白云鄂博铁矿复杂地层深部钻探技术探讨实践

周月锁,郭聪祥,宿泽江

(内蒙古包钢钢联股份有限公司勘察测绘研究院,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 白云鄂博矿床是一座集铁、铌、稀土等多金属为一体的超大型矿床,近年来进行主东矿深部探矿,最深孔设计达1 700 m,部分地层具有(尤其进出矿部位)破碎、漏失、坍塌、掉块的复杂特性,为避免因钻孔的不稳定等因素而造成卡钻、埋钻或报废钻孔等事故,结合以往复杂地层及深孔钻探经验,采取了LBM低(无)固相泥浆及防斜钻头+满眼钻具防斜技术及相关技术措施,确保了钻进的顺利,取得了良好的施工质量和效率,为以后主矿施工提供了技术保证措施和经验。

关键词: 复杂地层; 深孔岩心钻探; 低固相泥浆

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)05-0010-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.05.003

Discussions and Practices on Deep Drilling Technique for Complicated Formation of Bayan Obo Iron Mine

Zhou Yue-suo, Guo Cong-xiang, Su Ze-jiang

(*Surveying and Mapping Research Institute of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: Bayan Obo ore deposit is an ultra large multi-metal ore deposit with such as Fe, rare earth and Nb. In recent years, the deep prospection has been carried out in the main east mine and the deepest drill hole designed is up to 1 700 m. Part of stratum(especially the part of ore reception and removal) is with such complicated features as fragmentation, leakage, collapse and chip off-falling. In order to avoid such accidents as sticking of tool, tools truck or obsolescence of drill hole caused by instability of drill hole, the low(no) solid drilling mud, anti-deflection drill + anti-deflection technology with packed hole assembly and the relative technical measures are applied so that the drilling is smooth, the construction quality and efficiency are good, which could provide the technical assurance measures and experiences for the construction of main mine in future.

Key words: complicated formation; deep hole core drilling; low solid drilling mud

白云鄂博矿床是一座集铁、铌、稀土等多金属为一体的超大型矿床,2005年包钢(集团)公司自行投资,对东矿深部进行资源潜力挖掘的探矿工程。2013年中国地质调查局地质调查项目对主东矿深孔找矿进行资助,项目编号为12120114084801号,包钢配合国家资助基金,积级在东矿进行深部详查工作。东矿深部探矿工程施工证明了矿体从采矿1 230 m标高以下一直延深近1 000多米,具有很好的找矿远景。该项目设计工作量4万多米,该工区先后投入钻探设备10多余台,历时五年多,采取了

收稿日期: 2018-04-20

作者简介: 周月锁(1970-),男,内蒙古乌兰察布市凉城县人,硕士,高级工程师,现从事地质工程管理工作。

有效的钻探施工措施，积累了丰富的钻探经验，圆满完成了深部找矿任务。

1　地层简述

白云鄂博矿床位于内蒙古地轴的北部边缘，处于华北大陆板块北缘与蒙古板块的连接处。矿区内出露的最老地层为古元古界宝音图岩群，由变质砂岩、绿色片岩、黑云母片岩、混合岩等组成 。中新元古界白云鄂博群不整合其上，主要由石英岩、暗色板岩及白云岩等组成，分为 6 个岩组，20 个岩段。矿区内只出露下部的 4 个岩组，总厚 3 000 余米。白云鄂博铁、铌、稀土矿主要赋存在 H8 白云岩与 H9 板岩的过渡带中。根据铁的边界品位圈定出主矿、东矿等铁矿体群，分布于都拉哈拉与阿布达之间，东西长 16 km、南北宽约 3 km，矿体产状与围岩基本一致。

铁矿层赋存于板岩与白云岩接触部位，板岩因其片理构造结构松散、裂隙发育、破碎严重、硬度 5～6级、部分板岩含硅高，硬度较高为 7～8 级。白云岩致密坚硬、节理裂隙不发育，可钻性强。岩矿层软硬程度极不均匀，矿区内破碎带较多、倾角陡，断层破碎带延续较深。破碎带以高岭土化，绿泥石化板岩为主；钻进岩层为板岩、白云岩交替出现，板岩破碎带易产生破碎、坍塌、掉块现象，有的以高岭土，绿泥石化为主的破碎带内经常发生钻孔缩径现象。

