

第 1 章 电力电缆结构和类型

1.1 电力电缆基本性能和型号

1.1.1 电力电缆的概念

1. 电缆的概念

广义的电线电缆也简称为电缆。狭义的电缆是指绝缘电缆，通常是由一根或多根导线（导电部分）以及相应的包覆绝缘层和外护层三部分组成的。按《电工术语—电缆》（GB/T 2900.10—2001）规范，电缆的定义是用以传输电（磁）能、信息和实现电磁能转换的线材产品。

用于电力传输和分配大功率电能的电缆，称为电力电缆。在电力电缆技术中，通常把 35kV 及以下电压等级的电缆称为中低压电缆。110kV 及以上等级的电缆称为高压电缆。

2. 电力电缆的应用

随着城市建筑物和人口密度的增加。大都市的中低压架空裸线配电系统已暴露出许多问题。为降低架空输电线路系统的故障率，也有采用绝缘电缆的架空电力线路，它已逐渐在广大城市和乡村地区得以应用。

我国电力部门参照国外架空电网改造和输电线路运行的经验，于 1985 年发出通知，要求城市供电部门先行，今后在配电系统中逐步使用架空绝缘电缆代替现有的架空裸线，并规定城市电力网的输电线路与高、中压配电线路，在下列情况下必须采用电缆线路：

（1）根据城市规划，繁华地区、重要地段、主要道路、高层建筑区及对市容环境有特殊要求的场合；

（2）架空线路和线路导线通过严重腐蚀地段，在技术上难以解决者；

（3）供电可靠性要求较高或重要负荷用户；

（4）重点风景旅游区；

（5）沿海地区易受热带风暴侵袭的主要城市的重要供电区域；

（6）电网结网或运行安全要求高的地区。

另外，城市电力低压配电线路在下列情况下也应采用电缆线路：负荷密度高的市中心；建筑面积较大的新建居民住宅小区及高层建筑小区；依据规划不宜通过架空线路的街道或地区；其他情况经技术经济比较采用电缆线路更为合适者。对应采用电缆线路而不具备敷设条件时，可采用绝缘架空敷设方式。

1.1.2 电力电缆线路的优缺点

在电力系统中传输分配大功率电能的设备有架空线路和电力电缆两种方式。架空线路具有结构简单、投资小、便于维护等优点，而电力电缆能适应地下、水底等各种敷设环境，能满足长期、安全传输电能的需要。在输电线路中，电力电缆是架空输电线路的重要补充，实现架空输电线路无



法完成的任务。同时，在城市配电网中电缆已经逐步取代架空配电路，已在配电网中占主导地位。

1. 电力电缆线路的优点

- (1) 维护工作量小，不需频繁地巡视检查。
- (2) 不易受周围环境和污染的影响，供电可靠性高。
- (3) 线间绝缘距离小，占地少，无干扰电波。
- (4) 运行可靠，由于安装在地下等隐蔽处，受外力破坏小，发生故障的机会较少，供电安全，不会给人身造成危害。
- (5) 美化城市环境，不影响地面绿化和美观。
- (6) 有助于提高功率因数。

2. 电力电缆线路的缺点

- (1) 电力电缆线路比架空线路成本高，一次性投资费用比架空线路高 7~10 倍。
- (2) 电缆线路建成后不容易改变，电缆分支也很困难。
- (3) 电缆故障测寻与检修困难，需要大量人力物力且非常费时。

1.1.3 电力电缆的基本特性

电力电缆最基本的性能是有效地传播电磁波(场)。另一个极为重要的基本特性是对环境的适应性。也就是说，不同的使用环境对电线电缆的耐高温、耐低温、耐电晕、耐辐照、耐气压、耐水压、耐油、耐臭氧、耐大气环境、耐振动、耐溶剂、耐磨、抗弯、抗扭转、抗拉、抗压、阻燃、防火、防雷和防生物侵袭等性能均有相应的要求。另外，为了确保电缆工程系统的整体可靠性，对一些在特殊使用条件下工作的电缆除按电缆的标准和技术测试、试验、核相和检验等办法外，还增加了使用要求的具体规定。

1. 电气性能

电气性能指导电性能、电绝缘性能和传输特性。电线电缆不仅要具有良好的导电性能，对个别的电线电缆还要求有一定的电阻性能。电绝缘性能包括绝缘电阻、介电常数、介质损耗、耐电压特性等。传输特性指高频传输特性、抗干扰特性等。

2. 力学性能

力学性能指抗拉强度、伸长率、弯曲性、弹性、柔软性、耐振动性、耐磨性以及耐冲击性等。

3. 热性能

热性能是指电线电缆产品的耐热等级、工作温度、电力电缆的发热和散热特性、载流量、短路和过载能力、合成材料的热变形和耐热冲击能力、材料的热膨胀性及浸渍或涂层材料的滴流性能等。

4. 耐腐蚀和耐气候性能

耐腐蚀和耐气候性能指耐电化腐蚀、耐生物和耐细菌侵蚀、耐化学药品(油、酸、碱、化学溶剂等)侵蚀、耐盐雾、耐日光、耐寒、防霉以及防潮性能等。



5. 老化性能

老化性能指在机械（力）应力、电应力、热应力以及其他各种外加因素的作用下，或外界气候条件下产品组成材料保持其原有性能的能力。

6. 其他性能

它包括部分材料的物理性（如金属材料的硬度、蠕变，高分子材料的相容性）以及产品的某些特殊使用特性（如阻燃、耐原子辐射、防蚂蚁啃咬，延时传输，以及能量阻尼等）。

1.1.4 电力电缆型号

每个电缆型号除表示一种电缆的结构外，同时也表明了该电缆的使用场所和某些特性。我国国产电力电缆产品型号的编制原则如下。

1. 中低压电力电缆型号及产品表示方法

电力电缆的型号由汉语拼音（用汉语拼音第一个字母的大写表示）和阿拉伯数字组成。电缆型号除表示电缆类别、绝缘结构、导体材料、结构特征、铠装层类别、外被层类型外，还将电缆的工作电压、线芯数目、截面大小及标准号分别表示在型号后面。电缆型号表示方法如图 1-1 所示。现分述（按从左至右的排列位置）如下：

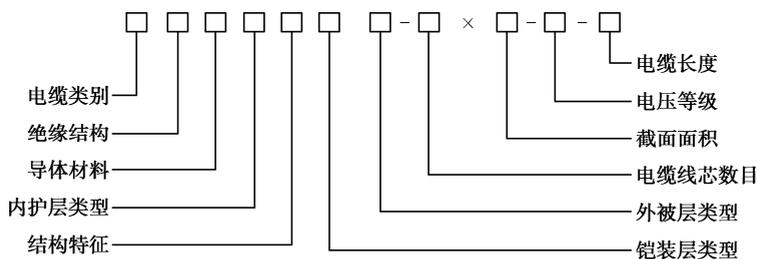


图 1-1 电缆型号表示方法

第一位字母表示电缆类别（用途）：K-控制电缆；P-信号电缆；B-绝缘电线；R-绝缘软线；Y-移动式软电缆；H-电话电缆。对于电力电缆则可以省略。

第二位字母表示绝缘材料（绝缘结构）：Z-纸绝缘；V-聚氯乙烯绝缘；Y-聚乙烯绝缘；YJ-交联聚氯乙烯。

第三位字母表示导体（电缆线芯）材料：T-铜芯（不标注）；L-铝芯；G-钢芯。

第四位字母表示内护层类型：Q-铅包；L-铝包；V-聚氯乙烯；Y-聚乙烯；H-橡胶护套；F-氯丁橡胶护套。

第五位字母表示结构特征：D-不滴流；F-分相；L-滤尘用；CY-充油；P-贫油干绝缘；Z-直流；无特征不标注。

第六位为数字，表示铠装层类型，从 0~4 标记共五种：0-无；1-双层细钢丝；2-双钢；3-细钢丝；4-粗钢丝。

第七位为数字，表示外被层类型，从 0~4 标记共五种：0-无；2-无纤维外被；3-聚氯乙烯护套；4-无聚乙烯护套。阻燃电缆在代号前加 ZR；耐火电缆在代号前加 NH。

