

自然资源科学技术奖

科技进步奖

公示材料

(2023 年度)

一、成果基本情况

专业评审组

成果编号

| | | | | |
|--|-------------------------------------|--------------|----|--|
| 成果名称 | 南海天然气水合物冷泉的记录、演化及其触发机制 | | | |
| 主要完成人 | 陈芳, 冯东, 庄畅, 胡钰, 周洋, 王旭东, 曹珺, 吴聪, 陈弘 | | | |
| 主要完成单位 | 广州海洋地质调查局; 上海海洋大学 | | | |
| 院士 (签字) | | | | |
| 推荐单位 (盖章) | | | | |
| 学科分类 名称 | 1 | | 代码 | |
| | 2 | | 代码 | |
| | 3 | | 代码 | |
| 所属国民经济行业 | | | | |
| 任务来源 | 国家自然科学基金委 | | | |
| 具体计划、基金名称、项目名称和编号: (不超过 300 字) | | | | |
| 1. 国家自然科学基金面上项目“南海北部水合物分解释放的微体古生物和沉积记录及其环境效应”(编号: 41372012); | | | | |
| 2. 国家自然科学基金面上项目“基于年代学的南海东北部 50 万年来古冷泉活动演化历史的重建”(编号: 41776066); | | | | |
| 3. 国家自然科学基金优秀青年科学基金项目“冷泉沉积及其地球化学”(编号: 41422602)。 | | | | |
| 授权发明专利(项) | 0 | 授权的其他知识产权(项) | 0 | |

| | | |
|----------|-------------------|-------------------|
| 项目起止时间 | 起始： 2014年 01月 01日 | 完成： 2021年 12月 31日 |
| 推荐单位推荐等级 | | 是否推荐特等奖 |

二、推荐意见

(适用于推荐单位)

| | | | |
|--|-----------|------|--------|
| 推荐单位 | 广州海洋地质调查局 | | |
| 通讯地址 | | 邮政编码 | 511458 |
| 联系人 | | 联系电话 | |
| 电子邮箱 | | 传 真 | |
| <p>推荐意见：（限 600 字）</p> <p>针对中国南海地质时期示踪水合物分解释放甲烷渗漏指标的不明确、较长地质历史冷泉的演化缺少系统的认识、水合物冷泉活动对环境影响的评估缺乏量化指标以及驱动水合物冷泉活动的机制存在争议等问题，该团队经过近 10 年联合科研攻关，在水合物冷泉活动的沉积地球化学记录、演化史和水合物冷泉活动的驱动机制等方面获得多项新的科学发现和创新性成果：建立示踪地质时期水合物冷泉活动的多载体地球化学标识，包括示踪海底强烈甲烷渗漏和水合物分解事件的新指标—钼（Mo）元素的强烈富集，示踪水合物分解释放的底栖和浮游有孔虫 $\delta^{13}\text{C}$ 值极负偏事件，高维度同位素识别硫酸盐驱动甲烷厌氧氧化过程的新方法等；重建了迄今为止全球最长地质历史的冷泉演化史，提供了高海平面时期存在强烈甲烷渗漏活动的年代学证据，从而提出新的水合物分解释放触发机制—底水升温。上述研究成果填补了我国海域天然气水合物-冷泉系统基础地质理论与发现的空白，引领了我国海域水合物-冷泉系统地质认识前沿。项目成果引起了国内外天然气水合物冷泉领域同行专家的广泛关注和引用。项目执行期间，团队在国内外知名权威期刊上发表了中英文论文 28 篇，其中 SCI 论文 16 篇，EI 论文 6 篇，中文核心 6 篇，单篇论文（代表性论著 1）总被引 85 次，其中 SCI 他引 46 次。在各大媒体、官方网站和公众号上广泛宣传报道了研究成果，具有广泛的社会影响力。</p> <p>同意推荐申报自然资源科学技术奖科技进步二等奖。</p> | | | |

三、成果简介

(限 1 页, 1200 字)

冷泉的形成与演化与天然气水合物密切相关,冷泉发育高品质水合物和深海极端环境生命,是揭示海洋多圈层相互作用和全球变化的国际前沿领域。针对地质时期示踪水合物分解释放甲烷渗漏指标的不明确、较长地质历史冷泉的演化缺少系统的认识、水合物冷泉活动对环境影响的评估缺乏量化指标以及驱动水合物冷泉活动的机制存在争议等问题,项目开展了一系列相关研究,获得多项新的科学发现和创新性成果:

建立示踪地质时期水合物冷泉活动的多载体地球化学指标,包括示踪海底强烈甲烷渗漏和水合物分解事件的新指标—钼(Mo)元素的强烈富集,示踪水合物分解释放的底栖和浮游有孔虫 $\delta^{13}\text{C}$ 值极负偏事件,识别现代不活动冷泉及古冷泉系统中甲烷的来源的双壳类壳体有机质同位素地球化学指示标志;

创建高维度同位素识别硫酸盐驱动甲烷厌氧氧化过程的新方法,通过研究现代和古代冷泉碳酸盐岩中的晶格硫酸根(Carbonate-associated sulfate,简称CAS)的硫和氧稳定同位素组成,发现冷泉碳酸盐岩CAS具有特定的低 $\delta^{18}\text{O}/\delta^{34}\text{S}$ 斜率(~ 0.3),且该斜率不受样品的年代和发育位置等因素的影响,仅与环境中甲烷通量有关。

创新性提出新的水合物分解释放触发机制—底水升温,基于高质量 U-Th 定年数据,首次提供了高海平面时期存在强烈甲烷渗漏活动的证据,结合数值模拟研究发现底水温度的升高是导致当时天然气水合物分解的主要因素,挑战了先前普遍接受的海平面降低导致海底大规模水合物分解的观点。

在国内外著名地学期刊上发表中英文论文 28 篇,其中 SCI 论文 16 篇, EI 论文 6 篇,中文核心 6 篇,单篇论文(Chen et al., 2016, *Chemical Geology*)总被引 85 次,其中 SCI 他引 46 次。培养国家杰出青年基金获得者 1 人,正高 2 人,副高 4 人,博士生硕士生各 1 名。成果引起了国内外同行的广泛关注,被国际顶级刊物 *Nature Geoscience*、*Nature Index* 刊物、顶级综述刊物 *Earth-Science Reviews* 以及古冷泉国际经典专著 *Ancient Hydrocarbon Seeps* 等引用,所创建的高维度同位素识别硫酸盐驱动甲烷厌氧氧化过程的新方法(发表在 *Geology*),已经用于解决重大科学问题。

项目的实施大大加强了我国水合物冷泉基础研究的国内外合作与交流,研究成果填补了我国海域天然气水合物-冷泉系统基础地质理论与发现的空白,提升了我国水合物冷泉基础地质理论研究领域的国际影响力,引领了全球水合物冷泉系统微量元素地球化学的研究。

四、客观评价

(限 2 页)

1. 原创性和科学价值

项目成果主要基于南海水合物冷泉系统中的钻孔沉积物的系统研究所获得,该钻孔是记录了迄今为止全球海域独一无二的渗漏型水合物、冷泉自生碳酸盐岩和冷泉生物同时出现的代表较长地质历史(距今约 50 万年)的沉积,因此,这些创新性的研究成果不仅解决了以往科学问题,而且提出了全新的科学假说,引领了全球同类研究。

2. 同行引用与评价

2016 年率先在国际上开展了冷泉碳酸盐 Mo 含量的异常富集现象的研究,受到国内外同行的广泛跟进,被后续几乎所有同类研究所引用,单篇文章共引用 85 次,其中 SCI 他引 46 次(2023 年查新报告),重要引用还包括地球科学领域顶级 Nature Index 刊物 *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *Geology* 和顶级综述刊物 *Earth-Science Reviews* 以及古冷泉国际经典专著 *Ancient Hydrocarbon Seeps*。微量元素地球化学领域国际权威专家、*Geology* 编委、法国科学家 Tribovillard 教授在他的论著中(Tribovillard et al., 2018)高度评价了我们所确立的 Mo 元素含量异常与甲烷渗漏活动之间的偶联关系;

发表在 Nature Index 刊物 *Geophysical Research Letters* 上的成果“Gas hydrate dissociation during sea-level highstand inferred from U/Th dating of seep carbonate from the South China Sea”被国际顶级刊物 *Nature Geoscience* 正面引用(2020, 13, 733-738);

