

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.05.079

高效稳定液在旋挖钻成孔技术中的研究与应用

盛汉洋^{1,2}

(1.中南建设集团有限公司, 湖南 长沙 410015; 2.湖南省有色地质勘查局工程地质总队, 湖南 长沙 410015)

摘 要: 结合洞庭湖地区华容梅田湖大桥建设案例, 对使用高效稳定液在粉砂深孔大直径旋挖钻的成孔技术进行分析、研究、应用与实践, 提出了具体的技术指标与措施。高效稳定液在软土地层深孔大直径旋挖成孔技术中具有成孔速度快、工程质量好、综合效益显著等特点, 可供相似地质条件下的桩基成孔施工参考。

关键词: 稳定液; 软土岩层; 旋挖钻

中图分类号: U445 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2021)05-0276-05

0 引 言

桥梁施工中钻孔灌注桩成孔方法很多, 根据灌注桩工艺的不同, 主要有长短螺旋钻、机动洛阳铲、潜水钻、正反循环回旋钻、冲击钻及旋挖钻等。但适用大直径、深基础及软弱复杂地层的成孔方法, 比较常见的有冲击钻、正反循环回旋钻和旋挖钻等几种。其中无套管旋挖钻具有成孔速度快、质量好、移动方便等特点, 目前在工程建设中被广泛使用。

旋挖钻成孔法利用的是旋挖钻可调节长度的伸缩钻杆的插入以及钻斗的正反旋转及重力作用而使岩土进入钻斗, 土屑切满后, 即提升钻斗出渣; 经过钻斗深入、旋转、切土、提升和出渣一系列反复循环的动作, 达到切入设计桩底标高的目的。该方法的优缺点见表 1。

1 工程概况

1.1 水文、气候、气象

岳阳市华容县梅田湖大桥桥位所跨藕池河属洞庭湖水系, 水量较丰富, 具有明显的季节性河流特性, 河水受降水影响明显, 雨季多集中于 4~7 月, 此期间为汛期, 洪水泛滥, 水流急, 含泥、砂量大, 具有较强的冲刷力; 一般 10 月至翌年 3 月为枯水期, 为桥梁基础工程的良好施工期。

收稿日期: 2020-10-13
基金项目: 湖南省有色地质勘查局工程地质总队基金项目(201928)
作者简介: 盛汉洋(1965—), 男, 本科, 高级工程师, 注册一级建造师, 注册监理工程师, 检测工程师, 主要从事工程技术、科研与安全生产管理工作。

表 1 旋挖钻成孔法优缺点

优点	缺点
特别适合于处黏土地层作业	钻强度大的岩石较困难
钻机可自行移动、安装方便	钻软土岩层和使用稳定液不当 时, 容易塌孔
造孔速度快, 通常几小时可成 孔 1 个	遇强承压水时, 成孔困难
沉渣少、易清孔	钻渣外运工作量大
孔壁粗糙、摩擦力大, 对桩受 力有利, 环境污染相对较小	机械台班费用高, 摊销多, 机 械笨重, 调迁难, 对操作人员技 能要求高

桥位区地下水类型主要为第四系覆盖层中的孔隙潜水。主要含水层为细砂、砾石、砾砂层, 水量较丰富。地下水水位埋深 1.00~4.00 m, 水位标高 27.00~30.00 m, 场地地下水对混凝土具有微腐蚀性。

1.2 地形、地貌

岳阳市华容县梅田湖大桥及其接线工程位于岳阳市华容县西侧, 场地地貌类型属于洞庭湖平原。特大桥跨越藕池河东支, 勘察时水面宽约 120 m, 水深不到 1 m。两岸河堤间距约 465 m, 堤内东侧分布有宽约 300 m 的河漫滩, 河漫滩标高为 34~35 m, 河堤标高约 37 m; 大堤堤外两侧地形平坦开阔, 地面标高为 30~33 m, 沟渠纵横, 农田遍布, 以种植水稻、棉花等经济作物为主, 其间零星分布农舍, 有机耕道相通, 交通较为便利。

