

▲图3-14 构建在面包板上的简单电路

如你所见，这是一种更整洁、更简单的连接电子元件的方法。我做了一点优化，即把电阻的两端插入电源列，直接把它与电池相连。

注意

请参阅设计1来完成本书的第一个设计任务！前面的练习要求你用脑力解决问题，而设计任务要求你做得更多，包括要获得一些硬件。当然，这需要一些努力和相关的成本，但我相信，亲自动手是真正理解本书概念的最好方法。翻到本章结束的地方，找到对应的设计，就可以自己搭建电路了！

3.6 发光二极管

目前我们所讨论的简单电路说明了电流和电压的基础知识，但它们没有任何有趣的视觉效果。我发现一个把沉闷的电路变成令人开心的电路的简单方法：添加一个发光二极管（Light-Emitting Diode, LED）。图3-15的照片展示了一个典型的LED。

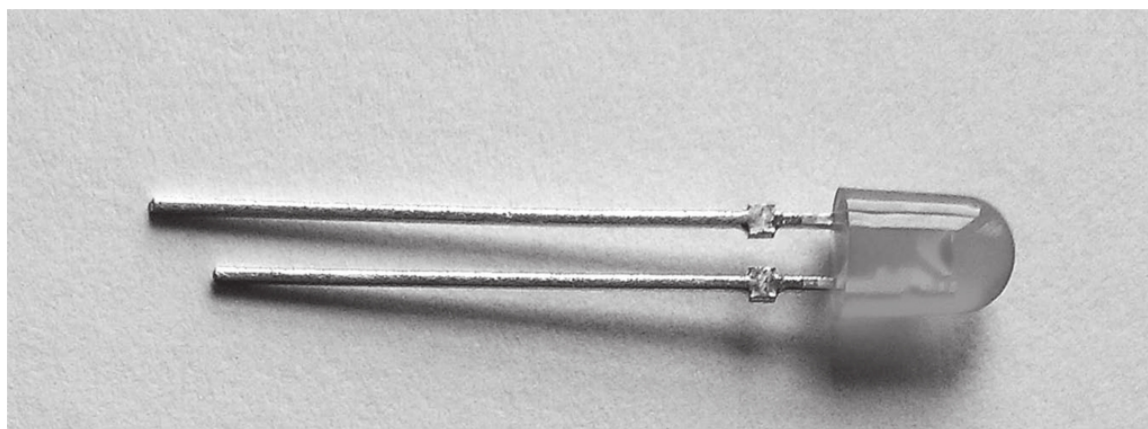


图3-15 LED

我们先介绍一下LED，然后再在电路中添加LED。名称中的“发光”部分不言而喻：这是个能发光的电路元件。具体来说，它是一个发光的二极管。二极管是一种电子元件，它只允许电流沿一个方向流过。与允许电流在两个方向上流动的电阻不同，二极管在一个方向上有非常小的电阻（允许电流流动），而在另一个方向上有非常大的电阻（阻止电流流动）。LED

是一种特殊的二极管，当电流通过时会发光。LED有多种颜色可以选择。LED的电路图符号如图3-16所示。

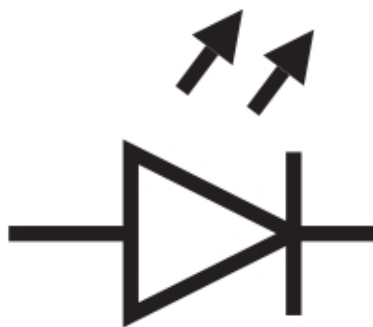


图3-16 LED的电路图符号

为了让LED发光，需要确保有一定大小的电流通过它。标准红色LED的最大额定电流约为25mA，我们不希望通过它的电流超过最大额定电流，因为这样会损坏LED。我们把20mA作为希望通过LED的电流大小。比这低的电流也能使其发光，但是LED不会那么明亮。

那么，我们怎么保证有一定大小的电流流经LED呢？我们只需要选择合适的电阻来限制电路中的电流即可。但是在这样做之前，你还需要了解LED的另一个特性——正向电压，它描述了当电流流经LED时电压下降了多少。典型的红色LED正向电压大约为2V。正向电压常常表示为 V 。

