

电力工业生产知识

电 力 网

水利电力部干部学校电力教研室编



河南省革命委员会电业局翻印

电力工业生产知识

电 力 网

水利电力部干部学校电力教研室编

河南省革命委员会电业局翻印

目 录

序 言

第一章 电力网及电力系统的基本概念	1
§ 1-1 电力网及电力系统的发展情况	1
§ 1-2 电力系统的技术特点	3
§ 1-3 架空线路的基本元件	6
第二章 电力网的电压降及电能损失	20
§ 2-1 电力网的电压及电压降	20
§ 2-2 电力网的电压调整	25
§ 2-3 电力网的电能损耗	27
§ 2-4 降低电力网电能损失的措施	28
第三章 电力网的运行及负荷管理	32
§ 3-1 城市电力网及其结线方式	32
§ 3-2 电力网的维护	38
§ 3-3 负荷管理	44
第四章 电力网及电力系统的防雷保护	53
§ 4-1 雷电的产生	53
§ 4-2 防雷保护设备	57
§ 4-3 输电线路的防雷保护	68
§ 4-4 变电站的防雷保护	72
§ 4-5 旋转电机的防雷保护	76

第一章 电力网及电力系统的基本概念

§ 1—1 电力网及电力系统的发展情况

最早的电力网是用直流供电的，而且电压很低，约为100伏。后来在电压方面虽有所提高，但终因是直流关系，对扩大发电厂供电范围，增大输电距离，有一定的局限性，因而未能普遍推广。

三相交流的采用是近代电力网的特点，同时因为发明了提高电压的变压器，遂形成了输电技术发展的另一阶段。但是当时的输电效率是很低的，尚不能圆满地解决功率输送及减少输电线路损耗的问题。我们知道要减少损耗的基本方法，是增加导线截面积和提高线路电压。增加导线截面积就增加导线材料的重量，因而增加了导线的成本，所以这不是积极的办法。提高电压也能减小损耗且线路的费用增加也比较小，因此最合理的减少损耗的办法，还是提高电压。输电技术的发展，实际上就是走的这条途径，因而输送功率和输送距离就相应地不断增加了。

输电技术向提高电压方向发展虽经明确，但相应的又产生了新的问题，如线路、变压器和电器的绝缘问题与电晕问题，就需要加以解决。

由于线路电压的提高，绝缘子的改进就成为输电发展的关键问题。针式绝缘子的应用，在制造上及经济上都有它的

局限性，直至悬式绝缘子的发明才打破了这种局面，其线路电压可提高到110~220千伏。

线路电压的一再提高，使电晕现象问题就更迫切需要解决。经过研究，这一问题可以用增加导线直径的办法解决，因为电晕临界电压差不多是与导线直径成比例地增加的。现在多采用铝线和钢芯铝线作为输电线路的导线，不但避免了电晕的产生与电晕损耗，从而也节约了铜导线的消耗量。

因为电压的增高，输电线长度的加大，相应地又产生了感应电压降及绝缘子串电压分布不均的问题，我们在输电线路路上增装了电压补偿设备及在绝缘子串上装设均压环等，就是针对这些原因而采取的措施。

由于电力事业的不断发展，由单一的输电线路发展成整体的电力网及并列运行的电力系统，因而电厂并列运行的稳定问题也就相应的产生，这个问题在系统运行中，也是很重要的。

发电厂、变电所及用电设备，相互间以电力网的线路连接起来的整体称为动力系统。整个动力系统的工作就是通过不同的元件把不同类型的能量变换为电能，输送出去，分配到各个用户，然后再把电能转变为其他不同形式的能量加以使用。

动力系统的一部分，包括发电机、配电设备、升压及降压变电所、电力网的导线及用电设备等组成部分，称为电力系统。动力系统与电力系统的主要区别在于电力系统中不包括热力或水力等动力部分，也就是说不包括有关原动机和供给原动机的力能部分，以及供热和用热设备。

