

电 气 调 整 工

(二 级 工)

中国建筑工程工业出版社

本书系《安装工人应知丛书》之一，内容是根据国家建筑工程总局颁发的《安装工人技术等级标准》(试行)中对电气调整工二级工所规定的应知项目，顺序作出解答。主要应知项目有：电气基本理论知识和识图基本知识；可控硅整流器及其简单电路的基本知识；10千伏以下变配电所系统图、继电保护控制原理图的识读及简单的机床交直流电气控制原理及校验试运转知识；交、直流电动机的基本结构原理和启动方法；一般常用电器设备名称、构造、用途及校验方法；常用试验设备、仪器仪表、工具的规格、使用及一般维护方法；常用绝缘材料、安全工具的耐压试验标准与试验方法；变压器、电流互感器、电压互感器的基本构造原理和极性测量方法以及接零、接地装置的作用和一般测试规定。供电气调整工人考工复习参考。

安装工人应知丛书

电气调整工

(二级工)

刘文亮 编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：4 字数：88 千字

1982年7月第一版 1982年7月第一次印刷

印数：1—26,100册 定价：0.34元

统一书号：15040·4233

出版说明

本丛书是根据国家建筑工程总局颁发的《安装工人技术等级标准》(试行),针对各级安装工人规定的应知项目和具体要求编写的,适合具有初中以上文化程度,并具备该工种相应级别的基础知识和操作技能的安装工人阅读。

本丛书是按照《安装工人技术等级标准》(试行)所列的应知项目顺序作答,解答内容尽量保持知识的系统性和完整性,以帮助各工种的安装工人考工复习参考使用。

本丛书按不同工种和等级分册编写,陆续出版。

中国建筑工业出版社

1981年6月

目 录

一、电气基本理论知识和识图基本知识	1
(一) 电的基本物理概念	1
(二) 电场与磁场	5
(三) 电路与磁路	17
(四) 识图基本知识	28
二、可控硅整流器及其简单电路的基本知识	32
三、看懂10千伏以下变配电所系统图、继电保护控制原理图。简单的机床交直流电气控制原理及校验试运转知识	36
(一) 变配电工程施工图	38
(二) 简单机床电气控制原理及校验运转知识	39
四、交直流电动机的基本结构原理和起动方法	43
(一) 直流电动机的基本构造原理和起动方法	43
(二) 交流电动机的结构原理和起动方法	47
五、一般常用电器设备名称、构造、用途及校验方法	64
(一) 开关设备	64
(二) 熔断器	73
(三) 接触器	77
(四) 磁力起动器	79
(五) 电阻与变阻器	79
(六) 电磁铁	82
六、常用试验设备、仪器仪表、工具的规格、	

使用和一般维护方法	84
(一) 常用试验设备	84
(二) 仪器仪表与工具	89
七、常用绝缘材料、安全工具的耐压试验标准	
方法	98
(一) 常用绝缘材料的耐压试验	98
(二) 安全工具的耐压试验	101
八、变压器、电流互感器、电压互感器的基本	
构造原理和极性测量法	103
(一) 变压器的构造原理和极性测量法	103
(二) 电流互感器的构造原理和极性测量法	106
(三) 电压互感器的构造原理和极性测量法	109
九、接零、接地装置的作用和一般测试规定	110
(一) 接零装置的作用和一般测试规定	110
(二) 接地装置的作用和一般测试规定	114

一、电气基本理论知识和识图

基本知识

电气调整工应当懂得电气基本理论知识，结合工程实践，才能做好电气调整工作。

电气调整工应懂得下述的电气基本理论知识：

（一）电的基本物理概念

1. 电荷——电荷是物质的固有属性之一。在自然界中，电荷不可能脱离物质而单独存在。电荷分为两种，一种是正电荷（符号“+”），另一种是负电荷（符号“-”）。电子带负电荷，失去电子的原子、原子团或分子则带正电荷。电荷之间存在着相互作用力，同性电荷互相排斥，异性电荷则相互吸引。通常，物体中的正负电荷的数量是相等的，因而相互中和，对外不呈现电性。

