

# 复杂地层下钻孔灌注桩泥浆护壁绿色施工控制技术研究

胡小鹏 彭永文 雷润杰

中建五局土木工程有限公司 湖南 长沙 410000

**摘要:** 本文聚焦复杂地层下钻孔灌注桩泥浆护壁施工,通过现场试验对比膨润土、聚丙烯酰胺(PHP)、低粘增效粉(LBM)三种泥浆材料在砂土层、软土层、破碎岩层的护壁效果。研究显示,膨润土泥浆在砂土层护壁效果最佳,LBM泥浆可降低软土层失水率,PHP泥浆能提升破碎岩层钻进效率。基于试验数据,构建了绿色施工控制参数体系,涵盖泥浆关键指标动态调整范围及环保措施,为复杂地层钻孔灌注桩绿色施工提供了理论与技术支持。

**关键词:** 复杂地层; 钻孔灌注桩; 泥浆护壁; 绿色施工控制技术; 泥浆材料对比

## 1 引言

钻孔灌注桩作为基础工程中广泛应用的一种桩型,具有适应性强、承载能力大等优点,在高层建筑、桥梁、港口等工程中发挥着重要作用。然而,在实际施工中,钻孔灌注桩常面临复杂地层条件,如砂土层、软土层、破碎岩层等。这些复杂地层给钻孔施工带来了诸多困难,如孔壁坍塌、泥浆漏失、钻进效率低下等问题,严重影响施工质量和进度。

泥浆护壁是解决复杂地层钻孔施工难题的关键技术之一。合理的泥浆材料和科学的施工控制能够有效稳定孔壁、携带钻渣、冷却钻头,确保钻孔施工的顺利进行。同时,随着环保意识的不断提高,绿色施工已成为工程建设领域的发展趋势。传统泥浆材料在使用过程中可能存在环境污染问题,因此,研究复杂地层下钻孔灌注桩泥浆护壁绿色施工控制技术具有重要的现实意义。

## 2 试验设计与方法

### 2.1 试验场地选择

以南昌高新区瑶湖花园七期安置房项目为背景,结合项目地质勘察报告,选取了三个具有代表性的工程场地作为试验场地:C04-08地块(C地块)内砂层分布广泛且均匀区域作为砂土层试验场地,C04-09地块(A地块)内水塘底部软土层(淤泥)作为软土层试验场地,以及C04-02地块(E地块)内基岩裸露或接近地表且岩体破碎程度较高区域作为破碎岩层试验场地,这些场地均满足地质条件明确、地层分布均匀、交通便利及具备施工所需水电条件的要求。

### 2.2 泥浆材料准备

#### 2.2.1 膨润土

选用优质的钠基膨润土作为基础泥浆材料。钠基膨润土的主要成分为蒙脱石,这种特殊的矿物结构赋予了它卓越的造浆性能和悬浮性。在水中,蒙脱石晶体能够

迅速吸水膨胀并分散成细小的颗粒,形成稳定的胶体溶液,从而形成具有一定粘度和切力的泥浆体系<sup>[1]</sup>。这种泥浆能够有效地悬浮钻屑,防止其沉淀堵塞钻孔,同时在孔壁上形成一层薄而韧的泥皮,起到保护孔壁、防止塌孔的作用。

#### 2.2.2 聚丙烯酰胺(PHP)

选择分子量适中的阴离子型聚丙烯酰胺作为泥浆添加剂。聚丙烯酰胺具有独特的增稠和絮凝作用,在泥浆中,它能够通过分子链的伸展和缠绕,增加泥浆的粘度,提高泥浆的携渣能力,使钻屑能够更有效地被携带出钻孔。同时,其阴离子特性使其能够与泥浆中的颗粒发生吸附作用,形成絮凝团,进一步改善泥浆的性能。适量的PHP添加可以显著提高泥浆的质量,增强护壁效果。

