

现代学徒制企业自编教材

电气技术与运用

主编：刘 军



前 言

根据国家对职业学校的现代学徒制有关规定，职业学校理论和企业实践相结合的具体情况。结合学生在企业实习，期间为学生更好的掌握理论+实践+运用的专业技术知识。在师傅的指导下，“多动脑、勤动手”，把所学理论知识运用到实践中，使学生成为社会上有用人才。

因此，特别编写这套维修电工学习教材《电气技术与运用》，以帮助学生在企业学习。其内容实用，可操作性较强，浅而易懂。能帮助学生增加知识，并提高学生综合素质。

这套教材共分十一个章节，本书作为一本实用参考教材，它能给学生奠定良好的技术知识。

由于水平有限，教材中难免存在不足和失误，诚恳希望领导和广大师生给予批评指正，以便我及时改正。

编者

2019年3月

目录

第一章、 职业道德与岗位职责	4
第一节、电工作业，实习实训人员应具备的职业道德	4
第二节、电工作业的安全规程及制度	7
第二章 电能的传输及电路基础知识	9
第一节 电能的传输	9
第二节 电路基础知识	12
第三章、常用电工工具与仪表的使用	20
第四章、低压电器分类	33
第一节、基本主令电器	34
第二节、变压器原理及电动机原理	36
第五章、 低压配电导线的认识与选择	92
第一节、 导线类别：裸导线、绝缘导线	92
第二节、 绝缘导线	92
第三节、	93
第六章、 电气安全技术	95
第七章、华森糖厂发、配电室安全操作程序	98
第八章、电工实习实训测试	109
第九章、手持式电动工具	127
第十章、触电与急救	
1345	
第一节：触电的种类、方式与规律	1345
第二节 电流对人体的危害	1388
第三节、影响电流对人体作用的因素	13940
第四节、触电急救	1423

华森糖厂学生实习实训参考教材

为认真贯彻和适应校企合一的战略目标，进一步提升华森学校教职员工的职业道德水平及岗位敬业精神，将学生所学技术知识融合到生产实践中，以“师带徒、传帮带”的形式，用现场和岗位的安全规程，技术标准进行实习实训检验，以体现理论和实践相结合的最高目标打下的良好基础。在校企合一框架下的教职员工自身应具备高尚的职业道德精神和过硬的专业技术水平。只有达到这样的敬业精神，才会提升学生的专业技术知识和综合素质，才能培训出合格的职业技术人才，才能使学生进入社会后得到更好的发展。

为了学生能检验自己所学知识的安全应用，作为电气人员，特提出以下岗位电气专业技术、实习实训参考意见，以指导学生完成岗位实习实训工作任务。

第一章、职业道德与岗位职责

第一节 电工作业，实习实训人员应具备的职业道德

电工实习人员由于岗位的特殊性，理应在职业道德水准方面与师傅一样具备高标准要求。由于电工作业不仅对本人有较大风险，对他人及设备都有较大威胁，实习实训时不仅要保证自身的安全，还应有安全为大家的道德观念，应该意识到自己的安全责任比别人更重，要求也应该更严，始终要牢记一人把好关，大家都安全，这就是安全为公的道德观念。

1、应具备的岗位职责

(1) 岗位实习人员在老师及师傅的带领下必须严格要求自己，逐步熟悉本岗位全部设备系统的工作原理、运行方式等。

(2) 在工作中严格遵守安全操作的有关规定，做好安全生产的防范措施，严禁违章作业，发现违章作业及违章指挥应立即制止和拒绝执行，同时上报有关领导和部门。

(3) 实习实训人员应严格遵守劳动纪律，不迟到、不早退，提前进岗做好班前准备工作，实习实训中未经有关人员批准，不得擅自离开实训工作岗位。

(4) 实习实训人员在检修设备时不准带电作业，对危险性大、复杂系数较高的设备，实习实训人员不应独立工作，应在老师和师傅监督指导下进行。

(5) 实训人员在工作中不做与工作任务无关的事情，不准擅自乱动与自己工作无关的设备和其他设施。

(6) 在实习中应经常检查作业环境及各种电气设备、设施的安全状态，检查各种设备设施的技术状况是否符合安全要求，设备发生异常和缺陷时，应立即在师傅的指导下进行处理，不得让事态扩大。

(7) 定期参加班组岗位和有关部门组织的安全学习，参加安全教育活动，接受安全部门或管理人员的安全监督检查，同时应积极参与解决不安全隐患。提高自身主观能动性，实现更高的人生价值，为学校为企业为国家做出应有的贡献。

2、电工作业人员必须持证上岗

针对电工作业人员的特殊性，安全生产法律法规对电工作业人员的上岗条件有明确的规定，电工作业人员必须持证上岗。

取证基本条件：

- 1) 年龄满 18 周岁；
- 2) 无妨碍从事电工作业的病症和生理缺陷（应经医生鉴定）；
- 3) 初中以上文化程度；
- 4) 经培训考核合格均可取证；
- 5) 在发配电的工作必须取得初级以上电工等级资格证书和安全操作证，

3、电工岗位技术要求：

(1) 所有电工作业人员应具有以下技术要求：熟练掌握现场触电急救方法和保证安全的技术措施、组织措施；熟练正确使用常用电工仪器、仪表；掌握安全用具的检查内容并能正确使用；会正确选择和使用灭火器材。

(2) 低压运行维修作业人员应具备以下技术要求：熟练掌握异步电动机的控制接线（单方向运行、可逆行运行等）；熟练掌握异步电动机启动方法及接线（自耦减压启动、Y— ∇ 启动等）；能够安装使用漏电保护装置；熟练进行常用灯具的接线、安全和拆卸；能够正确选择导线截面、导线连接接线等。

(3) 高压运行维修作业人员应具备以下技术要求：熟练掌握变压器巡视检查内容和常见故障的分析方法；熟练掌握少油断路器的巡视检查项目并能处理一般故障；能够进行仪用互感器运行要求、巡视检查和维护作业；能正确进行户外变压器安装作业；

能安装、操作高压隔离开关和高压负荷开关，并能够进行巡视检查和一般故障处理；熟练掌握高压断路器的停、送电操作顺序；能分析与处理继电保护动作、继电器跳闸故障；能安全阀型避雷器并进行巡视检查；熟练掌握本岗位电力系统接线图。运行方式；能正确填写倒闸操作票；能熟练执行停、送电倒闸操作。

5、发配电系统安全规程及操作程序

- (1) 发配电室是公司供电系统的要害部位，未经允许或非工作人员不准入内。
- (2) 发配电室内严禁吸烟，禁带烟火火种及使用明火。
- (3) 保持发配电系统内外的清洁，加强对所属设备的巡回检查，发生故障时及时检修，不准带病运行。
- (4) 当发现故障时，应按有关技术规程进行检修，值班人员不能处理时，应及时报告车间有关人员处理。
- (5) 对裸露的带电设备，应设置屏障，保持安全距离，开悬挂标志牌、易燃、易爆物品，严禁放在靠近带电设备旁边。
- (6) 严禁未穿戴防护用品或湿手赤脚站在潮湿地方操作带电设备，无灭弧罩的刀开关严禁带负荷合闸或拉闸，电气设备上严禁堆放或挂物品。
- (7) 发配电的开关顺序是：合闸时先合上隔离开关后，再合上负荷开关，分闸时与之相反。
- (8) 不准随意开门窗以防雨水打入，如因室温超过规定时，可启动排风机调节，同时配备足够有效的灭火器材，并安排专职电工负责定期检查。
- (9) 发、配电房值班电工应遵守有关工作制度，严格按停送电操作规程进行操作；停电前认真填写工作票，线路停电后必须验电确认无电后加接地保护线，送电前切除接地保护线后方可通知送电。
- (10) 发、配电房值班电工应随时观察发、配电系统及各供电回路的载荷情况及设备温升情况，保证设备正常、严禁超负荷运行。
- (11) 经常对发、配电室进行巡回检查，发现问题及时处理和汇报。
- (12) 对发电机、变压器、高低压开关柜等重要设备，经常进行非接触性观察；发现异常或隐患应及时排除和汇报。
- (13) 发、配电室门窗应关闭良好以防闲人或小动物入内，设备带电时严禁移开遮拦或打开高压开关柜门进入柜内工作。
- (14) 发、配电室设备的倒闸操作由值班人员独立按步骤进行，非值班人员不得随意

拉合闸。

(15) 发、配电室内严禁堆放杂物、通道安全畅通，消防设施齐全；工作人员与带电设备必须保持足够的安全间距。

第二节 电工作业的安全规程及制度

一、停电作业的安全技术措施

停电作业是指在电气设备或线路不带电的情况下所进行的电气检修工作。

停电作业分为全停电和部分停电作业。前者系指室内高压设备全部停电（包括进户线），通至邻接高压室的门全部闭锁，以及室外高压设备全部停电（包括进户线）情况下的作业。后者系指高压设备部分停电，或室内全部停电，而通至邻接高压室的门并未全部闭锁情况下的作业。

无论全停电还是部分停电作业，为保证人身安全，都必须执行停电、验电、装设接地线、悬挂标志牌和装设遮栏等安全技术措施后，方可进行停电作业。

1、停电

- (1) 工作地点必须停电的设备或线路
- (2) 停电的安全要求
- (3) 对停电作业的电气设备或线路，必须把各方面的电源完全断开。
- (4) 断开电源不仅要拉开开关，而且还要拉开刀闸，使每个电源至检修设备或线路至少有一个明显的断开点。

严禁在只经开关断开电源的设备或线路上工作。

(5) 为了防止已断开的开关被误合闸，应取下开关控制回路的操作直流保险器或者关闭气、油阀门等。

(6) 对一经合闸就可能送电到停电设备或线路的刀闸的操作把手必须锁住。

(7) 停电时必须断开开关和刀闸的操作电源。

(8) 停电检修时，拉开开关不一定切断电源；为了彻底切断电源，停电时要同时切断相线和中性线。

(9) 将检修设备停电时，运行中星形接线的中性点必须停电。

2、验电

电气设备未经验电，一律视为有电，不准用手触及。

3、装设接地线

线路或设备停电检修时，临时接地应使用截面不小于 25mm² 的多股软铜线。

4、悬挂标示牌和装设遮栏

如果线路上有人工作，停电作业时应在线路开关和刀闸操作手柄上悬挂禁止合闸、线路上有人工作标牌。

5、线路作业时变电所的安全措施

二、 低压带电作业的安全技术

- 1、低压带电作业是指在不停电的低压设备或低压线路上的工作。
- 2、 设备或线路的对地电压 250 V 及以下者为低压。
- 3、一般情况下不允许带电作业，如需要须经领导批准，应由经验丰富的电工进行，设有专责监护人进行监护。

对于工作本身不需要停电和没有偶然触及带电部分危险的工作时，或作业者使用绝缘辅助安全用具直接接触带电体及在带电设备的外壳上的工作均可以进行带电作业。在低压设备上和线路上带电作业的安全要求如下：

1. 低压带电工作应设专人监护，即至少有二人作业，其中一人监护，一人操作。
2. 高低压同杆架设，在低压带电电路上工作时，应检查与高压线间的距离。
3. 在低压带电裸导线的线路上工作时，工作人员在没有采取绝缘措施的情况下，不得穿越其线路。
4. 上杆前应先分清哪相是低压火线，哪相是中性（零线），并用验电笔测试，判断后，再选好工作位置。在断开导线时，应先断开火线，后断开中性线；在搭接导线时，顺序相反。
5. 严禁在雷、雨、雪天以及有六级及以上大风时在户外带电作业。也不应在雷电时进行室内带电作业。

三. 工作票的种类及使用范围

第一种工作票的使用范围是：

- (1) 在高压设备上工作需要全部停电或部分停电者。
- (2) 在高压室内的二次线和照明等回路上的工作，需要将高压设备停电或做安全措施者。

第二种工作票的使用范围是：

- (1) 带电作业和在带电设备外壳上的工作。
- (2) 控制盘和低压盘、配电箱、电源干线上的工作。
- (3) 二次回路上的工作，无需将高压设备停电者。
- (4) 转动中的发电机、同期调相机的励磁回路或高压电动机转子电阻回路上的工作。
- (5) 非当值值班人员用绝缘棒和电压互感器定相或用钳形电流表测量高电压回路的电流。

四. 工作票的填写与签发

工作票要用钢笔或圆珠笔填写，一式二份，应正确清楚，不得任意涂改，个别错漏字需要修改时应字迹清楚。工作负责人可以填写工作票。

第二章 电能的传输及电路基础知识

实习实训时了解其原理、指导老师和师傅指导解释。

第一节 电能的传输

电能属于二次能源，电能具有传输方便、便于控制和分配等等优点，因此电能已成为生产和生活中的主要动力和能源。

一、电能的生产

电能是由发电厂生产出来的。发电厂按利用能源的不同，分为水力发电厂、火力发电厂、原子能发电厂、地热发电厂等。

1. 水力发电厂

也称为水电站，是利用水的势能来生产电能的。水库中水的流动冲转水轮机，将水的势能转化为机械能，水轮机又带动发电机旋转作切割磁力线运动，产生感应电动势，将机械能转化为电能。

水电虽然有建站周期较长、投资大等缺点，但具有生产过程简单、不消耗燃料、运行费用低、无污染等许多优点，可以集发电、防洪、航运、灌溉等为一体，实现水资

源的综合利用。

2. 火力发电厂和热电厂

火力发电厂也称为火电厂或火电站，是利用煤、油、天然气等燃料燃烧产生的高温将水变成蒸汽，蒸汽经过加压、加温处理后变成高温高压气体去冲击汽轮机，使汽轮机旋转，从而带动发电机旋转，作切割磁力线运动，产生感应电动势，将燃料的化学能变成电能。热电厂与火电厂不同之处在于热电厂还要为热能用户供热。

3. 原子能发电厂

又称为核电站。原子能发电厂与火力发电厂相类似，只是用原子能反应堆代替火电厂的锅炉部分，利用核裂变产生的能量将水变成蒸汽，蒸汽同样去冲击汽轮机带动发电机旋转产生感应电动势，将原子能变成电能。

二、电能的传输

电厂多建在能源基地，常常远离负荷中心，必须通过电网将电能传输给用户。因此，电能从生产到用户就形成了发电、输电、变电和用电的一个完整系统，称为电力系统，如图 1-1。



图 1-1 电力系统示意图

工厂或农村供电系统是指从电网接受电能的变压器起到用电设备入端止的整个电能输送系统，这种供电系统的电压等级一般为 10kv，如图 1-2。

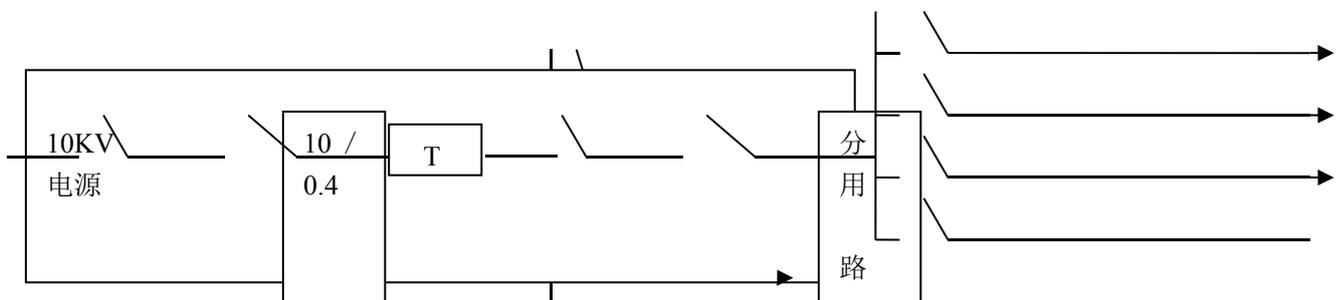


图 1-2 供电系统示意图

发电机输出的电压不可能太高，为了减小输送中电能的损失，必须升高电压；用户使用的电压也不能太高，也就要求将为输送升高的电压降低。因此从电厂到用户，必

须用电力变压器来升高电压或降低电压。从电厂的升压变压器到用户的降压变压器的整个环节称为电力网。

三、电压等级

电能作为电厂生产的一种特殊产品，主要用频率和电压来衡量其质量的好坏。频率我国采用的 50HZ，简称为“工频”，频率的调整主要依靠电厂。而用户要提高电能的质量，主要是进行电压的调整。

为了设备制造的标准化、系列化，国家标准规定了我国的电压等级，一般的用户所

类别	电网和用电设备 额定电压 (kv)	电力变压器额定电压 (KV)	
		一次侧	二次侧
低 压	0.38	0.38	0.40
	0.66	0.066	0.69
高 压	3	3, 3.15	3.15, 3.3
	6	6, 6.3	6.3, 6.6
	10	10, 10.5	10.5, 11

涉及的电压等级见下表。

四、电力用户的分类

在电力系统中，凡是消耗电能的用电设备都称为电能用户，也称为电力负荷。由于不同的电力设备对供电可靠性的要求不同，将电力用户分为了三类。

1.一级负荷

对这类负荷一旦停止供电，会造成人身伤亡或重大设备的损坏或造成重大的政治影响和经济损失。所以对一

级负荷必须采用双电源供电，以保证供电的可靠性。

2.二级负荷

中断供电将造成较大的政治影响和较大的经济损失，造成重要用户需要很长时间才能恢复生产。这类用户

采用双回路或独立回路供电。

3. 三级负荷

凡不属于一、二级负荷的都为三级负荷。这类用户对供电没有特殊要求，可以较

长时间停电，一般都采用单回路供电。

第二节 电路基础知识

1 电路，作为一名电工实习实训的人员，应掌握或了解电路中一些常用的名词和术语。掌握术语可提高自身的分析能力。

2 电流经过的路径就称为电路。由电源、负载和中间环节（开关、导线）等组成。电路有通路、短路、

短路三种状态。通路是指电路接通，负载中有电流流过；短路是指负载被导线短接，电源处于短接状态，这时电路中电流很大，可能烧坏电力设备；断路是指电路中某一处被断开，电路无电流流过，这种状态也称为空载。

3， 电流：电荷在电路中做定向移动就称为电流。在金属导线中，电荷在电场力的作用下，做定向移动就形成了电流。电流的单位为安（A）或千安（KA）。电流的大小用电流来测量。

3． 电流的热效应：当电流流过导体时，会引起导体发热，这种现象称为电流的热效应。

4． 电压：用来衡量电场力做功能力大小的物理量。常用电路中两点之间的电位差来表示这两点之间的电压大小。电压的单位为伏（V）或千伏（KV）。电压的大小用电压表来测量。

5． 电阻：电荷在导线中移动，会遇到阻碍，电阻就是反映导线对电荷的阻碍作用大小的物理量。单位为欧姆或千欧。

6． 电位：单位正电荷在电场中的某一点所具有的势能叫做电位。电位的大小与所选择的参考点有关。工程中，常选择大地作零电位点，即参考点。

7． 支路、回路和节点：支路是指电路中的每一条分支，是构成电路的基本单元。回路是指电路中的任一闭合路径。节点是指三个或三个以上的支路的汇集点。

8． 电功及电功率：用电设备将电能转化为其他形式的能，如电动机将电能转化为机械能，电灯泡电能转化为热能和光能，说明电流做了功；称单位时间内电流所做的功为电功率，单位为瓦（W）或千瓦（kW）。电功率用功率表计量。在实际使用中，电工常用1小时所消耗的电能来计量，即kW·h，以前称“度”，用电能表计量。

9. 用电设备的效率：用电设备都是将电能转化为其他形式的能，在转换中存在能量损失。输入的电功率与用电设备输出的其他形式的功率在数值上并不相等。用输出的功率与输入的功率之比，来表示用电设备的效率；效率越高，说明损失越小，反之，效率越低，损失就越高。因此在使用电能时，一定要提高用电设备的效率。

(一)、直流电路

电路

电路的定义：就是电流通过的途径 电路的组成：电路由电源、负载、导线、开关组成 内电路：负载、导线、开关

外电路：电源内部的一段电路 负载：所有电器 电源：能将其它形式的能量转换成电能的设备

(二)、基本物理量

电流

1. 电流的形成：导体中的自由电子在电场力的作用下作有规则的定向运动就形成电流。
2. 电流具备的条件：一是有电位差,二是电路一定要闭合。
3. 电流强度：电流的大小用电流强度来表示,基数值等于单位时间内通过导体截面的电荷量,计算公式为 $I = \frac{Q}{t}$ 其中 Q 为电荷量(库仑); t 为时间(秒/s); I 为电流强度
4. 电流强度的单位是“安”,用字母“A”表示.常用单位有：千安(KA)、安(A)、毫安(mA)、微安(uA) $1KA = 10^3A$ $1A = 10^3mA$ $1mA = 10^3uA$
5. 直流电流(恒定电流)的大小和方向不随时间的变化而变化,用大写字母“I”表示,简称直流电。

电压

1. 电压的形成：物体带电后具有一定的电位,在电路中任意两点之间的电位差,称为该两点的电压。
2. 电压的方向：一是高电位指向低电位;二是电位随参考点不同而改变。
3. 电压的单位是“伏特”,用字母“U”表示.常用单位有：千伏(KV)、伏(V)、毫伏(mV)、微伏(uV) $1KV = 10^3V$ $1V = 10^3 mV$ $1mV = 10^3 uV$

电动势

1. 电动势的定义：一个电源能够使电流持续不断沿电路流动,就是因为它能使电路两

端维持一定的电位差.这种电路两端产生和维持电位差的能力就叫电源电动势.

2.电动势的单位是“伏”,用字母“E”表示.计算公式为 $E = \frac{A}{Q}$ (该公式表明电源将其它

形式的能转化成电能的能力)其中 A 为外力所作的功,Q 为电荷量,E 为电动势.

3. 电源内电动势的方向: 由低电位移向高电位

电阻

1. 电阻的定义: 自由电子在物体中移动受到其它电子的阻碍,对于这种导电所表现的能力就叫电阻.

2.电阻的单位是“欧姆”,用字母“R”表示.

3.电阻的计算方式为: $R = \rho \frac{l}{s}$ 其中 l 为导体长度,s 为截面积, ρ 为材料电阻率铜 $\rho=0.017$

铝 $\rho=0.028$

20°C时常用材料的电阻率

材料	电阻率 ρ (欧·毫米 2 / 米)	材 料	电阻率 ρ (欧·毫米 2 / 米)
银	0.0165	锰 铜	0.42
铜	0.0175	康 铜	0.44
铝	0.0283	镍 烙 铁	1.0
铁	0.09~0.15	铝 烙 铁	1.2
钢	0.13~0.25	炭	10.0

欧
姆
定
律
1
·
欧

姆定律是表示电压、电流、电阻三者关系的基本定律.

2. 部分电路欧姆定律: 电路中通过电阻的电流,与电阻两端所加的电压成正比,与电阻成反比,称为部分欧姆定律.计算公式为 $I = \frac{U}{R}$ $R = \frac{U}{I}$ $U = IR$

3. 全电路欧姆定律: 在闭合电路中(包括电源),电路中的电流与电源的电动势成正比,

与电路中负载电阻及电源内阻之和成反比,称全电路欧姆定律。计算公式为 $I = \frac{E}{R + r_0}$

其中 R 为外电阻, r_0 为内电阻, E 为电动

电路的连接(串连、并连、混连)

串联电路

1.电阻串联将电阻首尾依次相连,但电流只有一条通路的连接方法。

2.电路串联的特点为电流与总电流相等,即 $I = I_1 = I_2 = I_3 \dots$ 总电压等于各电阻上电压之和,即 $U = U_1 + U_2 + U_3 \dots$ 总电阻等于负载电阻之和,即 $R = R_1 + R_2 + R_3 \dots$ 各电阻

上电压降之比等于其电阻比,即 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}, \frac{U_1}{U_3} = \frac{R_1}{R_3}, \dots$

3.电源串联: 将前一个电源的负极和后一个电源的正极依次连接起来. 特点: 可以获得较大的电压与电源。计算公式为 $E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$ $r_0 = r_{01} + r_{02} + r_{03} + \dots +$

$$r_{0n} I = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n}{r_{01} + r_{02} + r_{03} + \dots + r_{0n}}$$

并联电路

1.电阻的并联: 将电路中若干个电阻并列连接起来的接法,称为电阻并联。

2.并联电路的特点: 各电阻两端的电压均相等,即 $U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n$, 电路的总电流等于电路中各支路电流之总和,即 $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$, 电路总电阻 R 的倒

数等于各支路电阻倒数之和,即 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$. 并联负载愈多, 总电阻愈

小, 供应电流愈大, 负荷愈重。

3.通过各支路的电流与各自电阻成反比,即 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_1}{R_2}$ 。

4.电源的并联: 把所有电源的正极连接起来作为电源的正极, 把所有电源的负极连接起来作为电源的负极, 然后接到电路中, 称为电源并联。

5.并联电源的条件: 一是电源的电势相等; 二是每个电源的内电阻相同。

6.并联电源的特点: 能获得较大的电流, 即外电路的电流等于流过各电源的电流之和。

混联电路

1.定义: 电路中即有元件的串联又有元件的并联称为混联电路

2.混联电路的计算：先求出各元件串联和并联的电阻值,再计算电路的总电阻值；由电路总电阻值和电路的端电压,根据欧姆定律计算出电路的总电流，根据元件串联的分压关系和元件并联的分流关系，逐步推算出各部分的电流和电压。

电功和电功率

1.电功

电流所作的功叫做电功，用符号“A”表示.电功的大小与电路中的电流、电压及通电时间成正比，计算公式为 $A = U I T = I^2 R T$

电功及电能量的单位名称是焦耳，用符号“J”表示;也称千瓦/时，用符号“KWH”表示。1KWH=3.6MJ

2.电功率

电流在单位时间内所作的功叫电功率，用符号“P”表示。计算公式为

$P = \frac{A}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$ 电功率单位名称为“瓦”或“千瓦”，用符号“W”或“KW”表示；

也可称“马力. 1 马力=736W 1KW = 1.36 马力

电流的热效应、短路

电流的热效应

定义：电流通过导体时,由于自由电子的碰撞,电能不断的转变为热能.这种电流通过导体时会发生热的现象,称为电流的热效应.

电与热的转化关系其计算公式为 $Q = I^2 R T = W = \frac{U^2}{R} t$ 其中 Q 为导体产生的热量,W 为消耗的电能.

短路

定义：电源通向负载的两根导线,不经过负载而相互直接接通.该现象称之为短路.

短路分析：电阻(R) 变小,电流(I)加大,用公式表示为 $I = \frac{E}{R + r_0}$

短路的危害：温度升高,烧毁设备,发生火灾;产生很大的动力,烧毁电源,电网破裂.

保护措施：安装自动开关;安装熔断器.

(三) 、交流电路

单相交流电路

1. 定义：所谓交流电即指其电动势、电压及电流的大小和方向都随时间按一定规律作周期性的变化，又叫正弦交流电。

2.单相交流电的产生：线圈在磁场中运动旋转，旋转方向切割磁力线,产生感应电动势。

3.单相交流发电机： 只有一个线圈在磁场中运动旋转，电路里只能产生一个交变电动势，叫单相交流发电机。由单相交流发电机发出的电简称为单相交流电。

4.交流电与直流电的比较： 输送方便、使用安全，价格便宜。

交流电的基本物理量

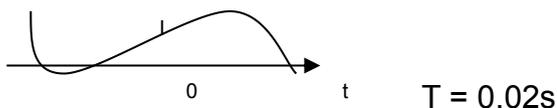
1.瞬时值与最大值

2.电动势、电流、电压每瞬时的值称为瞬时值.符号分别是：电动势 “E”,电压 “U”，电流 “I”。

3.瞬时值中最大值，叫做交流电动最大值。也叫振幅：符号分别是: E_m, I_m, U_m 。

4.周期、频率和角频率。

5.周期： 交流电每交变一次(或一周)所需时间。用符号 “T”表示；单位为 “秒”，用字母 “s”表示； $T = 0.02s$



6.频率： 交流电每秒交变的次数或周期叫做频率。用符号 “f”表示,单位是 Hz. 50Hz。

7.角频率： 单位时间内的变化角度，用 “rad/s”(每秒的角度)表示，单位为 “ ω ”。

相位、初相位、相位差

1.相位： 两个正弦电动势的最大值是不是在同一时间出现就叫相位,也可称相角。

2.初相位： 不同的相位对应不同的瞬时值，也叫初相角。

3.相位差： 在任一瞬时，两个同频率正弦交流电的相位之差叫相位差。

4.有效值： 正弦交流电的大小和方向随时在变。用与热效应相等的直流电流值来表示交流电流的大小。这个值就叫做交流电的有效值。

5.纯电阻电路： 负载的电路，其电感和电容略去不计称为纯电阻电路。

6.纯电感电路： 由电感组成的电路称为纯电感电路。

7.纯电容电路： 将电容器接在交流电源上组成的电路并略去电路中的一切电阻和电感。这种电路称为纯电容电路。

三相交流电路

三相交流电的定义：

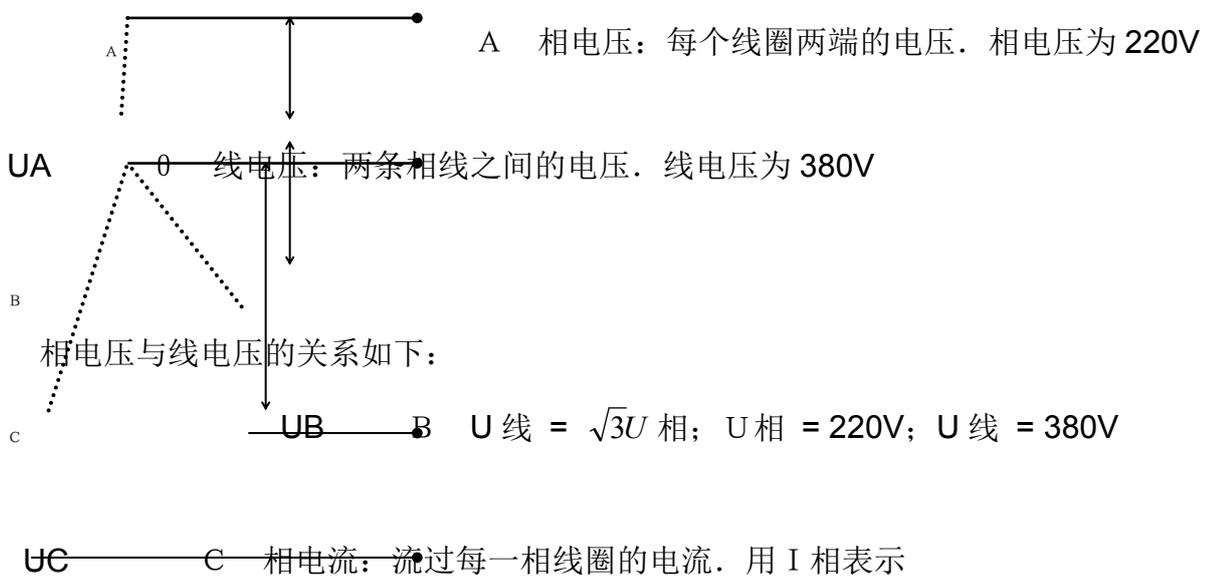
在磁场里有三个互成 120 度角度的线圈同时转动，电路里就产生三个交变电动势。这样的发电机叫三相交流发电机，发出的电叫三相交流电。每一单相称为一相。

三相交流电的特点

1. 转速相同，电动势相同；
2. 线圈形状、匝数均相同，电动势的最大值（有效值）相等；
3. 三个电动势之间互存相位差； e_A 、 e_B 、 e_C 为三相对称电动势。计算公式为： $e_A = E_m \sin \omega t$
 $e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$ $e_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ)$

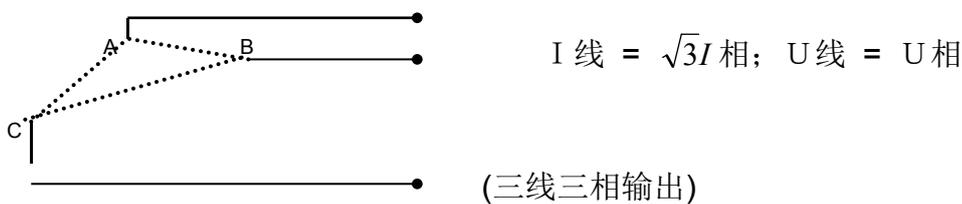
电源的连接(在实际连接中)

星形连接 " Y "



(三相四线输出) 线电流：流过端线的电流。用 $I_{\text{线}}$ 表示。相电流等于线电流。

三角形连接 " Δ "



示例：有一三相发电机，其每相电动势为 127V，分别求出三相绕组作星形连接和三角形连接时的线电压和相电压。

解：作星形连接时， $U_{\text{Y相}} = 127\text{V}$ ， $U_{\text{Y线}} = \sqrt{3} U_{\text{Y相}} = 127\text{V} \times \sqrt{3}$

作三角形连接时， $U = 127\text{V}$

三相电路的功率计算

单相有功功率： $P = IU$ (纯电阻电路)

功率因数：衡量电器设备效率高低的一个系数。用 $\text{Cos}\phi$ 表示。

对于纯电阻电路， $\text{Cos}\phi = 1$

对于非纯电阻电路， $\text{Cos}\phi < 1$

单相有功功率的计算公式为(将公式一般化) $P = IUCos\phi$

三相有功功率：不论“Y”或“ Δ ”接法,总的功率等于各相功率之和

三相总功率计算公式为 $P = I_A U_A \text{Cos}\phi + I_B U_B \text{Cos}\phi + I_C U_C \text{Cos}\phi = 3$

对于“Y”接法，因 $U_{\text{线}} = \sqrt{3}U_{\text{相}}$ $I_{\text{线}} = I_{\text{相}}$ ，则 $P = 3 \times I_{\text{相}} \times \frac{U_{\text{线}} \sqrt{3}}{\sqrt{3} \times \sqrt{3}} = \sqrt{3} I_{\text{线}} U_{\text{线}}$

$\text{Cos}\phi$

对于“ Δ ”接法，因 $I_{\text{线}} = \sqrt{3}I_{\text{相}}$ $U_{\text{线}} = U_{\text{相}}$ ，则 $P = 3 \times U_{\text{相}} \times \frac{I_{\text{线}} \sqrt{3}}{\sqrt{3} \times \sqrt{3}} = \sqrt{3} I_{\text{线}} U_{\text{线}}$

$\text{Cos}\phi$

示例一：某单相电焊机，用钳表测出电流为 7.5A，用万能表测出电压为 380V，设有功系数为 0.5,求有功功率。

解：根据公式 $P = IUCos\phi$ ，已知 $I = 7.5A$ ， $U = 380V$ ，

$\text{Cos}\phi = 0.5$

则 $P = IUCos\phi = 7.5 \times 380 \times 0.5 = 1425W$

示例二：某单相电焊机,额定耗电量为 2.5KW，额定电压为 380V， $\text{Cos}\phi$ 为 0.6，求额定电流。

解：根据公式 $P = IUCos\phi$ ，

则 $I = \frac{2500}{380 \times 0.6} \approx 11.0A$

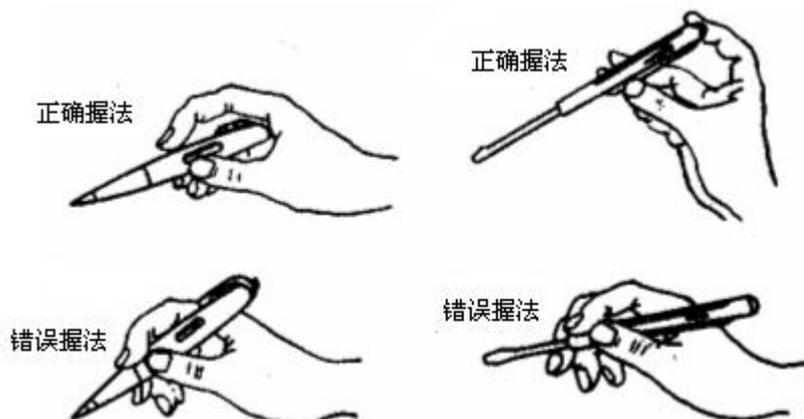
第三章 常用电工工具与仪表的使用

本章节全部内容学员都应足一了解和掌握、电工工具与仪表的操作，应熟悉掌握、各类仪表原理及构造，应逐步了解；

（一至七的实训时间为 2 课时）

一、试电笔

使用时，必须手指触及笔尾的金属部分，并使氖管小窗背光且朝自己，以便观测氖管的亮暗程度，防止因光线太强造成误判断，其使用方法见下图所示。



当用电笔测试带电体时，电流经带电体、电笔、人体及大地形成通电回路，只要带电体与大地之间的电位差超过 60v 时，电笔中的氖管就会发光。低压验电器检测的电压范围的 60~500V。

注意事项：

- 1、使用前，必须在有电源处对验电器进行测试，以证明该验电器确实良好，方可使用。
- 2、验电时，应使验电器逐渐靠近被测物体，直至氖管发亮，不可直接接触被测体。
- 3.验电时，手指必须触及笔尾的金属体，否则带电体也会误判为非带电体。
- 4.验电时，要防止手指触及笔尖的金属部分，以免造成触电事故。

二、电工刀

在使用电工刀时：

- 1、不得用于带电作业，以免触电。
- 2、应将刀口朝外剖削，并注意避免伤及手指。
- 3、剖削导线绝缘层时，应使刀面与导线成较小的锐角，以免割伤导线。
- 4、使用完毕，随即将刀身折进刀柄。



三、螺丝刀

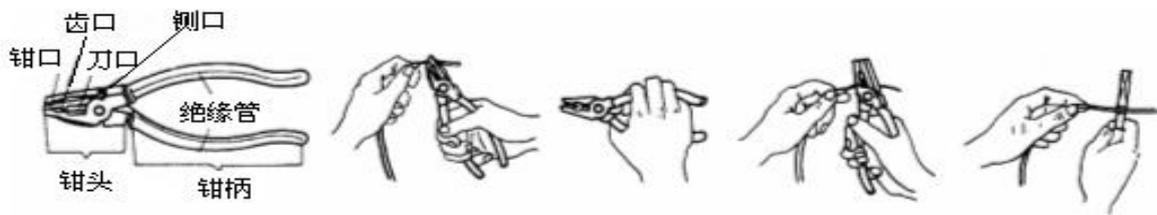
使用螺丝刀时，

- 1、螺丝刀较大时，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施转时滑脱。
- 2、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动。
- 3、螺丝刀较长时，用右手压紧手柄并转动，同时左手握住起子的中间部分（不可放在螺钉周围，以免将手划伤），以防止起子滑脱。

