



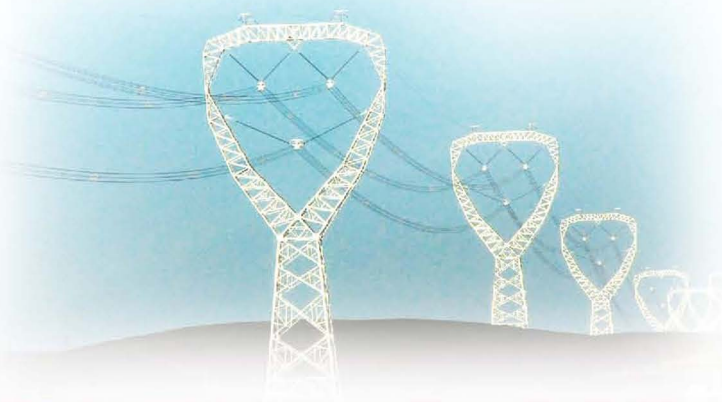
第8卷

农村实用技术常识之(28)

电力电网 操作技术

国家启动的农村劳动力转移培训“阳光工程”，开展农村劳动力转移培训，是加快农村劳动力转移，促进农民增收的重要环节，也是提高农民就业能力、增强我国产业竞争力的一项重要的基础性工作。结合农业结构的调整，加强农村农民朋友职业技术教育，为解决“三农”问题提供技术服务，特编写本书。主要包括：家用电器维修养护技术、农用机械维修养护技术、建筑工程与设备系统维修技术、致富维修技术、实用职业技能技术等。

刘利生/主编 余志雄/副主编



陕西科学技术出版社

“农家书屋”必备书系·第8卷·农村实用技术常识

之二十八

电力电网操作技术

主 编 刘利生

副主编 余志雄

陕西科学技术出版社

目 录

第一章 电的基本概念	(1)
第一节 电的实质及类型	(1)
第二节 人类对电的认识与应用	(3)
第三节 电工	(6)
第二章 电力线路的作用及构成	(7)
第一节 输配电线路在系统中的作用	(7)
第二节 导线	(9)
第三节 杆塔作用和种类	(11)
第四节 绝缘子	(14)
第五节 横担	(16)
第六节 金具	(17)
第七节 基础	(20)
第八节 拉线	(20)
第九节 接地装置	(22)
第三章 电力系统的组成和特点	(23)
第一节 电力系统的组成和特点	(23)
第二节 电网供电的各个环节	(28)
第三节 电能质量指标与规定	(30)

第四节	电力系统的接线方式和电压等级	(36)
第五节	电力系统的负荷	(43)
第四章	电力系统的中性点运行方式	(45)
第一节	中性点不接地(绝缘)的电力网	(45)
第二节	中性点经消弧线圈接地的电力网	(47)
第三节	中性点直接接地的电力网	(49)
第四节	供电设施运行维护管理范围的划分	(49)
第五节	对违章用电和窃电的处理	(52)
第五章	电力用户供配电工程	(54)
第一节	供电设计的阶段和步骤	(54)
第二节	业务扩充与工作流程	(57)
第三节	日常用电营业管理	(61)
第六章	节电措施及无功补偿	(64)
第一节	节约用电的意义和途径	(64)
第二节	乡镇企业、工厂用电的功率因数	(66)
第三节	提高功率因数的方法	(67)
第四节	功率因数的人工补偿	(68)
第七章	用户供电系统接线方式	(71)
第一节	变配电所电气主接线	(71)
第二节	高压配电网络	(76)
第三节	识图知识及电气图纸	(79)
附录	供用电合同	(83)

第一章 电的基本概念

第一节 电的实质及类型

一、电的实质

电是物质运动的一种形式。它是物质内所含的电子等载流子运动时的一种能量表现形式。因此,从实质上讲,电是一种能量,常称作电能。

电在人们的生产和生活中获得了极其广泛的应用,如通电后可以使电灯发光或电炉发热(称电的热效应);可以使电动机转动(称电的动力效应);可以进行电解(称电的化学效应);电磁铁会产生强大的吸引力(称电的磁效应)等等。可见,电具有许多功能,它可以转化为其他多种形式的能量,因而通常把以电功率表示的电能称为电力。

