

《公路工程机制砂混凝土应用技术规程》 山东省地方标准编制说明 (报批稿)

一、工作简况

(一) 任务来源

根据《关于印发<2019年度标准化综合改革暨“山东标准”建设项目计划>的通知》(鲁标改办发〔2019〕6号),《公路工程机制砂混凝土应用技术规程》列入2019年度社会治理和公共服务标准化建设项目计划,项目计划顺序号:鲁标改办发〔2019〕6号表5第53项。

本文件由山东省交通运输厅提出并组织实施,由山东省交通运输标准化技术委员会(TC41)归口。

(二) 起草单位、主要起草人及任务分工

1 主要起草单位

本规范主编单位为山东省交通科学研究院,参编单位有山东高速股份有限公司、山东高速基础设施建设有限公司、山东高速建设管理集团有限公司、山东路桥集团股份有限公司、中交建筑集团有限公司、济南金日公路工程有限公司、四川公路桥梁建设集团有限公司、中建八局第二建设有限公司、青岛路桥建设集团有限公司、中建八局第一建设有限公司、山东省路桥集团有限公司、山东省公路桥梁建设集团有限公司、山东高速工程建设集团有限公司、北京建筑大学、山东高速畅通路桥工程有限公司。

2 主要起草人

郭保林、王昊、姜瑞双、王术剑、张大鹏、苗磊、谢国木、李洪峰、常德、万雨帆、王冠、苏建明、胡佩清、袁凯、颜鲁博、章清涛、李飞、徐华静、郭永智、蒲国伟、张新、刘昶、刘帅、刘毅、胡孝展、刘航、田晓阳、王喆、姚望、荣杰、郑帅、杨志勇、周顺、张长青、张光桥、李玮健、李洪星、张治国、李广奇、邵玉、刘悦、宋兰平、张林。

3 任务分工

山东省交通科学研究院负责本规范的编制工作的组织和技术协调,负责本规范各章节的统稿、协调工作,负责协调、召开各阶段专家评审会。具体任务分工如下:

郭保林、姜瑞双、郭永智、刘帅、李广奇、邵玉、刘悦、宋兰平、张林,负

责前言、术语和定义、机制砂技术要求及其试验研究；各章节的统稿工作，相关资料的提交和专家评审会的申请等事项。

王昊、章清涛、张新、姚望、张光桥、颜鲁博，负责机制砂母材提供和质量控制，机制砂的产品生产及性质测试。

王术剑、刘航、王喆、荣杰、张长青、李洪星、李玮健，负责机制砂混凝土的配制、性能测试与调控，包括混凝土拌合物工作性，硬化混凝土力学性能、耐久性能。

张大鹏、李洪峰、袁凯、常德、蒲国伟、郑帅、杨志勇、周顺、张治国，负责机制砂生产及机制砂混凝土的现场应用情况的分析汇总。

苗磊、谢国木、王冠、苏建明、胡佩清、刘毅、刘昶，负责相关标准的搜集及对比分析。

李飞、万雨帆、徐华静、胡孝展、田晓阳，负责机制砂关键指标试验及微观测试技术。

（三）起草过程

1 成立工作组，资料收集及调研

2019年3月成立标准起草工作组，并围绕标准草案大纲明确起草单位和起草人分工。工作组首先对已有相关标准进行了收集和汇总。国外机制砂的应用也已经有几十年的历史，由于机制砂母岩、生产设备和工艺的差异，生产的机制砂级配差异很大，各个国家和地区相继制定了适合自己国家和地区的机制砂标准，如美国标准《混凝土集料标准规范》（ASTM C33-2008）、欧盟标准《混凝土集料》（EN 12620-2013）、英国标准《天然混凝土集料规范》（BS 882-1992）、澳大利亚标准《工程应用集料和岩石 部分 1：混凝土集料》（AS2758.1-2012）、日本工业标准《混凝土用碎石及碎砂》（JIS A5005-2009）和美国国际集料研究中心（ICAR）建议的机制砂标准。

目前，国内有关机制砂及机制砂混凝土的标准有《建设用砂》（GB/T 14684-2022）、《普通混凝土用砂、石质量标准及检验方法》（JGJ 52-2006）、《公路工程水泥混凝土用机制砂》（JT/T 819-2023）、《人工砂混凝土应用技术规范》（JGJ/T 241-2011）、《公路机制砂高性能混凝土应用规程》（T/CECS G:K50-30-2018）、《机制砂石生产技术规程》（JC/T 2299-2014）、《高性能混凝土用集料》（JG/T 568-2019）等，涉及到机制砂的生产，机制砂产品技术要求以及机制砂混凝土的应用等方面。机制砂的分级、技术要求与试验方法有较大差异，差异主要体现在石粉含量的限定、亚甲蓝（MB 值）限定和测试方法、吸水率的限定等方面，此外涉及到机制砂混凝土的技术内容较少。在本地区原材料、加工工艺和应用背景的基础上，提出适合本地区的机制砂相关技术参数势在必行。

2 完成标准草稿

结合机制砂生产和应用特点，走访调查与试验研究相结合，工作组经过内部多次讨论、相关专家意见征集等形式，2021年2月底，工作组对机制砂石粉含量、石粉与MB值的关系、机制砂混凝土的施工工艺控制等关键内容进行了讨论。至2021年3月完成了标准草稿的编写工作。

3 完成征求意见稿

2022年5月24日，在山东省交通运输标准化技术委员会的部署下，工作组组织召开了初稿审查会，邀请了来自公路、建筑、铁路工程领域共7名专家。与会专家听取了工作组的情况汇报，对标准内容逐条进行了审查和讨论，提出了建设性的意见和建议。工作组根据专家的意见和建议，对初稿进行了修改和完善，形成了征求意见稿。

