

公路工程机制砂混凝土应用技术规范

Technical specification for application of manufactured sand concrete in highway
engineering

2025 - 02 - 14 发布

2025 - 03 - 14 实施

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体要求 2

5 机制砂生产质量控制 2

 5.1 通用要求 2

 5.2 母材质量控制 3

 5.3 生产过程质量控制 3

 5.4 机制砂分类与规格 3

 5.5 机制砂技术要求 4

6 机制砂混凝土配合比设计 5

 6.1 通用要求 5

 6.2 配合比设计参数初选 5

 6.3 配合比的调整 5

7 机制砂混凝土施工 5

 7.1 通用要求 6

 7.2 搅拌 6

 7.3 运输 6

 7.4 浇筑 6

 7.5 振捣 6

 7.6 拆模 6

 7.7 养护 7

8 检验与验收 7

 8.1 机制砂及其母材质量检验 7

 8.2 混凝土拌合物质量检验 7

 8.3 硬化混凝土质量检验 8

 8.4 混凝土工程验收 8

参考文献 9

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省交通运输厅提出并组织实施。

本文件由山东省交通运输标准化技术委员会归口。

公路工程机制砂混凝土应用技术规范

1 范围

本文件规定了机制砂生产质量控制、机制砂混凝土配合比设计、机制砂混凝土施工，以及检验与验收的技术要求。

本文件适用于公路工程使用机制砂和机制砂混凝土。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 14684—2022 建设用砂
- GB/T 50107 混凝土强度检验评定标准
- GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
- GB 50164 混凝土质量控制标准
- GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计标准
- JGJ 55—2011 普通混凝土配合比设计规程
- JGJ/T 193 混凝土耐久性检验评定标准
- JT/T 819 公路工程 水泥混凝土用机制砂
- JTG D40 公路水泥混凝土路面设计规范
- JTG/T F30 公路水泥混凝土路面施工技术细则
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
- JTG/T 3310 公路工程混凝土结构耐久性设计规范
- JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
- JTG 3370.1 公路隧道设计规范 第一册 土建工程
- JTG 3431—2024 公路工程岩石试验规程
- JTG 3432—2024 公路工程集料试验规程
- JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
- JTG/T 3660 公路隧道施工技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

机制砂 manufactured sand

以岩石、卵石、矿山废石和尾矿等为原料，经除土处理，由机械破碎、整形、筛分、粉控等工艺制成的，级配、粒形和石粉含量满足要求且粒径小于4.75 mm的颗粒。

注：机制砂不包含软质、风化的颗粒。

[来源: GB/T 14684—2022, 3.2]

3.2

机制砂混凝土 **manufactured sand concrete**

以机制砂为细集料配制而成的水泥混凝土。

[来源: JGJ/T 241—2011, 2.0.6, 有修改]

3.3

干法制砂工艺 **dry-process sand production**

在干燥条件下破碎、筛分和采用干法除尘装置除去机制砂中石粉的制砂工艺。

3.4

湿法制砂工艺 **wet-process sand production**

在干燥或潮湿条件下破碎, 采用水力分选和除去机制砂中石粉的制砂工艺。

3.5

吸水率 **water absorption rate**

烘干集料吸水达到饱和时所吸收水分质量占干燥集料质量的百分率。

[来源: JTG 3431—2024, 2.1.7, 有修改]

3.6

亚甲蓝值 **methylene blue value**

用于判定机制砂颗粒吸附性能的指标。

注: 用不大于2.36 mm粒级颗粒所消耗的亚甲蓝质量表示, 也称MB值。

[来源: JT/T 819—2023, 3.3, 有修改]

3.7

松散堆积空隙率 **void percentage of loose packing aggregate**

在松散堆积状态下, 集料颗粒之间空隙体积占总体积的百分率。

[来源: JTG 3432—2024, 2.1.17, 有修改]

3.8

絮凝剂 **flocculating agent**

使悬浊液中的固体颗粒产生絮状沉淀的一类化学试剂。

[来源: GB/T 37990—2019, 3.3, 有修改]

4 总体要求

4.1 除机制砂外, 公路工程混凝土其他原材料的质量要求应符合 JTG/T 3650 的相关规定。

4.2 机制砂与外加剂的适应性应按照 GB 50119 进行检验。

4.3 机制砂混凝土的工作性能、力学性能和耐久性能应符合设计要求; 无设计要求时, 应符合 GB 50164、JTG 3362、JTG 3370.1、JTG D40、JTG/T 3310、JTG/T 3650、JTG/T 3660、JTG/T F30 的相关规定。

