

党鹏飞, 王文博, 李亚东, 等. 流体地质作用与资源环境效应——基于第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会的综述[J]. 地球科学与环境学报, 2023, 45(2): 322-337.

DANG Peng-fei, WANG Wen-bo, LI Ya-dong, et al. Fluid Geological Process and Resource Environment Effect—Summary of the 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2023, 45(2): 322-337.

DOI: 10.19814/j.jese.2022.08022

·《地球科学与环境学报》更名二十周年纪念专辑·

# 流体地质作用与资源环境效应

## ——基于第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会的综述

党鹏飞<sup>1,2</sup>, 王文博<sup>1</sup>, 李亚东<sup>1</sup>, 崔杰<sup>1\*</sup>

(1. 广州大学 土木工程学院, 广东 广州 510006; 2. 香港中文大学 地球系统科学系, 香港 999077)

**摘要:** 基于第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会的主要交流成果, 从侧面综述了近几年地质流体的形成演化与矿产资源的富集分布及环境灾害研究进展和发展趋势。从深部地质作用与矿产资源, 地质流体研究的物理化学技术, 流体地球化学特征与地震活动, 地热资源的赋存特征和发展现状, 地质资源的成藏特征、主控因素以及富集规律, 流体地球科学与地理自然环境等 6 个方面对本次学术研讨会主要交流成果进行了总结。结果表明: ① 油气和矿产资源的生成和演化机制、富集和运移机制以及勘探和开发技术的发展依然是目前流体地球科学领域研究的重点, 且研究内容也更加注重资源产生和演化的历史与机制; ② 利用多样化且更精确的新技术对地质条件更加复杂、埋藏更深及勘探和开采难度更大的新领域进行拓展研究是当前的主要趋势; ③ 目前中国极端自然灾害风险的不确定性受全球气候变化等自然、经济、社会因素的影响, 表现出增长趋势, 破坏性地震正处于频发时期, 自然灾害的突发性、异常性和复杂性同时也表现出增长趋势, 因此, 提升中国自然灾害防治能力刻不容缓。

**关键词:** 地球科学; 地质灾害; 地质作用; 主控因素; 成藏特征; 矿产资源; 环境灾害; 地震预测

中图分类号: P62; P66; P694

文献标志码: A

文章编号: 1672-6561(2023)02-0322-16

## Fluid Geological Process and Resource Environment Effect

—Summary of the 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters

DANG Peng-fei<sup>1,2</sup>, WANG Wen-bo<sup>1</sup>, LI Ya-dong<sup>1</sup>, CUI Jie<sup>1\*</sup>

(1. School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, Guangdong, China;

2. Earth System Science Programme, the Chinese University of Hong Kong, Hong Kong 999077, China)

**Abstract:** The 8th symposium on fluid geoscience, mineral resources and environmental disasters reflects the formation and evolution of geological fluids, the enrichment and distribution of mineral resources, and the research progress and development trend of environmental disasters in

收稿日期: 2022-08-15; 修回日期: 2022-09-30

投稿网址: <http://jese.chd.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金项目(42204050); 广东省青年优秀人才国际培养计划博士后项目;

广州市博士后科研基金项目(62216242)

作者简介: 党鹏飞(1988-), 男, 陕西扶风人, 广州大学助理研究员, 工学博士, 博士后, E-mail: iempengfeid@gzhu.edu.cn.

\* 通讯作者: 崔杰(1962-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 教授, 博士研究生导师, 工学博士, E-mail: jcui@gzhu.edu.cn.

recent years. The relevant papers of the 8th symposium regarding fluid geoscience, mineral resources and environmental disasters from 6 aspects, including the deep geological processes and mineral resources, the physicochemical techniques of geological fluid research, the fluid geochemical characteristics and seismicity, the occurrence characteristics and development status of geothermal resources, the accumulation characteristics, controlling factors and enrichment rules of geological resources, the fluid geoscience and geographical natural environment, were summarized. The results show that ① the generation and evolution mechanism, enrichment and migration mechanism of oil, gas and mineral resources, and the development of exploration and development technology are still the focus of the current research in the field of fluid geoscience, and the research content also pays more attention to the history and mechanism of resource generation and evolution; ② it is the current main trend to adopt diversified and more accurate new technologies to explore new fields with more complicated geological conditions, deeper burial and more difficult exploration and exploitation; ③ at present, the uncertainty of China's extreme natural disaster risk is affected by many natural, economic and social factors, and it shows an increasing trend; destructive earthquakes are in a period of frequent occurrence, and the sudden, abnormal and complex characteristics of natural disasters are also showing an increasing trend, therefore, it is urgent to improve China's natural disaster prevention and control capacity.

**Key words:** earth science; geological hazard; geological process; main control factor; reservoir forming characteristic; mineral resource; environmental disaster; earthquake prediction

## 0 引言

为推动新时期流体地球科学向纵深方向发展,助力西藏重大战略、重大工程、重大计划实施推进,2022年7月10日至14日,第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会在西藏自治区拉萨市和林芝市举办。本次学术研讨会由中国地球物理学会流体地球科学专业委员会、西藏自治区科学技术协会联合主办,分为流体地球科学前沿及理论技术、流体地球科学与矿产资源、流体地球科学与环境灾害等3个主题(图1)共举行89场报告。这些报告反映了近几年来地质流体的形成演化与矿产资源的富集分布,以及环境灾害的研究进展和发展趋势。本文总结了此次学术研讨会的主要交流成果,从深部地质作用与矿产资源,地质流体研究的物理化学技术,流体地球化学特征与地震活动,地热资源的赋存特征和发展现状,地质资源的成藏特征、主控因素以及富集规律,流体地球科学与地理自然环境等6个方面总结归纳成文,抛砖引玉,以飨读者。

## 1 深部地质作用与矿产资源

向地球深部进军是中国重要的资源战略,同时也是地质学科发展的重要方向。地球深部地质作用的过程和方式存在差异,因此,地球不同深度流体的

活动特性及其对资源富集成藏的影响也随之表现出差异性<sup>[1]</sup>。因此,许多学者分别从跨构造期热流体、岩浆活动、火山爆发等角度对油气生成、富集和运移机制以及地质构造和资源形成等进行了研究。

杨伟伟等利用场发射扫描电镜能谱测试技术以及微量元素、同位素等资料发现了鄂尔多斯盆地长7期多种热水活动存在的证据,并进一步深化了长7段优质烃源岩发育机制,再次说明深部流体(海底、湖底)在富有机质烃源岩发育中起到重要作用<sup>[2]</sup>。何治亮等分析梳理了盆地深部地质作用对深层烃源岩生烃与演化、储层发育与保存、油气运移与聚集及油气共伴生资源富集的控制作用,总结了研究进展和面临的科学问题,提出了进一步科技攻关的方向,指出深入开展深部地质作用与深层油气资源研究,必须从深部构造演化出发,以深部地质过程和资源效应为突破口,探讨地球深部层系物理化学的影响机制,揭露地球不同深度地质作用过程对不同类型地质资源(如油气、氢气、二氧化碳、氦气、地热和干热岩等)的形成与聚集的控制机理,进一步丰富盆地深部地质作用影响下油气的富集理论及评价方法,也为深部其他战略性共伴生资源的评价与勘探提供科学依据<sup>[1]</sup>。

为了更加合理地描述胶东中生代金成矿系统独特的地质特性与成矿特征,杨立强等建立了新的胶

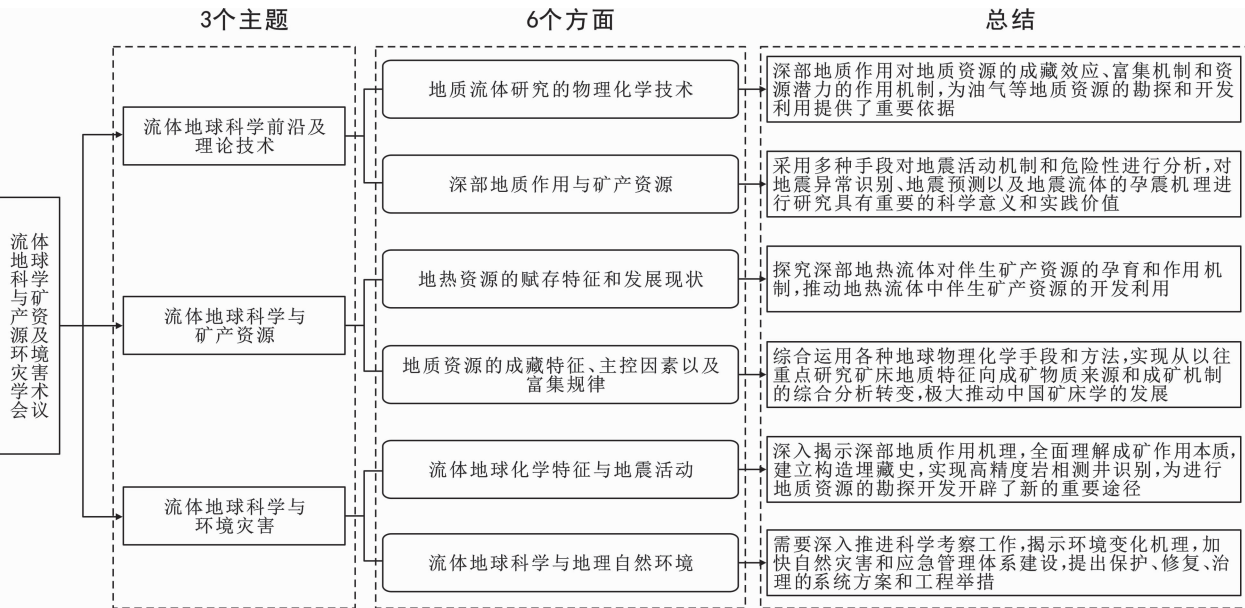


图 1 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会内容汇总

Fig. 1 Summary of the 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters

东型金矿床成因模型,指出前寒武纪变质基底岩石中成矿物质的活化再造产生了巨量金,而成矿流体主要来自于俯冲板片变质脱水<sup>[3]</sup>。为应对深层碳酸盐岩储层强非均质性以及局部油气藏破坏的挑战,曹彦清等通过对塔里木盆地古城地区钻遇奥陶系 18 口探井的岩芯、薄片、阴极发光、激光 U-Pb 定年、沥青反射率、包裹体等分析化验以及地震资料解释,结合区域研究成果,系统分析了跨构造期热流体对深层—超深层碳酸盐岩油气成藏的控制作用<sup>[4]</sup>。席斌斌等通过对塔里木盆地顺南地区 SN1 井包裹体特征和古温压的研究,发现该地区深部热流体活动强烈,不仅对储层起到了较强烈的改造作用,而且可能对油气藏的次生变化起到了促进作用<sup>[5]</sup>。

