

藏北无人区高原冻土复杂地层钻探施工实践

牟程江, 廖麟祥*, 孙昌伟, 郝怀何, 林见华, 杨益, 王东

(中国地质调查局军民融合地质调查中心, 四川成都 610036)

摘要: 藏北无人区海拔高气候恶劣, 施工物资运输难度大, 在进行地质调查钻探工程施工中发生冻土融冻坍塌、泥岩强造浆缩径、长孔段连续破碎涌水等多种复杂问题。针对钻探施工遇到的难点, 优化了钻具组合、冲洗液体系、钻探器具, 采用短行程干钻取心、重力加杆、跟管钻进、导流泄压等技术措施, 解决部分施工中遇到的问题。在该地区钻探施工积累了一定经验, 为该区域能源资源调查提供有效的地质资料和岩心实物资料。

关键词: 高原冻土; 融冻; 涌水; 干钻取心; 重力加杆; 导流泄压

中图分类号: P634.5 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2025)02-0065-07

Drilling construction practice in complex strata with frozen soil in the no man's land of northern Tibet Plateau

MOU Chengjiang, LIAO Linxiang*, SUN Changwei, HAO Huaihe, LIN Jianhua, YANG Yi, WANG Dong
(Civil-military Integrated Geological Survey Center, China Geological Survey, Chengdu Sichuan 610036, China)

Abstract: The no man's land in northern Tibet Plateau has a high altitude and harsh climate, and it is difficult to ensure the transportation of construction materials. During the drilling process, problems happened such as thawing and collapse of frozen soil, strong cementation and hole shrinkage in mudstone, continuous breakage and water-gushing in long holes, and so on. In view of this, technical measures are taken to solve the problems in the drilling process such as optimization of drill assembly, flushing fluid systems, drilling tools and equipment, and the use of short-stroke dry drilling, gravity plus rod, follow-up pipe drilling, and drainage pressure relief. The project team has accumulated some experience of drilling construction, which provides effective geological drilling data and physical core data for the survey of energy resources in this region.

Key words: frozen soil in plateau; freeze thawing; water gushing; dry drilling and coring; gravity plus rod; drainage and pressure relief

0 引言

近年来多家单位在藏北无人区开展地质调查工作, 无人区地域广阔, 调查点位分布间隔距离远, 可借鉴的地质资料相对较少。为了调查藏北某区域能源资源情况, 依据地质路线以及物探调查的情况, 在该区域布设 1 个地质调查钻孔, 目的是掌握该区域地层结构情况, 通过钻取岩心同时配合录井、

测井等工作手段, 分析该区域地质构造以及能源资源的储层、位置、区域等情况, 对该区域能源资源情况进行评价。钻孔于 2024 年 7 月 13 日开孔, 11 月 2 日终孔, 终孔孔深 610.37 m。

由于藏北无人区区域位置及地质构造演变过程区别于其他地区, 造就了其独特的地质条件, 钻探施工钻遇地层复杂。同时海拔较高, 一般距离人

收稿日期: 2024-12-04; 修回日期: 2025-02-20 DOI: 10.12143/j.ztgc.2025.02.009

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“西部地区战略性矿产靶区查证技术支撑(军民融合中心)”(编号: DD20243097)

第一作者: 牟程江, 男, 汉族, 1986 年生, 助理工程师, 探矿工程专业, 从事钻探技术与施工管理工作, 四川省成都市金牛区茶店子路 399 号, 446311194@qq.com。

通信作者: 廖麟祥, 男, 汉族, 1983 年生, 工程师, 探矿工程专业, 从事钻探技术研究与管理工作, 四川省成都市金牛区茶店子路 399 号, 2135240640@qq.com。

引用格式: 牟程江, 廖麟祥, 孙昌伟, 等. 藏北无人区高原冻土复杂地层钻探施工实践[J]. 钻探工程, 2025, 52(2): 65-71.

MOU Chengjiang, LIAO Linxiang, SUN Changwei, et al. Drilling construction practice in complex strata with frozen soil in the no man's land of northern Tibet Plateau[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(2): 65-71.