第八位为数值，表示电缆线芯数目：1-单芯（可不表示，省略）；2-两芯；3-三芯；4-四



芯；5-五芯。

第九位为数值，表示电缆截面面积，单位为 mm^2 。

第十位为数值，表示电缆长度，单位为 m。

2. 电缆型号及产品表示方法举例

ZLQ20-10-3×120：表示铝芯、纸绝缘、铅包、裸钢带铠装、额定工作电压 10kV、三芯、截面积为 120mm^2 的电力电缆。

ZQF2-35-3×95：表示铜芯、纸绝缘、分相铅包、钢带铠装、额定工作电压 35kV、三芯、截面积为 95mm^2 的电力电缆。

VV42-10-3×50：表示铜芯、聚氯乙烯绝缘、粗钢线铠装、聚氯乙烯护套、额定工作电压 10kV、三芯、截面积为 50mm^2 的电力电缆。

ZR-VLV29-3, 3×240+1×120：表示聚氯乙烯绝缘、钢带铠装、阻燃聚氯乙烯护套、额定工作电压 3kV、三芯、截面积为 240mm^2 、加一芯 120mm^2 的电力电缆。

YJLV22-3×120-10-300：表示铝芯、交联聚乙烯绝缘、聚乙烯内护套、双层钢带铠装、聚氯乙烯外被层、三芯、截面积为 120mm^2 、电压为 10kV、长度为 300m 的电力电缆。

VV42-10-3×50：表示铜芯、聚氯乙烯绝缘、粗钢线铠装、聚氯乙烯护套、额定电压 10kV、三芯、截面积为 50mm^2 的电力电缆。

电缆结构代号含义见表 1-1。

例如橡胶电力电缆型号，XLV 表示铝芯橡皮聚氯乙烯护套电缆；XQZ 表示铜芯橡皮绝缘铅套钢带铠装电力电缆。

表 1-1 电缆结构代号含义

绝缘种类		导电线芯		内护层		派生结构		外护层	
代号	含义	代号	含义	代号	含义	代号	含义	代号	含义
Z	纸	L	铝芯	H	橡套	D	不滴流	0	裸金属铠装（无外被层）
V	聚氯乙烯	T	铜芯（省略）	HF	非燃性护套	F	分相	1	无金属铠装仅有麻被层
X	橡皮	—	—	V	聚氯乙烯护套	G	高压	2	铜带铠装
XD	丁基橡胶	—	—	Y	聚乙烯护套	P	滴干绝缘	3	单层细钢丝铠装
Y	聚乙烯	—	—	L	铅包	P	屏蔽	4	双层细钢丝铠装
YJ	交联聚乙烯	—	—	—	—	—	—	5	单层粗钢丝铠装
—	—	—	—	Q	铅包	Z	直流	6	双层粗钢丝铠装
—	—	—	—	—	—	—	—	1	一级防腐，在金属铠装代号前一位
—	—	—	—	—	—	—	—	2	二级防腐，在金属铠装代号前一位
—	—	—	—	—	—	—	—	9	金属铠装层外加聚氯乙烯护套

注：阻燃电缆暂在前面加 ZR 代号。



3. 充油电缆型号及产品表示方法

充油电缆型号由产品系列代号和电缆结构各部分代号组成。自容式充油电缆产品系列代号为CY。外护套结构从里到外用加强层、铠装层、外被层的代号组合表示。绝缘种类、导体材料、内护层代号及各代号的排列次序以及产品的表示方法与35kV及以下电力电缆相同。

充油电缆外护层代号含义为：

(1) 加强层：1-铜带径向加强；2-不锈钢带径向加强；3-钢带径向加强；4-不锈钢带径向、窄不锈钢带纵加强。

(2) 铠装层：0-无铠装；4-粗钢丝铠装。

(3) 外被层：1-纤维层；2-聚氯乙烯护套；3-聚乙烯护套。

例如CYZQ102 220/1×400，则表示铜芯、纸绝缘、铅护套、铜带径向加强、无铠装、聚氯乙烯护套、额定电压220kV、单芯、截面积为400mm²的自容式充油电缆。

4. 电力电缆的型号及适用场所和电缆截面

1) 电力电缆的型号及适用场所

各型号电力电缆的适用场合，分别见表1-2～表1-8。

表 1-2 黏性油浸纸绝缘电力电缆的型号、名称与适用场合

型 号	名 称	适 用 场 合
ZQ ZLQ	铜芯或铝芯黏性浸渍纸绝缘裸铅套电力电缆	室内、电缆沟及管道中，可适用于易燃、严重腐蚀的环境
ZQ02 ZLQ02	铜芯或铝芯黏性浸渍纸绝缘铅套聚氯乙烯护套电力电缆	架空、室内、隧道、电缆沟及管道中，可适用于易燃、严重腐蚀的环境
ZQ20 ZLQ20	铜芯或铝芯黏性浸渍纸绝缘铅套裸钢带铠装电力电缆	室内、隧道、电缆沟、易燃的环境
ZQ21 ZLQ21	铜芯或铝芯黏性浸渍纸绝缘铅套钢带铠装纤维外被套电力电缆	直埋
ZQ22 ZLQ22	铜芯或铝芯黏性浸渍纸绝缘铅套钢带铠装聚氯乙烯护套电力电缆	室内、隧道、电缆沟、一般土壤、多砾石、易燃、严重腐蚀的环境
ZQ30 ZLQ30	铜芯或铝芯黏性浸渍纸绝缘铅套裸细钢丝铠装电力电缆	竖井、易燃环境
ZQ32 ZLQ32	铜芯或铝芯黏性浸渍纸绝缘铅套细钢丝铠装聚氯乙烯护套电力电缆	一般土壤、多砾石、竖井、水下、易燃、严重腐蚀的环境
ZQ41 ZLQ41	铜芯或铝芯黏性浸渍纸绝缘铅套粗钢丝铠装纤维外被套电力电缆	水下、可承载较大的机械拉力
ZQF20 ZLQF20	铜芯或铝芯黏性浸渍纸绝缘分相铅套裸钢带铠装电力电缆	同 ZQ20、ZLQ20（一般用于较高电压等级）
ZQF21 ZLQF21	铜芯或铝芯黏性浸渍纸绝缘分相铅套钢带铠装纤维外被套电力电缆	同 ZQ21、ZLQ21（一般用于较高电压等级）



