



电网系统与供电

DIANWANG XITONG
YU GONGD

张明 沈明辉◎著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

电网系统与供电

张 明 沈明辉 著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

· 南京 ·

内 容 摘 要

安全供电是发展经济、保障人民生活质量的重要基础。目前,我国发电量和电力设备的使用量位居世界第一。在我国研究电力传输和供电设备具有重要意义。本书主要内容有高效环保发电、节能电力传输、提高电能利用效率,具体包括发电系统、电力传输线路、供电系统与电力负荷、供电系统的设备选择原则和方法、短路分析及电流计算、功率因数补偿技术、供电系统的信息化、供电系统的保护等内容。

图书在版编目(CIP)数据

电网系统与供电/张明,沈明辉著. —南京:东南大学出版社,2014.11

ISBN 978-7-5641-5200-0

I. ①电… II. ①张…②沈… III. ①供电网 IV. ①TM727

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 214965 号

电网系统与供电

出版发行 东南大学出版社

出版人 江建中

社 址 南京市四牌楼 2 号

邮 编 210096

经 销 全国各地新华书店

印 刷 南京工大印务有限公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 11.25

字 数 285 千字

版 次 2014 年 11 月第 1 版

印 次 2014 年 11 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5641-5200-0

印 数 1—2500 册

定 价 30.00 元

(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830)

前 言

安全供电是发展国民经济,保障人民生活的重要物质基础。2012年,我国电力发电量已经超过美国,高居世界第一,但GDP远低于美国。这说明我国电力使用效率低。同时由于我国主要依靠燃煤发电,对空气环境产生了严重影响,导致大气污染严重超标,使得我国的天空近几年天蒙蒙、雾蒙蒙,远处不见山,近处不见楼。改进电力传输,提高电力传输效率,减少电能在传输过程中的损耗,具有战略意义。

本书的主要内容有发电系统简介、电力传输线路、供电系统与电力负荷、供电系统的设备选择原则和方法、短路分析及电流计算、功率因数补偿技术、供电系统的信息化、供电系统的保护等。

本书具有以下特点:

(1) 特色鲜明,实用性强。主要章节中安排有通俗易懂的阅读材料,方便工程技术人员自学;将重点内容、关键技术与相关学科前沿研究成果紧密结合,可用于不同基础的相关工程技术人员解决实际工程问题和科研参考。

(2) 重点突出,简明清晰,结论表述准确。对一般内容的公式不求严格的证明过程,但对其原理表述清晰,结论准确,对重点内容的公式证明言简意赅,突出应用性。不但有利于帮助相关研究人员建立供电系统的数理模型,还有利于专业技术人员进行理论分析和科研参考。

(3) 难易适中,适用面广,符合因材施教。可用于普通高校教学,尤其适用于卓越工程师及创新型人才的培养。

(4) 系统性强,强化应用,注重动手能力的培养。在确保知识系统性的基础上,参考了相关行业专家的意见,注重关键技术动手能力的培养,有利于培养应用型人才。

本书是由国网河南省电力公司新乡供电公司总经理、教授级高工张明和工程师沈明辉等在长期从事供电系统方面的研究、实践的基础上著写而成。

书中难免存在错误,欢迎各位同仁多提宝贵意见。

张 明 沈明辉

于国网河南省电力公司新乡供电公司

2014年7月

目 录

1	电网供电与传输线路	(1)
1.1	电网系统与架空电力传输线路	(1)
1.1.1	电网系统	(1)
1.1.2	工业企业供电	(2)
1.1.3	架空线路结构	(3)
1.1.4	电缆线路的结构	(4)
1.1.5	电缆型号的选择	(5)
1.1.6	电缆的支架与缆夹	(6)
1.1.7	电缆连接盒(头)与终端盒(头)	(6)
1.2	架空电网传输导线的选择	(6)
1.2.1	导线截面的选择原则	(7)
1.2.2	导线截面的选择方法	(7)
1.3	架空电网传输导线截面的计算	(7)
1.3.1	按经济电流密度选择导线截面	(7)
1.3.2	按长时允许电流选择导线截面	(8)
1.3.3	按允许电压损失选择导线截面	(9)
1.3.4	封闭电网的计算	(10)
1.3.5	低压线路导线截面选择	(11)
1.4	电网电缆芯线截面的选择	(12)
1.4.1	高压电缆截面的选择计算	(12)
1.4.2	低压电缆截面选择	(14)
1.5	电网电缆芯线截面计算	(15)
1.6	电网电缆安装运行与维护	(16)
1.6.1	建立各项电缆的运行维护制度	(16)
1.6.2	电缆的日常维护	(17)
2	供电系统与电力负荷	(18)
2.1	电力系统与供电	(19)
2.1.1	发电厂	(19)
2.1.2	变电站	(21)
2.1.3	电力网	(21)
2.1.4	电能用户	(21)

