

项目二 电工基本操作



学习目标

在低压电能的利用过程中，经常要进行导线的连接，导线的连接点也是经常出故障的部位，它的连接质量直接关系到电气设备和线路能否安全可靠的运行。本项目我们将就这方面的知识进行比较系统的学习，包括导线的分类、导线绝缘层的剥削、导线的连接、导线的封端以及导线绝缘层的恢复等内容，其中重点是要掌握导线的连接的正确方法以及有关注意事项。

任务一 导线的基本操作

能力目标

1. 掌握常用的导线连接方法；
2. 会使用常用电工工具，掌握使用的安全要求；
3. 学会单股绝缘导线和 7 股绝缘导线的直线接法与 T 形分支接法。

知识目标

1. 了解导线的基本分类及常用型号；
2. 了解钢丝钳、尖嘴钳和螺钉旋具的规格和用途；
3. 了解单股、多股导线的直线连接方法与分支连接方法及工艺要求。

技能训练 导线的连接与恢复

一、实训前的准备工作

1. 知识准备
 - (1) 了解钢丝钳、尖嘴钳和螺钉旋具的规格和用途；
 - (2) 了解导线的基本分类与常用型号；
 - (3) 明确单芯铜导线的直线连接方法与分支连接方法及工艺要求；
 - (4) 明确多芯铜导线的直线连接方法与分支连接方法及工艺要求；
 - (5) 熟悉各种接线端子的结构。
2. 材料准备
 - (1) 电工刀、尖嘴钳、钢丝钳、剥线钳每人各 1 把；
 - (2) 芯线截面积为 2.5mm^2 的单芯塑料绝缘铜线 (BV) 若干；
 - (3) 芯线截面积为 4mm^2 的 7 芯塑料绝缘铜线 (BV) 若干；
 - (4) 塑料绝缘胶带若干。

二、实训过程

请同学们按照实训任务单卡要求完成实训内容，完成后将任务单卡沿着虚线撕下上交。

三、实训注意事项

- (1) 实训分组进行，实训期间，请学生严格执行安全操作规程。
- (2) 在实训操作前，请认真学习实训任务内容，明确实训目的、实训步骤和安全注意事项。
- (3) 使用电工刀剥开绝缘层，进行导线连接时要按安全要求操作，不要误伤手指。
- (4) 要节约导线材料（尽量利用使用过的导线）。
- (5) 操作时应保持工位整洁，完成全部实训后应马上把工位清洁干净。



学习任务单卡

班级： 组别： 学号： 姓名： 实训日期：

课程信息	课程名称	教学单元	本次课训练任务	学时	实训地点
	电工实训	电工基本操作	任务 导线的连接与恢复	2 节	
任务描述	将芯线截面积为 2.5mm^2 的单芯塑料绝缘铜线 (BV) 和截面积为 4mm^2 的 7 芯塑料绝缘铜线分别进行直接连接、T 形分支连接。				
学做过程记录	任务 1 单芯绝缘铜导线的连接与恢复				
	实训内容及步骤				
	1. 单芯导线的直接连接 (1) 用钢丝钳剪出 2 根约 250mm 长的单芯铜导线，用剥线钳剥开其两端的绝缘层； (2) 用单芯铜导线的直接绞接法，按直线接头的连接工艺要求，将 2 根导线的两端头对接； (3) 用塑料绝缘胶带包扎接头； (4) 检查接头连接与绝缘包扎质量。 【教师现场评价：完成□，未完成□】				
	2. 单芯铜导线的 T 形分支连接 (1) 用钢丝钳剪出两根约 250mm 长的单芯塑料绝缘铜导线，用电工刀剥开一根导线（支线）一端的端头绝缘层和另一根（干线）中间一段的绝缘层； 注意：要先考虑好干线与支线的绝缘层开剥长度，要使导线足够缠绕对方 6 圈以上，再下刀；使用电工刀剥开导线绝缘层时要注意安全，同时要注意不能损伤线芯。 (2) 用单芯铜导线的直接绞接法，按 T 形分支接头的连接工艺要求，将支线连接在干线上（加一条同截面芯线后，再用扎线缠绕）； (3) 用塑料绝缘胶带包扎接头； (4) 检查接头连接与绝缘包扎质量。 【教师现场评价：完成□，未完成□】				
	任务 2 7 芯绝缘铜导线的连接与恢复				
	1. 7 芯绝缘铜导线的直接连接 (1) 将 7 芯 4mm^2 的绝缘导线剪为等长的两段，用电工刀剥开两根导线各一端的绝缘层； (2) 按 7 芯导线的直线连接方法与工艺要求，将两线头对接； (3) 用塑料绝缘胶带包扎接头； (4) 检查接头连接与绝缘包扎质量。 【教师现场评价：完成□，未完成□】				
	2. 7 芯绝缘铜导线的 T 形连接 (1) 将 7 芯 4mm^2 的绝缘导线剪为等长的两段，用电工刀剥开一根导线一端的端部绝缘层（作支线），而选择另一根的中间部分作干线的接头部分，并将其绝缘层剥开； 注意：要先考虑好干线与支线的绝缘层开剥长度再下刀；使用电工刀剥开导线绝缘层时要注意安全，同时要注意不能损伤线芯。				

学 做 过 程 记 录	(2) 按 7 芯导线的直线连接方法与工艺要求，将两线头对接； (3) 用塑料绝缘胶带包扎接头； (4) 检查接头连接与绝缘包扎质量。 【教师现场评价：完成□，未完成□】 3. 10mm² 及以下的单股铝导线一般采用（ ）连接。 A. 铝套管压接 B. 绞接 C. 绑接 D. 焊接 4. 铝导线与设备铜端子或铜母线连接时，应采用（ ）。 A. 铝接线端子 B. 铜接线端子 C. 铜铝过渡接线端子 D. 焊接 5. 2.5mm² 及以下的多股铜导线与设备端子连接时，（ ）。 A. 搪锡后再连接 B. 直接连接 C. 安装接线端子后再连接 D. 焊接连接 6. 写出下列绝缘导线的名称：BX,BV,BLX,BVV,RVB,RVS
教师评价	A□ B□ C□ D□ 教师签名：
学生建议	

知识链接 I 常用电工材料

一、常用电工工具

(一) 验电笔

验电笔是用于检测线路和设备是否带电的工具，有笔式和螺丝刀式两种，其结构如图 2-1 (a)、(b) 所示。



图 2-1 低压验电笔

使用时手指必须接触金属笔挂（笔式）或验电笔的金属螺钉部（螺丝刀式），使电流由被测带电体经验电笔和人体与大地构成回路。只要被测带电体与大地之间电压超过 60V 时，验电笔内的氖管就会起辉发光。操作方式如图 2-2 (a)、(b) 所示。由于验电笔内氖管及所串联的电阻较大，形成的回路电流很小，不会对人体造成伤害。

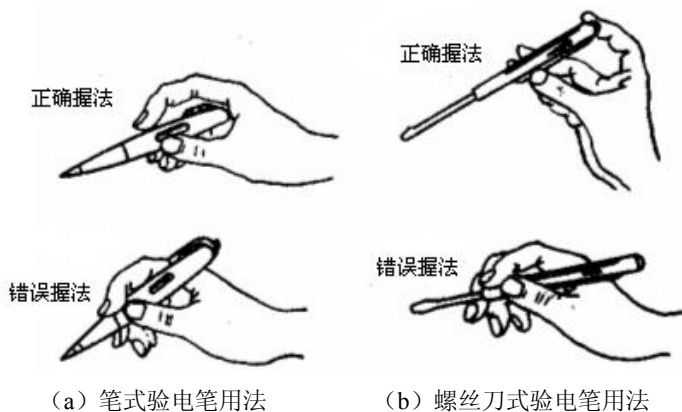


图 2-2 低压验电笔的用法

注意，验电笔在使用前，应先在确认有电的带电体上试验，确认验电笔工作正常后，再进行正常验电，以免氖管损坏造成误判，危及人身或设备安全。要防止验电笔受潮或强烈震动，平时不得随便拆卸。手指不可接触笔尖露金属部分或螺杆裸露部分，以免触电造成伤害。

(二) 钢丝钳

钢丝钳是电工用于剪切或夹持导线、金属丝、工件的常用钳类工具，其结构和用法如图 2-3 所示。

其中钳口用于弯绞和钳夹线头或其他金属、非金属物体；齿口用于旋动螺钉螺母；刀口用于切断电线、起拔铁钉、剥削导线绝缘层等。铡口用于铡断硬度较大的金属丝，如钢丝、铁丝等。

钢丝钳规格较多，电工常用的有 175mm、200mm 两种。电工用钢丝钳柄部加有耐压 500V 以上的塑料绝缘套。使用前应检查绝缘套是否完好，绝缘套破损的钢丝钳不能使用，以免带电作业时造成触电事故。在切断导线时，不得将相线或不同相位的相线同时在一个钳口处切断，以免发生短路。

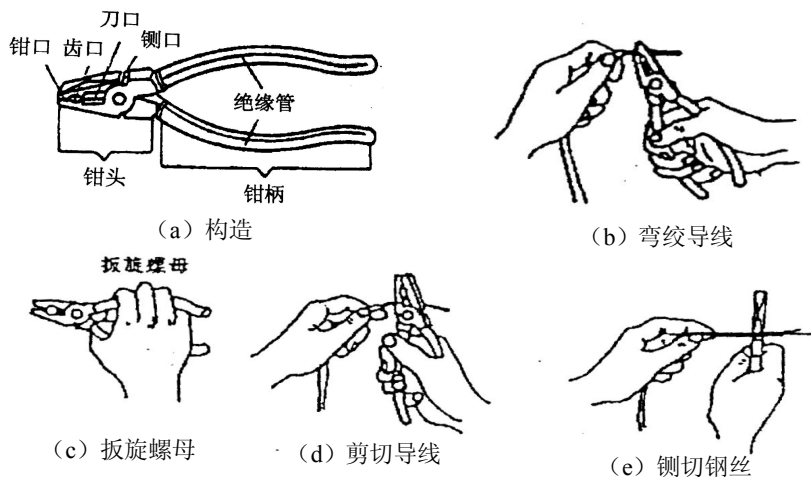


图 2-3 钢丝钳的构造和使用

属于钢丝钳类的常用工具还有尖嘴钳、断线钳等。

尖嘴钳。头部尖细、适于在狭小空间操作。尖嘴钳可用来剪断较细小的导线；可用来夹持较小的螺钉、螺帽、垫圈、导线等；也可用来对单股导线整形（如平直、弯曲等），如图 2-4 所示。若使用尖嘴钳带电作业，应检查其绝缘是否良好，并且在作业时金属部分不要触及人体或邻近的带电体。

断线钳（斜口钳）。专门用于剪断较粗的电线或其他金属丝，其柄部带有绝缘管套，如图 2-5 所示。对粗细不同、硬度不同的材料，应选用大小合适的斜口钳。

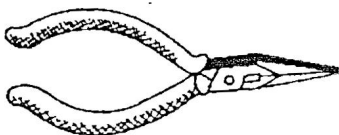


图 2-4 尖嘴钳

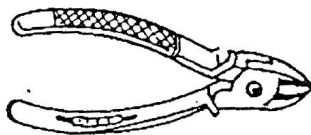


图 2-5 断线钳

（三）电工刀

电工刀在电气操作中主要用于剥削导线绝缘层、削制木榫、切割木台缺口等。由于其刀柄处没有绝缘，不能用于带电操作，以免触电。割削时刀口应朝外，以免伤手。剥削导线绝缘层时，刀面与导线成 45° 角倾斜切入，以免削伤线芯。使用完毕，随即将刀身折进刀柄。电工刀的外形如图 2-6 所示。

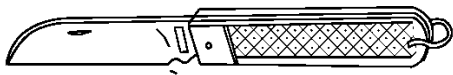


图 2-6 电工刀

（四）剥线钳

剥线钳是专用于剥削较细小导线绝缘层的工具，其外形如图 2-7 所示。

剥线钳主要用于剥削直径在 6mm 以下的塑料或橡胶绝缘导线的绝缘层，由钳头和手柄两部分组成，它的钳口工作部分有从 0.5~3mm 不等的多个不同孔径的切口，以便剥削不同规格

的芯线绝缘层。使用剥线钳剥削导线绝缘层时,先将要剥削的绝缘长度用标尺定好,然后将导线放入相应的刀口中(比导线直径稍大),再用手将钳柄一握,导线的绝缘层即被剥离。

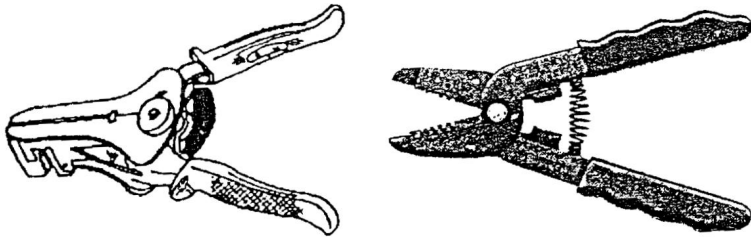


图 2-7 剥线钳

(五) 螺丝刀

螺丝刀又名改锥、旋凿或起子。按其功能不同,头部开关可分为一字形和十字形,如图 2-8 所示。其握柄材料又分为木柄和塑料柄两类。

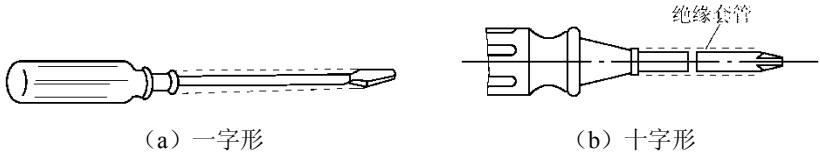


图 2-8 螺丝刀

一字形螺丝刀以柄部以外的刀体长度表示规格,单位为 mm,电工常用的有 100、150、300mm 等几种。

十字形螺丝刀按其头部旋动螺钉规格的不同,分为四个型号: I、II、III、IV 号,分别用于旋动直径为 2~2.5mm、6~8mm、10~12mm 等的螺钉。其柄部以外刀体长度规格与一字形螺丝刀相同。

