

软土地层地下连续墙成槽护壁泥浆研究

董宏波, 王子阳, 钱宏春

(宁波市市政公用工程安全质量监督站, 浙江 宁波 315000)

摘要:含砂性土等软土地层地下连续墙成槽施工,基槽侧壁易扰动坍塌,影响地下连续墙施工质量。降低泥浆失水量、适当提高泥浆粘度和防塌是护壁成槽的关键。结合宁波轨道交通车站基坑地下连续墙成槽施工,采用部分水解聚丙烯酰胺(PHP)、聚丙烯腈钙(CPAN)和硝基腐植酸钾(NKHm)作为添加剂,根据正交试验测定泥浆性能优化配比。研究表明:PHP失水量小,泥皮薄;CPAN和NKHm对降失水量效果明显,粘度适中。将试验结果应用于工程实践,护壁效果好。

关键词:地下连续墙;泥浆护壁;正交试验;软土地层

中图分类号:U231;P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)02-0070-03

Application Research on Properties of Protection Slurry for Diaphragm Retaining Wall Trenching in Soft Soil/
DONG Hong-bo, WANG Zi-yang, QIAN Hong-chun (Ningbo Security Quality Supervision Station of Municipal Public Engineering, Ningbo Zhejiang 315000, China)

Abstract: For the construction of diaphragm retaining wall trenching in sand-bearing soft soil layer, the construction quality will be affected by the collapse of side wall of trench. Water loss reducing, appropriate slurry viscosity increasing and collapse prevention are the key for wall protection in trenching. According to the geological conditions of a diaphragm retaining wall trenching engineering in Ningbo, partially hydrolyzed polyacrylamide (PHP), calcium polyacrylonitrile (CPAN) and potassium nitryl humate (NKHm) were taken as additives; the optional ratio of slurry performance was ascertained by the orthogonal test. The test results show that when using PHP, the amount of water loss is small with thin mud cake; CPAN and NKHm have evident effects on fluid loss control with moderate viscosity. The test result is applied in the engineering practice and the good effect of wall protection is received.

Key words: diaphragm retaining wall; wall protection by slurry; orthogonal test; soft soil layer

0 引言

地下连续墙成槽过程中,泥浆的作用有保护开挖槽面的稳定、悬浮泥渣、冷却切削机具和润滑等。泥浆渗入土层凝胶化后固土减少了槽壁坍塌性,泥皮能防止泥浆漏失和减小槽壁透水性,阻止了地下水渗入,促进了泥浆护壁作用。应用最广泛的成槽方法是抓斗成槽法,抓斗式的成槽机械,一次可挖深0.5 m,瞬时即可形成新的槽壁面,而短时间内传统泥浆难以形成泥皮,在抓斗提升时,槽底槽壁面极易发生塌方现象,抓斗在槽段内作业时,槽壁上的泥皮若胶结不牢,也会因受扰动大面积脱落而引起坍塌^[1-3]。工程中主要采用细分散淡水泥浆,主要适用于槽壁内外压差较大和胶结性能较好的粘土以及泥质胶结的砂土等土层^[4-6]。地下连续墙成槽的关键是降泥浆失水量和防塌功能,泥浆在槽壁能及时

形成牢靠泥皮护壁防塌,因此,泥浆中需要添加一些辅助添加剂,改善泥浆有关性能指标。为增强泥浆护壁防塌效果,可以添加分散剂增强泥浆防塌,减少自由水的失水渗透,促使孔壁固土防塌^[5-9]。

宁波市轨道交通沿线区域不同程度分布有粉土、粉砂夹粉质粘土,该层土对工程成槽有一定影响,部分车站有槽壁坍塌现象,槽壁经超声检测呈锯齿状,基坑土方开挖时地下连续墙凸出“大肚皮”。结合该工程地质情况,泥浆基浆采用膨润土泥浆,采用部分水解聚丙烯酰胺(PHP)、聚丙烯腈钙(CPAN)和硝基腐植酸钾(NKHm)作为添加剂。为确定PHP、CPAN、NKHm的最佳配比,采用三因素三水平正交试验,测定护壁泥浆性能指标有:粘度、泥浆失水量及泥皮厚度等;同时进行了泥浆固壁防塌试验。试验探讨了泥浆性能的影响因素及防塌效