2.2 企业用电的主要设备	(22)
2.2.1 企业降压变电站	(23)
2.2.2 车间变电站	(23)
2.2.3 工业企业的配电线路	(23)
2.3 电力系统的标准电压	(24)
2.3.1 3 kV 以下的设备与系统的额定电压	(24)
2.3.2 3 kV 以上的设备与系统的额定电压及最高电压	(25)
2.4 供电质量	(26)
2.4.1 电压	(26)
2.4.2 频率	(26)
2.4.3 可靠性	(27)
2.5 负荷曲线与负荷计算方法	(28)
2.5.1 负荷曲线	(28)
2.5.2 年电能需求	(29)
2.5.3 负荷计算	(30)
2.6 设备的负荷计算方法	(30)
2.6.1 按需用系数法确定计算负荷	(30)
2.6.2 按二项式法确定计算负荷	(35)
2.6.3 单项用电设备组计算负荷的确定	(36)
2.7 电能损耗和功率损耗	(38)
2.7.1 供电系统的功率损耗	(38)
2.7.2 供电系统的电能损耗	(39)
2.8 工业企业负荷计算公式	(41)
2.8.1 工业企业负荷计算公式	(41)
2.8.2 按需用系数法确定企业计算负荷	(41)
2.8.3 按估算法确定企业计算负荷	(41)
2.8.4 无功补偿后企业计算负荷的确定	(42)
3 供电系统的设备选择原则和方法	(43)
3.1 开关电弧	(43)
3.1.1 电弧的发生	(43)
3.1.2 电弧的熄灭	(44)
3.1.3 直流电弧的开断	(44)
3.1.4 交流电弧的开断	(45)
3.1.5 灭弧的基本方法	(46)
3.2 高压电器设备选择的原則	(47)
3.2.1 按正常工作条件选择	(47)
3.2.2 按故障情况进行校验	(48)

3.3 高压开关设备的选择原则	(49)
3.3.1 高压断路器	(49)
3.3.2 高压断路器的主要参数及选择	(54)
3.3.3 高压负荷开关的选择	(58)
3.3.4 隔离开关的选择	(59)
3.3.5 高压熔断器的选择	(60)
3.3.6 高压开关柜的选择	(61)
3.4 母线与绝缘器材的选择	(61)
3.4.1 母线的选择	(61)
3.4.2 母线支柱绝缘子和套管绝缘子的选择	(63)
3.5 限流电抗器及选择	(66)
3.5.1 短路电流的限制	(66)
3.5.2 普通电抗器的选择	(67)
3.5.3 分裂电抗器	(68)
3.6 仪用互感器	(68)
3.6.1 互感器的极性	(69)
3.6.2 电流互感器	(70)
3.6.3 电压互感器	(74)
4 短路分析及电流计算	(78)
4.1 短路分析	(78)
4.1.1 短路的原因	(78)
4.1.2 短路的形式	(78)
4.1.3 短路的危害	(79)
4.2 短路暂态过程分析	(79)
4.2.1 无限大容量电源与供电系统	(79)
4.2.2 供电系统三相电路过程分析	(80)
4.2.3 与短路有关的物理量	(81)
4.3 短路电流的计算方法	(83)
4.3.1 三相短路电流的欧姆法计算	(83)
4.3.2 三相短路电流的标么制法计算	(86)
4.3.3 两相和单相短路电流的计算	(90)
4.3.4 大容量电动机的短路电流计算	(92)
4.4 电路短路的热效应和电动效应	(93)
4.4.1 短路电流的热效应	(93)
4.4.2 短路电流的电动力效应	(94)
4.5 电器火灾的预防及扑救常识	(96)