电荷的数量，叫做电量，用符号 $Q(q)$ 来表示，电荷数量的单位是库仑。

正负电荷是成对出现的，而且电量相等。电荷不能创造，也不能消灭，只能转移。电荷在转移前后，其总电量（正负电量的代数和）不变，这一规律叫做电量守恒定律。

2. 电场与磁场——电场是在电荷周围形成的一种特殊物质。电荷之间的相互作用，是通过电场进行的。

静电荷周围的电场是静电场。

电荷移动形成恒定电流时，在恒定电流的周围存在稳定的电场和稳定磁场。

电荷移动形成交变电流时，则在交变电流的周围空间存在着相互联系的而且随时间变化的电场和磁场，叫交变电磁场。交变电磁场以电磁波的形式向四周空间进行辐射。

3. 电子——电子是基本粒子之一，带有负电荷。自然界中存在的最小电量就是一个电子的电量，用 e 表示。一个电子的电量等于 -1.602×10^{-19} 库伦。电子的静止质量约为 9.1×10^{-31} 公斤。

原子中的电子除了围绕原子核运动外，本身还作自旋运动。它们除具有电的性质外，还具有磁的性质。通常，电子由于核中质子正电荷的吸引作用，不能脱离原子。

4. 离子——如果中性的原子、原子团或分子失掉电子（或得到电子）时，它的正负电荷就不再相等，而成为带正电（或负电）的原子、原子团或分子。这种带正电的原子、原子团或分子叫正离子，带负电的叫负离子。

通常，金属容易失去它的电子而成为正离子，非金属则容易得到电子而成为负离子。

5. 导体——导电能力强的材料称为导体。按照它们导电的物理过程，又分为金属导体（也叫作第一类导体，如铜、铝、铁等）和电解液（也叫作第二类导体，如酸、碱、盐的水溶液）。

电解液能够导电，是由于电解质在水中发生电离，产生了带有不同电荷的离子。

少数气体电离后（如氙、氖等），也具有导电性质。

6. 绝缘体——几乎不能导电的物质叫作绝缘体，或叫电介质。在常温下，绝缘体的电阻率为 10^7 欧·米以上。由于绝

绝缘体的原子核对其周围的电子束缚得很紧，自由电子很少，因此，这类材料称为绝缘体。常用的绝缘材料有橡胶、云母、塑料、树脂、玻璃、绝缘漆、变压器油等。

在通常的情况下，空气中的自由电子和离子都很少，所以也是绝缘的。

7. 半导体——半导体是介于导体和绝缘体之间的物质。常温下，它的电阻率约为 $10^{-7} \sim 10^8$ 欧·米。半导体的结构大多是以共价键结合的晶体。使半导体中的价电子脱离出来所需要的能量比绝缘体要小的多，半导体只需要 1 电子伏特，而绝缘体要超过 5 电子伏特。

半导体按其组成成分可分为本征半导体和杂质半导体。本征半导体是纯净的半导体，即在电子导电的同时，还存在空穴导电。纯净的硅、锗等就是这类半导体。在纯净的半导体中，掺入少量其它元素的原子，就成为杂质半导体。虽然杂质的原子不多，但在常温下导电的电子浓度却要比纯净半导体大许多倍，因而大大地减少了半导体的电阻。这种半导体中的载流子主要是电子。所以也叫作电子型或N型半导体。例如，在锗或硅半导体中，掺入少量的硼或铟的原子，这样，可使一块半导体的一部分是P型的，另一部分是N型的。这样，在P型和N型的交界处就会形成一个特殊的薄层，叫作PN结。PN结具有单向导电性，是许多半导体器件的基本组成环节。

8. 金属热电子发射——在常温下，金属几乎不发射电子。当金属的温度提高到一定温度后，会有大量的电子从金属中发射出来。这种现象叫作金属的热电子发射。真空电子二极管就是根据热电子发射而做成的一种电子器件。

9. 气体导电——在一般情况下，气体是良好的绝缘体，

但在外界因素的作用下，气体的分子发生电离，产生出自由电子和正负离子，这样气体就变得能导电了。

气体导电有四种放电现象：

辉光放电 当气体压强较低（约1毫米汞柱），并控制电路中电流的变化，则气体导电后即产生辉光放电。辉光放电阶段的电压稳定，电流随着电极间的气体电导正比地改变。

弧光放电 当辉光放电的电流达到一定程度时，电压突然下降，辉光放电就过渡到弧光放电。弧光放电时，阴极表面的放电区域很集中，有大量的电子发射出来，因而电流密度很大，发出的光呈弧线状。

火花放电 在大气压下，如果电源的功率不足以产生和维持稳定的弧光放电，就会产生火花放电。火花放电是间歇发生的。

电晕放电 在大气中，靠近电位很高曲率半径很小的带电体周围，局部区域内的电场强度很大，可使气体发生电离，形成自激导电。这种自激导电就叫作电晕放电。高压输电线以及高压电器、电机的绕组有时会发生电晕放电。