2　钻孔设计及地质技术要求

根据地表出露矿体走向及倾向，本矿区设计孔深主要为 800～1 700 m 范围内的中深孔，设计为直孔，顶角为 0°，执行标准和地质技术要求如下：

（1）执行《铁锰铬矿地质勘查规范》（DZ/T0200—2002）和《岩心钻探规程》标准地质技术要求[1]。

（2）全孔取心，岩心采取率≥90%，近矿层及矿心采取率≥95%。

（3）钻孔为直孔，终孔直径 75 mm，提下钻时必须进行水文观测，孔斜不大于 2°/100 m，同时校正孔深，并在进出矿层部位校正孔深。

（4）钻进至设计孔深时验收，满足地质要求时方可终孔，最后按要求进行封孔，提交原始班报表。

3　施工中存在的主要问题

（1）地层岩性软硬不均，有的地层松散，进、出矿层部位漏失、易坍塌，部分孔段岩心采取率较低；

（2）钻进时岩粉较多、不易排出，经常发生憋泵现象；

（3）板岩层有的地方破碎且掉块严重，经常堵塞岩心管，局部钻进 10 cm 就发生岩心堵管现象，需要经常提取岩心，严重影响钻进效率；

（4）钻进严重破碎地层时，孔内局部存在“大肚子”现象，易发生钻杆折断事故，且不易处理。

（5）深孔钻探钻孔弯曲、跑偏现象严重、有的钻孔事故严重、事故处理难度大，施工时间长。

4　钻探设备及器具的选择

4.1　钻探设备选择

钻机选用钻进能力强、钻孔深度大的 XY－6B 型（适合 1 000～2 000 m 孔深），以利于深孔钻进，提高效率。钻塔选用 Gxl8 型四角直塔、高度为 17 m，便于深孔施工。

水泵选用 BW250 型泥浆泵，该泵泵量可调范围大，抽吸大浓度泥浆能力强，在泥浆性能频繁变化时，也能满足要求。易损件更换容易，便于维修保养[2]。

4.2　钻探器具的选择

依据终孔口径 Φ75 mm 地质技术的要求，选用 JS75 绳索取心钻具，为减小冲洗液上返压力，选用钻头外径为 77 mm 的加大钻头，尽量增大钻孔环状间隙，以利于孔底岩屑（粉）排出。

5　钻孔结构

由于该矿区地表裸露为板岩并且要求全孔取心，根据现场实际情况及地层结构特点，选择了 Φ110 mm 硬质合金钻头开孔，下入 Φ108 mm 孔口管；然后换用 Φ91 mm 硬质合金或金刚石钻头钻至较完整岩石，下 Φ89 mm 套管，为确保岩心采取率，在采用 Φ91 mm 硬质合金钻进时，采用双动双管钻具；最后换 JS75 绳索取心钻具钻进至终孔。

6　钻孔施工情况

6.1　钻探生产时间简析

该钻孔 2015 年 4 月 26 日开钻—2015 年 8 月 25 日结束，历时 4 个月。从 2015 年 4 月 26 日—2015 年 7 月 3 日（含下 Φ108 mm 套管至 13.2 m，下 Φ89 mm 套管，用 Φ75 mm 钻头钻进 669.8 m）；7 月 3 日至 27 日处理孔内事故（实为钻孔坍塌，处理孔

内断钻杆事故) 若扣除孔内事故时间,该钻孔实际施工时间3个月,最终终孔孔深1 179.40 m。

6.2 钻探施工技术措施

6.2.1 开孔泥浆钻进

根据该孔地理位置及地表裸露岩石情况推断,地表开孔即为岩层,但该表层极为破碎,为采矿时回填的岩石层,故开孔选用泥浆钻进护壁,取心采用单管干钻法,钻至较完整的基岩内2.9 m后,再下入Φ108 mm孔口套管,然后换用无固相聚丙烯酰胺冲洗液进行Φ91 mm钻进,待钻进至13.2 m左右,岩石完整后,下入Φ89 mm技术套管进行正常钻进。