所创建的高维度同位素识别硫酸盐驱动甲烷厌氧氧化过程的新方法,被用于解决重大科学问题,如南京大学彭永波教授团队应用该方法揭示了新元古代陡山沱组盖帽碳酸盐岩沉积晚期(6.35 亿年前)的海洋具有异常高的甲烷通量(Peng et al., *PNAS*, 2022)。

3. 新闻媒体报道

《中国矿业报》、《中国国土资源报》、中国地质调查局官网、广洋地质调查局官网,微信公众号“地学之家”、“Marine sedimentology”、“元素科学与技术”等广泛宣传报道了项目的创新性成果

4. 所获奖励

2023 年,项目“南海天然气水合物冷泉的记录、演化及其触发机制”获广东省地质科学技术奖二等奖。

五、主要知识产权目录 (不超过 10 件)

1. 代表性论文专著目录 (不超过 8 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/ 第一 作者 是否 为本 成果 主要 完成 人 | SC I 他 引次 数 | 他 引总 次数 |
|----|--|---|--|-----------------------------------|---------------------|--|----------------------|---------------|
| 1 | Evidence of intense methane seepages from molybdenum enrichments in gas hydrate-bearing sediments of the northern South China Sea | Chemical Geology | Chen Fang, Hu Yu, Feng Dong, Zhang Xin, Cheng Sihai, CaoJun, Lu Hongfeng, Chen Duofu | 2016 年, 443 卷, 173-181 页 | 2016 年 | 是 | 46 | |
| 2 | Light carbon isotope events of foraminifera attributed to methane release from gas hydrates on the continental slope, northeastern South China Sea | Science China Earth Sciences | Zhuang Chang, Chen Fang, Cheng Sihai, Lu Hongfeng, Wu Cong, Cao Jun, Duan Xiao | 2016 年, 59 卷, 1981-1995 页 | 2016 年 | 是 | 16 | |
| 3 | Using Bathymodiolus tissue stable carbon, nitrogen and sulfur isotopes to infer biogeochemical process at a cold seep in the | Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research | Feng Dong, Cheng Ming, Kiel Steffen, Qiu JianWen, Yang Qunhui, Zhou | 2015 年, 104 卷, 52-59 页 | 2015 年 | 是 | 38 | |

| | | | | | | | | |
|---|---|------------------------------|---|--------------------------|-------|---|----|--|
| | South China Sea | Papers | Huaiyang, Peng Yongbo, Chen Duofu | | | | | |
| 4 | A carbonate-based proxy for sulfate-driven anaerobic oxidation of methane | Geology | Feng Dong, Peng Yongbo, BaoHuiming, Peckmann Jörn, Roberts Harry H., Chen Duofu | 2016年, 44卷, 999-1002页 | 2016年 | 是 | 27 | |
| 5 | Gas hydrate dissociation during sea-level highstand inferred from U/Th dating of seep carbonate from the South China Sea | Geophysical Research Letters | Chen Fang, Wang Xudong, Li Niu, Cao Jun, Bayon Germain, Peckmann Jörn, Hu Yu, Gong Shanggui, Cheng Hai, Edwards R. Lawrence, Ning Youfeng, Jin Meng, Huang Huiwen, Wu Cong, Sun Yuedong, Chen Hong, Zhou Yang, Chen Duofu, Feng Dong* | 2019年, 46卷, 13928-13938页 | 2019年 | 是 | 17 | |
| 6 | Methane seepage patterns during the middle Pleistocene inferred from molybdenum enrichments of seep carbonates in the South China Sea | Ore Geology Review | Deng Yinan, Chen Fang, Hu Yu*, Guo Qingjun, Cao Jun, Chen Hong, Zhou Jianhou, Jiang Xuexiao, ZhuJiang | 2020年, 125卷, 103701 | 2020年 | 是 | 9 | |
| 7 | Possible links between methane seepages and glacial-interglacial transitions | Geophysical Research Letters | Deng Yinan, Chen Fang, Guo Qingjun, Hu Yu, Chen Daohua, Yang | 2021年, 48卷, e2020GL091 | 2021年 | 是 | 8 | |

| | | | | | | | | |
|---|--|--|---|-----|--|--|--|--|
| | | | Shengxiong, Cao Jun, Chen Hong, Wei Rongfei, Cheng Sihai, Zhou Jianhou, Liu Chenhui, Jiang Xuexiao, Zhu Jiang | 429 | | | | |
| 8 | | | | | | | | |