

黔西南水银洞金矿涌水坑道钻探难点与对策

班金彭¹, 畅利民¹, 代云鹏¹, 谭代卫², 郝海洋¹, 付芝康², 黄明勇¹, 刘万龙²

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局 115 地质大队, 贵州 清镇 551400;

2. 贵州省地质矿产勘查开发局 105 地质大队, 贵州 贵阳 550018)

摘要:针对黔西南水银洞金矿坑道钻探施工中的特大涌水钻孔,总结了该矿区坑道钻探施工难点,研究了涌水对钻进效率和岩心采取率的影响,探讨了普通取心工艺钻进时采用岩心上升系数的实践意义,提出绳索取心工艺钻进时的“泄”、“堵”、“疏”的解决思路,形成了解决该矿区 Ia 含矿层的坑道钻探施工难点的对策,以期类似地层条件的坑道钻探提供技术指导。

关键词:水银洞金矿;涌水孔;坑道钻探;绳索取心钻进;岩心上升系数

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2019)11-0014-07

Challenges and countermeasures for water kicks in tunnel drilling at Shuiyindong Gold Mine in Southwest Guizhou

BAN Jinpeng¹, CHANG Limin¹, DAI Yunpeng¹, TAN Daiwei²,

HAO Haiyang¹, FU Zhikang², HUANG Mingyong¹, LIU Wanlong²

(1.115 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Qingzhen Guizhou 551400, China;

2.105 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Guiyang Guizhou 550018, China)

Abstract: In view of the extra-large water kick volume in tunnel drilling at Shuiyindong Gold Mine in Southwest Guizhou, this paper summarizes the challenges in tunnel drilling, and examines the effect of super-large water kicks on drilling efficiency. In order to overcome these challenges, the practical significance of using the core-lifting coefficient in conventional core drilling is discussed and the countermeasures of “draining”, “blocking”, and “dredging” in wire-line core drilling are put forward, forming the tunnel drilling technology suitable for the Ia ore seam of the mine. It may provide technical support for other tunnel drilling in similar formation conditions.

Key words: Shuiyindong Gold Mine; water kick borehole; tunnel drilling; wire-line core; core-lifting coefficient

0 引言

坑道钻探是矿山勘查常用的勘探方法,既能减少地表环境破坏,又能提高钻探效益、节约钻探施工成本,对延长矿山开发寿命意义重大^[1-4]。受业主方委托,贵州省地矿局 115 地质大队对黔西南水银洞金矿进行坑道钻探施工。该矿区 Ia 含矿体内地下水丰富,部分区段为承压水,矿区内坑道钻孔孔内

水压较大,所实施的一个水文钻孔涌水量最高达 112.86 t/h,给小口径绳索取心钻探带来了极大施工难题。针对水银洞金矿 Ia 含矿体,实施了 37 个坑道钻孔,其中涌水钻孔 32 个;总进尺超过 3800 m;钻孔验收优质率 90% 以上,合格率 100%,获得了业主方的高度认可。

收稿日期:2019-05-22;修回日期:2019-08-28 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.11.003

基金项目:贵州省地矿局地质科学研究项目“贵州省煤层气井套管-地层一体化胶结防水窜技术研究”(编号:黔地矿科合[2018]26)

作者简介:班金彭,男,布依族,1986 年生,工程师,硕士,从事钻探技术研究工作,贵州省清镇市北门桥,973643757@qq.com。

通信作者:郝海洋,男,汉族,1990 年生,工程师,石油与天然气工程专业,硕士,从事钻井技术研究及钻探项目管理工作,贵州省清镇市北门桥, haiyanghao2016@126.com。

引用格式:班金彭,畅利民,代云鹏,等.黔西南水银洞金矿涌水坑道钻探难点与对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):14-20。

BAN Jinpeng, CHANG Limin, DAI Yunpeng, et al. Challenges and countermeasures for water kicks in tunnel drilling at Shuiyindong Gold Mine in Southwest Guizhou[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(11):14-20。

1 地质概况

1.1 主要含矿层特征

矿区出露地层有三叠系的永宁镇组 T_{1yn} 和夜郎组 T_{1y} 、上二叠统大隆组 P_3d 、长兴组 P_3c 、龙潭组 P_3l 、峨眉山玄武岩组 $P_2\beta$ 、大厂组 P_2dc 以及中二叠统茅口组 P_2m 等^[5]。施工钻遇地层如图 1 所示。主要含矿层有:构造蚀变体(SBT)含矿层(Ia)和龙潭组中含矿层。

