

李三台子 2 522 m 深孔钻进技术

姜德民,李 铎

(辽宁省冶金地质勘查局四〇二队,辽宁 鞍山 114000)

摘要: 文章介绍了李三台子 ZK2 深孔(2 522.09 m)钻探施工所取得的经验,包括超长套管的下入、冲洗液的配制、事故预防与事故处理等,对深孔和超深孔钻探施工具有借鉴意义。

关键词: 李三台子;深孔;钻探技术;辽宁省

中图分类号: P634.5 **文献标识码:** A

0 引言

钻探是地质矿产勘查的主要手段之一,能直接深入地下取样观察,直观准确地取得一定地点的地质矿产信息。上世纪 80 年代,我国岩心钻探的深度大都在 600 m 以内,而从本世纪开始,越来越多的钻探深度达到 700~1 500 m,甚至达到 2 000 m 以上。近几年,新疆、贵州、甘肃、河南、安徽等地的煤田地地质钻探深度均超过 1 000 m,湖南、两广等地的金属危机矿山深部勘查也相继超过 1 000 m。随着固体矿产地下深部资源找矿潜力的不断发现,对深部钻探工作的需求将日渐增大。

我国钻探工作者已开始对固体矿产的深部岩心钻探工作给予更多的关注,进行了前期的实践探索,并在钻探设备、钻头钻杆、泥浆、护孔、钻进规程、钻孔方案设计、孔斜控制以及孔内事故处理等多方面取得了一定的技术进展。本文仅就辽宁鞍山李三台子 2 522 m 深孔钻进技术方面的情况与同行作交流,以期能够对相似的深部岩心钻探工作有所启示。

钻机的提升、扭矩和泥浆泵的额定压力急剧增大。

(2)钻杆承受力问题。钻杆承受更大的扭矩和轴向力,对钻杆材料的要求更高。

(3)钻孔弯曲与测量问题。钻孔越深,其孔斜造成的偏靶距离就越大。俗语称:浅部“差之毫厘”,深部“谬以千里”。同时,对测井仪器的抗温、抗压、密封提出更高的要求。

(4)钻孔护壁问题。钻孔越深,所遇的复杂地层越多,冲洗润滑与护壁堵漏的难度明显加大,判断、处理井内事故的难度增大,处理时间延长。

(5)钻头及钻进参数问题。地层岩石的硬度总趋势变硬,钻头的磨损增大,软硬互层的频率更大,使钻头和钻进规程参数的选择更加复杂。

(6)钻井液选择问题。孔底压力增大,孔底温度增高,对钻井液的密度控制和耐温性要求加大。

(7)操作技巧问题。钻探操作者的技术难度增大,精力更加高度集中,一个小小的疏漏,往往会引起重大的井内事故。

(8)成本问题。随着孔深的增加,实钻率下降,辅助率提高,台月实进尺明显下降,钻探成本逐渐增大。

1 深孔钻探难点问题^[1]

(1)设备问题。深孔对钻探设备的能力要求大,

2 李三台子 ZK2 钻孔施工技术

李三台子位于鞍山市西郊,是鞍山地区的四大

收稿日期: 2013-07-25; 改回日期: 2014-02-21; 责任编辑: 王传泰

基金项目: 2009 年度辽宁省地质普查项目资助。

作者简介: 姜德民(1960-),男,工程师,1982 年毕业于长春冶金地质学校钻探专业,主要从事地质矿产钻探工程工作。通信地址:辽宁省鞍山市铁东区五一路 60 号,辽宁省冶金地质勘查局四〇二队;邮政编码:114000。

表 1 ZK2 钻孔的实际地层情况
Table 1 Columnar of drill hole ZK2

序号	孔段/m	层厚/m	地层岩性
1	0.00~135.7	135.7	第四系
2	135.7~1043.1	907.4	奥陶系 灰岩、竹叶状灰岩
3	1043.1~1391.69	348.59	寒武系 灰岩夹叶岩
4	1391.69~1528.25	136.56	桥头组 石英岩
5	1528.25~1677.1	148.85	南芬组 紫色页岩夹泥灰岩
6	1677.1~1721.3	44.2	钓鱼台组 灰白色石英砂岩
7	1721.3~2345.9	624.6	辽河群 含碳质绢云千枚岩,底部为 0.5 m 的角砾状底砾岩,角砾为条带状磁铁石英岩
8	2345.9~2522.09	176.19	鞍山群 绿泥石英片岩、角闪片岩、千枚岩,其中夹 0.2~1.5 m 厚角砾状的磁铁石英岩

