

DIANLISHEBEI  
YUFANGXIN SHIYAN  
JISHU  
CONGSHU

# 电力设备预防性试验技术丛书

第六分册

胡文堂 编

# 电线电缆



中国电力出版社  
www.cepp.com.cn

**电力设备预防性试验技术丛书**

**第六分册**

# 电 线 电 缆

---

胡文堂 编



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

为进一步提高高压电气设备绝缘状况诊断的有效性和准确性,能反映每一设备的具体试验过程,结合工作实际经验和《电力设备预防性试验规程》的要求,特组织编写了这套《电力设备预防性试验技术丛书》,共8册。本套图书的特点是:①对每一设备的每一试验,均从试验目的、试验周期及判断标准、试验方法、试验注意事项及异常情况处理、结果分析判断等方面予以介绍;②精简试验原理及有关结构的讲解,细化试验步骤;③给出一些具体的试验范例,方便读者参照进行试验;④引入了实际工作中行之有效的新工艺和新方法;⑤附录中给出了规程中的相关条文,可便于查阅。

本书是《电力设备预防性试验技术丛书》中的一本,主要介绍了电力电缆,架空电力线路、母线和二次回路的预防性试验,具体包括纸绝缘、橡塑绝缘、自容式充油电力电缆试验,电力电缆故障探测,架空线路常规性试验,电力线路参数测量,封闭母线试验,一般母线试验,二次回路试验等内容。本书可供发、供电部门和电气设备制造单位从事高压设备试验技术和管理人员,以及各电力试验研究院(所)技术人员使用,也可供高校有关师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电线电缆/胡文堂编. -北京:中国电力出版社,2003  
(电力设备预防性试验技术丛书;6)  
ISBN 7-5083-1455-7

I. 电… II. 胡… III. 电线:电缆-电工试验  
IV. TM246

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第019951号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限责任公司印刷

各地新华书店经售

\*

2003年5月第一版 2003年5月北京第一次印刷  
787毫米×1092毫米 32开本 4.625印张 96千字  
印数 0001—5000册 定价 10.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)



## 《电力设备预防性试验技术丛书》

# 前 言

电力设备的绝缘预防性试验是保证设备安全运行的重要措施，是绝缘监督工作的基础。通过试验，可以掌握电力设备的绝缘状况，及时发现缺陷，进行相应的维护与检修，以免运行中的设备绝缘在工作电压或过电压作用下击穿，造成事故。为了进一步提高绝缘监督管理人员和高压试验人员技术业务素质，满足电力行业技术人员等级培训和岗位培训的需要，特组织编写了《电力设备预防性试验技术丛书》。

丛书的分册结构与《电力设备预防性试验规程》的章节对应，内容突出电力行业技术等级培训和岗位培训的特点，深入浅出，针对性、适应性较强，密切联系生产实际，反映现场新技术。本套图书的特点是：①对每一设备的每一试验，均从试验目的、试验周期及判断标准、试验方法、试验注意事项及异常情况处理、结果分析判断等方面予以介绍；②精简试验原理及有关结构的讲解，细化试验步骤；③给出一些具体的试验范例，方便读者参照进行试验；④引入了实际工作中行之有效的新工艺和新方法；⑤附录中给出了预规中的相关条文，可便于查阅。全书共分8册：第一分册为《旋转电机》；第二分册为《电力变压器与电抗器》；第三分册为《互感器与电容器》；第四分

册为《开关设备》；第五分册为《套管与绝缘子》；第六分册为《电线电缆》；第七分册为《避雷器与接地装置》；第八分册为《绝缘油》。

本书是《电力设备预防性试验技术丛书》中的第六分册，由胡文堂编写。全书共分3章，主要介绍了电力电缆、架空电力线路、母线和二次回路的预防性试验，具体包括纸绝缘、橡塑绝缘、自容式充油电力电缆试验，电力电缆故障探测，架空线路常规性试验，电力线路参数测量，封闭母线试验，一般母线试验，二次回路试验等内容。内容上注重从操作技能出发，据此能有效地指导试验。

