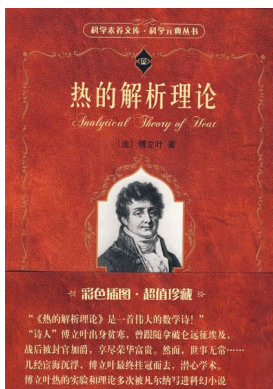


用数学语言写就的物理之诗

——重温傅里叶《热的解析理论》

■ 叶梦姝



法国物理学家、数学家傅里叶（1768—1830年）的论著《热的解析理论》是科学史上公认的划时代经典著作。从研究对象上来看，它突破了牛顿以来所规定的理论力学范围，开创了数学物理学的崭新领域；从研究方法上来看，它记载着傅里叶级数与傅里叶积分的诞生经过，被恩格斯和麦克斯韦评为“一首优美的数学的诗”。本书的另一个震撼之处在于其命题的宏大与数学处理的普遍性，傅里叶希望解释的热现象是包括大气、海洋、地壳等在内广泛的自然热现象，他希望为这个太阳辐射笼罩的地球上无处不在的热对流和热交换建立一个基于数学的统一理论体系。

一、热学：19世纪物理学的使命

19世纪初时，力学已经发展到了一个较为完善的阶段，欧拉和拉格朗日引入了更多数学方法使得矢量力学发展成为了分析力学，并得到了适用于广义坐标和广义力的拉格朗日方程，力学研究的范围大大扩展了。但于此同时，热学和电学等现象的研究仍然游离于数学方法之外，一方面由于其本质尚未被人类透彻了解，另一方面表达其物理

【编者语】

热的作用服从于一些不变的规律，如果不借助于数学分析，就不可能发现这些规律。傅里叶阐明的这个理论的目的就是要论证这些规律：它把热传导的所有物理研究都归结为已经有实验所给出的那些积分运算问题。

过程的数学模型较为复杂。对于热学来说，几个世纪以来，人们一直为热到底是一种物质还是一种运动而争论不休。整个18世纪，人们都用热质说来解释能量守恒定律、比热、潜热等现象，甚至在拉瓦锡的元素列表中，也把热算作是一种无重量流体。虽然18世纪末时，伦福德和戴维通过实验向“热质说”和“燃素说”发起了有力的挑战，但直到1860年能量守恒及转化定律建立之前，“热质说”一直支配着主流的热学研究。

二、适用于广泛热现象的数学规律

傅里叶对热现象的兴趣来源于其对气候、天气、天文、潮汐等自然现象的观察。他在《热的解析理论》的绪论中声称，“和重力一样，热贯穿在宇宙间一切物质之中，它的射线充斥于空间的所有部分”，他思考了气候带与纬度、海拔、地形、盛行风向的关系，观察到了太阳辐射引起的空气的大规模运动，以及不同高度的气温差异。但是，他并没有陷入到对热本质的纠缠中，也没有执着于某个热定的热现象（当时的观测资料也不足够），而是致力于从现象出发建立关于热的普遍理论，集中解决了热在非均匀加热的固体中的分布传播问题。“当热贯穿到流体物质中，并在它们之中以不断改变每一分子的温度和密度而决定内部运动时，我们能够用微分方程来表示这样的复杂作用的规律吗？流体动力学一般方程中的有效变化是怎样的”，

傅里叶希望“揭示这种元素（热）所服从的数学规律”，因为热的理论是“构成物理学的最重要的分支之一”。对于物理学来说，他把物理问题表述为线性偏微分方程的边值问题来处理，也极具创新。

三、造福后人的数学工具

数学分析是傅里叶的工具。原书题目下面柏拉图的名言“数控制着火”表明了傅里叶新柏拉图主义者的身份，他声称“数学的分析同自然界本身一样广阔”，早年作为中学数学教员和拉格朗日助教的经历使得傅里叶对于线性偏微分方程的处理驾轻就熟。为了解析热的过程，他开创了“傅里叶分析”这一数学分支：即任意函数通过一定的分解，都能够表示为正弦函数的线性组合的形式，而正弦和余弦函数在物理上是已被充分研究的一类函数，其性质和计算方法都相对简单。正如傅里叶所说，“对自然的深入研究是数学发现最丰富的源泉”，他从大气等的热现象抽象出来的数学问题推动了纯数学的研究。现代数学发现，傅里叶变换具有非常好的性质，它既有用、又好用，以至于各学科科研与工程技术中，傅里叶积分和傅里叶变换都是广泛应用的数学方法。

