

酸性水-岩作用下花岗岩孔隙结构与热-力学性能劣化机理的实验研究

程腾飞^{1,2}, 陈晨^{1,2*}, 姜升^{1,2}, 张山岭^{1,2},
许振华^{1,2}, 刘祥^{1,2}, 李鑫^{1,2}, 李宏达^{1,2}

(1. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 吉林大学深部探测与成像全国重点实验室, 吉林 长春 130026)

摘要:干热岩开采过程中的水岩作用是影响储层长期稳定的关键因素。针对传统实验方法难以同时兼顾“长期效应”与“试样完整性”的难题,本研究自主研发了一套高温高压水岩作用模拟装置,以酸性溶液为加速介质,对花岗岩岩样开展了3、6、9 d的动态作用实验。结合核磁共振、热常数分析及力学测试,系统揭示了酸性环境下花岗岩孔隙结构及热-力学性能的协同劣化机理。结果表明:酸性水-岩作用导致花岗岩孔隙度非线性剧增(9 d内增幅448%),孔径由小孔主导向中、大孔调整;孔隙结构的改变引发导热系数与单轴抗压强度显著衰减,9 d内分别降低8.63%和33.19%,二者演化趋势高度一致。本研究成功构建了实验室短周期加速模拟与工程长期演化行为的定量关联,为精准预测干热岩储层服役期间的物理力学行为、评估储层稳定性,进而保障地热资源安全高效开发,提供了关键的实验依据和理论支撑。

关键词:干热岩;水岩作用;花岗岩;酸性溶液;孔隙结构;性能劣化;热传导性能;抗压强度

中图分类号:TE249;P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2026)01-0046-06

Experimental study on the degradation mechanism of granite pore structure and thermo-mechanical properties under acidic water-rock interaction

CHENG Tengfei^{1,2}, CHEN Chen^{1,2*}, JIANG Sheng^{1,2}, ZHANG Shanling^{1,2},
XU Zhenhua^{1,2}, LIU Xiang^{1,2}, LI Xin^{1,2}, LI Hongda^{1,2}

(1. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. State Key Laboratory of Deep Earth Exploration and Imaging, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China)

Abstract: Water-rock interaction (WRI) during Hot Dry Rock (HDR) exploitation is a critical factor affecting the long-term stability of geothermal reservoirs. To address the challenge that conventional experimental methods struggle to simultaneously simulate long-term effects while preserving sample integrity, this study introduces a self-developed high-temperature and high-pressure WRI simulation device. Using an acidic solution as an accelerating medium, dynamic interaction experiments on granite samples were conducted for 3, 6, and 9 days. Through a combination of nuclear magnetic resonance, thermal conductivity analysis, and mechanical testing, this research systematically reveals the synergistic degradation mechanism of the granite's pore structure and thermo-mechanical properties under acidic conditions. The results demonstrate that acidic WRI leads to a non-linear and dramatic increase in granite porosity (by

收稿日期:2025-06-27; 修回日期:2025-08-13 DOI:10.12143/j.ztgc.2026.01.007

基金项目:国家自然科学基金面上项目“干热岩裸眼水平井采热周期内井壁力学行为及其对取热的影响”(编号:42272364)

第一作者:程腾飞,男,汉族,2002年生,硕士研究生,地质工程专业,研究方向为干热岩勘探与开发,吉林省长春市西民主大街938号, chengt23@jlu.edu.cn。

通信作者:陈晨,男,汉族,1965年生,教授,博士生导师,地质工程专业,博士,从事岩土工程钻凿技术、基础工程设计、施工与计算机模拟研究及教学工作,吉林省长春市西民主大街938号, chenchen@jlu.edu.cn。

引用格式:程腾飞,陈晨,姜升,等.酸性水-岩作用下花岗岩孔隙结构与热-力学性能劣化机理的实验研究[J].钻探工程,2026,53(1):46-51.

CHENG Tengfei, CHEN Chen, JIANG Sheng, et al. Experimental study on the degradation mechanism of granite pore structure and thermo-mechanical properties under acidic water-rock interaction[J]. Drilling Engineering, 2026,53(1):46-51.

