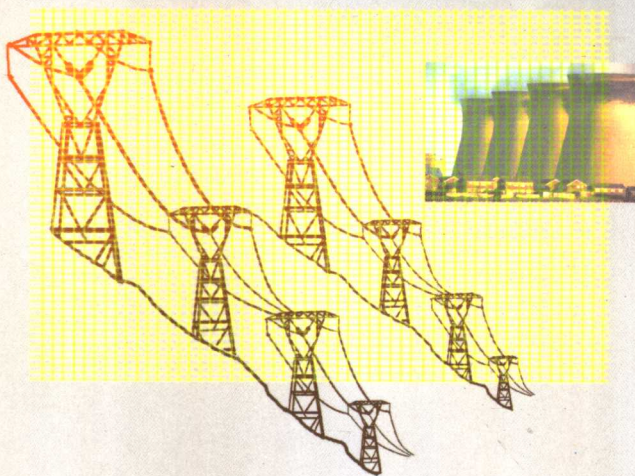


高等院校规划教材



# 电力系统实践指导教程

主 编 秦文艺 乔占俊  
副主编 李 永 孟祥侠



煤炭工业出版社

高等院校规划教材

# 电力系统实践指导教程

主 编 秦文艺 乔占俊  
副主编 李 永 孟祥侠

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

**图书在版编目 (CIP) 数据**

电力系统实践指导教程/秦文艺, 乔占俊主编. —北京:  
煤炭工业出版社, 2007. 11

高等院校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5020 - 3180 - 0

I. 电… II. ①秦…②乔… III. 电力系统 - 教材  
IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 143557 号

煤炭工业出版社 出版  
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)  
网址: [www.cciph.com.cn](http://www.cciph.com.cn)  
煤炭工业出版社印刷厂 印刷  
新华书店北京发行所 发行

\*

开本 787mm × 1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 10<sup>1</sup>/<sub>2</sub>  
字数 243 千字 印数 1—2,000  
2007 年 11 月第 1 版 2007 年 11 月第 1 次印刷  
社内编号 5981 定价 23.00 元

**版权所有 违者必究**

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

## 内 容 提 要

本教材由三部分组成。第一部分为电工常用工具，主要介绍学生电力系统实习以及实验的必备工具的基本使用方法。第二部分为电力系统实习，分2章，分别介绍架空输电线路的结构及相关实习和电力系统高压电器设备的实习。第三部分为电力系统实验，分3章，分别介绍电力系统继电保护实验、微型机继电保护实验和高电压技术实验。

本书适用于高等院校的电气类专业的师生，也可供有关科技人员参考。

# 前 言

实践教学是本科教学的重要组成部分，也是评价当代大学生学业水平与综合素质的重要指标。本实践教程依托电力系统基础理论，在巩固和加深学生对理论知识的理解的同时，培养学生操作技能、提高专业综合应用能力，为今后从事电力系统工作或电力科学实验打下良好的基础。

本教程注重理论联系实际，突出使用维修、故障处理、实验检验等电力系统技能实践；在内容结构、阐述方法和文字表达上，本教程顾及学生的知识水平，力求循序渐进，通俗易懂、便于阅读。本教程共六章，第一章、第二章、第三章、第四章由乔占俊老师编写；第五章由孟祥侠老师编写；第六章由李永老师编写。全书由秦文艺老师统稿并对各章节进行全面审阅修订。

由于水平有限、经验不足，书中难免会出现错误和不妥之处，恳切希望读者批评指正，以便进一步修改完善。

**编 者**

2007 年 7 月

# 目 录

## 第一篇 电 工 工 具

|              |   |
|--------------|---|
| 第一章 电工常用工具   | 1 |
| 第一节 电工常用基本工具 | 1 |
| 第二节 高压验电器    | 3 |
| 第三节 其他电工用钳   | 4 |
| 第四节 电工用凿     | 5 |
| 第五节 凿孔安装机械   | 5 |
| 第六节 焊接工具     | 6 |

## 第二篇 电力系统实习

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第二章 架空输电线路实习             | 8  |
| 第一节 架空输电线路的结构            | 8  |
| 第二节 架空输电线路实习             | 18 |
| 实习一 架空线路导线的架设            | 18 |
| 实习二 外线登杆训练               | 25 |
| 实习三 架空线路故障的巡视            | 29 |
| 第三章 电力系统高压电器实习           | 33 |
| 实习一 SN10-10 型少油断路器整体调试   | 33 |
| 实习二 SN10-10 型少油断路器的检修    | 34 |
| 实习三 DW1-35/600 型多油断路器的检修 | 37 |
| 实习四 GN6-10 型隔离开关的检修      | 38 |
| 实习五 电压、电流互感器的检修          | 39 |
| 实习六 单相变压器的绕制             | 42 |
| 实习七 变压器的检修               | 43 |

