

广东省交通运输行业地方标准

广东省公路工程
机制砂水泥混凝土应用技术规范

Guangdong Province Technical Specifications for the Application of
Manufactured Sand Cement Concrete in Highway Engineering

GDJTG/T B01—2017

主编单位：广东省长大公路工程有限公司

批准部门：广东省交通运输厅

参编单位：广东冠粤路桥有限公司

武汉理工大学

实施日期：2017年06月01日

人民交通出版社股份有限公司

图书在版编目(CIP)数据

广东省公路工程机制砂水泥混凝土应用技术规范 /
广东省长大公路工程有限公司主编. — 北京 : 人民交通
出版社股份有限公司, 2017. 8

ISBN 978-7-114-14080-8

I. ①广… II. ①广… III. ①水泥混凝土路面—技术
规范—广东 IV. ①U416.216-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 192617 号

标准类型: 广东省交通运输行业地方标准

标准名称: 广东省公路工程机制砂水泥混凝土应用技术规范

标准编号: GDJTG/T B01—2017

主编单位: 广东省长大公路工程有限公司

责任编辑: 赵瑞琴

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 880 × 1230 1/16

印 张: 4.75

字 数: 109 千

版 次: 2017 年 8 月 第 1 版

印 次: 2017 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-14080-8

定 价: 28.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书, 由本公司负责调换)

广东省交通运输厅

粤交科函[2017]1265 号

广东省交通运输厅关于发布广东省公路工程 机制砂水泥混凝土应用技术规范的通知

各地级以上市交通运输局(委)、顺德区国土城建和水利局、环境运输和城市管理局,省公路局、省交通运输工程质量监督站、省交通运输工程造价管理站、省南粤交通投资建设有限公司,省交通集团,各有关单位:

为促进机制砂混凝土在广东省公路工程中的规范应用,保证机制砂混凝土和人工砂混凝土的工程质量,厅组织编制了《广东省公路工程机制砂水泥混凝土应用技术规范(GDJTG/T B01—2017)》,文本请在广东省交通科技网(<http://jtkj.gdcd.gov.cn>)通知公告栏下载。现予以发布,自发布之日起在全省交通运输行业施行。

实施过程中,请各有关单位注意收集资料、总结经验,及时将遇到的问题及修改意见、建议等反馈至以下负责解释和日常管理工作的单位,以便修订时研用。

负责解释单位:广东省长大公路工程有限公司(地址:广州市番禺区南浦沿沙东路33号,邮编:511431,联系电话:020-34505142,电子邮箱:526430658@qq.com)。

负责日常管理单位：广东省交通运输规划研究中心(地址：广州市越秀区白云路27号1510室，邮政编码：510101，联系电话：020-83730237，电子邮箱：gdjtdb@gdcd.gov.cn)。

附件：广东省公路工程机制砂水泥混凝土应用技术规范



公开方式：主动公开

抄送：省公路学会

前 言

鉴于机制砂在混凝土中规范化应用的必要性，广东省交通运输厅设政府引导性研究课题“广东省公路工程机制砂混凝土应用技术指南研究”（2012-03-006）。课题组在总结“人工砂混凝土的材料设计与工程应用研究”（2011-02-057）和“机制砂水泥混凝土路用性能与应用技术研究”（2010-04-002）的研究成果，综合国内外混凝土细集料以及机制砂（人工砂）混凝土的标准、规程、规范和指南的相关规定，进行大量室内和工程试验验证，并广泛征求有关意见的基础上制定本规范。

本规范的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语；3. 机制砂的生产与检验；4. 机制砂的质量标准；5. 机制砂的试验方法；6. 机制砂普通混凝土的配制；7. 机制砂高性能混凝土的配制；8. 机制砂混凝土的施工与验收。

本规范的管理权和解释权归广东省交通运输厅。请各有关单位在执行本规范过程中及时将发现的问题和提出的意见、建议同时反馈至负责本规范日常解释和日常管理工作的单位，以便修订时参考。

负责本规范日常解释工作的单位：广东省长大公路工程有限公司（广州市番禺区南浦沿沙东路33号，邮编：511431，联系电话：020-34505142，电子邮箱：526430658@qq.com）。

负责本规范日常管理工作的单位：广东省交通运输规划研究中心（广州市越秀区白云路27号1510室，邮政编码：510101，联系电话：020-83730237，电子邮箱：gdjtdb@gdcd.gov.cn）。

主 编 单 位：广东省长大公路工程有限公司

参 编 单 位：广东冠粤路桥有限公司

武汉理工大学

主要参编人员：曹亮宏 沈卫国 李连生 兰 青 杨红军

卢自立 王桂明 王孟霞 谢兼量 刘 冰

陈跃先 沈春华 麦伟雄 赵青林 邱杰汉

目 次

1	总则	1
2	术语	3
3	机制砂的生产与检验	6
3.1	机制砂的生产过程质量控制	6
3.2	机制砂的质量检验	8
3.3	机制砂检验程序	8
3.4	机制砂的验收批次	8
3.5	机制砂的评定	9
3.6	机制砂的运输和储存	9
3.7	机制砂的使用	9
4	机制砂的质量标准	11
4.1	分级与规格	11
4.2	质量标准	11
5	机制砂的试验方法	17
5.1	试样采集	17
5.2	试验方法	18
5.3	机制砂检验项目	19
6	机制砂普通混凝土的配制	21
6.1	原材料	21
6.2	配合比设计	30
6.3	机制砂混凝土的性能	35
7	机制砂高性能混凝土的配制	37
7.1	基本规定	37
7.2	原材料	39
7.3	配合比设计	43
8	机制砂混凝土的施工与验收	50
8.1	基本规定	50
8.2	原材料管理	50
8.3	混凝土搅拌	51
8.4	混凝土运输	52
8.5	混凝土浇筑	54
8.6	混凝土振捣与整形	57

8.7 混凝土养护·····	59
8.8 混凝土拆模·····	62
8.9 混凝土工程质量验收·····	63
本规范的用词说明 ·····	64
附录1 改进亚甲蓝 MB 值测定方法 ·····	65
附录2 引用标准规范清单 ·····	66

1 总则

1.0.1 遵照国家标准《建设用砂》(GB/T 14684)的规定,促进机制砂混凝土在广东省公路工程中的规范应用,保证机制砂混凝土和人工砂混凝土的工程质量,特制定本规范。

1.0.2 本规范遵照中华人民共和国交通运输行业标准《公路工程水泥混凝土用机制砂》(JT/T 819)的规定,指标的选取以《建设用砂》(GB/T 14684)为准。

1.0.3 本规范适用于机制砂和人工砂预拌水泥混凝土、现场搅拌水泥混凝土及水泥混凝土制品。

1.0.4 机制砂、人工砂的质量标准及检验方法,以及按本规范配制混凝土和生产混凝土制品时,除应符合本规范外,尚应符合国家和行业现行有关标准、规范中强制性条文的规定。

1.0.5 本规范引用标准、规范和规程被更替后将执行更新后的版本。

条文说明

我国机制砂的使用有50年历史,1978年制定了我国第一个人工砂的地方标准——《山砂混凝土技术规定》,关于机制砂、人工砂的标准、规范和指南等有数十种之多。制定标准的目的在于保证机制砂混凝土总体质量,同时促进机制砂的科学应用。本规范机制砂质量技术标准以国家标准《建设用砂》(GB/T 14684—2011)为准则,其中机制砂混凝土施工规范部分主要参照中华人民共和国交通运输行业标准《公路工程水泥混凝土用机制砂》(JT/T 819—2011)。另外本规范也融合了机制砂研究的最新进展,这些内容由于尚没有国家标准和行业标准可以参照,采用“在试验成功,建设方批准的情况下可采用”的形式提出,旨在促进机制砂的科学使用,避免资源浪费,提高工程建设质量。

本规范认为,机制砂中的石粉含量并不是越低越好,适量石粉在机制砂混凝土中对工作性、强度、耐磨、耐久性往往有良性作用,如果将石粉含量控制在较大的限值,并不是放低了技术标准,和我国标准体系中“地方标准不得低于国家标准”并

不违背。

与本规范有关的、难以详尽的技术要求，应符合国家、交通运输部现行标准、规范和细则的有关规定。

2 术语

2.0.1 机制砂 manufactured sand, or crushed sand

岩石经除土开采、机械破碎、筛分制成的，粒径在 4.75 mm 以下的岩石颗粒，但不包括软质岩、风化岩石的颗粒。

2.0.2 混合砂 blend sand

由机制砂和天然砂、机制砂与工业废弃物等、天然砂和工业固体废弃物等混合制成的砂。

2.0.3 人工砂 artificial sand, or synthetic sand

机制砂、混合砂等非天然砂的统称。

2.0.4 泥块含量 clay lump content

机制砂中原粒径大于 1.18 mm，经水浸洗、手捏后变成小于 600 μm 的颗粒含量。

2.0.5 粉料含量 powder content

机制砂中粒径小于 75 μm 的颗粒含量。

2.0.6 石粉含量 crushed dust content, or rock fines, or rock dusts

机制砂中粒径小于 75 μm 的颗粒且其矿物组成和化学成分与被加工母岩相同的颗粒含量。

2.0.7 泥粉含量 clay powder content

机制砂中粒径小于 75 μm 的非石粉的颗粒含量，大多数是由表土和夹层黏土组成。

2.0.8 亚甲蓝 MB 值 methylene blue value

用于判定机制砂中粒径小于 75 μm 颗粒的吸附性能的指标。

2.0.9 轻物质 light materials

表观密度小于 2 000 kg/m^3 的物质。

2.0.10 压碎指标 crushing value

用于检验机制砂在自然风化和其他外界物理化学因素作用下抵抗破裂的能力及控制其颗粒形状的技术指标。

2.0.11 碱集料反应 alkali-aggregate reaction

指水泥、外加剂等混凝土组成物及环境中的碱 (Na^+ 和 K^+) 与集料中碱活性矿物成分, 在潮湿环境下缓慢发生并导致混凝土破坏的膨胀反应。

2.0.12 胶凝材料 cementitious material, or binder

用于配制混凝土的水泥与粉煤灰、磨细矿渣、磨细钢渣、磨细磷渣、沸石粉、偏高岭土、稻壳灰和硅灰等矿物掺合料的总称。矿物掺合料在混凝土配比中的用量, 通常以其占胶凝材料总量的百分比 (质量比) 表示。

2.0.13 填充材料 filler

用于混凝土配制的颗粒粒径小于 0.08mm 但不具备潜在水硬性的矿物粉体, 通常是磨细石灰石、磨细尾矿等成分, 其用量通常以胶凝材料内掺百分比 (质量比) 表示。

2.0.14 水胶比 water-binder ratio

混凝土配制时的用水量与胶凝材料总量之比。

2.0.15 机制砂混凝土 manufactured sand concrete

以机制砂为主要细集料配制的混凝土。

2.0.16 人工砂混凝土 artificial sand concrete

以人工砂为主要细集料配制的混凝土。

2.0.17 高强混凝土 high strength concrete

强度等级 C60 及以上的混凝土。

2.0.18 高性能混凝土 high performance concrete

以建设工程设计、施工和使用对混凝土性能特定要求为总体目标, 选用优质、常规原材料, 合理掺加外加剂和矿物掺合料, 采用较低水胶比并优化配合比, 通过预拌和绿色生产方式以及严格的施工措施, 制成具有优异的拌合物性能、力学性能、耐久性能和长期性能的混凝土。

2.0.19 塑性混凝土 plastic concrete

拌合物坍落度在 10 ~ 90mm 的混凝土。

2.0.20 流动性混凝土 flowing concrete
拌合物坍落度在 100 ~ 150mm 的混凝土。

2.0.21 大流动性混凝土 high flowing concrete
拌合物坍落度不低于 160mm 的混凝土。

2.0.22 抗渗混凝土 impermeable concrete
抗渗等级不低于 P6 的混凝土。

2.0.23 抗冻混凝土 frost-resistant concrete
抗冻等级不低于 F50 的混凝土。

2.0.24 泵送混凝土 pumping concrete
可在施工现场通过压力泵送及输送管道进行浇筑的混凝土。

2.0.25 大体积混凝土 mass concrete
体积较大的、可能由胶凝材料水化热引起的温度应力导致有害裂缝的结构混凝土。

2.0.26 水泥混凝土路面滑模施工 slipform paving
一种采用滑模摊铺机摊铺水泥混凝土路面的施工工艺。其特征是不架设边缘固定模板，布料、摊铺、振捣密实、挤压成型、抹面修饰等施工流程在摊铺机行进过程中连续完成。

条文说明

国内外文献和本规范制定者的前期研究表明：一些粒径在粗砂、中砂、细砂、特细砂和粉砂粒级的天然砂或性能稳定的固体废弃物如尾矿可以和机制砂复合制备性能优良的混合砂，因此在本规范的术语中也提到了人工砂和混合砂，可改善机制砂混凝土性能并促进机制的利用。机制砂不仅仅可用于普通混凝土的生产，本规范编写制定者的前期研究表明：机制砂在高强、高性能、超高强混凝土中也可以科学地应用，因此本规范也给出了高强、高性能的定义。

在公路工程领域涉及抗渗混凝土、抗冻混凝土、泵送混凝土、大体积混凝土也很普遍，另外在水泥混凝土路面中目前也常采用滑模摊铺的工艺，本规范参照相关的标准规范等给出了定义。

3 机制砂的生产与检验

3.1 机制砂的生产过程质量控制

3.1.1 矿山的选择

1. 新建砂场应做好矿山资源的勘察工作，石料开采断面应规避土层较厚、夹层含泥较多、母岩强度低、母岩分层薄的矿山和矿点。

2. 用于加工机制砂的母岩应不具有潜在碱活性， SO_3 含量必须符合规定。宜使用洁净、质地硬质、未风化且性质稳定的石灰岩、白云岩、花岗岩、安山岩、石英岩、辉绿岩、砂岩和玄武岩等岩石生产机制砂，不宜使用泥岩、页岩、板岩等岩石生产机制砂。

3. 用于生产机制砂的母岩的岩芯强度应符合表 3.1.1 的规定。对于风化花岗岩和片麻岩，强度等级可以不受表 3.1.1 限制，但其破碎后的砂粒的压碎值必须满足表 4.2.5 的要求。

表 3.1.1 机制砂母岩岩芯强度

母岩类型	岩浆岩	变质岩	沉积岩
岩芯强度 (MPa)	≥ 100	≥ 80	≥ 60

4. 对于石料场的开采断面应认真清除表面覆盖土层、软弱层、风化层或黏土夹层。开采时，应防止泥土、软弱岩石、风化岩、黏土、树根、草皮等杂物的混入。

条文说明

矿山选址是机制砂质量的基础，对矿山的有两方面：(1) 自身的品质：具有高的强度、稳定性和合理的解理，满足机制砂成品的强度、稳定性和粒型等指标，通常风化后的石料强度比较低，但花岗岩和片麻岩等风化后成坚硬的粒状，有些本身就已经可以作为天然山砂使用，如果用于机制砂的生产完全可以生产出高质量的机制砂，因此可以对其母岩强度不做要求而直接检测其成品的压碎值。(2) 洁净程度：用于生产机制砂的石料要避免黏土和异物的混杂，开采断面的覆盖层要容易清理干净，要将黏土和母岩剥离干净。母岩中的黏土夹层是带入泥块和增大 MB 值的元凶之一，故应避免夹层多的矿山和矿点。石料开采后要经过一定时间的堆放为佳，在堆放过程中附着在母岩上的黏土经过干燥和雨水冲刷能明显松散脱落，降低泥块含量和 MB 值。

3.1.2 机制砂的生产

1. 制砂机安装应离采石场爆破区 150 ~ 200m 以外，确保开采与制砂生产安全。
2. 机制砂生产线宜采用砂石联产工艺，充分利用岩石资源。
3. 采用单独机制砂生产线时，不宜采用单粒级配碎石生产机制砂，宜用碎石、石屑复合投料或级配碎石投料工艺。
4. 适用于制砂的破碎设备选择的优先次序宜为棒磨式、立式冲击破碎机，反击式或锤式破碎机。
5. 宜通过水洗、风选或收尘系统调整机制砂的石粉含量，并根据具体情况选择适宜的洗砂机、收尘器或选粉设备。水洗法宜优先采用轮式洗砂机，宜安装细砂回收装置，应配备不少于 3 级的料浆沉淀池。
6. 机制砂生产工艺参数应根据母岩情况与设备性能进行调试优化，并应及时进行设备的维护，应及时更换易磨损配件以保证机制砂的稳定生产。
7. 宜通过振动筛筛孔尺寸和角度的选择调整控制机制砂细度模数。
8. 机制砂生产过程中应安装合适的除粉设备，如采用干法除粉应为制砂的原料搭建雨棚，保持原料干燥。
9. 机制砂成品在连续 10 次（每小时抽样 1 次）抽样检测中，至少应有 9 次的细度模数与 10 次抽样的细度模数平均值相差不大于 0.2。
10. 机制砂应按规格、级配分别堆放，机制砂的堆放场地要求清洁、硬化并安装排水设施。为防止离析，干砂料堆高度不应高于 5m，机制砂落高大于 1m 时应安装导流装置。
11. 干法生产的机制砂在皮带出口应适量喷水降尘以保证机制砂的生产环境质量并消除离析。

条文说明

机制砂绝大多数呈现中间颗粒少（0.3 ~ 1.18mm 的细砂颗粒）、粗颗粒（1.18 ~ 4.75mm）和粉料（0.075mm 以下）含量大的特点，级配的不良导致机制砂混凝土有较明显的离析泌水的倾向。保持机制砂合理级配非常重要。除粉工艺一方面需要将粉料含量降低到标准和规范规定的限值内，并最好能选择性地除去黏土和轻物质成分；另一方面希望在除粉的过程中尽量保持机制砂中本来就十分稀缺的细颗粒含量。筛分除粉方式虽然降低了机制砂中的石粉含量，但级配被严重破坏，不应采用；干法除尘可以减少粉料含量也几乎不带走细砂颗粒，但对于泥块含量大的机制砂则选走了石粉留下了结团成块的黏土成分，特别对于多雨的南方，干法除粉往往难以达到除粉效果。水洗法的好处是水能很好的分散黏土，使得黏土和轻物质在水流作用下被选择性清除，不但可以减少粉料含量，也可有效降低 MB 值，还适用于多雨和水源充分的南方，但是水洗法会不可避免地除去一部分细砂颗粒，劣化机制砂级配。比较轮式和螺旋洗砂机不难发现，轮式洗砂机对机制砂级配的劣化作用小一些，因此建议采用。另外，近年来有些企业推出细砂回收设备，可以酌情使用，但要保证回收来的细砂颗粒均匀掺入到机制砂成品之中。

