

CECS G

中国工程建设标准化协会 (CECS) 标准

CECS G XX-XXXX

公路路面水泥混凝土配合 比设计技术规程

Design Technical Regulation of Cement Concrete Mixture on
Highway Pavement

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国工程建设标准化协会公路分会发布

中国工程建设标准化协会（CECS）标准

公路路面水泥混凝土配合比设计技术规程

Design Technical Regulation of Cement Concrete Mixture on
Highway Pavement

CECS G XX-XXXX

（征求意见稿）

主编单位：交通运输部公路科学研究院

批准部门：中国工程建设标准化协会公路分会

实施日期：

出版社：

前 言

本标准依据中国工程建设标准协会公路分会给出的规则起草。

本标准由中国建设标准委员会公路工程分会提出并归口。

根据中国工程建设标准协会公路分会“中建标公路[2017]36号”文《关于开展2017年第一批中国工程建设标准化协会标准（CECS G）制修订项目编制工作的通知》的要求，由交通运输部公路科学研究院、滁州市公路管理局等承担《公路路面水泥混凝土配合比设计方法技术规程》的制订工作。

本标准主编单位：交通运输部公路科学研究院

参编单位：滁州市公路管理局

滁州市交通工程检测中心

全椒县通达交通建设工程有限公司

滁州市公路勘测设计院

滁州市路桥工程有限责任公司

滁州市公路工程有限责任公司

本标准主要起草人：侯荣国、蒋新明、田波、周勇、何哲、袁晓胜、郑舟、权磊、朱玉虎、李思李、吴香菇、王宗山、李立辉、谢晋德、刘洁

主 审：黄世武

参与审查人员：

本标准首次发布。

目 次

前 言.....I

1 总则.....- 1 -

2 规范性引用文件.....- 1 -

3 术语和定义.....- 1 -

4 水泥混凝土配合比设计原则.....- 2 -

5 原材料.....- 4 -

6 路面滑模混凝土配合比设计方法.....- 8 -

7 断级配高弯拉强度混凝土配合比设计.....- 17 -

8 碾压混凝土配合比设计.....- 22 -

附录 A 水泥混凝土拌合物振动出浆量及松铺系数试验方法.....- 23 -

附录 B 路面水泥混凝土粗集料最大容重试验方法.....- 27 -

1 总则

1.0.1 为提高公路水泥混凝土设计水平，提高水泥混凝土路面修筑质量，确保水泥混凝土路面使用性能及寿命，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建、改扩建公路水泥混凝土路面的配合比设计、施工及质量控制，还适用于收费广场、服务区与农牧区道路水泥混凝土路面配合比设计。

1.0.3 本规程规定了公路水泥混凝土路面的原材料技术要求、水泥混凝土配合比设计等内容。

1.0.4 在应用本规程进行水泥混凝土配合比设计时，除应遵守该规程相关规定外，还应遵守国家现行有关强制性标准的规定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注明日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 175	通用硅酸盐水泥
GB/T 176	水泥化学分析方法
GB/T 1596	用于水泥和混凝土中的粉煤灰
GB 13693	道路硅酸盐水泥
GB 18046	粒化高炉矿渣粉
JTG D40-2011	公路水泥混凝土路面设计规范
JTG E30	公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
JTG/T F30	公路水泥混凝土路面施工技术细则
JT/T 523	公路工程混凝土外加剂

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.0.1 路用滑模水泥混凝土

施工现场拌合物坍落度介于 10mm ~ 30mm，且适用于滑模摊铺工艺施工的路用水泥混凝土。

3.0.2 路用三辊轴水泥混凝土

施工现场拌合物坍落度介于 20mm ~ 60mm，且适用于三辊轴工艺施工的的路用水泥混凝土。

3.0.3 半流态水泥混凝土

指施工现场拌合物坍落度介于 60mm ~ 120mm 的路用水泥混凝土。

3.0.4 混凝土出浆量

表征坍落度值不大于 50mm 的水泥混凝土振动液化的特性；指 16 kg 混凝土拌合物在特定容器中，经振动 20 秒后，析出小于 4.75 mm 砂浆的质量。

3.0.5 混凝土立模特性

表征路面混凝土塑性阶段，经振捣密实后的变形特性与稳定特性。

3.0.6 填充性胶砂

指混凝土中填满粗集料振实空隙所需的胶砂。

3.0.7 工作性胶砂

指混凝土中除填满粗集料振实空隙外，满足施工工作性及路面表面功能所需的胶砂。

3.0.8 粗集料单位最大体积比

粗集料在水泥混凝土拌合物中实际所占的最大相对体积比，用 γ 表示。

4 水泥混凝土配合比设计原则

4.1 一般规定

4.1.1 水泥混凝土配合比设计的目的，应根据对路面混凝土强度、耐久性、工作性和经济性的要求，合理确定各组分的配合比例。

4.1.2 确定粗集料、水泥和胶凝材料、水、细集料的单位用量时，应先确定单位粗集料用量，再而选择合适的水灰比、单位用水量和单位水泥用量、含气量

4 个参数。

4.1.3 适当的配合比应优先调整单位粗集料用量后,再调整其他参数;不宜以提高单位水泥用量、增加混凝土外加剂掺量作为调整工作性的主要手段;当单位水泥用量、单位用水量超过限值时,可确定粗集料、细集料是不适合的。

4.2 水泥混凝土性能要求

4.2.1 混凝土应具有与铺筑方法相适应的工作性,以及具有容易达到要求平整度。

4.2.2 采用滑模施工工艺铺筑时,现场混凝土拌合物的坍落度应为 10mm - 30mm、出浆量应为 0.65/16 ~ 0.95/16、横向膨胀量不应大于 15mm、纵向沉降量不应大于 10mm;采用三辊轴、小型机具等工艺时,现场的混凝土施工坍落度不应大于 70mm。在施工工艺允许的条件下,上述两种工艺用混凝土的坍落度可取小值,出浆量速度和出浆量可取大值、横向膨胀量和纵向沉降量可取小值。

4.2.3 严寒地区和寒冷地区,混凝土应具有较好的抗冰冻和抗盐冻性能,含气量不低于 3.5%,水泥用量不低于 300kg/m³。

4.2.4 寒冷地区和严寒地区冻融交替的,水灰比不小于 0.45;海水冻融或融冰盐冻融环境的混凝土,水灰比不大于 0.4;其他地区水灰比不大于 0.5,海水浸入环境中(但不冻融)水灰比不大于 0.45。

4.2.5 粗集料的最大粒径除应满足《公路工程水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG/T F30)的要求外,应遵从如下原则:

