

# 卡诺定理的发现以及它的研究方法

秦允豪

(南京大学物理系)

萨蒂·卡诺 (Sadi Carnot) 1796年6月1日生于法国,其父拉扎尔·卡诺 (Lazare Carnot 1753—1823年)是法国大革命的组织者之一,拿破仑时期的天才将领,也是一位在力学方面作出贡献的科学家,对卡诺一生颇有影响<sup>[1]</sup>。卡诺学过军事工程,是位工程师,曾数次在军队中供职,亲身参加过战斗,但这些经历没有影响他对蒸汽机和热学理论的研究兴趣。

卡诺唯一发表的著作是1824年出版的118页的小册子《关于火的动力的研究》(Réflexions sur la puissance Motrice du feu),书中提出了卡诺热机及卡诺定理。

1832年8月24日,卡诺死于霍乱。按常规处理,其遗物包括几乎所有的研究资料均被烧毁。

十八世纪末及十九世纪初,欧洲蒸汽机的效率只有3—5%,许多工程师曾以毕生精力研究蒸汽机。卡诺对工业发展各方面都很关心,经常访问工厂、工场,也研究过政治经济学。经过广泛的社会经济调查后,他认识到对蒸汽机进行热学理论研究的重要性。

卡诺的研究方法不同于其它工程师。他将许多复杂因素交织在一起的蒸汽机置于纯粹的理想状态下,简化复杂因素,纯化主要因素,以理想化热机代替实际的蒸汽机。

卡诺最早的研究工作见于1823年写的未发表的21页手稿。文中把蒸汽机中热学过程简化为:蒸汽机进入汽缸后的等温膨胀、绝热膨胀及在冷凝器中的等温压缩过程。他知道当工作物质不能回到锅炉温度时,整个过程是不完全的。

1824年,他的《关于火的动力的研究》一书出版。他在扼要地叙述了蒸汽机在工业、经济

上的重要性后,认为如果有条件从热中获得动力,就能利用热的原理来改进热机。要进行理论研究必须解决两个重要问题:(1)热所产生的动力是有限的还是无限的?能否无限地改善热机?(2)是否存在比蒸汽更优越的工作物质?这两个问题的解决将有助于从理论上对改进蒸汽机作出指导。卡诺在一开始接触问题时,就站在很高的高度上对全局作了一个估计。

卡诺为解决这两个问题提出了以下三个前提:一是永恒运动的不可能性,即永动机是不可能存在的。他父亲早就指出了这一点,而卡诺更深信它的重要性和正确性。二是用“热质说”作为研究热现象的理论根据。在该书中,热总是被看作一种无质量的、从高温物体流向低温物体的流体。正如水能推动水轮机产生动力一样,蒸汽机中热质的流动也能释放出热动力,其大小必然依赖于流过的热质及温度差。

卡诺的第三个前提是他在描述蒸汽机时所引入的两个热力学基本概念:完备性与可逆性。他在1823年所提出的蒸汽机三个过程的基础上再加上一个绝热压缩过程,从而构成一个循环,后人称之为卡诺循环。他认为循环完成后,热机和工作物质都回到初始状态,而且在吸放热量与动力之间有一确定关系,不必对循环的每一步进行详细的计算,因而是完备的。卡诺又设想了这一循环的可逆性。他假定循环的每一步都是可逆的,整个机器也是可逆的。按逆过程运转即构成一制冷机,它吸放的热量与动力之间的确定关系都与热机一一对应相等。

在以上三个前提的基础上,卡诺将正、逆转的两个可逆卡诺热机联运。按完备性与可逆性的假定,联合热机应对系统、媒质都不产生任何影响。他又假设还存在某种热机,它的效率比

可逆卡诺热机更高,如果将它正向运转,并和另一反向运转的可逆卡诺热机联运,那么将有无限的动力输出,于是产生了永恒的运动.而这与第一个前提是相违背的,从而说明这种比可逆卡诺热机效率更高的热机是不存在的.由此卡诺得出结论:工作于相同高温及低温热源之间的所有热机中,以可逆卡诺热机效率最高.这就是“卡诺定理”.因为上述证明中没有附加工作媒质的条件,所以卡诺确认,使用不同气体作为可逆卡诺热机的工作物质,所产生的动力应相等.

