

机制砂石粉含量配合比优化研究

时宏为, 孙同椿

(中交路桥华东工程有限公司, 上海市 200120)

摘要: 当前, 为实现对长江水生态的有效保护, 国家相关部门出台流域重要河段的河道采砂管理规划; 探索机制砂的更广泛应用, 为响应国家号召, 现越来越多的工程师采用机制砂对混凝土配合比进行设计, 而机制砂石粉含量是混凝土配合比设计中的一个重要参考指标, 结合经验法和试验法, 拟定了石灰岩、凝灰岩、玄武岩三种岩性机制砂石粉含量分别为3%、5%、7%、9%、11% 5组目标掺量, 开展了混凝土力学性能、工作性能、外观、氯离子扩散性系数的对比分析试验, 试验结果显示混凝土抗压强度在石灰岩机制砂石粉含量为9%时抗压强度最高, 混凝土强度未随着凝灰岩机制砂和玄武岩机制砂石粉含量的增加而增加; 机制砂石粉含量在7%~9%时, 混凝土工作性能(坍落度、棍度、黏聚性、保水性)最好; 随着机制砂石粉含量的增加, 混凝土的外观不断改善, 结果显示当石粉含量达到11%时, 混凝土的外观效果最佳; 机制砂28、84 d氯离子扩散性系数($RCM10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)随着石粉含量的增加呈现负相关, 石粉含量在11%时, 28、84 d混凝土氯离子扩散性系数($RCM10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)最低。

关键词: 机制砂; 石粉含量; 配合比; 强度

中图分类号: U414

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)07-0349-04

Research on Optimization of Mix Proportion of Machine-made Sand Gravel Powder Content

SHI Hongwei, SUN Tongchun

(China Communications Road and Bridge East China Engineering Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: Currently, in order to effectively protect the water ecology of the Yangtze River, the relevant national departments have issued the river channel dredging management planning for the important river sections. The wider application of machine-made sand is explored. In response to the call of the country, nowadays, more and more engineers use the machine-made sand to design the mix proportion of concrete, and the content of machine-made sand gravel powder is an important reference index in the design of mix proportion of concrete. Combined with the empirical method and experimental method, it is proposed that the contents of three rocky machine-made sand gravel powders of limestone, volcanic ash rock and basalt are five groups of target contents of 3%, 5%, 7%, 9% and 11% respectively. The comparative analysis experiments of the mechanical properties, working performance, appearance and chloride ion diffusion coefficient of the concrete are carried out. The experimental results show that the compressive strength of concrete is the highest when the machine-made sand gravel powder content of limestone is 9%, and the compressive strength of concrete does not increase with the increase of machine-made sand gravel powder content of volcanic ash rock and basalt. The working performances (slump, stiffness, cohesion and water retention) of concrete is the best when the content of machine-made sand gravel powder is 7%~9%. With the increase of machine-made sand gravel powder content, the appearance of concrete is constantly improved. The results show that the appearance effect of concrete is the best when the content of sand powder is 11%. The chloride ion diffusion coefficients ($RCM10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$) of machine-made sand after 28 days and 84 days present a negative correlation with the increase of gravel powder content. The chloride ion diffusion coefficient ($RCM10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$) of concrete after 28 days and 84 days is the lowest when the content of gravel powder is 11%.

Keywords: machine-made sand; content of gravel powder; mix proportion; strength

0 引言

近年来, 由于国家工程建设的发展, 保护长江及湖泊生态环境导致天然砂资源短缺、价格较高, 而工

收稿日期: 2024-11-11

作者简介: 时宏为(1989—), 男, 学士, 工程师, 从事路桥施工技术管理工作。

程建筑用砂需求量却不断增大,使得机制砂混凝土被广泛的应用在各种道路、桥梁建设施工过程中。然而,机制砂对混凝土性能影响的研究主要停留在机制砂细度模数(max)、含泥量、颗粒级配、亚甲蓝、棱角性、压碎值等方面,石粉含量之间的差异而常常被忽略,混凝土性能方面对不同的石粉含量及不同材料的石粉研究不够深入。因此推广使用机制砂混凝土任重而道远,研究不同岩性不同石粉含量机制砂对混凝土性能的影响,奠定了配合比优化一定的理论基础和重要意义。

