



T/CECS XXX-202X

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction

Standardization

公路机制砂自密实混凝土应用技术规程

(征求意见稿)

Technical Specification for Application of Manufactured
Sand Self-Compacting Concrete in Highway Engineering

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction

Standardization

中国工程建设标准化协会标准

公路机制砂自密实混凝土应用技术规程

Technical Specification for Application of Manufactured Sand Self-
Compacting Concrete in Highway Engineering

T/CECS G XXXXX-20XX

主编单位：重庆交通大学、北京新桥技术发展有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

实施日期：20XX 年××月××日

人民交通出版社股份有限公司

北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2021 年第二批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2021〕20 号）的要求，由重庆交通大学、北京新桥技术发展有限公司承担《公路机制砂自密实混凝土应用技术规程》（以下简称本规程）的制定工作。

编写组在总结、归纳公路机制砂自密实混凝土研究成果与工程应用经验的基础上，通过大量的文献查阅、现场调研及试验验证等工作，对材料、配合比设计、施工及质量控制的技术要求作出规定，形成了本规程。

本规程的主要内容共分 8 章、3 个附录，主要内容包括：1 总则、2 术语和符号、3 基本规定、4 原材料、5 技术要求、6 配合比设计、7 施工、8 质量检验、附录 A 机制砂三维形貌参数及形貌影响因子试验方法、附录 B 基础砂浆流变参数及工作性试验方法、附录 C 公路机制砂自密实混凝土配合比设计示例。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本规程提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本规程相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由重庆交通大学、北京新桥技术发展有限公司负责具体技术内容解释。请各有关单位在使用过程中注意总结经验，将发现的问题和意见函告本规程日常管理组，联系人：肖杰（地址：重庆市南岸区学府大道 66 号，重庆交通大学，邮编：400074；联系电话：18716467492；邮箱：18716467492@163.com），以便修订时参考。

主编单位：重庆交通大学

北京新桥技术发展有限公司

参编单位：江门市银洲湖高速公路有限公司

中电建（广东）中开高速公路有限公司

中铁十八局第二工程有限公司

雅砻江流域水电开发有限公司

主 编：何小兵、申强

主要参编人员：

主 审：赵尚传

主要审查人员：

征求意见稿

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	5
4	原材料	6
4.1	机制砂	6
4.2	粗集料	8
4.3	水泥	8
4.4	矿物掺合料	9
4.5	外加剂	9
4.6	纤维	9
4.7	水	10
5	技术要求	11
5.1	基础砂浆	11
5.2	混凝土拌合物	11
5.3	硬化混凝土	11
6	配合比设计	13
6.1	一般规定	13
6.2	公路机制砂自密实混凝土配合比设计流程	13
7	施工	19
7.1	原材料管理	19
7.2	拌制	19
7.3	运输	19
7.4	浇筑	20
7.5	养护	21

8 质量检验	23
8.1 原材料	23
8.2 拌合物	25
8.3 硬化混凝土	25
附录 A 机制砂三维形貌参数及形貌影响因子试验方法	26
附录 B 基础砂浆流变参数及工作性试验方法	28
附录 C 公路机制砂自密实混凝土配合比设计示例	31
规程用词用语说明	34

征求意见稿

1 总则

1.0.1 为规范公路机制砂自密实混凝土的生产、设计和施工应用，提升其技术应用水平，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于各等级公路工程中机制砂自密实混凝土的原材料选择、性能要求、配合比设计、施工和质量检验。

条文说明

现行各类标准或规范主要针对于机制砂混凝土以及自密实混凝土两类，没有直接针对于机制砂自密实混凝土的规程。现有标准体系中，未充分考虑机制砂特性（例如形貌、级配、细粉含量等）对自密实混凝土性能的影响。规范机制砂自密实混凝土的生产、设计和施工应用，有助于提高机制砂自密实混凝土应用技术的先进性，保证机制砂自密实混凝土质量的可靠性、有效性，为机制砂自密实混凝土的推广使用提供依据。

1.0.3 公路机制砂自密实混凝土的总体性能应与普通自密实混凝土一致，其应用应遵循“生态环保、因地制宜、质量可靠、经济适用”的原则。

1.0.4 公路机制砂自密实混凝土的应用除应符合本规程的规定外，还应符合国家和行业现行有关标准的规定。

条文说明

在实际应用中，本规程作出规定的，按本规程的规定执行；未作出规定的，按已给出的相关标准执行。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 机制砂 manufactured sand

以合格母岩为原料，经机械破碎、筛分、整形、除粉等工艺加工而成的，粒径小于 4.75mm，且颗粒形貌、级配及细粉含量符合要求的岩石颗粒。

2.1.2 公路机制砂自密实混凝土 manufactured sand self-compacting concrete for highway engineering

公路工程中以机制砂为细集料配制而成，具有高流动性、均匀性和稳定性，浇筑时无需外力振捣，能在自重作用下流动并充满模板空间的混凝土。

2.1.3 机制砂三维形貌参数 3D morphology parameter of manufactured sand

综合考虑机制砂颗粒的长宽比与宽高比，用以表征其三维表观形貌的参数。

2.1.4 机制砂形貌影响因子 morphology influence factor of manufactured sand

以机制砂三维形貌参数为基础，计入砂体积分数的影响，用以表征拌合物中机制砂颗粒形貌不规则程度的综合指标。

2.1.5 细粉含量 fine powder content

机制砂中粒径小于 0.075mm 的颗粒含量，由石粉与泥粉组成。其中，石粉为破碎加工过程中产生的、与母岩矿物组成相同的岩石颗粒；泥粉为生产、运输或堆放过程中混入的泥土颗粒。

2.1.6 基础砂浆 basic mortar

满足流变参数或工作性指标要求，用以配制公路机制砂自密实混凝土的砂浆。

2.1.7 砂浆屈服剪切应力 yield shear stress of mortar

砂浆发生流动所需克服的临界剪切应力，主要影响拌合物的流动性。

2.1.8 砂浆塑性粘度 plastic viscosity of mortar

砂浆流动过程中抵抗剪切变形的粘滞阻力，主要影响拌合物的流动速率和离析性。

2.1.9 砂浆膜厚 mortar film thickness

包裹在粗集料颗粒表面的砂浆层厚度,作为公路机制砂自密实混凝土配合比设计的中间参数。

2.1.10 砂浆扩展度 slump flow of mortar

自截锥圆模提起至砂浆拌合物停止流动后,测量砂浆扩展面最大直径和其垂直方向的直径的平均值。

2.1.11 砂浆离析率 segregation ratio of mortar

标准法筛析试验中,砂浆拌合物静置规定时间后,通过公称直径为 0.15mm 的方孔筛的浆体质量与砂浆质量的比例。

2.2 符号

V_s ——砂体积分数;

V_p ——每立方米基础砂浆中净浆体积;

V_a ——每立方米基础砂浆中引入空气的体积;

V_g ——每立方米混凝土中粗集料体积;

V_m ——每立方米混凝土中基础砂浆体积;

m_s ——每立方米基础砂浆中砂的质量;

m_b ——每立方米基础砂浆中胶凝材料的质量;

m_m ——每立方米基础砂浆中矿物掺和料的质量;

m_c ——每立方米基础砂浆中水泥的质量;

m_w ——每立方米基础砂浆中水的质量;

m_{ca} ——每立方米基础砂浆中外加剂的质量;

m_g ——每立方米混凝土中粗集料的质量;

m_s' ——每立方米混凝土中机制砂的质量;

m_c' ——每立方米混凝土中水泥的质量;

m_m' ——每立方米混凝土中矿物掺和料的质量;

m_w' ——每立方米混凝土中水的质量;

m_{ca}' ——每立方米混凝土中外加剂的质量;

