

# 评专著《大气热力动力学导论 ——大气非平衡态线性和非线性热力学》

曹鸿兴

(中国气象科学研究院, 100081 北京)

大气动力学研究始于 20 世纪初期,如运用流体力学发展了环流理论;1930 年代,应用波动力学发现了 Rossby 波。50 年代初实现了基于正压模式的数值天气预报,因此动力学在大气科学一直处于主导地位。但自 1980 年代起随着气候和全球变化研究的进展,热力学放到越来越重要的位置上,因为热力学因子对大气和地球系统的长期行为更为重要。这样研究大气的非平衡态热力学尤显得迫切,在这期间获得了若干重要学术成果。

由胡隐樵著的《大气热力动力学导论——大气非平衡态线性和非线性热力学》(地质出版社,2002,406 pp)总结了上述各方面的前沿成果,它首次从研究理论热力学对大气系统的适用性开始,进而基于大气系统的物理特性将大气动力学方程组融入非平衡态热力学理论中,建立起大气系统熵平衡方程,从而克服了将非平衡态热力学应用于大气系统的实质性困难。另外,目前理论热力学中非线性热力系统的最小熵产生定理和稳定性判据都是在小扰动假设下证明的。该书在更宽的条件下,利用动力学方程的性质证明了最小熵产生定理和稳定性判据,所以具有更强的普遍性,亦具有物理理论价值。

除绪论外,该书内容共分 8 章。第 1 章,平衡态热力学——热力学基础;第 2 章,大气热力学基础;第 3 章,大气动力学基础;第 4 章,大气系统熵平衡方程;第 5 章,大气系统非平衡态线性热力学;第 6 章,大气非平衡态非线性热力学;第 7 章,大气系统非线性动力学;第 8 章,边界层的非线性过程和耗散结构。前 3 章为热力学和动力学的基础概念,也是第 4 章建立大气系统熵平衡方程的基础。第 4 章将大气动力学方程组同热力学第二定律相结合建立了大气系统熵平衡方程,成为大气系统非平衡态热力学的理论基础。第 5 章证明了大气系统非平衡态线性区的最小熵产生定理。第 6 章在相当普遍的条件下,证明了大气系统非平衡态非线性区的最小熵产生定理,揭示了非平衡态热力学最小熵产生原理的物理本质;并导出超熵在大气系统中的表达式,以及大气系统定态的 Lyapounov 稳定性判据。该章是全书的核心内容。第 7 章利用大气动力学方程组算子的泛函性质,证明了大气强迫耗散动力系统相空间广义能量极小值原理和物理解释,进而探讨了大气系统非线性动力学与非线性热力学的关系。这些结果是作者首次得到的。第 8 章论述大气边界层的非线性过程和耗散结构,讨论了非线性大气热力学的一些可能应用及应用潜力。可以看出,该书在内容、范围和结构上,保持了学科发展的历史连贯性,突出了独创性。

该书的主要任务是利用现代非平衡态的理论和方法,结合大气系统的物理特性,建立非平衡态大气热力学的理论框架。因此,保证数学论证的严谨性和物理概念的清晰性是至关重要的。此外作者尽可能使理论结果具有普遍性。例如,在建立大气系统熵平衡方程以及证明最小熵产生定理和导出热力学稳定性判据时,从能量守恒定律、物质不灭定

律、动量守恒定律和热力学第二定律出发,尽可能作少的假设,以保证物理结论的普遍性。而且引入的基本假设也是大气科学中普遍接受的观测事实和理论依据,如将 Taylor 湍流冻结假设取代理论热力学的局域平衡假设;假设位温梯度决定热量输送,湿度梯度决定水汽输送,速度梯度决定动量输送,并假设这些输送之间没有交叉耦合。又如用了 Boussinesq 近似假设,它是大气科学中普遍接受的。

书中也充分考虑到热力学理论的实用性,所以尽量将物理学中的理论概念转换成大气科学通用概念。例如,热力学稳定性理论是非线性热力学在大气系统中最有应用前景的部分,这里超流及超力是抽象的理论概念之一。为此,导出了超流及超力同大气科学中通用的距平概念之间的联系。由于作者把写作重点放在自己独创的研究成果上,加上书的篇幅已很大,因此对国内外大气科学领域的相关成果,如大气熵理论,书中涉足不多。

在写作中作者精心尽力,尽量做到循序渐进,由浅入深,顾及各类读者群的需要和阅读方便,使得这本相当深奥的书读起来容易些。

该书是一部非平衡态线性和非线性大气热力学专著,但它的许多理论和方法对于其它学科领域,甚至理论物理中的非线性热力学,具有相当的参考价值。特别是对环境、海洋、水文、地核等非线性热力学,都有重要的学术价值。预计该书出版对分析大气系统状态特征以及天气、气候和环境的预报有重要应用价值,对于大气边界层湍流输送研究也有重要意义,并将激起和推进大气非平衡态热力学的研究。