

机制砂的石粉含量和砂率等因素 对混凝土工作性和强度的影响

温乃育

福建省永正工程质量检测有限公司 福建福州 350011

摘要:以普通混凝土为基础,探讨了机制砂砂率及石粉含量对混凝土强度和工作性能的影响。通过对试验结果的分析,发现:在相同配合比的情况下,天然砂混凝土的工作性能优于机制砂混凝土但其强度不如机制砂混凝土。当机制砂石粉含量低于10%时,适当的石粉有利于提高混凝土的工作性及强度,当机制砂石粉含量超过10%时,则会对混凝土强度及工作性会产生有害的影响。

关键词:混凝土;机制砂;石粉含量

Influence of stone powder content and sand ratio of machine-made sand on workability and strength of concrete

Naiyu Wen

Fujian Yongzheng Engineering Quality Inspection Co., Ltd. Fuzhou, Fujian 350011

Abstract: Based on ordinary concrete, this paper probes into the influence of machine-made sand ratio and stone powder content on the strength and working performance of concrete. Through the analysis of the test results, it is found that the working performance of natural sand concrete is better than that of machine-made sand concrete, but its strength is not as good as that of machine-made sand concrete. When the content of machine-made aggregate powder is lower than 10%, proper aggregate powder is beneficial to improve the workability and strength of concrete, while when the content of machine-made aggregate powder exceeds 10%, it will have a harmful effect on the strength and workability of concrete.

Keywords: Concrete; Manufactured sand; Stone powder content

引言:

近年来,由于基础建设的迅速发展,混凝土的使用量逐年递增,中国已经成为了全球的混凝土生产和消费强国,每年的混凝土生产总量占全球混凝土的60%左右,伴随着我国混凝土用量规模的不断扩大,粗细骨料的需求也在逐渐增加,据统计目前我国年产砂石骨料约200亿吨。在混凝土中,作为骨架或填充作用的细集料砂子,是一种必不可少的建材,而细集料自身的物理性能又直接关系到其力学特性。为了适应建筑业对细集料的高强度需求,由机制砂逐步取代天然砂,已成为不可避免的选择。与天然砂相比,国内可利用的机制砂不但具有丰富的矿产资源,而且具有广阔的地理空间。另外,国内机制砂在二十世纪六十年代就在一些受环保限制的水利、水力发电项目、道路、桥梁等重大工程中大量的应用,

因此,我们应该用更加完善的机制砂生产技术,按照使用要求,高效大规模的生产出满足建筑施工要求的机制砂,即在满足工程需求和环境保护的同时,也降低了生产建设成本。

一、机制砂的特点及石粉的作用机理

由于地理环境等原因,在我国某些边远地区天然砂资源匮乏的地区,机制砂的应用最早于上世纪60年代,在映秀湾水电站、小浪底水电站和三峡水电站中,机制砂的使用量达3443.8万 m^3 。根据数据,90年代日本利用机制砂的总量是天然砂的2倍。上个世纪六十年代,贵州省首先采用了机制砂,并依据机制砂的使用状况,于1978年颁布了《山砂混凝土技术规范》,随着我国经济的快速发展,机制砂的应用和研究也有了很大的进步,2001年《建筑用砂》GB/T 14684正式列入了国家

标准, 之后又相继颁布了《人工砂应用技术规程》DB11/T 1133-2014北京地方标准; GB45/T 1621-2017《机制砂及机制砂混凝土应用技术规范》等。国内有关机制砂的地方规范有很多, 但由于各地的生产规范、生产工艺、砂石原材料和工程需要等方面的差异, 导致不同规范中关于机制砂的质量指标以及机制砂混凝土的配合比设计规范参数不尽相同, 因此尚未形成统一的机制砂生产及应用规程。

(一) 机制砂的特点

(1) 表面粗糙, 有许多棱角。(2) 具有较高的细度模量和较高的粒径。(3) 孔隙率高。

(二) 石粉的作用机理

颗粒填料的充填效应。石粉是一种非常细小, 可起微集料作用的原料, 它可以填充于细小的微孔中, 并参与水化反应, 通过物理化学充填和水化反应, 其充填效果优于惰性微集料, 并能使其致密, 增强其强度。

