

机械工业知识丛书

电线电缆

上海市电缆研究所编



46

机械工业出版社

电 线 电 缆
上海市电缆研究所编
(只限国内发行)

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $4 \frac{13}{16}$ · 字数 120 千字
1975 年 2 月北京第一版 · 1975 年 2 月北京第一次印刷
印数 00,001—41,000 · 定价 0.42 元

*

统一书号: 15033 · (内)617

出 版 说 明

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国机械工业欣欣向荣，蓬勃发展，形势很好。

“中国靠我们来建设，我们必须努力学习。”为了适应机械工业发展的需要，我们请有关单位编写了一套《机械工业知识丛书》，供机械行业的领导干部、管理人员和有关同志参考。

上海市电缆研究所编写的《电线电缆》一书，扼要地介绍了各类电线电缆的基本知识，其中包括电线电缆的产品品种、使用材料、生产过程和加工工艺。书中还对电线电缆的检验和电线电缆的生产发展趋向作了一般说明。

本丛书在编写过程中，承各编写单位大力支持，做了大量的工作，我们表示衷心感谢。

由于我们水平有限，书中难免有缺点和错误，希望读者批评指正。

目 录

第一章 概述	1
一、主要用途	3
二、基本结构	6
三、产品类别和型号	9
四、生产及发展趋向	11
第二章 裸电线和电线电缆导体	15
一、裸电线和电线电缆导体的品种	15
二、裸电线和电线电缆导体使用的导电材料	22
三、圆单线和型线的生产	24
四、绞线的生产	39
五、裸电线和电线电缆导体的检验	44
第三章 电磁线	46
一、电磁线的品种及其使用的绝缘材料	46
二、漆包线的生产	52
三、绕包线、无机绝缘电磁线和特殊用途电磁线的生产	56
四、电磁线的检验	59
第四章 电气装备电线电缆	61
一、电气装备电线电缆的品种	61
二、电气装备电线电缆使用的绝缘及护层材料	71
三、橡胶加工和塑料加工	77
四、电气装备电线电缆的生产	81
五、电气装备电线电缆的检验	89
第五章 电力电缆	92
一、电力电缆的品种	92
二、电力电缆附件	99
三、电力电缆使用的绝缘及护层材料	104
四、电力电缆的生产	106
五、电力电缆的检验	114

第六章 通信电缆	116
一、通信电缆的品种	117
二、通信电缆使用的导体、绝缘及护层材料	124
三、通信电缆的生产	126
四、通信电缆的检验	132
附录	133
一、电线电缆产品型号的代号	133
二、电线电缆主要产品型号	137

第一章 概 述

如同利用水管输送水流一样，电流必须通过电线电缆的传导，才能为人们所利用。连接电灯或电话、输送电能、开动电机、发送和接收广播、电视等，都必须使用电线电缆；制造电机、电器和电工仪表，也不能缺少用电线绕制成的线圈。前者称为电力电线电缆和通信电线电缆，后者称为电磁线。由于它们的应用范围很广，需要量很大，因此，人们常把电线电缆比做人体内的动脉静脉和神经系统。

伟大导师恩格斯说：“科学的发生和发展从开始起便是由生产决定的。”[●] 电线电缆正是由于人类生产活动的需要而产生和发展起来的。早在十七、十八世纪研究电气现象时，人们就已经使用铜丝传导电流，形成原始的电线。到了十九世纪初期，开始采用未经硫化的橡皮（当时还无橡皮硫化方法）包复在铜线上，并再包以马来树胶或穿入玻璃管里，使铜线传导的电流不致传导到外边去，又起到保护人身安全的作用。从此，电线应用的范围逐渐得到了扩大。

随着电气科学的进一步发展和新材料的不断出现与改进，电线的结构也逐步完善起来，性能不断提高。十九世纪中叶，开始在电线上使用钢丝和钢带做为铠装保护，继之则发明挤包铅管，并在一根铅管里放入几根电线，把几路电流同时传送过去。这时，人们对有铅管和铠装的电线，尤其对几根电线放在一根铅管里的产品，采用电缆这个名称。目前电线电缆品种已经很多，从名称上较难用什么定义来严格加以区别。一般讲，对只有金属导体的产

● 恩格斯：《自然辩证法》，1961年版第149~150页。

品，常称为电线；对有包复层的产品，结构比较简单，外径比较细，使用电压和电流比较小，或是通话对数很少，而且没有铅管和铠装的，也常称为电线；反之，则称为电缆。统称时，常用“电线电缆”这个名词。