岩浆热液成矿理论是当前国内外最流行的金属矿床成矿理论,并成为岩浆热液成矿理论内所有学派的共识和理论基础。流行的成矿模型一般将成矿金属的大规模堆积归因于岩浆分异作用,然而模型具有许多令人费解之处。因此,本次学术研讨会中,诸多学者对成矿作用与岩浆活动的内在机制进行了交流。罗照华提出了透岩浆流体成矿模型,即岩浆系统与流体系统混合产生岩浆成矿系统,后者再分裂为成岩系统和成矿系统<sup>[6]</sup>。然而,卢欣祥等通过长期的观察和深入的研究指出,岩浆热液成矿理论具有明显不足,并新建立了透岩浆流体成矿理论<sup>[7]</sup>。曾普胜等研究发现中国东部燕山期的大规模岩浆活动代表了中国东部地质历史演化中的一次大火成岩省事件,实际控制着中生代以来中国华北—扬子地

台的构造格局变化、资源能源形成与地质环境变迁<sup>[8]</sup>。李梅则对汤加火山爆发与盆地超深层油气形成进行了对比研究<sup>[9]</sup>。

不同深部地质作用的过程和方式各不相同,其活动特征以及对地质资源富集成藏的影响也表现出明显差异。开展深部地质作用过程及其对深部油气成藏影响研究,探索深部地质作用对不同类型地质条件下油气资源形成与分布的影响机制,阐明深部流体携带物质与能量的成藏效应和资源潜力,对于完善深部油气形成、聚集理论与评价方法具有重要意义,能够为深部油气资源及共伴生资源的分布预测和勘探开发提供有力依据。

2 地质流体研究的物理化学技术

精细化、量化描述是矿床地球化学学科发展的必然趋势。在详细的矿床地质特征和控矿因素研究基础上,依据原位微量元素-同位素组成,综合应用地球物理和化学方法精细刻画成矿作用的地球化学和热力学过程,为深入揭示岩浆起源-演化和流体-岩石相互作用机理、元素迁移及沉淀机制,全面理解成矿作用本质开辟新的重要途径。

2.1 流体包裹体成分分析方法

流体包裹体是古地质流体原始信息的有效赋存体,也是成矿流体特性及油气流体示踪非常重要的研究对象。由于页岩气层中含甲烷气体的流体包裹体和高密度甲烷包裹体分布较多,所以这些包裹体被认为是页岩气勘探与评价中非常重要的标识。

利用流体包裹体分析成矿过程流体性质,识别含油气盆地油气演化过程,恢复成矿/成藏压力,判断油气成熟度等,具有广泛的应用前景。高键等通过对流体包裹体岩相学及激光拉曼光谱的研究,发现鄂西宜昌地区高密度甲烷包裹体主要存在于震旦系陡山沱组和下寒武统牛蹄塘组页岩储层及震旦系灯影组密西西比型(Mississippi Valley Type, MVT)铅锌矿床中,在此基础上确定了包裹体的密度和MVT型铅锌矿床成矿年代<sup>[10]</sup>。曹锐等研究发现流体活动与矿产资源的演化成因和资源成藏有着紧密的联系,建议不断深化流体对矿产资源的富集机理研究,针对性地研发相关勘查和提取技术<sup>[11]</sup>。万佳林等以塔里木盆地库车坳陷东部地区的明南1井侏罗系样品开展流体包裹体研究,利用油气包裹体丰度、岩相学、荧光光谱和显微测温分析,结合原油的生物标志化合物特征,研究了该区油气的有机质来源,探讨了库车坳陷侏罗系储集层油气成藏史<sup>[12]</sup>。周云等对透明矿物中与之共生锡石的流体包裹体进行了岩相学观察、红外显微测温、激光拉曼成分及LA-ICP-MS原位分析,深入了解湖南锡田钨锡多金属矿床的成矿流体演化过程和成矿元素迁移机制,进一步揭示了其成矿机制<sup>[13]</sup>。王蝶等通过对缅甸蒙育瓦铜矿七星塘矿区流体包裹体的发育类型、盐度和温度进行研究,发现其成矿流体与斑岩型矿床的成矿流体极为相似<sup>[14]</sup>。

虽然流体包裹体在中国已经得到了广泛应用,然而受限于其复杂的岩相学特征和微小尺寸,如何更好地对流体包裹体进行观测识别,以及如何准确获取流体包裹体中所蕴含的物理、化学信息,一直是流体包裹体研究的关键内容。结合国际上相关研究进展来看,中国基于单个流体包裹体成分分析的研究仍处于起步阶段,在分析技术和研究应用方面还有很大发展空间。突破现有的技术瓶颈获得更高的测试精度和更低的检测限,实现对微小包裹体的可靠分析,对中国地质资源的进一步开发利用具有十分重要的意义。

## 2.2 激光拉曼光谱分析技术的发展和應用

激光拉曼光谱分析以其非破坏性、高灵敏度和高分辨率等特性,一直以来都是研究流体包裹体的重要方法之一。随着近年来拉曼光谱分析技术逐渐成为地质学的常规分析手段,越来越多的科研人员渴望将显微拉曼分析与传统的表征技术(如扫描电子显微镜、荧光显微镜、尺寸和形态分析)结合起来。吴迪等探讨了显微激光拉曼光谱法和显微傅里叶变

换红外光谱法(MICRO-FTIR)的测试数据及地质应用,阐明上述两种方法在分析成矿过程流体性质、识别含油气盆地油气演化过程、恢复成矿/成藏压力、判断油气成熟度等方面具有广泛的应用前景<sup>[15]</sup>。张鼎等通过天然气和液态烷烃混合物在不同压力和温度下的原位拉曼测试,证明随着压力增加,气态烃和液态烃的特征峰拉曼移动方向不同<sup>[16]</sup>。苗芃介绍了HORIBA Scientific最新拉曼-SEM关联显微成像技术和相关的应用案例<sup>[17]</sup>。

激光拉曼光谱分析技术如今正由定性分析向定量分析等复合分析发展。针对不同类型的流体包裹体及所含物质,可以依据其拉曼活性特征来灵活选择定性或定量方法。而利用这些物质的拉曼特征参数准确、全面地获取矿物中单个流体包裹体的成分、盐度、同位素、压力等信息,可以弥补以往大多依靠定性分析来单一测试其流体成分的局限性,进一步扩大其适用范围。

## 2.3 岩石结构组分的精确识别方法

碳酸盐岩地层通常经历强烈的成岩作用和缝洞发育,目前遇到的比较棘手的问题是如何利用常规测井资料较为精确地识别以岩石结构组分划分的岩相。近年来,基于有效测井参数和机器学习的联合手段已成为提高岩相识别精度的重要方法。李昌等将视岩石结构数(Apparent Rock-fabric Number, ARFN)参数法与K-邻近(K-nearest Neighbor, KNN)分类算法相结合,采取常规测井KNN分类算法识别大分类岩相和电成像测井支持向量机(Support Vector Machine, SVM)算法综合识别岩石构造特征的方法,将常规测井和电成像测井、人工智能机器学习的优势综合,实现高精度岩相测井识别<sup>[18]</sup>。

## 2.4 采用同位素测温和定年技术开展构造埋藏史的重建

地质学的一个研究热点是建立可靠的构造埋藏史。最近数十年的研究结果表明,可以通过同位素定年技术和测温技术实现构造埋藏史的重建。

常健等在系统综述锆石He扩散动力学模型及差异性基础上,探讨了锆石(U-Th)/He热定年技术在中国克拉通盆地古老层系热史恢复中的适用性<sup>[19]</sup>。沈安江等以川中古隆起震旦系灯影组气藏成藏地质过程重建为例,阐述碳酸盐矿物激光原位U-Pb定年和团簇同位素( $\Delta_{47}$ )测温技术在中国古老海相碳酸盐岩跨构造期油气成藏地质过程重建中的应用<sup>[20]</sup>;另外,沈安江等通过对塔里木盆地震旦系

