



钢铁厂技术培训参考丛书

电工基础知识

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书是《钢铁厂技术培训参考丛书》之一,属于基础知识部分。是电工学的入门书,从最基本的概念讲起,并联系到电工经常要接触的电气设备等介绍电的知识,插图较多,比较容易理解。本书共分九章,叙述了电、磁、交流电、直流电、电机、电工测量、半导体。另外,还简单介绍了安全用电及工厂的照明知识。

钢铁厂技术培训参考丛书

电 工 基 础 知 识

潘清波 吴铁坚 刘长青 译

*

冶金工业出版社 出版发行

(北京灯市口74号)

太原印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 $9\frac{1}{4}$ 字数 214 千字

1980年12月第一版 1980年12月第一次印刷

印数00,001~20,000册

统一书号: 15062·3629 定价1.00元

出 版 说 明

《钢铁厂技术培训参考丛书》(以下简称《丛书》)是为了适应我国钢铁企业开展职工技术培训工作的需要,由我社组织翻译的一套日本的技术培训教材,拟分册陆续出版,由我社内部发行,供钢铁企业开展技术培训时参考,也可以供具有初中以上文化程度的职工自学技术时参考。

这套《丛书》包括技术基础知识11本,专业概论8本,冶炼和轧钢专业知识46本(冶炼专业13本,轧钢专业33本),共计65本(具体书名见书末的《钢铁厂技术培训参考丛书》书目)。

这套《丛书》所介绍的工艺、设备和管理知识,取材都比较新,反映了日本钢铁工业的技术水平和管理水平。这套书在编写时,对理论方面的知识,作了深入浅出的表述;对设备方面的知识,配有大量的结构图,简明易懂;对工艺方面的知识,给出了较多的操作工艺参数,具体明确。这套《丛书》的编写特点可以概括为:新、广、浅,即所介绍的知识比较新,所涉及的知识面比较广,内容的深度比较浅。

为了便于教和学,书的每章都附有练习题,概括了该章的主要内容;每本书的后面都附教学指导书,既有技术内容的补充深化和技术名词的解释,又有练习题的答案。

根据我们了解,日本对这套书的使用方法是:技术基础知识部分和专业概论部分是所有参加培训学员的共同课程;冶炼和轧钢专业知识部分是供专业教学用的。由此可以看出,日本的职工技术培训,主要强调的是扩大知识面,强调现代钢铁厂的工人,应该具有广博的科技知识。这一点,对我们今后制订技工学校和职工技术培训的教学计划,是会有参考意义的。

我们认为这套《丛书》不仅适合钢铁企业技工学校和工人技术培训作教学或自学参考书,也可作中等专业学校编写教材的参考书,其中的技术基础知识部分和专业概论部分也可作各级企业管理干部的技术培训或自学参考书。

在翻译和编辑过程中,对原书中与技术无关的部分内容我们作了删节。另外,对于原书中某些在我国尚无通用术语相对应的技术名词,我们有的作为新词引进了,有的虽然译成了中文,但可能不尽妥当,希望读者在使用过程中,进一步研讨。

参加这套《丛书》翻译、审校工作的有上海宝山钢铁厂、东北工学院、鞍山钢铁公司、北京钢铁学院、武汉钢铁公司、冶金部情报研究所等单位的有关同志。现借这套《丛书》出版的机会,向上述单位和参加工作的同志表示感谢。

整套《丛书》的书目较多,篇幅较大,而翻译、出版时间又较仓促,书中错误和不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

一九八〇年二月

序 言

在我们的工作和生活中，使用电的地方很多。我们的生活和电有着密切的关系。在这里，会有人抱有疑问：能电死人，能引起火灾的电，为什么应用得这样好？他们想找到答案。还有一些人为了如下理由想多知道一点电的知识，他们想，对于在工作中所遇到的电，在工作岗位上所管理或所使用的电气设备，如果对它们多了解一点，即使出了事也能及时采取措施，防止事故于未然，不致于闯出大祸或丧命。需要电知识的还有将来想要成为一名电工、技术人员的人。这本书主要就是为满足这三方面的人员学习的需要而编写的，因此，这是一本电工学的入门书。

本书虽然是一本初学的入门书，但不要忘记，这里所写的内容有严密的科学性。因此，学习时要有严肃认真的态度，要仔细阅读和深入思考。

本书的开头部分介绍一些现象和情况。这些现象和情况为什么是这样，在阐述问题时，采取了说理方式，“因为是那样，所以才这样”、“正因为这样，才得到这样的结果”等，尽量做到合乎逻辑，深入浅出，以培养独立思考的能力。

