

文章编号:2095-7386(2022)01-0058-06

DOI:10.3969/j.issn.2095-7386.2022.01.010

套筒灌浆料性能影响因素的研究

吴世芳,付弯弯,任皓,周微,吕格云

(武汉轻工大学 土木工程与建筑学院,湖北 武汉 430023)

摘要:套筒灌浆料的工作性能对装配式建筑质量有至关重要的影响,其中流动度、抗压强度和微膨胀性对预制构件连接影响最为关键。笔者研究了不同水胶比、硫铝酸盐水泥、减水剂和石英砂的级配对套筒灌浆料流动度、抗压强度的影响。结果显示,随着水胶比的增大流动度不断增大而抗压强度先增大后降低;硫铝酸盐水泥掺量在低于10%流动度无明显变化,在掺量大于10%流动度不断降低,在掺量为30%时30分钟流动度低于280 mm,而早期抗压强度呈增大的趋势;减水剂的添加可有效改善流动度,但掺量大于1%时会降低流动度和抗压强度;在粗砂质量固定下,随着中砂质量降低细砂质量增大,流动度整体呈现下降趋势而抗压强度先增大后降低;综合考虑,在水胶比为0.26,硫铝酸盐水泥占胶凝材料总质量25%,减水剂为总胶凝材料的1%,石英砂颗粒级配 $m(\text{粗}):m(\text{中}):m(\text{细})=5:3:2$ 时,套筒灌浆料的流动度和抗压强度较佳。

关键词:装配式建筑、套筒灌浆料、流动度、抗压强度

中图分类号:TU 528

文献标识码:A

Study on influencing factors of performance of sleeve grouting material

WU Shi-fang, FU Wan-wan, REN Hao, ZHOU Wei, LYU Ge-yun

(School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan Polytechnic University, Hubei Wuhan 430023, China)

Abstract: The working performance of sleeve grouting material has a crucial influence on the quality of prefabricated buildings, among which fluidity, compressive strength and micro expansibility are the most important factors. The effect of different water - binder ratio, sulphoaluminate cement, water - reducing agent and quartz sand on the fluidity and compressive strength of sleeve grouting material was studied. The results show that with the increase of water - binder ratio, the fluidity increases and the compressive strength increases first and then decreases. When the content of sulphoaluminate cement is lower than 10%, there is no obvious change in fluidity. When the content of sulphoaluminate cement is greater than 10%, it decreases continuously. When the content of sulphoaluminate cement is 30%, the fluidity is lower than 280 mm in 30 minutes, and the early compressive strength increases. The addition of water reducing agent can effectively improve the fluidity, but when the dosage is more than 1%, the fluidity and compressive strength will be reduced. When the coarse sand mass is fixed, the fluidity decreases with the decrease of medium sand mass and the increase of fine sand mass, while the compressive strength increases first

收稿日期:2022-01-12.

作者简介:吴世芳(1994-),女,硕士研究生,2879877618@qq.com.

通讯作者:付弯弯(1990-),女,博士,讲师,E-mail:whwanwanfu@whpu.edu.cn.

基金项目:武汉轻工大学校立科研项目(2021Y40);武汉轻工大学校立科研项目(2022Y27);湖北省住房和城乡建设厅2021年度建设科技计划项目.

and then decreases. Overall consideration, when the water – binder ratio is 0.26, sulphoaluminate cement accounts for 25% of the total weight of the cementing material, water reducing agent is 1% of the total cementing material, and the particle size distribution of quartz sand is M (coarse): M (medium): M (fine) = 5: 3: 2, the mobility and compressive strength of the sleeve grouting material are the best.

