

盾构泥饼同步注浆浆液的制备与性能分析

匡建军¹, 张光伟¹, 林四新², 张伟³

(1. 中国交建轨道交通分公司, 北京 101300; 2. 中交三航局第六工程(厦门)有限公司, 福建 厦门 361021;
3. 福建理工大学, 福州 350118)

摘要: 为推动盾构渣土的资源化再利用和无害化处理, 对盾构泥饼的微观性能和基本物理性能进行分析, 确定了盾构泥饼可作为注浆材料中膨润土、粉煤灰、细砂的替代物的方案, 并进行抗压强度、凝结时间、泌水率和流动度试验。结果表明, 当泥饼替代膨润土时, 可有效改善同步注浆浆液性能, 且最佳同步注浆材料水泥、粉煤灰、细砂、水、膨润土、泥饼的配比为 1:2.71:2.61:3.42:0.49:0.16。

关键词: 盾构泥饼; 微观性能; 抗压强度; 凝结时间; 泌水率; 流动度

中图分类号: TU43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)24-0333-08

在盾构机挖掘隧道的过程中, 会产生诸如渣土和泥浆等大量建筑垃圾, 这些废弃物的堆积不仅会对周围环境造成破坏, 还会对人体健康构成潜在威胁^[1], 并增加施工成本。为了解决盾构渣土带来的诸多问题, 实现无害化和资源化的目标, 对盾构渣土进行实验以及理论分析, 得到其性质特征, 再将盾构渣土进行划分归类后处置利用, 再根据不同类别做成各种相应的土建材料或其他物品^[2-4]。其中, 对于高含水率的盾构渣土^[5], 由于其运输成本高昂、装运效率低下, 以及占地面积大等不利因素, 通常需经过筛分、水洗和压滤等工序, 制作成盾构泥饼, 以便进一步应用^[6-7]。

针对盾构渣土的再利用, 可采取直接利用或间接利用的方式, 将其加工制备成各类产品, 从而提升经济效益, 并实现了绿色环保的目标^[8]。产品包括免烧砖^[9-10]、烧结普通砖^[11]、免烧陶粒^[12]、渣土陶粒^[13-14]等。其中, 将渣土用于制备同步注浆浆液, 可直接实现渣土再利用, 具有经济简便的特点。郝彤等^[15]以郑州市地铁 4 号线为依托, 将盾构渣土替代部分中砂制备新型同步注浆材料, 得到符合规程要求的同步注浆配合比; 任永昌^[16]利用盾构渣土全部替代砂, 以及利用稻壳灰部分替代水泥, 成功研制出满足工程用渣土同步注浆料较优配比; 周艳家等^[17]以渣土浆液、水泥和土体改良剂为原材料, 成功制备出符合工程要求的同步注浆浆液, 并应用于

苏州轨道交通 8 号线盾构工程; Wu 等^[18]以盾构渣土和固体废物基胶凝材料为原材料制备同步注浆浆液, 并成功应用于实际工程中; Cui 等^[19]采用处理剂改良盾构渣土, 并用于制备同步注浆料, 有效提升了注浆料的性能。

然而针对高含水率的渣土, 其经处理后所形成的盾构泥饼的性质特性会发生变化, 再利用价值有待深入探索。因此, 本文旨在通过开发新型同步注浆浆液, 实现对盾构泥饼的有效再利用, 首先利用扫描电子显微镜(SEM)、X 射线衍射仪(XRD)和 X 射线荧光光谱仪(XRF)等先进仪器, 对盾构泥饼的微观形貌、矿物成分和化学组成进行详细分析, 同时考虑其基本物理特性, 如天然含水率、液限、塑限、液性指数、塑性指数和密度等关键指标, 以全面评估盾构泥饼的特性。基于此, 提出将盾构泥饼作为注浆材料中膨润土、粉煤灰、细砂的替代物, 为验证替代方案的可行性, 设计并实施一系列泌水率、流动度、凝结时间和抗压强度试验, 通过对实验数据的全面分析与综合对比, 确定最优的原料替换方案, 为盾构渣土的处理和再利用开辟了新途径, 具有重要的指导意义。

1 工程概况

盾构泥饼取自于厦门地铁盾构区间, 项目概况如表 1 所示。如图 1 所示, 该盾构区间设有渣土处理站, 主要包括“渣土预处理系统”“砂筛分系统”“泥浆处

收稿日期: 2024-06-19

基金项目: 福建省自然科学基金面上项目(2021J011062)

作者简介: 匡建军(1976—), 男, 陕西西安人, 硕士, 高级工程师, 研究方向为隧道及地下工程; 张光伟(1978—), 男, 山东人, 高级工程师, 研究方向为隧道及地工工程; 林四新(1977—), 男, 福建龙岩人, 高级工程师, 研究方向为道路桥梁及隧道工程; 通信作者张伟(1982—), 男, 陕西渭南人, 博士, 教授, 研究方向为结构加固、地下工程等。

