

秦岭造山带多金属矿普查复杂地层护壁堵漏技术

柳硕林, 韩明耀

(河南省地质矿产勘查开发局第一地质勘查院, 河南 郑州 450001)

摘要: 秦岭造山带多金属矿普查项目钻探施工过程中钻遇多种复杂地层, 垮塌、缩径、漏失等复杂情况频发, 严重影响了施工效率。分别采用了植物胶钙处理钻井液、聚乙烯醇无固相钻井液等进行护壁工作, 结合不同漏失情况分别实施了随钻堵漏、凝胶堵漏等技术措施, 取得了良好的使用效果。

关键词: 秦岭造山带; 复杂地层; 钻探; 护壁堵漏; 植物胶钙处理钻井液; 凝胶堵漏

中图分类号: P634.8 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2020)01-0043-05

Borehole protection and leakage control in complex strata of polymetallic deposit survey in Qinling Orogenic Belt

LIU Shuolin, HAN Mingyao

(The First Geological Exploration Institute of Henan Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Zhengzhou Henan 450001, China)

Abstract: During reconnaissance drilling for polymetallic deposit survey at Qinling Orogenic Belt, different complex strata were encountered, such as collapse, shrinkage, leakage and so on, which seriously affected drilling efficiency. The calcium treated vegetable gum drilling fluid and solid-free polyvinyl alcohol fluid were used for borehole protection, respectively. According to different leakage situations, technical measures such as plugging while drilling, gel plugging were implemented, and good results were achieved.

Key words: Qinling Orogenic Belt; complex strata; drilling; borehole protection and leakage control; calcium treated vegetable gum drilling fluid; gel plugging

1 矿区概况

“河南省内乡县板厂一带多金属矿普查”是我院承担的 2015 年度整装勘查续作项目, 该区位于秦岭山脉东段, 豫西南伏牛山脉南侧。矿区位于小水—老虎山背斜南翼, 朱阳关—夏馆断裂上。由于岩层经历了多期次的变质、变形作用, 区内的褶皱、断裂等构造十分发育。主构造线沿 290°~310°方向展布, 总体南倾, 倾角为 50°~70°。矿体围岩主要为大理岩和斜长角闪岩, 在矿体及顶底板围岩中发育有明显的热液蚀变作用。出露地层为秦岭岩群雁岭沟岩组和少量第四系, 主要岩性为黑云二长片麻岩、斜长角闪片麻岩、白云石大理岩, 含石墨大理岩、透闪石化大理岩、黑云二长片麻岩、矽线二长片麻岩、砂

砾石层、亚砂土、亚粘土等。

根据地质设计, 该矿区的钻孔倾角多在 80°~85°范围内, 要求钻孔平均岩心采取率不得低于 70%; 矿化带、重要标志层、矿层以及矿层顶底板 3~5 m 范围内的岩矿心采取率不得低于 80%; 顶角弯曲 $\geq 3^\circ/100$ m; 终孔口径 < 75 mm; 典型井身结构见图 1。矿区所用的钻探设备、机具主要包括: XY-6B 型钻机、BW-250 型和 3NBB260 型泥浆泵、SGZ23 型钻塔等。本文结合矿区复杂地层的特点, 对护壁堵漏技术进行了深入探讨, 总结了适于该矿区的施工技术和对策。

收稿日期: 2019-08-31; 修回日期: 2019-12-26 DOI: 10.12143/j.tkge.2020.01.008

基金项目: 河南省自然资源厅地质科研项目“秦岭造山带复杂地层深部钻探技术研究”(编号: 豫国土资发-[2018]-98 号)

作者简介: 柳硕林, 男, 汉族, 1970 年生, 高级工程师, 从事地质岩心钻探技术研究及管理工作, 河南省郑州市高新技术开发区莲花街 56 号, 1069090551@qq.com。

引用格式: 柳硕林, 韩明耀. 秦岭造山带多金属矿普查复杂地层护壁堵漏技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(1): 43-47.

