



中国科协学会学术部 编

新

观点新学说学术沙龙文集

38

热学新理论及其应用

新观点新学说学术沙龙文集③⑧

热学新理论及其应用

中国科协学会学术部 编

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

热学新理论及其应用/中国科协学会学术部编. —北京:
中国科学技术出版社, 2010. 10
(新观点新学说学术沙龙文集; 38)
ISBN 978 - 7 - 5046 - 5035 - 1

I. ①热… II. ①中… III. ①热学 IV. ①0551

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 187525 号

本社图书贴有防伪标志, 未贴为盗版

中国科学技术出版社出版
北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码: 100081
电话: 010 - 62173865 传真: 010 - 62179148
<http://www.kjpbooks.com.cn>
科学普及出版社发行部发行
北京长宁印刷有限公司印刷

*

开本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16 印张: 10.625 字数: 200 千字
2010 年 10 月第 1 版 2010 年 10 月第 1 次印刷
印数: 1 - 2000 册 定价: 18.00 元

倡导自由探究

鼓励学术争鸣

活跃学术氛围

促进原始创新

序

世界性的能源短缺和全球气候暖化是全人类所面临和迫切需要解决的难题,它不仅是一个科学和技术问题,还涉及经济、政治和外交领域。由于提高能源利用率(其俗称为节能),不仅能缓解本国能源的短缺,减少能源进口的依赖度,而且直接减少了碳排放。因此,节能/提高能源利用率被认为是一种最廉价、最清洁和最安全的能源。能源利用率的提高,不仅在化石能源利用中十分重要,而且在可再生能源(太阳能、风能和生物质能等)的利用中尤为关键,所以是实现低碳经济和低碳社会的关键因素。

由于在各种能量的利用中,80%要经过热量的传递与交换,因此提高热量传递的能力、减小传递过程的损失是提高能源利用效率的关键。然而,在现有传热学理论中,只有传热速率的物理量,没有传热效率的物理量。在提高热量传递的能力时,只有传热强化的概念,没有传热优化的概念,从而导致现有热设备和热系统的能源利用率不高。为什么传热学中只有速率没有效率、只有强化没有优化的概念的问题,这对现有热学理论提出了挑战,现在的热学学科中还缺少某些基本物理量。另外,飞秒激光加热和碳纳米管等前沿技术对传热学中的核心定律——傅里叶导热定律——提出了挑战,因此需对热量的本质及其传递和转换规律方面作新的探索。

在这样的背景下,由中国科协主办,中国工程热物理学会和清华大学热科学与动力工程教育部重点实验室承办,以“热学新理论及其应用”为主题的第38期新观点新学说学术沙龙于2010年3月在北京召开,来自工程热物理、制冷、建筑节能、材料、力学等领域的30余位专家参加了讨论,另有30余位学者列席。专家们以提高能效和高技术发展中的热学问题为主要背景,从提高能效的新理论——场协同原理、焓耗散极值原理、热质理论和普适导热定律、能势表征与不可逆性的关联关系4个专题,提出了焓、热质和能势等新概念来拓展现有的热学理论和发展新的节能技术并进行了探讨。必将在发展节能新技术、提高能源利用效率、促进热学学科的发展和完善、推动学者之间合作等方面发挥

积极作用。

在此文集出版之际,作为本期沙龙的领衔科学家之一,我衷心感谢各位代表热情的参与,感谢中国科协、中国工程热物理学会和清华大学热科学与动力工程教育部重点实验室对本期沙龙的大力支持。

Handwritten signature in black ink, reading '史增元' (Shi Zengyuan).

2010 年 5 月于清华园

目 录

对现有热学理论的思考	过增元(4)
场协同原理及其应用	陶文铨(12)
关于气动热力学研究	童秉纲 鲍 麟(21)
基于场协同原理的换热器设计平台	程 林(23)
场协同方程与对流传热优化	李志信(29)
传热过程的焓耗散极值原理	梁新刚(41)
焓耗散极值原理的科学性和优势	陈林根(49)
材料热物性的宏微观差异性、结构相关性和等效条件	潘 宁(57)
热质概念和普适导热定律	曹炳阳(71)
气动热力学中的非傅里叶导热	童秉纲 鲍 麟(77)
热波传热	张 鹏(79)
热质理论的热力学基础与展望	王立秋(82)
热质存在的实验验证设想	张 兴(86)
关于热学新理论的梦想	过增元(93)
建筑节能中的 焓分析和 焓分析	江 亿(96)
能势的概念及其应用	金红光(109)
辐射热力学	刘林华(117)