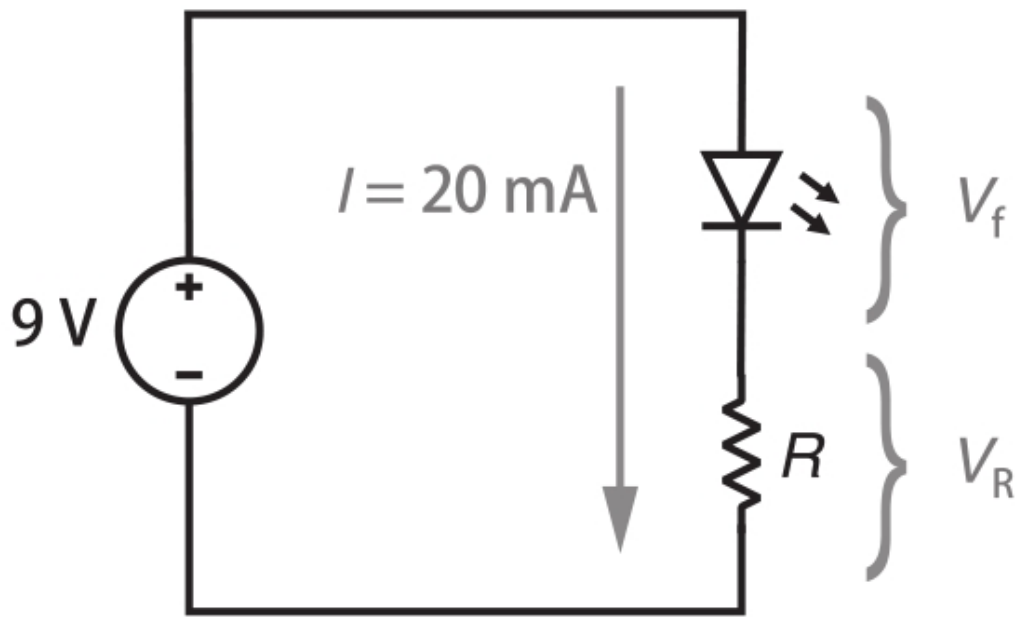


图3-17 带LED的基本电路

如图3-17所示，我们的电路包括电池、LED和限制电流的电阻。这个图还显示预期电流为20mA。

在图3-17中，我们有一个9V的电池、一个正向电压为 V_f 的LED和一个电阻值为 R 的电阻。电阻上的压降为 V_R 。请记住，电阻上的压降随着流经该电阻的电流的变化而变化，这与LED不同，LED上的压降是由其正向电压特性决定的。在前面只有一个电池和一个电阻的电路（见图3-4）中，9V全部是电阻上的压降。现在，电路中有两个电子元件连接到电池，基尔霍夫电压定律告诉我们，LED上会有部分压降，电阻承担其余的压降。提醒一下，你可以把电池看作电压提供者，而其他元件则是电压使用者。如果我们把这个应用到我们的电路（图3-17）中，则有 $V_f + V_R = 9V$ 。

$V_f + V_R$

假设我们使用的是一个正向电压为2V的标准LED，那么 $V_f = 9V - 2V = 7V$ 。现在，我们用这些电压值更新一下电路图，如图3-18所示。

R

这样便只剩下一个未知数 R ，即电阻的电阻值。我们可以用欧姆定律公式 $I=V/R$ 或 $R=V/I$ 来计算。可以得到： $R=7V/20mA=350\Omega$ 。有了这个，我们就有了确保有一定大小电流流经LED的最后一块拼图，即需要将一个 350Ω 的电阻与电池和LED连接。

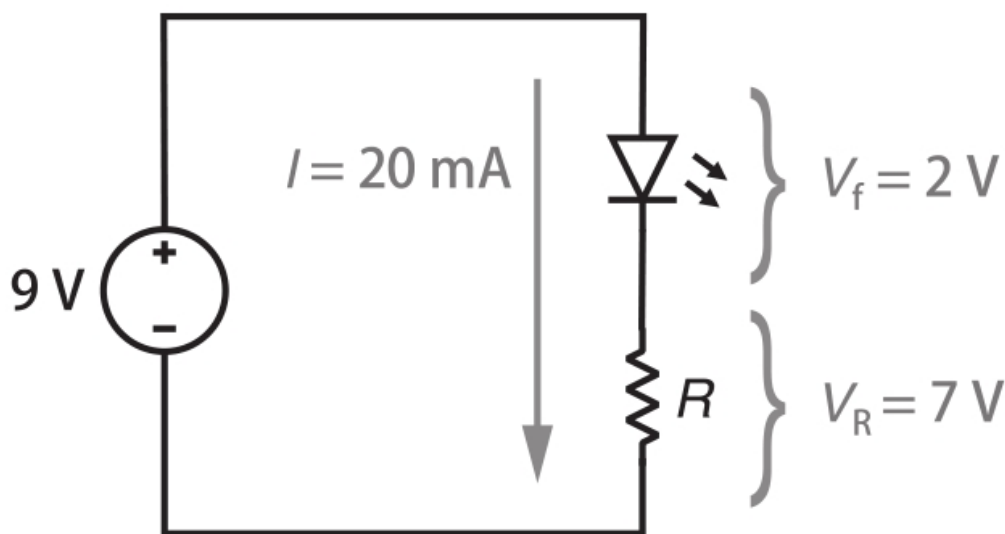


图3-18 显示压降的带LED的基本电路

注意

请参阅设计2自行搭建一个LED电路并看着它亮起来！

3.7 总结

本章介绍了电路，它是现代计算设备的物理基础。你学习了电荷、电流、电压和电阻等电学概念。我们介绍了两个支配电路行为的定律——欧姆定律和基尔霍夫电压定律。你了解了电路图以及如何搭建自己的电路。理

