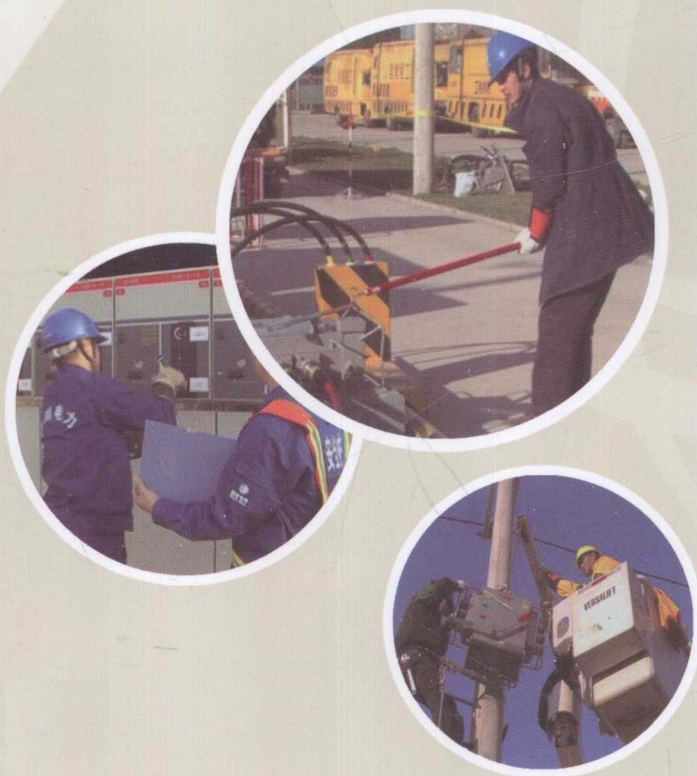




国家电网公司  
STATE GRID  
CORPORATION OF CHINA

国家电网公司运维检修部 组编

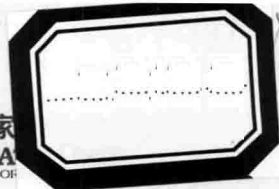
# 10kV 电缆线路不停电作业 培训教材



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国家  
STAR  
CORPORATION



国家电网公司运维检修部 组编

# 10kV 电缆线路不停电作业 培训教材



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书是国家电网公司 10kV 电缆不停电作业试点工作的重要成果之一，从作业基本原理、电力电缆基础知识、作业装备、作业指导书及现场实例等方面系统地对 10kV 电缆线路不停电作业进行了阐述。涉及面广，内容新颖、前沿，既有理论知识，也有工程实践，更汇聚了国内的最新发展。

本书力争在理论上讲透、在技能上按照标准化作业指导书的方式突出实用性和可参照性，从电缆运行、检修的角度突出知识够用和实际工作能力的培养。可供从事配网管理、不停电作业研究、生产工作人员的技术参考用书，也可作为带电作业取证人员的培训教材。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

10kV 电缆线路不停电作业培训教材/国家电网公司运维检修部组编. —北京：中国电力出版社，2013. 10

ISBN 978-7-5123-4919-3

I. ①1… II. ①国… III. ①电力电缆-带电作业-技术培训-教材 IV. ①TM726.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 219281 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2013 年 10 月第一版 2013 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13 印张 318 千字

印数 0001—3000 册 定价 40.00 元

## 敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪  
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

## 前言

配电网不停电作业是以实现用户不中断供电为目的,采用带电作业、旁路作业等方式对配网设备进行检修的作业。作业方法包括绝缘杆作业法、绝缘手套作业法及综合不停电作业法。作业项目包括架空线路的带电作业、旁路作业、临时取电作业和电缆线路旁路作业及临时取电作业。

电缆不停电作业是配电网不停电作业中对电缆线路开展的作业,可以达到用户不停电或少停电的目的。采用带电作业、旁路作业等多种作业方式可对电缆线路设备进行检修。

截止到 2012 年底,国家电网公司城市配网电缆化率已经超过 40%,经济发达地区的电缆化率甚至超过 80%,电缆线路在配网中所占的比重日益增高。开展电缆线路不停电作业,对减少电缆线路停电时间,进一步提升城市配网供电可靠性及优质服务水平具有十分重要的意义。

2011 年,国家电网公司运维检修部召集科研、生产、设备厂家等单位,对电缆不停电作业项目进行了多次技术讨论,根据当前国家电网公司配网电缆线路的实际情况,确定在目前已经开展电缆相关带电作业的基础上,将旁路作业法拓展延伸到电缆线路,逐步实现电缆线路检修、消缺和故障处理等工作的不停电作业,并编制了 Q/GDW710—2012《10kV 电缆线路不停电作业导则》。明确了带电断、接空载电缆引线、旁路作业检修电缆线路设备、临时取电作业等三类 6 项 10kV 电缆线路不停电作业项目的技术方案和安全作业原则。2012 年,国家电网公司运维检修部在国网北京、天津、山东、上海、浙江、福建、湖北、湖南、重庆电力公司等单位开展了电缆不停电作业试点工作。经过近一年的试点工作,形成了一整套作业规程、方法和指导书。

2012~2013 年,国家电网公司运维检修部组织制定了 Q/GDW1811—2013《10kV 带电作业用消弧开关技术条件》、Q/GDW1812—2013《10kV 旁路电缆连接器使用导则》、《配网带电作业用绝缘斗臂车技术规范》(试行)、《旁路作业车技术规范》(试行)、《移动箱变车技术规范》(试行)等电缆不停电作业相关技术标准。

