



全国高等师范专科学校教材

# 普通物理·热学

王正清 主编

高等教育出版社

(京)112 号

## 内 容 简 介

本书是王正清教授主编的《普通物理学》的“热学”分册。它是根据国家教委师范司1989年颁布的二年制师范专科学校物理专业教学大纲的基本要求，为适应当前师范专科学校普通物理学教学及培训在职初中物理教师的需要而编写的。

本书试图同时并用宏观和微观两种描述方式，在热学教材体系上作了一些新探索。考虑到本书的对象是未来的（或在职的）初中物理教师，编者特别注意联系初中物理教学实际和农村生产生活实际，例如介绍了农业气象知识等等。另外，为加深对物理概念的理解，书中还编了一些小实验和小制作。习题和思考题也作了一些更新。

本书可作为师专物理专业的教材，亦可供教育学院等其它院校的有关师生及广大初中物理教师参考。

全国高等师范专科学校教材

### 普通物理·热学

王正清 主编

王正清 严仲强 李若由 编

\*

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

\*

开本850×1168 1/32 印张 10 字数 250 000

1992年9月第1版 1992年9月第1次印刷

印数0001—1 140

ISBN7-04-003921-4/O·1142

定价3.35元

## 前 言

为了适应二、三年制师专普通物理教学改革及培养 90 年代面向广大农村初中物理教师的需要，在国家教委 1988—1990 年师专教材统一规划的基础上，高等教育出版社组织编写了一套师专普通物理教材，本书是其中的一本。它是根据国家教委师范司 1989 年颁布的二年制师范专科学校物理专业教学大纲的要求编写的。在编写过程中，我们努力从物理现象和实验事实出发，阐明基本的物理概念和物理思想，加强物理基础；重视联系中学实际，重视物理知识的实际应用，适当介绍一些科学技术新知识，以拓宽学生的知识面；注意培养学生的科学思维方法，提高分析问题和解决问题的能力；努力加强启发性，激发读者学习兴趣，增强学习物理的自觉性；力图用辩证唯物主义观点阐明教材内容，注意爱国主义教育。对于这些，我们作了一些努力，但限于水平，很难完全达到要求，书中定会存在一些缺点和错误，衷心希望使用本书的同志给予批评指正，使之逐步提高和完善起来。

在本书中，我们不采用将宏观描述和微观描述截然分开的讲述方式，而试图同时并用这两种描述方式。这样做会有以下好处：第一，从一开始就注意用分子动理论的观点解释宏观规律，有助于对宏观规律的深入理解；第二，按分子动理论的观点来理解宏观的物理概念和规律，更富于启发性，有助于认识其本质；第三，这也是对思想方法的有益训练。考虑到我们培养的目标是初中物理教师，在编写过程中，我们认真注意到热学在农村的实际应用，例如柴油机和农业气象等。为了贯彻少而精的原则，打 \* 号的章节可酌情删减，某些必要的补充知识我们用小字编排，

并试编了一些阅读材料。为了加深对物理概念的理解，学练结合，我们将练习题与思考题一并编排在每节后面，并尝试着编了一些小实验和小制作，引导读者自己动手实验，提高自制教具、学具的能力。本书采用1988年全国自然科学名词审定委员会公布的新订物理学名词，并按国际单位制符号进行叙述和运算。

本书共分九章，绪论及第一、二章由王正清执笔，第四、五、六、七章由严仲强执笔，第三、八、九章由李若由执笔，全书由王正清统稿。

本书承蒙镇江师专刘昌年、北京大学包科达和九江师专王贵生诸位教授详细审阅，并提了许多中肯的意见，高等教育出版社钟金城同志，对全书作了大量细致的编辑工作。对以上各方面的热情帮助，编者在此表示衷心的感谢。

