

# 反井钻机在竖井施工中的应用

李恩涛

(北京中煤矿山工程有限公司)

**摘要** 随着盾构等技术的应用,隧道等地下工程的机械化施工水平不断提高,而竖井施工的机械化水平却发展缓慢。全断面反井成井法、多次反井钻机刷大成井法和反井施工与人工刷大综合成井法施工工艺的研发并成功应用,提高了大直径深竖井施工的机械化程度,加快了成井速度。

**关键词** 大直径反井钻机 竖井 反井法 全断面

随着我国基础建设领域投资的不断加大,煤矿、水电、冶金、交通等地下工程越来越多,在这些工程中竖井建设占有很大比重。竖井工程的深度、直径等参数不断增大,施工中遇到的地质条件也越来越复杂,造成近年来安全事故频发,给竖井施工安全管理提出了更高的要求。减少事故发生最有效方法就是实现机械化施工,避免工作人员进入工作面。反井钻机尤其是大直径反井钻机的推广应用,大大提高了竖井机械化施工水平<sup>[1]</sup>。

## 1 竖井不同施工技术对比

常用的竖井施工方法有正井法和反井法。正井法是人工由上向下掘砌成井。反井法主要有木垛法、吊罐法、爬罐法,也有极少部分工程采用深孔爆破法。

这些方法都需要人员进入工作面进行打眼、装药、危石处理、支护等作业,受到有害气体、淋水、落石等伤害,伤亡事故经常发生。反井钻机出现后,施工人员不再进入工作面操作,全机械化作业,彻底改变了反井施工的安全状况,施工效率也大大提高,目前已成为最可靠的反井施工方法,在煤矿基本取代其它反井法。并且随着大直径反井钻机的开发应用,反井钻机法已经开始取代人工正井法,应用于煤矿大直径风井、瓦斯井的施工中。反井钻机法即用反井钻机一次或多次钻成不同直径反井的机械化施工方法。分为一次全断面反井成井法、多次反井钻机刷大成井法和反井施工与人工刷大综合成井法。竖井施工技术见表1。

表1 不同施工方法技术工艺对比

施工方法	反井钻机法	人工正井法	爬罐法	吊罐法	深孔爆破法
施工工序	钻机安装、导孔、扩孔钻进	打眼、装药、放炮、出渣、排水、临时支护	爬罐安装、打眼、放炮、临时支护、轨道安装	钻绳眼、安装绞车、打眼、放炮	钻孔、装药、爆破
主要设备	反井钻机	绞车、水泵	爬罐	钻机、绞车、吊罐	钻机
适用条件	无大地质构造的岩石	岩石	较稳定的岩石,有害气体涌出量少	较稳定的岩石,有害气体涌出量少	稳定岩石
主要优点	不需工人直接在工作面作业,安全、高效	成本低,可用于处理复杂地层	井孔较浅时,施工速度快	施工设备简单	安全
主要缺点	需要技术水平高的施工人员,设备投入大	安全条件差,工效低	安全条件差	安全条件差	工程质量很难保证
工程质量	机械破岩孔壁光滑,质量好	一般	一般	一般	较差

## 2 反井钻井法现状及大直径反井钻机

目前,国外反井钻机凿井钻孔深度已达1 230 m,直径可达6.5 m,钻孔倾角可从垂直到水平。我国研制反井钻机起步较晚。上世纪70年代后期由长沙矿山研究院、云南锡业集团公司开始研制反井钻机,主要用于金属矿山,钻凿通风孔、提升

井、溜渣孔等。1986年煤炭科学研究总院北京建井研究所(北京中煤矿山工程有限公司前身),完成LM-120型反井钻机,此后又研制成LM-200、LM-90和BMC100、BMC200、BMC300和BMC400型反井钻机,BMC400之前的反井钻机能力限制,大都施工直径2.5 m以内的竖井溜研孔,然后在人工刷大成井,这种反井钻井工艺技术比较成熟,不仅在煤炭系统得到广泛使用,而且在水电、交通等领域也得到采

