

化学聚合物泥浆在砂层地质施工中的应用

张磊, 李斌

(中交一航局第一工程有限公司)

摘要: 为了保证旋挖钻施工时孔内外水压的平衡和护壁效果, 需不断地向孔内进行补浆, 所以泥浆的选用及性能指标在成孔过程中尤为重要。文章通过工程实例, 分别对传统膨润土泥浆和化学聚合物泥浆从原材料、施工工艺、使用性能及施工参数等各方面进行对比研究。发现在工程施工中尤其是特殊厚砂层中采用膨润土泥浆具有一定的局限性, 使用化学聚合物泥浆施工的桩基质量优于膨润土泥浆。通过研究发现, 在地质复杂的条件下旋挖成孔施工中使用化学聚合物泥浆相较于其他传统泥浆有很大优势, 桩基施工质量效果显著, 并且旋挖成孔速度明显提高, 成孔后不需要二次清孔; 聚合物泥浆为清洁材料, 施工不产生污染泥浆, 全部可循环使用, 材料耗损低。

关键词: 砂层地质; 黏土泥浆; 膨润土泥浆; 化学聚合物泥浆; 泥浆护壁

0 引言

近年来工程行业中旋挖钻施工的使用占比越来越高, 旋挖钻技术在桩基施工中具有许多优点, 如速度快、噪声低、污染小。然而, 旋挖钻并不能循环生产泥浆, 因此在施工过程中, 选择合适的泥浆并确保其性能指标非常重要^[1]。

随着技术的进步, 膨润土矿物泥浆已成为当今桩基施工中的首选材料, 然而, 由于地质条件和施工环境的局限性, 使用膨润土泥浆很难获得期望的效果。近几年市场上出现了化学聚合物泥浆, 并且经过应用也取得了不错的效果, 本文通过石家庄裕翔街快速连通工程中的成功案例来说明化学聚合物泥浆配合旋挖钻在超厚砂层地质下施工的各项优势。

1 工程概况

石家庄裕翔街快速连通工程一标段线路主线实施长度约 2.2 km, 北起塔北路, 南至仓丰路, 在塔北路—仓盛路以南路段新建高架快速路, 主线高架为 6 条车道, 车辆设计速度 80 km/h, 地面新建的辅助道路单侧有 2~3 个车道, 设计速度为 50 km/h; 在南二环节点设置涡轮型互通立交 1 座, 新建 8 条立交匝道。该工程的桥梁桩基直径为 1 m, 桩长 45~60 m, 桩基施工采用旋挖钻孔灌注施工工艺。

1.1 地质条件

设计地勘及现场实际钻孔施工情况显示: 自地表开始地质依次为杂填土、粉土、粉细砂、粉

质黏土、细砂、中砂、中粗砂、粉土细砂混合层、中砂等, 各地层性质及分布情况见表 1。

表 1 地质分布表

地层分布 (由高至低)	层厚/m
杂填土	3
粉土	4
粉细砂	4
粉质黏土	10
细砂	2
中砂	14
中粗砂	16
粉土细砂混合	13
中砂	10

1.2 地质条件特点

地层分布数据表明此工程的地质条件非常复杂。现状地面以下 0~3 m 为杂填土, 3~23 m 范围为粉土—粉细砂—粉质黏土—细砂, 23~76 m 范围为中砂—中粗砂—粉土细砂混合层—中砂, 大部分地质为砂层, 极易造成塌孔。

1.3 成孔方法选择

该工程高架桥梁桩基采用摩擦桩。鉴于裕翔街主干道交通状况复杂, 以及石家庄地区环境保护要求严格, 经过对现场地质条件的全面评估, 最终决定采用旋挖钻机来完成桩基施工任务。

2 传统泥浆

2.1 泥浆的重要性

按照规范要求, 旋挖施工泥浆的密度应为 1.02~1.1 g/cm³, 黏度应为 18~22 Pa·s, 且含砂率

必须低于 4%^[1]。如果钻孔泥浆的质量未能达到标准, 将可能导致以下严重的后果:

- 1) 因泥浆质量不佳, 泥浆护壁效果差, 会出现护壁泥皮脱落, 严重时易发生桩孔缩径和塌孔。
- 2) 如果制造的泥浆黏度、密度、含砂率均比较高, 则孔壁的泥膜质量较差, 并且较厚, 会对桩基摩阻力及承载力有一定不良影响。
- 3) 泥浆黏度过大容易黏住钢筋, 影响钢筋笼与混凝土的握裹力, 当泥浆密度过大时, 混凝土灌注时由于阻力过大还可能导致混凝土灌注困难等情况。

2.2 黏土造浆

在桩基施工中, 能够制造泥浆的材料类型多样, 部分工程会使用黏土进行造浆。从测试结果来看, 该黏土泥浆的密度为 1.05~1.15 g/cm³、黏度为 18~20 Pa·s、含砂率为 5%~8%。测试数据中泥浆度符合要求, 泥浆比重和含砂率均超过规范值, 由于泥浆中含沙率太高, 在实际应用中很有可能会导致塌陷。

2.3 膨润土造浆

2.3.1 泥浆原料

1) 膨润土: 主要以蒙脱石为原料的非金属矿物, 膨润土具有较强吸水性, 与水混合具有黏结性, 可以在孔壁周围形成泥膜。通常膨润土的掺入量为 5%~8%, 即每 100 m³ 的泥浆需要 5~8 t 膨润土。

2) 纯碱: 又称火碱, 是一种碱性物质, 在泥浆中起到调节 pH 值的作用, 可以控制泥浆中黏土的黏度、流动性以及液体阻力系数等性质。此外, 纯碱可以帮助泥浆中的黏土颗粒分散均匀, 避免黏土粒子沉降和凝聚, 增加泥浆的稳定性, 从而起到保持泥浆的黏附性和防止井壁坍塌的作用。在 100 m³ 泥浆中, 纯碱的掺入量应为 0.3%~0.5%, 即每 100 m³ 泥浆应添加 300~500 kg 的碱。当增加碱的用量使泥浆 pH 值达到 8~11 时, 可以加入膨润土, 提高泥浆的黏度。

2.3.2 膨润土性能指标检测

膨润土泥浆各阶段性能指标见表 2。

表 2 膨润土泥浆各阶段性能指标表

指标	原浆	钻进过程	回流	清孔	弃用
密度/(g·cm ⁻³)	<1.03	<1.20	<1.08	1.03~1.10	>1.3
黏度/(Pa·s)	20~22	25~28	24~26	17~20	>40
含砂率/%	<0.3	<4.0	0.5~1.0	≤2.0	>10

从表 2 可以看出, 膨润土泥浆的性能良好, 所有参数都符合规定, 这为成孔质量提供了良好的基础。然而, 由于膨润土泥浆的钻渣沉降缓慢, 通常在第 1 次清孔后, 还需二次清孔, 桩基施工效率并不高。其次使用膨润土泥浆需设置沉淀池, 环保机能差, 产生的废浆污染场地。由于泥浆无法满足当前严格的环保要求及施工效率, 因此膨润土泥浆无法应用到该项目中。

针对本项目这种超厚砂层地质, 在旋挖钻施工过程中需要黏度较大的泥浆维持孔壁稳定, 并且还需要满足钻渣沉淀速度快、泥浆污染小, 以确保桩身质量及环保满足要求。经过对市场中的泥浆材料进行对比, 决定采用化学聚合物泥浆, 本工程中采用奈普顿化学聚合物泥浆。

通常来说, 在使用旋挖钻进行钻孔施工时, 静态泥浆可起到保持孔壁稳定的作用。当使用化学泥浆粉作为造浆原料时, 化学泥浆中含有大量的高分子聚合物, 当它们完全溶解时, 其分子会进行扩散, 再次和周围的分子结合, 从而产生一种透明的、类似糊状的胶体, 具有很好的吸附和渗透效果, 这种分子会将泥浆中的钻渣黏结包裹并快速沉底, 不必进行二次清孔。这种黏稠的泥浆可为孔壁施加足够的压力, 保证桩孔内壁不会出现坍塌。