编者谨识

1991年8月

# 目 录

绪论 .....	1
<b>第一章 温度和理想气体的状态参量 .....</b>	<b>8</b>
1.1 热力学平衡态和热平衡 温度和温标 .....	8
阅读材料 温度对农作物生长发育的影响 .....	17
小实验 简易温度计的制作 .....	18
1.2 气体动理论基础 .....	19
小实验 简易布朗运动实验 .....	24
1.3 统计规律性 .....	25
1.4 理想气体状态方程 .....	31
1.5 理想气体的压强 .....	38
1.6 温度的微观解释 .....	44
<b>第二章 热力学第一定律 .....</b>	<b>50</b>
2.1 热力学过程 功 .....	50
2.2 内能 .....	56
2.3 热量 热传递 .....	59
阅读材料 热管及其应用 .....	65
小实验 金属是热的良导体 .....	67
小实验 气体的对流 .....	68
2.4 热力学第一定律 .....	69
2.5 热容 .....	73
小实验 测定电热杯的效率 .....	79
2.6 理想气体的内能和热容 .....	81
2.7 理想气体的几种热力学过程 .....	87
<b>第三章 热力学第一定律的应用 .....</b>	<b>99</b>
3.1 循环过程 热机效率 .....	99
3.2 实际热机的循环 .....	105

阅读材料 热机的污染和环境保护 .....	111
3.3 制冷机 .....	114
*3.4 伏打电池 .....	118
*3.5 热电现象和磁热现象 .....	121
阅读材料 太阳能热动力装置 .....	125
<b>第四章 热力学第二定律 .....</b>	<b>128</b>
4.1 可逆过程与不可逆过程 .....	129
4.2 热力学第二定律 .....	130
4.3 卡诺定理与卡诺循环 .....	137
4.4 热力学温标 绝对零度 .....	141
4.5 熵 熵增加原理 .....	147
阅读材料 熵增加原理在工程上的应用 .....	157
4.6 熵的统计意义 .....	161
<b>第五章 气体分子按速率和能量的统计分布 .....</b>	<b>164</b>
5.1 统计规律与涨落 .....	164
小实验 自制伽耳顿板 .....	166
5.2 麦克斯韦速率分布律 .....	167
5.3 玻耳兹曼分布律 .....	178
阅读材料 星体表面的大气蒸发 .....	181
5.4 能量均分定理 .....	184
<b>第六章 气体的输运过程 .....</b>	<b>191</b>
6.1 气体分子的平均自由程 .....	191
小实验 模拟气体分子间的碰撞 .....	196
6.2 粘滞现象的宏观规律及微观解释 .....	197
小实验 观察气体的粘滞现象 .....	200
6.3 热传导现象的宏观规律和微观解释 .....	201
6.4 扩散现象的宏观规律和微观解释 .....	204
*6.5 稀薄气体 .....	207
阅读材料 耗散结构 .....	209
<b>第七章 实际气体 .....</b>	<b>212</b>

7.1	实际气体的等温线	212
7.2	范德瓦耳斯方程	217
7.3	焦耳-汤姆孙效应	226
*7.4	气体的液化 低温的获得	229
	阅读材料 低温物理现象	232
<b>第八章</b>	<b>凝聚态物质</b>	<b>234</b>
8.1	晶体的宏观特征及微观结构	235
	阅读材料 固体表面现象	241
8.2	固体的热膨胀和热容	244
	小实验 仓库报警器	249
8.3	液体的微观结构和热性质	251
	阅读材料 液晶	254
	小实验 水体积随温度变化的观测	256
8.4	液体的表面张力	258
	小实验 观察表面张力现象	263
8.5	润湿现象和毛细现象	265
	小实验 表面张力系数的测定	271
<b>第九章</b>	<b>相变</b>	<b>273</b>
9.1	相变 一级相变的特征	273
9.2	气液相变	276
9.3	克拉珀龙方程	283
	小实验 研究沸点和压强的关系	287
9.4	固液相变	288
9.5	固气相变	293
*9.6	大气中水汽的变化	297
	阅读材料 天气预报词汇	301
	阅读材料 农业气象	302
	小实验 粗略测定露点与空气相对湿度	304
	习题选答	306

# 绪 论

## 一、热学的研究对象

当物体的冷热程度发生变化时，物体的状态和性质也将发生变化。例如，物体受热后体积膨胀；水加热到  $100^{\circ}\text{C}$  会变成水蒸汽，而冷却到  $0^{\circ}\text{C}$  又会结成冰；机械零件经过淬火（烧热后放入水中或油中迅速冷却）会变硬，而将零件退火（让其缓慢冷却）又会变软；导线受热电阻会变大。这些与物体冷热程度有关的物体状态和性质的变化统称为热现象。热现象与工农业生产、科学技术、日常生活都有密切的联系。