6.2.2 JS75绳索取心钻进技术措施

6.2.2.1 完整地层施工技术措施

下完Φ89 mm技术套管后,换用JS75绳索取心钻探工艺钻进,由于孔深530 m以内岩层主要为板岩层,且颗粒细腻、研磨性较强、岩石较完整,孔壁基本稳定。因此,钻进过程中采用常规金刚石钻进方法,采用清水+水解聚丙烯酰胺+切削膏的无固相泥浆,既可减小回转钻进阻力,有效地提高钻进效率,又能基本保证钻孔孔底干净(无沉渣和岩粉)。

6.2.2.2 复杂地层施工技术处理措施

(1) 技术措施的确定。当钻进孔深至529.8 m左右时,遇灰绿色粘泥断层破碎带(俗称断层泥)与板岩互层,上部掉块坍塌严重。采取措施为:被迫多次扫孔,扫孔时间多在6 h以上。材料用油田专用材料纤维素,磺化沥青粉,无萤光防塌剂等大量的护井壁材料维持钻进施工。

当钻进至614.80 m时,为板岩与白云岩接触层,地层软硬不均、伴有严重高岭土化、易缩径、遇水极易膨胀、结构也很松散、易坍塌,仅依靠优质膨润土加纯碱($NaCO_3$)和钠羧甲基纤维素(Na-CMC)配制的泥浆钻进难以达到护壁效果[3]。经研究判断是由于板岩破碎所致。经过近8 h的冲孔、扫孔,钻具仍无法下到孔底,并且上返砂量(粗颗粒岩粉)越来越多。根据当时孔底情况推断,决定采取灌注水泥浆护壁的方法进行处理,按0.45的水灰比搅拌水泥浆,水泥浆灌注量控制在封闭孔底向上100 m孔段范围,即:将板岩破碎带与断层泥接触带全部封住并向上延伸10~20 m,经过配比调试,确定好水泥浆灌注量,计算并准备好替水量进行水泥浆灌注施工[4]。

水泥凝固72 h后进行扫孔,发现上部水泥浆未完全凝固,又停待36 h,再进行扫孔,封闭段孔内水泥柱凝固强度依然很低,无法形成柱状。又经过水泥重新封孔,持续处理井内事故近一个月。确定断层内有地下水活动,故水泥泥浆很难凝固,后来决定采用低固相LBM泥浆进行护壁钻进方法进行处理[5]。

结合该钻孔地层极其复杂的实际特点,即板岩层与断层破碎带接触段结构松散,钻进时钻具(钻杆)"甩打"孔壁,破坏了孔壁的相对稳定性,造成孔内粗颗粒岩粉增加,单一采用膨润土加纯碱($NaCO_3$)和钠羧甲基纤维素(Na-CMC)冲洗液钻进护壁方法不能确保孔壁的稳固,不能有效排除孔底岩粉。因此,决定采用LBM泥浆[5],此种泥浆是由三元共聚物LPA和膨润土经化学改造升级而成的高级造浆材料。该泥浆有良好的流变性能,有较低的滤失量和较强的造壁性能及较强的抑制性,以确保孔壁稳定,小口径绳索取心金刚石钻进,有利于提高钻进回转速度从而提高钻进效率。

(2) 钻进参数的选取。钻压80~90 kN之间,给进速度控制在8~10 cm/min,泵量一般在45 L/min左右。

6.3 钻进效果

LBM泥浆具有抑制板岩破碎坍塌掉块等作用,更能有效地携带粗颗粒岩屑。鉴于第一个钻孔施工情况及本地区地层情况,结合该矿区其他钻孔施工经验,以后钻孔施工时,全孔钻进均使用LBM泥浆,为了降低钻进风险,还在钻杆上抹了黄油,使钻进效率大大提高,孔壁无坍塌、无掉块现象发生,极大地降低了施工成本,提高了生产效率。

7 深孔钻探防斜技术

由于白云鄂博地层的复杂性,加上钻孔深度增加,钻孔施工的顶角弯曲程度普遍较大,平均弯曲强度达到6.51°/100 m,易造成钻孔事故,如WK18-03,钻进至700 m时,钻孔倾角为10.1°,钻进至1 250 m时钻孔倾角达23.1°。后采用防斜钻头+满眼钻具防斜技术[5],所采取的措施为:(1) 钻头底唇环槽磨损后及时更换新钻头;(2) 将防斜钻头+满眼钻具组合使用;(3) 严格控制钻压和给进速度。

