

水泥基自流平砂浆制备及其性能研究

王卫东

(南京兴佑交通科技有限公司,江苏 南京 210000)

摘要:为解决地面大面积找平问题,采用水泥、硅砂粉、硅灰以及其他添加剂,制备一种水泥基自流平砂浆,研究骨料粒径、胶砂比、纤维素醚、可再分散乳胶粉、硅灰等用量对自流平砂浆性能的影响。结果表明:骨料粒径 ≤ 1.18 mm、胶砂比为 1.0:1.2、纤维素醚质量分数为 0.03%、可再分散乳胶粉质量分数为 1.0%、硅灰质量分数为 5%、水胶比为 0.35 制备得到的自流平砂浆,其初始流动度和 20 min 流动度可达 140 mm 以上,24 h 抗压和抗折强度分别为 9.2、3.5 MPa,28 d 抗压和抗折强度分别为 34.4、6.4 MPa,符合《地面用水泥基自流平砂浆》(JC/T 985—2017)的技术要求。本文成果可为停车场、车间、仓库、建筑装饰等地面找平提供一点参考。

关键词:自流平砂浆;水泥基;性能;掺量

中图分类号:TU528.2

文献标志码:A

文章编号:1673-8993(2025)02-0008-06

doi:10.13402/j.gcjs.2025.02.015

Research on preparation and performance of cement-based self-leveling mortar

WANG Weidong

(Nanjing Xingyou Transportation Technology Co., Ltd., Nanjing 210000, Jiangsu, China)

Abstract: In order to solve the problem of large-scale leveling on the ground, a cement-based self-leveling mortar is prepared by using cement, silica sand powder, silica fume and other additives, and the effects of aggregate size, cement sand ratio, cellulose ether, redispersible latex powder, silica fume and other dosages on the performance of self-leveling mortar are studied. The results show that the self-leveling mortar prepared with aggregate size ≤ 1.18 mm, cement sand ratio of 1.0:1.2, cellulose ether mass fraction of 0.03%, redispersible latex powder mass fraction of 1.0%, silica fume mass fraction of 5%, and water-glue ratio of 0.35 has an initial fluidity and 20 min fluidity of more than 140 mm, and the 24 h compressive and flexural strengths are 9.2 and 3.5 MPa, respectively, and the 28 d compressive and flexural strengths are 34.4 and 6.4 MPa, respectively, which meet the technical requirements of "Cement-based Self-leveling Mortar for the Ground" (JC/T 985—2017).

Key words: self-leveling mortar; cement-based; performance; dosage

水泥基自流平砂浆是一种以水泥为主要胶凝材料,加入适宜的外加剂及细骨料等混合而成,与水搅拌后具有流动性或稍加辅助性摊铺就能流动找平的材料^[1]。水泥基自流平砂浆通过配合比的优化设计,优选掺合料、外加剂以及骨料等手段,保证体系在低水胶比下达到较高的流动度与

良好的黏聚性,使拌合物的塑性黏度和屈服极限处于适宜的范围,在自身重力作用下自动流平,且不会出现泌水及离析现象,进而得到均匀且密实的砂浆结构。

近年来,国内外针对水泥基自流平砂浆的性能进行了大量的研究,如:MAIER等^[2]、GU

收稿日期:2023-09-15

作者简介:王卫东(1986—),男,高级工程师,从事新型建筑材料的研究。

等^[3]、徐风广等^[4]、侯云芬等^[5]利用铝酸盐水泥为主要胶凝材料,复配普通硅酸盐水泥,制备了强度高、耐磨性好、收缩率低的水泥基自流平砂浆;刘成等^[6]采用硅酸盐水泥-硫铝酸盐水泥-半水石膏三元胶凝体系制备凝结快、早期强度高、收缩小的自流平砂浆;逢鲁峰等^[7]以石膏为主要胶凝材料,通过添加少量普通硅酸盐水泥等改善了自流平砂浆的流动性缺陷问题,使自流平砂浆性能满足标准要求。以上研究基本采用硫铝酸盐水泥、铝酸盐水泥或几种水泥和石膏复配的多元体系,成本高、配合比较为复杂。本文从降低成本角度出发,采用硅酸盐水泥,通过优选最大粒径的骨料以改善自流平砂浆的流动性,并辅以高效减水剂的减水与分散作用,使自流平砂浆在低水胶比下自动流平,以期获得流动度大、黏聚性好、强度高、收缩率低的水泥基自流平砂浆,为工程应用提供一定的借鉴与参考。

