计算公式为

$$v_m = v_a - (v_a - v_{a+1}) \frac{p - p_a}{p_{a+1} - p_a} \quad (1-3)$$

$$p_a = \frac{a}{n+1} \quad p_{a+1} = \frac{a+1}{n+1}$$

式中 v_m ——最大设计风速, m/s;

v_a 、 v_{a+1} ——当 $m = p(n+1)$ 为非整数时, $a < m < a+1$, 它们分别为对应于序号 a 、 $a+1$ 的风速, m/s;

p ——风速出现频率;

p_a 、 p_{a+1} ——分别为对应于序号 a 、 $a+1$ 的频率。

(3) 根据规程规定, 用以上方法选取的最大设计风速, 在平原地区对 35~330kV 线路不应低于 23.5m/s; 对 500kV 线路不应低于 27m/s。

(4) 大跨越档的最大设计风速比附近平地线路增加 10%, 跨越处水面风速应再增加 10%; 大跨越处还应按稀有气象条件验算。

(5) 线路通过城市或森林等地区, 如两侧屏蔽物平均高度大于杆塔高度的 2/3, 其最大设计风速较一般地区减少 20%。

(五) 覆冰厚度的选择

覆冰种类有雾凇冰和雨凇冰两大类, 雾凇冰比重较轻(约 $0.1 \sim 0.4\text{g/cm}^3$), 呈针状或羽毛状晶体, 冻结不密实。雨凇冰比重较大(约 $0.5 \sim 0.9\text{g/cm}^3$), 冻结成浑然一体的透明状冰壳, 附着力很强。架空线覆冰是以沿整个档距架空线四周均匀覆上比重为 0.9g/cm^3 的冰层厚度表示的。覆冰层厚度系指圆环形的厚度, 然而实际覆冰断面是各种不规则形式, 比重也不同, 需将其换算成圆筒形比重为 0.9g/cm^3 的覆冰, 常用换算方法有 3 种。

(1) 测水重法。将冰壳试样溶化后称得其质量, 算出单位长度(m)、标准状态(比重为 0.9g/cm^3 , 呈圆筒状)的冰层厚度为

$$b = \sqrt{R^2 + 353.68 \left(\frac{G}{L} \right)} - R \quad (1-4)$$

式中 b ——标准覆冰厚度, mm;

R ——无冰架空线的半径, mm;

G ——试样冰壳溶化后的质量, kg;

L ——试样冰壳长度, m。

(2) 测总重法。测每米覆冰架空线试样的总重量, 算出标准状态的冰层厚度为

$$b = \sqrt{R^2 + \frac{(q_2 - q_1) \times 10^3}{0.9\pi}} - R \quad (1-5)$$

式中 b ——标准覆冰厚度, mm;

R ——无冰架空线的半径, mm;

q_1 ——每米覆冰架空线总质量, kg/m;

q_2 ——每米无冰架空线质量, kg/m。

(3) 椭圆法。如图 1-1 所示, 将覆冰的不规则断面形状看成椭圆状, 测量出实际覆冰断面的长径 D 和短径 B 。作为椭圆的长、短径, 将其截面等效成圆柱筒截面, 从而求出覆冰厚度, 即

$$b = \sqrt{\frac{DB}{4}} - R \quad (1-6)$$

(六) 气温的选取

最高气温一般取 40°C 。最低气温取 5 的整数倍数值。年平均气温取逐年的年平均气温的平均值, 若当地的年平均气温在 $3\sim 17^{\circ}\text{C}$ 时, 取与此数相邻近的 5 的倍数值; 若小于 3°C 或大于 17°C , 则应将年平均气温减少 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 后, 再取与此数相邻近的 5 的倍数值。

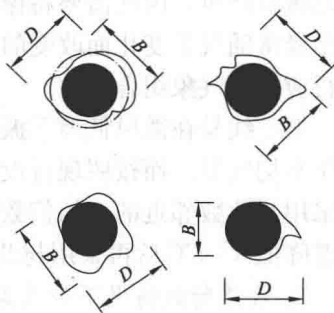


图 1-1 不同断面形状的覆冰

(七) 计算用气象条件的组合

线路设计所选用的气象条件组合, 除应合理地反映一定程度的自然变化规律外, 还要适合整个结构上的技术经济合理性及设计计算上的方便性。因此, 必须根据线路实际运行中可能遇到的情况, 慎重地调查分析原始气象资料, 合理地概括出“组合气象条件”。