2023年10月，编制工作组面向全国高等院校、科研院所、建设单位、设计单位、监理单位、施工单位等35家单位统一发函征求标准意见，工作组共收到32家单位的反馈意见，收到反馈建议53条，并对所有建议进行了整理、汇总及分析，根据反馈的建议对标准进行了修改和完善，形成标准送审讨论稿。

4 召开送审稿审查会，完成报批材料

2024年10月17日，在山东省交通运输标准化技术委员会的部署下，工作组组织召开了送审稿审查会，邀请了来自公路、城建、轨道领域的建设、设计、施工、高校、科研等单位共9名专家。与会专家听取了工作组的情况汇报，对标准文本进行了逐章、逐条审查，提出了建设性的意见和建议。工作组根据专家的意见和建议，对送审稿进行了修改和完善，形成了地方标准的报批材料。

为满足公路工程建设对机制砂混凝土的应用技术要求，弥补相应技术规范的缺失，审查委员会一致同意将地方标准名称变更为“公路工程机制砂混凝土应用技术规范”。

二、标准制定的目的和意义

我国集料市场年需求量超过100亿吨，随着国家环保治理力度的加大，天然砂供不应求，公路工程混凝土使用机制砂是必然趋势。国内一些发达地区的桥隧工程已开始使用机制砂，各地也针对机制砂的生产、应用及机制砂混凝土配制出台了相关的标准。目前，市场上机制砂质量参差不齐，劣质机制砂的粒形差、级配差、石粉中黏土颗粒含量高，对拌和物工作性、强度、耐久性等产生不利影响。

近年来，山东省也在积极推进优质机制砂在公路建设领域的应用，但目前尚

未形成系统的标准规范。公路工程具有其行业特性，机制砂母岩也因地域不同表现出不同的特性，山东地区石灰岩、花岗岩、白云岩、砂岩等均有分布，以石灰岩、花岗岩居多，结合本省内的母岩特性、机制砂生产工艺、公路工程的施工特性及环境特点，总结现阶段机制砂的应用经验，制定适合山东省实际情况的公路工程机制砂混凝土应用技术规范。

本标准涵盖了机制砂母岩的选择、生产工艺控制、成品砂的控制参数、机制砂混凝土的配制及应用技术，推动机制砂混凝土在公路工程领域的应用，对提升公路工程混凝土品质具有重要的意义和作用。并且可以合理使用隧道开采出的岩石，避免洞砬占地等环保问题，具有显著的经济效益和社会效益。

三、标准编制原则、主要技术内容和确定依据

（一）标准的编制原则

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

贯彻执行国家的技术、经济政策，密切结合自然条件，合理利用资源，做到技术先进、经济合理、安全使用。

积极参考国内外先进标准，以提高本规范的先进性，与国内相关标准相协调。深入工程建设一线，广泛征求施工人员的经验，与有关方面协调一致，共同确定，提高本规范的可操作性和适用性。

本规范的编制符合山东省地方标准编写的相关规定。

（二）标准编写的主要依据

1 编制依据

（1）《关于促进砂石行业健康有序发展的指导意见》（发改价格〔2020〕473 号）；

（2）《关于推进机制砂石行业高质量发展的若干意见的通知》（工信部联原〔2019〕239 号）；

（3）机制砂已在其他行业、其他省份的交通行业广泛应用，并有一定的经验积累。而且国内外已有一定的机制砂混凝土的研究成果可借鉴；

（4）工作组对机制砂关键参数的控制，桥隧混凝土施工质量控制有一定的研究成果和工程经验积累，依据前期的研究基础开展工作。

2 参考资料

（1）美国标准《Standard Specification for Concrete Aggregates》（ASTM

C33-2008)；

- (2) 欧盟标准《Aggregates for Concrete》(BS EN 12620-2013)；
- (3) 《建设用砂》(GB/T 14684-2022)；
- (4) 《普通混凝土用砂、石质量标准及检验方法》(JGJ 52-2006)；
- (5) 《公路工程水泥混凝土用机制砂》(JT/T 819-2023)；
- (6) 《人工砂混凝土应用技术规范》(JGJ/T 241-2011)；
- (7) 《公路机制砂高性能混凝土应用规程》(T/CECS G: K50-30-2018)；
- (8) 《机制砂石生产规程》(JC/T 2299-2014)；
- (9) 《高性能混凝土用集料》(JG/T 568-2019)；
- (10) 《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650-2020)；
- (11) 《公路隧道施工技术规范》(JTG/T 3660-2020)。

(三) 主要技术内容

本标准共分 8 部分：1.范围；2.规范性引用文件；3.术语和定义；4.基本要求；5.机制砂生产质量控制；6.机制砂混凝土配合比设计；7.机制砂混凝土施工；8.检验及验收。下面将标准内容中无法展开说明的，有关编制理念、目的和依据等内容，进一步解释和说明。

1 范围

公路工程具有其行业特性，机制砂母岩也因地域不同表现出不同的特性，山东地区石灰岩、花岗岩、白云岩、砂岩等均有分布，以花岗岩、石灰岩居多。结合本省内的母岩特性、机制砂生产工艺、公路工程的施工特性及环境特点，总结现阶段机制砂的应用经验，制定适合山东省实际情况的公路工程机制砂混凝土应用技术规范。

为此，本标准规定了公路工程混凝土用机制砂定义、母材质量控制、生产过程质量控制、分类与规格、技术要求、试验方法与质量检验，机制砂混凝土配合比设计参数选取、配合比的调整，混凝土的搅拌、运输、浇筑、振捣、拆模、养护，机制砂混凝土拌和物质量检验、硬化混凝土质量检验及验收等内容。

