

海南省地方标准
公路工程机制砂混凝土应用技术规程
(征求意见稿)
编制说明

标准起草组
2023 年 02 月

一、项目简况	4
二、标准编制原则与确定主要内容的依据	6
三、主要试验的分析综述、技术经济论证与预期经济效益	28
四、采用国际标准和国外先进标准的程度	30
五、与有关现行法律、法规和其他强制性标准的关系	35
六、重大意见分歧的处理结果和依据	35
七、其他应予以说明的事项	35

一、项目简况

（一）标准名称

《公路工程机制砂混凝土应用技术规程》

（二）任务来源

近年来，由于天然河砂存量不断减少以及环境保护限制开采，我国不少省区在公路工程建设中已出现天然河砂资源匮乏甚至无合格天然河砂可用的情况，公路工程可持续发展受到严重制约。天然河砂资源短时间内不可再生，随着河砂资源的日益枯竭，采用机制砂替代河砂配制混凝土已经是当前公路工程建设的发展趋势。随着我国公路工程建设持续开展，使用机制砂是公路工程长期发展的必然趋势。随着机制砂加工技术不断进步发展、机制砂在混凝土中的应用经验和研究成果不断丰富，机制砂的部分加工指标得到了改善，如机制砂颗粒形状指标、石粉含量限值等；其在混凝土中的应用分类也将更加精细化、应用范围将更加广泛，如机制砂混凝土强度等级范围、在超高性能混凝土中的应用等。

基于此，为及时补充完善机制砂生产及应用，制订机制砂有关的技术规定、技术指标值，以适应机制砂生产和应用技术的发展进步，更好地促进和规范机制砂在海南省公路工程水泥混凝土中的应用。2020年，海南省交通运输厅下发琼交科信〔2020〕293号文件，立项《海南省公路工程机制砂混凝土应用技术研究》科研课题，研究机制砂在我省公路工程应用的相关技术问题；2021年海南省市场监督管理局针对我省机制砂应用的迫切性，立项编制该标准并下发了海南省2021年度第二批地方标准制修订项目计划，《公路工程机制砂混凝土应用技术规程》（2021—Z042）。

（三）起草单位及参与起草单位

本文件的编制工作由海南省交通工程建设局主持，交通运输部公路科学研究所参与实施及编制。在本文件的制订过程中，得到了相关单位的支持、协助，

取得了大量试验数据和标准制订建议，保证了标准的制订质量。参与起草单位主要有：中交一公局厦门工程有限公司、中交二公局东萌公司等。

（四）主要起草人及其所做的工作

编制组主要成员及其分工如表 1 所示。

表 1 编制组主要成员及分工

序号	主要成员	编制单位	工作任务
1	符策源	海南省交通工程建设局	总体负责，起草标准编制大纲和章节内容框架。
2	田波	交通运输部公路科学研究所	技术总负责制订，总体控制技术指标
3	资西阳	海南省交通工程建设局	负责制订机制砂母材范围
4	张浩	海南省交通工程建设局	负责机制砂技术指标调研、编写母材安全和环保要求、机制砂混凝土章节编写。
5	何哲	交通运输部公路科学研究所	负责制订第3章术语和定义、4机制砂母岩、5机制砂设备、生产及工艺、混凝土应用技术等章节编写。
6	李立辉	交通运输部公路科学研究所	负责机制砂技术指标调研、制订机制砂的定义、机制砂混凝土应用技术章节。
7		海南省交通工程建设局	负责制订机制砂分类与规格
8		海南省交通工程建设局	参加机制砂技术指标调研、负责制订机制砂颗粒级配
9		海南省交通工程建设局	负责制订石粉含量
10		海南省交通工程建设局	参加机制砂技术指标调研
11		海南省交通工程建设局	参加机制砂技术指标调研、参与制订表观密度和孔隙率
12		海南省交通工程建设局	负责机制砂技术指标调研、制订吸水率
13		海南省交通工程建设局	负责机制砂指标调研、负责制订片状颗粒含量
14		海南省交通工程建设局	参加机制砂指标调研、参与制订机

序号	主要成员	编制单位	工作任务
			制砂分类要求
15		海南省交通工程建设局	参加机制砂技术指标调研、参与制订第5章级配范围
16		海南省交通工程建设局	参加机制砂技术指标调研、参与制订第5章石粉含量
17		海南省交通工程建设局	负责机制砂指标调研、参与制订第7章出场检验项目
18		海南省交通工程建设局	参加机制砂指标调研、参与制订第5章片状颗粒含量
19	权磊	交通运输部公路科学研究所	制订机制砂使用范围

二、标准编制原则与确定主要内容的依据

（一）标准编制原则

1. 协调性原则

做好与相关标准、规范的协调、衔接，保证本文件与现行公路桥梁、隧道和路面施工规范和细则等相关行业标准协调性。本文件为产品标准，从保证产品质量均匀性、稳定性、可靠性以及对混凝土施工过程质量控制的支撑性等角度来对产品指标进行规定。

2. 可操作性原则

为便于工程应用，起草的条文应明晰、规范，试验方法中仪器、关键步骤等内容应详细、明确，可操作性强。

3. 成熟性原则

标准制订的条文及指标需进行充分技术论证或试验验证，应依据充分，理

论正确，验证可信，确保技术成熟性、可靠性。

4. 代表性和先进性原则

标准必须能够满足工程上对机制砂产品的基本性能要求，同时也必须考虑试验验证样品的代表性，使国内市场上大部分产品能够满足标准要求；同时能够引导机制砂产品在工程应用中不断改进、完善，从而推动机制砂产业和公路工程行业的持续进步。

（二）标准编制框架

1. 标准名称与框架

本文件属于制订标准。在制订过程中，考虑到水运工程、铁路工程等均有各自领域的相关标准，将适用范围确定为适用于公路工程的水泥混凝土及其制品用机制砂。制订后的标准总体框架包括范围、规范性引用文件、术语和定义、分类与规格、设备要求、生产工艺、机制砂技术要求、机制砂混凝土要求等 10 个章节，增加了 1 个附录：附录 A 机制砂片状颗粒含量试验方法和附录 B 海南省岩石分布图 1-3。

2. 参考标准

本文件参考相关技术标准有：

建设用砂 (GB/T 14684)

建设用碎石卵石 (GB/T 14685—2011)

建筑材料放射性核素限量 (GB 6566)

公路工程岩石试验规程 (JTG E41—2005)

公路工程集料试验规程 (JTG E42—2005)

公路桥涵施工技术规范 (JTG/T 3650)

公路水泥混凝土路面施工技术细则 (JTG/T F30)

公路隧道施工技术规范 (JTG/T 3660)

公路工程 水泥混凝土用机制砂 (JT/T 819—2011)

人工砂混凝土应用技术规程(JGJ/T 241—2011)

高性能混凝土用骨料(JG/T 568—2019)

混凝土用机制砂质量及检验方法标准(重庆市)(DBJ50/T—150—2012)

贵州省高速公路机制砂高性能混凝土技术规程（贵州省）(DBJ 52/T 055—2015)

机制砂及机制砂混凝土应用技术规范(广西省)(DB45/T 1621—2017)

机制砂生产与应用技术规程(陕西省)(DBJ 61/T 137—2017)

广东省公路工程机制砂水泥混凝土应用技术规范(广东省)(GDJTG/T B01—2017)

机制砂混凝土应用技术规程（甘肃省）(DB 62/T 2917—2018)

公路水运工程混凝土用机制砂生产与应用技术规程（江西省）(DB 36/T 1153—2019)

混凝土用机制砂质量及检验方法标准(河南省)(DBJ41/T232—2020)

公路机制砂高性能混凝土技术规程(T/CECS G: K50—30—2018)

Standard Specification for Concrete Aggregates, ASTM, C33/C33M – 18

Standard Specification for Aggregates for Masonry Grout, ASTM, C404 –18

（三）标准主要内容的确定依据

1. 术语和定义

（1）机制砂

本术语定义在综合国标、行标及其他省份地标等基础上根据机制砂的工艺要求进行了局部调整，补充了颗粒整形和粉控两个工艺环节。

《建设用砂》（GB/T 14684）中包括矿山尾矿、工业废渣等机制砂制作原材料。本文件根据公路工程的使用特点和年限，对原材料进行了适当限制，限制为“岩石”颗粒，不包括工业废渣。对于矿山尾矿，以及近几年随着公路建设向山岭重丘区的发展而出现的越来越多的隧道弃渣，也由于其存在质量不稳定、材质性能复杂多变等问题，其用于水泥混凝土中，很容易导致混凝土工作性不稳定、耐久性差等问题。本文件不提倡采用这类材料作为机制砂生产的原材料。

因此，在机制砂定义中没有明确规定这类材料可作为机制砂的生产原材料，但是也没有明显排斥。只要生产的机制砂指标能够满足本文件规定的技术指标，这类材料也可以作为机制砂母材用来生产机制砂。本文件术语定义中明确了机制砂的生产应采用合格母材为原料，对于软质岩、风化岩，这类岩石强度和耐久性均较差，作为生产机制砂的母材，其技术指标很难满足本文件条文中规定的母材要求，这类岩石一般不能用作机制砂的母材，故给出了玄武岩、花岗岩、石灰岩三种岩相的技术指标。

