

JTG

中华人民共和国推荐性行业标准

JTG/T 3681—2024

公路工程机制砂应用技术规范

Technical Specifications for Application of Manufactured Sand
in Highway Engineering

2024-12-02 发布

2025-03-01 实施

中华人民共和国交通运输部发布

前 言

根据《交通运输部关于下达 2022 年度公路工程行业标准制修订项目计划的通知》（交公路函〔2022〕238 号）的要求，由贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司承担《公路工程机制砂应用技术规范》（以下简称“本规范”）的制定工作。

本规范制定的指导思想是：贯彻执行国家和交通运输部的有关技术政策，落实生态环保要求，规范机制砂技术要求，促进机制砂的应用。编写组按照“生态环保、因地制宜、质量可靠、经济适用”的原则，在总结近年来国内外公路工程机制砂应用经验与相关科研成果的基础上，深入开展调查研究，参考国内外有关标准、规程和规范，经试验研究、工程验证，并广泛征求意见后，编制完成本规范。

本规范由 9 章、2 个附录组成，分别是：1 总则、2 术语和符号、3 基本规定、4 机制砂技术要求、5 机制砂水泥混凝土材料设计、6 机制砂沥青混合料材料设计、7 机制砂水泥混凝土施工、8 机制砂沥青混合料施工、9 施工质量控制，附录 A 机制砂母材-沥青界面拉拔强度试验方法、附录 B 机制砂母材高温压碎值试验方法。

本规范由杨健负责起草第 1 章，杨健、蒋正武、郝培文负责起草第 2 章，杨健、梅世龙、蒋正武、郝培文负责起草第 3 章，蒋正武、何飞、郝培文、杨黔负责起草第 4 章，蒋正武、任强、吴大鸿、欧阳男负责起草第 5 章，郝培文、徐金枝、杨黔、余崇俊负责起草第 6 章，韩玉、吴大鸿、鄢霞、任强负责起草第 7 章，王中文、李卫炎、余崇俊、徐金枝负责起草第 8 章，何飞、欧阳男、杨黔、潘忠岳负责起草第 9 章，徐金枝、杨黔、刘焱负责起草附录 A，杨黔、潘忠岳、刘焱负责起草附录 B。

请各单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本规范日常管理组，联系人：杨黔（地址：贵州省贵阳市贵阳国家高新技术产业开发区阳关大道附 100 号；邮编：550081；电话：0851-85861098；传真：0851-85861098；电子邮箱：yqtumu@163.com），以便修订时参考。

主 编 单 位：贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司

参 编 单 位：同济大学

贵州宏信创达工程检测咨询有限公司

广西路桥工程集团有限公司

长安大学

保利长大工程有限公司

贵州黔通工程技术有限公司

浙江交通资源投资集团有限公司

主 编：杨 健

主要参编人员：蒋正武 郝培文 何 飞 韩 玉 杨 黔 任 强
徐金枝 吴大鸿 鄢 霞 欧阳男 梅世龙 王中文
余崇俊 潘忠岳 李卫炎 刘 焱

主 审：孟书涛

参与审查人员：成 平 王 太 李春风 赵尚传 许湘华 陈 冉
冷发光 宋少民 王 林 段丹军 杨长辉 韦江雄
沈卫国 沈 毅 张胜林 李 松 贾其军 夏京亮
陈志国 刘长新 俞海勇 付宇文 龙广成 商从晋
孙向东 陈茂恒

参 加 人 员：宋 刚 苏 龙 吴雄华 梁国焱 张安睿 吴 辽
李志堂 许 伟 张玉杰 池 浩 邹昊天 李 晨
杨晓辉 覃振洲 张建平 车天凯 余 文 李文婷
王晓雄 龚国欢 赵 静 翁贻令

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	2
3	基本规定	4
4	机制砂技术要求	5
4.1	一般规定	5
4.2	水泥混凝土用机制砂	5
4.3	沥青混合料用机制砂	9
5	机制砂水泥混凝土材料设计	12
5.1	一般规定	12
5.2	原材料	12
5.3	机制砂水泥混凝土技术性能	13
5.4	机制砂水泥混凝土配合比设计	16
6	机制砂沥青混合料材料设计	18
6.1	一般规定	18
6.2	原材料	18
6.3	机制砂沥青混合料配合比设计	18
6.4	机制砂沥青混合料路用性能	20
7	机制砂水泥混凝土施工	23
7.1	原材料检验与储存	23
7.2	机制砂水泥混凝土拌制	23
7.3	混凝土运输、浇筑与养护	24
8	机制砂沥青混合料施工	25
8.1	原材料检验与储存	25
8.2	混合料拌制	25
8.3	混合料运输、摊铺与碾压	25
9	施工质量控制	27
9.1	一般规定	27
9.2	机制砂水泥混凝土质量检验	27
9.3	机制砂沥青混合料质量检验	28

附录 A 机制砂母材-沥青界面拉拔强度试验方法	30
附录 B 机制砂母材高温压碎值试验方法	35
本规范用词用语说明	38

交通运输部信息公开
浏览专用

1 总则

1.0.1 为规范机制砂在公路工程中的应用，保证工程质量，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于各等级公路的机制砂水泥混凝土和机制砂沥青混合料的材料设计、施工与施工质量控制。

1.0.3 公路工程机制砂应用应遵循“生态环保、因地制宜、质量可靠、经济适用”的原则。

1.0.4 公路工程机制砂应用除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定。

交通运输部信息公示
浏览专用

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 水泥混凝土用机制砂 manufactured sand for concrete

以合格母材为原料,经除土开采、机械破碎、颗粒整形、筛分和粉控等工艺制成,级配、粒形和石粉含量等满足要求且粒径不大于4.75mm的岩石颗粒。

2.1.2 沥青混合料用机制砂 manufactured sand for bituminous mixture

以合格母材为原料,经除土开采、机械破碎、颗粒整形、筛分和粉控等工艺制成,级配、粒形和石粉含量等满足要求且粒径不大于2.36mm的岩石颗粒。

2.1.3 片状颗粒 flaky particle

粒径1.18mm以上的机制砂颗粒中,最小一维尺寸小于该颗粒所属相应粒级的平均粒径0.45倍的颗粒。

2.1.4 石粉含量 amount of fines in manufactured sand

机制砂中粒径小于0.075mm的颗粒含量。

2.1.5 机制砂母材-沥青界面拉拔强度 pull strength for interface between asphalt and parent rock of manufactured sand

机制砂母材与沥青黏结界面发生拉拔破坏时的峰值力与黏结界面面积之比。

2.1.6 机制砂母材高温压碎值 high temperature crushing value for parent rock of manufactured sand

在高温条件下,机制砂母材破碎后的粗集料经压碎试验后,小于规定粒径的集料与总集料质量比值。

2.2 符号

DF ——抗冻耐久性指数;

- E_0 ——水泥混凝土的动弹模量；
 E_1 ——水泥混凝土试件经 300 次快速冻融循环后混凝土的动弹模量；
 KS ——水泥混凝土抗压强度耐蚀系数下降到不低于 75% 时的最大干湿循环次数；
 MB ——机制砂亚甲蓝值；
 P ——机制砂母材-沥青界面拉拔强度；
 Q_h ——机制砂母材高温压碎值；
 VCA_{DRC} ——粗集料干捣空隙率。

交通运输部信息公开
浏览专用

3 基本规定

3.0.1 机制砂母材应采用质地坚硬的岩石、碎石或卵石，岩质宜均匀。

条文说明

用于加工机制砂的母材种类多。各种母材微观岩相结构复杂，具有风化程度、杂质含量等不确定性，影响机制砂质量，故条文要求采用质地坚硬的岩石、卵石或碎石，且岩性一致。

3.0.2 机制砂母材的放射性应符合现行《建筑材料放射性核素限量》(GB 6566)的有关规定。

3.0.3 机制砂的生产应符合现行《机制砂石生产技术规程》(JC/T 2299)的有关规定，并应符合相关环境保护要求。

3.0.4 机制砂水泥混凝土和机制砂沥青混合料应根据公路技术等级和环境类别进行材料设计。

条文说明

不同公路技术等级对机制砂水泥混凝土和机制砂沥青混合料的性能要求不同，同时，环境作用也是引起水泥混凝土结构和沥青路面劣化的重要因素。因此，在进行机制砂水泥混凝土和机制砂沥青混合料的材料设计时，需考虑公路技术等级与环境类别。

3.0.5 机制砂水泥混凝土和机制砂沥青混合料的施工应符合现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650)和《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)的有关规定。

4 机制砂技术要求

4.1 一般规定

4.1.1 公路工程机制砂根据用途可分为水泥混凝土用机制砂和沥青混合料用机制砂。

4.1.2 公路工程机制砂的技术要求应根据水泥混凝土和沥青混合料性能要求确定。

4.2 水泥混凝土用机制砂

4.2.1 公路工程水泥混凝土用机制砂分为Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类。Ⅰ类机制砂根据机制砂片状颗粒含量分为Ⅰ_a类和Ⅰ_b类。