LIU Shuolin, HAN Mingyao. Borehole protection and leakage control in complex strata of polymetallic deposit survey in Qinling Orogenic Belt[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(1): 43-47.

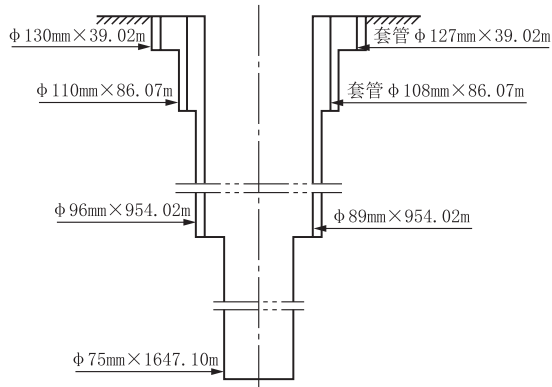


图1 常用孔身结构

Fig.1 Common borehole structure

2 施工技术难点

矿区内地质构造强烈,地层破碎,几乎每个钻孔都会钻遇强水敏松散性绿帘石层。该绿帘石层微裂隙极为发育,在毛细作用下极易从钻井液中吸水,导致其自身强度降低;绿帘石与钻井液接触后,引起晶格间膨胀,引发缩径及剥落;岩石本身缺乏胶结性,水敏性矿物水化分散后引起其整体结构松散,在钻井液冲洗及钻具扰动条件下快速失稳。现场岩心浸泡试验表明,该绿帘石在1 min内即在清水中完全崩散为细小颗粒。

白云岩、大理岩地层,裂隙宽度0.3~3 cm,蚀变层碎块粒径1~6 cm,取出的岩心多成块状。其中ZK1563孔于985~996、1298~1306 m等处发生漏失,漏失速度0.3~2.1 m³/h。漏失发生后,引起孔壁压力不平衡,极易造成孔壁发生垮塌、失稳;钻井液循环不畅,断钻杆、卡钻、烧钻等事故发生的几率也大幅增加;钻井液的大量漏失、水泥浆候凝等也将造成成本升高。上述复杂地层的存在,给钻进施工和护壁工作带来极大困难。易失稳地层的典型岩心照片如图2所示。

为此,在深入了解该矿区施工难点的基础上,制定了一系列针对性护壁堵漏技术方案,在具体施工中收获了良好的使用效果。

3 钻井液护壁技术

本矿区的所有钻孔均采用绳索取心工艺进行施工,要求钻井液满足低固相含量、低粘度、低失水量、强润滑的要求。前期施工钻孔多在800 m深度范围内,由于地层相对稳定,未出现严重的孔壁失稳等



图2 易失稳地层的典型岩心照片

Fig.2 Typical pictures of cores recovered

复杂情况,通常采用的钻井液为低固相植物胶钻井液。但是后期钻孔设计孔深均超过1000 m,而且普遍钻遇强水敏绿帘石层,常规的植物胶钻井液难以有效进行护壁工作。为此,我们分别尝试使用了植物胶钙处理钻井液、聚乙烯醇无固相钻井液进行施工。

3.1 植物胶钙处理钻井液

植物胶属于天然高分子聚合物,与乳状液相比具有良好的悬浮及携带钻屑的能力;与粘土浆相比具有剪切稀释性强、护心效果优良、润滑减阻、环保无毒等特点,在钻探领域获得了广泛的应用^[1-5]。在前期浅孔施工过程中,主要使用植物胶钻井液完成了800 m以浅的岩心钻探工作,并收获了良好的使用效果。在ZK1724钻孔施工至860 m深度时钻遇多套绿帘石层,掉块、垮塌等复杂情况时有发生,难以下钻到底;冲孔过程中泵压持续升高,憋车、憋泵现象严重,多次采用无泵钻具处理孔内垮塌物的效果也不尽理想。为此,我们在该植物胶钻井液的基础上加入石灰引入钙离子,以增强钻井液的抑制性;加大腐植酸钾和植物胶的加量以严格控制失水量,将其转换为钙处理钻井液。现场试验结果见表1和表2。

