

21世纪电学科高等学校教材

架空线路 设计

柴玉华 王艳君 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21世纪电学科高等学校教材

架空线路设计

主 编 柴玉华 王艳君

副 主 编 王 刚

参编人员 王立舒 孙国凯 肖志刚

范永存 许洪军

主 审 朴在林

NBA 237/14



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书包括架空线路基本知识、均匀荷载孤立档距导线力学基本计算、均匀荷载孤立档距导线力学应用计算、杆塔的定位原理、杆塔校验、架空线路对通信线路的影响和保护六部分。着重介绍了架空线路的基本概念、计算及分析方法，并附有必要的例题及习题。

本书为高等院校农业电气化及自动化专业的教材，也可作为电力工程专业有关课程的教材或参考资料，还可以供从事这方面工作的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

架空线路设计/柴玉华,王艳君主编. —北京:中国水利水电出版社,2001.7
21世纪电学科高等学校教材
ISBN 7-5084-0729-6

I. 架… II. ①柴…②王… III. 架空线路-设计-高等学校-教材 IV. TM726.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 044524 号

书 名	21世纪电学科高等学校教材 架空线路设计
作 者	柴玉华 王艳君 主编
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: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	水利电力出版社印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 7印张 165千字
版 次	2001年8月第一版 2001年8月北京第一次印刷
印 数	0001—5100册
定 价	14.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

《架空线路设计》一书是由全国高等农业院校电学科教材研究会组织编写的系列教材之一。该书的基本内容符合全国高等农业院校电学科教材研究会审定的《架空线路设计》教学大纲，适用于高等农业、林业、水利水电院校或其它院校电气化自动化、电力工程等本、专科学生使用，以及电气工程技术人员和电气技术爱好者参考与自学。

在本教材编写过程中，作者总结和吸收了各院校教学和教学改革的有益经验，并查阅了有关资料，注重理论的系统性和应用性，本教材从实际应用出发，根据专业特点和培养目标，在内容取舍上尽量做到简明、实用，通俗易懂。使之更适合于组织教学和学生自学。书中例题、习题丰富，图形、符号均采用最新国家标准。本教材参考学时为30~50学时。参加本教材编写的单位有：东北农业大学、河北农业大学、沈阳农业大学、黑龙江农业工程职业学院等四所学院。参加本书编写人员：柴玉华、王艳君、王刚、王立舒、孙国凯、肖志刚、范永存、许洪军等，全书由沈阳农业大学朴在林教授主审。

由于编写水平和时间所限，书中疏漏和不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2001年6月

目 录

前 言

第一章 架空线路基本知识	1
第一节 架空线路的应用	1
第二节 架空线路设计气象条件及换算	9
第三节 架空线路的设计及路径选择	15
第四节 导线与避雷线的选择	19
第五节 绝缘子的选择	23
习题	26
第二章 均匀荷载孤立档距导线力学基本计算	27
第一节 导线的机械物理特性及比载	27
第二节 均匀荷载孤立档距的导线悬垂曲线方程	31
第三节 悬挂点等高时导线的应力与弧垂	34
第四节 悬挂点不等高时导线的应力与弧垂	36
习题	38
第三章 均匀荷载孤立档距导线力学应用计算	39
第一节 导线的状态方程	39
第二节 临界档距及控制气象条件的判断	42
第三节 导线机械特性曲线	49
第四节 导线安装曲线	49
第五节 最大弧垂的计算及判断	52
习题	55
第四章 杆塔的定位原理	56
第一节 杆塔的确定	56
第二节 杆塔的定位原理	59
第三节 防振措施	61
第四节 工程概算	70
习题	71
第五章 杆塔校验	72
第一节 杆塔倒拔校验	72
第二节 绝缘子串倒挂校验及机械强度校验	74
第三节 悬垂绝缘子串摇摆角的确定	76
第四节 导线悬点应力及交叉跨越校验	79
第五节 杆塔基础校验	81

习题	84
第六章 架空线路对通信线路的影响和保护	85
第一节 概述	85
第二节 有关名词定义	85
第三节 电力线路对电信线路的危险影响	87
第四节 架空线路对通信线路的干扰影响	90
第五节 危险影响与干扰影响的防护措施	92
习题	93
附录一 导线规格及机械物理特性	94
附录二 线路绝缘子型号及性能	100
附录三 典型气象区	102
附录四 线路与其它设施交叉跨越规定	103
附录五 弱电线路等级及公路等级	105
参考文献	106

第一章 架空线路基本知识

第一节 架空线路的应用

输电线路按结构分为架空线路和电缆线路。由于电缆线路的技术要求和施工费用远高于架空线路，所以除了特殊情况（如地面狭窄而线路拥挤或有特殊要求等）外，目前广泛用架空输电线路。

架空输电线路是由绝缘子将导线架设在杆塔上，并与发电厂或变电站互相连接，构成电力系统或电力网，用以输送电能。

一、架空线路的特点

架空输电线路由导线、避雷线、电杆（杆塔）、绝缘子串和金具等主要元件组成，如图 1-1 所示。导线用来传导电流，输送电能；避雷线是把雷电流引入大地，以保护线路绝缘免遭大气过电压的破坏；杆塔用来支持导线和避雷线，并使导线和导线间，导线和避雷线间，导线和杆塔间以及导线和大地、公路、铁轨、水面、通信线等被跨越物之间，保持一定的安全距离；绝缘子是用来使导线和杆塔之间保持绝缘状态；金具是用来连接导线或避雷线，将导线固定在绝缘子上，以及将绝缘子固定在杆塔上的金属元件。

