

寨上金矿复杂地层深孔岩心钻探技术

刘蓓¹, 蔡正水², 杨可¹, 白栋¹, 吕新全¹

(1. 中国地质调查局西安矿产资源调查中心, 陕西西安 710100;

2. 安徽省地质矿产勘查局 313 地质队, 安徽六安 237010)

摘要: ZK4816 孔是首个在岷县寨上金矿区实施的千米以深钻孔。针对矿区复杂地层钻进难、护壁难等问题, 通过实施深孔岩心钻探工程, 同步开展了钻探技术研究与实践, 成功应用了广谱冲洗液、加大口径钻具、定向钻进等技术措施, 钻进深度达到 1172.88 m。广谱冲洗液与植物胶冲洗液相比护壁周期提高了 3 倍, 采用加大口径钻具钻进可形成大环状间隙, 大幅提升冲洗液携带粗颗粒岩粉的能力, “广谱冲洗液+加大口径钻具”技术的应用有效保证了深孔施工。为下一步复杂地层深孔岩心钻探工作提供了参考依据。

关键词: 复杂地层; 深孔岩心钻探; 广谱冲洗液; 绳索取心; 加大口径钻具; 寨上金矿

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2023)S1-0240-06

Deep hole core drilling technology in complex formation of Zhaishang gold deposit

LIU Bei¹, CAI Zhengshui², YANG Ke¹, BAI Dong¹, LÜ Xinquan¹

(1. Xi'an Center of Mineral Resources Survey, China Geological Survey, Xi'an Shaanxi 710100, China;

2. 313 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province, Lu'an Anhui 237010, China)

Abstract: ZK4816 borehole is the first drilling with a depth of 1000 meters implemented in Zhaishang gold deposit area, Min County. For the problems of difficult drilling, wall protection etc. in complex formation of mining area, through the implementation of deep core drilling project, drilling technology research and practice were carried out simultaneously, and technical measures such as GSP drilling fluid, enlarged diameter drilling tools and directional drilling were successfully applied. The drilling depth reached 1172.88m. The wall protection period of GSP drilling fluid was three times longer than that of natural plant gum drilling fluid. Drilling with enlarged diameter drilling tools can form a large annular gap and greatly improve the ability of drilling fluid to carry coarse rock powder. The application of “GSP drilling fluid & enlarged diameter drilling tools” technology effectively ensures the deep hole construction. This paper provides a reference for the next deep core drilling work in complex strata.

Key words: complex formation; deep hole core drilling; GSP drilling fluid; wire-line coring; enlarged diameter drilling tool; Zhaishang gold deposit

0 引言

从 2002 年开始, 西安矿产资源调查中心(原武警黄金第五支队)在寨上矿区开展岩金钻探工作, 截止 2022 年累计钻探进尺 125783 m, 施工完成钻孔 343 个, 其中孔深 ≥ 500 m 钻孔 57 个, 累计探明金资源量 115 t。寨上金矿深部找矿潜力巨大, 但因地层

复杂, 深孔钻探始终是找矿面临的难题。为了落实重点矿区“探边摸底”的要求, 实现深部找矿的突破, 中心联合安徽省地质矿产勘查局 313 地质队成立“甘肃岷县寨上矿区深孔钻进研究”项目组, ZK4816 孔设计孔深 1200 m, 通过实施该钻孔, 总结了复杂地层钻进工艺、技术经验和管理措施, 基本

收稿日期: 2023-03-15; 修回日期: 2023-05-23 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.S1.036

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“西秦岭岷县寨上金矿勘查”(编号: ZD20220314)

第一作者: 刘蓓, 男, 汉族, 1986 年生, 工程勘查室副主任, 高级工程师, 地质工程专业, 硕士, 主要从事地质钻探工程技术研究和管理工作, 陕西省西安市长安区凤栖西路 66 号, liubei02105228@163.com。

引用格式: 刘蓓, 蔡正水, 杨可, 等. 寨上金矿复杂地层深孔岩心钻探技术[J]. 钻探工程, 2023, 50(S1): 240-245.

LIU Bei, CAI Zhengshui, YANG Ke, et al. Deep hole core drilling technology in complex formation of Zhaishang gold deposit[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1): 240-245.

