

2.3 总结

本章讨论了如何用二进制表示数据和逻辑状态。你已经了解了如何使用0/1来表示各种类型的数据。我们以文本、颜色和图像为例研究了二进制格式数据。我们还介绍了各种逻辑运算符，比如AND和OR，以及如何用真值表来表示逻辑语句。理解这些内容是非常重要的，因为当代计算机中的复杂处理器都是基于复杂的逻辑系统的。

在第4章讨论数字电路时，我们将继续探讨二进制问题，但为了让你做好准备，我们将在第3章先介绍电路的基本原理，探索电学定律，看看电路是如何工作的，熟悉电路中的一些基本组件。你甚至将有机会搭建自己的电路！

第3章

电路

我们已经在概念层面讨论了计算机的某些方面，现在让我们转换方向，讨论一下计算机的物理基础。让我们先回顾一下计算机的定义：计算机是一种电子设备，可以通过编程来执行一组逻辑指令。

计算机是遵循人类设计的规则的设备，但在根本上，计算机必须按照另一组规则（即自然法则）行事。计算机只是一台机器，和所有机器一样，它利用自然法则完成任务。尤其是，现代计算机是电子设备，所以电学定律是构造这些设备的自然基础。要全面了解计算机，你需要掌握电学和电路知识，这就是本章所涉及的内容。让我们从电学术语和概念开始，学习一些电学定律和电路图，并搭建一些简单的电路。

3.1 电学术语

为了学习电路，你首先要熟悉几个关键的概念和术语。现在，我将介绍这些电学概念，并解释它们之间的关系。本节包含许多细节，因此我们先从表3-1的概述开始，然后再进行详细说明。

表3-1 关键电学术语

术语	解释	计量单位	水类比
电荷	使物体受到力的作用	库仑 (C)	水
电流	电荷流	安培 (A)	通过管道的水流
电压	两点之间的电势差	伏特 (V)	水压
电阻	电流通过材料的难易程度的度量	欧姆 (Ω)	管道的宽度

表3-1简单解释了每个术语，列出了其计量单位，并把每个术语都与水基系统中的模拟物联系起来（见本章后面的图3-2）。即使现在不能理解也不用担心，后面会更深入地介绍每个术语。

3.1.1 电荷

你在学校可能已经学过原子是由带正电的质子、带负电的电子和不带电的中子组成的。电荷使物体受力；异性电荷相吸，同性电荷相斥。在解释电路概念时，我喜欢用水流过管道来打比方。在这个类比中，电荷就像水，导线就像管道。

电荷的计量单位是库仑。质子或电子上的电荷只是单个库仑所代表的电荷量的一小部分。

3.1.2 电流

与电流特别相关的是电荷的转移或运动。电荷通过导线类似于水通过管道。在日常用法中，我们会说“电流在流动”，虽然更准确地说是电荷在流动，而电流是对电荷流动强度的度量。

当在公式中表示电流时，使用符号 I 或 i 。电流的计量单位是安培，简称“安”，单位符号是A。 $1\text{A}=1\text{C/s}$ 。假设有两根导线，第一条流经电流为5A，第二条流经电流为1A。由于安培代表电荷速率，因此电荷通过第一条导线的速度是第二条导线的5倍。

3.1.3 电压

既然电荷流经导线就像水流经管道一样，那就让我们进一步扩展一下这个类比。到目前为止，我们有水（电荷）、一条简单的管道（导线）以及水流速度（电流）。在此基础上，我们再加一个水泵，它与管道相连，使水流过管道。水压越高，水流经管道的速度越快。放到电路中，水泵代表电源，是电能的来源，比如电池。

在这个类比中，水压代表一个新概念：电压。如同水压影响水流经管道的速度一样，电压会影响电流——电荷流经电路的速度。为了理解电压，请回忆一下物理课上讲过的势能，它代表做功的能力，单位为焦耳（J）。对电来说，做功意味着把电荷从一点移动到另一点。电势是单位电荷的势

能，以J/C为单位。电压被定义为两点间的电势差。也就是说，电压是把单位电荷从一点移动到另一点所需的功。

当在公式中表示电压时，使用符号 V 或 v 。电压的单位为伏特，单位符号为V。电压总是在两点（比如电池的正负极端子）之间测量。在此上下文中，端子意味着电连接点。电压越高，使电荷通过电路从一个端子移动到另一个端子的“压力”越大，因此，当电压源连接到电路时，电流就越大。不过，即使没有电流，电压也存在，比如一个9V的电池，即使它没有连接任何东西，它两端的电压也是9V。

3.1.4 电阻

管道的宽度是影响水流的另一个因素。很宽的管道可以让水流不受限制地流动，而很窄的管道就会阻碍水流。如果把这个类比用于电路，那么管道的宽度就代表电路中的电阻。电阻是对电流经过导体的难度的度量，导体是允许电流经过的材料。材料的电阻越大，电流流经它的难度越大。