5	功率因数补偿技术	(98)
5.1	功率因数概论	(98)
5.1.1	功率因数的定义	(98)
5.1.2	企业供电系统的功率因数	(98)
5.1.3	提高负荷功率因数的意义	(99)
5.1.4	供电部门对用户功率因数的要求	(100)
5.2	提高功率因数的方法	(100)
5.2.1	正确选择电气设备	(100)
5.2.2	电气设备的合理运行	(100)
5.2.3	人工补偿提高功率因数	(101)
5.3	并联电力电容器组提高功率因数	(102)
5.3.1	电容器并联补偿的工作原理	(102)
5.3.2	电容器并联补偿的电容器组的设置	(102)
5.3.3	补偿电容器组的接线方式	(103)
5.4	高压集中补偿提高功率因数的计算	(104)
6	供电系统的保护	(107)
6.1	继电保护装置	(107)
6.1.1	继电保护装置的作用和任务	(107)
6.1.2	继电保护装置的原理和组成	(107)
6.1.3	对继电保护装置的基本要求	(108)
6.1.4	继电保护的发展和现状	(109)
6.2	继电保护装置的工作电源	(109)
6.2.1	蓄电池组直流操作电源	(109)
6.2.2	整流型直流操作电源	(109)
6.2.3	交流操作电源	(112)
6.3	电流互感器的连接方式及误差曲线	(112)
6.3.1	电流互感器的误差	(112)
6.3.2	电流互感器的 10% 误差曲线	(113)
6.3.3	电流互感器的接线方式	(113)
6.4	单端供电网络的保护	(115)
6.4.1	过电流保护	(115)
6.4.2	电流速断保护	(119)
6.4.3	中性点不接地系统的单相接地保护	(119)
6.5	变压器的保护	(122)
6.5.1	变压器的过电流、速断和过负荷保护	(123)
6.5.2	瓦斯保护原理	(124)

6.6 高压电动机过电流保护	(124)
6.6.1 电动机的过负荷保护及相间短路保护	(125)
6.6.2 高压电动机纵差保护	(126)
6.7 低压配电系统的保护	(127)
6.7.1 低压熔断器保护	(127)
6.7.2 低压断路器保护	(129)
6.8 供电系统备用电源	(130)
6.8.1 备用电源自动投入装置(APD)	(130)
6.8.2 自动重合闸装置	(132)
6.9 供电系统的防雷与接地	(134)
6.9.1 雷电冲击波的基本特征	(135)
6.9.2 防雷装置	(136)
6.9.3 工厂供电系统的防雷	(138)
6.9.4 接地保护	(139)
7 供电系统的信息化	(143)
7.1 变电所信息化的基本功能	(143)
7.2 变电所信息化的结构和配置	(146)
7.2.1 变电所信息化系统的结构	(146)
7.2.2 变电所信息化系统的硬件配置	(147)
7.3 微机保护供电系统的方法	(153)
7.3.1 微机保护的构成	(153)
7.3.2 微机保护的软件设计	(154)
7.3.3 微机电流保护应用举例	(154)
7.4 供电信息化系统的应用	(155)
7.4.1 RCS~90000 系统结构	(156)
7.4.2 RCS~90000 功能的实现	(156)
7.4.3 RCS~90000 的主要特点	(157)
7.5 智能电能表	(157)
7.5.1 智能电能表的功能	(158)
7.5.2 智能电能表的结构与管理	(158)
7.5.3 智能电能表在用电需求侧管理系统中的应用	(158)
7.6 电力系统监控技术	(160)
7.6.1 电力监控系统的基本组成功能	(160)
7.6.2 电力监控系统的硬件构成	(162)
7.6.3 电力监控系统的软件构成	(164)
参考文献	(167)

1.1 电网系统与架空电力传输线路

1.1.1 电网系统

近代一切大规模工农业生产、交通运输和人民生活都需要大量的电能。电能是由发电厂生产的,而发电多建立在一次能源所在地,距离城市和工业企业可能很远,这就需要将电能输送到城市或工业企业,之后再分配到用户或生产车间的各个用电设备。为了保证电能的经济输送和合理分配,满足各电能用户安全生产的不同要求,需要变换电能的电压。下面简要介绍一下电能的生产、变压、输配和使用几个环节的基本概念。

发电厂,又称发电站,是生产电能的工厂。它把其他形式的一次能源,如煤炭、石油、天然气、水能、原子核能、风能、太阳能、地热、潮汐能等等,通过发电设备转换为电能。由于所利用一次能源的形式不同,发电厂可分为火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂、潮汐发电厂、风力发电厂和太阳能发电厂等等。我国内能的获得当前主要是火电,其次是水电和原子能发电,至于其他形式的发电,所占比例都较小。

变电站又称变电所,是变换电能电压和接收电能与分配电能的场所,是联系发电厂和用户的中间枢纽。它主要由电力变压器、母线和开关控制设备等组成。

变电站有升压和降压之分。升压变电站多建立在发电厂内,把电能电压升高后,再进行长距离输送。降压变电站多设在用电区域,将高压电能适当降低电压后,对某地区或用户供电。降压变电站就其所处的地位和作用又可分为以下三类。

地区降压变电站:地区降压变电站也称为一次变电站,位于一个大用电区或一个大城市附近,从 220~500 kV 的超高压输电网或发电厂直接受电,通过变压器把电压降为 35~110 kV,供给该区域的用户或大型工业企业用电。其供电范围较大,若全地区降压变电站停电,将使该地区中断供电。