掌握复杂地层深孔岩心钻进关键技术,为该地区深孔岩心钻探工作提供了第一手的技术资料。

1 工区概况

寨上金矿区位于甘肃省岷县禾驮乡,属秦岭山脉西段,中高山区,地势北高南低,金矿工作区标高在2600~2980 m之间,相对高差350 m,总体坡度为25°左右。区内山脊舒缓,沟谷开阔,沟壑交织,地表多被黄土状粉砂土覆盖,植被发育,基岩出露较差。

寨上金矿区分为南、北2个成矿带,总体上南北长约7.9 km,东西长约11 km。北矿带矿脉赋存于下二叠统下部地层B组(P11-b)的砂质板岩、含碳板岩、泥质板岩、砂岩中^[1],脉体主要为碎裂岩、碎裂化炭质板岩、碎裂化泥质板岩等。南矿带矿脉赋存于中泥盆统E组中段(D22-e2)灰岩、钙质板岩夹泥质板中,脉体成分主要为碎裂岩、碎裂化钙质板岩等。本次设计的ZK4816钻孔位于北矿带岭罗山(高程2969.812 m),孔深1200 m,方位角200°,倾角88°,预计穿过3层矿脉(体),地表覆盖层主要为砾石层、亚粘土、腐土,深部基岩主要为碳质板岩、碎裂岩、碎裂化碳质板岩、碳质板岩夹砂岩,岩石研磨性中等偏弱,硬度4~6级,实钻地层岩心情况见图1。

2 钻孔质量要求与技术难点

2.1 钻孔质量要求

地质要求全孔取心,平均采取率 $\geq 75\%$,矿化带、重要标志层、矿层与矿层顶底板3~5 m内的岩矿心采取率 $\geq 80\%$,开孔倾角88°,每50 m或进入矿层进行测斜,每100 m顶角偏斜 $\leq 3^\circ$,方位角偏差一般不超过勘探线1/4,每100 m或终孔进行孔深验证,终孔直径 ≤ 75 mm,岩心直径 ≤ 47 mm,按要求封孔,班报表填写真实、准确、规范、工整,严格执行岩金矿勘查规范。

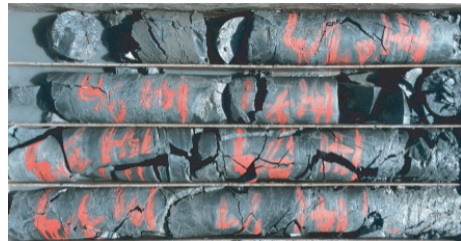
2.2 钻探技术难点

由于历史上曾发生过多地地震,该地区地层岩石结构遭到严重破坏,钻孔孔壁极不稳定,且碎裂、蚀变、水敏性地层多,易造成钻孔漏失、缩径、垮塌等,卡(夹)钻、埋钻、断钻及烧钻等事故频发,寨上金矿地层长期困扰钻探的“三难”问题一直没有完全得到有效解决,即“钻进难、护壁难、孔内事故处理难”。

(1)钻探质效低。岩矿层破碎,岩心不易进入岩心管,软硬互层造成岩心磨损,软岩(泥质)膨胀易在



(a)砂岩



(b)碳质板岩



(c)碎裂碳质板岩



(d)泥质板岩

图1 ZK4816钻孔岩心

卡簧座与钻头内台阶处堵死、磨损或冲蚀^[2],易造成岩心采取率低,高转速下钻杆摆动易破坏孔壁引起事故,机械钻速难以提高,钻探经济成本高。

(2)钻孔护壁难。由于地层稳定性差,具有碎、软、散及水敏特点,且岩石破碎、软硬互层多且厚大^[3],裸孔孔壁极不稳定,坍塌、掉块、剥落和缩径等现象频发,冲洗液护壁效果差,保护周期短。

(3)孔内事故复杂。钻孔环状间隙小,大泵量高泵压易破坏孔壁,小泵量无法将大颗粒岩粉(屑、渣)排出钻孔,正常钻进过程中经常发生夹钻事故,停泵后孔内岩粉沉淀快,夹(卡、埋)钻等事故率高,破碎

