

电力电缆实用新技术

(施工安装·运行维护·故障诊断)

于景丰 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

电力电缆实用新技术

(施工安装 · 运行维护 · 故障诊断)

于景丰 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共分四篇。第一篇电力电缆基本知识,包括:电力电缆的基本组成、电力电缆的典型结构、电力电缆的型号及传输容量,塑料绝缘电力电缆的制造,电力工程电缆设计规范简介。第二篇电力电缆的施工与维护,包括:电力电缆的敷设、运行维护与管理、试验与验收,高压电缆线路的综合在线监控。第三篇电力电缆的三头制作,包括:电力电缆的三头要求,热缩三头工艺,冷缩三头工艺,高压交联电缆三头工艺简介。第四篇电力电缆的故障诊断,包括:电力电缆的故障,脉冲反射诊断技术基本知识,故障性质判断,故障距离粗测,电缆路径探测,电缆故障的精测定点,实测案例与分析等。

本书可供从事电缆专业的工程技术人员及相关高等院校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电力电缆实用新技术: 施工安装·运行维护·故障
诊断 / 于景丰著. -- 北京: 中国水利水电出版社,
2014.1

ISBN 978-7-5170-1635-9

I. ①电… II. ①于… III. ①电力电缆—电缆敷设
IV. ①TM757

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第319684号

书 名	电力电缆实用新技术(施工安装·运行维护·故障诊断)
作 者	于景丰 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 23.25印张 548千字
版 次	2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	69.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

作 者 简 介

于景丰，男，1961年1月出生于辽宁省鞍山市，1984年毕业于西安交通大学电气工程系绝缘技术及电缆专业。先后从事大型电机绝缘结构设计与研究、电力电缆施工与维护技术、塑料绝缘电力电缆生产制造技术等工作。曾先后9次荣获国家、部、省、市级科技成果奖，发表专业技术论文多篇，被命名为“优秀青年科技人才”，1997年被中国机械工程学会设备维修分会设备诊断技术专业委员会聘任为学术委员，2007年被上海电线电缆行业协会聘为专家委员会副主任委员。



前言

电力电缆是电力配电系统用量最大的电气设备之一，电力电缆实用技术是电力部门工程技术人员和电缆电工必须掌握的一门专业技术。这就要求电气工作人员不但要掌握电力电缆的基本理论，而且还要不断地积累实践经验；不但要从实践中学，还要从来源于实践的书本上学，本书正是为此而编著的。

本书系统地介绍了 220kV 及以下电力电缆的设计与生产的基本原理和相关产品标准；电力电缆的施工安装、敷设、运行、维护与管理的技术与方法；电力电缆的三头制作工艺；电力电缆的故障诊断技术等四大部分。各部分章节既有联系，又保持相对的独立性。在文字叙述方面力求深入浅出，通俗易懂。

由于作者水平有限，加之实践经验不足，书中的错误和不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

作者

2013 年 4 月

目 录

前言

第一篇 电力电缆基本知识

第一章 概述	1
第二章 电力电缆的基本组成	3
第一节 导电线芯	3
第二节 绝缘层	14
第三节 保护层	29
第三章 电力电缆的典型结构	35
第一节 油浸纸绝缘电力电缆	36
第二节 橡皮绝缘电力电缆	39
第三节 塑料绝缘电力电缆	40
第四章 电力电缆的型号及传输容量	52
第一节 电力电缆的型号及适用场合	52
第二节 电力电缆的载流量	57
第三节 电力电缆载流量的修正	62
第四节 电力电缆的选择	67
第五章 塑料绝缘电力电缆的制造	72
第一节 塑料绝缘电力电缆制造的工艺特点	72
第二节 塑料绝缘电力电缆制造的工艺流程	73
第三节 塑料绝缘电力电缆制造的工艺要求	87
第六章 电力工程电缆设计规范简介	95
第一节 电缆型式与截面选择	95
第二节 电缆附件的选择与配置	102
第三节 电缆敷设	107
第四节 电缆的支持与固定	117
第五节 电缆防火与阻止延燃	120
思考与练习一	123

