

机械法联络通道壁后注浆材料优化配比研究及应用

周 晔¹, 朱瑶宏¹, 丁修恒², 刘千斌¹, 张俊杰³, 黄 强¹

(1. 宁波大学 岩土工程研究所, 浙江 宁波 315211; 2. 中铁上海工程局集团有限公司, 上海 200436;

3. 宁波冶金勘察设计研究股份有限公司, 浙江 宁波 315100)

摘要: 机械法联络通道施工时将同步注浆和二次注浆结合为壁后注浆技术, 对注浆材料的初凝时间、抗压强度、收缩性能提出了更高的要求, 为此本文制备了由超细水泥、水玻璃、增黏剂、减水剂和絮凝剂等配制成的新型注浆材料, 通过试验获得其凝结时间、收缩、抗压(折)强度等性能指标, 并与相同组分普通硅酸盐水泥浆液的性能指标进行对比, 推荐了优化配合比. 结果表明: 相对于普通硅酸盐水泥双液浆, 新型双液注浆材料的初凝时间短, 固结收缩率小, 抗压强度高, 可以较好地应用于机械法联络通道施工注浆.

关键词: 机械法; 联络通道; 壁后注浆; 超细水泥; 配合比

中图分类号: U452

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2020) 04-0055-08

同步注浆及二次注浆是盾构法隧道施工必不可少的工序, 该工序可有效控制地面沉降, 确保隧道稳定, 防止隧道出现渗漏. 控制注浆质量的关键是保证注浆材料的流动性、凝结后的强度、抗侵蚀性、干缩性等性能良好. 目前, 国内使用的注浆材料主要有普通硅酸盐水泥、超细水泥、水泥-水玻璃混合液及其他化学浆液. 材料的配比直接影响浆液的性能, 所以国内学者在通过调整设计配比来改善注浆材料性能方面做了大量的研究工作. 王红喜^[1]系统研究了不同水玻璃配比对工业废渣双液注浆材料性能的影响, 得出了水玻璃模数、掺量及粉料比例对双液注浆材料凝胶时间和抗压强度的影响关系. 高翔等^[2]对密度处于 0.08~0.50 g·cm⁻³ 区间的聚氨酯高聚物注浆材料进行了抗压强度试验. 王成等^[3]通过分析管片上浮的主要原因, 提出改进同步注浆设备, 并在盾尾处采用常规同步浆液与聚丙烯酰胺水溶液(双液浆)相混合注入管片与开挖面之间的空隙. 游永锋等^[4]研究了减水剂、聚丙烯纤维及絮凝剂对同步注浆浆液性能的影响. 通过调整胶凝材料组分、水胶比, 添加絮凝剂、有机纤维和减水剂, 制备出抗水分散性好、抗渗性

好的高性能同步注浆材料, 该材料可有效减少管片上浮. 杨卓等^[5]通过掺加纯碱、木钙等措施, 对浆液的配比进行了优化, 探讨了水胶比、粉灰比、膨水比、纯碱和木钙掺量、水泥用量对于浆液性能的影响. 宋普涛等^[6]采用一种新型盾构注浆材料添加剂 Z201, 研究了膨润土、硅灰、甲基纤维素和聚丙烯酰胺掺量对盾构注浆材料初始流动度、经时流动度、初凝时间、抗压强度及抗渗等性能的影响. 矫伟刚等^[7-8]对盾构新型同步注浆浆液与传统浆液进行了性能对比分析, 得到了新型浆液与传统浆液在凝结时间、浆液泌水率、抗剪强度及收缩性的性能差别. 王健等^[9]提出新型碱激发的聚合物双液注浆材料, 分析了水玻璃体积掺量与粉料比例对浆液初、终凝时间, 单轴抗压强度, 抗侵蚀性及干缩性的影响规律.

我国软土地区施工地铁联络通道普遍采用冰冻法. 然而冰冻法施工存在两大问题: 一是冻结施工时间长; 二是冻结区消融会引起地表下沉过大. 机械法施工可有效解决以上两大问题.

机械法联络通道是在两条主隧道之间使用小型盾构机拼装联络通道的管片, 如图 1 所示^[10]. 盾

构法联络通道衬砌为装配式单层钢筋混凝土衬砌, 外径 3 150 mm, 壁厚 250 mm, 环宽 550 mm, 混凝土强度 C50, 抗渗等级 P10, 全环共分为 5 块, 错缝拼装. 管片接缝采用螺栓连接, 管片与管片接缝采用粘贴遇水膨胀止水条止水. 施工期联络通道内状况如图 2 所示.

