

化工中级工培训试点班讲义

化工电气和仪表

天津市化学工业局教研室

局属各单位：

为落实国办发（84）33号文件精神，到1990年形成以中级技术工人为主体的，技术等级结构比较合理、具有较高政治、文化、技术素质的工人队伍。1985年中级工技术教育是我局职工教育工作的重点工作之一，各单位一定要把这项工作积极开展起来。

为此，局教研室组织有关工程技术人员，技校教师和从事职工教育工作的同志，根据化工部教育司制定的化工工人中级技术理论培训的教学计划和教学大纲，编写了“化学基

希各单位在试讲过程中，注意总结经验并及时将意见和修改建议报我局教研室。

天津市化学工业局

目 录

第一篇 基础电工学

第一章 直流电路

第一节 电路的组成	1
第二节 电动势、电压、电位	
一、电动势	1
二、电 压	2
三、电 流	3
第三节 导体、绝缘体和电阻	5
一、导体和绝缘体	5
二、电 阻	6
第四节 欧姆定律和克希荷夫定律	7
一、部分电路的欧姆定律	7
二、全电路的欧姆定律	8
三、克希荷夫定律	9
第五节 电阻的串、并和混联电路	12
一、串联电路	12
二、并联电路	14
三、混联电路	16
第六节 电路的功和功率	17
一、电源内部的能量关系	17
二、电源外部的能量关系	18
三、电源内部的能量消耗	18

第二章 电和磁的关系

第一节 磁现象和磁场	20
------------	----

一、磁力现象的重要性	20
二、磁场	20
第二节 电流的磁效应	21
第三节 磁场的几个物理量	22
一、磁通	22
二、磁感应强度	23
三、磁场强度	23
四、磁导率	24
第四节 磁化曲线和磁滞回线	25
第五节 磁场对载流导体的作用	26
第六节 电磁感应	27
第七节 自感和涡流	31
一、自感	31
二、涡流	33
第三章 交流电路	
第一节 单相交流电的产生	35
第二节 交流电的基本量	38
一、瞬时值、最大值和有效值	38
二、角频率	39
三、相位和相位差	40
第三节 几种简单参数的交流电路	42
一、纯电阻电路	42
二、纯电感电路	45
三、电阻与电感串联的电路	47
四、矢量法	48
五、电容器和电容的充放电	51

六、纯电容电路.....	53
七、交流电路中的功率.....	56
第四节 三相交流电路的连接.....	59
一、三相电源绕组的连接.....	59
二、三相负载的连接.....	62
第四章 工业电子学的基本知识	
第一节 半导体材料及其特性.....	69
一、半导体及其特性.....	69
二、P型半导体和N型半导体.....	70
三、PN结.....	71
四、二极管的伏安特性.....	72
五、二极管的参量.....	75
第二节 单相整流电路及滤波.....	76
一、半波整流电路.....	76
二、全波整流电路.....	79
三、桥式整流电路.....	81
四、滤波器.....	84
第三节 晶体管及其放大.....	85
一、三极管的电流放大作用.....	86
二、三极管的特性曲线与参数.....	88
第四节 放大电路.....	94
一、基本放大电路的组成及工作原理.....	94
二、静态工作点的设置.....	96
三、多级放大器.....	99
第五节 放大器中反馈电路.....	102
第二篇 电器设备	

第五章 配电变压器和低压配电装置

第一节 变压器	105
一、变压器的基本构造	105
二、变压器的工作原理	106
三、变压器的运行	109
四、变压器的铭牌	109
第二节 低压配电装置	112
一、开关	113
二、磁力起动器	116
三、熔断器和熔丝	119

第六章 电动机

第一节 概述	122
第二节 三相异步电动机的分类和结构	122
一、三相异步电动机的分类	122
二、电动机的结构	123
三、电动机的铭牌	126
第三节 三相异步电动机的工作原理	127
一、旋转磁场的产生	127
二、异步电机的转动原理	131
第四节 三相异步电动机的运行特性	133
一、转差率	133
二、转差率与转子电路各量的关系	133
三、三相异步电动机的电磁转矩	136
四、三相异步电动机的机械特性	137
五、三相异步电动机的损耗和效率	139
第五节 三相异步电动机的起动	140

