

目 录

前 言

第 1 章 电力电缆的种类和结构.....	1
第 1 节 电力电缆的发展和应用.....	1
第 2 节 电力电缆的种类.....	2
第 3 节 电力电缆的基本结构.....	5
第 4 节 电力电缆的导电线芯、绝缘层和护层.....	8
第 5 节 电力电缆的型号.....	14
第 2 章 电力电缆的敷设.....	18
第 1 节 电力电缆的运输与保管.....	18
第 2 节 35 kV 及以下电力电缆敷设的方式和要求.....	20
第 3 节 充油电缆敷设的方式及对构筑物的要求.....	25
第 4 节 充油电缆敷设施工的种类.....	32
第 5 节 电缆敷设牵引力和侧压力的计算方法.....	36
第 6 节 充油电缆敷设的准备.....	43
第 7 节 充油电缆敷设的方法.....	52
第 8 节 高落差电缆的敷设.....	58
第 9 节 电缆的固定.....	67
第 3 章 35 kV 及以下电缆终端头与中间接头的种类及其附件.....	73
第 1 节 35 kV 及以下电缆终端头与中间接头的种类.....	73
第 2 节 制作电缆终端头与中间接头所需的附件.....	73
第 4 章 35 kV 及以下电缆终端头与中间接头制作所需的安装材料及工器具.....	100
第 1 节 通用安装材料.....	100
第 2 节 常用工器具.....	104
第 3 节 专用工具.....	110
第 5 章 35 kV 及以下电缆终端头与中间接头的一般制作方法.....	114
第 6 章 35 kV 及以下油浸纸绝缘电缆终端头与中间接头的制作.....	125
第 1 节 10 kV 及以下户内电缆终端头的制作.....	125
第 2 节 10 kV 及以下户外电缆终端头的制作.....	131
第 3 节 10 kV 及以下电缆中间接头的制作.....	136
第 4 节 35 kV 电缆终端头与中间接头的制作.....	138
第 7 章 35 kV 及以下塑料电缆终端头与中间接头的制作.....	144
第 1 节 塑料电缆终端头与中间接头制作所需的专用材料.....	144

第2节	10kV及以下聚氯乙烯绝缘电缆终端头与中间接头的制作	146
第3节	10kV及以下交联聚乙烯绝缘电缆终端头与中间接头的制作	154
第4节	35kV交联聚乙烯绝缘电缆终端头与中间接头的制作	157
第8章	35kV及以下辐射交联热缩电缆终端头与中间接头的制作	161
第1节	辐射交联热缩电缆的附件	161
第2节	6~10kV油纸绝缘电缆户内、户外热缩终端头制作	163
第3节	1kV四芯橡塑绝缘电缆热缩终端头制作	166
第4节	1kV四芯橡塑绝缘电缆热缩中间接头制作	169
第5节	10kV交联聚乙烯绝缘电缆热缩终端头制作	171
第6节	10kV交联聚乙烯绝缘电缆热缩中间接头制作	175
第7节	6~35kV单芯交联聚乙烯绝缘电缆热缩终端头制作	177
第9章	充油电缆终端头与中间接头的制作	180
第1节	充油电缆终端盒与中间接头盒的型号和结构特点	180
第2节	制作充油电缆终端头与中间接头的基本工艺	185
第3节	制作充油电缆终端头与中间接头的专用工具	191
第4节	充油电缆终端头的制作	197
第5节	充油电缆中间接头的制作	204
第6节	有落差的电缆线路终端头与中间接头的制作	207
第10章	充油电缆真空注油及油务工作	210
第1节	充油电缆终端头与中间接头的真空注油	210
第2节	充油电缆的油务工作	212
第11章	充油电缆供油系统的安装	217
第1节	供油系统的作用和特性	217
第2节	供油系统的安装	218
第3节	压力箱油压整定和计算	221
第4节	电接点压力表报警值的整定计算	228
第12章	充油电缆金属护套的连接与接地	230
第1节	电缆金属护套的连接与接地的作用	230
第2节	电缆金属护套的连接与接地的方式	231
第3节	保护器的安装和护套接地的注意事项	235
第13章	电力电缆的竣工试验	239
第1节	绝缘电阻试验	239
第2节	直流耐压试验和泄漏电流测量	240
第3节	电缆相位检查	245
第4节	电缆油的试验	246
第5节	充油电缆的竣工试验	251
第6节	充油电缆的试运行和交接验收	254

第14章 充油电缆施工和运行中发生问题的处理.....	257
第1节 充油电缆失压进气的处理.....	257
第2节 充油电缆漏油的处理.....	260
第3节 充油电缆本体及终端头内油的介质损耗因数 ($\text{tg}\delta$)值增大的处理.....	261
第4节 防止电缆护层绝缘降低的措施.....	263
第15章 电缆的防火与防白蚁.....	267
第1节 电缆火灾的原因和危害.....	267
第2节 电缆火灾威胁的对策.....	268
第3节 直埋电缆防白蚁.....	273
参考文献.....	276

第14章 充油电缆施工和运行中发生问题的处理.....	257
第1节 充油电缆失压进气的处理.....	257
第2节 充油电缆漏油的处理.....	260
第3节 充油电缆本体及终端头内油的介质损耗因数 ($\text{tg}\delta$)值增大的处理.....	261
第4节 防止电缆护层绝缘降低的措施.....	263
第15章 电缆的防火与防白蚁.....	267
第1节 电缆火灾的原因和危害.....	267
第2节 电缆火灾威胁的对策.....	268
第3节 直埋电缆防白蚁.....	273
参考文献.....	276

