

机制砂混凝土配合比优化设计

张 弦

(湖南长沙西南方新材料科技有限公司一分公司, 湖南 长沙 410000)

摘要: 由于近年来环境保护不断加强, 对天然砂石开采的控制已经非常严格, 再加上建筑工程的蓬勃发展, 建筑砂石用量越来越大, 天然砂石资源短缺, 机制砂的大量使用已成为必然趋势。为提高机制砂混凝土的施工性能, 必须按项目所在地原材料的质量, 优化机制砂混凝土的施工配合比, 同时应重点对配合比中的各性能参数开展试验优化, 以此确定各技术参数的优化方式和参考调整数值, 并以优化后的原材料参数为基础, 对工程常用的各强度等级机制砂混凝土的配合比进行优化。经实测检验, 优化后的混凝土施工性能均达到施工规范的要求。

关键词: 机制砂; 混凝土配合比; 优化设计
中图分类号: TU528 **文献标志码:** A



由于建筑工程蓬勃发展, 工程用砂量呈逐渐增加的态势。天然砂是工程用砂中使用量较大的细骨料, 却有短期不能再生的特性。再加上近年来环境保护的不断加强的, 相关部门对天然砂石开采的控制已经非常严格。因此如今不少地方出现天然砂短缺的问题, 砂荒现象时有发生。在建材行业蓬勃发展, 以及天然砂急剧短缺的情况下, 机制砂在不少地方开始大规模应用。但是, 在机制砂逐步替代天然砂后, 机制砂混凝土出现一些与天然砂混凝土不同的施工性能, 如果机械地按天然砂的掺量使用机制砂, 混凝土会产生一定质量问题, 严重影响机制砂混凝土的施工性能, 甚至出现质量事故, 还可能使各施工单位和混凝土供应商对机制砂出现抵触情绪。研究发现, 在天然砂石供应较充足的地区, 混凝土供应商一般拒绝机制砂的使用。甚至在天然砂供应困难的地区, 混凝土供应商不顾高昂的运费向周边地区采购天然砂。由此可见, 机制砂的应用具有较大阻力。究其根源, 是机制砂混凝土的施工性能无法满足规范和施工现场要求。所以, 调整机制砂混凝土配合比, 提升混凝土的施工性能, 是推广应用机制砂的关键^[1]。

1 机制砂对混凝土性能的影响

常用的机制砂一般指石块在经过多次粉碎、清洗、筛分出不同粒径碎石后形成的下脚料, 含泥量与石粉含量较高。顾名思义, 机制砂是机械加工的产物。与天然砂相比, 由于天然砂长期被水流侵蚀, 由

冲刷等作用形成, 表面光滑且棱角很少, 机制砂因机械外力的挤压破损作用导致其表面非常粗糙、棱角分明, 粗糙的表面有助于机制砂颗粒之间的咬合作用, 但大量棱角导致砂颗粒间的孔隙变大, 对硬化后混凝土的密实度产生不利影响, 致使混凝土的和易性变差, 强度降低。同时石粉含量会影响机制砂的特性, 比如细度模数、比表面积和堆积密度等。适当含量的石粉可改善机制砂混凝土的施工性能, 使和易性和密实度都得到优化, 还能提高机制砂混凝土的耐久性。但大石粉含量则会增加混凝土的用水量, 坍落度损失大, 会对机制砂混凝土的强度和耐久性产生不利影响。

对商品混凝土站的调查研究结果显示, 在搅拌站的混凝土生产时, 因纯机制砂混凝土施工性能不理想而应用较少。因此在机制砂混凝土的生产中, 基本都以机制砂为主, 再添加一定量的天然砂作为混凝土的复合细骨料。复合细骨料的级配较合理, 操作简单, 可大大提高混凝土的施工性能, 进而确保机制砂的推广应用^[2]。

2 机制砂混凝土配合比优化

在依据普通混凝土配合比设计规程相关条文进行设计时, 较为关键的参数是水灰比、用水量和砂率。水灰比影响混凝土的耐久性和抗压强度, 用水量影响混凝土的流动性, 砂率则决定混凝土的和易性。机制砂是一种性能特殊的材料, 既含有一定量可替代胶凝

材料的细石粉,又有远高于一般天然砂的细度模数。由于机制砂具有两端粒径差异较大的特性,导致机制砂的用量会对机制砂混凝土中的水灰比、用水量和砂率产生影响。基于机制砂混凝土中机制砂的性能特点,若单纯采用普通混凝土配合比中的三个常用指标调整机制砂混凝土配合比,则显然有所不足,还需相应增加技术参数,以此合理进行调整优化。根据相关理论研究和试验,在调整优化机制砂混凝土配合比时应考虑以下因素:

(1) 由于机制砂中存在一定量的石粉,使机制砂混凝土中的胶凝材料,由普通混凝土中的水泥、矿粉和粉煤灰,变成水泥、矿粉、粉煤灰和石粉。增加胶凝材料用量,使胶凝材料比表面积变大,导致混凝土的需水量增加,水灰比变大^[3]。

(2) 机制砂抗压强度比天然砂高,在水灰比相同时,机制砂混凝土实测强度比天然砂混凝土强度高。所以,可在不改变混凝土设计强度的条件下,借助用水量不变、减少胶凝材料用量,以此增大水灰比,节约材料用量,降低工程成本。

(3) 机制砂的细度模数高,粒径较大的颗粒比例

大,在细骨料的级配中,缺点较为突出。不过对机制砂中较大粒径的颗粒,可视在粗骨料中增加一级碎石级配,从而使粗骨料的级配更连续、完整。所以,优化调整砂率是控制机制砂混凝土和易性的关键因素^[4]。

(4) 由于机制砂的物理性能与制砂的原材料相同,同时机制砂的物理性能会对机制砂混凝土的水灰比、胶凝材料用量、砂率产生较大影响,因此机制砂物理性能可作为混凝土配合比的优化控制参数。

(5) 外加剂会影响机制砂混凝土的和易性、强度、耐久性等性能。因此,外加剂的性能指标,应作为优化机制砂混凝土配合比的重要参数。

2.1 用水量参数的优化研究

与天然砂混凝土相比,机制砂混凝土最大的优点就是强度高,在同样的条件下,机制砂混凝土的抗压强度高于天然砂混凝土,且远大于设计强度值,所以,生产时可适度降低机制砂混凝土的富余强度值。增大水灰比,尽管会使机制砂混凝土的强度有所降低,却能改善混凝土的和易性,使施工性能得到提高。机制砂混凝土配合比优化方案中配合比用水量增加后,坍落度和28 d抗压强度变化汇总如表1所示。

表1 机制砂混凝土调整用水量试验结果汇总

强度等级	原用水 (kg/m ³)	现用水 (kg/m ³)	增加水 (kg/m ³)	坍落度 (mm)			28 d抗压强度 (MPa)			水灰比增加
				加前	加后	增加	加前28 d	加后28 d	减小	
C20	172	180	8	175	185	10	31.7	30.4	1.3	0.03
C25	173	180	7	185	195	10	35.5	33.9	1.6	0.02
C30	174	180	6	180	200	20	40.7	39.3	1.4	0.01
C35	173	178	5	175	190	15	44.4	43.2	1.2	0.01
C40	171	176	5	165	185	20	50.9	49.6	1.3	0.01

分析表1可发现,C20~C40机制砂混凝土,在每1 m³混凝土提高5~8 kg拌和用水量后,坍落度都有明显提高,从试验现场情况看,混凝土的流动性得到显著改善,泵送性能也有改善。同时,用水量加大后,混凝土28 d的抗压强度值均降低1.2~1.6 MPa,但强度仍满足设计和施工要求,因此增大用水量、降低部分富余强度,从而改善混凝土的施工性能是能实现的。从以上效果可以得出,在机制砂混凝土配合比中,在胶凝材料总量不变的情况下,每1 m³混凝土增加5~8 kg的水量,水灰比增大1%~3%,坍落度增大10~20 mm,施工性能得到显著优化。

2.2 胶凝材料用量参数的优化研究

由于机制砂中的石粉颗粒细度较接近于胶凝材料,部分石粉还具有一定反应活性,石粉还能对混凝土内部空隙起填充作用,因此可用石粉取代部分胶凝材料用量。由于矿粉和粉煤灰的早期强度低,且反应活性比水泥低,因此用石粉取代胶凝材料时,一般是

取代矿粉或粉煤灰的用量,保证水泥用量没有变化。方法是:在石粉加入后,逐渐减小矿粉和粉煤灰的用量,最后以石粉代替等量的外掺料。经过调整的机制砂混凝土配合比见表2。在此试验中,水粉比=水/(水泥+粉煤灰+矿粉+石粉),但是根据试验结果分析,水粉比对混凝土的强度影响与常规的水灰比影响产生的线性规律不同,没有明显规律性,究其原因,主要是由于增加石粉用量,不像增加水泥用量那样会明显提高混凝土强度。所以,根据试验可以发现,虽然石粉中存在许多有利于混凝土强度的特性,但在实践中并不能大量取代胶凝材料的用量。从试验数据分析,机制砂所含石粉可以代替5~15 kg的胶凝材料使用量。根据试验坍落度变化可以发现,因为石粉的需水量较小,还在混凝土中产生一定润滑作用,因此石粉在取代部分胶凝材料时,机制砂混凝土的坍落度略微变大^[5]。

