

重庆市工程建设标准

人工砂混凝土应用技术标准

Technical standard for application of artificial
sand concrete

DBJ50/T-099-2025

主编单位：重 庆 大 学

重 庆 市 混 凝 土 协 会

批准部门：重庆市住房和城乡建设委员会

施行日期：2 0 2 5 年 7 月 1 日

2025 重 庆

重庆工程建设

重庆市住房和城乡建设委员会文件

渝建标〔2025〕11号

重庆市住房和城乡建设委员会 关于发布《人工砂混凝土应用技术标准》的通知

各区县(自治县)住房城乡建委,两江新区、重庆高新区建设局,万盛经开区住房城乡建设局、双桥经开区建设局、经开区生态环境建管局,有关单位:

现批准《人工砂混凝土应用技术标准》为我市工程建设地方标准,编号为 DBJ50/T-099-2025,自 2025 年 7 月 1 日起施行,原《预拌机制砂混凝土技术规程》DBJ/T50-099-2010、《混凝土机制砂质量及检验方法标准》DBJ50/T-150-2012、《混合砂混凝土应用技术规程》DBJ50/T-169-2013 和《石灰石粉在水泥混凝土中应用技术规程》DBJ50/T-179-2014 同时废止。标准文本可在标准备案后登录重庆市住房和城乡建设技术发展中心官网免费下载。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,重庆大学负责具体技术内容解释。

重庆市住房和城乡建设委员会

2025 年 4 月 11 日

重庆工程建设

前 言

根据重庆市住房和城乡建设委员会《关于下达 2021 年度重庆市工程建设标准制定修订计划(第一批)的通知》(渝建发〔2021〕25 号)的要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国家标准,对《预拌机制砂混凝土技术规程》DBJ/T50-099-2010、《混凝土机制砂质量及检验方法标准》DBJ50/T-150-2012、《混合砂混凝土应用技术规程》DBJ50/T-169-2013 和《石灰石粉在水泥混凝土中应用技术规程》DBJ50/T-179-2014 四部规程合并修订,在广泛征求意见的基础上,形成本标准。

本标准的主要技术内容:1 总则;2 术语;3 原材料;4 人工砂混凝土性能;5 配合比;6 生产与运输;7 施工;8 质量检验与验收。

本标准修订的主要内容:

- 1 更改了人工砂、混合砂和机制砂的定义。
- 2 更改了石粉含量的技术要求。
- 3 更改了人工砂 MB 值的试验方法。
- 4 增加了人工砂圆形度和片状颗粒含量的技术要求和检测方法。
- 5 增加了人工砂混凝土中总石粉含量的限值和石灰石粉掺合料的影响系数。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,重庆大学和重庆市混凝土协会负责具体技术内容解释。在本标准执行过程中,请各单位注意收集资料,总结经验,并将有关意见和建议反馈给重庆大学(地址:重庆大学材料科学与工程学院,邮编:400045,电话:023-62156472;邮箱:zhangzhirui@cqu.edu.cn),以供修订时参考。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人员和主要审查人员：

主 编 单 位：重庆大学

重庆市混凝土协会

参 编 单 位：重庆市住房和城乡建设工程质量安全总站

重庆市建筑科学研究院有限公司

重庆市江北区建设工程管理事务中心

重庆建设工程质量监督检测中心有限公司

中铁八局集团建筑工程有限公司

重庆渝湘复线高速公路有限公司

重庆市北碚区建设工程质量监督站

中冶建工集团重庆混凝土工程有限公司

重庆富普新材料科技股份有限公司

重庆驰旭混凝土有限公司

重庆弗雷西节能技术开发有限公司

重庆砼磊科技发展有限公司

重庆中建西部建设有限公司

重庆汉信新型建材有限公司

重庆永固新型建材有限公司

重庆四方新材股份有限公司

重庆建工住宅建设有限公司

重庆市巨成混凝土有限公司

重庆建大数字科技有限公司

重庆秦河新材料科技股份有限公司

重庆固标新型材料有限公司

酉阳县金斗建材有限公司

广东红墙新材料股份有限公司

重庆迪翔建材有限公司

重庆市增材造建材科技有限公司

重庆弘福汇科技有限公司

重庆重大建设工程质量检测有限公司

主要起草人员:叶建雄 黎 伟 张智瑞 李月霞 余林文
宋开伟 程玉雷 段华春 陈智荣 白延平
邓利平 王兴国 胡 刚 陈建松 李志坤
周武召 王镜尧 张先余 黎建波 林皇智
李晓欢 滕英明 班克成 刘兴平 邱有杨
汤建树 王 冲 伍任雄 刘 谷 陈家全
王业好 成 慧 何靖杰 倪 春 田 超
张腾跃 任增洲 李 波 肖 将 李 倩
黄利平 邹会安 李树志 朱 飞 陈榕榕
李俊峰 郑璐敏 沈 锐 潘星佑 何 强
主要审查人员:张京街 杨长辉 陈 岳 黄 刚 张 意
云 腾 王 丰

重庆工程建设

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	原材料	3
3.1	细骨料	3
3.2	水泥	6
3.3	矿物掺合料	7
3.4	其他原材料	7
4	人工砂混凝土性能	9
4.1	拌合物性能	9
4.2	力学性能	10
4.3	长期性能和耐久性能	10
5	配合比	11
5.1	一般规定	11
5.2	配合比计算与确定	12
5.3	有特殊要求的混凝土配合比	14
6	生产与运输	15
6.1	一般规定	15
6.2	原材料计量	15
6.3	混凝土搅拌	16
6.4	拌合物运输	17
7	施工	19
7.1	一般规定	19
7.2	混凝土浇筑	19
7.3	养护与拆模	22

8 质量检验及验收	26
8.1 混凝土原材料质量检验	26
8.2 混凝土拌合物性能检验	29
8.3 硬化混凝土性能检验	29
8.4 混凝土工程验收	30
附录 A 人工砂圆形度的检测方法	31
本标准用词说明	34
引用标准名录	35
条文说明	37

Contents

1	General provisions	1
2	Terms	2
3	Raw materials	3
3.1	Fine aggregates	3
3.2	Cements	6
3.3	Mineral admixtures	7
3.4	Other raw materials	7
4	Artificial sand concrete performance	9
4.1	Mixture performances	9
4.2	Mechanical performances	10
4.3	Long-term performances and durability	10
5	Mix proportion	11
5.1	General requirements	11
5.2	Calculation and determination of mix proportion ...	12
5.3	Mix proportion of special concrete	14
6	Production and transportation	15
6.1	General requirements	15
6.2	Weugling of raw materials	15
6.3	Mixing of fresh concrete	16
6.4	Transportation of fresh concrete	17
7	Construction	19
7.1	General requirements	19
7.2	Casting of concrete	19
7.3	Curing and demould	22

8	Quality inspection and acceptance	26
8.1	Inspection of concrete components	26
8.2	Inspection of mixture performances	29
8.3	Inspection of mechanical performances	29
8.4	Acceptance of concrete	30
Appendix A	Test method for circularity of artificial sand	31
	Explanation of Wording in this standard	34
	List of quoted standards	35
	Explanation of provisions	37

1 总 则

1.0.1 为规范重庆市人工砂混凝土的工程应用,做到技术先进、经济合理、安全适用,保证工程质量,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于人工砂混凝土的原材料质量控制、配合比设计、生产与运输、施工、质量检验与验收。

1.0.3 人工砂混凝土的应用除应符合本标准外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 机制砂 manufactured sand

以岩石、卵石、矿山废石和尾矿等(不包括软质岩和风化岩)为原料,经除土处理,由机械破碎、整形、筛分、粉控等工艺制成,级配、粒形和石粉含量满足要求且粒径小于4.75mm的颗粒。

2.0.2 混合砂 mixed sand

由机制砂和天然砂,或不同类别机制砂按一定比例混合而成的砂。

2.0.3 人工砂 artificial sand

机制砂和混合砂的统称。

2.0.4 人工砂石粉含量 artificial sand fine content

人工砂中粒径小于 $75\mu\text{m}$ 的颗粒含量。

2.0.5 亚甲蓝(MB)值 methylene blue value

用于判定人工砂吸附性能的指标。

2.0.6 人工砂混凝土 artificial sand concrete

以人工砂为细骨料配制的水泥混凝土。

2.0.7 圆形度 circularity

人工砂颗粒投影面积等效圆直径与投影周长等效圆直径之比。

2.0.8 混凝土总石粉含量 total content of limestone powder in concrete

人工砂石粉含量和石灰石粉掺合料用量之和。

2.0.9 胶凝材料 cementitious materials, or binders

混凝土中水泥、膨胀剂和矿物掺合料的总称。

3 原材料

3.1 细骨料

3.1.1 人工砂按其细度模数分为粗砂、中砂和细砂三种规格,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

3.1.2 人工砂按颗粒级配、石粉含量、亚甲蓝(MB)值、泥块含量、有害物质含量、压碎指标、坚固性、片状颗粒含量分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三个类别。

3.1.3 配制人工砂混凝土时宜采用不同规格的机制砂互相搭配或机制砂与天然砂搭配使用。

3.1.4 不同种类、规格的砂应分别储存,且不得出现混仓现象。

3.1.5 Ⅰ类人工砂颗粒级配应符合表 3.1.5 中 2 区的规定,Ⅱ类和Ⅲ类人工砂的颗粒级配应符合表 3.1.5 的规定。

1 人工砂的实际颗粒级配与表 3.1.5 的要求相比,除粒径为 4.75mm 和 0.60mm 的累计筛余外,其余粒径的累计筛余可超出表 3.1.5 中限定范围,但总超出量不宜大于 5%;

2 当人工砂粒径的累计筛余与表 3.1.5 中限定范围差值超出 5%时,宜采取相应的技术措施,并经试验证明能保证混凝土质量后方可使用。

表 3.1.5 人工砂颗粒级配

方孔筛尺寸/mm	累计筛余/%		
	1 区	2 区	3 区
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

3.1.6 人工砂石粉含量和泥块含量应符合表 3.1.6 的规定。

表 3.1.6 人工砂石粉含量和泥块含量

类别	亚甲基蓝值(MB)	石粉含量/%	泥块含量/%
Ⅰ类	$MB \leq 0.5$	≤ 15.0	≤ 0.2
	$0.5 < MB \leq 1.0$	≤ 10.0	
	$1.0 < MB \leq 1.4$ 或快速法试验合格	≤ 5.0	
	$MB > 1.4$ 或快速法试验不合格	$\leq 1.0^a$	
Ⅱ类	$MB \leq 1.0$	≤ 15.0	≤ 1.0
	$1.0 < MB \leq 1.4$ 或快速法试验合格	≤ 10.0	
	$MB > 1.4$ 或快速法试验不合格	$\leq 3.0^a$	
Ⅲ类	$1.0 < MB \leq 1.4$ 或快速法试验合格	≤ 15.0	≤ 2.0
	$MB > 1.4$ 或快速法试验不合格	$\leq 5.0^a$	

注：^a 根据使用环境和用途，经试验验证，Ⅰ类砂石粉含量可放宽至不大于 3.0%，Ⅱ类砂石粉含量可放宽至不大于 5.0%，Ⅲ类砂石粉含量可放宽至不大于 7.0%。

3.1.7 人工砂中不应混有草根、树叶、树枝、塑料、煤块、炉渣、沥青等杂物；其云母、轻物质、有机物、氯化物、硫化物及硫酸盐等有害物质限值应符合表 3.1.7 的规定：

表 3.1.7 人工砂中的有害物质限值

项目	指标		
	I 类	II 类	III 类
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 ⁻ 质量计)/%	≤0.01	≤0.02	≤0.06

