

中华人民共和国建材行业标准

JC/T 60024-2024

振动压实法道路基层混合料配合比设计  
及应用技术规程

Code for mix design and construction of road base material by vibratory compaction  
method

2024 - 07 - 05 发布

2025 - 01 - 01 实施

# 目次

前    言.....	III
1 总则.....	1
2 术语.....	2
3 原材料.....	3
3.1 一般规定.....	3
3.2 水泥.....	3
3.3 粉煤灰.....	3
3.4 石灰.....	4
3.5 粗集料.....	5
3.6 细集料.....	5
3.7 集料分档.....	5
3.8 水.....	6
4 混合料配合比设计.....	7
4.1 一般规定.....	7
4.2 原材料检验.....	7
4.3 混合料的目标配合比选取.....	8
4.4 生产配合比优化.....	10
4.5 施工参数确定.....	10
5 施工.....	11
5.1 一般规定.....	11
5.2 施工准备.....	11
5.3 混合料的生产.....	11
5.4 混合料的运输.....	12
5.5 混合料的摊铺.....	12
5.6 混合料碾压.....	13
5.7 接缝.....	13
5.8 养生及交通管制.....	14
6 质量检验与控制.....	15
6.1 一般规定.....	15
6.2 检验.....	15
6.3 验收.....	18
附录 A 振动压实试验方法.....	19
附录 B 振动压实法的试件成型.....	22
附录 C 配合比设计步骤.....	24
附录 D 水泥稳定级配碎石配合比设计示例.....	26
用词说明.....	30
引用标准名录.....	31
附：条文说明.....	32

## Contents

Foreword.....	III
1 General provisions.....	1
2 Terms.....	2
3 Material.....	3
3.1 General requirements.....	3
3.2 Cement.....	3
3.3 Fly ash.....	3
3.4 Lime.....	4
3.5 Coarse aggregate.....	5
3.6 Fine aggregate.....	5
3.7 Aggregate sorting.....	5
3.8 Water.....	6
4 Mix design.....	7
4.1 General requirements.....	7
4.2 Raw material inspection.....	7
4.3 Selection of target mix proportions for the mixture.....	8
4.4 Production mix optimization.....	10
4.5 Determination of construction parameters.....	10
5 Construction.....	11
5.1 General requirements.....	11
5.2 Construction preparation.....	11
5.3 Mixing.....	11
5.4 Mixture transportation.....	12
5.5 Mixture paving.....	12
5.6 Mixture compaction and molding.....	13
5.7 Seam.....	13
5.8 Maintenance and traffic control.....	14
6 Quality inspection and acceptance.....	15
6.1 General requirements.....	15
6.2 Quality inspection.....	15
6.3 Quality acceptance.....	18
Appendix A Vibration compaction test method.....	19
Appendix B Test piece vibration compaction molding method.....	22
Appendix C Mix design steps.....	24
Appendix D Example of mix design for cement stabilized crushed stone.....	26
Explanation of wording.....	30
List of quoted standards.....	31
Addition: Explanation of provisions.....	32

## 前 言

根据工业和信息化部办公厅《关于印发 2020 年第三批行业标准制修订计划的通知》(工信厅科函〔2020〕263 号)的要求,标准编制组经广泛调研,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制了本规程。

本规程共分 6 章和 4 个附录,主要内容包括:总则、术语、原材料、混合料配合比设计、施工质量控制、质量检验与控制等。

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。

本规程由建材工业综合标准化技术委员会负责管理,由建筑材料工业技术情报研究所负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送建筑材料工业技术情报研究所(北京市朝阳区管庄东里甲 1 号,邮政编码:100024,邮箱:zgsphnt@126.com)。

