

# 水平旋喷施工技术在矿山地质工程中的应用

Application of Horizontal Jet Grouting in Mine Geological Engineering

张川, 马庆亮, 贾冲(中冀建勘集团有限公司, 河北石家庄 050200)

**摘要:**利用水平旋喷施工技术对矿山地质工程进行超前预加固,根据工程概况、施工条件以及实际施工情况,设计了基于水平旋喷施工技术的矿山地质工程建设方法。通过设计水平旋喷桩计算水平旋喷机的主要技术参数,确定桩位布置,并研究旋喷机的施工工艺。基于施工条件验证旋喷桩预支护加固效果,监测结果表明,工程位移变化量符合位移变化规律,证明水平旋喷超前预加固效果较好,对加固地层和支护矿山地质工程围岩结构具有良好的效果,可以为矿山地质工程创造出一个安全、稳定的施工环境。

**关键词:**水平旋喷; 施工技术; 稳定性; 超前预加固

**中图分类号:** TU472      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-609X(2022)05-0063-04

**Abstract:** Horizontal jet grouting technique was used for pre-reinforcement in the geological engineering of a mine. A construction method based on the horizontal jet grouting technique was designed according to the engineering conditions, construction conditions and actual situations. Horizontal jet grouting piles were designed to calculate the main technical parameters of horizontal jet grouting machine, determine the layout of the piles and study the construction process of the machine. The pre-reinforcement effects of the piles were verified based on construction conditions. The monitoring results show that the displacement variation of the engineering is in compliance with associated rules, proving the horizontal jet grouting technique has good effects in reinforcing stratum and supporting surrounding rock structure, and can create a safe and stable construction environment for mining geological engineering.

**Key words:** horizontal jet grouting; construction technology; stability; pre-reinforcement

## 1 前言

在矿山地质工程建设中,防护措施不完善,不但会延长施工周期、加大经济损失,严重的则会危及施工安全和运营安全。而水平旋喷施工技术是在传统旋喷技术的基础上,近年来快速发展起来的一项新兴的地层加固施工技术,不仅可以提高不同地质的地层强度和围岩的坚固程度,还可以保证快速地质工程在施工安全的前提下高效、顺利地如期达到施工目标<sup>[1]</sup>。为克服在黏性土与砂土富集的地层围岩中进行矿山地质工程施工存在安全性与技术性的难题,本文将水平旋喷施工技术应用到矿山地质工程建设中,对矿区内的黏性土与砂土软弱地层进行超前预支护加固,水平旋喷生成的固结体不仅可以提高桩体作为围岩的强度,而且经检验证明,水平旋喷加固效果表达良好,成功解决了快速地质工程施工中的难

题,该方法具有一定的使用价值与应用前景。

## 2 工程概况

某铁矿于1972年建成投产,东西长5 km,南北宽2 km,以第15勘探线为界线将整个矿山划分为南北两区,南起28勘探线,北至59勘探线,全长3 km。南区是指第15勘探线到第28勘探线之间的矿区范围,全长大约1.2 km。该矿山工程的地质勘查网度为55 m × 60 m,生产勘查网度为30 m × (35~45) m。在南区东翼主要以无底柱分段崩落方式进行开采,南区西翼主要采用铁矿块自然崩落法。无底柱分段崩落法已经在-250 m处垂直回采出矿,-285 m垂直采准已经准备完毕<sup>[2]</sup>。北区矿体赋存在标高-293~518 m,呈南北偏北,倾角约为45°,向南西倾斜,矿体平均厚度近70 m,最大平均厚度近190 m,最小平均厚度为15 m;南区矿体赋存在标高-600~800 m,呈东南偏南走向,共长1.3 km,倾角约为40°,向东北倾斜,矿体平均厚度近90 m。

该铁矿南北两区均已经开始建设,南区设计阶段标高为160 m,主要运输水平为-460 m水平,-340 m水平为辅助段,兼作为北区第一进风井口,

[作者简介] 张川(1983-),男,河北唐山人,本科,高级工程师,从事桩基础、地基处理研究。

[引用格式] 张川,马庆亮,贾冲.水平旋喷施工技术在矿山地质工程中的应用[J].中国矿山工程,2022,51(5):63-66.

