

## 机制砂与天然砂的性能对比及在泵送混凝土中的应用困境

王 坚 张 弛

上海建工二建集团, 上海 200080

[摘要]文中首先介绍了机制砂的由来与发展趋势,以及泵送混凝土中砂的选取。随后,重点从定义、规格、等级和特点、配置要求、颗粒级配、原料和粒型、自身特点、配制出的混凝土的特点、检验标准,应用标准等各个方面研究和总结了机制砂。再从石粉含量、组成结构、细度模数、黏合性和抗压性等四个方面对比分析了机制砂和天然砂的区别。最后,针对超高层泵送混凝土中对砂的性能要求,给出了泵送混凝土砂的选用办法,最后针对机制砂中一些待研究的问题给出了相应的建议。

[关键词]机制砂;天然砂;泵送混凝土;性能对比

DOI: 10.33142/ec.v7i2.11144

中图分类号: TU528.53

文献标识码: A

### Comparison of Performance between Mechanized Sand and Natural Sand and Application Dilemma in Pumped Concrete

WANG Jian, ZHANG Chi

Shanghai Construction No. 2 Construction Group Co., Ltd., Shanghai, 200080, China

**Abstract:** This article first introduces the origin and development trend of manufactured sand, as well as the selection of sands in pumped concrete. Subsequently, the focus was on researching and summarizing manufactured sand from various aspects such as definition, specifications, grades and characteristics, configuration requirements, particle size distribution, raw materials and particle types, their own characteristics, characteristics of the prepared concrete, inspection standards, application standards, etc. The differences between manufactured sand and natural sand are compared from four following aspects: stone powder content, composition structure, fineness modulus, adhesion and compression resistance. Finally, in response to the performance requirements for sands in pumped concrete for super high-rise buildings, a selection method for sands in pumped concrete for super high-rise buildings is provided. Finally, corresponding suggestions are given for some issues to be studied in manufactured sand.

**Keywords:** manufactured sand; natural sand; pumped concrete; performance comparison

### 引言

随着国内天然砂、河砂等资源的逐渐减少,政府加大开采管控力度,天然砂石产能也随之骤减。机制砂作为一种替代天然砂石,由机器加工和制作的建筑原料,正逐步替代天然砂,并将成为普遍的行业趋势。在诸多领域,机制砂已经很好地取代了天然砂。但选择天然砂还是机制砂作为泵送混凝土的骨料仍需谨慎。

#### 1 机制砂

##### 1.1 定义

天然砂是由自然条件作用而形成的,粒径在 5mm 以下的岩石颗粒,包括天然海沙、湖沙、河沙或碎石砂。机制砂原料通常是鹅卵石、花岗岩、青石、玄武岩等各种相对较硬的岩石品种经过破碎设备,破碎成小于 5mm 的砂子。石料进到破碎机、出来经过筛分,一部分小颗粒直接成为成品砂,另一部分大块颗粒再次进入破碎机破碎最终成型。机制砂的指标同样需要满足各类国家和相应的行业规范。

##### 1.2 制作

人工机制砂的生产周期短。通过铲车、给料机等上料设备将原材料喂入制砂主机中,破碎后经振动筛等筛分设备便可将成品机制砂分离出来,泥土会在筛分设备的缝隙

中掉落。矿石原料石块会在此过程中不断被粉碎。这一步主要是粉碎,是将大块矿石做细化处理。随后将细砂和小碎石块一起运送至水下冲洗。冲洗完成后,砂石料会被再次筛选分类。细料一组,粗石料一组。较大块的石头会被再次重复一次粉碎加工。细砂石料会进入最后一步的精研磨。在精研磨机器中,砂石料会被研磨得更加精细。此步骤中还需要加入少量水,并到前方进行脱水处理。

并且只要有原材料投入,便可源源不断的生产机制砂。机制砂原材料来源可以很广,广义上的不产生化学反应且无放射性的常温下的固体其实都可以作为机制砂的原材料,这就包括各类无机非金属的盐类、各种矿石原料、废物的固体、传统的混凝土建筑垃圾。机制砂也必将成为建筑垃圾处理的一个归宿。