Key words: prefabricated building, sleeve grouting material, fluidity, compressive strength

1 引言

为解决传统房屋建筑带来的环境污染、资源浪费及劳动力短缺等问题,住建部推出大力发展装配式建筑,提高装配式建筑在住房建筑所占比例。装配式建筑就是将工厂预制的构件运送到现场进行安装、节点浇筑连接形成整体,节点连接是建筑构件的传力枢纽也是装配式建筑中最薄弱的部位^[1,2],所以节点连接方式和质量至关重要。目前应用最广泛的构件连接方式是钢筋套筒灌浆连接方式,是在套筒与钢筋套环中浇筑灌浆料将钢筋与套筒紧密连接,从而将构件连接起来形成一个稳固的整体^[3-6]。因此,套筒灌浆料的工作性能影响着构件连接的质量,进而影响装配式建筑的整体性和抗震性能。为保证装配式建筑的整体质量,就需要保证灌浆料具有良好的流动性、抗压强度、微膨胀性及和易性^[7,8];而流动性是保证正常施工的前提条件,强度大小是保证构件之间黏结形成整体避免结构受到外力影响坍塌和毁坏,因此有必要对影响套筒灌浆料的流动度和抗压强度的原料进行研究。

钢筋套筒灌浆料是以水泥为胶凝材料,坚硬的砂为细骨料、外加剂和其它矿物掺和料组成干混料,加水搅拌后具有良好流动性、早强、高强、微膨胀等性能^[9],依靠套筒灌浆料自身流动度和注浆枪将浆体填充到套筒和带肋钢筋间隙内。针对套筒灌浆料的原料组成对水胶比、硫铝酸盐水泥、减水剂、石英砂的级配对其流动度和强度的影响进行研究。

2 试验

2.1 原材料

水泥:山东潍坊杨春山水牌的普通硅酸盐水泥 PO52.5,山东青岛卓能达牌硫铝酸盐水泥 SAC42.5;细骨料:选用粒径为 1.0 ~ 2.0 mm、1.0 ~ 0.5 mm、0.5 ~ 0.0 mm 的石英砂,二氧化硅含量大于 90%;硅灰:SiO₂ 含量约为 95% 的优质硅灰用量为占胶凝材料总质量的 3%;减水剂:瑞士西卡高效率减水剂

530P;水:自来水。

2.2 设备仪器

水泥胶砂搅拌机、160 mm × 40 mm × 40 mm 试模、微机控制压力试验机、流动度测试仪、玻璃板、钢直尺。

2.3 试验方法

钢筋套筒灌浆料规定的测试性能指标如表 1,根据 JG/T 408—2019《钢筋连接用套筒灌浆料》中的附录 A 和附录 B^[10]中对流动度和抗压强度的规范要求进行测试;在搅拌过程中慢搅 1 分钟使各成分混合均匀,加水搅拌 1 分钟,快搅拌 2 分钟后进行流动度测试,装入模具放置在 20 ℃ ± 2 养护箱进行养护,之后进行强度测试。

表 1 套筒灌浆料性能的技术指标

检测项目		性能指标
流动度	初始	≥300 mm
	30min	≥280 mm
	1d	≥35 MPa
抗压强度	3d	≥60 MPa
	28d	≥85 MPa
竖向膨胀率	3h	≥0.02
	24h 与 3h 差值	0.02 ~ 0.5
氯离子含量(%)		≤0.03
泌水率(%)		0

3 实验结果分析

3.1 对套筒灌浆料流动度的影响

3.1.1 水胶比的影响

选用粒径为 1.0 ~ 2.0 mm 的石英砂,硫铝酸盐水泥:普通硅酸盐水泥:硅灰为 0.00:0.97:0.03,外加剂为胶凝材料的 0.8%,研究不同水胶比对套筒灌浆料流动性和强度的影响。

通过试验研究得出水胶比对套筒灌浆料初始流动和 30 分钟流动度的影响如表 2 所示,从表中看出在水胶比为 0.22 时,套筒灌浆料的流动度低于 300 mm 是不符合规范流动度;在水胶比大于 0.22 时,套筒浆料的初始流动度和 30 分钟流动度都是大

于 300 mm、280 mm,且随着水胶比的增大,流动度也不断的变大,这是因为随着水胶比增大,除参与套筒灌浆料水化反应的水外,自由水不断增多对胶凝材料和骨料颗粒起到润滑作用,降低颗粒间的摩擦力和范德华力致使浆体的流动度增大^[11]。但当水

胶比大于 0.26 时,制备的套筒灌浆料在玻璃板上进行流动测试时,最外围会有一圈水泥浆液析出(如图 1b,c 所示),显然随着水胶比增大,流动度是增大了,但浆体的和易性却变差了,且出现泌水和分层的现象,因此根据实际情况选择水胶比的大小。

