

反井钻机导扩孔技术 在水电工程中的应用

刘志强 杨春来

(北京中煤矿山工程有限公司 北京 100013)

【内容摘要】本文介绍反井钻机及由此形成的导井法施工水电站竖井斜井工艺,水电系统从采用煤矿系统 LM 系列反井钻机开始取得成功后,又研制 BMC 系列反井钻机,并进行反井钻井工艺研究,在国家重点工程如龙滩、小湾、溪洛渡工程中发挥巨大作用,有广泛的推广应用价值。

【关键词】反井钻机 导井施工 竖井斜井施工

1 前言

1992年北京中煤矿山工程有限公司第一次将 LM-200型反井钻机应用于十三陵抽水蓄能电站出线竖井导井工程以来,反井钻机及反井钻井施工技术在抽水蓄能电站、水电站得到广泛的应用,完成的工程包括高压管道竖井或斜井、出线竖井、调压井、地下厂房通风井、闸门井、吊物井等,钻井深度从 30~300m,钻孔直径 0.9~2.0m,钻孔倾角 45~90°。反井钻机开始在水电系统应用时,采用的是为煤矿系统设计,用于井下软岩工程的 LM 系列反井钻机。考虑水电工程特点,从 2000年开始研制用于水电站坚硬岩石的 BMC 系列反井钻机,并取得非常良好的效果。十几年来反井钻机为电站建设作出了巨大的贡献。

2 反井法施工竖井工艺

反井(也称天井)主要指矿山工程中溜矿、运料、通风、充填、探矿等竖井。也可以指采用由下向上施工这类竖井的凿井方法。这类工程的特点是具有下部隧道(或通道)水电工程竖井斜井同样具有这样特点,因此可以采用反井法施工。

反井法(导井法)施工竖井,是指利用普通反井

法、吊罐法、爬罐法或反井钻机由下向上先施工一个小断面导井,然后,利用导井作为溜渣孔,由上向下采用爆破法扩大到设计断面,扩大过程进行必要的临时支护,再砌筑所要求的混凝土结构。这种方法充分利用反井法速度快和钻眼爆破法破岩效率高特点,实现竖井井筒快速施工。这种方法的特点:

(1)破岩效率高 由于有导井的存在,竖井扩大爆破时,导井作为自由面,避免了爆破掏槽,使爆破效率提高。采用这种施工方法,精心布置炮眼,可将爆破效率提高 5%~10%,并且有利于实现深孔光面爆破。

(2)提高装岩速度 装岩是普通竖井施工方法循环中最繁重的工作,消耗工时多、效率低,通常占整个循环的 50%以上。我国虽然已拥有斗容 0.4m³、0.565m³、0.6m³及 1.0m³多种型号的抓岩机(抓斗),但装岩效率仍很低,直接影响了掘进速度,因此,加快凿井速度的关键在于提高装岩速度。导井存在后,爆破下来的岩石直接落到下水平隧道,用装岩机装入汽车,运输到排渣场。与普通施工法的抓岩机将岩石抓入吊桶提升到地面,经翻渣台、溜渣槽装入汽车的装运方式相比效率提高很多。正是由于利用导井法施工竖井,很好地解决了岩石的装运问题,所以可以提高

收稿日期:2006-12-25

作者简介:刘志强(1962-)男,研究员,首席专家;
杨春来(1945-)男,教授级高级工程师

凿井速度,同时由于吊桶只作人员和材料运输,吊桶容积和绞车的型号都可减小,也省掉了翻渣台和溜渣槽等设施。

(3)井壁质量高 导井为光面爆破创造了良好的条件,减小爆破对围岩的破坏作用;可采用锚喷作临时支护、液压滑模作永久支护,减少井壁接茬,提高井壁质量。

(4)节省通风和排水设备 普通法施工竖井,需安设临时通风设备和提吊系统,而导井法,可以利用井下隧道原有的通风系统,解决开挖过程中的通风问题。同时岩层的涌水可以沿导井流到井下隧道排出,节省临时排水设备,降低成本,提高掘进速度。

