

涌水坑道钻孔岩心上升系数 ξ 定义及其实践意义

郝海洋^{1,2}

(1.贵州省地质矿产勘查开发局 115 地质大队,贵州 清镇 551400; 2.贵州地矿德诚建设工程公司,贵州 清镇 551400)

摘要:坑道钻孔内涌水给常规小口径取心钻探带来了极大的施工难题。水银洞金矿 Ia 矿体地下水丰富,坑道钻探施工中,发现孔底岩心可以从孔口冲出。由此提出了坑道涌水钻孔岩心上升系数 ξ ,其物理意义是岩心在孔底水压和浮力的作用下,克服重力以及与钻杆内壁摩擦力而自动上升的能力,并结合钻孔实际参数,讨论了 ξ 的实践意义。当 $\xi \geq 1$ 时,理论上孔底岩心可以随孔内涌出水从孔内冲出;当 $\xi < 1$ 时,孔底岩心则不能被冲出,只能依靠起大钻取出。通过计算矿层的岩心上升系数,结合实际地层的完整性情况,可以帮助钻探人员控制合适的进尺后割心,使 $\xi \geq 1$,从而让钻孔内岩心自动从孔底排出。岩心上升系数,可以为提高地表和坑道高压涌水钻孔钻进效率提供理论指导,具有一定的实践意义。

关键词:坑道钻探;涌水孔;岩心上升系数 ξ

中图分类号:P634.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)06-0026-05

Definition of core-uplift-coefficient ξ in large water kick core holes and its field application

HAO Haiyang^{1,2}

(1.Geological Team 115, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Qingzhen Guizhou 551400, China;

2.Guizhou Decheng Mining Construction Engineering Company, Qingzhen Guizhou 551400, China)

Abstract: The water kick in tunnel bore holes brings great drilling operation problems to conventional small diameter coring operations. It was found that the core could get out of the hole at high water pressure in the tunnel hole drilling operation to explore the Ia ore body of Shuiyindong Gold Mine. Thus, the core-uplift-coefficient ξ was put forward where physically it means that under the action of water pressure and buoyancy at the bottom of the hole, the core overcomes its gravity and the friction force to automatically rise. Its field application was discussed in combination with the actual parameters of bore holes. When ξ is greater than or equal to 1, theoretically the cores at the bottom of the hole can rush out of the hole with the water kick. When ξ is smaller than 1, the cores cannot be flushed out of the hole and drillers should pull out the drilling string to recover the cores. With calculating the ξ of the ore layer and combining it with the integrity of the actual stratum, the drillers can control the proper drill footage to break off the core so as to make sure the $\xi \geq 1$, allowing the core in the drill hole to automatically lift up from the bottom of the hole. The core-uplift-coefficient ξ can provide not only theoretical guidance for high pressure water kick hole coring in the surface or the tunnel, but also has certain practical significance.

Key words: tunnel drilling; large water kick hole; core-uplift-coefficient ξ

1 问题的提出

水银洞金矿 Ia 矿体发育在龙潭组和茅口组之间的不整合面附近,经沉积作用、构造作用和热液蚀变而成为蚀变体(SBT),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^[1-5]。该矿区 Ia 矿体内地下水丰富,部分区段为承

压水,钻孔孔口静水压最高可达 0.68 MPa,钻孔涌水量最高可达 112.86 t/h。工程实践表明,无论地表钻探还是坑道钻探,孔内涌水给小口径绳索取心钻探带来了极大的施工难题^[6-9]。坑道钻孔由于钻孔浅,不能像地表钻孔通过增加泥浆密度,增加有效的液柱压力来平衡地层压力^[6, 10-12]。然而,水银洞坑道钻探

收稿日期:2018-09-25; 修回日期:2019-05-14 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.06.005

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

作者简介:郝海洋,男,汉族,1990 年生,工程师,项目经理,石油与天然气工程专业,硕士,从事钻完井技术研究和钻探项目管理工作,贵州省清镇市北门桥 115 地质大队,haiyanghao2016@126.com。

引用格式: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.

施工中发现:钻遇涌水层后,孔底钻屑和岩心碎块可随孔内高压水而冲出。如此则无须起大钻,可以大大提高工作效率。那么究竟多大尺寸的岩心在多大的孔内压力作用下才能自动排出呢?如何调整和控制参数来实现不起钻而获得岩心的目的呢?