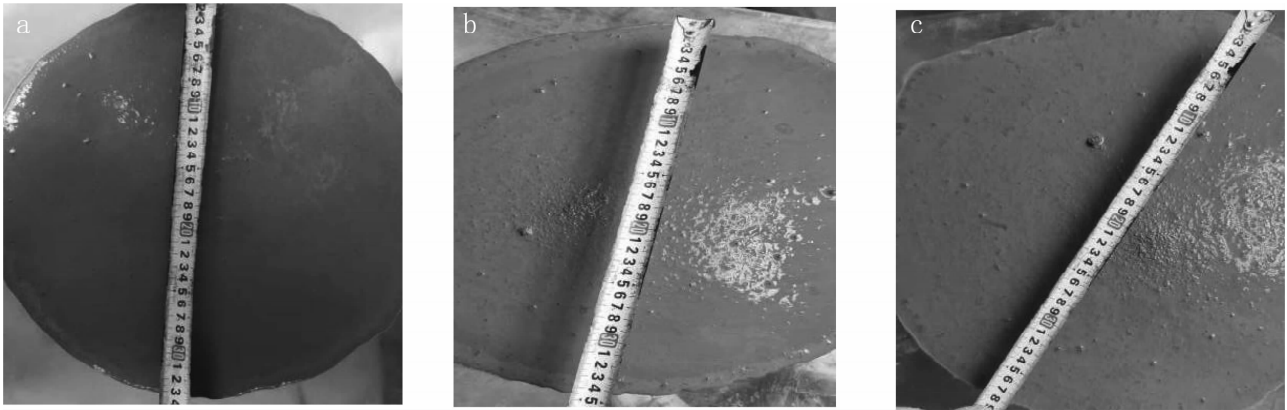


图 1 流动度的测试图(a,b,c 水胶比分别为 0.26,0.28,0.30)

表 2 水胶比对套筒灌浆料性能的影响

水胶比	流动度(mm)		抗压强度(MPa)			
	初始	30 分钟	1d	3d	28d	
0.22	280	220	28.89	56.49	78.89	
0.24	330	290	30.08	63.50	82.56	
0.26	336	310	36.02	65.33	89.95	
0.28	343	325	32.37	61.03	85.41	
0.30	371	330	22.54	46.33	73.55	

3.1.2 胶凝材料的影响

选择水胶比为 0.26,1.0 ~ 2.0 mm 的石英砂为骨料,减水剂为胶凝材料的 0.8%,在胶凝材料总量不变下研究硫铝酸盐水泥的掺量对套筒灌浆料影响,由图 2 中的可知,在胶凝材料总量不变的情况下,硫铝酸盐水泥掺量在 0% ~ 10% 时灌浆料的初始流动度无明显变化,在掺量大于 10%,初始流动度明显呈下降趋势,在掺量为 30% 时,初始流动度低于 310 mm,但都是大于规范要求的 300 mm。套筒灌浆料 30 分钟的流动度随硫铝酸盐水泥的掺量增大整体呈现下降趋势,在掺量为 30% 时,初始流动度和 30 分钟流动度分别为 309 mm 和 278 mm,初始流动度满足规范要求的大于 300 mm,而 30 分钟流动度却不满足,由此可知在硫铝酸盐水泥比例应小于 30%,才会使套筒灌浆料的流动度满足规范要求。

3.1.3 减水剂的影响

由上述试验可知,在水胶比一定下,硫铝酸盐水泥掺量会降低套筒灌浆料的流动度,因此通过添加

减水剂用量改善其流动度的大小。

选择水胶比为 0.26,胶凝材料中硫铝酸盐水泥:硅酸盐水泥: 硅灰为 0.25:0.72:0.03 其他用量不变,研究减水剂对套筒灌浆料的性能的影响,试验结果如图 3。由图 3 可知减水剂用量的增大,套筒灌浆料的流动度呈现正向增大趋势。这是由于水泥在加水搅拌后,水泥颗粒相互吸引使浆体形成絮凝结构,而这种絮凝结构会把 10% ~ 30% 的水包裹起来,致使这些水分子不能自由流动起到润滑颗粒的效果,最终影响套筒灌浆料的流动度,而聚羧酸减水剂会破坏这种絮凝结构,促进水泥颗粒相互分散,释放出被包裹的水分子使其参与流动,提高水分子的利用率^[12,13],但减水剂掺量过大也会导致泌水现象发生,因此添加适量减水剂才有利于整体性能的发展。

