

电力

系统与供电

DIANLI XITONG YU GONGDIAN

俞伟钧 著



北京交通大学出版社
<http://www.bjtu.cn>

电力系统与供电

俞伟钧 著

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

安全供电是发展国民经济、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,因此研究电力传输和供电设备具有重要意义。本书主要内容涉及高效环保发电、节能电力传输、提高电能利用效率,具体包括电力传输线路、供电与电力负荷、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,重点突出、系统性强、通俗易懂、图文并茂、应用性强。

本书可作为高等教育电气类专业师生教学用书,也可供供电系统领域的工程技术人员、研发人员、电力管理等相关专家和学者参考阅读。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统与供电 / 俞伟钧著. —北京: 北京交通大学出版社, 2014. 6
ISBN 978-7-5121-1929-1

I. ①电… II. ①俞… III. ①供电系统 IV. ①TM72

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第111681号

责任编辑: 郭碧云

出版发行: 北京交通大学出版社 电话: 010-51686414

地 址: 北京市海淀区高粱桥斜街44号 邮编: 100044

印 刷 者: 北京艺堂印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×260 印张: 11 字数: 275千字

版 次: 2014年6月第1版 2014年6月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-5121-1929-1/TM·56

印 数: 1~2000册 定价: 29.00元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。

投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

2012 年我国的电力发电量已居世界第一，但是，我国发电仍然主要依靠燃煤，对大气产生了严重影响，导致大气污染严重超标，使得我国的天空近几年天朦胧、雾霾霾，远处不见山，近处不见楼。改进电力传输方法、提高电力传输效率、减少电能传输过程中的损耗，可以减少发电量，减少对环境的污染，因此具有重要的战略意义。

本书介绍了发电系统，分析了电力传输线路基本规律和电力传输原理、供电与电力负荷匹配原理与方法，简单介绍了供电系统的设备选择原则和方法，研究了短路产生的原因及短路的电流计算、短路紧急处理方法，为提高电力应用效益，探讨了功率因数补偿技术，介绍了供电系统的信息化和智能化，阐述了供电系统的保护技术等。

在本书著写过程中，作者参考了《教育部关于全面提高高等教育质量的若干意见》。同时，为了扩大本书的适用范围，并考虑到不同基础的相关工程技术人员解决实际工程问题需要，以及方便学生学习，本书尽量做到通俗易懂、重点突出、系统性强，重点内容、关键技术与相关学科前沿研究成果紧密结合。对供电系统中的概念阐述清楚、定义准确、公式推导简明易懂；对供电系统中所涉及的物理原理表述清晰，结论准确，对应用性强的重点公式证明过程简明，并突出应用实例。为了方便相关研究人员进行科研和工程实践，根据实际工程需要，构建了供电系统的主要数理模型。在本书著写过程中，作者参考了相关行业专家的意见，突出应用性知识的讲解，注重关键实用技术，使得本书特别适用于实用型人才的培养。同时为了有利于培养创新型人才，根据相关专家讨论的意见，书中增加了本学科前沿性的研究成果。

本书是常州工学院俞伟钧副教授长期从事供电系统方面教学与研究，在参与研究江苏省自然科学相关项目的基础上，为国家级卓越工程师专业建设、国家级重点专业建设、江苏省重点专业建设、江苏省特色专业建设著写而成的。在著写过程中，得到了张建生、张立臣、吴志祥等专家的大力帮助和支持，在此表示感谢。

由于在著书过程中，时间比较仓促，书中难免存在错误，希望各位读者多提宝贵意见，使用本书者，作者可以提供科研教学资料，需要交流的朋友，可以通过 QQ: 1601907371 与作者联系。

