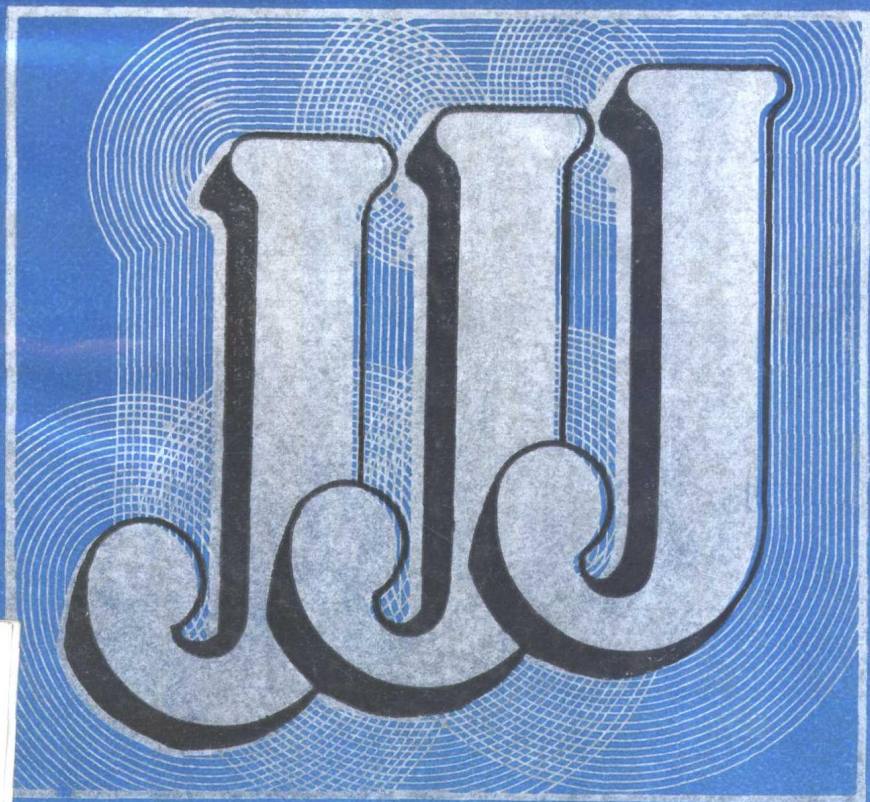


国家机械工业委员会统编

中级内外线电工工艺学

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

机械工人技术理论培训教材

中 级 内 外 线 电 工 工 艺 学

国家机械工业委员会统编



机 械 工 业 出 版 社

本书着重介绍了常用变、配电设备的安装方法；架空线路和电力电缆线路的施工工艺；车间动力设备的安装以及防雷和接地的基本概念及施工方法等。

本书是中级内外线电工的技术理论培训教材，也可供有关技术人员和工人学习时参考。

本书由南通电机厂张湛武编写，南京第二机床厂范镇、南京电瓷厂华毓桂审稿。

中级内外线电工工艺学

国家机械工业委员会统编

责任编辑：吴天培 责任校对：邵玉玲 陈欣欣
封面设计：林胜利 方芬 版式设计：胡金瑛
责任印制：张俊民

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

北京市房山区印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 787×1092¹/₃₂ · 印张10 · 字数220千字

1988年12月北京第一版 1988年12月北京第一次印刷

印数00 001—42,000 · 定价：4.20元

ISBN 7-111-01130-9/TM·150

前 言

1981年，原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》，确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此，组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲（试行）》，编写了相应的教材，有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作，初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况，取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准（通用部分）》进行了全面修订，原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求，而且缺少高级部分；编写的教材，由于时间仓促、经验不足，在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此，原机械工业部根据新《标准》，重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》（初、中、高级），于1987年3月由国家机械工业委员会颁发，并根据培训计划、大纲的要求，编写了配套教材148种。

这套新教材的编写，体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神，坚持了文化课为技术基础课服务，技术基础课为专业课服务，专业课为提高操作技能和分解解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上，力求以

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力的培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前言

第一章 内外线电力工程的基本知识	1
第一节 概述	1
第二节 输配电线路的特点	4
第三节 导线截面的选择及其基本计算方法	8
复习题	14
第二章 架空线路的施工	15
第一节 基础施工	15
第二节 立杆	24
第三节 拉线与撑杆施工	42
第四节 放线	54
第五节 导线在绝缘子上的固定	56
第六节 新建架空线路运行前的检查和试验	65
复习题	67
第三章 常用变、配电设备的安装	68
第一节 10kV、1000kVA及以下室内变电所的常用 布置型式	68
第二节 变压器安装和干燥时的处理方法及对变压器 油的技术要求	76
第三节 配电柜的安装	97
第四节 电器的安装	102
第五节 少油断路器的安装和检修	114
第六节 继电保护盘的安装	126
第七节 变压器并联运行的条件	137