（2）亚甲蓝值的效用性研究

本术语定义在《建设用砂》（GB/T 14684）中亚甲蓝值定义的基础上，结合亚甲蓝值试验方法进行了局部修改。原定义为“每千克 0~2.36mm 粒级试样所消耗的亚甲蓝质量”，这种表述更像是亚甲蓝值的计算方法。《建设用砂》（GB/T 14684）中的定义为“用于判定机制砂中小于 75 μ m 粒级颗粒的吸附性能的指标”。实际上，《建设用砂》（GB/T 14684）中关于亚甲蓝值测试的试验方法中采用的是 0~2.36mm 粒级颗粒，虽然小于 75 μ m 粒级颗粒的吸附性远大于 75 μ m~2.36mm 颗粒的吸附性能，但是 75 μ m~2.36mm 颗粒也具有一定的吸附性，尤其 75 μ m~0.15mm 颗粒吸附性也较大。因此，《建设用砂》（GB/T 14684）中对亚甲蓝值的定义没有与其试验方法相对应。本文件进行了补充，形成现有定义。

鉴于泥粉会阻碍水泥水化，削弱集料与浆体之间黏结，对混凝土的工作性、力学性能以及耐久性造成诸多不利的影响，我国 GB/T 14684《建筑用砂》从国外规范中引入亚甲蓝试验，通过 MB 值及石粉含量对机制砂中含泥量进行控制。MB 值是每千克试验粒级机制砂颗粒所消耗的亚甲蓝克数，从实质上讲反映了机制砂颗粒对亚甲蓝染料的吸附能力。由于泥粉中所含有的膨胀性黏土矿物具有很容易吸附亚甲蓝的特性，而作为非黏土性矿物的石粉吸附量很小，因此利用 MB 值可以较好的检测和控制机制砂中的含泥量。

经过对施工现场母岩的调研，对海南省 36 个石场，100 多个样品进行调研，对广西 5 种石灰岩：广西南天 1 标段为微晶灰岩机制砂；南天 2 标段含硅质微晶灰岩；机制砂南天 3 标段为粉细砂屑灰岩机制砂；南天 4 标段为含砾屑微晶

灰岩机制砂；南天 5 标段为生物屑粉细晶灰岩机制砂及海南的花岗岩机制砂、玄武岩。试验采用的细集料为海南的花岗岩与广西南天各标段石灰岩机制砂，将细集料进行筛分，对细集料按砂当量、亚甲蓝试验的要求进行处理。为消除原细集料中粘土对试验的影响，将细集料逐级筛分后，将 0.075mm 石粉舍去。探究无石粉状态下的 MB 值，掺入 5%石粉状态下的 MB 值和砂当量。试验结果如图 1:

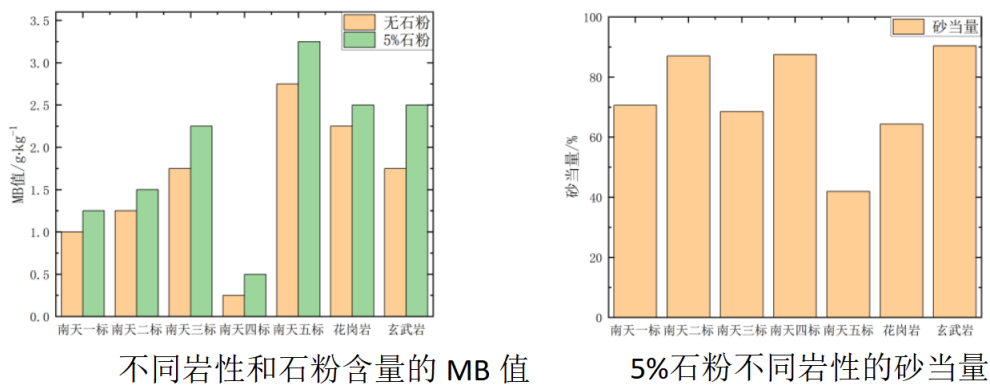


图 1 不同岩相机制砂的砂当量与 MB 值

随着石粉含量的增大，MB 值逐渐增加，增加幅度较小，即石粉对亚甲蓝的吸附量较小。筛除 0.075mm 以下的颗粒后，对南天高速不同标段及花岗岩、玄武岩不同岩性、细粉材质含量的机制砂进行亚甲蓝试验。MB 值都着不同程度的差异，由图可知，MB 值不仅受泥粉、石粉含量的影响，还与细粉材质、细粉细度变化有着一定关联。含砾屑微晶灰岩对亚甲蓝测试不敏感，MB 值较小。而生物屑粉细晶灰岩、粉细砂屑灰岩对亚甲蓝测试较为敏感。试验结果表明（1）不同岩相机制砂在不含石粉时的亚甲蓝值差异明显，也即吸附亚甲蓝的不仅仅是泥粉，集料的微观构造也存在吸附石粉的可能。（2）掺入 5%后，亚甲蓝值升高，增幅较同质量其他粒径颗粒明显。

基于上述试验结果，本标准建议采用下式对海南省内的亚甲蓝进行评价：

$$MB_X = MB_S - MB_0 \quad (1)$$

式中：

MB_X ，为修正 MB 值；

MB_S ，为取 0mm-2.36mm 式样（含石粉）按照 JTG E42 方法测得的 MB 值；

MB₀，为取样 0.075mm-2.36mm（不含石粉，式样需水洗后烘干）按照 JTG E42 方法测得的 MB 值。

（3）片状颗粒

本文件在机制砂中，引入了片状颗粒含量试验方法。为便于标准使用者理解和标准直接的协调一致，参照建工标准《高性能混凝土用骨料》（JG/T 568—2019）中的定义给出本文件片状颗粒的定义。

随着高性能和超高性能混凝土的出现，以及机制砂使用范围的推广与扩大，在超高性能混凝土和高性能混凝土中也开始了机制砂的应用。由于超高性能混凝土和高性能混凝土对于混凝土粘聚性、抗离析性能、坍落度等工作性能要求比较高，对机制砂颗粒形状比较敏感。为便于超高性能混凝土和高性能混凝土的制备，本文件给出了对母岩岩性的机制砂进一步划分的规定。

当前，对于机制砂形状的特征主要有三种方式：球体类似度、颗粒形貌和片状颗粒含量。球体类似度是表征机制砂形状与理想外接球体差异的指标，在中国工程建设标准化协会标准《公路机制砂高性能混凝土技术规程》（T/CECS G K50—30—2018）中规定了相关试验方法，在 1.18mm~2.36mm 和 2.36mm~4.75mm 粒级各取 10 粒取平均值；机制砂颗粒形貌指标采用圆形度和长径比来表征，在铁路工程机制砂标准中拟采用这个指标，可采用专门的颗粒形貌测试仪进行测试分析；片状颗粒含量是机制砂中较粗颗粒 1.18mm~2.36mm、2.36mm~4.75mm 和 4.75mm~9.5mm 三个粒级中片状颗粒之和，通过特制的筛子进行筛分得到，建工行业标准《高性能混凝土用骨料》（JG/T 568—2019）中关于机制砂（人工砂）颗粒形状的特征采用了这个指标，并给出了砂的指标值要求。

球体类似度的表征方法，由于采用人工测量、砂颗粒数量少、不同的投影面结果有差别等，结果代表性还有待改进；颗粒形貌指标虽然在测试方法上采用了连续自动计量的设备可大量检测，理论上可用，但测试结果准确度受测试设备限制，且设备测量过程中还存在一定的黑匣子问题。片状颗粒含量采用筛子可进行大量筛分，测试过程便捷易行，可较为直观地反映机制砂的颗粒形状特性。

2. 分类与规格

国内及其他行业标准对机制砂的分类主要针对机制砂自身质量情况，而忽略了工程实际应用场景不同，对机制砂的特定要求。如泵送机制砂混凝土的主要诉求为，如何降低混凝土泵送阻力，提高泵送的质量与安全性；梁板混凝土主要是减小高胶凝材料含量带来的收缩及弹性模量变大（梁体过度脆性）等问题；水泥混凝土路面机制砂代替河砂后，路面抗滑性能不足及混凝土拌合物出浆量引发平整度下降等问题。基于此，本标准结合交通运输部公路科学研究所承担的多个科研课题，形成如下分类；

(1) 制砂按照应用部位分为桥隧和路面两个大类，代号分别为 QS、LM，两个大类细分为三个等级，分别为 QS I 类、QS II 类、QIII 类，LM I、LM II 类、LM III 类。

(2) QS I 类机制砂使用部位为预应力钢筋混凝土、梁板混凝土等 C50 及以上强度等级混凝土；QS II 类的应用部位桥墩、盖梁等 C50 以下等级且不低于 C30 等砼；QSIII 类砂的应用部位为基础、支护类低于 C30 等级的混凝土；LM I 机制砂的使用部位为与行车轮胎提供抗滑性能的混凝土路面、桥面、隧道路面、抗滑耐磨功能层、透水路面面层等；LM II 类机制砂使用部位为非抗滑表层的路面面层、贫混凝土层、路面上基层等，LM III 类机制砂的使用部位为路面下基层、垫层、路面附属结构等。

