



《环境流体力学进展》评介

吴永礼

中国科学院力学研究所, 北京 100190

2010 年世界出版社出版了《环境流体力学进展》一书, 书的编辑为塞尔维亚 Novi Sad 大学农学院的气象和生物物理学教授 D. T. Mihailovic 和意大利 Napoli 大学水力、岩土与环境工程系的环境水力学教授 C. Gualtieri.

撰写本书的作者有 40 位, 他们来自英国、加拿大、塞尔维亚、克罗地亚、捷克、希腊、匈牙利、西班牙、意大利、美国、斯洛文尼亚和葡萄牙等国的研究机构和大学, 是环境流体力学领域的科学家、教师和工程师. 因此, 本书汇集了世界各国在环境流体力学领域的最新研究进展.

全书含 15 篇论文, 一篇论文为一章. 下面简单介绍这些论文的主要内容.

第 1 章 湍流扩散: 零分子扩散理论的实际应用. 研究高 Péclet 数下湍流场中污染物的扩散. 如果不考虑最小尺度的情况, 分子扩散 (molecular diffusion) 与湍流平流 (turbulent advection) 相比是缓慢的. 但分子扩散是改变流体微团中污染物浓度的唯一机制, 不可忽略. 然而, 由于著名的湍流封闭问题, 人们还不可能得到同时考虑湍流平流和分子扩散机制的扩散问题的精确解. 但在零分子扩散率的假设下, 可以得到浓度的矩和概率密度函数的精确解. 只要稍作修正, 这些精确解便可在一定的空间和时间范围内适用于高 Péclet 数情形. 该章简要介绍了不考虑分子扩散的精确解, 以及如何对其进行修正, 以考虑缓慢作用的分子扩散效应. 浓度矩的表达式包含平均浓度及一组随离源距离和时间缓慢变化的参数, 也给出了概率密度函数的相应表达和高浓度的结果. 这样得到的许多结果与实验观察吻合. 本章最后对需要进一步研究的方面提出了建议.

第 2 章 作为生物物理学复杂系统的环境界面的层次及其相互作用. 基于能量平衡方程研究了能流动力学的一个方面, 用两个实例来说明把

相互作用的环境界面作为复杂系统来建模的重要性: (1) 生物物理系统中局部层次自组织的代数建模; (2) 两个环境界面之间能量、化学和生物物理量交换的耦合映射的数值研究.

第 3 章 稳定大气边界层模拟的新进展. 内容主要是大气边界层 (ABL), 边界层是大气的最低部分, 它不断受下垫面的机械 (粗糙度和剪切) 和热 (冷却和加热) 效应的影响. 在短中期天气预报和应用微气象研究中, 适当的表征和建模是非常重要的. 作者提出一种改进的 “z-less” 混合长度尺度模型和新的广义 “z-less” 混合长度尺度模型, 并研究了倾斜的强分层稳定大气边界层.

第 4 章 层结湍流的模拟. 首先基于 Boussinesq 假定, 通过改变 Froude 数来模拟垂直温度层结对二维层流流动结构的影响. 然后, 评述了湍流建模的几种途径, 重点介绍了隐式大涡模拟方法, 给出了该方法计算 Taylor-Green 涡的结果, 并从动能耗散率、湍流脉动波动的概率密度函数和三维能谱等方面与中等雷诺数的直接数值模拟结果进行了比较.

第 5 章 湍流边界层的环境水力学. 粗糙边界上的湍流这是自然界中的常见现象, 也是许多学科的热点课题. 新近的技术进步提升了我们对复杂边界上流动结构的建模、可视化和测量的能力. 作者回顾了不同学科中粗糙边界与流动相互作用的实验数据, 指出不同的方法可导致描述边界粗糙度的参数不同, 不同标准曾用来评价边界粗糙度的相对作用. 此外, 作者还强调, 在理想化的表面或者在低雷诺数条件下所得到的许多实验数据不能用于自然情况.

第 6 章 沙纹底床上波传播引起的黏性流的空间演化及雷诺数效应. 基于二维不可压缩黏性流动的假定, 采用 N-S 方程, 在完全非线性自由表面边界条件及合适的底部、入口和出口边界条件

下,模拟了沙纹底床上波传播引起的自由表面流动,为使计算域不随时间变化,将方程进行了适当的变换.模拟结果表明,在沙纹底床上,流动在沙纹波峰处分离,形成回流区,因而波边界层厚度较平整底床明显增大;床面切应力随沙纹高度增加或雷诺数减小而增大,但沿一个沙纹表面积分的摩阻力不受沙纹高度的影响;因动压和静压变化所致的形状阻力随沙纹高度而增加,但不受雷诺数影响.因此,总阻力中摩阻的份额随沙纹高度和雷诺数的增加而减小.

第 7 章 环境界面上长方体总反照率的计算.提出一种计算复杂几何面总反照率的一般方法.开发了一套称为射线追踪蒙特卡罗方法的有效数值程序,并用已知的解析解进行了测试.该方法应用于由两个子块组成的格子单元,各子块为正方形、高度不同,与传统方法的结果比较表明,显热通量、潜热通量和相应的表面温度均有显著变化.

