

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.07.054

矿物掺合料对复合注浆材料性能优化研究

张 移

(上海市奉贤区交通建设管理中心, 上海市 201499)

摘 要: 针对水泥混凝土路面板底脱空等病害,系统研究了硅灰、粉煤灰等矿物掺合料,减水剂掺量和乳化沥青掺量等对复合注浆材料性能的影响,研发的复合注浆材料初始流动度不大于 20 s,30 min 流动度不高于 30 s,与水泥稳定材料相比,复合注浆材料固结体 7 d 无侧限抗压强度略低,但挠度和水稳定性显著提高。

关键词: 板底脱空; 沥青; 注浆; 配合比

中图分类号: TU502

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)07-0229-05

0 引 言

我国水泥混凝土路面多采用半刚性基层,已建成的道路在繁重的运营荷载和复杂自然环境等多重作用下,结构性、功能性不断退化,水泥混凝土路面板底脱空已成为最常见的路面病害之一。针对该病害,常用水泥基材料进行板底注浆封堵,但这虽能提高半刚性基层的强度,但对水泥混凝土板受力不利,当行车荷载驶过混凝土路面时,混凝土板易产生疲劳断裂^[1-2]。

因此,拟采用矿物掺合料对乳化沥青进行改性,研究矿物掺合料对复合注浆材料流动度、强度和挠度、抗水损性能的影响规律,开发一种半柔性的复合注浆材料,以期实现对路面结构的弹性支撑,避免因刚度集中导致的疲劳破坏。该研究成果对半柔性注浆材料的研发与应用具有参考意义。

1 原材料

1.1 水泥

金山南方生产的 P.O42.5 水泥,性能符合 GB175 要求,化学成分和物理性能见表 1、表 2 所列。

表 1 水泥化学成分一览表 单位: %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	Loss	CaO
24.89	7.87	2.85	54.59	2.70	0.22	1.37	3.11	1.02

1.2 粉煤灰

娄城 I 级粉煤灰,安定性和放射性合格,其他各项性能分别见表 3、4 所列。

表 2 水泥物理性能一览表

比表 面积 / (m ² ·kg ⁻¹)	含水 量 / %	标稠用 水量 / %	安定 性	凝结时间 / min		强度 / MPa			
				初凝	终凝	抗折		抗压	
						3 d	28 d	3 d	28 d
315	0.2	27.8	合格	175	206	6.4	9.5	32.2	55.6

表 3 粉煤灰化学成分一览表 单位: %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	SO ₃
52.16	23.61	6.34	7.99	1.29	1.48	2.16	2.15	0.54

表 4 粉煤灰其他性能一览表 单位: %

细度	需水量比	烧失量	含水量	CaO	碱含量	28 d 强度 活性指数
5.1	95	2.1	0.1	0.03	1.46	75

1.3 硅灰

硅灰为上海天恺硅灰有限公司提供的半加密型硅灰,其关键性能指标如表 5 所列。

表 5 硅灰主要性能指标一览表

比表面积 / (m ² ·kg ⁻¹)	平均粒径 / μm	SiO ₂ 含量 / %	需水量比 / %	活性指数 (7 d 快速法) / %
21 500	0.16	93.8	124	72

1.4 乳化沥青

上海某企业生产的乳化沥青,乳化沥青基本性能如表 6 所列。

表 6 乳化沥青基本性能一览表

离子 电荷	破乳 速度	筛上残留物 (1.18 mm 筛) / %	恩格拉黏度计 E25	道路标准黏 度计 C25.3 s
阳离子	慢裂	0.03	7.95	23

2 测试方法

2.1 流动度

复合注浆材料流动度参照 JTG/T F50—2011《公

收稿日期: 2022-09-15

作者简介: 张移(1965—), 男, 本科, 工程师, 从事交通建设管理工作。

路桥涵施工技术规范》进行。

2.2 胶砂强度

胶砂试件抗压、抗折强度参照 GB/T 17671—1999《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》进行。

2.3 无侧限抗压强度

无侧限抗压强度参照 JTG E51—2009《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》进行。

2.4 挠度

挠度按照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》进行。

3 复合注浆材料性能研究

3.1 复合注浆材料流动性能影响因素研究

3.1.1 水泥对复合注浆材料流动性的影响

根据前期探索实验,复合注浆材料较快丧失流动性,推测是水泥水化造成乳化沥青破乳导致的。为了验证这一结论,采用惰性石灰石粉代替水泥进行对比试验,石灰石粉的粒径与水泥基本相同,试验配比初定乳化沥青掺量 30%(水泥质量为 1),水胶比 0.3,减水剂 2.5‰,膨胀剂 0.7‰,浆体的瞬态流变性能见图 1、图 2 所示。