3. 机制砂母材

(1) 放射性

根据国标《建设用砂》（GB/T 14684）中的相关要求，生产机制砂用的母材应符合我国环保和安全相关标准的规定，不应对人体、生物、环境及混凝土产生有害影响，放射性应满足国家相关的要求”。

(2) 机制砂母材强度要求

本文件根据机制砂生产母材的实际情况，增加“卵石或碎石”。通过调研，发

现机制砂的生产除直接采用开采的母岩经过多级破碎外，也有直接采用碎石进行生产的，两者仅在破碎级数有区别，其他都是一致的。另外，在卵石丰富地区，也可采用满足技术要求的卵石生产机制砂，以扩大机制砂母材的范围，促进地方材料的有效利用。

同时，在增加卵石和碎石作为机制砂生产原材料后，本文件对卵石和碎石的压碎指标也参照国标《建设用卵石、碎石》（GB/T 14685）提出了要求，以保障机制砂的原材料强度。

（3）母岩岩性-与碱集料反应

在原材料的碱集料反应方面，新制订的《公路桥涵施工技术规范》（JTG 3650—2020）在表中规定了对细集料的碱集料反应要求，“经碱集料反应试验后，试件应无裂缝、酥裂、胶体外溢现象，在规定试验龄期的膨胀率应小于 0.10%”。而在表注中，要求“当碱集料反应不符合表中要求时，应采取抑制碱集料反应的措施”。因此，本文件在原标准要求对碱集料反应检验的基础上，增加了对采用具有碱-硅酸反应活性母材生产的机制砂，在使用时应按有关规范采取有效抑制措施的规定，对《公路桥涵施工技术规范》（JTG 3650—2020）进行细化和补充，为这类机制砂的生产和应用提供了依据。

国内混凝土碱骨料反应（Alkali-Aggregate Reaction，简称 AAR）的试验研究主要分为两个方向，一是集料是否存在碱集料反应的判断方法，二是对于存在潜在的碱活性集料掺加碱活性抑制剂后是否达到抑制有效的研究，取得了一系列显著的研究成果。

根据前期大量的工程实践，发现仅靠快速砂浆棒法和混凝土棱柱法所得到的结果差异较大。拟在项目研究期间混凝土棱柱体法评价碱活性抑制效果的同时，增加碱集料碱活性短期快速检测方法进行检测，并与传统长龄期检测方法对比分析，研究两者的相关性；分析碱活性集料颗粒级配与碱活性膨胀率关系，探索或优化短期快速检测方法，以便在工程中快速检测集料的碱活性，同时，提出碱活性指标分级办法和应用依据。岩石的碱活性检验与判断是研究重点，具体检验流程，见图 2 所示。

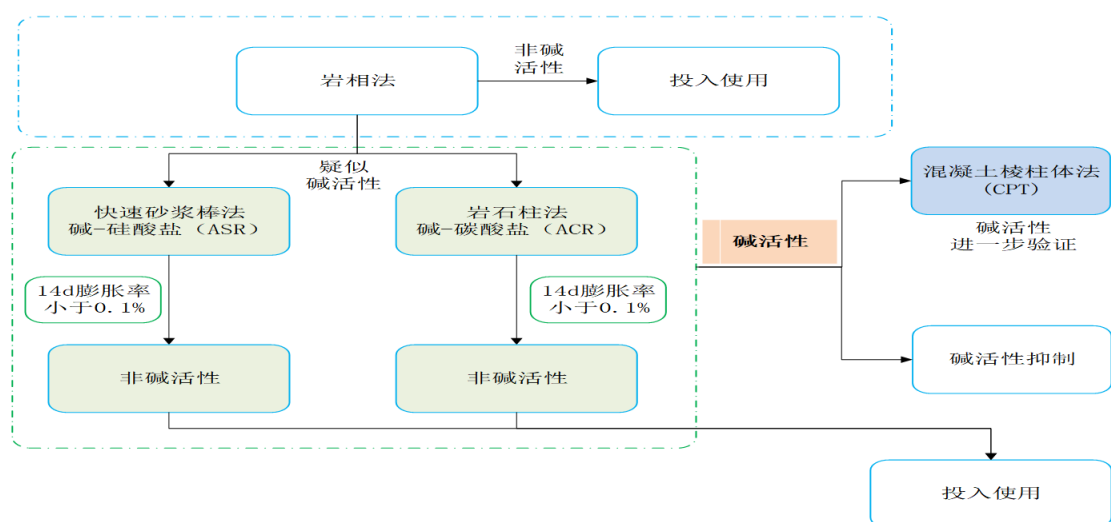


图 2 碱活性判断流程

(1) 快速砂浆棒法

快速砂浆棒法是判定骨料是否具有碱活性反应的重要方法之一，其优点是试验周期短，对 ASR 反应敏感度高，可以在短时间内快速的表征骨料的碱活性。利用快速砂浆棒法选定海南的玄武岩机制砂、花岗岩及广西的石灰岩机制砂为对象，测定三种机制砂作为骨料的碱骨料反应，集料级配的见表 2。基准砂浆试件的长度膨胀率如表 1 所示，3d、7d 和 14d 试件的膨胀率如图 12 所示。

表 2 集料级配

Table 2 Graded aggregate base

细分粒径 (mm)	5.0-2.5	2.5-1.25	1.25-0.63	0.63-0.315	0.315-0.15
骨料质量百分数 (%)	10	25	25	25	15
一组试件所需试样的质量 (g)	90	225	225	225	135

表 3 快速砂浆棒膨胀率

Table 3 Rapid mortar bar expansion rate

岩性	砂浆棒膨胀率 (%)		
	3d	7d	14d
花岗岩 (海口)	0.12536	0.16512	0.19342

玄武岩（海口）	0.06589	0.08956	0.13111
石灰岩（广西）	0.07175	0.08382	0.08829

由图 3 所示，三种母岩骨料砂浆试件的 14d 膨胀率，其中碱活性最大的为花岗岩制得的机制砂，是超过规范要求 0.1% 的 1.9 倍，玄武岩次之，14d 的膨胀量为 1.3%，规范要求的 1.3 倍。碱活性相对较小的为石灰岩机制砂 0.089%，结果海南地区的花岗岩和海口玄武岩骨料均存的碱硅酸反应危害。随着养护时间的延长，二种母岩的膨胀率增大，说明了养护条件、时间对骨料的膨胀率影响较为明显，但两者无明显的线性关系。从图 3 中可以看出，砂浆试件在 7d-14d 的膨胀率增长量在不同程度上略大于 3d-7d 的膨胀率增长量，其原因在于快速砂浆棒可以评价早期骨料碱活性的反应程度，同时也能加快碱活性的反应速度，科学严谨的评价在正常条件下反应缓慢的活性骨料。

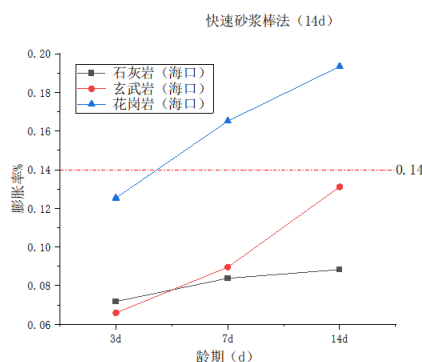


图 3 快速砂浆棒膨胀率

Fig.3 Rapid mortar bar expansion rate

（2）混凝土棱柱法

混凝土棱柱法是测定碱骨料反应的长期观测方法。用于测量混凝土试件在 38℃ 及潮湿的环境下，为期一年的长度变化。试验准确度高于快速砂浆棒短期试验，选用已通过试验证实过得非活性粗骨料。混凝土棱柱法是判定成型混凝土试件中机制砂是否具有碱硅活性反应的重要方法。采用混凝土棱柱法测定三种机制砂作为细骨料的碱活性试验，混凝土试件的膨胀率如表 4 所示。

表 4 混凝土棱柱法膨胀率

Table-4 Expansion rate of concrete prismatic method

岩性	棱柱法膨胀率 (%)
----	------------

	7d	14d	28d	60d	120d	240d	360d
花岗岩 (海口)	0.01636	0.01643	0.02525	0.02984	0.03524	0.03846	0.03852
玄武岩 (海口)	0.01696	0.02535	0.02652	0.02866	0.03374	0.03475	0.03449
石灰岩 (广西)	0.00956	0.01208	0.02075	0.02467	0.02816	0.03665	0.03901

细集料在混凝土棱柱试验中的 1 年膨胀结果如图 4 所示，根据 CAMBT 判据（1 年膨胀率不超过 0.04%）判定花岗岩、玄武岩、石灰岩均为非碱活性集料。随着时间的延长，各组混凝土试件表现出前期膨胀增长率增长较快，后期增长量相对于早期呈现出变缓的趋势，说明了碱骨料反应大多在早期反应剧烈。

