

河南省水热型地热成因模式及钻探方法

张 晗^{1,2}, 卢 玮^{1,3}, 黄 烜^{1,3}, 白 晨², 申云飞^{1,3}

(1.河南省深部探矿工程技术研究中心,河南 郑州 450053; 2.河南省煤炭地质勘察研究总院,河南 郑州 450052;
3.河南省地矿局第二地质环境调查院,河南 郑州 450053)

摘要:按照热储赋存的地质环境划分,河南省水热型地热资源有沉降或沉积盆地、山前盆地和山地隆起 3 种类型。由深部大断裂对流热传导和侵入岩热传导提供高温热源,并与新近系、古近系和古生界浅层地下水进行热交换,最终形成孔隙型、裂隙型和岩溶型地热资源。“十四五”期间,河南省的水热型地热资源勘查开采目的层主要以 1800~4000 m 岩溶热储为主,这将对地热钻探工程带来新的挑战。根据地层特点和经验,提出了深部地热钻探应该遵循“绿色环保、高质高效、安全健康”的总体原则。针对地层特征和钻探要求,首先选择空气钻进(空气潜孔锤、气举反循环、空气正循环回转取心),其次选择钻井液+空气(气举反循环),最后选择钻井液(回转+螺杆)等,实现“一井多工艺”的复合钻探方法。

关键词:水热型地热;钻探方法;空气钻进;河南省

中图分类号:P634;TE249 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2020)09-0008-07

Generation model and drilling method of hydrothermal geothermal resources in Henan Province

ZHANG Han^{1,2}, LU Wei^{1,3}, HUANG Xuan^{1,3}, BAI Chen², SHEN Yunfei^{1,3}

(1.Henan Engineering Research Center of Deep Exploration, Zhengzhou Henan 450053, China;
2.Henan Province General Institute of Coal Geology Exploration, Zhengzhou Henan 450052, China;
3.No.2 Institute of Geo-Environment Survey of Henan, Zhengzhou Henan 450053, China)

Abstract: According to the geological environments where the geothermal resources occur, hydrothermal geothermal resources in Henan Province can be classified into 3 types: subsidence or sedimentary basin, piedmont basin and mountain uplift. High heat temperature sources from convection heat transfer in deep mega geotectonics and heat conduction in intrusive rocks formed pore, fissure and karst geothermal resources through heat exchange with Neogene, Paleogene and Paleozoic shallow groundwater. During the 14th five-year Plan Period, the exploration and development of hydrothermal geothermal resources in Henan is mainly focused on karst heat storage at depth of 1800 to 4000m. This will bring a new challenge to geothermal drilling engineering. According to formation characteristics and experience, it is proposed that deep geothermal drilling should follow the general principle of “eco-friendliness, high quality and efficiency, safety and health”. In regard to formation characteristics and drilling requirements, the drilling process will be selected in the order of priority as below: first, air drilling (pneumatic DTH hammer, air-lift reverse circulation, positive air circulation core-drilling); second, drilling fluid + air (air-lift reverse circulation); and finally, drilling fluid (rotary + PDM); thus achieving the compound drilling method with multiple drilling processes in one well.

Key words: hydrothermal geothermal; drilling method; air drilling; Henan Province

收稿日期:2020-06-12; 修回日期:2020-07-12 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.09.002

基金项目:河南省地勘基金项目“河南省干热岩资源潜力调查评价”(编号:20172215)、“河南省郑州西部岩溶地热水资源调查”(编号:20192247);
河南省自然资源厅科技攻关项目“河南省隐伏干热岩资源勘查及评价技术研究”(编号:20201651);河南省地矿局 2020 年度局管地
质环境项目“河南省地热开发产业化关键技术研究及集成”(编号:豫地环[2020]4 号)

作者简介:张晗,女,汉族,1981 年生,高级工程师,地质工程专业,硕士,从事地热资源勘查和深部探测技术研究工作,河南省郑州市商鼎路 70 号,zhanghan1117@163.com。

引用格式:张晗,卢玮,黄烜,等.河南省水热型地热成因模式及钻探方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(9):8-14,20.

ZHANG Han, LU Wei, HUANG Xuan, et al. Generation model and drilling method of hydrothermal geothermal resources in Henan Province[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(9):8-14,20.

