

2

电工基础课程

三

电路部份讲义(初稿)

成都电讯工程学院

四大队一队编

1971年9月

前 言

电工基础是劳动人民在长期生产实践过程中创建起来的一理论知识。我们学习它，或是接受由前人间接经验所得到的知识，或是总结自己的直接经验把它提高成理论的知识，再回到实践工作中去改造自然，在自然中得到自由，以便为祖国的社会主义革命和社会主义建设作出贡献，为世界革命作出贡献。

长期以来，在刘少奇反革命修正主义教育路线统治下，一些资产阶级学术权威故弄玄虚，把电工基础理论神秘化，用一大堆数学演算来吓唬人，用很多不切实际的题目来整学生，使它长期脱离了社会的实践。而另有一种资产阶级的论调，却把电工基础理论说得一无是处，毫无用处，鼓吹电工理论无用论。这些论调在无产阶级文化大革命中得到了批判，而且必须继续给以彻底批判。

“改革旧的教育制度，改革旧的教学方针和方法，是这场无产阶级文化大革命的一个极其重要的任务”。我们经过初步改写后的电工讲义，它包括电路部分（直流和交流电路）以及电磁场部分（长线、电场、磁场和交变场），它是为了适合微波管专业的需要。但是改写后仍然存在一些缺点，如结合生产实践中的实际例子太少等等。必须在今后的教育革命实践中，和工农兵学员一起，不断改革、不断前进，才能适应新的革命形势的发展。

第一章、电的一般概念

- 一、电荷
- 二、物质的电结构
- 三、导体与介质
- 四、电路
- 五、电流
- 六、电压和电位
- 七、电动势
- 八、电阻和电导
- 九、电能和电功率

第二章、直流电路

- 一、欧姆定律
- 二、伏安特性曲线
- 三、电阻的串联
- 四、电阻的并联
- 五、节点电流定律和回路电压定律
- 六、支路电流法。

第三章、电流与磁场

- 一、电流线圈的磁场
- 二、磁通和磁通密度
- 三、线圈内的感应电动势
- 四、直导线中的感应电动势

第四章、正弦电流的基本概念

- 一、周期和频率
- 二、正弦电动势的产生
- 三、相位和相位差
- 四、有效值
- 五、正弦量的矢量表示方法
- 六、正弦交流电路中的电阻
- 七、电容器及电容
- 八、正弦交流电路中的电容器
- 九、线圈及其电感量
- 十、正弦交流电路中的电感线圈
- 十一、无功功率
- 十二、电阻、电感串联电路
- 十三、互感线圈

第五章、振荡电路

- 一、自由振荡电路
- 二、 $R L C$ 串联强迫振荡电路
- 三、电压谐振
- 四、串联谐振曲线
- 五、 $R L C$ 并联电路和电流谐振。

第六章、复数符号法

- 一、复数

二、复数加减

三、复数乘除

四、正弦量的复数表示法

五、正弦交流电路的复数运算

附：电路部分习题

第一章、电的一般概念

毛主席教导我们：“人们的认识，不论对于自然界方面，对于社会方面，也都是一步一步地由低级向高级发展，即由浅入深，由片面到更多方面。”遵照毛主席的对问题的认识“由浅入深”的教导，第一章首先对电的一般概念：如电的产生、电流、电压、电动势、电阻、电功率等的基本概念作较详细的介绍，为后面学电路打好基础。

一、电荷

伟大领袖毛主席教导我们“一切真知都是从直接经验发源的”。劳动人民在实践中逐渐发现了有关电的一些现象，并掌握了使物体带电的方法。例如，利用摩擦的方法使物体带电。用丝绸摩擦过的玻璃棒或者用毛皮摩擦过的硬橡胶棒与轻小的物体（如小纸片、通草球）相接近，发现它们都会吸引这些轻小物体。这种现象说明玻璃棒或橡胶棒经过摩擦后，它们都带了某种东西，劳动人民把这种东西叫做电荷，并称玻璃棒或橡胶棒为带了电荷的物体，一般叫带电体。

