

桩基成孔施工中防塌泥浆性能试验分析

郝延周

(河南城建学院土木工程学院,河南 平顶山 467036)

摘要:塌孔、缩径是桩基成孔施工中经常出现的问题,成孔的质量直接影响钻孔灌注桩桩体的质量。目前的成孔施工中除了下套管之外最有效的护壁方法就是采用防塌泥浆护壁。通过对各种组分泥浆试验性能参数的比较与分析,优选出防塌泥浆最佳配方,从而提高钻孔灌注桩成孔施工中孔壁的稳定性。

关键词:桩基;成孔;防塌泥浆;性能参数

中图分类号:P634.6;TU473.1 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2014)03-0059-04

Analysis on Anti-sloughing Mud Properties in the Pile Foundation Borehole Construction/HAO Yan-zhou (Department of Civil and Materials Engineering, Henan University of Urban Construction, Pingdingshan Henan 467036, China)

Abstract: Hole collapse and diameter shrinkage often occur in the pile foundation borehole construction, the borehole quality directly affects the quality of the bored grouting pile. Except for casing in borehole construction, the most effective wall protection method is by sloughing mud. Through the comparison and analysis on various mud with ingredients, the best formula of collapse preventing mud is selected to improve the stability of hole wall in bored grouting pile construction.

Key words: pile foundation; borehole construction; anti-sloughing mud; performance parameter

泥浆是在土层中钻进成孔所需的冲洗液,除了携带钻屑、冷却钻头外,最主要的作用是平衡土层压力,防治孔壁坍塌。桩基础是目前岩土工程中应用最多的基础类型,桩基成孔的质量直接决定了桩体的质量,因此,分析、改善冲洗液的性能对桩基孔壁稳定具有重要的意义。

1 防塌泥浆各组分选取

在钻孔灌注桩施工过程中,特别是在遇水不稳定的岩层中成孔时,孔壁容易出现坍塌、剥落、溶胀等复杂情况,试验用泥浆各组分以防塌泥浆的性能要求选取,即低失水、高矿化度、高滤液粘度、适当的密度和粘度。

考虑泥浆对孔壁稳定性的影响,泥浆携带钻屑的能力以及其他性能。选取膨润土作为配浆材料,其造浆能力强,具有降低钻井液的滤失量等作用;加入有机处理剂来提高泥浆的降失水性、絮凝作用等;选取羧甲基纤维素(CMC)来提高泥浆降失水和增粘的性能,其中羧甲基纤维素钠(Na-CMC)有较好的抗盐能力;选用水解度 30% 左右的聚丙烯酰胺(PHP)来提高泥浆的絮凝作用和孔壁稳定性。

2 试验设计方法

泥浆试验中由于各组分加量不同等因素导致优

选泥浆配方时需要很多次试验来完成,从多次试验中选择具有代表性的试验是泥浆试验的关键。因此,应用一种科学合理的试验方法是取得最优效果的根本。正交试验法^[1]是一种运用数学分析来合理安排试验的设计方法。

正交试验方法主要依靠“正交表”来指导和安排试验步骤。通过正交表可以选出最经济合理的试验次数和试验搭配,使每项试验达到最好的试验效果。试验中若有 4 种物质因素、3 种添加量,则按正交表 L₉(3⁴)的要求需要做 9 次试验,即: a₁b₁c₁d₁、a₁b₂c₂d₂、a₁b₃c₃d₃、a₂b₁c₁d₃、a₂b₂c₃d₁、a₂b₃c₁d₂、a₃b₁c₃d₂、a₃b₂c₁d₃、a₃b₃c₂d₁。

3 防塌泥浆试验及分析

3.1 试验材料

根据钻孔灌注桩的钻孔工艺和土层的工程地质性质,确定试验预期达到的结果要满足表 1 提供的基本泥浆性能参数。

表 1 泥浆基本指标

项目	密度 ρ / (g·cm ⁻³)	漏斗粘度 / (T/s)	失水量 B / [(mL·(30min) ⁻¹]	泥皮厚度 / (K/mm)	pH 值	视粘度 η _视 / (mPa·s)	动切力 τ _d / Pa
指标	1.05	>22	<15	<0.5	8~9	16	2

试验材料为:a——碳酸钠 Na₂CO₃, b——羧甲基

收稿日期:2013-09-24;修回日期:2014-01-06

作者简介:郝延周(1982-),男(汉族),河南平顶山人,河南城建学院土木工程学院硕士研究生、助教,地质工程专业,研究方向为桩基成孔技术、地基处理,河南省平顶山市新城区,117835141@qq.com。