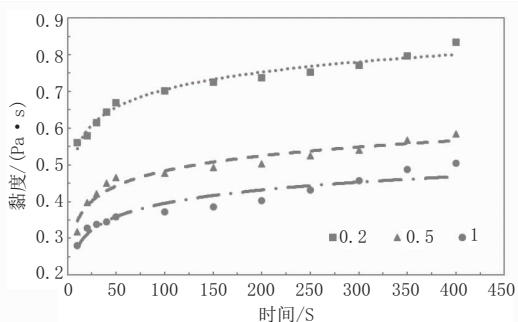


图 1 水泥复合浆体瞬时黏度曲线图(单位:Pa·s)

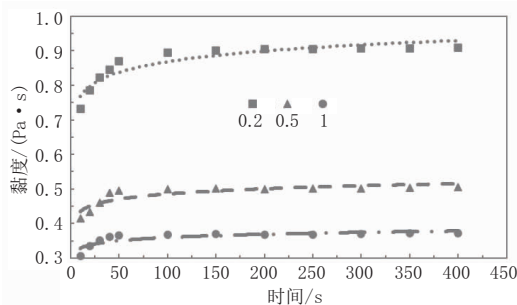


图 2 石灰石粉复合浆体瞬时黏度曲线图(单位:Pa·s)

由图 1 和图 2 可以看出:

(1)采用石灰石粉配制的复合注浆材料,浆体在不同剪切速率下的瞬态流变行为与采用水泥配制的复合注浆材料相似,即随时间的增加逐渐增加;但水泥基复合注浆材料的黏度明显高于石灰石粉复合注浆材料,表明减水剂对石灰石粉的分散效果低于不

如对水泥显著。

(2)相同剪切速率下,水泥基复合注浆材料浆体在达到稳态流变前,黏度呈显著增加趋势,而石灰石粉复合注浆材料浆体黏度增加到一定值后处于基本稳定状态。初步证明在相同剪切速率下,水泥基复合注浆材料黏度的增加主要是由水泥的水化引起的。

3.1.2 常用矿物掺合料对复合注浆材料流动性的影响

采用硅灰或粉煤灰按比例取代水泥,研究两种矿物掺合料对浆体流动性的影响。试验结果见图 3 和图 4 所示。

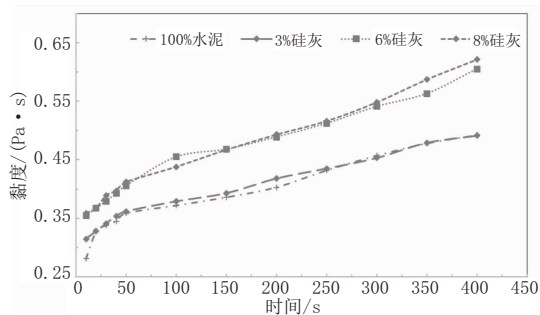


图 3 硅灰对复合注浆材料流变性影响曲线图(单位:Pa·s)

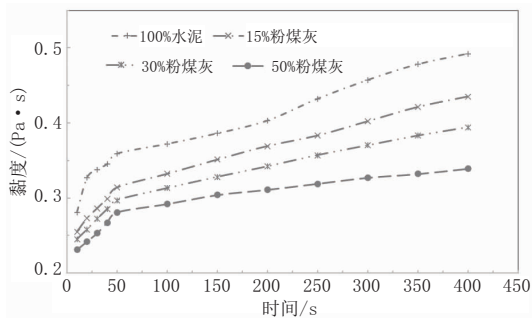


图 4 粉煤灰对复合注浆材料流变性影响曲线图(单位:Pa·s)

从图 3 和图 4 可以看出:随着硅灰掺量的增加,复合注浆材料浆体黏度显著增加,但泌水现象有所改善;随着粉煤灰掺量的增加,浆体黏度略降低,但浆体仍存在泌水现象。这可能与硅灰和粉煤灰的形貌效应、分散效应等有关:硅灰呈圆颗粒状,少量添加可改善浆体流变性,但其比表面积较大,随着掺量的增加增稠作用逐渐起主导作用;而粉煤灰中含有 70%以上的玻璃微珠,减水作用显著,可大幅降低浆体的黏度。