当在公式中表示电阻时，使用符号 R 。电阻的单位是欧姆，单位符号为 Ω 。铜线的电阻非常低，我们假设它没有电阻，这意味着电流可以自由地流经它。电路使用被称为“电阻”的电子元件在需要的地方引入特定量的电阻。图3-1给出了典型电阻的图片。

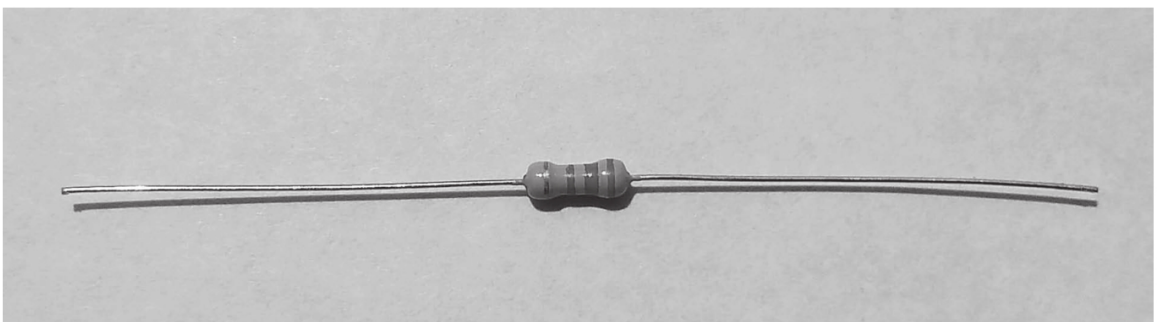


图3-1 电阻

3.1.5 水类比

既然我们已经介绍了关键的电学概念，现在我们来回顾一下用来解释电路工作原理的水类比，如图3-2所示。

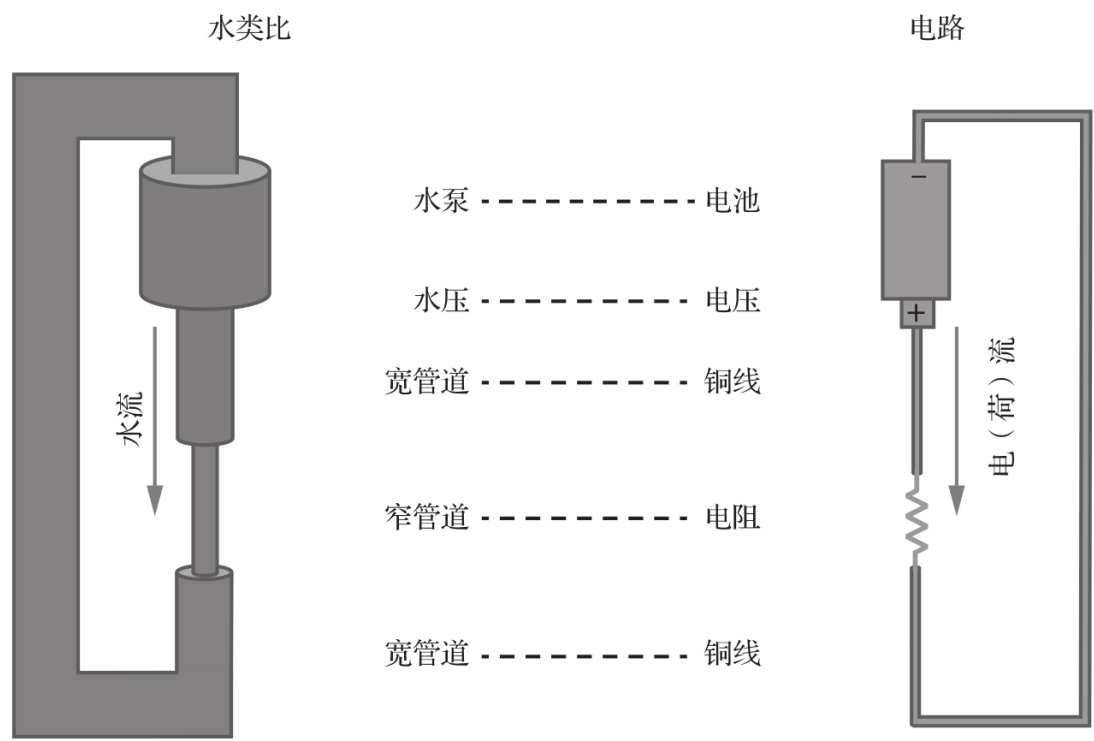


图3-2 用水类比描述的电路

水泵通过管道输送水，如同电池通过电路输送电荷。像水能流动一样，电荷也能流动，我们把电荷流称为电流。水压影响水流动的速度，同样，电压也影响电流——电压越高意味着电流越大。水流能自由通过宽管道，就像电流通过铜线一样。窄管道会限制水的流动，就像电阻限制电流一样。