10. 光电效应——当光线照射金属时，从金属中跑出电子的现象，叫作光电效应。电子元件中的光电管就是根据光电效应作成的电子器件。

11. 压电效应——某些晶体受到外加压力和拉力的作用时，晶体组成的正负离子间发生不对称的相应位移，从而在晶体表面上出现极化电荷（电介质在外电场的作用下，其内部的正负电荷在空间位置上产生很小的偏移，形成所谓的电极偶子，破坏了中性状态，这种现象叫做电介质的极化。极化状态下的电荷叫做极化电荷，也叫束缚电荷）。所以压电

效应是由于晶体的机械形变而造成的。压电效应还有逆作用，即当在压电体的两个面上加上电压时，压电体会产生形变，这种现象叫做电致伸缩。

压电效应在电讯工程上用的很多，例如用石英晶体产生频率稳定的电振荡等，电子表就是采用这种原理制成的。

12. 热电效应——以两种不同的金属组成闭合回路，并使两端的双金属接头处于不同的温度下，则在回路中会出现电流（图1）。所以在回路中必定存在电动势，这种电动势就叫做温差电动势。

温差电动势的产生是由于不同的金属中的自由电子，它们拥有的能量不同，当两金属接触时，能量大的就跑到能量低的金属中去，因而两不同金属间就产生电势差，温差越大则电势差越大。

测量高温的热电偶就是利用温差电的现象。

13. 电化学效应——电化学效应中最主要的是电解作用。

电解液（或熔融电解质）
在导电过程中伴随有化学反应，表现为插入溶液（或熔融体）的阳极和阴极上有物质析出，这种现象，叫做电解。

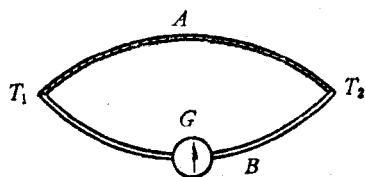


图1 热电效应（温差电动势）

由于电解可以把电解液中的物质分离出来，因此电解的方法在工业上用于冶炼、电镀、电铸等方面。

（二）电场与磁场

1. 电场——电荷的周围或变化磁场的周围存在着一种特

殊的物质，叫做电场。两个不相接触的带电体通过电场而彼此吸引或排斥。电场具有能量，可以和其它形式的能量相互转化。

电场在空间的分布是连续的，变化是平滑的。中性物质没有电场，这是因为相邻粒子的电场相互抵消的缘故。

2. 库仑定律——在真空中两个点电荷通过电场相互作用时，作用力 F 的大小和它们的电量 Q_1 和 Q_2 的乘积成正比，而与它们之间的距离 r 的平方成反比，即

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (1-1)$$

作用力的方向是沿着它们之间的连线方向。如果 Q_1 与 Q_2 为异性电荷，则作用力 F 为吸力；如果 Q_1 和 Q_2 的电荷同性，则作用力 F 为斥力。这一结论叫做库仑定律。它们之间的作用力叫做电场力。

公式(1-1)中，采用国际单位制时， F 的单位是牛顿， Q_1 与 Q_2 的单位是库仑， r 的单位是米， K 为比例常数，在真空中 $K=9 \times 10^9$ 牛顿·米²/库仑²。

3. 电力线——电力线是形象地表示电场分布的常用图示法。空间任一点上电力线的切线方向就是该点电场强度，电力线的疏密程度就表示电场强度的大小。

电力线的性质是：发始于正电荷，终止于负电荷；既不闭合，也不中断；任何电力线不会相交。

4. 电位差——在电场中，单位正电荷由某一点 a 移到另一点 b 时，电场力所做的功叫做这两点间的电位差。即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-2)$$

功 W_{ab} 的单位为焦耳，电量 q 的单位是库仑。电位差 U_{ab} 只和

a , b 两点的位置有关, 和所取的路径没有关系。

5. 电位——在公式(1-2)中, 如果以 b 点为参考点, 则电压 U_{ab} 也可以做为 a 点的电位。在工程上, 一般取大地作为电位的参考点。

6. 等位面——在静电场中电位相等的各点所组成的曲面叫做等位面。电力线和等位面是成正交的。电位降落的方向就是电力线的方向。

7. 静电感应——如果把导体放到电场中, 导体内的自由电子受到电场力的作用, 就向着和电场相反的方向移动。如图2所示, 导体的 ab 面显示出带负电, 导体的 cd 面显示出带等量的正电。这种导体内的电荷因受外电场作用而重新分布的现象叫做静电感应。