## 第三篇 电力系统实验

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第四章 电力系统继电保护实验        | 48 |
| 实验一 电磁型电流、电压继电器电气特性实验 | 49 |

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| 实验二 电磁型时间继电器电气特性实验 .....             | 53         |
| 实验三 DZ 型中间继电器和 DX 型信号继电器电气特性实验 ..... | 55         |
| 实验四 GL-11 感应型过电流继电器电气特性实验 .....      | 58         |
| 实验五 三段式电流保护实验 .....                  | 62         |
| 实验六 晶体管过电流保护实验 .....                 | 65         |
| 实验七 整流型功率方向继电器电气特性实验 .....           | 68         |
| 实验八 BCH-2 型差动继电器的特性实验 .....          | 71         |
| 实验九 LZ-21 型方向阻抗继电器电气特性实验 .....       | 76         |
| 实验十 DCH-1 型重合闸装置电气特性实验 .....         | 80         |
| <b>第五章 微型机继电保护实验 .....</b>           | <b>83</b>  |
| 第一节 微型机继电保护装置说明 .....                | 83         |
| 第二节 微型机继电保护装置的调试 .....               | 102        |
| 第三节 微型机继电保护模拟短路实验 .....              | 117        |
| 实验一 高频保护实验 .....                     | 118        |
| 实验二 距离保护实验 .....                     | 119        |
| 实验三 零序功率方向保护实验 .....                 | 122        |
| 实验四 综合重合闸实验 .....                    | 124        |
| <b>第六章 高电压技术实验 .....</b>             | <b>129</b> |
| 实验一 绝缘电阻、吸收比的测量 .....                | 129        |
| 实验二 泄漏电流及直流耐压实验 .....                | 132        |
| 实验三 介质损失角 $\tan\delta$ 的测试 .....     | 134        |
| 实验四 局部放电测量 .....                     | 138        |
| 实验五 交流耐压实验 .....                     | 142        |
| 实验六 冲击电压实验 .....                     | 147        |
| 实验七 接地电阻和土壤电阻率 $\rho$ 的测量 .....      | 153        |
| 实验八 绝缘子链的电压分布测量 .....                | 156        |
| <b>参考文献 .....</b>                    | <b>160</b> |

## 第一章 电工常用工具

电工常用工具主要有电工仪表、电工工具、钳工工具、焊接工具和其他一些机械装置。这里着重介绍常用的电工工具和在实际操作中接触较多的钳工工具和焊接工具。

### 第一节 电工常用基本工具

#### 1. 工具夹和工具袋

(1) 工具夹。工具夹是装夹电工随身携带的常用工具的器具。工具夹常用皮革或帆布制成,分为可插装一件、三件和五件工具等几种。使用时,佩挂在背后右侧的腰带上,以便随手取用和归放工具,如图 1-1 所示。

(2) 工具袋。工具袋常用帆布制成,是用来装锤子、凿子、手具等工具和零星器材的背包。工作时一般斜挎肩上,如图 1-1 所示。

#### 2. 低压验电笔

低压验电笔简称电笔,是电工常用的低压试电器,用它可以方便地检查低压线路和电气设备是否带电,其检测电压在  $60 \sim 500\text{V}$  之间。为便于使用和携带,低压验电笔常做成钢笔式或螺丝刀式结构,如图 1-2 所示。

电笔一般由氖管、 $2\text{M}\Omega$  电阻、弹簧、笔身和笔尖构成。弹簧、氖管和电阻依次相连,两端分别与金属笔尖和金属笔挂相接。使用时,金属笔尖接触被测电路或带电体,人的手指接触金属笔挂,这样电路或带电体与电阻、氖管、人体和大地形成导电回路。当带电体与地之间的电压超过  $60\text{V}$  时,笔身中的氖管发出红色辉光,表明被测体带电。

使用时的注意事项:

(1) 使用电笔前,一定要在有电的电源上检验电笔氖管能否正常发光,确保电笔无误后方可使用;

(2) 在明亮的光线下测试时,不易看清氖管是否发光,应遮光检测;