解电路的基础知识将有助于了解计算机工作原理。第4章介绍数字电路，它把二进制逻辑与电路结合在一起。

设计1：搭建并测量电路

现在你了解的知识已经足够你搭建自己的电路了。没有比亲自尝试更好的学习方法了！首先，你需要一些硬件，所有的硬件都可以在网上购买，如果你离实体店比较近的话，也可以在本地实体店购买。本设计和下一个设计需要的元件如下：

- 面包板（400孔或830孔模型均可）；

- 一组电阻（本设计需使用一个10k Ω 的电阻，而不是10 Ω 的电阻，电阻值太低会产生过大的电流，这会让电路变得非常热）；

- 数字万用表（用来测量电路的电压、电流和电阻）；

- 9V的电池；

- 9V电池夹连接器（这使得连接电池很简单）；

- 至少一个5mm或3mm的红色LED；

- 可选的剥线钳；

- 可选的接线夹（使用这些夹子可以更加轻松地把电池连接到面包板，或者把数字万用表连接到电路）；

- 可选的面包板跨接线（把这些连接到9V电池夹线的末端，以便更容易插入面包板）。即使使用低电压，电路元件也可能会摸上去烫手。考虑到这一点，建议在连接元件时断开电源（这里指电池），只在组装完电路后才连接电源。

得到全部元件后，就把它们连接在一起：

- 1) 把10k Ω 电阻的任一端连接到正电源列。
- 2) 把电阻的另一端连接到负电源列。
- 3) 把电池夹的红线/正极线连接到面包板的正电源列。
- 4) 把电池夹的黑线/负极线连接到面包板的负电源列。
- 5) 把电池夹连接到9V电池的末端。

9V电池夹的连线有时很容易损坏，这使得它很难插入面包板。如果你遇到这个问题，请尝试把跨接线的一端连接到脆弱的电池线，再把跨接线的另一端连接到面包板。你可以用电工胶带或接线夹（见图3-19）把两条线连接在一起，如果你知道怎么用烙铁，你甚至可以把两条线焊在一起。如果你要尝试这些方法，请注意把负极和正极的金属线部分分开，这两部分不小心连接到一起会让电池短路，这会让电线发热，并迅速耗尽电池。

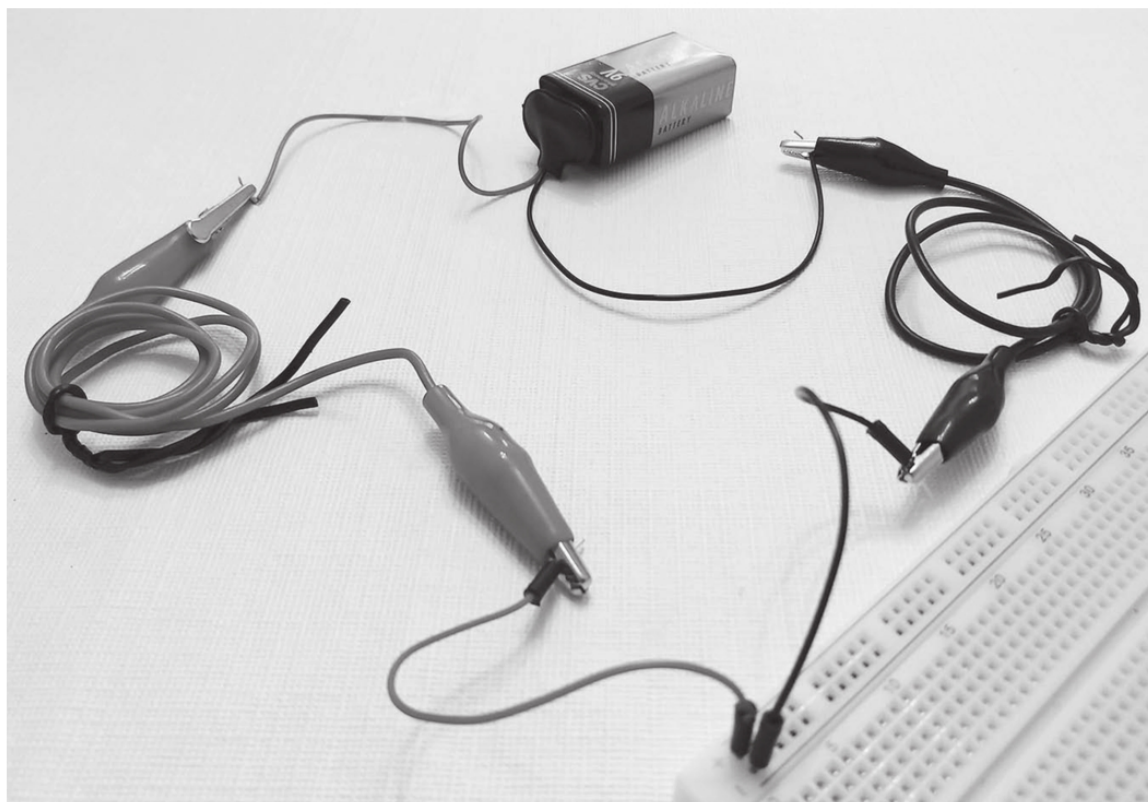


图3-19 使用接线夹和跨接线连接脆弱的9V电池夹连线

你可能好奇怎么确定电阻值。电阻采用颜色编码，条带表示乘数，颜色表示数值。网上有很多免费的电阻颜色编码计算器和图表，这里就不再赘述了。对于10k Ω 电阻，要查找条带顺序为棕色、黑色和橙色的电阻。第四个条带通常是金色或银色，表示制造商的公差，即允许的与规定值的偏差。