现在，把你学到的知识运用到示例电路中，该电路由电池以及连接其两端的导体构成。势能存储在电池中。电池两端的电压代表电势差。当导体连接到电池的两端时，电压就使电荷通过导体，产生电流。导体有一定的电阻，电阻低，电流大，电阻高，电流小。

3.2 欧姆定律

电流、电压和电阻之间的具体关系由欧姆定律定义，该定律告诉我们：从一个点到另一个点的电流等于这两点之间的电压除以它们之间的电阻。欧姆定律用公式表示为：

$$I=V/R$$

假设有一个9V的电池，它的两端连接了一个10000Ω的电阻。欧姆定律告诉我们，流经这个电阻的电流为 $9V/10000\Omega=0.0009A$ （0.9mA）。请注意在本章中，我们再次使用了基数10，你可以把基数2先放一边，暂时采用十进制表示数字！

AC和DC

此时有必要暂停，先来介绍一下AC和DC。AC代表交流电，电流周期性地改变方向。它与DC相反，DC代表直流电，其电流只沿一个方向流动。AC用于把电力从发电厂传输到家庭和企业。不需要适配器便可以直接插入壁式插座的电器、电灯、电话以及其他设备都使用AC。小型电子产品，比如笔记本电脑和智能手机使用DC。当为智能手机这样的设备充电时，适配器会把壁式插座的AC转换成设备所需的DC。电池也提供DC。术语AC和DC也适用于电压（比如DC电压源），在这种情况下，它们实际上是指“交流电压”或“直流电压”。本书的所有电路都使用DC，所以你不用关心AC的具体信息，只要知道两者之间的区别即可。

3.3 电路图

当我们描述电路时，图是一种非常有用的视觉辅助工具。绘制电路图时，用标准符号表示各种电路元件。连接这些符号的线表示导线。我们来看一些常用电路元件是如何用符号来表示的。图3-3显示了电阻和电压源（如电池）的符号。“+”表示电压源的正极，“-”表示电压源的负极。换句话说，相对于-端，+端的电压为正。

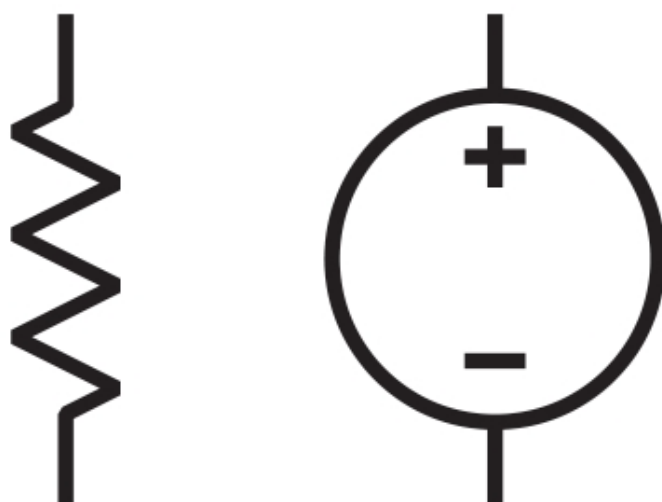
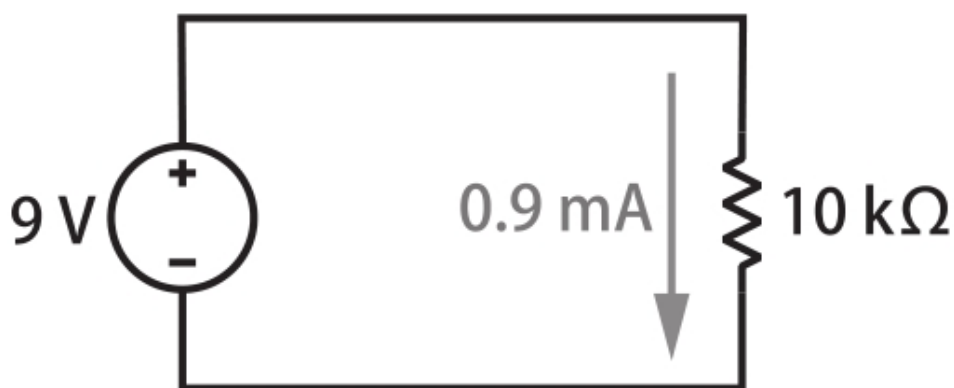


