

废弃泥浆改性同步注浆材料试验研究

吴克雄^{1,2} 李顺凯^{1,2} 杨 钊^{3,4} 贺祖浩³

(中交武汉港湾工程设计研究院有限公司¹,海工结构新材料及维护加固技术湖北省重点实验室²,
中交二航局技术中心³,武汉 430040; 同济大学⁴,上海 200092)

摘要 泥水盾构施工过程中会产生大量的废弃泥浆,针对废弃泥浆的处理难题,介绍了一种新型泥浆处理方法。将废弃泥浆作为盾构同步注浆材料应用于同步注浆液,并研究了泥浆对同步注浆液性能的影响。研究结果表明:用废弃泥浆配制的同步注浆液分层度、泌水率明显降低,很好地解决了同步注浆液泵送过程中的堵管问题,凝结时间有一定的增加,可通过控制泥浆比重与泥浆量来缩短凝结时间。流动性也能满足注浆要求。并用废弃泥浆配制出抗水分散性较好的同步注浆材料,最大7 d水陆强度比达0.81。

关键词 废弃泥浆 泥浆处理 同步注浆 泥浆比重

中图法分类号 U455.43; **文献标志码** B

随着国内外交通建设的不断发展以及环境受到制约的客观条件。交通建设开始向地下发展。盾构工法以其独特的优势被越来越多地应用于隧道建设中^[1,2]。泥水盾构在开挖掌子面需配置泥浆来平衡地层的水压力和地下孔隙水压力,开挖下来的土体与泥浆混合后,经过筛分、旋流系统分离掉渣土后产生大量的泥浆,此外,钻孔灌注桩施工也产生大量的废弃泥浆,泥浆的处理与排放不仅需要大量的费用,还加重了环境污染。

近年来,许多学者开始关注废弃泥浆的处理与研究。张忠苗等^[3]介绍了一种泥浆分离处理技术,将泥浆分离成土和水,并将土再次利用。房凯等^[4]提出解决泥浆污染应加强泥浆管理,采取泥浆净化措施,关注泥浆处理物的二次利用问题,实现泥浆处理产物的再利用。苏清贵等^[5]根据不同的地层情况对现有的泥水处理设备进行改造,并增加压滤机系统和离心机系统等措施,解决了泥水盾构施工产生的废弃泥浆造成环境污染的难题。何文锋等^[6]将组合式泥浆处理设备对废弃泥浆进行处理的方法应用到实际工程,取得了较好的效果。试验证明,采用组合式泥浆处理设备处理废弃泥浆,节省成本的同时可以产生较好的环

境效益。

关于废弃泥浆的处理与研究大多是采取固液分离的方式,抑或是关于处理设备的优化等方法。虽然一定程度上降低了废弃泥浆的排放量,然而并没有从根本上解决问题。将废弃泥浆用于盾尾同步注浆液的配制,不仅可省去废弃泥浆的处理费用,节省同步注浆液的成本,还能达到无污染的效果。

目前关于废弃泥浆用于同步注浆液配制的文献或实际工程案例还鲜有提及,因此,需要开展试验研究来验证废弃泥浆用于砂浆配制的可行性。并初步探讨废弃泥浆对同步注浆液性能的影响。

1 工程背景

1.1 工程概况

依托工程为福州地铁2号线四标厚庭至桔园洲区间盾构施工项目,区间左线长2 668.959 m(长链8.092),区间右线长2 666.895 m(长链6.028);区间设1座风井,5座联络通道(其中1座与风井合建),1座兼做废水泵房。隧道最小埋深10.26 m(接收井位置),最大埋深30.2 m(风井位置),江面宽约1 350 m(常见水位高点+5.5 m),最大水深11.6 m。四标段剖面示意图如图1。

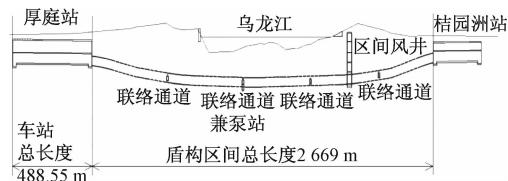


图1 剖面示意图

Fig. 1 Schematic diagram of section

2016年12月30日收到

第一作者简介:吴克雄(1989—),男,硕士,助理工程师。研究方向:地下工程材料。

引用格式:吴克雄,李顺凯,杨钊,等.废弃泥浆改性同步注浆材料试验研究[J].科学技术与工程,2017,17(20):277—281

Wu Kexiong, Li Shunkai, Yang Zhao, et al. Experimental study on the waste mud modified synchronous grouting materials[J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(20): 277—281