2 规范性引用文件

在机制砂质量控制、试验方法、混凝土配合比设计、混凝土施工及验收等方面，本标准尽可能采用国家标准、交通运输行业标准中成熟的规定。

3 术语和定义

3.3 和 3.4 规定机制砂生产的两种常用工艺的定义：干法制砂工艺和湿法制砂工艺。

3.5 规定集料吸水率的定义，吸水率用以表征自然干燥状态下集料的吸水能力，其计算方法应该是集料吸水饱和时所吸收的水分除以自然干燥集料质量。

3.8 规定絮凝剂的定义。湿法工艺制砂时，使用絮凝剂可以有效加速污泥的沉淀速度，利于污泥最终的回收利用，实现污水的净化循环利用。但过量的絮凝剂会附着到机制砂颗粒中，进而一定程度上影响机制砂配制的混凝土性能。

4 基本要求

4.1 本文件仅对机制砂提出具体规定，用于配制混凝土的其他原材料的要求应符合《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650)的相关规定。

4.2 机制砂对混凝土外加剂的种类和用量有一定程度的影响，故在配制机制砂混凝土时，应重视机制砂与外加剂之间的相容性问题，并按照 GB 50119《混凝土外加剂应用技术规范》相关规定进行试验。

4.4 考虑到机制砂可能会应用到本文件未涉及的特殊性能要求的工程，又特殊要求的机制砂混凝土是指有抗渗、抗冻、抗碳化、抗裂、抗氯离子侵蚀、抗硫酸盐侵蚀及其他抗化学腐蚀等耐久性要求的混凝土工程，故此类机制砂混凝土配合比及其性能，应符合相关标准、规范的规定并通过试验确定。

5 机制砂生产质量控制

5.1 一般规定

5.1.1 母岩矿山的勘察、选址工作十分必要，这直接影响母岩的品质。母岩开采过程中，尤其要避免山皮土或夹层土的混入，土的混入是导致机制砂亚甲蓝不满足要求的主要原因。

5.1.2 一般而言，机制砂采用砂、石联产工艺更有利于资源利用、节约能源和提高生产效率。而且可以在前端筛选更为洁净的母岩用于生产机制砂。当采用单独机制砂生产线时，为了保证母岩品质、便于调整颗粒级配，建议采用碎石、石屑符合投料或级配碎石投料工艺。

5.2 母材质量控制

5.2.2 鉴于母岩的强度直接影响机制砂的基本性质，本条规定了用于生产机制砂的母岩饱水抗压强度不低于 60MPa。不同岩性、不同风化程度的母岩饱水抗压强度与吸水率之间的关系差异较大，即使抗压强度满足，但可能因吸水率过大导致加工后的机制砂石粉含量过高、吸水率大，进而影响机制砂混凝土工作性、强度、耐久性等综合性能，故本节规定了母岩表观密度和吸水率。山东省内母材以石灰岩、花岗岩、辉绿岩为主，工程调研表明，省内的石灰岩饱水抗压强度 45MPa~90MPa，花岗岩（含风化花岗岩）饱水抗压强度 20MPa~150MPa、辉绿岩饱水抗压强度在 90MPa~180MPa，母材表观密度在 2500kg/m³~2800kg/m³、吸水率在 0.2%~1.5%。为保证高品质机制砂的生产，本节规定表观密度不小于

2550kg/m³，吸水率不大于 1.0%。

5.3 生产过程质量控制

5.3.1 和 5.3.2 随着机制砂的广泛应用，生产设备也日益增多，各类破碎机、制砂机、整形机层出不穷，本标准提及了几种常用的破碎机，同时对其他新型设备不做严格限制，但新型设备需经过研究并由专家论证可行。

5.3.5 干法工艺制砂过程不需要用水，但皮带传送成品干砂时，如果皮带倾角过大、下料高度过高，均易导致成品砂离析，因此考虑在成品砂运输皮带上安装喷水装置。工作组的调研发现，成品砂含水率在 4~5%左右即可保证不发生离析。喷洒水量和成品砂的含水率应根据具体的生产工艺流程进行控制，以成品砂不发生离析的最小喷洒水量为宜。

5.3.7 湿法工艺制砂过程中，会产生大量含黏土、石粉的工业污水，高浊度的污水处理最关键的部分是将固体悬浮颗粒快速沉淀。絮凝沉淀法是当前普遍采用的一种污水处理方法，即向污水中加入一定量的絮凝剂，使固体悬浮颗粒在沉淀池中快速沉淀。但是，由于本行业对絮凝沉淀相关技术了解较少，对絮凝剂的浓度、沉淀池中絮凝剂的投放量控制较为粗放，过量的絮凝剂则会残留在机制砂中，进而影响机制砂混凝土的性能。本标准提出了对机制砂生产时的絮凝剂用量的控制，以避免过量的絮凝剂对机制砂的使用造成不利影响，并提供了一种絮凝剂浓度和使用量控制的沉淀絮凝试验方法。

应根据具体的污水情况，采用沉淀絮凝试验来确定絮凝剂的浓度和投放量。沉淀絮凝试验过程为：（1）首先配制不同浓度的絮凝剂；（2）称取一定量的待处理污水；（3）将每种浓度的絮凝剂按不同的投放量投入到污水中，测得每种浓度的絮凝剂投放量和悬浮颗粒沉淀时间的关系；（4）随着絮凝剂投放量的增多，悬浮颗粒沉淀时间逐渐降低并趋于稳定，以悬浮颗粒沉淀时间最短时的投放量，作为该浓度的絮凝剂的最佳投放量。