1 试验材料与方法

1.1 原材料

采用P·II52.5R硅酸盐水泥,水泥基本性能指标如表1所示。硅砂粉由细度模数为1.8的天然砂粉磨而成,比表面积为 $420\text{ m}^2/\text{kg}$,密度为 $2.65\text{ g}/\text{cm}^3$ 。硅灰中 SiO_2 质量分数为92.14%,比表面积为 $18\ 500\text{ m}^2/\text{kg}$ 。骨料为天然河砂,级配Ⅱ区中砂,细度模数为2.4,表观密度为 $2\ 580\text{ kg}/\text{m}^3$,含泥量为1.0%,泥块质量分数为0.5%,分别过1.18、2.36 mm方孔筛。外加剂:可再分散性乳胶粉;羟丙基甲基纤维素醚(HPMC),黏度为 $80\ 000\text{ MPa}\cdot\text{s}$;聚羧酸高性能减水剂,减水率 $\geq 25\%$;有机硅消泡剂。

1.2 试验方法

试样制备:按规定的比例称取对应粉状组分的用水量,倒入搅拌机中,将2 kg粉料在30 s内匀速放入搅拌机内,低速搅拌60 s;停止搅拌,30 s内用刮刀等工具将料锅壁和搅拌叶上的拌合物刮下;高速搅拌60 s,静停60 s,再继续高速搅拌15 s。拌合

物不应有气泡冒出现象,否则再静停60 s使其消泡,然后立即将其装入试模内。

试验方法:

(1)流动度:将流动度试模水平放置在玻璃板中央,测试板表面应无水滴、平整光洁。将制备好的试样灌满流动度试模并刮去试模上口多余的浆料后,在2 s内垂直向上提升50~100 mm,保持10~15 s使试样自由流动。

1)初始流动度:试件制备完成后开始计时,4 min后测量两个垂直方向的直径,取其算术平均值为测定值。

2)20 min流动度:将搅拌完成后的同批试样在搅拌机内静置20 min,再低速搅拌15 s,测定两个垂直方向的直径,取其算术平均值作为测定值。

(2)抗压强度、抗折强度:将拌合好的试样装入三联试模内,无需振动,24 h和28 d强度各成型1组试件,每组3个试件。24 h后脱模,按水泥胶砂抗压抗折试验方法测定24 h抗折强度和抗压强度,剩余脱模后的试件在标准试验条件下继续养护至28 d龄期,测定其抗折和抗压强度。

2 结果与讨论

2.1 骨料粒径的影响

根据自流平砂浆特点,采用最大粒径为1.18、2.36 mm的天然砂作为骨料制备自流平砂浆。在固定胶凝材料用量为700 g,硅砂粉掺量为30%,硅灰掺量为5%、可再分散乳胶粉掺量为1.5%、纤维素醚掺量为0.05%,胶砂比为1.0:1.8、消泡剂掺量为0.01%的情况下,比较两种粒径的骨料制备自流平砂浆的用水量、流动度、抗折强度及抗压强度的差异情况,得出自流平砂浆的适宜粒径范围,试验配比及结果如表2所示。

由表2可知:在其它掺量相同的情况下,粒径为2.36 mm砂的流动度明显小于粒径为1.18 mm砂的流动度,且其20 min流动度损失也较大。这是由于粒径为2.36 mm砂中的大粒径骨料不易随浆体流

表1 水泥物理力学性能指标

比表面积/ ($\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$)	密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	标准稠 度/%	安定性	凝结时间/min		抗折强度/MPa		抗压强度/MPa	
				初凝	终凝	3 d	28 d	3 d	28 d
367	3.1	27.2	合格	175	240	6.5	9.1	33.0	56.5