纤维素 CMC, c——聚丙烯酰胺 PHP, d——膨润土, 分别将4种造浆材料按试验要求称取量值加入1000 mL水中放入泥浆搅拌机中配置泥浆, 加量值见表2。

表2 泥浆试验材料及各成分加量

水平	a/g	b/g	c/(mg·L ⁻¹)	d/g
1	1	1	50	40
2	3	3	100	80
3	5	5	200	100

3.2 试验及数据分析

各项试验材料和仪器校正无误后分别开始进行试验, 结合正交表, 根据本次试验的试验水平和因素来制定每次试验方案, 每次试验的顺序、因素组合见表3, 各因素加量见表4。

表3 每组实验编号及因素组合

试验编号	a	b	c	d	试验编号	a	b	c	d
1	1	1	1	1	6	2	3	1	2
2	1	2	2	2	7	3	1	3	2
3	1	3	3	3	8	3	2	1	3
4	2	1	2	3	9	3	3	2	1
5	2	2	3	1					

表4 每组实验编号及各因素加量

试验编号	a/g	b/g	c/(mg·L ⁻¹)	d/g	试验编号	a/g	b/g	c/(mg·L ⁻¹)	d/g
1	1	1	50	40	6	3	5	50	80
2	1	3	100	80	7	5	1	200	80
3	1	5	200	100	8	5	3	50	100
4	3	1	100	100	9	5	3	100	80
5	3	3	200	40					

分别按照表3的各因素组合和表4的各因素加量逐一进行试验, 试验所得各项原始数据进行记录, 各项试验所得有用数据见表5。计算参数见表6。

表5 各组试验所得数据

试验编号	ρ /(g·cm ⁻³)	T /s	B /(mL·(30 min) ⁻¹)	K /mm	pH	Φ_{300} /(°)	Φ_{600} /(°)
1	1.024	18	28	0.2	7	6	10
2	1.051	25	17.5	0.4	7	13.5	26
3	1.061	38	9.4	0.5	7	31	54
4	1.059	25	12.3	0.5	7	12.5	25
5	1.032	26	15.2	0.2	8	15	26
6	1.056	78	11.8	0.2	8	47	78
7	1.048	37	11.6	0.2	8	23.5	42
8	1.066	205	10.1	0.3	7	83	124
9	1.036	32	12.2	0.2	9	24.5	42

对以上得出的试验数据进行处理。分别对3组试验做极差(各组数据做极差组合形式见表7), 根据数据分析结果绘制影响曲线, 数据分析曲线结果见表8。从表中可以明显的看出对泥浆密度影响

表6 试验求得视粘度、塑粘度、动切力值

试验编号	$\eta_{\text{视}}/(mPa \cdot s)$	τ_d/Pa	$\eta_{\text{塑}}/(mPa \cdot s)$
1	5	1.022	4
2	13	0.511	12.5
3	27	4.088	23
4	12.5	0	12.5
5	13	2.044	11
6	39	8.176	31
7	21	2.555	18.5
8	62	21.462	41
9	21	3.577	17.5

表7 各配方试验数据做极差组合形式

因素	a	b	c	d
K_1	1+2+3	1+4+7	1+6+8	1+5+9
K_2	4+5+6	2+5+8	2+4+9	2+6+7
K_3	7+8+9	3+6+9	3+5+7	3+4+8

表8 泥浆配方正交试验结果分析

指标	因素	K_1	K_2	K_3	极差 R	影响曲线
ρ	a	3.136	3.147	3.150	0.014	
	b	3.131	3.149	3.153	0.022	
	c	3.146	3.146	3.141	0.005	
	d	3.092	3.155	3.186	0.094	
T	a	81	129	274	193	
	b	80	256	148	176	
	c	301	82	101	219	
	d	76	140	268	192	
B	a	54.9	39.3	33.9	21.0	
	b	51.9	42.8	33.4	18.5	
	c	49.9	42.0	36.2	13.7	
	d	55.4	40.9	31.8	23.6	
$\eta_{\text{视}}$	a	45	64.5	104	59	
	b	38.5	88	87	49.5	
	c	106	46.5	61	59.5	
	d	39	73	101.5	62.5	
τ_d	a	5.621	10.220	27.594	21.973	
	b	3.577	24.017	15.841	20.446	
	c	30.660	4.088	8.687	26.572	
	d	6.643	11.242	25.550	18.907	
$\eta_{\text{塑}}$	a	39.5	54.5	77.0	37.5	
	b	35	64.5	71.5	36.5	
	c	76	42.5	52.5	33.5	
	d	32.5	62	76.5	44.0	