石粉是岩石破碎制砂磨细的产物,其粒径小于 0.075 mm,其含量高低直接影响着机制砂的材料特性及其砂浆和混凝土的性能^[1]。为此,本文依托甬台温高速改扩建温州北白象至南白象段 TJ03 标建设工程,开展机制砂石粉含量对混凝土优化配合比性能影响研究,以期揭示石粉在机制砂混凝土体系中的作用机理,从而促进机制砂中部分石粉含量替代胶凝材料的推广应用。

1 试 验

1.1 原材料试验

水泥采用 P.O42.5 普通硅酸盐水泥,水泥密度为 3 010 kg/m³,细度 12.2%,标准稠度用水量 27%;粉煤灰采用 F 类 II 级,密度为 2.30 g/cm³,需水量比为 95%,细度为 18.8%;矿渣粉采用鞍有限公司 S95 级,7 d 活性指数为 102%,28 d 活性指数为 115%,流动度比为 106%,比表面积为 423 m²/kg,密度为 2.92 g/cm³;减水剂采用聚羧酸 AJCP-R 高性能(缓凝型)减水剂;拌合用水为自来水;粗骨料采用 5~10/10~25(掺配比例为 3:7)凝灰岩连续级配碎石;细集料分别采用 0~4.75 连续级配机制砂,母岩分别为凝灰岩、石灰岩、玄武岩。

1.2 配合比试验

试验用机制砂石粉含量分别为 3%、5%、7%、9%、11% 作为混凝土标准配合比细集料,选用 C35 混凝土配合比分别测试对石灰岩、凝灰岩、玄武岩 3 种机制砂不同石粉含量对混凝土工作性能(坍落度、棍度、黏聚性、保水性)、力学性能(混凝土抗压强度)、外观、及耐久性(RCM10⁻¹² m²/s)的影响^[2],C35 标准混凝土配合比见表 1。

表 1 标准混凝土配合比						单位:kg/m ³
水泥	粉煤灰	矿渣粉	砂	碎石	水	外加剂
222	122	61	778	1032	170	4.05

1.3 试验方法

混凝土的力学性能(抗压强度)按照《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG 3420—2020)水泥混凝土抗压强度试验方法(T 0533—2005)进行测试^[3];混凝土的工作性能(坍落度、棍度、黏聚性、保水性)按照《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG 3420—2020)水泥混凝土拌合物稠度试验方法(坍落度仪法 T 0522—2005)进行试验^[3];混凝土的外观按照目测方法进行观察;混凝土的耐久性能(RCM10⁻¹² m²/s)按照《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG 3420—2020)水泥混凝土抗氯离子渗透试验方法(RCM 法 T0579—2020)进行试验^[3]。

2 结果分析

2.1 石粉含量对抗压强度的影响

通过表 2 数据可以看出当石灰岩机制砂石粉的含量在 3%~9% 之间时,混凝土在 3、7、28 d 的抗压强度呈现出轻微的增长。通过表 3、表 4 数据可看出当石粉含量达到 11% 时,混凝土的抗压强度反而出现下降趋势。

表 2 石灰岩抗压强度变化表

石粉含量/%	3 d/MPa	7 d/MPa	28 d/MPa
3	23.5	34.2	44.6
5	24.3	34.4	45.5
7	25.7	34.2	46.8
9	26.6	35.2	48.1
11	24.7	34.3	46.2

表 3 凝灰岩抗压强度变化表

石粉含量/%	3 d/MPa	7 d/MPa	28 d/MPa
3	23.5	35.2	44.4
5	23.7	35.1	44.6
7	23.7	34.9	44.8
9	25.1	35.2	44.8
11	23.9	34.5	44.2

表 4 玄武岩抗压强度变化表

石粉含量/%	3 d/MPa	7 d/MPa	28 d/MPa
3	23.8	35.1	44.5
5	23.9	34.6	44.9
7	23.4	34.9	45.8
9	24.2	36.9	45.5
11	23.7	35.1	45.7

