

# 竖井中导井一次爆破成井法的研究与应用

昌禄柱

(浙江省隧道工程集团有限公司, 浙江 杭州 310013)

**摘要:**本文以某水利工程闸门井竖井开挖为例,中导井开挖尺寸 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ ,通过实践总结研究,介绍了竖井中导井施工开挖的一种新方法——中导井一次爆破成井法,着重介绍了中导井如何一次爆破贯通的技术措施。本工法采用中导井一次爆破成井和竖井周边扩挖相结合。开挖方法采用深孔爆破法,通过爆破方案设计、施工前准备、机械钻孔、装药、连线、爆破、炮后安全检查等工艺,先对中导井进行一次爆破开挖成型,再对竖井周边岩体自上而下采用浅孔多循环爆破扩挖成型,最终形成竖井中导井。

**关键词:**竖井开挖;中导井;一次爆破成井;竖井扩挖

**中图分类号:**TD235 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)S1-0407-05

## Research and application of the one shot blasting pilot hole sinking method for the shaft

CHANG Luzhu

(Zhejiang Tunnel Engineering Group Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang 310013, China)

**Abstract:** In relation to the gate shaft excavation at a water conservancy project where the excavation size is  $2\text{ m}\times 2\text{ m}$  for the shaft pilot hole, this paper introduces a new excavation method—the one shot blasting method for sinking of the central pilot hole with emphasis on the technical measures on how to complete the central pilot hole by one-time blasting. With this method, one shot blasting for the central pilot hole is combined with expanding excavation around the hole. The deep hole blasting method is adopted for excavation. Through the design of the blasting scheme, preparation before construction, mechanical drilling, charging, wire connection, blasting, safety inspection after blasting and other processes, the central pilot hole is first excavated and shaped by one shot blasting, and then it is expanded and shaped by shallow hole multi-cycle blasting through the surrounding rock from top to bottom, and finally the central pilot hole is formed.

**Key words:** shaft excavation; central pilot hole; hole sinking by one time blasting; hole expansion

## 0 引言

在目前工程实践中,竖井开挖<sup>[1-2]</sup>一般采用先开挖中导井,再扩挖的办法。中导井施工多采用简易吊篮支架自下而上(或自上而下)浅孔循环爆破开挖,最终形成中导井,即“反井法”施工。施工过程中因受到水文地质条件的限制,安全不易保障。因小断面循环钻孔爆破施工,安全风险比较大,安全隐患多,后续处理工序多、难度大。

经过某水利工程闸门井竖井开挖等工程实践<sup>[3-4]</sup>,总结了竖井中导井施工开挖的一种新方法——中导井一次爆破成井法<sup>[5-6]</sup>,着重介绍了中导井如何一次爆破贯通<sup>[7-8]</sup>的技术措施。

某水利输水隧洞工程设计进水闸门井竖井一座,主要用于安设两道启闭输水闸门,其围岩主要为弱风化熔结凝灰岩,竖井开挖平面尺寸为 $6\text{ m}\times 4.1\text{ m}$ ,竖井深度为 $28.5\text{ m}$ (竖井深度对中导井一次

收稿日期:2021-05-31 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.S1.069

作者简介:昌禄柱,男,汉族,1980年生,注册一级建造师(注册监理工程师、爆破工程技术人员),高级工程师,长期从事工程施工项目管理和爆破工程技术设计与施工管理工作,浙江省杭州市西湖区古墩路673号,529956418@qq.com。

引用格式:昌禄柱.竖井中导井一次爆破成井法的研究与应用[J].钻探工程,2021,48(S1):407-411.

CHANG Luzhu. Research and application of the one shot blasting pilot hole sinking method for the shaft [J]. Drilling Engineering, 2021,48(S1):407-411.

爆破成井成功与否有较大影响,若井深增加还需进行专门设计和爆破安全方案评估)。

### 1 工法特点

本工法采用中导井一次爆破成井和竖井周边扩挖相结合。中导井开挖尺寸 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 。先采用对中导井进行一次爆破开挖成型,再对竖井周边岩体自上而下采用浅孔(孔深 $1.8\sim 2.1\text{ m}$ )循环爆破扩挖成型。

相较于传统的竖井开挖方法,本工法的主要优点有:

(1)本工法正导井采用从上至下一次爆破成型<sup>[9-11]</sup>,减少了“反井法”浅孔循环爆破的安全风险,极大的提高了井下施工安全性。

(2)一次性爆破成井法,后续处理工序减少,施工速度快、效率高,加快了施工进度。

(3)一次性爆破成井法降低了炸药和雷管的使用量,从而降低了爆破成本,提高了经济效益,具有广泛的适用性。

### 2 适用范围

本工法已成功应用于水利隧洞竖井、矿山硐室竖井施工,也适用于采用竖井通风(采光)的地下停车场、地下人防工程等竖井施工。

### 3 工艺原理

#### 3.1 总体方案

采用中导井一次爆破成井和竖井周边扩挖相结合。中导井开挖尺寸 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 。

#### 3.2 爆破方法

开挖方法采用深孔爆破法<sup>[12]</sup>,先采用对中导井进行一次爆破开挖成型,再对竖井周边岩体自上而下采用浅孔(孔深 $1.8\sim 2.1\text{ m}$ )循环爆破扩挖成型。

#### 3.3 中导井施工工法

(1)成孔:采用潜孔钻钻孔<sup>[13]</sup>,自上而下成孔。先在中导井中部平面直径 $1.0\sim 1.5\text{ m}$ 的圆形周边布置掏槽孔 $8\sim 10$ 个,竖井中心布置梅花形空孔 $5$ 个,周边孔 $12$ 个。

(2)爆破方法:竖井开挖采用钻爆法,中导井一次爆破成井法。

(3)爆破器材:选用非电毫秒导爆管雷管、导爆索、2号岩石乳化炸药。

(4)出碴:竖井开挖产生的石碴(大块先解小)通过导井卸至下部隧洞内,采用P-60型耙斗装岩机配备XK8-7/132A型电瓶车 and S8型梭车搭接有轨机械化作业线装岩运输。有轨运输至洞口后,再通过自卸汽车转运至弃碴场。

### 4 施工总体工艺流程及操作要点

#### 4.1 工艺流程

竖井中导井一次爆破成井施工工艺流程图如图1所示。

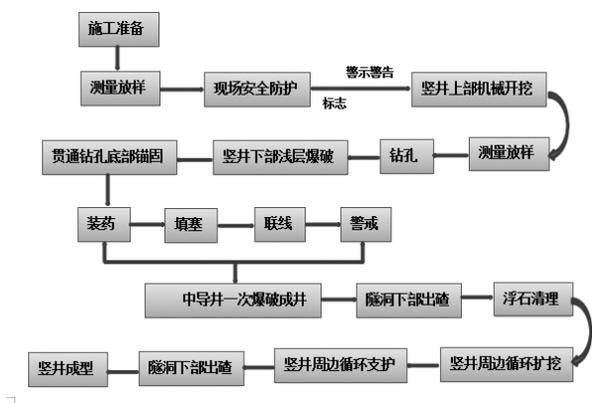


图1 施工工艺流程

#### 4.2 中导井开挖关键施工技术操作要点

##### 4.2.1 表层清理及竖井上部机械开挖

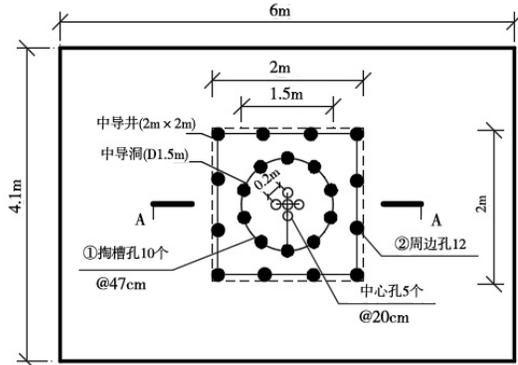
用PC-200挖机(配镐头机)对竖井上段进行土方清除、场地清理、平整、强风化层进行清除、机械破碎和清理。目的是降低中导井一次成形的高度,有利于提高导井成形质量;不采用钻爆法开挖是避免打导井炮孔时卡钻。

##### 4.2.2 中导井施工

中导井施工工艺流程如下:测量放样→钻孔→中导井底部开挖和炮孔底部堵塞→装药→堵塞→联线→警戒→起爆。

(1)测量放样、钻孔。①测量放样:用全站仪放样出 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 竖井中导井位置。②钻孔:中导井所有炮孔采用一次成孔法(一次性打完全部炮孔)。先用潜孔钻打中心空孔不少于 $5$ 个,炮孔直径 $\varnothing 90\text{ mm}$ ,孔距 $0.1\sim 0.2\text{ m}$ ,孔深 $25\text{ m}$ ;再打掏槽孔 $8\sim 10$ 个,炮孔直径 $\varnothing 90\text{ mm}$ ,孔距 $0.4\sim 0.6\text{ m}$ ,孔深 $25\text{ m}$ ;最后打周边孔 $12$ 个,炮孔直径 $\varnothing 90\text{ mm}$ ,孔距 $0.4\sim 0.6\text{ m}$ ,孔深 $25\text{ m}$ ,如图2所示。因竖井较深,一次性