4.2.2 用于生产机制砂母材的技术要求应符合表4.2.2的规定。

表4.2.2 机制砂母材的技术要求

技术指标	机制砂类别			试验方法
	Ⅰ类	Ⅱ类	Ⅲ类	
岩石抗压强度 (MPa)	≥80	≥60	≥30	GB/T 14685 中岩石抗压强度试验方法
碎石压碎指标 (%)	≤10	≤20	≤30	GB/T 14685 中压碎指标试验方法
卵石压碎指标 (%)	≤12	≤14	≤16	
碱-集料反应活性	不应具有碱-集料反应活性	不应具有碱-碳酸盐反应活性；当具有碱-硅酸反应活性时，快速碱-硅酸反应试验的膨胀率应不大于0.3%		碱活性成分采用 GB/T 14684 中岩石种类与碱活性骨料种类确定试验方法；碱-碳酸盐反应采用 GB/T 14684 中碱-碳酸盐反应试验方法；快速碱-硅酸反应采用 GB/T 14684 中碱-硅酸反应（快速法）试验方法

条文说明

本规范借鉴《公路工程 水泥混凝土用机制砂》(JT/T 819—2023)，对水泥混凝土用机制砂母材的岩石抗压强度、碎石压碎指标、卵石压碎指标以及碱-集料反应活性进行了规定。

4.2.3 用于水泥混凝土路面的机制砂，应检验母材的磨光值，其值应符合表 4.2.3 的规定，且母材不应使用抗磨性较差的泥岩、页岩、板岩等岩石。

表 4.2.3 机制砂母材的磨光值

技术指标	机制砂类别			试验方法
	I类	II类	III类	
母材磨光值	≥38.0	≥35.0	≥30.0	JT/T 819 中机制砂母材磨光值试验方法

条文说明

对于用于水泥混凝土路面的机制砂，需关注其母材的耐磨性。本规范借鉴《公路工程 水泥混凝土用机制砂》(JT/T 819—2023)，对用于水泥混凝土路面的机制砂母材磨光值进行了规定。

4.2.4 水泥混凝土用机制砂的表观密度应不小于 2500kg/m^3 ，松散堆积密度应不小于 1400kg/m^3 ，松散堆积空隙率应不大于 44%。试验方法应符合现行《建设用砂》(GB/T 14684) 的有关规定。

4.2.5 水泥混凝土用机制砂的细度模数应符合表 4.2.5 的规定。

表 4.2.5 水泥混凝土用机制砂的细度模数技术要求

级别	粗砂	中砂	试验方法
细度模数	3.1~3.7	2.3~3.0	GB/T 14684 中颗粒级配试验方法

条文说明

《建设用砂》(GB/T 14684—2022) 根据细度模数将砂分为粗砂 (3.1~3.7)、中砂 (2.3~3.0)、细砂 (1.6~2.2) 和特细砂 (0.7~1.5)。鉴于当前的生产工艺，主要为中砂和粗砂。因此，《公路工程 水泥混凝土用机制砂》(JT/T 819—2023) 根据细度模数将机制砂分为粗砂 (3.1~3.9) 和中砂 (2.3~3.0)。两部标准对于粗砂的细度模数上限规定不一致，考虑到机制砂的细度模数受级配影响，本规范结合对机制砂级配的技术要求，将机制砂分为粗砂和中砂，粗砂的细度模数上限规定为 3.7。

4.2.6 水泥混凝土用 I 类机制砂的累计筛余应符合表 4.2.6-1 中 2 区的规定，分计筛余应符合表 4.2.6-2 的规定；II 类和 III 类机制砂的累计筛余应符合表 4.2.6-1 的规定。除 4.75mm 和 0.60mm 筛孔外，其余筛孔上机制砂的累计筛余可超出限值，但超出总量应不大于 5%，试验方法应符合现行《建设用砂》(GB/T 14684) 的有关规定。

表 4.2.6-1 水泥混凝土用机制砂的累计筛余技术要求

筛孔尺寸 (mm)	累计筛余 (%)		
	1 区	2 区	3 区
9.5	0	0	0
4.75	0~5	0~5	0~5
2.36	5~35	0~25	0~15
1.18	35~65	10~50	0~25
0.60	71~85	41~70	16~40
0.30	80~95	70~92	55~85
0.15	85~97	80~94	75~94
筛底	100	100	100

表 4.2.6-2 水泥混凝土用 I 类机制砂的分计筛余要求

筛孔尺寸 (mm)	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	筛底
分计筛余 (%)	0~5	10~15	10~25	20~31	20~30	5~15	0~20

条文说明

采用累计筛余和分计筛余双控的方式，有利于防止出现砂级配两头多、中间少甚至断档的现象。本规范借鉴《建设用砂》(GB/T 14684—2022)对机制砂的级配进行了规定，其中，I类机制砂既要满足累计筛余的2区规定，又要满足分计筛余的规定。

4.2.7 水泥混凝土用机制砂的技术要求应符合表 4.2.7 的规定。

表 4.2.7 水泥混凝土用机制砂的技术要求

类别	I 类		II 类	III 类	试验方法
	I _a 类	I _b 类			
石粉含量 (%)	$MB \leq 0.5$	≤ 15.0	≤ 15.0		GB/T 14684 中机制砂亚甲蓝值与石粉含量试验方法
	$0.5 < MB \leq 1.0$	≤ 10.0			
石粉含量 (%)	$1.0 < MB \leq 1.4$ 或快速试验合格	≤ 5.0	≤ 10.0	≤ 15.0	GB/T 14684 中机制砂亚甲蓝值与石粉含量试验方法
	$MB > 1.4$ 或快速试验不合格	≤ 1.0	≤ 3.0	≤ 5.0	
泥块含量 (按质量计) (%)		≤ 0.2	≤ 0.5	≤ 1.0	GB/T 14684 中泥块含量试验方法
片状颗粒含量 (%)		≤ 10	10~15	≤ 15	GB/T 14684 中片状颗粒含量试验方法

续表 4.2.7

类别		I类		II类	III类	试验方法	
		I _a 类	I _b 类				
坚固性 (硫酸钠溶液循环浸泡五次后的质量损失率) (%)		≤6.0	≤8.0	≤10.0		GB/T 14684 中坚固性试验方法	
压碎指标 (%)		≤20	≤25	≤30		GB/T 14684 中压碎指标试验方法	
饱和面干吸水率 (%)		≤2.0		≤2.5		GB/T 14684 中饱和面干吸水率试验方法	
有害物质含量	云母含量 (%)	≤1.0		≤2.0		GB/T 14684 中云母含量试验方法	
	轻物质含量 (%)	≤1.0				GB/T 14684 中轻物质含量试验方法	
	有机物含量		合格				GB/T 14684 中有机物含量试验方法
	硫化物及硫酸盐含量 (%)	不含黄铁矿	≤0.5				GB/T 14684 中硫化物和硫酸盐含量试验方法
		含黄铁矿	≤0.25				
氯离子含量 (%)		≤0.01	≤0.02	≤0.06		GB/T 14684 中氯化物含量试验方法	

条文说明

本规范借鉴《公路工程 水泥混凝土用机制砂》(JT/T 819—2023),对 I 类、II 类和 III 类机制砂的坚固性、压碎指标、饱和面干吸水率和有害物质含量分别进行了规定。

《公路工程 水泥混凝土用机制砂》(JT/T 819—2023)对机制砂 *MB* 值的规定体现结构部位的特点,将公路工程混凝土结构分为桥涵隧道结构物与附属结构、路面与桥面两大类,以此对机制砂石粉含量进行了分类规定。其一,公路工程混凝土结构物类别较多,不同结构物对机制砂技术指标的要求,通常以混凝土的技术性能作为媒介,如不同结构类型与结构特点对混凝土技术性能提出不同要求,而混凝土的技术性能对机制砂的技术指标提出要求。其二,机制砂石粉在现有配合比设计中是作为集料考虑的,而非胶凝材料,对于机制砂石粉含量高的担忧主要是其中的黏土矿物含量。实践表明,在 *MB* 值较低的前提下,石粉含量并非越低越好。关于机制砂 *MB* 值与石粉含量的协同,当 *MB* 值得以控制的情况下,以放宽石粉含量的规定为宜,即不同类别机制砂的石粉含量变化范围可一致,而通常对相同石粉含量下的 *MB* 值按类别提出不同要求。因此,本规范借鉴《建设用砂》(GB/T 14684—2022),对 I 类、II 类、III 类机制砂的石粉含量分