2013 年 3 月 5 日,国家电网公司运维检修部下发《关于印发推进 10kV 电缆线路不停电作业工作意见的通知》(运检三〔2013〕127 号),确定的工作目标为 2013 年重点城市和电缆化率超过 70%的地市公司全面开展电缆线路不停电作业;2014 年电缆化率超过 50%的地市公司全面开展电缆线路不停电作业;2015 年地市公司全面推广电缆线路不停电作业。

本书为电缆不停电作业工作的主要成果之一,全面地总结阐述了电缆不停电作业理论基础及实际操作内容,并着重对 10kV 电缆不停电作业三类 6 项操作主要危险点、关键技术措施、标准化作业指导书进行详细的阐述。第一章为电缆不停电作业基本原理,为电缆不停电

作业方法和项目分类；第二章为电力电缆基础知识，介绍了电力电缆、环网柜及电缆分支箱的基础知识；第三章为电缆不停电作业装备，介绍了带电作业用绝缘工具、防护用具、斗臂车、绝缘平台、旁路作业车、移动箱变车、移动电源车等工具装备的技术条件及使用方法；第四章为标准化作业指导书，为三类6项电缆不停电作业的标准化作业指导书，以及关键步骤的现场照片；第五章为10kV电缆线路不停电作业现场实例。

本教材由国家电网公司运维检修部组织编写，国网浙江省电力公司、国网湖南省电力公司为主编单位，中国电力科学研究院、国网北京市电力公司、国网上海市电力公司、国网山东省电力公司、国网湖北省电力公司、国网河南省电力公司为参编单位。

限于编者水平，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请各位专家和学者批评指正。

编者

2013年9月

## 目 录

## 前言

<b>第一章 电缆不停电作业基本原理</b> .....	1
第一节 作业方法 .....	1
第二节 项目分类 .....	4
<b>第二章 电力电缆基础知识</b> .....	7
第一节 电力电缆 .....	7
第二节 环网柜 .....	25
第三节 电缆分支箱 .....	29
<b>第三章 不停电作业装备</b> .....	35
第一节 带电作业工具 .....	35
第二节 旁路负荷开关 .....	47
第三节 旁路柔性电缆 .....	49
第四节 旁路电缆连接器 .....	52
第五节 带电作业用消弧开关 .....	54
第六节 旁路作业车 .....	57
第七节 移动箱变车 .....	60
第八节 旁路电缆及连接器 .....	66
第九节 旁路作业设备的敷设及防护 .....	68
<b>第四章 标准化作业指导书</b> .....	83
<b>第五章 10kV 电缆线路不停电作业现场实例</b> .....	179
第一节 施工方案 .....	179
第二节 现场作业指导书 .....	188
第三节 不停电作业阶段接线图 .....	201



## 第一章

## 电缆不停电作业基本原理

电缆不停电作业沿用配网不停电作业方法，主要包括绝缘杆作业法、绝缘手套作业法和综合不停电作业法。其作业项目包括带电断、接空载电缆引线，旁路作业检修电缆线路设备和临时取电作业。

## 第一节 作业方法

## 一、绝缘杆作业法

绝缘杆作业是指作业人员在地面，或者登杆至适当位置，或者利用绝缘斗臂车、绝缘平台、绝缘梯等绝缘承载工具至适当位置，系上安全带，与带电体保持足够的安全距离，通过端部装配有不同工具附件的绝缘杆进行作业。操作人员的技能和熟练程度、作业项目的复杂程度及工具操作的方便性，直接影响到工作效率。采用该作业方式时，绝缘工具、绝缘手套和绝缘靴组成带电体，与地之间形成纵向绝缘防护，其中绝缘工具起主绝缘作用，绝缘靴、绝缘手套起辅助绝缘作用，形成后备防护。在相与相之间，空气间隙是主绝缘，绝缘遮蔽罩起辅助绝缘作用，组成不同相之间的横向绝缘防护，避免因人体动作幅度过大造成相间短路。该作业方法的特点是不受交通和地形条件的限制，在高空绝缘斗臂车无法到达的杆位均可进行作业，但机动性、便利性和空中作业范围不如绝缘斗臂车作业。现场监护人员应主要监护人体与带电体的安全距离、绝缘工具的最小有效长度，作业前应严格检查所用工具的电气绝缘强度和机械强度。

## 二、绝缘手套作业法

绝缘手套作业法是指作业人员借助绝缘斗臂车或其他绝缘承载工具（绝缘梯、操作平台等）与大地绝缘并直接接近带电体，作业人员穿戴全套绝缘防护用具，与周围物体保持绝缘隔离，通过绝缘手套对带电体进行检修和维护的作业方式。采用绝缘手套作业法时无论作业人员与接地体和相邻的空气间隙是否满足《国家电网公司电力安全工作规程（线路部分）》（简称《安规》）规定的作业距离，作业前均需对作业范围内的带电体和接地体进行绝缘遮蔽。在作业范围窄小、电气设备密集处，为保证作业人员对相邻带电体和接地体的有效隔离，在适当位置还应装设绝缘隔板等，用来限制作业者的活动范围。在配电线路的带电作业中，不允许作业人员穿戴屏蔽服和导电手套。采用等电位方式进行作业，绝缘手套法也不应混淆为等电位作业法。

采用绝缘手套作业法（直接作业）时，相与地之间的绝缘承载工具（绝缘斗臂车、绝缘梯、操作平台等）起主绝缘作用，绝缘手套、绝缘靴起辅助绝缘作用。绝缘遮蔽罩及全套绝缘防护用具（手套、袖套、绝缘服、绝缘安全帽）用来防止作业人员偶然同时触及带电体和