注意事项

- 4、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。
- 5、作为电工，不应使用金属杆直通握柄顶部的螺丝刀。
- 6、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。

四、钢丝钳



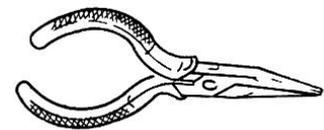
钢丝钳在电工作业时，用途广泛。钳口可用来弯绞或钳夹导线线头；齿口可用来紧固或起松螺母；刀口可用来剪切导线或钳削导线绝缘层；侧口可用来铡切导线线芯、钢丝等较硬线材。钢丝钳各用途的使用方法见上图所示。

注意事项

- 1、使用前，应检查钢丝钳绝缘是否良好，以免带电作业时造成触电事故。
- 2、在带电剪切导线时，不得用刀口同时剪切不同电位的两根线（如相线与零线、相线与相线等），以免发生短路事故。

五、尖嘴钳

尖嘴钳因其头部尖细（如图所示），适用于在狭小的工作空间操作。

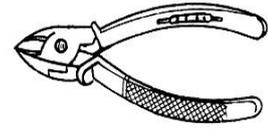


尖嘴钳可用来剪断较细小的导线；可用来夹持较小的螺钉、螺帽、垫圈、导线等；也可用来对单股导线整形（如平直、弯曲等）。若使用尖嘴钳带电作业，应检查其绝缘是否良好，并在作业时金属部分不要触及人体或邻近的带电体。

六、斜口钳

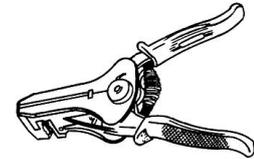
专用于剪断各种电线电缆，如图所示。

对粗细不同、硬度不同的材料，应选用大小合适的斜口钳。



七、剥线钳

剥线钳是专用于剥削较细小导线绝缘层的工具，其外形如图所示。



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刃口中（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。

八、电烙铁

焊接前，一般要把焊头的氧化层除去，并用焊剂进行上锡处理，使得焊头的前端经常保持一层薄锡，以防止氧化、减少能耗、导热良好。

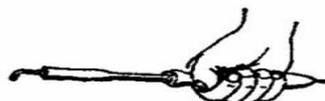
电烙铁的握法没有统一的要求，以不易疲劳、操作方便为原则，一般有笔握法和拳握法两种，如图所示。

用电烙铁焊接导线时，必须使用焊料和焊剂。焊料一般为丝状焊锡或纯锡，常见的剂有松香、焊膏等。

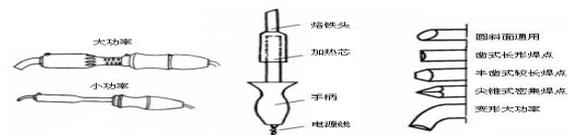
对焊接的基本要求是：焊点必须牢固，锡液必须充分渗透，焊点表面光滑有泽，应防止出现“虚焊”、“夹生焊”。产生“虚焊”的原因是因为焊件表面未清理干净或焊剂太少，使得焊锡不能充分流动，造成焊件表面挂锡太少，焊件之间未能充分固定；造成“夹生焊”的原因是因为烙铁温度低或焊接时烙铁停留时间太短，焊锡未能充分熔化。



(a) 笔握法



(b) 拳握法



电烙铁的握法

注意事项

- 1、使用前应检查电源线是否良好，有无被烫伤。
- 2、焊接电子类元件（特别是集成块）时，应采用防漏电等安全措施。
- 3、当焊头因氧化而不“吃锡”时，不可硬烧。
- 4、当焊头上锡较多不便焊接时，不可甩锡；不可敲击。
- 5、焊接较小元件时，时间不宜过长，以免因热损坏元件或绝缘。
- 6、焊接完毕，应拨去电源插头，将电烙铁置于金属支架上，防止烫伤或火灾的发生。

（八至十三课时为 4 课时）

九、万用表

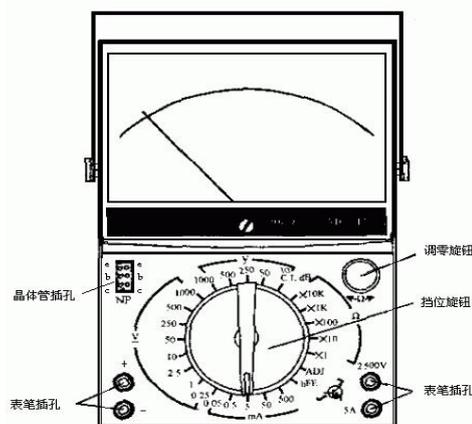
1.模拟式万用表

模拟式万用表的型号繁多，下图为常用的 MF-47 型万用表的外形。

（1）使用前的检查与调整

在使用万用表进行测量前，应进行下列检查、调整：

- 1) 外观应完好无被损，当轻轻摇晃时，指针应摆动自如。
- 2) 旋动转换开关，应切换灵活无卡阻，挡位应准确。
- 3) 水平放置万用表，转动表盘指针下面的机械调零螺丝，使指针对准标度尺左边的 0 位线。
- 4) 测量电阻前应进行电调零（每换挡一次，都应重新进行电调零）。即：将转换开关置于欧姆挡的适当位置，两支表笔短接，旋动欧姆调零旋钮，使指针对准欧姆标度尺右边的 0 位线。如指针始终不能指向 0 位线，则应更换电池。
- 5) 检查表笔插接是否正确。黑表笔应接“—”极或“*”插孔，红表笔应接“+”。
- 6) 检查测量机构是否有效，即应用欧姆挡，短时碰触两表笔，指针应偏转灵敏。



MF-47 型万用表面板图

(2) 直流电阻的测量

- 1) 首先应断开被测电路的电源及连接导线。若带电测量，将损坏仪表；若在路测量，将影响测量结果。
- 2) 合理选择量程挡位，以指针居中或偏右为最佳。测量半导体器件时，不应选用 $R \times 1$ 挡和 $R \times 10K$ 挡。
- 3) 测量时表笔与被测电路应接触良好；双手不得同时触至表笔的金属部分，以防将人体电阻并入被测电路造成误差。
- 4) 正确读数并计算出实测值。
- 5) 切不可用欧姆挡直接测量微安表头、检流计、电池内阻。

(3) 电压的测量

- 1) 测量电压时，表笔应与被测电路并联。
- 2) 测量直流电压时，应注意极性。若无法区分正、负极，则先将量程选在较高挡位，用表笔轻触电路，若指针反偏，则调换表笔。
- 3) 合理选择量程。若被测电压无法估计，先应选择最大量程，视指针偏摆情况再作调整。
- 4) 测量时应与带电体保持安全间距，手不得触至表笔的金属部分。测量高电压时（ $500 \sim 2500V$ ），应戴绝缘手套且站在绝缘垫上使用高压测试笔进行。

(4) 电流的测量

- 1) 测量电流时，应与被测电路串联，切不可并联！
- 2) 测量直流电流时，应注意极性。
- 3) 合理选择量程。
- 4) 测量较大电流时，应先断开电源然后再撤表笔。

(5) 注意事项

- 1) 测量过程中不得换挡。
- 2) 读数时，应三点成一线（眼睛、指针、指针在刻度中的影子）。
- 3) 根据被测对象，正确读取标度尺上的数据。
- 4) 测量完毕应将转换开关置空挡或 OFF 挡或电压最高挡。若长时间不用，应取出内部电池。

2、数字万用表

数字万用表具有测量精度高、显示直观、功能全、可靠性好、小巧轻便以及便于

操作等优点

(1) 面板结构与功能

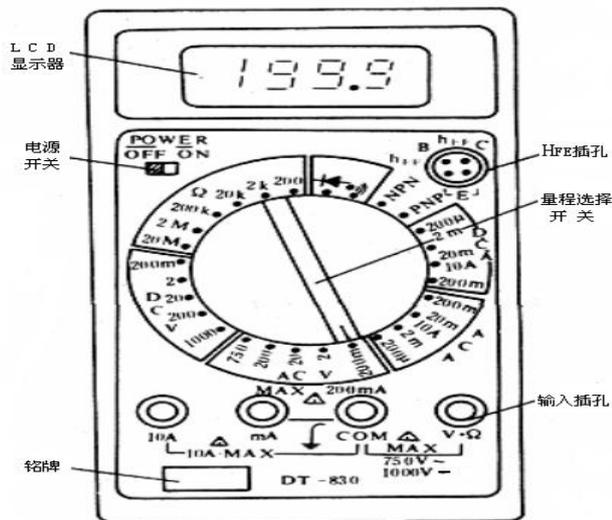
下图为 DT-830 型数字万用表的面板图，包括 LCD 液晶显示器、电源开关、量程选择开关、表笔插孔等。

液晶显示器最大显示值为 1999，且具有自动显示极性功能。若被测电压或电流的极性为负，则显示值前将带“-”号。若输入超量程时，显示屏左端出现“1”或“-1”的提示字样。

电源开关（POWER）可根据需要，分别置于“ON”（开）或“OFF”（关）状态。测量完毕，应将其置于“OFF”位置，以免空耗电池。数字万用表的电池盒位于后盖的下方，采用 9V 叠层电池。电池盒内还装有熔丝管，以起过载保护作用。旋转式量程开关位于面板中央，用以选择测试功能和量程。若用表内蜂鸣器作通断检查时，量程开关应停放在标有“•)))”符号的位置。

h_{FE} 插口用以测量三极管的 h_{FE} 值时，将其 B、C、E 极对应插入。

输入插口是万用表通过表笔与被测量连接的部位，设有“COM”、“V·Ω”、“mA”、“10A”四个插口。使用时，黑表笔应置于“COM”插孔，红表笔依被测种类和大小置于“V·Ω”、“mA”或“10A”插孔。在“COM”插孔与其它三个插孔之间分别标有最大（MAX）测量值，如 10A、200mA、交流 750V、直流 1000V。



DT-830 型数字万用表

(2) 使用方法

测量交、直流电压（ACV、DCV）时，红、黑表笔分别接“V·Ω”与“COM”插孔，旋动量程选择开关至合选位置（200mV、2V、20V、200V、700V 或 1000V），红、黑表笔

并接于被测电路（若是直流，注意红表笔接高电位端，否则显示屏左端将显示“—”）。此时显示屏显示出被测电压数值。若显示屏只显示最高位“1”，表示溢出，应将量程调高。

测量交、直流电流（ACA、DCA）时，红、黑表笔分别接“mA”（大于200mA时应接“10A”）与“COM”插孔，旋动量程选择开关至合适位置（2mA、20mA、200mA或10A），将两表笔串接于被测回路（直流时，注意极性），显示屏所显示的数值即为被测电流的大小。

测量电阻时，无须调零。将红、黑表笔分别插入“V·Ω”与“COM”插孔，旋动量程选择开关至合适位置（200、2K、200K、2M、20M），将两笔表跨接在被测电阻两端（不得带电测量！），显示屏所显示数值即为被测电阻的数值。当使用200MΩ量程进行测量时，先将两表笔短路，若该数不为零，仍属正常，此读数是一个固定的偏移值，实际数值应为显示数值减去该偏移值。

进行二极管和电路通断测试时，红、黑表笔分别插入“V·Ω”与“COM”插孔，旋动量程开关至二极管测试位置。正向情况下，显示屏即显示出二极管的正向导通电压，单位为mV（锗管应在200~300mV之间，硅管应在500~800mV之间）；反向情况下，显示屏应显示“1”，表明二极管不导通，否则，表明此二极管反向漏电流大。正向状态下，若显示“000”，则表明二极管短路，若显示“1”，则表明断路。在用来测量线路或器件的通断状态时，若检测的阻值小于30Ω，则表内发出蜂鸣声以表示线路或器件处于导通状态。

进行晶体管测量时，旋动量程选择开关至“ h_{FE} ”位置（或“NPN”或“PNP”），将被测三极管依NPN型或PNP型将B、C、E极插入相应的插孔中，显示屏所显示的数值即为被测三极管的“ h_{FE} ”参数。

进行电容测量时，将被测电容插入电容插座，旋动量程选择开关至“CAP”位置，显示屏所示数值即为被测电荷的电荷量。

（3）注意事项

- 1) 当显示屏出现“LOBAT”或“←”时，表明电池电压不足，应予更换。
- 2) 若测量电流时，没有读数，应检查熔丝是否熔断。
- 3) 测量完毕，应关上电源；若长期不用，应将电池取出。
- 4) 不宜在日光及高温、高湿环境下使用与存放（工作温度为0~40℃，湿度为80%）。使用时应轻拿轻放。

十、钳形表

使用方法

钳形表的最基本使用是测量交流电流，虽然准确度较低（通常为 2.5 级或 5 级），但因在测量时无须切断电路，因而使用仍很广泛。如需进行直流电流的测量，则应选用交直流两用钳形表。



使用钳形表测量前，应先估计被测电流的大小以合理选择量程。使用钳形表时，被测载流导线应放在钳口内的中心位置，以减小误差；钳口的结合面应保持接触良好，若有明显噪声或表针振动厉害，可将钳口重新开合几次或转动手柄；在测量较大电流后，为减小剩磁对测量结果的影响，应立即测量较小电流，并把钳口开合数次；测量较小电流时，为使该数较准确，在条件允许的情况下，可将被测导线多绕几圈后再放进钳口进行测量（此时的实际电流值应为仪表的读数除以导线的圈数）。

使用时，将量程开关转到合适位置，手持胶木手柄，用食指勾紧铁心开关，便于打开铁芯。将被测导线从铁芯缺口引入到铁芯中央，然后放松食指，铁芯即自动闭合。被测导线的电流在铁芯中产生交变磁通，表内感应出电流，即可直接读数。

在较小空间内（如配电箱等）测量时，要防止因钳口的张开而引起相间短路。

2. 注意事项

- (1) 使用前应检查外观是否良好，绝缘有无破损，手柄是否清洁、干燥。
- (2) 测量时应戴绝缘手套或干净的线手套，并注意保持安全间距。
- (3) 测量过程中不得切换挡位。
- (4) 钳形电流表只能用来测量低压系统的电流，被测线路的电压不能超过钳形表所规定的使用电压。
- (5) 每次测量只能钳入一根导线。

(6) 若不是特别必要，一般不测量裸导线的电流。

(7) 测量完毕应将量程开关置于最大挡位，以防下次使用时，因疏忽大意而造成仪表的意外损坏。

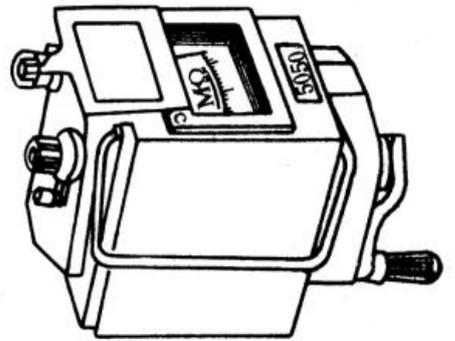
十一、兆欧表

1. 选用

兆欧表的选用主要考虑两个方面：一是电压等级，二是测量范围。

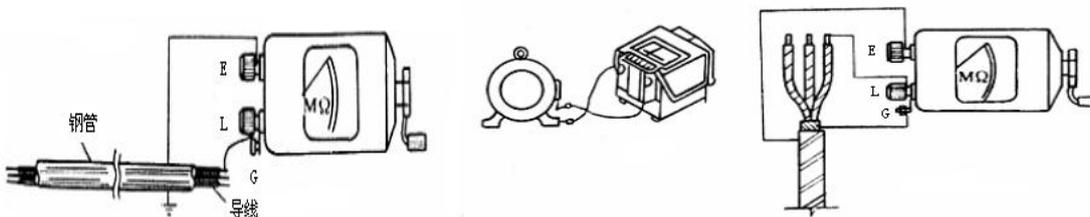
测量额定电压在 500 伏以下的设备或线路的绝缘电阻时，可选用 500 伏或 1000 伏的兆欧表；测量额定电压在 500 伏以上的设备或线路的绝缘电阻时，可选用 1000~2500 伏的兆欧表；测量瓷瓶时，应选用 2500~5000 伏的兆欧表。

兆欧表测量范围的选择主要考虑两点：一方面，测量低压电气设备的绝缘电阻时可选用 0~200M Ω 的兆欧表，测量高压电气设备或电缆时可选用 0~2000M Ω 兆欧表；另一方面，因为有些兆欧表的起始刻度不是零，而是 1M Ω 或 2M Ω ，这种仪表不宜用来测量处于潮湿环境中的低压电气设备的绝缘电阻，因其绝缘电阻可能小于 1M Ω ，造成仪表上无法读数或读数不准确。



2. 正确使用

兆欧表上有三个接线柱，两个较大的接线柱上分别标有 E（接地）、L（线路），另一个较小的接线柱上标有 G（屏蔽）。其中，L 接被测设备或线路的导体部分，E 接被测设备或线路的外壳或大地，G 接被测对象的屏蔽环（如电缆壳芯之间的绝缘层上）或不需测量的部分。兆欧表的常见接线方法如图所示。



(a)

(b) 图 1—21 兆欧表的接线方法

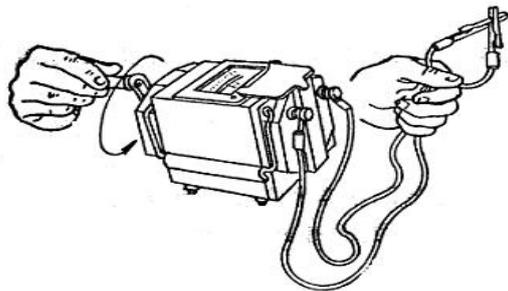
(1) 测量前，要先切断被测设备或线路的电源，并将其导电部分对地进行充分放电。

用兆欧表测量过的电气设备，也须进行接地放电，才可再次测量或使用。

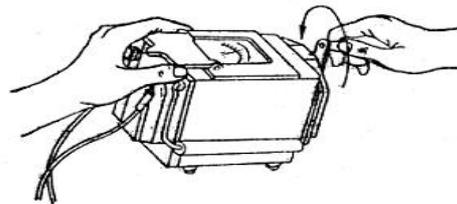
(2) 测量前，要先检查仪表是否完好：将接线柱 L、E 分开，由慢到快摇动手柄约 1 分钟，使兆欧表内发电机转速稳定（约 120 转/分），指针应指在“∞”处；再将 L、E 短接，缓慢摇动手柄，指针应指在“0”处。

(3) 测量时，兆欧表应水平放置平稳。测量过程中，不可用手去触及被测物的测量部分，以防触电。

兆欧表的操作方法见图所示。



(a) 校试摇表的操作方法



(b) 测量时摇表的操作方法

摇表的操作方法

3. 注意事项

(1) 仪表与被测物间的连接导线应采用绝缘良好的多股铜芯软线，而不能用双股绝缘线或绞线，且连接线间不得绞在一起，以免造成测量数据不准。

(2) 手摇发电机要保持匀速，不可忽快忽慢地使指针不停地摆动。

(3) 测量过程中，若发现指针为零，说明被测物的绝缘层可能击穿短路，此时应停止继续摇动手柄。

(4) 测量具有大电容的设备时，读数后不得立即停止摇动手柄，否则已充电的电容将对兆欧表放电，有可能烧坏仪表。

(5) 温度、湿度、被测物的有关状况等对绝缘电阻的影响较大，为便于分析比较，记录数据时应反映上述情况。

十二、扳手的使用

活络扳手又叫活扳手，是一种旋紧或拧松有角螺丝钉或螺母的工具。电工常用的有 200、250、300mm 三种，使用时应根据螺母的大小选配。

使用时，右手握手柄。手越靠后，扳动起来越省力。

扳动小螺母时，因需要不断地转动蜗轮，调节扳口的大小，所以手应握在靠近呆

扳唇，并用大拇指调制蜗轮，以适应螺母的大小。

活络扳手的扳口夹持螺母时，呆扳唇在上，活扳唇在下。活扳手切不可反过来使用。

在扳动生锈的螺母时，可在螺母上滴几滴煤油或机油，这样就好拧动了。

在拧不动时，切不可采用钢管套在活络扳手的手柄上来增加扭力，因为这样极易损伤活络扳唇。

不得把活络扳手当锤子用。

农村电工还经常用到开口扳手(亦叫呆扳手)。它有单头和双头两种，其开口是和螺钉头、螺母尺寸相适应的，并根据标准尺寸做成一套。

整体扳手有正方形、六角形、十二角形(俗称梅花扳手)。其中梅花扳手在农村电工中应用颇广，它只要转过 30° ，就可改变扳动方向，所以在狭窄的地方工作较为方便。

套筒扳手是由一套尺寸不等的梅花筒组成，使用时用弓形的手柄连续转动，工作效率较高。当螺钉或螺母的尺寸较大或扳手的工作位置很狭窄，就可用棘轮扳手。这种扳手摆动的角度很小，能拧紧和松开螺钉或螺母。拧紧时作顺时针转动手柄。方形的套筒上装有一只撑杆。当手柄向反方向扳回时，撑杆在棘轮齿的斜面中滑出，因而螺钉或螺母不会跟随反转。如果需要松开螺钉或螺母，只需翻转棘轮扳手朝逆时针方向转动即可。

内六角扳手用于装拆内六角螺钉。常用于某些机电产品的拆装。

测力扳手有一根长的弹性杆，其一端装着手柄，另一端装有方头或六角头，在方头或六角头套装一个可换的套筒用钢珠卡住。在顶端上还装有一个长指针。刻度板固定在柄座上，每格刻度值为 1 牛顿(或公斤/米)。当要求一定数值的旋紧力，或几个螺母(或螺钉)需要相同的旋紧力时，则用这种扳手。

六角扳手用于装拆大型六角螺钉或螺母，外线电工可用它装卸铁塔之类的钢架结构。

这是梅花扳手，俗称眼睛扳手，用于拆装六角螺母或螺栓。拆装位于稍凹处的六角螺母或螺栓特别方便。

十三、电工刀的使用

1. 电工刀是电工常用的一种切削工具。普通的电工刀由刀片、刀刃、刀把、刀挂等构成。不用时，把刀片收缩到刀把内。

2. 用电工刀剖削电线绝缘层时，可把刀略微翘起一些，用刀刃的圆角抵住线芯。

切忌把刀刃垂直对着导线切割绝缘层,因为这样容易割伤电线线芯。

3、导线接头之前应把导线上的绝缘剥除。用电工刀切剥时,刀口千万别伤着芯线。常用的剥削方法有级段剥落。

4、电工刀的刀刃部分要磨得锋利才好剥削电线。但不可太锋利,太锋利容易削伤线芯;磨得太钝,则无法剥削绝缘层。磨刀刃一般采用磨刀石或油磨石。磨好后再把底部磨点倒角,即刃口略微圆一些。

5、对双芯护套线的外层绝缘的剥削,可以用刀刃对准两芯线的中间部位,把导线一剖为二。

6、圆木与木槽板或塑料槽板的吻接凹槽,就可采用电工刀在施工现场切削。通常用左手托住圆木,右手持刀切削。

7、用电工刀可以削制木榫、竹榫。

8、多功能电工刀的锯片,可用来锯割木条、竹条,制作木榫、竹榫。

9、多功能电工刀除了刀片外,还有锯片、锥子、扩孔锥等。

10、在硬杂木上拧螺丝很费劲时,可先用多功能电工刀上的锥子锥个洞,这时拧螺丝便省力多了。

11、圆木上需要钻穿线孔,可先用锥子钻出小孔,然后用扩孔锥将小孔扩大,以利较粗的电线穿过。

12、这是又一种多功能电工刀。它除了刀片以外,还带有尺子、锯子、剪子和开啤酒瓶盖的开瓶扳手。

13、电线、电缆的接头处常使用塑料或橡皮带等作加强绝缘,此种带可用多功能电工刀的剪子剪断。

14、电工刀上的钢尺,可用来检测电器尺寸,不要搞错。

十三、钳子的使用

俯耳上来告诉你秘诀:莫把钳柄当钳头。切记,切记。

使用钳子是用右手操作。将钳口朝内侧,便于控制钳切部位,用小指伸在两钳柄中间来抵住钳柄,张开钳头,这样分开钳柄灵活。

电工常用的钢丝钳有 150、175、200 及 250mm 等多种规格。可根据内线或外线工种需要选购。钳子的齿口也可用来紧固或拧松螺母。

钳子的刀口可用来剖切软电线的橡皮或塑料绝缘层。

钳子的刀口也可用来切剪电线、铁丝。剪 8 号镀锌铁丝时,应用刀刃绕表面来回

割几下，然后只须轻轻一扳，铁丝即断。

铡口也可以用来切断电线、钢丝等较硬的金属线。

钳子的绝缘塑料管耐压 500V 以上，有了它可以带电剪切电线。使用中切忌乱扔，以免损坏绝缘塑料管。

切勿把钳子当锤子使。

不可用钳子剪切双股带电电线，会短路的。

用钳子缠绕抱箍固定拉线时，钳子齿口夹住铁丝，以顺时针方向缠绕。

修口钳，俗称尖嘴钳，也是电工(尤其是内线电工)常用的工具之一。主要用来剪切线径较细的单股与多股线以及给单股导线接头弯圈、剥塑料绝缘层等。

用尖嘴钳弯导线接头的操作方法是：先将线头向左折，然后紧靠螺杆依顺时针方向向右弯即成。

尖嘴钳稍加改制，可作剥线尖嘴钳。方法是：用电钻在尖嘴钳剪线用的刀刃前段钻 0.8、1.0mm 两个槽孔，再分别用 1.2、1.4mm 的钻头稍扩一下(注意：别扩穿了!)，使这两个槽孔有一个薄薄的刃口。这样，一个又能剪线又能剥线的尖嘴钳就改成了!

剥线钳为内线电工、电机修理、仪器仪表电工常用的工具之一。它适宜于塑料、橡胶绝缘电线、电缆芯线的剥皮。使用方法是：将待剥皮的线头置于钳头的刃口中，用手将两钳柄一捏，然后一松，绝缘皮便与芯线脱开。

第四章、低压电器分类

定义：交流 1200V 或直流 1500V 以下的电力线路中起控制调节及保护作用的电气元件称为低压电器。低压电器可分为低压配电电器和低压控制器两类：

低压配电电器：此类电器包括刀开关、转换开关、熔断器、自动开关和保护继电器，主要用于低压配电系统中，要求在系统发生故障的情况下动作准确、工作可靠、有足够的热稳定性和动稳定性。

低压控制电器包括控制继电器、接触器、起动器、控制器、调压器、主令电器、变阻器和电磁铁，主要用于电力传流中，要求寿命长、体积小、重量轻和工作可靠。

低压电器的正确选用：

安全原则：使用安全可靠是对任何开关电器的基本要求；保证电路和用电设备的可靠运行是使生产和生活得以正常运行的重要保障。

经济原则：经济性考虑可分开关电器本身的经济价值和使用开关电器产生的价值。前者要求选择的合理、适用；后者则考虑在运行中必须可靠，不因故障造成停产或损坏设备、危及人身安全等构成的经济损失。

低压电器通用种类的分类。

第一节 基本主令电器

一、刀开关

作用：用于设备配电中隔离电源，也可用于不频繁的接通与分断额定电流以下负载。

特性：不能切断故障电流，只能承受故障电流引起的电功力。

转换开关

作用：是供两种或两种以上电源或负载转换用的电器。

特性：可使控制回路或测量线路简化，并避免操作上的失误。

二、熔断器

定义及作用：借熔体在电流超出限定值而熔化，分断电路的一种用于过载或短路保护的电器。

特性：熔断器的熔断时间与熔断电流的大小有关，其规律是与电流平方成反比。

主令器

定义及作用：用于切换控电路，通过它来发出指令或信号以便控制电力拖动系统及其它控制对象的起动、运转、停止或状态的改变，它是一种专门发送动作命令的电器。

特性：主要用来控制电磁开关（继电器、接触器等）电磁线圈与电源的接通和分断。

种类：按其功能可分为控制按钮（按钮开关）、万能转换开关、行程开关、主令控制器、其它主令器（如脚踏开关、倒顺开关等）。

三、接触器

接触器的定义：是可以远距离频繁地自动控制电动机的起动、运转与停止的一种电器。

分类：接触器按其所控制的电流种类分交流接触器与直流接触器两种。

结构组成：触头系统、灭弧系统、磁系统、外壳、辅助触头（通常两对以上，常开和常闭）

工作原理：铁芯上的线圈通过电流产生磁势吸引活动的衔铁，通过杠杆使动触头与静角头接触以接通电路。

四、热继电器

作用：用以保护电动机的过载及对其它电气设备发热状态的控制。

分类：双金属片式和热敏电阻式

结构组成：双金属片、加热元件、导板、常开或常闭静触头、复位调节螺钉、调节旋钮、压簧、推杆等

工作原理：利用电流热效应，使触点动作。

五、自动开关（空气断路器）

作用：当电路发生过载、短路和欠压等不正常情况时，能自动分断电路的电器。

结构组成：感觉元件、传递元件、执行元件

工作原理：当电路发生短路、过载、欠压时，磁线圈在超出规定值范围后产生吸力使衔铁动作，使锁扣脱扣，从而分断主电路。

六、漏电保护器（电磁式漏电开关）

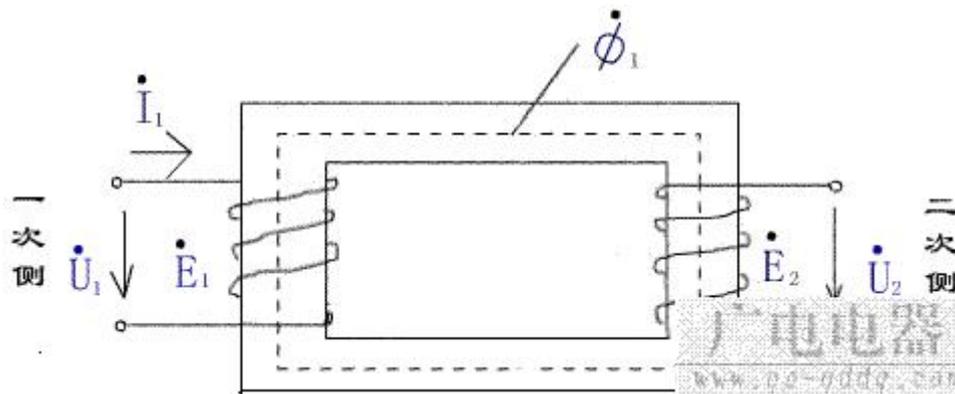
作用：用来保护人身电击伤亡及防止因电气设备或线路而引起的火灾事故。

结构组成：零序电流互感器、漏电脱扣器、主开关、绝缘外壳

工作原理：检测元件。将检测到的漏电或漏电电流转换成二次回路的电压或电流，使驱动脱扣器动作，发出触电或漏电信号，以致将电源切断。

七、变压器的工作原理

变压器是根据电磁感应原理工作的。图 3-3 是单相变压器的原理图。图中，在闭合的铁芯上，绕有两个互相绝缘的绕组，其中，接入电源的一侧叫一次侧绕组，输出电能的一侧叫二次侧绕组。当交流电源电压 U_1 加到一次侧绕组后，就有交流电流 I_1 通过该绕组，在铁芯中产生交变磁通 Φ 。这个交变磁通不仅穿过一次侧绕组，同时也穿过二次侧绕组，两个绕组中分别产生感应电势 E_1 和 E_2 。这时，如果二次侧绕组与外电路的负载接通，便有电流 I_2 流入负载，即二次侧绕组有电能输出。



根据电磁感应定律可以导出：

$$\begin{aligned} \text{一次侧绕组感应电动势值} \quad E_1 &= 4.44fN_1B_mS \times 10^{-4} \text{ (V)} & \text{二次侧绕组感应电动势值} \\ E_2 &= 4.44fN_2B_mS \times 10^{-4} \text{ (V)} \end{aligned}$$

式中 f —电源频率，Hz，工频为 50Hz；

N_1 —一次侧绕组匝数，匝；

N_2 —二次侧绕组匝数，匝；

B_m —铁芯中磁通密度的最大值，T；

S —铁芯截面积， cm^2 。

由上式得出：
$$E_1/E_2 = N_1/N_2$$

由此可见，变压器一、二次侧感应电动势之比等于一、二次侧绕组匝数之比。

由于变压器一、二次侧的漏电抗和电阻都比较小，可以忽略不计，因此可近似的

认为： $U_1=E_1$ ； $U_2=E_2$ 。于是： $U_1/U_2=E_1/E_2=N_1/N_2=K$

式中 K —变压器变压比。

变压器一、二次侧绕组因匝数不同将导致一、二次侧绕组的电压高低不等，匝数多的一边电压高，匝数少的一边电压低。这就是变压器能够改变电压的道理。

在一、二次绕组电流 I_1 、 I_2 的作用下，铁芯中总的磁势为： $I_1N_1+I_2N_2=I_0N_1$

式中， I_0 —变压器的空载励磁电流。

由于 I_0 比较小，在数值上可以忽略不计，因此上式可改写为： $I_1N_1+I_2N_2=I_0N_1=0$

则 $I_1N_1=-I_2N_2$

于是从数值上有如下关系： $I_1/I_2=N_2/N_1=1/K$

由此可见，变压器一、二次电流之比与一、二次绕组的匝数成反比。即变压器匝数多的一侧电流小，匝数少的一侧电流大，也就是电压高的一侧电流小，电压低的一侧电流大。

第二节 变压器原理及电动机原理

一、变压器的技术数据

变压器的各项技术数据反映了变压器的全部性能。它们是变压器生产、使用或订货时的主要依据。

变压器的技术数据一般都标在铭牌上。

按照国家标准，铭牌上除标出变压器名称、型号、产品代号、标准代号、制造厂名（包括国名）、出厂序号、制造年月等以外，还需标出变压器的技术数据。

1、相数和额定频率

变压器分单相和三相两种。一般均制成三相变压器以直接满足输配电的要求，小

型变压器有制成单相的，特大型变压器做成单相后组成三相变压器组，以满足运输的要求。

变压器额定频率是所设计的运行频率，我国为 50Hz。

2、额定电压、额定电压组合、额定电压比

(1) 额定电压

变压器的一个作用就是改变电压，因此额定电压是重要数据之一。变压器的额定电压应与所连接的输变电线路电压相符合，我国输变电线路电压等级（kV）为：

0.38、3、6、10、35、63、110、220、330、500

输变电线路电压等级就是线路终端的电压值，因此连接线路终端变压器一侧的额定电压与上列数值相同。线路终端（电源端）电源考虑了线路的压降将比等级电压为高。35kV 以下电压等级的始端电压比电压等级要高 5%，而 35kV 及以上的要高 10%，因此变压器的额定电压也相应提高。线路始端电压值（kV）为：

0.4、3.15、6.3、10.5、38.5、69、121、242、363、550

由此可知，高压额定电压等于线路始端电压的变压器为升压变压器，等于线路终端电压（电压等级）的变压器为降压变压器。

10kV 及以下系列、35kV 系列、63kV 系列、110kV 系列和 220kV 系列等。

额定电压是指线电压，切均以有效值表示。但是，组成三相组的单相变压器，如绕组为星形联结，则绕组的额定电压以线电压为分子， $\sqrt{3}$ 为分母表示，如 $380/\sqrt{3}V$ 。变压器应能在 105% 的额定电压下输出额定电流，应为 5% 过电压的较高空载损耗而引起的温升稍许增长可忽略不计。对于特殊的使用情况（如变压器的有功功率可以在任何反向流通），用户可在不超过 110% 的额定电压下运行。因此变压器铁芯的磁通密度选取值要偏低，以防止过励磁。当电流为额定电流的 k ($0 \leq k \leq 1$) 倍时，一般应按下式对电压加以限制： $U(\%) = 110 - 5k^2$

(2) 额定电压组合

变压器的额定电压就是各绕组的额定电压，是指额定施加的或空载时产生的电压。空载时，某一绕组施加额定电压，则变压器其他绕组都同时产生额定电压。绕组之间额定电压组合是有规定的。

(3) 额定电压比

额定电压比是指高压绕组与低压或中压绕组的额定电压之比，所以额定电压比 $K \geq 1$ 。

3、额定容量

变压器的主要作用是传输电能，因此额定容量是它的主要数据。它是表现容量的惯用值，表征传输电能的大小。

变压器额定容量与绕组额定容量有所区别：双绕组变压器的额定容量即为绕组的额定容量；多绕组变压器应对每个绕组的额定容量加以规定，其额定容量为最大的绕组额定容量；当变压器容量由冷却方式而变更时，则额定容量是指最大的容量。

按国内传统习惯变压器也可按其额定容量大致分为：

小型变压器（ $\leq 1600\text{kVA}$ ）、中型变压器（ $1600\text{--}6300\text{kVA}$ ）、大型变压器（ $8000\text{--}63000\text{kVA}$ ）和特型变压器（ $> 63000\text{kVA}$ ）。

按国家标准，三相或三相组变压器的额定容量分为三个标准类别：

第1类：小于 3150kVA ；

第2类： $3150\text{--}4000\text{kVA}$ ；

第3类： 4000kVA 以上。

4、额定电流

变压器的额定电流是由绕组的额定容量除以该绕组的额定电压及相应的相系数（单相为1，三相为 $\sqrt{3}$ ），而算得的流经绕组线端的电流。

因此，变压器的额定电流就是各绕组的额定电流，是指线电流，也以有效值表示。但是，组成三相组的单相变压器，如绕组为三角形联结，绕组的额定电流以线电流为分子， $\sqrt{3}$ 为分母表示，例如 $500/\sqrt{3}\text{A}$ 。

变压器在额定容量运行时，绕组的电流为额定电流，参照国际电工委员会 IEC 标准《油浸变压器负载导则》，变压器可以过载运行。三相的额定容量不超过 100MVA （单相为 33.3MVA ）时，可有负载率不大于 1.5（负载电流/额定电流）的偶发性过载，容量更大时可有负载率不超过 1.3 的偶发性过载。