通过外部委托石灰岩机制砂石粉主要矿物成分分析发现,主要矿物成分为方解石(化学成份为 CaCO₃),次要矿物成分为石英(化学成份为 SiO₂),强度的增加是因为单位质量石粉所含有的能在水化中

起到晶核作用的粉体颗粒的数目增加;混凝土中的浆体的孔隙因石粉含量增大而被更加充分地填充,丰富浆体,从而提高浆体密实性,对强度增加更为有利。而石粉中的 CaCO_3 可以与水泥中的 C3A 反应生成水化碳铝酸钙,进而抑制水化早期形成的钙矾石向单硫型水化硫铝酸钙的转化,从而表现出一定的活性^[4],反而提高了混凝土的抗压强度。

通过外部委托玄武岩和凝灰岩石粉的主要矿物成分分析发现,玄武岩主要矿物成分为铁质透辉石、富拉玄武岩(化学成分为 $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$),凝灰岩的主要矿物成分为石英(化学成分为 SiO_2),以上矿物均不含活性,不能对水泥或其他掺合料形成二次反应,只是起到丰富浆体,填充孔隙的作用^[5]。

通过对比表 2~表 4 数据可得出石灰岩机制砂石粉含量在 9% 时强度最高,混凝土强度未随着凝灰岩及玄武岩机制砂石粉含量增加而增加;通过对比发现石灰岩机制砂石粉含量在 3% 和 9% 时,其强度增长了 8% 左右。由此可以得出混凝土配合比优化时可以考虑采用部分石灰岩石粉替代部分胶凝材料。

2.2 石粉含量对坍落度(棍度、黏聚性、保水性)的影响

通过表 5~表 7 数据分析可以看出三种岩性机制砂石粉含量在 3%~9% 时,坍落度大小与机制砂石粉含量呈正相关,坍落度大小在石粉含量为 11% 时反而有变小趋势。机制砂石粉含量在 7%~9% 时,混凝土棍度为“上”(上:表示混凝土插捣容易),机制砂石粉含量在 7%~11% 时,黏聚性“良好”(用捣棒在已坍塌的混凝土锥体侧面轻打,如锥体在轻打后逐渐下沉,则表示黏聚性良好),机制砂石粉含量在 7%~11% 时,保水性为“无”(表示提起坍落筒后,没有水分从底部析出)。

表 5 石灰岩坍落度变化表

石粉含量/%	坍落度/mm	棍度	黏聚性	保水性
3	205	中	不好	少量
5	205	上	良好	无
7	210	上	良好	无
9	220	上	良好	无
11	200	中	良好	无

表 6 凝灰岩坍落度变化表

石粉含量/%	坍落度/mm	棍度	黏聚性	保水性
3	200	中	不好	少量
5	205	中	不好	少量
7	205	上	良好	无
9	215	上	良好	无
11	205	中	良好	无

表 7 玄武岩坍落度变化表

石粉含量/%	坍落度/mm	棍度	黏聚性	保水性
3	205	中	不好	无
5	205	中	不好	无
7	205	上	良好	无
9	210	上	良好	无
11	200	中	良好	无

通过显微镜观察石粉相较机制砂较为圆润,颗粒表面光滑,适当增加石粉含量,有助于完善机制砂的颗粒级配,丰富浆体体积,从而减小粗集料间的摩擦阻力,适当增加石粉含量还可起到物理减水和颗粒间润滑作用,增大了混凝土拌合物的流动性;由于石粉含量的增加导致整体需水量的增大,减少了胶集过渡区自由水的聚集,使砂浆黏度提高,混凝土拌合物的保水性和黏聚性能得以大幅度提高,起到了增加混凝土稠度和减小混凝土泌水的作用。

当机制砂石粉含量在 7%~9% 范围内时,混凝土的工作性能(包括坍落度、流动性、黏聚力和保水性)表现最佳。当机制砂石粉含量为 7% 时,其工作性能(包括坍落度、稠度、黏聚性和保水性)基本保持不变较为稳定,而当含量达到 9% 时,坍落度则呈现出增大的趋势。由此可以得出混凝土配合比优化时需考虑机制砂石粉含量的控制。