本书由广东省电力试验研究所周良才主审。在收资、编写和审查过程中，还得到很多单位的领导、专家的大力支持与热心帮助，在此表示衷心感谢。

本书虽经数次审查修改，但由于编者经验所限，在编写中难免有疏漏之处，诚恳希望广大读者提出修改意见，并在教学、实践中进行调整和补充，使其更加完善。

编者

2003年4月



前言

<b>第一章</b>	<b>电力电缆</b> .....	1
	第一节 概述 .....	1
	第二节 纸绝缘电力电缆试验 .....	14
	第三节 橡塑绝缘电力电缆试验 .....	28
	第四节 自容式充油电力电缆试验 .....	42
	第五节 电力电缆故障探测 .....	51
<b>第二章</b>	<b>架空电力线路</b> .....	83
	第一节 概述 .....	83
	第二节 架空线路常规性试验 .....	89
	第三节 电力线路的参数测量 .....	107
<b>第三章</b>	<b>母线和二次回路</b> .....	117
	第一节 封闭母线 .....	117
	第二节 一般母线 .....	119
	第三节 二次回路 .....	121
	第四节 1kV 及以下配电装置和 电力布线 .....	122

附录 A DL/T 596—1996《电力设备预防性 试验规程》相关条文摘录 .....	124
参考文献 .....	141



## 第一章

# 电 力 电 缆

### 第一节 概 述

电缆的种类很多，在电力系统中，最常见的电缆有两大类，即电力电缆和控制电缆。电力电缆是指电力系统中传输和分配电能用的电缆。把发电厂发出的电能传送到远方的变电所、配电所及用户的各种用电设备，是通过架空线或电力电缆来实现的。在大多数情况下，用架空线传送电能比用电力电缆传送成本低。但随着工业的发展，电力电缆用量在整个传输线中所占的比例逐年提高。与架空线相比，电力电缆具有下列优点：

(1) 线间绝缘距离小，占地少，可沿墙或埋地敷设。电力电缆作地下敷设不占地面空间，可避免在地面设杆塔和导线，有利市容整齐美观；

(2) 不受外界环境影响，可避免风害、雷击、风箠和鸟害等造成架空线的短路和接地等故障，供电可靠性高；



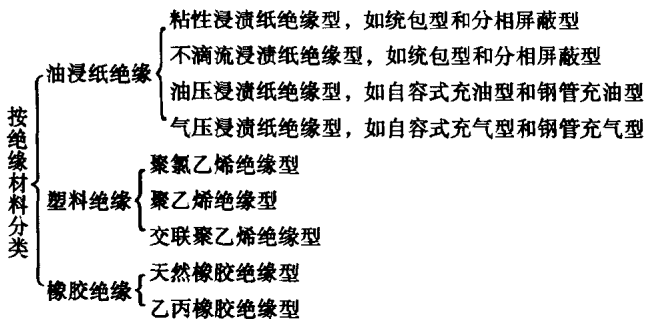
- (3) 人不可能触及导体，对人身比较安全；
- (4) 运行简单方便，维护工作量少，运行费用低；
- (5) 电力电缆的电容较大，有利于提高电力系统的功率因数。

因此，在人口稠密的城市和厂房设备拥挤的工厂，为减少占地多采用电力电缆；在严重污染地区，为了提高送电的可靠性，多采用电力电缆；对于跨越江河的输电线路，因跨度大，不宜敷设架空线，也多采用电力电缆；有的从国防的需要出发，为避免暴露目标而采用电力电缆；也有的为建筑美观而采用电力电缆。总之，电力电缆已成为近代电力系统不可缺少的组成部分。

### 一、电力电缆的种类和特点

电力电缆可按绝缘材料、结构特征及敷设环境进行分类，一般分如下几种：

#### (一) 按绝缘材料分类



#### (二) 按结构特征分类

**统包型：**在各缆芯外包有统包绝缘，并置于同一护套内。

**分相型：**分相屏蔽，一般用在 10 ~ 35kV 油浸纸绝缘

或塑料绝缘电缆中。

钢管型：电缆绝缘外有钢管护套，分钢管充油、充气电缆和钢管油压式、气压式电缆。

自容型：护套内部有压力的电缆，分自容式充油电缆和充气电缆。

扁平型：三芯电缆的外型是扁平状，一般用于大长度海底电缆。

### (三) 按敷设环境分类

地下直埋、地下管道、水底、矿井、高海拔、高落差等。环境因素一般对护层结构有一些特殊的要求，有的要求考虑机械保护，有的要求提高防腐能力，有的则要求增加柔软度等。

### (四) 其他

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。通常称 35kV 及以下电压等级的电缆为中低压电缆，是应用量最大的电缆品种。