##### 1.3 规格

粒型来看,机制砂多为多棱状体,具有更大的比表面积,便于水泥、添加剂的粘接,利于提高混凝土的强度。如果采用干法制砂,成品用于干混砂浆,更省去了烘干砂子的工序,从而直接降低了企业的生产成本。机制砂的细度模数和级配都是可调节的。目前,机制砂的规格按细度模数分为粗、中、细、特细四种(见图 1.a)。



图1 (a) 机制砂的规格；(b) 机制砂的原料

目前，机制砂的等级按其配制出的混凝土的强度分类。暂时分为：I、II、III三个等级 $\geq C60$ 、 $C30 \sim C60$ 、 $< C30$ 的混凝土与构筑砂浆。但事实上，机制砂由于是粉碎了的矿石原料，所以一般其强度是低于天然砂石的。天然砂石的弹性模量和强度一般远远高于大颗粒的骨料。不仅如此，机制砂的表面形貌更为重要，会严重影响用水量和配合比。此外，机制砂的化学特性同样不可忽视。

#### 1.4 级配

机制砂目前对粒径和含石粉量有明确的比例限制。对形貌有一定要求，长细比不能过大。同时，也规定了砂的颗粒级配。不同粒径的砂搭配，空隙更小。级配好的砂，不仅可以节省水泥，还可以提高混凝土和砂浆的密实度和强度。

#### 1.5 机制砂特点

相比于天然砂，机制砂的特点主要有两个方面：

(1) 原料可控：通过原料保证机制砂的品质。天然河砂的形成是经长年累月冲刷行程的，颗粒发圆，亲水性好。采用河砂的混凝土天然流动性好，利于混凝土的泵送。但是天然河砂往往多为细沙，需要加入中砂和粗砂来调节级配。河砂的主要问题是含泥量不易控制，如果加入混凝土中，会严重影响混凝土的品质。机制砂的材料来源相对可控。其宏观力学性能相对稳定。并且可自主选择摩尔硬度高的硬质岩石来生产机制砂。

(2) 制作可控：可以根据工程的需要，配置特定的一定颗粒级配和细度模数机制砂的。可以通过选用不同种类的筛分机械、碎砂机械，制定不同的制作流程、调节含

石粉量、砂率来控制；机制砂含有一定量的石粉。机制砂在制作过程中可以通过除尘器来调节物料中的含粉量。微量的石粉可填充在水泥水化产物的空隙之间，对整体力学性能和化学稳定性影响不大。

#### 1.6 机制砂混凝土特点

机制砂配出混凝土在一般情况下坍落度会偏小。这是因为机制砂表面更为粗糙。表面会吸附更多水分。参与水化水合反应的水并不会减少，那么混凝土在未硬化前留存在这一团混合物中的水必然减少。从表现看，就是塌落度会降低。如果，此时，还按天然砂配置混凝土坍落度不变的求，则需水量增加。水灰比变大后，易产生泌水，此类情况在特别在水泥用量少的低强度等级混凝土中，以及在超高层泵送混凝土中表现尤为明显。因为超高层泵送混凝土中对混凝土的和易性和流动性要求很高。骨料较小，塌落度一般很大。但为了保证塌落度，又必须减少用水量。而在高空作业中，混凝土的搅拌常常非常不充分，模板并不能那么地严丝合缝。这时候水分会流失。一旦水分较快地流失，又会造成堵管等不良现象的产生。由此可见，机制砂会大大增加超高层泵送混凝土施工的难度和技术要求。



(a)



(b)

图2 (a) 机制砂配置出的混凝土；(b) 运送机制砂过程中运送卡车缝隙中有水渗出

## 2 对比分析

机制砂与天然砂相比所具有的特点如下：

## 2.1 石粉含量

含粉量大是机制砂不同于天然砂的一个重要特点。在区别时，应将机制砂的含粉量和天然砂的含泥量区分开。天然砂的含泥量是指粒径小于 0.075mm，由具有黏性的黏粒构成，塑性指数较大，与水泥水化后的结晶石不具有联系效果，因而天然砂的含泥量大小直接影响混凝土强度的构成。