- 1 从经济性上考量,混凝土粗集料的最大粒径应取高值;
- 2 粗集料最大粒径应与路面结构设计适应,应小于结构宽度的 1/5、厚度的 1/3,应小于加强筋、筋束或预张拉筋最小净距的 3/4。;
- 3 当需要高强度混凝土时,可通过减小粗集料的最大尺寸获得最佳效果。

4.3 混凝土配合比的设计前准备工作

4.3.1 应先明确混凝土的结构等设计参数、工艺参数、使用环境参数等，并提出路用性能要求。

4.3.2 配合比设计前，应进行原材料的路用性能检测。

5 原材料

5.1 一般规定

水泥混凝土配合比设计及应用时，应根据经验充分论证，选取当地原材料，并进行适应性试验，确认满足混凝土性能要求后，方可采用。

5.2 水泥

5.2.1 应使用旋窑法生产的硅酸盐水泥（P.I、P.II）或普通硅酸盐水泥（P.O）。水泥的强度等级、各龄期的实测强度应满足表 1 的要求。

表 5.2.1 水泥的强度等级及各龄期实测强度要求

强度等级	强度指标	龄期	
		3d	28d
不低于 42.5	抗折强度/MPa	≥ 3.5	≥ 6.5
	抗压强度/MPa	≥ 17.0	≥ 42.5

5.2.2 水泥的化学成分、物理性能应满足表 2 及《通用硅酸盐水泥》（GB175）、《道路硅酸盐水泥》（GB13693）的要求。

表 5.2.2 水泥的化学成分及物理性能技术要求

类别	项次	化学成分或物理指标		指标要求	试验方法
化学成分	1	三氧化硫/%		≤ 3.5	GB/T 176
	2	碱含量/%		≤ 0.6	
	3	氯离子含量/%		≤ 0.06	
	4	三氧化二铁/%		≥ 6	
	5	游离氧化钙/%		≤ 1.0	
	6	氧化镁/%		≤ 5	
物理性能	7	安定性		雷氏夹和蒸煮法检验合格	JTJ E30/T0505
	8	凝结时间/h	初凝时间/h	≥ 1.5	
			终凝时间/h	≤ 10	
	9	比表面积/(m^2/kg)		300 ~ 400	JTG E30/ T0504
	10	细度(80 μm 筛余)/%		≤ 10.0	JTG E30/ T0502
	11	砂浆磨耗率		≤ 1.0	JTG E30/ T0510

5.2.3 选用水泥时，除满足表 5.2.1、表 5.2.2 的各项要求外，还应通过混凝土配合比试验，满足混凝土强度、耐久性和工作性要求。

5.2.4 宜选用散装水泥，混凝土搅拌时的水泥温度不宜大于 50℃。

5.3 外掺料

高速及一级公路使用的粒化高炉矿渣粉应符合《粒化高炉矿渣粉》(GB18046)中 S95 级的技术要求，二级及以下等级公路使用的应符合 S75 级的技术要求。使用的粉煤灰应符合表 5.3 要求。

表 5.3 粉煤灰技术要求

技术指标	细度(45 μm 筛余, %)	烧失量 (%)	需水量比 (%)	含水量 (%)	氯离子 (%)	游离氧化钙 (%)	三氧化硫 (%)
要求	≤ 25.0	≤ 8.0	≤ 105.0	≤ 1.0	< 0.02	< 1.0	≤ 3.0
试验方法	GB/T1596	GB/T176	GB/T1596	GB/T176	GB/T176	GB/T176	GB/T176

5.4 粗集料

5.4.1 粗集料应符合表 5.4.1 及《公路工程水泥混凝土路面施工技术细则》(JTJ/T F30) 的技术要求。

表 5.4.1 粗集料的技术要求

技术指标	高速公路、一级公路	二级及以下公路
粗集料压碎值/%	≤ 25.0	≤ 30.0

卵石、碎卵石压碎值/%	≤23.0		≤26.0	
坚固性/%	一般地区	≤8.0	一般地区	≤12.0
	严寒地区	≤6.0	严寒地区	≤9.0
	寒冷地区	≤4.0	寒冷地区	≤6.0
针片状颗粒含量/%	≤15.0		≤20.0	
含泥量/%	≤1.0		≤2.0	
泥块含量/%	≤0.5		≤0.7	
吸水率/%	一般地区	≤2.0	一般地区	≤3.0
	严寒/寒冷地区	≤1.5	严寒/寒冷地区	≤2.0

5.4.2 各级公路水泥混凝土路面用粗集料的最大公称粒径不应大于 37.5 mm，碎卵石和卵石的最大公称粒径不应大于 31.5 mm。

5.4.3 粗集料可采用连续级配也可采用间断级配，粗集料至少由两档集料组成，级配应符合表5.4.3的要求。

表 5.4.3 粗集料级配范围

粒 径 类 级 型 配		方孔筛尺寸 (mm)								
		2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5	40.0
		累计筛余 (以质量计) (%)								
连续级配	4.75~16	95~100	85~100	40~60	0~10	—	—	—	—	—
	4.75~19	95~100	85~95	60~75	30~45	0~5	00	—	—	—
	4.75~26.5	95~100	90~100	70~90	50~70	25~40	0~5	0	—	—
	4.75~31.5	95~100	90~100	75~90	60~75	40~60	20~35	0~5	0	—
	4.75~37.5	100	95~100	70~90	—	30~65	—	—	0~5	0
间断级配	4.75~19	95~100	85~95	60~75	60~75	0~10	0	—	—	—
	4.75~26.5	100	100	55~70	55~70	25~40	0~10	0	—	—
	9.5~26.5	100	100	95~100	60~85	60~85	20~35	0~5	0	—
	4.75~31.5	100	95~100	60~75	60~75	40~60	20~35	0~5	0	—
	9.5~31.5	—	100	95~100	—	30~70	—	0~10	0	—
	4.75~37.5	100	95~100	73~86	73~86	55~70	25~40	0~10	0	—
	9.5~37.5	—	100	95~100	—	20~80	—	—	0~5	—

5.5 细集料

5.5.1 细集料宜采用质地坚硬、耐久、洁净的天然砂或机制砂，技术指标除应符合表 5.5.1 的要求外，还应符合《公路工程水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG/T F30) 的要求。

表 5.5.1 细集料的技术要求

种类	指标		技术要求		试验方法
			二级公路及以上等级公路	三级公路及以下道路	
天然砂	含泥量/%		≤ 2.0	≤ 3.0	JTG E42/T0333
	砂当量/%		≥ 60	≥ 58	JTG E42/T0334
机制砂	石粉含量/%	MB值 <1.40 或合格	≤ 5.0	≤ 7.0	JTG E42/T0349
		MB值 ≥ 1.40 或不合格	≤ 3.0	≤ 5.0	