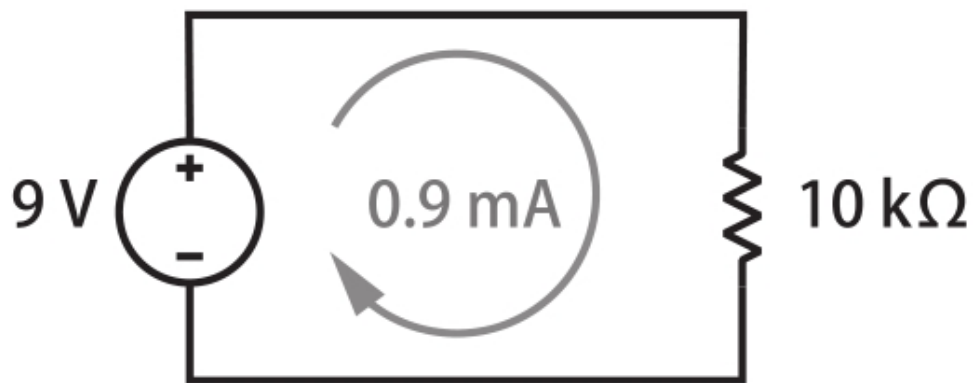
图3-3 电阻（左）和电压源（右）的符号

使用这两种符号，我们可以画一个电路图来表示之前的示例电路（9V 电池两端连接 10000Ω 电阻），如图3-4所示。注意电阻上的 $10\text{k}\Omega$ 标志，这是 10000Ω 的简写。根据前面的欧姆定律，我们可以得出有 0.9mA 的电流经过该电阻的结论，这在图中也表示出来了。

我们还可以把电流表示成一个回路，如图3-5所示。这种视觉效果有助于传递这样一种想法：电流流经整个电路，而不仅仅是电阻。



▲ 图3-4 9V电池以及一个连接其两端的 $10\ 000\Omega$ 电阻



▲图3-5 电流的流动显示为一个回路

说到回路，现在是时候后退一步来审视一个已经被提到多次，但还未被定义的术语了。电路是一组相互连接的电子元件，它们的连接方式使得电流能按回路的方式流动，从电源流经电路元件后再返回电源。如果不谈电力，通用术语“电路”是指在同一位置开始和结束的路径。这是一个需要记住的重要概念，因为没有电路，就不会有电流。回路断开的电路称为开路，当电路是开路时，没有电流流过。短路是电路中允许电流在电阻很小或没有电阻的情况下流动的路径，一般没有意义。

练习3-1：使用欧姆定律

查看图3-6中的电路。思考电流是多少？

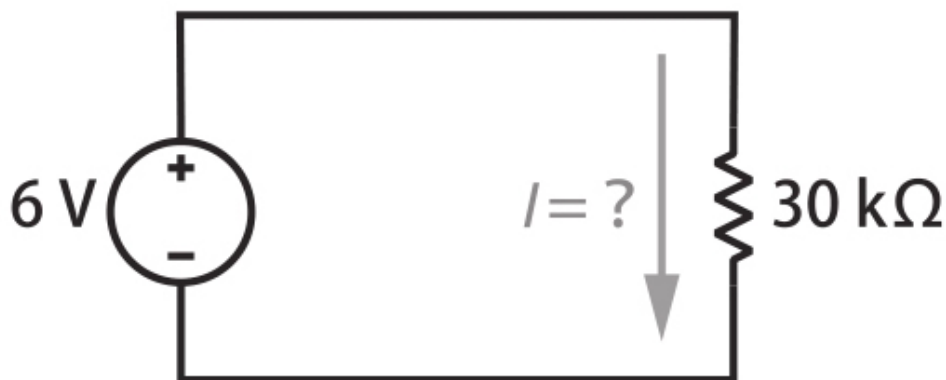


图3-6 用欧姆定律计算电流

在直流电路中，GND（表示接地）是指一个点，我们要根据它来测量电路中其他点的电压。换句话说，接地点的电压被视为0V，我们相对于它来测量电路中的电压。正如前面我们提到的，我们总是测量两点之间的电压，所以重要的是电势差，而不是单点电势。通过给接地点分配参考电压0V，我们更容易讨论电路中其他点的相对电压。在类似我们在这里讨论的那些简单的直流电路中，把电池或其他电源的负极当作接地点是很常见的。