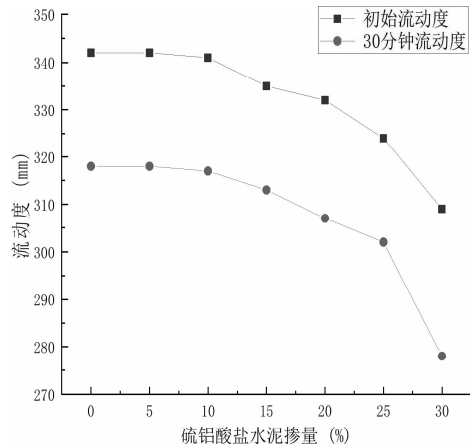


图 2 硫铝酸盐水泥对套筒灌浆料流动度的影响

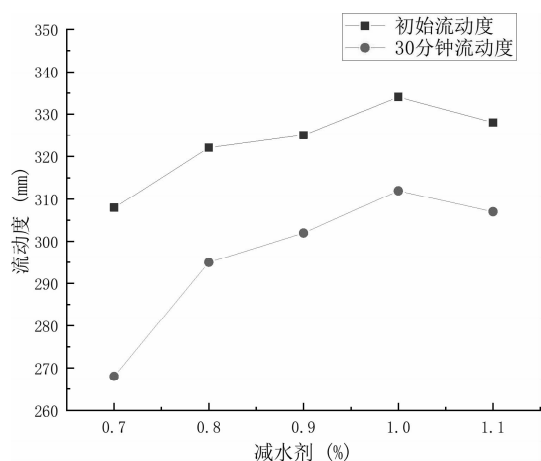


图3 减水剂对套筒灌浆料流动度的影响

3.1.4 石英砂级配的影响

石英砂的级配对套筒灌浆料的流动度和内部结构密实性有着很大的影响。在以上得到最佳配比基础上,采用三种不同级配的砂(1.0~2.0 mm、1.0~0.5 mm、0.5~0.0 mm)在总质量不变下固定粗砂比例研究中砂和细砂对流动度和强度的影响,试验结果见表3。

表3 石英砂的级配对套筒灌浆料的流动度和强度的影响

砂的质量比 (粗:中:细)	初始流动度 (mm)	抗压强度(MPa)		
		1d	3d	28d
5:5:0	342	44.12	62.80	88.28
5:4:1	338	47.93	65.08	89.97
5:3:2	340	54.86	70.87	92.21
5:2:3	333	57.31	68.45	90.44
5:1:4	325	50.56	64.33	85.63
5:0:5	327	41.33	63.45	80.24
0:5:5	318	39.11	63.70	76.42

由表3的试验结果可知,在粗砂量不变的情况下,随着中砂量降低细砂增多,流动度呈现一种波浪式下降,在 $m(\text{粗}):m(\text{中}):m(\text{细})=5:5:0$ 、 $5:0:5$ 、 $0:5:5$,流动度不断下降的,说明砂的粒径越小总比表面积越大,所需要的自由水越多,使得套筒灌浆料可游离自由水越少,且比表面积的增大,使得颗粒间的摩擦力和范德华力增大,致使流动度降低。

3.2 对套筒灌浆料抗压强度的影响

3.2.1 水胶比的影响

由表2可知不同龄期抗压强度都随着水胶比的增大呈现先增大后降低这样的趋势。在水胶比为0.22和0.24时,各龄期的抗压强度大多未达到规

范要求,这是因为在较低水胶比下并不是所有的自由水都参与水化反应,并且水泥水化反应会释放热量蒸发一部分水分,使得可参与反应的自由水更少,使得部分水泥未能参与水化反应中去只起到填充空隙的作用^[14],从而套筒灌浆料在较低水胶比下早期抗压强度不是很高。在水胶比大于0.28时,套筒灌浆料中的除参与水化反应的水分外,多余的自由水会使套筒灌浆料发生分层同时增大浆体内部孔隙率,致使套筒灌浆料的抗压强度降低,并观察试块的断截面,发现断面有气泡层、水泥浆层、砂浆层三个层次严重影响套筒灌浆料性能进而影响建筑质量,从和易性和强度流动度考虑在0.26最佳。