系	统	阶	组	描述	岩性柱
二叠系	下二叠统	长兴组	三段	粘土岩加燧石灰岩	Au
			二段	粘土岩、粉砂岩、煤	
			一段	页岩加煤, 顶为灰岩	
		乐平组	SBT	强硅化角砾状粘土岩和角砾状灰岩 假整合面	Au
	中二叠统	茅口组	茅口组	生物(屑)灰岩	

图 1 水银洞龙头山层序

Fig.1 Depositional sequence of Longtoushan Formation at Shuiyindong Mine

1.1.1 构造蚀变体(SBT)含矿层(Ia)

为龙潭组(P_3l)与茅口组(P_2m)不整合界面间因区域性构造滑脱作用和热液蚀变作用形成的含矿角砾岩,岩性为深灰色中层强硅化灰岩、角砾状强硅化灰岩、硅质岩及角砾状粘土岩组合。

矿床受控于灰家堡背斜和 SBT,矿体主要产于龙潭组 P_3l^1 地层和 SBT 中^[6],主要岩性为深灰色中层强硅化灰岩、角砾状强硅化灰岩、硅质岩及角砾状粘土岩(粘土岩部分见硅化),节理密集发育,见大量溶蚀孔隙,局部呈蜂窝状。

1.1.2 龙潭组中含矿层

产于龙潭组地层中,主要岩性为钙质砂岩、钙质粉砂岩、泥灰岩、生物屑灰岩,呈透镜状、似层状、层状产出。

1.2 水文地质概况

水银洞金矿区处灰家堡背斜核部,受两翼三叠系下统夜郎组三段相对隔水层阻隔,灰家堡背斜形成一个较完整的水文地质单元,矿区处在背斜水文地质单元的径流区中部。

区域内地下水类型有岩溶水、基岩裂隙水、松散岩类孔隙水^[7]。岩溶水赋存于以碳酸盐岩为主的中二叠统茅口组(P_2m)、构造蚀变体(SBT),岩性主要为灰岩、泥质灰岩;与 Ia 含矿体充水有关的茅口组

(P_2m)岩溶含水层,富水性较强,且受大气降水影响较小。

2 坑道钻探施工难点

2.1 地层软硬交替,易导致钻孔倾角改变

软质地层的岩性以泥质灰岩、泥质粉砂岩为主,如龙潭组中碳质粘土岩、煤线,遇水易水化膨胀或垮塌。坚硬地层主要为质地较纯的碳酸盐岩,包括中二叠统茅口组、蚀变带和龙潭组中所夹的灰岩。随着软弱夹层倾角的增大,岩块的强度减小^[8]。钻进时若不及时调整钻进参数(钻压、转速和排量),则易发生孔内事故。KZK5524 钻孔,钻穿基岩 3 m 后的 22 m 以浅均为粘土岩,随后的钻探过程中,多次出现灰岩与粘土岩的交互地层。

2.2 矿层岩石破碎,易造成埋钻事故,取心率低

该区金矿极易富集于孔隙度较大的碎裂(块状)岩、角砾岩、钙质粉砂岩、细砂岩中。当进入蚀变体后,孔底水压高、涌水量大,矿层取心率低。龙潭组第一段裂隙、孔隙发育,岩石破碎,严重影响岩心的采取率(见图 2)。钻遇破碎地层时,在钻杆的旋转撞击下,更易垮塌掉块,如果操作不当,极易造成卡钻、埋钻事故。KZK5524 钻孔出现烧钻事故 1 次,断钻杆事故 5 次,钻穿 27 m SBT,终孔深度 97.00 m,施工日期达 12 天之久。

