

郭朝元 李德华 编

电力电缆 施工

中国铁道出版社

内 容 简 介

本书主要介绍10kV及以下电力电缆的结构与敷设,对电缆终端头和中间接头的要求以及粘性纸绝缘电缆、塑料电缆终端头和中间接头的制作和试验也都作了详细介绍。

本书偏重实际操作,对技术工人实用价值较大,也可供有关专业技术人员参考。

电 力 电 缆 施 工

郭朝元 李德华 编

中国铁道出版社出版

责任编辑 孙燕澄 封面设计 安 宏

新华书店总店科技发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本 787×1092毫米 1/32 印张: 8.625 字数: 191 千

1988年4月第1版 第1次印刷

印数: 0001—30,000 册 定价: 1.70 元

前 言

随着国民经济的发展, 电力电缆在工业企业中的应用越来越广泛, 尤其在10kV及以下电压级的配电系统中, 当架空配电线路通过市镇、桥梁、隧道、铁路枢纽、大型工厂等地区以及发电厂、变电站因地势影响而缺少架空出线走廊时, 更经常采用电力电缆来输送电能。

本书对10kV及以下电压级电力电缆的结构、敷设、接头和试验等进行了详细介绍, 供有关技术工人和专业技术人员参考。

限于编者水平及经验不足, 本书难免有不妥或错误之处, 有些看法也难免有谬误之处, 望读者不吝指正。

本书编写过程中, 许多同志热心提出宝贵意见, 并在资料方面提供了方便, 在此一并表示感谢。

编 者

目 录

第一章 电力电缆概述.....	1
第一节 电力电缆发展简史.....	1
第二节 电力电缆线路的组成和优缺点.....	4
第三节 电力电缆的分类.....	6
第二章 电缆的结构.....	15
第一节 电缆的导体.....	15
第二节 电缆的绝缘.....	24
第三节 电缆的护层.....	28
第四节 电缆结构质量的检查.....	33
第五节 电力电缆型号及选用.....	37
第三章 电缆的敷设.....	53
第一节 电缆敷设的一般要求.....	53
第二节 直埋电缆的敷设.....	58
第三节 室内电缆的敷设.....	73
第四节 桥梁和隧道电缆的敷设.....	82
第四章 对电缆接头的要求.....	92
第一节 电缆接头的基本要求.....	92
第二节 导体连接.....	93
第三节 绝 缘.....	104
第四节 密 封.....	133
第五章 粘性纸绝缘电缆户内终端头制作.....	143
第一节 10kV及以下户内终端头的种类.....	143
第二节 户内环氧树脂终端头制作.....	148

第三节	10kV干包终端头的制作	160
第四节	户内NTN型终端头的制作	169
第六章	粘性纸绝缘电缆户外终端头和中间 接头的制作	175
第一节	10kV及以下户外终端头和中间 接头种类	175
第二节	WDZ型户外终端头制作	181
第三节	WD、WDC和256型户外终端头制作	188
第四节	户外环氧树脂终端头制作	196
第五节	铅套管式电缆中间接头制作	201
第七章	塑料电缆终端头和中间接头的制作	212
第一节	制作塑料电缆接头所需材料和工具设备	212
第二节	塑料电缆终端头制作	220
第三节	塑料电缆中间接头制作	230
第八章	电力电缆试验和验收	246
第一节	电缆试验种类和标准	246
第二节	绝缘电阻试验	246
第三节	直流耐压及泄漏电流试验	255
第四节	电缆线路的核相	266
第五节	电缆线路工程的交接验收	268

