

内 容 提 要

本书介绍了用电、触电、防触电、家用电器安全使用和触电急救的基本知识。同时,根据多年收集的资料列举了31例触电事故并分析了原因,提出了对策。

全书共分七章:1.电气基础知识;2.电气事故的基本概念;3.触电的类型;4.触电保护的措施;5.防止其它电气灾害的一般原理和方法;6.家用电器的防灾措施及原理;7.触电急救。书后有9个附录,作为资料供读者参考。

本书可作为安全用电的普及读物和初级培训教材,也可供从事家用电器设计、制造的技术人员、工人以及有关专业的大专院校师生参考。

家用电器安全使用知识

徐其荣 编著

责任编辑 王朋植

—*—

中国计量出版社出版

北京和平里 11区 7号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—*—

开本 787×1092/32 印张 8.25 字数 187千字

1989年8月第1版 1989年8月第1次印刷

印数 1—30 000

ISBN 7-5026-0248-8/TE·203

定价 3.60元

序 言

随着人民生活水平的不断提高，家用电器正以惊人的速度在我国普及，可以说，家用电器实际上已进入我国的千家万户。

在一些主要城市中，大多数家庭不但普及了电风扇、洗衣机、黑白电视机，而且电冰箱、立体声收录机、彩色电视机、电饭锅等高档家用电器的拥有量也在迅速增加。

由于家用电器种类繁多，光是电热器具就多达五十几种，但与各种各样家用电器打交道的人中，有相当一部分是不太了解家用电器性能的。我们知道，除了用电池带动的少量电动玩具和电动剃须刀之外，绝大多数家用电器都使用城市电网中的民用电。而民用电的电压一般均为 220 V，这一电压对人体是非常危险的，若使用不当或者家用电器漏电、损坏，或者连接家用电器的电线绝缘破损，都可能使人触电而危及人们的生命。

此外，家用电器所造成的触电事故不同于其它事故，事先毫无征兆，一旦产生感觉即为时已晚，并且在极短的时间内使人致命。不仅如此，一旦发生触电事故时，往往对去抢救的人都存在着直接的生命危险。

由此可见，广泛深入地普及家用电器安全使用知识，对于正确、安全地使用各类家用电器，减少不幸事故的发生，

保障广大人民群众的生命财产安全乃至全社会都有着重大意义。

为此，本书结合实际需要，详细介绍电气安全技术基本原理，并着重说明家用电器在设计、制造和使用过程中应注意的关键性问题，也就是防触电有关的一些知识。

本书可作为家用电器安全知识方面的普及读物，也可作为有关这方面知识的培训教材，对于从事家用电器研究、设计、制造的科技人员、大专院校有关专业的师生也有参考价值。

在本书编写过程中，得到北京家用电器研究所虞国平同志的热情支持，华中工业大学柳京岐教授在百忙中审阅了全书，在此一并致谢。

由于本人水平所限，错误、疏漏之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

作者 1988.7

目 录

第一章 电气基础知识	(1)
第一节 直流电路	(1)
第二节 交流电路	(18)
第三节 三相交流电	(43)
第二章 电气事故的基本概念	(50)
第一节 电气事故的严重性	(50)
第二节 电气事故的类型	(51)
第三节 电伤	(52)
第四节 电击及电流对人体的作用	(53)
第三章 触电的类型	(77)
第一节 接触方式	(77)
第二节 接触的电压及环境	(82)
第四章 触电保护的一般原理及方法	(85)
第一节 限制接触电压	(86)
第二节 保护接地	(91)
第三节 保护接零	(131)
第四节 保护切断	(145)
第五节 隔离变压器	(160)
第六节 双重绝缘结构	(162)
第五章 防止其它电气灾害的一般原理和方法	(165)
第一节 静电	(165)

第二节 火灾	(166)
第三节 烫伤	(168)
第四节 电磁波的防护	(172)
第六章 家用电器的防火措施及原理	(175)
第一节 前言	(175)
第二节 非安全电压供电家用电器的必要安全措施	(184)
第七章 触电事故的现场急救	(195)
第一节 抢救原则	(195)
第二节 抢救步骤	(195)
第三节 人工呼吸与体外心脏按摩	(197)
附录一 几个国家触电与漏电保护开关比较表	(203)
附录二 GB 3805—83 安全电压	(204)
附录三 国际电工委员会(IEC)的第 64 分技术委员会 (TC 64)出版物关于接地的分类	(205)
附录四 《IEC 出版物 413: 故障情况下的电击保护 第一部分》摘录	(207)
附录五 国际电工委员会 (IEC) 家用和类似电器的 安全标准摘录	(213)
附录六 安全隔离变压器产品资料	(217)
附录七 常用照明灯泡及电热器具技术数据	(218)
附录八 常用电风扇技术数据	(219)
附录九 触电事故及其对策31例	(219)
参考文献	(257)