例如，农民在早春季节培育秧苗时，为了保护娇嫩的秧苗夜间不被寒流冻坏，傍晚向秧田里多灌些水，由于水的比热容大，气温降低时秧田温度不会降低太多。早晨再把秧田里的水放出一部分，可以使秧苗在阳光照射下，温度上升得快一些、高一些，有利于秧苗的茁壮成长。

又如，沿海地区空气比较湿润，雨水多，一天或全年之内的气温变化较小。新疆沙漠地带则不同，那里非常干燥，雨水很少，一年四季气温差别很大，就是在一天之内，早晚的冷热变化也很大，尤其是夏天，常有“早穿皮袄午穿纱，围着火炉吃西瓜”的情景。

热现象是自然界最普遍的现象之一。正如力学现象是物质运动的表现一样，热现象也是物质运动的一种表现形式。我们把组成物质的大量原子、分子永不停息地无规运动称为热运动。热运动与机械、电磁、化学等其它运动形态之间存在广泛的相互联系和相互转化。例如，在蒸汽机中，加热蒸汽使气体膨胀，推动活



塞作机械运动,对外作功,实现了热运动向机械运动的转化。热学就是研究物质热运动规律及其应用的一门学科,它是物理学的一个重要组成部分。

热学研究的对象是由大量分子、原子组成的物体或物体系,这种物体或物体系在热学中称为热力学系统,简称系统。系统外部与系统发生相互作用的物体叫做外界。例如,用酒精灯加热封闭在容器中的气体,把气体作为研究对象,它就是一个热力学系统,而容器和酒精灯是外界。热学研究的主要任务是通过研究系统与外界的相互作用来确定系统的性质及变化过程。通常根据系统与外界相互作用的特点对系统进行分类,如果系统与外界没有任何相互作用,不能发生能量和物质的交换,则称之为孤立系;如果系统与外界只有能量交换而没有物质交换,则称之为封闭系;如果系统与外界之间既有能量交换又有物质交换,则称之为开放系。

## 二、宏观描述与微观描述

热力学系统确定之后,对于系统所处的状态以及状态的变化可以有两种不同的描述方法,即宏观描述和微观描述。

所谓宏观描述就是用几个可以观测的物理量来描述系统的性质,它是从宏观物体的总体上来观察和考虑问题的。用来描述系统宏观性质的量叫做状态参量或宏观量,它们所确定的状态叫做宏观态。在一定条件下,一个系统的宏观态只需有限几个量便可以确定。譬如说,单一化学成份的气体,其状态只需用体积、压强、温度这三个量中的任意两个就可以完全确定。这种不考虑物质的微观结构,只用少数几个可以观测的宏观量来描述系统的方法称之为宏观描述方法。

微观描述则从组成物体的大量微观粒子的运动和相互作用出发来考虑问题。如果知道了系统中每个微观粒子的运动状态,则

系统的状态就确定了，我们把这种意义下的状态叫做微观状态。但是，要确定每个粒子的运动状态，至少需要三个位置坐标和三个速度分量。在通常情况， $1\text{cm}^3$  体积的气体约含有  $10^{20}$  个分子，所以，要确定系统的微观状态就要求解  $6 \times 10^{20}$  个方程。这样繁重的计算是很难完成的。即使解出来，也不能阐明气体的宏观性质。实际上，研究系统的宏观性质时，不必知道每个微观粒子的运动状态。我们通常采用统计方法，把不能直接测量的微观粒子的运动与系统的客观热性质联系起来，认为热现象是组成系统的大量微观粒子运动的集体表现，系统的热性质是由大量微观粒子热运动的平均效果决定的。例如，理想气体的压强实质上是大量分子对器壁碰撞的结果，它等于单位时间内、单位器壁面积上所获得的平均冲量。

对热学系统的两种不同的描述方法，相应地发展了两种理论：热力学和统计物理学。热力学是一种宏观理论，它以直接观测到的和由实验得到的事实为基础，不涉及物质的微观结构，它把组成系统的大量粒子作为一个整体来研究系统所表现出来的各种热性质。统计物理学则是从物质的微观结构出发，认为物质的宏观性质是大量微观粒子运动的平均效果，宏观量是相应的微观量的统计平均值。热力学的结果具有高度的普遍性和可靠性，但需要从实验观测中得到必要的的数据，才能给出具体物质的某些特性。统计物理学对所研究的物质的微观结构作一定的简化假设，根据一定的模型进行计算，所得结果可以给出具体物质的特性。热力学与统计物理学从不同的角度研究物质热运动，两者彼此联系，相互补充。热力学的结果需用分子动理论阐明其微观机理，而统计物理学得出的结论需用宏观规律加以验证，这两者相辅相成推动热学研究日益深入。