表1 施工项目概况

项目地点	厦门市轨道交通3/4号线双沪站~空港经济区站
盾构区间	翔安区大嶝岛内
左线长	2 283.1 m
右线长	2 305.8 m
线间距	11.3 m~16.9 m
隧道埋深	7.7 m~18.0 m

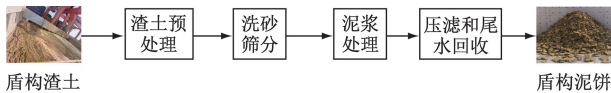


图1 盾构渣土处理流程

理系统”“压滤和尾水回收系统”四个部分,通过这些系统的协同作用,成功将盾构渣土转化为泥饼。

2 试验材料

依据盾构区间现场同步注浆配合比,基本同步注浆材料由水泥、粉煤灰、细砂、膨润土和水按一定比例调配而成^[20]。

2.1 盾构泥饼

2.1.1 扫描电子显微镜分析(SEM)

通过扫描电子显微镜^[21],对研磨后的泥饼进行了细部观测,具体地,选取三处不同位置进行观测,每处位置分别放大500倍和1000倍进行细部观察,共有6张微观形貌图。由图2可知,盾构泥饼在完全失去水分的状态下,颗粒表面较不平整,质地松散并伴有裂缝,存在大量碎渣碎屑,试样强度较低,说明颗粒间的联结能力较弱,易于粉碎。

2.1.2 X射线衍射仪分析(XRD)

X射线衍射技术是通过以掠角 θ (即入射角的余角)将X射线照射到样品上,然后根据不同晶体所产生的独特衍射图谱来进行详细分析,最终确定样品的矿物成分^[22]。如图3所示,盾构泥饼主要由高岭石($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)组成,并且含量高达90%以上,可将盾构泥饼的主要矿物质成分为高岭土。高岭土属于黏土,其粒度细小,易成粉末,在潮湿时具有一定的可塑性。

2.1.3 X射线荧光光谱仪分析(XRF)

X射线荧光光谱分析是一种用微观粒子来激发待测物质中的原子,使之产生次级的特征X射线,利用每种化合物的原子会产生不同特征X射线的特点,分析出待测物质中所含有的化学成分及各自的比例^[23]。盾构泥饼的最终分析结果如表2所示,其中, SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 是盾构泥饼的主要化学成分,含量最多的是 SiO_2 ,为51.72%,说明盾构泥饼具有较强的黏度。其次是 Al_2O_3 ,为35.61%,这

表2 化学成分

成分	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	MgO	其他
含量/%	51.72	35.61	6.46	2.41	1.11	2.69

表明盾构泥饼本身的强度和稳定性较好。之后是 Fe_2O_3 ,其含量为6.46%,能够为盾构泥饼制作成产品的过程中提供足够的产气量。

2.1.4 天然含水率试验

根据试验条件,选用烘干法分别进行两组平行试验。根据式(1)计算,可得盾构泥饼在天然状态下岩土孔隙(空隙)所含水分的质量与固体颗粒质量之百分比为34.30%,即天然含水率为34.30%,最终结果如表3所示。

$$\omega = \left(\frac{m_0}{m_d} - 1 \right) \times 100\% \quad (1)$$

式中: ω 为含水率; m_0 为风干土质量或天然湿土质量; m_d 为干土质量。

表3 天然含水率

试验组	天然湿土质量 m_0 /g	干土质量 m_d /g	天然含水率 ω /%
A-1	54.97	40.90	34.40
A-2	55.41	41.27	34.30
平均值	—	—	34.30

2.1.5 界限含水率试验

将盾构泥饼研磨并筛分后,使用液塑限联合测定仪,采用标准贯入法,进行两组平行试验,由式(2)和式(3)计算,结果如表4所示盾构泥饼的液限为66.1%,塑限为28.1%,液性指数为16.36,塑性指数为38.00,表明该盾构泥饼属于高液限土,归类于黏土的范畴内,具有一定的可塑性和结合性。

$$I_P = \omega_L - \omega_P \quad (2)$$

$$I_L = \frac{\omega_0 - \omega_P}{I_P} \quad (3)$$

式中: I_P 为塑性指数; I_L 为液性指数,计算至0.01; ω_0 为含水率; ω_L 为液限; ω_P 为塑限。

表4 界限含水率

液限 ω_L /%	塑限 ω_P /%	塑性指数 I_P	液性指数 I_L
66.10	28.10	38.00	16.36

2.1.6 密度试验

使用体积为60 mm³的立方环刀,采用环刀法确定泥饼密度。经过式(4)和式(5)的计算,最终结果如表5所示,在天然含水状态下的湿密度为1.89 g/cm³,以及在完全失去水分状态下的干密度为1.40 g/cm³。