3.2 机制砂的质量检验

1. 机制砂必须按《建设用砂》(GB/T 14684)规定的试验方法进行质量检验。
2. 质量检验的项目包括:颗粒级配、泥块含量、石粉含量、有害物质含量、压碎指标、母岩抗压强度、表观密度、堆积密度、空隙率、碱集料反应活性。

3.3 机制砂检验程序

1. 型式检验:以下情况应进行型式检验,机制砂新产品投产和品种改变时;原材料资源或生产工艺发生变化;生产工艺正常时每年一次;停产半年以上恢复生产时;国家质量监督机构要求检验时。

2. 出厂检验:机制砂出厂时,供需双方在厂内验收产品,生产厂应提供产品质量合格证书,其内容包括:母岩的岩性,母岩抗压强度,砂的级别、规格和生产厂名;批量编号及供货数量;出厂检验结果、日期及执行标准编号;合格证编号及发放日期;检验部门及检验人员签章。

3. 进场复检:使用机制砂生产混凝土或其制品时,应按机制砂出厂检验同等批量进行进场复检并进行分级评定。复检的项目包括:颗粒级配、细度模数、泥块含量、石粉含量(含亚甲蓝试验)、压碎指标。

条文说明

目前我国交通行业采用的机制砂来源有两类:一类是自行加工的,一类是从小生产商外购。除少数机制砂生产企业有完整的工商注册和质量管理体系外,大多数是临时生产企业,目前虽然大型机制砂企业在广东已经开始兴起,但份额十分有限。加强质量管理仍然十分紧迫,促进机制砂企业对产品质量负责,进行自检和质量控制十分必要。机制砂使用企业应加强产品质量检验,避免质量不合格和质量变异过大的产品进场。

3.4 机制砂的验收批次

机制砂宜按同产地、同规格、连续进场数量超过 400m^3 时或 600t 时,以 600t 为一批;不足 600t 亦视为一批;机制砂生产线日产量超过 2000t ,按 1000t 为一批;不足 1000t ,以一天产量为一批。当确认产品质量稳定可按 1000t 为一个批次检验验收。

条文说明

针对机制砂质量不稳定的情况,应采用较高的检验频次,而确认质量稳定后可以适

当降低检验频次。

3.5 机制砂的评定

1. 检验（含复验）后各项性能指标均符合本规范的相应规定时，可判定该批产品验收合格。

2. 检验中质量指标若有一项不符合本规范相应规定的要求或产品批次间质量不稳定时，则应在该批产品中加倍取样检验，对不符合要求的项目进行复验。复验后，该项指标符合本规范要求时，可判定该批产品合格；若仍然不符合本规范的要求时，则该批产品应根据实测指标降级使用或判为不合格。

3.6 机制砂的运输和储存

3.6.1 机制砂的运输

在机制砂的运输过程中应注意：

1. 运输前，对装运的车、船应进行认真清扫，清除油污。
2. 运输时，应采取措施（覆盖、加湿）以防粉尘飞扬，防止运输过程中混入杂物。
3. 运输装卸过程中应采取措施防止颗粒离析。

3.6.2 机制砂的储存

机制砂的储存应注意：

1. 按品种、规格分别堆放，防止混放、久存、倒堆、人为碾压和污染。
2. 堆放的场地应进行硬化，有完善的排水系统，料堆高度不宜超过5m。
3. 必要时，机制砂堆放处应设有防雨措施。
4. 机制砂洒水降尘时不得用水柱直接冲淋砂堆。

条文说明

机制砂运输过程中离析和扬尘是比较严重的问题，宜采取措施防止，避免机制砂从过高的皮带端头卸料，如果不得已卸料高度超过1m，应安装导流装置，防止离析和扬尘。堆放高度不应超过5m，过高也会导致离析。

3.7 机制砂的使用

1. 机制砂在进入拌合站后，应设待检仓，检验合格后的机制砂方可使用，应根据每批次细度模数、粉体含量的不同采用相应的配合比。

2. 机制砂可和天然砂或工业固体废弃物复合制备混合砂，做水泥混凝土细集料。

条文说明

采用机制砂与河砂复合可以改善砂的棱角性，对砂的级配有一定的改善作用；重庆市采用特细砂和机制砂复合，弥补机制砂中细砂颗粒的不足，改善混凝土的工作性；本规范编制单位的研究证明，采用尾矿或其他性质稳定的工业固体废弃物对机制砂的级配也有一定的改善作用，对混凝土离析泌水也有不同程度的改善。

4 机制砂的质量标准

4.1 分级与规格

4.1.1 分级

机制砂按技术要求分为 I 级、II 级、III 级。

1. I 级砂宜用于强度等级大于 C60 的混凝土。
2. II 级砂宜用于强度等级 C30 ~ C60 及有抗冻、抗渗或其他要求的混凝土。
3. III 级砂宜用于强度等级小于 C30 的混凝土。

4.1.2 规格

机制砂的粗细程度按细度模数分为粗砂、中砂、细砂三种规格，其细度模数分别为：

粗砂：3.7 ~ 3.1。

中砂：3.0 ~ 2.3。

细砂：2.2 ~ 1.6。

4.2 质量标准

机制砂质量应符合本规范第 4.2.1 条 ~ 第 4.2.9 条的规定。

4.2.1 颗粒级配

砂的颗粒级配应符合表 4.2.1-1 的规定、砂的级配类别应符合表 4.2.1-2 的规定。对于砂浆用砂，4.75mm 筛孔的累计筛余量应为 0。砂的实际颗粒除 4.75mm 和 0.6mm 筛档外，可以略有超出，但各级累计筛余超出值总和应不大于 5%。

表 4.2.1-1 机制砂的颗粒级配区

累计筛余 (%) 方孔筛	级配区		
	1 区	2 区	3 区
9.50mm	0	0	0
4.75mm	10 ~ 0	10 ~ 0	10 ~ 0
2.36mm	35 ~ 5	25 ~ 0	15 ~ 0
1.18mm	65 ~ 35	50 ~ 10	25 ~ 0

续表 4.2.1-1

累计筛余 (%) 方孔筛	级配区	1 区	2 区	3 区
	600 μm		85 ~ 71	70 ~ 41
300 μm		95 ~ 80	92 ~ 70	85 ~ 55
150 μm		97 ~ 85	94 ~ 80	94 ~ 75

- 注：1. 当采用机制砂的颗粒级配不符合表 4.2.1-1 的要求时，应采取相应的技术措施，经试验证明能确保工程质量的前提下，经相关部门认可后方可使用。
2. 配制混凝土时宜优先选用 2 区砂。当采用 1 区砂时，应提高砂率，并保持足够的水泥用量，以满足混凝土的和易性。
3. 泵送混凝土应选用 2 区砂。

表 4.2.1-2 等级与级配

类别	I	II	III
级配区	2 区	1, 2, 3 区	

条文说明

机制砂的分级和颗粒组成均参照《建设用砂》(GB/T 14684—2011)，考虑到机制砂中粉料含量高，其 0.15mm 累积筛余比河砂略低。

4.2.2 石粉含量和泥块含量

1. 机制砂中的粉料含量和泥块含量应符合表 4.2.2-1 的规定。

表 4.2.2-1 机制砂中泥块含量和粉料含量限值

项 目	指 标			
	I 级	II 级	III 级	
MB < 1.40 或合格	MB 值	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 1.4
	粉料含量 (按质量计, %)	$\leq 10.0^1$	$\leq 10.0^1$	$\leq 10.0^1$
	泥块含量 (按质量计, %)	≤ 0.5	≤ 1.0	$\leq 2.0^2$
MB \geq 1.40 或不合格	粉料含量 (按质量计, %)	≤ 2.0	≤ 3.0	$\leq 5.0^3$
	泥块含量 (按质量计, %)	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 2.0

- 注：1. 石粉含量大于 10% 但小于或等于 15% 的情况下，根据使用部位和用途，经试验证明能确保工程质量的前提下，经质量管理部门认可后方可使用。
2. 对于有抗冻、抗渗或其他特殊要求的混凝土，机制砂泥块含量应不大于 1.0%。
3. 粉料含量大于 5% 但小于或等于 10% 的情况下，根据使用部位和用途，经试验证明能确保工程质量的前提下，经质量管理部门认可后方可使用。

2. 在不满足表 4.2.2-1 的规定时，可采用粉料质量指数 PQI 划分机制砂等级，试验成功、建设方批准，即可使用。

$$PQI = P \cdot MB \quad (4.2.2)$$

式中：PQI——粉料质量指数；

P ——粉料含量百分数；

MB——机制砂 MB 值。

各等级的机制砂 PQI 值必须满足表 4.2.2-2 的要求。

表 4.2.2-2 机制砂中粉料质量指数限值

项 目	指 标		
	I 级	II 级	III 级
PQI	≤5	>5 但 ≤10	>10 但 ≤14

条文说明

表 4.2.2-1 遵照《建设用砂》(GB/T 14684—2011)。关于机制砂中粉料含量，不同国家有不同的规定(附表 4.2.2-2)，最高达到 25% (澳大利亚 AS 2758.1—1998)，我国关于机制砂石粉限值也一直在提高，这不是在降低标准，而是对机制砂质量更为科学的界定。机制砂中的粉料主要成分为母岩破碎产生的石粉，也含有不同含量的由黏土掺杂的泥粉，其中泥粉含量过高对混凝土的需水量和收缩有一定的影响，MB 值反映了机制砂中泥粉和泥块的含量，其中泥块对混凝土质量的影响大一些，对于泥块含量应该严格控制。但作为反映粉料含量的 0.075mm 筛通过率的制定应该科学。如果通过率制定过低，不仅不会收到提高混凝土品质的效果，反而增加了除粉难度，特别是采用水洗法除粉时会显著降低机制砂中细砂粒的含量，进一步劣化机制砂级配。

附表 4.2.2-2 国内外标准对粉料的限量的规定

国家/地区标准号	粒径 (< μm)	粉料含量限值			
中国 GB/T 14684—2011	75	≤10.0%			
中国 JGJ 52—2006	75	强度等级	≥C60	C55 ~ C30	≤C25
		MB < 1.4 (合格)	≤5.0%	≤7.0%	≤10.0%
		MB ≥ 1.4 (不合格)	≤2.0%	≤3.0%	≤5.0%
美国 ASTM C33—2001	75	用于耐磨混凝土		≤5%	
		不用于耐磨混凝土		≤7%	
日本 JIS A5005: 2009	75	≤9.0%			
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		≤8.0%	
		普通混凝土		≤15%	
欧洲 EN 12620: 2002	63	12% ~ 18%			
西班牙	63	≤15%			

因此科学制定粉料限值对机制砂的科学使用至关重要。在日本机制砂的石粉限值为9%，在美国为5%或7%。但是当我们参观混凝土拌合站时也发现大多数粉料含量远超过限值。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。本规范制定过程中通过大量的试验证明在MB值较小的机制砂中适当提高石粉含量对混凝土的工作性、强度、耐久性都没有不利影响。

本规范首次提出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，可适当增加其粉料含量，对混凝土性能特别是低强度混凝土工作性有充分的改进。可通过剥离黏土成分、降低MB值的方法充分发挥机制砂中粉料的正效应。建议在试验成功、建设方同意的基础上采用。本指数有利于在保证混凝土质量的前提下，促进机制砂的科学使用。

对于MB值高的机制砂，粉料中含有较多的黏土，粉料对混凝土性能有较显著的不利影响，因此要相应降低其含量。

4.2.3 有害物质

机制砂中不应混有草根、树叶、树枝、塑料、煤块、炉渣、沥青等杂物。机制砂中如含有云母、轻物质、有机物、氯化物、硫化物及硫酸盐等有害物质，应符合表4.2.3的规定。

表 4.2.3 机制砂中的有害物质限值

项 目	指 标		
	I 级	II 级	III 级
云母含量 (按质量计,%)	≤1.0	≤2.0	≤2.0
轻物质含量 (按质量计,%)	≤1.0	≤1.0	≤1.0
有机物 (用比色法试验)	合格	合格	合格
硫化物及硫酸盐含量 (以 SO ₃ 质量计,%)	≤0.5	≤0.5	≤0.5
氯化物 (以 Cl ⁻ 离子质量计,%)	≤0.01	≤0.02	≤0.06

注：1. 有抗冻、抗渗要求的混凝土，机制砂中云母含量不应大于1.0%。

2. 机制砂中如发现含有颗粒状的硫酸盐或硫化物杂质时，则要进行专门检验，确认能满足混凝土耐久性要求时，方能采用。

条文说明

关于有害物质的含量，遵照国家标准制定。

4.2.4 岩石抗压强度

机制砂母岩强度除应满足3.1.1表3.1.1的要求外，对配制C50~C80强度等级的混凝土用机制砂，其母岩抗压强度与混凝土强度等级之比不宜小于1.5；对于配制C80

以上混凝土，其母岩抗压强度与混凝土强度等级之比不宜小于 1.2。

4.2.5 坚固性

机制砂的坚固性用硫酸钠溶液法进行检验，试样经 5 次循环后的砂的质量损失应符合表 4.2.5 的要求。

表 4.2.5 机制砂等级与坚固性指标

砂的等级	I 级	II 级	III 级
质量损失 (%)	≤6	≤8	≤10

4.2.6 压碎指标

机制砂的压碎指标应符合表 4.2.6 的规定。当机制砂母岩强度不能满足 3.1.1、表 3.1.1 和 4.2.4 的要求，但坚固性合格的情况下，如机制砂压碎值满足质量等级的要求，宜以压碎值指标对机制砂质量进行分级。

表 4.2.6 机制砂等级与压碎值指标

项 目	指 标		
	I 级	II 级	III 级
单级最大压碎指标 (%)	≤20	≤25	≤30

条文说明

最终决定砂质量的是砂自身的压碎值和坚固性指标，母岩强度只是作为一种选择性指标。一些风化石在经过机械破碎后，颗粒沿着薄弱的解理面破碎，形成的砂颗粒强度高，完全能满足作为细集料的技术要求，因此在压碎值满足要求时可不考虑母岩强度指标。均参照《建设用砂》(GB/T 14684—2011)，与交通运输部《公路工程水泥混凝土用机制砂》(JT/T 819—2011)有所不同。交通运输部规范采用“<”而本规范采用“≤”，另外交通运输部规范要求 I 级砂的坚固性质量损失 <6%，本规范要求 ≤6%。

4.2.7 表观密度、堆积密度、空隙率

机制砂的表观密度、堆积密度、空隙率应符合如下规定：表观密度大于 2 500kg/m³、松散堆积密度大于 1 400kg/m³、空隙率小于 45%。

条文说明

国家标准《建设用砂》(GB/T 14684—2011) 要求松散堆积密度大于 1 350kg/m³、空隙率小于 47%，交通运输部标准《公路工程水泥混凝土用机制砂》(JT/T 819—2011) 要求松散堆积密度大于 1 400kg/m³、空隙率小于 45%。鉴于机制砂松散密度综合反映了机制砂的粒形、棱角性和级配，提高标准有利于机制砂质量的改善，因此本规范接受

了交通运输部的质量标准。由于一些级配不良的机制砂具有较高的石粉含量时,也会有很高的堆积密度和较小的空隙率,因此堆积密度在粉料含量高的机制砂中对机制砂品质的评价会有失真。

4.2.8 碱集料反应

机制砂不得具有潜在碱活性,机制砂按如下程序检验其碱活性。

1. 在碱集料反应实验前,首先应采用岩相法判定集料的碱活性类型以及所含活性矿物的数量。

2. 对于碱-硅酸反应类型的集料,采用砂浆棒快速法进行碱集料反应活性检验,要求机制砂砂浆棒试件无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象,且在规定试验龄期的膨胀率应小于0.1%。

3. 当检验出集料中含有活性碳酸盐岩时,应采用岩石柱法进行碱活性检验。

条文说明

在有碱活性可能性的工程或重点工程中,应采用显微法、砂浆棒法、岩石柱法等来确定机制砂的碱活性,减少混凝土中碱含量,避免碱集料反应的发生。

4.2.9 磨光值

路面和桥面混凝土所用机制砂,还应检验母岩集料磨光值,其值宜满足表4.2.9的要求,不宜使用抗磨性较差的泥岩、页岩、板岩等水成岩类母岩品种生产机制砂。

表 4.2.9 机制砂等级与磨光值指标

砂的等级	I 级	II 级	III 级
机制砂母岩磨光值	≥38	≥35	≥30

条文说明

考虑路面的耐磨性要求,特别是后期耐磨性主要是集料起到主要作用,交通运输部标准《公路工程水泥混凝土用机制砂》(JT/T 819—2011)中5.1.3对机制砂的磨光值提出此要求,认为不宜小于35,磨光值试验方法参照交通部行业标准《公路工程集料试验规程》(JTG E42—2005)试验方法T0321进行。本规范遵照来自交通运输部行业标准《公路工程水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG/T F30—2014)对机制砂提出的质量标准,参见细则中表3.3.4。对岩性的要求则遵照标准《公路工程水泥混凝土用机制砂》(JT/T 819—2011)的5.3。

5 机制砂的试验方法

5.1 试样采集

机制砂的取样、试样数量、试样处理应按《建设用砂》（GB/T 14684）有关规定执行。

5.1.1 取样方法

1. 在料堆上取样时，取样部位应均匀分布。取样前将取样部位表层铲除，然后从不同部位随机抽取大致等量的8份，组成一组样品。

2. 从皮带运输机上取样时，应采用与皮带等宽的接料器在皮带运输机头出料处全断面定时随机抽取大致等量的砂8份，组成一组样品。

3. 从火车、汽车、货船上取样时，从不同部位和深度随机抽取大致等量的砂8份，组成一组样品。

5.1.2 取样数量

单项试验的最小取样数量应符合表5.1.2的规定。若进行几项试验时，如能保证试样经一项试验后不致影响另外一项试验结果，可用同一试样进行几项不同的试验。

表 5.1.2 单项试验取样数量

序号	试验项目	最小取样数量 (kg)
1	颗粒级配	4.4
2	含泥量	4.4
3	泥块含量	20.0
4	石粉含量	6.0
5	云母含量	0.6
6	轻物质含量	3.2
7	有机质含量	2.0
8	硫化物与硫酸盐含量	0.6
9	氯化物含量	4.4
10	坚固性	20.0
11	表观密度	2.6
12	松散堆积密度与空隙率	5.0

续表 5.1.2

序 号	试 验 项 目	最小取样数量 (kg)
13	碱集料反应	20.0
14	放射性	6.0
15	饱和面干吸水率	4.4
16	压碎值	4.4
17	磨光值	8.0 (母岩粗集料)