第一章 电气基础知识

第一节 直流电路

一、电路

用导线把电源和负载（即用电设备）连接起来就成了电路。见图 1-1 所示。

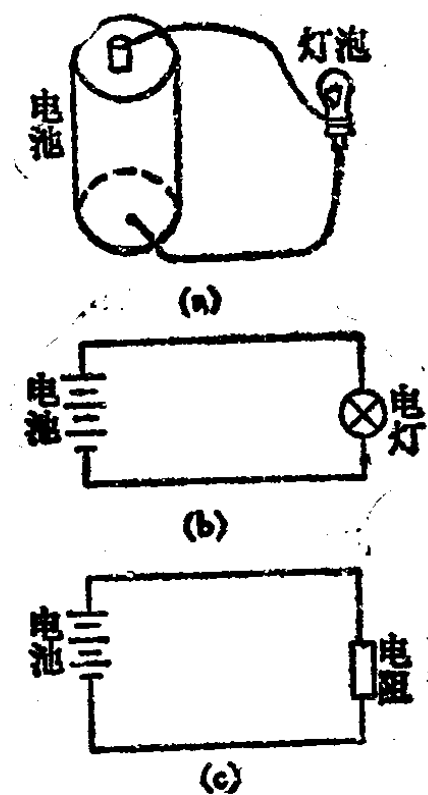


图 1-1 电路的实物与符号
(a) 实物 (b) 符号 (c) 计算用图

二、直流电源产生电流的过程

直流电源产生电流的过程见图 1-2 所示。由于干电池内部的化学能量所产生的外力使电子向锌筒方向运动。这样就在碳棒一侧造成正电荷堆积，在锌筒一侧造成负电荷的堆积。当用导线经过一个电阻把正极和负极连接起来后，电子就会顺着导线从电源锌筒负极流经电阻负载再到电源碳棒正极。我们规定电流方向：在外电路是从正极流向负极，与电子移动的方向相反，只要记住电流方向与正电荷移动方向一致就行了。

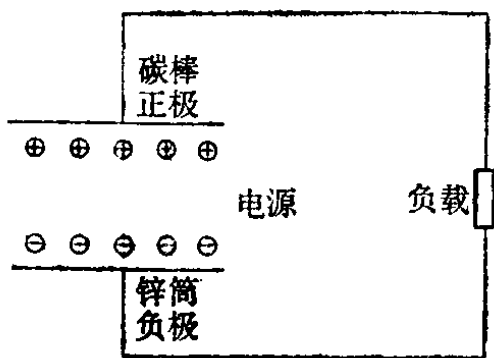


图 1-2 直流电源

在碳棒一侧造成正电荷堆积，在锌筒一侧造成负电荷的堆积。当用导线经过一个电阻把正极和负极连接起来后，电子就会顺着导线从电源锌筒负极流经电阻负载再到电源碳棒正极。我们规定电流方向：在外电路是从正极流向负极，与电子移动的方向相反，只要记住电流方向与正电荷移动方向一致就行了。

电源产生电子的过程就叫发电，除化学能外，太阳能、机械能都可以用来发电。

电流流过电阻负载使电灯亮起来，这就是用电、耗电的过程。

三、部分电路的欧姆定律

我们先来做一个实验。在图 1-3 中假定电路电阻都集中在电阻 R 上，连接导线的电阻忽略不计。改变另一可变电阻 R_1 的值，可在电压表 V 和电流表 A 上读出下列数据：