续表

型 号	名 称	适 用 场 合
ZQF22 ZLQF22	铜芯或铝芯黏性浸渍纸绝缘分相铅套钢带铠装聚氯乙烯护套电力电缆	同 ZQ22、ZLQ22（一般用于较高电压等级）

表 1-3 不滴流油浸纸绝缘电力电缆的型号、名称与适用场合

型 号	名 称	适 用 场 合
ZQD ZLQD	铜芯或铝芯不滴流油浸纸绝缘裸铅套电力电缆	室内、电缆沟及管道中，适用于易燃、严重腐蚀的环境
ZQD02 ZLQD02	铜芯或铝芯不滴流油浸纸绝缘铅套聚氯乙烯护套电力电缆	架空、室内、隧道、电缆沟及管道中，适用于易燃、严重腐蚀的环境
ZQD20 ZLQD20	铜芯或铝芯不滴流油浸纸绝缘铅套裸钢带铠装电力电缆	室内、隧道、电缆沟、易燃的环境
ZQD21 ZLQD21	铜芯或铝芯不滴流油浸纸绝缘铅套钢带铠装纤维外被套电力电缆	直埋
ZQD22 ZLQD22	铜芯或铝芯不滴流油浸纸绝缘铅套钢带铠装聚氯乙烯护套电力电缆	室内、隧道、电缆沟、一般土壤、多砾石、易燃、严重腐蚀的环境
ZQD30 ZLQD30	铜芯或铝芯不滴流油浸纸绝缘铅套裸细钢丝铠装电力电缆	竖井、易燃环境
ZQD32 ZLQD32	铜芯或铝芯不滴流油浸纸绝缘铅套细钢丝铠装聚氯乙烯护套电力电缆	一般土壤、多砾石、竖井、水下、易燃、严重腐蚀的环境
ZQD41 ZLQD41	铜芯或铝芯不滴流油浸纸绝缘铅套粗钢丝铠装纤维外被套电力电缆	水下、可承载较大的机械拉力
ZQFD20 ZLQFD20	铜芯或铝芯不滴流油浸纸绝缘分相铅套裸钢带铠装电力电缆	同 ZQD20、ZLQD20（一般用于较高电压等级）
ZQFD21 ZLQFD21	铜芯或铝芯不滴流油浸纸绝缘分相铅套钢带铠装纤维外被套电力电缆	同 ZQD21、ZLQD21（一般用于较高电压等级）
ZQFD22 ZLQFD22	铜芯或铝芯不滴流油浸纸绝缘分相铅套钢带铠装聚氯乙烯护套电力电缆	同 ZQD22、ZLQD22（一般用于较高电压等级）
ZQFD41 ZLQFD41	铜芯或铝芯不滴流油浸纸绝缘分相铅套粗钢丝铠装纤维外被套电力电缆	同 ZQD22、ZLQD22（一般用于较高电压等级）

表 1-4 橡皮绝缘电力电缆的型号、名称与适用场合

型 号	名 称	适 用 场 合
XQ XLQ	铜芯或铝芯橡皮绝缘裸铅套电力电缆	室内、隧道及沟管内，不能承受机械外力，铅护套需要中性环境
XQ20 XLQ20	铜芯或铝芯橡皮绝缘铅套裸钢带铠装电力电缆	室内、隧道及沟管内，不能承受大的拉力
XQ21 XLQ21	铜芯或铝芯橡皮绝缘铅套钢带铠装纤维外被套电力电缆	直埋，不能承受大的拉力



续表

型 号	名 称	适 用 场 合
XQV22 XLQV22	铜芯或铝芯橡皮绝缘聚氯乙烯内护层钢带铠装聚氯乙烯外护套电力电缆	直埋，不能承受大的拉力
XV XLV	铜芯或铝芯橡皮绝缘聚氯乙烯护套电力电缆	室内、隧道及沟管内，不能承受机械外力
XF XLF	铜芯或铝芯橡皮绝缘裸氯丁橡胶套电力电缆	防火场合，不能承受机械外力

表 1-5 聚氯乙烯绝缘电力电缆的型号、名称与适用场合

型 号	名 称	适 用 场 合
VV VLV	铜芯或铝芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套电力电缆	室内、隧道及沟管内，电缆不能承受机械外力
VY VLY	铜芯或铝芯聚氯乙烯绝缘聚乙烯护套电力电缆	隧道、管道及严重污染区，电缆不能承受机械外力
VV22 VLV22	铜芯或铝芯聚氯乙烯绝缘钢带铠装聚氯乙烯护套电力电缆	室内、直埋、隧道、矿井，电缆不能承受拉力
VV23 VLV23	铜芯或铝芯聚氯乙烯绝缘钢带铠装聚氯乙烯护套电力电缆	室内、直埋、隧道、矿井及严重污染区，电缆不能承受拉力
VV32 VLV32	铜芯或铝芯聚氯乙烯绝缘细钢丝铠装聚氯乙烯护套电力电缆	室内、直埋、矿井，电缆能承受拉力
VV33 VLV33	铜芯或铝芯聚氯乙烯绝缘细钢丝铠装聚乙烯护套电力电缆	室内、直埋、矿井及严重污染区，电缆能承受拉力
VV42 VLV42	铜芯或铝芯聚氯乙烯绝缘粗钢丝铠装聚氯乙烯护套电力电缆	室内、直埋、矿井，电缆能承受较大拉力
VV43 VLV43	铜芯或铝芯聚氯乙烯绝缘粗钢丝铠装聚乙烯护套电力电缆	室内、直埋、矿井及严重污染区，电缆能承受较大拉力
NH-VV NH-VLV	耐火铜芯或铝芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套电力电缆	室内、医院、控制指挥中心等重要场合，电缆能承受短时火焰作用

表 1-6 交联聚乙烯绝缘电力电缆的型号、名称与适用场合

型 号	名 称	适 用 场 合
YJV YJLV	铜芯或铝芯交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电力电缆	室内、隧道、管道、电缆沟管及地下直埋等
YJV22 YJLV22	铜芯或铝芯交联聚乙烯绝缘钢带铠装聚氯乙烯护套电力电缆	室内、隧道、电缆沟管及地下直埋等
YJV32 YJLV32	铜芯或铝芯交联聚乙烯绝缘细钢丝铠装聚氯乙烯护套电力电缆	高落差、竖井等
YJV42 YJLV42	铜芯或铝芯交联聚乙烯绝缘粗钢丝铠装聚氯乙烯护套电力电缆	海底电缆，能承受大的拉力



