

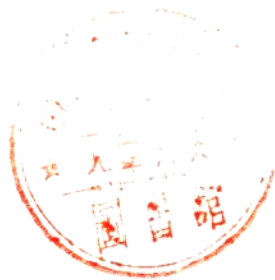
中学生文库



物理丛书

电能的输送

周波编



人民教育出版社

·中学生文库·

电能的输送

周波编

北京市书刊出版业营业许可出字第2号

人民教育出版社出版(北京沙滩后街)

新华书店发行

人民教育印刷厂印装

统一书号：13012·76 字数：43千

开本：787×1092毫米 1/32 印张：2

1966年1月第一版

1966年1月第一次印刷

北京：1-39,500册

定价 0.18元

目 录

第一章	电的来源和应用	1
1-1 节	电的用途很广泛	1
1-2 节	电能是从哪里来的	2
1-3 节	为什么要输送电能	5
第二章	怎样实现电能的输送	6
2-1 节	输送电能需要用些什么材料	7
2-2 节	架空输电线路的结构	9
2-3 节	电缆的结构和敷设	14
第三章	电能输送中的几个技术经济问题	19
3-1 节	输电导线上的功率和能量损耗	19
3-2 节	线路上的电压损失	23
3-3 节	导线的发热	25
3-4 节	导线的机械强度	29
3-5 节	输电线上的电晕现象	29
第四章	输电工程设计中的几个主要问题	30
4-1 节	什么条件下用架空线输电, 什么条件下采用电缆	31
4-2 节	输电电压选多高比较合适	33
4-3 节	导线截面是怎样选择的	38
第五章	关于变电所的一些知识	41
5-1 节	降压变压器	43
5-2 节	开关设备	46
5-3 节	隔离开关	49
5-4 节	其他设备	50
5-5 节	主控制室	52
第六章	农村电能的输送和分配	54
6-1 节	农电的主要用户有哪些	54
6-2 节	农电电源和农村电网	55
6-3 节	各级农电线路的简单介绍	58
结束语		62

第一章 电的来源和应用

1-1 节 电的用途很广泛

现代化的工业生产，一点也离不开电：炼钢炉的鼓风机要用电动机来转动；有色金属的冶炼，化学肥料的生产，机械加工的车床，建筑和采矿用的起吊设备，纺织厂纺纱织布，这些都要用电。简直可以说，电是现代工业生产的技术基础，没有电就没有现代化的工业。

交通运输方面用电的也不少：有轨电车、无轨电车、电梯、自动扶梯都是用电来拖动的；我国的一些铁路上，还用电气机车代替了“火车头”呢！

在农林牧渔业生产上要不要用电呢？要！不仅要，而且也是要得越来越多：电动抽水站已经使我国不少的人民公社作到了“旱涝保丰收”；伐木场用电锯代替了人拉锯；畜牧场用上了电动剪羊毛机、电动挤奶机；电动脱粒、电磨、电动锄草机用得越来越多了；渔场还可以用电动起网。

在人们的日常生活中，用电的地方越来越多了：电灯、收音机、电视机、电影、电炉、电扇以至理发用的电推子，都要用电，电给人们的生活带来了很多方便。随着祖国社会主义建设事业的发展，我们要使全国的乡村都点上电灯呢！

看！电真是一个驯服的工具，劳动人民可以用它来作多少事情啊！

这里，读者一定会产生一个问题：为什么几乎到处都可以用得上电能呢？不必奇怪，原来电能有许多许多值得人们喜爱的

地方。

第一，电能很容易“变”。

能量守恒定律告诉我们，能量是不能创造，也不能消灭的，但是人们却可以根据需要改变能量的形式。电能就具有这种“善变”的特点，它可以按照人们的需要变为其他的能量形式：它可以很容易地变成热能，比如用电冶炼炉可以炼高级钢；它也可以变成光能，比如电流流过灯丝会发光；它也可以变成声能，比如收音机的喇叭使我们能够听到广播；它可以变成机械能（又叫动力），比如车床上的电动机可以带动刀具进行金属加工；它还可以变成其他能量形式来为我们服务，如电镀、电解等。