第二篇 电力电缆的施工与维护

第一章 电力电缆的敷设	124
第一节 基本要求	124

第二节 直埋电缆的敷设	127
第三节 室内电缆的敷设	133
第四节 桥梁、隧道及水下电缆的敷设	137
第二章 电力电缆线路的运行维护与管理	142
第一节 运行维护与管理	142
第二节 电力电缆的防腐	146
第三章 电力电缆的试验与验收	150
第一节 绝缘电阻试验	152
第二节 直流耐压及泄漏电流试验	155
第三节 0.1Hz 超低频耐压试验	160
第四节 相位试验	163
第五节 电缆线路的验收	164
第四章 高压电缆线路的综合在线监控	167
第一节 电缆线路在线监控技术简介	167
第二节 高压电缆隧道综合在线监控系统	171
第三节 无线型高压电缆在线监测系统	173
思考与练习二	176

第三篇 电力电缆的三头制作

第一章 电力电缆的三头要求	177
第一节 电力电缆的三头基本要求	177
第二节 导体连接	178
第三节 绝缘强度	181
第四节 密封	190
第五节 制作电力电缆三头的注意事项	192
第六节 各种电缆三头的特点	194
第二章 热缩三头工艺	196
第一节 1kV 三芯交联电缆热缩终端头制作工艺	196
第二节 1kV 三芯交联电缆热缩中间头制作工艺	197
第三节 10kV 单芯交联电缆热缩终端头制作工艺	198
第四节 10kV 单芯交联电缆热缩中间头制作工艺	200
第五节 10kV 三芯交联电缆热缩终端头制作工艺	202
第六节 10kV 三芯交联电缆热缩中间头制作工艺	204
第七节 10kV 油浸纸绝缘三芯电缆热缩终端头制作工艺	206
第八节 10kV 油浸纸绝缘三芯电缆热缩中间头制作工艺	208
第九节 10kV 交联—油浸纸绝缘电缆热缩对接头制作工艺	211

第十节	35kV 单芯交联电缆热缩终端头制作工艺	214
第十一节	35kV 单芯交联电缆热缩中间头制作工艺	216
第十二节	35kV 三芯交联电缆热缩终端头制作工艺	218
第十三节	35kV 三芯交联电缆热缩中间头制作工艺	219
第三章	冷缩三头工艺	222
第一节	15kV 单芯交联电缆冷缩终端头制作工艺	222
第二节	15kV 单芯交联电缆冷缩中间头制作工艺	225
第三节	15kV 三芯交联电缆冷缩终端头制作工艺	228
第四节	15kV 三芯交联电缆冷缩中间头制作工艺	231
第五节	35kV 单芯交联电缆冷缩终端头制作工艺	236
第六节	35kV 单芯交联电缆冷缩中间头制作工艺	238
第七节	35kV 三芯交联电缆冷缩终端头制作工艺	242
第八节	35kV 三芯交联电缆冷缩中间头制作工艺	245
第四章	高压交联电缆三头工艺简介	250
第一节	交联电缆瓷套式户外终端 (YJZWC)	250
第二节	交联电缆复合套式户外终端 (YJZWCF)	252
第三节	交联电缆全干式户外终端 (YJZWG)	254
第四节	交联电缆 GIS 终端 (YJZGG)	255
第五节	交联电缆中间接头 (YJJT、YJJJ)	257
思考与练习三		260

第四篇 电力电缆的故障诊断

第一章	电力电缆的故障	261
第一节	电力电缆故障发生的原因及其特征	261
第二节	电力电缆故障的分类	264
第三节	电力电缆故障诊断的一般步骤与方法	266
第二章	脉冲反射诊断技术基础知识	269
第一节	脉冲反射法基本概念及特征参数	269
第二节	脉冲反射法基本原理	276
第三节	DGC-2010A 多脉冲智能电缆故障测试仪简介	278
第三章	故障性质判断	283
第一节	运行故障	283
第二节	预试故障	284
第四章	故障距离粗测	286
第一节	经典法简介	286
第二节	低压脉冲反射法	289