2 孔内岩心的受力分析

分析岩心在孔底的受力情况,则可以定性、定量的分析出能随孔内水自动排出的岩心尺寸大小。根据水银洞钻孔岩心的实际形状,将岩心分为完整柱状(如图 1b 中的 1 号结构)和破碎状(如图 1b 中的 2~5 号结构)两类。以倾角(注:倾角与钻孔的井斜角互余)为 α 的斜孔为例,假设忽略破碎岩心颗粒间的碰撞作用,岩心受到了自身重力 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 $f_{\text{摩}}$,岩心在钻杆内部不受除上述力以外的力,则岩心在孔内的受力如图 1 所示。

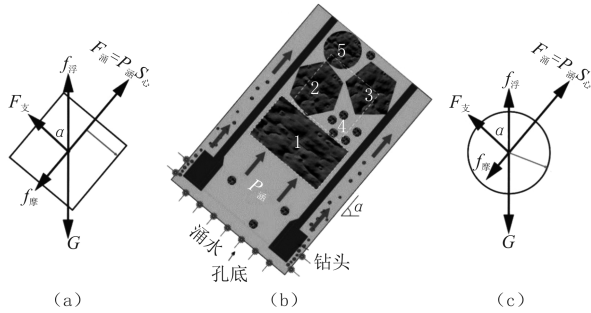


图 1 涌水孔岩心的受力分析

Fig.1 Force analysis of core in water kick hole

在沿钻柱方向上:

$$F_{\text{涌}} = P_{\text{涌}} S_{\text{心}} \quad (1)$$

式中: $F_{\text{涌}}$ ——孔内任意孔深处涌水作用于岩心上的压力; $P_{\text{涌}}$ ——任意孔深处水压; $S_{\text{心}}$ ——岩心的受力面积。

$$f_{\text{浮}} = \rho_{\text{水}} V_{\text{心}} g \quad (2)$$

式中: $f_{\text{浮}}$ ——岩心所受浮力; $\rho_{\text{水}}$ ——矿层水密度; $V_{\text{心}}$ ——岩心的体积; g ——重力加速度。

$$f_{\text{摩}} = \mu(G - f_{\text{浮}}) \cos \alpha \quad (3)$$

$$G = \rho_{\text{心}} V_{\text{心}} g \quad (4)$$

式中: $f_{\text{摩}}$ ——岩心所受钻杆内壁的摩擦力; μ ——摩擦系数; G ——岩心自身重力; α ——钻孔倾角; $\rho_{\text{心}}$ ——岩心密度。

当岩心在钻杆内任意处受力平衡时,则有:

$$G \sin \alpha + f_{\text{摩}} = F_{\text{涌}} + f_{\text{浮}} \sin \alpha \quad (5)$$

将式(1)~(4)代入式(5)中:

$$P_{\text{涌}} S_{\text{心}} = (\rho_{\text{心}} - \rho_{\text{水}})(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) V_{\text{心}} g \quad (6)$$

若岩心是长度为 h 、半径为 r 的柱状时(见图 1a),则有:

$$V_{\text{心}} = \pi r^2 h \quad (7)$$

$$P_{\text{涌}} = (\rho_{\text{心}} - \rho_{\text{水}})(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) g h \quad (8)$$

若岩心破碎时,将其看作等效半径为 r ($0 < r <$ 钻杆内半径)的规则圆球(见图 1c),则有:

$$V_{\text{心}} = 4/3 \cdot \pi r^3 \quad (9)$$

$$P_{\text{涌}} = 4/3 \cdot (\rho_{\text{心}} - \rho_{\text{水}})(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) g r \quad (10)$$

由式(8)、(10)可以看出,钻遇涌水孔时,孔底岩心能否从钻杆内冲出,关键在于孔底涌水压力和岩心的长度或者等效半径间的关系。因此,本文提出用岩心上升系数 ξ 来表达上述参数间的关系。

3 岩心上升系数 ξ 的定义

定义 ξ 为岩心上升系数,其物理意义为:在孔底水压和浮力的作用下,岩心克服重力和与钻杆内壁摩擦力而自动上升的能力。完整岩心和破碎岩心的 ξ 表达式分别为式(11)和式(12)。

$$\xi = \frac{(P_{\text{涌}}/h)}{(\rho_{\text{心}} - \rho_{\text{水}})(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) g} \quad (11)$$

$$\xi' = \frac{3P_{\text{涌}}/(4r)}{(\rho_{\text{心}} - \rho_{\text{水}})(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) g} \quad (12)$$