复习题	145
第四章 车间动力设备的安装	147
第一节 动力配电箱的安装	147
第二节 电动机及其附属设备的安装	162
第三节 吊车和滑触线的安装	184
复习题	204
第五章 电力电缆的敷设	205
第一节 电力电缆的敷设规程和方法	205
第二节 10kV及以下电缆终端头及中间接头的制作	215
第三节 电力电缆的安装试验	253
第四节 电缆线路的故障及检测	263
复习题	267
第六章 避雷装置和接地装置	268
第一节 雷电和防雷措施	269
第二节 避雷针	277
第三节 接地的基本概念和接地的作用	282
第四节 接地电阻的要求值及其测量	290
第五节 接地装置的种类、型式、安装要求和施工方法	298
复习题	307
附录 I 埋地电缆金属外皮的自然接地电阻	309
附录 II 埋地金属水管的自然接地电阻	310
附录 III 修正系数K	310
附录 IV 水泥电杆的自然接地电阻	310
附录 V 土壤电阻率	311

第一章 内外线电力工程的基本知识

电力是现代工业的主要动力。目前我国电力来源主要是火力发电和水力发电。火力发电是通过煤的燃烧，使锅炉产生高压蒸汽，推动汽轮机，带动发电机发电；水力发电是利用水流推动水轮机，带动发电机发电。由发电厂发出的电，经过升压变压器升高电压，通过输电线路，把电能远距离输送到靠近工厂、矿山、城市、农村的变电所，再经过降压变压器降压，通过配电线路，把电能分配到工厂、矿山、城市和农村的用电器具中去。因此，电力系统由发电厂、电力网和用电器具三个基本环节组成。

根据行业的特点，本书所述的内外线电力工程，指的是从配电所到用电器具的电力工程，由于存在着户内和户外的部分，因此称为内外线电力工程，以区别其它行业的输变电工程。内外线电力工程主要任务是实现变电、配电和用电。

第一节 概 述

一、供电的要求

1. 供电的基本要求 向电力用户供应电能应符合下列基本要求。

(1) 安全。在供电、配电和用电过程中应保证安全，不发生人身、设备事故。

(2) 可靠。根据各级电力负荷的要求，应保证供电的质量和可靠性。

(3) 经济。供电系统应投资少, 运行费用低, 并尽量减少有色金属的消耗。

(4) 合理。应合理布局, 全面考虑局部和系统、近期和长远的关系。

2. 供电的质量要求 供电质量应符合《全国供用电规则》规定的要求, 供给用户的电压和频率与额定值的偏差不得超过国家统一规定的范围, 见表1-1。

表1-1 供电频率、供电电压的允许偏差

项 目	允 许 偏 差
频 率	大容量系统 中、小容量系统
	$\pm 0.2\text{Hz}$ $\pm 0.5\text{Hz}$
电 压	35kV及以上的用户 10kV及以下的用户 低压照明、农业用户
	$\pm 5\%$ 线路额定电压 $\pm 7\%$ 线路额定电压 $+5\%$ -10% 线路额定电压

供电频率由发电厂决定, 而供电电压则由变电所决定, 并与导线截面的选择, 通过电流载流量的大小和线路电压降的大小等因素有关。

二、电力负荷的分级

根据电力负荷的重要性和停电造成的影响或损失的 程度, 把它分为三级。

一级负荷。指的是突然停电将造成如下后果的负荷: 造成人身伤亡; 造成重大设备损坏, 难以修复; 或给国民经济带来严重损失。

二级负荷。指的是突然停电将产生大量废品、大量减产、企业内运输停顿或经济上造成较大损失的负荷。

三级负荷。指的是所有不属于一级和二级的负荷。

三、供电的方式

各级负荷的供电方式，首先应根据本地区电网的条件，按企业的规模、性质和容量来决定。

对于一级负荷应由两个独立电源供电，任何情况下，都不会中断电源而继续供电。

对于二级负荷应由双回路供电，尽可能引自不同的变压器或线段，有困难时，可由专用线路供电。

三级负荷无特殊要求。

四、电力线路

电力线路分为架空线路和地下电缆线路两种。广泛采用架空线路，因为它造价便宜，施工方便，便于检修。在大城市或工厂为了供电的安全可靠、保证行人和交通的安全，又不影响美观，或者在多雷击地区，往往采用电缆线路。但是它的造价高，并且不容易发现故障。因此在一些必要的场合才敷设地下电缆。例如：