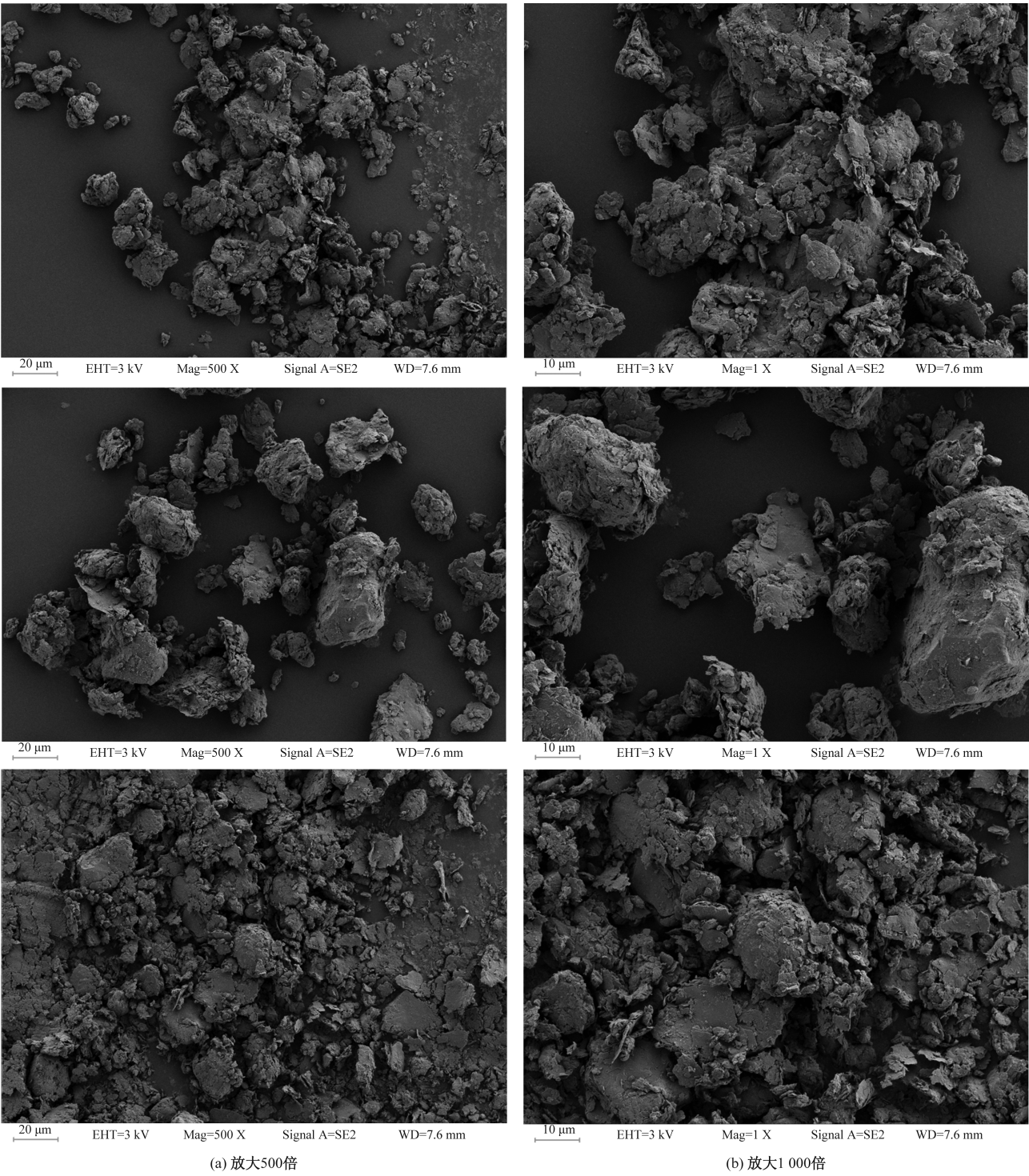


图 2 泥饼 SEM 分析

$$\rho = \frac{m_1}{V} \tag{4}$$

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01\omega} \tag{5}$$

式中： ρ 为试样的湿密度； m_1 为试样质量； V 为环刀容积； ρ_d 为试样的干密度； ω 为试样的含水率。

2.2 其他材料

水泥采用福建春驰集团新丰水泥有限公司的

表 5 密度情况

试验组	环刀体积 V/cm^3	试样质量 m_1/g	试样含水 率 $\omega/\%$	试样湿密度 $\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	试样干密度 $\rho_d/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$
C-1	60.00	113.84	34.30	1.90	1.41
C-2	60.00	112.08	34.30	1.87	1.39
平均值	—	—	—	1.89	1.40

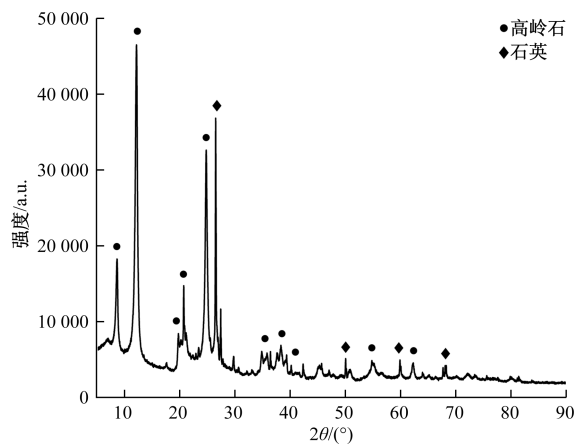


图 3 矿物组成

P·O 42.5 普通硅酸盐水泥;粉煤灰采用漳平正源贸易有限公司 F 类Ⅱ级粉煤灰;膨润土采用漳州华欣工贸有限公司纳基膨润土;细砂采用厦门地铁物资有限公司海砂;水采用普通自来水。