接地构件造成电击，形成后备防护。在相与相之间，空气间隙为主绝缘，绝缘遮蔽罩起辅助绝缘隔离作用，作业人员穿着全套绝缘防护用具，形成最后一道防线，防止作业人员偶然触及两相导线造成电击。

无论是直接作业法还是间接作业法，在被检修相上开展作业之前，均应采用绝缘遮蔽罩和隔离用具对相邻相带电体进行遮蔽或隔离，同时作业人员应穿戴全套绝缘防护用具。当采用绝缘手套直接作业时，橡胶绝缘手套外应套上防磨或刺穿的防护手套。

采用绝缘斗臂车进行带电作业，具有升空便利、机动性强、作业范围大、机械强度高、电气绝缘性能好等优点。采用高空绝缘斗臂车进行带电作业，具有一种便利、灵活、应用范围广泛、作业效率高、劳动强度较低的优点，能完成细致、复杂的检修工作，是目前配网带电作业采用的主要作业方式，但是它受地形条件限制。

绝缘平台一般由绝缘材料加工制作，安装固定在电杆上，是承载带电作业人员并提供人与电杆等接地体的主绝缘保护的工作平台，主要由抱杆装置、主平台及附件等组成。绝缘平台主要起相对于地的绝缘作用，工作人员不但可以利用绝缘器具选择间接作业法，也可以利用绝缘手套选择直接法进行作业。使用带电作业绝缘平台，为处于田间或山区及狭窄地区等绝缘斗臂车无法接近的配电线路开展带电作业提供了有利条件，可以有效解决山区带电作业受交通和地形条件的限制问题，是绝缘斗臂车的有效补充。但是劳动强度大，适用范围较窄。

### 三、综合不停电作业法

综合不停电作业法是利用旁路电缆、移动箱变车、移动电源车等作业工具及装备，在用户不停电或少停电的情况下，实现配电线路设备的检修。按照使用的主要工具装备，可分为旁路电缆作业、移动箱变车作业及移动电源车作业。

#### 1. 旁路电缆作业法

旁路电缆作业法是通过一种柔性高压电力电缆、快速连接电缆接头和旁路开关在现场快速搭建一条临时旁路供电电缆线路，跨接故障或待检修线路段；然后通过旁路开关操作，将电源引向临时旁路供电电缆线路，保持对用户不间断供电；再断开故障线路段电源，进入停电状态下，对其进行检修，等检修完毕再重新投入运行。旁路电缆作业法架空线路或电缆线路设备示意图如图 1-1 所示。

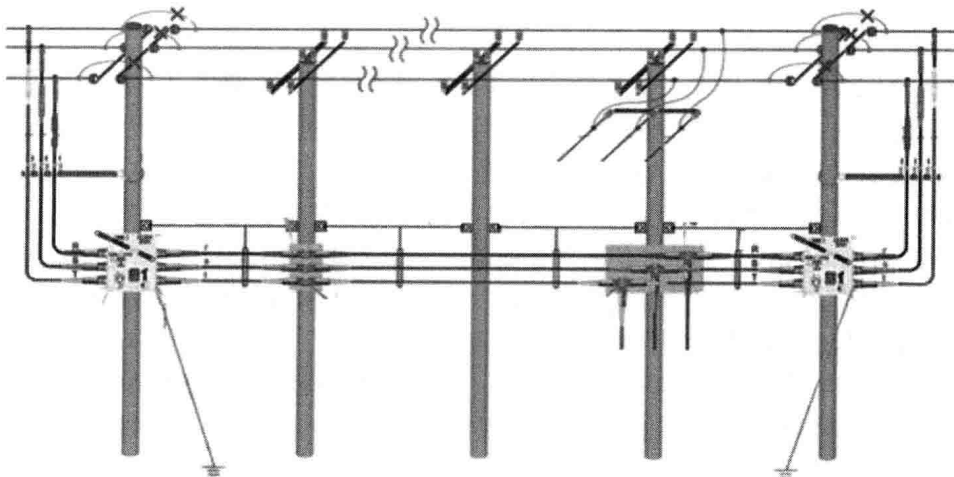


图 1-1 旁路电缆作业原理图 (一)



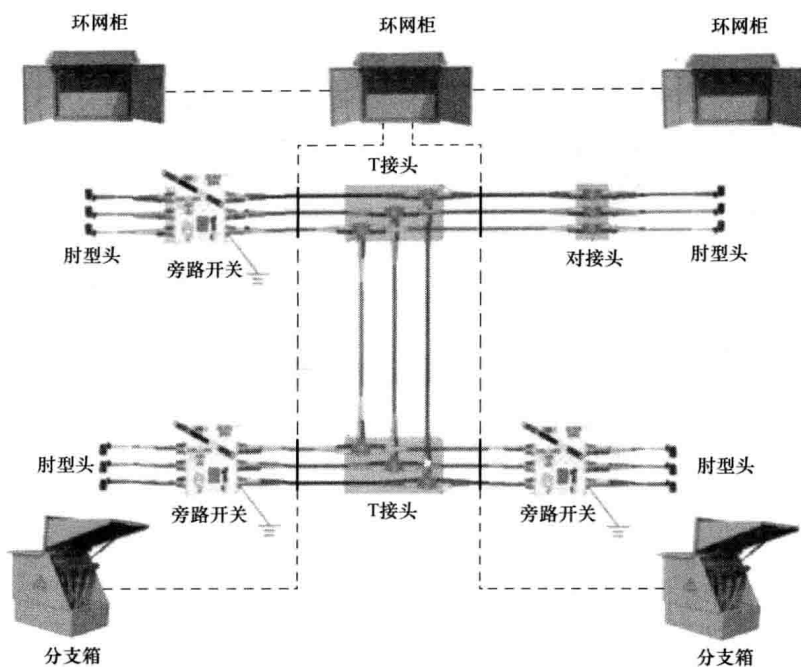


图 1-1 旁路电缆作业原理图 (二)