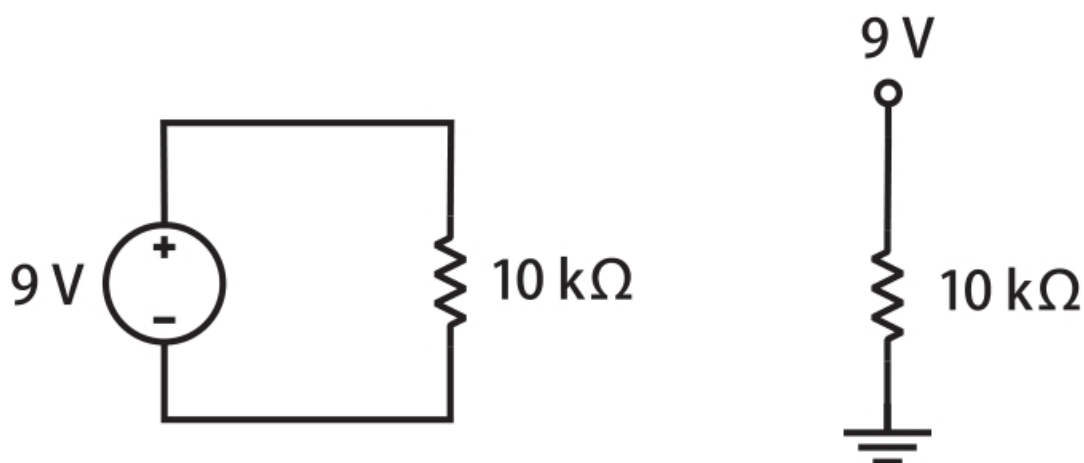
术语“接地”来源于一个事实：有些电路在物理上是连接到大地的。它们确实连接到地，这个连接用作0V参考点。便携式设备或电池供电设备通常没有物理接地连接，但我们仍然把这些电路中指定的0V参考点称为接地点。

有些工程师不会把电路图画成一个回路，相反，他们用图3-7所示的符号专门标识接地和电压源连接。这使得电路图更清晰，但它不会改变电路的物理连线，电流仍然是从电源的正极流向负极。

例如，在图3-8中，我们之前讨论的电路在左侧，用图3-7给出的接地和电源符号绘制的相同电路在右侧。



▲图3-7 接地（左）及相对于接地的电压源（右）的符号



▲图3-8 两个电路相同

图3-8中的两个电路在功能上是等价的，只是绘图方式不一样。

3.4 基尔霍夫电压定律

另一个解释电路行为的定律是基尔霍夫电压定律，它告诉我们整个电路的电压之和为0V。这就意味着，如果电压源为电路提供了9V电压，那么该电路中的各种元件要共用这个9V电压。电路上的每个元件都会让电势下降。当这种情况发生时，我们说每个元件上的电压都下降了。让我们以图3-9中的电路为例。

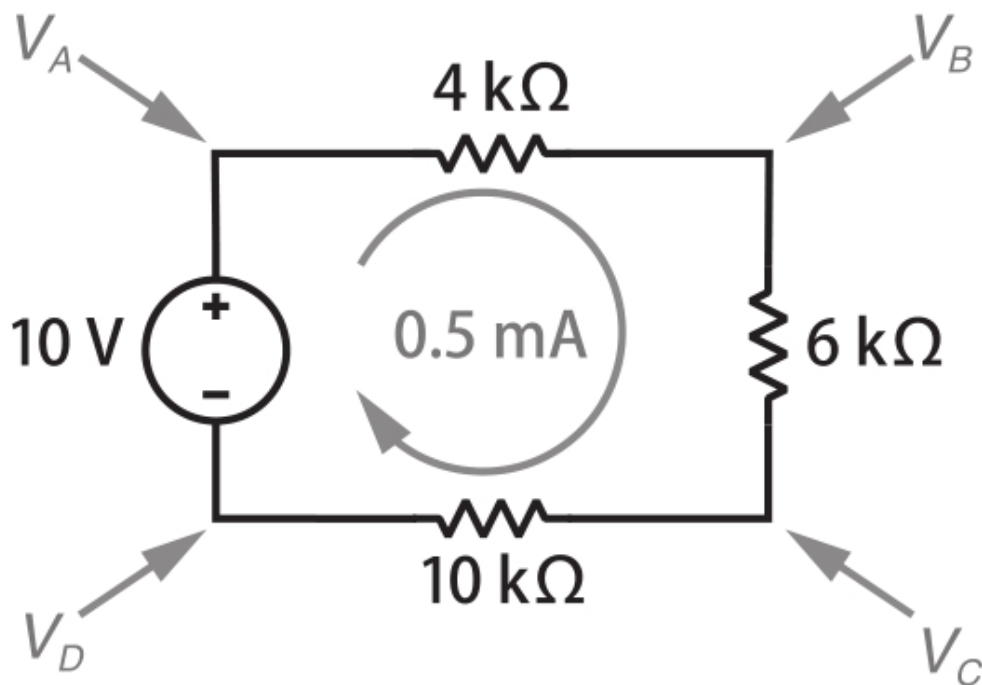


图3-9 展示基尔霍夫电压定律的电路

在图3-9的电路中，10V的电源连接了3个电阻。当电阻沿单条路径（串联）连接时，总的电阻值就是各个电阻值之和。在本例中，这就意味着总电阻值为 $4\text{k}\Omega + 6\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega = 20\text{k}\Omega$ 。运用欧姆定律，我们可以计算出通过该电路的电流为 $10\text{V} / 20\text{k}\Omega = 0.5\text{mA}$ 。这个电路有四个可以测量电压的点，对应电压分别标注为 V_A 、 V_B 、 V_C 和 V_D 。我们将确定每个点相对于电源负极的电压。