第 1 章 电力电缆的种类和结构

第 1 节 电力电缆的发展和应用

随着电能的应用和发展,为了适应输送和分配大功率电能的需要,在 110 年前世界上首次出现了电力电缆。1890 年,英国开始安装了 10 kV 单相电缆。20 kV 及 35 kV 三芯电缆是在 1910 年以后才逐步发展使用的。1920 年英国第一次设计并于 1926 年生产了 33 ~ 66 kV 充油电缆。由于充油电缆运行后,性能良好,因而 1930 年代英国城市的主要输电线路,广泛地采用了 66 kV 充油电缆。1927 年美国开始采用 132 kV 充油电缆,1934 年又敷设使用了第一条 220 kV 电缆。法国于 1952 年和 1960 年先后制成了 380 ~ 425 kV 和 500 kV 充油电缆,并于 1970 年代初在一些国家投入运行。

我国电力电缆的生产是在 1930 年代后期开始的,到 1949 年电缆的生产规模还小,能力还很薄弱,曾生产过 6.6 kV 橡皮绝缘铅包电缆。新中国成立后,随着国家开展大规模经济建设,电力工业迅速增长,电缆工业也迅猛发展。1951 年研制成 6.6 kV 铅包纸绝缘电力电缆,在此基础上,生产了 35 kV 及以下粘性浸渍纸绝缘电力电缆的系列产品。1966 年生产了第一条 66 kV 充油电缆,并在大连第二发电厂投入运行。同时研制生产了南京下关处横过长江的 110 kV 充油电缆。1968 年和 1973 年先后研制、生产了 220 kV 和 330 kV 充油电缆,并先后在刘家峡、新安江、渔子溪、乌江渡等水电站投入运行。1983 年研制了 500 kV 充油电缆,并在辽宁省内敷设运行。另外,1976 ~ 1983 年还试制生产了 10 ~ 110 kV 交联聚乙烯绝缘电缆。1959 年和 1973 年分别生产了 10 kV 和 35 kV 不滴流电缆。1982 年生产了超长的 35 kV 海底电缆。今后我国将发展特高压自容式充油电缆和特高压管道充气电缆。

传送电能的线路有架空裸导线(一般称为架空导线)和电缆两种。架空导线与电缆相比,各有其优点。架空导线具有结构简单、制造方便、造价便宜、施工容易和便于检修等优点。而电缆线路一般埋于土壤或敷设于室内、沟道、隧道中,不用杆塔,占用地面和空间少;受气候条件和周围环境条件影响小,供电可靠;安全性高;宜于在城市中向工业地区供电;不需在路面架设杆塔和导线,使市容整齐美观;运行简单方便;维护费用低。一般架空导线用于室外输电线路,而电缆常用于工厂矿山企业内部的供电、一些发电厂的引出线、城市的供电和过江过海的水下输电线路。

现代化的工厂矿山企业中,电力电缆的需用量是很大的。例如一个 100 MW 的火力发电厂,需要电缆的总长度可达 70 km,其中电力电缆约为 30 km。容量更大的火电厂或其他大型工厂,电缆的用量将达数百公里。随着城市建设的发展,对市容整齐美观和供电安全可靠的要求也提高了,城市供电逐渐以敷设于地下的电缆线路,来代替架空导线。例如上海市地区,到 1981 年底已敷设 6 ~ 10 kV 电缆 1330 km、23 ~ 35 kV 电缆 460 km、110 ~ 220 kV 充油电缆 25 km。一些发电厂特别是一些水电站,由于受地质或建筑物的限制,采用了高

压充油电缆作为引出线。30多年来我国已在发电厂、城市供电及过江过海等处敷设了数百公里的110~220kV充油电缆。

随着新材料、新技术的开发和应用，电力电缆制造工艺逐渐简化，质量不断提高，造价逐渐降低，施工趋于简便，电力电缆的应用将日益扩大。

第2节 电力电缆的种类

随着科学技术的进步，新材料、新工艺的不断出现，新型电缆的电压等级逐渐增高，电缆的品种越来越多。从基本结构上讲，电缆主要由三部分组成：（1）导电线芯，用于传输电能；（2）绝缘层，保证电能沿导电线芯传输，在电气上使导电线芯与外界隔离；（3）保护层，起保护密封作用，使绝缘层不受外界潮气侵入，不受外界损伤，保持绝缘性能。

电力电缆可以有多种分类方法，如按电压等级分类；按线芯截面积分类；按导体芯数分类；按绝缘材料分类等。现在分述如下。

一、按电压等级分类

电力电缆都是按一定电压等级制造的，电压等级依次为：1、3、6、10、20、35、60、110、220、330kV。其中1kV电压等级电力电缆使用最多，一般厂矿企业配电线路都使用。3~35kV电压等级的电力电缆在一些大中型企业主要供电线路中，在地区配电网中，以及在发电厂重要负荷和发电机出线中，常有采用。60~330kV电压等级的电力电缆适用于一些不宜于采用架空导线的送电线路、过江、海底敷设等场合。

从施工技术要求、电缆接头、电缆终端头结构特征及运行维护等方面考虑，也可以依据电压这样分类：①低电压电力电缆（1kV）；②中电压电力电缆（3~35kV）；③高压电力电缆（60~330kV）。

二、按导电线芯截面积分类

电力电缆的导电线芯一般简称为导线，它是按一定等级的标称截面积制造的。这样既便于制造，也便于施工。

我国电力电缆标称截面系列为：2.5、4、6、10、16、25、35、50、70、95、120、150、185、240、300、400、500、625、800mm²，共19种。

高压充油电缆标称截面积系列为100、240、400、600、700、845mm²，共6种。

三、按导电线芯数分类

电力电缆导电线芯数有单芯、二芯、三芯、四芯4种。单芯电缆通常用于传送单相交流电、直流电，也可在特殊场合使用（如高压电机引出线等）。60kV及其以上电压等级的充油、充气高压电缆多为单芯。二芯电缆多用于传送单相交流电或直流电。三芯电缆主要用于三相交流电网中，在35kV及以下的各种电缆线路中得到广泛的应用。四芯电缆多用于低压配电线路、中性点接地的三相四线制系统（四芯电缆的第四芯截面积通常为主线芯截面积的40%~60%）。只有电压等级为1kV的电缆才有二芯和四芯。