第三节	直流高压闪络法·····	297
第四节	冲击高压闪络法·····	302
第五节	多次脉冲闪络法·····	309
第六节	故障距离测试中的问题与处理·····	312
第五章	电缆路径探测·····	317
第一节	基本原理·····	317
第二节	电缆路径的探测方法·····	321
第三节	路径仪的使用方法与注意事项·····	323
第六章	电缆故障的精测定点·····	325
第一节	声测定点法·····	325
第二节	音频感应定点法·····	328
第三节	时差定点法·····	332
第四节	同步定点法·····	332
第五节	特殊定点法·····	333
第七章	实测案例与分析 (29 例) ·····	336
思考与练习四	·····	361
参考文献	·····	362

第一篇 电力电缆基本知识

第一章 概 述

人类社会发展到 17 世纪初发明了电，从那时起，人类就与电结下了不解之缘，从生存到发展无不与电有着日益紧密的联系。人类为实现工业、农业、国防等各行业的电气化，需要把电能从发电厂传送到用户。如同自来水系统中，水要通过管道才能供给人们使用一样，电是通过电线、电缆输送给用户的。因此，电线、电缆是实现电气化不可缺少，而且是大量使用的器材。

用于电力传输和分配的电缆称为电力电缆。

电线可分为裸电线和绝缘电线两大类。它们都是由高电导系数材料（铜、铝）制成的导线，在导线外表面具有轻型绝缘层或保护层的称为绝缘电线，否则称为裸电线。

电力电缆通常也是由高电导系数材料组成的导电线芯（单芯或多芯），并由油浸纸、橡皮、塑料等绝缘材料组成重型绝缘层和保护层，以防止机械损伤、化学侵蚀和潮气的作用等。

电力电缆和绝缘电线并没有严格的界限。一般来讲，电缆用于电压较高、传输功率较大、可靠程度要求比较高的场合。因此，电缆的线芯截面比较大，绝缘层比较厚，电气性能要求高，护层结构质量要求较高。设计和制造既经济、可靠，又耐用的电力电缆和正确安装、使用、维护电缆线路是电力行业的重要任务之一。

电力电缆线路由电缆、电缆附件及线路构筑物三部分组成。电缆是电缆线路的主体。电缆附件是指电缆线路中除电缆本体以外的其他部件和设备，如中间头、终端头、高压充油电缆线路中的塞止盒、绝缘连接盒、压力箱等，高压充气 and 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撑电缆和安装电缆附件的部分，如电缆杆、引入管道、电缆进线室及电缆井、沟、隧道等。

在大多数情况下，用架空线传输电能要比用电缆的成本低。但是，随着社会的进步与工农业生产的发展，电缆用量在整个传输线路中所占的比例逐年提高。电缆线路与架空线路相比，具有下列主要优点。

- (1) 不易受周围环境和污染的影响，送电可靠性高。
- (2) 线间绝缘距离小，占地少，无干扰电波。
- (3) 地下敷设时，不占地面与空间，既安全可靠，又不易暴露目标。

因此，在城镇市区人口稠密的地方，大型工厂、发电厂、交通拥挤区、电网交叉区等要求占地面积小，安全可靠，减少电网对交通运输、城市建设的影响，一般多采用电缆供电；在严重污染区，为了提高输送电能的可靠性，多采用电缆；对于跨度大，不宜架设架

空线的过江、过河线路，或为了避免架空线路对船舶通航或无线电干扰，也多采用电缆；有的国防与军事工程，为了避免暴露目标而采用电缆；也有的因建筑美观的需要而采用电缆。

电缆线路虽然具有上述优点，但也存在着不足之处：

- (1) 成本高，一次性投资费用比较大。
- (2) 电缆线路不易变动与分支。
- (3) 电缆故障测寻与维修较难，需要具有较高专业技术水平的人员来操作。

图 1-1-1 是世界上最架空线和电缆的工作电压发展图。由图可见，在电力工业发展初期，电缆落后于架空线路的发展，随着工业的飞速发展，电缆与输电架空线的工作电压等级几乎是同步发展。这是因为，随着电缆制造技术的发展，提供了制造与输电架空线路相同电压等级电缆的可能性；另一方面，说明电缆已成为近代电力网络提高工业电压等级不可缺少的组成部分，现在世界上工业发达的国家，在研究 1000kV 及以上输电问题的同时，都在进行相应电压等级电缆的研究和试制工作。