-325 m 水平为专用回风水平,与北风井直接相连。在 -250 ~ -340 m 水平之间建设一组开采坡道,以便于上下通行无轨设备。采矿区沿穿脉方向为 80 m,岩溜井间距采矿区为 400 m,采场结构参数调整为 18.7 m × 20 m。

本文以某铁矿为研究对象,设计基于水平旋喷施工技术的矿山地质工程建设方法。由于矿区规模庞大,采集整个矿区的所有地质数据比较有难度,因此,结合矿山目前实际开采情况,以南区 -300 ~ -400 m 水平的全部地质资料以及生产设计资料为参照,在该工程区域应用水平旋喷施工技术,对矿山地质围岩进行超前预加固,提高矿山地质工程的整体稳定性,顺利完成施工任务。

### 3 基于水平旋喷施工技术的矿山地质工程建设方法

#### 3.1 设计水平旋喷桩

若想将水平旋喷施工技术成功应用到矿山地质工程建设中,首先需要确定水平旋喷桩的各项技术参数,其中包括桩体孔距、桩体外插角、桩体长度以及直径,并布置桩位<sup>[3]</sup>。基于这些技术参数设计适用于该工程建设的水平旋喷技术。

##### 1) 计算水平旋喷桩桩体孔距

桩体布孔孔距与旋喷桩固结体的交联关系如图 1 所示。

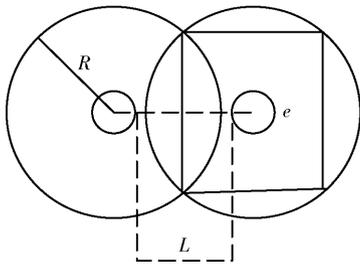


图 1 桩体布孔孔距与旋喷桩固结体交联图

计算桩体布孔孔距( $e$ )为

$$e = 2[R^2 - (L/2)^2]^{1/2} \quad (1)$$

式中, $e$  表示布孔孔距,单位为米; $R$  表示旋喷桩的交圈半径,单位为米; $L$  表示旋喷桩孔位长度,单位为米。

通常情况下,水平旋喷桩在矿山地质中的交圈半径为 0.5 ~ 1.0 m,根据施工现场实际情况和安全储备,取  $R = 0.25$  m、 $L = 0.3$  m,根据式(1)可计算出桩体布孔孔距为 0.4 m。在矿山地质工程建设过程中,30 cm 厚的“C30 喷射混凝土 + 钢筋”防护可以承受荷载土的静止土压力,在回填注浆初期,旋喷桩形成的固结体会出现不同程度的形变,在 24 h 内位

移最大变化量可达 5 cm,相对应喷混凝土表面会出现不同程度的裂痕;注浆回填完毕后,前期旋喷桩支护变形明显变小,并逐渐达到稳定状态<sup>[4]</sup>。因此,本文选取“40 cm 厚的旋喷桩桩体 + 超前注浆小导管”联合加固支护,其在矿山地质围岩开挖支护的过程中完全可以承担覆盖层的静止土压力。

##### 2) 计算旋喷桩外插角(仰角)

调整 DK355 + 494 ~ DK355 + 517 旋喷桩中段长  $h = 23$  m,调整 DK355 + 494 处受到前期加固支护,旋喷机钻头速度与动力等因素的影响,旋喷桩的桩心距离支护内轮廓线为 15 cm,至调整 ~ DK355 + 517 时旋喷桩下轮廓线刚好与前期支护外边缘线相碰触,则基于这一要求,桩体的外插角计算公式为

$$\theta = \arctan[(a + b)/h] \quad (2)$$

式中, $a$  表示桩心位置到前期加固支护内边缘线的距离(cm); $b$  表示钻机臂长,取 27 cm; $h$  表示旋喷桩最大工作高度,取 23 m<sup>[5]</sup>。将以上数据代入式(2)中可得到旋喷桩的外插角度数为  $\theta = 10.35^\circ$ 。