5.4 机制砂分类与规格

5.4.1 已有的国家标准、行业标准均将机制砂分为 I、II、III 三种类型，III 类机制砂主要是用于非重要结构或临建用 C25 及以下混凝土，此种分类方式对商品混凝土搅拌站有区别地供应混凝土产品比较合适。但在山东省内的公路工程领域，混凝土的强度等级基本大于等于 C30，多采用 I、II 类机制砂且混凝土站以自建站为主，不同强度等级的混凝土大多采用相同的原材料，尤其是细集料，机制砂以自生产为主，原材料控制严格。所以本文件只保留 I 类和 II 类机制砂，规定强度等级大于等于 C50 的混凝土，宜选用 I 类机制砂。

5.4.2 和 5.4.3 依据《建设用砂》（GB/T 14684）的相关规定，将机制砂划分了粗砂、中砂、细砂、特细砂。《公路工程水泥混凝土用机制砂》（JT/T 819）将机制砂分为粗砂、中砂两种规格，并将粗砂上限 3.9 调整至 3.7，因为过粗的机

制砂易导致混凝土泌水、离析。此外，国内外相关研究和工程应用表明，机制砂细度模数控制在 2.3~3.3，其混凝土的工作性及综合性能最佳。对山东省各机制砂厂以及工程自行生产的机制砂测试结果表明，机制砂大部分偏粗，绝大部分级配集中在 I 区和 II 区范围内。所以还规定了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 工程调研表明，用于公路桥梁混凝土的机制砂（包括自行生产或外部采购）的颗粒级配能满足《建设用砂》（GB14684）中的 II 区级配要求。大量试验表明，此类机制砂配制的混凝土各项性能良好，故本文件沿用国家标准中 I 区和 II 区级配要求。

5.5.3 石粉含量的控制是根据石粉亚甲蓝值进行分级的，《建设用砂》（GB14684）对亚甲蓝（MB）值的定义为：用于判定机制砂吸附性能的指标。工作组对山东省部分挖方碎石和隧道洞砟生产的机制砂调研发现，机制砂的石粉 MB 值在 0.5~1.0；另外对几家机制砂生产厂家的产品调研发现，几家厂家的产品石粉 MB 值在 0.6~1.2。

工作组整理汇总了国内外相关标准对石粉含量的控制限值，见表 1。

表 1 不同国家和地区机制砂石粉含量的限值

国家	标准名称及标准号	石粉界定 (μm)	石粉限值 (%)
美国	《Standard Specification for Concrete Aggregates》 (ASTM C33/C33M-2018)	75	5~7
日本	《Crushed stone and manufactured sand for concrete》(JIS A5005-2020)	75	9
欧盟	《Aggregates for Concrete》(BS EN 12620-2015)	63	22
澳大利亚	《Aggregates and rock for engineering purposes, Part 1: Concrete aggregates》(AS 2758.1-2014)	75	25
英国	《Specification for aggregates from natural sources for concrete》(BS 882-1992)	75	9~15
印度	《Coarse and fine aggregate for concrete-specification》 (IS 383-2016)	75	15
中国	《建设用砂》(GB/T 14684-2022)	75	1~15
	《公路工程水泥混凝土用机制砂》(JT/T 819-2023)	75	1~10
	《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650-2020)	75	10
	《公路机制砂高性能混凝土应用规程》 (T/CECS G: K50-30-2018)	75	5~12
	《普通混凝土用砂、石质量标准及检验方法》 (JGJ 52-2006)	75	5~10
	《人工砂混凝土应用技术规范》(JGJ/T 241-2011)	75	5~10

	《高性能混凝土用集料》(JG/T 568-2019)	75	3~15
--	----------------------------	----	------

此外,工作组实验探究了花岗岩机制砂和石灰岩机制砂的石粉含量对混凝土工作性、强度、抗渗性以及干燥收缩性能的影响。适当的石粉含量对混凝土的和易性有积极作用,石粉含量在 10%~15%时,混凝土和易性最佳。石粉含量过少,反而导致混凝土易离析、泌水,保水性能差,但石粉含量超过 15%时,配制的混凝土又出现黏度大、坍落度损失大等问题,见表 2。15%以内的石粉含量对混凝土的抗压强度的影响不显著,见图 1。适量的石粉含量提高了混凝土的抗氯离子渗透性能,15%石粉的混凝土抗氯离子渗透性能略有降低,但幅度不大,见表 3。机制砂中适量石粉(15%)对混凝土的干燥收缩性能影响不显著,见图 2。15%石粉含量的机制砂混凝土的抗冻、抗盐冻性能也未有显著的降低,对于有抗冻要求的混凝土,采用适当的引气措施,完全可以消除高石粉含量对混凝土抗冻性的不利影响。此外,大量文献调研发现,虽然不同类型机制砂,石粉的最佳含量有所差异,但大部分集中于 15%~18%;东南大学洪锦祥的研究表明,石粉含量在 24%范围内,石粉含量越高,混凝土强度越高、耐久性能越好。

表 2 不同石粉含量机制砂混凝土和易性

机制砂母岩类型	石粉含量/%	坍落度/mm	扩展度/mm	倒坍时间/s	减水剂用量/%	和易性
花岗岩	3	200	510	10	2.1	离析、泌水
	7	210	520	19	2.25	不离析泌水
	10	205	510	13	2.45	出机良好、损失大
	15	195	490	29	2.60	浆体干硬、损失大
石灰岩	3	200	500	10	1.2	轻微离析、泌水
	7	210	510	12	1.25	不离析泌水
	10	210	510	13	1.25	不离析泌水
	15	205	510	16	1.4	黏度大

表 3 不同石粉含量机制砂混凝土的抗氯离子渗透性能

机制砂母岩类型	石粉含量/%	电通量(C)	电通量法渗透性能评价	氯离子扩散系数($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)	NEL 法渗透性能评价
花岗岩	3	646	Q-IV	1.65	III (中)
	7	573	Q-IV	1.47	III (中)
	10	505	Q-IV	1.43	III (中)
	15	781	Q-IV	1.52	III (中)
石灰岩	3	532	Q-IV	1.52	III (中)
	7	521	Q-IV	1.22	III (中)