表2 石粉替代外掺料的C30混凝土性能对比试验

水粉比	原材料用量 (kg/m ³)							坍落度 (mm)	抗压强度 (MPa)	
	水泥	水	机制砂	石粉	FA	SL	减水剂		7 d	28 d
50	217	174	785	0	61	68	6.2	180	23.5	37.8
44	217	174	738	47	61	68	6.2	190	24.3	40.2
46	217	174	738	47	61	52	5.9	200	24.3	39.9
48	217	174	738	47	51	48	5.7	195	22.1	35.8
50	217	174	738	47	41	41	5.3	190	19.1	31.8

2.3 砂率参数的优化研究

机制砂混凝土配合比中的砂率，是影响混凝土施工性能的关键参数，由于砂率的改变，直接使混凝土

用水量发生变化，对水泥强度产生的影响较大。在机制砂混凝土与天然砂混凝土的和易性相同时，混凝土中砂率的变化趋势如表3所示。

表3 砂率对C40混凝土和易性影响

编号	机制砂比例 (%)	砂率 (%)	黏聚性	保水性	离析情况
C40	80	38	差	差	离析
C40	80	39	较差	较差	轻微
C40	80	40	一般	良好	无离析
C40	80	41	良好	良好	无离析
C40	中砂	38	良好	良好	无离析

由表3可得出结论，机制砂混凝土比天然砂混凝土的砂率大3%左右，才能保证两种混凝土和易性差别不大。影响砂率的主要因素是，机制砂的外形是不规则的棱角，降低水泥浆液对骨料的包裹作用。同时机制砂细度模数大且级配不连续，混凝土易产生离析现象。

2.4 机制砂物理性质分析

在试验室条件下，机制砂经过烘干、过筛处理后，性能和材质比较稳定，因此将机制砂的物理特性当成优化机制砂混凝土配合比的重要因素，似乎无关紧要。但是，对实际混凝土生产来看，机制砂的物理性能容易发生不稳定现象。对部分商品混凝土站，由于机制砂在生产时细度模数和石粉含量波动性较大，从而对机制砂混凝土施工性能造成较大影响，所以，机制砂物理性能是优化调整机制砂混凝土配合比的重要特性。

2.4.1 石粉含量与配合比优化

由于各机制砂生产厂家在工艺技术、生产设备、产品质量管理等方面存在差异，导致机制砂在制作时石粉含量变化较大，使商品混凝土站很难获得石粉含量稳定的机制砂。石粉含量大小对机制砂混凝土施工性能的影响显著，所以，若商品混凝土站采用机制砂生产混凝土，则要及时检测机制砂中石粉的含量，当石粉含量变化过大时，应及时对混凝土配合比中机制砂与天然砂的用量进行调整，保证混凝土的性能满足施工要求。

2.4.2 机制砂细度模数改变的配合比调整技术研究

砂的细度模数会对混凝土的和易性产生较大影

响，由于机制砂的细度模数较大，且级配不良，当天然砂与机制砂混用时，复合细骨料的细度模数更加复杂，因此在进场检验机制砂时，细度模数的检测就显得更加重要。由于机制砂细度模数发生改变，导致复合细骨料的总体细度模数发生改变，则必须对机制砂混凝土配合比加以调整改善后方能满足施工要求。

3 结束语

综上所述，在进行机制砂混凝土配合比设计时，既要严格遵守相关规范对天然砂配合比设计进行规定，同时要对以下五个参数进行控制调整：用水量、胶凝材料总量、砂率、机制砂物理性能、机制砂专用外加剂性能。借助试配对相关参数进行优化调整，综合原材料性能和成本进行考虑，以此设计出适于机制砂混凝土的配合比。在减小天然砂用量的同时，确保工程建设用机制砂混凝土的强度要求，有利于环境保护和工程建设的正常开展。

参考文献

- [1] 蒋正武.机制砂特性及其在混凝土中应用的相关问题研究[J].新型建筑材料, 2010(11): 1-4.
- [2] 宋少民, 耿雷.机制砂高性能混凝土抗渗性与抗冻性研究[J].工业建筑, 2006, 36(7): 68-71.
- [3] 刘小兵.石粉含量对机制砂混凝土性能的影响[J].粉煤灰, 2011(6): 29-31.
- [4] 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.
- [5] 杜凤英.机制砂中石粉含量对混凝土性能的影响[J].商品混凝土, 2012(6): 47-49.