3 盾构泥饼同步注浆浆液的制备

3.1 试验方案

根据盾构泥饼的基本物理性能和微观试验分析可知,经压滤过后的盾构泥饼是具有一定强度和可塑性的黏土,其主要矿物质成分为高岭石,相比于膨润土中的蒙脱石,高岭石的吸附力和离子交换能力较弱,因此推断该泥饼可作为部分替换膨润土的材料^[24]。对比泥饼和粉煤灰的化学组成可发现,泥饼的主要成分为 SiO₂ 和 Al₂O₃,其水化反应后可生成硅酸钙(C-S-H)凝胶和氢氧化铝凝胶等胶凝物

质,增强了同步注浆浆液的流动性和强度^[25],细砂在同步注浆浆液中主要是起填充的作用,因此推断该泥饼可作为部分替换粉煤灰和细砂的材料。

基于原有同步注浆配合比,将研磨后泥饼以 0、25%、50%、75%和 100%的替换率分别对膨润土、粉煤灰以及细砂进行替换,具体同步注浆试验配合比如表 6 所示。其中 Y0 为对照组,前面的编号 P、F、S 分别代表泥饼替代膨润土、粉煤灰、细砂,后面的数字 0、25、50、75、100 分别代表泥饼替代率为 0、25%、50%、75%、100%。

根据试验配合比,依次进行泌水率试验、流动度试验、凝结时间试验和抗压强度试验。试验设备如图 4 所示,试验流程如图 5 所示。

表 6 同步注浆试验配合比

试验组	配合比/(g·m ⁻³)					
	水泥	粉煤灰	细砂	水	膨润土	泥饼
Y0	160.0	433.0	418.0	547.0	105.0	0.0
P25	160.0	433.0	418.0	547.0	78.8	26.3
P50	160.0	433.0	418.0	547.0	52.5	52.5
P75	160.0	433.0	418.0	547.0	26.3	78.8
P100	160.0	433.0	418.0	547.0	0.0	105.0
F25	160.0	324.8	418.0	547.0	105.0	108.3
F50	160.0	216.5	418.0	547.0	105.0	216.5
F75	160.0	108.3	418.0	547.0	105.0	324.8
F100	160.0	0.0	418.0	547.0	105.0	433.0
S25	160.0	433.0	313.5	547.0	105.0	104.5
S50	160.0	433.0	209.0	547.0	105.0	209.0
S75	160.0	433.0	104.5	547.0	105.0	313.5
S100	160.0	433.0	0.0	547.0	105.0	418.0



