Material Sciences 材料科学, 2021, 11(11), 1130-1135
Published Online November 2021 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/ms
https://doi.org/10.12677/ms.2021.1111131

半柔性路面灌注式水泥基胶浆强度影响因素研究

牟长江[1]，刘　瑞[1]，程　凯[1]，孙　勇[2]，耿大海[2]

[1]中化学交通建设集团有限公司，山东 济南
[2]邹平市交通运输局，山东 滨州

收稿日期：2021年10月8日；录用日期：2021年11月1日；发布日期：2021年11月8日

摘　要

灌注式半柔性路面结构是在柔性的大空隙基体沥青混合料(连通空隙率在20%~30%之间)中灌注刚性较强的水泥基胶凝材料，凝结硬化之后形成刚柔并济的复合路面，水泥胶浆强度决定半柔性路面结构的承载能力。课题组通过正交试验对比研究水胶比、砂率、粉煤灰掺量、矿渣粉掺量、减水剂掺量对水泥胶浆3 d、7 d、28 d强度影响，结果表明：水胶比与粉煤灰掺量对胶浆强度变化影响较大，砂率、矿渣粉掺量与减水剂掺量对胶浆强度变化影响较小；随着水胶比与粉煤灰掺量的增加，胶浆强度有较明显的降低；随着矿渣粉与减水剂掺量的增加，胶浆强度有所降低但降幅没有显著性变化；随着砂率掺量的增加，胶浆强度有所提高但提高幅度没有显著性变化。

关键词

灌注式水泥基胶浆，灌注式半柔性路面，刚柔复合路面，强度影响因素

Research on Influencing Factors of Strength of Pouring Cement-Based Glue for Semi-Flexible Pavement

Changjiang Mou[1], Rui Liu[1], Kai Cheng[1], Yong Sun[2], Dahai Geng[2]

[1]China National Chemical Communications Construction Group Co., Ltd., Jinan Shandong
[2]Zouping Transportation Bureau, Binzhou Shandong

Received: Oct. 8th, 2021; accepted: Nov. 1st, 2021; published: Nov. 8th, 2021

文章引用: 牟长江, 刘瑞, 程凯, 孙勇, 耿大海. 半柔性路面灌注式水泥基胶浆强度影响因素研究[J]. 材料科学, 2021, 11(11): 1130-1135. DOI: 10.12677/ms.2021.1111131

Abstract

Pouring semi-flexible pavement structure is to pour a rigid cement-based cementitious material into a flexible large-void matrix asphalt mixture (connected porosity is between 20% and 30%), and form a rigid and flexible combination after setting and hardening. For composite pavement, the strength of cement mortar determines the bearing capacity of semi-flexible pavement structure. The research group conducted a comparative study on the effects of water-binder ratio, sand ratio, fly ash content, slag powder content, and water-reducing agent content on the strength of cement mortar at 3 d, 7 d, and 28 d through orthogonal experiments. The results showed that: the amount of fly ash has a greater impact on the strength of the mortar, and the sand ratio, the amount of slag powder and the amount of water-reducing agent have a smaller effect on the strength of the mortar; as the water-binder ratio and the amount of fly ash increase, the strength of the mortar has been significantly reduced; with the increase in the amount of slag powder and water reducing agent, the strength of the mortar is reduced, but there is no significant change in the decrease; with the increase in the amount of sand, the strength of the mortar has increased, however, there was no significant change in the increase.

Keywords

Pouring Cement-Based Glue, Pouring Semi-Flexible Pavement, Rigid-Flexible Composite Pavement, Strength Influencing Factors

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

灌注式半柔性复合路面结构，是在预先碾压成型的柔性大空隙沥青混合料中灌注刚性较强的水泥基胶凝材料，待养生期结束水泥胶浆形成足够强度，组成兼顾沥青路面的行驶舒适性与混凝土路面的强度稳定性的路面结构，水泥胶浆性能决定了复合式路面结构具有优良的耐火、耐有机溶剂侵蚀的性能，可以根据不同路况变换水泥胶浆颜色，灌注形成颜色各异的半柔性路面，因此半柔性路面多用于国省干线重载路段、交叉路口、公交站台、BRT 专用车道、收费站、机场、港口码头、隧道路面铺装等车辙严重区域[1] [2]。

复合式半柔性路面结构强度主要来源于基体沥青混合料骨架嵌挤作用与灌注的水泥基胶浆的自身结构强度，水泥基胶浆硬化形成钙矾石与基体沥青混合料之间的粘结作用对半柔性路面结构整体持荷能力至关重要[3] [4] [5]。水泥基胶浆的强度越大对半柔性路面结构抗车辙能力越强，但是刚性太大与沥青混合料的粘结性能降低导致低温抗裂性能不足。鉴于此本研究目的就是找到水泥胶浆强度的平衡点达到既满足高温抗车辙要求又不至于降低低温抗开裂性能，本文通过对水泥胶浆影响较大的水胶比、砂率、粉煤灰掺量、矿渣粉掺量与减水剂掺量入手，试图找到最优的原材料配方组合。