第二，电能可以比较方便而经济地向远方输送。

机械能只能送十几公尺，热能只能送几公里，而电能却可以近送几公尺，远送上千公里之外，比如北京就可以使用从官厅水电站送来的电能。电能输送时的能量损耗，也比输送别的能量形式要小得多。

第三，电能比较“听话”，容易管理。

技术上把这点叫做容易“控制”。人们要它电流大点，它就大点，叫它往哪里，它就往哪里。这样就可以使人们容易实现一些生产过程的自动化。

行啦！不用再说电能还有什么其他优点了，光这几条已经够了！这就是电能到处都可以用得上的原因。

1-2 节 电能是从哪里来的

那“神通广大”的电能是从哪里来的呢？是“天生”的吗？不是的。自然界天然形成的电能是有的，但一般没法利用，比如雷

电就是。别看它那划破长空电光闪闪，还有那轰然巨响，威力是不小的：它的电压可达十几亿伏，雷电流可达几万安，功率当然很大罗！可是它作用的时间极短，最长的也只有千分之一秒，所以它具有的能量少得可怜，经过记录和计算，每个雷击顶多也

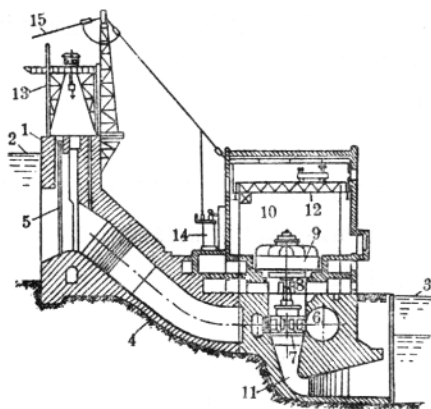


图 1-1a 水电站剖面图

1. 堤壩。2. 高水位。3. 低水位。4. 进水管。5. 閘門。
6. 螺旋形机壳。7. 水輪机轉子。8. 水輪机軸。
9. 发电机。10. 发电机間。
11. 水輪机泄水管。12. 行車。
13. 閘門用起重機。
14. 升压变压器。15. 高压綫路。

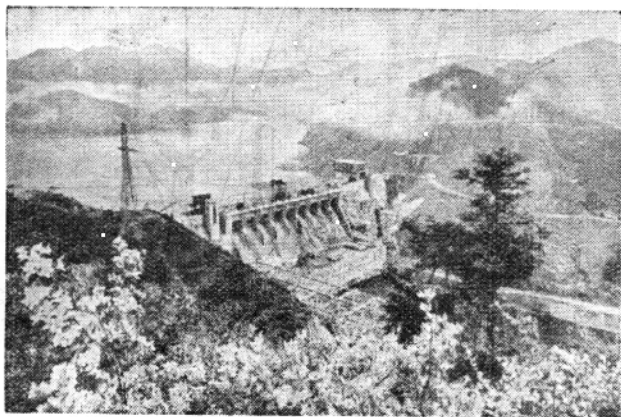


图 1-1b 水电站外景

• 3 •
ACJ 49/10

只有几百度电,还不够一台轧钢电动机用一个小时呢!

我们所用的电能,是人工制造出来的。更确切些说,是人们将其他形式的能量变为电能的。这些专门生产电能的工厂,就叫做发电厂或发电站。

把河水的能量变为电能的工厂叫做水力发电站,或简称水电站(图 1-1)。在祖国辽阔的土地上,拥有世界上最多的水力资源。在广大的农村和山区,已经建造了和正在建造着许许多多大大小小的水电站。