别进行了规定。

关于机制砂粒形特征的技术要求，各标准中采用不同的粒形参数，如《公路工程集料试验规程》（JTG 3432—2024）中的流出时间、《公路机制砂高性能混凝土技术规程》（T/CECS G：K50-30—2018）中的球体类似度等。近些年颁布的机制砂相关标准如《建设用砂》（GB/T 14684—2022）、《公路工程 水泥混凝土用机制砂》（JT/T 819—2023）和《高性能混凝土用骨料》（JG/T 568—2019）中均采用了片状颗粒含量表征机制砂的粒形特征。为与相关国家与行业标准保持一致，本规范中的机制砂粒形参数也选取片状颗粒含量，且借鉴《公路工程 水泥混凝土用机制砂》（JT/T 819—2023）的规定，将 I 类机制砂根据片状颗粒含量进一步分为 I_a类和 I_b类。

4.3 沥青混合料用机制砂

4.3.1 沥青混合料用机制砂应选用碱性或中性岩石加工，宜采用石灰岩，不得使用泥岩、页岩、砂岩，且饱水抗压强度不宜低于 60MPa，其他岩性岩石应通过试验验证后使用。

条文说明

陕西、河南、云南、贵州、广西、重庆、内蒙古、甘肃等地 69 条高速公路项目的沥青路面表面层、中面层及下面层用机制砂母材岩性情况的调研表明，目前我国各地区在建公路沥青面层中应用的机制砂主要采用碱性或中性母材加工，岩石类型主要为石灰岩和玄武岩，且石灰岩使用居多，母岩饱水抗压强度均大于 60MPa。本规范据此提出沥青混合料用机制砂母材岩性及力学强度技术要求。

4.3.2 机制砂母材-沥青界面拉拔强度宜符合表 4.3.2 的规定，沥青应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）中 70 号道路石油沥青的有关规定。

表 4.3.2 机制砂母材-沥青界面拉拔强度技术要求

公路技术等级	高速公路、一级公路	其他等级公路	试验方法
拉拔强度（kPa）	≥700	≥500	本规范附录 A

条文说明

现行标准中缺乏对机制砂母材与沥青界面黏附性的控制，无法保障机制砂沥青混合料水稳定性等技术性能。本规范采用机制砂母材-沥青界面拉拔试验评价机制砂母材与沥青界面的黏附性，详见本规范附录 A。本规范编制组采用不同油源的 70 号道路石油沥青与不同岩性的机制砂母材制备 50 余种试样，开展 25℃拉拔强度试验验证。根据碱性及中性机制砂母材试验结果，汇总分析得到 95% 置信区间上、下限值分别为 845kPa 和 799kPa，以此下限值为依据，针对高速公路、一级公路提出机制砂母材-沥青界面拉

拔强度不低于 700 kPa 的技术要求；根据中性偏酸机制砂母材试验结果，汇总分析得到 95% 置信区间上、下限值分别为 682kPa 和 580kPa，以此下限值为依据，针对其他等级公路提出机制砂母材-沥青界面拉拔强度不低于 500 kPa 的技术要求。

4.3.3 沥青混合料用机制砂母材常温压碎值和高温压碎值应符合表 4.3.3 的规定。

表 4.3.3 沥青混合料用机制砂母材常温压碎值和高温压碎值技术要求

公路技术等级	高速公路、一级公路	其他等级公路	试验方法
常温压碎值 (%)	≤26	≤30	JTG3432 T0316
高温压碎值 (%)	≤28	≤32	本规范附录 B

条文说明

压碎值是一项评价集料抵抗压碎的性能指标。近年来，我国一直沿用压碎值来评定集料在公路工程中的适用性。沥青混合料拌和、摊铺、碾压等施工过程中，集料一直处于高温状态。目前，江苏、甘肃、湖南、天津等地已根据沥青混合料用集料的高温施工条件及对集料的力学性能需求，在相应的地方标准中提出了集料高温压碎值技术规定。鉴于此，本规范在常温压碎值指标基础上，提出了机制砂母材高温压碎值检测方法，详见本规范附录 B，并针对不同公路等级提出技术规定，为保证沥青路面施工质量、规范集料高温状态下的工程应用提供依据。

4.3.4 沥青混合料用机制砂的级配应符合表 4.3.4 的规定，试验方法应符合现行《公路工程集料试验规程》(JTG 3432) 的有关规定。

表 4.3.4 沥青混合料用机制砂级配技术要求

筛孔尺寸 (mm)	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过各筛孔的质量百分率 (%)	100	80~100	50~80	25~60	8~45	0~25	0~12

条文说明

《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004) 针对沥青混合料用机制砂 0.075mm 筛孔通过率提出了 0~15% 的技术要求。已有工程应用经验表明，机制砂中 0.075mm 筛孔通过率过高，会造成机制砂沥青混合料中矿粉掺量过低，对机制砂沥青混合料性能产生不利影响。陕西、甘肃等地要求机制砂中 0.075mm 筛孔通过率不超过 12%，四川、山东等地要求不超过 10%。本规范在《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004) 针对沥青混合料用机制砂 0.075mm 筛孔通过率提出的 0~15% 技术要求基础上，对其上限范围收窄，将机制砂 0.075mm 筛孔通过率范围调整为 0~12%。

4.3.5 沥青混合料用机制砂颗粒应洁净、干燥、无风化、无杂质，其质量应符合表 4.3.5 的规定。其中，机制砂的洁净程度以亚甲蓝值或砂当量进行评价。

表 4.3.5 沥青混合料用机制砂技术要求

指标	高速公路、一级公路	其他等级公路	试验方法
表观相对密度	≥2.60	≥2.50	JTG 3432 T0328
亚甲蓝值 (g/kg)	≤2.0	≤2.5	JTG 3432 T0349
砂当量 (%)	≥60	≥50	JTG 3432 T0334
棱角性 (流动时间) (s)	≥35	≥30	JTG 3432 T0345
坚固性 (%)	≤12	≤15	JTG 3432 T0340

条文说明

集料表观相对密度与其制备的沥青混合料体积指标直接相关，进而对沥青混合料组成设计结果产生显著影响。近年来调查发现，我国绝大部分省（自治区、直辖市）及工程项目针对沥青混合料用机制砂表观相对密度提出的规定值均高于《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40—2004）中的技术要求。据此，本规范结合实体工程调研，提出应用于高速公路、一级公路的机制砂表观相对密度不小于 2.60、其他等级公路不小于 2.50 的规定。

机制砂的洁净程度是其质量评价的重要指标之一。对于沥青混合料用机制砂的洁净程度评价，调研发现，采用亚甲蓝值代替砂当量可极大降低取样不均匀带来的试验误差。因此，本规范推荐采用砂当量和亚甲蓝值两项指标用于机制砂洁净程度的评价，优先选用亚甲蓝值。

细集料棱角性指标对沥青混合料的施工性能及使用性能具有显著影响。通过调研与工程验证，本规范将机制砂的棱角性指标要求调整为高速公路、一级公路不小于 35s，其他等级公路不小于 30s。

5 机制砂水泥混凝土材料设计

5.1 一般规定

5.1.1 机制砂水泥混凝土的设计应根据设计使用年限、环境类别及环境作用等级确定其耐久性技术要求。

条文说明

为保障公路工程结构耐久性，通常根据作用等级对材料进行耐久性设计。公路工程结构所处区域和环境特点是判断和确定结构所属环境类别的基本依据，本规范借鉴《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310—2019)，将结构所处的环境类别分为七大类，在每一类环境下，根据环境作用程度分成不同等级。

5.1.2 机制砂水泥混凝土的配合比设计应根据混凝土设计强度等级确定最大水胶比和胶凝材料用量范围，并应根据其环境类别确定矿物掺合料用量范围。

5.1.3 当集料存在潜在碱-硅酸反应危害时，机制砂水泥混凝土的配合比设计应符合现行《预防混凝土碱骨料反应技术规范》(GB/T 50733)的有关规定。

5.2 原材料

5.2.1 水泥、粗集料、矿物掺合料和水应符合现行有关标准的规定。

5.2.2 不同强度等级水泥混凝土使用的机制砂类别应符合表 5.2.2 的规定。当有抗冻抗渗要求时，强度等级小于 C60 且大于 C30 的水泥混凝土宜选用 I 类机制砂，强度等级 C30 及以下的水泥混凝土宜选用 II 类机制砂，耐久性要求高或不可更换的水泥混凝土构件不应使用 III 类机制砂。

表 5.2.2 不同强度等级水泥混凝土使用的机制砂类别

强度等级	≤C30	> C30, < C60	≥C60	≥C100
机制砂类别	III类	II类	I _b 类	I _a 类

5.2.3 机制砂水泥混凝土用外加剂应符合现行《公路工程水泥混凝土外加剂》(JT/T 523) 的有关规定, 且应与胶凝材料及石粉相适应, 其种类和掺量应经试验确定。

5.3 机制砂水泥混凝土技术性能

5.3.1 机制砂水泥混凝土拌合物性能应满足坍落度、坍落度经时损失、凝结时间、抗离析性等施工技术要求, 试验方法应符合现行《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》(GB/T 50080) 的有关规定。用于路面的机制砂水泥混凝土拌合物应符合现行《公路水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG/T F30) 的有关规定。

5.3.2 机制砂水泥混凝土的力学性能应符合下列规定:

1 机制砂水泥混凝土抗压强度标准值、抗压强度设计值、弯拉强度、弹性模量应满足工程设计要求, 试验方法应符合现行《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG 3420) 的有关规定。

2 机制砂水泥混凝土的强度等级应按 150mm × 150mm × 150mm 立方体 28d 抗压强度标准值确定。当混凝土中矿物掺合料掺量大于 30% 时, 宜采用 90d 龄期的试验结果对其进行强度评定。

3 用于路面的机制砂水泥混凝土 28d 弯拉强度应符合表 5.3.2 的规定, 且满足工程设计要求。

表 5.3.2 机制砂水泥混凝土 28d 弯拉强度要求

交通荷载	重及以上	中等	轻
28d 弯拉强度 (MPa)	≥5.0	≥4.5	≥4.0

5.3.3 机制砂水泥混凝土的变形性能应符合下列规定:

1 机制砂水泥混凝土早期抗裂性应符合表 5.3.3-1 的规定。

表 5.3.3-1 机制砂水泥混凝土早期抗裂性要求

设计使用年限		氯盐环境		其他环境		试验方法
		100 年	50 年	100 年	50 年	
早期抗裂性 (mm ² /m ²)	< C60	≤200	≤400	≤400	≤700	GB/T 50082 中 早期抗裂试验
	≥ C60	≤100	≤200	≤100	≤400	

2 机制砂水泥混凝土的 90d 收缩率宜符合表 5.3.3-2 的规定。

表 5.3.3-2 机制砂水泥混凝土的 90d 收缩率限值要求

混凝土强度等级	< C60	≥ C60	试验方法
90d 收缩率 (× 10 ⁻⁴)	≤4.00	≤5.00	GB/T 50082 中收缩试验

条文说明

机制砂水泥混凝土的变形性能涉及因水化、干燥及荷载等作用下的形变特征，机制砂水泥混凝土浆体较多，需重点关注其早期变形和干燥收缩特性。氯盐环境下的机制砂水泥混凝土需具有更高的早期抗裂性要求，本规范借鉴《混凝土质量控制标准》(GB 50164—2011) 中的 L-III、L-IV 和 L-V 三个等级的早期抗裂性规定，结合强度等级特点，对机制砂水泥混凝土的早期抗裂性进行了规定。《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082—2024) 中规定收缩测试的龄期为 1d、3d、7d、14d、28d、45d、60d、90d、120d、150d、180d 和 360d。混凝土收缩的发展在 90d 前较为明显，90d 后相对平缓，因此，本规范结合全国公路工程水泥混凝土技术发展水平和公路工程结构耐久性服役需求，对不同强度等级的 90d 收缩率进行了规定。

5.3.4 机制砂水泥混凝土的耐久性应符合下列规定：

1 机制砂水泥混凝土耐久性评价项目应符合表 5.3.4-1 的规定，环境类别和作用等级应符合现行《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310) 的有关规定。

表 5.3.4-1 机制砂水泥混凝土耐久性评价项目

环境类别		评价项目
名称	符号	
一般环境	I	碳化深度
冻融环境	II	抗冻耐久性指数
近海或海洋氯化物环境	III	电通量或氯离子扩散系数
除冰盐等其他氯化物环境	IV	电通量或氯离子扩散系数
盐结晶环境	V	抗硫酸盐结晶侵蚀性能
化学腐蚀环境	VI	—
磨蚀环境	VII	耐磨性能 (单位面积的磨损量)

2 一般环境中的机制砂水泥混凝土，宜在 28d 龄期进行碳化试验，对矿物掺合料掺量大于 30% 的混凝土，宜在 90d 龄期进行碳化试验；碳化深度宜符合表 5.3.4-2 的规定。

表 5.3.4-2 一般环境中的机制砂水泥混凝土的碳化深度要求

设计使用年限	100 年	50 年 (30 年)	试验方法
碳化深度 (mm)	≤10	≤20	GB/T 50082 中碳化试验

注：表中“50 年 (30 年)”表示设计使用年限为 50 年或 30 年。

3 冻融环境中的机制砂水泥混凝土抗冻耐久性指数 (DF) 应符合表 5.3.4-3 的规定。

表 5.3.4-3 冻融环境中的机制砂水泥混凝土抗冻耐久性指数要求

设计使用年限与饱水状态		100 年		50 年 (30 年)		试验方法
		高度饱水	中度饱水	高度饱水	中度饱水	
抗冻耐久性指数 (%)	严寒地区	≥80	≥70	≥70	≥60	GB/T 50082 中抗冻试验 (快冻法)
	寒冷地区	≥70	≥60	≥60	≥50	
	微冻地区	≥60	≥60	≥50	≥45	

注：抗冻耐久性指数 (DF) 为混凝土试件经 300 次快速冻融循环后混凝土的动弹模量 E_1 与其初始值 E_0 的比值， $DF = E_1/E_0$ ；如在达到 300 次循环之前 E_1 已降至初始值的 60% 或试件重量损失已达到 5%，以此时的循环次数 N 计算 DF 值，并取 $DF = (N/300) \times 0.6$ 。

4 对处于近海或海洋氯化物环境、除冰盐等其他氯化物环境中的钢筋混凝土结构，水泥混凝土抗氯离子渗透性能应符合表 5.3.4-4 的规定。其他环境中，抗渗性能也可用电通量法和氯离子扩散系数法进行表征。当电通量与氯离子扩散系数结果存在争议时，应以氯离子扩散系数为准。

表 5.3.4-4 氯化物环境中的机制砂水泥混凝土抗氯离子渗透性能要求

设计使用年限与环境作用等级	100 年			50 年 (30 年)			试验方法
	Ⅲ-D/Ⅳ-D	Ⅲ-E/Ⅳ-E	Ⅲ-F/Ⅳ-F	Ⅲ-D/Ⅳ-D	Ⅲ-E/Ⅳ-E	Ⅲ-F/Ⅳ-F	
电通量 (C)	<1 200	<800	<800	<1 500	<1 000	<800	GB/T 50082 中抗氯离子渗透试验
氯离子扩散系数 ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)	<8	<5	<4	<10	<7	<5	

5 盐结晶环境中的机制砂水泥混凝土抗硫酸盐结晶侵蚀性能应符合表 5.3.4-5 的规定。

表 5.3.4-5 盐结晶环境中的机制砂水泥混凝土抗硫酸盐结晶侵蚀性能要求

设计使用年限与环境作用等级	100 年			50 年 (30 年)			试验方法
	V-D	V-E	V-F	V-D	V-E	V-F	
抗硫酸盐结晶侵蚀性能	≥KS 90	≥KS 120	≥KS 150	≥KS 60	≥KS 90	≥KS 120	GB/T 50082 中抗硫酸盐侵蚀试验

注：混凝土抗硫酸盐结晶破坏以混凝土抗压强度耐蚀系数下降到不低于 75% 时的最大干湿循环次数来确定，并以符号 KS 来表示。

6 化学腐蚀环境下的机制砂水泥混凝土耐久性技术要求，应根据化学腐蚀类型，确定耐久性技术指标，并经试验确定其耐久性技术要求。

7 磨蚀环境下的机制砂水泥混凝土，应经试验确定耐磨性能的技术要求。

条文说明

本规范借鉴《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310—2019)，明确了七大环境类别对应的评价项目，考虑到一般环境中水泥混凝土的主要环境作用为碳化作用，因此在上述标准基础上补充了一般环境中的碳化深度评价项目。快速碳化试验碳化深度小于 20mm 的混凝土，其抗碳化性能较好，通常可满足大气环境下 50 年的耐久

性要求,对于100年设计使用年限的混凝土,需具有更小的碳化深度,因此,本规范借鉴《混凝土质量控制标准》(GB 50164—2011)中的T-III、T-IV和T-V三个等级的碳化深度规定,对不同设计使用年限的机制砂水泥混凝土的早期抗裂性进行了规定。此外,本规范借鉴《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310—2019),对冻融环境中的机制砂水泥混凝土抗冻耐久性指数、氯化物环境中的机制砂水泥混凝土抗氯离子渗透性能和盐结晶环境中的机制砂水泥混凝土抗硫酸盐结晶侵蚀性能进行了规定。

5.4 机制砂水泥混凝土配合比设计

5.4.1 机制砂水泥混凝土的配合比设计应符合现行《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55)的有关规定。用于路面的机制砂水泥混凝土配合比设计尚应符合现行《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40)和《公路水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG/T F30)的有关规定。

5.4.2 机制砂水泥混凝土的配合比设计应根据混凝土拌合物性能、力学性能、变形性能和耐久性要求计算出初始配合比,初始配合比经实验室试配、调整后,经拌合物性能、力学性能、变形性能和耐久性指标复核得到基准配合比,并经试生产检验满足要求后确定施工配合比。