层漏失或泥质层堵塞钻头水眼(泥包钻),可引起烧钻事故,孔内事故复杂多变,处理难度大。

3 钻孔施工概况

3.1 设备选择

针对矿区地层情况、钻孔深度、终孔直径以及钻进方法等因素,本着安全可靠、科学合理、经济节约的原则,钻探施工投入的主要设备见表1。

表1 钻探设备

名称	型号	数量	备注
钻机	HXY-6BII	1台	
钻塔	SG-24A	1副	加重
泥浆泵	BW-300/12B	2台	钻进,备用1台
泥浆泵	BW-250/5A	2台	供水,备用1台
液压力钳	SQ114/8	1台	
气动夹持器	CHD	1套	带气泵
吊钳	2 $\frac{3}{8}$ ~4 $\frac{1}{2}$ in	1副	
绳索取心绞车	JS-3000	1台	具有计数和排绳功能
高速泥浆搅拌机		1台	700~800 r/min
离心机	TGLW350-692T	1台	11 kW
发电机组	250GFZT	1台	备用
泥浆测试仪器	便携式	1套	
测斜仪	KXP-2D	1套	
随钻测斜仪	LHE2115	1套	有线式

3.2 钻孔结构

根据地质要求、地层复杂程度、钻机能力以及钻进方法等确定钻孔结构。ZK4816孔设计为四开,在冲洗液护壁无效时,可下入套管护壁。实际钻进过程中,0~150 m范围内地层较软、碎,且下部地层情况不明,考虑到该矿区岩性变化大和预留口径,及时调整了钻孔结构。一开实际钻进深度大于设计深

度,钻进至较稳定地层后下入套管;二开实际钻孔深度与设计基本相吻合;三开实际采用比设计口径大的钻头($\text{O}114$ mm)钻进施工,可为后续H和N口径钻进创造良好的条件。钻孔结构和套管程序的设计与实际对比见表2。

表2 设计与实际钻孔结构

开钻次序		钻头直径/mm	钻进深度/m	套管直径/mm	套管下深/m
一开	设计	200	10	168	10
	实际	216	150.58	168	150.58
二开	设计	136	800	127	800
	实际	136	821.66	127	816
三开	设计	100	1000	89	800~1000
	实际	114	1172.88		
四开	设计	78	1200		
	实际				

3.3 钻进工艺

一开(0~150.58 m):开孔下入孔口管,采用 $\text{O}136$ mm绳索取心钻进,使用广谱冲洗液护壁,由于0~150 m范围内地层破碎,钻进至214.52 m后,采用 $\text{O}216$ mm牙轮钻头扩孔至150.58 m砂岩地层,下 $\text{O}168$ mm套管,水泥固井。

二开(150.58~821.66 m):采用 $\text{O}136$ mm绳索取心钻进,使用广谱冲洗液护壁,穿过第一层矿至821.66 m较稳定的砂岩地层,下入 $\text{O}127$ mm套管护壁,水泥固井。

三开(821.66~1172.88 m):采用 $\text{O}114$ mm绳索取心钻进,使用广谱冲洗液护壁,穿过第二层和第三层矿钻进至1172.88 m终孔。其中821.66~1172.88 m孔段采用了多种结构形式的金刚石和复合片绳索取心钻头钻进。各开次钻具组合见表3。

表3 钻具组合

开次	钻进深度/m	钻具组合	备注
一开	0~150.58	$\text{O}136$ mm 金刚石钻头+ $\text{O}136.5$ mm 扩孔器+ $\text{O}127$ mm 绳索取心钻具+ $\text{O}136.5$ mm 扩孔器+ $\text{O}127$ mm 扶正钻杆(加重钻杆)+ $\text{O}114$ mm 绳索取心钻杆	取心钻进
		$\text{O}216$ mm 牙轮钻头+ $\text{O}127$ mm 扶正钻杆(加重钻杆)+ $\text{O}114$ mm 绳索取心钻杆	扩孔钻进
二开	150.58~821.66	$\text{O}136$ mm 金刚石钻头+ $\text{O}136.5$ mm 扩孔器+ $\text{O}127$ mm 绳索取心钻具+ $\text{O}136.5$ mm 扩孔器+ $\text{O}127$ mm 扶正钻杆(加重钻杆)+ $\text{O}136.5$ mm 扶正器+变丝+ $\text{O}114$ mm 绳索取心钻杆	取心钻进
三开	821.66~1172.88	$\text{O}114$ mm 金刚石钻头+ $\text{O}114.5$ mm 扩孔器+ $\text{O}105$ mm 绳索取心钻具+ $\text{O}114.5$ mm 扩孔器+变丝+ $\text{O}91$ mm 绳索取心钻杆+ $\text{O}114.5$ mm 扶正器+ $\text{O}91$ mm 绳索取心钻杆	取心钻进