为了从本质上进一步弄懂电究竟是什么,必须先了解物质的电结构。近代科学的大量实验证明,任何物质都是由分子组成的,分子又由保持原物质属性的原子组成。原子是由原子核和电子组成的,原子核内还包含有质子与中子。

由于中子不带电,但质子带正电,故原子核带正电,而电子则带负电。正常情况下,原子核所带的正电与电子所带的负电数量相等,因而平常原子(乃至物质)便不显带电状态。电子围绕着原子核按一定轨道运转,有似宇宙天体中的太阳系里各行

星与太阳间的关系那样,处在外层轨道上的电子与原子核之间的联系比较薄弱。当电子在外界因素(如光、热、外力等)的影响下获得了一定能量后,就可能会脱离原子核对它的吸引与束缚而跑出轨道成为自由电子,使该物体因缺少了负电而呈现带正电的状态,另一种获得了自由电子的物体则带负电。

二、电的类型

根据自由电子在传导物体内是否移动,其方向是否随时间而改变以及怎样改变等特征,可将电大致划分为几种类型:静电和动电,动电又分为直流电(恒稳直流、脉动直流)和交流电(单相交流、三相交流)。

静电是由于受摩擦力等外力作用,使两种相关物体发生了自由电子的得失(呈现了带不同电荷的状态)而产生的,由于它不能在带电物体内“流动”,故称静电。它的应用范围也就因此受到了极大限制,尤其是它无法作为生产上的动力来加以应用。

动电是使电能够按照人们的意愿、在规定的通路内“流动”的一种电。最初的动电是由伏打电池与蓄电池产生的。电池内的化学反应(化学能)提供了使电不断地“流动”的原动力,故常称其为电源。由于动电能够持续不断地产生与存在的这一特性,使得它的应用范围越来越广。

大量自由电子的有规则移动便形成了电流。电流的方向习惯上规定为正电荷(带正电的物质基本微粒)的运动方向(即由电池的正极到负极)。实质上正电荷(如质子等物质基本粒子)并不会发生这种运动,只是带负电的自由电子才会作有规则的移动,故电流运动的实际方向(电子运动方向)应该是由电源的负极到正极。由于最初人们并未能认识到这一点,故至今都是人为地规定电流的方向(为由电源的正极到负极),且将沿用

下去。

电流方向不随时间改变的电称为直流电。其中,方向和大小均与时间无关、始终保持不变的叫恒稳直流;方向不变而大小随时间发生规律性变化的叫脉动直流。另一种是电流的方向随时间发生周期性交替变化的则称为交流电。交流电通常又有单相交流与三相交流之分。

第二节 人类对电的认识与应用

1749年,美国著名科学家富兰克林通过实验认为电是一种“流体”且具有不同的特性,并将经过摩擦后的毛皮或火漆棒带的电称为“负电”,丝绸或玻璃棒上带的另一种电称为“正电”。从此,对这两种性质截然相反的不同的带电状态给定了正式名称。1752年,富兰克林又和他的儿子一起冒着生命危险用风筝做了一次“天电传输”试验,这次震撼世界的“风筝实验”的成功,验证了雷与电的内在关系。1782年,意大利物理学家伏特研制成功了蓄电池。虽然这类电源十分原始。但电池的发明,却是由静电发展到动电的重大转机,并促使电的研究得到迅速的发展。1785年法国物理学家库仑提出了用数学公式明确表达两个带电体之间相互作用关系的库仑定律,使得后来的电学研究能够以数学为基础来进行。

1807年丹麦学者奥斯特发现了导体通电后,它附近的小磁针就会发生偏转的现象,结果证实了这种使磁针偏转的电流磁效应。他断言当导体中有电流通过时,周围就会伴有磁场产生。这一电能生磁的重大发现,揭示了电现象与磁现象之间的内在联系,从而奠定了电磁学研究的基础。1882年法国物理学家安培提出了关于电流使磁针受到力作用的电动力学原则,以及判

