

优质膨润土泥浆在大直径深桩基工程中的应用

兰 凯¹, 黄振国²

(1. 中国地质大学工程学院, 武汉 430074; 2. 核工业华东建设工程集团公司, 南昌 330046)

[摘 要]为解决在澳门美高梅金殿超濠博彩场及酒店项目桩基工程中直径深护筒无法回收的难题, 笔者在分析港澳地区灌注桩传统工艺缺陷的基础上, 采用具有预处理能力的优质膨润土泥浆。施工实践表明, 2[#]配方泥浆能有效的保持桩孔稳定性, 桩孔的平均充盈系数为 1.0794; 改善了钻进泥浆的性能, 使泥浆的重复利用率提高到 45.33%, 泥浆废弃率仅为 2.38%; 降低了工程成本, 减小了对环境的影响。同时, 为钻孔灌注桩施工总结了各个阶段泥浆性能标准。

[关键词]大直径深长灌注桩 膨润土泥浆 护壁 泥浆重复利用 充盈系数

[中图分类号]TU473.1 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2006)05-0094-04

在灌注桩施工中, 通常采用地层土孔内造浆的方式。这种泥浆护壁性能差, 使孔壁的稳定存在潜在危险, 而且无法再生利用, 造成废浆外运费用居高不下。针对澳门美高梅金殿超濠博彩场及酒店项目桩基工程的实际特点, 笔者采用具有预处理能力的“低密度、低粘度、低失水”膨润土泥浆, 不仅保持了大直径桩孔壁长期稳定, 而且提高了泥浆的重复利用率、降低废浆外运成本、为彻底清孔奠定了基础, 取得了良好的效果。

1 工程概况

1.1 地层特点及施工工艺

澳门美高梅金殿超濠博彩场及酒店项目桩基工程有钻孔灌注桩 38 根, 桩径 3.0m, 扩底部分直径 4.2m, 平均桩深 68m, 入岩平均深度 6.7m。场地地层划分如图 1 所示。港澳地区传统施工工艺, 是将 3cm 厚的钢护筒(底筒厚 8 cm)用磨桩机沉入基岩面, 用贝诺特工法抓除护筒中的土层, 然后采用清水钻进至终孔。对本项目, 护筒沉入长度将达 60 m; 灌注砼时, 即使忽略护筒的内侧摩擦阻力, 起拔护筒时的阻力仍可达 1100 T 以上, 超过磨桩机的最大液压顶升力(700 T~900 T), 势必造成护筒大量丢失在孔内而蒙受巨大经济损失。因此, 本项目采用如下的工艺: 首先采用贝诺特工法下护筒抓土, 达到全

风化花岗岩面(约 30m); 再使用泥浆反循环四翼刮刀钻头穿过全风化花岗岩层; 然后采用泥浆反循环滚刀钻头钻基岩至设计孔深; 最后使用泥浆反循环滚刀扩底钻头进行扩底, 至设计扩底直径。这样将护筒深度减半的方法具有可观的经济效益, 但同时

对泥浆性能提出新的指标。

柱状图	层厚 h/m	描述
	9.0	回填砂
	9.0	黑色海相粘土
	约9.0	灰红黄杂色粘土
	18.0~40.0	全风化花岗岩层 (红黄色致密粗糙的砂质土)
	未穿透	白色粉色和绿色的 坚硬微风化至 新鲜花岗岩

图 1 场地工程地质柱状图

勘察资料显示, 施工区内地层层位稳定, 层厚变化不大, 穿过回填砂层、黑色海相粘土层和灰色、红黄色杂色粘土层后, 进入厚度 18~40 m 的全风化花岗岩。由于护筒下入深度是以全风化花岗岩面为控制标准, 因此钻进过程中, 全风化花岗岩成为泥浆护

[收稿日期]2006-01-16; **[修订日期]**2006-07-11; **[责任编辑]**陈仁俊。

[第一作者简介]兰 凯(1982 年—), 男, 2003 年毕业于中国地质大学(武汉), 获学士学位, 在读博士生, 现主要从事钻探工程及基础工程的计算机应用研究工作。

壁的主要层位。

1.2 泥浆设计对策

全风化花岗岩层为强水敏性地层,其试块在清水中浸泡两分钟即开始分解,浸泡两个小时便完全崩解;同时,在全风化花岗岩层中,原岩中长石成分多的土质较粘,钻进中强烈造浆;原岩中石英砂粒多的土,钻进中形成的砂粒较多,钻孔出口处泥浆含砂量有时可高达 14 ~ 15%。因此,在钻进过程中,大量的固相侵入可以使泥浆成为“高粘度、高含砂量、高密度”的分散体系。