5.5.2 应选用细度模数在 2.0 ~ 3.5 之间的细集料,宜选用中砂。相同配合比用细集料的细度模数波动范围不应大于 0.3。

5.6 水

水应符合《公路工程水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG/T F30)的要求。

5.7 外加剂

5.7.1 当满足强度、耐久性等设计要求,可不掺入混凝土外加剂;对于掺入外加剂的混凝土宜选用具有引气、减水、缓凝复合功效的混凝土外加剂,外加剂应符合《公路工程混凝土外加剂》(JT/T 523)的技术要求,外加剂混凝土应符合表 5.7 的要求。

5.7.2 对于有抗冻性、抗盐冻性要求的混凝土应掺入引气剂,掺入引气剂的混凝土技术指标应符合表 5.7 的要求。

表 5.7 掺外加剂混凝土技术指标要求

项目		引气缓凝减水型	引气剂
减水率（%）		≥14	≥8
泌水率比（%）		≤100	≤70
含气量/%		≥4.0	≥4.0
凝结时间之差 /min	初凝/min	>+90	-45 ~ +45
	终凝/min	>+90	
1小时经时变化量	坍落度损耗量/mm	≤（20）	-
	含气量损耗量/%	≤1.5	≤1.5
抗压强度比/%	3d/%	~	≥95
	7d/%	≥125	≥95
	28d/%	≥120	≥100
抗弯拉强度比/%	3d/%	≥120	-
	28d/%	≥115	≥105
收缩率比/%	28d/%	≤125	≤120
磨耗量/（kg/m ² ）		≤2.0	≤2.5
冻融循环次数/次		满足设计图纸文件要求。	
注：试验用水泥、集料等原材料应取材施工现场进行技术指标验证。			

5.8 材料的贮存

5.8.1 用于混凝土配合比设计的原材料应在温度 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ，相对湿度40% ~ 60%的环境下，储存48h以上。

5.8.2 水泥及其他胶凝材料不应有结块，使用前应过0.9mm圆孔筛。

5.8.3 集料应处于干燥状态（细集料含水量不大于0.3%，粗集料含水量不大于0.2%），细集料使用前应过9.5mm方孔筛，并记录大于9.5mm筛的含量。

6 路面滑模混凝土配合比设计方法

本方法适用于坍落度为10 mm ~ 30mm且采用滑模铺筑施工工艺进行铺筑时的混凝土配合比设计。

6.1 强度计算

6.1.1 路面强度的表示原则

路面混凝土配合比设计强度应以抗弯拉强度表征和确定。但在同一工程中，

采用相同原材料，通过试验得到抗压（或劈裂强度）与抗弯拉强度相关关系时，可将设计配合比设计强度换算成抗压强度（或劈裂强度），其相关关系式应根据至少 6 组水灰比在 0.3 ~ 0.6 范围内等差取值的试验结果，用最小二乘法进行直线回归，弯拉强度与抗压强度的相关系数应大于 0.90。

6.1.2 配制强度的计算

面层用水泥混凝土配制 28d 弯拉强度均值宜按式（6.1.2）计算确定：

$$f_c = \frac{f_r}{1 - 1.04c_v} + ts \quad (6.1.2)$$

式中： f_c —— 面层用水泥混凝土配制 28d 弯拉强度均值（MPa）；

f_r —— 设计弯拉强度标准值（MPa），按设计确定，且不应低于《公路水泥混凝土路面设计规范》（JTG D40-2011）表 3.0.8 的规定；

t —— 保证率系数，按表 6.1.1-1 取值；

s —— 弯拉强度试验样本的标准差（MPa）。有试验数据应使用试验样本的标准差；无试验数据可按公路等级及设计弯拉强度，参考表 6.1.1-2 规定范围确定；

c_v —— 弯拉强度变异系数，应按统计数据取值，小于 0.05 时取 0.05；无统计数据时，可在表 6.1.1-3 的规定范围内取值，其中高速公路、一级公路变异水平应为低，二级公路变异水平应不低于中。

表 6.1.2-1 保证率系数 t

公路等级	判别概率 p	样本数 n （组）			
		6~8			6~8
高速	0.05	0.79	高速	0.05	0.79
一级	0.10	0.59	一级	0.10	0.59
二级	0.15	0.46	二级	0.15	0.46
三、四级	0.20	0.37	三、四级	0.20	0.37

表 6.1.2.-2 各级公路水泥混凝土面层弯拉强度试验样本的标准差 s

公路等级	高速	一级	二级	三级	四级及以下
目标可靠度（%）	95	90	85	80	70
目标可靠指标	1.64	1.28	1.04	0.84	0.52
样本的标准差 s （MPa）	$0.25 \leq s \leq 0.50$		$0.45 \leq s \leq 0.67$		$0.40 \leq s \leq 0.80$

表 6.1.2-3 各级公路水泥混凝土面层弯拉强度变异系数 c_v

弯拉强度变异水平等级	低	中	高
弯拉强度变异系数 c_v 的范围	$0.05 \leq c_v \leq 0.10$	$0.10 \leq c_v \leq 0.15$	$0.15 \leq c_v \leq 0.20$

6.2 坍落度、出浆量的选定

6.2.1 混凝土的坍落度、出浆量、出浆速度应根据滑模摊铺机械的新旧程度确定。对于设备状况良好的机械，坍落度及出浆量参数取小值；设备状况稍差的机械，坍落度及出浆量参数取大值。

6.2.2 滑模施工工艺的混凝土坍落度与出浆量的对应关系可参见表 6.2.2。

表 6.2.2 混凝土坍落度、出浆量的对应关系

混凝土坍落度（mm）	出浆量（kg）	出浆速度（s）	形变量（mm）
10	0.65 ～ 0.85	≥12	竖向沉降量≥10mm，横向膨胀量≥15mm。
20	0.70 ～ 0.90	≥10	
30	0.75 ～ 0.95	≥8	
40	0.80 ～ 1.10	≥5	
注：出浆量和出浆速率仅限采用《公路工程水泥及水泥混凝土》JTG E30 及附录 A 要求的设备及方法。			

