

中级电工培训教材



内外线电工工艺学

中国劳动出版社

内 容 简 介

本书是劳动部培训司、劳动人事出版社委托广州市劳动保护宣传教育中心组织编写的中级电工培训教材之一。

本书内容包括内外线安装常用材料、变压器和交直流电机的基本知识、高压配电装置、10kV室内变电所的安装、车间电器的安装、宾馆电气工程安装、电力电缆、防雷与接地、架空电力导线等。

参加本书编写工作的有许研文、郑志强、李德辉、招炽尧、刘正、卫启菴、陈耀森、罗勇等，许研文主编，周文溪审稿。

前 言

为配合全面开展的中級培訓，提高電工隊伍的技術素質，加強電氣安全技術管理，我們委託廣州市勞動保護宣傳教育中心編寫了這套中級電工培訓教材。

這套教材包括電工數學、電工與電子基礎、維修電工工藝學、內外線電工工藝學等四種。在這套教材的編寫過程中，注意了理論聯繫實際及內容的科學性，先進性，反映了電工專業的新技术、新工艺、新材料、新設備，同時結合在職培訓的特點，力求做到層次分明、重點突出、文字簡煉、通俗易懂。

這套教材可供中級電工考工培訓使用，也可作電氣專業愛好者和技工學校學生的學習參考書。這套教材對於中小企業及用電面廣的地區尤為適用。

搞好在職工人的培訓是一項長期的戰略任務。我們將根據需要，陸續組織編寫機械類及其他專業的在職培訓教材。歡迎各地在使用這套教材時，提出寶貴意見和建議，使我們把在職培訓教材的編寫工作做到更好。

勞 動 部 培 訓 司

1989 年 7 月

目 录

第一章 内外线安装常用材料	1
第一节 导线	1
第二节 电力电缆	8
第三节 电杆	15
第四节 电瓷	17
第五节 安装用线管	21
第二章 电力变压器和交直流电机的基本知识	24
第一节 三相电力变压器	24
第二节 三相异步电动机的基本知识	37
第三节 三相异步电动机的使用和控制	47
第四节 直流电机的基本知识	67
第三章 高压配电装置	82
第一节 油断路器	82
第二节 六氟化硫 (SF ₆) 断路器	92
第三节 隔离开关、负荷开关及高压熔断器	95
第四节 避雷器	106
第五节 互感器	110
第四章 10kV 室内变电所的安装	126
第一节 变压器的安装	126
第二节 SN10-10 I、II 型少油断路器及隔离开关 安装	147
第三节 母线安装	157

第四节 二次接线.....	169
第五章 车间电器的安装.....	190
第一节 电机的安装.....	190
第二节 动力配电柜（箱）安装.....	201
第三节 车间配线.....	208
第四节 吊车的安装.....	228
第五节 防爆电器的安装.....	231
第六章 宾馆电气工程安装.....	245
第一节 宾馆供电系统.....	245
第二节 空调电器的安装.....	266
第三节 电热水器的安装.....	279
第四节 火灾自动报警装置.....	283
第五节 调光装置.....	299
第七章 电力电缆.....	305
第一节 电缆的敷设方式及基本要求.....	305
第二节 10kV 以下电缆终端头和中间接头的施工 工艺.....	323
第三节 电缆的测试.....	351
第八章 防雷与接地.....	359
第一节 防雷装置.....	359
第二节 接地装置.....	369
第三节 接地装置的安装.....	377
第九章 架空电力线路.....	386
第一节 线路部件及其作用.....	386
第二节 立杆.....	399
第三节 导线架设.....	421

I

第一章 内外线安装常用材料

第一节 导 线

导线又称为电线。在内外线安装工程中，常用的导线分为裸导线和绝缘导线两大类。

一、裸导线

裸导线是指导体外表无绝缘层的电线。

裸导线应有良好的导电性能，有一定的机械强度，裸露在空气中不易氧化和腐蚀，容易加工和焊接，并希望导体的资源丰富，价格便宜，常用的作导线的材料有铜、铜锡合金（青铜）、铝合金和钢。