各种不同种类的电缆都具有各自的特点，下面重点介绍几种电缆：

#### (一) 油浸纸绝缘电缆

(1) 粘性浸渍纸绝缘电缆。产品开发较早，具有成熟的制造和运行经验，制造质量比较稳定，工作寿命长，结构简单，制造方便；但油易滴流，不宜作高落差敷设，允许的工作场强较低，不宜作高电压使用。

(2) 不滴流浸渍纸绝缘电缆。浸渍剂在工作温度下不滴流，适宜高落差敷设。工作寿命较粘性浸渍纸绝缘电缆更长，具有较高的绝缘稳定性，但成本较粘性浸渍纸绝缘电缆稍高。

## (二) 塑料绝缘电缆

(1) 聚氯乙烯绝缘电缆。易于制造，化学稳定性高，具有非延燃性。安装工艺简单，维护方便，价格低廉，但机械性能易受温度影响。

(2) 聚乙烯绝缘电缆。具有优良的介电性能，但抗电晕和游离放电性能差；工艺性能好，易于加工，但耐热性差，受热易变形，易延燃，易发生应力龟裂。

(3) 交联聚乙烯绝缘电缆：有高的电气性能，击穿强度高，绝缘电阻大，介电常数小；有高的耐热性能，允许温升较高，允许载流量大；适宜高落差与垂直敷设。

## (三) 橡胶绝缘电缆

柔软性好，易弯曲，在很大的温度范围内具有弹性，适宜作多次拆装的线路；有较强的耐寒性，有较好的电气性能和化学稳定性，但耐电晕、耐臭氧、耐热和耐油性较差。

## 二、电力电缆的典型结构

### (一) 单芯电缆

单芯电缆的典型结构如图 1-1 所示，从内向外依次排列为电缆线芯、线芯屏蔽、绝缘层、绝缘屏蔽、内护层、内衬垫、加强带、外护层等。下面将电缆的主要部分介绍如下：

#### 1. 电缆线芯

电缆线芯的作用是传输电流，为减少电缆线芯中的损耗和电压降，电缆线芯一般由具有高导电系数的铜或铝制成。铜的导电系数大，机械强度高，加工容易，易于压延、拉丝和焊接，同时还耐腐蚀，是最广泛被采用的电缆线芯材料。铝的导电性能仅次于银、铜和金，具有丰富的

矿产资源，价格低廉，因此被广泛采用。

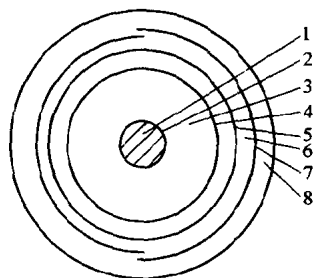


图 1-1 单芯电缆典型结构图

- 1—电缆线芯；2—线芯屏蔽；3—绝缘层；4—绝缘屏蔽；  
5—内护层；6—内衬垫；7—加强带；8—外护层

电缆线芯按外形可分为圆形、扇形、卵形或椭圆形等，对于 66kV 及以上的充油或充气电缆，常采用中空圆形线芯，中间空道用作油或绝缘气体的流动通道。为了增加电缆的柔软性和可弯曲度，较大截面的电缆线芯均由多根较小直径的导线绞合而成，线芯股数越多，越易弯曲。但电缆的可曲性同时也受到外护层等方面的限制，所以线芯股数过多也只会增加制造上的困难。因此，在制造不同标称截面的电缆线芯时，都规定了一定的导线根数。

圆形截面的导线具有稳定性好、表面电场均匀和制造工艺简单的优点，高压电缆的线芯大多为圆形截面。对于 10kV 及以下电压等级的电缆，则以成缆后为一圆形为准则。为了缩小电缆外径，节约原材料，减轻电缆质量，降低制造成本，统包型绝缘三芯电缆线芯一般制成扇形。

为了制造和应用上的方便，电缆线芯的截面有统一的

标称等级。我国目前采用的 35kV 及以下电缆线芯截面系列如下 ( $\text{mm}^2$ ): 2.5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500; 625; 800。

## 2. 电缆绝缘层

电缆绝缘层用于承受工作电压。电缆的线芯既处于高电位, 又有大电流流过, 因此, 电缆绝缘层材料必须满足下列要求:

(1) 高的击穿场强与足够的耐受工频、冲击与操作过电压作用的能力。电缆线芯相间和对地距离都很近, 电缆的绝缘经常工作在高电场强度之下, 绝缘材料如没有足够的电气强度, 就不能在高电场下稳定工作。

(2) 介质损耗低。绝缘材料在电压作用下会产生介质损耗, 介质损耗太大将引起电缆发热, 加速绝缘老化, 甚至发生击穿损坏。在高压电缆中, 特别是 35kV 及以上电缆, 介质损耗是一个极为重要的技术指标。

(3) 耐电晕性能好。电缆绝缘的工作场强很高, 绝缘层中不可避免会残存一些气泡, 这些气泡在强电场的作用下, 很容易被电离而产生局部放电, 并伴随产生臭氧腐蚀绝缘。

(4) 化学性能稳定。绝缘材料性能应稳定, 不受外界因素影响而变质, 使绝缘水平降低, 缩短使用寿命。

(5) 耐热性能好。绝缘材料应能在工作温度下长期运行而绝缘性能不变坏。允许的运行温度越高, 电缆的允许载流量越大, 供电能力越强。

(6) 耐低温。应能在较低的自然环境温度下进行安装敷设, 绝缘不变脆、不损坏。

(7) 加工性能好。具有一定柔软性与机械强度, 便于

制造与安装。

(8) 价格便宜。绝缘层是电缆的关键部位，绝缘材料的价格对电缆的造价影响很大，如价格昂贵，其使用范围就要受到限制。

几种常用的绝缘层材料有电缆纸、浸渍剂、聚氯乙烯、聚乙烯、交联聚乙烯、橡胶等，其中交联聚乙烯绝缘材料具有良好的电气、化学和物理性能，因此得到广泛的应用，目前在 220kV 及以下的电缆中，交联聚乙烯电缆已占主导地位，基本代替了采用其他绝缘材料的电缆。

### 3. 电缆护层

为了使电缆适应各种使用环境而在电缆绝缘层外面加的保护覆盖层，叫电缆护层。护层的主要作用是保护电缆绝缘层在敷设和运行过程中，免遭机械损伤和各种环境因素如水、日光、生物、火灾等的破坏，以保持长时、稳定的电气性能。所以，电缆护层的质量直接关系到电缆的使用寿命。

电缆护层主要可分为三大类，即金属护层（包括外护层）、橡塑护层和组合护层。

金属护层通常由金属护套和外护层构成。金属护套常用的材料是铝、铅和钢。外护层一般由内衬层、铠装层和外被层三部分构成，主要起机械保护和防止腐蚀的作用。内衬层位于铠装层和金属护套之间，通常采用沥青、玻璃丝布带、塑料带、皱纹纸等材料，起铠装衬垫和金属护套防锈作用；铠装层位于内衬层与外被层之间，通常由钢带或钢丝构成，主要起抗压或抗张的机械保护作用；外被层是铠装外面的同心层，采用的材料有电缆沥青、浸渍黄麻或玻璃毛纱、聚氯乙烯塑料带、聚氯乙烯或聚乙烯护套

等，主要对铠装起防蚀保护作用。相对于外护层而言，电缆金属护套常称为电缆的内护层。金属护层具有完全的不透水性，可以防止水及其他有害物质进入到电缆绝缘内部，广泛地用作耐湿性小的油浸纸绝缘电缆的护套。

橡塑护层的特点是柔软、轻便，在移动式电缆中得到最广泛的应用。但橡塑材料有一定的透水性，仅能在采用具有高耐湿性的高聚物材料作为电缆绝缘时应用。橡塑护层可分为橡皮护套和塑料护套两种，橡皮护套的强度、弹性和柔软性较高，但工艺比较复杂，一般用于橡皮绝缘的电缆；塑料护套的防水性、耐药品性较好，价格便宜，加工方便，一般用于塑料绝缘的电缆。

组合护层也叫综合护层，或简易金属护层，一般由薄铝带和聚乙烯护套组合而成，既保留塑料电缆柔软轻便的特点，又由于引进铝带起隔潮作用，使它的透水性比单一塑料护层大为降低。组合护层按结构的不同一般分为铝-聚乙烯、铝-钢-聚乙烯和铝-聚乙烯粘结三类。