(2) CAMBT 和 CPT 相关性

为了探究三种机制砂作为骨料在快速砂浆棒和混凝土棱柱中的膨胀结果相关性，将两种试验的结果进行线性拟合，由图 4 可见，CAMBT 中的膨胀率与 CPT 的膨胀率相关性一般，但可以的一致反应出集料具有膨胀性，在反应发生的早期至中期，CAMBT 的膨胀率随着时间的延长与 CPT 膨胀率具有较好的相关性，但反应发生到后期，集料在 CAMBT 中的膨胀率显著增加，从而使得与 CPT 的相关性下降。其原因可能是由于快速砂浆棒短期试验 14d 内一直处于高温、高碱环境下，溶液中的 OH⁻ 浓度越高，温度越高，反应必然越快。

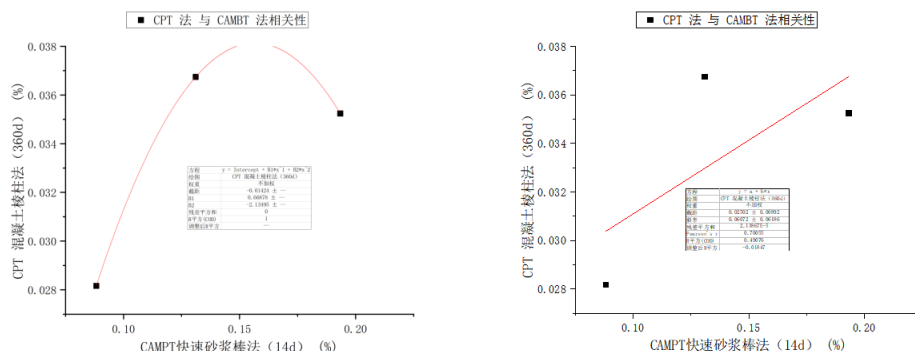


图 4 CAMBT 和 CPT 相关性

Fig.4 The relevance of CAMBT and CPT

基于上述试验结果得出：机制砂宜选用花岗岩、玄武岩、辉绿岩、辉长岩等坚硬的岩浆岩及石灰岩等沉积岩，机制砂快速碱活性方法仅参考使用，以 CPT 法为准（国际及国内上认可该准则）。不应有碱碳酸盐活性；并满足下列要求：

I 类砂：快速砂浆棒法试验的膨胀率应不大于 0.1%。

II 类砂：快速砂浆棒法试验的膨胀率应不大于 0.2%。

III 类砂：快速砂浆棒法试验的膨胀率应不大于 0.3%。

4. 机制砂技术要求

（1）表观密度、松散堆积密度和空隙率

根据《建设用砂》（GB/T 14684）的规定，将本文件针对不同岩相岩性提出了表观密度、松散堆积密度及空隙率的技术指标，经实测和调研发现岩性差异明显，因此提出针对四种不同岩性机制砂提出具体技术指标，孔隙率宜小于等于 44%。

（2）吸水率

机制砂原料成分复杂，质地粗糙，表面裂隙较多，吸水率波动较大，尤其在早期，对于较高吸水性的机制砂，如某些表面质地疏松的砂岩或风化程度较高的机制砂，往往吸水率较大，其对混凝土拌合物工作性影响明显，后期对混凝土强度、干缩和耐久性也有一定影响。母岩的岩性、表面开口孔隙情况、石粉含量、泥块含量和有害物质在一定程度上均会影响机制砂吸水率。目前，世界上仅有少数标准对机制砂吸水率作出相关规定。日本标准《Crushed stone and manufactured sand for concrete》（JIS A 5005—2009）规定机制砂吸水率应小于 3.0%，湖南省地方标准《公路工程机制砂混凝土应用技术规程》（DB43/T

1287—2017) 规定, I、II类机制砂宜小于 2.0%, III类机制砂宜小于 2.5%

编制单位测试了 24 种省外不同岩性的原状机制砂及省内 3 中不同岩性机制砂的吸水率。试验结果表明, 海南省内的花岗岩、玄武岩及石灰岩与省外差别巨大, 吸水率指标高出 10 倍左右, 这与之前的岩石调研结果相同。

国内其他省份试验结果如下表 5-表 6。所有 24 种机制砂的吸水率平均值为 1.98%, 87.5%数量的机制砂吸水率小于 3%, 79.2%数量的机制砂吸水率小于 2.5%, 50%数量的机制砂吸水率小于 2.0%, 25%数量的机制砂吸水率小于 1.0%。当机制砂石粉含量不超过 15%时, 93.8%的机制砂吸水率小于 2.5%, 68.8%的机制砂吸水率小于 2.0%; 当石粉含量不超过 10%时, 100%的机制砂吸水率小于 2.5%, 72.7%的机制砂吸水率小于 2.0%。国家标准《建设用砂》GB/T 14684 规定: 当用户有要求时, 应报告其实测值。

表 5 国内其他省份机制砂饱和面干吸水率试验结果

编号	机制砂岩性	石粉含量 %	吸水率 %	编号	机制砂岩性	石粉含量 %	吸水率 %
1	北京辉绿岩	11.4	0.43	13	山东石灰岩	14.0	1.45
2	广西白云岩	15.5	0.78	14	湖北砂岩	3.2	3.18
3	广西卵石砂	2.0	0.57	16	河南石灰岩	3.4	0.80
4	广西砂岩	8.7	5.97	17	山西铁尾矿砂	6.9	0.81
5	内蒙石灰岩	12.0	2.00	19	湖北花岗岩	7.57	2.01
6	内蒙石灰岩	18.7	2.09	20	湖北石灰岩	13.4	2.60
7	河北花岗岩	2.8	1.87	21	广西石灰岩	9.5	2.32
8	广西石灰岩	17.3	2.61	22	广西石灰岩	17.5	4.22
9	湖北辉绿岩	14.9	1.52	23	广西石灰岩	25.5	4.35
10	广西砂岩	16.3	4.12	24	广西石灰岩	15.7	4.05
11	湖北花岗岩	6.5	1.86	25	广西石灰岩	8.4	1.95
12	湖北玄武岩	6.5	1.69	26	广西石灰岩	11.5	2.36

表 6 海南省机制砂饱和面干吸水率试验结果

编号	白沙宏顺碎石场 (粒径)				新吴石场 (粒径)		
1# 花岗岩	机制砂岩性	吸水率 %	石粉含量	2# 花岗岩	机制砂岩性	吸水率 %	石粉含量
	0-3	2.61	8%		0-4.75	3.75	12%
	3-5	1.53	1.5%		4.75-9.5	1.21	1.5%
	5-10	1.16	0.5%		9.5-19	0.96	0.5%
	10-20	0.53	0.5%		19-31.5	0.7	0.5%

3# 玄武岩	玄武岩海南家佑实业（粒径）			4# 玄武岩	G360 华兴石场（粒径）		
	机制砂岩性	吸水率 %	石粉含量		机制砂岩性	吸水率 %	石粉含量
	0-3	2.39	14%		0-3	1.21	6%
	3-5	1.04	1.5%		3-5	1.44	1.5%
	5-10	0.73	0.5%		5-10	1.35	0.5%
	10-15	0.74	0.5%		10-15	0.94	0.5%
5#石灰岩	白沙屯门料场			6#石灰岩	润丰环保科技（昌江）		
	机制砂岩性	吸水率 %	石粉含量		机制砂岩性	吸水率 %	石粉含量
	0-3	1.8	10%		0-3	1.5	10%
	3-5	0.8	1.0%		3-5	1.92	3.2%
	5-10	0.69	0.5%		5-10	1.13	0.5%
	10-20	0.53	0.5%		10-20	0.4	0.5%

考虑到我省机制砂吸水率工程实际，及吸水率对混凝土工作性的影响，石粉含量对机制砂吸水率的影响，对机制砂吸水率按类别进行了要求，规定海南省机制砂的吸水率指标为不含石粉的吸水率，技术指标如表 7 所示。

表 7 本标准不同岩性吸水率指标

序号	岩性	a 吸水率/% 技术要求（分类）						备注
		QS I	QS II	QS III	LM I	LM II	LM III	
1	花岗岩	≤1.55	≤1.75	≤1.95	≤1.45	≤1.65	≤2.20	/
2	石灰岩	≤1.0	≤1.5	≤1.8	≤1.2	≤1.8	≤2.2	/
3	玄武岩	≤1.25	≤1.55	≤1.65	≤1.45	≤1.65	≤1.85	/
a 吸水率指标为试验前筛除 0.075mm 颗粒测试得到的数值。								

（3）颗粒级配

针对机制砂级配呈现橄榄型，中间 0.15-0.6mm 颗粒偏少导致机制砂混凝土混凝土工作性能和质量不佳的问题，本标准对机制砂提出了较高的要求。实验发现，颗粒粒度的分布越接近制砂过程中现行公路工程行业标准《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650—2020）是 2020 年制订后发布实施的，其中关于机制砂级配的要求与现行国标《建设用砂》（GB/T 14684）一致。这两项标准中，机

