

铁矿井下近 300m 深立井反井施工技术研究

程守业

(中国煤炭科工集团建井研究院, 北京 100013)

摘要: 黑龙江铁矿井下设计施工 3 条近 300m 深立井井筒, 为实现施工的安全高效, 采用反井施工技术。铁矿井下施工 100m 以内浅立井反井施工技术已较为成熟, 但施工近 300m 深立井在国内尚属首次。通过岩石柱状图分析岩石条件, 获取岩石抗压强度、松散系数等数据, 计算钻机导孔推力、导孔扭矩、扩孔拉力、扩孔扭矩, 结合参数决定采用 BMC300 型反井钻机。施工中严格执行设计施工参数, 合理控制转速保证导孔偏斜率, 在合理位置布置三合金翅稳定钻杆, 在缺少相关施工经验以及岩层裂隙发育等条件下顺利的完成了施工任务, 井筒偏斜率均控制在 0.5% 左右。实践表明, 采用反井施工技术施工井下深立井的成功经验值得推广和借鉴。

关键词: 反井施工技术; 反井钻机; 铁矿; 井下深立井

中图分类号: TD262 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4051(2014)07-0096-04

Research of raise boring technology on constructing nearly 300m deep shaft underground in iron mine

CHENG Shou-ye

(Institute of Mine Construction, China Coal Technology and Engineering Group, Beijing 100013, China)

Abstract: Heilongshan Iron Mine designed to constructed 3 nearly 300m deep shafts, the raise boring method was used for safe and efficient construction. It's the first time that raise boring machine constructs nearly 300m deep shaft underground in China, although it has been mature in constructing within 100m shallow shaft. The use of the BMC300 raise boring machine is based on the analysis of rock compressive strength and loose coefficient, base on the pilot thrus, reaming thrust, pilot torque and reaming torque. The successful completion of this construction is depedent on the optimization of the construction program and the strict control of the parameters, the key techniques such as reasonable arrangement of stabilizers and control of deflection has also been carefully studied, the deflection rate is about 0.5%. The practice shows that the use of raise boring method in deep shaft underground is worth learning from and promoting.

Key words: raise boring technology; raise boring machine; iron mine; deep shaft underground

在我国, 采用反井法及反井钻机(也称天井钻机)在铁矿井下施工立井工程已有近 40 年的历史, 但多以 100m 以内的浅立井为主^[1-4]。近年来, 随着一些大型露天矿陆续转入地下开采以及原有地下开采矿井逐步进入深部开采, 井下立井设计深度不断增长, 深立井施工无论在质量控制还是安全保障方

面都对业主、设计及施工单位提出了更高的要求^[5]。由于具备全机械化作业、安全系数高、井壁质量好等特点, 使得反井法较普通人工钻爆法等其他工艺在井下深立井施工中的优势比在浅井中更加明显^[6]。

迁安黑龙江铁矿采用国内自主研发生产的 BMC300 型反井钻机在井下施工 3 条近 300m 深立井, 其中最深井达到 297m, 为目前国内铁矿井下采用反井法完成最深立井, 井筒施工安全高效, 钻进精度控制良好, 实现了反井法施工技术的突破, 为我国今后铁矿井下深立井反井施工提供了宝贵的经验。

1 工程概况

黑龙江铁矿地处河北省迁安市蔡园镇, 位于华北地台北缘燕山沉降带中段, 马兰峪-山海关复背斜

收稿日期: 2013-10-09

基金项目: 国家 863 计划课题“矿山竖井掘进机研制”资助(编号: 2012AA06A403)

作者简介: 程守业(1981-), 男, 山东济南人, 工程师, 中国煤炭科工集团建井研究院钻井所副所长, 主要从事反井法施工技术的研究及管理工作。

的中部，迁安隆起的西部边缘褶皱带中，矿床赋存于太古代迁西群三屯营组黑云变粒岩及紫苏黑云变粒岩中，属于“鞍山式”沉积变质铁矿床。原为完全露天开采矿井，主要开采 I 号矿体和 III 号矿体，目前在继续露天开采的基础上，转入地下开采，一期设计范围为 1500~2000 勘探线之间—400m 以上的矿体，开采地质储量为 3979.33 万 t，依据开采范围内地质储量、矿体形态，地下开采建设规模为年产铁矿石 100 万 t，产品为单一贫磁铁矿。

