

高等职业教育轨道交通类校企合作系列教材

电力内外线

D I A N L I N E I W A I X I A N

主 编◎曹 阳



西南交通大学出版社

电力内外线

D I A N L I N E I W A I X I A N

主 编 曹 阳

副主编 张亚红 李 壮 王天夫

主 审 庞兆亮

常州大学图书馆
藏书章

西南交通大学出版社

• 成 都 •

内容简介

本书是铁路高等职业教育教材,分为四个项目进行编写,注重电力工程施工的实际需要。上篇为外线工程:在项目一中,着重叙述架空线路的施工、架空线路设备安装操作、防雷与接地、架空线路的巡视检修及事故预防等;在项目二中,着重介绍电缆的各种敷设方法、接头和端头的制作和故障检测方法以及事故预防等。下篇为内线工程:着重叙述室内各种配线的施工、电气照明灯具和器具的选择与安装、配电设备与配电装置的安装方法及竣工验收。本书突出实际施工的技能技巧,并附有一定数量的习题。

本书通俗易懂,图文并茂,方法多样实用,可作为电气化铁道供电专业、企业供电专业高职学生教材,也可作为一线从事电力内外线安装工作的技术人员培训教材和自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电力内外线 / 曹阳主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2015.2
高等职业教育轨道交通类校企合作系列教材
ISBN 978-7-5643-3786-5

I. ①电… II. ①曹… III. ①输配电线路—电力工程—高等教育—教材 IV. ①TM75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 038028 号

高等职业教育轨道交通类校企合作系列教材

电力内外线

主编 曹 阳

责任编辑 李芳芳
助理编辑 张少华
封面设计 墨创文化

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市金牛区交大路 146 号)

发行部电话 028-87600564 028-87600533

邮政编码 610031

网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印 刷 四川森林印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印 张 23.75

字 数 585 千

版 次 2015 年 2 月第 1 版

印 次 2015 年 2 月第 1 次

书 号 ISBN 978-7-5643-3786-5

定 价 49.80 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

随着我国电气化铁道事业的发展和新技术、新设备、新工艺的不断出现,施工技术的不断发展,以及一些技术标准的改变,为了满足铁路运行维护和基本建设等部门的电力工程施工需要,进一步提高从事配电工作人员的技术业务水平,根据铁道部铁路高职教育电气化铁道供电专业“电力内外线工程”课程教学大纲编写了本教材。

为了适应现代供电技术发展的需要,本书内容涉及电力架空线路施工维护、电缆线路的敷设与维护,室内外各种配线、常用低压电气设备、照明设备的安装和内外线的运行维护等。在编写中,注意体现高职教育的特点,采用专业理论和实践技能“一体化”的编写理念,突出实际施工技能技巧的训练,注重培养学生的实际动手操作能力,一方面加强基本理论的阐述,另一方面用供电系统的新技术与新方法充实与更新本书的内容。如:在上篇的项目一架空线路及设备安装、维修、维护中,介绍了架空线路的安全规程和实践练习;在项目二电力电缆线路维护检修中,增加了电缆敷设的规定和电缆线路的安全规程等内容。尤其是随着电力电缆在供电中的普遍应用,故障随之增多,如何探测,怎样快速准确地查找到故障点的精确位置,缩短故障的修复时间,成为各供电企业越来越关心的问题。为了解决上述问题,本书增加了故障探测与处理等内容。在下篇内线施工中,增加了电气施工图阅读的基本知识;在介绍传统的工程施工方法的基础上,增加了照明线路的实践练习;并增加了竣工验收和工程交接等工程实际内容。

本书分为四个项目,由辽宁铁道职业技术学院曹阳任主编,张亚红、李壮、王天夫任副主编。具体分工为:辽宁铁道职业技术学院的曹阳老师编写项目一中的课题一、课题二、课题三、课题五、课题六和课题八;辽宁铁道职业技术学院的李壮老师编写项目二和项目一中的课题四、课题七;辽宁铁道职业技术学院的王天夫老师编写项目三中的课题二、课题三;辽宁铁道职业技术学院的张亚红老师编写项目四及项目三中的课题一。本书由沈阳铁路局锦州供电段工程师庞兆亮主审。本书在编写过程中得到了辽宁铁道路职业技术学院、沈阳铁路局锦州供电段的大力支持和帮助,对此表示感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在不足和不妥之处,敬请广大读者和同行批评指正。