3 反井钻机钻井工艺

反井钻机在地下恶劣的环境、复杂的地质条件下钻进地下工程竖井,不但需要有可靠的设备,而且需要适合的钻进工艺,以便在达到一定的质量要求前提下,安全、高效、快速完成施工任务。反井钻机是一种特殊设备,地面驱动部分,一般为电力驱动液压系统,液压系统产生的动力驱动钻杆,钻杆将能量传递给钻头,通过滚刀将岩石破碎下来,形成钻孔(导孔和扩孔)。反井钻机钻井工艺如图1导孔的作用是将钻具下放到下水平,以便连接扩孔钻头。导孔破岩量虽然

只占总破岩量的2%左右或更小,但导孔钻进关系到钻孔的质量,是反井施工的关键。导孔的垂直度决定了钻孔的偏斜率;导孔钻进过程也是对地层探测的过程,可以了解岩石性质、地质构造等,对扩孔钻头破岩刀具选择及工程支护方式选择都有参考价值;还可以通过导孔,对稳定性较差的地层进行预加固处理。扩孔过程是大量破碎岩石的过程,需要根据岩石条件选择破岩滚刀,布置扩孔钻头,制定相应的钻进参数,以达到钻进效率最高。

4 反井钻机及在水电工程应用研究新进展

1992年4月,反井钻机第一次在十三陵抽水蓄能电站应用,取得较好的效果,在成功完成出线竖井导井后,又进行了电力部科研项目,反井钻机钻凿斜井工艺技术研究,由于当时采用的反井钻机是专门为煤矿井下、软岩工程条件设计,对于水电深井、大倾角斜井、坚硬岩石适用性差,效率低、施工成本高。针对水电工程特点,北京中煤矿山工程有限公司和有关业主、设计和工程施工企业合作,进行水电工程专用反井钻机、极硬岩石破岩滚刀和深井斜井反井钻井工艺研究,通过近几年的应用,取得了十分显著的经济效益和社会效益。

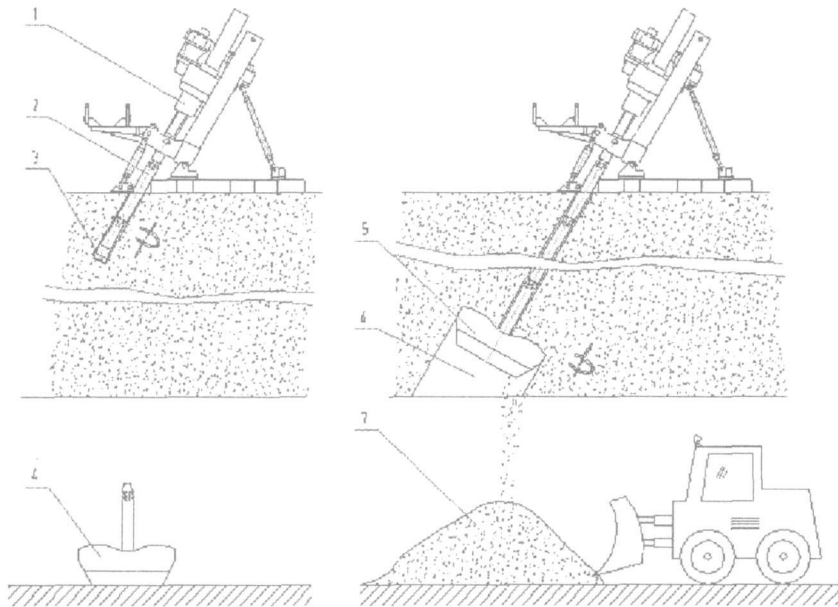


图1 反井钻机施工工艺

(1—主机, 2—钻杆, 3—导孔钻头, 4—扩孔钻头, 5—扩孔, 6—钻孔, 7—破碎岩渣)

水电系统开始应用的反井钻机为 LM 系列, 设计钻孔深度小于 200m 钻孔直径 1.2~1.4m 适用岩石抗压强度小于 100MPa 煤系地层条件, 主要采用的钻机为 LM-200 型, 主要技术参数如表 1 虽然根据十三陵抽水蓄能电站工程需要, 对该钻机进行改造, 使其适合于施工倾角 50° 的大倾角斜井, 但其参数不适合水电硬岩工程。为此开发研制了 BMC 系列反井钻

机, 主要适合不同岩石条件, 工程条件使用。其中 BMC100 型、BMC200 型体积小, 运输方便, 可以适用小型引水式电站工程; BMC300 型和 BMC400 型反井钻机可适用于大直径、坚硬岩石、深井和斜井工程, 通过近几年实际应用, 取得了较好效果, 比原 LM 系列反井钻机工效提高、事故率降低。