螺丝刀使用时,应按螺钉的规格选用合适的刀口,以小代大或以大代小均会损坏螺钉或电气元件。螺丝刀的正确使用方法如图 2-9 所示。

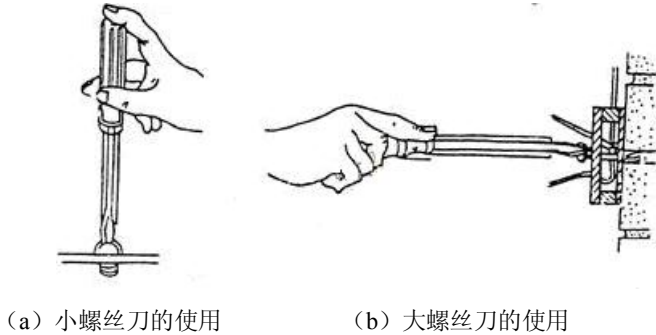


图 2-9 螺丝刀的使用

使用螺丝刀时,若螺丝刀较大,除大拇指、食指和中指要夹住握柄外,手掌还要顶住柄的末端以防旋转时滑脱。螺丝刀较小时,用大拇指和中指夹着握柄,同时用食指顶住柄的末端用力旋转。螺丝刀较长时,用右手压紧手柄并转动,同时左手握住中间部分(不可放在螺钉周

围,以免将手划伤),以防止滑脱。

需要注意的是,带电作业时,手不可触及螺丝刀的金属杆,以免发生触电事故。作为电工,不应使用金属杆直通握柄顶部的螺丝刀。为防止金属杆触到人体或邻近带电体,金属杆应套上绝缘管。

二、常用导电材料

导电材料中有大量在电场作用下能够自由移动的带电粒子,因而能很好地传导电流,其主要用途是输送和传递电流。大部分金属都具有良好的导电性能,但不是所有金属都可以作为理想的导电材料。作为导电材料应该具有导电性能好,有一定的机械强度,不易氧化、腐蚀,容易加工和焊接,资源丰富,价格便宜等几个特点。

导电材料分为一般导电材料和特殊导电材料。一般导电材料又称为良导体材料,是专门传递电流的金属材料。常用的良导体材料主要有铜、铝、铁、钨、锡、铅等,其中铜和铝是优良的导电材料,是目前最常用的导电材料。在一些特殊的使用场合,也有用合金作为导电材料的。

按导电材料制成线材(电线或电缆)和使用特点分,导线又有裸线、绝缘电线、电缆线、通信光纤等,重点介绍以下几种。

(一) 裸导线

裸导线就是导线外面没有覆盖绝缘层的导线。

(1) 裸导线的性能

裸导线应有良好的导电性能,有一定的机械强度,裸露在空气中不易氧化和腐蚀,容易加工和焊接,并希望导体材料资源丰富,价格便宜,常用来制作导线的材料有铜、铜锡合金(青铜)、铝和铝合金、钢材等。

裸导线包括各种金属和复合金属圆单线、各种结构的架空输电线用的绞线、软接线和型接线等,某些特殊用途的导线,也可采用其他金属或合金制成。如对于负荷较大、机械强度要求较高的线路,则应采用钢芯铝绞线;熔断器的熔体、熔片需具有易熔的特点,应选用铅锡合金;电热材料需具有较大的电阻系数,常选用镍铬合金或铁铬合金;电光源的灯丝要求熔点高,需选用钨丝灯。裸导线分单股和多股两种,主要用于室外架空线。常用的裸导线有铜绞线、铝绞线和钢芯铝绞线。

(2) 裸导线的规格型号

裸导线常用文字符号表示为:“T”表示铜,“Y”表示硬性,“R”表示软线,“J”表示绞合线。

例:TH-25,表示 25mm^2 铜绞合线;LJ-35,表示 35mm^2 铝绞合线;LGJ-50,表示 50mm^2 铜芯铝绞线。

常用的截面积有: 16mm^2 、 25mm^2 、 35mm^2 、 50mm^2 、 70mm^2 、 95mm^2 、 120mm^2 、 150mm^2 、 185mm^2 、 240mm^2 等。

裸导线因为没有外皮,有利于散热,一般用于野外的高压线架设。为了增加抗拉力,在一些铝绞线中心是钢绞线,称为“钢芯铝线”,如图2-10所示。裸导线因为没有绝缘外皮,在人烟稠密区使用易引发事故,在有条件的城市,已经逐步将架空的高压线使用绝缘线,或转入地下电缆。

(二) 绝缘导线

在导线外围均匀而密封地包裹一层不导电的材料。如:树脂、塑料、硅橡胶、PVC等,形成绝缘层,防止导体与外界接触造成漏电、短路、触电等事故发生的电线叫绝缘导线。绝

缘导线的种类有很多。按其线芯使用要求分有硬型、软型、特软型和移动型等几种。



图 2-10 用于架空线路的钢芯铝线

按照制造工艺、结构特点、功能要求、产品的用途可以分为电力电缆、电气装备用电线电缆、通信电缆和光缆、电磁线四大类，主要用于各电力电缆、控制信号电缆、电气设备安装连线或照明敷设等。按绝缘材料分有橡皮绝缘导线、聚氯乙烯绝缘导线（塑料线）、橡皮电缆等。其中橡皮绝缘导线有铜芯、铝芯，有单芯、双芯及多芯，用于屋内布线，工作电压一般不超过 500V。常用绝缘导线的型号、名称及主要用途如表 2-1 所示。

表 2-1 常用绝缘导线的型号、名称及主要用途

型号		名称	主要用途
铜芯	铝芯		
BX	BLX	棉纱编织橡皮绝缘导线	固定敷设用，可以明敷、暗敷
BXF	BLXF	氯丁橡皮绝缘导线	固定敷设用，可以明敷、暗敷，尤其适用于户外
BV	BLV	聚氯乙烯绝缘导线	室内外电器、动力及照明固定敷设
	NLV	农用地下直埋铝芯聚氯乙烯绝缘导线	直埋地下，最低敷设温度不低于-15℃
	NLVV	农用地下直埋铝芯聚氯乙烯绝缘护套导线	
	NLYV	农用地下直埋铝芯聚乙烯绝缘护套导线	
BXR		棉纱编织橡皮绝缘软线	室内安装，要求较柔软时用
BVR		棉纱编织聚氯乙烯绝缘软线	同 BV 型，安装要求较柔软时用
RXS		棉纱编织橡皮绝缘双绞软线	室内干燥场所日用电器用
RX		棉纱编织橡皮绝缘软线	
RV		聚氯乙烯绝缘软线	日用电器、无线电设备和照明灯头接线
RVB		聚氯乙烯绝缘平型软线	
RVS		聚氯乙烯绝缘绞型软线	

一般情况下，在干燥房屋，采用塑料线；在潮湿地方，采用橡皮绝缘线；在有电动机的房屋，采用橡皮绝缘线，靠近地面宜用塑料管。

（1）电力电缆。电力电缆是在电力系统的主干线路中用以传输和分配大功率电能的线材产品。其中包括 1~500kV 及以上各种电压等级、各种绝缘的电力电缆。这类电缆主要工艺技术工序有拉制、绞合、绝缘挤出、成缆、铠装、护层挤出等，各种产品型号不同，工序组合有

一定的区别。主要用于发、配、输、变、供电线路中的强电电能传输。

(2) 电气装备用电线电缆。从电力系统的配电点把电能直接传送到各种用电设备、器具的各种电源连接线,各种工农业用的电气安装线和控制信号用的电线电缆。这类产品使用面广,品种多,而且要结合所用设备的特性和使用环境条件来确定电缆的结构和性能(使用电压多在1kV及以下)。因此,除了那些大量通用产品外,还有许多专用的特种电缆,如耐火线缆、低烟无卤阻燃线缆等。

(3) 通信电缆和光缆。通信电缆是传输电话、电报、电视、广播、传真、数据和其他电信信息的电缆。通信电缆的结构尺寸通常较小而均匀,制造精度要求很高。

(4) 用以制造电工产品中的线圈或绕组的绝缘电线。又称绕组线。主要用于各种电机、仪器仪表等。

(三) 塑料电线、电缆制造的基本工艺流程

(1) 铜、铝单丝拉制。电线电缆常用的铜、铝杆材,在常温下,利用拉丝机通过一道或数道拉伸模具的模孔,使其截面减小、长度增加、强度提高。拉丝是各电线电缆公司的首道工序,拉丝的主要工艺参数是配模技术。

(2) 单丝退火。铜、铝单丝在加热到一定的温度下,以再结晶的方式来提高单丝的韧性、降低单丝的强度,以符合电线电缆对导电线芯的要求。退火工序关键是杜绝铜丝的氧化。

(3) 导体的绞制。为了提高电线电缆的柔软度,以便于敷设安装,导电线芯采取多根单丝绞合而成。从导电线芯的绞合形式上,可分为规则绞合和非规则绞合。非规则绞合又分为束绞、同心复绞、特殊绞合等。

为了减少导线的占用面积、缩小电缆的几何尺寸,在绞合导体的同时采用紧压形式,使普通圆形变异为半圆、扇形、瓦形和紧压的圆形。此种导体主要应用在电力电缆上。

(4) 绝缘挤出。塑料电线电缆主要采用挤包实心型绝缘层,塑料绝缘挤出的主要技术要求:

① 偏心度:挤出的绝缘厚度的偏差值是体现挤出工艺水平的重要标志,大多数的产品结构尺寸及其偏差值在标准中均有明确的规定。

② 光滑度:挤出的绝缘层表面要求光滑,不得出现表面粗糙、烧焦、杂质的不良质量问题。

③ 致密度:挤出绝缘层的横断面要致密结实、不准有肉眼可见的针孔,杜绝有气泡的存在。

(5) 成缆。对于多芯的电缆为了保证成型度、减小电缆的外形,一般都需要将其绞合为圆形。绞合的机理与导体绞制相仿,由于绞制节径较大,大多采用无退扭方式。成缆的技术要求:一是杜绝异型绝缘线芯翻身而导致电缆的扭弯;二是防止绝缘层被划伤。

大部分电缆在成缆的同时伴随另外两个工序的完成:一个是填充,保证成缆后电缆的圆整和稳定;一个是绑扎,保证缆芯不松散。

(6) 内护层。为了保护绝缘线芯不被铠装所割伤,需要对绝缘层进行适当的保护,内护层分挤包内护层(隔离套)和绕包内护层(垫层)。绕包垫层代替绑扎带与成缆工序同步进行。

(7) 装铠。敷设在地下电缆,工作中可能承受一定的正压力作用,可选择内钢带铠装结构。电缆敷设在既有正压力作用又有拉力作用的场合(如水中、垂直竖井或落差较大的土壤中),应选用具有内钢丝铠装的结构型。

(8) 外护套。外护套是保护电线电缆的绝缘层受环境因素侵蚀的结构部分。外护套的主要作用是提高电线电缆的机械强度、防化学腐蚀、防潮、防水浸入、阻止电缆燃烧等能力。根据对电缆的不同要求利用挤塑机直接挤包塑料护套。

三、特殊导电材料

特殊导电材料是相对一般导电材料而言的，它不以输送电流为目的，而是为实现某种转换或控制而接入电路中。

常见的特殊导电材料有：电热材料、熔体材料、电热材料和电碳制品等。

（一）常用电热材料

电热材料主要用于制造加热设备中的发热元件，可作为电阻接到电路中，把电能转变为热能，使加热设备的温度升高。对电热材料的基本要求为电阻率高，功率大；在高温时具有足够的机械强度和良好的抗氧化性能；具有足够的耐热性，以保证在高温下不变形；具有高温下的化学稳定性，不与炉内气氛发生化学反应；热膨胀系数小，热胀冷缩小等。

电热材料可分为金属电热材料和非金属电热材料两大类。如镍铁合金（350~500℃）、铁铬铝合金（1000~1200℃）、镍铬合金（1150~1250℃）、石墨（3000℃）、碳化硅（1450℃）等。

（二）常用熔体材料

熔体材料是一种保护性导电材料，作为熔断器的核心组成部分，具有过载保护和短路保护的功能。熔体材料（保险丝）一般装在熔断器内，当设备短路、过载，电流超过熔断值时，经过一定时间自动熔断以保护设备。短路电流越大、熔断时间越短。