作者
于常州工学院
2014 年 3 月

目 录

第 1 章 电力传输线路	1
1.1 架空电力传输线路	1
1.2 架空电力传输导线的选择	5
1.3 架空电力传输导线截面的计算	6
1.4 封闭电网的计算	11
1.5 低压线路导线截面选择	13
1.6 电力电缆芯线截面选择	14
1.7 电力电缆芯线截面计算	17
1.8 电力电缆安装运行与维护	18
第 2 章 供电与电力负荷	20
2.1 电力系统与供电	21
2.1.1 发电厂	21
2.1.2 变电站	23
2.1.3 电力网	24
2.1.4 电能用户	24
2.2 工业企业用电的主要设备	24
2.2.1 企业降压变电站	25
2.2.2 车间变电站	25
2.2.3 工业企业的配电线路	25
2.3 电力系统的标准电压	26
2.3.1 3 kV 以下的设备与系统的额定电压	26
2.3.2 3 kV 以上的设备与系统的额定电压及最高电压	27
2.4 供电质量	29
2.4.1 电压	29
2.4.2 频率	29
2.4.3 可靠性	30
2.5 负荷曲线与负荷计算方法	31
2.5.1 负荷曲线	31
2.5.2 年电能需求	31
2.5.3 负荷计算	33
2.6 设备的负荷计算方法	33
2.6.1 按需用系数法确定计算负荷	33
2.6.2 按二项式法确定计算负荷	38
2.6.3 单项用电设备组计算负荷的确定	39
2.7 电能损耗和功率损耗	40

2.7.1	供电系统的功率损耗	40
2.7.2	供电系统的电能损耗	41
2.8	工业企业负荷计算公式	42
2.8.1	工业企业负荷计算公式	42
2.8.2	按需用系数法确定企业计算负荷	43
2.8.3	按估算法确定企业计算负荷	43
2.8.4	无功补偿后企业计算负荷的确定	43
第3章	供电系统的设备选择原则和方法	45
3.1	开关电弧	45
3.2	高压电气设备选择的原则	49
3.3	高压开关设备的选择原则	51
3.4	母线与绝缘器材选择	64
3.5	限流电抗器及选择	69
3.6	仪用互感器	71
第4章	短路分析及电流计算	81
4.1	短路分析	81
4.2	短路暂态过程分析	82
4.3	短路电流计算方法	85
4.4	电路短路的热效应和电动效应	95
4.4.1	短路电流的热效应	95
4.4.2	短路电流的电动力效应	97
4.5	电器火灾的预防	98
第5章	功率因数补偿技术	100
5.1	功率因数概论	100
5.1.1	功率因数的定义	100
5.1.2	企业供电系统的功率因数	101
5.1.3	提高负荷功率因数的意义	101
5.1.4	供电部门对用户功率因数的要求	102
5.2	提高功率因数的方法	102
5.2.1	正确选择电气设备	102
5.2.2	电气设备的合理运行	102
5.2.3	人工补偿提高功率因数	103
5.3	并联电力电容器组提高功率因数	104
5.3.1	电容器并联补偿的工作原理	104
5.3.2	电容器并联补偿的电容器组的设置	104
5.3.3	补偿电容器组的接线方式	105
5.4	高压集中补偿提高功率因数的计算	106
第6章	供电系统的信息化	109
6.1	变电所信息化的基本功能	110

6.2 变电所信息化的结构和配置	112
6.2.1 变电所信息化系统的结构	112
6.2.2 变电所信息化系统的硬件配置	113
6.3 微机保护供电系统的方法	118
6.3.1 微机保护的构成	119
6.3.2 微机保护的软件设计	120
6.3.3 微机电流保护应用举例	120
6.4 供电系统信息化系统的应用	121
6.4.1 RCS-9000 系统结构	121
6.4.2 RCS-9000 功能的实现	121
6.4.3 RCS-9000 的主要特点	122
6.5 智能电能表	123
6.5.1 智能电能表的功能	123
6.5.2 智能电能表的结构与管理	124
6.5.3 智能电能表在用电需求管理系统中的应用	124
6.6 电力系统监控技术	125
6.6.1 电力监控系统的基本组成及其功能	126
6.6.2 电力监控系统的硬件构成	128
6.6.3 电力监控系统的软件构成	129
第7章 供电系统的保护	132
7.1 继电保护装置	132
7.1.1 继电保护装置的作用和任务	132
7.1.2 继电保护装置的原理和组成	132
7.1.3 对继电保护装置的基本要求	133
7.1.4 继电保护的发展和现状	134
7.2 继电保护装置的工作电源	134
7.2.1 蓄电池组直流操作电源	134
7.2.2 整流型直流操作电源	134
7.2.3 交流操作电源	137
7.3 电流互感器的误差曲线及连接方式	138
7.3.1 电流互感器的误差	138
7.3.2 电流互感器的 10%误差曲线	138
7.3.3 电流互感器的接线方式	139
7.4 单端供电网络的保护	141
7.4.1 过电流保护	141
7.4.2 电流速断保护	145
7.4.3 中性点不接地系统的单相接地保护	145
7.5 变压器的保护	148
7.5.1 变压器的过电流、速断和过负荷保护	149