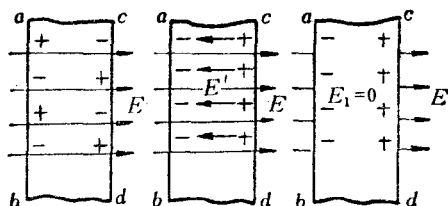


图 2 电场中的导体静电感应现象

静电场中静止导体内部任一点的电场强度均为零, 整个导体是一个等位体, 导体的表面是一个等位面; 导体内的各处没有静电荷, 电荷只分布于导体的外表面。

8. 静电屏蔽——如果把有空腔的导体放在电场中(图3), 因为导体内部任一点的电场场强为零, 所以导体起到隔绝外电场的作用, 使外电场不能透入到空腔的内部。反之, 如果空腔导体内部有带电体而产生电场(图4), 把空腔导体的外表面积地, 那么外表面的感应电荷就由于接地而

中和，使空腔内带电体的电场不能穿透到外部。上面所说的两种情况都叫做静电屏蔽。

静电屏蔽广泛使用在电器、仪表和电缆等产品方面，使它们不受到外界电场的干扰，也不对外界产生影响。

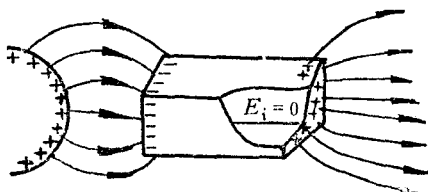


图 3 金属腔内部不受外电场的干扰

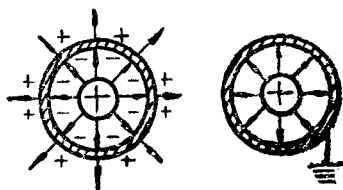


图 4 接地金属腔的内部电场对外没有影响

9. 电介质的极化——在外界电场力的作用下，电介质中的正负电荷会在空间位置上发生很小的偏移，形成电极偶子，破坏了电介质的中性状态，这种现象叫做电介质的极化。极化状态下的电荷叫做极化电荷，也叫束缚电荷。

10. 电介质的击穿——当外电场增强到一定程度时，电介质内部区域的极化电荷脱离束缚，使泄漏电流剧增而形成导电通道，导致电介质损坏，这种现象叫做电介质的击穿。

11. 电容——如两个导体分别带有等量的正负电荷 q ，两个导体间的电压为 U (图 5)，只要导体间的电介质是线性的，则 q 与 U 成正比关系，它们的比例常数就是 C ，即电容。

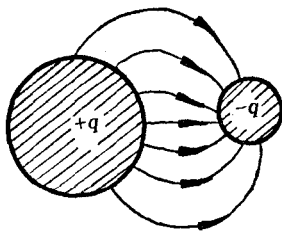


图 5 两导体间的电容

用公式表示，即 $q = CU$

电容 C 既和两导体间的电介质有关，也和电介质中的电场分布有关，因此，电容 C 就和两导体的大小、形状和相互位置有关。

电容使用的单位是库仑/伏，即法拉（简称法）。在实际应用中，由于法（ F ）这个单位太大，因此常用微法（ μF ）、微微法（ pF ）作单位。

12. 稳定电流——在电场的作用下，自由电子或离子所发生的有规则的运动，叫做电流。带电粒子在导体中的运动，叫做传导电流。如果这种电荷的有规则运动不随时间而改变所形成的电流，叫做稳定电流，就是通常所说的直流。

获得稳定电流的条件是：导体中各点的电场强度或导体中任意两点间的电压要保持恒定。

13. 电流强度——单位时间内通过某导体截面的电量称为通过该截面的电流强度，简称电流，以 I 表示。对于稳定电流

$$I = \frac{q}{t} = \text{常量} \quad (1-3)$$

习惯上把正电荷流动的方向规定为电流强度的方向。所以，在金属导体中电流的方向与自由电子流动的方向相反，电解液中电流的方向与正离子流动的方向是一致的。

电流强度的单位为安培（1安培 = 1库仑/秒）。

14. 稳定磁场——静止的永久磁铁的周围存在着一种散布在空间的特殊形态的物质，叫做稳定磁场。

稳定的电流周围除了存在着稳定的电场外，还同时存在着稳定的磁场。

15. 磁感应强度——在磁场中的某点上，单位正电荷 q 以

单位速度 v 向与磁场方向相垂直的方向运动时，所受到的磁场力 F 叫做该点的磁感应强度，用字母 B 表示，即

$$B = \frac{F}{qv} \quad (1-4)$$

B 是一个矢量，它的方向就是磁场的方向。 B 使用的单位是韦伯/米²，又称特斯拉。

16. 磁力线——磁力线（也叫磁感应线）是形象地表示磁场分布的常用图示方法，空间上任一点上磁力线的切线方向就是该点磁感应强度 B 的方向；磁力线的疏密程度就表示磁感应强度的大小。