图 4 同步注浆材料试验设备

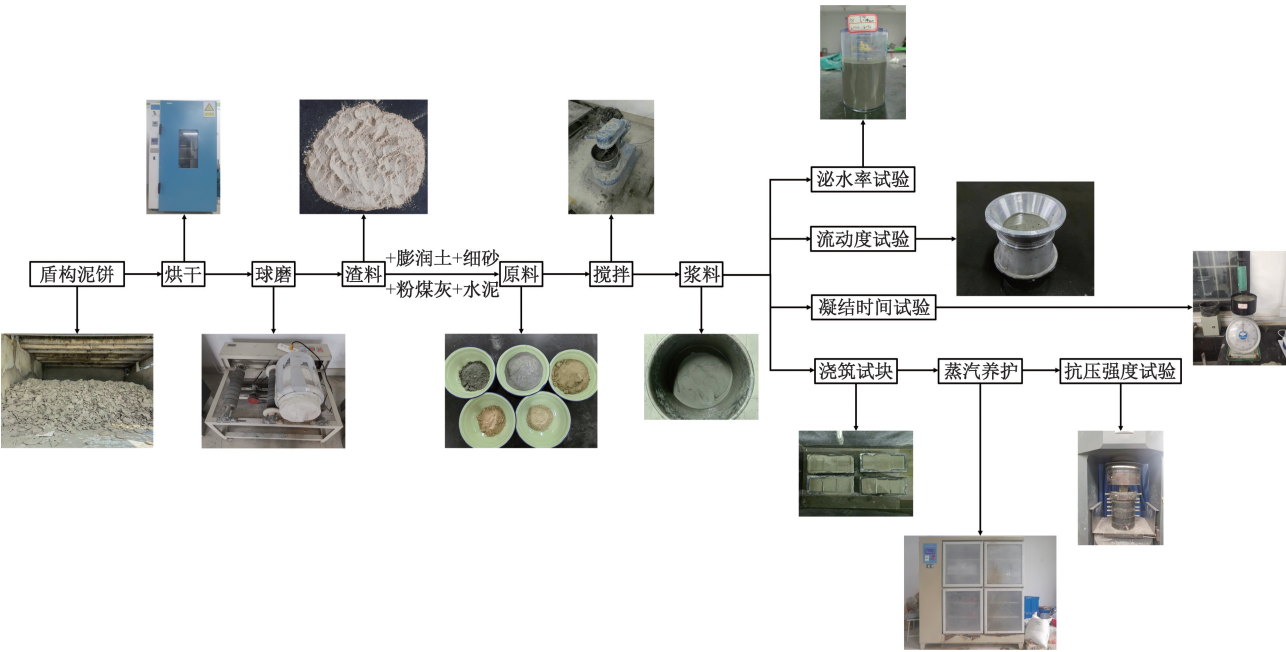


图 5 同步注浆材料试验流程

3.2 泌水率试验

泌水率试验情况如图 6 所示,通过两组平行试验,得到不同配合比下同步注浆材料的泌水情况。

泌水率试验结果如图 7 所示,与原注浆配合比 Y0 相比,经过泥饼替换后在泌水情况上均有所改善。并且,随着泥饼替换率的增加,替换膨润土的试验组的泌水率变化无明显规律,而替换粉煤灰和细砂的试验组则显著减少,并且泌水率降低的速度逐渐平缓,不断趋近于 0。较高的泌水率会影响同步注浆浆液的质量,较低的泌水率会导致流动性过差而影响注浆浆液的输送和质量。因此,选择适宜泌水率的注浆配合比能够提升注浆浆液的各方面性能。因此,泥饼代替部分原材料在改善注浆浆液泌水率方面有着较为理想的效果,其中当盾构泥饼替换膨润土的比例为 25%时,泌水率最低,为 6.92%。

3.3 流动度试验

流动度是测定拌合料流动程度的一种技术指标,能够反映同步注浆材料的可作业性。流动度试验情况如图 8 所示,可直观地看出同步注浆材料的流动情况。

从试验结果图 9 可以看出,泥饼替换膨润土的同步注浆材料的流动度无明显变化,波动较小,而泥饼替换粉煤灰和细砂的试验组则不断减小。较高的流动度会导致同步注浆材料硬化后强度降低,较低的流动度会影响施工期间的作业操作。因此,选择合适的流动度的配合比能够增加同步注浆材