4.4 机制砂混凝土用于有特殊性能要求的工程时, 其性能应符合相关标准、规范的规定和设计要求, 配合比应通过试验优化确定。

4.5 应根据结构特点、施工季节制定合理的机制砂混凝土浇筑、振捣、养护等施工工艺, 加强保湿养护, 降低机制砂混凝土的开裂风险。

5 机制砂生产质量控制

5.1 通用要求

- 5.1.1 机制砂厂址应根据矿山位置、岩体整体性及储备量、母材性质等因素进行选择，石料开采断面不应选择土层较厚、夹层含泥较多的位置，开采过程应遵守环保要求。
- 5.1.2 机制砂生产线宜采用砂石联产工艺，充分利用岩石资源。若采用单独机制砂生产线，宜用碎石、石屑复合投料或级配碎石投料工艺。
- 5.1.3 机制砂生产设备选型应根据当地生产条件、母材种类、产品质量和生产规模的要求，通过技术经济比较后确定。
- 5.1.4 当采用湿法制砂工艺制砂时，洗砂用水应采用洁净的淡水，不应采用海水，同时配备沉淀池或污水处理系统。
- 5.1.5 机制砂生产工艺中各个工序所选用的设备的能力应匹配、均衡，其单线生产能力不宜低于 60 t/h。
- 5.1.6 机制砂生产后应按规格、类别分别堆放，并设置隔离墙进行分隔；机制砂的堆放场地硬化、清洁，并设置防雨棚、斜坡和排水沟，且堆放高度不宜超过 5 m。

5.2 母材质量控制

- 5.2.1 加工机制砂的母材不应具有潜在碱活性，宜使用洁净、质地坚硬、无软弱颗粒、未风化且性质稳定的石灰岩、白云岩、花岗岩、石英岩、辉绿岩、玄武岩等岩石，不应使用泥岩、页岩、板岩等岩石生产机制砂。
- 5.2.2 不应选用强风化或中风化岩石生产机制砂。用于生产机制砂的母材饱水抗压强度、表观密度、吸水率应符合表 1 的规定，除此之外，还应符合 JT/T 819 的相关规定。

表1 机制砂母材的技术要求

项目	技术要求	试验方法
饱水抗压强度 MPa	≥60	JTG 3431—2024 T0221
表观密度 kg/m ³	≥2550	JTG 3431—2024 T0204
吸水率	≤1.0%	JTG 3431—2024 T0205

5.3 生产过程质量控制

- 5.3.1 当采用颚式破碎机初破时，颚式破碎机宜采用带有条形筛的振动给料机喂料，筛除块石的表皮土、夹层土及其他杂质。振动给料机条形筛筛条间距应根据块石泥土含量进行调整。
- 5.3.2 适用于制砂的破碎设备选择的优先次序宜为圆锥破碎机、棒磨式破碎机、立式冲击破碎机、反击式或锤式破碎机，或其他经研究并由专家论证可行的设备。
- 5.3.3 机制砂的生产工艺参数应根据设备的特性进行优化，生产过程中应加强设备的维护，及时更换易磨损部件。
- 5.3.4 机制砂的级配，应通过调试振动筛的筛面倾角和筛孔尺寸进行控制。机制砂的石粉含量，干法制砂工艺应通过干法选粉或除尘设备，湿法制砂工艺应通过轮式洗砂机和细砂回收装置进行控制。
- 5.3.5 机制砂运输皮带倾角不宜超过 30°。当采用干法制砂工艺制砂时，应在成品砂运输皮带上加设微型喷水装置。
- 5.3.6 当采用絮凝剂进行污水处理时，采用沉降絮凝试验确定絮凝剂的种类和浓度。

5.4 机制砂分类与规格

- 5.4.1 机制砂按技术要求可分为 I 类、II 类。强度等级大于等于 C50 的混凝土，宜选用 I 类机制砂。
- 5.4.2 机制砂按细度模数可分为粗砂、中砂、细砂、特细砂四种规格，分别为：