ρ_s ——砂的表观密度;

ρ_b ——胶凝材料的表观密度;

ρ_m ——矿物掺和料的表观密度;

ρ_c ——水泥的表观密度;

ρ_w ——水的表观密度;

ρ_g ——粗集料的表观密度；
 β ——矿物掺和料质量分数；
 c ——外加剂掺量，占胶凝材料总质量的百分数表示；
 T_m ——基础砂浆膜厚；
 D_i 、 D_{i+1} ——相邻筛孔尺寸；
 $\bar{D}_i$ ——第 i 级粒径粗集料的等效粒径；
 e ——粗集料的空隙比；
 k ——机制砂三维形貌参数；
 λ ——机制砂形貌影响因子；
 τ_0 ——屈服剪切应力；
 η ——塑性粘度；
 SF_m ——砂浆扩展度；
 SR_m ——砂浆离析率。

3 基本规定

3.0.1 公路机制砂自密实混凝土的拌合物性能，以及硬化后的力学性能、变形性能与耐久性能等指标，应满足工程设计与施工的要求。

3.0.2 公路机制砂自密实混凝土所用原材料除应符合本规程的规定外，还应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》（GB 50164）的相关规定。

3.0.3 公路机制砂自密实混凝土宜采用集中搅拌方式生产，其生产过程、出厂检验、交货检验、试件留置方法和数量应符合现行国家标准《预拌混凝土》（GB/T 14902）的相关规定；出厂时还应检验其自密实性能。

条文说明

公路机制砂自密实混凝土的工作性与普通混凝土存在显著差异。因此，除常规检验项目外，还应检验其间隙通过性、填充性及抗离析性等自密实性能，以确保拌合物的工作性满足施工要求。

3.0.4 公路机制砂自密实混凝土的施工与质量检验验收，应分别符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》（GB 50666）与《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204）的相关规定。

3.0.5 公路机制砂自密实混凝土适用于公路工程中配筋密集、振捣困难及形状复杂的结构部位的现场浇筑与装配式构件的工厂预制。

4 原材料

4.1 机制砂

4.1.1 机制砂母岩的岩性应均一，且其抗压强度不宜小于 60MPa。

条文说明

母岩岩性均一是保障机制砂颗粒形貌与石粉性质稳定的前提，而足够的母岩强度是为了确保公路机制砂自密实混凝土的强度满足要求。

4.1.2 机制砂的粗细程度按细度模数划分为粗砂、中砂、细砂三种规格，其划分应符合表 4.1.2 的规定。用于公路机制砂自密实混凝土时，其细度模数宜为 2.9~3.2。

表 4.1.2 机制砂的级别分类

级别	细度模数
细砂	1.6~2.2
中砂	2.3~3.0
粗砂	3.1~3.7

条文说明

机制砂的粗细程度划分参考现行国家标准《建设用砂》（GB/T 14684）。细度模数对基础砂浆及其制备的公路机制砂自密实混凝土的工作性具有显著影响。细度模数过小时，机制砂比表面积增大，导致拌合物需水量增加、流动性降低；细度模数过大时，机制砂比表面积减小，裹浆能力不足，易引发拌合物离析。因此，本规程给出了细度模数的控制范围。

4.1.3 机制砂的表观密度不应小于 2500kg/m³，松散堆积密度不应小于 1400kg/m³，空隙率宜在 42%~45%之间。

条文说明

机制砂空隙率是影响其基础砂浆及公路机制砂自密实混凝土工作性的重要因素，因此需对其控制范围作出规定。当空隙率偏大时，用于填充机制砂颗粒间空隙的浆体量增加，导致其表面的润滑层厚度减小，拌合物流动性降低；同时，由于机制砂中细颗粒含量较少，比表面积偏低，其裹浆能力不足，易引发拌合物离析。当空隙率偏小时，机制砂中细颗粒含量增多，比表面积相应增大，颗粒表面浆体润滑膜厚度减小，拌合物流动性下降。

4.1.4 机制砂的颗粒级配与级配类别应符合表 4.1.4 的规定。除 4.75mm 和

0.60mm 筛孔外，机制砂的实际颗粒级配与表 4.1.3 所列的累计筛余量相比，允许稍有超出限值，但超出总量不应大于 5%。用于公路机制砂自密实混凝土时，宜采用级配曲线在 II 区、III 区之间的机制砂。

表 4.1.4 机制砂的颗粒级配

筛孔尺寸 (mm)		4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15
累计筛余 (%)	I 区	5~0	35~5	65~35	85~71	95~80	97~85
	II 区	5~0	25~0	50~10	70~41	92~70	94~80
	III 区	5~0	15~0	25~0	40~16	85~55	94~75

条文说明

机制砂的颗粒级配划分参考现行国家标准《建设用砂》(GB/T 14684)。受机制砂破碎筛分工艺所限，其颗粒级配曲线难以完全落入规定的上下限范围，故本规程允许实际颗粒级配存在合理波动。编制组研究表明，级配曲线处于 II 区下界与 III 区上界之间的机制砂，更易满足本规程对细度模数与空隙率的要求。

4.1.5 机制砂的细粉含量及 MB 值应符合表 4.1.5 的规定。

表 4.1.5 机制砂的细粉含量

项目		指标		
		0<MB 值≤0.6	0.6<MB 值≤0.8	MB 值>0.8
细粉含量	石粉含量	≤8.0%	≤8.0%	≤7.0%
	泥粉含量	≤1.5%	≤1.0%	≤1.5%

条文说明

机制砂中的细粉对拌合物自由水具有显著的吸附效应，进而对拌合物流动性产生不利影响，因此需要对其含量进行严格控制。由于泥粉比表面积更大，其吸附能力远高于石粉，对流动性的危害更为突出。现行国家标准《建设用砂》(GB/T 14684) 将机制砂中粒径小于 0.075mm 的颗粒统称为石粉。本规程在此基础上，利用石粉与泥粉对亚甲蓝染料吸附性能的显著差异，将细粉进一步区分为石粉与泥粉，并依据 MB 值划分区间，分别提出相应的含量限值。MB 值越大，表明细粉中泥粉含量越高，对拌合物流动性的不利影响越显著，因此需对细粉含量实施更为严格的控制。在机制砂的生产环节中可对石粉与泥粉含量实施精确控制。但鉴于工程现场难以直接分离二者，仍宜通过 MB 值与细粉含量进行综合判定。细粉含量的测定方法与现行国家标准《建设用砂》(GB/T 14684) 中石粉含量的试验方法相同。

4.1.6 机制砂的形貌影响因子宜在 0.85~1.05 之间。

条文说明

机制砂颗粒的不规则形貌对拌合物工作性有不利影响,因此需要对其不规则程度进行评估和控制。为此,本规程提出形貌影响因子作为控制指标,该指标被定义为砂体积分数与三维形貌参数的乘积。砂体积分数反映拌合物中不规则颗粒的数量,三维形貌参数由宽高比与长宽比综合表征颗粒的不规则程度。机制砂形貌影响因子随着砂体积分数和三维形貌参数的增加而增大。当形貌影响因子过大时,拌合物流动性下降;过小时,则离析风险增大。

4.1.7 机制砂的泥块含量、坚固性指标、压碎指标以及有害物质含量应符合现行国家标准《建设用砂》(GB/T 14684)的规定。

4.2 粗集料

4.2.1 粗集料的最大公称粒径不宜大于 20mm,且宜采用 5mm~20mm 连续级配碎石或卵石。对于配筋密集的竖向构件、形状复杂的结构或有特殊要求的工程部位,最大公称粒径不宜大于 16mm,且宜采用 5mm~16mm 连续级配碎石或卵石。粗集料级配应符合表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 粗集料的颗粒级配