表 2 ZK2 钻孔选用设备情况一览表
Table 2 Schedule of equipments used in operation of drill hole ZK2

序号	设备名称	型号	性能	生产厂家
1	钻机	HXY-6B	2400m 50kW (2000m 75kW)	黄海机械厂
2	钻塔	HCH23	直斜塔,最大负荷 23 t	黄海机械厂
3	水泵	BW320		山东中探机械厂
4	钻杆	S95A(Φ89)	最大钻进深度 1300 m	无锡钻探工具厂
5	钻杆	CNH(Φ71)	最大钻进深度 2300 m	无锡钻探工具厂
6	钻杆	CNH(T)(Φ71)	最大钻进深度 3000 m	无锡钻探工具厂
7	测斜仪	JTC-1 陀螺仪	最大测量深度 2000 m	重庆地质仪器厂

磁异常区之一。本次所承担的是 2009 年度辽宁省地质普查项目,根据地面物探磁法工作采集的数据进行计算分析,推测矿体的埋深在 1 600~2 000 m 之间,共设计 2 个钻孔,深度均为 1 800 m。由于超过 1 800 m 的钻孔以前没有施工过,针对这个超深孔进行了技术攻关。

2.1 地层岩性

本区出露地层比较稳定(表 1),频繁互层的情况较少,全钻孔基本不漏失或轻微漏失。

2.2 设备选择

本次深孔钻探所使用的设备,如表 2 所述。

2.3 主要技术参数

2.3.1 钻孔冲洗润滑液配方

在钻探施工过程中,配制冲洗液是一项十分重要的工作。冲洗液具有清洗孔底,携带和悬浮钻屑,冷却钻头,保护孔壁,润滑钻具等功能;对不同地层、不同钻进方法,要采用不同的冲洗液。

本次工作在室内共做了 8 个配方,从中优选出供孔深小于 1 000 m 的和孔深大于 1 000 m 的 2 个不同钻深范围使用(表 3,表 4)。

配方(1)的黏度大,密度大,失水量小,携带岩粉能力强,但润滑性不如配方(2)。配方(2)的密度小,泥皮薄,润滑性好;主要是提高深孔冲洗液的润滑性和降低冲洗液的密度,以便提高冲洗的润滑性,减轻

孔内阻力,提高机械转速,以及减轻孔内液柱对地层的压力,防止压裂地层,造成孔内漏失。

第四系主要由黏性土、砂、卵石组成,采用高黏度泥浆,其配方:1 m³ 加入黑山优质白泥粉 150 kg,氢氧化钠 2.5 kg,搅拌时间 20 min,达到密度 1.08, pH 值 9~11。

表 3 孔深小于 1 000 m 的冲洗液配方
Table 3 Ingredient of flush fluid for drilling
Operation above 1000m underground

配方		性能	
材料名称	用量/kg	项目	指标
水	1 000	黏度	14/300r;25/600r
水解聚丙烯酰胺	1	失水量	11.5 ml/30 min
植物胶	40	泥饼厚度	0.5 mm
低荧光降失水剂	40	pH 值	8.5
高效润滑剂	50	比重	1.05

表 4 孔深大于 1 000 m 的冲洗液配方
Table 4 Ingredient of flush fluid for drilling
operation bellow 1000m underground

配方		性能	
材料名称	用量/kg	项目	指标
水	1 000	黏度	13/300 r;20/600 r
水解聚丙烯酰胺	0.5	失水量	15.5 ml/30 min
低荧光降失水剂	20	泥饼厚度	0.3mm
植物胶	15	pH 值	10
切削油	7.5	比重	1.02

表 5 ZK2 钻孔设计和实际施工情况一览表

Table 5 Schedule of design and the factual operation details of drill hole ZK2

钻进口径/mm	设计位置/m	实际位置/m	设计钻进/m	实际钻进/m	套管直径/mm	套管长/m
150	0~110	0~140	110	140	146	140.2
130	110~200	140~198.5	90	58.5	127	198.5
110	200~350	198.5~308	150	109.5	108	308
95	350~1000	308~998	650	690	89	980
76	1000~1800	998~2522.09	800	1524.09		