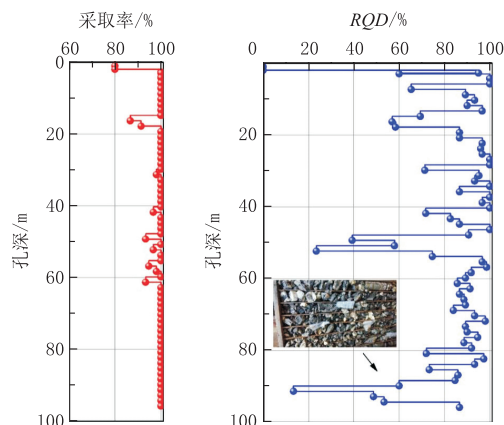


图 2 KZK5705 钻孔岩心采取率和 RQD

Fig.2 Core recovery and RQD of Hole KZK5705

2.3 矿层水压高、涌水量大,不利于绳索取心技术应用

由于该区孔内矿层水压在 0.4~0.7 MPa,且孔内裂隙发育,涌水量较大(见图 3)。钻遇涌水层时,内管下放及提起困难。内管总成的“蝴蝶片”被顶在

弹卡室的扶正环台阶上,导致内管拉不起来,必须频繁起大钻,严重降低绳索取心钻进效率;内管下放时,由于孔底往外冲出,阻碍内管的下放。



图3 KZK5313 钻孔孔内涌水情况

Fig.3 Water kick from Hole KZK5313

2.4 蚀变体硬度大、可钻性差,钻头易消耗

SBT 主要为硅化角砾状粘土岩(P_3l^1 下部)和强硅化角砾状灰岩(P_2m 上部)组合^[9],分布于 SBT 硅质岩中,直接顶板为硅质岩,具有硬脆的特征。岩石力学强度高、岩心采取率小,主要与岩石硬脆、地下水活动有关,总体上顶板稳固性较差;Ia 含矿体底板为 P_2m 灰岩,岩心完整,稳固性强。研究表明水银洞金矿矿石中二氧化硅含量在 25.25%~49.46%^[10],矿层多方解石和石英脉,岩石坚硬,为获得较理想的钻速只能换用胎体硬度低的钻头,从而导致钻头使用寿命低。

2.5 SBT 层溶岩水硫、砷含量较高,对人体健康不利

水银洞金矿矿石矿物主要有黄铁矿、毒砂、雌黄和雄黄等,其中黄铁矿是该区金矿床的主要载金矿物。而溶岩水中,硫、砷含量较高,不仅会腐蚀钻杆导致断钻具的事故,长时间接触孔内涌水,会对现场人员的皮肤产生危害。

2.6 井下工作环境较差,影响施工人员情绪

钻遇特大涌水层后,绳索取心工艺内管下放与上提困难,须采用普通钻进工艺,频繁起大钻,施工人员易疲惫;井下恶劣的施工环境,对长期驻守于此的施工人员的精神状态造成影响。

3 钻探施工技术分析及分析

3.1 优化钻孔结构

经过前期施工的多个钻孔的经验摸索,将原本设计的二开钻孔结构优化为三开结构,目的是增大涌水孔的孔口定向管固井质量。

一开:采用 $\varnothing 108$ mm 金刚石钻头开孔,钻进深度 1 m。

二开:采用 $\varnothing 93$ mm 金刚石钻头继续钻进 2 m,将 42.5 建筑水泥+5%(质量比)速凝剂的均匀水泥浆灌满裸眼钻孔,再下 3 m 的 $\varnothing 89$ mm 定向管,候凝 36 h 以上。

三开:采用 $\varnothing 75.5$ mm 金刚石钻头钻至中二叠统茅口组 P_2m ,全段取心,终孔后水泥全段封孔或在孔口安装闸阀(孔内水压大时),对于水文孔要在孔口安装压力测试装置进行压力测试。

3.2 主要钻探设备与管材(见表 1)

表 1 主要钻探设备

Table 1 Main drilling equipment

编号	设备名称	型 号	数量	规 格
1	钻机	ZDY600SG(MKG-4)	3	200 m($\varnothing 71$ mm)
2	泥浆泵	BW160	3	44~160 L/min
3	平板车		12	
4	隔爆型三相异步电动机	YBK2-180L-4	3	380 V
5	套管	$\varnothing 89$ mm	若干	1.5 m/根
6	钻杆	$\varnothing 71$ mm	若干	1.5 m/根

3.3 涌水对钻速的影响分析

针对旨在揭穿水银洞 Ia 含矿层的特大涌水孔,探索出的施工工艺为:矿层以浅未涌水段或者涌水量较小层段,采用绳索取心钻进工艺,而进入特大涌水段则采用普通取心钻探工艺,停用泥浆泵,将上余钻杆敞开以排水。统计了该矿区 32 个涌水坑道钻孔钻进的相关数据,计算分析了每个钻孔不同孔段的机械钻速,涌水段以浅的钻速为 4.20 m/h(± 1.62 m/h),涌水段以深的钻速为 2.82 m/h(± 1.24 m/h),见图 4 所示。

