

全国高等农业院校教材

架空送电线路设计原理

郭喜庆 编

ND/2/08

农业电气化自动化专业用

参考书： 高压架空送电线路机械计算 同忻山
高压线路设计基础 曾宅记
高压送电线路设计手册 东北电力设计院

中国农业出版社

211.178

全国高等农业院校教材
架空送电线路设计原理
郭喜庆 编

责任编辑 彭明喜

出 版 中国农业出版社
(北京市朝阳区农展馆北路2号)

发 行 新华书店北京发行所

印 刷 中国农业出版社印刷厂

* * *

开 本 787mm×1092mm16 开本

印 张 19 字数 380 千字

版、印次 1993年10月第1版

1997年10月北京第2次印刷

印 数 3,701—5,700册 定价 18.10元

书 号 ISBN 7-109-02275-7/TN·3

内 容 提 要

本书是经全国高等农业院校教材指导委员会审定出版的农业电气化自动化专业本科基本教材。全书分两篇共十章。第一篇系统讲述了均匀荷载孤立档、连续档和非均布荷载孤立档导线力学计算原理，并讲述了导线振动理论和防振原理。第二篇以架空送电线路设计、校验为线索，系统讲述了线路杆塔定位原理、杆塔荷载计算及校验、线路绝缘配合及校验、杆塔基础设计及校验等内容，并讲述了线路弧垂观测、高空画印架线、多档连紧架线等施工计算原理。附录为线路设计提供了必要的数据和资料。本书注重讲解计算原理和实用设计计算方法，并有必要的例题。

本书用作大专院校农电专业本科架空线路设计课程的教材，也可用作电力工程类、城市供电专业有关课程的教材或参考书，本书还可作为高压线路设计有关专业技术人员参考书。

前 言

我国城乡已有数百万公里的送、配电线路。随着我国电力事业及农村电气化的发展，架空线路仍将有相当规模的发展。因此，为线路的设计、施工、运行培养技术人才，日益被人们所重视。本世纪初，已有线路计算方面的著作问世，解放以来我国也出版了不少有关专著和文献，具备了编写教材的条件。有鉴于此，作者在教授“线路设计”课程的基础上，参考国内外资料把所用讲稿、讲义增补扩充编成《高压架空电力线路设计原理》一书，于1985年内部出版。几年来有关院校、单位使用了这本教材。作者总结教学中的经验，吸取有关专家的建议，从体系上、内容上进行了改编并补充了新的内容，写成了现在出版的《架空送电线路设计原理》一书。本书从教学的观点出发，注重理论联系实际，讲解计算原理，以导线力学计算和线路设计为线索，力求在内容上形成系统的教学体系。

本书分两篇共十章。第一篇系统讲述了导线力学计算原理及导线防振原理。第二篇讲解了线路设计计算及有关施工计算的基本方法。对于线路设计来说，杆塔设计和强电线路对电信线路的影响也是非常重要的内容。限于篇幅，本书未选取这两方面的内容。此外，关于导线截面选择、线路防雷、接地等电气计算有关内容，已在《电力系统》及《高电压技术》等课程中讲授，本书也未选入。

本书可以作为大专院校农村电气化、电力类专业的教材，如选学其中部分内容也可以作为中等专业学校有关专业的教材。本书也可作为有关专业技术人员的参考书。

本书以水利电力出版社1977年出版的《高压架空输电线路施工技术手册(架线工程部分)》、东北电力设计院编写吉林人民出版社1976年出版的《高压架空送电线路设计手册》和邵天晓编写水利电力出版社1987年出版的《架空送电线路的导线力学计算》等为主要参考资料，也从国内外其它资料中吸取了极为宝贵的内容。在此，向本书参考资料的各位作者表示诚挚的谢意。

本书由能源部教授级高级工程师李博之担任主审，高级工程师杨亚川审阅了第九章。在编写过程中，得到李博之同志、戴锦轩副教授、杨季忱教授、游怀仁高级工程师、冯子文高级工程师以及设计、运行部门、高等院校有关专家、教授的大力帮助和热情指教，在此向他们表示衷心的感谢。

北京农业工程大学刘慎之副教授、姜中奇、屈瑞谦等同志参加了部分工作，在此表示谢意。

在编写过程中还得到中国电机工程学会农村电气化学会张绍贤、邓秉礼、黄金凯、杨存葆、赵双驹等同志的大力支持，在此一并致谢。

由于编者水平和条件所限，书中难免有缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

1990.10

目 录

前 言

第一篇 架空电力线路导线力学计算原理

第一章 架空电力线路的结构及运行环境	1
第一节 架空电力线路的结构	1
第二节 架空电力线路的运行环境及气象条件	15
第三节 导线的比载	24
第二章 均匀荷载孤立档导线力学计算	28
第一节 均匀荷载孤立档导线悬垂曲线的方程式	29
第二节 悬挂点等高时均匀荷载孤立档导线力学及几何关系	32
第三节 悬挂点不等高时均匀荷载孤立档导线力学及几何关系	36
第四节 考虑风偏时均匀荷载孤立档导线力学及几何关系	44
第五节 均匀荷载孤立档导线的状态方程式	47
第六节 控制气象条件的判断及临界档距	52
第七节 导线的应力弧垂计算	60
第八节 最大垂直弧垂的判断及计算	63
第三章 均匀荷载连续档导线力学计算	65
第一节 概述	65
第二节 均匀荷载连续档采用固定线夹时导线力学的基本关系	66
第三节 均匀荷载连续档采用固定线夹时导线应力近似算法——代表档距法	69
第四节 断线张力计算	73
第五节 断导线后避雷线支持力计算	77
第六节 连续倾斜档导线在滑轮中紧线时导线力学基本关系	82
第七节 直线杆塔采用滑轮线夹时连续档力学计算概论	85
第四章 非均布荷载孤立档导线力学计算	88
第一节 绝缘子串的机械荷载及比载	88
第二节 非均布荷载孤立档导线的悬链线方程、应力和弧垂的基本关系	90
第三节 非均布荷载孤立档导线的状态方程	96
第四节 非均布荷载孤立档导线弧垂简化计算	99
第五节 一档线长及状态方程简化公式	105
第六节 非均布荷载孤立档有风偏时导线力学计算概述	108
第七节 非均布荷载孤立档的过牵引及施工观测弧垂	109
第八节 非均布荷载孤立档力学计算举例	111