3.2 复合注浆材料配合比研究

3.2.1 粉煤灰掺量对复合注浆材料性能的影响

以前期试验结论为参考,固定乳化沥青掺量 30%、硅灰 5%、减水剂 2.5‰和膨胀剂 0.7‰,并固定水胶比 0.26,调整粉煤灰掺量 10%~50%,研究粉煤灰对复合注浆材料性能的影响。其试验结果见图 5 所示。

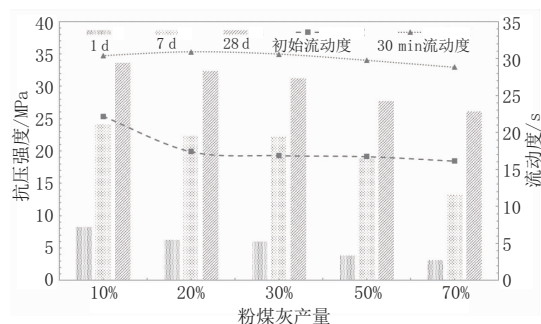


图5 粉煤灰掺量对注浆材料流动度和强度的影响柱状图 (单位:MPa)

(1)流动度:随着粉煤灰掺量的增加,复合注浆材料流动度影响呈降低趋势,且粉煤灰对复合注浆材料初始流动度的降低效果优于30 min流动度。

(2)力学性能:随着粉煤灰掺量的增加,复合注浆材料的抗压强度呈降低趋势,且粉煤灰掺量高于50%时早期强度降低显著。

(3)其他性能:粉煤灰的掺加易引起复合注浆材料的泌水,且随掺量的增加,泌水现象越严重。

3.2.2 硅灰掺量对复合注浆材料性能影响

固定粉煤灰掺量50%,调整硅灰掺量3%~8%,研究硅灰掺量变化对复合注浆材料性能的影响。其试验结果见图6所示。

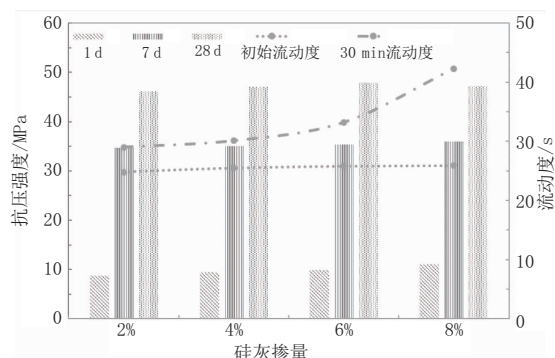


图6 硅灰掺量对复合注浆材料强度的影响柱状图 (单位:MPa)

(1)初始流动度:硅灰掺量对复合注浆材料初始流动度影响较小,当硅灰掺量由2%增加至4%时,初始流动度略有降低,当由4%增加至8%,初始流动度随掺量的增加略有增加。这主要是由于硅灰呈圆颗粒状,少量添加可以起到滚珠效应,提高浆体流动性,但由于硅灰颗粒细小,吸附性较大,大量掺加会大幅增加浆体的黏度,导致浆体流动性降低^[3-4]。

(2)30 min流动度:硅灰掺量对复合注浆材料30 min后流动度影响较大,且随硅灰的掺量的增加成增加趋势。当硅灰掺量由2%增加至6%时,流动度由29.0 s增加至33.2 s,增加幅度较小;当持续增加至8%时,流动度增加至42.3 s,增加幅度较大。

(3)力学性能:随着硅灰掺量的增加,复合注浆

材料抗压强度呈增加趋势;且硅灰对早期强度(1 d)的增强作用高于对中后期强度(7 d、28 d)。

(4)其他性能:硅灰的掺加可改善复合注浆材料的泌水,且当掺量由2%增加至8%,泌水现象改善明显。

3.2.3 减水剂掺量对复合注浆材料性能的影响

固定粉煤灰掺量50%,硅灰掺量5%,调整减水剂掺量,研究减水剂掺量变化对复合注浆材料性能的影响。其试验结果见图7所示。

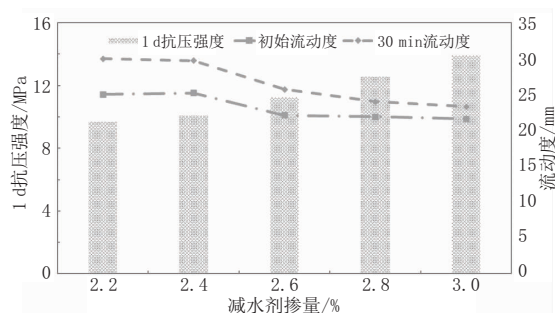


图7 减水剂掺量对复合注浆材料性能的影响柱状图 (单位:MPa)