## 2. 移动箱变车作业法

移动箱变车作业法是利用有箱式配变站的移动电源，通过负荷转移实现配电变压器的退出运行及停电检修；也可以实现对低压用户的临时供电。检修或更换变压器的旁路带电作业原理如图 1-2 所示。

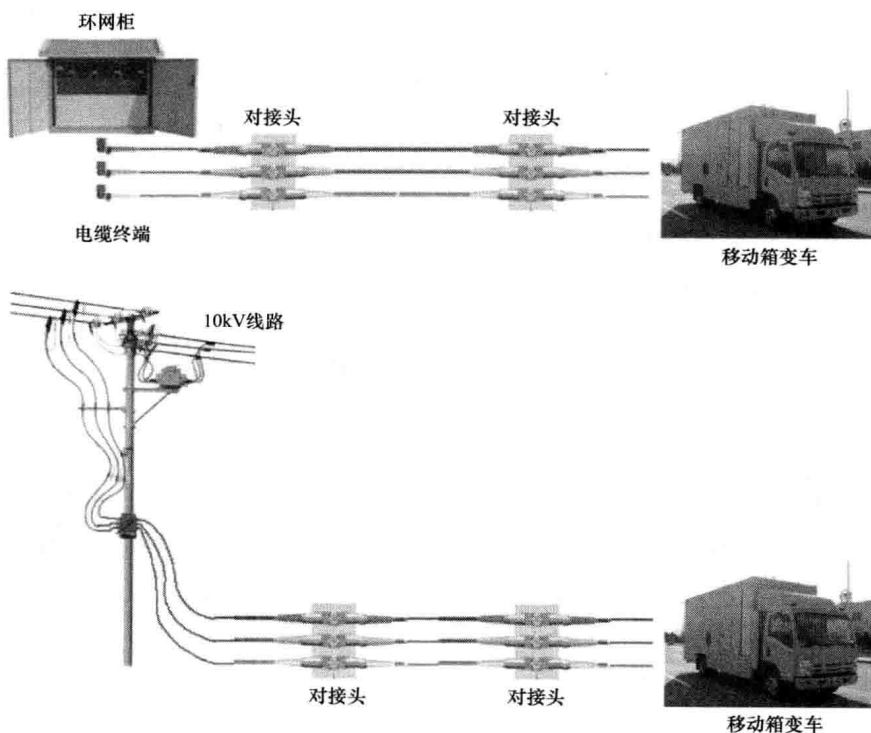


图 1-2 检修或更换变压器的旁路带电作业原理图



图 1-3 应急移动电源车

### 3. 移动电源车作业法

当配电设备因故障或计划检修造成低压用户停电，可以利用移动电源车直接给低压用户临时供电。此外，对于重要用户的临时保电工作，可以将移动电源车作为低压用户的备用电源。移动电源车包括带有柴油或燃气发电机组的发电车，以及带有电池或飞轮等储能装置的储能电源车。应急移动电源车如图 1-3 所示。

## 第二节 项目分类

### 一、带电断、接空载电缆引线

#### 1. 项目需求

采用带电作业用消弧开关，带电断、接架空线路与空载电缆线路连接引线，解决电缆进线用户接入电网、检修时停电范围大的问题。

#### 2. 项目介绍

带电断、接架空线路与空载电缆连接引线作业项目，主要用于架空线路与其 T 接的支线电缆之间无隔离开关、直连的情况，作业时需要采用专用的带电作业用消弧开关消除空载电缆电容电流的影响，其示意图及消弧开关如图 1-4 所示。

