

微泡沫泥浆在贵州岩溶裂隙地层钻探施工中的应用

董震堃, 胥虹, 聂洪岩, 雷杰力

(天津华北地质勘查局核工业二四七大队, 天津 301800)

摘要:我国南方大面积分布岩溶裂隙发育地层,在该类地层中进行钻探施工时存在漏失严重、塌落掉块等多方面施工难题。根据贵州瓮安地区施工实例,分析岩溶裂隙地层漏失特点,对比提出微泡沫泥浆技术在岩溶裂隙地层应用的适用性,并提出微泡沫泥浆在该类地层使用中应注意的事项。

关键词:微泡沫泥浆;岩溶裂隙地层;钻探;漏失;贵州

中图分类号:P634.6 文献标识码:B 文章编号:1672-7428(2014)10-0005-04

Application of Micro-foam Mud for Drilling Construction in Karst Fractured Formation of Guizhou/DONG Zhen-kun, XU Hong, NIE Hong-yan, LEI Jie-li (Tianjin North China Geological Exploration Bureau of the Nuclear Industry 247 Battalion, Tianjin 301800, China)

Abstract: Karst fractured formations are largely distributed in south of China, in which serious leakage, block falling and other difficulties are often occurred in drilling construction. With the construction cases in Weng'an of Guizhou, the analysis is made on the characteristics of karst formation, the applicability of micro-foam mud technology in karst fractured formation is put forward with some items that should be paying attention.

Key words: micro-foam mud; karst fractured formation; drilling; leakage; Guizhou

1 岩溶裂隙地层发育简述

1.1 我国岩溶裂隙地层发育分布

中国大陆的岩溶含裸露、覆盖、埋藏 3 个类型,总面积为 344.3 万 km²,其中裸露的占 90.7 万 km²,几乎遍及全国各省、市、区,跨各地质年代。如南方的寒武-奥陶系、泥盆系、石炭-二叠系、三叠系,北方的前震旦系和震旦系、寒武-奥陶系、石炭

系等。碳酸盐岩最厚在贵州,达 8000 余米;最高居喜马拉雅之巅;跨热带、亚热带、温带;有湿润区、干旱和半干旱区、高山和高原区、平原和丘陵区。最有代表性的地区是云、贵、川、藏、两湖和两广,其中贵州岩溶占全省面积的 73%,湖南岩溶占全省面积的 1/3。其分布情况如图 1 所示。