我们祖国蕴藏着极为丰富的煤炭资源。当开发出来的煤燃烧时,可以发生大量的热能,利用煤燃烧所生的热能来发电的工厂,叫做火力发电厂和热电站(图 1-2)。

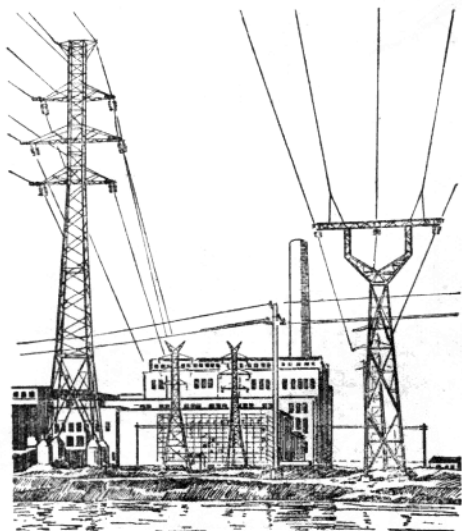


图 1-2 火电厂外景

水电站和火力发电厂是目前世界上发电厂队伍中的主力军。其中火力发电厂更多一些,在我国也是这样。

此外,还有一些其他种类的发电厂。比如在经常有大风的地方可以建造风力发电厂(图1-3)。近十几年来,世界上还建造了一些原子能发电厂。

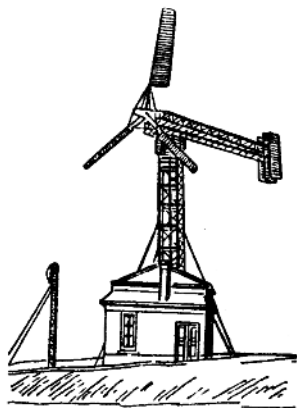


图1-3 风力发电厂示意图

1-3 节 为什么要输送电能

发电是为用电服务的。如果发电厂和用电设备(一般称作用户)不是紧挨在一起,那就必然要产生“送”的问题了。

实际情况正是这样。水电站只能建筑在河流上,而且一般是在水流湍急的山区河段,与城市有一定的距离,与分布很广的农村也有距离。火电厂有时也是建筑在山区的煤矿附近。因此,电能的输送是发电与用电之间必不可少的一个中间环节。

输送电能还有一个重要原因:比如甲地一个电厂供电给近区的一片用户时,功率显得不大够用,或者由于用户需电时大时小,有时不大够用,而乙地另一个电厂供电给自己近区的另一片用户时,功率显得有富裕,因此人们自然会想到,要设法利用乙地电厂多余的电能来支援甲地的不足。这样就必须建设输电线路将两地电厂联系起来,组成所谓电力系统。后来人们发现,把许多电厂组成一个统一的电力系统,对用户的供电更加可靠,因为万一有个电厂发生了什么故障而停止工作,系统里还有其他

电厂代替这个发生了故障的电厂，来向用户供电。

于是，我们知道了电能从生产到消费总共有三个大的过程：
(1)生产电能(简称发电)，(2)输送和分配电能(简称输配电)，
(3)使用电能(简称用电)。本书的目的，就是向读者介绍有关输
配电的一些知识。

当我们走近发电厂时，会看到从厂内引出许多根金属的导线(叫做输电线)，它们分别架设在不同的铁塔上，向四面八方延伸出去(图1-2)。它们的任务就是将电能送到用户比较集中的地方，如城市、工厂、矿山、村镇等，然后再用分支线(叫做配电线)将电能按需要分配到各个用户去使用。

随着电气化事业的日益发展，这种输电线与配电线日益加多，在天空中象一个大网一样纵横交错，所以人们把它们叫做电力网。

第二章 怎样实现电能的输送

在说明这个问题之前，我们得先知道对电能的输送有些什么基本要求。

概括起来说，这些基本要求有三个：

(1)输电线路必须可靠地工作，不能动不动就停电。

一个家庭要是停了电，关系还不大。矿井里的通风和排水要是停了电，人在里面会窒息，矿井也可能被淹没。炼钢炉的鼓风机要是停了电，就要损坏炼钢炉了。有些生产上如果停了电，还会造成大量废品和减产呢！由此可见，尽量减少输电线路的

故障, 保证供电的可靠, 是何等重要的事。

(2) 要保证电能质量。

用电设备都是按着一定的工作电压(叫做额定电压)来制造的。如果供电电压和这个额定电压不一致, 就有问题了。比如供给电灯泡的电压比它的额定电压(如 220 伏)低得太多, 灯就不亮; 如果电压太高, 电灯泡的使用寿命就要降低, 很快就烧坏了。

交流用电设备还是按着一定频率(叫做额定频率, 一般是 50 赫兹)来制造的。供电的频率也应该和这个额定频率一致, 或者基本上一致。

因此供电的电压和频率就成为电能质量的两个主要标志, 而输电线路必须满足电能的质量要求。

(3) 输电应该经济。

如果说输电可靠、质量又高是“物美”的话, 那还不够, 还应该“价廉”, 才能够全面满足国家生产和人民生活的需要。这就是经济性。具体地说, 就是输电线路的建造费用要低, 要用便宜的材料, 电能损耗要小, 电能成本要低, 电价要便宜。

只有懂得了这些基本要求, 我们才可以谈如何架设输电线路, 用些什么材料, 以及怎样解决建造和运行(即输电)中出现的各种问题。

2-1 节 输送电能需要用些什么材料

输水用管子或者沟渠, 输煤用火车或者船舶。这电是看不见, 摸不着的(还不能摸呢), 怎样输送呢?