护壁关键层位的上述特点,决定了笔者设计的泥浆必须能在孔壁形成薄而致密的泥皮,抑制地层的水化分散,维护孔壁稳定和成桩质量;而且具有低密度和低粘度的特点以满足除泥除砂的要求,防止钻头泥包事故,提高钻进效率;另外,港澳地区严格的环保要求,使得该泥浆还应具备处理和再生在钻进中性能劣化的泥浆功能,以提高泥浆的重复利用率,减少排放量和外运费用,降低对环境的影响。

2 造浆材料及配方优选

2.1 膨润土的选择

笔者对本地膨润土粉、山东人工钠土和辽宁“GTC4 基桩工程膨润土粉”进行了造浆对比试验。结果表明,本地土多为粘土矿的尾渣,难以配制胶体率合格的泥浆;人工钠土的造浆率最大为 25 m³/T; GTC4 的造浆率可达 30 m³/T,即使在加土率仅为 2%,不加其他护胶剂时,仍能保持良好的稳定性和

失水率。故选用 GTC4 基桩工程膨润土粉。

2.2 水的选择

基桩膨润土泥浆对水的品质有严格要求,但考虑到现场有丰富的海水资源,笔者进行了海水造浆和淡水造浆的对比试验。

表 1 说明在不加处理剂的情况下海水造浆难以满足钻进对胶体率和稳定性要求;加入适当处理剂后可满足工程要求,但泥浆的成本将上升;而且在加入 CMC 或 PHP 之后^[1],后期的废浆处理任务将会变得更加繁重。因此,笔者决定采用淡水来配制泥浆。

2.3 分散剂、稀释剂和抑制剂的选择

笔者选用价格低廉的纯碱(Na₂CO₃)作为分散剂,可将粘土改性为钠膨润土,使双电层水化膜变厚,粘土颗粒在泥浆中呈细分散状态,胶体化程度升高,失水量降低,护壁性能增强。在钻进泥浆被 Ca²⁺ 或水泥侵而聚结稳定性下降,泥浆稠化,失水量上升时,纯碱能使 Ca²⁺ 与 CO₃²⁻ 形成 CaCO₃ 沉淀,从而增大粘土表面吸附的 Na⁺ 与 Ca²⁺ 之比,使粘土颗粒的水化增强,重新分散,恢复良好性能^[2-3]。当现场钻进泥浆受砂、粘土和地层酸性介质的侵害时,纯碱水化产生的 OH⁻ 会中和酸性的 H⁺,当加量合适时,即使泥浆受到地层中各种介质影响,体系的 pH 值仍然能保持在 7 ~ 8.5 之间。既保证泥浆体系的稳定和性能,又使水敏性地层不致由于 pH 值太高而分散水化。我们配制的新浆 pH 值保持在 9.5 左右。

表 1 海水泥浆和淡水泥浆性能对比表

编号	水的类型	粘土加量	纯碱加量	处理剂加量			泥浆性能			
				CMC	KHm	PHP	漏斗粘度 (s)	胶体率 (%)	密度 (g/cm ³)	PH 值
1	海水	水质量的 4%	粘土质量的 4%	\	\	\	\	<50	\	\
2	淡水	水质量的 4%	粘土质量的 4%	\	\	\	\	100	\	\
3	海水	水质量的 4%	粘土质量的 6%	\	\	\	14.5	50	1.025	8.5
4	海水	水质量的 6%	粘土质量的 4%	\	\	\	17.5	55	1.03	9
5	海水	水质量的 6%	粘土质量的 6%	\	\	\	17.0	55	1.03	9
6	海水	水质量的 8%	粘土质量的 4%	水体积的 1000ppm	水质量的 2.5‰	水体积 50ppm	24.8	92	1.05	9

注:数据由深圳孺子牛建设工程有限公司驻美高梅地盘泥浆技术咨询组测试,测试时间 2005 年 6 月 6 日。

我们采用腐殖酸钾(KHm)作为具有稀释降粘和抑制地层坍塌的处理剂。其机理^[1]是:腐殖酸钾含具有很强吸附和水化能力的酚羟基和羧钾基的多官能团的链状高分子化合物,能优先吸附于粘土晶体的断键边缘,并增强该处的水化,从而削弱和拆散泥浆中粘土晶体之间由断链连接而成的网状结构,