我们从最简单的开始： V_D 直接与电源的负极相连，所以 $V_D = 0\text{V}$ 。类似地， V_A 直接与电源正极相连，所以 $V_A = 10\text{V}$ 。根据基尔霍夫电压定律，我们知道每个电阻都会引起电压下降，所以 V_B 必然小于10V， V_C 必然小于 V_B 。

$4\text{k}\Omega$ 电阻会使电压下降多少呢？根据欧姆定律，有 $V = IR$ ，所以电压下降了 $0.5\text{mA} \times 4\text{k}\Omega = 2\text{V}$ 。这意味着， V_B 比 V_A 小2V，因此 $V_B = 10\text{V} - 2\text{V} = 8\text{V}$ 。类似地， $6\text{k}\Omega$ 电阻会使电压下降3V，因此 $V_C = 8\text{V} - 3\text{V} = 5\text{V}$ 。即使不做数学运算，根据基尔霍夫电压定律也可以知道 $10\text{k}\Omega$ 电阻必会使电压下降5V，因为

它是电源负极前的最后一个电路元件，而负极处电压是0V。图3-10给出了电压和降压值。

回顾一下这个例子，电压源提供10V电压，我们将其视为正电压。每个电阻都会导致电压下降，我们认为这些下降的电压为负。如果我们把正的电压源加上负的下降电压，就会得到 $10\text{V} - 2\text{V} - 3\text{V} - 5\text{V} = 0\text{V}$ 。整个电路中的电压和为0V，符合基尔霍夫电压定律。

你可能会好奇，这是否只适用于某些电阻值。毕竟在所给例子中，数学计算很顺滑，也许太顺滑了！在下面的练习中，我们将把示例电路中的一个电阻从 $4\text{k}\Omega$ 换成 $24\text{k}\Omega$ ，你会看到基尔霍夫电压定律仍然成立。

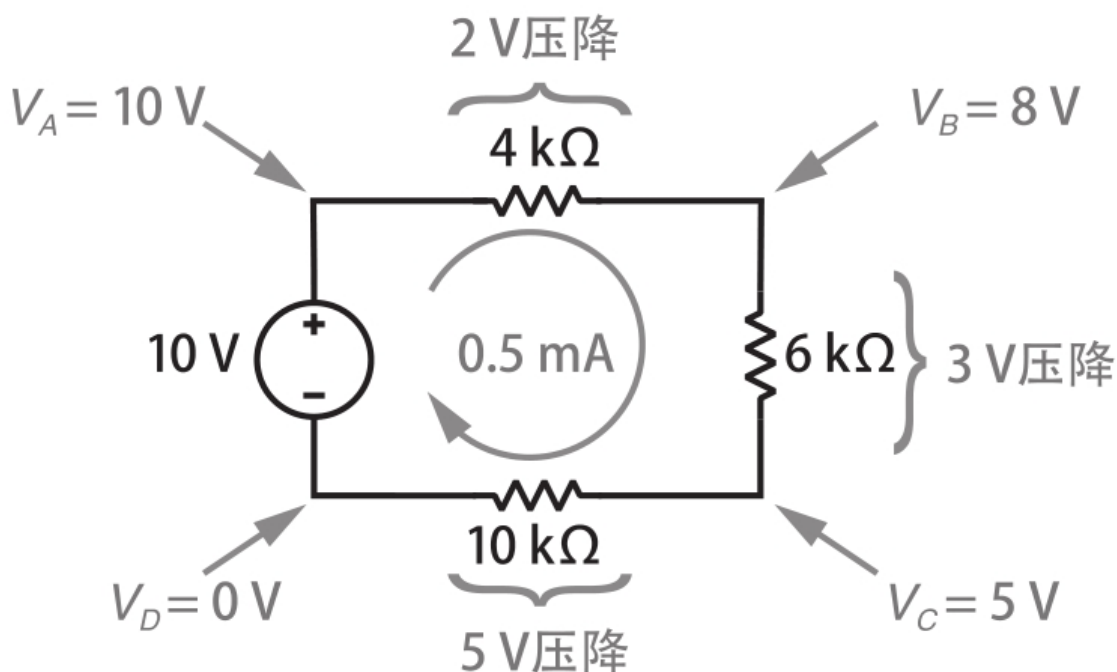


图3-10 简单电路中的压降

练习3-2：计算压降

给定图3-11中的电路，电流 I 是多大？每个电阻上的压降是多少？计算标注的电压 V_A 、 V_B 、 V_C 和 V_D ，每个电压都是相对于电源负极测量的。