第一章 电力电缆概述

第一节 电力电缆发展简史

第一条粘性浸渍纸绝缘单相铅包电缆于1880年前后在英国制造成功，并于1890年在伦敦安装使用，这就开始了工业性的应用。当时的电压是10kV，长度约50km。此后，英国在1904年制定了第一个电缆标准，使这种电缆很快被广泛采用。1914年德国科学家M·霍斯司特达发明三芯统包型电力电缆；1923年苏联工程师C·M·布拉根和C·A·雅可夫列夫研制成功分相铅包电缆；三十年代前后，33kV级三芯充油电缆和三芯充气电缆发明后，与原有电缆相比，这两种电缆性能虽优越，但因附件复杂、维护不便，因此只在必要场合才被选用。后来，随着中压不滴流电缆和中压塑料电缆发展成熟，三芯充油电缆和充气电缆也就逐渐不再被选用。不滴流电缆是英国为解决粘性浸渍电力电缆敷设高差受限制的问题而从二十年代开始研制的，但限于当时的原材料和设备条件，并未取得显著进展，虽有专利但未实际应用。直到五十年代，不滴流电缆才开始大量生产，到六十年代完成了系列化工作。纸绝缘电缆的另一个改进是以铝护套代替铅护套，这样就使电缆的成本约降低30%。

聚氯乙烯和聚乙烯绝缘电缆差不多同时从五十年代初发展起来，但由于对塑料电缆的热塑性变形和电老化寿命问题未能很好解决，1962年前一直未能达到取代油纸绝缘电缆的技术水平。从七十年代以来，不光是中低压交联聚乙烯绝缘电缆成为各国大力发展的产品，而且在110~275kV电压级

范围内也展露头角。目前，在中低压电压级范围内，这种电缆的技术问题，可说已全部解决，剩下的只是经济效果问题。

在采用合成橡胶作为绝缘材料方面，四十年代中期出现丁基橡胶绝缘电缆，一开始就有两种不同观点。日本等国曾大力进行研究，先后试制出10kV、35kV和60kV级电力电缆，但联邦德国持怀疑态度。随着六十年代乙丙橡胶绝缘电缆的出现，丁基橡胶绝缘电缆也随之衰落。

表1—1列出了各种绝缘电力电缆的电压等级发展的近似年代，以供参考。

电力电缆发展近似年代

表1—1

电压级 (kV)	油纸电缆				橡胶电缆		塑料电缆		
	粘性	不滴流	充油	充气	丁基	乙丙	聚氯乙烯	聚乙烯	交联聚乙烯
10及以下	1890	1946	—	—	1945	1962	1944	1946	1960
10~15	1890	1950	—	—	1955	1966	1951	1953	1960
20~35	1900	1959	1927	1937	1955	1969	1956	1958	1963
40~70	1914	—	1927	1937	1963	1970	—	1960	1968
70以上	—	—	1927	1937	—	1975	—	1972	1972