3.4 钻孔质效分析

钻孔质量指标完全达到地质要求,钻孔深度1172.88 m,取得岩心1111.07 m,全孔岩心采取率达到94.73%,终孔直径114 mm,岩心直径最小64 mm;平均每50 m测量1次钻孔弯曲度,钻孔最大倾角85.2°(1000 m处),方位角最大219.0°(1050 m处),每100 m进尺校正孔深1次,孔深误差均<1‰;全孔用P.O 42.5水泥封闭,水灰比0.5,符合封孔设计要求;原始报表准确、完整、规范。

钻孔从开钻到终孔历时156 d,台月效率为225 m,总体钻探效率并不高。复杂地层钻探施工,特别是复杂地层深孔钻进,维护孔壁稳定是保证钻探质量和经济效益的前提,考虑地层的不安全因素,深部孔段钻进采用低转速(169~258 r/min)^[4]。钻进至孔深1172.88 m提钻换钻头时钻孔发生坍塌、掉块,扫孔处理无效,后期2次灌水泥保护坍塌孔段,透孔钻进966.43 m,由于地层松散破碎,孔壁裸露时间长,严重失稳,无法进一步钻进,从966.43 m处开始造斜侧钻,到1081.95 m时孔内再次发生坍塌事故,经多次处理仍无法正常钻进,经地质技术人员研究认为此次钻探工作已达地质目的,同意提前终孔。

4 钻探关键技术措施

4.1 试点应用广谱冲洗液

该钻孔地层特别复杂且变化大,在较软、破碎的地层钻进中,冲洗液的护壁能力成为主要技术参数。前人在寨上金矿钻探冲洗液方面开展了较多的研究和探索工作,初期采用HJ-1复合型冲洗液取得一定效果^[5],后期又探索应用了PHP、PAB无固相冲洗液、LBM冲洗液以及植物胶冲洗液等^[6-9],护壁效果有所提升,但深孔冲洗液护壁问题一直没有取得突破,为进一步提升深孔冲洗液护壁性能和应用效果,探索应用了广谱冲洗液^[10]。

广谱冲洗液基本配方:1 m³清水+4%~5% 钠膨润土+4% 纯碱(与土质量比)+2%~3% 广谱护壁剂(GSP)+2% 磺化沥青+2% 腐殖酸钾+0.3%~0.5% 中粘CMC+0.1% 聚丙烯酸钾+0.5% K31。现场还配有正电胶、石灰石粉、重晶石、NaOH、皂化油等,根据钻进情况调整处理剂种类及加量。

广谱冲洗液性能指标:粘度28~35 s,失水量<5 mL/30 min(要求≤10 mL/30 min),表观粘度15~22 mPa·s,动切力3~7 Pa,静切力:τ_初=0~1

Pa,τ_终=4~15 Pa,密度1.05~1.20 g/cm³。

冲洗液的护壁效果可从裸孔孔壁稳定周期和裸孔钻进深度2方面评价。通过统计孔壁稳定周期(见图2)和钻进深度(见图3)可知:复杂地层钻进时,在使用植物胶冲洗液护壁的情况下,冲洗液护壁最长时间8 d,平均护壁时间4 d,最大钻进深度170 m左右,平均钻进深度82 m;ZK4816孔采用广谱冲洗液,护壁最长时间达到了47 d,平均护壁时间25 d,最大钻进深度590 m左右,平均钻进深度达到了340 m。为验证广谱冲洗液是否具有实用性,分别在ZK61-2(708.26 m)、ZK61-4(488.8 m)、ZK49-4(495.58 m)和ZK43-7(892.12 m)钻孔开展试验研究,护壁时间最长达到了18 d,平均护壁时间12 d,最大钻进深度410.54 m左右,平均钻进深度达到了263 m。通过对比,证明寨上复杂地层钻进采用的广谱冲洗液护壁性能优于植物胶冲洗液。