### 三、热学发展简史

火的发明和利用,是人类支配自然力的开端,也是热学知识的萌芽。在人们掌握了取火方法后,将火运用到生活与生产中。在我国,在一万年前的江西仙人洞里就有陶器;六千年前的仰韶文化(陕西半坡村出土)时期已有彩陶;到春秋战国时期已积累了不少关于冷热现象和冶炼高温技术方面的知识。而在欧洲,一直到十三世纪才出现生铁。关于火药、火箭的知识,我国古代也一直处于领先地位。但是,从古代直至十七世纪,由于生产和认识水平的限制,关于热现象和热能的应用与研究未能形成一门系统的科学。

十八世纪初,资本主义处于萌芽时期,生产迅速发展,提出了对动力机械的需要,促进了蒸汽机的发明。1706年,英国人纽可门(T.Newcomen)制成了第一台实用的蒸汽机。瓦特(J.Watt)为了减少蒸汽和热量的损耗,在原有机器的基础上增添了一个冷凝器,并对蒸汽机进行了重大的改革,于1769年获得新型蒸汽机的专利。蒸汽机的发明与改进,提出了不少热学问题,促使人们对水和蒸汽以及其他一些物质的热学性质作深入研究。

1714年,荷兰人华伦海特(G.D.Fahrenheit)制成了水银温度计。起初,他选用三个固定点,即将冰和盐水的混合物的温度定为零度,人体的血液的温度定为96度,第三个固定点是冰、水混合物的温度,定为32度。用这种温度计测得水的沸点为212度。而在1724年以后,他又把水的沸点作为一个固定点,这就是华氏温标。1742年,瑞典人摄耳修斯(A.Celsius)定水的沸点为 $0^{\circ}\text{C}$ ,冰的熔点为 $100^{\circ}\text{C}$ 。八年后,他的同事才把这两个固定点倒过来,定水的沸点为 $100^{\circ}\text{C}$ ,冰的熔点为 $0^{\circ}\text{C}$ ,提出了摄氏温标,从此建立了测温学。

英国化学家布莱克(J.Black)用混合量热法测定了热量、比热

容和潜热,第一个把“温度”和“热量”两个概念区别开来,建立了量热学。在量热学发展的同时,热传导的理论也得到发展。1822年,法国科学家傅里叶(J.Fourier)发表了《热的分析理论》,建立了热传导方程。

随着热学的发展,关于热的本性问题成为中心课题。在古代,无论在中国还是希腊,都有两种关于热的本质的说法。一种是热质说,认为热是一种物质,存在于一切物体之中,可以从一个物体流向另一个物体。热质说可以说明热传导及量热学的一些实验结果,但不能解释摩擦生热等现象。另一种观点认为热是物质运动的一种表现。1749年,罗蒙诺索夫(M.B.Ломоносов)在《关于热和冷的原因之沉思》的论文中,论证了热是分子运动的一种表现。检验真理的唯一标准是实践。第一个直接用实验结果来驳斥热质说的是汤姆孙(B.Tompson,又称伦福德伯爵)。1798年他用钝钻头摩擦炮筒壁内壁使大量的水沸腾,他发现钝钻头比锐钻头的切削量减少,但给出的热量更多。伦福德认为,热不是物质,而是来自运动。次年,戴维(H.Davy)让两块冰在真空中进行摩擦,整个装置保持在水的冰点,结果冰还是融化了,这个实验反驳了摩擦物体从周围环境吸收热质的假设,给热质说以极大的冲击。但是,直到1842年发现能量守恒定律(又称能量守恒与转化定律)之后,热的运动说才取得了最后胜利,并弄清楚了热是能量传递的一种形式。

在热的运动说的影响之下,人们相继发现自然界各种运动形式(机械的、热的、电磁的和化学的)之间相互联系和转化的事实。十九世纪四十年代,从事不同专业的十多位科学家,分别从不同的途径,各自独立地发现和丰富了能量守恒定律,即热力学第一定律。其中最重要的是焦耳(J.P.Joule)和迈耶(R.Mayer)的工作。焦耳所做的测定热功当量的大量实验,为热力学第一定律的建立奠定了实验基础。1842年,迈耶《关于无机界力的争论》的论文,