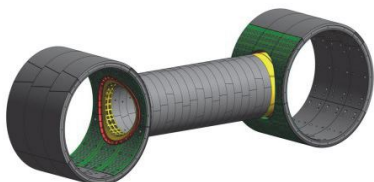


图 1 机械法联络通道模型



图 2 机械法联络通道施工

由于盾构机推进时会在地层与管片之间产生盾尾缝隙, 所以需要通过注浆填充这些缝隙以控制地面沉降并保证隧道稳定. 常规盾构隧道施工时, 为及时填充盾尾缝隙, 采用同步注浆加管片壁后二次注浆的施工工艺. 同步注浆是在盾构推进的同时通过盾壳的注浆管及时注浆以填充盾尾缝隙. 同步注浆材料为水泥砂浆, 该砂浆由有机膨润土、聚丙烯酰胺、羧甲基纤维素钠、植物胶、黄原胶、减水剂等组成. 壁后双液注浆是在管片拼装完成后, 利用管片上的注浆孔进行双液注浆. 壁后二次注浆浆液采用双液浆, 分为 A 液(水泥+水)和 B 液(水玻璃+水). 由于联络通道施工用的小型盾构机作业空间小, 无法安装同步注浆设备, 所以机械法联络通道施工时只能进行管片壁后注浆^[11]. 所以实施过程中, 对注浆材料初凝时间、抗压强度、抗渗性能提出了更高的要求. 为此本文制备了由超细水泥(SPC)、水玻璃、增黏剂、减水剂和絮凝剂等配制成的新型注浆材料, 通过试验获得其凝结时间、收缩、抗压(折)强度等性能指标, 并与相同组分普通硅酸盐水泥(S)浆液的性能指标进行对比, 推荐了优化配合比, 为机械法联络通道进行壁

后双液注浆施工提供依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

机械法联络通道壁后注浆技术要求: (1)凝结时间短, 可有效控制管片沉降; (2)收缩变形小, 降低施工后期由于浆液缺陷导致的隧道次生沉降; (3)抗压强度大, 保证浆液凝固后可有效支撑上部荷载. 根据宁波地区盾构隧道二次注浆经验及地层情况, 机械法联络通道壁后注浆拟采用新型双液浆, 其性能指标要求如下: 胶凝初凝时间小于 2 min; 固结体强度 1 d 不小于 0.2 MPa, 28 d 不小于 2.5 MPa.

根据目前国内盾构隧道二次注浆应用情况, 新型双液浆拟采用如下原材料.

(1)水泥: SPC 超细水泥, 初凝 ≥ 2 h, 平均粒径小于 5 μm , 颗粒级配法大于 800 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$; S32.5R 普通硅酸盐水泥, 品质符合通用硅酸盐水泥标准^[12]的要求. (2)水玻璃(碱激发剂): 模数 $m=3.2$, 波美度(Be)为 38. (3)絮凝剂: 阴离子聚丙烯酰胺(PAM), 白色粉末或者小颗粒状物, 密度为 1.32 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (23 $^{\circ}\text{C}$), 玻璃化温度为 188 $^{\circ}\text{C}$, 可以降低液体之间的摩擦阻力. (4)减水剂(PE): 聚羧酸系高性能减水剂, 白色粉末. (5)缓凝剂: 磷酸氢二钠, 白色或无色斜方晶体或单斜晶系结晶, 易溶于水, 不溶于乙醇, 相对密度为 1.52, 熔点 34.6 $^{\circ}\text{C}$, 180 $^{\circ}\text{C}$ 时失去结晶水成无水物.

1.2 试验方法

(1)初凝时间、收缩试验参照建筑砂浆基本性能试验方法标准^[13]进行.

(2)抗压(折)强度试验方法参照水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)^[14]进行, 注浆材料试验采用 40 mm $\times$ 40 mm $\times$ 160 mm 试模浇筑成型.

2 试验结果及分析

2.1 初凝时间

采用基准配合比, 在不同水灰比(1:1、1:0.75 和 1:0.5)、AB 液体积比(1:1、1:0.7、1:0.5 和 1:0.3)的条件下(水玻璃的 Be 值为 38), 对比测定 SPC 超细水泥和普通硅酸盐水泥双液浆的初凝时间, 结果见表 1. 从表 1 可以看出: 在相同 AB 液体积比

下, 水灰比越大, 初凝时间越长. 在试验过程中, 水灰比为 1:0.75 和 1:0.5 时, 双液浆易出现开裂现象, 尤其是普通硅酸盐水泥, 故后续试验的水灰比采用 1:1. 随着 AB 液体积比的增大, 即水玻璃掺量减少, 初凝时间呈减小趋势. 在相同组分条件下, 普通硅酸盐水泥双液浆的初凝时间通常大于 SPC 超细水泥双液浆的值. 只有当 AB 液体积比较大, 水灰比较小, 即水泥掺量很高时, 普通水泥的初凝时间略小于超细水泥, 见表 1 中 3~4 组数据.