3.1.8 人工砂的压碎指标和坚固性应符合表 3.1.8 的规定。

表 3.1.8 人工砂压碎指标和坚固性

项目	指标		
	I 类	II 类	III 类
单级最大压碎指标/%	≤20	≤25	≤30
坚固性(硫酸钠浸泡法质量损失率)/%	≤8	≤8	≤10

3.1.9 人工砂的其他性能应符合以下规定：

- 1 I 类人工砂的片状颗粒含量不应大于 10%；
- 2 吸水率不应大于 3.0%；
- 3 表观密度应不小于 2500kg/m³，松散堆积密度应不小于 1400kg/m³，空隙率不大于 44%；
- 4 碱骨料反应试验应符合现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 和行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定；
- 5 圆形度不宜小于 0.80。

3.1.10 生产机制砂的母岩饱水抗压强度不宜小于 45MPa。

3.1.11 用于不同规格搭配使用的单种规格机制砂石粉含量宜符合表 3.1.11 的规定。

表 3.1.11 单种规格机制砂石粉含量

亚甲蓝(MB)值	石粉含量/%
MB $\leq$ 1.4 或快速法试验合格	$\leq 15.0^a$
MB $>$ 1.4 或快速法试验不合格	$\leq 7.0^a$

注：^a 经试验验证后，石粉含量可适当放宽 3%。

3.1.12 用于不同规格搭配使用的单种规格机制砂单级最大压碎指标不宜大于 30%，坚固性不宜大于 10%。

3.1.13 用于搭配使用的天然砂性能应符合现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 和行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定。

3.1.14 人工砂亚甲蓝值试验方法应按现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 的规定执行，同时试验用亚甲蓝溶液应按照现行国家标准《木质活性炭试验方法 亚甲蓝吸附值的测定》GB/T 12496.10 的规定进行标定，根据亚甲蓝溶液标定的结果再对细骨料亚甲蓝值进行修正。

3.1.15 人工砂母岩强度试验应按照现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 的规定执行。

3.1.16 人工砂圆形度检测方法应按照本标准附录 A 的规定执行。

3.1.17 人工砂其他性能的试验方法应按现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 和行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定执行。

3.2 水 泥

3.2.1 水泥宜采用通用硅酸盐水泥且应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的规定；当采用其他品种水泥时，其性能应符合国家现行有关标准的规定。

3.2.2 水泥的使用温度不宜高于 60℃。

3.2.3 水泥性能的试验方法应符合现行国家标准《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346、《水泥胶砂流动度测定方法》GB/T 2419、《水泥胶砂强度检验方法 (ISO 法)》GB/T 17671、《水泥化学分析方法》GB/T 176、《水泥比表面积测定方法 勃氏法》GB/T 8074、《水泥细度检验方法 筛析法》GB/T 1345 等标准的规定。

3.3 矿物掺合料

3.3.1 矿物掺合料宜采用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、石灰石粉、复合掺合料、钢渣粉、硅灰等,其性能和试验方法应分别符合国家现行标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596、《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046、《石灰石粉在混凝土中应用技术规程》JGJ/T 318、《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736、《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690、《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003、《混凝土用复合掺合料》JG/T 486 和《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》GB/T 20491 等的规定。

3.3.2 矿物掺合料储存时,不得与其他材料混杂,且应防止受潮。

3.4 其他原材料

3.4.1 粗骨料应符合下列规定:

1 粗骨料应符合现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 和行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定;

2 粗骨料宜采用连续级配的碎石或卵石;当颗粒级配不符合要求时,可采取多级配组合的方式进行调整;其最大粒径应符合

合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定；

3 粗骨料性能的试验方法应按现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB /T 14685 和行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定执行。

3.4.2 外加剂的性能和试验方法应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076、《混凝土膨胀剂》GB/T 23439 和《喷射混凝土用速凝剂》GB/T 35195 的规定。

3.4.3 外加剂与水泥、矿物掺合料及人工砂应具有良好的适应性。

3.4.4 拌合用水的性能和试验方法应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 和《预拌混凝土生产企业废水回收利用规范》JC/T 2647 的规定。

3.4.5 纤维材料应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的规定,纤维材料的品种、直径、长度、长径比和掺量应根据混凝土性能和设计要求进行试验确定。

3.4.6 其余原材料性能应符合现行相关标准的规定。

4 人工砂混凝土性能

4.1 拌合物性能

4.1.1 人工砂混凝土稠度应满足工程设计、施工要求和现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定;用于泵送的人工砂混凝土坍落度经时损失不宜大于 20mm/h。人工砂混凝土稠度和坍落度经时损失的试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的规定。

4.1.2 人工砂混凝土拌合物的凝结时间应满足施工要求。

4.1.3 人工砂混凝土拌合物宜具备良好的早期抗裂性能,混凝土早期抗裂等级不宜低于现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 规定的 I-Ⅲ 级。人工砂混凝土抗裂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。

4.1.4 人工砂混凝土拌合物的水溶性氯离子最大含量应符合表 4.1.4 的规定。人工砂混凝土拌合物的水溶性氯离子含量宜按照现行行业标准《混凝土中氯离子含量检测规程》JGJ/T 322 和《水运工程混凝土试验检测技术规范》JTS/T 236 测定方法进行测定,也可采用其他准确度更高的方法进行测定。

表 4.1.4 人工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
潮湿但不含氯离子的环境	0.20		
潮湿且含有氯离子的环境	0.10		
腐蚀环境	0.06		

4.1.5 人工砂混凝土拌合物的总碱含量应符合现行国家标准《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 的规定进行计算。

4.2 力学性能

4.2.1 人工砂混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值确定。

4.2.2 人工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国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。人工砂混凝土力学性能应按照现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的规定进行检验,并应满足设计要求。

4.3 长期性能和耐久性能

4.3.1 人工砂混凝土的收缩和徐变性能应符合设计要求。人工砂混凝土的收缩和徐变性能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。

4.3.2 人工砂混凝土的抗冻、抗水渗透、抗氯离子渗透、抗碳化和抗硫酸盐侵蚀等耐久性能应符合设计要求;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 和《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的规定。人工砂混凝土耐久性能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。

5 配合比

5.1 一般规定

5.1.1 人工砂混凝土应根据混凝土拌合物性能、力学性能、长期性能和耐久性能等要求,在满足工程设计和施工要求的条件下,遵循低水泥用量,低用水量和低收缩性能的原则,按国家现行标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55、《混凝土结构通用规范》GB 55008 和《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 进行配合比设计。

5.1.2 I 类人工砂宜用于强度等级大于 C55 的混凝土,II 类人工砂宜用于强度等级为 C30~C55 的混凝土,III 类人工砂宜用于强度等级小于 C30 的混凝土;有抗冻、抗渗要求时宜采用 I 类和 II 类人工砂。

5.1.3 采用人工砂配制混凝土时,应提前检测人工砂与胶凝材料、外加剂的适应性,进行拌合物性能的坍落度经时损失试验,确认满足施工要求后方可使用。

5.1.4 配制石灰石粉混凝土时,不宜采用含有石灰石粉的复合硅酸盐水泥;采用石灰石硅酸盐水泥配制混凝土时,不得掺加石灰石粉掺合料。

5.1.5 用于结构的混凝土用砂的氯离子含量大于 0.003% 时,水泥的氯离子含量不应大于 0.025%,拌合物用水的氯离子含量不应大于 250mg/L。

5.1.6 对有抗裂性能要求的人工砂混凝土,应通过混凝土抗裂试验和收缩试验优选配合比。

5.1.7 对于有抗冻、抗渗、抗碳化、抗氯离子侵蚀和抗化学腐蚀

等耐久性要求的人工砂混凝土配合比设计,应符合现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008、《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 和《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

5.1.8 对于掺加矿物掺合料的人工砂混凝土,应根据工程所处的环境条件、结构特点确定矿物掺合料的掺量,应符合现行国家标准《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003 和行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的规定。

5.1.9 人工砂混凝土中掺加石灰石粉矿物掺合料时,混凝土总石粉含量限值宜符合表 5.1.9 的规定。

表 5.1.9 人工砂混凝土总石粉含量最大值
(%,以混凝土单方质量的百分比计)

水胶比	人工砂亚甲蓝值(MB)≤1.4	人工砂亚甲蓝值(MB)>1.4
≤0.4	7	5
>0.4	6	4

5.1.10 当人工砂混凝土有如下情况时,应重新进行混凝土配合比设计:

- 1 原材料质量显著变化;
- 2 对混凝土性能指标有特殊要求;
- 3 混凝土生产间断半年以上。

5.2 配合比计算与确定

5.2.1 人工砂混凝土的配制强度应满足现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的规定。

5.2.2 计算人工砂混凝土配合比时,胶凝材料 28d 胶砂抗压强度宜根据实测值确定。当胶凝材料 28d 胶砂抗压强度无实测值时,可按下式计算:

$$f_b = \gamma_f \gamma_s \gamma_L \gamma_c f_{ce,g} \quad (5.2.1)$$

式中： γ_f 、 γ_s ——粉煤灰、矿渣粉的影响系数，可按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的规定选取；

γ_L ——石灰石粉影响系数，可按表 5.2.1 选用；

γ_c ——水泥强度等级值的富余系数，可按实际统计资料确定，也可根据水泥强度等级确定。水泥强度等级为 32.5 时，富余系数为 1.12，水泥强度等级为 42.5 时，富余系数为 1.16，水泥强度等级为 52.5 时，富余系数为 1.10。

$f_{ce,g}$ ——水泥强度等级值(MPa)。

表 5.2.2 石灰石粉影响系数

石灰石粉掺量(%)	石灰石粉影响系数 γ_c
0	1.00
10	0.85
15	0.80
20	0.75
25	0.70

5.2.3 人工砂混凝土的砂率应根据砂的细度模数、颗粒级配、石粉含量，碎石最大粒径及混凝土施工性能要求，按经验砂率选用或通过试验确定；当采用相同细度模数的砂配制混凝土时，人工砂混凝土砂率宜在天然砂混凝土砂率的基础上适当提高。

5.2.4 配制人工砂混凝土时，外加剂的品种和掺量应根据人工砂混凝土的强度等级、施工要求、运输距离、混凝土所处环境条件等因素通过试验确定，并应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定。

5.2.5 人工砂混凝土其他配制参数的计算和取值、配合比的调整、确认与校正应按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的规定进行。

5.3 有特殊要求的混凝土配合比

5.3.1 采用人工砂配制高强、高性能、泵送、大流态混凝土时,宜掺加一定量的优质粉煤灰、矿渣粉或硅灰等矿物掺合料。配制大体积混凝土时,宜优先选用粉煤灰与磨细矿渣粉。

5.3.2 用于泵送施工的人工砂混凝土配合比,应根据混凝土原材料、混凝土运输距离、混凝土输送管径、泵送距离、气温等进行试配,必要时可通过试泵确定配合比。

5.3.3 配制高强人工砂混凝土时,水泥和胶凝材料用量分别不宜大于 $500\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $600\text{ kg}/\text{m}^3$ 。

5.3.4 当对混凝土耐久性有设计要求时,宜采用 MB 值不大于 1.4 的人工砂,且应进行耐久性试验验证。

5.3.5 配制高性能人工砂混凝土时,配合比设计应符合现行国家标准《高性能混凝土技术条件》GB/T 41054 和现行地方标准《高性能混凝土应用技术标准》DBJ50/T-389 的规定。

5.3.6 温度低于 15°C 的硫酸盐环境中,不得使用石灰石粉作为混凝土矿物掺合料。

5.3.7 其他有特殊要求的人工砂混凝土工程,其配合比设计尚应符合相关标准、规范的规定并通过试验确定。

6 生产与运输

6.1 一般规定

6.1.1 人工砂混凝土的生产应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 和《预拌混凝土》GB/T 14902 的有关规定。