若阅读后感到不能理解的话，希望反复阅读思考，如多次思索尚不能理解，请把问题寄给编者，必定予以解答。

本书内容由下列几部分组成。

第1、2章介绍了电有什么样的性质。把电的性质搞清楚了，就可以灵活用电了。

第3章中介绍了用得最广泛的交流电。在学习时要始终带着“交流电和直流电区别在哪里？”这个问题去学。

在第4、5章中，介绍了变压器、发电机、电动机等内容。对在工厂工作的人们，这是最切身的问题了。

第6章的电工测量介绍了电工量的测量法，例如电压（伏特），电流（安培）是如何测量的。

第7章的半导体中介绍了晶体管、可控硅，它们是代替过去的真空管、充气闸流管的，用得十分广泛。

第8章介绍了有关电灯、照明的问题。工厂内或工作场所的亮度对工作效率都有影响。

最后的第9章是安全用电，占用了很大篇幅。因为从防止电事故的观点出发，必须予以重视。

上述内容对于从事与电有关的工作人员来说，还是很不够的。但是对于头一次学电的人来说，这又是经过精选之后最起码的内容。希望加倍努力，把本书全部内容掌握好。难懂之处，要有毅力有耐心把它重复阅读几遍。

目 录

第1章 电 (1)	(1) 最大值..... (27)
1. 电..... (1)	(2) 瞬时值..... (27)
(1) 什么是电..... (1)	(3) 有效值..... (28)
(2) 电流..... (2)	(4) 平均值..... (28)
(3) 导体和绝缘体..... (4)	3. 交流电压的产生 (29)
(4) 电压(电位差)和电动势..... (4)	(1) 单相和三相..... (29)
2. 电阻 (5)	(2) 电功率..... (31)
(1) 欧姆定律..... (5)	4. 正弦波的相位差 (33)
(2) 串联和并联..... (7)	练习题 (36)
(3) 电阻率..... (10)	第4章 电机 (37)
(4) 电压降..... (12)	1. 交流机..... (37)
(5) 电功率和电能..... (13)	(1) 变压器..... (37)
练习题 (14)	(2) 三相异步电动机..... (40)
第2章 磁和电 (15)	2. 直流机 (45)
1. 磁..... (15)	(1) 直流发电机..... (45)
(1) 磁铁的性质..... (15)	(2) 直流电动机..... (46)
(2) 磁场和磁力线..... (15)	3. 一般事项 (60)
(3) 磁感应..... (16)	(1) 电机的种类..... (50)
2. 电流和磁的关系 (17)	(2) 型式和定额..... (51)
(1) 电流产生磁场..... (17)	练习题 (51)
(2) 右螺旋法则..... (17)	第5章 电机的各种控制 (52)
(3) 铁的磁化..... (18)	1. 三相异步电动机的情况..... (52)
3. 磁场中流过的电流 (18)	(1) 鼠笼型..... (52)
(1) 在载流导体上的作用力..... (18)	(2) 绕线型..... (56)
(2) 弗来明左手法则..... (19)	2. 直流电动机的情况 (58)
4. 电磁感应 (20)	(1) 起动方法..... (58)
(1) 电动势的产生..... (20)	(2) 调速..... (58)
(2) 弗来明右手法则..... (21)	3. 其他注意事项 (61)
(3) 电感..... (22)	(1) 鼠笼型电动机的情况..... (61)
练习题 (24)	(2) 绕线型电动机的情况..... (61)
第3章 交流电 (25)	(3) 直流电动机的情况..... (61)
1. 交流电..... (25)	练习题 (62)
(1) 直流电和交流电..... (25)	第6章 电工测量 (63)
(2) 波形..... (26)	1. 电工仪表..... (63)
(3) 频率..... (27)	(1) 一般结构..... (63)
2. 怎样表示交流电的大小 (27)	(2) 测量原理..... (64)

(3) 使用方法	(67)
(4) 万用表	(68)
(5) 电阻的测量	(68)
(6) 兆欧表	(70)

练习题	(71)
-----	------

第7章 半导体 (72)

1. 半导体物质	(72)
(1) 物质	(72)
(2) 半导体材料	(73)
2. 半导体的导电机构	(73)
(1) 本征半导体	(73)
(2) 掺杂半导体	(74)
3. 半导体内电荷的流动	(75)
4. PN结	(76)
5. 晶体管	(78)
(1) PNP 型晶体管	(78)
(2) 晶体管的基本电路	(79)
(3) 偏置	(80)
6. 可控硅	(81)
可控硅的工作原理	(81)

练习题	(84)
-----	------

第8章 照明 (85)

1. 亮度	(85)
(1) 光强度	(85)
(2) 光通	(85)
(3) 光照度	(85)
2. 电灯	(86)
(1) 白炽灯	(86)
(2) 气体放电灯	(86)
3. 照明方式	(87)

4. 工厂的照明	(88)
----------	------

练习题	(89)
-----	------

第9章 安全用电 (90)

