



电线电缆技术丛书

油浸纸绝缘电力电缆生产

上海电缆研究所 沈阳电缆厂 编

前 言

电线电缆工业是国民经济的重要组成部分之一。电线电缆产品广泛用于电力输配、电信、电工仪表以及日用电器等各方面，在我国社会主义建设中具有重大意义。

随着我国工农业的不断发展，对电线电缆生产提出了越来越高的要求。为了适应生产发展的需要，我们组织编写了电线电缆技术丛书。

这套丛书按电线电缆的产品类别及生产工艺，组织有关单位陆续编写，将分册出版。

本丛书在总结我国生产实践的基础上，参考国外的先进经验，按电线电缆的不同产品分别写成。在文字上力求深入浅出，通俗易懂；在内容上以介绍电线电缆生产工艺为主，对产品的结构和性能、生产设备及产品质量的检查和试验等也加以概括地叙述。本丛书的主要读者对象是从事电线电缆生产的工人，也可供技术人员和有关院校的师生参考。

本丛书在编审过程中，得到有关单位和同志们的大力支持 and 帮助，在此谨致谢意。由于我们缺乏编书经验，加之水平所限，书中定有不足以至错误之处，切望读者批评指正。

目 录

绪论	1
第一章 电力电缆类型和基本性能	5
一、低压电缆	5
二、高压电缆	11
三、电缆的基本性能	19
四、生产工艺过程	31
第二章 制造电力电缆用材料	35
一、线芯材料	35
二、绝缘材料	37
三、护层材料	58
第三章 线芯的绞制	70
一、线芯结构	70
二、绞合的基本参数和绞合规律	77
三、绞制设备	80
四、绞制工艺	83
五、高压电缆线芯的绞制特点	86
第四章 线芯的绝缘	91
一、切纸	91
二、纸包的一般规律与要求	92
三、纸包设备	100
四、绞线纸包工艺计算	106
五、高压电缆的纸包工艺特点	113
第五章 绝缘线芯的成缆	124

IV

一、成缆时线芯的变形和绝缘的发皱	124
二、成缆的准备工作	129
三、成缆设备	133
四、成缆工艺及工艺计算	139
第六章 绝缘的干燥和浸渍	145
一、干燥	145
二、浸渍	153
三、干燥和浸渍设备	160
四、高压电缆绝缘干燥和浸渍的工艺特点	166
第七章 电缆护层的包覆	174
一、压铅	174
二、压铝	187
三、外护层的作用及结构	194
四、装铠	196
五、高压电缆护层的被覆	208
第八章 电力电缆附件	214
一、终端盒	214
二、连接盒、塞止盒及压力箱	222
三、高压电缆附件的制造工艺	229
第九章 电缆的检查与试验	238
一、结构检查	239
二、电性能测量	240
三、工频高压试验	250
四、高压冲击试验	255
五、直流高压试验	257
六、故障点的测定	260
附录	266

绪 论

电力电缆是在电力系统中传输和分配大功率电能用的电缆。电力电缆广泛用于发电厂、变电站、工矿企业的动力引入或引出线路中以及跨越江河海峡、铁道站场、城市地区的输配电线路和工矿企业内部的主干电力线路中。

电力电缆工作电压高、传输容量大、工作寿命长。为适用各种电压级、各种敷设环境条件的使用要求，电力电缆的品种规格相当繁多，结构也较为复杂。随着四个现代化建设的需要和电缆生产技术的进步，电力电缆将朝着更高电压、更大传输容量的方向发展。

电力电缆按所用绝缘材料可分为橡皮绝缘、塑料绝缘、油浸纸绝缘以及近期发展的气体绝缘等品种，此外还有正在发展的低温电缆和超导电缆。橡皮绝缘电力电缆应用较早，但一般只生产到10千伏；新发展的乙丙橡皮绝缘电力电缆可达70千伏；塑料绝缘电力电缆虽然发展较晚，由于制造工艺简单，没有敷设落差的限制，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，已成为电力电缆中正在迅速发展的品种。聚氯乙烯绝缘电力电缆耐电压不高，通常只生产到10千伏以下，聚乙烯和交联聚乙烯绝缘电力电缆工作电压较高，可制成高压电缆，电压级达110~220千伏。油浸纸绝缘电力电缆系列规格较为完整，已广泛用于330千伏及以下的输配电线路中，并已研制500~750千伏超高压电缆，取得很大进展。