主 编 单 位: 建筑材料工业技术情报研究所

四川庄大混凝土有限公司

安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司

浙江交工集团股份有限公司

江苏东交智控科技集团股份有限公司

四川路航建设工程有限责任公司

河南安罗高速公路有限公司

参 编 单 位: 湖州上建华煜混凝土有限公司

北京市政路桥股份有限公司

常州市建筑科学研究院集团股份有限公司

德州市中通市政工程有限公司

中信建设有限责任公司

福建省交设工程试验检测有限公司

许昌金科资源再生股份有限公司

广西交科集团有限公司

山东省公路桥梁建设集团有限公司

安阳汤阴中联新材料有限公司

德达交通建设发展集团有限公司

中国电建集团江西省水电工程局有限公司

陕西省交通规划设计研究院有限公司

青岛北苑环保建材有限公司

河北道桥工程检测有限公司

河南省西浙高速公路建设有限公司

湖南省通和工程有限公司

汇通建设集团股份有限公司

河南豫申高速公路有限公司

江苏省交通工程建设集团有限公司

秦皇岛市佳成市政工程检测有限公司

山东高速股份有限公司

山西机械化建设集团有限公司  
上海公路桥梁（集团）有限公司  
上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司  
苏交科集团股份有限公司  
唐山交通建设试验检测有限公司  
无锡交建建设工程集团有限公司  
武汉市政工程机械化施工有限公司  
云南建投第四建设有限公司  
云南建投绿色高性能混凝土股份有限公司  
云南阳光道桥股份有限公司  
中国市政工程华北设计研究总院有限公司  
中建三局集团有限公司  
中建新疆建工（集团）有限公司  
中建新疆建工集团第一建筑工程有限公司  
中交建筑集团北京检测科技有限公司  
中交一公局厦门检测技术有限公司  
中铁二十二局集团第四工程有限公司  
中铁建设集团有限公司  
中铁十六局集团路桥工程有限公司  
重庆中环建设有限公司  
中建六局华北建设有限公司  
东固土木工程服务江苏有限公司  
中大（福建）工程建设集团有限公司  
福建嘉宜建筑工程有限公司  
安徽建工交通航务集团有限公司

主要起草人： 闻宝联 孙继成 李银桔 张玉斌 郑竞友 高连强 陆建南 任 园 管秀发  
杨 莉 朱子剑 吴义春 马腾飞 王 捷 李 华 许世辉 吕维前 汪润新  
李玉耀 戚 栋 杨爱斌 时 光 周文平 赵 丽 郎玉峰 黄 波 王浩通  
熊奎元 张 涛 万 林 林 虎 王承军 赵伟超 王贵斌 林生玉 熊 鹰  
张君宇 宿晓亮 毛国栋 郑 硕 魏春辉 赵伟超 王贵斌 王海波 杨 欣  
丁俊剑 王伟光 于建超 杨 伟 王洪明 周 聪 巫亚明 张永胜 钱 泉  
刘 辉 刘甲荣 杨印旺 姜 磊 张鲲鹏 杨 勇 蔡 氧 王宝辉 章 毅  
韩 超 钟 健 许伟峰 张玉兰 许青凯 李维俊 柯文汇 王燕荃 李章建  
荀家正 朱晓东 向 涛 蒋 武 陈 刚 王小鹏 凌 四 蔡宣炎 龚明子  
杨卫华 韩 锋 郑宏利 余森开 庞 拓 贾家银 刘定学 林 敬 李金会  
张明亮 余明贵 张伟明 徐 鑫 胡潇丹  
主要审查人： 陈国庆 周丽玮 蔡亚宁 赵顺增 王稷良 李化建 陈浩宇 黄 靖 魏如喜  
孟庆营 马永胜 郭 友 王欣宇 师海霞 张红兵

# 1 总则

**1.0.1** 为规范振动压实法水泥稳定级配碎石或砾石、石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石设计，提高道路基层、底基层施工水平，保证工程质量，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于各等级公路的新建、改扩建和大中修工程中半刚性基层和底基层的施工，城市道路路面和机场道面的基层、底基层可参照执行。