1. 安全用电	(90)
2. 电事故的概况	(90)
3. 电压等级	(90)
4. 安全用电的手段	(91)
(1) 安全用电的重要性	(91)
(2) 电器的安全	(91)
(3) 安全检查	(93)
(4) 开关	(94)
5. 高压以及超高压的危险性	(94)
(1) 触电	(94)
(2) 烧伤	(96)
6. 安全距离	(97)
7. 短路	(97)
8. 对地短路	(98)
9. 感应	(99)
10. 电气绝缘	(100)
11. 事故举例	(100)
(1) 碰到高压所造成的触电事故	(101)
(2) 踩到手电钻的电线上引起的触电事故	(101)
(3) 触到手提式砂轮的电源而造成的触电事故	(101)
(4) 触到滑接导线引起的触电事故	(102)
(5) 接触高压线而造成的触电事故	(102)

练习题	(103)
-----	-------

教 学 指 导 书

第1章 电 (104)

1. 学习目的	(104)
2. 名词解释和补充说明	(104)
1-1 离心力和吸引力	(104)
1-2 能量	(105)
1-3 电阻	(105)

1-4 电工图形符号	(106)
------------	-------

1-5 电阻率	(107)
---------	-------

3. 学习总结	(107)
---------	-------

4. 题解	(108)
-------	-------

第2章 磁和电 (109)

1. 学习目的	(109)
---------	-------

2. 名词解释和补充说明	(109)	第6章 电工测量	(126)
2-1 磁分子说	(109)	1. 学习目的	(126)
2-2 电磁力的说明	(110)	2. 名词解释和补充说明	(126)
2-3 弗来明三指定则	(110)	6-1 关于测量问题	(126)
3. 学习总结	(111)	6-2 电阻测量举例和注意事项	(127)
4. 题解	(112)	3. 学习总结	(128)
第3章 交流电	(113)	4. 题解	(129)
1. 学习目的	(113)	第7章 半导体	(130)
2. 名词解释和补充说明	(113)	1. 学习目的	(130)
3-1 三角函数	(113)	2. 名词解释和补充说明	(130)
3-2 角度的单位“弧度”	(114)	7-1 导体的导电机构	(130)
3. 学习总结	(114)	7-2 晶体管的工作原理	(131)
4. 题解	(115)	3. 学习总结	(131)
第4章 电机	(116)	4. 题解	(132)
1. 学习目的	(116)	第8章 照明	(133)
2. 名词解释和补充说明	(116)	1. 学习目的	(133)
4-1 交变磁场	(116)	2. 名词解释和补充说明	(133)
4-2 涡流损耗	(116)	8-1 立体角	(133)
4-3 对流	(117)	8-2 法线照度	(133)
4-4 交流电或直流电	(117)	8-3 关于放电	(134)
4-5 异步电动机的起动	(118)	3. 学习总结	(135)
4-6 三相异步电动机的反转	(119)	4. 题解	(135)
3. 学习总结	(119)	第9章 安全用电	(136)
4. 题解	(121)	1. 学习目的	(136)
第5章 电机的各种控制	(122)	2. 名词解释和补充说明	(136)
1. 学习目的	(122)	9-1 带电作业工具	(136)
2. 名词解释和补充说明	(122)	9-2 接地工程	(137)
5-1 Y联接和 Δ 联接	(122)	3. 学习总结	(138)
5-2 关于按比例推算	(123)	4. 题解	(138)
3. 学习总结	(125)		
4. 题解	(125)		
附:《钢铁厂技术培训参考丛书》书目	(139)		

第1章 电

1. 电

(1) 什么是电 如果问什么是电,谁也不能把电放到手上拿出来让人看。电线里是否有电,光用眼睛是看不出来的。然而,当电线有电时,手触电线就有生命危险。就是这种看不见,却又有危险性的电,在我们的周围到处都是。各种各样的家庭电气设备,如电灯、电话、电梯、电视机、立体声等,以及电机车、交通信号灯、电动机、电炉、计算机等,都使用电。

即使不了解它的本质,但它的性质已经搞清楚,正因为很好地利用了它的性质,电才能得到安全广泛使用。

大家都知道,在物理实验中用毛皮摩擦胶木棒而生电,能够吸引小纸片等。吸引小纸片的就是电。

我们再进一步来探讨这个问题。任何物质都是由分子组成的,而分子又是由原子组成的,这个原子可以看成是物质的最小单位。原子有带正电的质子和不带电的中子构成的原子核和在原子核周围旋转的带负电的电子。原子就是这样构成的,如图1—1所示。

氢原子有一个质子和一个电子。氢原子中有两个质子同两个中子构成的原子核和两个电子。碳原子中有六个质子,六个中子构成的原子核和六个电子,在外层轨道有四个电子,内层轨道有两个。