(3) 电笔的金属笔尖多制成螺丝刀形状,但只能承受很小的扭矩。

#### 3. 钢丝钳

绝缘柄钢丝钳是维修电工必备的工具。绝缘柄耐压为  $500\text{V}$ ,可在有低压电的场合使

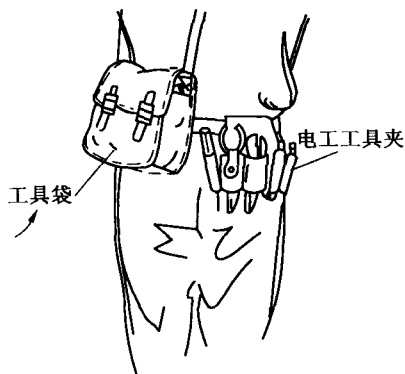


图 1-1 工具夹和工具袋



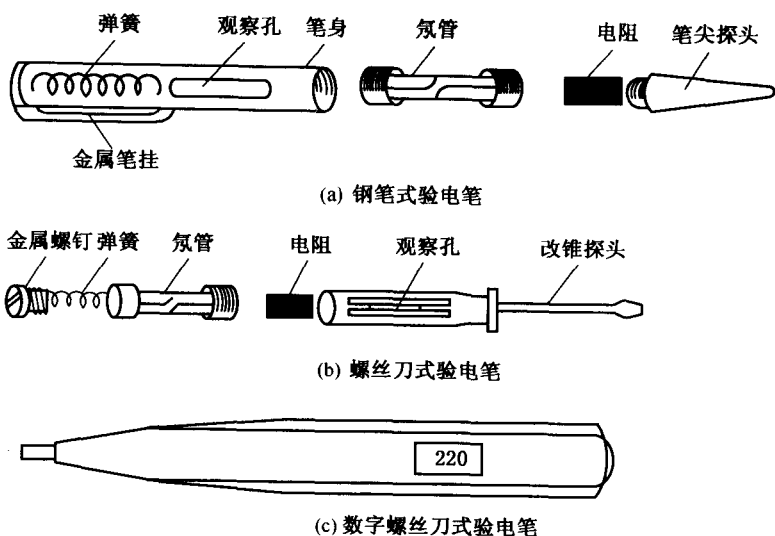


图 1-2 低压验电笔

用。钢丝钳的规格以全长表示，有 150mm、175mm、200mm 等 3 种。它的主要用途是剪切导线和钢丝等较硬金属，其外形如图 1-3 所示。

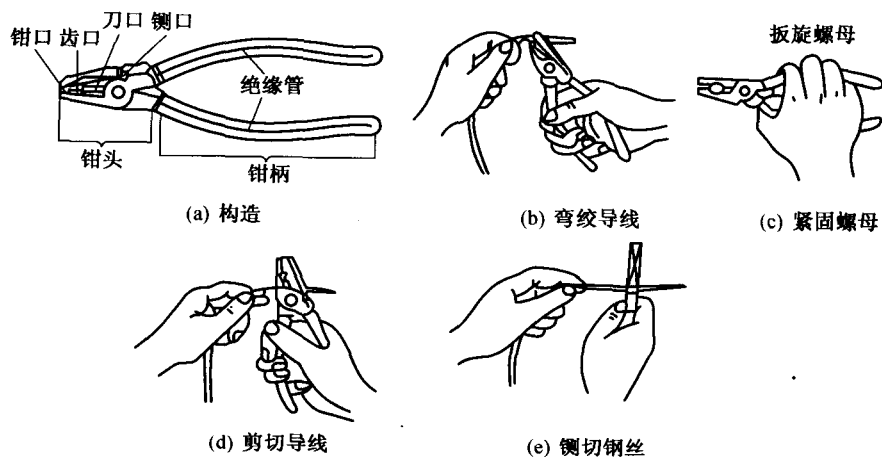


图 1-3 钢丝钳的构造与用法

#### 4. 电工刀

电工刀是电工在安装与维修过程中用来剖削电线电缆绝缘层、切割木台缺口、削制木桩及软金属的工具。电工刀刀柄是无绝缘保护的，不能在带电导线或器材上剖削，其外形如图 1-4 所示。

#### 5. 螺丝刀

螺丝刀是一种紧固或拆卸螺钉的工具，是维修电工必备工具之一。螺丝刀式样和规格

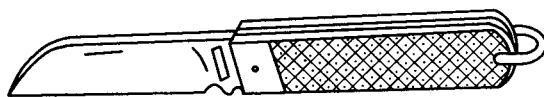


图 1-4 电工刀

很多，按头部形状可分为“一”字形和“十”字形两种，外形如图 1-5 所示。每一种螺丝刀又分为若干规格。电工多采用绝缘性能较好的塑料柄螺丝刀。

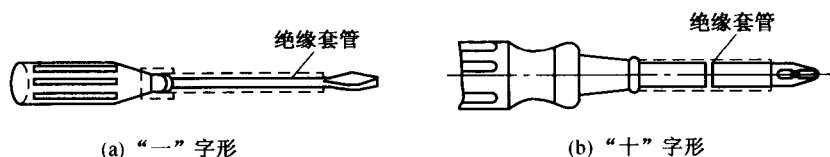


图 1-5 螺丝刀

## 6. 扳手

扳手是用于螺纹连接的一种手动工具，其种类和规格很多。维修电工常用的是活扳手，活扳手又称活络扳手，是用来紧固和拆卸螺钉或螺母的，它的开口宽度可在一定范围内调节，其规格以长度乘最大开口宽度来表示。电工常用的活扳手有 150mm × 19mm、200mm × 24mm、250mm × 30mm 和 300mm × 36mm 等 4 种，俗称 6 号、8 号、10 号和 12 号。图 1-6 是活扳手的构造和使用示意图。