二、电力变压器的检查维护及故障处理

（一）电力变压器的检查维护项目

- 1、检查电力变压器的高、低套管是否清洁，有无裂纹及放电痕迹及其他异常现象。
- 2、油箱各部有否渗油、漏油现象。
- 3、检查油位。油位不应低于油面线，油色正常，检查油位计是否失灵、指示是否真实。
- 4、检查油温是否正常。上层油温一般不应超过 85°C ，温度计的指示值应正确可靠。
- 5、变压器是否有不正常的机械振动、异常的响声或放电声。
- 6、检查防爆的玻璃是否完好，有无渗油、冒油等现象。

7、检查呼吸器（吸湿器）内的干燥剂（硅胶）是否吸潮变色（干燥的硅胶呈蓝色、吸潮后的硅胶呈淡粉红色）。

8、检查气体继电器（瓦斯继电器）的油位高度是否符合规定。

9、检查接地线是否良好，接地线有无断股和接触不良现象。

（二）电力变压器故障分析及处理

1、电力变压器检查分析故障之前应了解的情况

（1）变压器运行情况，如负载性质及过负载状况。

（2）发生故障前与故障时的气候与环境情况，如有无雷、电与雨、雪等。（3）继电保护动作的性质，在哪一项动作。

（4）查阅变压器运行记录及档案资料，了解上一次的检修质量评价。

（5）其他外界因素。

2、电力变压器故障检查及分析方法

（1）分析继电器保护动作情况。如瓦斯继电器、差动继电器、过电流继电器的动作原因。

（2）变压器解体检查。解体检查是判断故障性质与变压器发生故障的原因是多方面的，只靠外观检查有些故障原因是无法发现的，如线圈匝间短路、线圈放电、主副绕组之间绝缘被击穿等，必须进行试验才能迅速而准确地判断故障的性质和部位。

3、试验项目和方法见表 3-2。

4、电力变压器发生故障通过表 3-3 的测试进行故障分析。并按表 3-3 电力变压器的一般故障进行分析处理方法排除故障。

表 3-2 电力变压器故障的检查测试项目及方法

故障分析	测试项目及方法	测试结果	产生故障的可能原因
一、二次线圈间或线圈对地绝缘电阻下降	用摇表测试线圈对线圈、线圈对地的绝缘电阻值	绝缘电阻为零	线圈之间或线圈对地绝缘穿
		线圈间及相间的绝缘电阻相差很大	绝缘瓷套管有裂纹、油垢等
线圈匝间、层间	空载试验	空载损耗和空载电流都很大	1.绝缘老化 2. 大气过电压或操作过电压产生电压击穿 3.涌流现象

或段间短路			而导致机械力损伤绝缘
运行中有异常响声	外观检查		1. 外加电压过高 2、内部有击穿现象 3.硅钢片间绝缘严重损坏 4.绕组局部绝缘损坏造成短路
油面不正常	观察	油面上升	变压器内部温度过高
		油面下降	油箱渗油或气温降低
油温过高	用温度计测量观察	超过允许温升值	1.负载过大 2.三相负载严重不平衡 3.冷却系统有故障 4.变压器室通风不良 5.变压器有匝间短路
线圈的直流电阻异常	用万用电桥测试线圈直流电阻值	分接开关在不同的分接位置时直流电阻相差很大	1、分接开关接触不良 2、分接开关接触有灼伤、污垢等
		相电阻之差与三相电阻平均值之比超过 4%	1、线圈出头与引线的焊接不良 2、匝间短路 3、引线与套管的导电杆连接不良
防爆膜破裂	观察	薄膜破裂	变压器内部发生故障引起油及绝缘分解而产生大量气体
气体继电器动作	观察	瓦斯信号异常	变压器内部发生故障

三、电力变压器的修理

(一) 变压器修理的一般规定

1、 变压器停止运行的检修

运行中的变压器发生下列故障之一时，必须立即停止运行。

- (1) 防爆管薄膜破裂或储油器漏油；
- (2) 变压器箱体严重漏油且油面低于油面线；

表 3-3 电力变压器一般故障分析及处理

故障	故障产生的原因	处理方法
变压器油温升高	1. 过负载 2. 线圈短路 3. 缺油或油质低劣	1. 减轻负载 2. 检查修理短路的线圈 3. 补油或净化处理绝缘油
变压器有不正常的响声或杂音	1、铁心的夹紧件松动 2、内部有闪路、击穿等 3、硅钢片片间绝缘严重脱落	1、拧紧松动的经固件 2、修复闪洛和击穿的部位 3、修补硅钢片间的绝缘
线圈匝间短路	自然损坏、过负载、散热不良等	修复短路的绕组成全部重绕
变压器渗油、漏油	1、焊接有裂纹 2、密封垫老化	1、吊心将油放净补焊 2、更换新的密封垫
瓦斯继电器动作，只有指示信号	变压器内进入空气，造成误动作或油面产生振荡	分析气体查出原因，加以排除
瓦斯继电器动作，有信号指示，开关挑闸	变压器内部有严重故障，油温剧烈上升，分解出大量气体，使油快速向油枕，使瓦斯继电器动作	按照表 3-1 检查测试项目进行分析故障所在，采取措施进行修理

- (3) 高、低压瓷套管有严重的放电声或裂纹；
- (4) 变压器严重振动，响声不均匀的增高或伴随放电声；
- (5) 油温在正常冷却条件下而超过规定值，且不断升高；
- (6) 绝缘油混浊，经取油样化验不合格者。

2、 电力变压器修理的一般要求

- (1) 电力变压器吊心检查时，器身在相对温度为 75%以下的空气中停留的时间不超过 24 小时则可以不进行干燥，超过 24 小时时情况需进行干燥。并测定绝缘电阻。
- (2) 变压器吊心检查最好在室内进行，室温应在 10℃ 以上。如寒冷季节，室温应比室外气温高出 10℃ 以上。
- (3) 器身吊出油面时，上层油温应高于或接近室温，否则应停止一段时间使器身温度

达到室温时再吊出油面。

(4) 变压器重新缠绕线圈时，应按下列程序记录并绘制草图：

(a) 器身分解前，记录并绘制原样草图。应包括：线圈几何尺寸；出线头的位置；线圈间的连接；各分接线抽头位置与编号；绝缘的距离；引线的连接和长度。

(b) 器身分解前，记录和绘制草图的内容包括：线圈绕向；一、二线圈匝数；铁心各级片数；导线截面积，线圈层间绝缘；一、二次线圈之间的绝缘；线圈两端加厚绝缘种类。

(c) 分解的紧固件及其他零件应分别作好标记并注明装置位置，避免混乱或装错位置。修理电力变压器记录和绘制草图是重绕线圈的重要环节，力求记录详细和正确

(二) 电力变压器的一般修理

1、变压器漏油的修理

电力变压器漏油和渗油大致有焊接和密封渗油、漏油等。

焊缝的渗、漏油的修理方法是吊出器身将油放出进行补焊。

密封漏、渗油要查明原因，根据具体情况修理，必要时更换密封垫，密封垫的材料一般为耐油橡胶和软木垫。用于螺纹密封的材料多为石棉绳。

2、绝缘套管的修理

(1) 夹装式套管的修理，除套管本身缺陷外，多产生在密封处。修理方法是拧紧螺母，更换密封垫。

(2) 浇灌式套管的修理：这种套管的渗油、漏油多产生在套管胶合处的密封垫，修理时，将原胶合剂清理出擦干净，重新浇灌胶合剂可以解决漏油。否则更换密封垫圈再浇灌胶合剂。

3、分接头开关的修理，将触头表面灼迹及疤痕用细纱纸打磨，若触头严重损坏拆下更换新触头。触头接触部分覆盖有氧化膜和污垢后，用汽油或丙酮清洗。最后检查分接头开关的指示位置及触点接触是否一致，否则应调整。

(三) 电力变压器器身解体修理

1、拆除铁心和绕组

变压器器身主要由铁心柱、铁轭、夹铁、绕组四部分组成。拆卸程序如下：

(1) 松开夹紧铁芯螺母，取下夹铁。

(2) 将铁轭硅钢片一片一片抽出来。

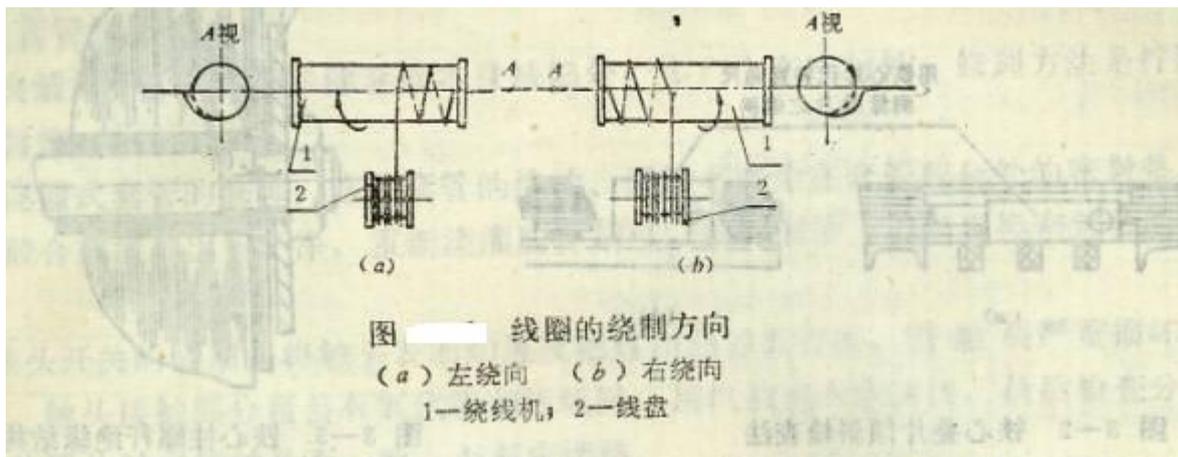
(3) 把铁芯柱连同绕组夹在绕线支架上，退转把线圈拆下来。

2、线圈的缠绕方法

(1) 线圈的绕向

变压器由于长期运行绝缘老化或发生故障烧毁线圈，需进行重绕线圈或部分补绕线圈。应注意线圈的绕向。

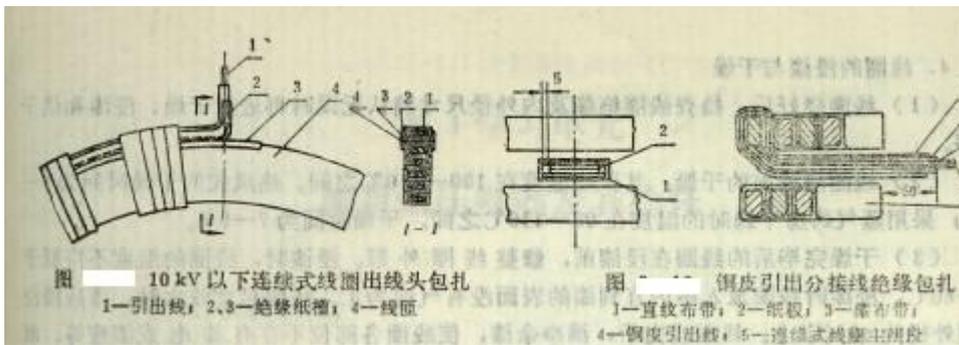
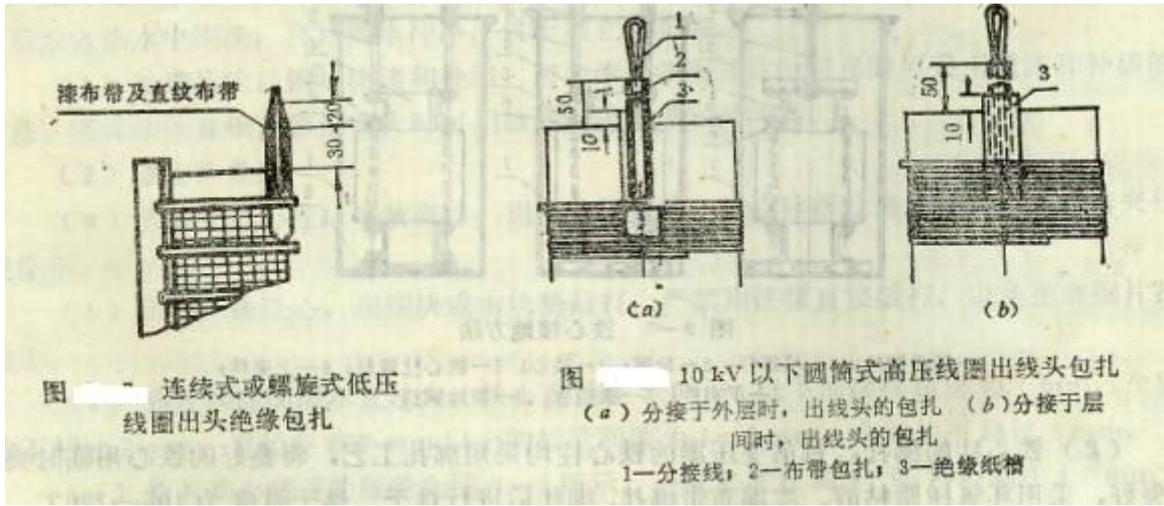
线圈分左绕与右绕制方向。从线圈的起端俯视，导线是沿逆时针方向缠绕为左绕方向；反之，是顺时针方向为右绕方向。



(2) 绝缘的衬垫和出线头的包扎

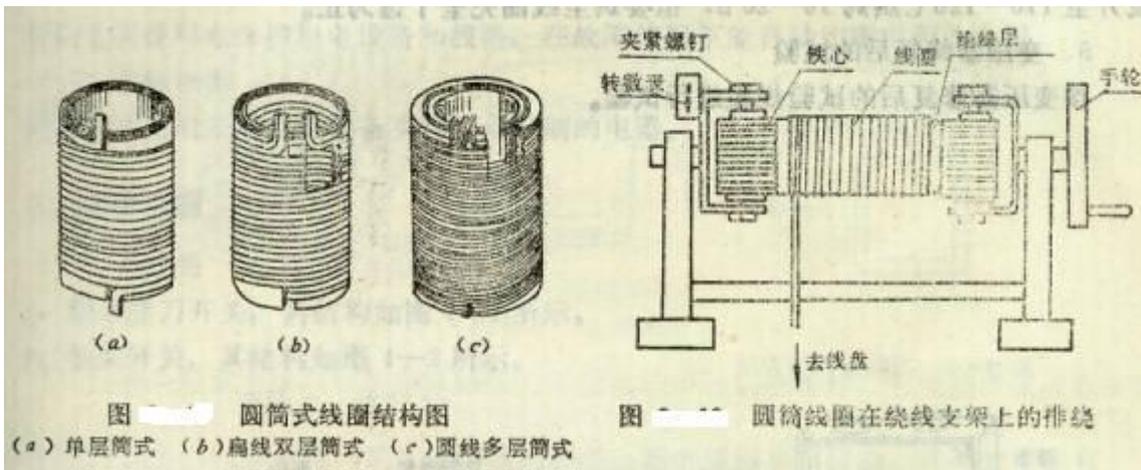
线圈及其出线头绝缘衬垫与包扎、根据绕组具体情况确定。

- a) 绝缘筒的放置：绝缘筒是放置线圈与线圈，线圈与铁心柱间的绝缘，线圈可直接绕在上面。
- b) 绝缘垫块：绝缘垫块是用电工纸板或夹玻璃布树脂板制成。
- c) 撑条用作连接垫块，构成绝缘筒和绕组、绕组与绕组间的轴向风道。
- d) 绕组端部绝缘，亦称绝缘端圈、领圈或镶头。放置在线圈两端，以垫平线圈两端，其厚度略小于绕组径向厚度。
- i) 层间绝缘：圆筒式线圈的层间绝缘按绝缘等级规定选用。螺旋式线圈一般不需要垫层间绝缘。
- f) 连续式、螺旋式线圈出线头绝缘的包扎。
- g) 10kv 以下圆筒式高压线圈出线头绝缘的包扎。
- h) 10kv 以下连续高压线圈出线头包扎。
- L) 用铜皮引出分接线的绝缘包扎。



(1) 线圈的绕制

a) 双层圆筒的绕制：圆筒式绕组的结构，它是直接绕在线模上，绕第一匝线圈要留出一定长度的导线作端接线。端接线弯成 90 度，沿绕线模的圆周均匀放置 5-6 处拉紧布带，布带的长度要大于线圈轴向尺寸。绕制线圈时，导线要排列平整，用木锤或橡胶锤将导线靠紧。

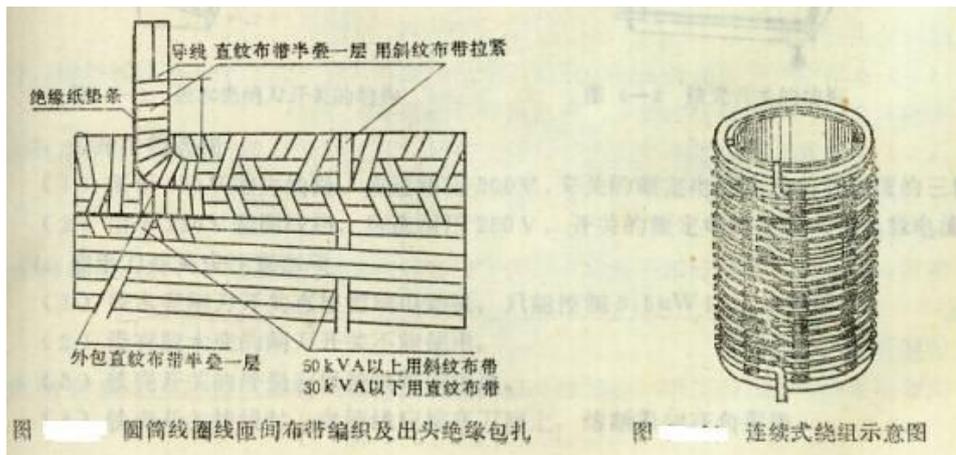


排绕的同时把拉紧布带编织在线匝间。

b) 多层圆筒式线圈的绕制：它的绕制方法基本上与双层圆筒线圈相同。由于它的层间电压较高，在绕制时要衬垫层间绝缘。

c) 连续式线圈的绕制：所谓连续式是用扁导线连续绕成很多的线段，每一线段有几匝到几十匝，线段之间用垫块隔开，它可直接绕在线模上。

3、线圈的浸漆与干燥



(1) 线圈绕好后，检查线圈绝缘及内外径尺寸确认无误时再进行干燥、浸漆和烘干工序。

(2) 线圈浸漆前的干燥：其干燥温度在 100-110℃ 之间。热风式的干燥时间为 8-9h，采用蒸汽烤房干燥时的温度在 95-110℃ 之间。干燥时间为 7-9h。

(3) 干燥完毕后的线圈浸漆前，修整线圈外形。浸漆时，线圈的温度不应低于 70-80℃，浸漆时线圈放入漆内直到漆的表面没有气泡为止。线圈尺寸较大时，漆应浸线圈外径的 40% 以上。线圈浸完后，滴净余漆，使线圈各部位不存有漆泡或漆瘤等。滴漆时间 8h 左右。

(4) 浸漆后的干燥：将滴好漆的线圈进行烘干，温度在 70-80℃ 烘干 3h，再将温度升至 110-120℃ 烘烤 16-20h，但要烘至线圈完全干透为止。

四、变压器运行中的检查和维护

(一) 变压器的巡视检查

变压器在运行中，值班人员应定期进行检查，以便了解和掌握变压器的运行情况，如发现问题应及时解决，力争把故障消除在萌芽状态。在巡视检查过程中，一般可有通过仪表、保护装置及各种指示信号等设备了解变压器的运行情况。同时还要依靠运行值班人员的各种感官去观察、监听，及时发现仪表所不能反映的问题，如运行环境

的变化、变压器声响的异常等等。即使是仪表装置反映的情况也需要通过检查、分析才能作出结论。因此运行值班人员对变压器的巡视检查是十分必要的。

根据运行规程规定，对变压器巡视检查和维护的项目如下：

(1) 变压器的外部检查

① 检查油枕内和充油套管内油面的高度，封闭处有无渗漏油现象。如油面过高，一般是由于冷却装置运行不正常或变压器内部故障等所造成的油温过高引起的。如油面过低，应检查变压器各密封处是否有严重漏油现象，油截门是否关紧。油标管内的油色应是透明微带黄色，如呈红棕色，可能是油位计脏污所造成，也可能是变压器油运行时间过长，油温高使油质变坏引起。

② 检查变压器上层油温。变压器上层油温一般应在 85℃ 以下，对强迫油循环水冷却的变压器应为 75℃。如油温突然升高，则可能是冷却装置有故障，也可能是变压器内部故障，对油浸自冷变压器，如散热装置各部分温度有明显不同，则可能是管路有堵塞现象。

③ 检查变压器的响声是否正常。变压器正常运行时，一般有均匀的嗡嗡声，这是由于交变磁通引起铁芯振动而发出的声音。如果运行中有其它声音，则属于声音异常。

④ 检查绝缘套管是否清洁，有无破损裂纹及放电烧伤痕迹。

⑤ 检查冷却装置运行情况是否正常。对于强迫油循环水冷或风冷的变压器，应检查油、水、温度、压力等是否符合规定。冷却器中，油压应比水压高 1-1.5 大气压。冷却器出水中不应有油，水冷却器部分应无漏水。

⑥ 检查一、二次母线不应过松过紧，接头接触良好，不过热。

⑦ 呼吸器应顺畅，硅胶吸潮不应达到饱和（通过观察硅胶是否变色来鉴别）。

⑧ 防爆管上的防爆膜应完整无裂纹、无存油。

⑨ 瓦斯继电器无动作。

⑩ 外壳接地应良好。

(2) 变压器符合检查测量

① 室外安装的变压器，如没有固定安装的电流表时，应测量最大负荷及代表性负荷。

② 室内安装的变压器装有电流表、电压表的，应记录小时负荷，并应画出日负荷曲线。

③ 测量三相电流的平衡情况，对 Y, yno 连接的变压器，其中性线上的电流不应超过低压绕组额定电流的 25%。

④ 变压器的运行电压不应超过额定电压的 ±5%。如果电源电压长期过高或过低，应

调整变压器的分接头使电压趋于正常。

(3) 运行环境检查

变压器室通风是否良好，门窗是否完整。

(4) 停电清扫检查

变压器除巡视检查外，应有计划的进行停电清扫，一般清扫内容如下：

- ① 清扫瓷套管及有关附属设备；
- ② 检查母线及接线端子等联接点接触情况；
- ③ 遥测绕组的绝缘电阻以及接地电阻。

变压器的巡视检查周期要求如下：

- ① 变压器容量在 630kVA 及以上而且无人值班的，应每周巡视检查一次；变压器容量在 630kVA 以下的可适当延长巡视检查周期，但变压器在每次合闸前及拉闸后应检查一次；
- ② 有人值班的，每班应检查变压器的运行情况；
- ③ 强迫油循环水冷或风冷的变压器，不论有无值班人员，均应每小时巡视一次；
- ④ 负荷急剧变化或变压器受到短路故障后，应增加特殊巡视。

(二) 变压器异常运行和常见故障分析

(1) 变压器声音异常

- ① 当有大容量的动力设备起动时，负荷变化较大，使变压器声音增大。如变压器带有电弧炉、可控硅整流器等负荷时，由于有谐波分量，所以变压器声音也会变大；
- ② 过负荷：使变压器发出很高而且沉重的“嗡嗡”声；
- ③ 个别零件松动：如铁芯的穿芯螺丝夹得不紧，是铁芯松动，变压器发出强烈而不均匀的“噪音”；
- ④ 内部接触不良，或绝缘有击穿，变压器发出放电的“劈啪”声；
- ⑤ 系统短路或接地，通过很大的短路电流，使变压器有很大的噪音；
- ⑥ 系统发生铁磁谐振时，变压器发出粗细不匀的噪音。

(2) 正常负荷和正常冷却方式下，变压器油温不断升高

由于涡流或夹紧铁芯用的穿芯螺丝绝缘损坏均会使变压器的油温升高。涡流使铁芯长期过热而引起硅钢片间的绝缘破坏，这时铁损很大，油温升高。而穿芯螺丝绝缘破坏后，使穿芯螺丝与硅钢片短接，这时有很大的电流通过穿芯螺丝，使螺丝发热，也会使变压器的油温升高。

此外绕组局部层间或匝间的短路，内部接点有故障，接触电阻加大，二次线路上有大电阻短路等等，也会使油温升高。

(3) 油色显著变化

取油样时发现油内含有碳粒和水分，油的酸价增高，闪点降低，随之绝缘强度降低，易引起绕组和外壳的击穿。

(4) 油枕或防爆管喷油

当二次系统突然短路，而保护拒动，或内部有短路故障，而出气孔和防爆管堵塞等等，内部的高温和高热会使变压器油突然喷出，喷油后使油面降低，有可能引起瓦斯保护动作。

(5) 三相电压不平衡

- ① 三相负载不平衡，引起中性点位移，使三相电压不平衡；
- ② 系统发生铁磁谐振，使三相电压不平衡；
- ③ 绕组局部发生匝间和层间短路，造成三相电压不平衡。

(6) 继电保护动作

继电保护动作，一般说明变压器内部有故障。瓦斯保护是变压器的主要保护，它能监视变压器内部发生的大部分故障，常常是先轻瓦斯动作发出信号，然后重瓦斯动作去掉闸。

轻瓦斯动作的原因有以下几个方面：

- ① 因滤油、加油和冷却系统不严密，致使空气进入变压器；
- ② 温度下降和漏油致使油位缓慢降低；
- ③ 变压器内部故障，产生少量气体；
- ④ 变压器内部短路；
- ⑤ 保护装置二次回路故障。

当外部击穿未发现变压器有异常现象时，应查明瓦斯继电器中气体的性质：

如积聚在瓦斯继电器内的气体不可燃，而且是无色无臭的，而混合气体中主要是惰性气体，氧气含量大于 16%，油的闪点不降低，则说明是空气进入继电器内，此时变压器可继续运行。

如气体是可燃的，则说明变压器内部有故障，应根据瓦斯继电器内积聚的气体性质来鉴定变压器内部故障的性质，如气体的颜色为：

黄色不易燃，且一氧化碳含量大于 1—2%，为木质绝缘损坏；

灰色和黑色易燃，且氢气含量在 30% 以下，有焦油味，闪点降低，则说明油因过热而分解或油内曾发生过闪络故障；

浅灰色带强烈臭味且可燃的，是纸或纸板绝缘损坏。

如上述分析对变压器内的潜伏性故障还不能作出正确判断，则可采用气相色谱法作出适当判断：

进行气相色谱分析时，可以从氢、烃类、一氧化碳、二氧化碳、乙炔的含量变化来判断变压器的内部故障，一般情况下：

当氢、烃类含量急剧增加，而一氧化碳、二氧化碳含量变化不大时，为裸金属（如分接开关）过热性故障；

当一氧化碳、二氧化碳含量急剧增加时，为固体绝缘物（木质、纸、纸板）过热性故障；

当氢烃类气体增加外，乙炔含量很高，为匝间短路或铁芯多点接地等放电性故障。

当变压器的差动保护和瓦斯保护同时动作，在未查明原因和消除故障前不准合闸。

（7）绝缘瓷套管闪络和爆炸

套管密封不严，因进水使绝缘受潮而损坏；套管的电容芯子制造不良，内部游离放电；或套管积垢严重，以及套管上有大的碎片和裂纹，均会造成套管闪络和爆炸事故。

（8）分接开关故障

变压器油箱上有“吱吱”的放电声，电流表随响声发生摆动，瓦斯保护可能发出信号，油的闪点降低。这些都可能是因分接开关故障而出现的现象。

分接开关故障原因如下：

- ① 分接开关触头弹簧压力不足，触头滚轮压力不匀，使有效接触面积减少，以及因镀银层的继续强度不够而严重磨损等会引起分接开关烧毁；
- ② 分接开关接触不良，经受不起短路电流冲击而发生故障；
- ③ 倒分接开关时，由于分头位置切换错误，引起开关烧坏；
- ④ 相间绝缘距离不够，或绝缘材料性能降低，在过电压作用下短路。

如发现电流、电压、温度、油位、油色和声音发生变化，试验人员应立即取油样作气相色谱分析。当鉴定为开关故障时，应立即将分接开关切换到完好的档位运行。

在运行中，开关接触部分触头可能磨损，未用部分触头长期浸在油中可能因氧化而产生一层氧化膜，会使分接头接触不良。因此，为防止分接开关故障，在切换时必须

须测量各分头的直流电阻，如发现三相电阻不平衡，其相差值不应超过 2%。

倒分接头时，应核对油箱外的分接开关指示器与内部接头的实际连接情况，以保证接线正确。此外，每次倒分接头时，应将分接开关手柄转动 10 次以上，以消除接触部分的氧化膜及油垢，再调整到新的位置。

（9）变压器故障原因的分析

按变压器故障的原因，一般可分为电路故障和磁路故障。电路故障主要指线环和引线故障等，常见的有线圈的绝缘老化、受潮，切换器接触不良，材料质量及制造工艺不良，过电压冲击及二次系统短路引起的故障等。磁路故障一般指铁芯、轭铁及夹件间发生的故障，常见的有硅钢片短路、穿芯螺丝及轭铁夹件与铁芯间的绝缘损坏以及铁芯接地不良引起的放电等。

（三）变压器的检修和试验

运行中的变压器由于受到电磁振动、机械磨损、化学作用、大气腐蚀、电腐蚀等，会使变压器的健康状况逐渐变坏。这时从技术标准来衡量，已在一定程度上影响了变压器的安全、可靠的运行。因此，变压器经过长期运行后必须进行检修，将不符合技术指标的部件更换或修复，使变压器恢复到原来的健康水平。

按照检修工作的性质，变压器检修可分为大修和小修。

（1）变压器大修

1) 变压器大修的周期

① 主变压器在投入运行前应进行大修吊芯检查，以后每隔 5—10 年要吊芯检查一次。

变压器运行中发生故障，或在预防性试验中发现问题，也应进行吊芯检修。

② 配电变压器如一直在正常负荷下运行，可考虑每隔 10 年大修一次。

③ 有载调压变压器的分接开关部分，当达到制造厂规定的操作次数后，应将切换开关取出检修。

④ 安装在污秽区的变压器，应根据日常积累的运行经验、试验数据及技术数据确定检修期限。

2) 变压器大修的步骤和项目

① 大修前的准备：将运行记录中摘录已暴露出来的缺陷，并到现场进行核对，制订出消除缺陷的对策；如要消除重大缺陷，需要特殊的检修工艺才能解决，则应制订专门的技术安全措施和组织措施。对检修中需用的设备、材料和工具应预先列出清单，并到检修现场检查环境和用具是否齐全；

- ② 放油、打开变压器顶盖、吊出器身、检查线圈和铁芯；
- ③ 检修铁芯、线圈、分接开关和引出线；
- ④ 检修顶盖、油枕、防爆管、散热器、油截门、吸湿器和套管等；
- ⑤ 检修冷却装置和油再生装置；
- ⑥ 清扫壳体，必要时重新油漆；
- ⑦ 检修控制测量仪表、信号和保护装置；
- ⑧ 滤油或换油；
- ⑨ 必要时干燥绝缘；
- ⑩ 装配变压器；
- ⑪ 按试验规程规定的项目进行测量和试验；
- ⑫ 试验合格后将变压器重新投入运行。

3) 变压器大修项目的要求

① 为防止器身吊出后，因暴露在空气中的时间过长而使绕组受潮，应尽量避免在阴雨天吊芯。同时，吊出的芯子暴露在空气中的时间不应超过如下规定：

干燥空气（相对湿度 \leq 65%） 16h

潮湿空气（相对湿度 \leq 75%） 12h

② 对于运行时间较长的变压器（如超过 20 年运行的变压器），在吊芯时应重点检查绕组的绝缘是否老化。方法通常是用手指按压绕组表面的绝缘物，以观察其变化；绝缘良好的绕组富有弹性，用手指按压时，绝缘会暂时变形，手指放开后又恢复原状，且绝缘表面颜色为浅淡色；当绝缘有相当程度的老化时，用手指按压会产生较小的裂缝，或会感到绝缘质地变硬、变脆，颜色变深。这时应根据情况更换绝缘或采取加强绝缘的措施。当绕组绝缘严重老化时，用手指按压绝缘时会发生龟裂，呈碳质脱落，这时应更换绝缘；

③ 变压器线圈间隔衬垫应牢固，线圈不能有松动、变形或位移，高低压绕组应对称，并无油粘物；

④ 分接开关接点应牢固，绝缘纸板和胶管应完整无损；

⑤ 查对电压转换开关的接点、压紧螺丝、转动部分的转轴与顶盖上的标示字样应一致；

⑥ 铁芯不能有松动，铁芯与线圈间的油道（冷气孔）应畅通；

⑦ 穿芯螺栓的绝缘电阻，应用 1000V 摇表测定。测量 3、6、10kV 变压器时，其绝缘电阻不应低于 $2M\Omega$ ，35kV 变压器不应低于 $5M\Omega$ ；

⑧ 瓦斯继电器的二次回路绝缘电阻应合格、接线应正确，瓦斯继电器内部浮筒及水银接点应完整；

⑨ 充油套管内的油应保持在规定的指示线上。

(2) 变压器小修

1) 小修的周期

变压器小修至少每年一次。对安装在特别污秽区的变压器可另行规定。

2) 小修的内容和要求

① 消除巡视中发现的一切缺陷；

② 测定线圈的绝缘电阻值，并应满足表 3-4 所示的要求。

在测定线圈绝缘电阻时，如发现其电阻值比上次测定的数值（换算至同一温度时）下降 30-50% 时，应作绝缘油试验。额定电压在 10kV 及以下者应作绝缘油的耐压试验；额定电压在 10kV 以上者，应作绝缘油的绝缘电阻、损失角和简化试验及变压器的泄漏电流、损失角的试验。

额定电压 (kV)	绝缘电阻 (MΩ)	温 度 (°C)							
		10	20	30	40	50	60	70	80
3-10	良好值	90	45	22	12	64	36	19	12
	最低值	0	0	5	0	43	24	13	8
		60	30	15	80				
		0	0	0					
20-35	良好值	12	60	30	15	83	50	27	15
	最低值	00	0	0	5	55	33	18	10
		80	40	20	10				
		0	0	0	5				
60-220	良好值	24	12	60	31	16	10	50	30
	最低值	00	00	0	5	5	0	35	21
		16	80	40	21	11	65		
		00	0	0	0	0			

表 3-4 变压器线圈绝缘电阻合格值

- ③ 清扫瓷套管和外壳，发现瓷套管破裂或胶垫老化者应更换，漏油者应拧紧螺丝或更换胶垫；
- ④ 拧紧引出线的接头，如发现烧伤，应用砂布擦光后接好；
- ⑤ 缺油时应补油，并清除油枕集泥器中的水和污垢；
- ⑥ 检查呼吸器和出气瓣是否堵塞，并清除污垢；
- ⑦ 检查变压器瓦斯保护引出线是否侵蚀，若侵蚀应更换或处理；
- ⑧ 检查各部位的油截门是否堵塞；
- ⑨ 跌开式熔断器保护的变压器应检查熔丝管和一、二次熔丝是否完好正常；
- ⑩ 检查变压器的接地是否良好，地线是否腐蚀，腐蚀严重时应更换。

(3) 变压器试验

1) 变压器的试验周期

变压器在安装后，投入运行前应进行交接试验；变压器大修后应进行大修试验；变压器每隔 1—3 年应进行一次预防性试验。

2) 变压器的试验项目

① 主变压器交接和大修的试验项目如下：

- a. 测量变压器各个电压级绕组的直流电阻：在同一组抽头上测得的直流电阻数值，其相互间差值及与变压器出厂时原始数据相比不应超过 2%；
- b. 测量绕组的绝缘电阻和吸收比 ($R_{60''}/R_{15''}$)：绝缘电阻值不应低于出厂时原始数据的 70%；吸收比的数值，在温度为 10—30℃时，为 1.3-2；
- c. 测量绕组连同套管的泄漏电流：其测得值与原始数据相比较，应无显著变化，如无原始数据，可参考 3-5。

表 3-5 绕组连同套管的泄漏电流原始数据

额定电压 (kV)	试验电压 (kV)	泄漏电流 (uA)
6-10	10	5-10
35	20	5-10

- d. 测量绕组连同套管的介质损失角 $\text{tg } \delta$ ：其值应不大于原始数据的 130%，如无原始数据，其值一般不超过 2%；
- e. 绕组连同套管的交流耐压试验：交流耐压标准为出厂时的 85%。但 500V 以下绕组的交流耐压标准，出厂时为 5kV；大修时为 2kV；

- f. 测量穿芯螺栓的绝缘电阻：一般在 $10\text{M}\Omega$ 以上；
- g. 对散热器和油箱作油柱试验，试验时间为 15 分钟，各接缝处应无渗漏油现象；
- h. 绝缘油试验：耐压和简化试验见本书 3.7.3；
- i. 空载试验：符合设计或制造厂规定；
- j. 短路试验：符合设计或制造厂规定；
- k. 有载分接开关动作情况：符合设计或制造厂规定；
- l. 接线组别和极性：应与铭牌和套管标志相符。

② 配电变压器的交接和大修试验项目：

a. 测量分接头直阻：

1600kVA 及以下变压器：各相间直流电阻值差别不大于 4%，线间直流电阻值差别不大于 2%；1600kVA 以上变压器：各相间直流电阻值差别不大于 2%；线间直流电阻差别应不大于 1%；

b. 测量绝缘电阻应不低于下列数值：

额定电压为 3—10kV， 20°C 时绝缘电阻不小于 $300\text{M}\Omega$ ；

额定电压为 500V 及以下，绝缘电阻为 $10\text{M}\Omega$ ；

c. 绝缘油击穿电压：不低于 25kV；

d. 交流耐压：试验电压按出厂值的 85%，500V 及以下线圈的试验电压为 2kV；

e. 各分头变比：各分头变比的实测值与出厂试验值相比误差不大于 $\pm 0.5\%$ ；

f. 组别和极性、有载分接开关、空载及短路试验均与主变压器试验相同。

五、附电力变压器的试验规程

（一）常规预防性试验项目

1. 绕组直流电阻测量（可用直流电阻测试仪测量，一般只测运行档）；
2. 绕组绝缘电阻、吸收比或极化指数（一般采用兆欧表测量）；
3. 绕组的 $\text{tg } \delta$ 测试；
4. 电容型套管的 $\text{tg } \delta$ 和电容值；
5. 铁芯（有外引接地线的）绝缘电阻；
6. 绕组泄漏电流；
7. 有载调压分接开关试验。