2. 原材料

2.1. 胶凝材料

普通硅酸盐水泥与聚羧酸减水剂复配使用存在相互适应性问题，两者适应性不好时灌浆料会出现流

动度损失过快或者离析等不良现象，导致灌浆料无法正常施工。水泥选用山东山水水泥厂生产的普硅 42.5 级，标准稠度用水量 28.5%，与聚羧酸减水剂适应好，其主要物理指标如表 1 所示。

Table 1. Main physical indicators of cement
表 1. 水泥主要物理指标

抗压强度/Mpa		抗折强度/Mpa		凝结时间/min	
3 d	28 d	3 d	28 d	初凝	终凝
35.2	59.8	6.2	9.5	95	142

2.2. 活性胶凝材料

矿渣粉的微集料与火山灰效应对降低水泥胶浆水化热有良好作用，并且浆体后期强度持续增长，选用山东淄博产 S95 级优质矿渣粉。粉煤灰的滚珠效应对提高水泥胶浆流动性起到重要作用，其火山灰效应也能减缓水化热提高后期强度，选用淄博产 I 级粉煤灰，需水量比 90%。两者化学组份对于减水剂复配有直接影响，矿渣粉与粉煤灰化学指标如表 2 所示。

Table 2. Main chemical indicators (%) of active cementitious materials
表 2. 活性胶凝材料主要化学指标(%)

名称	氧化硅	氧化铝	氧化铁	氧化钙	氧化镁	三氧化硫	烧失量
粉煤灰	39.29	27.14	14.22	3.55	0.77	0.82	4.23
矿渣粉	28.11	14.21	1.76	39.62	8.21	5.77	1.26

2.3. 减水剂

减水剂采用山东潍坊产聚羧酸粉体减水剂，呈白色粉末状，粉体颗粒均匀流动性佳，适用于水泥基粉体材料专用减水剂。

2.4. 砂

砂宜选用石英含量高、洁净、颗粒形状浑圆的特细河砂，细度模数小于 1.5，既不会应为粒径过大而下沉也不影响浆体流动性。

2.5. 试验方法

试件尺寸为 40*40*160 mm 长方体，按照《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》JTG E30-2005 试验方法进行测试，实验仪器采用全自动液压微机控制抗折抗压试验机。

3. 试验方案

3.1. 试验方案设计

水泥基胶浆属于三相共混体，组成材料较多且原材料构成比例变化对其性能造成较大影响，课题组采用正交试验方法对水泥基胶浆强度进行试验研究，选取 5 个因素分别为水胶比、砂率、粉煤灰掺量、矿渣粉掺量与减水剂掺量，每个因素设计 4 个水平，形成 5 因素 4 水平的 $L_{16}(4^5)$正交试验方案，分别测试每组试验方案的 3 d、7 d 与 28 天抗折、抗压强度，用于分析各因素对水泥基胶浆强度影响大小，从而为优化水泥基胶浆配合比做好基础研究。水泥基胶浆正交试验方案如表 3 所示。

Table 3. Orthogonal test scheme
表 3. 正交试验方案

水平 编号	A 水胶比	B 砂率/%	C 粉煤灰掺量/%	D 矿渣粉掺量/%	E 减水剂掺量/%
1	0.30	0	0	0	0.10
2	0.35	10	5	5	0.15
3	0.40	15	10	10	0.20
4	0.45	20	15	15	0.25

根据标准正交试验表格，此次正交试验方案共需进行 16 次试验，正交试验表格中状态组合有 5 位数组成分别按表 3 顺序代表 5 个因素，1、2、3 与 4 分别代表每个因素的水平，正交试验具体试验计划如表 4 所示。

Table 4. Orthogonal test specific test plan
表 4. 正交试验具体试验计划

试验编号	状态组合	试验编号	状态组合
1	11111	9	31342
2	12222	10	32431
3	13333	11	33124
4	14444	12	34213
5	21234	13	41423
6	22143	14	42314
7	23412	15	43241
8	24321	16	44132