现在你已经搭建了自己的电路，但你怎么知道发生了什么？可惜的是，这个电路没有从视觉上表示它在工作，因此是时候拿出数字万用表来测量它的各种属性了。要使用数字万用表，需要两条测试引线（用于测量的连接线）。除非数字万用表的测试引线是硬连线，否则它可能会有两个或三个输入端来连接测试引线，如图3-20所示。

如图3-20所示，把一根引线连接到标识为COM（意为“公共”）的输入端。通常，我们把黑色引线连接到COM端。如果万用表只有两个输入端，则只需要把第二根引线（一般颜色是红色）连接到第二个输入端。三输入端的万用表通常有一个COM输入、一个大电流输入和一个小电流输入。在本设计中，需要把第二根引线连接到小电流输入端——通常会标识它所支持的各种测量类型，比如V Ω mA。一般，大电流输入端被标识为A、10A、10A MAX，这不是你要用的输入端。有些数字万用表有四个输入端，如果是这种情况，你必须用与测量电压和电阻不同的输入端来测量电流。不论使用哪种类型的数字万用表，有问题都要查阅说明书。

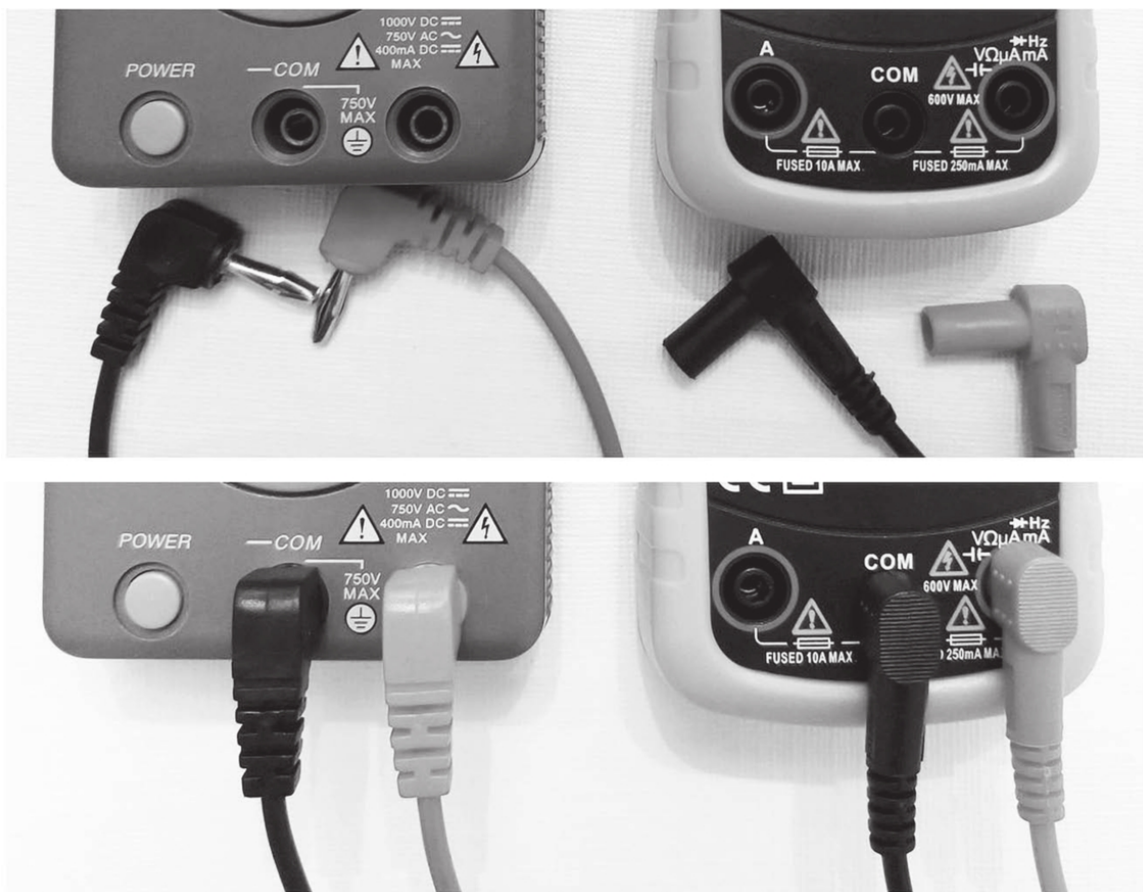


图3-20 把测试引线连接到数字万用表（左侧万用表有2个输入端，右侧万用表有3个输入端）

数字万用表会提供一种方法来选择要测量的是电压、电流还是电阻。让我们从测量电压开始。把数字万用表设置为测量电压（DC）。这可能用V和它旁边的字母DC来表示，或者你可能会在V的旁边看到一组表示DC的虚实线（波浪线表示AC）。