四、按绝缘材料分类

电力电缆按所用绝缘材料可分为下列几种。

1. 油浸纸绝缘电力电缆

油浸纸绝缘电力电缆是历史最久、应用最广和最常用的一种电缆。由于其成本低，寿命长，耐热、耐电性能稳定，在1kV至330kV各种电压等级的电缆中都被广泛采用。

油浸纸绝缘电力电缆是以纸为主要绝缘，以绝缘浸渍剂充分浸渍制成的。根据浸渍情况和绝缘结构的不同，油浸纸绝缘电力电缆又可分为下列几种。

(1) 普通粘性浸渍纸绝缘电缆：它是一般常用的油浸纸绝缘电缆。电缆的浸渍剂是由低压电缆油和松香混合而成的粘性浸渍剂。根据结构不同，这种电缆又分为统包型、分相铅（铝）包型和分相屏蔽型。统包型电缆的多线芯共用一个金属护套，这种电缆多用于10kV及以下电压等级。分相铅（铝）包型电缆的每个绝缘线芯都有金属护套。分相屏蔽型电缆的绝缘线芯分别加屏蔽层，并共用一个金属护套。后两种电缆多用于20~35kV电压等级。

(2) 滴干绝缘电缆：它是绝缘层厚度增加的粘性浸渍纸绝缘电缆，浸渍后经过滴出浸渍剂制成。滴干绝缘电缆适用于10kV及以下电压等级和落差较大的场合。

(3) 不滴流浸渍电缆：它的结构、尺寸与滴干绝缘电缆相同，但用不滴流浸渍剂浸渍制造。不滴流浸渍剂系低压电缆油和某些塑料及合成地蜡的混合物。不滴流浸渍电缆适用于电压等级不超过10kV、高落差电缆线路以及热带地区。

(4) 油压油浸纸绝缘电缆：它包括自容式充油电缆和钢管充油电缆。电缆的浸渍剂，一般为低粘度的电缆油。充油电缆适用于35kV以及更高电压等级的电缆线路中。

(5) 气压油浸纸绝缘电缆：它包括自容式充气电缆和钢管充气电缆。多用于35kV及以上电压等级的电缆线路中。

2. 塑料绝缘电缆

塑料绝缘电缆制造简单，重量轻，终端头和中间接头制作容易，弯曲半径小，敷设简单，维护方便，并具有耐化学腐蚀和一定耐水性能，适用于高落差和垂直敷设。塑料绝缘电缆有聚氯乙烯绝缘电缆，聚乙烯绝缘电缆和交联聚乙烯绝缘电缆。聚氯乙烯绝缘电缆一般用于10kV及以下的电缆线路中；交联聚乙烯绝缘电缆多用于6kV及以上乃至110~220kV的电缆线路中。

3. 橡皮绝缘电缆

由于橡皮富有弹性，性能稳定，有较好的电气、机械、化学性能，在6kV及以下的电缆线路中大量应用橡皮绝缘电缆。

4. 阻燃聚氯乙烯绝缘电缆

前述油浸纸绝缘电缆、塑料电缆和橡皮绝缘电缆，其绝缘材料有一个共同的缺点，就是具有可燃性。当线路中或接头处发生事故时，电缆可能因局部过热而燃烧，并导致扩大事故。阻燃电缆是在聚氯乙烯绝缘中加阻燃剂，即使在明火烧烤下，其绝缘也不会燃烧。这种电缆属于塑料电缆的一种，用于10kV及以下的电缆线路中。