编 者

2015年1月

目 录

上篇 电力外线

项目一 架空线路及设备安装、检修、维护	3
课题一 铁路供电的主要任务及结线方式	3
课题二 架空线路构成	10
课题三 架空线路电气和机械计算	34
课题四 架空线路施工准备	61
课题五 架空线路架设	79
课题六 配电线路设备	110
课题七 接地及接地装置施工	129
课题八 运行维护检修	143
项目二 电力电缆线路维护检修	158
课题一 电力电缆的结构和种类	158
课题二 敷设方式	164
课题三 电力电缆运行维护和故障检测	182

下篇 电力内线

项目三 动力照明线路安装维护	211
课题一 低压配电系统	211
课题二 室内配线施工	247
课题三 电气照明线路安装维护	285
项目四 室内配电装置和电气设备的安装	326
课题一 施工准备及施工	326
课题二 配电装置和电气设备的安装	331
课题三 工程交接验收	367
参考文献	373

上篇

电力外线

项目一 架空线路及设备安装、检修、维护

课题一 铁路供电的主要任务及结线方式

一、配电网的组成

电能是一种应用广泛的能源，现代工业、农业、科学技术和国防建设以及广大人民群众的日常生活动都离不开电能。其生产（发电厂）、输送（输配电线路）、分配（变配电站）和用户的各个环节有机的构成了一个系统，如图 1-1-1 所示的输配电线路是电能传输的唯一路径，也是国民生产的重要环节。

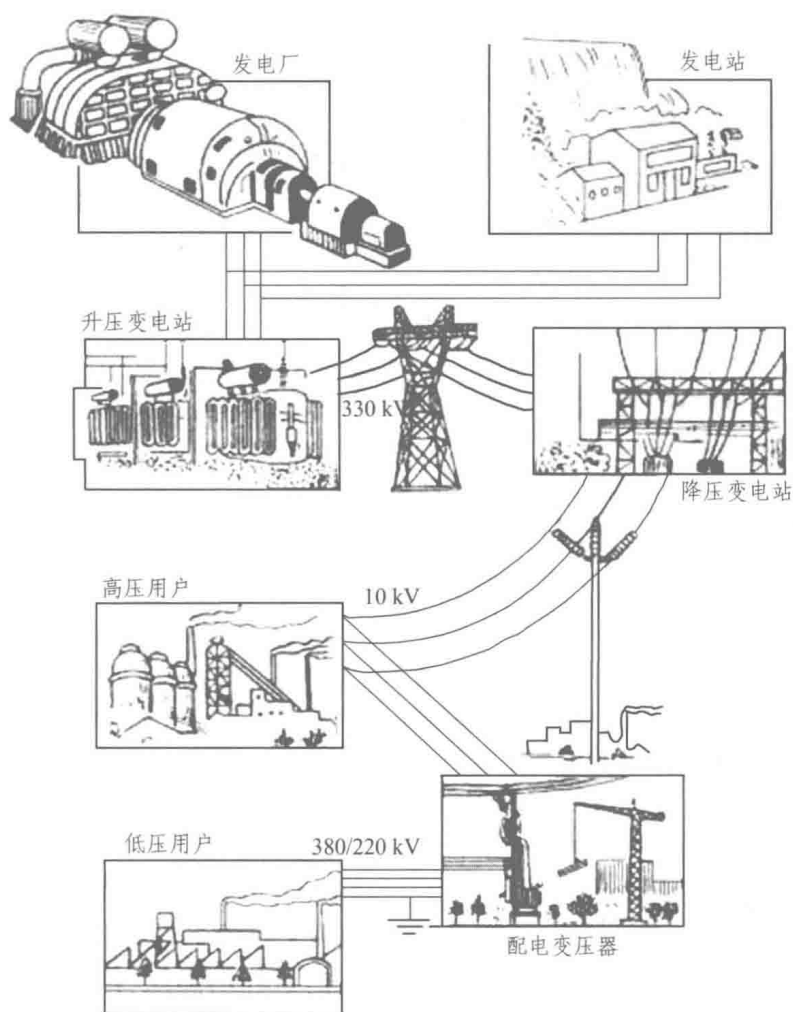


图 1-1-1 三相电力系统示意图

(1) 输电线路：由各发电厂向各电力负荷中心输送电能的线路。

(2) 配电线路：由各电力负荷中心向各电力用户分配电能的线路。

(3) 电力网：由各种电压等级的电力线路及其所连接的升、降压变电所(站)所组成的部分。它是联系发电机和用户的中间环节。

(4) 电力系统：是一个由生产电能的发电机、输送与分配电能的电力线路和消耗电能的用户等多个环节有机结合组成的整体。电力系统通常由发电厂，输、配电线路，变、配电所，电力负荷四部分组成。