卡诺的《关于火的动力的研究》一书出版后,并未象他想象的那样得到很高评价.至于他的关于提高热机效率的一些建议,如绝热膨胀、增加温度差、避免热损失等,则是当时的许多工程师都早已知道的.

虽然该书是关于蒸汽机的著作,但卡诺的最大贡献还是他在热学理论上所进行的全新的、具有深远意义的探讨.可惜当时科学界仍然对此没有反响.原版书到1835年还未销完.1834年克拉佩隆(Clapeyron 1799—1864年)发表了一篇文章来重新阐述《关于火的动力的研究》.他保留了卡诺的前提、推论与结论,但在重点与风格上都作了重大修改.他用更为简明的 $p$ - $V$ 图来表示卡诺循环,用理想气体代替蒸汽来计算曲边四边形面积所表示的功.如此简明的介绍仍未被重视.1845年亥姆霍兹(Helmholtz 1821—1894年)也曾提到过卡诺.直到1848年,开尔芬勋爵(威廉·汤姆逊)[Kelvin Lord (William Thomson) 1824—1907年]出版一系列文章为卡诺的工作作了辩护,并在同一年利用卡诺循环导出热力学温标;1849年他又发表了《由勒尼奥(Regnault 1810—1878年)<sup>1)</sup>的实验得出的数字结果对卡诺的热动力理论的说明》一文<sup>2)</sup>,卡诺的杰出贡献才被众人所知.1850年克劳修斯(Clausius 1822—1888年)不仅证明了卡诺理论的正确性,而且修正了在卡诺循环中没有热被消失这一错误观点,他指出这部分消失了的热已转化为功.同年克劳修斯在卡诺定理的基础上提出了热力学第二定律.

1851年开尔芬提出了第二定律的另一种表述.

卡诺完全可以创立热力学第二定律,正如恩格斯所说<sup>3)</sup>:“他(卡诺)差不多已经探究到问题的底蕴,阻碍他完全解决这个问题的,并不是事实材料的不足,而只是一个先入为主的错误理论.”这个错误理论就是“热质说”.

认为热是物质的说法最早见于古希腊的德谟克里特(Democritus 前460—371年)等的著作中,在近代又受到伽桑狄(Gassendi 1592—1665年)的支持<sup>4)</sup>.十八世纪中叶以后,“热质说”逐渐占了统治地位.虽然“热质说”理论的本身是错误的,但在当时确能利用它来简易地解释不少热学现象,对科学发展起了推动作用.在“热质说”理论的指导下,布拉克(Black 1728—1799年)发现了比热和潜热,受到布拉克辅导的瓦特(Watt 1736—1819年)从理论上分析了蒸汽机的主要缺陷,从而改进了蒸汽机;傅里叶(Fourier 1768—1830年)于1822年在《热的分析理论》一文中建立了热传导理论.同样在1824年以前,卡诺从“热质说”出发,对热机进行了科学探讨,从而得出他的科学结论,即卡诺定理.

但不久卡诺便对“热质说”开始怀疑了.他逝世后,他弟弟并不理解幸存下来的残缺不全的手稿及图纸的重大科学价值,直到1878年才写了有关卡诺的回忆录,并发表了这些原始资料.从这些资料中得知,卡诺在1830年就意识到“热质说”的虚妄,最后终于相信热的动力学理论的正确性.他曾经写道:“热不是别的什么东西,热来源于动力,或者说是改变了形式的运动.”<sup>5)</sup>他认定当物体的动力消失时,必定同时有热产生,其量与消失的动力精确地成正比.为了确定这一比值,卡诺准备测量液体中摩擦生热所引起的温度变化,其中某些设想与二十年后焦耳(Joule 1818—1889年)的实验几乎完

1) 勒尼奥是巴黎综合技术学校和法兰西学院教授.他在进行仔细的测量工作时表现出惊人的毅力和技巧.他的关于弹性流体的膨胀、关于蒸汽的弹力、关于水的蒸发热、关于水在不同温度下的比热等数据表都是第一流的.但他缺少创造的才能,而有这种才能的人不仅能够做实验,而且能把理论科学上的重大问题<sup>2)</sup>.