钻孔精度要求很高,实际位置测量放样定位,垂直钻度用角度尺<sup>[14]</sup>控制。实际钻孔倾斜度 $<1\%$ ,钻孔精度可以满足设计要求。



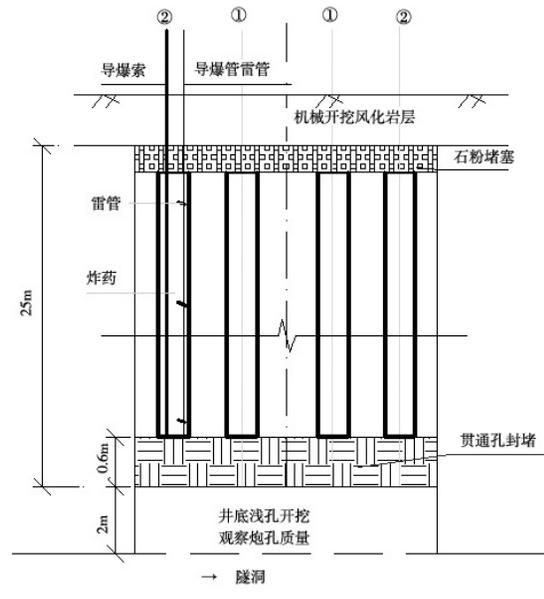
说明:第一阶段 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 中导井开挖,孔径 $90\text{mm}$ ;起爆顺序为:① $\rightarrow$ ②,详见A-A剖面图

图2 钻孔平面布置及网络结构

(2)中导井底部开挖和炮孔底部堵塞。导井炮孔和空孔钻进完成后,先在导井底部用手风钻打眼,孔径 $43\text{mm}$ ,孔深 $2\sim 2.5\text{m}$ ,导爆管连接,封堵警戒后爆破,浅孔法钻爆 $1\sim 3$ 次。导井底部先用浅孔法钻爆开挖,主要作用:一是能直观地检测导井炮孔及空孔的钻孔质量,本工程中要求中导洞出露的炮孔不少于8个,空孔不少于5个,数量不足时必须补足,避免影响导井中段的成形质量;二是跟中导井顶部先成形的浅井一起对导井中段爆破时的爆破能作用方向进行导向。导井底部用浅孔法钻爆开挖后出露的炮孔要用锚固剂堵塞密实和牢固,堵塞深度 $0.6\sim 1.0\text{m}$ 。

(3)中导井装药、堵塞、连线、起爆。①装药:采用2号岩石乳化炸药在炮孔内装药(毛竹片捆绑2号岩石乳化炸药),连续装药。每个炮孔内上部、中部、下部各装1发1段毫秒导爆管雷管用于起爆炮孔,如图3所示。考虑振动波对溢洪坝的影响,经计算一次起爆用药量可以满足要求;②堵塞:孔口用钻孔产生的细石粉(不能含有石块)堵塞;③连线:导爆索连接。先在炮孔内装1根导爆索,导爆索一直伸到炮孔底部,最后各个炮孔内启爆雷管簇联;④起爆:非电毫秒导爆雷微差起爆,各个炮孔连线并警戒后采用齐发爆破。导井爆破炮孔布置及装药结构示意图如图3所示。

(4)爆后效果及注意事项。爆破后应及时进行



说明:第一阶段 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 导洞开挖,孔径 $90\text{mm}$ ;起爆顺序为:① $\rightarrow$ ②导爆管连接,雷管采用 $3、9\text{ms}$ 非电毫秒雷管起爆

图3 装药孔结构(A-A剖面图)

贯通效果检查<sup>[15]</sup>,经现场察看,导井贯通效果较好,详见图4。此外还应加强盲炮的检查、浮石清理及周边建(构)筑物的监测工作。若出现不安全和不稳定因素,及时与监理、建设、设计等相关部门沟通联系。