第五章 导线的振动与防振	116
第一节 导线的自由振动方程	116
第二节 导线的振动——谐振	119
第三节 导线的防振	122
第二篇 架空送电线路设计、校验及有关施工计算	
第六章 架空送电线路选线及杆塔定位原理	128
第一节 架空送电线路的路径选择	129
第二节 杆塔高度	131
第三节 架空送电线路模板定位方法	133
第四节 定位校验	138
第七章 杆塔荷载及内力计算	147
第一节 杆塔的设计档距和设计条件	147
第二节 杆塔荷载计算	152
第三节 杆塔荷载及倒拔校验	156
第四节 杆塔选择及施工注意问题	159
第五节 钢筋混凝土杆塔内力计算	161
第六节 铁塔内力计算	165
第八章 架空送电线路的绝缘配合	173
第一节 架空送电线路绝缘子选择	173
第二节 杆塔头部的空气间隙距离	179
第三节 导线的线间距离	185
第四节 避雷线与导线线间距离校验	188
第五节 直引跳线设计及耐张绝缘子串倒挂校验	193
第九章 线路的杆塔基础设计与校验	199
第一节 概述	199
第二节 基础上拔稳定计算	204
第三节 基础下压稳定计算	213
第四节 基础倾覆稳定计算	219
第五节 基础强度计算	228
第十章 弧垂观测及有关施工计算	241
第一节 观测弧垂及弧垂观测档	241
第二节 弧垂观测方法	244
第三节 连续倾斜档施工观测弧垂及线夹安装位置计算	250
第四节 地面画印架线计算	254
第五节 多档连紧施工计算	258
附录一 导线规格及机械物理特性	261

附录二	线路绝缘子型号及性能.....	267
附录三	常用线路金具规格型号.....	268
附录四	线路金具联接和组装.....	284
附录五	典型气象区.....	289
附录六	地基土的基本承载应力及承载应力系数.....	289
附录七	线路与其它设施交叉跨越规定.....	291
附录八	弱电线路等级及公路等级.....	294
参考文献	295

第一篇 架空电力线路导线力学计算原理

第一章 架空电力线路的结构及运行环境

本章将简要介绍架空电力线路的结构及其各个组成部分，并介绍架空电力线路的运行环境及荷载计算方法。

第一节 架空电力线路的结构

架空电力线路的功能是传送电能，它由导线经绝缘子串(或绝缘子)悬挂(或支撑固定)在杆塔上而构成，电压较高的架空电力线路(例如 35 kV 及以上)还沿全线或在发电厂、变电所的进线段部分敷设避雷线(图 1-1-1)。

在我国，35 kV 及以上的架空电力线路叫做高压架空送电线路，330 kV、500 kV 电力线路叫做超高压送电线路。送电线路过去也称为输电线路。10 kV 及以下电力线路叫做配电线路，其中 1~10 kV 的称为高压配电线路，1 kV 以下的称为低压配电线路。随着我国电力技术和电力事业的发展，有关标准、规程、规范、导则将不断修改、补充、日臻完善。目前，《城市电力网规划设计导则》(试行)已经把 35~110 kV 称为高压配电电压，把 10 kV 称为配电电压，相应的线路名称也因而变更。还有一些新的规程，将把 110 kV 及以上电力线路称为送电线路。就线路工程而言，在一定意义上，送、配电线路标志着线路设计、施工的等级，配电、送电、超高压送电线路有着不同等级的设计要求。本书重点讲授送电线路设计原理，有些章节顺便也提及配电线路设计问题。为了叙述方便，以下把架空送电线路一词简称为架空线路，或称为线路。