(5) 动力系统：电力系统加上动力部分，即热力发电厂的锅炉、汽轮机、热力网和用热设备；水力发电厂的水库、水轮机以及原子能发电厂的反应堆等。

二、铁路供电的主要任务

铁路供电段的主要任务有两项：其一为牵引供电，向电力机车(动车组)提供电源；其二为非牵引供电，向牵引供电负荷以外的铁路负荷提供电源。牵引供电线路为接触网电压等级，为 25 kV；非牵引供电线路为架空线路和电缆线路，电压等级为 10 kV 和 220/380 V，本书主要讲述非牵引供电。

(一) 供电负荷分布

(1) 车站、段(所)负荷主要包括：通信、信号、信息系统、调度集中、大站电气集中联锁、接触网上电动隔离开关操作电源、动车检修设备、综合维修设备、空调、通风、电梯、给排水、照明等。

(2) 区间负荷主要包括：信号中继站、无线通信基站、光纤直放站、自动闭塞、电力牵引各所用电、隧道照明、通风及监控设备、立交桥排水等。

(3) 车站驼峰：驼峰电气集中联锁、存储式驼峰电气集中、机械化驼峰的空压机及驼峰照明区。

(二) 电力负荷等级

根据电力负荷对供电可靠性的要求及中断供电造成的损失或影响的程度，将电力负荷分为三级：

(1) 一级负荷包括：与行车密切相关的通信、信号、信息、防火安全监控设备；动车段运用设备；电力及电力牵引供电各所操作电源；大型、特大型站公共用区照明、应急照明及隧道应急照明；大型及重要建筑物火灾自动报警系统设备；特长隧道消防设备等。

(2) 二级负荷主要包括：为通信、信号主要设备配置的专用空调；接触网远动开关操作电源；动车组检修设备；综合检测、工务机械、综合维修、给排水设施等设备；中间站公共区照明；区间视频监控设备；道岔融雪设备；红外线轴温探测设备；道口信号。

(3) 三级负荷：一、二级负荷以外的其他负荷。

(三) 供电原则

一级负荷：必须采用两路相互独立电源分别供电至用电设备或低压双电源切换装置处，

两个电源不会同时失电，当一个电源发生故障时，另一个电源会在允许时间内自动投入，对一级负荷中特别重要的负荷，还应增设应急电源。

二级负荷：应由两个独立电源供电，当一个电源失电时，另一个电源由操作人员投入运行。当只有一个电源独立供电时，采用两个回路供电。

三级负荷：对电源无特殊要求，可采用单回路供电。

三、配电线路的额定电压和结线方式

（一）电力网的额定电压

为使电力工业和电工制造业的生产标准化、系列化和统一化，国家根据各时期国民经济发展的需要、技术经济合理性以及电机电器制造的工业水平，颁布了国家标准 GB156-93《标准电压》，规定了三相交流电网和电力设备的额定电压。

1. 电力网（电力线路）的额定电压

它是确定各类电力设备额定电压的基本依据。

2. 用电设备的额定电压

用电设备的额定电压的规定与供电网的额定电压相同，且电压容许偏移为 $\pm 5\%$ 。

3. 发电机的额定电压

规定发电机的额定电压为线路额定电压的 105%。

4. 电力变压器的额定电压

（1）一次绕组的额定电压：一次绕组接电源，相当于用电设备，其额定电压应等于用电设备的额定电压；一次绕组直接与发电机相连，其额定电压应与发电机的额定电压相同，即高于电网额定电压的 5%；若变压器连接在线路的其他位置，其一次绕组的额定电压应与线路的额定电压相同。

（2）二次绕组的额定电压：若二次侧所接的供电线路较长，二次绕组额定电压应高于二次侧电网额定电压的 10%；若二次侧所接的供电线路不长，二次绕组额定电压只需高于二次侧电网额定电压的 5%即可。

（二）电力网的结线方式

1. 电力网结线的要求

在选择电力网的结线方式时，应考虑以下几个方面的问题：

- （1）必须保证对用户供电的可靠性；
- （2）必须能灵活地适应各种运行方式；
- （3）应力求节省设备和材料；
- （4）应保证在各种运行方式下，人员能安全操作和操作简便；
- （5）应有利于将来的发展。

2. 电力网结线分类

根据上述要求，电力网结线大体上可分两大类型。

(1) 无备用结线方式。

这类结线，用户只能从一个方向取得电能。分为单回路的放射式、干线式、链式和树干式，如图 1-1-2 所示。其主要优点是接线简单，运行方便，而主要缺点是供电可靠性差。