居地远,且无通信网络,施工保障极其困难。因此,在藏北无人区进行钻探施工难度极大。

1 项目概况

1.1 交通地理概况

本项目施工区域位于西藏自治区北部,深入无人区腹地,地表为沙漠化草地植被,地貌上总体属高原丘陵—低山剥蚀地貌,工区地势总体较为平缓,谷岭相间,平均海拔5100 m左右。水系较为发育,主要湖泊均为咸水湖,湖周发育放射状水系,多为季节性河流。工区内部无公路,只有以前车辆通行自然形成的简易道路,基本能保证施工车辆的通行和相关设备、物资的运输。距离最近县城约350 km,一般通行时间8~10 h。

1.2 钻遇地层情况

0~50.5 m为第四系,主要以砂土和黑、灰色碳质黏土为主的冻土,夹杂砾石和漂石,胶结性差,融冻后呈淤泥状坍塌。

50.5~610.37 m为侏罗系雀莫错组,其中:

50.5~298.15 m为紫红色粉砂质泥岩,较为完整,强造浆缩径;

298.15~498.34 m为紫红、灰色砂岩,粉砂质泥岩夹杂灰岩、石膏等,地层反复变换交替,全段破碎、涌水、透水,最大涌水量达 $42\text{ m}^3/\text{h}$,涌水为咸水;

498.34~570.1 m为完整砾岩、砂岩,出现3个涌水层,最大涌水量达 $35\text{ m}^3/\text{h}$,涌水为咸水;

570.1~610.37 m为灰黑色泥岩,钙质泥岩,600.35 m开始破碎出现涌水现象,最大涌水量达 $26\text{ m}^3/\text{h}$,涌水为咸水。

不同地层岩心及涌水情况见图1。

2 钻探施工难点

本项目施工区域位于高海拔无人区,交通不便。工区地层分层明显,第四系为冻土,砂、泥岩较厚,破碎层主要为砂岩、泥岩、灰岩交替互层,透水、涌水孔段较长,最大涌水量 $42\text{ m}^3/\text{h}$ 。施工中遇到的主要问题^[1-3]:

(1)施工保障困难,道路距离远,通行条件差,雨季由于融冻翻浆,极易陷车,设备、材料、生活物资等运输难度大;

(2)高海拔,气候恶劣,人员劳动强度高,医疗卫生保障难度大;



(a)冻土岩心

(b)泥岩岩心



(c)涌水段破碎地层岩心



(d)涌水情况

图1 钻遇地层及涌水情况

Fig.1 Conditions of drilled strata and water gushing

(3)冻土受施工扰动及冲洗液侵蚀,易水融坍塌;

(4)砂、泥岩较厚,造浆缩径严重,易糊钻,下套管后难起拔;

(5)破碎层位较厚而且涌水较大,易造成孔内坍塌掉块,钻具非正常磨损大,影响钻进加接钻杆和投送内管,钻进施工风险高^[4-7]。

3 设备选择及物资保障

3.1 设备选择

钻孔需要满足测井工作,设计终孔直径 $\geq 98\text{ mm}$,选用HXY-6B型立式轴式钻机,该钻机主要应用于2000 m以内岩心钻探工作,整体性能比较稳定,

能够满足本项目钻探施工。由于考虑工区无大型起吊设备,A型和K型钻塔无法安装,配备SGX-18型钻塔用于施工,附属设备有BW320型泥浆泵、SJ-2型绳索取心绞车、1PN立式泥浆搅拌机等。钻机及附属设备参数如表1。

表1 钻机及附属设备参数

Table 1 Parameter of drill and ancillary equipment

设备名称及型号	主要参数	
HXY-6B型钻机	钻进深度(N口径)/m	2000
	转速/(r·min ⁻¹)	80~1000
	最大起重/kN	200
	动力/kW	110
SGX18型钻塔	名义高度/m	18
	天车正常负荷/kN	160
	天车最大负荷/kN	200
BW320型泥浆泵	缸数	3
	最大排量/(L·min ⁻¹)	320
SJ-2型绳索取心绞车	最大泵压/MPa	8
	功率/kW	7.5
1PN型立式泥浆搅拌机	容量/(m ³ ·min ⁻¹)	0.3
CAV-1型测斜仪	顶角范围与精度/(°) (0~180)±0.1	

