

平武高速高品质机制砂生产与应用

屠林春

中交二航局第四工程有限公司

摘要：依托平武高速公路建设项目施工方工地试验室的视角对机制砂混凝土用原材料、配合比设计以及现场施工质量控制要点进行阐述。

关键词：高品质机制砂；生产控制；配合比设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.18.031

一、机制砂的简介

（一）定义

机制砂是碎石等通过机械破碎，整形、制砂，分级，除尘，经筛分拌合后获得公称粒径小于5mm的颗粒。

从成砂工艺上可以分为湿法（水洗法）生产以及干法（机械破碎除尘法）生产两种，本项目为干法施工。从成砂品质上可以分为高品质机制砂和普通机制砂。

二、高品质机制砂

根据目前的现行规范以及结合本项目建设方的具体要求，通过实际的混凝土生产经验从以下检测指标考虑高品质机制砂的定义。

（一）碱活性

机制砂所用的母岩碱活性满足规范要求。

（二）强度

母材强度应当不小于70MPa，且应不小于混凝土设计强度等级的1.5倍，各粒级的压碎指标应满足JTG/T F50-2011《公路桥涵施工技术规范》的技术要求及符合DB45/1621-2017机制砂及机制砂混凝土应用技术规范。

（三）粒形

集料在粒形方面对混凝土性能的影响是不能忽视的，集料的扁平、条棒状的颗粒数量越少，单体颗粒的平面数量越多、比较的尖锐棱角越少，对混凝土的工作性能越有利。机制砂粒形的优劣，取决于制砂设备的选择，所以对于机制砂的粒形方面的要求，实际上也就是对制砂设备的要求，S3干式整形制砂设备，集“破碎、整形、制砂、分级、除尘”为一体，成品砂质量好。

（四）级配和细度

机制砂已经广泛使用在预拌混凝土生产中，由于生产工艺和设备的原因，普通机制砂存在级配不合理，细度模数较大的问题，导致使用机制砂配制的混凝土经常出现离析、泌水、泌浆和扒底，引起混凝土拌合物堵管、引起堵泵现象，泵送困难，根据平武高速项目建设方的要求，综合国家和行业标准及地方标准，本项目的机制砂在颗粒级配方面选取了JTG/T F50-2011《公路桥涵施工技术规范》中对于II区细集料的级配参数指标，细度模数2.7~2.9。

（五）空隙率

机制砂的空隙率合格不但是混凝土密实程度重要保证，也是影响混凝土外观质量的重要指标，通过对比细集料空隙率分别为39.6%和47.1%的机制砂混凝土在同样的胶凝材料的使用量、同样的水胶比条件下空隙率较低的机制砂拌制的混凝土所达到最佳的和易性（从坍落度、扩展度、保水性、包裹性等方面综合评价）比空隙

率较高的机制砂配制的混凝土所能达到的最佳和易性要好，同时在相同配比和相同施工条件的前提下，低空隙率的机制砂混凝土外观质量（从气泡的大小、密集程度，混凝土表面的光洁程度以及色泽的均一性等方面比较）要好于高空隙率的机制砂混凝土，这种因集料空隙率的差别而导致混凝土外观的差异在施工中除更换原材料外，是很难通过配合比调整来弥补的。所以对于高品质机制砂来说，应当具备较低的空隙率，目前对于该项指标限值最小的规范是国家标准GB/T 14684-2011《建设用砂》不大于44%。

（六）石粉含量

该项指标影响到混凝土的工作性和耐久性，从本项目现有的机制砂生产成品来看，干法制砂主要控制好破碎机喂料口碎石质量，洁净、干燥。湿度对机制砂生产影响较大，容易造成除尘布袋堵塞，降低除尘效果。实践表明机制砂的石粉含量的控制应当采取辩证的观点，即高石粉含量的机制砂适合配制较低强度等级的混凝土，低石粉含量的机制砂适合配制较高强度等级的混凝土。本项目要求高品质机制砂的MB值小于1.4，小于0.075mm含≤10%。

（七）石粉在机制砂混凝土中的作用

机制砂中的石粉有着集料和胶凝材料的双重属性，首先在混凝土中石粉是可以被视为胶凝材料使用的，在JGJ/T 318-2014《石灰石粉在混凝土中应用技术规程》中明确地指出这一观点，比如在该标准中就指出使用硅酸盐水泥时石灰石粉的掺用量可达总胶凝材料的35%。试验所得在机制砂配置的混凝土中的石粉有以下几点属性：