当你把数字万用表设置为读取DC电压后，就让两条引线分别接触电阻的两侧（金属对金属），以此来测量电阻两端的电压。请记住，始终测量的是两个点之间的电压，所以我们需要测量电阻两端的电压。由于我们用9V电池为电路供电，且唯一存在的电路元件是电阻，所以预计电压测量值约为9V。在测量过程中，你可能会注意到数字万用表显示的值不断地有些小变化（通常是右边的最低有效数字在变化）。这是数字万用表的工作方式导致的，并非万用表或电路有问题。

现在尝试交换引线，把两条引线在电阻两侧的位置互换。你会看到电压值变成了负数（如果你之前测量的是负值，那么现在就为正值）。这是因为数字万用表测量的是电势差，它把连接到COM的引线看作0V，显示的测量值是另一根引线上的电势。在图3-21中，你可以看到我的电路的电压测量值为9.56V。这是对的，因为新电池的电压一般比标注的值要略高一点。

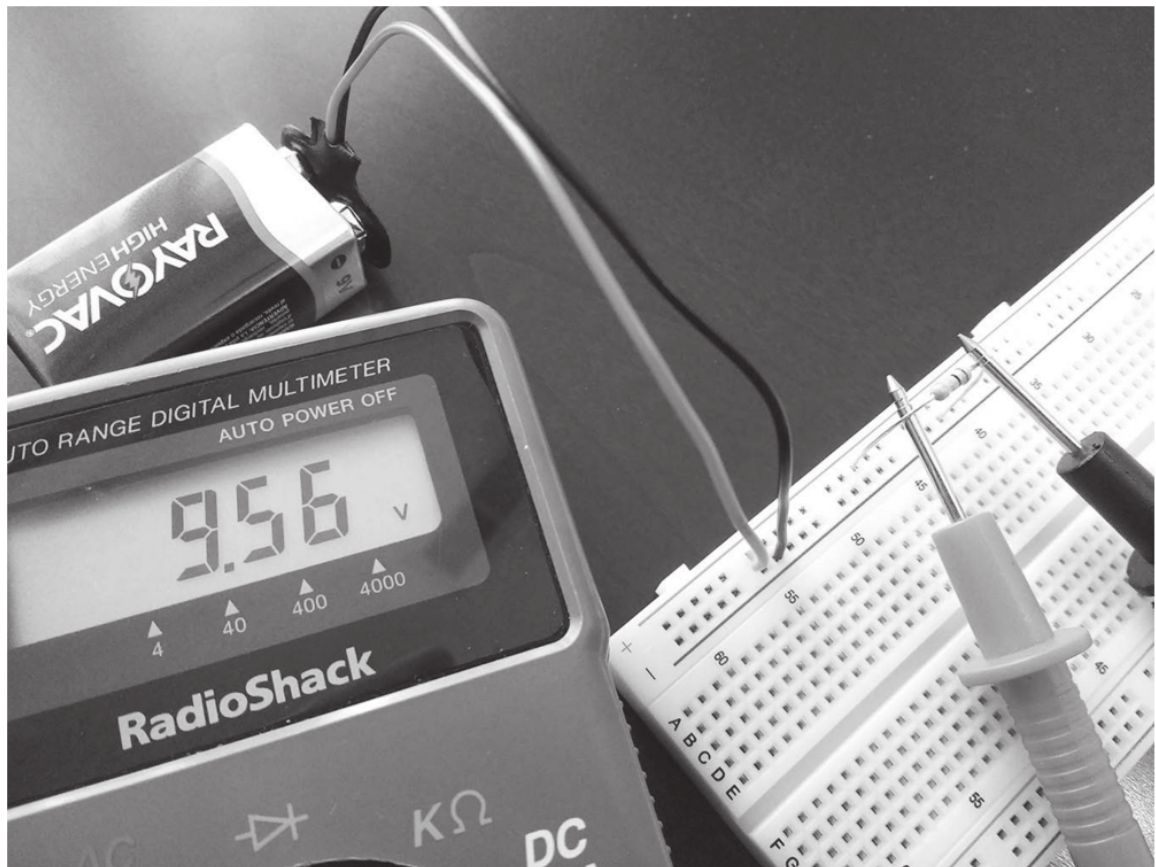


图3-21 测量电压

接下来，我们测量电阻的值。首先，将数字万用表从电路断开，以防在改变设置时意外损坏。然后，把万用表设置为测量电阻，这一项可能标记为 Ω 。在没有连接其他元件的情况下，数字万用表会在左侧显示1或OL。这意味着电阻值太大而无法显示——空气的电阻值非常高！让数字万用表的引线相互接触，则显示值应为0。要测量电阻的值，需要把它与电池断开，但是如果有帮助的话，你可以让它与面包板保持连接。为了确保读到准确的数值，要避免在测量时接触电路元件和引线的金属部分，如果接触了，