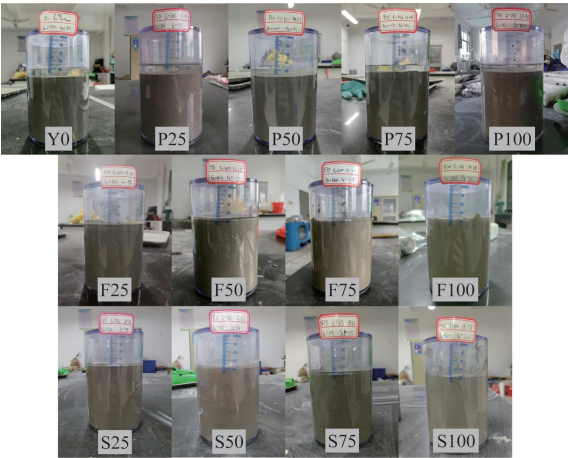


图 6 泌水率试验结果

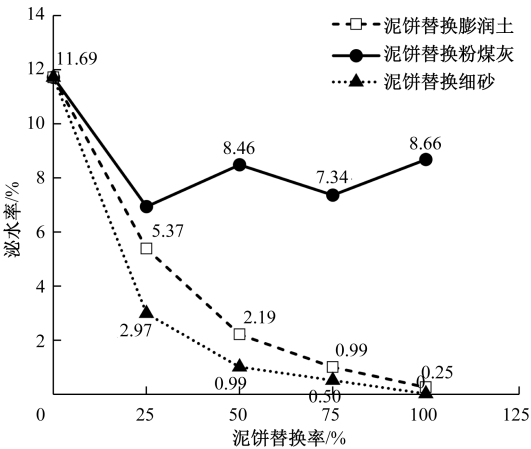


图 7 泥饼替换率对泌水率的影响

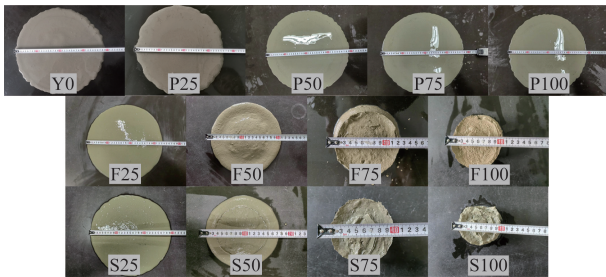


图8 流动度试验结果

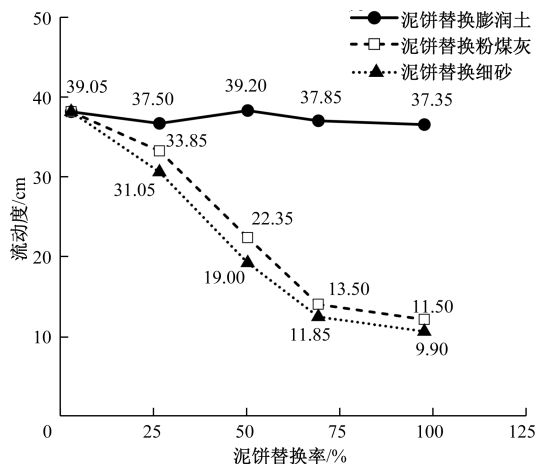


图9 泥饼替换率对流动度的影响

料的整体强度。因此,泥饼替代膨润土方案的流动度变化不大,满足现场注浆浆料的输送的要求。

3.4 凝结时间试验

图10和图11分别为凝结时间试验情况和试验结果。可以发现,在试验初期,凝结速度相对较慢,但随后逐渐加快。此外,还可以发现,随着泥饼替换膨润土的比例的提高,凝结程度的变化并未呈现明显的规律性,这表明膨润土在凝结时间上的影响相对较小;当泥饼替换粉煤灰的比例增加,注浆浆液会显著缩短砂浆的凝结时间,并且最短凝结时间和最长凝结时间的差值较大,说明泥饼替换粉煤灰会对凝结时间造成较大的影响;当泥饼替换细砂的比例增加,凝结时间也随之缩短,与泥饼替换粉煤灰呈现的规律一致,说明泥饼替换细砂会对凝结时间造成影响,使得凝结速度加快。

从试验结果图11可以看出,当盾构泥饼替换少量原材料时,凝结时间均有上涨,之后随着泥饼替换率的提高,凝结时间缩短,而泥饼替换膨润土的试验组则有回升的趋势。选择合适的凝结时间的配合比能够提高同步注浆材料的施工效率。其中,泥饼替换膨润土的试验组的凝结时间变化相对较小,有助于确保施工进度的顺利进行。



图10 凝结时间试验结果

3.5 抗压强度试验

从试验结果图13和图14可以看出,除了泥饼替换膨润土的试验组,其余实验组随着盾构泥饼替换率的提升,整体的抗压强度呈现逐渐下降的趋势。当泥饼替换膨润土的比例为100%时,其抗压强度略高于原注浆配合比试块,而其余替换率的抗压强度均略低于原配合比抗压强度。较低的抗压强度会造成结构快速破坏,因此,选择合适的抗压强度的配合比至关重要,这能够增加同步注浆材料的实用性、经济性和稳定性。在所有试验组中,泥饼替换膨润土对注浆浆液的抗压强度所造成的影响是先降低后提高的趋势,其中P25和P100的抗压强度与Y0最接近,满足施工要求。

综上所述,对比分析各组同步注浆配合比的泌水率、流动度、凝结时间、抗压强度的实验数据,可以得出,当泥饼替换膨润土的比例为25%时,同步注浆浆液表现出较为优异的性能,为最优替换方案。

4 结论

本文基于泥饼的微观性能和基本物理性能,选取同步注浆材料中的膨润土、粉煤灰和细砂作为替换材料,并针对新配置的同步注浆材料开展了泌水率、流动度、凝结时间以及抗压强度试验,以得到最佳配合比。通过上述研究,可得以下结论。

(1)盾构泥饼替换膨润土能够有效降低整体的泌水率,在该类试验组中,泌水率最低可达6.92%,但流动度和凝结时间无明显变化,而对抗压强度则造成明显的影响,会引起较大的变化起伏。

(2)盾构泥饼替换粉煤灰会使得泌水率和流动度显著下降,在该类试验组中,泌水率最低可达0.25%,流动度最低可达11.50 cm。此外,其最长凝结时间17 h6 min和最短凝结时间3 h51 min的