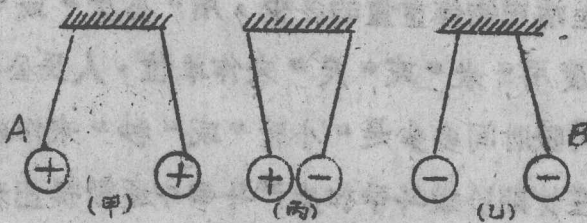


图 1—1. 带同性电荷（甲和乙）和异性电荷（丙）的物体间的相互作用

实验又证明，若一个不带电的物体与一带电体相接触，则不带电的物体能从带电体上得到一部分电荷，而变成带电体。用丝绸摩擦过

的带电玻璃棒，与两个用细线挂着的通草球相接触，於是两个球都带有与玻璃棒上性质相同的电荷，同时我们发现两球彼此排斥（如图 1—1 甲）。同样又把毛皮摩擦过而带电的硬橡胶棒去接触另一对通草球，则此两球又带了与硬橡胶棒上的性质相同的电荷，並且两球也是互相排斥，可是若把球 A 与球 B 放得比较近时，却发现两球相吸引。如图 1—1（丙）。事实告诉我们，玻璃棒的电荷和橡胶棒的电荷其性质一定是相反的。劳动人民又无数次地用自然界的其他物体来进行试验，使它们带电，並与玻璃棒上的电和橡胶棒的电进行比较，发觉所有其他物体带的电，或与玻璃棒上的电同一性质，或与橡胶棒上的电同一性质。证明自然界只有两种性质的电荷。人民把玻璃棒上的电荷命名为正电荷，橡胶棒上的命名为负电荷。还总结出了同性电荷相排斥，异性电荷相吸引的规律。

当用外力摩擦玻璃棒，使之带电的过程中，若用力大，摩擦次数多，则它所吸引的小物体就越多，反之则少。这就告诉我们它带的电荷可多也可少。带电体所带电荷的多少，代表了一定的数量，一般称为电量，通常用字母 Q 来代表。自然界以数量多少来反映种种物体的性质的很多，日常生活中物体重量的多少，用“公斤”或“斤”来作单位；测量布的长度用“米”或“尺”来作单位，人民公社的土地用“亩”来作单位，反映时间多少是“小时”或“秒”来作单位。这些单位都是劳动人民在长期阶级斗争和生产斗争中逐渐提出来的。对电量的多少也要用一个单位来反映它，现在大家都用“库仑”，简称“库”来作为度量电量的单位。库仑是一个人的名字，他是一位外国的学者，因为他对电荷之间的作用力的规律作了一些工作，於是就把他的名字来作为电量的单位。伟大领袖毛主席教导我们：“人民，只有

人民才是创造世界历史的动力”“群众是真正的英雄”，关于电的知识是来源于劳动人民的实践，但是资本主义国家里，那些资产阶级科学家把劳动人民的创造发明，劫为己有，为了成名成家，连一个单位问题也要以自己名称来确定。对于这种目无群众，知识私有，追求名利的资产阶级思想必须给以彻底的批判。但是又由于这种历史发展的状态，现在已经用惯了这种单位，因此没有必要重新改换。一般说，一个库仑的电量等于 6.28×10^{-18} 个电子的电量总和。

二、物质的电结构。

自然界的物体为什么一般没有带电？在一定条件下又出现了正电荷和负电荷呢？

毛主席教导我们：“没有什么事物是不包含矛盾的，没有矛盾就没有世界。”“事物发展的根本原因，不是在事物的外部而是在事物的内部，在于事物内部的矛盾性”。电磁现象的产生和发展正是有正电荷与负电荷的这一矛盾的存在而开始的。而正电与负电这一矛盾本来就存在于物体的内部。自然界任何物质都是由分子所组成，而分子又是由更小的质点——原子所组成，原子又是由一个带正电的原子核和若干个围绕着原子核运动的带负电的电子所组成。图1—2中表示了一个氢原子的结构图形。原子核带正电，电子带负电，原子核的正电量与其外围的所有电子的电荷量是相等的，原子的总电量为零，所以原子在正常情况下不显示出电性。电子是微波管中不可缺少的基本粒子。电子的电量等于 -1.6×10^{-19} 库，是目前所能发现的最小电量，叫做基本电量；电子的质量等于 9.1×10^{-31} 公斤，它既轻又小，行动方便，非常活泼。

在一定的外界影响之下，（例如摩擦力、化学力等），物体失去

一部分电子或者得到一部分电子，物体的中性状态被破坏而处于带电状态。失去电子的物体变成正的带电体，得到电子的则为负带电体。

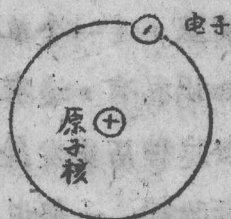
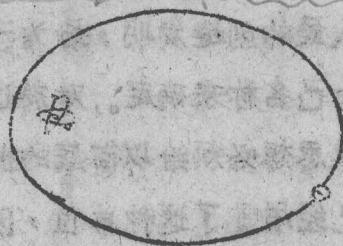