由变电所及各种不同电压线路所组成的电力系统的一部

分，称为电力网。

电力网的任务是输送电能和分配电能，即把发电厂生产的电能经过导线输送并分配给用户，为此必须把很多送电线路通过变电所连接起来，这样在变电所中就必须装设电气设备，以便进行变更电压、调整电压、操作开关及进行测量等工作。所以广义的电力网不仅包括网内的导线并且也包括了变电所和所有有关的电气装置。

电力网按其特征、用途和电压的不同可以分为许多种类，例如：直流或交流电力网，低压或高压电力网，城市、农村、工厂电力网等。

为了便于研究，通常把电力网分成下列两类：（1）地方电力网，电压不超过35千伏，供电距离一般不超过30公里的电力网叫做地方电力网，例如：一般的城市、工厂、农村电力网等。（2）区域电力网：电压在35千伏以上，供电区域较大的电力网。

对于35千伏的电力网，可以属于地方电力网也可属于区域电力网。

§ 1—2 电力系统的技术特点

电能的生产与其他工业生产有不同的特点，由于这些特点，对于电力工业的生产管理及设备装置等方面，提出了一些特殊的要求。如：

一、电能不能储存：在其他工业生产中，产品或者半成品，可以积累在仓库中，以减少工厂各个生产环节的相互依赖关系，但是电能的生产、分配和消费是在同一时间内实现

的。发电厂发电量的多少，决定于用户的需要，在任何一短时间内发电量和用电量（包括损失部分）总是保持正确相等的，否则将破坏了它们的平衡。如当负荷大而发电设备容量小时，会发生“限电”现象或者造成影响设备安全的情况；又如当负荷小而发电设备容量大时，会形成设备呆滞，利用率不高的浪费现象。在此情况下，如何才能达到：既能满足于负荷的需要而同时又能保证设备合理的安全经济运行，则是我们电力工业生产者应随时注意加以解决的问题。所以我们在制定电力生产计划时，必须首先掌握用户用电情况，负荷性质，给以妥善的平衡计算，以保证电力生产与消费的平衡。

二、负荷的不稳定：各个用户的用电情况，根据他们的生产特点，生活习惯都具有相当程度的规律性，各自依照他们的需要规律，进行用电。一般说，在一定的时间内基本上还是稳定的。但如以综合性负荷来看，情况就不同了，负荷在一定的起伏规律情况下，在每一个时间里都有小的波动，很少出现稳定状态。系统愈大，这种波动的幅度愈为显著。假如再遇到异常情况，如因整个电力系统某一个环节发生故障造成运行方式变化时，都会引起负荷的急剧变化，而且这种变化过程非常快，是在千分之几秒或百分之几秒内完成，如此对电气设备的安全运行都是不利的，因而在电力系统中就必须保持有一定的备用容量和随时进行合理的调整负荷的工作，以保证发、供电的稳定可靠。同时还要充分利用设备容量，以达到经济运行的目的。

三、分布面广，构造复杂：电力网一般分布很广，不但要跨越河川、铁路，而且还要蔓延于平原及山谷之间，同时

设备大部都是露天装置，在变化很多的大自然条件影响下如再加以维护不良等人为原因，都很容易发生事故。此外电力网设备众多，元件复杂零碎，各个都是生产过程中的一个环节，所以如其中任一设备或元件发生了故障，都会影响整个系统的安全运行。要求电力网的设备、元件，不但能在正常情况下安全经济地运行，而且还能在一般异常运行情况下经得住考验。所以我们对各元件不但要事先作选择性的试验，而且在运行中也要经常不断地作检查性的试验。同时因为事故发生瞬变现象非常迅速，所以在电力网、电力系统中需装有各种自动调整及保护装置等以防止事故的发生，或者一旦发生，也能把事故的影响范围限制到最小的程度。