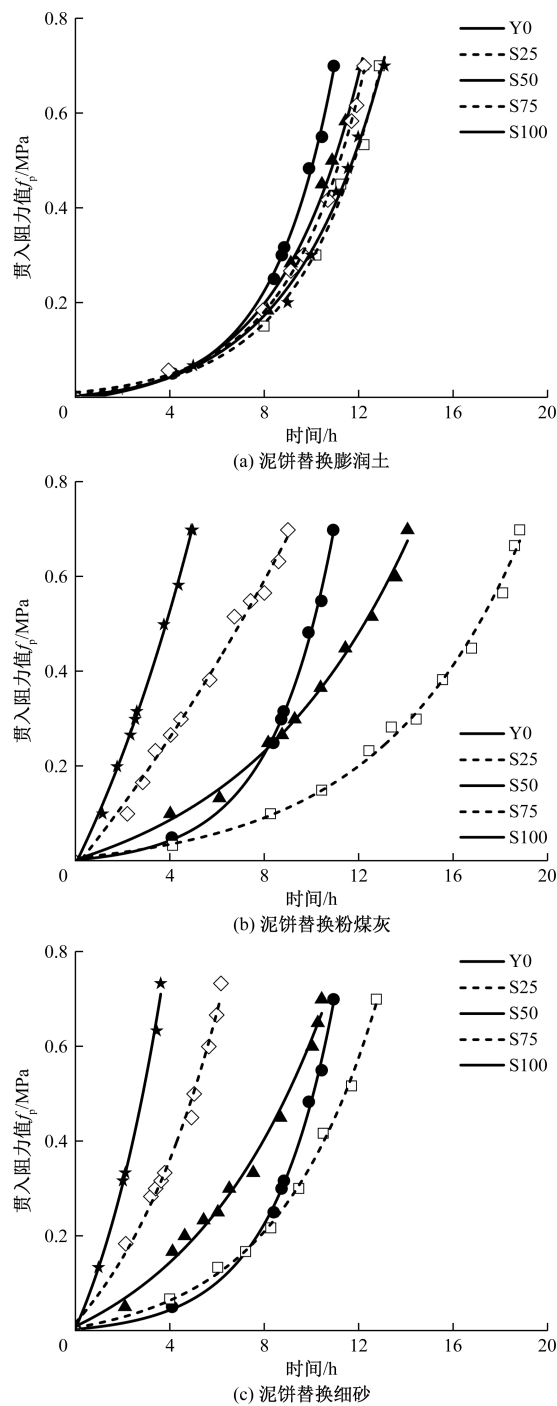


图 11 泥饼替换率对凝结速率的影响

差距较大,超过 12 h,抗压强度呈下降趋势,最低为 1.11 MPa。

(3)盾构泥饼替换细砂对注浆浆液的泌水率、流动度、凝结时间和抗压强度都呈下降趋势,在该类试验组中,泌水率最低为 0.00%,流动度最低为 9.90 cm,凝结时间最低为 2 h+52 min,抗压强度最低为 1.21 MPa。