6.1.2 人工砂混凝土生产宜符合现行行业标准《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》JGJ/T 328 的规定。

6.1.3 对首次使用、使用间隔时间超过三个月的人工砂混凝土配合比应进行开盘鉴定,并应符合下列规定:

- 1 生产使用的原材料应与配合比设计一致;
- 2 混凝土拌合物性能应满足施工要求;
- 3 混凝土强度评定应符合设计要求;
- 4 混凝土耐久性能应符合设计要求。

6.1.4 人工砂混凝土生产过程中,应根据混凝土质量的动态信息及时调整配合比。

6.1.5 人工砂和粗骨料的含水率检验应每工作班不少于 1 次。当混凝土骨料含水率变化时,应及时检验,并应根据检验结果调整生产配合比。

6.1.6 人工砂混凝土生产前,应制定完整的技术方案,并应做好各项准备工作。

6.2 原材料计量

6.2.1 原材料称量应采用自动电子计量设备,并应严格按照生产配合比进行计量。

6.2.2 原材料宜按质量进行计量。计量设备应能连续计量不同混凝土配合比的各种原材料,并应具有逐盘记录和贮存计量数据的功能。计量设备应具有法定计量部门签发的有效校准证书,并应定期校验。混凝土生产单位应对计量设备至少每月自检一次;每一工作班开始前,应对计量设备进行零点校准。

6.2.3 原材料计量偏差应每班检查 1 次,每盘原材料计量的允许偏差应符合表 6.2.3 的规定。

表 6.2.3 原材料计量的允许偏差(%)

原材料种类	每盘计量允许偏差	累计计量允许偏差
胶凝材料	± 2	± 1
外加剂	± 1	± 1
粗、细骨料	± 3	± 2
拌和用水	± 1	± 1

6.3 混凝土搅拌

6.3.1 人工砂混凝土搅拌机应采用固定式强制搅拌机,并应符合现行国家标准《混凝土搅拌机》GB/T 9142 的规定。所采用的搅拌站(楼)应符合现行国家标准《混凝土搅拌站(楼)》GB 10171 的规定。

6.3.2 人工砂混凝土搅拌的最短时间可按表 6.3.2 采用。当搅拌高强混凝土、特制品或混凝土掺用引气剂、膨胀剂等材料时,搅拌时间应适当延长。采用自落式搅拌机时,搅拌时间宜延长 30s。对于双卧轴强制式搅拌机,可在保证搅拌均匀的情况下适当缩短搅拌时间。

表 6.3.2 人工砂混凝土最短搅拌时间(s)

混凝土坍落度 (mm)	搅拌机机型	搅拌机出料量(L)		
		<250	250~500	>500
≤40	强制式	60	90	120
>40 且 <100	强制式	60	60	90
≥100	强制式	60	60	60

注:混凝土搅拌的最短时间系指全部材料装入搅拌筒中起,到开始卸料止的时间。

6.3.3 人工砂混凝土拌合物的坍落度允许偏差应符合表 6.3.3 的规定。

表 6.3.3 坍落度允许偏差(mm)

坍落度	允许偏差
≤40	±10
>40 且 <100	±20
≥100	±30

6.4 拌合物运输

6.4.1 人工砂混凝土的运输应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《预拌混凝土》GB/T 14902 的相关规定。

6.4.2 混凝土搅拌运输车应符合现行行业标准《混凝土搅拌运输车》JG/T 5094 的规定。运输车应安装定位系统,并应达到当地机动车污染物排放标准要求。

6.4.3 混凝土运输车装料前,应排空罐体内残渣和积水。

6.4.4 采用搅拌罐车运送混凝土拌合物时,拌筒应保持 3r/min~6r/min 的慢速转动,卸料前应采用快档旋转搅拌罐不少于 20s。

6.4.5 人工砂混凝土从搅拌运输车装料至卸料的运输时间不宜

大于 90min。当日最高气温低于 25℃时,运输时间可延长 30min。

6.4.6 对于寒冷或炎热天气,搅拌运输车的搅拌罐宜采用保温隔热措施。

6.4.7 混凝土运输必须保证施工现场浇筑的连续性。

7 施 工

7.1 一般规定

- 7.1.1 施工前,施工单位应根据设计要求、工程性质、结构特点和环境条件等,制定混凝土施工专项方案。
- 7.1.2 施工单位应作好技术准备工作,浇筑混凝土部位的模板、钢筋、预埋件、管线等应符合设计与规范要求,并完成隐蔽验收手续。
- 7.1.3 施工单位在施工前应根据工程结构特点、平面形状和几何尺寸等,划分混凝土浇筑区域,确定浇筑顺序。
- 7.1.4 人工砂混凝土运输和浇筑过程中严禁加水。
- 7.1.5 人工砂混凝土施工时应应对已完成的实体进行保护,且作用在已完成实体上的荷载不应超过规定值。
- 7.1.6 混凝土施工过程中散落的混凝土严禁用于结构浇筑。

7.2 混凝土浇筑

- 7.2.1 人工砂混凝土的浇筑应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《预拌混凝土》GB/T 14902 的相关规定。
- 7.2.2 当人工砂混凝土坍落度损失较大,不能满足施工要求时,可在运输车罐内加入适量的与原配合比减水剂相同的母液,并快速旋转搅拌均匀。
- 7.2.3 泵送设备的选择、布置及司泵操作执行现行行业标准《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10 的规定。
- 7.2.4 夏期施工时,人工砂混凝土拌合物入模温度不应超过

35℃,并宜选择夜间浇筑混凝土。当现场温度高于 35℃时,宜对金属模板进行浇水降温,并不得留有积水,并可采取遮挡措施避免阳光照射金属模板。

7.2.5 冬期施工时,人工砂混凝土拌合物入模温度不应低于 5℃,并应采取相应保温措施。

7.2.6 当风速大于 5.0 m/s 时,人工砂混凝土浇筑宜采取挡风措施。

7.2.7 浇筑大体积混凝土时,应采取必要的温控措施,保证混凝土温差控制在设计要求的范围以内。当混凝土温差设计无要求时,应符合现行国家标准《大体积混凝土施工标准》GB 50496 的规定。

7.2.8 浇筑竖向尺寸较大的结构物时,应分层浇筑,每层浇筑厚度宜控制在 300mm~350mm。

7.2.9 人工砂混凝土浇筑时,应在平面内均匀布料,不得用振捣棒赶料。

7.2.10 人工砂混凝土在浇筑过程中,应观察模板支撑的稳定性和接缝的密合状态,不得出现漏浆现象。

7.2.11 在混凝土施工过程中,其浇筑顺序应符合下列规定:

- 1 当采用输送管输送混凝土时,应由远而近浇筑;
- 2 同一区域的混凝土,应按先竖向结构后水平结构的顺序分层连续浇筑;
- 3 当不允许留施工缝时,区域之间、上下层之间的混凝土浇筑间歇时间,不得超过混凝土的初凝时间;
- 4 当下层混凝土初凝后,浇筑上层混凝土时,应先按留施工缝的规定处理。

7.2.12 混凝土布料方法,应符合下列规定:

- 1 混凝土浇筑柱、墙模板内混凝土时,当粗骨料的最大粒径大于 25mm 时,混凝土倾落高度应不超过 3m;粗骨料的最大粒径不超过 25mm 时,混凝土倾落高度不应超过 6m。若不满足上述

规定时,应采用串筒、溜槽、溜管或振动溜管浇筑混凝土;

2 浇筑竖向结构混凝土时,布料设备的出口离模板内侧面不应小于 50mm 且不得向模板内侧面直冲布料,也不得直冲钢筋骨架;

3 当梁、板混凝土强度等级相同时,梁和板混凝土宜同时浇筑,但不得在一处连续布料,应在 2m~3m 范围内水平移动布料,且垂直于水平模板布料。梁与拱的高度大于 1m 时,可单独浇筑混凝土。

7.2.13 浇筑不同强度等级混凝土时,应符合下列规定:

1 不同强度等级的混凝土相连接时,浇筑应遵循低强度等级混凝土不能流入高强度等级部位的原则;

2 当接缝两侧的混凝土强度等级不同且分先后浇筑时,可沿预定的接缝位置设置孔径不大于 5mm×5mm 的固定筛网,并先浇筑高强度等级的混凝土,后浇筑低强度等级的混凝土;

3 当接缝两侧的混凝土强度等级不同且又要同时浇筑时,可沿预定的接缝位置设置隔板,且随着两侧混凝土浇入,应逐渐提升隔板,并同时 will 混凝土振捣密实。

7.2.14 混凝土从搅拌完成到浇筑完毕的延续时间不应超过表 7.2.14 的规定。

表 7.2.14 延续时间限值(min)

条件	气温	
	≤25℃	>25℃
不掺外加剂	180	150
掺外加剂	240	210

7.2.15 振捣应保证混凝土密实、均匀,并应避免欠振、过振和漏振。

7.2.16 人工砂混凝土振捣时,应避免碰撞模板、钢筋及预埋件。

7.2.17 人工砂混凝土制备预制构件时,振捣方式应符合下列规定:

1 宜采用机械振捣设备。当采用振捣棒振捣,垂直插入时应与混凝土表面垂直,斜向插入时振捣棒应与混凝土表面呈 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 角。分层浇筑的预制构件,振捣棒插入到前一层混凝土的深度不应小于 50mm;

2 对于干硬性混凝土,宜采用振动台或表面加压振动成型;

3 浇筑厚度不大于 200mm 且表面积较大的平面预制构件时,宜采用表面振动成型,振捣位置纵横相互搭接应不少于 50mm;

4 浇筑墙体或者钢筋密集不便振捣的预制构件时,宜采用附着式振捣器;

5 对于截面较大的预制构件,可采用两种或两种以上的方式相配合。

7.3 养护与拆模

7.3.1 人工砂混凝土的养护应按现行国家标准《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。

7.3.2 人工砂混凝土底模拆除时,其强度应符合设计要求;当设计无要求时,强度应符合表 7.3.2 的规定。

表 7.3.2 底模拆除时混凝土强度

结构类型	结构尺寸(m)	达到设计强度的百分比(%)
板	<2	≥ 50
	$2 \sim 8$	≥ 75
	>8	≥ 100
梁、拱、壳	≤ 8	≥ 75
	>8	≥ 100
悬臂构件	/	≥ 100

7.3.3 人工砂混凝土侧模拆除时,其强度应能保证结构表面、棱

角以及内部不受损伤。

7.3.4 当遇大风或气温急剧变化时,不得拆模。

7.3.5 人工砂混凝土拆模后,其强度未达到设计强度的 75%时,应避免与流动水接触。

7.3.6 人工砂混凝土预制构件脱模起吊前,应对构件混凝土强度进行检验。同条件养护的混凝土立方体试件抗压强度应满足设计和生产工艺要求,并应符合下列规定:

1 脱模时,同条件养护的混凝土立方体试件抗压强度不应小于 15MPa;

2 外墙板、楼板等较薄的预制构件起吊时,同条件养护的混凝土立方体试件抗压强度不应小于 20MPa;

3 梁、柱等较厚的预制构件起吊时,同条件养护的混凝土立方体试件抗压强度不应小于 30MPa;