与电缆线路相比，采用架空输电线路具有如下显著优点：线路结构简单，施工周期短，建设费用低，输送容量大，维护检修方便。但是线路设备长期露置在大自然环境中，遭受各种气象条件（如大风、覆冰雪、气温变化、雷击等）的侵袭、化学气体的腐蚀及外力的破坏，出现故障的机率较高，因此线路的设计、施工必须符合有关标准的要求，并在运行过程中，加强线路的巡视和维护，以保证连续安全供电。

1. 导线

导线是线路的主要组成部分，用以传输电流。架空线路的导线不仅要有良好的导电性能，还应具有以下特点：机械强度高、耐磨耐折、抗腐蚀性强及质轻价廉等。

常用的导线材料有铜、铝、钢、铝合金等。各种材料的物理性能见表 1-1 所示。

由表 1-1 可见，铜的导电性能最好，机械强度高、耐腐蚀性强，是一种理想的导线材料。但由于铜相对于其它金属来说用途较广而储量较少，因此，架空线路的导线，除特殊需要外，一般都不采用铜导线。

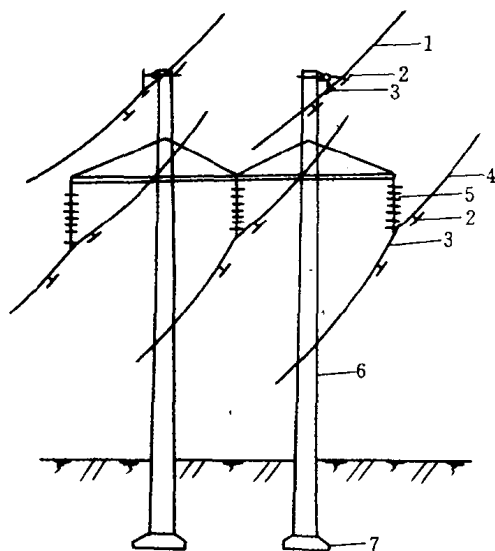


图 1-1 架空线路的组成元件

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

表 1-1

导线材料的物理特性

材料	20℃时的电阻率 ($10^{-6}\Omega \cdot m$)	比重 (N/cm^3)	抗拉强度 (N/mm^2)	抗化学腐蚀能力及其它
铜	0.0182	0.089	390	表面易形成氧化膜, 抗腐蚀能力强 表面氧化膜可防继续氧化, 但易受酸碱盐的腐蚀 在空气中易锈蚀, 须镀锌 抗化学腐蚀性能好, 受振动时易损坏
铝	0.029	0.027	160	
钢	0.103	0.0785	1200	
铝合金	0.0339	0.027	300	

铝的导电率仅次于铜。铝的比重小, 采用铝线时杆塔受力较小。但由于铝的机械强度低, 允许应力小, 所以铝导线只用在档距较小的 10kV 及以下的线路。此外, 铝的抗酸、碱、盐的能力较差; 故沿海地区和化工厂附近不宜采用。

钢的导电率是最低的, 但它的机械强度很高, 在线路跨越山谷、江河等特大档距中有时采用钢导线。钢线需要镀锌以防锈蚀。

铝合金是在铝中加入少量镁、硅、铁等元素制成的。它具有重量轻而机械强度较高的优点, 其电阻率比铝线略高, 但耐振性差, 目前尚未大量使用。

架空线路的导线结构可分三种形式, 如图 1-2 所示:

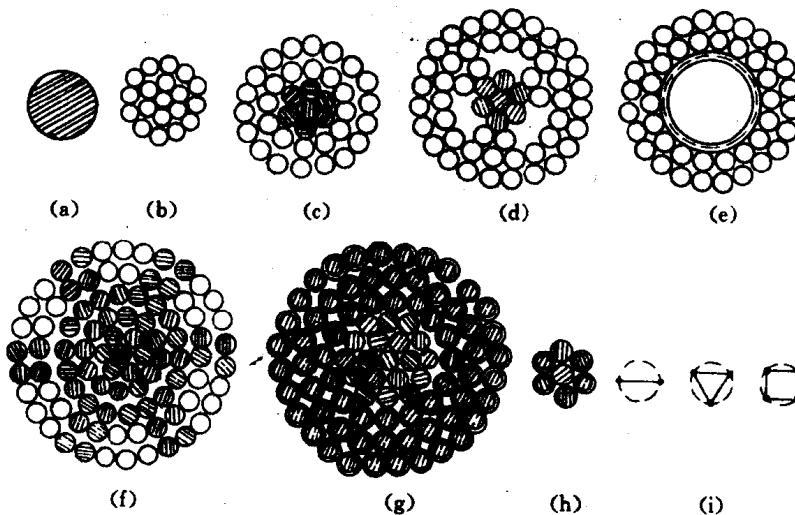


图 1-2 架空线路各种导线和避雷线断面

(a) 单股导线; (b) 单金属多股绞线; (c) 钢芯铝绞线; (d) 扩径钢芯铝绞线; (e) 空心导线 (腔中为蛇形管);
(f) 钢铝混绞线; (g) 钢芯铝包钢绞线; (h) 铝包钢绞线避雷线; (i) 分裂导线

(1) 单股线;

(2) 单金属多股线;

(3) 复合金属多股绞线 (包括钢芯铝绞线、扩径钢芯铝绞线、空心导线、钢铝混绞线、钢芯铝包钢绞线、铝包钢绞线、分裂导线)。

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绞线。多股绞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。

若架空线路的输送功率大，导线截面大，对导线的机械强度要求高，而多股单金属铝绞线的机械强度仍不能满足要求时，则把铝和钢两种材料结合起来制成钢芯铝绞线，这样不仅有很好的机械强度，并且有较高的电导率，其所承受的机械荷载则由钢芯和铝线共同负担。这样，既发挥了两种材料的各自优点，又补偿了它们各自的缺点。因此，钢芯铝绞线被广泛地应用在 35kV 及以上的线路中。