续表

型 号	名 称	适 用 场 合
DL-YJV	铜芯交联聚乙烯绝缘低烟低卤阻燃聚乙烯电力电缆	宾馆、写字楼、娱乐场所等的室内，燃烧气体毒性小
DL-YJV22	铜芯交联聚乙烯绝缘钢带铠装低烟低卤阻燃聚乙烯电力电缆	宾馆、写字楼、娱乐场所等的室内，能承受机械外力，燃烧气体毒性小
DL-YJV32	铜芯交联聚乙烯绝缘细钢丝铠装低烟低卤阻燃聚乙烯电力电缆	宾馆、写字楼、娱乐场所等的室内，可承受拉力，燃烧气体毒性小
WL-YJV	铜芯交联聚乙烯绝缘低烟无卤阻燃聚乙烯电力电缆	宾馆、写字楼、娱乐场所等的室内，燃烧气体无毒
WL-YJV22	铜芯交联聚乙烯绝缘钢带铠装低烟无卤阻燃聚乙烯电力电缆	宾馆、写字楼、娱乐场所等的室内，能承受机械外力，燃烧气体无毒
WL-YJV32	铜芯交联聚乙烯绝缘细钢丝铠装低烟无卤阻燃聚乙烯电力电缆	宾馆、写字楼、娱乐场所等的室内，可承受拉力，燃烧气体无毒
GZR-YJV	铜芯交联聚乙烯绝缘隔氧层阻燃电力电缆	宾馆、写字楼、娱乐场所等的室内
GZR-YJV22	铜芯交联聚乙烯绝缘钢带铠装隔氧层阻燃电力电缆	宾馆、写字楼、娱乐场所等的室内，能承受机械外力
GZR-YJV32	铜芯交联聚乙烯绝缘细钢丝铠装隔氧层阻燃电力电缆	宾馆、写字楼、娱乐场所等的室内，能承受拉力

2) 电缆截面图的概念

各厂的电缆制造规范并不完全一致，即使类型、电压等级及导体截面相同，其结构尺寸也难完全一样，因此，每种电缆都必须有一张截面图，其图上应注明需要的参数，图的比例为1：1，这张图对于接头设计计算以及敷设在特殊要求的地方的电缆附件的设计等都有用处。电缆截面图上还须记载制造厂名、采购日期、采购数量和装置使用地点等，以供将来统计参考之用。

1.2 电力电缆的基本结构

1.2.1 电力电缆的导电线芯

目前，电缆的产品和型号有数千种。电力电缆可按电缆绝缘材料、电缆的结构特点、电缆线芯数目或电能输送方式等分类。

【知识拓展】 电力电缆的分类

电力电缆按绝缘材料分为油浸纸绝缘、橡胶绝缘和塑料绝缘等。

电力电缆按电缆结构特点分为统包型（又称带绝缘电缆）、分相型（分相屏蔽型、铅包型和分相铝包型）、钢管型、扁平型、自容型等。

电力电缆按电缆传输电流方式分为交流和直流电缆。

组成电力电缆的基本结构，主要是线芯、绝缘层和外护层三部分。为了保护绝缘和防止高电场对外产生辐射干扰通信等，还包括金属护层并要求接地。对于多芯电缆，为方便制作



成型，在其电缆绝缘线间还增加有填芯和填料。

1. 导体材料及性能

电力电缆的导电线芯，简称导线，其作用是用来传输电流（交流或直流），是电缆的主要部分。为了起到减少线路损耗和降电压的作用，电力电缆的导电线芯主要采用具有高导电性能的，有一定的抗拉及伸长强度的防腐蚀、易焊接的铜、铝材料制成。铜的电导率大，机械强度高，易于进行压延、拉丝和焊接等加工。所以，铜是电缆导体最常用的一种材料。铝的电导率仅次于银、铜和金，它是地壳中含量最多的金属元素，所以用来代替铜作为导电材料。表 1-7 是铜和铝的主要性能比较。钢导电线芯也具有可取之处；但目前主要使用铜和铝导电线芯。

表 1-7 铜和铝的主要性能比较

性能	铜	铝
20℃时的密度	8.89g/cm ³	2.70g/cm ³
20℃时的电阻率	1.724×10 ⁻⁸ Ω·m	2.80×10 ⁻⁸ Ω·m
电阻温度系数	0.00393/℃	0.00407/℃

2. 电缆线芯绞合形式

为了增加电缆的柔软性和可曲度，电缆导体一般由多根导线绞合而成。采用绞合导体结构，是为了满足电缆的柔软性和可曲度的要求。当导体沿某一半径弯曲时，导体中心线圆外部分被拉伸，中心线圆内部分被压缩，绞合导体中心线内外两部分可以相互滑动，使导体不发生塑性变形。

按线芯的绞合方式，可分规则绞合和不规则绞合（束绞）。

导线有规则、同心地相继，各层依不同方向的绞合，称为规则绞合。采用这种方式的线芯绞合结构稳定，电力电缆大都采用这种绞合方法。规则绞合还可分正常规则绞合和非正常规则绞合。正常规则绞合，指所组成导线直径均相同的规则绞合，这种绞合具有稳定性高、几何形状固定的优点。非正常规则绞合，指层与层间的导线直径不尽相同的规则绞合。

所有组成导线都依同一方向的绞合，称为不规则绞合（束绞），仅用于小截面的低压电缆。

3. 线芯的填充系数

线芯绞合后，虽经紧压，单线间必定还有空隙。故引入填充系数，即线芯导体实际截面与线芯轮廓截面之比。对于圆形绞合线芯的填充系数如公式 1-1 所示：

$$y = \frac{\sum_{i=1}^z A_i}{\frac{\pi}{4} D_c^2} \quad (1-1)$$

式中 A_i ——每根单线截面积，单位为 mm²；

z ——线芯单线总根数；

D_c^2 ——绞合线芯外接圆的直径，单位为 mm。



4. 电缆线芯典型结构

电缆导电线芯，按导体截面分圆形、椭圆形、扇形、中空圆形等形状，如图 1-2 所示。较小截面 ($<16\text{mm}^2$) 的导电线芯由单根导线制成。较大截面 ($>25\text{mm}^2$) 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。

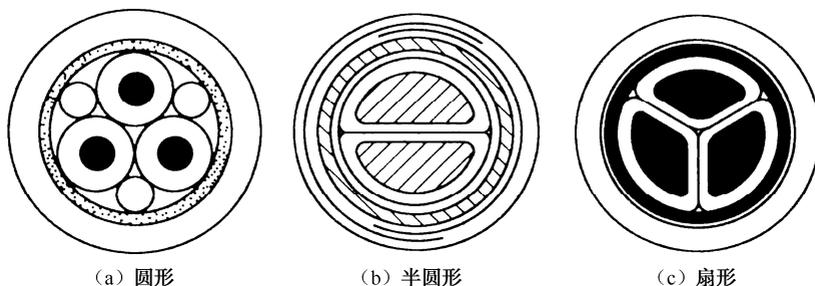
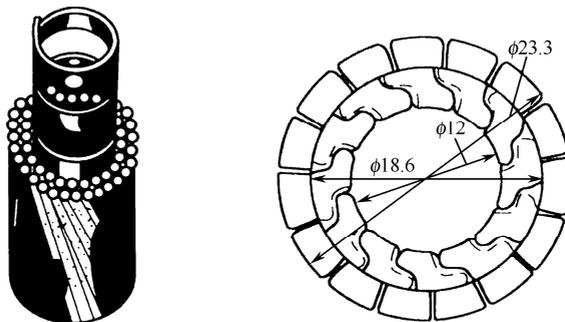


图 1-2 电缆线芯形状

圆形线芯，即中心为一根的规则绞合线芯。圆形线芯主要用于 35kV 级的分相屏蔽型电力电缆，或用于电压级很低且线芯截面积较小的电缆。

充油电缆或充气电缆的线芯一般都呈中空圆形的线结构。用于充油电缆的中空圆形线芯主要有两种结构：第一种用一镀锡硬铜带 ($6\text{mm}\times 1\text{mm}$) 做成的螺旋（螺旋节距一般为 9mm）支撑，支撑的直径由（一般为 12mm）所需油道大小来确定，如图 1-3（a）所示。