448% within 9 days), with a shift in pore size distribution from predominantly micropores to a higher proportion of meso- and macropores. The deterioration of the pore structure induces a significant decline in thermal conductivity and uniaxial compressive strength, which decrease by 8.63% and 33.19%, respectively, over the same 9-day period, showing highly consistent evolutionary trends. This study successfully establishes a quantitative link between short-term accelerated laboratory simulations and long-term in-situ evolutionary behavior, providing crucial experimental data and theoretical support for accurately predicting the physical-mechanical behavior of HDR reservoirs during their service life, assessing their long-term stability, and ultimately ensuring the safe and efficient development of geothermal resources.

Key words: hot dry rock; water-rock interaction; granite; acidic solution; pore structure; performance degradation; thermal conductivity; compressive strength

0 引言

干热岩作为一种可再生清洁能源,在缓解能源危机和减少碳排放方面具有巨大潜力,有望成为未来重要的清洁能源之一^[1-4]。干热岩为地表以下3~10 km、温度高于180 °C、不含或仅含少量流体的高温致密岩体^[5-7]。目前,增强型地热系统(Enhanced Geothermal System, EGS)是干热岩资源的主要开发模式,通过水力压裂等方法在高温地层中构建人工通道,依托裂缝网络连通注入井和生产井,通过循环介质提取储层内部的热能^[8-11]。闭环地热系统(Closed Loop Geothermal System, CLGS)也是被广泛认可的一种干热岩资源开发模式,通过循环介质在水平井筒内闭路循环实现采热^[12-13]。值得注意的是,无论是在EGS中构建的裂隙网络,还是CLGS中形成的裸眼井筒结构,采热介质始终与储层岩石直接接触。介质-岩石界面是水-岩相互作用集中发生的区域,主导着传热过程中的热化学耦合机制与岩石物性演化行为。

在干热岩资源的开发中,水岩作用对储层的影响是一个不容忽视的因素^[14-16]。在干热岩长期采热与水岩作用耦合作用下,矿物溶解、沉淀导致井壁围岩及裂缝附近岩体孔渗特征发生改变^[17-19]。水岩作用导致岩石内部矿物溶解,重构岩石孔隙结构网络,同时削弱矿物颗粒间的胶结强度,导致岩石热传导性能下降及力学参数劣化,这显著影响了地热开发效率^[20]。因此,研究水岩作用下干热岩的孔隙结构特征、热传导性能以及抗压强度的演化规律可以为干热岩资源的开发提供理论依据^[21]。目前,学者通过提高实验温度、增加接触面积(将试样粉末化)等方法加快水岩作用速率。然而,干热岩开发工程采热周期达10年以上,提高实验温度无法得到该周期下的物理力学变化规律,粉末化后的样品也无

法进行物理力学试验。因此,本研究通过研制的水岩模拟装置,采用酸性溶液作为采热介质加快水岩反应速率,在保证试样完整性的同时,探究长周期水岩作用后花岗岩物理及力学性质的演化规律。

1 水岩作用模拟实验设计与方法

1.1 花岗岩试样制备

本研究根据《工程岩体试验方法标准》(GB/T 50266—2013)^[22],为适配核磁共振探头与热常数分析仪中的瞬态平面热源微型传感器,采用 $\varnothing 25\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 的花岗岩试样。试样上下端面平行度误差 $\leq 0.05\text{ mm}$,直径偏差 $\leq 0.3\text{ mm}$,端面与轴线垂直度误差 $\leq 0.25^\circ$ 。试样取自山东某地二长花岗岩,其主要矿物组成为石英38%~40%、斜长石34%~36%、碱性长石21%~23%和黑云母5%,见图1。