能势的表征 陈则韶(120)

关于“热学新理论及其应用”的讨论 张 兴(127)

专家简介 (140)

部分媒体报道 (157)



会议时间

2010年3月26—28日

会议地点

北京文津国际酒店(四层多功能厅)

主持人

张 兴

张 兴：

各位嘉宾、各位代表，女士们、先生们，早上好！在这春暖花开之季，我们在这里举行中国科协第38届新观点、新学说学术沙龙。我是负责承担本次沙龙的清华大学热科学与动力工程教育部重点实验室的张兴。首先请允许我代表本次沙龙的承办单位向在百忙之中从全国各地前来参加本次沙龙的嘉宾和代表们表示最热烈的欢迎和衷心的感谢！

本次沙龙中的嘉宾有中国科协的领导、国家自然科学基金委的领导、教育部的领导、工信部的领导和其他单位的领导。根据科协对沙龙的具体管理实施办法，我就不在这里一一向大家介绍参会的领导和嘉宾了。按照中国科协的要求，本次沙龙我们将不设门槛，没有框架，不论资历，所以座位的安排都是按照姓氏笔画来排列的。我们这次沙龙将弘扬敢于置疑，勇于创新，宽容失败的精神。下面我们请中国工程热物理学会理事长、本次沙龙的领衔科学家、中国科学院院士徐建中研究员给我们讲话！

徐建中：

各位代表早上好！很高兴能够在中国科协的第38期学术沙龙上面跟大家见面。我想讲的第一点就是我们这个沙龙的宗旨。刚才主持人已经讲了，这几年来，随着国家对能源问题的日益重视和投入，中国工程热物理学会也得到了



很大的发展,我们学会中年会的文章已经是 1000 多篇了,本届理事会 2009 年在大连换届以后提出了一个任务,就是我们要从数量向质量转变。我们要采取多种措施,借用中国科协学术沙龙的平台来做这件事情,也是其中的一个方法。希望大家能有的不同的看法,不同的观点,哪怕这些看法和观点还有不完善的地方,也在一起广泛地交流、碰撞,用不同的思想擦出火花,推进我们学科的发展。我觉得在中国现在的情况下面,科技行业实际上比较广泛的存在着一些浮躁的情绪,一些急功近利的情绪,在学术沙龙里面我想我们把这些情绪都去掉,我们在一种宽松的、自由的、平等的、民主的气氛中广泛地交换意见,逐渐的达成共识。达不成共识也没有关系,我们下次可以再展开讨论,我们可以不断地向真理逼近。我觉得这是一个过程,这个过程也是我们希望看到的,这也是将来我们学会的论文从数量向质量过渡这个过程的一个部分。

第二,最近这几年来,国家的投入增加了很多,我们也取得了一些成绩。就拿我们工程热物理学会来讲,我们的自然科学奖、科技进步奖和发明奖还是比较多的,但是我觉得还是有很多不满意的地方,主要是我们的学术界的交流还不够。特别是我们不同的学科的交流还不够。比如说,传热学、工程热力学、工程流体力学、燃烧学等等,我们之间这样一种交流和碰撞还不够。所以,我觉得我们以后还要加强这方面的交流,加强这样不断在一起的碰撞。同时,我们也要加强和其他学科的交流碰撞,比如说和化工学、物理学、化学、电工学之间的交流等等,这样才能更好的解决我们学科当中所提出的一些问题,特别是现在实践当中提出的许多问题需要我们很好的解决。我觉得我们很重要的方法就是发扬学术民主,来提高我们的学术水平。这个不是说说的,而是要真正做到的。

第三,今天看到过增元院士提出的焔的概念,我自己也感到非常高兴来讨论这个问题。我们今天在座的专家不仅是学术带头人,很多是在学术岗位上有一定负责地位的同志,我希望我们的同志都有这样的胸怀。我们年轻的同志有很多的创造和成绩,也愿意看到和我们同辈的人有很多成绩,也愿意看到比我们年长的同志不断的取得新的成绩。只有这样的胸怀,我们自己才能做得出来像样的工作。

最后,我们现在向低碳经济迈进,我们在搞低碳学术,低碳技术。去年九月



我们学会举办了第一届国际低碳技术会议。低碳的时代是充满了革命性变化的时代,和我们工程热物理息息相关。在这样的条件下,工程热物理学界大有作为,我也预祝各位取得更大的成就,谢谢大家。