机制砂的含粉量是小于 0.075mm 的磨细的岩石粉末，它不能与水泥发生水化反应，但其与水泥结晶石能有极好的联系，在内部布局中起微集料的填充效应。实际上，一般情况下，若机制砂的含粉量不超越 20%，它对混凝土的凝聚时间及强度发展等都无不良影响，并且在添加混凝土外加剂拌合后，其和易性、可泵性、强度等方面有较好表现。

## 2.2 组成结构

人工制砂一般是人为选定的原料，材质均一、稳定，矿物成分和化学成分与原料是一致的，没有天然砂那样复杂。

## 2.3 细度模数和粘性

一般天然砂，一种细度模数，可以有多种级配。机制砂的细度模数可以人为地通过生产工艺来控制，按用户要求来组织生产，这是天然砂所不能做到的。机制砂不仅来源广泛，材质稳定，易于操作和控制，性能良好，能够满足建筑需求，而且经济可行，是未来建筑市场的发展方向，也有利环境保护。机制砂的颗粒度可制作得非常不规则，在使用水泥等结构粘合时，往往有更好的粘合力。

## 3 泵送混凝土中的问题

### 3.1 机制砂自身

当制砂中的泥含量超标时，由于泥土中含有大量能强吸附减水剂聚羧酸分子的成分，导致水泥颗粒吸附的减水剂数量减少，减水剂则不能充分发挥分散作用，因此泥的增加从实质上降低了减水剂的减水率。研究人员采取将泥洗去后配制的混凝土，发现相同配合比的坍落度大幅度增加，但由于洗泥的过程不可避免地带走了部分石粉，因此也出现了轻微离析和泌水现象。当前国内主要采用亚甲蓝测定机制砂中的含泥量。总体来说机制砂中的含泥量超标会导致混凝土流动性变差，在工程实际应用中会不可避免地造成工人在施工中加水的情况，引起极大的质量隐患<sup>[3]</sup>。

机制砂混凝土在搅拌前，应严格测定粗细集料的含水率，各工地试验室均在现场配备了微波炉等设备，可以在搅拌前快速得出粗细集料的含水率。搅拌时间不足会导致混凝土处于未充分搅拌均匀的状态，影响和易性，且易导致现场操作和试验人员发生误判而错误的调整配合比。试验人员和操作人员应在混凝土拌和过程中密切观察混凝土的状态，并及时与前场浇筑工作面的技术人员沟通，发现问题及时调整。

混凝土在运输过程中发生的性能变化常常被归咎于

坍落度损失或减水剂发生后扩现场，但在实践中发现，常有罐车司机为了防止罐口下料时堆积的混凝土在运输过程中硬化，将车开出后或接完混凝土后即放水冲洗罐口，导致罐内混凝土水胶比改变，运输到现场后常常发现混凝土离析，极易造成误判，部分罐车司机在浇筑完洗罐后将洗罐水未放干净，待下次运输混凝土时也会导致混凝土离析泌水，导致混凝土无法浇筑只能报废处理。

由于机制砂混凝土的流动性较差，即便是各种性能都满足的机制砂混凝土，在浇筑中工人为图省事随意加水的情况也屡见不鲜，由于加水超标导致混凝土离析后又以混凝土不合格为由推卸责任的现象在施工现场常常出现。因此，在运输、浇筑、养护环节，更重要的是加强施工人员管理。

### 3.2 运输控水

机制砂在制作过程中会用到大量水，所以很多机制砂成品是含有大量水的。在实际运输过程中机制砂中的水夹杂着砂中的小颗粒，极易穿过运输卡车的各种车板上的缝隙漏出。造成沿路路面的脏和混乱。这是由于很多厂家的脱水设备和步骤存在问题。或者是由于降水或堆积过程中受潮或淋雨，导致机制砂堆中实际又含有大量水分。