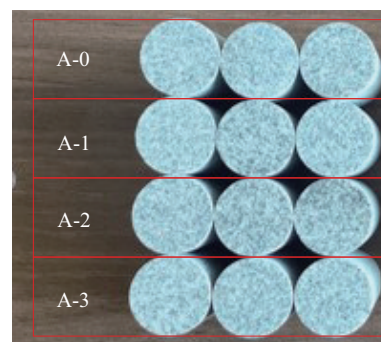


图1 花岗岩试样

Fig.1 Granite sample

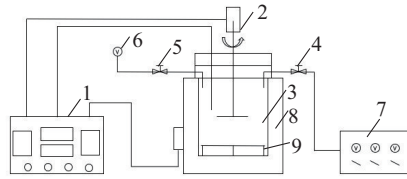
1.2 水岩作用模拟装置

研发的水岩作用模拟装置由反应釜控制器、反应釜、增压泵、搅拌装置、岩架架组成,见图2。该装置通过控制器控制反应釜内的温度及搅拌装置的转速,通过增压泵控制反应釜内的压力。实验过程中,搅拌装置通过搅拌桨的转动带动反应釜内介质

不停地冲刷花岗岩试样,循环介质转速接近搅拌浆的转速,以模拟一定温度、压力及介质流速下的水岩作用。水岩作用模拟装置参数见表1。



(a)装置实物



(b)装置结构示意图

1—反应釜控制器;2—搅拌装置;3—反应釜;4—进气阀;5—出气阀;6—压力计;7—增压泵;8—加热套;9—岩样架

图2 水岩作用模拟装置

Fig.2 WRI simulation device

表1 水岩作用模拟装置参数

Table 1 Parameters of the WRI simulation device

参数	参数值
容积/L	5
设计压力/MPa	22
设计温度/°C	350
搅拌转速/(r·min ⁻¹)	0~1000

1.3 实验方案

水岩作用模拟实验将时间作为单一变量,以明确水岩反应后花岗岩试样孔隙度与力学性能随时间变化的规律,具体实验参数见表2。将花岗岩试样分为4组(参见图1),第一组不做处理,后3组花岗岩试样分别循环3、6、9 d。实验结束后,使用核磁共振分析成像仪、热常数分析仪检测水岩作用后试样的孔隙结构特征和热传导性能,用材料力学万能试验机测试水岩作用后试样的抗压强度。

表2 水岩作用模拟实验参数

Table 2 Parameters of the WRI simulation experiment

参数	参数值
温度/°C	150±0.5
压力/MPa	5±0.2
pH	3.0±0.1
循环速度/(mm·s ⁻¹)	725

1.3.1 孔隙结构检测

首先,使用BH-II型岩心抽空加压饱和装置对试样进行饱水,饱水压力为25 MPa。装置样品室尺寸为 $\text{O}120\text{ mm}\times 250\text{ mm}$,饱水压力范围为0.1~40 MPa;然后使用MesoMR23-060-I型地学多功能核磁共振分析与成像系统对试样孔隙度进行分析。系统的磁体类型为永磁体,温度为 $32\pm 0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$,主磁场强度为 $0.52\pm 0.05\text{ T}$,磁体频率为 $22\pm 2\text{ MHz}$ 。

1.3.2 导热系数检测

采用热常数分析仪检测水岩反应前后花岗岩的热传导性能,在测试过程中,将预处理后的岩样置于传感器探针之间,实验设定加热功率为0.15 W,测试时间为20 s,记录样品温度响应曲线,通过解析算法反演计算得到岩样的导热系数。

1.3.3 单轴抗压强度检测

采用DNS300型电子万能试验机检测水岩作用前后花岗岩单轴抗压强度的变化。实验以0.5 mm/min的速度对岩样施加垂直向下的载荷,垂直载荷不断增加,直至岩样发生宏观破坏,得到岩样单轴抗压强度随时间变化的曲线。

2 实验结果分析与讨论

2.1 水岩作用下花岗岩孔隙结构演化

2.1.1 孔隙度变化

核磁共振测试的 T_2 谱是岩石不同尺度孔隙内流体信号的叠加,故由 T_2 谱曲线反映岩石孔隙大小、数量和孔隙之间的连通性^[23]。通过各岩块的 T_2 谱得到峰谱面积并代入所得到的峰谱面积与孔隙度标定曲线,即可得到各花岗岩试样的孔隙度。计算各组花岗岩孔隙度的平均值,孔隙度随循环时间的变化曲线见图3。