要在现场配备计量器具,保证各种材料的加量,从而保证冲洗液的性能,并定期对现场的冲洗液进行测试,对含砂量超过 4% 的冲洗液进行处理或更换。

2.3.2 套管

套管是一种非常理想的护壁材料,如果起拔不理想,将造成很大的浪费,因此在下入每一级套管之前,均向井内投入白泥球,高度 3~5 m,并且全孔注满高黏度泥浆,目的是防止钻屑和碎块等充填到套管和井壁之间,为终孔起拔套管创造有利条件。套管用丝扣连接,并且用点焊的形式做适当加固,该孔共下入四级套管(表 5),累计下入套管长度 1 626.7 m,终孔时全部起出,实践证明此方法可行、有效。

2.3.3 钻进技术参数

ZK2 钻孔设计孔深 1 800 m,方位角 250°,倾角 88°;测量仪器 JTC-1 陀螺仪。

不同孔深的钻探技术参数是不同的,有关数据如表 6 所述。钻孔技术经济指标见表 7。钻孔的部分孔深范围弯曲度测量结果,见表 8 所述。

从表 7 可以看出,2 000 m 以深,小时效率下降、实钻率下降、台月实进尺下降,井内事故率上升、辅助率上升。在孔深 2 000 m 时,正常上下钻一次需 24 h(人工拧管),打捞岩心一次(提内管和投内管)需 4 h。

表 6 ZK2 不同孔深的钻探技术参数

Table 6 Drilling parameters for different depth of drill hole ZK2

孔深/m	0~1000	1000~2000	>2000
压力/kN	15~18	15~12	12~10
转数/(r/min)	225~605	389~605	225~389
泵量/(L/min)	120~95	95~75	95~75
泵压/MPa	1~2.5	2.5~3.5	3.5~4.5
电流/A	50~70	50~70	50~70

3 井内事故的预防处理

3.1 事故预防

钻探是一项具有高风险的施工工程,在钻探过程中避免井内事故几乎是不可能的,整个钻杆柱在一个地层复杂、空间狭长、随时变化的隐蔽环境中,任何一个条件的改变都可能诱发井内事故;如果不及及时发现或处理不当,将导致井内事故进一步恶化,不仅会中断钻探施工、影响进度、增加成本,还可能引发事故的连锁反应而损坏机械设备,甚至造成人身事故。深孔钻探钻孔出现事故,不同于浅孔,上下钻时间长,即使一个小的、简单的事故,也要耗费几个或几十个台时。为了实现超深孔安全钻进,必须实时进行井内事故的预防。

(1)强化机台管理。加强工作人员的责任心,认真执行各项规章制度,严格遵守施工设计和操作规程,杜绝违章作业。经常检查钻具、钻杆、接手,发现坏的磨损严重的立即更换,观察仪表,掌握井内情况,避免打“懒钻”。

(2)冲洗液回灌。每一次提钻必须进行冲洗液回灌。钻杆提出后,钻孔液柱面下降,打破了钻进时的压力平衡,因此必须进行冲洗液回灌(在上钻过程中回灌,而不是上钻结束后回灌),用以平衡孔内压力。 $\Phi 95$ 孔径用 $\Phi 89$ 钻杆钻进,上钻时每提出 100 m 钻杆,孔内液柱下降 18 m,孔内压力减少 0.18 MPa; $\Phi 75$ 孔径用 $\Phi 71$ 钻杆钻进,上钻时每提出 100 m 钻杆,孔内液柱下降 23 m,孔内压力减少 0.23 MPa。由此可以看出,冲洗液回灌对平衡孔内压力是十分重要。(有相当钻孔漏失是人为因素)