4 对于预应力混凝土预制构件及脱模后需要移动的预制构件,脱模时同条件养护的混凝土立方体试件抗压强度不应小于混凝土设计强度等级的 75%。

7.3.7 人工砂混凝土预制构件脱模顺序应与支模顺序相反进行,应先非承重模具后承重模具;高宽比大于 2.5 的大型预制构件,应边脱模边加支撑避免预制构件倾倒。

7.3.8 后张法预应力结构构件,侧模宜在预应力张拉前拆除;底模支架的拆除应按施工技术方案执行,当无具体要求时,不应在结构构件建立预应力前拆除。

7.3.9 在人工砂混凝土浇筑过程中,应及时用塑料薄膜等覆盖物对暴露面进行覆盖养护。

7.3.10 混凝土浇筑后应及时进行保湿养护,保湿养护可采取洒水、覆盖、喷涂养护剂等方式。养护方式可根据现场条件、环境温湿度、构件特点、技术要求、施工操作等因素确定,并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。大面积混凝土施工时,在人工砂混凝土振捣密实后、终凝前应采用

抹面机械或人工多次抹压,并应在抹压后进行保湿养护。

7.3.11 人工砂混凝土养护时间应符合下列规定:

1 对于采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥配制的混凝土,采取洒水和潮湿覆盖的养护时间不得少于 7d;

2 对于采用粉煤灰硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥配制的混凝土,或掺加缓凝剂的混凝土,以及大掺量矿物掺合料混凝土,采取浇水和潮湿覆盖的养护时间不得少于 14d;

3 对于竖向混凝土结构,养护时间宜适当延长;

4 掺加石灰石粉的混凝土宜适当延长养护时间,避免过早暴露于空气中。

7.3.12 对于墙面等不易保水的结构,宜从顶部设水管喷淋,拆模时间不应早于 3d,拆模后宜用湿麻袋紧贴墙面覆盖,并浇水养护,保持混凝土表面潮湿不少于 14d。

7.3.13 人工砂混凝土预制构件或制品养护应符合下列规定:

1 采用蒸汽养护或湿热养护时,养护时间和养护制度应满足混凝土及其制品性能的要求;

2 采用蒸汽养护时,应分为静停、升温、恒温和降温四个阶段。混凝土成型后的静停时间不宜少于 2h,升温速度不宜超过 $25^{\circ}\text{C}/\text{h}$,降温速度不宜超过 $20^{\circ}\text{C}/\text{h}$,最高温度和恒温温度均不宜超过 65°C ;混凝土构件或制品在出池或撤除养护措施前,应进行温度测量,且构件出池或撤除养护措施时,表面与外界温差不得大于 20°C 。

7.3.14 大体积人工砂混凝土养护过程中应进行温度控制,混凝土内部和表面的温差不宜超过 25°C ,表面与外界温差不得大于 25°C ;保温层拆除时,混凝土表面与环境最大温差不得大于 20°C 。

7.3.15 冬期施工的人工砂混凝土,日均气温低于 5°C 时,不得采取浇水自然养护方法。撤除养护措施时,混凝土强度应至少达到设计强度等级的 50%。

7.3.16 掺用膨胀剂的人工砂混凝土,应采取保湿养护,养护龄期不应小于 14d。冬期施工时,对于墙体,带模养护不应小于 7d。

7.3.17 人工砂混凝土养护用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。养护水与混凝土表面的温差不得大于 15℃。

8 质量检验及验收

8.1 混凝土原材料质量检验

8.1.1 人工砂混凝土原材料进场时,应按规定批次验收型式检验报告、出厂检验报告和合格证等质量证明文件,水泥中使用的混合材及复合掺合料的品种和掺量应在出厂文件中明示,外加剂产品还应具有使用说明书。

8.1.2 原材料进场后,应进行进场检验,且在混凝土生产过程中,宜对混凝土原材料进行随机抽检。

8.1.3 原材料进场检验和生产中抽检的主要控制项目应符合下列规定:

1 天然砂应对颗粒级配、细度模数、含泥量、泥块含量、坚固性、有害物质含量(包括氯化物、云母含量、轻物质含量、硫化物及硫酸盐含量)进行检验;对于有预防混凝土碱骨料反应要求的混凝土,还应进行碱活性试验;

2 单一规格机制砂应对石粉含量、MB 值、压碎指标和坚固性进行检验;

3 人工砂应对颗粒级配、细度模数、石粉含量、MB 值、泥块含量、坚固性、有害物质含量(包括氯化物、轻物质含量、硫化物及硫酸盐含量)、压碎指标进行检验;对于有预防混凝土碱骨料反应要求的混凝土,还应进行碱活性试验;

4 水泥应对凝结时间、安定性、胶砂强度、氧化镁和氯离子含量进行检验;碱含量低于 0.6% 的水泥还应包括碱含量;中、低热硅酸盐水泥或低热矿渣硅酸盐水泥主要控制项目还应包括水化热;对于有预防混凝土碱骨料反应要求的混凝土,还应检验其

碱含量；当用于大体积混凝土时，还应检验其水化热；

5 粗骨料应对颗粒级配、针片状颗粒含量、含泥量、泥块含量、压碎值指标和坚固性进行检验；当应用于高强混凝土时，还应检验岩石抗压强度；对于有预防混凝土碱骨料反应要求的混凝土，还应进行碱活性试验；

6 矿物掺合料应进行检验的项目：粉煤灰为细度、需水量比、烧失量和三氧化硫含量，C类粉煤灰还应包括游离氧化钙含量和安定性；粒化高炉矿渣粉为比表面积、活性指数和流动度比；钢渣粉为比表面积、活性指数、流动度比、游离氧化钙含量、三氧化硫含量、氧化镁含量和安定性；硅灰为比表面积、二氧化硅含量和活性指数；石灰石粉为细度、流动度比、碳酸钙含量、亚甲蓝值和活性指数；复合掺合料为细度、三氧化硫、安定性、流动度比和活性指数；矿物掺合料均应进行放射性检验；

7 外加剂应包括掺外加剂混凝土性能和外加剂匀质性两方面，混凝土性能方面应包括减水率、凝结时间差和抗压强度比，外加剂匀质性方面应包括 pH 值、氯离子含量和碱含量；引气剂和引气减水剂还应包括含气量；防冻剂还应包括含气量和 50 次冻融强度损失率比；膨胀剂应包括凝结时间、限制膨胀率和抗压强度；速凝剂应包括密度（或细度）和净浆凝结时间；

8 拌合用水应对 pH 值、不溶物含量、可溶物含量、硫酸根离子含量、氯离子含量、水泥凝结时间差和抗压强度比进行检验；地表水、地下水、再生水在首次使用前应检测放射性；当混凝土骨料具有碱活性时，还应检验碱含量；

9 当工程设计有其他要求时，原材料还应增加相应检验项目。

8.1.4 原材料的检验批组应符合下列规定：

1 对于同一生产厂家、同一产地、同一品种规格且连续进场的人工砂应以 400m^3 或 600t 为一验收批；不足上述数量时，亦按一验收批计；

2 对于同一生产厂家、同一强度等级、同一品种、同一批号

且连续进场的水泥,袋装水泥每 200t 为一验收批,散装水泥每 500t 为一验收批;不足上述数量时,也按一验收批计;

3 对于同一生产厂家、同一产地、同一品种规格且连续进场的粗骨料以 400m^3 或 600t 为一验收批;不足上述数量时,也按一验收批计;

4 对于同一生产厂家、同一等级且连续进场的粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、钢渣粉、石灰石粉和复合掺合料等矿物掺合料应按每 200t 为一验收批,硅灰应按每 30t 为一验收批;不足上述数量时,也按一验收批计;

5 对于同一生产厂家、同一型号且连续进场的减水剂和防水剂应按每 50t 为一验收批,膨胀剂应按每 200t 为一验收批,引气剂应按每 10t 为一验收批,防冻剂应按每 100t 为一验收批;不足上述数量时,也按一验收批计;

6 同一水源的地表水和地下应按每 1 年使用量为一验收批,混凝土企业设备洗刷水和再生水应按每 3 个月使用量为一验收批;当混凝土骨料具有碱活性时,还应控制碱含量;地表水、地下水 and 再生水在首次使用前应检测放射性;

7 对经产品认证机构认证符合要求的产品时,可将验收批量扩大一倍;

8 当原材料来源稳定且至少连续 3 批次检验合格,并形成书面的评价报告,或对经产品认证机构认证符合要求的产品时,可将验收批量扩大一倍;

9 当原材料使用过程中主控项目检验不合格后,检验批量应重新评价确认后方可扩大。

8.1.5 原材料的取样应符合以下规定:

1 人工砂的取样应按现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 和行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定执行;

2 其他原材料的取样应按相应的国家现行标准执行。

8.1.6 人工砂及其他原材料的质量应符合本标准第3章的规定。

8.2 混凝土拌合物性能检验

8.2.1 在生产和施工过程中,应对人工砂混凝土拌合物进行抽样检验,坍落度应在搅拌地点和浇筑地点分别取样检验。

8.2.2 相同配合比的混凝土坍落度出厂检验的检验批组应符合下列规定:

- 1 每100盘混凝土取样不少于1次;
- 2 每一个工作班混凝土达不到100盘时应按100盘计,每次取样应至少1组试验。

8.2.3 相同配合比的混凝土坍落度交货检验的检验批组应符合下列规定:

- 1 每拌制100盘且不超过 100m^3 时,取样不得少于一次;
- 2 每工作班拌制不足100盘时,取样不得少于一次;
- 3 每次连续浇筑超过 1000m^3 时,每 200m^3 取样不得少于一次;
- 4 每一楼层取样不得少于一次。

8.2.4 同一工程、同一配合比混凝土中的水溶性氯离子含量和总碱含量应至少检验1次。

8.2.5 同一工程、同一配合比、采用同一批次水泥和外加剂的混凝土的凝结时间应至少检验1次。

8.2.6 大批量、连续生产的同一配合比混凝土应检验稠度、凝结时间、坍落度经时损失、泌水、表观密度和含气量,每次取样应至少1组试验。

8.2.7 人工砂混凝土拌合物性能应符合本标准第4.1节的规定。

8.3 硬化混凝土性能检验

8.3.1 人工砂混凝土强度的检验评定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,并应满足设计要求。

8.3.2 模板拆除、预制构件起吊、预应力筋张拉和放张时,同条件养护的混凝土试件应达到规定强度。

8.3.3 人工砂混凝土长期性能和耐久性的检验评定应符合国家现行标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476、《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193、《高性能混凝土应用技术标准》DBJ50/T-389 和《预拌混凝土质量控制标准》DBJ50/T-038 等相关标准的规定,并应满足设计要求。

8.3.4 人工砂混凝土的力学性能、长期性能和耐久性能应分别符合本标准 4.2 节和 4.3 节的规定。

8.4 混凝土工程验收

8.4.1 人工砂混凝土的分部、分项工程质量验收时,应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的规定。

8.4.2 人工砂混凝土工程施工质量验收应符合现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 和《混凝土结构工程施工质量验收规程》GB 50204 的规定。

8.4.3 人工砂混凝土工程验收时,应符合本标准对混凝土长期性能和耐久性能的规定。

附录 A 人工砂圆形度的检测方法

A.0.1 本方法适用于测定混凝土和砂浆用人工砂的圆形度。

A.0.2 试验仪器设备应符合下列规定：

1 砂粒度粒形测试仪应符合下列规定：

- 1) 应具备高速相机、高速图像识别软件和圆形度自动分析软件,抓拍速度必须远大于颗粒流动速度,图像清晰无拖尾现象;宜采用多线程和边缘识别技术的图像处理软件,可计算出颗粒投影面积与周长,每分钟能处理颗粒不宜少于 100 万个颗粒;
- 2) 测试仪的测试粒径范围宜在 $10\mu\text{m}\sim 10000\mu\text{m}$ 之间;最小分辨率不宜小于 $10\mu\text{m}/\text{像素}$;重复性误差不宜大于 1%;
- 3) 应具有加料速度控制装置,并应能均匀、连续地加料,且具有颗粒分散的装置,颗粒的分散可采用自由落体与干法超声波震动分散的方式;
- 4) 测试仪应放置在温度 $10^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间,相对湿度小于 85% 整洁无烟尘的环境中,周围没有机械振动源或电磁干扰源,且应水平摆放。