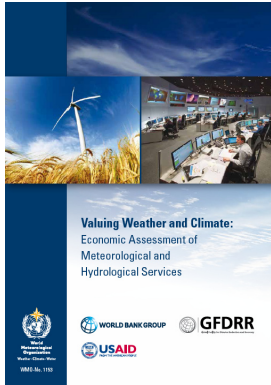
四、未完成的数学与物理之诗

作为一名理论学家，傅里叶论著的简洁性、清晰性和普遍性一直为人称道。他的理论有很强的几何直观，每一个数学表达式都有其对应的物理意义。科学史家认为，这

（下转70页）

《评估天气和气候：气象水文服务的经济学评估》简介

■ 韩佳芮



WMO, 2015年

1970—2012年，全球范围内出现约8835次与天气气候和水文相关的灾害，造成了1.94万人的死亡及2.4万亿美元的经济损失。气象水文灾害的数量几乎增加了5倍，每10年的经济损失从1560亿美元增加到8640亿美元。为应对日益增加的灾害风险，世界各国不断通过提高预报预测服务能力尽可能地向社会提供天气、气候和水文信息及预报，以控制灾害所造成的损失。然而，气象服务作为一种与经济密切相关的信息服务，需要通过合理的投入追求最大的收益。世界各国

(上接69页)

与傅里叶广泛参与社会活动，而非在象牙塔中苦心孤诣有关。傅里叶的科学研究几乎都是业余完成的，年轻时他曾是一名文学爱好者，后来成为了一名数学助教，而后从政，以埃及研究院秘书的身份随拿破仑远征埃及，并作为地方行政长官历经多次宦海沉浮，年近半百才到科学院任职，有时间专心完成学术专著。

傅里叶对热现象的研究并没有随着《热的解析理论》一书的出版



气象服务社会经济效益评估相关问题研究不仅对进一步提高气象服务的针对性和实效性有着重要的促进作用，同时是为气象部门争取资金支持，在社会经济发展中提高气象部门的影响力等方面都具有重要的现实意义。

国家气象水文服务部门在提高服务质量、多样性和覆盖面的同时，同样面临着与其他公共机构相似的挑战——充足和持续的资金支持。为了争夺、优化利用稀缺的公共投资资源，满足快速发展的需求，各国气象水文部门需要以科学、客观、全面的方法证明其服务效益远高于服务生产和传播的成本。因此，气象服务社会经济效益评估相关问题研究不仅对进一步提高气象服务的针对性和实效性有着重要的促进作用，同时是为气象部门争取资金支持，在社会经济发展中提高气象部门的影响力等方面都具有重要的现实意义。

气象服务效益评估工作一直是WMO关注的重点领域之一。2015年，WMO正式出版了评估气象/水文服务经济效益的出版物《评估天气和气候：气象水文服务的经济学评

估》(Valuing Weather and Climate: Economic Assessment of Meteorological and Hydrological Services, WMO-No.1153)，由美国国际开发署(United States Agency for International Development, USAID)适应气候变化开发项目Engility公司的Glen Anderson, WMO的Haleh Kootval以及世界银行集团的减灾和恢复全球基金会(Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, GFDRR)的Daniel Kull共同组织编写。该书在系统总结国际上气象水文效益评估研究和案例的相关成果基础上，从气象/水文服务产生效益的“价值链”出发，详细介绍了气象/水文服务效益评估工作从设计到实施的基本框架，给出效益评估的具体流程，并从经济学角度出发给出评估气象/水文服务效益、服务提供成本计算及进行效益-成本分析的主要方法。此外，该

而画上句点，大气的热现象持续吸引着这位科学家的好奇心，使他成为了大气层保温效应的发现者。在阅读了洪堡的《论等温线的温度报告》后，傅里叶计算出，一个物体，如果有地球那样的大小，以及到太阳的距离和地球一样，如果只考虑入射太阳辐射的加热效应，那它应该比地球实际的温度更冷。傅里叶猜测，是星际辐射或者地球的大气层的隔热作用使得大气保持了现在的温度。事实上，他原计划

将他对热的相关研究的物理工作也扩充成一本书，名为《热的物理理论》，这也是他晚年一直钻研的问题。此书或许能对《热的解析理论》中未能充分讨论的热的动力效应进行解释，大气热力学和动力学的发展历史或许能够改写。然而傅里叶于1830年溘然长逝，本书最终未能完成，在科学史上留下了永恒的遗憾。

(作者单位：中国气象局气象干部培训学院)