1.3 地层岩性

根据地质调绘和钻探揭露, 结合室内岩土土工试验, 桥位区地层按时代及成因分类, 在勘察深度范围内地层为第四系全新统(Qh)及更新统(Qp), 其地层主要性质及物理力学指标见表 2。

表 2 地层主要性质及物理力学指标

地层	地层性质描述	主要物理力学指标										
		厚度 /m	含水率 $\omega/\%$	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	孔隙比 e	液限 $\omega_L/\%$	塑限 $\omega_P/\%$	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$	压缩系数 a_{1-2}/MPa^{-1}	压缩模量 E_s/MPa	地基承载力标准值 f_{sk}/kPa
第四系全新统地层 (Qh)	①填筑土 杂色, 稍湿, 松散 - 稍密。主要成分为粉质黏土, 含少量碎石。在终点桥台有揭露	2 ~ 5	27.2	17.2	1.138	34.0	19.5	14.2	6.8	0.67	3.19	65
	②种植土 灰褐色。松散, 稍湿。主要为粉质黏土, 含植物根系	1 ~ 1.5	30.3	15.5	1.078	38.6	25.6	16.1	9.7	0.65	3.20	56
	③粉质黏土 灰褐色、褐色。可 - 硬塑状。主要为黏粒, 次为粉粒。干强度及韧性中等, 切面稍光滑, 无摇晃反应	8 ~ 10	29.7	16.7	1.079	37.8	22.3	13.5	17.2	0.28	7.42	66
	④黏土 灰褐色。主要为黏粒。切面光滑, 土质均匀	12 ~ 14	26.8	17.2	1.107	36.4	22.6	37.0	16.9	0.38	5.54	72
	⑤粉砂 灰褐色; 稍密 - 中密; 饱和。以石英、长石为主; 浑圆形, 级配良好。局部夹粉土	6 ~ 8	21.4	16.2	0.680	20.6	13.4	27.0	12.1	0.39	4.31	65
	⑥细砂 灰褐色; 稍密 - 中密; 饱和。以石英、长石为主; 浑圆形, 级配良好。局部夹粉土	7 ~ 10	39.7	16.0	0.620	18.0	12.6	25.0	11.9	0.42	3.86	60
第四系更新统地层 (Qp)	⑦粉质黏土 黄褐色, 硬塑状。主要成分为黏粒, 次为粉粒。干强度中等, 韧性一般	10 ~ 12	32.0	15.2	0.810	36.2	23.4	15.2	12.4	0.58	3.12	73
	⑧粉砂 灰白色; 稍密 - 中密; 饱和。以石英、长石为主; 浑圆形, 级配良好。局部夹细砂、粉土	10 ~ 15	21.6	16.5	0.720	21.8	14.2	26.2	11.8	0.42	4.09	62
	⑨细砂 灰白色; 稍密 - 中密; 饱和。以石英、长石为主; 浑圆形, 级配良好。局部夹中粗砂约 15%	12 ~ 15	17.5	16.8	0.680	17.8	11.9	23.0	10.9	0.56	3.00	59

2 泥浆与高效稳定液对比

2.1 泥浆

钻孔灌注桩的泥浆由水、黏土(或膨润土)搅拌而成,可就地取材、造价低。钻孔中,泥浆的降水压力比水大,在此压力作用下,泥浆在孔洞井壁形成一层较稳定的泥皮,能阻止隔离孔内外水的渗流,保护井壁不坍塌。

2.2 高效稳定液

高效稳定液以合格水即人畜可饮用水为主体,按比例加入膨润土或 CMC(羧甲基纤维素)为主要成分的各种原料(见表 3),造价较高。高效稳定液适宜在软土、粉砂、淤泥、有承压水等复杂地层的大直径、深孔旋挖钻且容易塌孔的成孔工艺中使用。

