

# 浅谈硬质岩层竖井水磨钻开挖施工技术

吴尉

广东水电二局股份有限公司

**摘要：**近年来，水磨钻机广泛应用在桩基施工、隧道及竖井开挖、铁路地道施工加固等工程建设中，尤其是在涉及地质（硬质岩层等）、位置（有限作业空间、桩基缺陷部位、无法进行爆破作业地带等）、地形等特殊状况，水磨钻施工充分发挥设备及工艺技术优势，助推项目建设进度提速增效。本文通过珠江三角洲水资源配置工程某硬质岩层竖井施工实例对水磨钻开挖施工技术进行阐述，可供类似工程参考借鉴。

**关键词：**硬质岩层；竖井；水磨钻开挖；取芯钻取

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.19.021

## 一、工程概况

珠江三角洲水资源配置工程由输水干线（鲤鱼洲取水口至罗田水库）、深圳分干线（罗田水库至公明水库）、东莞分干线（罗田水库至松木山水库）和南沙支线（高新沙水库至黄阁水厂）组成，输水线路总长度113.2km。工程某标段高位水池补水管隧道内径2000mm，外径2040mm，长100m，原设计补水管隧道采用钻爆法施工，由于施工地处孤岛（四面环水），周边邻近鲤鱼洲泵站（在建），加之炸药运输需穿越交通隧道或轮渡上岛，安全风险较大，故而改为顶管施工。

该段顶管施工始发井为高位水池（已建），净空直径28.1m，深56.7m。新建接收井净空直径5.9m，深30.9m。新建顶管接收井位于泵站1、2#机组副厂房水下墙外侧，施工平台（高程▽-17.9m）在▽-8.10马道平台边坡下，顶管工程平面布置图如图1所示。

补水管隧道中心高程-36.9m，坡度值为0（水平顶进）。顶进施工穿越地层为弱风化砂岩层，为硬质岩，其抗压强度达60~128Mpa，施工难度大。DN2000钢管顶管隧道剖面图如图2所示。

## 二、方案比选

顶管接收井开挖直径为7.0m，喷锚厚200mm，喷锚后直径6.6m，衬砌后净空直径5.9m。工作井地层从上往下分布情况为：白垩系下统百足山组（K1b）砂岩、砂砾岩、泥质粉砂岩，以互层状分布，砂岩为主，其次为砂砾岩，泥质粉砂岩分布最少。其中砂岩、砂砾岩均为硬质岩，岩体较完整，其抗压强度达60~90Mpa。

接收井原开挖方案简述如下：

第一步：用旋挖钻机在井中施打1个，1.2m的孔，孔深同井深，作为后续开挖的临空面；

第二步：采用PC120液压破碎锤+劈裂棒破岩扩挖，如遇高强度岩石，PC120液压破碎锤破岩困难，则采用二氧化碳静爆破岩开挖。

考虑上述方案需要重新拓宽施工平台（大型设备站位），后期狭小空间开挖效率降低，成本增高，且会产生较大扬尘，综合考虑，将原方案变更为水磨钻施工，该方案占地空间较小，施工工艺较为简单，适用范围广，同时在施工过程中基本对周围环境无干扰影响，花费成本较低，且安全可靠。