奇格布拉克组的研究,阐明了基于 U-Pb 年龄和  $\Delta_{47}$  温度约束的构造埋藏史重建技术<sup>[21]</sup>。井向辉等为了进一步研究鄂尔多斯盆地内部是否存在内部裂陷槽及其对油气藏形成的影响,对鄂尔多斯盆地的野外侵入岩露头及钻井取芯开展锆石 U-Pb 年代学、Lu-Hf 同位素及地球化学(主量、微量元素)测试分析<sup>[22]</sup>。蔡春芳通过对贵州西溪堡、下大屋、长行坡、盆架山和钻孔 810 井大塘坡组锰矿段有机硫四硫同位素、微量元素和 Cr 同位素的测试研究发现,在早成岩时期,沉积物中  $\text{MnO}_2$  被有机质(甲烷)和早期黄铁矿氧化,形成菱锰矿和富锰方解石,伴随着第二期微生物硫酸盐还原作用,形成超重黄铁矿和有机硫<sup>[23]</sup>。针对走滑断裂带多期断缝体系-复杂流体活动耦合与储层、成藏关系,以及流体对断控储层的改造机理不清楚等问题,王斌等基于 U-Pb 定年约束下的成藏期综合判识技术,确定了油气成藏期次和时间,厘定了深层断控环境下成岩-流体-成藏耦合关系,恢复了不同走滑断裂带油气成藏动态过程<sup>[24]</sup>。

目前,同位素定年技术已经得到了广泛的应用,并保持着良好的精度。“更高精度、更高空间分辨率和更高效率”是同位素年代学发展的重要趋势,也是深时高精度同位素年代学学科发展和应用的一个新挑战。由于综合运用多种定年技术时需要考虑不同定年体系衰变常数的误差,难以实现高空间分辨率下的研究,所以开展同位素体系之间的交叉校准是高精度定年体系未来工作的核心任务。

## 2.5 波阻抗反演技术的应用和发展

深部找矿勘查是国际矿床学和勘查学界的重大前沿领域。揭示岩石圈结构和组成对矿集区分布的控制,建立隐伏矿床的地球化学异常模式和深穿透地球化学与矿物地球化学探测技术,对于突破探矿技术瓶颈、提升隐伏矿的探测能力将起到至关重要的推动作用<sup>[25]</sup>。弹性波阻抗反演技术利用地震数据、纵波、横波、密度等测井资料,联合反演出多种弹性参数,综合判别储层物性及含油气性,是油气勘探开发各阶段研究储层和流体的重要方法。在此基础上发展的扩展弹性波阻抗反演技术能充分发掘地质体的弹性信息和叠前道集振幅随偏移距变化的响应特点,是对截距和梯度属性更深入的应用。

由于扩展弹性波阻抗反演技术包含更丰富的岩性和流体信息,所以被作为一种有效的流体检测技术。张勇刚等在论述了扩展弹性波阻抗的概念以及反演方法原理的基础上,给出了利用扩展弹性波阻

抗反演进行岩性或流体检测的具体流程,并通过某海上研究区的实用效果表明基于扩展弹性波阻抗反演的储层预测技术在该区具有可行性和有效性<sup>[26]</sup>。陈建文等针对南黄海盆地海相中—古生界开展了地震探测技术攻关,形成了具有“高覆盖次数、富低频信号、强震源能量”等显著优点的“高富强”地震探测技术<sup>[27]</sup>。

波阻抗反演精度受地震资料主频、频带宽度、低频模型精度等多重因素影响,且目前所采集的常规地震资料往往缺失 10 Hz 以下的低频信息,而低频信息的缺失将影响反演结果中低频和高频成分的准确性,进而降低波阻抗反演精度。因此,在油气勘探开发的不同阶段,如何根据不同的地质条件选取合适的方法构建低频模型补偿地震数据缺失的低频成分,就成为提高波阻抗反演精度的关键所在。

## 2.6 地球物理、化学分析方法的应用和发展

中国地质条件复杂,局部地区地层年代老、埋藏深、成因复杂,因此,规模储层发育潜力评价与分布预测难。这就需要更加先进的技术手段应对这些挑战。

孔隙形成与保存模拟实验是在实验室重现溶蚀与沉淀过程,是认识深层碳酸盐岩孔隙发育主控因素和分布规律的重要手段。国内外学者为明确白云岩溶蚀条件与主控因素等问题相继开展了白云岩溶蚀实验研究,但是目前仍存在溶蚀机制研究和增孔能力研究不足的问题。余敏等有针对性地开展了白云岩在不同温度和含不同盐试剂有机酸溶液的溶蚀实验,以及埋藏环境下含有机酸地层水在白云岩内部孔隙中的溶蚀实验,讨论了白云岩发生有机酸溶蚀的化学机制、有利条件和增孔能力,揭示了深层碳酸盐岩储层经历漫长溶蚀改造过程中孔喉结构的演变规律及主控因素<sup>[28]</sup>。梁培等选取了白云鄂博矿区 H8-H9 碳酸岩-硅酸岩杂岩体中的 5 种产出状态下的黑云母进行原位地球化学分析,探讨了白云鄂博矿区岩浆演化和热液成矿过程<sup>[29]</sup>。周世新等通过对盆地泥页岩烃源岩、油田水样品、煤样样品源岩中有机酸进行去离子水萃取和离子色谱法检测,发现烃源岩中有机酸分布受热成熟度、有机质类型、总有机碳(TOC)和埋深等多因素共同控制<sup>[30]</sup>。中国陆相页岩油气资源潜力巨大,但由于陆相页岩具有黏土矿物含量高、非均质性强等特点,很难实现大规模体积压裂。为解决这一关键技术难题,刘卫彬等综合利用压裂模拟、微观分析等实验手段对松辽盆地青山口组一段富含油页岩层系进行研究,发现超

临界  $\text{CO}_2$  复合体积压裂具有降低页岩储层破裂压力、形成复杂缝网和溶蚀改善储层渗流通道的优势<sup>[31]</sup>。梁浩然等针对文昌组泥岩样品开展生烃模拟实验,为揭示烃源岩的生烃过程、生烃机理及资源评价提供了重要手段<sup>[32]</sup>。

虽然目前已有诸多物理化学手段可以对岩层的分布特征、物理特性进行研究,但在其演化机制、不同界面间物质和能量迁移转化规律、不同学科间的协同等方面还缺乏全面系统的认识。为了更精确、更全面地对岩层的物理化学特征进行研究,需开发更先进的模拟实验装置,使得模拟实验条件更加逼近实际地质环境,以满足复杂的地质条件和多因素综合作用下的实验需求。同时,在现有研究技术的基础上,结合多种实验手段,建立多指标、多领域交叉的综合分析技术,实现对岩层特性多角度、更全面的分析和认识。

### 3 流体地球化学特征与地震活动

地震的孕育和发生过程始终伴随着地下物质运移、能量传输和条件改变,从而导致流体中元素和同位素的迁移与演化。伴随这一过程,流体将地下深部信号带到地表,进而形成可观测到的流体地球化学异常。活动断裂带流体的地球化学特征对地壳应力、温压条件和渗透率的变化极其敏感,可以作为指示构造或地震活动的良好指标<sup>[33]</sup>。近年来,流体地球化学研究手段已被大量投入到构造活动性分析、地震危险区的地震活动趋势判定以及地震监测预测理论和方法的应用研究中,并且取得了非常重要的研究进展。

李营等从流体地球化学与构造活动的相互关系、地震流体异常性及其在地震预测中的运用以及新技术的应用等方面归纳总结了最新研究成果<sup>[33]</sup>。崔月菊等基于中国大陆东部温泉流体的物质、能量、时间和空间等4个要素,根据大气降水量、新生代玄武岩地幔包体气体同位素组成成分、水-岩反应实验和温泉流体数据的统计结果,从温泉物质来源解析方面研究了中国大陆东部深部流体和地幔气体对温泉系统的供给量及地震地球化学前兆的判识方法<sup>[34]</sup>。毛小平等根据沉积地层中的储集层及其压力特点,分析得出储集层内含有大量的高压流体,其压力在一定条件下可以释放出来,产生流体物理爆炸,这有可能是强震能量的重要组成部分<sup>[35]</sup>。罗仁昱等利用双差层析成像方法反演了青海共和及周边地区的三维速度结构,分析了精准定位后的地震

分布特征,为区域地质构造结构研究和地震活动性、危险性分析提供了重要的参考依据<sup>[36]</sup>。目前,断层气体被广泛应用于断层活动性以及断层结构特征的研究;同时,研究介质中压力变化与断层气间的关系是断层气映震研究的主要内容之一。蒋雨函等通过对新疆呼图壁储气库开展断层气定期流动测量及定点连续观测,发现断层气  $\text{H}_2$  与储气库的压力变化存在一定的关系, $\text{H}_2$  对储气库内压力变化的响应较为灵敏<sup>[37]</sup>。

深入开展流体地球化学特征与地震活动的关系研究,对于地震异常识别、地震预测以及地震流体的孕震机理研究等都有重要的科学意义和实践价值。基于量化手段或经验性总结的地震流体地球化学异常,能在一定程度上揭示地震活动引起的流体组分前兆特征,并在此基础上被尝试用于预测地震<sup>[38]</sup>。然而,各类地震预测方法多建立在现象对应和经验统计的基础之上,缺乏地震流体地球化学异常成因机理的理论解释,观察到的异常与地震关系的唯一性也难以得到确认<sup>[39]</sup>,导致地震预测方法的运用尚存在一定的局限性。基于此,应该对地震孕育和发生过程中流体地球化学异常现象的成因机理开展更为深入的系统研究。

### 4 地热资源的赋存特征和发展现状

近年来,在全球能源革命和“双碳”目标的推动下,节能减排和应对气候变化使得地热能、太阳能及风能等清洁能源和可再生能源的开发利用成为世界各国能源发展的重要战略<sup>[40]</sup>。其中,地热能是唯一不受天气、季节变化影响的地球本土的可再生清洁能源<sup>[41]</sup>,因其具有储量大、能源利用效率高、运行成本低和节能减排等优点,目前已经成为新能源领域关注的焦点<sup>[42]</sup>。

