# 第二章 5 焦耳定律

## 电功和电功率

电炉通电时，电能转化为内能；电动机通电时，电能转化为机械能；蓄电池充电时，电能转化为化学能。我们已经知道，功是能量转化的量度，电能转化为其他形式能的过程就是电流做功的过程，电流做功的多少等于电能转化为其他形式能的数量。

所谓电流做功，实质上是导体中的恒定电场对自由电荷的静电力在做功。自由电荷在静电力作用下沿静电力的方向做定向移动，结果电荷的电势能减小，其他形式的能增加。

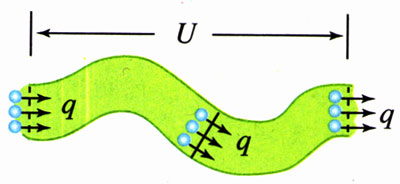
图2.5-1表示很小一段电路。电荷在做从左向右的定向移动，它们从这段电路的左端移到右端所用的时间记为*t*。根据第一节的分析，在这段时间内通过这段电路的电荷总量为

*q*＝*It*

如果这段电路左右两端的电势差是*U*，在电荷*q*从左端移到右端的过程中，静电力做的功是*W*＝*qU*。把*q*＝*It*代入，得

*W*＝*IUt* （1）

**图2.5-1 推导电流做功的表达式**



这表示，电流在一段电路中所做的功等于这段电路两端的电压*U*、电路中的电流*I*、通电时间*t*三者的乘积。

单位时间内电流所做的功叫做**电功率（electric power）**。用*P*表示电功率，则有*P*＝，进而得到

*P*＝*IU* （2）

这表示**电流在一段电路上做功的功率*P*等于电流*I*与这段电路两端的电压*U*的乘积**。

在以上两个公式中，电流、电压、时间的单位分别是安培（A）、伏特（V）、秒（s），电功、电功率的单位分别是焦耳（J）和瓦特（W）。

## 焦耳定律

电流做功时，消耗的是电能。究竟电能会转化为哪种形式的能，要看电路中具有哪种类型的元件。

只含白炽灯、电炉等电热元件的电路是纯电阻电路。电流通过纯电阻电路做功时，电能全部转化为导体的内能。电流在这段电路中做的功*W*就等于这段电路发出的热量*Q*，即

*Q*＝*W*＝*IUt*

由欧姆定律

*U*＝*IR*

代入上式后可得热量*Q*的表达式

*Q*＝*I*2*Rt* （3）

即**电流通过导体产生的热量跟电流的二次方成正比，跟导体的电阻及通电时间成正比**。这个关系最初是焦耳用实验直接得到的，我们把它叫做**焦耳定律（Joule law）**。

单位时间内的发热量通常称为热功率，*P*＝。由上式可得热功率*P*的表达式

*P*＝*I*2*R* （4）

需要特别说明的是，尽管（2）和（4）两式都是电流做功的功率表达式，但两式中“*P*”的含义是不同的。（2）式是在一般情况下推导的，没有对电路的性质做任何限制，所以（2）式中的“*P*”指电流做功的功率。但是，在推导（4）式的过程中，我们用到了“*Q*＝*W*”这个条件，它要求电流做的功“全部变成了热”，也就是电能全部转化为导体的内能。因此，（4）式中的“*P*”专指发热的功率。如果电路中有电动机或者正在充电的电池，那么电能除了转化为内能之外，还转化为机械能或化学能。因此（4）式计算的结果只是电能转化为内能的那部分功率，要计算电流做功的总功率，只能利用（2）式。

（1）（3）两式的关系与（2）（4）两式相似，同学们可以讨论。

只有在电能全部转化为导体内能的情况下，欧姆定律*I*＝才成立。

【例题1】一个电动机，线圈电阻是0.4 Ω，当它两端所加的电压为220 V时，通过的电流是5 A。这台电动机每分钟所做的机械功有多少？

【解】本题涉及三个不同的功率：电动机消耗的电功率*P*电、电动机的发热功率*P*热、转化为机械能的功率*P*机。三者之间遵从能量守恒定律，即

*P*电＝*P*热＋*P*机

由焦耳定律，电动机的热功率为

*P*热＝*I*2*R*

电动机消耗的电功率，即电流做功的功率

*P*电＝*IU*

因此可得电能转化为机械能的功率，即电动机所做机械功的功率

*P*机＝*P*电－*P*热＝*IU*－*I*2*R*

根据功率与做功的关系，电动机每分钟所做的机械功为

*W*＝*P*机*t*＝（*IU*－*I*2*R*）*t*＝（5×220－52×0.4）×60 J＝6.54×104 J

由公式*P*＝*IU*和*I*＝还可以推导出一个功率表达式*P*＝。

当电阻为*R*的电动机两端电压为*U*时，某同学用这个公式计算了它所消耗的电功率。根据这个功率表达式的推导过程，你能说明这位同学错在哪里吗？

## 问题与练习

1．在纯电阻电路中，试根据串、并联电路的电流、电压特点证明以下论断：

（1）串联电路各个电阻消耗的电功率跟它们的电阻成正比；

（2）并联电路各个电阻消耗的电功率跟它们的电阻成反比；

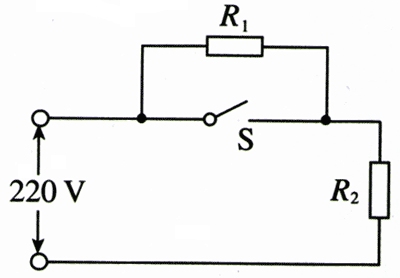
（3）串联电路上消耗的总功率*P*＝*IU*等于各个电阻上消耗的热功率之和；

（4）并联电路上消耗的总功率*P*＝*IU*等于各个电阻上消耗的热功率之和。

2．电饭锅工作时有两种状态：一种是锅内的水烧干以前的加热状态，另一种是水烧干后的保温状态。图2.5-2是电饭锅的电路图，*R*1是一个电阻，*R*2是加热用的电热丝。

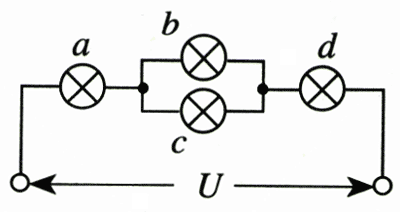
（1）自动开关S接通和断开时，电饭锅分别处于哪种状态？说明理由。

（2）要使*R*2在保温状态下的功率是加热状态的一半，*R*1∶*R*2应该是多大？



**图2.5-2 电饭锅电路图**

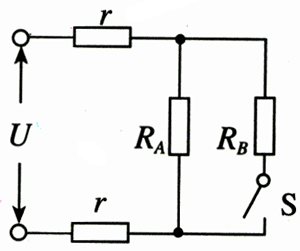
3．四盏灯泡接成图2.5-3的电路。a、c灯泡的规格为“220 V 40 W”，b、d灯泡的规格为“220 V 100 W”，各个灯泡的实际功卒都没有超过它的额定功率。请排列这四盏灯泡实际消耗功率大小的顺序，并说明理由。



**图2.5-3**

4．如图2.5-4所示，线路的电压*U*＝220 V，每条输电线的电阻*r*＝5 Ω，电炉A的电阻*R*A＝100 Ω。求电炉A上的电压和它消耗的功率。

**图2.5-4 计算电功率**



如果再并联一个阻值相同的电炉B，两个电炉上的电压和是每个电炉消耗的功率各是多少？

5．使用功率为2 kW的电加热装置把2 kg的水从20 ℃加热到100 ℃，用了10 min。已知水的比热容为4.2×103 J/（kg·℃），这个装置的效率是多大？