从理论上阐述了能量守恒定律。

提高热机效率问题又进一步推动了热学理论的发展。法国青年工程师卡诺(S.Carnot)研究了热机的效率问题, 1842年提出了卡诺定理。1850年和1851年德国人克劳修斯(R.Clausius)和美国人开尔文勋爵(Lord Kelvin)先后总结了卡诺的热机理论, 独立地提出了热力学第二定律的定性表述。1854年克劳修斯引入了后来定名为“熵”的态函数, 给出了热力学第二定律的数学表述。热力学第一、第二定律奠定了热力学理论的基础。

1906年, 能斯特(W.Nernst)用热学原理研究低温化学反应时, 发现理论与实验不完全一致。1917年, 他在《新热学定律的理论和实验基础》一文中, 补充了一个新的关于低温现象的定律: 绝对零度是不可能达到的。这就是热力学第三定律。

1931年, 否勒(R.H.Fowler)又提出了一个关于热平衡的定律。历史上, 在这个定律被公认为独立公理之前, 热学第一、第二定律已经命名, 但从热力学的表述逻辑方面来看, 这个定律又应排在第一、第二定律之前, 所以称这个定律为热力学第零定律。

在热学发展的同时, 分子动理论也迅速发展起来。1857年, 克劳修斯用统计方法导出了玻意耳(R.Boyle)定律。1860年, 麦克斯韦(J.Maxwell)得到了分子速度的统计分布律, 并提出了输运过程的数学理论。1868年, 玻耳兹曼(L.Boltzmann)把速度分布律推广到有重力场的情形, 以后又提出了H定理和熵的统计解释。他们的工作为分子动理论奠定了基础。1870年以后, 玻耳兹曼和麦克斯韦提出了研究宏观平衡性质的几率统计法。1902年, 美国人吉布斯(J.Gibbs)发表了《统计力学的基本原理》, 建立了系综理论。至此, 统计物理学成为一门新的学科, 分子动理论成为统计物理学的一个重要组成部分。

二十世纪初, 随着量子理论的发展, 统计物理学也得到进一步改善。1924年和1926年, 玻色(S.N.Bose)和费米(E.Fermi)分别

给了适用于光子和电子的统计方法，继而产生了量子统计物理学。

本世纪五十年代以后，热力学和统计物理学又从研究平衡态发展到近平衡态和远平衡态，产生了耗散结构理论、协同学等新理论。它们在物理学、化学、生物学、医学、天体演化和生命起源等领域的应用，都取得了重大成就，已成为当前物理学中最活跃的前沿之一。

回顾历史，我们清楚地看到，热学理论主要是从研究热机及能量的转换与利用而发展起来的，但在科学技术高度发达的今天，热力学与统计物理学的发展已远远超出原来的范畴，而广泛应用于热力工程学、化工学、气象学、低温物理、材料科学、航天工程、生物工程等尖端科学技术，并展现出日益广阔的前景。

# 第一章 温度和理想气体的状态参量

研究机械运动只需要三个基本量,长度、质量和时间。在研究热运动时,还必须引进第四个基本量——温度。正如力的概念与肌肉的用劲和伸缩联系一样,温度的概念是以人们触摸物体时的冷热感觉为基础的。但是单凭感觉,非但不能定量地表示物体的温度,而且还可能得出错误的结论。为了定量地表示出物体的温度,必须作出科学的定义,并确定一个客观的量度方法。

本章先介绍热力学平衡态和热平衡的概念,再根据热力学第零定律给出温度的科学定义,然后介绍气体动理论(又称分子运动论),阐述温度和压强的微观本质。

## 1.1. 热力学平衡态和热平衡 温度和温标

### 1.1.1 热力学平衡态

#### 一、平衡态

农具厂锻打农具时,将烧红的工件放到一盆冷水中,工件变冷,附近水的温度逐渐升高,导致水中各处的冷热情况不均匀。经过一段时间后,工件及盆中各处的温度趋于均匀一致。如果没有外界影响,将长期保持这一宏观状态不变。一般来说,两个冷热程度不同的物体互相接触时,热的物体逐渐变冷,冷的物体逐渐变热,最后两物体的冷热程度均匀一致。此后,如果没有外界影响,两物体将长期保持这一状态,不再发生宏观变化。