制砂的级配范围在 4.75mm、2.36mm、1.18mm、0.6mm 和 0.3mm 筛孔尺寸的累计筛余量均与河砂一致，考虑到机制砂细粉颗粒含量较大，仅在 0.15mm 这一档进行了调整，通过率有所增加。机制砂的级配均按 1 区、2 区和 3 区划分，分别对应粗砂、中砂和细砂。I 类砂的级配满足 2 区级配要求；II 类和 III 类砂满足 1、2 和 3 区均可。本文件编制过程中调研了 71 种来自贵州、福建、四川、广东、浙江、重庆、云南等地区的机制砂的级配范围，该级配范围规定与实际生产的机制砂的级配范围对比见图 5。可以看出，该规定的细砂部分在实际工程中基本上不存在；粗砂部分 2.36mm 筛孔的含量，很多没有包含，实际上，这一部分颗粒含量应该是机制砂中粗颗粒的主要组成。这限制了很多机制砂在工程中使用。

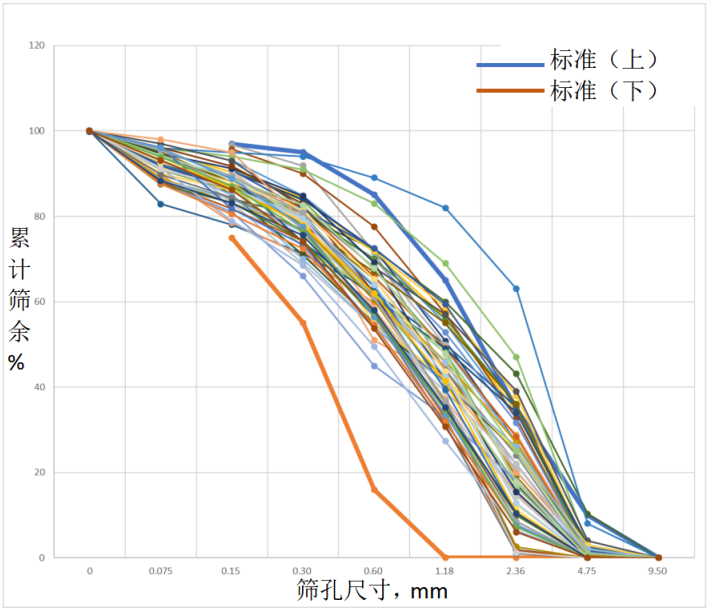


图 5 公路工程行标和国标规定的机制砂级配范围与调研机制砂级配

本文件规定的 I 类砂的级配范围，是在 2 区河砂的基础上，根据本编制组的研究成果分析得到，是 2 区砂中更加合理的级配范围。采用本文件规定的 I 类砂级配范围的机制砂，更容易配制性能良好的混凝土。这也是对 II 类、III 类机制砂级配范围 a 的规定，而对 II 类、III 类机制砂级配范围 b 的规定，是根据《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650—2020) 中 1 区和 2 区级配范围，并结合机制砂产品现状适度扩展综合而成。级配下限偏细部分采用《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650—2020) 中 2 区中砂的下限，上限即偏粗部分采用了《水泥混凝土用机制砂》JT/T819-2011 级配曲线的上限。见图 6 所示。本文件粗砂上限值采用的是《水泥混凝土用机制砂》JT/T819-2011 的粗砂上限值。《水泥混凝土

用机制砂》JT/T819-2011 标准编制过程中的试验结果表明，这个级配范围内的机制砂是可以拌制出性能符合要求的公路工程水泥混凝土。从图 6 中可以看出，本文件的级配范围包含了大部分的机制砂级配。既保障了本文件既与现行标准协调，又符合实际情况。

本标准同时参考了《水泥混凝土用机制砂》JT/T819，在编制中对机制砂的级配进行了调查和分析，机制砂颗粒总体上比河砂偏粗，细度模数大于 3.7 的也有很多。从既适应机制砂生产现状、又较容易配制满足性能要求的混凝土的角度，在编制过程中通过混凝土试验验证，《水泥混凝土用机制砂》JT/T819-2011 对较粗的机制砂各个筛孔的筛余进行了适当扩大，将粗砂的细度模数适度扩大到 3.9，相对于《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650—2020)，本文件机制砂对于级配范围的要求是根据机制砂生产情况进行了适度扩大，以便于将更多的机制砂产品在不损害混凝土性能的前提下应用到工程中去。

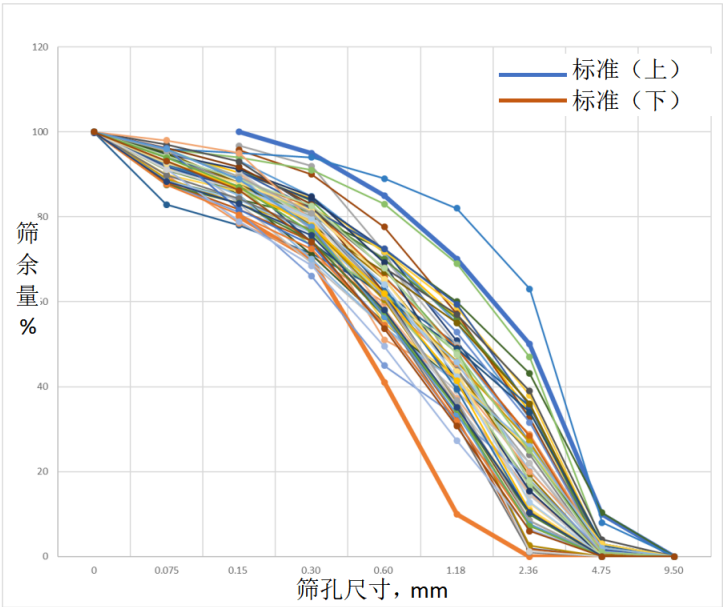


图 6 本文件规定的机制砂级配范围与调研机制砂级配范围

(4) 石粉含量

为保持规范之间的协调性，根据新发布实施的《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650—2020) 和现行国标《建设用砂》(GB/T 1468) 进行了调整。本文件在《水泥混凝土用机制砂》JT/T819 基础上，机制砂的石粉含量应根据机制砂修正 MBx 值确定，MBx 值算法按照式 1 计算。

$$MB_x = MB_s - MB_0 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- MB_x，为修正 MB 值；
- MB_s，为取 0mm-2.36mm 式样（含石粉）按照 JTG E42 方法测得的 MB 值；
- MB₀，为取样 0.075mm-2.36mm（不含石粉，式样需水洗后烘干）按照 JTG E42 方法测得的 MB 值。

对 MB 值≤1.40 或快速法试验合格的机制砂进行石粉含量规定的基础上，增加了对其 MB_x 值的规定。由于机制砂 MB_x 值反映了吸附性能大小，太大的话，对机制砂在水泥混凝土应用中会产生不利于混凝土工作性的影响，因此需要加以控制。现行国标《建设用砂》（GB/T 14684）在此基础上进行了细化，对于 MB 值不大于 1.4 的，提出了不同类别机制砂 MB 值的规定，如 I 类砂小于等于 0.5、II 类砂小于等于 1.0、III 类砂小于等于 1.4 或合格；另外，也对 MB 值大于 1.4 的，提出了不同类别机制砂的石粉含量要求。新发布实施的《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650—2020）采用了国标《建设用砂》（GB/T 14684）的相关规定。本文件相应采用相同的思路进行修改以与之相协调，但是对于具体限值的规定，本文件根据调研结果进行了调整。本文件编制过程中对福建、贵州、广东、云南、海南的 77 个试样进行了调研分析，结果如下图所示：

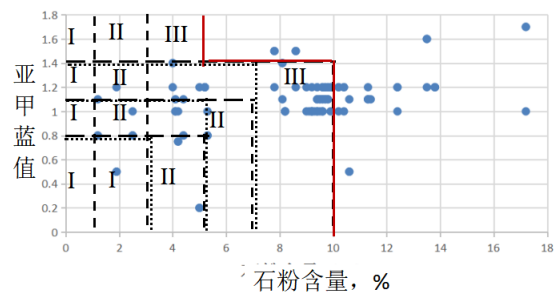


图 7 机制砂 MB 值与石粉含量

当机制砂石粉含量小于 10%时，机制砂 MB 值绝大部分都小于 1.4，即机制砂 MB 值含量不大于 1.4 也是可以满足大部分机制砂要求的，但是机制砂 MB 值不大于 0.5 的样本则非常少。说明以机制砂 MB 值 0.5 作为 I 类砂的上限太严格，很难达到 I 类砂的要求。当机制砂的 MB 值要小于 0.5 时，某些机制砂的石粉含量要控制很低才能达到，因为不同岩性岩石加工的机制砂本底 MB 值（不含石粉的机制砂 MB 值）差别很大，MB 值低的在 0.1~0.3，高的在 0.4~0.6，而往往

是本底 MB 值高的其石粉的吸附性也大（譬如目前发现的某些花岗岩、凝灰岩等），石粉含量稍微多一点，其 MB 值就超过了 0.5。若控制 MB 值控制太严格，则会限制很多硅铝质母材生产的机制砂的使用。因此，本文件根据实际的检测结果，对 MBx 值不大于 1.4 或合格的机制砂，在类别划分上将其 MBx 值适当进行了调整，I、II 类砂的 MBx 值界限调整为 0.8，II、III 类砂的 MBx 值界限调整为 1.1。