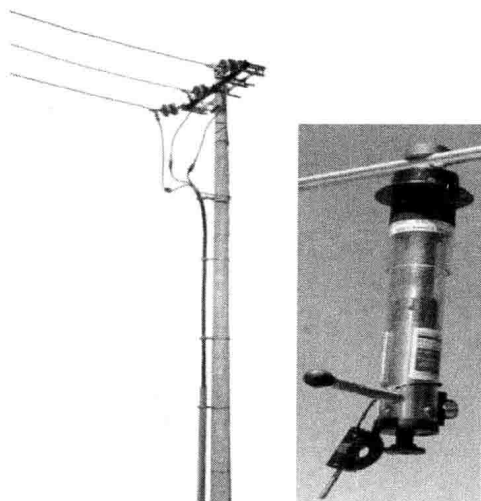


图 1-4 带电断、接空载电缆连接引线现场示意图及消弧开关

### 二、旁路作业检修电缆线路设备

#### 1. 项目需求

采用旁路作业法，不停电（短时停电）检修两环网柜间的电缆、环网柜或电缆分支箱，解决电缆线路设备检修停电时间长的问题。

#### 2. 项目介绍

旁路作业检修电缆线路设备作业项目主要用于在检修电缆、环网柜等线路设备时，无法利用网架结构进行用户负荷转移的情况。

(1) 两环网柜间电缆线路不停电（短时停电）检修作业示意如图 1-5 所示。

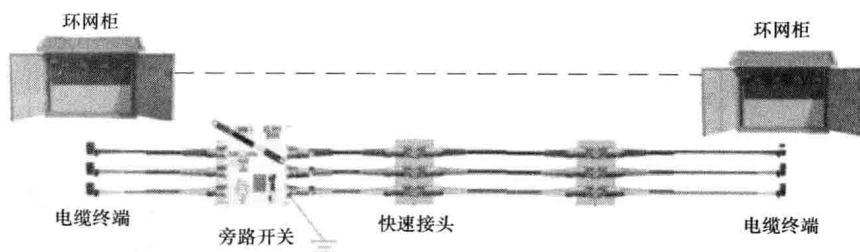


图 1-5 电缆线路不停电（短时停电）检修作业示意图

(2) 环网柜（分支箱）的不停电（短时停电）检修作业示意如图 1-6 所示。

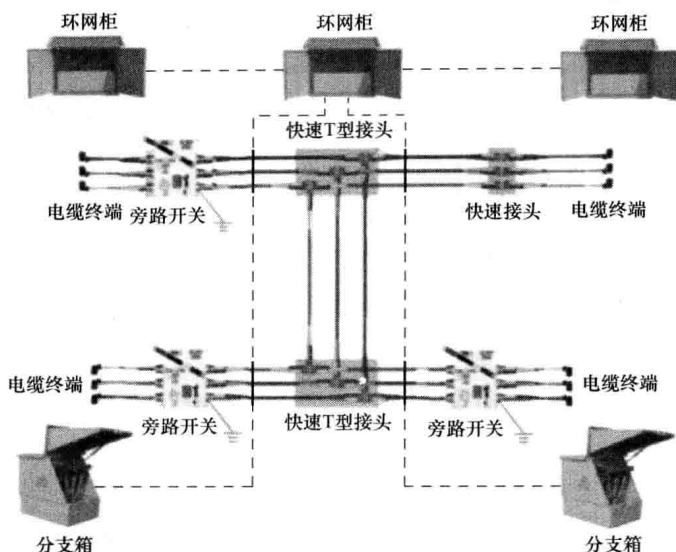


图 1-6 环网柜（分支箱）的不停电（短时停电）检修作业示意图

### 三、临时取电作业

#### 1. 作业需求

采用旁路作业设备，从就近的架空线路、环网柜、可带电插拔电缆分支箱临时取电。给因故障造成停电的重要用户或居民用户应急供电，给保电用户提供备用电源。解决重要用户或居民用户故障停电时间长的问题，增加重要用户保电技术手段。

#### 2. 项目介绍

(1) 从架空线路（环网柜、可带电插拔电缆分支箱）临时取电给环网柜（分支箱）供电作业示意如图 1-7 所示。

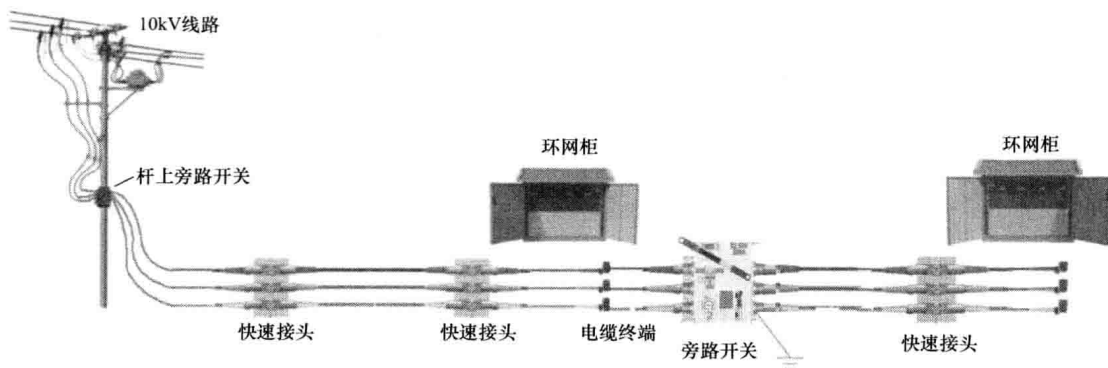


图 1-7 临时取电给环网柜供电作业示意图

(2) 从架空线路（环网柜、可带电插拔电缆分支箱）临时取电给移动箱变供电作业示意如图 1-8 所示。

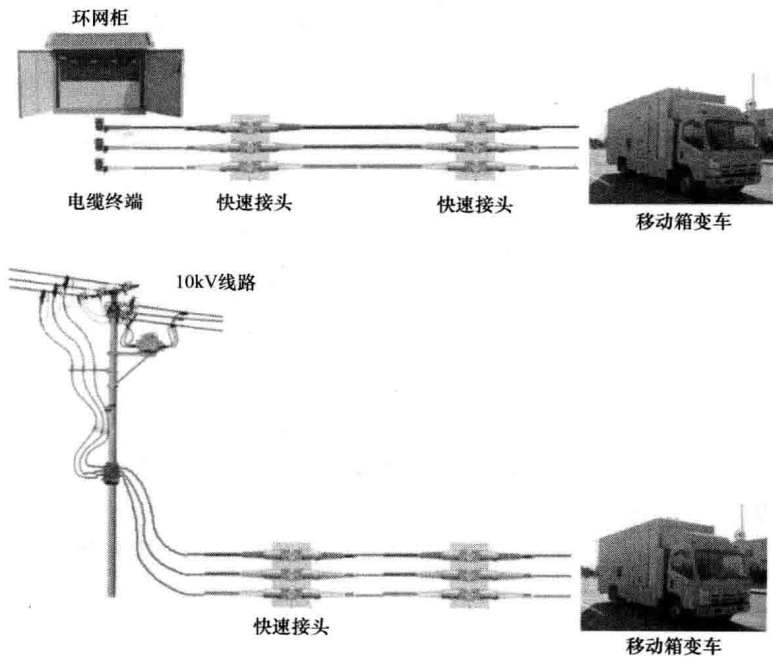


图 1-8 临时取电给移动箱变作业示意图

# 电力电缆基础知识

随着城市的发展，配电网越来越多地采用电缆线路供电，与架空线路相比，电缆线路具有受外界环境影响小，供电可靠性高，占地面积和空间小，美化城市，适应城市发展的优点。但是，电缆线路也有投资大，出现故障查找困难，检修时间长等问题。因此大力发展电缆不停电作业是配电网发展的必然趋势。