1.2 工程地质概况

厚庭站~桔园洲站区间,主要穿越土层为(2-5-2)粗中砂层、(3-8)卵石层等,局部穿越(2-4-2)淤泥质土层、(2-4-4)淤泥夹砂、(2-5-1)粉细砂、(2-6-1)粉质黏土、(2-6-3)粉土等。中粗砂及卵石层所占比例为83.5%,各地层含量所占比例如图2所示。

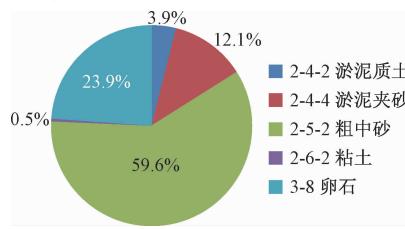


图2 地层含量占比图

Fig. 2 Formation content in proportion

盾构机局部穿越稍密~中密状态的饱和砂土地层,有轻微~中等液化趋势,局部为严重液化,盾构施工过程中易发生涌水、开挖面失稳及地面下沉。

2 试验设计

2.1 试验材料

盾尾同步注浆液采用废弃泥浆取代水与膨润土。材料包含废弃泥浆、水泥、粉煤灰、砂。水泥为华润水泥(封开)有限公司生产的42.5级水泥,粉煤灰为广州恒运发电厂生产的二级粉煤灰,砂为普通河沙,过2 mm筛。废弃泥浆中含有一定比例的膨润土和黏土,因此浆液配制中不再添加膨润土。泥浆的性能根据地层以及开挖方式的不同而有所差异,试验中的废弃泥浆取自福州地铁二号线,泥浆比重介于1.2~1.3之间,试验中废弃泥浆的比重基本在1.28左右,对其相关参数进行测试。得到的泥浆参数如表1。

表1 泥浆参数表

Table 1 Parameters of mud

编号	比重	黏度/s	含砂率/%	含水率/%
1	1.28	35	8	70

2.2 试验仪器与方法

试验通过测定废弃泥浆同步注浆液的工作性能与强度,主要参数指标包括:稠度、流动度、凝结时间、泌水率、分层度与强度。稠度、凝结时间和强度参考JGJ/T 70—2009《建筑砂浆基本性能试验方法标准》^[7]。泌水率测定参考GB/T 50080—2002《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》。流动度参考GB/T 2419—2005《水泥胶砂流动度测定方法》。

试验仪器包括砂浆搅拌机、砂浆稠度仪、水泥胶砂流动度测定仪、砂浆凝结时间测定仪、烧杯、量筒、分层度仪、砂浆压力机等。

2.3 试验设计

2.3.1 配合比优化

福州地铁二号线同步注浆液配合比为表1中的F-1,由于现场配制的砂浆经常出现堵管问题,因此将现场配比在实验室进行配制,测定其相关参数,得到表2,由表2可知,该砂浆分层度较大,容易出现分层离析现象。施工过程中出现堵管现象。将砂浆中各材料进行试验分析,发现试验中采用的钙基膨润土保水性能较差,黏性较低,静置一段时间后颗粒自动沉淀,未起到增黏效果。因此,将钙基膨润土用钠基膨润土及由中交武汉港湾工程设计研究院有限公司研制的环保泥浆调节剂替代,得到配合比如表2中F-2、F-3。其相关性能参数见表3。

表2 同步注浆材料配合比

Table 2 Proportioning of synchronous grouting material

编号	钙基膨润土/ (kg·m ⁻³)	钠基膨润土/ (kg·m ⁻³)	泥浆调节剂/ (kg·m ⁻³)	水/ (kg·m ⁻³)
F-1	60			430
F-2		40		500
F-3			0.8	500

注:三种注浆液中水泥、粉煤灰、砂的含量相同,水泥为150 kg/m³,粉煤灰为440 kg/m³,砂为800 kg/m³。

表3 同步注浆材料性能参数

Table 3 Parameters of synchronous grouting material

性能参数	F-1	F-2	F-3
流动度/mm	285	245	300
稠度/mm	127	102	134
泌水率/%	5.2	2.4	3.2
分层度/mm	7	3	3
容重/(kg·m ⁻³)	1 817	1 821	1 768
凝结时间/h	13.2	13.5	14.0