5.4.3 机制砂的石粉含量变化超过 $\pm 2\%$ 或细度模数变化超过 ± 0.2 时,应通过试验进行配合比调整。

5.4.4 C25~C60机制砂水泥混凝土的最大水胶比和单位体积混凝土的胶凝材料用量宜符合表5.4.4的规定。其他强度等级机制砂水泥混凝土的最大水胶比和单位体积混凝土的胶凝材料用量范围,应根据试验确定。

表 5.4.4 C25~C60 机制砂水泥混凝土的最大水胶比和单位体积混凝土的胶凝材料用量范围

混凝土强度等级	最大水胶比	最小胶凝材料用量 (kg/m^3)	最大胶凝材料用量 (kg/m^3)
C25	0.55	275	400
C30	0.55	280	
C35	0.50	300	
C40	0.45	320	450
C45	0.40	340	
C50	0.36	360	480
C55	0.32	380	500
C60	0.30	400	530

条文说明

本规范借鉴《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310—2019),对机制砂水泥混凝土的配合比参数以及矿物掺合料用量范围进行了规定。

5.4.5 不同环境类别的机制砂水泥混凝土中矿物掺合料用量宜符合表 5.4.5 的规定。使用除硅酸盐水泥外的其他水泥时,应将其中原有混合材与配制混凝土时加入的矿物掺合料用量一起计算。矿物掺合料复掺使用时,其用量范围应通过试验确定。

表 5.4.5 机制砂水泥混凝土中矿物掺合料用量范围

混凝土类型	环境类别		水胶比	粉煤灰 (%)	磨细矿渣 (%)
钢筋混凝土	一般环境	I	≤0.4	≤30	≤50
			>0.4	≤20	≤30
	冻融环境	II	≤0.4	≤30	≤40
			>0.4	≤20	≤30
	近海或海洋氯化物环境/ 除冰盐等其他氯化物环境	III/IV	≤0.4	30~50	50~80
			>0.4	20~40	30~60
	盐结晶环境	V	≤0.4	≤40	≤50
			>0.4	≤30	≤40
	化学腐蚀环境	VI	≤0.4	30~50	40~60
			>0.4	20~40	30~50
	磨蚀环境	VII	≤0.4	≤30	≤40
			>0.4	≤20	≤30
预应力混凝土				≤30	≤50

6 机制砂沥青混合料材料设计

6.1 一般规定

6.1.1 机制砂沥青混合料材料设计应包含原材料的选择、配合比设计及路用性能验证。

6.1.2 机制砂沥青混合料类型应根据公路技术等级、交通荷载、气候条件、路面层位及功能要求,同时考虑沥青类型、集料公称最大粒径与矿料合成级配、混合料空隙率等因素综合确定。

6.2 原材料

6.2.1 沥青混合料用机制砂应符合本规范第4.3节的有关规定。

6.2.2 机制砂沥青混合料用沥青、粗集料、填料和纤维应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)的有关规定。

6.2.3 机制砂沥青混合料用添加剂应符合行业现行有关标准的规定。

6.3 机制砂沥青混合料配合比设计

6.3.1 机制砂沥青混合料应按照目标配合比设计、生产配合比设计、生产配合比验证三个阶段进行设计,各阶段设计方法及过程应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)的有关规定。

6.3.2 机制砂沥青混合料配合比设计时,应根据确定的沥青混合料类型,在现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)规定的矿料合成级配范围内,结合机制砂的技术性质,合理确定机制砂沥青混合料的工程设计级配范围。

6.3.3 机制砂沥青混合料应采用马歇尔试验配合比设计方法,以体积指标作为主要控制指标,并符合现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)的有关规定。

6.3.4 矿料公称最大粒径不大于 26.5mm 的机制砂密级配沥青混合料马歇尔试验技术指标应符合表 6.3.4 的规定。

表 6.3.4 机制砂密级配沥青混合料马歇尔试验技术要求

指 标		高速公路、一级公路				其他等级公路	试验方法	
		夏炎热区 (1-1、1-2、1-3、1-4 区)		夏热区及夏凉区 (2-1、2-2、2-3、2-4、3-2 区)				
		中轻交通	重载交通	中轻交通	重载交通			
双面击实次数 (次)		75				50	JTG E20 T0702	
试件尺寸 (mm)		φ101.6×63.5						
空隙率 (VV) (%) ^a	路面深约 90mm 以内	3~5	4~6	2~4	3~5	3~6	JTG E20 T0705	
	路面深约 90mm 以下	3~6		2~4	3~6	3~6		
稳定度 (kN), 不小于		8.5				5	JTG E20	
流值 (mm) ^b		1.5~4	2~4	2~4	2~4	2~4.5	T0709	
矿料间隙率 (VMA) (%) ^c , 不小于	设计空隙率 (%)	相应于以下公称最大粒径 (mm) 的最小 VMA 及 VFA 技术要求 (%)					JTG E20 T0705	
		26.5	19	16	13.2	9.5		4.75
	2	10	11	11.5	12	13		15
	3	11	12	12.5	13	14		16
	4	12	13	13.5	14	15		17
	5	13	14	14.5	15	16		18
6	14	15	15.5	16	17	19		
沥青饱和度 VFA (%)		55~70	65~75		70~85			

注：^a对空隙率大于 5% 的夏炎热区重载交通路段，施工时压实度应至少提高 1 个百分点。

^b对改性沥青混合料，马歇尔试验的流值允许适当放宽。

^c当设计的空隙率不是整数时，由内插确定要求的 VMA 最小值。

条文说明

对已有工程实践调研发现，机制砂密级配沥青混合料马歇尔稳定度指标普遍高于《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004) 中 8.0kN 的技术要求。规范编制组采用石灰岩、玄武岩等不同岩性的机制砂与基质沥青、改性沥青制备密级配沥青混合料并进行配合比验证试验。验证结果表明，采用基质沥青的机制砂密级配沥青混合料马歇尔稳定度指标均值为 10.6kN，最低值为 8.6kN；采用改性沥青的机制砂密级配沥青混合料马歇尔稳定度指标均值为 13.9kN，最低值为 9.2kN。据此，结合工程实际情况，本规范将机制砂密级配沥青混合料马歇尔稳定度指标的技术要求提高至 8.5kN。

6.3.5 采用改性沥青的机制砂沥青玛蹄脂碎石混合料马歇尔试验配合比设计技术指标应符合表 6.3.5 的规定。

表 6.3.5 机制砂沥青玛蹄脂碎石混合料马歇尔试验配合比设计技术要求

指标	技术要求	试验方法
双面击实次数 (次) ^a	50	JTG E20 T0702
试件尺寸 (mm)	φ101.6 × 63.5	
空隙率 (VV) (%) ^b	3 ~ 4	JTG E20 T0705
矿料间隙率 (VMA) (%), 不小于 ^b	17.0	
粗集料骨架间隙率 (VCA _{mix}), 不大于 ^c	VCA _{DRC}	
沥青饱和度 (VFA) (%) ^b	75 ~ 85	JTG E20 T0709
稳定度 (kN), 不小于	8.0	
流值 (mm)	2 ~ 5	
谢伦堡沥青析漏试验的结合料损失 (%), 不大于	0.1	JTG E20 T0732
肯塔堡飞散试验的混合料损失或浸水飞散试验 (%), 不大于	15	

注：^a对集料坚硬不易击碎及通行重载交通的路段，允许将击实次数增加为双面 75 次。

^b对夏炎热区特重、极重交通路段，经论证设计空隙率上限允许放宽到 4.5%，VMA 允许放宽到 16.5% (SMA-16) 或 16% (SMA-19)，VFA 允许放宽到 70%。

^c粗集料骨架间隙率 VCA_{mix} 的关键性筛孔，对 SMA-19、SMA-16 为 4.75mm，对 SMA-13、SMA-10 为 2.36mm。

条文说明

对已有工程实践调研发现，机制砂沥青玛蹄脂碎石混合料马歇尔稳定度指标普遍高于《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004) 中 6.0kN 的技术要求。规范编制组采用石灰岩、玄武岩等不同岩性的机制砂与改性沥青制备沥青玛蹄脂碎石混合料并进行配合比验证试验，其中，马歇尔稳定度指标验证结果均值为 12.6kN，最低值为 9.9kN。在此基础上，结合工程实践经验，本规范将采用改性沥青的机制砂沥青玛蹄脂碎石混合料马歇尔稳定度指标的技术要求提高至 8.0kN。

6.4 机制砂沥青混合料路用性能

6.4.1 机制砂沥青混合料高温车辙试验的动稳定度指标应符合表 6.4.1 的规定。

表 6.4.1 机制砂沥青混合料高温车辙试验动稳定度技术要求

气候条件与技术指标		相应于下列气候分区所要求的动稳定度 (次/mm), 不小于									试验方法
最热月平均最高气温 (°C) 及气候分区		>30				20~30				<20	
		1. 夏炎热区				2. 夏热区				3. 夏凉区	
		1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	3-2	
密级配沥青 混合料	非改性沥青	800		1 000		600	800			600	JTG E20 T0719
	改性沥青	2 800		3 200		2 000	2 400			1 800	
沥青玛蹄脂 碎石混合料	改性沥青	3 000									

