

DOI: 10.20098/j.cnki.1001-5132.2025.0615

甬江浑水及淤泥对膨润土泥浆性能参数影响的实验研究

欧金辉¹, 杜升涛^{1,2,3*}, 张通鹏³, 周朝阳¹, 陈伟²

(1.宁波市市政工程建设集团股份有限公司, 浙江 宁波 315000; 2.中国矿业大学 力学与土木工程学院, 江苏 徐州 221116;
3.宁波大学 土木工程与地理环境学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 城市顶管工程中为节约用水常采用河道浑水配制膨润土泥浆, 但其高含沙量及淤泥可能劣化泥浆性能, 亟须系统评估浑水及淤泥对泥浆减阻与护壁特性的影响。以甬江浑水及淤泥为研究对象, 通过室内正交实验设计了 18 种泥浆配比, 系统测试了清水和甬江浑水条件下的膨润土、甬江淤泥质量分数以及黄原胶对泥浆漏斗黏度、滤失量、泥皮厚度的影响。结果表明: 膨润土质量分数对触变泥浆性能指标的影响显著, 清水配制的泥浆性能指标随着膨润土质量分数的增加而增大; 浑水因悬浮泥沙削弱胶结作用使漏斗黏度降低, 但仍可作为配制泥浆的材料; 添加质量分数为 0.05% 的黄原胶可大幅度提升含淤泥的泥浆性能, 淤泥质量分数低于 6% 时可满足触变泥浆的各项指标要求。

关键词: 膨润土; 淤泥; 黏度; 滤失量; 泥皮厚度

中图分类号: TU442

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2026) 01-0044-06

Experimental study on the influence of Yongjiang water and sludge on the performance parameters of bentonite slurry

OU Jinhui¹, DU Shengtao^{1,2,3*}, ZHANG Yupeng³, ZHOU Chaoyang¹, CHEN Wei²

(1.Ningbo Municipal Engineering Construction Group Co., Ltd., Ningbo 315000, China;
2.School of Mechanics & Civil Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;
3.School of Civil & Environmental Engineering and Geography Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: In urban pipe jacking engineering, river turbid water is commonly used to prepare bentonite slurry for water conservation. However, its high sediment content and silt may deteriorate slurry performance, necessitating a systematic evaluation of the impact of turbid water and sediment on the slurry's drag reduction and wall protection characteristics. This study focuses on the turbid water and sediment from the Yongjiang River. Through orthogonal experiment design, 18 slurry formulations were tested in the laboratory to systematically investigate the influences of bentonite mass fraction, Yongjiang sediment mass fraction, and xanthan gum on the slurry properties—including Marsh funnel viscosity, filtration loss, and filter cake thickness—under both clear water and Yongjiang turbid water conditions. The results indicate that bentonite content significantly influences the performance of thixotropic slurry. In the case of clear-water-prepared slurry, performance metrics improve with increasing bentonite mass fraction. Turbid water reduces funnel viscosity due to suspended sediment weakening cementation but remains viable for slurry preparation. Adding 0.05% mass fraction of xanthan gum substantially enhances the performance of sediment-containing slurry. When the sediment mass fraction is below 6%, the slurry meets all performance requirements for thixotropic applications.

Keywords: bentonite; silt; viscosity; filtration loss; filter cake thickness

收稿日期: 2025-06-18

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal.lg.nbu.edu.cn/>

第一作者: 欧金辉, 高级工程师, 主要研究方向为城市顶管工程。E-mail: 115092894@qq.com

*通信作者: 杜升涛, 博士/讲师, 主要研究方向为市政地下顶管工程。E-mail: dushengtao@nbu.edu.cn

在顶管工程中,顶力是工作井结构设计和顶管机选型的决定性因素之一^[1-2],对施工效率和经济成本具有重要影响。在长距离顶管工程中,一般在管道与岩土体之间注入膨润土泥浆(又称触变泥浆)作为润滑材料,在减小摩擦阻力和顶力的同时,亦可形成泥浆护壁,降低隧洞塌落风险^[3-6]。研究表明,膨润土泥浆可使顶管与岩土体之间摩擦系数减小 90%以上^[7]。