## 第一节 电力电缆

### 一、电缆的分类

电力电缆通常按接电缆的绝缘和结构不同，可分为纸绝缘电缆、挤包绝缘电缆和压力电缆三大类。

#### 1. 纸绝缘电缆

纸绝缘电缆是绕包绝缘纸带后浸渍绝缘剂（油类）形成绝缘的电缆，是使用历史最久的电力电缆，具有使用寿命长、价格低、热稳定性高等优点。其缺点是制造和安装工艺比较复杂。图 2-1 是 10kV 三芯统包油浸纸绝缘电缆的结构示意图。

#### 2. 挤包绝缘电缆

挤包绝缘电缆又称固体挤压聚合电缆，是以热塑性或热固性材料挤包形成绝缘的电缆。10kV 交联聚乙烯（Cross Linked Polyethylene, XLPE）电缆是挤包绝缘电缆的一种，图 2-2 是其结构示意图。

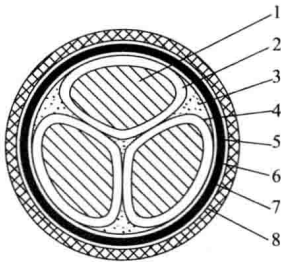


图 2-1 10kV 三芯统包油浸纸绝缘电缆示意图

1—导体；2—绝缘；3—填料；4—统包层；  
5—铅包；6—内衬层；7—铠装；8—外护套

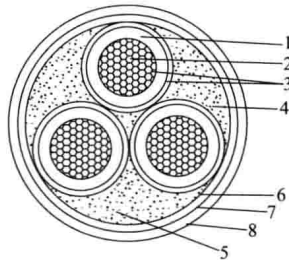


图 2-2 10kV 交联聚乙烯电缆构造图

1—绝缘层；2—线芯；3—半导体层；4—铜带屏蔽层；  
5—填料；6—塑料内衬；7—铠装层；8—塑料外护套

目前，挤包绝缘电缆有聚氯乙烯（PVC）电缆、聚乙烯（PE）电缆、交联聚乙烯（XLPE）电缆和乙丙橡胶（EPR）电缆等。

### 3. 压力电缆

压力电缆是在老电缆中充以能够流动,并具有一定压力的绝缘油或气的电缆。油浸纸绝缘电缆的纸层间,在制造和运行过程中,不可避免地会产生气隙。气隙在电场强度较高时,会出现游离放电,最终导致绝缘层击穿。压力电缆的绝缘处在一定压力状态下(油压或气压),抑制了绝缘层中形成气隙,使电缆绝缘工作场强明显提高,由于成本高,施工难度大,所以一般用于 63kV 及以上电压等级的电缆线路。

## 二、电力电缆基本结构与材料特性

### 1. 电力电缆的基本结构

电缆的基本结构包括导体、绝缘层和保护层三大组成部分,对于 6kV 及以上电缆,还有内、外半导体层、金属屏蔽层,如图 2-3 所示。

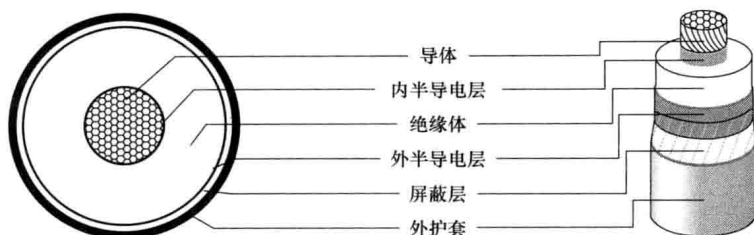


图 2-3 单芯电力电缆结构图

### 2. 导体的结构与材料

导体是电缆中具有传导电流特定功能的部件。

(1) 常用电缆导体材料是金属铜和铝,这两种金属的电导率大,机械强度高,易于加工,其主要性能对比见表 2-1。

表 2-1

铜和铝主要性能对比

名称	铜	铝
密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	8.89	2.70
20°C 时的电阻率 ( $\Omega \cdot \text{m}$ )	$1.724 \times 10^{-8}$	$2.80 \times 10^{-8}$
电阻温度系数 ( $1/^\circ\text{C}$ )	0.003 93	0.004 07
抗拉强度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	200~210	70~95

(2) 我国规定的电缆导体截面积规格有 2.5、4、6、10、16、25、35、50、70、95、120、150、240、300、400、500、630、800、1000、1600、2500 $\text{mm}^2$  等。

(3) 电缆导体数量与形状:单芯、两芯、三芯、四芯、五芯、3+2 芯、4+1 芯和 3+1 芯等,并根据线芯的数量,将导线压成圆形、半圆形、扇形等形状;小截面实芯(即独股),大截面导体由多根导丝绞合而成,满足电缆的柔软性和可曲度的要求。圆形绞合导体几何形状固定,稳定性较好,表面电场比较均匀。