- a) 粗砂：3.7~3.1；
- b) 中砂：3.0~2.3；
- c) 细砂：2.2~1.6；
- d) 特细砂：1.5~0.7。

5.4.3 公路工程混凝土用机制砂的细度模数宜控制在 2.3~3.3。

5.5 机制砂技术要求

5.5.1 机制砂的颗粒级配宜符合表 2 的规定。I 类砂的累计筛余应符合表 2 中 2 区的规定；II 类砂的累计筛余应符合表 2 中 1 区或 2 区的规定。机制砂的实际颗粒级配除 4.75 mm 和 0.60 mm 筛孔外，可以超出，但各级累计筛余超出值总和不应大于 5%。

5.5.2 当机制砂的实际颗粒级配不符合表 2 的规定时，宜采取相应的技术措施，并经试验证明能确保混凝土质量后再使用。

表2 机制砂的颗粒级配

方筛孔尺寸 mm	累计筛余		试验方法
	1区	2区	
4.75	5%~0	5%~0	JTG 3432—2024 T0327
2.36	35%~5%	25%~0%	
1.18	65%~35%	50%~10%	
0.60	85%~71%	70%~41%	
0.30	95%~80%	92%~70%	
0.15	97%~85%	94%~80%	

5.5.3 机制砂的石粉含量应符合表 3 的规定。

表3 机制砂的石粉含量

指标		I类	II类	试验方法
石粉含量	MB值≤1.0	≤10.0%	≤15.0%	GB/T 14684—2022 7.5
	1.0<MB值≤1.4	≤5.0%	≤10.0%	
	MB值>1.4	≤1.0% ^a	≤5.0%	
^a 此指标根据使用地区和用途，经试验和技术论证后，对于石灰岩机制砂，I类砂石粉含量可放宽至不大于3.0%。				

5.5.4 机制砂的其他技术要求应符合表 4 的规定，除此之外，还应符合 JT/T 819 的相关规定。用于土层冰冻线以下结构物的混凝土，机制砂吸水率可放宽至不大于 3.0%。

表4 机制砂的技术要求

指标	I类	II类	试验方法
吸水率	≤2.0%		JTG 3432—2024 T0330
泥块含量	≤0.5%		GB/T 14684—2022 7.6
单级最大压碎指标	≤20%	≤25%	JTG 3432—2024 T0350
硫酸钠溶液循环浸泡五次后的质量损失率	≤6.0%	≤8.0%	JTG 3432—2024 T0340
表观密度 kg/m ³	≥2550		JTG 3432—2024 T0328

表 4 机制砂的技术要求（续）

指标	I类	II类	试验方法
空隙率	≤43%		JTG 3432—2024 T0331
云母含量（按质量计）	≤1.0%	≤2.0%	JTG 3432—2024 T0337
轻物质含量（按质量计）	≤1.0%		JTG 3432—2024 T0338
硫化物及硫酸盐含量（折算成SO ₃ 按质量计）	≤0.5%		JTG 3432—2024 T0341
有机物含量	合格		JTG 3432—2024 T0336
氯离子含量	≤0.01%	≤0.02%	GB/T 14684—2022 7.11
碱集料反应	无碱集料反应活性		GB/T 14684—2022 7.19

6 机制砂混凝土配合比设计

6.1 通用要求

- 6.1.1 机制砂混凝土配合比设计时，当机制砂的石粉含量超过 5%时，通过试验确定胶凝材料组成及用量。
- 6.1.2 配制的机制砂混凝土应满足生产、施工及使用要求，并遵循胶凝材料组成合理、匀质性易于保持的原则，采用绝对体积法按照 JGJ 55—2011 中第 5 章的规定进行配合比设计，并以机制砂饱和面干状态为用水量计算的基准。
- 6.1.3 以粗集料的最小松散堆积空隙率为目标，确定粗集料各粒级的最优比例，并将按该比例混合的粗集料与机制砂混合，以粗细集料的最小松散堆积空隙率时的砂率确定为试拌砂率。
- 6.1.4 有抗冻性能或抗除冰盐性能要求的机制砂混凝土，应使用引气剂或引气型减水剂，拌合物含气量控制在 4%~6%，机制砂石粉含量不宜大于 7%。
- 6.1.5 有抗冻、抗渗、抗氯离子侵蚀和抗硫酸盐腐蚀等耐久性要求时，配制的机制砂混凝土性能应符合 GB/T 50476 的相关规定。