学者们围绕膨润土泥浆配比及其减阻机制进行了积极探索。罗如平等^[8]针对长江引水工程顶管施工地层富含砂问题,研究发现泥浆含砂量在 20%以下时摩阻力仅增长 5%。喻军等^[9]、Li 等^[10]发现顶管摩阻力随着泥浆静置时间和含砂量的增加而显著增长。张雪等^[11]得出无水砂层的触变泥浆最优配比为 89.3%水、10%膨润土、0.2%羧甲基纤维素钠(CMC)和 0.5%纯碱,该配比泥浆流动性、失水量、触变性较好。高增奎等^[12]对比了钠基、钙基、有机膨润土泥浆的漏斗黏度、失水量、析水率等指标,建议钠基膨润土质量分数大于 8%并掺加 0.4%左右黄原胶,以降低泥浆的失水量,提高泥浆黏度。雷华阳等^[13]、王春婷等^[14]、Dong 等^[15]在膨润土、纯碱混合泥浆中分别添加 CMC、聚丙烯酰胺、瓜尔胶、腐殖酸钾、石墨粉、细砂等,讨论了外加剂对泥浆漏斗黏度、滤失量的影响,认为 CMC 与膨润土泥浆具有更强配合度,细砂和膨润土是影响滤饼形成速率、厚度和孔隙率的最主要因素。

触变泥浆制备用水常常就地取河道含泥浑水,然而当前尚缺乏含泥浑水和河道淤泥对膨润土泥浆性能的影响研究。本文以宁波市高含沙量的甬江浑水及淤泥为例,在膨润土中添加甬江浑水、甬江淤泥,通过室内实验测定其漏斗黏度、滤失量、泥皮厚度等参数,讨论河道浑水、淤泥对膨润土泥浆物理性能指标的影响,为河道取水及淤泥用于市政顶管润滑泥浆的可能性提供理论依据。

1 实验介绍

1.1 实验工况

根据已有文献对触变泥浆配比的研究结论可知,膨润土在泥浆护壁和润滑方面具有较好表现,纯碱可适当提高泥浆混合液的 pH 值,从而避免管道腐蚀,CMC 和黄原胶可作为增稠剂提高泥浆减

阻性能。因此,采用正交实验方法设计了 4 组实验共计 18 个工况,见表 1。其中,实验 A1~A4 为常规泥浆配比,材料配制采用膨润土、纯碱、CMC、清水,主要研究膨润土质量分数对泥浆性能参数影响,并作为其他实验的对照;实验 B1~B4 的材料为膨润土、纯碱、CMC、甬江浑水,分析浑水代替清水时泥浆性能变化;实验 C1~C5 采用膨润土、纯碱、CMC、甬江浑水、甬江淤泥配制泥浆,膨润土和淤泥质量分数总和为混合材料的 12%,讨论添加淤泥后的泥浆性能指标变化;实验 D1~D5 采用膨润土、纯碱、CMC、甬江浑水、甬江淤泥、黄原胶配制泥浆,探索黄原胶对含淤泥的泥浆性能影响。严文武^[16]对甬江含沙量进行了监测,悬沙质量浓度和泥沙中值粒径平均值分别为 1.03 kg/m³、0.006 5 mm,淤泥中值粒径平均值为 0.114 mm。

表 1 实验工况及参数 单位: %

编号	膨润土	清水	浑水	淤泥	黄原胶
A1	6	93.3			
A2	8	91.3			
A3	10	89.3			
A4	12	87.3			
B1	6		93.3		
B2	8		91.3		
B3	10		89.3		
B4	12		87.3		
C1	0		87.3	12	
C2	6		87.3	6	
C3	8		87.3	4	
C4	10		87.3	2	
C5	12		87.3	0	
D1	0		87.25	12	0.05
D2	6		87.25	6	0.05
D3	8		87.25	4	0.05
D4	10		87.25	2	0.05
D5	12		87.25	0	0.05

注: 每组纯碱均为 0.5%, CMC 均为 0.2%。

1.2 材料制备及测试

每个实验工况均制备 1 000 g 的膨润土、纯碱等混合物,并按照质量百分比进行配置。例如实验 A1,膨润土(60 g)+纯碱(5 g)+CMC(2 g)+清水(933 g)=触变泥浆(1 000 g);实验 B1,膨润土(60 g)+纯碱(5 g)+CMC(2 g)+甬江浑