3.2.2 胶凝材料的影响

由于在钢筋套筒中灌注灌浆料这一环节是整个装配式建筑中连接上下构件传递荷载的关键枢纽,要求制备的套筒灌浆料的1 d、3 d、28 d的强度大于35 MPa、60 MPa、85 MPa。普通硅酸盐水泥虽然具有价格低廉,凝结时间长的优势但其早期强度发展缓慢、结石率低的不足,使得其不能应用于对强度有较高要求的建筑工程中,而硫铝酸盐水泥虽然具有快硬早强且固化后内部结构密实的特点,但其反应速率过快不利于现场施工^[15],因此,通过复掺两种水泥使得胶凝材料同时具备两种水泥的优点使得制备套筒灌浆料既可满足早期强度又可满足后期的高强度同时弥补水化后的体积收缩,又有足够的施工时间。复配胶凝材料制备套筒灌浆料各龄期抗压强度,试验结果如图4所示。

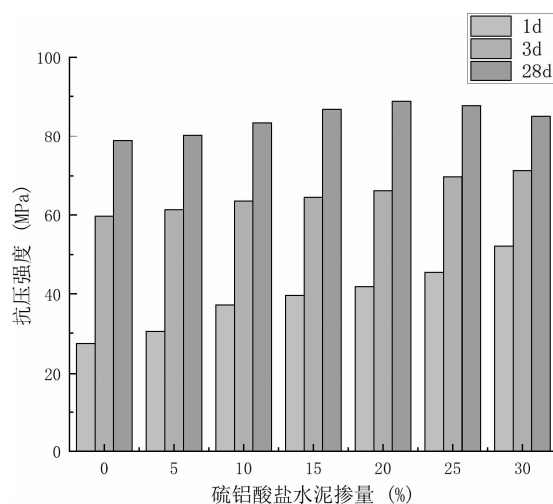


图4 硫铝酸盐水泥对套筒灌浆料抗压强度的影响

由图4中可知1 d和3 d的抗压强度随着硫铝酸盐水泥掺量增加而增大,28 d的抗压强度先增大

后降低;这是由于硫铝酸盐水泥熟料无水硫铝酸钙矿物具有快硬、早强和微膨胀的性能对早期强度和微膨胀性发挥重要的作用,而普通硅酸盐水泥对后期强度起主要作用,所以硫铝酸盐水泥和普通硅酸盐水泥在合理复配下,可使套筒灌浆料不同龄期抗压强度达到较好的水平;硫铝酸盐水泥和硅酸盐水泥复配早期水化反应生成钙矾石、铝胶和硅酸钙胶凝材料填充在骨料颗粒之间加固了套筒灌浆料内部结构的密实程度,故有利于提高套筒灌浆料早期强度,且钙矾石形成体积微膨胀可弥补硅酸盐水泥早期水化的体积收缩;但钙矾石生成量过多时,会造成体积开裂,致使后期强度不高及抗腐蚀性差^[16]。从套筒灌浆料的流动度、各龄期的抗压强度及经济性考虑硫铝酸盐水泥掺量在 25% 时,套筒灌浆料性能最佳。

3.2.3 减水剂的影响

从图 5 可以看出减水剂对套筒灌浆料不同龄期抗压强度的影响是先增大后降低的状况,这是由于减水剂通过破坏水泥水化产生絮状产物的内部结构释放出自由水,使得未参与水化反应的水泥充分进行水化,且自由水的释放使得套筒灌浆料的空隙结构得到优化,提高了浆体和易性,进而增大套筒灌浆料的密实程度从而增大了强度,但减水剂过多会降低套筒灌浆料整体和易性。综合考虑减水剂用量为 1% 时流动度和抗压强度表现最好。