## (二) 三芯电缆

三芯电缆的典型结构如图 1-2 所示。

三芯电缆的绝缘方式可分为统包型绝缘和分相型绝缘两种。

统包型绝缘的结构是在每一线芯上包缠相绝缘层（或称芯绝缘层），各绝缘线芯绞合成缆时，芯绝缘间的空隙填以纸捻或麻。在绞合绝缘缆芯之外再包绝缘层，此绝缘层称为带绝缘层（或称统包绝缘层）。需要包绕带绝缘层的理由是，在三相平衡输电系统中，相间电压（线电压）为相对中性点电压（相电压）的 $\sqrt{3}$ 倍，如在每相芯线上包以线电压所需绝缘厚度的一半，则每一线芯对金属护套

(中性点) 绝缘层的厚度只能承受 $\sqrt{3}/2 = 0.866$  倍相电压, 因此必须增加线芯对护套的绝缘层厚度, 使其能承受相电压。统包型绝缘在 10kV 及以下电压等级的电缆中得到广泛应用。

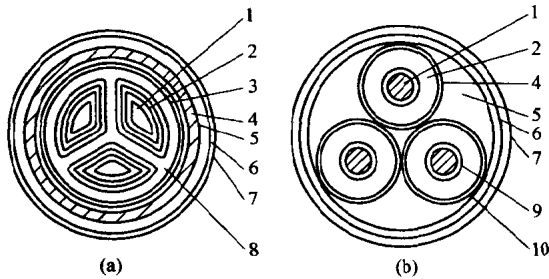


图 1-2 三芯电缆结构示意图

(a) 统包型绝缘三芯电缆结构; (b) 分相型绝缘  
三芯电缆结构

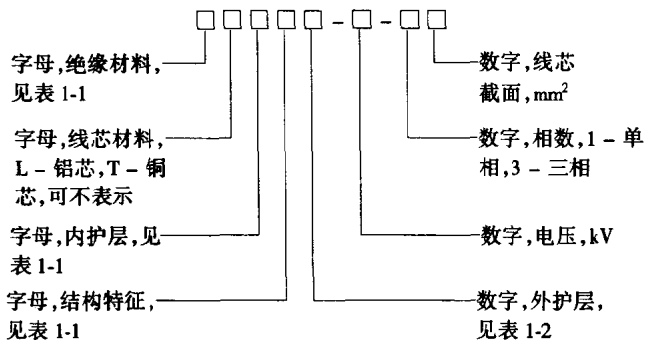
1—线芯; 2—相绝缘层; 3—带绝缘层; 4—金属护套;  
5—内衬层; 6—铠装; 7—外被层; 8—填料;  
9—线芯屏蔽; 10—绝缘屏蔽

分相型绝缘的结构是在每一线芯上包缠完整的能承受相电压的绝缘层, 三相线芯分别加上金属护套后, 再组合成三相电缆。分相型绝缘的优点是电缆的电场只作用于相绝缘, 且与径向垂直, 在同心层上的电场分布均匀, 绝缘材料的利用率相对较高。20kV、35kV 电缆均采用分相型绝缘结构。

为了减少电缆外形尺寸以节约材料, 统包型绝缘三芯电缆的线芯都不采用圆形线芯结构, 而采用弓形、近似扇形或腰圆扇形线芯结构。



### 三、电缆的型号



电缆的种类很多,用途也各不相同,为了生产与订货方便,通常采用电缆型号表示某种电缆的结构与特点,这样既简单明确,又能避免错误。每一个电缆型号表示一种电缆结构,同时也可表明这种电缆的使用场合和某些特征。我国电缆型号的编制原则如下:

(1) 以汉语拼音字母来代表相应线芯、绝缘和内护层材料,例如纸以 Z 表示,铝以 L 表示,铅以 Q 表示。某些电缆结构特点也相应用其汉语拼音字母表示,如分相铅包型电缆用 F 表示。电缆型号中字母的意义详见表 1-1。

表 1-1 电缆型号中字母的意义

导线材料	绝缘材料	内护层	特征
L—铝芯	Z—纸绝缘	H—橡套	P—贫油
T—铜芯	X—橡胶绝缘	Q—铅包	D—不滴流
	V—聚氯乙烯绝缘	L—铝包	F—分相
	Y—聚乙烯绝缘	V—聚氯乙烯护套	CY—充油
	YJ—交联聚乙烯绝缘	Y—聚乙烯护套	

(2) 电缆外护层结构用数字编号表示,没有外护层的