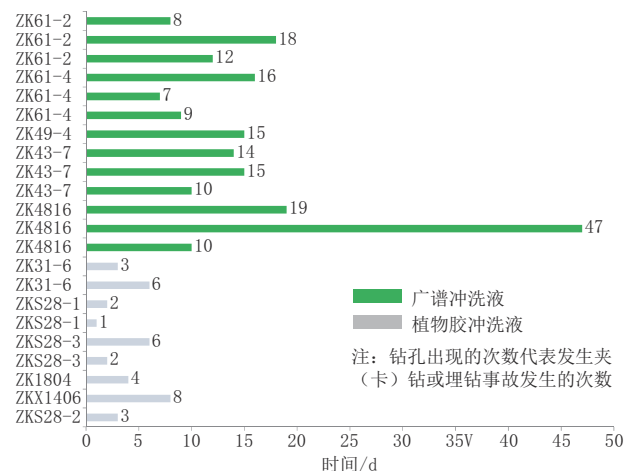


图2 孔壁稳定周期

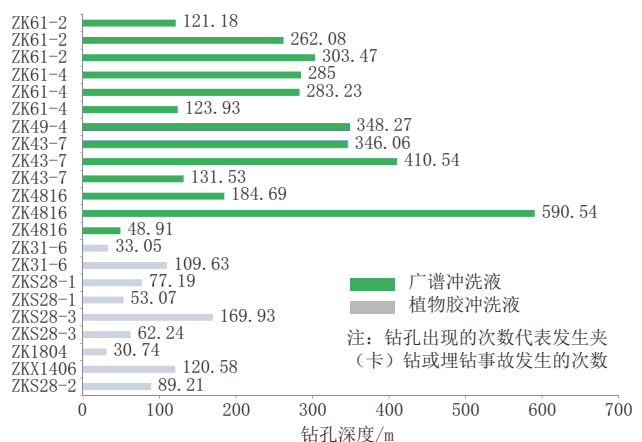


图3 钻进深度

4.2 探索应用加大口径钻具

矿区地层软硬夹杂,水敏性强,钻孔易缩径,钻进过程中孔底产生的岩粉(沉渣)多、颗粒大,影响钻头碎岩效率,随着孔深增加泵压增高,易引发卡、夹、埋钻等事故^[11],因此孔内岩粉、沉渣清理极其重要。前期钻探工作一直采用标准口径绳索取心钻具,在ZK4816孔中首次探索采用外径加大钻头,将P口径金刚石绳索取心钻头($\text{O}122\text{ mm}$)外径增大至 $\text{O}136\text{ mm}$ ^[12-13];将H口径金刚石绳索取心钻头($\text{O}96\text{ mm}$)外径增大至 $\text{O}114\text{ mm}$,可增大钻孔环状间隙,降低深孔钻探冲洗液上返阻力和对孔壁地层的破坏压力^[14-15],在使用高粘度冲洗液时,可提高冲洗液携带大颗粒岩粉(沉渣)的能力(见图4),减少孔内残积岩粉,降低冲洗液上返阻力和泵压(见表4),还可减

小提下钻的抽吸作用。与标准口径钻进相比,在复杂地层采用 $\text{O}136\text{ mm}$ 或 $\text{O}114\text{ mm}$ 钻进完毕后,即可下入 $\text{O}127\text{ mm}$ 或 $\text{O}108\text{ mm}$ 套管,可避免扩孔工序对孔壁造成的不利影响,有效降低辅助工作台时,还可为后续钻进施工预留备用口径。