全一样。可以想象,卡诺若不是过早逝世,他在热学上会作出更大的贡献。

卡诺的一生是短暂的,从事科学研究的岁月更短。他能作出不朽贡献的原因之一,是他善于采用科学抽象的方法。他能在错综复杂的客观事物中建立理想模型。在抽象过程中,把热机效率的主要特征以纯粹理想化的形式呈现出来,从而揭示了客观规律性。正如恩格斯所说:“他撇开了这些对主要过程无关重要的次要情况而设计了一部理想的蒸汽机(或煤气机),这样一部机器就象几何学上的线和面一样是决不能创造出来的。但是他按照自己的方式起了象这些数学抽象所起的同样的作用,他表现纯粹的、独立的、真正的过程。”<sup>[3]</sup>卡诺热机与其它理想模型诸如质点、刚体、理想流体、绝对黑体、理想溶液一样都是经过高度抽象的理想客体。它不能为感觉所直接感知,但又是客观事物的一种反映。它能最真实、最普遍地反映出客观事物的本质特征。

卡诺能作出杰出贡献的原因之二,是他研究问题时采用了“宏观”方法。这里的“宏观”不是指研究对象是宏观的物理系统,而是指研究者考虑问题的范围不是局限于研究对象或研究领域本身,而是把它扩大为与研究对象有千丝万缕联系的其它部份或其它领域。任何事物、任何学科及其分支不仅有它自身的特殊规律,同时也服从某些普遍规律。采用“宏观”与“微观”相结合的研究方法,特别是在一开始就注意用“宏观”方法考虑全貌,不仅有助于较快的抓住事物本质,发现事物本身的规律,而且也可能从事物的相互联系中发现更大范围或其它领域所适用的规律。卡诺就善于采用“宏观”研究方

法。可以设想,卡诺如果就事论事去研究蒸汽机,其成就最多只能对蒸汽机作些改进。但是他在接触题目时就站在尽可能的高处,鸟瞰全局,把握住问题的本质。他所提出要解决的问题不仅具有纲领性,而且具有足够的普遍性,因而远远超出蒸汽机的范围,甚至已接近于发现自然界普适的基本规律。

“宏观”研究方法应用于热学领域中就体现为热力学思想。热力学是一门宏观理论。热力学第一、第二、第三定律是无数经验的总结,它们具有高度的可靠性与普遍性。以它们为基础建立起来的热力学基本规律,只要在其中不加上其它假设,也具有同样的可靠性与普遍性。正如爱因斯坦(Einstein 1879—1955年)在1949年所说:“一个理论,如果它的前提越简单,而且能说明各种类型的问题越多,适用的范围越广,那么它给人的印象就越深刻。因此,经典热力学给我留下了深刻的印象。经典热力学是具有普遍内容的唯一的物理理论,我深信,在其基本概念适用的范围内是绝不会被推翻的。”<sup>[4]</sup>

正因为热力学是唯一具有普遍内容的物理理论,所以热力学是“宏观”研究方法的最突出的例子,热力学思想就是它的核心。卡诺是具有深刻的热力学思想的杰出的科学家之一。

## 参 考 文 献

- [1] C. W. F. Everitt, Dict. Sci. Biogr. Chares Scribner's Sons., New York, Vol III, 79—83.
- [2] 弗·卡约里(Florian Cajori)著,戴念祖译,物理学史,内蒙古人民出版社,(1981),194—196,199,201—202,208—214.
- [3] 恩格斯,自然辩证法,人民出版社,(1971),93,207.
- [4] C. Kvitel 著,张福初、梁民基译,热物理学,人民教育出版社,(1981),1.

(上接第 747 页)

- [3] M. Lenzlinger et al, *J. Appl Phys.*, 40(1969), 278.
- [4] 王守武、马俊如,电子科学技术, No. 1 (1978), 11—16.
- [5] J. T. Wallmark, *Solid State Devices* (1974), Conference Series Number 25, The Institute of Physics, London and Bristol, 133—166.
- [6] J. T. Wallmark, *IEEE Trans. Electron Devices*

- ED-26-2 (1979), 135—142.
- [7] G. R. Brewer, *Electron Beam Technology in Microelectronic Fabrication*, Academic Press, (1980), 61—78.
- [8] Ref. [5]
- [9] R. W. Keyes, *Proc IEEE*, 63-5(1975), 740—767.
- [10] *ibid.*