1860年有了用硫化橡皮做成的电线，1886~1889年间又有了用纸带绕包的电缆，经过不断改进，形成今天的橡皮电线和纸包电缆。塑料是近代发展起来的新材料，本世纪三十年代后期才开始应用在电线电缆上。由于塑料工业发展很快，而且性能越来越好，在仅仅三十多年的短暂时间里，已有不少电线电缆品种采用塑料做为包复材料。

我国的电线电缆工业，是在解放以后才建立和发展起来的。解放前，在帝国主义、封建主义和官僚资本主义的压迫、剥削下，我国工业基础极其薄弱，仅有一些依附于洋人的落后行业和帝国主义为了侵略和掠夺资源而建立的厂矿。电线电缆生产的境遇更是如此。当时只能制造个别简单品种，如裸铜线、纱包电磁线和橡皮绝缘电线。不但产量很低，生产工艺落后，而且材料和工艺装备也大都仰仗国外进口。

解放后，在伟大领袖毛主席和党中央的革命路线指引下，**独立自主、自力更生**，电线电缆生产蒸蒸日上，建国二十几年来，我们已经做了资本主义国家一百多年才能完成的事。三年国民经济恢复时期，改建并扩大老厂的生产，突破过去一向只能生产电线的局面，制造出了电力电缆和通信电缆。第一个五年计划期间，又新建一些骨干厂，产品品种和数量急剧上升。1958年工农业生产大跃进，全国各地都出现了电线电缆生产厂，材料与工艺装备基本自给。经过十多年的生产实践，尤其是通过无产阶级文化大革命，各省、市、区形成了一批骨干工厂，一般生产厂的数目也大有增加，品种、产量逐年上升，新材料不断涌现，产品质量更有提高，自行设计并制成的工艺装备，已遍布全国各个电线电缆工厂。按电线电缆导体使用的折合