架空线路导线的型号，是由导线材料、结构和载流截面积三部分表示的。导线材料和结构用汉语拼音字母表示。如：T——铜线；L——铝线；G——钢线；J——多股绞线；Q——轻型；J——加强型；TJ——铜绞线；LJ——铝绞线；GJ——钢绞线；LGJ——钢芯铝绞线。导线截面用 mm^2 为单位。如 LJ—120 表示标称截面积为 120mm^2 的铝绞线；又如 LGJ—300/50 表示铝的标称截面为 300mm^2 、钢的标称截面为 50mm^2 的钢芯铝绞线。

钢芯铝绞线按照铝钢截面比的不同又分为普通型钢芯铝绞线 (LGJ)；轻型钢芯铝绞线 (LGJQ)；加强型钢芯铝绞线 (LGJJ)。普通型和轻型钢芯铝绞线，用于一般地区；加强型钢芯铝绞线，用于重冰区或大跨越地段。

对于电压为 220kV 及以上的架空线路，为了减小电晕以降低损耗和对无线电的干扰以及为了减小电抗以提高线路的输送能力，应采用扩径导线、空心导线或分裂导线。因扩径导线 [如图 1-2 (d)] 和空心导线 [如图 1-2 (e)] 制造和安装不便，故输电线路多采用分裂导线 [如图 1-2 (i)]。分裂导线每相分裂的根数一般为 2~4 根，并以一定的几何形状并联排列而成。每相中的每一根导线称为次导线，两根次导线间的距离称为次线间距离，在一个档距中，一般每隔 30~80m 装一个间隔棒，两相邻间隔间的水平距离为次档距。

在一些线路的特大跨越档距中，为了降低杆塔高度，要求导线具有很高的抗拉强度和耐振强度，国内外特大跨越档距，一般用强拉力钢绞线，但也有加强型钢芯铝绞线和特制的钢铝混绞线 [如图 1-2 (f)] 及钢芯铝包绞线 [如图 1-2 (g)]。

2. 避雷线

输电线路的避雷线一般采用有较高强度的镀锌钢绞线。个别线路或线段由于特殊需要，有时采用铝包钢绞线 [如图 1-2 (h)]、钢芯铝绞线或铝镁合金绞线等良导体。但采用良导体做避雷线时，线路投资较高，故一般很少采用。镀锌钢绞线，容易加工，便于供应，价格便宜，所以得到广泛采用。

避雷线是装设在导线上方，且直接接地，作为防雷保护之用，以减少雷击导线的机会，提高线路的耐雷水平，降低雷击跳闸率，保证线路安全送电。

根据运行经验，110kV 及以上的输电线路，应沿全线架设避雷线；经过山区的 220kV 输电线路，应沿全线架设双避雷线；330kV 及以上的输电线路，应沿全线架设双避雷线；60kV 线路，当负荷重要，且经过地区雷电活动频繁，年均雷电日在 30 日以上，宜沿全线装设避雷线；35kV 线路一般不沿全线架设避雷线，仅在变电站线 1~2km 的进出线上架设避雷线，以防护导线及变电站设备免遭直接雷击。

二、输电线路有关的几个术语

1. 档距

相邻杆塔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 1-3。

2. 弧垂

导线上任一点到悬挂点连线之间在铅垂方向的距离称为弧垂。一般情况下，弧垂特指一档距内的最大弧垂，用字母 f 表示，见图 1-3。当导线悬挂点等高时，最大弧垂在档距中央处；当导线悬挂点不等高时，最大弧垂近似在档距中央处。

3. 限距

导线到地面的最小距离称为限距，用字母 h 表示，见图 1-3。

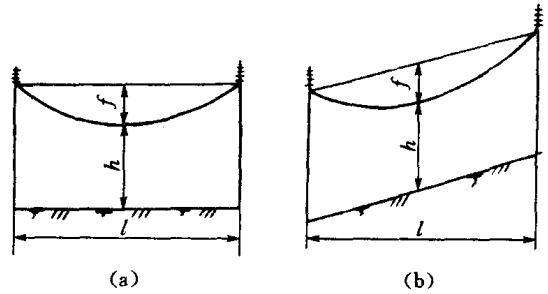


图 1-3 档距、弧垂、限距示意图
(a) 悬挂点等高；(b) 悬挂点不等高

三、杆塔的种类及金具

1. 杆塔的种类

杆塔是用来支持导线和避雷线，以使导线之间、导线与避雷线之间、导线与地面及交叉跨越物之间保持一定的安全距离，保证线路安全运行。

杆塔按其在线路上的用途可分为：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。用于线路的直线段上，用悬垂绝缘子或 V 型绝缘子串支持导线。如图 1-4 (a) 为直线单杆，图 1-4 (b) 为直线双杆。直线杆塔在架空线路中的数量最多，约占杆塔总数的 80% 左右。在线路正常运行的情况下，直线杆塔不承受顺线路方向的张力，而仅承受导线、避雷线的垂直荷载（包括导线和避雷线的自重、覆冰重和绝缘子重量）和垂直于线路方向的水平风力，所以，其绝缘子串是垂直悬挂的。只有在杆塔两侧档距相差悬殊或一侧发生断线时，直线杆塔才承受相邻两档导线的不平衡张力。直线杆塔一般不承受