2.3 高效稳定液的作用

(1)保护孔壁,防止从开始钻进到水下混凝土灌注完成期间发生孔壁坍塌现象。

(2)抑止桩位地基的地下水压力,使其保持相对静止。

(3)抵抗和支撑孔壁土压力,防止地基土层流动。

(4)从钻孔开始至水下混凝土灌注完成期间,保持孔壁表面较长时间稳定。

(5)高效稳定液能缓慢渗入地基,增加地基强度。

(6)容易清孔。

(7)保证灌注顺利。由于高效稳定液稳定的亲液胶体和与混凝土相混合的性质,水下灌注时能被混凝土代替而排出。

2.4 高效稳定液制备方法

(1)机械搅拌。用泥浆搅拌机搅拌成浆后放至泥浆池内,再抽至孔内。也可在混凝土搅拌站搅拌成浆,用灌车运至工地现场。

(2)人工搅拌。将各种原料按配比加入制浆池内,然后用人工搅拌均匀。

(3)钻锥搅拌。将各种原料直接投入钻孔内,利用钻锥搅拌。此方法劳动强度低,效率高,但均匀性稍差。

2.5 高效稳定液各性能指标的测定

(1)相对密度 ρ_x 。工地上一般用相对密度计直接

表3 高效稳定液主要成分和配比

项目	膨润土 (钠质膨润土、 钙质膨润土)	CMC (羧甲基 纤维素)	FCL (铁铬木质素 磺酸盐)	煤碱剂 (硝基腐殖 酸钠盐)	Na ₂ CO ₃ (碳酸钠纯碱)	PHP (聚丙烯酰胺絮 凝剂)	加重剂	其他
配比	8:100 (水与 土质量比)	0.05% ~ 1% (占膨润土质 量)	0.1% ~ 0.3% (占膨润土质 量)	0.1% ~ 0.3% (占膨润土质 量)	0.1% ~ 0.4% (占泥浆质量)	0.003% (占泥 浆质量)	试验确定	孔内有渗漏时,锯 木屑为泥水质量的 1% ~ 2%;稻草末或 水泥为泥水质量的 1.7%
作用	固壁、造 浆、稳定	形成薄膜 而使地基强 化、降低失 水率	使钻渣颗粒 聚集而加速 沉淀	阻止自由 水渗透、降 低失水量, 但黏度增大	增加水化膜 厚度,提高泥 浆胶体率和稳 定性,降低失水率	使泥浆中的 钻渣成为不分 散的絮凝状态	增加泥浆相 对密度,如重晶 石(硫酸钠)、方 铅矿、珍珠岩、 石灰石	防渗漏

测定。若无仪器,可用一口杯,先标其质量 $m_1(\text{g})$,装满水成为 $m_2(\text{g})$,倒去清水后装满泥浆,并擦去溢出的泥浆,称重为 $m_3(\text{g})$,则相对密度 ρ_x 为:

$$\rho_x = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \quad (1)$$

(2)静切力 θ 。用空心不锈钢泥浆切力计测定,泥浆静切力 θ 计算式^[1]为:

$$\theta = \frac{a - Fhr}{Sh + F} \quad (2)$$

式中: θ 为泥浆切力, N/m^2 ; a 为切力计重力(1.4855 N); F 为切力计横断面积(7.5 cm^2); h 为切力计沉入泥浆中的深度, cm ; r 为泥浆容重, N/cm^3 ; S 为切力计横断面周长(13 cm)。

计算出的切力单位为 N/cm^2 ,按 $1 \text{ Pa} = 1 \times 10^{-4} \text{ N/cm}^2$,换算成 Pa。

(3)黏度 η 。现场用工地标准漏斗黏度计测定。以 500 mL 泥浆(无大砂粒)从标准漏斗中流出所需时间为所测泥浆的黏度,单位 s。

(4)含砂率。用含砂率计直接测定。小型含砂率计测定值为仪器下端沉淀(体积)读数乘 2;大型含砂率计测定值为直接读取,不乘 2。

(5)胶体率。胶体率是泥浆中土粒保持悬浮状态的性能。测定方法是用 100 mL 量杯倒入 100 mL 泥浆静置 24 h 后,量取杯中上部清水的体积,胶体率为 100- 上部清水体积。

(6)失水率。工地上用滤纸法测定。用 1 张 12 $\text{cm} \times$ 12 cm 的滤纸,放置于水平的玻璃板上,在滤纸中央画出直径为 3 cm 的圆圈,将 2 mL 的泥浆轻轻滴入圆圈内,30 min 过后,按规定方法测量湿圆圈的平均直径;将圆圈内泥浆摊平,用同样方法测量泥皮平均直径。2 个直径的差值即为失水率。