在实际施工中能够基于钻孔的基本信息,计算出岩心上升系数的大小,从而判别孔底岩心能否随孔内涌水自动冲出。当 $\xi \geq 1$ 时,理论上孔底岩心可以随孔口涌出水从上余钻杆内冲出, ξ 值越大,岩心越容易冲出;当 $\xi < 1$ 时,孔底岩心则不能冲出,只能依靠起大钻取出。

对于某一确定了钻孔,其倾角 α 为固定值,若认为 $\rho_{\text{心}}$ 、 $\rho_{\text{水}}$ 、 μ 和 g 不变,则根据式(11)和式(12)可以定性判断:当孔内水压一定时,岩心的尺寸越小, ξ 值就越大,则岩心越容易被水冲出;当岩心的尺寸一定时,孔底水压越大, ξ 值就越大,则岩心越容易被水冲出。

4 分析与讨论

4.1 $P_{\text{涌}}$ 的计算和取值分析

在孔底水源充沛条件下,孔底压力 P 为孔口水压与液柱压力之和,基本保持不变;是任意孔深处作用于岩心上的压力,随孔深的变化而变化。 $P_{\text{涌}}$ 可以通过式(13)计算得出。

$$P_{\text{涌}} = \rho_{\text{水}} g H \sin \alpha + P_{\text{孔口}} \quad (13)$$

式中: H ——岩心所在处的孔深; $P_{\text{孔口}}$ ——孔口水压。

由式(13)可判断出 $P_{\text{涌}}$ 随孔深的变浅而降低,而相应的 ξ 值随着孔深变浅而减小。因此,若使岩心能够顺利地随水冲出,当 $P_{\text{涌}}$ 取孔口处压力时,计算出的 ξ 最为保险。

基于式(11)、(12),讨论 α 、 $P_{\text{涌}}$ 、 h 与 ξ 间的关系,计算所用的相关参数为:水密度 $\rho_{\text{水}} = 1.0 \text{ g/cm}^3$;重力加速度 $g = 9.8 \text{ N/kg}$;岩心密度 $\rho_{\text{心}} = 2.5 \text{ g/cm}^3$;摩擦系数 $\mu = 0.2$ 。

4.2 α 与 ξ 的关系讨论

基于水银洞金矿坑道钻孔的统计信息,KZK4908S 水文孔孔口水压为 0.28 MPa,KZK5928S 水文孔孔口水压为 0.68 MPa,其他钻孔孔口水压基本在此二者范围内,取 $P_{\text{涌}} = 0.28 \text{ MPa}$,岩心长度 h 取值 0.1、0.3、0.5 和 1.0 m,做出了钻孔倾角 α 与岩心上升系数 ξ 的关系曲线(如图 2 所示)。

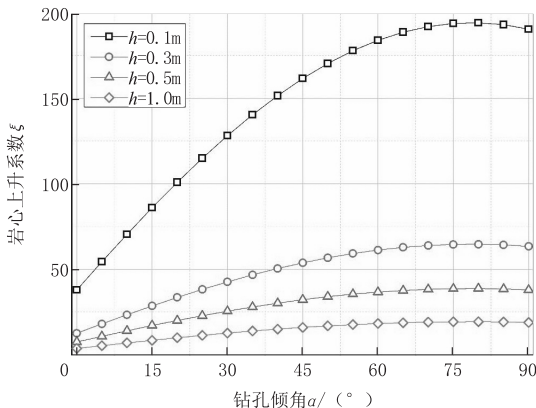


图2 不同岩心长度时钻孔倾角与岩心上升系数关系曲线
Fig.2 Drill hole inclination vs core-uplift-coefficient curves at different core lengths

从图 2 中可以看出:在其他条件相同时,岩心上升系数 ξ 随着倾角 α 的增大而增大,随后出现下降趋势; $85^\circ \geq \alpha \geq 70^\circ$ 时,相同长度的岩心上升系数 ξ 几乎没有太大的差异;在相同钻孔倾角 α 时,岩心上升系数 ξ 随岩心长度 h 的减短而增大,而在大倾角范围时,这种增大的程度更加明显;当岩心长度在 0.3 m 以上时,钻孔倾角 α 对岩心上升系数 ξ 的影响逐渐降低。从理论计算结果来看, $P_{\text{涌}} = 0.28 \text{ MPa}$ 时,即便岩心长度为 1.0 m、钻孔为水平钻孔 ($\alpha = 0^\circ$),岩心上升系数 ξ 为 3.81,岩心也能在水压作用下从孔口排出。