由表3可知,用钠基膨润土取代钙基膨润土并增加水胶比后,其分层度明显降低,流动度、稠度、泌水率也有所降低,浆液变稠,说明钠基膨润土增黏效果较好。掺入0.8 kg/m³的环保泥浆调节剂,浆液分层度与泌水率也明显降低,与加入40 kg/m³的钠基膨润土效果相当。且浆液流动性增加,可降低浆液浇筑压力。凝结时间略有增长,有一定的缓凝作用。

2.3.2 废弃泥浆含量对同步注浆液流动性的影响

为解决废弃泥浆的排放与处理费用,用泥浆取代同步注浆液中的膨润土与水,使配制出的同步注浆液的工作性能满足工程要求,流动度是砂浆工作性能中非常重要的参数,为了确定泥浆用量,改变每方砂浆中的泥浆含量,测定不同泥浆质量下砂浆的

流动度。

由图3可知,随着泥浆质量的增加,砂浆的流动度逐渐增大,然而其增长速率逐渐减小,这是因为随着泥浆的增加使得黏土等含量增加,而黏土颗粒呈负电性,其表面有一层结合水膜,黏土颗粒通过结合水膜连结,结合水膜外还有一层吸着水膜,吸着水膜的厚度随周围环境变化改变,较薄时可吸收周围的水从而使水膜变厚,因此,泥浆中的部分水被黏土颗粒吸附,真正可以利用的水并没有像泥浆含水率测得的那么多,因此,随着泥浆质量的增加,砂浆中的可供水泥水化用的水并不是等比例增加,因此,砂浆中富余水的增长率逐渐降低,砂浆流动度增长率逐渐降低。由图3还可以看出:泥浆比重越大,其配制出的砂浆流动度越小,且流动度增长幅度也较小。因为泥浆比重越大,黏土含量越高。

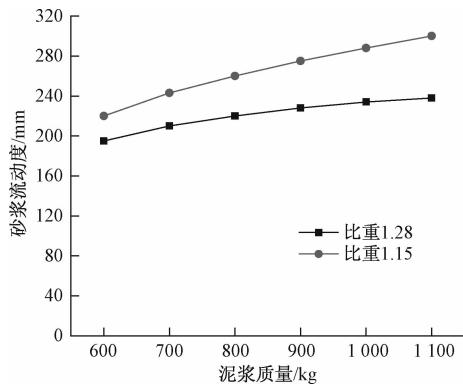


图3 砂浆流动度与泥浆质量的关系

Fig. 3 Relationship between the fluidity of mortar and the weight of mud

泥浆中除含有黏土颗粒之外,还含有一定的有机质、腐殖质等物质,且随着泥浆比重越大,其黏土颗粒与有机质含量越高,而不同比重泥浆配制出的砂浆其凝结时间、泌水率、分层度、强度等需要通过试验进一步研究。

2.3.3 不同比重泥浆对同步注浆材料工作性能的影响

如果将泥浆以等质量的方式取代同步注浆液中的膨润土与水,则配制出的砂浆流动性较差,比重1.28的泥浆其含水率只有70%左右,而增加泥浆质量可有效改善砂浆流动性,现取三种不同比重(1.28、1.2、1.1)的泥浆进行同步注浆液的配制,三种砂浆配合比如表4所示,其相关性能参数见表5。

表4 不同比重泥浆配合比

Table 4 Proportioning of different mud weight $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

编号	水泥	粉煤灰	砂	泥浆	泥浆比重
F-4	150	440	800	940	1.28
F-5	150	440	800	850	1.2
F-6	150	440	800	640	1.1

表5 不同比重泥浆对同步注浆材料性能的影响

Table 5 Effects of different mud weight on performance of synchronous grouting material

编号	流动度/	稠度/	泌水率/	分层度/	容重/	凝结时间/
	mm	mm	%	mm	$(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	h
F-4	260	125	0	3	1 890	21.3
F-5	255	122	2	2	1 786	16.5
F-6	275	129	3.3	0	1 817	15.0