第二种由型线绞合而成，第一层为 Z 形线，第二层及以上用弓形线绞合，如图 1-3（b）所示。为了使线芯中心油道与绝缘相通，在 Z 形线内边缘相距离 1~3mm 处刻有深 0.3~0.4mm 的刃槽（如图 1-3（b）虚线所示）。



(a) 具有螺旋支撑的中空线芯示意图 (b) 由型线构成的中空线芯剖面图

图 1-3 充油电缆的中空圆形线芯结构

这两种结构各有其优点，线型结构省材料（没有中心支撑螺旋）、稳定性好、不易变形、油道内表面光滑，在制造过程中遗留的脏物容易被油冲洗带出。螺旋结构的柔软性，工艺性较好。

扇形芯，主要用于电压等级较低而截面积较大的电缆。绝缘线芯成缆后为圆形，减少了电缆的体积，使结构紧凑，成本降低。一般截面积为 $10\sim 16\text{mm}^2$ 的扇形芯由相同直径的圆形线绞合而成。

对于 10~110kV 的电缆导体（导电线）一般都做成扇缆，即采用如图 1-2（c）所示的扇



形截面。这样一来就可充分利用空间，缩小电缆外径绝缘和护层材料，另外与同截面的圆形线芯电缆相比可降低 10%~20% 的成本。三芯电缆扇形绞合线芯的结构形式有两种：一种是中心对称排列 6 根单线，外面再绞上一层（12 根）单线的结构。通常只用于 25~95mm² 的电缆中；第二种是中心为 7 根单线和 2 根纵线，外面再绞复一层或两层单线。一般 95、120mm² 为一层绞线，120mm² 或 150mm² 以上采用两层绞线。这种结构形式稳定性好但需绞合的次数多，生产工艺比较复杂，通常用于截面面积为 95~240mm² 的电缆中。两芯和四芯电缆的扇形导体以及圆形导体，其绞合线芯的单线排列与三芯电缆扇形绞合线芯基本相同。

5. 电缆线芯截面大小

电缆导线有各种截面面积。在施工现场需要核对电缆导线的截面时，可以先测量一下电缆导线外形尺寸，再与电缆各等级标准截面的尺寸进行比较，然后根据经验判定所用电缆导线的面积。我国根据导电线芯的不同，规定中、低电缆截面有 2.5、4、6、10、16、25、35、50、120、150、185、240、300、400、500、630、800mm² 等 19 种规格，目前最常用的是 16~400mm² 之间的 10 种规格。电压为 110kV 及以上的电缆截面有 100、240、400、600、700、845、920mm² 共 7 种规格，并已有 1000mm² 及以上规格。

1.2.2 绝缘层及材料

20 世纪 80 年代之前，电力电缆的绝缘层几乎全为油浸纸绝缘，随着我国电力工业的快速发展，现今，各个电压等级电力电缆中几乎全都采用聚乙烯绝缘电缆。但油纸绝缘的优良性能，以及多年使用中建立起来的可靠性和丰富的运行经验，是其他电缆所不及的，故仍占有一定份额，特别是超高压电力电缆仍然大量采用油浸纸绝缘。

电力电缆绝缘层的主要性能应具有较高的击穿强度、较低的介质损耗角正切、极高的绝缘电阻、优良的耐树枝放电性能，具有一定的柔软性、机械强度和满足电缆绝缘性能，长期安全稳定。

【知识拓展】 树枝放电是电缆的一种老化过程，是指电缆在运行过程中，绝缘易造成老化破坏，主要是由于绝缘内部放电产生细微开裂，形成细小的通道，其通道内空、管壁上有放电产生的碳粒痕迹，呈现出冬天树枝状，分支少而清晰。

电缆绝缘层的作用是将线芯与大地以及线线间在电气上彼此隔离，从而保证电能的输送，因此是电缆结构中不可缺少的组成部分。电缆的绝缘层材料有油浸纸、橡胶、纤维、塑料等。电缆绝缘结构分相绝缘和带绝缘两种。相绝缘是每个线芯的绝缘；带绝缘是将多芯电缆线芯合在一起，然后施加的绝缘，这样可使线芯相互绝缘并与外皮隔开。为了抵抗电流、电压、电场对外界的作用，保证电流沿线路方向传输，同时将电缆线芯导体相互之间以及与防护层之间保持一定的绝缘，电缆绝缘层必须有一定的厚度。

1. 油浸绝缘纸

油浸纸绝缘，包括黏性浸渍纸绝缘型（统包型、分相屏蔽型）、不滴流浸渍纸绝缘型（统包型、分相屏蔽型）、贫乏浸渍干绝缘、充油浸渍纸绝缘型（自容式充油电缆、钢管充油电缆）、充气黏性浸渍纸绝缘型（自容式充气电缆、钢管充气电缆）。

【知识拓展】 20 世纪 80 年代以前，油浸纸一直是电力电缆制造业使用的主要绝缘材料。纸绝缘电缆的绝缘层是采用窄条电缆纸带（通常纸宽为 5~25mm），一层层地包绕在电缆导体



上, 经过真空干燥后浸渍矿物油或合成油而形成的。纸带的包绕方式, 除紧靠导体和绝缘层最外的几层外, 均采用间隙式绕包, 这使电缆在弯曲时, 在纸带层间可以相互移动, 在沿半径为电缆本身半径的 12~25 倍的圆弧弯曲时, 不至于损伤绝缘。

电缆纸是木质纤维纸, 经过绝缘浸渍剂浸渍之后成为油浸纸。油浸纸绝缘实际上是木质纤维素与浸渍剂的夹层结构。35kV 及以下的油浸纸绝缘电缆采用黏性浸渍剂, 即松香光亮油复合剂。这种黏性浸渍剂的特性是, 在电缆工作温度范围具有较高的黏度以防止流失, 而在电缆浸渍温度下, 则具有较低的黏度, 以确保良好的浸渍性能。

电缆纸的主要组成成分是纤维素 ($C_6H_{10}O_5$)_n。纤维素具有很高的稳定性能, 不溶于水、酒精、醚、苯等有机溶剂。因此, 就油浸纸而言, 具有以下特点: 耐压强度高; 介质损耗低; 化学性能稳定; 价格便宜, 且使用寿命长; 耐电晕性能好; 耐热性能较好, 长期允许运行温度达 65℃。

2. 塑料绝缘

塑料绝缘主要有聚氯乙烯、聚乙烯和交联聚乙烯等。

【知识拓展】 聚氯乙烯、聚乙烯和交联聚乙烯的特性

聚氯乙烯塑料是以聚氯乙烯树脂为主要原料, 加入适量配合剂、增塑剂、稳定剂、填充剂、着色剂等经混合塑化而制成的。聚氯乙烯具有较高的电气性能和较高的机械强度, 具有耐酸、耐碱、耐油性能, 工艺性能也比较好。缺点是耐热性能较低, 绝缘电阻率较小, 介质损耗较大, 因此只能用于 6 kV 及以下的电缆绝缘。