(7)酸碱度(pH 值)。工地上一般用比色法,或用

pH 酸碱计直接测量。

(8)稳定度。稳定度是高质量泥浆的稳定性指标,为不同部分泥浆相对密度的差值。

2.6 钻孔工艺

选用 ZR360C-2 钻机,动力头输出扭矩 360 $\text{kN} \cdot \text{m}$,成孔直径为 1.5 ~ 3.0 m,成孔深度为 65 ~ 110 m,完全适合岳阳市华容梅田湖大桥桩基工程的施工。

2.6.1 护筒埋设

护筒用厚 10 mm 钢板卷制焊接而成,直径比桩基设计直径大 0.6 ~ 1.0 m。护筒底置于稳定的黏土层中(如不含黏土层则开挖换填黏土),周边夯实,护筒标高高于施工最高水位 2 m 以上,并高于地下水位。

2.6.2 钻进工艺参数的控制与确定

(1)钻压。施加压力为轴向压力,压力与孔底工作面垂直,不偏压。钻压需根据岩层的物理性质、工程力学性质、钻斗的直径、类型和操作人员技能,并结合其他钻进参数予以综合确定。如软土岩层单轴抗压强度 $[N] = 30 \sim 70 \text{ MPa}$,钻孔直径 1.5 m 以上时,则钻压经验数据为 30 ~ 40 kN。

(2)钻进转速。根据地层、钻速、刀具磨耗、钻进阻力、钻机性能等多因素综合考虑,对于稳定较差的土层、极不稳定的砂层、流砂层,钻径 1.5 m 以上的桩孔,一般转速为 5 ~ 15 r/min 。

(3)回次进尺长度的确定。不大于钻斗高度的 0.8 倍,若钻斗高度为 1 m,则回次进尺长度不得大于 0.8 m。

(4)钻具下降、提升速度控制。空钻斗升降时,稳定液会流入钻斗内部,一般情况下不会破坏孔壁,造成孔壁坍塌。对于直径大于 1.5 m 的钻孔,升降速度一般可控制在 0.8 m/s ,小桩径钻孔升降速度可适当加大。带渣提升过程相当于钻具在孔内做活塞运动,

提升速度越快,所形成的负压力越大,抽吸作用越强,因而对孔壁的稳定影响越大,这样很容易发生孔壁失稳坍塌事故,因此应综合孔径大小、土质情况、人工操作技能去调整提升速度,提升时要准、慢、稳。孔径在 1.5 m 以上的钻孔,升降速度宜控制在 0.6 m/s 以内。

(5)孔内稳定液面的控制。钻孔过程中,孔内液面随时变动,因钻具提升瞬间孔内液面会迅速下降,这时必须及时补充稳定液,尽可能保证钻孔液柱的平衡。

2.7 高效稳定液的性能参数

根据地层情况、钻具性能和工程环境条件,试验确定的高效稳定液最小黏度为 25 s;pH 值最高为 11;膨润土的最低浓度为 8%。

高效稳定液性能参数见表 4。

2.8 造浆池、沉淀池和贮浆池体积的确定

造浆池体积 $V_{造}$ 为:

$$V_{造} = KQ \tag{4}$$

式中: $Q=(85-115)D^2$, Q 为泥浆循环所需流量, m^3/h , D 为钻孔直径, m ;系数 $K=Q/Q_1$,其中的 Q_1 为造浆能力, m^3/h 。

