内容简介

本书以湖泊表层沉积物微环境特征、界面物理和生物扰动过程及其环境和生物效应为主线，围绕磷及氮、碳等营养物质在界面微环境介质中的存在形态、性质、行为及其效应，系统概括了湖底边界层的基本知识、水动力和底栖生物扰动影响的空间尺度，从而阐述了扰动作用下不同形态物质在微界面迁移转化的过程和机理，并给出了若干新认识和新观点。本书的特点是作者以太湖等浅水富营养化湖泊为例，以翔实的实验数据为基础，通过微观过程、微小特征和微细效应的观察分析，系统总结并上升到理论，同时对现有的湖泊沉积物界面过程和效应方面的相关认识给予了一定的补充和完善。

本书可供从事水体环境化学、环境生物学、水文物理学、沉积学、泥沙学、地球化学、环境保护等方面的科研技术人员和大专院校师生阅读和参考。

前 言

湖泊是内陆水体的一类典型地理单元。从湖面上空俯视，湖泊是一个时为静止时有波浪的水面，具有清晰的岸线轮廓和相对明确的流域边缘。若视线能穿过水层看向湖底，则可见到平面分布的水下湖底地形，以及具有皱褶和孔洞分布的沉积物表层；再由侧向剖面平视，湖泊则是具有一定“厚度”水层的相对动态的自然混合体。最典型的特征是湖体内水体的流动，以及颗粒物体（包括生命体）随水体携带的运动。在水-气界面和沉积物-水界面纵向限制的空间尺度内，水体的湍流等运动和颗粒物的悬浮与沉降，构筑着以颗粒物和生物体为固态分散相、水为连续相的横向伸展的巨幅水景。在湖水底部，因主要受湖盆地貌支配，沉积物成为与水体接触面积最大的一类固相介质。在这水固两相之间，构成了宏观物理意义上的沉积物-水界面。实际上，沉积物与水之间并不存在一个接触的“面”，两相之间也并非为简单地接触，而是两种介质与对方的相互渗透和包容。这种渗透和包容造成了“界面”在垂向上的拉伸，使这种接触有了立体尺度。在这个立体界面的表层和内部，湖水通过各种方式对沉积物及其界面产生扰动作用，并据此影响沉积物-水界面的环境与生物地球化学过程，上述方式包括水动力以能量作用、颗粒沉降吸附以物质输入与生物摄食着生和驻入等。

水底沉积物是地球岩石圈、水圈和生物圈中各界面要素相互作用与相互渗透的典型区域，物理、化学和生物过程在此交织与耦合。水体底部还是水流、波浪和能量的主要的耗散地，是热量、溶质或颗粒物在水柱和底层交换的场所，在其邻近区域，沉积物质的成岩作用甚为剧烈，同时也是多种底栖动物、植物和微生物生存之地。另外，湖泊沉积物－水界面层与海洋底部显著差异在于其是理化性质的突变区。在此区域内，化学物质的产生、循环、转移过程异常活跃，且行为特殊；其次界面区属于化学元素变化的灵敏区，在湖水和沉积物中变化不显著的行为，在界面层则可表现得非常明显。界面与上覆水体间发生且由生物积极参与的物理和化学反应，将对湖底界面附近物质（特别是营养物及敏感性元素）的状态和行为产生持续影响。

界面过程的发生大多是以微尺度体现的沉积物微环境下的物理、化学和生物效应。虽然静态的作用也会具有一定的微观效应，但人们更加重视动态过程所产生的影响。湖流、波浪在湖底形成的湍流等作用，使水体对湖底发生相对运动。在水底边界层内流体摩擦形成的剪切作用大于起动切应力后，表层沉积物就将被扰动产生再悬浮作用，使沉积物-水界面受到破坏，在平面上呈整体下移。生物（特别是底栖动物）在沉积物中的营穴、摄食和栖息等表层改造和引灌则多以非均匀的方式影响沉积物物理结构。生物扰动使得沉积物孔隙率增大，含水量增加，颗粒物运动和沉积层理破坏；其中引灌还造成上覆水向沉积物内部渗透，将氧气传输进深层部位，增加沉积物中的氧化还原电位，继而影响表层敏感化学物质形态和微生物活性分布等，加速物质在界面的输送和早期成岩等过程。无论是物理和生物作用，都将影响表层沉积物及其间隙水中物质的迁移扩散、形态的转化和有机质及磷和氮的再生等，深刻地改变着界面及其附近的生物地球化学过程，产生以物质迁移转化为主要特征的环境效应。