(4)当泥饼替换膨润土的比例为 25%时,P25

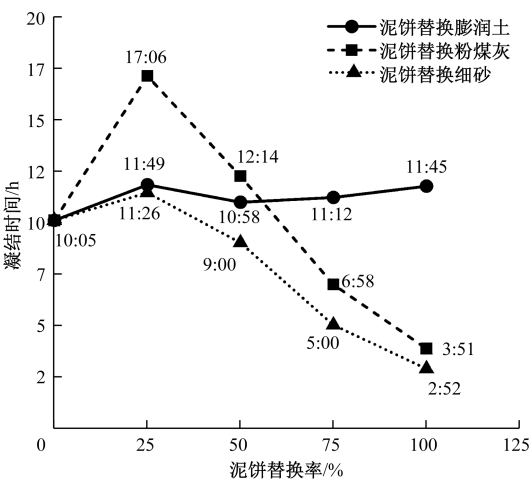


图 12 泥饼替换率对凝结时间的影响

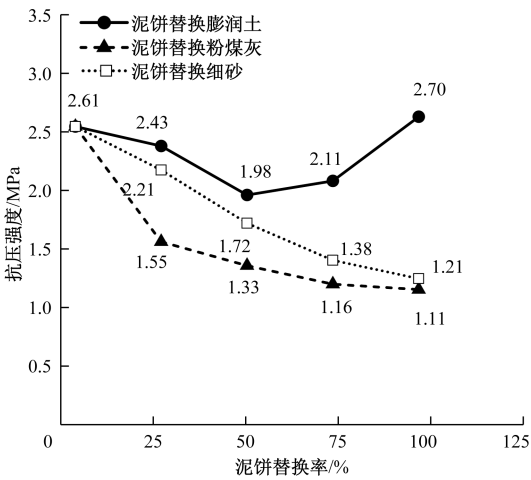


图 13 泥饼替换率对抗压强度的影响



图 14 抗压强度试验结果

为上述试验组中的最优配合比,其泌水率为 6.92%,流动度为 37.50 cm,凝结时间为 11 h+49 min,抗压强度为 2.43 MPa。

参考文献

- [1] 郭建强, 赵连军, 赵文文. 地铁隧道盾构施工泡沫剂对环境的影响[J]. 资源节约与环保, 2022(4): 13-15.
- [2] 张祖焱, 顾琳琳, 王振, 等. 南京盾构渣土工程特性及其微观结构[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(34): 15252-15258.
- [3] 熊欢, 刘绍兴, 孙利辉, 等. 土压平衡盾构改良渣土屈服应力分析[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(2): 721-726.
- [4] 张研, 梁卓悦, 廖逸夫. 基于相关向量机的富水砂层渣土改良试验效果预测[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(17): 7293-7298.
- [5] 张书经, 阳栋, 谭立新. 盾构渣土的含水率特征及脱水技术研究[J]. 中国水土保持, 2019(8): 37-42.
- [6] 朱伟, 钱勇进, 王璐, 等. 盾构隧道渣土与泥浆的分类与处理利用技术及主要问题[J]. 隧道建设(中英文), 2021, 41(S2): 1-13.
- [7] 杨琳, 段文军, 罗章, 等. 盾构渣土环保处理泥浆脱水技术研究与应用[J]. 中国工程机械学报, 2023, 21(6): 537-542.
- [8] 郭卫社, 王百泉, 李沿宗, 等. 盾构渣土无害化处理、资源化利用现状与展望[J]. 隧道建设(中英文), 2020, 40(8): 1101-1112.
- [9] 卞立波, 赵乙平, 张志, 等. 盾构渣土砖制备技术及性能研究[J]. 北京建筑大学学报, 2023, 39(1): 62-69.
- [10] 王树英, 占永杰, 杨秀竹, 等. 淤泥质粉质黏土地层盾构渣土免烧空心砖固化机理与质量评价[J]. 北京工业大学学报, 2021, 47(7): 710-718.
- [11] 陈建强, 成方育, 栗曰峰. 利用建筑渣土制备烧结普通砖的试验研究[J]. 青岛理工大学学报, 2020, 41(2): 35-41.
- [12] 李杰, 陈儀涛, 董毅萌, 等. 盾构渣土免烧陶粒的制备及其性能[J]. 安徽工业大学学报(自然科学版), 2021, 38(3): 250-254.
- [13] 王军, 李坤杰, 毕耀, 等. 城市污泥对固废陶粒的强度影响研究[J]. 混凝土, 2022(1): 122-126.
- [14] 高瑞晓, 荣辉, 王海良, 等. 800 密度等级的渣土陶粒制备及性能研究[J]. 硅酸盐通报, 2017, 36(5): 1646-1650.
- [15] 郝彤, 李鑫箫, 冷发光, 等. 郑州市地铁粉质黏土层中盾构渣土制备同步注浆材料特性[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2020, 40(3): 53-62.
- [16] 任永昌. 盾构渣土同步注浆料制备及性能分析[J]. 隧道建设(中英文), 2024, 44(S1): 204-210.
- [17] 周艳家, 杨国华, 王伟, 等. 盾构渣土置拌同步浆液及其在叠落隧道应用研究[J]. 都市轨道交通, 2024, 37(3): 135-140.
- [18] WU T H, GAO Y T, HUANG C F, et al. In situ resource reutilization of earth pressure balance (EPB) shield muck for the generation of novel synchronous grouting materials[J]. Construction and Building Materials, 2024, 421(29): 135737.
- [19] CUI Y, TAN Z S, WANG J, et al. Research on reuse of shield soil dregs on synchronous grouting materials and its application[J]. Construction and Building Materials, 2023, 408, 133700.
- [20] 邱敏超. 不同地层同步注浆材料试验研究[J]. 价值工程, 2023, 42(28): 76-78.
- [21] 李新玥, 牟行翠. 扫描电子显微镜测试常见制样方法综述[J]. 纺织检测与标准, 2023, 9(6): 36-39.
- [22] 李勇. 浅析综合热分析及 X 射线衍射技术在工程材料检测中的应用[J]. 江西建材, 2022(4): 65-67.
- [23] 李小莉, 王毅民, 邓赛文, 等. 中国 X 射线荧光光谱分析的地学应用 60 年[J]. 光谱学与光谱分析, 2023, 43(10): 2989-2998.
- [24] 陈时光, 田刚, 李海, 等. 盾构弃渣在壁后注浆中绿色再利用试验研究[J]. 甘肃科学报, 2024, 36(1): 87-93.
- [25] 黄德楷, 王小刚, 夏正茂, 等. 粉煤灰掺量对盾构隧道同步注浆浆液性能的影响试验研究[J]. 煤炭加工与综合利用, 2019(8): 74-77.

Preparation and Performance Analysis of Synchronized Grouting Slurry for Shield Mud Cake

KUANG Jianjun¹, ZHANG Guangwei¹, LIN Sixin², ZHANG Wei³

(1. CCCC Rail Transit Branch, Beijing 101300, China; 2. The Sixth Engineering Company of CCCC Third Harbor Engineering (Xiamen) Co., Ltd., Xiamen 361006, Fujian, China; 3. School of Civil Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: In order to promote the recycling and harmless disposal of shield tunneling muck, the microscopic and basic physical properties of shield mud cakes were analyzed, the programme which that they can be used as substitutes for bentonite, fly ash and fine sand in grouting materials was determined. The compressive strength, setting time, bleeding rate, and fluidity of grouting slurries with different substitution rates of shield mud cakes were analyzed. The research results indicate that when mud cakes are used as a substitute for bentonite, the bleeding rate improves, while fluidity and setting time remain relatively stable. The optimal ratio of cement, fly ash, fine sand, water, bentonite and mud for synchronous grouting materials is 1:2.71:2.61:3.42:0.49:0.16.

Keywords: shield mud cake; microscopic properties; compressive strength; setting time; bleeding rate; fluidity