2.5 化学聚合物造浆

2.5.1 泥浆池造浆

造浆采用开挖泥浆池或使用水箱的方式进行, 根据钻孔灌注桩的直径准备循环泵和空压机。可在泥浆池下部铺一层塑料布, 使浆液不会渗出。首先在池中注入清水, 在加入纯碱后, 将溶液 pH 值调至 8~11, 使用空压机搅拌均匀, 打开循环泵, 通过泵管口均匀缓慢地加入聚合物, 然后用空压机对溶液进行充分搅拌并测定黏度浆液黏度, 根据现场实际地质情况确定溶液黏度, 本标段地层以粉细砂和中粗砂为主, 泥浆黏度达到 35 Pa·s 即可达到施工要求。

2.5.2 孔内造浆

由于场地条件的限制, 一些项目无法使用泥浆池来完成造浆, 但可以采取速溶型化学泥浆, 将其直接注入孔内, 这样就可以大幅缩短旋挖钻机施工的泥浆制备时间, 从而极大地提升施工效率。孔内造浆具体流程如下:

- 1) 开钻前准备好奈普顿化学浆料, 施工中总

用量和平均每米进尺用量按地质条件计算。

2) 经过现场测试,在护筒内配制泥浆的用量应该是平均用量的 1.5~2 倍,当钻孔深度达到护筒底部 3~5 m 时,按平均用量配置。

3) 制作浆料时事先将水注入埋好的护筒中,再将浆粉直接撒在孔口的水柱上。材料本身的速溶特性及水柱的冲力能使浆料很快融化,形成化学浆料,黏度高,护壁效果好。

化学聚合物泥浆主要材料见表 3。

表 3 化学聚合物泥浆主要材料

材料名称	成分	占比	说明
水	H ₂ O	100%	泥浆主体
奈普顿浆料	高分子聚合物	0.03%~0.04%	化学聚合物泥浆的主要材料,增加黏度控制孔壁稳定
纯碱	Na ₂ CO ₃	0.05%~0.08%	促进聚合物迅速水解

2.6 化学泥浆参数

不同地质下化学聚合物材料参量见表 4、泥浆检测项目及标准见表 5。

表 4 化学聚合物参量

地层状况	奈普顿浆料用量/kg	黏度/(Pa·s)
黏土	0.4~0.6	20~30
粉质黏土、细砂	0.5~0.7	25~35
中粗砂	0.6~1.0	30~40
卵砾石	0.8~1.2	35~45

表 5 化学泥浆检测标准

项目	指标	检测方法
泥浆密度/(g·cm ⁻³)	1~1.03	比重计
黏度/(Pa·s)	35	漏斗黏度测定
pH 值	8~11	pH 测试仪或 pH 试纸
含砂率/%	≤0.5	含砂率测试

3 桩基施工工艺流程

3.1 钻进成孔

在护筒内注满化学泥浆后,应立即开始钻进,且要持续补充泥浆,确保聚合物浆液的高度达到护筒高度的 1/2,这样可以避免由于钻头下放而导致泥浆外溢,也可以防止由于泥浆液量过少而造成的压力失控,从而引发坍塌现象^[3]。

在旋挖钻施工时,钻机手需对钻机的速度进行控制,特别是钻机入孔和提钻的时候,尽量避免对孔内浆液进行过大干扰,使孔钻渣可以迅速

沉淀,这样也减少了钻机对护壁的影响。

化学泥浆最大的优势在于其较强的沉淀能力,泥浆中钻屑可以很快地沉淀,这是膨润土泥浆达不到的。一般为保证泥浆中钻屑完全沉底,在钻进深度接近设计标高时应控制钻孔速度或者静置一段时间,保证孔内钻渣充分沉淀。在完成第 1 次清孔之前,应确保钻孔已经达到了预定的标高。在此过程中,应对所有的指标参数,如孔径、深度、垂直度和沉淀物的厚度进行严格的检测和验收,确保质量。