2 试验筛的公称直径分别为 10.0mm、5.00mm、2.50mm、1.25mm、630 μm 、315 μm 、160 μm 的方孔筛各一只;筛的底盘和盖各一只;筛框直径为 300mm 或 200mm;其产品质量要求应符合现行国家标准《金属丝编织网试验筛》GB/T 6003.1 和《金属穿孔板试验筛》GB/T 6003.2 的要求;

3 砂样中微粉较多时,测试仪周围应设防风罩;

4 天平的量程不应小于 1000g,精度应为 0.1g;

5 烘箱的温度控制范围应为 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$;

6 取样勺、浅盘、漏斗、硬、软毛刷、试样瓶等应保持干净整洁。

A.0.3 测试混凝土用砂圆形度试验的试样制备应符合下列规定:

1 用于圆形度分析的试样,其颗粒的公称粒径不应大于 10.0mm ;试验前应先将试样通过公称直径为 10.0mm 的方孔筛;

2 称取经缩分后样品不少于 300g 两份,分别装入两个浅盘,在 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的温度下烘干到恒重,并在干燥器内冷却至室温备用。

A.0.4 砂的圆形度分析试验应按下列步骤进行:

1 准确称取烘干试样 250g ,置于按筛孔大小顺序排列(大孔在上、小孔在下)的套筛的最上一只筛上,将套筛装入摇筛机内固紧,筛分 3min ;然后取出套筛,在清洁的浅盘上逐一将筛上的试样倒出,并装入对应级配区间的容器中;

2 试样倒入储料斗前,应将储料斗、布料槽和集料盒清理干净;

3 通过漏斗将各级配区间的试样由大到小依次装入储料斗,漏斗与软毛刷上的残余试样应清理出并装入储料斗;

4 启动测试仪,试样应均匀分布于布料槽上;

5 试验过程中应连续均匀进料;

6 试样测试完毕后,应停止测试仪,并记录试验结果。

A.0.5 砂的圆形度分析试验结果计算及确定应按下列方法进行:

1 混凝土用砂的圆形度应按下式计算:

$$C = \sqrt{\frac{4\pi A}{P^2}} \quad (\text{A.0.1})$$

式中: C ——样品的圆形度;

P ——样品的投影图像周长(μm);

A ——样品的投影图像面积(μm^2)。

2 砂的圆形度值的确定应符合下列规定:

1) 取两组试样测定值的算数平均值作为该组试样的圆

形度值,应精确到 0.001;

- 2) 当两组测定值之差大于 0.02 时,应重新取样进行试验。

A.0.6 圆形度的校正采用圆形标准样品或其他同等级标准样品,按 A.0.4 步骤测定标准样品的圆形度,圆形度校正系数按式 (A.0.2) 计算:

$$K = \frac{C_0}{C} \quad (\text{A.0.2})$$

式中: K ——试样的圆形度校正系数;

C_0 ——标准样品的圆形度标准值;

C ——标准样品的圆形度实测值。

计算精确到 0.001。

注: K 值应在 0.80-1.20 范围;当超出 0.8-1.2 范围时,应对仪器进行维护维修。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

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:

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:

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,采用“可”。

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”。

引用标准名录

- 1 《通用硅酸盐水泥》GB 175
- 2 《建筑材料放射性核素限量》GB 6566
- 3 《混凝土外加剂》GB 8076
- 4 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 5 《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119
- 6 《混凝土质量控制标准》GB 50164
- 7 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 8 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
- 9 《大体积混凝土施工规范》GB 50496
- 10 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- 11 《混凝土结构通用规范》GB 55008
- 12 《水泥化学分析方法》GB/T 176
- 13 《水泥细度检验方法 筛析法》GB/T 1345
- 14 《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346
- 15 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
- 16 《水泥胶砂流动度测定方法》GB/T 2419
- 17 《水泥比表面积测定方法 勃氏法》GB/T 8074
- 18 《建设用砂》GB/T 14684
- 19 《预拌混凝土》GB/T 14902
- 20 《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》GB/T 17671
- 21 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046
- 22 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736

- 23 《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》GB/T 20491
- 24 《混凝土膨胀剂》GB/T 23439
- 25 《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690
- 26 《喷射混凝土用速凝剂》GB/T 35195
- 27 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080
- 28 《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081
- 29 《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082
- 30 《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107
- 31 《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476
- 32 《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003
- 33 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
- 34 《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55
- 35 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 36 《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10
- 37 《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193
- 38 《人工砂混凝土应用技术规程》JGJ/T 241
- 39 《石灰石粉在混凝土中应用技术规程》JGJ/T 318
- 40 《混凝土用复合掺合料》JG/T 486
- 41 《混凝土搅拌运输车》JG/T 5094
- 42 《预拌混凝土质量控制标准》DBJ50/T-038
- 43 《高性能混凝土应用技术标准》DBJ50/T-389

重庆市工程建设标准

人工砂混凝土应用技术标准

DBJ50/T-099-2025

条文说明

2025 重 庆

重庆工程建设

目 次

1	总则	41
2	术语	42
3	原材料	43
3.1	细骨料	43
3.2	水泥	45
3.3	矿物掺合料	45
3.4	其他原材料	46
4	人工砂混凝土性能	47
4.1	拌合物性能	47
4.2	力学性能	47
4.3	长期性能和耐久性能	48
5	配合比	49
5.1	一般规定	49
5.2	配合比计算与确定	52
5.3	有特殊要求的混凝土配合比	53
6	生产与运输	55
6.1	一般规定	55
6.2	原材料计量	56
6.3	混凝土搅拌	56
6.4	拌合物运输	57
7	施工	58
7.1	一般规定	58
7.2	混凝土浇筑	58
7.3	养护与拆模	60

8 质量检验及验收	63
8.1 混凝土原材料质量检验	63
8.2 混凝土拌合物性能检验	64
8.3 硬化混凝土性能检验	64
8.4 混凝土工程验收	65
附录 A 人工砂圆形度的检测方法	66

1 总 则

1.0.1 近年来人工砂在重庆市混凝土工程中的应用越来越普遍,据统计,截止 2023 年止,在重庆市预拌混凝土企业采用单一机制砂配制混凝土占 50%以上,采用混合砂配制混凝土占 40%以上,且生产机制砂的设备种类多、生产方式也有所不同,各区域的母岩差异也较大,因此,人工砂的技术性能与天然砂有较大差异。制定本标准的目的是,规范人工砂混凝土在现代建筑和市政工程中的应用,保证工程质量。

1.0.2 本条主要是明确人工砂混凝土应用中进行质量控制的主要环节。

1.0.3 本条规定了本标准与其它标准、规范的关系。重庆市与此相关的主要标准有《预拌混凝土质量控制标准》DBJ50/T-038 和《装配式混凝土构件、预拌混凝土和砂浆企业试验室管理标准》DBJ50/T-435 等。

2 术 语

2.0.1~2.0.3 与现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 协调,并明确了人工砂的定义。

2.0.7 一般而言,机制砂颗粒形状不规则,棱角明显,且针片状含量较高,在混凝土拌合时需要更多的水和浆体包裹,混凝土和易性较差,容易产生离析泌水,给混凝土泵送带来一定困难。因此,控制人工砂颗粒形状,提高其圆形度,对改善人工砂混凝土工作性能至关重要,同时还可降低混凝土生产成本。本标准引入圆形度参数来表征人工砂的外形特征,从一定程度上可以反映出人工砂颗粒的外形特征是圆润还是棱角尖锐,偏细长状还是偏方圆状,也间接反映了人工砂颗粒的生产母材的性质和机械加工水平的高低。该参数是多个颗粒(数万至数百万)测试的统计结果,能够准确反映颗粒的粒形。

2.0.9 该术语的规定与国家现行标准《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003 和《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178 协调,胶凝材料中不包括人工砂中的石粉。

3 原材料

3.1 细骨料

3.1.1 人工砂按细度模数分级与国家现行标准《建设用砂》GB/T 14684 基本一致；考虑生产效率和生产能耗，人工砂不宜包括特细砂。

3.1.2 与现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 协调。

3.1.3 不同规格机制砂搭配使用或机制砂与天然砂搭配使用，可以更好的调整搭配后细骨料的颗粒级配，使其颗粒级配更为合理，从而在保障混凝土性能的基础上减少胶凝材料用量，改善混凝土的体积稳定性。

3.1.4 不同种类、规格的砂混仓会导致材料性能波动大，从而影响混凝土性能。

3.1.5~3.1.8 与现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 协调。

3.1.9 与国家现行标准《建设用砂》GB/T 14684 和《人工砂混凝土应用技术规程》JGJ/T 241 协调，人工砂颗粒形状是影响混凝土工作性能的重要因素，本标准采用圆形度评价人工砂颗粒形状，本条规定了人工砂圆形度。

3.1.10 鉴于母岩的强度和质量直接影响骨料的性能，进而影响混凝土的物理力学性能、长期性能和耐久性能，本标准规定了生产机制砂的母岩种类和强度。交通运输部“材料节约与循环利用专项行动计划”推广项目系列指南之四《人工砂在混凝土中应用技术指南》规定用于制备机制砂的母岩抗压强度不宜低于 60MPa，但该指南发布较早，并未涵盖洞渣等固废用于制备机制砂的情况。现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 和行

业标准《公路工程 水泥混凝土用机制砂》JT/T 819 规定母岩强度不宜低于 30MPa。结构混凝土强度等级一般为 C30 及以上,以母岩强度不低于混凝土强度等级 1.5 倍考虑,结合重庆市地区的实际情况,本标准规定母岩强度不宜低于 45MPa。

3.1.11 强调不同规格机制砂搭配使用前需要满足的技术要求,且该规格机制砂不应单独使用,与其他规格的机制砂搭配使用后,经试验应满足表 3.1.6 的要求。

3.1.12 本条对机制砂单级最大压碎值、坚固性和有害物质的限定与现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 中的Ⅲ类砂相关规定一致。

3.1.14 编制组选用市面常用的 9 种亚甲基蓝试剂厂家,按照现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 进行检测机制砂的 MB 值,同时对所配制的亚甲基蓝溶液按现行国家标准《木质活性炭检验方法 亚甲基蓝吸附值的测定》GB/T 12496.10 进行标定,且根据检测用亚甲基蓝溶液标定浓度值对实测机制砂 MB 值进行修正,检测结果见表 3.1.14。

表 3.1.14 机制砂 MB 值与亚甲基蓝溶液标定检测结果

厂家代号	药品标签纯度 (%)	含水率 (%)	配制亚甲基蓝溶液浓度 (g/L)	亚甲基蓝溶液标定浓度值 (g/L)	实测 MB 值	修正后 MB 值
1	≥98.5	2.47	10.0	4.1	1.25	0.51
2	≥98.5	7.15	10.0	3.0	1.50	0.44
3	合格	0.55	10.0	2.5	2.10	0.52
4	≥98.5	2.76	10.0	7.2	0.85	0.61
5	≥98.5	2.15	10.0	2.1	2.00	0.42
6	≥98.5	2.16	10.0	7.7	0.75	0.58
7	≥98	2.01	10.0	7.8	0.70	0.54
8	≥98	2.09	10.0	6.5	0.75	0.48
9	≥82	24.05	10.0	9.8	0.55	0.54