李恩涛(1979—),男,工程师,100013北京市朝阳区和平里青年沟路5号天地大厦406。

用,取得了十分显著的经济效益和社会效益。LM、BMC系列反井钻机技术参数见表2。

表2 LM、BMC系列反井钻机技术参数

型号	导孔直径/mm	扩孔直径/m	钻孔深度/m	钻杆直径/mm	推力/kN	拉力/kN	扭矩/(kN·m)	主机功率/kW	转速/(r/min)	钻孔倾角/(°)	工作尺寸/mm	运输尺寸/mm	主机重量/kg	驱动方式
LM-90 (ZFY0.9/90)	190	0.9	90	160	200	400	15	52.5	15~20	60~90	2.9×1.2 ×2.8	2.9×1.0 ×1.6	3 200	液压
LM-120 (ZFY1.2/120)	216	1.2	120	176	250	500	35	62.5	20~30	60~90	2.9×1.43 ×3.2	2.9×1.1 ×1.6	4 300	液压
LM-200 (ZFY1.4/200)	216	1.4	200	182	350	850	40	82.5	20~30	60~90	3.4×1.7 ×3.4	3.4×1.4 ×1.7	8 300	液压
BMC100 (ZFY1.0/100)	216	1.0	100	176	200	500	20	62.5	15~20	60~90	2.4×1.27 ×2.92	2.4×1.0 ×1.65	3.5	液压
BMC200 (ZFY1.2/200)	216	1.2	200	182	350	850	35	86	20~30	60~90	2.9×1.4 ×3.25	2.9×1.1 ×1.67	7.9	液压、液控
BMC300 (ZFY1.4/300)	244	1.4	300	203	550	1 250	64	128.5	20~30	60~90	3.53×1.75 ×3.48	3.0×1.4 ×1.7	8.7	液压、液控
BMC400 (ZFY2.0/400)	270	2.0	400	228	1 650	2 450	80	128.5	20~30	60~90	4.85×1.9 ×5.25	3.5×1.4 ×1.75	12.5	电液比例控制

21世纪根据煤炭风井和水电站深井、斜井开发需要,开始研制大直径反井钻机。煤炭科学研究总院建井研究分院完成了国内大型反井钻机ZFY2.0/400(BMC400)型、ZFY1.4/300(BMC300)型反井钻机的研制;2004—2007年3a内完成ZFY5.0/600(BMC600)型大型反井钻机、配套钻具的研制,钻井工艺和地层处理技术的研发<sup>[2]</sup>。该钻机应用最先进的电液自动控制系统,数字化参数系统,事故预防系统,其主要技术参数见表3。

表3 BMC600型反井钻机主要技术参数

导孔直径/mm	扩孔直径/m	钻井深度/m	导孔推力/kN	扩孔拉力/kN	最大扭矩/(kN·m)	钻机功率/kW
350~380	3.5~5.0	600	1 300	6 000	450	284.7

### 3 工程实例

2009年初,BMC600型大直径反井钻机在山西晋煤集团王台铺矿1<sup>#</sup>辅助回风立井进行了工业性试验。之后又陆续应用于长平矿杨家庄风井、赵庄煤业西范风井等多个工程,使用是成功的。

#### 3.1 王台铺煤矿1<sup>#</sup>辅助回风立井工程

(1)1<sup>#</sup>辅助回风立井井筒主要技术特征:深度165.3m,设计净径分别为5.2m(地面表土层段及风化基岩段)、4.7m(基岩段)。表土及风化基岩段采用钢筋混凝土井壁,壁厚为500mm,混凝土强度等级为C30。基岩段井壁采用锚网喷支护方式,壁厚150mm,混凝土强度等级C20。

(2)回风立井工程地质条件较为简单,岩石以砂岩、泥岩、石灰岩为主。风井施工穿过3<sup>#</sup>(6.31m)9<sup>#</sup>(1.46m)煤层。井筒涌水量小于5m<sup>3</sup>。

(3)施工方案。选用BMC600型大直径反井钻

机,配备5.0m扩孔钻头,一次成井。然后再进行井壁支护及井筒内设备设施安装工作。

(4)表土及风化基岩段施工。根据反井施工工艺需要,表土及风化基岩段首先要进行人工开挖,开挖直径6200mm,施工永久钢筋混凝土井壁,壁厚500mm。然后进行C10素混凝土的回填,为下一步进行反井钻机施工做准备。

(5)导孔钻进。导孔钻进的过程也是对地层进一步勘探的过程,同时要满足钻孔精度,避免发生孔内事故。根据工程需要,钻孔偏斜率一般不大于1.0%。

BMC600反井导孔钻机累积进尺165m,导孔钻进工期10d,其中纯钻进时间累积为133.8h,平均钻进速度为1.2m/h。

(6)采用一次性全断面扩孔。扩孔钻进时根据不同岩层、不同深度来调整钻进参数,以取得最佳钻进效率。将要透孔时,通知矿方调整相应的通风设施,保证透孔后,不发生通风系统紊乱。

BMC600反井钻机扩孔钻进累计尺寸165m,纯钻进工期为312h,平均扩孔钻进速度为0.53m/h。

(7)施工效果。BMC600型反井钻机为目前国内直径最大、性能最先进,一次性全断面扩孔,直径达到5m,综合成井速度达到了每月270m,工程质量、施工工期、安全性能、设备自动化、施工人员数量、劳动强度、成井成本等方面都显示出了高效能。

