

香港五号干线前期工程钻孔灌注桩桩墙施工实践

汤捷¹, 王平²

(1. 中国地质工程集团公司(香港), 广东 深圳 518029; 2. 山西省地勘局, 山西 太原 030001)

摘要:介绍了香港五号干线前期工程石围角至柴湾角段的钻孔灌注桩桩墙施工中的设计及施工工艺; 论述了鼓式自配重球齿滚刀钻头及配套的相关机具的结构特点及应用效果。

关键词:香港五号干线; 钻孔灌注桩; 桩墙; 球齿滚刀钻头; 钻具

中图分类号: U418.5⁺2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2004)01-0018-05

1 工程概述

2001年9月底, 中国地质工程集团公司(香港)开始执行由港府新界拓展署(Territory Development Department)负责, 茂盛(Maunsell)亚洲工程顾问公司担任工程顾问(监理)的香港五号干线的前期工程(合同编号: TW97/01)中石围角(Shek Wai Kok)至柴湾角(Chai Wan Kok)段的项目。工程合同约定的施工内容分为两个部分。

第一部分: 旧警察署范围内的建筑物和构筑物等的拆除; 树木的砍伐、迁移; 工程勘查, 钻孔灌注桩桩墙和东、西挡土墙的建设及土石方工程; 一些市政设施的新建和改建, 如供、排水管线等。工期为450日历天。

第二部分: 绿化等, 工期为815日历天。

工程总造价约为9000万元港币, 其中仅钻孔灌注桩部分的造价约占总造价的2/3。

项目场地位于新界荃湾(Tsuen Wan)市区青山道(Castle Peak Road)的北侧, 邓家山南麓, 原旧警察署处, 为一狭长的场地(见图1), 其中2/3为坡地, 只在场地东侧有一主要入口。场地狭窄, 缺乏施工作业空间是本工程的最主要的施工难题之一。



图1 工地实景

2 地质条件

依合约要求, 每根桩位均完成了一个勘查孔。

根据香港土力工程处(Geotechnical Control Office)发布的1:20000地质图和各勘查孔的结果, 得出本场地的地层沿桩中轴线由西至东, 由浅至深主要分为:

(1) 表层为填土层, 厚度不均, 部分地方缺失。含少量的粗至细砂及花岗岩的碎石角砾。

(2) 坡积层, 厚度较大, 不均, 含少量的碎石、卵石, 部分地段有漂石, 如在西边挡土墙段部分。

(3) 残积层和全风化至强风化岩层, 厚度大, 不均匀, 岩石级别为IV~V级, 其中残积物和强风化岩很难区分, 没有明显界限。内含较多的风化花岗岩碎块, 特别是在2.2 m桩段和西边挡土墙段部分, 有大量所谓的“障碍物”, 即漂石或石蛋。

(4) 基岩, 顶面起伏较大, 风化层较薄, 主要为岩石级别II~III级中风化至微风化花岗闪长岩和级别为I级的新鲜花岗闪长岩, 岩石单轴抗压强度为25~50 MPa。

3 桩基设计

本工程的桩基设计主要有1.1、1.8、2和2.2 m四种直径和11种类型, 其中包含入岩桩和非入岩桩2种, 数量分别为入岩桩57根和非入岩桩17根, 同时部分入岩桩要求在基岩面以上的桩身外侧安装永久钢套管, 另外在西边挡土墙的桩(BPa~BPf)又要求在桩身中间插入9 m长的356×403×393 kg/m的工字钢。

桩型繁多使钢筋笼设计较为复杂, 多数采用双层笼的设计, 主筋直径为25~50 mm, 同时要求在笼中要安装4条内径为50 mm的超声波测管和1条内径150 mm钢管, 主要用于钻孔取基岩和桩身

收稿日期: 2003-07-07

作者简介: 汤捷(1968-), 男(汉族), 浙江黄岩人, 中国地质工程集团公司(香港)项目经理、工程师, 探矿工程专业, 从事工程施工技术与管理
工作, 广东省深圳市清水河龙园山庄29号楼505室, (0755)25880961。