进入矿层前的绳索取心机械钻速平均为 4.20 m/h,最高可达 8.41 m/h;进入矿层蚀变体后,由于孔底水压及水量大,绳索取心技术无法有效的实施,多采用普通取心钻探工艺,须起大钻,当钻进参数和钻进方法没有控制好时,每趟钻只有不到 1 m 的进尺,严重降低了钻进效率,平均机械钻速降低至 2.82 m/h,最低低至 0.44 m/h。

由此可见,孔内涌水量大、水压高,严重降低了钻进效率;绳索取心工艺取心方便,减少了频繁起下钻的时间,节省了施工人员的体力。对于特大涌水孔,绳索取心工艺亟需解决内管不易下放和上提的难题。

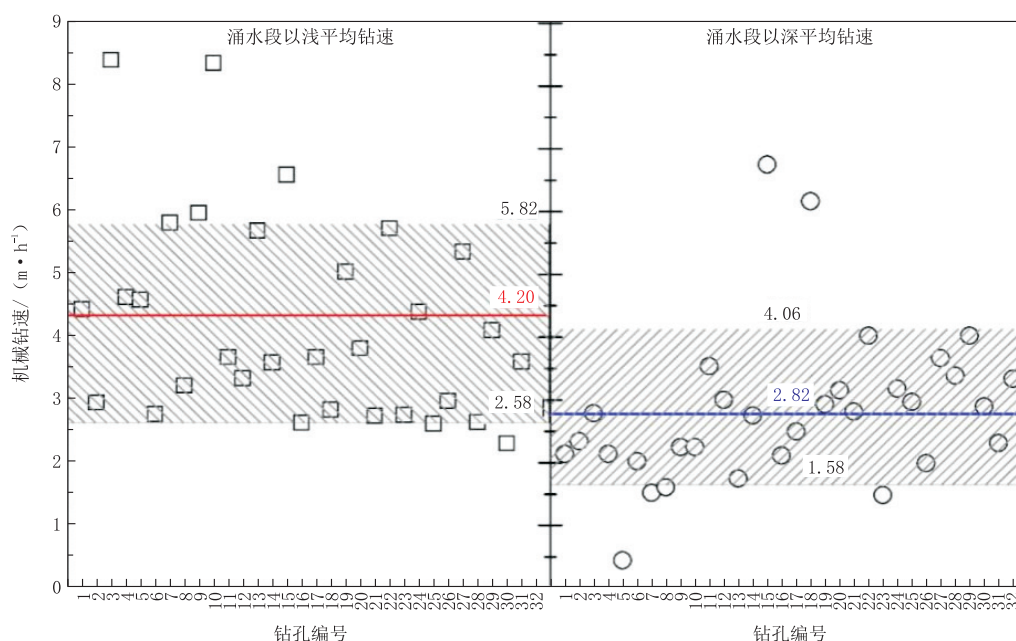


图 4 涌水孔分段钻速分析

Fig.4 Drilling rate analysis for water kick sections of different holes

3.4 涌水量和孔底静水压对钻速及岩心采取率的影响分析

统计了该矿区 9 个坑道水文钻孔的涌水量和孔底静水压(孔口静水压+液柱压力)数据,分析了孔内涌水对钻进速度和岩心采取率的影响,详见表 2。

表 2 坑道水文钻孔的相关数据统计
Table 2 Data of hydrological holes

出水位置/ m	钻孔 倾角/ °	水柱 压力/ MPa	孔口静 水压/ MPa	孔底静 压力/ MPa	涌水 量/(t · h ⁻¹)	SBT 及其 以深钻速/ (m · h ⁻¹)	SBT 及其 以深岩心 采取率/%
77.6	75	0.031	0.520	0.551	50.56	2.03	89
85.3	64	0.030	0.590	0.620	9.18	6.17	93
65.5	62	0.022	0.400	0.422	28.97	1.75	96
110.9	71	0.043	0.510	0.553	0.52	3.16	98
68.9	62	0.023	0.550	0.573	12.31	1.52	93
67.3	87	0.031	0.510	0.541	112.86	2.79	94
95.8	78	0.040	0.390	0.430	2.31	2.93	98
89.7	67	0.033	0.680	0.713	96.81	2.34	89
39.0	86	0.018	0.510	0.528	89.19	3.39	86

图 5 分析了孔底静水压和涌水量对钻速的影响。由图 5 中可以看出:机械钻速随着孔内涌水量的增加而降低,却随着孔底静水压的增大而变大。基于水文孔的统计数据,孔内涌水量的大小和孔底静水压的大小并无明显关联性。对于机械钻速的影响大小,需探究钻头对地层破碎的效率高低。由于 SBT 形成于龙潭组和茅口组不整合面间,为破碎的强硅化角砾灰岩,当孔底涌水量较大时,孔底岩屑瞬