##### 3) 计算旋喷桩长度

旋喷桩的长度是在旋喷桩外插角的基础上求得的,计算公式为

$$l = h / \cos \theta \quad (3)$$

将  $h = 23$  m、 $\theta = 10.35^\circ$  代入上式中,得到旋喷桩的长度为 23.38 m。

##### 4) 确定桩体直径

水平旋喷桩冲击岩层的能力与桩体直径的大小有关,因此可以根据矿山土质、开采方法来选择旋喷桩的最佳直径。旋喷桩直径设计见表 1。

$N$  表示旋喷桩标准贯入击数。针对矿山的不同土质,旋喷桩的直径有单管法、双重管法和三重管法三种设计方法,根据对施工现场的勘查可知,该矿山南北两区的土质多以砂土为主,深层矿土为少量黏性土<sup>[6]</sup>,因此根据现场施工条件并结合现场试验得出的数据可知,旋喷桩的旋喷方式选择双重管法,旋喷桩在黏性土中的贯入击数为 6 ~ 10,在砂土中的贯入击数为 11 ~ 21,所以,对比表 1 可以确定旋喷桩的桩体直径为 1.0 m。

表 1 旋喷桩直径设计

土质	方法	单管法	双重管法	三重管法
黏性土	$0 < N < 5$	0.5 ~ 0.8	0.8 ~ 1.2	1.2 ~ 1.8
	$6 < N < 10$	0.4 ~ 0.7	0.7 ~ 1.1	1.0 ~ 1.6
砂土	$0 < N < 10$	0.6 ~ 1.0	1.0 ~ 1.4	1.5 ~ 2.0
	$11 < N < 21$	0.5 ~ 0.9	0.9 ~ 1.3	1.2 ~ 1.8
	$21 < N < 30$	0.4 ~ 0.8	0.8 ~ 1.2	0.9 ~ 1.5

### 5) 布置桩位

根据上述计算得出的旋喷桩的主要技术参数,通过现场考察确定支护范围,可以确定旋喷桩在施工中的位置,具体如图2所示。

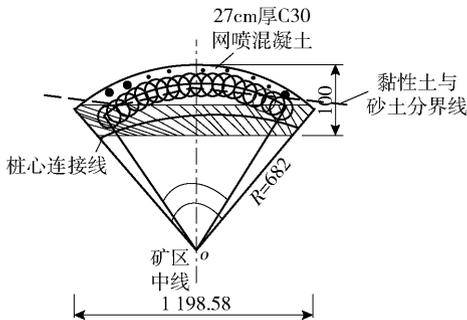


图2 水平旋喷桩桩位布置图

根据水平旋喷桩在矿区内的桩位布置图可知,改变 DK355 + 494 旋喷桩的孔位间距为 50 cm,交圈半径为 45 cm,咬合宽度为 40 cm。

通过计算旋喷桩的桩体孔距、外插角、旋喷桩长度以及确定桩体直径,获得旋喷桩的技术参数,根据施工要求与施工条件合理布置旋喷桩桩位,使得成桩后对矿区围岩的超前加固效果更好,进而降低矿山地质工程施工风险,也提高了工程的整体质量<sup>[7]</sup>。

### 3.2 确定施工工艺

本文通过理论分析与现场考察,获取了旋喷桩超前预加固施工的设计参数,并布置好桩位,采用双浆液双重管法进行大范围旋喷,接下来研究旋喷桩的施工工艺。水平旋喷操作必须保持整个过程是连续的,若在中途中断,则需要重新喷射施工,因此有必要在施工准备时制定一个全面、齐全的施工工艺流程,确保旋喷施工技术的支护效果以及矿山地质工程的质量。水平旋喷工艺流程如图3所示。

#### 1) 设止浆墙

在封闭掌子面范围建设 60 mm 厚的“C30 喷射混凝土 + 钢筋”止浆墙,建设完毕后,需将止浆墙放置 48 h,确保止浆墙完全凝固且没有塌陷。参照旋喷桩孔位布置图,在止浆墙上标记出旋喷桩的布孔位置。确定旋喷桩的仰角。利用旋喷机钻头钻穿止浆墙,将孔口管放入布孔中,向孔内注入水泥-水玻璃混合液体,注液压力控制在 0.8 MPa,令液体完全覆盖孔口管与止浆墙之间的间隙。在旋喷前要加固工作面,采用的方法是加网喷混凝土封闭法,目的是防止掌子面在旋喷机喷射过程中由于冲击力过大而发生塌陷现象。利用  $\phi 20$  mm 锚杆,长度为 60 cm,