0 引言

地热是自然赋予人类宝贵的资源和能源,具有分布广泛、储量巨大、持续稳定等特征,可广泛应用于清洁供暖、旅游度假、理疗康养、观光农业、工业焙干、发电等产业领域。大力推进地热资源勘查开发对减少雾霾和大气污染,具有重大的现实意义^[1-6]。水热型地热资源勘查主要涉及水文地质、地球物理、地球化学等专业,最终精确的勘查结果和开发利用均需要钻探工程来实现,特别是随着勘查开发深度的不断增加,地热钻探技术的发展和运用显得尤为重要。不同地质环境条件和构造活动,形成的地热资源类型不同。所以,针对不同的热储层和钻遇地层,优化钻探工艺,可实现“绿色环保、高效、安全健康”目的。

1 河南省水热型地热资源类型及概况

1.1 水热型地热资源类型

根据地热热储赋存条件和环境,地热资源可分为水热型、蒸汽型、地压型、干热岩型和岩浆型 5 种类型^[7]。目前经济技术条件下,河南省只有水热型地热资源普遍得到了开发利用,从赋存地质环境划分,河南水热型地热资源有沉积盆地、山地隆起和山前盆地 3 种类型,主要是以对流型热传导为主。分布在京广铁路以东沉积、凹陷盆地和西部山地凸起、山区局部盆地,地热资源赋存地质背景主要有新近系孔隙热储、古近系裂隙和孔隙热储、古生界岩溶裂隙热储等,表 1 为河南省典型地热资源分布及地温梯度。

1.2 河南省水热型地热资源概况

20 世纪 80 年代初到 90 年代,河南省地热资源开发以新近系孔隙热储层为主,地热井主要分布在郑州、开封、周口、漯河等地区,钻井深度一般在 800~1200 m,温度 38~45 °C,主要用于机关事业单位和酒店温泉洗浴。古近系裂隙、孔隙热储层主要分布在凹陷区及山间盆地,钻井深度多数在 1300~2500 m,并且水量小、矿化度高,所以,该热储层仅在山前盆地地区以温泉旅游度假方式进行了少量开采。2017 年 1 月,国家发展和改革委员会、国家能源局、国土资源部联合发布《地热能开发利用“十三五”规划》,河南省以中深层水热型地热供暖为主的地热资源开发利用进入新的高潮。其主要开采层为古生界寒武、奥陶系岩溶热储,分布在濮阳、新乡、洛阳龙门山等地,该热储层水量大、水质好、温度高、易回灌,是目前和将来

表 1 河南省典型地热资源类型及地温梯度

Table 1 Typical geothermal resources and geothermal gradients in Henan Province

地热异常区	主要热储层	地温梯度/ [(°C·(100 m) ⁻¹)]
汤阴断陷	新近系、古近系、古生界寒武—奥陶系	2.5~3.0
内黄凸起	新近系、古近系、古生界寒武—奥陶系	2.5~3.5
济源—开封凹陷	新近系、古近系、古生界寒武—奥陶系	2.5~3.0
通许凸起	新近系、古近系、古生界寒武—奥陶系	2.5~3.0
周口凹陷	新近系、古近系、古生界寒武—奥陶系	2.5~3.5
平舆凸起	新近系、古生界寒武—奥陶系	2.25~2.75
永城断陷褶带	新近系、古生界寒武—奥陶系	2.6~3.3
灵宝—三门峡断陷	新近系、古近系	3.0
洛阳盆地	新近系、古近系	3.0
南阳盆地	新近系、古近系、元古界大理岩	2.5~3.25
山西台隆	基底为太古界登封群深变质岩系,盖层为中元古界碎屑岩、寒武—奥陶系灰岩	济源市五龙口地热田。出口温度 43~101 °C
华熊台缘拗陷	基底为花岗岩或变质岩,盖层为中—晚元古界碎屑岩,古生界寒武—奥陶系、石炭—二叠系,中生界三叠系等	鲁山上汤、中汤、下汤,三门峡陕州、洛阳龙门山,汝州,栾川九龙山等地地热田。出口温度 40~106 °C
嵩箕台隆	基底为太古界登封群和下元古界嵩山群,盖层为中、上元古界及古生界	郑州三李和新郑。出口温度 40~53 °C
秦岭褶皱系	中生代以前长期多旋回发展的地槽褶皱系	商城汤泉池地热田。出口温度 53 °C