间被清洗干净,而取心钻头在破碎岩石槽内研磨时,胎体内嵌入的金刚石不能有效的研磨孔底岩石,从而导致钻进速度变低。

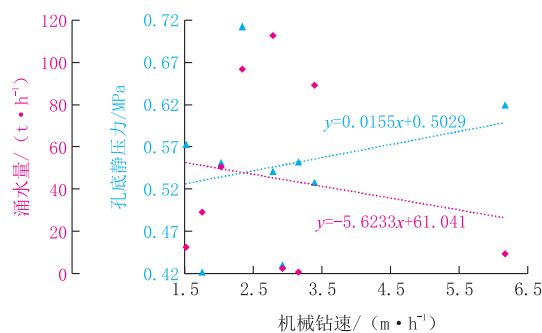


图 5 涌水对机械钻速的影响

Fig.5 Effect of water kicks on drilling rates

孔底静水压即地层孔隙压力,地层内某点的上覆岩层压力是该点处岩石骨架压力和地层孔隙压力之和。同样条件下,孔隙压力越大,则岩石骨架压力越小。因此,当孔底静水压较大时,孔底地层的骨架压力较小,钻进越容易,甚至会出现“掉钻”现象。

图 6 分析了孔底静水压和涌水量对涌水段岩心采取率的影响,由图可以看出:岩心采取率随着孔底静水压增大而降低,随着涌水量的增大而降低。孔底静水压较大时,孔底地层的骨架压力较小,又由于地层裂隙溶洞发育、岩石破碎,导致进入内管的岩心量变少,因此岩心采取率变小。

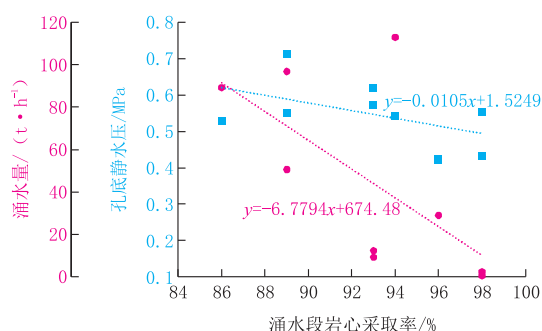


图6 涌水对岩心采取率的影响

Fig.6 Effect of water kicks on core recovery

3.5 钻孔实例分析

以该矿区某钻孔为例,分析钻孔孔内涌水对钻速及岩心采取率的影响。图7为该矿区某钻孔的钻

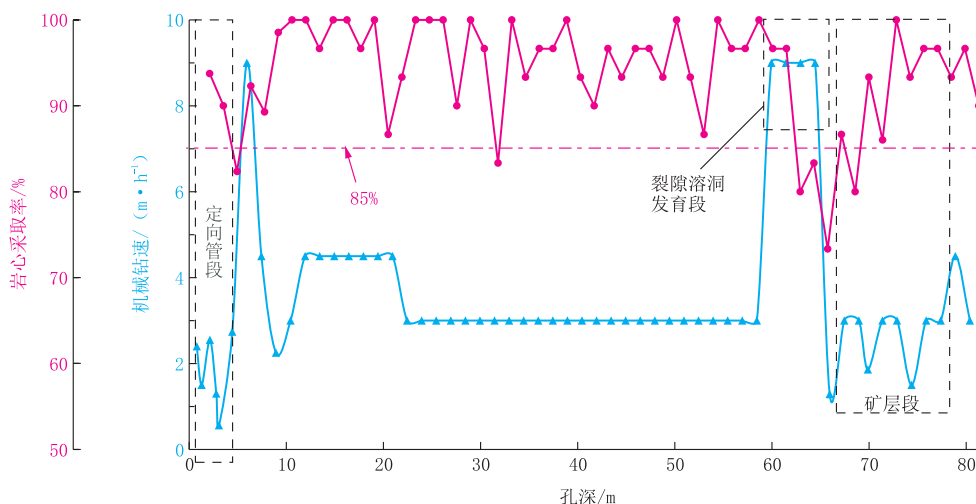
图7 某钻孔机械钻速、岩心采取率与孔深的关系曲线^[11]

