

大连理工大学提名 2023 年大连市自然科学奖项目公示

项目名称：天然气藏注采过程多相流动理论与强化方法

提名者：大连理工大学

一、提名意见：

该项目针对天然气资源增储上产与储气库稳定调峰我国重大战略需求，围绕非常规天然气藏开发以及储气库注采过程多元气体吸附与解吸规律、复杂气水迁移机制、水合物固体生成与防聚机理等关键科学问题开展了系统研究。发现了天然气藏注采过程竞争吸附-解吸弥散-水合固化规律，建立了多元气体吸附解吸与多相迁移固化理论。揭示了混合气体动态驱替机制与水合物固体生成控制机理，提出了气体吸附动态调控与固体物堵塞防治方法。建立了天然气藏注采过程物理与数值模拟系统，刻画了储气库建库与采气全历程气水迁移规律。研究成果成功应用于辽河油田储气库国家重大战略工程。5 篇代表性论文 SCI 他引 264 次，1 篇入选 ESI 高被引论文，研究成果获得了国内外知名学者正面引用和高度评价，引领了天然气藏注采过程多相流动学科前沿。

提名该项目为大连市自然科学奖 一 等奖

二、项目简介：

随着双碳战略的不断深化，作为一种优质的低碳能源，加速发展天然气产业是我国能源结构调整的核心任务之一，**实现天然气资源增储上产与储气库稳定调峰是我国重大战略需求**。非常规天然气资源开发以及含水层储气库建设，是大幅提高我国天然气产量并显著提升地下储气能力的关键。天然气藏注采过程存在储层孔隙结构复杂、质量传递困难、驱替与水淹反复等难点，**导致气体迁移难预测、采气效率低、固体物堵塞风险大**，实现天然气藏稳定高效注采是世界性难题。该项目在国家自然科学基金重点项目、国家重点研发计划等项目支持下，针对多元气体吸附与解吸规律、复杂气水迁移机制、水合物固体生成与防聚机理等天然气藏注采过程涉及的关键科学问题，开展了十余年研究，取得了以下主要突破和科学发现：

1. **发现了天然气藏注采过程竞争吸附-解吸弥散-水合固化规律，建立了多元气体吸附解吸与多相迁移固化理论**。发现了分压作用下多元气体竞争吸附特性，率先揭示了孔隙内异质壁面非对称吸附规律；发现了壁面空间分层吸附特征与气体分布规律，建立了复杂孔隙内气体吸附热力学模型；发现了解吸过程重力效应抑制纵向弥散并促进横向弥散现象，阐明了流固界面作用下孔隙内 CO_2 、 CH_4 弥散规律；首次发现了甲烷分子三聚体控制甲烷水合物成核与生成现象，阐明了天然气藏采气过程气水固化规律。**上述成果构建了天然气藏注采过程多相流动理论框架**。

2. **揭示了混合气体动态驱替机制与水合物固体生成控制机理，提出了气体吸附动态调控与固体物堵塞防治方法**。发现了天然气藏孔隙内混合气体吸附调控与动态驱替机制，率先提出了 CO_2 分级注入增强储存容量与强化甲烷采收率技术；发现了油酸衍生物通过羟基氢键作用防止固体颗粒聚集、同时隔绝腐蚀物质特性，创新提出了新型绿色油酸衍生物抑制采气过程水合物固体与腐蚀一体化方法。**为解决天然气藏开采效率低、固体物堵塞难题提供了有效方法**。

3. **建立了天然气藏注采过程物理与数值模拟系统，研究成果成功应用于储气库国家重大战**

略工程。建立了天然气藏注采过程物模系统与实验方法，构建了 CO₂、CH₄ 等多元气体气藏内吸附、扩散等热力学、动力学性质数据库；建立了天然气藏注采过程模拟与仿真平台，有效预测多元气体储存量与气水空间展布；刻画了双 6 储气库建库与采气全历程气水迁移规律，新型绿色抑制剂相对于传统热力学抑制剂用量减少 100 倍以上，成功应用于辽河油田 18 亿立方米双 6 储气库国家重大战略工程。

三、代表性论文专著目录(不超过 5 篇)

序号	论文专著 名称/刊名 /作者	年卷页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表 时间 年月 日	通讯 作者 (含 共 同)	第 一 作 者 (含 共 同)	国内作 者	他引 总次 数	检索数 据库	论文署名 单位是否 包含国外 单位
1	Adsorption characteristics of CH ₄ and CO ₂ in organic-inorganic slit pores/Fuel/Cong Chen, Jingyue Sun, Yi Zhang, Jianshu Mu, Weizhong Li, Yongchen Song	2020 年 265 卷 116969 页	2020 年 4 月 1 日	宋永臣	陈聪	陈聪、孙菁悦、张毅、穆建树、李维仲、宋永臣	42	Web of science	否
2	Laboratory experiment of CO ₂ -CH ₄ displacement and dispersion in sandpacks in enhanced gas recovery/Journal of Natural Gas Science and Engineering/Shuyang Liu, Yi Zhang, Wanli Xing, Weiwei Jian, Zhaoyan Liu, Tongtong Li, Yongchen Song	2015 年 26 卷 1585-1594 页	2015 年 9 月 1 日	张毅 宋永臣	刘树阳	刘树阳、张毅、邢万丽、建伟伟、刘兆岩、李彤彤、宋永臣	34	Web of science	否
3	Three-body aggregation of guest molecules as a key step in methane hydrate nucleation and growth/Communications Chemistry/Wenfeng Hu, Cong Chen, Jingyue Sun, Ning Zhang, Jiafei Zhao, Yu Liu, Zheng Ling, Weizhong Li, Weiguo Liu, Yongchen Song 高被引论文	2022 年 5 卷 33 页	2022 年 3 月 14 日	陈聪 宋永臣	胡文凤	胡文凤、陈聪、孙菁悦、张宁、赵佳飞、刘瑜、凌铮、李维仲、刘卫国、宋永臣	30	Web of science	否

4	Water contact angles on quartz surfaces under supercritical CO ₂ sequestration conditions: Experimental and molecular dynamics simulation studies/International journal of greenhouse gas control/Cong Chen, Jiamin Wan, Weizhong Li, Yongchen Song	2015 年 42 卷 655-665 页	2015 年 11 月 15 日	陈聪	陈聪	陈聪、李维仲、宋永臣	67	Web of science	是
5	Hydrogen bonding analysis of glycerol aqueous solutions: A molecular dynamics simulation study/Journal of molecular liquids/Cong Chen, Weizhong Li, Yongchen Song, Jian Yang	2009 年 146 卷 23-28 页	2009 年 5 月 31 日	陈聪	陈聪	陈聪、李维仲、宋永臣、杨健	91	Web of science	否
合 计							264		

四、主要完成人(完成单位)

序号	完成人姓名	完成单位	工作单位
1	陈聪	大连理工大学	大连理工大学
2	张毅	大连理工大学	大连理工大学
3	凌铮	大连理工大学	大连理工大学
4	刘瑜	大连理工大学	大连理工大学
5	胡文凤	大连理工大学	郑州轻工业大学
6	张宁	大连理工大学	大连理工大学