机制砂中石粉含量较低时对混凝土性能影响不明显，甚至还有改善作用。国外有标准规定机制砂石粉最高含量可达到 20%。但是，当石粉含量比较高时，机制砂的离析和石粉富集就越来越明显，不利于产品质量的均匀性和稳定性，在应用过程中会导致混凝土质量出现较大的离散性。因此，从石粉的需水量比、吸附性和产品稳定性角度出发，机制砂本身的石粉含量不宜过高。本标准参考了《水泥混凝土用机制砂》JT/T819-2023 对不同类别机制砂分别进行了限值规定。现行国标《建设用砂》（GB/T 14684）对石粉含量统一规定了 10%上限值，即所有类别的机制砂石粉含量都控制一个数即 10%。从本文件的对机制砂类别的区分和规定来看，不同类别的砂有其不同的适用范围，如 I 类砂适于配制高强度混凝土，II 类砂适于配制中等强度混凝土，III 类砂适于配制较低强度混凝土。由于高强混凝土中胶凝材料用量大、水胶比低，能容纳的机制砂中石粉少，而低强度混凝土中胶凝材料少、水胶比较高，可以容纳的机制砂石粉多。因此，本文件对于不同机制砂类别的石粉含量依然提出了一定的要求，用于高强度混凝土的 I 类砂石粉含量应该低些，而用于中低强度混凝土的 II、III 类砂的石粉含量可以多些。

考虑到粉含量太大会对机制砂产品质量稳定性产生影响，本文件对机制砂石粉含量的最大值依然采用《水泥混凝土用机制砂》JT/T819 的规定，即 QS III 类砂石粉含量上限值为 15%。考虑到 QS III 类机制砂一般用于较低强度混凝土，增加了“此指标经试验验证后，由供需双方协商确定，但不应超过 20%”的规定，以利于更大范围地利用现状机制砂产品，但是前提是不能损害设计要求的混凝土性能。

5. 机制砂母材磨光值试验方法

水泥混凝土路面起抗滑作用的主要是表层砂浆。其抗滑性能不仅与砂浆的水灰比、胶凝材料种类有关，而且也与机制砂母材性质有关。本标准沿用了《水泥混凝土用机制砂》JT/T819 标准中的机制砂母材磨光值指标，主要用于控制用于水泥混凝土路面的机制砂的抗滑性能。《水泥混凝土用机制砂》JT/T819 标准中直接引用了公路工程行业标准《公路工程集料试验规程》(JTG E42—2005) 中 T0321—2005 粗集料磨光值试验方法。

6. 机制砂片状颗粒及试验方法

研究成果表明，片状颗粒含量不超过 20% 时，对混凝土工作性影响不大于 10%；当含量为 20% 时，其抗折强度下降 5.2%，抗压强度下降 9.2%；机制砂中片状颗粒含量不超过 10% 时，对混凝土性能影响不大。本文件在编制过程中对机制砂片状颗粒含量进行了抽样试验检测，基本上都能满足不大于 10% 的要求。抽样结果如下：

重庆砂 1：细度模数 3.4，未整形，针片状含量 9%

重庆砂 2：细度模数 2.8，石含粉量 8%，整形，针片状含量 4%

福建砂 1：细度模数 2.7，石含粉量 5%，整形，针片状含量 3%

福建砂 2：细度模数 3.3，未整形，针片状含量 8%

贵州砂：细度模数 3.0，石含粉量 14%，未整形，针片状含量 5%

浙江砂 1：细度模数：3.2，石粉含量：13.1%，片状含量：5.67%

浙江砂 2：细度模数：3.0，石粉含量：7.9%，片状含量：6.97%

浙江砂 3：细度模数：2.8，石粉含量：8.0%，片状含量：1.67%

综上，把 10% 作为 I_a 和 I_b 的分界；考虑到全国各地机制砂加工水平差异，适当放宽 I_b 和 II、III 类机制砂的片状颗粒含量限值到 15%。

参考《高性能混凝土用骨料》(JG/T 568—2019) 及相关研究成果，增加了机制砂片状颗粒含量要求，以及片状颗粒含量的试验方法——附录 A：机制砂片状颗粒含量试验方法。

7. 机制砂、石集料加工工艺研究

目前，砂石集料加工设备良莠不齐，机制砂生产工艺亟待规范。研究原料品质控制、粗破除泥、破碎组合方式、筛分方式以及除粉设备对机制砂质量的影响，合理组合圆锥式破碎机、反击式破碎机、立式冲击破碎机等设备进行破碎；讨论破碎比、给料量、冲击（转子）转速、筛网尺寸与组合模式、筛网角度等参数对机制砂品质的影响，研究不同岩石硬度与岩石晶粒结构合理破碎方式，提出在既有设备下精品机制砂生产工艺与质量控制技术。借鉴国内外制砂的先进技术理念及实用性原则，纳入我省用机制砂生产与应用技术指南，指导依托工程应用。

现阶段机制砂生产工艺多采用砂石联产工艺，在制砂工艺上分为湿法生产工艺和干法生产工艺，湿法生产工艺生产过程中空气污染较小，机制砂较干净，含泥量较低，但会造成细颗粒损失，导致机制砂级配不合理，细度模数偏大。施工现场多采用鄂破、圆锥式冲击整形破、圆锥立式整形破等多种破碎设备反复破碎生产高品质机制砂。湿法工艺制砂设备进料口为 300-500mm 的原石，每小时生产 60-70 吨成品砂，破碎过程中将产生 22%-23% 的石粉，其中 8% 的石粉掺入砂中一起制作成品砂。整体来讲，制砂工艺的核心问题：（1）是解决机制砂生产工艺与母岩不匹配，导致关键筛孔 0.15-0.6mm 关键颗粒含量少，而 2.36-4.75mm 颗粒含量超 40% 以上的问题；（2）如何提高混凝土工作性、浇筑质量及特殊混凝土（高扬程泵送）对机制砂粒形优化进而降低混凝土粘度，提高和易性的问题。



图 8 传统制砂工艺的核心问题

针对第一个问题，本标准开展了冲击破、圆锥破、立轴式冲击破三种制砂工艺的研究，圆锥破、反击式破碎、冲击式破碎等制砂破碎工艺对不同岩相母岩的破碎比、制砂成品率、内在损伤程度、颗粒级配、形貌特征、石粉含量的影响；关键参数：破碎、整形、筛分、除尘、混合级配、性能影响，见图 9。

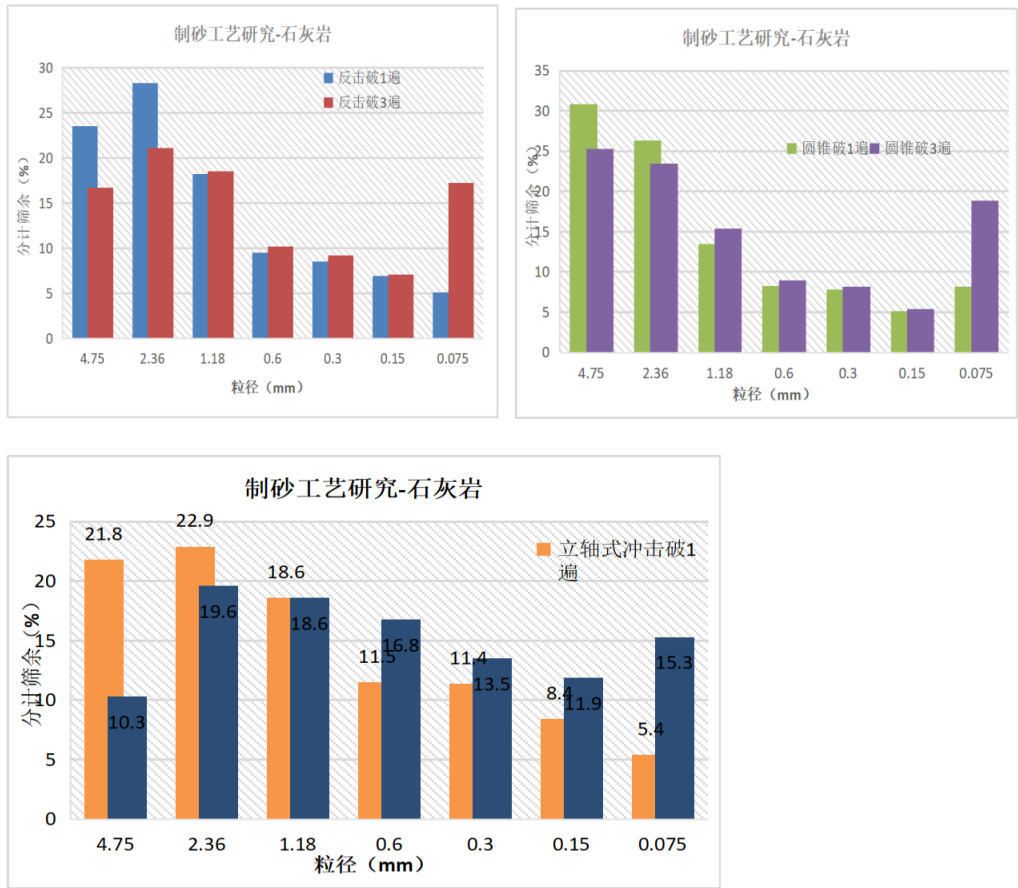


图 9 制砂机械与关键颗粒的产量

通过图 9 对不同母岩的颗粒分布、及整形效果来看，圆锥破和反击破的破碎比较大，尤其是针对大于 2.36mm 的粒径颗粒效果明显，但在 2.36mm 以下颗粒两种工艺的破碎比效果一般，增加生产遍数直接导致了粉尘含量的提高；而立轴式冲击破碎工艺利用石打石的工艺原理，对小于 2.36mm 以下颗粒的产生起到了关键作用。因此湿法和干法工艺立轴式冲击破碎机是最佳的选择。