5.1.3 样品处理

1. 用分料器法：将样品在潮湿状态下拌和均匀，然后通过分料器，取接料斗中的其中一份再次通过分料器。重复上述过程，直到把样品缩分到试验所需量为止。

2. 人工四分法：将所取样品置于平板上，在潮湿状态下拌和均匀，并堆成厚度约为20mm的圆饼，然后沿相互垂直的两条直径把圆饼分成大致相等的4份，取其中对角线的2份重新拌匀，再堆成圆饼，重复上述过程，直到把样品缩分到试验所需的量为止。

3. 堆积密度、坚固性试验所用试样可以不经过缩分，在拌和均匀后直接进行试验。

条文说明

本部分参考国家标准《建设用砂》(GB/T 14684—2011)，保证所取试样的代表性。

5.2 试验方法

机制砂技术指标试验方法应按表 5.2 的规定执行。

表 5.2 机制砂技术指标试验方法

序 号	技 术 指 标	试 验 方 法
1	岩石抗压强度	JTG E41
2	碱集料反应	JGJ 52
3	磨光值	JTG E42 (T 0321)
4	表观密度、堆积密度、空隙率	JTG E42 (T 0328/T 0331)
5	坚固性	JTG E42 (T 0340)
6	吸水率	JTG E42 (T 0330)
7	颗粒级配	JTG E42 (0327)
8	石粉含量	JTG E42 (T 0333/0349)
9	泥块含量	JTG E42 (T 0335)
10	压碎指标	JTG E42 (T 0350)
11	MB 值	JTG E42 (T 0349)/附录 1

续表 5.2

序 号	技 术 指 标	试 验 方 法
12	云母含量	JTG E42 (T 0337)
13	轻物质含量	JTG E42 (T 0338)
14	有机质含量	JTG E42 (T 0336)
15	硫化物及硫酸盐含量	JTG E42 (T 0341)
16	氯离子含量	GB/T 14684

条文说明

本规范关于机制砂物理性能、技术指标的所有试验检测方法均参照交通运输部相关规范和国家标准进行，使用者可以按试验检测惯例参看，在此不展开。本编写组发明一种新的亚甲蓝试验方法（见附录 1），其特点有：（1）采用筛分复合的方法取样，避免了取样代表性不强所带来的误差；（2）取样量减少为 40g，减少了试剂用量；（3）采用计量注射器代替移液管，操作更为方便，计量准确。

5.3 机制砂检验项目

机制砂产品生产单位质量检验部门检验合格并附质量合格证明方可出厂，出厂检验项目应按表 5.3 的规定执行。

表 5.3 机制砂型式检验项目和出场检验项目

序 号	项 目 名 称	技 术 指 标	出 厂 检 验
1	岩石抗压强度	3.1.1	×
2	碱集料反应	4.2.8	*
3	磨光值	4.2.9	×
4	表观密度	5.2	×
5	松散堆积密度	5.2	√
6	空隙率	5.2	×
7	坚固性	5.3	√
8	吸水率	5.4	×
9	颗粒级配	5.5	√
10	石粉含量	5.6	√
11	泥块含量	5.7	√
12	压碎指标	5.8	×
13	MB 值		√
14	云母含量	5.9	×

续表 5.3

序 号	项 目 名 称	技 术 指 标	出 厂 检 验
15	轻物质含量	5.9	×
16	有机质含量	5.9	×
17	硫化物和硫酸盐含量	5.9	×
18	氯离子含量	5.9	*

注：√为检验项目，×为不检验项目，*为根据需要而定的检验项目。

条文说明

本规范 5.2 和 5.3 参考交通运输部《公路工程 水泥混凝土用机制砂》的相关规定，增加了 MB 值的技术要求。

6 机制砂普通混凝土的配制

6.1 原材料

6.1.1 水泥

1. 水泥应符合《通用硅酸盐水泥》(GB 175)、《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50) 11.2.1 条的规定;道路硅酸盐水泥应符合《道路硅酸盐水泥》(GB 13693) 的规定。

2. 水泥的入机温度不宜超过 60℃。

3. C30 及以下混凝土宜选用 32.5 级水泥, C35 ~ C50 混凝土宜选用 42.5 级水泥, C50 以上混凝土宜采用 52.5 级水泥。

4. 水泥性能的试验方法应符合国家现行有关标准的规定。

5. 水泥应对胶砂强度、凝结时间、安定性、 f_{-Cao} 、氧化镁、氯离子含量和烧失量进行检验;对于需预防混凝土碱集料反应的混凝土,还应检测其碱含量;当用于大体积混凝土时,还应检测其水化热。

6. 对于同一生产厂家、同一强度、同一品种、同一批号且连续进场的水泥,袋装水泥应以 200t 为一个检验批次,散装水泥以 500t 为一个检验批次;不足一个批次,则应按一个批次计。

条文说明

水泥特别是刚出厂的水泥往往温度很高,其使用时的温度对混凝土温度影响很大,另外水泥温度高也会增加对外加剂的需要量,引起过快的凝结,影响混凝土的工作性和体积稳定性。不建议盲目放宽水泥使用温度,当水泥温度偏高时应采用温度较低的砂石集料和拌合水。

针对配制混凝土的强度等级合理选择水泥的强度等级有利于提高水泥混凝土综合质量。而目前有些工程片面追求水泥的高强度等级。在配制低强度等级混凝土,特别是水下桩、二衬混凝土时需要高的工作性(二衬还需要高的抗渗),但强度要求并不高,如果采用 42.5 级水泥,需要的水泥用量不高,但需要高的水灰比,配出的混凝土和易性差抗渗性也较差,如果采用 32.5 级水泥则可以降低水灰比增加水泥用量,对和易性和抗渗性都有好处,因此建议根据混凝土强度等级合理选择水泥强度等级。

6.1.2 机制砂

1. 机制砂应符合本规范第4章规定；路面混凝土用机制砂应符合《公路水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG/T F30) 3.4.1条中Ⅱ级以上(含Ⅱ级)砂的规定。

2. 机制砂的细度模数宜控制在2.3~3.2。

条文说明

从编写组的前期统计来看，机制砂的细度模数大多数在2.3~3.7，但机制砂生产时细度模数太小则会产生大量的石粉，成品率太低，而细度模数过高则0.15~0.6mm的颗粒更少，配混凝土时砂率大，泌水严重，而工程实践证明，只要机制砂的细度模数在3.2以下，混凝土的泌水都有改善。

也有一些工程技术人员认为机制砂中的4.75mm以上颗粒就是瓜米粒径的碎石，采用粗的机制砂只要增加砂率即可，实践证明，采用过粗的机制砂，即使是通过砂率的优化，配制的混凝土中细砂粒级的颗粒少，混凝土离析泌水倾向更严重，终饰效果也比较差。

3. 当采用的机制砂级配不符合本标准4.2.1条技术要求，或配制的混凝土和易性不能满足设计要求时，宜考虑采用机制砂与适宜细度模数的天然砂或工业固体废弃物(如洁净的尾矿)按一定比例掺配的混合砂，以满足不同要求的混凝土。

4. 不应简单地通过堆积密度或空隙率的大小来判断机制砂级配的好坏。

5. 配制C30以下混凝土用机制砂应符合Ⅲ级砂的规定，粉料含量根据实验情况可以适当放宽；配制C30~C60混凝土用机制砂应符合Ⅱ级砂的规定，而当机制砂用于C60以上混凝土的配制时应满足Ⅰ级砂的要求。

6. 普通中低强度机制砂混凝土特别是用于泵送的中低强度机制砂混凝土用机制砂中应含有适当的粉料作为改善和易性的手段，在配制强度等级越低、流动性大的混凝土时，机制砂石粉含量宜靠近上限控制。

7. 用于路面或桥面铺装混凝土的机制砂粉料含量应满足表6.1.2的要求，在极重、特种、重交荷载等级公路面层混凝土或桥梁铺装面层混凝土中所用机制砂的质量标准应不低于表6.1.2中Ⅱ级砂的要求，中、轻交通荷载等级的公路面层水泥混凝土可使用Ⅲ级机制砂。在试验成功，建设方批准的情况下可按4.2.2执行。

表 6.1.2 路面混凝土的粉料含量限值

项 目	机制砂等级/粉料限量 (%)		
	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级
MB 值 < 1.4 或合格	3.0	5.0	7.0
MB 值 ≥ 1.4 或不合格	1.0	3.0	5.0

8. 机制砂的质量检测项目应按本规范3.2执行，检验频次按3.4执行。

条文说明

表 6.1.2 规定遵照了现行的《公路水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG/T F30—2014)的技术要求,该细则要求的粉料含量和《建筑用砂》(GB/T 14684—2001)相同,但目前《建设用砂》(GB/T 14684—2011)的指标见表 4.2.2-1,已经有了明显的提高。根据编写组的研究成果,石粉含量在 10% 左右可以保证路面混凝土具有最佳的耐磨性,粉料用量低于 8% 后随石粉含量的降低,路面混凝土泌水增加,耐磨性逐渐劣化,不建议采用粉料含量过低的机制砂。建议粉料含量在 10% 以下即可,不建议使用粉料含量低于 5% 的机制砂。因此本规范提出在试验成功且建设方批准的情况下按 4.2.2 执行。

6.1.3 粗集料

1. 粗集料应符合《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50) 11.2.3 条的规定;用于水泥混凝土路面的机制砂混凝土的粗集料应符合《公路水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG/T F30) 3.3.1 条中Ⅱ类以上(含Ⅱ类)碎石的规定,其技术性能、压碎值、坚固性和级配分别见表 6.1.3-1、表 6.1.3-2、表 6.1.3-3 和表 6.1.3-4。

表 6.1.3-1 粗集料技术指标

项 目		技术 要求		
		I 类	Ⅱ类	Ⅲ类
吸水率 (%)		<1.0	<2.0	<2.5
针片状颗粒含量 (按质量计,%)		<5	<15	<25
有害 物质 含量	含泥量 (按质量计,%)	<0.5	<1.0	<1.5
	泥块含量 (按质量计,%)	0	<0.5	<0.7
	有机物含量 (比色法)	合格	合格	合格
	硫化物及硫酸盐 (按 SO ₃ 质量计,%)	<0.5	<1.0	<1.0
岩石抗压强度 (水饱和状态, MPa)		火成岩 >80; 变质岩 >60; 水成岩 >30		
表观密度 (kg/m ³)		>2 500		
松散堆积密度 (kg/m ³)		>1 350		
空隙率 (%)		<47		
碱集料反应		经碱集料反应试验后,试件无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象,在 规定试验龄期的膨胀率应小于 0.10%		

注: 1. I 类宜于强度等级大于 C60 的混凝土; II 类宜于强度等级为 C30 ~ C60 及有抗冻、抗渗或其他要求的混凝土; III 类宜于强度等级小于 C30 的混凝土。

- 粗集料中不应混有草根、树叶、树枝、塑料、煤块、炉渣等杂物。
- 岩石的抗压强度除应满足表中要求外,其抗压强度与混凝土强度等级之比不小于 1.5。岩石强度首先应由生产单位提供,工程中可采用压碎值指标进行质量控制。
- 当粗集料中含有颗粒状硫酸盐或硫化杂质时,应进行专门检验,确认能满足混凝土耐久性要求后,方可采用。
- 采用卵石破碎成砾石时,应具有两个及以上的破碎面,且其破碎面应不小于 70%。

表 6.1.3-2 粗集料的压碎值

项 目	技术 要求		
	I 类	II 类	III 类
桥涵隧道用碎石压碎指标 (%)	<10	<20	<30
桥涵隧道用卵石压碎指标 (%)	<12	<16	<16
路面用碎石压碎指标 (%)	≤18.0	≤25.0	≤30.0
路面用卵石压碎指标 (%)	≤21.0	≤23.0	≤26.0

表 6.1.3-3 粗集料的坚固性

混凝土所处环境条件	在硫酸钠溶液中循环 5 次后的质量损失 (%)
寒冷地区, 经常处于干湿交替状态	<5
严寒地区, 经常处于干湿交替状态	<3
混凝土处于干燥条件, 但粗集料风化或软弱颗粒过多时	<12
混凝土处于干燥条件, 但有抗疲劳、耐磨、抗冲击要求或强度等级大于 C40	<5

注: 有抗冻、抗渗要求的混凝土用硫酸钠法进行粗集料坚固性试验不合格时, 可再进行直接冻融试验。

表 6.1.3-4 粗集料级配范围

级配情况	公称 粒径 (mm)	累计筛余 (按质量计, %)											
		方孔筛筛孔边长尺寸 (mm)											
		2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5	53.0	63.0	75.0	90.0
连续级配	5~10	95~100	80~100	0~15	0								
	5~16	95~100	85~100	30~60	0~10	0							
	5~20	95~100	90~100	40~80		0~10	0						
	5~25	95~100	90~100		30~70		0~5	0					
	5~31.5	95~100	90~100	70~90		15~45		0~5	0				
	5~40		95~100	70~90		30~65			0~5				
单粒级配	10~20		95~100	85~100		0~15	0						
	16~31.5		95~100		85~100			0~10	0				
单粒级配	20~40			95~100		80~100			0~10	0			
	31.5~63				95~100			75~100	45~75		0~10	0	
	40~80					95~100			70~100		30~60	0~10	0

条文说明

本规范遵照交通运输部《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50—2011) 和《公路工程水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG/T F30—2014) 对粗集料压碎值的技术要求。

2. 粗集料应对颗粒级配、含泥量、泥块含量、针片状颗粒含量、压碎值指标和坚固性进行检验；当用于高强度混凝土，还应检测其母岩抗压强度；对于有预防混凝土碱集料反应要求的混凝土，还应进行其碱活性试验。

3. 粗集料应以 400m³ 或 600t 为一个检验批次，不足一个检验批次按一个检验批次计。

条文说明

通常碎石统料和卵石统料均难保证合理级配，不能满足连续级配的要求，而且统料在运输过程中容易引起离析。采用两粒级或多粒级掺配的方式可以保证级配的合理以及生产过程中级配的均衡稳定。

6.1.4 矿物掺合料

1. 机制砂普通混凝土的矿物掺合料的品种宜为粉煤灰、矿渣粉、硅灰、磷渣粉等。粉煤灰的技术要求应符合《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》（GB 1596）中Ⅱ级以上（含Ⅱ级）粉煤灰的规定；矿渣粉的技术要求应符合《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》（GB/T 18046）的规定；用于水泥混凝土路面的机制砂混凝土的粉煤灰应符合《公路水泥混凝土路面施工技术细则》（JTG/T F30）3.2.2条中Ⅱ级以上（含Ⅱ级）粉煤灰的规定。粉煤灰、矿渣粉和磷渣粉的技术要求应符合表 6.1.4-1、表 6.1.4-2、表 6.1.4-3和表 6.1.4-4 的规定。

表 6.1.4-1 粉煤灰技术要求

项 目	技 术 要 求		检 验 标 准
	C50 以下混凝土	C50 及以上混凝土	
细度 (%)	≤20	≤12	《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 (GB/T 1596)
需水量比 (%)	≤105	≤100	
含水率 (%)	≤1.0 (干排灰)		
烧失量 (%)	≤5.0	≤3.0	《水泥化学分析方法》 (GB/T 176)
SO ₃ 含量 (%)	≤3		
CaO 含量 (%)	≤10 (硫酸盐侵蚀环境)		
游离 CaO 含量 (%)	F 类粉煤灰 ≤1.0 C 类粉煤灰 ≤4.0		
氯离子含量 (%)	≤0.02		《水泥原料中氯离子的化学 分析方法》(JC/T 420)
安定性 (雷氏夹沸煮后 增加距离, mm)	C 类粉煤灰 ≤5.0		《水泥标注稠度用水量、凝结时间、 安定性检验方法》(GB/T 1346)

表 6.1.4-2 粒化高炉矿渣粉技术要求

项 目	技 术 要 求	检 验 标 准
比表面积 (m ² /kg)	350 ~ 450	《水泥比表面积测定方法 (勃氏法)》(GB/T 8074)
需水量比 (%)	≤100	《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736)
含水率 (%)	≤1.0	《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046)
烧失量 (%)	≤3	《水泥化学分析方法》(GB/T 176)
SO ₃ 含量 (%)	≤4	
MgO 含量 (%)	≤14	
氯离子含量 (%)	≤0.02	《水泥原料中氯的化学分析方法》(JC/T 420)
28d 活性指数 (%)	≥95	《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046)

表 6.1.4-3 硅灰技术要求

项 目	技 术 要 求	检 验 标 准
比表面积 (m ² /kg)	≥18 000	《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736)
需水量比 (%)	≤125	
含水率 (%)	≤3.0	《水泥化学分析方法》(GB/T 176)
烧失量 (%)	≤6	
SiO ₂ 含量 (%)	≥85	《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736)
氯离子含量 (%)	≤0.02	《水泥原料中氯的化学分析方法》(JC/T 420)
28d 活性指数 (%)	≥85	《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736)

表 6.1.4-4 磷渣粉的技术要求

项 目	技 术 要 求	
细度 (80μm 方孔筛筛余) (%)	≤5	
密度 (g/cm ³)	≥2.8	
比表面积 (m ² /kg)	≥300	
活性指数 (%)	7d	≥50
	28d	≥70
流动度比 (%)	≥95	
含水量 (%)	≤2.0	
三氧化硫 (%)	≤4.0	
P ₂ O ₅ 含量 (%)	≤3.5	
烧失量 (%)	≤3.0	
安定性	合格	

2. 矿物掺合料应检验下列项目:

(1) 粉煤灰应检验细度、需水量比、烧失量和 SO₃ 含量、C 类粉煤灰还应包括游离氧化钙含量和安定性。

(2) 粒化高炉矿渣粉应检验比表面积、SO₃ 含量、活性指数和相同需水比。

(3) 钢渣粉应检验比表面积、活性指数、流动度比、游离氧化钙含量、 SO_3 含量、氧化镁含量和安定性。

(4) 磷渣粉应检验比表面积、活性指数、流动度比、 SO_3 含量、 P_2O_5 含量和安定性。

(5) 硅灰应检验其比表面积、 SiO_2 含量和活性指数。

(6) 所有矿物掺合料均宜进行放射性检验。

3. 粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、钢渣粉和磷渣粉等矿物掺合料应按 200t 为一个检验批次，硅灰应按 30t 为一个检验批次；不足一个检验批次应按一个计。

条文说明

近几年，混凝土中特别是商品混凝土和高性能混凝土中，矿物掺合料的运用逐渐普遍。大量的研究和实践表明，在机制砂混凝土中如果掺加粉煤灰等混合材也有助于改善工作性，因此本规范摘录相关的矿物掺合料质量标准如上。