U (V)	2	4	6	8	10	12
I (A)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2

也就是说，在电阻 $R = 10\ \Omega$ 不变的情况下，加在电阻 R 两

端上的电压的大小与流过电阻 R 的电流大小成正比。

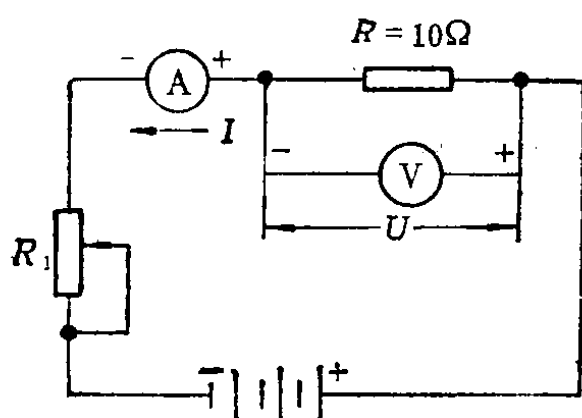


图 1-3 部分电路欧姆定律实验

若同时改变 R_1 和 R 而使电压表读数 V 保持不变时,可以发现,流过电阻 R 的电流大小与电阻 R 的大小成反比,这个规律是德国科学家欧姆首先发现的,因此叫作欧姆定律。其公式为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-1)$$

式中 I ——流过电阻 R 的电流,单位为安培 (A);

U ——电阻两端的电压,单位为伏特 (V);

R ——电阻,单位为欧姆 (Ω)。

根据所给出的条件,用 (1-1) 式很容易计算其中某个参数。

例 1: 已知一电器的电阻 $R = 220 \Omega$,外加电压为 110 V ,求流过该电器的电流。

由 (1-1) 式可得

$$I = \frac{U}{R} = \frac{110}{220} = 0.5 \text{ A}$$

例 2: 一个 440Ω 的灯泡,若需要流过 0.25 A 的电流才会有足够的亮度,求需加电压。

由 (1-1) 式可得

$$U = IR = 0.25 \times 440 = 110 \text{ V}$$

若同时有几个用电设备串联,加在这些用电设备两端的总电压等于 U ,这些用电设备电阻之和等于 R ,则此时欧姆定律仍然完全适用。这就是说,欧姆定律不仅适用于一个电器设备,也适用于几个用电设备组成的某一段电路。

四、全电路的欧姆定律

由 (1-1) 式可知, 若负载电阻 $R = 0$, 则即使很小的电压 U 也会产生极大的电流, 这就是短路。因此, 不允许用导线把用电设备短接; 也不允许不经过用电设备把电源的两个头 (直流为正、负极, 交流为火线与零线) 直接连接起来。由于短路电流很大, 一般比允许电流大几十倍甚至几百倍, 所以短路时会使电线、用电或发电设备烧毁。

根据 (1-1) 式, 短路电流应当无穷大, 但实际上并非如此, 这是为什么呢? 原来是电阻 R 不可能为零。一方面形成闭合回路的导线总有点电阻 (尽管非常小, 与用电设备的电阻相比可忽略不计); 另一方面, 电源内部也有电阻, 它与电源的容量有关。因此, 包括电源的整个电路欧姆定律应写成:

$$I = \frac{E}{R + r_0} \quad (1-2)$$

式中 E ——电源电动势 (V);

R ——外电路 (除电源以外) 负载总电阻 (Ω);

r_0 ——电源内阻 (Ω);

I ——电路中流过的电流 (A)。

(1-2) 式两端同乘一个 R 可得

$$U = \frac{ER}{R + r_0} = \frac{E}{1 + \frac{r_0}{R}} \quad (1-3)$$

由 (1-3) 式可知, 当 $R = 0$ 短路时, $U = 0$ 。因此, 电压都降到电源内部 r_0 上去了。若 $R \neq 0$, 则电压降由 R 及 r_0 分担, 其总和等于电源电势。

例 1: 已知某电源电势 $E = 1.8 \text{ V}$ 。当外接负载 $R = 3 \Omega$ 时, 电流为 0.5 A 。求电源内阻及电压。

解: 由 (1-2) 式可得

$$R + r_0 = \frac{E}{I} = \frac{1.8}{0.5} = 3.6 \Omega$$

所以 $r_0 = 3.6 - 3 = 0.6 \Omega$

将 E 、 R 、 r_0 代入 (1-3) 式得

$$U = \frac{E}{1 + \frac{r_0}{R}} = \frac{1.8}{1 + \frac{0.6}{3}} = 1.5 \text{ V}$$

例 2: 已知某发电机内阻为 0.2Ω , 负载电阻 $R = 2.21 \Omega$, 电压为 220 V , 电流为 110 A 。求发电机所发出的电势应该多大?