（二）交接验收及大修试验项目（常规预防性试验项目+以下试验项目）

1. 绕组所有分接的电压比及组别测试；

2. 空载和短路损耗试验；

3. 交流耐压试验（一般针对 10KV 及以下配电变压器，选用足够容量的工频交流耐压装置）。

注：

（1）交接验收及大修试验时，绕组直流电阻测量要进行全档位测试。

（2）以上常规预防性试验和交接验收及大修试验项目中所使用各种试验仪器及设备具体使用和操作办法详见仪器使用说明书。

（三）电力变压器的试验周期和要求

电力变压器及电抗器的试验周期和要求

序号	项目	周期	要求	说明
1	绕组直流电阻	1) 1-3 年或自行规定。 2) 无励磁调压变压器变换分接位置后。 3) 有载调压变压器的分接开关检修后(在所有分接侧)。 4) 大修后。 5) 必要时。	1) 1.6MVA 以上变压器，各相绕组电阻相互间的差别不应大于三相平均值的 2%，无中性点引出的绕组，线间差别不应大于三相平均值的 1%； 2) 1.6MVA 及以下的变压器，相间差别一般不大于三相平均值的 4%，线间差别一般不大于三相平均值的 2%； 3) 与以前相同部位测得值比较，其变化不应大于 2%； 4) 电抗器参照执行。	1) 不同温度下的电阻值按下式换算： $R_2 = R_1 (T+t_2) / (T+t_1)$ 式中 R_1 、 R_2 分别为在温度 t_1 、 t_2 时的电阻值； T 为计算常数，铜导线取 235，铝导线取 225； 2) 无励磁调压变压器应在使用的分接锁定后测量。
2	绕组绝缘电阻，吸收比或极化指数	1) 1-3 年或自行规定。 2) 大修或交接时。 3) 必要时。	1) 绝缘电阻换算至同一温度下，与前一次测试结果相比应无明显变化； 2) 吸收比（10-30°C 范围）不低于 1.3 或极化指数不低于 1.5。	1) 采用 2500V 或 5000V 兆欧表； 2) 测量前被试绕组应充分放电； 3) 测量温度以顶层油温为准，尽量使每次测量温度相近； 4) 尽量在油温低于 50°C 时测量，不同温度下的绝缘电阻值一般可按式换算：； $R_2 = R_1 \times 1.5^{(t_1-t_2)/10}$ ；式中 R_1 、 R_2 分别为温度 t_1 、

				t2时的绝缘电阻值； 5) 吸收比和极化指数不进行温度换算。
3	绕组的 tg δ	1) 1-3 年或自行规定 2) 大修后或交接时 3) 必要时	1) 20°c 时 tg δ 不大于下列数值： 110KV 为 0.8% 35KV 及以下为 1.5%； 2) tg δ 值与历年的数值比较不应有显著变化； 3) 试验电压如下： 绕组电压 10KV 及以上：10KV； 绕组电压 10KV 以下：Un。	1) 非被试绕组应接地或屏蔽； 2) 同一变压器各绕组 tg δ 的要求值相同； 3) 测量温度以顶层油温为准，尽量使每次测量的温度相近； 4) 尽量在油温低于 50° C 时测量，不同温度下的 tg δ 值一般可按下式换算： $tg \delta_2 = tg \delta_1 \times 1.3^{(t_2-t_1)/10}$ 式中 tg δ 1、tg δ 2 分别为温度 t1、t2 时的 tg δ 值。
4	变压器电容型套管的 tg δ 和电容值	1) 1-3 年或自行规定 2) 大修后或交接时 3) 必要时	1) 110KV 套管 20°c 的 tg δ (%) 值应不大于 1.0； 2) 当电容型套管末屏对地绝缘电阻小于 1000 M Ω 时，应测量末屏对地 tg δ，其值不大于 2%； 3) 电容型套管的电容值与出厂值或上一次试验值的差别超出 ±5 时，应查明原因。	1) 用正接法测量； 2) 测量时记录环境温度及变压器（电抗器）顶层油温。

序号	项目	周期	要求	说明
5	铁芯（有外引接地线的）绝缘电阻	1) 1-3 年或自行规定。 2) 大修后。 3) 必要时。	1) 与以前测试结果相比无显著差别； 2) 运行中铁芯接地电流一般不大于 0.1A。	1) 采用 2500V 兆欧表（对运行年久的变压器可用 1000V 兆欧表）； 2) 夹件引出接地的可单独对夹件进行测量

6	绕组泄漏电流	<p>1) 1-3 年或自行规定。</p> <p>2) 必要时。</p>	<p>1) 试验电压如下：绕组额定电压为 10KV 的直流试验电压为 10KV；额定电压为 35KV 的直流试验电压为 20KV；额定电压为 110KV 的直流试验电压为 40KV；</p> <p>2) 与前一次测试结果相比应无明显变化。</p>	<p>，读取 1min 时的泄漏电流值。</p>
7	有载调压分接开关	<p>1) 1 年或按制造厂要求。</p> <p>2) 大修后。</p> <p>3) 必要时。</p>	<p>1) 过渡电阻值与出厂值相符；</p> <p>2) 切换时间与出厂值比较无显著差异；</p> <p>3) 过渡波形应平滑且无明显断开点；</p> <p>4) 三相同步的偏差与制造厂相符。</p>	<p>有条件时进行。</p>
8	绕组所有分接的电压比及连接组别	<p>1) 分接开关引线拆装后。</p> <p>2) 更换绕组后。</p> <p>3) 大修或交接时。</p>	<p>1) 各接头的电压比与铭牌值相比不应有显著差别，且符合规律；</p> <p>2) 电压 35KV 以下，电压比小于 3 的变压器电压比允许偏差为 ± 1；其它所有变压器：额定分接电压比允许偏差为 ± 0.5，其它分接的电压比应在变压器阻抗电压值(%)的 1/10 以内，但不得超过 $\pm 1\%$；</p> <p>3) 组别必须与变压器铭牌相符。</p>	

表 1 (续)

序号	项目	周期	要求	说明
9	空载电流和空载损耗	1) 更换绕组后。 2) 必要时。	与前次试验值相比无明显变化。	试验电源可用三相或单相；试验电压用额定电压或较低电压值。
	短路阻抗和负载损耗	1) 更换绕组后。 2) 必要时。	与前次试验值相比无明显变化。	试验电源可用三相或单相；试验电流可用额定值或较低电流值。
10	交流耐压试验	1) 1-5 年 (10KV 及以下)。 2) 大修后。 3) 更换绕组后。 4) 必要时。	1) 油浸变压器 (电抗器) 试验电压值按下列数值： 额定电压 10KV 的：全部更换绕组为 35KV，部分更换绕组为 30KV； 额定电压 35KV：全部更换绕组为 85KV，部分更换绕组为 72KV； 以上均指全绝缘变压器。 2) 干式变压器全部更换绕组时，按出厂试验电压值；部分更换绕组和定期试验时，按出厂试验电压值的 0.85 倍 3) 其它电压等级标准见附录 A。	1) 全绝缘变压器可进行外施工频耐压试验； 2) 电抗器进行外施工频耐压试验； 3) 做此项试验时应考虑变压器容升电压。

六、三相异步电动机

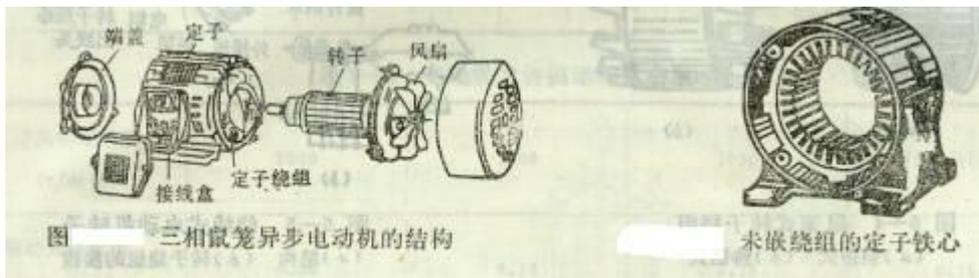
(一) 三相异步电动机的结构

三相异步电动机的结构简单，由定子和转子两大部分及其他附件组成。

(1)、定子

定子由定子铁芯、定子绕组和机座组成。



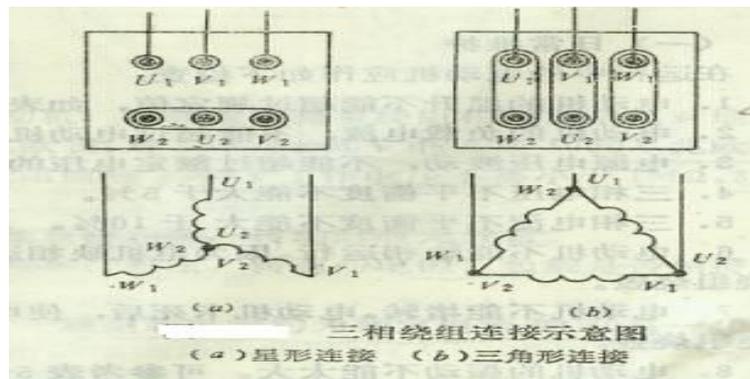


1. 定子铁芯

定子铁芯是用硅钢片叠成，是电动机磁通经过部分，主要起导磁作用。

2. 定子绕组

定子绕组是用铜或铝制的电磁线绕制而成，然后嵌放在定子铁芯槽内。三相异步电动机共有三相绕组，对称分布在定子铁芯上，三相绕组的起端分别用 U_1 、 V_1 、 W_1 表示，末端对应用 U_2 、 V_2 、 W_2 表示。为了便于改变接线，三相绕组的六个端线都接在电动机定子壳体外的接线盒内，绕组可以连接成星形或三角形。



3. 机座

机座是用铸铁或铝铸造而成，他的作用是固定铁芯和支持端盖。

(2)、转子

转子由转轴、转子铁芯、转子绕组和轴承组成。

1. 转子铁芯

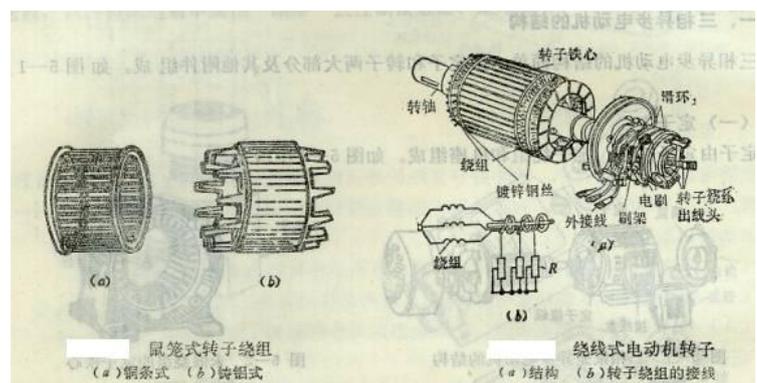
转子铁芯由硅钢片叠压而成。

2. 转子绕组

转子绕组有两种形式，即鼠笼式和绕线式。

(1) 鼠笼式转子绕组

鼠笼式绕组用铝浇铸或铜条与端环铆



接而成。

(2) 绕线式转子绕组

绕线式转子绕组与定子绕组相似，也是采用电磁线绕制而成，然后嵌入转子铁心上。转子的三相绕组一般接成星形，三根引出线分别接在固定在转轴上的三个铜制滑环上。环与环之间以及与轴之间彼此绝缘，通过电刷是绕组与外电路接通，所以绕线式电动机又称滑环式电动机。

(3) 端盖

电动机的端盖由铸铁或铝铸成，起支撑转子作用。

(4) 风扇

风扇是用铝或塑料制成，起冷却作用。

(二) 三相异步电动机的维护与检修

(1) 电动机在运行中，除了进行日常维护外，为延长电动机的使用寿命，还应做好定期检修。

日常维护

在运行中的电动机应作如下检查：

1. 电动机的温升不能超过规定值，如表所示。
2. 电动机的负载电流，不能超过电动机铭牌规定的额定值。
3. 电源电压波动，不能超过额定电压的-5%—+10%的范围。
4. 三相电压不平衡度不能大于 5%。
5. 三项电流不平衡度不能大于 10%
6. 电动机不能缺相运行。因为电机缺相运行，会使电机其余两相电流增大，将电机定子绕组烧毁。
7. 电动机不能堵转。电动机卡死后，使电动机严重超载，电流增大很多，会使电机定子绕组烧毁。
8. 电动机的震动不能太大。可参考表 2 所示。
9. 电动机的声音不能有异常。一般在实际工作中是根据经验判断。
10. 线式电动机滑环上的火花不能太大。

三相异步电动机的最高允许温升（℃）

绝缘等级	A级		E级		B级		F级		H级	
测量发法	温度 计法	电 阻 法								
定子绕组	55	60	65	75	70	80	85	100	105	125
线绕式转 子绕组	55	60	65	75	70	80	85	100	105	125
滚动轴承	55		55		55		55		55	
定子铁心	60		75		100		100		125	

电动机允许振动幅值标准

电动机额 定转速 (r/min)	3000	1500	1000	750 及以下
振动允许 幅值 (双振幅 mm)	0.06	0.10	0.13	0.16

(2) 三相异步电动机的检修

电动机的检修，包括拆装电机、清洗油污、清除灰尘、更换或修复损坏件和磨损、测量绕组绝缘电阻值和处理故障等。

1. 电动机的外观检查

- (1) 检查电动机是否有缺件
- (2) 检查电动机是否有损坏件

2. 通电试运转

(1) 新装、长期停用或大修前后的电动机，运转前应测量绕组相间和绕组对地的绝缘电阻值。通常对 500V 以下电机用 500V 兆欧表；对 500—3000V 电机用 1000V 兆欧表；对 3000V 以上电机用 2500V 兆欧表。绝缘电阻值每 1000V 工作电压不得小于 $1M\Omega$ ，

380V 的电机绝缘电阻值不得小于 0.5MΩ。

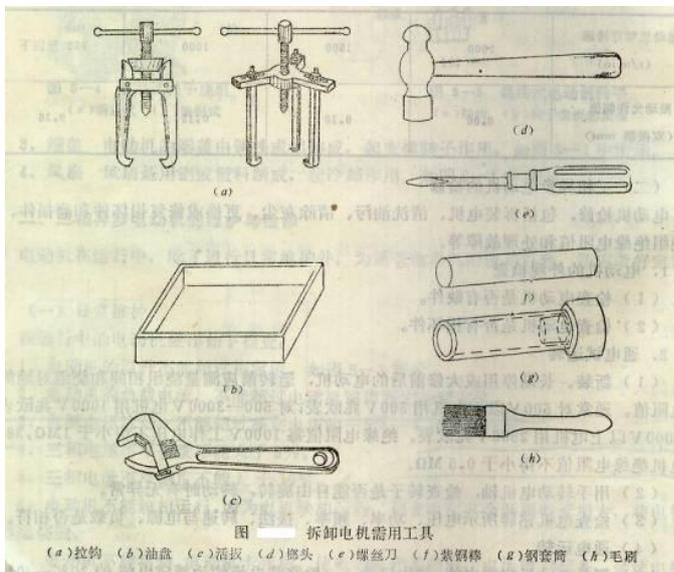
- (2) 用手转动电机轴，检查转子是否能自由旋转，转动时有无异常。
- (3) 检查电机名牌所示电压、功率、接法、转速与电源、负载是否相符。
- (4) 通电运转
 - (a) 测量电动机空载电流，并作记录。一般空载电流约为额定电流的 30%---40%。

异步电动机空载电流与额定电流的百分比

	0.125KW	0.5KW 以下	2KW 以下	10KW 以下	50KW 以下	100KW 以下
2	70-95	45-70	40-55	30-45	23-35	18-30
4	80-96	65-85	45-60	35-55	25-40	20-30
6	85-98	70-90	50-65	35-65	30-45	22-33
8	90-98	75-90	50-70	37-70	35-50	25-35

(b) 根据运转情况分析和判断故障。

3.分解电机



电动机分解是由电机最外部开始拆卸。

- (1) 分解电动机用的工具有拉钩、油盘、活动扳手、榔头、螺丝刀、紫铜棒、钢套筒、毛刷等。
- (2) 松开皮带轮或联轴节顶丝。
- (3) 用拉钩卸掉皮带轮或联轴节。

(4) 若外部有强迫通风的风扇,应先拆去防护罩,再拆下风扇。

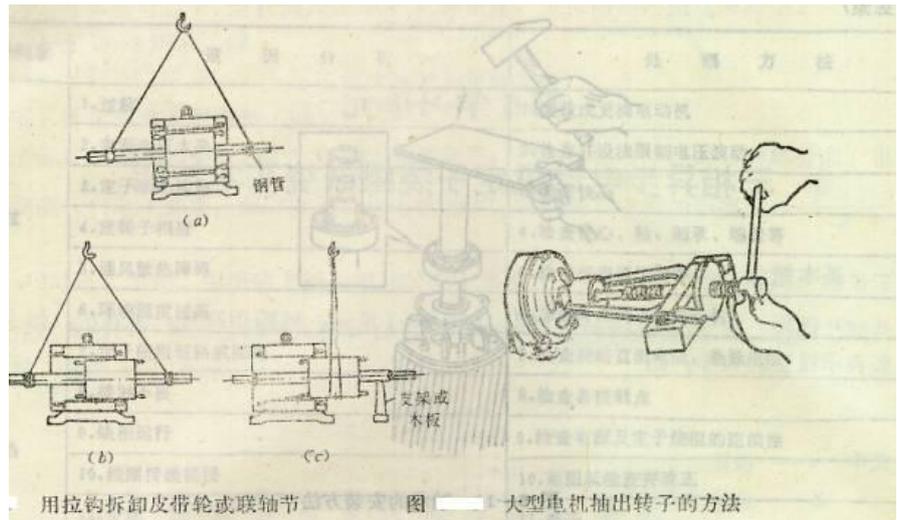
(5) 卸掉后端盖轴承盖固定螺钉,取下轴承盖。

(6) 卸掉后端盖固定螺钉,取下后端盖。

(7) 卸掉前端盖固定螺钉,将前端盖与转子从定子中抽出。若是大型电机,用钢套管套在轴的一端,然后用吊车吊出。

(8) 卸掉前端盖固定螺钉,取下轴承盖。

(9) 卸掉前端盖。



4.清洗

(1) 用压缩空气或皮老虎将定子内的灰尘吹尽。

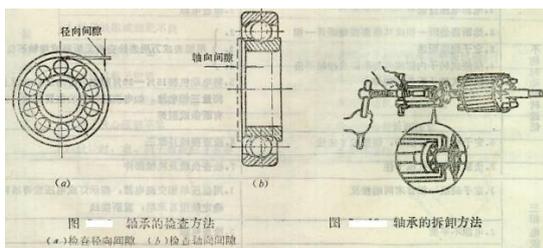
(2) 用煤油清洗轴承及其他零件油污,用压缩空气将轴承内油吹尽,并用布或棉纱把所有零件擦干。

5.检查

(1) 检查零件有无磨损和破坏,确定检修方案和更换备件。

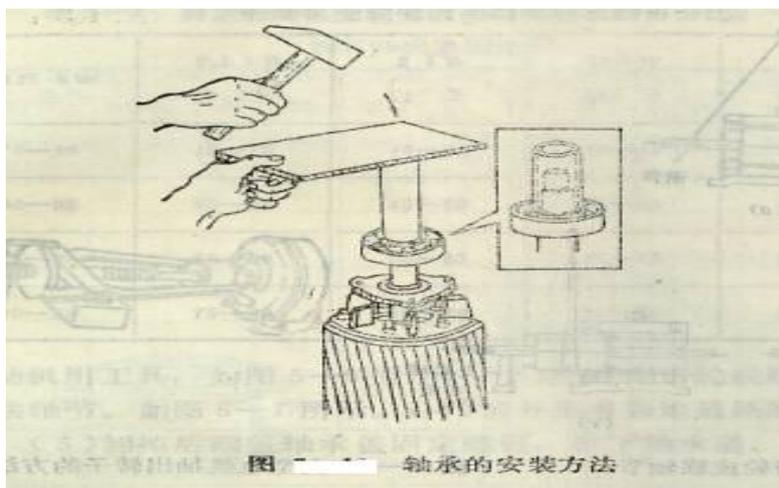
(2) 检查轴承。轴承的好坏对电机性能影响很大,轴承质量不好,会使电机声音异常、振动。对轴承检查应注意声音、径向间隙和轴向摆动。(a)、轴承的拆卸。一般用拉勾将轴承卸掉。(b)、轴承的安装。轴承用敲打法冷装,也可用加热方法装,将轴承放在机油锅里煮,油温约 100℃左右,时间 5-10 分钟,然后轻打装上。

(3) 检查电动机定子绕组是否有损坏。



6. 电动机的装配

电动机的装配与拆卸顺序相反。



7、电动机装配后试运转

电动机装配后通电运转前的检查与拆前检查相同。

（三）三相异步电动机的常见故障及修理方法

电动机在运行过程中，因各种原因会发生各种故障，电动机的常见故障和修理方法见下表：

故障现象	原因分析	处理方法
不能启动或转速低	1、电源电压过低。	1、检查电源。
	2、熔断器烧断一相或其他连接处断开一相。	2、 3、 4、用摇表或万用表检查有无断路或接触不良。
	3、定子绕组断路。	
	4、绕线式转子内部或外部断路或接触不良。	
	5、鼠笼式转子断条或脱焊。	5、将电动机接 15%-30%额定电压的三相电源上，测量三相电流，若电流随转子的位置变化，说明有断条或脱焊。
	6、定子绕组三角形接法的，误接成星形接法。	6、检查接线并改正。

	7、负载过大或机械卡住。	7、检查负载及机械部件。
三相电流不平衡	1、定子绕组一相首末两端接反。	1、用低压单相交流电源，指示灯或电压表等器材，确定绕组首末端，从新接线。
	2、电源不平衡。	2、检查电源。
	3、定子绕组有线圈短路。	3、检查有无局部过热。
	4、定子绕组匝数错误。	4、测量绕组电阻。
	5、定子绕组部分线圈接线错误。	5、检查接线并改正。
过热	1、过载。	1、减载或更换电动机。
	2、电源电压太高。	2、检查并设法限制电压波动。
	3、定子铁芯短路。	3、检查铁芯。
	4、定转子相碰。	4、检查铁芯、轴、轴承、端盖等。
	5、通风散热障碍。	5、检查风扇通风道等。
	6、环境温度过高。	6、加强冷却或更换电动机。
	7、定子绕组短路或接地。	7、检查绕组直流电阻、绝缘电阻。
	8、接触不良。	8、检查各接触点。
	9、缺相运行。	9、检查电源及定子绕组的连续性。
	10、线圈接线错误	10、按照图纸检查并改正
	11、受潮。	11、烘干。
	12、启动过于频繁。	12、按规定频率启动。
滑环火	1、电刷牌号不符。	1、更电刷。
	2、电刷压力过小或过大。	2、调整电刷压力（一般电动机 150-250gf/cm ² .牵引和启重

花 大		电动机 250-400gf/cm ² 。
	3、电刷与滑环接触不 严。	3、研磨电刷。
	4、滑环不平、不圆或 不清洁。	4、修理滑环。
内部冒烟起 火	1、电刷下火花太大。	调整、修理电刷和滑环。
	2、内部过热。	消除过热原因。
震 动 和 相 声 大	1 地基不平，安装不 好。	检查地基和安装。
	2 轴承缺陷或装配不 良。	检查轴承。
	3 转动部份不平衡。	必要时作静平衡或动平衡实 验。
	4 轴承或转子变形。	检查转子并矫正。
	5 定子或转子绕组局 部短路。	拆开电动机，用表检查。
	6 定子铁心压装不紧。	检查铁心并重新压。
	7 设计时，定、转子配 合不妥。	不允许运行。

七、三相交流异步电动机的启动、调速及制动

(一) 三相交流异步电动机的启动

1. 概述

电动机从接入电网开始转动，逐渐增加转速一直达到正常转速为止，这段过程为启动过程，通常只有几分之一到几秒钟。

启动电流与启动转矩是衡量电动机好坏的主要依据。

电动机开始转动时转子电路中感应电动势最大，一般为额定情况下的 20 倍左右。但由于此时转子电抗也最大，故转子电流为额定情况下的 5-8 倍。由于异步电动机转子电能是由定子绕组供给的，所以定子绕组中的电流亦将为额定时的 4-7 倍。

启动时虽然转子电流较大，但此时电抗也很大，则使转子功率因数 $\cos \Phi_2$ 很小，所以

启动转矩并不大。

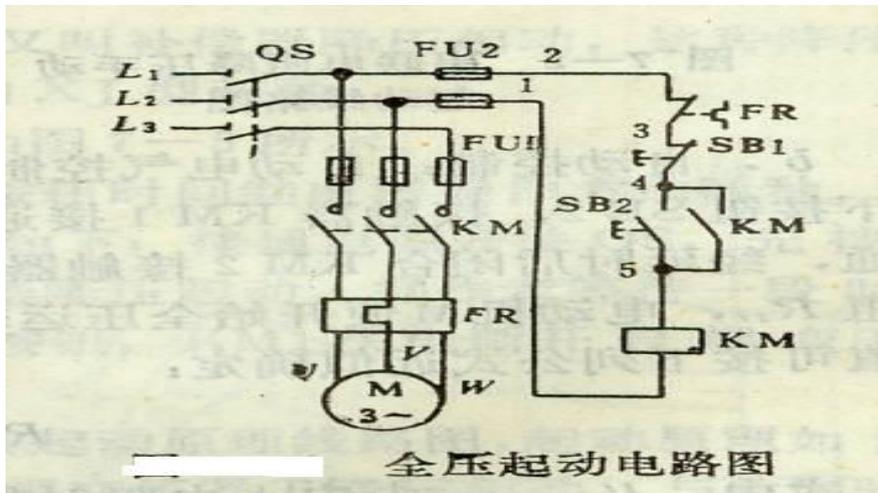
启动电流大，电网电压降大，影响其他电气设备的正常工作；其次对于频繁开、停的设备将使其电动机发热，影响电动机的寿命。启动转矩小，电动机不能带负载启动或是启动时间过长而使电动机温升过高。

衡量电动机启动性能的好坏，主要有如下三点：

- 1.启动电流尽可能小；
- 2.启动转矩尽可能大些；
- 3.启动设备简单、经济，操作方便

(二)、三相鼠笼式异步电动机的起动

1.全压启动



把电动机直接接到电压与电动机额定电压相等的电网上则称为全压启动。这种方法的优点是操作简便，成本低；但启动电流较大。为了保证电动机启动时不引起电网电压下降太多，电动机的额定容量满足下列经验公式的要求时才允许全压启动：

$$I_{st}/I_R \leq 3/4 +$$

式中 I_{st} ——— 电动机启动电流

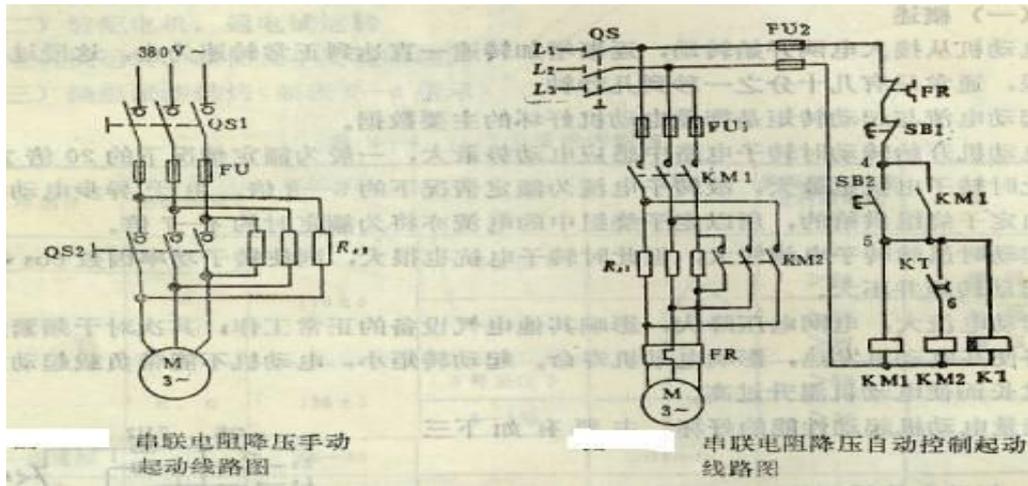
I_R ——— 电动机额定电流

一般情况下 I_{st}/I_R 大约为 4-7 倍。因而电动机的额定容量不超过电源变压器容量的 15%—20% 时都允许全压启动。

1. 降压启动

降压启动是用降低电动机端电压的办法来减小启动电流。当电压降低时启动转矩按电压的平方成正比例下降，故此种方法适用于空载或轻载情况下启动。降压启动有三种方法：

(1) 串电阻降压起动：这种方法是在三相定子绕组中串接相同电阻（或变阻器）。分手动与自动控制两种。



a. 手动控制：启动时，合上电源开关 QS1，电源经电阻 RST 加到电动机上。当转速升高时再合上开关 QS2 即可。一般限流电阻 RST 大小的选择应使启动电流限制在电动机额定电流的 2.5 倍左右。

b. 自动控制：电路工作过程如下：合上开关 QS，按下按钮 SB2，接触器 KM1 接通，电动机经限流电阻 RST 起动，此时时间继电器 KT 也接通，经延时后闭合 KM2 接触器，KM2 接触器在主回路中的三副常开触头闭合，短接电阻 RST 电动机 M 便开始全压运转，启动电阻一般采用 ZX1 和 ZX2 系列铸铁电阻，其阻值可按下列公式近似确定：

$$R_{st} = 190 \times I_{st} - I'_{st} / I_{st} \times I'_{st} (\Omega)$$

式中 I'_{st} —未串入电阻时的起动电流（安），一般 $I'_{st} = (2-3) I_R$ ；

I_R —额定电流；

I'_{st} 传入电阻后的起动电流，一般 $I'_{st} = (2-3) I_{R0}$

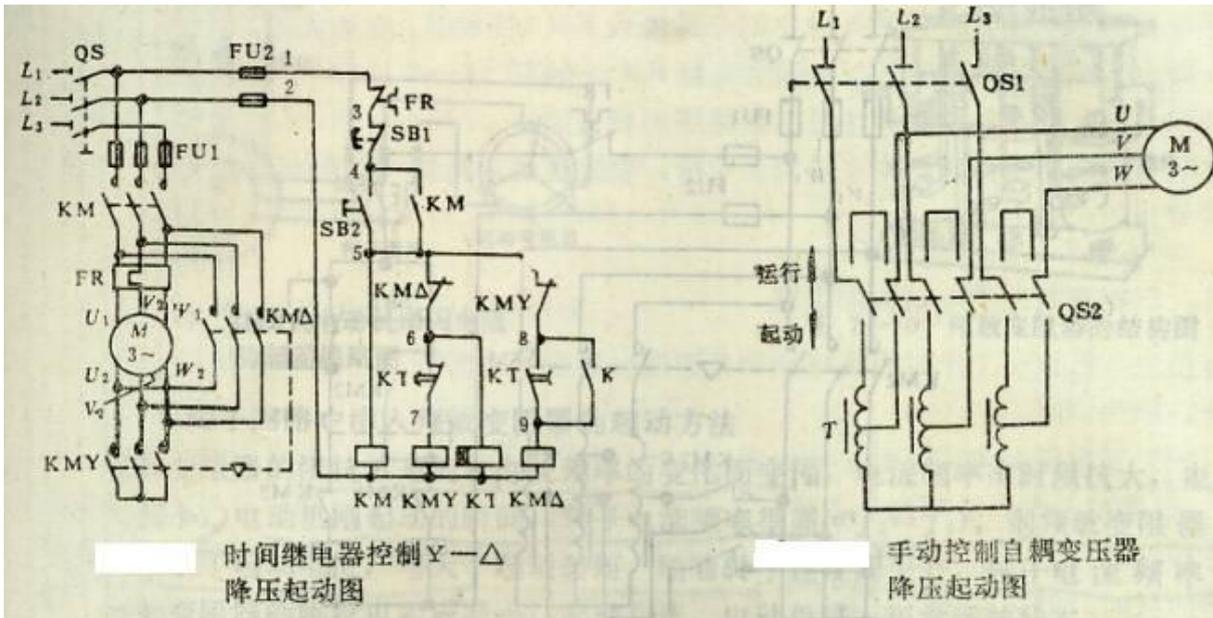
启动电阻的功率为： $P = I^2 R_{st}$ ，由于启动时间很短，实际电阻功率可取计算值的 1/3—1/4。

串联电阻降压起动的缺点是减小了起动转矩，且在电阻上消耗了较大的功率，故这种起动方法工程上很少采用。

(2) 星形—三角形降压起动：这种起动方法适用于工作时定子绕组为三角形接法的电动机。

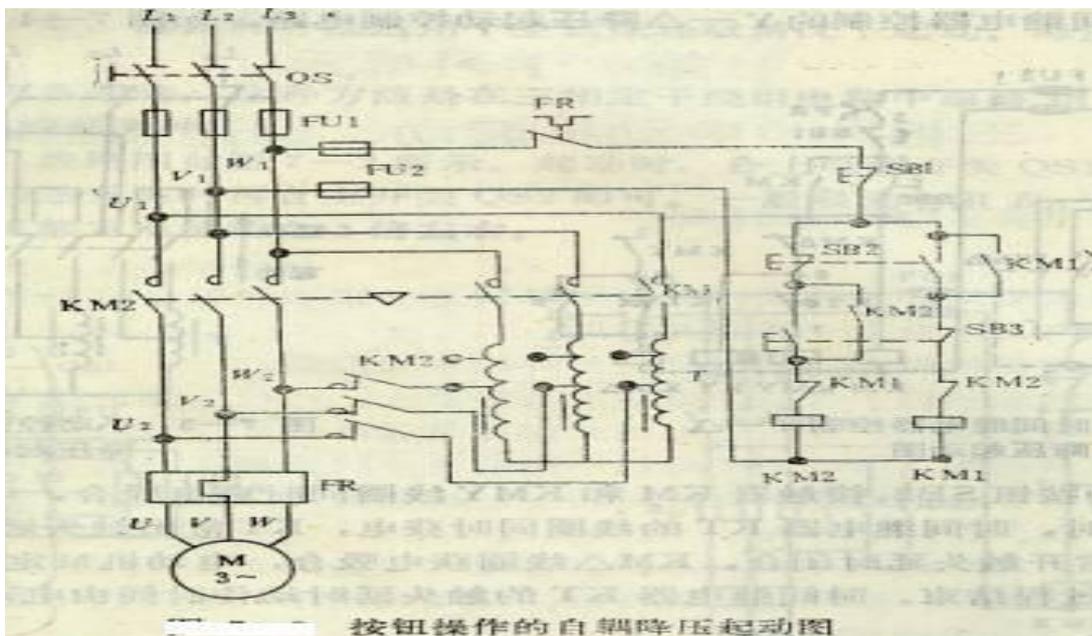
星形起动时定子绕组相电压仅为电源电压的 $1/\sqrt{3}$ ，若电压为 380V，则起动时定子绕组的相电压为 220V。而起动线电流仅为三角形接法时起动电流的 1/3。

常用的为时间继电器控制的 Y— Δ 降压起动控制电路，其工作原理如下：当按下起动按钮 SB2。接触器 KM 和线圈 KMY 同时获电吸合，电动机 M 接成 Y 形降压起动，与此同时，时间继电器 KT 的线圈同时获电，KT 常闭触头延时打开，KYM 线圈失电释放，KT 常开触头延时闭合，KM Δ 线圈获电吸合，电动机 M 定子绕组由 Y 形自动接成 Δ 形，起动过程结束。时间继电器 KT 的触头延时动作时间由电动机的容量及起动时间的快慢来决定。



(3) 自藕变压器降压起动：自藕变压器降压起动又叫补偿器降压起动，这种降压起动适用于电动机容量为 20-150KW。起动器有 QJ 型和 XJ 型两种：

- a.QJ 型：用操作手柄控制，其起动原理接线图如图所示。
- b.XJ 型：自动控制式，分用按钮操作方式和用按钮时间继电器操作方式两种。



(a)按钮操作式：如上图所示，电路工作过程如下；接通电源开关 QS，先按下 SB2 按钮，接触器 KM1 获电吸合，电动机经自藕变压器降压起动，操作者等待一段时间 ($<1\text{min}$)，电动机转速升高到相当高时再按 SB3 按钮，KM1 失电断开自藕变压器电路，KM2 通电，电动机 M 全压运转。

(b)按钮、时间继电器操作方式：图 7-7 所示为起动原理线路图，起动原理如下：按下起动按钮 SB2，接触器 KM1 吸合，电动机 M 经自藕变压器 T 降压起动，与此同时时间继电器 KT 线圈获电，其常开触头经延时闭合，使中间继电器吸合 KA 吸合并自锁，KA 常闭触头断开 KM1，一常开触头接通 KM2 接触器，主电路中 KM1 接触器的三副主触头断开自藕变压器电源，KM2 三副常开触头闭合，电动机进入全压运行。