筛孔尺寸 (mm)		19.0	16.0	9.50	4.75	2.36
累计筛余 (%)	5mm~16mm 连续级配	0	0~10	30~60	85~100	95~100
	5mm~20mm 连续级配	0~10	—	40~80	90~100	95~100

条文说明

机制砂自密实混凝土多用于结构复杂、配筋密集的工程部位。粗集料粒径过大将降低拌合物通过钢筋间隙的能力;同时,由于自密实混凝土浆体体积较高,粗集料粒径过大易导致裹浆能力不足,引发离析。因此,需要对其最大粒径进行限制。

4.2.2 粗集料的母岩强度、表观密度、连续级配松散堆积空隙率、压碎值、卵石含泥量、碎石泥粉含量、泥块含量、针片状颗粒含量、坚固性、碱活性以及有害物质含量应符合现行行业标准《建设用卵石、碎石》(GB/T 14685)的规定。

4.3 水泥

4.3.1 公路机制砂自密实混凝土宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,其技术指标应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175)的规定。

4.4 矿物掺合料

4.4.1 公路机制砂自密实混凝土中所用矿物掺合料的技术指标应符合现行国家标准《高强高性能混凝土用矿物外加剂》（GB/T 18736）与《矿物掺合料应用技术规范》（GB/T 51003）的规定。

条文说明

公路机制砂自密实混凝土胶凝材料用量较高，易引发收缩增大等变形问题，适量掺入矿物掺合料有助于改善其体积稳定性与耐久性。

4.4.2 粉煤灰与硅灰的掺量应分别不宜大于 30%和 4%。采用偏高岭土、粒化高炉矿渣粉、磷渣粉、钢渣粉、石灰石粉、硅灰石粉、沸石粉等其他矿物掺合料时，其适宜掺量应通过试验确定。

条文说明

矿物掺合料具有较高的比表面积，掺量过高将增加拌合物需水量，导致流动性下降。其中，粉煤灰颗粒呈球形，在适宜掺量下可发挥“滚珠”效应，改善工作性；硅灰比表面积极大，对自由水吸附显著，故需严格控制其掺量。其他矿物掺合料的性能差异较大，其适宜掺量应通过试验确定。

4.5 外加剂

4.5.1 公路机制砂自密实混凝土所用外加剂应与胶凝材料体系相容，其品种和掺量应经试验确定，并应符合现行国家标准《混凝土外加剂》（GB 8076）和《混凝土外加剂应用技术规范》（GB 50119）的规定。减水剂宜采用聚羧酸系高性能减水剂，其技术指标尚应符合现行行业标准《公路工程 聚羧酸系高性能减水剂》（JT/T 769）的规定。

条文说明

聚羧酸系高性能减水剂的减水率高，可有效改善拌合物的流动性。但掺量过高时，易导致拌合物发生离析，因此，其适宜掺量应通过试验确定。

4.6 纤维

4.6.1 公路机制砂自密实混凝土所用钢纤维、合成纤维、玄武岩纤维及玻璃纤维的性能，应分别符合现行行业标准《钢纤维混凝土》（JGJ/T 221）、国家标准

《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》（GB/T 21120）及行业标准《玄武岩纤维和耐碱玻璃纤维混凝土应用技术规范》（JC/T 60039）的规定。纤维的品种与掺量应通过试验确定，且其掺入后拌合物仍应满足自密实工作性要求。

条文说明

掺入纤维有助于改善公路机制砂自密实混凝土的抗裂性能。但掺量过高会增大拌合物内部摩擦阻力，导致流动性下降。不同纤维的性能与几何参数差异显著，其品种和掺量应通过试验确定，以兼顾抗裂性能改善与自密实工作性要求。

4.7 水

4.7.1 同一批次公路机制砂自密实混凝土的拌和用水应取自同一水源。

4.7.2 公路机制砂自密实混凝土的拌和用水和养生用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》（JGJ 63）的规定。

5 技术要求

5.1 基础砂浆

5.1.1 公路机制砂自密实混凝土基础砂浆的流变参数或工作性指标应满足表 5.1.1 的规定。

表 5.1.1 基础砂浆流变参数及工作性指标

性能指标		技术要求
流变参数	屈服剪切应力 (Pa)	20~65
	塑性粘度 (Pa·s)	≥3.5
工作性指标	扩展度 (mm)	250~320
	离析率 (%)	≤15

条文说明

根据混凝土流变学原理,基础砂浆流变参数与混凝土工作性密切相关,基础砂浆屈服剪切应力会影响自密实混凝土流动性,过大的屈服剪切应力会降低混凝土流动性;基础砂浆塑性粘度影响自密实混凝土抗离析性,过小的塑性粘度会降低混凝土抗离析性;通过控制基础砂浆流变参数在合理范围,可以保证机制砂自密实混凝土具有良好的流动性和抗离析性。本规程除给出机制砂自密实混凝土基础砂浆流变参数指标范围外,为方便工程应用还给出了砂浆扩展度和离析率指标进行控制。

5.2 混凝土拌合物

5.2.1 公路机制砂自密实混凝土拌合物除应满足普通混凝土拌合物的凝结时间、黏聚性、保水性等要求外,还应满足自密实性能的要求。

5.2.2 公路机制砂自密实混凝土拌合物的自密实性能要求应符合现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》(JGJ/T 283)的规定。

5.2.3 不同性能等级的公路机制砂自密实混凝土的应用范围应符合现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》(JGJ/T 283)的规定。

5.3 硬化混凝土

5.3.1 公路机制砂自密实混凝土硬化后的力学性能应符合现行国家标准《混凝

土强度检验评定标准》（GB/T 50107）的规定。

5.3.2 公路机制砂自密实混凝土硬化后的长期性能与耐久性能应满足工程设计要求，并应符合现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》（JGJ/T 193）的规定。

征求意见稿

6 配合比设计

6.1 一般规定

6.1.1 公路机制砂自密实混凝土的配合比设计，应根据现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》（GB/T 50476）规定的设计使用年限、环境类别及环境作用等级确定性能等级，并应满足工程设计与施工条件对拌合物性能、力学性能及耐久性能的要求。

6.2 公路机制砂自密实混凝土配合比设计流程

6.2.1 公路机制砂自密实混凝土的配合比设计，宜采用本节提出的基于基础砂浆性能及其膜厚的两阶段设计方法，依次为基础砂浆设计与混凝土配合比确定，并按图 6.2.1 的流程执行。