1. 选择组合气象条件的要求

- (1) 线路在大风、覆冰及最低气温时仍能正常运行。
- (2) 线路在断线及不平衡张力情况下, 不使事故范围扩大, 即杆塔不致倾覆。
- (3) 线路在安装过程中不致发生人身或设备损坏事故。
- (4) 线路在重冰区及大跨越等特殊段的稀有气象验算条件下, 不致发生杆塔倾覆和断线。
- (5) 线路在正常运行情况下, 在任何季节里, 导线对地面或与其他物体保持足够的安全距离。

(6) 线路在长期运行中, 应保证导线或地线有足够的耐振动性能。

2. 线路正常运行情况下的气象组合

线路在正常运行中使架空线及杆塔产生较大受力的气象条件, 不外乎出现大风、覆冰及最低气温这 3 个因素, 但根据气象规律不应该把这 3 个因素的极值都组合在一起, 而是分别考虑 3 种气象组合。一般考虑最大风不覆冰时, 气温取该地区发生大风月的平均气温或稍低一些; 考虑架空线覆冰时, 根据雨淞形成规律, 一般取相应的风速为 10m/s , 若地区最大风速很大 (如 35m/s 以上) 可取相应风速为 15m/s , 覆冰时气温取 -5°C , 考虑最低气温时不出现冰、风。

3. 线路安装和检修情况下的气象组合

线路要考虑一年四季中有安装、检修的可能 (这里仅指机械性作业), 但在严重气象条件时则应暂停。规程规定: 遇有六级以上大风, 禁止高空作业, 因此安装情况下的气象条件按风速为 10m/s 、无冰、气温为最低气温月的平均气温, 基本上能概括全年的安装检修时的气象情况。但对其他特殊情况, 如冰、风事故中的抢修或安装中途出现大风等, 只有靠安装时用辅助加强措施来解决。

4. 平均运行应力的气象条件组合

线路设计中，应保证架空线在长期运行中有足够的耐振性，其中架空线静态应力越高，振动越显严重，因此需要将振动时的静态应力控制在一定的限度内，而这一应力在实际运行中是经常随气象变化而改变的。为了概括出经常引起振动的应力平均值，就需要归纳出平均运行应力的气象组合。

架空线易在微风低温下振动，且低温时综合应力亦较大，故这一气象组合采用规程规定的年平均气温。而按照现行设计规程规定，如地区年平均气温在 3~17℃，年平均计算气温应采用与此数邻近的 5 的倍数温度值；如地区年平均气温超出 3~17℃ 范围时，应将年平均气温降低 3~5℃ 后再采用与此数邻近的 5 的倍数温度值。

5. 线路断线情况下的气象组合

按 DL/T 5092—1999《110~500kV 架空送电线路设计技术规程》规定，覆冰厚度小于 20mm 的线路，断线气象条件的组合为无风、无冰和最低气温月的最低平均气温；冰厚为 20mm 及以上的重冰区线路，其断线（含纵向不平衡张力）气象组合为无风、气温为-5℃、覆冰荷载不小于正常覆冰荷载的 50%。

6. 绝缘配合情况下的气象组合

(1) 运行电压气象条件与正常最大设计风速条件相同。

(2) 操作过电压气象条件为年平均气温、无冰、风速为最大设计风速的 50%，且不得小于 15m/s。

(3) 雷电过电压气象条件为气温+15℃、无冰、最大设计风速小于 35m/s 时其风速一般采用 10m/s；当最大设计风速为 35m/s 级以上以及雷暴时风速较大的地区，一般采用 15m/s。