一、直接起动	142
二、降压起动	142
第六节 三相异步电动机的常见故障和维护	144
第七节 同步电动机	146
第七章 电气安全知识	
第一节 安全电压与安全电流	151
一、安全电流	151
二、人体电阻	151
三、安全电压	152
第二节 触电急救与人工呼吸	153
一、触电急救常识	153
二、人工呼吸	153
第三节 电气设备的保护接地与保护接零	154
一、保护接地	154
二、保护接零	155
第四节 静电保护	158
一、采用静电接地保护的必要性	158
二、静电接地保护的场所	158
三、接地的范围	159
四、接地电阻的阻值	159
第八章 电工仪表介绍	
第一节 电工仪表的用途	160
第二节 电表的分类及代表符号	161
一、电表的分类	161
二、电表的图例及文字说明	162
第三节 磁电式仪表的测量机构	162

一、结构	163
二、工作原理	164
三、技术特点	165
第四节 常用的电工仪表	166
一、万用表	166
二、兆欧表	172
三、单相电度表基本结构	175
第三篇 化工仪表与自动化基础知识	
第九章 化工参数的测量与变送	
第一节 压力测量	180
一、压力的定义、单位及换算	180
二、液柱式压力计	184
三、弹性式压力计	187
四、压力变送器介绍	191
五、压力表的选用与安装注意事项	193
第二节 流量测量	196
一、测量流量的意义、单位及流量计的分类	196
二、差压式流量计	197
三、玻璃转子流量计	211
第三节 液位测量	218
一、几种常见的液位测量方法	218
二、应用静压原理测量液位——差压式液位计	225
第四节 温度测量	228
一、温度测量的基本概念	228
二、热电偶	231
三、热电阻	240

四、测温元件的安装.....	243
第十章 常用的显示仪表	
第一节 显示仪表的分类.....	247
第二节 动圈式显示仪表.....	248
一、动圈式显示仪表的作用原理.....	249
二、动圈表的测量线路.....	250
第三节 电子自动电位差计.....	254
一、电位差计的工作原理.....	255
二、电子电位差计的测量线路.....	257
三、电子放大器的方框图.....	261
第四节 电子自动平衡电桥.....	264
一、平衡电桥.....	265
二、电子自动平衡电桥.....	266
三、电子自动平衡电桥的调整.....	268
四、电子自动平衡电桥与电子电位差计的比较.....	269
第五节 气动显示仪表.....	270
一、气动单计和双计记录仪.....	270
二、气动三件记录仪介绍.....	272
三、色带指示仪.....	274
第十一章 化工自动化的基本概念	
第一节 人工调节与自动调节.....	279
第二节 自动调节系统的组成.....	280
一、自动调节系统的内容.....	280
二、自动调节系统的方框图.....	281
三、负反馈的概念.....	283
四、对调节参数、被调参数、给定值、偏差、	

干扰的解释.....	283
第三节 自动调节系统过渡过程和品质指标.....	285
一、系统的静态和动态.....	285
二、自动调节系统的过渡过程及其基本形式.....	286
三、自动调节系统的品质指标.....	287
第四节 调节对象的特性.....	289
一、化工操作工人了解调节对象的意义.....	290
二、描述对象特性的几个物理量.....	290
第五节 基本调节规律.....	295
一、双位调节.....	296
二、比例调节.....	297
三、积分调节.....	302
四、微分调节介绍.....	306
第十二章 自动调节仪表和执行机构	
第一节 概述.....	303
第二节 DDZ—II型电动单元调节器	310
一、DDZ—II型调节器的工作原理	310
二、表内各旋钮的作用.....	311
三、手动→自动切换.....	312
四、反馈运算回路.....	313
第三节 DDZ—III型电动调节器介绍	314
一、DDZ—III型调节器的特点	315
二、DDZ—III型调节器的操作	315
第四节 气动调节器介绍.....	318
一、气动调节器概况和基本结构.....	318
二、气动比例调节器的工作原理.....	320