矿井设计井下施工立井 3 条，井筒具体规格见表 1。

表 1 黑龙江铁矿井下深立井井筒规格表

立井名称	井口标高/m	井底标高/m	设计深度/m	设计直径/m	刷大直径/m
回风井	-25	-322	297	1.4	不刷大
主溜井	-50	-328	278	1.4	4.5
泄水井	-85	-322	237	1.4	不刷大

2 反井钻机的选型

反井法施工主要分为导孔钻进和扩孔钻机两个阶段，施工前需要对井筒岩石柱状图进行分析，获取岩石力学数据，计算出反井钻机施工所需导孔推力、导孔扭矩、扩孔拉力以及扩孔扭矩的最大值，通过这些数据选取适合的反井设备。下面以最深井 297m 井筒进行计算选型。

2.1 井筒岩石情况分析

黑龙江铁矿矿床地质构造复杂，褶皱构造以紧密倒转为特点，断裂构造以韧性断层呈带状展布为特征。

依据 ZK1 钻孔柱状图可知，反井施工范围内主要地层由上到下依次为：花岗质混合岩、混合片麻岩、黑云混合片麻岩。

花岗质混合岩：肉红色、花岗中粗粒变晶结构，块状构造。主要矿物钾长石、石英、少量斜长石、角闪石。岩芯呈短柱状，局部为长柱状，岩芯最长 0.4m，采取率 87.6%。

混合片麻岩：浅肉红色-灰绿色，细粒变晶结构，似片麻状构造。主要矿物为角闪石、斜长石。岩芯以短柱状为主，局部地段少量呈碎块状。岩芯采取率 73.0%。

黑云混合片麻岩：浅灰色、中粒变晶结构，片麻状构造。主要矿物成分斜长石、角闪石、石英。岩芯呈短柱状，岩芯较完整。岩芯采取率 83.8%。

岩石抗压强度：矿石 $R=120\sim 210\text{MPa}$ ，岩石 $R=80\sim 160\text{MPa}$ ；松散系数：矿石 $K=1.5$ ，岩石 $K=1.5^{[7]}$ 。

2.2 钻进参数计算^[8]

2.2.1 导孔推力 P_1

反井钻机采用牙轮钻头进行导孔钻进，前苏联学者以直径 $\Phi 214\text{mm}$ 钻头为标准进行大量实验后得出导孔推力的计算公式，见式(1)。

$$P_1 = 10fK \frac{D_1}{D_0} \quad (1)$$

式中： f 为固定系数，岩石硬度大于 150 MPa 时取 20； K 为岩石松散系数， $K=1.5$ ； D_1 为导孔直径， $D_1=241\text{mm}$ ； $D_0=214\text{mm}$ ，将以上数值代入式(1)求得导孔推力 $P_1=337.9\text{kN}$ 。

2.2.2 导孔扭矩 M_1

$$M_1 = 936kD_1 \left(\frac{P_1}{10}\right)^{1.5} \quad (2)$$

式中： k 为岩石特性系数， $k=16 \times 10^{-5}$ ； $D_1=241\text{mm}$ ； $P_1=337.9\text{kN}$ ；将以上数值代入式(2)求得导孔扭矩 $M_1=7089\text{N} \cdot \text{m}=7.1\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

2.2.3 扩孔拉力 P_2

扩孔施工时钻机需要克服所有钻具的总重量及岩石作用在滚刀上的垂直载荷，可由式(3)计算

$$P_2 = mg + F \quad (3)$$

式中： m 为所有钻具的总重量，包括 297m 钻杆、扩孔钻头及钻机动头， $m=68885\text{kg}$ ； F 为岩石作用在滚刀上的总垂直载荷，其可由式(4)计算

$$F = (6.6D_1 + \eta)R \quad (4)$$

式中： $D_1=241\text{mm}$ ； $\eta=2\sim 20$ ，为经验系数，此处取最大值 20； R 为岩石抗压强度，此处取最大值 210MPa，将以上数值代入式(3)求得扩孔拉力 $P_2=1027076\text{N}=1027\text{kN}$ 。

