

高分子材料对高含水水泥浆的改性及应用

杜贵正^{1,2}, 李明照^{1,2}, 袁传龙^{1,2}, 黄敏海^{1,2}, 张天翼³, 冯兴国^{3*}

(1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122; 2. 浙江华东工程建设管理有限公司, 浙江 杭州 310030;
3. 河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210024)

摘 要: 选用多种有机和无机高分子材料改性高含水率泥浆, 通过单掺和复掺的方法, 比较了在掺入不同高分子材料时, 高含水率泥浆的流动性、贯入强度以及泌水性的变化。结果表明将特定的两种有机和无机高分子材料混合投加可使泥浆的贯入强度快速提高且性价比最高。增加高分子材料的掺量或降低泥浆初始含水率可使泥浆的流动性迅速下降, 并且贯入强度显著上升; 而泥浆的泌水率会随掺量的升高或初始含水率的降低而减少, 高分子材料可用高含水率泥浆的固化处理。

关键词: 高含水泥浆; 高分子材料; 贯入强度; 流动性; 泌水性

中图分类号: TV851 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2025) 05—0156—03

随着我国城镇化建设和生态工程的推进, 基础工程、河道整治等工程项目产生大量高水率泥浆, 较高的含水率和较差的工程性质使其运输和利用困难。如何经济、快速、有效地处理这类高含水水泥浆, 减少场地占用成为各项工程关注的重点。目前研究主要集中在分离泥水的试剂筛选及掺加量优化^[1-4]。本文以已分离出的高含水率泥浆为研究对象, 采用高分子材料对其进行改性, 以提高高含水率泥浆的机械脱水效率, 或便于改性泥浆的直接转运, 提高泥浆后续处置效率。

1 试验材料及试验方案

1.1 试验材料

本试验所用的土样烘干研磨后测得的理化性质指标如表 1 所示。试验用土的液限为 42%, 塑限为 25%, 塑性指数为 17, 推断为低液限粘土。土的 pH 值为 6.84, 呈弱酸性。土的不均匀系数为 6.38 > 5 且曲率系数 2.02 介于 1-3 之间。试验采用的高分子材料如表 2 所示。

表 1 试验用土的理化性质

液限/%	塑限/%	塑性指数	不均匀系数	曲率系数	比重	PH
42	25	17	6.38	2.02	2.79	6.84

表 2 用高分子材料

材料种类	有机高分子材料							无机高分子材料		
材料编号	A	B	C	D	E	F	G	X	Y	Z
名称	—	—	—	—	吸水树脂	壳聚糖	木质素	聚合硫酸铁	—	聚合氯化铝铁

1.2 试验内容

1.2.1 高分子材料调配

本文的高含水率泥浆, 是将土体干燥后配置成 60%

含水率的泥浆。分别向泥浆中分别掺入 7 种有机高分子材料和 3 种无机高分子材料, 将性价比最优复合高分子材料命名为 H。

1.2.2 贯入强度

本文选用微型贯入仪测量泥浆的贯入强度, 每个试样取三个不同位置的点进行测量, 最终结果取三次测量的平均值。

1.2.3 流动性

参考了日本建设省的 JHSA313—1992 规范, 选取流动值作为疏浚土混合物流动性大小的判定指标^[5]。

1.2.4 泌水性

在 100 ml 的量杯中倒入 40 ml 泥浆, 使用保鲜膜密封杯口以防止液体蒸发造成的试验误差。在 0.5 h、1.5 h、3 h、24 h 后分别记录一次淤泥上部悬浮液泌水体积, 泌水体积与初始总体积之比即为泥浆的泌水率。

1.3 试验方案

为了研究不同掺量自研复合高分子材料 H 的高水率泥浆的贯入强度、流动性和泌水性, 设计试验方案如表 3 所示。

表 3 试验方案

试验内容	掺量 (%)	含水率 (%)
流动性试验	0.1、0.2、0.3、0.4	80
	0.2	60、80、100、120
	0.2	80
贯入强度试验	0.1、0.2、0.3、0.4、0.6、0.8、1	80
	0.2	60、80、100、120
	0.4	80
泌水性试验	0.1、0.2、0.3、0.4	80
	0.2	60、80、100、120
	0.2	80

2 试验结果与分析

2.1 单掺强度试验

表 4 为单掺试验泥浆的贯入强度以及其固化性价比。其中 A-G 为有机高分子材料，X-Z 为无机高分子材料。

表 4 单掺高分子材料的贯入强度以及性价比

高分子材料		掺量	贯入强度 q (kPa)	价格 c (元/t)	性价比 v
有机	A	1%	50.4	6100	8.3
	B		63.0	13600	4.6
	C		32.9	7100	4.6
	D		37.2	16500	2.3
	E		44.2	12400	3.6
	F		<1	12000	0
	G		<1	14500	0
无机	X	1%	0.2	2100	0
	Y		0.5	1340	0
	Z		0.3	1000	0