由表1可知,单独以植物胶和低粘纤维素配制钻井液,粘度合适,而失水量偏大,可以在上部孔壁稳定的地层中使用,但是在水敏性地层中有可能发生孔壁失稳;4%的膨润土加入后降失水效果较好,但是容易引起固相含量升高,进而增加钻杆内壁结

泥皮的风险,2%膨润土在有效控制失水量的同时能够避免固相含量过高;而聚丙烯酸钾能够对钻屑进行有效絮凝,确保钻井液清洁。

表 1 植物胶钙处理钻井液的性能

Table 1 Properties of calcium treated vegetable gum drilling fluid

泥 浆 配 方	FV/ s	FL/[mL· (30 min) ⁻¹]
1%植物胶+0.2%低粘纤维素	28	26.2
2%植物胶+0.2%低粘纤维素	36	19.8
4%膨润土+1%植物胶	31	10.6
2%膨润土+2%植物胶+1%腐植酸钾+0.2%低粘纤维素	36	8.4
2%膨润土+0.1%聚丙烯酸钾+1%植物胶+1%腐植酸钾+0.2%低粘纤维素	28	9.0

表 2 钻井液钙处理过程中的性能

Table 2 Properties of drilling fluid during calcium treatment

配方 编号	配 方 组 成	AV/ (mPa·s)	YP/ Pa	FL/[mL· (30 min) ⁻¹]
1号	植物胶钻井液	7	1	12.0
2号	1号+0.2%CMC+1%CaO	14	4	19.4
3号	2号+2%KHm	10	2	9.5

为此,在 ZK1724 钻孔中,以低固相植物胶钻井液顺利钻进至 860 m,起到了良好的护壁效果。但是,在此后的 300 m 深度范围内,发育有多套绿帘石层,为有效避免孔壁失稳,在该钻井液的基础上加入了生石灰以增强钻井液的抑制性,转为钙处理钻井液。转换过程中的钻井液性能变化见表 2。

转换方案为:首先,将钻具提升至套管内,开泵循环,在井浆中加入 0.3%左右的低粘纤维素以降低失水量,增加粘土颗粒的水化膜厚度;其次,按照 0.5%的加量在井浆中缓慢加入石灰,边加石灰边循环钻井液,观察并测试钻井液的粘度和失水量变化情况,石灰完全加入后的钻井液粘度从 28 s 增加至 42 s,失水量从 8 mL/30 min 增加至 20 mL/30 min;最后,在钻井液中加入腐植酸钾,加入的过程中明显观察到粘度有所降低,待腐植酸钾加量约 2%时,粘度从 42 s 下降到 25 s,失水量也从 20 mL 下降到 11 mL;为进一步降低失水量并增强钻井液的防塌能力,继续补充沥青粉 1%左右,此时粘度稳定在 25 s 左右,失水量则降低到 9 mL/30 min,完成了植物胶钙处理钻井液的转换工作。

此后,在 860~1158 m 近 300 m 深度范围内的多套绿帘石层钻进过程中,尽管存在部分回次下钻不到底的情况,但是孔壁未再发生明显的失稳现象,

有效维持了孔壁稳定。该钻孔最终孔深 1712.56 m,其中矿体厚度 381.63 m,全孔岩心采取率达 98.36%,矿心的采取率达 99.73%,圆满完成了取心钻进任务。

3.2 无固相聚乙烯醇冲洗液

聚乙烯醇是分子主链含有 $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-$ 基团的高聚物,由聚醋酸乙烯酯醇解而制得。由于聚乙烯醇自身含有大量的羟基,能够取代水分子在孔壁表面发生强力吸附,吸附速度快而且胶结作用强,所以可以用来配制无固相钻井液以满足护壁需要^[6]。尤其是在松散性水敏地层中钻进,曾获得了良好的使用效果^[7-11]。为此,我们尝试使用该无固相钻井液进行绿帘石地层的护壁工作。

