第三节

能量转化的方向性

生活经验告诉我们，诸如热传递、摩擦生热等实际过程可以自发地朝某个方向进行，而它们的逆过程即使不违背能量守恒定律，也不能自发地进行。大量事实表明，涉及热现象的自然过程都有方向性。这就是说，一切与热现象有关的宏观自然过程都是不可逆的。

## 热力学第二定律

大家谈

热传递过程具有方向性，热量只能自发从高温物体传递到低温物体，或从物体的高温部分传递到低温部分。分析此说法与电冰箱的工作过程是否矛盾？

电冰箱工作时，从冰箱内部（低温）吸取热量，向冰箱外部（高温）放出热量。在这个过程中，冰箱的压缩机消耗电能做功起到“热泵”的作用，就好似通过水泵做功可以将水从低处抽送到高处一样。这个过程是不能自发进行的。

1850 年，德国物理学家克劳修斯（R. Clausius，1822—1888）意识到，有必要在热力学第一定律之外建立另一条独立的定律，以反映自然界实际过程的方向性。在大量客观事实的基础上，克劳修斯提出：不可能把热量从低温物体传到高温物体，而不引起其他变化。

这一表述被称为“**热力学第二定律（second law of thermodynamics）的克劳修斯表述**”。克劳修斯表述意味着热量从低温物体转移到高温物体的过程必然引起其他变化，即过程伴随着其他能量的转化。电冰箱、空调的工作过程需要消耗电能就说明了这一点。

图 12 – 9 热机中的能量流动

高温热源

低温热源

功

热机

热

量

流

蒸汽机、内燃机等都是利用内能做功的机械，称为热机。人类长期致力于提高热机的效率，虽然取得一定成效，但始终存在一个无法突破的极限，这是为什么呢？

从能量的观点来看，热机工作过程中，热量从汽缸内的气体（高温热源）向汽缸外的空气（低温热源）自然流动，并在此过程中分出一部分能量推动活塞对外做功（图 12 – 9）。因此，热机工作时必须有一个温差。

所以，热机总是在两个温度不同的热源之间工作，热机工作时从高温热源取得热量的过程中必然有一部分热量流到低温热源，这部分热量“浪费了”。然而，这部分热量的浪费是必要的，是为了使另一部分热量转化为功而“必须付出的代价”。正是这一原因导致了热机的效率存在极限。

19 世纪，汽车工业刚起步的几十年中，发动机效率的提升是汽车制造技术的关键，当时比较先进的发动机的效率仅为 12%~14%。目前，大部分普通家用汽车发动机的效率在 30%~35% 之间。当今最先进的汽油发动机效率可以达到 41%。

1851 年，开尔文勋爵通过对热机工作过程中能量转化的分析指出：不可能从单一热源 吸收热量并把它全部用来做功，而不引起其他变化。

这一表述常称为“**热力学第二定律的开尔文表述**”。这意味着机械能与内能的转化过程也存在着方向性。

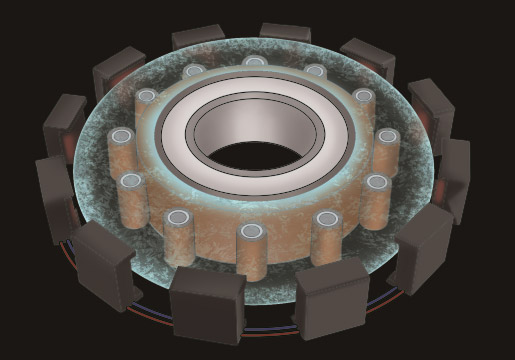


图 12 – 10 嘎姆吉的永动机

从单一热源吸热使之完全变为有用功而不产生其他影响的热机称为第二类永动机。

历史上首个试制成型的第二类永动机装置是 1881 年美国人嘎姆吉为美国海军设计的零发动机，如图 12 – 10 所示。这一装置从海水中吸热使液氨汽化，推动

拓 展 视 野

机械运转。但是这一装置无法持续运转，因为汽化后的液氨在没有低温热源存在的条件下无法重新液化，因而不能完成循环。事实上，一切第二类永动机都是无法实现的，因此，开尔文表述也可以表示成“第二类永动机是不可能制成的”。