张 兴:

本次沙龙由沙龙主题发言和四个专题组成,明天上午在专题4结束后,我们还将进行一个小时的自由讨论。接下来我们将进入沙龙主题发言,下面请本次沙龙的领衔科学家、中国科学院院士、清华大学过增元教授做关于对现有热学理论的思考的沙龙主题发言,大家欢迎。



对现有热学理论的思考

◎过增元

非常感谢各位参加这个沙龙,客气话就不说了,直奔主题。众所周知,热学是比较成熟的,应用非常广泛,为什么还要再思考呢?原因来自三个方面,五个问题。两个问题来自教学,两个问题来自科研,一个问题来自个人对探索自然科学的兴趣。

第一,教学方面。在热力学课程中,大家都说熵难教,难学。学生的反映是“学焓是寒心,学熵是伤心。”不仅学生反映,我自己不是研究热力学的,但国内物理学家冯端专门写了一本关于熵的书,他讲到,熵是极其重要的物理量,但又以其难懂而闻名于世。诺贝尔奖获得者普里高津也说,熵是一个奇怪的物理量,而且不可能给出完美的定义。可见它确实比较难。关于教学方面的现状,我问了一部分教师,说现在在课堂上讲热力学的时候,只讲熵的微观解释(宏观态出现的概率),很少、甚至不讲熵的宏观物理意义。奇怪得很,因为熵实际上是研究热功转换而引出的宏观概念,恰恰不谈宏观,只谈微观。对这样的现状,我自己就提了一个问题,为什么热力学中熵的概念难以理解?

教学方面提出的第二个问题就是传热学课程理论性不强。学生觉得这课没意思,都是经验关系式。和流体力学相比,传热的定律基本上都是实验性的定律,包括傅里叶导热定律、牛顿冷却定律。有人说也有理论啊,例如边界层理论,但是那是流体力学理论,不是我们传热学的理论。当然,我们以前还有相似理论,这个基本上也是实验性的,而且现在传热学中讲得很少了。所以,我提出来问题二:为什么传热学不像力学、电学等具有自己严格的理论体系?

第二,科研方面有两个问题,第一个问题刚才徐建中院士也讲了,低碳、节能现在不仅是我们国家,而且是全世界共同研究的问题,这里跟我们有什么关系呢?大家知道,现在80%的能源利用都要通过热量的传递,怎么样把热量传



递性能提高呢?以前也有人做过,20世纪70年代的世界能源危机推动了传热强化理论和技术的发展。但是,今天仔细分析一下,传热强化不一定节能,我不是说一定不节能,是不一定节能。传热强化需要增加面积、提高流速,使得流阻和泵功增加更多,可以说一般都不节能。

要节能,需要有优化概念。可是我们知道,传热学里面只有速率的概念,没有效率和优化的概念。如果有了效率的概念,我们把效率最大化,这就是优化。只有速率,没有效率,没有办法提高能源利用的效率。所以科研方面的第一个问题就是:为什么传热学只有速率没有效率,只有强化没有优化的概念?这就是问题三。

科研里面提出的第二个问题,就是随着高科技的发展,大家知道,激光在武器、加工等方面具有非常重要的作用,激光的频率现在都已达到皮秒、飞秒量级。还有纳米技术,碳纳米管现在应用广泛,待研究的问题很多。这些领域提出了一个问题,传热学里面的核心定律——傅里叶导热定律已不再适用,怎么办?好多人找各种各样的解决办法,但是他们的解决办法都是用各种各样的模型对傅里叶定律进行修正,傅里叶定律本来是两项,再修正加一项,修正办法就是用模型,而不是从基本定律导出来的。

举个例子,如果把傅里叶定律和能量方程合起来,热扰动的传播速度无穷大,这显然不行。典型的C-V模型,在傅里叶导热定律里加上热流随时间的导数项,C-V模型加了一项以后,就变成热波了,波的传播速度是有限的,它解决了这个悖论,但是又产生了新的悖论。也就是,如果用C-V模型计算,会产生负的温度,这就违背了热力学第二定律。用模型来进行修正,解决了一个问题,但是又产生了新的问题。而且,现在的各种模型无法描述稳态的非傅里叶现象。以前的非傅里叶导热都是在瞬态条件下,但是在碳纳米管里,发现在稳态情况下,它也会产生非傅里叶效应。从这些现象中,我们就提出了第四个问题:为什么只能用实验定律来描述热量传递的规律?