6.3 水灰比的确定

6.3.1 宜根据过去的经验资料求得经验公式推算水灰比，得到水灰比与强度的关系可靠度关系式。

6.3.2 若没有经验公式，其最大水灰比应满足表 6.3.2-1 要求。水灰比范围可参考表 6.3.2-2。

表 6.3.2-1 各级公路路面水泥混凝土最大水灰(胶)比和最小单位水泥用量

公路等级	高速、一级	二级	三级及以下
最大水灰(胶)比	0.44	0.46	0.48
有抗冰冻要求时最大水灰(胶)比	0.42	0.44	0.46
有抗盐冻要求时最大水灰(胶)比	0.40	0.42	0.44

表 6.3.2-2 水灰比对应的强度等级范围

抗弯拉强度设计等级	4.0 (MPa)	5.0 (MPa)	6.0 (MPa)
水灰(胶)比范围	0.38~0.48	0.34~0.44	0.32 ~ 0.42

6.3.3 水灰比应保证强度、耐久性和混凝土的工作性满足要求。

6.4 单位集料体积的确定

6.4.1 在满足强度、工作性及耐久性的前提条件下，粗集料单位用量应取大值。

6.4.2 在选取粗集料的单位最大体积比时，宜根据细集料的细度模数变化相应调整，具体可参考表 6.4.2。

表 6.4.2 粗集料单位最大体积比选取表

细集料细度模数	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80	3.00	3.40
粗集料最大粒径	粗集料单位最大体积比 γ						
9.5 mm	0.66	0.64	0.62	0.6	0.58	0.56	0.54
13.2 mm	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63
16.0mm	0.78	0.77	0.75	0.73	0.71	0.68	0.65
19.0mm	0.82	0.8	0.78	0.76	0.75	0.73	0.7
26.5 mm	0.85	0.83	0.82	0.81	0.79	0.78	0.75
31.5mm	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77
37.5 mm	0.91	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79

6.4.3 根据细集料的细度模数，按照表 8 选定粗集料单位最大体积比 γ 。设定混凝土拌合物体积为 1m^3 ，由式 (6.4.3) 计算求得粗集料的相对体积 V_{GRV} 。

$$V_{\text{GRV}} = \gamma \times 1\text{m}^3 \quad (6.4.3)$$

式中： γ ——粗集料单位最大体积比；

1m^3 ——混凝土拌合物总体积。

6.4.4 通过粗集料密度试验获得粗集料的振实密度 ρ_{GBD} ，表观密度 ρ_{GRD} ，由式 6.4.4 得出粗集料的绝对体积比 V_{GAV} 。

$$V_{GAV} = V_{GRV} \times \frac{\rho_{GBD}}{\rho_{GRD}} \quad (6.4.4)$$

式中： ρ_{GBD} ——粗集料的振实密度；

ρ_{GRD} ——粗集料表观密度；

6.5 混凝土含气量的确定

6.5.1 不同地区路面水泥混凝土含气量应符合《公路水泥混凝土路面施工技术细则》（JTG/T F30-2014）的要求；

6.5.2 一般地区混凝土含气量不应低于 2.0%。

6.5.3 拌合物单位含气量，按照式（6.5.1）计算。

$$V_A = A \quad (6.5.1)$$

式中：A —— 混凝土含气量，%。

6.6 单位胶凝材料水泥用量

6.6.1 单位水泥用量应根据混凝土的质量要求来确定，最小单位水泥用量应根据粗集料公称粒径进行调整，参见表 6.6.1。

表 6.6.1 最小水泥用量与集料工程粒径的对应关系

最大公称粒径 (mm)	最小水泥用量 (kg/m ³)
37.5	280
31.5	305
26.5	310
19	320
16	340
13.2	350
9.5	360

6.6.2 应因地制宜结合当地材料，选用合适的胶凝材料类型，其掺量应符合表 6.6.2 的要求。

表 6.6.2 胶凝材料的合理掺量

胶凝材料种类	胶凝材料掺量（全胶凝材料质量计算，%）
粉煤灰（FA）或天然火山灰（NP）	≥25（25）
炉渣（Slag）	≥40（50）
硅灰 SF	0，（不建议单独使用，特殊需要≥5）
粉煤灰、天然的火山灰、炉渣、硅灰复合材料	≥50（50）

6.6.3 单位胶凝材料用量的绝对体积按式（6.6.3）计算。

$$V_{\text{CAV}} = \frac{M_{\text{C}}}{\rho_{\text{CRD}}} + \frac{M_{\text{Q}}}{\rho_{\text{QRD}}} \quad (6.6.3)$$

式中： M_{C} —— 单位水泥质量，kg；

M_{Q} —— 其他胶凝材料质量，kg；

ρ_{CRD} —— 水泥及胶凝材料密度 kg/m^3 ；

ρ_{QRD} —— 其他胶凝材料密度 kg/m^3 。

6.7 单位用水量的确定

6.7.1 路面混凝土单位用水量不应大于 $165\text{kg}/\text{m}^3$ ；可通过优化集料级配、粒型或掺入引气外加剂等方式降低单位用水量。

6.7.2 坍落度和最大粗集料粒径、空气含量与单位用水量的关系可参见表 6.7.2。

表 6.7.2 单位用水量参考表

坍落度 (mm)	集料最大公称粒径							
	9.5 (mm)	16 (mm)	19 (mm)	26.5 (mm)	37.5 (mm)	50 (mm)	75 (mm)	100 (mm)
无引气剂混凝土单位用水量 (kg/m ³)								
10 ~ 20	196	185	179	165	155	144	122	103
20 ~ 30	201	190	185	172	160	150	126	108
30 ~ 50	207	194	190	179	166	154	130	113
75 ~ 100	228	215	205	193	181	169	145	124
150 ~ 175	243	225	216	202	190	178	160	—
自然含气量 (%)	2.5	2.0	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
引气剂混凝土单位用水量 (kg/m ³)								
10 ~ 20	172	167	159	153	141	133	115	101
20 ~ 30	176	170	163	155	144	136	118	103
30 ~ 50	181	175	168	160	148	142	122	107
75 ~ 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 ~ 175	216	205	197	184	174	166	154	~
含气量要求	3.5 ~ 5.5	3.0 ~ 6.0	2.5 ~ 5.0	2.5 ~ 5.0	2.0 ~ 4.5	1.5 ~ 4.0	1.0 ~ 3.0	1.0 ~ 2.5