与架空线路结构有关的几个基本术语，分别说明如下：

① 档距——相邻两杆塔上导线悬挂点之间的水平距离称为档距，通常用字母 l 表示，见图 1-1-2。

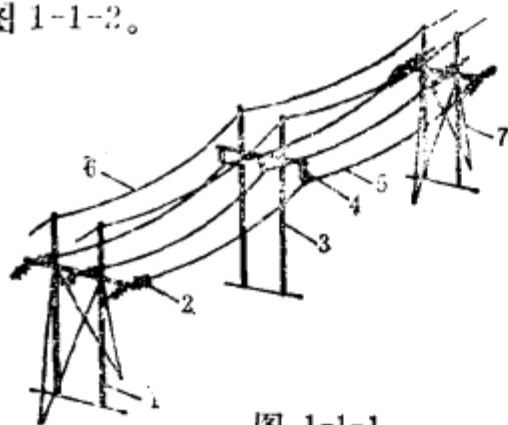


图 1-1-1

1. 耐张杆塔 2.耐张绝缘子串 3. 直线杆塔 4. 悬挂绝缘子串 5. 导线 6. 避雷线 7. 拉线

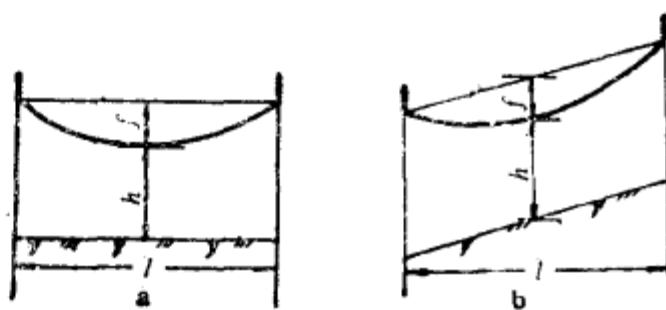


图 1-1-2

② 弧垂(弛度)——导线上任一点到悬挂点连线之间在铅直方向的距离称为弧垂,也叫弛度。一般情况下,如无说明,弧垂特指一档内的最大弧垂,通常用字母 f 表示,见图 1-1-2。当导线悬挂点等高(标高相等)时,档内最大弧垂在档距中央处;当导线悬挂点不等高(标高不等)时,档内最大弧垂近似在档距中央处。

③ 限距——导线到地面的最小允许距离称为限距,如图 1-1-2 中的 h 所示。限距的数值,我国原水利电力部 1979 年颁布的《架空送电线路设计技术规程(SDJ 3-79)》(以下简称《规程》)和《架空配电线路设计技术规程 SDJ 206-87》作了详细的规定,见第六章第二节。

一、导线及避雷线

1. 对导线及避雷线的要求

① 架空线路的导线是传送电能的通道,因此,应具有良好的导电性能。“绝缘避雷线”兼作载流线或载波通道,也应具有较好的导电性能。

② 导线、避雷线要承受机械力的作用,必须具有较高的机械强度。为了便于施工,导线、避雷线应坚韧、有柔性。

③ 架空导线、避雷线露置在大气中,可能受到空气中大气成分的侵蚀,应具有一定的抗氧化、抗腐蚀能力。

④ 导线、避雷线应价格低廉、重量较轻。

2. 导线材料 架空线路导线的材料有铝、铝合金、钢、铜等。

铝导线:铝导线的导电性能较好,20°C时电阻率为 $0.028264 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。但铝的机械强度较低,导线用电工圆铝线的抗拉强度为 159~188 MPa。因导线不能拉得太紧,将使弧垂加大,杆塔增高,从而使线路投资增加。铝线表面有密实的氧化膜,能防止铝线继续氧化。但是,它耐受酸、碱、盐侵蚀的能力较差。因此,铝导线一般适用于小档距线路,不宜用于沿海及盐湖附近地区。

铝合金线:铝合金是在铝中加入少量镁、硅、铁等金属制成的。它具有质量轻而机械强度较高的优点,抗拉强度为 294 MPa。但电阻率比铝线略高,20°C时电阻率为 $0.0328 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$,且耐振性能差,抗化学腐蚀能力和铝线相近。目前尚未获得大量推广。

铜导线:铜导线的导电性能很好,20°C时电阻率为 $0.0177 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。机械强度较高,抗拉强度为 380 MPa,并具有很强的抗氧化和抗腐蚀能力,是理想的导线材料。但是,铜是比较稀有的贵重有色金属,在各方面有广泛的用途,架空线路已很少采用。

钢导线:钢导线导电性能差,其电阻具有非线性特性,20°C时低碳钢线电阻率约为 $0.132 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。钢的机械强度高,钢丝的抗拉强度不小于 1310 MPa。但是,钢抗氧化、抗腐蚀能力差,一般表面应镀锌,或再采取其它防腐措施。钢导线一般用于大跨越档等要求导线机械强度很高的场所,也可以用作避雷线。过去在农村配电线路中曾采用过钢导线,目前已基本上淘汰。

3. 架空线路导线结构及型号 架空线路导线分为单股线和多股绞线。因为高压架空线路上不允许采用单股导线，所以实际上架空线路上均采用多股导线。多股导线的优点是比同样截面单股线的机械强度高、柔韧性好、可靠性高。同时，它的集肤效应较弱，截面金属利用率高。

(1) 单一金属多股绞线 单一金属多股绞线的断面如图 1-1-3 a 所示，有铝绞线(LJ)、铜绞线(TJ)及钢绞线(GJ)等几种。

导线产品用型号及规格来表示，前面字母表示导线的型号，横线后数字表示导线标称截面积规格，单位为 mm^2 。例如，LJ-120 表示标称截面积 120 mm^2 的铝绞线。

(2) 复合金属多股绞线 复合金属多股绞线一般利用导电好的金属股线和机械强度高的金属股线制成，二者取长补短，构成性能较好的导线。有钢芯铝绞线、铝包钢绞线（铜包钢绞线）及钢芯铝包钢绞线等。

钢芯铝绞线中部为多股或单股的钢芯，外面再绞上铝线，其截面结构见图 1-1-3 b。钢芯铝绞线型号为 LGJ，防腐钢芯铝绞线型号为 LGJF。产品用型号及铝线、钢线标称截面的规格来表示。例如，标称截面为铝 300 mm^2 、钢 50 mm^2 的钢芯铝绞线，表示为 LGJ-300/50。旧型号中，LGJJ 表示加强型钢芯铝绞线，LGJQ 表示轻型钢芯铝绞线。旧的产品仅标出铝的标称截面，不标钢芯截面规格（见附录一）。