表 1 基准配比双液浆(Be 值为 38)初凝时间				
组别	AB 液 体积比	水灰 比	初凝时间/min	
			普通硅酸盐水泥	SPC 超细水泥
1	1:1	1:1	3.09	2.33
2	1:0.7	1:1	2.28	1.80
3	1:0.5	1:1	1.67	1.74
4	1:0.3	1:1	1.66	1.73
5	1:1	1:0.75	5.98	3.28
6	1:0.7	1:0.75	3.71	2.18
7	1:0.5	1:0.75	2.68	1.96
8	1:0.3	1:0.75	2.63	1.93
9	1:1	1:0.5	13.03	5.00
10	1:0.7	1:0.5	8.88	3.43
11	1:0.5	1:0.5	9.35	3.06
12	1:0.3	1:0.5	7.90	4.44

图 3 为温度对普通硅酸盐水泥双液浆和 SPC 超细水泥双液浆初凝时间的影响, 可以看出: 随着温度的升高, 两种水泥双液浆的初凝时间均有一定的减少.

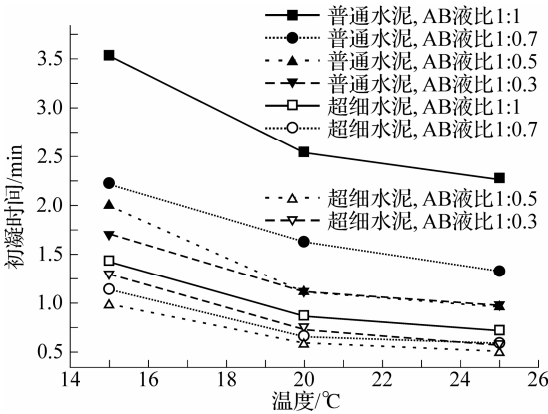


图 3 温度对初凝时间的影响(Be 值 38, 水灰比 1.0)

在基准配合试验后, 对不同组分 SPC 超细水泥和普通硅酸盐水泥、聚羧酸、磷酸氢二钠、聚丙烯

烯酰胺制备的新型双液浆开展初凝时间试验, 水灰比取 1:1, AB 液体积比为 1:1、1:0.7、1:0.5 和 1:0.3, 聚羧酸、磷酸氢二钠、聚丙烯酰胺按质量百分比配制, 试验结果见表 2.

表 2 不同组分新型浆液(水灰比为 1:1)初凝时间							
水泥 类型	组别	Be 值	AB 液 体积比	聚羧 酸掺 量/%	磷酸氢 二钠掺 量/%	聚丙烯 酰胺掺 量/%	平均初 凝时间/ min
超细 水泥	超 1	19.6	1:1	1.0	0.5	0.1	5.8
	超 2	19.6	1:0.7	0.8	1.0	0.1	48.9
	超 3	19.6	1:0.5	0.6	2.0	0.2	62.4
	超 4	19.6	1:0.3	0.4	3.0	0.2	96.0
	超 5	26.4	1:1	0.8	2.0	0.2	3.2
	超 6	26.4	1:0.7	1.0	3.0	0.2	3.5
	超 7	26.4	1:0.5	0.4	0.5	0.1	4.5
	超 8	26.4	1:0.3	0.6	1.0	0.1	42.3
	超 9	33.1	1:1	0.6	3.0	0.1	2.3
	超 10	33.1	1:0.7	0.4	2.0	0.1	1.9
	超 11	33.1	1:0.5	1.0	1.0	0.2	2.0
	超 12	33.1	1:0.3	0.8	0.5	0.2	4.1
	超 13	38.0	1:1	0.4	1.0	0.2	1.8
	超 14	38.0	1:0.7	0.6	0.5	0.2	1.2
	超 15	38.0	1:0.5	0.8	3.0	0.1	1.7
	超 16	38.0	1:0.3	1.0	2.0	0.1	1.9
普通 水泥	普 1	19.6	1:1	1.0	0.5	0.1	10.5
	普 2	19.6	1:0.7	0.8	1.0	0.1	51.0
	普 3	19.6	1:0.5	0.6	2.0	0.2	68.0
	普 4	19.6	1:0.3	0.4	3.0	0.2	97.5
	普 5	26.4	1:1	0.8	2.0	0.2	3.9
	普 6	26.4	1:0.7	1.0	3.0	0.2	3.7
	普 7	26.4	1:0.5	0.4	0.5	0.1	3.8
	普 8	26.4	1:0.3	0.6	1.0	0.1	44.3
	普 9	33.1	1:1	0.6	3.0	0.1	3.7
	普 10	33.1	1:0.7	0.4	2.0	0.1	3.0
	普 11	33.1	1:0.5	1.0	1.0	0.2	2.1
	普 12	33.1	1:0.3	0.8	0.5	0.2	2.9
	普 13	38.0	1:1	0.4	1.0	0.2	4.0
	普 14	38.0	1:0.7	0.6	0.5	0.2	2.2
	普 15	38.0	1:0.5	0.8	3.0	0.1	2.2
	普 16	38.0	1:0.3	1.0	2.0	0.1	2.1

运用正交设计助手软件(II3.1), 对表 2 中的数据进行处理, 绘出水玻璃的 Be 值、AB 液体积比以

及聚羧酸、磷酸氢二钠、聚丙烯酰胺掺量等单因素对 SPC 超细水泥和 S32.5R 普通硅酸盐水泥双液浆初凝时间的影响, 结果如图 4 所示. 从图中可以看出: 普通水泥双液浆初凝时间较超细水泥长, 两种水泥双液浆初凝时间均随 Be 值的增大而减小, 随 AB 液体积比、磷酸氢二钠掺量的增大而延长, 随聚羧酸和聚丙烯酰胺掺量的增大而缩短.

