

混凝土中机制砂的配合比设计与应用

吴茂胜

内蒙古大学 交通学院, 内蒙古 呼和浩特 010070

摘要: 随着环保和可持续理念的认同, 在混凝土工程中机制砂得到较为广泛的应用。本文基于工程实践和试验现象与数据分析机制砂在混凝土工程中的力学性能。结果表明: 混凝土机制砂控制指标为压碎指标 $\leq 25\%$; 细度模数在2.6~3.2; 石粉含量在4~6%之间; 砂含量 $> 70\%$, 生产工艺采用湿法生产。机制砂混凝土配合比设计思路能够充分发挥掺和料外加剂的作用, 对混凝土工程设计及应用具有一定参考价值。

关键词: 机制砂; 混凝土; 配合比; 试验研究; 工程案例

中图分类号: TU528.56

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2015)05-0730-04

The Design and Application of Machine-made Sand Proportion in Concrete

WU Mao-sheng

Transportation Institute of Inner Mongolia University, Hohhot 010070, China

Abstract: Machine-made sand has been widely applied in concrete engineering with the environmental protection and sustainable concept in mind. This paper analyzed the mechanical properties of machine-made sand in concrete based on the experimental phenomena and data. the results showed that the control parameters were crush indexes which were less than or equal to 25%, the fineness modulus at 2.6 ~ 3.2, stone powder content in 4 ~ 6%, sand content was more than 70%. The manufactured process took up wet process production. The design of machine-made sand in concrete could fully play a role of admixture to provide a reference for mechanism of sand concrete ratio design and application.

Keywords: The machine-made sand; concrete; proportion; experimental study; engineering project

我国传统中的砂包括天然砂和人工砂两种, 机制砂是经过机械破碎, 然后筛分之后制成的。国内外很多学者展开对机制砂在混凝土配合比设计与施工的研究, Hudson BP 等人研究表明机制砂中的石粉能有效的填充空隙^[1-3], 可以在混凝土施工中起到润滑作用, 在无泥土时, 机制砂中 5~10%在用水量较小的情况下能够保持工作性。周中贵研究表明^[4]机制砂中含 6%~12%石粉时, 能够配置出最佳和易性和强度的混凝土; 安文汉等得出^[5]机制砂中的石粉的可以较为显著的改善混凝土集料界面结构, 改变空隙特征和混凝土晶相 Bonavetti 等人研究表明混凝土中如果采用水灰比较低的水泥浆中, 石灰石含量越高水化程度越好^[7-9]; 吴明威等研究得出^[10]相同配合比的混凝土, 含少量(2%~6%)石粉机制砂的混凝土相对河砂具有更小的干缩比。

本文较为深入的从理论和试验两个角度分析制砂在混凝土配合比设计和在工程中的应用, 主要是研究机制砂混凝土配合比设计和机制砂在混凝土工程中的力学性能, 分析具体工程中机制砂混凝土强度、抗渗性以及抗折性能, 为建筑工程中混凝土配合比设计以及施工提供有效的参考。