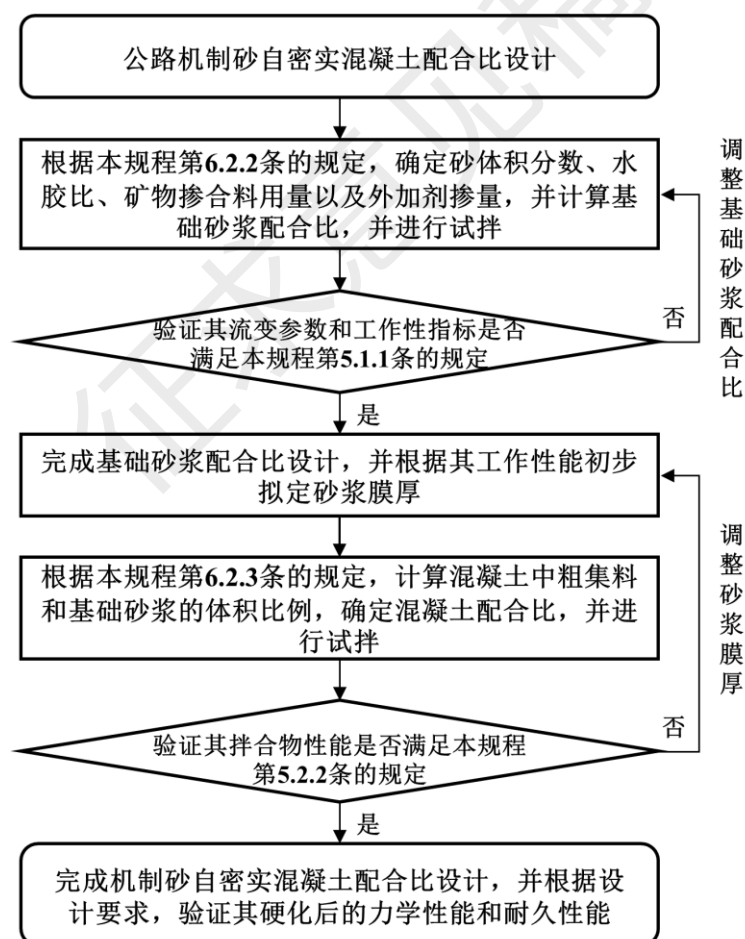


图 6.2.1 公路机制砂自密实混凝土配合比设计流程

条文说明

公路机制砂自密实混凝土可视为由基础砂浆与粗集料组成的固液两相悬浮体系。当砂浆膜厚足够时,粗集料颗粒间的接触作用显著削弱,拌合物的工作性由基础砂浆的流变性能及膜厚共同主导。机制砂特性与配合比参数的影响均将反映于基础砂浆流变参数的变化。据此,本规程将配合比设计划分为两个阶段:第一阶段,通过确定砂体积分数、水胶比、矿物掺合料掺量及外加剂掺量等参数,获得流变性能与工作性满足要求的基础砂浆,确保其具备良好的流动性与抗离析性;第二阶段,通过调控砂浆膜厚,维持粗集料间适宜间距,保障混凝土的自密实性能。设计中,先根据基础砂浆性能拟定膜厚,再依据简化理论模型计算砂浆与粗集料的体积比例,进而确定各原材料用量。

在该模型中,砂浆被划分为空隙砂浆和富余砂浆两部分。空隙砂浆体积由粗集料松散堆积空隙决定,富余砂浆体积则由膜厚与粗集料比表面积确定。为便于计算,不同粒径范围的粗集料简化为由等效粒径表征的球体,并假定所有粗集料颗粒表面的砂浆膜厚相等。上述假设忽略了粗集料形状不规则、表面粗糙及分布不均匀等因素,可能导致拌合物性能偏差。但通过引入砂浆膜厚这一中间设计参数,为公路机制砂自密实混凝土的性能调控提供了空间,可通过适度增加膜厚以增大粗集料间距,抵消模型简化带来的不利影响。

6.2.2 公路机制砂自密实混凝土的基础砂浆设计应符合下列规定:

- 1 砂体积分数 (V_s) 宜取 0.38~0.44。
- 2 每立方米基础砂浆中砂的质量 (m_s) 应按下列公式计算:

$$m_s = \rho_s \cdot V_s \quad (6.2.2-1)$$

式中: ρ_s ——砂的表观密度 (kg/m^3)。

- 3 每立方米基础砂浆中净浆的体积 (V_p) 应按下列公式计算:

$$V_p = 1 - V_s \quad (6.2.2-2)$$

- 4 根据现行国家标准《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55) 确定混凝土的配制强度 ($f_{cu,0}$), 水胶比 (m_w/m_b) 应按下列公式计算:

$$\frac{m_w}{m_b} = \frac{0.42 f_{ce} (1 - \beta + \beta \times \gamma)}{f_{cu,0} + 1.2} \quad (6.2.2-3)$$

式中: m_b ——每立方米基础砂浆中胶凝材料的质量 (kg);

m_w ——每立方米基础砂浆中水的质量 (kg);

f_{ce} ——水泥的 28 天实测抗压强度 (MPa); 缺乏实测数据时,可按水泥强度等级值乘以 1.1 取用。

$f_{cu,0}$ ——混凝土的配制强度 (MPa);

β ——矿物掺合料占胶凝材料的质量分数;

γ ——矿物掺合料的胶凝系数: 粉煤灰 ($\beta \leq 0.3$) 可取 0.4, 矿渣粉 ($\beta \leq 0.4$)

可取 0.9；超出上述掺量范围时，及其他类型矿物掺合料的胶凝系数应通过试验确定。

5 胶凝材料的表观密度 (ρ_b) 应按下式计算：

$$\rho_b = \frac{1}{\frac{\beta}{\rho_m} + \frac{1-\beta}{\rho_c}} \quad (6.2.2-4)$$

式中： ρ_m ——矿物掺和料的表观密度 (kg/m^3)；

ρ_c ——水泥的表观密度 (kg/m^3)。

6 根据试验确定外加剂的品种和掺量。

7 每立方米基础砂浆中净浆各组分的质量应按下式计算：

$$m_b = \frac{V_p - V_a}{\frac{1}{\rho_b} + \frac{m_w/m_b}{\rho_w}} \quad (6.2.2-5)$$

$$m_m = m_b \beta \quad (6.2.2-6)$$

$$m_c = m_b - m_m \quad (6.2.2-7)$$

$$m_w = m_b \times (m_w/m_b) \quad (6.2.2-8)$$

$$m_{ca} = m_b c \quad (6.2.2-9)$$

式中： m_b ——每立方米基础砂浆中胶凝材料的质量 (kg)；

m_m ——每立方米基础砂浆中矿物掺和料的质量 (kg)；

m_c ——每立方米基础砂浆中水泥的质量 (kg)；

m_w ——每立方米基础砂浆中水的质量 (kg)；

m_{ca} ——每立方米基础砂浆中外加剂的质量 (kg)；

V_a ——引入空气的体积，对于非引气型混凝土，一般取 0.01m^3 ；

ρ_w ——水的表观密度，取 1000kg/m^3 ；

c ——外加剂掺量，占胶凝材料的质量分数。

8 应对所确定的基础砂浆配合比进行试拌验证，性能指标应符合本规程第 5.1.1 条的规定，试验方法应符合附录 B 的规定。未能满足要求时，应调整配合比并重新验证。

条文说明

本条明确了基础砂浆配合比的设计参数，包括砂体积分数、水胶比、矿物掺合料用量及外加剂掺量，各材料用量应根据上述参数计算确定。砂体积分数对基础砂浆的工作性影响显

著。机制砂颗粒形貌不规则，砂体积分数过高将导致拌合物流动性与抗离析性下降。当基础砂浆性能不满足要求时，可适当降低砂体积分数。水胶比主要依据混凝土设计强度等级确定，为保障力学性能达标，不宜轻易调整。适量矿物掺合料可改善拌合物的流动性与抗离析性，但掺量过高则会导致流动性下降。外加剂掺量是调控工作性的关键因素。当基础砂浆性能不满足要求时，可适当增加减水剂掺量，但应通过试验验证，在改善流动性的同时确保不发生离析。

6.2.3 公路机制砂自密实混凝土配合比设计应符合下列规定：

1 拟定的砂浆膜厚（ T_m ）宜在 1.9mm~2.3mm 之间，具体取值应根据表 6.2.3 确定。

表 6.2.3 公路机制砂自密实混凝土的砂浆膜厚取值

砂浆膜厚（mm）	基础砂浆性能		性能等级
	屈服剪切应力（Pa）	扩展度（mm）	
1.9	20~30	305~320	SF3
	30~40	290~305	SF2
	40~50	275~290	SF1
2.0	20~30	305~320	SF3
	30~40	290~305	SF2
	40~55	270~290	SF1
2.1	20~35	300~315	SF3
	35~45	285~300	SF2
	45~60	265~285	SF1
2.2	20~40	290~315	SF3
	40~50	275~290	SF2
	50~60	265~275	SF1
2.3	20~40	290~305	SF3
	40~50	275~290	SF2
	50~65	250~275	SF1