在电力电缆中油浸纸绝缘电力电缆历史悠久，用量较大。这种电缆的特点是：

1. 耐电强度较高，一般粘性浸渍电力电缆工作电压可达35千伏，充油电缆的工作电压则达数百千伏或更高；
2. 使用寿命较长，绝缘油和电缆纸的老化性能要比橡皮和塑料好一些，再加上这种电缆一般都有金属密封护套，密封性好，有利于防止老化，有利于防潮，介电性能可靠稳定；
3. 热稳定性较高；
4. 价格比较便宜，目前，在我国绝缘油与电缆纸的价格比橡皮和塑料便宜，且材料资源丰富。

但是油浸纸电力电缆也有不足之处，如制造工艺较为复杂，生产过程较长，生产效率不高，同时产品本身不适用于高落差地区的敷设，电缆连接也较复杂。随着科学技术的不断进步，新材料、新技术将不断出现，油浸纸绝缘电力电缆的结构、性能和工艺必将得到进一步发展和提高。可以肯定，这种电缆不仅在35千伏及以下的电力输配线路中得到广泛应用，而且在高压和超高压输电线路中将显示出更大的发展前途。

电力电缆技术适应电力工业而发展起来。随着电能应用的扩大、电压等级的提高和传输容量的增加，电力电缆的应用愈来愈广泛，已成为电力输配系统中不可缺少的电工器材。图1所示为电力输配系统，图2为地下水力发电站布置示意。