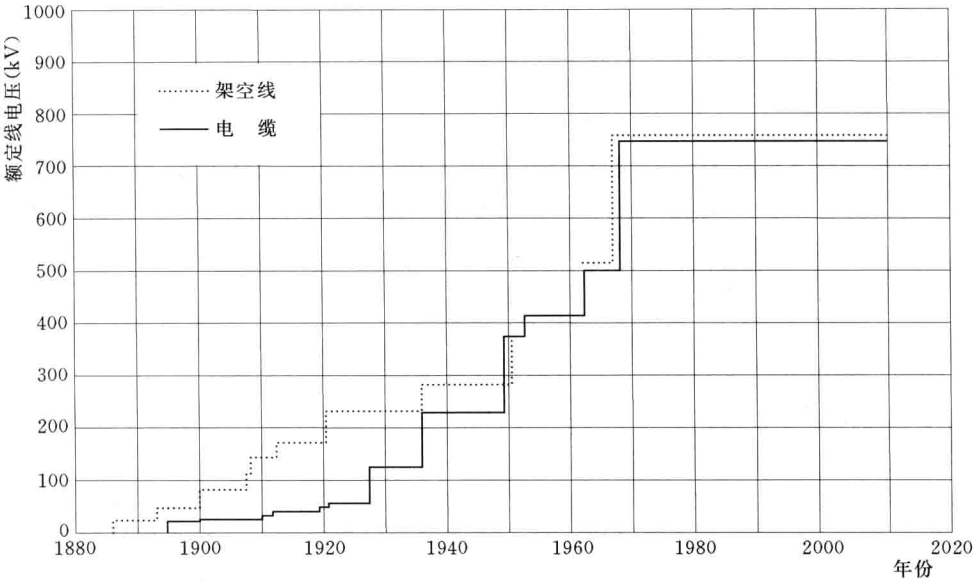


图 1-1-1 架空线与电缆工作电压逐年发展图

我国 1949 年以前曾生产过极少量的 600V 以下橡皮电缆，主要电缆产品几乎全都依赖进口。新中国成立后，我国的电缆工业得到了迅速的发展。以油浸纸电力电缆为例，1950 年生产出 3kV 电力电缆；1951 年开始生产 6kV 电力电缆；1953 年开始生产 10kV 电力电缆；1956 年生产 35kV 电力电缆；1958 年开始试制充油电缆；1964 年我国自行试制的 66kV 充油电缆投入运行。以后陆续生产出 110、220、500kV 电压等级的电缆并投入运行。

目前，35kV 及以下电压等级的交联聚乙烯绝缘电力电缆已被广泛地推广与使用。可以肯定，社会的不断进步，将促使我国电力工业的飞速发展，而电力电缆必将在我国的现代化建设中发挥越来越大的作用。因此，不断提高电力电缆的制造、安装和维护水平，也将成为摆在电力工作者面前的一项重要课题。

第二章 电力电缆的基本组成

第一节 导 电 线 芯

任何一种电力电缆，其基本结构均由导电线芯、绝缘层和保护层三个基本部分组成。下面对各个组成部分作以简单的介绍。

一、线芯材料

电力电缆线芯的作用是传送电流，线芯的损耗主要由导体截面和材料的电导系数来决定。为了减小电缆线芯的损耗，电缆线芯一般由具有高电导系数的铜或铝制成。导电用铜和铝的主要性能与工艺参数见表 1-2-1。