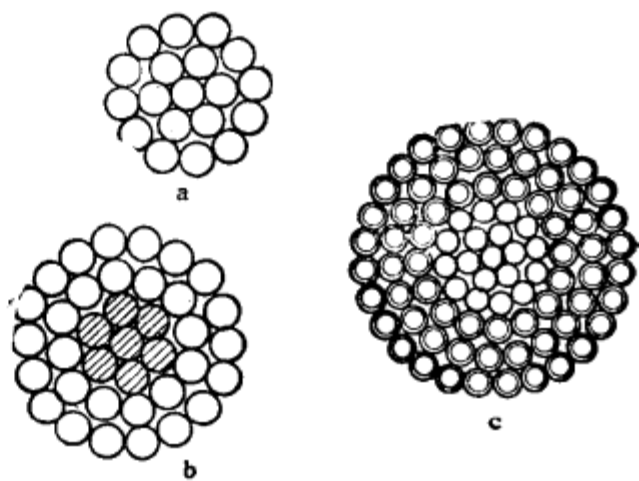


图 1-1-3 多股绞线

a. 单一金属多股绞线 b. 钢芯铝绞线 c. 钢芯铝包钢绞线

防腐型钢芯铝绞线可用于沿海及有腐蚀性气体的地方。

铝包钢绞线的每一股都以钢导线做芯线，外面再包一层铝，再把铝包钢股线绞合成多股线。

钢芯铝包钢绞线的内部为钢芯，外面再用铝包钢股线绞合，见图 1-1-3 c。

(3) 扩径导线及空芯导线 对于电压为 220 kV 及以上架空线路，为了削弱电晕、减少电晕损耗、减弱对无线电的干扰，为了降低线路电抗、提高线路传输能力，需要大大增加导线的外径。通常可采用相分裂导线，或采用扩径钢芯铝导线、空芯导线。扩径钢芯铝绞线及空芯导线的截面结构见图 1-1-4。空芯导线内腔为蛇形管。这两种导线在实际线路工程中使用较少。

4. 相分裂导线 相分裂导线是导线的一种布置方式，起扩大导线半径的作用，也叫裂相导线。每相导线由 $2 \sim 4$ 或更多根导线以一定的几何形状并联排列而成，如图 1-1-5 所示。每相中的一根导线称为子导线（也称次导线）。子导线之间的距离称分裂间距（也称次线间距离），如图 1-1-5 中 d 所示。为了使子导线之间保持稳定的线间距离，在导线上每隔 $30 \sim 80 \text{ m}$ 加一个间隔棒，使导线相对固定。相邻两间隔棒之间的水平距离称为次档

距。

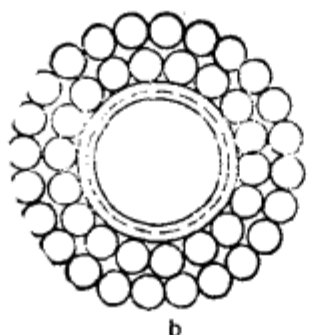
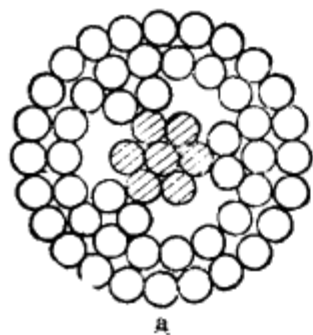


图 1-1-4 扩径钢芯铝绞线及空芯导线
a. 扩径钢芯铝绞线 b. 空芯导线

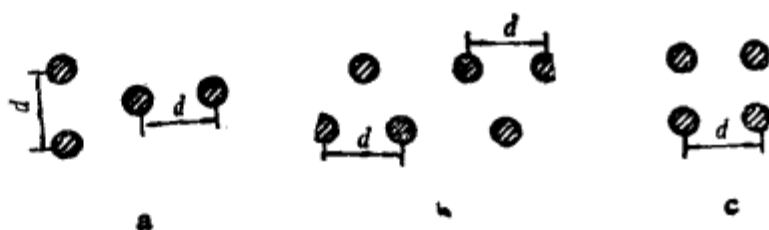


图 1-1-5 相分裂导线
a. 双分裂 b. 三分裂 c. 四分裂

5. 导线的机械、物理特性

(1) 导线的综合瞬时破坏应力 σ_p 导线的综合瞬时破坏拉断力除以导线的综合截面积称为导线的综合瞬时破坏拉应力，如下式所示：

$$\sigma_p = \frac{T_p}{S} \quad (1-1-1)$$

式中 σ_p ——导线的综合瞬时破坏拉应力(MPa)

T_p ——导线综合瞬时拉断力(N)

S ——导线的综合截面积(mm²)

常用导线的综合瞬时拉断力见附录一。

非标准的钢芯铝绞线，可用试验来取得数据。也可根据下式计算导线的计算拉断力 T_p ：

$$T_p = a n_l \sigma_l S_l + n_g \sigma_{1\%} S_g \quad (1-1-2)$$

式中 a ——铝线的强度损失系数，37股及以下的铝绞线取0.95，37股以上的铝绞线取0.90，各种钢芯铝绞线取1.0

n_l ——铝线根数

σ_l ——绞前抗拉强度最小值(MPa)，国产导线见GB 3955-83

S_l ——铝线截面(mm²)

n_g ——钢丝根数；

$\sigma_{1\%}$ ——钢丝伸长1%的应力(MPa)国产导线见GB 3428-82

S_g ——钢丝截面(mm²)

(2) 导线的弹性系数 E 如图 1-1-6 所示，单质材料均匀截面构件在轴向外力 T 的作用下，产生的轴向伸长为 Δl ，材料的正应力为 $\sigma = \frac{T}{S}$ 。材料的轴向相对变形为 $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$ (也叫伸长率)。根据材料力学中的虎克定律：单质材料均匀截面杆件，在轴向外力作用下，轴向相对变形和正应力成正比，用公式表示为：

