

## 基于跟管钻进技术的高边坡破碎岩体锚杆施工工艺优化

林 雄

中国水利水电第十二工程局有限公司, 浙江 杭州 310030

[摘要]为了解决在某水库库区高边坡破碎岩体锚杆施工中出现的成孔难、塌孔多、灌浆效果差等问题的技术问题,在对破碎性岩体的工程地质特点以及传统的锚杆工艺失效机理进行研究的基础上,采用跟进管钻孔法,在钻孔工艺方面进行了改良设计,在注浆工艺上进行了改良设计,在工序衔接上进行了改进设计,并提出了一系列的质量控制措施。工程实例证实,通过改进以后的方法,成孔合格率达到95%以上,单孔钻进效率提高30%,总的成本节约了将近20%,成功破解了破碎性岩体锚固施工的技术难题。研究成果可为类似地质条件下的高边坡锚固工程提供技术参考。

[关键词]跟管钻进; 破碎岩体; 高边坡

DOI: 10.33142/hst.v9i4.19609

中图分类号: TV554

文献标识码: A

### Optimization of Anchor Rod Construction Process for High Slope Fractured Rock Mass Based on Follow Pipe Drilling Technology

LIN Xiong

Sinohydro Bureau 12 Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310030, China

**Abstract:** In order to solve the technical problems of difficult drilling, multiple collapse holes, and poor grouting effect in the construction of anchor rods in fractured rock masses on high slopes in a reservoir area, based on the study of the engineering geological characteristics of fractured rock masses and the failure mechanism of traditional anchor rod technology, the follow-up pipe drilling method was adopted to improve the drilling process design, grouting process design, process connection design, and a series of quality control measures were proposed. Engineering examples have confirmed that through the improved method, the qualified rate of drilling has reached over 95%, the efficiency of single hole drilling has increased by 30%, and the total cost has been saved by nearly 20%. The technical problem of anchoring construction in fractured rock masses has been successfully solved. The research results can provide technical reference for high slope anchoring engineering under similar geological conditions.

**Keywords:** follow pipe drilling; fragmented rock mass; high slope

#### 引言

高边坡支护是水工建筑中的一项重要步骤,它决定了边坡是否能够稳定以及整个工程的安全性,对于某一水电站大坝工程而言,在坝区存在大量的碎石节理裂隙以及局部夹有软层的问题,在进行锚杆施工的时候存在着成孔难、孔壁不稳定、灌浆不到位等多种问题,传统的潜孔锤击式钻孔机适用于完整的岩石当中,在破碎的岩层里会因为钻孔过程中产生的振动导致孔壁坍塌,影响成孔质量和锚杆插入深度。针对这些问题,采用跟进式钻机可以使用套管进行跟进式的护壁来防止孔壁坍塌,保持了成孔的稳定性,并且将钻孔、成孔、清孔、装管等一系列过程合为一体,提高了工作效率,用偏心扩孔增加了锚杆安装的适应性。为此,本文以该工程为基础进行在跟管钻进情况下锚杆施

工工艺的探讨,在实际使用的基础上对其效果进行评估,验证该项技术应用于破碎地层的优势以及经济性,为同类工程进行借鉴。

#### 1 高边坡破碎岩体锚杆施工工艺现状及问题

##### 1.1 传统锚杆施工工艺流程

传统锚杆施工是先测放线,再钻机定位,然后再钻孔成孔,接着是清孔,之后是埋设锚杆、注浆、养护等步骤。完整岩石中此工艺成熟易操作,钻孔设备采用潜孔冲击钻机,使用压缩空气做动力源对岩石实施冲击回转钻孔,在完成钻孔后用高压风吹净孔内残留物,最后由人力放入锚杆并注入浆液。

##### 1.2 破碎岩体成孔困难与塌孔问题分析

在碎裂岩体内打设锚杆钻孔,主要问题是钻孔壁稳定

性的维护问题,在钻孔时钻具的冲击以及旋转对孔壁有扰动,碎裂岩体裂隙发育,块体之间联系较差,由于钻具震动及高压风吹刮的作用很容易造成坍孔,实际工作中碎裂岩石体段超过一定限度后,传统的工法难以保证钻孔率小于 60%,甚至会出现一边钻一边坍的现象,严重制约着施工速度。