1) 交通枢纽地区或车辆来往频繁而架空线路影响交通的地方；

2) 人口稠密、房屋密集的城市地区；

3) 风景区或城市中心，架空线影响美观时；

4) 通信线路或其它电力线路拥挤的地带，无法采用架空线路时；

5) 容易遭受自然灾害（如风、冰、雪、雷电、水灾等）的特殊地区。

五、线路电压

我国现行电压标准分为三类。

第一类额定电压在100 V以下，主要用于安全照明及开关设备的直流操作电源。三相交流线电压为36 V；单相为12、

24、36 V。

第二类额定电压在100~1000 V，主要用于电动机和电灯。三相交流线电压有220 V和380 V二种。

第三类额定电压超过1000 V，主要用于发电、输、配电及高压受电设备。交流线电压有6、10、35、60、110、154、220、330 kV。即将发展的还有500、750 kV电压等级。

第二节 输配电线路的特点

工厂电力线路有高压线路和低压线路两种。

一、高压线路接线方式的特点

高压线路有放射式、树干式和环形等基本接线方式。

1. 放射式接线 图1-1所示为高压放射式线路的接线。特点是敷设容易，维护方便，线路互不影响，便于装设自动装置。但所用的高压开关设备较多，同时，供电的可靠性仍不高，一般只适用于三级负荷和个别的二级负荷。

2. 树干式接线 图1-2所示为一路进线和二路进线的高压树干式接线。其特点是线路所用的高压开关设备较少，不需要设置高压配电室，能减少线路有色金属的消耗，但供电可靠性差，当某段高压线路发生故障或进行检修时，在其后的若干变电所都要停电。这种接线只适用于三级负荷。

3. 环形接线 图1-3所示为高压线路的环形接线。实质上为两端供电的树干式接线。其特点和两端进线的

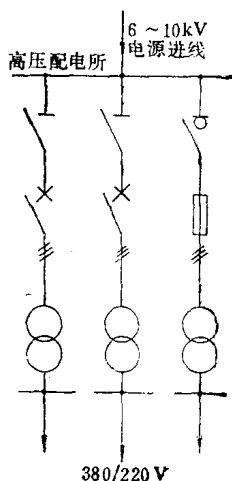


图1-1 高压放射式接线

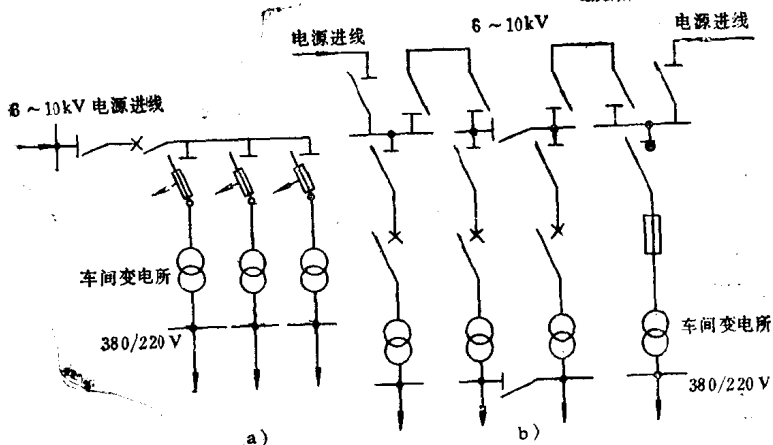


图1-2 高压树干式接线

a) 一路进线 b) 二路进线

树干式接线相同。

工厂高压线路的接线应力求简单可靠，这样不仅减少投资、维护方便，而且可以减少误操作和设备故障，缩短停电时间。

为了提高供电的可靠性，可在放射式接线方式中，在各车间变电所高压或低压侧之间敷设联络线，或采用两个独立电源的高压进线，经分段单母线、双回路交叉供电；也可在树干式接线方式中，采用双干线或两端供电，并在各车间变电所低压侧之间敷设联络线，以提高线路适用的负荷级别。