由图3可知,水岩作用对花岗岩孔隙度的影响十分显著。试样的初始孔隙度为0.157%,经3 d反应后增至0.57%,增量达0.413%,随后增速逐渐下

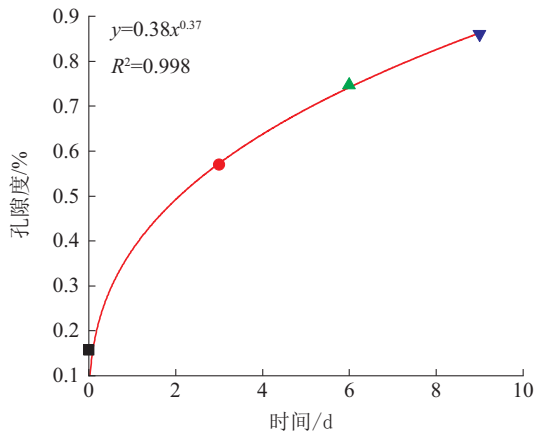


图3 水岩作用下花岗岩孔隙度时变曲线

Fig.3 Time-varying curve of granite porosity under WRI

降。在水岩作用6 d后,试样的孔隙度为0.747%,至第9 d达到0.86%,增量分别降低至0.177%和0.113%。由此可知,水岩作用对花岗岩孔隙度的影响在0~3 d内达到峰值,随着水岩作用的持续进行,其对花岗岩孔隙度的影响逐渐减弱。水岩作用初期,花岗岩中长石、黑云母等易溶解矿物快速溶解,孔隙度显著增加,随着反应进行,这些矿物大量消耗,剩余矿物的溶解速率降低,导致孔隙度增速下降。

2.1.2 孔径分布占比变化

花岗岩试样内部孔隙结构的特征和孔隙大小的分布,随水岩作用时间发生不同程度的变化,不同尺度孔隙在水岩作用下协同发育,见图4。本研究根据 T_2 谱分布图中的弛豫时间对花岗岩孔隙类型进行划分:弛豫时间小于10 ms为小孔,10~100 ms之间为中孔,大于100 ms为大孔。由图4可知,水岩作用导致小孔周围的矿物快速溶解,促使相邻小孔合并为中孔或大孔,从而导致小孔始终保持较低的占比。在水岩作用的初始阶段,循环介质与花岗岩新鲜表面接触,继而与长石、云母等矿物溶解,溶解主导孔隙扩展。因此,中孔孔壁快速溶解并合并为大孔,导致中孔占比降低,大孔占比升高。反应最后3 d沉淀与结构失稳驱动孔隙重构,矿物在大孔喉道处优先沉积,分割大孔为中孔,同时矿物溶蚀坍塌形成新生中孔,导致中孔占比升高,大孔占比降低。

2.2 水岩作用下花岗岩热传导性能变化

导热系数随时间变化曲线见图5。随着水岩作用的进行,花岗岩导热系数呈现显著的时效性衰减。试样导热系数初始值为2.6195 W/(m·K),水

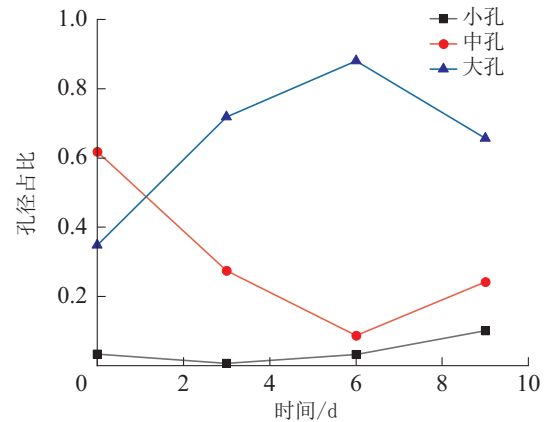


图4 花岗岩试样孔径占比变化

Fig.4 Variation of pore size percentage of granite specimens

岩作用3 d后降至2.5710 W/(m·K),降幅达1.84%。与前3 d相比,试样的导热系数在第3~6 d出现更大程度的降低,下降至2.4352 W/(m·K),降幅达5.29%。水岩作用第6~9 d,试样导热系数的降幅趋缓,但仍进一步降至2.3935 W/(m·K),降幅1.71%。随着水岩作用的持续进行,试样导热系数整体呈现为非线性递减趋势,第0~6 d导热系数降幅较大,第6~9 d显著减缓。