	10	465	Q-V	0.98	III（中）
	15	453	Q-V	0.95	III（中）

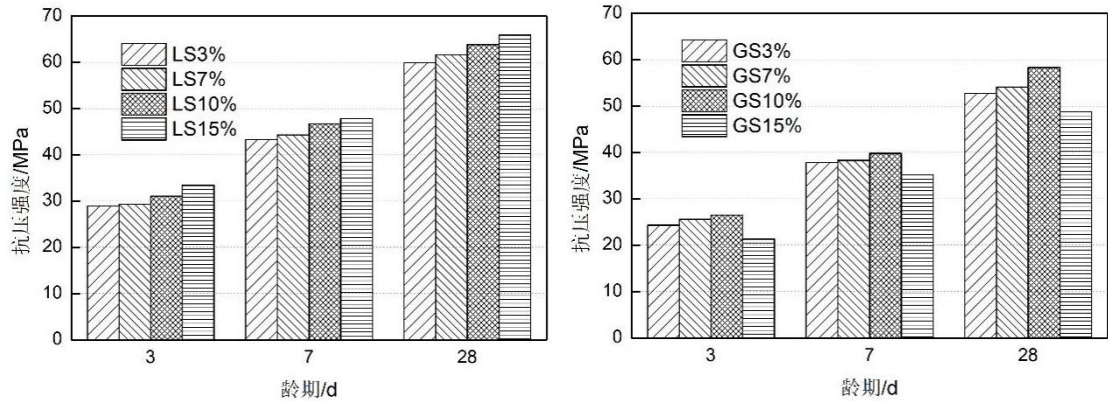


图1 石粉含量对机制砂混凝土抗压强度的影响（LS：石灰岩砂；GS：花岗岩砂）

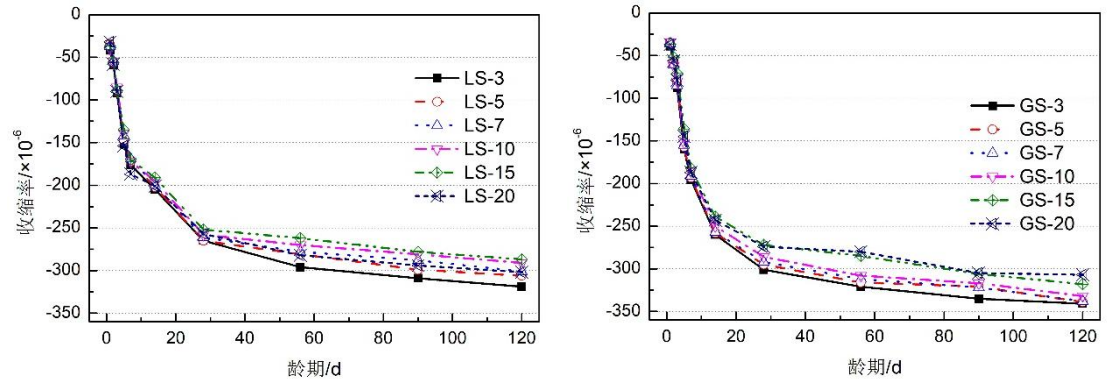


图2 石粉含量对机制砂混凝土干燥收缩的影响（LS：石灰岩砂；GS：花岗岩砂）

已有的研究也表明，机制砂中的石粉，一方面因其较大的比表面积，增加混凝土用水量；另一方面石粉中的球形颗粒通过“微滚珠效应”降低颗粒与颗粒之间的摩擦力，降低浆体的屈服应力和塑性粘度，从而改善混凝土的和易性。适量的石粉可作为胶凝材料的填料，提高混凝土基体的密实度，从而一定程度上改善混凝土的力学性能和耐久性能。

2022 版的国家标准《建设用砂》（GB/T 14684）对石粉含量的控制按照 I、II、III 类机制砂划分，每个等级按照 MB 值 0.5、1.0、1.4 进行了划分，虽然与 2011 版相比，石粉含量有所放宽，最大放宽到 15%，但划分过于复杂，MB 值控制也较严格。交通行业标准《公路工程混凝土用机制砂》（JT/T 819）限制依然较严格，III 类机制砂最大石粉含量为 10%，湖南省、贵州省地方标准，仅将 III 类机制砂放宽到 15%，山西省地方标准将 MB 值小于等于 1.0 的石粉含量放宽到 15%，将 MB 值介于 1.0~1.4 的石粉含量放宽到了 20%。基于山东省内机制砂调研情况，工作照认为将石粉含量按照 MB 值 ≤ 1.0 、 $1.0 \sim 1.4$ ， > 1.4 三个等级划分是比较合适的，II 类机制砂就可以放宽到 15%。

5.5.4 本条提高了机制砂的表观密度和空隙率技术要求。《建设用砂》（GB/T

14684) 和《公路工程混凝土用机制砂》(JT/T 819) 均规定机制砂的表观密度不小于 2500kg/m^3 , 空隙率不大于 44%, 本文件规定不小于 2550kg/m^3 , 空隙率不大于 43%。工程调研发现, 山东省内用于加工集料的母岩表观密度 $2500\text{kg/m}^3 \sim 2800\text{kg/m}^3$ 。表观密度、松散堆积密度、空隙率是间接衡量机制砂综合性能的指标, 表观密度反映了机制砂母岩质地密实程度, 表观密度越小, 吸水率会越大, 不严格控制, 会对机制砂产品性能产生不利影响。空隙率间接反映了机制砂级配的优劣和颗粒粒形的好坏, 较低的空隙率, 说明机制砂粒形较好, 有助于改善机制砂混凝土流动性差的问题, 所以本条对表观密度和空隙率从严规定。