定由电流产生磁场方向的安培右手定则(右螺旋定则)。它指出了电与磁既具有同一性,且电磁作用应采用“电流的相互作用”这一提法加以统一描述。1826年,英国爱尔兰的著名物理学家欧姆,在电流的研究中引入了电阻这一概念,在进行大量实验后终于发现了控制电流的规律,归纳出在任一通有电流的闭合电路中,电流强度与电动势成正比、而与电路总电阻成反比的欧姆定律,经另一位德国科学家基尔霍夫(也曾译为克希荷夫)进一步的研究,又提出了解决任意电路、特别是复杂电路的节点电流定律与回路电压定律。1827年,美国科学家亨利研制成功了强力电磁铁,并采用圆筒形线圈进行试验,以观察一个回路中接通与切断电流时的火花变化,从而发现并提出了自感现象。1828年德国科学家高斯设计制成了测磁针、磁侧角计等,并采用磁偏角、磁倾角和磁强度这三个要素来描述地磁。1831年8月英国物理学家、化学家法拉第,在进行了长达9年的反复研究后终于发现了磁也能生电,即动磁生电的规律,进一步明确了电与磁的关系并提出了磁力线概念。正是这项电磁感应的伟大发现,为后来发电机等电气设备的发明奠定了理论基础。1833年,俄国科学院院士楞次在论文中阐述了磁场的变化不能突变的观点,并说明这是由于受感应电动势的反抗作用而引起的,因而,楞次定律也常常被称之为电磁惯性定律。同时由此提出了确定感应电动势方向的楞次定则,它比用右手定则判定感应电动势方向具有更加普遍的意义。此外他与英国物理学家焦耳几乎同时在不同地点发表了关于电流热效应的研究成果,即电阻上产生的热量与所通过电流的平方、电阻大小及通电时间三者成正比,后人称之为焦耳—楞次定律或简称焦耳定律。1856年,英国科学家麦克斯韦除把库仑定律、安培定律及法拉第定律综合起来外,还提出了所谓位移电流。在原有电磁学理论中引

进了场的概念,并建立了麦克斯韦电磁场(微分)方程,这是电学发展史上又一光辉的里程碑。他认为是由于空间里某种称为以太的物质传播了电磁力,从而否定了名噪一时的牛顿超距作用。1873年,他又用过渡方程说明了在空间里随时间变化的电场和磁场是相互依存的。认为变化的电场性质能产生磁场,反之亦然,从而推论出电磁场将以光速在真空中传播能量及光的电磁质。1887年德国科学家赫兹成功地进行了用人工方法产生电磁波的实验,从而证实了麦克斯韦预言的正确性。

随着电力科学的不断发展,自19世纪70年代起,在电力应用技术方面的发明创造也同时获得了惊人的突破。1879年美国科学家、发明家爱迪生发明并多次改进了白炽灯,后又发明了熔丝(当时是用锌丝)。爱迪生一生的各项发明创造,包括发电机、自动电报机、打字机、留声机以及新型(镍铁硷)蓄电池等,对人类作出了不朽的贡献。当时世界上已出现了单相交流电及单相同步发电机,但仅被应用在照明上。工业上用的交流电动机,最初也只是单相交流异步电动机,由于它不能自行起动,其使用受到了很大限制。1881年爱迪生发明了交流发电机,1882年法国的盖拉勒和英国的格布斯发明了磁路式变压器。1888年,俄国工程师德布罗夫斯基和德尔伏创建了三相交流制。次年,三相交流电由试验到应用获得成功,并建立了世界上第一条三相制线路。不久,三相发电机及电动机相继问世,这就为三相交流制在世界上的普遍应用奠定了基础。自1890年采用三柱铁芯的三相变压器问世后,三相异步电动机就得到广泛应用,工业动力便很快被它所代替。这就使得电能工业生产上的应用获得了迅速发展,并且逐步取代了蒸汽等动力源。到20世纪初,人类便结束了自1796年由英国瓦特发明蒸汽机起所开创的蒸汽时代,跨入了先进的电气时代。可见就三相交流制应用技