地热开发利用的主要目的层。

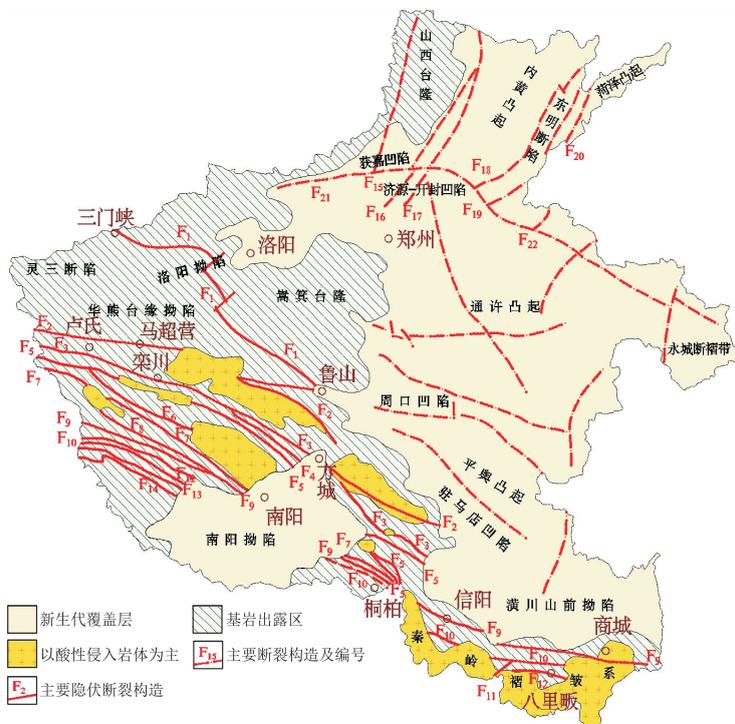
据河南省地矿局调查显示:河南省沉降盆地埋深 2500 m 以浅,新近系热储层地热流体可开采量为 $14200.55 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 、可利用的热能量为 $14607.38 \times 10^{12} \text{ J/a}$;古近系热储层地热流体可开采量为 $1381.83 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 、可利用热能量为 $2913.36 \times 10^{12} \text{ J/a}$ 。下古生界奥陶—寒武系碳酸盐岩热储层储存的地热流体量为 $589.23 \times 10^8 \text{ m}^3$,储存的热能量为 $101976.60 \times 10^{16} \text{ J}$;地热流体可开采量为 $3596.57 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 、可利用热能量为 $7943.10 \times 10^{12} \text{ J/a}$ 。隆起山地地热流体可开采量为 $1157.24 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 、可利用热能量为 $23770.17 \times 10^{12} \text{ J/a}$ 。

2 河南地热资源成因模式

2.1 河南省地质构造与主要断裂

河南省地质构造单元涉及华北陆块、秦岭造山带和扬子陆块^[8-11]。其地形地貌为:西北部、西部及南部为山地。其中,山地局部分布着大小不一的沉降或沉积盆地,东部主要为冲积和沉积形成的平原区。由于经历多次强烈的构造活动和地壳运动,并伴有不同规模的岩浆侵入。所以,呈现了地质构造的复杂性和多样性^[12-13],为地热资源的形成提供

了条件,如图1所示。通过多年地热资源调查及实际钻探验证,河南水热型地热资源主要分布在断裂构造带附近的凹陷(断陷)区或深大断裂的山地凸起区。如:汤阴断陷、获嘉凹陷、济源—开封凹陷、东明断陷、周口凹陷、通许凸起等,水热型地热均呈现热储埋深较浅(1000~2000 m)、出水量大、温度高等特征。其中,华熊台缘拗陷与嵩箕台隆交汇处的洛阳张沟村1200 m奥灰热储层地热水温度高达106℃,是目前河南省温度和单井出水量之最。



F₁—三门峡—鲁山断裂; F₂—马超营—拐河—确山断裂; F₃—栾川—明港断裂; F₄—景湾韧性断裂带; F₅—瓦穴子—小罗沟断裂带和造土湾、王小庄、小董庄韧性断裂带; F₆—邵家—小寨断裂带; F₇—朱阳关—大河断裂带; F₈—寨根韧性断裂带; F₉—西官庄—镇平—松扒韧性断裂带和龟山梅山韧性断裂带; F₁₀—新物场—田关韧性剪切带; F₁₁—浙川—黄风垭韧性剪切带; F₁₂—任村—西罗平断裂; F₁₃—青阳口断裂; F₁₄—太行山东麓断裂; F₁₅—长垣断裂; F₁₆—黄河断裂; F₁₇—聊城—兰考断裂; F₁₈—盘古寺断裂; F₁₉—焦作—新乡—商丘断裂