裸导线包括铜、铝、钢等各种金属和复合金属圆单线、各种结构的架空输电线用的绞线、软接线和型接线等。某些特殊用途的导线，也采用其它金属和合金制成，如某些架空线路需要机械强度较高，采用铝、镁、硅合金。保险丝具有易熔的特点，应选用铅锡合金，电热材料需具有较大的电阻系数，常选用镍铬合金或铁铬铝合金；电光源的灯丝要求熔点高，需选用钨丝等。

下面分别介绍几种常用的裸导线。

1. 圆单线

圆单线是横截面为圆形的单根导线，直径通常为0.01~6mm。架空输电线应采用抗拉强度较高的硬单线（铝单线不能用作架空线），而绝缘电线和电缆线芯采用延伸率较好的软单

线，以便能承受使用时的弯曲和扭转。常用的圆单线有下列几种型号：

- (1) TY 型硬圆铜线；
- (2) TR 型软圆铜线；
- (3) LY 型硬圆铝线；
- (4) LYB 型半硬圆铝线；
- (5) LR 型软圆铝线；
- (6) TRX 型镀锡圆铜软单线；
- (7) 镀锌铁线。

2. 裸绞线

用多根圆单线绞成并多作为架空输电线用。与截面积相同的单线比较，由于股数多，故使用时柔软、牢靠。与电力电缆和绝缘电线比较，它具有结构简单、制造方便、容易架设、线路造价低等优点。常用的裸绞线有下列规格：

- (1) LJ 型铝绞线，其横截面约为 $10\sim 600\text{mm}^2$ ；
- (2) HLJ 型铝合金绞线，横截面为 $10\sim 600\text{mm}^2$ ；
- (3) LGJ 钢芯铝绞线，横截面为 $10\sim 400\text{mm}^2$ ，其轻型截面积可达 700mm^2 ；
- (4) TJ 硬铜绞线，横截面积为 $10\sim 400\text{mm}^2$ ，除有特殊要求的输配电线路外，一般不采用。
- (5) GT 镀锌钢绞线，横截面积为 $2\sim 260\text{mm}^2$ ，主要用作避雷线。

为了适应特殊场合的使用要求，架空绞线还有以下新品种：

- (1) 防腐型钢芯铝绞线。在钢芯铝线上涂以特殊的防腐剂后，可显著地延长架空线在沿海以及有腐蚀性气体地区的使用寿命。其型号为 LGLF 型，截面积为 $25\sim 400\text{mm}^2$ 。

(2) 压缩型(轻型)钢芯铝绞线。这种绞线表面光滑,直径较小,在农村及山区中使用,可以减小导线受风、雪、冰的吹动和荷重。其型号为 LGJQ 型,截面为 $150\sim 700\text{mm}^2$ 。

(3) 扩径架空绞线。降低高压输电线路上的电晕,是选择输电线用导线结构的重要问题之一,导线直径扩大后,就可以减少电晕损失。其型号为 LGJK 型。

(4) 大跨距导线。在跨江过海等地区架设输电线路时,需要用有足够机械强度的大跨距导线。目前,世界上架空线最长跨距为 3646m,采用特殊结构的钢铝复绞线。

3. 软接线

凡是柔软的铜绞线和各种编织线都称为软接线。常用的软接线有:

(1) TRJ 铜软绞线,一般作为连接电机、电器设备部件用;

(2) TYZ 硬铜编织线;

(3) TYZX 型镀锡硬铜编织线;

(4) TRZ 型软铜编织线;

(5) TRZX 镀锡软铜编织线;

(6) QC 型软铜编织蓄电池线;

(7) TS 裸铜电刷线。

4. 电车线

电车线不仅在城市电车电路中用作架空滑触线,而且在电气化铁道、工矿电机车、以及起重行车滑触线路中也被广泛采用。

常用的电车线有铜电车线、铝合金电车线和钢铝电车线等。

5. 型线

型线是非圆截面的裸电线。在电力系统中广泛使用的型线有铜、铝矩型线，最大截面达 1400mm² 左右，通常大尺寸的称为母线，也叫汇流排，小尺寸的称为扁线。除矩形外，还有管形，槽形等。型线大多用铜、铝制成。目前逐渐采用铝及其合金代铜。