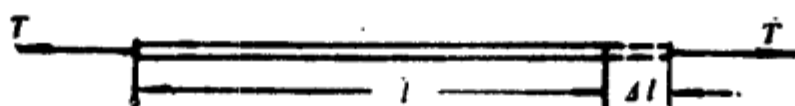


图 1-1-6

$$\epsilon/\sigma = \frac{1}{E} \text{ 或 } \sigma = \epsilon E \quad (1-1-3)$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{Tl}{S\Delta l} \quad (1-1-4)$$

式中 E ——材料的弹性系数，亦称弹性模量(MPa)

单质材料制成的导线的弹性系数，就是材料的弹性系数。标准型复合导线的弹性系数可由实验确定，其数值见附录一。对非标准型复合导线可用公式计算。下面以钢芯铝绞线为例，说明其计算方法。

设钢芯铝绞线弹性系数为 E_0 ，综合假想拉应力为 σ_0 ，则根据式(1-1-3)有

$$\sigma_0 = \epsilon E_0$$

设导线截面积为 S ，则作用于导线的外力为：

$$T_0 = \sigma_0 S = \epsilon E_0 S$$

设铝部和钢部拉应力分别为 σ_l 及 σ_g ，截面积分别为 S_l 和 S_g ，则

$$T_l = \sigma_l S_l = \epsilon_l E_l S_l$$

$$T_g = \sigma_g S_g = \epsilon_g E_g S_g$$

由于导线在外力作用下，只能发生一个统一的变形，因而

$$\epsilon_l = \epsilon_g = \epsilon$$

并且钢、铝两部作用力之和应等于外力，即：

$$T_g + T_l = T_0$$

则

$$\epsilon E_g S_g + \epsilon E_l S_l = \epsilon E_0 S$$

$$E_0 = \frac{E_g S_g + E_l S_l}{S} = \frac{E_g S_g + E_l S_l}{S_g + S_l} \quad (1-1-5)$$

$$\text{令铝、钢截面之比为 } m = \frac{S_l}{S_g} \quad (1-1-6)$$

将式(1-1-6)代入式(1-1-5)，得到钢芯铝绞线的弹性系数计算公式为

$$E_0 = \frac{m E_l + E_g}{m + 1} \quad (1-1-7)$$

式中 E_0 ——钢芯铝绞线的弹性系数(MPa)

E_l 、 E_g ——分别为铝、钢材料弹性系数(MPa)

m ——铝、钢截面积之比。

(3) 导线的温度线膨胀系数 α_0 (也叫温度伸长系数) 在温度 t_0 下，温度每升高 1°C ，单位长导线的伸长量称为导线在温度 t_0 下的温度线膨胀系数，记为 α_0 ，简称线膨胀系数。

对于单一材料制成的导线，其线膨胀系数就是材料的线膨胀系数。对于非标准复合导线，其线膨胀系数可用公式计算。

设在温度 t_0 下，钢、铝股线被自由绞捻成钢芯铝绞线。此时，钢股和铝股之间处在自由状态，不互相约束。现在我们取一段单位长导线，研究温度升高时的变形情况。假设温度自 t_0 升高至 t ，如果不受约束，铝部和钢部的伸长量 e_l 和 e_g 将分别为

$$e_l = \alpha_l(t - t_0)$$

$$e_g = \alpha_g(t - t_0)$$

但是，实际上因钢、铝股之间存在约束，铝、钢并不能分别伸长 e_l 和 e_g ，而只能共同伸长 e

$$e_g < e < e_l$$

导线的实际伸长为

$$e = \alpha_0(t - t_0) \quad (1-1-8)$$

此处 α_0 是钢芯铝绞线的温度线膨胀系数。

显而易见，铝股由于受到约束压力少伸长 $\Delta e_l = e_l - e$ ，这个约束压力为：

$$T_{yl} = \Delta e_l E_l S_l = (e_l - e) E_l S_l = (\alpha_l - \alpha_0)(t - t_0) E_l S_l$$

同理，钢股由于受到约束张力多伸长 $\Delta e_g = e - e_g$ ，则这个约束张力为

$$T_{yg} = \Delta e_g E_g S_g = (e - e_g) E_g S_g = (\alpha_0 - \alpha_g)(t - t_0) E_g S_g$$

因为 T_{yl} 和 T_{yg} 是一对作用力和反作用力，二者在数值上应相等，所以，

$$(\alpha_l - \alpha_0)(t - t_0) E_l S_l = (\alpha_0 - \alpha_g)(t - t_0) E_g S_g$$

整理得到：

$$\alpha_0 = \frac{\alpha_l E_l S_l + \alpha_g E_g S_g}{E_l S_l + E_g S_g} \quad (1-1-9)$$

将 $m = S_l/S_g$ 代入上式得：

$$\alpha_0 = \frac{m\alpha_l E_l + \alpha_g E_g}{m E_l + E_g} \quad (1-1-10)$$

式中 α_0 ——钢芯铝绞线线膨胀系数(1/°C)

α_g 、 α_l ——钢、铝材料的线膨胀系数(1/°C)

E_g 、 E_l ——钢、铝材料的弹性系数(MPa)

S_g 、 S_l ——钢、铝的截面积(mm²)

m ——铝、钢截面之比

标准型复合导线的线膨胀系数由试验确定，其数值参阅附录一。

二、绝缘子

绝缘子由绝缘部件与金属部件胶装在一起而构成。绝缘件的材料有电瓷、钢化玻璃、塑料、环氧树脂及合成材料等，目前应用最广泛的是电瓷。绝缘子的作用是支持固定带电

部分，使带电部分之间及其对地之间互相绝缘。绝缘子不仅要承受机械力和电压的作用，而且要承受大气中有害气体的侵蚀及温度变化的影响。因而，它除了满足一定的机、电强度之外，还应具有热稳定性和耐化学腐蚀性能。