术及电力事业的创建与发展来说,世界上从创造、试验到普遍应用,至今还仅为一百多年的时间。

第三节 电 工

电力电网电工知识作为一门技术基础学科,它所研究的问题很多,所涉及的范围也相当广泛。为能简单明了地说清楚这一问题,必须先弄清电路里的各种元件及参变量。电路元件的种类很多,但归纳起来不外乎下列五种:两种电源元件,即电流源与电压源,它们通常是为进行等效变换以研究复杂电路(含两条以上有源支路的电路)而抽象或引申出来的两种理想电源;三种耗能或储能元件,即电阻、电感与电容。事实上,任何简单电路或复杂电路都是由上述五种(或其中几种)元件所组成的。电路里有多种参与变化的物理量,即所谓参变量,但主要有三个,即电流、电压与电动势。电工基础主要是研究由电源、储能与耗能元件所组成的各种不同电路及电流、电压与电动势这三种参变量之间相互关系的一门学科。在电路与电场这两大方面,电工基础主要是研究电路的问题;而在稳态与暂态、线性与非线性方面,它又主要是研究在稳态情况下的线性电路问题。

第二章 电力线路的作用及构成

第一节 输配电线路在系统中的作用

在电力系统或电力网中,输配电线路(统称电力线路)起着连接发电、变电与用电这三大环节的纽带作用,就好像人体的血管那样,十分重要。具体有以下几方面作用:

(1)需要高压输电线路把发电厂的电能输送到遥远的用电地区,从而解决发电厂距用电地区远的矛盾,以充分利用自然界的动力资源,特别是能够有效地利用经济的水力资源。由于发电厂多数建立在蕴煤区或水力资源丰富的地方,各用电地区却相当分散,而发电机发出的较低电压仅可把电能送到几千米最多十几千米的地区;再者,为了减少输电时的电能和电压损失,就更需将发电机的出口电压通过升压变电所把电压升到 35kV、60kV、110kV、220kV、330kV 或 500kV 等级,经过高压或超高压输电线路送到几十甚至几百千米以外的用电中心(如城市及大工矿区)的区域(枢纽)变电所,然后经变电所一次、两次甚至三次降压后再分别供各类用户用电。

(2)利用高压输电线路把若干孤立发电厂或地方电网连接成电力系统,可减少系统的总装机容量,安装大容量机组来代替许多小型机组,减少单位容量的建设投资,提高机组效率,减少单位电能的燃料消耗、减少运行人员及维护费用,加快电网发展。

(3)利用高压输电线路把孤立的若干地区电力网连接成大的电力系统,这样便能有效地提高系统或电网运行的经济性和供电可靠性。

(4)从用户角度考虑,为了用电设备与用电人员的安全以及降低用电设备的造价,使用电压便不能太高。因此,当电能输送到负荷中心后,又必须将电力网的输电电压降低为 35kV、10kV 或 6kV 及以下的配电电压以供给用户使用。这样,就需要 35kV 或 10kV 及以下的配电线路再进行电力的分配。

可见,电力线路是电力网的重要组成部分,其作用是输送和分配电能。电力线路一般可分为输电线路(又称送电线路)和配电线路。架设在发电厂升压变电所与地区变电所之间的线路以及地区变电所之间的线路,是专门用于输送电能的,称为送电线路,其电压一般在 110kV 及以上;从地区各变电所到用户变电所或城市、乡镇电力变压器之间的线路,以及各台变压器到用户所有用电设备之间的线路,是用于分配电能的,称为配电线路。配电线路根据电压高低又可分为高压配电线路、中压配电线路和低压配电线路。通常,高压配电线路的电压为 35kV 或 110kV;中压配电线路为 6kV 或 10kV;低压配电线路为 220/380V。

电力线路按其架设方式可分为架空电力线路和电缆线路两大类。目前我国的送电线路基本是架空线路,配电线路特别是农村配电线路也大都以架空线路为主。电缆线路一般应用在城市中心地带或重要负荷与大型乡镇企业、工厂的厂区内。

架空线路的优点是投资小、建设速度快、维护方便、变动迁移容易;缺点是运行受自然环境、气候条件及人为环境的影响大,供电可靠性较差,在城市中心架设会影响城市美化。尽管如此,目前阶段在我国仍是普遍地采用架空电力线路。

架空电力线路通常由导线、杆塔及其基础、绝缘子、横担、金具或铁件、拉线、防雷设施及接地装置等部件构成。其中最主要的是导线、杆塔、绝缘子(即通常所说的线路三材)。

第二节 导 线

导线是线路的主体,担负着传输电流的作用。由于架设在电杆上面,要经常承受自重及风、冰、雨和空气温度变化等的作用,同时还会受到周围空气所含化学物质的侵蚀。因此,不仅要求导线有良好的电气性能、足够的机械强度、较强的抗腐蚀性,还要求尽可能质量轻而价格低廉。