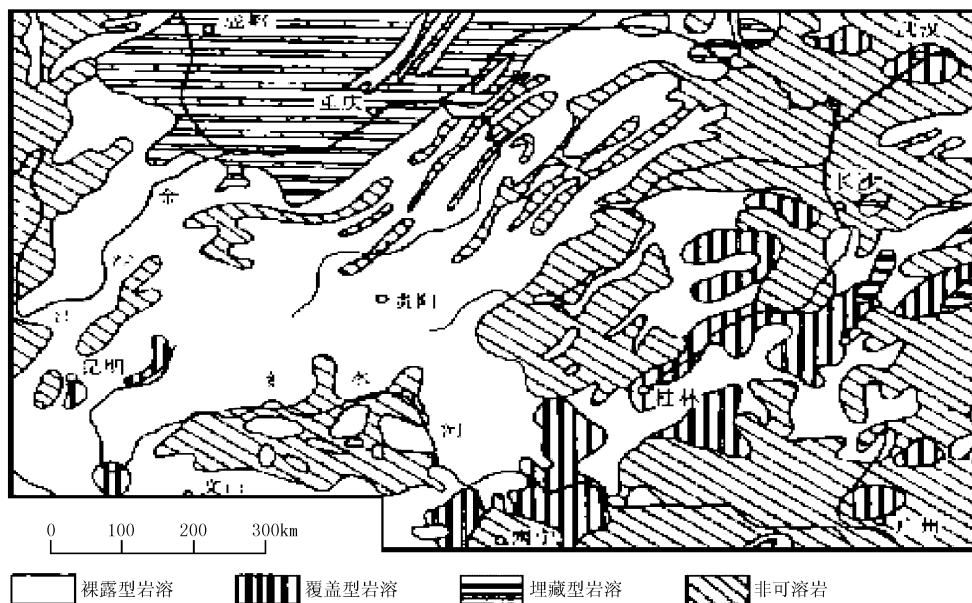


图 1 中国西南部岩溶和类型分布图

收稿日期:2014-03-18; 修回日期:2014-06-22

作者简介:董震堃(1988-),男(汉族),河北阳原人,天津华北地质勘查局核工业二四七大队助理工程师,岩土钻掘专业,主要从事钻探及岩土工程施工工作,天津市宝坻区地质路 36 号,328954158@qq.com。

钻孔地层主要为青白口系鹅家坳组及南华系南沱组、震旦系陡山沱组隐伏于地腹,地表出露地层由新到老依次为寒武系下统清虚洞组、金顶山组、明心寺组、牛蹄塘组,震旦系上统灯影组,第四系不整合覆于各矿时代地层之上。

主要含水层是灯影组白云岩,厚 626.89 ~ 1031.61 m。溶蚀孔洞及节理裂隙发育,透水性好,富水性强,属岩溶裂隙含水层,是本区矿床主要充水含水层。此外,明心寺组第二段灰岩、清虚洞组灰岩属溶洞岩溶含水层。

地层的地质条件经前期施工钻孔经验来看较为稳定,所以能否解决岩溶裂隙漏失问题是钻孔施工的关键。

1.2 贵州岩溶裂隙发育特点

(1)厚度大,明心寺组可溶性碳酸岩厚达 100 ~ 200 m,而灯影组厚度达 200 ~ 400 m。

(2)发育程度高,可对钻探施工带来显著影响的溶蚀通道每隔数十米甚至数米频繁出现,且通道直径多数在 8 mm 以上,施工中甚至出现 15 cm 以上溶蚀通道。

(3)具有一定贯通性,可溶蚀地层本身存在相互贯通的部分通道,同时钻探施工可将上下部岩溶裂隙水贯通,造成人为漏失通道。

(4)富含承压水,钻探施工中多数岩溶裂隙水有一定的承压性,静止水位高于漏失层的情况常见。

2 钻孔施工情况简述

2.1 钻孔结构设计

ZK003 钻孔设计施工深度 1060 m, ZK002 钻孔设计施工深度 1100 m。要求岩心采取率 $\leq 65\%$, 矿心采取率 $\leq 80\%$ 。并提交简易水文观测等国家规范要求内六项指标数据。

ZK002、ZK0032 施工钻孔沿勘探线水平距离 100 m,水平高差 20 m。根据地质设计,两者具有极为相似的地层情况和地质构造条件。在实际施工中遇到的地层问题基本一致,具有良好的可对比性。

ZK003 钻孔地层设计主要为:0 ~ 5.89 m 为第四系覆盖层;5.89 ~ 103.56 m 主要为灰色厚层状泥晶灰岩,发育少量裂隙;103.56 ~ 189.66 m 为深灰色薄层状钙质粘土岩,较完整;189.66 ~ 497.35 m 为深灰色薄~中厚层钙质粉砂岩,节理裂隙发育。497.35 ~ 560.07 m 为黑色、灰黑色薄层炭质粘土岩,岩石节理裂隙发育。560.07 ~ 1011.56 m 为灰色、深灰色厚层粉晶白云岩、灰白色、白色薄~中厚