磁力线有下列性质：（1）各磁力线既不相交，也不中断；（2）形成环绕电流的闭合回线。

图 6 是表示几种不同载流回路四周磁力线的分布情况。

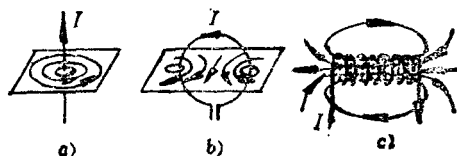


图 6 电流形成的磁场

a) 长直载流导线周围的磁力线； b) 圆形载流回路四周的磁力线；

c) 载流螺线管线圈周围的磁力线

17. 磁场对运动电荷的作用力——当电荷运动速度 v 的方向和磁场 B 的方向形成夹角 α （小于 180° ）时，磁场力 F 的大小为

$$F = qvB \sin \alpha \quad \text{牛顿} \quad (1-5)$$

磁场力 F 的方向用右螺旋定则确定，即由 v 的方向经小于 180° 的 α 角转到 B 的方向时，右螺旋前进的方向就是 F 的方向。

磁场作用于运动电荷的力叫做磁场力或叫洛伦兹力。

当电荷运动的方向与磁场的方向一致时，洛伦兹力等于零。

洛伦兹力总是与电荷的速度相垂直，因此洛伦兹力不做功。它不能改变运动电荷速度的大小，而只能改变电荷运动的方向，使路径发生弯曲。

18. 磁场对载流导线的作用力——载流导线在磁场中受到的力叫做电磁力或叫安培力。电磁力就是导线中运动着的电子所受到的磁场力，因为电子和原子不断地碰撞，而将力传递给导线。

如果在导线长度为 l 的范围内磁场是均匀的，并且 B 与 l 互相垂直，则电磁力的大小是

$$F = BIl \text{ 牛顿}$$

它的方向由左手定则决定（图7）。

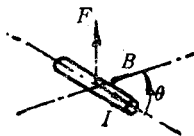


图7 磁场对载流导线的作用力

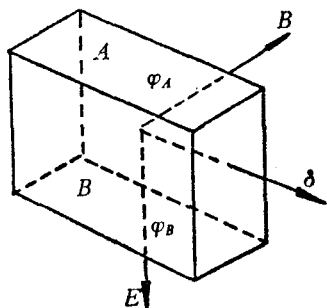


图8 霍尔效应

19. 霍尔效应——处于外磁场中的导电板，如在与磁场垂直的方向通有电流时（见图8），则在同磁场与电流都垂直的方向会建立起电场（或在这个方向的上下缘存在电位差 $\varphi_A - \varphi_B$ ）。这种现象称为霍尔效应。这个产生的电场叫做霍尔电场。

霍尔效应产生的原因是：电流的发生是由于电荷的有规

则运动。假如带电粒子带有正电，则在磁场中运动会受到洛伦兹力的作用，使正电荷在导电板的上缘 A 逐渐积聚，形成电场，即霍耳电场。

霍耳效应在金属导体以及半导体中都能观察到，但是在离子导电液中则不能观察到。

利用半导体材料制成的霍耳元件，在仪表工程上常利用霍耳效应来制做检测磁感应强度的敏感元件（探头）和测量直流大电流的钳形电流表。此外，在半导体材料中还可以通过实验测定霍耳系数的正负，从而判定半导体材料的导电类型，等等。

20. 物质的磁化——在组成物质的分子中，任何一个电子都同时参与两种运动，即环绕原子核的轨道运动和电子本身的自旋运动。这两种运动都能产生磁效应。整个分子中各个电子所产生的磁效应的总和可用一个等效的环形电流来表示。这个等效的环形电流称为分子电流。这种分子电流在没有受到外界磁场作用时，其合成磁效应总是互相抵销的，因而物质不呈现电性。

当物质被引进由载流回路所产生的磁场时，这个磁场要有变化。因为物质受磁场的影响处于一种磁化状态，受磁化的结果，在物质所占的空间里就出现了磁化电流（就是排列规则的分子电流的总和）；磁化电流产生了附加磁场，与在载流回路所产生的磁场加在一起，这样就使原磁场发生了改变。

所有的物质都能被磁化，但是被磁化的程度却有很大的差异。

21. 磁通量——磁通量简称磁通，就是指磁感应强度矢量的通量，用 Φ 表示。