二、低压线路接线方式的特点

低压线路也有放射式、树干式和环形等基本接线方式。

1. 放射式接线 图1-4所示为低压放射式接线。特点是引出线发生故障时互不影响，供电可靠性较高，但有色金属消耗较多，使用的开关设备较多，系统的灵活性较差。这种

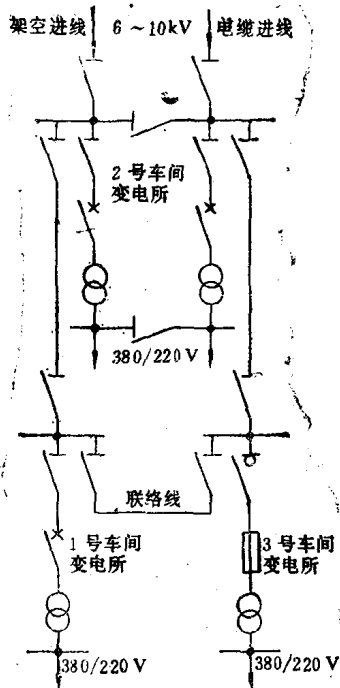


图1-3 双电源高压环形接线

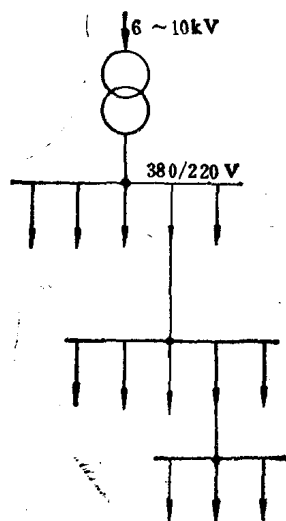


图1-4 低压放射式接线

接线方式多用于可靠性要求较高的车间，特别是大型设备的供电。

2. 树干式接线 图1-5所示为低压树干式接线。树干式特点是系统灵活性好，使用的开关设备少，消耗的有色金属少，但干线发生故障时影响范围大，供电可靠性较低。它适用于供电容量小而均匀的用电场合，如机械加工车间、机修车间等。

3. 环形接线 图1-6所示为环形接线。将工厂内所有车间变电所的低压侧，通过低压联络线接成环形。环形接线供

电可靠性较高，任一段线路的故障或检修，都不致造成供电中断，并且可减少电能损耗和电压损失。但是保护装置比较复杂，处理不当，将因误动作而扩大故障停电范围。实际使用时，大多高、低压环形接线，采取开口环形方式运行，也就是环形线路有一处开关是断开的。