常用型线的名称、型号和规格如表 1—1。

表 1—1 部分型线的名称、型号和规格

产 品 名 称	型 号	规 格 范 围 (mm ²)
硬扁铜线	TBY	0.80~7.10
软扁铜线	TBR	2.00~35.50
硬铜母线	TMY	4.00~31.50
软铜母线	TMR	16.00~125.00
半硬扁铝线	LBBY	2.00~35.50
软扁铝线	LBR	
硬铝母线	LMY	4.00~31.50
软铝母线	LMR	16.00~125.00

二、绝缘导线

绝缘导线是指导体外表有绝缘层的导线，绝缘层的主要作用是隔离带电的或不同电位的导线，使电流按指定的方向流动。

根据其作用，绝缘导线可分为电气装备用绝缘导线和电磁线两大类。

1. 电气装备用绝缘导线

电气装备用绝缘导线包括：将电能直接传输到各种用电设备、电器的电源连接线，各种电气设备内部的装接线，以及各

种电气设备的控制、信号、继电保护和仪表用电线。

电气装备用绝缘导线的芯线多由铜、铝制成，可采用单股或多股。它的绝缘层可采用橡胶、塑料、棉纱，纤维等。

(1) 橡皮、塑料绝缘电线 橡皮、塑料(聚氯乙烯)绝缘电线，在交流电压500V以下、直流1000V以下的各种电器、电工仪表、动力及照明线路中作固定敷设用。常用的型号有BLXF铝芯氯丁橡皮线，BLX铝芯橡皮线，BLV铝芯聚氯乙烯绝缘电线等。

(2) 橡皮、塑料绝缘软线 这类线柔软，可多次弯曲、外径小而轻。它在家用电器和照明中应用极为广泛，在各种交直流的移动式电器，电工仪表及自动装置中也适用。常用的有RV聚氯乙烯绝缘单芯软线，RVV聚氯乙烯绝缘和护套软线。它还可以在野外一般环境中作轻型移动式电源线和信号控制线。RXB棉纱编织橡皮绝缘平型软线和RXS绞型软线也常用作家用电器、照明用吊灯电源线。使用时要注意工作电压，大多为交流250V或直流500V以下。RVV型则用于交流1000V以下。

(3) 聚氯乙烯绝缘屏蔽电线 在聚氯乙烯绝缘层外包一层金属箔，或编织一层金属丝的绝缘电线(或软线)，称作聚氯乙烯绝缘屏蔽线。这样既可以减少外界电磁波对绝缘电线内部导线的干扰，又可减少绝缘电线内部导线电流产生的电磁场对外界的影响。因而它广泛应用于要求防止相互干扰的电工仪表、电子设备、自动控制及电声广播等电路中。常用的型号为BVP聚氯乙烯绝缘屏蔽线和BYVP聚氯乙烯绝缘和护套屏蔽线。