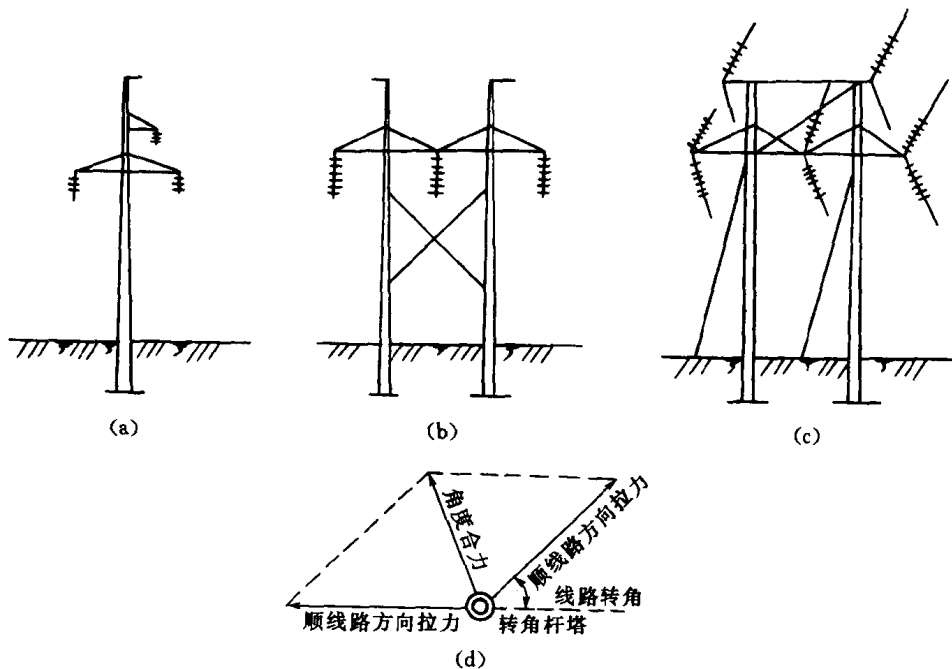


图 1-4 钢筋混凝土杆塔杆型及转角杆塔的受力图

(a) 直线单杆；(b) 直线双杆；(c) 转角杆；(d) 转角杆塔受力图

角度力，因此直线杆塔对机械强度要求较低，造价也较低廉。

(2) 耐张杆塔。耐张杆塔又叫承力杆塔，用于线路的分段承力处。在耐张杆塔上是用耐张绝缘子串和耐张线夹来固定导线的。正常情况下，除承受与直线杆塔相同的

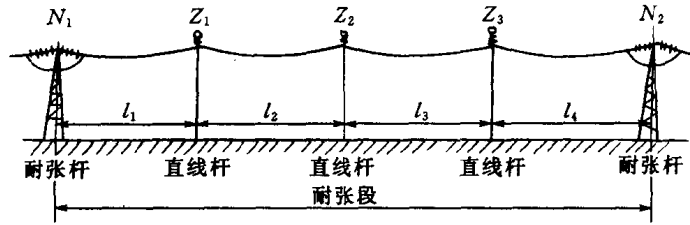


图 1-5 线路的一个耐张段

荷载外，还承受导线、避雷线的不平衡张力。在断线故障情况下，承受断线张力，防止整个线路杆塔顺线路方向倾倒，将线路故障（如倒杆、断线）限制在一个耐张段（两耐张杆塔之间的距离）内。线路的一个耐张段如图 1-5 所示。10kV 路的耐张长度一般为 1~2km。35~110kV 线路的耐张长度一般为 3~5km。根据具体情况，也可适当地增加或缩短耐张段的长度。

(3) 转角杆塔。转角杆塔用于线路转角处，图 1-4 (c) 所示为转角杆塔。转角杆塔两侧导线的张力不在一条直线上，因而须承受角度力，如图 1-4 (d)。转角杆的角度是指转角前原有线路方向的延长线与转角后线路方向之间的夹角。

转角杆分为直线型和耐张型两种。6~10kV 线路，30°以下的转角杆为直线型；30°以上用耐张型。35kV 及以上线路，转角为 5°以下时用直线型；5°以上时用耐张型。转角杆塔除应承受垂直重量和风荷载以外，还应能承受较大的角度力。角度力决定于转角的大小和导线的水平张力。

(4) 终端杆塔。终端杆塔位于线路的首、末端，即发电厂或变电站进线、出线的第一基杆塔。终端杆塔是一种承受单侧张力的耐张杆塔。

(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。跨越杆塔也分为直线型和耐张型两种。当跨越档距很大时，就得采用特殊设计的耐张跨越杆塔，其高度也较一般杆塔高得多。

(6) 换位杆塔。换位杆塔是用来进行导线换位的。高压输电线路的换位杆塔分滚式换位用的直线型换位杆塔和耐张型换位杆塔两种。

杆塔按使用的材料可分为：木杆、钢筋混凝土杆和铁塔三种。

(1) 木杆。优点是质轻，便于运输和施工，投资少，耐雷水平高。缺点是强度低、易腐蚀、寿命短，同时由于木材在国民经济建设中需用量大，所以木杆已被钢筋混凝土杆所代替。

(2) 钢筋混凝土杆。优点是使用年限长，一般寿命不少于 30 年，维护工作量小，节约钢材，投资少。缺点是比较重，施工和运输不方便。因此对较高的水泥杆，均采用分段制造，现场进行组装。由于钢筋混凝土杆有比较突出的优点，因此在我国普遍使用。

(3) 铁塔。铁塔是用角钢焊接或螺栓连接的钢架。其优点是机械强度大，使用年限长，运输和施工方便，但钢材消耗量大，造价高，施工工艺较复杂，维护工作量大，因此，铁塔多用于交通不便和地形复杂的山区，或一般地区的特大荷载的终端、耐张、大转角、大跨越等特种杆塔。