在中低压电缆方面，目前世界各国在品种的选择上，总趋势是塑料电缆占绝对优势。

美国：中低压系统主要使用交联聚乙烯电缆，占43%，油纸电缆占0.7%，其他为聚乙烯和聚氯乙烯电缆。

联邦德国：1kV以下的系统90%是聚氯乙烯电缆，10~20kV系统油纸电缆和塑料电缆约各占50%。

日本：1kV以下的系统主要使用聚氯乙烯和交联聚乙烯电缆，中压系统主要使用交联聚乙烯电缆，20kV以下油

纸电缆只占20%。

英国：聚氯乙烯和交联聚乙烯已占使用电缆的70%，油纸电缆占25%左右。由于英国认为油纸电缆比较便宜和可靠，故在中低压系统还保持相当比重。

瑞典：1kV以下系统主要使用聚氯乙烯电缆，20kV以上主要使用交联聚乙烯电缆，10kV级油纸电缆占30%。

法国：10kV以下系统大部分采用交联聚乙烯电缆，20kV级以上也正在扩大交联聚乙烯电缆的应用。

意大利：1kV系统80%使用乙丙橡胶绝缘聚氯乙烯护套电缆，其他为交联聚乙烯和油纸电缆，中压系统有90%为油纸绝缘电缆，其他为乙丙橡胶绝缘或塑料绝缘电缆。

在超高压输电方面，充油电缆向大容量、高压化、强制冷却和低损耗等方面发展。目前1100kV电缆正进行高电场热循环老化试验，500kV级电缆已开始陆续使用，为提高传输容量普遍采用致冷技术，如油内冷、油蒸外冷、水管外冷和热管技术的开发等。在绝缘材料方面发展了复合纸充油电缆，复合纸由塑料薄膜与木纤维纸层叠结合而成，与木纤维纸电缆相比，复合纸电缆的击穿强度工频电压高出10~20%，冲击电压高出15~25%，介电系数与介质损耗的乘积 $\epsilon \cdot \tan \delta$ 可降低到木纤维纸的1/3左右，电缆绝缘厚度可减薄25%，技术经济效益显著，已进入实用化阶段。超高压交联聚乙烯电缆发展也十分迅速，目前110kV级已在世界范围内得到广泛应用，275kV级从1979年开始应用至今，已从短段电站引出线发展到长距离干线。400kV级的交联聚乙烯电缆正在研制。乙丙橡胶电缆的电压级水平为150kV，并正在研究减少填料，以降低 $\tan \delta$ 值，扩大乙丙橡胶在高压范围内的应用。

我国解放前曾生产过极少数600V以下的橡皮电缆，主要电缆产品几乎全部依赖进口。解放后，在党的领导下，我

国电缆工业得到迅速发展。以浸渍纸绝缘电力电缆为例，1950年生产出了3kV浸渍纸绝缘电力电缆，1951年即开始生产6kV，1953年开始生产10kV，1956年开始生产35kV浸渍纸绝缘电力电缆。1958年开始试制充油电缆，1964年我国自行试制的66kV充油电缆投入了运行。以后陆续生产出了110、220、330kV电压级充油电缆并投入运行。目前，500kV级的超高压电缆线路正在进行试运行，35kV级的交联聚乙烯电缆正被推广使用。我国的电力电缆工业正沿着以铝芯代替铜芯、以铝护套代替铅护套、以橡塑绝缘代替油纸绝缘、以塑料护层代替麻带护层的方向发展。可以肯定，随着电力工业的发展和电缆制造技术水平的提高、产量的增加，电缆将在我国四化建设中发挥越来越大的作用。

第二节 电力电缆线路的组成和优缺点

一、电力电缆线路的组成

电力电缆在电力系统中是用来传输和分配大功率电能的。电力电缆线路由三部分组成：电缆、电缆附件及线路构筑物。

电缆是由一根包有绝缘的导体或多根相互绝缘的导体（通称线芯）外层包以柔韧、密闭的外壳构成。它是电缆线路的主体。

电缆附件指的是电缆线路中除电缆本体外的其他部件和设备，如中直接头盒、终端盒、电抗器，高压充油电缆线路中的塞止盒、绝缘连接盒、压力箱，高压充气压力电缆线路中的供气和施加压力设备等。这些附件可起到导体连接、绝缘和密封保护作用。