从物理学中我们知道, 电流是沿着导体流动的。物理学还告诉我们: 通过某一导体传送的功率 N , 等于流过该导体的电流

I , 和作用在这个导体上的电压 V 的乘积(图 2-1)。即

$$N = IV。$$

当电压一定时, 流过的电流越大, 输送的功率也越大; 当电流一定时, 作用的电压越高, 输送的功率也越大。

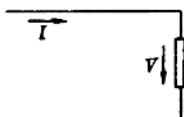


图 2-1

这就是说, 输送电能, 必须具有两个因素: 作用的电压, 流过的电流。

既然有电流, 就要有导体; 既然要维持电压, 就得有绝缘体。因此输电线路所用的基本材料就是这两样东西: 导电材料和绝缘材料。

对导电材料, 我们有几项要求:

第一, 既是作导电用的, 导电性能就要好。也就是说, 电阻率要小, 做成的导线, 在长度和横截面积(以下简称截面)相同时, 其电阻要比别的材料小。这样在输电时, 电能损耗就小, 电压损失也小(送到用户处的电压不致太低), 发热也较小(不致烧坏)。

第二, 机械强度要高。简单来说就是要结实, 不易被拉断, 也不易被磨损。

第三, 藏量丰富, 产量大, 价格便宜。

在输电工程上实际用来作导线的材料, 主要有铜、铝、钢三种。它们的电阻率如表 2-1 所示:

表 2-1 导电材料的电阻率

材 料 名 称	铜	铝	钢
电阻率(欧 $\frac{\text{毫米}^2}{\text{米}}$)	0.0175	0.029	0.10

从上表可以看出，铜的电阻率最低。这当然很好。同时铜的导热性好，机械强度也很好，每平方毫米能够承受 20 公斤到 39 公斤的拉力。但是铜的价格较贵，产量较少，不能满足要求，所以能不用铜的地方，应该尽量不用铜导线，以节省用铜。

铝的导电性能比铜差一些，电阻率比铜大 1.65 倍。机械强度也比铜差些，每平方毫米只能承受 16 公斤的拉力。但是铝的蕴藏量比铜多，产量也比铜大，而且比铜轻得多，因此铝在输电工程上就成了主要的导线材料。

钢的导电性能比铜和铝就差多了，一般不宜于作导电材料。但是它有一个可贵的优点，就是机械强度大，每平方毫米可以承受 70 公斤的拉力，有的甚至可以承受 120 公斤。因此，在架空输电线要跨过很宽的河流或山谷，两边杆塔距离（叫做档距）太长的时候，在这一段用钢线就可以减小架设上的困难。此外在用户比较分散，每个用户的功率又不大的情况下，比如某些农村用户，用钢线也比较合适。

输电所用的绝缘材料，随着输电线路结构的不同而各异。也可以说，输电线路的结构主要是按着绝缘和架设方法的不同来分类的。通常分为两大类：架空输电线路和电缆线路。所以关于绝缘材料的知识，就在下两节结合线路的结构来一并叙述了。

2-2 节 架空输电线路的结构

顾名思义，架空输电线就是将输电线用杆塔架在空中就是啦！这是目前作较远距离送电的主要方式。我们在发电厂附近，或在大城市的郊区，都可以看到这种输电线路（见图 1-2）。这里，读者一定会产生一个问题：为什么我们看到有的导线架在木