### 1.3 孔壁稳定性与成孔质量控制难点

破碎岩体锚杆成孔的质量控制存在很多困难。一是孔壁失稳是突发性和不确定性的,在钻入到一定深度的时候会发生突然的整体滑塌;二是普通的泥浆护壁法在破碎岩体内作用不大,泥浆容易沿着裂缝漏失不能起到护壁的作用;三是针对深厚覆盖层、堆积体、破碎带的锚索成孔,在钻孔造孔过程中常见的卡钻、套管损坏等情况使得套管下放的深度达不到设计的基岩层面,影响施工进度同时导致成本升高。

### 1.4 注浆效果不均匀问题分析

传统工艺对破碎岩层进行灌浆时,浆液易沿张开裂隙大量损失,造成灌浆不到位,锚固力不够;同时孔壁坍塌的岩石碎屑掺入锚固体内,降低锚杆与孔壁间的粘结能力;若灌浆压力过大也会使得已经塌孔的破碎岩层再次遭受破坏,形成了一个不良的链式反应。

### 1.5 施工效率与安全风险问题

传统工艺由于经常出现塌孔需要重新清扫和复打,一个孔的施工时间需要花上 2~3 天的时间大大拖延了施工工期。并且工人在高边坡脚手架上进行长期的工作,再加上钻孔失败后的一系列重复工作,使安全隐患急剧增多。

## 2 基于跟管钻进的锚杆施工工艺优化设计

### 2.1 工艺优化总体思路与原则

工艺改进的基本思路是变被动处置为主动保护,利用跟管钻进法做到钻进的同时进行护壁工作。跟管钻进法的基本思想是在钻杆外加装一个钢管,钻进时钢管随着钻杆一起向下移动,起到对孔壁及时支撑的作用,避免了由于钻具扰动造成孔壁坍塌的现象,工艺改进设计原则有:先成孔,保证钻孔的整体性;工序紧凑,缩短各个环节之间的等待时间;过程可溯,建立起全过程质量跟踪追溯制度。

### 2.2 跟管钻进成孔工艺优化

成孔技术改造主要是对钻进方法进行根本性的革新。采取超特大型规格的偏心钻配同步跟管钻进成孔的方法,在钻孔开始即用钢套管支撑钻孔壁面,以避免钻具搅动导致孔壁下沉的现象出现,边钻进边增加钻杆和套管,在一定的深度之后提升钻具查看偏心钻与冲击器的工作状态直至设计孔深为止,偏心套管钻具由导向钻头、偏心扩孔

片、套管靴、套管等组成,它的工作流程是这样:正常钻进中,压缩空气推动着冲击器发出强烈的冲击能量,带着偏心扩孔片受到离心力影响而扩张,形成超过套管外部的圆形孔洞,套管在冲击器外套的带动下紧随其后。钻孔完毕后,正转钻杆使偏心扩孔翼张开,钻具即可轻松地由套管中拔出,而套管却完好无损地停留在孔底起到永久护壁作用,然后利用高压风进行清理排渣,风压要达到 0.8MPa 以上,保证孔底沉淀物不超过 5cm 厚。该技术将传统的钻孔及护壁工作融为一体,从根本上解决破碎岩层钻孔难的问题。相对常规的方法,跟管钻进省去了反复扫孔、塌孔的步骤,一个孔的钻进速度也从以前的每米 18.5min 降低到现在的每米 12.8min,成孔质量也从原来的 58.5% 提高到了现在的 96.2%,大幅提升了施工效率。而套管护壁则很好地隔绝了破碎岩体对钻孔的影响,有利于后面锚杆的施作与灌浆作业的顺利开展。

### 2.3 分段注浆与压力控制优化方法

针对破碎岩体浆液流失严重的现象,提出对症下药,分别采取分段注浆以及压力分级控制的方法,再进行一次注浆时使用孔底返浆法,一次灌注的压力控制为 0.6~1.0MPa,只要看到浆液从孔口反出便可停止,当一次灌注的水泥浆初步固化之后再继续二次注浆,二次注浆压力 2.0~2.5MPa,水泥用量约 400kg/m<sup>3</sup>。二次高压注浆可以使浆液进入周围的破碎岩石内部,从而形成扩大头锚固体,极大增强了锚固力。

### 2.4 施工工序协同优化与流程重构

把原有的串行工序转变为并行协同工序。在跟管钻进的过程中就完成套管护壁、钻孔成型的过程,终孔之后马上进行锚杆的放置及一次注浆工序,降低孔壁暴露的时间,在套管拔出的同时进行二次注浆作业,原来的钻孔、成孔、清孔、装管四个工序合并成一个跟管钻进过程来完成。流程经过调整,单孔施工时间从原来采用的传统工艺的 2~3 天降至了 1 天之内。

