

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.11.047

石灰石粉在 C50 预制梁混凝土中应用研究

周绿丹

(保利长大工程有限公司, 广东 广州 510000)

摘要: 为解决广东省粉煤灰市场供应紧张,质量参差不齐的问题,寻找粉煤灰的替代物用于 C50 预制梁混凝土的生产势在必行。通过掺入石灰石粉,研究了掺石灰石粉的预制梁混凝土的物理性能、水化放热效应和耐久性能,结果表明:用石灰石粉取代粉煤灰更适用于 C50 预制梁生产,其适宜掺量在 16%左右,掺入石灰石粉不仅能促进混凝土早期强度发展,缩短 C50 预制梁张拉时间;而且可以改善混凝土孔隙结构,提高混凝土耐久性能,其优异耐久性能满足 III 类海洋环境下抗渗性技术要求。

关键词: 石灰石粉;预制梁混凝土;水化热;耐久性能

中图分类号: TU528.04

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)11-0200-03

0 引言

为节能环保,并积极推动碳减排的工作,我国正式提出 2030 年前实现碳达峰,2060 年前碳中和的战略目标。而基础性设施建设在我国国民经济发展中起到非常重要的作用,水泥的大量生产及应用不可避免导致碳排放量的增加,因此,用大掺量矿物掺合料取代水泥生产混凝土已成为混凝土行业发展的必然趋势。目前常见矿物掺合料有粉煤灰和矿粉,但广东省内由于火力发电厂较少,粉煤灰市场常出现供不应求,以次充好的现象,严重地影响工程实体的质量,因此寻找粉煤灰的替代品是市场发展的迫切需求^[1]。

石灰石粉是石灰岩经破碎粉磨后的一种矿物质细粉料,细度可根据客户需求从几目到上千目不等,有研究表明石灰石粉不完全是一种惰性矿物材料,用石灰石粉取代少量水泥在低标混凝土中已得到成功应用^[2]。现用石灰石粉取代粉煤灰,研究石灰石粉对 C50 预制梁混凝土性能影响。

1 原材料

水泥采用江门海螺水泥厂生产的 P II 42.5 水泥,矿粉是唐山曹妃甸盾石新建材有限公司生产的 S95 矿粉,石灰石粉为广东立伟达矿业有限公司 325 目重质碳酸钙。原材检验报告见表 1 所列,砂为

西江中砂,碎石为江门市新会大泽永鑫石业有限公司生产的 5~25 mm 连续级配碎石,减水剂为江苏苏博特新材料股份有限公司生产的 PCA-I 聚羧酸高性能减水剂。

表 1 石灰石粉原材检验报告一览表

碳酸钙含量 / %	亚甲蓝 / ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	流动度比 / %	细度 / %	28 d 活性 指数 / %
79	0.48	107	11.5	68

2 石灰石粉掺量对 C50 预制梁混凝土性能的影响

在配合比设计过程中,保持水灰比和胶材总量不变,按照 C50 强度等级进行设计,通过调整石灰石粉掺量,研究不同石灰石粉掺量对 C50 混凝土物理性能的影响(见表 2)。由表 2 可以看出,随着石灰石粉掺量的增加,混凝土的初始坍落度逐渐增加,原因是磨细石灰石粉具有与粉煤灰类似的形貌效应,能在混凝土中发挥物理紧密填充以及减水作用,改善混凝土粘性^[3],进而降低混凝土流动阻力。随着石灰石粉掺量增加,28 d 龄期混凝土抗压强度先增加后减小,当石灰石粉掺量为 16%时,该三元胶凝材料体系混凝土抗压强度达到最大,原因是石灰石粉活性指数较低,在总掺合料用量一定情况下,必然引起最终混凝土抗压强度有所降低。但是石灰石粉的填充效应可有效改善混凝土微观孔结构,对混凝土强度有一定的贡献作用^[4]。因此,石灰石粉合理掺量宜控制在 16%左右。

收稿日期: 2022-12-28

作者简介: 周绿丹(1977—),女,本科,工程师,从事路桥工程施工管理工作。

表2 C50混凝土配合比设计及性能检测一览表

	水泥 用量/ (kg·m ⁻³)	矿粉 用量/ (kg·m ⁻³)	石灰 石用量/ (kg·m ⁻³)	石灰石 占比	初始坍 落度/ mm	28 d 抗 压强度/ MPa
1#	296	120	58	12%	175	63.0
2#	296	104	74	16%	190	65.3
3#	296	83	95	20%	210	61.8
4#	296	64	114	24%	220	59.5