Fig.7 Relationship curves between drilling rates, core recovery and hole depth

4 解决特大涌水孔的对策

在地表涌水孔中,采取加重泥浆来平衡孔内压力的方法,已取得显著效果^[12]。但是在水银洞坑道钻孔中,由于孔深一般在60~180 m,孔较浅、液柱短,无法形成有效液柱压力来平衡地层水压力^[11],更无法实施有效的堵漏措施^[13]。因此,从提高钻速和降低成本角度出发,探索出适合坑道特大涌水孔的工艺、工具对提高经济效益至关重要。

4.1 普通取心工艺钻进

当采用普通取心工艺钻进时(不开泥浆泵、不加内管),假设忽略破碎岩心间的相互作用,岩心受到自重 G 、孔内涌水的作用力 $F_{\text{涌}}$ 、浮力 $f_{\text{浮}}$ 、钻杆内壁的支撑力 $F_{\text{支}}$ 、钻杆内壁的摩擦力 $f_{\text{摩}}$,岩心不再受其他力,则可推导出岩心随孔内涌水自动上升系数

进曲线图(据文献^[11],有改动)。钻孔倾角为 90° (直孔),实际孔深80.34 m,全孔岩心采取率94.18%,破碎带岩心采取率83.33%,矿层岩心采取率90.71%。钻进龙潭组一段、二段时,平均机械钻速为3.6 m/h;钻进至58 m后,进入SBT内开始涌水,地层破碎且裂隙发育,机械钻速突增至9.0 m/h,涌水段平均机械钻速为2.75 m/h。在实际的施工中,钻进裂隙溶洞发育的破碎带时,钻进参数不易控制,钻头不能均匀地研磨岩石,产生的岩石碎屑易进入卡簧座与钻头内台阶间的间隙,造成憋泵和单回次进尺少,严重时甚至导致损坏钻头、孔内卡钻和跑钻等事故。

ξ 的表达式^[14]。

完整岩心的上升系数 ξ 表达式为:

$$\xi = \frac{P_{\text{涌}}/h}{(\rho_{\text{心}} - \rho_{\text{水}})(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)g} \quad (1)$$

式中: $P_{\text{涌}}$ ——孔内涌水压力; μ ——摩擦系数; α ——钻孔倾角; $\rho_{\text{心}}$ ——岩心密度; $\rho_{\text{水}}$ ——矿层水密度; g ——重力加速度; h ——柱状岩心长度。

破碎岩心的上升系数 ξ' 表达式为:

$$\xi' = \frac{3P_{\text{涌}}/(4r)}{(\rho_{\text{心}} - \rho_{\text{水}})(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)g} \quad (2)$$

式中: r ——破碎岩心的等效半径。

由式(1)、(2)可以得出,孔内涌水压力越大、岩心尺寸越小, ξ 值越大,意味着岩心越易随孔底水排出。当 $\xi \geq 1$ 时,理论上孔底岩心可以随孔口涌出水冲出孔内, ξ 值越大,岩心越易冲出;当 $\xi < 1$ 时,孔

底岩心则不能冲出,只能依靠起大钻取出。实际钻探施工中,合理利用 ξ ,控制单回次进尺,及时割心,就能实现岩心的自动排出。例如该矿区某钻孔, $P_{\text{涌}}$ 为 0.36 MPa, α 为 85° ,施工中最大涌出岩心长度为 0.67 m, ξ 值为 37,矿层平均机械钻速达 6.75 m/h。

4.2 绳索取心工艺钻进

基于前期施工钻遇特大涌水孔的经验教训,在孔内水压不足以将岩心冲出的情况下,采用绳索取心工艺钻进时,分析解决该问题的思路主要有 3 种:“泄”,“堵”,“疏”。

4.2.1 “泄”

所谓的“泄”,就是打开相邻涌水孔孔口闸阀,为施工钻孔缓解涌水量压力。坑内钻孔布置采用“一位多孔”的设计方案,当钻遇特大涌水孔时,可以打开相邻孔的孔口闸阀,从而缓解施工中的涌水量。

4.2.2 “堵”

所谓的“堵”,就是增加内管的综合重力,以堵孔底的高水压。通过加长内管,使其自身重力增大^[15];结合使用加重打捞器,便于内管下入孔底。该方法在在后续的钻孔中获得了较好的使用效果。此外,使用较大功率的泥浆泵,亦可起到平衡孔底水压的效果,考虑到运输困难,该方法未在该项目中应用。

4.2.3 “疏”