收稿日期:2015-11-20;修回日期:2015-12-07

基金项目:宁波市自然科学基金(编号:2013A610199)

作者简介:董宏波,男,汉族,1977年生,高级工程师,硕士,从事岩土工程研究和轨道交通工程质量监督工作,浙江省宁波市海曙区长安巷30号,444766592@qq.com。

果,通过正交试验,探讨了泥浆性能影响的关键因素,也有效地确定目的效果下的优化泥浆配比,研究结果可为地下连续墙泥浆护槽防塌研究及工程应用提供参考。

1 试验设计与方法

1.1 试验设计

泥浆基浆采用5% 膨润土 +0.3% 纯碱(Na_2CO_3) (质量比),膨润土采用优质钠基膨润土;为降泥浆失水量、低粘度和增强泥浆防塌功能,添加剂采用部分水解聚丙烯酰胺 (PHP)、聚丙烯腈钙 (CPAN) 和硝基腐植酸钾 (NKHm)。为确定 PHP、CPAN、NKHm 的优化配比及泥浆性能影响关键因素,试验采用优选法,根据大量的试验先确定各组成因素的加量范围:PHP 0.002% ~ 0.006%、CPAN 0.2% ~ 0.4%、NKHm 0.0% ~ 1.0%;然后对 PHP、CPAN、NKHm 组成添加剂的泥浆进行正交试验,选取三因素三水平的正交试验表,从正交试验中选最优组成。试验过程中为减少试验的误差,每组都进行 3 次试验,取其平均值,试验的各因素及设计水平如表 1。

表 1 组成因素及其水平			
因素水平	PHP/%	CPAN/%	NKHm/%
1	0.002	0.2	0.0
2	0.004	0.3	0.5
3	0.006	0.4	1.0

注:表中数值均为质量百分含量。

1.2 试验方法

泥浆基浆制备时,膨润土、 Na_2CO_3 和水应充分搅拌,充分溶解,在室温 ($20 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$) 条件下静置 24 h。PHP 选择阴离子型、分子量 400 ~ 700、水解度为 30%。泥浆充分搅拌后即可测试其各项性能指标,包括粘度、失水量、泥皮厚度等。

(1)粘度测定。采用漏斗粘度计,测定标准条件下流出 500 mL 泥浆的时间,记为粘度,单位 s。

(2)失水量与泥皮厚度测定。采用气压式失水量仪,在恒定 0.7 MPa 压力下,30 min 内气压失水仪漏水量即为失水量,单位 mL;在滤纸上的滤饼的厚度,即为泥皮厚度,单位 mm。

(3)防塌功能测定。将粘土和砂土按同比例混合制成规格为 $\varnothing 50\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ 圆柱试件,室温下晾干,然后将各组试件浸没入不同配比的泥浆中,每组 3 个试件,观测试件破坏形态与时间。