本次试验通过加入不同比重的泥浆调制出工作性能(流动度、稠度)相近的砂浆,然后测定其他性能参数。由表3可知,要使砂浆达到相近的流动度和稠度,比重越大的泥浆其掺入量越大。由不同比重泥浆配制的砂浆性能可知,泥浆比重越大,则砂浆泌水率越低,分层度越高,凝结时间越长,比重1.28的泥浆配制出的砂浆其凝结时间超过21 h,凝结时间偏长。即泥浆比重越大、泥浆含量越高,则砂浆的凝结时间越长。其原因是泥浆中含有大量黏土颗粒吸附在胶材表面,影响水泥水化,泥浆比重越大,黏土颗粒含量越高,水泥水化受影响程度越大,凝结时间增加。且泥浆质量增加,水灰比增大,也是凝结时间增加的原因之一。而比重1.1的泥浆配制的砂浆其性能与普通泥浆相比,除了凝结时间有所增加,其他性能参数有明显的改善,比重1.2的泥浆配制出的砂浆基本满足注浆要求。

由上述实验结果可知,比重过大的泥浆很难配制出综合性能较好的砂浆,可通过将泥浆稀释到一定比重从而减少泥浆用量使砂浆的各性能参数达到注浆要求。

将比重1.1的泥浆调制出的砂浆与施工现场搅拌出的砂浆相比,其泌水率、分层度明显降低,性能得到改善。凝结时间略有增加。但满足工程要求。

2.3.4 砂浆抗水分散性试验研究

区间从厚庭村始发,沿线穿越泥水处理站、乌龙江西大堤、厚庭村民房群、乌龙江、中间风井、乌龙江东大堤、三环快速路,侧穿高层建筑群,到达桔园洲站。其中长距离穿越砂卵石层和粗中砂层,粗中砂和砂卵石地层渗透系数在35~55 m/d之间,水压高,普通的同步注浆液很难满足高压富水地层的注浆要求,需要配制出一种抗水分散性能较好的砂浆。因此,尝试用废弃泥浆配制出一种符合高压富水地层要求的高抗水分散性能砂浆。

由于施工现场的废弃泥浆比重在1.28左右,根据前面的试验研究,将比重为1.28的泥浆进行稀释,并与原配合比进行对比,其配合比如表6,此外还对不同胶材用量下同步注浆材料抗水分散性能进行了分析。表7为不同砂浆的3 d、7 d水、陆抗压强

表 6 砂浆配合比

Table 6 Proportioning of mortar

 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

材料	试样编号				
	F-1	F-4	F-7	F-8	F-9
水泥	150	150	150	150	150
粉煤灰	440	440	440	300	300
砂	800	800	800	900	900
膨润土	60(钙基)			40(钠基)	
水	430	370	340	430	210
泥浆		270	308		300
泥浆比重	1	1.28	1.28	1	1.28

表 7 泥浆对同步注浆材料抗水分散性能的影响

Table 7 Effects of mud on water dispersion resistance of synchronous grouting material

性能	试样编号				
	F-1	F-4	F-7	F-8	F-9
3 d 抗压强度/MPa	水中	0.5	0.64	0.5	0.62
	陆地	1.04	1.02	1.77	1.15
7 d 抗压强度/MPa	水中	0.77	1.15	3.02	1.08
	陆地	1.92	2.05	3.73	2.21
3 d 水陆强度比		0.48	0.63	0.85	0.54
7 d 水陆强度比		0.4	0.56	0.81	0.49
					0.47

度值及水陆强度比。

由表 7 可知,稀释的泥浆与钙基膨润土相比,其配制出的同步注浆材料的 3 d、7 d 水、陆抗压强度值以及水陆强度比都有明显的增加,泥浆按不同比例稀释,其强度值以及水陆强度比也有所差异,同样质量的泥浆,比重偏大的其水陆强度比较高,本次试验配制出的废弃泥浆同步注浆材料最大 7 d 水陆强度比超过 0.8,具有较好的抗水分散性能。

比较 F-9 与 F-4、F-7 可知,胶材用量降低、胶砂比降低后,同步注浆材料的水陆强度比有明显下降,说明胶材用量及胶砂比对同步注浆材料的抗水分散性能有较大的影响。比较 F-1 与 F-8 可知:降低胶砂比,并用钠基膨润土替代钙基膨润土配制同步注浆材料后,同步注浆材料抗压强度值与水陆强度比仍有一定增加,说明钠基膨润土的增黏效果较好。