表 1 LM 和 BMC 系列反井钻机主要技术参数

钻机型号	BMC100	BMC200	BMC300 (ZFY1.4/300)	BMC400 (ZFY2.0/400)	LM 90	LM 120	LM 200
导孔直径 (mm)	216	216	244	270	190	216	216
扩孔直径 (m)	1.0	1.2~1.4	1.4~1.52	2.0	0.9	1.2	1.4
钻孔深度 (m)	100	200	300	400	90	120	200
钻杆直径 (mm)	176	182	203	228	160	176	182
推力 (kN)	200	350	550	1650	200	250	350
拉力 (kN)	500	850	1250	2450	400	500	850
扭矩 (kN·m)	20	35	70	100	15	35	40
功率 (kW)	62.5	86	128.5	170.7	52.5	62.5	82.5
驱动方式	液压	液压	液压	液压	液压		
控制方式	手控	液控	液控	电液比例控制	手控		

4.1 BMC400 型反井钻机

BMC400(ZFY2.0/400) 型强力反井钻机结构如图 2 所示, 主要包括地面部分和孔内部分。地面部分有主机系统, 包括主机、泵站、操作车; 电控部分, 包括电器控制开关、启动柜等; 辅助系统, 主要是洗井液循环系统。井下部分包括导孔钻头、普通钻杆、稳定钻杆、异形接头、扩孔钻头等。该设备可在煤矿软岩条件下钻进直径小于 3.5m 的通风井、煤仓等工程; 在水电等系统坚硬的岩石中施工深度 400m 直径 2.0m 的竖井和大倾角斜井导井工程;

1) BMC400 型机专门针对水电工程硬岩、深井的特点设计, 可以在坚硬的岩石中施工深度 400m 直径为 1.4~1.7~2.0m 的竖井和斜井导井工程。

2) 全部采用电—液控制技术, 利用工业用计算机, 即可编程序控制器实现对钻机设备和钻井工艺的控制、调节、监视、故障报警以及工况、故障的记录和显示;

3) 采用先进集成软启动, 实现对钻机油泵电机、循环泵电机的集中控制, 避免多个开关控制, 事故率高, 接线复杂等缺点;

4) 采用 L 型主机框架结构, 减轻了主机重量, 易

于调节钻进角度和方位, 便于斜井施工。主机前后分别用两根拉杆固定, 钻架间用较大截面型钢固定, 具有可靠的稳定性。

5) 扩孔时, 采用大扭矩双液压马达驱动, 使钻头产生较大的扭矩。

6) 配备高性能液压油过滤、冷却系统, 保证钻机液压系统能够长时间连续、稳定地工作。

7) 加长了钻杆, 减少装卸扣长度, 从而减少辅助操作时间, 提高钻杆特别是钻杆丝扣的寿命。

8) 采用全套自备的钻杆搬运与装卸辅助设备, 包括液控小型转盘吊、液控机械手、翻转架、辅助卸扣装置等, 使钻杆的装卸灵活、准确、操纵机械化。

4.2 BMC300 型反井钻机

BMC300(ZFY1.4/300) 型反井钻机是在水电建设工程中普遍应用的 LM-200 型反井钻机的替代产品, 它解决了 LM-200 型反井钻机能力偏低的缺点, 但仍保留着体积小、重量轻、搬迁移动方便的特点, 具有更强的适应性, 可在坚硬的岩石条件下, 钻进深度 300m 直径 1.4m 的竖井斜井工程。在溪洛渡、拉西瓦以及老挝色赛电站中竖井、斜井工程中应用, 取得很好的效果。