（1）熔体的保护原理。接入电路的熔体，当正常电流通过时，它仅起导电作用，当发生过载或短路时，导致电流增大，由于电流的热效应，会使熔体的温度逐渐上升或急剧上升，当达到熔体的熔点温度时，熔体自动熔断，电路被切断，从而起到保护电气设备的作用。

（2）熔体材料的种类和特性。熔体材料包括纯金属材料 and 合金材料，按其熔点的高低，分为两类，一类是低熔点材料，如铅、锡、锌、铋、镉或其合金，一般在小电流情况下使用；另一类是高熔点材料，如铜、银等，一般在大电流情况下使用。

（三）常用电阻材料

电阻材料是用于制造各种电阻元件的合金材料，又称为电阻合金，其基本特征是具有高的电阻率和很低的电阻温度系数。

常用的电阻合金有康铜丝、新康铜丝、锰铜丝和镍铬丝等。康铜丝以铜为主要成分，具有较高的电阻系数和较低的电阻温度系数，一般用于制作分流、限流、调整等电阻器和变阻器。新康铜丝是以铜、锰、铬、铁为主要成分，不含镍的一种新型电阻材料，性能与康铜丝相似。锰铜丝是以锰、铜为主要成分，具有电阻温度系数低及电阻性能稳定等优点，通常用于制造精密仪器仪表的标准电阻、分流器及附加电阻等。镍铬丝以镍、铬为主要成分，电阻系数较高，除可用做电阻材料外，还是主要的电热材料，一般用于电阻式加热仪器及电炉。

四、绝缘导线的选择

导线、电缆截面选择应满足发热条件、电压损失、机械强度等要求，以保证电气系统安全、可靠、经济、合理的运行。选择导线截面时，一般按下列步骤：

（1）对于距离 $L \leq 200\text{m}$ 且负荷电流较大的供电线路，一般先按发热条件的计算方法选择导线截面，然后按电压损失条件和机械强度条件进行校验。

（2）对于距离 $L > 200\text{m}$ 且电压水平要求较高的供电线路，应先按允许电压损失的计算方法选择截面，然后用发热条件和机械强度条件进行校验。

（3）对于高压线路，一般先按经济电流密度选择导线截面，然后用发热条件和电压损失条件进行校验。

(一) 按经济电流密度选择

经济电流密度是从经济角度出发, 综合考虑输电线路的电能损耗和投资效益等指标, 来确定导线的单位面积内流过的电流值。其计算方法如下:

$$I = SJ$$

式中: I ——线路上流过的电流;

S ——导线的横截面积;

J ——经济电流密度。

我国现行的导线经济电流密度值见表 2-2。

表 2-2 我国现行的导线经济电流密度值/(A/mm²)

导线种类	年最大负荷利用		
	3000h 以下	3000~5000h	5000h 以上
裸铝、钢芯铝绞线	1.65	1.15	0.90
裸铜导线	3.00	2.25	1.75
铝芯电缆	1.92	1.73	1.54
铜芯电缆	2.50	2.25	2.00

(二) 按机械强度选择

导线在敷设时和敷设后所受的拉力与线路的敷设方式和使用环境有关。导线本身的质量, 以及风雪冰雹等的外加压力, 会使导线承受一定的应力, 如果导线过细就容易折断, 引起停电事故。在各种不同敷设方式下导线按机械强度要求的最小允许截面见表 2-3。

表 2-3 按机械强度确定的绝缘导线最小允许截面积

用途		线芯的最小面积/mm ²		
		铜芯软线	铜线	铝线
穿管敷设的绝缘导线		1.0	1.0	1.0
架设在绝缘支持件上的绝缘导线, 其支点间距为	1m 以下, 室内		1.0	1.5
	1m 以下, 室外		1.5	2.5
	2m 以下, 室内		1.0	2.5
	2m 以下, 室外		1.5	2.5
	6m 以下		2.5	4.0
	12m 以下		2.5	6.0
	12~25m		4.0	10
照明灯头线	民用建筑室内	0.4	0.5	1.5
	工业建筑室内	0.5	0.8	2.5
	室外	1.0	1.0	2.5
移动式用电设备导线		1.0		
架空裸导线			10	16

（三）按发热条件选择

每一种导线通过电流时，由于导线本身的电阻及电流的热效应都会使导线发热，温度升高。如果导线温度超过一定限度，导线就会加速老化，甚至损坏或造成短路失火等事故。为使导线能长期通过负荷电流而不过热，对一定截面的不同材料的导线就有一个规定的容许电流值，称为允许载流量。这个数值是根据导线绝缘材料的种类、允许升温、表面散热情况及散热面积的大小等条件来确定的。按发热条件来选择导线截面，就是要求根据计算负荷求出的总计算电流 $I_{\Sigma C}$ 不可超过这个允许载流量 I_N 。即：

$$I_N = I_{\Sigma C}$$

若视在计算负荷为 $S_{\Sigma C}$ ，电网规定电压为 U_N ，则有

$$I_{\Sigma C} = \frac{S_{\Sigma C}}{\sqrt{3}U_N}$$

表 2-4 和表 2-5 给出了常用铜芯线和铝芯线在 25℃的环境温度、不同敷设条件下的长期连续负荷允许载流量。由于允许载流量与环境温度有关，所以选择导线截面时要注意导线安装地点的环境温度。

表 2-4 500V 铜芯绝缘导线长期连续负荷允许载流量/A（环境温度 25℃）

导线截面/mm ²	导线明敷		橡皮绝缘导线穿在同一塑料管内			塑料绝缘导线穿在同一塑料管内		
	橡皮	塑料	2 根	3 根	4 根	2 根	3 根	4 根
1.0	21	19	13	12	11	12	11	10
1.5	27	24	17	16	14	16	15	13
2.5	35	32	25	22	20	24	21	19
4	50	42	33	30	26	31	28	25
6	58	55	43	38	34	41	36	32
10	85	75	59	52	46	56	49	44
16	110	105	76	68	64	72	65	57
25	145	138	100	90	80	95	85	75
35	180	170	125	110	98	120	105	93
50	230	215	160	140	123	150	132	117
70	285	265	195	175	155	185	167	148
95	345	325	240	215	195	230	205	185
120	400	—	278	250	227	—	—	—
150	470	—	320	290	265	—	—	—

（四）按允许电压损失选择

当有电流流过导线时，由于线路中存在电阻、电感等因素，必将引起电压降落。如果电源端的输出电压为 U_1 ，而负载端得到的电压为 U_2 ，那么线路上电压损失的绝对值为：

$$\Delta U = U_1 - U_2$$

由于用电设备的端电压偏移有一定的允许范围, 所以一切线路的电压损失也有一定的允许值。如果线路上的电压损失超过允许值, 就将影响用电设备的正常运行。为了保证电压损失在允许值的范围内, 就必须保证导线有足够的截面积。

对于不同等级的电压, 电压损失的绝对值 ΔU 并不能确切地表达电压损失的程度, 所以工程上常用 ΔU 与额定电压 U_N 的百分比来表示相对电压损失, 即:

$$\Delta U\% = \frac{U_1 - U_2}{U_N} \times 100\%$$

供电规则中规定: 对 35kV 及以上供电的电压质量有特殊要求的用户, 电压变动幅度不应超过额定电压的 $\pm 5\%$; 对 10kV 及以下高压供电的和低压供电用户, 电压变动幅度不应超过额定电压的 $\pm 7\%$; 对低压照明用户, 电压变动幅度不应超过额定电压的 $\pm 5\% \sim 10\%$ 。

线路电压损失的大小是与导线材料、截面大小、线路长短和电流大小相关, 线路越长、负荷越大, 线路电压损失也越大。在工程计算中, 常采用计算相对电压损失的一种简化式:

$$\Delta U\% = \frac{P_L}{CS} \%$$

在给定允许电压损失 $\Delta U\%$ 之后, 便可计算出相应的导线截面:

$$S = \frac{P_L}{C \cdot \Delta U\%} \%$$

式中: P_L ——负荷矩, $kW \cdot m$; P ——线路输送的电功率, kW;

L ——线路长度 (指单程距离) m; $\Delta U\%$ ——允许电压损失;

S ——导线截面积, mm^2 ;

C ——电压损失计算常数, 由电压的相数、额定电压及材料的电阻率等决定的常数, 可查表选取, 见表 2-6。

表 2-5 500V 铝芯绝缘导线长期连续负荷允许载流量/A (环境温度 $25^\circ C$)

导线截面/ mm^2	导线明敷		橡皮绝缘导线穿在同一塑料管内			塑料绝缘导线穿在同一塑料管内		
	橡皮	塑料	2 根	3 根	4 根	2 根	3 根	4 根
2.5	27	25	19	17	15	18	16	12
4	35	32	25	23	20	24	22	19
6	45	42	33	29	26	31	27	25
10	65	59	44	40	35	42	38	33
16	85	80	58	52	46	55	49	44
25	110	105	77	68	60	73	65	57
35	138	130	95	84	74	90	80	70
50	175	165	120	108	95	114	102	90
70	220	205	153	135	120	145	130	115
95	265	250	184	165	150	175	158	140
120	310	—	210	190	170	—	—	—
150	360	—	250	227	205	—	—	—

表 2-6 电压损失计算常数

线路系数及电流种类	线路额定电压/V	系数 C 值	
		铜线	铝线
三相四线制	380/220	77	46.3
单相交流或直流	220	12.8	7.75
	110	3.2	1.9

(五) 零线截面的选择方法

三相四线制中的零线截面, 根据运行经验, 可选为相线的 1/2 左右。但必须注意不得小于按机械强度要求的最小允许截面。

在单相制中由于零线与相线中流过的是同一负荷的电流, 所以零线截面要与相线相同。

在选择导线截面时, 除了考虑主要因素外, 为了同时满足前述几个方面的要求, 必须以计算所得的几个截面中的最大者为准, 最后从电线产品目录中选用稍大于所要求的线芯截面即可。一般说来, 对于高压线路, 一般先按经济电流密度来选择导线截面, 然后用发热条件和电压损失条件进行校验; 对于距离较远的户外配电干线和电压水平要求较高的低压照明线路, 导线截面的选择一般是根据电压损失来计算, 而以发热条件来校验; 对于配电距离较短 (小于 200m) 线路和负荷电流较大的低压电力线路, 一般先按发热条件来选择导线截面, 而以电压损失来校验。但无论是根据何种方式计算出的导线截面, 最终都必须满足导线对机械强度的要求。

【例 2.1】某建筑工地在距配电变压器 500m 处有台混凝土搅拌机, 采用 380/200V 的三相四线制供电, 电动机的功率 $P_N = 10\text{kW}$, 效率为 $\eta = 0.81$, 功率因数 $\cos\phi = 0.83$, 允许电压损失 $\Delta U\% = 5\%$, 需要系数 $K = 1$ 。如采用 BLX 型铝芯橡皮绝缘导线供电, 导线截面应选多大?

解: 由于线路较长, 且允许电压损失较小, 因此:

① 先按允许电压损失来选择导线截面

电动机取自电源的功率为:

$$P = \frac{P_N}{\eta} = \frac{10}{0.81\text{kW}} = 12.3\text{kW}$$

由表 2-6 可得, 当采用 380/220V 三相四线制供电时, 铝线的 C 值为 46.3, 因此, 导线的截面为:

$$S = \frac{PL}{C \cdot \Delta U\%} \% = \frac{12.3 \times 500}{46.3 \times 5\%} \% \text{mm}^2 = 27\text{mm}^2$$

查表 2-5, 选用截面为 35mm^2 的铝芯橡皮绝缘导线。

② 按发热条件选择导线截面

设备的视在计算负荷为:

$$S \sum C = kd \cdot \sum \frac{pa}{\eta \cos\phi} = \frac{1 \times 10}{0.81 \times 0.83} \text{kV} \cdot \text{A} = 15\text{kV} \cdot \text{A}$$

计算负荷电流为:

$$I_{\Sigma c} = S \Sigma \frac{c \times 10^3}{\sqrt{3} U_n} = \frac{15 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380} \text{ A} = 22.8 \text{ A}$$

由于 35mm^2 的铝芯橡皮绝缘导线长期连续负荷允许载流量为 138A ，因此采用该导线能满足导线发热条件的要求。

③ 按机械强度条件校验

根据表 2-3 可知，绝缘导线在户外架空敷设时，铝线的最小截面是 10mm^2 ，因此，选用 35mm^2 的 BLX 铝芯橡皮绝缘导线完全满足要求。

【例 2.2】配电箱引出的长 100m 的干线上，树干式分布着 15kW 的电动机 10 台，采用铝芯塑料线明敷。设各台电动机的需要系数 $K_d = 0.6$ ，电动机的平均效率 $\eta = 0.8$ ，平均功率因数 $\cos\varphi = 0.7$ ，试选择该干线的截面。

解：由于线路不长，且负荷属于低压电力用电，负荷量大，因此，可先按发热条件来选择干线的截面。

视在计算负荷为：

$$S_{\Sigma c} = K_d \cdot \Sigma \frac{pa}{\eta \cos\varphi} = \frac{0.6 \times (15 \times 10)}{(0.8 \times 0.7)} \text{ kV} \cdot \text{A} = 160.7 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

干线上的计算负荷电流为：

$$I_{\Sigma c} = S \Sigma \frac{c \times 10^3}{\sqrt{3} U_n} = \frac{160.7 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380} \text{ A} = 244 \text{ A}$$