杆塔各部分的名称如图 1-6 和图 1-7 所示。

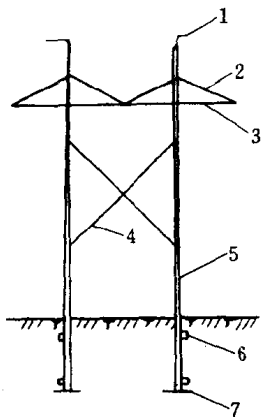


图 1-6 电杆各部分名称
1—避雷线支架；2—横担吊杆；
3—横担；4—叉梁；5—电杆；
6—卡盘；7—底盘

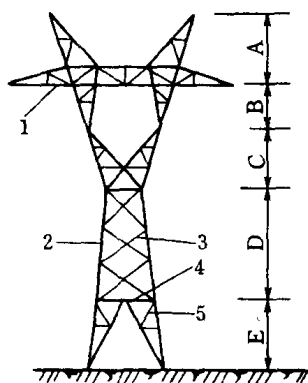


图 1-7 铁塔各部分名称
A—避雷线支架和横担；
B—上曲臂；C—下曲臂；
D—塔身；E—塔腿；
1—横担；2—主材；
3—斜材；4—横材；
5—辅助材

2. 金具

线路金具在架空输电线路中起着支持、紧固、连接、接续、保护导线和避雷线的作用，并且能使拉线紧固。金具的种类很多，按照金具的性能及用途大致可分为以下几种：

(1) 支持金具。即悬垂线夹，如图 1-8 所示。悬垂线夹用于将导线固定在直线杆塔上的绝缘子串上；将避雷线悬挂在直线杆塔上；也可以用来支持换位杆塔上的换位或固定非直线杆塔上的跳线（俗称引流线）。

悬垂线夹按其性能分为固定型和释放型两类。固定型悬垂线夹适用于导线和避雷线。线路在正常运行或发生断线时，导线在线夹中都不允许

滑动或脱离绝缘子串，因此杆塔承受的断线张力较大。释放型线夹在正常情况下和固定型一样夹紧导线，但当发生断线时，由于线夹两侧导线的张力严重不平衡，使绝缘子串发生偏斜，偏斜至某特定角度 φ （一般为 $35^\circ \pm 5^\circ$ ）时，导线即连同线夹的船形部件从线夹的挂架中脱落，导线在挂架下部的滑轮中，顺线路方向滑落到地面，这样做的目的是为了减小

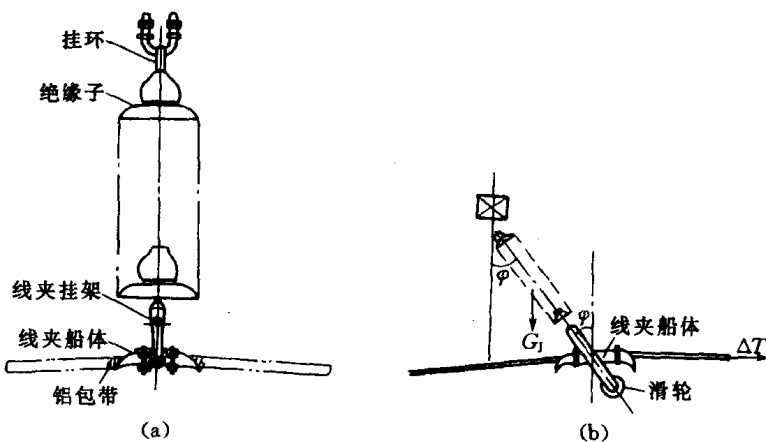


图 1-8 悬垂线夹
(a) 固定型；(b) 释放型（在动作时）

直线杆塔在断线情况下所承受的不平衡张力，从而减轻杆塔的受力。释放线夹不适用于居民区或线路跨越铁路、公路、河流以及检修困难地区，也不适宜用在容易发生误动作的线路上，如档距相差悬殊或导线悬挂点高度相差十分悬殊的山区和重冰区线路等。总之，释放线夹使用有限。

(2) 紧固金具。即耐张线夹，用于将导线和避雷线固定在非直线杆塔（如耐张、转角、

终端杆塔等)的绝缘子串上,承受导线或避雷线的拉力。

导线用的耐张线夹有螺栓型耐张线夹和压缩型耐张线夹。对于导线截面 240mm^2 及以下者,因张力较小,采用图 1-9 (a) 所示的螺栓型耐张线夹,而当导线截面为 300mm^2 及以上时,则采用压缩型耐张线夹,如图 1-9 (b) 所示。

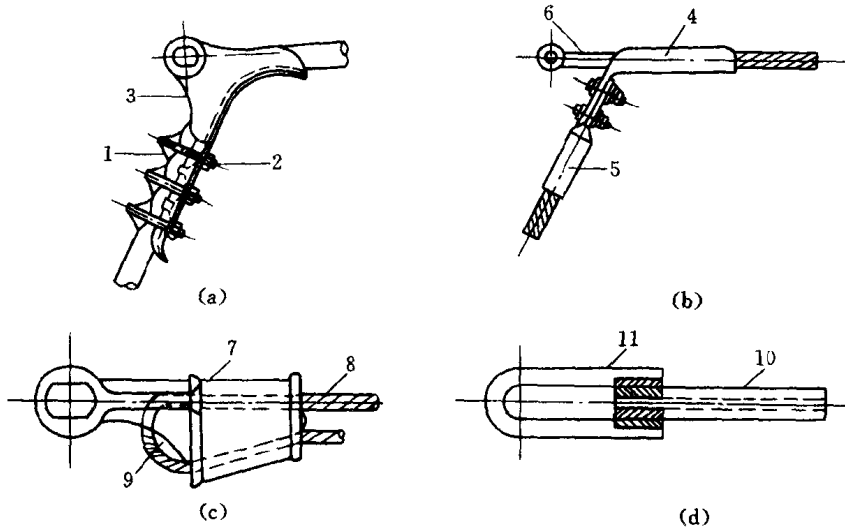


图 1-9 耐张线夹

(a) 螺栓型耐张线夹; (b) 导线用压缩型耐张线夹; (c) 楔型耐张线夹 (d) 避雷线用压缩型耐张线夹

1—压板; 2—U 形螺丝; 3、7—线夹本体; 4—线夹铝管; 5—引流板; 6—钢锚;