聚乙烯具有优良的电气性能, 介电常数小、介质损耗小、加工方便。缺点是耐热性差、机械强度低、耐电晕性能差。

交联聚乙烯是聚乙烯经过交联反应后的产物。采用交联的方法, 将线形结构的聚乙烯加工成网状结构的交联聚乙烯, 从而改善了材料的电气性能、耐热性能和机械性能。

聚乙烯交联反应的基本机制是, 利用物理的方法 (如用高能粒子射线辐照) 或者化学的方法 (如加入过氧化物化学交联剂, 或用硅烷接枝等) 来夺取聚乙烯中的氢原子, 使其成为带有活性基的聚乙烯分子。而后带有活性基的聚乙烯分子之间交联成三度空间结构的大分子。

用作高压电缆绝缘的聚乙烯绝缘层的特性, 主要表现在以下几方面:

- (1) 光热老化、氧化性能低, 耐电晕性能比聚氯乙烯绝缘层低得多;
- (2) 由于分子间吸引力小, 其熔点低、耐热性能低、机械强度不高、蠕变大;
- (3) 在某些环境下, 如雨水或有机溶剂的浸透下, 即使所受应力比其机械强度小得多, 也会产生裂纹, 即容易产生环境应力开裂;
- (4) 容易形成气隙, 为克服这种现象的出现, 制作时加各种相应的添加剂, 进行改善。

3. 橡胶绝缘

橡胶绝缘层常用的材料有天然橡胶、丁基橡胶和乙丙橡胶三种。

【知识拓展】 橡胶绝缘的特性

它们具有电气性能较好、吸水性低和柔软性好等优点, 但是橡胶的耐热性差, 并且容易受热空气和油类的影响而损坏。乙丙橡胶是一种合成橡胶, 用作电缆绝缘的乙丙橡胶由乙烯、丙烯和少量第三单体共聚而成。乙丙橡胶具有良好的电气性能、耐热性能、耐臭氧和耐候性能。缺点是不耐油, 可以燃烧。



4. 其他材料

1) 浸渍剂

采用浸渍剂的目的是为了加强和提高电缆的绝缘水平。浸渍纸绝缘的浸渍剂可分两大类：黏性浸渍剂和充油电缆用的浸渍剂。

浸渍剂是由光亮油和松香等组成的混合物，主要用于中低压油浸渍纸绝缘电力电缆。由于现代化学工业的发展，松香将逐步由合成微晶蜡代替。黏性浸渍剂根据其黏性强弱也有两大类：一种黏性较低，其在工作温度下是流动的，受到电缆敷设落差的限制，常用于普通的油浸渍纸绝缘电缆；另一种黏性强，其在工作温度下不流动，不受电缆敷设落差限制，用于不滴流电缆，它在工艺温度时具有良好的流动性，可以保证电缆绝缘纸得到充分的浸渍，但在电缆运行温度范围内，它不能流动而成为塑性固体。它的电气性能与黏性浸渍剂不相同，在 80℃ 以下是不流动的塑性体。常用的黏性浸渍剂有两种配方：一种是松香光亮油复合剂；另一种是不滴流电缆用浸渍复合剂，一般用的松香光亮复合剂松香占 30%~35%；光亮油占 65%~70%。

根据使用要求，电缆用的黏性浸渍剂必须满足：①介质损耗低；②不易老化和氧化；③不易受外界污染和不易产生游离。

2) 电缆绝缘用气体

在充气电缆中，气体也是绝缘或绝缘层的组成部分。一般要求气体绝缘具有高的击穿强度、化学稳定性和不燃性。通常，电缆绝缘用氮气和六氟化硫气体（SF₆）及氟利昂-12 气体（CCl₂F₂）。六氟化硫气体，具有很高的热稳定性和化学稳定性，在 150℃ 条件下，不与水、酸、碱、卤素、氧、氢、碳、银、铜和绝缘材料起作用，在 500℃ 下不分解。另外，该气体还具有良好的绝缘性能和灭弧能力，它的击穿强度为氮气或空气的 2.3~3 倍，在 3~4 个大气压下，其击穿强度与一个大气压下的变压器油相似。因此，近年来许多高压开关采用六氟化硫气体。不过在火花放电和电弧的高温作用下，六氟化硫气体会分解出氟原子和某些有毒的低氟化合物，一经水解，将产生氟化氢等有强烈腐蚀性的剧毒物质。因此，在使用六氟化硫时必须严格注意防潮。

1.2.3 护层

电缆护层的作用是保护电缆绝缘层在敷设、运行过程中，免受机械损伤和各种环境因素（如水、日光、生物、火灾等）引起的破坏，以保证电缆长期稳定的电气性能。所以作为电缆三大组成部分的护套的质量会直接影响到电缆的使用寿命。

为使电缆适应各种使用环境的要求，在电缆绝缘层上施加的保护覆盖层，叫做电缆护层，简称护层，由内护层和外护层两部分组成。

1. 护层结构

1) 外护层

外护层主要是保护内护层免受外界的影响和机械损伤，如在运输安装、敷设、运行中保护电缆线芯、绝缘浸渍物，避免机械损伤、受潮、渗漏外流、腐蚀等。外护层一般由内衬层、铠装层和外被层三部分组成，有的还有加强层。

外护层在铠装层外面，是电缆的最外层，主要对铠装层起防腐蚀保护作用。对于铝包电



缆、自容式充油电缆和交联聚乙烯电缆采用挤塑护套为宜；对于铅包电缆，则由一层预浸的电缆麻布或油麻带和丙基沥青混合物组成。

外被层按防水性能可分为一级外护层、二级外护层及三级外护层。一级外护层、二级外护层，对金属护套和金属铠装分别具有可靠的防腐蚀作用。普通外护层是仅有一般防腐性能的外护层。

另外，为了防止电缆相互间的粘合及施工人员粘手，在电缆外护层上涂粘有白垩粉。

2) 铠装层

铠装层用来减少机械力对电缆的影响，位于内护层与外被层之间的同心层，是用来承受作用到电缆上的机械力（抗压或抗张）的保护层，同时也起电场屏蔽和防止外界电磁波干扰的作用。根据电缆的使用场合不同，铠装层通常采用粗圆钢丝、弓形钢丝、细圆钢丝或由两条钢带、两条钢带螺旋绕包组成。钢带铠装层的主要作用是抗压，适用于地下埋设的场合；钢丝铠装层的主要作用是抗拉，主要用于水下或垂直敷设的场合。铠装电缆的材料有冷轧钢带、镀锌钢带和涂塑钢带。

【知识拓展】 铅护套与铝护套

铅护套是最早使用的金属护套材料。它具有以下特性：

- (1) 腐蚀性比一般金属好，不易受酸、碱等物质的腐蚀；
- (2) 密封性能好、不透气、不透潮；
- (3) 铅的熔点低，易于加工；

(4) 具有蠕变性好、疲劳龟裂性好，不影响电缆的可曲性等优点。铅护套的缺点是在落差较大或过载的情况下，铅包电缆常常会发生护套胀破、漏油等故障，因此现多为铝护套所代替。

铝护套是铅护套的代用材料。与铅相比，它主要具有以下优点：

- (1) 密度小（铝的比重还不到铅的 1/4）、机械强度高（强度几乎是铅的 5 倍）、资源丰富、价格便宜；
- (2) 导电、导热、屏蔽性能优越；
- (3) 敷设在振动场所也不需要防震装置。