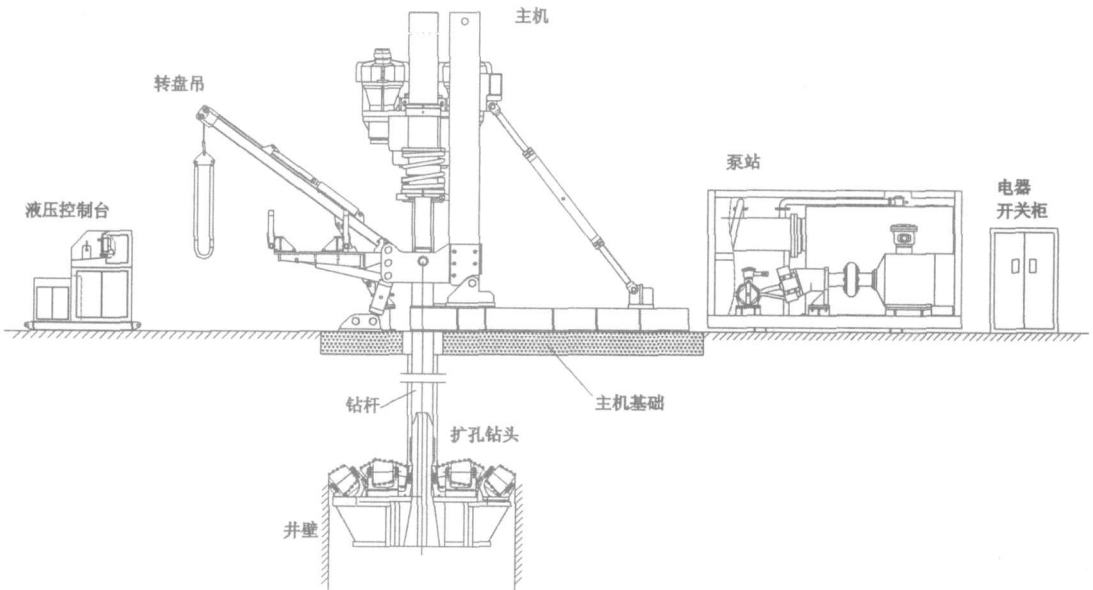


图2 BMC400型反井钻机

4.3 破岩滚刀

破岩滚刀是反井钻机及反井钻井技术的关键,特别是硬岩破岩滚刀的研制。大部分水电站坝址岩石坚硬,如山东泰安抽水蓄能电站、四川自一里水电站、吉林白山水电站、福建穆阳溪水电站等,多为花岗岩地层,岩石坚硬,单轴抗压强度达到 250MPa 。泰安抽水蓄能电站花岗岩单轴抗压强度达到 310MPa 。这类岩石石英、长石等磨蚀性强的矿物含量在70%以上。在泰安抽水蓄能电站是用普通滚刀,其寿命只有 $5\sim 10\text{m}^3$ 工效非常低,破岩刀具费用达到 $1\text{万元}/\text{m}^3$ 以上,这样反井钻机将无法作为工程设备应用。为此,北京中煤矿山工程有限公司研制出特殊的硬岩滚刀,在泰安工程应用其寿命达到 125m^3 以上,并经自一里、穆阳溪、瀑布沟、溪洛渡、拉西瓦以及马来西亚巴贡等多个水电站不同岩石条件应用实践,效果良好,经过多次改进,形成应用于不同条件多种系列的硬岩滚刀,可以满足不同工程不同岩石条件钻进反井需要,解决了硬岩地层中钻进反井的难题。

4.4 反井钻井工艺

反井钻机应用于水电工程开始,针对水电工程特点,进行了多项反井钻井工艺技术研究,1992年进行了电力部科研项目课题“反井钻机钻凿大倾角深斜孔

工艺及专用设备研究”,结合十三陵抽水蓄能电站大倾角(50°)压力管道工程,研究斜孔钻进工艺,包括钻具受力、钻具布置、测斜等,成功钻成长度 203m 和 236m 两个斜井,填补了国内大倾角斜井机械化施工空白,开辟了水电系统反井施工新领域。

2004~2005年,结合河北张河湾抽水蓄能电站,以科技部科研院所专项资金项目“深井反井钻井技术及装备研究”,开展了硬岩深井反井钻井工艺研究,在坚硬的安山岩、砂岩地层等复杂的地质条件下,完成“反井钻机钻凿超深压力管道导井工艺技术研究”钻成两个深度 301m 的反井钻孔。

5 反井钻机完成的典型工程介绍

5.1 张河湾抽水蓄能电站压力管道工程

张河湾抽水蓄能电站,在河北省井县,是华北地区重要调峰电源,装机容量 1000MW ,电站构筑物包括上水库、下水库和地下厂房等。电站建设的关键是两条超深压力管道竖井,深度为 388m 。岩石为砂岩和安山岩,岩性坚硬,磨蚀性强,单轴抗压强度大于 200MPa 。压力管道上口在山顶,下口需要地下厂房等洞室开挖到位,到2005年1~2季度才能完成,这将影响压力管道的开挖和电站总体发电时间。为了抢工