层硅化白云岩,岩溶裂隙发育、具有大量溶蚀晶洞。1011.56 m ~ 终孔为矿段及底板。

根据钻孔结构可以看出,ZK003 钻孔大部分层段节理裂隙发育,特别是在 560 m 以深位置白云岩中岩溶裂隙高度发育,属于典型岩溶裂隙地层。

2.2 设备选择

根据现场施工情况,两钻孔均选取以下设备组合。

XY-5A 型钻机:拆装方便,设计最大深度及动力均符合钻孔设计要求;BW250 型水泵:流量范围适合,性能稳定,维修方便;SG18 钻塔:符合场地小的条件,承载力充足;1500 型绞车:满足孔深要求,动力充足,取心速度快;XJS 钻杆:钻杆强度、韧性优良,满足深孔性能要求;25 kW 发电设备:提供机场照明及绞车、搅拌罐动力需求;其他配套动力设备;

2.3 施工情况简述

2.3.1 ZK002 钻孔

0 ~ 12 m 为第四系覆盖层,下入 $\varnothing 128$ mm 套管隔离。

12 ~ 55.31 m,钻遇地下水流通道,钻井液在距机场高差约 50 m 处泉眼中流出造成一定污染。下入 $\varnothing 108$ mm 套管隔离并封死套管外环状间隙。

55.31 ~ 1130.25 m 使用 $\varnothing 77$ mm 口径,一径到底。其中于 830 ~ 950 m 处严重漏失。

预留 $\varnothing 89$ mm 作为备用口径。

2.3.2 ZK003 钻孔

0 ~ 5.89 m 为第四系覆盖层,下入 $\varnothing 128$ mm 套管隔离。

5.89 ~ 34.16 m,钻遇地下水流通道,钻井液在距机场高差约 30 m 处泉眼中流出造成一定污染。下入 $\varnothing 108$ mm 套管隔离并封死套管外环状间隙。

34.16 ~ 1103.44 m 使用 $\varnothing 75$ mm 口径,一径到底。其中于 803 ~ 946 m 处严重漏失。

预留 $\varnothing 89$ mm 作为备用口径。

2.4 交通及水源情况

交通:施工区域属于交通不发达地区,仅有可通小型农用车辆单向行驶的便道可供运输使用,部分区域需要修建简易道路,设备需要解体后人工搬运至机场区域。

水源:施工钻孔附近 1.5 km 处有一条小河,冬季及夏季时常断流,同时在农忙季节无法满足施工用水需求。施工用水较为困难。

2.5 施工中遇到的漏失问题及特点

ZK002、ZK003 孔前期施工中均使用低固相泥

浆,护壁效果较好。但在钻遇岩溶裂隙水、岩溶裂隙通道高度发育(如图2所示)的5.89~103.56 m灰岩和灯影组白云岩段发生严重漏失情况。采用惰性材料、803堵漏剂、膨胀堵漏剂及水泥封孔效果均不理想。造成施工进度缓慢,事故率增加,工人劳动强度大等问题。

随后ZK002钻孔继续采用惰性材料、水泥封孔边堵边干的方案继续施工,由于封堵效果不好,漏失情况反复出现,进度缓慢,随后采用顶水钻进的方法历时105天钻至终孔。

而ZK003钻孔则采用微泡沫泥浆工艺,通过计算,配置性能合理的泥浆,很好地解决了漏失问题,历时64天完成钻孔施工。相较于ZK002钻孔表现出了更高的效率和更低廉的成本。

归结2钻孔漏失特点,均为岩溶裂隙水受压后发生漏失,且漏失通道1~15 cm不等,常规堵漏效果不明显。钻孔24 h安定水位均高于漏失层位,且不同的漏失位置安定水位有一定的变化。



图2 岩心上的溶蚀通道

3 微泡沫泥浆的使用

ZK003钻孔在更换使用微泡沫泥浆后,很好地抑制了漏失情况,增加了施工效率。为岩溶裂隙地层施工提供了很好的借鉴经验。

3.1 微泡沫泥浆抑制漏失机理

微泡沫泥浆密度较小并可在一定范围内调整,促使钻孔内液柱压力更易与岩溶裂隙水压力趋于平衡,减小由于孔内液柱压力大而将泥浆压入地层通道内的情况,进而减少漏失情况发生。