混凝土接触面。具体的桩基设计参数见表 1。

表 1 钻孔桩设计参数

| 桩号 | 桩数 | 直径/mm | 桩型 | 钢筋笼 | 设计桩长/m | 入岩深度/mm | 永久钢套管厚度/mm |
|------------------------------------|----|-------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------|------------|
| BP _a ~BP _f * | 6 | 1000 | | 顶笼(单层):31/T4002+T16/250Links 底笼(单层):31/T4001+T16/250Links | 19.6~21 | 6000 | |
| BP01 ~ BP03 | 3 | 1800 | I | 顶笼(单层):53/T2005+T16/200Links 中笼(双层):53/T4003+49/T2504+T16/200Links+T16/300Links 底笼(双层):53/T4001+49/T4002+T16/200Links+T16/300Links | 19.6~21 | 7500 | |
| BP04~BP09 | 6 | 2000 | II | 顶笼(单层):53/T3210+T16/200Links 中笼(双层):53/T4008+53/T4009+T16/200Links+T16/300Links 底笼(双层):53/T4006+53/T4007+T16/200Links+T16/300Links | 23.8~27.9 | 9500 | |
| BP10~BP15 BP20~BP25 | 12 | 2200 | III | 顶笼(单层):57/T2517+T16/150Links 中上笼(单层):57/T3216+T16/200Links 中笼(双层):57/T5014+50/T4015+T16/200Links+T16/200Links 中下笼(双层):57/T5012+50/T5013+T16/200Links+T16/200Links 底笼(单层):57/T5011+T16/200Links | 36.6~42.1 | 19000 | 35 |
| BP16~BP19 | 4 | 2200 | IV | 顶笼(单层):60/T3225+T16/150Links 中上笼(双层):60/T5023+52/T3224+T16/150Links+T16/300Links 中笼(双层):52/T5021+60/T5022+T16/150Links+T16/150Links 中下笼(双层):60/T5019+52/T4020+T16/200Links+T16/300Links 底笼(单层):60/T2518+T16/150Links | 42.2~42.4 | 19000 | 40 |
| BP26~BP37 | 12 | 1800 | V | 顶笼(单层):36/T2530+T16/150Links 中笼(双层):36/T4028+36/T4029+T16/150Links+T16/400Links 底笼(双层):36/T4026+36/T4027+T16/150Links+T16/400Links | 23~26.8 | 11500 | |
| BP38~BP45 | 8 | 1800 | VI | 顶笼(单层):36/T2035+T16/200Links 中笼(双层):36/T4033+36/T3234+T16/200Links+T16/300Links 底笼(双层):36/T4031+36/T4032+T16/200Links+T16/300Links | 19.8~23.6 | 8500 | 25 |
| BP46~BP51 | 6 | 2000 | VII | 顶笼(单层):46/T2541+T16/200Links 中上笼(单层):48/T4040+T16/200Links 中下笼(双层):48/T4038+38/T4039+T16/200Links+T16/400Links 底笼(双层):48/T4036+38/T4037+T16/200Links+T16/400Links | 28.1~33.4 | 12000 | 45 |
| BP52~BP53 | 2 | 2000 | VIII | 顶笼(单层):24/T4042+T16/200Links 中笼(单层):24/T4042+T16/200Links 底笼(单层):24/T4042+T16/200Links | 19.1~19.6 | | |
| BP54~BP63 | 10 | 1800 | IX | 顶笼(单层):16/T3243+T16/200Links 底笼(单层):16/T3243+T16/200Links | 14.9~19.6 | | |
| BP64~BP68 | 5 | 1000 | X | 顶笼(单层):14/T4044+T16/200Links 底笼(单层):14/T4044+T16/200Links | 11.1~11.6 | | |

* 桩中插工字钢。

桩身的混凝土强度设计为 G45/20D(相当于内地的 C45),塌落度为 175 mm,要求粗骨料最大直径 $\nless 20$ mm。

4 施工方案和工艺的确定

钻孔桩桩墙是本工程的主体内容,可分为场地准备、钻孔桩施工和面墙施工 3 个阶段。针对钻孔桩施工又是项目的重中之重,而香港法定的施工时间只有每天 7:00 am~7:00 pm,我们根据现场的施工条件,采用的设备和机具的状况(见表 2)以及合约要求,确定场地准备和桩基施工方案如下。