(1)流动度:减水剂对复合注浆材料初始流动度和30 min流动度均有改善作用,随掺量的增加改善效果呈增加趋势;且对后期(30 min)流动度的改善效果优于对早期(初始)流动的改善。

(2)力学性能:随着减水剂掺量的增加,复合注浆材料早期(1 d)抗压强度呈增加趋势。这主要是因为减水剂和乳化沥青存在吸附竞争,且同为高分子材料的减水剂吸附竞争能力优于乳化沥青,抢占水泥基材料表面的吸附点位,使得水泥基材料早期水化强度发展较快。

(3)其他性能:当减水剂掺量超过2.6‰时,复合注浆材料出现泌水现象,且随着掺量增加泌水现象更为严重。

3.2.4 乳化沥青掺量对复合注浆材料性能的影响

固定粉煤灰掺量50%,硅灰掺量5%,膨胀剂掺量0.7‰,减水剂掺量2.3‰,根据试验具体情况对水胶比进行微调,试验结果见表7所列。

由表7可知:

(1)乳化沥青掺量为150%时,乳化沥青加入到无机浆料中的瞬间,即丧失流动性。

(2)乳化沥青掺量为120%时,复合注浆材料初始流动度达为28.3 s,但较快(约5 min)失去流动性。

(3)乳化沥青掺量为15%~100%时,复合注浆材料初始流动度15.2 s~22.6 s,30 min后流动度仍能达26.8 s~32.1 s,操作时间可满足施工要求。

表 7 复合注浆材料的基准配合比一览表

	无机粉料	乳化沥青 /%	水胶比	流动度 /s	
				初始	30 min
1	1	150	0.29	—	—
2	1	120	0.29	28.3	—
3	1	100	0.26	22.6	32.1
4	1	60	0.26	17.5	28.4
5	1	30	0.26	16.0	27.1
6	1	15	0.26	15.2	26.8

3.3 复合注浆材料性能验证及稳定碎石固结体力学性能与耐久性试验

采用 3.2 节确定的优选配合比复配注浆材料,选取乳化沥青掺量为 15%、30%和 60%三个掺量,测试复合注浆初始流动度、30 min 流动度、挠度,与水稳固结体的力学性能与水稳定性等,并与市售水泥基注浆材料水稳固结体进行对比分析。

3.3.1 流动度

复合注浆材料流动度验证试验如图 8 所示。

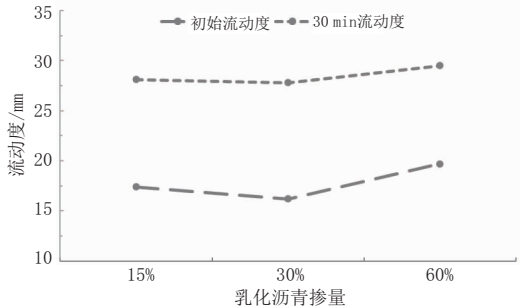


图 8 复合注浆材料最优配合比性能验证试验曲线图(单位:mm)

由图 8 可知,当乳化沥青掺量为 15%~60%时,复合注浆材料的初始流动度 17.4 s~19.7 s,30 min 后流动度仍达到 28.1 s~29.5 s。因此,单从流动度看,复合注浆材料的性能可达到预期要求。

3.3.2 挠度

复合注浆材料与标准砂以 1 : 2 比例混合成型,养护 28 d 后测试试件挠度,试验结果如图 9 所示。

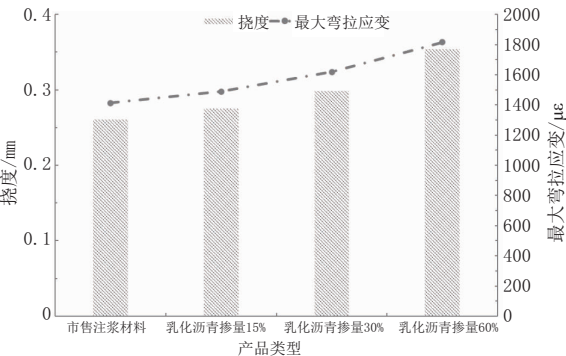


图 9 挠度实验结果柱状图(单位:mm)

由图 9 可知,复合注浆材料的挠度和最大弯拉应变均大于市售注浆材料,且随着乳化沥青掺量的增加逐渐增大^[5],具体如下:

(1)当乳化沥青掺量由 15%增加至 60%,复合注浆材料的挠度分别比市售注浆材料提高 5.4%、14.2%和 35.6%。

(2)当乳化沥青掺量由 15%增加至 60%,复合注浆材料的最大弯拉应变分别比市售注浆材料提高 5.4%、14.6%和 28.6%。

3.3.3 无侧限抗压强度

水稳固结体的 7 d、28 d 无侧限抗压强度如表 8 所列。

表 8 注浆材料固结体的力学性能一览表

	注浆材料 /%	乳化沥青掺量 /%	无侧限抗压强度 /MPa		备注
			7 d	28 d	
1	22	60	0.78	1.7	复合注浆稳定再生骨料固结体
2	13	60	0.53	1.3	
3	13	60	1.06	2.8	复合注浆材料稳定碎石固结体
4	13	30	1.79	2.6	
5	13	15	2.02	2.6	
6	13	0	3.0	4.1	市售水泥基注浆材料稳定碎石固结体

由表 8 可知:

(1)复合注浆材料稳定再生骨料时,随着注浆材料掺量的增加,固结体无侧限抗压强度增加,当注浆量由 12%增加至 22%时,7 d 和 28 d 无侧限抗压强度分别增加 0.25 MPa 和 0.4 MPa。

(2)相同配比、相同掺量的复合注浆材料分别稳定再生骨料和碎石,稳定碎石固结体的无侧限抗压强度高于再生骨料固结体,且 7 d 和 28 d 无侧限抗压强度分别提高 0.53 MPa 和 1.5 MPa。

(3)采用相同掺量的注浆材料稳定碎石时,随着注浆材料中乳化沥青掺量的增加,碎石固结体的无侧限抗压强度逐渐降低^[6],当乳化沥青掺量由 0%(市售水泥基注浆材料)增加至 60%,固结体 7 d 和 28 d 无侧限抗压强度最大提高 1.94 MPa 和 1.3 MPa。

3.3.4 水稳定性

分别采用水泥基注浆材料和复合注浆材料稳定碎石(注浆材料掺量为 13%)并成型水稳试件,养护 28 d 后测试试件的水稳定性,试验结果如表 9 所列。

从表 9 可知,经过 5 次水循环试验后,复合注浆水稳固结体的质量损失和强度损失均优于水泥基注浆材料,且随着乳化沥青的增加呈增加趋势,当乳化

表 9 注浆材料固结体水稳性能试验一览表

	5 次水循环试验 /%		备注
	质量损失	强度损失	
1	0.3	0.2	复合注浆材料(乳化沥青掺量 60%)
2	1.0	0.5	复合注浆材料(乳化沥青掺量 30%)
3	1.3	0.6	复合注浆材料(乳化沥青掺量 15%)
4	3.5	1.6	水泥基注浆材料

沥青掺量由 0%(市售水泥基注浆材料)增加至 60%,复合注浆材料的质量损失和强度损失分别降低 3.2%和 1.4%。

4 结 论

- (1)硅灰可改善复合注浆材料的泌水性能,粉煤灰掺入可改善复合注浆材料的流变性能。
- (2)在最优配合比下,复合注浆材料的初始流动

度不大于 20 s,30 min 流动度不高于 30 s;但水稳固结体 7 d 无侧限抗压强度仅为 1.0 MPa ~1.8 MPa,但挠度(最高提升 35.6%)和水稳定性比水泥基注浆材料提高。

参考文献:

[1] 刘海. 采用改性乳化沥青水泥基复合材料处治水泥混凝土路面板底脱空技术研究[D].长安大学,2013.

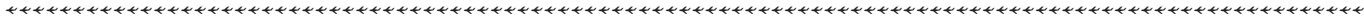
[2] 李向阳,刘初平,邓勇.乳化沥青水泥复合材料压力灌浆技术的应用[J].公路与汽运,2011(1):115-118.

[3] Jian Ouyang,Yiqiu Tan. Rheology of fresh cement asphalt emulsion pastes[J]. Construction and Building materials,2015(80): 236-243.

[4] 延西利.沥青材料的动力粘度测试及流变模型[J].石油沥青,1998,12(4): 21-24.

[5] 石小平,刘占山,姚祖康.控制挠度的混凝土路面结构设计方法[J].同济大学学报(自然科学版),1991(2):177-186.

[6] 朱华胜,曾晓辉,刘海川,等.水泥乳化沥青砂浆静态力学性能与组成的关系[J].硅酸盐学报,2020,48(5):644-651.



《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com