杆上,有的架在高大的铁塔上,有的架在水泥杆上呢?在这一节里,我们就要说明这些问题。我们把架空输电线(以后简称架空线)的结构分成三个部分来讲:导线,绝缘,杆塔。

一、导线

架空线路的导线,一般都是用多股绞线,就是把许多股细导线象麻花那样扭成一根粗的(图 2-2)。



图 2-2 绞线侧面图

多股绞线比截面相同的单股粗线的机械强度大,容易弯曲,好安装,也好制造,要增大导线的截面,多绕几股就行了。

上节已经说过,架空导线的材料主要是用铝。导线挂在杆塔上要承受一些力的作用:导线本身的重量,风力,有时还有冰雪的重量等。而铝线不太抗拉,于是人们就想了个巧妙的办法,用钢绞线作芯,外面再绞以多股铝线(图 2-3),做成了一种叫做钢芯铝线的导线。

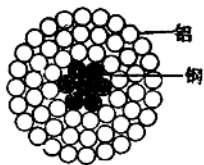


图 2-3 钢芯铝线断面图

物体受到拉力,会发生伸长形变。如果受的拉力一样,钢的伸长要比铝小。反过来,如果伸长的长度一样,钢芯“吃的力”就要比铝大。钢的机械强度本来就大,叫它来分担铝的受力不是挺合适吗!

那么电流在钢和铝之间是怎样分配的呢?原来交变电流有个“脾气”,它喜欢沿着导线的表面流动,这叫做趋表效应。现在把铝线绕在钢芯的外面,铝的电阻率又比钢小,所以电流就大都沿着铝线流动。这不也是挺理想么!

在钢芯铝线中,钢芯和铝线就是这样巧妙地分工合作的。

看了前面的图 1-2, 读者又会产生一个问题: 为什么那个杆塔上有那么多根导线呢?

读者可能习惯于两根导线的送电方式。如果是直流电, 那就是一正一负, 电流一来一回。如果是交流电, 那么在任何一个瞬间, 也是有来有回, 按正弦规律交替变化。这样每条输电线路只要两根导线就可以了。

可是现代都是用的所谓三相交流电, 每条输电线路就要用三根导线了。关于什么是三相交流电, 本书不作详细解释了, 这里只简单地提一下: 即是用三根导线作三相交流输电时, 在任何一个瞬间, 如果一根是流出电流的话, 另外两根就作为回路流回电流; 或者有两根线是流出电流, 而由第三根流回。电流就是在这三根线里这样交替变化的。

因此, 如果我们看到在一个杆塔上有四根或五根导线, 其中有三根就是用来输送电能的, 第四、第五根(图 1-2 右边铁塔顶上的那两根)叫做避雷线, 它的功用以后再说。

二、绝缘

杆塔上的那些导线, 不象我们在室内看到的电灯线那样, 外面都没有包上什么绝缘外皮。这是怎么回事呢?

不要奇怪, 虽然它们都是裸线, 彼此却是绝缘起来的, 导线与地之间也是绝缘的。

原来输电导线是吊在空中的, 导线彼此之间不接触, 导线与地之间也不接触, 都被空气隔开, 空气就是一种最廉价的绝缘物。正是为了能够利用空气这种最廉价的绝缘物, 才把导线用杆塔吊在空中的。

读者又会问: 导线不是挂在杆塔上的吗? 杆塔是立在地上

的，那不等于导线接地了吗？原来导线是通过一串绝缘子挂在杆塔上的，这串绝缘子就保证了导线之间和导线对地的绝缘。

高压输电线上的绝缘子，它的外形象一个覆盖着的盘碟(图2-4)，是瓷做的，这种瓷是特制的，叫做绝缘瓷。每一个绝缘子能够耐受一定的电压，输电电压越高，每串所用的绝缘子数也就越多。比如输电电压为110千伏(1千伏=1000伏)，一般就用7~8个绝缘子组成串。