7.5.2 瓦斯保护原理	150
7.6 高压电动机过电流保护	150
7.6.1 电动机的过负荷保护及相间短路保护	150
7.6.2 高压电动机纵差保护	152
7.7 低压配电系统的保护	153
7.7.1 低压熔断器保护	153
7.7.2 低压断路器保护	154
7.8 供电系统备用电源	156
7.8.1 备用电源自动投入装置 (APD)	156
7.8.2 自动重合闸装置	157
7.9 供电系统的防雷与接地	157
7.9.1 雷电冲击波的基本特征	158
7.9.2 防雷装置	159
7.9.3 工厂供电系统的防雷	162
7.9.4 接地保护	163
参考文献	167

第1章

电力传输线路

电力线路是供电系统的重要组成部分，其主要任务是输送与分配电能，按电压高低可分为低压线路（1 kV 及以下，煤矿 1140 V 亦为低压）、高压线路（3 ~ 110 kV）、超高压线路（220 kV 及以上）；按建设标准（功用不同）分为配电线路（10 kV 及以下）、输电线路（6 kV 及以上，一般为 35 ~ 110 kV）；按电流种类分为直流线路与交流线路，按结构特征分为架空线路与电缆线路。

架空电路与电缆线路相比，具有投资少、施工敷设简易、维护检修方便等优点，缺点是自然条件（风、雪、冰、雷电等）对运行安全有较大的威胁。为了节约国家的建设资金，一般以采用架空线路为宜，只有在受条件（如线路过多、工矿企业建筑稠密区等，架空线路敷设有困难或有特殊要求）限制时，才根据具体情况采用电缆线路供电。

下面主要讨论电力线路结构和导线截面选择。

1.1 架空电力传输线路

1. 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。

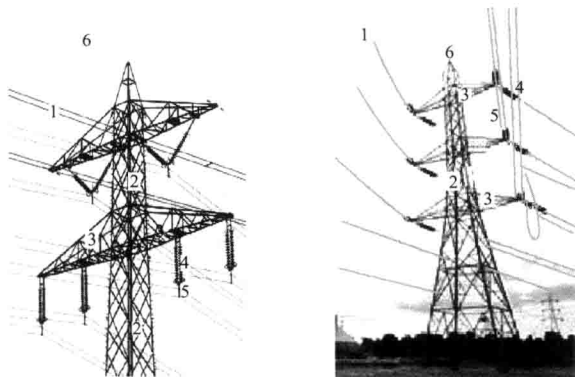


图 1-1 架空线路结构

1—导线；2—杆塔；3—横担；4—绝缘子；5—金具；6—避雷线

1) 导线

架空导线架设在空中,要承受自身重量、风的压力、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)将多股铝线绕在钢芯外层,铝导线的主要作用是载流,由钢芯铝线共同承担机械载荷,使导线的机械强度大大提高,在架空线路中得到广泛应用。

铝合金绞线(LHJ)机械强度大、防腐性好,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,但导电率差、易生锈、集肤效应严重,故只适用于电流较小、年利用小时少的线路及避雷线。

2) 杆塔

杆塔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距离,以保证供电与人身安全,为了防止端杆断裂,要求有足够的机械强度。

杆塔根据其所用的材料不同可分为木杆、钢筋混凝土杆和铁杆三种。

杆塔按用途可划分为直线杆、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。主要是使用铁横担、木横担、瓷担等,目前多数使用铁横担。

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的条件下(如夏天高温天气时最大下垂受风吹动)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、导线与铁塔之间彼此绝缘,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

金具用于连接、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、耐张力线夹、接续金具、联结金具、保护金具等。

2. 电缆线路的结构

电缆线路主要由电缆、电缆接头与封端头、电缆支架与电缆夹等组成。

1) 电缆的种类与结构

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)电力电缆与全塑铠装电力电缆两种。

油浸纸绝缘铅(铝)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,主芯线采用多股扇形截面。各芯线的分相绝缘,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3使之成圆形,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用于防止浸渍油的流失和潮气等的侵入。为使铅(铝)护层免遭腐蚀和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,为了防止其腐蚀,再用浸有沥青的黄麻护层7加以保护,8为叠绕的钢带铠装层。