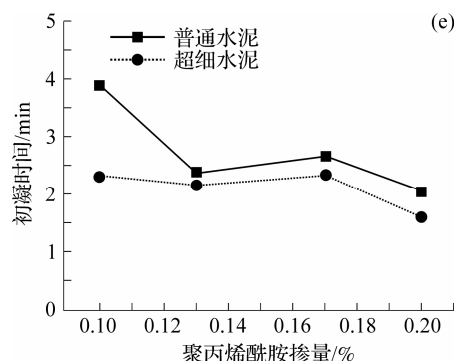
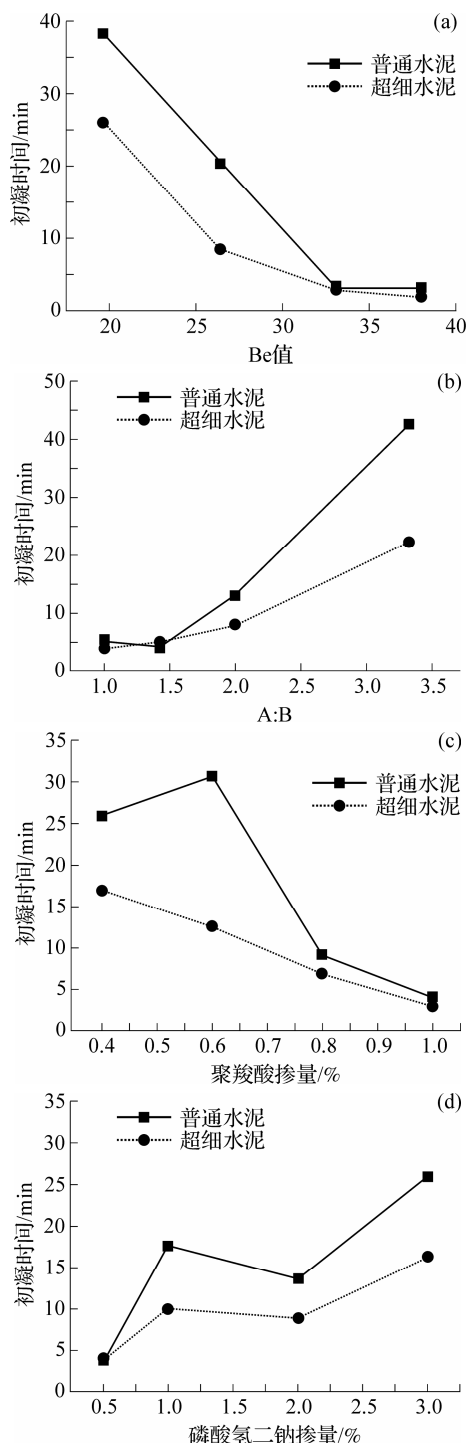


图 4 不同参数对水泥初凝时间影响

2.2 收缩特性

SPC 超细水泥和 S32.5R 普通硅酸盐水泥双液浆试样在相同条件下成型(AB 液体积比为 1:0.5 和 1:0.3). 相对于 SPC 超细水泥, 普通硅酸盐水泥双液浆试样表面出现明显的网状裂纹, 且试样收缩较快、较大, 收缩量为 1~2 mm, 如图 5 所示.

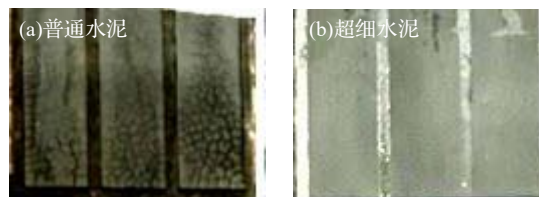


图 5 普通水泥与超细水泥收缩对比

2.3 强度试验结果

(1) 基准配比浆液

注浆材料的强度性能主要指浆液发生水化及硬化反应后生成的凝胶结石体的抗压、抗剪及抗弯强度, 其直接关系到固结体的稳定性、耐久性及可靠性. 因此研究双液浆材料的强度性能对实际工程应用具有重要意义.

首先开展基准配合比条件下 SPC 超细水泥和普通硅酸盐水泥双液浆固结体强度试验, 对标准养护条件下的 40 mm×40 mm×160 mm 试块进行不同龄期(7、14、28 d)的无侧限单轴抗压、抗折强度试验, 结果取 3 个试块的平均值, 如图 6 所示.