查表 2-5，选择 95mm^2 的铝芯塑料线，其允许载流量为 $250\text{A} > 244\text{A}$ ，满足要求。

按电压损失校验，有功计算负荷为：

$$P = K_d \cdot \Sigma \frac{PN}{\eta} = \frac{0.6 \times (15 \times 10)}{0.8} \text{ kW} = 112.5 \text{ kW}$$

采用铝芯线时， $C = 46.3$ ，所以：

$$\Delta U\% = \frac{PL}{CS}\% = \frac{112.5 \times 100}{46.3 \times 95}\% = 2.56\%$$

因此，所选导线也能满足电压损失的要求；根据表 2-3 规定，机械强度的要求也能完全满足的。

知识链接 II 绝缘导线的连接与恢复

配线过程中，常常因为导线太短和线路分支，需要把一根导线与另一根导线连接起来，再把最终出线与用电设备的端子连接，这些连接点通常称为接头。

绝缘导线的连接方法很多，有绞线、焊接、压接和螺栓连接等，各种连接方法适用于不同导线及不同的工作地点。

绝缘导线的连接方法无论采用哪种方法，都不外乎下列四个步骤：

- (1) 剥切绝缘层。
- (2) 导线线芯连接。
- (3) 接头焊接与压接。
- (4) 恢复绝缘层。

一、绝缘导线绝缘层的剥削

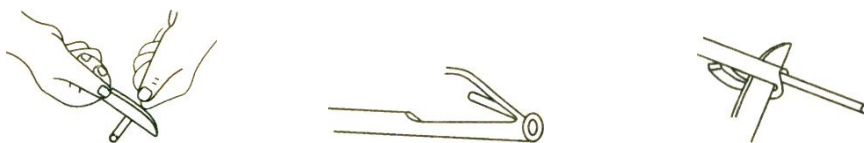
导线线头绝缘层的剥削是导线加工的第一步，是为以后导线的连接作准备。电工必须学会用电工刀、钢丝钳或者剥线钳来剥削绝缘层。

线芯截面在 4mm^2 以下电线绝缘层的处理可采用剥线钳，也可用钢丝钳。

无论是塑料单芯电线，还是多芯电线，线芯截面在 4mm^2 以下的都可用剥线钳操作，且绝缘层剥削方便快捷。橡皮电线同样可用剥线钳剥削绝缘层。用剥线钳剥削时，先定好所需的剥削长度，把导线放入相应的刃口中，用手将钳柄一握，导线的绝缘层即被割破自行弹出。需注意，选用剥线钳的刃口要适当，刃口的直径应稍大于线芯的直径。

(1) 塑料硬线绝缘层的剥削方法

① 导线端头绝缘层的剥削。通常采用电工刀进行剥削，但铜芯为 4mm^2 及 4mm^2 以下的塑料硬导线端头绝缘层可用钢丝钳、尖嘴钳或剥线钳进行剥削。塑料硬导线端头绝缘层的剥削方法，如图 2-11 (a)、(b)、(c) 所示。



(a) 刀呈 45° 切入绝缘层 (b) 改 15° 向线端推削 (c) 用刀切去余下的绝缘层

图 2-11 塑料硬导线端头绝缘层的剥削

② 导线中间绝缘层的剥削。只能采用电工刀进行剥削。塑料硬导线中间绝缘层的剥削方法，如图 2-12 (a)、(b)、(c)、(d) 所示。



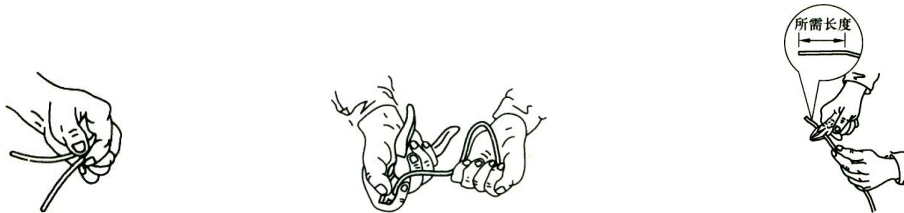
(a) 在所需线段上，电工刀呈 45° 切入绝缘层 (b) 用电工刀切去翻折的绝缘层

(c) 电工刀刀尖挑开绝缘层，并切断一端 (d) 用电工刀切去另一端的绝缘层

图 2-12 塑料硬导线中间绝缘层的剥削

(2) 塑料软线绝缘层的剥削方法

塑料软导线绝缘层的剥离方法，如图 2-13 (a)、(b)、(c) 所示。



(a) 左手拇、食指捏紧线头 (b) 按所需长度，用钳头刀口轻切绝缘层 (c) 迅速移动钳头，剥离绝缘层

图 2-13 塑料软导线绝缘层的剥削

(3) 塑料护套线的剥削方法

塑料护套线绝缘层的剥离方法,如图 2-14 (a)、(b)、(c) 所示。

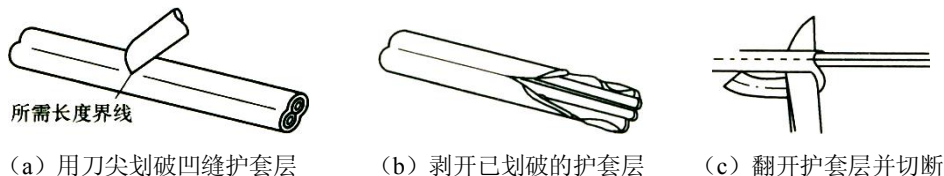


图 2-14 塑料护套线的绝缘层剥削

(4) 橡胶软电缆线的剥削方法

橡胶软电缆线绝缘层的剥削方法,如图 2-15 (a)、(b)、(c) 所示。



图 2-15 橡胶软电缆线的绝缘层剥削

二、绝缘导线的连接

(一) 导线连接的基本要求

导线连接是电工作业的一项基本工序,也是一项十分重要的工序。导线连接的质量直接关系到整个线路能否安全可靠地长期运行。对导线连接的基本要求是:连接牢固可靠、接头电阻小、机械强度高、耐腐蚀耐氧化、电气绝缘性能好。

(二) 常用连接方法

需连接的导线种类和连接形式不同,其连接的方法也不同。常用的连接方法有绞合连接、紧压连接、焊接等。连接前应小心地剥除导线连接部位的绝缘层,注意不可损伤其芯线。

1. 绞合连接

绞合连接是指将需连接导线的芯线直接紧密绞合在一起。铜导线常用绞合连接。

(1) 单股铜导线的直接连接。小截面单股铜导线连接方法如图 2-16 (a)、(b)、(c) 所示,先将两导线的芯线线头作 X 形交叉,再将它们相互缠绕 2~3 圈后扳直两线头,然后将每个线头在另一芯线上紧贴密绕 5~6 圈后剪去多余线头即可。

大截面单股铜导线连接方法如图 2-17 (a)、(b)、(c) 所示,先在两导线的芯线重叠处填入一根相同直径的芯线,再用一根截面约 1.5mm^2 的裸铜线在其上紧密缠绕,缠绕长度为导线直径的 10 倍左右,然后将被连接导线的芯线线头分别折回,再将两端的缠绕裸铜线继续缠绕 5~6 圈后剪去多余线头即可。

不同截面单股铜导线连接方法如图 2-18 (a)、(b)、(c) 所示,先将细导线的芯线在粗导

线的芯线上紧密缠绕 5~6 圈，然后将粗导线芯线的线头折回紧压在缠绕层上，再用细导线芯线在其上继续缠绕 3~4 圈后剪去多余线头即可。

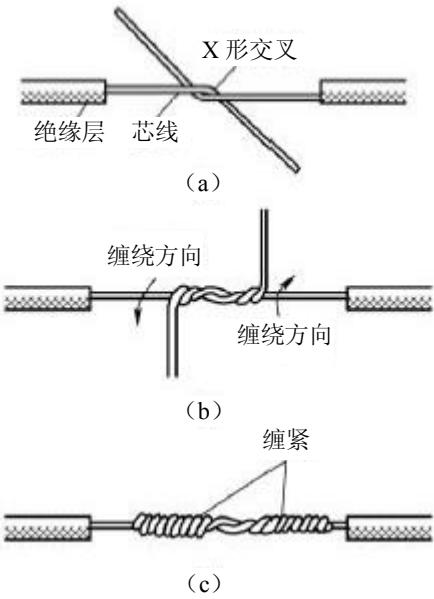


图 2-16 小截面单股铜导线的直接连接

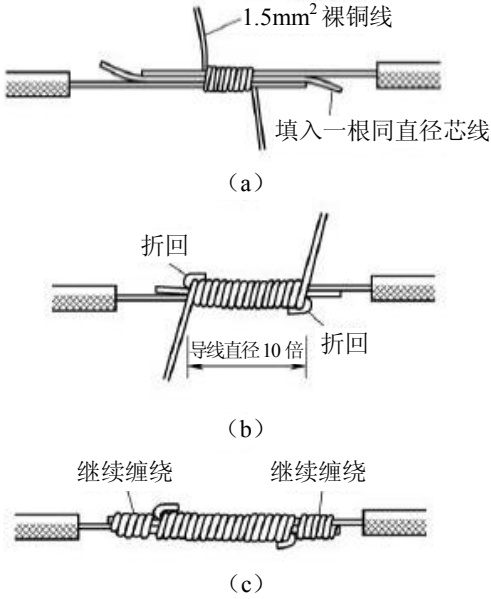


图 2-17 大截面单股铜导线的直接连接

(2) 单股铜导线的分支连接。单股铜导线的 T 字分支连接如图 2-19 (a)、(b) 所示，将支路芯线的线头紧密缠绕在干路芯线上 5~8 圈后剪去多余线头即可。对于较小截面的芯线，可先将支路芯线的线头在干路芯线上打一个环绕结，再紧密缠绕 5~8 圈后剪去多余线头即可。

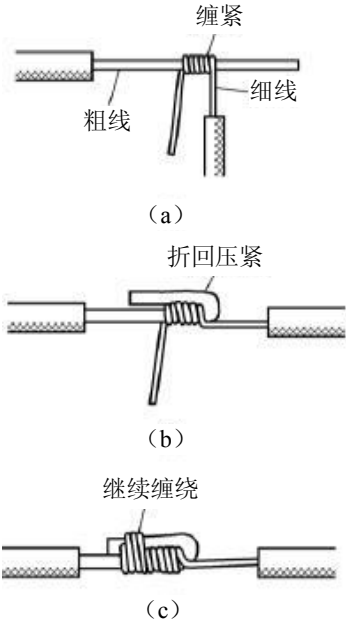


图 2-18 不同截面单股铜导线的直接连接

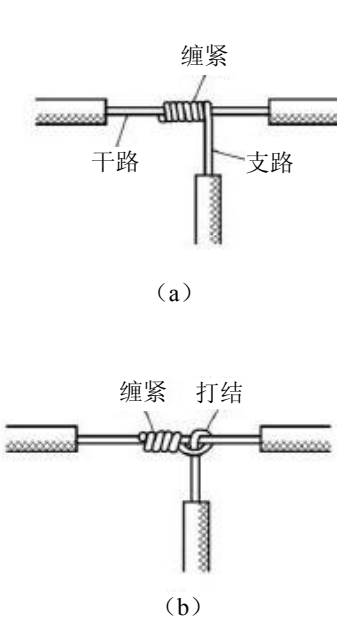


图 2-19 单股铜导线的 T 字分支连接

单股铜导线的十字分支连接如图 2-20 所示, 将上下支路芯线的线头紧密缠绕在干路芯线上 5~8 圈后剪去多余线头即可。可以将上下支路芯线的线头向一个方向缠绕, 如图 2-20 (a) 所示, 也可以向左右两个方向缠绕, 如图 2-20 (b) 所示。

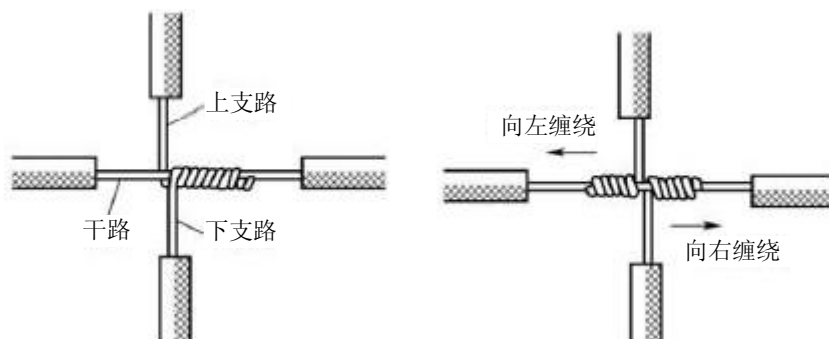


图 2-20 单股铜导线的十字分支连接

(3) 多股铜导线的直接连接。多股铜导线的直接连接如图 2-21 (a)、(b)、(c)、(d)、(e) 所示, 首先将剥去绝缘层的多股芯线拉直, 将其靠近绝缘层的约 $\frac{1}{3}$ 芯线绞合拧紧, 而将其余 $\frac{2}{3}$ 芯线成伞状散开, 另一根需连接的导线芯线也如此处理。接着将两伞状芯线相对着互相插入后捏平芯线, 然后将每一边的芯线线头分作 3 组, 先将某一边的第 1 组线头翘起并紧密缠绕在芯线上, 再将第 2 组线头翘起并紧密缠绕在芯线上, 最后将第 3 组线头翘起并紧密缠绕在芯线上。以同样方法缠绕另一边的线头。