2 各级粗集料的等效粒径（ $\bar{D}_i$ ）应按下列公式计算：

$$\bar{D}_i = \sqrt{D_i \cdot D_{i+1}} \quad (6.2.3-1)$$

式中： D_i ——粗集料第 i 级筛孔孔径（mm）；

D_{i+1} ——粗集料第 $i+1$ 级筛孔孔径（mm）。

3 粗集料的空隙比（ e ）应按下列公式计算：

$$e = \frac{\rho_{cad}}{\rho_{cpd}} - 1 \quad (6.2.3-2)$$

式中： ρ_{cad} ——粗集料的表观密度（ kg/m^3 ）；

ρ_{cpd} ——粗集料的堆积密度（ kg/m^3 ）。

4 每立方米公路机制砂自密实混凝土中粗集料体积（ V_g ）及基础砂浆体积（ V_m ）应按下式计算：

$$V_g = \left[6 \left(T_m \sum_i \frac{K_i}{\bar{D}_i} + \frac{1}{6} \right) + e \right]^{-1} \quad (6.2.3-3)$$

$$V_m = 1 - V_g \quad (6.2.3-4)$$

式中： K_i ——粗集料第 i 级筛孔的分计筛余量；

$\bar{D}_i$ ——第 i 级粒径粗集料的等效粒径（ mm ）；

T_m ——砂浆膜厚（ mm ）；

e ——粗集料的空隙比。

5 每立方米公路机制砂自密实混凝土中各组分的质量应按下式计算：

$$m'_g = V_g \rho_g \quad (6.2.3-5)$$

$$m'_s = m'_s V_m \quad (6.2.3-6)$$

$$m'_c = m'_c V_m \quad (6.2.3-7)$$

$$m'_m = m'_m V_m \quad (6.2.3-8)$$

$$m'_w = m'_w V_m \quad (6.2.3-9)$$

$$m'_{ca} = m'_{ca} V_m \quad m'_{ca} = m'_{ca} V_m \quad (6.2.3-10)$$

式中： m_g ——每立方米混凝土中粗集料的质量（ kg ）；

ρ_g ——粗集料的表观密度（ kg/m^3 ）；

m'_s ——每立方米混凝土中机制砂的质量（ kg ）；

m'_c ——每立方米混凝土中水泥的质量（ kg ）；

m'_m ——每立方米混凝土中矿物掺和料的质量（ kg ）；

m'_w ——每立方米混凝土中水的质量（ kg ）；

m'_{ca} ——每立方米混凝土中减水剂的质量（ kg ）。

6 应对所确定的配合比进行试拌，验证拌合物性能。性能指标和试验方法应符合现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》（JGJ/T 283）的规定。若拌合物性能不满足要求，应调整砂浆膜厚并重新验证。验证合格后，尚应根据设计

要求，对硬化混凝土的力学性能与耐久性能进行验证。

条文说明

本条基于基础砂浆配合比和拟定砂浆膜厚对公路机制砂自密实混凝土配合比进行设计。在设计时，应根据基础砂浆的屈服剪切应力或扩展度拟定砂浆膜厚。当基础砂浆的屈服剪切应力较小、扩展度较大时，宜选择偏小的膜厚；反之，宜选择偏大的膜厚。试验研究表明，砂浆膜厚宜在 1.9mm~2.3mm 之间，砂浆膜厚过小时混凝土流动性较差，砂浆膜厚过大时混凝土收缩较大。初步拟定膜厚后，应通过试验对混凝土拌合物性能进行验证，确认是否满足自密实要求；若不满足，应适当增大砂浆膜厚并再次验证。

7 施工

7.1 原材料管理

7.1.1 各类原材料应分类存放并明确标注材料名称、种类、生产日期、生产厂家等信息。

7.1.2 存放固体原材料应注意防水防潮,对于液体外加剂应注意防止沉淀分层。

7.2 拌制

7.2.1 公路机制砂自密实混凝土的现场拌制宜采用强制式搅拌机。

7.2.2 原材料计量应采用电子计量系统,并按配合比准确称量,称量允许偏差应符合表 7.2.2 的规定。

表 7.2.2 原材料称量最大允许偏差

原材料种类	最大允许偏差 (%)
胶凝材料	1
外加剂	1
集料	2
水	1

7.2.3 拌制前应测定原材料含水率,及时调整施工配合比。

7.3 运输

7.3.1 混凝土运输设备的运输能力应与搅拌机的搅拌能力相匹配,不得采用机动翻斗车、手推车等运输工具。

7.3.2 运输设备应采取保温或隔热措施,防止运输过程中混凝土温度过高或过低,保持拌合物入模温度的稳定。

7.3.3 混凝土运至浇筑地点后,卸料前应使搅拌罐高速旋转不少于 30 秒,确保罐内拌合物匀化后再行卸料。

7.3.4 运输与浇筑过程中,严禁向拌合物中加水。

7.4 浇筑

7.4.1 公路机制砂自密实混凝土浇筑时的落模高度不宜大于 5m。若落模高度大于 5m，应采用滑槽、漏斗等辅助工具输送浇筑混凝土。

条文说明

混凝土拌合物的离析率随浇筑高度增加而增大；基础砂浆塑性粘度越低、拌合物初始离析率越大，离析率的增幅越显著。因此，应对混凝土浇筑高度进行限制。

7.4.2 公路机制砂自密实混凝土宜避开高温时段浇筑，在浇筑过程中应采取挡风遮阳等措施，防止水分快速蒸发。

7.4.3 公路机制砂自密实混凝土的泵送和浇筑应保持其连续性，若停泵时间过长，应清理后重新浇筑。

7.4.4 公路机制砂自密实混凝土的浇筑速率应综合考虑自密实混凝土性能、模板及配筋状况，根据试验结果和现场实际情况决定。

7.4.5 夏季施工时，公路机制砂自密实混凝土的入模温度不宜超过 35℃；冬季施工时，其入模温度不宜低于 5℃。

7.4.6 模板及其支架设计应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》（GB 50666）的相关规定，新浇筑混凝土对模板的最大侧压力，应按下式计算，并应取其中的较小值。浇筑时应采取措施防止钢筋和模板的移动和变形。

$$F = 0.31 \cdot k_m \cdot k_r \cdot k_d \cdot k_a \cdot k_t \cdot r_{SF} \cdot \gamma_c H \quad (7.4.6-1)$$

$$F = \gamma_c H \quad (7.4.6-2)$$

式中： F ——新浇筑混凝土对模板的最大侧压力（kN/m²）；

γ_c ——混凝土的重力密度（kN/m³）；

H ——混凝土侧压力计算位置处至新浇筑混凝土顶面的总高度（m）。

k_m ——模板材质修正系数，采用胶合板模板时取 1.0，采用 PVC 模板时取 1.1，采用钢模板时取 1.2；

k_r ——浇筑速率修正系数，浇筑速率不大于 20m/h 时取 1.1；

k_d ——模板尺寸效应修正系数，取 1.2；

k_a ——外加剂修正系数，不掺外加剂时取 1.0，掺入具有缓凝作用的外加剂时取 1.2；

k_t ——入模温度修正系数，根据入模温度（ T ）取值： $T < 10^{\circ}\text{C}$ 时取 1.3， $10^{\circ}\text{C} \leq T < 20^{\circ}\text{C}$ 时取 1.2， $T \geq 20^{\circ}\text{C}$ 时取 1.0；