(八) 典型气象区

典型气象区作为一种计算气象条件，简化了一个地区的设计工作，便于开展标准化工作。根据我国各地区气象条件情况，以风速、温度、覆冰厚度影响输架空线路设计最大的 3 个因素作为整理条件，进行了归纳合并，形成了我国 9 个典型气象区，见表 1-6。由于我国幅员辽阔，气象复杂，9 个典型气象区不能完全包括，所以各大区又根据本区的气象特点划分了各地区的典型气象区。当所设计线路的实际气象条件同典型气象区中的某区接近时，一般应采用典型气象区所列气象数据，以减少工作量，提高标准化水平。

表 1-6 全国典型气象区

典型气象区		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
大气 温度 (℃)	最高温	+40								
	最低温	-5	-10	-10	-20	-10	-20	-40	-20	-20
	覆冰	-5								
	基本风速	+10	+10	-5	-5	+10	-5	-5	-5	-5
	安装	0	0	-5	-10	-5	-10	-15	-10	-10
	雷电过电压	+15								
	操作过电压、年均气温	+20	+15	+15	+10	+15	+10	-5	+10	+10

续表

典型气象区		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
风速 (m/s)	基本风速	31.5	27	23.5	23.5	27	23.5	27	27	27
	覆冰	10 *							15	
	安装	10								
	雷电过电压	15	10							
	操作过电压	0.5 × 基本风速折算至导线平均高度处的风速（不低于 15m/s）								
覆冰厚度（mm）		0	5	5	5	10	10	10	15	20
冰的密度（g/cm ³ ）		0.9								

二、架空线的选择

架空线路的导线和地线（统称架空线）长期在旷野、山区或湖海边缘运行，需要经常耐受风、冰等外荷载的作用、气温的剧烈变化以及化学气体等的侵袭，同时受国家资源和线路造价等因素的限制。因此，在设计中特别是大跨越地段，对架空线的材质、结构等必须慎重选取。

选定架空线的材质、结构一般应考虑下述原则：

- (1) 导线材料应具有较高的导电率。但考虑国家资源情况，一般不应采用铜线。
- (2) 导线和地线应具有较高的机械强度和耐震性能。
- (3) 导线和地线应具有一定的耐化学腐蚀能力。
- (4) 选择架空线材质和结构时，除满足传输容量外还应保证线路的造价经济和技术合理。

架空输电线路中最广泛使用的架空线是钢芯铝绞线，其结构也较复杂，因此着重研究钢芯铝绞线的机械物理特性，其他类型架空线的机械物理特性可类似得到。在架空线的机械物理特性中，与线路设计密切相关的主要有弹性系数、温度线膨胀系数、抗拉强度等。

(一) 导线截面的选择

导线截面的选择应从其电气性能和经济性能两方面考虑，保证安全经济地输送电能。一般先按经济电流密度初选导线截面，再按允许电压损失、发热、电晕等条件校验。大跨越的导线截面宜按允许载流量选择，并应通过技术经济比较确定。

1. 按经济电流密度选择

架空输电线路的总投资可分为与导线截面无关和有关两类费用。勘测设计房屋搬迁、青苗赔偿和土地征用等费用，可看作与导线截面无关。导线截面越大，价格越高，杆塔及基础费用随之增大，线路建设费用也就越高。线路的投资总费用可表示为

$$Z_1 = (F_0 + aA)L \tag{1-7}$$

式中 F_0 ——与导线截面无关的线路单位长度费用；
 a ——与导线截面相关的线路单位长度单位截面的费用；
 A ——导线的截面积；
 L ——线路长度。

经济电流密度为

$$J_n = \frac{I_{\max}}{A_n} = \sqrt{\frac{a(1+nb)}{3n\rho\tau C}} \tag{1-8}$$

式中 J_n ——经济电流密度；
 a ——与导线截面相关的线路单位长度单位截面的费用；
 n ——投资回收年限；
 b ——占总投资的百分比；
 ρ ——导线的电阻率；
 τ ——最大负荷小时数，可根据每年最大负荷利用小时数和功率因数，查表 1-7 得到；
 C ——单位电价。

表 1-7 年最大负荷损耗小时数

功率因数	年最大负荷利用小时数 (h)								
	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000
0.8	2000	2350	2750	3150	3600	4100	4650	5250	5950
0.85	1800	2150	2600	3000	3500	4000	4600	5200	5900
0.9	1600	2000	2400	2900	3400	3950	4500	5100	5800
0.95	1400	1800	2200	2700	3200	3750	4350	5000	5700
1.0	1250	1000	2000	2500	3000	3600	4200	4850	5600