水(933 g)=触变泥浆(1000 g);实验 C1, 膨润土(0 g)+纯碱(5 g)+CMC(2 g)+清水(873 g)+甬江淤泥(120 g)=触变泥浆(1000 g);实验 D1, 膨润土(0 g)+纯碱(5 g)+CMC(2 g)+浑水(872.5 g)+甬江淤泥(120 g)+黄原胶(0.5 g)=触变泥浆(1000 g)。

实验材料采用电子秤称重,其精度为 0.01 g,最大误差为 0.5%。利用水泥胶砂搅拌机首先在 500 r/min 条件下搅拌 10 min,然后在 1000 r/min 条件下对混合物搅拌 30 min,使其混合均匀。利用 pH 计、马氏漏斗黏度计、打气筒滤失仪、游标卡尺等仪器测试触变泥浆的 pH 值、漏斗黏度、滤失量、泥皮厚度。实验过程中的部分材料及仪器如图 1 所示,分别记录了甬江浑水及淤泥取样、水泥胶砂搅拌机、泥浆杯

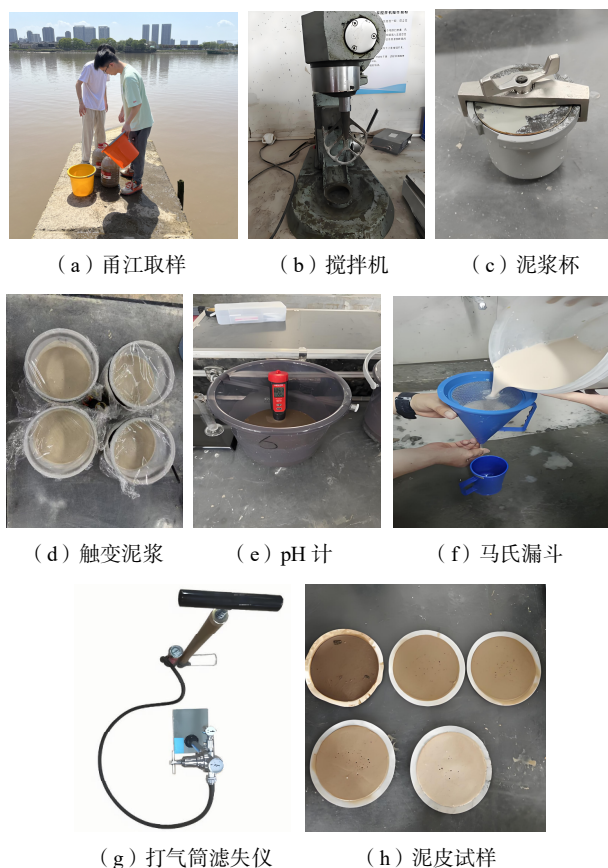


图 1 实验仪器及实验过程部分照片

实验过程中,每个工况重复 3 次以上,对实验数据进行分析并剔除异常值后,取 3 次重复实验数据的平均值作为实验测试值。实验测得清水和浑水

pH 值分别为 7.54 和 7.68,所有触变泥浆 pH 值介于 7~10,符合碱性条件,且泥浆酸碱性对黏度、滤失量等几乎没有影响,因此不再单独讨论。

1.2.1 泥浆黏度

触变泥浆的黏度采用马氏漏斗(1006 型泥浆黏度计)测定,其原理为测试 500 mL 标准体积的流体在重力作用下的流出时间,清水条件下的标准值为 15 s。触变泥浆通常建议取值范围为 25~45 s,黏度小于 25 s 时,泥浆护壁能力弱,易引发孔壁塌落;当黏度大于 45 s 时,泥浆触变性过强导致泵送阻力过大,降低顶管施工效率^[17]。

1.2.2 滤失量

滤失量直接反映泥浆在压力作用下的固液分离特性,是评价触变泥浆稳定性的重要指标。利用气压式滤失仪,在 0.69 MPa 压力下测定 30 min 后滤出的液体体积。稳定性较好的触变泥浆一般应保持稳定不超过 25 mL 以保证泥皮致密性和注浆施工效率,过大则导致泥皮厚度显著增加,降低泥浆护壁能力和地层稳定性^[18]。