线路构筑物是电缆线路中用来支持电缆和安装电缆附件的部分，如引入管道、电缆杆、电缆井及电缆进线室等。

二、电力电缆线路与架空电力线路的比较

电力电缆线路与架空电力线路相比，具有许多特点和优点。其主要优点为：

（一）供电可靠，不受外界干扰的影响，如雷击、风害、覆冰、风筝和鸟害等。也不存在架空线路常见的断线倒杆、瓷瓶闪络破碎，以及因导线摆动所造成的短路和接地事故；

（二）不需要在路面上架设杆塔和导线，节约木材、钢材和水泥。在市区，尤其能减少对人的危害，并使市容整齐美观；

（三）受路面建筑物的影响较小，适于在城市繁华地区敷设；

（四）运行简单方便，维护工作量小，费用也较低；

（五）作地下敷设，比较隐蔽，有益于国防保密；

（六）电缆的电容大，有助于提高电力系统的功率因数。

电缆虽然有很多优点，但也有以下不足之处：

（一）成本高，一次性投资费用较大；

（二）敷设后不易变动，不适宜作临时性使用；

（三）电缆线路的分支接头不易解决；

（四）寻找故障困难，不如架空线路那样可以目视显见；

（五）维修恢复时间长，电缆接头的制作工艺要求较高，要有专门训练过的技工去操作。

综上所述，是否采用电缆，应根据实际情况与架空线路进行综合比较后决定。

第三节 电力电缆的分类

不管何种电缆，其结构均由三个主要部分组成：

(1) 导电线芯：其作用是输送电流。通常由软铜或铝的多股绞线做成，这样做成的电缆比较柔软且易弯曲。

(2) 绝缘层：用来抵抗电力电流、电压、电场对外界的作用，保证电流沿线芯方向传输，绝缘的好坏，直接影响到电缆运行的质量。

(3) 保护层：用来保护绝缘层在运输、敷设和运行中不受外界损伤和不使潮气侵入内部。对于油浸纸绝缘电缆，还有防止绝缘油外流的作用。

由于电缆采用不同的结构形式和材料制成，工作电压和使用条件也就相应不同。按照绝缘材料，电缆可分为油浸纸绝缘电缆、塑料绝缘电缆和橡胶绝缘电缆；按传输电能形式可分为交流电缆和直流电缆；按结构特征可分为统包型、分相型、钢管型、扁平型、自容型电缆；按敷设环境条件可分为地下直埋、地下管道、空气中、水底过河、矿井、高海拔、盐雾、大高差、多移动、潮热区、白蚁区、鼠害区……等各种电缆；此外，按电压等级可分为高压电缆和低压电缆；按芯数可分为单芯电缆和多芯电缆等等。

一、油浸纸绝缘电缆

油浸纸绝缘电缆在电力电缆中历史悠久，系列规格完整，已广泛用于330kV及以下电压级的输配电线路中，并已研制500~750kV超高压电缆。这种电缆的特点是耐压强度高；介电性能稳定，寿命较长；热稳定性较好，允许载流量大；材料资源丰富，价格比较便宜。缺点是：不适用于在高落差地区敷设；制造工艺较为复杂，生产过程长，制造速度慢；电缆接头技术比较复杂。

10kV及以下的油纸电缆，通常将各芯导体外包上纸绝缘（称为芯绝缘或相绝缘），芯与芯之间填入纸或麻的填料，连同各芯绞成圆形，外面再用纸绝缘（称为统包绝缘或带绝缘）统包起来，最后包上一个公共的金属护套层和保护层。具有这种结构形式的电缆称为统包型电缆或带绝缘电缆，国际上称为非径向电场电缆。其结构见图 1—1。

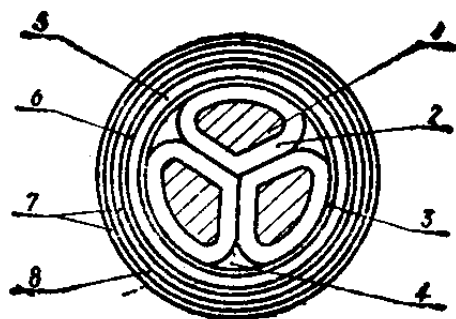


图 1—1 三芯统包型电缆
1——导体； 2——芯绝缘；
3——统包绝缘； 4——填料；
5——铅包； 6——沥青防腐层；
7——沥青黄麻层； 8——铠装层。

在统包型电缆中，统包绝缘的作用除了补足各导电线芯对内护层的绝缘外，同时也扎紧各线芯，使其不会散开，减少了制造上的困难。由于各线芯形状均为扇形，成缆后的形状为圆形，使整个电缆结构紧凑、空间利用率高、外径小、省材料、制造成本也相应降低。这种电缆是使用历史最长的一种，在10kV及以下系统中，有着优良的运行纪录，至今仍被广泛采用，统包型电缆的不足之处是：

（一）由于缆芯周围填充物中绝缘油的热胀冷缩所形成的空隙里存在气体，在电场作用下发生游离，使电缆绝缘逐渐被破坏。

（二）由于沿绝缘纸表面切线方向电场分量的存在，使纸层发生树枝状的炭化裂纹。同时，该电场也作用在比纸绝缘介电强度低得多的填充材料上，致使电缆的击穿强度降低。

（三）在三芯构成的三角地带内（俗称三叉口），因热量不易散出而使温升最高，加速绝缘老化，使载流量受到限制。

(四) 因为各个线芯外无接地屏蔽，而三根线芯公用一个接地护套，故容易将单相接地故障转化为相间故障，从而增加了线路突然跳闸停电的事故机率。

(五) 由于电缆浸渍剂在工作温度下粘度较低易于流淌，因此在有落差的条件下敷设时，将会发生电缆线路高端因浸渍剂流失而干涸，绝缘水平严重下降，并使电缆护套内部的压力增大或低端电缆头漏油。