图1 河南省地质构造图

Fig.1 Tectonic map of Henan Province

2.2 河南省水热型地热资源成因模式

据《河南省区域地质志》和其它资料可知:河南省岩浆侵入岩占全省基岩出露面积23.5%,绝大多数为酸性岩类,其岩性主要有花岗岩和变质岩(片麻岩、大理岩)。岩浆侵入先后经历了新太古代、元古代、古生代、中生代,新生代有少量岩浆侵入活动^[13]。其中,岩浆岩主要形成于侏罗纪至早白垩世早期(199.6—133.9 Ma)之间的燕山期以前,其岩浆岩热量释放殆尽。所以,只有通过深大断裂对流热传导或导热系数高的岩体热传导进行热交换而形

成水热型地热资源。也就是说,河南省水热型地热资源的热源主要来自于地幔热源和隆起侵入岩热源。其中,地幔热源是通过深大断裂对流热传导,显示出水热型地热温度较高,隆起侵入岩热源是通过良好的导热性能把地球深部的热与围岩进行传导,与深大断裂地幔热源相比,其热水温度相对偏低。在多数地区,2种热传导方式在地壳中同时存在。

从地质构造单元和地貌类型分类,河南省水热型地热资源可分为山前沉积盆地型、凸起型和凹陷沉积盆地型3种类型,如图2所示。

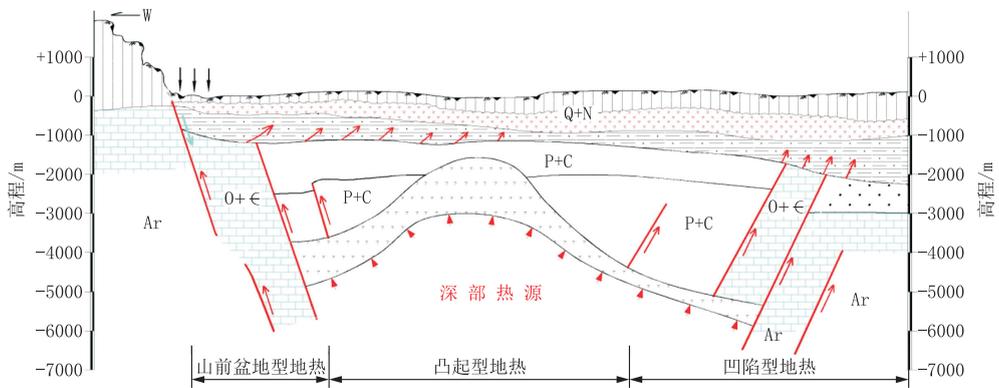


图 2 河南省水热型地热资源成因模式

Fig.2 Generation model of hydrothermal geothermal resources in Henan Province

3 地热钻探方法选择

3.1 钻探过程常遇的问题

地热的热储层一般均在新近系、古近系和古生界(奥陶和寒武系灰岩),目前主要开采目的层是岩溶热储。钻探特点是:钻遇地层复杂、钻探深度和口径大、地层温度相对高等特点。所以,在目前常规地热钻探技术条件下,其钻探过程导致的问题主要是:井壁稳定性差(缩径、超径、崩塌、破碎漏失)、钻探效率低(钻探口径大,冲洗液上返速度低,岩屑重复破碎)、冲洗液性能失稳(受温度和地层岩性影响,冲洗液性能指标突变,失去功能)。这些问题在生产实际中经常发生,严重影响了地热资源勘查开发评价的精度和成本控制。

表 2 是开封凹陷典型地层时代和主要岩性,河南除西部和南部山区外,其它地区的地层均类似开封凹陷地层。从表 2 中可以看出:开采古生界岩溶热储地热,需要钻遇第四系、新近系、三叠系、二叠系、石炭系,其中泥岩、泥质砂岩、煤、泥质灰岩等不稳定地层,其钻穿该地层接近 3000 m,河南其它地区该类地层最小埋深均 ≥ 800 m。在巨厚层不稳定地层钻探,其潜在风险巨大。实际上,通过多年的钻探经验可知:在相对稳定的山区基岩钻探,事故率较低,钻探效率相对稳定;在沉积盆地中钻遇巨厚层泥岩、泥质砂岩,虽然钻探效率较高,但是事故率频繁发生,最后其综合效率和完井质量远不如基岩地区。所以,在深部地热钻探过程中,怎样保证泥岩、泥质砂岩井壁稳定是关键。