r_{SF} ——混凝土的实测坍落扩展度与自密实混凝土坍落扩展度下限值（550mm）的比值。

条文说明

考虑到自密实混凝土的高流动性，现行相关标准通常将其视作流体，按静水压力计算模板侧压力。但公路机制砂自密实混凝土因机制砂颗粒形貌不规则，屈服剪切应力与塑性粘度较高，实际侧压力低于静水压力值，若完全按静水压力设计则偏于保守，需予以折减。编制组研究表明，模板侧压力与坍落扩展度密切相关，并已建立相应的定量关系。在此基础上，本规程引入模板材质、浇筑速率、模板最小尺寸、外加剂类型及入模温度等因素进行修正，以综合反映各因素对模板最大侧压力的影响。其中，坍落扩展度越大，侧向压力传递越充分，模板侧压力越接近静水压力；浇筑速率越快，下部混凝土结构建立时间越短，侧压力越大；模板材质及最小尺寸主要通过界面摩擦效应影响侧压力，表面摩擦较大或截面尺寸较小时，侧压力相对较低；缓凝剂与较低的入模温度均通过延缓水泥凝结硬化速率来影响模板侧压力。二者使水泥水化反应减慢，拌合物可在较长时间内保持高流动性，侧向压力得以持续传递，从而导致模板侧压力增大。因此，需综合考虑上述各因素对新浇筑公路机制砂自密实混凝土模板侧压力的影响。

7.5 养护

7.5.1 公路机制砂自密实混凝土带模期间，宜采取浇水、喷洒等措施进行养护。

7.5.2 公路机制砂自密实混凝土模板拆除时其强度应符合设计要求，模板拆除后，应及时采取覆盖、喷淋、洒水或喷涂养护剂等措施进行保湿养护。

条文说明

公路机制砂自密实混凝土拆模后，表层水分易快速散失，从而引发干燥收缩裂缝，对混凝土强度发展和耐久性产生不利影响。因此，本条明确要求拆模后应立即进行保湿养护。

7.5.3 养护时间应根据水泥品种、胶凝材料组成、环境条件及设计要求确定，且符合现行行业标准《公路工程机制砂应用技术规范》（JTG/T 3681）的有关规定；采用缓凝型外加剂、大掺量矿物掺合料或有特殊耐久性要求时，应适当延长养护时间。

条文说明

公路机制砂自密实混凝土通常掺用粉煤灰、矿粉、硅灰等矿物掺合料，后期水化作用明显，适当延长保湿养护时间有利于胶凝材料充分水化，提高混凝土密实性和耐久性能。因此，工程应结合设计要求及施工环境合理确定养护时间。

7.5.4 冬期、炎热季节及大风条件下施工的公路机制砂自密实混凝土，其养护措施应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的规定。

7.5.5 公路机制砂自密实混凝土的养护应按照现行国家标准《混凝土质量控制标准》（GB 50164）和《混凝土结构工程施工规范》（GB 50666）的相关规定执行。

征求意见稿

8 质量检验

8.1 原材料

8.1.1 机制砂的检验项目和试验方法应符合表 8.1.1 的规定。

表 8.1.3 机制砂的检测项目及试验方法

序号	检验项目	试验方法
1	岩石抗压强度	《建筑用砂》（GB/T 14684）
2	细度模数	
3	颗粒级配	
4	细（石）粉含量	
5	泥块含量	
6	MB 值	
7	坚固性	
8	压碎指标	
9	针片状颗粒含量	
10	表观密度、堆积密度、空隙率	
11	云母含量	
12	轻物质含量	
13	硫化物及硫酸盐含量	
14	有机物含量	
15	氯离子含量	
16	含水率	
17	三维形貌参数及形貌影响因子	本规程附录 A

8.1.2 粗集料的检验项目和试验方法应符合表 8.1.1 的规定。

表 4.2.2 粗集料检测项目及试验方法

序号	检验项目	试验方法
1	颗粒级配	《建设用卵石、碎石》（GB/T 14685）
2	碎石泥粉含量、卵石含泥量	

3	泥块含量	
4	针、片状颗粒含量	
5	不规则颗粒含量	
6	有机物含量	
7	硫化物及硫酸盐含量	
8	坚固性	
9	岩石抗压强度	
10	压碎指标	
11	表观密度及连续级配松散堆积空隙率	
12	吸水率	
13	碱骨料反应	
14	放射性	

8.1.3 水泥的取样、质量检验与试验方法，应分别符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》（GB 175）、《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》（GB/T 1346）、《水泥胶砂强度检验方法》（GB/T 17671）及《水泥化学分析方法》（GB/T 176）的规定。

8.1.4 矿物掺合料的取样、质量检验与试验方法，应符合现行国家标准《高强高性能混凝土用矿物外加剂》（GB/T 18736）与《矿物掺合料应用技术规范》（GB/T 51003）的规定。

8.1.5 外加剂的性能检验应按现行国家标准《混凝土外加剂》（GB 8076）和现行行业标准《公路工程 聚羧酸系高性能减水剂》（JT/T 769）的规定执行。

8.1.6 钢纤维、合成纤维、玄武岩纤维及玻璃纤维的性能检验应分别按现行行业标准《钢纤维混凝土》（JGJ/T 221）、国家标准《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》（GB/T 21120）及行业标准《玄武岩纤维和耐碱玻璃纤维混凝土应用技术规范》（JC/T 60039）的规定执行。

8.1.7 混凝土拌合和养护用水的水质检验应按现行行业标准《混凝土用水标准》（JGJ 63）的规定执行。

8.2 拌合物

8.2.1 基础砂浆拌合物的性能检验，应按本规程附录 B 的规定执行。

8.2.2 公路机制砂自密实混凝土拌合物的性能检验，应按现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》（JGJ/T 283）的规定执行。

8.3 硬化混凝土

8.3.1 硬化混凝土的力学性能与耐久性能，其检验项目及试验方法应分别符合现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》（GB/T 50081）及《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。

8.3.2 公路机制砂自密实混凝土工程质量验收应按照现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204）的规定执行。

附录 A 机制砂三维形貌参数及形貌影响因子试验方法

A.0.1 本方法适用于机制砂颗粒形貌不规则程度的检验。

A.0.2 机制砂形貌表征测试应采用下列仪器设备：

- 1 天平：量程不小于 10kg，分度值不大于 1g；
- 2 游标卡尺：分度值为 0.01mm。

A.0.3 机制砂形貌表征测试应按下列步骤进行：

- 1 按现行国家标准《建设用砂》（GB/T 14684）规定的人工四分法进行取样。
- 2 称取 200g 砂样，在潮湿状态下拌和均匀，于平板上堆成厚度约 20mm 的圆饼。
- 3 沿互相垂直的两条直径将圆饼分为大致相等的四份，取对角两份重新拌匀，再堆成圆饼。
- 4 重复上述缩分过程，直至试样质量减至 50g。
- 5 同一批砂应进行两次独立取样，共获得 100g 样品。
- 6 将所取样品进行干燥处理。
- 7 用游标卡尺依次测量每颗砂粒的长、宽、高（图 A.0.3），精确至 0.01mm。
- 8 每组样品应至少进行三次平行测试，取平均值作为该组砂样的三维形貌表征结果。