解: 由 (1-2) 式可知

$$E = I(R + r_0) = 110 \times (2.21 + 0.2) = 265.1 \text{ V}$$

因此, 发电机发出电势应为 265.1 V

五、电阻的串联、并联和混联

1. 串 联

把两个或更多个电阻依次串接起来, 使电流只有一条通路, 这种连接方法叫作电阻的串联。三个电阻串联的部分电路如图 1-4 (a) 所示, 这里未画出电源和开关等, 电路是不完整的, 但符合欧姆定律。

由图 1-4(a) 可知, 流过三个电阻的电流大小相同, 等于电路的总电流。

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

式中 I ——总电流,

I_1, I_2, I_3 ——分别为电阻 R_1, R_2, R_3 的电流。

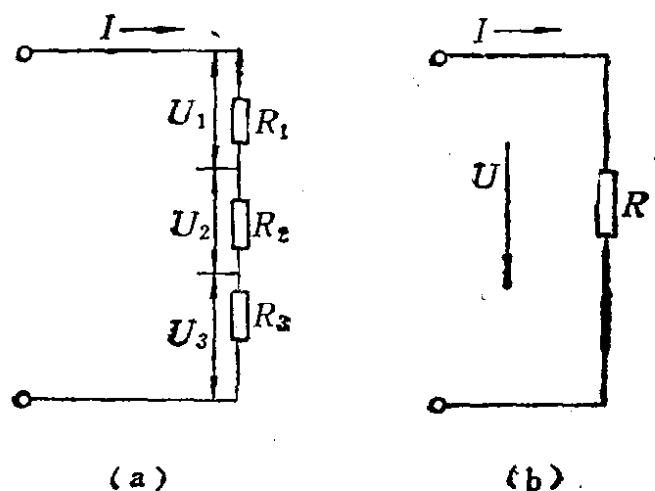


图 1-4 电阻的串联

同时，总电压降 U 为三个电阻上的电压降之和。

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

由欧姆定律 $I = U/R$ 与串联电路中 $I = I_1 = I_2 = I_3$ 可知

$$U_1 = I_1 R_1 = IR_1$$

$$U_2 = I_2 R_2 = IR_2$$

$$U_3 = I_3 R_3 = IR_3$$

所以

$$\begin{aligned} U &= U_1 + U_2 + U_3 \\ &= IR_1 + IR_2 + IR_3 \\ &= I(R_1 + R_2 + R_3) \\ &= IR \end{aligned}$$

其等值电路如图 1-4(b) 所示，这样可以推出

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

若有更多的电阻串联，同样可以导出类似的结果。这样我们可以从这一推算中得到如下的结论：串联电路的总电阻 R 等于所有串联电阻之和。

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (1-4)$$

串联电路的总电压降 U 等于各串联电阻上电压降之和。

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots \quad (1-5)$$

串联电路的电流处处相等

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots \quad (1-6)$$

由此可见，电阻串联越多越大。若把电路中某一点断开，就相当于串入了一个无穷大的电阻，电路上的电流会等于零。这就叫电路的断路，不通了。这也是家用电器常出的毛病，若电线接得不牢，有时也等于断路，也会影响家用电器正常工作。

例：已知电路中有三个电阻串联。其电阻值分别为 $R_1 = 10 \Omega$ ， $R_2 = 5 \Omega$ ， $R_3 = 20 \Omega$ 。若要求此时流过电阻的电流为 $I = 5 \text{ A}$ ，试求加在 R_1 、 R_2 和 R_3 上的电压各是多少？总的电压是多少？