图1-1至图1-10所示为不同电压、不同绝缘、不同结构的几种电缆的结构示意图。

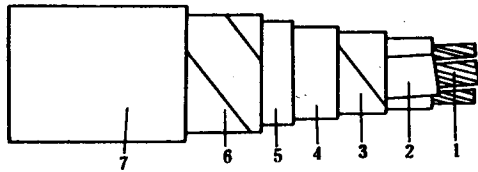


图 1-1 1kV 油浸纸绝缘三芯电缆

1—导线；2—油纸线芯绝缘；3—油纸统包绝缘；4—铅护套（也称铅包，此两词在不同场合使用）；5—衬垫层；6—钢带铠装；7—麻或聚氯乙烯外被层

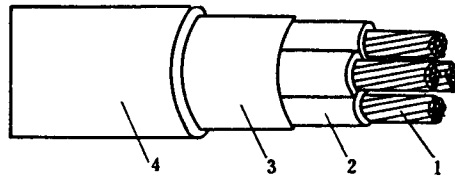


图 1-2 1kV 聚氯乙烯绝缘四芯电缆

1—导线；2—聚氯乙烯绝缘；3—聚氯乙烯内护套；4—聚氯乙烯外护套

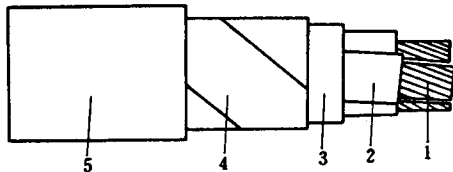


图 1-3 1kV 聚氯乙烯绝缘内钢带铠装三芯电缆

1—导线；2—聚氯乙烯绝缘；3—聚氯乙烯内护套；4—钢带铠装；5—聚氯乙烯外护套

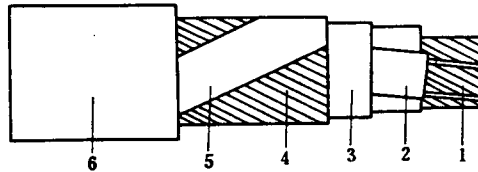


图 1-4 6kV 聚氯乙烯绝缘三芯电缆

1—导线；2—聚氯乙烯绝缘；3—内护套；4—镀锌扁铁线铠装；5—螺旋钢带；6—聚氯乙烯外护套

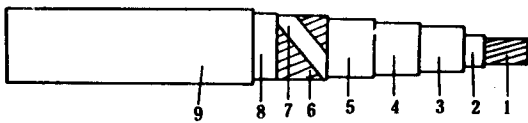


图 1-5 10~30kV 交联聚乙烯单芯电缆

1—导线；2—屏蔽层；3—交联聚乙烯绝缘层；4—屏蔽层；5—内护层；6—铜线屏蔽；7—铜带层；8—铝箔；9—聚氯乙烯护套

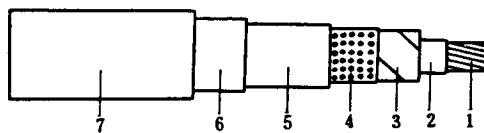


图 1-6 20~30kV 油浸纸绝缘单芯电缆

1—导线；2—半导体纸；3—油纸绝缘；4—金属化纸；5—铅护套；6—衬垫层；7—聚氯乙烯护套

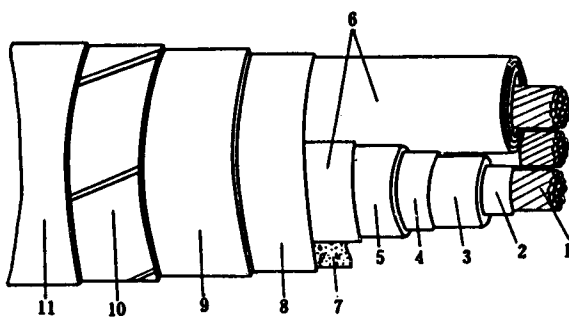


图 1-7 35kV 三芯分相铅包油纸绝缘铠装电缆

1—导线；2—屏蔽层；3—油纸绝缘；4—屏蔽层；5—铅护套；6—聚氯乙烯带；7—填料；8—玻璃丝带；9—沥青黄麻层；10—铠装层；11—沥青黄麻层

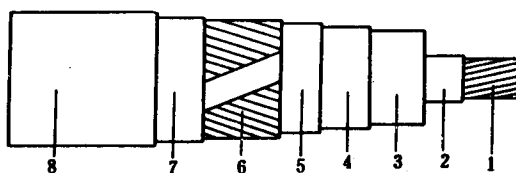


图 1-8 110kV 单芯交联聚乙烯绝缘电缆

1—导线；2—屏蔽层；3—交联聚乙烯绝缘；4—屏蔽层；5—保护层；6—铜保护层；7—保护层；8—聚氯乙烯外护套

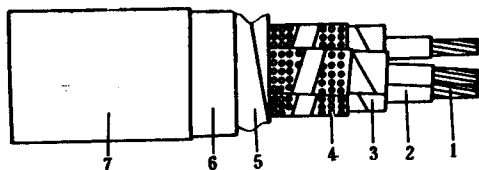


图 1-9 110kV三芯纸绝缘螺纹

铝包充油电缆

1—导线；2—屏蔽层；3—油纸绝缘；4—金属化纸屏蔽；5—螺纹铝护套；6—衬垫层；7—聚氯乙烯外护套

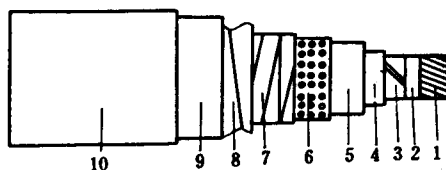


图 1-10 220kV单芯纸绝缘螺纹

铝包充油电缆

1—导线；2—屏蔽层；3—保护层；4—屏蔽层；5—纸绝缘；6—金属化纸屏蔽；7—保护层；8—螺纹铝护套；9—衬垫层；10—聚氯乙烯外护套

第3节 电力电缆的基本结构

电力电缆的基本结构由导电线芯、绝缘层和护层三部分组成。为了改善电场的分布情况，减小切向应力，有的电缆加有屏蔽层。多芯电缆绝缘线芯间，还需增加填芯和填料，以便将电缆绞制成圆形。

现将常用的国产电力电缆的结构及其特点分述如下。

一、粘性浸渍纸绝缘统包型电力电缆

粘性浸渍纸绝缘统包型电力电缆，各导线外包有纸绝缘，绝缘厚度依电压而定。绝缘线芯之间，填以纸或麻为主的填料，各绝缘线芯连同填料，扭绞成圆形，外面再用绝缘纸统包起来。如果用于中性点接地的电力系统中，则统包绝缘层的厚度较薄。如果用于中性点不接地的电力系统中，则统包绝缘层的厚度较厚。统包绝缘层不仅加强了各芯导体与铅（铝）护套之间的绝缘，同时也将三个绝缘线芯扎紧，使其不会散开，统包绝缘层外为多芯共用的一个金属（铅或铝）护套。由于敷设环境不同，有的电缆在金属护套外，还有铠装层，铠装层内外还分别有沥青防腐层和沥青黄麻防腐层。粘性浸渍纸绝缘统包型扇形线芯电缆的结构如图1-11所示。

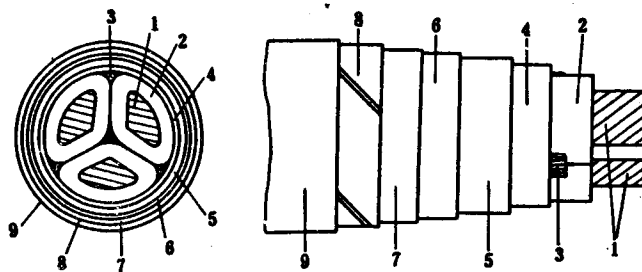


图 1-11 扇形线芯三芯统包型铠装电缆结构图

1—导线；2—线芯绝缘；3—填料；4—统包绝缘；5—铅护套；6—沥青防腐层；7—沥青黄麻层；8—铠装层；9—沥青黄麻层

纸绝缘统包型电缆，制造简单，价格便宜，性能良好。电缆绝缘线芯周围有填充物，含有大量的浸渍剂，当电缆运行温度降低时，浸渍剂的体积缩小，填料中会形成气隙，在电场的作用下易产生气体游离，而且由于多芯之间电场堆积不均匀，在绝缘中产生正切应力，这将逐渐导致绝缘损坏。当电缆敷设有较大落差时，浸渍剂会沿电缆向下流动，易使低端护套内油压加大，甚至造成低端电缆终端头漏油，高端绝缘干涸，绝缘水平下降。因此这种电缆只适用于10 kV及以下的电压等级和落差不大的场合。