6.7.3 混凝土中掺入其他外加剂，单位用水量应根据减水率进行调整，其他未涉及内容应符合《公路水泥混凝土路面施工技术细则》（JTG/T F30）的要求。

6.7.4 单位水用量的绝对体积按式（6.7.4）计算。

$$V_{WAV} = \frac{M_W}{\rho_W} \quad (6.7.4)$$

式中： M_W —— 单位水用量，kg。

ρ_W —— 水密度，kg/m³。

6.8 细集料单位用量

6.8.1 根据上述公式得出粗集料、水、水泥（胶凝材料）的单位绝对体积用量及引入空气含量，则细集料绝对体积可由式（6.8.1）计算。

$$V_{SAV} = 1 - V_{GAV} - V_{WAV} - V_{CAV} - V_{AV} \quad (6.8.1)$$

式中： V_{SAV} —— 细集料绝对体积，m³；

V_{WAV} —— 水的绝对体积, m^3 ;

V_{CAV} —— 水泥的绝对体积, m^3 ;

V_{AV} —— 引入气体的体积, m^3 。

6.8.2 细集料单位用量按照式(6.8.2)进行计算。

$$M_S = V_{SRV} \times \rho_{SRD} \quad (6.8.2)$$

式中: M_S —— 细集料单位用量, kg;

V_{SRV} —— 细集料绝对体积;

ρ_{SRD} —— 细集料表观密度, kg/m^3 。

6.9 初步配合比的确定与检验

6.9.1 经上述步骤计算,得到混凝土各原材料单位用量,即为混凝土的初步配合比。

6.9.2 确定初步配合比后,应进行试拌,检验与设计指标的偏差,记录并分析原因,再进行调整和优化。

6.10 试验室混凝土配合比的确定

6.10.1 混凝土试拌的目的如下:

- 1 验证初步配合比强度、耐久性、工作性是否满足设计要求;
- 2 验证集料体积与工作性、出浆量、出浆速率 γ 、立模特性之间关系,测定选定粗集料单位最大体积比 $\gamma \pm 0.15$ 、 $\gamma \pm 0.25$ 与工作性、出浆量、出浆速率、立模特性的关系,并根据关系曲线优化粗集料最大单位体积比率 γ_v 。
- 3 应建立水灰比与强度的关系式,确定即安全又经济的最佳水灰比、水泥单位用量。

6.10.2 试验室配合比

- 1 通过调整不同单位用水量(加减水量根据相差坍落度的程度而定,可参考表6.7.2)、外加剂的合理掺量,使得坍落度、出浆量、出浆速度符合设计要求;具

体方法为保证粗集料的粗集料最大单位体积比率 γ 、水灰比不变,按照本章的步骤计算细集料用量,从而得出至少 5 个配合比。根据试验结果分析,确定合理单位用水量、外加剂掺量。

2 通过调整集料不同粗集料最大单位体积比率与立模特性、出浆量的关系,确定最佳粗集料最大单位体积比率 γ 值。具体步骤为:采用 1 试验测定的最佳用水量 W_B 、引气外加剂掺量(含气量),保持水灰比不变,调整粗集料最大单位体积比率为: γ 、 $\gamma \pm 0.1$ 、 $\gamma \pm 0.2$; 2) 按照本章的计算步骤,算出“1”中所述 5 个配合比各原材料单位用量; 3) 试拌上述 5 个配合比混凝土,并验证坍落度、出浆量、出浆速率、立模特性与调整后 γ 值的关系,选定最佳粗集料最大单位体积比率 γ_B 。

3 调整水灰比,确定与强度的对应关系,确定最佳水灰比,强度与经济性的最佳组合。具体步骤为,以“2”中,确定的最佳配合比为基准配合比,在保持最佳粗集料最大单位体积比率 γ_B 、最佳单位用水量 W 不变的前提下,测试水灰比为 ± 0.02 、 ± 0.04 (或水泥用量 $\pm 15\text{kg}$ 、 $\pm 30\text{kg}$) 并按照 6 进行配合比计算,计算细集料单位用量,得出 5 个混凝土配合比,成型 7d、28d 的强度试件,满足设计要求的前提下,兼顾经济性的配合比为实验室配合比(注意:试验前粗细集料的筛分结果,应清楚标记 4.75mm 为分界值,为施工配合比的计算做准备)。

6.11 施工配合比

6.11.1 经 6.10 后得出的配合比,应结合原材料的实际变化对试验室配合比进行修正、优化,各项指标均满足设计要求、工作性要求、现场实际情况,即为施工配合比。

6.11.2 施工配合比主要对集料现场变异进行修正,可参考如下具体步骤。

- 1 对于现场细集料中大于 4.75mm 的颗粒应视为粗集料,并计入粗集料的单位用量;
- 2 对于粗集料中小于 4.75mm 部分,应视为细集料,并计入细集料的单位用量。
- 3 扣除集料干燥状态之外的含水量,最后计算确定施工配合比。
- 4 对于出现细集料细度模数变化大于 ± 0.2 或粗集料各粒级变化大于 $\pm 5\%$ 等情况,视为集料改变,应重新进行配合比试验。

6.11.3 施工配合比应根据施工环境、运距等因素的变化,进行合理调整,应探明工作性与运距、环境的关系,并适当调整。调整的原则为适当的增加水泥用量;减小水灰比或减小粗集料单位体积;或改变保塑性减水剂用量等,调整前应经试验验证符合设计要求。

6.11.4 施工配合比中应包含实验室混凝土配合比、粗细集料超粒径含量(4.75mm)和含水量、工作性、调整的其他参数等信息。

7 断级配高弯拉强度混凝土配合比设计

7.1 一般规定

7.1.1 本章适用于采用三辊轴机组、小型机具以及滑模铺筑施工工艺的水泥混凝土路面。

7.1.2 在水泥混凝土摊铺时,拌和物的现场坍落度宜为 5mm ~ 20mm。

7.1.3 本配合比设计采用胶砂体积与粗集料空隙相匹配的设计方法。

7.1.4 本配合比设计选用的集料级配曲线为断级配曲线。

条文说明:

路面混凝土配合比设计强度以抗弯拉强度表征和确定,常规的混凝土施工过程中容易出现泌水现象,在粗集料底部产生较为疏松的界面过渡区(由于水的集聚而在粗集料界面处形成的多孔疏松的网状结构),在受到拉应力作用时,胶砂和粗集料很容易在界面过渡区产生剥离,造成粗集料参与强度贡献率不高,对水泥混凝土抗弯拉强度影响较大。

断级配高弯拉强度水泥混凝土,采用胶砂与粗集料空隙相匹配的设计方法,通过大幅减少水泥混凝土中工作性胶砂,使混凝土呈“固态”特性,克服泌水现象,提高弯拉强度。同时,粗集料采用断级配,使胶砂能在粗集料空隙内部顺畅流动,保证其良好的工作性。

