

石油污染物在地下环境系统中运移的多相流模型研究

薛 强

(中国科学院 武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071)

博士学位论文摘要: 石油污染物造成的环境污染问题已引起了国内外水文地质学者和环境学者的广泛关注, 并成为地下环境污染控制研究中的热点和焦点问题。基于前人研究成果的基础上, 借助相关学科的研究成果, 研究了石油污染物在地下环境系统中迁移转化的规律、时空分布特征、控制多相流系统的本构模型以及污染去污过程滑逸耦合模型等方面的问题, 通过编制的计算软件实时定量预测预报有机污染迁移转化的动态及过程, 对于更科学地、更有效地控制石油泄漏带来的环境污染问题具有更重要的科学意义和实际应用价值。其主要研究内容和结果如下:

(1) 采用室内土柱实验, 开展了石油污染物在不同质地土壤介质中驱替实验以及含油废水淋滤物理模拟实验研究, 揭示了石油污染物在土壤中淋滤深度与土壤质地之间有着密切的关系, 在砂性土壤中的石油污染物截留率为 45.8%, 而粘性土壤中其截留率为 76.4%, 这对于量化研究石油污染物在土壤水环境系统中迁移转化规律提供了基础资料。

(2) 应用渗流力学和参数反演最优化理论, 给出了控制多相流系统之间的参数本构模型, 采用约束变尺度方法对模型参数进行反演辨识, 得出待求参数的最优估计值, 有效地克服了数值结果对参数初值的敏感性问题。

(3) 在综合考虑有石油污染物在地下环境体系中扩散、吸附解吸、界面间分配以及微生物降解等化学反应条件下, 建立了有机污染物在多孔介质迁移转化的多组分多相流动力学模型, 并采用特征有限差分方法和隐式压力显式饱和度方法对耦合模型进行数值离散, 编制了相应的计算软件(MCTS1.0)。研究结果表明: 石油污染物在地表泄漏以后, 将在重力和毛细力的作用下, 产生水平位移和垂直位移, 但其总体趋势为向下迁移。

(4) 考虑气体滑脱效应条件下, 提出了挥发性有机污染物去污过程的滑逸耦合模型, 并给出了耦合动力学模型的有限差分格式。采用所建立的数值模型对抽排状态下有机污染物的释放过程进行数值模拟, 并对不同质地的土壤和土壤含水率进行灵敏度分析。同时, 对于挥发性污染物横向迁移问题采用摄动法及积分变换法进行了解析求解, 定量研究挥发性有机污染气体的压力分布特征。数值模拟结果表明: 滑脱效应对污染气体释放过程有较大影响, 抽气量越大, 其差别越明显, 在连续抽排条件下污染气体的分布范围和浓度均明显减小, 抽排前期对气体浓度分布和气体产量有较大的影响。

关键词: 石油污染物; 地下环境; 油气水多相流; 毛细压力-饱和度-相对渗透率之间的关系; 参数反演技术; 约束变尺度方法; 耦合动力学模型; 滑逸耦合模型

中图分类号: TE 992

文献标识码: A

文章编号: 1000-6915(2005)17-3201-01

RESEARCH ON MULTIPHASE FLOW MODEL OF PETROLEUM POLLUTANT TRANSPORT IN SUBSURFACE SYSTEM

XUE Qiang

(Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

收稿日期: 2005-06-01

作者简介: 薛 强(1976-), 男, 2004年3月于辽宁工程技术大学工程力学专业获工学博士学位, 导师为梁冰教授, 现任副教授、中国科学院武汉岩土力学研究所博士后, 主要从事地下环境系统污染控制及固体废弃物资源化方面的研究工作。E-mail: qiangx@whrsm.ac.cn.