3.2. 试验结果分析

按照正交试验方案，不同配方的水泥基胶浆 3 d、7 d、28 d 胶砂试件抗折抗压强度试验结果如表 5 所示。

Table 5. Cement-based mortar test results
表 5. 水泥基胶浆试验结果

试验编号	抗折强度/Mpa			抗压强度/Mpa		
	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d
1	4.3	6.3	7.4	25.4	28.8	41.2
2	3.5	4.1	4.9	19.5	25.7	30.6
3	2.9	3.5	4.4	15.2	20.3	31.5
4	2.4	3.0	3.9	15.9	17.3	28.6
5	3.1	3.7	4.6	13.4	17.4	25.7
6	3.2	3.6	4.3	16.9	23.4	32.2
7	2.6	3.5	4.2	8.6	14.2	21.8

Continued

8	2.8	3.3	3.9	8.9	20.7	21.3
9	2.6	2.4	3.5	5.4	10.6	20.8
10	1.5	2.0	2.8	4.9	9.4	17.9
11	2.5	2.8	3.9	12.4	20.1	30.8
12	1.7	2.5	3.6	7.5	14.8	26.5
13	1.9	2.3	3.4	4.2	8.6	16.5
14	1.9	2.2	3.5	7.7	11.2	20.7
15	1.1	2.5	3.7	5.1	11.6	17.9
16	2.1	2.9	3.6	9.7	13.6	23.8

通过上述正交试验结果分析各因素对水泥基胶浆不同龄期强度影响效果，按照正交试验极差分析方法即试验结果同一因素同一水平对应试验结果的数值相加取平均值，每一因素计算结果的最大值与最小值之差即为影响这一因素的极差，极差值越大说明影响效果越显著。极差计算结果如表 6 所示。

Table 6. Range calculation result
表 6. 极差计算结果

项目	影响因素					显著性水平
	A 水胶比	B 砂率	C 粉煤灰掺量	D 矿渣粉掺量	E 减水剂掺量	
3 d 抗折强度	1.5	1.0	0.9	0.4	0.3	A > B > C > D > E
3 d 抗压强度	12.3	3.8	7.7	1.5	1.6	A > C > B > E > D
7 d 抗折强度	1.8	0.8	1.2	0.8	0.6	A > C > B > D > E
7 d 抗压强度	11.8	3.6	9.1	3.6	1.6	A > C > B > D > E
28 d 抗折强度	1.7	1.0	1.2	0.8	0.5	A > C > B > D > E
28 d 抗压强度	13.3	3.8	10.8	2.8	2.4	A > C > B > D > E

通过表 6 的极差分析可以得出如下规律：

(1) 对水泥基胶浆不同龄期抗折抗压强度影响最大的是水胶比，水泥基胶浆形成强度之后是复杂的多项体，少部分水参与胶凝材料的水化反应消耗掉，大部分自由水在后期养护过程中通过毛细作用蒸发掉在胶浆结构内部形成空隙，空隙的密集程度对胶浆强度影响最大。

(2) 对胶浆不同龄期强度影响第二位的是粉煤灰掺量，3 d 抗折强度粉煤灰掺量与砂率影响程度没有显著差异，粉煤灰的火山灰效应需要水泥水化的产物激发，等量取代水泥情况下必然影响胶凝材料早期强度的形成，但是后期强度影响不大，对于胶浆收缩起到积极作用。

(3) 砂率与矿渣粉掺量对胶浆 7 d 与 28 d 强度影响没有显著性差异，河砂与矿渣粉作为填料增加胶浆的密实性和施工和异性，对胶浆后期强度变化没有太大影响。

(4) 减水剂掺量对胶浆不同龄期强度影响最小，减水剂掺量主要对胶浆的施工和易性产生影响。

4. 结论

(1) 通过正交试验极差分析可知，半柔性路面灌注式水泥基胶浆复配胶凝材料情况下，水胶比对胶浆

强度影响最大，粉煤灰掺量、河砂掺量与矿渣粉掺量对胶浆强度都有一定影响，减水剂掺量对胶浆强度影响最小。

(2) 半柔性路面灌注式水泥基胶浆可以通过减小水胶比提高减水剂掺量增加胶浆强度，增加粉煤灰与矿渣粉掺量降低河砂掺量提高胶浆施工和易性，通过配方优化使胶浆达到最佳流动性和经济性。

参考文献

[1] 黎侃. 半柔性材料作为沥青路面抗车辙功能层的适用性研究[D]: [博士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2016.

[2] 潘大林, 张肖宁. 半柔性路面基体沥青混合料的设计方法[J]. 中南公路工程, 2000, 25(1): 22.

[3] 李生隆, 孙登科, 胡玲玲. 半柔性复合路面设计与施工方法的探讨[J]. 水利与建筑工程学报, 2007, 5(4): 70-73.

[4] 陈祥峰. 高性能流动性水泥灌浆材料配合比设计及半柔性路面路用性能研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2010.

[5] 王亨庭, 易军艳, 王东升, 等. 复合混凝土基体沥青混合料空隙率设计方法研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2020, 43(2): 245-249+284.