3.2 设备物资运输及保障

3.2.1 设备物资进场

由于钻孔布设需要根据地质、物探等工作结果进行论证后设计,考虑到施工位置地处高海拔无人区,距离县城远,运输条件差,所以项目钻探物资分两次运输至工区,5月1日钻探设备开始进场,夜晚气温-3~-10℃,地表冻土还未融化,钻机以及配套设备运输至工区共耗时7d,陷车6次。6月份钻探管材进场,由于地表开始融冻,造成陷车16次,从县城把物资运送至工区共耗时10d。根据其他施工单位以往经验,工区道路通行条件较好的窗口期为10月至次年4月,物资运输时应尽量选择在这段时间。

3.2.2 施工期物资材料保障

在无人区施工作业,物资保障困难,运输时间较长,钻机及附属设备的易损零配件应提前做好计划,同时,应加强设备的日常班组检查和保养维修工作^[8-10],在经费及条件允许情况下尽量备齐,与就近钻探专用物资比较齐全的供应商签订合同,以方便钻探设备损坏时尽快维修。施工期间机故造成

的待料及维修时间长达657.5h,占总台时的26.34%,给施工进度及钻孔安全带带来严重影响。

平时开展物资、后勤保障工作时应两车同行,并携带卫星电话、千斤顶、枕木、铁锹、拖车绳等救援工具,并严格按照预定线路行驶,以确保需要救援时救援人员能沿预定路线精准救援。

4 主要钻探技术措施

4.1 冻土地层钻进

工区常年气温较低,第四系地层基本为冻土覆盖,周围地表和地下水源主要为盐碱水。该区域无历史钻孔资料可以借鉴,由于首次进入该地区施工,且工程设计前未踏勘,依据收集的有限资料进行设计,未考虑冻土施工。开孔时采用盐水低固相冲洗液,钻具组合采用 $\varnothing 140$ mm绳索取心钻杆+变径接头+ $\varnothing 168$ mm套管+ $\varnothing 172$ mm复合片钻头,正循环单管取心钻进,钻进至孔深5.2m时,无法正常加钻杆,钻具只能下放到4.5m,后采用“干烧”法捞取孔内残留岩心和坍塌物,呈黑色淤泥状,再次“干烧”钻进取出的岩心含冰块,判断为冻土,冻土含盐碱程度低,取出的岩心成形,融化后呈淤泥状坍塌。由于盐水冲洗液会加速冻土融化,为保证钻孔孔壁稳定,在钻遇漂石、卵石地层时采用淡水配备细分散冲洗液钻进。遇松散泥沙状地层时干钻取心钻进,钻进时严格控制进尺深度,避免钻进的高温融化岩心和孔壁,提钻取心时需保证孔内冲洗液液面高度,避免压力失衡孔壁坍塌。钻至51.99m时成功穿过冻土层。施工使用的冲洗液基本情况如表2所示。

4.2 泥岩地层钻进

钻进至孔深51.99m时,取出岩心为雀摸错组紫红色粉砂质泥岩,穿过冻土层,为防止冻土层坍塌,下入 $\varnothing 168$ mm套管换径,使用S口径绳索取心钻进,考虑地层可能变换,继续使用细分散冲洗液,由于地层强造浆,造成冲洗液黏度和密度增大,同时,S口径内总成和3m岩心总质量>150kg,造成绞车打捞内管时在抽吸和内管重力双重作用力下负荷超过额定工作负荷,取心打捞内管总成阻力大,绞车行星轮、制带磨损严重。钻进至172.98m时由于准备的 $\varnothing 146$ mm套管数量不能满足继续钻进的需要,下入套管后换P口径绳索取心钻进,采用低固相冲洗液,在施工时能有效抑制地层造浆,冲

表2 冲洗液使用情况对比
Table 2 Comparison of flushing fluid usage

孔段/m	冲洗液类型	冲洗液配方	马氏漏斗黏度/s	应用效果
0~5.2	低固相	1 m ³ 盐碱水 + 30 kg 高黏钠土 + 1.5 kg 烧碱 + 4 kg 聚丙烯酸钾 + 10 kg 植物胶 + 8 kg 纤维素	38~42	钻孔融冻坍塌, 钻进至孔深 5.2 m 时无法加杆
5.2~51.99	细分散	1 m ³ 淡水 + 125 kg 高黏钠土 + 8 kg 烧碱	55~60	成功穿过冻土层