因此,在岩心长度较短时,钻孔倾角 α 的大小对岩心上升系数 ξ 的影响较大,在实际的钻探施工中,对于小倾角钻孔,应尽量控制进尺,在孔底岩心较短时就割心,便于岩心随孔内涌水排出孔口。

4.3 $P_{\text{涌}}$ 与 ξ 的关系讨论

取 $\alpha = 60^\circ$,岩心长度 h 取值 0.1、0.3、0.5 和 1.0 m,做出了孔内涌水压 $P_{\text{涌}}$ 与岩心上升系数 ξ 的关系曲线(如图 3 所示)。

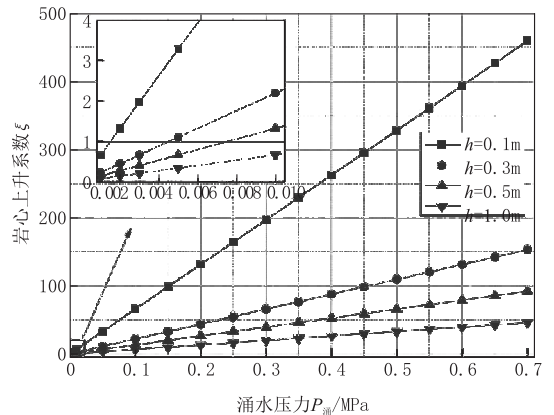


图3 不同岩心长度时钻孔水压与岩心上升系数 ξ 的关系曲线
Fig.3 Downhole water pressure vs core-lift-coefficient curves at different core lengths

从图 3 中可以看出:在其他条件相同时,岩心上升系数 ξ 随孔内涌水压 $P_{\text{涌}}$ 的增大而呈线性增大;在相同钻孔倾角 α 时,岩心上升系数 ξ 随岩心长度 h 的减短而增大,在较大孔内涌水压力范围时,这种增大的程度更加明显,而在较小孔内涌水压力范围时,这种增大程度差异较小。从理论计算结果来看,当钻孔倾角 $\alpha = 60^\circ$ 时,即便岩心长度为 0.1 m, $P_{\text{涌}} = 0.001 \text{ MPa}$ 时,岩心上升系数 ξ 为 0.66,岩心不能在水压作用下从孔口排出。

因此,在实际的钻探施工中,对于孔内涌水压 $P_{\text{涌}}$ 较小的钻孔,应尽量控制进尺,降低岩心长度,便于岩心随孔内涌水排出孔口。而对于孔内涌水压 $P_{\text{涌}}$ 较大的钻孔,可以适当的增加岩心长度,提高钻探效率。

4.4 岩心尺寸与 ξ 的关系讨论

取 $\alpha = 60^\circ$,孔内涌水压 $P_{\text{涌}}$ 取值 0.1、0.3、0.5 和 1.0 MPa,做出了岩心长度 h 与岩心上升系数 ξ 的关系曲线(如图 4 所示)。

从图 4 中可以看出:在其他条件相同时,岩心上升系数 ξ 随岩心长度 h 的增大而急剧降低;在相同岩心长度时,岩心上升系数 ξ 随孔内涌水压 $P_{\text{涌}}$ 的增大而增大,而在较小岩心尺寸时,这种增大的程度更加明显,在较大岩心长度时,虽然钻孔压力在增加,已不足以对岩心上升系数 ξ 带来明显的改变。从理论计算结果来看,钻孔倾角 $\alpha = 60^\circ$ 时,即便 $P_{\text{涌}}$ 为 0.1 MPa,岩心长度为 5 m 时,岩心上升系数 ξ 为

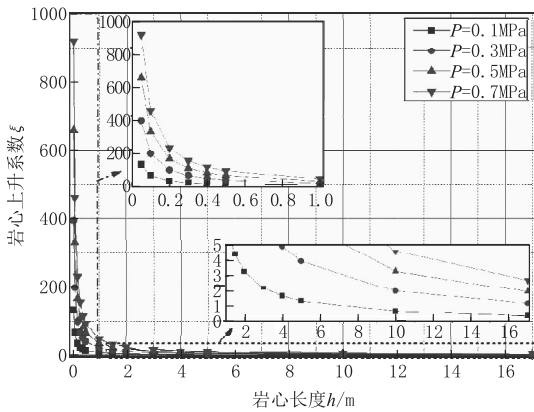


图 4 不同钻孔水压时岩心长度与岩心上升系数 ξ 的关系曲线
Fig.4 Core length and core-lift-coefficient curves under different downhole water pressures