各种矿物掺合料的特性和在混凝土中的作用不同，各类矿物掺合料不可混杂。尽管在其他行业矿物掺合料的使用非常普遍，但是一些交通工程对矿物掺合料的使用仍然有诸多限制，一些混凝土拌合站没有配备矿物掺合料的储存和计量配料系统。科学使用矿物掺合料对混凝土的工作性、耐久性都有不同程度的改善作用，建议有条件的时候采用。

各种矿物掺合料的检验项目与批次参考《人工砂混凝土应用技术规程》（JGJ/T 241—2011）中 8.1.3 和 8.1.4 的有关规定。对于放射性检验的要求，本规范将“应”改为“宜”，因为公路工程建设于室外、和人体接触机会小时间短，要求不如房屋建筑工程严格。

6.1.5 外加剂

1. 机制砂混凝土外加剂应符合国家现行标准《混凝土外加剂应用技术规范》（GB 50119）、《混凝土外加剂》（GB 8076）、《聚羧酸系高性能减水剂》（JG/T 223）和《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50）11.2.5 条的规定。

2. 机制砂混凝土外加剂性能指标应符合表 6.1.5-1 的规定，且均质性指标满足表 6.1.5-2 的要求。

3. 为降低高流态机制砂混凝土的离析和泌水倾向，可以采用纤维素醚、温伦胶和黄原胶等流变性改性剂。

4. 外加剂应对 pH、固含量、氯离子含量、减水率、凝结时间差和抗压强度比进行检验；引气剂和引气型减水剂还应检验其含气量；防冻剂还应检验其含气量和 50 次冻融强度损失率比；膨胀剂还应检验其凝结时间、限值膨胀量和抗压强度。

5. 外加剂应按 50t 为一个检验批次；不足一个检验批次时，也应按一个检验批次计。

表 6.1.5-1 外加剂性能指标

项 目	外加剂品种													
	高性能减水剂 HPWR			高效减水剂 HWR			普通减水剂 WR			引气减水剂 AEWWR	泵送剂 PA	早强剂 Ac	缓凝剂 Re	引气剂 AE
	早强剂 HPWR-A	标准型 HPWR-S	缓凝型 HPWR-R	标准型 HWR-S	缓凝型 HWR-R	早强剂 WR-A	标准型 WR-S	缓凝型 WR-R						
减水率 (%)	≥25	≥25	≥25	≥14	≥14	≥8	≥8	≥8	≥10	≥12	—	—	—	≥6
泌水率 (%)	≤50	≤60	≤70	≤90	≤100	≤95	≤100	≤100	≤70	≤70	≤100	≤100	≤100	≤70
含气量 (%)	≤6.0	≤6.0	≤6.0	≤3.0	≤4.5	≤4.0	≤4.0	≤5.5	≥3.0	≤5.5	—	—	—	—
凝结时间之差 (min)	初凝	-90 ~ +90	> +90	-90 ~ +120	> +90	-90 ~ +90	-90 ~ +120	> +90	-90 ~ +120	—	-90 ~ +90	> +90	-90 ~ +120	-90 ~ +120
	终凝	+120	—	—	—	—	—	—	+120	—	—	—	—	+120
1h 经时坍落度 (mm)	—	≤80	≤60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	-1.5 ~ +1.5	—	—	—	—	-1.5 ~ +1.5
抗压强度比 (%)	1d	≥180	≥170	≥140	≥140	≥135	≥135	—	—	—	≥135	—	—	—
	3d	≥170	≥160	—	≥130	—	≥130	≥115	≥115	—	≥130	—	—	≥95
	7d	≥145	≥150	≥140	≥125	≥125	≥110	≥115	≥110	≥115	≥110	≥100	≥100	≥95
	28d	≥130	≥140	≥130	≥120	≥120	≥100	≥110	≥110	≥110	≥100	≥100	≥100	≥90
收缩率比 (%)	≤110	≤110	≤110	≤135	≤135	≤135	≤135	≤135	≤135	≤135	≤135	≤135	≤135	≤135
相对耐久性 (200 次) (%)	—	—	—	—	—	—	—	—	≥80	—	—	—	—	≥80

注: 1. 表中抗压强度比、收缩率比、相对耐久性为强制性指标,其余为推荐性指标。
 2. 除含气量和相对耐久性外,表中所列数据为掺外加剂混凝土与基准混凝土的差值或比值。
 3. 凝结时间之差性能指标中的“-”号表示提前,“+”号表示延缓。
 4. 相对耐久性(200 次)性能指标中的“≥80”表示将 28d 龄期的受检混凝土试件快速冻融循环 200 次后,动弹性模量保留值 ≥80%。
 5. 1h 含气量经时变化量指标中的“-”号表示含气量增加,“+”号表示含气量减少。
 6. 其他品种的外加剂是否需要测定相对耐久性指标,由供、需双方协商确定。
 7. 当用户对泵送剂等产品有特殊要求时,需要进行的补充试验项目及指标,由供需双方协商决定。

表 6.1.5-2 匀质性指标

项 目	指 标
氯离子含量 (%)	不超过生产厂控制值
总碱量 (%)	不超过生产厂控制值
含固量 (%)	$S > 25\%$ 时, 应控制在 $0.95 \sim 1.05S$; $S \leq 25\%$ 时, 应控制在 $0.90 \sim 1.10S$
含水率 (%)	$W > 5\%$ 时, 应控制在 $0.90 \sim 1.10W$; $W \leq 5\%$ 时, 应控制在 $0.80 \sim 1.20W$
密度 (g/cm^3)	$D > 1.1$ 时, 应控制在 $D \pm 0.03$; $D \leq 1.1$ 时, 应控制在 $D \pm 0.02$
细度	应在生产厂控制范围内
pH 值	应在生产厂控制范围内
硫酸钠含量 (%)	不超过生产厂控制值

- 注: 1. 生产厂应在相关的技术资料中明示产品匀质性指标的控制值。
2. 相同和不同批次之间的匀质性和等效性的其他要求, 可由供需双方商定。
3. 表中的 S 、 W 和 D 分别为含固量、含水率和密度的生产厂控制值。

条文说明

混凝土外加剂包括减水剂、膨胀剂、防冻剂、速凝剂和防水剂等, 外加剂的技术指标和使用方法需满足相关的国家标准和技术规范, 并按相关标准检验合格后方可使用。其中减水剂是使用最为普遍的外加剂, 但目前的减水剂质量良莠不齐, 进场前应加强检验检测, 使用中出現异常应随时复拌检验。公路工程关于外加剂的规范和指南有《公路工程混凝土外加剂》(JT/T 523—2004) 和《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》(交公便字〔2006〕02号), 由于《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50—2011) 相对前两者而言更具实效, 因此外加剂的有关规定采用了该规范 11.2.5 条对外加剂的规定。

6.1.6 水

1. 混凝土拌和用水应符合《混凝土用水标准》(JGJ 63) 的规定, 见表 6.1.6。符合国家标准的饮用水可以直接作为混凝土的拌制和养护用水; 当采用其他水源或对水质有疑问时, 应对水质进行检验。水中应不含有漂浮的油脂和泡沫, 或明显的颜色和异味, 严禁使用未经处理的海水用于结构混凝土拌制和养生。

表 6.1.6 混凝土用水的品质指标

项 目	预应力混凝土	钢筋混凝土	素混凝土
pH 值	≥ 5.0	≥ 4.5	≥ 4.5
不溶物 (mg/L)	≤ 2000	≤ 2000	≤ 5000
可溶物 (mg/L)	≤ 2000	≤ 5000	≤ 10000

续表 6.1.6

项 目	预应力混凝土	钢筋混凝土	素混凝土
氯化物 (以 Cl^- 计, mg/L)	≤ 500	$\leq 1\ 000$	$\leq 3\ 500$
硫酸盐 (以 SO_4^{2-} 计, mg/L)	≤ 600	$\leq 2\ 000$	$\leq 2\ 700$
碱含量 (rag/L)	$\leq 1\ 500$	$\leq 1\ 500$	$\leq 1\ 500$

注: 1. 对设计使用年限为 100 年的结构混凝土, 氯离子含量不得超过 500mg/L; 对使用钢丝或热处理钢筋的预应力混凝土, 氯离子含量不得超过 350mg/L。

2. 碱含量按 $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$ 计算值表示。采用非碱活性集料时, 可不检验碱含量。

2. 拌和用水如有异样, 应对其 pH、不溶物含量、可溶物含量、硫酸根离子含量、氯离子含量、凝结时间差和抗压强度差进行检验。拌和用水不应降低水泥强度 (-3MPa) 或明显改变水泥凝结时间 (20min 以上的变化)。

3. 拌和用水应按同一水源不少于一个批次进行检验。

条文说明

机制砂混凝土对水的要求和普通河砂混凝土无异。

6.1.7 原材料放射性

原材料的放射性应符合现行国家标准《建筑材料放射性核素限量》(GB 6566) 的有关规定。

条文说明

机制砂混凝土对原材料放射性的要求与普通河砂混凝土无异。

6.2 配合比设计

6.2.1 基本要求

1. 机制砂普通混凝土配合比设计应符合《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50) 11.3 节的规定, 满足设计和施工的混凝土拌合物和易性、凝结速度及硬化混凝土强度和耐久性能等质量要求, 见表 6.2.1。

表 6.2.1 混凝土的最大水胶比、最小水泥用量及最大氯离子含量

环境类别	环境条件	最大水胶比	最小水泥用量 (kg/m ³)	最低混凝土强度等级	最大氯离子含量 (%)
I	温暖或寒冷地区的大气环境、与无侵蚀的水或土接触的环境	0.55	275	C25	0.30
II	严寒地区的大气环境、使用除冰盐环境、滨海环境	0.50	300	C30	0.15

续表 6.2.1

环境类别	环境条件	最大水胶比	最小水泥用量 (kg/m ³)	最低混凝土 强度等级	最大氯离子 含量 (%)
Ⅲ	海水环境	0.45	300	C35	0.10
Ⅳ	受侵蚀性物质影响的环境	0.40	325	C35	0.10

- 注：1. 水胶比、氯离子含量是指其与胶凝材料用量的百分比。
 2. 最小水泥用量包括矿物掺合料。
 3. 严寒地区系指最冷月份平均气温低于或等于 -10℃，且日平均温度低于或等于 5℃ 的天数超过 145d 以上的地区。
 4. 预应力混凝土结构中的最大氯离子含量为 0.06%，最小水泥用量为 350kg/m³。
 5. 封底、垫层及其他临时工程的混凝土，可不受本表的限制。

条文说明

机制砂制备的混凝土中往往含有一定的石粉，在混凝土中可发挥填料（filler）的作用，对于高水灰比混凝土，可以大幅度降低渗透系数，如果采用机制砂制备混凝土，可采用最大水粉比来要求。水粉比按如下公式计算：

$$\frac{W}{P} = \frac{W}{C + S \cdot \frac{P - 4}{100}} \quad (\text{附 6-1})$$

式中：W/P——水粉比；

C——水泥用量；

S——砂的用量；

P——机制砂中 0.075mm 筛通过率。

本公式将机制砂中的石粉超过 4% 的部分当成填料看待，起到降低混凝土中水泥浆体孔隙率的作用，也对混凝土良好的耐久性有显著影响。而 4% 以下的部分被看成是常规砂中含有的粉料，看成砂的一部分，保证混凝土基本的和易性，大量试验证明机制砂粉料含量低于 4% 后和易性劣化加剧。

鉴于目前研究的深入程度，水粉比尚不能在配合比设计时代替水灰比使用，但机制砂普通混凝土选取“最大水灰比”和“最小水泥用量”，如果完全出于和易性考虑时，可用“最大水粉比”和“最小粉料用量”的概念来代替。

2. 对于水泥混凝土路面工程，机制砂混凝土配合比设计应符合《公路水泥混凝土路面施工技术细则》（JTG/T F30）4.2 节的规定。

条文说明

机制砂路面混凝土的配合比设计方法与普通河砂混凝土具有相同的技术要求，砂率相应增加 2% ~ 4%，其他计算方法相同，机制砂混凝土振捣密实容易，有浮浆倾向，可以适当降低其设计的坍落度。

3. 机制砂普通混凝土配合比应根据原材料的性能及对混凝土的技术要求进行计算,并经试验室试配、调整后确定。

条文说明

机制砂混凝土的配合比设计要求与普通混凝土相同。

6.2.2 配制强度

混凝土配制强度按《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55) 3.0.1 节和《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50) 附录 B2 的规定进行确定。

条文说明

机制砂混凝土的配合比设计的配制强度要求与普通混凝土相同。

6.2.3 配合比设计参数选取

1. 机制砂配制混凝土的水灰比参照《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55) 进行计算,比河砂混凝土增加 0.01 ~ 0.02。

2. 机制砂混凝土单位用水量参照《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55) 进行初选。

3. 为避免由于机制砂混凝土用水量的提高而增大水泥用量,机制砂混凝土的配制宜掺用减水剂。

4. 机制砂混凝土单位水泥用量根据上述计算得到水灰比和选取的用水量计算确定。与天然砂混凝土相比,配制机制砂混凝土无需增加水泥用量。

5. 配制水灰比较大的中、低强度塑性混凝土或大坍落度混凝土时,可适当降低水泥用量。

条文说明

在原材料相同的条件下,通常机制砂混凝土在相同水灰比时强度高于河砂混凝土,达到相同强度可适当增加水灰比 0.01 ~ 0.02。由于机制砂中的石粉较天然砂高,在混凝土中可以起到填料的作用,在配制混凝土特别是低强度等级的混凝土时,机制砂中的石粉填充了浆体的空隙,降低了混凝土孔隙率和渗透系数,对混凝土的耐久性有很强的改善作用。特别是在工作性要求高的中低强度的混凝土中,石粉含量高的机制砂配制的混凝土性能可以优于石粉含量低的机制砂甚至河砂。石粉对机制砂混凝土工作性的影响有最佳含量范围,一般为 7% ~ 10%。机制砂的高石粉含量对改善混凝土的工作性和节约水泥用量非常重要,同时可解决采用高强度等级水泥配制低强度等级混凝土或大坍落度中低强度混凝土时出现的混凝土强度富余过大与工作性较差之间的矛盾。

6. 与相同情况天然砂配制的混凝土相比，机制砂普通混凝土的砂率宜较天然砂混凝土高2%~4%。

条文说明

机制砂混凝土的配合比设计由于机制砂的表观密度大、细度模数相对较大、有一定的粉料，所以其砂率相对于河砂而言要大一些。另外，其石粉的存在会增加混凝土的需水量，设计的混凝土水灰比可以适当增加，其机制砂混凝土强度特别是中低强度等级混凝土的强度在相同水灰比条件下会高于河砂混凝土强度。机制砂普通混凝土的砂率不宜按天然砂混凝土砂率的选取方法直接选取，而应根据机制砂自身细度模数、颗粒级配、石粉含量，并按所选水灰比及碎石最大粒径通过试验确定。为了适应泵送的要求，机制砂泵送混凝土也和河砂泵送混凝土一样要适当增加砂率，但也不必过高。

7. 机制砂混凝土配合比设计时宜采用绝对体积法进行。如采用假定密度法进行配合比设计计算时，机制砂混凝土的假定密度应在相应的天然河砂混凝土假定密度的基础上提高20~40 kg/m³。

条文说明

由于机制砂中的细度模数通常比天然砂大，另外机制砂中含有部分石粉，而且机制砂的表观密度往往也高于河砂，所以机制砂混凝土中的砂率往往要比河砂混凝土砂率大，合理的砂率可以通过实验来确定。另外由于机制砂的表观密度通常较大，所以机制砂混凝土密度较大，建议采用体积法设计，避免亏方。

8. 机制砂配制混凝土的减水剂掺量应按机制砂中石粉含量的高低酌情增加，可近似地按混凝土中粉体材料质量（胶凝材料与机制砂粉料中超过4%部分的质量之和）百分比确定。

条文说明

机制砂中的石粉可以增进工作性但也增加了需水量，通常石粉和胶凝材料对外加剂的吸附作用不同，本规范只把石粉中超过4%的部分当成填充材料看待。采用石粉含量较大的机制砂可能会增加减水剂的用量，特别是黏土颗粒含量大（MB值较大）的机制砂会明显增加减水剂的用量。

9. 机制砂在配制对抗冻性有较高要求的混凝土时，应充分考虑机制砂品质的影响，并可通过掺入适量引气剂提高机制砂混凝土的抗冻性。

10. 应密切关注机制砂与混凝土外加剂，特别是聚羧酸类减水剂之间的适应性问题。

条文说明

机制砂混凝土往往存在机制砂与减水剂之间的适应性问题,可以根据实际情况对外加剂的配方进行适配调整,机制砂混凝土中减水剂用量有可能会高于普通的河砂混凝土,但多数情况只是因为外加剂与所用的机制砂不适应引起的,因此进行适应性调整是十分必要的。对于普通河砂混凝土有效的功能型外加剂对机制砂混凝土也同样有效。

11. 机制砂配制混凝土时,矿渣粉、粉煤灰等掺合料的掺用可不考虑石粉含量的高低。

12. 机制砂生产时回收的洁净石粉可作为混凝土填料(惰性矿物掺合料)使用,其掺量应在胶凝材料质量的10%~20%范围内并通过试验确定,回收石粉宜限定在低强混凝土中使用。

条文说明

机制砂混凝土的配合比中使用一部分的矿物掺合料对混凝土性能有很大的改善。在中低强度的混凝土中,日本有使用回收石粉的工程实例,明石海峡大桥的锚垫就采用了胶凝材料20%的回收石粉。不仅使废弃物得到利用,也改善了低强度混凝土的工作性。

6.2.4 配合比的试配、调整

1. 机制砂配制混凝土的砂率优选试验宜按“五点法”进行,即在砂率范围34%~42%范围内每间隔2%选取一个砂率进行混凝土拌合物和易性试验,以混凝土的和易性达到最佳为合理砂率。

2. 在机制砂混凝土配合比调整时,应充分考察各配比混凝土的抗离析性和泌水性。

条文说明

由于机制砂混凝土的坍落度和强度通常会随着砂率的增加先出现一个最大值,而后逐渐降低,出现最大值的砂率往往在40%甚至更高。

机制砂细度模数越小、级配越好、石粉含量越大,合理砂率越小。在保证混凝土拌合物黏聚性良好的前提下,应尽可能选取较小的砂率,以兼顾混凝土的弹性模量和干燥收缩。

机制砂配制混凝土的和易性对用水量和砂率的变化通常不敏感,但当砂率选择不当、用水量偏高、减水剂掺量过高、机制砂级配变异过大时,易造成机制砂混凝土在出机、卸料过程中离析、振后易泌水。机制砂混凝土特别是未掺加减水剂的机制砂混凝土的离析倾向通常较大,减少原材料的离析和变异,保持各组分的计量精度十分重要。