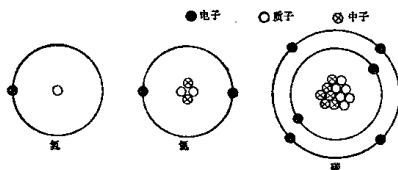


图1—1 原子构造(电子在原子核周围旋转)

这个问题在物理课中已经讲过。因此,质子和电子相互吸引。这样,轻的电子本应被吸往质量大的质子^①,即吸往原子核而合成一体,但事实并不是这样,那是因为电子以原子核为中心,以很高的速度旋转(圆周运动)的缘故。因为是圆周运动,所以就有离心力起作用,这个离心力与上述引力方向相反,电子就在该离心力与引力相等的轨道上继续旋转。

这些原子的内部结构如图1—1所示。无论哪种元素,质子和电子的个数相等。而且一个质子的电量等于一个电子的电量,只是质子是正的,电子是负的,从而一个原子中

不管哪一种原子,电子都按一定轨道在原子核的周围旋转。如下面的(2)a中所叙述那样,质子的正电,与电子的负电,电量是相等的。

电是正与正,或负与负互相排斥,而在正电与负电之间则相互有吸引力。

^①将在下面的(2)a中叙述质子和电子的质量。

的电量，总的来说正负变为零。

因此，原子对外部不显示电的特性，与不带电一样。如（2）a所述，因为原子核与电子的距离极小，从外部来看，和等于零是一样的。就是说可以看成正与负等量的电好象合成一体，变成了不带电状态。

在这样的原子上加能量，例如用高速的中子或电子轰击原子来给它提供能量；离心力和引力平衡被破坏，电子离开旋转轨道而飞出原子之外，或是附着在另外的原子上，或是变成了单独的电子。电子飞出之后的原子，原来是正负电量相等的，但现在却减小了飞出电子的负电，所以作为整个原子来说，成了带正电的状态。这就是正离子。还有，当电子附着在其它原子上，做为整个原子来说，就变成了带负电的状态，这就是负离子。

刚才讲过用毛皮摩擦胶木棒，是因为施加了称为摩擦热的热能，毛皮原子中的电子跑出去，附着在胶木棒的原子上，因而毛皮带正电，胶木棒带负电。这一具有电的状态称为带电。

在物质的原子中，本来包含着正电和负电，因为它们是等量的，所以在原子的外部不显示电的特性。然而，在该原子上施加能量时，因为电子跑出去，所以在外面显出正负电。

（2）电流

a. 电子 电子所带电量（一般称为电荷）是：

$$-1.6020 \times 10^{-19} \text{ 库伦}$$

库伦是度量电荷的单位，写成库。电子的质量为：

$$9.109 \times 10^{-31} \text{ 公斤}$$

它的大小，如果把电子当做球形考虑，其直径为：

$$6 \times 10^{-16} \text{ 米}$$

可以想像得到是非常小的。在半径为10厘米的铜球中，具有如下巨大数量的原子和电子。

原子数 3.54×10^{26} 个

电子数 1.027×10^{28} 个

质子的质量是：

$$1.6724 \times 10^{-27} \text{ 公斤}$$

约为电子的质量的1800倍，然而电荷是：

$$+1.6020 \times 10^{-19} \text{ 库}$$

与电子的电荷相等，但符号相反。

b. 自由电子 前面讲过，在碳原子中，在原子核的周围有六个电子在旋转。两个在内层轨道，四个在外层轨道。而在铜原子中，电子分布轨道分四层（如图1—2所示），从内层到外层分别为两个，八个，十八个以及一个的电子在各自轨道上旋转。在内层轨道上电子与质子之间的引力最强，在外层轨道，由于电子和质子之间的距离大，所以它们的引力变小，特别是最外层轨道上的电子，被吸引的力最小，容易离开原来的轨道，略施能量，就能自由地移到他处，称为自由电子。像铜这样的金属中，由于自由电子很多，通过这些自由电子的移动，导电是容易的。

被原子核强力吸引的电子称为束缚电子。绝缘体^①中几乎没有自由电子。由于束缚电子不会有电的移动，因此是不导电的。

c. 释放电子 电子从原子中释放的原因，除了前面叙述的摩擦之外，仅给它加热也可以。金属加热使之达到高温时，由于受热，原子中的电子的动能增大而跳出，称为热电子释放，在真空比在空气中更容易释放些。真空管就是利用这种热电子释放。

还有，用光照射也可以释放电子，称为光电子。高速电子轰击原子也能放出电子。如果所加能量足以破坏原子内质子和电子之间的引力与旋转电子的离心力的平衡，不管何种能量，都能使电子放出。但是，实际上多选用容易产生热电子或光电子的物质。