3.2 钢筋笼吊装

钢筋笼吊装时采用十字护桩进行孔位中心校核,避免钢筋笼碰撞孔壁,下放到设计标高后立即使用吊筋固定。

3.3 二次清孔

因聚合物溶液具有良好的黏性和吸附能力,可以迅速将孔内的泥屑凝固成小块,从而使第 1 次掏渣清孔完毕后,底部沉渣的厚度不超过 10 cm,因此无需再次清孔。

3.4 水下混凝土灌注

混凝土灌注需保证封底混凝土连续进行,首次封底以导管埋深超过 1 m 为宜。在浇筑过程中,应将导管埋置深度调节到 2~6 m,确保其位于桩孔中心,浇筑高度按规定进行,超灌 1 m,以确保桩头的质量。

3.5 聚合物泥浆的回收利用

在水下混凝土灌注的过程中,使用泥浆泵同步对聚合物溶液进行回收利用。回收的化学泥浆其黏度一般都低于要求数值,不能直接使用,在循环使用时需根据实际黏度值,通过补充泥浆粉的方法提高黏度。

3.6 化学泥浆应用效果

本项目在使用化学泥浆后,桩基施工质量效果显著,并且旋挖成孔速度明显提高,成孔后不需要二次清孔。同时,由于化学泥浆特殊的材质和性能,泥浆含砂率和泥浆密度都比较低,混凝土灌注相对而言更加顺利。通过桩基检测,本项目使用聚合物泥浆成孔的桩基 100%达到了 I 类桩标准。

4 经济分析

1) 由于膨润土的循环和使用,它的使用量会比其他材料高。一方面,膨润土泥浆会与孔壁结合,产生一层保护膜;另一方面,膨润土会随着

时间的推移而混合其他各种钻渣,导致产生更多的废液。由于化学聚合物泥浆的特殊性质,其所含的高分子聚合物具有极佳的黏着性,使它们和钻渣颗粒的联系更紧密,具有极强的吸附和沉淀能力,使钻渣与浆液分离,从而避免出现废液,只需要通过定期增加聚合物的含量来调整泥浆的浓度。

2) 通过使用聚合物泥浆,可以更好地控制沉渣的状态,并且不必进行二次清理,可以降低人力投入,大大提高施工效率。

3) 使用膨润土泥浆施工可能会产生大量废浆,因此必须立即处理这些废浆,这将增加运输费用,并且可能会造成严重的环境污染。

4) 与膨润土泥浆相比,化学聚合物泥浆的原材料消耗量更低,每 100 m^3 水中只需添加 $40\sim 100\text{ kg}$ 的聚合物材料,有效减少了原材料的消耗。

5 结语

结合工程实践,本工程中的砂层较厚,若采

用传统膨润土泥浆护壁工艺,因膨润土泥浆本身特性,容易产生矛盾点:膨润土泥浆护壁和处理沉淀的原理是依靠膨润土泥浆的高密度。而高密度泥浆中的膨润土含量和悬浮的钻屑含量比较大,容易在孔底产生沉渣,增加了后期二次清孔工序的复杂程度;若降低膨润土泥浆的密度容易造成塌孔的风险。

使用化学聚合物泥浆处理这种砂层较厚的地质条件,可以获得优异的效果,如护壁效果良好、孔底沉淀控制精准、钻孔桩的承载力达到设计要求等,从而有效保障施工质量。

参考文献:

- [1] 陆青涛. 旋挖钻孔灌注桩施工技术[J]. 技术与市场, 2012(1): 24-25.
- [2] JTG/T F50—2011, 公路桥涵施工技术规范[S].
- [3] 朱炜, 朱宝, 金万浩, 等. 化学泥浆在旋挖钻孔灌注桩施工中的应用研究[C]//2020年工业建筑学术交流会议论文集(下册). 北京: 工业建筑杂志社, 2020: 432-435, 455.