洗液浓度及密度降低, 钻进口径变小内管质量减轻, 打捞内管的辅助时间比 S 口径节约 1/3。根据使用不同冲洗液钻进效率数据对比(见表 3), 整体

效率较前段使用细分散冲洗液钻进提高 45%。P 口径钻进至 298.15 m 时穿过该层粉砂质泥岩。

表3 使用不同冲洗液钻进效率对比
Table 3 Comparison of drilling efficiency using different flushing fluids

孔段/m	孔段长度/m	冲洗液类型	冲洗液配方	马氏漏斗黏度/s	纯钻时间/h	平均钻进速度/(m·h ⁻¹)
50.10~172.98	122.88	细分散	1 m ³ 淡水 + 125 kg 高黏钠土 + 8 kg 烧碱	55~60	136	0.90
172.98~298.15	125.17	低固相	1 m ³ 盐碱水 + 4 kg 聚丙烯酸钾 + 25 kg 植物胶 + 8 kg 纤维素	32~40	77	1.62

4.3 破碎涌水地层钻进

钻至孔深 298.15 m 时出现明显变层, 由较为完整的粉砂质泥岩变成破碎砂岩, 钻至孔深 300.35 m 出现涌水, 开始涌水量 0.8 m³/h, 为盐碱水, 出现破碎涌水后采用粗分散盐水冲洗液, 配方为: 1 m³ 盐碱水 + 150 kg 高黏钠土 + 8 kg 烧碱, 马氏漏斗黏度 50~52 s。在涌水量 < 8 m³/h 时, 基本能压住涌水继续施工。随钻孔逐步加深, 涌水量越来越大, 在钻进至 321.45 m 时达 30 m³/h, 随后添加石灰粉配置加重冲洗液, 配方为: 1 m³ 盐水 + 150 kg 高黏钠土 + 7.5 kg 烧碱 + 100 kg 石灰粉 + 10 kg 植物胶 + 12 kg 纤维素, 马氏漏斗黏度 62~65 s, 尝试压井继续钻进。由于涌水量太大, 压井无效。之后采用多种技术措施, 顺利通过破碎涌水地层。

4.3.1 跟管钻进

为顺利通过涌水地层, 采用 $\varnothing 114$ mm 钻杆 + $\varnothing 122$ mm 管靴做套管跟管, H 口径绳索取心钻进, 但在钻进至 337.64 m 时涌水量高达 42 m³/h, 已经无法正常投放内管和加钻杆, 提出内管后涌水可以把直径 5 cm 岩块冲出孔外。由于提钻后涌水冲刷孔壁, 造成钻孔掉块坍塌, 下钻跟管时 $\varnothing 114$ mm 钻杆只能下钻至 293 m, 需要重新扫孔至孔底才能有效跟管, 由于破碎砂岩研磨性较强, 扫孔造成管靴和钻头损坏, 无法有效跟管, 先后 3 次都采用外管扫孔跟管失败, 第 3 次跟管钻头入孔前后对比见图 2。



图2 第三次跟管钻进 $\varnothing 122$ mm 取心钻头入孔前后对比
Fig.2 Comparison before and after the third time using a $\varnothing 122$ mm coring bit casing while drilling

再次配备 $\varnothing 114$ mm 钻杆 + $\varnothing 122$ mm 管靴进行第四次跟管钻进, 在连接处加以焊接, 防止管靴脱落, 下钻至 309 m 时无法正常下放后, 采用 H 口径绳索取心钻具内掏扫孔, 捞取坍塌岩块, $\varnothing 114$ mm 绳索取心钻杆当套管跟管至原 $\varnothing 122$ mm 孔深位置, 继续跟管钻进, 至 380.5 m 时有效封隔住 300.35~378.9 m 段透水涌水破碎孔段, 由于地层破碎继续跟管钻进, 钻孔在 413.45 m 开始出现新的涌水层, 最大涌水量达 30 m³/h, 跟管至 416.24 m 时管靴损坏无法继续跟管钻进, 考虑 $\varnothing 114$ mm 套管已经进入破碎涌水地层, 层厚达 118.09 m, 为防止由于更换管靴提出 $\varnothing 114$ mm 套管造成涌水孔段的孔壁坍塌, 故未提出 $\varnothing 114$ mm 套管继续用 H 口径顶涌施工至

