

多场耦合渗流力学的发展及其应用

刘曰武^{*,2)}, 丁玖阁⁺, 崔春雪⁺

^{*}(中国科学院大学工程科学学院, 北京, 邮编: 100049)

⁺(中国科学院力学研究所, 北京, 邮编: 100190)

摘要: 阐明了多场耦合渗流问题的基本概念, 对多场耦合渗流问题进行了基本分类, 确定了不同类型的多场耦合渗流问题基本特征和描述方法。将多场渗流问题分类与工程应用相结合分别加以阐述, 主要问题包括: (1) 最基本的多场耦合问题是流体在多孔介质中的输运问题, 仅存在流体特性与多孔介质性质特性的耦合问题。这类问题概括为流体动力学与多孔介质材料耦合问题 (Hydrodynamics-material 简称为 H-M 问题)。(2) 多孔介质中非等温条件下多场耦合问题, 这类问题包括了温度的变化、流体在多孔介质中的流动, 主要应用的场景在蒸汽驱油、热水驱油、火烧油层、蒸汽驱等等油气田开发过程中, 基本可以描述为“热场-流场-固体变形场”, (Temperature-Hydrodynamics-material 简称为 T-H-M 问题), 通常简称为多孔介质多场耦合的“H-M-T 问题”。(3) 多孔介质中存在化学反应的多场耦合问题, 多孔介质材料等温场中的化学流动问题, 涉及化学反应、材料性质变化, 以及多孔介质中流体流动问题, 称为“多孔介质中的流动-材料性质变化-化学反应”(H-M-C) 问题。最基础的化学反应是已有石油天然气工业中的酸化、酸化压裂及表面活性剂驱替技术等以及核工业中铀矿的地下开采问题等。

(4) 多孔介质中存在化学反应非等温多场耦合问题, 多孔介质材料非等温场中的化学流动问题, 涉及化学反应、材料性质变化以及多孔介质中流体流动问题, 可以简单记作“多孔介质中的流动-热动力学-材料性质变化-化学反应”(H-T-M-C) 问题。煤炭地下气化是煤炭清洁利用重要技术手段, 也是我国实现“双碳”目标和进行能源结构调整重要技术支撑, 煤炭地下气化尤其是深层煤炭地下气化, 对于我国国民经济的长期可持续发展有着积极的意义。报告中主要针对多孔介质科学的多场耦合研究方面, 从 4 个方面阐明了多孔介质科学中多场耦合理论的发展。从多孔介质科学中最简单的多场耦合问题—流固耦合问题, 到目前非常规能源开发、煤炭地下气化及氢能能源存储的多场耦合问题。明确指出了多孔介质多场耦合问题研究的主要难点, 明确了多场耦合渗流力学的发展方向。

关键词: 多场耦合; 渗流力学; 煤炭地下气化; 流动方程; 先导试验

1) 资金资助项目 (中石油科技重大专项“煤炭地下气化关键技术剂先导试验”(2019E025))