6.2 配合比设计参数初选

- 6.2.1 混凝土的配制强度应按照 JGJ 55—2011 中第 4 章的规定进行确定。
- 6.2.2 混凝土的胶凝材料用量和水胶比应按照 JGJ 55—2011 中第 5 章的规定进行初选，并经试验确定。
- 6.2.3 混凝土的单位用水量应按照 JGJ 55—2011 中第 5 章的规定进行初选。
- 6.2.4 以试拌砂率为基准，上下浮动 1%~2%进行混凝土拌合物试验，以混凝土和易性、匀质性、粘聚性、保水性均良好时的砂率为选用砂率。
- 6.2.5 减水剂的掺量应通过试验确定。

6.3 配合比的调整

- 6.3.1 机制砂混凝土拌合物性质宜充分考虑生产、运输、浇筑、振捣等施工需求，并在拌合物性质满足要求的前提下，再进行硬化混凝土性能试验。
- 6.3.2 机制砂混凝土应进行拌和站试拌与现场试浇筑，进一步调整外加剂用量，结合集料的含水情况，确定施工配合比，并留样进行力学性能和耐久性能试验。
- 6.3.3 根据混凝土拌合物性质、硬化混凝土性质、现场施工条件等，确定机制砂混凝土的配合比。

7 机制砂混凝土施工

7.1 通用要求

7.1.1 应根据工程特点、设计要求、施工工艺和环境条件等，制定机制砂混凝土的施工技术方案和施工组织方案。

7.1.2 机制砂应存储于无日晒雨淋的料仓内，机制砂含水率的检测频率不少于2次/台班，并根据检测结果及时调整施工配合比。

7.1.3 应根据结构形式特点和混凝土拌合物的工作性要求，选择模板及其支撑体系，确保其稳定性和拼缝的密封性。

7.1.4 机制砂混凝土的拌和用水量的波动不宜超过 $\pm 10 \text{ kg/m}^3$ 。

7.1.5 应控制机制砂混凝土的工作性与振捣制度的匹配，以实现混凝土密实、大气泡少的最少振捣时间为宜。

7.2 搅拌

7.2.1 机制砂混凝土应采用强制式搅拌机搅拌，搅拌时间宜比天然砂混凝土的搅拌时间延长10s~20s。

7.2.2 应结合混凝土的运输时间和浇筑工艺，确定机制砂混凝土拌合物的性质，并在生产过程中进行检测。

7.3 运输

7.3.1 混凝土的运输能力应与拌和站生产效率、现场浇筑速率相匹配。

7.3.2 长距离运输混凝土时，宜选用搅拌运输车。

7.3.3 接料前应排空运输车内积水且运输过程中不应加水。

7.4 浇筑

7.4.1 浇筑混凝土前，应针对工程特点、施工环境条件，编制施工方案，包括浇筑开始时间、布料方式、分区位置、单层浇筑厚度等。

7.4.2 机制砂混凝土应均匀布料，避免用振捣棒长时间赶料；水平分层浇筑时，单层布料高度宜控制在40cm~60cm。

7.4.3 冬期施工时，混凝土拌合物的入模温度不应低于5℃，并应采取相应保温措施。

7.4.4 机制砂混凝土浇筑期间，应采取喷雾、覆膜等方式防止表面失水干燥。

7.5 振捣

7.5.1 结合混凝土的工作性、结构物尺寸、钢筋间距和保护层厚度等，试验确定振捣制度，避免欠振、漏振和过振。

7.5.2 宜选用插入振动棒、附着振捣器或平板振捣器。采用插入式振动棒时，宜采用垂直点振，移动间距不超过其作用半径，分层浇筑时，插入式振动棒应插入下层混凝土5cm~10cm；采用附着振捣器时，不宜同时启动多个振捣器或连续振捣时间过长；采用平板振捣器时，振捣功率与振捣器拖动速率相匹配。