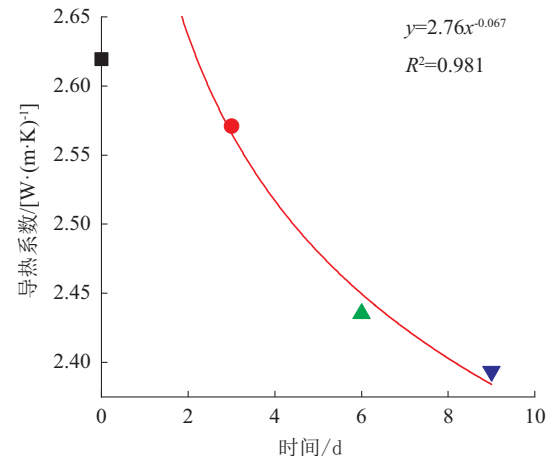


图5 导热系数随时间变化曲线

Fig.5 Curve of thermal conductivity with time

导热系数降低是孔隙结构演化与矿物成分变化共同作用的结果。微裂隙扩展导致孔隙度上升,花岗岩内孔隙占比升高,削弱了岩石的热传导性能。花岗岩中的长石在酸性介质作用下发生水解反应,生成次生高岭石和蒙脱石,内部矿物导热系数的降低同样削弱了花岗岩试样的导热能力。

2.3 水岩作用下花岗岩单轴抗压强度变化

水岩作用下花岗岩单轴抗压强度劣化曲线见图6。花岗岩试样初始强度为279.9 MPa,水岩作用3 d后降至236.18 MPa,降幅达15.6%,日均降幅5.2%;第3~6 d强度进一步下降到206.63 MPa,降幅降低为12.5%,日均降幅4.2%;第6~9 d强度下降速率进一步减缓,降幅为9.5%,日均降幅3.2%,最终强度为186.99 MPa。整体表现为非线性劣化趋势,强度下降速率随时间增加而逐渐降低,这一趋势与孔隙演化规律高度吻合。水岩作用导致试样内部孔径的扩大与连通性的增强,从而引力学性质的变化:一方面,孔隙壁支撑力下降导致颗粒间黏聚力减弱;另一方面,孔隙不断发育,形成应力集中点。

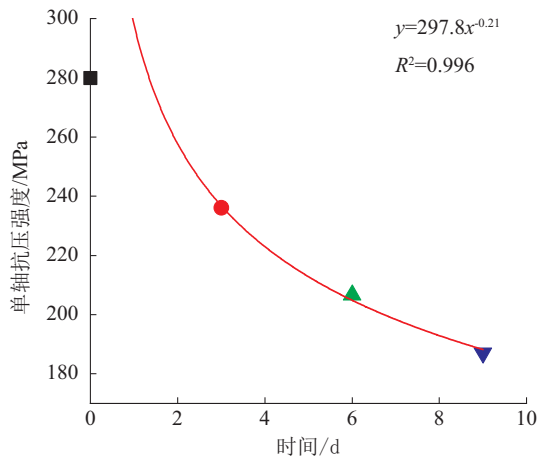


图6 水岩作用下花岗岩单轴抗压强度劣化曲线

Fig.6 Degradation curve of uniaxial compressive strength of granite under WRI

2.4 讨论

本实验揭示了酸性环境下的水岩反应对花岗岩的热-力学性能产生显著的负面影响,孔隙度的上升及孔径重构,同时导热系数与单轴抗压强度均出现不同程度的下降。导热系数与孔隙度增加相关,说明花岗岩因矿物溶解而发生了热传导能力衰退。更重要的是,抗压强度的下降表明了长期水岩作用对储层岩石力学性质的破坏。结果表明,长期水岩作用是影响干热岩储层热提取效率与长期稳定性的重要因素。未来可进一步研究更接近原位高温高压环境下的水岩作用,从而更加准确地预测整个采热周期的物理力学性能衰变,保障干热岩安全高效开发。