1 机制砂试验研究

1.1 材料

1.1.1 水泥 水泥型号 P.O42.5, 表观密度为 3100 kg/m³。

1.1.2 机制砂 表观密度 2690 kg/m³, 堆积密度 1570 kg/m³, 含粉量 11%, 石粉含量 4.7%, 细度模数 2.0。

1.1.3 细山砂 表观密度 2620 kg/m³, 堆积密度 1390 kg/m³, 含泥量 6.5%, 细度模数 1.5。

1.1.4 碎石 表观密度 2750 kg/m³, 堆积密度 1450 kg/m³, 针片状含量 3.3%, 压碎指标 5.7%。

1.1.5 粉煤灰 表观密度 2320 kg/m³, 紧密堆积密度 930 kg/m³。

1.1.6 膨胀剂 UEA 型膨胀剂, 其表观密度为 3000 kg/m³, 掺量在 8%~14%之间。

1.1.7 外加剂 缓凝高效减水剂, 减水率在 18.4%左右。

1.2 配合比计算

收稿日期: 2014-10-12

修回日期: 2014-10-20

作者简介: 吴茂胜(1969-),男,内蒙古巴彦淖尔市人,本科,讲师,高级工程师,主要从事公路与桥梁、工程施工。E-mail:leolen123@163.com

本文根据施工技术方面的要求选择中砂，细度模数为 2.5，将机制砂所占的比例设为 X，则计算可得 X=0.68，取 0.70，3:7 为特细砂与机制砂的比例关系。

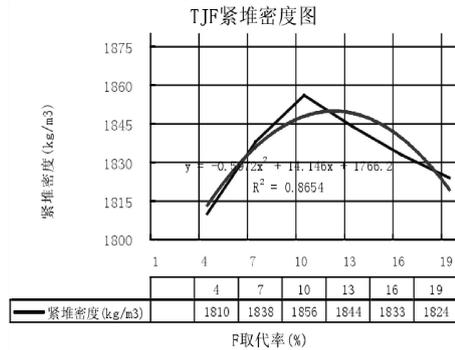


图 1 α 值计算图

Fig.1 The α value calculation diagram

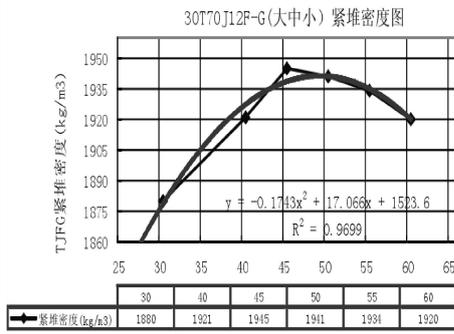


图 2 β 值计算图

Fig.2 The β value calculation diagram

根据表中试验记录和图 1 中的回归公式可以得出 F 取代率 α=11.26%，取为 12%。

表 1 粉煤灰/砂取代石子试验记录

Table 1 Test records of fly ash / sand in displace of gravel

TJF/(TJF+G)	G	TJF	紧堆密度 Density
30%	3000 g	1285.6 g	1870 g/cm ³
41%	3000 g	2000 g	1897 g/cm ³
44%	3000 g	2543.5 g	1944 g/cm ³
50%	3000 g	3000 g	1940 g/cm ³
55%	3000 g	3666 g	1933 g/cm ³
60%	3000 g	4500 g	1910 g/cm ³

由图 2 回归曲线可得:当 x=49.0 时，最大紧堆密 1941 kg/m³，β 值取为 49.0%。

配置强度 $f_{cl} = 45 + 1.645 * 6 = 54.9 \text{ Mpa}$ 。碎石质量 $W_G = 1941 \times (1 - 0.49) \text{ kg/m}^3 = 990 \text{ kg/m}^3$ 。TJF=951 kg/m³，α=12%。粉煤灰 $W_F = 951 \times 0.12\% = 114 \text{ kg/m}^3$ 。混合砂质量: $W_H = 837 \text{ kg/m}^3$ 。机制砂:特细砂=7:3；特细砂质量: $W_T = 251 \text{ kg/m}^3$ 。机制砂质量: $W_J = 586 \text{ kg/m}^3$ 。最小空隙率: $V_v = 0.275$ 。水泥浆体 $V_p = n$ ， $V_v = 0.344$ (n 取 1.25)， $V_{agg} = 1 - n V_v = 0.656$ 。混合砂的比重为 $0.3 \times 2610 + 0.7 \times 2680 \text{ kg/m}^3 = 2660 \text{ kg/m}^3$ 。根据强度要求水胶比取为 0.32，膨胀剂的取代率 0.12。水泥用量: C=425 kg/m³。膨胀剂用量: P=58 kg/m³。用水量: W=188 kg/m³。

本文减水剂掺量为 0.8%，根据减水率的减少效果可以计算用水量，通过试验实测得到减水率为 15%。用水量的计算: $W = 189 \times (1 - 0.15) \text{ kg/m}^3 = 160 \text{ kg/m}^3$ ；胶凝材料用量: $160 / 0.31 - 104 = 396 \text{ kg/m}^3$ ；膨胀剂用量: $P = 396 \times 0.12 = 47.2 \text{ kg/m}^3$ ；水泥用量: $C = 396 \times 0.88 = 348 \text{ kg/m}^3$ ；减水剂用量: $396 \times 0.008 = 3.18 \text{ kg/m}^3$ ；混凝土的容重在加减水剂前，计算为 2426 kg/m^3 。

在搅拌混凝土的时候加减水剂之后水和水泥的用量都会降低，降低的部分采取填充的办法达到紧密堆积，在工程中一般采用粉煤灰、砂子以及石子的最紧密堆积状态对这些降低的部分进行填充。因此，故有 $W_H + W_F + W_G = 1869 \text{ kg/m}^3$ ； $W_H : W_F : W_G = 7.35 : 1 : 8.69$ ；混合砂质量: $W_H = 808 \text{ kg/m}^3$ ；粉煤灰质量: $W_F = 110 \text{ kg/m}^3$ ；碎石质量: $W_G = 956 \text{ kg/m}^3$ ；特细砂的质量: $W_T = 242 \text{ kg/m}^3$ ；机制砂的质量: $W_J = 566 \text{ kg/m}^3$ ；最后配比为:水泥:特细砂:机制砂:石子:水:粉煤灰:膨胀剂:减水剂 = 349:242:566:956:160:110:47.6:3.17。