架空线路用的绝缘子叫做线路绝缘子。线路绝缘子的型式如图 1-1-7~图 1-1-11 所示。其中图 1-1-7~图 1-1-9 所示的三种型式，绝缘子瓷件的击穿电压仅比其干闪电压高 30~50%，在油中可以测出绝缘子的击穿电压，称为可击穿型绝缘子。图 1-1-10~图 1-1-11 所示二种型式，绝缘子瓷件厚度几乎和它的沿面距离相等，叫做不击穿型绝缘子。

图 1-1-7 所示为蝶形绝缘子。它和 1 片悬式绝缘子组成绝缘子串，可以做为 6~10 kV 线路耐张型电杆的绝缘，一般很少单独使用。型号有 E-10, E-6 两种，其中数字表示电压等级。

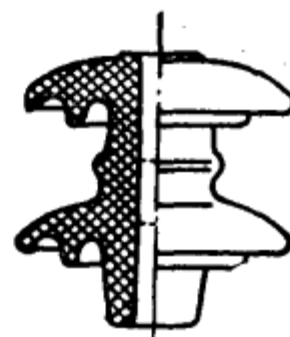


图 1-1-7 蝶形绝缘子

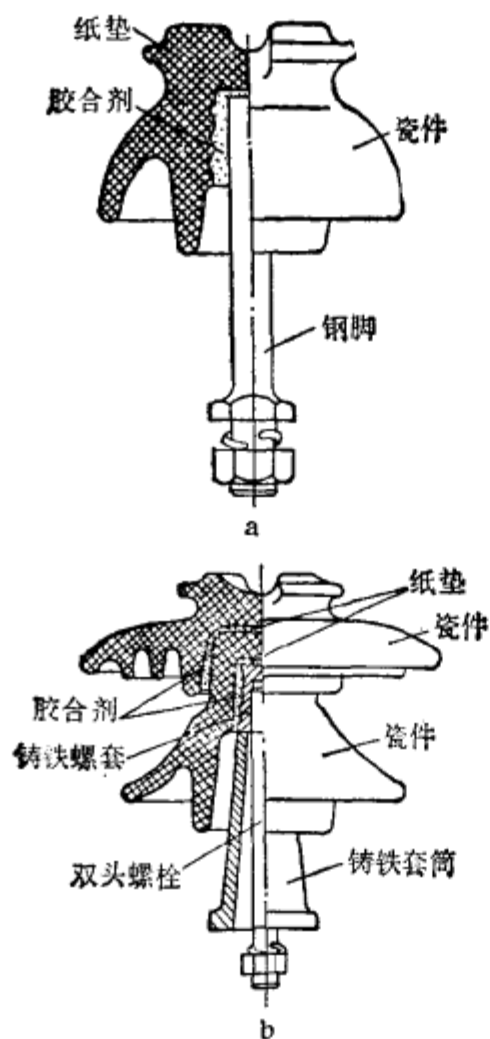


图 1-1-8 针式绝缘子
a. 6~15kV b. 35kV

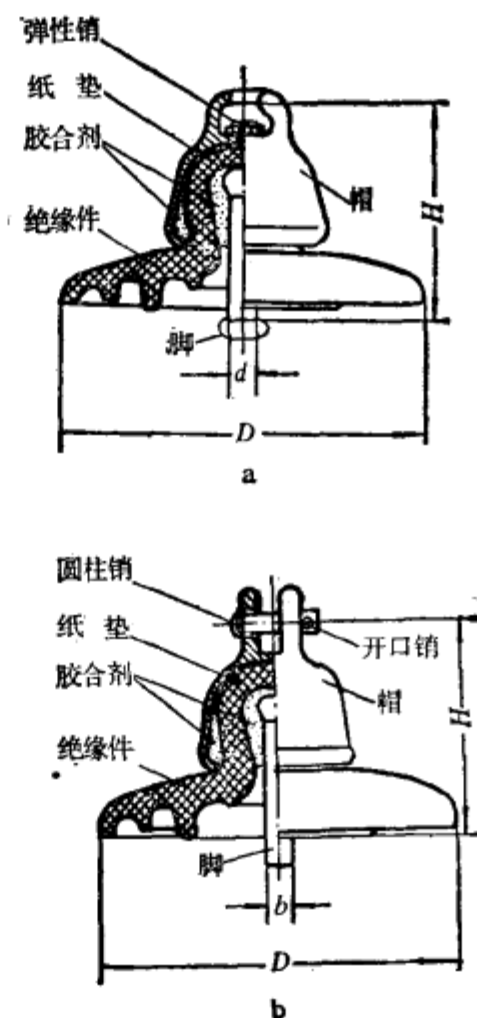


图 1-1-9 盘型悬式绝缘子
a. 球窝连接结构 b. 槽形连接结构

图 1-1-8 所示为针式绝缘子。主要用于 6~35 kV 架空线路直线杆塔。目前，35 kV 线路已较少采用针式绝缘子，而越来越多地采用悬式绝缘子或瓷横担。针式绝缘子型号主要

有P-6、P-10、P-15、P-35等，其中数字表示电压等级(kV)。有时，数字后面还有字母，字母的含义分别为：M——木担直脚，MC——加长的木担直脚，T——铁担直脚，W——弯脚。一般说来，针式绝缘子的电压应和线路电压相对应。但使用铁横担的线路，绝缘子应提高一个电压等级。例如：6 kV线路用P-10，10 kV线路用P-15等。