(3)打捞岩心。回次终了打捞内管时,提升速度一定要慢,避免产生抽吸作用,形成局部真空,引发漏失或抽塌钻孔井壁。

(4)带内管上下钻。绳索取心钻进必须带内管上下钻,钻杆脱扣或跑钻时,降低钻杆柱下行速度,减轻对钻杆、钻具、钻头的破坏程度。

表 7 ZK2 钻孔的部分技术经济指标

Table 7 Some economic parameters for operation of drill hole ZK2

施工日期	总台时/h	孔深/m	台月实进尺/m	时效/m/h	实钻率/%	辅助率/%	井内事故率/%	其他/%
6.11—7.10	720	470.45	474.45	2.16	30.5	58.2	22.1	5.6
7.11—8.10	744	992.10	521.65	2.28	30.7	53.1	5.7	10.5
8.11—9.10	744	1464.75	472.65	2.35	27.0	55.1	6.8	11.1
9.11—10.10	720	1828.77	364.02	2.09	24.2	60.9	6.1	8.8
10.11—11.10	744	2131.07	302.30	1.86	21.8	63.3	5.1	9.8
11.11—12.10	720	2183.17	52.10	1.80	4.0	22.7	65.1	8.2
3.01—3.31	744	2274.63	91.46	1.71	7.2	61.3	21.4	10.1
4.01—4.30	720	2423.26	148.63	1.65	12.5	66.5	12.5	8.5
5.01—6.10	984	2522.09	98.83	1.57	6.4	61.9	18.3	13.4
合计	6840	2522.09	265.5	2.06	17.90	56.2	16.19	9.71

注:2009 年 12 月 11 日—2010 年 2 月 28 日为冬季停工。

表 8 ZK2 钻孔部分孔深范围弯曲度测量结果

Table 8 Curvature of drill hole ZK2

序号	孔深/m	方位/(°)	顶角/(°)	倾角/(°)	序号	孔深/m	方位/(°)	顶角/(°)	倾角/(°)
1	50	288.8	1.1	88.9	2	100	306.8	0.6	89.4
3	150	324.4	0.6	89.4	4	200	46.2	0.1	89.9
5	250	48.7	0.6	889.4	6	300	49.2	2.4	87.6
7	350	60.7	2.8	87.2	8	400	57.9	2.9	87.1
9	450	67.2	3.1	86.9	10	500	76.3	3.0	87.0
11	550	78.4	2.9	87.1	12	600	81.4	3.3	86.7
13	650	72.7	3.3	86.7	14	700	81.2	3.3	86.7
15	750	89.0	3.3	86.7	16	800	93.3	3.4	86.6
17	850	93.7	3.8	86.2	18	900	1033	3.5	86.5
19	950	100.3	3.5	86.5	20	1000	103.7	3.9	86.1
21	1050	106.2	4.1	85.9	22	1100	108.8	4.3	85.7
23	1150	107.6	4.5	85.5	24	1200	109.2	4.5	85.5
25	1250	116.3	4.7	85.3	26	1300	117.3	4.7	85.3
27	1350	119.0	4.9	85.1	28	1400	122.2	5.0	85.0
29	1450	125.8	5.2	84.8	30	1500	128.8	5.5	84.5
31	1550	131.8	5.6	84.4	32	1600	135.4	5.8	84.2
33	1650	138.8	5.8	84.2	34	1700	139.8	6.0	84.0
35	1750	143.1	5.8	84.2	36	1800	146.0	6.1	83.9
37	1850	149.4	6.4	83.6	38	1900	151.1	6.7	83.3
39	1950	152.5	6.4	83.6	40	2000	154.2	5.7	84.3

注:2 000 m 以下因为仪器所限没有进行测量。

(5)控制上下钻速度。 $\Phi 95\text{mm}$ 和 $\Phi 76\text{mm}$ 金刚石绳索取心钻进上下钻时,提升和下降速度要慢,以避免产生孔内激动压力和对井内产生抽吸作用,造成人为的钻孔漏失和孔壁坍塌。

(6)卡、埋、烧钻事故的预防。在钻进过程中,遇到动力机响声异常、电流表数值升高,钻具回转阻力增大、提钻困难、孔口冲洗液突然中断(孔口不返水)水泵泵压表升高,孔内有异常响声,岩心堵塞等情况,应及时提钻。孔底岩粉高度不得超过 0.3 m,冲洗液的含砂量不得超过 4%,超过时要及时调整或换浆。出现机械故障、停电、停工待料时,应采取措

施将钻具提升到安全孔段。钻具在提钻中途遇阻时,应撬动钻具或设法转动钻具,不许猛拉硬提。发现烧钻征兆时,应迅速将钻具提离孔底,不许停车、停泵。

(7)钻具折断、脱落和跑钻事故的预防。认真检查钻具、钻杆、接手的变形、磨损程度和丝扣,不合格要及时更换。钻进过程中,出现泵压表、孔底压力指示表、电流表数值突然变化及钻具重量减轻、动力机运转轻快、进尺骤慢、提动钻具有异常响声、钻具突然坠落、下钻到底时机上残尺与计算不符等情况,应立即停钻检查。上下钻每个立根快到孔口时不准紧