2 结果与分析

2.1 泥浆指标结果及因素分析

泥浆性能指标正交试验结果、失水量与泥皮厚度影响因素极差分析如表 2。

表 2 泥浆性能指标的结果和因素分析						
试验 编号	组成因素			泥浆性能指标		
	PHP	CPAN	NKHm	粘度/ s	失水量/(mL· (30 min ⁻¹))	泥皮厚 度/mm
1	0.002	0.2	0.0	29.7	15	0.7
2	0.002	0.3	0.5	26.8	12	0.6
3	0.002	0.4	1.0	23.5	10	0.5
4	0.004	0.2	1.0	29.1	12	0.5
5	0.004	0.3	0.0	32.7	13	0.6
6	0.004	0.4	0.5	29.5	10	0.6
7	0.006	0.2	0.5	34.5	10	0.5
8	0.006	0.3	1.0	32.1	8	0.4
9	0.006	0.4	0.0	35.3	9	0.6
粘度极 差分析	K_1	26.7	31.1	32.6	1、PHP 影响最大; 2、CPAN 影响大; 3、NKHm 影响较大。	
	K_2	30.4	30.5	30.3		
	K_3	34.0	29.4	28.2		
	R	7.3	1.7	4.3		
失水量 极差分 析	K_1	12.3	12.3	12.3	1、PHP 影响最大; 2、CPAN 影响较大; 3、NKHm 影响大。	
	K_2	11.7	11.0	10.7		
	K_3	9.0	9.7	10.0		
	R	3.3	2.7	2.3		
泥皮极 差分析	K_1	0.6	0.6	0.6	1、PHP 影响较大; 2、CPAN 影响较小; 3、NKHm 影响最大。	
	K_2	0.6	0.5	0.6		
	K_3	0.5	0.6	0.5		
	R	0.1	0.03	0.2		

由表 2 得到:

(1)失水量与泥皮受添加剂 PHP、CPAN、NKHm 含量的影响,随含量增高分别变小与变薄;

(2)PHP 含量对失水量与粘度影响最大,对泥皮影响较大,随含量增大,失水量减小,粘度增大;

(3)CPAN 含量对泥皮影响较小,但对失水量影响较大,随含量增大,失水量趋向于减小;

(4)NKHm 对泥浆的失水量和粘度影响较大,随着含量的增加,失水量和粘度趋向于变小,泥皮趋于变薄,一般泥皮厚度 <1 mm。

由失水量、粘度与泥皮综合考虑,泥浆优化配比为:基浆(5.0% 膨润土 +0.3% Na_2CO_3) +0.006% PHP +0.4% CPAN +1.0% NKHm。

PHP、CPAN、NKHm 作为添加剂,适量添加能调节泥浆的性能指标,有效调节泥浆的失水量和粘度,随它们含量的增加,泥皮趋于变薄。

2.2 泥浆防塌试验结果及分析

粘土砂土混合试件浸泡不同配比泥浆中检验泥

浆的防塌效果,试验结果见表3。

表3 立方试件浸泡防塌试验结果

试件编号	泥浆配比	破坏形态	浸泡防塌 历时/h
1	基浆	3个散碎	1
2	基浆+0.002% PHP+0.2% CPAN+0.5% NKHm	2个斜倒、1个 散碎	24
3	基浆+0.004% PHP+0.3% CPAN+0.5% NKHm	2个斜倒局部 破碎、1个直立	72
4	基浆+0.006% PHP+0.4% CPAN+1.0% NKHm	2个直立、1个 斜倒局部破碎	168

由表3得到,随着泥浆添加剂 PHP、CPAN、NKHm 含量增加,试件在泥浆浸泡的时间越久,保持形态越完整,也即是泥浆对试件的防塌效果越好,说明泥浆具有低失水、适当粘度和防塌的良好性能。

在基浆中加入部分水解 PHP 后,泥浆呈现触变性,静止状态泥浆粘度高,呈凝胶状,泥浆胶体在土体中形成一层化学膜封闭孔壁保持孔壁稳定,泥浆流动时,粘度会减小,流动性增大。PHP 泥浆失水量小,泥皮薄,造浆率高,经高效泥浆循环系统后其使用回收率可达 60%。PHP 控制泥浆失水量,是较好的护胶稳定剂,加入适量的 CPAN,两种高聚物配合使用,可以更好地改善泥浆失水量与粘度性能。PHP 含有大量的酰胺吸附基团,基团的氢原子与粘土颗粒表面的氧原子形成氢键吸附,呈较强的吸附功能;CPAN 则含有较多的羧基水化基团,与粘土颗粒吸附形成较厚的化学膜。粘土颗粒的负电性,起到了抑制水化和防塌作用。