微泡沫泥浆流动性能和润滑性能优良,在通过钻具和环状间隙的过程中,产生的摩阻比普通泥浆更小,这样就大大减小了水泵压力并稳定泵压的波动幅度,从而减小由于泵压不稳造成的地层裂隙压漏和已封堵位置二次压开现象,进而减少漏失现象的出现。

微泡沫泥浆在低剪切速率下粘度会急剧升高。在漏失层位一旦泥浆流动速度减慢,粘度急剧上升,

在局部位置形成一个高粘度的封隔层,阻止泥浆滤液进一步漏失,减少漏失量。

由于钻孔液柱与岩溶裂隙水之间的压力差促使本身平均分布的微泡向漏失压力更小的地区集中,在漏失的前缘位置大量聚集,产生密实而有韧性的封隔墙,阻止滤液进入地层,进而降低漏失情况。

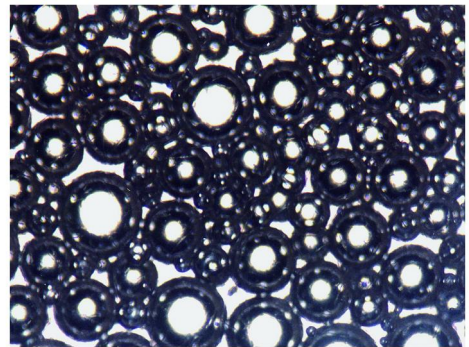


图3 微泡沫泥浆的微观状态

3.2 泥浆配置

为了更好地携带岩粉和稳定孔壁,减少掉块现象,根据现场施工经验,采用高粘CMC作为增粘剂。由于贵州地区水源富含钙、镁离子,对膨润土及泥浆性能会产生较大的影响,固需采用一定手段控制离子含量,现场使用 Na_2CO_3 对水体进行软化。上部地层中泥页岩存在一定的水化剥落现象,故使用优质腐植酸钾作为抑制剂。由于过大的欠压钻进会增加孔壁失稳的可能性,故将密度控制在合理范围内,不宜过大或过小。

配方:3%~4%膨润土浆+0.2% Na_2CO_3 +0.6%腐植酸钾+0.3%高粘CMC+0.5%~0.7%起泡剂+0.4%~0.6%稳泡剂。

性能:密度 $0.7\sim 0.9\text{ g/cm}^3$;漏斗粘度:35~50 s;表观粘度 $30\sim 65\text{ mPa}\cdot\text{s}$;动切力 $12\sim 16\text{ Pa}$;失水量 $\leq 10\text{ mL/30 min}$ 。

3.3 微泡沫泥浆性能的调整

由于ZK003钻孔漏失段较长,而钻遇不同层位的岩溶裂隙水具有的压力不同,所以需要根据不同的压力值及时调整微泡沫泥浆的性能。

在简化设定泥浆不可压缩、为均匀流体、匀速上返、忽略环状间隙流动阻力的前提下。计算前首先需确定漏失位置 $H(\text{m})$,准确测量钻孔安定水位 $h(\text{m})$ 。

漏失位置岩溶裂隙水压强:

$$P = \rho g(H - h) = P_1 + P_2。$$

综合上述公式可得出防漏泥浆密度简易计算公式为:

$$\rho_{\text{泥浆}} = (P - P_2) / (gH)$$

式中: $\rho_{\text{泥浆}}$ ——需配置泥浆的密度,kg/L; P ——漏失层位岩溶裂隙水压强,Pa; P_2 ——泥浆泵正常工作压力,根据实际施工经验得出,Pa; g ——重力加速度(可简化取 10 m/s^2)。

实际施工中如钻遇不同的漏失层位安定水位有变化,可根据上式简易计算配置所需泥浆的密度参数,同时根据实际使用情况进行调整。

此外,如钻遇地层破碎程度严重,有掉块情况,首先可采用增大泥浆粘度的方法,增加增粘剂使用量。如效果不明显,则逐步地提高泥浆密度,减少泡沫剂使用量,达到平衡地层应力的目的。并在防止漏失和稳定孔壁之间寻找平衡点处泥浆的最优参数。