四、电力工业是先行工业：电力工业与国民经济各部门（包括工业和农业）、日常生活、通讯、城市交通等都有密切的关系，尤其是解放以来，全国各大、中城市和部分专区、县以及不少农村，都有了大小规模不同的发电厂，这个巨大的变化，对合理开发和利用我国的各种资源，促进国民经济的全面发展，将起重大的作用。在此情况下如发生电能不足或停止供应，将直接影响国民经济各部门的顺利发展或使生产停顿，这对人民的生活影响很大。因此除了要求电力系统的运行应当高度可靠地保持供电不间断外，同时为了配合国民经济各部门的发展，也要求电力工业能够及时发展。所以电力工业的发展规划，必须要针对一切工、农业的发展规划的需要，取得很好的配合，而且要先行一步，创造有利条件，以利工业、农业的顺利发展。

§ 1—3 架空线路的基本元件

研究电力网结构时，一般将电力网分为户内电力网和户外电力网两种。

建设于房屋外部的称户外电力网，有架空线和电缆两种。电缆线路一般是敷设在地下的；而广泛采用的则是架空线路，因为它造价便宜，取材方便，便于在城市及以外广大地区建设，并且也容易发现故障地点，便于检修。架空线路则用杆塔将导线悬挂于空中，导线利用绝缘子支持在横担上。

按“高压架空电力线路设计技术规程”的规定，架空线路可以根据其工作电压、用途分为二级，列于表1—1中。

表1—1 架空电力线路的分级

架空电力线路的等级	架空电力线路规格	
	额定电压	电力用户的级别
I	超过110千伏	所有等级
	35~110千伏	一级和二级
II	35~110千伏	三 级
	1~20千伏	所有等级

注：根据用户的用电设备对供电可靠性的要求，用户划分为三级：

第一级：如停止供电时，能造成下列严重后果：危及生命，给国民经济带来重大损失，损坏设备，使大量产品报废，打乱复杂性的生产过程，以及使市

政生活中要害部门发生混乱。

第二级：如停止供电时，将造成大量减产，工人及机械设备停止工作，工业企业内部运输停顿，以及城市中大量居民的正常活动受到影响。

第三级：凡不属于第一级及第二级的所有其他用电设备（如非系列生产的车间及辅助车间，小城镇等）。

架空线路的主要部件是导线、绝缘子、杆塔和金具。导线的主要作用是传导电流，它是线路的基本部分。导线在传导电流时，必须与地绝缘，因此需要有绝缘子来担负这一任务。为了连接导线与绝缘子，应使用各种类型及各种形式的金具。导线架设在空中，必须有支持物支持它，以保持导线对地的“限距”，此支持物通常称为支柱或杆塔。

一、杆塔：是悬挂或支持导线和架空避雷线的，其作用是把导线和架空避雷线、大地、各种建筑物等相隔离，并使它们之间保持有一定的安全距离。

架空线路的杆塔，按照它们的用途，可以分为直线杆塔、转角杆塔、耐张杆塔、终端杆塔和特殊杆塔（如图1—1，图1—2，图1—3）等。

直线杆塔（又称中间杆塔）在线路上用得最多，在平坦的地区，这种塔杆几乎占总数的80%左右。

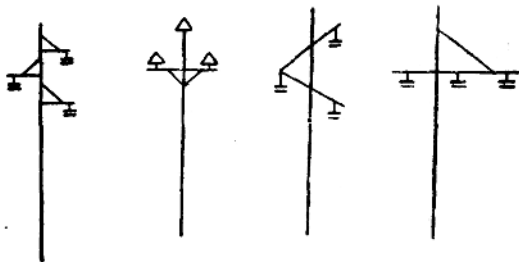
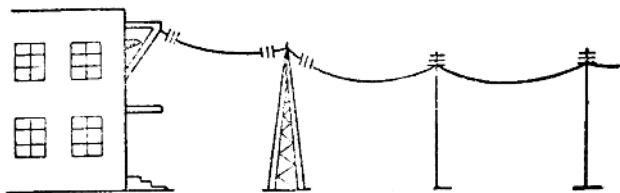