目前，国内外电力输配系统都采用电力电缆线路和架空线路两种形式。从发展趋势看，电力电缆线路有更大优越性。因为电力电缆线路与架空线路相比有许多优点：

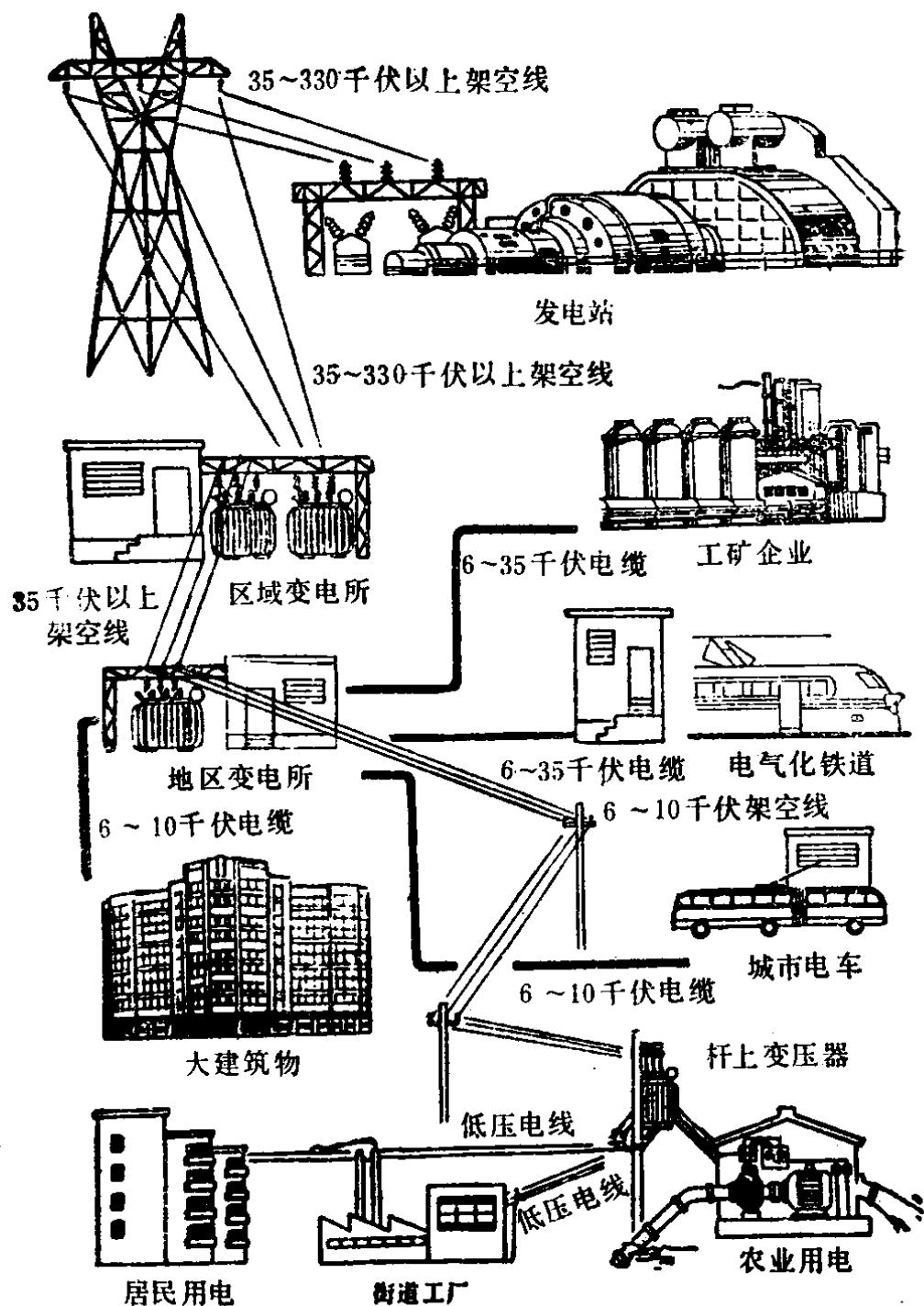


图1 电力输配系统图

- (1) 相间距离小，三相线路在一根电缆中，敷设在地下，不占地面和空间；
- (2) 不受周围环境条件干扰，保证送电可靠；

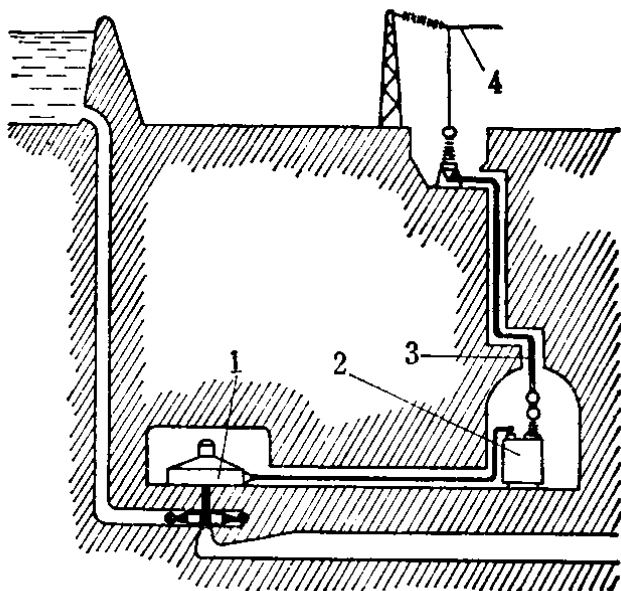


图2 地下水力发电站布置示意

1—发电机 2—变压器 3—电缆
4—架空输电线

(3) 埋地敷设，有利人身安全，不暴露目标，有利于国防保密；

(4) 不用电杆铁塔，节约木材，钢材和水泥；

(5) 运行维护简单，节省线路维护费用。

不过电力电缆的价格要比架空线贵一些，线路损坏时修理较为困难，安装敷设的工作量也很大。

我国从1950年开始制造电力电缆，开创了自制油浸纸绝缘电力电缆的历史，至今已能生产各种型式高、低压油浸纸绝缘电力电缆，生产技术水平不断提高，产品质量不断改进。采用高纯度的铝和铜制造线芯，采用高质量的电缆油和电缆纸制成绝缘；自制和采用高压电缆纸包机和大型干燥浸油设备以及压铅、压铅机，装备了成套高压试验装置。已经建立了完整的生产高、低压电力电缆的生产基地。我国电缆技术正在不断发展。