常用的架空导线有裸铜绞线、裸铝绞线及钢芯铝绞线(分普通型、轻型与加强型),此外尚有镀锌钢绞线、铝合金绞线。按其构造则可分为单股(实心)导线、多股绞线、空心导线(由呈四瓣的弧形扁线组合扣接而成,因直径大可减少电晕损耗,常用于220kV及以上线路)、分裂导线(也叫组合导线,即由数根导线组合来代替一相导线,每根导线间保持一定距离,这就相当于增大了导线直径,可减小线路感抗及电晕损失,多数应用在超高压线路上)。常用架空导线的主要性能与特点如下:

(1)裸铜线。导电性好、机械强度高(拉断应力约为 $380 \sim 400\text{N/mm}^2$)、抗腐蚀性也较强,但成本较高。通常应用于人口稠密的城市配电网、军事设施及沿海易受海水潮气腐蚀的地区电网。

(2)裸铝线。导电性虽次于铜(电导率约为铜的60%左右),但质轻价廉。由于铝线的机械强度小(拉断应力约为 $160 \sim 170\text{N/mm}^2$),一般用于35kV以下的配电线路,档距不宜超过100~150m,且多数供作线路分支线使用。

(3)钢芯铝绞线。用钢线和铝线多股绞成。其内部几股是钢线,外部几股是铝线。导线上所受的力主要由钢线承受,导线传输的电流几乎全由铝线承担。两种导线结合容易满足对导电能力与机械强度的要求,因此它在高压线路上得到了广泛应用。据其截面大小,钢芯可分别为1股或7股,铝线则分别为6、12、18、24股或30股绞成。轻型钢芯铝绞线一般应用在平原地区且气象条件较好的高压电网中;加强型钢芯铝绞线则多使用在输电线路中的大跨越地段或对机械强度要求特高的场合。

(4)镀锌钢绞线。它由含碳量低于2%的一种铁碳合金制成。其特性是硬度和机械强度大且价格便宜,但其电阻大(电阻率为 $0.15 \times 10Q \cdot m$),导电性能比铜或铝差,在潮气与热作用下还极易氧化生锈,故钢线必须镀锌。它多数用作架空地线、线路杆塔及配变的接地引下线、杆塔的拉线。

(5)铝合金绞线。其成分中铝约占90%,其余为锌、锰、镁、铁等金属。比重与铝线相近,电阻率仅增大10%左右,但机械强度却增高1倍多。故它具有良好的机械特性与导电性能,常用在110kV及以上的送电线路上。

架空导线的型号由两部分组成。前段为汉语拼音字母,表示不同材质的导线;后段为数字,表明导线标称截面大小(单位是 mm^2)。字母含义分别是:T—铜;J—绞线;L—铝;G—钢;H—合金;Q—轻型;J(第4位)—加强型。

顺便指出,钢芯铝绞线型号中的数字仅指其中铝线部分的截面,需表明钢芯部分截面时则用分数表示。如LGJ—240/43,分子240表明铝线部分的标称截面为 $240mm^2$,分母43表示其钢芯部分的标称截面是 $43mm^2$ 。此外,关于绞线内的绕制方向,架空用多股金属绞线内相邻两层的绕制方向总是相反的。这是由于一方面假若同向绞绕,就较难绞成圆形截面且放松之后还

会卷缩打结,给使用时(放线)带来困难;另一方面同向绞绕时相邻两层导线间的集肤效应就较显著,会使导线的载流量稍有减少。若采取反向绞绕便可避免上述缺点,且能增大导线的总线径,当在高压线路上应用时还可使线路电感与电晕损耗略为减小。

第三节 杆塔作用和种类

杆塔的作用主要是支持导线、金具、绝缘子和避雷线,使导线能保持对地面及附近设施(如建筑物或其他线路等)间应有的安全距离(常称限距)。由于承担着导线、附件及本身的重量(承力杆还要承受导线与架空地线的张力),还要承受侧面风的压力,因此对杆塔的要求应具有足够的高度和机械强度,以保证线路在发生故障和自然因素变化(如风暴或冰冻)情况下不致折断、倾斜或倒杆,其投资常占线路造价的 $1/3 \sim 1/2$ 。