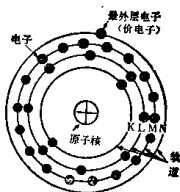


图 1—2 铜原子构造

d. 电子的移动和电流 电荷移动的现象称为电流。然而运载电的物质即电的运载者可以是电子，也可以是离子。电在金属中移动时，就是说在金属中流过电流时，自由电子是运载者。在酸和盐类的水溶液中，由于既有正离子也有负离子，所以电的运载者就有运载正电的和运载负电的两种。图 1—3 左图是仅有运载正电者的情况，中图是只有运载负电者的情况，这相当于在铜线中流过电流的情况，自由电子成了负电运载者。右图电的运载者是正离子和负离子或电子两种。

把正电运载者移动方向规定为电流的方向。由于自由电子带负电，因此在金属中自由电子移动的方向与电流的方向相反。

e. 电流的单位 前面讲过电子带 -1.6020×10^{-19} 库的电荷，1 库是电荷的单位。现在假设导线中有电流流过，考虑到导线某截面，如果每秒通过它的电荷为 1 库时，则该电流的大小为 1 安培，以后作为电流的单位。1 安培写成 1 安。1 安即是 1 库/秒。

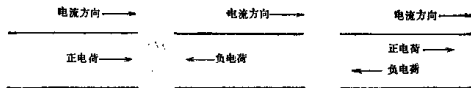


图 1—3 电流及其运载者

f. 电场力和电场 用毛皮摩擦胶木棒，在毛皮上产生正电，胶木棒上产生负电。若排列如图 1—4 所示，在毛皮和胶木棒之间置以正电荷，由于它与毛皮上的正电相斥，而又与胶木棒的负电相吸，在图上将受到向右的力。如果置以负电荷，同理，将受到向左的力。

象这样把电荷放在那里，电荷上就有作用力的场所（空间）称为电场。作用在电荷

①关于绝缘体请参照 (3) 导体和绝缘体。

上的力叫电场力，我们说过，电流就是电荷的移动，其实是那里有电场，电场力作用在电荷上才使它移动的。

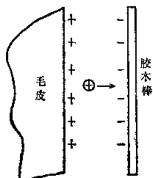


图 1—4 电场和电场力

(3) **导体和绝缘体** 一般容易通电的物质叫导体，难以通电的物质叫绝缘体，然而完全不导电的物质是没有的，只是通电难易有程度之差而已。用电阻的大小来表示这个通电的难易程度。关于这个问题留在下面讲。

导体有：银，铜，白金，铝，水银，酸，盐类的水溶液等。

绝缘体有：空气，棉布，绸，橡皮，乙烯，树脂，陶瓷，电木，玻璃，云母等。

电线流过电流时，为了防止漏电，用绝缘体把电线包起来，这称为绝缘。

介于导体和绝缘体之间是半导体，其中有锗，硅，硒等。关于半导体在第 7 章叙述。

(4) **电压（电位差）和电动势** 仍以带电毛皮和胶木棒为例。在图 1—4 的正电荷和负电荷之间，例如放置正电荷，它与毛皮的正电荷之间作用着排斥力，与此同时与胶木棒的负电荷之间作用着吸引力。这两个力如图所示全都向右。

一旦放入电荷，因为在电荷上作用着电场力，因此在毛皮和胶木棒之间的空间有电场，而且在电场中把放正电荷时的电场力方向规定为电场的方向。

如图 1—5 所示，在某电场中取 A、B 两点，电场方向从 A 指向 B，现将正电荷放到 A 点，在正电荷上沿着电场方向（在这里水平向右）作用着电场力。如果把电荷放到 B 点，电场力的方向也是水平向右。在直线 AB 的任何位置上放置电荷，电场力的方向都是水平向右。这个正电荷只要不是束缚在 A 点，由于电场力的作用，将从 A 点往 B 点移动。即电场力所作的功为：

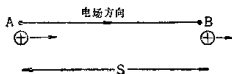


图 1—5 电位差的说明

力 $\times$ 距离

若在 B 点放置正电荷，另外加一个与电场力方向相反的推力，把电荷从 B 移到 A 点所作的功与上述相等。

例如在 B 点放 1 库仑的正电荷，如果在其上作用的电场力为 f 牛顿^①，外加一个与此相反的力，把正电荷从 B 点移到 A 点，当 AB 之间的距离为 S 时，则所需要的功为：

$f \times S$ 焦耳^②（写为焦）

这意味着把 1 库的电荷置于 A 点，由 f 牛顿的电场力推动 S 米到达 B 点为止所作的功为 $f \times S$ 焦。

把上面讲的可归纳如下：电场中 A 点电位比 B 点电位高 $f \times S$ 伏，AB 间的电位差为 $f \times S$ 伏，也可以说 B 点电位比 A 点电位低 $f \times S$ 伏。电位差又叫电压。