(三) 保水增稠作用

石粉会在混凝土中一定的范围内吸收水, 使每平方米的用量有所增加, 而当石粉加入量越多, 其粘性也就越大, 从而可以有效地减少离析和渗水的危险; 另外, 在混凝土的强化阶段, 石粉可以将其所吸收的水份排出, 以弥补混凝土后期的水化用水, 从而降低混凝土的收缩。

二、机制砂中石粉的特性与作用机理

机制砂中石粉的粒径低于0.075mm, 但与天然砂相比, 机制砂中的石粉颗粒形貌和细度与普通砂岩相近, 且其体积小; 机制砂中石粉不含有粘土、页岩、有机物等有害物质, 具有相对干净、稳定性好的特点; 反之, 天然砂粒中泥粉含有大量的粘土和有机物等有害组份, 这些组份的体积大, 易产生膨胀性, 因而其性质和稳定性都很低。用MB亚甲基蓝法检测机制砂中石粉的品质, 测试结果表明, 石粉中的亚甲基蓝值与其添加量无关; 而在天然沙中土中的土粉, 其亚甲基蓝MB随含泥量增大而增大, 两者间存在显著的相关性。这表明, 在机制砂中石粉中, 没有膨胀的颗粒, 十分清洁; 而天然沙中的泥粉则是由膨胀土组成, 其品质不佳, 性质也不稳定。通常情况下, 机制砂中的石粉含量有10%左右, 这种成分对大部分的混凝土没有任何危害。而在天然沙粒中掺入的粘土颗粒会影响混凝土的强度、耐久性和容重稳定性。石粉具有增粘、润滑、填充、晶核和增强水化等作用。石粉的影响主要表现在三个层面: (1) 在级配较差的机制砂中, 可以显著提高其堆积密度, 改善其级配。(2) 石粉会加速水泥水化诱导阶段和加快阶段终

止, 从而提高了水化率。(3) 石粉可以在一定范围内取代水泥, 从而改善混凝土的内孔尺寸, 从而改善其整体力学特性。

三、机制砂中石粉含量对水泥混凝土工作性能和强度影响

对C30、C50机制砂混凝土配合比按《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55-2011进行设计, 根据不同石粉的用量, 进行了混凝土的工作性能和强度测试, 如表1、图1所示。

表1 机制砂中石粉含量对混凝土工作性能的影响

编号	石粉含量 /%	增实因数	含气量 /%	入模温度 /℃
C30	3	1.31	3.0	28
C50	5	1.35	2.9	27.8

根据TB/T 3275-2011《铁路混凝土》标准, 采用不同掺量的轨枕混凝土的增实比为1.19~1.32。此外, 随着机制砂掺入量的增大, 路基混凝土的增实因数也呈现出明显的降低趋势, 3%时的增实因数为1.31, 而当掺入13%时, 其增实因数为1.19, 降低9.2%。混凝土的增实因数愈高, 则其干硬度愈高, 则说明其干硬度随著机制砂粉量的增大而降低。在不同的机制砂中加入的掺量对混凝土的入模温度没有明显的影响, 最大的入模温度在28.0~25.5℃之间。

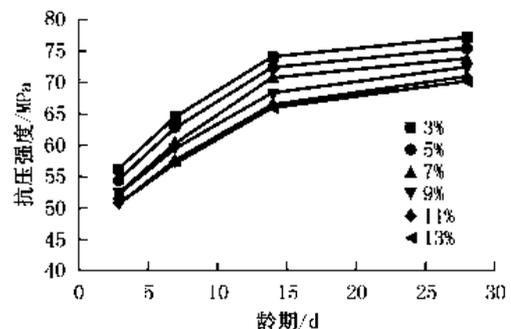


图1 机制砂石粉含量对混凝土抗压强度的影响

结果表明: 当机制砂掺入量较大时, 轨枕混凝土抗压强度呈下降趋势; 在3%的石粉用量下, 7天、28天混凝土的抗压强度分别为56.2MPa、77.3MPa; 当掺入13%的石粉时, 7天、28天混凝土的抗压强度分别降低了8.9%、8.7%。其主要原因是由于机制砂中的石粉是一种惰性粉末, 不具有一般的矿物掺和料的火山灰作用, 对混凝土的抗压强度几乎没有影响; 另外, 为了确保混凝土的工作性能在大体上是相同的, 使用高石粉的机制砂混合料时, 会使砂量减少, 从而进一步降低混凝土的抗压强度, 而在两个方面都存在着不同的影响。