用铜量计算[●]，今天的产量已经超过解放前二、三百倍之多。电线电缆的生产，有力地支援了我国的社会主义建设。

图 1 所示即为我国生产的部分电线电缆产品。

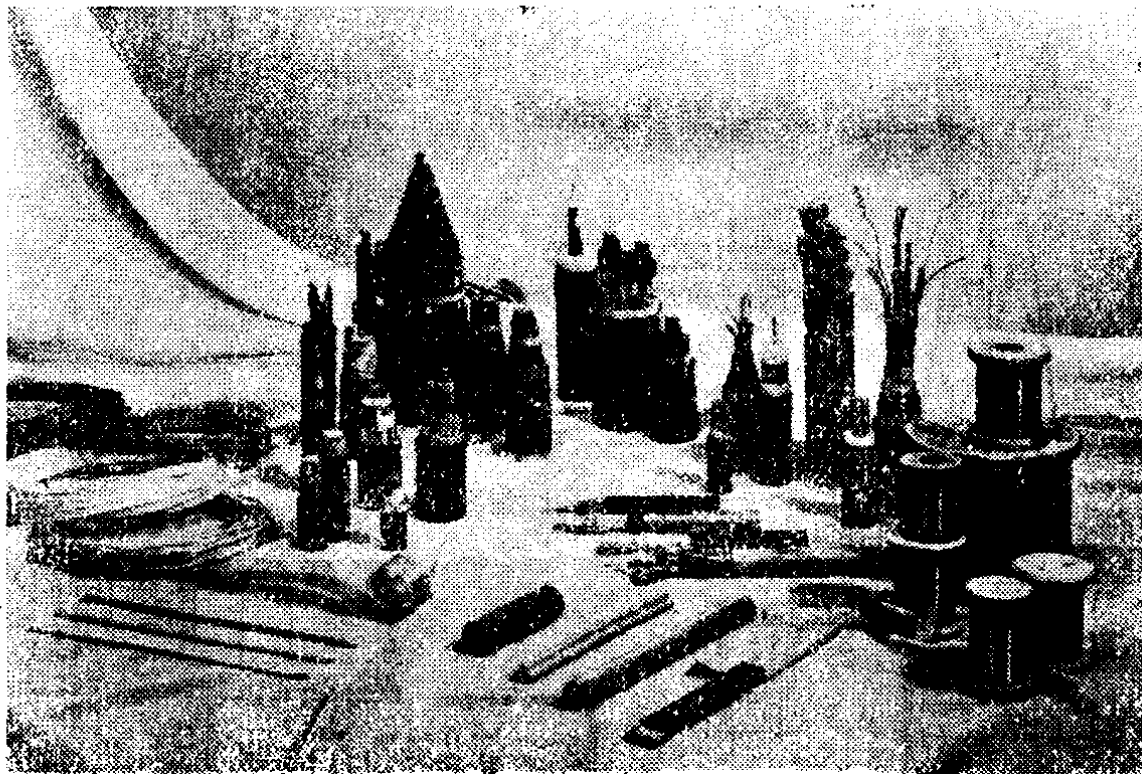


图 1 我国生产的部分电线电缆产品

一、主要用途

电线电缆的用途主要有三个方面：电力输配、电气通信和电气装备线圈的绕组。

1. 用于电力输配

电能从发电站输送到用电负荷中心，常要越过田野、跨过河川、爬过山峦或穿过隧道。这就需要架在铁塔或电杆上的电力架空线（图 2）和埋设在地下或水底的电力电缆。电能从用电负荷中心分配