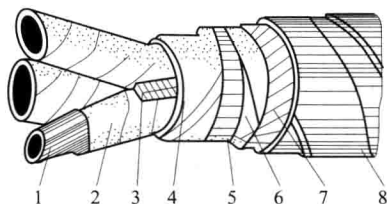


图 1-2 油浸纸绝缘铅(铝)包钢带铠装电缆结构

1—主芯线; 2—纸带; 3—充填物; 4—统包绝缘; 5—内护层;
6—沥青纸; 7—黄麻护层; 8—钢带铠装层

塑料铠装电力电缆有聚氯乙烯、交联聚乙烯两种塑料电缆,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,具有广泛的发展前途。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的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如图1-3所示。这种电缆目前已生产10 kV级及35 kV级两种。

(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)以提高其机械强度,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。

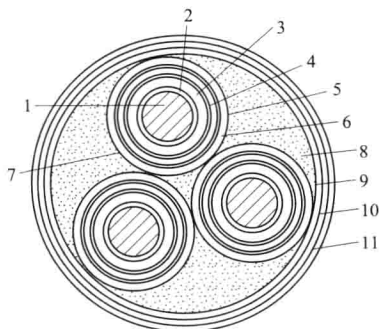


图 1-3 交联聚乙烯绝缘电缆结构图

1—导电芯线; 2—半导体层; 3—交联聚乙烯绝缘; 4—半导体层;
5—钢带; 6—标志带; 7、9—塑料带; 8—纤维充填材料;
10—钢带铠装; 11—聚氯乙烯外护套

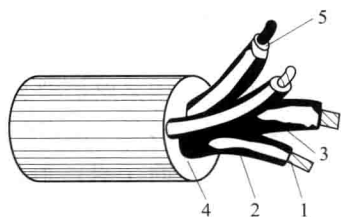


图 1-4 橡胶电缆的一般结构

1—主芯线; 2—分相绝缘; 3—防震芯子;
4—橡胶护套; 5—地芯线

2) 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、电焊机用电缆、控制电缆等, 一般电力电缆的型号由分类代号和导体、内护层、派生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。导体内护层的代号: T——铜 (省略), L——铝, Q——铅包, L——铝包, H——普通橡套, V——塑料护套。外护层代号的数字从略, 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, 因为有了一层铠装后, 可减少引起爆炸的可能性。同时, 对于某些这类厂房, 电缆的负荷量还可适当降低。

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 ~ 10 kV 高压电缆) 至 25 m (1 ~ 3 kV 电缆) 的范围内。超过时应选用干、不滴流、聚氯乙烯绝缘的电力电缆。

⑦ 煤矿井下使用电缆的型号应根据《煤矿安全规程》规定选择。

3) 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;非永久性巷道采用木楔或帆布袋吊挂,以便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。

凡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。缆夹型式可根据需要进行选择。

4) 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 架空电力传输导线的选择

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核能力。因此,只有综合考虑技术、经济效益,才能选出合理的导线截面。

导线截面的选择原则如下。

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,以保证年运行费用最低。

2) 按长时允许电流选择

使导线在最大允许负荷电流下长时工作不致过热。

3) 按允许电压损失选择

使线路电压损失低于允许值,以保证供电质量。

4) 按机械强度条件选择

架空导线的最小允许截面如表1-1所示,此规定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	$\phi 3.2$ mm

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,最后按各种条件中的最大者选择。低压架空线路往往电流较大,宜按电压损失条件或按长时

允许电流条件选择导线截面，按其他条件仅进行校验，但不按经济密度选择。

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 架空电力传输导线截面的计算

1. 按经济电流密度选择导线截面

导线截面积大小与电网的运行费用有密切关系。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使年运行费用最小。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。

年运行费主要由年电耗费、年折旧费和大修费、年小修费和维护费组成。

年电耗费是指电网全年损耗电能的价值。导线截面越大，损耗越小，费用亦越小。

年折旧费是指每年提存的初期投资百分数，导线截面越大，初期投资也越大，因而年折旧费就高。

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。年运行费用最少的导线截面 S_{ec} 称经济截面，对应于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。