终端变电站:终端变电站也称为二次变电站,多位于用电的负荷中心,高压侧从地区降压变电站受电,经变压器电压降到 6~20 kV,对某个市区或农村城镇用户供电。其供电范围较小,若全终端变电站停电,只是该部分用户中断供电。

企业降压变电站及车间变电站:企业降压变电站又称企业总降压变电站,与终端变电站相似,它是对企业内部输送电能的中心枢纽。而车间变电站是接受企业降压变电站所提供的电能,电压降为 220/380 V,对车间各用电设备直接进行供电。

电力网是输电线路和配电线路的统称,是输送电能和分配电能的通道。电力网是把发电厂、变电站和电能用户联系起来的纽带。它由各种不同电压等级和不同结构类型的线路

组成,从电压的高低可将电力网分为低压网、中压网、高压网和超高压网等。电压在 1 kV 以下的称低压网;31 kV~10 kV 的称中压网;高于 10 kV 低于 330 kV 的称高压网;330 kV 及以上的称超高压网。

所有的用电单位均称为电能用户,其中主要是工业企业。据 2013 年的资料统计,我国工业企业用电占全年总发电量的 67.9%,是最大的电能用户。因此,研究和掌握工业企业供电方面的知识和理论,对提高工业企业供电的可靠性,改善电能品质,做好企业的计划用电、节约用电和安全用电是极其重要的。

为了提高供电的可靠性和经济性,现今广泛地将各发电厂通过电力网连接起来,并联运行,组成庞大的联合动力系统。其中发电机、变电站、电力网和电能用户组成的系统称为电力系统,如图 1.1 所示。发电机生产的电能,受发电机制造电压的限制,不能远距离输送。

发电机的电压一般多为 6.3 kV、10.5 kV、13.8 kV、15.75 kV,少数大容量的发电机也有采用 18 kV 或 20 kV 的。这样低的电压等级的电能只能满足自用电和附近的电能用户直接供电。要想长距离输送大容量的电能,就必须把电能电压升高,因为输送一定的容量,输电电压越高,电流越小,线路的电压损失和功率损失也都越小。因此,通常使发电机的电压经过升压达 330~500 kV,再通过超高压远距离输电网送往远离发电厂的城市或工业集中地区,再通过那里的地区降压变电站将电压降到 35~110 kV,然后再用 35~110 kV 的高压输电线路将电能送至终端变电站或企业降压变电站。

1.1.2 工业企业供电

工业企业供电系统由企业降压变电站、高压配电线路、车间变电站、低压配电线路及用电设备组成。工业企业供电系统一般都是电力系统的一部分,其电源绝大多数是由国家电网供电的,但在下述情况时,也可以建立工业企业自用发电厂。

- (1) 距离国家电力系统太远;
- (2) 本企业生产及生活需要大量热能;
- (3) 本企业有大量重要负荷,需要独立的备用电源;
- (4) 本企业或所在地区有可供利用的能源。

对于重要负荷不多的工业企业,作为解决第二能源的措施,发电机的原动机可利用柴油机或其他小型动力机械。大型企业,若符合上述条件时,一般建设热、电共用的热电厂,机组台数不超过两台,容量一般不超过 25 000 kW/台。

一般来说,大型工业企业均设立企业降压变电站,把 35~110 kV 电压降为 6~10 kV 电压向车间变电站供电。为了保证供电的可靠性,企业降压变电站多设置两台变压器,由一条、两条或多条进线供电,每台变压器的容量可从几十到几万千伏·安。其供电范围由供电容量决定,一般在几千米以内。

在一个生产厂房或车间内,根据生产规模、用电设备的布局及用量大小等情况,可设一个或几个车间变电站:几个相邻且用电量都不大的车间,可以共同设立一个车间变电站,变电站的位置可以选择在这几个车间的负荷中心附近,也可以选择在其中用电量最大的车间内。车间变电站一般设置 1~2 台变压器,特殊情况最多不能超过 3 台。

单台变压器容量通常均为 1 000 kV·A 及以下,而且多台宜采取分列运行,这是从限制

短路电流出发而采取的相应措施。不过,近年来由于新型开关设备切断能力的提高,车间变电站变压器的容量也可以相应地提高,但最大不宜超过 $2\,000\text{ kV}\cdot\text{A}$ 。车间变电站将 $6\sim 10\text{ kV}$ 的高压配电电压降为 $220/380\text{ V}$,对低压用电设备供电。这样的低电压,供电范围一般只在 500 m 以内。对车间的高压用电设备,则直接通过车间变电站的 $6\sim 10\text{ kV}$ 母线供电。