3 石灰石粉对C50预制梁混凝土力学性能的影响

综合考虑混凝土性能和单方成本,选用表2中2#混凝土配合比在试验室内进行混凝土试拌并成型试件,静置1d后脱模,然后搬到混凝土养护室进行标准养护。待养护龄期为2d,7d和28d时,分别检测混凝土试件抗压强度及静压弹性模量(见表3),进而研究石灰石粉对C50预制梁混凝土力学性能的影响,测试方法参照《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》JTG 3420-2020要求执行。

表3 不同龄期C50预制梁混凝土的力学性能一览表

	2 d 龄期	7 d 龄期	28 d 龄期
抗压强度/MPa	51.4	57.2	65.3
静压弹性模量/10 ⁴ MPa	3.24	3.62	3.85

从表3可以看出,随着养护龄期的延长,该C50预制梁混凝土抗压强度和静压弹性模量均逐渐增大。该C50混凝土2d抗压强度为51.4MPa,达到设计强度的103%,2d静弹性模量为 3.24×10^4 N/mm²,达到28d混凝土弹性模量的84%,同时满足混凝土强度不低于设计值80%,弹性模量应不低于混凝土28d实测值80%的张拉条件要求,原因在于石灰石粉对水泥早期水化有促进作用,大量的碳酸钙和C3A反应生产化学性质比较稳定的单硫型钙矾石,从而促进水泥基材料早期强度的提高^[5]。故自加水拌合开始算起,养护2d后即可进行预制梁板的张拉,大大缩短产梁周期。

4 水化热试验

水化热试验采用TamAir微量水化热仪在72h内持续地检测净浆样品在水化过程中的放热量及放热速率(见图1和图2)。两组试样水胶比均为0.33,环境温度为25℃,一组胶材为纯水泥基准样,一组胶材为2#配合比中所列组份及比例的对比如。从图1可以看出,石灰石粉取代水泥后,一方面降低了胶凝

材料体系的水化放热总量,混凝土内部温升降低,有利于结构物温缩裂缝的控制;另一方面对比样早期水化放热速率增大,说明水化放热量比基准样大,相应的水化反应快,从侧面证实了石灰石粉能促进水泥早期水化。随着水化不断进行,早期强度不断增加,从而验证了用石灰石粉取代粉煤灰生产C50预制梁,早期强度发展得快,可缩短张拉时间的合理性。

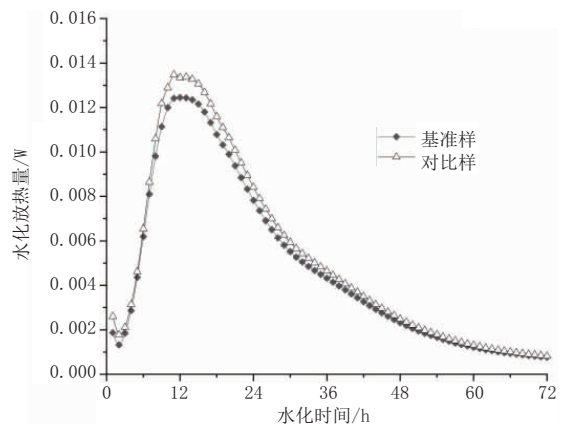


图1 石灰石粉对水化放热速率的影响曲线图

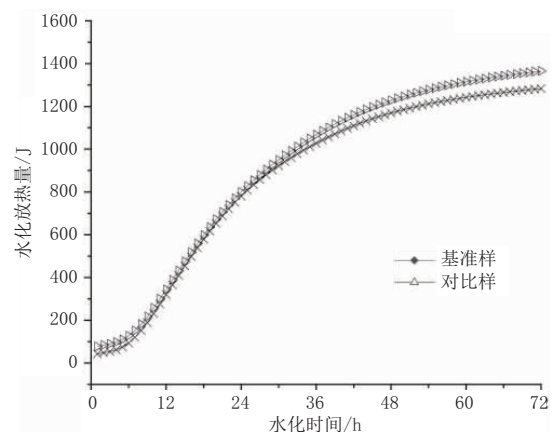


图2 石灰石粉对水化放热量的影响曲线图

5 石灰石粉对C50预制梁混凝土耐久性的影响

由于混凝土耐久性能直接影响到整个桥梁的使用寿命,因此,在混凝土配合比设计过程中,不仅要综合考虑混凝土的工作性能和力学性能,更要注重混凝土的耐久性能,故该试验通过抗氯离子扩散系数和电通量两个参数评价混凝土的耐久性能,研究石灰石粉对C50预制梁混凝土耐久性的影响。实验采用RCM法测定混凝土中氯离子扩散系数,在试验室内直接用 $\phi 100$ mm \times 50 mm试模成型制作试件,静置1d后拆模并移入标准养护室中养护,试验前将试件饱水24h,试验结果见表4所列。从表4可以看出,该混凝土28d氯离子扩散系数为 5.1×10^{-12} m²/s,