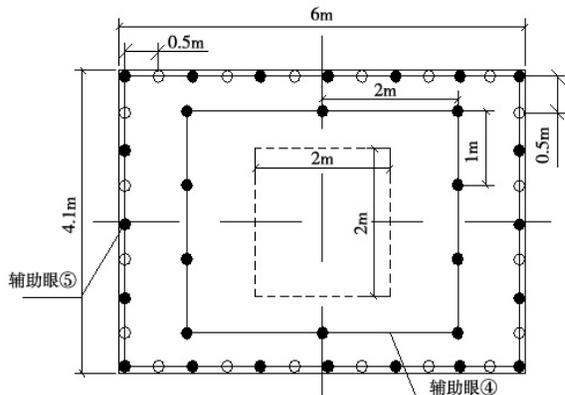
图4 爆破效果

### 4.3 竖井扩挖

竖井扩挖采用浅孔钻爆法,炮孔直径 $\text{O}42\text{mm}$ ,孔距 $1.0\sim 1.5\text{m}$ ,孔深 $1.8\sim 2.1\text{m}$ ,采用2号岩石乳化炸药,周边孔相邻两装药孔之间设空孔一个,预留保护层爆破采用 $\text{O}25\text{mm} \times 300\text{mm}$ 光爆小药卷,非电毫秒导爆雷微差起爆,具体参数见表1。采用2号岩石乳化炸药,非电毫秒导爆管雷管微差起爆,竖井扩挖炮孔及爆破网路布置如图5所示。

表1 竖井-扩挖爆破参数

断面面积 $S/m^2$	20.6
炮眼数量 $N/\text{个}$	30
炮眼深度 $L/m$	1.8~2.1
炸药单耗 $g/(kg \cdot m^{-3})$	0.8
辅助眼间距 $a/cm$	100~200
最小抵抗线 $w/cm$	50~100
装药集中度 $q/(g \cdot m^{-1})$	210
不偶合系数 $K$	1.5



注:(1)第二阶段竖井扩挖,孔径43 mm,从上至下分层施工,层高2 m,起爆顺序为:④→⑤分别采用5、9ms非电毫秒雷管起爆,每孔药量1 kg,炸药单耗 $0.8 \text{ kg}/\text{m}^3$ ;(2)●为装药孔,○为不装药孔

图5 竖井扩挖炮孔及爆破网路布置

## 5 安全注意事项

(1)因竖井开挖位置距离水库溢洪道约90 m,控制爆破措施主要以控制爆破飞石方向为主,在炮孔上方加以覆盖。

方法一:每次放炮前,预先准备好一定数量的树枝、柴草,将其绑扎成捆,履盖在炮眼上,放稳压实,每捆之间用铅丝连接起来,最上面再以毛竹排履盖。根据本公司的多次实践证明,此种方法能有效地防止岩块飞出。

方法二:利用废钢板、橡胶垫进行覆盖。废钢板的厚度 $\leq 1 \text{ mm}$ ,橡胶垫的厚度 $\leq 5 \text{ mm}$ ,长和宽分别应 $\leq 2 \text{ m}$ 和 $1.5 \text{ m}$ ,尺寸过小会造成防护效果欠佳,但也不宜过大,过大不利于工人搬移。覆盖钢板或橡胶垫时,需注意保护已连接好的爆破网路。每2块钢板或橡胶板应相互叠加20 cm左右宽度,上面以沙袋压稳。钢板或橡胶板破损后,必须修复完好后才能再次使用。

中导井爆破后,由于塌落自由面非常小,很可能表面看起来塌不下去了,但岩体实际上处于非常不稳定的状态,随时可能塌落,要做好防护措施并耐心观察几天后再采取应对措施,尤其是不可在竖井下方停留或经过,避免人员伤亡。

(2)竖井作业前,要在竖井上部周围设置封闭式防护栅栏,防止人员、石块、杂物等坠落至竖井内。

(3)竖井扩挖出渣前,竖井内必须设置防坠落的措施,作业人员必须经安全教育和安全技术培训,并做好个人的安全防护工作,正确使用安全“三宝”。

## 6 工法应用效果分析

### 6.1 经济效益

采用竖井中导井一次爆破成井施工工法,一次爆破成井具有显著的技术效果,减少了后续大量施工工序,能显著地提高爆破效率,加快施工进度,缩短施工工期;而且降低了炸药和雷管的使用量,从而降低了爆破成本,提高的经济效益,具有广泛的适用性,对比情况见表2。