## 三、工艺原理

水磨钻主要有水磨钻机、水磨钻筒和专用水泵三部分组成。一般一台水磨钻机配备3~5个水磨钻筒，

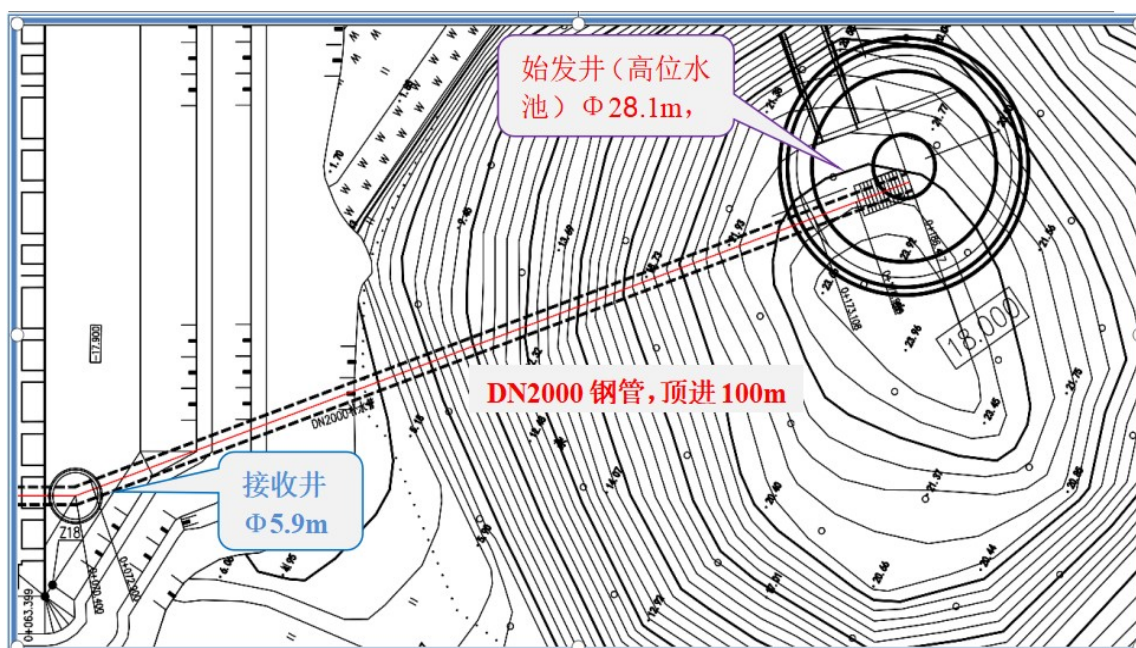


图1 顶管工程平面布置图

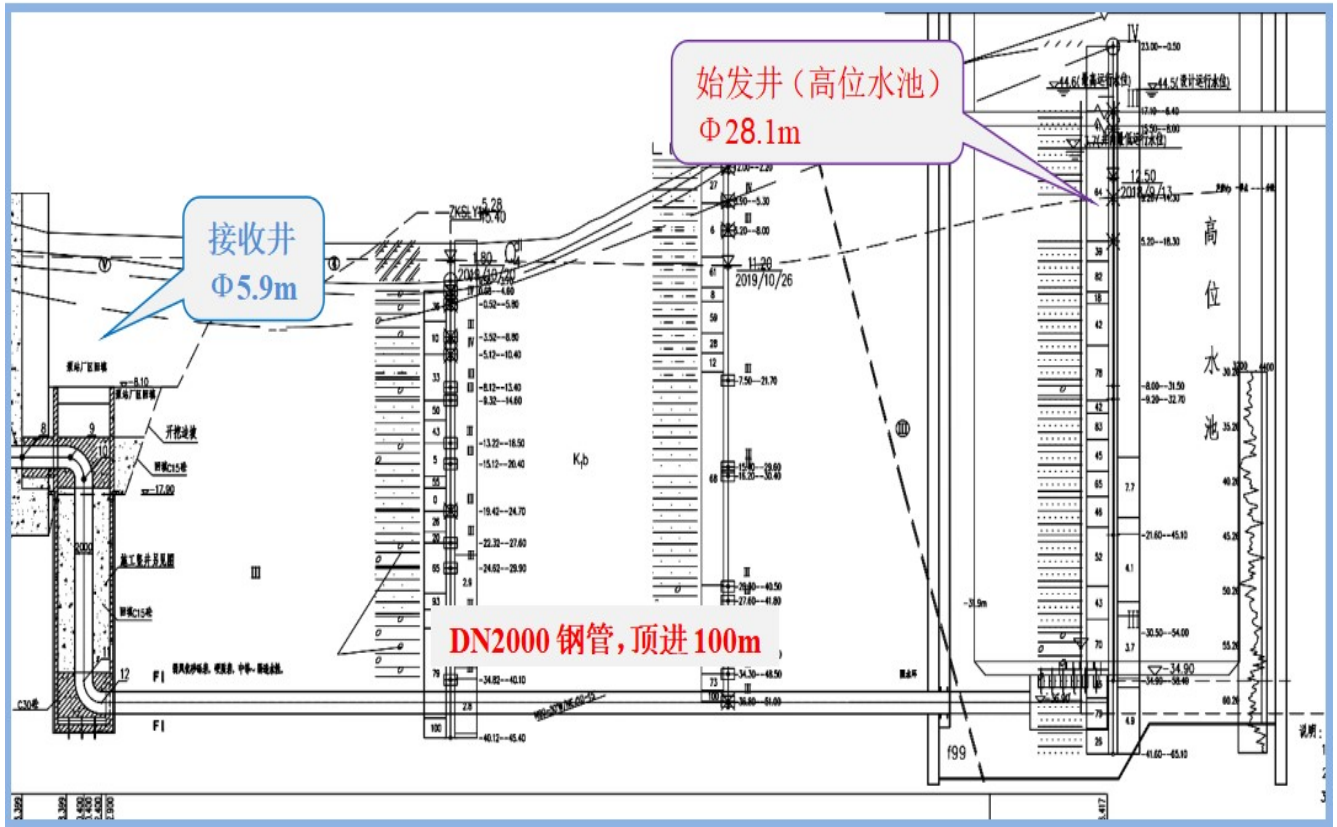


图2 DN2000钢管顶管隧道剖面图

一个水磨钻筒上有7个刀头。水磨钻筒外径为16cm，内径为14cm，壁厚为1cm，高度为82cm，一个循环可钻80cm。专用水泵外径为12cm，高度为40cm。

接收井水磨钻开挖工法采用“周边钻孔取芯切割+中心钻孔劈裂”的方法进行竖井石方开挖。即使用水磨钻先沿井开挖轮廓线以相割圆方式按垂直方向施钻取芯，在周边形成一道连续环形槽道，使得井内核心岩土体与井壁分离，形成开挖临空面。然后在核心岩土体上使用风钻按一定间距在垂直方向钻劈裂孔，然后以周边

槽道形成的临空面，用液压劈裂机或打入钢楔自周边向内进行分裂开挖岩体，人工清除劈裂岩体。利用汽车吊辅助出渣，最后由自卸汽车集中运输至临时弃渣场。

接收井按照钻孔取芯、劈裂取石、井壁修整、施作内衬的交替式作业方式，来实现竖井的最终成型。

#### 四、工艺流程

水磨钻开挖施工工艺流程如下：

施工准备→测量放样、布孔→设备就位→周边孔钻孔、取芯→中心钻孔、劈裂→装渣、出渣→井壁修整