(二) 三相交流异步电动机的调速

有些生产机械在工作时往往需要调节速度以适应生产需要，在同一负载下改变电动机的转速，称为调速。

(1) 三相鼠笼式异步电动机的调速

1. 改变电动机电源频率的方法

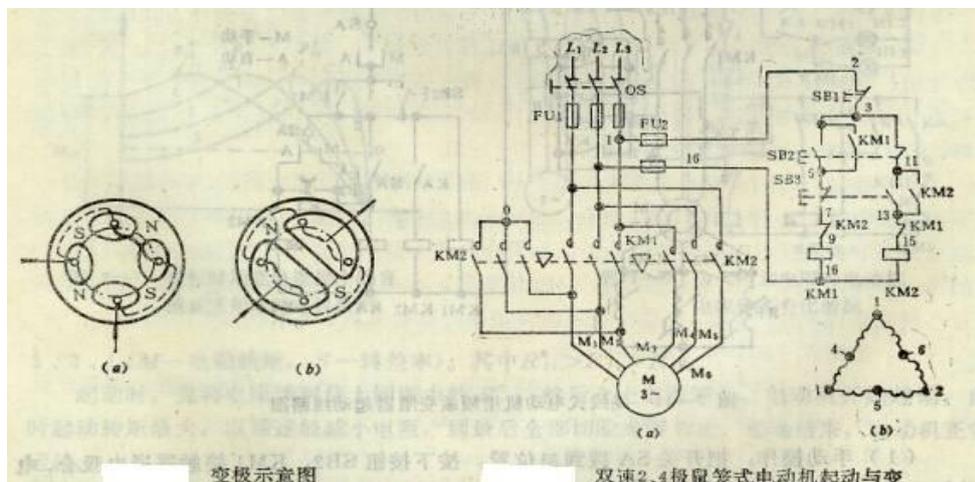
这种调速方法的原理是利用同步转速与电源频率成正比关系的原理，改变电源频率。达到无级调速的目的，但这种方法必须配备复杂昂贵的变频电源设备，因而目前应用较少。

2. 改变定子绕组的级对数

这种调速方法的原理是利用同步转速与电动机的级对数成反比例的关系，是一种有级调速方法。在转差率和电源频率不变时，改变级对数是通过改变绕组的接法来实现的。这种方法比较简单，常用于鼠笼式电动机。

下图所示为改变磁通级对数时达到改变转速的示意图。由图(a)可见一相（U相）的两个绕组串

联时，第一段绕组末端与第二段绕组首端相接，通入电流的方向可形成的磁场为四个级。由图（b）可见，



将绕组并联接入电网，电流如图中 $\oplus\ominus$ ，形成磁场为两极。

上图所示为双速 2、4 极鼠笼异步电动机调速控制线路图，低速时定子绕组为 Δ 接法，电动机转速为 14320r/min,高速时定子绕组为双 Y 接法，电动机转速为 2870r/min,可参看图 (b)。

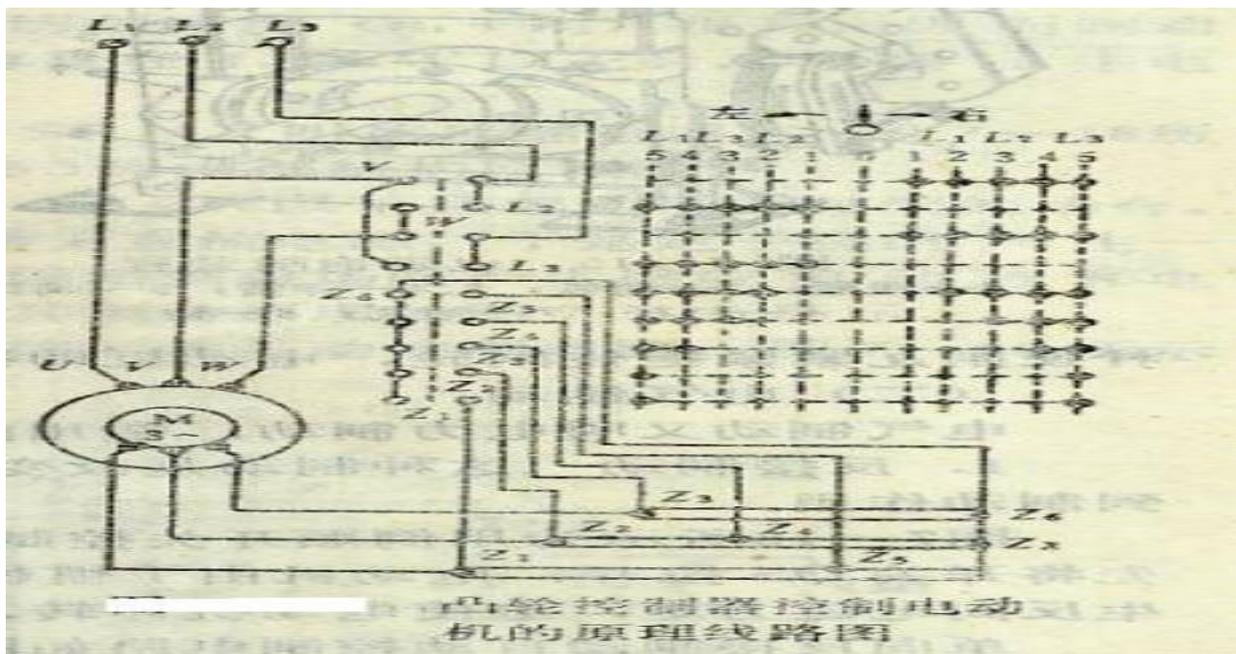
起动及变速工作过程如下：按下按钮 SB2，接触器 KM1 接通，电动机定子绕组作 Δ 接法起动并运转，当需要变为高速（双 Y 时）按下 SB3 按钮，线圈 KM1 断电，线圈 KM2 接通，电动机双 Y 运转。若需要重新回复 Δ 运转时，在按下 SB2 按钮即可。

(2) 三相绕线式异步电动机的调速

由异步电动机的转速公式 $n=n_1(1-S)$ 可以看出；（ n —电动机转速、 n_1 —同步转速、 S = 转差率）改变转差率 S 的大小就可以改变电动机的转速。对于绕线式电动机来说改变其转子电路中的附加电阻，就可以改变转差率 S ，也就改变了电动机转速。如果与转子绕组串联的电阻连续可调，则转速也连续可调；如果电阻是分级调整的，则转速也是分极可调的。

绕线式电动机在分级调速时，常用凸轮控制器来控制。下图所示为凸轮控制器控制电动机起动调速原理线路图，把手轮转到左或右 1、2、3、4、5 中的任意位置，转子中分别串入不同的电阻值，电动机就在不同的转速下运转。

这种调速方法最主要的优点是能够得到多种速度，而且线路简单、操作方便。缺点是与转子串联的电阻损耗电能较多，触头也较容易烧坏。



(三) 三相交流异步电动机的制动

当电磁转矩的方向和转子旋转方向相反时，为制动运转状态。制动的目的是使电

力拖动系统较快停车或者使拖动系统降低而在低速状态下运转。

三相异步电动机的制动方式一般分为机械制动与电气制动两大类。

(1) 机械制动

机械制动应用较普遍的是电磁抱闸装置。如下图所示，它主要由制动电磁铁和闸瓦制动器两部分组成，这是一种摩擦制动，制动冲击较大，但制动可靠。一般用于起重、卷扬设备。

制动过程如下：

当电动机通电时电磁抱闸的线圈同时通电，衔铁克服弹簧3反作用力而被吸合，推动顶杆向右移动，弹簧3被压缩，弹簧4伸展将两边的杠杆顶开，使闸瓦与闸轮松开，电动机即可运转。

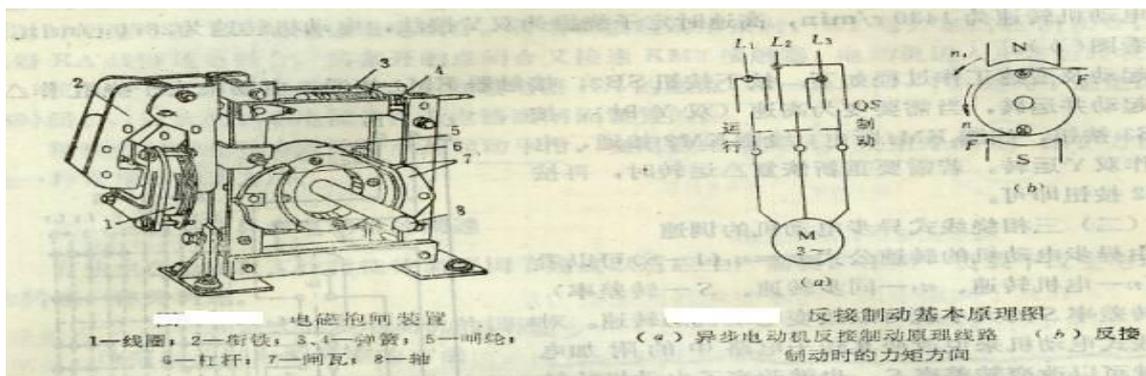
当电动机断电时，线圈同时断电，衔铁释放，在弹簧3的作用下，顶杆复位带动杠杆使闸瓦紧紧包住闸轮，电动机即被迅速制动。

(二) 电气制动

电气制动又叫电力制动，常用的有反接制动、能耗制动和再生制动三种。

1. 反接制动 这种制动是改变电源相序后产生反向电磁转矩而迫使电动机停转，起到制动作用。

下图所示为用倒顺开关控制的反接制动原理图。正常运转状态的电动机要停转时先将开关拉开，电动机由于惯性继续旋转，然后迅速将开关投向另一侧，使电动机产生反向电磁力矩，迫使电动机停转，稍停片刻应立即拉开开关，以免电动机反向起动。



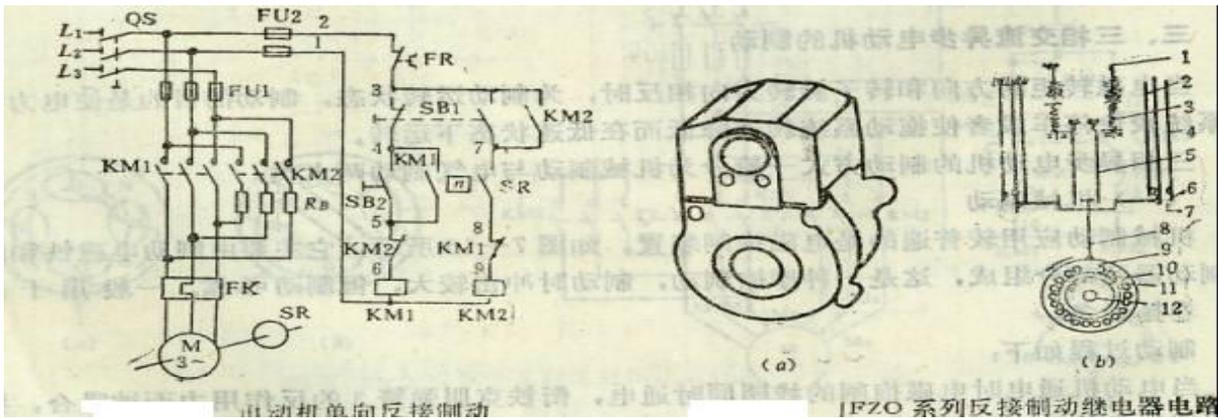
单向反接制动自动控制电路图如下图所示，其工作过程如下：

当按下按钮 SB2 时，接触器 KM1 线圈获电吸合电动机 M 开始转动，并带动速度继电器 SR 一起起动。当转速达到 120r/min 以上时，SR 常开触头闭合，为反接制动作好准备。电动机处于正常运转时，若按下按钮 SB1 时，接触器 KM1 线圈失电释放，电动机失电进入惯性运转状态，此时由于 SR 接通接触器 KM2，电动机反向通电，进

行反接线制动，其速度下降，当转速达到 120r/min 以下时，SR 的常开触头断开，接触器 KM2 线圈失电释放，电动机反向电源被切断，制动过程结束。反接制动时间一般大约为 1-3S。

电动机反接制动时，由于旋转磁场与转子的相对切割速度(n_1+n_2)很高,因而制动电流很大，约为电动机额定电流的 10 倍。当电动机容量在 4.5kW 以上时，需要在主电路中串接电阻 R_B 以限制反接制动电流。

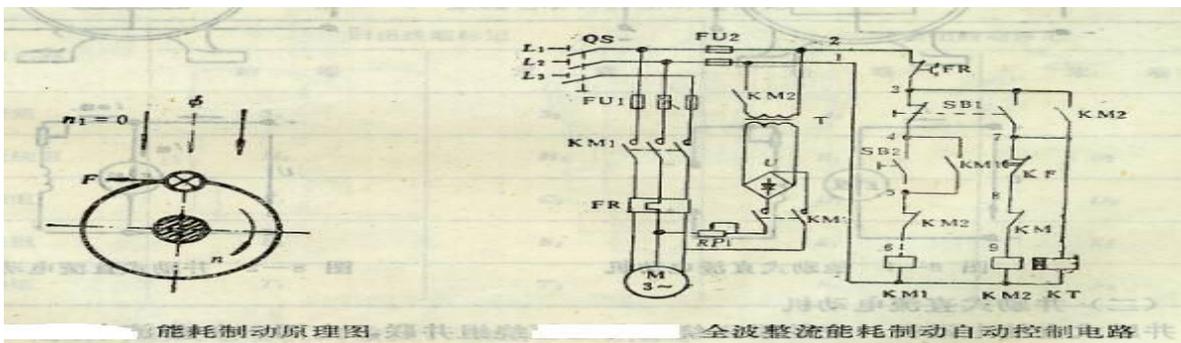
上述反接制动中主要作用的是反接制动继电器 SR（又叫速度继电器）。图中所示为 JFZO 系列速度继电器，图（a）为外形图，图（b）为内部结构原理图。



反接制动的冲击力较大，一般用在电动机功率在 4.5kW 以下且启动不太频繁的场所。

2. 能耗制动 当电动机断电后立即使定子绕组接上直流电源，于是定子绕组产生一个静电场，此时转子由于惯性还在旋转，转子导体因切割磁场而产生感应电动势和电流，从而产生与原转向相反的转矩，阻碍转子旋转。其制动原理如图所示。

能耗制动常用控制电路有半波整流和全波整流能耗制动自动控制电路。图中所示为全波整流能耗制动自动控制电路。电路工作过程如下：



按下按钮 SB2，接触器 KM1 接通，电动机 M 起动并正常运转。当按下按钮 SB1 时，KM1 线圈失电，电动机 M 电源被切断，此时接触器 RM2 和时间继电器 KT 线圈都获电吸合，直流通 KM2 两副常开触头及电位器 RP1 通入电动机 M 定子绕组中产生制动作用。经延时后时间继电器 KT 触点(7-8)断开，KM2 线圈失电，制动结束。

能耗制动对电网无冲击作用，制动平稳可靠，并可实现准确停车，因此应用较为广泛。

3. 再生制动 再生制动又叫发电制动或回馈制动，其制动原理是转子转速大于异步电动机的同步转速时产生反向电磁转矩进行制动。这种制动一般用于起重机械重物下降和变级调速电动机。

八、电动机的使用和维护

（一）电动机的日常运行和维护

为了保证电动机的正常运行，延长使用寿命，电动机日常运行中的监视和维护很重要，它可以防微杜渐，把事故消灭在萌芽之中。

（1）电动机起动前的检查

1) 新安装或长期停用的电动机，起动前应做好如下检查：

- ① 电动机基础是否稳固，螺栓是否拧紧，轴承是否缺油，油是否合格；电动机接线是否符合要求，绝缘电阻是否合格等。
- ② 熔丝摆设是否符合要求；起动设备接线是否正确；起动装置是否灵活，有没有卡住现象；油浸自耦降压起动设备的油是否变质，油量是否合上；触头接触是否良好。
- ③ 电动机和起动设备的金属外壳是否可靠接地或接零。

2) 正常运行的电动机，起动前应做如下检查

- ① 检查三相电源是否有电，电压是否过低；熔丝有无损坏，安装是否可靠。
- ② 联接器的螺栓和销子是否紧固；皮带连接是否良好；松紧程度是否合适；机组转动是否灵活，有无摩擦、卡住、串动和不正常声响。
- ③ 电动机周围是否有妨碍运行的杂物和易燃品等。

3) 起动电动机时应注意的事项

- ① 起动电动机时近旁不应有人，拉合刀闸时操作人员应站在一侧，防止电弧烧伤；使用双刀闸起动、星角起动或自耦降压起动，必须遵守操作顺序。
- ② 几台电动机共用一台变压器时，应由大到小，一台一台地起动。一台电动机连续多次起动时，应按有关规定保留适当间隔时间，防止过热，连续倾动不宜超过 3—5 次。
- ③ 合闸后如电动机不转或转速很慢，声音不正常时，应迅速拉闸检查，找出原因后，再行起动。

（2）电动机的日常检查

1) 监督电动机发热情况

电动机在运行中发热情况十分重要，如不注意，容易烧毁电动机或减少其使用寿命。

命。实用中电动机温度超过其允许值时，即便不烧毁电动机，也要损坏绝缘，是电动机寿命缩短。如 A 级绝缘的电动机在允许温度 100℃ 以下使用，一般可用 20 年，如在 140℃ 下使用，只能用一个半月；如在 225℃ 下使用，仅 3h 就坏了。

依据电动机的类型与绕组所用的绝缘等级，制造厂对绕组和铁芯等都规定有最大允许温度和最大允许温升见下表。温度和温升的关系如下：

温度=温升+周围空气温度；

温升=温度-周围空气温度。

常用的电动机允许允许温升表

电动机 部件	绝缘 等级	环境温 度 (℃)	允许温升 (℃) (用温度计法测 出)	允许温度 (℃) (用温度计法测 出)
定子绕组	A	35	60	95
铁 芯	A	35	65	100
滚动轴承	A	35	60	95
定子绕组	B	35	75	110
定子绕组	B	40	65	105
铁 芯	B	40	75	115

2) 监督电动机电流额定值

电动机铭牌上所标定的电流值是额定电流值，是指室温为 35℃（某些国产电动机为 40℃）时的数值。在 35℃（或 40℃）时，电动机电流不允许超过铭牌上所规定的电流值，否则电动机定子线圈将因过热而损坏。电动机散热一般随气温升高而恶化，气温下降而改善，相应地电动机额定电流也随着变动。如下表

气温变化时对电动机的许可电流值

周围空气温 (℃)	降低 (-) 额定电流 增加 (+)
20 以下	+8
30	+5

35	0
40	-5
45	-10
50	-15

3) 注意电源电压的变化

电源电压的变化是影响电动机发热原因之一。电源电压增高或过高，则电动机电流增大，发热增加；电源电压过低，当电动机负荷不变时，则电流又要增大，定子线圈也会增加发热，因此电动机运行中电源电压要求稳定在一个范围内。一般在电动机出力不变的情况下。允许电源电压在+10%—-5%范围内变化。如果电源电压变化过大要及时通知有关部门进行调整。电源电压对电动机运行的影响见下表：

电压变动对电动机运行的影响

电压增减	起动转矩及最大转矩	转差	满载转数	满载效率	功率因数	满载电流	起动电流	温度(°C)
比额定电压高10%	增 21 %	减 17 %	增 1 %	增 1 %	减 3%	减 7%	增 10 %	减4
比	减	增	减	减	增	增	减	增7

额定电压低10%	19%	23%	2%	2%	11%	11%	10%	
----------	-----	-----	----	----	-----	-----	-----	--

4) 注意三相电压和三相电流的不平衡程度

三相电压的不平衡也会引起电动机的额外发热。电动机在运行中，应检查其三相电压是否平衡。三相电压的不平衡程度在额定功率下，允许相间电压差不大于5%；电动机的三相电压不平衡，电流也要出现相应地不平衡；或者由于定子绕组三相阻抗的不相等，也会造成电流的不平衡。一般情况，电动机三相电流的不平衡不是由三相电源电压引起的，而是表明电动机有故障或定子绕组有层间短路现象。一般三相电流的不平衡程度不允许大于10%，严重的三相电流不平衡一般是由一相保险丝熔断造成电动机单相运行所致。

5) 注意电动机的振动

电动机振动过大，必须详细检查基础是否牢固，地脚螺丝是否松动，皮带轮或联轴器是否松动等。有时振动是由转子不正常而引起的，也有因短路等引起的，应详细查找原因，设法消除。

6) 注意电动机的声音和气味

电动机正常运行时声音应均匀，无杂音和特殊声。如声音不正常，可能有下述几种情况：

特大嗡嗡，说明电流过量，可能是超负荷或三相电流不平衡引起的，特别是电动机单相运行时，嗡嗡生更大。

咕噜咕噜声，可能是轴承滚珠损坏而产生的声音。

不均匀的碰撞声，往往是由于转子与定子相擦发出的异声，即扫膛声。应立即判断处理。在电动机运行中，有时因超负荷时间过久，以致绕组发生绝缘损坏，就可以嗅到一种特殊的绝缘漆气味。当发现电动机有异常和异味时，应停机检查，找出原因，消除故障，才能继续运行。

除了上述各项外，电动机在运行中还应注意其通风情况和周围环境的清洁，以及

电刷轴承的工作状况和发热情况等。

(3) 电动机的故障停机

运行中电动机有下列情况之一时，应立即切断电源，停机检查：

- ① 运行中发生人身事故；
- ② 电动机发响发热的同时，转速急速下降；
- ③ 电动机起动设备冒烟起火，电动机所拖动的机械发生故障；所带机械的传动装置结构折断（断轴等）；
- ④ 电动机轴承超过规定的高热；电流超过铭牌规定或运行中电流猛增；
- ⑤ 电动机发生强大振动。

(4) 电动机的定期维护

电动机除了做好运行中的维护监视外，经过一定时间运行后，还应进行定期检查和维护保养，这样才能保证电动机的安全运行并延长使用寿命。

在日常维护保养中，一般规定电动机的检修有：大修每1—2年1次；中修每年运行2次；小修是对主要电动机或在环境不良情况下（潮湿、粉尘、腐蚀等处所）运行的电动机，每年四次，其他电动机可酌减，每年2次。

常用中小型电动机，大、中、小修内容如下：

1) 大修主要内容

- ① 全部或部分更换电动机绕组；
- ② 重装滑环或换向器；
- ③ 修整轴承或更换转子轴；
- ④ 平衡转子或更换风扇；
- ⑤ 清扫装置浸漆等工作。

2) 中修主要内容

- ① 拆卸电动机排除个别线圈所存在的缺陷；
- ② 更换损坏的槽键和绝缘套管；
- ③ 检查电动机风扇的紧固情况，进行修理；
- ④ 更换轴承衬垫；
- ⑤ 修整转子的轴颈，测量定子，转子间的间隙；
- ⑥ 清洗轴承并加润滑油脂；
- ⑦ 修理和研磨滑环，检修刷柄和换向器；

⑧ 装配电动机，检查定子，转子和带负荷的运行情况。

3) 小修主要内容

① 检查电动机紧固情况和接地是否完好；

② 检查电刷外壳及轴承发热情况；

③ 不拆开电动机进行清扫；

④ 紧固端子板的引出线和连结线；

⑤ 检查电动机运转时是否存在不正常的声音。

(二) 异步电动机的常见故障及处理

异步电动机的故障较多，但一般可分为电气和机械两部分。电气部分故障包括各种类型的开关、按钮、熔断器、电刷、定子绕组及起动设备等。机械方面的故障包括轴承、风叶、机壳、联轴器、端盖、轴承盖、转轴等。

电机发生故障之后，必须迅速准确地掌握故障发生的原因，以便尽快修复。一般分析电动机故障的步骤为：

① 清楚地了解电动机的规格和构造，并详细询问，了解故障发生的情况，尤其是故障发生前后的变化。

② 仔细观察电动机所发生的现象，有无怪声、震动、发热、冒烟、焦臭味等。

③ 若最初的故障现象还不够明显，可借助仪器进行测试。

④ 根据现象和理论分析，作出判断。

三相异步电动机的几种故障及处理方法分别介绍如下。

(1) 电动机定子耐压强度不良

经验表面，成品电机返修的原因大部分由于绕组绝缘方面的缺陷，造成绕组绝缘被击穿。

(2) 电动机空载电流偏大

电动机空载电流包含两个分量：空载电流励磁分量和空载电流的有功分量。空载电流与设计、导磁材料和制造水平等有关，还与电机的功率和极数有关。一般情况下，电动机空载电流与满载电流存在着一定的比例关系。功率小、极数多、空载电流与满载电流的比值就大。下表是 Y 系列（IP44）（机座号 80—315）和 J02 系列（机座号 1—9）电动机空载电流与满载电流的比值（%）。

表 4—13 Y 系列（IP44）（机座号 80—315）和 J02— 1—9 电动机空载与满载电流的比值（%）

	2		4		6		8		10	
	Y	J	Y	J	Y	J	Y	J	Y	J02
0.55-4	3 5 — 4 5	3 5 — 4 5	5 5 — 6 5	5 0 — 6 0	5 5 — 7 0	5 0 — 7 0	5 5 — 7 0	5 5 — 7 0	—	—
5.5-40	3 0 — 3 5	2 5 — 3 5	3 5 — 4 5	3 5 — 4 0	4 0 — 5 5	4 5 — 5 0	4 5 — 5 5	4 5 — 5 5	—	—
45以上	2 5 — 3 0	1 8 — 2 5	2 5 — 3 0	2 0 — 3 0	3 0 — 3 5	2 5 — 3 0	3 5 — 4 5	3 5 — 4 5	45- 55	50- 55

在出厂前(或用户验收电动机时)或换绕组后的电动机，都需要测试空载电流。若测得电动机空载电流超出正常范围，表明电动机存在问题，需查清原因以便进行处理和解决。下表列出了异步电动机空载电流偏大的原因及处理方法。

异步电动机空载电流偏大的原因及处理方法

序号	原因	处理方法
1	电源电压偏高；	降低电源电压；
2	定子 Y 接法误接成△接法；	照铭牌规定改接线；
3	转子装置（极数少的转子装进了极数多的定子内）；	拆开电机，换成正确的转子；

4	转子直径车小了，气隙偏大；	换合格转子，或降低电机功率来使用；
5	铁心导磁性能差；	改用导磁性能好的硅钢板；
6	定、转子铁心错位，铁心有效长度减少；	拆开电机，将定、转子铁心压装到正确位置；
7	定子绕组每圈匝数绕错（少）；	按设计数据重绕定子线圈
8	线圈节距嵌错；	拆除，重嵌线；
9	绕组的线圈组接反；	按绕组展开图或接线原理图重接线；
10	应串联的线圈组错接成了并联；	同上；
11	轴承损坏；	换轴承；
12	转轴弯造成定、转子相擦；	拆开电机，校正转轴；
	风扇装错（如 2 极电机装上了 4、6 极电机风扇）；	

（3）电动机三相电流不平衡

当三相电源对称时，异步电动机在额定电压下的三相空载电流，任何一相与平均值的偏差不得大于平均值的 10%。只有在三相电压不平衡过大，或电动机本身有了故障，电动机才会产生较大的三相电流不平衡。

三相电流不平衡除会使电动机产生额外发热外，还会造成三相旋转磁场不平衡，使电动机发出特殊的低沉声响，机身也因此而振动。

为使电动机三相电流平衡，必须使定子（半成品）三相电流保持平衡。当定子通以三相对称的中频低电压时，定子三相电流中的最大值同最小值之差与三相电流平均值之比，不得大于 1%。下表列出了电动机三相电流不平衡的主要原因。

异步电动机三相电流不平衡原因

序号	原因	检查方法
1	三相电源电压不平衡。	用电压表测量三相电源电压：
2	匝间短路； 绕组断路（或 并联支路中 一条或几条	a. 观察法：绕组发生短路后，在故障处产生高热而使绝缘焦脆。因此，可细心观察绕组外部，有无烧焦的地方或嗅到绝缘烧焦气味； b. 短路侦察器法：线圈有短路，则串在侦察器线圈回路里的电流表读书就会增大；

3	支路断路) 定子绕组部 分线圈接反 三相匝数不 相等。	测量三相电阻：电动机三相电阻的最大差值不得超过三相电阻平均值的 3%； 将低压直流电通入某相绕组用指南针沿铁心槽上逐槽检查。如果在每个极相组上指南针的指示方向依次改变，则表示接线正确。反之，表明某极相组接反。如果在同一极相组的邻近几槽，指南针的方向变化不定，说明该极相组有个别线圈接错； 首、尾串联，测量分段压降，先测量每相电压是否相等，接着测量不正常一相的各相组电压是否相等，最后测量不正常相组的各线圈电压是否相等，就可找到匝数有错误的线圈。
---	---	--

(4) 电动机温升高

电动机是使电能转变成机械能的机器，在能量转换过程中，会有损耗，这种损耗主要是：

铁损耗(包括磁滞损耗和涡流损耗)。其大小与铁芯磁通密度、硅钢板性能、制造工艺有关。

绕组铜(铝)损耗。其大小与绕组电阻成正比，与绕组电流平方成正比。

机械损耗。轴承摩擦以及电机转动部分与空气摩擦损耗(包括风扇所耗功率)。

上述各种损耗最后转变为热，使电动机温度提高。当电动机在额定工作状况下正常运行时，其温升不应超过温升限值。

造成电多极过热的原因是很复杂的。电源，电动机本身和负载三方面的异常情况都会造成电动机过热，通风散热不良也会引起电动机过热。

电动机长期过热，会使电机绝缘热老化，影响电机使用寿命。

对于出厂前温升不合格的电机，可将定子(带机壳)再浸漆与烘干以遍，可降低温升 3—5℃。

对于在使用中的电机，若温升高，应停机查明故障原因排除故障后再用。

(5) 电动机起动性能

三相异步电动机的短路试验，是将转子堵住，在定子绕组上施以三相电压下进行。短路试验是确定电动机在额定电压下的最初起动电流(堵转电流)与最初起动转矩(堵转转矩)，以考核笼型转子的铸铝质量及转子槽形尺寸等设计的合理性。

制造质量稳定时，同规格笼型异步电动机在规定短路电压下的短路电流，一般只相差 3—6%，很少超过 10%。短路损耗一般只相差 5—10%。三相短路电流的不平衡

度，一般也不应超过 2—3%。

为保证产品的起动性能和效率合格，短路试验数据不得超过允许的波动范围。否则，应分析原因，排除故障。下表从短路试验结果对故障的原因进行分析。

短路试验结果的故障分析

序号	故障现象	故障原因	引起后果
1	短路电流大	a. 定子绕组匝数少 b. b. 转子槽斜度小 c. 气隙大 d. 定、转子铁心未对齐 e. 定、转子铁心长度不足 f. 定、转子冲片毛刺大 g. 定子铁心槽口锉大 h. 双层绕组节距错误	堵转电流可能不合格
2	短路电流小	a. 铜条笼型转子焊接不良 b. 铸铝转子铁心叠压不齐致使导条槽面缩小 c. 铝笼中杂质多，使转子电阻增大 d. 转子铁心槽口未开，使转子电抗增大 e. 转子断条、缩孔	效率可能不合格
3	短路损耗小	转子电阻偏小	堵转转矩可能不合格
4	短路损耗大	a. 转子电阻大 b. 转子断条	效率可能不合格， 起动缓慢

对于堵转转矩不合格的电机，在效率、功率因数和温升有较大裕度的情况下，采取如下措施，将会取得明显效果：

- ① 适当减小转子外径，增大气隙，以减少差漏抗和谐波转矩；
- ② 适当减小转子端环截面，以增大转子电阻，这对 2、4 极电机较为有效；
- ③ 在保证转子端环有足够的机械强度前提下，在端环上，离铁心约为环厚的 1/4 处，车出一道深（环高的 5/6）而窄（3mm 宽）的槽 2，将端环分为紧靠铁心的起动部分 1 及截面较大的工作部分 3。电动机起动时，转子电流集中在导条和端环的上层，电流

几乎不在端环下层的跨接段 4 及工作部分 3 中通过，转子起动电阻增大。

对于新设计的电动机，在电动机的功率因数和堵转电流有较大裕度情况下，可采取下列措施提高堵转转矩：

- ① 适当减小定子绕组的每槽导体数，以减少漏抗；
- ② 减少转子槽口高度，减少定子槽深，以减少槽漏抗；
- ③ 适当缩小转子槽面积和端环面积，增加转子电阻；
- ④ 转子采用深槽结构或由单笼改为双笼，即利用集肤效应，使起动时转子电阻增大，提高堵转转矩并抑制了堵转电流

(6) 电动机的振动与噪音

电动机在正常运行时，机身应该平稳，声音应该低而且均匀。

电动机的振动，包括电磁振动和机械振动。电磁振动是由于电动机气隙磁场相互作用，产生随时间和空间变化的径向力，是定子铁心和机座作周期性变形，即定子发生振动。另外，因气隙磁场中含有各种谐波磁场，因而产生谐波转矩，也使电动机振动。

引起电动机振动的主要原因是机械振动，如转子动平衡或风扇平衡不良、轴伸的联接器轴孔偏心、轴伸弯曲等因素，而产生离心力引起的机械振动。转子动平衡不良，是电机振动过大的常见原因。由转子不平衡离心惯性力所引起的振动，与转速的平方及转子残余不平衡度成正比。机座上各点的振动，还随离转子重心轴向距离的增加而增大。此外，定、转子绕组三相不对称，甚至单相运作或匝间短路；笼型转子断条、脱焊或端环开裂，具有举刷装置的绕线转子异步电动机，集电环的短接片与短路环的触头接触不稳定；轴承质量低、电动机装配质量低、零件加工精度低、联轴器连接松动、安装基础不平或有缺陷，定、转子相擦等，对电动机振动均有影响。

电动机的噪音源可分成三大类：通风噪音、机械振动噪音和电磁噪音。

通风噪音常常是电动机噪音的主要部分，尤其是高速电机，及转速在 1500r / min 以上、风扇直径大于 200mm 的电机。通风噪音是电动机旋转时，风扇和转子凸出部位使空气产生冲击和摩擦而引起，它随风扇及转子圆周速度的提高而显著增强。

机械振动噪音主要由滚动轴承引起。它是低速中、小型电机噪音的主要部分，尤其是转速在 1500r / min 以下、风扇直径较小的电机。电机转子的振动，滚动轴承的损坏或严重缺油，以及轴承质量低劣都会发出噪音，同上滚动体旋转不均匀还使端盖表面也发出噪音。为了减少电机的轴承噪音，除正确选用轴承外，还应保证轴承装配后

的正常工作游隙，并保持轴承清洁。

电磁噪音是异步电动机在运行中，有定、转子齿谐波磁通相互作用而产生的定、转子之间径向交变磁拉力，引起定子周期振动而发出噪音。当定、转子槽配合选择不当、绕组节距选择不对、电动机接线错误、转子槽斜度不够等，电磁噪音也会提高。除此以外，在成品电机试验和大修完的电机作空载运转时，有时出现不正常音响，如由转子端环或转子风叶与定子绕组的绝缘之间相摩擦而产生的摩纸声，其原因是相间绝缘纸垫的不正或太大，必须打开电机进行修整。

(7) 电动机扫膛

电动机转动时转子与定子内圆相碰擦，称为电动机扫膛。扫膛分实扫与虚扫，电动机扫膛时转子外表面和定子内圆会出线擦痕。

实扫，即定、转子铁心相擦，说明定、转子间气隙不均匀。严重的扫膛会使定子内圆局部产生高温，槽面的绝缘在高温下变得焦脆，造成绕组接地或短路；还可能引起电机振动和噪音，并使电气性能下降。

虚扫。即定、转子铁心没有实际相擦，而是转子与定子内圆凸出的绝缘物质或油污相擦，说明电机内部不清洁。

(8) 电动机轴承过热

在小型电机中，一般前、后端均应采用滚珠轴承。在中型电机中，一般传动端采用滚柱轴承，另一端采用滚珠轴承，也有采用滑动轴承结构。轴承发热是异步电动机最常见的故障之一。

轴承发热，轻则使润滑脂稀释漏出，重则将轴承损坏。下表列出了轴承发热的原因及处理方法。

轴承发热的原因及处理方法

序号	轴承发热的原因	处理方法
1	轴承损坏	更换轴承
2	滚动轴承润滑脂过多、过少或有杂质	调整润滑脂用量约相当轴承盖内空间体积的 $1/3 - 1/2$ 或清洗轴承和轴承盖，换上洁净的润滑脂
3	滑动轴承润滑油不够、有杂质	

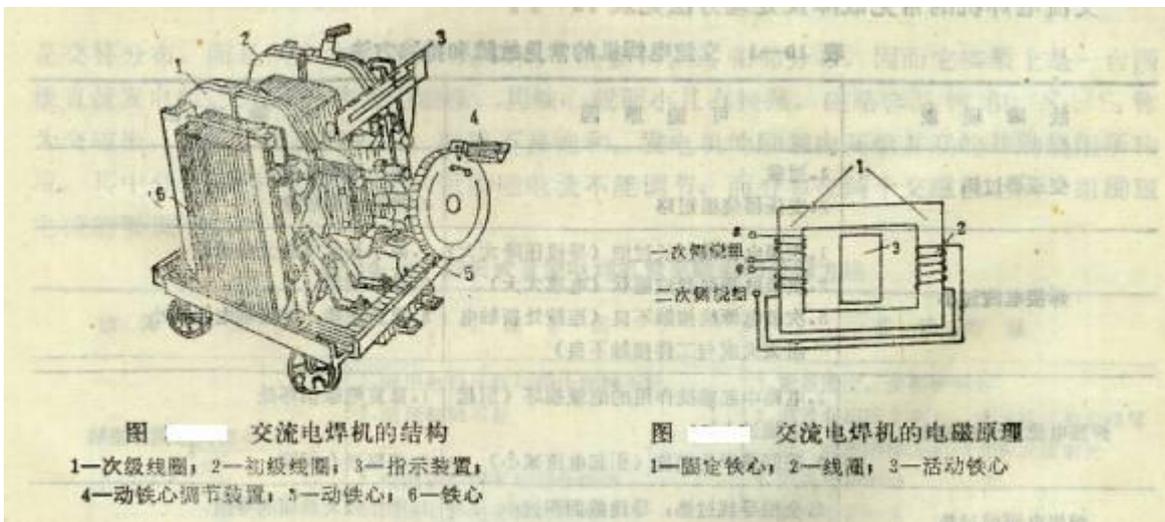
4	或油环卡住 轴承与轴配合过松或过紧	加油到标准油面或更换新油；查明卡住原因，进行修复；油粘度过大时应调换润滑油
5	轴承于端盖配合过松或过紧	过松时可将轴颈喷涂金属；过紧时重新加工
6	电动机两侧端盖或轴承未装配好	过松时将端盖镶套；过紧时重新加工
7	皮带过紧、过松或联轴器装不良	将两侧端盖或轴承盖止口装平，旋紧螺栓 调整皮带松紧程度；校正联轴器