沉淀池体积 $V_{沉}$ (一般设 2 个轮换)为:

$$V_{沉} = 1.3HD^2 \tag{5}$$

式中: H 为钻孔深度, m 。

贮浆池体积 $V_{贮}$ 为:

$$V_{贮} = (1.5 \sim 2.0)V_{造} \tag{6}$$

2.9 泥浆重复利用

(1)机械净化法:用高频振动筛筛出 0.5 mm 以上颗粒,用皮带轮输入汽车、运走,混有 0.5 mm 以下颗粒的泥浆返回孔内再利用。

(2)重力沉淀法:利用重力原理制造旋流除渣器,排除颗粒物,收集泥浆再利用。

(3)化学净化法:在泥浆内加入分散剂 FCL,使钻渣颗粒加速聚集沉淀,以重复利用除渣后的泥浆。

3 特殊地层钻进

3.1 漏失层

(1)对于漏失不严重的地层,选用低密度高效稳定液防漏。降低密度的主要方法为:采用优质膨润土,用水解度 30%的聚丙烯酰胺絮凝清除劣质土和钻渣,并加入煤碱剂钠、羧甲基纤维素。

(2)漏失严重时,需填土一段一段回转挤压形成人工护壁,既堵漏又护壁。同时加入高效稳定液,要求为高黏度,黏度 30~50 s,高固相含量,相对密度为 1.2 左右,30 min 失水率为 8~10 mL。

(3)遇漏水地段,可配置加重稳定液,一边造孔一边投入重晶石粉,稳定液的相对密度大于 1.3,黏度大于 30 s,pH=8~9,30 min 失水率小于 15 mL,静切力 30~50 mg/cm²,胶体率不小于 97%。

3.2 障碍物

遇到地下障碍物时,采用轻压慢转上下活动、正反交替转动循环,反复切削钻渣障碍物。

4 清孔

第 1 次清孔是在钻孔达到设计标高后,钢筋笼未下入孔内之前进行。用带挡板的钻斗清渣,时间较长时,用水泵进行抽水循环。

第 2 次清孔是在钢筋笼下入孔内后,在混凝土灌注前进行。利用灌注导管,用抽水泵反循环进行排渣,直至达标。

5 不同钻孔方法与高效稳定液使用后效果对比

灌注桩第 1 步工作是造成合格的孔,主要检查项目要求为:垂直度合格,沉渣不超标,桩径、桩深符合设计要求,平面位置准确。只要不赶工期,较复杂地层条件下用冲击钻都可成孔。如遇困难、特殊地段添加稳定液、固体填料都可解决,但时间长、成本高,有时会出掉钻头事故。而同样地质条件,使用添加

表 4 高效稳定液性能参数表^[2]

地层	密度/(g·cm ⁻³)	黏度/s	30 min 失水率/mL	含砂率/%	胶体率/%	泥皮厚度/mm	pH 值	备注
非含水黏土、粉质黏土	1.03~1.08	15~16	<3	<4	≥90~95			清水原土造浆
流砂层	1.10~1.25	19~27	5~7	≤2		0.5~0.8	8	
粉细中砂层	1.08~1.10	16~17	<20	4~8	≥90~95			
粗砂砾层	1.10~1.20	17~18	<15	4~8	≥90~95			
承压水流含水层	1.30~1.70	>25	<15	<4	≥90~95			
坍塌掉块层	1.15~1.30	22~28	<15	<4	≥97	8~9		加重晶石粉
卵石、漂石层	1.15~1.20	18~28	>15	<4	≥90~95			
遇水膨胀岩层	1.10~1.15	20~22	<10	≤4				

高效稳定液旋挖钻成孔可大大缩短工期,综合成本低,同时成孔、成桩质量又有保证。

岳阳市华容梅田湖大桥 13#-1 桩采用冲击钻成孔,13#-2 桩采用添加高效稳定液旋挖钻成孔。两者地质条件完全相同,经检测,添加高效稳定液旋挖钻成孔的各项质量指标远远好于冲击钻钻成的孔,且优于现行规范标准。

冲击钻成孔与添加高效稳定液旋挖钻成孔的沉渣厚度对照、成孔质量比较和成本比较见表 5~ 表 7。

表 5 冲击钻成孔与添加高效稳定液旋挖钻成孔的沉渣厚度对照

时间 /h	旋挖钻成孔沉渣厚度 /cm	冲击钻成孔沉渣厚度 /cm
0	0	0
8	1.8	90
16	2.5	180
32	2.8	230
48	3.8	270