电压级为20、35kV的三芯电缆，可制成分相屏蔽（见图1—2）或分相铅（铝）包（见图1—3）两种结构形式。

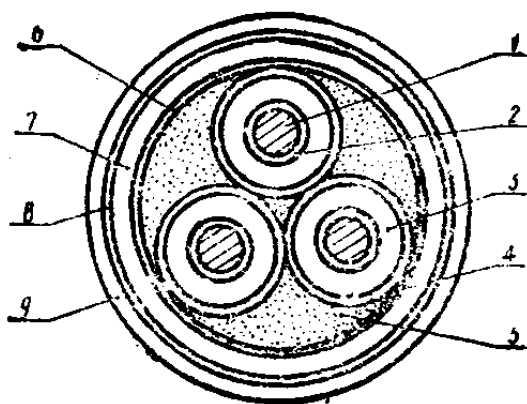


图1—2 三芯分相屏蔽型电缆

- 1 —— 线芯； 2 —— 线芯屏蔽；
3 —— 芯绝缘； 4 —— 打孔金属带屏蔽； 5 —— 填充材料；
6 —— 扎紧带； 7 —— 金属护套；
8 —— 铠装； 9 —— 外被层。

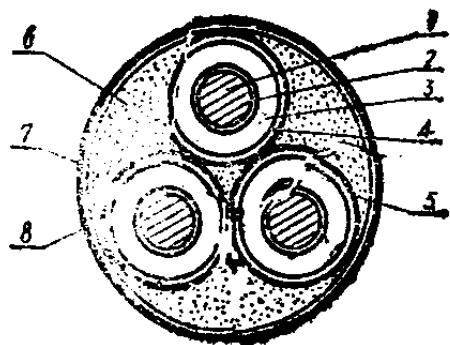


图1—3 三芯分相铅包型电缆

- 1 —— 线芯； 2 —— 线芯屏蔽；
3 —— 芯绝缘； 4 —— 外屏蔽层；
5 —— 铅护套； 6 —— 填充材料；
7 —— 铠装； 8 —— 外被层。

分相屏蔽和分相铅（铝）包电缆线芯都制成圆形，线芯表面和线芯绝缘表面均包有半导体屏蔽层。其区别在于分相屏蔽电缆在每一根绝缘线芯外包以打孔金属带或金属膜复合纸屏蔽层，在三根金属屏蔽的线芯成缆后统包以公共的金属护套。这种电缆，国外称为H型电缆。而分相铅（铝）包电

缆则在每一根绝缘线芯上单独地挤压以铅（铝）护套，在三根铅（铝）包线芯成缆后，再统包以公共的外护层。

两者比较，分相屏蔽电缆结构紧凑、外径小、可节省金属护套和外护层材料。但由于采用打孔金属带屏蔽，使干燥浸渍工艺困难。分相铅（铝）包电缆散热性能好，电气性能稳定，但外径较大，重量也较大。这两种电缆在结构上各有特点。