注: 1. 对特殊情况, 如特重与极重交通、重载交通的长大纵坡路段和钢桥面铺装等, 酌情提高动稳定度的技术要求。

2. 车辙试验不得采用二次加热的混合料试件。

条文说明

近年来, 通过采用改性沥青、优化矿料级配组成等方式, 密级配沥青混合料高温抗车辙性能明显提升。陕西、四川、山东、安徽、广西等地针对夏炎热区改性密级配沥青混合料 60°C 车辙试验动稳定度提出的技术要求均超过 3 000 次/mm。规范编制组进一步采用石灰岩、玄武岩等不同岩性的机制砂与改性沥青制备密级配沥青混合料, 并开展 60°C 车辙试验验证, 动稳定度试验结果最小值达到 2 900 次/mm, 平均值超过 4 000 次/mm。据此, 本规范在《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004) 对夏炎热区改性密级配沥青混合料动稳定度不低于 2 400 次/mm 及 2 800 次/mm 的要求基础上, 分别将其提高至不低于 2 800 次/mm 及 3 200 次/mm, 以保证设计的机制砂密级配沥青混合料具有良好的高温稳定性, 更好地满足夏炎热区沥青路面的使用需求。

6.4.2 机制砂沥青混合料低温弯曲试验破坏应变指标应符合表 6.4.2 的规定。

表 6.4.2 机制砂沥青混合料低温弯曲试验破坏应变技术要求

气候条件与技术指标		相应于下列气候分区所要求的破坏应变 (με), 不小于									试验方法
极端最低气温 (°C) 及气候分区		< -37.0		-21.5 ~ -37.0			-9.0 ~ -21.5		> -9.0		
		1. 冬严寒区		2. 冬寒区			3. 冬冷区		4. 冬温区		
		1-1	2-1	1-2	2-2	3-2	1-3	2-3	1-4	2-4	
密级配 沥青 混合料	非改性 沥青	2 600		2 300			2 000				JTG E20 T0715
	改性沥青	3 000		2 800			2 500				
沥青玛蹄脂 碎石 混合料	改性沥青	3 000		2 800			2 500				

6.4.3 机制砂沥青混合料水稳定性试验技术指标应符合表 6.4.3 的规定。

表 6.4.3 机制砂沥青混合料水稳定性试验技术要求

气候条件与技术指标		相应于下列气候分区的技术要求 (%)				试验方法
年降雨量 (mm) 及气候分区		>1 000	500 ~ 1 000	250 ~ 500	<250	
		1. 潮湿区	2. 湿润区	3. 半干区	4. 干旱区	
浸水马歇尔试验的残留稳定度 (%), 不小于						
密级配沥青混合料	非改性沥青	80		75		JTG E20 T0709
	改性沥青	85		80		
沥青玛蹄脂碎石混合料	改性沥青	80				
冻融劈裂试验的残留强度比 (%), 不小于						
密级配沥青混合料	非改性沥青	75		70		JTG E20 T0729
	改性沥青	80		75		
沥青玛蹄脂碎石混合料	改性沥青	80				

交通运输部信息公示
浏览专用

7 机制砂水泥混凝土施工

7.1 原材料检验与储存

7.1.1 机制砂水泥混凝土原材料进场时，应附有合格证明文件，并应进行质量检验。

7.1.2 机制砂堆放场地应进行硬化，四周应具备排水措施。

7.1.3 机制砂干料堆积高度不宜超过5m，并应设置防雨棚。不同料源的机制砂应分开堆放。

条文说明

机制砂中石粉含量高，堆料过高时易发生离析，通常要求不超过5m。

7.1.4 水泥、矿物掺合料和粉状外加剂应注意防潮，散装材料采用密封罐储存，袋装材料不得长时间露天堆放，临时露天堆放时应设支垫并覆盖。

7.2 机制砂水泥混凝土拌制

7.2.1 机制砂水泥混凝土的原材料称量应采用计量装置，原材料重量最大允许偏差应符合表7.2.1的规定。

表 7.2.1 原材料重量最大允许偏差

原材料	胶凝材料	化学外加剂	粗集料	机制砂	水
最大允许偏差 (%)	±1	±1	±2	±2	±1

注：胶凝材料包括水泥和矿物掺合料，化学外加剂包括高性能减水剂和其他化学外加剂。

7.2.2 每台班混凝土拌制前，应检测机制砂和粗集料的含水率。生产过程中机制砂或粗集料的含水率发生变化时，应及时调整施工配合比。

条文说明

机制砂水泥混凝土对材料的含水率比较敏感，如果砂石的含水率较高，而配合比没

有相应调整,则容易导致拌合物泌水、离析等,通常根据含水率变化调整粗集料、机制砂及水的用量。因此,要记录天气等相关信息,便于配合比调整以及后期的查阅。

7.2.3 机制砂水泥混凝土的拌制应采用强制式搅拌方式,搅拌时间不应少于60s,强度等级C30及以上的混凝土和高流动性混凝土宜延长搅拌时间。混凝土拌合物应搅拌均匀、颜色一致,不得有离析和泌水现象。

7.3 混凝土运输、浇筑与养生

7.3.1 机制砂水泥混凝土的运输、浇筑与养生应符合现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650)及《公路水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG/T F30)的有关规定。

7.3.2 运输车装料前,应清洁车厢或车罐,排干积水。当采用搅拌运输车运输混凝土到达浇筑现场时,应使搅拌罐高速旋转20~30s,混凝土拌合物性能满足要求,方可使用。

7.3.3 机制砂水泥混凝土的浇筑应按施工方案规定的工艺和方法进行,浇筑过程中,混凝土倾落高度宜控制在2m内,防止离析。采用振动器振捣混凝土时,每点的振捣时间不宜超过30s,以混凝土不出现气泡、表面呈平坦泛浆为准。

条文说明

振捣通常是保证将机制砂水泥混凝土振捣密实,不漏振,不过振。水泥混凝土的过振易导致分层离析,水泥混凝土的振捣通常以混凝土不出现气泡、表面呈平坦泛浆为准。

7.3.4 机制砂水泥混凝土应在拆模的同时保湿覆盖或喷洒养生剂,养生剂应符合现行《公路工程水泥混凝土养生剂(膜)》(JT/T 522)的有关规定。

条文说明

当空气中相对湿度较小时,混凝土中的水分就会不断地蒸发,造成混凝土由表到里逐渐脱水(失水),极易产生干燥收缩裂缝。为使混凝土有适宜的硬化条件,使强度不断增长,避免产生干燥收缩裂缝,通常要求在拆模的同时采取一定措施对混凝土进行养生。

8 机制砂沥青混合料施工

8.1 原材料检验与储存

8.1.1 机制砂沥青混合料所用原材料进场时，应附有合格证明文件，并进行质量检验。

8.1.2 机制砂的储存应符合本规范第 7.1.2、7.1.3 条的有关规定。

8.1.3 填料、纤维和添加剂等材料在运输、储存及使用过程中应避免受潮，不结团。

8.2 混合料拌制

8.2.1 机制砂沥青混合料宜采用具有自动计量装置的间歇式拌和机拌制。

8.2.2 间歇式拌和机的冷料供料装置应经标定得出集料供料曲线，以确定不同冷料仓进料比例。

8.2.3 机制砂沥青混合料拌和温度应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40) 的有关规定，拌和时间根据具体情况经试拌确定，应搅拌均匀、颜色一致，不得出现离析、花白和流淌等现象。

8.3 混合料运输、摊铺与碾压

8.3.1 机制砂沥青混合料运输、摊铺与碾压应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40) 的有关规定。

8.3.2 混合料运料过程中应做好遮盖、保温、防水及防污染，运料车在摊铺路段宜匀速行驶，不得超载运输或紧急制动、急弯掉头，避免造成透层、黏层或封层损伤。

条文说明

沥青路面摊铺施工时运输车数量过多，运输频次较大，在沥青面层掉头对沥青层造成损坏，需根据实际情况控制运输车数量。

8.3.3 摊铺机应根据下承层及路面结构层特点，选择自动找平方式或钢丝绳引导的高程控制方式进行摊铺作业，过程应缓慢、均匀、连续不间断，以提高平整度。

8.3.4 应根据机制砂的棱角性和掺量、机制砂沥青混合料类型、结构层厚度、施工气温等因素，合理选择混合料的压实设备组合，碾压工艺应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40) 的有关规定。

交通运输部信息公开
浏览专用

9 施工质量控制

9.1 一般规定

9.1.1 机制砂水泥混凝土的施工质量控制包括原材料技术指标、混凝土拌合物性能和硬化混凝土性能；机制砂沥青混合料的施工质量控制包括原材料技术指标及沥青混合料性能。