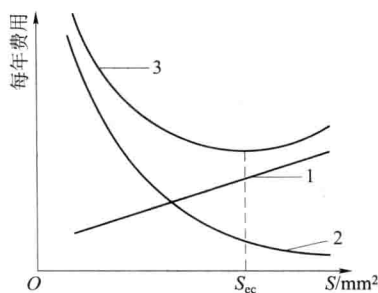


图 1-5 可变费用与导线截面的关系曲线

表 1-2 经济电流密度

A/mm²

电 压		1 000 ~ 3 000 V	3 000 ~ 5 000 V	5 000 V 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
铜芯纸绝缘电缆，橡皮绝缘电缆，铜芯电缆		2.5 1.92	2.25 1.73	2 1.54

在该表中，经济电流密度与最大负荷利用小时有关。

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} ，按线路正常运行最大时长工作电流 I_{ec} ，由下式求出经济截面：

$$S_{ec} = \frac{I_{ec}}{J_{ec}} \quad (\text{mm}^2) \quad (1-1)$$

选取等于或稍小于 S_{ec} 的标准截面 S ，即

$$S \leq S_{ec} \quad (1-2)$$

2. 按时长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。当通过的电流超过其允许电流时，将使导线过热，严重时烧毁导线，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。因此，通过导线的电流必须受到限制，保证导线的温度不超过允许范围，裸导体的长时允许电流如表 1-3 所示。选择导线截面应使线路长时最大工作电流 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℃ 作为标准，当周围空气温度不是 +25℃，而是 θ'_0 时，导线的长时允许电流应按式进行修正：

$$I_{al} = I_{ac} \sqrt{\frac{\theta_m - \theta'_0}{\theta_m - \theta_0}} = I_{ac} K \quad (1-4)$$

式中， I_{al} ——环境温度为 θ'_0 时的长时允许电流，A；

I_{ac} ——环境温度为 θ_0 时的长时允许电流，A；

θ'_0 ——实际环境温度，℃；

θ_0 ——标准环境温度，一般为 25℃；

θ_m ——导线最高允许温度，℃；

K ——电流、温度修正系数，如表 1-4 所示。

表 1-3 裸导体的长时允许电流（环境温度为 25℃，导线最高允许温度 70℃）

铜 线			铝 线			铜 芯 铝 线	
导线型号	长时允许电流/A		导线型号	长时允许电流/A		导线型号	室外长时允许 电流/A
	室内	室外		室内	室外		
TJ-4	50	25	LJ-16	105	80	LGJ-16	105
TJ-6	70	35	LJ-25	135	110	LGJ-25	135
TJ-10	95	60	LJ-35	170	135	LGJ-35	170
TJ-16	130	100	LJ-50	215	170	LGJ-50	220
TJ-25	180	140	LJ-70	265	215	LGJ-70	275
TJ-35	220	175	LJ-95	325	260	LGJ-95	335
TJ-50	270	220	LJ-120	375	310	LGJ-120	380
TJ-70	340	280	LJ-150	440	370	LGJ-150	445
TJ-95	415	340	LJ-185	500	425	LGJ-185	515
TJ-120	485	405	LJ-240	610	—	LGJ-240	610
TJ-150	570	480	—	—	—	LGJ-300	700
TJ-185	645	550	—	—	—	LGJ-400	800
TJ-240	770	650	—	—	—	—	—

表 1-4 导体长时允许电流、温度修正系数 K

温度/℃ 电流/A	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
+90	—	—	1.14	1.11	1.07	1.04	1.00	0.96	0.92	0.88	0.83	0.79
+80	1.24	1.20	1.17	1.13	1.09	1.04	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.74
+70	1.29	1.24	1.20	1.15	1.11	1.05	1.00	0.94	0.88	0.81	0.74	0.67
+65	1.32	1.27	1.22	1.17	1.12	1.06	1.00	0.94	0.87	0.79	0.71	0.61
+60	1.36	1.31	1.25	1.20	1.13	1.07	1.00	0.93	0.85	0.76	0.66	0.54
+55	1.41	1.35	1.29	1.23	1.15	1.08	1.00	0.91	0.82	0.71	0.58	0.41
+50	1.48	1.41	1.34	1.26	1.18	1.09	1.00	0.89	0.78	0.63	0.45	0