石粉含量对混凝土抗压强度的影响。研究了石粉含

量对混凝土表面质量的影响。以3%、5%、7%的机制砂混合料制成的枕木，其外观品质差，泡沫含量高，且多呈不规则形，特别是在3%、5%的机制砂中，出现了大量的气泡，对混凝土的外观质量造成了很大的影响；当掺入7%的机制砂时，混凝土表面的外观质量明显下降；当掺入9%、11%的机制砂后，轨枕的外观品质良好，基本无气泡，混凝土色泽均匀；在掺入13%的机制砂石粉末后，混凝土表面上再次产生了气泡，此时的泡沫多为圆形。这主要是由于路基混凝土是干硬质混凝土，水泥浆体体积小，而且由于机制砂是经过机械处理，其表面比较粗糙，所以在混凝土中要用更多的浆液来包裹；在机械砂中加入9%~11%的机械砂中，加入大量的机械颗粒，提高了水泥的浆料体积，从而提高了路基混凝土的外观品质；而随着机械砂的加入，因其含有大量的石粉和高粘性，泥浆中的气体不易被排出，也就是在混凝土表面产生大量的泡沫。

由于骨料和水泥石的结合程度，其介面粘度大小对其综合力学特性的影响较大，故应测定其表面的微观硬度，以了解其加入量对其抗磨能力及抗磨硬度的作用。在混合料层中，由于石粉比例的增大，使得集料界面和水泥石的过渡区的微观硬度得以明显的提高，从而减小了骨料的厚度，增强了混凝土的抗磨性能。因为集料的加入并没有无限的增加，当加入量达到10%后，集料的强度就会降低，特别是当加入量达到20%后，会出现明显的降低趋势。这种微观硬度的极限，可能是因为石粉的含量越高，水泥的结构就越完美，而当石粉的质量超过10%的时候，就会形成大量的石粉，这些新的石粉并不能改变界面的性质，也不会影响到混凝土的耐磨性和强度。

从上述实验结果可以看出，在C30、C50两种混凝土

中，其最佳的石粉用量存在差异。在一定范围内，随着掺入量的增加，混凝土的工作性能有了显著的提高，其28d标准抗压强度也达到了较为理想的水平。石粉的用量自然也不会太大，C30的最佳石粉含量在10~15%之间，C50混凝土的最佳石粉含量在5~10%之间。

四、机制砂砂率对水泥混凝土工作性能和强度影响

不同机制砂砂率对混凝土工作性能及强度具有较大的影响。现按《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55-2011对C30机制砂混凝土进行设计，根据不同砂率，进行了混凝土的工作性能和强度测试。

(1) 设计依据：《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55-2011；(2) 设计条件：混凝土强度C30（试配强度38.2MPa），混凝土坍落度100~140mm；(3) 原材料：水泥为南平金牛水泥有限公司生产的金牛牌P042.5水泥，粗集料为5~31.5mm连续级配碎石，粉煤灰为福州闽创环辰建材有限公司生产的二级灰，减水剂为福建永合联科技发展有限公司生产的高效缓凝减水剂，细集料为细度模数3.62的自破碎机制砂；(4) 在相同水胶比，水泥、粉煤灰、外加剂相同情况下，不同机制砂砂率混凝土的工作性能和强度测试结果如表1、表2、表3所示。

由于机制砂通过机械轧制而成，通常含粉量较大，级配较差，因此在设计机制砂混凝土配合比时，为确保混凝土的工作性及强度等各项指标，需要根据实际试拌情况及机制砂各项指标适当的增加混凝土的砂率。砂率的变化会影响混凝土中集料的总比表面积及集料的空隙率，从而影响混凝土的强度及工作性等指标。在相同水胶比，水泥、粉煤灰、外加剂相同情况下，由于机制砂与水泥浆组成的砂浆在粗集料之间起到润滑作用，因此，适当的增加机制砂砂率可以增加混凝土的流动性。

混凝土砂率过低，混凝土的工作性差，易造成离析

表1 砂率为45%时，混凝土坍落度及强度情况

水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	机制砂 (kg/m ³)	碎石 (kg/m ³)	粉煤灰 (kg/m ³)	外加剂 (kg/m ³)	坍落度 (mm)	7d抗压强度 (MPa)	28d抗压强度 (MPa)
180	318	826	1009	56	5.827	130	32.3	38.4