解：(1) 根据欧姆定律， R_1 、 R_2 、 R_3 上的电压分别为

$$U_1 = IR_1 = 5 \times 10 = 50 \text{ V}$$

$$U_2 = IR_2 = 5 \times 5 = 25 \text{ V}$$

$$U_3 = IR_3 = 5 \times 20 = 100 \text{ V}$$

总电压为

$$\begin{aligned} U &= U_1 + U_2 + U_3 \\ &= 50 + 25 + 100 \\ &= 175 \text{ V} \end{aligned}$$

$$(2) R = R_1 + R_2 + R_3 = 10 + 5 + 20 = 35 \Omega$$

$$U = IR = 5 \times 35 = 175 \text{ V}$$

可见两种计算方法结果相同。

2. 并 联

把两个或更多个电阻并排连接起来就叫作电阻的并联。三个电阻并联的电路如图 1-5(a) 所示，其等值电路如图

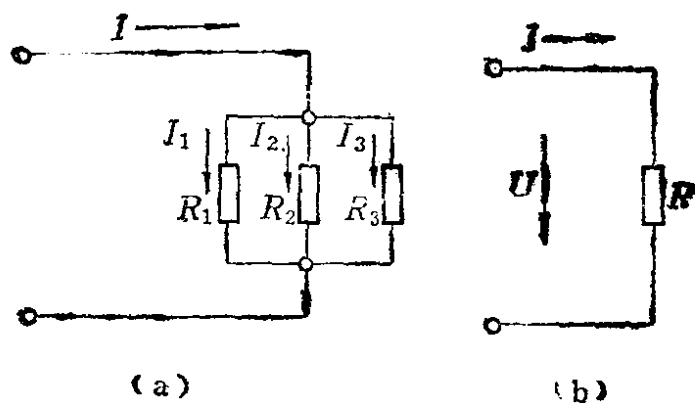


图 1-5 电阻的并联

1-5(b) 所示。

由图 1-5 可知，各电阻上的电压降 U_1 、 U_2 、 U_3 均与总电压降 U 相等，由此可知并联电路有

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots\dots \quad (1-7)$$

同理，电路的总电流 I 分为三路流向 R_1 、 R_2 和 R_3 ，总电流的大小就是这些分路电流之和，分路数目再多也是一样。由此可推出在并联电阻电路中总电流的规律：

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots\dots \quad (1-8)$$

根据欧姆定律可将 (1-8) 式写成

$$\begin{aligned} \frac{U}{R} &= \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} + \dots\dots \\ &= \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \dots\dots \\ &= U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots\dots \right) \quad (1-9) \end{aligned}$$

所以

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

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots} \quad (1-10)$$

从 (1-10) 式可知，在电阻并联的电路中，各并联电阻的倒数之和正好等于总电阻的倒数。因此，参加并联的电阻越多，总电阻越小。在电源上多接一个家用电器就相当于多并联一个电阻，接的电器越多总电阻越小，这样向电源所要的总电流也就越大。所以，当家用电器较多或添置家用电器的容量较大时，应首先考虑电源的容量够不够。对每户来说，是考虑电度表、总保险、开关及电源线容量是否够；对单位来说，则要考虑变电所或小发电机的容量以及配电设备的容量是否够大。

再考虑一下，若用一条电线把用电设备的两端联起来，就相当于并联了一个非常小的电阻，使总电阻减小到比一条电线的电阻还小，因此造成所谓短路事故。由于短路时电流非常大，所以会烧坏电线、家用电器而造成火灾事故。

应当记住，并联电路的总电阻要比所有并联的分电阻中最小的那个电阻还要小，这是电阻越并联越小所决定的。

例：在 220 V 的电网上，有 4 只并联的 $R_1 = 484 \Omega$ 的电灯 ($n_1 = 4$) 与 4 只并联的 $R_2 = 242 \Omega$ 的电灯 ($n_2 = 4$) 并联。求总电流是多少？(见图 1-6，电路转换过程为 (a)~(d))。