8—钢绞线; 9—楔子; 10—钢管; 11—钢锚拉环

避雷线用的耐张线夹有楔型线夹和压缩型线夹两种。采用截面 50mm^2 以下的钢绞线作为避雷线时,使用图 1-9 (c) 所示的楔型耐张线夹。若避雷线截面超过 50mm^2 时由于张力较大故应用如图 1-9 (d) 所示的压缩型耐张线夹。

(3) 连接金具。连接金具主要用于将悬式绝缘子组装成串,并将绝缘子串连接、悬挂在杆塔横担上。悬垂线夹、耐张线夹与绝缘子串的连接,拉线金具与杆塔的连接,均要使用连接金具。根据使用条件,分为专用连接金具和通用连接金具两大类。

专用连接金具用于连接绝缘子,其连接部位的结构和尺寸必须与绝缘子相同。线路上常用的专用连接金具有球头挂环和碗头挂板 [如图 1-10 (a)、(b) 所示],分别用于连接悬式绝缘子上端钢帽及下端钢脚。

通用连接金具适用于各种情况下的连接,以荷重大小划分等级,荷重相同的金具有互换性。线路上常用的通用连接金具有直角挂板、U 形挂环、二联板等,如图 1-10 (c)、(d)、(e) 所示。

(4) 接续金具。接续金具用于连接导线及避雷线的端头,接续非直线杆塔的跳线及补修损伤断股的导线或避雷线。

架空线路常用的连接金具有钳接管、压接管、补修管、并沟线夹及跳线线夹等。

导线本身连接时,当其截面为 240mm^2 及以下时可采用钳接管连接,如图 1-11 (a) 所示。若导线截面为 300mm^2 及以上时,因其导线张力较大,如仍采用钳接管连接,其连接强度不能满足要求,故应采用压接管连接,如图 1-11 (b) 所示。用压接管连接导线时,先用