最大的是膨润土的加量, 对泥浆漏斗粘度影响最大的是 PHP 的加量, 对泥浆失水性影响最大的是 CMC 的加量, 对泥浆视粘度影响最大的是膨润土的加量, 对泥浆动切力影响最大的是 PHP 的加量。

绘制出各处理添加剂对泥浆性能指标影响变化趋势图, 根据对各处理添加剂对泥浆性能指标影响变化趋势图的分析得出最优配方方案。各处理剂对泥浆性能指标影响变化趋势图见图1~5。

按照预先设计的试验方案, 对各项配方进行逐一

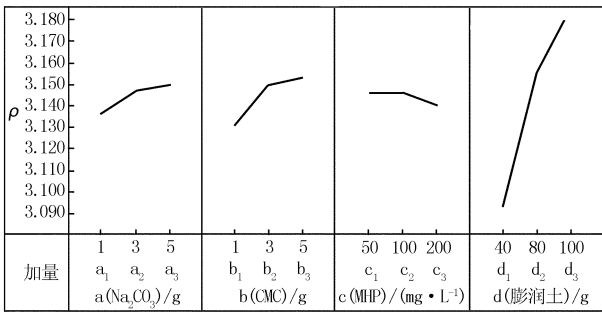


图 1 不同添加剂对泥浆性能指标 ρ 的影响变化趋势图

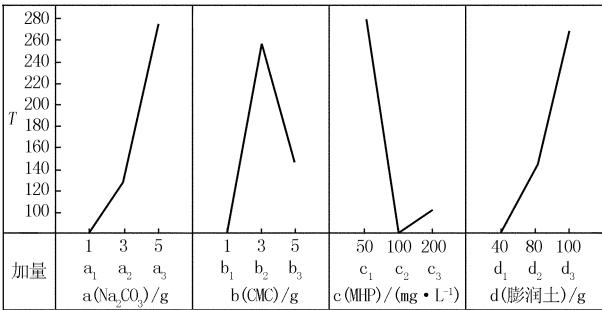


图 2 不同添加剂对泥浆性能指标 T 的影响变化趋势图

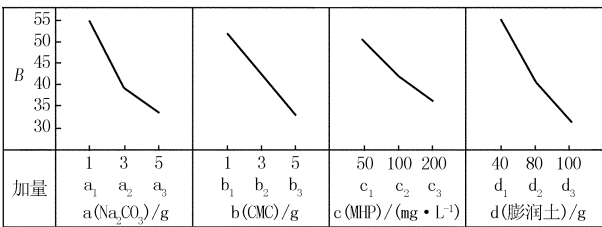


图 3 不同添加剂对泥浆性能指标 B 的影响变化趋势图

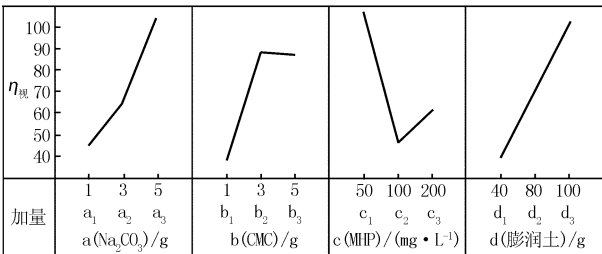


图 4 不同添加剂对泥浆性能指标 $\eta_{视}$ 的影响变化趋势图

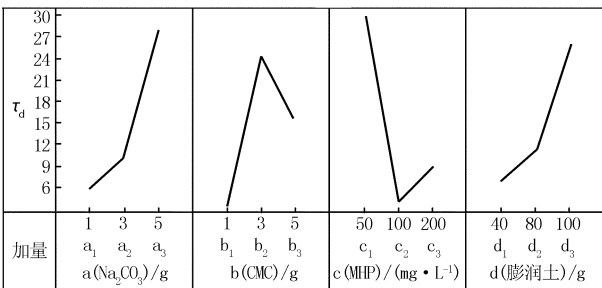


图 5 不同添加剂对泥浆性能指标 τ_d 的影响变化趋势图

(1) 根据试验数据和图 1 可以看出, 总体泥浆的密度受膨润土的加量影响最大, 受聚丙烯酰胺的影响最小。从各成分的加量对泥浆密度的影响趋势图可以看出, 随着碳酸钠加量的增加, 泥浆密度增大; 随着羧甲基纤维素加量的增加, 泥浆的密度也呈增加的趋势; 而水解聚丙烯酰胺对泥浆密度的影响较小。因此, 泥浆密度的大小主要通过调节膨润土的加量来控制。