2 机制砂混凝土在在铁路工程中的应用

铁路工程建设中，砂主要用来作为渗水性填料，还可以用于路基、隧道等建筑物的圬工中，在我国的一些山区的铁路勘测中，会有时候出现该地区没有足够的天然砂但石材较多的情况，为此，可以采用爆破和机械轧制等方法将硬质岩石制成机制砂，本文根据一个具体的铁路工程的案例分析机制砂的应用情况。

2.1 工程背景

某铁路全长 1142 km, 于 2001 年 6 月 29 日开始进行建设, 2006 年 7 月正式建成并开始通车, 土石方总量 $7.820 \times 10^7 \text{ m}^3$, 花费 330.9 亿的巨额投资, 该工程使用较多的高性能混凝土, 而且当地有较为丰富的石灰石, 能够满足质量要求的河砂资源比较少, 而且整体质量不稳定如果从其他地方运输质量较好的河砂, 价格方面相对较高, 为了降低工程成本并保证工程质量, 该工程充分利用该地区的石灰岩, 采用机制砂进行混凝土施工。

2.2 施工情况

本工程对机制砂的生成控制要求较高, 对级配和石粉的含量都进行严格的控制, 为此选用干净和强度满足要求的母岩作为机制砂的原材料, 在制砂设备上选择锤击式的生成工艺。材料情况和上文情况相似, 石子粒径采用 5~40 mm, 且为连续级配。工程的实际使用配比为, 水泥:机制砂:石子:水:膨胀剂:减水剂=331:777:1271:184:46.8:3.84。

机制砂在进行混凝土拌和的时候的粘聚力较大, 振捣密实比较困难, 而且在施工中会出现表面泌水的现象, 为此机制砂的配合比要同河砂一起掺配, 发挥两种材料各自的优点, 并掺有些加高效减水剂, 增加混凝土的粘聚性, 减少泌水现象。机制砂的含粉量 < 15%。对于铁路工程的混凝土, 根据现场实际, 振捣采用平板振捣器, 振动器的振动时间控制在 15 s~20 s 之间, 模板边缘、传力杆和预埋件附件采用插入式振动器, 并刮走多余的混凝土, 混凝土表面要做到平整, 不露石子。

2.3 试验数据

据该铁路工程的施工情况, 一共制作 22 组混凝土抗压试件和抗折试件, 试验结果如表。

表 2 抗折试验结果

Table 2 The results of anti-fracture in test

工程名称 Projects	抗折试验 Anti-fracture			
	组数 Groups	最大值 Maxi	最小值 Mini	平均值 Average
一号铁道	10	7.3	50.6	57.3
一号铁道	12	7.6	48.2	56.4

表 3 抗压试验结果

Table 3 The results of anti-press in test

工程名称 Projects	抗压试验 Anti-fracture			
	组数 Groups	最大值 Maxi	最小值 Mini	平均值 Average
一号铁道	10	7.3	5.7	6.8
一号铁道	12	7.6	5.2	6.6

由表 2、3 可知, 机制砂通过掺配少量的河砂混凝土能够满足铁路工程中的试验指标均的设计要求, 施工的混凝土质量达到使用的要求, 该工程在造价方面也得到了有效的控制, 机制砂的配合比要体现高性能混凝土的一些应用实践, 通过控制混凝土浇筑过程中的和易性和脱落度等, 可以较好将机制砂推广到铁路工程中, 本实验也说明机制砂在铁路工程混凝土的应用是可行的。

4 结论

本文较为深入的从工程实践和试验两个角度分析机制砂在混凝土工程中的力学性能, 结合具体的工程案例对机制砂混凝土强度、抗渗性以及抗折性能就进行了分析。根据得到的试验现象和数据, 并结合相应的理论研究成果, 得出了以下主要的结论。

(1) 本文提出的机制砂混凝土配合比设计思路能够充分发挥掺和料外加剂的作用, 混凝土具有比较的和易性和抗泌水性能。

(2) 机制砂在工程应用中还没有广泛的推广, 通过实验分析得出混凝土机制砂控制指标为: 压碎指标 $\leq 25\%$; 细度模数在 2.6~3.2; 石粉含量在 4~6% 之间; 砂含量 $> 70\%$, 生产工艺采用湿法生产。

(3) 通过工程案例应用分析, 机制砂在混凝土工程中能够较为广泛的应用到实际工程中, 可以提高混凝土的质量和造价, 由于铁路工程的重要性和特殊性, 推广机制砂混凝土在铁路工程中应具有较为重要的现实意义, 本文的结果能为机制砂混凝土的配合比设计及应用提供参考。