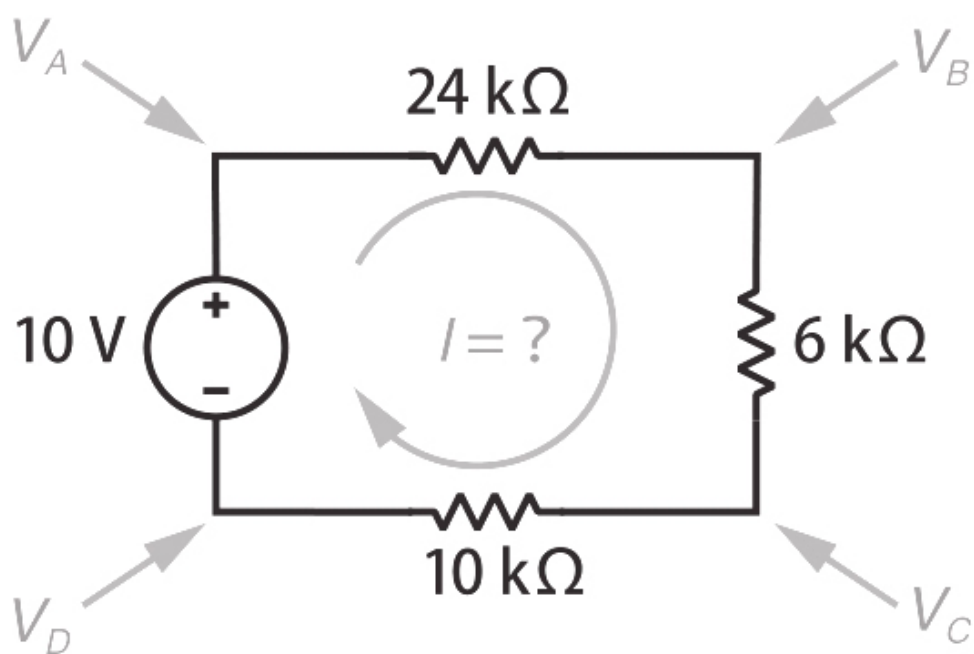


图3-11 演示基尔霍夫电压定律的另一个电路

3.5 真实世界中的电路

现在，让我们看看如何在真实世界中搭建简单的9V/10kΩ电路（见图3-4）。在图3-12的照片中，我用接线夹把10kΩ的电阻连接到了9V的电池上。

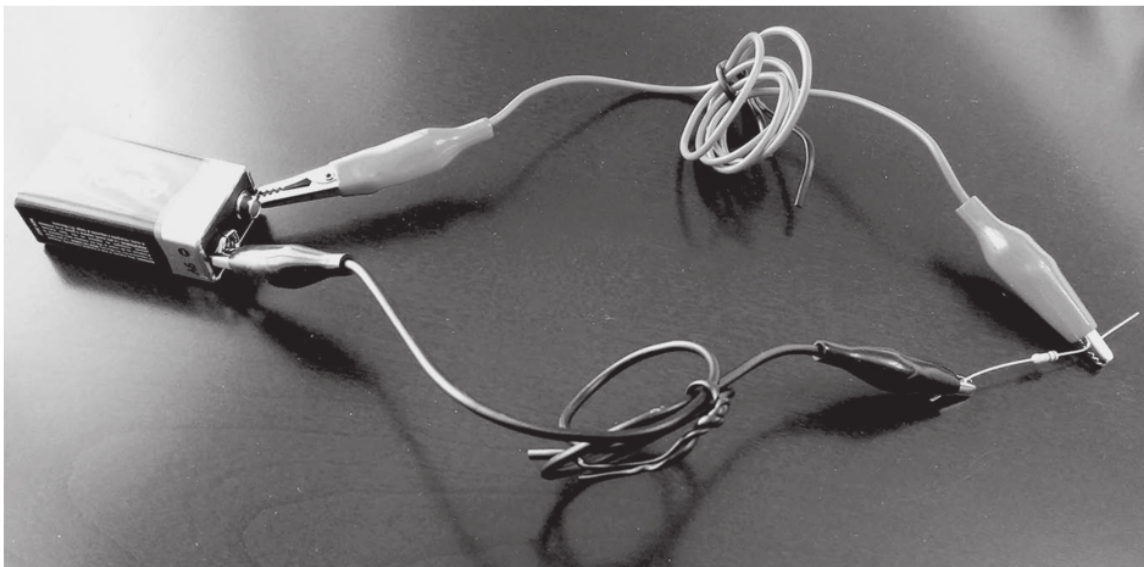
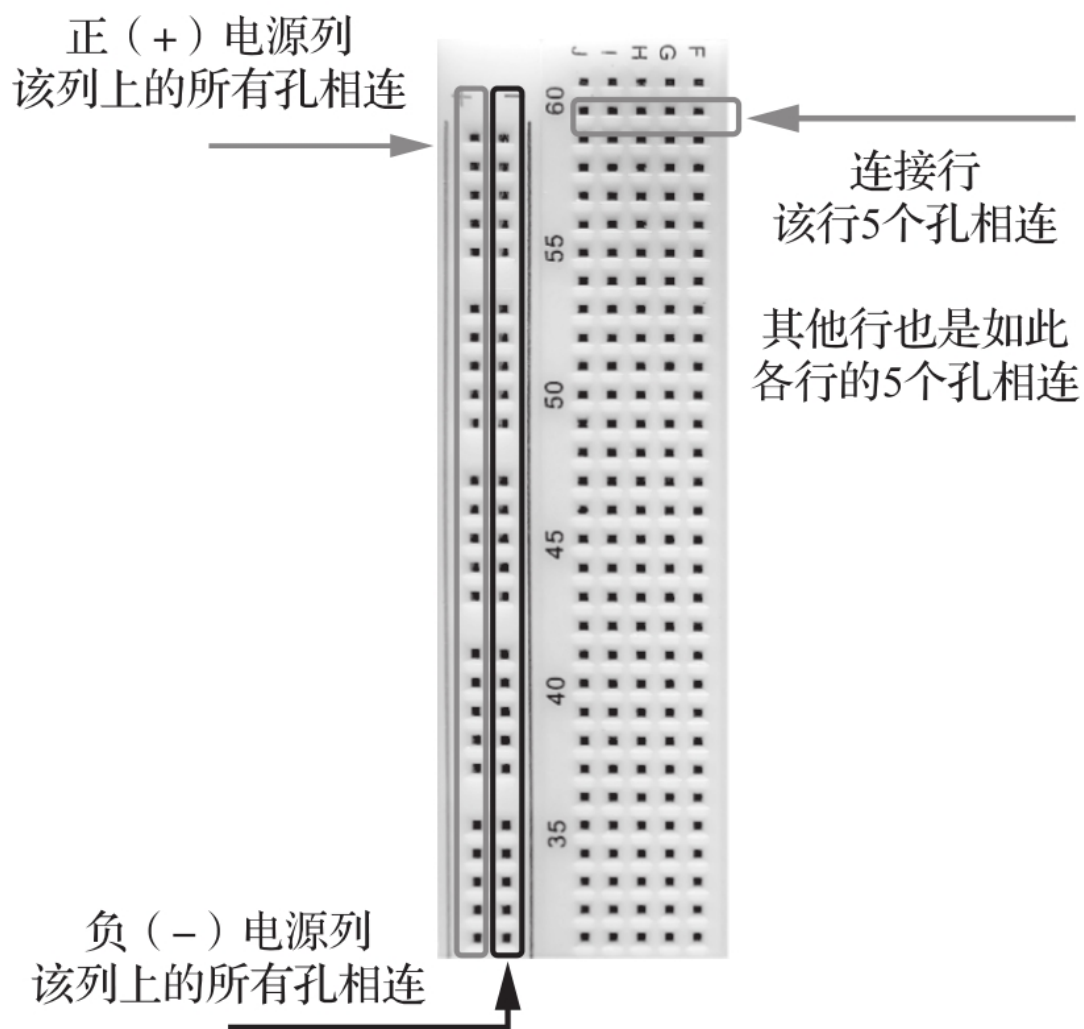


图3-12 用接线夹把10kΩ的电阻连接到9V的电池上

这个方式是可以的，但是还有更好的方法来搭建电路。面包板是形成原型电路的基础。在历史上，使用那些用来烤面包的板子也是为了实现这种目的，现在的面包板和面包一点关系都没有！面包板（见图3-13）可以方便地连接各种电子元件。

如图3-13所示，沿着面包板的边缘是较长的列，通常标注有+和-。这些列一般也有颜色区分，红色是正，蓝色是负。这些边缘列的所有孔都是相连的，这些列用来为电路提供电源，所以电池或其他电源通常会连接到这些列。同样，那些行上一般会有5个孔（在图3-13中，行在边缘列的右边），它们也是相连的。只需把两个元件的连接端插入同一行就可以让这两个元件相连。不需要焊接、夹子和电工胶带！

图3-14展示的是把图3-4所示电路构建到面包板上的结果。



▲图3-13 面包板的一部分