热力学第二定律是独立于热力学第一定律之外的又一基本定律。每一个与热现象有关的宏观实际过程必须同时满足热力学第一定律和热力学第二定律。

热力学第一、第二定律都是通过对宏观实际过程的观察、思考、分析得出的。自然界中的宏观过程都具有方向性，然而逆着这种方向的过程对于生产生活和科学实践也是非常重要的，人们可以通过做功的方式来实现这些逆过程。热力学第二定律的发现为人们更好地设计和利用这些逆过程、提高能源的使用效率提供了理论依据。

## 能量的耗散与退降

大家谈

克服摩擦力所做的功可以完全变成热量，热量能不能完全转化为功呢？

汽车行驶时，汽油在汽缸中燃烧，汽缸中高温气体的部分内能转化为驱动汽车行驶的机械能。同时，另一部分内能被汽车排气管排出的废气带走，这部分内能就很难再被利用了。

在宏观过程中，机械能可以完全转化为内能而不引起其他变化，但内能却不能完全转化为机械能而不引起其他变化。所以，从机械能转化为内能时能量退降。

19 世纪中叶，物理学家研究发现，自然界发生的各种变化中，能量的总值虽然保持不变，但是能量可被利用的价值却越来越小，即能量退降了。

能量退降是自然界中的宏观过程方向性的体现，是热力学第二定律的必然结果。能源被利用时，虽然能量不会减少，但能量退降了。煤炭、石油、天然气等能源被利用时，由于能量退降，可被利用的价值减少，所以我们要节约能源。

**问题 思考**

**与**

1. 有同学把热力学第二定律理解为“功可以全部转化为热量，但热量不能全部转化为功“，或“热量能从高温物体传到低温物体，但不能从低温物体传到高温物体”。这些理解对吗？为什么？
2. 根据热力学第二定律解释以下过程能否发生。

（1）打开杯盖后，杯中的茶水会自动变得更热。

（2）蒸汽机把蒸汽的内能全部转化成机械能。

（3）空调通电后热量从温度较低的室内流向温度较高的室外。

1. 判断下列过程是否可逆。

（1）密闭容器内有一隔板把容器均匀分为两半，一半充有气体，另一半被抽成真空。突然把隔板抽去，气体将均匀地充满整个容器。

（2）将汽缸内的活塞缓慢拉开，使缸内气体体积增大一倍。

1. 把一个被压瘪的乒乓球浸入开水中即可重新鼓起来。这一过程中，乒乓球是否从单一热源吸热对外做功？这违反热力学第二定律吗？简述理由。
2. 判断以下关于利用海水内能做功的说法是否违反热力学第二定律，并简述理由。

（1）将海水温度降低时放出的热量全部用来做功。

（2）利用海洋中不同深度处海水温度的差异将海水的内能变成功。

### 本节编写思路

本节通过已学习的能量转化具有方向性这一观点，建立热力学第二定律和能量耗散与退降的观念。

通过电冰箱工作可以把热量从低温环境转移到高温环境实例的讨论，引出热力学第二定律的克劳修斯表述；再通过对热机工作原理的阐述和热机工作效率的分析，引出热力学第二定律的开尔文表述；最后通过生活中能量转化的实例分析能量转化的方向性，进而提出能量的耗散与退降的观点。

在学习过程中，要体验从物理学的视角对客观事物的本质、规律和相互关系进行分析思考、推理论证进而得出结论，并提出创造性的见解；养成保护环境、推动可持续发展的社会责任意识。

### 正文解读

此处设置“大家谈”是提出问题让学生在“热传递具有方向性”和“电冰箱工作过程”的矛盾中进行思考和讨论，引出热力学第二定律的克劳修斯表述。

用电冰箱工作这一典型例子来说明热力学第二定律的克劳修斯表述是最直观的。冰箱虽然把热量从低温的冰箱内部传到了外界的空气中，但这不是自发的，而是由压缩机工作实现的，如果没有压缩机做功，冰箱就不可能制冷，即不能把热量从冰箱内的低温处传到冰箱外的高温处。

通过对热机的效率存在极限的讨论，分析蒸汽机、内燃机等热机的工作原理，引出下文。

通过对热机工作原理的分析与阐述，引导学生理解热力学第二定律的开尔文表述，进一步提升能量（转化规律）观念。热机工作时由于处于高温状态，必然会向周围环境散热；另外，热机工作时的机械摩擦也会损失一部分热量；还有更重要的部分是热机工作时需要把燃烧后的废气排出，排出的废气会带走大量的热量。因此，热机工作时不可能把燃料燃烧产生的内能全部转化为机械能。