表 2 开封凹陷典型地层时代和主要岩性^[14]

Table 2 Typical formation age and main lithology in Kaifeng Depression

界	地 层 系 统			地 层 分 层		主 要 岩 性
	系	统	组	深度/m	厚度/m	
新生界	第四系			200	200	细砂、亚砂土
	新近系		明化镇组	840	640	泥岩、中砂岩、粉砂质泥岩
			馆陶组	1520	680	泥岩、细砂岩、泥质粉砂岩、中砂岩
中生界	三叠系	下统	和尚沟组、刘家沟组	1855	365	泥质粉砂岩、粉砂泥岩、粉砂岩、泥岩
			孙家沟组	2115	230	泥岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩
		上统	平顶山组	2190	75	细砂岩、泥岩、中砂岩
			上石盒子组	2510	320	泥岩、中砂岩、细砂岩、粉砂质泥岩
上古生界	二叠系	中统	下石盒子组	2810	300	泥岩、细砂岩、粉砂质泥岩、碳质泥岩
			山西组	2890	80	粉砂泥岩、砂岩、碳质灰岩、泥岩、煤
		下统	太原组	2990	100	泥岩、泥灰岩、碳质灰岩、煤、细砂岩
			本溪组	3000	10	泥岩、泥质灰岩、灰质白云岩
下古生界	奥陶系	中统	马家沟组	3028	28	泥质灰岩、灰质白云岩

3.2 不同地层钻探方法选择

3.2.1 钻探方法选择原则

钻探过程需要冲洗液来维持地层平衡、携带岩

屑、冷却钻头等,不同地层需要各种化学添加剂,与不同地层矿物及水混合后将产生巨量的废弃泥浆。其中,废弃冲洗液中铬、汞、砷、镉、铅、COD、石油

类、pH值等污染指标中多数不符合国家污染物排放标准^[15-17]。所以,在当前严格的生态环境保护制度制约下,深部地热钻探应该遵循“绿色环保、高效、安全健康”总体原则。根据多年的经验和理论研究表明:深部地热钻探方法,首先选择空气潜孔锤+气举反循环钻井方法;其次选择钻井液+气举反循环钻井方法;最后选择正循环钻井液+螺杆钻井方法等,从而实现“一井多工艺”复合钻探方法。

3.2.2 基岩或稳定地层钻探方法

该类地层主要分布在西部山区和丘陵地区,钻遇地层共同特征是:覆盖层薄、基岩埋深浅、地下水埋藏较深,如:郑州西部、洛阳西南、栾川、嵩县、鲁山、南召、信阳等地区。这类地区采用常规的正循环泥浆钻进时,突出问题是岩石强度高,钻探效率低和成本高。通过多年的理论研究和实践证明:在类似地层采用空气潜孔锤+气举反循环+螺杆马达或空气潜孔锤+气举反循环“三合一”或“二合一”多工艺钻探方法,可以解决钻探效率低、钻井液堵漏、钻井液污染等问题^[18]。表3是一井多工艺钻探方法选择表。

表3 一井多工艺钻探方法选择表

Table 3 Selection of multiple drilling processes for a geothermal well

钻进工艺	适用地层	特点
常规正循环泥浆+螺杆马达“二合一”	第四系、新近系覆盖松散地层较厚;下部为较完整基岩地层、轻微漏失地层。适用于相对稳定地层和深井	工艺简单、螺杆效率高,泥浆净化要求高
空气潜孔锤钻进+螺杆马达“二合一”	开孔基岩或覆盖层埋深小于50 m,且地层含水少、较稳定地层;下部为较完整基岩地层、轻微漏失地层	效率高、开孔不需要水和泥浆材料
常规正循环泥浆+气举反循环“二合一”	第四系、新近系覆盖松散地层较厚;下部地层漏失较为严重。适用于较软或中硬岩石	效率高、不需要洗井工序、水量大
常规正循环泥浆+空气潜孔锤钻进+螺杆马达“三合一”	上部覆盖层较薄且不稳定(≤ 80 m),中部坚硬岩石且漏失,下部基岩地层较为稳定、轻微漏失地层	效率高、解决浅中部漏失问题
常规正循环泥浆+螺杆马达+气举反循环“三合一”	第四系、新近系覆盖松散地层较厚;中部基岩较硬;下部地层漏失较为严重。适用于1500 m以深地热井	效率高、解决深部漏失问题、水量大