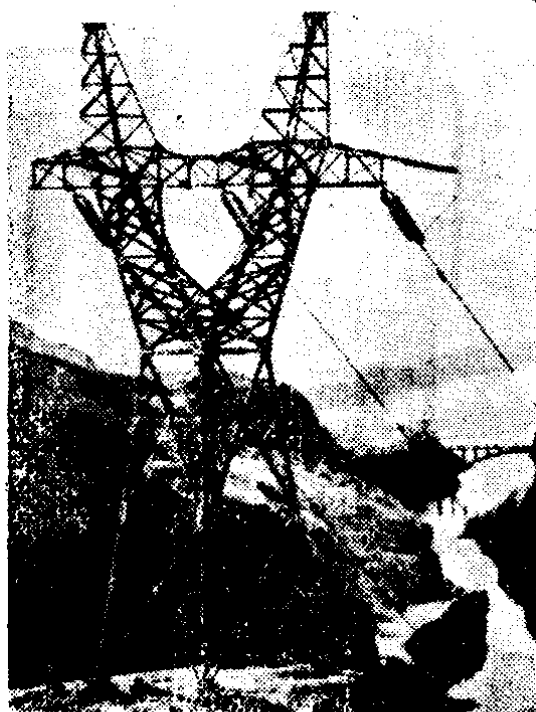


图 2 电力架空线在峡谷间

● 导体用量是衡量电线电缆产量的一个重要指标。铝和铜为目前导体的主要材料。按同样使用效果，将铝的用量折合为铜的重量，与铜的用量一并计算，称为折合用铜量。

到工厂、矿区、车站、码头、街道等处，中间还要经过各级变电所，通过各种电线电缆，才能连接到电机、电炉、电焊机、电铲、电灯以及日用电器等用电设备。

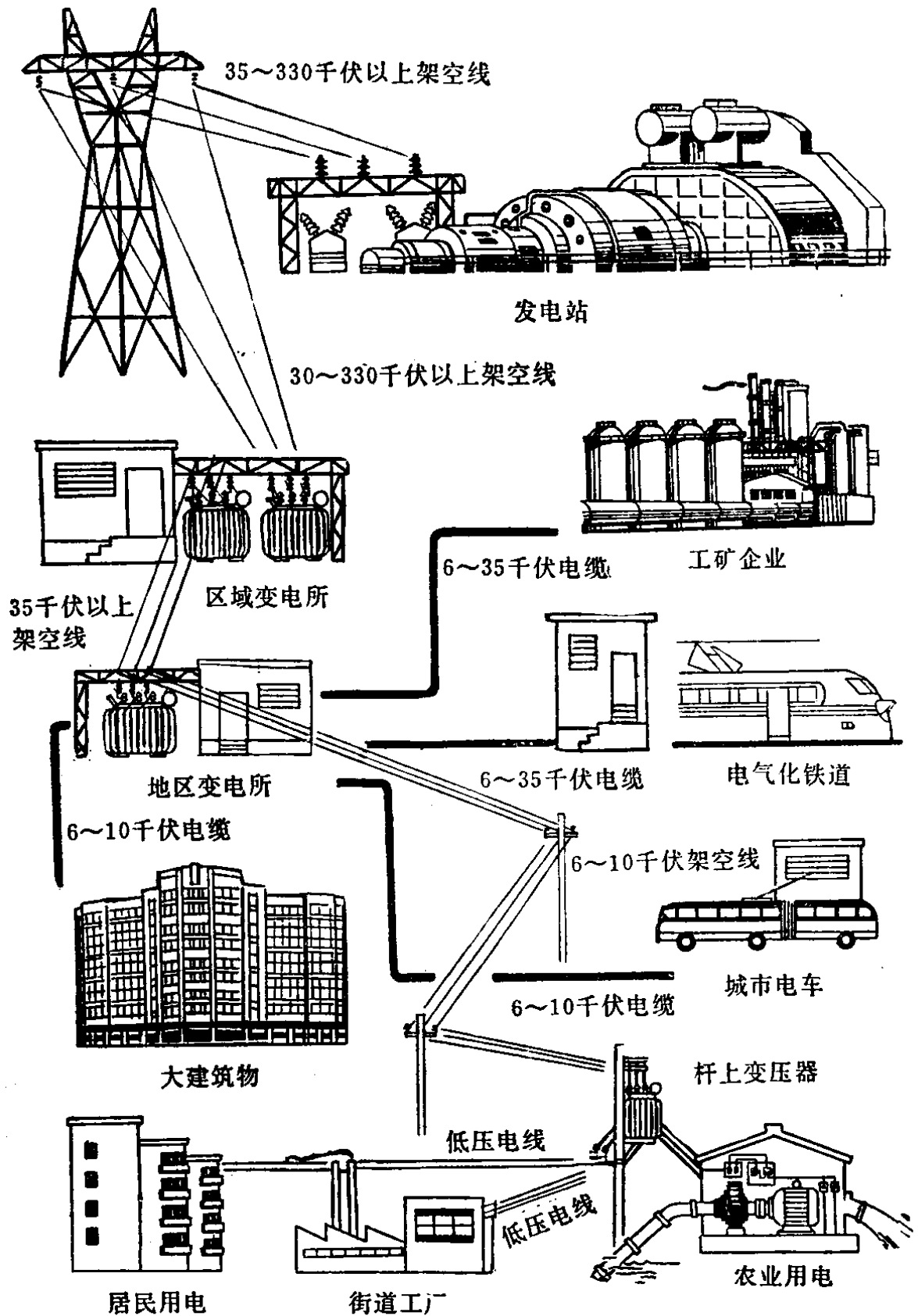


图3 电力输配系统示意图

电力输配系统用的电线电缆，要求能承受相当大的电量，即相当大的电流和相当高的电压，使电能转换为各种能量，为国民经济各个部门服务。

图 3 为电力输配系统的示意图。

2. 用于电气通信

电报、电话、传真、数字通信以及广播、电视等，都是利用电气作用构成的通信系统（图 4）。这些系统使用的电线电缆，要求能保证准确无误地传递讯号，不断线、不失真、不混淆。