从上表中可以看出,检测机制砂 MB 值时,采用不同厂家的亚甲基蓝试剂检测结果均不同,相同机制砂实测的 MB 值在 0.55-2.10 之间,且得出机制砂分类与判定均不同,编制组通过现行国家标准《木质活性炭检验方法 亚甲基蓝吸附值的测定》GB/T 12496.10 对检测用亚甲基蓝溶液标定后发现,各厂家虽然标签纯度基本相同,但亚甲基蓝的实际浓度完全不同,因此,有必要根据亚甲基蓝实际浓度对检测的 MB 值进行修正。例如:厂家代号 1 的配制亚甲基蓝溶液浓度为 10.0(g/L),亚甲基蓝溶液标定浓度值为 4.1(g/L),实测机制砂 MB 值为 1.25,修正后 MB 值应为 $1.25 \times (4.1/10.0) = 0.51$ 。

3.2 水 泥

3.2.2 本条规定了水泥的质量控制标准、性能试验方法和水泥的使用温度。水泥的使用温度直接影响混凝土拌合物的温度,并影响混凝土的工作性和体积稳定性。《水工混凝土施工规范》DL/T 5144 中规定,散装水泥入罐温度限定为不宜高于 65℃。当工程进度需要而水泥供不应求时,水泥的入罐温度允许放宽到 70℃。在现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 中规定,用于生产混凝土的水泥温度不宜高于 60℃。

3.3 矿物掺合料

3.3.1 矿物掺合料主要包括粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、钢渣粉、硅灰,各种矿物掺合料的特性和在混凝土中的功效不同,因此,在使用矿物掺合料时,必须按照国家现行标准的相关规定和设计要求进行检验,检验合格后方可使用。同时,当使用本标准未做规定的其他矿物掺合料时,应经过试验论证,确定混凝土性能满足设计要求后方可使用。

3.3.2 储存时混杂或受潮均会影响矿物掺合料的性能,对混凝土性能不利。

3.4 其他原材料

3.4.1 由于直接破碎的碎石和卵石一般均不能完全满足连续级配的要求,为保证粗骨料为连续级配,应采用两级配或多级配组合的方式进行调整。其最大粒径按国家现行标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定执行。

3.4.3 混凝土外加剂的品种较多,主要包括减水剂、膨胀剂、速凝剂等,各种外加剂的特性和在混凝土中的作用不同,因此,在使用外加剂时,必须按照国家现行标准的相关规定和设计要求进行检验,检验合格并确认所选用的外加剂与其他原材料适应性良好后方可使用。

3.4.4 本条按现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 和《预拌混凝土生产企业废水回收利用规范》JC/T 2647 的规定执行。当工程设计有其他要求时,应按国家现行标准的相关规定执行。

3.4.6 选用的纤维材料和其他材料均应满足现行标准对相关材料的性能要求。

4 人工砂混凝土性能

4.1 拌合物性能

4.1.1 当采用人工砂配制泵送混凝土时,人工砂中泥粉含量的多少对混凝土的坍落度损失有较大影响,此外,用于制备人工砂的母岩种类也对混凝土流动性能的变化影响较大,因此,加强对混凝土坍落度经时损失的控制十分重要。实践表明,一般情况下应将坍落度经时损失控制在 20mm/h 内。

4.1.3 由于人工砂混凝土早期失水速率较快、收缩变形大而易产生微裂缝,因此,为保证人工砂混凝土的质量,提高混凝土耐久性,控制人工砂混凝土拌合物早期抗裂性能是较为重要的,抗裂等级符合现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 的规定。

4.1.4 本条主要按照现行标准《混凝土结构通用规范》GB 55008、《混凝土结构设计规范》GB 50010、《预拌混凝土》GB/T 14902 和《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 对不同环境下混凝土中氯离子最大含量作出相关规定;同时,也明确了人工砂混凝土中水溶性氯离子最大含量的测定方法,也可以根据试验条件测试混凝土原材料中氯离子进行计算以及其他精度更高的快速测定方法,但应将其测定结果(kg/m^3)换算为胶凝材料的质量百分比。

4.2 力学性能

4.2.1 近年来,随着混凝土结构工程特点的变化,工程中使用的

混凝土强度等级不断提高,且使用量逐年增加,因此,参考了《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定,人工砂混凝土强度等级可划分为 C10~C100,并应按现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 进行评定。

4.2.2 明确了现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 和《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 等规范有关混凝土力学性能的规定同样适用于人工砂混凝土。

4.3 长期性能和耐久性能

4.3.1 本条明确了人工砂混凝土长期性能的参数,同时也强调现行国家标准《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 等规范同样适用于人工砂混凝土。

4.3.2 本条明确了人工砂混凝土耐久性能的参数,同时也强调现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164、《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 以及《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 等规范有关混凝土耐久性能的规定同样适用于人工砂混凝土。

5 配合比

5.1 一般规定

5.1.1 本条文规定了人工砂混凝土配合比的设计依据和设计原则,遵循低水泥用量、低用水量的设计原则是保证混凝土质量和经济适用的重要技术措施,也是现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 和《混凝土结构通用规范》GB 55008 中对混凝土材料的要求,同时也对人工砂、外加剂、粗骨料等其他相关材料提出了基本要求。

5.1.3 混凝土中使用外加剂时,通常存在外加剂与体系的适应性问题,其中,外加剂与胶凝材料、人工砂中石粉、泥粉和泥块含量的适应性问题尤为突出。因此,在配制掺外加剂的人工砂混凝土时,应进行拌合物性能的坍落度经时损失试验,确认满足施工要求后方可使用。

5.1.4 本条规定主要考虑在复合硅酸盐水泥和石灰石硅酸盐水泥中已添加了较多的石粉且不能确定其比例,为了进一步保障石灰石粉混凝土的质量,不得采用该类型水泥。

5.1.5 本条主要按照现行标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 作出相关规定。

5.1.6 由于人工砂混凝土早期失水速率较快、收缩变形大而易产生微裂缝,因此,为保证人工砂混凝土的质量,控制人工砂混凝土抗裂性能尤为重要,设计时应优选早期抗裂性能好且收缩小的人工砂混凝土配合比。

5.1.7 本条强调了人工砂混凝土进行耐久性设计时,应遵循有关标准的规定,在《混凝土结构通用规范》GB 55008 中明确规定

钢筋混凝土用砂的氯离子含量不应大于 0.03%，预应力混凝土用砂的氯离子含量不应大于 0.01%。

5.1.8 人工砂中石粉虽未经过粉磨，但其与经过粉磨的石灰石粉化学成分相同，其中也含有较多符合掺合料要求的较细颗粒。因此，在设计人工砂混凝土配合比时，可视为人工砂已代入部分矿物掺合料，故粉煤灰、矿渣粉、石灰石粉等矿物掺合料的掺量可适当减少。

5.1.9 因人工砂部分石粉可被视为矿物掺合料中的石灰石粉，编制组进行了系列试验，将人工砂中的石粉与矿物掺合料视为同一体系，评价混凝土中总石粉含量变化对人工砂混凝土的影响。由于不同的配合比胶凝材料用量和砂率不同，以胶凝材料质量百分比来表示混凝土中总石粉含量误差较大，而混凝土单方质量一般在 2350~2450 kg，因此，以混凝土单方质量的百分比来表示混凝土中总石粉含量更为合理。编制组进行了不同石粉含量对混凝土性能的影响试验，包括早期水分蒸发速率试验、早期抗裂试验、收缩变形试验以及力学性能试验。结果发现，当人工砂亚甲蓝值 (MB) ≤ 1.4 ，水胶比 ≤ 0.4 ，混凝土中总石粉含量为 7% 时，早期水分蒸发速率较快，为 $49.3\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，早期抗裂等级仅为标准规定的 II 级，干缩率达到 3.5×10^{-4} ，抗压强度下降明显；当人工砂亚甲蓝值 (MB) ≤ 1.4 ，混凝土石粉总含量超过 6% 时，早期抗裂等级仅为标准规定的 II 级，且抗压强度下降较为明显。因此，编制组通过分析试验数据，结合现有标准和文献，推荐了不同水胶比的人工砂混凝土设计中混凝土总石粉含量的临界值。当人工砂亚甲蓝值 (MB) > 1.4 时，表 5.1.9 中的数据是根据表 3.1.6 中规定的人工砂石粉含量限值与石灰石粉掺量限值进行换算得到。混凝土中总石粉含量对早期水分蒸发速率、干缩率以及早期抗裂性能的影响如图 5.1.9-1、图 5.1.9-2 及图 5.1.9-3 所示。

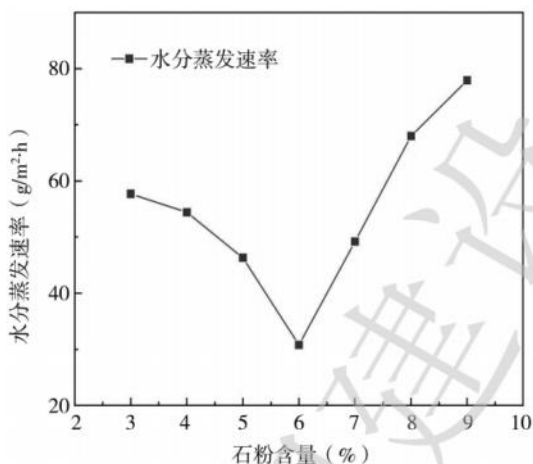


图 5.1.9-1 人工砂亚甲蓝值(MB) ≤ 1.4 、水胶比 ≤ 0.4 时，总石粉含量对人工砂混凝土早期水分蒸发速率的影响

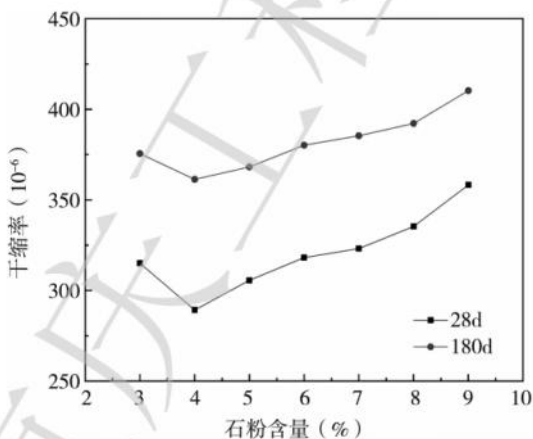


图 5.1.9-2 人工砂亚甲蓝值(MB) ≤ 1.4 、水胶比 ≤ 0.4 时，总石粉含量对人工砂混凝土干燥收缩的影响

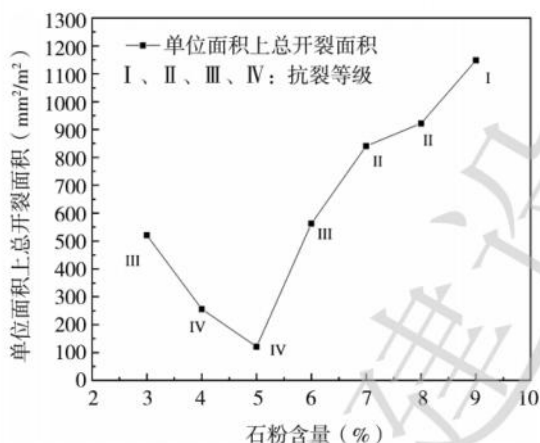


图 5.1.9-3 人工砂亚甲蓝值(MB)≤1.4、水胶比≤0.4 时，
总石粉含量对人工砂混凝土早期抗裂的影响

5.1.10 本条明确了重新设计配合比的三种情况，原材料质量显著变化指水泥、矿物掺合料、骨料和外加剂的品种和性能发生显著变化。

5.2 配合比计算与确定

5.2.2 本条依据《石灰石粉在水泥混凝土中应用技术规程》DBJ50/T-179-2014 和《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 中的有关规定，明确了石灰石粉的影响系数。

5.2.3 与天然砂相比，人工砂表面粗糙、比表面积大，在砂率和其他条件相同的情况下，人工砂混凝土的流动性较小。因此，为保证人工砂混凝土的工作性能，应适当提高其砂率，并经试验后确定配合比。