第 8 章 观测和逆向模拟相结合定位空气污染源.将观测和基于贝叶斯统计的逆向模拟相结合,给出了两种定位空气污染源的方法.两种方法均利用喷出模型 (puff model) 来产生污染物浓度场,并利用气象资料获得预定观测点的测量数据.第一种方法,采用迭代过程求解,全部可能源中概率密度函数最大者即为污染源的可能位置.第二种方法利用记录和现场的数据库,将气象数据和源参数结合起来进行分析.

第 9 章 匈牙利在大气和不同类型生态系统间的能量收支与微量气体通量的长期观测.简要介绍了匈牙利微气象研究的历史与现状、野外观测计划、观测仪器、通量计算方法、微气象观测与数据采集系统的改善等,并阐述了匈牙利为预测未来气候变化可能带来的影响而建立的气候学网络,包括:标准气候观测站的测量、土壤温湿度、辐射、能量收支和二氧化碳通量等.基于对微气象元素、微量气体含量、湍流通量的连续观测,获得了有关地表层结构及其可能变化、地表-生物圈-大气圈相互作用强度方面的详细信息.

第 10 章 GIS 环境中流动模拟时空数据的集成.讨论了露天煤场上尘埃分散的一个案例,表明地理信息系统 (GIS) 在管理、前后处理和可视化相关数据等方面的能力.航空遥感有助于煤场表面的识别和分类,反映侵蚀位置和其他地表物.全球定位系统 (GPS) 则用来准确定位侵蚀位置和诸如挖掘机、存储地等其他点排放源位置,以及诸如传送带和道路等线排放源的位置.所有输入

输出数据均集成到 GIS 框架下的数据库中.将灰尘分散模型成功融入 GIS,并应用于美国 EPA 模型中.

第 11 章 病原体入侵安全饮用水的建模: CFD 与物理模型.利用实验和 Fluent 软件研究了病原体入侵供水系统的问题.当系统达到负压时,水可从裂缝流入,引发病原体入侵,从而造成水质问题.研究了定常情况下,污染物从裂缝进入并在管道中混合及扩散的过程.

第 12 章 河道死水区物质交换的数值模拟.河道死水区可由不规则的河岸和河床所致,如:丁坝、导堤、盲河道等.本章针对矩形盲河道,采用三维数学模型研究了主河道与盲河道间的物质交换,利用主-盲河道交界面上的横向速度和均匀注入盲河道的示踪剂的浓度衰减过程数据,计算得到了交界面上的物质交换系数.数值结果定性地再现了观察到的流动图案,但低估了主-盲河道间的物质交换率,而从浓度数据得到的交换率则与实验一致.

第 13 章 水环境中汞迁移与归宿的模拟.指出水环境中汞的迁移与归宿问题涉及水力学、泥沙输运、地球化学、微生物学等多学科,并包含许多还不甚清楚的过程和机制,例如:微生物过程、成岩过程、各类汞在底泥与上覆水体间的交换机制等.提出采用集成的多组分反应运输模型来描述这些过程,模型包括水体中各类汞对流-扩散的耦合输运,考虑了泥沙沉降-再悬浮过程及其对各类汞在底泥与上覆水体间交换的影响,讨论了生物地球化学过程.给出了模型在加利福尼亚 Colusa 流域应用的结果.

第 14 章 Aveiro 海岸 (葡萄牙) 的三维生态模型.利用三维生态模型研究 Aveiro 近海岸带温度和浮游植物数量的分布.所研究的区域位于伊比利亚半岛的西海岸,盛行北风/西北风,利于营养水体上升.模拟结果表明,该模型能够重现水平方向和垂直方向的温度和叶绿素 a 的分布,沿海边存在一冷水层,温跃层与营养跃层倾斜度向岸增加.模型成功地预测了叶绿素 a 的最高浓度和水下叶绿素最大浓度的深度.

第 15 章 植被明渠绝对糙度简化方法的实验校准.讨论了一种新的简单实验方法的校准,该方法基于较短槽道的边界层测量,来计算植被河道的绝对粗糙度,从而可以避免植被河道实验为达到均匀流而需建立很长水槽的困难.该方法可用于任何粗糙度的河道,尤其适用于植被河道.为

了便于与文献中的实验数据进行对比, 深入研究了绝对糙度与 Manning 糙率系数的关系, 本文结果与文献中的实验对比吻合非常好. 该章还进一步研究了植被密度对绝对糙度的影响.

综上所述, 该书涵盖环境流体力学领域的理

论、建模、数值模拟、实验测量和软件等方面的最新进展. 因此, 该书可作为大气、海洋、力学、环境工程、水利工程或其他相关专业的教师、研究生和高年级大学生的教材或参考书, 也可作为环境等相关专业工程技术人员的参考用书.