## 3 关键施工技术与质量控制方法

### 3.1 钻进参数优化与实时调控技术

钻进参数的选择要合适,它是钻孔质量的基础保障,钻压大小不宜过高,过大了容易造成孔洞壁变形;转速大小要随地层破碎情况来变化,破碎越严重转速就会降低;冲程次数与风压要相符合,有利于钻土渣的排出。钻探过程中要详细记录每个孔所遇到的地层结构以及钻探状况还有地下水的情况甚至一些特殊状况,一旦出现坍孔缩径等不良钻孔状况则必须立刻停止钻探工作。施工现场安排工程师随时观测钻孔参数,在出现异常时立刻进行处理。

### 3.2 跟管同步推进与拔管控制技术

跟管跟进最根本的一点就是保证套管与钻杆的一致性,这是保证高质量成孔的关键所在,在钻进的时候,钻杆下移的速度一定要与套管跟进的速度相吻合,二者之间的差值绝对不能超过5%,如果出现钻杆下落速度快而套管跟进慢的情况,那么就会形成钻具与套管之间的缝隙,破碎的岩石颗粒很容易进入这个空隙处从而引发卡钻情况的发生。相反,如果套管跟进速度快而钻杆下移慢,就会加大套管和孔壁之间的摩擦力,严重者会造成套管接头脱落甚至断裂。套管接头要定期进行检视,如有损坏或者变形现象要及时更换以防断裂。对于跟管钻进施工中遇到的清钻难、跟管不易取出、套管连接处破裂以及管靴破裂等问题需要有针对性地加以控制,在清钻困难的情况下要及时增大风压到0.8~1.0MPa,采用间歇性的清钻方法,在跟管不易取出的情况下,通过往套管中灌注高压水或者稀浆来减小拔管力量以顺利取出套管,在套管连接处破裂的情况下,则需要用专业的打捞工具进行处理。拔管时机的选择也很重要,如果过早拔管会导致浆体尚未完全凝结的情况下孔壁发生坍塌,而拔管过晚又会使拔管受到阻力变大甚至使套管与浆体发生粘连。一般情况下是一次注浆结束后2~4h之后再开始拔出套管,具体的时机要结合水泥初凝时间和孔内温度来确定。使用拔管机缓慢均匀地拉出,拔管速率控制在0.2~0.3m/min,在遇到阻力突然增大就要暂停并分析原因。

### 3.3 施工过程信息化与智能监测应用

引入施工过程信息化管理系统,在施工过程中实时监测并记录每个锚杆钻孔深度,注浆压力以及注浆量等重要指标<sup>[1]</sup>。使用分担式预应力锚索方案,在锚索安放完成后由拔管机抽出护盾,借助高压气体对孔内进行清洗排屑,检验结果证明这种方法能很好地防止软弱地质条件下塌孔以及钻杆弯曲等一系列问题的发生。以锚杆施工过程中的数据为基础形成锚杆施工质量管理档案库,做到对整个施工环节的质量跟踪和数据分析。

## 4 工程应用效果分析

### 4.1 工艺实施方案与施工组织

某水电站大坝高建在水库库区高边坡锚杆施工选择代表性破碎岩石段落进行试验,在此布置锚杆156根,施工设计孔径为110mm,施工孔深8~12m。使用MG-50型锚杆钻机配用偏心跟管钻具,套管尺寸 $\Phi 127 \times 6\text{mm}$ 。施工组织采取两班倒制,一台钻机配操作手两人、辅助工两人。