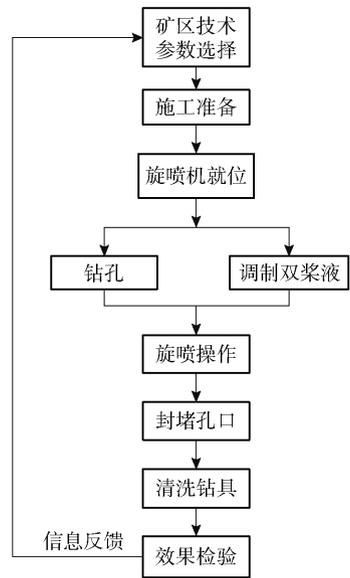


图3 水平旋喷机工艺流程

锚杆间距为 150 cm × 200 cm,布置类型为梅花形。在工作面上下两端分别设置两块钢筋网片,规格统一为  $\phi 10$  mm。

#### 2) 水平旋喷机就位

在矿山的开采坡道上放置旋喷机,其中铺设的导轨选择型钢,枕木的尺寸为 30 cm × 30 cm,同时保证坡道内边缘与掌子面的距离在 50 cm 以内,与矿山中线互相垂直,且顶面要呈水平<sup>[8]</sup>。将旋喷机沿坡道轨道来回匀速移动几次,将轨道压实,便于施工时旋喷机能顺利进出工程范围。在移动过程中利用水平仪校正旋喷机的高程。根据旋喷桩的孔位位置,利用专用测量尺测量钻塔的离地高度、仰角以及摆角,使钻塔的中轴线在外插角的角平分线上,角度误差允许范围是  $\pm 1^\circ$ 。最顶端 1 号孔位需要利用经纬仪调整钻杆的角度。确定旋喷机位置后,要进行旋喷机测量放样,方法是每个断面均钻 30 个旋喷孔。

#### 3) 钻孔

进行钻孔操作时,先钻旋喷机顶端的 1 号孔,然后每次间隔两个空位依次向下交替钻孔。钻孔的速度与顶推力根据矿山地层的土质进行选择,该矿山的土质以砂土和黏性土为主,因此本工程中选择的钻孔速度不低于 2 m/min,顶推力不小于 5 kN。在钻孔的同时配合低流量的清水,以防不易分解的杂物流入喷嘴中,导致旋喷机堵塞。搭接钻杆时,要确定接头口没有杂物,并拼接好钻头的密封套,轻轻旋转钻杆,保证接口处连接紧实后方可开始钻进。

#### 4) 调制双浆液

利用高速搅拌机调制旋喷机双浆液,注浆原材

料选用规格为 P. O42.5 的  $R(\text{SiO}_3)_n$  水泥, 严格遵照配合比的要求进行调制与搅拌, 在本工程中浆液比重为  $W:C = (0.8 \sim 1):1$ , 如有需要, 可加入外加剂。在搅拌过程中要一个方向连续均匀地搅拌, 搅拌时间不宜过长或过短, 一般在 5 ~ 8 min 为宜。在出浆口处安装过滤网, 以防止出浆口出现堵塞现象。

### 5) 旋喷作业

在旋喷操作前应当检查高压注浆泵的读数是否达到施工要求(45 ~ 50 MPa), 管内有无漏气现象以及旋喷机喷嘴是否堵塞。检查结果均无误且钻进到矿山的设计开挖深度时, 开始旋喷操作, 在旋喷机管孔口底部将高压喷浆留置 3 ~ 5 min, 在缓缓向外拉出钻杆, 钻杆每次拔出 0.5 m 时向回拖动 0.2 m, 与此同时进行高压喷浆。

为了保证旋喷机的旋喷质量, 先小范围旋喷半分钟, 并以 15 ~ 20 cm/min 的速度后退, 在后退时将旋喷转速调整到 35 r/min, 旋喷面积达到 20 m<sup>2</sup> 时, 停止后退, 并对旋喷机大头的回抽速度进行测量校正。在进行旋喷操作时, 安排专业人员时刻观察高压注浆泵的泵压变化, 当泵压缓慢下降并趋于稳定, 同时钻杆外拔至围岩与止浆墙交界线处时停止旋喷, 隔离浆液输送管道, 再彻底拔出钻杆, 便于封口。