为进一步了解中深层地热资源赋存特征和发展现状,曹锐等在系统梳理国外中深层地热资源发展过程和最新进展的基础上,结合国内中深层地热资源开发现状,对中深部地热资源开发过程中涉及的传统水热型地热资源利用、EGS 相关技术突破、地热流体中伴生矿产资源的综合利用、“矿-热共采”及工程建设中的“热害资源化”等相关问题进行了总结分析<sup>[11]</sup>,为中国中深层地热资源开发利用提供了重要的借鉴和启示。任战利等从盆地深部热动力学和盆地热演化史的角度探究了鄂尔多斯盆地中生代晚期早白垩世岩石圈深部热动力对油气生成和成藏期的主导作用,并揭示了热异常对生烃量的影响和油



气富集的成因,指明了今后鄂尔多斯盆地油气勘探方向<sup>[43]</sup>。地热田温热水的水化学组分以及特征元素浓度与比例等特征突显了热储的深部信息,对评价地热地质条件和地热田开发具有重要作用<sup>[44]</sup>。郝伟林等以西藏谷露地热田为研究目标,通过研究地热田水文地球化学特征来探讨地下水来源、热异常分布和深部热储温度,为地热田勘查及合理选择提供了非常重要的水文地质依据<sup>[45]</sup>。

总体而言,中国传统水热型地热资源潜力巨大且开发程度不高,具有很大的开发空间;中国地热流体中伴生矿产资源的相关开发依然存在着稀有元素分布特征不清、潜力不明、整体开发利用程度不高等问题。因此,应在评估地热流体中伴生矿产资源潜力基础上,进一步加强地热流体中伴生矿产资源的综合开发利用。

## 5 地质资源的成藏特征、主控因素以及富集规律

地质资源的成藏特征、赋存状态、形成与分布规律以及富集规律等关键问题的研究滞后制约了资源的勘探开发和利用。开展成矿背景、富集机制、控矿因素组合及勘查评价方法体系的研究是突破找矿瓶颈、保障资源安全的重要途径。本次学术研讨会从气藏赋存特征、地质条件的构造演化等方面对地质资源的成藏主控因素、构造埋藏史和富集规律进行了交流。

### 5.1 矿产资源

丁波等运用扫描电镜、能谱与红外吸收光谱分析等方法对铀酰碳酸盐矿物形貌特征及共生矿物开展了充分研究,揭示了新疆蒙其古尔铀矿床中铀酰碳酸盐矿物的形成机理,阐明了铀酰碳酸盐矿物的形成过程及其对铀成矿的指导意义<sup>[46]</sup>。高波等为查明中国南方古老层系页岩储层孔隙特征及其影响因素,以中上扬子地区下寒武统页岩为例,采用多种技术方法,系统开展页岩孔隙结构、类型及其影响因素研究<sup>[47]</sup>。吴东旭等基于岩芯、薄片观察,结合地层对比、沉积结构描述等,并运用岩石结构组分测井解释和井震结合古地貌恢复等手段,对鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组四段沉积时期古地貌、沉积特征和储集层展布进行了详细分析<sup>[48]</sup>。刘波等对中国北方砂岩型铀成矿特征进行研究,发现铀成矿作用受特定的构造样式和构造演化阶段控制<sup>[49]</sup>。段军茂等通过对川西北地区岩芯取样的分析测试,对川西北地区下二叠统栖霞组白云岩的结构组分、地质

构造成因以及油气成藏作用进行了研究,约束了栖霞组白云岩的成储成藏史<sup>[50]</sup>。张愿宁等从主要控矿因素及主导成矿机制两个角度对西秦岭早子沟金矿床地质特征、成岩和成矿时代、岩石成因与成矿的关系、围岩蚀变、成矿流体及成矿物质来源等多方面进行综合讨论,系统总结了早子沟金矿床的研究现状及矿床成因<sup>[51]</sup>。池英柳等根据上扬子地区 50 多个露头剖面 and 大量钻井资料,研究了硅岩的沉积特征、地球化学特征和成因机理<sup>[52]</sup>。张杰对四川盆地震旦系白云岩沉积剖面及其成因、富镁流体来源等进行了研究<sup>[53]</sup>。孟祥超等结合地质勘测结果和地质构造特征探讨了新疆吐孜阿克内沟石炭系花岗岩风化壳内铁质脉成因,发现其对与不整合面有关的油气勘探有很好的启示意义<sup>[54]</sup>。

中国矿床学研究实现了从以往重点研究矿床地质特征向成矿物质来源和成矿机制的综合分析转变,以及从以往以单个矿床的解剖为主向成矿系统和区域成矿学的综合分析转变。各种地球化学理论、方法与矿床学研究相结合,将矿床成因的认识推进到一个崭新的阶段。一是强调地球演化过程中各种重大地质事件对大规模成矿作用和大型—超大型矿床及成矿带的控制,关注壳-幔相互作用及地壳深部地质过程与浅部成矿作用的联系;二是高度重视跨学科交叉研究,大地构造学、矿物学、地球化学、岩石学、数字地球科学与矿床学的联系日趋紧密,极大地推动了中国矿床学的发展;三是开始向地壳深部的矿产资源进军,通过应用地球物理、地球化学和钻探相结合的综合勘查技术,揭示了深部成矿作用过程和深部矿产资源的分布规律。

### 5.2 油气资源

四川盆地中西部地区海相层系断裂系统发育特征及分布对海相层系沉积相带、储层发育、油气富集成藏的控制作用研究还十分薄弱。苏玉平等从多个角度论述了断裂在海拉尔盆地乌尔逊凹陷油藏和 CO<sub>2</sub> 气藏形成过程中不同阶段所起到的运移、遮挡聚集和调整改造作用<sup>[55]</sup>。贾进华通过探井取芯证实柴达木盆地涩探 1 井风险泥岩段具备含气性特征,并基于大量的镜下薄片资料观察,对三湖地区第四系生物气储层微观沉积特征进行了研究<sup>[56]</sup>。魏柳斌等通过鄂尔多斯盆地中东部奥陶系构造背景、烃源岩条件、盖层条件、储层条件、运移机理、圈闭条件的分析,提出了奥陶系盐下低丰度海相烃源岩生烃的理论认识<sup>[57]</sup>。鄂尔多斯盆地东胜气田天然气中氦气成因及来源不明,氦气成藏特征及其与烃气

成藏的关系不清,氦气富集规律及成藏主控因素研究尚未涉及等关键问题严重制约了东胜气田氦气资源的勘探开发部署。雷宝华等根据地震资料和最新的钻孔勘探研究成果,利用区域构造分析、海陆对比和地层回剥等手段,在井震标定和地震地层属性分析的基础上对南黄海盆地崂山隆起构造给出了精细解释,对崂山隆起构造特征、形成过程和油气勘探方向等方面开展了较为系统的分析和归纳<sup>[58]</sup>。于洲等基于野外剖面、地震、测井、钻井岩芯、岩石薄片、场发射扫描电镜以及微区 C-O-Sr 同位素等资料,对鄂尔多斯盆地东部奥陶系马四段的储层特征、成因及分布进行了深入研究<sup>[59]</sup>。牛君等以准噶尔盆地玛湖凹陷玛东地区二叠系下乌尔禾组砂砾岩储层为研究对象,结合矿物学、岩石学等研究,通过铸体薄片及扫描电镜资料分析,对玛东地区砂砾岩储层岩石学特征及成岩作用进行了研究<sup>[60]</sup>。高期等通过地质调查、广域电磁勘探和地质调查井钻探工作,充分分析了贵州垭紫罗裂陷槽页岩气形成地质条件、富集规律和成藏模式,并在此基础上通过页岩气地质调查井查明了其有机质页岩发育特征和含气性情况<sup>[61]</sup>。张荣虎等初步探索了塔里木盆地库车坳陷万米深层区的地质特征和油气成藏响应,编制了新的烃源岩、沉积储层和构造图件,建立了油气成藏的可能模式和流体特征<sup>[62]</sup>。王杰等开展了鄂尔多斯盆地东胜气田上古生界天然气及其伴生氦气地球化学特征与气源分析,剖析了氦气成因、来源、成藏主控因素及富集规律<sup>[63]</sup>。许锦等通过对塔里木盆地顺北地区奥陶系固体沥青层的岩石学和地球化学特征进行研究,分析了油气可能经历的成藏过程<sup>[64]</sup>。刘杰等通过对珠江口盆地惠州 26-6 构造烃源条件、储集条件、盖层条件、输导条件和圈闭条件等不同成藏条件的深入研究,总结了惠州 26-6 构造古潜山-古近系油气富集规律及成藏主控因素<sup>[65]</sup>。郭沫贞等利用岩芯、铸体薄片、荧光薄片、扫描电镜、黏土矿物等资料,结合沉积相、构造演化及有机质演化特征,对准噶尔盆地西北缘二叠系碎屑岩沸石类次胶结的分布控制因素及溶蚀孔隙发育的控制因素进行了研究<sup>[66]</sup>。苑坤对贵州黔水地 1 井进行了页岩气成藏特征及成藏机理研究,发现垭紫罗裂陷槽下石炭统打屋坝组具备良好的页岩气成藏条件<sup>[67]</sup>。杨柳等对巴西桑托斯盆地盐下幔源 CO<sub>2</sub> 气藏开展了特征描述,并讨论了其主控因素,为规避 CO<sub>2</sub> 风险提供指导<sup>[68]</sup>。张建勇等通过系统解剖中国三大克拉通盆地深层古老层系含油气系统特征及富集控制