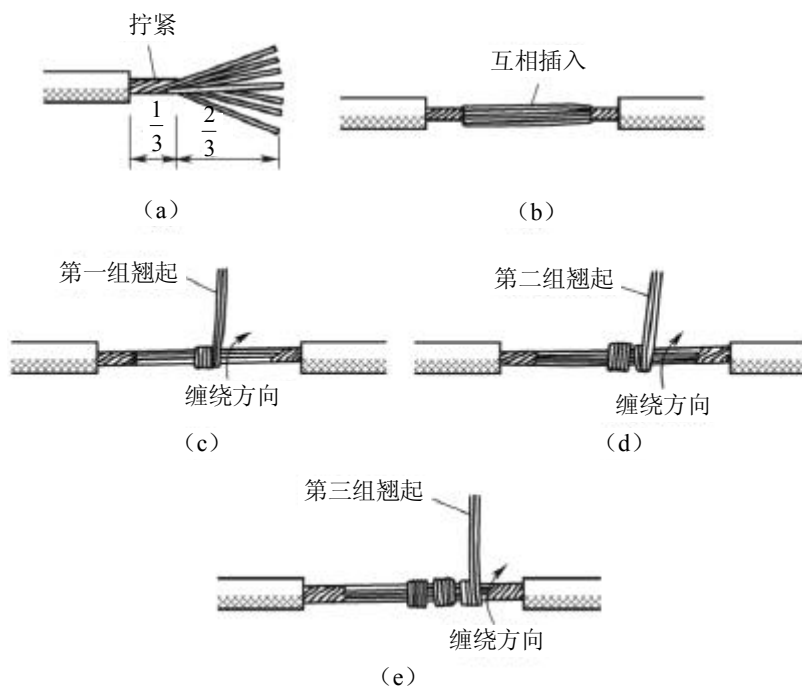


图 2-21 多股铜导线的直接连接

(4) 多股铜导线的分支连接。多股铜导线的 T 字分支连接有两种方法, 一种方法如图 2-22

所示，将支路芯线 90°折弯后与干路芯线并行，如图 2-22 (a) 所示，然后将线头折回并紧密缠绕在芯线上即可，如图 2-22 (b) 所示。

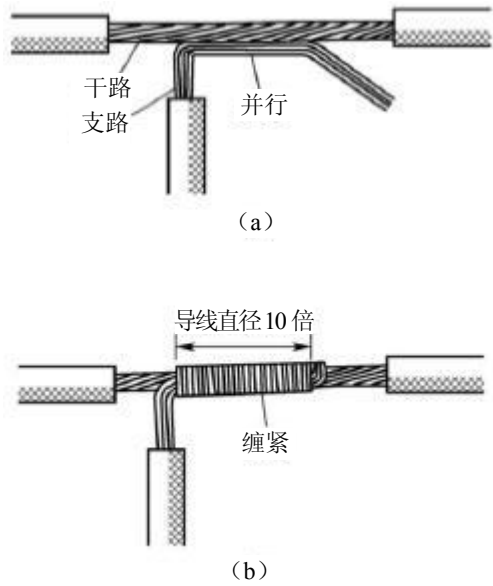


图 2-22 多股铜导线的 T 字分支连接

另一种方法如图 2-23 所示，将支路芯线靠近绝缘层的约 $\frac{1}{8}$ 芯线绞合拧紧，其余 $\frac{7}{8}$ 芯线分为两组，见图 2-23 (a)，一组插入干路芯线当中，另一组放在干路芯线前面，并朝右边按图 2-23 (b) 所示方向缠绕 4~5 圈。再将插入干路芯线当中的那一组朝左边按图 2-23 (c) 所示方向缠绕 4~5 圈，连接好的导线如图 2-23 (d) 所示。

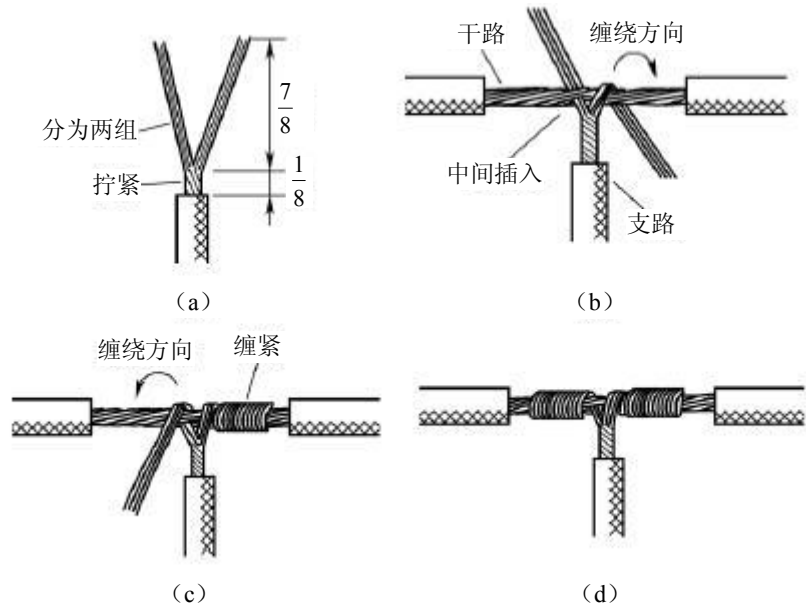


图 2-23 多股铜导线的另一种 T 字分支连接

(5) 单股铜导线与多股铜导线的连接。单股铜导线与多股铜导线的连接方法如图 2-24 所示, 先将多股导线的芯线绞合拧紧成单股状, 再将其紧密缠绕在单股导线的芯线上 5~8 圈, 最后将单股芯线线头折回并压紧在缠绕部位即可。

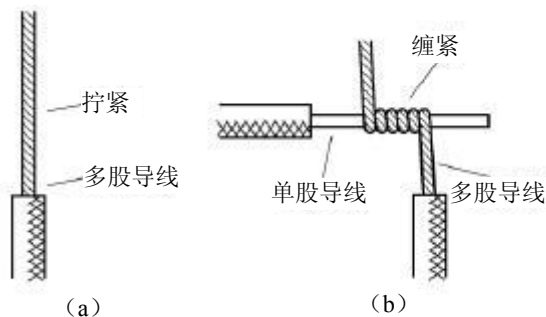


图 2-24 单股铜导线与多股铜导线的连接方法

(6) 同一方向的导线的连接。当需要连接的导线来自同一方向时, 可以采用图 2-25 所示的方法。对于单股导线, 可将一根导线的芯线紧密缠绕在其他导线的芯线上, 再将其他芯线的线头折回压紧即可。对于多股导线, 可将两根导线的芯线互相交叉, 然后绞合拧紧即可。对于单股导线与多股导线的连接, 可将多股导线的芯线紧密缠绕在单股导线的芯线上, 再将单股芯线的线头折回压紧即可。

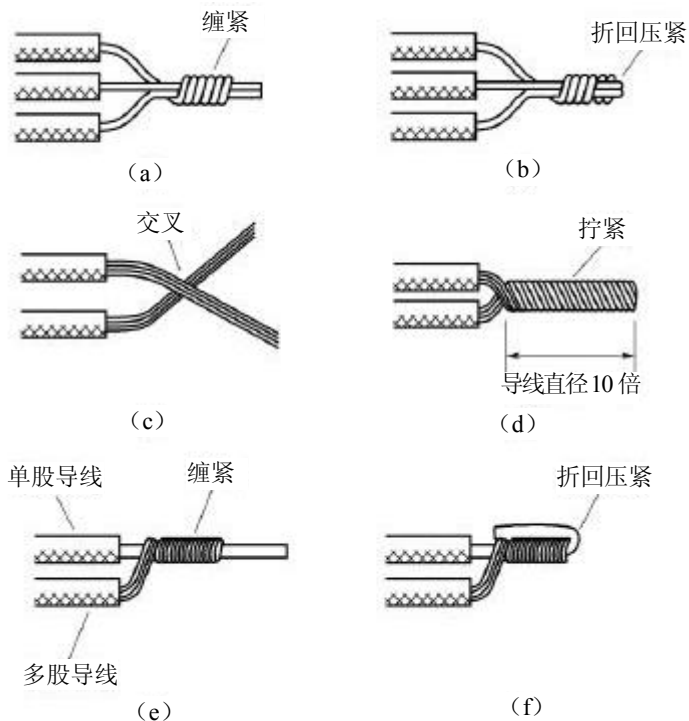


图 2-25 同一方向的导线的连接

(7) 双芯或多芯电线电缆的连接。双芯护套线、三芯护套线或电缆、多芯电缆在连接时,

应注意尽可能将各芯线的连接点互相错开位置,可以更好地防止线间漏电或短路。图 2-26 (a) 所示为双芯护套线的连接情况,图 2-26 (b) 所示为三芯护套线的连接情况,图 2-26 (c) 所示为四芯电力电缆的连接情况。

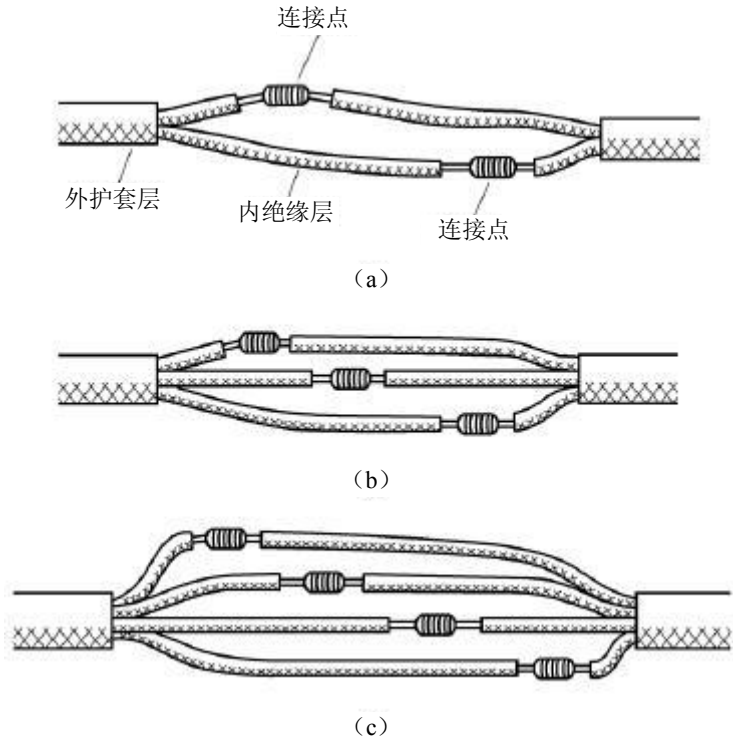


图 2-26 双芯或多芯电线电缆的连接

铝导线虽然也可采用绞合连接,但铝芯线的表面极易氧化,日久将造成线路故障,因此铝导线通常采用紧压连接。

2. 紧压连接

紧压连接是指用铜或铝套管套在被连接的芯线上,再用压接钳或压接模具压紧套管使芯线保持连接。铜导线(一般是较粗的铜导线)和铝导线都可以采用紧压连接,铜导线的连接应采用铜套管,铝导线的连接应采用铝套管。紧压连接前应先清除导线芯线表面和压接套管内壁上的氧化层和粘污物,以确保接触良好。

(1) 铜导线或铝导线的紧压连接。压接套管截面有圆形和椭圆形两种,椭圆形如图 2-27 所示。圆截面套管内可以穿入一根导线,椭圆截面套管内可以并排穿入两根导线。

圆截面套管使用时,将需要连接的两根导线的芯线分别从左右两端插入套管相等长度,以保持两根芯线的线头的连接点位于套管内的中间,然后用压接钳或压接模具压紧套管,一般情况下只要在每端压一个坑即可满足接触电阻的要求。在对机械强度有要求的场合,可在每端压两个坑,如图 2-28 所示。对于较粗的导线或机械强度要求较高的场合,可适当增加压坑的数目。

椭圆截面套管使用时,将需要连接的两根导线的芯线分别从左右两端相对插入并穿出套管少许,如图 2-29 (a) 所示,然后压紧套管即可,如图 2-29 (b) 所示。椭圆截面套管不仅

可用于导线的直线压接，而且可用于同一方向导线的压接，如图 2-29 (c) 所示；还可用于导线的 T 字分支压接或十字分支压接，如图 2-29 (d) 和图 2-29 (e) 所示。