5.2.4 在确认外加剂与人工砂混凝土体系适应性良好的基础上，外加剂的品种和掺量应根据工程设计和施工要求，按《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定，经试验及经济比较后确定。

5.2.5 现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 作为混凝土配合比计算、试配、调整与确定设计规程,同样适用于人工砂混凝土。

5.3 有特殊要求的混凝土配合比

5.3.1 在配制混凝土时,加入适量的矿物掺合料不仅能节约水泥,同时,掺合料的形态效应、微集料效应和火山灰效应能起到改善混凝土工作性,提高混凝土的后期强度,改善混凝土的内部结构,提高混凝土的抗裂性及耐久性的作用。

5.3.2 有泵送要求的混凝土配合比设计,在《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 和《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10 中均有相应规定,鉴于人工砂表面粗糙、棱角多、石粉含量大等技术特点,用于泵送施工的人工砂混凝土配合比确定,应根据混凝土原材料、混凝土运输距离、混凝土泵与输送管径、泵送距离、环境温度、混凝土浇筑部位结构特点等具体施工条件进行设计和试配,必要时,应通过试泵确定配合比。

5.3.3 鉴于人工砂的颗粒特征,相对于天然砂混凝土来讲,人工砂混凝土更易产生微裂缝。因此,设计高强人工砂混凝土时,更应严格限制水泥和胶凝材料用量,降低混凝土的开裂风险,在公路工程领域标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 规定水泥和胶凝材料用量不宜大于 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $530\text{kg}/\text{m}^3$,考虑到工业与民用建筑会涉及更高的强度等级,因此,本条款中的限值与现行行业标准《人工砂混凝土应用技术规程》JGJ/T 241 协调。

5.3.4 有研究结果显示,当 MB 值在 1.4 以上时,人工砂石粉中泥含量约在 30% 以上。因混凝土中泥的存在对混凝土性能尤其是混凝土耐久性能会产生非常不利的影响。因此,为了保证人工砂混凝土工程的寿命,应严格控制人工砂中泥含量。

5.3.5 本条款规定了高性能人工砂混凝土配合比设计的要求,

配合比的计算、试配、调整以及确认,在地方标准《高性能混凝土应用技术标准》DBJ50/T-389 有明确的规定,在现行国家标准《高性能混凝土技术条件》GB/T 41054 对配合比的设计参数有明确的规定。

6 生产与运输

6.1 一般规定

6.1.1 本条规定了人工砂混凝土生产质量的控制依据,人工砂混凝土的生产执行的标准应与其他相关标准协调。

6.1.2 预拌混凝土生产废水含有较多的固体,直接排放到厂界外面的河道或市政管道会造成河床污染或管道堵塞,并对环境产生较大的负面影响。直接排放废弃混凝土不仅给环境带来压力,也造成材料浪费。在人工砂混凝土用水中可掺入适当比例的废浆,废浆用量应通过混凝土试配确定;废弃新拌混凝土可用于成型小型预制构件,也可采用砂石分离机进行处置。分离后的砂石应及时清理、分类使用。预拌混凝土生产企业应具备监测噪声和生产性粉尘的能力。在人工砂混凝土生产过程中,不得直接排放生产废水和废弃混凝土。

6.1.3 对于首次使用、使用间隔时间超过三个月的混凝土配合比,在使用前进行配合比审查和核准是不可省略的。生产使用的原材料应与配合比设计一致是指原材料的品种、规格、强度等级等指标应相同。以水泥为例,即指采用同一厂家生产的同品种、同强度等级和同批次水泥。

6.1.4 在混凝土配合比使用过程中,现场会出现各种情况,需要对混凝土配合比进行适当调整,比如因气候或施工情况变化可能影响混凝土质量,则需要适当调整混凝土配合比。

6.1.5 本条强调了应对砂、石的含水状态进行监控,保证混凝土性能满足要求。

6.1.6 人工砂混凝土生产前应确认原材料供应充足、设备运行

可靠、运输车辆安排妥当、施工现场准备到位。安排生产计划的人员,必须核实所需的各项材料的品种、质量与数量是否到位。生产过程中,应严格核查和执行生产技术指令,包括配合比编号、原材料的品种、规格、数量、搅拌时间等。

6.2 原材料计量

6.2.1~6.2.2 原材料计量装置必须可靠,才能保证各种配比的有效实现。电子计量系统能更精确称量原材料,是控制混凝土质量的基本前提。

6.2.3 本条规定各种材料计量允许偏差,每盘原材料计量的允许偏差依据《混凝土质量控制标准》GB 50164 的相关规定。

6.3 混凝土搅拌

6.3.1 人工砂混凝土应采用强制式搅拌机生产,所以搅拌机应符合相关国家现行标准的规定。重庆地区混合砂混凝土生产通常在集中搅拌站按现代预拌商品混凝土的一般生产模式进行,所以采用的搅拌站(楼)应符合现行国家标准《混凝土搅拌站(楼)》GB 10171 的规定。

6.3.2 目前,预拌混凝土搅拌站和施工现场搅拌站基本采用双卧轴强制式搅拌机,采用的搅拌时间一般都少于表 6.3.2 给出的最短时间,但只要能保证混凝土搅拌均匀,就是允许的,在现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 中规定混凝土采用搅拌运输车运送混凝土时,混凝土在搅拌机中搅拌时间应满足设备说明书的要求,并且不应少于 30s(从全部材料投完算起)。考虑到重庆市现有混凝土设备的差异性,为保证预拌混凝土的质量稳定性,本条规定与现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 协调。

6.4 拌合物运输

6.4.1 本条规定了人工砂混凝土拌合物运输过程中的质量控制依据。

6.4.2 预拌商品混凝土的运输车通常采用混凝土专用运输车,所以应符合《混凝土搅拌运输车》JG/T 5094 标准的规定。生产单位应对运输车进行定期保养,并制定运输管理制度,合理指挥调度车辆,且采用定位系统监控车辆运行。

6.4.3 混凝土罐车筒体内无残渣、无积水是保证混凝土质量的必要条件,因此在接料前应予以检查与清理。

6.4.4 混凝土拌合物在运输过程中,如不转动罐体,将会出现离析、泌水等现象,如运输路况不好或运输路程较远时,以上现象更为明显,为确保混凝土拌合物的匀质性,混凝土罐车的筒体在运输过程中以及到达工地后应慢速转动,在放料前,筒体应快速转动,并且时间不少于 20s。

6.4.5 限定混凝土运输时间不大于 90min,是为了后续泵送浇筑振捣时拌合物还有足够的工作性能,如需延长运输时间,则应采取有效措施,如增加外加剂的缓凝成分。

6.4.6 由于要控制混凝土拌合物入模温度,所以对于寒冷或炎热天气,搅拌运输车的搅拌罐应有保温隔热措施,目的是不让混凝土受冻或受热。

6.4.7 如果混凝土运输间断,浇筑现场出现停工待料,就可能会造成浇筑冷缝、蜂窝、麻面、孔洞等质量缺陷,所以运输必须保证现场浇筑的连续性。

7 施 工

7.1 一般规定

7.1.1 本条强调了人工砂混凝土施工前应制定详细、周密的施工方案,以保证混凝土施工质量。

7.1.5 本条款规定与现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 的规定一致。

7.1.6 混凝土施工过程中散落的混凝土,不能保证混凝土拌合物的工作性和质量,现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 也有相关要求。

7.2 混凝土浇筑

7.2.1 本条规定了人工砂混凝土施工过程中,拌合物浇筑成型过程应遵循的技术依据。

7.2.2 本规定与现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 一致,强调坍落度损失过大时的正确处理方法。减水剂的母液加入量应事先由试验确定,并应进行记录。添加外加剂的次数不宜超过两次。

7.2.3 对于运输到达施工现场的混凝土拌合物,如果选用泵机进行泵送,则泵送设备的选择、布置及司泵操作执行现行行业标准《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10 的规定。

7.2.4~7.2.5 本条依据《混凝土质量控制标准》GB 50164 的相关规定。炎热季节限定拌合物入模温度不宜高于 35℃,选择一天中气温较低时段进行浇筑,采取隔热措施;冬期限定拌合物入模

温度不宜低于 5℃,采取保温措施等等,都是为了保证混凝土结构构件的浇筑质量。

7.2.6 试验证明,人工砂混凝土拌合物的水分蒸发速率比天然砂的大,人工砂混凝土拌合物在大风环境下的水分蒸发更快,不利于水泥水化和强度发展,同时可能导致混凝土干缩大,引起混凝土开裂。故人工砂混凝土拌合物在大风条件下浇筑时,宜采取适当挡风措施。本条对风速的限定主要参考《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 中早期抗裂试验的要求。

7.2.7~7.2.8 与现行行业标准《人工砂混凝土应用技术规程》JGJ/T 241 的规定一致。

7.2.11 当采用输送管输送混凝土时,应由远至近浇筑混凝土。这一施工程序在拆管和移动布料设备时不会影响先浇筑的混凝土,而且施工后续过程中拆管工作量越来越少。浇筑泵送混凝土时,为了方便施工,提高工效、缩短浇筑时间、保证浇筑质量,应认真确定合理的浇筑次序,并加以严格执行。

7.2.12 大流动度状态下的混凝土,倾落高度愈高,分层离析现象愈明显,这种现象与粗骨料的颗粒粒径有直接关系。实践表明,在正常的混凝土坍落度条件下,粗骨料的最大粒径不超过 25mm,倾落高度不超过 6m 时,基本上不会产生明显的分层离析现象;粗骨料的最大粒径超过 25mm,倾落高度超过 3m 时,则易使混凝土在结构体内的各组成材料形成不均匀分布,严重时将造成混凝土质量事故。混凝土不得直冲侧模板内侧面和钢筋骨架,主要目的是防止混凝土离析。浇筑楼板和块体结构泵送混凝土时,为避免将混凝土集中布入一个地方,除了应水平移动布料管外,还应配备足够的操作人员和设备。

7.2.13 浇筑不同强度等级混凝土的连接处,其接缝应设置在低强度等级的结构中,并离开高强度等级构件一段距离。对于不同强度等级的混凝土的梁与柱,柱的混凝土强度等级一般高于梁,

其混凝土接缝应设置在梁中呈约 45° 倾斜面,在梁顶面离开柱子 1 倍梁高的距离,在梁底面离开柱子 2 倍梁高的距离。当接缝两侧的混凝土强度等级不同且同时浇筑时,也可沿预定的接缝位置设置胶囊,充气后在其两侧同时浇入混凝土,待混凝土浇完后排气取出胶囊,同时将混凝土振捣密实。

7.2.14 泵送混凝土布料速度快,从发令停止布料到实际停止布料之间有时间差,通过混凝土外加剂技术,可以调整混凝土拌合物的可操作时间并满足硬化混凝土性能要求,但控制混凝土从搅拌机卸出到浇筑完毕的延续时间对混凝土浇筑质量仍然非常重要,抓紧时间尽早完成浇筑有利于浇筑成型各方面的操作。本条参考现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 确定。

7.2.15 机械振捣更容易使混凝土密实,从而保证混凝土硬化后质量。应根据混凝土拌合物性能、浇筑高度、钢筋密度等确定适宜的振捣时间。振捣时间不足混凝土难以充分密实,过振容易导致混凝土分层离析。

7.2.16 混凝土振捣过程中,应避免振捣棒等振捣设备与模板、钢筋及预埋件发生碰撞,造成模板、钢筋及预埋件移位,影响结构安全,在国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《人工砂混凝土应用技术规程》JGJ/T 241 中都有类似规定。