断级配高弯拉强度水泥混凝土,自 1999 年开始研究应用,已在安徽、湖北等一级、二级公路推广应用 400 余公里,其中部分路段已观测使用 19 年,路况良好。实践证明:断级配高弯拉强度水泥混凝土,能明显提高水泥混凝土路面的

耐久性,经济效益和社会效益显著。

断级配高弯拉强度水泥混凝土具有以下优点:

1) 提高弯拉强度。由于克服了泌水现象,增强界面过渡区的强度,弯拉强度较常规混凝土提高 12%左右。

2) 节约水泥。一方面,由于更多粗集料参与混凝土整体弯拉强度贡献,不是单一依靠胶砂强度,较常规能够节约水泥;另一方面,由于砂率相对较小,混凝土中胶砂总量较常规少,从而间接节约了水泥。

3) 施工方便。由于克服了泌水现象,水灰比敏感性明显降低,施工操作简单方便。

4) 无需外加剂。采用本配合比设计的混凝土弯拉强度,已完全满足常规道路设计标准,不需掺加外加剂。

工程应用案例:

1) 安徽省 104 国道明光北段改造工程

1999 年施工,二级公路,长 27 公里,路面宽 14 米,设计抗弯拉强度为 5.0Mpa。采用断级配高弯拉强度水泥混凝土,28 天小梁强度平均值为 6.12Mpa(共 501 组)。经东南大学交通学院交工验收检测,芯样抗弯拉强度平均值为 6.581Mpa(共取芯 49 组,每组 3 个芯样),重交通下使用 19 年,路况良好。

2) 安徽省 311 省道定远段大修工程

2007 年和 2008 年分别施工了 5 公里,路面宽 12 米,水泥混凝土面板厚 25cm,设计抗弯拉强度 5.0Mpa。在人员、设备和原材料产地均不变的情况下,2008 年与 2007 年相比,只调整了配合比,即:粗集料采用断级配,剔除 4.75mm ~ 9.5mm 一级粗集料;砂率由 35%降为 30%,将单位水泥用量 370 公斤减少为 330 公斤。经检测,2007 年抗弯拉强度平均值 5.24Mpa,2008 年抗弯拉强度平均值达到 6.10Mpa,尽管单方水泥用量减少 40 公斤,抗弯拉强度却提高 16.4%。

7.2 水泥混凝土配合比使用的级配为断级配,去除 4.75mm ~ 9.5mm 档粗集料,其级配范围应符合表 7.2 粗集料级配范围要求。

表 7.2 粗集料级配范围

类 级 型 配	粒径	方 筛 孔 尺 寸 (mm)							
			4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5
		累 计 筛 余 (以 质 量 计, %)							
断 级 配	9.5~26.5	-	100	95~100	-	30~70	-	0~10	0
	9.5~31.5	-	100	95~100	-	20~80	-	-	0~5

7.3 初步配合比设计

7.3.1 粗集料的比例

一般选用 9.5mm~19mm、19mm~31.5mm 两档或 9.5mm~19mm、19mm~26.5mm 两档粗集料，用不同的比例混合进行试配，按附录 B 测得粗集料最小振实空隙率 V_{min} 。最小振实空隙率相对应两档粗集料的比例为粗集料的最佳比例，且其合成级配宜符合表 7.2 级配范围要求。

7.3.2 根据设计强度，计算混凝土配制强度，拟定水灰（胶）比、单位水泥用量及用水量。

1 配制强度的计算

路面弯拉配制强度的计算、水灰比的选取应分别按照 6.1、6.3 的要求进行。

2 拟定单位水泥用量

以《公路工程水泥混凝土路面施工技术细则》（JTG/T F30）中规定最小单位水泥用量为基数，根据原材料情况和配置强度，单位水泥用量可按每档 10Kg 递增，拟定单位水泥用量，可参照表 7.3.2 选取。

表 7.3.2 单位水泥用量增加量选取表

设计弯拉强度 (MPa)	4.0	4.5	5.0	5.5
单位水泥用量增加量 (kg)	0~20	0~30	10~40	20~50

条文说明：

与常规混凝土相比，更多的粗集料参与强度贡献，相对节约水泥；经多年试验验证，以《公路工程水泥混凝土路面施工技术细则》（JTG/T F30）中规定的最

小单位水泥用量作为单位水泥用量,基本满足弯拉强度要求。

3 拟定单位用水量

根据《公路工程水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG/T F30)规定的最大水灰比,计算单位用水量,并满足最大单位用水量的要求。

条文说明:

与普通水泥混凝土相比,由于克服了泌水现象,水灰比对弯拉强度的影响敏感性降低,水灰比可取偏大值,更利于胶砂在粗集料空隙内部流动,便于振捣密实。

7.3.3 计算单位胶砂体积

- 1 断级配水泥混凝土中胶砂分为填充空隙胶砂和工作性胶砂。
- 2 确定填充空隙胶砂体积率,按照附录 B《路面水泥混凝土粗集料最大容重试验方法》进行测试,最小振实空隙率 V_{min} 对应的粗集料空隙体积,即为填充空隙胶砂体积率。
- 3 选定工作性胶砂与填充空隙胶砂比例

工作性胶砂用量应考虑到表面磨耗层厚度、细集料对粗集料的轻微干涉及胶砂充满富余用量三个因素,工作性胶砂体积与填充空隙胶砂体积比例宜为 30%~50%,计算公式按照式(7.3.3-1)进行计算。

$$P_{gs} = K_s \cdot P_{ts} \quad (7.3.3-1)$$

式中: P_{gs} ——工作性胶砂体积率, %;

P_{ts} ——填充空隙胶砂体积率,数值取 V_{min} , %;

K_s ——工作性胶砂体积与填充空隙胶砂体积之比。

条文说明:

工作性胶砂与填充空隙胶砂体积比例选取数值,应根据粗集料规格稳定性以及施工单位管理水平等因素确定。对于粗集料规格稳定,施工单位管理水平较高

的,一般取小值;对于粗集料规格不稳定,施工单位管理水平较差的,一般取大值。

4 单位体积水泥混凝土中胶砂体积按照式(7.3.3-2)进行计算。

$$V_{js} = (P_{ts} + P_{gs}) / (1 + P_{gs}) \quad (7.3.3-2)$$

式中: V_{js} ——单位体积水泥混凝土中胶砂体积, m^3 。

7.3.4 计算单位粗、细集料用量。

1 单位体积水泥混凝土中粗集料用量的计算。

1) 单位体积水泥混凝土中粗集料体积按式(7.3.4-1)计算。

$$V_{ca} = 1 - V_{js} \quad (7.3.4-1)$$

式中: V_{ca} ——单位粗集料体积, m^3 ;