表2 砂率为47%时，混凝土坍落度及强度情况

水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	机制砂 (kg/m ³)	碎石 (kg/m ³)	粉煤灰 (kg/m ³)	外加剂 (kg/m ³)	坍落度 (mm)	7d抗压强度 (MPa)	28d抗压强度 (MPa)
180	318	862	973	56	5.827	120	26.4	30.1

表3 砂率为42%时，混凝土坍落度及强度情况

水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	机制砂 (kg/m ³)	碎石 (kg/m ³)	粉煤灰 (kg/m ³)	外加剂 (kg/m ³)	坍落度 (mm)	7d抗压强度 (MPa)	28d抗压强度 (MPa)
180	318	771	1064	56	5.827	95	24.3	28.6

现象,如表1表3所示,当混凝土砂率为42%时,由于砂浆不足于填充粗集料的空隙,不能保证粗集料间的砂浆层,不能充分发挥砂浆的润滑作用,使混凝土的流动性差,粘聚性及保水性差,发生了离析现象,且混凝土强度较最佳砂率(表1所示)的混凝土强度低,同样当混凝土砂率过高时,水泥砂浆的润滑作用下降,混凝土的流动性会随着砂率的增加而降低,如表2所示,混凝土砂率为47%时,坍落度仅为120mm,增加了砂率反而使混凝土的流动性降低,且混凝土强度较最佳砂率(表1所示)的混凝土强度低。

测试结果表明,适当的砂率,能够保证砂子填满碎石间的空隙,保证足够的砂浆润滑粗集料,确保混凝土达到设计的工作性能及强度。当砂率过高或过低时,会降低混凝土的工作性和强度,因此,在设计及调整机制砂混凝土时,把握好混凝土合理的砂率最为重要。

五、结束语

总之,由于水灰比的持续下降,天然砂与机制砂混凝土的抗压强度持续增大,从而导致了混凝土的磨损值持续下降,而在相同配合比的情况下,天然砂混凝土的工作性能优于机制砂混凝土但其强度不如机制砂混凝土。许多项目的施工,对于如何将机制砂用于混凝土,都有一个疑问,虽然国家有关的技术标准,允许在水泥中掺入机制砂,但是对于掺入的石粉,却有着严格的要求。在石粉的比例达到10%的情况下,由于石粉的比例越来越大,所以它的强度会越来越弱。在机制砂中加入了石粉,可以改善混凝土与混凝土的界面,但当石粉的含量达到了10%之后,这种过渡效果就不可能再提升了,反

而会下降。同样,砂率的增大会增加混凝土的流动性,合理的砂率能确保在相同的水胶比和胶凝材料下,具备最高的混凝土抗压强度,过高或过低的砂率,会使混凝土流动性变差且强度达不到最佳效果。针对以上问题,探讨了在不同砂率条件下,机制砂混凝土的强度和工作性。拙笔不妥之处,请同行们指正。

参考文献:

- [1]陈汉良.深大基坑施工对邻近建筑基础的影响分析[J].建筑技术开发,2021,48(18):158-159.
- [2]廖林.深大基坑施工对邻近建筑基础的影响分析[J].辽宁省交通高等专科学校学报,2021,23(04):22-26.
- [3]曹招金.机制砂特性对混凝土工作性能和力学性能的影响研究[D].郑州大学,2021.
- [4]王旭昊,甘珑,余海洋,李程,高新民,张亚刚,李联伟,边庆华.石粉含量对C45凝灰岩机制砂混凝土性能的影响[J].硅酸盐通报,2021,40(03):775-783.
- [5]王效杰.深大基坑施工对邻近建筑基础影响分析[J].中国住宅设施,2021(02):124-126.
- [6]董超.机制砂对自密实混凝土工作性能、力学性能及耐久性能的影响[D].山东农业大学,2020.
- [7]庄绍牧.机制砂细度模数对混凝土工作性及力学性能的影响[J].广东交通职业技术学院学报,2019,18(02):20-23.
- [8]冯国春.深大基坑施工对邻近建筑基础的影响分析[D].长安大学,2019.
- [9]邱洪强.机制砂颗粒形状及石粉含量对混凝土性能的影响[D].深圳大学,2015.