此处设置“拓展视野”是为了让学生简单了解违反热机工作原理的第二类永动机的设计及其运转的失败，从而说明热力学第二定律开尔文表述的正确性。

此处设置“大家谈”是为了让学生复习上述热力学第二定律的内容，同时为阐述能量的耗散与退降做铺垫。

参考答案：克服摩擦力做的功可以完全转化为热量。根据热力学第二定律的开尔文表述，要利用某一热源的热量对外做功，必须有部分热量流到低温热源，这部分热量是必须损失的。因此，热量不能完全转化为功。（这里阐述的是热机工作原理，是循环过程。如果有人提出“理想气体等温膨胀过程，气体吸收的热量全部用来对外做功”这一问题，则应说明这个过程不是循环过程，与热机工作过程进行比较是不合适的）

此处要让学生明白，正是因为内能无法 100 % 转化为机械能，所以能量转化是有方向性的，能量在转化过程中可利用的价值将减小。学生要结合必修教科书中学习的内容，搞清楚能量和能源是两个不同的概念，树立节约能源、可持续发展的社会责任意识。

### 问题与思考解读

1．参考解答：① 功可以完全转化为热量，但根据热力学第二定律，热机工作（循环过程）时热量要转化为功会引起其他变化，要损失部分热量，所以第一个理解正确。② 根据热力学第二定律的克劳修斯表述，热量可以从低温热源传到高温物体，只是需要外界做功而消耗其他能量，所以第二个理解错误。

命题意图：通过对这两个问题的辨析巩固对热力学第二定律内容的理解。

主要素养与水平：能量观念（Ⅰ）。

2．参考解答：（1）不会发生。通常环境温度比茶水温度低，打开杯盖后，根据能量转化的方向性，热量只会从茶水自发地传向周围环境。如要使茶水变得更热，必须对茶水传递热量或消耗其他能量来对它做功。

（2）不会发生。根据热力学第二定律的开尔文表述，蒸汽机做功必定有部分能量传到低温热源而不能全部用来转化为机械能。

（3）可以发生。根据热力学第二定律的克劳修斯表述，只要空调压缩机消耗电能做功，热量可以从温度较低的室内流向温度较高的室外。

命题意图：学会运用热力学第二定律的基本观点分析生活中的实际问题。

主要素养与水平：能量观念（Ⅰ）；科学推理（Ⅱ）。

3．参考解答：（1）此过程不可逆。这一过程是气体的自由膨胀，具有方向性，若要让气体回到原来的半个容器中，需要外界对其做功，但不能自发进行。

（2）此过程可逆。原来体积增大过程是气体对外做功的过程。现在缓慢压缩气体使其恢复原来的体积是活塞对气体做功的过程。

命题意图：通过运用热力学第二定律对问题的分析和推理，了解某些热力学过程的不可逆性。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）。

4．参考解答：乒乓球不是从单一热源吸收热量对外做功，故不违反热力学第二定律。因为乒乓球内部气体受热升温压强增大，对外膨胀做功，使乒乓球重新鼓起来，在这个过程中，有能量传到低温热源——乒乓球内部的气体温度升高内能增大，所以它不是把吸收的热量全部用来对外做功，此过程不违反热力学第二定律。

命题意图：学会运用热力学第二定律的基本观点分析生活中的实际问题。

主要素养与水平：模型建构（Ⅱ）；科学推理（Ⅱ）。

5．参考解答：（1）违反热力学第二定律。根据热力学第二定律的开尔文表述，利用海水降温放出的热量对外做功必定需要低温热源，让部分热量传到低温热源处，故不能把热量全部用来做功。

（2）不违反热力学第二定律。因为“不同深度海水温度的差异”满足了有高温热塬（温度较高的海水）和低温热源（温度较低的海水）。高温海水的内能一部分用来对外做功，另一部分内能传给了低温海水。

命题意图：学会运用热力学第二定律的基本观点分析科技生产中的实际问题。

主要素养与水平：能量观念（Ⅱ）；科学推理（Ⅱ）。