工业企业的高压配电线路主要作为工业企业内输送、分配电能之用,通过它把电能送到各个生产厂房和车间。高压配电线路目前多采用架空线路,因为架空线路建设投资量少,便于维护与检修。但在某些企业的厂区内,由于厂房和其他构筑物较密集,架空敷设的各种管道在有些地方纵横交错,或者由于厂区的个别地区扩散于空间的腐蚀性气体较严重等因素的限制,在厂区内的部分地段确实不宜于敷设架空线路。此时可考虑在这些地段敷设地下电缆线路。最近几年来由于电缆制造技术的迅速发展,电缆质量不断提高且成本下降,同时为了美化厂区环境以利文明生产,现代化企业的厂区高压配电线路已逐渐向电缆化方向发展。

工业企业低压配电线路主要用于向低压用电设备供电。在户外敷设的低压配电线路目前多采用架空线路,且尽可能与高压线路同一电杆架设以节省建设费用。在厂房或车间内部则应根据具体情况确定,或采用明线配电线路,或采用电缆配电线路。在厂房或车间内,由动力配电箱到电动机的配电线路一律采用绝缘导线穿管敷设或采用电缆线路。

对矿山的高低电压配电线路均应采用电缆线路,沿井壁或沿巷壁敷设,每隔 $2\sim 4\text{ m}$ 用固定卡加以固定。在露天采矿场内多采用移动式架空线路,但对高低压移动式用电设备,如电铲、钻机等应采用橡套电缆进行供电。

车间内电气照明线路和动力线路通常是分开的,一般多由一台配电用变压器分别供电,如采用 $220/380\text{ V}$ 三相四线制线路供电,动力设备由 380 V 三相线供电,而照明负荷则由 220 V 相线和零线供电,但各相所供应的照明负荷应尽量平衡。如果动力设备冲击负荷使电压被动较大时,则应使照明负荷内单独的变压器供电。事故照明必须采用可靠的独立电源供电。

1.1.3 架空线路结构

如图 1.1 所示,架空线路主要由导线 1、杆塔 2、横担 3、绝缘子 4 和金具 5(包括避雷线 6)等组成。

1) 导线

架空导线架设在空中,要承受自重、风压、冰雪荷载等机械力的作用和空气中有害气体的侵蚀,同时还受温度变化的影响,运行条件相当恶劣。因此,它们的材料应有相当高的机械强度和抗腐蚀能力,而且导线要有良好的导电性能。导线按结构分为单股线与多股绞线;按材质分为铝(L)、钢(G)、铜(T)、铝合金(HL)等类型。由于多股绞线优于单股线,故架空导线多采用多股绞线。

铝绞线(LJ)导电率高、质轻价廉,但机械强度较小、耐腐蚀性差,故多用于挡距不大的 10 kV 以下的架空线路。

钢芯铝绞线(LGJ)是将多股铝线绕在钢芯外层,铝导线起载流作用,机械载荷由钢芯和

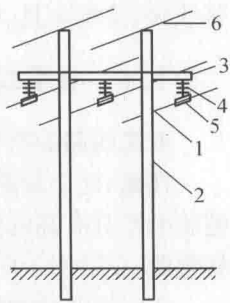


图 1.1 架空线路结构

铝线共同承担,使导线的机械强度大大提高。钢芯铝绞线在架空线路中已广泛应用。

铝合金绞线(LHJ)机械强度大、防腐蚀性好,导电性亦好,可用于一般输配电线路。

铜绞线(TJ)导电率高、机械强度大、耐腐蚀性能好,是理想的导电材料。但为了节约用铜,目前只限于有严重腐蚀的地区使用。

钢绞线(GJ)机械强度高,但导电率低、易生锈、集肤效应严重,故只适用于电流较小,年利用小时低的线路及避雷线。

2) 杆塔

杆塔主要用来支持绝缘子和导线,使导线相互之间、导线对杆塔和大地之间保持一定的安全距离。为了防止断杆,要求杆塔有足够的机械强度。

杆塔按所用的材料不同,一般分为木杆、钢筋混凝土杆和铁杆三种。

杆塔按用途不同,可分为:直线杆、耐张杆、转角杆、终端杆、特种杆(如分支杆、跨越杆、换位杆等)。

3) 横担

横担的主要作用是固定绝缘子,并使各导线相互之间保持一定的距离,防止风吹或其他作用力产生摆动而造成相间短路。目前使用的主要是铁横担、木横担、瓷担等。

横担的长度取决于线路电压的高低、挡距的大小、安装方式和使用地点。主要是保证在最困难条件下(如最大弧垂时受风吹动)导线之间的绝缘要求。33 kV 以下电力线路的线间最小距离见有关设计手册。