2.2.4 扩孔扭矩 M_2

$$M_2 = 936kD_1 \left(\frac{P_2}{10}\right)^{1.5} \quad (5)$$

式中： $k=16 \times 10^{-5}$ ； $D_1=241\text{mm}$ ； $P_2=1027\text{kN}$ ；将以上数值代入式(5)求得扩孔扭矩 $M_2=37564\text{N} \cdot \text{m}=37.6\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

2.3 钻机选型

结合计算数据以及以往施工经验，决定采用北京中煤矿山工程有限公司 BMC300 型反井钻机进行施工，该型号反井钻机技术参数见表 2。

表 2 BMC300 型反井钻机技术参数表

导孔直径/mm	扩孔直径/mm	导孔推力/kN	导孔扭矩/(kN·m)	扩孔拉力/kN	扩孔扭矩/(kN·m)	转速/(r/min)
241	1400~1520	550	30.5	1570	64	0~40

由表 2 可知,该型号反井钻机技术参数均满足该矿井施工要求,4 项技术指标均大于施工所需最大值且有一定余量可用于应对突发情况^[9]。

3 反井法施工

3.1 施工准备

1)场地。在施工水平巷道内完成一条支洞以满足反井施工,要求洞高不小于 5m,宽度不小于 5m,长度不小于 6m,反井钻机主机以开孔点为中心沿支洞轴线居中布置,布置图见图 1。钻机施工时对地

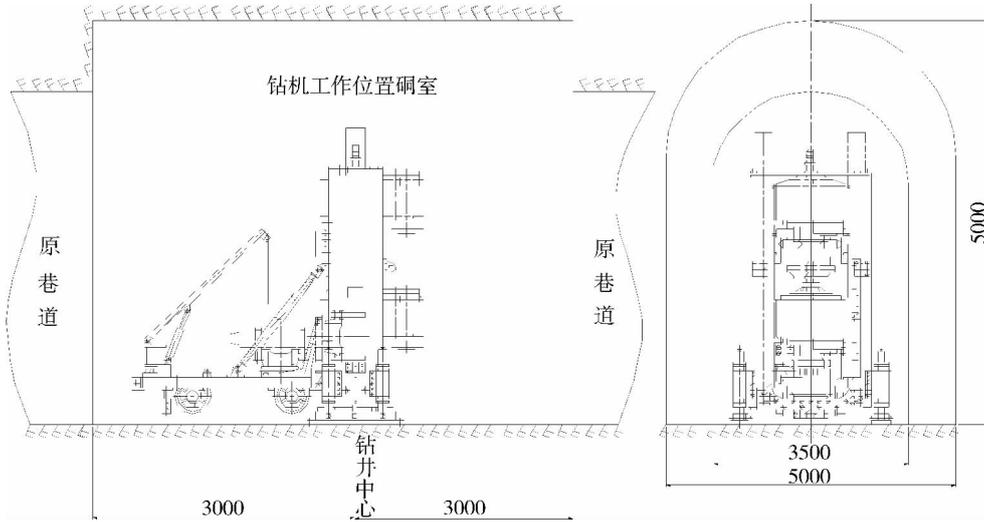


图 1 钻机布置(单位:mm)

3)供水。现场需架设 50mm 供水管路,有专用泵供水。导孔施工时水量不小于 $10\text{m}^3/\text{h}$,用于循环水排渣及冷却钻机系统。扩孔时水量不小于 $5\text{m}^3/\text{h}$,用于冷却钻机系统及扩孔钻头。

4)通信。导孔结束后接扩孔钻头时需要上下水平随时沟通,扩孔过程中下水平安全警戒范围内也需要具备随时向上水平钻机操作人员通报情况,需要在上水平操作台及下水平透孔点附近建立通信系统。