图 2-27 压接套管的椭圆形图

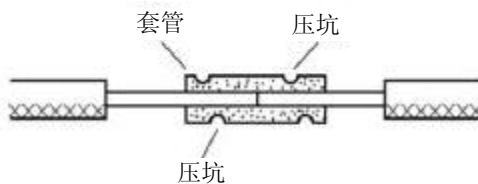


图 2-28 圆截面套管的压接坑

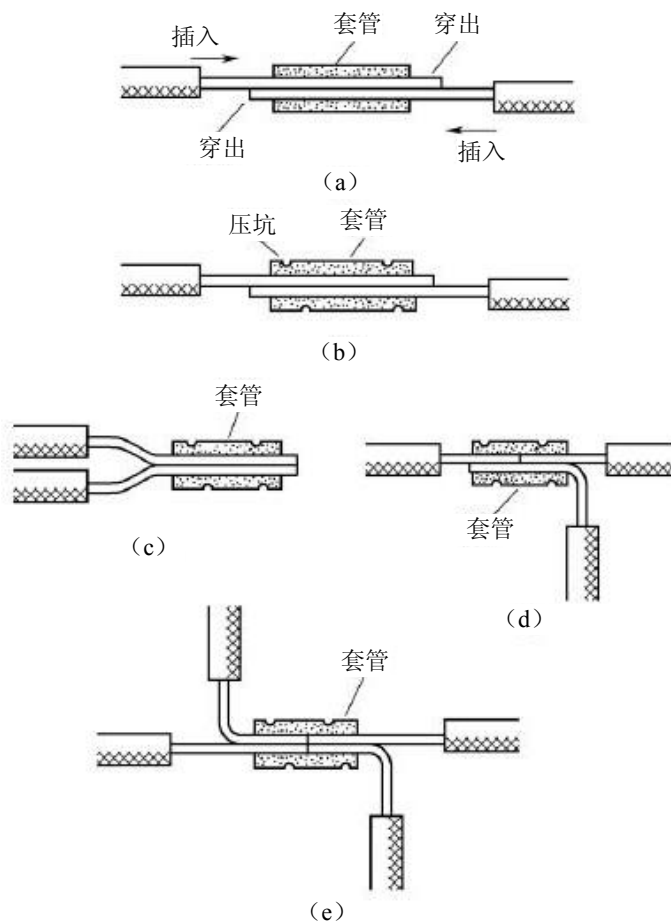


图 2-29 椭圆截面套管的压接

(2) 铜导线与铝导线之间的紧压连接。当需要将铜导线与铝导线进行连接时，必须采取防止电化腐蚀的措施。因为铜和铝的标准电极电位不一样，如果将铜导线与铝导线直接绞接或压接，在其接触面将发生电化腐蚀，引起接触电阻增大而过热，造成线路故障。常用的防止电化腐蚀的连接方法有两种。

一种方法是采用铜铝连接套管。铜铝连接套管的一端是铜质，另一端是铝质，如图 2-30 (a) 所示。使用时将铜导线的芯线插入套管的铜端，将铝导线的芯线插入套管的铝端，然后

压紧套管即可，如图 2-30 (b) 所示。

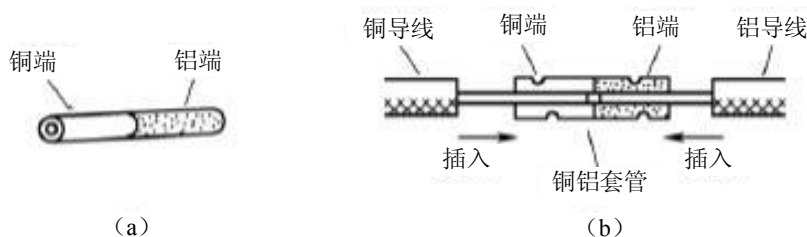


图 2-30 采用铜铝连接套管

另一种方法是铜导线镀锡后采用铝套管连接。由于锡与铝的标准电极电位相差较小，在铜与铝之间夹垫一层锡也可以防止电化腐蚀。具体做法是先对铜导线的芯线镀上一层锡，再将镀锡铜芯线插入铝套管的一端，铝导线的芯线插入该套管的另一端，最后压紧套管即可，如图 2-31 所示。

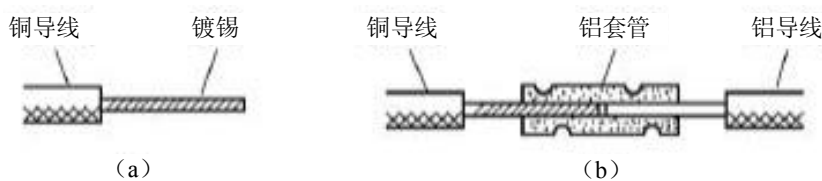


图 2-31 铜导线镀锡后采用铝套管连接

(三) 导线连接处的绝缘处理

为了进行连接，导线连接处的绝缘层已被去除。导线连接完成后，必须对所有绝缘层已被去除的部位进行绝缘处理，以恢复导线的绝缘性能，恢复后的绝缘强度应不低于导线原有的绝缘强度。

导线连接处的绝缘处理通常采用绝缘胶带进行缠裹包扎。一般电工常用的绝缘带有黄蜡带、涤纶薄膜带、黑胶布带、塑料胶带、橡胶胶带等。绝缘胶带的宽度常用 20mm 的，使用较为方便。

(1) 一般导线接头的绝缘处理。一字形连接的导线接头可按图 2-32 所示进行绝缘处理，先包缠一层黄蜡带，再包缠一层黑胶布带。将黄蜡带从接头左边绝缘完好的绝缘层上开始包缠，包缠两圈后进入剥除了绝缘层的芯线部分，见图 2-32 (a)。包缠时黄蜡带应与导线成 55° 左右倾斜角，每圈压叠带宽的 $1/2$ ，见图 2-32 (b)，直至包缠到接头右边两圈距离的完好绝缘层处。然后将黑胶布带接在黄蜡带的尾端，按另一斜叠方向从右向左包缠，见图 2-32 (c)、图 2-32 (d)，仍每圈压叠带宽的 $1/2$ ，直至将黄蜡带完全包缠住。包缠处理中应用力拉紧胶带，注意不可稀疏，更不能露出芯线，以确保绝缘质量和用电安全。对于 220V 线路，也可不用黄蜡带，只用黑胶布带或塑料胶带包缠两层。在潮湿场所应使用聚氯乙烯绝缘胶带或涤纶绝缘胶带。

(2) T 字分支接头的绝缘处理。导线分支接头的绝缘处理基本方法同上，T 字分支接头的包缠方向如图 2-33 所示，走一个 T 字形的来回，使每根导线上都包缠两层绝缘胶带，每根导线都应包缠到完好绝缘层的两倍胶带宽度处。

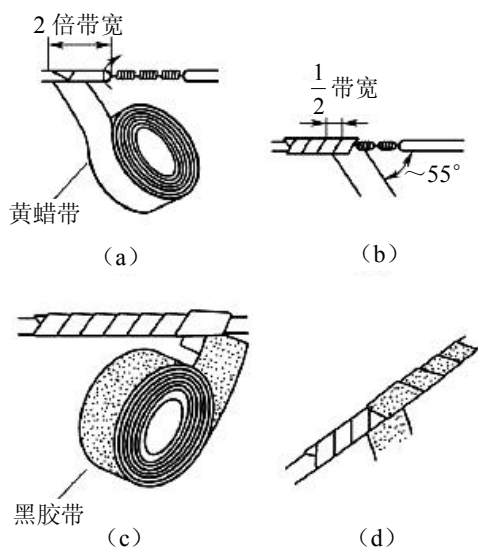


图 2-32 一般导线接头的绝缘处理

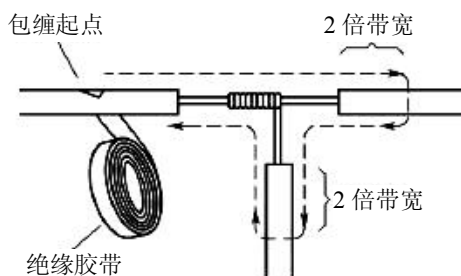


图 2-33 T 字分支接头的绝缘处理

(3) 十字分支接头的绝缘处理。对导线的十字分支接头进行绝缘处理时，包缠方向如图 2-34 所示，走一个十字形的来回，使每根导线上都包缠两层绝缘胶带，每根导线也都应包缠到完好绝缘层的两倍胶带宽度处。

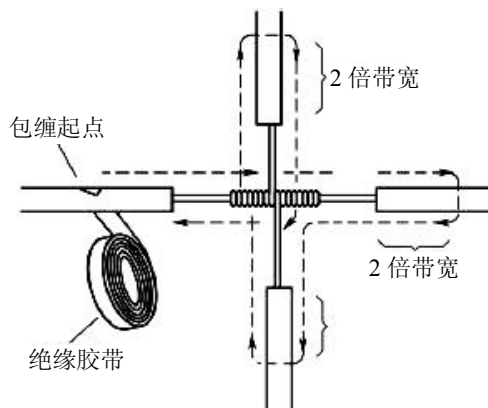


图 2-34 十字分支接头的绝缘处理

任务二 电工焊接技术

能力目标

1. 会用电烙铁焊接印制电路板;
2. 会用电烙铁焊接导线;
3. 能拆除印制电路板和导线上的焊点。

知识目标

1. 了解手工焊接的基本技能知识;
2. 掌握手工焊接的种类、常用工具、焊材、焊接的正确步骤和方法;
3. 掌握对焊点的质量检验以及如何拆除焊点的要领。

技能训练 电工基本焊接练习

一、实训前的准备工作

1. 知识准备

- (1) 了解电烙铁的规格和用途;
- (2) 了解印制电路板、导线的焊接工艺要求;
- (3) 熟悉所焊印制电路板的装配图,并按图纸配料,检查元器件型号、规格及数量是否符合图纸要求,并做好装配前元器件引线成型等准备工作。

2. 材料准备

- (1) 外热式电烙铁、松香、焊锡、斜口钳、镊子每人各 1 把;
- (2) 芯线截面积为 2.5mm^2 的单芯塑料绝缘铜线 (BV) 若干;
- (3) 印制电路板每人 1 块;
- (4) 装配元器件若干。

二、实训过程

请同学们按照实训任务单卡要求完成实训内容,完成后将任务单卡沿着虚线撕下上交。

三、实训注意事项

- (1) 实训分组进行,实训期间,请学生严格执行安全操作规程。
- (2) 在实训操作前,请认真学习实训任务内容,明确实训目的、实训步骤和 safety 注意事项。
- (3) 烙铁头在没有确信脱离电源时,不能用手摸,易燃品远离电烙铁。
- (4) 烙铁头上多余的锡不要乱甩,特别是往身后甩,危险很大。
- (5) 拆焊有弹性的元件时,不要离焊点太近,并使可能弹出焊锡的方向向外。
- (6) 插拔电烙铁等电器的电源插头时,要手拿插头,不要抓电源线。

(7) 用螺丝刀拧紧螺丝钉时，另一只手不要握住螺丝刀刀口方向。

(8) 用剪线钳剪断短小导线（例如：印刷板元件焊好后，去掉过长的引线）时，要让导线甩出方向朝着工作台或空地，决不可向人或设备。

(9) 工作间要讲究文明生产、文明工作，各种工具、设备摆放合理、整齐，不要乱摆、乱放，以免发生事故。



学习任务单卡

班级： 组别： 学号： 姓名： 实训日期：

课程信息	课程名称	教学单元	本次课训练任务	学时	实训地点
	电工普训	电工基本操作	任务 电工手工焊接练习	2 节	
任务描述	先对电烙铁进行检测，无误后将其接到 220V 的交流电源上进行通电预热，将待焊电线和印制电路板进行焊接训练。				
学做过程记录	任务 1 印制电路板的焊接及焊点拆除训练				
	实训内容及步骤 1. 印制电路板的焊接 (1) 将准备好的电阻和电容安装到印制板上，用预热好的电烙铁头放到待焊点上进行预热； (2) 在对焊点预热约 2 秒后对准焊点用电烙铁沾取适量的焊剂对焊点进行均匀的涂抹，然后对准焊点送焊料； (3) 待焊料在焊点上已经充分的熔化，并在点上能形成饱满的圆点，使电阻或电容已充分的连接，此时迅速撤离焊料； (4) 继续对焊点进行短时的加热，待焊点上的焊料恰好覆盖住焊点，形成圆润、饱满的焊点，此时迅速沿 45° 方向撤离电烙铁，让焊点上的焊料自然冷却； (5) 待焊料充分冷却后，用工具剪去过长的电阻或电容的管脚。 【教师现场评价：完成□，未完成□】				
	2. 印制电路板上的盘式焊点焊件的拆除 可以采取分点拆除法，也可以采取集中拆焊法，或者间断加热拆焊法，要领是先对焊点用电烙铁进行加热，待焊点上的焊料熔化后，趁热拔下焊件。 【教师现场评价：完成□，未完成□】				
	任务 2 导线的焊接及焊点拆除训练				
	1. 导线的焊接训练 (1) 将导线的绝缘层去除，并按照不同导线的连接方式进行初步连接； (2) 用预热好的电烙铁对连接好的导线进行初步处理：清洁，然后沾取适量的焊剂对导线的连接处进行搪锡处理； (3) 用烙铁对准导线的连接处进行加热，待焊点温度已经达到焊接要求时，用左手持焊料对准焊点送焊料； (4) 待焊料在焊点上已经充分的熔化，并且熔化的量足够时，迅速撤离焊料； (5) 用电烙铁对准导线的连接处继续进行加热，并用电烙铁头沾取焊料在连接处进行均匀的涂抹； (6) 待焊料在连接处已经冷却后，对导线进行绝缘恢复处理。 【教师现场评价：完成□，未完成□】				
	2. 导线、接线柱焊点的拆除。 对导线或接线柱的焊点进行充分的加热，待焊料已经熔化后，趁热对焊件进行拆除。 【教师现场评价：完成□，未完成□】				