4) 绝缘子

绝缘子的作用是使导线之间、导线与大地之间彼此绝缘,故绝缘子应具有良好的绝缘性能和机械强度,并能承受各种气象条件的变化而不破裂,线路绝缘子主要有针式绝缘子、悬式绝缘子。

5) 金具

金具是用于连接或固定绝缘子、横担等的金属部件。常用的金属部件有:悬垂线夹、耐张线夹、接续金具、联结金具、保护金具等。

1.1.4 电缆线路的结构

电缆线路的结构主要由电缆、电缆接头与封端头、电缆支架与电缆夹等组成。

在输、配电线路中,目前常用的 1~35 kV 电力电缆,主要有铠装电缆与软电缆两大类。铠装电缆具有高的机械强度,但不易弯曲,主要用于向固定及半固定设备供电;软电缆轻便易弯曲,主要用于向移动设备供电。

1) 铠装电缆

目前使用的铠装电缆有油浸纸绝缘铅(铝)包电力电缆与全塑铠装电力电缆两种。

油浸纸绝缘铅(铝)包电力电缆是目前应用最广的一种电缆,其主芯线有铜、铝之分,内护层有铅包与铝包之分,铠装又分为钢带与钢丝(有粗钢丝与细钢丝)铠装两种;有的还有黄麻外护层,用来保护铠装免遭腐蚀。为了应用在高差较大的地方,这种电缆还有干绝缘与不滴流等派生型号。油浸纸绝缘铅(铝)包钢带铠装电缆的结构如图 1.2 所示。它有三条作为导电用的钢(铝)主芯线 1。当截面在 25 mm^2 及以上时,为了增加电缆柔度,减小电缆外径,

主芯线采用多股绞线拧成扇形截面。各芯线的分相绝缘采用松香和矿物浸渍过的纸带 2 缠绕,三相之间的空隙衬以充填物 2 使其成为圆形,再用浸渍过油的纸带缠绕成统包绝缘 4。统包层外面为密封用的铅(铝)包内护层 5,以防止浸渍油的流失和潮气等的侵入。为使铅(铝)护层免遭腐蚀,避免受到外层铠装的损伤,在铅(铝)护层与铠装之间衬以沥青纸 6 与黄麻层 7,8 作为叠绕的钢带铠装层。为了防止其腐蚀,再用浸有沥青的黄麻护层加以保护。



图 1.2 油浸纸绝缘钢带铠装电缆结构图

塑料铠装电力电缆有聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套和交联聚乙烯绝缘聚乙烯护套两种。塑料电缆的绝缘电阻、介质损耗角等电气性能较好,并有耐水、抗腐、不延燃、制造工艺简单、重量轻、运输方便、敷设高差不受限制等优点,具有广泛的发展前景。聚氯乙烯电缆目前已生产至 6 kV 电压等级。交联聚乙烯是利用化学或物理方法,使聚乙烯分子由原来直接链状结构变为三度空间网状结构。因此交联聚乙烯除保持了聚乙烯的优良性能外,还克服了聚乙烯耐热性差、热变形大、耐药物腐蚀性差、内应力开裂等方面的缺陷。交联聚乙烯电缆结构见图 1.3。图中,1 为导电芯线;2 为半导体层;3 为交联聚乙烯绝缘;4 为半导体层;5 为钢带;6 为标志带;7、9 为塑料带;8 为纤维充填材料;10 为钢带铠装;11 为聚氯乙烯外护套。这种电缆目前已生产至 10 kV 及 35 kV 级。

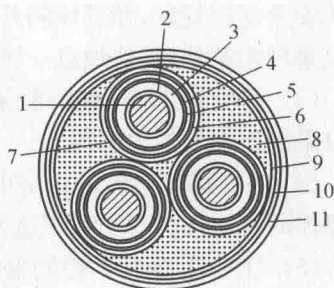


图 1.3 交联聚乙烯绝缘电缆结构图

2) 软电缆

软电缆分为橡胶电缆与塑料电缆两种。

橡胶电缆根据外护套材料不同,有普通型、非延燃型与加强型三种。普通型外护套为天然橡胶,容易燃烧,不宜用于有爆炸危险的场合。非延燃型的外护套采用氯丁橡胶制成,电缆着火后,分解出氯化氢气体使火焰与空气隔绝,达到不延燃的目的。加强型护套中夹有加强层(如帆布、纤维绳或多根镀锌软钢丝等)可提高其机械强度,主要用于易受机械损伤的场合。