在 ZK1563 钻孔施工过程中,于 903.3~908.8、1031.3~1042.5、1118.4~1134.5 m 等孔段分别钻遇绿帘石层。其中,前两段绿帘石层采用植物胶钻井液进行钻进过程中发生了严重的憋车、憋泵等现象,采用无泵钻进捞取孔底沉渣到底后,继续钻进 3 个回次后又发生憋车、憋泵现象,严重影响了施工进度。为此,现场配制了聚乙烯醇无固相钻井液。首先,分别配制 5%浓度的 PA 溶液(聚乙烯醇和 PHP 的混合物)和 1.5%浓度的 PB(硼砂等交联剂)溶液;然后,将二者的浓度分别稀释为 1.5%和 0.15%后混合均匀,开泵循环,将配制好的聚乙烯醇溶液送至孔内,观察到部分沉渣返出至地面,但是苏式漏斗粘度从 28 s 严重降低至 18 s 左右。说明溶液中的有效物被快速地吸附在孔壁或沉渣上。为确保使用效果,继续配制该无固相钻井液并泵送至孔内。此次钻穿长达 14.5 m 的绿帘石层共耗时 2 d,回次进尺在 1 m 以内;继续钻进 50 m 后改用植物胶钻井液至终孔。

4 堵漏技术

4.1 常规堵漏技术

在钻进过程中,对于轻微漏失,优先采用随钻堵漏。一方面,在钻井液中增加随钻堵漏剂;另一方面,适当提高钻井液的粘度并增大沥青粉的加量,实行随钻封堵。一般情况下,在上述措施实施后,均能起到良好的随钻堵漏效果。当随钻堵漏无效后,则配制桥接堵漏浆液进行专门堵漏。

以 ZK1403 孔为例,钻进至 125.6~134.6、159.4~172.8、224.8~257.3 m 孔段分别发生轻微

漏失,处理方法为:在植物胶钻井液中缓慢加入0.5%~1.5%的801和803随钻堵漏剂,同时提高植物胶加量,将钻井液粘度从18 s提高到25 s左右,漏失现象消除。在386.3 m时出现中等程度漏失,返浆比例约1/3,考虑到上部裸露地层相对稳定,采取顶漏钻进的方式继续施工至426.5 m时观察到岩性发生变化。为防止出现孔内事故,配制桥接堵漏浆。以植物胶钻井液为基浆,加入膨润土粉、PHP、高粘堵漏剂等搅拌,再加入2%~4%过筛后的锯末,混合均匀后将堵漏浆泵送至孔底后进行钻进,观察泵压变化情况。调节回水管阀门以确保泵压较正常钻进时高1~2 MPa,使得堵漏浆液能够更多地压入地层。该堵漏方法配制简便,无需停工等待,在ZK1403孔等多个钻孔中取得了良好的使用效果。

4.2 凝胶堵漏技术

ZNJ-1凝胶是一种治理漏失的堵漏剂,具有强内聚力、高粘度、高剪切稀释性和强触变性的特点。与水混合后,能够快速吸水,形成具有相对稳定结构的凝胶体,该结构一旦形成,再与水接触时也能保持相对稳定,可以避免地下水的稀释^[12-16]。将ZNJ-1凝胶与相对分子量为800万的HPAM溶液粘度进行对比,结果见表3。

表3 ZNJ-1凝胶与HPAM溶液的六旋转粘度值
Table 3 Values of ZNJ-1 and HPAM solutions
by the six speed rotational viscometer

材料	加量/ %	φ_{600}	φ_{300}	φ_{200}	φ_{100}	φ_6	φ_3	Gel/ (Pa/Pa)
ZNJ-1	1.2	165	122	106	82	36	27	41/64
	1.5	215	168	150	121	50	40	56/78
HPAM	1.2	38	22	18	12	3	2	2/2
	1.5	75	-48	34	21	6	5	3/5