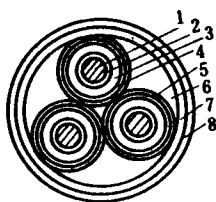


图 1-12 分相铅包电力
电缆结构图

1—导线；2—导线屏蔽；3—油
纸绝缘层；4—绝缘屏蔽；5—铅
护套；6—内垫层及填料；7—铠
装层；8—外被层

二、粘性浸渍纸绝缘分相铅（铝）包型电力电缆

粘性浸渍纸绝缘分相铅（铝）包型电力电缆的主要特点是各线芯绝缘层外分别铅包，然后再与内衬垫及填料绞成圆形，用沥青麻带扎紧后，外加铠装和保护层。6 ~ 10 kV分相铅包电缆，绝缘层表面有半导体屏蔽层，而20 ~ 35 kV分相铅包电缆，导电线芯及绝缘表面均有半导体屏蔽层，如图1-12所示。这种电缆与统包型电缆比较，制造工艺比较复杂，价格较贵，但是由于有屏蔽层，电缆线芯周围电场分布均匀，没有绝缘表面的正切应力。铅护套内没有浸渍的填料，可减少运行中的漏油现象和绝缘中的气隙形成，因而比统包型电缆绝缘性能好，故可适用于20 ~ 35 kV电压等级。

三、自容式充油电力电缆

自容式充油电力电缆一般简称为充油电缆，其特点是利用压力油箱向电缆绝缘内部补充绝缘油的办法，消除因温度变化而在纸绝缘层中形成的气隙，以提高电缆的工作电场强度。

单芯充油电缆的导线中心留有可对电缆补充绝缘油的油道。所用的绝缘油是低粘度的电缆油，它可以提高补充浸渍速度，减小油流在油道中的压降。电缆的油道通过管路 with 压力油箱相连。当电缆温度上升时，绝缘油受热，体积膨胀，膨胀出来的绝缘油流到压力油箱。当电缆温度下降时，绝缘油体积缩小，压力油箱中的绝缘油便流入电缆中。这样做能维持电缆内部的油压，避免在绝缘层中产生气隙。国家标准规定，充油电缆线路上任何一点，任何时刻的油压应大于0.02 MPa；按电缆加强层结构不同，其允许最高稳态油压分为0.4 MPa和0.8 MPa两种。

充油电缆纸绝缘的工作电场强度比一般电缆纸绝缘的工作电场强度高得多，因而工作电压可提高很多，故可运行于35 ~ 330 kV电压等级的电缆线路中。

充油电缆有单芯和三芯两种。单芯电缆的电压等级为110 ~ 330 kV；三芯电缆的电压等级为35 ~ 110 kV。单芯电缆导线的结构有两种：一种是中心具有金属螺旋管作支撑的油道的圆形绞线，螺旋管一般采用不锈钢带或0.6 mm厚的镀锡铜带绕成；另一种由Z形及扇形绞线绞合成中空油道的圆形绞线，油道直径不小于12 mm。

电缆绝缘层采用高压电缆纸绕包而成。导电线芯表面及绝缘层外表面均有半导体纸带组成的屏蔽层；绝缘层外为铅护套；护套外为具有防水性的沥青和塑料带的内衬层、径向

加强层、铠装层和外被层。径向铜带用以承受机械外力。有纵向铜带或钢丝铠装的电缆，可以承受较大的拉力，适用于高落差的场合。外被层一般为聚氯乙烯护套或纤维层。单芯自容式充油电力电缆结构如图1-13所示。

四、聚氯乙烯绝缘电力电缆

聚氯乙烯绝缘电力电缆的绝缘层由聚氯乙烯挤包制成。多芯电缆的绝缘线芯绞合成圆形后绕包塑料带或者挤包聚氯乙烯护套作为内护层。其外为铠装层和聚氯乙烯外护套。聚氯乙烯电力电缆结构如图1-14所示。

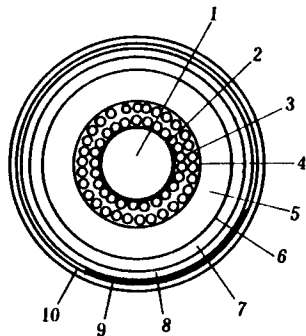


图 1-13 单芯自容式充油电力电缆结构图
1—油道；2—螺旋管；3—导线；4—线芯屏蔽；5—绝缘层；6—绝缘屏蔽；7—铅护套；8—内衬垫；9—加强铜带；10—外被层

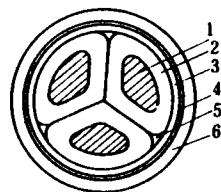


图 1-14 聚氯乙烯电力电缆结构图
1—导线；2—聚氯乙烯绝缘；3—聚氯乙烯内护套；4—铠装层；5—填料；6—聚氯乙烯外护套

10kV及以上电缆导电线芯表面有半导体屏蔽层；6kV及以上电缆绝缘层表面有半导体材料与金属带或金属丝组成的屏蔽层。金属带（丝）的作用是保持零电位，并在短路时承载短路电流，以免因短路电流引起电缆温升过高而损坏绝缘层。聚氯乙烯绝缘电缆与浸渍纸绝缘电缆相比，没有铅护套和浸渍剂，安装简便。它适用于高落差场合，多用于10kV及以下电压等级。