## 4 实际案例

某超高层设计高度 220m，其泵送混凝土不仅要求在较短时间内到达浇筑面，还需要确保混凝土有较小的坍落度。在本公司承建的某超高层项目上，发现采用机制砂为骨料的混凝土在实际多次调试之后造成的坍落度始终过大，且伴有泌水现象。且砂浆质量不稳定。根据对机制砂的研究、以往超高层建造的丰富经验，以及现场的实际泵送情况，本项目最终决定采用天然砂的自密实混凝土来替换机制砂混凝土。

另一近 400m 超高层项目，在泵送混凝土时遇到堵管。堵管作业面位于 200m 级水平面。在弄清楚泵送机型型号，功率，泵送混凝土集配后，选择加硅粉，增加润滑能力。最终堵管概率降低。硅粉的细度、品牌要求，常规材料和自密实混凝土、水泥情况。管材、管径，转弯处，布料机、拆除、保养方式，清洗方式；材料、操作工艺、操作要求。

超高层中的各类结构，如隔间、核心筒里的房间、电梯之间的隔墙、功能间、砌体结构导墙（砌体结构底部），都需要机制砂制作的混凝土有很好的稳定性和较小的坍落度，以便较快在模板中成型。而事实上高空作业的模板一旦出现缝隙，很可能出现高空泵送混凝土从模板缝隙中渗漏的现象出现。

此外，机制砂混凝土在清洗时也常出现状况，性能表现并不稳定。某超高层项目泵送达到 280m，泵送管壁直径 150mm；每次泵送完会有约 2~3 方混凝土，存在管道里；干掉之后极易堵管。事后，采用冲水法或浮球法清洗管道，耗时耗力耗财。管道太长时冲水有两种方法：从上

往下冲和从下往上冲。高压泵水对操作人员,在管涡流贴着管壁,管节部位的机制砂混凝土极易粘结,不易冲掉。在超高层中采用机制砂混凝土不仅更容易造成泵送的困难,在随后清洗泵送管道中清洗余料时也很不方便。为了防堵管,需要打更多的砂浆或水去润滑混凝土。

适宜的配合比决定了机制砂混凝土在工程中的可用性。在机制砂混凝土配合比中,首先要有合理的单位用水量,单位用水量不足会严重影响机制砂的工作性能。其次应当进行试配以确定最佳砂率,砂率过大或过小都会导致混凝土工作性能不良。减水剂的掺量应确保机制砂混凝土中有足够的用水量,在减水剂减水率较高时应降低掺量确保用水量,否则会导致混凝土坍落度满足要求,但外观干硬,流动性差。

## 5 结语

机制砂由于是矿石原料粉碎形成的,所以相比于天然砂,其整体强度是偏低的。因为天然砂中有些颗粒的弹性模量和强度是非常高的。同时,由于是机致粉碎,所以机制砂的颗粒表面是粗糙和不光滑的。这就会使得配置的混凝土达到设计要求的坍落度时需要加入更多的水。但事实上,规范需要做的是为不同种类的机制砂制定特定的新的

坍落度要求值。因为,在实际使用机制砂时,配置满足坍落度的混凝土后会出现强度不够,泌水等不良现象。这是混凝土配合比和坍落度并不能很好满足实际工程的需求的情况。

尽管自然资源已不能满足工程的需求,机制砂正逐步取代天然砂是一个趋势。但由于其“机制”这一特性,在选用时需要甄别,尤其是需要重视目前在超高层泵送混凝土中发现的一系列问题。当然,随着“机制”水平的提高。以及相关研究的更加成熟。机制砂必然会有更为广阔的应用前景。

## [参考文献]

- [1]姚永革,叶云青,杨冠男.某超大高宽比超高层建筑风振控制研究[J].建筑结构,2018(6):121-123.
  - [2]吕凤阳,张世杰,冀磊,等.合肥恒大中心超高层项目基于 BIM 技术的智能控制与数字建造[J].建筑技术,2020,51(4):492-495.
  - [3]吕锦辉.浅谈机制砂对混凝土质量的影响[J].智能建筑与工程机械,2020(4):111-112.
- 作者简介:王坚(1986—),工程师,浙江台州,主要从事工程施工与现场管理。