9.1.2 公路工程用机制砂进场前应提供母材技术性能的检验检测报告。

9.1.3 公路工程用机制砂应以“批”为单位进行质量检查，不符合本规范相关技术要求的机制砂不得进场，一个料场宜以 600t 为一个检验批，不足 600t 作为一批计。

9.2 机制砂水泥混凝土质量检验

9.2.1 水泥混凝土用机制砂进场及水泥混凝土生产过程中质量检验检测项目与频率应符合表 9.2.1 的规定，检验方法及技术要求应符合本规范第 4.2 节的有关规定。含水率的检验方法应符合现行《建设用砂》（GB/T 14684）的有关规定。

表 9.2.1 水泥混凝土用机制砂进场及水泥混凝土生产过程中质量检验检测项目与频率

序号	检测项目	检验要求		
		首次入场	日常进场检验频率	水泥混凝土生产过程中检验频率
1	表观密度	必检	1 次/批	必要时 ^a
2	松散堆积密度	必检	1 次/批	必要时 ^a
3	空隙率	必检	1 次/批	必要时 ^a
4	含水率	必检	1 次/批	1 次/台班
5	颗粒级配和细度模数	必检	1 次/批	1 次/台班
6	亚甲蓝值	必检	1 次/批	必要时 ^a
7	石粉含量	必检	1 次/批	1 次/台班
8	泥块含量	必检	1 次/批	必要时 ^b
9	片状颗粒含量	必检	1 次/批	必要时 ^b
10	压碎指标	必检	1 次/批	必要时 ^b

续表 9.2.1

序号	检测项目	检验要求		
		首次入场	日常进场检验频率	水泥混凝土生产过程中检验频率
11	饱和面干吸水率	必检	1次/批	必要时 ^b
12	坚固性	必检	必要时 ^a	必要时 ^b
13	云母含量	必检	必要时 ^a	必要时 ^b
14	轻物质含量	必检	必要时 ^a	必要时 ^b
15	有机物含量	必检	必要时 ^a	必要时 ^b
16	硫化物及硫酸盐含量	必检	必要时 ^a	必要时 ^b
17	氯离子含量	必检	必要时 ^a	必要时 ^b

注：“必要时”指母材质量发生波动或生产工艺改动等影响机制砂品质稳定性的情况。

^b“必要时”指混凝土质量发生波动或施工各方任何一个部门对其指标产生怀疑并提出需要检查的情况。

9.2.2 机制砂水泥混凝土质量检验应符合下列规定：

1 机制砂水泥混凝土拌合物性能宜在搅拌地点和浇筑地点分别取样检测，每一工作班或每一单元结构物应不少于两次，判定时应以浇筑地点的测值为准。当拌合物从搅拌机出料起至浇筑入模的时间不大于15min时，可在拌制地点取样检测，拌合物检验项目应符合本规范第5.3.1条的有关规定。

2 机制砂水泥混凝土的硬化性能应满足设计要求，并应符合本规范第5.3.2条和第5.3.3条的有关规定，检验方法应符合现行《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082)的有关规定。

9.3 机制砂沥青混合料质量检验

9.3.1 沥青混合料用机制砂进场及沥青混合料生产过程中质量检验检测项目与频率应符合表9.3.1的规定，检验方法及技术要求应符合本规范第4.3节的有关规定。

表 9.3.1 沥青混合料用机制砂进场及沥青混合料生产过程中质量检验检测项目与频率

序号	检验项目	检验频率		
		首次入场	日常进场检验频率	沥青混合料生产过程中检验频率
1	颗粒级配	必检	1次/批	1次/台班
2	表观相对密度	必检	1次/批	1次/台班
3	亚甲蓝值 ^a	必检	1次/批	1次/台班
4	砂当量 ^a	必检	1次/批	1次/台班
5	棱角性(流动时间)	必检	1次/批	必要时 ^b
6	坚固性	必检	必要时 ^b	必要时 ^b

注：^a亚甲蓝值和砂当量可选择其中一个指标进行检验。

^b“必要时”指施工各方任何一个部门对其指标产生怀疑并提出需要检查时，或根据质量计划中确定的频率。

9.3.2 机制砂沥青混合料生产过程中，热料仓关键筛孔通过率与沥青用量的最大允许偏差、检测频率及方法应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）的有关规定。

9.3.3 机制砂沥青混合料马歇尔试验技术指标应符合本规范第 6.3.4 条与第 6.3.5 条的规定，路用性能指标应符合本规范第 6.4 节的规定，检验批次应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）的有关规定。

交通运输部信息公开
浏览专用

附录 A 机制砂母材-沥青界面拉拔强度试验方法

A.1 适用范围

A.1.1 本试验适用于评价公路工程用机制砂的母材与 70 号道路石油沥青之间的黏附性。

A.2 试验仪器

A.2.1 拉拔仪应符合下列规定：

- 1 拉力传感器：量程不低于 3000N，精度不低于 1N，力值的示值误差不得大于 1%。
- 2 拉力数显仪表：精度不小于 0.1N。
- 3 带孔液压缸：起重量不小于 2t。
- 4 拉拔头：宜由黄铜制作，其形状为半径 10mm、高 20mm 的圆柱体，拉拔头的一端采用 M12 型号螺纹，另一端沿拉拔头圆周设置高 0.3mm、壁厚 1mm 的凸起，并等距离设 4 个宽度 4mm 的开口凹槽。同时，在凸起一端端面沿着拉拔头中心线刻有内半径为 1.25mm 和 4.75mm、宽度为 2mm、深度为 0.3mm 的环形凹槽，拉拔头的尺寸与形状如图 A.2.1-1a) 所示。
- 5 底座：宜由铝合金制作，其形状为半径 15mm、高 15mm 的圆柱形，底座下部设有螺纹，螺纹采用 M12 型号，底座的尺寸如图 A.2.1-1b) 所示。

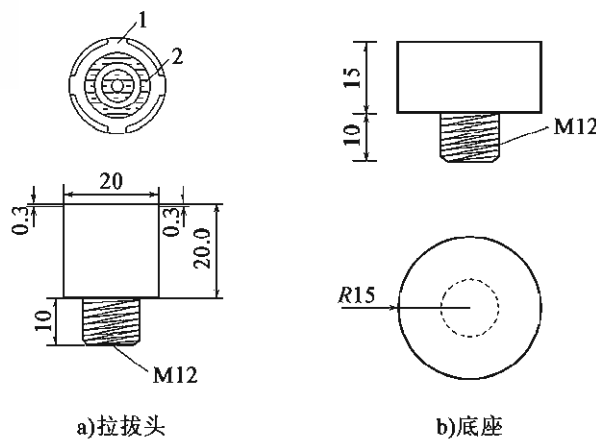


图 A.2.1-1 拉拔头和底座 (尺寸单位: mm)

1-开口凹槽; 2-环形凹槽

6 拉拔仪：由带孔液压缸、顶撑架、传力杆、拉力传感器等组成，如图 A. 2. 1-2 所示。

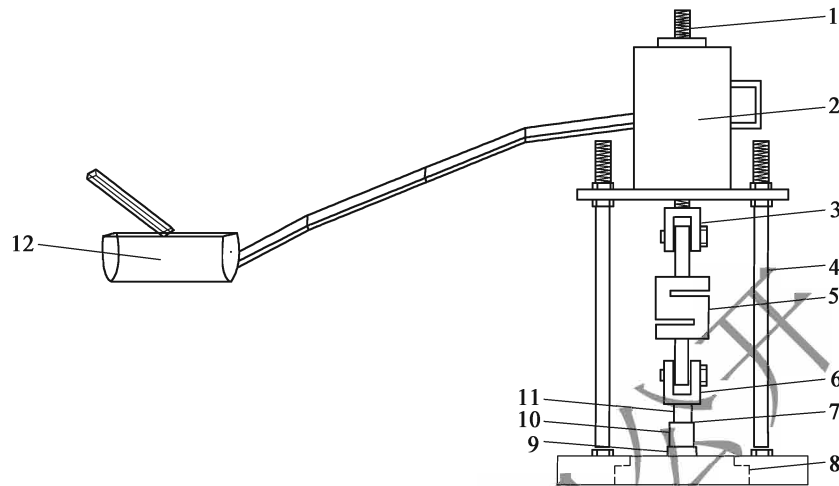


图 A. 2. 1-2 拉拔仪

1-传力杆；2-带孔液压缸；3-上凹块；4-顶撑架；5-拉力传感器；6-下凹块；7-沥青膜；8-可拆底座；9-底座；10-机制砂母材芯样；11-拉拔头；12-千斤顶

A. 2. 2 辅助仪器应符合下列规定：

- 1 钻芯取样机：钻头内径 $25\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 。
- 2 黏结材料：环氧树脂或 AB 胶。
- 3 测温枪：分度不大于 1°C 。
- 4 其他：扳手、刮刀、电热炉、石棉网、玻璃棒、水浴箱、恒温箱、烘箱、岩石切割机。

A. 3 试样成型

A. 3. 1 用直径 $25\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 的钻芯机在机制砂母材上钻取岩石芯样，并采用双面锯将芯样切割成两端平整、高 $25\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 的小圆柱。