第一章 电力电缆类型和基本性能

油浸纸绝缘电力电缆由线芯、绝缘层和保护层三个构件组成。由于采用不同的结构形式和材料，便制成了不同类型的电缆，工作电压和使用条件也相应不同。

在电缆技术中，通常把35千伏及以下电压级的电缆称为低压电缆，而把110千伏以上电压级的电缆称为高压电缆。

一、低 压 电 缆

低压油浸纸绝缘电力电缆，按其线芯根数可分为单芯、双芯、三芯和四芯电缆几种，其中以三芯电缆应用最为广泛，因此，35千伏及以下低压电缆多制成三芯结构，只有个别特殊用途或为了减少接头数目，要求大长度生产，或电缆线芯截面较大，制成三芯电缆太笨重时，才制成单芯电缆。单芯电缆结构比较简单，通常是在圆形线芯上，依次同心地绕包绝缘层、挤包金属护套并绕包外护层。必须指出，交流系统使用的单芯电缆不能采用钢带铠装，这是因为存在电磁感应现象，如用钢带铠装，将会产生很大损耗，影响电缆传

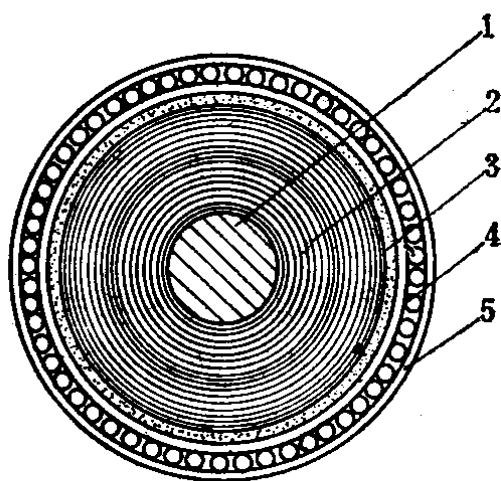


图3 单芯电缆结构示意图

1—线芯 2—绝缘层 3—金属护套
4—钢丝铠装 5—外被层

输容量的缘故。图3为单芯电缆的结构示意。

单芯电缆的电场分布比较均匀，而多芯电缆电场分布就较为复杂。低压电缆按电场分布特点可分为带绝缘电缆和分相屏蔽电缆以及分相铅包电缆等几种。

(一) 带绝缘电缆

10千伏及以下的多芯电缆，通常将几根绝缘线芯绞合成缆，统包以绝缘（称为带绝缘）后再包以一个公共的金属护层和保护层，具有这种结构型式的电缆称为带绝缘电缆或称统包绝缘电缆，国际上称为非径向电场电缆。

双芯电缆只用于单相线路，工作电压为1千伏。为使电缆线芯排列紧凑，减小外径，节约护层材料，将线芯制成半圆形。为提高电缆的弯曲性能，便于电缆的制造和敷设，对于截面较大的双芯电缆也可采用四个扇形线芯，相对两个线芯并联使用。图4为双芯电缆的结构示意。