急压制动把(不准急刹车)应提前放缓升降速度。采用拉、串、顶等方法处理事故时,钻杆等螺纹易松脱,要经常用人工重新拧紧。

本次工作中采取了上述孔内事故的预防措施,共施工 9 个月,钻进 2 522.09 m,只发生了一次井内事故,这样的成绩超出了预期,实现了预防为主、治理为辅的目标。

3.2 事故的处理

事故处理的基本原则。一旦发生井内事故,处理时应遵循先简易、后复杂的步骤进行,依次为:

第一步从提、震、捞、冲、吸、粘、顶等比较简单易行的方法中选取;第二步用反、套、切、钩等方法;第三步用剥、穿、扫、泡等方法;第四步用绕、炸等方法。

遵循上述的基本原则,还必须正确分析判断事故情况,不得隐瞒事故的真相,并详细记录事故发生时的孔深、事故点的位置,机上残尺和一些异常现象。避免处理事故走弯路。

跑钻事故的处理。ZK2 钻孔于 2009 年 11 月 15 日,在孔深 2 183.17 m 处发生了跑钻事故,事故处理耗时 20 天。事故经过:钻头进尺缓慢,怀疑钻头磨损严重,上钻换钻头下钻,当下到剩 4 个立根时(一个立根 18.5 m),没有认真检查,其中有一个接手磨损严重,致使丝扣脱落发生跑钻。事故处理经过:事故发生后,由班长、机长、分队长、工程技术人员、生产副队长、大队长共同参加,经仔细分析,一致认为,钻具总重量 18 t,减去浮力 2 t 多,钻具带内

管、钻头距离孔底不足 80 m,钻具跑钻下行时会遇很大阻力(井内不漏水)不是自由落体状态,下行速度不会太快,对上部钻杆不会造成很大的破坏,受力最大和最薄弱的应该是钻头和扩孔器的连接处,分析讨论取得共识,采取“反”的处理方案,并对事故处理过程中可能引发的连锁事故进行了评估。反管最多一次上来 19 个立根,最少一次上来 2 个但长度短了 6.2 m,经过 20 天处理,岩心管、钻杆全部处理上来,井内只剩下一个钻头和一个扩孔器。再用平推钻头消灭残留在井底的钻头和扩孔器,恢复正常钻进。从事故钻杆看,800 m 以上的钻杆肉眼观察没有发生变形,800 m 以下的钻杆和接手丝扣部分都有不同程度的破损和变形,愈是下部愈重,最底下的钻杆和接手有“凸包”现象。

综上所述,由于本次工作中采取了冲洗液回灌和带内管上下钻的预防措施,降低了跑钻时钻杆的下行速度,在 2 183.17 m 孔深处发生跑钻事故,20 天就处理完毕,没有报废钻探工作量,没有引发事故的连锁反应,没有报废钻杆。说明事故预防措施是可行的、有效的,同时也说明了深孔发生孔内事故的严重性(一个跑钻事故处理就耗费了 20 天时间)。

参考文献:

- [1] 乌效鸣. 深部钻探钻井液技术及相关标准与应用案例(全国岩芯钻探关键技术实践应用高级培训班)[C]//中国有色金属学会, 2012.

Technologies applied to drill hole ZK2 operated at Lisantaizi village

JIANG Demin, LI Duo

(Geological team 402, Liaoning Metallurgical geology Bureau, Anshan 114000, Liaoning, China)

Abstract: The paper introduces experiences obtained from operation of a very deep drill hole ZK2 (drilling length = 2 522.09 m) at Lisantaizi village, Liaoning province, such as how to put in super-long case tube, how to prepare flush fluid and how to prevent and deal with accident. It is significant to guide operation of super-deep drill hole and worthy of popularization.

Key Words: Lisantaizi village; deep drill hole; drilling technology; Liaoning province

更正

本刊 2012 年第 27 卷第 4 期(总第 108 期)发表的《柴达木盆地西部油泉子凹地晶间卤水层水文地质及水化学特征》,原稿中第 6 作者的姓名书写有误:

原稿为“孙滨涛”,应改为“孙斌涛”。

应论文第一作者的要求,特此更正。

(本刊编辑部)