学 做 过 程 记 录	思考题 1. 焊接时，应保证每个焊点焊接牢固、接触良好，锡点应光亮、圆滑无毛刺，锡量适中。锡和被焊物熔合牢固，不应有_____。 2. 焊接前，应对元器件引脚或电路板的焊接部位进行处理，一般有_____、_____、_____三个步骤。 3. 电烙铁的分类有_____、_____、_____、_____。 4. 普通电烙铁按对烙铁头的加热方式可以分为哪几类？
	5. 手工焊接时的五步法的内容是什么？
教师评价	A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ 教师签名：
学生建议	

知识链接 电工焊接技术

焊接是金属连接的一种基本方法,也是现在电工维修和电子维修时经常采用的一种方法,它具有连接可靠、导电性能优良的特点。它是通过加热、加压,或两者并用,用或者不用焊材,使两工件产生原子间相互扩散,形成冶金结合的加工工艺和联接方式。焊接应用非常广泛,既可用于金属,也可用于非金属。金属焊接方法有 40 种以上,主要分为钎焊、熔焊和压焊三大类。

一、烙铁钎焊技术

钎焊是使用比工件熔点低的金属材料作钎料,将工件和焊料加热到高于焊料熔点、低于工件熔点的温度,利用液态焊料润湿工件,填充接口间隙并与工件实现原子间的相互扩散,从而实现焊接的方法。

(一) 电烙铁

电烙铁是电子制作和电器维修的必备工具,主要用途是焊接元件及导线,按机械结构可分为内热式电烙铁和外热式电烙铁,按功能可分为无吸锡式电烙铁和吸锡式电烙铁,根据用途不同又分为大功率电烙铁和小功率电烙铁。

1. 电烙铁的类型

(1) 外热式电烙铁。外热式电烙铁由烙铁头、烙铁芯、传热筒、支架等部分组成,如图 2-35 (a) 所示。由于烙铁头安装在烙铁芯里面,故称为外热式电烙铁。烙铁芯是电烙铁的关键部件,它是将电热丝平行地绕制在一根空心瓷管上构成,中间的云母片绝缘,并引出两根导线与 220V 交流电源连接。外热式电烙铁的规格很多,常用的有 25W、45W、75W、100W 等,功率越大烙铁头的温度也就越高。

(2) 内热式电烙铁。内热式电烙铁由手柄、连接杆、发热元件、烙铁头组成,如图 2-35 (b) 所示。由于烙铁芯安装在烙铁头里面,因而发热快、热利用率高,故称为内热式电烙铁。内热式电烙铁的常用规格有 20W、50W 几种。由于它的热效率高,20W 内热式电烙铁就相当于 40W 左右的外热式电烙铁。内热式电烙铁的后端是空心的,用于套接在连接杆上,并且用弹簧夹固定,当需要更换烙铁头时,必须先将弹簧夹退出,同时用钳子夹住烙铁头的前端,慢慢地拔出,切记不能用力过猛,以免损坏连接杆。

(3) 恒温式电烙铁。由于恒温电烙铁头内装有带磁铁式的温度控制器,能控制通电时间从而实现温控,即给电烙铁通电时,烙铁的温度上升,当达到预定的温度时,因强磁体传感器达到了居里点而磁性消失,从而使磁芯触点断开,这时便停止向电烙铁供电;当温度低于强磁体传感器的居里点时,强磁体便恢复磁性,并吸动磁芯开关中的永久磁铁,使控制开关的触点接通,继续向电烙铁供电。如此循环往复,便达到了控制温度的目的。恒温式电烙铁的种类较多,烙铁芯一般采用 PTC 元件。此类型的烙铁头不仅能恒温,而且能防静电、防感应电,能直接焊 CMOS 器件。高档的恒温式电烙铁,其附加的控制装置上带有烙铁头温度的数字显示(简称数显)装置,显示温度最高达 400℃。烙铁头带有温度传感器,在控制器上可由人工改变焊接时的温度。若改变恒温点,烙铁头很快就可达到新的设置温度。无绳式电烙铁是一种新型恒温式焊接工具,由无绳式电烙铁单元和红外线恒温焊台单元两部分组成,可实现 220V 电源电能转换为热能的无线传输。烙铁单元组件中有温度高低调节旋钮,由 160~400℃连续可调,并有温度高低挡格指示。另外,还设计了自动恒温电子电路,可根据用户设置的使用温度自动恒温,误差范围为 3℃。

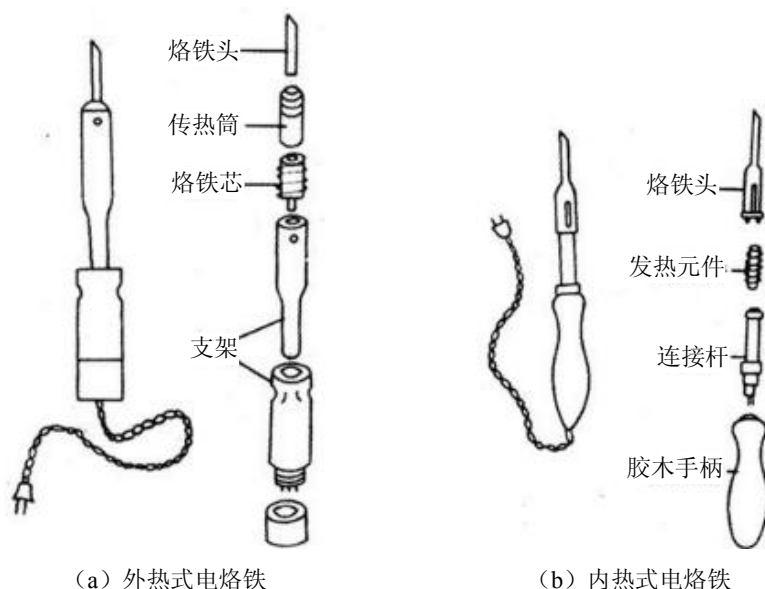


图 2-35 电烙铁的基本结构

(4) 调温式电烙铁。调温式电烙铁附加有一个功率控制器，使用时可以改变供电的输入功率，可调温度范围为 $100\sim 400^{\circ}\text{C}$ 。调温式电烙铁的最大功率是 60W ，配用的烙铁头为铜镀铁烙铁头（俗称长寿头）。

(5) 双温式电烙铁。双温式电烙铁为手枪式结构，在电烙铁手柄上附有一个功率转换开关。开关分两位：一位是 20W ；另一位是 80W 。只要转换开关的位置即可改变电烙铁的发热量。

(6) 吸锡式电烙铁。吸锡式电烙铁是将活塞式吸锡器与电烙铁溶为一体的拆焊工具。它具有使用方便、灵活、适用范围宽等特点。这种吸锡电烙铁的不足之处是每次只能对一个焊点进行拆焊。吸锡式电烙铁自带电源，适合于拆卸整个集成电路且速度要求不高的场合。其吸锡嘴、发热管、密封圈所用的材料，决定了烙铁头的耐用性。

2. 电烙铁的选用及使用

(1) 选用电烙铁一般遵循以下原则：

- ① 烙铁头的形状要适应被焊件物面要求和产品装配密度。
- ② 烙铁头的顶端温度要与焊料的熔点相适应，一般要比焊料熔点高 $30\sim 80^{\circ}\text{C}$ （不包括在电烙铁头接触焊接点时下降的温度）。
- ③ 电烙铁热容量要恰当。烙铁头的温度恢复时间要与被焊件物面的要求相适应。温度恢复时间是指在焊接周期内，烙铁头顶端温度因热量散失而降低后，再恢复到最高温度所需时间。它与电烙铁功率、热容量以及烙铁头的形状、长短有关。

(2) 选择电烙铁的功率原则如下：

- ① 焊接集成电路、晶体管及其他受热易损件的元器件时，考虑选用 20W 内热式或 25W 外热式电烙铁。
- ② 焊接较粗导线及同轴电缆时，考虑选用 50W 内热式或 $45\sim 75\text{W}$ 外热式电烙铁。
- ③ 焊接较大元器件时，如金属底盘接地焊片，应选 100W 以上的电烙铁。

(3) 电烙铁的握法。电烙铁的握法分为三种。

① 反握法。是用五指把电烙铁的柄握在掌内。此法适用于大功率电烙铁，焊接散热量大的被焊件，如图 2-36 (a) 所示。

② 正握法。此法适用于较大的电烙铁，弯形烙铁头一般也用此法，如图 2-36 (b) 所示。

③ 握笔法。用握笔的方法握电烙铁，此法适用于小功率电烙铁，焊接散热量小的被焊件，如焊接收音机、电视机的印制电路板及其维修等，如图 2-36 (c) 所示。

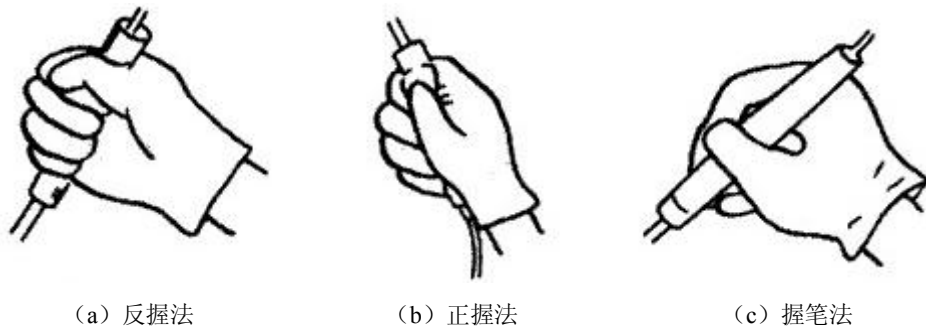


图 2-36 电烙铁的握法

(4) 电烙铁使用前的处理。

在使用前先通电给烙铁头“上锡”。首先用挫刀把烙铁头按需要挫成一定的形状，然后接上电源，当烙铁头温度升到能熔锡时，将烙铁头在松香上沾涂一下，等松香冒烟后再沾涂一层焊锡，如此反复进行二至三次，使烙铁头的刃面全部挂上一层锡便可使用了。

电烙铁不宜长时间通电而不使用，这样容易使烙铁芯加速氧化而烧断，缩短其寿命，同时也会使烙铁头因长时间加热而氧化，甚至被“烧死”，不再“吃锡”。

(5) 电烙铁使用注意事项。

① 根据焊接对象合理选用不同类型的电烙铁。

② 使用过程中不要任意敲击电烙铁头以免损坏。内热式电烙铁连接杆钢管壁厚度只有 0.2mm，不能用钳子夹以免损坏。在使用过程中应经常维护，保证烙铁头挂上一层薄锡。

3. 电烙铁的维护保养

烙铁头是易耗品，正确的使用和保养可以极大地延长烙铁头的寿命。首先，新的烙铁头第一次使用之前，务必先将烙铁温度调至 220 度，让烙铁头的上锡部位充分吃锡，最好是浸泡在锡堆里 5 分钟，然后在清洁海绵上擦试干净，并把烙铁温度再次调至 300 度，重复上述程序，最后把烙铁温度调至所需要使用温度进行使用。这样做的目的是在烙铁头锡层上形成一层保护膜，防止新的烙铁头在高温状态下直接氧化。每天下班之前，将烙铁头在清洁海绵上擦试干净，然后上一点新鲜的焊锡，第二天使用之前，还是将烙铁头在清洁海绵上擦试干净，重新上锡后使用。按以上方式进行操作，可最大限度地达到烙铁头的使用寿命。需要指出的是，烙铁头的使用温度不宜过高，温度越高，烙铁头的寿命越短，一般建议使用温度 350 度。正常情况下，当烙铁使用温度为 350 度，每天工作 8 小时，按正常保养程序进行保养时，烙铁头使用寿命一般为 3 万个焊点左右。

在无作业时一定保证烙铁头上有锡保护，焊接的时候作业者不要有划板的动作，蹭烙铁头的海绵水量要合适，以轻握有两三滴水为宜，海绵两小时左右清洗一次，焊接作业前蹭海绵，

作业完成不要蹭,以防止烙铁头氧化。平时作业者不可以用烙铁头碰撞硬的东西,防止烙铁头表面镀层破损。

(二) 焊料和焊剂

1. 焊料

焊料是一种易熔金属,它能使元器件引线 with 印制电路板的连接点连接在一起。锡(Sn)是一种质地柔软、延展性大的银白色金属,熔点为 232°C ,在常温下化学性能稳定,不易氧化,不失金属光泽,抗大气腐蚀能力强。铅(Pb)是一种较软的浅青白色金属,熔点为 327°C ,高纯度的铅耐大气腐蚀能力强,化学稳定性好,但对人体有害。锡中加入一定比例的铅和少量其他金属可制成熔点低、流动性好、对元件和导线的附着力强、机械强度高、导电性好、不易氧化、抗腐蚀性好、焊点光亮美观的焊料,一般称焊锡。

焊锡按含锡量的多少可分为15种,按含锡量和杂质的化学成分分为S、A、B三个等级。手工焊接常用丝状焊锡。

2. 焊剂

焊剂有助焊剂和阻焊剂两种。

助焊剂一般可分为无机助焊剂、有机助焊剂和树脂助焊剂,能溶解去处金属表面的氧化物,并在焊接加热时包围金属的表面,使之和空气隔绝,防止金属在加热时氧化;可降低熔融焊锡的表面张力,有利于焊锡的湿润。常用的助焊剂有松香、松香酒精助焊剂、焊膏、氯化锌助焊剂、氯化铵助焊剂等。