表4是空气潜孔锤在不同口径和地层机械钻速实验数据。另据统计资料分析,气举反循环在奥陶系灰岩中大口径钻进($\varnothing 215$ mm),钻速1.91~4 m/h,是常规钻井液正循环钻进的1.8~3.2倍。图

3和图4分别是空气潜孔锤和气举反循环钻进返出地面的岩屑,由于上返速度快携渣能力强,岩屑均呈体积块状,几乎没有重复破碎问题。据理论分析和实践证明,空气潜孔锤钻速最高,其次是气举反循环钻进。

表4 不同口径和地层机械钻速统计

Table 4 Rate of penetration at different drill diameter and in different formation

钻孔口径/mm	粘土、粘土夹砾石	潮湿粘土、砂土	泥岩	砂岩	m/h
155	87	72	21.6	42.6	
205	57	43	13.4	32.0	



图3 空气潜孔锤钻进返出的岩屑(孔深80 m)

Fig.3 Cuttings with pneumatic DTH hammer drilling (80m)



图4 气举反循环钻进返出的岩屑(孔深1600 m)

Fig.4 Cuttings with air-lift reverse circulation (1600m)

3.2.3 巨厚不稳定地层钻探方法

河南省多数平原、盆地地区均属于巨厚不稳定地层,其共同特征是:新近系和古近系盖层较厚,一般在800~3500 m,其岩性以泥岩、泥质砂岩、页岩、泥质灰岩为主。这类岩石主要由粘土矿物、碎屑矿物和后生矿物组成,其成分为水云母、高岭石、蒙脱石、石英、长石、云母、绿帘石、绿泥石、铁锰质和有机质,水化作用极强。在大口径地热钻探过程中造浆严重,导致孔壁失稳(缩径、崩塌)、泥包钻头、吸附粘钻等问题。在较深地层中钻进,随着钻井液柱压力增加,其循环体系中的水分子极易沿着岩石微裂

缝或构造压力异常区向四周扩散,从而加速水化作用。同时,由于岩石中不同成分的矿物,其吸水膨胀率差别较大。所以,在该类地层中易出现孔壁崩塌、剥落、掉块,导致钻孔超径现象。表 5 为河南省叶舞盐矿 9 个钻探孔壁失稳(缩径、超径)情况统计,该区域地层属于典型的巨厚层泥岩和砂岩。

表 5 河南省叶县泥岩、砂岩钻探孔壁失稳情况^[19]

Table 5 Drill hole wall failure in mudstone and sandstone in Ye County, Henan Province

孔号	孔深/m	钻头直径/ mm	平均孔径/ mm	超径率/%
ZK1	384.9~1116.58	108	108.5~110.4	0.49~17.5
ZK2	415.00~2229.00	311/216	218/233.6	-29.9/8.15
ZK3	500.00~2382.44	216/152/ 120	235.2/289.6/ 197.2	8.91/90.6/ 64.3
ZK5	471.00~2791.97	216	287.9~295.5	33.3~36.8
ZK6	242.00~1471.65	94	139.8	48.7
ZK7	450.00~2720.00	162/152	269.6/178.5	66.4/17.5
ZK8	237.00~1431.80	94	126.9	35
ZK9	238.70~1500.73	108/94	168.6/116.5	56.2/23.9

从表 5 可以看出,所有钻孔均存在缩径或超径。其规律是:500 m 以浅粘土岩和泥岩的失稳方式是膨胀缩径,最大缩径率为 29.9%;深部泥岩、泥质砂岩、泥灰岩等长期与钻井液中水分子结合,其内部微裂缝的缝尖应力强度因子增加(如图 5 所示),从而导致岩石临界断裂韧性降低、裂缝逐步扩展、强度降低,最终形成崩塌超径^[20-22],最大超径率高达 90.6%。