从石粉的集料属性上看，它的存在可以降低机制砂的空隙率，从而提高混凝土的密实度和外观质量。

从石粉的胶凝材料属性上看，它的存在有利于混凝土成本的节约。

在水泥用量一定的前提下对于低强度等级混凝土增加石粉含量使得混凝土的和易性得到改善，降低了混凝土泌水、泌浆、离析的风险，提高低强度混凝土的抗渗性能。

当然机制砂的石粉含量并不是越多越好，它的存在也会给混凝土带来一些负面效应，主要体现在：

1、在同配比的前提下，采用石粉含量过高的机制砂，将会影响混凝土的和易性，不利于混凝土的施工；如果想要配制出和易性满足施工要求的混凝土，势必增加混凝土的单位用水量，这对于混凝土的耐久性和强度是不利的。

2、石粉含量增加使得混凝土坍落度损失加快，对于外加剂保坍料的需用量有所提高，这是由于在混凝土中石灰石粉参与了水泥水化反应，使得第一个水化峰值的到来时间有所缩短。所以随着石粉含量的提高，对于混凝土外加剂的品质要求也有所提高。

3、配置高强度等级混凝土时，随着石粉含量增加混凝土的抗渗性能将变差。

（八）高品质机制砂石粉含量的控制

通过实践发现对于C30及以下混凝土，当石粉含量较低时，如果希望通过增减砂率调整混凝土的工作性能是很难的，常常出现当混凝土粗集料包裹性较差时，增加砂率后混凝土粘聚性变差的现象，严重的时候就如同“豆腐渣”一般，无法满足施工的需要，这种情况就是因为由于石粉含量少，机制砂偏粗，混凝土中的胶浆不足以包裹细集料而造成的。在实际的混凝土配制中只有从增加砂率的同时一并增加胶凝材料用量的方法进行调整配合比才能够解决这一问题，但势必会增加成本。所以本项目工地试验室对地材充分研究后，经过实践总结发现当石粉含量小于7%时容易出现增加砂率导致混凝土粘聚性降低的情况，当石粉含量高于10%时，增加砂率导致混凝土用水量明显提高的情形，这都是对于混凝土的质量控制不利的。所以得出本项目的高品质机制砂的石粉含量应当控制在7%~10%之间。通常控制在8%~9%左右为宜。