图 1—2



• 图 1—3

由此可见，正电荷和负电荷这一矛盾本来就是物质的基本组成部分所具有的属性；在一定的外界条件下，这一矛盾才明显地反映出来。因而电荷是客观存在的，不能主观意造，也不能随意消灭。

三、导体与介质。

“科学研究的区分，就是根据科学对象所具有的特殊的矛盾性”。所有物体按照电的性能可以分成两类：导体与电介质（绝缘体）。

1 导体：自然界有一些物质如铜、银、铝、铍等等，它们的原子的结构是这样的，原子核外围有好几电子，这些电子按大小不同的轨道旋转着，其中在轨道较大的，离原子核较远的一个或二个电子，它们与原子核的正电之间的引力较弱，它们可以脱离原子的范围，转移到原子之间的空隙中自由活动，这些电子叫做自由电子。如图1-3所表的铍原子，最外围的一个电子就是自由电子。这类金属的物质内部都有大量的自由电子，在一般情况下，这些自由电子在原子空隙内在杂乱的无目的游荡着（称为热运动），但在外力作用下自由电子能顺着一定方向运动。我们称这类物质叫做导体，除金属外，人体、大地等等也属导体。

2 介质（绝缘体），在这类物质内，由于电子受到原子核的引

力非常大，很难脱离原子而形成自由电子，即使有个别的自由电子，但相对导体物质来说，数量恰很少，在外力作用下，这些物质内没有或很少有电荷的定向运动，导电性很差，或称绝缘性很好。这些物质就叫做介质。例如：硬橡胶，陶瓷、玻璃、云母、塑料等。

3 自然界还有导电性能介于导体和介质之间的一些物质如锗、硅、硒等等，叫做半导体。它们有非常特殊的性质。有必要时可以专门去追究它。

导体与介质是否有明显的区别界线呢？实际上物质的导电性和绝缘性在相当大的程度内，受到许多物理条件的影响如高温、压力、湿度等所决定，因此所谓导体和绝缘体只具有相对的意义。毛主席教导我们：“完全的纯是没有的，……。不纯是绝对的，纯是相对的。”因而自然界找不到绝对纯的导体，也找不到绝对纯的介质。导体与介质的区分是相对的。

四、电 路

毛主席教导我们：“……，马克思主义叫我们看问题不要从抽象的定义出发，而要从客观存在的事实出发，……”。“无论何人要认识什么事物，除了同那个事物接触，即生活于（实践于）那个事物的环境中，是没有法子解决的。”我们研究电的问题也是如此，必须从客观存在的事实出发，必须生活于电这个事物的环境中来了解电的一些概念和一些规律。

手电筒是日常生活中遇到的一个电的实际问题。我们现在对它作进一步的了解，有助于我们对一般电的问题有较深的理性认识。图1—4 (a)表示了一个手电筒的实际图形。让我们用解剖麻雀的办法，把它解剖开来，它共有这几个部分所组成(1)干电池，(2)电珠，(3)

导线，(4)按钮。为了清楚地看到联接方法，把它们画在图1—4(b)中。把按钮一按，电珠就会发光和发热，这现象反映出在电珠中有电在走动，一般说有电流了。当手电筒使用了很长的时间后，电珠不再能发光，没有电了，即没有电流了，需要换两节新的干电池才行。干电池内有一种引起电流的能力，我们叫它做电流的源泉，简称电源。实际上干电池是一种把化学能量变成为电能的机构。电珠通过电的流动引起发光和发热，是一种把电能变成光能和热能的机构，一般称它为电源的负载。

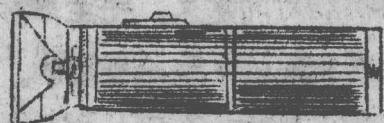


图1—4(a)

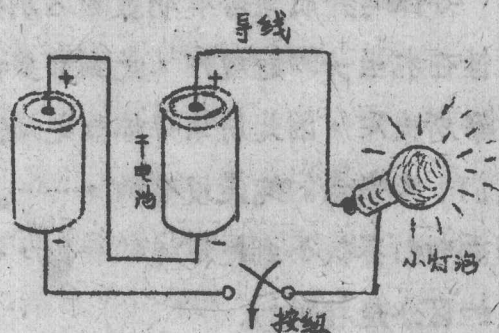


图1—4(b)