1.2.3 泥皮厚度

触变泥浆的泥皮厚度测定采用气压式滤失仪,通过滤纸法在 0.69 MPa 压力下模拟泥浆护壁性能,以 30 min 滤饼厚度作为评价指标。根据《顶管施工技术 & 验收规范(试行)》^[19],泥皮厚度应严格控制不超过 2 mm,超过这一限值易导致护壁结构疏松,引起缩孔或塌孔。实验测量时,对滤纸进行轻拍处理,消除表面张力干扰后,使用游标卡尺在滤饼三个位置测量并取均值。

2 实验结果与讨论

2.1 漏斗黏度

为研究甬江浑水对漏斗黏度的影响,将 A1~A4(清水)和 B1~B4(甬江浑水)实验结果绘制于图 2(a),其中膨润土质量分数分别为 6%、8%、10%、12%。如图所示,在膨润土质量分数为 6%时,清水和浑水调制而成的触变泥浆的漏斗黏度分别为 17.39 和 17.56 s,基本相同。当膨润土质量分数超过 6%时,清水和浑水条件下触变泥浆的漏斗黏度随着膨润土质量分数增加而显著增长,且清水制成的泥浆漏斗黏度始终大于浑水泥浆的漏斗黏度。膨润土质量分数为 12%时,清水和甬江浑水条件下的

漏斗黏度达到最大值,分别为 35.05 和 28.66 s,差值为 6.39 s;相对于清水制备的触变泥浆,浑水配置的触变泥浆漏斗黏度降低了 18.2%。由此可见,浑水中的悬浮泥沙颗粒对漏斗黏度具有较大影响,降低了触变泥浆的黏度。由于触变泥浆的漏斗黏度在 25~45 s 时具有较好的护壁效果,清水配置的触变泥浆应选取图 2(a)中膨润土占比 10%(工况 A3)和 12%(工况 A4),浑水调制的触变泥浆应选取膨润土占比 12%(工况 B4)。

在未添加黄原胶的情况下,保持膨润土与甬江淤泥之和为 12%,且触变泥浆制备时选择甬江浑水作为溶液,得到图 2(b)中实验工况 C5~C1 的漏斗黏度曲线。以实验工况 C5~C1 为基础,分别添加 0.05%黄原胶,用以增稠泥浆,其漏斗黏度如图 2(b)中实验工况 D5~D1 曲线所示。无黄原胶时,随着淤泥质量分数增加,漏斗黏度逐渐降低,最大值和最小值分别出现在无淤泥(膨润土 12%)和 12%(无膨润土)时,漏斗黏度分别为 28.66、15.96 s。工况 C5 与 B4 的实验配比一致,实际为同一实验,且工况 C1~C4 以工况 B1~B4 为基础,分别添加了一定量的甬江淤泥,因此,可将实验工况 C1~C4 与工况 B1~B4 进行对比。以淤泥占比 6%、膨润土占比 6%(工况 C2)为例,其漏斗黏度为 24.47 s,相对于工况 B1(淤泥 10%、膨润土 2%)和工况 B4(淤泥 12%、膨润土 0%),工况 C2 的漏斗黏度分别增长了 40.7%和降低了 14.6%。此外,工况 C1~C4 的漏斗黏度介于 15.96~24.47 s,工况 B1~B4 的漏斗黏度介于 17.56~28.66 s。因此,添加甬江淤泥后的触变泥浆漏斗黏度变化较小,将小于 6%的甬江淤泥添加至膨润土泥浆中,亦可满足膨润土泥浆 25~45 s 的漏斗黏度要求。

当添加 0.05%黄原胶时,如图 2(b)中所示实验工况 D5~D1,相对于工况 C5~C1,其漏斗黏度显著提高,黄原胶的增稠效果随着淤泥质量分数增加而逐渐降低。例如,工况 D2 和工况 C2 的漏斗黏度分别为 29.01、17.92 s,黄原胶使触变泥浆的漏斗黏度提高了 61.9%。虽然工况 D5~D1 漏斗黏度随着淤泥占比增加而降低,但仅在淤泥占比 12%,即无膨润土工况 D1 时存在最小值 18.37 s,工况 D2~D4 漏斗黏度基本满足建议范围,分别为 29.01、39.24、45.60 s。因此,添加增稠剂黄原胶