相对于湿法工艺制砂，干法制砂机制砂级配、细度模数及石粉含量调节方

面比较合理，对提高混凝土的和易性及密实性都有益处。设备、场地及能耗投入比湿法大，空气污染较湿法大。干法制砂多采用南方路机 S3 干式整形制砂设备，该设备主要以石灰岩、花岗岩等矿山岩石以及尾矿碎石等为原材料，由立轴式破碎机、筛分模块、除尘模块、输送模块等部分构成。使砂石骨料加工技术装备向着绿色化、和谐化、智能化、服务化方向发展。采用 USF 立轴冲击式破碎机，是石打石的冲击式破碎方式，骨料经过系统多次破碎后，粒形得到最佳改善。通过重力沉降和风选技术相结合，控制成品砂石粉含量在 10% 以内，每天可 24 小时运作，每小时可生产 80-100 吨成品机制砂。设备只能通过投放碎石生产成品机制砂，并严格控制含水量，需达到 5% 以下。不同粒径碎石不可混掺，随着碎石粒径的增大，生产速度也相应加快。

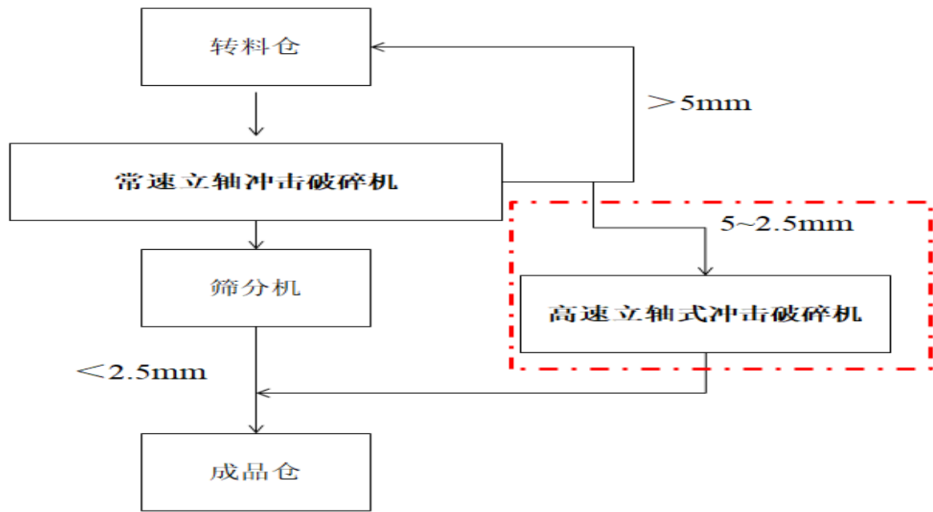


图 10 机制砂工艺优化

8. 混凝土的应用技术指标

针对该机制砂混凝土应用方面研究，交通运输部公路科学研究所通过多项西部课题及海南省交通科技项目课题《海南省公路工程机制砂混凝土应用技术研究》开展相关研究。

三、主要试验的分析综述、技术经济论证与预期经济效果

天然河砂资源短时间内不可再生，而且由于环境保护的需要限制开采，随着公路工程建设的持续发展，在我国不少地区已出现天然河砂资源逐步减少甚至无天然河砂的情况。机制砂在公路工程中的应用迫在眉睫。

国内外学者对机制砂在混凝土中的应用均以做过许多研究，根据国内外有关机制砂技术标准的检索结果，发现美国、日本、德国、英国等已把机制砂列入国家标准，我国国家标准《建筑用砂》规定了机制砂的石粉含量限值，建筑行业标准结合其行业特点规定了机制砂的石粉含量、压碎值等技术指标，交通行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术规范》《公路桥涵施工技术规范》中有关机制砂的技术指标均参照国标给出，对于机制砂的级配、细度模数等关键技术指标没有明确的规定。

机制砂已被纳入交通部印发的《交通运输行业重点监督管理产品目录》中，其类别为石料。在 2018 年 11 月 26 日国家统计局公布《战略性新兴产业分类（2018）》中，机制砂也被列入重点产品和服务。2020 年 3 月，国家发改委等 15 部门联合发布《关于促进砂石行业健康有序发展的指导意见》，明确提出大力发展和推广应用机制砂石。当前，年产百万吨的砂石生产厂已屡见不鲜。因此，发展机制砂产品符合我国的国家政策和发展趋势，符合我国当前的绿色、环保和可持续发展新理念。

目前，机制砂在全国已经大面积推广应用。以前的富砂省份，如广东省、浙江省等，面临无合格河砂可用的窘况，也开始大力推广机制砂在公路工程水泥混凝土中的应用。在公路工程水泥混凝土中应用机制砂，不仅节约了大量工程资金，使用机制砂比远距离调运河砂节约费用可高达 20%~30%，而且拓展了混凝土原材料的来源范围、为工程建设提供了可靠的原材料保障，预期具有巨大的社会、经济和环保效益。

2020 年 3 月，国家发改委等 15 部门联合发布《关于促进砂石行业健康有序发展的指导意见》，明确提出大力发展和推广应用机制砂石。机制砂在我国公路工程水泥混凝土领域的应用越来越广泛，逐渐成为我国公路工程建设的主要原材料。在贵州、广西、云南、重庆、四川等省、自治区和直辖市，很早即开始

使用机制砂；广东、福建、浙江、河南、甘肃、陕西等省份也已大面积推广应用机制砂。这些省区市现在都有大量的机制砂生产厂家，也有部分施工单位在工程项目中自己购置制砂机、自行生产机制砂进行使用。当前，机制砂生产厂家和工地估计不少于 1000 余家，年产百万吨的砂石生产厂已屡见不鲜。本文件中规定的技术指标，综合了国内大多数标准外，根据海南的地域特征及工程应用调研确定。

该文件将结合当时的机制砂生产工艺和技术水平，根据水泥混凝土的性能要求提出了对机制砂的技术指标要求，适用范围合理、适用性强。机制砂可有效替代河砂，广泛应用于公路工程预拌混凝土、现场拌和混凝土及混凝土制品，预期对支撑海南省公路交通基础设施建设可持续发展和环境保护发挥了重要作用，产生了巨大社会、经济和环保效益。

四、采用国际标准和国外先进标准的程度

（一）国外技术指标对比

统计了国内外关于机制砂技术指标，将国内标准与美国标准 ASTM C33/C33M—18、英国标准 BS EN 12620: 2002+A1: 2008、日本 JIS A5005: 2009、澳大利亚 AS2758.1—1998、欧洲 EN 12620: 2002 的对比。通过对比发现，国内标准对有害物质、坚固性等技术指标比美国、英国要求更为严格。

1. 颗粒级配

通过与美国、英国标准级配对比发现，美国标准对级配要求较为严格，与国内标准中 2 区级配相当；英国标准要求较为宽松，只对大粒径的筛孔通过率加以要求。而本文件根据我国建设用砂的实际情况，各地区砂资源差别较大，故将砂的级配分成 3 个区，并按级配的优劣分为 3 类。I 类砂应落在 II 区。实际使用的砂颗粒级配可能不完全符合要求，除了 4.75mm 和 0.600mm 对应的累计筛余率外，其余各档允许有 5% 的超界，当某一筛档累计筛余率超界 5% 以上时，说明砂级配很差，视作不合格。以累计筛余百分率为纵坐标，筛孔尺寸为横坐

标, 根据级区可绘制I、II、III级配区的筛分曲线, 在筛分曲线上可以直观地分析砂的颗粒级配优劣。对比美国标准 ASTM C33/C33M—18 和中国 GB/T 14684, 见图 11, 美国标准增加了 0.075mm 和 9.5mm 的累计筛余, 通过 0.075mm 的累计筛余不超过 3%, 通过 9.5mm 的累计筛余不超过 5%。美国规范定义的机制砂颗粒级配比国内标准定义的 2 区级配范围小, 同时在 4.75mm 和 0.15mm 对应的累计筛余, 并没有那么严格。