5)照明。反井钻机为连续作业,为保证井下施工,在钻机、开关柜、循环池等位置分别设置不小于 200W 的照明灯,并作防水保护。

3.2 导孔施工及偏斜控制

导孔施工是反井法施工的关键,要求在安全快速施工的同时保证井筒的精度,偏斜率必须控制在 1% 以内,同时需要随时注意返渣岩石性质及数量的变化,以免发生塌孔、埋钻等事故,反井法施工虽然不是取芯钻进,但根据对钻进过程观测以及返出岩屑的分析,可以对地层有初步定性和了解,为 $\Phi 1.4\text{m}$ 扩孔钻进、孔壁支护以及后期刷大提供必要的参考^[10-11]。

层产生较大的作用力,需要在支洞内施工钻机基础,将钻机固定在基础上。

2)供电。反井法施工用电设备主要有反井钻机、泥浆泵、冷却水泵及照明等,现场需要配备满足施工所需的总负荷的供电系统。反井钻机额定功率为 128.5kW,水泵功率为 90kW,其他用电负荷约 10kW,所需供电总负荷不小于 230kW,电压等级为 380V,电源频率为 50Hz。

1)开孔。钻机安装完成后,对钻机进行超平找正,保证开孔垂直度。二次浇注混凝土,井下需要 7 天的养护时间,待混凝土达到强度既可开孔。将 $\Phi 241\text{mm}$ 导孔钻头与开孔扶正器以丝扣连接在一起进行开孔作业,采用低钻压、低扭矩,保证开孔垂直度。

2)导孔推力的控制。导孔推力随岩性及钻进深度的变化而调整,推力过大会导致偏斜率的增大及导孔钻头的损坏,推力过小则会影响钻进效率,所以应采用低于最佳钻进速度的钻压进行施工。

3)转速的控制。转速可以通过实验和计算确定,但大多采用厂家出厂时提供的推荐值,且随着导孔推力的增大,转速应减少,反之,导孔推力减小时,转速应增加。本项目转速基本控制在 $10\sim 15\text{r}/\text{min}$ 之间。

4)稳定钻杆的合理选择及布置。稳定钻杆是保证导孔偏斜率最有效的工具,稳定钻杆的合理选择主要是对其直径的选择,直径与导孔钻头相比过小容易使钻杆在钻孔内产生晃动从而失去作用,过大则会增大钻进摩擦阻力降低钻进效率。稳定钻杆的合理布置也很关键,通常将两个或更多的稳定钻杆

连在一起，形成一段刚性的钻具组保证钻进垂直度，还要考虑全部钻具的重力分配，在合适的位置布置稳定钻杆。本项目选用直径 $\Phi 241\text{mm}$ 三合金翅稳定钻杆，分别布置在 1、2、3、7、30、80 根的位置上。

5) 导孔偏斜控制情况。导孔完成后经过测量，3 条井筒的偏斜率均控制在 1% 以内，其中 297m 回风井终孔偏斜 1.8m，偏斜率 0.47%。偏斜率见表 3。

表 3 井筒偏斜率统计表

立井名称	井筒深度/m	偏斜长度/m	偏斜率
回风井	297	1.4	0.47%
主溜井	278	1.1	0.40%
泄水井	237	1.3	0.55%

3.3 扩孔施工

导孔钻进与下水平巷道贯通后，在下水安装 $\Phi 1.4\text{m}$ 扩孔钻头，安装时确保上下水平通信通畅，连接时上下呼应。扩孔钻头接好后，慢速上提钻具，直到滚刀开始接触岩石后停止上提，用最低转速 (5~8r/min) 旋转，并慢慢给进保证钻头滚刀不受过大的冲击而破坏，等刀齿把凸出的岩石破碎掉后正常扩孔。在扩孔过程中，岩石硬度较大时可适当增加钻压，反之可以减少钻压。下水平需要及时出渣，防止堵孔。

3.4 完孔及钻机拆除

扩孔钻头扩孔至距基础 2.5m 时，降低钻压慢速钻进，认真观察，如果基础周围出现异常情况要及时采取措施处理，继续缓慢扩孔，直至钻头露出地面。完孔后，将扩孔钻头固定悬挂，将钻架主机及辅助设备拆下，将钻头提出孔外，泵车、油箱等拆装整