在不同水灰比条件下, 抗压强度和抗折强度均随水灰比的增大(1:1→1:0.75→1:0.5)而减小, 例如超细水泥双液浆在水灰比为 1:1 时, 其 28 d 抗折强度为 3.0 MPa, 而水灰比为 1:0.5 时, 其值约为 0.7 MPa; 水灰比为 1:1 时, 普通水泥双液浆 28 d 抗折强度为 1.5 MPa, 而水灰比为 1:0.5 时, 其值约为 0.5 MPa. 在水灰比为 1:1 时, 超细水泥双液浆 28 d

抗压强度为 12.5 MPa (图 6(a)), 为普通水泥双液浆抗压强度 4 MPa 的 3 倍左右, 为相应抗折强度的 3~5 倍(图 6(b)), 而随着水灰比的增大, 其值减小。

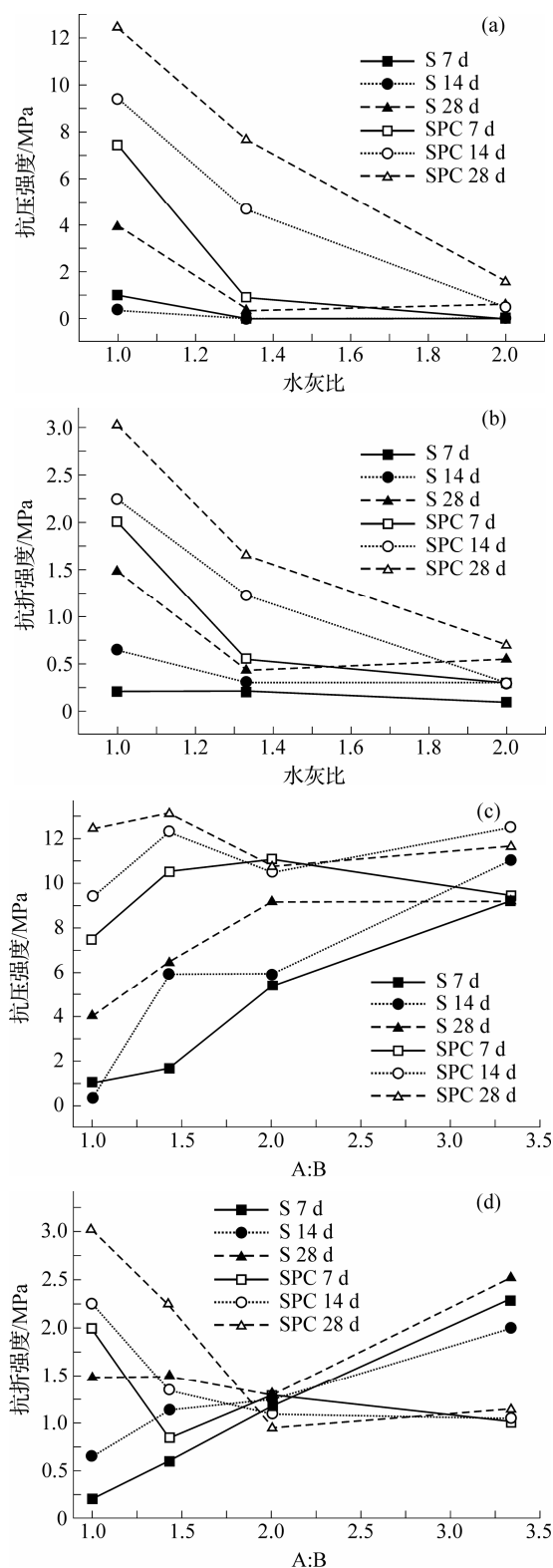


图 6 不同参数下基本浆液强度对比

当水玻璃掺量较少时, 即 AB 液体积比较大, 凝胶固结体的生成量相应较少, 以致固结体抗压强度较低; 当水玻璃掺量较大时, 稀释作用较明显, 也可以导致固结体强度降低. 在水灰比为 1:1 时, 超细水泥双液浆的抗压强度随 AB 液体积比的增大呈现出先增大后减小的趋势; 而对于相同配比的普通水泥双液浆, 其抗压强度总体表现为随 AB 液体积比增大而增大的规律(图 6(c)).

(2) 新型配比浆液

在分析了 SPC 超细水泥和普通硅酸盐水泥基准配比双液浆抗压和抗折强度后, 对按不同组分的 SPC 超细水泥和普通硅酸盐水泥、聚羧酸、磷酸氢二钠、聚丙烯酰胺制备的新型双液浆进行抗压强度试验, 水灰比取 1:1, 试验结果见表 3. 由表 3 可以看出, 在相同组分下, 超细水泥双液浆的抗压、抗折强度总体上高于普通水泥双液浆。

为分析水玻璃的 Be 值, AB 液体积比, 聚羧酸、磷酸氢二钠、聚丙烯酰胺掺量等单因素对 SPC 超细水泥和普通硅酸盐水泥双液浆抗压强度的影响, 利用表 3 中相关数据进行正交计算, 获得各组分单因素与抗压强度的关系曲线, 如图 7 所示。

由图 7 可以看出, 随着水玻璃 Be 值的增大, 两种双液浆抗压强度均呈增大的趋势(图 7(a)). 随着 AB 液体积比的增大(1:1→1:0.3), 普通硅酸盐水泥双液浆的抗压强度从 2 MPa 增大到 7 MPa 左右, 而对于 SPC 超细水泥双液浆, AB 液体积比对 7、14、28 d 的抗压强度影响较小(图 7(b)).