### 3. 绝缘层的结构与材料

电缆绝缘层具有耐受电网电压的特定功能。在电缆使用寿命期间,绝缘层材料具有稳定的以下特性:较高的绝缘电阻和工频、脉冲击穿强度,优良的耐树枝放电和耐局部放电性能,较低的介质损耗角正切值  $\tan\delta$ , 以及一定的柔软性和机械强度。



(1) 油浸纸绝缘：怕水，需金属防水层，除 500kV 及以上超高压充油电缆外，基本被交联电缆所取代。

(2) 橡胶绝缘：乙丙橡胶电缆最高使用电压已达 150kV。

(3) 聚氯乙烯绝缘：介损大，含氯，运行温度低，一般只用于 6kV 及以下电压等级，即将被淘汰。

(4) 聚乙烯绝缘：熔融温度低（70℃），最高工作电压达 500kV。

(5) 交联聚乙烯：通过化学或物理方法将聚乙烯分子链间相互交联。最高运行温度可达 90℃，短路时导电线芯允许的最高温度可达 250℃，极大地提高了电缆的安全载流量和短路容量，其最高工作电压达 500kV。

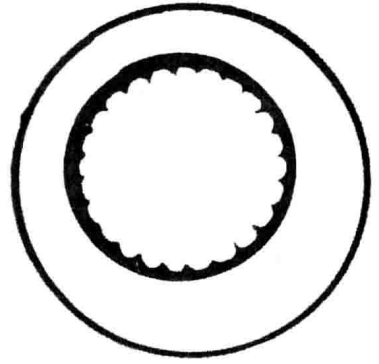


图 2-4 电缆交联聚乙烯绝缘层

1~220kV 的各种电力电缆中，交联聚乙烯是当前应用最广的一种绝缘材料，几乎取代了纸绝缘。电缆交联聚乙烯绝缘层如图 2-4 所示。

#### 4. 屏蔽层的结构与材料

##### (1) 屏蔽层的作用和结构。

电缆屏蔽层是电阻率很低且较薄的半导体层，是改善电缆绝缘内电力线分布的一项措施。屏蔽层分为导体屏蔽（也称为内屏蔽）和绝缘屏蔽（也称外屏蔽）。导体屏蔽是包裹在导体上的非金属或金属电气屏蔽，与被屏蔽的导体等电位，并与绝缘层良好接触，使导体和绝缘界面表面光滑，消除界面处空隙对电性能的影响，避免在导体与绝缘层之间发生局部放电。

在绝缘表面和护套接触处也可能存在间隙，电缆弯曲时，油质电缆绝缘表面易造成裂纹，这些都是引起局部放电的因素。绝缘层屏蔽是包裹于绝缘表面的金属或非金属电气屏蔽，它与被屏蔽的绝缘层有良好接触，与金属护套（金属屏蔽层）等电位，避免在绝缘层与护套之间发生局部放电。

非金属屏蔽层为半导体材料，其体积电阻率  $10^3 \sim 10^6 \Omega \cdot m$ 。油纸电缆的屏蔽层为半导体纸，这种是在普通纸中加入了适量胶体碳黑粒子。半导体纸还有吸附离子的作用，有利于改善绝缘电气性能。在高压充油电缆的绝缘屏蔽外，用铜带或编织铜丝带扎紧绝缘层，使绝缘层与金属护套有良好接触。

##### (2) 交联聚乙烯电缆屏蔽层结构特点。

1) 采用挤包半导体电屏蔽层，为提高局部放电起始电压和绝缘耐冲特性，改善绝缘层与外半导体层界面光滑度和黏着度，在封闭型、全干式交联生产流水线上，导体屏蔽、绝缘层和绝缘屏蔽采用三层同时挤出工艺。实行“三层共挤”，能使层间紧密结合，减少气隙、防止杂质和水的污染。

2) 绝缘屏蔽层有可剥离屏蔽和粘结屏蔽两种，后者需要用特殊工具、溶剂、加热或同时用上述几种方法才能除去。35kV 及以下电缆一般为可剥离屏蔽，110kV 及以上电缆应为粘结屏蔽。

3) 绝缘层屏蔽外有金属屏蔽层，它是将电场限制在电缆内部和保护电缆免受外界电气干扰的外包接地屏蔽层。在系统发生短路故障时，金属屏蔽层是短路电流的通道，金属屏蔽

层有铜带和铜丝两种，35kV 及以上电缆应采用铜丝屏蔽。金属屏蔽层的截面积应根据系统短路容量、中性点接地方式经过计算确定。为了使系统发生单相接地或不同点两相接地时，故障电流流过金属屏蔽层而不致将其烧损，金属屏蔽层截面应符合表 2-2 的要求。采用铅包或铝金属套时，金属套可作为金属屏蔽层。

表 2-2 交联聚乙烯电缆金属屏蔽层截面积（推荐值）

系统额定电压 $U$ (kV)	6~10	35	66	110	220
金属屏蔽层截面积 (mm <sup>2</sup> )	25	35	50	75	95

5. 护层的结构与材料

电缆护层是覆盖在绝缘层外面的保护层，它和导体、绝缘层统称为电缆的三大组成部分。护层的作用是电缆使用寿命周期保护绝缘层不受水分、潮气及其他有害物质侵入，承受安装与运行条件下的一般机械外力，使电缆不受机械损伤和各种环境因素影响，确保电缆绝缘的电气性能长期稳定。