又如,将水盛在开口的容器中,水就会不断蒸发。如果将容器封闭,经过一段时间后,蒸发现象将停止,上部的水蒸汽达到饱和状态。此后,如果没有外界影响,水和水蒸汽将保持这一宏观状态。

不再发生变化。

大量事例表明,如果没有外界影响,热力学系统经过一段时间后将达到一个确定的状态。此后,系统的可测量不再有任何可观测的宏观变化。这种在不受外界影响的条件下,热力学系统的宏观性质不随时间变化的状态称为热力学平衡态,简称平衡态。

注意,不受外界影响和系统的宏观性质不随时间变化,二者缺一不可。所谓“不受外界影响”是指系统与外界没有通过它们的界面交换能量和物质而相互作用,否则,即使系统的宏观性质不随时间变化,系统并不处于平衡态。例如,金属棒两端分别与温度不同的恒温热源接触,(恒温热源又称热库,它是一个热容很大的系统,当它与外界交换能量时,能保持自身温度不变。)经过一段时间后,棒上各点的温度将不再随时间变化。这时金属棒温度分布处于稳定状态,而不是平衡态。这种稳定状态是在外界热源维持恒温 and 沿金属棒不断进行热传导过程的情况下实现的。还要指出,宏观性质不随时间变化,并不意味着系统内部各种宏观性质处处一样。例如,由水和水蒸汽组成的系统,在达到平衡时,密度就不是均匀的。又如,在重力场中的气体,不同高度处的密度和压强是不同的。

平衡总是相对的。在平衡态下,系统的宏观性质虽不随时间改变,但系统内的分子(或原子)仍在不停地运动着,只是分子运动的平均效果不随时间改变,在宏观上表现为系统达到了平衡态。因此,这种平衡称为热动平衡。

实际上,不会有完全不受外界影响而宏观性质永远不变的系统,所以平衡态是一个理想概念,在外界条件变化很缓慢时,许多实际问题可近似作为平衡态处理。

## 二、状态参量

如何描写一个系统的热力学平衡态呢?按照定义,系统处于平衡态时,宏观性质不再随时间改变,因而可以用确定的物理量来



表征。例如,封闭在容器中的一定量的气体,其状态可用体积 $V$ 、压强 $p$ 和温度 $T$ 等几个物理量来表征。这些描述系统宏观状态的物理量称为**状态参量**。究竟需要用多少个状态参量才能确定系统的宏观状态呢?这由系统的复杂程度和所研究问题的要求决定。

假设我们所研究的系统是一定质量的化学纯的气体。实验证明,当系统达到平衡时,它的体积和压强保持不变。如果对气体加热,而保持其体积不变,则气体的压强将增大。反之,如果保持压强不变,对气体加热,则体积要膨胀。由此可见,气体的体积和压强是可以独立变化的,所以需要两个参量才能完全描述这个系统的状态。

对于含有两种和两种以上分子的混合气体(假定它们不发生化学反应),则除了上述体积和压强外,还需要用到表征系统化学成分的参量,一般来说,要描述系统的热力学状态可能用到四类参量:几何参量(物体的体积、表面膜的面积,弦的长度等)、力学参量(压强、表面张力等)、电磁参量(电场强度、磁场强度等)、化学参量(摩尔分数、百分浓度等)。究竟用哪几个参量才能对系统的状态完全描述,则由系统本身的性质决定。

### 1.1.2 热力学第零定律

#### 一、热力学第零定律

考虑两个热力学系统 $A$ 和 $B$ ,原来各自单独地处于平衡态。设想它们的边界是由完全不导热的材料所构成的,让它们紧接在一起时, $A$ 和 $B$ 互不影响,仍保持各自原来的平衡态,具有这种性质的界壁称为**绝热壁**(由玻璃纤维、石棉、毛毯等不良导热材料构成的界壁可近似地当作绝热壁)。如果 $A$ 和 $B$ 的边界是传热的,即边界是由金属薄板等良导热材料构成的导热壁, $A$ 、 $B$ 两系统互接触时(这种接触叫做热接触),它们的状态将发生变化,但是经过一段时间后,这些变化就会停下来,两个系统达到一个共同的平衡