**1.0.3** 振动压实法水泥稳定级配碎石或砾石、石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石基层和底基层混合料的配合比设计与施工除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语

### 2.0.1 半刚性基层 semi-rigid base layer

用无机结合料稳定土铺筑的能结成板体，并具有一定抗弯强度的基层、底基层。本规程主要包括水泥稳定级配碎石或砾石、石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石。

### 2.0.2 振动压实法 vibratory compaction test method

采用具有振动压实功能的振动成型机，在室内对水泥稳定碎石或砾石、石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石进行振动压实试验，以确定其最大干密度和最佳含水率的试验方法。

### 2.0.3 无机结合料 Inorganic binders

指水泥、石灰、粉煤灰等具有胶凝性的材料。

### 2.0.4 含水率 water content

水泥稳定级配碎石或砾石、石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石混合料中水的质量与干混合料质量的比值，以百分率表示。

### 2.0.5 最大干密度 maximum dry density

在一定压实功条件下，成型的水泥稳定级配碎石或砾石、石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石混合料扣除水分后相同体积下的密度称为干密度，对应不同含水率的干密度最大值。

### 2.0.6 最佳含水率 optimum water content

在一定压实功条件下，成型的水泥稳定级配碎石或砾石、石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石混合料达到最大干密度时的含水率。

### 2.0.7 无侧限抗压强度 unconfined compressive strength

试件在无侧向压力条件下抵抗轴向压力的极限强度。

### 2.0.8 容许延迟时间 permitted delay time

在满足强度标准的前提下，水泥稳定材料拌和后至碾压成型之前所容许的最大时间间隔。

## 3 原材料

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 集料选取应因地制宜、就近取材。

**3.1.2** 水泥稳定级配碎石或砾石、石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石使用的各种材料运至现场后应取样进行质量检验，经评定合格后方可使用。

**3.1.3** 冶金矿山分选的废石、隧道洞渣加工集料和建筑固废再生集料等材料，其技术指标应满足本规程的相关要求。冶炼产生的废渣应经过专项论证后方可使用。

**3.1.4** 不同料源、品种、规格的原材料不得混杂堆放。

### 3.2 水泥

**3.2.1** 水泥宜采用符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 规定的强度等级 32.5 或 42.5 的通用硅酸盐水泥，且初凝时间应大于 3h，终凝时间应大于 6h 且小于 10h。不宜使用早强型水泥。

**3.2.2** 水泥入罐温度不宜高于 60℃，否则应采用降温措施。

**3.2.3** 水泥使用时应符合下列规定：

- 1 不同厂家、不同品牌、不同批次水泥不得混用；
- 2 水泥品种发生变化时，应重新取样检测其技术性能。

### 3.3 粉煤灰

**3.3.1** 干排或湿排的 F 类、C 类粉煤灰等均可用作基层或底基层的结合料。粉煤灰技术要求应符合表 3.3.1 的规定。

表 3.3.1 粉煤灰技术要求

检测项目	技术要求	试验方法
SiO <sub>2</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 和 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 总含量(%)	>70	现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51(T 0816)
烧失量(%)	≤20	现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51(T 0817)
比表面积(m <sup>2</sup> /kg)	>250	现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51(T 0820)
0.3mm 筛孔通过率(%)	≥90	现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51(T 0818)
0.075mm 筛孔通过率(%)	≥70	现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51(T 0818)
湿粉煤灰含水率(%)	≤35	现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51(T 0801)

3.3.2 各等级公路的底基层、二级及二级以下公路的基层使用的粉煤灰，通过率指标不满足本规程要求时，应经过专项试验后方可使用。

### 3.4 石灰

3.4.1 消石灰技术要求应符合表 3.4.1 的规定。

表 3.4.1 消石灰技术要求

指 标		钙质消石灰			镁质消石灰			试验方法
		I	II	III	I	II	III	
有效氧化钙加氧化镁含量 (%)		≥65	≥60	≥55	≥60	≥55	≥50	现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》 JTG E51(T 0813)
含水率 (%)		≤4	≤4	≤4	≤4	≤4	≤4	现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》 JTG E51(T 0801)
细度	0.60mm 方孔筛的筛余 (%)	0	≤1	≤1	0	≤1	≤1	现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》 JTG E51(T 0814)
	0.15mm 方孔筛的筛余 (%)	≤13	≤20		≤13	≤20		
钙镁石灰的分类界限，氧化镁含量 (%)		≤4			>4			现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》 JTG E51(T 0812)