你身体的电阻可能会改变读取的值。你可以在图3-22中看到我的电阻的测量值，即9.88k Ω 。我使用的电阻有棕色、黑色和橙色条带（表示10000 Ω ），之后是金色条带（表示5%的公差），所以这个测量值看起来不错。也就是说，9.88k Ω 在10k Ω 的5%以内。

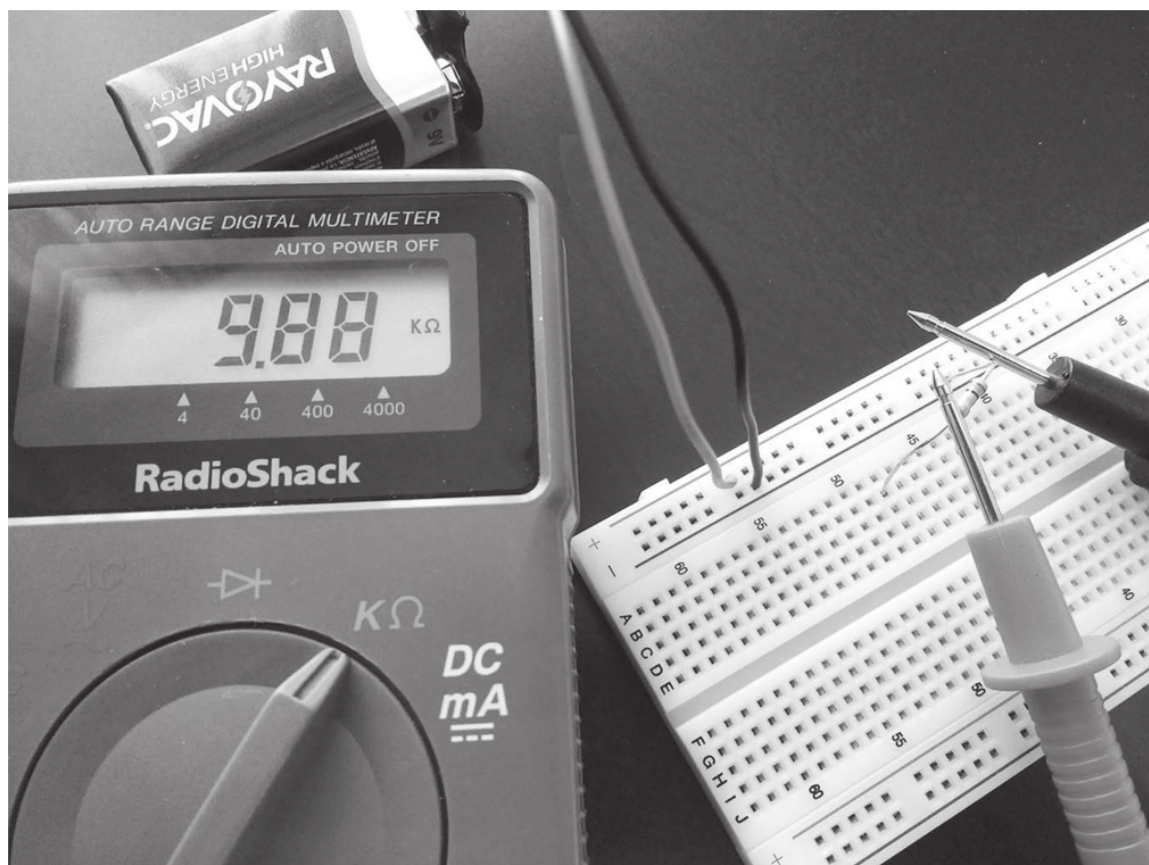


图3-22 测量电阻

到了这一步，你就知道了电压和电阻的测量值，所以可以用欧姆定律来计算预期电流了。对于我的电路，电流是 $9.56\text{V}/9880\Omega \approx 0.97\text{mA}$ 。在测量电路中的电流之前，先用测量的电压值除以测量的电阻值，这样就可以看到预期有多大的电流会流经电路。

现在，测量通过电路的电流，看看它与计算的电流有多接近。测量电流与测量电压和电阻有些不同。为了让数字万用表能测量电流，需要让电流流过万用表。换句话说，万用表要成为电路的一部分，如图3-23所示。