因素,指出其具有复式含油气系统特征<sup>[69]</sup>。近年来,超深、超高压、超高温条件下油气分子如何赋存及流动已成为基础理论研究的热点之一。刘春以塔里木盆地库车前陆冲断带克深构造带超深气藏为例,研究了超深、超高压、超高温条件下甲烷赋存特征及产能响应<sup>[70]</sup>。随着常规勘探目标选取难度的增大,油气勘探正在向更深层和非常规等领域逐步拓宽<sup>[71-72]</sup>。薛永安等通过总结近几年的勘探成果,认为汇聚脊控制浅层油气运移富集成藏理论以及在该理论指导下基于地球物理方法的高勘探程度区浅层规模型构造岩性目标勘探技术创新,是渤海海域大中型油气田持续发现的重要因素<sup>[73]</sup>。

虽然中国油气勘探开发已取得显著进展,但油气勘探还面临多个科学问题亟待解决:①烃源岩发育模式、成烃及热演化机制;②储集体成因机理与预测技术;③油气成藏与富集规律;④油气赋存状态与分布规律。未来科技攻关需加强多期叠加、改造地质条件下油气形成的地质条件、赋存富集机理及地质评价技术研究,形成适应深层油气勘探的地球物理勘探技术与多信息综合集成应用技术,加强深层油气田形成条件和成藏组合研究。

## 6 流体地球科学与地理自然环境

中国极端自然灾害风险的不确定性受全球气候变化等自然、经济、社会因素的影响,表现出增长趋势,破坏性地震正处于频发时期,自然灾害的突发性、异常性和复杂性同时也表现出增长趋势,因此,提升中国自然灾害防治能力刻不容缓。

杨斌等从站网布设思路、观测指标体系、重点观测内容、站网布设进展等方面介绍了青藏高原自然资源要素综合观测实施进展情况和取得的相关成果,并从完善观测要素和观测方法、科学部署观测体系建设、加强观测队伍体系建设、创新融合共建机制和开展重大课题研究等 5 个方面对未来工作进行了展望<sup>[74]</sup>。申旭辉通过河南郑州“7·20”特大暴雨灾害对中国重大自然灾害和应急管理体系的不足和短板进行了深入剖析,指出急需揭示重大自然灾害的致灾机理,迫切需要发展全频段、智能化、高精度和高稳定性的监测预警技术系统和风险识别、风险定量精细化评估技术,加快建立灾害链演化与耦合过程试验研究平台<sup>[75]</sup>。王东升等结合地球化学数据对赫南特冰川的触发机制进行了研究,认为在赫南特期前夕,大气 CO<sub>2</sub> 含量的降低、火山含硫气体的累积以及 N<sub>2</sub>O 通量的降低是赫南特冰川触发的主



要机制<sup>[76]</sup>。

为了降低极端自然灾害风险对社会经济和群众生命、财产造成的损害,要深入推进科学考察工作,揭示环境变化机理,准确把握全球气候变化和人类活动的相互作用机制,提出保护、修复、治理的系统方案和工程举措,这对于优化生态安全屏障、推动可持续发展、推进国家生态文明建设、促进全球生态环境保护具有十分重要的意义。

## 7 结 语

本文基于第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会的主要交流成果,从深部地质作用与矿产资源,地质流体研究的物理化学技术,流体地球化学特征与地震活动,地热资源的赋存特征和发展现状,地质资源的成藏特征、主控因素以及富集规律,流体地球科学与地理自然环境等 6 个方面,综述了地质流体的形成演化、矿产资源的富集分布以及环境灾害研究的主要内容。

(1)深部地质作用过程及方式的差异造成不同深部流体的活动特性及其对资源富集成藏的影响也表现出差异性。本次学术研讨会分别从深部热流体、盆地深部地质作用、岩浆活动、火山爆发等多方面对油气生成、富集和运移机制以及地质构造和资源形成进行了交流,探讨了深部地质作用对地质资源的成藏效应、富集机制和资源潜力的作用机制,对于油气等地质资源的勘探和开发利用提供了重要依据。

(2)地质条件的复杂性以及对油气成藏过程的认识不足,使得目前精细识别岩相和准确掌握矿产资源富集规律存在困难,这也是制约资源勘探的关键问题。本次学术研讨会对流体包裹体成分分析、激光拉曼光谱分析、高精度岩相测井识别、波阻抗反演以及地球物理化学分析等技术手段的研究现状和发展趋势做了简要交流,探讨了当下研究热点——采用同位素测温和定年技术进行构造埋藏史的重建,对于深入揭示深部地质作用机理,全面理解成矿作用本质,建立构造埋藏史,实现高精度岩相测井识别,进行地质资源的勘探开发开辟了新的的重要途径。

(3)本次学术研讨会交流了地震流体地球化学特征与地震活动的关系研究,从地球流体的物理和化学特征出发,采用多种手段对地震活动机制和危险性进行分析,对于地震异常识别、地震预测以及地震流体的孕震机理研究有重要的科学意义和实践价值。

(4)本次学术研讨会交流了地热资源的赋存特征和发展现状以及深部热动力对地质资源的成藏和开发利用机制,为中国地热资源的开发利用提供了重要的借鉴和启示;除此之外,还探究了深部地热流体对伴生矿产资源的孕育和作用机制,推动了地热流体中伴生矿产资源的开发利用。

(5)本次学术研讨会从地质资源赋存特征、伴生资源的成藏和开发利用机制、地质条件的构造演化等方面对地质资源的成藏主控因素、构造埋藏史和富集规律进行了交流。中国矿床学研究综合运用各种地球物理化学手段和方法,实现了从以往重点研究矿床地质特征向成矿物质来源和成矿机制的综合分析转变,极大地推动了中国矿床学的发展。虽然中国油气勘探开发取得显著进展,但关于烃源岩成藏特征、油气成因、富集和分布规律等油气勘探面临的主要科学问题仍亟待解决。

(6)面对日渐频繁的极端自然灾害,提升中国自然灾害防治能力刻不容缓。为了降低极端自然灾害风险对社会经济和群众生命、财产造成的损害,要深入推进科学考察工作,揭示环境变化机理,加快自然灾害和应急管理体系建设,提出保护、修复、治理的系统方案和工程举措。

**崔 杰:**值此《地球科学与环境学报》更名二十周年之际,谨向贵刊表示热烈的祝贺!贵刊自更名以来,瞄准学科前沿,突出中国特色,注重理论与实际,关注地球科学与环境领域创新性研究成果和学科前沿发展,已成为展示中国地球科学与环境领域研究成果的窗口和学术交流的重要桥梁。展望未来,希望贵刊能够继续坚持办刊宗旨,持续关注学科前沿领域,为中国地球科学与环境领域的传承与发展作出更大贡献!

## 参 考 文 献:

### References:

- [1] 何治亮,李双建,刘全有,等.盆地深部地质作用与深层资源:科学问题与攻关方向[J].石油实验地质,2020,42(5):767-779.  
HE Zhi-liang, LI Shuang-jian, LIU Quan-you, et al. Deep Geological Processes and Deep Resources in Basins: Scientific Issues and Research Directions[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(5): 767-779.
- [2] 杨伟伟,井向辉,解丽琴.鄂尔多斯盆地湖底热水活动及其对长 7 段优质烃源岩发育的影响[C]//中国地球物理学会.第八届流体地球科学与矿产资源及环境