3.4.2 生石灰技术要求应符合表 3.4.2。

表 3.4.2 生石灰技术要求

指 标	钙质生石灰			镁质生石灰			试验方法
	I	II	III	I	II	III	
有效氧化钙加氧化镁含量 (%)	≥85	≥80	≥70	≥80	≥75	≥65	0813T
未消化残渣含量 (%)	≤7	≤11	≤17	≤10	≤14	≤20	0815T
钙镁石灰的分类界限，氧化镁含量 (%)	≤5			>5			0812T

3.4.3 高速公路和一级公路用消石灰不应低于 II 级技术要求，二级公路用消石灰不应低于 III 级技术要求，二级以下公路宜不低于 III 级技术要求。

3.4.4 高速公路和一级公路的基层，宜采用磨细消石灰。

3.4.5 二级以下公路使用等外石灰时，有效氧化钙含量应在 20% 以上，且混合料强度应满足要求。

### 3.5 粗集料

**3.5.1** 粗集料宜采用各种硬质岩石或砾石加工制成，满足本规程的固体废弃物加工的粗集料也可应用。

**3.5.2** 粗集料技术要求应符合表 3.5.2 的规定。

表 3.5.2 粗集料技术要求

指标	层位	高速公路和一级公路		二级及二级以上	试验方法
		特级、特重交通	重、中、轻交通		
压碎值(%)	基层	≤22	≤26	≤35	现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》 JTG E51(T 0316)
	底基层	≤30	≤30	≤40	
针片状颗粒含量(%)	基层	≤18	≤22	—	现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》 JTG E51(T 0312)
	底基层	—	—	—	
0.075mm 以下粉尘含量(%)	基层	≤1.2	≤2	—	现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》 JTG E51(T 0310)
	底基层	—	—	—	
软石含量(%)	基层	≤3	≤5	—	现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》 JTG E51(T 0320)
	底基层	—	—	—	

### 3.6 细集料

**3.6.1** 细集料应符合 3.6.1 的要求，满足本规程的固体废弃物加工的细集料也可应用。

表 3.6.1 细集料技术要求

项目	水泥稳定	石灰粉煤灰综合稳定	试验方法
颗粒分析	满足级配要求		现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》 JTG E51(T 0302/0303/0327)
塑性指数	≤17	适宜范围 12~20	现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》 JTG E51(T 0118)
有机质含量(%)	<2	≤10	现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》 JTG E51(T 0313/0336)
硫酸盐含量(%)	≤0.25		现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》 JTG E51(T 0341)