（一）交流电焊机

交流电焊机具有结构简单，维护方便，效率高和价格低等优点，因此被广泛应用。

（一）焊机的结构

交流电焊机的结构如下图所示：



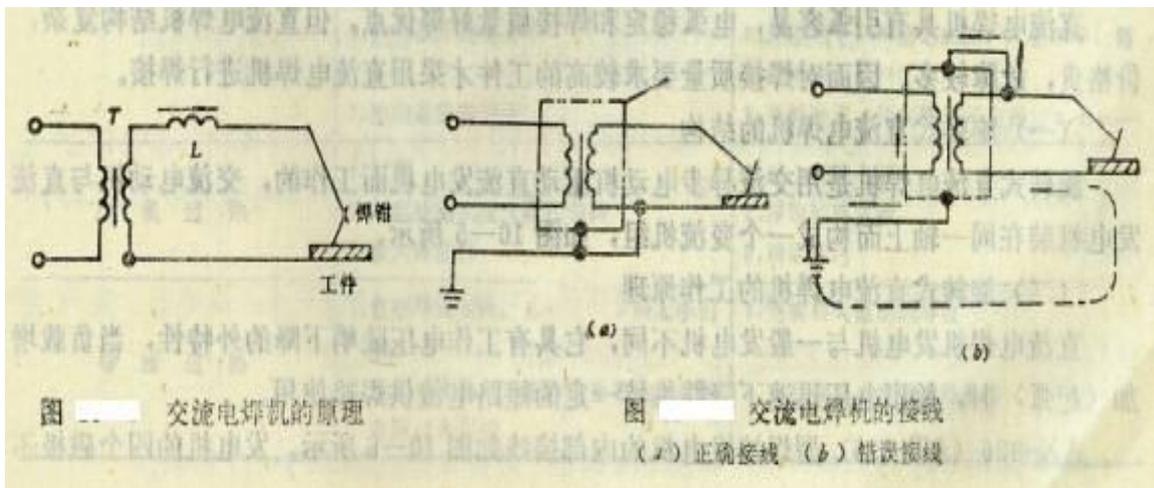
（二）工作原理

交流电焊机实质上是一种特殊的降压变压器。它的工作原理基本同变压器一样，它是利用电焊变压器把高压小电流变成低压大电流的用电设备，空载时二次电压约为 60—70V，工作时二次电压约为 80V 左右。工作电流的大小是靠调节动铁芯或电抗器来实现的。

4、 交流电焊机的维护

1. 交流焊机使用时要正确接线，即电焊机的外壳与二次侧应可靠地保护接零或接地，防止外壳露点或高压窜入低压对人体造成触电危险，如下图所示，但它的焊钳端不能保护接零或接地，电焊机的电源线应为三心橡皮软线电缆，长度为3m，其中两心是电源线，另外一心则保护接零或接地，它的焊钳引线和地线应为具有足够截面的多股橡皮软铜线。

2. 交流焊机由于移动性大，工作条件差，所以要加强维护和保养工作，即除去灰尘和接线处锈蚀，紧固接线螺钉；另外，还要定期对电焊机进行检修。检修的内容主要包括测量绕组的绝缘电阻值，修复或更换损坏件，检查导线电缆的绝缘是否有损伤，使设备处于良好的技术状态。



(四) 交流电焊机的常见故障处理方法见下表

交流电焊机的常见故障处理方法

故障现象	可能原因	排除方法
变压器过热	1. 过载 2. 变压器绕组短路	1. 减小焊接电流 2. 排除短路故障
焊接电流过小	1. 次级电源线过长过细（导线压降太大） 2. 次级电源线盘成圈状（电感太大） 3. 次级电源线接触不良（连接处接触电阻太大或与过作接触不良）	1. 减小长度或放大面积 2. 排除圈状 3. 重新连接，使接触电阻减小
焊接电流过大	1. 电路中起感抗作用的绝缘损坏（引起电流过大）	1. 修复绝缘损坏处

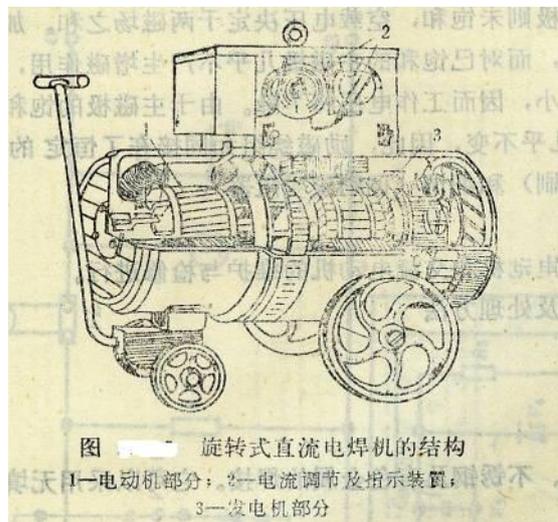
或过小	2.磁回路产生涡流(引起电流减小)	2.调整铁心间隙
焊接电源线过热	1.全根导线过热:导线截面积过小 2.连接处过热:连接处的接触电阻过大	1.更换较大面积的导线 2.重新连接,减小接触电阻
焊接电流忽大忽小	动铁心在焊接时位置不稳定	固定调节手柄或动铁心
焊接时有“嗡嗡”异声	动铁心的制动螺钉或弹簧过松	固紧制动螺钉或调整弹簧压力

(二) 直流电焊机

直流电焊机具有引弧容易,电弧稳定和焊接质量好等优点。但直流电焊机结构复杂,价格昂贵,故障较多。因对焊接质量要求较高的工件才采用直流电焊机进行焊接。

(一) 旋转式直流电焊机的结构

旋转式直流电焊机是用交流异步电动机驱动直流发电机而工作的,交流电动机与直流发电机装在同一轴上而构成一个变流机组,如下图所示:



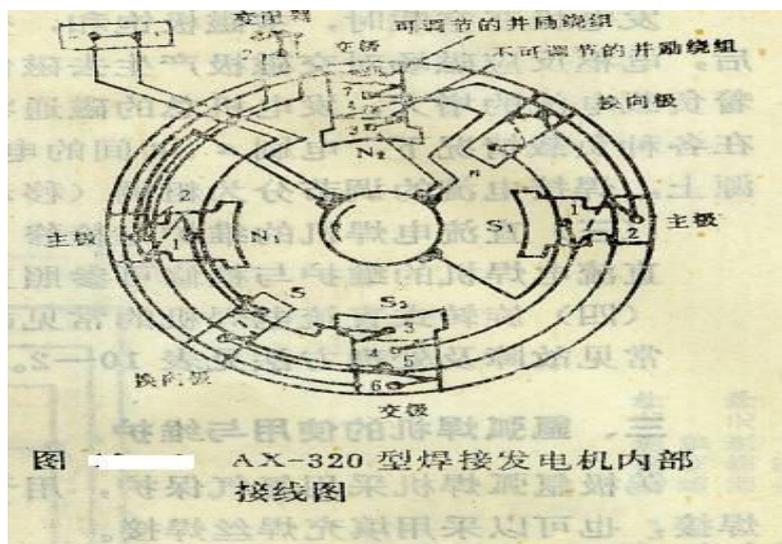
(二) 旋转式直流电焊机的工作原理

直流电焊机发电机与一般发电机不同,它具有工作电压陡峭下降的外特性,当负载增加(起弧)时,输出电压迅速下降并维持一定的短路电流供焊接使用。

AX-320(AT-320)型焊接发电机的内部结构接线如图所示。发电机的四个磁极不是交替分布,而是两个北极 N_1 、 N_2 和两个南极 S_1 、 S_2 相邻分布,因而它实质上是一台

两级直流发电机。N₁、S₁称为主磁极，其铁心截面小且有块劲，磁路容易饱和。N₂、S₂称为交磁极，其铁心面积较大，磁路不容易饱和。发电机的励磁由两组并联的励磁绕组所构成，其中分布在四个磁极上的一组励磁电流不能调节，而分布在两个交磁极上的一组励磁电流能够调节。

发电机在空载时，主磁极饱和，交磁极则未饱和，空载电压决定于两磁场之和。加载后，电枢反应磁场对交磁极产生去磁作用，而对饱和的主磁极几乎不产生增磁作用，随着负载电流的增大，发电机总的磁通将减小，因而工作电压将下降。由于主磁极的饱和，在各种负载情况下，电刷 a、c 间的电压几乎不变，因此，励磁绕组如同接在了恒定的电源上。焊接电流的调节分为粗调（移动电刷）和细调（调励磁变阻器）。



（三）直流电焊机的维护与检修

直流电焊机的维护与检修可参照直流电动机和交流电动机的维护与检修进行。

故障现象	可能原因	排除方法
焊接电流忽大忽小	输出电源导线与焊件接触不良 电刷接触不良 电流调节器可	重新固定，使接触良好 调紧电刷压力弹簧，或固定紧连接引线螺母，或清除换向器表面积炭或磨光 固紧可动部分 调整电源电压

	动部分松动 网路电源电压 波动太大	
电 刷 跳 火 花 换 向器 表 面 积 碳 或 发 热	电刷接触表面 高低不平 电刷压力弹簧 压力减弱 电刷在盒中跳 动或摆动 电刷架歪曲 电刷与换向器 错位 换向器片高低 不平 换向器径向振 动	磨好电刷 调整弹簧压力 检查电刷规格是否配套，有否破裂，或电刷盒有否开裂（电 刷在盒中间隙不应超过 0.3mm） 纠正电刷架 校正错边的电刷 轻度不平，用油石研磨；严重不平需要经车床加工 更换轴承（径向摆动不应超过 0.03mm）
焊 机 过热	过载 电枢线圈或换 向器片短路 换向器脏污	减小焊接电流 排除短路故障 清除积污
导 线 过热	整根导线发热， 系导体横截面 积太小引起 连接处发热，系 连接质量不佳、 接触电阻过大 引起	更换较大截面积的导线 重新接头，改善接触电阻

（四）旋转式直流电焊机的常见故障及处理方法

常见故障处理方法见下表

旋转式直流电焊机常见故障和排除方法

第五章、低压配电导线的认识与选择

第一节、导线类别：裸导线、绝缘导线

裸导线：用铝、铜或钢制成,外面没有包覆层,导电部分能触摸或看到

绝缘导线：由导电的线芯和绝缘外皮两部分组成;线芯用铜或铝制成,外皮用塑料或橡胶制成,导电部分看不见、摸不着。

第二节、绝缘导线

绝缘导线的种类：绝缘导线品种繁多,按绝缘材料主要有塑料绝缘导线和橡胶绝缘导线;按线芯材料分有铜芯导线和铝芯导线;按线芯形式分有单股和多股绞合导线;按用途分有布线和连接两种。

绝缘导线的结构组成：主导电线芯、橡皮绝缘、橡皮填芯、接地线芯、橡皮护套。

常用绝缘导线的型号、名称及主要用途如下：

型号		名 称	主要用途
铜芯	铝芯		
BX	BLX	棉纱编织橡胶绝缘电线	固定敷设,可明敷、暗敷
BXF	BLX F	氯丁橡胶绝缘电线	固定敷设,可明敷、暗敷,尤其适用室外
BXHF	BLX HF	橡胶绝缘氯丁橡胶护套电线	固定敷设,适用于干燥或潮湿场所
BV	BLV	聚氯乙烯绝缘电线	室内、外固定敷设
BVV	BLV V	聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套电线	室内、外固定敷设
BVR		聚氯乙烯绝缘软电线	同 BV 型,安装要求较柔软时用
RV		聚氯乙烯绝缘软线	交流额定电压 250V 以下日用电器,照明灯头接线,无线电设备等
RVB		聚氯乙烯绝缘平型软线	
RVS		聚氯乙烯绝缘绞型软线	

第三节、导线选择的规定与条件（2 课时）

导线选择须满足发热条件：在最高环境温度和最大负荷的情况下,保证导线不被烧坏,即导线中通过的持续电流始终是允许电流.

导线选择须满足电压损失条件：以保证线路的电压损失不超过允许值.

导线选择须满足机械强度条件：在任何恶劣的环境条件下,应保证线路在电气安装和正常运行过程中不被拉断.

导线选择须满足保护条件：以保证自动开关或熔断器能对导线起到保护作用.

塑料绝缘铜、铝电线安全载流量表（A）

标 准 截 面 / m m ²	明线敷设		穿管敷设						护套线			
			二根		三根		四根		二芯		三及四芯	
	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
1	1		1		1		1		1		1	
	8		5		4		3		4		1	
1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
·	2	1	8	3	6	2	5	1	8	4	2	0
5		7										
2		2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1
·	3	2	6	0	5	9	3	7	2	9	9	5
5		3										
4	4	3	3	2	3	2	3	2	3	2	2	2
	0	0	8	9	3	5	0	3	3	5	5	0
6		3	4	3	4	3	3	2	4	3	3	2
	5	9	4	4	1	1	7	8	1	1	1	4
6												
1	7	5	6	5	5	4	4	3	6	4	4	3

0	5	5	8	1	6	2	9	7	3	8	8	7
1 6	1 0 0	7 5	8 0	6 1	7 2	5 5	6 4	4 9				
2 5	1 3 0	1 0 0	1 0 0	8 0	9 0	7 5	8 5	6 5				
3 5	1 6 0	1 2 5	1 2 5	9 6	1 1 0	8 4	1 0 5	7 5				
5 0	2 0 0	1 5 5	1 6 3	1 2 5	1 4 2	1 0 9	1 2 0	8 9				
7 0	2 5 5	2 0 0	2 0 3	1 5 6	1 8 2	1 4 1	1 6 1	1 2 5				
9 5	3 1 0	2 4 0	2 4 3	1 8 7	2 2 7	1 7 5	1 9 7	1 5 2				

第六章 电气安全技术

1. 常用电气设备安全色及安全标志

发电机和电动机上应有设备的名称、容量和编号。

变压器上应有名称、容量和顺序编号；单相变压器组成的三相变压器除标有以上内容外，还应有相位的标志；变压器室的门上，应标注变压器的名称、容量、编号，有周围的遮栏上挂有“止步、高压危险！”警告类标志牌。

蓄电池的总引出端子上，就有极性标志，蓄电池室的门上应挂有“禁止烟火”等禁止类标志。

电源母线 L₁(A)相黄色；L₂(B)相绿色；L₃(C)相红色；明设的接地母线、零线母线均为黑色；中性点接于接地网的明设接地线，为紫色带黑色条纹；直流母线正极为赭色，负极为蓝色。

照明配电箱为浅驼色，动力配电箱为灰色或浅绿色，普通配电屏为浅驼色或浅绿色，消防或事故电源配电屏为红色，高压配电柜为浅驼色或浅绿色。

电气仪表玻璃表门上应在极限参数的位置上画有红线。

明设的电气管路一般为深灰色。

高压线路的杆塔上用黄、绿、红三个圆点标出相序。

2. 带电作业的基本措施

带电作业应则经验丰富的电工进行。至少两人以上同时工作，设有专责监护人进行监护。

带电作业应使用合格的绝缘工具，工作时应站在干燥的绝缘物上进行。

带电作业时应采取防止相间短路和三单相接地的绝缘措施。采取防止误触、误碰周围低压带电体的措施。

工作时先分清火线、零线,选好工作位置.断开线时，先断开火线，后断开地线；搭接导线时，顺序相反。人体不得同时接触两根线头。

3. 电气安全用具

安全用具的种类.安全用具可分为基本绝缘安全辅助绝缘安全用具两种。

基本绝缘安全用具：指绝缘程度足以抵抗电气设备运行电压并直接接触电源的安全用具。

高压基本绝缘安全用具有：绝缘杆、绝缘夹钳、高压验电器（高压试电笔）。

低压基本绝缘安全用具有：绝缘手套、装有绝缘柄的工具、低压试电笔。

辅助绝缘安全用具：指绝缘强度不足以抵抗电气设备运行电压，并不直接接触电源的安全用具。

高压辅助绝缘安全用具有：绝缘靴、绝缘手套、绝缘垫及绝缘台等。

低压辅助绝缘安全用具有：绝缘靴、绝缘鞋、绝缘垫、绝缘台。

4. 安全用具的正确使用

使用基本绝缘安全用具时,必须使用辅助绝缘安全用具。

高压绝缘安全用具应经耐压试验合格,在有效期内使用。

安全用具使用前应进行外观检查,其表面应清洁、干燥、无断裂、划印、毛刺、孔洞等外伤。

验电器使用前应在已知带电体上试验,检查其是否良好;绝缘手套除耐压试验合格、外观清洁、干燥、在有效期内使用外,还应做充气实验,检查其是否有孔洞。

安全用具的保管

安全用具应存放于干燥、通风场所。

绝缘拉杆应悬挂或放在支架上,不应与地面、墙面接触,以防受潮。

绝缘手套应存放在封闭的橱内,并应与其它工具、仪表分别存放。

高压验电器应放在防潮匣内,存放在干燥场所。

绝缘靴应存放在橱内,不应代替一般雨鞋使用。

安全用具不得当作一般工作使用。

5. 接零接地保护

直接接地：电气设备的外壳接地,其主要目的是当有漏电情形下,提供低阻抗通路予故障电流在接地后放电。即当触电时,电流以地线流走而避免进入人体造成伤害。

接零：设备金属外壳与保护零线连接的方式,当某一相线直接连接到设备金属外壳时,即形成单相短路,短路电流促使线路上的短路保护装置迅速动作,在规定时间内将故障设备断开电源,消除电击危险。

防雷及接地

根据规范规定,对第三类工业建、构筑物根据计算考虑了防直击雷的措施。

对于 6kV 中性点不接地系统、0.4kV 系统中性点直接接地系统,其电气装置的外露导电部分通过保护线 (PE 线) 或保护中性线 (PEN 线) 接地。对高低压共存的变电

所，采用共用的接地装置，接地电阻小于 1 欧姆。每个车间或建筑物在电源入口处装设重复接地。

主要技术指标

(1) 本工程计算负荷 (6kV 侧)

a)有功功率: $P_{js}=6431\text{kW}$;

b)视在功率: $S_{js}=7312\text{kVA}$

(2)电力平衡表如下: 单位: 103 kW.h

项目 电量

年发电量 97634

全厂年耗电量 25724

全厂年外送电量 71910

从电力平衡表结论得知，发电站除满足本厂自身用电外，还有剩余电力可常年向系统供电。

第七章 华森糖厂发、配电室安全操作程序

华森公司使用 10kv 约（2000 千伏安）供电回路一组，外电 10kv 供电变压器 2 台，供停榨后使用，榨季生产中设有 6kv、3000kw 自备发电机一台，供榨季生产使用，榨季生产中也使用部分外电对生产进行补充，用电设备总装机容量为：6500kVA 约（5200kw），整个系统设有高压开关柜 9 台、低压开关柜 33 台、变压器 8 台。

系统安全操作程序如下：

（一）、10KV 外电部分：（供电与停电操作）

正常情况下供电及送电所需操作时间应在 10 分钟内完成；学员训练时应按以下步骤进行训练，并逐步在此时间内完成供电操作（非正常情况下例外）；学员实训多次后应熟悉掌握该操作程序。（供电与停电操作训练应在指导老师或现场师傅的指导下进行）

1、（供电）首先检查变压器、配电屏、电缆及线路是否正常，检查设备绝缘电阻应为每千伏 1 兆欧，在设备全部正常后
避雷保护柜

再合上 10KV 跌落熔断器→10KV 高压进线柜 10KV 母线 → 高压开关柜→变压器 630KVA*2→低压开关总屏 1500A*2→低
压配电屏、补偿屏等 29 台→车间各分路用户。

2、（停电）配电系统需要局部或全部停电时操作程序为：先断开大容量的分路负荷→断开低压总闸→断开高压开关柜→如需要检修时应拉断 10KV 跌落熔断器；此操作的训练时间应在 10 分钟内完成。

（二）、6KV 自发电部分：（供电与停电操作）

要求 6KV 自备发电机操作程序过程应在 60 分钟内完成供电操作；学员训练时应按以下步骤进行训练，并逐步在此时间内完成供电操作（非正常情况下例外）；学员实训多次后应熟悉掌握该操作程序。（供电与停电操作训练应在指导老师或现场师傅的指导下进行）；发电前首先测试发电机相间及相地绝缘电阻吸收比等，检查转子及定子间隙是否有摩擦现象，确定转子碳刷接触良好，转子及定子各接线端应接触良好，绝缘无碳化情况，检测及保护、显示机构，调试合格后方可开机。

1. 升压（供电）首先将汽轮发电机转速逐渐升至 3000 / min 额定值空运行约 30min，无异常发现后合上可控硅励磁装置进口开关及灭磁开关→起励逐渐建立磁场电压至额定值空运行约 30min 后，合上 6KV 高压开关柜→6KV 母线→1 号、2 号主高压柜 2*1600KVA

变压器→2*4000A 低压总屏→各低压配电屏→车间各分路用户。(根据发电机温升情况逐渐开启冷却水阀门至最大); 如非第一次开机, 可相对缩短空运行时间。

2. (停电) 配电系统需要局部或全部停电时操作程序为: 先断开大容量的分路负荷→断开低压总闸→断开高压开关柜→(短时停机可空载维持可控硅运行、后步不操作)→如长时停机可断开可控硅励磁装置开关→减除发电机端电压→关掉发电机冷却水阀门→汽轮机停机; 此操作的训练应在 10 分钟内完成。

10KV 回路、6KV 回路的高低电压配电屏严禁同时合闸使用, 必须具备并列条件时方可并联合闸运行, 一般情况均为单一供电运行。

3. 低压配电屏受电后根据用户需要可局部或全部向用户供电、回路正常供电后应随时监视负荷量的变化; 最终是使发配电系统不超载运行。

4. 发配电室低压保护设有过流、短路、失压、欠压等保护; 高压保护设有过电流、速断、差动、过压、转子接地、频率超低或超高等报警和断闸保护; 实训学员应逐步了解其性能和原理; 同时对其他继电装置也应相对了解。

(三)、机组发电机和系统电源并联运行安全操作过程

一、同步发电机、准同期并列原理

将同步发电机并入电力系统的合闸操作通常采用准同期并列方式。准同期并列要求在合闸前通过调整待并机组的电压和转速, 当满足电压幅值和频率条件后, 根据“恒定越前时间原理”, 由运行操作人员手动或由准同期控制器自动选择合适时机发出合闸命令, 这种并列操作的合闸冲击电流一般很小, 并且机组投入电力系统后能被迅速拉入同步。

正弦整步电压是不同频率的两正弦电压之差, 其幅值作周期性的正弦规律变化。它能反映两个待并系统间的同步情况, 如频率差、相角差以及电压幅值差。线性整步电压反映的是不同频率的两方波电压间相角差的变化规律, 其波形为三角波。它能反映两个待并系统间的频率差和相角差, 并且不受电压幅值差的影响, 因此得到广泛应用。

手动准同期并列, 应在正弦整步电压的最低点(同相点)时合闸, 考虑到断路器的固有合闸时间, 实际发出合闸命令的时刻应提前一个相应的时间或角度。

自动准同期并列, 通常采用恒定越前时间原理工作, 这个越前时间可按断路器的合闸时间整定。准同期控制器根据给定的允许压差和允许频差, 不断地检查准同期条件是否满足, 在不满足要求时闭锁合闸并且发出均压均频控制脉冲。当所有条件均满足时, 在整定的越前时刻送出合闸脉冲。

(1)、实验内容与步骤

1) 机组启动与建压

1. 检查各手动开关及各旋钮指针是否指在 OFF 或者 0 位置，如不在则应调到 OFF 或者 0 位置；
2. 合上系统电源开关，检查实验台上各开关状态：各开关信号灯应绿灯亮、红灯熄。
3. 励磁调节器选择它励、恒 UF 运行方式，合上励磁开关；
4. 合上系统电压开关和线路开关 QF1, QF3, 调节调压器使系统电压接近额定值 380V；
5. 合上原动机开关，顺时针缓慢调节原动机调速旋钮，启动电动机——发电机组；
6. 当机组转速升到 95%以上时，微机励磁调节器自动将发电机电压建压到与系统电压相等，此时，系统频率约为工频。

2) 观察与分析

1. 调整机组转速，记录微机准同期控制器显示的发电机和系统频率。观察并记录旋转灯光整步表上灯光旋转方向及旋转速度与频差方向及频差大小的对应关系；
2. 将示波器跨接在“发电机电压”测孔与“系统电压”测孔间，观察正弦整步电压（即脉动电压）波形，观察并记录整步表旋转速度与正弦整步电压的周期的关系；观察并记录电压幅值差大小与正弦整步电压最小幅值间的关系；观察并记录正弦整步电压幅值达到最小值得时刻所对应的整步表指针位置和灯光位置；
3. 用示波器跨接到“三角波”测孔与“参考地”测孔之间，观察线性整步电压（即三角波）的波形，观察并记录整步表旋转速度与线性整步电压的周期的关系；观察并记录电压幅值差大小与线性整步电压最小幅值间的关系；

3) 手动准同期

1. 按准同期并列条件合闸

将“同期方式”转换开关置“ON”位置。在这种情况下，要满足并列条件，需要手动调节发电机电压、频率，直至电压差、频差在允许范围内，相角差在零度前某一合适位置时，手动操作发电机开关按钮进行合闸。

2. 偏离准同期并列条件合闸

本实验项目仅限于实验室进行，不得在电厂机组上使用!!!

实验分别在单独一种并列条件不满足的情况下合闸，记录功率表冲击情况：

(1) 电压差相角差条件满足，频率差不满足，在 $f_F > f_X$ 和 $f_F < f_X$ 时手动合闸，观察并记录实验台上有功功率表 P 和无功功率表 Q 指针偏转方向及偏转角度大小，分别

填入表 1；注意：频率差不要大于 0.5HZ。

(2) 频率差电压差条件满足，相角差不满足，顺时针旋转和逆时针旋转时手动合闸，观察并记录实验台上有功功率表 P 和无功功率表 Q 指针偏转方向及偏转角度大小，分别填入表 1-1。注意：相角差不要大于 30 度。

表 1-1

	fF >f X	fF <f X	VF >V X	VF <V X	顺时 针	逆时 针
P (kW)						
Q (kVA R)						

4) 停机

首先应该将发电机输出的有功功率、无功功率调至为零。

然后将发电机与系统解列，即跳开“发电机开关”。

将发电机逆变灭磁或者跳开励磁开关灭磁。

逆时针旋转旋钮，使其输出为零，这时机组速度随惯性减为零。

按下“原动机开关”的“绿色按钮”，其“绿色按钮”的指示灯亮，“红色按钮”的指示灯灭，表示原动机的动力电源已切断。

二、同步发电机励磁控制实验

(1)、实验目的

1. 加深理解同步发电机励磁调节原理和励磁控制系统的基本任务；
2. 了解自并励励磁方式和它励励磁方式的特点；
3. 熟悉三相全控桥整流、逆变的工作波形；观察触发脉冲及其相位移动；
4. 了解微机励磁调节器的基本控制方式；
5. 了解电力系统稳定器的作用；观察强励现象及其对稳定的影响；
6. 掌握励磁调节器的基本使用方法。

(2)、实验属性

验证性实验

(3)、实验仪器设备及器材

WDT-II C 型电力系统综合自动化试验台

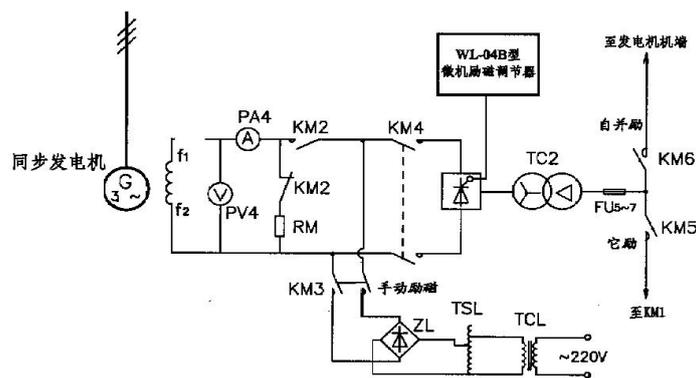
(4)、实验要求

1. 预习实验指导书等内容。写出预习报告并思考以下问题：
 - a. 三相可控桥对触发脉冲有什么要求？
 - b. 为什么在恒 α 方式下，必须手动“增磁”才能起励建压？
 - c. 比较恒 UF 方式起励、恒 IL 方式起励和恒 α 方式起励有何不同？
 - d. 逆变灭磁与跳励磁开关灭磁主要有什么区别？
2. 实验过程中，按实验步骤进行操作，记录实验结果。如果未达到要求，查找问题，重新进行操作，直到达到要求。
3. 实验结束后，写出实验报告，包括以下内容：
 - a. 分析比较各种励磁方式和各种控制方式对电力系统安全运行的影响；
 - b. 比较各项的实验数据，分析其产生的原因。
 - c. 分析励磁调节器、空载实验的各项测试结果。
 - d. 分析励磁调节器、负载实验的各项测试结果。

(5)、实验原理

同步发电机的励磁系统由励磁功率单元和励磁调节器两部分组成，它们和同步发电机结合在一起就构成一个闭环反馈控制系统，称为励磁控制系统。励磁控制系统的三大基本任务是：稳定电压，合理分配无功功率和提高电力系统稳定性。

实验用的励磁控制系统示意图如图 1 所示。可供选择的励磁方式有两种：自并励和它励。当三相全控桥的交流励磁电源取自发电机机端时，构成自并励励磁系统。而当交流励磁电源取自 380V 市电时，构成它励励磁系统。两种励磁方式的可控整流桥均是由微机自动励磁调节器控制的，触发脉冲为双脉冲，具有最大最小 α 角限制。微机励磁调节器的控制方式有四种：恒 UF（保持机端电压稳定）、恒 IL（保持励磁电流稳定）、恒 Q（保持发电机输出无功功率稳定）和恒 α （保持控制角稳定）。其中，恒 α 方式是一种开环控制方式，只限于它励方式下使用。



注：SAV为切换开关

图 1 励磁控制系统示意图

同步发电机并入电力系统之前，励磁调节装置能维持机端电压在给定水平。当操作励磁调节器的增减磁按钮，可以升高或降低发电机电压；当发电机并网运行时，操作励磁调节器的增减磁按钮，可以增加或减少发电机的无功输出，其机端电压按调差特性曲线变化。

发电机正常运行时，三相全控桥处于整流状态，控制角 α 小于 90° ；当正常停机或事故停机时，调节器使控制角 α 大于 90° ，实现逆变灭磁。

电力系统稳定器——PSS 是提高电力系统动态稳定性能的经济有效方法之一，已成为励磁调节器的基本配置；励磁系统的强励，有助于提高电力系统暂态稳定性；励磁限制器是保障励磁系统安全可靠运行的重要环节，常见的励磁限制器有过励限制器、欠励限制器等。

(6)、实验项目与步骤

1) 不同 α 角（控制角）对应的励磁电压波形观测

- (1) 合上操作电源开关，检查实验台上各开关状态：各开关信号灯应绿灯亮、红灯熄；
- (2) 励磁系统选择它励励磁方式：操作“励磁方式开关”切到“微机它励”方式，调节器面板“它励”指示灯亮；
- (3) 励磁调节器选择恒 α 运行方式：操作调节器面板上的“恒 α ”按钮选择为恒 α 方

式，面板上的“恒 α ”指示灯亮；

(4) 合上励磁开关，合上原动机开关；

(5) 在不启动机组的状态下，松开微机励磁调节器的灭磁按钮，操作增磁按钮或减磁按钮即可逐渐减小或增加控制角 α ，从而改变三相全控桥的电压输出及其波形。

注意：微机自动励磁调节器上的增减磁按钮键只持续5秒内有效，过了5秒后如还需要调节，则松开按钮，重新按下。

实验时，调节励磁电流为表1规定的若干值，记下对应的 α 角（调节器对应的显示参数为“CC”），同时通过接在 U_{d+} 、 U_{d-} 之间的示波器观测全控桥输出电压波形，并由电压波形估算出 α 角，另外利用数字万用表测出电压 U_{fd} 和 U_{AC} ，将以上数据记入下表，通过 U_{fd} 、 U_{AC} 和数学公式也可计算出一个 α 角来；完成此表后，比较三种途径得出的 α 角有无不同，分析其原因。

表 2-1

励磁电流 I_{fd}	0.0A	0.5A	1.5A	2.5A
显示控制角 α				
励磁电压 U_{fd}				
交流输入电压 U_{AC}				
由公式计算的 α				
示波器读出的 α				

2) 同步发电机起励实验

同步发电机的起励有三种：恒 U_F 方式起励，恒 α 方式起励和恒 I_L 方式起励。其中，除了恒 α 方式起励只能在它励方式下有效外，其余两种方式起励都可以分别在它励和自并励两种励磁方式下进行。

恒 U_F 方式起励，现代励磁调节器通常有“设定电压起励”和“跟踪系统电压起励”的两种起励方式。设定电压起励，是指电压设定值由运行人员手动设定，起励后的发电机电压稳定在手动设定的电压水平上；跟踪系统电压起励，是指电压设定值自动跟

踪系统电压，人工不能干预，起励后的发电机电压稳定在与系统电压相同的电压水平上，有效跟踪范围为 85%~115%额定电压；“跟踪系统电压起励”方式是发电机正常发电运行默认的起励方式，而“设定电压起励”方式通常用于励磁系统的调试试验。

恒 IL 方式起励，也是一种用于试验的起励方式，其设定值由程序自动设定，人工不能干预，起励后的发电机电压一般为 20%额定电压左右；恒 α 方式起励只适用于它励励磁方式，可以做到从零电压或残压开始由人工调节逐渐增加励磁，完成起励建压任务。

1. 恒 UF 方式起励步骤

- (1) 将“励磁方式开关”切到“微机自励”方式，投入“励磁开关”；
- (2) 按下“恒 UF”按钮选择恒 UF 控制方式，此时恒 UF 指示灯亮；
- (3) 将调节器操作面板上的“灭磁”按钮按下，此时灭磁指示灯亮，表示处于灭磁位置；
- (4) 启动机组；
- (5) 当转速接近额定时，（频率 $\geq 47\text{Hz}$ ），将“灭磁”按钮松开，发电机起励建压。注意观察在起励时励磁电流和励磁电压的变化（看励磁电流表和电压表）。录波，观察起励曲线，测定起励时间，上升速度，超调，振荡次数，稳定时间等指标，记录起励后的稳态电压和系统电压。

2. 恒 IL 方式起励步骤

- (1) 将“励磁方式开关”切到“微机自励”方式或者“微机它励”方式，投入“励磁开关”；
- (2) 按下“恒 IL”按钮选择恒 IL 控制方式，此时恒 IL 指示灯亮；
- (3) 将调节器操作面板上的“灭磁”按钮按下，此时灭磁指示灯亮，表示处于灭磁位置；
- (4) 启动机组；
- (5) 当转速接近额定时（频率 $\geq 47\text{Hz}$ ），将“灭磁”按钮松开，发电机自动起励建压，记录起励后的稳定电压。起励完成后，操作增减磁按钮可以自由调整发电机电压。

3. 恒 α 方式起励步骤

- (1) 将“励磁方式开关”切到“微机它励”方式，投入“励磁开关”；
- (2) 按下恒 α 按钮选择恒 α 控制方式，此时恒 α 指示灯亮；
- (3) 将调节器操作面板上的“灭磁”按钮按下，此时灭磁指示灯亮，表示处于灭磁位置；

(4) 启动机组；

(5) 当转速接近额定时（频率 $\geq 47\text{Hz}$ ），将“灭磁”按钮松开，然后手动增磁，直到发电机起励建压；

(6) 注意比较恒 α 方式起励与前两种起励方式有何不同。

3) 控制方式及其相互切换

本型微机励磁调节器具有恒 UF，恒 IL，恒 Q，恒 α 等四种控制方式，分别具有各自特点，请通过以下试验自行体会和总结。

1. 恒 UF 方式

选择它励恒 UF 方式，开机建压不并网，改变机组转速 45HZ~55HZ，记录频率与发电机电压、励磁电流、控制角 α 的关系数据；

表 2-2

发 电 机 频 率	发 电 机 电 压	励磁电流	励磁电压	控制角 α
45Hz				
48Hz				
51Hz				
54Hz				
55Hz				

2. 恒 IL 方式

选择它励恒 IL 方式，开机建压不并网，改变机组转速 45HZ~55HZ，记录频率与发电机电压、励磁电流、控制角 α 的关系数据；同表 2-2。

3. 恒 α 方式

选择它励恒 α 方式，开机建压不并网，改变机组转速 45HZ~55HZ，记录频率与发电机电压、励磁电流、控制角 α 的关系数据；同表 2-2

4. 恒 Q 方式

选择它励恒 UF 方式，开机建压，并网后选择恒 Q 方式（并网前恒 Q 方式非法，调节器拒绝接受恒 Q 命令），带一定的有功、无功负荷后，记录下系统电压为 380V 时发电机的初始状态，注意方式切换时，要在此状态下进行。改变系统电压，记录系统电压与发电机电压、励磁电流、控制角 α ，无功功率的关系数据；

表 2-3

系 统 电 压	发 电 机 电 压	发 电 机 电 流	励 磁 电 流	控 制 角 α	有 功 功 率	无 功 功 率
380V						
360V						
400V						
410V						

将系统电压恢复到 380V，励磁调节器控制方式选择为恒 UF 方式，改变系统电压，记录系统电压与发电机电压、励磁电流、控制角 α ，无功功率的关系数据；同表 2-3。

将系统电压恢复到 380V，励磁调节器控制方式选择为恒 IL 方式，改变系统电压，记录系统电压与发电机电压、励磁电流、控制角 α ，无功功率的关系数据；同表 2-3。

将系统电压恢复到 380V，励磁调节器控制方式选择为恒 α 方式，改变系统电压，记录系统电压与发电机电压、励磁电流、控制角 α ，无功功率的关系数据；同表 2-3。