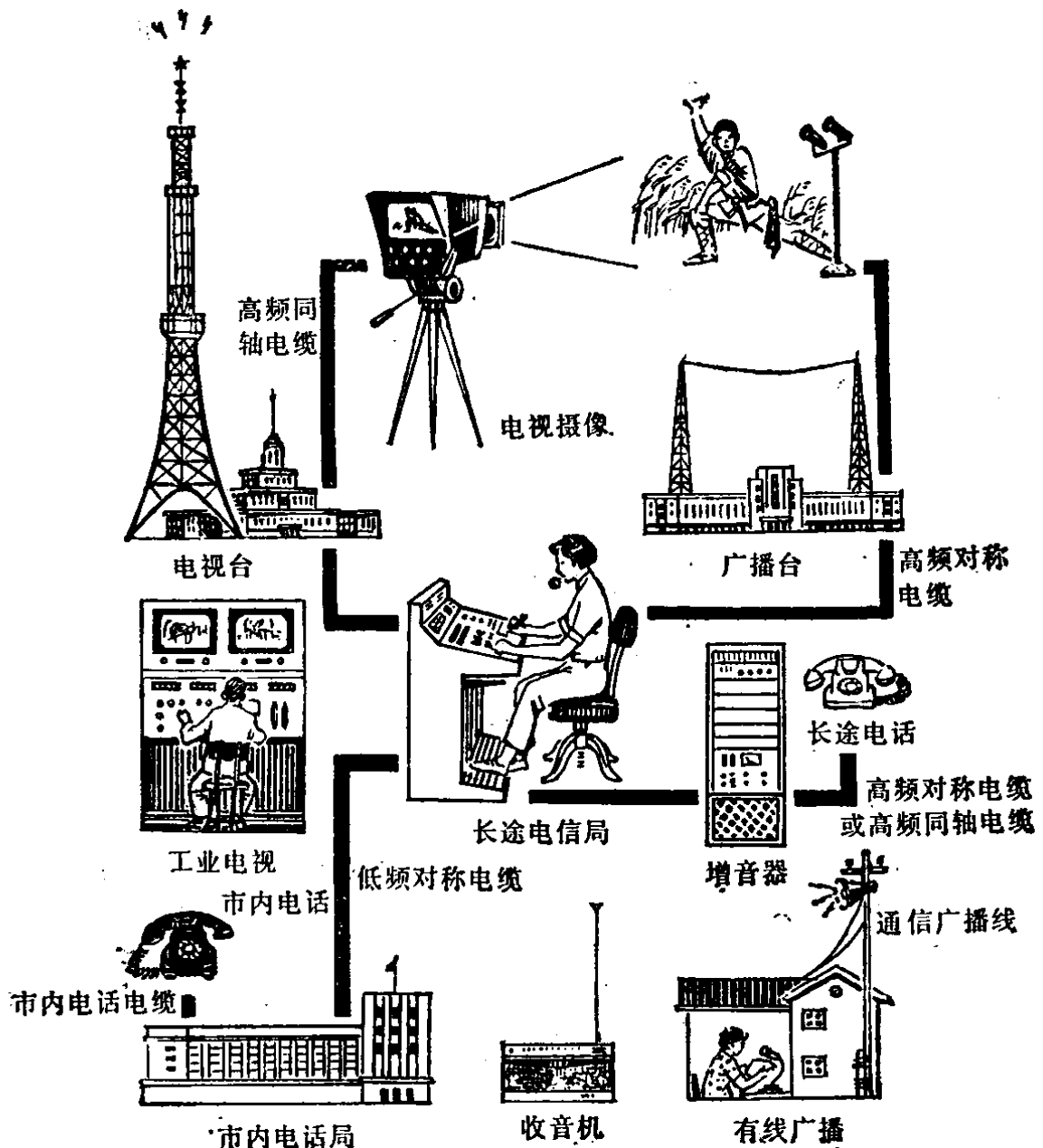


图 4 电气通信系统示意图

3. 用于电气装备线圈的绕组

这种电线是为绕成线圈以构成电气装备的一个部件之用，在发电机、电动机、变压器、电工仪表以及各种通信设备中起着电磁作用。线圈犹如电气装备的心脏，是电能与其他能量转换的枢纽。为了发挥电气装备的效率，要求用于这方面的电线，能够承受较高的环境温度和耐电压强度。电线的耐热和耐电压程度愈高，电气装备就可做得更小、更轻、更为灵巧。这种要求在作为海上、空间应用的电气装备，尤其显得重要。

电线电缆的作用不仅在社会主义建设事业中有其重大意义，而且与人民生活也密切相关。为了加速提高我国电气化程度，电线电缆工业必须相应地加速发展，以满足国民经济各部门和尖端科学不断发展的需要。

二、基本结构

电线电缆一般是由导体、绝缘层和保护层三部分构成。其基本形式如图 5 所示。

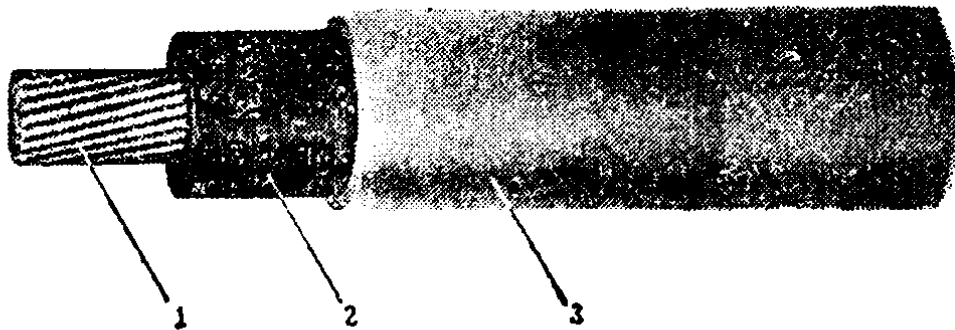


图 5 电线电缆基本形式

1—导体；2—绝缘层；3—保护层

1. 导体

导体是指能传导电流的物体，为电线电缆的导电部分，在有绝缘层的产品中又称为导电线芯。用作电线电缆导体的材料，首先要有良好的导电性能，即电阻要小，以减少电流在线路上通过时的损耗。电的损耗和电流大小、电阻大小有直接关系，并表现