一、按杆塔的材质划分

(1)木杆。其优点是绝缘性能好、重量较轻、运输及施工方便、投资省;缺点是易腐朽、耐久性差(年限约 $5 \sim 15$ 年),使用 $5 \sim 8$ 年后便增加了维护工作量,特别是埋入地中和削过的部分更易腐朽(经防腐处理后可用 $10 \sim 30$ 年)。由于我国木材紧张,故不推广使用,目前仅用于部分地区农网内的配电线路上。

(2)水泥杆。即钢筋混凝土杆,它是由钢筋和混凝土在离心滚杆机内浇制而成。其形式可分为锥形杆(锥度常为 $1:75$,也叫拔梢杆)和等径杆(工程中需连杆时可采用焊接加长)。其优点是结实耐用、使用年限长(常为 $40 \sim 50$ 年),美观且维护工作量小。用它代替木杆或铁塔,可节省大量木材与钢材,它既不

腐朽也不生锈,故维护运行费用低,一般在 220kV 及以下线路上已广泛采用。其缺点主要是笨重、运输与组装较费事。

①低压配电用水泥杆。绝大部分用机械化成批生产的拔梢水泥杆,梢径一般是 150mm,拔梢度是七十五分之一,杆高 8~10m。

②高、中压配电用水泥杆。大部分也是用的拔梢杆,梢径一般为 190mm,也有 230mm 的,拔梢度是七十五分之一,杆高有 10m、11m、12m、13m、15m 几种。13m 及以下的不分段,15m 的可以分段,超过 15m 的一般都分段。

③送电线路用水泥杆。全部是机械化成批生产的拔梢杆或等径杆。其梢径有 $\varphi 90\text{mm}$ 、 $\varphi 230\text{mm}$ 、 $\varphi 270\text{mm}$ 及 $\varphi 300\text{mm}$ 几种,拔梢度也是七十五分之一,杆高分 15m、18m、21m,且各分两段或三段。Ⅱ型杆、A 型杆均用两根水泥杆组成。

(3)金属杆。俗称铁塔,它一般由角钢、型钢或钢管用螺栓连接或焊接与铆接而成。结构较复杂,形状与种类也多,通常有酒杯形、门形、上字形、猫头形及棕树形等。其优点是机械强度大、搬运组装较方便、使用寿命长,现多用在 220kV 及以上线路或需大跨越的线路上。金属杆(塔)也有其不足之处,即需用钢材多、造价高、维修中除锈及刷漆等工作量大。

二、按在线路中的作用划分

(1)直线杆。其作用是正常情况下支持架空导线、绝缘子、金具等的重量和承受侧面风压,常用在线路的中间段。

(2)耐张杆。也称承力杆,它要承受导线的水平拉力,同时将线路分段以加强机械强度,控制事故范围,事故情况下还承受断线拉力。

(3)转角杆。用在线路的转角处,分直线转角和耐张转角

两种。起线路转角或分段等作用。

(4)终端杆。架空线路终止处的杆塔,承受导线的垂直重量、水平风力及一侧导线的全部拉力。

(5)分支杆。为线路分支处的杆塔,起架空线路引出分支线的作用。

(6)跨越杆。跨越河道、铁路、公路和电力线等处所使用的杆塔。

(7)换位杆。在线路耐张杆或直线杆上使导线更换相位用的杆塔。上列杆塔中,除直线杆外其余均承受线路导线的拉力,故有时也统称为承力杆。

三、按杆塔上架设的回路划分

(1)单回路杆塔。每基杆塔上只架设一回路的三相导线。

(2)双回路杆塔。每基杆塔上架有二回路的三相导线,即共有六根导线。

(3)多回路杆塔。每基杆塔上架有三回路(九根导线)及以上的导线。

此外,按导线在直线杆塔上的排列方式进行划分。一般有:①水平排列;②三角排列(包括正三角形及斜三角形);③三角与水平混合排列,④垂直排列等多种。

在单回线路上,对低压三相四线制线路的导线排列,大都采用水平方式。相线和零线的习惯排列顺序是:面向负荷从左侧起,分别为U、N、V、W;对高压三相三线制线路的导线,可以采用三角排列,也可水平排列。

在双回线路及多回线路上,可以采用三角、水平混合排列,也可垂直排列。