(2) 有备用结线方式。

有备用结线方式应有两路电源（两个变压器），一个发生故障另一个自动投入运行。分为双回路的放射式、干线式、树干式、环式、两端供电式等，如图 1-1-3 所示。适用于一、二级负荷。

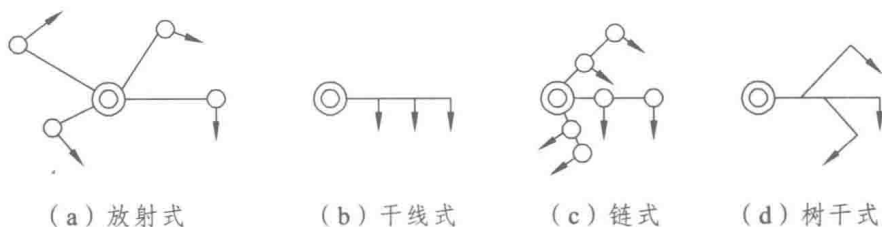


图 1-1-2 无备用结线

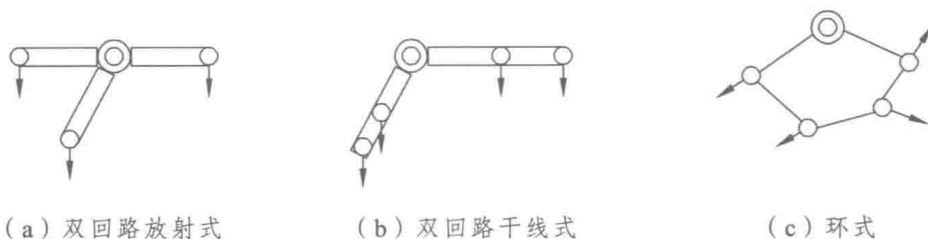


图 1-1-3 有备用结线

铁路部门配电系统通常采用树干式配电网络、放射式配电网络、环形式配电网络、两端式配电网络。有时也采用树干式和放射式同时使用的混合式配电网络以及双回路式配电网络。

3. 铁路部门配电系统常用的配电网络

(1) 树干式配电网络。

树干式配电网络如图 1-1-4 所示。由铁路地区变电、配电所馈出一个或几个配电回路，每个回路可对几个室内、外变电所或直接对高压用电设备供电。此类配电线路的优点是简单、经济，但缺点是当任一段线路故障时，会导致所有变电所停电，因此只能对三级负荷供电。

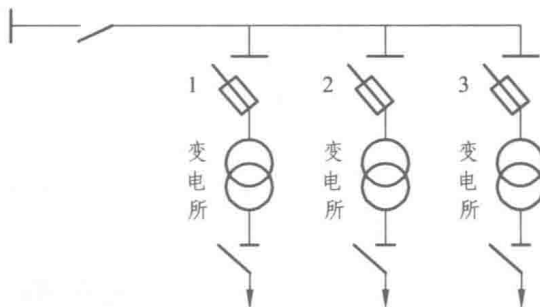


图 1-1-4 树干式

当要求树干式网络提高供电的可靠性以满足二级负荷供电时，可采用双回路树干式网络供电，如图 1-1-5 所示。在正常工作时只允许一条干线连接，当其中一段线路发生故障时，

负荷只暂时停电即可转到另一线路上去，继续供电。

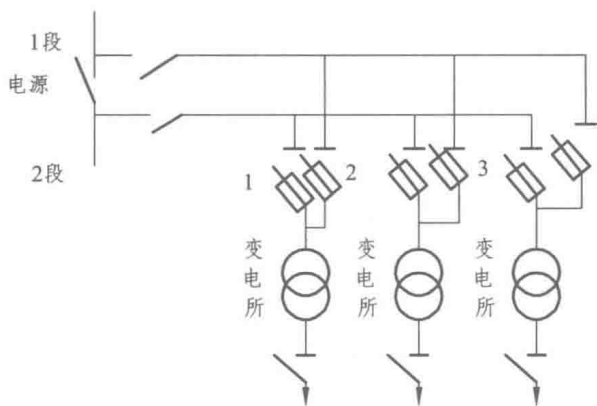


图 1-1-5 双回路树干式

(2) 放射式配电网络。

放射式配电网络如图 1-1-6 所示。由铁路地区变、配电所馈出单独的回路直接对一个室内、外变电所或高压设备供电，线路上不接其他用户。由于各回路是单独控制和单独供电，相互影响较小，因而适宜向一级负荷或较大功率负荷供电，保护装置设置方便，但投资较大，消耗有色金属较多，线路占用通道较多。