可见，铝不仅在经济上，更在性能上比铅优越，能避免铅护套的缺陷，因此，在电缆金属护层中，大力推广铝护套。

3) 内护层

内护层位于铠装层和金属护套之间的同心层，起到使铠装衬垫和金属护套防腐蚀的作用。内护层有两种结构形式：一种是用一层预先浸渍的电缆麻布或塑料软性织物，上面包一层由 95% 号沥青和 5% 干沥青的材料组成的浸渍剂；另一种是用三层预先浸渍的电缆纸等重复包两次制成，只用在钢带铠装电缆中。

4) 加强层

它是充油电缆所特有的结构，直接包绕在内护层外，以增强内护层的机械强度，一般用铜带或不锈钢带作为材料。加强层要求有一定的机械强度、柔韧性和不易腐蚀的特性。

2. 护层材料

护层材料主要有金属护层、橡胶塑料护层和组合护层三大类。铅、铝护套多用于油浸纸绝缘电缆；橡、塑护套多用于橡、塑类绝缘电缆。



橡塑料护层，可以节约有色金属，但因其具有一定透过性，故还不可能完全取代金属护层。橡塑料护套的特点是机械强度、弹性和柔软性较高，有一定的透气性，但工艺复杂。它仅能在具有高耐湿性的高聚物材料作为电缆绝缘时应用。因为材料本身结构的不紧密性，所以与金属材料不同，当橡塑材料间存在着气体压力差时，气体将从压力大的一面沿着橡塑材料的内部向压力小的一面透过。这种让气体透过的能力称为橡塑材料的透气性。塑料护套的防水性、耐药品性较好，且资源丰富、价格便宜、加工方便，应用比较广泛。

组合护层也称为综合护层。它的最大优点是柔软轻便、透气性比橡塑护层差，兼具橡塑护层和金属护层的优点，在橡塑绝缘电缆及光缆上的应用将日益广泛。阻燃（包括无卤低烟）、耐火、耐辐照以及防白蚁等特种护层，在我国也已付诸使用。而防腐性能较差的油麻沥青外护层已逐渐被淘汰使用。

组合护层，通常用金属带与塑料组合构成，最常用的材料是铝带和聚乙烯。按结构的不同分为铝—聚乙烯组合护层、铝—钢—聚乙烯组合护层和铝—聚乙烯黏结组合护层三类，组合护层的结构示意图如图 1-4 所示。

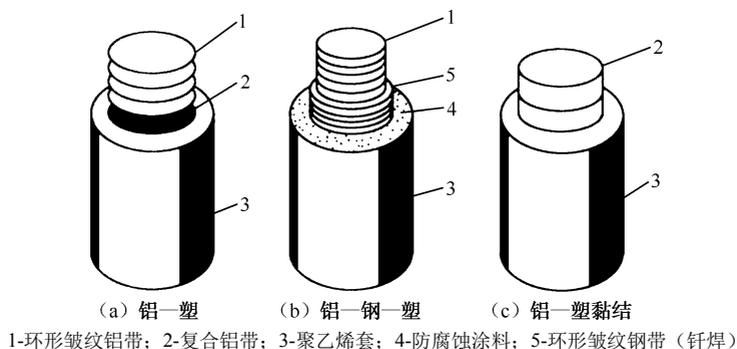


图 1-4 组合护层的结构示意图

1.2.4 电缆屏蔽层

电缆的屏蔽层可以分为内半导体屏蔽层、外半导体屏蔽层和金属屏蔽层。所谓“屏蔽”，实质上是一种改善电场分布的措施。

1. 内半导体屏蔽层、外半导体屏蔽层

电缆导体由多根导丝绞合而成，它与绝缘层之间易形成气隙，导体表面不光滑，会造成电场集中。在导体表面加一层半导体材料的屏蔽层，它与被屏蔽的导体等电位，并与绝缘层良好接触，从而避免在导体与绝缘层之间发生局部放电，这一层为内半导体屏蔽层。

在绝缘表面和护套接触处也可能存在间隙，电缆弯曲时，电缆绝缘表面易造成裂纹，这些都是引起局部放电的因素。在绝缘层表面加一层半导体材料的屏蔽层，它与被屏蔽的绝缘层有良好接触，与金属护套等电位，从而避免在绝缘层与护套之间发生局部放电，这一层为外半导体屏蔽层。

半导体屏蔽层的材料是半导体材料，其体积电阻率为 $10^3 \sim 10^6 \Omega \cdot \text{m}$ 。油浸纸绝缘电缆的屏蔽层为半导体纸，这种纸是在普通纸中加入了适量胶体炭黑粒子。半导体纸还有吸附离子的作用，有利于改善绝缘电气性能。半导体屏蔽层厚度一般为 $1 \sim 2 \text{mm}$ ，根据国家标准， 10kV



及以下电缆的外半导体层为可剥离层，35kV 以上为不可剥离层，这种要求的主要原因是因为可剥离层的存在使电缆抗局部放电能力降低，会在微小局部造成气隙。

2. 金属屏蔽层

电缆金属屏蔽层又称铜带屏蔽，它将对电缆故障电流提供回路并提供一个稳定的地电位，铜带（丝）的截面可按故障电流大小、持续时间，以及接地为一端还是两端选定。

塑料、橡皮绝缘电缆的导体或绝缘屏蔽材料分别采用半导体塑料和半导体橡皮。对于无金属护套的塑料、橡皮绝缘电缆，在绝缘屏蔽外还包有屏蔽铜带或铜丝。

值得一提的是，绝缘体与半导体体的区别是导体的电阻率不同。

1.3 电力电缆的类型

电力电缆，可按电缆绝缘材料、电缆的结构特点、电缆线芯数目或电能输送方式等分类。以下介绍三种具有代表性的电力电缆分类方法及各电力电缆的特点。

1.3.1 按所用绝缘材料分类

1. 油浸纸绝缘电力电缆

油浸纸绝缘电力电缆是使用历史最久、用量最大的一种电缆。它具有使用寿命长、价格便宜、热稳定性高等优点，但其缺点是工艺比较复杂。黏性浸渍型电缆的浸渍剂容易淌流，因而不可避免地会在绝缘内形成气隙，降低了电缆的绝缘水平。通常采取消极的补救措施，即把敷设位差限定得很小。不滴流浸渍纸绝缘电缆在浸渍和配料方面要复杂些，浸渍周期也较长，但基本解决了浸渍剂的淌流问题，在技术及经济层面则更为合理。

油浸纸绝缘电力电缆是指绝缘层为油浸纸的电缆，绝缘层是以一定宽度的电缆纸螺旋状地包绕在导电线芯上，经过真空干燥处理后用浸渍剂浸渍而成。常用油浸纸绝缘型电缆分黏性浸渍纸绝缘电力电缆、不滴流纸绝缘电力电缆和滴干纸绝缘电力电缆。

1) 黏性浸渍纸绝缘电力电缆

该型电力电缆浸渍剂黏度较高，在电缆工作温度范围内不易流动，但在浸渍温度下具有较低黏度，可保证良好浸渍黏性。浸渍剂一般由光亮油和松香混合而成（光亮油占 65%~70%，松香占 30%~35%）。不少国家采用合成树脂（如聚异丁烯）代替松香，与光亮油混合成低压电缆浸渍剂。