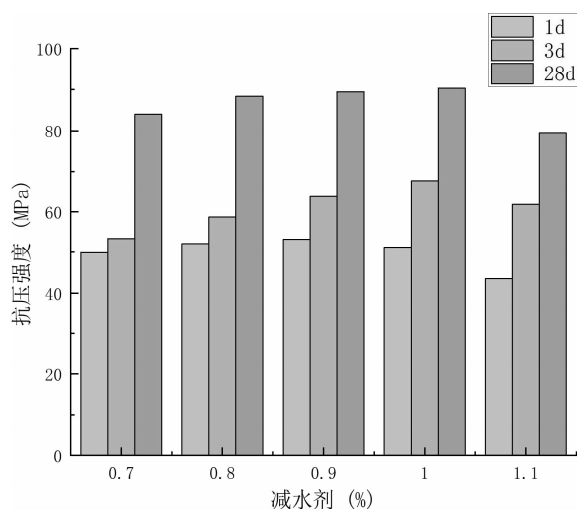


图 5 减水剂对套筒灌浆料强度的影响

3.4.4 石英砂级配的影响

石英砂的级配对超早强灌浆料抗压强度的影响。随着石英砂级配的变化,抗压强度呈先增大后降低趋势。从表 3 可知,在 $m(\text{粗}):m(\text{中}):m(\text{细})$

$=5:3:2$ 或 $5:2:3$ 时,套筒灌浆料试件的各龄期抗压强度最大,在 $m(\text{粗}):m(\text{中}):m(\text{细})=5:5:0,5:0:5,0:5:5$ 抗压强度相比其他偏低,可见,在合理的石英砂级配中,粗砂的空隙可由细度较细的中砂进行填充,中砂的空隙由细沙来填补,而细砂的空隙则由细度更小的胶凝材料和矿物掺和料来填补^[17],使得套筒灌浆料的结构就越密实,而当石英砂的级配中只有粗中细任意两种粒径的砂时,石英砂总的比表面积过大,需更多的水和胶凝材料才能包裹,而试验过程中其它原料都不变,所以不合理的骨料级配对套筒灌浆料的流动度和强度是不利的。

4 结论

由实验结果可知,以普通硅酸盐水泥为胶凝材料在不同水胶比下制备的套筒灌浆料,其流动度随着水胶比的增大而不断增大,套筒灌浆料试块的不同龄期抗压强度先增大后降低,但早期强度不高,综合考虑在水胶比为 0.26 时,套筒灌浆料的流动度和抗压较佳。

在水胶比为 0.26,以不同比例硫铝酸盐水泥取代硅酸盐水泥复配胶凝材料,随着硫铝酸盐水泥占比不断增多,早期强度明显增大;在硫铝酸盐水泥取代比例为 0 ~ 10%,流动变化较小,大于 10% 流动度明显降低;从流动度、和易性、凝结时间综合考虑选择掺量 25%。

在水胶比为 0.26 时流动度为 340 mm,1 d、3 d 抗压为 36.02 MPa、65.33 MPa,在硫铝酸盐水泥为 25% 复配胶凝材料制备的套筒灌浆流动度为 324 mm,1 d、3 d 抗压分别为 42.33 MPa、69.78 MPa,明显套筒灌浆料的流动度有所损失,且浆体粘稠性增大不利于套筒注浆,因此通过添加减水剂对其流动度、和易性、匀质性进行改善;试验结果显示,随着减水剂用量不断增大灌浆料的流动度不断增大,在大于 0.1% 时浆体出现泌水现象,而低于 0.1% 时,浆体较为粘稠不利于灌浆,因此在用量为 0.1% 灌浆料工作性能较佳。

在对石英砂的颗粒级配进行研究,发现在粗砂质量固定下,随着中砂质量降低细砂质量增大,抗压强度先增大后降低,且在只有两种砂为骨料时,抗压强度偏低,说明石英砂粒径较细虽然增大了灌浆料的密实度,对不利于抗压强度的发展。 $m(\text{粗}):m(\text{中}):m(\text{细})=5:3:2$ 或 $5:2:3$ 流动度 340 mm、333 mm,1 d、3 d、28 d 抗压强度 54.86 MPa、70.87 MPa、92.21 MPa、57.31 MPa、68.45、90.44 MPa 是性