表 2 骨料粒径对自流平砂浆性能的影响

配合比			流动度/mm		抗折强度/MPa		抗压强度/MPa		备注
减水剂/%	水胶比	骨料粒径/mm	初始	20 min	24 h	28 d	24 h	28 d	
0.25	0.50	≤2.36	125	128	1.8	3.8	4.5	17.4	黏聚性好
0.25	0.50	≤1.18	136	132	1.6	3.8	4.2	16.6	黏聚性好
0.30	0.46	≤2.36	136	126	2.0	4.3	5.3	20.4	黏聚性好
0.30	0.46	≤1.18	134	127	1.5	4.1	3.9	17.8	黏聚性好
0.35	0.46	≤2.36	134	125	1.7	4.0	4.4	17.1	黏聚性好
0.35	0.46	≤1.18	135	133	1.4	3.8	3.2	14.7	黏聚性好

动, 阻碍了自流平砂浆的整体流动性能, 在 20 min 静置过程中, 大粒径的骨料容易发生沉积、骨料之间产生摩擦等原因造成流动度损失严重。对比强度, 无论是抗折强度还是抗压强度, 粒径为 2.36 mm 砂制备的自流平砂浆强度明显高于粒径为 1.18 mm 砂的强度, 这是因为骨料的骨架结构对强度的增长有一定的作用。

对于自流平砂浆而言, 最主要的性能指标是流动度, 强度相对处于次要地位, 故采用最大粒径为 1.18 mm 的砂制备自流平砂浆较为合适。

2.2 胶砂比的影响

为确保流动性满足强度要求, 经常采用较高的胶砂比。但胶砂比过高, 易使胶凝材料水化导致自流平砂浆收缩开裂; 胶砂比过低, 则会导致水泥浆体数量不足, 影响自流平砂浆流动性能。在固定胶凝材料用量为 700 g, 减水剂掺量为 0.25%, 可再分散乳胶粉掺量为 1.5%, 纤维素醚掺量为 0.05%, 消泡剂掺量为 0.01% 的情况下, 比较不同胶砂比对自流平砂浆性能的影响, 结果如表 3 所示。

由表 3 可知: 胶砂比为 1.0:1.2 时, 20 min 流动度没有出现损失反而有所提高。这是由于伴随水泥水化的进行, 减水剂开始发挥作用, 水泥颗粒絮凝结构中的水开始被释放出来, 使得自流

平砂浆流动度不断提高。当胶砂比减少时, 自流平砂浆的初始流动度先增大后减小, 流动性的经时损失逐步增大, 单位体积水泥浆体量减少, 使得包裹骨料的浆体量也开始减少, 浆体内部摩擦阻力开始增大, 流动性变差。当胶砂比为 1.0:1.2 ~ 1.0:1.5 时, 自流平砂浆的流动性比较稳定。

另外, 随着胶砂比的降低, 砂粒对净浆的黏附力降低, 易发生泌水现象。胶砂比过小时, 水泥浆体无法完全包裹骨料表面, 使浆体分层离析严重, 导致脆性增大。胶砂比在确保自流平砂浆良好的施工性和和易性的同时, 对自流平砂浆的力学性能也会产生很大影响。随着胶砂比的降低, 自流平砂浆的抗折强度和抗压强度有所降低。考虑到自流平砂浆 24 h 强度要求, 胶砂比确定为 1.0:1.2。

2.3 纤维素醚的影响

采用高效减水剂的自流平砂浆基本上都要参加保水剂, 以防止发生泌水和离析现象。纤维素醚作为最常用的自流平砂浆保水剂, 可以提高砂浆的保水性和黏聚性^[8]。在固定胶凝材料用量为 700 g, 硅灰掺量为 5%, 胶粉掺量为 1.5%, 消泡剂掺量为 0.01%, 胶砂比为 1.0:1.2 情况下, 研究纤维素醚对自流平砂浆流动性和抗折抗压强度的影响, 试验配比及结果如表 4 所示。

表 3 胶砂比对自流平砂浆性能的影响

配合比		流动度/mm		抗折强度/MPa		抗压强度/MPa		备注
胶砂比	水胶比	初始	20 min	24 h	28 d	24 h	28 d	
1.0:1.2	0.38	130	134	3.0	6.8	9.8	33.3	黏聚性好
1.0:1.5	0.38	132	125	2.8	5.7	9.6	32.6	黏聚性好
1.0:1.8	0.38	123	104	—	—	—	—	泌水
1.0:1.2	0.40	132	141	2.5	6.3	8.5	31.2	黏聚性好
1.0:1.5	0.40	149	137	—	—	—	—	泌水