注意：四种控制方式相互切换时，切换前后运行工作点应重合。

5. 负荷调节

调节调速器的增速减速按钮，可以调节发电机输出有功功率，调节励磁调节器的增磁减磁按钮，可以调节发电机输出无功功率。由于输电线路比较长，当有功功率增到额定值时，功角较大（与电厂机组相比），必要时投入双回线；当无功功率到额定值时，线路两端电压降落较大，但由于发电机电压具有上限限制，所以需要降低系统电压来使无功功率上升，必要时投入双回线。记录发电机额定运行时的励磁电流，励磁电压和控制角。

将有功、无功减到零值作空载运行，记录发电机空载运行时的励磁电流，励磁电压和控制角。了解额定控制角和空载控制角的大致度数，了解空载励磁电流与额定励磁电流的大致比值。

表 2-4

发电机状态	励磁电流	励磁电压	控制角 α
空载			
半负载			
额定负载			

4) PSS 实验

PSS（电力系统稳定器）的主要作用是抑制系统的低频振荡。它的投入对提高电力系统的动态稳定性有非常重要的意义。

实验步骤：

- (1) 选择“微机自励”励磁方式或者“微机它励”方式，励磁控制方式采用“恒 UF”；
- (2) 启动机组，投入励磁；
- (3) 满足条件后并网，稳定运行；
- (4) 在不投入 PSS 的条件下，增加发电机有功输出，直到系统开始振荡，记下此时的机端电压、有功输出和功角（由调速器的显示器读数）；
- (5) 在投入 PSS 的条件下，增加发电机有功输出，直到系统开始振荡，记下此时的机端电压、有功输出和功角；
- (6) 比较 PSS 投和不投两种情况下的功率极限和功角极限有何不同。

表 2-5

	单回输电线		双回输电线	
	PSS 投	PSS 不投	PSS 投	PSS 不投
机端电压 UF				
发电机有功 P				
功角 δ				

5) 停机灭磁

发电机解列后，直接控制调速器停机，励磁调节器在转速下降到 43HZ 以下时自动进行逆变灭磁。待机组停稳，断开原动机开关，跳开励磁和线路等开关，切除操作电源总开关。

公司 3000KW 自备发电机电压等级与外电回路的初级电压等级不一致，因此未进行准同期并列运行，如通过各自等级变压器输出至次级低压侧时，原则上可并机，也能正常运行，但是电网与公司条件不成熟至今未并列运行，学员在发配电房实训时，可了解机组与系统的原理，模拟并机过程和操作，同样可获得实训效果。

第八章 电工实习实训测试

（以下各项测试前应安排训练时间）

第一题 低压验电器（电笔）的使用

1. 内容及操作要求；

- （1）区别相线与零线；
- （2）区别直流电与交流电；
- （3）区别直流电的正负极；
- （4）识别导线间是同相还是异相。

2、准备工作：设备、工具、仪表及器材准备 低压验电器、直流稳压电源、三相四线制交流电源、橡皮绝缘垫、劳保用品等。

3、实训测试时间：15min

4、评分项目及标准（见表 1）

表 1

评分项目及标准

项目	考核要点	配 分	评分标准	扣 分	得 分
1. 用前 检查	1.掌握电笔的 正确握法 2.电笔使用前 做检查	30 分	1.握笔方法不正 确扣 5—10 分 2.电笔使用前未 做检查扣 20 分		
2.用途测 试	1.正确区分相 线与零线 2.正确区分直	60 分	1.不能区分相线 与零线扣 15 分 2.不能区分直流		

	流电与交流电 3.正确区分直流电的正、负极 4.正确识别导线是否相同		电与交流电扣 15 分 3.不能区分直流电的正、负极扣 15 分 4.不能识别导线是否是同相扣 15 分		
3.安全生 产	1.遵守操作规程 2.劳保用品穿戴整齐	10 分	违反一次扣 10 分		
合计		100 分			

注：各项扣分不超过该项配分

第二题 导线连接及；连接后的绝缘恢复

1、内容及操作要求

- (1) 用 2.5mm^2 单股铜芯线各做一个直线连接和 T 形分支连接，并恢复其绝缘。
- (2) 用 10mm^2 七股铜芯线各做一个直线连接和 T 形分支连接，并恢复其绝缘。
- (3) 考核时，待接头连接好评分后，再做绝缘恢复。导线连接要求缠绕方法正确、紧密、整齐，恢复绝缘后的绝缘性能良好。
- (4) 若无铜芯导线可用铝芯导线代替。

2、准备工作

- (1) 材料准备 2.5mm^2 铜芯线（或铝芯线） 0.5m 、 10mm^2 七股铜芯线（或铝芯线） 1m 、黄蜡带和绝缘黑胶布、劳保用品等。
- (2) 设备、工具及；量具准备 电工常用工具。

3、实训测试时间：60min

4、评分项目及标准（见表 2）

表 2 评分项目及标准

项 目	考核要点	配 分	评分标准	扣 分	得 分
1. 绝 缘 剥 削	剥削导线绝缘方法正 确，不损伤线芯	2 0 分	1.导线绝缘剥削不正确 扣 10 分 2.损坏线芯，每根线芯扣 2 分		
2. 导 线 连 接	连接牢固、整齐、规范	6 0 分	1.导线缠绕方法不正确 扣 5—10 分；缠绕圈数不 够扣 2—5 分 2.缠绕不整齐扣 5—15 分 3.连接不紧扣 5—10 分 4. 连接处变形扣 5—15 分		
3. 绝 缘 恢 复	包缠方法正确，叠压严 密	2 0 分	1.包缠方法不正确扣 10 分 2.绝缘层叠压不够扣 10 分		
4. 安 全 生 产	安全文明生产，劳保用 品穿戴整齐		每违反一次从总分中扣 10 分		
合 计		1 0 0 分			

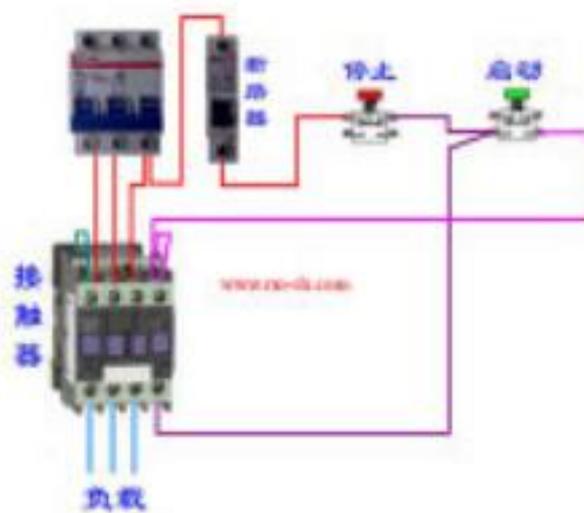
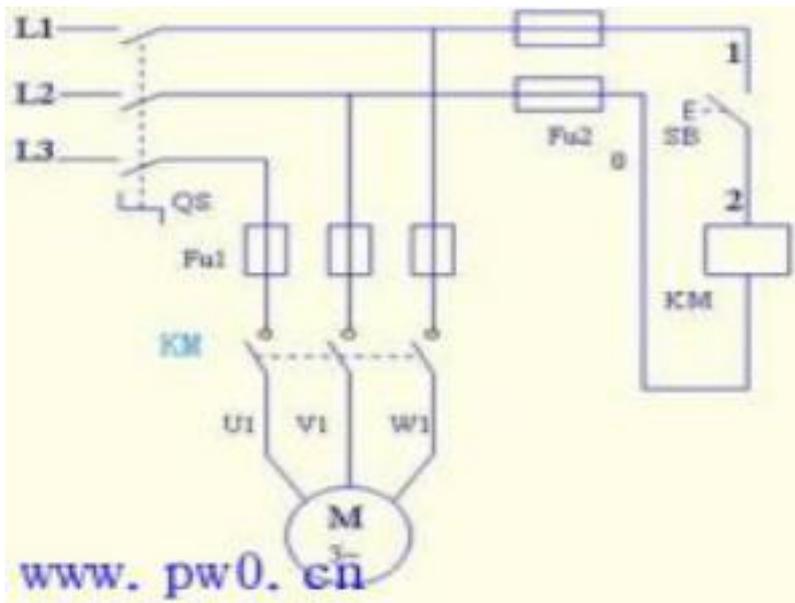
注：每个接头按此评分标准评分。各项扣分不得超过该项配分。

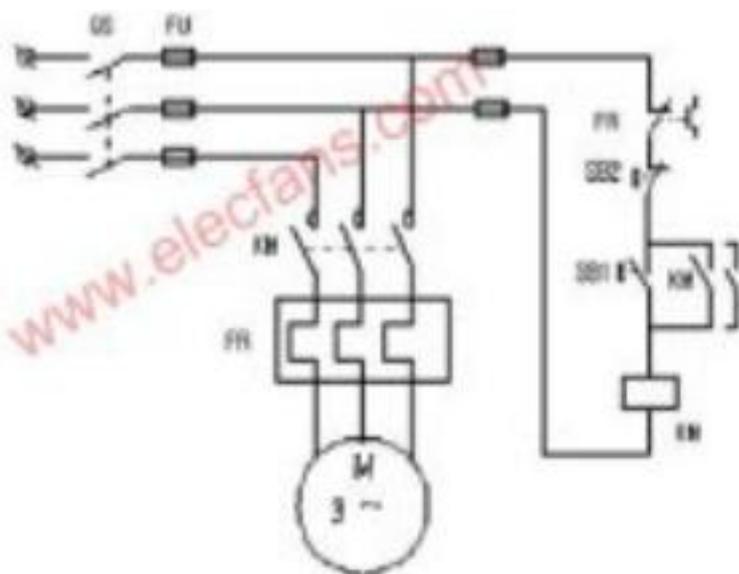
第三题 CJ—10、CJ—20 型交流接触器的拆装及检修

1、内容及操作要求

- (1) 拆卸、装配交流接触器。
- (2) 对拆卸下来的损坏件作修复处理或更换。
- (3) 对装配好的接触器作通电效验。效验时按图 1 所示。

图 1





(1) 效验电气原理图，如图 1 所示

(2) 效验原理图，如图 1 所示

2、准备工作 (1) 材料准备 CJ10—10、CJ10—20 交流接触器及备件、组合开关、按钮、热继电器、断路器、熔断器、导线、劳保用品等。

(2) 设备、工具及量具准备 电工常用工具、万用表。

3、实训测试时间：60min

4、评分项目及标准（见表 3）

项目	考核要点	配 分	评分标准	扣 分	得 分
1.拆 卸与 装配	拆卸、装配方法正 确，无零件部件损 坏、丢失和漏装	4 0 分	1.不会拆装或拆装方法 不正确扣 25 分 2.丢失、损坏或漏装零部 件，每件扣 5 分		
2.检 修与 效验	1.检修后通电效验 应符合质量要求 2.安全文明操作	6 0 分	1.检修后不能进行通电 效验扣 20 分 2.通电时有振动、噪声扣 30 分 3.10 次通电效验中，每一 次不成功扣 10 分		
合计		1			

		0			
		0			
		分			

注：各项扣分最多不得超过该项的配分

第四题 照明线路的安装

1、内容及操作要求

(1) 按照明线路图 2 上安装照明线路。

1) 定位及划线

L

2) 固定钢筋扎头

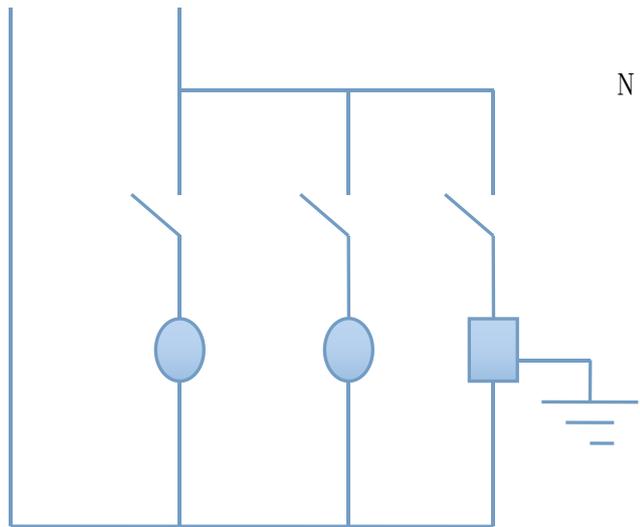
3) 敷设导线

4) 固定木台、开关、灯座、插座

K1 K2 K3

5) 安装白炽灯并上在灯座上

(2) 检查线路并通电试



2、实训测试时间：120min

3、评分项目及标准（见表 4）

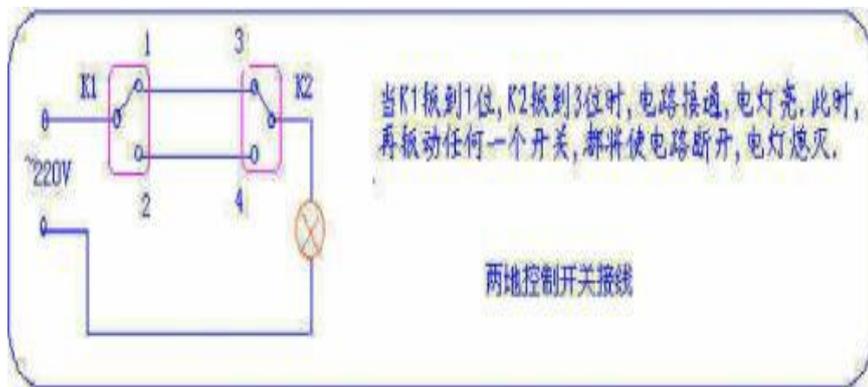


表 4 评分项目及标准

项目	考核要点	配分	评分标准	扣分	得分
1.线路及元件安装	线路安装正确, 导线压接规范, 元件安装整齐、紧固	70分	1.木台、灯座、开关、插座等元件安装松动、不规范, 每处扣 5 分		

			2.导线连接、压接不规范， 每处扣 2 分 3.火线未进开关扣 10 分 4.一次通电不成功扣 10 分		
2.安全文明操作	1.遵守操作规程 2.劳保用品穿戴整齐	30	违反安全操作，扣 10—30 分		
合计		100			

注：各项扣分最多不得超过该项目的配分

第五题 单相桥式整流、滤波电路的安装与调试

二极管只有一边通，在电路测试可以分通电状态下测试或不通电状态测试。在通电状态下测试可以测一下基极电压。一般硅管的为 0.7V。锗管的为 0.2-0.3V。说明工作正常。否则为截止状态。不通电状态可测一下三极管的 PN 结的正反向电阻是否正常。有的三极管由于在路并联小电阻或电感，不能正常检测可以拆下来测量。

三极管的管脚必须正确辨认，否则，接入电路不但不能正常工作，还可能烧坏晶体管。已知三极管类型及电极，指针式万用表判别晶体管好坏的方法如下：

① 测 NPN 三极管：将万用表欧姆挡置 " $R \times 100$ " 或 " $R \times 1k$ " 处，把黑表笔接在基极上。将红表笔先后接在其余两个极上，如果两次测得的电阻值都较小，再将红表笔接在基极上，将黑表笔先后接在其余两个极上，如果两次测得的电阻值都很大，则说明三极管是好的。

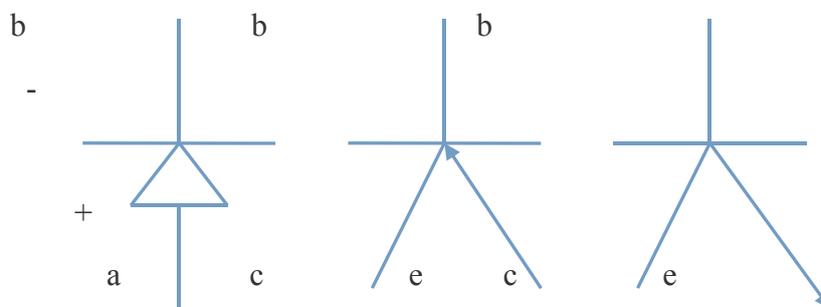
② 测 PNP 三极管：将万用表欧姆挡置 " $R \times 100$ " 或 " $R \times 1k$ " 处，把红表笔接在基极上。将黑表笔先后接在其余两个极上，如果两次测得的电阻值都较小，再将黑表笔接在基极上，将红表笔先后接在其余两个极上，如果两次测得的电阻值都很大，则说明三极管是好的。

当三极管上标记不清楚时，可以用万用表来初步确定三极管的好坏及类型（NPN 型还是 PNP 型），并辨别出 e、b、c 三个电极。测试方法如下：

① 用指针式万用表判断基极 b 和三极管的类型：将万用表欧姆挡置 " $R \times 100$ " 或 " $R \times 1k$ " 处，先假设三极管的某极为“基极”，并把黑表笔接在假设的基极上，将红表

笔先后接在其余两个极上，如果两次测得的电阻值都很小(或约为几百欧至几千欧)，则假设的基极是正确的,且被测三极管为 NPN 型管；同上，如果两次测得的电阻值都很大(约为几千欧至几十千欧)，则假设的基极是正确的,且被测三极管为 PNP 型管。如果两次测得的电阻值是一大一小，则原来假设的基极是错误的，这时必须重新假设另一电极为“基极”，再重复上述测试。

② 判断集电极 c 和发射极 e: 仍将指针式万用表欧姆挡置“R × 100”或“R × 1k”处，以 NPN 管为例，把黑表笔接在假设的集电极 c 上，红表笔接到假设的发射极 e 上，并用手捏住 b 和 c 极 (不能使 b、c 直接接触)，通过人体，相当 b、C 之间接入偏置电阻，读出表头所示的阻值，然后将两表笔反接重测。若第一次测得的阻值比第二次小，说明原假设成立。因为 c、e 间电阻值小说明通过万用表的电流大，偏置正常。现在的指针万用表都有测三极管放大倍数 (Hfe) 的接口。可以估测一下三极管的放大倍数。



1.内容及操作要求

(1) 安装

- 1) 按明细表 (见表 5) 配齐元件；
- 2) 用万用表测试二极管及电容器的性能和好坏；
- 3) 在 5mm × 200mm × 300mm 的层压板上安装电源变压器、电源开关、熔断器、接线柱、空心铆钉板；
- 4) 按照电路图 3 从左至右将元件焊在空心铆钉板上；

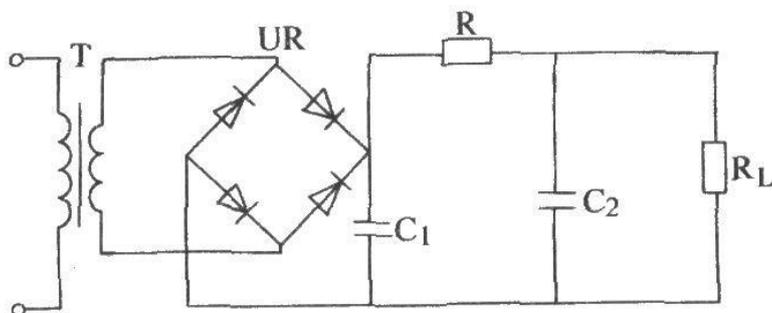


图 3 单相桥式整流、滤波电路

- (2) 调试 用万用表直流 50V 量程测量电路空载输出电压

2、准备工作

(1) 材料准备 5mm×200mm×300mm 的层压板、空心铆钉板、元件明细表所列元件、接线柱等。

表 5 元件明细表

序号	符号	名称	型号与规格	件数
1	S	开关	—	1
2	T	变压器	BK50、220V / 18V	1
3	V1—V4	二极管	1N4001	4
4	C1—C2	电容器	100UF / 50V	2
5	R	电阻器	51 欧	1
6	FU1	熔断器	0.5A	1
7	FU2	熔断器	0.05A	1
8	RL	负载电阻	1 千欧	1

(2) 设备、工具及量具准备 电工常用工具一套、万用表一块、电烙铁一把、焊锡丝、焊接线若干。

3、实训测试时间：120min

4、评分项目及标准（见表 6）

表 6 评分项目及标准

项目	考核要点	配分	评分标准	扣分	得分
1. 按图接线	接线	35分	接线不正确、每处扣 20 分		
	布局	10分	布局不合理，扣 5—10 分		
	排列	5分	排列不整齐，扣 3—5 分		
	焊点	20分	焊点毛躁扣 5—10 分，虚焊、漏焊，每处扣 10—15 分		
2. 测试电压	正确使用仪表	20分	1. 测试电源电压、量程置错扣 10 分 2. 测试直流电压、极性、量程置错各扣 10 分		
3. 安全生产	规范操作	10分	每违反一次从总分中扣 10 分		
合计		100分			

注：1.每超过 10min 扣 10 分，不满 10min 的按 10min 计算

2.考试在已制作好的空心铆钉板上进行

3.各项最高扣分不超过该项的配分

第六题 三相异步电动机定子绕组首尾端判别

1.内容及操作要求

- (1) 在指定方法下，分清六根线头的首尾端
- (2) 用剩磁感应法进行效验
- (3) 用万用表及电池法进行测试

2.准备工作

设备、工具、仪表及器材准备 电工常用工具一套、万用表一块、三相异步电动机一台、220V / 36V 变压器、干电池、开关等。

3.实训测试时间

(1) 准备时间 2min

(2) 正式操作时间 8min

4. 评分项目及标准（见表 7）

表 7 评分项目及标准

项目	考核要点	配 分	评分标准	扣 分	得 分
1.判别方法	思路、步骤、方法正确	5 0 分	1.接线不正确扣 20—30 分 2.仪表使用不正确扣 20—30 分 3.判别方法不对扣 20—30 分		
2.判别方法	结果正确	2 0 分	首尾端判别错误扣 20 分		
3.复验结果	方法正确	2 0 分	1.复验方法不正确扣 20 分 2.复验结果不正确扣 20 分		
4.安全与文明生产	1.遵守操作规程 2.劳保用品穿戴整齐	1 0 分	违反操作安全扣 10 分		
合计		1 0 0 分			

注：各项扣分最多不得超过该项的配分

第七题 小型三相异步电动机的拆装及检修

1、内容及操作要求

(1) 拆卸三相异步电动机

(2) 清洗零部件

(3) 装配三相异步电动机

(4) 装配后的相同绝缘和相对地绝缘以及通电运转时三相电流的测量

2、准备工作

设备、工具、仪表及器材准备 小型三相异步电动机、电工常用工具、锤子、木锤、铜帮、扁铲、拆卸器、皮老虎、煤油、润滑脂、万用表、兆欧表、钳形电流表、通电试车工作台等。

3、实训测试时间：240min

4、评分项目及标准（见表8）

表8 评分 项目及标准

项目	考核要点	配分	评分标准	扣分	得分
1.拆卸电动机	1.拆卸步骤、方法正确 2.不碰伤定子绕组，不损坏零部件 3.拆卸前做好标记，正确使用工具	40分	1.使用工具方法不正确扣5分 2.拆卸步骤、方法不正确扣5—10分 3.损坏零部件，每只扣2分 4.碰伤定子绕组扣15分 5.装配标记不清楚扣5分		
2.清洗装配电动机	1.轴承清洗干净，零部件齐全 2.装配方法、步骤正确，装配质量符合要求	60分	1.轴承清洗不干净扣10分 2.丢失零部件，每只扣3分 3.装配步骤、方法错误扣10分 4.紧固螺钉未紧，每只扣2分 5.装配后转子转动不灵		

			活扣 30 分		
3.安全 生产	安全文明操作		每违反一次从总分中扣 10 分		
合计		100 分			

注：各项扣分不得超过该分配

第八题 双重连锁正反转控制电气线路的安装

1、内容及操作要求

(1) 按电气原理图 4 及给定负载选择电气元件，配齐并检查电气元件。

Y—112M—4.4KW

380V、 Δ 接法、8.8A、1440r/min

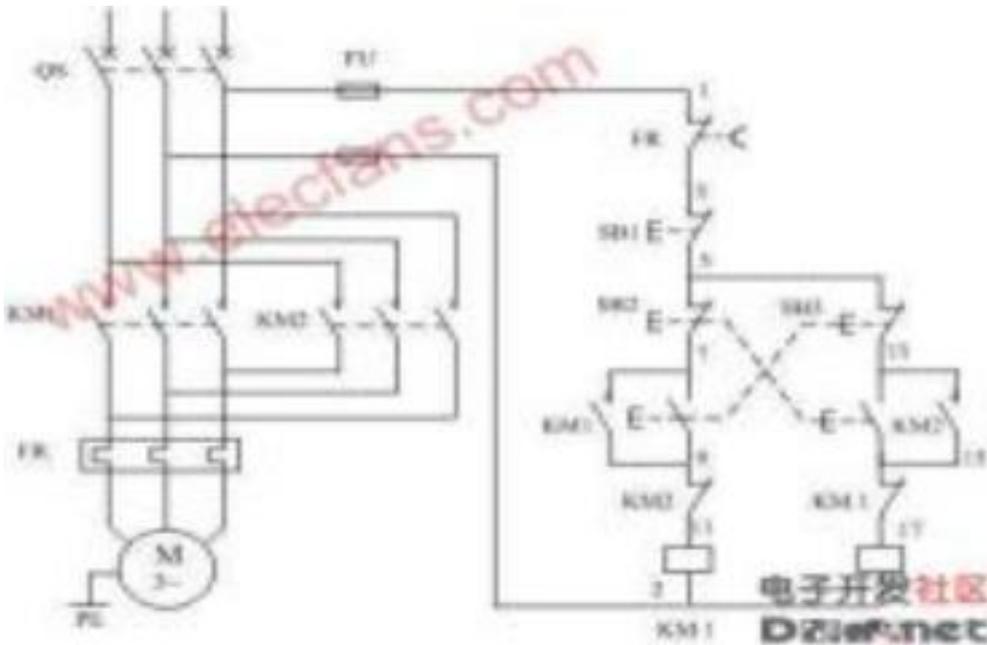


图 4 双重连锁正反转控制电气原理图

(2) 布置固定电气元件。安装元件应牢固，元件排列整齐。

(3) 在木制安装板上进行板前明线布线，导线应平直、整齐、走线合理、压接电压接紧固，并按规定套齐编码套管。

(4) 检查线路，通电试运转。

1. 准备工作

(1) 材料准备 木制安装板（650mm×500mm×50mm）、木螺钉、导线、编码套管、元件明细表 9 所列元件等。

(2) 设备、工具、仪表及器材准备 电工常用工具、万用表、通电试运行工作台、劳保用品等。

表 9 元件明细表

序号	符号	名称	型号	规格	数量
1	M	三相异步电动机	Y—112M—4	4KW、380V、△接法、8.8A, 1440r/min	1
2	QS	组合开关	HZ10—25/3	三极、25A	1
3	FU1	熔断器	RL1—60/25	500V、60A, 配熔体 25A	3
4	FU2	熔断器	RL1—15/2	500V、15A, 配熔体 2A	2
5	KM1— KM2	交流接触器	CJ10—20	20A, 线圈电压 380V	2
6	K	热继电器	JR16—20/3	三极、20A, 整流电流 8.8A	1
7	SB1— SB3	按钮	LA4—3H	保护式、500V、5A, 按钮数 3	1
8	XT	端子板	JX2—1015	500V、10A, 15节	1

3.实训测试时间

(1) 基本时间 180min

(2) 时间允差 每超时 5min 扣 5 分, 不满 5min 的按 5min 计算。

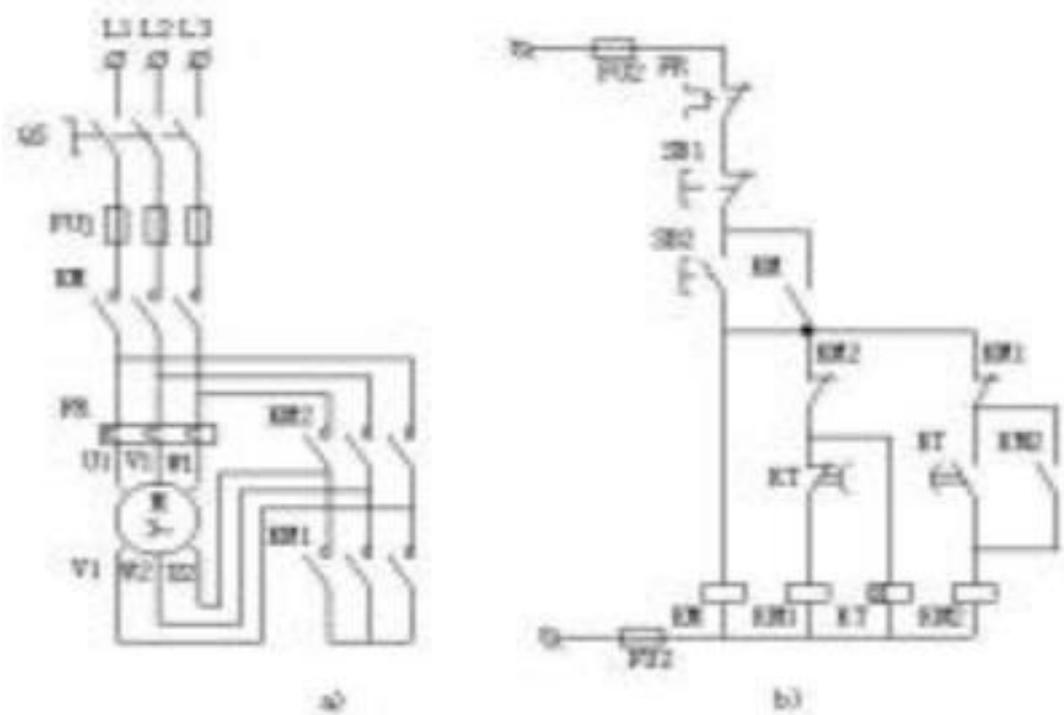
4.评分项目及标准 (见表 10)

表 10 评分项目及标准

项目	考核要点	配 分	评分标准	扣 分	得 分
1. 元 件 安 装	1.检查元件 2.合理安装元件 3.保持元件完好无损	1 5 分	1.因元件质量问题影响通电成功，每次扣 5 分 2.元件安装不整齐、不均称、不合理，每只扣 3 分 3.元件松动、少固定螺钉，每处扣 1 分 4.损坏元件每件扣 5 分		
2. 线 路 敷 设	1.按图安装接线 2.线路敷设整齐、横平竖直、不交叉、不跨接 3.导线压接紧固、规范，不伤线芯 4.编码套管齐全	3 5 分	1.不按电气原理图接线扣 15 分 2.一处不合格扣 2 分 3.导线压接处松动，线芯裸露过长、压绝缘层、反圈伤线芯，每处扣 1 分 4.每处缺一个扣 0.5 分		
3. 通 电 试 车	1.正确整定热继电器整定值 2.正确选配熔体 3.通电前、后电源线和电动机的接线、拆线顺序规范正确 4.通电一次成功 5.安全文明操作	5 0 分	1.热继电器未整定错误扣 5 分 2.错配熔体扣 5 分 3.接、拆线顺序没错一次扣 5 分 4.一次试车不成功扣 25 分；二次试车不成功扣 25 分；三次试车不成功扣 50 分 5.违反安全操作规程扣 10—50 分		
合 计		1 0 0 分			

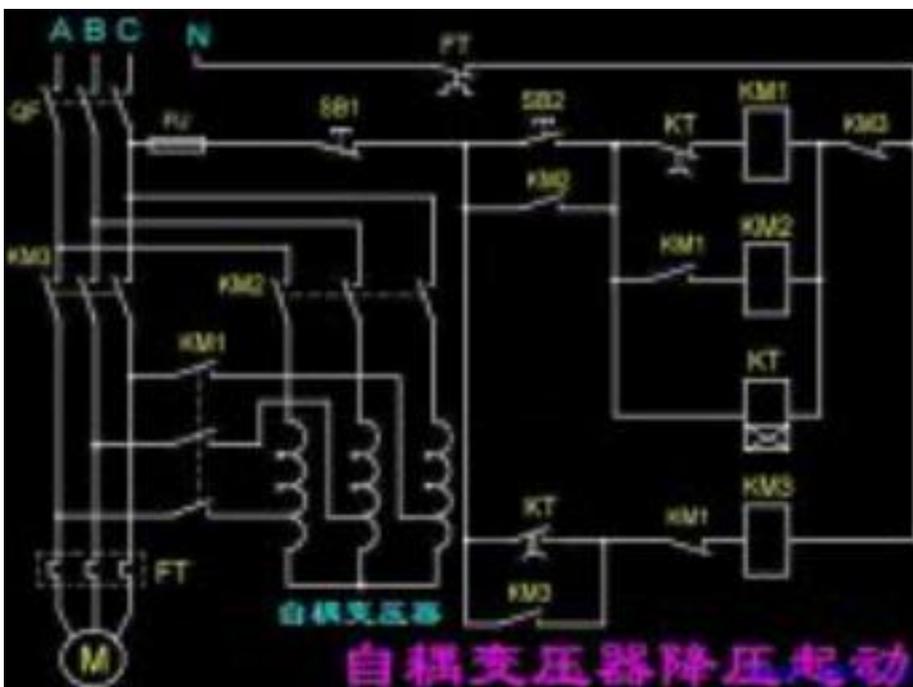
注：除定额时间外，各项扣分不得超过该项配分。

第九题 Y—Δ降压启动、自耦降压启动主线路控制电气线路的安装



1. 内容及操作要求

(1) 按电气原理图 5 及给定负载选择电气元件，配齐并检查电气元件。



Y—Δ降压启动控制线路图 自耦降压启动控制线路图

(2) 布置固定电气元件。安装元件应牢固，元件排列整齐。

(3) 在木制安装板上进行板前明线布线，导线应平直、整齐、走线合理、压接电压接

紧固，并按规定套齐编码套管。

(4) 检查线路，通电试运转。

2. 准备工作

(1) 材料准备 木制安装板 (650mm×500mm×50mm)、木螺钉、导线、编码套管、元件明细表 9 所列元件等。

(2) 设备、工具、仪表及器材准备 电工常用工具、万用表、通电试运行工作台、劳保用品等。

表 11 元件明细表

序号	符号	名称	型号	规格	数量
1	M	三相异步电动机	Y—112M —4	4KW、380V、△接 法、8.8A, 1440r/min	2
2	QS	组合开关	HZ10—2 5/3	三极、25A	1
3	FU1	熔断器	RL1—60 /25	500V、60A, 配熔体 25A	3
4	FU2	熔断器	RL1—15 /2	500V、15A, 配熔体 2A	1
5	KM1— KM2	交流接触器	CJ10—60	20A, 线圈电压 380V	4
6	K	热继电器	JR16—2 0/3	三极、20A, 整定电流 8.8A	2
7	SB1— SB3	按钮	LA4—3H	保护式、500V、5A, 按钮 数 3	2
8	XT	端子板	JX2—10 15	500V、10A, 15 节	2
9	KT	时间继电器	JS7—A	线圈电压 380V	2

3. 实训测试时间

(1) 基本时间 240min

(2) 时间允差 每超时 5min 扣 5 分，不满 5min 的按 5min 计算。

4.评分项目及标准（见表 10）

表 10 评分项目及标准

项 目	考核要点	配 分	评分标准	扣 分	得 分
1.元 件 安 装	1.检查元件 2.合理安装元件 3.保持元件完好无损	1 5 分	1.因元件质量问题影响通电成功， 每次扣 5 分 2.元件安装不整齐、不均称、不合理，每只扣 3 分 3.元件松动、少固定螺钉，每处扣 1 分 4.损坏元件每件扣 5 分		
2.线 路 敷 设	1.按图安装接线 2.线路敷设整齐、横平竖直、不交叉、不跨接 3.导线压接紧固、规范，不伤线芯 4.编码套管齐全	3 5 分	1.不按电气原理图接线扣 15 分 2.一处不合格扣 2 分 3.导线压接处松动，线芯裸露过长、压绝缘层、反圈伤线芯，每处扣 1 分 4.每处缺一个扣 0.5 分		
3.通 电 试 车	1.正确整定热继电器整定值 2.正确选配熔体 3.通电前、后电源线和电动机的接线、拆线顺序规范正确 4.通电一次成功 5.安全文明操作	5 0 分	1.热继电器未整定错误扣 5 分 2.错配熔体扣 5 分 3.接、拆线顺序没错一次扣 5 分 4.一次试车不成功扣 25 分；二次试车不成功扣 25 分；三次试车不成功扣 50 分 5.违反安全操作规程扣 10—50 分		
合 计		1 0			

		0 分			
--	--	--------	--	--	--

注：除定额时间外，各项扣分不得超过该项配分。

第九章 手持式电动工具

一、分类及选用

(一)、分类

按电击防护条件，电气设备分为 0 类、0 I 类、I 类、II 类和 III 类设备。

I 类设备都是仅有工作绝缘（基本绝缘）的设备。

II 类是带有双重绝缘或加强绝缘的设备。

III 类设备是安全电压的设备。

II 类设备和 III 类设备都不必采取保护接地或保护接零措施。

(二)、基本结构

1. 驱动部分
2. 传动部分
3. 控制部分
4. 绝缘和机械防护部分

(三)、合理选用

1. 各类工具的特点

目前，I、II 类工具的电压一般是 220V 或 380V，III 类工具过去都采用 36V，现“国标”规定为 42V，需要专用变压器，此类工具很少使用。

2. 选用原则

(1) 在一般场所，为保证使用的安全，应选用 II 类工具。如果使用 I 类工具，必须采用漏电保护器或经安全隔离变压器供电。否则，使用者必须戴绝缘手套，穿绝缘鞋或站在绝缘垫上。

(2) 在潮湿的场所或金属构架等导电性能良好的作业场所，必须使用 II 类或 III 类工具。如果要使用 I 类工具。必须装设额定漏电动作电流不大于 30mA、动作时间不大于 0.1 秒的漏电保护器。