6.3 机制砂混凝土的性能

6.3.1 新拌混凝土的技术要求

1. 机制砂混凝土的拌合物应具有良好的黏聚性、保水性和流动性，不得离析泌水。
2. 机制砂混凝土坍落度应满足设计和施工的要求，其坍落度经时损失不宜大于30mm/h，机制砂混凝土坍落度试验方法应符合国家现行标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》（GB/T 50080）的规定。
3. 机制砂混凝土拌合物的凝结时间应满足施工要求和混凝土性能要求。
4. 机制砂混凝土拌合物应具有良好的早期抗裂性能。人工砂混凝土抗裂性能的试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》（GB/T 50082）的规定。
5. 机制砂混凝土拌合物的水溶性氯离子最大含量应符合表 6.3.1 的规定，人工砂混凝土拌合物的水溶性氯离子含量宜按现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》（JTJ 270）中的快速测定方法进行测试。

表 6.3.1 机制砂混凝土拌合物水溶性氯离子最大含量

环境条件	水溶性氯离子最大含量（胶凝材料用量的质量百分比，%）		
	钢筋混凝土	预应力混凝土	素混凝土
干燥环境	0.30	0.06	1.00
潮湿但不含氯离子环境	0.20		
潮湿且含氯离子环境	0.10		
腐蚀环境	0.06		

6. 机制砂混凝土拌合物的总碱量应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》（GB 50010）的规定。碱含量宜按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ 55）的规定进行测定和计算。

条文说明

机制砂混凝土新拌拌合物工作性是混凝土质量的重要保障，机制砂混凝土往往有离析和泌水倾向，宜适当调高机制砂混凝土黏聚性、保水性，使之不离析泌水。机制砂混凝土容易振捣密实，起浆比较快，其坍落度可以比相同施工条件的河砂混凝土控制略低，避免浮浆和离析。有一些机制砂的吸水作用比较强，振捣过程中泌水离析非常严重，建议采用更低的坍落度，或者调整外加剂组分以改善其保水性。

机制砂混凝土早期失水较快、收缩变形大而容易产生微裂缝，因此，为保证机制砂混凝土的质量、提高其耐久性，加强养生尤其早期养生十分重要。

机制砂混凝土的氯离子含量标准和普通混凝土相同，机制砂自身氯离子含量低，有利于降低混凝土中氯离子含量。

6.3.2 机制砂混凝土的力学性能

1. 机制砂混凝土强度级别应按立方体抗压强度标准值确定，并按现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》(GB/T 50107) 进行评定。

2. 机制砂混凝土的强度标准值、强度设计值、弹性模量、轴心抗压强度与轴心抗拉疲劳强度设计值、疲劳变形模量等应符合现行的国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010) 的规定。机制砂混凝土力学性能应按现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081) 的规定试验测定，并满足设计的要求。

条文说明

机制砂混凝土的力学性能和河砂混凝土十分接近，在抗疲劳方面比河砂混凝土略强，其技术要求和试验、测试及评定方法均可参见相关的国家标准。

6.3.3 机制砂混凝土的长期性能和耐久性能

1. 机制砂混凝土的收缩和徐变性能应符合设计要求。机制砂混凝土的收缩徐变性能的试验方法应符合现行国家标准《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082) 的规定。

2. 机制砂混凝土的抗冻、抗渗、抗氯离子渗透、抗碳化和抗硫酸盐侵蚀等耐久性应符合设计要求，当设计无要求时，人工砂混凝土耐久性应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》(GB 50164) 的规定。机制砂混凝土耐久性能试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082) 的规定。

条文说明

机制砂混凝土的耐久性能和河砂混凝土十分接近，有研究表明其耐久性整体更强，其耐久性的技术要求和试验、测试及评定方法均可参见相关的国家标准。

7 机制砂高性能混凝土的配制

7.1 基本规定

7.1.1 机制砂高性能混凝土必须具有设计要求的强度等级，在设计使用年限内必须满足结构的承载安全可靠。关于 C50、C55 和 C60 机制砂高性能混凝土强度标准值、强度设计值、弹性模量、剪变模量、泊松比等设计指标的取值和普通混凝土相同。

条文说明

住房和城乡建设部在《建筑业“十二五”发展规划》中提出：“十二五”期间高性能混凝土的用量要达到 10% 以上。在 2013 年 12 月，住房和城乡建设部和工业和信息化部联合发文《关于成立高性能混凝土推广应用技术指导组的通知》（建标实函〔2013〕133 号），由行业内专家组成高性能混凝土推广应用技术指导组，在材料及制品生产、结构设计施工和政策及标准规范领域开展具体工作。除此以外，国家持续倡导可持续发展，发展循环经济、推行清洁生产等等，高性能混凝土是未来的发展方向，因此本规范也涉及了机制砂高性能混凝土。

由于机制砂混凝土和机制砂高性能混凝土的轴心强度、弹性模量、泊松比等力学性能指标的取值均可参照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004) 中 3.1.3、3.1.4、3.1.5 和 3.1.6 的相应规定，其取值和普通混凝土相同，大量研究表明机制砂混凝土的模量和劈裂抗拉、抗折强度较普通河砂混凝土略高，按常规混凝土取值设计的机制砂混凝土结构具有较高的可靠度。机制砂混凝土以及机制砂高性能混凝土材料性能并没有根本的差异，不需要在设计和分析时特殊对待。

7.1.2 高性能混凝土设计应保证结构的耐久使用，应针对混凝土结构所处环境和预定功能进行耐久性设计，应选用适当的水泥品种、矿物掺和料、水胶比和外加剂。

7.1.3 根据混凝土结构所处的环境条件，机制砂高性能混凝土的耐久性应符合表 7.1.3 中的一种或几种技术要求。

表 7.1.3 高性能混凝土耐久性技术要求

耐久性项目	技术要求
碱集料反应	无危险
早期抗裂 (平板试件抗裂性等级)	Ⅲ级及Ⅲ级以上
碳化深度	≤15 mm
抗硫酸盐侵蚀 (5% Na ₂ SO ₄ 干湿循环)	≥150 次
抗氯离子渗透性	56d 龄期的 6h 总导电量 ≤1 000 或 28d 龄期氯离子扩散系数 (RCM 法) ≤4.0 × 10 ⁻¹² cm ² /s
抗冻等级	≥F300

7.1.4 应重视收缩和徐变对混凝土结构的影响,关于机制砂混凝土和机制砂高性能混凝土收缩应变和徐变系数终极值的取值见表 7.1.4。

表 7.1.4 混凝土收缩应变与徐变系数终极值

混凝土收缩应变终极值 $\varepsilon_{cs}(t_u, t_0) \times 10^3$								
传力锚固龄期 (d)	40% ≤ RH < 70%				70% ≤ RH < 99%			
	理论厚度 h (mm)				理论厚度 h (mm)			
	100	200	300	≥600	100	200	300	≥600
3~7	0.50	0.45	0.38	0.25	0.30	0.26	0.23	0.15
14	0.43	0.41	0.36	0.24	0.25	0.24	0.21	0.14
28	0.38	0.38	0.34	0.23	0.22	0.22	0.20	0.13
60	0.31	0.34	0.32	0.22	0.18	0.20	0.19	0.12
90	0.27	0.32	0.30	0.21	0.16	0.19	0.18	0.12
混凝土徐变系数终极值 $\phi(t_u, t_0)$								
加载龄期 (d)	40% ≤ RH < 70%				70% ≤ RH < 99%			
	理论厚度 h (mm)				理论厚度 h (mm)			
	100	200	300	≥600	100	200	300	≥600
3	3.78	3.36	3.14	2.79	2.73	2.52	2.39	2.20
7	3.23	2.88	2.68	2.39	2.32	2.15	2.05	1.88
14	2.83	2.51	2.35	2.09	2.04	1.89	1.79	1.65
28	2.48	2.20	2.06	1.83	1.79	1.65	1.58	1.44
60	2.14	1.91	1.78	1.58	1.55	1.43	1.36	1.25
90	1.99	1.76	1.65	1.46	1.44	1.32	1.26	1.15

条文说明

由于机制砂混凝土和机制砂高性能混凝土的收缩应变和徐变系数终极值可按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)表 6.2.7 的规定取值,

其取值和普通混凝土相同。大量室内试验研究表明：机制砂混凝土和机制砂高性能混凝土的收缩徐变均低于同等条件下的河砂混凝土，设计的结构具有更高的可靠度。

7.2 原材料

7.2.1 水泥

1. 水泥应选用质量稳定、强度等级不低于 42.5 级的硅酸盐水泥（P·I、P·II）或普通硅酸盐水泥（P·O），其中的混合材料宜为矿渣、火山灰或粉煤灰；水泥必须和外加剂具有较好的相容性。

2. 为改善混凝土的抗裂性能和耐久性，水泥的技术要求除满足国家标准《通用硅酸盐水泥》（GB 175）的有关规定外，还应满足表 7.2.1 的要求。

表 7.2.1 机制砂高性能混凝土用水泥技术要求

项 目	技术 要求	检 验 标 准
比表面积	$\leq 350\text{m}^2/\text{kg}$	《水泥比表面积测定方法(勃氏法)》(GB/T 8074)
80 μm 方孔筛筛余(%)	≤ 10.0 (普通硅酸盐水泥)	《水泥细度检验方法(筛析法)》(GB/T 1345)
游离氧化钙含量(%)	≤ 1.5	《水泥化学分析方法》(GB/T 176)
碱含量(%)	宜 ≤ 0.60 ，应 ≤ 0.80	
熟料中的 C_3A 含量(%)	≤ 8 ；海水环境下 ≤ 5.0 (强硫酸盐侵蚀环境 ≤ 3.0)	按《水泥化学分析方法》(GB/T 176)检验后计算求得
氯离子含量(%)	对于钢筋混凝土应 $\leq 0.10\%$ ，对于预应力混凝土应 $\leq 0.06\%$	《水泥原料中氯离子的化学分析方法》(JC/T 420)

条文说明

机制砂高性能混凝土用水泥的技术指标参照了《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50—2011）和其他相关的技术规范。 C_3A 水化快，早期水化热高，耐磨性比较差，对减水剂的适应性比较差，高性能混凝土中希望其含量较低，对于常规环境下的高性能混凝土宜不大于 8%。另外 C_3A 通常会和水泥里的石膏形成三硫型水化硫铝酸钙（AFt），但是如果太高则有一部分单硫型水化硫铝酸钙（AFm）存在， C_3A 含量越高，AFm 的量就越大，这部分 AFm 会和海水或盐湖中的硫酸根离子反应转变成 AFt 而导致固相体积的膨胀，对混凝土产生膨胀破坏，因此国外通常要求在海洋环境中使用的水泥 C_3A 含量不高于 5%，在强侵蚀环境下则要求更低。

7.2.2 矿物掺合料

1. 高性能混凝土所用的矿物掺合料可分为粉煤灰、磨细粒化高炉矿渣粉（简称矿渣粉）、硅灰、天然沸石粉以及复合矿物掺合料等。掺合料必须品质稳定、来料均匀、

料源固定。粉煤灰应符合《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T 1596)的规定,磨细粉煤灰应符合《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736)中5.1条的规定;矿渣粉应符合《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046)的规定;硅灰、天然沸石粉应符合《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736)中5.1条的规定;矿物掺合料还应符合《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)中6.15.8条的规定。

2. 粉煤灰(包括磨细粉煤灰)在符合标准规定的基础上,还应符合下列规定:粉煤灰来自燃煤工艺先进的电厂;应采用F类粉煤灰,不得采用C类粉煤灰;宜选用Ⅰ级粉煤灰,如达不到,仅应允许细度、需水量比和烧失量三项指标中有一项为Ⅱ级粉煤灰指标,除此之外,不允许采用其他情况的Ⅱ级粉煤灰和Ⅲ级粉煤灰。

条文说明

由于机制砂高性能混凝土要求粉煤灰具有较高的细度,通常希望是Ⅰ级粉煤灰,但是目前Ⅰ级粉煤灰供应紧张,质量往往不稳定,采用一些质量略差的Ⅱ级粉煤灰,也可以配制性能良好的高性能混凝土,如中央电视台新楼所用的C60自密实混凝土所用的粉煤灰就是Ⅱ级粉煤灰,配制的自密实混凝土性能无论工作性还是强度发展都非常好。

3. 矿渣粉在符合标准规定的基础上,还应符合下列规定:比表面积应 $\geq 350\text{m}^2/\text{kg}$,但过细的矿渣粉也不利于控制水化热温升和防裂,一般宜 $\leq 550\text{m}^2/\text{kg}$;需水量比应 $\leq 100\%$;28d胶砂活性指数应 $\geq 95\%$ 。

4. 硅灰宜用于配制特殊高强或高耐磨、耐久性混凝土,单掺硅灰会增加低水胶比高性能混凝土的自收缩,并不利于降低混凝土温升,在大体积高性能混凝土中应慎用。在采用硅灰时,一般应与其他矿物掺合料复合使用,复合比例应经试验确定。

条文说明

硅灰具有巨大的比表面积,活性高,采用硅灰可以显著提高混凝土强度,为超高强混凝土必不可少的掺合料,但是硅灰提高了混凝土早期水化热和自收缩,采用硅灰与其他矿物掺合料复合,可以克服其水化热过高和自收缩过大的缺点。

5. 使用两种或两种以上的掺合料复合而成的磨细矿物掺合料,其效果通常能明显优于单一矿物掺合料。复合掺合料应有合格的产品标准或经过有关部门鉴定的性能检测证明并附有组成成分和使用说明,不得添加对混凝土有害的成分。为避免增加混凝土的自收缩和温升,复合磨细矿物掺合料也不宜过细。

条文说明

机制砂混凝土中矿物掺合料的选用应和工程相适应,对防裂要求高的混凝土不适应

采用硅灰或磨得过细的矿渣。采用两种以上的矿物掺合料复掺的方法，可以发挥矿物掺合料各自的特性，而且往往具有协同效应，表现出比单掺其中一种掺合料更好的活性或某方面的性能。

7.2.3 机制砂

1. 机制砂宜选用专门机组生产的、质地均匀坚硬、级配合理的中、粗砂，其细度模数宜为 2.6 ~ 3.2。

2. 配制 C50、C55 高性能混凝土应使用 II 级及以上级别机制砂；配制 C60 ~ C80 高性能混凝土应使用 I 级机制砂。

3. 机制砂的其他质量标准应符合本规范 4.2 节的规定。

条文说明

机制砂不适用于生产细度过细的细砂或特细砂，否则成品率低且能耗污染大，大量的试验证明，机制砂的细度模数在 2.6 ~ 3.2 时配制的混凝土具有较好的性能。机制砂中常见的有害成分是混杂黏土，本规范在 4.2.2 中提出了一种粉料质量系数 PQI，在 MB 值高的情况下，粉料含量要低；而 MB 值比较低时，可以含有较高的粉料以保证混凝土较好的工作性。

7.2.4 粗集料

1. 粗集料的生产宜采用冲击式或反击式破碎石机，粗集料应选用质地均匀坚硬、级配合理、粒形良好、线膨胀系数较小的洁净的碎石。

2. 进行粗集料供应料源选择时，应进行岩石的抗压强度检验。岩石的抗压强度与混凝土强度等级之比不应小于 2。施工过程中碎石的强度可用压碎指标控制，碎石的压碎指标不应大于 12%。

3. 进行粗集料料源选择时，还必须对粗集料的碱活性进行检验，应首先采用岩相法检验，若粗集料含有碱—硅酸反应活性矿物，其砂浆棒膨胀率应小于 0.10%。不得采用可能发生碱集料反应的活性粗集料。

4. 配制 C50、C55 混凝土的粗集料最大粒径不宜大于 25mm，配制 C60 ~ C80 混凝土的粗集料最大粒级不宜大于 20mm。5 ~ 20mm 粗集料宜分两级（5 ~ 10mm 和 10 ~ 20mm）、5 ~ 25mm 粗集料宜分两级（5 ~ 16mm 和 16 ~ 25mm）储存、运输、配合、计量。级配范围应符合表 7.2.4-1 的要求。

表 7.2.4-1 粗集料的颗粒级配（累计筛余，%）

连续级配公称 粒径（mm）	方筛孔（mm）						
	2.36	4.75	9.5	16.0	19.0	26.5	31.5
5 ~ 10	95 ~ 100	80 ~ 100	0 ~ 15	0	—	—	—
5 ~ 16	95 ~ 100	85 ~ 100	30 ~ 60	0 ~ 10	0	—	—

续表 7.2.4-1

连续级配公称 粒径 (mm)	方筛孔 (mm)						
	2.36	4.75	9.5	16.0	19.0	26.5	31.5
5~20	95~100	90~100	40~70	—	0~10	0	—
5~25	95~100	90~100	—	30~70	—	0~5	0

注：路面混凝土用粗集料级配应符合《公路水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG F30) 中 3.3.2 条的规定。

条文说明

机制砂高性能混凝土中的粗集料最大粒径不宜过大，良好的级配对混凝土工作性和强度均有明显的改善作用。

5. 粗集料松散堆积密度应大于 $1500\text{kg}/\text{m}^3$ ，紧密空隙率宜小于 40%，吸水率应小于 2%（用于干湿交替或冻融循环下的混凝土应小于 1%）。

6. 粗集料的坚固性用硫酸钠溶液循环浸泡法进行检验，试样经 5 次循环后，其质量损失率对混凝土结构不应超过 8%，对预应力混凝土结构不应超过 5%。

7. 粗集料中的有害物质含量应符合表 7.2.4-2 的规定。

表 7.2.4-2 粗集料的有害物质含量限值 (%)

序号	项目	技术要求
1	针片状颗粒含量 (%)	泵送 ≤ 5 ，非泵送 ≤ 8
2	含泥量 (%)	不应大于 1.0，宜小于 0.8
3	泥块含量 (%)	≤ 0.25
4	硫化物及硫酸盐含量 (折算成 SO_3) (%)	≤ 0.5
5	Cl^- 含量 (%)	≤ 0.02

注：粗集料中如含有颗粒状硫酸盐或硫化物，则应进行混凝土耐久性试验，满足要求时方可使用。

条文说明

机制砂高性能混凝土中的有害物质含量和普通河砂高性能混凝土的有害物质含量相同。

7.2.5 化学外加剂

1. 所采用的外加剂，必须是经过有关部门检验并附有检验合格证的产品，其质量必须符合现行国家标准《混凝土外加剂》(GB/T 8076)、《聚羧酸系高性能减水剂》(JG/T 223) 和《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50) 中 6.4 的规定。外加剂用于机制砂高性能混凝土时还应符合《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119) 的规定。