第三,兴趣方面。探索学科间的共性的兴趣,热学跟别的物理的其他分支学科(力学、声学、光学、电学)相比,没有质量,没有力,没有速度和动量。也许有人说,我们有力啊,但是这个力还是机械力,没有热的力,有人说非平衡热力学里面不是有吗,但它是广义力,这个力的单位不是牛顿,不是真正的力。别的



学科里都有波,都有振动,有耗散,但是热学里面没有。热学里面有很多独有的概念,首先是熵,还有我们特别强调的,状态量、过程量、可用能焔等,别的学科有没有呢?还是别的学科有,但是不用?这个差别就非常大了。为什么呢?这个差别傅里叶早就总结出来了,他说力学理论是不能应用于热效应的,一直沿用到了今天。所以,我提出第五个问题,为什么热学同其他学科之间的共性是如此之少,而个性是如此之强?

我就不重复这五个问题了,概括出来了以后,从这五个具体问题又可以归结为两方面的原因:现在热学里头是不是缺乏某些基本的物理量呢?是不是某些基本规律还有待发现呢?

按照这样的思路,我们初步做了一些工作,分四个方面或者是四个阶段。

第一个阶段,就是温差场的均匀性原理。谁都知道逆流换热器比顺流换热器的效能好,为什么逆流换热器效能高呢?大家说,对数温差最大啊,但是为什么对数温差最高呢?不清楚了。25年前在传热年会上,我跟西安交大(陈仲頎)教授在下面讨论了这么一个愚蠢的问题,经过研究以后发现,决定换热器效能的应该不是流动的安排(叉流、逆流等),而是换热器里面冷热流体的温差的均匀性。按照这个原则来做,我们可以做到叉流换热器效能可以等于逆流换热器的效能,更有甚者,可以高于逆流换热器的效能,不知道大家能不能相信。因此,我们提出了温差场的均匀性原理,即换热器中冷热流体的温差场越均匀,换热器效能就越高,这就是优化的概念,不是强化的概念。

第二个阶段,就是对流换热的优化。以前谈过了,换热只有强化,没有优化,那么怎么来优化呢?在对流换热里面有两个场,一个是速度,另一个是温度的梯度,这是两个驱动力,这就是投入。因为优化就是指投入和产出的比。这两个合力推动热量前进,就是传热,这两个力的夹角越小,合力就是越大。投入不变,就是流速和温度梯度给定,怎么样使得产出最大呢?就是两个力之间要协同,即夹角要小。但是这两个力都是场,速度和温度梯度都是场,不是点,实际上是驱动力场之间的协同,所以也叫场协同。也就是说,场的各个地方的温度梯度和流速的夹角越小,它们的协同越好,换热性能越好,能源利用效率越高。这是场协同的基本概念。

场协同的概念比较直观,但是怎么设计场协同呢?物理的本质是什么样的



呢？这就需要深层次方面的进一步的探索。

第三阶段，就是要讨论新的物理量。借用其他学科的一些规律和经验，我们用比拟，也就是归纳法。大家知道，质量、力、势这些都是基本量。力学中有能量，有质量、重力、重量势，电学中也是讲电量、电力、电势和电势能。我们再来看热，先借用广义力，热势就是温度，那么热量和谁对应？是和质量对应还是和能量对应呢？我们说热量好像是跟质量对应，可是热量是能量，应该跟重力势能对应。实际上，如果我们看看输运定律、牛顿定律、欧姆定律、傅氏定律，热量应该和质量对应，但是少一个和势能对应的物理量。那么我们可以用热量乘上温度再除一个2，我们称之为焓。为什么叫焓呢，因为热量除以温度是熵，那我就借用这个概念。

小结一下，热量在传递过程中是和质量相对应的，即有质量的特性，而现有热学中缺少的热量的能量叫做焓。和其他形式的能量一样，在传递过程中焓是需要耗散的，所以可以定义传热效率，输出和输入的焓之比是效率。有了效率就好办了，使得焓耗散最小，传热效率最高，场协同最好，能源利用率最高，这就是优化。场协同的本质就出来了，即最后能提高能源的效率。新的物理量解决了效率的问题，优化的问题，解决了能源利用的问题。

第四阶段，我前面提到的高科技的发展，使傅里叶导热定律不适用的问题被提了出来。别人都是用模型修正傅里叶导热定律，我们试想一下是不是可以从第一性原理来推导。首先，热的质量特性，这个大家就奇怪了，我们搞传热的，包括研究物理的，是热质说还是热动说，经历了一百多年的争论，最后还是热动说胜利了。热是能量，怎么说是质量呢？如果根据爱因斯坦的质能关系式就可以确定热量的当量质量，它就是热质。这个一般人很难接受，但是物理学界都能认可。