减水剂对 SPC 超细水泥和普通硅酸盐水泥双液浆的抗压强度的影响如图 7(c)所示, 随着聚羧酸减水剂掺量的增加, 普通硅酸盐水泥双液浆的抗压强度有一定的增大, SPC 超细水泥双液浆则相反. 磷酸氢二钠缓凝剂、聚丙烯酰胺絮凝剂对 SPC 超细水泥和普通硅酸盐水泥双液浆抗压强度的影响分别如图 7(d)和 7(e)所示. 随着磷酸氢二钠缓凝剂掺量的增加, 普通硅酸盐水泥双液浆的抗压强度有一定的减小, 但 SPC 超细水泥双液浆的抗压强度变化不大. 随着聚丙烯酰胺掺量的增加, 普通硅酸盐水泥双液浆的抗压强度有一定的增大. 对于 SPC 超细水泥双液浆, 聚丙烯酰胺掺量在 0.23% 时的抗压强度最大。

表3 不同粉料比下的强度

水泥类型	组别	Be 值	AB 液 体积比	聚羧酸 掺量/%	磷酸氢二 钠掺量/%	聚丙烯酰胺掺量/%	抗折强度/MPa			抗压强度/MPa		
							7 d	14 d	28 d	7 d	14 d	28 d
普通水泥	普 1	19.6	1:1	1.0	0.5	0.10	0.8	1.1	1.4	1.2	2.3	3.0
	普 2	19.6	1:0.7	0.8	1.0	0.23	0.9	1.0	0.9	2.4	2.6	3.4
	普 3	19.6	1:0.5	0.6	2.0	0.37	1.2	1.2	1.1	3.2	3.3	4.5
	普 4	19.6	1:0.3	0.4	3.0	0.50	0.8	1.0	1.0	1.7	2.1	2.8
	普 5	26.4	1:1	0.8	2.0	0.50	0.4	1.1	1.2	0.5	2.2	3.6
	普 6	26.4	1:0.7	1.0	3.0	0.37	1.2	1.4	1.2	5.1	3.7	6.5
	普 7	26.4	1:0.5	0.4	0.5	0.23	1.9	1.4	1.3	6.2	7.1	7.4
	普 8	26.4	1:0.3	0.6	1.0	0.10	1.3	1.1	1.3	4.7	4.7	5.7
	普 9	33.1	1:1	0.6	3.0	0.23	0.4	0.4	0.7	0.4	0.6	1.0
	普 10	33.1	1:0.7	0.4	2.0	0.10	0.4	0.8	1.6	0.4	1.3	7.9
	普 11	33.1	1:0.5	1.0	1.0	0.50	1.5	1.4	1.0	6.2	6.6	9.2
	普 12	33.1	1:0.3	0.8	0.5	0.37	1.5	1.7	0.6	8.1	9.5	8.4
	普 13	38.0	1:1	0.4	1.0	0.37	1.1	0.5	0.9	6.7	4.3	2.5
	普 14	38.0	1:0.7	0.6	0.5	0.50	1.5	1.2	1.6	8.7	5.9	8.6
	普 15	38.0	1:0.5	0.8	3.0	0.10	0.5	1.3	1.6	0.8	5.3	9.9
	普 16	38.0	1:0.3	1.0	2.0	0.23	0.5	1.4	1.8	0.9	8.8	10.4
超细水泥	超 1	19.6	1:1	1.0	0.5	0.10	1.2	1.5	1.4	2.9	5.2	6.8
	超 2	19.6	1:0.7	0.8	1.0	0.23	1.0	1.2	1.6	5.4	5.6	6.8
	超 3	19.6	1:0.5	0.6	2.0	0.37	1.1	1.2	1.4	4.2	4.8	5.6
	超 4	19.6	1:0.3	0.4	3.0	0.50	1.2	1.4	1.6	5.4	4.4	6.5
	超 5	26.4	1:1	0.8	2.0	0.50	1.1	1.2	1.2	3.4	6.6	6.4
	超 6	26.4	1:0.7	1.0	3.0	0.37	1.2	1.1	1.2	6.1	5.2	4.7
	超 7	26.4	1:0.5	0.4	0.5	0.23	1.2	1.4	1.7	7.8	5.5	7.8
	超 8	26.4	1:0.3	0.6	1.0	0.10	1.1	1.2	1.7	6.2	7.6	7.1
	超 9	33.1	1:1	0.6	3.0	0.23	1.0	1.6	1.8	7.3	9.4	8.3
	超 10	33.1	1:0.7	0.4	2.0	0.10	1.0	1.2	1.3	7.4	10.5	7.2
	超 11	33.1	1:0.5	1.0	1.0	0.50	1.1	1.3	0.0	9.0	7.6	6.3
	超 12	33.1	1:0.3	0.8	0.5	0.37	1.5	1.2	0.4	8.0	5.0	5.3
	超 13	38.0	1:1	0.4	1.0	0.37	1.2	2.1	1.9	3.8	7.4	9.1
	超 14	38.0	1:0.7	0.6	0.5	0.50	1.4	1.9	1.3	10.4	9.2	11.7
	超 15	38.0	1:0.5	0.8	3.0	0.10	0.9	1.2	1.3	6.8	6.3	8.2
	超 16	38.0	1:0.3	1.0	2.0	0.23	1.0	0.9	2.0	9.1	8.7	9.5