2. 各种外加剂应有厂商提供的推荐掺量与相应减水率、主要成分（包括复配组分）

的化学名称、氯离子含量、含碱量，以及施工中必要的注意事项，如超量或欠量使用时的有害影响、掺加方法和成功的使用证明等。

3. 机制砂混凝土宜采用减水率不小于 18% 的高效减水剂，并具有保证混凝土 1h 坍落度经时损失不大于 30mm 的能力。C55 及以上机制砂混凝土的配制要求采用低碱、高减水率、保坍效果好、低收缩率比的聚羧酸系高性能减水剂，以降低用水量，增加矿物掺合料掺量，改善混凝土的抗裂性与耐久性。所用聚羧酸系高效减水剂的减水率应在 25% 以上，30min 减水率不应低于 20%。

4. 高效减水剂与水泥之间应有良好的相容性，相容性可采用《水泥与减水剂相容性试验方法》(JC/T 1083) 中净浆流动度法和 Marsh 筒法进行对比试验，以及采用混凝土拌合物性能和力学性能对比试验加以确定，相容性试验结果应满足工程施工的要求。

5. 当混合使用高效减水剂、引气剂、缓凝剂、膨胀剂等外加剂时，应事先专门测定它们之间的相容性。

6. 应采用具有规模合成外加剂母料能力的外加剂生产厂，并根据外加剂化学成分、产品质量及其稳定性，结合使用环境、施工条件，综合技术、经济性比较确定，不得采用仅有复配能力的生产厂生产的外加剂。

7. 外加剂掺量应通过试验确定，并根据使用环境、施工条件、混凝土原材料的变化进行调整。外加剂供应商应提供针对具体工程调整外加剂应用性能的服务。

条文说明

机制砂高性能混凝土由于采用了机制砂和不同的矿物掺合料，与外加剂的适应性变得十分重要，其外加剂特别是第三代外加剂应根据情况做配方调整，保证机制砂混凝土良好的工作性、力学性能与耐久性等。

7.2.6 水

同本规范 6.1.6。

7.3 配合比设计

7.3.1 基本要求

1. 机制砂高性能混凝土配合比设计应符合《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50) 中 6.14 的规定。

2. 机制砂高性能混凝土配合比设计应根据混凝土结构工程的要求，确保其施工要求的工作性以及结构混凝土的强度、抗裂性和耐久性。

3. 机制砂高性能混凝土配合比设计应符合下列规定：混凝土用水量不宜大于 $175\text{kg}/\text{m}^3$ ；胶凝材料总量宜采用 $450 \sim 600\text{kg}/\text{m}^3$ ，其中矿物掺合料最大用量对于硅酸盐水泥不宜大于胶凝材料总量的 40%，对于普通硅酸盐水泥不宜大于胶凝材料总量的

30%；宜采用较低的水胶比，不应大于 0.38；砂率宜采用 37% ~ 45%；混凝土中可溶性碱总含量不宜大于 $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ ；钢筋混凝土中氯离子总含量（包括水泥、矿物掺合料、粗集料、细集料、水、外加剂等所含氯离子含量之和）不应超过胶凝材料总量的 0.15%，预应力混凝土的氯离子总含量不应超过胶凝材料总量的 0.06%。高效减水剂掺量应根据坍落度要求确定。

4. 对抗冻性机制砂高性能混凝土，一般宜采用优质的引气剂或能适量引气的引气型减水剂。当水胶比小于 0.30 时，可不掺引气剂；当水胶比不小于 0.30 时，宜掺入引气剂。高性能混凝土的含气量应根据抗冻等级的要求经试验确定，应达到 4% ~ 5% 的要求。

5. 机制砂高性能混凝土工程配合比应经计算、试配和调整，对设计和施工要求的拌合物性能、力学性能和耐久性能进行试验验证后，方可确定。

条文说明

以上要求为机制砂高性能混凝土的基本要求，和普通细集料制备的高性能混凝土完全相同。

7.3.2 配制强度

机制砂高性能混凝土的配制强度按《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55) 中 3.0.1 节和《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50) 中附录 B 的规定确定。不宜高于设计强度等级的 1.4 倍。

条文说明

机制砂高性能混凝土的配制强度和普通混凝土的配制强度相同，不必因为是高性能混凝土而提出过高的要求，过高的强度不仅会降低其经济性，而且增加了施工的难度，因此本规范规定配制强度不应高于设计强度等级的 1.4 倍。高强混凝土和高性能混凝土考察的侧重点不同，并不是一味增加混凝土强度就能保证其高性能，因此配制高性能混凝土时，不建议提高其配制强度。

7.3.3 配合比设计参数选取

1. 高性能混凝土的强度主要通过水胶比以及选取不同品种和掺量的矿物掺合料进行调节。水胶比宜采用 0.24 ~ 0.38，并随强度等级的提高而降低。在降低水胶比的同时，必须限制硅酸盐水泥用量，不足的粉料量用矿物掺合料补充。通常 C80 混凝土以掺有硅粉的复合矿物掺合料为主，C70 混凝土以掺磨细矿渣为主，C50 ~ C60 混凝土以掺优质粉煤灰为主。

2. 机制砂高性能混凝土配合比设计参数可按表 7.3.3-1，并结合表 7.3.3-2 的规定进行选择。

表 7.3.3-1 配合比设计参数

强度等级	水胶比	胶凝材料用量 (kg/m ³)	砂率 (%)	外加剂掺量 (%)
C50	0.38 ~ 0.32	450 ~ 500	34 ~ 45	试验最佳掺量
C55	0.37 ~ 0.31	470 ~ 520		
C60	0.36 ~ 0.30	490 ~ 530		
C70	0.32 ~ 0.26	510 ~ 550		
C80	0.30 ~ 0.24	540 ~ 580		

- 注：1. 水胶比中的水，应包括液体外加剂中的水。
 2. 泵送混凝土的砂率取值宜略高，非泵送混凝土的砂率取值宜略低。机制砂细度模数越小、级配越好、石粉含量越大，合理砂率越小。在保证混凝土拌合物黏聚性良好的前提下，应尽可能选取较小的砂率，以保证混凝土的弹性模量和干燥收缩。
 3. 外加剂掺量宜根据外加剂品种，结合试验确定的最佳掺量进行选择。
 4. 配制强度等级不低于 C70 的混凝土应添加硅灰。

条文说明

机制砂高性能混凝土中的胶凝材料用量应根据原材料情况设计，不可人为制定统一的最低胶凝材料用量，过高的胶凝材料用量会带来早期的开裂以及耐久性的劣化，而这些劣化在室内试验中难以被检验出来。集料和胶凝材料的优选、集料级配的优化可保证混凝土在较低的胶凝材料用量下达到满意的力学性能和耐久性。在性能保证的前提下降低胶凝材料用量，增加集料特别是粗集料的用量对混凝土结构的服役性能具有显著的增进作用。

3. 不同矿物掺合料的掺量应根据混凝土的性能通过试验确定。一般情况下，高性能混凝土中矿物掺合料占胶凝材料总量的百分率宜按表 7.3.3-2 控制。

表 7.3.3-2 矿物掺合料占胶凝材料用量的百分率

矿物掺合料种类	水泥品种	
	P·II 硅酸盐水泥 (%)	普通硅酸盐水泥 (%)
粉煤灰 (F 类 I 级)	30	20
磨细粒化高炉矿渣粉	≤50	≤40
硅灰*	≤10	≤10
沸石粉	≤10	≤10
复合矿物掺合料	≤50	≤40

注：* 配制 C80 以上超高强混凝土可以适当增加硅灰用量。

4. 需水量很大的矿物掺合料，如硅灰、沸石粉等不适合于单掺，宜与其他矿物掺合料复合使用。如将大掺量粉煤灰（不小于胶凝材料总质量的 30%）与占胶凝材料总质量 5% ~ 10% 的硅粉复合，能明显增强这种混凝土抗氯离子渗透的能力和早期性能。

5. 如果机制砂的石粉含量或细度模数、级配发生变化,应及时进行砂率的调整。原则是,同一配合比用机制砂的细度模数变化范围不宜超过 ± 0.2 ,石粉含量变化范围不宜超过 $\pm 2.0\%$,否则应对配合比中的砂率进行调整。

6. 在采用假定密度法进行配合比设计计算时,机制砂高性能混凝土的假定容重应控制在 $2500 \pm 20\text{kg/m}^3$,比相应的天然砂高性能混凝土高 $20 \sim 40\text{kg/m}^3$ 。

7. 机制砂配制预应力混凝土时,应考虑机制砂及所含石粉对混凝土弹性模量、徐变和收缩值的影响。

条文说明

机制砂高性能混凝土的原材料质量应均衡稳定,机制砂的细度模数和粉料 MB 值以及石粉含量应保持稳定,混凝土的配合比才不至于要经常调整,混凝土的质量才能均衡稳定。随意增加机制砂的粉料含量或 MB 值会导致徐变和收缩的变化,影响混凝土结构的质量。

表 7.3.3-2 为工程实践经验,矿物掺合料用量在此范围取值可保证良好的技术经济性。

7.3.4 配合比计算、试配和调整

机制砂高性能混凝土配合比应按下列步骤计算(以干燥状态集料为基准;矿物掺合料和外加剂的掺量均以胶凝材料总量百分率计)、试配和调整。

1. 核对供应商提供的水泥熟料的化学成分和矿物组成、混合材种类和数量等资料,并根据设计要求,初步选定混凝土的水泥、矿物掺合料、集料、外加剂、拌合水的品种以及水胶比、胶凝材料总用量、矿物掺合料和外加剂的掺量。

2. 参照《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55)的规定计算单方混凝土中各原材料组分用量,并核算单方混凝土的总碱含量和氯离子含量是否满足 7.3.1 条要求。如不满足,应重新选择原材料或调整计算配合比,直至满足要求为止。

3. 采用工程中实际使用的原材料和搅拌方法,通过适当调整混凝土外加剂用量或砂率,调配出坍落度、含气量、泌水率符合要求的混凝土配合比。试拌时,每盘混凝土的最小搅拌量应在 25L 及以上。该配合比作为基准配合比。

4. 改变基准配合比的水胶比、胶凝材料用量、矿物掺合料掺量、外加剂掺量或砂率等参数,调配出拌合物性能与要求值基本接近的配合比 3~5 个。拌合物性能主要包括坍落度、扩展度、坍落度经时损失、凝结时间、抗离析泌水等,试验方法应按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30)和《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》(GB/T 50080)的规定执行。

5. 按要求对上述不同配合比混凝土制作力学性能和抗裂性能对比试样,养护至规定龄期时进行试验。其中,抗压强度试件每种配合比宜制作 4 组,标准养护至 3d、7d、28d、56d 时试压,试件的边长应采用 150mm,试验方法按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30)执行。抗裂性对比试验可参照《普通混凝土长期性能和耐久

性能试验方法标准》(GB/T 50082) 中第9章早期抗裂试验进行。条件许可时, 重大工程关键混凝土还宜进行绝热温升试验, 并采用温度—应力试验机评价不同配比混凝土开裂敏感性。

6. 从上述配合比中优选出拌合物性能和抗裂性能优良、抗压强度适宜的一个或多个配合比各成型一组或多组耐久性试件, 按规定养护至规定龄期时进行试验。混凝土抗冻性按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30) 的快冻法进行; 混凝土氯离子扩散系数按《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082) 中第7章快速氯离子迁移系数法(RCM法) 进行; 混凝土电通量、抗硫酸盐侵蚀试验按《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》进行; 混凝土碳化试验按《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082) 中第11章碳化试验进行。氯离子扩散系数和电通量检测56d龄期, 抗硫酸盐侵蚀、抗冻性和碳化试验检测28d龄期。

条文说明

机制砂高性能混凝土主要设计指标是工作性、强度和电通量, 其他指标在设计资料有要求或混凝土服役环境需要时进行。

7. 预应力混凝土还应进行抗压弹性模量、收缩和徐变试验, 按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30) 进行, 测定值应符合设计要求。

8. 根据上述不同配合比对应混凝土拌合物的性能、抗压强度、抗裂性以及耐久性试验结果, 按照工作性能优良、强度和耐久性满足要求、经济合理的原则, 从不同配合比中选择一个最适合的配合比作为理论配合比。

9. 采用工程实际使用的原材料拌和混凝土, 测定混凝土的表观密度。根据实测拌合物的表观密度, 求出校正系数, 对理论配合比进行校正(即以理论配合比中每项材料用量乘以校正系数后获得的配合比作为混凝土配合比)。校正系数按下式计算:

$$\text{校正系数} = \frac{\text{混凝土拌合物实测密度值}}{\text{混凝土拌合物理论密度值}}$$

10. 当混凝土的力学性能或耐久性试验结果不满足设计或施工要求时, 则应重新选择水胶比、胶凝材料用量或矿物掺合料用量, 并按照上述步骤重新试拌和调整混凝土配合比, 直至满足要求为止。为了配合比设计的精确性, 建议采用体积法设计配合比。

11. 当混凝土原材料、施工环境温度等发生较大变化时, 应及时调整混凝土配合比。

12. 结合搅拌站试生产, 对理论配合比进行生产适应性调整, 最终确定施工配合比; 当调整后的水灰比和室内目标水灰比有增加时, 应对其强度进行检测或重新进行配合比设计。

条文说明

机制砂高性能混凝土的配合比设计除了考虑混凝土工作性和设计强度以外,设计时还要考虑弹性模量、收缩徐变、抗裂性、抗渗性等技术指标。配合比要经过多次的调整。目前施工企业的试验室人员比较习惯采用假定密度法,往往会有一些偏差,在密度测试时也可能由于容积桶的变形没有得到及时校正而导致施工时混凝土出现亏方和胀方的问题,因此建议采用体积法进行配合比设计。

高性能混凝土的水胶比对强度和耐久性等有非常大的影响,如施工时不得随意增加水胶比,如果降低水胶比则通常对混凝土力学性能和耐久性有益处,需要增加水胶比必须在试验验证其对强度和耐久性无副作用后方可进行。因此在设计配比下施工达不到要求的工作性时,可以增加减水剂用量或更换减水剂,但不可增加混凝土需水量。如果需要大幅度增加减水剂,应检验该批次减水剂是否合格。

7.3.5 滑模摊铺路面混凝土的配合比设计

1. 路面混凝土工作性要求:滑模摊铺机正常摊铺时,机前混凝土拌合物的最佳工作性及允许范围见表 7.3.5,混凝土拌合物应稳定在最佳工作性范围内,不得超出。应确保混凝土拌合物均匀不离析。

表 7.3.5 混凝土最佳工作性及允许范围

工况状态	坍落度 SL (mm)	摊铺速度 v_t (m/min)
	碎石混凝土*	
最佳范围	30 ~ 40	0.8 ~ 1.5
允许范围	20 ~ 50	0.5 ~ 3
稳定性范围	40 ± 10	正常 1.5 ± 0.5

注:本表的指标适应于碎石或破口卵石混凝土,不适应于天然卵石混凝土。

条文说明

2010年9月,广东冠粤路桥有限公司阳江—阳春高速公路路面 B1 标应用广东省交通运输厅科技项目“机制砂水泥混凝土路面性能与应用技术研究”的研究成果,采用机制砂代替天然河砂铺筑了阳阳高速主线 K23 + 180 ~ K23 + 380 左幅 200m 路面,性能良好。

由于机制砂棱角性大,机制砂中石粉含量较河砂细粉含量多,拌制出的机制砂混凝土黏聚性大,但是在振捣后,仍然可以表现出较好的流动性和可抹面性。如果坍落度过大,反而容易导致离析、泌水等现象,以及混凝土路面的坍边等。因此,相对于河砂而言,机制砂混凝土的最佳工作性按河砂混凝土坍落度降低 10mm、最大允许范围按降低 20mm 进行控制。

采用砾石作为混凝土粗集料在高速公路、一级、二级公路工程中已经很少应用,而且,生产机制砂的区域一般都有碎石生产工艺。虽然在一般的乡村路和西部砾石资源丰

富的省份还有使用的实例，但是一般不采用滑模摊铺工艺。因此，本规范取消了砾石混凝土工作性控制；由于机制砂表面棱角较多，混凝土的振捣密实较河砂混凝土需要更长的时间，因此在摊铺的过程中，摊铺速度较河砂混凝土稍慢一些，以便于充分振捣。

2. 满足耐久性要求的路面机制砂水泥混凝土最大水灰（胶）比：高速公路、一级公路不应大于 0.42；二、三级公路不应大于 0.46。有抗冰冻要求时的高速公路、一级公路不宜大于 0.40，有抗盐冻要求时的高速公路、一级公路不宜大于 0.38，有抗（盐）冻要求的二、三级公路不宜大于 0.42。

条文说明

减水剂特别是高性能减水剂在我国的应用日益广泛，目前滑模摊铺水泥混凝土普遍采用了减水剂。水灰（胶）为 0.4 左右的混凝土在桥涵结构工程中应用已经非常普遍，而且流动度大；路面混凝土流动度小属于硬性混凝土，降低混凝土水胶比已经没有技术上的难题。引入先进混凝土外加剂对提高混凝土的耐久性也有积极作用。因此，本规范对机制砂混凝土的最大水灰（胶）比要求适当降低了 0.02。和所有路面混凝土一样，对于有抗冻性要求的机制砂路面混凝土也应配以引气剂以增强抗冻性。

8 机制砂混凝土的施工与验收

8.1 基本规定

8.1.1 施工前、施工过程中和施工后，都应对混凝土性能进行检验。

8.1.2 机制砂高性能混凝土生产和施工的质量控制，除了符合本规范要求外，还应符合《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)和《混凝土质量控制标准》(GB 50164)的有关规定。

8.1.3 公路水泥混凝土路面施工应符合《公路水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG/T F30)的规定。

8.1.4 机制砂混凝土的拌制、运输、浇筑、振捣、养护等施工要求与天然砂混凝土施工基本相同，但受机制砂特点和机制砂混凝土性能特性的影响，有其特殊之处。

8.1.5 机制砂高性能混凝土施工应制定严密的施工技术方案，并采取以下关键措施重点保证质量：外加剂的引气量；结构表层混凝土的振捣密实与均匀性；混凝土的养护制度和时间；混凝土保护层厚度或钢筋定位的准确性；混凝土裂缝控制等。

8.2 原材料管理

8.2.1 原材料应按本规范 6.1 节、7.2 节的质量要求采用。宜在相对固定、具有一定规模的供应网点采购。原材料入场前，应提供型式检验报告和批量出厂检验报告。原材料入场后，应经材料管理人员和质量管理人员取样检验合格，并办理交验手续后方可使用。在工程进行过程中，应实施原材料质量抽检。