1.31, 岩心也能在水压作用下从孔口排出; 当 $P_{\text{涌}}$ 为 0.3 MPa, 岩心长度为 17 m 时, 岩心上升系数 ξ 为 1.16, 岩心也能在水压作用下从孔口排出; 甚至当 $P_{\text{涌}}$ 为 0.7 MPa, 岩心长度为 46 m 时, 岩心上升系数 ξ 为 1.00, 岩心也能悬浮在孔内。

然而, 基于实际情况下, 孔内岩心和钻屑的级配分布及钻具的特殊设计结构时, 岩心并不是规则地、单独地分布于钻杆内部空间中。接下来, 将结合实际钻探施工的经验 and 实例, 讨论岩心上升系数 ξ 的实践意义。

5 ξ 的实践意义

需要说明的是, 前文在讨论孔内岩心受力时, 忽略了破碎岩心颗粒间的碰撞作用和岩心间的架桥阻塞钻杆内部空间的情况。而孔底的真实情况较为复杂, 对于裂隙、溶洞发育的地层, 钻探施工中常遇到孔底垮塌情况, 不利于钻进效率的提高。对于某一钻孔, 其倾角 α 为固定值, 而孔内水压 P 为一定范围的数值, 唯一能够人为控制的是岩心的尺寸 h , 因此岩心上升系数 ξ 可以在理论上指导单个回次的进尺, 以便于提高特大涌水钻孔的钻探效率。

5.1 利用 ξ 提高涌水段钻进效率的案例分析

对于较为完整的地层, 可适当控制进尺, 及时割心, 使整段岩心从孔内排出, 减少起大钻次数。由于采用普通钻探工艺时, 孔底获取的岩心进入钻杆内部后要经过下扶正器内部的台阶; 若岩心较短而未越过台阶, 则在岩心上升过程中, 容易被台阶所阻, 如若操作不当, 易造成钻头内“堵死”, 则必须起大钻处理^[13]。

图 5 统计分析了水银洞部分涌水坑道钻孔的涌

水段的钻速大小, 并结合钻探实际经验, 总结出了单回次进尺应控制在 0.3~1.0 m; 孔口水压小时, 应相应地减小单回次进尺长度, 以 0.3 m 为宜, 可让岩心自动从孔口排出, 从而减少起大钻次数, 提高钻进效率。例如: (1) KZK5105S 钻孔, 孔口静水压为 0.56 MPa, 钻孔倾角为 64°, 钻孔施工中, 涌出的完整岩心最大长度为 0.86 m, 矿层平均钻速为 6.17 m/h; (2) KZK5705 钻孔, 孔口静水压为 0.36 MPa, 钻孔倾角为 85°, 施工中最大涌出岩心长度为 0.67 m, 矿层平均钻速为 6.75 m/h。

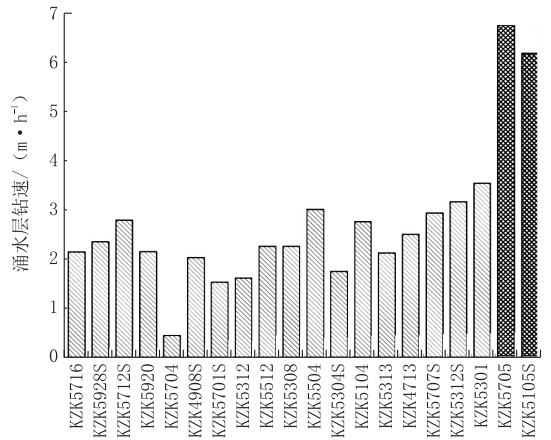


图 5 水银洞部分涌水钻孔的涌水层钻速统计
Fig.5 Drilling speeds in layers along large water kick holes in Shuiyindong Mine