2) 单位体积水泥混凝土中粗集料用量按下式(7.3.4-2)计算。

$$m_{ca} = \rho_{ca} \cdot V_{ca} \quad (7.3.4-2)$$

式中: m_{ca} ——单位粗集料用量, kg ;

ρ_{ca} ——粗集料表观密度, kg/m^3 。

2 单位体积水泥混凝土中细集料用量的计算。

1) 单位体积水泥混凝土中细集料体积按(7.3.4-2~7.3.4-5)式计算。

$$V_{fa} = V_{js} - V_c - V_w \quad (7.3.4-3)$$

$$V_c = m_c / \rho_c \quad (7.3.4-4)$$

$$V_w = m_w / \rho_w \quad (7.3.4-5)$$

式中: V_{fa} ——单位体积水泥混凝土中细集料体积, m^3 ;

V_c ——单位体积水泥混凝土中水泥体积, m^3 ;

V_w ——单位体积水泥混凝土中水的体积, m^3 ;

m_c ——单位体积水泥混凝土中水泥用量, kg ;

ρ_c ——水泥的表观密度, kg/m^3 ;

m_w ——单位体积水泥混凝土中水的用量, kg ;

ρ_w ——水的密度, kg/m^3 。

2) 单位体积水泥混凝土中细集料用量按下式（7.3.4-6）计算。

$$m_{fa} = \rho_{fa} \cdot V_{fa} \quad (7.3.4-6)$$

式中： m_{fa} ——单位体积水泥混凝土中细集料用量，kg；

ρ_{fa} ——细集料表观密度，kg/m³。

7.3.5 试验室配合比的确定

- 1 经上述计算得到的单位体积内的各原材料用量即为水泥混凝土的初步配合比。
- 2 在初步配合比单位水泥用量基础上，保持水灰比不变，以 10kg ~ 15kg 为一档，增加水泥用量，相应调整其它材料的单位用量，至少得出三个配合比，确定为试配配合比。
- 3 分别对试配配合比进行拌和成型试验，按相关规程检验其工作性及强度指标。
- 4 确定弯拉强度最高的试配配合比为试验室配合比。

7.4 施工配合比

结合施工现场原材料及生产情况，对试验室配合比进行优化调整，各项指标均须满足设计要求、工作性要求，调整后的配合比即为施工配合比。

8 碾压混凝土配合比设计

按照《公路水泥混凝土路面施工技术细则》（JTG T / F30）进行设计。

附录 A

水泥混凝土拌合物振动出浆量及松铺系数试验方法

A.1 目的、适用范围、引用标准

本方法规定了低坍落度水泥混凝土振动出浆量及松铺系数试验方法和步骤。
本方法适用于 10mm ~ 80mm 水泥混凝土拌合物在振动过程中的液化出浆试验。

引用标准：

JG/T 250 《维勃稠度仪》

JG/T 248 《混凝土坍落度仪》

A.2 仪器与材料

A.2.1 出浆量筒，见图 A.2.1-1，带出浆量筒的维勃稠度仪，见图 A.2.1-2。

1 出浆量筒：金属筛网制成，内径 240mm，内高 200mm，壁厚约 3mm，底厚约 7.5mm；筛网圆孔直径 4.75mm，孔中心间距 7.25mm。出浆筒应有把手。

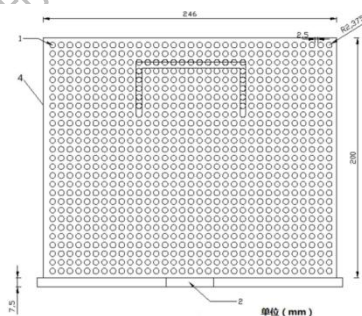


图 A.2.1-1 出浆量筒（尺寸单位：mm）

2 透明圆盘：用透明有机玻璃制成，上装有滑杆。圆板直径 $230\text{mm} \pm 2\text{mm}$ ，厚 $10\text{mm} \pm 2\text{mm}$ ，荷重和滑杆的总质量为 $2.75\text{kg} \pm 0.05\text{kg}$ ，滑杆可通过套筒垂直滑动。滑杆及套筒的轴线与容器轴线重合。

3 配重砝码：两块，共 8.7kg。

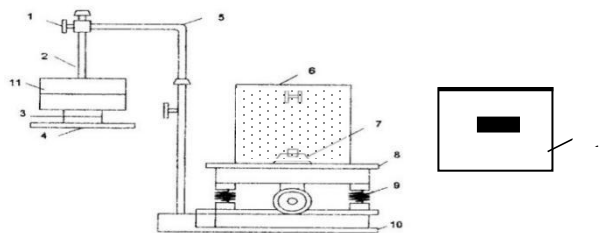


图 A.2.1-2 低坍落度水泥混凝土振动出浆仪简图

注：1-螺栓；2-滑杆；3-砝码；4-圆盘；5-转向弯杆；6-出浆量筒；7-固定螺栓；8-台面；
9-弹簧；10-底座；11-配重砝码 12-维勃稠度筒

4 振动台：工作频率 $50\text{Hz} \pm 3\text{Hz}$ ，空载（含筒）振幅 $0.5\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 。

5 维勃稠度筒：为无孔的出浆量筒。

A.2.2 捣棒：直径 16mm，长 600mm，一端为弹头形。

A.2.3 秒表：分度值为 0.5s。

A.2.4 磅秤：量程大于 50kg，感量 5g。

A.3 出浆量试验步骤

A.3.1 试验前用湿布擦拭出浆量筒内壁及透明圆盘的上、下面。

A.3.2 取质量均匀，有代表性的水泥混凝土试样 16kg，精确至 50g。

A.3.3 将试样分两层装入出浆量筒，底层应超过半筒，上层应高出筒口。装料时应避免自由下倒，以防试样离析；每装一层用捣棒从出浆量筒周边向中心螺旋形均匀插捣 25 次。插捣底层时，捣棒应贯穿整个深度但不触及筒底；插捣上层时，捣棒应插入底层表面以下 10mm ~ 20mm。每层插捣后，用橡皮锤均匀敲击出浆量筒周围 10 次，以消除插捣产生的孔洞；上层插捣完毕后，并将表面整平。

A.3.4 开动振动台，同时按下秒表，20s 后立刻停止振动台。记下振动前出浆量筒和混凝土的总质量 m_0 ，振动结束后用抹布抹去出浆桶外壁浆体称取质量 m_1 。