有了这样的概念，传热就是热量在介质中的运动，从而引入了一系列的新物理量：热质速度，热质力（这个力和机械力不一样，是两码事），热质加速度，热质动量等。从这里可以看到，焓本身就是热质能，他们之间仅差一个常系数。由于热量的质量特性，我们就可以用牛顿力学描述热量传递，可导出普适导热定律，适用于超常极端条件下（包括超高热流密度，纳米条件）的导热过程，但是它又可以和常规条件下的傅里叶定律相容，可以退化为傅氏定律。



以上就是在热学中引入了一些新的基本量和得到了一些新的基本规律的初步工作,恳请质疑和指正。

周 远:

过增元教授非常大胆地提出了新的思路,我觉得很好。只有这样争论了,才有学派和科学的发展。我参加过过增元教授的学生的毕业论文答辩。我有一个总的想法,我们原来用的概念,比如说熵,还有焓,相关规律用得很成熟了,是不是应用到我们的机器当中就已经是最好的了呢?这不好说。不管什么样的理论,什么样的观点,最后还是要在实际中检验,所以这是很关键的。

我的第一个观点是焓这个概念提出来之后是不是应该把它应用,制成一个图表,跟焓和熵图一样,我们在机器或者是循环里面应用,应用的结果比原来用的焓、熵的更好,更节能,那么证明新理论是比原来的焓、熵的概念要好得多。不妨用锅炉、用汽轮机来做一个设计,如果设计得更好,更节能,那就能说明问题,这是第一个观点。

第二个观点,大家知道,现在用的这些理论统统都是在物理学上用得比较成功,但是在生物方面,包括人体在内,热学的观点真正应用到生物学还没有很成功。比如说熵,生物学里面是不是都是熵增?熵增是大家都普遍承认的,但是在生物学里不都是熵增过程,它是一个熵减过程。因此,如果用这个焓的概念分析一下,把我们物理学的概念用到生物上如果能用得很成功,说明这个理论很有意思。

所以我觉得,如果大家要来承认热学新理论,应该关注的是在实际应用当中最终是否起了作用。

华泽钊:

两年前,在一个会议上,过增元老师作过这个报告,但是当时没有这么详细。

我的问题是,说熵的理论在效率上没有反映,这个可能不完全。因为 Bejan 就根据熵的理论提出了效率的问题。周远老师提的意见我也同意,理论要实践



检验才是对的,现在这个理论没有办法用实践检验,后面有好的实际应用的话都不是理论证明,理论证明要从理论上来证明。这里关键的思路就是把热量看成了质量,爱因斯坦仅仅是研究机械运动的,当机械运动有了速度以后就有一个附加质量,有一个相对性质量。那么,把热看做质量,在后面从质量中就引出来一大套的东西,没有这个质量的概念就什么也没有了,关键是这个问题,我们要好好地讨论。

任何能量都有一定的质量,反过来看,因为有了这个质量,就可以从力学上来考虑。后来是考虑热子气,名字叫 thermon,相当于以前的光子、声子,问题是这个热子气只是从理想气体中来的。如果讨论固体,本身有一个 phonon(声子),有了声子以后再加上热子,声子本身有传播速度、声波,再加上热子后,热子和声子是什么关系呢?

还有就是热质论。为了防止和热质说混为一谈,就取了另一个名字 thermomass,我建议用其他的名字,比如热子学。

潘 宁:

我觉得自己是一个外行,几年前过增元老师的一个学生在我那儿做博士后,所以我知道这个理论。热学新理论用在材料上确实有成功的例子,我们发现用场协同和焧的理论能有效地解决多孔介质的有效热传导问题,下午我会详细地讲一下。

其中有一个关键问题就是能否测量焧。我们知道,焧在材料里面应用的一个很成功的例子是在高分子领域,20世纪40年代,当时在高分子系统里成功地把焧测量出来,后来使得统计热力学在材料学范围内的应用得到很大推广。以后,其中一个很大应用就是在统计物理和材料领域里。

以前我跟过增元老师也交流过,如果可以测量到这个量,我觉得是比较重要的。另外,我有一个问题问过老师,您认为焧这个物理量经过一段普及以后会不会比焧更容易理解,在教学时更容易一些?