

“环境力学”专题简介

刘青泉¹⁾

(中国科学院力学研究所流固耦合系统力学重点实验室, 北京 100190)

力学在人类认识自然、适应自然、从事工程建设和实现经济和社会可持续发展中发挥着重要的作用. 20 世纪以来, 力学有了很大的发展, 取得了辉煌的成就, 创立了一系列重要的新概念、新理论和新方法. 尤其是人类面对的实际问题越来越复杂, 对解决实际问题的要求也越来越高, 力学与其他学科的交叉和融合日显突出. 近 30 年来, 经济快速发展带来的环境问题更加复杂和综合化, 大量数据的积累要求模型化和数学化, 推动着环境科学研究由宏观向微观深入, 由定性向定量发展. 力学的理论体系及其在发展过程中形成的分析、计算、实验相结合的学术风格, 十分有利于深化对环境问题中基本规律的认识. 因此, 力学与环境科学的深入交叉和融合, 不仅是当今环境科学研究的重要趋势, 而且也是力学学科新的学科生长点. 力学与环境科学相结合形成的新兴学科——环境力学, 日益成为力学交叉研究最为活跃的领域之一.

环境力学研究是以实现经济与社会可持续发展为目标的, 自 20 世纪 80 年代环境力学形成以来, 始终瞄准制约经济与社会可持续发展的环境和灾害问题为研究对象, 研究内容涉及大气环境、水环境、岩土体环境、全球环境、地球界面过程、环境灾害, 以及环境力学的理论建模、计算方法和实验技术等多个方面.

当今的环境和灾害问题都是综合性的, 呈现出极其复杂的变化, 是多学科交叉的研究前沿. 然而, 其中的流动和质量、能量输运, 以及变形和破坏等力学过程是其最基本的主导因素. 无论是自然因素、还是人类活动因素产生的影响, 都是通过上述过程而导致环境的变迁和灾害的发生演化. 因此, 环境力学作为环境问题研究的一个重要组成部分, 在积极借鉴其他学科研究成果的同时, 充分发挥力学学科研究的特点, 重点研究主导环境和灾害发生、演化的力学过程, 即主要研究环境与灾害问题中大气、水体、岩土体的流动、变形、破坏, 导致的物质、动量、能量输运, 以及与伴随的物理、化学、生物过程的耦合, 量化描述环境和灾害问题发生、发展和演化的动力学过程.

近 20 年来, 环境力学在国际上得到了迅速发展, 我国的环境力学也基本保持着与国际研究同步发展的态势. 我国的力学研究人员积极参与环境问题研究, 取得了可喜的成果. 如: 利用环境风洞和分层流水槽, 实验研究大气或水体中的污染物对流扩散, 为核电厂设计、城市 CBD 规划, 苏州河治理等提供了重要依据; 运用多组分湍流模型, 研究了城市空气中污染物、可吸入颗粒物的输移规律; 运用大气边界层理论发展基于大气动力学基础的气候模式, 使得全球气候模拟和天气预报精度不断得到提高. 结合三峡工程、长江口航道整治、珠江口取水问题, 研究了河流水沙数学模型和河口非恒定流输沙与盐水入侵, 在水利枢纽、河口海岸工程中发挥作用; 针对我国湖泊/水库的富营养化, 发展了基于水动力-水质生态耦合动力学模型, 揭示了水动力过程对水华爆发的作用机制. 建立了二维坡面产流、产沙动力学模型, 并扩展到小流域, 分析侵蚀的影响因素, 给出土壤侵蚀界限坡度, 为西部干旱环境治理提供科学依据; 揭示了风沙流中的沙粒带电量和风沙电场的基本规律及其对风沙流和无线电通讯的影响, 实现对风沙流和风成地貌发展过程和主要特征的理论预测, 为固沙工程结构提供设计依据; 发展了基于大气边界层理论和沙尘悬移理论的沙尘暴模型, 为科学预测沙尘暴输运提供了理论和方法. 研究了地球界面过程, 模拟了有植被的大气边界层, 分析结皮层对土壤水分运动影响及其生态效应. 通过湍流模拟, 获得波龄, 稳定性对海气交换系数的影响, 为气候模型参数化提供依据; 用涡动力学研究台风异常路径, 数值模拟台风浪、风暴潮灾害. 发展了岩土体渗流与滑坡稳定性耦合分析理论和数值方法, 揭示了水渗流诱导滑坡的内在机理; 运用双流体连续介质理论, 建立了泥石流运动模型; 不断提高对极端灾害发生机理的认识和预测水平. 经过 20 余年的积累, 逐步形成了我国环境力学的基本框架, 凝聚了环境力学的研究队伍, 为我国经济与社会可持续发展做出了贡献.