三、机制砂的生产工艺

（一）湿法制砂

湿制砂在本项目并未得到应用，这里仅对其工艺特点和优劣性简述。

1. 工艺简述

湿法制砂一般是采用小粒径碎石以及较为洁净的石屑从喂料口中投料，经磨细水洗后用皮带运输机进行堆高出料生产机制砂的工艺流程如下：

原材料（小粒径碎石）→水洗→喂料口（投料）→破碎→分筛→振动筛（水洗过筛）→轮式洗料机（水洗）→皮带运输机→出料

2. 湿法制砂的优劣

湿法制砂的优点主要集中在以下几个方面：

1、对空气粉尘污染小，降低了现场生产人员的身体伤害。

2、由于水的降温作用，减少了在生产过程中机械的磨损。

3、相对而言湿法制砂工艺成品的含泥量低，制砂用原材料的含泥量要求较为宽松。

4、不存在受到阴雨天气影响不能生产的问题。

当然湿法制砂也有许多不足点，主要体现在以下几条：

1、湿法制砂有着“做粗易，做细难”的特点，其工艺的不足主要集中在细料易流失，石粉含量较少（0.6mm以下），粗颗粒偏多。

2、由于水的吸附黏结作用，在皮带运输机下料处容易出现机制砂的粗细颗粒因下料点不同而导致离析；

3、生产效率较低，材料损失大；

4、水的需求量大，因为水源的供应问题导致厂址的选择条件苛刻；

5、制砂废料多，且废料的处理比较麻烦。

6、容易造成水体污染。

7、成砂品质影响因素多而导致材料的稳定性较差。

（二）干法机制砂

干法制砂在本项目应用，干法机制砂是通过将洁净的5-10mm，通过S3干式制砂机一次成型，干法制砂对于湿法制砂的优点主要在于以下几个方面：

1、对于成品砂含水率波动小，石粉含量稳定，有利于混凝土生产的质量管理。

2、对水源的要求不高，节能减排，安全环保。

3、由除尘设备收集满足要求的石粉可以作为水泥以及混凝土的生产原料，有利于成本的节约。

其缺点主要集中于以下几个方面。

1、对制砂原材料的含泥量要求相当高，宜从源头（片石）上保证洁净程度，管理难度大。

2、对原材料含水量要求严格，原材料要始终保持干燥状态，需设置料棚防雨，储备原材料。

3、雨天生产或原材料过湿时容易阻塞筛孔，产量易受天气和季节影响。

4、干法制砂设备的投入较高。

5、机制砂产能低

四、机制砂混凝土的配合比设计注意事项

（一）机制砂混凝土配合比与河砂混凝土配合比的差异

机制砂混凝土与河砂混凝土因细集料不同其配合比设计思路方面是存在差异的，需要从以下几个方面考虑：

1、水胶比

对于机制砂混凝土来说，不同原材料生产的机制砂水胶比不同，石灰岩机制砂较鹅卵石生产机制砂需水量要高，配制混凝土时要充分检测原材料的需水量；对于石灰岩机制砂，由于石粉太细，比表面积过大，润湿同样用量的砂子需要的水就多，导致同样用量的砂子用水量提高，因此可以考虑在配制混凝土的时候适量提高用水量。对于矿渣粉和粉煤灰中掺有石粉的情况，石粉是作为胶凝材料加入混凝土的，由于矿渣粉和粉煤灰属于活性材料，具有与水泥一样的性能，在混凝土中需要的水分为化学反应和黏结两部分，水胶比不宜 $\leq 33\%$ ，而石粉只是磨细的石子，不具有化学反应的能力，在混凝土中只是填充作用，因此在胶凝材料中具有降低用水量的作用，因此在配制混凝土的时候需要减少胶凝材料的用水量总用水量6%-12%之间。综合上述使用石灰岩机制砂合理的水胶比至关重要。

2、砂率

石灰岩机制砂混凝土砂率，具体情况应根据细度模数，颗粒级配试验确定。机制砂配制混凝土时，如果出现离析、泌水和泌浆现象，主要考虑级配问题，经过长期试验总结机制砂中：0.6mm，0.30mm，0.15mm三级分计筛余分别达到20%左右，可解决相关问题；

3、容重

根据机制砂母材的密度等试验确定，机制砂配制混凝土容重一般较河砂增加10-30kg/m³，要充分考虑材料材质设置合理的容重，“质量法”与“体积法”相互验证，避免容重设置不合理，造成混凝土亏方，浪费成本。

4、浆集比

为了保证机制砂混凝土的质量抗原材料波动的能力，应当在配合比设计时考虑该参数，其主要作用是在配合比设计时通过核准在满足混凝土工作性能最基本的浆集比后，适当增大浆集比，当石粉含量超过10%时，可以将超出部分折算成胶凝材料，使胶浆数量略有富余，其富余量应当根据材料波动情况、水泥富裕系数和施工水平情况试验确定。

5、复合型减水剂各组分的比率

目前混凝土对减水剂的功能不仅是减水的需求，更是需要减水剂向混凝土提供保坍、保水、缓凝、引气、消泡等功能以满足混凝土的施工需用。本区域的复合型减水剂的组分大致也是按照减水剂的功能需求分类的。由于机制砂本身的特性，机制砂混凝土与河砂混凝土相比，复合型减水剂各种组分的配制比例是存在差异的。以保坍组分为例，由于机制砂中的石粉会参与水泥的水化反应，以至于在其他配合比材料相同时机制砂混凝土用复合型减水剂的保坍组分比例要比河砂混凝土的多。

五、机制砂配制混凝土工作性问题

混凝土工作性能体现当强度在满足设计要求的前提下是否能够满足施工要求，主要考察混凝土的和易性。混凝土的和易性通常根据混凝土的流动性、保水性、粘聚性、坍落度损失、凝结时间以及泵送性等具体评价。

1、流动性不能满足施工要求：

减水剂用量或用水量不合理造成浆体稠度方面的改变。应对：调整减水剂掺量、不改变水胶比的前提下调整用水量或联系减水剂厂家调整减水剂配方。

混凝土浆集比不合理或用水量不合理造成浆体数量改变。应对：检查细集料细粒组分含量，适当调整砂率；调整用水量或调整水泥浆用量。

粗细集料的级配不合理。应对：调整砂率，调整集料的掺配比例，调整胶浆用量，有条件时可以考虑使用多级配集料，调整集料生产的机械设备的筛孔尺寸和有效面积。

2、保水性不良，泌水、流浆、混凝土黏底：

砂率过低引起的浆体稠度小、石子包裹不佳。应对：适当增加砂率，降低减水剂掺量。

细集料石粉含量过低引起浆体稠度小，容易泌水流浆。应对：更换细集料或者增加胶凝材料用量并降低减水剂掺量。

减水剂适应性或减水率的问题。应对：更换减水剂或降低减水剂掺量。

集料的针片状颗粒过多、粗细集料的级配不合理。应对：选择优质矿山，更改破碎方式，考虑使用反击破式破碎机，或者增加集料整形机调整集料的掺配比例，有条件时可以考虑使用多级配集料，调整集料生产的机械设备的筛孔尺寸和有效面积。