8.2.2 各种原材料应有固定的堆放地点和明确的标识，标明材料名称、品种、生产厂家、生产（或进场）日期。原材料堆放时应有堆放分界标识，以免误用。

8.2.3 混凝土用水泥、矿物掺合料等宜采用散料仓分别存储。袋装粉状材料在运输和存放期间应用专用库房存放，不得露天堆放，且应特别注意防潮。

8.2.4 外加剂进场前要做好质量检验，不同品种的外加剂应在专用仓库或固定场所妥善保管，分别存储，并应做好标记，粉状减水剂应注意防潮，液体减水剂应注意防止沉淀和分层。

8.2.5 集料堆场应事先进行硬化处理，并设置必要的排水设施。混凝土用集料，在运输或工地贮存时，应使其不受污染。如果集料有离析时，必须重新拌和，以符合规定的级配要求。当混凝土采用多级粗集料时，粗集料应实行分级采购、分级运输、分级堆放、分级计量。粗、细集料使用时，应准确测定因天气变化引起砂、粗集料含水率的变化。

8.2.6 机制砂进场时，应按机制砂出厂检验同等批量进行进场复检并进行分级评定。复检的项目包括：颗粒级配、细度模数、泥块含量、石粉含量（含亚甲蓝试验）、松散堆积密度、压碎指标。并应采取措施保证机制砂的质量稳定，并加强机制砂的颗粒级配、细度模数、石粉含量（含亚甲蓝试验）的经常性检测。不同来源的机制砂应分别堆放，同一来源的机制砂的细度模数变化范围不应超过 ± 0.2 ，石粉含量变化范围不应超过 $\pm 2.0\%$ 。否则，应分别堆放，使用时应对混凝土砂率进行调整和验证。

8.3 混凝土搅拌

8.3.1 原材料的计量应采用电子计量设备，其精度应符合现行的国家标准《混凝土搅拌站（楼）》（GB/T 10171）的规定。每一工作开始前，应对计量设备进行校准。

条文说明

混凝土拌合设备计量在出现异常时应随时校核，保证计量的稳定性。

8.3.2 机制砂混凝土宜采用双卧轴强制式搅拌机拌制，不得使用自落式搅拌机，搅拌时间应比天然砂混凝土延长 10% ~ 20%，机制砂高强、高性能混凝土可取 20%。

表 8.3.2 原材料的计量允许误差（按质量百分比计，%）

原材料品种	水泥	集料	水	外加剂	掺合料
现场拌制	± 2	± 3	± 1	± 1	± 2
预制场或几种搅拌站拌制	± 1	± 2	± 1	± 1	± 1

条文说明

机制砂高性能混凝土对设备的要求和天然砂高性能混凝土对设备的要求相同。

8.3.3 混凝土施工前，应采用现场原材料对配合比进行复盘，以验证现场原材料的质量稳定性。搅拌混凝土前，应严格测定粗、细集料的含水率，准确测定因天气变化引

起的粗细集料含水率的变化,以便及时调整施工配合比。一般情况下,含水率每班宜抽测2次,雨天应随时抽测,并按测定结果及时调整混凝土施工配合比。

条文说明

水洗机制砂中含水率的波动较大,干法生产的机制砂的离析比较严重,因此原材料特别是对机制砂质量进行经常性的抽检十分必要。

8.3.4 化学外加剂可采用粉剂和液体外加剂,当采用液体外加剂时,应从混凝土用水量中扣除溶液中的水量;当采用粉剂时,应适当延长搅拌时间,一般不少于30s。

8.3.5 拌制第一盘混凝土时,可增加水泥和砂子用量10%,或减少粗集料用量1/4,并保持水胶比不变,以便搅拌机挂浆。在下盘材料装料前,搅拌机内的拌合料应全部卸清。搅拌设备停用超过30min时,应将搅拌筒彻底清洗后才能重新拌和混凝土。

8.3.6 高强、高性能机制砂混凝土原材料的投料顺序宜为:粗集料、细集料、水泥、矿物掺合料投入(搅拌约30s)→加拌合水(搅拌约30s)→加入减水剂(搅拌约60s)→出料。当采用其他投料顺序时,应经试验确定其搅拌时间,保证拌和均匀。

8.3.7 冬季施工时,应保证混凝土拌合物入模温度不低于5℃。炎热夏季施工时,可采取在集料堆场搭设遮阳棚、采用低温水搅拌混凝土或采用冰屑部分代替水或在晚间搅拌混凝土等措施,保证混凝土入模温度不高于30℃。

8.3.8 机制砂混凝土拌和过程中,应密切观察出机混凝土的拌和质量,适当加大坍落度、扩展度的检测频率。

条文说明

机制砂混凝土的拌和与普通砂混凝土的拌和大多相同,由于机制砂粉料含量大,棱角性强,可适当增加其拌和时间,通常要增加拌和时间15~30s。

8.4 混凝土运输

8.4.1 混凝土运输设备的运输能力应适应混凝土凝结速度和浇筑速度的需要,保证浇筑过程连续进行。不得采用机动翻斗车、手推车等工具长距离运送机制砂高性能混凝土。

8.4.2 应保持运输混凝土的道路平坦畅通,并加强调度,减少运输时间,保证混凝

土在运输过程中保持均匀性，运到浇筑地点时不分层、不离析、不漏浆，并具有要求的坍落度和含气量等工作性能。

8.4.3 应尽量减少混凝土的转载次数和运输时间，普通机制砂混凝土运输时间宜符合表 8.4.3 的规定；在温度超过 30℃ 或运输时间长于 90min 的情况下，应采用具有缓凝或保坍作用的外加剂。

表 8.4.3 混凝土拌合物运输时间限值 (min)

气温 T (°C)	无搅拌运输车	有搅拌运输车
$20 < T \leq 30$	30	60
$10 < T \leq 20$	45	75
$5 \leq T \leq 10$	60	90

- 注：1. 本表适用于初凝时间大于上述列表运输时间的加浇筑时间的普通混凝土。
 2. 掺用外加剂或采用快硬水泥板指的混凝土时，应通过实验查明所配制的混凝土的凝结时间后，确定运输时间限制。
 3. 列表时间是指从加水拌和至入模时间。

条文说明

运输时间对混凝土的施工尤为重要，到场混凝土的间隔时间过长，坍落度会有损失，混凝土浇筑时的均质性和和易性都会有较大变化，严格控制此时间，也应避免入模延误后施工工地再次加水影响混凝土工程质量。

8.4.4 机制砂高性能混凝土应使用搅拌罐车运送，搅拌罐车装料前应将筒内的积水或黏附的混凝土清除干净。运输或暂存混凝土的容器内壁应平整光滑、不渗漏、不吸水，每次卸料后容器内不得留有剩余的混凝土。每天工作结束后或浇筑中断 30min 及以上应将残存混凝土清理干净。

8.4.5 采用混凝土搅拌罐车运送已搅拌好的混凝土时，运输过程中以 2 ~ 4r/min 的转速搅动。当搅拌罐车到达浇筑现场时，应高速旋转 20 ~ 30s 后再将混凝土拌合物喂入泵车受料斗或混凝土料斗中。当运至现场的混凝土发生离析时，应在浇筑前对混凝土进行二次搅拌。

8.4.6 为避免日晒、雨淋和寒冷气候对混凝土质量的影响，防止局部混凝土温度升高（夏季）或受冻（冬季），必要时应将运输混凝土的容器加上遮盖物或保温隔热材料。

8.4.7 采用混凝土泵输送混凝土时，除应按《泵送混凝土施工技术规程》(JGJ/T 10) 规定进行施工外，还应符合下列规定：

1. 在满足泵送工艺和密实浇筑要求的前提下, 泵送混凝土的坍落度应尽量小, 以免混凝土在振捣过程中产生离析和泌水。

2. 混凝土泵的位置应靠近浇筑地点。一般情况下, 泵送下料口应能移动; 当泵送下料口固定时, 固定的间距不宜过大, 一般不大于 3m。不得用插入式振捣棒平拖混凝土或将下料口处堆积的混凝土推向远处。

3. 配置输送管时, 应缩短管线长度, 少用弯头。输送管应平顺, 内壁光滑, 接口不得漏浆。

4. 泵送混凝土时, 输送管路起始水平管段长度不应小于 15m。除出口处可采用软管外, 输送管路的其它部位均不得采用软管。输送管路用支架、吊具等加以固定, 不应与模板和钢筋接触。

5. 大高程泵送时, 在水平管与垂直管之间, 应选用曲率半径大的弯管过渡; 向下泵送混凝土时, 管路与垂线的夹角不宜小于 12° , 以防止混入空气引起管路阻塞。

6. 混凝土应保持连续泵送, 必要时可降低泵送速度以维持泵送的连续性。因各种原因导致停泵时间超过 15min, 应每隔 4~5min 开泵一次, 使泵机进行正转和反转两个冲程, 同时开动料斗搅拌器, 防止料斗中混凝土离析。如停泵时间超过 45min, 或混凝土出现离析现象时, 应将管中混凝土用压力水或其他方法清除, 并清洗泵机。

7. 冬期施工时, 应对输送管采取保温隔热材料覆盖。夏期施工时, 应采用湿草帘或湿麻袋覆盖降温或涂成白色。

8.4.8 当到场混凝土坍落度损失较大不能满足施工要求时, 严禁向混凝土内添加计量外用水, 应在专职技术人员的指导下, 在卸料前加入减水剂并拌和均匀, 并应对加减水剂的情况做好记录。如采用罐车, 加入后应采用高速旋转搅拌罐搅拌 90s。

条文说明

机制砂混凝土的泌水作用较强, 保持其合理的坍落度可改善抗离析性能, 保证相同的输送性能不必要达到与河砂混凝土相同的坍落度。坍落度损失应通过外加剂调整和试验室的配比优选控制在 30mm/h, 杜绝用随意加水的方式提高坍落度。

8.5 混凝土浇筑

8.5.1 应针对设计要求、工程特点、施工工艺、施工环境和施工条件等实际情况, 事先设计浇筑方案, 包括浇筑起点、浇筑顺序、降温防裂措施、浇筑厚度、保护层的控制和养护方案等。

8.5.2 混凝土浇筑时的自由倾落高度不得大于 2m; 当大于 2m 时, 应采用串筒、溜槽、导管等设施辅助下落, 串筒出料口距混凝土浇筑面的高度不宜超过 1m, 以保证混凝土不出现分层离析现象。

8.5.3 机制砂水泥混凝土应采用分层连续推移的方式进行浇筑，其分层厚度（一次浇筑捣实后的厚度）不宜超过表 8.5.3 的规定。上下层同一位置浇筑的间隔时间不宜超过 90min，不得出现冷缝和随意留置施工缝。

表 8.5.3 混凝土分层浇筑厚度

振捣方式		浇筑层厚度 (mm)
采用插入式振捣器		300
采用附着式振捣器		300
采用表面振捣器	无配筋或配筋稀疏时	250
	配筋较密时	150

条文说明

机制砂混凝土通常离析泌水倾向比较强，严格的分层浇筑对混凝土结构的均质性以及外观十分重要，切不可用振捣棒赶料的方式浇筑机制砂混凝土。另外机制砂混凝土的起浆快，避免欠振和漏振的同时更要防止过振而带来的分层离析。

8.5.4 在炎热气候下浇筑混凝土，混凝土入模的温度不应高于 35℃，宜尽可能安排在傍晚或夜间浇筑而避开炎热的白天，也不宜在早上浇筑以免气温升高加剧混凝土内部温升。当现场温度超过 35℃ 时，宜对金属模板进行浇水降温，并不得留有积水，并可采取遮挡避免阳光照射金属模板。

8.5.5 在相对湿度较小、风速较大的环境条件下，可采取场地喷水、喷雾、挡风等措施防止混凝土表面的过快失水，此时应避免浇筑有较大暴露面积的构件。

8.5.6 在低温条件下（当昼夜平均气温低于 5℃ 或最低气温低于 -3℃ 时）浇筑混凝土时，应按冬期施工处理，混凝土的入模温度不应低于 5℃，并采取适当的保温防冻措施，防止混凝土提前受冻。

8.5.7 浇筑重要工程的混凝土时，应定时测定混凝土温度以及环境气温、相对湿度、风速等参数，并根据环境参数变化及时调整养护方式。

8.5.8 当风速大于 5m/s 时，机制砂混凝土的浇筑宜采取挡风措施。

条文说明

机制砂混凝土水分蒸发速率通常高于天然砂混凝土，机制砂混凝土在大风干燥环境中蒸发更快，影响混凝土强度发展，加剧干燥收缩，在浇筑过程中应采取有效措施降低混凝土温度并防风。

8.5.9 浇筑大体积混凝土结构（或构件最小断面尺寸在800mm以上的结构）时，应在一天中气温较低时进行，混凝土的浇筑温度不宜高于28℃，并应参照下述方法进行温控防裂：

1. 改善集料级配，采用水化热较低的中热水泥、低热水泥、矿渣水泥、粉煤灰水泥，并掺加粉煤灰、矿渣粉等矿物掺合料、掺加缓凝高效减水剂等方法减少水泥用量和用水量，降低水胶比，达到降低水化热、延缓温峰出现时间、提高混凝土整体性能的目的。

2. 尽量减少浇筑层厚度，以便加快混凝土散热速度。

3. 在炎热季节浇筑大体积混凝土时，宜将混凝土原材料进行遮盖，避免日光暴晒，并用冷却水搅拌混凝土，或采用冷却集料、搅拌时加冰屑等方法降低混凝土入仓温度。

4. 在混凝土内埋设冷却管通水冷却，降低内部最高温度。

5. 在遇气温骤降的天气或寒冷季节浇筑大体积混凝土，应注意覆盖保温，加强养护。

8.5.10 预应力混凝土预制梁应采用快速、稳定、连续、可靠的浇筑方式一次浇筑成型。每片梁的浇筑时间不宜超过6h，最长不超过混凝土的初凝时间。

8.5.11 新浇筑混凝土与凝结的已硬化混凝土或岩土介质间的温差不得大于15℃。

8.5.12 在混凝土浇筑过程中，应控制混凝土的均匀性和密实性，不应出现露筋、空洞、冷缝、夹渣、松散等现象，特别是构件棱角处。应采取有效措施，使接缝严密，防止在混凝土振捣过程中出现漏浆。对混凝土表面操作应仔细周到，以使混凝土表面光滑、无水囊、气囊或蜂窝。

条文说明

以上8.5.5~8.5.8款与普通混凝土的施工要求相同。

8.5.13 采用滑模摊铺机摊铺路面混凝土时，布料机与滑模摊铺机之间的施工距离应控制在4~8m。热天，日照强，风大，取小值；阴天，湿度大，无风，可取大值；应避免混凝土出现风干现象。

条文说明

机制砂混凝土相对于河砂混凝土，泌水较快，出现风干现象，说明混凝土已经失水较多，在工作性、均匀性方面难以保障。因此，本规范将布料机与滑模摊铺机之间的施工距离适当缩短，控制在4~8m。

8.5.14 滑模摊铺机应缓慢、匀速、连续不间断地摊铺。

8.5.15 根据拌合物稠度和设备性能，滑模摊铺速度可控制在 $0.8 \sim 1.5\text{m}/\text{min}$ ，一般宜为 $1\text{m}/\text{min}$ 左右。当料的稠度发生变化时，先调振捣频率，后改变摊铺速度，不得料多时追赶，然后随意停机等待，间歇摊铺。

8.6 混凝土振捣与整形

8.6.1 根据不同情况，可采用插入式振动棒、附着式平板振捣器、表面平板振捣器等振捣设备振捣混凝土。振捣时应避免碰撞模板、钢筋及预埋件。机制砂高性能混凝土的振捣宜采用插入式高频振捣器垂直点振。

8.6.2 应按事先规定的工艺路线和方式及时将入模的混凝土均匀振捣密实，每一振点的振捣持续时间宜为 $20 \sim 30\text{s}$ ，以混凝土不再沉落、不冒气泡、表面平坦浮浆为度，防止过振、漏振。掺矿物掺合料混凝土振捣时，振捣后的混凝土表面不应出现明显的掺合料浮浆层。机制砂混凝土比同坍落度的天然砂混凝土易于液化离析，特别要避免过振。

条文说明

混凝土振实过程以混凝土表面提浆和不再出现气泡，不再沉落为宜，并避免混凝土表面出现过多浮浆。欠振则气泡未充分排出，达不到好的密实程度；过振则粗集料沉底，离析浮浆而导致结构的不均匀。机制砂混凝土通常起浆快，避免过振尤其重要；另外由于第三代减水剂的使用，一些消泡作用不良的外加剂制备的混凝土往往给混凝土中带来过多的气泡，难以在合理的时间内充分排出，需要对外加剂的成分进行调整，不可盲目延长振捣时间而导致离析浮浆。插入振捣器应快进慢出，抽出速度不宜大于 $80\text{m}/\text{s}$ ，方能保证振捣器留下的孔隙能完全弥合而不至于截留空气。如需复振，应在以一次振捣后 $15 \sim 20\text{min}$ 时间内进行为宜，复振可提高混凝土密实度，尽量减少水泡、气泡和塑性收缩裂缝。

8.6.3 采用插入式振捣器振捣混凝土时，宜采用垂直点振方式振捣。插入式振捣器的移动间距不宜大于振捣器作用半径的 1.5 倍，且插入下层混凝土内的深度宜为 $50 \sim 100\text{mm}$ ，与侧模应保持 $50 \sim 100\text{mm}$ 的距离。当混凝土较黏稠时，应加密振点。当振动完毕需变换振捣棒在混凝土拌合物中的水平位置时，应边振捣边竖向缓慢提出振捣棒，以免产生空洞，然后再将振捣棒移至新的位置，不得将振捣棒放在拌合物内平拖，也不得用振捣棒驱赶下料口处堆积的混凝土拌合物，以免引起混凝土离析。

8.6.4 预应力混凝土梁宜采用附壁式振捣器侧振并辅以插入式振捣器振捣的方式

振捣。

8.6.5 在振捣混凝土过程中，应加强检查模板支撑的稳定性和接缝的密合情况，以防漏浆。

8.6.6 混凝土的浇筑宜连续浇筑，因故中断或间歇时，其间歇时间应小于前层混凝土的初凝时间或能重塑的时间。混凝土的运输、浇筑及间歇的全部时间不宜超出表 8.6.6 的规定；当超出时应按浇筑中断处理，并应留置施工缝，同时应记录。

表 8.6.6 混凝土的运输、浇筑及间歇的全部允许时间 (min)