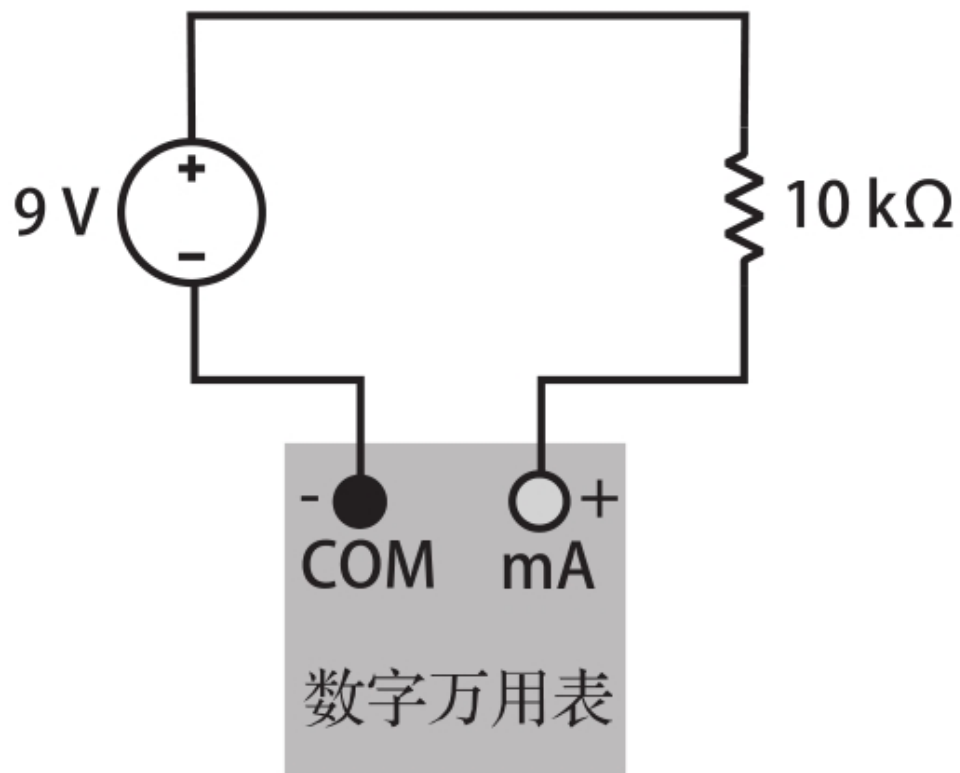


图3-23 测量电流时如何连接数字万用表

请记住，在把数字万用表设置为测量DC电流之前，要让它与电路断开。DC电流符号可能是带有DC（或一组表示DC虚实线）的A或mA。有些万用表具备独立的设置来测量DC或AC，在这种情况下，表示符号可能会同时出现一条直线和一条波浪线。在万用表正确设置后，把它连接到电路中，如图3-23所示。