表 1-2-1 导电用铜和铝的主要性能与工艺参数

性能参数 \ 材料		铜	铝
熔点 (°C)		1084.5	658
密度 (20°C) (g/cm ³)		8.89	2.7
比热 (20°C) [Cal/(g·°C)]		0.092	0.22
熔解热 (Cal/g)		50.6	93
导热系数 (20°C) [Cal/(cm·s·°C)]		0.923	0.52
线胀系数 (20~100°C) (10 ⁻⁶ /°C)		16.6	23
电阻率 (20°C) (10 ⁻² ·Ω·mm ² /m)		1.7241	2.83
电阻温度系数 (20°C) (1/°C)		0.00393	0.00403
抗拉强度 (N/mm ²)	软态	—	35~65
	硬态	≥335	120~150
延伸率 (%)	软态	≥40	≥35
	硬态	≥2.4	≥6
热轧温度 (°C)			440~490
热挤温度 (°C)			400~480
退火温度 (°C)	软态	400~600	300~350
	半硬态		240~260
再结晶温度 (°C)		200~270	150~250

铜作为电力电缆的线芯，具有许多技术上的优点，如电导系数大，机械强度相当高，加工性好（易于压延、拉伸、焊接等），耐腐蚀等，它是被采用最广泛的电缆线芯材料。值得注意的是，铜对于某些浸渍剂（如矿物油、松香复合浸渍剂等）、硫化橡皮等有促进

其老化的作用。在此情况下，一般可采取在铜线表面镀锡，使铜不与绝缘层直接接触，以降低老化速度。

铜经过压延、拉伸、绞合、镀锡工艺后，由于金属结晶的变化，其导电系数、伸长率均下降；而抗张强度、屈服强度和弹性增加。相反，韧炼工艺使其导电系数、伸长率增加，抗张强度下降。

铝的体积电导系数仅次于银、铜和金，是地壳中最多的元素之一，仅排于硅和氧之后，其重量占地壳的 8%。由于铜的资源匮乏，铝愈来愈多地作为导电材料来取代铜。

铝线与铜线的制造工艺相似，所不同的是铝线的韧炼温度不是 400~600℃，而是 300~350℃。韧炼后的铝线，柔软性提高，抗张强度下降。因此，铝芯电缆不宜承受大的张力，多用于固定敷设的电力电缆线芯。

二、线芯结构方式

为了增加电缆的柔软性或可曲度，较大截面的电缆线芯由多根较小直径的导线绞合而成。由多根导线绞合的线芯柔软性好，可曲度大，是因为单根金属导线沿某一半径弯曲时，其中心线外部受拉伸，而中心线内部受压缩。如线芯是由多根导线平行放置而组成，由于导线之间可以滑动。因此，它比相同截面单根导线作相同弯曲时要省力得多。为了保证线芯结构形状的稳定性 and 减小线芯弯曲时每根导线的变形，多根导线组成的线芯均需绞合而成。

如图 1-2-1 所示，平行导线弯曲再恢复平直时，由于导线的塑性变形可能在线芯表面产生凸出部分，使电缆绝缘层中电场分布产生畸变，并损伤电缆绝缘。在绞合的电缆线芯结构中，由于线芯中心线内、外两部分可以互相移动补偿，弯曲时不会引起导线的塑性变形，因此线芯的柔软性和稳定性大大提高，绞合节距越小，线芯的柔软性和稳定性越高。另外，绞合导线与大截面单根导线不同，弯曲是较平滑地分配在一段线芯上，因而弯曲时不易损伤电缆绝缘。

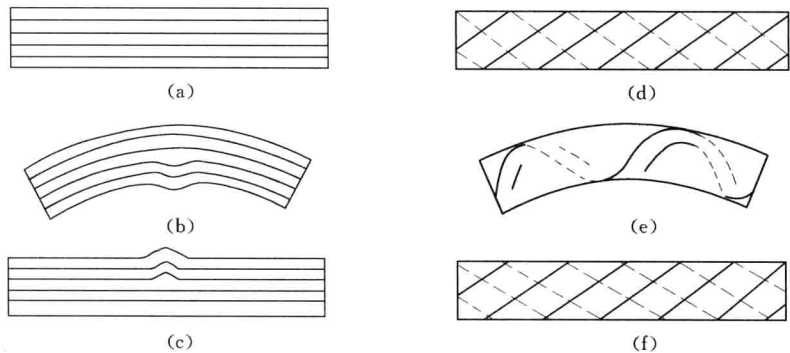


图 1-2-1 线芯弯曲示意图

(a) 平行线芯弯曲前；(b) 平行线芯弯曲后；(c) 平行线芯弯曲后再恢复平直；
(d) 绞合线芯弯曲前；(e) 绞合线芯弯曲后；(f) 绞合线芯弯曲后再恢复平直