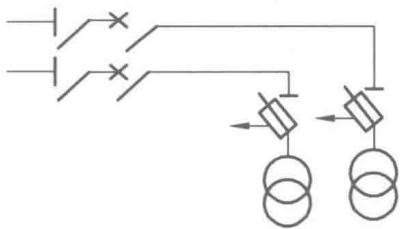


图 1-1-6 放射式

(3) 拉手环式。

拉手环式的结构如图 1-1-7 所示。它与放射式的不同点在于每个变电站的一回主干线都和另一变电站的一回主干线接通，形成一个两端都有电源、环式设计、开式运行的主干线，任何一端都可以供给全线负荷。主干线上由若干分段点（一般安装油浸、真空、产气、吹气等各种型式的开关）形成的各个分段中的任何一个分段停电时，都可以不影响其他分段的供电。因此，线路停电检修时，可以分段进行，缩小停电范围，缩短停电时间，一端变电站全停电时，线路可以全部改由另一端电源供电，不影响用户用电。这种接线方式线路本身的投资并不一定比普通环式更高，但变电站的备用容量要适当增加，以负担其他变电站的负荷。实际经验证明，不管架空线路的接线方式如何，一般情况下，变电站主变压器都需要留有 30% 的裕度，而这 30% 的裕度对拉手环式接线也已够用。当然，采用 40% 的裕度更为安全。

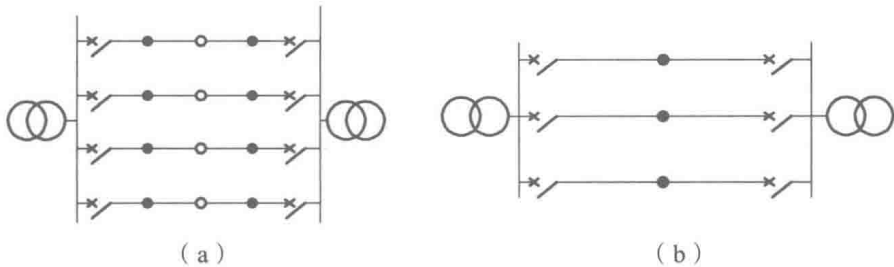


图 1-1-7 拉手环式供电接线原理图

拉手环式接线有两种运行方式，一种是各回主干线都在中间断开，由两端分别供电，如图 1-1-7 (a) 所示。这样线损较小，线路故障停电范围也较小，但在线路开关操作实现远动

和自动化前,变电站故障或检修时需要留有线路开关的倒闸操作时间。另一种是主干线的断开点设在主干线一端,即由变电站线路出口断路器断开,如图 1-1-7(b)所示。这样变电站故障或检修时可以迅速转移线路负荷,供电可靠性较高,但线损增加,是很不经济的。在实际应用时,应根据系统的具体情况因地制宜。

(4) 混合式配电网络。

V 在混合式配电网络中既有放射式配电网络,也有树干式配电网络。在铁路枢纽内对负荷分散、供电点多、负荷等级或容量不同,应用此配电网络最为合适。它既可保证一级负荷供电,又可兼顾一般负荷供电。例如,一级负荷可采用放射式配电网络供电,而树干式配电网络可作为一级负荷的备用电源并对二、三级负荷供电。所以铁路编组站广泛采用此种配电网络。

(三) 铁路自动闭塞供电方式

由铁路变配电所、自动闭塞高低压电力线路及变配电设备组成的铁路自动闭塞电力系统,为铁路行车信号提供电源,对提高铁路运输效率、保证行车安全具有重要作用。

1. 自动闭塞电力系统的组成及特点

在自动闭塞区段,铁路区段站或地方电源较可靠的中间车站,每隔 40~60 km 就设有一座电力配电所,由地方变电站引来的外部电源,经铁路配电所内隔离调压器,向区间送电(电压等级一般为 10 kV),并与相邻配电所进行互供,形成双端供电网络,经由变压器向信号设备供电,变压器及以上称为高压系统。连接两相邻配电所的高压电力线路称为自动闭塞高压电力线路,由该线路在区间或车站接引的信号变压器将 10 kV 变成 380/220 V,经由低压线路供车站或自闭信号用电。这样,由铁路电力配电所、10 kV 电力线路、信号变压器和低压线路就构成了自动闭塞电力系统。