使用后效果明显,如WK16-04钻进至700 m时,钻孔倾角为4.2°,钻进至1 300 m时钻孔倾角为9°。基本符合规范要求(见表1)。

表 1　采用满眼钻具技术施工强造斜地层深孔顶角弯曲强度表

孔号	终孔孔深/m	顶角/(°)		对应孔段长/m	弯曲强度/[(°)·100 m^{-1}]	备注
		1 100/m	最终			
WK18 - 03	1 254.44	8.1	48.0	670	5.54	未采用
WK16 - 04	1 467.00	7.5	9.0	970	1.00	采用
WK20 - 02	1 775.40	5.1	8.3	900	1.18	采用

8　结束语

LBM 低(无)固相泥浆及防斜钻头 + 满眼钻具防斜技术配合使用,对钻进白云鄂博地层(高岭土化)较合适,有利于抑制断层泥缩径、膨胀。此种冲洗液现场配制比较方便。LBM 泥浆护壁是白云复杂地层深孔钻进以及类似地层的有效技术措施。

参　考　文　献

[1] DI/T0200—2002 铁锰铬矿地质勘查规范[S].

[2] 郑思光,赵志杰,左新明. 查干德尔斯钼矿复杂地层钻探技术探讨与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(5):31 - 33.

[3] 孙丙伦,陈师逊,陶士先. 复杂地层深孔钻探泥浆护壁技术探讨和实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5):13 - 16.

[4] 高德利. 复杂地质条件下深井超深井钻井技术[M]. 北京:石油工业出版社,2004.

[5] 孙丙伦,孙友宏,张敏. 深部找矿钻探技术与实践[M]. 北京:地质出版社,2013.

(上接第 9 页)

及韧性差,应根据其产状和稳定性分析,采取切实可行措施,减少工程施工对其的二次破坏;如大理岩层厚度较大且结构较为完整则不建议采用锚杆等工程措施,如大理岩层厚度满足锚杆、锚索等加固工程施工条件时,应进行科学的力学分析与实验,尽可能锚固到板岩层稳固部位。

(2)采场生产要求:优化开采顺序和施工方式,采用逐孔微差爆破,增大孔间起爆间隔时间,减少单孔装药量,减少过量的超深或采用孔底间隔爆破,减小爆区总装药量,严格执行清渣爆破,小孔径、少排数、高质量的靠界预裂爆破,延迟最终边坡的形成时间等措施减少爆破震动等外部因素对边坡的破坏。

(3)对反倾斜边坡进行受力分析,按分析结果确定扩帮阶段的布置及留设平台宽度,并对平台进行喷浆封闭,粘固裂隙及减少外部因素形成新的破坏作用;确保边坡的长期稳定。

(4)边坡顶部伞岩采用碎石机、人工处理,重点处理上部浮渣。

(5)滑塌后处理方案:滑体西侧做临时斜坡路,采用液压挖掘机将塌落虚渣甩至下部平台,清理至硬岩,将裸露岩体喷浆护坡,减少因岩石风化、水力浸蚀、爆破震动破坏等造成的二次破坏;最后,采用挖机装车方式将下部平台岩渣运排,必要时根据边坡设计规范进行边坡扩帮。

4　结论

(1)通过变形监测和现场调查,及时分析和掌握 1 626 m 南 D 区 4# 不稳定体的变形移动规律,初步判定出滑落时间及塌落范围,采取有效措施,保证了主采场生产采剥的正常进行。

(2)为滑坡处理和加固等设计施工方案提供了可靠的基础性资料。

(3)科学的滑坡监控可为边坡治理提供扎实的基础性资料,有利于提高治理工程方案决策的科学性和有效性;在边坡工作中应强化实施;以提高白云铁矿的边坡管理质量与水平。

参　考　文　献

[1] 苗胜军. 深凹露天矿 GPS - RTK 边坡变形监测[J]. 北京科技大学学报,2006,28(6):515 - 517.

[2] 姜晨光. GPS - RTK 技术监测露天矿边坡的研究与实践[J]. 现代测绘,2003,26(4):22 - 23.