不同的电缆应用场合，对电缆线芯的可曲度要求也不同。可曲度要求较高的是移动式电缆，这些电缆多采用橡皮或塑料作为绝缘材料。油浸纸绝缘电力电缆的可曲度较低，这

是因为油浸纸绝缘电力电缆的可曲度主要由护层结构来决定，线芯对电缆的可曲度影响较小，一般只要求线芯在生产制造、安装敷设过程中不致损伤绝缘即可。

一般地，电缆线芯的绞合形式可分为两大类，即规则绞合和不规则绞合。

(1) 规则绞合。导线有规则、同心且相邻各层依不同方向的绞合称为规则绞合。规则绞合还可进一步分为正常规则绞合和非正常规则绞合，前者系指所有组成导线的直径均相同，而后者系指层与层间的导线直径不尽相同的规则绞合。另外规则绞合还有简单和复合之分，后者系指组成规则绞合的导线不是单根的，而是由更细的导线按规则绞合组成股，再绞合成线芯。这种结构使线芯柔软性更好，常见于移动式橡皮绝缘电缆，一般的电力电缆则是简单正常规则绞合最为常见。因此，若无特别说明，规则绞合一般均指简单正常规则绞合。

各种规则绞合截面如图 1-2-2 所示。

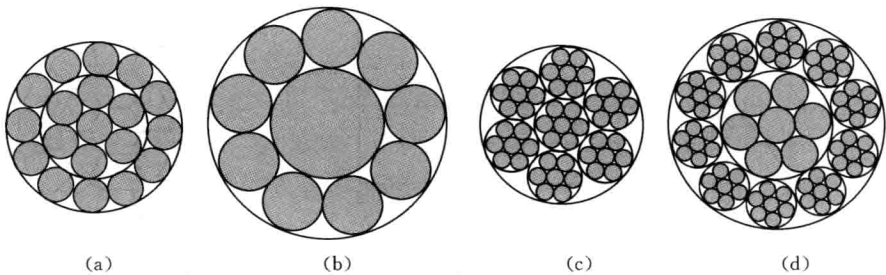


图 1-2-2 各种规则绞合截面

(2) 不规则绞合。指所有组成导线都依同一方向绞合，又称束绞。虽然束绞工艺简单，成本低，线芯填充系数较高，相同截面积外径较小，可曲度又高，但因其结构稳定性较差，所以电力电缆一般不采用束绞，而绝缘软线或电压等级较低的橡皮绝缘电缆中却多采用束绞。

塑料绝缘电力电缆导电线芯的构成方式见表 1-2-2。

表 1-2-2 塑料绝缘电力电缆导电线芯的构成方式

导体截面 (mm ²)		额定电压 (kV)		1~3	6~10		20~35
		绝缘类型		聚氯乙烯 PVC	聚乙烯 PE	交联聚乙烯 XLPE	交联聚乙烯 XLPE
导体材料							
≤16	铜	单根圆形软线或绞合					—
	铝	单根圆形硬线或绞合					
25~35	铜	单根软线或绞合					
25~50	铝	单根软线或绞合					
≥50	铜	绞 合					
≥70	铝						

把线芯导体实际面积与线芯轮廓面积之比定义为线芯的填充系数。规则绞合线芯的填

充系数不仅与线芯单线层数有关，而且与线芯中心导线根数有关。如图 1-2-3 所示，中心导线是一根时，绞合线芯的填充系数随层数的增加而减少，而中心导线根数为 2~5 根的线芯填充系数随层数的增加而增加，但其绝对值比中心导线根数为 1 的小。从提高线芯填充系数和稳固性考虑，中心为一根导线的规则绞合结构最好，因此电力电缆一般均采用中心为一根导线的规则绞合结构。