4.1 施工场地的准备

因现场的原有地形在南北方向上为陡峭的坡地,在东西方向沿桩墙的中轴线呈两端低中间高的地形,不具备基本的通行条件,特别是在工地的中部又有一条私家阶梯登山路(两侧有 2 m 高的铁丝网围栏)将整个工地拦腰斩断,因此,桩基临时施工通道和作业平台的修建工作是决定桩基施工能否顺利完成的一个关键因素。

安排场地的清理和道路修筑工作应尽早开始,并要求在最短的时间内完成以便开始地质勘查作业,同时穿插进行工地外侧防滚石金属围墙的安装和桩基临时施工通道和平台的修建工作,主要包括场地的中西部临山的钢板桩施工,土石方施工,场地

表2 钻孔桩主要施工设备机具

| 设备名称 | 型号规格 | 数量 | 备注 | | |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 通用设备 | 履带吊机 | LIEBHERR - Crawler Crane HS 853 HD(80 t) LIEBHERR - Crawler Crane HS 873 HD(100 t) LIEBHERR - Crawler Crane HS 883 HD(120 t) | 1台 3台 1台 | 钢筋笼制作等的辅助工作 参与 $\Phi 1.1, 1.8$ 和 2 m 桩的施工 主要参与 $\Phi 2.2$ m 桩的施工 | |
| | 发电机 | DENYO - NES - 250S(250 kW) | 3台 | 为焊机、水泵等提供动力 | |
| | 电焊机 | LINCOLN ELECTRIC - DC600 DAIDEN - B500 | 2台 5台 | 半自动电焊机, 主要接驳钢套管 辅助工作 | |
| 全套管施工设备 | 套管摇摆钻孔机 | LEFFER - VRM2500 LEFFER - VRM2000 LEFFER - VRM1500 | 2套 1套 1套 | 参与 $\Phi 2$ 和 2.2 m 桩的施工 参与 $\Phi 1.8$ m 桩的施工 参与 $\Phi 1$ m 桩的施工 | |
| | 抓斗 | LEFFER - L1050SK LEFFER - L1500SK 和 CASAGRANDE - G28($\Phi 1650$ mm) LEFFER - L1800SK LEFFER - L2100SK | 1个 各1个 1个 1个 | 参与 $\Phi 1$ m 桩的施工 参与 $\Phi 1.8$ m 桩的施工 参与 $\Phi 2$ m 桩的施工 参与 $\Phi 2.2$ m 桩的施工 | |
| | 十字打石锤 | $\Phi 1150$ mm(8 t) $\Phi 1650$ mm(10 t) $\Phi 1900$ mm(12 t) $\Phi 2100$ mm(16 t) | 2个 1个 1个 2个 | 参与 $\Phi 1$ m 桩的施工 参与 $\Phi 1.8$ m 桩的施工 参与 $\Phi 2$ m 桩的施工 参与 $\Phi 2.2$ m 桩的施工 | |
| 挖土机 | KOBELCO CATE200B + KRUPP 油压炮 | 1台 1台 | 负责工地的出土和出渣 打混凝土, 便于接桩 | | |
| | 鼓形平衡器 | $\Phi 1020 \times 3000$ (NW300) mm $\Phi 1710 \times 3000$ (NW300) mm $\Phi 1920 \times 3000$ (NW300) mm $\Phi 2120 \times 3000$ (NW300) mm | 2个 4个 2个 4个 | 参与 $\Phi 1$ m 桩的施工 参与 $\Phi 1.8$ m 桩的施工 参与 $\Phi 2$ m 桩的施工 参与 $\Phi 2.2$ m 桩的施工 | |
| 气举钻杆平衡器 | | $\Phi 1020 \times 3000$ (NW300) mm $\Phi 1710 \times 3000$ (NW300) mm $\Phi 1920 \times 3000$ (NW300) mm $\Phi 2120 \times 3000$ (NW300) mm | 2个 4个 3个 6个 | 参与 $\Phi 1$ m 桩的施工 参与 $\Phi 1.8$ m 桩的施工 参与 $\Phi 2$ m 桩的施工 参与 $\Phi 2.2$ m 桩的施工 | |
| | | 全液压动力头反循环顶置钻机 | WIRTH - PBA612(最大扭矩 120 kNm, 最大加压 550 kN, 最大起拔力 650 kN) WIRTH - PBA818(最大扭矩 180 kNm, 最大加压 800 kN, 最大起拔力 1100 kN) WIRTH - PBA933(最大扭矩 330 kNm, 最大加压 1200 kN, 最大起拔力 2400 kN) SAM JIN - SJ2000 (最大扭矩 105 kNm, 最大加压 700 kN, 最大起拔力 1000 kN) | 1套 2套 1套 1套 | 参与 $\Phi 1.8$ 和 2 m 桩的施工 参与 $\Phi 1.8, 2$ 和 2.2 m 桩的施工 参与 $\Phi 2.2$ m 桩的施工 参与 $\Phi 1$ m 桩的施工 |
| | | | 钻杆 | $\Phi 325$ mm \times 3000 mm (NW300) | 62根 |
| | 泥浆循环箱 | | 26 ~ 33 m ³ | 5个 | 供反循环钻进和清孔时使用 |
| 钻具变径接头 | $\Phi 1200 / \Phi 530 \times 1500$ mm $\Phi 750 / \Phi 530 \times 1000$ mm | | 5个 2个 | 供 $\Phi 1.8, 2$ 和 2.2 m 钻头使用 供 $\Phi 1$ m 钻头使用 | |
| | 空压机 | INGESOLLAND - XHP825WCAT INGESOLLAND - XHP900SCAT ATLAX COPOO - XAHS365 | 3台 1台 1台 | | |
| 鼓形自配重钻头 | | $\Phi 1050$ mm(6把滚刀, 2 t) & WIRTH Cutter (W13/20) $\Phi 1740$ mm(8把滚刀, 6 t) & WIRTH Cutter (W13/20) $\Phi 1950$ mm(10把滚刀, 10 t) & WIRTH Cutter (W13/20) $\Phi 2150$ mm(11把滚刀, 16 t) & WIRTH Cutter (W13/20) | 2个 2个 1个 2个 | 参与 $\Phi 1$ m 桩的施工 参与 $\Phi 1.8$ m 桩的施工 参与 $\Phi 2$ m 桩的施工 参与 $\Phi 2.2$ m 桩的施工 | |
| | | 水泵 | EL1515 (6 in), 扬程 22 m, 出水量 4.4 m ³ /min EL2025 (8 in), 扬程 22 m, 出水量 4.4 m ³ /min | 14台 1台 | 钻进循环系统用 |