使用屏蔽电线时要注意将屏蔽金属层接地。

(4) 专用绝缘导线 专用绝缘电线的品种较多，而且新品种发展较快，它们是与专用的装备配套使用的，因此，有一定的专用性。成系列的有：

1) 汽车、拖拉机的绝缘电线，如 QVR 型聚氯乙烯绝缘低压电线。

2) 电机、电器引出线，如 JBQ 型橡皮绝缘丁腈护套引出线。

3) 补偿导线，如 BOV 丁腈聚氯乙烯复合物绝缘和护套补偿线。它可作为高温计连接热电偶与检流计的连接线。

应该指出，专用线在某些时候也可互相通用。如汽车、拖拉机用的电线，在船舶中便可使用。

2. 电磁线

实现电能与磁能互相转换的导电绝缘线，称为电磁线。电磁线包括漆包线，纤维绕包线，无机绝缘电磁线和特种电磁线等。它在电机电器及电工仪表中作为绕组元件的绝缘导线。

(1) 漆包线 漆包线分为普通漆包线，耐高温漆包线和特种漆包线三大类，表 1—2 列出了常用的漆包线的名称，规格

表 1—2 普通漆包线的品种表

产品名称	型号	耐热等级	特 点	主要用途
油性漆包圆铜线	Q	A(105℃)	1. 漆膜均匀； 2. 介质损耗角正切小； 3. 价格便宜	中、高频变压器线圈及仪表，电器的线圈
缩醛漆包圆铜线	QQ-1	E(120℃)	1. 热冲击性好； 2. 耐刮性好； 3. 耐水解性能良好	普通中小电机、微电机绕组和油浸变压器线圈、电器仪表用线圈
	QQ-2			
缩醛漆包圆铝线	QQL-1			
	QQL-2			
缩醛漆包扁铜线	QQB			
缩醛漆包扁铝线	QQLB			

续表

产品名称	型号	耐热等级	特 点	主要用途
缩醛漆包扁铝 合金线		E(120℃)	同上 抗拉强度比铝 线大可承受线圈 在短路时较大的 应力	大型变压器线 圈和换位导线
聚氨酯漆包圆 铜线	QA-1	E(120℃)	1. 可以直接 焊接, 不须刮去 漆膜; 2. 着色性好; 3. 在高 频 条 件下, 介质损耗 角正切小	要求 Q 值稳定 的高频线圈, 电 视线圈和仪表用 的微细线圈

表 1—3

纤维绕包线的品种表

类 别	产品名称	型 号	耐温等级	特 点	主要用途
纸包线	圆 铜 线 圆 铝 线	Z ZL	A(105℃)	在油浸变压 器中作线 圈, 耐电压击穿性 能好	大量应用于油 浸变压器中
玻璃丝 包 线	双玻璃丝 包圆铜线 双玻璃丝 包圆铝线	SBEC SBEI.C	B(130℃)	1. 过 负 载 性好 2. 耐 电 晕 性好; 3. 耐 潮 湿 性好	容量大和电压 高的电动机, 高 压电器、仪器、仪 表的线圈
丝包线	双丝包圆 铜 线	SE	A(105℃)	1. 绝 缘 层 的机械强度较 好	制造电机仪器 仪表和电器的绕 组
薄膜绕 包 线	聚酰亚胺 箔膜圆铜 线				