从表 4 可以看出单掺无机高分子材料并不能明显提高土体的贯入强度而掺加有机高分子材料中的 A-G 后，淤泥的贯入强度提高较大。为了更直观地比较 A-G 的贯入强度以及固化性价比，将试验结果绘制成柱状图，如图 1 所示。

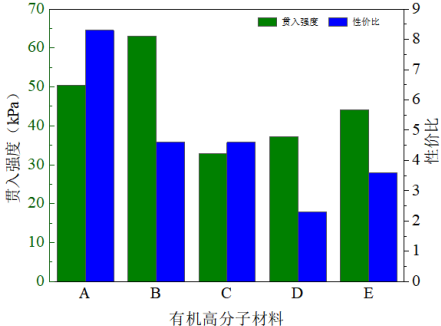


图 1 单掺试验

5 种有机高分子材料由好到差依次为 B>A>E>D>C，从性价比上来看，7 种有机高分子材料的固化成本从高到低依次为：A>B=C>E>D，其中 A 的性价比最高为 8.3。

2.2 双掺强度试验

双掺试验结果如表 5 和图 2 所示，可以看出相较于单掺 0.6%A，大多数双掺试验组的贯入强度都有了不同程度的提升，尤其注意到高分子材料 Y、Z 在单掺土体时没有固化强度，但在与 0.6%A 配合使用后，贯入强度达到了 36 kPa，比单掺 0.6%A 的高出 60% 左右。

综合以上试验结果，以性价比为第一指标，贯入强度为第二指标，最终选择 AY 作为后续试验的高分子固化材料，为了简化名称将 AY 重新分别命名为 H。

表 5 双掺组合比选

双掺组合	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
贯入强度 q (kPa)	51.4	48.0	39.5	28.2	23.2	16.4	36.0	31.6	22.7
性价比	7.9	4.7	4.6	3.3	2.5	3.6	8.6	7.8	6.2

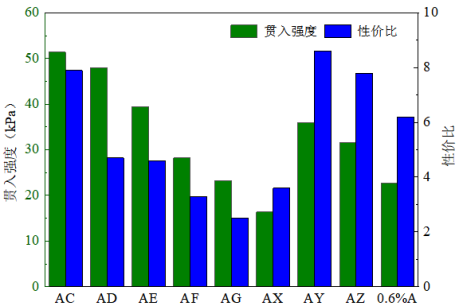


图 2 双掺试验

2.3 流动性试验

考察不同 H 掺量对泥浆流动性的影响。当 H 掺量由 0 递增到 0.4% 时，泥浆流动性的变化如图 3 所示。随着 H 掺量的增大，泥浆的流动值呈现出先快后慢的降低趋势。当掺入 0.2% 的 H 时，泥浆的流动值为 107.5 mm，此时试样已经基本能够完成站立；当掺量提高到 0.4% 时，泥浆的流动值几乎降为最低，此时土样已不再向四周摊铺，达到了完全站立。

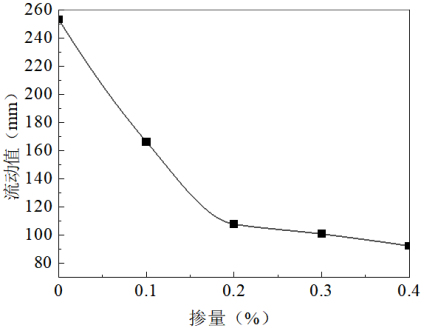


图 3 泥浆流动值随 H 掺量的变化曲线

2.4 含水率变化对泥浆流动性的影响

当含水率从 60% 提高到 120% 时，泥浆流动性变化曲线如图 4 所示。可见泥浆的初始含水率与流动值关系密切，当含水率较小时，流动值增长较缓，曲线呈现上凹趋势；当含水率较大时，流动值快速增长，曲线几乎呈线性升高，这与朱鹏^[6]和 Landri^[7]得出的结论一致。这是因为大量的水分稀释了试剂的浓度，使其固化效果大大下降，此外水填补了颗粒间的缝隙，降低了空间位阻，起到了润滑的作用。

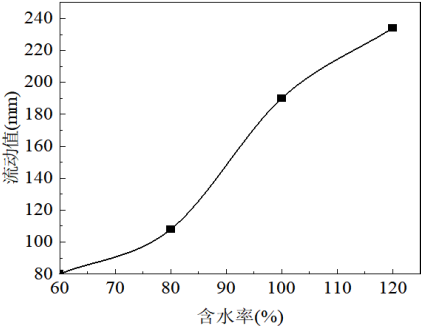


图 4 泥浆流动值随含水率增加的变化曲线

2.5 贯入强度试验

图5展示的是贯入深度为10 mm, H掺量从0提高到1%时的泥浆贯入强度变化曲线。由图中可以观察到, 泥浆的贯入强度随着H掺量的改变大致可以划分为三个区域: 缓增区(I区)、快增区(II区)、缓降区(III区)。