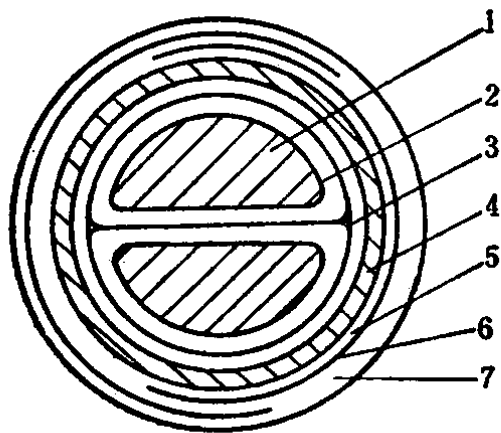


图4 双芯电缆结构示意

1—线芯 2—相绝缘 3—带绝缘 4—金属护套 5—内垫层
6—钢带铠装 7—外被层

图4为双芯电缆的结构示意。

带绝缘电缆大多制成三芯电缆。图5所示为一种典型的带绝缘三芯电缆的结构示意。这种电缆线芯制成扇形，扇形尖角为 120° ，在每根线芯上包有绝缘（称线芯绝缘或相绝缘），在三根成缆的绝缘线芯外包有带绝缘。对于电压级为6和10千伏的电缆，在带绝缘外应包以半导电纸屏蔽层。带绝缘外包以不同形式的护层。

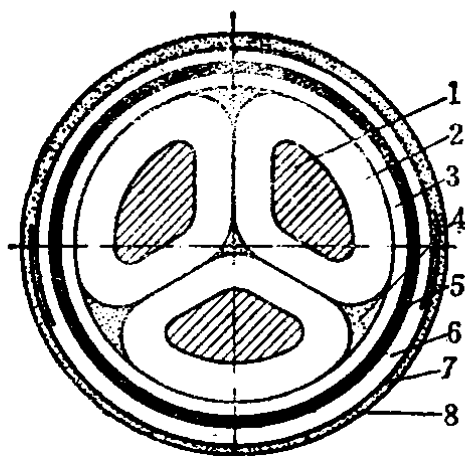


图5 带绝缘三芯电缆结构示意图

1—线芯 2—相绝缘 3—带绝缘
4—填充材料 5—金属护套 6—
内垫层 7—钢带铠装 8—外被层

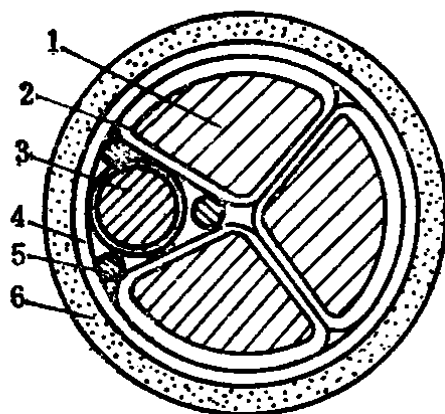


图6 四芯电缆结构示意图

1—主线芯 2—相绝缘 3—中
性线芯 4—带绝缘 5—填充材
料 6—护套

四芯电缆一般工作电压为1千伏，其结构如图6所示。四芯电缆的三根主线芯采用扇形结构，扇形尖角为 100° ，中性线芯截面比主线芯截面小一些，可以制成圆形或 60° 扇形。对截面较小的电缆，提倡采用实体线芯。

(二) 分相屏蔽电缆和分相铅包电缆

电压级为20、35千伏的三芯电缆可制成分相屏蔽(图7)或分相铅包(图8)两种结构形式。分相屏蔽电缆和分相铅包电缆的线芯一般制成圆形，线芯表面应包有半导电纸屏蔽层，绝缘层外面也包有半导电纸屏蔽层。所谓分相屏蔽电缆就是在每一根绝缘线芯外包以打孔的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。而分相铅包电缆则在每一根绝缘线芯上单独的挤压以铅护套，在三根铅包线芯成缆后再统包以公共的外护层。