#### 2.2.3 低粘增效粉(LBM)

低粘增效粉是一种新型的泥浆添加剂,具有低粘度、高分散性等显著特点。在泥浆中加入LBM后,它能够迅速分散并与泥浆中的其他成分相互作用,形成均匀稳定的体系。其低粘度特性有助于降低泥浆的流动阻力,提高泥浆的循环效率;而高分散性则能够使泥浆更好地包裹钻屑,减少泥浆的失水率,保持孔壁的稳定性。此外,LBM还具有一定的润滑作用,能够降低钻具与孔壁之间的摩擦力,延长钻具的使用寿命。

### 2.3 试验设备与仪器

钻孔设备:采用反循环钻机进行钻孔施工。

泥浆制备设备:包括泥浆搅拌机、泥浆泵等,用于制备和输送泥浆。

监测仪器:孔壁稳定性监测采用超声波测壁仪;泥浆性能指标监测采用泥浆比重计、粘度计、含砂率测定仪等;钻进效率监测通过记录钻进时间和进尺来计算。

### 2.4 试验方案设计

在每个试验场地分别设置三组试验孔,每组试验孔

采用一种泥浆材料进行护壁,即膨润土泥浆组、PHP泥浆组、LBM泥浆组。通过这种对比试验设计,可以直观地比较三种泥浆材料在不同地层中的护壁效果差异。具体试验步骤如下:

#### 2.4.1 泥浆制备

严格按照设计配比分别制备膨润土泥浆、PHP泥浆和LBM泥浆。

膨润土泥浆的配比为膨润土:水=1:10。在制备过程中,先将计算好的水加入泥浆搅拌机中,然后缓慢加入膨润土,边加入边搅拌,搅拌时间不少于30分钟,确保膨润土充分吸水膨胀,形成均匀稳定的泥浆。

PHP泥浆的配比为PHP:水=0.1%-0.2%。根据试验需要准确称取PHP添加剂,将其缓慢撒入水中,同时启动搅拌机进行搅拌,搅拌速度应适中,避免产生过多的泡沫。搅拌时间持续15-20分钟,使PHP完全溶解并均匀分散在水中,形成具有一定粘度的PHP泥浆。

LBM泥浆的配比为LBM:水=1%-2%。制备方法与PHP泥浆类似,将LBM添加剂按照设计比例加入水中,充分搅拌使其溶解分散。搅拌过程中注意观察泥浆的状态,确保LBM完全发挥作用,制备出性能良好的LBM泥浆。

#### 2.4.2 钻孔施工

采用反循环钻机按照设计孔径和孔深进行钻孔施工。在钻进过程中,操作人员需根据地层情况及时调整钻进参数,如钻进速度、钻压、转速等。例如,在砂土层中,可适当提高钻进速度,但要注意控制钻压,防止孔壁坍塌;在软土层中,应降低钻进速度,减小钻压,避免对孔壁造成过大扰动;在破碎岩层中,要根据岩石的破碎程度和硬度合理调整钻进参数,确保钻进效率和成孔质量<sup>[2]</sup>。同时,要保持泥浆液面高度稳定,泥浆液面应高于地下水位一定高度,以形成足够的静水压力,防止孔壁坍塌和地下水涌入钻孔。

#### 2.4.3 护壁效果监测

在钻孔施工过程中,实时监测孔壁稳定性、泥浆失水率、钻进效率等关键指标。

孔壁稳定性通过超声波测壁仪定期测量孔壁的变形情况来评估。按照预定的时间间隔,如每钻进一定深度或每隔一定时间,使用超声波测壁仪对孔壁进行扫描测量,记录孔壁的直径变化、位移等数据,通过分析这些数据判断孔壁的稳定性状况。

泥浆失水率采用滤纸法进行测定。在钻孔过程中,定期从钻孔中取出泥浆样品,将泥浆倒入专用的滤纸装置中,在一定的压力和时间条件下,测量泥浆通过滤纸的失水量,以此评估泥浆的失水性能。泥浆失水率越低,说明

泥浆在孔壁上形成的泥皮越致密,护壁效果越好。

钻进效率通过记录钻进时间和进尺来计算。如前文所述,安排专人准确记录每个试验孔的钻进时间和对应的钻进深度,根据公式“钻进效率=进尺/钻进时间”计算出钻进速度,对比不同泥浆材料在不同地层中的钻进效率差异。