混凝土强度等级	气温 $\leq 25^{\circ}\text{C}$	气温 $> 25^{\circ}\text{C}$
$\leq \text{C30}$	210	180
$> \text{C30}$	180	150
泵送高强混凝土	150	120
非泵送高强混凝土 (现场施工)	120	90
非泵送高强混凝土 (制品厂)	60	45

条文说明

参照《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50—2011)，其中高强混凝土参考《高强混凝土应用技术规程》(JGJ/T 281—2012)。从搅拌机卸出混凝土到混凝土浇筑完毕的延续时间以不影响混凝土的各项性能为限，混凝土从加水拌和到入模的最长时间，应由试验室根据水泥初凝时间及施工气温确定。

8.6.7 混凝土浇筑完成后，应仔细将混凝土暴露面压实抹平，抹面时严禁洒水。对掺矿物掺合料混凝土进行抹面时，应至少进行两次搓压，必要时可增加搓压次数。最后一次搓压应在泌浆结束、初凝前完成。对混凝土的沉降及塑性干缩产生的表面裂缝，应及时采取二次收光处理。

条文说明

机制砂混凝土早期塑性收缩比较大，在终凝前采用机械抹面和人工多次抹压可保证混凝土外观质量，抹压完成后及时采取保湿措施避免干缩开裂。

8.6.8 施工缝的位置应在混凝土浇筑之前确定，且宜留在结构受剪力和弯矩较小并便于施工的部位，施工缝应设置成水平或垂直面。对施工缝的处理应符合下列规定：

1. 处理层混凝土表面的松弱层应予以凿除。对于处理层混凝土的强度，当采用水冲洗凿毛时，应达到 0.5MPa；人工凿毛应达到 2.5MPa；采用风动机凿毛时，应达到 10MPa。

2. 经过凿毛处理的混凝土表面，应采用洁净水冲洗干净。

3. 重要部位及有抗震要求的混凝土结构或钢筋稀疏处的钢筋混凝土结构，宜在施工缝处补插锚固钢筋；有抗渗要求的混凝土，其施工缝处宜做成凹形、凸形或设置止水带；施工缝为斜面时宜浇筑或凿成台阶状。

8.6.9 浇筑混凝土期间应随时检查支架、模板、钢筋、预应力管道和预埋件等的稳固情况，并及时填写混凝土施工记录。新浇筑混凝土的强度达到 2.5MPa 之前，不得使其承受行人、运输工具、模板、支架及脚手架等荷载。

条文说明

参照《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50—2011) 6.11.6 和 6.11.7 的规定。

8.6.10 滑模摊铺路面混凝土时，在施工过程中应严格控制摊铺的平整度，摊铺后不宜进行人工抹面、修整，摊铺过程中宜直接采用软拉方式制作表面构造，软拉抗滑构造表面砂浆层厚度宜控制在 4mm，硬刻槽路面的砂浆表层厚度宜控制在 2mm 左右。

条文说明

一般情况下，摊铺完成后需要在抹平器抹平后的路面上再进行人工抹面，对局部进行修整。而机制砂混凝土路面则不建议应用这道工序。因为机制砂混凝土泌水快，若进行人工抹面，则人工抹面形成的灰浆薄层阻碍了机制砂混凝土水分的泌出，容易在混凝土表面和灰浆薄层之间形成水层，导致混凝土表面水灰比过大，影响到表面的强度和耐磨性。

8.7 混凝土养护

8.7.1 混凝土振捣完成初步刮平后，应及时对混凝土暴露面进行紧密覆盖（可采用棚布、塑料布等进行覆盖），防止表面水分蒸发。待暴露面混凝土初凝前，应掀起覆盖物，用抹子搓压表面至少两遍进行终饰，使之平整后再次覆盖。此时应注意覆盖物不要直接接触混凝土表面，终凝后撤除薄膜并立即进行水养护或潮湿养护阶段。对于施工大面积暴露构件时（如箱梁、T 梁顶板、翼板）尤要注意。

8.7.2 混凝土带模养护期间，可采取包裹、浇水、喷淋洒水等措施进行保湿养护。

8.7.3 混凝土去除表面覆盖物或拆模后，应及时对混凝土采用蓄水、浇水或覆盖洒水等措施进行潮湿养护，覆盖物可选用粗麻布、棉毡、土工布等。包覆期间，包覆物应完好无损，彼此搭接完整（搭接长度应不小于 15cm）并相互紧贴，内表面应具有

凝结水珠。

8.7.4 混凝土采用喷涂养护剂养护时，采用的养护剂及其应用应符合有关标准要求，并保证不漏喷。

8.7.5 混凝土终凝后的持续养护时间宜满足表 8.7.5 的要求。机制砂特别是高石粉含量的机制砂混凝土比天然砂混凝土在施工早期更易发生塑性收缩和干燥收缩开裂，尤要注意加强早期的及时养护并适当延长养护时间 2~3d。

表 8.7.5 不同混凝土湿养护的最低期限

混凝土类型	水胶比	大气潮湿 (RH≥50%)，无风， 无阳光直射		大气干燥 (RH<50%)，有风， 或阳光直射	
		日平均气温 T (°C)	潮湿养护期限 (d)	日平均气温 T (°C)	潮湿养护期限 (d)
胶凝材料中掺有 矿物掺合料	≥0.45	$5 \leq T < 10$	21	$5 \leq T < 10$	28
		$10 \leq T < 20$	14	$10 \leq T < 20$	21
		$T \geq 20$	10	$T \geq 20$	14
	<0.45	$5 \leq T < 10$	14	$5 \leq T < 10$	21
		$10 \leq T < 20$	10	$10 \leq T < 20$	14
		$T \geq 20$	7	$T \geq 20$	10
胶凝材料中未掺 矿物掺合料	≥0.45	$5 \leq T < 10$	14	$5 \leq T < 10$	21
		$10 \leq T < 20$	10	$10 \leq T < 20$	14
		$T \geq 20$	7	$T \geq 20$	10
	<0.45	$5 \leq T < 10$	10	$5 \leq T < 10$	14
		$10 \leq T < 20$	7	$10 \leq T < 20$	10
		$T \geq 20$	7	$T \geq 20$	7

注：大体积混凝土的养护时间不宜短于 28d。

8.7.6 在任意养护时间，淋洒于混凝土表面的养护水温度低于混凝土表面温度时，二者间温差不得大于 15°C。当气温低于 +5°C 时，应覆盖保温，不得洒水养护。在混凝土发热阶段最好采用喷雾养护，避免混凝土表面温度产生骤然变化。

8.7.7 当高性能混凝土中胶凝材料用量较大时，应采取覆盖保温养护措施。保温养护期间应控制混凝土内部温度不超过 75°C，内部与表层、表层与环境之间的温差不得超过 25°C（预应力箱梁和截面较为复杂时，不宜超过 20°C）。当周围大气温度低于养护中混凝土表面温度超过 20°C，混凝土表面必须保温覆盖以降低降温速率。可通过控制入模温度控制混凝土内部最高温度，可通过保湿蓄热养护控制内表温差；还应防止混凝土表面温度受环境因素影响（如暴晒、气温骤降等）而发生剧烈变化。大体积混凝土施工前应制定严格的养护方案，控制混凝土内外温差满足温控设计要求。

8.7.8 混凝土在冬季和炎热季节拆模后，若天气产生骤然变化时，应采用适当的保温（冬季）隔热（夏季）措施，防止混凝土产生过大的温差应力。

8.7.9 当昼夜平均气温低于 5°C 或最低气温低于 -3°C 时，应按冬季施工处理。当环境温度低于 5°C 时，禁止对混凝土表面进行洒水养护。此时可在混凝土表面喷涂养护液或覆盖薄膜防止水分蒸发，并采取适当保温措施。

8.7.10 对于混凝土构件的蒸汽养护，可分静停、升温、恒温、降温四个阶段。静停期间应保持环境温度不低于 5°C ，浇筑结束 $4\sim 6\text{h}$ 且混凝土终凝后方可升温；升温速度不宜大于 $10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ；恒温期间混凝土内部温度不宜超过 60°C ，最大不得超过 65°C ，恒温养护时间应根据构件脱模强度要求、混凝土配合比情况以及环境条件等通过试验确定；降温速度不宜大于 $10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

8.7.11 对于大体积混凝土的施工应采取温度控制措施，施工前应根据原材料、配合比、环境条件、施工方案等因素，进行温控设计和温控监测设计，应使其内部最高温度不大于 75°C 、内表温差不大于 25°C 。混凝土养护水温与混凝土表面温度的差值应不大于 15°C 。

8.7.12 大体积混凝土采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥时，其浇筑后的养护时间不宜少于 14d ，采用其他品种水泥时不宜小于 21d 。在寒冷的天气或遇气温骤降天气时浇筑的混凝土，除应对其外部加强覆盖保温外，尚宜适当延长养生时间。

8.7.13 掺用膨胀剂的机制砂混凝土，应采取保湿措施养护、养护龄期应不小于 14d 。冬季施工时，对于墙体，带膜养护应不小于 7d 。

8.7.14 机制砂混凝土养护用水应符合6.1.6的要求。

8.7.15 混凝土养护期间，施工和监理单位应各自对混凝土的养护过程做详细记录，并建立严格的岗位责任制。

8.7.16 机制砂水泥混凝土路面应及时采用覆盖养生或喷洒养生剂。当混凝土泌水较多时，应延迟喷洒养生剂的时间，待泌水基本结束后再喷洒养生剂。喷洒养生剂的厚度应足以形成完全封闭的薄膜；喷洒应均匀，成膜厚度应一致；喷洒后的表面不得有颜色差异；喷洒时间宜在表面混凝土泌水完毕后进行；喷洒高度宜控制在 $0.5\sim 1\text{m}$ 。除喷洒上表面外，面板两侧也应喷洒。单独采用一种养生剂养生时，保水率应达到 90% 以上，一般不应小于 $300\text{mL}/\text{m}^2$ 原液，也可采用两种养生剂喷洒两层或喷一层养生剂再加覆盖。

8.8 混凝土拆模

8.8.1 混凝土拆模时的强度应符合《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50) 以及有关标准的规定。

8.8.2 混凝土拆模时的强度应符合设计要求。当设计未提出要求时, 应符合下列规定:

1. 侧模应在混凝土强度达到 2.5MPa 以上, 且其表面及棱角不因拆模而受损时, 方可拆模。
2. 底模应在混凝土强度符合表 8.8.2 的规定后, 方可拆除。
3. 芯模或预留孔洞的内模应在混凝土强度能保证构件表面不发生塌陷和裂缝时, 方可拆除。

表 8.8.2 拆除底模时所需混凝土强度结构类型

构件类型	结构跨度 (m)	达到混凝土设计强度的百分数 (%)
板、拱	≤2	50
	2~8	75
	>8	100
梁	≤8	75
	>8	100
悬臂梁 (板)	≤2	75
	>2	100

条文说明

与其他细集料制备的混凝土一样, 机制砂混凝土拆模时混凝土结构的表面、棱角和内部结构不应被损伤。遵照《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204—2015) 的相关规定执行, 拆底模时的强度参照同条件养护试件的强度。

8.8.3 混凝土的拆模时间还应考虑到拆模时的混凝土温度 (由水泥水化热引起) 不能过高, 以免混凝土接触空气时降温过快而开裂, 更不能在此时浇注凉水养护。混凝土内部开始降温以前以及混凝土内部温度最高时不得拆模, 以避免其接触空气时降温过快而开裂。

拆模时, 结构或构件内部混凝土与表层混凝土之间的温差、表层混凝土与环境之间的温差均不应大于 20℃ (预应力箱梁和截面较为复杂时, 温差不应大于 15℃)。大风或气温急剧变化时不宜拆模。在寒冷季节, 若环境温度低于 0℃ 时不宜拆模。在炎热和大风干燥季节, 应采取逐段拆模, 边拆边盖的拆模工艺。

条文说明

避免因风速和温度变化造成混凝土温度应力过大而危害混凝土结构。

8.8.4 混凝土拆模后可能与流动水接触时，应在混凝土与流动水接触前养护至少14d，且采取有效保温保湿养护措施，确保混凝土的强度达到75%以上的设计强度后，方能与流动水接触。

条文说明

避免因流水造成混凝土表面冲刷或留下水渍等影响质量。

8.9 混凝土工程质量验收

8.9.1 公路机制砂水泥混凝土桥涵工程质量检验与评定应按《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)及《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1)的有关规定执行。

8.9.2 公路机制砂水泥混凝土隧道工程质量检验与评定应按《公路隧道施工技术规范》(JTG/T F60)及《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1)的有关规定执行。

8.9.3 公路机制砂水泥混凝土路面工程质量检验与评定应《公路水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG F30)及《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1)的有关规定执行。

8.9.4 机制砂混凝土工程在竣工验收时，还应符合混凝土的收缩、徐变等长期性能和耐久性能的相关规定。

条文说明

本规范应用于公路工程，其检验以交通部相关规范和标准为准。如应用于其他领域，机制砂混凝土工程施工质量验收应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204—2015)的规定。

本规范的用词说明

1. 为便于在执行本规范条文时把握条文的严格程度，对要求严格程度的用词说明如下：

(1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词是“必须”，反面词采用“严禁”。

(2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词是“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

(3) 表示容许稍有选择，在条件许可的条件下首先应该这样做的：

正面词是“宜”，反面词采用“不宜”。

(4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

(5) 对于本规范首次提出的一些指标和参数要求，采用“在试验成功，建设方批准的情况下可采用”的方式提出，是经过课题研究、文献和调研证明是可行且科学的，规范制定者推荐采用。由于目前尚没有国家标准、行业标准提出类似指标要求。如果经过实验检验切实可行，且得到建设方批准可采用。

2. 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”，或“应按……执行”。

附录 1 改进亚甲蓝 MB 值测定方法

1. 将不少于 500g 的机制砂烘至恒重，筛去其中大于 2.36mm 颗粒并称取质量 (m_0)，采用 0.6mm 筛将砂样过筛，记录筛上和筛下两部分砂样的重量 ($m_{上}$ 和 $m_{下}$)。

2. 按比例称取筛上 [$40 \times m_{上} / (m_{上} + m_{下})$ g] 和筛下 [$40 \times m_{下} / (m_{上} + m_{下})$ g] 砂样共 40g，倒入盛有 (100 ± 1) g 蒸馏水的烧杯中，用叶轮搅拌机以 (600 ± 60) r/min 的速度搅拌 5min，然后以 (400 ± 40) r/min 的速度搅拌直至试验结束。

3. 采用有刻度的注射器将向悬浮液中加入 1mL 亚甲基蓝溶液，然后以 (400 ± 40) r/min 的速度搅拌至少 1min 后，用玻璃棒沾取一滴悬浮液（所取悬浮液滴应使沉淀物直径在 8 ~ 12mm 内），滴于滤纸（置于空杯或其他合适的支撑物上，不得与其他任何固体或液态接触）观察沉淀物在滤纸上的色晕。若未出现色晕，在采用刻度注射器加入 1mL 的亚甲基蓝并观察色晕，重复以上步骤，直至沉淀物周围出现 1mm 稳定浅蓝色色晕。

4. 此时应继续搅拌，按 GB/T 14684—2011 相同的方法进行相同的沾染试验，若在 4min 内消失，再加入 1mL 的亚甲基蓝溶液；若在 5min 消失，则再加入 0.4mL 亚甲基蓝溶液，两种情况下均应继续进行搅拌和沾染试验，直到色晕可以持续 5min。

5. 记录色晕能持续 5min 所加的亚甲基蓝溶液总体积，精确至 0.2mL。

6. 亚甲蓝 MB 值的计算。

MB 值计算方法与 GB/T 14684—2011 相同的，按公式 (1) 计算，精确 0.1。

$$MB = \frac{V}{G} \times 10 \quad (1)$$

式中：MB——亚甲蓝值 (g/kg)，表示每千克 0 ~ 2.36mm 粒级试样所消耗的亚甲蓝质量；

G ——试样质量 (g)；

V ——所加入的亚甲蓝溶液的总量 (mL)；

10——换算系数，用于将每千克试样消耗的亚甲蓝溶液体积换算成亚甲蓝质量。

附录2 引用标准规范清单

1. 《建设用砂》	GB/T 14684—2011
2. 《公路工程水泥混凝土用机制砂》	JT/T 819—2011
3. 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法》	JGJ 52—2006
4. 《公路工程水泥混凝土路面施工技术细则》	JTG/T F30—2014
5. 《公路工程岩石试验规程》	JTG E41—2005
6. 《公路工程集料试验规程》	JTG E42—2005
7. 《通用硅酸盐水泥》	GB 175—2007
8. 《公路桥涵施工技术规范》	JTG/T F50—2011
9. 《道路硅酸盐水泥》	GB 13693—2005
10. 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》	GB 1596—2005
11. 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》	GB/T 18046—2008
12. 《水泥化学分析方法》	GB/T 176—2008
13. 《水泥原料中氯离子的化学分析方法》	JC/T 420—2006
14. 《水泥标注稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》	GB/T 1346—2011
15. 《水泥比表面积测定方法（勃氏法）》	GB/T 8074—2008
16. 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》	GB/T 18736—2002
17. 《人工砂混凝土应用技术规程》	JGJ/T 241—2011
18. 《混凝土外加剂应用技术规范》	GB 50119—2013
19. 《混凝土外加剂》	GB 8076—2008
20. 《聚羧酸系高性能减水剂》	JG/T 223—2007
21. 《公路工程混凝土外加剂》	JT/T 523—2004
22. 《混凝土用水标准》	JGJ 63—2006
23. 《建筑材料放射性核素限量》	GB 6566—2010
24. 《普通混凝土配合比设计规程》	JGJ 55—2011
25. 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》	GB/T 50080—2002
26. 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》	GB/T 50082—2009
27. 《水运工程混凝土试验规程》	JTJ 270—1998
28. 《混凝土结构设计规范》	GB 50010—2010
29. 《混凝土强度检验评定标准》	GB/T 50107—2010
30. 《普通混凝土力学性能试验方法标准》	GB/T 50081—2002

-
- | | |
|-----------------------------|-----------------|
| 31. 《混凝土质量控制标准》 | GB 50164—2011 |
| 32. 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》 | JTG D62—2004 |
| 33. 《水泥与减水剂相容性试验方法》 | JC/T 1083—2008 |
| 34. 《混凝土搅拌站（楼）》 | GB/T 10171—2005 |
| 35. 《泵送混凝土施工技术规范》 | JGJ/T 10—2010 |
| 36. 《高强混凝土应用技术规程》 | JGJ/T 281—2012 |
| 37. 《公路隧道施工技术规范》 | JTG/T F60—2009 |
| 38. 《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》 | JTG F80/1—2012 |
| 39. 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 | GB 50204—2015 |