图1-1-9所示为盘形悬式绝缘子。图中绝缘件头部为圆锥形。还有一种绝缘子绝缘件头部为圆柱形(图中没有画出)。盘形悬式绝缘子除一般电气性能之外，还有一个很重要的性能是机电联合试验的拉伸负荷。一般用机电破坏负荷或一小时机电(拉伸)负荷来表示。绝缘子的型号通常要标出一小时机电负荷或机电破坏负荷。例如：X-4.5型即表示瓷绝缘悬式绝缘子，一小时机电负荷为4.5 tf(44.1kN)；XP-6型则表示机电破坏负荷为6 tf(58.8kN)，P表明按机电破坏负荷值表示型号。此外，前面冠以字母L则表示用钢化玻璃绝缘。数字后加字母C表示槽形连接结构。

图1-1-10所示为瓷横担。目前，多用于6~35 kV线路上，有时也用于110 kV线路。农村电网采用的“两线一地”供电方式，为了提高绝缘水平，也推荐采用瓷横担作为线路绝缘。其型号标法如SC-185、S-185 Z等，其中SC表示全瓷式，S表示胶装实芯式，Z表示直立式(水平式不用字母表示)，数字表示50%雷电冲击闪络电压。

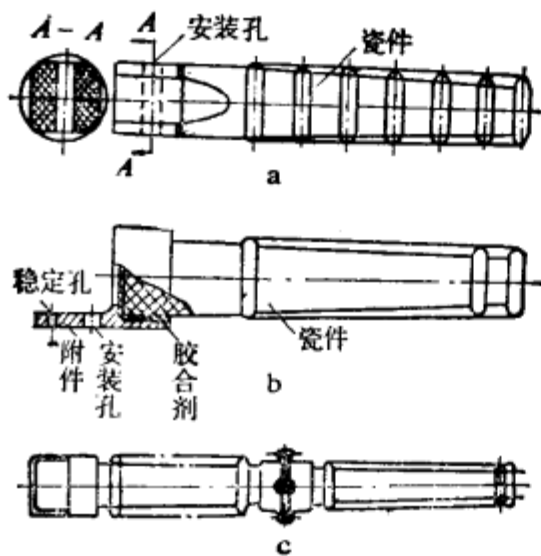


图 1-1-10 瓷横担
a. 纯瓷式 b. 胶装式 c. 单臂式



图 1-1-11 棒形悬式绝缘子

图1-1-11所示为棒形悬式绝缘子。其优点在于同一级电压的棒式绝缘子比盘形悬式绝缘子串短，这样可降低杆塔高度。但由于其制造工艺较为复杂，目前尚未在我国推广使用。

各种线路绝缘子的型号、性能参见附录二。

三、线路金具

杆塔、拉线、绝缘子、导线之间要相互连接，导线之间需要接续，导线还需防止因受风振动而折断。用于以上用途的金属零件或器材称为金具。金具种类很多，简要介绍如

下:

(1) 悬垂线夹 分固定悬垂线夹和释放悬垂线夹两种,用于直线杆塔上,使导线和悬垂绝缘子串连接。固定悬垂线夹还可以用于把避雷线固定在线架上(我国已不用释放悬垂线夹)。

(2) 耐张线夹 分螺栓式和压接式耐张线夹两类,用于紧固导线或避雷线的终端,使导线终端和耐张绝缘子串连接,使避雷线终端与线架连接。

(3) 联结金具 用于绝缘子与线夹、横担的联结。

专用联结金具——球头挂环、碗头挂板等,用于一端和绝缘子相联结的地方;

通用联结金具——U形挂环、直角挂板、三腿挂板、平行挂板、U形挂板、平行挂环、直角挂环、联板等,用于其它需要联结的部位。

(4) 接续金具 用于导线与导线接头处的联接。

圆形接续管用于大标号钢芯铝线间的接续或镀锌钢绞线间的接续;椭圆接续管用于中、小标号的钢芯铝线或铝绞线的接续。

并沟线夹、跳线线夹用于跳线的联接。

T形线夹用于变电所进出线及T接引下线的联接。

(5) 防护金具 包括防振锤、护线条,用于减弱导线的振动和增加导线的刚性、抗挤压及耐磨性等。

(6) 拉线金具 包括楔形线夹、UT型线夹(分可调、不可调)及拉线二联板等,用于拉线的固紧和组合,前者还可用作避雷线的耐张线夹。

金具的构造、型号、尺寸、性能等参见附录三。金具组装方式见附录四。

四、杆 塔

1. 杆塔的种类 按其在线路中的用途可分为直线杆塔、耐张杆塔、转角杆塔、终端杆塔、跨越杆塔和换位杆塔等。

(1) 直线杆塔 直线杆塔用于线路的直线地段,它承受线路垂直荷载和横向水平风荷载。在顺线路方向也有一定承载能力。直线杆塔采用针式绝缘子、瓷横担(6~35 kV)或悬垂绝缘子串(35 kV及以上)。

直线杆一般用固定横担和固定线夹。有时为了减轻断线后导线对杆塔的作用力,在直线塔上采用转动横担、变形横担,但在我国极少采用。

(2) 耐张杆塔 耐张杆塔也叫承力杆塔,是一种坚固、稳定的杆塔,用以锚固导线和避雷线,把它两侧的线路从机械结构上分隔为两个区段(叫耐张段),从而便于施工和检修,同时限制线路机械事故的范围。耐张杆塔采用耐张绝缘子串并用耐张线夹固定导线。