表 4 纤维素醚对自流平砂浆性能的影响

配合比					流动度/mm		抗折强度/MPa		抗压强度/MPa		备注
水泥/%	硅砂粉/%	减水剂/%	纤维素醚/%	水胶比	初始	20 min	24 h	28 d	24 h	28 d	
95	—	0.25	—	0.40	159	—	—	—	—	—	泌水
95	—	0.25	0.05	0.40	130	125	3.8	7.2	13.9	36.8	黏聚性好
95	—	0.25	0.10	0.40	104	97	3.7	7.3	13.5	38.2	黏聚性好
65	30	0.20	0.05	0.45	135	133	2.7	7.8	7.4	31.0	黏聚性好
65	30	0.25	0.07	0.47	133	134	2.1	6.8	5.5	27.9	黏聚性好
65	30	0.25	0.10	0.50	132	130	2.0	5.8	5.6	27.7	黏聚性好

由表 4 可知：在水胶比相同的情况下，随着纤维素醚掺量的增加，砂浆的流动度下降且下降幅度近 20%。但抗折和抗压强度在掺量为 0.05%、0.10% 时的变化不大。在相近流动度时，随着纤维素醚掺量的增加，水胶比、减水剂用量增大，抗折强度、抗压强度相应降低。这说明纤维素醚的用量有合理的范围，过高的用量会给自流平砂浆的流动性带来不利的影响。自流平砂浆中的水泥和水组成浆体填充砂粒空隙，起到润滑作用，使得自流平砂浆具有一定的流动性。纤维素醚的加入，导致体系中的部分游离水含量相对下降，使得砂粒外壁的裹覆层减少，从而降低了自流平砂浆的流动性。综合考虑，纤维素醚的用量控制在 0.07% 以内。

2.4 可再分散乳胶粉的影响

大量的试验研究表明^[9-13]，可再分散乳胶粉可改善砂浆的抗裂性能，提高黏结性、内聚力、抗折强度、耐磨性和冲击性，保证良好的施工性，因而深受建筑市场的青睐。在固定胶凝材料用量为 700 g，胶砂比为 1.0:1.2，水胶比为 0.40，减水剂掺量为 0.25%，消泡剂掺量为 0.01%，纤维素醚掺量为 0.05% 情况下，研究可再分散乳胶粉掺量对自流平砂浆性能的影响，试验配比及结果如表 5 所示。

由表 5 可知：未掺加乳胶粉时，初始和 20 min

流动度分别为 143、131 mm，流动度经时损失大；掺加乳胶粉后，流动度经时损失减小。这是因为可再分散乳胶粉容易聚集在未水化和水化产物的表面，减小自流平砂浆内部摩擦力。可再分散乳胶粉表面活性物质在新拌自流平砂浆中引入大量的微小气泡，起到滚珠润滑作用，从而提高自流平砂浆的流动性。另外，可再分散乳胶粉的保水作用，可减小自流平砂浆的经时损失。随着可再分散乳胶粉掺量的增加，自流平砂浆的黏聚性逐渐增大导致流动度稍有降低，提高了自流平砂浆的内聚力。在用水量不变的情况下，可分散乳胶粉掺量过多时，可分散乳胶粉的吸水增稠作用较强，使得新拌自流平砂浆内聚力变大，自流平砂浆变得黏稠，从而降低流动度，因此可分散乳胶粉的掺量不易过高。

在砂浆的抗折和抗压强度方面，随着乳胶粉掺量的增加，砂浆的抗折强度和抗压强度整体上呈降低趋势。这是由于乳胶粉中的表面活性剂成分会导致砂浆拌合物中引入大量微小气泡，使得硬化砂浆内部存在大量微小气孔，从而降低了砂浆的强度。综合各方面考虑，可再分散乳胶粉掺量取 1.0% 为宜。

