

煤炭地下气化过程气化腔热流耦合数值研究

寿泽冰, 晋国栋¹⁾

中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室, 北京 100190

中国科学院大学工程科学学院, 北京 100049

摘要: 煤炭是我国能源消费的中流砥柱。煤炭地下气化 (Underground Coal Gasification, 简称 UCG) 作为深层煤炭开采的有效技术, 是指通过往地下煤层中加入气化剂, 使地层中的煤炭经过一系列的物理化学反应, 在原位转化为清洁合成气 (包含 H_2 、 CO 和 CH_4 等可燃气体), 并通过产气井导出清洁合成气的技术。深层煤炭地下气化潜力巨大, 其产出合成气作为一种清洁能源, 可用于发电和化工等, 对煤炭的清洁利用具有重要意义。煤炭地下气化过程中涉及复杂的多场耦合过程。本文以煤炭地下气化过程中气化流内热流耦合为研究对象, 将气化腔划分为煤灰区、焦炭区和空腔区, 其中存在多孔介质渗流与空腔区多组分流动的耦合, 并伴随有传热、传质和化学反应等过程。采取简化的数值模型描述研究其内在机制, 其中通过在焦炭区设置一个均匀热源来模拟化学反应产生的反应热, 忽略气化腔内的实际化学反应动力学, 主要目标是研究热流的耦合机制。利用工程软件模拟了后退式煤炭地下气化气化腔内的流动场与温度场耦合过程, 分析了热源功率密度、注气井通入气化剂的注入速度以及焦炭区和煤灰区孔隙率对气化腔内温度分布的影响。研究结果表明, 热源功率密度对气化腔内温度分布起主导作用, 而注气井注入气化剂的速度和焦炭区孔隙率也对温度场产生了明显的作用。煤灰区孔隙率未呈现出直接影响气化腔内温度分布的趋势。在煤炭地下气化工程实际操作中, 可通过精确控制有效气化剂 (如氧气 O_2 , 水蒸气 H_2O 等) 的流速, 来控制气化腔内的热源功率密度。进一步地通过增减惰性成分 (比如氮气 N_2) 的施加比例, 可以在保持有效气化剂注入速度稳定的条件下, 调整注气井处的气化剂注入速度。研究结果为气化腔内部温度分布的控制与优化提供了策略, 进而对提高化学反应的效率以及合成气的质量提供帮助。

关键词: 煤炭地下气化; 气化腔; 渗流; 传热; 热源