希望你的测量值接近于你的计算结果。如图3-24所示，我的电流测量值为0.97mA，这与之前的计算结果一致。

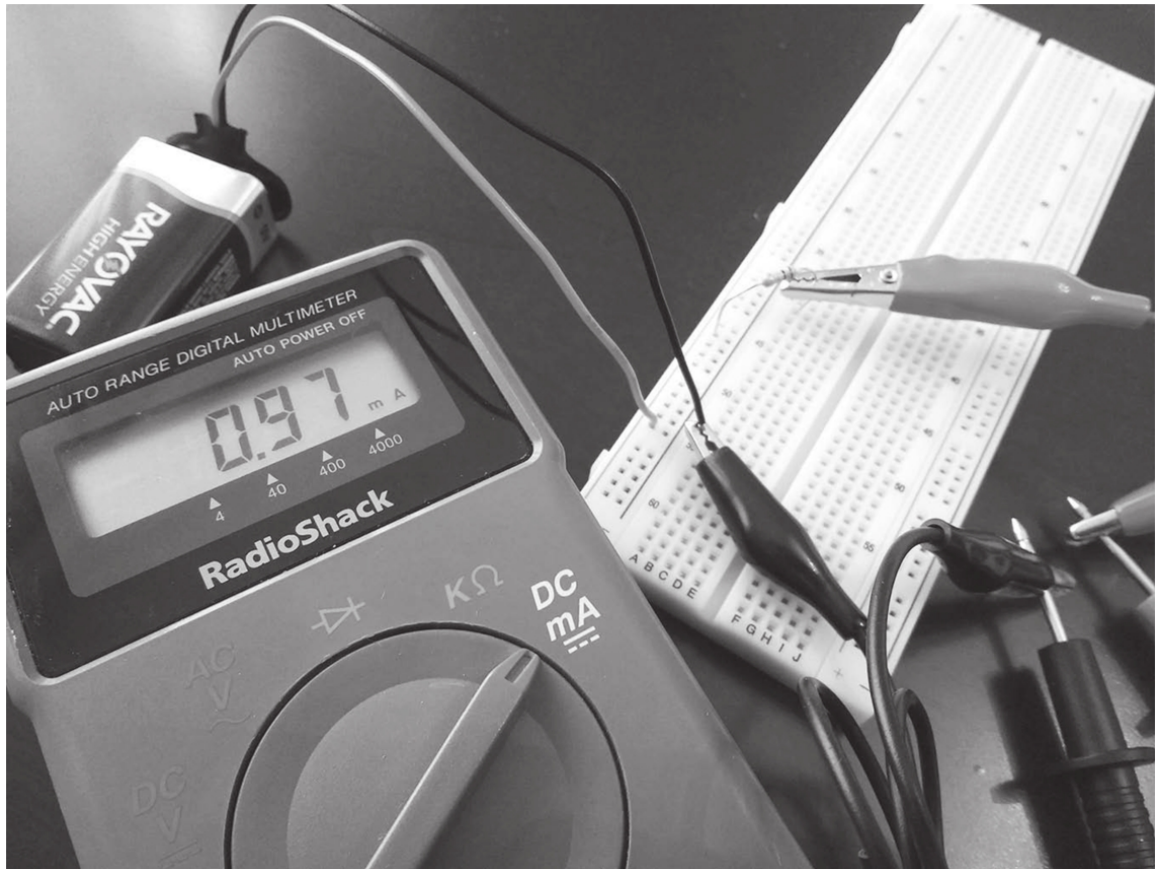


图3-24 测量电流（电阻的右边和电池的黑色线不用连接到面包板）

如果你一直动手做到这里，那么恭喜你！你刚刚搭建并测量了一个电路，至少你知道了如何搭建并测量电路。不过，你可能会觉得有点乏味。我明白这种感觉。老实说，除了优秀的教学价值之外，这个电路是有点无聊和无用！在下一个设计中，我们做一些更有趣的实践。

设计2：搭建简单的LED电路

现在来搭建一个LED电路并使它亮起来！假设你已经做过了前面的设计，知道如何将9V电池夹连接到面包板，本设计中要把10k Ω 的电阻换成更适合这个电路的电阻。根据3.6节中的计算，我们发现需要一个350 Ω 的电阻来产生20mA的电流。如果查看各种电阻，便会发现不太可能找到350 Ω 的电阻，能找到的最接近的电阻是330 Ω 的。

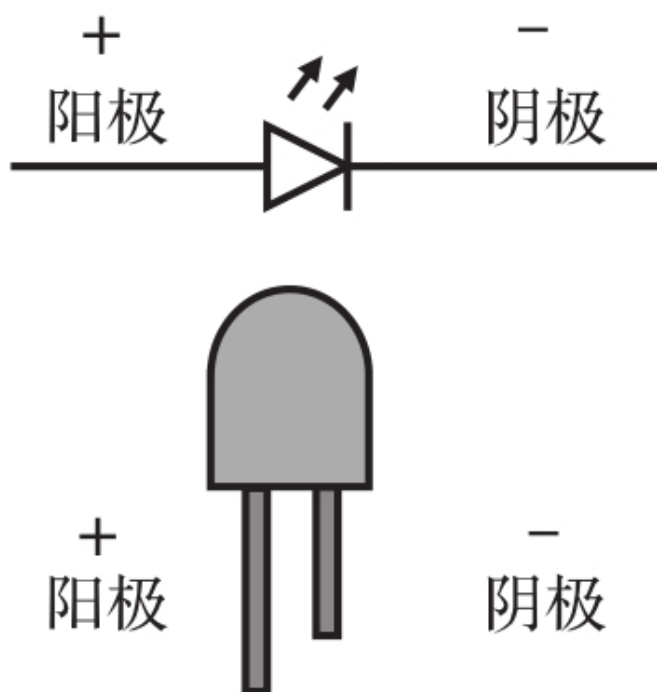
我们需要用多个电阻才能得到350Ω，但这有必要吗？330Ω是否足够接近了呢？让我们一起找出答案。如果我们保留9V的电池，并仍假设电阻两端的电压为7V，那么根据欧姆定律可知，通过电路的电流将是 $I = V/R = 7V/330\Omega \approx 21.2mA$ 。这很好，因为典型的红色LED的最大额定电流约为25mA。

值得指出的是，你购买的LED的特性可能与我描述的特性不同。如果你的LED有数据说明表，那么请检查这些规格并计算：LED实际的最大或期望电流是多少？LED的实际正向电压是多少？请注意，这通常会随着LED的颜色而变化。

在搭建电路之前，你还要了解一件关于LED的事情。电阻的电流可从任意一侧流过，但LED被设计为只允许电流沿一个方向经过，所以你需要区分LED的两端。阳极的引线一般较长，阴极的引线一般较短，如图3-25所示。电流从阳极流向阴极。

得到计算结果后，你就知道要使用的电阻是多大，按照下面的步骤连接元件，电路图如图3-26所示。

- 1) 暂时断开9V电池和面包板的连接。
- 2) 把LED的长引线连接到正电源列。
- 3) 把LED的短引线连接到负电源列。
- 4) 把电阻的一端连接到LED短引线所在行。
- 5) 把电阻的另一端连接到负电源列。
- 6) 重新把9V电池连接到面包板。



▲ 图3-25 LED的阳极和阴极