比较起来，分相屏蔽电缆结构紧凑、外径小，可以节省

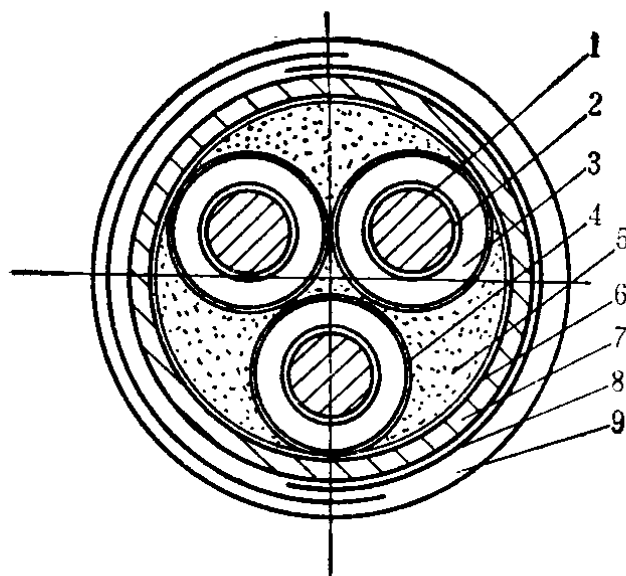


图7 分相屏蔽电缆结构示意图

- 1—线芯 2—线芯屏蔽 3—绝缘层
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

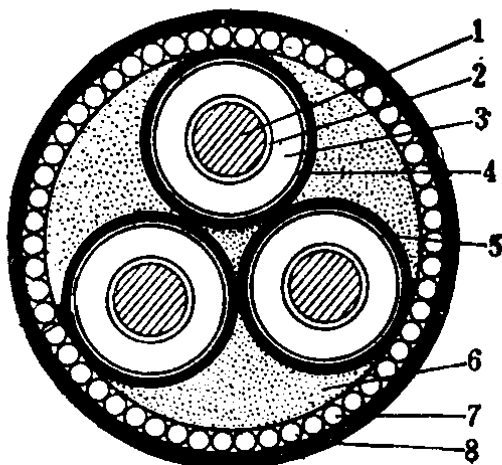


图8 分相铅包电缆结构示意图

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

金属护套及外护层材料。但由于采用打孔金属带屏蔽，致使干燥浸渍工艺困难。分相铅包电缆散热性能好，电性能稳定，接头和维护也较方便，但外径较大，重量较大。这两种电缆在结构上各有特点。

由于采用扇形线芯，上述带绝缘电缆，结构紧凑、空间利用率高、外径小、省材料。但这种电缆中，电场分布较为复杂，如图9a)所示。试验表明，油浸纸沿纸带表面方向的击穿强度仅为垂直纸面方向的5~10%。由图9a)可见，在带绝缘电缆中存在有沿纸带表面方向分布的切向电场分量。会导致电缆的击穿强度显著降低。此外，在带绝缘电缆中，电场不仅作用于带绝缘和相绝缘，而且也作用于填充材料上，一般填充材料为电缆纸绳，其介电强度比油浸纸低得多，所以这种结构电缆只能用于10千伏及以下电压级，较高电压的电

缆就要制成分相屏蔽电缆或分相铅包电缆。从图9b)中可见，分相屏蔽电缆和分相铅包电缆的电场是沿垂直于纸面的径向分布，没有切线分量，所以电缆的击穿强度要比带绝缘电缆高一些。