和特点。

(2) 纤维绕包线 可分为玻璃丝包线, 纸包线, 及丝包线和塑料薄膜绕包线等。其代表型号, 特点和主要用途见表1—3。

第二节 电 力 电 缆

将一根或数根 导线绞合 而成的线 芯裹以相 应的绝缘层以后, 外面包上封闭包皮就成了电缆。它在电力线路中用以传输和分配电能。

一、电缆的构造

电力电缆主要由缆芯、绝缘层、保护层(有的还有屏蔽层)等部分构成。如图1—1所示。

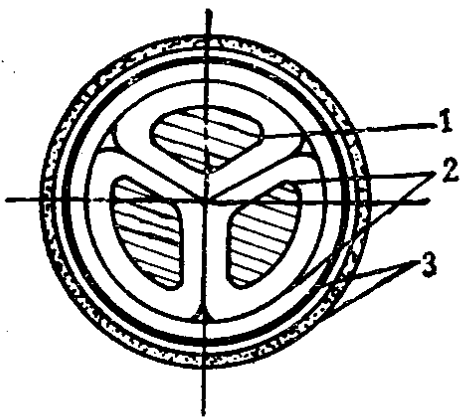


图 1—1 电力电缆剖面图

1—缆芯 2—绝缘层 3—防护层

1. 缆芯

它是导电的主芯线, 用以导通电流传递电能。通常采用高导电率的铜或铝制成, 以此减小电能损耗和发热量。

缆芯的形状很多, 有圆形, 半圆形, 扇形和椭圆形等。

当要求线芯截面大于 25mm^2 时, 通常采用多股导线绞合并经过压紧而成, 这样可以增加电缆的柔软性和结构稳定性, 安装时, 可在一定程度内弯曲而不损伤。

2. 绝缘层

电缆的绝缘层使缆芯与缆芯之间以及缆芯与大地之间保持

绝缘，保证了电缆在长期工作条件下不降低原有的电气性能。

绝缘层通常采用纸、橡皮、聚氯乙烯等制成，其中纸绝缘应用最广泛，它是经过真空干燥再放在松香和矿物油混合的液体中浸透以后，缠绕在电缆导线芯上或多芯电缆的统包层上。

绝缘层有分相绝缘层和统包绝缘层两种，包绕在裸体线芯上的绝缘层称为分相绝缘层，为了便于区别相位，各缆芯的绝缘层分别有红、白、蓝三种不同颜色，各缆芯绞合后外面再包上绝缘层，称之为统包绝缘层。对于6~10kV的绝缘电缆，为了减少电缆内部含油多而产生漏油的可能，在每根线芯分别绝缘后，再包上铅层，然后绞合在一起，称之为分相铅包绝缘。

3. 保护层

又称护套，用以保护缆芯及绝缘不受机械拉力和外界机械损伤，一般是铅包或铝包。保护层也有内护层和外护层两部分，内护层的作用是防止电缆的绝缘受潮、电缆浸渍剂外流以及轻度的机械损伤，而外护层则是保护内护层的，用它防止铅包或铝包受到机械损伤或强烈的化学腐蚀。

典型电缆油浸纸绝缘统包型电力电缆和交联聚乙烯电力电缆的构造如图1—2和图1—3所示。

二、压缆的种类

根据绝缘材料的不同，可分为电力电缆油浸纸绝缘电力电缆，塑料绝缘电力电缆和橡胶绝缘电力电缆。其中油浸纸绝缘电力电缆又可分为粘性浸渍纸绝缘电缆和不滴流浸渍纸绝缘电缆。塑料绝缘电力电缆可分为聚氯乙烯绝缘电缆，聚乙烯绝缘电缆和交联聚乙烯绝缘电缆。橡胶绝缘电力电缆则可分为天然橡胶绝缘型电缆和合成橡胶绝缘型电缆。根据护套不同，电力电缆可分为裸铅包电力电缆，铠装电力电缆，塑料护套电力电缆和橡胶套电力电缆。根据铠装形式的不同，铠装电力电缆又可分为