#### 2.4.4 数据记录与分析

详细记录试验过程中的各项数据,包括泥浆性能指标(如比重、粘度、含砂率等)、护壁效果指标(如孔壁稳定性、泥浆失水率等)以及钻进效率等。建立完善的数据记录表格,确保数据的准确性和完整性。

采用统计分析方法对试验数据进行处理,运用方差分析、相关性分析等统计方法,对比三种泥浆材料在不同地层中的护壁效果。通过分析数据,找出不同泥浆材料的优势和适用地层,为实际工程中泥浆材料的选择和护壁工艺的优化提供科学依据。同时,对试验过程中出现的问题和异常数据进行深入分析,总结经验教训,为后续的研究和工程实践提供参考。

### 3 试验结果与分析

#### 3.1 砂土层试验结果

在砂土层中,膨润土泥浆组、PHP泥浆组、LBM泥浆组的试验结果如下:

孔壁稳定性:膨润土泥浆组孔壁稳定性最好,在整个钻孔施工过程中未出现孔壁坍塌现象;PHP泥浆组和LBM泥浆组在钻进过程中分别出现了1次和2次轻微的孔壁坍塌,通过及时调整泥浆性能指标后得以稳定。

泥浆失水率:膨润土泥浆组的泥浆失水率最低,平均为8mL/30min;PHP泥浆组次之,平均为12mL/30min;LBM泥浆组的泥浆失水率最高,平均为15mL/30min。

钻进效率:PHP泥浆组的钻进效率最高,平均钻进速度为1.5m/h;膨润土泥浆组次之,平均钻进速度为1.2m/h;LBM泥浆组的钻进效率最低,平均钻进速度为1.0m/h。

综合分析可知,在砂土层中,膨润土泥浆的护壁效果最佳,能够有效稳定孔壁、降低泥浆失水率;PHP泥浆虽然钻进效率较高,但孔壁稳定性和泥浆失水率控制方面不如膨润土泥浆;LBM泥浆在砂土层中的护壁效果相对较差。

#### 3.2 软土层试验结果

在软土层中,三种泥浆材料的试验结果如下:

孔壁稳定性:三种泥浆材料在软土层中均能较好地稳定孔壁,未出现孔壁坍塌现象。但LBM泥浆组孔壁的变形量最小,说明LBM泥浆对软土层孔壁的支撑作用较好。

泥浆失水率:LBM泥浆组的泥浆失水率最低,平均

为6mL/30min;膨润土泥浆组次之,平均为10mL/30min;PHP泥浆组的泥浆失水率最高,平均为14mL/30min。

钻进效率:膨润土泥浆组和PHP泥浆组的钻进效率相近,平均钻进速度均为1.0m/h;LBM泥浆组的钻进效率略低,平均钻进速度为0.8m/h。

综合分析可知,在软土层中,LBM泥浆能够有效降低泥浆失水率,对孔壁的支撑作用较好;膨润土泥浆和PHP泥浆的钻进效率相对较高,但在泥浆失水率控制方面不如LBM泥浆。

### 3.3 破碎岩层试验结果

在破碎岩层中,三种泥浆材料的试验结果如下:

孔壁稳定性:PHP泥浆组和膨润土泥浆组孔壁稳定性较好,仅出现了少量的小块岩石掉落现象;LBM泥浆组在钻进过程中出现了2次较严重的孔壁坍塌,通过加大泥浆比重和粘度后得以稳定。

泥浆失水率:膨润土泥浆组的泥浆失水率最低,平均为9mL/30min;PHP泥浆组次之,平均为11mL/30min;LBM泥浆组的泥浆失水率最高,平均为16mL/30min。

钻进效率:PHP泥浆组的钻进效率最高,平均钻进速度为2.0m/h;膨润土泥浆组次之,平均钻进速度为1.6m/h;LBM泥浆组的钻进效率最低,平均钻进速度为1.2m/h。