图4 采用 $\text{O}136\text{ mm}$ 钻头钻进排出的直径2~4 mm岩粉

表4 钻孔环状间隙与泵压关系

钻 孔	孔径/mm	环状间隙/mm	泵量/($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)	泵压/MPa	孔深/m	备 注
ZK4816	136	9	96	0~3	0~821	$\text{O}168\text{ mm}$ 套管护壁
ZK4816	110	13.5	96	1.2~4	810~1172	$\text{O}127\text{ mm}$ 套管护壁
ZK31-6	122	4	52	>1	12~280	冲洗液护壁
ZK31-6	96	2.5	52	2.5~4	280~456	$\text{O}114\text{ mm}$ 钻杆做套管
ZK31-6	96	15.5	52	<1	456~627	起拔 $\text{O}114\text{ mm}$ 钻杆后
ZK31-6	75	4.5	52	5~6(8~10)	627~700	$\text{O}89\text{ mm}$ 套管护壁

应用加厚、加长钻具,将P口径钻具(内径100 mm)外管外径设计为 $\text{O}127\text{ mm}$ (内径 $\text{O}105\text{ mm}$),长度4.65 m,增大了钻具内、外管之间的环状间隙,利于冲洗液循环;将H口径钻具外管外径设计为 $\text{O}92\text{ mm}$ (内径 $\text{O}80\text{ mm}$),长度加大至6 m。钻具刚度和质量大,稳定性好,可提高成孔质量,随着钻进深度增大,使用加长钻具一定程度上可提高纯钻工作时间。

4.3 定向钻进技术

钻进至孔深1172.88 m发生孔内事故后,经处理钻进至966.43 m处仍然无法正常继续钻进,经研究决定从966.43 m处开始定向造斜侧钻,采用小一级口径“ $\text{O}98\text{ mm}$ 定向钻头+单弯无磁钻具(含LHE2115型有线随钻测斜仪)+ $\text{O}91\text{ mm}$ 绳索取心钻杆”钻具组合方法进行定向侧钻。这是寨上金矿区钻探施工首次应用定向钻进技术,最终侧钻成功,孔深1000 m处采用多点测斜仪测量方位角 $218^\circ\sim 220^\circ$,倾角 $85.2^\circ\sim 85.4^\circ$,完全符合地质要求,定向完

毕后取心钻进至1081.95 m时,孔内再次发生了较为严重的坍塌卡钻事故,多次尝试处理无效后终止了钻进工作(已达到地质目的)。

4.4 其他技术措施

(1)采用加重钻杆加压。较浅孔段,采用加重钻杆钻进可使钻头在岩石面上均匀受力^[16],有效防止钻孔弯曲,同时钻杆处于拉伸状态,降低了因钻杆弯曲对孔壁的扰动,可提高成孔质量。

(2)低转速钻进,安设扶正器导正。增大环状间隙后,钻杆回转摆动易破坏孔壁^[17],除了粗径钻具上、下部位设置的扶正器外,在钻杆之间增设扶正器,同时采用低转速钻进,可降低钻杆对孔壁扰动的破坏,还可避免钻杆内结泥皮^[18]。

(3)采用合理的孔壁保护措施。钻进至软碎易坍塌、缩径地层,经常上、下串孔,防止卡钻发生;提钻时打捞出内管总成以增大冲洗液的流通断面,下钻时同样先取出内管,提、下钻时低速匀速,以减小抽吸作用和压力“激动”对孔壁的影响;提钻时向孔

内回灌冲洗液^[19-20],避免因孔内冲洗液液面下降造成钻杆内外之间形成压差而使孔壁坍塌。

(4)加强冲洗液的使用管理。地层复杂时加强观测返出冲洗液情况,包括冲洗液量、颜色、岩粉量、岩屑颗粒大小等,有利于判断孔内情况,确定适宜的钻进参数;及时清理冲洗液中的岩粉,控制有害固相含量,维护冲洗液性能稳定,预制备用冲洗液^[21-22];每回次钻进完毕取心之前,进行10~20 min的冲孔排粉(大于正常钻进泵量)。

(5)扩孔采用带导正的扩孔钻头,同时严格控制扩孔进尺速度,避免速度过快或钻压过大扩偏钻孔;扩孔时岩渣多、颗粒大,适当提高冲洗液密度和粘度^[23],增大泵量,提高冲洗液的排粉能力,确保孔内干净。