既释放出了被网状结构所包住的自由水,又减弱了颗粒之间的流动摩阻,从而对钻进泥浆起到降粘稀释的效果;同时,腐殖酸钾中游离 K⁺ 进入到粘土晶体的结构中后,不易被置换,且能将粘土晶片拉的更近,使水分子不易进入晶格中,抑制地层粘土颗粒水化分散,维持地层稳定。

2.4 泥浆配比试验

在选定所用造浆材料后,笔者进行了如表 2 所

示的泥浆配比试验,以寻求兼顾质量和效益要求的泥浆配方。

表 2 泥浆配比试验表

配方 编号	泥浆配方					泥浆性能						
	水(ml)	GTC4 土(g)	Na ₂ CO ₃ (g)	KHm(g)	粘度(s)	密度(g/cm ³)	含砂量(%)	pH 值	失水量(ml/30min)	泥皮厚(mm)	胶体率(%)	
1	1 000	20	1.00	4.00	16.25	1.005	\	9.5	35	0.85	100	
2	1 000	25	1.25	4.00	17.50	1.010	\	9.5	30	0.80	100	
3	1 000	33	1.65	4.00	20.60	1.015	\	9.5	24	0.60	100	
4	1 000	40	2.00	4.00	21.60	1.018	\	9.5	21	0.40	100	
5	1 000	25	1.50	\	17.80	1.01	\	9.5	31	0.80	100	
6	1 000	40	2.00	\	20.60	1.018	\	9.5	21	0.3	100	
7	1 000	60	3.00	\	39.88	1.033	\	10.5	15	1.4	100	
8	1 000	25	1.00	\	17.50	1.010	\	8.5	\	\	100	
9	1 000	30	1.20	\	18.50	1.020	\	8.5	\	\	100	
10	1 000	33	1.32	\	19.66	1.027	\	8.5	\	\	100	
11	1 000	40	1.60	\	22.75	1.025	\	8.5	\	\	100	
12	1 000	33	1.65	3.50	16.76	1.017	\	9.5	22	0.9	100	
13	1 000	33	1.98	3.50	16.70	1.017	\	10	20	0.85	100	
测试工具					NC-1006 泥浆粘 度计	NB-1 泥浆比 重计	NA-1 泥浆含 砂量计	广泛 试纸	NS-1 泥浆失水量仪	1000ml 量筒		

注:数据由深圳孺子牛建设工程有限公司驻美高梅地盘泥浆技术咨询组测试,测试时间 2005 年 6 月 8 日至 13 日。

从表 2 中配方 5~11 可以看出,在纯碱加量为粘土粉质量的同一比例时,随着粘土加量的上升,比重和粘度上升,失水量总体呈下降趋势;当粘土加量过高时,泥皮质量有所下降;同时纯碱加入量为粘土质量 5% 的配方,粘度和比重比纯碱加入量为粘土质量 4% 的配比要小;由于 KHm 是作为抑制和稀释剂,其作用主要表现在处理孔内钻进用不达标泥浆和抑制地层水化,因此,在新浆中难以评价其作用。最终,从成本和效率的综合角度考虑选择配方 2;当

泥浆可能受到暴雨侵害时,可采用配方 3。

为了证实所选用的配方 2 在处理钻进中的劣化泥浆的效果,我们进行了如表 3 所示的泥浆再生处理试验:用现场搅拌站按配方 2 搅拌的新泥浆处理 9# 桩孔孔深为 63.50 m 时性能明显劣化的钻进泥浆。其结果表明,配方 2 可以有效的处理性能劣化的泥浆,提高泥浆的重复利用率,减少泥浆的排放量,降低成本。

表 3 2#配方泥浆的再生处理验证试验

泥浆名称	粘度(s)	比重(g/cm ³)	含砂量(%)	pH 值	失水量(ml/30min)	泥皮厚(mm)
9#待处理劣化泥浆	34.28	1.230	4	7.5	35	3.25
将 9# 泥浆和配方 2 的新泥浆按 9:1 混合	26.83	1.208	3.6	7.5	29	2.20
将 9# 泥浆和配方 2 的新泥浆按 4:1 混合	22.23	1.190	3	8.0	26	1.90

注:数据由深圳孺子牛建设工程有限公司驻美高梅地盘泥浆技术咨询组测试,测试时间 2005 年 8 月 5 日。

3 效果评价

针对不同的施工阶段,我们提出了泥浆的控制指标(表 4),以保证钻进泥浆的优良性能,提高泥浆的重复利用率,保证成桩质量。对泥浆性能控制指标的严格贯彻,加上对泥浆调度的科学管理,为充分发挥优质膨润土泥浆的效果提供了保证;使得膨润土泥浆在该项目最终取得了良好的效果。