SPC 超细水泥在凝结时间、收缩、抗压(折)强度方面较普通硅酸盐水泥双液浆有较大的优势. 通过大量的试验, 对不同添加剂的作用进行分析, 可得如下几点结论: (1)水灰比为 1:1 时, 双液浆不易出现开裂; (2)从图 4(b)可以看出, AB 液体积比为 1:1 时, 超细水泥的初凝时间最小; (3)从图 7(c)可以

看出, 聚羧酸掺量为 0.6% 时, 双液浆凝固体的抗压强度最高; (4)从图 7(d)可以看出, 磷酸氢二钠掺量为 0.5% 时, 双液浆凝固体的抗压强度最高; (5)从图 7(e)可以看出, 聚丙烯酰胺掺量为 0.2% 时, 双液浆凝固体的抗压强度最高. 综上, 得出表 4 所示的优化配合比, 可供本地区机械法联络通道施工对

注浆要求作参考。

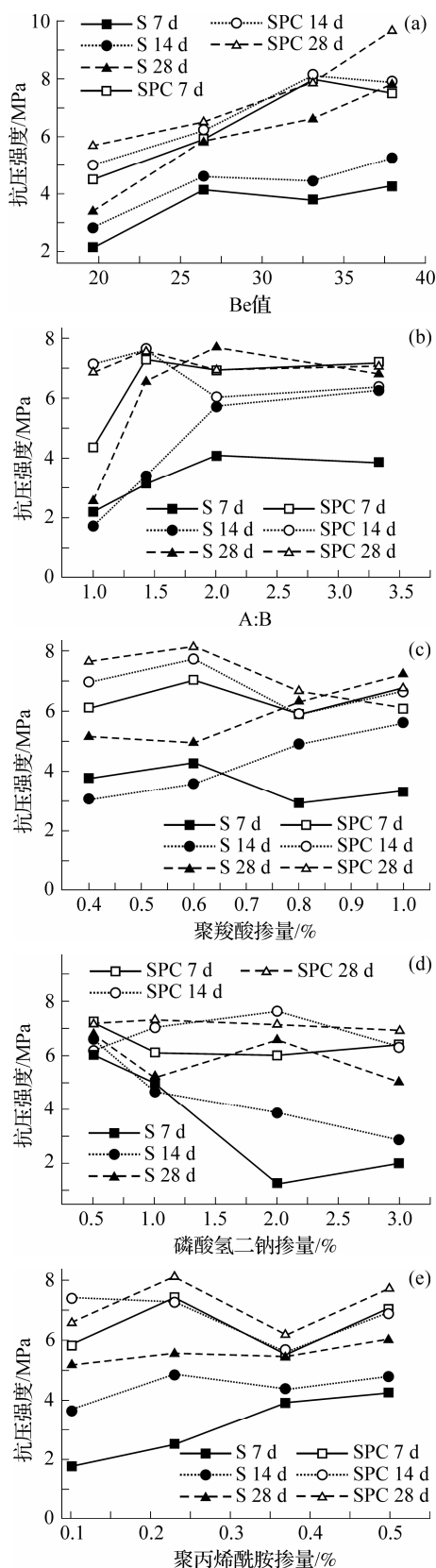


图7 不同参数下新型浆液抗压强度对比

表4 SPC超细水泥双液浆优化配合比

Be 值	AB 液 体积比	水灰 比	聚羧酸 掺量/%	磷酸氢二 钠掺量/%	聚丙烯酰胺掺量/%
38	1:1	1:1	0.6	0.5	0.2

3 现场使用

壁后双液注浆施工是联络通道盾构施工的配套工艺,其目的是为了及时填充盾尾缝隙。由于小盾构机仅适用于不富含地下水的软土地区进行短距离施工,所以该双液浆也仅适用于不富含水的软土地区。一旦用于富水的砂土地层,双液浆将沿富水地层的缝隙向外扩散,致使浆液无法有效填充盾尾缝隙。宁波市轨道交通3号线高姜区间机械法联络通道施工采用本文推荐的配合比进行壁后双液注浆。通道完工后,隧道内无管片接缝渗水及管片开裂的情况,说明该双液浆可用于宁波软土地区的机械法联络通道施工。