由此可见，干电池(电源)、电珠(负载)以及联接的导线(电线)三者组成起来形成了一个电流的路径，我们叫做电路。一切其他的电路也总是由电源、负载和导线三个基本部分所组成，任意缺少一个都不行。在生产斗争和科学实验中，电路是为了把一种能量通过电的流动转变成我们所需要的另一种能量的一种工具。

要把一个真实的电路画出来是很麻烦的事，为了研究电路方便，常用一些符号来代表实际电路的各个组成部分。干电池用 $\begin{matrix} + \\ | \\ - \end{matrix}$ 来表示，电珠用 $\text{---}\otimes\text{---}$ 来表示，导线用 --- 来表示，按钮用 $\text{---}/\text{---}$ 表示。这样一个手电筒的电路可以用图1—5来表达。

表1—1中列出了各种常用电路的组成部分所代表的符号。

名称	电 源 电 池	导 线	白 炽 灯	保 险 丝	开 关	伏 特 表	安 培 表
符号							

其中保险丝、开关、测量仪表等等是一些辅助的设备，在电路中常常可以不画，必要时才画出来。

五、电 流

什么叫做电流？

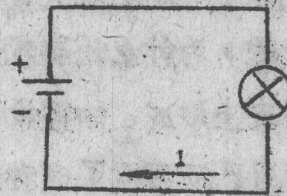
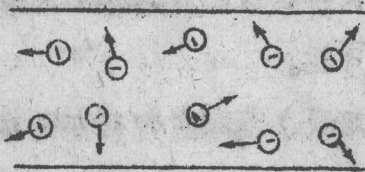
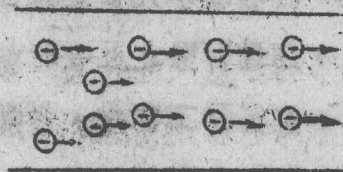


图 1—5

我们已经知道金属导体内存在着大量的自由活动的电子，这种叫做自由电子，在一般情况下这些自由电子在金属里乱跑，作杂乱无章的动运，如图 1—6 (a) 所示，这时自由电子只是到处乱跑，不可能形成流动的情景。可是在一定的外界力作用下，金属导体内的大量自由电子就能老老实实地集体地向一个方向跑，形成了有秩序的电流流动情景，如图 1—6 (b) 所示。



(a)



(b)

图 1—6

在一定的条件下，电荷有规则的移动便形成了电流。电流有大有小，为了表示电流的大小程度，我们要新定一个物理量叫做电流强度，称简电流，电流强度的大小等於单位时间内通过导体横切面的电量，并用字母 I 来表示。用数学式表达为

$$I = \frac{Q}{T}$$

1—1

在实用制单位下，电流的单位为(库)/(秒)，並叫它为“安培”。
在1秒钟内通过导体切面积的电量为1库仑时叫做1安培。

电流有一定的流向，习惯上规定正电荷流动的方向作为电流的流向，並用箭头了表示在电路图中。这里出现了一个问题，在图1—6 (b)的导体中，明明是大量的负电荷在向一方向流动，导体中的正电荷不运动的，为什么还要规定正电荷的流动方向作为电流的流向呢？这是由於历史上形成的假设而沿用下来的，这个假设不影响我们研究电路，而且已经习惯了这种规定。事实上，因为导体中正电荷和负电荷数量是相等的，当负电荷向一个方向流动时，也可以认为负电荷不走动，正电荷在向相反方向流动。两者是等效的。

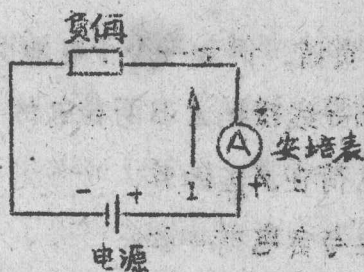
电路中，每个时间的电流大小和流向是不变的电流叫作直流电流。

在实际应用，有时还採用比安培更小的单位；毫安或微安。

1安培=1000毫安，1安=10⁶微安。一般电灯中的电流是0.25—1安；晶体管中的电流的从几十毫安到几百毫安；电力工程中的电流从几安到几百安；千分之五安的电流通通过人体时就会有感觉，超过百分之五安时就有生命危险的可能。