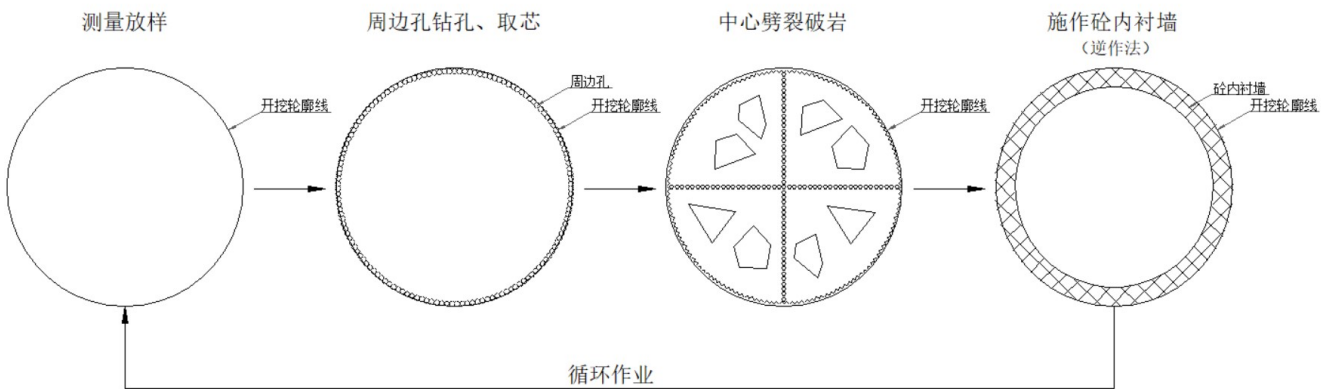


图3 竖井水磨钻开挖施工工艺流程简图

(1) 周边孔钻孔、取芯：沿竖井开挖轮廓线布置取芯点，取芯圆与井外壁相切，取芯圆之间的距离为150mm，依次钻取周边孔岩芯，取出的岩芯高约700mm，将周边孔岩芯取完后，井中核心岩土体外围便形成一个环形临空面。

(2) 钻取中间岩石：沿竖井圆心十字交叉钻取岩芯，将井中核心岩土体等分成四等份，以便于后续岩体破裂。开挖布孔如图3所示。

(3) 中心钻孔、劈裂：使用风钻按一定间距在垂直方向钻劈裂孔，用液压劈裂机或打入钢楔自周边向内进行分裂开挖岩体，人工清除劈裂岩体。

(4) 装渣、出渣：采用人工装渣+汽车吊垂直运输方式，依次循环将井内破碎岩体吊运至场内临时堆渣区，再由自卸汽车集中运输至临时弃渣场。

(5) 井壁修整：人工清除侵入竖井内衬结构区域的岩石锯齿，并及时复核井位，防止出现偏位，同时测放出下一循环周边孔孔位。

## 五、施工重难点分析及对策

### (一) 基坑渗漏及封堵施工

重难点分析：接收井设计开挖深度大，地勘钻孔揭示岩层及断裂带分布复杂，局部裂隙发育，加之本接收井地处孤岛，四面环水，地下水位受外江水位涨落影响，而基坑围护结构在开挖阶段未形成，如何预防基坑渗漏及封堵施工成为本工程的重难点之一。