3、粘聚性不良：

因砂率过大导致水泥浆数量不足。应对：增加水泥浆用量或减小砂率以及调整碎石的掺配比例降低碎石的总表面积后降低砂率。

因浆体偏少导致水泥浆数量不足。应对：如果是含水率测定结果比实际结果高应当调整含水率增加用水量。

浆体稠度过小导致难以包裹集料而流浆、泌水。应对：降低减水剂掺量或用水量。

集料的针片状颗粒过多、粗细集料的级配不合理。应对：选择优质矿山，更改破碎方式，考虑使用反击破式破碎机，或者增加集料整形机调整集料的掺配比例，有条件时可以考虑使用多级配集料，调整集料生产的机械设备的筛孔尺寸和有效面积。

4、坍落度损失大：

气候原因，例如：气温过高、风力过大。应对：降低材料温度；增加减水剂掺量；改为夜间施工。加快施

工节奏或采取挡风措施。

使用热水泥。应对：待水泥降温后再施工，有条件可加装储存罐降温装置。

减水剂配方不合理。应对：改善减水剂配方考虑增加保坍、缓凝组分。

六、机制砂混凝土外观问题

混凝土结构不仅需要具备满足设计要求的强度，同时也需要提供给人们美的享受，即对混凝土内实外美的要求。

机制砂混凝土结构物的外观问题主要有色差、砂线水纹、蜂窝麻面、气泡多、裂缝几种情况。混凝土结构具备良好的外观，需要从材料源头、试验检测、现场施工以及养护几个方面同时开展控制措施才有可能获得较好的改善。

1、色差：

因材料颜色变化引起的色差。应对：通过对胶凝材料和细集料的颜色对比，控制材料的稳定性。

因施工模式以及脱模剂等原因产生的色差。应对：控制好模板清理情况，单个构件使用同一种脱模剂，防止涂好脱模剂的模板产生污染（加盖塑料薄膜）。

混凝土坍落度与施工工艺不匹配。应对：混凝土的入模坍落度需要和现场振捣工艺相匹配，强震（高频、长时间、大作用半径的振捣）适合低坍落度的混凝土，弱震适合大坍落度高流动性混凝土。同时应控制混凝土落高，防止因混凝土落高过大导致的混凝土离析情况。

2、砂线、水纹：

混凝土本身泌水。应对：降低水胶比、降低减水剂掺量或者调整减水剂配方；查验混凝土集料级配情况。

施工工艺不合理。应对：避免雨天施工以及模板拼接不良，防止下料高度过大（应小于2m）以及分层过大（不宜大于30cm）；防止混凝土浇筑速度过快；避免过振。

3、蜂窝麻面：

混凝土配比或集料级配不合理。应对：控制混凝土原材料的品质，调整混凝土配比参数，尽量减小水胶比，保证较好的混凝土出料状态以及入模状态。

施工工艺不合理。应对：保证分层振捣，选择合适的振捣工具，避免漏振和过振；避免模板拼接不良产生的漏浆。

七、小结

综上所述，机制砂的可塑性、耐久性等性能能够满足预应力混凝土细集料要求，将机制砂应用到预应力混凝土中有重要的现实意义，因此，机制砂的应用与推广是可持续的。然而在实际应用中，机制砂的品质不同，对混凝土的影响不同。为了确保混凝土的质量，我们应当严格控制价值的各项性能指标，保证只有高性能、合格的机制砂才能掺入混凝土。

参考文献

- [1]《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50-2011
- [2]《建设用砂》GB/T 14684-2011
- [3]《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55-2011
- [4]《人工砂混凝土应用技术规程》JGJ/T 241-2011
- [5]DB45/1621-2017机制砂及机制砂混凝土应用技术规范

作者简介：屠林春，男，汉，江苏连云港，本科，工程师，研究方向：土木工程（道桥方向）。