- 灾害学术研讨会. 拉萨:中国地球物理学会,2022:133.
- YANG Wei-wei, JING Xiang-hui, XIE Li-qin. The Activity of Lake Bottom Hot Water in Ordos Basin and Its Influence on the Development of High-quality Source Rocks in Chang-7 Member[C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022:133.
- [3] 杨立强,邓军,王中亮,等.胶东型金矿床成因模式与勘查模型[C]//中国矿物岩石地球化学学会.第八届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会论文集.南昌:中国矿物岩石地球化学学会,2017:125-130.
- YANG Li-qiang, DENG Jun, WANG Zhong-liang, et al. Genetic Model and Exploration Model of Jiaodong Type Gold Deposits[C]//Chinese Society for Mineralogy Petrology and Geochemistry. Proceedings of the 8th National Symposium on Metallogenic Theory and Prospecting Methods. Nanchang: Chinese Society for Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2017:125-130.
- [4] 曹彦清,张友,沈安江,等.塔里木盆地古城地区奥陶系碳酸盐岩成储与油气成藏[J].海相油气地质,2020,25(4):303-311.
- CAO Yan-qing, ZHANG You, SHEN An-jiang, et al. Carbonate Reservoir Formation and Hydrocarbon Accumulation of Ordovician in Gucheng Area, Tarim Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2020, 25(4):303-311.
- [5] 席斌斌,蒋宏,许锦,等.塔里木盆地顺南地区深部热流体活动对油藏的次生蚀变:来自包裹体的启示[C]//中国地球物理学会.第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会.拉萨:中国地球物理学会,2022:77-78.
- XI Bin-bin, JIANG Hong, XU Jin, et al. Secondary Alteration of Oil Reservoirs by Deep Thermal Fluid Activity in Shunnan Area of Tarim Basin: Inspiration from Inclusions[C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022:77-78.
- [6] 罗照华.再论透岩浆流体成矿过程[C]//中国地球物理学会.第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会.拉萨:中国地球物理学会,2022:103-104.
- LUO Zhao-hua. Rediscuss the Metallogenic Process of Permian Magmatic Fluid[C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022:103-104.
- [7] 卢欣祥,罗照华,黄凡,等.小岩浆大流体成大矿与透岩浆流体成矿作用:以东秦岭—大别山成矿带钼矿床为例[J].岩石学报,2017,33(5):1554-1570.
- LU Xin-xiang, LUO Zhao-hua, HUANG Fan, et al. "Small" Magma and "Big" Fluid Lead to form Large Scale Deposit and Transmagmatic Fluid Mineralization: Take for Example of Mo Deposits in Eastern Qinling-Dabie Mountain Metallogenic Belt[J]. Acta Petrologica Sinica, 2017, 33(5):1554-1570.
- [8] 曾普胜,李睿哲,刘斯文,等.中国东部燕山期大火成岩省:岩浆-构造-资源-环境效应[J].地球学报,2021,42(6):721-748.
- ZENG Pu-sheng, LI Rui-zhe, LIU Si-wen, et al. Yan-shanian Large Igneous Provinces in Eastern China: Magmatism-tectonics-resources-environment Effects[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2021, 42(6):721-748.
- [9] 李梅.汤加火山爆发与盆地超深层油气形成的对比研究[C]//中国地球物理学会.第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会.拉萨:中国地球物理学会,2022:137-139.
- LI Mei. A Comparative Study of Tonga Volcanic Eruption and the Formation of Ultra Deep Oil and Gas in the Basin[C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022:137-139.
- [10] 高键,李英强,何生,等.鄂西宜昌地区页岩气勘探发现对MVT铅锌矿成矿的指示意义[J].地球科学,2021,46(6):2230-2245.
- GAO Jian, LI Ying-qiang, HE Sheng, et al. Exploration Discovery of Shale Gas and Its Indicative Significance to Mineralization of MVT Lead-zinc Deposit in Yichang Area, West Hubei[J]. Earth Science, 2021, 46(6):2230-2245.
- [11] 曹锐,多吉,李玉彬,等.我国中深层地热资源赋存特征、发展现状及展望[J].工程科学学报,2022,44(10):1623-1631.
- CAO Rui, DUO Ji, LI Yu-bin, et al. Occurrence Characteristics, Development Status, and Prospect of Deep High-temperature Geothermal Resources in China[J]. Chinese Journal of Engineering, 2022, 44(10):1623-1631.
- [12] 万佳林,侯连华,于志超,等.库车坳陷侏罗系储层流体包裹体地化特征和油气成藏机制研究[C]//中国地球物理学会.第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会.拉萨:中国地球物理学会,2022:15.
- WAN Jia-lin, HOU Lian-hua, YU Zhi-chao, et al. Study

- on Geochemical Characteristics of Fluid Inclusions and Hydrocarbon Accumulation Mechanism of Jurassic Reservoirs in Kuqa Depression[C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa:Chinese Geophysical Society,2022:15.
- [13] 周 云,黄惠兰,于玉帅,等. 湖南锡田锡多金属矿床黑钨矿的微量元素地球化学研究[C]//中国地球物理学会. 首届全国矿产勘查大会论文集. 合肥:中国地球物理学会,2021:210-220.
- ZHOU Yun, HUANG Hui-lan, YU Yu-shuai, et al. Trace Element Geochemistry of Wolframite in Xitian Tin Polymetallic Deposit, Hunan[C]//Chinese Geophysical Society. Proceedings of the First National Mineral Exploration Conference. Hefei:Chinese Geophysical Society,2021:210-220.
- [14] 王 蝶,卢焕章,毕献武. 与花岗质岩浆系统有关的石英脉型钨矿和斑岩型铜矿成矿流体特征比较[J]. 地学前缘,2011,18(5):121-131.
- WANG Die, LU Huan-zhang, BI Xian-wu. Comparison of Characteristics of Ore Forming Fluids Between Quartz Vein Tungsten Deposits and Porphyry Copper Deposits Associates with Granitic Rocks[J]. Earth Science Frontiers,2011,18(5):121-131.
- [15] 吴 迪,欧光习,马 剑,等. 单个流体包裹体原位成分分析方法及其地质应用[J]. 天然气与石油,2022,40(4):90-97,107.
- WU Di, OU Guang-xi, MA Jian, et al. *In-situ* Composition Analytical Method of Single Fluid Inclusion and Its Geological Application[J]. Natural Gas and Oil, 2022,40(4):90-97,107.
- [16] 张 鼐,张兰坤,杨坚强,等. 烃类拉曼特征峰与温度压力的关系[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨:中国地球物理学会,2022:154-156.
- ZHANG Nai, ZHANG Lan-kun, YANG Jian-qiang, et al. Relationship Between Raman Characteristic Peaks of Hydrocarbons and Temperature-pressure [C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa:Chinese Geophysical Society,2022:154-156.
- [17] 苗 芃. HORIBA 拉曼光谱技术在地质科学中的应用[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨:中国地球物理学会,2022:161.
- MIAO Peng. Application of HORIBA Raman Spectroscopy in Geological Science[C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa:Chinese Geophysical Society,2022:161.
- [18] 李 昌,沈安江,周进高,等. 基于人工智能的常规测井与电成像测井综合识别微生物碳酸盐岩岩相[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨:中国地球物理学会,2022:55-56.
- LI Chang, SHEN An-jiang, ZHOU Jin-gao, et al. Comprehensive Recognition of Microbial Carbonate Lithofacies by Conventional Logging and Electrical Imaging Logging Based on Artificial Intelligence[C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa:Chinese Geophysical Society,2022:55-56.
- [19] 常 健,邱楠生,李晨星,等. 锆石 He 扩散模型与中国典型克拉通盆地古老层系热史重建[J]. 地球物理学报,2022,65(2):711-725.
- CHANG Jian, QIU Nan-sheng, LI Chen-xing, et al. Zircon He Diffusion Kinetics Models and Its Implications on the Thermal History Reconstruction of the Ancient Strata in the Craton Basins, China [J]. Chinese Journal of Geophysics,2022,65(2):711-725.
- [20] 沈安江,赵文智,胡安平,等. 碳酸盐矿物定年和定温技术及其在川中古隆起油气成藏研究中的应用[J]. 石油勘探与开发,2021,48(3):476-487.
- SHEN An-jiang, ZHAO Wen-zhi, HU An-ping, et al. The Dating and Temperature Measurement Technologies for Carbonate Minerals and Their Application in Hydrocarbon Accumulation Research in the Paleo-uplift in Central Sichuan Basin, SW China[J]. Petroleum Exploration and Development,2021,48(3):476-487.
- [21] 沈安江,胡安平,郑剑锋,等. 基于 U-Pb 同位素年龄和团簇同位素( $\Delta_{47}$ )温度约束的构造埋藏史重建:以塔里木盆地阿克苏地区震旦系奇格布拉克组为例[J]. 海相油气地质,2021,26(3):200-210.
- SHEN An-jiang, HU An-ping, ZHENG Jian-feng, et al. Reconstruction of Tectonic-burial Evolution Based on the Constraints of Laser *In-situ* U-Pb Date and Clumped Isotopic Temperature: A Case Study from Sinian Qigebulak Formation in Akesu Area, Tarim Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology,2021,26(3):200-210.
- [22] 井向辉,张 雷,张才利,等. 鄂尔多斯地区侵入岩体的发现及对油气藏形成的影响[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨:中国地球物理学会,2022:134-135.
- JING Xiang-hui, ZHANG Lei, ZHANG Cai-li, et al. Discovery of Intrusive Rock Mass in Ordos Area and

- Its Influence on Formation of Oil and Gas Reservoir [C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022: 134-135.
- [23] 蔡春芳. 有机硫四硫同位素限定大塘坡组锰矿和超重黄铁矿成因[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022: 86.
- CAI Chun-fang. Organic Sulfur and Tetrasulfur Isotopes Define the Genesis of Manganese Ore and Superheavy Pyrite in Datangpo Formation[C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022: 86.
- [24] 王 斌, 杨 毅, 曹自成, 等. 塔河油田中下奥陶统储层裂缝方解石脉 U-Pb 同位素年龄及油气地质意义[J]. 地球科学, 2021, 46(9): 3203-3216.
- WANG Bin, YANG Yi, CAO Zi-cheng, et al. U-Pb Dating of Calcite Veins Developed in the Middle-Lower Ordovician Reservoirs in Tahe Oilfield and Its Petroleum Geologic Significance in Tahe Oilfield[J]. Earth Science, 2021, 46(9): 3203-3216.
- [25] 钟 宏, 宋谢炎, 黄智龙, 等. 近十年来中国矿床地球化学研究进展简述[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2021, 40(4): 819-844, 1001.
- ZHONG Hong, SONG Xie-yan, HUANG Zhi-long, et al. Summary of Progresses in the Study of Ore Deposit Geochemistry in China in the Past Decade[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2021, 40(4): 819-844, 1001.
- [26] 张勇刚, 范国章, 王红平, 等. 扩展弹性波阻抗反演识别碳酸盐岩储层[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022: 41-48.
- ZHANG Yong-gang, FAN Guo-zhang, WANG Hong-ping, et al. Identification of Carbonate Reservoir by Extended Elastic Wave Impedance Inversion[C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022: 41-48.
- [27] 陈建文, 张异彪, 陈 华, 等. 南黄海盆地海相中—古生界地震探测技术攻关历程及效果[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(4): 1-17.
- CHEN Jian-wen, ZHANG Yi-biao, CHEN Hua, et al. Research Experiences and Application of Seismic Exploration Technology to the Mesozoic-Paleozoic Marine Strata in the South Yellow Sea Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2021, 37(4): 1-17.
- [28] 余 敏, 沈安江, 胡安平, 等. 实验研究白云层储层有机酸溶蚀机制及其增孔能力[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022: 50-52.
- SHE Min, SHEN An-jiang, HU An-ping, et al. The Dissolution Mechanism of Organic Acid and Its Pore Increasing Ability in Baiyun Reservoir Were Studied Experimentally[C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022: 50-52.
- [29] 梁 培, 谢玉玲, 李必成, 等. 白云鄂博稀土矿床岩浆演化和热液成矿过程: 来自黑云母原地地球化学特征的制约[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022: 140-141.
- LIANG Pei, XIE Yu-ling, LI Bi-cheng, et al. Magmatic Evolution and Hydrothermal Mineralization of the Bayan Obo Rare Earth Deposit: Constraints from *In-situ* Geochemical Characteristics of Biotite [C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022: 140-141.
- [30] 周世新, 李朋朋, 李 靖, 等. 烃源岩和深层油田水中有机酸分布及热稳定性研究[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022: 131-132.
- ZHOU Shi-xin, LI Peng-peng, LI Jing, et al. Study on Distribution and Thermal Stability of Organic Acids in Source Rocks and Deep Oilfield Water [C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022: 131-132.
- [31] 刘卫彬, 徐兴友, 刘 畅, 等. 超临界 CO<sub>2</sub> + 水力携砂复合体积压裂工艺对陆相页岩储层的改造机理及效果[J]. 石油学报, 2022, 43(3): 399-409.
- LIU Wei-bin, XU Xing-you, LIU Chang, et al. The Stimulation Mechanism and Performance Analysis of Supercritical CO<sub>2</sub> and Hydraulic Scandcarrying Composite Volume Fracturing Technology on Continental Shale Reservoirs [J]. Acta Petrolei Sinica, 2022, 43(3): 399-409.
- [32] 梁浩然, 徐国盛, 徐昉昊, 等. 惠州 26 洼烃源岩生烃动力学及资源评价[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉

- 萨:中国地球物理学会,2022:102.
- LIANG Hao-ran, XU Guo-sheng, XU Fang-hao, et al. Hydrocarbon Generation Kinetics and Resource Evaluation of Source Rocks in Huizhou 26 Sag [C] // Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022:102.
- [33] 李 营, 陈 志, 胡 乐, 等. 流体地球化学进展及其在地震预测研究中的应用[J]. 科学通报, 2022, 67(13):1404-1420.
- LI Ying, CHEN Zhi, HU Le, et al. Advances in Seismic Fluid Geochemistry and Its Application in Earthquake Forecasting[J]. Chinese Science Bulletin, 2022, 67(13):1404-1420.
- [34] 崔月菊, 孙凤霞, 杜建国. 中国大陆东部温泉流体来源解析与地震地球化学异常判别方法[J]. 地震研究, 2022, 45(2):199-216.
- CUI Yue-ju, SUN Feng-xia, DU Jian-guo. Methods for Identification of Seismic Geochemical Precursors and Source Partitioning of Hot Spring Fluids in Eastern Chinese Mainland [J]. Journal of Seismological Research, 2022, 45(2):199-216.
- [35] 毛小平, 何廉康, 刘佳林, 等. 储集层中高压流体引爆强地震的机理:以 5·12 汶川地震为例[J]. 地质力学学报, 2021, 27(4):628-642.
- MAO Xiao-ping, HE Lian-kang, LIU Jia-lin, et al. Mechanism of the Strong Earthquake Triggered by High Pressure Fluid in Reservoir: A Case Study of the 5·12 Wenchuan Earthquake [J]. Journal of Geomechanics, 2021, 27(4):628-642.
- [36] 罗仁昱, 陈继锋, 尹欣欣, 等. 青海共和及周边地区的地壳三维速度结构[J]. 地震地质, 2021, 43(1):232-248.
- LUO Ren-yu, CHEN Ji-feng, YIN Xin-xin, et al. Study on the 3D Crustal Velocity Structure of Body-wave in Gonghe Area of Qinghai [J]. Seismology and Geology, 2021, 43(1):232-248.
- [37] 蒋雨函, 高小其, 张 磊, 等. 新疆呼图壁地下储气库断层气体地球化学特征研究[J]. 中国地震, 2021, 37(4):749-766.
- JIANG Yu-han, GAO Xiao-qi, ZHANG Lei, et al. Geochemical Characteristics of Soil Gas Along Faults in Hutubi Underground Gas Storage, Xinjiang [J]. Earthquake Research in China, 2021, 37(4):749-766.
- [38] 刘 杰, 张国民. “是否存在有助于预报的地震前兆”的讨论[J]. 科学通报, 2016, 61(18):1988-1994.
- LIU Jie, ZHANG Guo-min. Discussion on “Are There Earthquake Precursors That Can Lead to Useful Predictions?” [J]. Chinese Science Bulletin, 2016, 61(18):1988-1994.
- [39] 马 瑾. 从“是否存在有助于预报的地震先兆”说起[J]. 科学通报, 2016, 61(4/5):409-414.
- MA Jin. On “Whether Earthquake Precursors Help for Prediction Do Exist?” [J]. Chinese Science Bulletin, 2016, 61(4/5):409-414.
- [40] LIN B Q, LI Z. Towards World's Low Carbon Development: The Role of Clean Energy [J]. Applied Energy, 2022, 307:118160.
- [41] DINCER I, ROSEN M A. Exergy Analysis of Heating, Refrigerating and Air Conditioning: Methods and Applications [M]. Pittsburgh: Academic Press, 2015.
- [42] LUND J W, BOYD T L. Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review [J]. Geothermics, 2016, 60:66-93.
- [43] 任战利, 祁 凯, 李进步, 等. 鄂尔多斯盆地热动力演化史及其对油气成藏与富集的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(5):1030-1042.
- REN Zhan-li, QI Kai, LI Jin-bu, et al. Thermodynamic Evolution and Hydrocarbon Accumulation in the Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(5):1030-1042.
- [44] 张振国. 热水地球化学在地热勘探中的应用[J]. 水文地质工程地质, 1983(5):8-11.
- ZHANG Zhen-guo. Application of Hot Water Geochemistry in Geothermal Exploration [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 1983(5):8-11.
- [45] 郝伟林, 谢迎春, 周 鹏, 等. 谷露地热田水文地球化学特征[J]. 世界核地质科学, 2022, 39(2):321-329.
- HAO Wei-lin, XIE Ying-chun, ZHOU Peng, et al. Hydrogeochemical Characteristics of Gulu Geothermal Field [J]. World Nuclear Geoscience, 2022, 39(2):321-329.
- [46] 丁 波, 刘红旭, 修晓茜, 等. 新疆蒙古尔铀矿床成矿流体特征及其与铀成矿的关系[J]. 矿床地质, 2016, 35(3):559-572.
- DING Bo, LIU Hong-xu, XIU Xiao-qian, et al. Metallogenic Fluid Characteristics in Relation to Uranium Mineralization in Mengqiguer Uranium Deposit, Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 2016, 35(3):559-572.
- [47] 高 波, 刘忠宝, 舒志国, 等. 中上扬子地区下寒武统页岩气储层特征及勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2020, 41(2):284-294.
- GAO Bo, LIU Zhong-bao, SHU Zhi-guo, et al. Reservoir Characteristics and Exploration of the Lower Cambrian Shale Gas in the Middel-Upper Yangtze Area [J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(2):284-294.
- [48] 吴东旭, 喻 建, 周进高, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系马

- 家沟组四段沉积特征及其控储效应[J]. 古地学报, 2021, 23(6): 1140-1157.
- WU Dong-xu, YU Jian, ZHOU Jin-gao, et al. Sedimentary Characteristics and Reservoir Controlling Effect of the Member 4 of Ordovician Majiagou Formation in Ordos Basin[J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 2021, 23(6): 1140-1157.
- [49] 刘波, 时志强, 彭云彪, 等. 中国北方兴蒙地区叠合盆地砂岩型铀成矿特征及勘查方法综述[J]. 地质与勘探, 2019, 55(6): 1343-1355.
- LIU Bo, SHI Zhi-qiang, PENG Yun-biao, et al. Review on Metallogenic Characteristics and Exploration Methods of Sandstone-type Uranium Deposits in Superimposed Basins in the Xingmeng Area, Northern China[J]. Geology and Exploration, 2019, 55(6): 1343-1355.
- [50] 段军茂, 郑剑锋, 梁峰, 等. 川西北地区下二叠统栖霞组白云岩成储成藏史的微区地球化学约束及意义[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022: 75.
- DUAN Jun-mao, ZHENG Jian-feng, LIANG Feng, et al. Micro Geochemical Constraints and Significance of Dolomite Formation and Reservoir Formation History of Lower Permian Qixia Formation in Northwest Sichuan[C]// Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022: 75.
- [51] 张愿宁, 梁志录, 邱昆峰, 等. 西秦岭早子沟金矿床成因研究进展与展望[J]. 矿产勘查, 2020, 11(1): 28-39.
- ZHANG Yuan-ning, LIANG Zhi-lu, QIU Kun-feng, et al. Overview on the Metallogenesis of the Zaozigou Gold Deposit in the West Qinling Orogen[J]. Mineral Exploration, 2020, 11(1): 28-39.
- [52] 池英柳, 刘静江, 谷志东, 等. 上扬子区海相层系硅岩沉积特征与沉积模式[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022: 5-6.
- CHI Ying-liu, LIU Jing-jiang, GU Zhi-dong, et al. Sedimentary Characteristics and Models of Siliceous Rocks in Marine Strata in the Upper Yangtze Region [C]// Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022: 5-6.
- [53] 张杰. 四川盆地震旦系白云岩成因及富镁流体来源[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022: 53.
- ZHANG Jie. Origin of Sinian Dolomite and Source of Magnesium Rich Fluid in Sichuan Basin[C]// Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022: 53.
- [54] 孟祥超, 彭博, 宋兵, 等. 吐孜阿克内沟石炭系花岗岩风化壳内铁质脉成因及油气勘探[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022: 33-35.
- MENG Xiang-chao, PENG Bo, SONG Bing, et al. Genesis of Iron Veins in Weathered Crust of Carboniferous Granite and Oil and Gas Exploration in Akengou, Tuzi[C]// Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022: 33-35.
- [55] 苏玉平, 陈广坡. 断裂在海拉尔盆地乌尔逊凹陷油藏和CO<sub>2</sub>气藏形成过程中所起作用的差异性研究[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022: 21-22.
- SU Yu-ping, CHEN Guang-po. Study on the Difference of the Role of Faults in the Formation of Oil Reservoirs and CO<sub>2</sub> Gas Reservoirs in Wu'erxun Sag, Hailar Basin[C]// Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022: 21-22.
- [56] 贾进华. 柴达木盆地涩探1井第四系生物气储层特征与成岩流体[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022: 9.
- JIA Jin-hua. Characteristics of Quaternary Biogas Reservoir and Diagenetic Fluid in Setan-1 Well in Qaidam Basin[C]// Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022: 9.
- [57] 魏柳斌, 任军峰, 王前平, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系盐下低丰度海相烃源岩生烃背后的思考[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022: 136.
- WEI Liu-bin, REN Jun-feng, WANG Qian-ping, et al. Thinking Behind Hydrocarbon Generation of Low Abundance Marine Source Rocks Under Salt in Ordo-