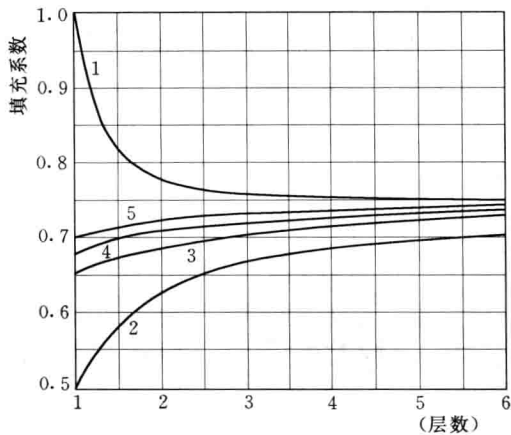


图 1-2-3 填充系数与层数和中心导线根数关系曲线
(曲线上数字表示中心线根数)

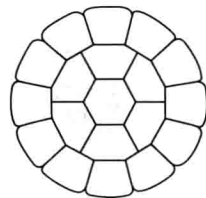


图 1-2-4 紧压后
圆形线芯结构

为了提高电缆线芯填充系数，节约材料，降低成本，很多电缆线芯均采用紧压线芯结构。线芯经过紧压后，每根导线不再是圆形，而是呈不规则形状，原来的空隙部分被导线变形而填充，如图 1-2-4 是紧压后圆形线芯截面。

三、线芯几何结构

电力电缆的线芯按其外形可分为圆形线芯、中空圆形线芯、扇形线芯、弓形线芯等几种。

圆形线芯：由于其结构稳定，工艺性好，线芯表面曲率平均，35kV 以上的高压电缆均采用圆形线芯，对于橡塑绝缘电力电缆一般在 3kV 以上也都采用圆形线芯。

中空圆形线芯：这种线芯主要用于充油或充气电缆的线芯，我国中空线芯主要有两种结构。其一是用镀锡硬铜带做成螺旋支撑，支撑的直径由所需的油道或气道直径的大小来确定（一般为 12mm），在支撑外面有规则地、同心地绞合镀锡导线。其二是由型线绞合而成，内层为 Z 型线，其余各层均为弓形线绞合，如图 1-2-5 所示。这两种线芯各有优点，型线构成的中空线芯结构稳定、油（气）道内表面光滑而不易阻塞，但螺旋支撑结构的柔软性和工艺性较好。

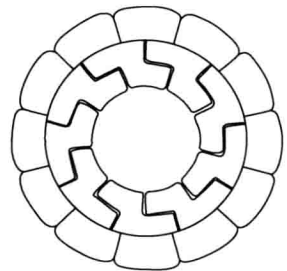


图 1-2-5 形线构成
的中空线芯

对于大截面导电线芯，为了减小集肤效应，有时采用四分割、五分割等分割线芯。

扇形线芯：扇形线芯表面曲率半径不均等，在线芯的边角处曲率半径较小，该处电场比较集中。因此，在 10kV 以上的电力电缆中很少采用扇形线芯（分割导体除外）。我国 10kV 及以下电压等级的油浸纸绝缘电力电缆和 1kV 以下的塑料电缆，由于扇形线芯电缆的结构紧凑，而且生产成本较低，故常采用扇形线芯，如图 1-2-6 所示。