图1—1 直线型单杆式木杆



变电所

终点杆塔

直线杆塔

图1-2 终端杆塔位置图

杆塔以它的材料分类，有木质杆塔、金属杆塔及钢筋混凝土杆塔（即俗称洋灰杆或水泥杆）等。

木质杆塔便于现场加工组装成不同型式的杆塔，如单杆、双杆以及其他构造不同的木塔。它的优点是：施工简便，移动比较容易，投资也小，而且对防雷保护作用很大。缺点是：维护工作量大，使用年限短，木材消耗量也相当可观。

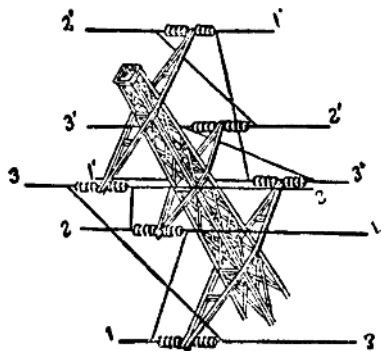


图1-3 耐张型换位杆塔

1. 2. 3—导线。

金属杆塔最常用的是铁杆和铁塔，它的构造也有不同型式。它的优点很多，如机械强度大，能够根据机械荷重来设计最经济的塔型，同时也便于运输，因为铁塔的零件可以拆

卸运到需要的地方再来组装，使用年限长，事故也比较少，外形整齐美观。缺点是：投资贵，金属消耗量大等。

钢筋混凝土杆塔的优点，首先在于它能够代替木质杆塔和金属杆塔节约木材和钢铁。它即不腐朽也不生锈，不需要作任何防腐防锈工作，比木质杆塔，金属杆塔的维护工作简单得多，并且使用的年限也长。分节钢筋混凝土杆塔，我们亦在制造使用，以往没有分节水泥杆，只能使用整根的钢筋混凝土杆塔，但这种杆塔运输起来很笨重，因此，钢筋混凝土电杆线路在以往还只限于平原地区。分节钢筋混凝土电杆开始生产之后，就可以使用在运输不便利的地区，如山区等。

关于杆塔的材料选择，今后在投资金额允许的条件下，应尽可能地使用钢筋混凝土杆塔，特别是在高电压永久性的线路上，更为适宜。这样可以为国家节省许多木材和钢材，以便将它们用到对国家建设更需要的地方去。

杆塔的结构决定于杆塔的用途、杆塔的材料、线路电压、回路数目和有无架空避雷线，以及导线的布置方式等。

二、导线：架空线路的导线以及置于支柱上的架空避雷线（作为导线的大气过电压保护之用），是在严重的条件下运行着，因为这些导线受着不同气候的影响，如风吹、雨打、结冰和温度变化等，以及受到空气周围的化学杂质的影响。

因此，导线除了需要有良好的导电率以外，尚需具备足够的机械强度，且能抵抗气候的变化及周围空气中化学物质等影响，同时导线的运行还要在保证持续供电的条件下达到最低的费用。

最常用的导线为：铜线、铝线、钢芯铝线及钢线等。但在架空线路上，铜线均须用硬抽铜，以增强机械强度。铝线因机械强度低，导线弧垂大，因此杆塔须加高，以致增加投资，所以除适用档距较小的配电线路外，在输电线路上使用铝导线的并不多见。钢芯铝线因机械强度高，能承受突然来的机械力，保证线路的安全运行，故多用在35~220千伏的线路上。钢线在线路中只用于小功率送电或跨越大河及山谷时需要较大拉力之处，此外架空避雷线多用钢线。钢线均须镀锌，以防锈损。