能较佳的级配。

参考文献:

- [1] 黄石明,祝雯,王洋洋. 装配式混凝土结构用高性能钢筋套筒灌浆料制备及性能研究[J]. 新型建筑材料,2019,46(06):10-13.
- [2] 张友海,刘兴华,武卫平. 装配式建筑钢筋套筒连接用灌浆料性能比较[J]. 混凝土世界,2014(11):80-83.
- [3] 李思琪,王玉进,冯晨. 套筒灌浆料配合比及性能研究综述[J]. 混凝土世界,2021(09):39-43.
- [4] 贾恒琮. 钢筋连接用套筒灌浆料的研究[C]. 《施工技术》杂志社、亚太建设科技信息研究院有限公司. 2020 年全国土木工程施工技术交流会论文集(下册).《施工技术》杂志社、亚太建设科技信息研究院有限公司:施工技术编辑部,2020:478-480.
- [5] 胡野. 装配式结构浆锚搭接节点质量研究[J]. 工程质量,2020,38(11):39-44.
- [6] 秦珩,钱冠龙. 钢筋套筒灌浆连接施工质量控制措施[J]. 施工技术,2013,42(14):113-7.
- [7] 洪光炎. 关于装配式建筑中钢筋套筒灌浆技术的探讨[J]. 安徽建筑,2021,28(08):57-9.
- [8] 詹霖伟. 预制装配式竖向结构套筒灌浆施工技术研究[J]. 福建建筑,2021,(04):47-51.
- [9] 兰春晖,延茜. 新型高性能水泥基灌浆料的配制研究[J]. 浙江建筑,2019,36(05):56-60.
- [10] 住房和城乡建设部. 钢筋连接用套筒灌浆料: JG/T408-2019[S]. 北京:中国标准出版社,2019.
- [11] 朱燕,刘加坤,陈佳佳. 装配式建筑水泥基灌浆料性能试验研究[J]. 南通大学学报(自然科学版),2018(1):48~53.
- [12] 孙长征,张晓平,郭志刚. 减水剂及保水剂对超早强灌浆料性能影响[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版),2015,31(02):286-94.
- [13] 冷达,张雄,沈中林. 减水剂和早强剂对水泥基灌浆材料性能的影响[J]. 新型建筑材料,2008,(11):21-5
- [14] 曹永明,冯恩娟,张伟,等. 装配式建筑预制构件套筒灌浆料的配制与优化[J]. 水泥工程,2019(3):5-7.
- [15] 吴其峰,甘绪超. 复合水泥体系对装配式建筑连接套筒灌浆料体积稳定性影响试验研究[J]. 华东科技:学术版,2017:69
- [16] 彭红,刘立军. 不同水泥基套筒灌浆料的性能比对研究[J]. 城市建筑,2020,17(33):106-8.
- [17] 于建军,张晓平,孙长征. 早强剂复配和砂的级配对超早强灌浆料性能影响[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版),2014,30(02):298-304.
- [23] Spadaro L, Magliocco O, Spampinato D, et al. Effects of n-3 polyunsaturated fatty acids in subjects with nonalcoholic fatty liver disease [J]. Dig Liver Dis, 2008, 40(3): 194-199.
- [24] Tavares T B, Santos I B, de Bem G F, et al. Therapeutic effects of agai seed extract on hepatic steatosis in high-fat-diet-induced obesity in male mice;a comparative effect withrosuvastatin [J]. JPharm Pharmacol, 2020, 72(12): 1921-1932.
- [25] 徐燕华,等. 高脂血症患者血清 HDL 亚类的组成[J]. 四川大学学报(医学版),2003(02):238-241.
- [26] 杨亚强,柳艳云,熊华,等. n-3 PUFA 对母猪繁殖和仔猪生长性能的作用[J]. 饲料工业,2017,38(01):16-21.
- [27] Kajikawa S, Harada T, et al. Highly purified eicosapentaenoic acid prevents the progression of hepatic steatosis by repressing monounsaturated fatty acid synthesis in high-fat/high-sucrose diet-fed mice [J]. Leukot Essent Fatty Acids, 2009, 80(4): 229-238.

(上接第 35 页)