解： $R'_1 = \frac{R_1}{n_1} = \frac{484}{4} = 121 \Omega$

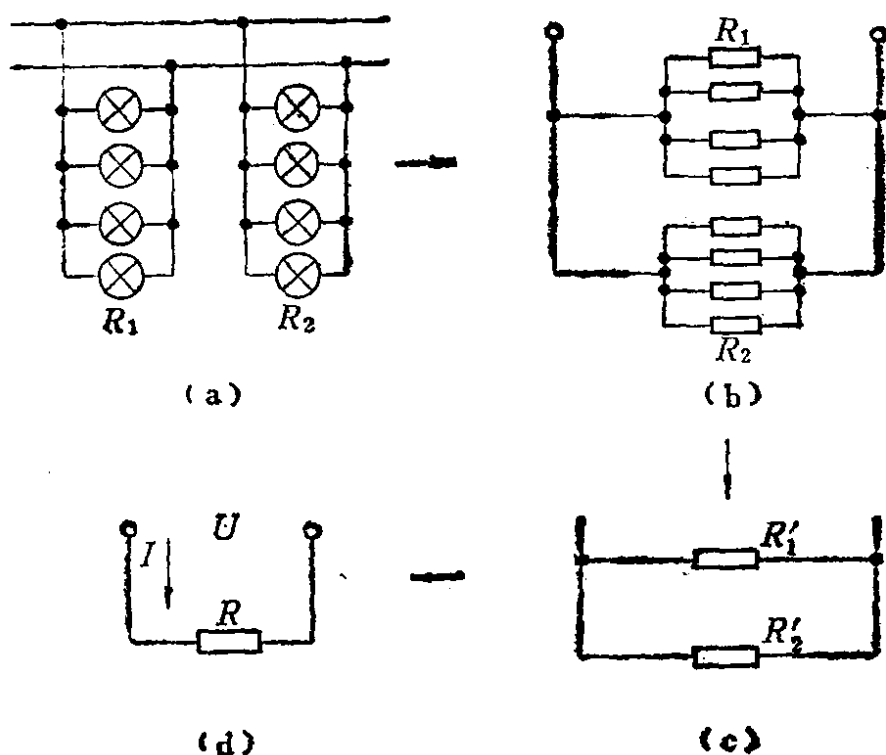


图 1-6 电灯并联接法

$$R'_2 = \frac{R_2}{n_2} = \frac{242}{4} = 60.5 \Omega$$

由 (1-10) 式得

$$R = \frac{R'_1 \times R'_2}{R'_1 + R'_2} = \frac{121 \times 60.5}{121 + 60.5} = 40.3 \Omega$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{40.3} = 5.4 \text{ A}$$

3. 混 联

在电路中，电阻既有串联又有并联的情况也是常遇到的，这种情况叫作电阻的混联。其计算方法不外乎串联和并联两种，只要分别求其等效电阻就行了。最后仍可转换成一个最简单的电路，如图 1-7 所示。

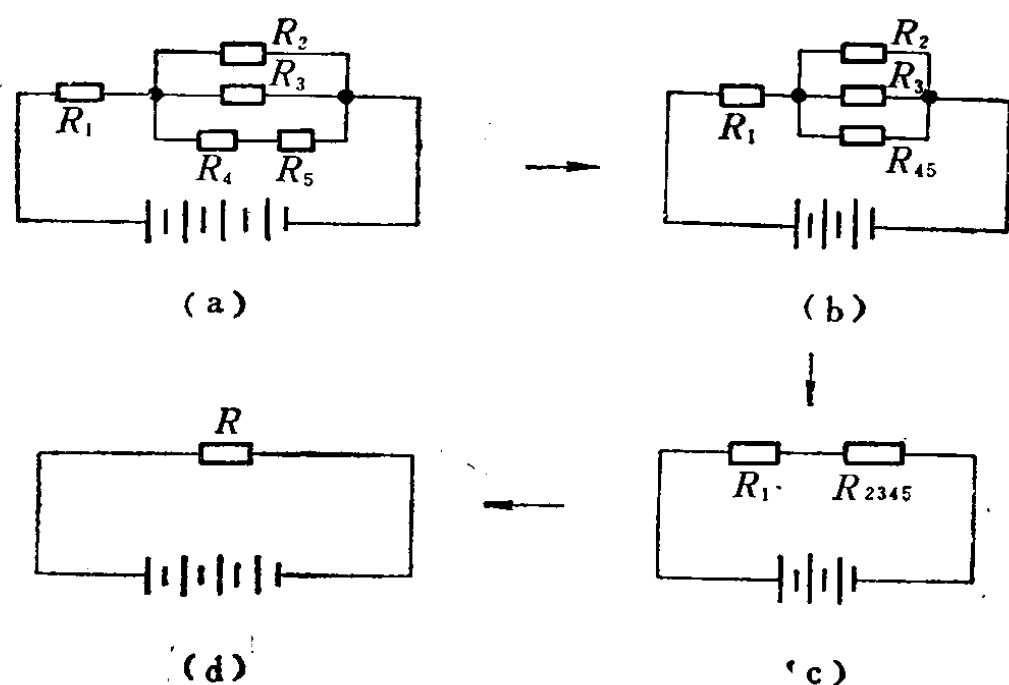


图 1-7 混联电阻的转换图

首先 R_4 与 R_5 串联成 $R_{45} = R_4 + R_5$ ，电路从 (a) 转换到 (b)。然后， R_2 、 R_3 与 R_{45} 并联成 R_{2345} ，电路从 (b) 转换到 (c)。最后，将 R_1 与 R_{2345} 串联得到电路 (d)。总换算电阻为 R 。