在导体的发热上。选用导体截面的大小，主要就是根据传导电流的大小和导体材料电阻的大小而定，务使发热较少，不至损耗电能太多，也不至损坏包在导体外面的绝缘层。同一种材料的截面愈大，总的电阻愈小。输送强大电流，导体就须选用较大的截面。导体还要具有良好的机械物理性能，即具有一定的抗拉强度、伸长率、硬度、温度系数等，以满足生产、安装和使用的要求。导体还应具有便于加工制造，应有防止腐蚀的能力，且易于互相焊接等要求。

常用的导体材料有铝、铜、铝合金、铜合金以及钢铁等金属，其中以铜的导电性能最好。铝的导电性能和机械物理性能虽不如铜好，但因其具有资源丰富、价格低廉、重量轻等特点，目前已成为应用较广的导体材料。铝合金与铜合金的种类很多，性能也很优越，正在发展中。钢铁的导电性能较差，但机械强度大，在某些架空线路上还有应用。

电线电缆就是利用导体来传导电流的，因而电线电缆的规格都以导体的截面或导体的直径表示。

2. 绝缘层

绝缘层简称绝缘，是将绝缘材料按其耐受电压程度的要求，以不同的厚度包覆在导体外面而成，起着使带电体与其他部分隔绝的作用。绝缘层的材料必须具有良好的电气绝缘性能，即表现为承受电压的大小。一般地讲，同一质量的绝缘层愈厚，耐电压也愈高。绝缘层也要具有一定的机械物理性能和加工制造的工艺性能。例如制造低电压电线电缆时，尽管从电气性能方面考虑可以采用很薄的绝缘层，但从机械性能与加工工艺考虑，仍以稍厚一些为好，原因是绝缘层过薄，加工较困难，容易损坏。电线电缆通电以后，导体要发热。因此，比较理想的绝缘材料，应是对电有良好的绝缘性能，而对热则有良好的传导性能。绝缘层在电和热的作用下，内部会产生变化，天长日久，绝缘性能就要降低。

橡皮、塑料、绝缘纸、绝缘油、绝缘漆和一些纤维材料等都可做为电线电缆的绝缘层。但在选用绝缘材料时，应当考虑到尽可能用合成材料代替天然材料，用塑料代替橡皮并节约棉麻丝绸等农副产品。

导体包覆绝缘层后称为绝缘线芯。每个导体上的绝缘层，称为线芯绝缘或简称芯绝缘。包复在由几个线芯扭成的电缆芯上的绝缘层，称为带绝缘，这是因为它常用带形绝缘材料绕成之故。

3. 保护层

保护层简称护层，是电线电缆外层的保护部分。根据电线电缆的品种、用途以及使用环境和绝缘层材料情况的不同，护层有许多不同型式和结构，它们所起的作用也不尽相同。例如有些电线电缆在安装和使用时不能承受外界的伤害和腐蚀，这就需要在绝缘层外包复耐磨、防腐、不易燃烧的保护材料，如橡皮或塑料；有些绝缘材料容易吸潮变质，或是容易流散而失去绝缘作用，这就需要在绝缘层外包上密封的护套，如铅管或铝管。密封的铅管或铝管称为内护层。由于它经受不住机械损伤，因而还需包上钢丝、钢带。钢丝、钢带容易被腐蚀，铅管、铝管在一些恶劣环境下也容易被腐蚀，因而还需包上各种防腐材料，如沥青、黄麻、塑料等。这些都统称为外护层。其中钢丝、钢带称为铠装层，沥青、黄麻、塑料称为防腐层。此外，在导体上、绝缘层上、电缆芯上或电线电缆外层，为了防止外界电磁波干扰或是起到均匀电场作用，还包有金属丝、带或导电的纸、塑料、橡皮等材料。这些都称为屏蔽层。同样起到保护电线电缆作用的，还有各种综合护层，一般是用铝带、钢带、纸带以及塑料等材料多层包制。