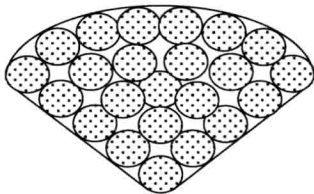


图 1-2-6 扇形线芯结构

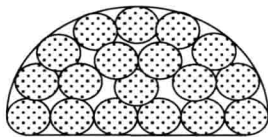


图 1-2-7 弓形线芯结构

弓形线芯：弓形线芯适用于双芯电缆，如图 1-2-7 所示。该结构的特点是结构紧凑，电缆外形尺寸小，节省材料消耗，电缆成本低。

电力电缆的导体结构类型汇总于表 1-2-3。

表 1-2-3 电力电缆的导体结构类型

结构类型		品 种 例	备 注
圆形	圆单线	(1) 铜、铝及其合金圆单线 (2) 双金属圆单线（铝包钢等） (3) 镀层圆铜线（如镀锡等）	单线除直接作小截面电线的导体外，大部分作为绞合线芯的半成品用
	圆绞线	(1) 铜及其合金圆绞线 (2) 铝及其合金圆绞线	铜、铝绞线大多供各种产品作导体用，少部分作为裸导线直接作产品用
		(1) 钢芯铝绞线或钢芯铝合金绞线 (2) 双金属绞线或组合绞线	架空导线大部分用钢芯铝绞线，正在发展铝合金绞线和双金属绞线
	紧压圆绞线	紧压铜或铝绞线	电力电缆和架空绝缘电缆用
	中空圆绞线	内层由 Z 形单绞线构成中空，或绞在螺旋管上	充油电缆用，中空为绝缘油通道
扇形（单根或绞线）		二芯：导体为 180°扇形 三芯：导体为 120°扇形 四芯：主线芯为 100°；中性线为 60°扇形	油浸纸绝缘和低压塑料绝缘电力电缆采用。 小截面的塑料绝缘 3~4 芯电力电缆也可采用单根实芯扇形铝芯线

四、线芯的种类

在 GB/T 3956—2008《电缆的导体》中，把电缆的导体共分为四种，即：第 1 种、第 2 种、第 5 种和第 6 种。第 1 种和第 2 种导体用于固定敷设的电缆中，第 5 种和第 6 种导体用于软电缆和软线中，也可用于固定敷设。四种导体的结构特点如下。

- (1) 第 1 种：实心导体。
- (2) 第 2 种：绞合导体。
- (3) 第 5 种：软导体。
- (4) 第 6 种：比第 5 种更柔软的导体。

电力电缆中应用最多的是第 2 种和第 1 种导体，而第 5 种和第 6 种的软导体则在电力电缆中较少使用。

(一) 实心导体（第 1 种）

1. 实心导体的结构

(1) 实心导体应由不镀金属或镀金属的退火铜线、铝或铝合金制成。

(2) 实心铜导体应为圆形截面。标称截面积为 25mm² 及以上的实心铜导体用于特殊类型的电缆，如矿物绝缘电缆，而非一般用途。

(3) 截面积为 10~35mm² 的实心铝导体和实心铝合金导体应是圆形截面。对于单芯电缆，更大尺寸的导体应是圆形截面；而对多芯，可以是圆形或成型截面。

2. 实心导体的电阻要求

每根导体在 20℃ 时的电阻值不应超过表 1-2-4 中规定的最大值。对于具有与铝导体相同标称截面的实心铝合金导体，表 1-2-4 中给出的电阻值可以乘以 1.162 的系数。

表 1-2-4 单芯和多芯电缆用第 1 种实心导体

标称截面积 (mm ²)	20℃ 时导体最大电阻 (Ω/km)		
	圆形退火铜导体		铝导体或铝合金导体 (圆形或成型)
	不镀金属	镀金属	
0.5	36.0	36.7	—
0.75	24.5	24.8	—
1.0	18.1	18.2	—
1.5	12.1	12.2	—
2.5	7.41	7.56	—
4	4.61	4.70	—
6	3.08	3.11	—
10	1.83	1.84	3.08
16	1.15	1.16	1.91
25	0.727	—	1.20
35	0.524	—	0.868
50	0.387	—	0.641
70	0.268	—	0.443
95	0.193	—	0.320
120	0.153	—	0.253
150	0.124	—	0.206
185	0.101	—	0.164
240	0.0775	—	0.125
300	0.0620	—	0.100
400	0.0465	—	0.0778
500	—	—	0.0605
630	—	—	0.0469
800	—	—	0.0367
1000	—	—	0.0291
1200	—	—	0.0247