2.3 石粉含量对混凝土外观的影响

通过表 8 可以看出随着机制砂中石粉含量的增加,混凝土的外观(包括麻面、气孔和砂孔)会不断改善,由于本文只拟定了 3 种岩性 5 组数据,限制了试验数据的采集,未得出机制砂石粉含量对外观影响的极限值。通过电镜扫描可以看出石粉是一种无孔隙的球状颗粒物质,粒径极小且大小不一,其含量的增加使其更多的微粒起到了填充混凝土孔隙的作用,使得混凝土在微观层面上得到了较好的优化,从而反映在混凝土外观的变化。由此可以得出对外观要求严格的混凝土,配合比优化时需考虑机制砂石粉含量与其他指标之间的平衡。

表 8 外观变化

石粉含量/%	石灰岩	凝灰岩	玄武岩
3	不规则气孔	不规则气孔	不规则气孔
5	部分气孔	部分气孔	砂孔
7	部分气孔	砂孔	砂孔
9	表面光滑、部分麻面	表面光滑、少量砂孔	表面光滑、少量砂孔
11	表面光滑	表面光滑	表面光滑

2.4 石粉含量对 $\text{RCM}10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 影响

通过表 9 数据分析可以得出机制砂 28、84 d 氯离

子扩散性系数($\text{RCM}10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)随着石粉含量的增加呈现负相关,通过放大观察发现,石粉中的微粒填充了混凝土中的孔隙,阻止了水泥在水化过程中毛细孔道的形成,毛细透水通道因此也就被阻断^[6],机制砂中石粉含量越多,其中的孔隙也就越少,混凝土的密实度也就越大,混凝土耐久性($\text{RCM}10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 也就越小)也就越好。由于本文只拟定了三种岩性5组数据,限制了试验数据的采集,未得出机制砂石粉含量对混凝土 $\text{RCM}10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 影响的极限值。配合比优化时需继续通过试验确定石粉含量对混凝土耐久性(氯离子扩散性系数)的影响,以满足设计文件要求。

表9 石粉不同含量混凝土 单位: $\text{RCM}10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$						
石粉 含量/ %	石灰岩		凝灰岩		玄武岩	
	28 d	84 d	28 d	84 d	28 d	84 d
3	5.8	2.3	5.7	2.2	5.8	2.2
5	4.9	2.1	4.8	2.1	4.9	2.0
7	4.2	1.9	4.2	1.9	4.2	1.7
9	3.6	1.6	3.6	1.6	3.7	1.6
11	3.5	1.2	3.5	1.2	3.5	1.2

3 结 语

该文结合经验法和试验法拟定了石灰岩、凝灰岩、玄武岩等母岩材质机制砂石粉含量3%、5%、7%、9%、11% 5组目标掺量,开展了混凝土力学性能(抗

压强度)、工作性能(坍落度、棍度、黏聚性、保水性)、外观、耐久性(氯离子扩散性系数)的对比分析试验,得出以下结论:

(1)当石灰岩机制砂石粉的含量在9%时,混凝土在3、7、28 d的抗压强度最高,混凝土强度未随着凝灰岩机制砂和玄武岩机制砂石粉含量的增加而增加。

(2)当机制砂石粉含量在7%~9%范围内时,混凝土的工作性能(包括坍落度、流动性、黏聚力和保水性)表现最佳。

(3)随着机制砂中石粉含量的增加,混凝土的外观不断改善,结果显示当石粉含量达到11%时,混凝土的外观效果最佳。

(4)机制砂28、84 d氯离子扩散性系数($\text{RCM}10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)随着石粉含量的增加呈现负相关,石粉含量在11%时,28、84 d混凝土氯离子扩散性系数($\text{RCM}10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)最低。

参考文献:

[1] 姚楚康. 石粉特性对混凝土性能的影响研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.

[2] JGJ 55—2011, 普通混凝土配合比设计规程[S].

[3] JTG 3420—2020, 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程[S].

[4] 李洲. 石粉对机制砂及其砂浆和混凝土性能影响研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2019.

[5] 蔡基伟. 石粉对机制砂混凝土性能的影响及机理研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2006.

[6] JGJ/T 193—2009, 混凝土耐久性检验评定标准[S].

《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

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadbridgeflood@163.com