2.5 硅灰的影响

自流平砂浆的性能指标主要有力学性能和流变性能，通常用不同龄期的抗压强度及流动度来

表 5 乳胶粉掺量对自流平砂浆性能的影响

水泥/%	乳胶粉/%	流动度/mm		抗折强度/MPa		抗压强度/MPa		备注
		初始	20 min	24 h	28 d	24 h	28 d	
100	—	143	131	4.6	9.0	18.4	60.7	黏聚性好
100	0.5	142	135	4.1	8.3	14.7	53.6	黏聚性好
100	1.0	140	134	3.4	7.8	12.9	49.7	黏聚性好
100	1.5	132	130	3.5	7.5	13.3	54.3	黏聚性好

表征。掺合料被认为是普通混凝土或砂浆高性能化不可缺少的材料。自流平砂浆材料组分比较复杂, 本文通过掺加部分硅灰来改善砂浆的性能, 试验配比及结果如表 6 所示, 其中固定胶凝材料用量为 700 g, 可再分散乳胶粉掺量为 1.0%, 消泡剂掺量为 0.01%, 胶砂比为 1.0:1.2。

由表 6 可知: 在纤维素醚掺量为 0.05% 情况下, 不掺硅灰的自流平砂浆出现少量泌水现象; 当加入 5% 的硅灰时, 砂浆拌合物和易性得到改善; 当硅灰掺量达到 15% 时, 在没有加纤维素醚的情况下, 砂浆拌合物也没有出现离析和泌水的现象。这是由于硅灰的比表面积非常大, 具有吸附水分的能力, 在新拌砂浆中的许多自由水被硅灰颗粒所约束, 因而砂浆的离析和泌水现象减少。

另外, 随着硅灰掺量的增加, 自流平砂浆的流动度基本没有变化; 当增大到一定程度(15%) 时, 砂浆的流动度会降低。这说明, 少量的硅灰对自流平砂浆的流动度并没有太大的改善效果, 当硅灰掺量较大时, 吸水使砂浆变得黏稠, 流动度降低。

抗折强度、抗压强度方面, 整体上随硅灰掺

量的增加(相应的水泥用量减少), 都有不同程度的提高。这是因为硅灰比表面积较大, 具有极佳的渗透力, 可有效填充和堵塞砂浆结构中的毛细孔和微空隙, 提高结构体系的致密度及力学性能。

综合看来, 硅灰掺量为 5%~10% 时, 对自流平砂浆性能的改善较明显。其中, 保水防离析和泌水可以与纤维素醚协同作用。

2.6 最优配比及性能

通过以上各因素的研究及试验的验证, 最终确定了 C30 强度等级自流平砂浆的配方: 水泥 65%、硅砂粉 30%、硅灰 5%、减水剂 0.36%、胶粉 1.0%、纤维素醚 0.03%、消泡剂 0.01%、胶砂比 1.0:1.2、水胶比 0.35。采用该配方拌制 15 kg 样品送检, 结果如表 7 所示。由表 7 可知: 所检项目均符合《地面用水泥基自流平砂浆》(JC/T 985—2017) 中 C30 F4 的技术要求。

3 结 论

(1) 骨料粒径和胶砂比是影响自流平砂浆流动性的重要因素。当骨料最大粒径 ≤ 1.18 mm, 胶砂比 $> 1.0:1.5$ 时, 才能保证新拌浆体具有较好的

表 6 硅灰对自流平砂浆性能的影响

配合比						流动度/mm		抗折强度/MPa		抗压强度/MPa		备注
水泥/%	硅砂粉/%	硅灰/%	减水剂/%	纤维素醚/%	水胶比	初始	20 min	24 h	28 d	24 h	28 d	
100	—	—	0.25	0.05	0.40	159	150	3.5	7.5	13.3	54.3	少量泌水
95	—	5	0.25	0.05	0.40	130	125	3.8	7.2	13.9	36.8	黏聚性好
65	30	5	0.40	0.03	0.33	137	134	3.1	7.4	9.9	38.7	黏聚性好
60	30	10	0.40	0.03	0.33	137	135	3.2	8.0	10.1	43.3	黏聚性好
55	30	15	0.40	—	0.33	132	131	3.0	7.8	9.1	37.8	黏聚性好