NKHm 中的 -COOH, -OH 以及游离的 K⁺,能电离形成负电荷的水化基团,吸附了较多的自由水,提高了粘土颗粒的电动电位和静电斥,使泥浆获得较低的失水量,并形成薄而有韧性的泥皮,K⁺对土体产生的封闭作用,可防止泥浆中的自由水的进一步渗入,起到抑制水化和防塌作用。

3 工程现场试验

宁波轨道交通车站基坑工程地下连续墙深度范围为流塑状淤泥、杂填土、松散砂砾,地下水为微承压水。因为成槽时易发生塌孔,设计采用槽壁加固方案。利用上述试验研究成果,工程现场配制优化配比护壁泥浆,进行成槽施工应用对比试验。其中一幅地连墙泥浆采用基浆,另一幅采用优化配比护壁泥浆。2个槽段成槽结束后2h槽壁超声波检测

结果(见图1)进行对比。从试验结果看出:选用优化配比泥浆槽壁质量有明显提高,采用基浆槽壁质量差,呈现明显锯齿状;采用优化配比泥浆,槽壁稳定,泥浆护壁效果好。

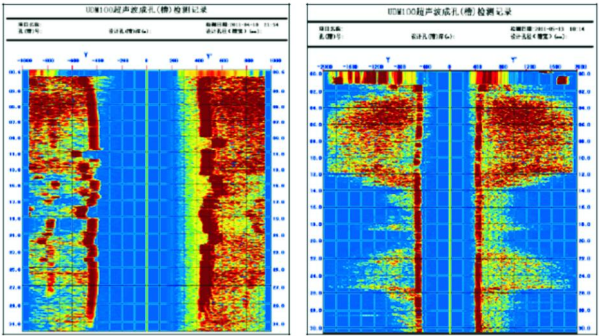


图1 成槽槽壁超声波检测结果对照

4 结论

- (1) 泥浆中 PHP 含量影响泥浆失水量和泥皮厚度,泥皮随 PHP 含量增大而变薄,失水量也变小。
- (2) CPAN 和 NKHm 含量影响泥浆的失水量和泥浆漏斗粘度,泥浆失水量随含量增大而显著减小,粘度适中。
- (3) 对于宁波地区粉土、粉砂夹粉质粘土地层为避免坍塌现象,综合考虑工程投资,可不需采用辅助成槽施工技术,采用护壁优质泥浆,优化配比为基浆(5.0% 膨润土 + 0.3% Na₂CO₃) + 0.006% PHP + 0.4% CPAN + 1.0% NKHm。

参考文献:

[1] 王中文. 高质量泥浆在钻孔灌注桩中的应用[J]. 桥梁建设, 1998, (4): 60-61.

[2] 李建军, 邵生俊, 杨扶银, 等. 防渗墙粗粒土槽孔泥皮的抗渗性试验研究[J]. 岩土力学, 2012, 33(4): 1087-1093.

[3] 王建, 任文峰, 王乾林. 火山灰沉积地区钻孔泥浆性能试验[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2007, 27(6): 67-71.

[4] 罗云峰. 地下连续墙成槽施工中的泥浆性能研究和探讨[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(S2): 447-450.

[5] 贺晓东. PHP-NKHm 泥浆在水敏性地层中的应用[J]. 中国煤炭地质, 2008, 20(5): 72-75.

[6] 陈礼仪, 彭建华, 宋保强, 等. 深基坑围护超深地下连续墙护壁泥浆的研究及应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(2): 69-70.

[7] 郝延周. 桩基成孔施工中防塌泥浆性能试验分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(3): 59-62.

[8] 林礼进. 优质泥浆在旋挖钻孔灌注桩护壁中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(11): 52-60, 80.

[9] 张新明, 郑秀华, 于进洋, 等. 钻孔灌注桩泥浆流变性能评价方法探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(4): 75-77.