第五节 气动定值器与遥控板.....	323
一、气动定值器.....	323
二、遥控板.....	325
第六节 气动薄膜调节阀.....	326
一、气动薄膜调节阀的结构和工作原理.....	327
二、调节阀体的主要类型.....	329
三、调节阀的流通能力与流量特性.....	330
四、气动薄膜调节阀的安装与故障处理.....	333
第十三章 调节系统	
第一节 简单调节系统.....	336
一、被调参数与调节参数的选择.....	337
二、简单调节系统的投运.....	339
三、自动调节系统参数的工程整定.....	342
第二节 复杂调节系统介绍.....	344
一、什么是串级调节系统.....	345
二、串级调节系统的特点.....	347
三、串级调节系统的适用场合和参数的工程整定.....	348
四、串级调节系统的投运.....	350
第十四章 电子计算机在化工生产中的应用	
第一节 计算机控制系统的基本组成.....	353
一、工业控制计算机的硬件系统.....	353
二、工业控制计算机的软件系统.....	357
第二节 计算机控制系统的种类及功能.....	358

第一篇 基础电工学

第一章 直流电路

第一节 电路的组成

在日常生活中，我们经常遇到直流电路，例如图 1—1 所示。

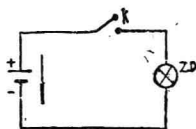


图 (1-1) 简单直流电路

它是由于电池、开关、灯泡、导线所组成。如果我们把开关K闭合，则出现灯泡ZD发光的现象，这说明干电池通过导线、开关、灯泡有电流流过才使电灯泡发光，当流

过导线和灯泡的电流，向一个方向流动，就叫直流电流。电路有直流电流流过的叫直流电路。

由上面的现象不难看出，要有电流流动的闭合电路必须有以下几个部分组成：

1. 电源：它是电路中电能的来源，是把非电能转换成电能的设备。例如发电机把机械能转换成电能，干电池把化学能转换成电能。

2. 负载：它是各种用电设备，是把电能转换成其它形

式能量的设备。如电动机把电能转换成机械能，灯泡把电能转换成光能等。

3. 导线：它能把电源、负载连结成一个电路，是传递电能的通路，目前常用的导线有铜、铝等。

4. 开关：在电路上的用电设备，有时需通以电流，有时不需通过电流，为了便于控制用电，通常在电路适当的位置上接一个开关，用来控制电流的通断。如晚间需要照明时，把开关接通灯泡发光，白天又可把开关打开。

对于一个完整的电路，我们把负载、导线、开关等叫外电路。把电源内部叫内电路。

第二节 电动势、电压、电位和电流

一、电动势

上一节已经提到，当开关K闭合后灯泡立即发光，电路中就有电流通过。为什么会有电流流经负载呢？这主要是电源的存在。电路图1—1是干电池，它是把化学能转变成电能的设备，转变后的电能，使电源内部存在一种电源力，此种电源力可以把电源内部的正电荷从电源的负极，经过电源内部，移到电源的正级，它所做的功，叫这个电源的“电动势”。用符号 E 表示。它的单位是伏特，或简称为伏，用 U 表示。它是有方向的，是由负极指向正级。

二、电压

当电源接在电路中，电动势在电源的正、负极间形成电场，电荷在这种电场的作用下，在电路中移动，而电荷的移

动，就形成电路中的电流。这种迫使单位正电荷从电源的正极经过外电路流向电源的负极时电场力所作的功，叫电源的端电压，用字母U来表示，它的单位也是伏特，它的方向是由正极指向负极。

这里必须强调，在电源内部的电动势是由负极指向正极，在电源外部的端电压是由正极指向负极。这正好说明电源内部是供给能量，而电源外部是消耗能量。

电荷在电场力的作用下移动而作功，因而就必须有能量的消耗，这种现象表明单位正电荷在电路中不同的位置就具有不同的能量，我们把这一能量称这点的“电位”，凡电位高的地方，那点的正电荷也具有较高的能量。因此外电路中的电流，是从高电位流向低电位。如图 1—1 所示，电流是由电池的正电极出发，经外电路流向电源的负极，这也说明电源的正极电位高，负极电位低，在外电路的不同点具有不同的电位，任意两点间的电位差，我们叫电压，电压的方向是由高电位指向低电位，通常在实际工作中，往往把地算零电位。电压的单位也是伏(U)，有时在电压很低的情况下用毫伏为单位，以mU表示。

$$1 \text{ 毫伏} = \frac{1}{1000} \text{ 伏特} = 10^{-3} \text{ 伏特}$$

如果两点间电位差很大，又用千伏作电压的衡量单位。以kV表示。

$$1 \text{ 千伏} = 1000 \text{ 伏特} = 10^3 \text{ 伏特}$$

三、电流

上面提到正电荷在电场力作用下沿导线移动形成电流，

但是我们在中学物理中知道：金属导线中电流，是由带负电荷的电子定向移动而形成的，因此电子移动方向为电流的方向。但是在最早的假设和习惯上都把正电荷移动的方向叫电流方向。虽然如此，对电工的分析并无妨碍，所以以后如不特殊说明，都把正电荷移动方向叫电流方向，也就是说，电流在电路中（电源外部）是由电源的正极流向电源的负极。