注: φ_{600} 、 φ_{300} 、 φ_{200} 、 φ_{100} 、 φ_6 、 φ_3 分别为流速旋转粘度计读值。

由表3可知,同等加量情况下,HPAM的粘度较ZNJ-1低得多,尤其是ZNJ-1在低转速的读值要明显高于HPAM。主要原因在于,ZNJ-1中含有的交联剂能够使聚合物发生交联,形成稳定的内部结构,该结构对于实施孔内堵漏具有重要的作用。一方面,凝胶体可以在压差作用下挤入到漏失通道深部;另一方面,该凝胶在低剪切速率下的极高结构力可以迟滞堵漏浆的漏失速度。

在ZK1563孔钻进过程中,于406.5~417.2 m位置发生了严重漏失,采用常规堵漏措施无效后,开

展了凝胶堵漏试验。第一次堵漏,按照1.2%的加量配制凝胶堵漏浆,搅拌时间约40 min后,下钻至距孔底2 m左右,开启泥浆泵,将堵漏浆液送至孔底后继续泵送新配稠浆液,未观察到孔口返浆,说明堵漏失败。原因可能在于孔底的漏失裂隙尺寸较大,凝胶中缺少架桥颗粒,难以在裂缝内形成高效封堵层。为此,第二次配制堵漏浆液,先配制0.3%加量的ZNJ-1溶液,搅拌20 min后加入锯末、复合堵漏剂、棉籽壳等(总加量约6%),此后继续添加0.5%加量的ZNJ-1。将配制好的复合型凝胶堵漏浆液泵送至孔内进行二次堵漏,在开泵送10 min后钻孔开始返浆,停泵后孔口水位有所降低,说明孔内漏失已得到有效控制。

5 结语

自项目开展以来,共完成钻孔32个,累计进尺30008.30 m,钻孔岩心采取率最低95.8%,最高达99.4%;矿化带、重要标志层、矿层以及矿层顶底板3~5 m范围内岩矿心采取率最小93%,最高达100%,圆满完成了普查任务。通过本项目的实施,对于秦岭造山带复杂地层钻进过程中的垮塌、缩径、漏失等复杂工况获得了更加深入的认识,得到如下结论:

(1)针对秦岭造山带多金属矿普查孔上部白云石大理岩地层采用植物胶钻井液能够起到良好的使用效果,在砂卡岩中的绿帘石层则需要采用钙处理植物胶钻井液和聚乙烯醇无固相钻井液方能起到稳定井壁的作用。

(2)针对轻微漏失,既可以通过提高钻井液粘度、增加沥青粉加量等措施加以控制,也可以通过补充801随钻堵漏剂进行处理;而中等程度以上漏失,则可以采用凝胶堵漏技术。

(3)凝胶堵漏剂单独使用时承压能力弱,与桥接堵漏剂配合使用能够显著提高堵漏效果。相比于水泥浆堵漏,具有无需候凝、抗地下水稀释能力强、起拔钻具安全性高等优点。

参考文献(References):

- [1] 朱金勇,董洪栋,陈礼仪,等.淤泥质黏土层非开挖定向钻进高分子植物胶冲洗液研究[J].科学技术与工程,2016,16(30): 187-190.
ZHU Jinyong, DONG Hongdong, CHEN Liyi, et al. Study of macromolecular vegetable gum flushing fluid for muddy-silty