3. 按允许电压损失选择导线截面

电流通过导线时,除产生电能消耗外,由于线路上有电阻和电抗,还产生电压损失等,影响电压质量。当电压损失超过一定的范围后,将使用电设备端子上的电压过低,严重影响用电设备的正常运行。所以,要保证设备的正常运行,必须根据线路的允许电压损失来选择导线截面。

设导线的电阻为 R , 电抗为 X , 当电流通过导线时,使电路两端的电压不同。线路始端电压为 U_1 , 末端电压为 U_2 , 电压的相量差为电压降落值, 则

$$\Delta U = U_1 - U_2 \quad (1-5)$$

线路的电压损失是指线路始、末两端电压的有效值之差, 以 ΔU 表示, 则

$$\Delta U = U_1 - U_2 \quad (1-6)$$

如以百分数表示, 则

$$\varepsilon = \frac{U_1 - U_2}{U_N} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中, U_N ——额定电压, V。

为了保证供电质量, 对各类电网规定了最大允许电压损失, 见表 1-5。

表 1-5 电力网允许电压损失百分数

电网种类及运行状态	$\Delta U_{\text{允}}$	备 注
① 室内低压配电线路	1 ~ 2.5	①、②两项总和不大于 6%
② 室外低压配电线路	3.5 ~ 5	
③ 工厂内部供给照明与动力的低压线路	3 ~ 5	
④ 正常运行的高压配电线路	3 ~ 6	
⑤ 故障运行的高压配电线路	6 ~ 12	④、⑥两项之和不大于 10%
⑥ 正常运行的高压输电线路	5 ~ 8	
⑦ 故障运行的高压输电线路	10 ~ 12	

在选择导线截面时, 要求实际电压损失 ΔU 不超过允许电压损失 $\Delta U_{\text{允}}$, 即

$$\Delta U \leq \Delta U_{\text{允}} \quad (1-8)$$

1) 终端符合电压损失计算

相电压损失的计算式可由式(1-6)导出如下:

$$\Delta U = U_1 - U_2 = IR \cos \varphi + IX \sin \varphi \quad (1-9)$$

式中, I ——负荷电流, A;

R ——线路每相电阻, Ω ;

X ——线路每相电抗, Ω ;

φ ——负荷的功率因数角。

三相对称系统的线电压损失 ΔU 为

$$\Delta U = \sqrt{3} I (IR \cos \varphi + IX \sin \varphi) \quad (1-10)$$

用功率表示时

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_N} = \frac{l}{U_N} (Pr_0 + Qx_0) \quad (1-11)$$

式中, P ——负荷的有功功率, kW;

Q ——负荷的无功功率, kvar;

U_N ——线路额定电压, kV;

r_0, x_0 ——线路单位长度的电阻、电抗, Ω/km 。

2) 分布负荷电压损失计算

分布负荷的特点是一条线路沿途接有许多负荷, 如图1-6所示。图中给出分布负荷的线路参数及负荷分布情况。根据电压损失可叠加的原理, 求得电压损失计算式为

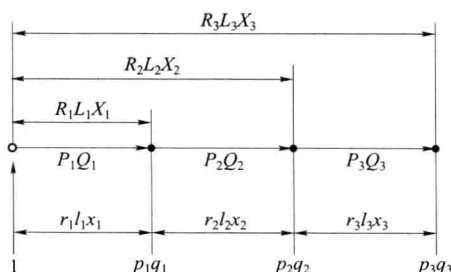


图1-6 分布负荷的线路参数与负荷分布

$$\Delta U = \frac{1}{U_N} \sum_{i=1}^n (p_i R_i + q_i X_i) = \frac{1}{U_N} \sum_{i=1}^n (P_i r_i + Q_i x_i) \quad (1-12)$$

式中, p_i, q_i ——各分布负荷的有功及无功功率, kW;

P_i, Q_i ——各线段上负荷的有功及无功功率, kW;

r_i, x_i ——各线段上的电阻及电抗, Ω ;

R_i, X_i ——电源至各负荷的线路电阻及电抗, Ω ;

n ——负荷数量。

当各段导线截面相同(即均一导线)时, 式(1-12)可改写为

$$\Delta U = \frac{1}{U_N} \left(r_0 \sum_{i=1}^n p_i L_i + x_0 \sum_{i=1}^n q_i L_i \right) \quad (1-13)$$

式中, r_0, x_0 ——导线单位长度的电阻和电抗, Ω/km ;