① 1 牛顿 = 1 公斤·米/秒²。

② 1 焦耳 = 1 牛顿 $\times$ 1 米，请参照有关资料。

如果将 1 库的电荷从 A 往 B，或从 B 移到 A 所做的功为 $f \times S$ 焦，则在这种情况下^①下其焦耳数正是 AB 之间的电位差的伏特数。即：

如果将 1 库的电荷从 A 点移往 B 点需要做 1 焦耳的功，那么 A B 间的电位差就是 1 伏特。伏特又写作 (V)。因此，

如果将 1 库的电荷从 A 移往 B 点需要做 E 焦的功，那么 A B 间的电位差就是 E 伏。

正电荷受到由高电位往低电位的电场力。而电子带负电荷，所以它受到从低电位往高电位的电场力。

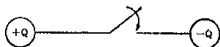


图 1—6 开关关闭瞬间电位差消失和，电瞬间消失。

将两个导体绝缘起来，分别加 +Q 库、-Q 库的电荷。现在用电线把两个导体连起来，正负电荷互相吸引，沿着电线这个导体移动，碰到一起而中和，电瞬间消失。

未用电线联结期间，带 +Q 的导体比带 -Q 的导体电位高^②。就是说，这两个导体之间有电位差。如果用导体把有电位差的两点联起来，从图来看则是正电荷向右方移动，负电荷向左方移动。因此作为电流来说，它是向右流的^③，但一旦流通之后，两导体的电荷就开始减少，因为这是在一瞬间完成的，所以电荷立刻消失。电位差也跟着没有了，电流停止流动。如果能维持电位差，例如像图 1—7 所示那样，把电池联结在两个导体之间，则电流将继续流动。

电流的流动意味着电场力作用在电荷上，它做功使电荷移动，所以维持电位差就是提供做功所需要的能量。电池就是消耗它里面的化学能来维持电位差的，水轮发电机接受水所具有的能量来维持电位差以使电流流通。用以维持电位差的叫做电动势。其大小用电位差的单位伏表示。

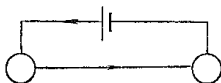


图 1—7 如果维持电位差不变，电流将继续流动

把电流比作水流，电位差即电压 相当於 水 头 (高低差)。电动势就相当於把水从低处抽到高处以维持水头的泵。把电流、电压，比作水流、水头，如果便于理解的话，那么这种类比也是可以的。然而不要忘记，水和电又有完全不同之点。

电和水比起来非常轻，它的惯性^④几乎等于零。还有河中流水的速度，就算是瀑布也好，与电的传播速度相比，真是慢到无法比拟。因此，这种类比，应该只限于把电流、电压比成水流、水头就可以了。

2. 电阻

(1) 欧姆定律 电影院中放映开始之前，观众席位的照明逐渐变暗，最后熄灭，然后

① 移动的电荷是一库的时候。

② 设在图 1—4，图 1—5 上，从有正电荷的 A 点电位高于有负电荷的 B 点电位的事实加以理解。

③ 把正电的移动方向，规定为电流的方向。

④ 惯性问题，请参照物理的力学部分。

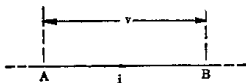


图 1—8 电压和电流的关系

电线上，AB两点间的电位差是V伏，V正比于i，这就是欧姆定律，是欧姆首先提出的，写成数学式为：

$$V = ri \quad (r \text{ 是比例常数})$$

不论i和V变成任何数值，r也是不变的常数。V和i是变数，由此式可知，当i变成二倍时，V也变成二倍，i变为1/3时，V也变成1/3的值。这就是V与i成正比。

若在横轴取i，在纵轴上取V，画成曲线则如图1—9所示。它是通过原点的直线。上面所讲的，i变成二倍时V也变成二倍，这一点从曲线也可以看得很清楚。

那么在图1—8上，V是伏特，i是安培，有下列关系：

$$V = ri$$

这里的r称为AB间的电阻，用欧姆这一单位表示。写成“欧”。

所以，在1欧的电阻上要流过1安的电时需要1伏的电压。原因是在式 $V = ri$ 中， $r = 1$ ， $i = 1$ ，所以 $V = 1 \times 1$ 伏。

又把1伏的电压，加在1欧的电阻上，就流过1安的电。因为如果把式 $V = ri$ 改写成 $i = V/r$ 的形式，这里 $r = 1$ 欧， $V = 1$ 伏，所以

$$i = 1/1 = 1 \text{ 安}$$

因此，我们可以这样讲：

为了在r欧电阻上流过i安电流，就需要有 $i \times r$ 伏的电压。

如果在r欧电阻上加V伏的电压，就会流过 V/r 安的电流。

因为很重要，重复讲一下。设流过电流i安的电线AB两点间的电压是V伏，这一段电线的电阻为r欧时，则

$$V = ri$$

V，i，r当中，给出任意两个量（其数值已知），剩下的另一个量可从上式中求出。

图1—10是把电池与小电珠相联电路。用电压表和电流表，测量加在小电珠的电压以及流过电珠的电流。经简化后便得到如右图所示的接线图。

假设仪表的读数是，电压表为1.5伏，电流表为0.1安。这个电路图给出的电池电动势为E=1.5伏，设除了电珠电阻R欧以外没有其它电阻 $\bullet$ 。因为流过电珠电流 $I = 0.1$ 安，故：