3 结论

本研究设计了水岩作用模拟装置,并进行相关实验,得出以下结论:

(1)设计的水岩作用模拟装置通过精确调控温度(设计温度350℃)、压力(设计压力22 MPa)及搅拌速度(0~1000 r/min),实现了对花岗岩型干热岩水岩作用过程的模拟。

(2)酸性溶液作用下花岗岩的孔隙度持续增长,孔径分布发生重构,并引发花岗岩的导热性能与抗压强度协同劣化。

(3)实验结果为后续数值模型提供验证,建立实验室短周期与工程长周期的定量关联关系,从而实现工程尺度下水岩作用对储层长期影响的预测。

参考文献(References):

- [1] Hou X L, Zhong X P, Nie S S, et al. Numerical simulation study of intermittent heat extraction from hot dry rock using horizontal well based on thermal compensation[J]. Energy, 2023, 272:127174.
- [2] Hou X L, Chen C, Zhong X P, et al. Numerical simulation study of closed-loop geothermal system well pattern optimisation and production potential [J]. Applied Thermal Engineering, 2023,231:120864.
- [3] 张炜,王海华,翁炜,等.美国能源部地热钻井技术研发最新部署及干热岩开发示范创新实践[J].钻探工程,2024,51(3):1-8. ZHANG Wei, WANG Haihua, WENG Wei, et al. The latest deployment of the U.S. Department of Energy's geothermal drilling technology R&D and innovative practices in the demonstration of hot dry rock development [J]. Drilling Engineering, 2024,51(3):1-8.
- [4] 侯星澜.青海共和干热岩水平井连续与间歇采热及井网优化研究[D].长春:吉林大学,2024. HOU Xinglan. Study on continuous and intermittent heat extraction and well network optimisation in the horizontal well system for hot dry rock of Gonghe, Qinghai[D]. Changchun: Jilin University, 2024.
- [5] Yu P L, Dempsey D, Archer R. A three-dimensional coupled thermo-hydro-mechanical numerical model with partially bridging multi-stage contact fractures in horizontal-well enhanced geothermal system[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2021,143:104787.
- [6] Xie J X, Wang J S, Liu X L. Performance analysis of pinnate horizontal well in enhanced geothermal system [J]. Applied Thermal Engineering, 2022,201(Part A):117799.
- [7] U.S. Department of Energy Energy Efficiency and Renewable Energy. An evaluation of enhanced geothermal systems technology[R]. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy Energy, 2008.
- [8] 高坤.干热岩开采裂隙储层 THM耦合模型和应用[D].北京:中国矿业大学,2020.