自动闭塞电力系统是专供行车信号设备用电的,采用对地绝缘系统。传输功率较小、传输距离较远且随铁路沿线分布,采用两端供电式配电网络和双回式配电网络。为了保证行车信号可靠用电,必须尽量减少系统干扰。自动闭塞供电系统采用对地绝缘的电力系统,可以减少其他电力系统大(故障)电流通过地线侵入引起的干扰,避免大系统(故障)电流引起信号设备误动作所造成的行车事故。其另一个优点是,不论是高压或低压系统某一点接地时,仍能维持供电一段时间而不影响行车信号使用。

2. 区间信号设备的供电运行方式

区间信号设备的供电方式一般可分为集中式和分散式两种。

(1) 集中式。

信号专用变压器设置在车站,以 380/220 V 电源送至信号楼,由信号楼向区间信号提供电源。这种供电方式的优点是设备设置简单、可靠,区间没有电力变压器、互供装置和低压电力线受外界影响较少,因而发生故障的几率小,维护费用较少。缺点是车站信号停电既影响本站又影响区间信号,影响面较大。

(2) 分散式。

在区间的各信号点设有信号专用变压器。通过电力互供箱和电务继电器箱向信号设备供电。这种方式设备分散、点多、线长,设备受外界影响较大,故障几率大,事故处理、故障

查找困难。

3. 供电电源的互供方法

自动闭塞信号设备中断供电将使正常运编秩序受到破坏，因此，必须有电力互供设备装置来保证不间断供电。

(1) 变电所运行方式。

铁路系统电源取自地方供电局，供电方式为专盘专线，电压等级一般为：110 kV、35 kV 或 10 kV。铁路系统为了提高供电可靠性采用双电源同时运行、母线母联分段供电方式。如图 1-1-8 所示。

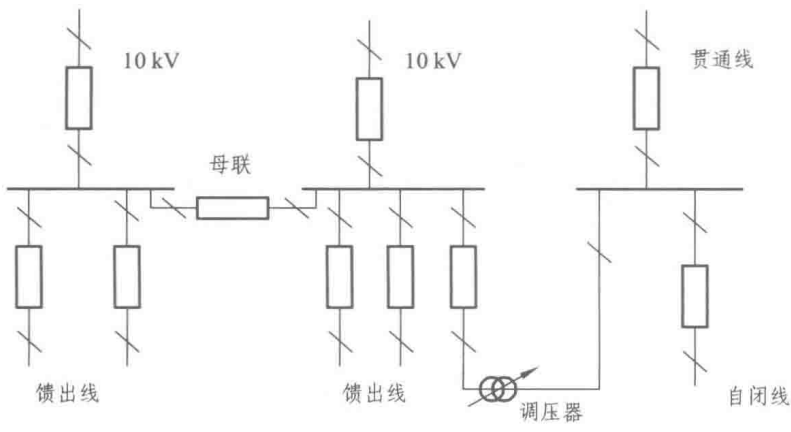


图 1-1-8 典型 10 kV 变电所接线图

(2) 供电区间供电方式。

铁路供电线路沿铁路线分布如图 1-1-9 所示，每 40 ~ 60 km 设一个变电所。

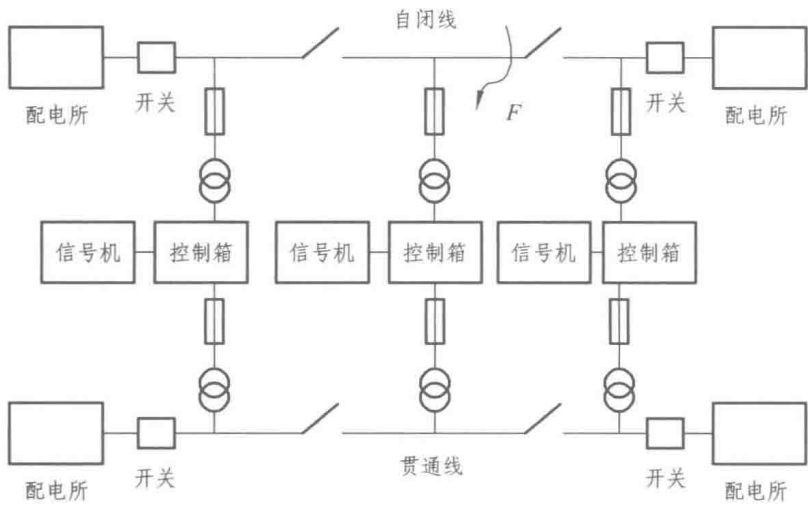


图 1-1-9 线路供电运行方式

铁路部门为保证列车的行车安全，要求铁路信号机必须安全、可靠地工作。为了保证铁路沿线信号灯不掉电，铁路电力系统的变电所一般采用双电源供电方式，沿线每一个供电区间双端供电，供电区间之间一般采用专门为自动闭塞信号机供电的 10 kV 自闭电力线路（简