橡胶电缆的结构如图 1.4 所示。为了得到足够的柔度,软电缆的芯线采用多股细铜丝绞成。矿用电缆除三相主芯线 1 外,还有一根接地芯线 5,每个芯线包以分相绝缘 2,分相绝缘做成各种颜色或其他标志,以便于识别。为了保持芯线形状和防止芯线损伤,在芯线之间的空隙处填充防震芯子 3,以增加电缆的机械强度和绝缘性能。其外层是橡胶护套 4。

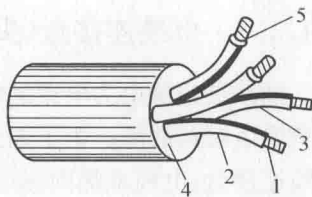


图 1.4 橡胶电缆的一般结构

1.1.5 电缆型号的选择

1) 电力电缆的型号

电力电缆分一般电力电缆及专用电力电缆两种。专用电力电缆有:耐油电缆、仪表用多芯电缆、绝缘耐寒电缆、绝缘防水电缆、电焊机用电线、控制电缆等;一般电力电缆的型号由

分类代号、导体内护层代号、排除及外护层代号等组成。分类代号为:Z—纸绝缘;X—橡胶绝缘;V—塑料绝缘。导体内护层代号为:T—铜(省略);L—铝;Q—铅包;H—普通橡套。外护层的代号从略,请查阅电缆产品目录。

2) 电缆型号的选择

各种型号电缆的使用环境和敷设方式都有一定的要求。使用时应根据不同的环境特征选择,考虑原则主要是安全、经济和施工方便,选择电缆时应注意下列各点:

(1) 为了防水,室内用电缆均无黄麻保护层;

(2) 地面用电力电缆一般应选用铝芯电缆(有剧烈振动的场所除外)。在煤矿井下,按煤矿安全规程规定,除进风斜井、井底车场及其附近、中央变电所至采区变电所之间的电缆可以采用铝芯外,其他地点一律采用铜芯。

(3) 直埋敷设的电缆一般采用有外护层的铠装电缆。在不会引起机械损伤的场所,也可以采用无铠的电力电缆。

(4) 在有爆炸危险的厂房中,应采用裸钢带铠装电缆,因为增加了一层铠装,可减小引起爆炸的可能性。对于某些这类厂房,电缆的负荷量还需适当降低。

(5) 对照明、通信和控制电缆,应选用橡胶或塑料绝缘的专用电缆。

(6) 油浸纸绝缘电力电缆只允许用于高差在 15 m(6 kV~10 kV 高压电缆)~25 m(1 kV~3 kV 电缆)以下的范围内。超过时应选用干绝缘、不滴流、聚氯乙烯绝缘的电力电缆。

(7) 煤矿井下使用的电缆型号应根据《煤矿安全规程》选择。

1.1.6 电缆的支架与缆夹

电缆支架用于支持电缆,使其相互之间保持一定的距离,便于散热、修理及维护;在短路时,避免波及邻近电缆。

在地面,电缆支架多用型钢制作,将电缆排放在支架上,并加以固定。由于矿井电缆线路经常变动,因此在永久性巷道,采用电缆钩悬挂电缆;在非永久性巷道,采用木楔或帆布袋吊挂,在电缆承受意外重力时,吊挂物首先损坏,电缆自由坠落免遭破坏。

在需要对电缆进行固定或承担自重的地方(如立井井筒中或大于 30°的巷道内)敷设电缆时,应采用电缆夹(卡)固定,但应防止电缆被夹伤。

1.1.7 电缆连接盒(头)与终端盒(头)

油浸纸绝缘电力电缆的相互连接处与电缆终端是电缆最薄弱的环节,应给予特别注意,以免发生短路故障。为了加强绝缘,防止绝缘油的流失及潮气侵入,两段电缆连接处应采用电缆连接盒;电缆末端则应用电缆终端盒与电气设备连接。

1.2 架空电网传输导线的选择

导线截面的选择对电网的技术、经济性能影响大,在选择导线截面时,既要保证工矿企业供电的安全与可靠,又要充分利用导线的复合能力。因此,只有综合考虑技术因素和经济效益,才能选出合适的导线截面。

1.2.1 导线截面的选择原则

1) 按经济电流密度选择

输电线路和高压配电线路由于传输距离远、容量大、运行时间长、年运行费用高,导线截面一般按经济电流密度选择,以保证年运行费用最低。

2) 按长时允许电流选择

为了导线在最大允许负荷电流下长时间工作不致过热。

3) 按允许电压损失选择

线路电压损失低于允许值,以保证供电质量。

1.2.2 导线截面的选择方法

按机械强度条件选择,架空导线的最小允许截面一般采用查表,如表 1.1 所示,此规定是为了防止架空导线受自然条件影响而发生断线。

表 1.1 架空线路按机械强度要求的最小允许截面

(mm²)