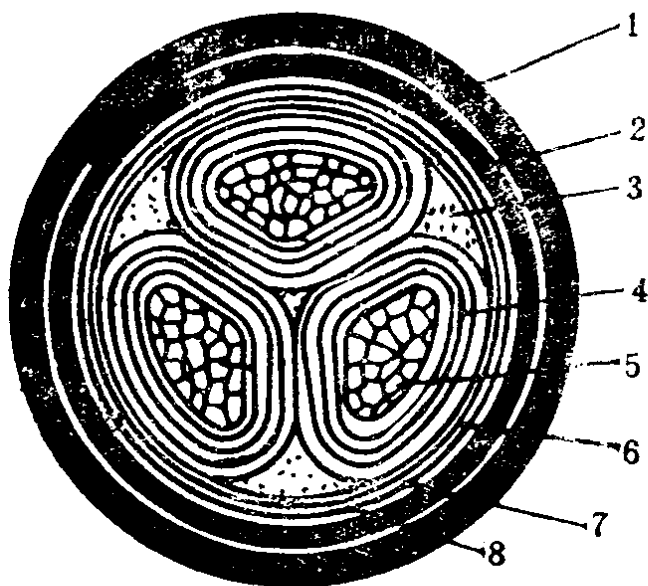


图 1—2 统包型纸绝缘电缆

- 1-聚氯乙烯护套 2-钢甲 3-填料 4-相绝缘
5-线芯 6-统包绝缘 7-铅包 8-半导体纸

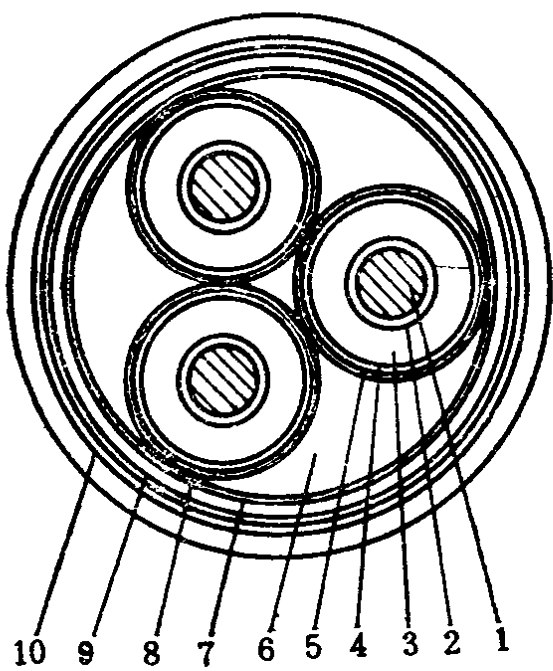


图 1—3 三芯交联聚乙烯电缆

- 1-导电线芯 2-半导体屏蔽层 3-交联聚乙烯绝缘
4-半导体屏蔽层 5-钢屏蔽层 6-不吸潮绝缘 7-内衬层
8-内护套 9-两层钢带 10-外护套

为钢带铠装和钢丝铠装两类。根据电缆芯线数目的不同,电力电缆可分为单芯、双芯、三芯和四芯电力电缆。

三、电缆截面的选择

电力电缆的选择应分别从以下三个方面考虑：一是根据使用的总要求和技术经济指标来选择电缆的绝缘结构，二是根据敷设方式和敷设的环境选择电缆的护层结构，三是在上述两项选择完成之后，根据电缆的工作参数选择电缆的电压等级，导体截面，以确定电缆的规格。一般来说电缆的选择总是先品种后规格，本节重点介绍电缆截面的选择。

电力电缆线芯截面的选择，可按以下方法考虑。

1. 按持续工作电流选择电缆

$$I_{xu} \geq I_{js}$$

式中 I_{xu} ——电缆按发热条件允许的长期工作电流(A)；

I_{js} ——通过电缆的半小时最大计算电流(A)。

电缆允许的长期工作电流按其允许载流量，乘以敷设条件所确定的校正系数求得。

2. 校正系数

(1) 当电缆敷设的周围环境温度不是规定的介质温度时，其长期允许电流值应乘以温度校正系数，如表 1—4 所示。

表 1—4 电缆敷设在不同环境温度时的校正系数

周围环境 温度℃	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	
线芯允 许工作 温度℃	+65	1.22	1.17	1.12	1.06	1	0.935	0.865	0.79	0.706	0.61	0.5
	+70	1.2	1.15	1.10	1.05	1	0.94	0.885	0.815	0.745	0.666	0.577

(2) 当数根电缆敷设在地下(包括敷设在管中)时其长期允许电流值应乘以并列在地下的工作电缆校正系数。如表 1—5

所示。

表 1—5 地下电缆（直埋或穿管）并列系数

电缆之间距离 (mm)	电 缆 的 数 目 (根)					
		2	3	4	5	6
100	1.0	0.88	0.84	0.80	0.78	0.75
200	1.0	0.90	0.86	0.83	0.82	0.80
300	1.0	0.92	0.89	0.87	0.86	0.85

3. 按经济电流密度选择电缆

$$S_n = \frac{I_{js}}{J_n}$$

式中 S_n ——电缆经济截面 (mm²);
 I_{js} ——通过电缆半小时最大计算电流(A);
 J_n ——经济电流密度(A/mm²) 见表 1—6。

表 1—6 经济电流密度 (单位: A/mm²)

年最大负荷利用时间 (小时)		3000以下	3000~5000	5000以上
导体材料	铜芯电缆	2.5	2.25	2.0
	铝芯电缆	1.92	1.73	1.54

根据计算所得的经济截面 S_n , 选择最靠近的标准电缆截面, 但通常情况下应选择较大的标准截面。

四、终端盒与接头盒

终端盒和接头盒是电力电缆终端头和中间接头的预制部件, 一般由电力线路附件厂专门生产, 终端盒装入线芯, 包好绝缘和灌注填充料以后就成了终端头。

图 1—4、1—5、1—6、1—7、1—8所示是一些常见的终端盒和接头盒。