

《环境介质中的湍流扩散》* 简介

甘 子 钧

(中国科学院海洋研究所)

近年来,随着工业和交通运输业的发展,世界范围的环境污染日益严重,消除“公害”的呼声日益高涨,环境污染的研究也就日益受到人们的关切和注意,并成为现代环境科学中最迫切的研究课题之一。这方面的研究,主要是解决工业、交通和军事污染问题,其中,首先需要摸清某种污染物在人类环境介质(大气、海洋、江河、湖泊)中的散布规律。现有研究表明,污染物质在环境介质中的散布能力,主要取决于介质中的湍流扩散,而湍流扩散的规律性则受介质湍流场的支配。此外,污染物的性质,污染物向环境介质的排放方式,污染物与地面及各种边界条件的作用情况等因素,也直接影响湍流扩散的结果。但是,由于湍流物理图象本身的随机性,影响污染物湍流扩散的因素又很多,而且错综复杂,因此,目前的研究,无论在观测实验或理论工作方面,大多局限在特定条件下解决一定的问题。比较系统地讨论环境介质湍流扩散问题的书,在目前阶段尚属罕见。这种情况,远未能满足当前从事环境污染监测和控制工作的广大科技人员的迫切需要。

在近年来有关环境介质湍流扩散的文献中,G. T. Csanady (1973年)的《环境介质中的湍流扩散》一书,以其内容的系统全面和叙述的深入浅出而受到广泛的注意。该书是在作者多年的研究工作成果和在滑铁卢大学为环境流体力学工程专业研究生开设湍流扩散课程所用的讲义基础上写成的,并由荷兰和美国的Reidel图书公司作为“地球物理和天文物理专论—国际基本教材丛书”之一出版。在这本篇幅不大(约250页)的专论中,作者针对环境污染扩散控制的工程实践需要,简明扼要地介绍了有关大气、海洋和江河、湖泊中的湍流扩散问题。书中以阐述湍流扩散理论为重点,扼要地论述了湍流扩散的物理含义、实际背景、理论应用和实验结果;同时,为便于读者掌握有关内容和进一步研究,书中附有少量习题和大量精选的参考文献。

全书共分七章,目次如下:

- 一、分子扩散(1—22页);
- 二、扩散的统计理论与布朗运动(23—45页);
- 三、湍流扩散:初等统计理论及其在大气中的应用(46—81页);
- 四、“相对”扩散及其在海洋中的应用(82—110页);
- 五、剪流中的弥散(111—155页);
- 六、密度差异对环境扩散的影响(156—221页);
- 七、湍流扩散中的起伏问题(222—248页)。

从全书结构来看,头两章显然具有绪论的性质。其中,概括地阐述了经典的分子扩散理论。第一章基于扩散物质通量与扩散物浓度成正比的Fick扩散定律,介绍了描述扩散过程的唯象论处理方法。第二章则基于布朗运动的拉格朗日方程和具独立坐标增量的随机起伏模式,阐述了处理扩散现象学方法的统计,并指出这两种处

* Csanady G. T. 《Turbulent diffusion in the Environment》(Geophysics and Astrophysics Monographs, An international series of fundamental textbooks, vol. 3) Reidel Publishing Company, Holland-USA, 1973, XIV+248p.

理方法的联系。此外,在这两章里还具体分析了瞬间排放和连续排放的污染源(点源、线源和面源)在有反射壁或吸收边界以及扩散微粒发生垂直位移和重力沉降情况下的扩散问题。对于具有一定基础的读者,阅读本书时可跳过这两章。

第三章开始转入环境介质中的湍流扩散问题。本章基于连续排放源扩散物质平均浓度近似正态分布的观测事实,详细地阐述了湍流扩散的初等统计理论及其在大气扩散中的应用。其中关于各种层结状态下湍流扩散的计算方法,对于大气污染扩散的预报颇有参考价值。

第四章阐述特别适用于处理海洋和湖泊中湍流扩散问题的“相对”扩散理论。如所周知,在海洋和湖泊中,人们难以用固定不动的坐标系来描述扩散物质的散布过程,因此,通常总是采用在随同扩散物质“云团”质心一起运动的坐标系来观察扩散现象,即所谓“相对扩散”。在这一章里,作者根据他人和自己的观测实验,具体地讨论了相对于扩散云团质心的平均浓度场,扩散微粒的运动和概率分布、扩散云团的扩展、扩散方程的应用以及污水的水平和垂直扩散的计算方法。此外,还指出在扩散云团的一定发展阶段,其水平扩散系数可由著名的 Richardson “4/3 次方定律”近似确定。

第五章专门论述速度垂直廓线呈对数分布的行星边界层中的湍流扩散问题。其中,作者十分直观而又使人信服地表明,运用“浓度矩”的概念并通过将流速的拉格朗日特征量的相似分析和半经验扩散方程相结合的方法来处理剪流中的湍流扩散问题,是一种成效卓著的处理方法。这种处理方法的优点在于可以将三维的湍流扩散问题简化为一维问题,因此,在大气的近地层和海洋的近底层以及河口区域中的湍流扩散研究中得到广泛的应用。在本章的后半部,作者还援引了在流速呈线性分布而扩散系数为恒量的特定情况下湍流扩散问题的一个精确解;对于行星边界层外部的 Ekman 层中的湍流扩散问题也作了初步的理论分析。

第六、七两章概括了近年来关于密度差异对湍流扩散的影响以及扩散物浓度的起伏问题的研究。对于具有一定基础的读者,这两章的内容特别有参考价值。

在第六章里,作者基于运动方程和连续方程的尺度分析以及观测实验结果,将从连续排放源(例如烟囱)排放出来的扩散物质云团划分为四种散布状态,即(1)喷注射流态,(2)热力升腾态,(3)云团解体态(即 Richardson 扩散态)和(4)最终扩散态(即 Fick 扩散态)。此外,还给出在介质的各种热力层结状态下近似计算烟囱排烟的升腾和散布状况的方法以及估计地面烟粒最大浓度的实用公式。

第七章集中阐述湍流扩散物质浓度的起伏问题。这个问题同污染控制的警戒浓度水平关系至为密切。目前关于污染物质湍流扩散浓度的起伏预报理论尚处于早期发展阶段,人们对污染物质扩散浓度的起伏规律,仍然缺乏足够的认识。和其他各章比较,本章内容比较单薄,其中,仅基于扩散物浓度近似对数正态分布的观测事实,讨论了浓度起伏的方差和起伏强度的空间分布,并介绍了一个烟流起伏模式。

总起来说,作者能用有限的篇幅比较全面地阐述环境介质中的湍流扩散理论和实用问题,特别是清晰地说明基本概念与理论要点,突出其中跟工程学有关的应用,提供说明性的实验结果和计算图表,这是非常难能可贵的。但是,也应该指出,本书如同现有关于湍流理论的应用研究方面所有的著作一样,许多公式和经验常数只能在特定的条件下用来解决一定的问题,有的计算方法和理论模式还比较粗糙。从这个角度来看,Csanady 的这一专著将会促进人们在湍流扩散现象的拉格朗日描述方面进行更深入的理论和实验研究工作。

随着我国国防和经济建设的飞速发展,近年来对环境介质中的湍流扩散研究提出了更高的要求。Csanady 的这一专著,可供我国从事大气、海洋环境污染监测和控制问题研究的科技人员参考,也可作为大专院校有关专业师生的补充教材。鉴于国内还缺少这类图书,此书值得译成中文出版。