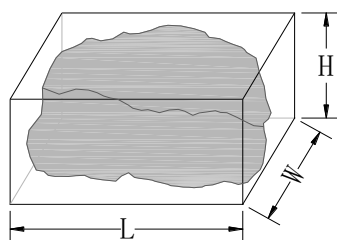


图 A.0.3 砂粒三维形貌示意图

A.0.4 机制砂三维形貌参数应按下列式计算：

$$i = \frac{L}{W} \quad (\text{A.0.4-1})$$

$$j = \frac{W}{H} \quad (\text{A.0.4-2})$$

$$k = i + j \quad (\text{A.0.4-3})$$

式中： L ——砂粒外接矩形的长（mm）；
 W ——砂粒外接矩形的宽（mm）；
 H ——砂粒外接矩形的宽（mm）；
 i ——砂粒的长宽比；
 j ——砂粒的长高比；
 k ——砂粒的三维形貌参数。

A.0.5 对于连续级配砂，采用筛分曲线中各粒径范围质量分数为权重，按下式计算级配砂的三维形貌参数。

$$k_c = \sum_{1}^n \overline{k_n} \cdot M_n \quad (\text{A.0.5})$$

式中： n ——表示 n 个粒径范围；
 $\overline{k_n}$ ——第 n 个粒径范围内砂粒的三维形貌参数的平均值；
 M_n ——第 n 个粒径范围内砂的质量分数。

A.0.6 机制砂三维形貌影响因子应按下式计算：

$$\lambda = k \cdot V_s \quad (\text{A.0.6})$$

式中： λ ——表示机制砂三维形貌影响因子；
 k ——砂粒的三维形貌参数；
 V_s ——机制砂的砂体积分数。

附录 B 基础砂浆流变参数及工作性试验方法

B.1 基础砂浆流变参数试验方法

B.1.1 本方法适用于基础砂浆流变参数的测试。

B.1.2 基础砂浆的流变参数测试应采用下列仪器设备：

1 流变仪应符合下列性能要求：

- 1) 扭矩的测量范围应覆盖 $0.1\text{mN}\cdot\text{m}\sim 200\text{mN}\cdot\text{m}$ ；
- 2) 转速的控制范围应覆盖 $10^{-8}\text{rpm}\sim 3000\text{rpm}$ ；
- 3) 法向力的测量范围应覆盖 $-50\text{N}\sim 50\text{N}$ 。

2 测试系统（图 B.1.2）：由转子与盛样容器组成。转子应采用适用于样品中最大颗粒粒径不超过 10mm 的偏心球形转子。

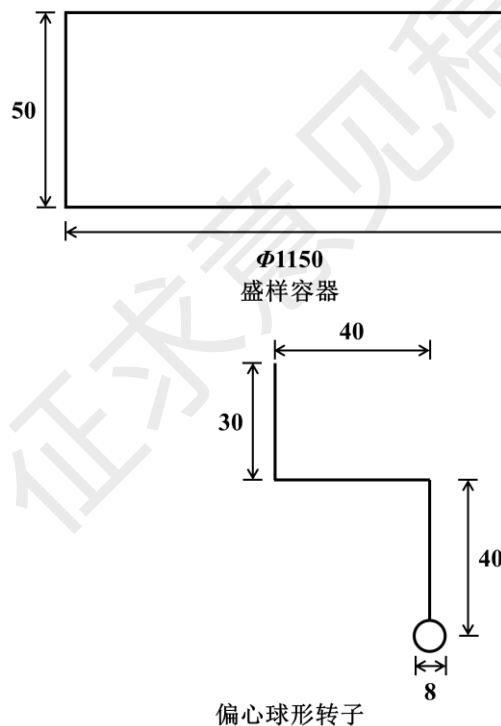


图 B.1.2 偏心球形测试系统 (mm)

B.1.3 基础砂浆的流变参数测试应按下列步骤进行：

- 1 安装偏心球形转子及盛样容器；
- 2 设置旋转剪切测试模式：
 - 1) 预剪切：剪切速率恒定 30s^{-1} ；
 - 2) 静置：60s；
 - 3) 正式测试：剪切速率由 1s^{-1} 线性递增至 100s^{-1} ，数据采集频率 2Hz 。

- 3 将基础砂浆拌合物倒入盛样容器，启动旋转剪切流变测试；
- 4 记录剪切应力及剪切速率数据，采用 Bingham 流变模型（式 B.1.3）对流变数据进行拟合，获得基础砂浆的屈服剪切应力与塑性粘度；
- 5 每组试验应设置 3 个平行样，以算术平均值作为试验结果。

$$\tau = \tau_0 + \eta \dot{\gamma} \quad (\text{B.1.3})$$

式中： τ ——剪切应力（Pa）；

$\dot{\gamma}$ ——剪切速率（ s^{-1} ）；

τ_0 ——屈服剪切应力（Pa）；

η ——塑性粘度（ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ）。

B.2 基础砂浆工作性试验方法

B.2.1 本方法适用于测试基础砂浆的工作性。

B.2.2 基础砂浆工作性试验应采用下列仪器设备：

- 1 截锥圆模（图 B.2.2）：采用金属材料制成，高度为 $60\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$ ，上口内径为 $70\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$ ，下口内径为 $100\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$ ；
- 2 底板：硬质、不吸水的光滑平板；
- 3 天平：天平：量程不应小于 10kg ，分度值不应大于 1g ；
- 4 试验筛：公称直径为 0.15mm 的方孔筛，应符合现行国家标准《金属穿孔板试验筛》（GB/T 6003.2）的规定。

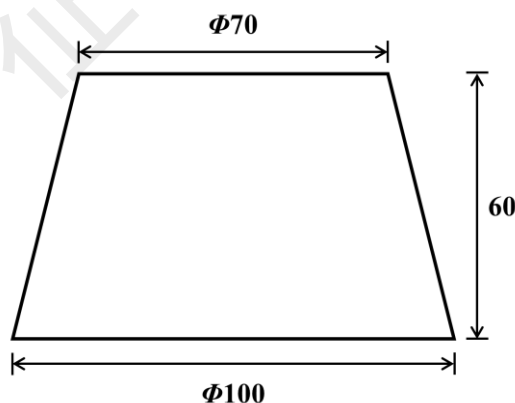


图 B.2.2 截锥圆模（mm）

B.2.3 基础砂浆的扩展度试验应按下列步骤进行：

- 1 应先润湿底板和截锥圆模，截锥圆模内壁和底板上应无明水；底板应放置在坚实的水平面上，并把截锥圆模放在底板中心，在装料时保持在固定的位置。
- 2 应在砂浆不产生离析的状态下，利用盛料容器一次性使砂浆均匀填满截

锥圆模，且不得捣实或振动。

3 应采用刮刀刮除截锥圆模顶部及周边砂浆余料，使砂浆与截锥圆模的上缘齐平后，随即将截锥圆模沿铅直方向匀速地向上快速提起，从装样到提起截锥圆模所用时间不应超过 2min。

B.2.4 砂浆的扩展度应为砂浆扩展终止后扩展面相互垂直的两个直径的平均值，测量精确应至 1mm。

B.2.5 基础砂浆的离析率筛析试验应按下列步骤进行：

- 1 将 0.15mm 方孔筛固定在托盘上；
- 2 将新拌砂浆倒入 0.15mm 筛上，记录倒入砂浆的质量 m_0 ，精确到 1g；
- 3 静置 10min，把筛及筛上的砂浆移走，用天平称量筛孔流到托盘上的浆体质量 m_1 ，精确到 1g。

B.2.6 基础砂浆离析率（ SF_m ）应按下列式计算：

$$SR_m = \frac{m_1}{m_0} \times 100\% \quad (B.2.6)$$

式中， SF_m ：基础砂浆离析率（%），精确至 0.1%；

m_1 ：通过标准筛的砂浆质量（g）；

m_0 ：倒入标准筛的砂浆质量（g）。

附录 C 公路机制砂自密实混凝土配合比设计示例

C.0.1 设计要求：强度等级为 C40，拌合物性能应满足现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》（JGJ/T 283）中 SF1、PA1 及 SR1 等级的技术要求。