综合分析可知,在破碎岩层中,PHP泥浆能够显著提升钻进效率,同时对孔壁稳定性也有一定的保障作用;膨润土泥浆的护壁效果较好,但钻进效率不如PHP泥浆;LBM泥浆在破碎岩层中的适用性较差。

## 4 绿色施工控制参数体系

### 4.1 泥浆关键指标动态调整范围

基于试验结果,结合不同地层的特点和施工要求,提出泥浆比重、粘度、含砂率等关键指标的动态调整范围如下:

砂土层:泥浆比重控制在1.1-1.2g/cm<sup>3</sup>,粘度控制在20-25s,含砂率控制在4%以内。在钻进过程中,根据孔壁稳定性和泥浆失水率情况及时调整泥浆性能指标,如孔壁出现坍塌迹象时,适当增大泥浆比重和粘度<sup>[3]</sup>。

软土层:泥浆比重控制在1.05-1.15g/cm<sup>3</sup>,粘度控制在18-22s,含砂率控制在3%以内。由于软土层对泥浆失水率要求较高,可适当添加LBM等添加剂降低泥浆失水率。

破碎岩层:泥浆比重控制在1.2-1.3g/cm<sup>3</sup>,粘度控制在25-30s,含砂率控制在6%以内。为提高钻进效率,可采用PHP泥浆,并根据钻进情况及时调整泥浆性能指标。

### 4.2 泥浆循环利用措施

泥浆净化处理:在施工现场设置泥浆净化系统,采用振动筛、旋流器等设备对钻孔排出的泥浆进行净化处理,去除其中的钻渣和杂质,使泥浆能够循环使用。

泥浆性能调整:经过净化处理后的泥浆,其性能指标可能会发生变化,需要根据不同地层的要求及时调整泥浆的比重、粘度、含砂率等指标,确保泥浆的性能符合施工要求。

泥浆储存与管理:设置专门的泥浆储存池,对净化处理后的泥浆进行储存和管理<sup>[4]</sup>。在储存过程中,要定期对泥浆的性能指标进行检测,防止泥浆沉淀和变质。

### 4.3 废弃物处理措施

钻渣处理:钻孔排出的钻渣应集中堆放,并进行晾晒处理。待钻渣干燥后,可采用覆盖、固化等措施防止扬尘污染,然后按照环保要求进行运输和处置。

废弃泥浆处理:对于无法循环利用的废弃泥浆,应采用化学固化、脱水处理等方法进行无害化处理。处理后的废弃物应符合环保标准,方可进行填埋或综合利用。

## 结语

通过现场试验对比,发现膨润土泥浆在砂土层护壁效果最佳,LBM泥浆在软土层降低失水率且支撑孔壁较好,PHP泥浆在破碎岩层可提升钻进效率并保障孔壁稳定;基于试验数据提出的绿色施工控制参数体系具可操作性和实用性,能指导复杂地层下钻孔灌注桩绿色施工。本研究仅选三种泥浆材料试验,未来可研究其他新型材料护壁效果;在控制参数体系方面,可结合数值模拟和人工智能技术建立更精准预测模型,实现智能化自动化施工控制;还应加强泥浆护壁绿色施工技术推广应用,提高环保意识,促进建筑行业可持续发展。本研究为复杂地层下钻孔灌注桩泥浆护壁绿色施工提供理论依据和技术支持,具重要工程应用价值和社会意义。

## 参考文献

- [1]盛明军.建筑工程中的泥浆护壁成孔灌注桩施工技术应用研究[J].陶瓷,2025,(05):234-236.
- [2]井正洋.岩土工程中泥浆护壁钻孔灌注桩施工技术的应用[J].四川建材,2025,51(03):190-192.
- [3]顾浩然,庞冬伟.岩溶地区桩基础施工技术及其泥浆护壁机理[J].土工基础,2024,38(02):215-219.
- [4]左振中.房建施工中泥浆护壁钻孔灌注桩施工质量控制[J].科技创新与生产力,2023,44(07):75-77.