498.34 m 出现完整砂砾岩地层,成功穿过连续厚度 200.19 m 破碎涌水透水地层。

根据先后4次跟管钻进的数据对比分析(见表

4),在遇坍塌严重且坍塌孔段较长时,需要避免使用管靴扫孔造成非正常磨损,有效保证管靴使用寿命,才能保证进尺效率,达到跟管钻进目的。

表4 4次跟管钻进对比
Table 4 Comparison of four times of casing while drilling

孔段/m	取心钻进钻具组合	跟管钻具组合	跟管方法	跟管深度/m	进尺/m	施工时间/h	平均钻速/(m·h ⁻¹)	备注
321.45 ~ 337.64		Ø114 mm 钻杆+Ø122 mm 管靴	Ø114 mm 下钻至坍塌处(293 m),Ø122 mm 管靴扫孔后,采用H口径绳索内掏进尺	8.03	16.19	144	0.112	
337.64*		Ø114 mm 钻杆+Ø118 mm 弹卡挡头+Ø122 mm 绳索取心钻头	Ø114 mm 下钻至坍塌处(293m),Ø122 mm 绳索钻头扫孔至297 m,H口径绳索透Ø122 mm 钻头内掏	0	0	120	0	Ø122 mm 钻头扫脱
337.64 ~ 340.64	Ø89 mm 钻杆+H 规程绳索取心钻具+Ø98 mm 金刚石钻头	Ø114 mm 钻杆+Ø118 mm 弹卡挡头+Ø122 mm 绳索取心钻头	钻头接头处焊接,Ø114 mm 下钻至坍塌处(300 m),Ø122 mm 绳索钻头扫孔至309 m,HQ 绳索透Ø122 mm 钻头内掏进尺	0	3	168	0.017	Ø122 mm 钻头胎体损坏
340.64 ~ 416.24		Ø114 mm 钻杆+Ø122 mm 管靴	管靴接头处焊接,Ø114 mm 下钻至坍塌处(309 m),H口径绳索内扫孔后,Ø122 mm 管靴再跟管,边钻进边跟管	86.76	75.6	245	0.308	单个管靴有效跟管86.76 m

*337.64 m 处钻遇涌水层,造成孔塌,无有效进尺。

4.3.2 重力加杆和投送内管

施工至涌水地层时,当涌水量>20 m³/h 时,由于涌水压力大,涌水上返速度>0.7 m/s。造成钻进加接钻杆、投送内管等工作操作困难。经过尝试采用重力加杆法可取得较好效果,即加1立根(4个单根)后卸掉3个单根,同时配合快速上扣,通过立根的重力以及钻杆内空间降低涌水的影响。投放内管由双人配合使用管钳夹持压至孔口,再利用钻机立轴下压至钻杆内快速拧紧主动钻杆,利用大泵水冲投内管到位。

4.3.3 导流泄压和涌水分流

钻孔涌水较大时无法正常接蘑菇头,严重影响提下钻工作。采用在蘑菇头处加一个钻杆公接头,保证接头的提拉强度前提下,在接头周围开1个窗口进行泄压加戴蘑菇头,同时可在开窗处焊接一个球阀,在提下钻时戴上蘑菇头后关闭球阀即封住涌水,可有效防止喷涌水给提下钻带来的影响,开窗蘑菇头如图3所示。