表 4 桩基泥浆主要性能控制标准

项目	测试仪器	单位	新配制泥浆	钻进泥浆	灌砂前清孔泥浆
比重	比重称	g/cm ³	1.005~1.03	<1.25	<1.10
粘度	漏斗粘度计	s	16~22	\	18~20
失水量	气压式失水仪	ml/30min	≤35	<45	≤35
pH 值	广泛试纸		8~10	7~9	7.5~9.5
含砂量	含砂量仪	%	0	<8.0	<2.0
胶体率	量筒	%	100	>96	100
稳定性	量筒,比重称		<0.01	<0.02	<0.01

3.1 护壁效果评价

混凝土灌注的实际记录表明,桩孔的平均充盈系数为 1.0794,远低于国内规范所要求的 1.10。同时,桩孔超声波测试显示,桩孔孔壁完整性好,没有泥浆质量原因引起的垮孔事故:即使是最深的 BP6 (孔深 80.10 m) 及施工周期最长的 BP14 (钻进 42 d),孔壁保持完整,如图 2(a,b);BP38 在从孔壁掏出 3 块大孤石的情况下,受其间接影响的孔壁没有发生坍塌,如图 2(c) 所示的与空洞相对的直线段。

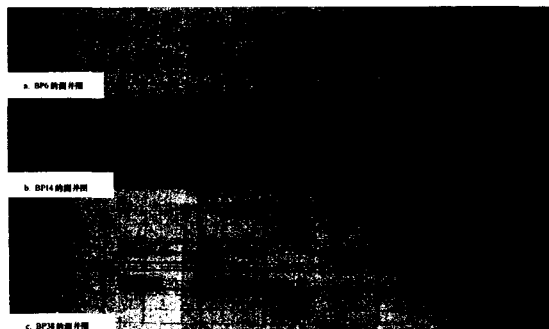


图2 测井图

3.2 泥浆重复利用率

泥浆现场使用情况表明,泥浆重复利用率为 45.33%,泥浆废弃率为 2.38%,废弃量与完成的混凝土方量之比为 2.59%;减少了泥浆废弃对环境的影响,降低了泥浆外运费用。

4 结论与展望

1. 在港澳地区施工大直径深桩基工程,由于护筒自重和地层摩阻力较大,仍然采用全护筒贝诺特工法加上基岩清水钻进的工艺,可能造成护筒遗留孔内的巨大损失;此时可以采用泥浆护壁钻进。

2. 采用具有预处理性能的优质泥浆,能有效地维护孔壁,抑制水敏性地层的水化分散。与传统的原状地层土造浆相比这种方法,可以减少废浆外运量,提高泥浆的重复利用率,降低桩孔的充盈系数,节约施工成本,减少对环境的影响。在环境保护要求较高的地区,其优势更加明显。

3. 在泥浆失水量测量时,滤纸的质量也是一个关键因素,建议选用与美国 API 专用滤纸质量相当的滤纸。

4. 实践证明,笔者在施工中选用的各个施工阶段的泥浆性能指标是合理的,其对于保证桩孔的安全具有指导意义。

[参考文献]

- [1] 张克勤,陈乐亮. 钻井技术手册(二)——钻井液[M]. 北京:石油工业出版社,1988.
- [2] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰新,等. 钻井液与岩土工程浆液[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [3] 鄢泰宁,孙友宏,彭振斌. 岩土钻掘工程学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2001.

APPLICATION OF HIGH - PERFORMANCE BENTONITE SLURRY IN LARGE DIAMETER AND DEEP BORED PILE ENGINEERING

LAN Kai¹, HUANG Zhen - guo²

(1. Engineering department of China University of Geosciences, Wuhan 430074;

2. China nuclear Huadong engineering & construction (group) company, Nanchang 330046)

Abstract: High quality bentonite slurry is adopted to prevent the possibility of cost caused by lost casing according to the traditional construction method of bored pile in MGM JV casino & hotel development Macao. The new method is also introduced. It demonstrates that Formula 2 slurry can effectively keep the stability of pile shaft, which minishes the average filling coefficient to 1.0794. Formula 2 slurry can improve the performance of drilling fluid, which increases the reuse ratio of slurry to 45.33% and decreases the discarding ratio to 2.38%. So, it can reduce cost and the impact on environment. And also, we conclude a table of recommended performance characters of pile foundation slurry in different phases of construction.

Key words: large diameter and deep bored pile, bentonite slurry, walling, reuse of slurry, filling coefficient