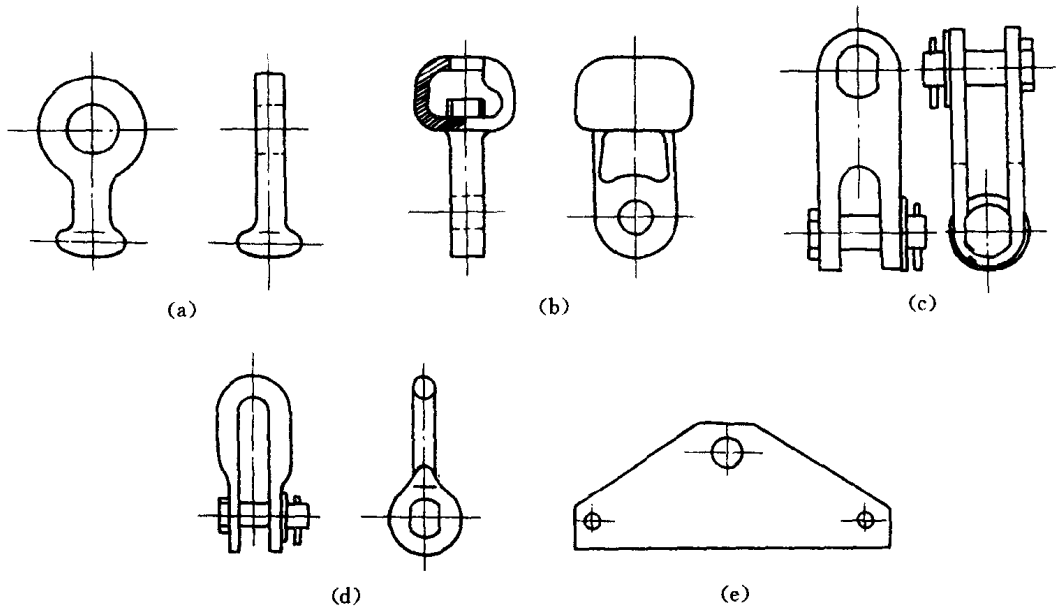


图 1-10 连接金具

(a) 球形挂环；(b) 碗头挂板；(c) 直角挂板；(d) U 形挂环；(e) 二联板

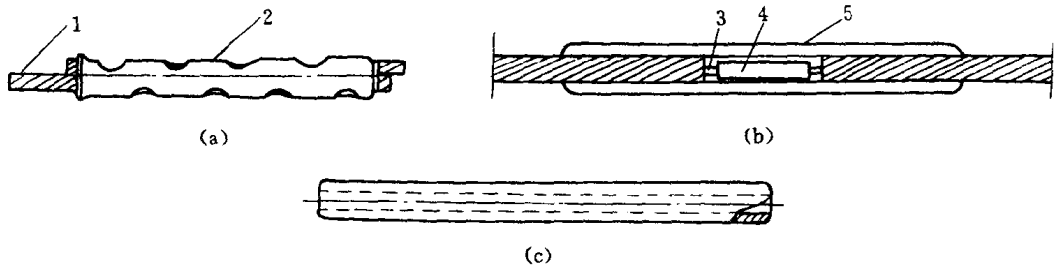


图 1-11 接续金具

(a) 导线用钳接管连接；(b) 导线用压接管连接；(c) 连接钢绞线用的钢压接管

1—导线；2—钳接管；3—导线钢芯；4—钢管；5—铝管

钢管将导线的钢芯压接连接，然后将导线外部套入铝管压接。避雷线采用钢绞线，无论截面大小均采用钢压接管用压接方法连接，如图 1-11 (c) 所示。

(5) 保护金具。保护金具分为机械和电气两大类。机械类保护金具是防止导线、避雷线因受振动而造成断股。电气类保护金具是防止绝缘子因电压分布不均匀而过早损坏。

线路上常使用的保护金具有防振锤、护线条、间隔棒、均压环、屏蔽环等。如图 1-12 ~ 图 1-14 所示。

(6) 拉线金具。拉线金具主要用于固定拉线杆塔，包括从杆塔顶端引至地面拉线之间的所有零件。根据使用条件，拉线金具可分为紧线、调节和连接三类。紧线零件用于紧固拉线端部，与拉线直接接触，必须有足够的握着力。调节零件用于调节拉线的松紧。连接零件用于拉线组装。

线路常用的拉线金具有楔型线夹、UT 形线夹、拉线用 U 形环、钢线卡子等。拉线的连接方法如图 1-15 所示。

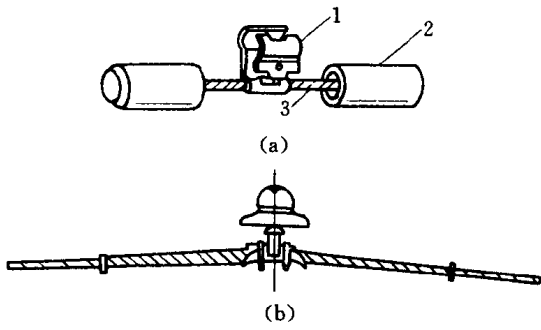


图 1-12 防振锤和护线条

(a) 防振锤；(b) 护线条

1—夹板；2—铸铁锤头；3—钢绞线

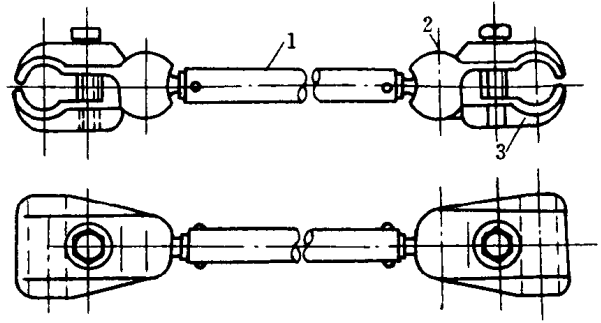


图 1-13 间隔棒（双分裂导线使用）

1—无缝钢管；2—间隔棒线夹；3—压舌

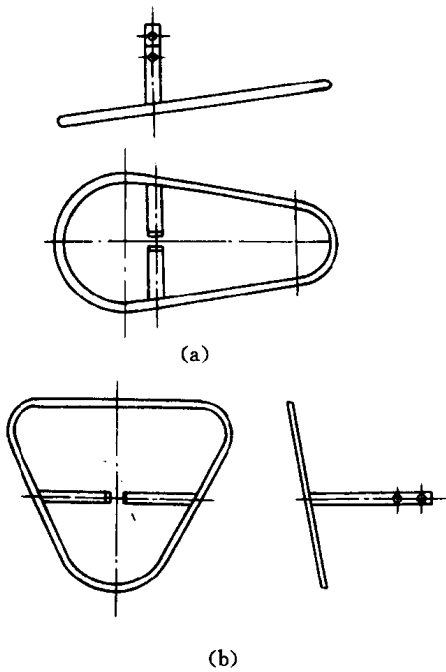


图 1-14 均压环及屏蔽环外形图

(a) 均压环；(b) 屏蔽环

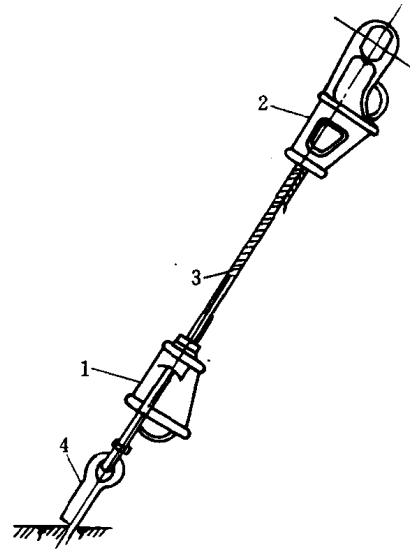


图 1-15 拉线的连接方法

1—可调式 UT 形线夹；2—楔形线夹；
3—镀锌钢绞线；4—拉线棒

第二节 架空线路设计气象条件及换算

架空线路长期露置在大气中，经常受到大自然（如大风、覆冰、气温变化、雷击等）的影响。作用在线路上的机械荷载是随气象情况的不断变化而变化的，对线路力学计算影响较大的主要因素是风速、覆冰及气温。

一、气象条件的收集和用途

架设在野外的输电线路，长年遭受大自然中各种气象环境的侵袭。为了使线路的杆塔

强度和电气性能适应自然界气象的变化，保证线路的安全运行，必须全面掌握沿线地区可能出现的气象情况，正确地采用设计气象条件。因此，应详细收集沿线气象台（站）的气象资料。一般根据线路设计的要求，气象资料收集的内容和用途如下：