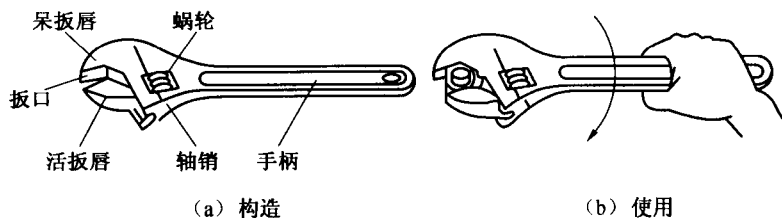


图 1-6 活扳手

## 第二节 高压验电器

高压验电器又称高压测电器，用来检查高压供电线路是否有电。图 1-7 所示为 10kV 高压验电器，它由金属钩、氖管、氖管窗、固紧螺钉、护环和握柄等组成。高压验电器的检查对象为高压电路，操作时应注意以下几点。

- (1) 验电器在使用前一定要进行测试，证明验电器确实良好，方可使用。
- (2) 使用高压验电器时手应握住握柄，不得超过护环，如图 1-7 所示。
- (3) 检测时操作人员必须戴符合耐压要求的绝缘手套，身旁要有人监护，不可一个人

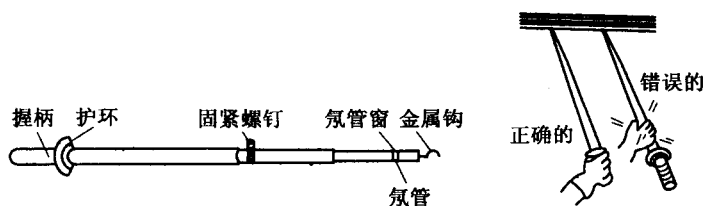


图 1-7 高压验电器

单独操作。人体与带电体应保持足够的安全距离，检测 10kV 电压时安全距离应为 0.7m 以上。

(4) 检测时，验电器应逐渐靠近被测线路，氖管发亮，说明线路有电；氖管不亮，才可与被测线路直接接触。

(5) 在室外使用高压验电器，应注意气候条件。在雪、雨、雾及湿度较大的情况下不能使用，以防发生危险。

### 第三节 其他电工用钳

除了钢丝钳，维修电工常用的钳子还有以下几种。

#### 1. 尖嘴钳

尖嘴钳的头部尖细而长，适用于在狭小的工作空间操作。维修电工多选用带绝缘柄的尖嘴钳，耐压为 500V。其规格以全长表示，有 140mm 和 180mm 两种。主要用途是剪断较细的导线和金属丝，将其弯制成所要求的形状，并可夹持、安装较小的螺钉、垫圈等。尖嘴钳的外形如图 1-8a 所示。

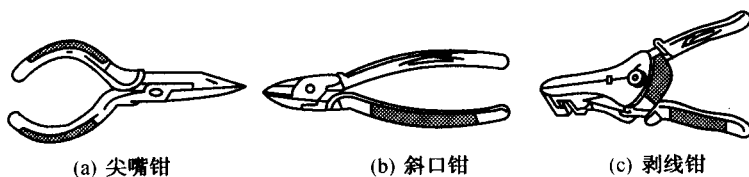


图 1-8 尖嘴钳、斜口钳和剥线钳

#### 2. 斜口钳

斜口钳又称断线钳，是用来切断单股或多股导线的钳子，常用的为耐压 500V 带绝缘柄的斜口钳，其外形如图 1-8b 所示。

#### 3. 剥线钳

剥线钳是用来剥除小直径导线绝缘层的专用工具。它的手柄带有绝缘柄，耐压为 500V。剥线钳的钳口有 0.5 ~ 3mm 多个不同孔径的刃口，使用时根据需要定出剥去绝缘层的长度，按导线芯线的直径大小，将其放入剥线钳相应的刃口。所选的刃口应比芯线直径稍大，用力一握钳柄，导线的绝缘层即被割断，同时自动弹出。剥线钳的外形如图 1-8c