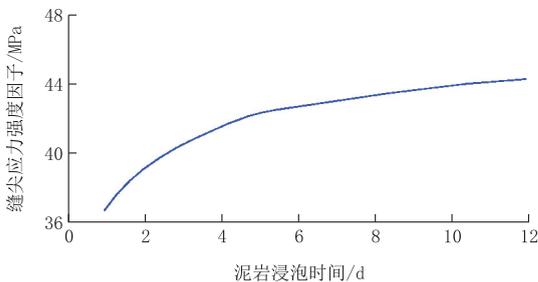


图 5 泥岩浸泡时间与裂缝缝尖应力强度因子的关系

Fig.5 Mudstone immersion time vs the stress intensity factor at the crack tip

同时,由于构造活动和地壳运动而形成的断层、节理等,在较小钻井液压力下极易引起孔壁失稳坍塌,即便增加钻井液密度也不能有效解决坍塌掉块问题,严重影响钻探工程的效率和成本^[23-24]。

所以,在巨厚不稳定地层中钻进,其关键问题是:在选择合理冲洗液基础上,优化井身结构,以最短的时间完钻。

(1)冲洗液选择。理论和实践证明:在巨厚不稳定地层钻探过程中,孔壁稳定性与冲洗液失水性、密度、粘度和流态密切相关。所以,从钻孔稳定性方面考虑,钻遇该类地层时优先选择低失水量、稍高密度和粘度的冲洗液,并保持冲洗液层流状态,可以减少孔壁坍塌、掉块、缩径等问题。典型的钻孔冲洗液配方:4%膨润土+0.2% CMP+1% DR+2% SMP+2% SD+3% 润滑剂。

(2)钻探方法选择。钻遇该类地层仅靠调整冲洗液性能指标维护孔壁稳定显然不够。实践证明:钻探过程越久,孔壁稳定性越差,同时还直接影响地热钻探工程整体质量,特别是固井质量和单井出水量。所以,根据地层情况,在不具备空气钻探情况下,采用正循环回转+孔底驱动(螺杆马达)“二合一”钻探方法,可以实现快速钻探目的。

(3)井身结构选择。一般情况下,地热钻探井身结构尽量简化和减少开次,河南 1000~3000 m 的地热井,多数情况下为 2~3 开次。新近系松散层地热井身结构一般为 2 开次,即一开(200~400 m): $\varnothing 311.1/273$ mm(孔径/石油套管),二开(400~2000 m): $\varnothing 215.9/177.8$ mm(孔径/石油套管)。岩溶热储地层地热井身结构一般为 3 开次,上部一开二开同前,岩溶一般孔径为 152.4 mm(裸孔成井)。增加开次的目的主要是隔离巨厚不稳定地层,保证孔内安全和下一开次的正常钻探。

4 结论

(1)河南省地热资源的热源主要来自于地幔热和深部的岩浆热,主要通过深大断裂对流热传导和导热系数高的侵入岩热传导 2 种方式与浅层地下水进行热交换后形成。

(2)从赋存地质环境条件划分,水热型地热资源可分为山前沉积盆地型、凸起型和凹陷沉积盆地型 3 种类型。

(3)泥岩、泥质砂岩、页岩等地层的稳定性严重影响着深部地热钻探,维护孔壁的稳定性是实现正常钻进和完井的关键。

(4)针对不同类型的地热资源,优化选择不同钻探方法,采用“三合一”、“二合一”钻探工艺,可达到“绿色环保、高质高效、安全健康”目的。

参考文献(References):