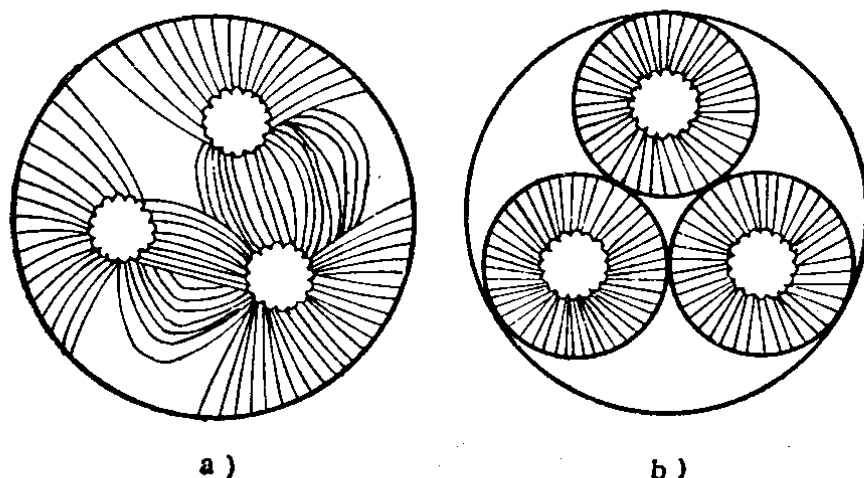


图9 三芯电缆的电场分布

a) 带绝缘电缆 b) 分相屏蔽电缆和分相铅包电缆

(三) 粘性浸渍电缆和滴流浸渍电缆

粘性油浸纸绝缘电力电缆（简称粘性电缆）和滴流油浸纸绝缘电力电缆（简称滴流电缆），是两种广泛用于35千伏及以下电压级的电缆。这两种电缆除浸渍剂的特性和配方不同而外，没有其他不同。

粘性浸渍电缆的优点是成本低、制造方便，缺点是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敷设时，将易发生高端浸渍剂流失而干涸，致使绝缘水平严重下降，甚至很快发生击穿；在浸渍剂流失的同时，浸渍剂将向低端淤积，这就会胀破铅护套，并因而导致损坏，因此，这种电缆不适用于高落差敷设。

为了适应落差或垂直敷设，将粘性电缆干燥浸渍后，进行真空滴干，制成干绝缘电缆，这是粘性电缆的一种特殊形

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，但使绝缘层的电气性能稍有降低，因此，6~10千伏干绝缘电缆的绝缘厚度应比一般的浸渍电缆大一些，而且要采用分相铅包结构，超过10千伏以上电压级不宜采用这种类型。由于出现了不滴流电缆，这种干绝缘电缆正在逐步被淘汰。

不滴流电缆是为解决浸渍剂滴流问题而发展起来的。这种电缆在工作温度下具有不滴流性质，完全能满足高落差敷设的要求。

不滴流浸渍剂在浸渍温度(145℃)下的粘度与粘性浸渍剂基本相同，易于浸渍，因此不滴流电缆的制造工艺与粘性电缆基本相同。

由于粘性浸渍电缆受到浸渍剂滴流的限制，为了在工作温度下能保持浸渍剂具有较高的粘度，因而粘性浸渍电缆最高允许工作温度规定得较低一些（1~3千伏为80℃；6千伏为65℃；10千伏为60℃以及20、35千伏为50℃）。选择优异的不滴流浸渍剂配方，可使不滴流电缆的允许最高工作温度达到80℃，这样，同样截面的不滴流电缆就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的老化进程比粘性浸渍电缆要缓慢，因此，不滴流电缆比粘性浸渍电缆具有更长的工作寿命。

（四） 低压电缆的产品型号

我国电线电缆型号是用汉语拼音字母与阿拉伯数字组成的，拼音字母表示产品类型、线芯材料、绝缘材料、内护层材料以及结构特点，数字表示外护层的种类。油浸纸绝缘电力电缆以Z（纸）代表产品品种，铝导体以L表示，铜导体不作表示。由于绝缘材料（纸）已在品种中表出，不再作表

表 1 电缆外护层的代号

代号	防腐等级	外 护 层 种 类	举 例
0	一级防腐 二级防腐	相应的裸外护层	12—双钢带铠装一级防腐外护层 120—裸钢带铠装一级防腐外护层 25—单层粗钢丝铠装二级防腐外护层
1		麻被外护层	
2		双钢带铠装	
3		单层细钢丝铠装	
4		双层细钢丝铠装	
5		单层粗钢丝铠装	
6		双层粗钢丝铠装	

示。铅护层以 Q 表示，铝护层以 L 表示。如为一般铜芯油浸纸绝缘铝包电力电缆，它的基本型号为 ZL。在结构特征方面，用 P 表示贫油（即干绝缘）绝缘，用 D 表示不滴流绝缘，用 F 表示分相铅包等。外护层种类的表示方法如表 1 所示。油浸纸绝缘电力电缆的具体产品型号如表 2 所示。

二、高 压 电 缆

35千伏电压级以上的高压电缆，有充油电缆、充气电缆和压力电缆等品种。充油电缆是高压电缆中的主要品种，可达 110、220、330、500、750 千伏甚至更高电压级。