理、运输，清理现场，全部钻孔工作结束。

4 结语

采用反井法施工黑龙江铁矿井下 3 条近 300m 深立井工程综合成井速度达到 160m/月，效率远远优于普通人工钻爆法，且安全可靠，偏斜控制率高，井壁光滑，无超挖欠挖，反井法施工技术必将在铁矿井下深立井安全快速施工中发挥巨大的作用。

参考文献

[1] 刘志强. 大直径反井钻机及反井钻进技术[J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(11): 1-3.

[2] 赵景博, 杜飞. AT 天井钻机在三山岛金矿施工中的应用[J]. 中国矿业, 2011, 20(7): 120-121, 125.

[3] 苏晓明, 王万松. 反井技术在罗河铁矿的应用[J]. 中国矿山工程, 2010, 39(2): 11-13, 35.

[4] 吴崇德, 何孝森, 谢金元, 等. 天井钻机的推广和应用[J]. 金属矿山, 1989, (6): 4-10.

[5] 孟桂芳. 国内外露天转地下开采的发展现状[J]. 化工矿物与加工, 2009, 4: 33-34.

[6] 刘志强. 反井钻机技术装备及发展[J]. 煤炭科学技术, 2001, 29(4): 9-12.

[7] 刘晶. 河北省迁安市黑龙江铁矿露天转地下开采岩土工程勘察报告[R]. 石家庄: 河北中核岩土工程有限责任公司, 2008.

[8] 武楠楠, 李自贵, 杨天苗, 等. 天井钻机钻孔和扩孔参数的合理选择[J]. 机械工程与自动化, 2013(1): 104-106.

[9] 李志, 李俊生, 王强. BMC300 型反井钻机的研制及应用[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(9): 97-99.

[10] 孙建荣, 刘志强, 何昊, 等. 反井钻机钻进竖井深孔偏斜控制技术[J]. 煤炭工程, 2008, (9): 92-94.

[11] 徐子平. 反井钻机钻进方向偏斜控制技术研究[J]. 煤炭技术, 2008, 27(6): 8-11.

(上接第 82 页)

[7] 梁万金, 魏文金, 邓野平. 川南煤田古叙矿区含煤地层格架及聚煤作用[J]. 四川地质学报, 2013, 33(9): 287-302.

[8] 马新华, 魏国齐, 钱凯, 等. 我国中西部前陆盆地天然气勘探的几点认识[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 114-117.

[9] 郑荣才, 吴朝容, 叶茂才. 浅谈陆相盆地高分辨率层序地层研究思路[J]. 成都理工学院学报, 2000, 27(3): 241-244.

[10] 郑荣才, 尹世民, 彭军. 基准面旋回结构与叠加样式的沉积动力学分析[J]. 沉积学报, 2000, 18[3]: 369-375.

[11] 徐胜林, 陈洪德, 林良彪, 等. 川东南地区飞仙关组层序岩相古地理特征[J]. 中国地质, 2009, 26(5): 1055-1064.

[12] 李绍虎, 吴冲龙, 王华, 等. 四川须家河组层序地层格架与天然气成藏的关系[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(2): 146-151.

[13] 陈洪德, 覃建雄, 王成善. 中国南方二叠纪层序岩相古地理特征及演化[J]. 沉积学报, 1999, 17(14): 510-520.

[14] 王成善, 陈洪德, 寿建峰, 等. 中国南方二叠纪层序地层划分与对比[J]. 沉积学报, 1999, 17(4): 499-509.

[15] 徐怀大. 陆相层序地层学研究中的某些问题[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 83-89.

[16] 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派—高分辨率层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89-97.

[17] 李祥辉, 王成善, 陈洪德, 等. 中国南方二叠纪层序地层时空格架及充填特征[J]. 沉积学报, 1999, 17(4): 522-528.

[18] 吕大伟, 李增学, 魏久传, 等. 基于不同成煤理论的含煤地层划分[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2010, 34(4): 49-66.