7.2.17 混凝土成型设备按传播振动方式不同分为插入式(内部式)、附着式(外部式)、平板式和平台式等。按使用振源的动力不同分为电动式、风动式、内燃式和液压式等。应根据预制构件特点、混凝土拌合物性能及生产工艺选择适当的混凝土振捣成型设备。

7.3 养护与拆模

7.3.1 本条规定了人工砂混凝土养护过程中的质量控制依据。

7.3.2 本条按《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204

的相关规定执行。底模拆除时的混凝土强度应参照同条件养护试件的强度。

7.3.3 为提高施工进度,在结构实体混凝土强度没有达到允许值时拆除模板是错误的。因此在拆除模板前应该对同条件养护试件进行试压,当试压值达到拆模的允许值后方可保证混凝土结构表面、棱角以及内部不受损伤。

7.3.4 本条规定主要是为避免因风速和温度变化较大造成的混凝土温度应力过大而危害混凝土结构。

7.3.6~7.3.7 预制构件脱模起吊时,均要求结构混凝土具有一定的强度,使结构构件在承受相应的施工荷载或预加力时,能满足承载力、变形和抗裂度要求,防止过早脱模造成预制构件出现变形或开裂。本条规定了预制构件脱模和起吊时混凝土强度的最低要求,设计有具体规定时,还应该满足设计规定的混凝土强度值。预制构件脱模和起吊时混凝土强度以同条件养护的混凝土试件强度为依据进行判断,在国家和地方标准(如北京 2015 年发布的《预制混凝土构件质量控制标准》)中都有类似规定,该部分主要参考现行国家标准《装配式混凝土建筑用预制部品通用技术条件》GB/T 40399 中的相关规定。

7.3.8 后张法预应力结构构件,一般而言混凝土强度都偏高,这是因为:其一,混凝土内部的水化热偏大,要防止混凝土内外温差偏大、失水过多形成混凝土裂缝;其二,高强混凝土的水灰比偏小,要确保混凝土内外温差不能偏大、失水过多,对混凝土强度增长带来较大影响,因此规定其侧模宜在预应力张拉前拆除。

7.3.9 水分散失是新浇筑混凝土结构构件开裂的重要原因,所以及时用塑料薄膜等覆盖物覆盖新浇筑的混凝土,能有效防止水分散失,在混凝土初凝前适时抹压混凝土可有效弥合塑性裂缝。

7.3.10 鉴于人工砂混凝土的早期塑性收缩较大,在大面积混凝土终凝以前采用抹面机械或人工多次抹压可保证混凝土质量。抹压后应及时采取保湿措施,避免出现早期干缩裂缝。混凝土浇

水养护时,浇水次数应能保持混凝土处于湿润状态。采用塑料布覆盖养护的混凝土,其敞露的全部表面应覆盖严密,并应保持塑料布内有凝结水。当混凝土表面不便浇水或使用塑料布时,宜涂刷混凝土养护剂进行养护。

7.3.11 充分保温保湿养护能有效促进水泥水化反应,保障混凝土强度发展和混凝土体积稳定。石灰石粉活性相对较低,混凝土早期强度较低,容易被碳化,故规定宜延长养护龄期。

7.3.14 大体积混凝土施工,必须采取温控措施,控制混凝土中心温度与混凝土体表温度之差不超过 25°C ,同时控制混凝土体表温度与大气温度之差不大于 25°C ,相关条款规定与现行国家标准《混凝土结构施工规范》GB 50666 协调,以防止产生结构性裂缝。大量研究和工程实践经验表明,控制混凝土内外温差是大体积混凝土裂缝控制的关键。采取合理措施,并控制好大体积混凝土内外温差,即可有效地控制裂缝的发生。

7.3.17 限定养护水温与混凝土表面温度之差能有效控制温度裂缝。本条款延用《石灰石粉在水泥混凝土中应用技术规程》DBJ50/T-179 中的相关规定。

8 质量检验及验收

8.1 混凝土原材料质量检验

8.1.1~8.1.2 规定了人工砂混凝土原材料的进场资料验收的要求,包括砂石骨料,均应提供质量文件。按照现行标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 中的要求,特别强调了水泥的出厂文件中必须明示混合材的品种和掺合料,以便保证混凝土结构工程的耐久性,同时也有利于计算和控制人工砂混凝土石粉含量。

8.1.3 本条规定了人工砂混凝土原材料检验的主要控制项目,条款规定主要按照现行标准《混凝土结构通用规范》GB 55008、《混凝土质量控制标准》GB 50164、《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定执行。

8.1.4 本条规定了人工砂混凝土原材料检验批组的规定,主要按照现行标准《混凝土质量控制标准》GB 50164、《预拌混凝土》GB/T 14902、《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 和《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定,完善了细骨料、粗骨料、矿物掺合料和外加剂检验批组的前置条件,细化了不同混凝土外加剂的验收批组,由于混凝土外加剂的用量与推荐掺量关联,且不同种类和型号的外加剂推荐掺量差异很大,目前重庆市绝大部分预拌混凝土企业采用的减水剂、膨胀剂、引气剂和防水剂的掺量中值分别为2%、8%、0.3%和4%,因此外加剂的批组原则上是按照散装水泥250t所需要的量进行规定,也能与现行标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 协调。

随着生产技术的发展,预拌混凝土企业的生产设计能力也不

段提升,比较 2011 年前至少增加一倍以上,同时生产水泥、粒化高炉矿渣粉、钢渣粉、石灰石粉、复合掺合料、骨料和外加剂等原材料的规模也呈倍数增长,且产品性能也更加稳定,相关国家产品标准修订时,都将出厂检验批组做了相应的调整,如《建设用砂》GB/T 14684、《建设用卵石、碎石》GB/T 14685、《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736 和《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 等产品,因此,混凝土生产企业在使用过程中,需通过对相应产品复验的主控项目进行稳定性分析和评价,并形成书面的评价报告后方可扩大验收批组。

8.2 混凝土拌合物性能检验

8.2.2~8.2.3 本条款规定与现行标准《预拌混凝土》GB/T 14902 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定协调。

8.2.4 本条款规定与现行标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《预拌混凝土》GB/T 14902 的规定协调。混凝土中拌合物的水溶性氯离子含量和总碱含量可通过原材料检测报告进行计算,也可采用更精准的方法直接检测混凝土拌合物。

8.2.5 本条款规定与现行标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的规定协调。

8.2.6 本条款规定与现行标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定协调。本条要求的大批量、连续生产是指同一工程项目、同一配合比的混凝土生产量为 2000m^3 以上。

8.3 硬化混凝土性能检验

8.3.2 本条款规定与现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 的规定一致。

8.3.3 本条款规定与现行标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《混凝土质量控制标准》GB 50164、《预拌混凝土》GB/T 14902 和《人工砂混凝土应用技术规程》JGJ/T 241 的规定协调,但这些标准中对耐久性指标验收的要求比较模糊,重庆市针对目前在工程应用比较多的高性能混凝土、抗渗混凝土方面制定了《高性能混凝土应用技术标准》DBJ50/T-389、《预拌混凝土质量控制标准》DBJ50/T-038 和《混凝土抗渗性评价方法与验收标准》等标准,并进一步明确了耐久性指标的验收标准,其中《混凝土抗渗性评价方法与验收标准》目前正在制订。

8.4 混凝土工程验收

8.4.1~8.4.3 本条规定了人工砂混凝土的工程质量验收依据。

附录 A 人工砂圆形度的检测方法

本方法圆形度计算公式是按照现行国家标准《粒度分析结果的表述-第 6 部分:颗粒形状和形态的定性及定量表述》GB/T 15445.6 中的规定进行,是指颗粒投影面积的等效直径与投影周长的等效直径之比;当颗粒投影越接近圆形时,所测试的圆形度值就越趋于 1.0,即人工砂颗粒形状就越好。

本方法主要是利用 CCD(电荷耦合元件)拍摄试样均匀下落并经过镜头时的颗粒图像,通过对颗粒数量以及每个颗粒所包含的像素数量进行统计,计算出每个颗粒所呈图像的投影面积与周长,并计算出每个颗粒的投影面积与周长等效圆直径之比。通过上述方式对所有颗粒进行统计,最后可得到粒度分布、长径比分布及圆形度分布等信息。

由于该方法所测得的圆形度值存在系统误差,因此,可采用圆形标准样品或其他同等级标准样品按本方法进行测试后进行校正,校正时可采用两种及以上规格,且直径小于 5.0mm 的标准样品进行测试并校正。像素尺寸校准时应用显微镜专用标准刻度尺直接标定每个像素的尺寸。

编制组对部分重庆在建公路工程的人工砂进行取样,并采用该方法进行测试,同时也比对了 ISO 标准砂、天然中砂(洞庭湖)、整形人工砂(重庆预拌混凝土企业)和标准样品的测试结果,测试结果见表 1。

表 1 不同骨料圆形的测试结果

编号	样品名称	校正前圆形度值			校正后圆形度值
		试样 1	试样 2	代表值	
1	重庆南两高速 NLLM 标段人工砂	0.838	0.842	0.840	0.879
2	重庆南两高速 NL5 标段 1 号人工砂 (汤家山出口砂)	0.838	0.834	0.836	0.874
3	重庆南两高速 NL5 标段 2 号人工砂 (太平互通砂)	0.833	0.835	0.834	0.872
4	重庆畅翔建材人工砂	0.829	0.843	0.836	0.874
5	重庆佳境园人工砂	0.832	0.831	0.832	0.870
6	机制砂 1#(湿)	0.833	0.836	0.835	0.873
7	出成机制砂 2#(干)	0.824	0.833	0.829	0.867
8	机制砂 3#(湿)BIA082	0.844	0.835	0.840	0.879
9	机制砂 6#A 湿拌机 5 台主机(湿)	0.835	0.837	0.836	0.874
10	ISO 标准砂	0.889	0.888	0.889	0.930
11	天然中砂(洞庭湖)	0.848	0.851	0.849	0.888
12	标准样品	0.957	0.955	0.956	1.000

备注:表中编号 1~5 为在建公路工程用于配制强度等级 C50 及以上混凝土的人工砂,编号 6~9 为重庆预拌混凝土企业用整形人工砂。

从表 1 可以看出,采用本规程附录的方法可以较快测试出被测砂的圆形度值,在南两高速、渝黔扩能高速项目和重庆预拌混凝土企业中所取的人工砂圆形度值均在 0.87~0.88 之间,比较 ISO 标准砂和天然中砂(洞庭湖),ISO 标准砂最大圆形度值,天然中砂(洞庭湖)圆形度值次之,与肉眼可观察砂样外形的情况基本吻合。

为了了解该圆形度测试方法的稳定性和不同粒径的砂样对测试值的影响,编制组对 ISO 标准砂将其筛分后取单级配砂和混合样按照附录 A 方法进行测试,测试结果见表 2。

表 2 ISO 标准砂和不同粒径砂样的圆形度值

项目	公称直径(μm)	混合样	1250	630	315	160	80	<80
平均圆形度	第 1 次	0.889	0.885	0.879	0.876	0.884	0.894	0.849
	第 2 次	0.888	0.885	0.879	0.877	0.885	0.893	0.821
	代表值	0.888	0.885	0.879	0.876	0.884	0.894	0.835
	两次测试误差	0.001	0	0	0.001	0.001	0.001	0.028

从表 2 中可以看出,无论是混合的骨料还是单粒径(大于 $80\mu\text{m}$)的骨料,所测得的圆形度的测试误差均不超过 0.001,当粒径在 $315\mu\text{m}$ 以上时每次所测试的圆形度值完全相同,当测试砂样中粒径 $80\mu\text{m}$ 以下颗粒圆形度时的测试误差相对较大,但相对代表值的误差也没有超过 0.016,因此,采用该方法测试砂圆形度值均有很好的稳定和可靠性。