表 7 自流平砂浆送检检测结果

检测项目	单位	技术要求	检测结果	单项评定
流动度	初始	mm	153	合格
	20 min	mm	144	合格
拉伸黏结强度	MPa	≥ 1.0	1.2	合格
尺寸变化率	%	-0.15 ~ +0.15	0.10	合格
24 h 抗压强度	MPa	≥ 6.0	9.2	合格
24 h 抗折强度	MPa	≥ 2.0	3.5	合格
耐磨性	mm ³	≤ 800	638	合格
抗冲击性	—	无开裂或脱离底板	经 3 次冲击试验, 无开裂或脱离底板	合格
28 d 抗压强度	MPa	≥ 30.0	34.4	合格
28 d 抗折强度	MPa	≥ 4.0	6.4	合格

工作性能和力学性能。胶砂比为 1.0:1.2 时,砂浆的流动性、黏聚性和力学性能最优。

(2) 纤维素醚、可再分散乳胶粉和硅灰在一定掺量范围内,均可改善自流平砂浆的工作性能和力学性能,但过高的纤维素醚和硅灰掺量会给砂浆的流动性带来负面的影响,过高的可再分散乳胶粉掺量会降低砂浆的抗折强度和抗压强度。

(3) 综合分析自流平砂浆性能的系列影响因素,优选了 C30 强度等级自流平砂浆的配方,其中水泥 65%、硅砂粉 30%、硅灰 5%、可在分散乳胶粉 1.0%、纤维素醚 0.03%、消泡剂 0.01%、减水剂 0.36%、胶砂比 1.0:1.2、水胶比 0.35,得到的砂浆性能满足《地面用水泥基自流平砂浆》(JC/T 985—2017)的要求。

参考文献:

- [1] 地面用水泥基自流平砂浆:JC/T 985—2017[S].北京:建材工业出版社,2017.
- [2] MAIER S. Ternary system: Calcium aluminate cement-Portland cement-gypsum [C]//Calcium Aluminate Cements Proceedings of Centenary Conference 2008. Bracknell: HISBRE Press,2008:511.
- [3] GU P, BEAUDOIN J J, QUINN E G, et al. Early strength development and hydration of ordinary Portland cement/calcium aluminate cement pastes[J]. Advanced Cement Based Materials,1997,6(2):53-58.
- [4] 徐风广,杨凤玲,侯海军,等.利用脱硫石膏浆液制备高强水泥基自流平砂浆的应用研究[J].混凝土与水泥制品,2021(11):85-89.
- [5] 侯云芬,常宇,黄天勇.三元胶凝材料比例对自流平砂浆性能的影响[J].硅酸盐通报,2020,39(5):1408-1414.
- [6] 刘成,李英丁,贾陆军.水泥基面层自流平砂浆的尺寸变化测试及性能研究[J].新型建筑材料,2022,49(9):158-161;167.
- [7] 逢鲁峰,贾广贺,孙立刚.石膏基自流平砂浆流动性研究与应用[J].混凝土与水泥制品,2023(7):31-34;38.
- [8] 张建隽,靳秀芝,韩涛,等.自流平砂浆流动性的影响因素研究[J].中北大学学报(自然科学版),2014,35(5):620-624.
- [9] 丰曙霞,杨嘉晟,董琳慧.化学外加剂对自流平砂浆力学及抗渗性能影响[J].广东建材,2019,35(10):5-7.
- [10] 李文杰,曾翠云,万德刚.可再分散乳胶粉在自流平砂浆中的应用研究[J].新型建筑材料,2019(11):106-107;118.
- [11] 任增洲,吴芳.可分散乳胶粉在水泥基自流平砂浆中的应用研究[J].新型建筑材料,2016,43(4):100-103.
- [12] 胡冉.复合水泥基自流平砂浆性能研究[D].上海:上海交通大学,2017.
- [13] 黄天勇,章银祥,陈旭峰,等.水泥基自流平砂浆机理研究综述[J].硅酸盐通报,2015,34(10):2864-2869.

本刊编辑部版权许可声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、万方数据电子出版社、重庆维普资讯有限公司、超星学术期刊“域出版”、学术中国-知识产权服务平台等第三方平台在其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊编辑出版的文章。本刊不收取版面费、专家审稿费(相关著作权许可使用费与审稿费相抵,不再另行支付),对优质稿件支付稿酬。作者向本刊提交文章发表的行为视为同意上述许可声明,如有异议请来稿说明,本刊将作适当处理。