其中0%~0.2%的掺量对应缓增区, 贯入强度上升较为缓慢。0.2%~0.6%的掺量对应II区, 这个阶段泥浆的贯入强度快速上升。0.6%~1%的掺量对应III区, 这个阶段土体的强度出现一定程度的下降。

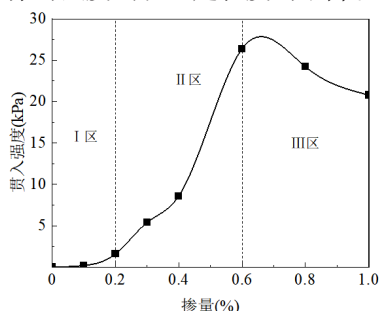


图5 泥浆贯入强度随H掺量的变化曲线

2.6 泌水性试验

图6为泥浆在掺入0.1%、0.2%、0.3%、0.4%的H时5小时内泌水率随时间的变化情况。随着时间的推移, 各组泥浆的泌水率都有一定程度的增高。可以看出增加高分子材料H的掺量能够有效阻止泥浆的泌水率的升高。此外可以看出当掺量较低时泌水率持续上升的时间段较长, 当掺量提高到较高水平时泌水率则较长时间稳定在一个较低的水平。

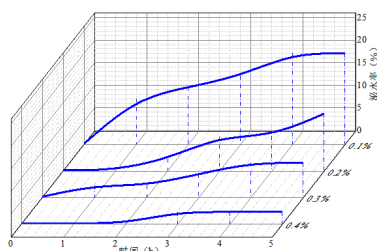


图6 不同掺量下5小时内泥浆泌水率随时间的变化曲线

2.7 高分子材料的应用效果研究

图7为本文所研制的混合药剂在某引水工程顶管施工泥浆中进行初步应用, 该项目中泥浆含水率为52.7%, 成分以岩泥为主, 如图7(a)所示, 该泥浆含水率较高, 呈高流动性, 需采用槽罐车转运外抛; 加入自制的复合高分子材料H搅拌30分钟后, 泥浆状态如图7(b)所示, 处理后的泥浆流动性大幅下降, 贯入强度达45.2kPa, 处理后的泥浆可用渣土车直接转运, 解决了高含水泥浆的运输难题。



(a) 掺入高分子前

(b) 掺入高分子后

图7 工程应用效果

3 结论

(1) 以贯入强度为指标, 对10种高分子材料进行了单掺和双掺试验, 获得一个固化性价比最高的混合高分子材料H。

(2) 随着H掺量的增加, 淤泥的流动性和泌水性都大大降低, 而贯入强度呈现三个阶段的变化趋势, 分别为缓增区、快增区、慢降区。

(3) 随着含水率的提高, 淤泥的贯入强度迅速降低, 流动性显著升高。初始含水率越高, 淤泥的泌水越多, 并且达到最大泌水量的速度越快。

(4) 含水率为52.7%泥浆, 利用自制复合高分子材料H改性30分钟后, 贯入强度达56.2 kPa, 可直接用渣土车转运。

参考文献:

- [1] 权宗刚, 王科颖, 浮广明, 等. 淤泥脱水技术及资源化烧结制品研究[J]. 砖瓦, 2020, (06): 19-21.
- [2] 刘黎黎, 张伟, 徐得潜, 等. 絮凝剂提高疏浚泥浆泥水分离性能研究[J]. 工业用水与废水, 2022, 53(01): 47-51.
- [3] 高宇, 周普玉, 杨霞, 等. 絮凝剂对工程废弃泥浆脱水性能的影响[J]. 环境工程学报, 2017, 11(10): 5597-5602.
- [4] 朱锋, 曾芳金, 孙林柱, 等. 石灰、石膏及混合絮凝剂对钻孔废弃泥浆压滤脱水性能的影响[J]. 江西理工大学学报, 2014, 35(01): 46-53.
- [5] Wu S, Zhu W, Lv Y, et al. Quality control indexes and curing agent values for submerged poured solidifying-silt island; case study of the artificial island of Dalian Bay, China[J]. Construction and Building Materials, 2018, 190: 664-671.
- [6] J L T L. Method to Rapidly Assess the Index Properties of Fine-Grained Dredged Materials[J]. Geotechnical Testing Journal, 2004, 27(5): 464-468.
- [7] 周晓朋. 滨海淤泥质吹填土泥浆絮凝脱水试验研究[D]. 重庆交通大学, 2015.