

垂直管道中粗颗粒固液两相流的颗粒滞留规律研究¹⁾

张岩^{*,2)}, 鲁晓兵^{*}, 张旭辉^{*}

^{*} (中国科学院力学研究所, 北京 100190)

摘要: 深海矿产资源开发是我国“十四五”规划和 2035 年远景目标纲要提出的深海前沿领域的重要发展方向。管道水力高效安全输送作为深海矿产资源开发的关键技术, 输送过程粗颗粒-海水两相流动规律是亟需解决的核心科学问题之一, 是提升输送效率与保障输送安全的理论基础。与细颗粒浆体相比, 含粗颗粒的固液混合物所具有的一个显著特点就是由于颗粒与流体速度滑移而导致颗粒在管道中的滞留。这种效应使管道内的局部颗粒浓度显著增加, 有时甚至造成管道堵塞。因此, 研究输送过程的颗粒滞留规律至关重要。目前针对颗粒滞留效应的研究多以滑移速度为切入点, 如基于流态化原理研究颗粒浓度、颗粒尺寸等对滑移速度的影响规律。这方面已经有较为成熟的研究成果。但是, 现有研究结论在粗颗粒、高浓度场景下会出现一定程度的不适用, 尤其是当颗粒阿基米德数大于 10^5 , 颗粒体积浓度大于 0.05 时, 经典理论出现了较大误差。因此, 本文拟针对此问题, 对经典理论在粗颗粒、高浓度特征下进行修正。根据经典理论, 颗粒群流化速度与单颗粒沉降末速度之比和颗粒体积浓度存在幂律关系, 幂律指数与雷诺数相关。本文在经典理论公式中引入修正因子 k , 并假设修正因子 k 与颗粒阿基米德数和颗粒尺寸相关, 随后基于计算流体力学-离散元方法 (CFD-DEM) 进行数值模拟, 获得修正因子 k 随阿基米德数和颗粒尺寸的变化规律, 基于数值模拟结果给出修正因子 k 的拟合计算式。本文的研究可为我国深海采矿水力输送设计提供理论依据。

关键词: 粗颗粒; 固液两相流; 颗粒滞留; 深海采矿

1) 自然科学基金 (12132018)