#### 3.2 赵庄煤矿西范回风井反井钻机施工溜研孔快速凿井工艺

##### 3.2.1 主要技术特征

赵庄煤矿西范回风井各项技术参数见表3。

表 3 西范回风井主要参数

井口绝对标高 /m	井筒全深 /m	井筒净径 /m	表土风化基岩段深度 /m	基岩段深度 /m	井筒净断面积 /m <sup>2</sup>	井筒涌水量 /(m <sup>3</sup> /h)	岩石硬度系数	井壁厚度/mm		混凝土强度		井筒掘进断面/m <sup>2</sup>	
								表土段	基岩段	表土段	基岩段	表土段	基岩段
1 040.7	538.97	5.4	17.5	521.97	22.890 6	75~80	4~6	400	400	C35	C50	30.175 4	30.175 4

3.2.2 水文地质条件

西范回风立井工程岩石以砂岩、泥岩为主,风井施工穿过 3<sup>#</sup>(4.54 m)煤层。 $\phi 216$  mm 导孔穿透井筒各地层后,测得涌水量是为 7 m<sup>3</sup>/h。据此推算,井筒全断面揭露后总水量在 75~80 m<sup>3</sup>/h。

3.2.3 施工方案

首先采用地质钻机自上而下施工导孔,导孔直径为 216 mm,然后用 BMC600 型反井钻机自下而上扩孔至  $\phi 1\ 800$  mm,最后自上而下爆破刷大施工至掘进断面,砌壁成井。

(1) 地质钻机勘探及导孔施工。对全井筒进行地质勘探,勘探孔布置在井筒中心,直接用作反井钻机施工的导孔。井筒深度为 538.97 m, BMC600 反井钻机施工要求最小导孔直径为 216 mm,分两级成孔,第一级成孔直径 152 mm,第二级为 216 mm。

(2) 反井钻机施工。根据前期地质钻孔工程

钻探探明井筒所经过的地层十分复杂,围岩自稳能力很差。不适宜采用大直径反井钻机一次成井。根据井筒深度、直径以及后续正向刷大的爆破参数等,最终决定选择 BMC600 型反井钻机施工  $\phi 1.8$  m 的溜矸孔。

(3) 正向刷大施工。利用反井钻机施工的  $\phi 1.8$  m 导井(承担溜矸、排水、通风功能),爆破法刷大至设计断面。施工工艺如下:①采用钻爆法掘进, YT-27 型风钻钻眼爆破;②排矸,人工将矸石导入溜矸井至煤矿井下巷道,通过耙装机和皮带转运,进入矿井排矸系统运出矿井;③提升,配备一套单钩提升系统担负下放材料和人员功能;④砌壁, MJY-5.4/3.6 型整体金属模板砌壁,直径 159 mm 无缝钢管下放混凝土。

施工机械化配套见表 4。

表 4 立井施工机械化配套参数

井筒/m		作业方式	凿岩机	主提升机		提升吊桶	凿井井架	凿井稳车/台	
直径	深度			型号	数量/台			2JZ-40/600A	JZ-40/600A
5.4	538.97	反井法刷大施工	YT-27	JK-2.0	1	采用 2 m <sup>3</sup> 吊桶	Ⅲ型改凿井井架	1	8
砌壁		通信、信号控制台		照明设备		测量	排矸方式		
模板	混凝土	型号	数量/套	型号	数量/套				
MJY-5.4/3.6 型	采用商品混凝土,备用					全站仪、经纬仪、水准仪	人工将矸石导入溜矸井至下水平,通过耙装机和皮带转运,进入矿井排矸系统		
整体液压	JS-500 型搅拌机 1 台,	KJTX-SX-1	1	DGC175/127	2				
金属模板	PLD-800 配料系统 1 套								

3.2.4 施工效果

应用该工法施工,省去了通风、排水、矸石提升等凿井辅助设施,工人的工作条件得到极大改善,劳动强度也大大降低,安全保障性提高,施工速度快,平均月成井 120 m,最高月成井 142 m,建井工期提前 2 个月,提前出煤约 12 万 t,总产值 1.8 亿元,吨煤利润 600 元,新增利润 7 200 万元,新增税收 1 800 万元。在大涌水量的地质条件下受水害的影响小。在揭露煤层时不再有瓦斯突出的威胁。同时在工广面积较小,没有排矸场地的条件下采用该工法,可以减少大量的征地费用和繁琐的审批程序,且有利于环保达标。

4 结 语

无论是反井钻机钻井法一次性全断面施工成井,还是利用反井钻机施工的溜矸孔快速刷大成井,都是立井施工工艺的巨大进步。随着大直径深井反井钻机的开发应用,应当加快研发相配套的立井支护机械设备,实现立井施工的完全机械化施工工艺,从而大大提高立井安全施工水平和成井效率。

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(11): 1-3.  
 [2] 刘志强,王 强. 强力反井钻机的研制及应用[J]. 煤炭科学技术, 2005(4): 50-52.

(收稿日期 2013-04-23)