### 4.2 成孔质量与锚固效果评价

改进工艺后,成孔合格率达到96.2%,比原工艺提升了37.7%。成孔质量评定以孔深、孔径、孔斜三个参数进

行综合评判,分别是:孔深误差 $\leq \pm 50\text{mm}$ ,孔径 $\geq$ 设计尺寸值(110mm)。孔斜率 $< 1\%$ 。工地共抽检156根锚杆,其中150根符合孔深、孔径、孔斜全部合格标准的要求,只有6根因为局部有较大的孤石造成孔位偏移超过规定范围。而对注浆饱满程度通过声波反射的方法来进行测量,结果表明锚杆的锚固段注浆饱满度都大于85%,达到大于75%的设计要求。注浆饱满度的好坏直接影响着锚杆寿命以及锚固力大小,饱满度达到85%以上就是浆液和钻孔周围岩石体良好黏接的表现<sup>[2]</sup>。注浆时同时观测了注浆压力及注浆量的变化曲线,所有锚杆的注浆压力都在0.6~1.0MPa之间波动,注浆量都超过理论计算的量,没有浆液大量流失的异常现象发生。随机选取10根锚杆开展抗拔试验,其抗拔力全部达标,最大抗拔力值是要求的1.35倍左右;抗拔试验中采取逐级加载的方法,在每级加载力施加5分钟后测量位移量,发现所有锚杆在试验最大的荷载条件下位移趋于稳定,没有屈服或者拔出损坏的情况。相比较常规工艺来说,改进之后的锚杆抗拔力变异程度大大降低,变异系数从原来的0.25降到了0.12,锚固的效果一致性增强。

### 4.3 施工效率与经济效益对比分析

表1 传统工艺与跟管钻进优化工艺对比分析

对比指标	传统工艺	跟管钻进优化工艺	提升幅度
平均单孔钻进时间(min/m)	18.5	12.8	↓30.8%
成孔合格率(%)	58.5	96.2	↑37.7%
单孔综合施工时间(h)	32	18	↓43.8%
综合单价(元/m)	385	308	↓20.0%
钻具平均损耗率(%)	12.5	7.2	↓42.4%

如表1所示,跟管钻进优化工艺的各项指标都大大优于传统的跟管工艺。单孔综合施工时间从原来的32h降至18h,综合单价下降了20%,经济效益明显提高。

### 4.4 施工效率与经济效益对比分析

在施工进度方面,跟管钻进省去了频繁扫孔以及塌孔处理的过程,每根孔钻进的速度提高了30%以上<sup>[3]</sup>。在经济上,尽管跟管钻进要额外支付一些套管材料费,但由于成孔成功概率与施工进度大大提高了,总体花费减少了近20%。该成果处于国内先进水平,可以做到传统锚索施工的钻孔、装索、灌浆等工作一次到位,不存在工序间交接以及空闲等待的情况,节约工期40%左右。

## 5 施工风险分析与安全控制措施

### 5.1 高边坡施工主要风险识别

高边坡锚杆施工主要危险有:高空坠落危险、机械伤害危险、坍塌危险以及职业病危害等,作业面地形条件复

杂,脚手架搭设不合格容易发生坠落事故,钻孔设备运行时存在被绞入的风险、高压风管破裂等风险,破碎岩石钻孔扰动易引起局部坍塌或掉落片石。

## 5.2 跟管钻进施工风险分析

跟管钻进工艺特有的风险有套管断裂风险、卡钻风险以及拔管难的风险。在深覆盖层、堆积体、破碎带的钻进成孔过程中,经常出现卡钻、套管断裂的现象,套管接头在循环荷载下容易疲劳断裂,断裂后不易修复;卡钻事故处理不当可能造成钻具损坏。针对这些风险采取了以防为主的方针,及时处置,具体措施有:定期检测套管接头、控制好钻进速度、准备一套备用拔管机具等等。

## 6 结语

围绕着跟管钻孔法应用于高边坡破碎岩质边坡锚杆支护施工工艺改进,在广西武宣县高达水库电站大坝项目中系统破解了破碎岩质边坡锚杆钻孔难、孔壁坍塌、灌浆质量差等问题的技术瓶颈,创新的施工工艺把传统的钻孔

和护壁程序结合在一起,采用分段灌浆及控制压力的方式使钻孔合格率达到 96.2%,提高了施工速度 30%,节约了总费用 20%,该研究可以为类似地质情况下的坡面锚固体工程起到借鉴作用,对于完善复杂地层锚杆作业技术有促进作用。

## [参考文献]

- [1]卓海金.不良地质条件下高边坡预应力锚索跟管施工技术应用研究[J].西部交通科技,2023(12):20-21.
- [2]吕自福.锚杆框架梁施工技术在西南多雨山区高边坡路基中的应用分析[J].青海交通科技,2024,36(2):82-85.
- [3]徐梓轩.套管跟进法在破碎岩层边坡锚杆钻孔施工中的应用[Z]//贵阳至黄平高速公路项目论文集.中交四公局七公司贵黄项目;2022:174-177.

作者简介:林雄(1991—),男,毕业于成都大学材料成型及控制工程专业,高级工程师,就职于中国水利水电第十二工程局有限公司,任项目副经理。