3 结论

利用废弃泥浆取代水与膨润土配制同步注浆材料,开展了一系列试验研究,得到以下结论。

(1) 利用废弃泥浆配制同步注浆液是可行的。

但是泥浆比重不能过大,当泥浆比重超过 1.2 时,砂浆的凝结时间过长,比重 1.1 的泥浆能配制出性能较好的砂浆。

(2) 相比于传统硬性浆,用泥浆配制出的同步注浆液其泌水率、分层度明显降低,凝结时间略有增加,可通过控制泥浆质量来调整凝结时间。

(3) 通过稀释现场大比重(1.28)的泥浆,可配制出抗水分散性较好的同步注浆液,最高 7 d 水陆强度比可超过 80%。

参 考 文 献

- 袁大军,尹凡,王华伟,等.超大直径泥水盾构掘进对土体的扰动研究.岩石力学与工程学报,2009;(10):2074—2080
Yuan Dajun, Yin Fan, Wang Huawei, et al. Study of soil disturbance caused by super-large diameter slurry shield tunnelling. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009; (10): 2074—2080
- 徐明,邹文浩,刘瑶.超大直径泥水盾构在砂土中的开挖面稳定性分析.土木工程学报,2012;(3):174—181
Xu Ming, Zou Wenhao, Liu Yao. Face stability of large slurry shield-driven tunnel in sands. China Civil Engineering Journal, 2012; (3): 174—181
- 张忠苗,房凯,王智杰,等.泥浆零排放处理技术及分离土的工程特性研究.岩土工程学报,2011;(9):1456—1461
Zhang Zhongmiao, Fang Kai, Wang Zhijie, et al. Zero discharge treatment technology for slurry and engineering properties of separated soil. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011; (9): 1456—1461
- 房凯,张忠苗,刘兴旺,等.工程废弃泥浆污染及其防治措施研究.岩土工程学报,2011;(增刊2):238—241
Fang Kai, Zhang Zhongmiao, Liu Xingwang, et al. Pollution of construction waste slurry and prevention measures. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011; (S2):238—241
- 苏清贵,翟志国,邓亨义.泥水盾构施工废弃泥浆的环保处理技术.隧道建设,2012;(增刊2):222—226
Su Qinggui, Zhai Zhiguo, Deng Hengyi. Treatments of waste slurry of slurry shield machine. Tunnel Construction, 2012; (S2):222—226
- 何文锋,邓美龙,白晨光,等.地铁车站施工废弃泥浆处理方法.施工技术,2012;24:83—86
He Wenfeng, Deng Meilong, Bai Chenguang, et al. Treatment method for mud produced from construction of metro station. Construction Technology, 2012;24:83—86
- 建筑用砂:GB/T 14684—2011.北京:中国标准出版社,2011
Sand for construction: GB/T 14684—2011. Beijing: Chinese Standard Press, 2011

Experimental Study on the Waste Mud Modified Synchronous Grouting Materials

WU Ke-xiong^{1,2}, LI Shun-kai^{1,2}, YANG Zhao^{3,4}, HE Zu-hao³

(CCCC Wuhan Harbour Engineering Design and Research Co. Ltd., Hubei Key Laboratory
of Advanced Materials & Reinforcement Technology Research for Marine Environment Structures²,

Technology Center of CCCC Second Harbour Engineering Co.³, Wuhan 430040, P. R. China; Tongji University⁴, Shanghai 200092, P. R. China)

[Abstract] A large amount of waste mud will be produced during the construction of underground engineering, according to the waste mud treatment problem, a new type method was introduced, which is use waste mud as shield synchronous grouting material and applied to the synchronous grouting, and studied the influence of grouting liquid mud. The study shows that: prepared with waste slurry grouting liquid stratification, the bleeding rate decreased significantly, solve the problem of pipe blockage in the process of synchronous grouting, the setting time is increased, which can be shortened by controlling the proportion and amount of mud. Liquidity can also meet the grouting. and using waste mud to make synchronous grouting materials with good resistance to water dispersion, the maximum compressive strength of 7 d is 0.81.

[Key words] waste mud sludge treatment synchronous grouting mud weight