(一) 充气电缆

充气电缆采用滴干的浸渍纸绝缘，并在其中充入一定压力的气体（如干燥的氮气或六氟化硫 SF₆）。充气的基本作用在于提高绝缘层中气隙的耐电强度，从而提高电缆的耐电强度。充气电缆的结构有多种形式，三芯电缆多用于35千伏及以下的输电线路，单芯电缆则主要用于高压输电线路。充气电缆的电场强度一般低于充油电缆，因而充气电缆的使用电压最高到 110 千伏。

充气电缆可用于高落差或垂直敷设，由于在充气电缆中

没有粘性浸渍电缆中发生的绝缘老化过程，铅护套尺寸的不可逆增大，气体间隙的形成及浸渍剂的移动等，因此35千伏及以下的充气电缆工作温度可以提高到75~80℃，与同等截面的粘性浸渍电缆相比，充气电缆的载流量要大一些。

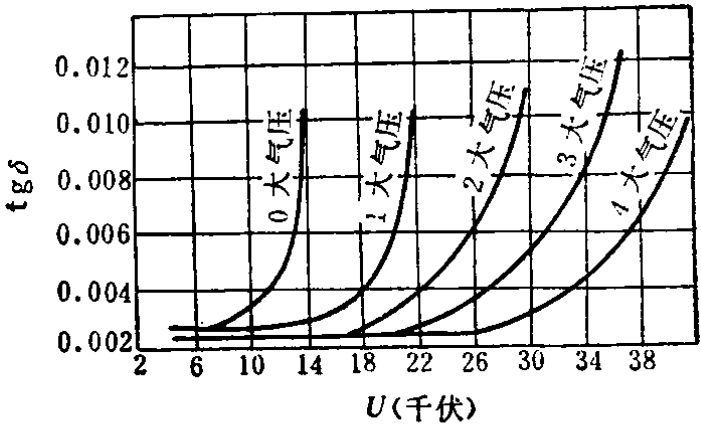


图10 35千伏充气电缆的游离曲线

图10为一根35千伏充气电缆的游离曲线，由图可见，电缆的起始游离电压随压力增大而提高，工作场强也相应提高。

图11为三芯充气电缆结构示意图。在这种电缆中采用扇形紧压线芯、半导电纸屏蔽、滴干纸绝缘，打孔的金属化纸和铜带外屏蔽。电缆内放置有三根作为供气通道用的软管，其中两根为扁铜丝螺旋管道，以保证气体沿电缆长度与绝缘层相接触，而第三根则为实壁管道，用以防止浸渍剂在电缆中间堵死气体，两端接通。在连接盒和终端盒中，三根气管联在一起，使电缆整个线路的压力基本保持一致。为了增大电缆金属护套的机械强度，使之能承受内部气压，采用合金铅（或

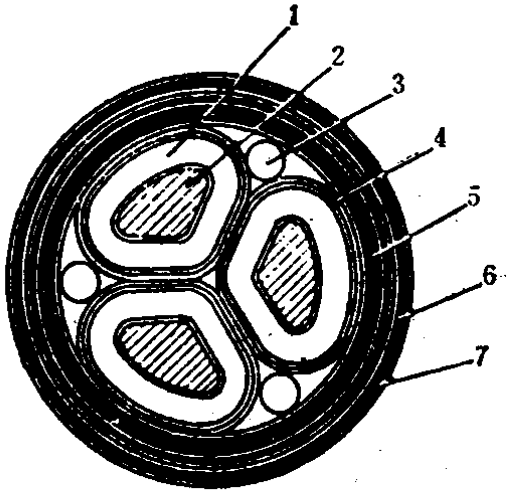


图11 三芯充气电缆结构示意图
1—绝缘层 2—线芯 3—螺旋管气道 4—屏蔽层 5—金属护套 6—铅装 7—外被层

起，使电缆整个线路的压力基本保持一致。为了增大电缆金属护套的机械强度，使之能承受内部气压，采用合金铅（或