三、杆塔

一条很长的输电线路，要用许多根杆塔才能把导线架设起来。一般是每隔几十公尺

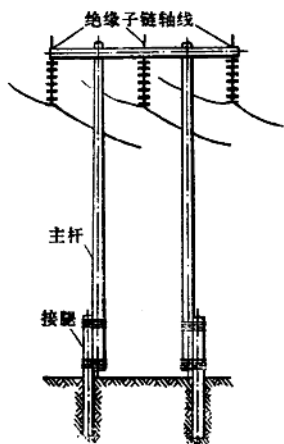


图 2-5 输电用木杆塔

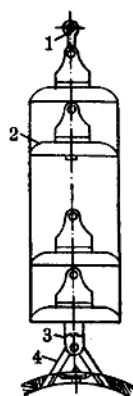


图 2-4 绝缘子串

1. 耳环。2. 绝缘子。
3. 吊环。4. 线夹。

或每隔几百公尺就要架一根杆塔(相邻两根杆塔之间的距离叫做“档距”)，在特殊的地方，如跨河或跨越山谷处，甚至有上千公尺才架一根的。

杆塔有用木材做的，也有用角铁构成的铁塔。近十几年来，用钢筋混凝土做成的杆塔得到了广泛的应用。

木杆适用于输电电压不太高而又盛产木材的地区。它的价格比较便宜，但是埋在土中的木材，

它接近地面的部分容易腐烂，所以现在常把它的下半截换成混凝土基桩(图 2-5)。

当输电电压较高时，导线间的距离和导线对地的距离都必须加大，也就是说，杆塔要加高，横担也要加长。这样杆塔上所受的力也就加大了，如果在这些地方木材又不是那么多，用木材就不一定合适了。在这些地方，曾经广泛地应用了铁塔(图 1-2)。

建造铁塔，需要耗费大量的钢材。一条 100 公里长、输电电压为 110 千伏的线路，如果用铁塔，要用钢材 1000 吨左右。因此人们就试用钢筋混凝土杆塔(图 2-6)来代替铁塔。十几年来，钢筋混凝土杆塔已得到了广泛的应用，我国在这方面取得了特别优异的成绩。目前 35 千伏、60 千伏和 110 千伏的输电线路大多采用了这种杆塔。在更高电压的线路上，应用这种杆塔的问题也得到了解决。

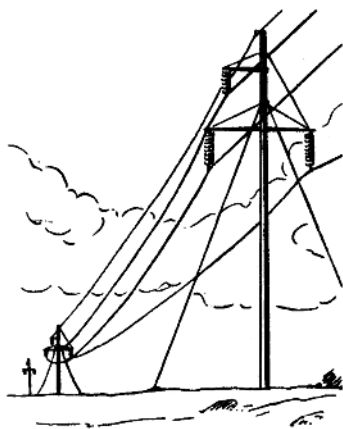


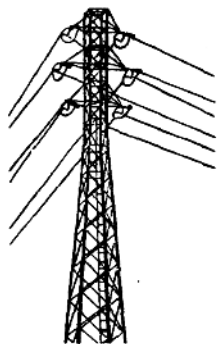
图 2-6 输电用混凝土杆塔

钢筋混凝土杆塔比起铁塔来，可以节约 40% 到 60% 左右的钢材；比起木杆来，可以节约大量的木材，使用年限也要长些。

杆塔的费用占整个输电线路建设费用的比重很大，同时它又关系到线路工作的可靠性和维护工作，所以杆塔的设计与建造工作是很重要的。

导线在杆塔上可以水平排列(图 2-5),也可以三角排列(图 2-6)。

图 2-5 和图 2-6 上都是一个杆塔上只架设一条(又叫一回)输电线,有 3 根导线。如果有两条输电线同路或同一段路,还可以在一个杆塔上架设两条(两回)输电线,这样,一个杆塔上就有 6 根导线了(图 2-7)。



输电线路分布在广阔的原野上,比较容易遭受大气中的雷击。雷云具有比输电电压高出许多倍的对地电位,因此如果雷落在导线上,导线对地的绝缘就会被雷打穿而造成接地短路的严重事故,输电就会中断。为了避免这种事故,人们就在架空输电导线的上空,再架上图 2-7 双线路输电铁塔一根或两根避雷线(图 1-2 右边铁塔上面的两根)。它一般是用钢绞线,直接与杆塔相连,并且用导线接入地中。

避雷线的工作原理与避雷针是一样的,只不过因为被保护的是一条很长的输电导线,所以不能用针,而要用线吧了。避雷线是架在输电导线上空的,所以雷一般常是落在它上面,而不致溜到输电导线上来。雷落到避雷线上,雷电荷就经过接地线被导入大地中,从而保护了输电线免受雷害。

2-3 节 电缆的结构和敷设

每逢“五一”或“十一”的节日之夜,首都总有几十万人在天安门广场上载歌载舞,欢度佳节。各种电灯把雄伟壮丽的天安