我国的经济电流密度可按表 1-8 选择，则导线的经济截面积为

$$A_n = \frac{I_{\max}}{J_n} \tag{1-9}$$

表 1-8 经济电流密度值单位 A/mm²

导线材料	年最大负荷利用小时数 (h)		
	3000 以下	3000~5000	5000 以上
裸铜导线和母线	3.0	2.25	1.75
裸铝导线和母线	1.65	1.15	0.9

利用式 (1-9) 计算时， $I_{\max}$ 一般应根据 5~10 年的电力系统发展规划，进行必要的负荷预测和潮流计算确定。

2. 按电压损耗校验

在不考虑线路电压损耗的横分量时，线路电压、输送功率、功率因数、电压损耗百分数、导线电阻率以及线路长度与导线截面的关系，可用下式表示

$$\delta = \frac{P_m L}{U_N^2} (R + X_0 \operatorname{tg} \varphi) \tag{1-10}$$

式中 δ ——线路允许的电压损耗百分比；
 P_m ——线路输送的最大功率，MW；
 U_N ——线路额定电压，kV；
 L ——线路长度，m；
 R ——单位长度导线电阻，Ω/m；
 X_0 ——单位长度线路电抗，可取 $0.4 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$ ；

$\operatorname{tg}\varphi$ ——负荷功率因数角的正切。

3. 按导线允许载流量校验

控制导线允许载流量的主要依据是导线的最高工作允许温度，该温度主要由导线长期运行后的强度损失和连接金具的发热而定。工作温度越高，运行时间越长，导线的强度损失越大。根据运行经验，导线的最高工作允许温度对钢芯铝绞线、钢芯铝合金绞线可采用 $+70^{\circ}\text{C}$ ，大跨越可采用 $+90^{\circ}\text{C}$ ；钢芯铝包钢绞线（铝包钢绞线）可采用 $+80^{\circ}\text{C}$ ，大跨越可采用 $+100^{\circ}\text{C}$ ，也可由试验决定；镀锌钢绞线采用 $+125^{\circ}\text{C}$ 。气象条件为最高气温月的最高平均气温，风速 0.5m/s （大跨越因线路风速较高，取 0.6m/s ），太阳辐射功率密度 $0.1\text{W}/\text{cm}^2$ 。导线允许载流量可用下式计算

$$I = \sqrt{(W_R + W_F + W_S)/R_t} \quad (1-11)$$

式中 I ——导线的允许载流量，A；

W_R ——单位长度导线的辐射散热功率，W/m；

W_F ——单位长度导线的对流散热功率，W/m；

W_S ——单位长度导线的日照吸热功率，W/m；

R_t ——允许温度 t 时单位长度导线的交流电阻， Ω/m 。

4. 按电晕条件校验

超高压架空输电线路的导线表面电场强度很高，以至超过周围空气的放电强度，使空气电离形成局部放电，这种现象称为电晕。电晕可引起无线电干扰、可听噪声、导线振动等，还会产生有功功率损耗。导线的电晕随外加电压的升高而出现、加剧。导线表面开始发生局部放电时的电压，称为起始电晕电压。导线表面全面发生电晕时的电压，称为临界电晕电压，相应的电场强度称为临界电晕场强。导线的临界电晕场强，与其直径、表面状况及大气条件等有关。清洁绞线在晴天的临界电晕场强为

$$E_j = 3.03m\delta^n \left(1 + \frac{0.298}{\sqrt{r}}\right) \quad (1-12)$$

式中 m ——导线表面状况系数，表面洁净绞线取 0.996 ，伤痕且松股绞线取 0.81 ；

δ ——相对空气密度；

n ——空气密度指数，一般可取 $0.66 \sim 0.72$ ；

r ——导线半径，cm。

导线表面的电场强度不宜大于临界电晕场强的 $80\% \sim 85\%$ ，年平均电晕损失不宜大于线路电阻有功损失的 20% 。在海拔不超过 1000m 的地区，如导线直径不小于表1-9所列数值，一般不必验算电晕。