所示。

维修电工使用钳子进行带电操作之前，必须检查绝缘柄的绝缘是否良好，以防发生触电事故。

## 第四节 电 工 用 凿

电工用凿主要用来在建筑物上打孔，以便安装输线管或架线木桩。按用途不同，有麻线凿、小扁凿、大扁凿和长凿等几种，如图 1-9 所示。

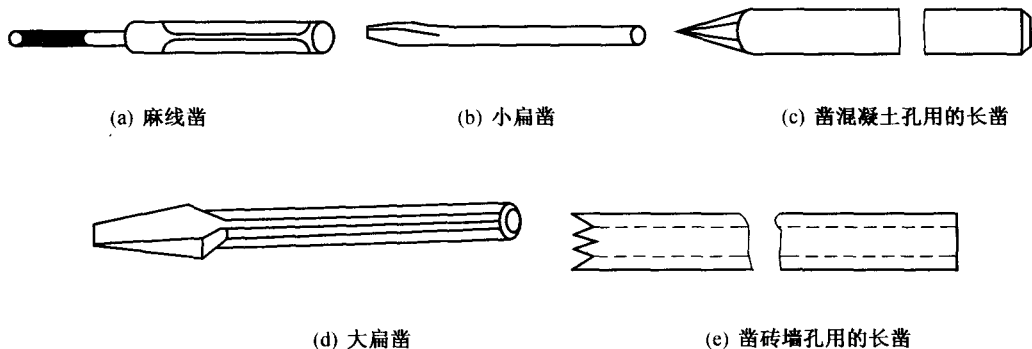


图 1-9 电工用凿

(1) 麻线凿用来凿制混凝土建筑物的安装孔。

(2) 小扁凿用来凿制砖结构建筑物的安装孔。

(3) 大扁凿用来在砖结构建筑物上凿较大的安装孔。

(4) 长凿用于较厚墙壁凿孔。用于混凝土结构的长凿多为实心中碳圆钢制成；用于砖结构的长凿由无缝钢管制成。

## 第五节 凿孔安装机械

### 1. 冲击电钻

冲击电钻简称冲击钻，如图 1-10 所示。冲击钻具有两种功能：当调节开关置于“钻”的位置，可以作为普通电钻使用；当调节开关置于“锤”的位置，它具有冲击锤的作用，用来在砖结构或混凝土结构建筑物上冲打安装孔。在使用冲击钻时，选择功能或调节转速必须在断电状态下进行。在混凝土、砖结构建筑物打孔时要安装镶有硬质合金的冲击钻头。

### 2. 电锤

电锤是一种具有旋转、冲击复合运动机构的电动工具，如图 1-11 所示。与冲击钻相比，电锤的功能多，可用来在混凝土、砖石结构建筑物上钻孔、凿眼、开槽等；电锤冲击力比冲击钻大、工效高，不仅能垂直向下钻孔，而且能向其他方向钻孔。使用电锤时，握

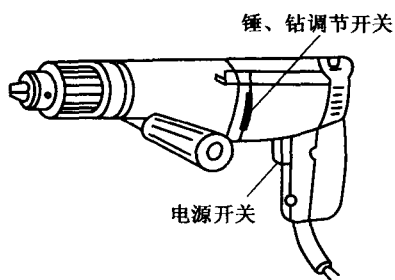


图 1-10 冲击钻

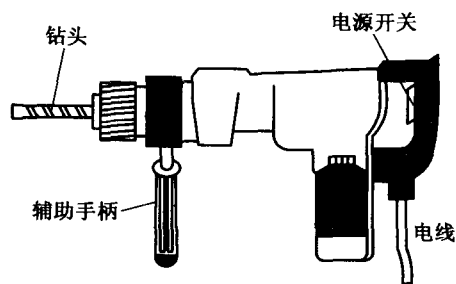


图 1-11 电锤

住两个手柄，垂直向下钻孔，无需用力；向其他方向钻孔也不能用力过大。电锤工作时进行高速复合运动，要保证内部活塞与活塞转套之间有良好的润滑，通常每工作 4 小时需注入润滑油，以确保电锤可靠的工作。

### 3. 射钉枪

射钉枪又称射钉器，它利用枪管内弹药爆炸所产生的高压推力，将特殊螺钉（射钉）射入钢板、混凝土和砖墙内，以安装或固定各种电气设备、电工器材。它可代替凿孔、预埋螺钉等手工劳动，提高工作效率，降低成本，是一种先进的安装工具。图 1-12 所示为其结构示意图，整个枪体由前、后枪身组成，中间可以扳折，扳折后前枪身踞出弹膛，用来装、退射钉。为使用安全和减少噪音，设置了防护罩和消音装置。使用射钉枪时要特别注意安全，枪管内不可有杂物，装弹后若暂时不用，必须及时退出，不许拿下前护罩操作，枪管前方严禁有人。