4 结论

为解决机械法联络通道壁后双液注浆的配比问题,通过对不同组分的SPC超细水泥、水玻璃、絮凝剂、减水剂和缓凝剂配制的新型双液浆的初凝时间、抗压强度进行测试,并与相同掺量的S32.5R普通硅酸盐水泥配制的新型双液浆进行对比,主要结论如下:

(1)相同配比下,SPC超细水泥双液浆初凝时间较普通水泥双液浆短。两种双液浆随AB液体积比、磷酸氢二钠掺量的增加而延长,随聚羧酸减水剂和聚丙烯酰胺掺量的增加而缩短。

(2)SPC超细水泥双液浆收缩性小,而普通硅酸盐水泥双液浆收缩较快、较大,表面出现明显的网状裂纹。

(3)SPC超细水泥双液浆抗压(折)强度较普通水泥双液浆大,随着水玻璃Be值的增大,两种水泥双液浆的抗压强度均呈增大的趋势。聚羧酸、磷酸氢二钠、聚丙烯酰胺掺量单因素对SPC超细水泥双液浆的影响较小,而对普通硅酸盐水泥双液浆影响较大。

参考文献:

[1] 王红喜. 高性能水玻璃悬浊型双液灌浆材料研究与应

- 用[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.
- [2] 高翔, 黄卫, 魏亚, 等. 聚氨酯高聚物注浆材料抗压强度测试与模拟[J]. 复合材料学报, 2017, 34(2):438-445.
- [3] 王成, 王国义. 盾构隧道同步注浆新型双液注浆材料的研究与应用[J]. 隧道建设, 2017, 37(4):416-420.
- [4] 游永锋, 梁奎生, 谭华灵. 盾构快速掘进下同步注浆材料优化配合比设计[J]. 隧道建设, 2012, 32(6):816-820.
- [5] 杨卓, 陈洪光. 盾构隧道同步注浆浆液配比分析及优化设计[J]. 隧道建设, 2009, 29(增 2):29-32.
- [6] 宋普涛, 王晶, 周永祥, 等. 耐水抗渗型高性能盾构同步注浆材料性能研究[J]. 硅酸盐通报, 2017, 36(2):438-442; 448.
- [7] 矫伟刚, 张凯, 房宽达, 等. 盾构同步注浆材料配比试验研究[J]. 市政技术, 2015, 33(6):175-179.
- [8] 矫伟刚, 丁彦杰, 张凯, 等. 盾构新型同步注浆浆液性能试验对比研究[J]. 施工技术, 2016, 45(增 1):484-487.
- [9] 王健, 张乐文, 冯啸, 等. 碱激发地聚合物双液注浆材料试验与应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 34(增 2):4418-4425.
- [10] 丁修恒, 文毅然, 郑明飞, 等. 机械法联络通道-隧道系统地震荷载响应分析[J]. 土木工程学报, 2019, 52(增 2):193-200.
- [11] 朱瑶宏, 董子博, 尹铁锋, 等. 地下空间联络通道微加固机械法 T 接技术探索[C]//中国土木工程学会 2017 年学术年会论文集, 2017:138-147.
- [12] GB 175-2007. 通用硅酸盐水泥[S].
- [13] JGJ/T 70-2009. 建筑砂浆基本性能试验方法标准[S].
- [14] GB/T 17671-1999. 水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)[S].

Application of optimized proportion of grouting material posterior to mechanical connection channel

ZHOU Ye¹, ZHU Yaohong¹, DING Xiuheng², LIU Ganbin¹, ZHANG Junjie³, HUANG Qiang¹

(1.Institution of Geotechnical Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Shanghai Civil Engineering Co., Ltd. of CREC, Shanghai 200436, China;

3.Ningbo Metallurgical Investigation & Design Research Co., Ltd., Ningbo 315100, China)

Abstract: Synchronous grouting and secondary grouting are combined into the technology of grouting following segment in the construction of mechanical connected aisle. Higher requirements are put forward for the initial setting time, compressive strength and shrinkage performance of grouting materials. In this paper, a new type of grouting material is prepared with superfine cement (SPC), water glass, tackifier, water reducer and flocculant. The setting time, shrinkage, compressive (folding) strength and other performance are obtained through the test. The performance of new grouting material is compared against the ordinary Portland cement (S) slurry. The recommended mixing ratio is proposed through the above experiments. The results show that, compared with ordinary Portland cement double liquid slurry, the new double liquid grouting material has shorter initial setting time, smaller consolidation shrinkage and higher compressive strength that can be applied to the construction of mechanical connected aisle grouting.

Key words: mechanical method; communication channel; post-wall grouting; superfine cement; mix ratio

(责任编辑 韩 超)