C.0.2 原材料类型及参数：

- 1 水泥：42.5 级普通硅酸盐水泥，表观密度为 3100kg/m^3 ；
- 2 矿物掺合料：F 类 I 级粉煤灰，表观密度为 2300kg/m^3 ；
- 3 细集料：石灰岩机制砂，表观密度为 2738kg/m^3 ；
- 4 粗集料：5mm~20mm 连续级配石灰岩碎石，表观密度为 2720kg/m^3 ，堆积密度为 1430kg/m^3 ，级配如表 C.0.2 所示；
- 5 减水剂：聚羧酸系高性能减水剂，减水率 25%~40%。

表 C.0.2 粗集料的级配

筛孔尺寸 (mm)	分计筛余 (%)
19	0
16	5
9.5	61
4.75	31

C.0.3 基础砂浆配合比计算：

- 1 砂体积分数设置为 0.44，每立方米基础砂浆中机制砂的用量为：

$$m_s = \rho_s \cdot V_s = 2738 \times 0.44 = 1204.72\text{kg} \quad (\text{C.0.3-1})$$

- 2 每立方米基础砂浆中净浆的体积为：

$$V_p = 1 - V_s = 1 - 0.44 = 0.56 \quad (\text{C.0.3-2})$$

- 3 根据现行国家标准《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ 55），C50 混凝土的配制强度为：

$$f_{cu,0} = f_{cu,k} + \sigma \cdot 1.645 = 40 + 6 \times 1.645 = 49.87\text{MPa} \quad (\text{C.0.3-3})$$

- 4 粉煤灰用量为 30%，胶凝系数取 0.4。水泥的 28d 实测抗压强度按 1.1 倍的水泥强度等级，取为 46.75MPa。基础砂浆的水胶比为：

$$\begin{aligned} \frac{m_w}{m_b} &= \frac{0.42 f_{ce} (1 - \beta + \beta \times \gamma)}{f_{cu,0} + 1.2} \\ \frac{m_w}{m_b} &= \frac{0.42 \times 46.75 \times (1 - 0.3 + 0.3 \times 0.4)}{49.87 + 1.2} = 0.315 \end{aligned} \quad (\text{C.0.3-4})$$

5 胶凝材料的表观密度为:

$$\rho_b = \frac{1}{\frac{\beta}{\rho_m} + \frac{1-\beta}{\rho_c}} = \frac{1}{\frac{0.3}{2300} + \frac{0.7}{3100}} = 2807.09 \text{kg/m}^3 \quad (\text{C.0.3-5})$$

6 通过试验,聚羧酸系高性能减水剂掺量确定为 2%。基础砂浆中的胶凝材料、矿物掺合料、水泥、水以及减水剂质量依次为:

$$m_b = \frac{V_p - V_a}{\frac{1}{\rho_b} + \frac{m_w/m_b}{\rho_w}} = \frac{0.56 - 0.01}{\frac{1}{2807.09} + \frac{0.315}{998.23}} = 818.70 \text{kg} \quad (\text{C.0.3-6})$$

$$m_m = m_b \beta = 818.70 \times 0.3 = 245.61 \text{kg} \quad (\text{C.0.3-7})$$

$$m_c = m_b - m_m = 818.70 - 245.61 = 573.09 \text{kg} \quad (\text{C.0.3-8})$$

$$m_w = m_b \times (m_w/m_b) = 818.70 \times 0.315 = 257.89 \text{kg} \quad (\text{C.0.3-9})$$

$$m_{ca} = m_b c = 818.70 \times 0.014 = 11.46 \text{kg} \quad (\text{C.0.3-10})$$

7 按附录 B 进行基础砂浆流变测试,实测屈服剪切应力为 46.3Pa,塑性粘度为 7.6Pa·s,满足本规程第 5.1.1 条的规定。完成基础砂浆配合比设计。如基础砂浆不满足要求,则可通过增加减水剂掺量改善流变参数,并重新验证。

C.0.4 混凝土配合比计算:

1 为制备性能等级为 SF1 的公路机制砂自密实混凝土,根据基础砂浆屈服剪切应力为 46.3Pa,按本规程第 6.1.2 条,拟定砂浆膜厚为 2.1mm;

2 粗集料的等效粒径为:

$$\begin{aligned} \overline{D}_1 &= \sqrt{D_1 \cdot D_2} = \sqrt{19 \times 16} = 17.44 \text{mm} \\ \overline{D}_2 &= \sqrt{D_2 \cdot D_3} = \sqrt{16 \times 9.5} = 12.33 \text{mm} \\ \overline{D}_3 &= \sqrt{D_3 \cdot D_4} = \sqrt{9.5 \times 4.75} = 6.72 \text{mm} \end{aligned} \quad (\text{C.0.4-1})$$

3 粗集料的空隙比为:

$$e = \frac{\rho_{cad}}{\rho_{cpd}} - 1 = \frac{2720}{1430} - 1 = 0.90 \quad (\text{C.0.4-2})$$

4 每立方米混凝土中的粗集料体积为:

$$V_g = \left[6 \left(T_m \sum_i \frac{K_i}{D_i} + \frac{1}{6} \right) + e \right]^{-1} \quad (\text{C.0.4-3})$$

$$V_g = \left[6 \times \left(2.1 \times \left(\frac{0.05}{17.44} + \frac{0.61}{12.33} + \frac{0.31}{6.72} \right) + \frac{1}{6} \right) + 0.90 \right]^{-1} = 0.318$$

5 每立方米混凝土中的基础砂浆体积为：

$$V_m = 1 - V_g = 1 - 0.32 = 0.682 \quad (\text{C.0.4-4})$$

6 每立方米混凝土中的粗集料、机制砂、水泥、矿物掺合料、水以及外加剂质量依次为：

$$m'_g = V_g \cdot \rho_g = 0.318 \times 2720 = 864.96 \text{kg} \quad (\text{C.0.4-5})$$

$$m'_s = m_s \cdot V_m = 1204.72 \times 0.682 = 821.62 \text{kg} \quad (\text{C.0.4-6})$$

$$m'_c = m_c \cdot V_m = 573.09 \times 0.682 = 390.85 \text{kg} \quad (\text{C.0.4-7})$$

$$m'_m = m_m \cdot V_m = 245.61 \times 0.682 = 167.51 \text{kg} \quad (\text{C.0.4-8})$$

$$m'_w = m_w \cdot V_m = 257.89 \times 0.682 = 175.88 \text{kg} \quad (\text{C.0.4-9})$$

$$m'_{ca} = m_{ca} \cdot V_m = 11.46 \times 0.682 = 7.82 \text{kg} \quad (\text{C.0.4-10})$$

7 分别按现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》（JGJ/T 283）和国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》（GB/T 50081）进行混凝土拌合物性能和硬化后的力学性能测试。实测坍落扩展度为 660mm、坍落扩展度与 J 环扩展度的差值为 38mm 以及离析率为 3.1%，满足自密实性能要求。28 天实测抗压强度为 54.8MPa，满足设计强度要求。完成公路机制砂自密实混凝土配合比设计。若混凝土拌合物性能不满足要求，则应增大砂浆膜厚后重新进行验证。

规程用词用语说明

1 本规程执行严格程度的用词，采用下列写法：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“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用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“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用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

- 1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”。
- 2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》（×××）的有关规定”。
- 3) 当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本规程第×章的有关规定”、“应符合本规程第×.×节的有关规定”、“应符合本规程第×.×.×条的有关规定”或“应按本规程第×.×.×条的有关规定执行”。