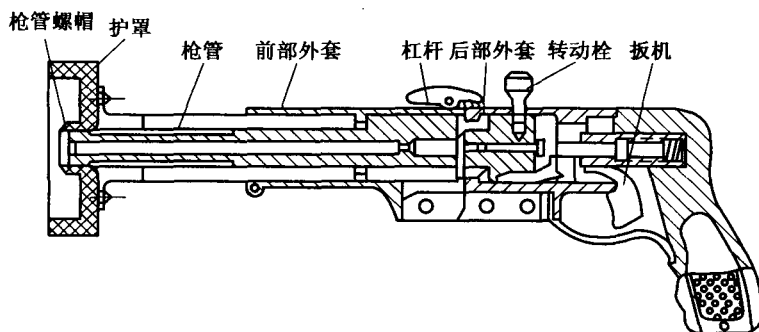


图 1-12 射钉枪结构示意图

## 第六节 焊 接 工 具

### 1. 电烙铁

维修电工在安装和维修过程中常常通过锡焊方法进行焊接，即利用受热熔化的焊锡，对铜、铜合金、钢和镀锌薄钢板等材料进行焊接。电烙铁是锡焊的主要工具，它由手柄、电热元件和铜头组成。铜头的受热方式有内热式和外热式两种，如图 1-13 所示。

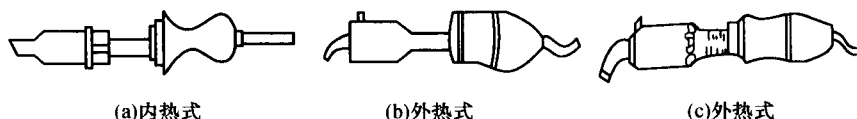


图 1-13 电烙铁

电烙铁的规格是以消耗的电功率来表示的，通常在 20 ~ 300W 之间。通常应根据焊接对象选择适当功率的电烙铁：在装修电子控制线路时，焊接对象为电子元器件，一般选用 20 ~ 40W 电烙铁；在焊接较粗多股钢芯绝缘线接头时，根据铜芯直径的大小，选用 75 ~ 150W 电烙铁；对面积较大的工件进行搪锡处理时，要选用功率为 300W 的电烙铁。锡焊所用的材料是焊锡和焊剂。焊锡是由锡、铅和铋等元素组成的低熔点合金，熔点在 185 ~ 260℃ 之间。为了便于使用，焊锡常制成条状和盘丝状。电烙铁将热量传给焊锡，熔化的焊锡与被焊部件相连，冷却后被焊部件通过焊锡连在一起。焊剂具有抑制焊接表面氧化的作用，是锡焊过程中不可缺少的辅助材料。常用的焊剂有以下几种。

(1) 松香液。松香液是把天然松香溶解在酒精中形成的液体，对被焊接件无腐蚀作用，适合在印刷电路板上焊接电子元器件或铜焊件。

(2) 焊锡膏。焊锡膏是用氯化锌、树脂和脂肪类材料合成的膏剂，适用于对绝缘及防腐要求不高的焊件。

(3) 氯化锌溶液。氯化锌溶液是把适量的锌放在盐酸中，经化学反应后得到的液体，适用于薄钢板的焊接。

## 2. 喷灯

喷灯是一种利用喷射火焰对工件进行加热的工具。锡焊时，喷灯用于对烙铁和工件的加热、大面积铜导线的搪锡以及其他焊接表面防氧化镀锡等。喷灯的构造如图 1-14 所示，使用方法如下：

(1) 检查。使用喷灯前应仔细检查油桶是否漏油，喷嘴是否畅通，丝扣处是否漏气等。

(2) 加油。经检查正常后，旋下加油螺塞，按喷灯所要求的燃料注入煤油或汽油。一般加油量不超过油桶的 3/4，注油后拧紧螺塞。

(3) 预热。加油后进行预热，即在点火碗内倒入汽油，点火将喷嘴加热，使燃料气化。

(4) 喷火。经预热后调节进油阀，点燃喷火。用手动泵打气，喷灯正常工作。

(5) 熄火。熄灭喷灯应先关闭进油阀，直到火焰熄灭，再慢慢旋松加油螺塞，放出油桶内的压缩空气。

使用喷灯时一定要注意安全，不得在煤油喷灯内注入汽油；在加汽油时周围不得有火；打气压力不可过高，喷灯能正常喷火即可；喷灯喷火时喷嘴前严禁站人；喷灯的加油、放油和修理等工作应在喷灯熄灭后进行。