- clay formation by trenchless directional drilling[J]. Science Technology and Engineering, 2016,16(30):187-190.
- [2] 赵浩,何涛,李强,等.植物胶冲洗液在东乌旗阿吉勒铅锌矿钻探施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(8):35-38.
- ZHAO Hao, HE Tao, LI Qiang, et al. Application of the plant gum drilling fluid during drilling construction in Ajile Pb-Zn mine of Dongwu Banner[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(8):35-38.
- [3] 韩明耀,柳硕林,谢宏伟.南阳板厂多金属矿区泥浆技术的合理化应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(1):52-55.
- HAN Mingyao, LIU Shuolin, XIE Hongwei. Reasonable application of drilling mud system in Nanyang Banchang polymetallic mining area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(1):52-55.
- [4] 肖冬顺,张辉,黄炎普,等.雅鲁藏布江深厚砂砾卵石覆盖层钻探工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(8):21-25.
- XIAO Dongshun, ZHANG Hui, HUANG Yanpu, et al. Drilling technology in deep sandy gravel overburden layer at Brahmaputra River[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(8):21-25.
- [5] 张宝河,王政敏,边鹏,等.哈达门沟深孔钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(6):14-18.
- ZHANG Baohe, WANG Zhengmin, BIAN Peng, et al. Construction technology of deep drilling in Hadamengou[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(6):14-18.
- [6] 王文臣,靖向党,何世鸣.无固相钻井液的研制与护壁作用机理[J].地质与勘探,1990(4):54-58.
- WANG Wenchen, JING Xiangdang, HE Shiming. Non-solid fluid; its preparation and hole-wall protection mechanism[J]. Geology and Exploration, 1990(4):54-58.
- [7] 赵生庆,李录波,卢彬,等.前郭县深井子油页岩矿区松散层钻进护壁堵漏技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(10):13-14.
- ZHAO Shengqing, LI Lubo, LU Bin, et al. Wall protection and leakage stoppage for loose formation drilling in Shenjingzi oil shale mining area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(10):13-14.
- [8] 张元清,宋健.长白矿区复杂地层多金属矿深孔施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(12):13-16.
- ZHANG Yuanqing, SONG Jian. Deep hole construction technology for polymetallic mine in complex formation of Changbai mine area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(12):13-16.
- [9] 宋世杰,陈师逊,杨芳.三山岛海上金矿勘查工程 ZK3410 孔坍塌原因与处理[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(2):26-28,32.
- SONG Shijie, CHEN Shixun, YANG Fang. Analysis on the collapse causes of ZK3410 hole in Sanshandao offshore gold exploration project and treatment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(2):26-28,32.
- [10] 刘志峰.无固相冲洗液在变质岩系复杂地层绳索取心钻进中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(4):14-18.
- LIU Zhifeng. Application of solid-free flushing fluid for wireline coring in complex metamorphic rocks formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(4):14-18.
- [11] 全志刚.PVA 无固相冲洗液在吉林珲春松林油页岩矿区水敏地层中的应用[J].吉林地质,2007(1):80-82.
- QUAN Zhigang. An application of PVA drilling fluid of non-solid phase in the Songlin oil shale mining area water sensitive formation, Hunchun, Jilin Province[J]. Jilin Geology, 2007(1):80-82.
- [12] 田国亮.化学凝胶堵漏剂在胶西北红布矿区的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(1):56-60.
- TIAN Guoliang. Application of chemical gel plugging agent in the northwest Jiadong Hongbu mining area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(1):56-60.
- [13] 左文贵,朱林,吴兵良,等.聚合物凝胶堵漏剂在大裂隙溶洞地层中的研究及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(9):19-24.
- ZUO Wengui, ZHU Lin, WU Bingliang, et al. Polymer gel plugging agent used in formation with large size caverns and fractures[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(9):19-24.
- [14] 倪亚飞,黄友亮.化学堵漏剂在石油钻井防漏堵漏中的应用现状[J].化学工程师,2016,30(8):60-62.
- NI Yafei, HUANG Youliang. Application status of chemical plugging agents in leakage protection in petroleum drilling[J]. Chemical Engineer, 2016,30(8):60-62.
- [15] 于澄.聚合物凝胶堵漏技术研究[D].北京:中国地质大学(北京),2016.
- YU Cheng. Polymer gel plugging technology research[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2016.
- [16] 李伟,张文哲,邓都都,等.PLC 聚合物交联凝胶在黄土层堵漏中的可行性试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(3):33-36.
- LI Wei, ZHANG Wenzhe, DENG Dudu, et al. Experimental study on the feasibility of PLC cross-linked polymer gel applied in loess layer plugging[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(3):33-36.

(编辑 韩丽丽)