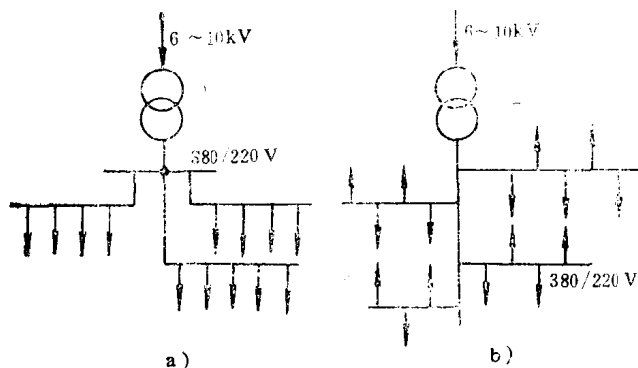


图1-5 低压树干式接线

a) 低压母线配电的树干式 b) 变压器—干线组的树干式

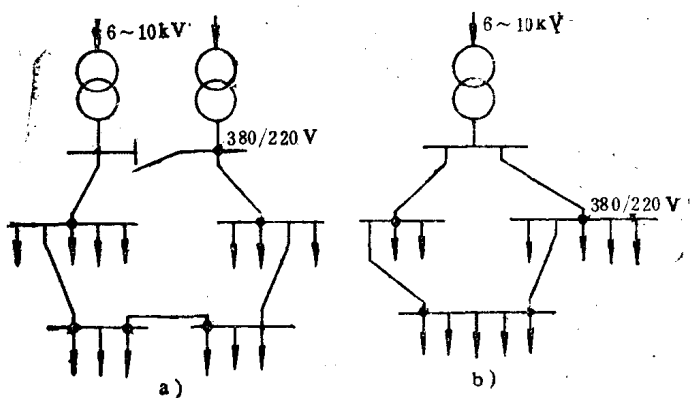


图1-6 低压环形接线

a) 两台变压器供电 b) 一台变压器供电

第三节 导线截面的选择及其基本计算方法

为了保证供电系统能够满足供电的基本要求，导线截面的选择必须符合下列条件。

(1) 发热条件。要求在通过最大负荷(即计算电流)时，发热温度不超过其正常运行时的最高允许温度。

(2) 电压损失。要求在通过最大负荷时，产生的电压损失不超过正常运行时允许的电压损失。

(3) 经济电流密度。高压线路和电流较大的低压线路，应按规定的经济电流密度选择截面，既要电能损耗小，又要节约有色金属。

(4) 机械强度。截面应不小于其最小允许截面，以满足机械强度的要求。

此外，对绝缘导线还应满足工作电压的要求。

不同场合，要求也各有侧重，例如，低压动力线，因为负荷电流较大，所以应先按发热条件来选择截面，然后验算电压损失和机械强度。低压照明线，对电压质量要求较高，所以应先按允许电压损失条件来选择截面，然后验算其发热条件和机械强度。而高压线路，则往往先按经济电流密度选择截面，然后验算其发热条件和允许电压损失条件。对于高压架空线路，还应验算其机械强度。工厂高压线路一般不长，电流较小，比较容易满足发热条件和电压损失条件，所以一般应该按照经济电流密度来选择。

一、按发热条件选择

1. 选择条件 负荷电流流过导线时，由于导线存在一定的电阻，将使导线发热，温度升高。发热温度过高，绝缘导线将发生绝缘老化、损坏，甚至引起火灾；裸导线则在接

头处加剧氧化，使接触电阻增加，又进一步发热氧化，甚至发展到断电事故。因此，导线的发热温度不能超过允许值。导线的载流量就是指在最高允许温度下，导线允许通过的最大电流。所以，按发热条件选择导线截面时，就是使导线的计算电流 I_j （也就是线路的工作电流）小于或等于所选导线截面的允许载流量（允许持续电流） I_e ，即

$$I_j \leq I_e$$

导线的载流量可从《电线电缆产品手册》中查找。也可以采用计算口诀配合心算进行估算。

2. 计算口诀 导线的载流量除了和导线的截面大小有关外，还与导线的材料、型号、敷设方法及环境温度等有关，影响因素错综复杂，可以通过查表得到，也可用计算口诀进行现场估算。

为了介绍口诀，现将我国常用导线标称截面（ mm^2 ）按大小顺序排列如下：

1、1.5、2.5、4、6、10、16、25、35、50、70、95、120、150、185……

口诀的内容主要反映导线的载流量和导线截面的倍数关系。现列表1-2加以说明。

从表中可看出，倍数随截面的增大而减小，倍数转变交界处误差较大，因此，在决定载流量时，要做到心中有数，要“首松尾紧”。例如，五倍段首部截面为 2.5mm^2 导线的载流量，手册中规定最大可达20A，而口诀中估算为 $5 \times 2.5 = 12.5\text{A}$ ，决定载流量要偏松些；又如，四倍段尾部截面为 25mm^2 导线的载流量，手册中规定为97A，按口诀计算为100A，决定载流量要偏紧些。

环境温度因素，只有在某些高温车间或超过 25°C 较多的

表1-2 导线载流量计算口诀

口 诀 内 容		解 释 说 明
截面因素	10下五, 100上二	截面在16以下, 载流量为截面的五倍, 在100以上为二倍。口诀中100读成“百”
	25、35, 四、三界	截面25和35是四倍和三倍的分界
	70、95, 两倍半	截面75、95载流量的倍数为2.5
条件因素	穿管、温度, 八、九折	穿管、温度(指环境温度超过25℃)分别打八折和九折, 既穿管又“温度”连续打八、九折
	裸线加一半	裸线载流量比相同截面的绝缘导线增加一半
	铜线升级算	铜线按截面排列升一级计算后再按其它条件计算

地区, 才考虑打折扣。

三相四线制的中线截面, 通常选为相线截面的一半左右。但必须满足机械强度的要求。

二、按机械强度选择

由于架空线路的导线跨度大, 并且还要经受气候的影响以及周围空气中化学杂质的腐蚀, 因此, 必须具有足够的机械强度。通常用最小允许截面来保证, 见表1-3。

表1-3 架空裸导线最小允许截面(mm²)

导 线 种 类	高压(6 kV以上)		低 压
	居 民 区	非 居 民 区	
铝及铝合金	95	25	16
钢芯铝线	25	16	16
铜线	10	16	6

三、按经济电流密度选择

选择电流密度的大小直接影响到线路的投资, 有色金属