# 第十二章 电能 能量守恒定律

这章我们要研究的是电路中的能量是怎样转化的？用能量守恒定律推导出的闭合电路的规律是怎样的？自然界存在哪些能源？能源的利用与可持续发展有着怎样的关系？

人类的活动离不开能量。大量的事例说明，自发的能量转移或转化过程具有方向性。在能源的利用过程中，能量虽然是守恒的，但是可利用的品质降低了。为了人类的可持续发展，需要我们节约能源和保护环境。



竭泽而渔，岂不获得？而明年无鱼。

——《吕氏春秋·义赏》[[1]](#footnote-1)

# 第十二章 1 电路中的能量转化

## 问题

现代生活中随处都可以见到用电设备和用电器，例如电灯、电视、电热水壶、电动汽车等。那么，你知道这些用电器中的能量是怎样转化的吗？



## 电功和电功率

初中我们就知道，电热水壶通电时，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。电能转化为其他形式的能，是通过电流做功来实现的。

电流做功的实质是，导体中的恒定电场对自由电荷的静电力在做功。自由电荷在静电力的作用下做定向移动，结果电荷的电势能减少，其他形式的能增加。

图 12.1-1 表示一段电路，电荷从左向右定向移动，它们经过这段电路所用的时间记为 *t*。根据已学的知识，在这段时间内通过这段电路任一截面的电荷量为

*q* ＝ *It*

*U*

*q*



图 12.1-1 电路中电荷定向移动的示意图

*q*

如果这段电路两端的电势差是 *U*，静电力做的功就是

*W* ＝ *Uq* ＝ *UIt*

上式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。

电流在一段电路中所做的功与通电时间之比叫作**电功率**（electric power），用 *P* 表示，由 *P* ＝ ，进而得到

*P* ＝ *UI*

这个公式表示，**电流在一段电路中做功的功率 *P* 等于这段电路两端的电压 *U* 与电流 *I* 的乘积**。

电功率也是用物理量之比定义的物理量。

其中，电流、电压和时间的单位分别是安培（A）、伏特（V）和秒（s），电功和电功率的单位分别是焦耳（J）和瓦特（W）。

## 焦耳定律

初中我们就学过，能量在相互转化或转移的过程中是守恒的，下面我们应用能量守恒定律分析电路中的能量转化问题。

电流做功，究竟电能会转化为哪种形式的能量，要看电路中具有哪种类型的用电器。

电流通过电热水器中的电热元件做功时，电能全部转化为导体的内能（图 12.1-2）。电流在这段电路中做的功 *W*等于这段电路产生的热量 *Q*，即

*Q* ＝ *W* ＝ *UIt*



图 12.1-2 电热水器

由欧姆定律 *U* ＝ *IR*，可以得到热量 *Q* 的表达式

*Q* ＝ *I*2*Rt*

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**。这个关系式最初是由焦耳通过实验直接得到的，物理学中就把它叫作**焦耳定律**（Joule’s law）。

由于 *W* ＝ *Q*，所以此时电功率

*P* ＝＝

就是电流发热的功率

*P*热 ＝ *I*2*R*

在推导 *P* ＝ *UI* 的过程中，没有对电路的性质作任何限制，其中的电功率 *P* 是指电流做功的功率。

在推导 *P*热 ＝ *I*2*R* 的过程中，我们用到了 *W* ＝ *Q* 这个条件，它要求电流做的功“全部变成热”，其中的电功率*P*热 是指电流发热的功率。

这说明不同的运动形式在相互转化的过程中有数量上的确定关系。

## 电路中的能量转化

焦耳定律讨论了电路中电能完全转化为内能的情况，但是实际中有些电路除含有电阻外还含有其他负载，如电动机。下面我们以电动机为例，讨论一下电路中的能量转化。

### 思考与讨论

如图12.1-3，当电动机接上电源后，会带动风扇转动，这里涉及哪些功率？功率间的关系又如何？



图 12.1-3 风扇

从能量转化与守恒的角度看，电动机从电源获得能量，一部分转化为机械能，还有一部分转化为内能。设电动机消耗的功率为*P*电，电动机对外做功，输出的功率为*P*机，另外，电动机工作时自身也有能量损失，对应的功率为*P*损，它们之间满足

*P*电 ＝*P*机 ＋*P*损

设电动机两端的电压为*U*，通过电动机线圈的电流为*I*，可知

*P*电＝*UI*

电动机刚停止工作时，我们发现外壳是热的，说明工作时有电能转化为内能。设电动机线圈的电阻为*R*，可知

*P*热 ＝*I*2*R*

这说明，由于电动机线圈有电阻，所以电能除了转化为机械能之外，确实还有一部分转化为内能。电动机的转子与轴承均有摩擦，另外还有空气阻力。但若忽略这部分能量损失，只考虑线圈发热产生的能量损失，则有

*P*损＝*P*热

同样，对于正在充电的电池，电能除了转化为化学能之外，还有一部分转化为内能。

### 【例题】

一台电动机，线圈的电阻是 0.4 Ω，当它两端所加的电压为 220 V 时，通过的电流是 5 A。这台电动机发热的功率与对外做功的功率各是多少？

**分析** 本题涉及三个不同的功率：电动机消耗的电功率 *P*电 、电动机发热的功率*P*热 和对外做功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*机 ＋ *P*热

**解** 由焦耳定律可知，电动机发热的功率为

*P*热 ＝ *I*2*R* ＝ 52 ×0.4 W ＝ 10 W

电动机消耗的电功率为

*P*电 ＝ *UI* ＝ 220×5 W ＝ 1 100 W

根据能量守恒定律，电动机对外做功的功率为

*P*机 ＝ *P*电 － *P*热 ＝ 1 100 W － 10 W ＝ 1 090 W

这台电动机发热的功率为 10 W，对外做功的功率为 1 090 W。

## 练习与应用

1．试根据串、并联电路的电流、电压特点推导：串联电路和并联电路各导体消耗的电功率与它们的电阻有什么关系？

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，另一种是水烧干以后的保温状态。图12.1-4是电饭锅的电路图，*R*1是电阻，*R*2是加热用的电阻丝。

220

*R*1

*R*2

S

V

图 12.1-4

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

3．四个定值电阻连成图 12.1-5 所示的电路。*R*A、*R*C的规格为 “10 V 4 W”，*R*B、*R*D的规格为“10 V 2 W”。请按消耗功率大小的顺序排列这四个定值电阻，并说明理由。

*R*A

*R*B

*R*C

*R*D

*U*

图 12.1-5

4．如图12.1-6，输电线路两端的电压*U*为220 V，每条输电线的电阻*R*为5 Ω，电热水器A的电阻*R*A为30 Ω。求电热水器A上的电压和它消耗的功率。如果再并联一个电阻*R*B为40 Ω的电热水壶 B，则电热水器和电热水壶消耗的功率各是多少？

*R*

*R*

*R*A

*R*B

*U*

S

图 12.1-6

1. 《吕氏春秋》是中国战国末期秦国的吕不韦组织门客编写的著作。它记载了大量先秦诸子的旧闻轶说、历史故事和传说，博采众家之长，初步形成了包括政治、经济、哲学、军事等各方面内容的理论体系，具有很高的价值。 [↑](#footnote-ref-1)