同时,部分施工区域存在涌水情况,可采用加入重晶石配重。

3.4 微泡沫泥浆使用效果

根据 ZK002 孔与 ZK003 孔 2 钻孔施工情况对比,使用微泡沫泥浆的 ZK003 钻孔台月效率提高了 209 m,泥浆成本下降 27 元/m。证实在岩溶裂隙地区使用微泡沫泥浆能有效地减少漏失,同时可节约成本,提高效率。

4 微泡沫泥浆在岩溶裂隙地层中适应性的探究

4.1 岩溶裂隙地层特点

贵州乃至我国岩溶裂隙发育地层分布广泛。普遍存在以下特点。

上部地层存在一定厚度的灰岩地层,沿着地层的层理节理多出现岩溶裂隙通道,漏失情况复杂,但可适用泥浆范围广泛。

可溶性地层富含大量岩溶裂隙水及岩溶裂隙通道。在钻孔液柱压力差之下极易发生严重漏失情况,采用惰性材料堵漏效果不明显,而采用水泥封孔会极大地增加成本。

岩溶裂隙水存在一定压力,且在钻穿前不同深度承压水压力不同,在使用微泡沫泥浆过程中往往需要随时调整性能参数。

下部可溶性地层破碎程度大,受到的溶蚀作用明显,泥浆使用中需要保证一定的粘度,预防掉块的发生。

4.2 微泡沫泥浆的适用性

针对岩溶裂隙地层,微泡沫泥浆的使用对地层

特点有很好的适应性。

白云岩属于中硬破碎地层,而微泡沫泥浆密度低、固相含量低,能很大程度地提高钻速;岩溶裂隙地层易发生严重漏失情况,微泡沫泥浆具有很好的防漏、堵漏效果;微泡沫泥浆具有良好的悬浮和携带岩粉的能力,实际施工中泵压稳定,孔底清洁;相较于普通泡沫泥浆,微泡沫泥浆可循环使用,成本及维护费用低,同时不需增加空压机、增压器、除气器等设备,适用范围广;微泡沫泥浆配制、使用、维护、处理均很方便;具有良好的护壁、防掉块效果,适应整套地层。

5 结语

在该区域施工过程中,由于岩溶裂隙地层严重漏失特点,及现场施工水源紧缺的情况下,采用微泡沫泥浆技术成功地预防并减少了漏失情况。提高了施工效率,节约了成本。证明了微泡沫泥浆在岩溶裂隙发育地层的适用性。同时通过施工总结出一套完整的施工泥浆配比计算方案,为进一步施工提供了良好的借鉴。

存在的一些问题如下:

(1) 微泡沫泥浆在使用过程中,如果使用的发泡剂或稳泡剂质量、加量存在问题,很容易造成泡沫过多,泡沫表层膜不稳定,极大地影响到泥浆质量,造成孔壁失稳。

(2) 微泡沫泥浆由于密度较小,在地应力较大或特别破碎地层,无法很好地平衡岩石应力,可能出现塌孔现象。

(3) 由于微泡沫泥浆存在气相,使用普通 BW250 型水泵如果密封情况不良,极易造成烧钻情况。

参考文献:

- [1] 耿瑞伦,孙建华.岩溶与岩溶地区钻探特征[J].探矿工程,2000,(6):3-6.
- [2] 蒲晓林,李霜,李艳梅,等.水基微泡沫钻井液防漏堵漏原理研究[J].天然气工业,2003,25(5):47-49.
- [3] 李纯.微泡沫钻井液的研制及其性能的研究[D].北京:中国地质大学(北京),2006.
- [4] 宋金仕,欧绍祥,单正名,等.循环泡沫钻井工艺技术的应用[J].石油钻采工艺,1998,(6):24-28.
- [5] 陈智新.浅论水泥封孔堵漏在绳索取芯钻探中的应用[J].能源与环境,2009,(4):120-122.