所谓的“疏”,就是疏导孔底的水从钻杆与地层的环隙上涌。绳索取心钻具的卡簧座与钻头的内台阶间隙 3~5 mm,内外管间隙 1.5~2 mm,钻具与孔壁间隙 2~3 mm,加之泥浆泵对钻杆内液体的作用压力,有效的疏导孔底地层水从钻杆与孔壁间环隙涌出,有利于钻头的取心效率。在实际施工中,将 NQ 卡簧座的底部人工开一些出水槽和钻具上钻花眼,都起到了提高钻速的作用。

此外,针对破碎、软弱等复杂地层,超前侧喷绳索取心钻具能够起到较好的提高岩心采取率的作用^[16]。设计并加工出有合适疏水孔的“超前钻”钻头,对特大涌水孔更为适用。

5 结论

针对水银洞金矿 Ia 含矿体,实施了 37 个坑道钻孔,其中涌水钻孔 32 个,总进尺超过 3800 m。通过采取针对性的对策,钻孔验收优质率 90% 以上,合格率 100%,获得了业主方的高度认可。可得出

以下结论:

(1)特大涌水坑道钻孔,采用绳索取心工艺时要解决内管下放和上提遇阻的难题。

(2)孔内涌水对机械钻速和采取率的影响规律:机械钻速随着孔内涌水量的增加而降低,却随着孔底静水压的增大而变大;岩心采取率随着孔底静水压增大而降低,随着涌水量的增大而降低。

(3)采用普通取心工艺钻进时,可利用岩心上升系数在不起大钻的情况下,完成取心工作;采用绳索取心工艺钻进时,可利用“泄”、“堵”、“疏”3 种解决对策。认为采用多种方法协同作用才能较好的解决特大涌水坑道钻孔的钻探施工难题。

参考文献 (References):

- [1] 梁俭,高元宏,陈宗涛,等.坑道钻探施工技术规范探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(9):89-92.
LIANG Jian, GAO Yuanhong, CHEN Zongtao, et al. Discussion of technical specification for construction of underground drilling [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(9):89-92.
- [2] 徐国辉,万道含,杨树强,等.青海省都兰县五龙沟矿区坑道钻探工艺研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(11):34-37.
XU Guohui, WAN Daoan, YANG Shuqiang, et al. Study on tunnel drilling technology for Wulonggou Mining Area of Dulan County in Qinghai [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(11):34-37.
- [3] 何勇,苏时才,陈杨,等.高压涌水及高含硫化氢页岩气井绳索取心钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(8):23-28.
HE Yong, SU Shicai, CHEN Yang, et al. Wire-line core drilling technology in shale gas wells with high pressure gushing water and high H_2S content [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(8):23-28.
- [4] 时志兴,杨春,翟东旭.程家沟-沙沟银多金属矿区坑道钻探工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(5):39-43.
SHI Zhixing, YANG Chun, ZHAI Dongxu. Tunnel drilling technology of Chengjiagou-Shagou Silver Polymetallic Deposit [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(5):39-43.
- [5] 赵静,梁金龙,李军,等.贵州贞丰水银洞金矿床成因与成矿模式:来自载金黄铁矿 NanoSIMS 多元素 Mapping 及原位微区硫同位素的证据[J].地学前缘,2018,25(1):157-167.
ZHAO Jing, LIANG Jinlong, LI Jun, et al. Genesis and metallogenic model of the Shuiyindong gold deposit, Guizhou Province: evidences from high-resolution Multi-element Mapping and in situ sulfur isotopes of Au-carrying pyrites by NanoSIMS [J]. Earth Science Frontiers, 2018,25(1):157-167.
- [6] 刘建中,杨成富,王泽鹏,等.贵州省贞丰县水银洞金矿床地质研究[J].中国地质调查,2017,4(2):32-41.
LIU Jianzhong, YANG Chenfu, WANG Zepeng, et al. Geo-