黏性浸渍纸绝缘电力电缆按结构可分为带绝缘型（统包型）与分相屏蔽（铅包）型、分相铅包结构。

（1）扇形线芯三芯统包绝缘电力电缆。其结构如图 1-5 所示，在各导电（铜或铝制成）线芯外包有纸绝缘，绝缘厚度依电压而定。多根电缆导电线芯绞合成缆时用无潮麻或纸填充成圆形，再在圆形外面用纸绝缘统包（见图 1-5 中的 4）起来，因此称为统包型电力电缆。该型电缆的特点是：

- ① 制造质量比较稳定，具有很长的制造历史和丰富的运行经验；
- ② 成本低、使用寿命长；
- ③ 结构简单、制造方便；

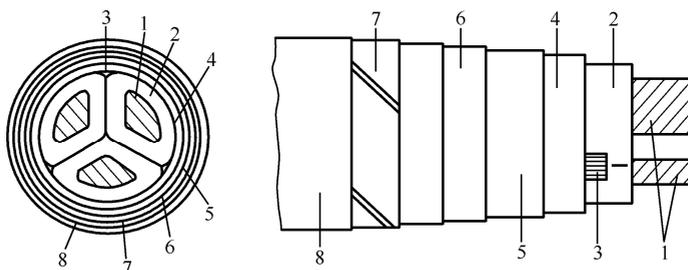


④ 易于安装维护。

其不足之处是：

① 绝缘油易滴流，不宜作高落差敷设，这是因为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；当敷设有较大落差时，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。

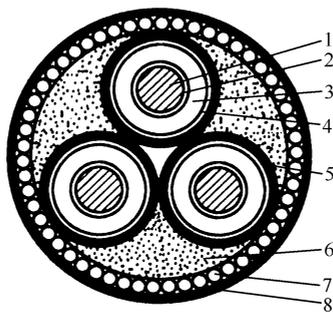
② 由于多芯电缆之间电场分布不均匀，在绝缘中产生正切应力，这将逐渐导致绝缘强度降低，因此允许电场强度低；不宜作太高电压的电力传输，一般只用于 10kV 及以下电压等级和落差不大的电力电缆线路中。



1-导电线芯；2-线芯绝缘；3-绝缘；4-统包绝缘；5-内护套；6-内衬层；7-铠装层；8-外被层（外护层）

图 1-5 扇形线芯三芯统包绝缘电力电缆结构图

(2) 黏性浸渍纸绝缘分相屏蔽型电力电缆。其结构如图 1-6 所示。首先将每个绝缘线芯外用一层打孔的金属化纸（半导电），或用铅包或铜带间隙式绕包形成金属屏蔽，再将三个带金属屏蔽的绝缘线芯绞合成缆，填充成圆形并用铜丝编织的纤维带孔扎紧，然后挤压金属套。分相屏蔽型电力电缆主要用于 20~30 kV 填充处也存在着电场的线路中。



1-导电线芯；2-相绝缘；3-带绝缘；4-填充材料；5-铅层；6-内衬层；7-铠装；8-外被层

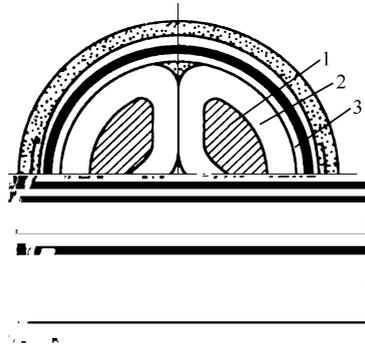
图 1-6 黏性浸渍纸绝缘分相屏蔽型电力电缆结构示意图

(3) 带绝缘型电缆。其结构如图 1-7 所示，每根导电线芯上包绕一定厚度的纸绝缘（相绝缘）层，然后将三根绝缘线心绞合在一起，再统包一层绝缘层（带绝缘），其外共用一个金属护套。

为了克服带绝缘的这些缺点，较高电压等级（如 35kV 级）电缆均采用分相屏蔽型的电力电缆，即每相均分别包以铅套或金属化纸作为金属屏蔽层分相静电屏蔽，接地后电位为零，绝缘中电力线径向分布，消除了场强的切向分量。分相屏蔽后再成缆，填充处也无电场的作用。



黏性浸渍纸绝缘分相型电力电缆与黏性浸渍统包型电缆相比，除浸渍剂的特性和配方不同外，其他并无不同之处。但因它在工作温度下浸渍剂具有不滴流的性质，又称为不滴流浸渍电缆，是我国当前极力推广的一种产品。该产品的结构、尺寸与滴干纸绝缘电缆相同。



1-导体（铝芯或铜芯）；2-相绝缘；3-带屏蔽；4-填充材料；5-铅层；6-内衬层；7-铠装层；8-外被层

图 1-7 带绝缘型电缆结构示意图

2) 不滴流纸绝缘电力电缆

不滴流纸绝缘电力电缆与黏性浸渍纸绝缘电缆的差别主要是它的浸渍剂在工作温度范围内不流动，呈塑性固体状，而在浸渍温度下黏度降低能保证充分浸渍。这种电缆敷设落差不受绝缘本身限制。它将逐步取代黏性浸渍纸绝缘电缆。

黏性浸渍、滴干、不滴流均属黏性浸渍型绝缘，由于组成它的固体材料纸与浸渍剂热膨胀系数相差很大，在制造和运行过程中因温度的变化不可避免地会产生气隙，而气隙是破坏电缆的主要原因之一。因此，黏性浸渍型纸绝缘电缆只能用于 35kV 以下电压等级的线路中。

3) 滴干纸绝缘电力电缆

它是黏性浸渍纸绝缘电力电缆的一种，即黏性浸渍电缆浸渍后增加一道滴干工艺过程，使黏性浸渍纸间的浸渍剂减少 70%，纸内的浸渍剂减少 30%，以消除黏性浸渍纸绝缘电缆在高落差敷设时产生浸渍剂流动的缺点。但由于减少了浸渍剂的含量，绝缘的耐电强度降低。例如，绝缘厚度相同时，滴干纸绝缘电力电缆的耐电压强度为 6kV，而黏性浸渍纸电缆的耐电压强度为 10kV，仅前者大大提高了允许敷设落差。

除上述几种电力电缆外，还有利用补充浸渍剂的方法消除电缆中气隙的钢管充油电缆和用滴干纸绝缘充以一定压力气体的充气电缆，它们也属于油浸纸绝缘电缆。

2. 橡塑电力电缆

以高分子聚合物作为绝缘的电力电缆称为橡塑电力电缆。

橡塑电缆的绝缘层采用绝缘强度高的可塑性材料（如橡胶、聚氯乙烯、聚乙烯和交联聚乙烯等），在一定的温度和压力下用挤注的方式制成。它的半导电层和绝缘层一样，是一种半导电的橡塑材料，基本上与绝缘层同时挤出成型。这种电缆无论多长，其每相的绝缘层均为一个整体，又称为整体绝缘层电缆。

1) 橡胶绝缘型电缆

橡胶绝缘型电缆是指主要由天然橡胶加不同的添加剂组成的各种橡胶绝缘层构成的电缆（如图 1-8 所示），电缆导体和绝缘表面均有屏蔽层。橡胶电缆的护套有聚氯乙烯、氯丁橡胶