1. 导线的组成情况（图1—4）：

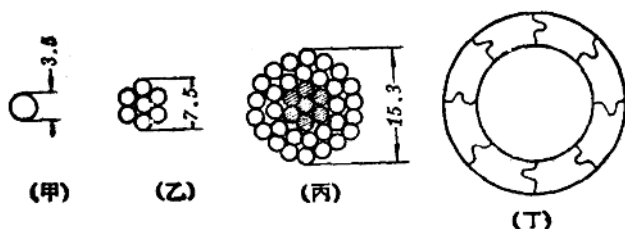


图1—4 导线的构造图

甲、单股导线；乙、一种金属的绞线；丙、两种金属的绞线；
丁、空心导线

(1) 单股导线——是单根实心的金属线，一般只有铜线和钢线两种（见图1—4甲）。

(2) 一种金属的绞线——它可以用任何一种金属构成，例如钢、铜、铝，每根绞线可能有7、19或37股组合而成（见图1—4乙）。

(3) 两种金属的绞线——如同钢芯铝线是用钢芯线和

铝导线两种金属线组合做成（见图1—4丙）。

（4）空心导线——是使用在220千伏或更高电压的输电线上，由于它比多股导线的直径更大，所以可以减少或者避免电晕的损耗，其断面如图1—4丁所示。它的组成部分是许多扁平线互相以特制的销子和插口连接起来，不但保证成为环形，并且保证空心导线结构的强度。

2. 裸导线的型号一般有下列几种：

（1）TJ—70或LJ—70表示裸铜或裸铝的多股线，其额定截面为70平方毫米。

（2）LGJ—95表示裸钢芯铝线，其铝线部分之截面为95平方毫米。

另外在苏联导线产品规格中，还有：

（3）LGJQ—400表示加强的钢芯铝线，其铝线部分截面为400平方毫米。导线机械强度的加强，是以较正常强度的导线增加了钢芯截面来获得的，如在LGJQ—400导线中的钢芯部分截面为93平方毫米，而在LGJ—400导线中的钢芯截面仅为72平方毫米。

（4）LGJQ—392表示轻型的钢芯铝线，其铝线部分截面为392平方毫米。LGJQ型钢芯约较同截面的LGJ线小10%。

三、绝缘子：绝缘子是用来固定带电导体，并使带电导体间或导体与大地间绝缘的一种电气设备。所以它应具有足够的电气强度和机械强度，对化学物的侵蚀应具有足够的防止能力，而且也适应周围的大气变化，如：温度和湿度的变化对它本身的伸缩性和渗透性的影响都要小等等。