称自闭线)和10 kV贯通电力线路(简称贯通线),双路供电至低压双电源切换装置,两路电源互为备用,失压自动切换。

甲、乙两个配电所分别供电,两所之间由若干车站开关作为线路分段开关,正常情况下,甲所作为主供电源,乙所为备用电源;自闭线作为主供电源,贯通线作为备用电源。

当线路F点发生短路故障时,甲所自闭线出线开关零秒速断,线路失电;乙所在检测到线路失电后自动投切,如果故障消失,则线路恢复正常供电,如果故障没有消失,乙所迅速跳闸,备投不成功;甲所在经过重合闸时间后,再次合闸,如果故障消失,则线路恢复正常供电,如果故障没有消失,甲所再次跳闸,重合闸不成功,线路失电退出运行。这个过程称为“备投一重合过程”。

此时,信号设备由贯通线供电。这时应及时排除故障,恢复自闭线正常供电,否则如果贯通线路再次发生永久故障,将导致信号设备供电中断事故。有些情况下,铁路沿线没有自闭线,只有贯通线,当贯通线发生永久故障后,会立即导致供电中断。另外,铁路电力系统还经常使用“重合一备投”方式,工作过程与“备投一重合”类似。

习 题

1. 什么是配电网,由哪几部分组成?
2. 什么是输电线路,什么是配电线路?
3. 什么是电力系统,由哪几部分组成?
4. 铁路供电的主要任务有哪些?
5. 铁路非牵引供电的负荷有哪些?
6. 电力负荷怎样分级?各级负荷如何供电?
7. 何为有备用接线方式和无备用接线方式?
8. 试述铁路自动闭塞的供电方式。
9. 画出铁路信号供电运行方式图,并说明工作原理。

课题二 架空线路构成

一、架空线路的构成及优缺点

(一) 架空线路的组成

架空线路主要由杆塔、导线、绝缘子、横担、金具、避雷线、拉线等主要元件组成。

(1) 杆塔的作用是支持导线和避雷线,并使导线与导线间、导线与杆塔间、导线与大地间保持规定的距离;

(2) 导线的作用是传导电流、输送电能;

(3) 绝缘子的作用是支持和固定导线,并保持导线与杆塔间的良好绝缘;

(4) 横担的作用是固定绝缘子,并使其保持一定的距离;

(5) 金具的作用是连接导线或避雷线,将导线固定在绝缘子上,以及将绝缘子固定在杆

塔上；

(6) 避雷线的作用是将雷电流引入大地，以保护线路的电气设备免遭雷击。

(7) 拉线的作用是为了平衡杆塔各方向的张力，防止杆塔弯曲或倾覆。

(二) 术 语

(1) 挡距：架空线路两相邻杆塔间的水平距离。

(2) 弧垂(弛垂或弛度)：悬挂在两杆塔之间的导线形成一条悬链曲线，在挡距中，导线悬链曲线上任意一点至悬挂点水平线的垂直距离，称为该点的弧垂。如图 1-2-1 所示。弧垂过大容易造成相间短路及其对地安全距离不够；弧垂过小，导线承受的拉力过大而可能被拉断，或致使横担扭曲变形。

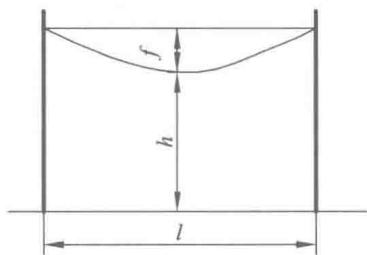


图 1-2-1 挡距、弧垂和限距

f —弧垂； l —挡距； h —限距

(3) 安全距离(限距)：在挡距中，导线最低点到地面(或水面)，或导线悬链曲线上任意一点到其他目标物的最小垂直距离。限距是架空线路安全运行的依据，当架空线路的电压等级确定之后，限距的规定值也就被确定下来。

(4) 耐张段：两耐张杆塔之间的距离称为耐张段，一般 1~2 km 设置一个耐张段，耐张杆将全线路分成若干个耐张段，这样，当线路发生断线故障时所产生的很大不平衡拉力，由耐张杆承受，因而使断线故障的影响范围限制在该断线点的耐张段内。另外，耐张段也便于线路的施工和检修。如图 1-2-2 所示。