(2) 从图 2 可以直观的看出, 碳酸钠和膨润土对泥浆的漏斗粘度影响最大, 羧甲基纤维素和聚丙烯酰胺对泥浆漏斗粘度的影响较大。随着碳酸钠和膨润土加量的增加其漏斗粘度明显增大; 羧甲基纤维素的加量在 3 g 时其漏斗粘度达到最大, 当加量为 5 g 时其漏斗粘度有所降低; 聚丙烯酰胺在加量为 50 mg/L 时漏斗粘度最大, 100 mg/L 时漏斗粘度最小, 200 mg/L 时漏斗粘度较 100 mg/L 有稍微增大。从试验所得的漏斗粘度值来看都能满足表 1 要求。单从泥浆漏斗粘度来讲, 当然其漏斗粘度值越大, 泥浆性能越好。

(3) 从图 3 可以明显的看出, 4 种添加剂都是随着加量的增加其失水量降低, 根据所给的基础标准泥浆失水量必须小于 15 mL/30 min。因此, 碳酸钠加量为 1 g 时, 羧甲基纤维素加量为 1 g 时, 聚丙烯酰胺加量为 50 mg/L 时, 膨润土加量为 40 g 时, 其失水量均大于 15 mL/30 min, 这几个加量均不满足泥浆性能的基本标准。从泥浆性能最优化来分析, 在满足标准要求的前提下其失水量越小泥浆越能保持其稳定性。

(4) 从图 4 可以看出, 泥浆的视粘度与泥浆漏斗粘度变化趋势相似。随着碳酸钠加量的增加泥浆视粘度呈直线增加; 羧甲基纤维素加量为 1 g 时视粘度最小, 加量为 3 g 时视粘度最大, 加量为 5 g 时其视粘度与 3 g 加量相比稍有降低; 聚丙烯酰胺在加量 50 mg/L 时视粘度最大, 加量为 100 mg/L 时视粘度最低, 200 mg/L 时视粘度与 100 mg/L 加量时相比稍有增加。

(5) 从图 5 可以看出, 泥浆的动切力受各组分加量变化的影响较明显。碳酸钠在加量 5 g 时动切力最大, 在加量 1 g 时动切力最小; 羧甲基纤维素在加量 3 g 时动切力最大, 在加量 1 g 时动切力最小, 在加量 5 g 时动切力较 3 g 时小; 聚丙烯酰胺在加量 50 mg/L 时动切力最大, 在加量 200 mg/L 时与加量 100 mg/L 时相比稍有增加, 加量 100 mg/L 时最小; 膨润土在加量 100 g 时动切力最大, 在加量 40 g 时

试验并对所得数据进行实验分析, 根据以上试验数据分析可以得出以下结论。

动切力最小。根据基础标准动切力为 2 Pa 时,碳酸钠 1 g、羧甲基纤维素 1 g、聚丙烯酰胺 100 mg/L、膨润土 40 g 满足标准要求。

由以上分析可知碳酸钠和膨润土的加量对泥浆各项性能的影响较明显,泥浆密度、漏斗粘度、视粘度、动切力随着其加量的增大其各项性能参数有增大的趋势,失水量随着加量的增加呈减小的趋势。羧甲基纤维素和水解度为 30% 的聚丙烯酰胺的加量对泥浆性能除对密度影响不大外其余各项影响均比较明显。

3.3 试验结论

按照泥浆性能标准参数来合理选取各成分的加量达到泥浆的最佳性能。根据以上分析分别得出最佳泥浆密度组合为 $a_3 b_2 c_1 d_2$ 、 $a_3 b_2 c_2 d_2$ 、 $a_3 b_3 c_1 d_2$,最佳漏斗粘度组合为 $a_3 b_2 c_1 d_3$,最佳失水量组合为 $a_3 b_3 c_3 d_3$ 、 $a_3 b_2 c_2 d_2$,最佳视粘度组合为 $a_3 b_2 c_1 d_3$,最佳动切力组合 $a_3 b_2 c_1 d_3$ 。选取最优配方组合为 $a_3 b_2 c_1 d_3$ 、 $a_3 b_2 c_2 d_2$,分别对两项最优配方组合进行试验(其中 $a_3 b_2 c_1 d_3$ 为第 8 组试验)得出数据见表 9。

表 9 两项优选配方试验数据

配方	ρ /(g·cm ⁻³)	T /s	B /[mL·(30 min) ⁻¹]	K /mm	pH	φ_{300} /(°)	φ_{600} /(°)
$a_3 b_2 c_1 d_3$	1.066	205	10.1	0.3	7	83	124
$a_3 b_2 c_2 d_2$	1.056	58	10.4	0.3	8	34	56