绝缘子，总的来说有支柱绝缘子、套管绝缘子和线路用的各种绝缘子等。现分别叙述如下：

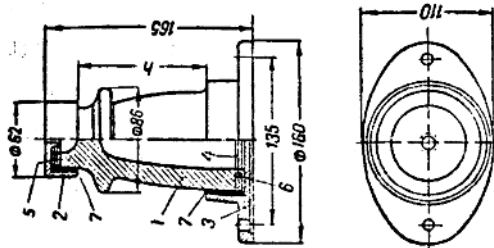


图1—5 支柱绝缘子

1—瓷壳；2—铸铁帽；3—铸铁底座和
法兰盘；4—厚纸或白铁底；5、6—厚
纸垫圈；7—水泥胶剂。

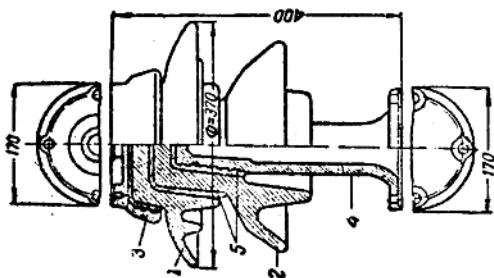


图1—6 装脚支柱绝缘子

1、2—瓷壳；3—铸铁帽；4—铁脚；
5—水泥胶剂。

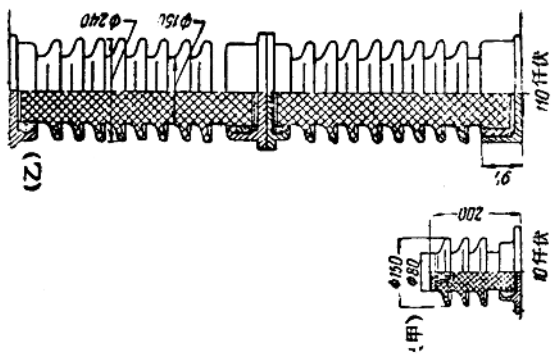


图1—7 柱式绝缘子

(甲)10千伏的绝缘子；
(乙)110千伏的合成绝缘子。

1. 支柱绝缘子：支柱绝缘子呈柱状形，它固定于一定部位上用来支持导体。

它被广泛应用于配电装置和各种电器上。用在屋内的支柱绝缘子如图1—5所示；用在屋外的支柱绝缘子，则如图1—6所示。

在110千伏以上的屋外装置中，亦多采用装脚绝缘子，它由35千伏的支柱绝缘子集合而成，不过此种集合而成的高压绝缘子造价很高。如采用柱式绝缘子（如图1—7所示），则较为便宜。

2. 套管绝缘子：套管绝缘子呈管状形，带电导体通过管内，并被联结与固定。它在配电装置中导体需要穿过墙壁（或隔板）或需要穿出电器外壳时使用。

屋内用穿墙套管绝缘子：如图1—8所示为10千伏用于较大电流的穿墙套管绝缘子，被联接两端的导体不与套管的导体连在一起，因为电流较大时，导体截面需要较大，可能不是一根，须在现场装设时再行联接。

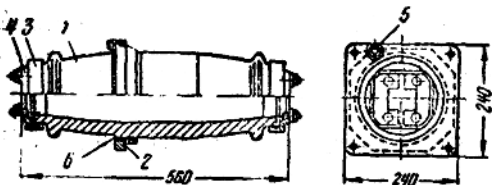


图1—8 10千伏汇流排式套管绝缘子

1—瓷壳；2—法兰盘；3—帽；4—钢板；5—接地用螺栓；
6—水泥胶合剂。

屋外装置用套管绝缘子（线路引出端），都具有圆形导

体柱，其特点是瓷瓶的屋外部分与屋内部分构造不同。如图1—9所示绝缘子的外面部分，即置于屋外部分（对电器用的套管则是电器表面的部分），有较开展的表面和较大的尺寸。

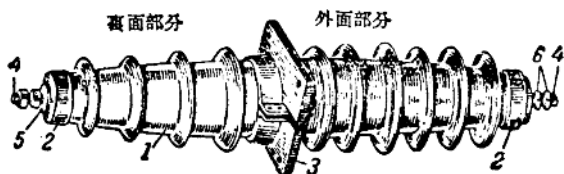


图1—9 35千伏、600安屋外装置用套管绝缘子（线路引出端）

1—瓷壳；2—帽；3—分裂法兰盘；4—载流柱；5—中心垫圈；
6—用来固结汇流排的螺母。

3. 线路绝缘子：线路绝缘子用来支持或悬挂导线。它用于屋外配电装置中和架空线路上，这种绝缘子一般可以分为下列几种：

(1) 针式绝缘子：针式绝缘子（图1—10甲、乙）用在电压较低（35千伏以下）和导线拉力不大的线路上。在高压（110千伏以上）线路上使用针式绝缘子，制造和安装上都有困难。

(2) 悬式绝缘子：悬式绝缘子（图1—10中丙、丁、戊）的制造简单，安装便利。尤其在较高电压的高压输电线路中，悬式绝缘子可以随线路额定电压的增加而增加其个数，组成绝缘子串，不受电压的限制。同时悬式绝缘子能承受的机械力也比较大，因此在20千伏以上的线路上，都应该使用悬式绝缘子。