- GAO Kun. THM coupling model of fractured reservoir in hot dry rock mining and its application[D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 2020.
- [9] 李翰林,曹函,朱峻生,等.深部能源开采中多场耦合模型研究现状——以干热岩为例[J].钻探工程,2024,51(S1):24-28.
- LI Hanlin, CAO Han, ZHU Junsheng, et al. Research status of multi-field coupling model in deep energy exploitation: A case study of hot dry rock[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(S1): 24-28.
- [10] 肖鹏,闫飞飞,窦斌,等.增强型地热系统水平井平行多裂隙换热过程数值模拟[J].可再生能源,2019,37(7):1091-1099.
- XIAO Peng, YAN Feifei, DOU Bin, et al. Numerical simulation on the heat transfer process of parallel multi-fractures in enhanced geothermal system horizontal well[J]. Renewable Energy Resources, 2019, 37(7): 1091-1099.
- [11] 颜谢材,郑君,罗浩瀚,等.冷冲击作用下干热岩井筒裂纹扩展数值模拟研究[J].钻探工程,2024,51(3):94-103.
- YAN Xiecai, ZHENG Jun, LUO Haohan, et al. Numerical simulation of wellbore fracture extension in hot dry rock wells under cold shock effect[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(3): 94-103.
- [12] Fallah A, Gu Q F, Chen D M, et al. Globally scalable geothermal energy production through managed pressure operation control of deep closed-loop well systems[J]. Energy Conversion and Management, 2021, 236: 114056.
- [13] Ghavidel A, Gracie R, Dusseault M B. Transient heat transfer in a horizontal well in hot dry rock-model, solution, and response surfaces for practical inputs[J]. Applied Thermal Engineering, 2021, 195: 117158.
- [14] 杨冰,许天福,李凤昱,等.水-岩作用对储层渗透性影响的数值模拟研究——以鄂尔多斯盆地东北部上古生界砂岩储层为例[J].吉林大学学报(地球科学版),2019,49(2):526-538.
- YANG Bing, XU Tianfu, LI Fengyu, et al. Numerical simulation on impact of Water-Rock interaction on reservoir permeability: a case study of upper paleozoic sandstone reservoirs in northeastern Ordos Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2019, 49(2): 526-538.
- [15] 曾义金.干热岩热能开发技术进展与思考[J].石油钻探技术,2015,43(2):1-7.
- ZENG Yijin. Technical progress and thinking for development of hot dry rock (HDR) geothermal resources [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015, 43(2): 1-7.
- [16] 伍坤宇,熊鹰,谭秀成,等.储层孔隙系统“水-岩”反应结晶动力学研究进展[J].沉积学报,2022,40(4):996-1009.
- WU Kunyu, XIONG Ying, TAN Xiucheng, et al. Study of the crystallization kinetics for "water-rock" interactions in the reservoir pore-system: an overview [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2022, 40(4): 996-1009.
- [17] 许振华,陈晨,钟秀平,等.干热岩长期开采过程中水岩作用的研究进展[J].钻探工程,2023,50(S1):44-49.
- XU Zhenhua, CHEN Chen, ZHONG Xiuping, et al. Research progress on water-rock interaction during long-term mining of hot dry rock[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1): 44-49.
- [18] 鲍新华,苏玉玺,吴永东,等.EGS水岩作用对地热储层孔渗特征影响的模拟研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2017,36(10):76-82.
- BAO Xinhua, SU Yuxi, WU Yongdong, et al. Simulation research on impact of EGS water-rock interaction on porosity and permeability of geothermal reservoir[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Sciences), 2017, 36(10): 76-82.
- [19] 周盛全,王瑞,田诺成,等.冲击荷载作用下热处理花岗岩动态力学特性研究[J].黄金科学技术,2022,30(2):222-232.
- ZHOU Shengquan, WANG Rui, TIAN Nuocheng, et al. Research on dynamic mechanical properties of heat-treated granite under impact loading[J]. Gold Science and Technology, 2022, 30(2): 222-232.
- [20] 彭曙光,裴世聪.水-岩作用对岩石抗压强度效应及形貌指标的实验研究[J].实验力学,2010,25(3):365-371.
- PENG Shuguang, PEI Shicong. Experimental study of compression strength and Micro-Topography description index for groundwater saturated rock [J]. Journal of Experimental Mechanics, 2010, 25(3): 365-371.
- [21] 王世永.青海共和盆地干热岩岩体力学特征及渗透特性研究[D].北京:中国石油大学(北京),2019.
- WANG Shiyong. Study on mechanical properties and permeability characteristics of hot dry rock in gonghe basin, Qinghai Province [D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2019.
- [22] 中华人民共和国住房和城乡建设部.工程岩体试验方法标准:GB/T 50266-2013[S].北京:中国计划出版社,2013.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Standard for test methods of engineering rock mass: GB/T 50266-2013[S]. Beijing: China Planning Press, 2013.
- [23] 古启雄,黄震,钟文,等.高温循环后花岗岩孔隙结构与物理力学特性演化规律研究[J].岩石力学与工程学报,2023,42(6):1450-1465.
- GU Qixiong, HUANG Zhen, ZHONG Wen, et al. Study on the variations of pore structure and physico-mechanical properties of granite after high temperature cycling [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2023, 42(6): 1450-1465.

(编辑 王跃伟)