后,添加 2%~6%的甬江淤泥至膨润土泥浆中对触变泥浆的漏斗黏度影响较小,可满足性能要求。

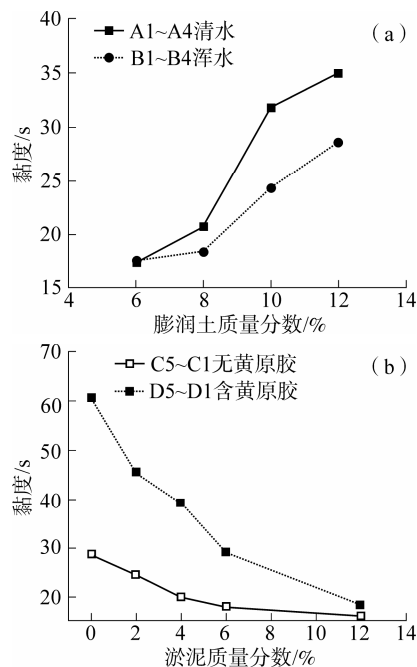


图2 漏斗黏度变化曲线

2.2 滤失量

如图 3(a)所示,清水溶液制备的触变泥浆(工况 A1~A4)和甬江浑水配制的触变泥浆(工况 B1~B4)滤失量均随膨润土占比增加而逐渐降低。膨润土占比 6%和 12%时,滤失量分别为最大值和最小值。清水条件下触变泥浆的滤失量最大值和最小值分别为 17.55、12.49 mL。浑水制备的触变泥浆因存在较多悬浮泥沙颗粒,对膨润土泥浆的胶结效果有一定减弱作用,当膨润土占比较小时,液体在压力作用下更易析出,导致出现更高的滤失量。随着膨润土质量分数的增加,浑水中悬浮泥沙颗粒对应的占比相应减小,膨润土在触变泥浆中的胶结效果逐渐提高,如图 3(a)工况 B1~B4 曲线所示,导致浑水与清水制备的触变泥浆(工况 A1~A4)滤失量之间差值逐渐减小。膨润土质量分数为 6%时,工况 B1 的滤失量为 23.50 mL,相对于清水工况 A1 增长了 33.9%。当膨润土质量分数达到 12%时,工况 A1 与 B1 的滤失量几乎相等,分别为 12.44、12.50 mL。由以上分析可知,清水和甬江浑水配制的触变泥浆均满足滤失量小于 25 mL 的要求。

当膨润土和甬江淤泥混合作为触变泥浆材料

时,无黄原胶工况 C5~C1 和含有黄原胶工况 D5~D1 的滤失量如图 3(b) 所示。当泥浆中无淤泥、膨润土占比 12% 时,工况 C5 即为工况 B4。工况 D5 在工况 C5 基础上,添加了 0.05% 黄原胶,其滤失量有一定提高。当淤泥质量分数介于 2%~6% 时,随着淤泥质量分数的增大,滤失量均缓慢增长;膨润土和淤泥质量分数均为 6% 时,滤失量分别为 21.20 和 15.52 mL。当淤泥质量分数为 12%,即泥浆中无膨润土时,工况 C1 和 D1 滤失量因缺乏膨润土的胶结作用而急剧增长到 48.52 和 24.41 mL。因此,未添加黄原胶时,在保证触变泥浆滤失量小于 25 mL 的前提下,淤泥最大添加量为 6%,仍可满足触变泥浆要求;添加 0.05% 黄原胶作为增稠剂后,由图 3(b) 曲线可知,淤泥最多可添加 12%,即淤泥完全替代膨润土。