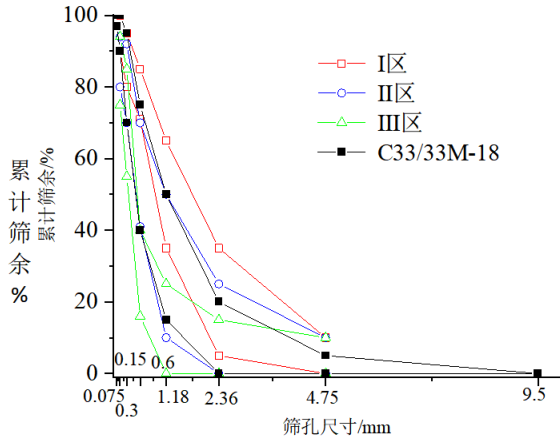


图 11 中国 GB/T 14684 与美国 ASTM C33—2018 机制砂级配对比

2. 含泥量、石粉含量

关于机制砂中粉料含量, 不同国家有不同的规定, 最高达到 25% (澳大利亚 AS 2758.1—1998)。美国标准石粉含量限值较为严格, 没有规定用亚甲蓝和砂当量进行检测细粉中的有害物质; 英国标准对石粉含量要求相对宽松, 但规定应根据具体工程需求进行砂当量和亚甲蓝试验检测以判定是否合格。在日本机制砂的石粉限值为 9%, 在美国为 5% 或 7%。日本还将机制砂生产过程中的石粉回收后作为混凝土填料使用, 以改善混凝土的工作性。国内标准用亚甲蓝试验对细粉中的有害物质进行检测, 提高了机制砂的石粉含量限值。

GDJTG/T B01—2017 广东省公路工程机制砂水泥混凝土应用技术规范(广东省)规范首次提出 PQI 指数 (Powder Quality Index) 来综合评价机制砂的质量, 该指标采用粉料含量与机制砂 MB 值综合评价机制砂的性能, 一些 MB 较低的机制砂, 可相应增加其粉料含量, 对混凝土性能特别是低强度混凝土工作性有充分的改进。

《高性能混凝土用骨料》(JG/T 568—2019)将亚甲蓝试验值和石粉流动度(Ff)共同确定含泥量、石粉含量的最大值，其中石粉流动度是判定石粉对减水剂吸附性能的指标。

表 8 石粉、含泥量对比

国家/地区标准号	粒径， $\leq \mu\text{m}$	含泥量、石粉含量			
中国GB/T 14684	75	$\leq 10\%$			
中国JGJ 52—2006	75	强度等级	C60	C55C30	C25
		MB ≤ 1.4	$\leq 5\%$	$\leq 7\%$	$\leq 10\%$
		MB ≥ 1.4	$\leq 2\%$	$\leq 3\%$	$\leq 5\%$
美国ASTM C33—2018	75	耐磨混凝土		$\leq 5\%$	
		其他混凝土		$\leq 7\%$	
日本JIS A5005: 2009	75	$\leq 9\%$			
澳大利亚AS2758.1—1998	75	25%			
印度	75	15%~20%			
英国BS 882: 1992	63	用于重载混凝土路面		$\leq 8\%$	
		普通混凝土		$\leq 15\%$	
欧洲EN 12620: 2002	63	12%~18%			
西班牙	63	$\leq 15\%$			

表 9 国内标准与美国、英国对比一览表

编号	技术指标	建设用砂(GB/T 14684)			美国标准 ASTM C33/33M—18	英国标准 BS EN12620: 2002+A1: 2008 (与欧洲标准一致, 与德国等标准指标基本相同)
		I	II	III		
1	颗粒级配	2 区	1、2、3 区		标准中为累计通过率, 转化为累计筛余百分比为 9.5mm 0 4.75mm 5~0 2.36mm 20~0 1.18mm 50~15 600μm 75~40 300μm 95~70 150μm 100~90 75μm 100~97	欧洲筛孔孔径和中国、美国标准不一致, 筛孔孔径: D<4mm 和 d=0 各筛孔累计筛余: 2D 0 1.4D 0 Dc 0—5 D 11—15 d/2 无要求

2	含泥量、石粉含量	MB≤0.5 ≤10%	MB≤1.0 ≤10%	MB≤1.4 ≤10%	耐磨混凝土为 5% 其他的混凝土 7%	根据不同使用情况，规定限制分别为 4%、10%、16%、20%。并要根据亚甲蓝试验判断其无害性。根据不同产品要求不同。
		若 MB>1.4，按天然砂限制执行				
3	泥块含量	≤0%	≤1%	≤2%	≤3%	无规定
4	云母含量	≤1%	≤2%	≤2%	无	无
5	轻物质	≤1%	≤1%	≤1%	无	无
6	硫化物及硫酸盐	≤0.5%	≤0.5%	≤0.5%	无	≤2% 高炉矿渣 ≤1% 其他
7	有机物	合格	合格	合格	合格，砂浆 7d 强度不低于 95%	合格，与标准砂浆凝结时间不多于 120min，28d 砂浆强度不小于 20%标准强度。
		要求配制混凝土强度较洗净后的强度不低于 95%				
8	氯化物	≤0.01%	≤0.02%	≤0.06%	无	≤0.01%
9	坚固性	硫酸钠溶液			10%(硫酸钠溶液) 15%(硫酸镁溶液)	18%，25%、35%（硫酸镁溶液）
		≤8%	≤8%	≤10%		
		压碎指标法				
		≤20%	≤25%	≤30%		
10	碱集料反应	规定龄期膨胀率≤0.10%，根据需要进行			未详细规定，若要求，应按照指南 C1778—20进行碱集料测试	未详细规定

3. 有机物

颜色不应深于标准色，如深于标准色，应按水泥胶砂强度试验方法，对原状砂和洗除有机物的砂进行胶砂强度对比试验，美国标准 ASTM C33/C33M—18 定义 7 天的抗压强度比不应低于 0.95，中国 GB/T 14684 只定义了抗压强度比不应低于 0.95。英国标准 BS EN12620：2002+A1：2008 规定了标准砂浆凝结时间不多于 120min，28d 砂浆强度不小于 20%标准强度。

4. 坚固性

美国标准 ASTM C33/C33M—18 定义的经饱和硫酸钠溶液或硫酸镁溶液循

环浸泡 5 次后的质量损失不超过 10%或 15%，没有压碎指标，若不满足上述要求，证明来自相同来源的骨料制成的砂浆，能够承受类似的风化环境即可。若不满足上述要求的，应进行冻融试验提供可靠的结果。英国标准 BS EN12620：2002+A1：2008 经饱和硫酸镁溶液循环浸泡 5 次后的质量损失不超过 18%，25%或 35%。

5. 碱集料反应

中国 GB/T 14684 中规定需经过经碱集料反应试验后，由机制砂制备的试件应无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象，且在规定的试验龄期膨胀率应小于 0.10%，若有特殊的要求，不具有碱活性，美国标准 ASTM C33/C33M—18 没有详细的规定。

（二）国内外对比分析

通过对比国内标准与美国标准 ASTM C33/C33M—08、英国标准 BS EN 12620：2002+A1：2008 规定的机制砂技术指标。

国内标准与美国、英国标准级配对比发现，美国标准对级配要求较为严格，与国内标准中Ⅰ类砂级配相当；英国标准要求较为宽松，只对大粒径的筛孔通过率加以要求。而国内标准大部分是将砂的级配分成 3 个区，并按级配的优劣分为 3 类，也有部分规范标准将砂的级配分成 2 个区或 1 个区，然后定义Ⅱ区为Ⅰ类砂，将Ⅰ区、Ⅱ区、Ⅲ区或Ⅰ区、Ⅱ区砂划分为Ⅱ类、Ⅲ类砂，根据各个地方情况，这样既不浪费当前可利用资源，又能促进砂的生产质量的提高，还能缓解我国砂资源紧张的局势，符合我国砂资源的基本国情，具有中国特色。

美国标准石粉含量限值较为严格，没有规定用亚甲蓝和砂当量进行检测细粉中的有害物质；英国标准对石粉含量要求相对宽松，但规定应根据具体工程需求进行砂当量和亚甲蓝试验检测以判定是否合格。相比之下，国内标准将机制砂用亚甲蓝试验对细粉中的有害物质进行检测，提高了机制砂的石粉含量限值，这样可以更合理的利用石粉。

对于机制砂有机物、坚固性指标，美国和英国标准都有相应的检测试验，

英国标准对于机制砂的有机物要求更为严格，不仅要求了砂浆的凝结时间，还要求了 28 天的砂浆强度。对于碱集料反应，国内各个地方的标准都有严格的规定，机制砂不具有碱活性或需要碱集料反应试验，满足机制砂混凝土的要求，美国和英国标准对于机制砂碱集料反应还没有很明确的硬性规定。

五、与有关现行法律、法规和其他强制性标准的关系

本文件的技术规定满足现行 GB 6566《建筑材料放射性核素限量》强制性标准的要求。

六、重大意见分歧的处理结果和依据

无。

七、其他应予以说明的事项

本产品不涉及专利，属于广泛应用的混凝土原材料。