84 d 氯离子扩散系数为 $2.8 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, 满足在 III 类海洋环境中抗氯离子扩散系数的技术要求, 原因在于石灰石粉中微细硅质、铝质颗粒具有一定反应活性, 能与水泥水化产物发生二次水化反应生产水化硅酸钙凝胶, 阻断混凝土内部孔隙连通, 提高混凝土的致密性, 从而提高混凝土耐久性能^[6]。

表 4 氯离子扩散系数试验结果一览表

养护龄期	28 d	84 d	RCM-III 设计值
氯离子扩散系数 / $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	5.1	2.8	2.5 ~ 3.5

电通量试验参照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082—2009) 中相关规定进行, 测试龄期为 28 d。从表 5 可以看出, 该混凝土 28 d 电通量小于 1 000 C, 满足 III 类海洋环境下电通量的技术要求。有文献表明在氯盐或化学侵蚀环境下, 当混凝土电通量小于 1 000 C 时, 可满足混凝土使用寿命达到 100 a 的耐久性能要求。

6 结 论

(1) 石灰石粉可以作为一种矿物掺合料取代粉煤灰用于混凝土生产, 其合理掺量在 16% 左右, 此时

表 5 电通量测试结果一览表

龄期	28 d 实测值	Q-III 设计值
电通量 / C	871	1 000 ~ 2 000

混凝土性能表现最佳。

(2) 石灰石粉能诱导前期水化, 提高混凝土早期强度, 有利于缩短预制梁张拉时间, 提高产梁周期。

(3) 石灰石粉潜在的活性效应能改善混凝土内部孔隙结构, 用石灰石粉配制出混凝土耐久性优良, 能满足恶劣环境下抗渗性技术要求。

参考文献:

[1] 张伟, 李福平, 吴庆嘉等. 石灰石粉在商品混凝土中应用[J]. 商品混凝土, 2014(7).
 [2] 雷文晗, 赵大军, 程志勇. 石灰石粉作为混凝土矿物掺合料的应用研究进展[J]. 粉煤灰综合利用, 2013(1):53-56.
 [3] 刘娟红, 宋少明. 活性粉末混凝土—配制、性能与微观结构[M]. 北京, 化学工业出版社, 2013(9):186.
 [4] 黄汉洋, 贾丽莉, 吴媛媛, 李伟. 石灰石粉混凝土应用关键技术研究[J]. 江西建材, 2015(12):243-247.
 [5] 饶美娟, 刘数华, 方坤河. 石灰石粉对水泥早期性能的影响[J]. 粉煤灰, 2010, 22(1):5-7.
 [6] 陈建雄, 李鸿芳, 陈寒斌等. 掺超细石灰石粉和铁矿渣粉超高强混凝土研究[J]. 建筑材料学报, 2005(12):672-676.

(上接第 187 页)

[3] 俞强. 邻近地铁深大基坑开挖变形与控制措施研究[J]. 建筑结构, 2022, 52(12):127-133.
 [4] 赵文, 韩健勇, 李慎刚, 等. 砂土地层深基坑桩锚支护体系的受力与变形[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2015, 36(4):576-580, 595.
 [5] 奚家米, 尉阳. 软土地区深基坑施工监测与变形特性的时空效应分析[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(4):1587-1592.
 [6] 奚家米, 付垒. 基于时空效应的深基坑工程变形规律分析[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(16):290-297.
 [7] 楼春晖, 夏唐代, 刘念武. 软土地区基坑对周边环境空间效应分析[J]. 岩土工程学报, 2019, 41(S1):249-252.
 [8] 俞晓, 宋雷. 空间效应下不规则深基坑的支护体系变形分析[J]. 武汉科技大学学报(自然科学版), 2020, 43(5):384-389.

[9] P. Lin, P. Liu, G. Ankit, et al. Deformation monitoring analysis and numerical simulation in a deep foundation Pit[J]. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 2021, 58:56-62.
 [10] 吴锋波, 金淮, 朱少坤. 北京市轨道交通基坑工程地表变形特性[J]. 岩土力学, 2016, 37(4):1066-1074.
 [11] 王卫东, 徐中华, 宗露丹, 等. 上海国际金融中心超深大基坑工程变形性状实测分析[J]. 建筑结构, 2020, 50(18):126-135.
 [12] 唐新华, 李向阳, 张俊赟, 等. 复杂环境下基坑开挖工序对周边构筑物变形影响分析[J]. 建筑结构, 2022, 52(S1):2531-2535.
 [13] 刘维正, 葛孟源, 万家乐, 等. 考虑空间效应的桩锚支护深大基坑变形特性及影响因素数值分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2021, 18(12):3188-3200.