五、交联聚乙烯绝缘电力电缆

交联聚乙烯绝缘电力电缆是近几年来发展起来的很有前途的塑料电缆。这种电缆电场分布均匀，没有切向应力，重量轻，载流量大，已用于6~35kV有高落差的电缆线路中。

图1-15为三芯交联聚乙烯绝缘铠装电力电缆的结构。在圆形导体外有内屏蔽层、交联聚乙烯绝缘和外屏蔽层。外面还有保护带、铜线屏蔽、铜带和塑料带保护层。三个缆芯中间有一个圆形填芯，连同填料扭绞成缆后，外面再加护套、铠装等保护层。

6kV及以上电缆导线表面及绝缘层表面均有屏蔽层。导线屏蔽层为半导体材料；绝缘屏蔽层为半导体交联聚乙烯，并在其外绕包一层0.1mm厚的金属带（丝）。电缆内护层（套）的方式，除上面介绍的三个绝缘线芯共用一个护套外，还有绝缘线芯分相护套。分相护套电缆相当于三个单芯电缆的简单总合。这种电缆的电场分布情况与单芯电缆及纸绝缘分相铅包电缆类似，但电性能更好，应用范围与纸绝缘分相铅包电缆相同。

六、橡皮绝缘电力电缆

橡皮绝缘电力电缆的绝缘层为丁苯橡皮或丁基橡皮。6~35kV的橡皮绝缘电缆，导线表面有导电屏蔽层，绝缘层表面有导电材料和金属材料组合而成的屏蔽层。多芯电缆绝缘线芯绞合时，采用具有防腐性能的纤维填充，并包以橡皮布带或涂胶玻璃纤维带。橡皮电缆的护套一般为聚氯乙烯护套或氯丁橡皮护套。橡皮绝缘电力电缆的结构如图1-16所示。

橡皮绝缘电缆的绝缘层柔软性最好，其导线的绞线根数比其他型式的电缆稍多，因此电缆的敷设安装简便，适用于落差较大和弯曲半径较小的场合。它可用于固定敷设的电力线路，也可用于定期移动的敷设线路。但是橡皮绝缘遇到油类时会很快损坏，在高电压作用下，容易受电晕作用产生裂缝，因此这种电缆一般用于10kV及以下电压等级。

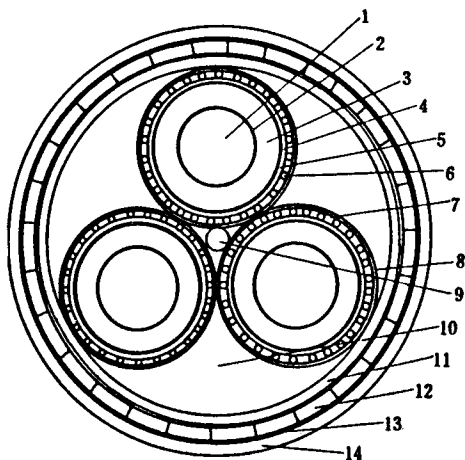


图 1-15 交联聚乙烯绝缘屏蔽型
铠装电力电缆结构图

1—导线；2—导线屏蔽层；3—交联聚乙烯绝缘；4—绝缘屏蔽层；5—保护带；6—铜线屏蔽；7—螺旋铜带；8—塑料带；9—中心填充；10—填料；11—内护套；12—扁钢带铠装；13—钢带；14—外护套

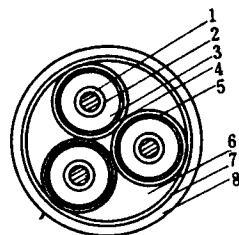


图 1-16 橡皮绝缘电力电缆结构图

1—导线；2—线芯屏蔽层；3—橡皮绝缘层；4—导电屏蔽层；5—铜带屏蔽层；6—填料；7—橡皮布带；8—聚氯乙烯外护套

第 4 节 电力电缆的导电线芯、绝缘层和护层

一、电力电缆的导电线芯

电力电缆的导电线芯简称导线，通常用导电性好，有一定韧性、一定强度的高纯度铜或铝制成。导线截面有圆形、椭圆形、扇形、中空圆形等几种。较小截面（16mm²及以下）的导电线芯由单根导线制成。较大截面（25mm²及以上）的导电线芯由多根导线分数层绞合制成，绞合时相邻两层扭绞方向左右相反。圆形导电线芯的排列结构，中心一般为根单线，第二层为六根单线，以后每一层比里面一层多六根（见表1-1）。这样既增加了电缆的柔软性，也增加了线芯的牢固度，便于制造和施工。

电缆导线有各种截面积。在施工现场需要核对电缆导线的截面积时，可以测量一下电缆导线外形尺寸，与电缆各等级标准截面的尺寸进行比较，根据经验可判定所用电缆导线的截面积。几种常用电力电缆的导线截面标准尺寸列于表1-2。

表 1-1 常用电力电缆导线芯根数及排列结构

导线标称截面 mm ²	圆 形 线 芯		扇 形 线 芯	
	根 数	排 列 结 构	根 数	排 列 结 构
25~35	7	1 + 6	18	6 + 12
50~70	19	1 + 6 + 12		
95				
120				
150				
185	37	1 + 6 + 12 + 18	24	7 + 2 + 15
240				
300~400				
500~625	61	1 + 6 + 12 + 18 + 24	45	7 + 2 + 15 + 21
800	91	1 + 6 + 12 + 18 + 24 + 30		

表 1-2 常用电力电缆导线芯截面标准尺寸

导 线 截 面 mm ²	圆 形 导 线 外 径 mm	扇形导线轴长, mm	
		长 轴	短 轴
50	9.1	12.3	7.0
70	10.7	14.5	8.3
95	12.5	16.7	9.8
120	14.0	18.5	11.2
150	15.7	21.3	12.8
185	17.4	23.5	14.2
240	19.8	26.2	16.4