- logical research of Shuiyindong gold deposit in Zhenfeng County, Guizhou Province[J]. Geological Survey of China, 2017, 4(2): 32—41.
- [7] 王中美. 贵州碳酸盐岩的分布特征及其对岩溶地下水的控制[J]. 地质与勘探, 2017, 53(2): 342—349.
- WANG Zhongmei. Characteristics of the distribution of carbonate rocks and their control on karst groundwater in Guizhou[J]. Geology and Exploration, 2017, 53(2): 342—349.
- [8] 谢云跃, 肖洪天, 闫强刚. 裂隙岩体宏观力学参数的二维数值模拟[J]. 地质与勘探, 2015, 51(2): 376—382.
- XIE Yunyue, XIAO Hongtian, YAN Qianggang. Two-dimensional numerical simulation of macro-mechanical parameters for fractured rock masses[J]. Geology and Exploration, 2015, 51(2): 376—382.
- [9] 何融华. 贵州贞丰水银洞金矿床成矿规律研究[J]. 福建地质, 2014, 33(3): 177—184.
- HE Ronghua. Researching on metallogenic regularity of Shuiyindong gold deposit in Zhenfeng, Guizhou Province[J]. Geology of Fujian, 2014, 33(3): 177—184.
- [10] 韩波, 梁金龙, 赵静. 黔西南卡林型金矿成矿过程与硅化蚀变的关系探讨[J]. 世界有色金属, 2016(23): 15—19.
- HAN Bo, LIANG Jinlong, ZHAO Jing. Role of silicification in ore forming process of the Carlin-type gold deposits, southwestern Guizhou Province[J]. World Nonferrous Metal, 2016(23): 15—19.
- [11] 畅利民, 郝海洋, 宋继伟, 等. 贵州贞丰水银洞金矿坑道钻探施工技术[J]. 西部探矿工程, 2019, 31(1): 21—23, 26.
- CHANG Limin, HAO Haiyang, SONG Jiwei, et al. Tunnel drilling technology and its application in Shuiyindong Gold Mine in Zhenfeng, Guizhou Province[J]. West-China Exploration Engineering, 2019, 31(1): 21—23, 26.
- [12] 宋继伟. 特大涌水孔绳索取心钻探施工工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(12): 17—18.
- SONG Jiwei. Drilling technology of wire-line coring for super large water gushing hole[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010, 37(12): 17—18.
- [13] 王李昌, 隆威, 高士娟. 复杂地层钻探堵漏浆液的研究与应用[J]. 地质与勘探, 2013, 49(4): 770—776.
- WANG Lichang, LONG Wei, GAO Shijuan. Research on plugging agent for drilling in complex formations and its application[J]. Geology and Exploration, 2013, 49(4): 770—776.
- [14] 郝海洋. 涌水坑道钻孔岩心上升系数 ξ 定义及其实践意义[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(6): 26—30.
- HAO Haiyang. Definition of core-uplift-coefficient ξ in large water kick core holes and its field application[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(6): 26—30.
- [15] 朱恒银, 王强, 田波, 等. 大直径加重管组合绳索取心钻具研究与应用[J]. 地质与勘探, 2016, 52(6): 1159—1166.
- ZHU Hengyin, WANG Qiang, TIAN Bo, et al. Research and application of a combined large-diameter wireline drilling tool with a heavier pipe[J]. Geology and Exploration, 2016, 52(6): 1159—1166.
- [16] 苏宏岸, 张绍和, 吴晶晶. 超前侧喷绳索取心钻具的研制[J]. 地质与勘探, 2014, 50(1): 178—181.
- SU Hongan, ZHANG Shaohu, WU Jingjing. Development of the advanced lateral jet wire-line coring tool[J]. Geology and Exploration, 2014, 50(1): 178—181.

(编辑 周红军)

中国矿业大学恢复岩土钻掘人才培养暨坚持钻探专业办学 67 年

中国矿业大学煤田钻探专业创建于 1952 年, 1953 年第一班学生毕业, 1955 年专业停办。1961 年开始招收第一届研究生。1985 年恢复探矿工程专业, 并同时恢复招收本科生与硕士研究生。1985—1998 年共毕业 9 届 234 名本科生及 6 届 9 名硕士研究生。1995 年以勘察工程(计算机应用)名义招生 30 人。1996—2016 年, 探矿工程实验室建设、专业和学科建设直接力延续, 学院总体按“地质工程”大类招生, 在大类内开设岩土钻掘工程、钻探设备与工艺、定向钻进课程, 在地质工程学科设现代钻探技术研究生招生方向, 引进了成都理工大学、中国地质大学(武汉)、吉林大学优秀钻

探人才。2016 年修订地质工程专业培养方案, 恢复建设岩土钻掘工程方向, 在地质大类内招生, 第 3 学期分流到专业方向。2019 年地质工程专业分流, 正式组建岩土钻掘班(2018 级), 将于 2022 年毕业。该专业为工程地质与钻探工程交叉方向, 培养具有一定地质和采矿基础, 掌握工程地质与水文地质专业知识, 能够从事钻掘设备设计, 工程设计、施工与工程管理的创新型和应用型人才。

(供稿 中国矿业大学 董青红)