(3) 转角杆塔 转角杆用在线路的转角处,分为直线型和耐张型两类。6~10 kV线路,30°以下的转角杆为直线型,30°及以上用耐张型。35 kV及以上线路,转角为5°以下时用直线型,5°以上用耐张型。转角杆比直线杆多承受沿分角线方向导线张力的合力。

(4) 终端杆塔 终端杆塔是一种承受单侧拉力的耐张杆塔，它位于线路的首末两端，即发电厂或变电站出线或进线的第一基杆塔。

(5) 跨越杆塔 跨越杆塔位于线路与河流、山谷、铁路等交叉跨越的地方。跨越杆塔是较高的直线型或耐张型杆塔。

(6) 换位杆塔 换位杆塔用于导线进行换位的地方。导线换位的方法有直线换位、耐张换位和悬空换位等几种，换位杆塔的型式也不同。

2. 杆塔的材料 按所用材料的不同，杆塔分为钢筋混凝土杆塔(简称水泥杆)、铁塔及木杆三类。

(1) 水泥杆 优点是节约钢材，经久耐用，一般可用 50~100 年之久，便于维护，运行费低，相同电压等级情况下，比铁塔造价低，线路施工期短。缺点是笨重，运输困难，强度低于铁塔，拉线占地面积大。在 220 kV 及以下线路中使用较多。

(2) 铁塔 主要优点是牢固可靠，使用年限长。缺点是价格贵，耗费钢材量大，维护工作量大。主要用于 220 kV 及以上线路，也用于 35~110 kV 线路。

(3) 木杆 木杆造价低，便于运输，便于施工。但消耗大量木材，运行维护麻烦，我国已很少采用。有的国家用化学方法进行防腐处理，大大提高了使用年限，还在配电线路上使用。

3. 杆塔结构介绍

(1) 直线杆塔 6~10 kV 线路一般采用全长 9~12 m 钢筋混凝土拔梢单杆，梢径为 $\phi 150\sim 190$ mm，锥度为 1/75。

35~60 kV 线路过去用分段拔梢单杆，梢径为 $\phi 190\sim 230$ mm，全长 15~18 m，见图 1-1-12 a。为了增强线路的抗风能力和线路的稳固性，目前不少地区采用拉线单杆。在特殊地段如泥洼、沼泽地或大档距可使用等径 $\phi 300$ mm、全长 18~21 m 分段组立拉线单

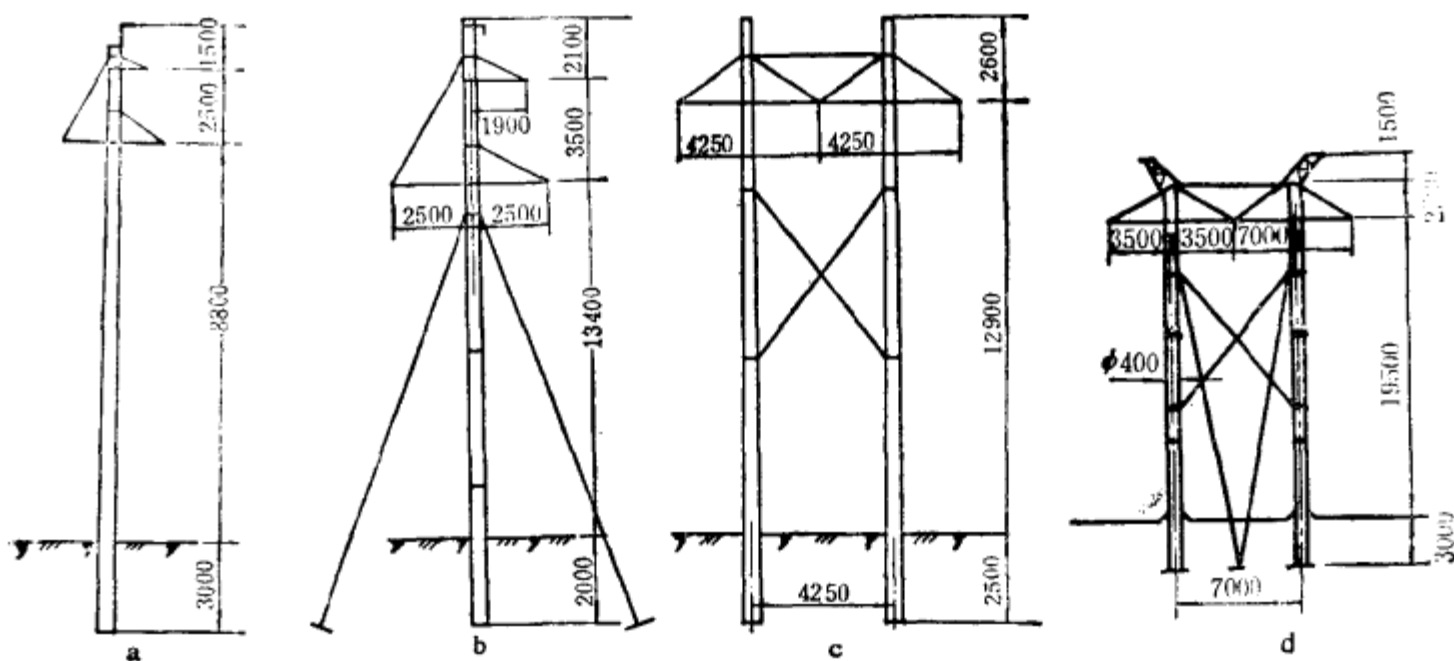


图 1-1-12 直线水泥杆示意图

a. 无拉线单杆 b. 有拉线单杆 c. 无拉线双杆 d. 有拉线双杆