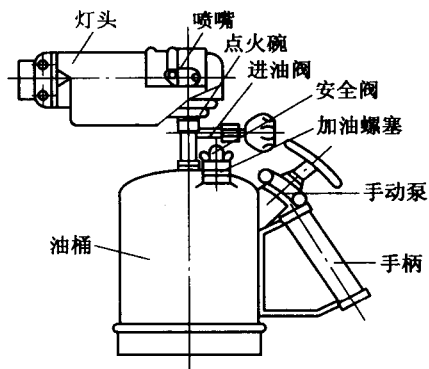


图 1-14 喷灯

## 第二篇 电力系统实习

### 第二章 架空输电线路实习

输电线路按结构分为架空线路和电缆线路。由于电缆线路的技术要求和施工费用远高于架空线路,所以除特殊情况(如地面狭窄而线路拥挤)外,目前我国广泛采用架空输电线路。架空输电线路是由绝缘子将导线架设在杆塔上,并与发电厂或变电站互相连接,从而构成电力系统或电力网用以输送电能。基于此特点,架空线路一般建设快、投资省、维护方便、容易迁移,但其运行受自然环境、气候条件和人为因素的影响较大,供电可靠性较差。

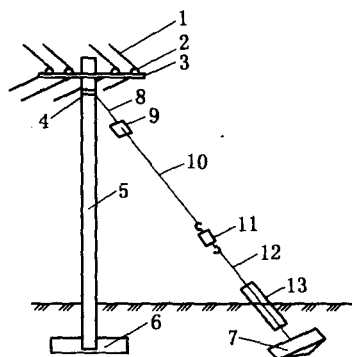
架空线路是电力系统的重要组成部分,一般可分为输电线路和配电线路。架设在发电厂与地区变电所之间或地区变电所之间专用于输送电能的线路称为输电线路,输电线路的电压一般为110kV以上。从地区变电所到用电单位变电所之间以及对城市、乡镇输送、分配电能的线路称为配电线路。配电线路按照电压高低可分为高压(35kV或110kV)配电线路、中压(6kV或10kV)配电线路和低压(380V或220V)配电线路。

#### 第一节 架空输电线路的结构

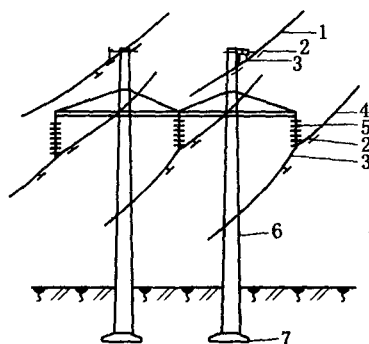
架空输电线路由导线、避雷线、杆塔、绝缘子串、金具、横担、拉线等主要元件组成,其结构如图2-1所示。导线用来传导电流,输送电能;避雷线是把雷击电流引入大地,以保护线路绝缘免遭大气过电压的破坏;杆塔用来支撑导线和避雷线并使导线和导线之间、导线和避雷线之间、导线和杆塔之间以及导线和大地、公路、铁轨、水面、通信线等被跨越物之间保持一定的安全距离;绝缘子是用来使导线和杆塔之间保持绝缘状态;金具是用来连接导线或避雷线,将导线固定在绝缘子上以及把绝缘子固定在杆塔上的金属元件。

##### 一、导线

架空线路的导线悬挂在杆塔上用来传输电流,而且要承受各种外力的作用。因此架空线路的导线不仅要有良好的导电性能,还应具有机械强度高、耐磨、耐折、抗腐蚀性强及质轻价廉等特点。常用的导线材料有铜、铝、钢、铝合金等。铜的导电性能最好,机械强度高、耐腐蚀性强,是一种理想的导线材料。但由于铜相对于其他金属来说,其用途较广而储量较少,因此架空线路的导线除特殊需要外一般不采用铜导线。目前架空线大多用铝线,铝导线分为铝绞线和钢心铝绞线两种。钢心铝绞线弥补了铝线机械强度不高的缺陷,一般在架空线路跨越山谷、江河等特大跨距时采用,但在有盐雾等沿海地区及有化学物质



(a) 低压架空配电线路结构图



(b) 高压架空线路结构图

1—导线；2—绝缘子；3—横担；4—拉线抱箍；  
5—电杆；6—底盘；7—拉线盘；8—拉线上把；  
9—拉线绝缘子；10—拉线腰把；11—花篮螺丝；  
12—拉线地把；13—拉线防护装置

1—避雷线；2—防振锤；3—线夹；4—导线；  
5—绝缘子；6—杆塔；7—基础

图 2-1 架空配电线路结构图

污染的地区，不宜采用一般的铝导线，而应改用防腐型铝绞线或铜绞线，必要时考虑采用电缆线路。

架空线路导线的型号用导线材料、结构和载流截面积三部分表示。导线的材料和结构用汉语拼音字母表示，如：T——铜线；L——铝线；G——钢线；J——多股绞线；TJ——铜绞线；LJ——铝绞线；GJ——钢绞线；HLJ——铝合金绞线，LGJ——钢心铝绞线。