由于钻孔多段涌水量较大,当跟进完Ø114 mm

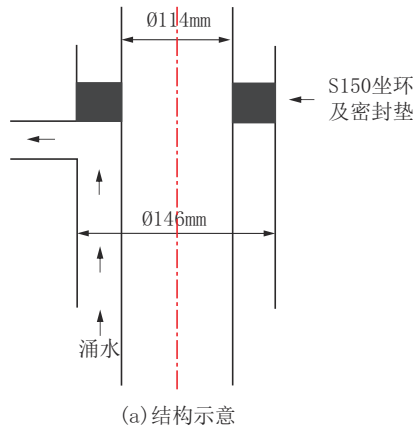


图3 开窗蘑菇头

Fig.3 Side opening joint adaptor

套管后,Ø114 mm 套管与Ø146 mm 套管间涌水出来后会与管内冲洗液汇合,造成冲洗液稀释和污染。在现有条件下在Ø114 mm 套管接头外端焊接一个S150坐环,在坐环处加一个轮胎内胎制作的密封垫作为内阻水装置,在外Ø146 mm 套管接头处开窗焊接一个水管接头内阻外排对涌水和冲洗液进行分流(见图4),防止冲洗液被涌水稀释,保证冲洗液性能稳定,同时当进入冬季施工后地表水源上冻

后,地下涌水分流后可作为施工用水水源。



(b) 实物
图4 堵水分流接头

Fig.4 Joint for water shutoff and diversion

5 钻孔施工质量

该地区以往没有深孔钻探经验,参照以往浅钻的经验及相关规程^[11-13]进行钻孔设计,原设计为四开孔身结构,由于钻遇冻土、泥岩、破碎涌水等复杂情况,实际为五开终孔,终孔孔深610.37m,如图5所示。原设计为满足测井要求,设计终孔直径 ≤ 98 mm,由于地层复杂,测井仪器外径为60mm,77mm孔径基本满足测井仪器下放要求,因此,实际终孔孔径为77mm。

设计要求全孔平均岩心采取率 $\leq 80\%$,实际全孔平均岩心采取率为82.76%;钻孔终孔顶角为 1.46° ,最大顶角为 2.95° 。钻孔各项质量指标均符合要求,经验收评定为合格。

6 结论及建议

(1)在高原高寒地区进行钻探作业时,应充分考虑钻遇冻土地层易融冻坍塌,在钻进时可采用短行程干钻取心,尽量避免冲洗液侵蚀和钻进时扰动地层造成融冻坍塌。

(2)涌水地层一般裂隙发育较强,地层破碎,易

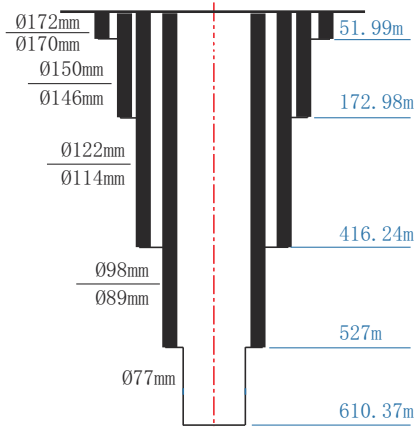


图5 钻孔孔深结构示意图

Fig.5 Well configuration

造成冲洗液稀释和漏失,钻孔坍塌和掉块。如涌水层较厚采用冲洗液或水泥灌注难以封堵时,建议采用导流泄压、重力加杆等方法顶涌钻进快速穿过涌水地层,并采用套管封隔,或者采用跟管钻进。

(3)在无人区进行工程施工,应充分考虑通信、医疗、救援、保障等困难,尽量选择窗口期进行设备管材进出场运输,备足易坏易损耗材,避免因运输陷车、设备维修待料等停待造成施工期延长,施工成本增加。

(4)在涌水、破碎、漏失等复杂地层钻进时,由于地层复杂,施工效率低,管靴使用寿命有限,跟管距离短。可研究适用复杂地层的绳索打捞或不提钻换钻头孔底动力跟管钻具,以减少提下钻对孔壁的破坏和解决钻头寿命短造成跟管距离有限等问题,进而提高施工效率。

参考文献(References):