放映开始。为了使电灯象这样逐渐变暗，只要把加在电灯上的电压逐渐减小就可以了。电灯所加电压一减小，流过电灯的电流也减小，因此其亮度减小。

表示电压和电流的关系是欧姆定律。

如图1—8所示，设流过电流i安的

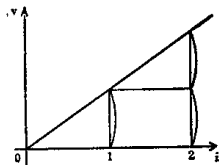


图 1—9 电压V和电流i成正比

●这意味着电珠以外，无论哪个地方有电阻，该电阻与电珠电阻相比非常之小，认为小到无法比。

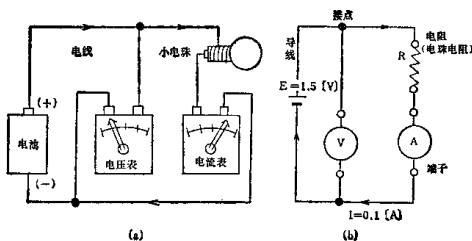


图 1-10 接线图

$$R = E/I = 1.5/0.1 = 15 \text{ 欧}$$

(2) 串联和并联 两个以上的电阻进行联接时有串联和并联。把若干个电阻联接起来，总的电阻（综合在一起后的电阻）称为等效电阻。

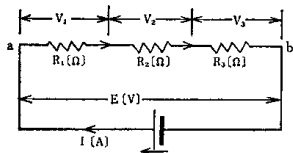


图 1-11 电阻的串联

a. 串联 把电阻 R_1 , R_2 , R_3 按图 1-11 方式联接起来，称为串联连接。在这些电阻中流过的电流是相同的。三个联在一起从 ab 两端所看到的总的电阻就是等效电阻。在 ab 之间加 E 伏电压，设流过 I 安的电流，则降落在各个电阻 R_1 , R_2 , R_3 上的电压分别为 V_1 , V_2 , V_3 ，由于是串联连接，无论哪个电阻都流过 I 安的电流，

所以

$$V_1 = IR_1 \quad V_2 = IR_2 \quad V_3 = IR_3$$

同时又因为

$$V_1 + V_2 + V_3 = E$$

所以

$$E = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

设等效电阻为 R ，因为

$$E = IR$$

所以等效电阻 R 为

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

是各串联电阻之和，而

$$V_1 = IR_1 \quad V_2 = IR_2 \quad V_3 = IR_3$$

不管哪个式子， I 都是共同的，如果把它看成比例常数，则 V_1 , V_2 , V_3 与各自电阻成正比。而且

$$E = V_1 + V_2 + V_3$$

所以这--电压，按照串联电阻的比例来分配。

例如，如图1—12所示，10欧电阻和5欧电阻串联，该等效电阻是

$$10 + 15 = 25 \text{ 欧}$$

因为加的电压为100伏，则流过电阻的电流是

$$100/25 = 4 \text{ 安}$$

这样一来，降落在10欧电阻上的电压 = $4 \times 10 = 40$ 伏

降落在15欧电阻上的电压 = $4 \times 15 =$

60 伏

这两个电压相加才是加在全部电阻上的电压。

b. 并联 把电阻按图1—13方式联接就是并联。在这种情况下，电流虽然分开流过各个电阻，但加在 R_1 和 R_2 上的都是同一个电压。

设流过 R_1 、 R_2 的电流分别为 I_1 、 I_2 ，则

$$I_1 + I_2 = I \text{ 安}$$

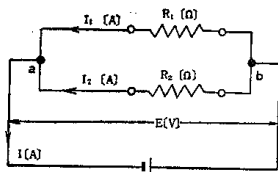


图1—13 电阻的并联

$$I = I_1 + I_2 = E/R_1 + E/R_2 = E (1/R_1 + 1/R_2)$$

设 R_1 和 R_2 并联的等效电阻为 R 欧，

因

$$I = E/R$$

上列两式相比较得：

$$\frac{1}{R} = 1/R_1 + 1/R_2$$

如把上式改写成：

$$1/R = \frac{R_2}{R_1 \cdot R_2} + \frac{R_1}{R_1 \cdot R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}$$