电流用字母 I 表示，它的大小是单位时间内通过导线横截面上有多少电量来衡量的。如果通过导线电流的方向，大小都不随时间而变，叫恒直流，或简称直流。若通过导线的电流方向不随时间变化，而大小随时间变化的电流叫脉动直流，今后若不特殊说明，我们讲的都是恒直流（直流）。对于直流来说，如果以 Q 表示在时间 t 内通过导线截面的电量，则电流的大小 I 应有下面表示式：

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

电量的单位为库仑，以 Q 表示。

时间的单位为秒，以 t 表示。

在一秒钟通过导线截面的电量为库仑的电流就是一安培。

电流的单位为安培，以 A 表示。

在实际工作中经常碰到很小的电流，所以电流的单位还有毫安，以 mA 表示；微安，以 μA 表示。

$$1 \text{ 安培} = 1000 \text{ 毫安} = 10^3 \text{ 毫安}$$

$$1 \text{ 安培} = 1000,000 \text{ 微安} = 10^6 \text{ 微安}$$

$$\text{即：} 1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A} \quad 1 \mu \text{ A} = 10^{-6} \text{ A}$$

第三节 导体、绝缘体和电阻

一、导体和绝缘体

1、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可分为两类：

第一类导体是金属，如常用的铜、铝、铁等属于这一类，这一类材料的特点是：它们含有大量的自由电子，在电场力的作用下，容易移动而产生电流。它们的电阻率小，如(表 1—1)，约为 10^{-2} 欧姆·毫米²/米。

第二类导体指电解液，如酸、碱、盐的溶液属于这一类，它们含有大量的正负离子，在电场力的作用下，也能产生定向运动而形成电流，也有好的导电性能，另外，气体电离后也具有导电性。

2、绝缘体：

这一类材料的导电性能很差，电阻率很大，约为 $10^{12} \sim 10^{24}$ 欧·毫米²/米。它的电阻常以兆欧计算，称为“绝缘电阻”。

常用绝缘材料有橡胶、塑料、树脂、玻璃、云母、陶瓷、绝缘漆、变压器油等。通常情况下，空气中的自由电子和离子都很少，所以也是绝缘体。

我们说绝缘体不导电是有条件的。这个条件通常是指电场的强弱和电压的高低，当电压高到一定的数值，也就是电场力很大的情况下，绝缘体也会变成导电体。

二、电阻

导体中在一定方向上运动的载流子（自由电子或正电荷），由于与导体材料的原子不断碰撞而受到阻碍，导体对电流通过的这种“阻碍”称为电阻。电阻用符号 R 表示。单位是欧姆（以 Ω 表示）。实际工作中常用千欧（以 $K\Omega$ 表示）和兆欧，（以 $M\Omega$ 表示）。

$$1 K\Omega = 1000\Omega \quad 1 M\Omega = 1000,000\Omega$$

导体的电阻值 R 是与其长度 L 成正比，与其截面积 S 成反比，并与导体的材料性质有关。导体的电阻率 ρ 由式(1-2)表示。

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-2)$$

式中 ρ 是电阻率。导体的材料不同，其电阻率也不同。

当长度的单位为米，截面积的单位为毫米²，电阻的单位为欧姆时，则电阻率的单位为欧·毫米²/米。

设在 t_1 ℃时，电阻为 R_1 ，当温度为 t_2 ℃时，电阻为 R_2 ，它们之间有关系式

$$\frac{R_2 - R_1}{R_1} = \alpha(t_2 - t_1)$$

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)]$$

上式中， α 称为电阻温度系数，它表示当温度每增加1℃时，每一欧姆电阻所增加的电阻值，其单位为1/℃。在实际工作中，当温度在一定范围内变化对同一种金属 α 值可看成是一个常数。