本条还规定了机制砂的吸水率要求。《建设用砂》(GB/T 14684) 对吸水率未作要求;《人工砂混凝土应用技术规范》(JGJ/T 241) 规定吸水率不宜大于 2.5%,《公路工程混凝土用机制砂》(JT/T 819) 规定 I、II 类机制砂吸水率 $\leq 2.0\%$, III 类机制砂吸水率 $\leq 2.5\%$; 其他省份的地标按照混凝土强度等级规定 $\leq 2.0\%$ 、 $\leq 2.5\%$ 、 $\leq 3.0\%$ 或未作规定。编制组认为机制砂的吸水率会显著影响混凝土的性能, 吸水率过大不仅影响拌合物工作性, 导致单方用水量增加, 而且影响混凝土的干燥失水收缩和抗冻性能、抗盐冻性能, 应该限制机制砂的吸水率。参照《公路工程混凝土用机制砂》(JT/T 819) 的规定, 吸水率不大于 2.0%, 用于土层冰冻线以下的结构物不受干湿循环、冻融循环的侵蚀。所以, 本条提出当用于土层冰冻线以下的结构物时, 机制砂吸水率的要求可放宽至不大于 3.0%。

6 机制砂混凝土配合比设计

6.1 一般规定

6.1.1 有学者认为, 适量石粉之所以能够促进水化, 改善水泥石性能, 主要是细颗粒“晶核效应”, 故一般将石粉列为惰性掺合料。工作组利用 XRD 分析了掺加石灰岩石粉和花岗岩石粉的水泥水化产物组成。XRD 结果表明, 石灰岩石粉、花岗岩石粉均未对水泥水化产物的物相产生影响, 无新产物生成 (见图 3)。

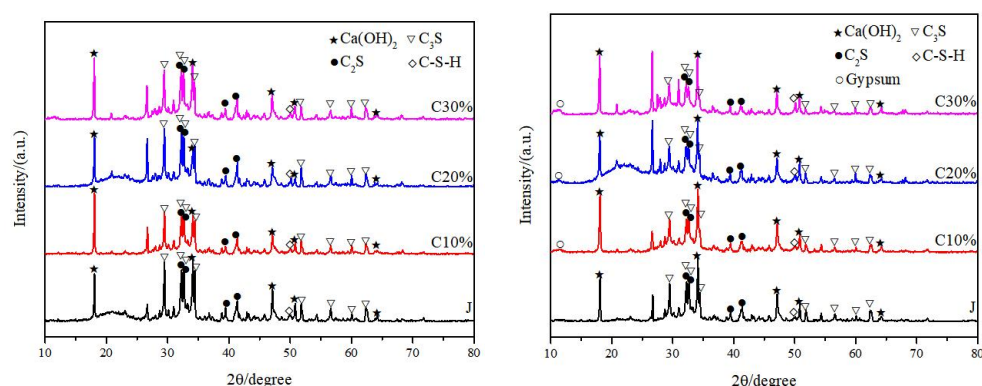


图 3 掺加石灰岩石粉 (左) 和花岗岩石粉 (右) 的水泥净浆 28d 的 XRD

在机制砂混凝土配合比设计时, 工作组认为石粉可作为胶凝材料的填料, 间接增大混凝土的浆体量。对于贫混凝土而言, 浆体量的增加可改善混凝土和易性,

提高其保水性和黏聚性；对于富混凝土而言，浆体量过多会导致混凝土黏度大、流动慢、损失大，入模后易产生过量浮浆，对混凝土的体积稳定性不利。因此，在混凝土配合比设计时，可适当降低胶凝材料用量，并通过试验确定合理的胶凝材料用量。

6.1.2 本条规定了公路工程用机制砂混凝土配合比设计的依据和方法。为了减少由于原材料密度差异引起的混凝土的体积波动，推荐采用绝对体积法进行配合比设计，各原材料的体积是通过质量除以密度（集料为表观密度）计算得到。

机制砂的吸水特性与实际含水率对混凝土拌合物的工作性能影响显著。搅拌时，拌和水首先被集料吸收至饱和，其余水分才用以获得较好的流动性，当机制砂含水率明显低于其饱和面干含水率时，就会吸收拌和水，影响混凝土拌合物的流动性，编制组建议在配合比设计时机制砂饱和面干含水率以外的水记入拌和用水。

6.1.3 基于颗粒堆积理论来确定集料比例和试验砂率，更加符合现代混凝土的配制技术。其目标是尽可能地提高堆积密实度，通过测试各粒级粗集料不同比例时的松散堆积密度，计算出粗集料的空隙率，选取粗集料松散堆积最小空隙率时的比例为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，以相同的方法，确定粗集料与机制砂的最佳比例作为试验砂率。此时，粗细集料的级配最佳、空隙率最小，所需的胶凝材料用量也较为合理。在此基础上，可对试验砂率进行微调，确定满足混凝土性能要求的最佳砂率。

6.1.4 对于有抗冻性、抗盐冻性要求的混凝土，均应掺用引气剂或引气型高效减水剂，其含气量宜控制在 4%~6%，并根据抗冻等级和强度等级的要求经试验确定。对于有抗冻要求的预应力混凝土，含气量宜控制在 2.5%~3.5%。

6.2 配合比设计参数初选

6.2.1 和 6.2.2 机制砂混凝土的配制强度、胶凝材料用量、水胶比等参数，应按照现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ 55）的有关规定选取。