选用护层材料时，也应考虑到尽可能以合成材料代替棉麻，以塑料代替金属，以铝代铅。

图6为油浸纸绝缘电力电缆的解剖，从中也可以看出电线电缆的一般构成情况。

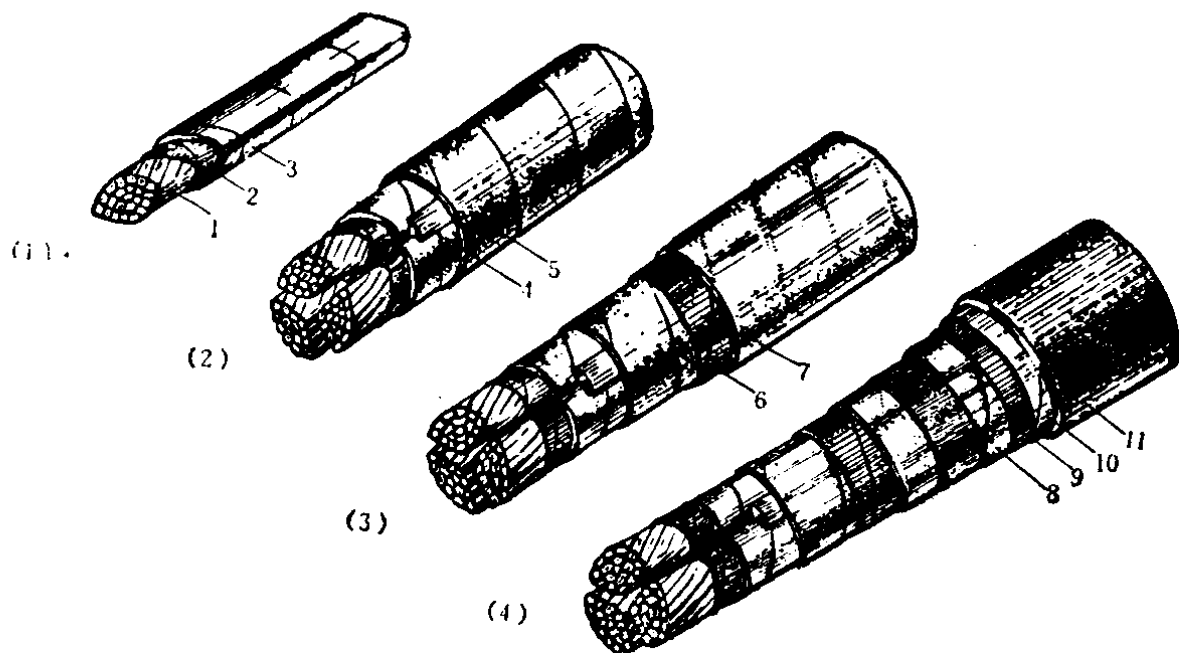


图6 油浸纸绝缘电力电缆解剖

- (1): 1—扇形紧压导电线芯；2—屏蔽层；3—芯绝缘层；
 (2): 4—三根绝缘线芯绞合，空隙处加填充料；5—带绝缘层；
 (3): 6—电缆芯屏蔽层；7—铝护层；
 (4): 8—钢带铠装层；9—防腐层；10—垫层；11—塑料护层

三、产品类别和型号

电线电缆按它的用途、结构和使用材料的不同，可划分为不同类别，其间有一些交错和相互的联系。例如，电力输配与电气通信用的电线电缆，都有架空电线、地下与水下电缆，都有裸线和各种材料绝缘线，也都有铅、铝护层和钢丝、钢带铠装的品种。但又互有不同：电力输配用的架空电线比较粗，电气通信用的架空电线比较细；电力输配用的电线电缆，其线芯数目少，导线截面大；电气通信用的电线电缆，其线芯数目多，导线截面小。因此，电线电缆的分类常是按用途，又考虑结构和材料不同，分成不同类别。

本书为了介绍电线电缆一般知识的方便，把电线电缆分成五个大类。其中除第一大类是以结构和材料为特征外，其他四个大类均以产品用途为主要划分依据。

1. 裸电线

简称裸线，为没有绝缘层和保护层的电线。用于电力输配、

电气通信以及作为电气装备的元件。

2. 电磁线

在电气装备中绕制线圈用。其结构为有导体和绝缘层、而无保护层。绝缘材料主要有绝缘漆和一些纤维材料。

3. 电气装备电线电缆

大都用于电气装备的连接线，并包括个别低电压电力配线和短距离简单的通信电线。这类产品绝大部分无金属密封保护层。绝缘材料基本上为橡皮和塑料，因此也可称为橡皮塑料电线电缆。