与统包型电缆比较，分相型电缆价格较贵，但具有下列优点：

（一）电缆芯周围电场均匀，没有绝缘表面的正切应力，与上述统包型电缆相比较，绝缘性能较好，故可适用于35kV电压等级的电缆。

（二）铅（铝）包内部没有浸渍的填充料，绝缘油不易流动，可减少运行中的漏油现象。

（三）纸绝缘的浸渍容易饱满，易保证制造质量。

（四）弯曲时变形小，内部绝缘不易受到损伤。

（五）散热条件较好，可以提高载流量。

（六）发生单相故障时，可以单独修理一芯，从而降低了修理费用，缩短了修理时间。

前述三种电缆都属于粘性浸渍纸绝缘电缆的范畴，这种电缆成本低，工作寿命长，结构简单，制造方便，绝缘材料来源充足，易于安装维护，但油易流淌，不适宜作高落差敷设。为了适应高落差敷设，将粘性浸渍纸绝缘电缆干燥浸渍后，进行真空滴干，制成干绝缘电缆，这是粘性浸渍纸绝缘电缆的一种特殊形式。由于经过滴干，显著减少了绝缘层中浸渍剂的含量，基本上可以消除浸渍剂下流现象，但绝缘层的电气性能稍有降低。因此，6~10kV干绝缘电缆的绝缘厚度应比一般的浸渍电缆大一些，而且要采用分相铅（铝）

包结构，超过10kV以上电压级不宜采用这种类型。为解决这些困难，研究出了不滴流电缆，干绝缘电缆正在逐步被淘汰。

所谓不滴流浸渍纸绝缘电缆，就是在工作温度下，浸渍剂具有不滴流性质的电缆。不滴流浸渍纸绝缘电缆在结构特征上也有统包型、分相屏蔽型和分相铅（铝）包型之分。无论采取哪种结构，不滴流电缆与粘性浸渍电缆相比，除浸渍剂的特性和配方不同而外，没有其他不同。由于不滴流电缆的浸渍剂在浸渍温度（145℃）下的粘度与粘性浸渍剂基本相同，易于浸渍，因此，这种电缆的制造工艺与粘性浸渍电缆基本相同，制造成本则较之稍高。

当采用优异的不滴流浸渍剂配方时，可使不滴流电缆的允许最高温度达到80℃，而粘性浸渍电缆由于受到浸渍剂流淌的限制，为了在工作温度下能够保持浸渍剂具有较高的粘度，只得把其最高工作温度规定得低一些（1～3 kV为80℃；6kV为65℃；10kV为60℃；20、35kV为50℃）。这就使得同样截面的不滴流电缆要比粘性浸渍电缆的载流量大得多。此外，试验还表明不滴流电缆比粘性浸渍电缆的老化进程缓慢，因此也就具有更长的工作寿命。

由于不滴流电缆适用于高落差和垂直敷设，从而弥补了粘性浸渍电缆的不足。这两种电缆虽然都是35kV及以下电压等级的电缆，而不滴流电缆则是当前我国推广品种之一。

35kV以上电压级的油纸电缆多采用有油压、低粘度自容式充油电缆，这是一种利用补充浸渍原理来消除绝缘层中形成的气隙，以提高工作电场强度的电缆，使用电压可达110、220、330、500、750kV，甚至更高的电压等级，是高压电缆的主要品种。

自容式充油电缆，由于使用电压较高，绝缘层较厚，大

多制成单芯电缆，如图 1—4 所示。根据需要也可制成三芯电缆，例如用于海底敷设的三芯充油扁电缆等。

单芯自容式充油电缆的线芯具有中空油道，三芯自容式充油电缆的补充浸渍则通过位于绝缘线芯之间的螺旋管油道来实现。充油电缆的油道与设在电缆接头盒和终端盒处的补充浸渍设备（压力箱等）相连接。当电缆温度升高时，浸渍

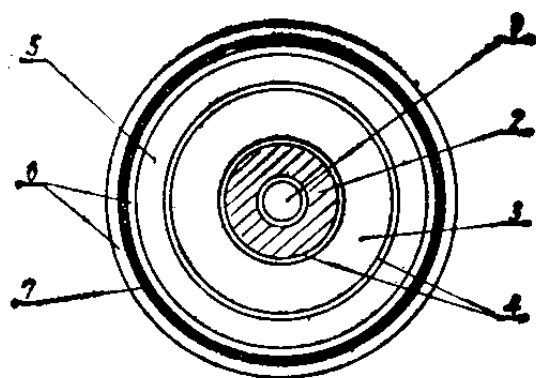


图 1—4 自容式充油电缆
1 —— 油道； 2 —— 导体； 3 —— 绝缘层； 4 —— 屏蔽层； 5 —— 铅包； 6 —— 保护层； 7 —— 黄铜带。

剂受热膨胀，膨胀出来的浸渍剂经过油道回到补充浸渍设备中。温度下降时，浸渍剂收缩，补充浸渍设备中的浸渍剂，经过油道对油道和绝缘层进行补充浸渍，从而避免绝缘层中产生气隙，并防止电缆内部产生过高的压力。