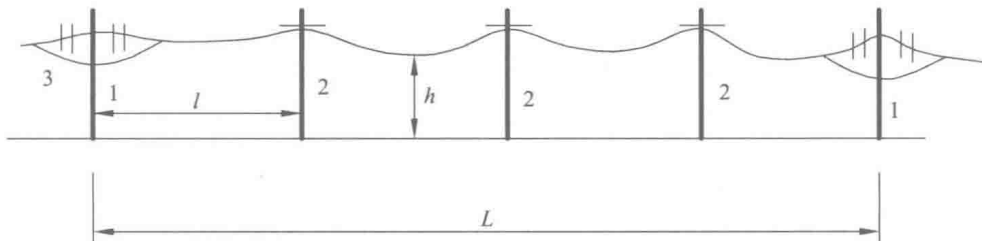


图 1-2-2 耐张段

l —挡距； L —耐张段； h —安全距离；1—耐张杆；2—直线杆；3—跳线

线路挡距的大小，取决于技术和经济要求。当线路的挡距缩小时，可减小弧垂，因而降低杆塔高度，但挡距减小时杆数增加了，线路的造价也就增加了；当线路的挡距增大时，弧垂必然增大，这将使杆塔增高，也导致线路的造价增加。所以挡距的大小选择要进行经济技术比较来确定。

(三) 架空配电线路的优点缺点

1. 优点

- (1) 结构简单、架设方便、工期短、投资少；
- (2) 电压高、输电容量大；
- (3) 散热条件好；
- (4) 维护方便。

2. 缺点

(1) 网络复杂和集中的地段, 架设困难, 在人口稠密的城市架设影响市容, 不美观、不安全;

(2) 工作条件差, 受自然条件(如冰、风、雪、温度、雷电侵袭、化学腐蚀等)影响大。

二、杆塔和基础

(一) 杆塔所受的荷载和杆塔的类型

杆塔按其在线路中的用途可分为直线杆、耐张杆、转角杆、终端杆、分支杆、跨越杆和换位杆等。

(1) 直线杆用在线路的直线段上, 以支持导线、绝缘子、金具等的重量, 并能够承受导线的重量和水平风力荷载, 但不能承受线路方向的导线张力, 它的导线用线夹和悬式绝缘子串挂在横担下或用针式绝缘子固定在横担上。如图 1-2-3 所示。

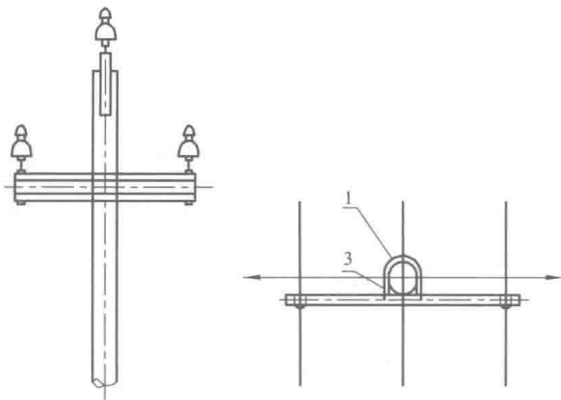


图 1-2-3 直线杆

(2) 耐张杆主要承受导线或架空地线的水平张力, 同时将线路分隔成若干耐张段(耐张段长度一般不超过 2 km), 以便于线路的施工和检修, 并可在事故情况下限制倒杆断线范围, 它的导线用耐张线夹和耐张绝缘子串(见图 1-2-4)或用蝶式绝缘子串固定在电杆上, 电杆两边的导线用弓子线连起来。如图 1-2-5 所示。

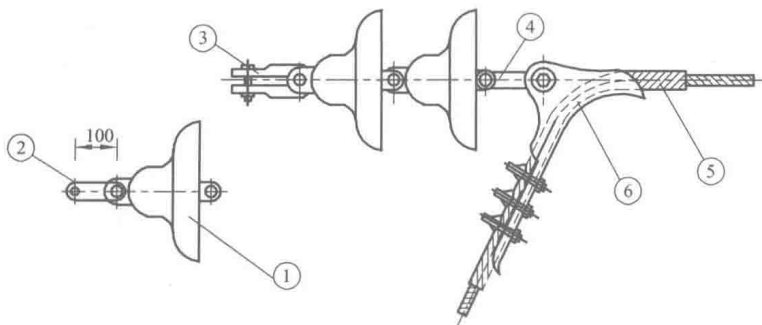


图 1-2-4 耐张绝缘子串组装图

①—悬式绝缘子; ②—平行挂板(连板); ③—U形挂环; ④—平行挂板(连板); ⑤—铝包带; ⑥—耐张线夹