注：应测定 0.075mm 以下材料的塑性指数。

**3.6.2** 细集料选用时应严格控制 0.075mm 以下的颗粒含量。高速公路和一级公路，细集料中小于 0.075mm 以下的颗粒含量不应大于 15%；二级及二级以下公路，细集料中小于 0.075mm 的颗粒含量不应大于 20%。

### 3.7 集料分档

3.7.1 各档粗集料的粒径规格应符合 3.7.1-1 的规定，细集料应符合 3.7.1-2 的规定。

表 3.7.1-1 粗集料规格要求

规格名称	工程粒径 (mm)	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)									公称粒径 (mm)
		53	37.5	31.5	26.5	19.0	13.2	9.5	4.75	2.36	
G1	20~40	100	90~100	—	—	0~10	0~5	—	—	—	19~37.5
G2	20~30	—	100	90~100	—	0~10	0~5	—	—	—	19~31.5
G3	20~25	—	—	100	90~100	0~10	0~5	—	—	—	19~26.5
G4	15~25	—	—	100	90~100	—	0~10	0~5	—	—	13.2~26.5
G5	15~20	—	—	—	100	90~100	0~10	0~5	—	—	13.2~19
G6	10~30	—	100	90~100	—	—	—	0~10	0~5	—	9.5~31.5
G7	10~25	—	—	100	90~100	—	—	0~10	0~5	—	9.5~26.5
G8	10~20	—	—	—	100	90~100	—	0~10	0~5	—	9.5~19
G9	10~15	—	—	—	—	100	90~100	0~10	0~5	—	9.5~13.2
G10	5~15	—	—	—	—	100	90~100	40~70	0~10	0~5	4.75~13.2
G11	5~10	—	—	—	—	—	100	90~100	0~10	0~5	4.75~9.5

表 3.7.1-2 细集料规格要求

规格名称	工程粒径 (mm)	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)								称粒径 (mm)
		9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
XG1	3~5	100	90~100	0~15	0~5	—	—	—	—	2.36~4.75
XG2	0~3	—	100	90~100	—	—	—	—	0~15	0~2.36
XG3	0~5	100	90~100	—	—	—	—	—	0~20	0~4.75

3.7.2 集料应按粒径规格进行分档备料，集料的分档要求应符合本规程表 3.7.2 的规定。

表 3.7.2 集料的分档要求

层位	高速公路和一级公路		二级及二级以下公路
	极重、特重交通	重、中、轻交通	
基层	≥5	≥4	≥3 或 4
底基层	≥4	≥3 或 4	≥3

## 3.8 水

3.8.1 符合现行国家标准《生活饮用水卫生标准》GB 579 的饮用水可直接作为基层、底基层材料拌和与养生用水。

3.8.2 其他水源应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的要求。

## 4 混合料配合比设计

### 4.1 一般规定

4.1.1 应按设计要求选择技术经济合理的混合料类型和配合比。

4.1.2 配合比设计应包括原材料检验、混合料的目标配合比选取、生产配合比优化和施工参数确定四部分。

### 4.2 原材料检验

4.2.1 取现场有代表性的粗细集料进行筛分试验，并应进行级配组成设计。

4.2.2 不同规格最大粒径的混合级配应满足表 4.2.2。

表 4.2.2 不同粒径混合料的备料规格

公称最大粒径(mm)	类型	一档	二档	三档	四档	五档	六档
19	三档备料	XG3	G11	G8	—	—	—
	四档备料 I	XG2	XG1	G11	G8	—	—
	四档备料 II	XG3	G11	G9	G5	—	—
	四档备料 III	XG3(1)	XG3(2)	G11	G8	—	—
	五档备料 I	XG2	XG1	G11	G9	G5	—
	五档备料 II	XG3(1)	XG3(2)	G11	G9	G5	—
26.5	四档备料	XG3	G11	G8	G3	—	—
	五档备料 I	XG3	G11	G9	G5	G3	—
	五档备料 II	XG2	XG1	G11	G8	G3	—
	五档备料 III	XG3(1)	XG3(2)	G11	G8	G3	—
	六档备料 I	XC2	XG1	G11	G9	G5	G3
	六档备料 II	XG3(1)	XG3(2)	G11	G9	G5	G3
31.5	四档备料	XG3	G11	G8	G2	—	—
	五档备料 I	XG3	G11	G9	G5	G2	—
	五档备料 II	XG3	G11	G9	G4	G2	—
	五档备料 III	XC3(1)	XG3(2)	G11	G8	G2	—
	六档备料 I	XG2	XG1	G11	G9	G5	G2
	六档备料 II	XC3(1)	XG3(2)	G11	G9	G5	G2