西端至中部的大型混凝土预制块的摆放(作为临时重力挡土墙)及土钉的施工等等。

4.2 钻孔桩施工

根据桩基是否入岩, 设计桩顶标高和施工作业平台标高的关系, 以及根据合约要求, 桩在整个施工过程中, 基岩面以上的桩孔必须要安放有临时的或永久的钢套管以保护孔壁及保持一定高度的水头, 避免孔壁的坍塌、管涌、周围地面的塌陷等事故的发生, 施工方

案按照非入岩桩和入岩桩、地下桩和地上桩分别确定。

4.2.1 非入岩桩

非入岩桩全部位于场地的东侧, 施工条件较好, 且均为地下桩, 故我们安排尽早开工。施工全部采用全套管法, 即根据 Benoto (贝诺特) 原理, 利用履带吊机和全套管摇摆钻孔管机的组合, 将临时或永久钢套管左右转动压入地下, 同时利用冲抓斗将套管内的泥土抓出后直接运走, 并在达到一定深度后往钢套管内补充

水以维持一定的水头高度,直至钢套管不断延长并深入到基岩面以下 500 mm 或预定的深度。如中间遇到漂石等障碍物,可利用打石锤冲击碎石,但需在打石过程中随时监控距锤击点一定范围内和周围建筑物的振动情况,严禁超过合约规定的要求。在实际施工时,由于地层含有大量的“障碍物”和软硬夹层,而且其顶标高仅比原人行道的路面低 1~2 m,如强行打锤和磨筒到基岩面,需耗时约 10 天/孔,而且很难控制钢筒的偏位和垂直度,故采取根据地层情况,磨筒至一选定的深度后,灌混凝土或纯水泥浆封底并尽早提钻。

4.2.2 入岩桩

入岩桩的工程量很大,其施工安排主要是采取随着施工通道和平台的修建及勘查工作的进度穿插开始和进行的,同时因各桩桩顶标高的设计不同,相对于施工平台的标高,中部高、两端低,故中部的 BP8 至 BP36 号桩在地下施工结束后还要进行接驳钢筒和桩身混凝土至设计高程,接桩的长度在 1.6~8 m 之间。故而施工工艺确定如下:

(1)覆盖层施工:在覆盖层的桩孔施工与非入岩桩的施工工艺一样。

(2)基岩施工:采用气举反循环钻进方法,设备选用德国 WIRTH 公司的全液动力头气举反循环顶置式钻机,配用高风压、大流量的 INGESOLLAND 和 ATLAX COPOO 空压机。

4.2.3 灌注水下混凝土成桩

(1)换浆清孔:按香港的规范要求,成孔时如采用自然造浆而不是采取膨润土造浆的工艺,在灌注混凝土时,孔内的循环液不允许含有固体颗粒,同时颜色要达到清水的程度。故本工程采取一次换浆,三次气举反循环清孔的工艺。即在成孔深度达到设计要求后,先不提钻,利用钻具边转动边进行第一次的换浆,第二和第三次清孔则分别在下钢筋笼和灌注前进行。

(2)安装钢筋笼:因桩型多,且多是采用内外双层笼的设计。故在下双层笼时采取先下外笼,后下内笼的方法。为保证能顺利和快速安装,内外笼的制作尺寸和扎制时必须严格控制各部位的偏差和垂直度,同时在外笼内安装 4~6 条导向用的 50 mm×50 mm×6 mm 角钢。

(3)灌注水下混凝土:采用商品混凝土,由吊车吊运料斗转送混凝土至孔口,用导管水下灌注成桩。导管采用 $\varnothing 300$ mm 的无缝钢管制成,采用插钢丝绳式联结头,上接喇叭形漏斗。

5 钻具设计和配套

5.1 钻头设计

5.1.1 钻头结构的确定

一般来讲,钻孔桩用的钻头结构要满足以下几方面的要求,即:容易加工、修复和修改;具有足够的强度、刚度和耐磨性;具有良好的吸渣能力;在钻进时有良好的导正和稳定性。

由表 1 可知,嵌岩桩的设计总钻岩深度就达 697.5 m,而且桩间距普遍为 380~400 mm,因此对本次施工用的钻头结构在稳定性方面有更高的要求。根据本地基岩的特性和分布情况,以往使用的各种类型钻头的经验,决定此次采用鼓形钻头(见图 2 所示)。钻头的高度在满足配重和吊机起重能力的前提下,尽可能大于或等于钻孔直径,一般为 1.5~2.0 m。另由于地下岩石夹层的存在,部分桩孔可能深度较浅,造成气举反循环所需的水头压力不足,故采取将气水混合器放置在钻头体内。同时为保证钻头具有良好的吸渣能力,减少重复破碎,在刀具底盘四周焊有一圈钢板作为底裙。

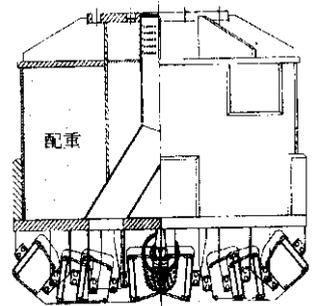


图 2 鼓形钻头结构示意图

5.1.2 破岩刀具的选择和布局

刀具的选择和布局不仅是影响钻进效率的关键因素,同时也对钻孔的垂直度起着重要的作用。综合考虑进度和质量的要求,决定此次施工钻头的中心至四周均采用球齿滚刀为破岩刀具,型号主要为 WIRTH 公司的 W13/20-LWG2,另配备部分国产的球齿滚刀作为备用。

在刀具布局设计时,我们主要根据设备能力和工程的具体情况,并参照以下的原则:

(1)平底布局:即从外至中依次为 48° 、 11° 和 -5° 的刀座,在中心位为倒锥体布置的形式,以增强其自身导正性。

(2)对称布置:为保证钻头的稳定性,尽可能均匀地在 4 个象限内布置刀具。根据空间的情况,尽量在

最外侧布置3~4个边刀,中心位可采用2个。

(3)等量克岩:为提高钻头的破岩效率和使用寿命,要尽可能满足各刀具的破岩面积相等,各圈刀具的重合宽度可按位置,保证在2~3个硬质合金齿即可。

(4)最少数量:滚刀的数量在能全面覆盖钻孔断面的岩石的前提下,越少越好,以提高单刀的破岩压力和增大循环液的过流通道,减少水头损失。

5.2 钻具配套

为保障钻孔的垂直度,孔底钻具配套见图3所示,上部则要求每间隔2~3根钻杆加装一个钻杆平衡器。

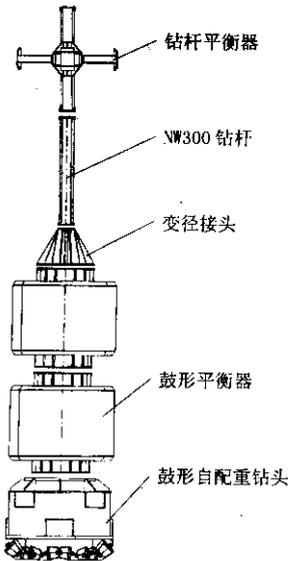


图3 钻具配置图

5.3 配重设计

为实现体积破岩和入岩的初期8~10 m能实现减压钻进,我们采用在钻具配套中加载配重,同时考虑到钻孔垂直度的要求,决定将配重加在钻具的最低位置,即钻头上,以降低钻具的重心。根据钻压计算和钻具配套情况, $\phi 1.8$ 、 $\phi 2$ 和 $\phi 2.2$ m钻头配重分别为:2、6、10和16 t。

6 钻进参数的确定

根据岩石的资料,可计算单个球齿滚刀所需的钻压如下。

6.1 单个滚刀触岩面积 S_c

按中度磨损和6钉计算,即

$$S_c = (1^2 \times 3.14 \div 4) \times 6 = 4.71 \text{ cm}^2$$

6.2 单个滚刀钻压

按岩石单轴抗压强度50和200 MPa分别计算,即

$$P_{50} = Q_c S_c$$

$$= 50 \times 10^2 \times 4.71 \times 10^{-4} = 2.35 \text{ t} = 23 \text{ kN}$$

$$P_{200} = Q_c S_c$$

$$= 200 \times 10^2 \times 4.71 \times 10^{-4} = 9.42 \text{ t} = 94.2 \text{ kN}$$

式中: Q_c ——按岩石单轴抗压强度,MPa; P_{50} ——岩石抗压强度为50 MPa的单个滚刀钻压,kN; P_{200} ——岩石抗压强度为200 MPa的单个滚刀钻压,kN。

虽然钻具在加重后,再配上钻机的液压加压可以满足上述要求,但考虑到滚刀上球齿的分布和滚刀的排布有利于发挥滚刀的扭、剪破岩作用,以及滚刀极限荷载的要求,我们在施工中采用按60~70 kN/单个滚刀来确定钻压。其它的钻进参数见表3所示。

表3 气举反循环钻进参数

| 桩径/mm | 气举反循环顶置式钻机 | | | | | 空压机 | |
|-------|------------|-----------|--------------------------------------------|-----------|---------------------------|------------------------------------------|--------|
| | 钻机加压/kN | 钻具自重/t | 循环液流量/(m ³ ·min ⁻¹) | 扭矩/(kN·m) | 转速/(r·min ⁻¹) | 送风量/(m ³ ·min ⁻¹) | 风压/MPa |
| 1000 | 200 | 6.2~10.5 | | 100~150 | 8~11 | | |
| 1800 | 220 | 28.2~29.5 | 400 | 100~180 | 7~11 | 20 | 1.3 |
| 2000 | 250 | 34.3~37.1 | ~450 | 110~180 | 7~10 | ~25 | ~2.0 |
| 2200 | 270 | 42.9~47.5 | | 130~330 | 7~9 | | |

7 总结及体会

通过实际的操作,实际的钻进效率一般达到2~3 m/天(每天工作时间为12 h),其中WIRTH公司的球齿滚刀的平均寿命为90~100 m,国产球齿滚刀的平均寿命为50~70 m。

经过总结,我们采用气举反循环在如花岗闪长岩等硬岩地层的钻进参数的确定原则可确定为三高一低,即:

(1)在钻机和起重机的能力范围内,尽量采用加重的钻具配置,达到高的钻压;

(2)采用高压、大风量的空压机和相应能力的回水泵,以实现最高循环液的流量;

(3)钻进时在钻机能力范围内,尽量采用低转速,实现高扭矩。