$a_3 b_2 c_2 d_2$ 方案组合中 $\eta_{视} = 28 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, $\eta_{塑} = 22 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, $\tau_d = 6.132 \text{ Pa}$ 。

优选泥浆配方各项成分具体加量见表 10。

表 10 优选配方各项成分加量

配方	成 分			
	$\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{g}$	CMC/g	PHP/(mg·L ⁻¹)	膨润土/g
$a_3 b_2 c_1 d_3$	5	3	50	100
$a_3 b_2 c_2 d_2$	5	3	100	80

4 工程应用

平顶山市某工程场地为第四系冲积、湖积沉积层(Q_4^{al+1}),根据钻探揭露以淤泥质土、砂土为主,局部夹淤泥质粉砂、亚粘土。

(1) 淤泥质土:灰色、深灰色,含腐殖质,局部含少量贝壳,软塑。上部含较多粉细砂,呈薄层状不均匀混于淤泥中;中下部以淤泥质粘土为主,局部为淤泥。全部钻孔均揭露,厚度 3.0~8.2 m。

(2) 淤泥质粉砂、粉砂:深灰~灰黄色,饱和,松散,分选性较好,厚度 7.1~9.5 m。

(3) 亚粘土:灰黄色,以粘粒、粉粒为主,土质较粘,软~可塑状,局部含铁锰质结核团块。一般分布

于淤泥质土之下,连续性稍差,厚度为 4.6~8.2 m。

(4) 粗砂:黄褐色夹灰白色,稍密~中密,湿,主要成分为石英质,粒径大于 0.5 mm 约占总量的 62%,局部夹圆砾,颗粒级配一般,混有 23% 左右的粉砂及粘土,冲积成因,厚度为 6.3~8.7 m。

该工程基础形式设计为钻孔灌注桩,桩长 16.0~27.0 m,桩径 1.0 m,将表 10 得到的优选泥浆组合应用于本工程的 65 个桩孔施工中,其防塌效果非常明显,特别是在软土地层钻进成孔中泥浆的各项性能指标达到护壁、防塌的要求。

5 结语

钻孔的质量直接决定钻孔灌注桩的完整性和强度,特别是在软土层中钻孔施工时容易出现孔壁失稳等工程事故,因此,防塌泥浆的性能就显得尤为重要。本文从试验的角度对防塌泥浆的性能进行了全面的分析,从中得到一种新型的防塌泥浆配方(见表 10)。通过在实际工程软土层中验证,该防塌泥浆的防塌效果良好,各项性能指标达到护壁和防塌的要求。

参考文献:

- [1] 洪继祥,刘子昆. 正交设计法选择泥浆配方[J]. 地质与勘探, 1982, (7).
- [2] 乌效鸣,等. 钻井液与岩土工程浆液[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [3] 王安德. 泥浆护壁成孔灌注桩泥浆性能要求[J]. 探矿工程, 2002, (5).
- [4] 黄振国. 澳门美高梅金殿扩底灌注桩施工泥浆技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(5): 56-60.
- [5] 杨明星,王丽仙. 旋挖钻孔低粘降失水水泥浆配制应用技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(2): 64-66.
- [6] 陈建和. 泥浆性能对钻孔灌注桩成桩质量的影响分析[J]. 西部探矿工程, 2005, (9): 150-151.
- [7] 王敦显. 基础工程中泥浆的质量控制[J]. 安徽建筑, 2007, (6).
- [8] 李武斌. 泥浆护壁钻孔灌注桩工程性状研究[J]. 西部探矿工程, 2005, (7): 27-29.
- [9] 何大海. 论钻孔灌注桩施工过程中的护壁泥浆[J]. 现代公路, 2005, (1): 44-45.
- [10] 李小青,乌效鸣. 钻孔灌注桩孔壁稳定性分析[J]. 地质与勘探, 2001, 37(2).
- [11] 黄瑞豹,刘瑞盛,杨俊池. 钻孔桩基础施工遇到溶洞的技术探讨[J]. 广东交通职业技术学院学报, 2002, (4).
- [12] 吴文法,张付清,李令燕. 泥浆护壁钻孔灌注桩施工工艺[J]. 建筑与工程, 2007, (21): 125.
- [13] 张浩. 钻孔灌注桩施工工艺[J]. 山西建筑, 2007, 33(11): 128.
- [14] 芦军. 钻孔灌注桩施工工艺及注意事项[J]. 工程建设与设计, 2002, (4): 9.
- [15] 李粮纲,等. 基础工程施工技术[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社, 2000. 5-50, 98-160.