5 结论与建议

ZK4816孔创造了寨上金矿区历史最深钻孔记录,在矿区内开展了深孔钻进技术试验,为该矿区以后的钻探施工积累了一定的技术经验。

(1)广谱冲洗液可以较好地满足深孔钻进的护壁需要,为复杂地层钻探施工提供了保障。

(2)加大钻头外径,增大钻进环状间隙,利于冲洗液携带出粗粒岩粉(渣),降低泵压,减少扩孔与下套管工序,提高钻孔质量。

(3)首次在复杂地层采用小口径定向钻进技术,提升了对孔内异常情况判断与处理的能力。

(4)由于时间和技术水平原因,ZK4816孔钻探事故处理难题没有得到较好的解决,复杂深孔钻进研究工作还需加强,针对软、碎易分散泥质(钙质)板岩复杂水敏地层,冲洗液材料、配方、性能和使用管理还需不断探索优化;加强探索复杂地层快速钻探技术方法,在冲洗液护壁寿命有效期之内,快速穿过复杂地层孔段;深孔事故处理难度大、周期长、成本高,孔内事故处理技术方法也需加强攻克;同时,应重视深孔钻具和管材质量,采用高强深孔绳索取心钻探管材可有效降低断钻等事故的风险。

参考文献:

[1] 王宇昊,杜志伟,焦学尧,等.甘肃岷县寨上金矿成矿年代及矿床成因探讨[J].岩石学报,2022,38(4):1237-1252.
[2] 石立明.复杂地层岩心钻探综合治理技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(2):12-14.

[3] 张宝河.甘肃岷县某金矿钻探施工技术与管理[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(4):44-47.
[4] 梁继军,杨小兵.甘肃陇南地区金矿岩心钻探不分散低固相泥浆的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(5):15-17,21.
[5] 王政敏,牛振中,颜志华.HJ-1复合型钻井液的研究及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(5):48-50.
[6] 熊正强,陶士先,李艳宁,等.国内外冲洗液技术研究与应用进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(5):6-12.
[7] 孙富春,李景东,徐恒,等.PAB无固相聚合物冲洗液在复杂破碎地层钻孔护壁实践中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,39(S1):227-229.
[8] 翟开慧.植物胶冲洗液在寨上金矿区钻探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(3):18-20.
[9] 尹建国,刘青山,夏文彬,等.寨上矿区复杂地层钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(6):42-45.
[10] 陶士先,纪卫军,胡继良,等.复杂地层钻探冲洗液技术新成果[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会.第十六届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集.北京:地质出版社,2011:281-287.
[11] 孔祥旺,张绍和,王文彬,等.湘西北复杂构造区破碎地层绳索取心钻进技术难点及优化[J].煤田地质与勘探,2021,49(2):247-252.
[12] 刘蓓,李国民,肖丽辉.PQ钻具在寨上矿区地质钻探中的应用[J].黄金科学技术,2012,20(5):63-66.
[13] 闫家,曹龙,胡晨,等.望江凹陷页岩油气地质调查皖望地2井钻井技术[J].钻探工程,2022,49(5):30-38.
[14] 何远信,胡志方,单衍胜,等.公益性陆域油气地质调查钻探工程技术进展与攻关建议[J].钻探工程,2022,49(5):3-10.
[15] 赵国法,吕新前,熊伟.开化外际底矿区破碎地层钻探施工及若干技术问题研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(6):24-27,31.
[16] 朱恒银,王强,张正,等.大直径加重管绳索取心技术在页岩气勘探中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):160-164.
[17] 刘祥,兰沁,许飞,等.西藏罗布莎钴铁矿区高海拔巨厚覆盖层钻探技术[J].钻探工程,2021,48(6):49-56.
[18] 宋端正.甘肃西和大桥金矿区复杂地层钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(3):34-36.
[19] 李振学,邓敏.栾川县多金属矿复杂地层岩心钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9):56-59,95.
[20] 李振学.高原地区钻探施工组织与技术管理措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(10):82-84.
[21] 余桂红.洛宁上宫金矿ZK322000深孔复杂地层护壁技术探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(6):19-23.
[22] 刘振新,翟育峰,宋世杰,等.川西甲基卡锂矿3000 m科学深钻关键技术探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(10):29-32.
[23] 李振学,张建成,李光宏.河南省南坪矿区多金属矿复杂地层钻探施工方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(4):16-19.

(编辑 王文)