表 6 冲击钻成孔与添加高效稳定液旋挖钻成孔质量比较

项目	13#-2 孔旋挖钻(设计孔径 220 cm,设计孔深 85 m)	13#-1 孔冲击钻(设计孔径 220 cm,设计孔深 85 m)	规范合格标准
沉渣厚度 /cm	3.8	160	摩擦桩 ≤ 30
垂直度 /%	0.11	1.2	$\leq 1\%S$ (S 为桩长)
实测孔径 /cm	228	235	大于设计
实测孔深 /m	85.12	85.68	大于设计
中心位置 /mm	30	48	单排桩 ≤ 50
清孔后相对密度	1.09	1.14	1.03 ~ 1.10
清孔后黏度 /(Pa·s)	18	17	17 ~ 20
清孔后含砂率 /%	1.50	2.8	< 2
清孔后胶体率 /%	98.5	95	> 98

由表 6 可知,添加高效稳定液旋挖钻成孔的质量完全合格,而冲击钻成孔的质量有几项不合格,灌桩前需进一步处理。

由表 7 可知,同地质条件、同桩径、同深度的成孔,旋挖钻加高效稳定液成孔成本比冲击钻成孔多 70 050-53 475=16 575 元,但工期可大大缩短。

综合表 6、表 7 可知:由于冲击钻成孔平均孔径为 235 cm,旋挖钻平均孔径为 228 cm,冲击钻成孔扩孔率较大,同桩径、同深度冲击钻成孔体积比旋挖钻加高效稳定液成孔体积大 $(2.35^2-2.28^2) \times 3.14 \div 4 \times 85=22 \text{ m}^3$,需多灌混凝土 $22 \times 1.02=22.44 \text{ m}^3$,按 C30 水下混凝土 600 元 / m^3 计,需增加混凝土费用 13 464 元。经简单比较,旋挖钻加高效稳定液成孔比冲击钻成孔成本多 16 575-13 464=3 111 元。由于旋

表 7 冲击钻成孔与添加高效稳定液旋挖钻成孔成本比较

(采用企业内部单价实测)

项目	13#-1 孔冲击钻 (桩长 85 m,桩径 2.2 m, 理论体积 323 m^3)			13#-2 孔旋挖钻 (桩长 85 m,桩径 2.2 m, 理论体积 323 m^3)		
	数量	单价 / 元	金额 / 元	数量	单价 / 元	金额 / 元
片石	35 m^3	90	3 150	未使用		
黏土	305 m^3	55	16 775	未使用		
膨润土	未使用			35 t	720	25 200
CMC	未使用			1.35 t	16 000	21 600
护壁剂	未使用			0.45 t	18 000	8 100
Na_2CO_3	未使用			0.75 t	8 000	6 000
台班	15 d $\times$ 3=45 台班	800	12 000	1 台班 (实 6 h)	4 000	4 000
水泵	25 台班	150	3 750	1 台班	150	1 200
挖机	5 台班	2 400	12 000	1 台班	2 400	2 400
小机费	500 元		500	500 元		500
人工(不含机手)	30 d	150	4 500	3 d	150	450
其他材料	800 元		800	600 元		600
小计		166 元 / m^3	53 475		217 元 / m^3	70 050

挖钻加高效稳定液成孔成桩工艺具有工期和质量优势,故综合效益较好。

6 结 语

湖泊地区的地质大都经过雨水长期冲积形成,地质条件复杂,有填土、砂砾、粉砂、流砾、漂石等地层。由于持力层较深,桩基础都是摩擦桩,桩径大、桩体深,成孔成桩较困难,一般都采用冲击钻、正反循环回旋机及旋挖钻施工,但冲击钻、正反循环回旋机成孔时间长,施工过程容易塌孔,成孔质量不好。采用高效稳定液旋挖钻成孔,不但进度快,而且质量好,各种材料容易采购,施工时环保很好控制,综合成本也不高。岳阳市华容梅田湖大桥的实践表明,对于粉砂、流砂、有承压水、软土、淤泥等复杂地层的深大桩基施工,采用添加高效稳定液旋挖钻施工是非常有效的,对于其他容易塌孔的桩基成孔施工也有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 交通部第一公路工程总公司. 公路施工手册. 桥涵[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [2] 龚晓南. 桩基工程手册[M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.