表 1-9

可不验算电晕的导线最小外径（海拔不超过 1000m ）

标称电压 (kV)	110	220	330		500		
导线外径 (mm)	9.6	21.6	33.6	2×21.6	2×36.24	3×26.82	4×21.6

(二) 地线的选择

1. 地线架设的一般规定

架空输电线路是否架设地线，应根据线路电压等级、负荷性质和系统运行方式，并结合当地已有线路的运行经验、地区雷电活动的强弱、地形地貌特点及土壤电阻率高低等来决

定。在计算耐雷水平后，通过技术经济比较，采用合理的防雷方式。

110kV 架空输电线路宜沿全线架设地线，在年平均雷暴日数不超过 15 日或运行经验证明雷电活动轻微的地区，可不架设地线。无地线的架空输电线路，宜在变电站或发电厂的进线段架设 1~2km 的地线。在年平均雷暴日数超过 15 日的地区的 220~330kV 架空输电线路，应沿全线架设地线，山区宜采用双地线。500kV 架空输电线路应沿全线架设双地线。

在杆塔上，地线对边导线的保护角，500kV 输架空线路宜采用 10°~15°，330kV 线路及 220kV 双地线线路宜采用 20°左右，山区 110kV 单地线线路宜采用 25°左右。两根地线之间的距离，不应超过地线与导线间垂直距离的 5 倍。

在气温 +15℃、无风的气象条件下，档距中央导线与地线之间的距离 D 应满足

$$D \geq 0.012l + 1 \tag{1-13}$$

式中 l ——档距，m。

2. 地线的选择

地线应满足电气和机械使用条件的要求，可选用镀锌钢绞线或复合型绞线。当地线选用镀锌钢绞线时，其与导线的配合不宜小于表 1-8 的规定，重冰区、严重污秽区可提高一、二级或选用防腐型架空线。当地线兼用于减少潜供电流、降低工频过电压、改善对通信设施的干扰影响、作为高频载波通道等时，可采用良导体架空线，其截面积应满足综合利用的载流要求。当利用地线进行光纤通信时，可选用 OPGW 型复合光纤电缆。

当地线仅用于防雷时，可逐基杆塔接地，以提高防雷的可靠性。但逐基杆塔接地会产生较大的附加电能损失，如一条长 200~300km 的 220kV 输架空线路的附加电耗每年可达几十万千瓦·时，一条长 3000km 的 500kV 线路则高达数百万千瓦·时。

当地线有综合利用时，可采用绝缘地线。绝缘地线利用一只带有放电间隙的无裙绝缘子与杆塔隔开，雷击时利用放电间隙击穿接地，因此绝缘地线具有与一般地线同样的防雷效果。安装时必须对放电间隙进行整定，使其在雷击前的先导阶段能够预先建弧，在雷击过后能够及时切断间隙中的工频电弧恢复正常运行状态，在线路重合闸成功时不致重燃；在线路发生短路事故时，间隙也能被击穿，并保证短路事故消除后，间隙能熄弧恢复正常。放电间隙值应根据地线上感应电压的续流熄弧条件和继电保护的動作条件确定，一般为 10~40mm。还应当注意，绝缘地线上往往感应有较高的对地电压，在导线和地线都不换位时，330、500kV 线路绝缘地线的感应电压可分别达到 23kV 和 50kV 左右。因此绝缘地线的线路必须进行适当地换位，对其的任何操作都应按带电作业考虑。

架空输电线路的电磁感应对附近通信线路有一定影响，当对重要通信线路的影响超过规定标准时，为加强对通信线路的保护，可以考虑与地线配合架设屏蔽地线。

三、架空线的机械物理特性和比较

(一) 单股线的机械特性

各种架空线的单股线的机械特性，见表 1-10。

表 1-10 单股架空线的机械特性

特 性 材 料	弹性系数 (N/mm ²)	线膨胀系数 (1/℃)	密度 (10 ³ kg/m ³)	抗拉强度 (N/mm ²)
硬铜线	127 000	17×10 ⁻⁶	8.98	400~450