(3) 在狭窄场所如锅炉、金属容器，管道等应使用 III 类工具。如果使用 II 类工具，必

须装设额定漏电动作电流不大于 15mA、动作时间不大于 0.1 秒的漏电保护器。不得使用 I 类工具。

III类工具的安全隔离变压器，II类工具的漏电保护器及II、III类工具的控制箱和电源联接器等必须放在外面，同时应有专人在外监护。

(4) 在特殊环境如湿热、雨雪以及存在爆炸性或腐蚀性气体的场所，使用的工具必须符合相应防护等级的安全技术要求。

二、安全性能要求

(一)、手持电动工具的安全要求

1. 辨认铭牌，检查工具或设备的性能是否与使用条件相适应。
2. 检查其防护罩、防护盖、手柄防护装置等有无损伤、变形或松动。
3. 检查电源开关是否失灵、是否破损、是否牢固、接线有无松动。
4. 电源线应采用橡皮绝缘软电缆。单相用三芯电缆、三相用四芯电缆，电缆不得有破损或龟裂、中间不得有接头。
5. I类设备应有良好的接零或接地措施，且保护导体应与工作零线分开；保护零线（或地线）应采用截面积 0.75~1.5mm² 以上的多股软铜线，且保护零线（地线）最好与相线、工作零线在同一护套内。
6. 使用 I 类手持电动工具应配合绝缘用具，并根据用电特征安装漏电保护器或采取电气隔离及其他安全措施。
7. 绝缘电阻合格。带电部分与可触及导体之间的绝缘电阻 I 类设备不低于 2M Ω ，II 类设备不低于 7M Ω 、III类设备不低于 1M Ω 。交流耐压试验标准分别为 950V、2800V 和 380V。
8. 装设合格的短路保护装置。
9. II类和III类手持电动工具修理后不得降低原设计确定的安全技术指标。
10. 用毕及时切断电源，并妥善保管。

三、安全技术措施

(一)、保护接地或保护接零

保护接地或保护接零是 I 类工具的附加安全预防措施。

(二)、安全电压

(三)、隔离变压器

(四)、双重绝缘

(五)、熔断器保护

(六)、绝缘安全用具

(七)、漏电保护

低压电器可分为控制电器和保护电器，控制电器主要用来接通和断开线路，以及用来控制用电设备。刀开关、低压断路器等属于低压控制电器。保护电器主要用来获取、转换和传递信号,并通过其他电器对电路实现控制。熔断器、热继电器属于低压保护电器。

四、 保护电器

(一)、保护类型

保护电器分别起短路保护、过载保护和失压（欠压）保护的作用。

(二)、熔断器

熔断器有 RM 系列的和 RT 系列的管式熔断器、RL 系列的螺塞式熔断器、RC1A 系列的插式熔断器，还有盒式熔断器及其他形式的熔断器。

选用熔断器时，应注意其防护形式满足生产环境的要求，其额定电压符合线路电压，其额定电流满足安全条件和工作条件的要求。在多级保护的场合，为了满足选择性的要求，上一级熔断器的熔断时间一般应大于下一级的 3 倍。为保护硅整流装置，应采用有限流作用的快速熔断器。

低压配电装置

对于笼型电动机，熔体额定电流可按下式选取： $I_F = (1.5 \sim 2.5) I_N$ 式中 I_F —熔体额定电流（A） I_N —电动机额定电流（A）。

例题： 在 380V 的供电线路中，要安装一台额定电流为 20A 的鼠笼电动机，选择熔断器熔体的电流是多少？

(三)、热继电器

热继电器是利用电流的热效应做成的。

它主要由热元件（电阻丝）、双金属片、复位按钮、滑杆、触头等元件组成。使用时将热元件串联在电动机主电路中，常闭触点则串联在控制电路中。

同一热继电器可以根据需要配用几种规格的热元件，每种额定电流的热元件，动作电流均可在小范围内调整。

★为适应电动机过载性的需要，热元件通过整定电流时，继电器不动作；

通过 1.2 倍整定电流时，动作时间将近 20 分钟；

通过 1.5 倍整定电流时，动作时间近 2 分钟；

为适应电动机启动要求，热元件通过 6 倍整定电流时，动作时间应超过 5 秒；

直接接触电击防护

金属制作的栅栏应妥善接地。

栅栏用于室外高压配电装置时，其高度不应低于 1.5m。

室内也可装设高度不低于 1.2m 的栅栏

栅条间距和最低栏杆到地面的距离都 不应大于 200mm。

开关电器屏护装置的作用：

防触电、防飞弧伤人、防弧光短路

间距：

1) 在检修工作中使用喷灯或气焊时，其火焰不得喷向带电体，且火焰与带电体的最小距离：**10kV 及以下 1.5m****35kV 3.0m**

2) 在架空线路附近进行起重作业时，起重机具（包括被吊物）与导线的最小距离：**高压线路 3.0m 低压线路 1.5m**

3) 接户线

低压接户线对地距离不应小于 2.5m。

10kV 接户线对地距离不应小于 4.0m。

低压接户线跨越通车街道时，对地距离不应小于 6m；跨越通车困难的街道或人行道时，不应小于 3.5m。

4) 几种线路同杆架设时应取得有关部门的同意，并符合下列要求：

低压线路之间的距离不得小于 0.6m。

低压线路与 10kV 高压线路之间不得小于 1.2m。

10kV 高压线路之间不得小于 0.8m。

电力线路有在通讯线路上方，高压线路在低压线路上方。

通讯线路与低压线路的距离不得小于 1.5m。

安全电压

1) 我国标准规定安全电压的上限值：工频：50V 直流：120V

2) 安全电压的额定值：42V、36V、24V、12V、6V

3) 安全电压的选用：

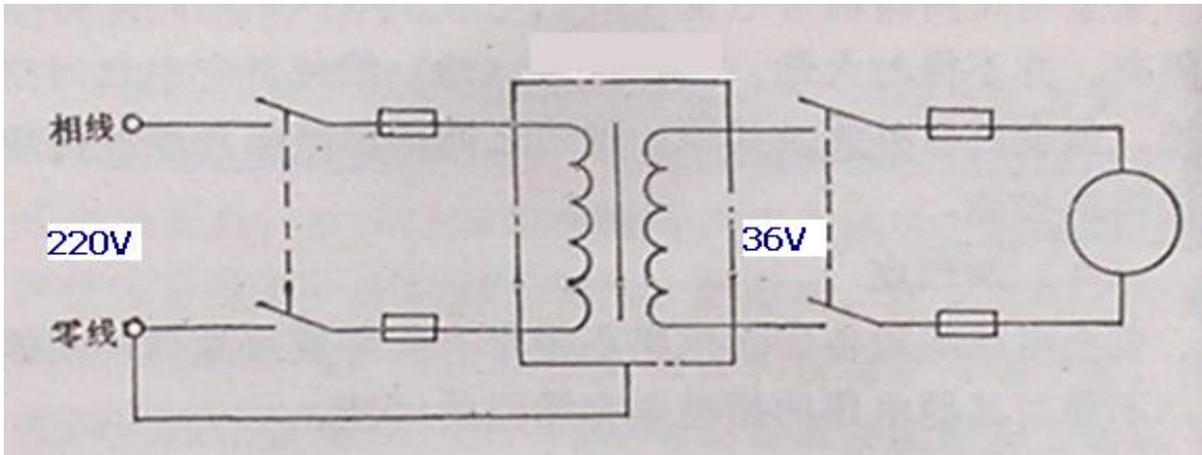
① 在特别危险场所环境中使用的手持电动工具应采用 42V；使用的手持照明灯应采用

12V 安全电压。

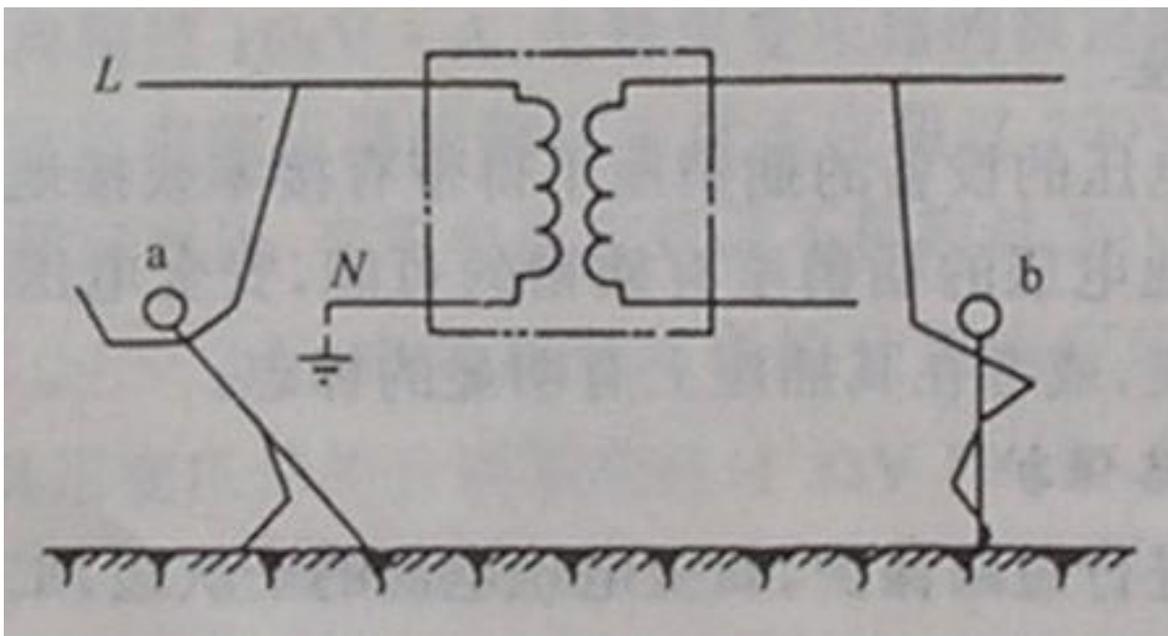
② 在有电击危险环境中使用的手持照明灯和局部照明灯应采用 36V 或 24V 安全电压。

③ 当电气设备采用 24V 以上安全电压时，必须采取防止直接接触带电体的保护措施。

安全隔离变压器接线图



电气隔离——电气隔离的安全原理



电气隔离安全的实质是将接地电网转换成一范围很小的不接地电网。

电气隔离防触电必须限制二次边线路电压不超过 500V ，二次边线路长度不超过 200m。

隔离变压器原、副边连接的危险。

漏电保护

- 1) 漏电保护是当电路发生漏电故障时，能够自动切断电源的保护装置。
- 2) 低压电流型漏电保护器的检测元件是零序电流互感器。环形铁芯、供电导线
- 3) 零序电流互感器由二次线圈组成。

漏电保护器的动作特性即

脱扣器额定电流

额定漏电动作电流

漏电动作时间

漏电保护器动作电流的选择：

手持（移动）式用电设备 **15mA**。

环境特别恶劣或潮湿场所的用电设备 **6~10mA**。

建筑施工工地的用电设备 **15~30mA**。

成套开关柜、分配电盘 **100mA** 以上。

家用电器回路 **30mA**。

医用电气设备 **6mA**。

防止电器火灾的 **300mA**。

额定漏电动作电流 $\leq 30\text{mA}$ 的漏电保护器是高灵敏度的漏电保护器。

7) 合理选用和正确安装、使用漏电保护器，对于保护人身安全、防止设备损坏和预防火灾有明显的作

漏电保护器的接线

TN—S 系统

漏电保护器的接线

TT 系统

在 **TN—C** 系统中，漏电保护器后面的工作零线不能重复接地。

9) 单相负载不能在漏电保护器两端跨接。

10) 漏电保护器安装后应进行以下试验：

用按钮试跳 **3** 次。

带负载分合开关 **3** 次。

每相分别用 **3k Ω** 试验电阻做接地试验。

11) 电流型漏电保护方式通常有：全网总保护末级保护多级保护。

12) 按照漏电动作方式不同，将 漏电跳闸式漏电保护装置分为 漏电报警式。

单极漏电保护器在安装接线时，火线、零线必须接正确，否则漏电保护不起作用。

间接接触电击防护

防护措施

保护接地、保护接零、安全电压、漏电保护、等电位连接和不导电环境等。

IT 系统

配电系统的接地型式有：TT 系统

TN 系统

电气隔离的等电位连接

IT 系统是电源系统的带电部分不接地或经高阻抗接地，电气设备的外露导电部分接地的系统。

IT 系统没有电气隔离的安全

由于电压超过 500V 或线路长度超过 200m。

IT 系统保护地的作用：

在 IT 系统中，保护接地可以将电气设备金属外壳意外带电时的对地电压降低到规定的安全范围以内，从而消除触电的危险。

等化导体间的电位防止产生危险电位差。

安装漏电保护器的目的是保证 TT 系统中电气设备金属外壳带电时的触电安全。

IT 系统中的保护接地适用于各种不接地电网包括低压和高压、直流和交流、单相和三相配电网。

保护接零必须有灵敏可靠的保护装置配合才能起安全作用。

TN 系统的 3 种形式有： TN—C、 TN—S 区别： TN—C—S

TN—S 系统是工作零线 and 保护线完全分开的系统。

在电气线路上用黄绿双色代表保护零线（即 PE 线）。

灰色的电器外壳表示该外壳应接地或接零。

变压器低压中性点的接地称为工作接地。

工作接地应能保证当发生高压窜入低压时，低压中性点对地电压升高不超过 120V 。

保护接零的系统，其工作接地装置必须可靠，工作接地电阻值必须符合要求，一般不大于 4 Ω。（在高土壤电阻率地区不超过 10 Ω。）

保护接地电阻允许值：

1) 中性点不接地的 380/220 系统，保护接地电阻不超过 $4\ \Omega$ ；

当变压器容量在 100kVA 以下时，保护接地电阻可放宽到不超过 $10\ \Omega$ 。

2) 中性点不接地或经消弧线圈接地的高压系统，保护接地电阻不超过 $10\ \Omega$ 。

重复接地电阻允许值：

1) 当工作接地电阻不超过 $4\ \Omega$ 时，每处重复接地电阻不得超过 $10\ \Omega$

2) 当允许工作接地电阻不超过 $10\ \Omega$ 时，允许重复接地电阻不超过 $30\ \Omega$ ，但重复接地点不得少于 3 处。

在由同一台变压器供电的接地电网中，不许将一部分设备保护接地，而将另一部分设备保护接零。

18. 电气设备外壳在电网中既接地又接零的情况属于保护接零。

• 某年 7 月，某变电所控制室安装空气调节器时，使用三相手电钻在有积水的土坑内对供水母管钻孔。电钻由 4 芯橡皮线供电，电源侧接 24m 处的检修电源端子箱，黄、绿、红三芯接火线，黑芯接地，电钻侧由另一人接线，他误将电钻引线的黑芯（电钻外壳接零线）与电源线的绿芯相连，致使电钻外壳带电，结果使操作者触电，经抢救无效死亡。造成这次事故的原因有：

- A、接错线
- B、电钻使用者未穿绝缘鞋也没戴绝缘手套
- C、施工地点没有就地设置开关或插座
- D、救护人员缺

乏触电急救知识

• 某供电局配电修理工甲和乙到用户处检修低压进户线。乙在监护人不在的情况下，独自登上 9m 高的水泥杆顶，作业时未扎腰绳，也没带手套。当乙将带电侧的铜绑线破开时，突然右手触电，右脚脱离脚扣，左脚带着脚扣顺杆下滑，当滑到距地面 4m 左右时，人体脱离电杆坠落在地，因伤势过重，抢救无效死亡，时年 35 岁。造成这次事故的原因：

- 1、不执行监护制度；
- 2、违反安全规程规定；
- 3、作业时必须有足够的安全距离；
- 4、监护人应尽职尽责。

第十章、触电与急救

本章要点

- 1、掌握电伤害的原因和触电事故发生的规律。
- 2、掌握人身触电的急救方法。
- 3、熟练掌握现场触电急救方法。

第一节：触电的种类、方式与规律

一、触电事故种类

按照触电事故的构成方式，触电事故分为电击和电伤。

（一）电击

电击是电流对人体内部组织的伤害，是最危险的一种伤害。绝大多数（大约 85%）的触电死亡事故都是由电击造成。

电击的主要特征有：

- （1）伤害人体内部
- （2）在人体外表没有显著的痕迹
- （3）致命电流较小

按照发生电击时电气设备的状态，电击可分为直接接触电击和间接接触电击。

（1）直接接触电击：直接接触电击是触及设备和线路正常运行时的带电体发生的电击，也称为正常状态下的电击。

（2）间接接触电击：间接接触电击是触及正常状态下不带电而当设备或线路故障时意外带电发生的电击。如触及漏电设备外壳发生的电击称为故障状态下电击。

2、电伤

电伤是电流的热效应、化学效应、机械效应等对人体造成的伤害。尽管 85%以上的触电死亡事故是电击造成，但其中大约 70%的事故含有电伤成分。就电气实习实训人员的安全而言，预防电伤具有更加重要的意义。

- （1）电烧伤是电流的热效应造成的伤害，分为电流灼伤和电弧烧伤。电流灼伤是人体

与带电体接触，电流通过人体由电能转化为热能造成的伤害，电流灼伤多发生在低压设备或低压线路上。

电弧烧伤是由弧光放电造成的伤害，分为直接电弧烧伤和间接电弧烧伤。前者是带电体与人体之间发生的电弧，有电流流过人体时的烧伤，后者为电弧发生在人体附近对人体的烧伤，包含熔化了了的炽热金属溅出造成的烫伤。直接电弧烧伤是与电击同时发生的。

电弧温度高达 8000℃ 以上，可造成大面积、大深度的烧伤甚至烧焦，烧掉四肢及其他部位。大电流通过人体也可能烘干、烧焦机体组织，高压电弧的烧伤较低压电弧严重，直流电弧的烧伤较工频电弧严重。

发生直接电弧烧伤时，电流进、出口烧伤最为严重，体内也会受到烧伤。与电击不同的是，电弧烧伤都会在人体表面留下明显痕迹，而且致命电流较大。

(2) 皮肤金属化是在电弧高温的作用下，金属熔化、汽化，金属微粒渗入皮肤使皮肤粗糙而张紧的伤害。皮肤金属化多与电弧烧伤同时发生。

(3) 电烙印是在人体与带电体接触的部位留下的永久性斑痕，斑痕出皮肤失去原有弹性、色泽，表皮坏死失去感觉。

(4) 机械性损伤是电流作用于人体时，由于中枢神经反射和肌肉强烈收缩等作用导致的机体组织断裂、骨折等伤害。

(5) 电光眼是在发生弧光放电时，由红外线、可见光、紫外线对眼睛的伤害，表现为角膜炎或结膜炎。

二、触电方式

(一) 直接接触触电

所谓直接接触触电，就是人体直接接触或接近带电体造成的触电。直接接触触电可分为单相触电、两相触电和其他如剩余电荷触电、感应电压触电等。

单相触电，一般指人站在地面上触及到一相带电体，这时施加在人体上的电压为相对地电压、电流通过人体某部位与大地构成回路而造成伤害，这是最常见的触电方式之一。

两相触电，一般是指人体同时触及两相带电体，这时施加在人体上的电压为线电压，电流通过人体从一相途径到另一相，所以危险性更高，伤害更大。

感应电压触电，有部分设备虽然是停了电，但由于临近的电气设备带电，可能在停电的设备上感应出电压，当触及停电设备时会造成触电。

剩余电荷触电，某些电气元件或设备能储存一定数量的电能，当需要进行检修维护及测试设备时必须首先切断电源并进行有效放电后方可进行以上测试和检修工作。如果电荷没有释放掉，设备就有转变电压存在，当人体接近或触及到这些电气设备时，就会对人体形成放电回路使其受到伤害。比如电容器、电压互感器、变压器等设施停电后，必须通过放电回路将残存的剩余电荷释放掉，使其安全可靠。

预防人身直接接触电的安全措施

1. 绝缘导线连接处可用绝缘胶布包扎。
2. 用屏障或围栏防止触及带电体。
3. 保持间隔距离以防无意触及带电体。对易于接近的带电体，应保持手臂所能触及的范围以外。
4. 漏电保护装置只可用作附加保护，动作电流不宜超过 30mA。
5. 根据工作场所的特点，可采用相应等级的安全电压，36V 多用于触电危险性大的工作场所，24V 和 12V 用于有高度触电危险的工作场所。

（二）间接接触触电

间接接触触电是指由于故障使正常情况下不带电的电气设备金属外壳带电造成的触电。如接触电压触电，接触电压触电是常见的触电方式，当设备发生碰壳漏电时，金属外壳产生对地电压，这时人站在设备附近或人体其他部位接触到设备外壳，就会造成触电。

预防人身间接触电的安全措施

1. 根据低压配电系统的运行方式和安全需要，常采用适当的自动化元件和连接方法，当发生故障时使线路能自动断开电源。
2. 采用双重绝缘或加强绝缘的电器设备，或者采用具有共同绝缘的组合电器设备，防止工作绝缘损坏后，在易接近部位出现危险的对地电压。
3. 采用等电位工作环境，这种措施是防止工作绝缘损坏时人体同时触及不同电位的两点而触电。
4. 采用等电位工作环境。等电位工作环境是把设备以外所有容易接触的裸露导体互相连接起来，以防危险的接触电压。
5. 根据工作环境，采用相应等级的安全电压。

（三）跨步电压触电

当电气设备发生接地短路故障时或电力线路断落接地时，电流经大地流走，这时

接地中心附近的地面存在不同的电位，人体接触到不同电位的两点时就会发生触电事故。这类事故常发生在接地点周围特别潮湿的地方或在水中，另外还有静电触电或雷击触电等。

三、触电事故的规律

（一）触电事故的人员情况分析

据统计，在触电死亡的人员中，30岁以下的青年人的占85%，30岁到45岁的中年人占10%，45岁以上的只占5%。

按专业分，电工占21%，非电工占79%。在飞电工中没有受过电气安全教育的占70%以上。

这是由于青年人是设备的主要操作者，接触电气设备的机会多，危险性相对比较大。另一方面，也说明青年人电的安全意识比较薄弱，自我保护能力低，违章作业的情况比较严重。

非电工死亡的人数中大多数不懂电气安全常识，冒险去摆弄电气设备，或是对触电的危险性认识不足，存在不在乎的想法。

（二）触电事故的季节性分析

触电事故具有明显的季节性。在7、8、9三个月的触电事故占整个触电事故的65%左右。这是因为：（1）夏季高温、多雨，空气湿度大，电气设备的绝缘性下降。

（2）天气炎热，一些防暑降温用的电气设备投入使用，增加了危险性。（3）夏季人体多汗。皮肤电阻降低，衣着单薄，身上裸露的部分多。（4）降水多，潮湿，大大增加了周围环境的导电性能。

（三）触电事故的设备情况分析

触电事故有71%左右发生在低压电气设备上。高压触电事故只占29%左右，而且大都是由于人的疏忽，在作业时触到电力线路上造成的。在低压触电事故中，手持式电动工具或类似工具占21.2%；各种移动式电气设备，如潜水泵、电焊机、水磨机等占31.0%；照明线路占18.3%；乱拉临时线占14.1%；其他设备占8.5%；检修中占7%。

低压触电的数量要远大于高压触电。这是因为打压设备大都是流动使用的，这些设备使用条件恶劣，安全状况不好，设备常带病运行的情况严重，另外也是长期以来人们比较重视高压设备的安全防护，忽视低压电气设备安全管理的结果。

（四）触电事故的行业分析

发生触电事故比较多的行业是建筑、冶金、矿井、造船等行业和乡镇区街企业。特别是建筑安装施工行业，占整个触电事故的40%~50%。

这是因为这些行业工作环境比较恶劣，作业常在潮湿、高温，导电性能好的环境内进行。这些环境使人的防护能力降低，设备容易损坏，常常带病运行，安全状况不好。另外在这些环境作业的工人，大都不懂电气安全常识，自我防护能力低。

第二节 电流对人体的危害

一、电流对人体作用的规律，可用来定量地分析触电事故，也可以运用这些规律，科学地评价一些防触电措施和设施是否完善、科学地评定一些电气产品是否合格等。

二、电流对人体的作用原理

电流通过人体时破坏人体内细胞的正常工作，主要表现为生物学效应。电流作用人体还包含有热效应、化学效应和机械效应。

电流的生物学效应主要表现为使人体产生刺激和兴奋行为，使人体活的组织发生变异，从一种状态变为另外一种状态。电流通过肌肉组织，引起肌肉收缩。由于电流引起神经细胞激动，产生脉冲形式的神经兴奋波，当这兴奋波迅速地传到中枢神经系统后，后者即发出不同的指令，使人体各部作相应的反应，因此，当人体触及带电时，一些没有电流通过的部位也可能受到刺激，发生强烈的反应，重要器官的功能可能受到破坏。

在活的机体上，特别是肌肉和神经系统，有微弱的生物电存在。如果引入局外电流，生物电的正常规律将受到破坏，人体也将受到不同程度的伤害。

电流通过人体还有热作用。电流所经过的血管、神经、心脏、大脑等器官将因为热量增加而导致功能障碍。

电流通过人体，还会引起机体内液体物质发生离解、分解导致破坏。

电流通过人体，还会使机体各种组织产生蒸汽，乃至发生剥离、断裂等严重破坏。

三、人体触电的征兆

小电流通过人体，会引起麻感、针刺感、压迫感、打击感、痉挛、疼痛、呼吸困难、血压正常、昏迷、心率不齐、窒息、心室颤动等症状。数安以上的电流通过人体，还可以导致严重的烧伤。

小电流电击使人致命的最危险、最主要的原因是引起心室颤动。麻痹和中止呼吸、

电休克虽然也可能导致死亡，但其危险性比引起心室颤动要小得多。发生心室颤动时，心脏每分钟颤动 1000 次以上，但幅值很小，而且没有规律，血液实际上中止循环。心室颤动能够持续的时间是不会太长的。在心室颤动状态下，如不及时抢救，心脏很快将停止跳动，并导致生物性死亡。当人体遭受电击时，如果有电流通过心脏，可能直接作用于心肌，引起心室颤动；如果没有电流通过心脏，亦可能经中枢神经系统反射作用于心肌，引起心室颤动。

由于电流的瞬间作用而发生心室颤动时，呼吸可能持续 2~3min。在其丧失知觉之前，有时还能叫喊几声、有的还能走几步。但是，由于其心脏已进入心室颤动状态，血液已中止循环，大脑和全身迅速缺氧，病情将急剧恶化，如不及时抢救，很快将导致生物性死亡。

第三节 影响电流对人体作用的因素

不同的人于不同的时间、不同的地点与同一根导线接触，后果将是千差万别的、这是因为电流对人体的作用受很多因素的影响。

（一）电流大小

通过人体的电流越大，人的生理反应和病理反应越明显，引起心室颤动作用的时间越短，致命的危险性越大。按照人体呈现的状态，可将预期通过人体的电流分为三个级别。

1. 感知电流

在一定概率下，通过人体引起有任何感觉的最小电流（有效值、下同）称为该概率下的感知电流。概率为 50% 时，成年男子平均感知电流为 1.1mA，成年女子约为 0.7mA。

感知电流一般不会对人体造成伤害，但当电流增大时，感觉增强，反应加剧，可能导致坠落等第二次事故。

2. 摆脱电流

当通过人体的电流超过感知电流时，肌肉收缩增加，刺痛感觉增强，感觉部位扩展。当电流增大到一定程度时，由于中枢神经反射和肌肉收缩、痉挛，触电人将不能摆脱带电体。在一定概率下，人触电后能自行摆脱带电体的最大电流称为该概率下的摆脱电流。

摆脱电流时人体可以忍受，一般尚不致造成不良后果的电流，电流超过摆脱电流以

后，会感到异常痛苦、恐慌和难以忍受。如时间过长，则可能昏迷、窒息，甚至死亡，因此，可以认为摆脱电流是具有较大危险的界限。

3. 室颤电流

通过人体引起心室发生纤维性颤动的最小电流称为室颤电流。电击致死的原因是比较复杂的，例如，高压触电事故中，可能因为强电弧或很大的电流导致的烧伤使人致命；低压触电事故中，正如前面说过的，可能因为心室颤动，也可能因为窒息时间过长使人致命。一旦发生心室颤动，数分钟内即可导致死亡。因此，在小电流（不超过数白毫安）的作用下，电击致命的主要原因，是电流引起心室颤动。因此，可以认为室颤电流是短时间作用的最小电流。

（二）电流持续时间

电击持续时间越长，则电击危险性越大。其原因有四：

（1）电流持续时间越长，则体内积累局外电能越多，伤害越严重，表现为室颤电流减小。

（2）心电图上心脏收缩与舒张之间约 0.2s 的 T 波（特别是 T 波的前半部），是对电流最为敏感的易损期（易激期）。电击持续时间延长，必然重合心脏易损期，电击危险性增大。

（3）随着电击持续的时间的延长。人体电阻由于出汗、击穿、电解而下降，如接触电压不变，流经人体的电流必然增加，电击危险性随之增大。

（4）电击持续时间越长，中区神经反射越强烈，电击危险性越大。

（三）电流途径

人体在电流的作用下，没有绝对的安全途径。电流通过

心脏会引起心室颤动直至心脏停止跳动而导致死亡；电流通过中区神经及有关部位，会引起中区神经强烈失调而导致死亡；电流通过头部，严重损伤大脑，亦可能使人昏迷不醒而死亡；电流通过脊髓灰使人截瘫；电流通过人的局部肢体亦可能引起中区神经强烈反射而导致严重后果。

流过心脏的电流越多、电流路线越短的途径是电击危险性越大的途径。可用心脏电流因数粗略衡量不同电流途径的危险程度。心脏电流因数是表明电流途径影响的无量纲系数。如通过人体左手至脚途径的电流 I_0 与通过人体某一途径的电流 I 引起心室颤动的危险性相同，则该途径的心脏电流因数为不同途径的心脏电流因数，见表 3-1。

表 3-1 心脏电流因数

电流途径	心脏电流因数
左手-左脚、右脚或双脚	1.0
双手-双脚	1.0
右手-左脚、右脚或双脚	0.8
左手-右手	0.4
背-左手	0.7
背-右手	0.3
胸-左手	1.5
胸-右手	1.3
臀部-左手、右手或双手	0.7

(四) 电流种类的影响

不同种类电流对人体伤害的构成不同，危险程度也不同，但各种电流对人体都有致命危险。

1. 直流电流的作用

在接通和断开瞬间，直流平均感知电流约为 2mA。300mA 以下的直流电流没有确定的摆脱电流值；300mA 以上的直流电流将导致不能摆脱或数秒至数分钟以后才能摆脱带电体。电流持续时间超过心脏搏动周期时，直流室颤电流为交流的数倍；电流持续时间 200ms 以下时，直流室颤电流与交流大致相同。

2. 100Hz 以上电流的作用

通常引进频率因数评价高频电流电击的危险性。频率因数是通过人体的某种频率电流与有相应生理效应的工频电流之比。100Hz 以上电流的频率因数都大于 1. 当频率超过 50Hz 时，频率因数由快至慢、逐渐增大。

(五) 人体电阻

人体电阻时，流过人体的电流（当接触电压一定时）由人体的电阻值决定，人体电阻越小，流过人体的电流越大，也就越危险。

人体电阻主要包括人体内部电阻和皮肤电阻。人体内部组织的电阻，虽然不是稳定

的，但有一个共同的特点，就是电阻值与外加电压的大小基本上没有关系。一般人的平均电阻值是 1000~1500 欧。

当皮肤有损坏时，则皮肤的绝缘层被击穿，人体电阻就只剩下内部电阻了。

潮湿、出汗、导电的化学物质和尘埃（如金属或炭质粉末）等都能使皮肤的电阻显著下降。若皮肤上有汗水，电阻就会变得很低，电流对人体的作用就会增大。

环境温度对人体的电阻也有很大影响。实验得知，人体在周围温度为 45℃时的电阻较在 18℃时减小一半以上。一个人若在 45℃的环境中停留 1h，他的电阻就会比短时间停留时小，当他回到低温的环境中时，电阻又会突然增大。

第四节、触电急救

（一）触电急救

触电急救的要点是：动作迅速、救护得法。当发现有人触电时，首先要使触电者尽快地脱离电源，然后根据电者的受伤情况，进行相应的救治。人触电以后，会出现神经麻痹、呼吸中断、心脏跳动停止等征象，外表上呈现昏迷不醒的状态。但应看做是假死，要迅速而持续的进行抢救。

1. 脱离电源

人触电以后，可能不能自行摆脱电源。这时，应尽快使触电者脱离电源，这是救活触电者的首要因数。

2. 发生抵触电事故时，使触电者脱离电源的方法。

（1）附近有开关或插头时，应立即断开电源开关或拔掉电源插头，断开电源。

（2）附近没有开关，则用具有良好绝缘的钢丝钳将电线剪断，或用有干燥木柄的斧头或其他工具将电线砍断。如果触电者单相触电时，也可用绝缘物插入触电者身下，隔断电流通路，使触电者尽快脱离电源。

（3）如果什么工具也没有，也可以用干衣服、围巾等衣物，厚厚地把一只手严密包裹起来，拉触电者的衣服使其脱离电源。如有干燥木板或其他不导电的东西，救护者应站在上面进行救护。

总之，要迅速用现场可以利用的一切绝缘物体进行抢救，绝不能用潮湿的东西，更不能用金属体去接触电者，防止自己也触电。如果人在高处触电，应防止触电者在脱离电源后从高处摔下而加重伤势。

1) 发生高压触电事故时，使触电者脱离电源的方法。

(1) 立即通知有关部门拉闸停电。

(2) 近处有开关（或跌落式熔断器），要立即戴上绝缘手套，穿上绝缘靴，用相应电压等级的绝缘棒（操作帮）将开关（或跌落式熔断器）拉开。

(3) 抛掷裸金属线，使线路发生短路跳闸。

(二) 现场急救

触电者脱离电源后，要根据触电者的具体情况，迅速对症救护。

1. 触电者神志清醒，但有心慌、四肢发麻、全身无力、

或曾一度昏迷，但已清醒过来。此时，应使触电者不要走动。安静休息。并请医生诊治或送往医院治疗。

2. 触电者已失去知觉，但还有心脏跳动和呼吸存在，这时应使触电者舒适安静平卧，解开触电者衣服以利呼吸，如有天气寒冷，要注意保暖，并让空气流通，并速请医生诊治或送医院治疗；如触电者呼吸困难或发生痉挛，应准备一旦呼吸停止，立即作进一步的抢救。

3. 触电者呼吸停止或心脏跳动停止，或两者都已停止时，应立即施行人工呼吸和胸外心脏按压法进行抢救，并速请医生或送医院抢救。在送医院途中不能中止急救。

(三) 人工呼吸法救护

人工呼吸是用人工的力量使触电者呼吸停止后，促使肺部膨胀和收缩，达到恢复呼吸目的的急救方法。

1. 口对口吹气法

(1) 将触电者平躺、颈部伸直，把衣服扣结、上衣、裤带等迅速解开，使触电者的胸部和腹部能够自由扩张。掰开触电者的嘴，清除口腔内妨碍呼吸的呕吐物、粘液、活动假牙等，如果舌头后缩要把舌头拉出来，使呼吸道畅通。如触电者牙关紧闭，可用木片、金属片等从嘴伸入牙缝慢慢撬开牙关，然后使触电者头部尽量后仰，以保持呼吸道畅通。

(2) 救护人在触电人头部旁边，一手捏紧触电人的鼻孔不让漏气，另一手扶着触电人的下颌，使嘴张开（嘴上可盖一块纱布或薄布）

(3) 救护人做深呼吸后，紧贴触电人的嘴（眼防止漏气）吹气，同时观察触电者胸部膨胀情况，以胸部略有起伏为宜。吹气用力大小，要根据不同的触电者有所区别。

(4) 吹气人吹气完毕准备换气时，应立即离开触电者的嘴，并放开捏紧的触电者鼻孔，

让触电者自行呼气，这时应注意触电者胸部的复原状况，观察呼吸道有无梗阻现象。

按以上步骤连续不断地进行。对成年人吹气 14~16 次 / 分钟，每次吹气约 2 秒，呼吸约 3 秒；对儿童吹气 18~24 次 / 分钟，不用捏紧鼻子，任其自然漏气。

2. 牵臂压胸法

牵臂压胸法也叫摇臂压胸法，使触电者平躺，肩部

用柔软物稍微垫高，头部后仰，保持呼吸道畅通。两人进行救护，一个人半跪在触电者侧面，注意保持触电者呼吸道畅通；一个跪在触电者头部，两手握住触电人的手腕，使其两臂弯曲，压在前胸两侧，让触电者呼气（用力不宜太大）。然后把触电者两臂从两侧向头顶方向拉直，让触电者吸气。这样反复地进行，约 14~16 次 / 分钟。这种方法不如口对口吹气法效果好。使用牵臂压胸法时，不能同时使用心脏按压法。

3. 心脏按压法

心脏按压法又叫心脏按摩，是用人工的方法在胸外挤压心脏，使触电者心脏恢复跳动，这种发放适用于抢救心脏跳动停止或心脏跳动不规则的触电者。具体做法如下：

（1）将触电者仰卧，清除嘴里痰液，取下活动假牙，不使舌根后缩，使其呼吸道畅通。背部着地处应平整稳固，以保证挤压效果。

（2）选好正确压点。救护人跪在触电者一侧或骑跪在其腰部两侧，两手交叉相叠，把下面那只手的掌根放在触电者的心窝上方、胸骨下。

（3）选好正确的压点以后，救护人肘关节伸直，适当用力，带有冲击性地压触电人的胸骨（压胸骨时要对准脊椎骨，从上向下用力），对成年人，可压下 30mm~40mm；对儿童应只用一只手，并且用力要小些，压下深度要浅些。

（4）挤压后，掌根要迅速放松（但不要离开胸膛），使触电者的胸骨复位，挤压的次数，成年人每分钟 60 次，儿童每分钟 90~100 次。挤压的部位要找准，压力应适当，不可用力过大过猛，防止把胃里食物压出堵住气管或造成肋骨折断，但也不能用力过小，以免起不到挤压作用。

心脏的跳动和呼吸是互相联系的，心脏跳动停止了，呼吸很快就会停止；呼吸停止了，心脏跳动也维持不了多久。如果触电者呼吸或心脏跳动都已停止，单做心脏按压不能帮助恢复呼吸，因此，应同时进行口对口吹气和胸外心脏按压来进行救护，救护可以单人进行，也可以两人进行，担任操作：先吹气 3~4 次，再挤压 7~8 次，反复交替进行。双人操作：每 5 秒吹气一次，每一秒挤压一次。抢救触电者往往需要很长时间，而且要连续不断地进行，不应间断，在没有确定死亡前不可停止救护。