- [1] 王立新,聂洪岩.空气反循环钻探技术在超高海拔地区的应用[J].钻探工程,2023,50(4):64-69.
WANG Lixin, NIE Hongyan. Application of air reverse circulation drilling technology in ultra-high altitude area[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(4): 64-69.
- [2] 刘振新,翟育峰,赵辉,等.川西甲基卡锂矿3000m科学深钻施工技术[J].钻探工程,2023,50(4):41-48.
LIU Zhenxin, ZHAI Yufeng, ZHAO Hui, et al. 3000m scientific deep drilling construction technology for Jiajika Lithium Mine in western Sichuan[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(4): 41-48.
- [3] 杨芳,翟育峰,田志超,等.西藏甲玛3000m科学深钻经济技术指标统计与分析[J].钻探工程,2024,51(1):113-119.
YANG Fang, ZHAI Yufeng, TIAN Zhichao, et al. Statistics and analysis of economic and technical indexes for 3000m sci-

- tific drilling in Jiama, Tibet[J]. *Drilling Engineering*, 2024, 51(1):113-119.
- [4] 杨科, 罗龙, 曹灶开, 等. 阳山矿区严重漏失垮塌地层钻进工艺及工程实践[J]. *钻探工程*, 2024, 51(2):119-126.
YANG Ke, LUO Long, CAO Zaokai, et al. Drilling technology and engineering practice for seriously lost and collapsed formation in Yangshan Mining Area[J]. *Drilling Engineering*, 2024, 51(2):119-126.
- [5] 袁长金, 付建金, 牟行波, 等. 牦牛坪矿区稀土矿涌水钻孔施工实践[J]. *四川地质学报*, 2024, 44(S1):74-78.
YUAN Changjin, FU Jianjin, MU Hengbo, et al. Construction practice of water inflow drilling in rare earth mines in Maoniuping Mining Area[J]. *Acta Geologica Sichuan*, 2024, 44(S1):74-78.
- [6] 尹江, 陈立涛. 浅谈钻孔中一般漏(涌)水地层的处理方法[J]. *西部探矿工程*, 2014, 26(11):89-90.
YIN Jiang, CHEN Litao. A brief discussion on the treatment methods of general water leakage (gushing) formations in drilling[J]. *West-China Exploration Engineering*, 2014, 26(11):89-90.
- [7] 武永青. 庆阳地区钻孔涌水事故综合处理技术[J]. *甘肃地质*, 2013, 22(2):84-86.
WU Yongqing. Treatment technic for water burst accident of drilling hole in Qingyang district[J]. *Gansu Geology*, 2013, 22(2):84-86.
- [8] 周小龙, 许非, 贾光强, 等. 羌塘盆地QS7井钻探施工技术[J]. *四川地质学报*, 2024, 44(S1):55-59.
ZHOU Xiaolong, XU Fei, JIA Guangqiang, et al. Drilling construction technology of QS7 well in Qiangtang Basin[J]. *Acta Geologica Sichuan*, 2024, 44(S1):55-59.
- [9] 翟育峰, 仲崇龙, 刘峰. 羌塘盆地羌资-14井钻探施工技术[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2016, 43(7):92-95.
ZHAI Yufeng, ZHONG Chonglong, LIU Feng. Drilling construction technology for Qiangzi well-14 in Qiangtang basin[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2016, 43(7):92-95.
- [10] 丁付利, 段晓, 皮建伟. 东乘公麻冻土地层低温冲洗液研究与应用[J]. *钻探工程*, 2022, 49(1):104-109.
DING Fuli, DUAN Xiao, PI Jianwei. Research and application of low-temperature drilling fluid for permafrost strata in the Dongchenggongma area[J]. *Drilling Engineering*, 2022, 49(1):104-109.
- [11] 万翔鸿, 张迪迪, 张磊. 泥岩层状破碎带特大涌水处理方法探索与实践[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2010, 37(6):65-66, 70.
WAN Xianghong, ZHANG Didi, ZHANG Lei. Exploration and practice of gushing water treatment in mudstone layered fracture zone[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2010, 37(6):65-66, 70.
- [12] 国土资源部. 地质岩心钻探规程: DZ/T 0227-2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Geological core drilling regulations: DZ/T 0227-2010[S]. Beijing: Standards Press of China.
- [13] 中华人民共和国地质矿产部. 工程地质钻探规程: DZ/T 0017-91[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992.
Ministry of Geology and Mineral Resources of the PRC. Engineering Geological Drilling Regulations: DZ/T 0017-91[S]. Beijing: Standards Press of China.

(编辑 王文)