护层的结构取决于电缆的电压等级、绝缘材料和使用环境。典型的护层结构包括内护套和外护层两部分。紧贴绝缘层的内护层是绝缘的直接保护层，外护层是内护套的保护层，它覆盖在内护套外面，增加电缆受控、抗压的机械强度，防止护套腐蚀及避免受到其他环境损害。通常，外护层由内衬层、铠装层和外被层三个同心圆层组成。充油电缆的外护层属于特种外护层，为承受电缆内部油压，铅护套充油电缆应有金属外强层结构。

(1) 内护套的结构和材料。按所用材料不同，护套分为金属护套、非金属（橡塑）护套和组合护套三种。

1) 金属护套。金属护套具有完全不透水性。油质绝缘电缆和 110kV 及以上交联聚乙烯电缆应采用金属护套。按加工方式不同，金属护套分为热压金属护套和焊接金属护套。金属护套材料有铅、铝和钢。表 2-3 是铅和铝的主要性能对比表。

表 2-3 铅和铝的主要性能对比表

性能	金属种类	
	铅	铝
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	11.34	2.7
熔点 (°C)	327	658
线膨胀系数 (10 <sup>-6</sup> /°C)	29.1	23.7
抗张强度 (N/mm <sup>2</sup> )	18~20	85
20°C 时电阻率 (Ω·m)	22×10 <sup>-8</sup>	2.8×10 <sup>-8</sup>
挤压温度 (°C)	260	500
挤压压力 (N/mm <sup>2</sup> )	200	500
硬度 (HB)	4	20

铅的优点是熔点较低，质地较软，完全不透水，容易加工，化学稳定性好，耐腐蚀性能强；缺点是机械强度低，密度较大，具有蠕变性和疲劳龟裂性。此外，用作黏性油质电缆内护套，运行中会形成不可逆膨胀，致使电缆内形成空隙。

电缆铅护套的材料是铅、锑、铜合金，其中含锑 0.4%~0.8%，含铜 0.02%~0.06%，其余为铅。铅锑铜合金的机械强度和耐震性能比纯铅有较大提高，其耐震动疲劳次数在相同应力作用下要比纯铅多 2.7 倍左右。

铝的密度还不到铅的 1/4，而抗张强度几乎是铅的 5 倍，铝的蠕变性和疲劳龟裂性比铝合金要小得多。

与铅护套相比，铝护套有其突出的优点。铝的熔点较高，约为铅的 2 倍，因此，铝不能像压铅那样采取熔融剂制作护套。电缆铝护套的制造要用专用设备——压铝机。为了解决铝护套电缆敷设施工时能按允许半径弯曲，直径在 40mm 以上的铝包应增加扎纹工艺，即扎成波纹铝护套。铝的耐蚀性比铅差，因此，用于直埋、管道及水下敷设的铝护套电缆应有防水性能较好的外护套。

2) 非金属（橡塑）护套。非金属护套有一定的透水性，用于本身绝缘为具有较高耐湿性的高聚物电缆。非金属护套材料是橡胶和塑料，如聚氯乙烯、聚乙烯、氯丁橡胶、丁基橡胶等。聚乙烯的防水性能比聚氯乙烯强。

3) 组合护套（护套）。组合护层也称综合护层或简易金属护层。一般采用挤包皱纹铝套，或采用氩弧焊工艺焊接铝套，然后涂以沥青为防蚀涂料，再挤包聚乙烯或聚氯乙烯外护套，最后涂抹炭黑导电层，用于测量外护套绝缘电阻。组合护层仍具有塑料电缆柔软、轻便的特性，而由于铝带的隔潮作用，其透水性比单一的塑料护套要低得多。

### (2) 外护层的结构和材料。

外护层作用：外护层是包覆在电缆护套外面，保护电缆免受机械损伤和腐蚀或兼具其他特种作用的保护覆盖层。电缆外护层的结构主要取决于护套种类和敷设环境要求。

金属护套电缆通用外护层结构，一般分为内衬层、铠装层和外被层三部分。

1) 内衬层。内衬层是介于金属护套和铠装层之间的同心圆层，其作用是保护护套不被铠装层扎伤。内衬层的厚度与电缆直径有关，直径较大，内衬层较厚，一般为 0.4~2mm。内衬层有绕包型和挤出型两种，绕包型内衬层的材料为沥青涂料、塑料带、无纺布，挤出型内衬层材料为沥青加聚氯乙烯或聚乙烯套。

2) 铠装层。在电缆承受压力或拉力的场合，应用铠装层使电缆具备必需的机械强度。铠装层的材料主要是钢带或钢丝，钢带铠装能承受压力，适应于地下直埋敷设；钢丝铠装能承受拉力，适应于水底或垂直敷设。

3) 外被层。外被层是铠装外的防腐层，能防止铠装层和金属护套遭受电化学腐蚀。外被层一般用聚氯乙烯或聚乙烯经挤包法制成，对被层材料经过适当特殊处理，可制成与某些特定环境相适应的电缆，如阻燃电缆、防白蚁电缆等。

4) 铅套充油电缆特种外护层。铅套充油电缆特种外护层与通用外护层不同，它增加了一个“加强层”，以承受充油电缆的内部油压力。加强层的结构为绕包径向铜带或径向不锈钢带，在电缆承受向张力的使用环境，或者为适应通过系统短路电流的需要，在径向铜带或径向不锈钢带外面，再增加纵向窄铜带或纵向窄不锈钢带。

## 三、电力电缆型号及命名

电力电缆型号及命名以字母和数字组合表示。其中，以字母表示电缆的产品系列、导体、绝缘、护套、特征及派生代号，以数字表示电缆外护层。完整的电缆型号及命名还应包括电缆额定电压、芯数、标称截面及标准号。电缆的型号及命名如下：