- vician in Ordos Basin[C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022; 136.
- [58] 雷宝华, 张银国, 王明健, 等. 南黄海盆地崂山隆起构造特征与油气勘探方向[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2022, 42(2): 131-143.
- LEI Bao-hua, ZHANG Yin-guo, WANG Ming-jian, et al. Structural Characteristics and Hydrocarbon Exploration Prospect of the Laoshan Uplift in the South Yellow Sea Basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2022, 42(2): 131-143.
- [59] 于 洲, 周进高, 乔占峰, 等. 鄂尔多斯盆地东部奥陶系马四段斑状白云岩储层特征与成因[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022; 54.
- YU Zhou, ZHOU Jin-gao, QIAO Zhan-feng, et al. Characteristics and Genesis of Porphyry Dolomite Reservoir in the Fourth Member of the Ordovician in the Eastern Ordos Basin[C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022; 54.
- [60] 牛 君, 王一凡, 梁 飞, 等. 玛东地区下乌尔禾组砂砾岩储层微观特征研究[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022; 130.
- NIU Jun, WANG Yi-fan, LIANG Fei, et al. Study on the Microscopic Characteristics of Conglomerate Reservoir of Lower Wuerhe Formation in Madong Area [C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022; 130.
- [61] 高 棚, 林 拓, 苑 坤, 等. 埡紫罗裂陷槽西北缘黔宁地 1 井钻获石炭系页岩气[J]. 中国地质, 2022, 49(4): 1348-1349.
- GAO Peng, LIU Tuo, YUAN Kun, et al. Carboniferous Shale Gas Obtained by Well QND-1 in the Northwest of Yadu-Ziyun-Luodian Aulacogen[J]. Geology in China, 2022, 49(4): 1348-1349.
- [62] 张荣虎, 曾庆鲁, 王 珂. 塔里木盆地库车坳陷万米深层天然气地质特征与成藏响应[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022; 29-30.
- ZHANG Rong-hu, ZENG Qing-lu, WANG Ke. Geological Characteristics and Reservoir Forming Response of Natural Gas at Ten Thousand Meters Deep in Kuqa Depression, Tarim Basin[C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022; 29-30.
- [63] 王 杰, 马亮帮, 姜海健, 等. 鄂尔多斯盆地东胜气田氦气来源、富集规律及成藏主控因素[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022; 79.
- WANG Jie, MA Liang-bang, JIANG Hai-jian, et al. Source, Enrichment Rule and Main Controlling Factors of Helium in Dongsheng Gas Field, Ordos Basin [C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022; 79.
- [64] 许 锦, 吴 鲜, 尤东华. 塔里木盆地北部奥陶系超深层油气成藏特征分析[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022; 80-81.
- XU Jin, WU Xian, YOU Dong-hua. Analysis of the Characteristics of the Ordovician Ultra Deep Oil and Gas Accumulation in the Northern Tarim Basin[C]//Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022; 80-81.
- [65] 刘 杰, 徐国盛, 温华华, 等. 珠江口盆地惠州 26-6 构造古潜山-古近系油气成藏主控因素[J]. 天然气工业, 2021, 41(11): 54-63.
- LIU Jie, XU Guo-sheng, WEN Hua-hua, et al. Main Factors Controlling the Formation of Buried Hill-Paleogene Reservoirs in 26-6 Structure of Huizhou, Pearl River Mouth Basin[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(11): 54-63.
- [66] 郭沫贞, 倪新锋, 徐 洋, 等. 准噶尔盆地西北缘二叠系碎屑岩沉积及成岩流体性质对油气藏储集层性质的控制作用[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022; 69.
- GUO Mo-zhen, NI Xin-feng, XU Yang, et al. Control of Permian Clastic Rock Deposition and Diagenetic Fluid Properties on Reservoir Properties in the Northwestern Margin of Junggar Basin [C] // Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022; 69.
- [67] 苑 坤. 贵州黔水地 1 井页岩气成藏机理与埡紫罗裂陷槽油气勘探前景[C]//中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022; 87-88.

- YUAN Kun. Shale Gas Accumulation Mechanism of Qianshui-1 Well in Guizhou and Oil and Gas Exploration Prospect in Yaziluo Rift Depression [C] // Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022: 87-88.
- [68] 杨 柳, 王朝锋, 庞 旭, 等. 巴西桑托斯盆地盐下幔源 CO<sub>2</sub> 气藏特征与主控因素初探 [C] // 中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022: 57.
- YANG Liu, WANG Zhao-feng, PANG Xu, et al. Preliminary Study on Characteristics and Main Controlling Factors of CO<sub>2</sub> Gas Reservoirs in the Lower Salt Mantle of Santos Basin, Brazil [C] // Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022: 57.
- [69] 张建勇, 姚根顺, 李正文, 等. 中国三大克拉通盆地深层古老层系油气富集规律 [C] // 中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022: 31-32.
- ZHANG Jian-yong, YAO Gen-shun, LI Zheng-wen, et al. Oil and Gas Enrichment Law of Deep Ancient Strata in Three Cratonic Basins in China [C] // Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022: 31-32.
- [70] 刘 春. 超探超高压超高温条件下甲烷赋存特征及产能响应 [C] // 中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022: 73-74.
- LIU Chun. Ultra Exploration Methane Occurrence Characteristics and Productivity Response Under Ultra High Pressure and Ultra High Temperature Conditions [C] // Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022: 73-74.
- [71] 谢玉洪. 中国海洋石油总公司油气勘探新进展及展望 [J]. 中国石油勘探, 2018, 23(1): 26-35.
- XIE Yu-hong. New Progress and Prospect of Oil and Gas Exploration of China National Offshore Oil Corporation [J]. China Petroleum Exploration, 2018, 23(1): 26-35.
- [72] 谢玉洪. 中国海油近海油气勘探实践与思考 [J]. 中国海上油气, 2020, 32(2): 1-13.
- XIE Yu-hong. Practices and Thoughts of CNOOC Offshore Oil and Gas Exploration [J]. China Offshore Oil and Gas, 2020, 32(2): 1-13.
- [73] 薛永安, 杨海风, 黄江波, 等. 渤海海域浅层油气运移成藏理论技术创新与勘探突破 [J]. 中国海上油气, 2020, 32(2): 14-23.
- XUE Yong-an, YANG Hai-feng, HUANG Jiang-bo, et al. Technological and Theoretical Innovations in the Shallow Hydrocarbon Migration and Accumulation of the Baohai Sea and the Exploration Breakthroughs [J]. China Offshore Oil and Gas, 2020, 32(2): 14-23.
- [74] 杨 斌, 陈 映, 谭昌海, 等. 青藏高原自然资源要素综合观测实施进展与展望 [J]. 中国地质调查, 2021, 8(2): 37-46.
- YANG Bin, CHEN Ying, TAN Chang-hai, et al. Progress and Prospect of Integrated Observation of Natural Resource Elements on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Geological Survey of China, 2021, 8(2): 37-46.
- [75] 申旭辉. 系统梳理灾害链条 提高综合抗灾能力: 河南郑州“7·20”特大暴雨灾害的思考与启示 [J]. 中国应急管理, 2022(2): 8-11.
- SHEN Xu-hui. Systematically Sorting Out the Disaster Chain and Improving the Comprehensive Disaster Resistance: Thinking and Enlightenment of the “July 20” Torrential Rain Disaster in Zhengzhou, Henan Province [J]. China Emergency Management, 2022(2): 8-11.
- [76] 王东升, 张金川, 刘 飏, 等. 赫南特冰川触发的动态模式: 来自二氧化碳变化、火山作用和氮循环的证据 [C] // 中国地球物理学会. 第八届流体地球科学与矿产资源及环境灾害学术研讨会. 拉萨: 中国地球物理学会, 2022: 108.
- WANG Dong-sheng, ZHANG Jin-chuan, LIU Yang, et al. Hernand Glacier Triggered Dynamic Model: Evidence from Carbon Dioxide Change, Volcanism and Nitrogen Cycle [C] // Chinese Geophysical Society. The 8th Symposium on Fluid Geoscience, Mineral Resources and Environmental Disasters. Lhasa: Chinese Geophysical Society, 2022: 108.