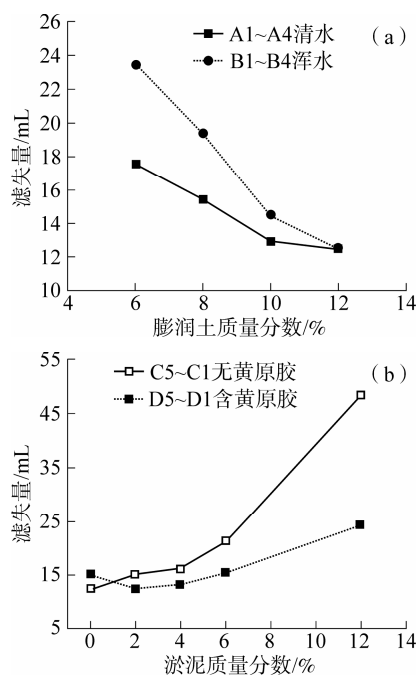


图3 滤失量变化曲线

2.3 泥皮厚度

随着膨润土质量分数增加,清水制备的触变泥浆(工况 A1~A4)的泥皮厚度近似线性增长,如图 4(a) 所示,且仅在膨润土质量分数为 12% 时,泥皮厚度为 2.2 mm,略高于泥皮厚度小于 2 mm 的控制要求。当采用甬江浑水制备触变泥浆时,如图 4(a) 中工况 B1~B4 所示,泥皮厚度同样随着膨润土质量分数的增大而增长。由于浑水中的悬沙对泥浆有一定的骨架支撑作用,其泥皮厚度始终大于

清水制备的触变泥浆,分别为 1.8、2.0、2.7、3.5 mm。当膨润土质量分数不超过 8% 时,利用甬江浑水制备的触变泥浆可满足泥皮厚度的指标要求。

当膨润土泥浆添加甬江淤泥后,未添加黄原胶和添加黄原胶的泥皮厚度均随着淤泥质量分数的增大而增长,如图 4(b) 中工况 C5~C1、工况 D5~D1 所示。当膨润土质量分数为 12%,且泥浆中无甬江淤泥时,工况 C5 与工况 D5 的泥皮厚度达到最大值,分别为 3.5、2.8 mm,添加 0.05% 的黄原胶后泥皮厚度降低了 20%;当膨润土质量分数不超过 10%,即淤泥质量分数为 2%~6% 时,添加黄原胶后触变泥浆的泥皮厚度相对无黄原胶条件下的触变泥浆略有减小,但降低幅度较小,最大变化率为 7.7%。因此,淤泥质量分数越高,则泥皮厚度越小。当淤泥质量分数超过 6% 时,可添加 0.05% 的黄原胶,适当降低泥皮厚度,从而达到触变泥浆的泥皮厚度不超过 2 mm 的要求。

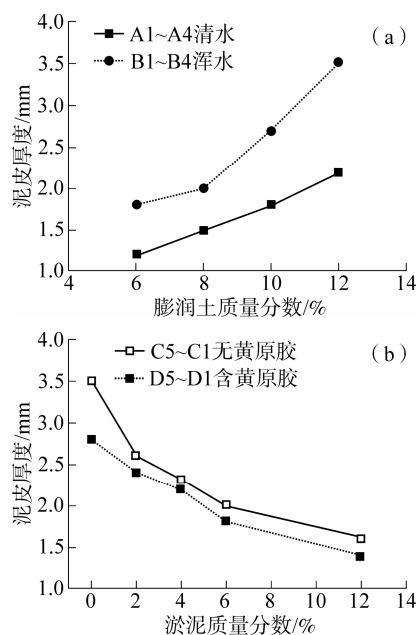


图4 泥皮厚度变化曲线

3 结论

针对市政工程顶管施工减阻措施中常用的触变泥浆,在使用清水、浑水、甬江淤泥、黄原胶条件下,分别配制了多种膨润土质量分数的泥浆,通过室内实验测试了泥浆的 pH、漏斗黏度、滤失量、泥皮厚度,讨论了甬江浑水和淤泥对触变泥浆参数指标的影响特性,主要结论如下:

(1) 膨润土质量分数是影响泥浆漏斗黏度的核心因素。当膨润土质量分数从 6% 增至 12% 时, 清水配制的泥浆漏斗黏度从 17.39 s 显著提升至 35.05 s。浑水中的悬浮泥沙削弱了膨润土的胶结作用, 使漏斗黏度减少了 18.2%。膨润土质量分数增大可显著改善泥浆稳定性, 清水与浑水配制的泥浆在 12% 膨润土时滤失量基本相同; 浑水在低膨润土质量分数 (6%) 时滤失量较清水高 33.9%, 但随着膨润土占比增加, 两者差异逐渐消失。