### 6) 封堵孔口

旋喷完毕后, 要以最快速度拆卸旋喷管, 在拆卸旋喷管之前要结束回抽操作, 并反复旋转旋喷端头直至没有浆液喷出再将旋喷管拆卸下来, 另外, 拆卸之后要立即将输浆管与旋喷桩端口连接, 确认恢复输浆后反复旋转旋喷端头。当每个孔口旋喷到距离旋喷桩旋喷端口 1 m 时, 将钻头缓慢推出, 并封堵孔口, 防止浆液渗漏。

### 7) 钻具清洗

旋喷结束后, 向装浆液的容器中灌入大量清水, 同时启动高压泵, 清洗旋喷机所有管道中的浆液, 将旋喷机端头的砂土一并清理干净, 以防堵塞, 等到喷嘴喷出清水后证明清洗完毕。

## 4 施工结果

经过上述施工过程, 水平旋喷施工技术应用完成。为了检验旋喷桩预支护加固效果, 检测矿山地质工程的稳定性状态, 根据地质围岩性质和开采方式等实际情况来验证桩体的加固效果。在该矿山地质工程 DK355 + 494 测量点地表下降监测曲线图如图 4 所示。

由图 4 可知, 矿山在开采后的前 3 d 时间里, 工程的位移变化量比较大, 最大沉降值为 0.7 cm。随

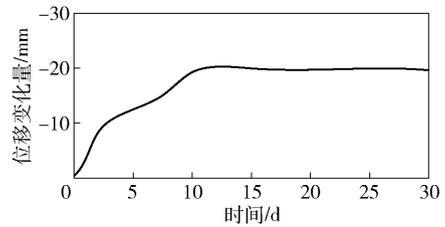


图 4 DK355 + 494 测量点地表下降监测曲线

着旋喷支护效果的不断表达, 工程的沉降速率在不断减小, 在第 15 d 左右, 位移变化量也在慢慢趋于稳定, 在第 15 d 之后, 工程位移变化量符合位移变化规律, 表明水平旋喷超前预加固效果表达较好, 对加固地层和支护矿山地质工程围岩结构具有良好的效果, 可以为矿山地质工程创造出一个安全、稳定的施工环境。

## 5 结论

水平旋喷预支护加固施工技术是常规旋喷桩注浆技术的发展和延伸。实践证明, 利用水平旋喷技术能够通过在地层围岩上钻孔、大面积喷射双浆液, 在矿山地质工程建设过程中形成一个坚固的固结体空间, 该空间通过挤压压实作为岩体, 以达到提高固结体稳定性的目标, 进而提高工程建设的施工安全性。对工程建设后的监测表明, 水平旋喷预支护加固施工技术是能越过松散不稳定土质矿山地质工程建设的理想支护加固方法, 具有一定的推广与应用价值。

### [参考文献]

- [1] 杜国文. 矿山地质工程勘查施工现场技术研究[J]. 四川水泥, 2020(7): 138 - 139.
- [2] 李存禄. 矿山地质工程勘查施工现场技术研究[J]. 世界有色金属, 2020(5): 147 - 148.
- [3] 姚栋. 矿山地质工程勘查施工现场技术研究[J]. 世界有色金属, 2020(1): 114 + 116.
- [4] 吴蔚然. 浅析水平旋喷技术在广西大浦高速平田隧道涌水突泥处治中的应用[J]. 黑龙江交通科技, 2022, 45(5): 139 - 141.
- [5] 张平武. 富水疏松砂岩段水平旋喷桩超前支护施工技术分析[J]. 江西建材, 2022(1): 172 - 173 + 176.
- [6] 翟志国, 花楠, 刘柳. MJS 水平旋喷桩在京沈高铁盾构隧道联络通道中的应用[J]. 隧道建设(中英文), 2021, 41(S2): 512 - 519.
- [7] 贾良. 隧道工程施工中高压水平旋喷桩超前支护技术的应用研究[J]. 粘接, 2021, 47(9): 189 - 192.
- [8] 李杰. 过街暗挖通道中水平旋喷施工技术应用研究[J]. 建设科技, 2021(16): 89 - 91 + 96.