21 世纪以来, 我国的环境力学研究越来越活跃, 覆盖了环境力学研究的各个领域, 而且, 更加注重机

1) E-mail: qqliu@imech.ac.cn

理研究、规律分析与防治措施的有机结合.一方面,强调其共性科学问题,包括流动与运输的基本理论和方法;气、液、固界面相互作用;多相、多组分、多过程耦合;以及环境力学中的参数化方法、多尺度模型和模型实验的尺度效应等,开展基础研究,推动环境力学的学科发展.另一方面,瞄准我国社会和经济发展中遇到的重大环境和灾害问题,特别是西部开发和沿海经济开发以及重大工程中的实际问题:包括西部干旱环境治理(土壤侵蚀、沙尘暴、荒漠化治理等);河流、河口海岸泥沙、污染物输运及其对生态环境的影响,城市化进程中的大气环境;以及重大环境灾害发生机理及预报(热带气旋,洪水、滑坡/泥石流、全球变暖)等,研究其中的内在机理,解决实际问题.

环境和灾害问题的研究正经历着深刻的变化,基础研究逐步精细化和定量化,大量数据的积累要求模型化和数学化,带给力学广阔的用武之地.环境力学作为一门新兴的力学交叉学科,正处在发展和不断深化认识的阶段.积极推动环境力学的发展是我国经济和社会可持续发展的重要需求,也是科学工作者的重要责任.不断通过深入研讨、交流和卓有成效的工作,促进环境力学的发展,将为环境科学和力学同时注入新的活力.对这一领域问题的认识深化也将意味着人类将在认识和保护环境方面取得新的进展,具有极为重要的科学意义和应用前景.

为了从一个侧面反映环境力学的研究进展,我们从2012年9月份在新疆乌鲁木齐召开的“2012年全国环境力学学术研讨会”交流论文中,选取了5篇论文,以专题形式在《力学学报》发表.这5篇论文的研究工作都较好地反映了力学与环境科学的交叉融合.

《非淹没丁坝绕流的三维大涡模拟研究》采用三维大涡模拟数学模型,重点研究了导致丁坝附近强烈局部冲刷的复杂水流结构.充分发挥LES方法捕获水流瞬时流动特性的优点,动态再现了丁坝附近的二次流结构,给出了紊动强度,涡量分布特征,揭示了丁坝长度与丁坝之间距离的比值对丁坝附近流动特性以及混合层发展的影响规律.是近年来关于丁坝流动结构研究方面比较细致和全面的研究成果.对科学认识丁坝附近的流动结构,揭示丁坝局部冲刷机理具有很好的指导意义.

《风沙与水沙运动多重时间尺度与深度积分模式》针对风沙与水沙动力学研究的共性,提出风沙与水沙运动统一深度积分模式;将水沙运动多重时间尺度理论扩展至风沙运动,从输沙平衡状态调整的时间尺度特征,给出了风沙与水沙运动的动力学共性及特点.研究表明风沙运动中推移质运动能够很快地调整到平衡状态,而悬移质运动调整到平衡状态则需要相对较长的过程,在湍流悬移质实验和数值模拟研究中应考虑恢复平衡过程的影响.对于合理考虑风沙运动的非平衡输移过程提供了理论依据.

《雾环境二次气溶胶生长过程的数值研究》基于颗粒群平衡方程和多重蒙特卡洛方法,对气溶胶颗粒在布朗和湍流作用下的碰撞凝并过程进行了数值模拟研究.特别考虑了在复杂雾环境中,气溶胶和大气环境的作用、气溶胶之间的相互耦合,给出了二次气溶胶在湍流和布朗运动机制下的生长过程,揭示了雾环境下气溶胶之间的碰撞凝并使得颗粒的总目数减少,颗粒平均体积逐渐增大的规律.对合理制定降低雾环境二次气溶胶浓度的措施具有很好指导意义.

《成层非饱和覆盖层中气水两相扩散模型》研究了垃圾填埋场覆盖层中填埋气的非稳态释放规律.建立的气水两相扩散模型,考虑了覆盖层含水量瞬态变化和气体扩散的耦合作用,较以往的模型能够更好地揭示含水量瞬态变化与气体运移的耦合作用.给出了含水量和气体浓度的变化规律,揭示了含水量逐步达到稳态对气体扩散运移的影响.提出的新方法对于合理预测封顶系统含水量变化下的填埋气体释放量有明显改进.

《基于SPH的风沙运动的数值模拟》采用以拉格朗日方法为基础的SPH数值方法对风沙运动规律进行了数值模拟研究.构造了针对风沙运动特点的光滑函数,建立了风沙流动的SPH数值模拟平台.充分发挥SPH方法的优点,细致模拟了风沙流中沙粒的运动轨迹和特性,从微细观角度给出了风沙流的结构特征,对深入认识风沙运动的动态变化过程提供了依据,并拓展了探讨风沙流细致结构的研究途径.

有关环境力学的研究工作,将是《力学学报》关注的重要内容之一.希望通过专题这一形式,使更多的科研工作者了解我国环境力学的研究动态,促进我国学者在这一领域的创新研究与学科发展,为我国经济与社会可持续发展作出新的贡献.