阻焊剂,限制焊料只在需要的焊点上进行焊接,把不需要焊接的印制电路板的板面部分覆盖起来,保护面板使其在焊接时受到的热冲击小,不易起泡,同时还起到防止桥接、拉尖、短路、虚焊等情况。

使用焊剂时,必须根据被焊件的面积大小和表面状态适量施用,用量过小,则影响焊接质量,用量过多,焊剂残渣将会腐蚀元件或使电路板绝缘性能变差。

(三) 典型焊接方法与工艺

对焊接点的基本工艺要求:

焊点要有足够的机械强度,保证被焊件在受振动或冲击时不致脱落、松动。不能用过多焊料堆积,这样容易造成虚焊、焊点与焊点的短路。

焊接可靠,具有良好导电性,必须防止虚焊。虚焊是指焊料与被焊件表面没有形成合金结构,只是简单地依附在被焊金属表面上。

焊点表面要光滑、清洁,应有良好光泽,不应有毛刺、空隙,无污垢,尤其是焊剂的有害残留物质,要选择合适的焊料与焊剂。

1. 印制电路板的焊接工艺

(1) 焊前准备

首先要熟悉所焊印制电路板的装配图,并按图纸配料,检查元器件型号、规格及数量是否符合图纸要求,并做好装配前元器件引线成型等准备工作。

(2) 焊接顺序

元器件装焊顺序依次为:电阻器、电容器、二极管、三极管、集成电路、大功率管,其他元器件为先小后大。

(3) 对元器件焊接要求

1) 电阻器焊接: 按图将电阻器准确装入规定位置。要求标记向上, 字向一致。装完同一种规格后再装另一种规格, 尽量使电阻器的高低一致。焊完后将露在印制电路板表面多余引脚齐根剪去。

2) 电容器焊接: 将电容器按图装入规定位置, 并注意有极性电容器其“+”与“-”极不能接错, 电容器上的标记方向要易看可见。先装玻璃釉电容器、有机介质电容器、瓷介电容器, 最后装电解电容器。

3) 二极管的焊接: 二极管焊接要注意以下几点: 第一, 注意阳极阴极的极性, 不能装错; 第二, 型号标记要易看可见; 第三, 焊接立式二极管时, 对最短引线焊接时间不能超过 2s。

4) 三极管焊接: 注意 e、b、c 三引线位置插接正确; 焊接时间尽可能短, 焊接时用镊子夹住引线脚, 以利散热。焊接大功率三极管时, 若需加装散热片, 应将接触面平整、打磨光滑后再紧固, 若要求加垫绝缘薄膜时, 切勿忘记加薄膜。管脚与电路板上需连接时, 要用塑料导线。

5) 集成电路焊接: 首先按图纸要求, 检查型号、引脚位置是否符合要求。焊接时先焊边沿的两只引脚, 以使其定位, 然后再从左到右、自上而下逐个焊接。对于电容器、二极管、三极管露在印制电路板面上多余引脚均需齐根剪去。

2. 导线的焊接工艺

(1) 铜导线接头的锡焊

较细的铜导线接头可用大功率(例如 150W)电烙铁进行焊接。焊接前应先清除铜芯线接头部位的氧化层和黏污物。为增加连接可靠性和机械强度, 可将待连接的两根芯线先行绞合, 再涂上无酸助焊剂, 用电烙铁蘸焊锡进行焊接即可, 如图 2-37 所示。焊接中应使焊锡充分熔融渗入导线接头缝隙中, 焊接完成的接点应牢固光滑。

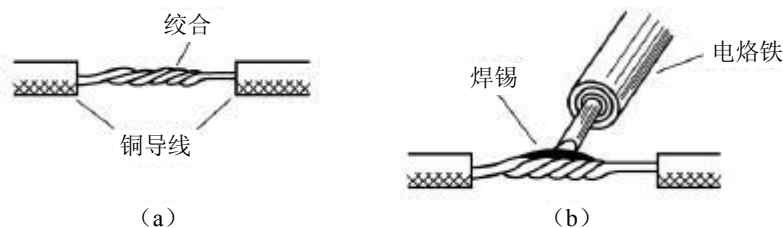


图 2-37 铜导线接头的锡焊

较粗(一般指截面 16mm^2 以上)的铜导线接头可用浇焊法连接。浇焊前同样应先清除铜芯线接头部位的氧化层和黏污物, 涂上无酸助焊剂, 并将线头绞合。将焊锡放在化锡锅内加热熔化, 当熔化的焊锡表面呈磷黄色说明锡液已达符合要求的高温, 即可进行浇焊。浇焊时将导线接头置于化锡锅上方, 用耐高温勺子盛上锡液从导线接头上浇下, 如图 2-38 所示。刚开始浇焊时因导线接头温度较低, 锡液在接头部位不会很好渗入, 应反复浇焊, 直至完全焊牢为止。浇焊的接头表面也应光洁平滑。

(2) 铝导线接头的焊接

铝导线接头的焊接一般采用电阻焊或气焊。电阻焊是指用低电压大电流通过铝导线的连接处, 利用其接触电阻产生的高温高热将导线的铝芯线熔接在一起。电阻焊应使用特殊的降压变压器(1kVA、初级 220V、次级 6~12V), 配以专用焊钳和碳棒电极, 如图 2-39 所示。

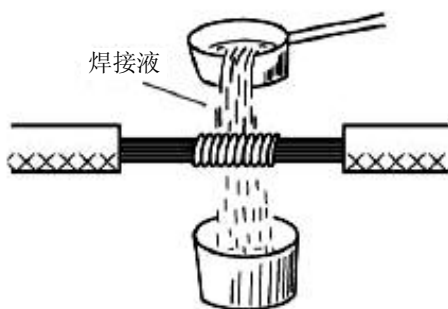


图 2-38 浇焊法

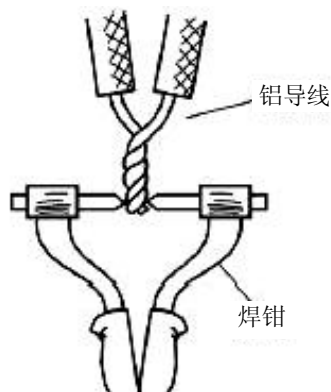


图 2-39 电阻焊法

气焊是指利用气焊枪的高温火焰，将铝芯线的连接点加热，使待连接的铝芯线相互熔融连接。气焊前应将待连接的铝芯线绞合，或用铝丝或铁丝绑扎固定，如图 2-40 所示。

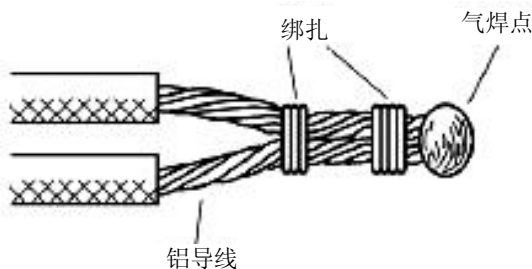


图 2-40 气焊法

二、电工熔焊技术

熔焊，又叫熔化焊，是一种最常见的焊接方法。熔焊是指焊接过程中，将联接处的金属在高温等的作用下至熔化状态而完成的焊接方法，可形成牢固的焊接接头。由于被焊工件是紧密贴在一起的，在温度场、重力等的作用下，不加压力，两个工件熔化的融液会发生混合现象。待温度降低后，熔化部分凝结，两个工件就被牢固地焊在一起，完成焊接。由于在焊接过程中固有的高温相变过程，在焊接区域就产生了热影响区。固态焊接和熔焊正相反，固态焊接没有金属的熔化。

根据焊接能源种类、能源传递介质和方式的不同，熔化焊可分为电弧焊、气焊、电渣焊、电子束焊、激光焊和等离子焊等。

三、电工压焊技术

压焊是指在焊接过程中必须对工件施加压力（加热或不加热），以完成焊接的方法。加压可使两个焊件之间接触紧密，并在焊接部位产生一定的塑性变形，促使原子扩散而使二者焊接在一起。加热则进一步提高原子扩散能力，也使连接处晶粒细化。最常用的是电阻焊。

电阻焊是工件组合后通过电极施加压力，利用电流通过接头的接触面及邻近区域产生的电阻热进行焊接的方法。电阻焊通常分为电阻点焊、缝焊和对焊，如图 2-41 (a)、(b)、(c) 所示。

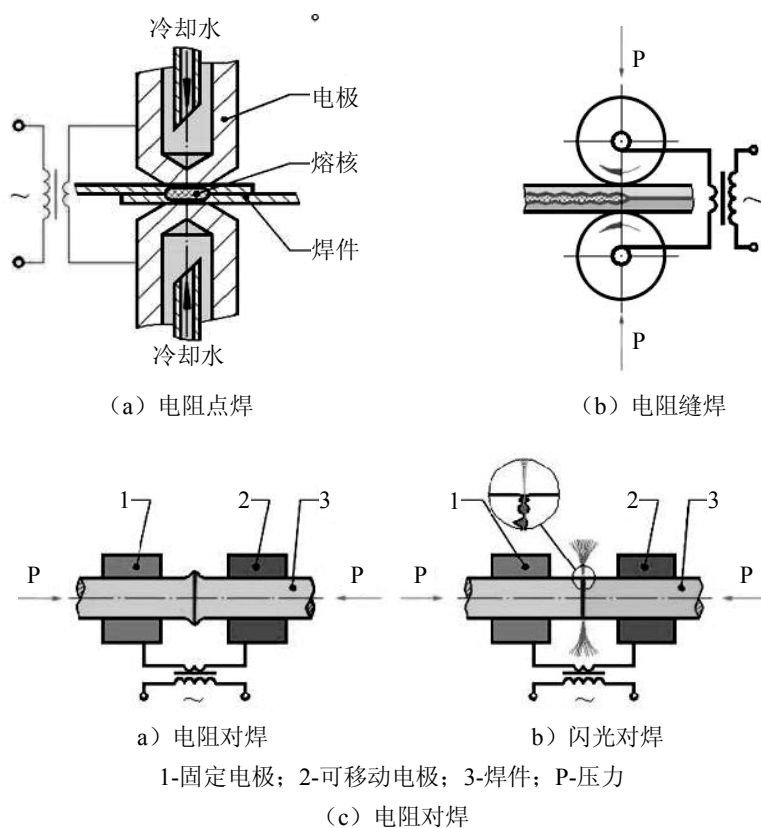


图 2-41 电阻焊示意图

(1) 电阻点焊。电阻点焊是将工件装配成搭接接头，并压紧在两电极之间，利用电阻热熔化母材金属，形成焊点的电阻焊方法。

电阻点焊时两工件接触面处电阻大，发出的热量使该处温度急速升高，将该处金属熔化形成熔核。断电后，继续保持或稍加大压力，使熔核在压力下凝固，形成组织致密的焊点。焊接第二个焊点时，有一部分电流会流经已焊好的焊点，称为点焊分流现象。分流将使焊接处电流减小，以致加热不足，造成焊点强度显著下降，影响焊点质量。因此两焊点之间应有一定距离以减小分流。而且工件厚度越大，材料导电性能越好，若工件表面存在氧化物或脏物时，都会使分流现象加重。提高焊点质量可以通过合理选取焊接电流、通电时间、电极压力和提高工件表面清理质量等方法实现。

(2) 缝焊。缝焊是将工件装配成搭接或对接接头，并置于两滚轮电极之间，滚轮加压工件并转动，连续或断续送电，形成一条连续焊缝的电阻焊方法。

缝焊时，相邻焊点之间部分重叠，密封性良好。但缝焊分流现象严重，焊接相同厚度的工件，其焊接电流为点焊的 1.5~2 倍。一般只适合于焊接 3mm 以下的薄板结构，如易拉罐、油箱、烟道焊接等。

(3) 对焊。对焊是对接电阻焊。按焊接过程不同分为电阻对焊和闪光对焊。

① 电阻对焊

工件装配成对接接头，使其端面紧密接触，通电后利用电阻热加热至塑性状态，然后断电并迅速施加顶锻力完成焊接的方法称为电阻对焊。

电阻对焊操作简单，接头比较光滑，但焊前对工件端面加工和清理有较高的要求，否则端面加热不均匀，容易产生氧化物夹杂，质量不易保证。因此，电阻对焊一般仅用于端面简单、直径小于 20mm 和强度要求不高的工件。

② 闪光对焊

工件装配成对接接头，接通电源，并使其端面逐渐移近达到局部接触，利用电阻热加热这些接触点（产生闪光），使端面金属熔化，直至端部在一定深度范围内达到预定温度时，断电并迅速施加顶锻力完成焊接的方法称为闪光对焊。

闪光对焊在焊接前对工件端面清理要求不严格，因为在焊接过程中，工件端面的氧化物及杂质一部分随闪光火花带出，一部分在加压时随液体金属挤出，使得接头中夹渣很少，质量较高。但金属损耗较多，工件需留出较大裕量，焊后要清理毛刺。可以焊接相同的金属材料，也可以焊接异种金属材料。广泛用于刀具、管子、自行车圈，钢轨等的焊接。