例：在图 1-8 中，已知 $U = 100 \text{ V}$ ， $R_4 = 10 \Omega$ ， $R_1 = R_2$ ，

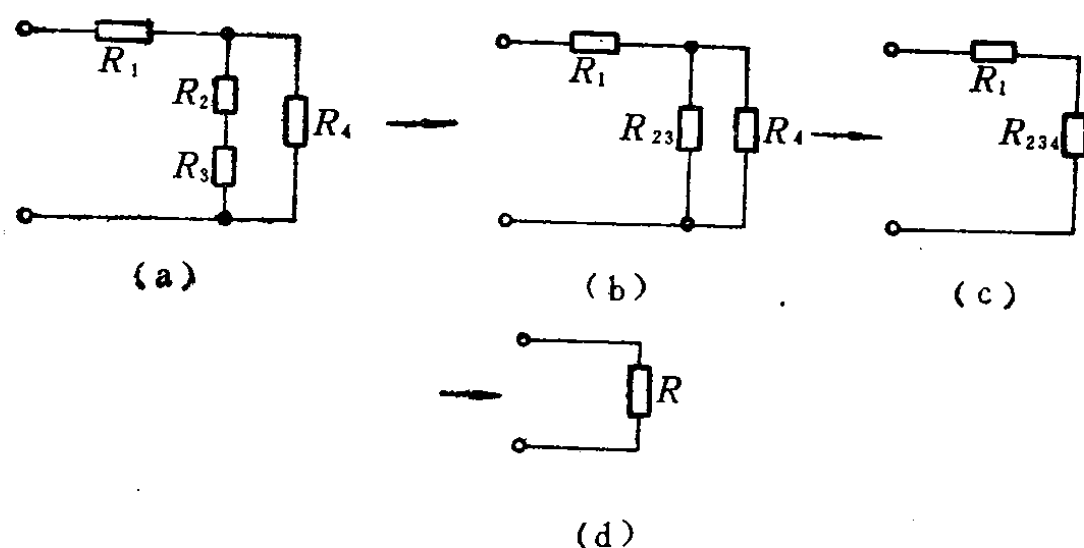


图 1-8 电阻的转换图

$= R_3 = 5 \Omega$, 求流过 R_1 的电流及 R_2 与 R_3 上的电压降。

电阻的转换过程为 (a) $\rightarrow$ (b) $\rightarrow$ (c) $\rightarrow$ (d)。

$$R_{23} = R_2 + R_3 = 5 + 5 = 10 \Omega$$

$$\frac{1}{R_{234}} = \frac{1}{R_{23}} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{1}{5}$$

所以

$$R_{234} = 5 \Omega$$

$$R = R_1 + R_{234} = 5 + 5 = 10 \Omega$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{100}{10} = 10 \text{ A}$$

$$U_{R_4} = IR_{234} = 10 \times 5 = 50 \text{ V}$$

$$I_{R_{23}} = \frac{U_{R_4}}{R_{23}} = \frac{50}{10} = 5 \text{ A}$$

$$U_{R_2} = I_{R_{23}} \times R_2 = 5 \times 5 = 25 \text{ V}$$

$$U_{R_3} = I_{R_{23}} \times R_3 = 5 \times 5 = 25 \text{ V}$$

一般来说, 凡属简单的混联电路 (应包括桥接电路), 均可化为串联和并联电路, 然后按串联电路或并联电路分别求出其等效电阻, 最后再合成总电阻。每一段电阻上的电压降可根据其电阻值和流过该电阻的电流值计算出来。更复杂的电路亦可转换, 但比较复杂, 此处从略。

六、电源的串联和并联

1. 电源的串联

在电源电路中, 为了得到所需要的电源电压, 经常要将两个或更多个电源串联起来, 这种用法在干电池和蓄电池供电的电路中是非常普遍的。电源的串联如图 1-9 所示。

电源串联的重要条件是所串联的电源内阻应当相等, 并