二、电力电缆的绝缘层

电力电缆绝缘层用以使多芯导线间以及导线与护套间相互隔离,并保证一定的电气耐压强度。它应有一定的耐热性能和稳定的绝缘质量。

电缆的绝缘厚度与工作电压有关。一般说来,电压越高,绝缘层的厚度也越厚,但不成比例。因为从电场强度方面考虑,同样电压等级的电缆当导线截面大时,绝缘层的厚度可以薄些。对于电压较低的电缆,特别是电压较低的油纸绝缘电缆,为保证电缆弯曲时,纸层具有一定的机械强度,绝缘层的厚度则随导线截面增大而加厚。

绝缘层的材料主要有油浸电缆纸、塑料和橡皮三种。根据线芯绝缘层所用材料的不同,电缆主要分为油浸纸绝缘电缆、塑料绝缘电缆和橡皮绝缘电缆。现将三种电缆绝缘层的结构及其特点分述如下。

1. 油浸纸绝缘

油浸纸绝缘由电缆纸与浸渍剂组合而成。普通油浸纸绝缘电缆纸的厚度为0.08、0.12、0.17 mm 三种;浸渍剂用低压电缆油和松香混合而成。单芯电缆和分相铅(铝)包电缆的导电线芯为圆形,绝缘层结构为电缆纸带以同心式多层绕包成圆形。10 kV 及以下的多芯电

缆，导电线芯为半圆形、椭圆形或扇形，绝缘层结构为束带式。这种结构是在每根导线上分别包绕一部分绝缘纸（称为线芯绝缘）后，将几根线芯绞合在一起，再绕包一定厚度的电缆纸（称为统包绝缘），这样在导线与导线之间为二倍线芯绝缘厚度；在导线对铅护套之间为线芯绝缘厚度加统包绝缘厚度。

充油电缆的油纸绝缘，要求电气性能更高，纸的厚度为0.045mm及0.075mm，介质损失角正切值应不大于0.0026。浸渍剂为低粘度的矿物油（绝缘油），油的工频击穿强度应不小于60kV/2.5mm。这样在一定油压作用下，就大大地提高了电缆绝缘的电气强度。

电力电缆绝缘层的厚度根据电缆的工作电压和导线截面来决定。它既要保证在工频电压和冲击电压下不会被击穿，又要保证电缆在正常施工时绝缘不会受到机械损坏。常用电力电缆绝缘层的厚度列于表1-3至表1-5。

表 1-3 油浸纸绝缘统包型电力电缆绝缘厚度					
额定电压 kV	导 线 截 面 mm ²	标称绝缘厚度及允许偏差，mm			
		线 芯 绝 缘	偏 差 不 大 于	统 包 绝 缘	偏 差 不 大 于
1	2.5~95	0.75	-0.12	0.5	-0.12
	120~150	0.85		0.6	
	185~240	0.95		0.6	
3	4~240	1.35	-0.12	0.7	-0.12
6 6*	10~240	2.00	-0.18	0.95	-0.18
	16~150	2.75		1.25	
10	16~240	2.75	-0.18	1.25	-0.18

注 标有*者为滴干绝缘电力电缆。

表 1-4 油浸纸绝缘单芯及分相铅包电力电缆绝缘厚度								
额定电压 kV	导线截面 mm ²	标称绝缘厚度及允许偏差, mm		额定电压 kV	导线截面 mm ²	标称绝缘厚度及允许偏差, mm		
		绝 缘 厚 度	偏差 不大于			绝 缘 厚 度	偏差 不大于	
1	2.5~16	1.2	- 0.18	6	10~500	2.7	- 0.24	
	25~95	1.3		6*	16~150	4.0		
	120~150	1.4		10	16~500	3.5		
	185~240	1.6		10*	16~35	7.5		
	300~400	1.8		10**	50~150	7.0		
	500~625	2.1				中性点接地		中性点不接地
800	2.4							
3	6~240	2.0	- 0.24	20	25~95 120~400	5.5 4.5		7.0 6.0
	300~400	2.2		35	50~93 120~300	11.0		
	500~625	2.4				9.0		

注 1. 标有*者为滴干绝缘电缆；
2. 标有**者为滴干绝缘分相铅包电缆。

油浸纸绝缘较橡皮及聚氯乙烯绝缘具有较强的耐热性，经常运行温度可达80℃，电气强度高。普通油浸纸绝缘用于35kV及以下电压等级，补充油压的油浸纸绝缘用于60kV及以上电压等级。纸绝缘极易吸收水分，使绝缘强度大为降低，因此制造中除了将所含水分除去并进行浸渍处理外，还借助金属护套防止水分侵入。另外，纸绝缘的可曲性比较差，因此规定了电缆最小的允许弯曲半径。对于这些，施工中都需要特别注意，以保证绝缘性能良好。

2. 塑料绝缘

塑料绝缘主要有聚氯乙烯绝缘和交联聚乙烯绝缘两种，电缆绝缘层分别由热塑性塑料挤包制成和由添加交联剂的热塑性塑料挤包、交联制成。这种绝缘电气性能及耐水性能好，能抗酸、碱，防腐蚀。交联聚乙烯绝缘是近年来发展起来的新材料，它还具有允许工作温度高、机械性能好，可制造高压电缆等优点。塑料绝缘电缆是电缆产品技术方向之一，现已逐步推广使用。塑料绝缘电力电缆的绝缘厚度列于表1-6、表1-7。

表 1-6 聚氯乙烯电力电缆
绝缘厚度

额定电压 kV	导线截面 mm ²	标称绝缘厚度 mm
1	1~4	0.8
	6~16	1.0
	25~35	1.2
	50~70	1.4
	95~120	1.6
	150	1.8
	185	2.0
	240	2.2
	300	2.4
	400	2.6
	500	2.8
	625	2.8
6	10~240	3.4