6.2.3 机制砂的混凝土单方用水量依据《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ 55）的有关规定选取，并根据试验情况适当调整。大量的试验数据表明，在同等条件下，机制砂混凝土比同水胶比的天然砂混凝土的抗压强度高 5%~10%左右，这是因为机制砂丰富的棱角性以及适量的石粉含量起到填充作用。但棱角性也导致机制砂混凝土流动性较差，考虑到石粉对部分拌和水的吸附，实际上降低了混凝土的水胶比。故在配合比设计时，机制砂混凝土的水胶比可适当放宽 0.01~0.02，但应控制混凝土单方用水量的波动不超过 10kg/m³。

6.2.4 机制砂混凝土的试验砂率应根据 6.1.3 节的试验确定。

6.2.5 机制砂对减水剂的影响较大，应针对所选机制砂配制专用的减水剂，并根据石粉含量的高低酌情控制减水剂掺量。

6.3 配合比的调整

6.3.2 本条规定了混凝土的施工配合比应经过拌和站试拌与现场试浇筑进行确定，试拌后确定合理的减水剂掺量和施工用水量，并对机制砂混凝土力学性能和耐久性能开展测试。

7 机制砂混凝土施工

7.1 一般规定

7.1.2 机制砂应存储于无日晒雨淋的料仓内。为了保证机制砂混凝土质量和稳定性，机制砂的含水率不宜波动太大。

7.1.3 工作组现场调研发现，模板固定不牢时，可能会对刚浇筑的混凝土产生扰动，若扰动发生在混凝土初凝后会导致混凝土出现早期裂缝；另外，机制砂石粉含量较高，混凝土的浆体量大，容易因模板拼缝不严出现漏浆情况。

7.2 搅拌

7.2.1 机制砂中石粉会提高混凝土拌合物的黏度，机制砂颗粒表面亦会粘附一定量的石粉，为将石粉充分分散，提高机制砂混凝土拌合物的匀质性，应采用强制式搅拌机进行搅拌且延长搅拌时间。

7.2.2 本条规定了机制砂混凝土拌合物的性质应根据混凝土运输时间和浇筑工艺确定，并在生产过程中定期检测拌合物的性质。

7.3 运输

7.3.1 本条规定了混凝土运输能力与拌和站生产效率、现场浇筑速率的匹配性。

7.3.2 机制砂混凝土运输过程中宜保持搅拌，本条规定了宜采用搅拌运输车运输机制砂混凝土。

7.4 浇筑

7.4.3 冬期施工时，混凝土拌和物的入模温度对混凝土早期防冻至关重要，尽可能提高冬期施工时混凝土拌和物的入模温度。工程调研发现，山东省属于微冻地区，只要做好保温和水加热，冬期施工混凝土入模温度达到 5°C 以上还是比较容易实现的。依据《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）和《建筑工程冬期施工规程》（JGJ/T 104）的有关规定，机制砂混凝土的入模温度不低于 5°C 。

7.4.4 经试验证明，机制砂混凝土拌合物的水分蒸发速率比天然砂混凝土的大，在高温、大风环境下水分蒸发更快，不仅不利于混凝土凝结硬化及强度增长，而且导致混凝土易出现塑性收缩裂缝。浇筑大面积结构物时，浇筑结束时间应尽量避免大风、高温时段，尽可能减少混凝土拌合物的水分散失。结构物表层混凝土品质的好坏，直接决定了结构物的服役耐久性。

7.5 振捣

7.5.2 大量工程调研表明，混凝土浇筑和振捣工艺对工程实体的外观和耐久

性影响非常大，不重视浇筑和振捣，常常引发色差、气泡、砂线甚至裂缝等质量问题（见图4）。

振捣制度应根据结构类型、拌合物性质等因素试验确定，振捣应保证将混凝土振捣密实，防止漏振、欠振和过振。对于高石粉含量的机制砂混凝土，比同等配比的河砂混凝土浆体量更大，在振捣作用下更容易液化，所以机制砂混凝土的振捣时间应适当缩短，避免过振导致局部浮浆过重或离析、泌水。



图4 某墩柱砂线（左）和某预制箱梁梁端竖向裂缝（右）

本条重点强调插入式振捣棒采用垂直点振，附着式振捣器要重视同时开启的数量和连续开启时长。这两点是现场振捣施工时比较容易忽视的方面，尤其是预制梁使用的附着式振捣器，波纹管的存在使得振捣棒难以插入，多采用附着振捣器强振，极容易造成波纹管附近的混凝土过振，导致预制梁腹板水纹、砂线、孔洞以及浮浆。不能以附着振捣器替代振捣棒，过度振捣腹板的混凝土。对于机制砂混凝土，更容易过振，所以振捣必须适度，尽量降低振捣强度。

7.6 拆模

7.6.1 本条规定了影响拆模时间的主要因素，根据混凝土强度、模板形式、结构温度变化和气温来确定拆模时间。

7.6.2 本条规定了拆模时的混凝土内外温差、表层混凝土与气温的温差，避免温差过大导致混凝土裂缝的产生。

7.6.3 与天然砂混凝土相比，机制砂混凝土强度较低时，更容易受到流水的侵蚀，故规定了强度未达到设计强度的75%前，不应与流动水接触。

7.7 养护

7.7.1.1 机制砂中石粉含量比较高，水泥颗粒间距大，需要较长的保湿养生，以形成良好的水泥石结构，所以保湿养护时间宜比天然砂混凝土延长1d~2d。保湿养护可采用洒水覆盖保湿、自动喷淋、喷涂养护剂等方式。

比表面积较大的构造物，由于其暴露面积大，容易引起失水干燥，故应加强初始的保湿养护，宜边浇筑边采用塑料薄膜覆盖保湿，搓面与薄膜覆盖相协调。大量工程调研发现，保湿养护是降低混凝土塑性阶段开裂的有效手段，及时有效的搓面可以减少甚至消除混凝土塑性阶段失水裂缝，忽视搓面工序及搓面时机，