4. 电力电缆

用于电力输配干线线路。使用电压一般都比较高的。结构比较复杂，很多是三芯电缆，有内外保护层。绝缘材料有绝缘纸、绝缘油、橡皮和塑料等。

5. 通信电缆

用于电气通信干线线路。一般结构比较复杂，大都具有较多的成对线芯，有内外保护层。绝缘材料有绝缘纸和塑料。

归纳起来，电线电缆的分类可以用下表来表示。

产品类别	用途	主要材料		
		导体	绝缘层	保护层
裸电线	电力输配、电气通信、电气装备元件	导电金属		
电磁线	电气装备线圈	导电金属	漆、纸、纱、丝	
电气装备电线电缆	电气装备连接线、低压配线、电话线	导电金属	橡皮、塑料	橡皮、塑料
电力电缆	电力输配干线	导电金属	纸、油、橡皮、塑料	铅、铝、钢丝、钢带、塑料
通信电缆	电气通信干线	导电金属	纸、塑料	铅、铝、钢丝、钢带、塑料、综合保护层材料

电线电缆在五个大类中有很多品种，每一结构品种都各自有它的型号。电线电缆产品型号的组成如下：

类别、用途	导体	绝缘层	(内)护层	特征	外护层	—	派生
1	2	3	4	5	6		7

第2~6项为电线电缆结构上从里到外各层的材料和结构特征。第1项为产品品种类别或用途。第7项为同一产品品种的派生结构。在表示方法上，前五项以汉语拼音字母标注，第6项用数字标注，第七项可用汉语拼音字母或数字标注。

每一产品型号不一定包含上述所有的内容，书写时也不需要标出每一项目。为避免型号冗长难记，型号只是表达主要特点，务使型号之间不相混淆。例如以铜为导体的产品，由于沿用已久，除裸电线类外，一般不标出导体材料的代号。不同产品类别中，也各有某些项目的省略。

由于电线电缆产品较多，拼音字母有限，因此难免出现个别产品型号相同的现象。例如字母Q，既代表漆包电磁线的种类，又代表汽车、拖拉机用电线的品种。但漆包电磁线中的产品有Q、QQ、QZ、QY、QXY等型号，而汽车、拖拉机用电线的产品中则是QGV、QGX、QFR等型号。一般讲来，产品型号是不致混淆的。但也都有QG这个型号的产品，在漆包电磁线中表示硅有机漆包圆线，在汽车、拖拉机用电线中则表示全塑高压点火线。

电线电缆产品型号代号的规定见附录一。电线电缆主要产品的型号见附录二。

四、生产及发展趋向

电线电缆的产品结构虽较简单，但性能要求较高，与所用材料关系密切，且工艺比较复杂。材料与工艺是电线电缆生产中两个重要环节。研究使用材料和工艺方法、工艺装备，对电线电缆产品发展起着重大作用。

1. 产品和材料

使用材料的质量好坏，直接影响到电线电缆产品的质量，因而电线电缆的发展，在很大程度上取决于使用材料的发展。电线电缆使用材料的品种多、数量大，从生产成本中看，材料费用约占百分之九十以上。使用材料包括有色和黑色金属，橡胶和塑料，纸、麻、丝、纱等纤维材料和油、腊、漆等石油化工材料。为了提高产品质量，不但需要对原有材料不断进行改进，而且更需要对新材料进行研究。目前在导体材料上，正在发展高强度、耐高温的铝合金线和耐磨的铜合金产品。超导体的研究进展很快，不久将可用于电磁线、电力电缆和通信电缆。绝缘材料方面，新的塑料与合成橡胶正在不断发展，交联聚乙烯、氟塑料以及乙丙橡胶、顺丁橡胶等，对电线电缆产品性能和生产工艺起有良好作用。塑料已广泛使用在护层材料方面，并在进一步改进中。

由于使用材料的发展和电线电缆结构的改进，电线电缆产品性能不断在提高，日益满足国民经济的需要。从裸电线方面讲，要求有更高的抗拉强度、耐热以及防腐、防震、耐磨等性能。电磁线方面，主要在于提高耐热与耐电压的性能，有些还要求有耐水、耐油、高摩擦、自粘、自焊、自行润滑等性能。电力输配电线电缆，要求提高其耐电压和适应于敷设环境的性能，如耐热、耐油、耐气候、不易燃以及防潮、防霉、防蚀、防鼠、防蚁等性能。电气通信电线电缆则要求提高传输频率以及适应敷设环境的性能。总的来说，对于各种电线电缆产品都要求简化结构、降低成本，制成更为轻小简廉，便于生产、安装和使用。

2. 生产工艺及其设备

电线电缆生产和一般机电产品生产不同，它是采用层层包复的制造方法进行大长度生产的产品，已经被包复在内层的部分，将很难检查或调换。因此，工艺上必须按照产品的结构顺序完成，必须保证材料与工艺的质量。在生产过程中和工序间必须及时进行检查测试。