在实际工作中，常常用电流表(安培表)来测量和指示电流的大小，电流表和日常用到的“磅称”“尺子”“温度计”等等一样，是一种度量的工具，它的结构原理不在此叙述。如要测量手电筒的电路中的电流，就要把电流表串接在电路中，让电流通过表，就会在电流表指示出一定的电流值来。使用表时要注意二点：(1)注意电流表的极性，不能接反。(2)注意电流表的度量范围。若电流表的度量范围低於被测量的电流值时电流表有可能被烧坏。这与一个温度计测量超过它的范围的高温时，温度计要损坏相似。具体的联接方法如图1—7

所示。



六、电压和电位

上一节中只讲了什么叫做电流的问题。怎样使电荷有秩序的运动而形成电流呢？下面二节我们就来解决这个问题。

图1—8中表示了A、B两块导体板，分别带了数量相等性质相反的电荷。在A、B两块导体之间的空间内，有一正电荷 q ，则根据同性相斥、异性相吸的规律， q 受到一个作用力，这个作用力是由于A、B两块导体上带了电而引起的，我们称它为库仑作用力，用 $f_{库}$ 表示之。

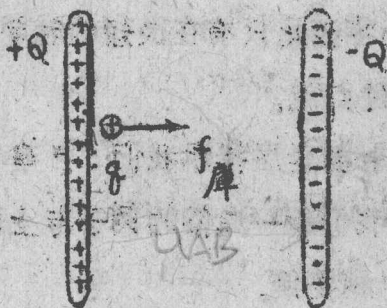


图1—8

实践证明，当A、B两块导体固定不变，导体上带电量越多， $f_{库}$ 就越大。正电荷 q 在 $f_{库}$ 作用下一定会向着导体B的方向跑去，这时 $f_{库}$ 就要作功。我们规定把单位正电荷从导体A推向导体B时 $f_{库}$ 所作的功叫做A、B两导体间的电压，用 U_{AB} 表示之，其数学表示式为

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

式1—2中 $W_{库}$ 表示 $f_{库}$ 把电荷 q 从A推到B时所作的功。在实用制的单位下，功的单位用焦耳电量为库仑，故 U_{AB} 的单位为焦耳/库仑，叫做“伏特”。电压 U_{AB} 是一个数量，一定有正负之分，一般以正电荷 q 在 $f_{库}$ 作用下运动的那个方向作为电压的正方向，这里即 U_{AB}

为正值。反之 U_{BA} 为负值。例如一个干电池两端的电压有1.5伏。

现在把一个灯泡用导线接到AB两带电的导体上去，如图1—9，则导体及导线内的正电荷在 f 库的作用下要跑向导体B上去与负电荷中和，於是形成了电流，随着电荷的流动，AB两导体上的电荷就要减少， f 库也变小，即两端的电压 U_{AB} 也要减小最后变为零。电压等於零，电流也变为零因此只有在很短的时间内有电流流过灯泡。

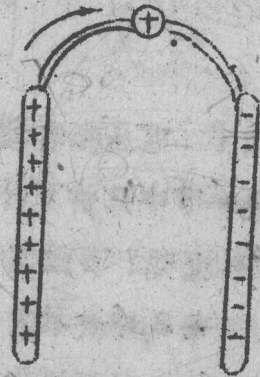


图1—9

林副主席指示我们：“事物的规定性，是从事物对比中间认识的。”现在我们举一通俗的例子与上面的例子作对比，以便更好地理解上面的电的实例。

图1—10中表示了高低两个水槽，用一水管联接着，中间装有一个水动机。由於水在高水槽中的位置比在低水槽高，於是水管两端出现了一个水压，在此水压下，水管中的水就要流动，形成水流，推动了水动机转动。高水槽的水量随着水流而减少，水管两端的水压逐渐下降最后变为零，水流停止，水动机停止转动。总之要有水流必须维持一个水压才行。