难以保证混凝土浇筑面质量，尤其大面积薄层结构物。这两方面做不好极易产生塑性收缩裂缝，随着混凝土不断失水，裂缝会进一步加剧（见图5）。

结构物顶面浮浆较多，粗集料较少，由于机制砂中石粉含量较高，使得表面混凝土的水灰比较大，更容易发生水分散失，在高温、大风环境下的水分蒸发会更快，易产生早期的塑性收缩开裂。因此，对于机制砂混凝土而言，整平后的搓面和及时保湿养生尤为重要。



图5 混凝土早期塑性收缩裂缝

7.7.2.2 和 7.7.2.3 冬期施工的养护，对大体积和大面积薄层结构物进行了区分。大面积薄层结构物水化放热量小，冬期施工时，要额外注意早期的保温养护，为保证混凝土强度增长，不应直接洒水养护。大体积结构物水化放热量较大，随着水泥的不断水化，混凝土温度逐渐上升，在做好早期保温养护的同时，应在表面洒水进行保湿养护。

8 检验与验收

8.1 机制砂及其母材质量检验

8.1.1 本条规定了机制砂母材检验的技术指标和检验依据。

8.1.3 本条规定了机制砂的出厂检验的主要项目

8.1.4 和 8.1.5 规定了机制砂型式检验项目和需要型式检验的频次。

8.1.6 本条规定了机制砂检验的批次划分。

8.1.7 和 8.1.8 规定了机制砂的检验依据与合格判定方法。

8.2 混凝土拌合物质量检验

8.2.1～8.2.3 规定了机制砂混凝土拌合物质量检验的项目和频次，重点强调了对含气量和温度的检测。

8.2.4 本条规定了机制砂混凝土拌合物的检验依据。

8.3 硬化混凝土质量检验

8.3.1 本条规定了机制砂混凝土力学性能的检验方法和评定依据。

8.3.2 本条规定了机制砂混凝土耐久性能的检验方法和评定依据。

8.4 混凝土工程验收

8.4.1 本条规定了公路工程机制砂混凝土的施工质量验收依据。

8.4.2 本条规定了公路工程机制砂混凝土的工程验收依据。

四、与现行相关法律、行政法规和其他标准的关系

公路工程混凝土使用机制砂，将减少河砂使用，符合国家环保要求及政策；公路工程混凝土合理使用机制砂，提高工程品质，符合国家交通强国战略的要求。

国外机制砂的应用也已经有几十年的历史，由于机制砂母岩、生产设备和工艺的差异，生产的机制砂级配差异很大，各个国家和地区相继制定了适合自己国家和地区的机制砂标准，如美国标准《混凝土集料标准规范》(ASTM C33-2008)、欧盟标准《混凝土集料》(EN 12620-2013)、英国标准《天然混凝土集料规范》(BS 882-1992)、澳大利亚标准《工程应用集料和岩石 部分 1：混凝土集料》(AS2758.1-2012)、日本工业标准《混凝土用碎石及碎砂》(JIS A5005-2009)和美国国际集料研究中心(ICAR)建议的机制砂标准。

目前，国内有关机制砂及机制砂混凝土的标准有《建设用砂》(GB/T 14684-2022)、《普通混凝土用砂、石质量标准及检验方法》(JGJ 52-2006)、《公路工程水泥混凝土用机制砂》(JT/T 819-2023)、《人工砂混凝土应用技术规范》(JGJ/T 241-2011)、《公路机制砂高性能混凝土应用规程》(T/CECS G:K50-30-2018)、《机制砂石生产技术规程》(JC/T 2299-2014)、《高性能混凝土用集料》(JG/T 568-2019)、等，涉及到机制砂的生产，机制砂产品参数控制以及机制砂混凝土的应用等方面。机制砂的分级、技术要求与试验方法有较大差异，差异主要体现在石粉含量的限定、亚甲蓝(MB 值)限定和测试方法、吸水率的限定等方面，此外涉及到机制砂混凝土的技术内容较少。

山东地区石灰岩、花岗岩、白云岩、辉绿岩等均有分布，不同岩性机制砂的工程特性差别较大，在前期的使用过程中也暴露出一些问题，给工程建设带来了较大的困扰，致使工程建设过程中，施工单位无河砂可用，监管单位无机制砂混凝土规范可依。在本地区原材料、加工工艺和应用背景的基础上，提出适合本地区的机制砂相关技术参数势在必行。

五、重大分歧意见的处理过程、处理意见及其依据

本规范在编制过程中无重大分歧。

六、对地方标准自发布日期至实施日期之间的过渡期（以下简称“过渡期”）的建议及理由

建议过渡期 3 个月。

机制砂的生产厂商和应用企业是本标准实施的主体，机制砂的生产涉及到原材料采购或供应，设备的更换或更新，机制砂的应用涉及到使用单位的意识转变、技术提高等环节，标准发布后将向标准实施主体进行推广和宣贯，推动标准的落地实施。预计此项工作需要 3 个月的时间。

七、其他需要说明的内容

（一）标准名称变更情况

为满足公路工程建设对机制砂混凝土的应用技术要求，弥补相应技术规范的缺失，审查委员会一致同意将原地方标准名称“公路工程机制砂混凝土应用技术规程”变更为“公路工程机制砂混凝土技术规范”。

（二）实施效益分析

针对山东省的地材特点，制定适合于本省机制砂生产和施工的技术规范，规范机制砂在山东地区公路工程混凝土中应用，提高公路工程混凝土品质，降低公路工程混凝土的生产成本。并且可以合理使用隧道开采出的岩石，避免洞砦占地等环保问题，具有显著的经济效益和社会效益。



2024 年 12 月