### 6.2 安全效益

本工法一次爆破中导井,通过中心空孔、掏槽孔、周边孔的布局,再通过雷管引爆,中导井能一次爆破成功,因此不但丰富了井下深孔爆破的技术和工法,而且从技术上提高了井下爆破施工的安全风险,极大提高了施工的安全性,降低安全隐患、保障了施工工人的生命安全。

### 6.3 社会效益

本工法的成功应用,解决了以往竖井开挖受到的不良水文地质环境影响,丰富了井下深孔爆破的技术和方法,为同类型的工程施工提供了很好的技术支持,并受到了监理、业主等单位的好评,取得了较好的社会效益。

## 7 结语

竖井开挖施工的关键在中导井开挖,中导井开挖的关键在钻孔质量和爆破参数的设计与参数的确定。为确保中导井(中段)安全可靠的一次爆破成井,必须做好钻孔质量检查,特别是钻孔垂直度控制;装药连线前相关的爆破参数必须经过精确的设计计算,并经试爆后确定;炮孔底部堵塞参数也要经过计算和试爆验证,保证封堵密实、爆破效果;爆破后还应加强现场盲炮的检查和处理,保障现场作业

表2 中导井爆破开挖施工成本分析对比(火工材料单价按某地区采购价)

项目	单位	单价/元	数量	合价/元	备注	
钻孔	人工钻孔	工日	300	105	31500	每循环1 m
	机械钻孔	台班	3000	2	6000	一次钻通
火工品用量	炸药	人工开挖	T	16500	0.545	8993
		一次爆破	T	16500	1.9	31350
	雷管	人工开挖	发	7.9	650	5135
		一次爆破	发	7.9	63	498
	导爆索	人工开挖	m	3.98	500	1900
		一次爆破	m	3.98	500	1900
	导爆管	人工开挖	m	0.98	5000	4900
		一次爆破	m	0.98	50	490
合计	采用人工浅孔循环爆破中导井成本合计为:52427.5元;采用一次爆破中导井成本为:40238元;由此可见采用一次爆破成井法成本比较低。实际施工中出渣成本未统计,但人工开挖出渣成本远远大于一次爆破出渣成本。					

人员安全。正导井采用从上至下一次爆破成型,降低了“反井法”浅孔循环爆破的安全风险,极大地提高了井下施工安全性。取得了良好的经济和社会效益,在工程实践中具有较好推广意义。

#### 参考文献:

- [1] 李艳翠,吴建东.引洮供水二期工程22#隧洞2A#竖井施工技术[J].水利规划与设计,2021(4):88-91,118.
- [2] 张亚洲.绩溪抽水蓄能电站尾水竖井开挖施工技术[J].人民黄河,2020,42(S2):220-223.
- [3] 叶超,黄惟盛.深孔一次爆破成井技术在武山铜矿的实践应用[J].铜业工程,2020(1):28-30.
- [4] 陈国辉,曾慧明,刘奇.超深溜井爆破一次成井技术实践[J].现代矿业,2020,36(2):36-38.
- [5] 罗根平,黄华桃,陈林.中深孔爆破一次成井技术研究与应用[J].现代矿业,2020,36(11):41-43,49.
- [6] 王辉,徐泽林,李永明.超深孔一次爆破扩井在深井施工中的应用探索[J].有色金属(矿山部分),2020,72(4):120-122+138.
- [7] 唐毓才,韩进奇,李洪伟.白鹤滩水电站大断面竖井贯通部位施工技术研究[J].四川水力发电,2020,39(5):10-12,23.
- [8] 郭朝辉,王薛钢.浅谈深竖井导井改分段施工为一次成井的方案优化[J].建设监理,2020(8):71-73.
- [9] 徐喜.深孔爆破一次成井技术在铜绿山矿的应用[J].中国矿山工程,2020,49(1):12-15.
- [10] 陈国辉,曾慧明,刘奇.平行“直孔桶形”掏槽爆破一次成井技术[J].采矿技术,2019,19(6):142-144.
- [11] 闫小兵.高天井一次成井技术及工程应用[J].采矿技术,2019,19(4):43-45.
- [12] 郑鑫玉,翁胜军,谢明星.一次成井技术在北洛河铁矿的应用[J].现代矿业,2019,35(4):77-79.
- [13] GB 6722—2014,爆破安全规程[S].
- [14] 雷光辉,李会武,杜强,等.矿山深部开采切割巷一次成井的研究与应用[J].世界有色金属,2021(3):198-199.
- [15] 戴宏辉.铜绿山矿采矿方法优化研究及应用[J].采矿技术,2021,21(1):12-14.