期, 确定利用 PT1 探洞打通到压力管道, 将其分成上下两端, 上段长度约 301m。BMC400 型强力反井钻机于 2004 年 7 月 20 日进入现场, 8 月 6 日导孔钻进, 到 10 月 17 日导孔钻透, 其中大部分时间处理地层洗井液漏失, 到 11 月 25 日扩孔完成, 钻孔深度 301m 直径 1.4m 的 1 号压力管道, 钻孔偏斜率 1.0%。此后, 又钻成 2 号压力管道, 钻孔偏斜率达到 0.2%, 并且施工速度快, 为电站建设提前了 1~2 个月工期。

5.2 溪洛渡地下厂房通风竖井工程

溪洛渡水电站位于四川省雷波县与云南永善县接壤的金沙江溪洛渡峡谷中。溪洛渡水电站枢纽由拦河大坝、泄洪建筑物、引水发电建筑物组成。拦河大坝为混凝土双曲拱坝, 最大坝高 278.00m, 坝顶高程 610.00m, 顶拱中心线弧长 681.49m。发电厂房为地下式, 分设在左、右两岸山体内, 各装机 9 台单机容量为 700MW 的水轮发电机组, 总装机容量 12600MW。

为了加快电站地下工程建设进程, 解决施工期间

表 3 溪洛渡电站通风井施工技术统计

工程名称	深度 (m)	倾角 (°)	开挖直径 (m)	导井直径 (m)	偏斜率 (%)	施工时间
左岸通风斜井	213.10	76	8.2	1.4	1.06	6.24~8.29
左岸通风竖井	197.17	90	5.7	1.4	0.51	8.16~10.23
右岸通风斜井	212.76	76	8.2	1.4	0.46	7.30~10.9
右岸通风竖井	195.51	90	5.7	1.4	0.56	9.14~11.10
主变室竖井	217.56	90	7.2	1.4	1.10	06.5—7月
合计	1036.1					

6 结语

(1) 经历了 10 几年的应用, 反井钻机得到水电建设的设计、施工、建设单位的认可, 成为水电站竖井、斜井施工的重要工具, 在安全、速度、效率等方面有取代其它反井施工方法的趋势。

(2) 针对水电工程特点, 除了在使用的原为煤炭系统开发 IM 系列反井钻机外, 还研制专用于水电硬岩工程、深井工程的 BMC 系列反井钻机, 其中

通风问题, 在左右地下厂房, 各建设两条通风竖井和斜井。地下厂区通风风系统围岩主要为 P₂β 5~P₂β 12 层玄武岩及各层上部的角砾集块熔岩, 岩石坚硬, 新鲜完整。地下厂区通风系统地层产状平缓, 无断层分布, 主要结构面为层间错动带和节理裂隙。岩流层产状总体走向为 N20°~30°E 倾向 SE。主厂房排风洞平洞段桩号 0+0.0~30.0m 为弱风化上段, 卸荷岩体, 岩体松弛, 完整性差, 加之 P₂β 12 层柱状节理发育, 围岩类别为 IV 类; 桩号 0+30.0~0+60.0m 段为弱风化下段, 无卸荷岩体, 围岩类别为 III 类; 桩号 0+60.0~0+88.23m 段, 围岩新鲜完整, 以 II 类围岩为主, 局部为 III 类。

溪洛渡电站地下厂房通风竖井工程, 采用 BMC300 型反井钻机施工, 从 2005 年 6 月开钻, 到 11 月竣工, 钻成直径 1.4m 的斜井和竖井各两条, 总深度 1036.1m, 技术统计见表 3。

BMC400 型在琅琊山、宜兴、张河湾抽水蓄能电站, 钻孔深度达到 301m。BMC300 型反井钻机在溪洛渡、拉西瓦等电站取得较好的应用效果, 并应用于马来西亚巴贡电站等国外工程。

(3) 对硬岩滚刀和反井钻井工艺研究, 拓展反井钻机应用范围, 达到了较高的技术水平, 可以广泛在普通电站、抽水蓄能电站中推广应用。

参考文献(略)

欢迎投稿, 欢迎阅读!