钢心铝绞线简称钢心铝线，有 3 种类型：普通型钢心铝线，代号 LGJ，其铝钢截面比为 5.3 ~ 6.1；轻型钢心铝线，代号 LGJQ，其铝钢截面比为 7.6 ~ 8.3；加强型钢心铝线，代号 LGJJ，其铝钢截面比为 4 ~ 4.5。

架空线路一般都是用裸导线架设的，裸导线按结构分为单股导线、单金属多股绞线、复金属多股绞线（包括钢心铝绞线、扩径钢心铝绞线、空心导线、钢铝混绞线、钢心铝包钢绞线、铝包钢绞避雷线、分裂导线等），如图 2-2 所示。

高压架空线路不允许采用单股导线，一般采用多股绞线。多股绞线的优点是比同样截面单股线的机械强度高、柔韧性好、可靠性高，同时它的集肤效应较弱，截面金属利用率高。

## 二、杆塔

架空输配电线路的杆塔用于支撑横担、绝缘子、导线、避雷线，使导线之间、导线与避雷线之间、导线与杆塔之间以及导线与大地、公路、铁路等被跨物之间保持规定的安全距离。杆塔按材料结构分钢筋混凝土结构、钢结构以及木结构。通常钢筋混凝土结构的称为杆，而纯钢结构的称为塔。常见的铁塔有角钢塔及钢管铁塔。铁塔的机械强度大，使用年限长，但建设成本相对较高，一般应用于高压输电线路。水泥杆坚固耐用，货源充足，



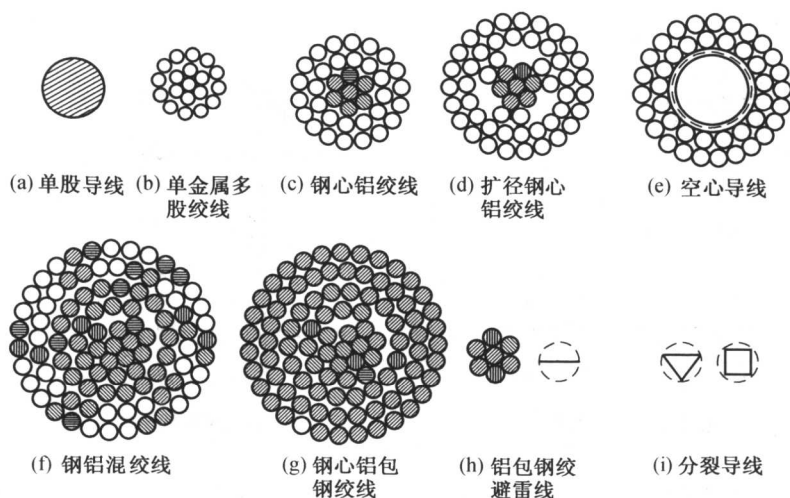


图 2-2 架空线路各种导线和避雷线断面图

所以在配电线路中得以广泛采用。

如图 2-3 所示，铁塔有四角铁塔、方形铁塔、杯形铁塔与门形铁塔等。四角铁塔最常用，杯形铁塔则多用于超高压远距离的输电线路中。铁塔根据使用目的分为直线铁塔（用于送电线路的直线部分）、转角铁塔（用于送电线路水平方向的转向）、终端铁塔（固定全部所架线路）、耐张铁塔（送电线路两侧的挡距相差较大时用）、增强铁塔（用于送电线路直线部分的增强）。

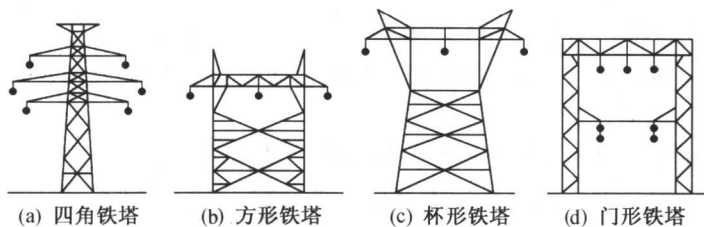


图 2-3 铁塔的形状

杆塔按其在线路中的作用和地位可以分为 6 种结构形式，如图 2-4、图 2-5 所示。

#### 1. 直线杆

直线杆又称中间杆，位于线路直线段的中间部分。直线杆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。在正常工作条件下，直线杆只承受导线的垂直荷重和侧向的风力，不承受沿线路方向的导线拉力。

#### 2. 耐张杆

耐张杆又称承力杆，位于线路直线段数根直线杆之间，或位于有特殊要求的地点