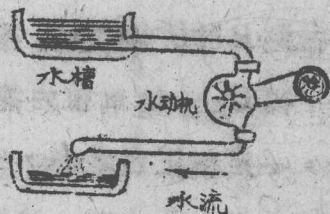


图1—10

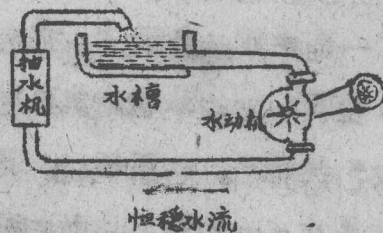


图1—11

在研究电路时，一般用电位的概念来分析和理解问题比较方便。

什么叫电位呢？

在图 1—8 中，研究表明，正电荷处在导体 A 处具有一定的电能量，一般叫做电位能 W_A 。当正电荷在 f 库作用下移动时， f 库所作的功，使正电荷的电位能减少，如运动到导体 B 处，电位能降低为 W_B 。在电的问题中，一般规定单位正电荷在某处所具有的电位能叫做该点的电位用 φ 表示。例如在导体 A 处的电位为 $\varphi_A = W_A / q$ 在导体 B 处的电位为 $\varphi_B = W_B / q$ 。单位正电荷在 f 库作用下从 A 运动到 B 时，电位就降低，电位降低的数值应为 $\varphi_A - \varphi_B$ ，叫做电位差。而 f 库推动单位正电荷从 A 到 B 时所作的功就是电压 U_{AB} 。因此电位差 $\varphi_A - \varphi_B$ 应等於电压 U_{AB} 。

电位与位能的概念一样，它只有相对的意义，因而在计算时，要先规定一个参考电位，即规定一个零电位点后，才能确定其他各地方的电位值。如图 1—8 中，可以先规定 B 处的电位为参考电位，即 $\varphi_B = 0$ ，这时 A 处的电位 φ_A 就等於电压 U_{AB} 。在电工程中常取大地为参考电位即大地的电位为零值，一般叫接地的意思是使某处的电位与大地相同即使它的电位为零。无线电仪器设备中常常取机壳或底板为参考电位。

正电荷在 f 库作用下总是从高电位点运动到低电位处。正电荷要从低电位走向高电位时，必须外力克服库仑力而作功才行。

很明显，电位的单位与电压的单位是相同的，也应该是（伏特）。

电位的概念与水槽中的水位概念差不多。水在高处的水位高，因而水总是从高处流向低处，把水从低处送往高处，必须外力克服重力而作功，才能使水的位能提高。

很明显，图 1—9 中把灯泡接在 A B 两导体上时，电荷运动从高电位流向低电位处，随电荷的减少，电位差 $\varphi_A - \varphi_B$ 也减小，（实际就是电压在减少），最后电位差为零，电流中止。要使电流继续流动，就要使 A B 两导体间维持一定的电位差。

七、 电动势。

要维持一个稳定的水位差，才能使水流继续不断地流动。如图 1—11 所示，若用一个抽水机把流到低水槽中的水继续不断地抽回高水槽中去，流下多少水量，同时就抽上去多少水量，这样水管两端就能维持一水位差，使水流不断地流动着。

从水流的例子中我们可以得到一点启发。在图 1—9 中如果我们想办法把流向低电位 B 处的正电荷再送回高电位 A 处去，靠库仑力的作用是办不到的，我们必须有像抽水机那样的电的“抽水机”。干电池（或者其他形式的电源）就是一种电的“抽水机”。它内部有能把正电荷从低电位推向高电位去的能力。

下面从原理上说明这个问题，以干电池为

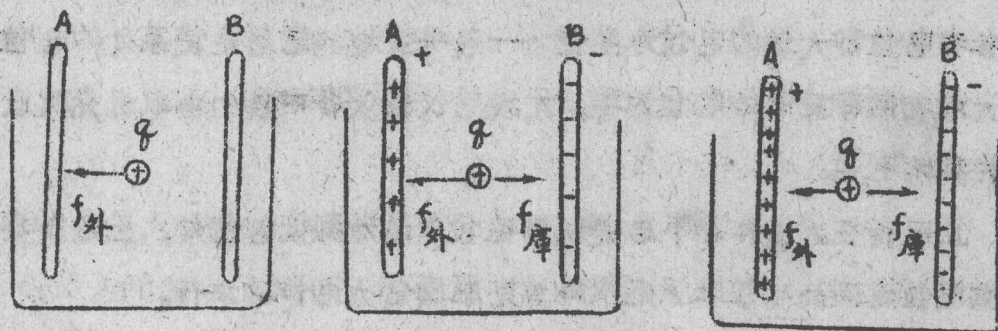


图 1—1 2

图 1—1 2 中表示了干电池内部的物理过程，干电池有两个电极 A 和 B，以及一些化学成分液体所组成。由于化学作用的关系，在干电池内有一种化学力量作用于化学液体中的正电荷 q 上，这种力是