(2) 添加甬江淤泥后的泥浆性能有一定程度降低, 但黄原胶可有效弥补其负面影响。当膨润土与淤泥总量固定为 12% 时, 未添加黄原胶的泥浆漏斗黏度随淤泥占比增加而降低, 难以满足护壁要求。添加 0.05% 黄原胶后的漏斗黏度显著提升, 膨润土和淤泥均占 6% 时, 漏斗黏度达 29.01 s, 较未添加时提高 61.9%。

(3) 黄原胶可降低触变泥浆的滤失量和泥皮厚度, 淤泥占比不超过 6% 时, 滤失量小于 21.20 mL, 泥皮厚度小于 2.2 mm。但淤泥占比为 12% 时, 添加黄原胶后的泥皮厚度为 3.5 mm, 仍然超过标准。黄原胶允许泥浆中掺入质量分数小于 6% 的淤泥, 由此平衡资源利用与性能需求。

参考文献:

- [1] STERLING R L. Developments and research directions in pipe jacking and microtunneling[J]. Underground space, 2020, 5(1):1-19.
- [2] CHEN P, LIU X R, DENG Z Y, et al. Study on the pipe friction resistance in long-distance rock pipe jacking engineering[J]. Underground space, 2023, 9:173-185.
- [3] DENG Z Y, LIU X R, CHEN P, et al. Basalt-polypropylene fiber reinforced concrete for durable and sustainable pipe production. Part 1: experimental program[J]. Structural concrete, 2022, 23(1):311-327.
- [4] SHEIL B. Prediction of microtunnelling jacking forces using a probabilistic observational approach[J]. Tunnelling and underground space technology, 2021, 109:103749.
- [5] ZHANG P, BEHBAHANI S S, MA B S, et al. A jacking force study of curved steel pipe roof in Gongbei tunnel: Calculation review and monitoring data analysis[J]. Tunnelling and underground space technology, 2018, 72: 305-322.
- [6] 王艳, 丁永浩, 黄添之. 超深地连墙护壁泥浆的聚合物改性试验研究[J]. 宁波大学学报(理工版), 2025, 38(4):1-10.
- [7] FENG X, ZHANG Y L, YUAN X, et al. An experimental study on frictional properties of concrete pipe-soil interface[J]. Journal of pipeline systems engineering and practice, 2022, 13(2):04022004.
- [8] 罗如平, 胡茗鹭秋, 朱碧堂, 等. 泥浆含砂量及静置时间的顶管摩阻力模型试验[J]. 华东交通大学学报, 2023, 40(6):8-16.
- [9] 喻军, 李元海. 顶管泥浆套的物理性质对顶推力的影响[J]. 土木工程学报, 2015, 48(增刊 2):327-331.
- [10] LI T L, ZHAO W, LIU R, et al. Experimental study on the pipe-soil interface under the influence of pipe jacking stagnation time[J]. KSCE journal of civil engineering, 2022, 26(3):1428-1438.
- [11] 张雪, 万中正, 王传银, 等. 无水砂层中矩形顶管施工用触变泥浆配比优化及减阻性能试验[J]. 工程地质学报, 2021, 29(5):1611-1620.
- [12] 高增奎, 张睿钦, 王先甲, 等. 膨润土种类及黄原胶含量对减阻泥浆性能的影响[J]. 土木工程与管理学报, 2024, 41(1):19-24.
- [13] 雷华阳, 刘旭, 施福硕, 等. 顶管工程聚合物改性膨润土泥浆配比优化研究[J]. 岩土工程学报, 2021, 43(增刊 2):51-55.
- [14] 王春婷, 隆威. 大口径长距离顶管工程泥浆配方试验研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2014, 11(1):106-111.
- [15] DONG H Z, WANG D M, LI Z P, et al. Experimental study on infiltration of seawater bentonite slurry[J]. Buildings, 2024, 14(9):2609.
- [16] 严文武. 宁波三江河道水沙特性及冲淤变化规律[J]. 水利水运工程学报, 2011(4):143-148.
- [17] 杨焯旻. 顶管施工注浆作用及环境效应研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.
- [18] 王明胜, 刘大刚. 顶管隧道工程触变泥浆性能试验及减阻技术研究[J]. 现代隧道技术, 2016, 53(6):182-189.
- [19] 中国非开挖技术协会. 顶管施工技术验收规范(试行)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.

(责任编辑 韩超)