表 1-5 充油电力电缆绝缘厚度

额定电压 kV	标称绝缘厚度 mm	最小绝缘厚度 mm
110	11.0	10.5
220	20.0	19.0
330	25.0	25.0

表 1-7 交联聚乙烯电力电缆
绝缘厚度

额定电压 kV	导线截面 mm ²	标称绝缘厚度 mm
6	16~500	4.0
10	16~95	5.0
	120~240	5.4
20	25~95	7.0
	120~400	7.4
35	50~95	11.0
	120~300	11.4

3. 橡皮绝缘

橡皮绝缘层常用的材料有天然丁苯橡皮、丁基橡皮和乙丙橡皮三种。它们具有电气性能较好、吸水性和透气性低等优点，但是橡皮的耐热性差，并且容易受热空气和油类的影响而损坏。橡皮绝缘电力电缆的绝缘厚度列于表1-8。

表 1-8

橡皮绝缘电力电缆绝缘厚度

额定电压 kV	导线截面 mm ²	标称绝缘厚度 mm	额定电压 kV	线芯截面 mm ²	标称绝缘厚度 mm
0.5	1.0~6.0	1.0	3	150	2.8
	10~16	1.2		185	3.0
	25~35	1.4		240	3.2
	50~70	1.6		300	3.4
	95~120	1.8		400	3.6
	150	2.0		500	3.8
	185	2.2			
	240	2.4			
3	1.5~6.0	1.8	6	2.5~6.0	3.0
	10~16	2.0		10~35	3.2
	25~35	2.2		50~120	3.4
	50~70	2.4		150~185	3.6
	95~120	2.6		240~300	3.8
				400~500	4.0

三、电缆护层

为了使电缆绝缘不受损伤，并适应各种使用条件和环境的要求，在电缆绝缘层外包覆的保护层，叫做电缆护层。电缆护层分为内护层和外护层。

1. 内护层

内护层是包覆在电缆绝缘上的保护覆盖层，用以防止绝缘层受潮、机械损伤以及光和化学侵蚀性媒质等的作用。内护层有金属的铅护套、平铅护套、螺纹铅护套等，以及非金属的塑料护套、橡皮护套等。金属护套多用于油浸纸绝缘电缆；塑料和橡皮护套多用于塑料、橡皮绝缘电缆。由于铅护套比铝护套不仅经济，而且可以提高电缆的运行性能，所以铅护套电缆已逐渐推广使用。

按电缆在使用中受力和外护层的结构情况，铅护套的厚度分为三类，每一类又随着导线截面增大而加厚。

第一类：电缆有铠装层（或麻被）保护，使用中仅有机外力而不受拉力的电缆，铅护套厚度为1.05~1.95mm。

第二类：各种分相铅包电缆，铅护套厚度为1.15~2.5mm。

第三类：没有任何外护层的裸铅护套电缆，以及用于水下敷设等承受大的拉力的钢丝铠装电缆，铅护套厚度为1.4~2.8mm。

充油电力电缆还考虑到内部承受压力以及敷设运行条件，因此铅护套更要厚些（见表1-9）。

由于铝护套的机械强度比铅护套大得多，因此各种形式电缆的铝护套，厚度是统一的，其厚度为1.1~2.0mm。

聚氯乙烯绝缘电缆和交联聚乙烯绝缘电缆的内护层为聚氯乙烯护套。其厚度为1.6~3.4mm，随着导线直径增大而加厚。

表 1-9

充油电力电缆铅护套厚度

mm

电缆型号 铅套厚度 铅包前直径	CYZQ102		CYZQ302		CYZQ141	
	标称厚度	最小厚度	标称厚度	最小厚度	标称厚度	最小厚度
50及以下	3.0	2.7	3.5	3.2	3.5	3.2
50.01~70.00	3.5	3.2	4.0	3.7	4.0	3.7
70.01以上	4.0	3.7	4.5	4.2	4.5	4.2

注 充油电缆型号的意义见本章第5节。

2. 外护层

外护层是包覆在电缆护套（内护层）外面的保护覆盖层，主要起机械加强和防腐蚀作用，常用电缆的外护层有金属护套外护层和聚氯乙烯护套外护层。金属护套外护层一般由衬垫层、铠装层和外被层三部分组成。衬垫层位于金属护套与铠装层之间，起铠装衬垫和金属护套防腐蚀作用。铠装层为金属带或金属丝，主要起机械保护作用，金属丝可承受拉力。外被层在铠装层外，对金属铠装起防腐蚀作用。衬垫层及外被层由沥青、聚氯乙烯带、浸渍纸、电缆麻纱、聚氯乙烯护套等材料组成。根据各种电缆使用的环境和条件不同，其外护层的组成结构也各异。常用各种型号电力电缆的外护层结构见表1-13至表1-15。

充油电力电缆外护层结构由内衬层、加强层、保护层、铠装层和外被层组成，如表1-10所示。

表 1-10

充油电力电缆外护层结构

电缆型号	外 护 层 结 构				
	内 衬 层	加 强 层	保 护 层	铠 装 层	外 被 层
CYZQ102	沥青-塑料带(或性能相当的防水层)	径向铜带(或不锈钢带)			塑料带(或性能相当的防水层)-聚氯乙烯套
CYZQ302	沥青-塑料带(或性能相当的防水层)	径向铜带(或不锈钢带) 纵向窄铜带(或不锈钢带)			塑料带(或性能相当的防水层)-聚氯乙烯套
CYZQ141	沥青-塑料带(或性能相当的防水层)	径向铜带(或不锈钢带)	塑料带(或性能相当的防水层)-聚氯乙烯套	粗钢丝	胶粘涂料-聚丙烯绳

聚氯乙烯护套外护层的结构有三种，一种是无外护层仅有聚氯乙烯护套；另一种是有铠装层无外被层的裸铠装电缆；再一种是铠装层外还挤包了聚氯乙烯套，其厚度与内护套相同。外护层的结构见表1-16、1-17。