应对措施：①收集地质资料，分析基坑开挖施工阶段可能出现渗漏的原因，预判渗漏地层区域，制定预案，及时做好施工期间地质编录。

②基坑开挖前，备好应急物资（应急发电机、水泵、钢板桩、钢支撑、钢板、砂袋、其他辅助材料及工具等），一旦发生渗漏，确保应急通讯及物资能够立即启用。

③基坑开挖时，制定巡查机制，做好应急堵漏处理措施的交底，确保发生渗漏时可以有序处理。

④渗漏发生时，根据渗漏的不同程度采取对应的措施。“小型渗漏”采用引流注浆或快速水泥封堵，“中度渗漏”采用注浆封堵，“严重渗漏”时需立即取土/砂袋反压，坑外施作钻孔注浆补强止水、直至渗漏处理完成后恢复开挖。

⑤基坑开挖时，加强坑外土体、水位等监测点监测。根据信息化监测数据指导应急堵漏及抢险后的开挖施工。

⑥合理布置井内、外截排水设施，及时抽排积水，防止岩土体浸水软化，造成井壁失稳。

### (二) 硬质岩体钻孔进尺缓慢，劈裂碎岩效率低

重难点分析：接收井开挖施工穿越岩层主要是弱风化砂岩、砂砾岩，均为硬质岩，岩体较完整，其抗压强度达60~90Mpa，水磨钻钻具磨损大，进尺缓慢，同时，后续中间核心岩体劈裂碎岩效率低。

应对措施：①编制专项施工方案，合理安排施工工序，根据岩体产状及裂隙延伸方向等结构面，优化布孔方案，提高开挖效率。

②选取合适材质的钻具，通过现场试验获取合理的切削速度和进给量，指导后续施工。亦可在钻进过程往孔内添加泥浆、泡沫等润滑剂，降低钻具磨损。

③选取大功率岩石劈裂机，经初次碎裂后的岩块满足运输要求后，尽可能转运至地面堆放，在地面进行二次破碎，尽快拓宽井下作业空间，加快工序衔接，使基坑围护结构尽快封闭成环。

## 六、效益分析

借鉴水磨钻在隧道开挖施工应用实例，本工程使用水磨钻顺利完成硬质岩层竖井开挖施工，历时114天，全过程实现“零伤害，零事故”。

与硬质岩层竖井常见开挖施工工艺对比，水磨钻施工具有以下优势：

(1) “三简”：设备简易，工艺简单，操作简便；

(2) 水磨钻施工过程中基本对周围环境无干扰影响，同时不受材料供应及天气等因素影响，可全天候连续作业，适用范围更加广泛；

(3) 采用水磨钻开挖，可以很好控制超挖量，减少衬砌混凝土用量，降低综合成本；

(4) 水磨钻钻孔可兼作地质超前孔，探明地层岩性及水文地质情况，对预判地层涌水等不利条件具有较强指导性；

(5) 水磨钻开挖属于非爆破施工，不会产生明显震动，安全性较高。

## 结语

硬质岩层竖井开挖施工长期被视作业内难啃的“硬骨头”，受限于有限空间作业，大型设备无法充分发挥其优势。水磨钻的运用，成功解决空间狭小、无法实施爆破的困扰，其关键技术珠江三角洲水资源配置工程某标段硬质岩层竖井及连通隧洞开挖施工中得到进一步验证，值得推广应用。

## 参考文献

- [1] 杨涛. 浅谈水磨钻人工挖孔桩的应用[J]. 四川水力发电, 2018. 02: 170-172.
- [2] 曾勇生, 蔡圣昕, 王菲菲. 水磨钻在中风化岩层桩基成孔中的应用[C]//中国施工企业管理协会岩土锚固工程专业委员会. 中国施工企业管理协会岩土锚固工程专业委员会, 2014: 305-308.
- [3] 孙中华; 李鹏翱; 李彩红; 李傲龙; 孙伯乐; 郝鑫. 超硬质岩隧道水钻配合液压力劈裂开挖施工方法与流程: 201811579183.1[P]. 2019-05-10.

作者简介：吴尉（1989-），女，湖南岳阳人，本科，助理工程师，主要从事水利水电工程施工管理工作。