7.5.3 振捣时，振动棒与模板应保持5cm~10cm距离，避免振动棒长时间触碰模板、钢筋及预埋件，振动棒与钢筋接触时间不超过5s。

7.6 拆模

7.6.1 根据机制砂混凝土强度发展规律、模板形式、实体结构温度变化及天气条件等因素，确定合适的拆模时间。

7.6.2 拆模时，混凝土内部与表层的最大温差、表层混凝土与气温的最大温差均不应大于 20℃，大风或气温急剧变化时不宜拆模。

7.6.3 机制砂混凝土拆模后，其强度未达到设计强度的 75%时，不应与流动水接触。

7.7 养护

7.7.1 常规季节施工养护

7.7.1.1 机制砂混凝土拆模后立即进行保湿养护，养护时间较天然砂混凝土适当延长 1 d~2 d，尤其是大面积薄层结构物。

7.7.1.2 大体积混凝土养护过程中应进行温度控制，混凝土内部与表层的最大温差不宜大于 25℃，表层混凝土与气温的最大温差不宜大于 20℃。

7.7.1.3 掺用膨胀剂的机制砂混凝土，保湿养护时间不宜少于 14 d。

7.7.2 冬期施工养护

7.7.2.1 当采用暖棚法养护时，暖棚内温度宜控制在 25℃~35℃范围内，其他应符合 JTG 3650 的相关规定。

7.7.2.2 大面积薄层结构物宜采用加热法养护，并采用塑料薄膜保湿。

7.7.2.3 大体积结构物宜采用表面洒水并依次覆盖土工布、彩条布、棉被和防雨布的方法进行养护。

8 检验与验收

8.1 机制砂及其母材质量检验

8.1.1 母材用于生产机制砂前，应检验其饱水抗压强度、表观密度和吸水率，应按照 JTG 3431 进行检验。

8.1.2 机制砂产品的检验分为出厂检验和型式检验。通过型式检验的产品，可批量生产。

8.1.3 机制砂的出厂检验项目包括吸水率、颗粒级配（含细度模数）、亚甲蓝值与石粉含量、泥块含量、压碎指标、松散堆积空隙率。

8.1.4 机制砂的型式检验项目至少包含 5.5.1~5.5.3 规定的技术指标，其中碱-集料反应根据用户需要进行。

8.1.5 型式检验应每年进行一次。有下列情况之一时，也应进行型式检验：

- a) 新产品投入和老产品转产；
- b) 原料资源或生产工艺发生变化；
- c) 停产半年以上，恢复生产时；
- d) 国家质量监督机构要求检验。

8.1.6 机制砂的检验批次宜根据厂家生产规模而定。日产量 2 000 t 及以上的，应以同一品种、同一规格、同一类别的 1 000 t 为一个批次，不足 1 000 t 作为一批计；日产量 2 000 t 以下的，宜以 600 t 为一批，不足 600 t 作为一批计。

8.1.7 机制砂检验项目应按照表 2~表 4 进行检验。

8.1.8 机制砂各项试验结果均符合本文件规定时，可判为该批产品合格。当有一项试验结果不符合 5.5.1~5.5.3 规定时，应从同一批产品中加倍取样，对该项进行复验。复检后，该试验结果符合规定，可判为该批产品合格；若仍然不符合 5.5.1~5.5.3 规定时，则判为不合格。

8.2 混凝土拌合物质量检验

8.2.1 在生产和施工过程中，应对机制砂混凝土拌合物进行抽样检验。混凝土拌合物性能检验项目主要有单方混凝土用水量、坍落度及坍落度经时损失、含气量，应在生产地点和施工地点分别取样检验，每班至少检验 2 次。

8.2.2 有抗冻或抗盐冻要求的混凝土拌合物含气量检测频率每台班不应少于 1 次。

8.2.3 有温控要求的混凝土浇筑温度检测频率每台班不应少于 2 次。

8.2.4 机制砂混凝土的拌合物性能应符合设计要求，应按照 GB 50164 进行检验。

8.3 硬化混凝土质量检验

8.3.1 机制砂混凝土的力学性能应符合设计要求，应按照 GB/T 50107 进行检验。

8.3.2 机制砂混凝土的耐久性能应符合 GB/T 50476、JTG/T 3310、JTG/T 3650、JTG/T 3660、JTG/T F30 的相关规定及设计要求，应按照 JGJ/T 193 进行检验。

8.4 混凝土工程验收

8.4.1 公路桥涵、隧道、路面工程机制砂混凝土施工质量验收应符合 JTG/T 3650、JTG/T 3660、JTG/T F30 的相关规定。

8.4.2 公路桥涵、隧道、路面工程机制砂混凝土工程验收应符合 JTG F80/1 中的相关规定。

参 考 文 献

- [1] GB/T 14684—2022 建设用砂
 - [2] GB/T 37990—2019 水下不分散混凝土絮凝剂技术要求
 - [3] JGJ/T 241—2011 人工砂混凝土应用技术规程
 - [4] JT/T 819—2023 公路工程水泥混凝土用机制砂
 - [5] JTG 3431—2024 公路工程岩石试验规程
 - [6] JTG 3432—2024 公路工程集料试验规程
-