参考文献

- [1] Marek MCR. Importance of Fine Aggregate Shape and Grading on Properties of Concrete// International Center for Aggregates Research[C]. USA: 3rd annual symposium, 1995
- [2] Hudson BP. Manufactured Sand for Concrete[C]. Austin, Texas: 5th ICAR Symposium, 1997
- [3] Nichols FP. Manufactured Sand and Crushed Stone in Portland Cement Concrete[C]. USA: Concrete International, 1982
- [4] 周中贵. 高石粉人工砂在黄丹电站工程中的应用[J]. 四川水力发电, 1997, 12(增刊): 93-96
- [5] 安文汉. 石屑混凝土强度及微观结构实验研究[J]. 山西建筑, 1989, (2): 19-26
- [6] Bonavetti VL, Donza H, Rahhal VF. High strength concrete with limestone filler cements[C]. USA: American Concrete Institute, 1999: 567-580
- [7] Gutteridge WA, Dalziel JA. Filler cement: The effect of the secondary component on the hydration of Portland cement: Part 1. A fine non-hydraulic filler[J]. Cement Concrete Research, 1990, 20(5): 778-782
- [8] Ingram K, Daugherty K. Limestone additions to Portland cement: uptake, chemistry and effects[C]. New Delhi, India: Proc. 9th Int. Congr. Chem. Cem, 1992: 181-186
- [9] Soroka I, Stern N. Calcareous fillers and the compressive strength of Portland cement[J]. Cem Concr Res, 1976, 6(3): 367-376
- [10] 吴明威, 付兆岗, 李铁翔, 等. 机制砂混凝土中石粉含量对混凝土性能影响试验研究[J]. 铁道建筑技术, 2000(4): 46-50

(上接第 729 页)

参考文献

- [1] 农业部办公厅. 全国蛋鸡遗传改良计划(2012-2020)[J]. 饲料广角, 2013, 2: 2-5
- [2] 刘树常, 张永镇, 申明, 等. 河北省畜牧志[M]. 北京: 农业出版社, 1993, 7: 137-139
- [3] 郭秀丽, 李祥龙, 李英, 等. 河北柴鸡第二世代成年体尺、屠宰性能及蛋品质测定分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2009, 11: 30-31
- [4] 赵超. 不同蛋鸡品种、饲养方式、补料种类对鸡蛋品质影响的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2004
- [5] 杨翠军, 葛剑, 谷子林. 河北柴鸡放养与现代笼养对鸡屠体指标和部分器官发育比较的研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(11): 71-74
- [6] 杨树玲, 李祥龙, 魏中华, 等. 河北柴鸡与罗曼蛋鸡的屠宰性能比较[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(4): 156-158
- [7] 周淑亮, 孙勇, 陈达木, 等. 不同饲养方式对柴鸡繁殖性能的影响[J]. 中国家禽, 2009, 17(31): 18-21
- [8] 宣凤苓. 太行鸡(河北柴鸡)选育效果研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2010
- [9] 宣凤苓, 李祥龙, 李英, 等. 河北柴鸡不同羽色类型蛋品质比较及相关分析[J]. 黑龙江畜牧兽医(科技版), 2010, 7(上): 48-49
- [10] 葛剑. 河北柴鸡放养条件下生长发育和产品品质的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2005
- [11] 董修建, 赵超, 马学会, 等. 不同蛋鸡品种鸡蛋品质的比较分析[J]. 中国家禽, 2005, 9(27): 16-18
- [12] 李琦章, 章玲玲, 章世元, 等. 中国6个地方鸡种蛋壳质量和超微结构的比较[J]. 中国畜牧杂志, 2011, 21(47): 6-11
- [13] 李巍. 补饲量对山场放养河北柴鸡的生产性能和蛋品质的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2004
- [14] 李利. 太行鸡、罗斯308和肉杂鸡肌肉品质的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2011
- [15] 李利, 臧素敏, 王鹏, 等. 太行鸡肌肉品质的分析[J]. 动物营养学报, 2011, 23(9): 1592-1599
- [16] 王娟. 太行鸡和海兰灰蛋鸡生长期消化生理特性的比较研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2010
- [17] 王娟, 臧素敏, 元娜, 等. 太行鸡、海兰灰蛋鸡生长期消化道主要酶系变化规律比较[J]. 西北农业学报, 2010, 19(6): 38-43
- [18] 锡建中. 柴鸡品种调查及系统地位分析[D]. 保定: 河北农业大学, 2005
- [19] 郭秀丽. 河北柴鸡MC1R基因变异研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2009