A. 3. 2 用 150 目砂纸对圆柱形试样的一端进行粗磨，顺时针打磨 10 圈、逆时针打磨 10 圈，圈的大小适宜即可；再用 320 目砂纸进行精磨，打磨时应与粗磨打磨方向及圈数一致。将打磨后的芯样放置在 $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重，取出备用。

A. 3. 3 用环氧树脂或 AB 胶将烘干后的芯样底面粘在底座上，若试验过程中出现脱落情况，则该次试验作废。

A.3.4 将拉拔头放置于 $150^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 鼓风烘箱中预热至少 2h, 并将沥青加热至 $150^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

A.3.5 待沥青完全融化后, 用玻璃棒沾取数滴沥青, 滴至打磨平整的芯样顶面, 再立即将拉拔头取出并压在沥青表面, 用重 $1\text{kg} \pm 0.01\text{kg}$ 的配件按压 5 ~ 10min, 整个按压过程拉拔头不产生滑动, 确保拉拔头与底座对中。将试件冷却至室温并在室温条件下静置 1h, 待沥青冷却凝固后用热刮刀刮去拉拔头周围溢出的沥青, 完成试件成型。成型后的试件如图 A.3.5 所示。

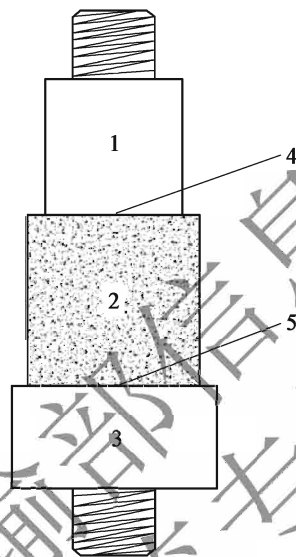


图 A.3.5 成型试件

1-拉拔头; 2-机制砂母材芯样; 3-底座; 4-沥青膜; 5-环氧树脂或 AB 胶

A.3.6 同一种母材至少钻取 6 个圆柱体试件进行平行试验。

A.4 试验环境

A.4.1 试验温度为 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

A.5 试验方法

A.5.1 将拉拔试样放入 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 恒温箱中养生不少于 2h。

A.5.2 将养生后的试样安装在传感器和可拆底座之间, 并保证试样水平及其与拉拔头端部沥青膜紧密黏结。

A. 5.3 当采用手动液压式拉拔仪时，压动带孔液压缸，对拉拔试样施加竖向拉力。当采用伺服控制拉拔仪或移动式伺服拉拔仪时，试验速率采用 $50\text{mm}/\text{min} \pm 5\text{mm}/\text{min}$ ，数显仪达到峰值并不再增加时，表明芯样与沥青界面发生破坏，试验停止，读取峰值力。整个试验过程应在试件自恒温箱中取出后 90s 内完成。

A. 5.4 取下拉拔试样，观察并记录界面的破坏形式，并在芯样上贴标签注明编号、拉拔力峰值等。

A. 6 试验数据处理

A. 6.1 拉拔强度定义为界面发生破坏时的峰值荷载与沥青膜面积之比。第 i 枚试样的拉拔强度按式 (A. 6.1) 计算。

$$P_i = \frac{F_i}{1000A} \quad (\text{A. 6.1})$$

式中： P_i ——试样 i 的拉拔强度 (kPa)；

F_i ——试样 i 破坏时的峰值荷载 (N)；

A ——沥青膜的面积 (m^2)，此处取值 $3.14 \times 10^{-4} \text{m}^2$ 。

A. 6.2 试样破坏包括下列形式：

1 内聚破坏：试验结束后，若拉拔头端面与芯样表面均为沥青包覆，则界面处为沥青结合料的内聚破坏。

2 黏附破坏：试验结束后，若芯样表面无沥青包覆而裸露在外，则界面处为沥青结合料与芯样之间的黏附破坏。

3 混合破坏：试验结束后，若芯样表面有部分沥青黏附而部分裸露在外，则界面处出现以上两种破坏形式。

A. 6.3 对于同一种母材的平行试验，拉拔强度结果为 6 个试件拉拔强度的算术平均值，精确至 0.1kPa 。如果 6 个强度值中有 1 个超过平均值 $\pm 15\%$ ，应剔除后以剩下的 5 个算术平均值作为最后结果。如果 5 个值中再有超过平均值 $\pm 15\%$ 的，则此组试件作废。

A. 6.4 试验报告应包括下列内容：

- 1 受检沥青和机制砂母材的品种、型号和批次。
- 2 试样的养生条件。
- 3 试样的编号。
- 4 试验环境温度和相对湿度。

- 5 拉力传感器的型号、量程和检定日期。
- 6 试样的破坏荷载及破坏形式。
- 7 试验结果整理和计算。
- 8 取样、测试、校核人员及测试日期。

交通运输部信息公开
浏览专用

附录 B 机制砂母材高温压碎值试验方法

B.1 适用范围

B.1.1 本方法适用于测定热拌沥青混合料用机制砂母材的高温压碎值。

B.2 试验仪器

B.2.1 烘箱：能使温度控制在设定温度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围内。

B.2.2 测温仪：0~300 $^{\circ}\text{C}$ ，分度值1 $^{\circ}\text{C}$ 。

B.2.3 试验用其他仪器设备参照现行《公路工程集料试验规程》(JTG 3432)中的T0316粗集料压碎值试验。

B.3 试验准备

B.3.1 将机制砂母材进行破碎，并参照现行《公路工程集料试验规程》(JTG 3432)中的T0301进行取样。

B.3.2 将破碎的机制砂母材用13.2mm和9.5mm的标准筛过筛，取9.5~13.2mm的试样3组各3000g，供试验用。将试样置于烘箱中加热烘干，在105 $^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重，取出备用。

B.3.3 每次试验的碎石数量应满足按下述方法夯击后碎石在试筒内的深度为100mm。

B.3.4 金属筒中碎石试样盛装方法为：将试样分3次（每次数量大体相同）均匀装入试模中，每次将试样表面进行初整平，用金属棒的半球面端从碎石表面向下捣实至下一层表面，每层均匀捣实25次。最后用金属棒作为直刮刀将表面仔细整平。称取量筒中的试样质量(m_0)，精确至1g。以相同质量的试样进行压碎值的平行试验。

B.4 试验环境

B.4.1 试验应在 10 ~ 35℃ 环境温度下进行。

B.5 试验步骤

B.5.1 将试筒安放在底板上。

B.5.2 将要求质量的试样分 3 次（每次数量大体相同）均匀装入试模中，每次均将试样表面整平，用金属棒的半球面端从碎石表面上均匀捣实 25 次。

B.5.3 将装有试样的压碎值试验仪和压头一起放入 210℃ ± 5℃ 的烘箱内，从烘箱温度重新达到 210℃ ± 5℃ 起保温 4h。

B.5.4 佩戴防烫手套，穿戴防烫鞋和防烫衣，利用防烫铁夹取出压碎值试验仪及压头，将压头放入试筒内集料面上，注意使压头摆平，勿楔挤试模侧壁。

B.5.5 将装有试样的试筒连同压头一起放到压力机上，均匀地施加荷载，在 10min 时达到总荷载 400kN，稳压 5s，然后卸荷。

B.5.6 将试筒从压力机上取下，取出试样，立即测量试样的温度，若试样温度低于 170℃，则试验无效。从烘箱中取出试样至压碎试验完成的时间宜控制在 15min 之内。

B.5.7 试样冷却至室温后用 2.36mm 标准筛筛分已经压碎的全部试样，可分几次筛分，均应筛到在 1min 内无明显的筛出物为止。

B.5.8 称取通过 2.36mm 筛孔的全部细料质量 (m_1)，准确至 1g。

B.6 试验数据处理

B.6.1 机制砂母材的高温压碎值应按式 (B.6.1) 计算，以 3 个试样平行试验结果的算术平均值作为压碎值的测定值，精确至 0.1%。

$$Q_i = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (\text{B.6.1})$$

式中： Q_i ——机制砂母材的高温压碎值 (%)；

m_0 ——试验前试样质量 (g)；

m_1 ——试验后通过 2.36mm 筛孔的细料质量 (g)。

B.6.2 试验报告应包括下列内容：

- 1 试样的编号。
- 2 试验前试样质量、试验后通过 2.36mm 筛孔的细料质量。
- 3 加热温度。
- 4 试验环境温度和相对湿度。
- 5 试验结果整理和计算。
- 6 取样、测试、校核人员及测试日期。

交通运输部信息公开
浏览专用

本规范用词用语说明

1 本规范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“除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定”。
- 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) 当引用本规范中的其他规定时，表述为“应符合本规范第×章的有关规定”、“应符合本规范第×.×节的有关规定”、“应符合本规范第×.×.×条的有关规定”或“应按本规范第×.×.×条的有关规定执行”。