A.3.5 仪器每测试一次后，必须将容器、筒模及透明圆盘洗净擦干，并在滑杆等处涂薄层黄油，以备下次使用。

A.4 松铺系数试验步骤

A.4.1 将出浆量筒换为维勃稠度筒，重复 3.1 ~ 3.3 的试验步骤。

A. 4.2 将装有试样的维勃稠度筒固定于振动台上,并把透明圆盘连同荷重及配重砝码加到拌合物表面,并测量圆盘表面距出浆量筒顶面的高度,垂直方向测量四次,取算术平均值为 H_1 。

A. 4.3 振动结束后,测量圆盘表面距出浆量筒顶面的高度,垂直方向测量四次,取算术平均值为 H_2 。

A. 4.4 仪器每测试一次后,必须将容器、筒模及透明圆盘洗净擦干,并在滑杆等处涂薄层黄油,以备下次使用。

A. 5 结果计算

A. 5.1 液化出浆量,按式 (A.5.1) 计算:

$$m_2 = m_0 - m_1 \quad (\text{A.5.1})$$

式中: m_2 ——混凝土液化出浆量 (kg);

m_0 ——振动前出浆量筒和混凝土的总质量 (kg);

m_1 ——振动结束后用抹布抹去出浆量筒外壁浆体称取质量 (kg)。

结果计算精确至 1g。

每个试样重复两次试验,以两次测值的平均值为试验结果,如果两次测值与平均值的误差均超过 20%,试验结果无效。

A. 5.2 松铺系数,按式 (A.5.2) 计算:

$$U = \frac{190 - H_1}{190 - (H_2 - H_1)} \quad (\text{A.5.2})$$

式中: U ——松铺系数;

190——液化出浆量筒内高 200mm 扣除透明圆盘厚度 10mm (mm);

H_1 ——振动液化前,圆盘表面距出浆量筒顶面的高度 (mm);

H_2 ——振动液化后,圆盘表面距出浆量筒顶面的高度 (mm)。

结果计算精确至 0.01。

条文说明

本方法根据混凝土振动液化原理，在维勃稠度仪的基础上改造而成，操作简便，可通过时间精确控制试验终点，可重复性高，干扰因素少。通过试验对比发现本方法可以很好地评价坍落度值为 10mm ~ 80mm 的低坍落度混凝土的液化效果，区分度明显。开发的低坍落度混凝土工作性表征新方法，弥补了现有工作性测试方法的不足，对控制滑模摊铺混凝土施工性能具有十分重要的意义。

附录 B

路面水泥混凝土粗集料最大容重试验方法

B.1 目的、适用范围和引用标准

本方法规定了路面水泥混凝土粗集料最大容重的确定方法。

引用标准：

《混凝土试验用振动台》JG/T3020；

《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》JTG E30；

《水泥混凝土路面研究》交通部水泥混凝土路面推广组编写等。

B.2 仪器设备

B.2.1 标准筛

B.2.2 搅拌机：强制式

B.2.3 振动台

B.2.4 磅秤：量程 100 kg，感量 50g

B.2.5 天平：量程 5kg，感量 0.1g

B.2.6 烘箱：105 ~ 110℃，精度±℃

B.2.7 金属容量筒不小于 20L

B.2.8 其他：铁板、铁铲、直径 16mm，长约 600mm 捣棒、馒头等。

B.3 试验准备

B.3.1 计算各材料用量

根据两种规格的粗集料筛分结果，以不同的比例（3 个及 3 个以上）混合后，加粗集料总重的 25% ~ 27% 的细集料，再加集料总重的 13% 的水泥，再加按最大水灰比计算得到的水，即为各材料的用量。

B.3.2 所有原材料均应符合有关要求，拌合前材料应处于风干状态并放置在室温

20℃±5℃的室内。

B.4 拌和

B.4.1 拌和时保持室温 20℃±5℃。

B.4.2 拌合物的总量至少应比所需量多 20%以上。拌和混凝土的原材料用了应以质量计，称量的精确度：集料为±1%，水、水泥±0.5%。

B.4.3 拌和所用各种工具，应预先用水湿润，使用后必须清洗干净。

B.4.4 使用拌合机前，应先用少量砂浆进行润膛，润膛砂浆水灰比与正式拌合物水灰比相同。

B.4.5 按规定称好原材料，往搅拌机内顺序加入粗集料、细集料、水泥。开动搅拌机，将原材料拌合均匀，在拌和过程中徐徐加入水，水全部加入后拌和 2min，将拌合物倾倒入铁板上。

B.5 试验步骤

B.5.1 称取金属容量筒质量 m_1 ，精确至 50g。

B.5.2 将拌和好的拌合物分三层装入金属容量筒，每层用捣棒插捣 30 次。装满后用馒刀抹平。

B.5.3 将金属容量筒放置在振动台上进行振动，边振边用馒刀将浮在表面的集料压入混凝土中，并尽可能多压入一些粗集料，直至振捣密实体积无变化后为止抹平，振动时间宜在 3min 至 4min。

B.5.4 把金属容量筒外部擦净后并称其质量 m_2 ，精确至 50g。

B.5.5 将称重后的拌合物全部放置在浅盘内，用水清洗到无水泥浆为止，放入烘箱内烘干，烘干时间不少于 6h，在室内冷却至室温后过 9.5mm 标准筛，称重筛上质量 m_3 ，精确至 50g。

B.5.6 按照上述步骤依次测得其它比例下的质量。

B.6 结果计算

B.6.1 按式 (B.1) 计算拌合物容重密度 ρ ：

$$\rho = (m_2 - m_1) / V \text{ 容量筒} \quad (\text{B.6.1})$$

式中: ρ ——拌合物容重密度 (kg/m^3);

m_1 ——金属容量筒质量 (kg);

m_2 ——振实后拌合物和金属容量筒总质量 (kg);

$V_{\text{容量筒}}$ ——金属容量筒体积 (m^3)。

计算结果精确到 $10\text{kg}/\text{m}^3$; 以两次试验结果的算术平均值作为测定值, 试样不得重复使用。

B. 6. 2 按式 (B. 6. 2) 计算拌合物中粗集料空隙率 V_{min}

$$V_{\text{min}} = V_{\text{容量筒}} - m_3 / \rho_{\text{粗}} \quad (\text{B.6.2})$$

式中: m_3 ——9.5mm 筛上质量 (kg);

$\rho_{\text{粗}}$ ——粗集料相对密度;

计算结果精确到 0.001m^3 ; 以两次试验结果的算术平均值作为测定值, 试样不得重复使用。

对执行标准严格程度用词说明

- 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，在正常情况下均这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不得”或“不应”；
- 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”。