5.2 特殊情况下不能利用 ξ 的案例分析

当孔底岩石极为破碎和钻屑极多时, 若不能及时有效的排出, 则岩心碎块和钻屑将在钻杆内形成大小级配沉降而封堵钻杆内空间, 导致岩心排出通道阻塞, 需起大钻处理。

例如: (1) KZK5724 钻孔, 孔口静水压 0.60 MPa, 钻遇孔底约 1 m 厚石英晶体段时, 由于石英晶体经研磨后呈碎砂状, 钻进时未及时提钻排砂, 不同尺寸的岩心在钻具内架桥而阻塞, 起大钻后在钻杆内沉降了总高度达 3.0 m 的细砂岩屑; (2) KZK5704 钻孔, 孔口静水压 0.52 MPa, 由于钻至矿层后, 遇溶洞裂隙, 为了获得满足要求的岩心采取率, 只能增加单回次最后进尺时的钻压, 使碎屑岩心堵满钻头内部空间, 使岩心不至于被高压水冲散而无法获取, 其矿层平均钻速只有 0.45 m/h。

6 结论与认识

本文提出了涌水钻孔岩心上升系数 ξ 的定义, 并深入分析了钻孔倾角、孔内水压和岩心尺寸与岩

心上升系数的关系,得出结论如下:

(1)在其他条件相同时,岩心上升系数 ξ 随着倾角 α 的增大而呈先增大后下降趋势。

(2)在其他条件相同时,岩心上升系数 ξ 随孔内涌水压 $P_{涌}$ 的增大而呈线性增大。

(3)在其他条件相同时,岩心上升系数 ξ 随岩心长度 h 的增大而急剧降低。

(4)岩心能否随孔内涌水排出的判据为:当 $\xi \geq 1$ 时,孔底岩心可以随孔口涌出水从孔内冲出;当 $\xi < 1$ 时,孔底岩心则不能被冲出,需起大钻处理。

实际坑道钻探中,钻遇含水地层给钻探施工带来诸多麻烦与孔内事故隐患^[14-15]。本文所述岩心上升系数是基于该矿区多个坑道涌水钻孔施工后总结出来的^[16]。钻遇特大涌水坑道取心钻孔时,基于实际钻孔技术参数,计算出涌水段岩心上升系数,可以为提高高压涌水钻孔提供理论指导,具有一定的实践意义。但施工人员应基于地层的实际情况,合理利用岩心上升系数,及时改变钻进参数,判断单回次的进尺大小,才能起到提高钻进效率的目的。

参考文献(References):

- [1] 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.
- [2] 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 Chengfu, WANG Zepeng, et al. Geological research of Shuiyindong Gold Deposit in Zhenfeng County, Guizhou Province[J]. Geological Survey of China, 2017, 4(2): 32-41.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 刘建中, 邓一明, 邱林, 等. 中国第一个 I 类型卡林型金矿床——水银洞金矿地质[J]. 矿床地质, 2006, (S1): 175-178.
LIU Jianzhong, DENG Yiming, QIU Lin, et al. Geological characteristics of the Shuiyindong Gold Deposit, the first I-type Carlin-type gold deposit in China[J]. Mineral Deposits, 2006, (S1): 175-178.
- [6] 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.
- [7] 王征喜, 刘东. 贵州瓮安县老虎洞磷矿涌水孔钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(3): 21-23.
WANG Zhengxi, LIU Dong. Drilling technology in gushing water hole of a Phosphate mine in Guizhou[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(3): 21-23.
- [8] 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 H₂S content [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(8): 23-28.
- [9] 徐国辉, 王道含, 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 Daohan, 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.
- [10] 吕利强, 刘兵. 涌水孔的绳索取芯钻进技术[J]. 内蒙古煤炭经济, 2016, (S1): 110-112.
Lü Liqiang, LIU Bing. Wireline coring drilling technology for water kick holes[J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2016, (S1): 110-112.
- [11] 肖长城, 张鹏. 新疆伊泰煤矿复杂地层特大涌水孔施工工艺[J]. 西部探矿工程, 2017, 29(8): 46-48.
XIAO Changcheng, ZHANG Peng. Drilling of large water kick holes in complicated strata at Yitai Coal Mine in Xinjiang[J]. West-China Exploration Engineering, 2017, 29(8): 46-48.
- [12] 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.
- [13] 梁俊, 高元宏, 陈宗涛, 等. 坑道钻探施工技术规程探讨[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.
- [14] 孙建华, 刘秀美, 王志刚, 等. 地质钻探孔内复杂情况和孔内事故种类梳理分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(1): 4-9.
SUN Jianhua, LIU Xiumei, WANG Zhigang, et al. Classification and analysis on complex cases and accidents in geological drilling holes[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(1): 4-9.
- [15] 闵东. 坑道钻探中中深斜孔施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(8): 12-15.
MIN Dong. Construction technology of medium-length inclined hole for tunnel drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(8): 12-15.
- [16] 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.