导线材料种类	6~35 kV 架空线路		1 kV 以下线路
	居民区	非居民区	
铝及铝合金绞线	35	25	16
钢芯铝绞线	25	16	16
铜线	16	16	φ3.2mm

高压架空线路导线截面的选择,首先按经济电流密度初选,然后按其他条件进行校验,最后按各种条件中最大者选择。低压架空线路往往电流较大,宜按电压损失条件或按长时间允许电流条件选择导线截面,按其他条件仅进行校验,但不能按经济密度选择。

对于 110 kV 以上的高压输电线路还应考虑由电晕现象决定的最小允许截面,对此问题本书不予讨论。

1.3 架空电网传输导线截面的计算

1.3.1 按经济电流密度选择导线截面

导线截面积对电网的运行费用有很大影响。导线截面大时线路损耗小,但金属使用量与初期投资均增加。反之,减小导线的截面,其结果与此相反。因此,总可以找到一个最理想的截面大小,使年运行费用最低。为了供电的经济性,导线截面应按经济电流密度选择。经济电流密度是指年运行费用最低时,导线单位面积上通过电流的大小。

年运行费用主要由年电耗费、年折旧费、年大修费、年小修费和维护费等部分组成。

年电耗费是指电网全年损耗电能的价值。导线截面越大,电能损耗越小,费用越低。

年折旧费是指每年提取的初期投资费用的百分数,导线截面越大,初期投资越大,年折旧费越高。

导线的维修费与导线截面无关。故可变费用与导线截面的关系曲线如图 1.5 所示。图中曲线 1 为电能损耗费,曲线 2 为折旧修理费,曲线 3 为年运行费。年运行费用最小的导线截面 S_{ec} 称为经济截面,该截面所通过的线路负荷电流密度叫经济电流密度。我国现行的经济电流密度如表 1.2 所示。

在表 1.2 中,经济电流密度 J_{ec} 与年最大负荷利用小时数有关,年最大负荷利用小时数越大,负荷越平稳,损耗越大,经济截面因而也就越大,经济电流密度就会变小。

按经济电流密度选择导线截面,应先确定 T_{max} , 然后根据导线材料查出经济电流密度 J_{ec} ;再确定线路正常运行时,通过电缆的长时最大工作电流 I_{ca} ,则由下式可求出经济截面:

$$S_{ec} = \frac{I_{ca}}{J_{ec}} (\text{mm}^2) \quad (1.1)$$

选取等于或稍小于 S_{ec} 的标准截面 S , 即

$$S \leq S_{ec} \quad (1.2)$$

表 1.2 经济电流密度 J_{ec} 的值

(A/mm²)

导体材料		年最大负荷利用小时数 J_{max} (h)		
		1 000~3 000	3 000~5 000	5 000 以上
裸导体	铜	3	2.25	1.75
	铝(钢芯铝线)	1.65	1.15	0.9
	钢	0.45	0.4	0.35
铜芯纸绝缘、橡胶绝缘电缆		2.5	2.25	2
铝芯电缆		1.92	1.73	1.54

1.3.2 按长时允许电流选择导线截面

电流通过导线将使导线发热,从而使其温度升高。当通过导线的电流超过其允许电流时,将使导线过热,严重时将烧毁导线,或引起火灾和其他事故。为了保证架空线路安全、可靠地运行,导线温度应限制在一定的允许范围内。因此,通过导线的电流必须受到限制,保证导线的温度不超出允许范围,裸导体的长时允许电流如表 1.3 所示。所选导线的截面应使线路的长时最大工作电流 I_{ca} (包括故障情况) 不大于导线的长时允许电流 I_{ac} , 即

$$I_{ac} \geq I_{ca} \quad (1.3)$$

一般决定导线允许载流量时,周围环境温度均取 +25 °C 作为标准,当周围空气温度不是 +25 °C, 而是 θ_0 时,导线的长时允许电流应按式进行修正:

$$I_{a1} = I_{ac} \sqrt{\frac{\theta_m - \theta_0'}{\theta_m - \theta_0}} = I_{ac} K \quad (1.4)$$

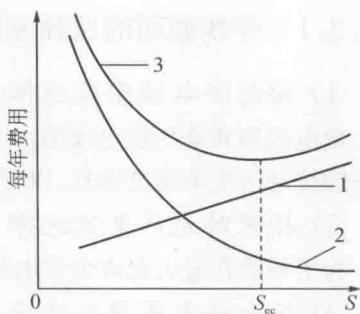


图 1.5 可变费用与导线截面的关系曲线