- [1] 吴焯, 王建华, 卢予北. “钻探”在民生地质工作中的作用与地位[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(11): 1-5.
WU Ye, WANG Jianhua, LU Yubei. Role and position of “Drilling” in livelihood geology[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(11): 1-5.
- [2] 胡童颖, 董向宇, 冉恒谦, 等. 地热井钻井液对井壁温度分布的影响研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(1): 20-25.
HU Tongying, DONG Xiangyu, RAN Hengqian, et al. Study on influence of drilling fluids on temperature distribution over the borehole wall in geothermal wells[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(1): 20-25.
- [3] 刘波. 地热井开发现状分析及前景展望[J]. 石化技术, 2015(4): 153.
LIU Bo. Status analysis and prospect of the development geothermal wells[J]. Petrochemical Industry Technology, 2015(4): 153.
- [4] 许刘万, 伍晓龙, 王艳丽, 等. 我国地热资源开发利用及钻进技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(4): 1-5.
XU Liuwan, WU Xiaolong, WANG Yanli, et al. Development and utilization of geothermal resource in China and the drilling technology[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(4): 1-5.
- [5] 卢予北, 李艺, 卢玮, 等. 新时代地热资源勘查开发问题研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(3): 1-8.
LU Yubei, LI Yi, LU Wei, et al. Research on the exploration and development of geothermal resources in the new era[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(3): 1-8.
- [6] 张伟. 高温岩体热能开发及钻进技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(10): 219-224.
ZHANG Wei. Extraction of high temperature rock mass heat energy and related drilling technologies[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(10): 219-224.
- [7] 李德威, 王焰新. 干热岩热能研究与开发的若干重大问题[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2015, 40(11): 1858-1869.
LI Dewei, WANG Yanxin. Major issues on research and development of hot dry rock geothermal energy[J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 2015, 40(11): 1858-1869.
- [8] 陈艳, 张招崇, 朱江. 河南省安林砂卡岩型铁矿的成岩时代和成矿物质来源探讨[J]. 岩石学报, 2014, 30(5): 1307-1321.
CHEN Yan, ZHANG Zhaochong, ZHU Jiang. Geochronology of the Anlin iron skarn deposit, Henan Province and insight into the sources of iron[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(5): 1307-1321.
- [9] 陈毓川, 裴荣富, 王登红. 三论矿床的成矿系列问题[J]. 地质学报, 2006, 80(10): 1501-1508.
CHEN Yuchuan, PEI Rongfang, WANG Denghong. On mineralogical (metallogenetic) series: Third discussion[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(10): 1501-1508.
- [10] 中国地质调查局发展研究中心. 中国断代大地构造图[M]. 北京: 地质出版社, 2014.
Development Research Center of China Geological Survey. Geotectonic map of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014.
- [11] 朱炳泉, 常向阳, 邱华宁, 等. 地球化学急变带的元古宙基底特征及其与超大型矿床产出的关系[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 1998(S2): 63-70.
ZHU Bingquan, CHANG Xiangyang, QIU Huaning, et al. Characteristics of the Proterozoic basements at the geochemical steep zones in the continent of China and their implications for setting of superlarge deposits[J]. Science in China (Series D: Earth Science), 1998(S2): 63-70.
- [12] 彭松民, 李振国, 王令全, 等. 河南省侵入岩构造单元的划分及其特征[J]. 矿产与地质, 2014, 28(3): 264-271, 283.
PENG Songmin, LI Zhenguo, WANG Lingquan, et al. Division and characteristics of tectonic units of intrusive rocks in Henan province[J]. Mineral Resources and Geology, 2014, 28(3): 264-271, 283.
- [13] 河南省地质矿产局. 河南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
Henan Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources. Henan provincial areal geology assembly[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989.
- [14] 卢予北, 陈莹, 申云飞. 河南中牟页岩气区块地层特征及钻探问题研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(7): 62-67.
LU Yubei, CHEN Ying, SHEN Yunfei. Research on formation characteristics and drilling problems in Zhongmou shale gas block of Henan Province[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(7): 62-67.
- [15] 张统得, 蒋炳, 严君凤. 地质钻探废弃冲洗液污染特性及脱稳技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(4): 134-139.
ZHANG Tongde, JIANG Bing, YAN Junfeng. Research on pollution characteristics and destabilization technology of waste drilling fluid in geological drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(4): 134-139.
- [16] 卢予北, 范晓远, 吴焯, 等. 云南腾冲科学钻探废弃钻井液固化处理技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(8): 14-17.
LU Yubei, FAN Xiaoyuan, WU Ye, et al. Research on waste drilling fluid solidification technology of Tengchong scientific drilling in Yunnan[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(8): 14-17.
- [17] 吴焯, 王雯璐. 钻探工程废弃钻井液处理技术及进展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(3): 14-16.
WU Ye, WANG Wenlu. Treatment technology of waste fluid in drilling engineering and the progress[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(3): 14-16.
- [18] 卢予北, 吴焯, 陈莹. 页岩气钻探关键技术问题分析研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(S1): 27-31.
LU Yubei, WU Ye, CHEN Ying. Key technical analyze and research on shale gas drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(S1): 27-31.