(1) 历年极端最高气温。用以计算导线最大弧垂和导线发热。

(2) 历年极端最低气温。用以计算杆塔强度，检验导线上拔力等，因为在最低气温时，导线可能产生最大应力。

(3) 历年年平均气温。主要用来确定年平均气温，计算导线的年平均气温时的应力，以确定导线的防振设计。

(4) 历年最大风速及最大风速月的平均气温。这是线路设计气象条件的主要资料。收集最大风速月的平均气温，其目的是确定最大风速时的气温。最大风速是计算杆塔和导线机械强度的基本条件之一。收集历年最大风速时，还必须收集最大风速的出现时间（年、月、日）、风向、风速仪型式及其安装高度、观测时距和观测次数。

(5) 地区最多风向及其出现频率。主要用于考虑导线防振设计、防腐及绝缘子串的防污设计。

(6) 导线覆冰厚度。收集冰凌直径、挂冰类别，挂冰持续时间及挂冰的气温、风速、风向等资料。覆冰资料用于计算杆塔和导线的机械强度以及验算不均匀覆冰时，垂直排列的导线间接近距离。

(7) 雷电日数。收集年平均雷电日数，作为防雷设计的依据。

以上气象资料主要来源于沿线路附近约 100km 范围内各气象台（站）的逐年气象记录数据。将这些数据进行换算后，即可作为线路设计的气象数据。当沿线气象台（站）较少或距线路较远时，一方面可调查了解沿线附近运行的输电线路及电信线路曾遇到的气象情况（当地曾发生的异常气象，如风暴，结冰，雷击等）引起的灾害；另一方面可收集距线路更远的气气象台（站）的气象资料，以作参考，使线路的设计气象条件更符合实际情况。

二、气象条件的换算

输电线路在运行过程中将连续经历很多种气象情况，而机械设计计算时，则需要选取那些对线路各部件强度起控制作用的气象条件。这些设计用气象条件一般有九种：即最高气温、最低气温、年平均气温、最大风速、最大覆冰、内过电压（即操作过电压）情况、外过电压（即大气过电压）情况以及安装情况、断线事故情况等。

1. 设计用气象条件的选取

在进行架空线路计算时，需将收集到的风速、覆冰厚度等气象资料进行换算，经过换算确定出设计用气象条件。

(1) 最大风速的选取。

由于气流和地面的摩擦，风速沿高度的分布是不均匀的，离地面越高，风速越大。所以从气象台收集到的风速数值与风速仪的安装高度有关，另外风速的测记方式不同，得到的风速数值也不同。我国许多气象台普遍采用每天定时观测四次，时距为 2min 的平均风速测记方式。

我国《架空送电线路技术规程》规定，设计风速是指离地面 15m 高处若干年（例如 15 年）一遇的连续自记 10min 的平均风速。所以需要把收集到的风速进行一些换算才能得到

最大风速。

1) 次时换算：

将风速仪安装高度为 h 的四次定时，时距 2min 的平均风速 V_2 ，换算为高度仍为 h 时的连续自记 10min 的平均风速 V_h ，其换算公式见表 1-2。

表 1-2 四次定时 2min 平均风速与自记 10min 平均风速的换算公式

地 区	计算公式	应 用 范 围	
华 北	$V_h = 0.882V_2 + 7.82$	北京、天津、河北、山西、河南、内蒙古、陕西（关中、汉中） 辽宁、吉林、黑龙江 陕西（陕北）、甘肃、宁夏、青海、新疆、西藏 贵州	
东 北	$V_h = 1.04V_2 + 3.2$		
西 北	$V_h = 1.004V_2 + 2.57$		
西 南	$V_h = 0.576V_2 + 11.57$		
云 南	$V_h = 0.625V_2 + 8.04$		
四 川	$V_h = 1.25V_2$		
湖 北	$V_h = 0.732V_2 + 7.0$		湖北、江西
湖 南	$V_h = 0.68V_2 + 9.54$		
广 东	$V_h = 1.03V_2 + 4.15$		广东、广西、福建、台湾
江 苏	$V_h = 0.78V_2 + 8.41$		上海、江苏
山 东	$V_h = 1.03V_2 + 3.76$	山东、安徽	
浙 江	$V_h = 1.26V_2 + 0.53$		

注 V_2 ——四次定时 2min 平均风速 (m/s)；
 V_h ——风速仪高度 h (m) 处的连续自记 10min 平均风速 (m/s)。

2) 高度换算：

风速仪的安装高度不一定是 15m，因此需将风速仪安装为 h 时的连续自记 10min 的平均风速 V_h 换算为离地面 15m 高度时的连续自记 10min 的平均风速 V_{15} ，一般可按式计算

$$V_{15} = k_0 V_h \quad (1-1)$$

式中 V_{15} ——距地面高度为 15m，连续自记 10min 的平均风速，m/s；

V_h ——距地面高度为 h m 处的连续自记 10min 的平均风速，m/s；

k_0 ——风速高度换算系数，可由表 1-3 查取。

表 1-3 风速高度换算系数

风仪高度 h (m)	8	10	12	14	15	16	18	20	22	24	26	28	30
k_0	1.111	1.101	1.036	1.0106	1.0	0.99	0.976	0.956	0.942	0.93	0.92	0.908	0.90

3) 最大风速的选定：

《架空送电线路技术规程》规定，线路应按其重要程度的不同，分别考虑最大风速的重现期。对 35~110kV 线路，应采用 15 年一遇；对 220~330kV 线路，应采用 30 年一遇；对 500kV 线路，应采用 50 年一遇。重现期越长，说明该风速越稀少，即风速越大。

最大风速的选取，是根据搜集到的历年最大风速值（经过了次时、高度换算后），用比较简单方便的“经验频率法”确定。其计算公式为

$$P = \frac{m}{n + 1} \quad (1-2)$$