沉积物－水界面是陆地表层系统最重要的界面之一，是以物相为基础的相对固定的环境界面。界面上物质流过程和机理的研究是深入和系统了解水生态系统状态变化、乃至结构与功能响应的切入点之一。鉴于界面的重要性，国际上对沉积物－水微界面过程的研究非常重视。在海洋领域，由欧洲科学基金（ESF）资助进行的 SEDFLUX 计划（2004～2006 年），所列的主题，如“Sediment fluxes”，“Sediment budgets”，“（Source-to-sink fluxes/correlations”均主要以沉积物界面为核心。欧盟推出的第 6 次框架一体化计划（AquaTerra 计划）（2004～2009 年），共有 11 个关于水体的子项目，其中直接与界面有关的子项目就达 4 项。此外，尚有众多的相关研究已经在不同的国家和地区展开，如法国的“富营养化环境沉积物－水界面生物地球化学过程（the Microbent-PNEC Program）”专项研究计划等。由于以上诸多计划

的实施，围绕沉积物－水界面过程的研究正在取得非常迅速的进展，突出表现在一些新技术和手段的应用，使得对界面特性的描述更加微观、原位和多维。我国浅水湖泊众多，富营养化问题相对突出，近十多年来在湖泊界面过程和效应研究方面也取得了突飞猛进的进展，基础性研究不断加强，成果日益显现。

本书是对国家自然科学基金重点项目指南“湖泊中水土界面微环境变化的过程与机理”资助项目“物理和生物扰动对湖泊沉积物－水界面微环境与磷再生及迁移的影响”（No.40730528）研究成果的理论总结。重点研究浅水湖泊沉积物界面微环境中的物理、化学和生物学特征、空间尺度及其高精度表征，磷和氮的界面迁移及其氧化还原反应系统的控制作用，界面微环境中氮循环、磷转化、有机质分解的微生物学机制，以及水动力物理扰动和底栖生物扰动作用下磷和氮的界面迁移转化效应等。本书是以国家自然科学基金重点项目的理论成果为主，参考了国内外相关成果撰写而成。全书共分十一章。第一章由范成新、张雷、商景阁、肖文娟、刘云兵撰写；第二章由周易勇、纪磊、陈玺、曹秀云、姜苹红撰写；第三章由李清曼、施文卿、阚丹撰写；第四章由吴庆龙、吴宇澄、邢鹏、钟继承、向燕撰写；第五章由丁士明、白秀玲、李斌、范成新撰写；第六章由周纯、宋春雷、曹秀云、黄代中、白云钦、周驰、纪磊、李阳、陈玺、李慧撰写；第七章由范成新、张雷、尤本胜、商景阁、张路、王同成撰写；第八章由张路、商景阁、张雷、尤本胜、范成新撰写；第九章由范成新、张雷、丁士明、尤本胜撰写；第十章由李大鹏、尤本胜、肖文娟、侯杰、周驰、范成新撰写；第十一章由周易勇、黄代中、纪磊、孙爱华、曹秀云、白云钦、姜苹红撰写。全书由范成新统稿和审定。

在本书出版之际，作者诚挚地感谢国家自然科学基金委员会地学部有关领导给予本研究的关心和的支持，同时感谢湖泊与环境国家重点实验室（2007DA173213）、淡水生态与生物技术国家重点实验室（14918707）和中国科学院太湖湖泊生态系统研究站在室内外工作和实验条件上提供的支持和帮助。由于受研究条件和作者水平的限制，书中难免存在错误和不足，恳请有关专家和广大读者批评指正。

作者

2011 年 12 月于南京