得

$$\frac{1}{R} \times R_1 R_2 = R_1 + R_2$$

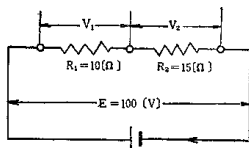


图1—12 串联电路举例

这个电流是从电池流过来的。原因是，在节点a上，电流从 R_1 和 R_2 流入，又只能往电池流出，别无其它路径。在节点b上，流入的电流等于流出的电流 $\textcircled{a}$ ，因此流出的电流 I 是流入的电流 I_1 、 I_2 之和。

由于 R_1 和 R_2 都加 E 伏电压，所以

$$I_1 = E/R_1 \quad I_2 = E/R_2$$

因此，

$\textcircled{a}$ 就是说在节点上，既没有过剩电流，也没有漏出的电流。

$$R_1 \cdot R_2 = R (R_1 + R_2)$$

$$\therefore R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

这就是这种情况的等效电阻。

R_1, R_2, R_3 三个电阻并联时，其合成电阻 R 可由下式计算：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

例如如图 1—14 所示的情况。在 20 欧电阻上加 120 伏电压，所以流过 $120/20 = 6$ 安电流。在 30 欧电阻上也加 120 伏电压，故流过 $120/30 = 4$ 安电流，两个电流之和为

$$6 + 4 = 10 \text{ 安}$$

所以等效电阻为：

$$120/10 = 12 \text{ 欧}$$

从并联电阻直接求等效电阻时，则

$$\frac{20 \times 30}{20 + 30} = \frac{600}{50} = 12 \text{ 欧}$$

求得的结果两者一致。或者可以计算如下：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{20} + \frac{1}{30} = \frac{3}{60} + \frac{2}{60} = \frac{5}{60} = \frac{1}{12}$$

所以，

$$R = 12 \text{ 欧}$$

c. 混联 图 1—15 所示的联接方式称为混联。混联是并联和串联的组合。把并联的电阻用一个等效电阻来替，剩下的只成为串联。因此计算分两步进行就可以了。

图上 20 欧和 80 欧并联等效电阻为

$$\frac{20 \times 80}{20 + 80} = \frac{1600}{100} = 16 \text{ 欧}$$

或者是

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{20} + \frac{1}{80} = \frac{4}{80} + \frac{1}{80} = \frac{5}{80} = \frac{1}{16}$$

$$\therefore R = 16 \text{ 欧}$$

然后，将此等效电阻与 4 欧电阻串联所得的等效电阻为

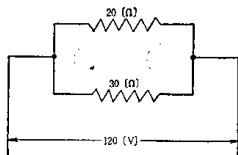


图 1—14 并联电路

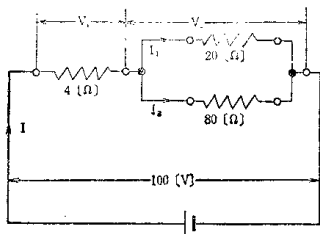


图 1-15 混联电路

$$V = V_1 + V_2$$

所以

$$V_2 = 100 - 20 = 80 \text{ 伏}$$

由于这个80伏电压既加在20欧电阻上又加在80欧电阻上，所以

$$I_1 = 80/20 = 4 \text{ 安}$$

$$I_2 = 80/80 = 1 \text{ 安}$$

因此，在4欧电阻上流过的电流为

$$4 + 1 = 5 \text{ 安}$$

与上面的计算结果一致。

(3) 电阻率 导体的电阻随导体的种类而异。铜的电阻小，铁比铜的电阻大。虽然这样说，但严格来讲必须拿同样形状、尺寸的作比较。为此用1立方米(写成1米³)的立方体相对两个面之间的电阻(欧)来表示，称之为电阻率。对普通金属来说，这是一个非常小的数值。所以，就电线来说通常用截面1毫米²，长度为1米的电阻来表示。

所谓电阻率 ρ 指的是截面1米²，长1米大小的电阻体上，按长度方向通电流时的电阻。若电阻体的截面为 S 米²，长度为 L 米，则其电阻 R 表示为：

$$R = \rho \frac{L}{S} \text{ 欧}$$

由此

$$\rho = R \text{ 欧} \cdot \frac{S \text{ 米}^2}{L \text{ 米}}$$

所以电阻率 ρ 必须具有欧米 单位。前面写成：

$$R = \rho L/S \text{ 欧}$$

现在我们从另一个角度来分析这个问题。把电阻 R_1 和 R_2 串联时，其等效电阻 R 是：

$$R = R_1 + R_2$$

现在假设 R_1 和 R_2 是属于同一截面 S ，同一长度 L ，同一材质(电阻率 ρ)的电阻体。如果把它们串联，则可以看到是截面为 S ，长度为 $2L$ 的一个电阻体。因此，设截面为 S ，长度为 L 的电阻体的电阻为 r ，则截面为 S ，长度为 $2L$ 时的电阻就是 r 和 r 的串联，即为 $2r$ 。也就是说，从这个结果是当长度变成2倍时电阻也变成2倍，这就是说电阻