自容式充油电缆在线芯和绝缘层间采用屏蔽。屏蔽层可使线芯表面的电场强度分布均匀，使线芯表面间隙的油隙免受高电场作用，同时还能吸附电缆在使用过程中从绝缘内析出的离子产物和气体，提高绝缘的电性能。通常其绝缘强度约为粘性浸渍分相铅包电缆的 2.5~3 倍，因而适用于较高工作电压的线路。

为了提高绝缘层的击穿强度，防止护套破裂时潮气的浸入，充油电缆的浸渍压力均高于大气压。其内部工作油压为 294.2kPa 以下的属低油压充油电缆；294.2kPa~588.4kPa 的属中油压充油电缆；980.7kPa~1471.0kPa 的属高油压充油电缆。由于单芯自容式充油电缆的工作油压较高，光靠电缆的铅护套是很难承受住这样大的压力的，通常在铅护套外覆加强铜带，以承受机械压力，而铅护套只起密封防水作

用。如采用铝护套，在工作油压不高时，可省去加强铜带。对高落差或水底敷设的自容式充油电缆，除加固铜带外，还应包有钢丝铠装或纵向加固铜带。自容式充油电缆的外护层基本与低压电缆相同。

二、塑料绝缘电缆

塑料绝缘电缆与油浸纸绝缘电缆相比，虽然发展较晚，但因制造工艺简单，不受敷设落差的限制，工作温度可以提高，电缆的敷设、维护、接续方便，再加上有耐化学腐蚀性等优点，现已成为电力电缆中正在迅速发展的品种。

塑料绝缘电缆包括聚氯乙烯绝缘电缆、聚乙烯绝缘电缆和交联聚乙烯绝缘电缆三种。其结构如图 1—5 和 1—6 所示。

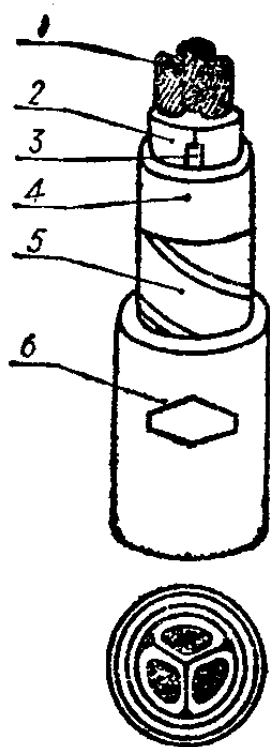


图 1—5 聚氯乙烯绝缘电缆

1——导体； 2——聚氯乙烯绝缘；
3——填料； 4——内垫层； 5——
铠装钢带； 6——聚氯乙烯护套。

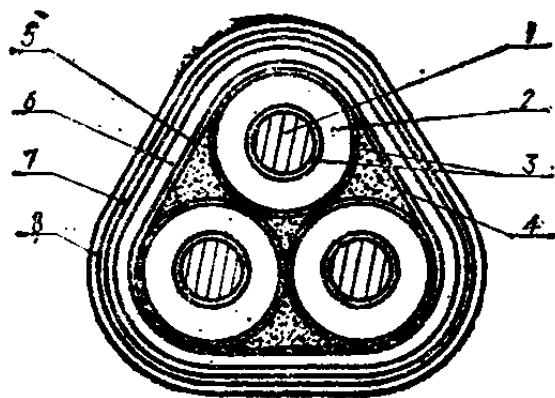


图 1—6 交联聚乙烯绝缘电缆

1——导体； 2——绝缘层； 3——半
导体屏蔽层； 4——填料； 5——铜带
屏蔽； 6——挤塑护套； 7——铠装
层； 8——沥青黄麻层。

聚氯乙烯具有加工简单、生产率高、化学稳定性高（耐油、耐酸、耐碱、耐腐蚀）、非延燃性、比重小等优点。随