注：表中 XC3(1)和 XC3(2) 为两种不同级配规律的 0~5mm 的细集料。

### 4.3 混合料的目标配合比选取

4.3.1 目标配合比选取应包括以下内容：

- 1 选择级配范围；
- 2 确定无机结合料类型及掺配比例；
- 3 验证混合料相关的设计及施工技术指标。

4.3.2 各等级公路基层、底基层宜选用骨架密实型混合料。

4.3.3 水泥稳定级配碎石或砾石、石灰粉煤灰稳定碎石或砾石混合料配比设计应采用振动压实试验方法，振动压实试验方法见附录 A、附录 B。

4.3.4 水泥稳定级配碎石或砾石、石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石强度要求较高时，宜采取控制原材料技术指标、优化级配设计等措施，不宜单纯通过增加水泥剂量来提高材料强度。

4.3.5 水泥稳定级配碎石或砾石应符合表 4.3.5 中的级配范围，并控制 19mm、9.5mm、4.75mm 筛孔的通过率接近级配范围中值。

表 4.3.5 骨架密实型水泥稳定级配碎石或砾石级配范围要求

层位	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)							
	31.5	26.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
基层及底基层	100	90~100	73~85	44~56	24~36	16~26	8~15	0~5

4.3.6 水泥稳定级配碎石或砾石 7d 无侧限抗压强度应满足表 4.3.6 要求。

表 4.3.6 水泥稳定级配碎石或砾石 7d 无侧限抗压强度标准  $R_d$  (MPa)

结构层	公路等级	极重、特重交通	重交通	中、轻交通
基层	高速公路和一级公路	5.0~7.0	4.0~6.0	3.0~5.0
	二级及二级以下公路	4.0~6.0	3.0~5.0	2.0~4.0
底基层	高速公路和一级公路	3.0~5.0	2.5~4.5	2.0~4.0
	二级及二级以下公路	2.5~4.5	2.0~4.0	1.0~3.0

注：1.公路等级高或交通荷载等级高或结构安全性要求高时，推荐取上限强度标准。

2.表中强度标准指的是 7d 龄期无侧限抗压强度的代表值，本节以下各表同。

4.3.7 按照设计水泥稳定级配碎石或砾石级配的材料组成分别将不同规格的粗细集料配制成混合料样品，宜按表 4.3.7 所示不同水泥剂量配制成混合料。

表 4.3.7 推荐配合比试验水泥剂量

层位	7d 无侧限抗压强度/MPa	推荐试验剂量/%
基层	$R_d \geq 5.0$	4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0
	$R_d < 5.0$	3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0
底基层	—	3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0

4.3.8 石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石 7d 无侧限抗压强度标准应满足表 4.3.8。

表 4.3.8 石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石 7d 无侧限抗压强度标准  $R_d$  (MPa)

结构层	公路等级	极重、特重交通	重交通	中、轻交通
基层	高速公路和一级公路	$\geq 1.1$	$\geq 1.0$	$\geq 0.9$
	二级及二级以下公路	$\geq 0.9$	$\geq 0.8$	$\geq 0.7$
底基层	高速公路和一级公路	$\geq 0.8$	$\geq 0.7$	$\geq 0.6$
	二级及二级以下公路	$\geq 0.7$	$\geq 0.6$	$\geq 0.5$

注：石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石 7d 无侧限抗压强度不满足时可外加混合料质量 1%~2% 的水泥。

#### 4.3.9 石灰粉煤灰稳定碎石或砾石级配应符合表 4.3.9 要求。

表 4.3.9 石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石的推荐级配范围 (%)

筛孔尺寸 (mm)	高速公路和一级公路				二级及二级以下公路			
	稳定碎石		稳定砾石		稳定碎石		稳定砾石	
	LF-A-1S	LF-A-2S	LF-A-1L	LF-A-2L	LF-B-1S	LF-B-2S	LF-B-1L	LF-B-2L
37.5	—	—	—	—	100	—	100	—
31.5	100	—	100	—	100~90	100	100~90	100
26.5	95~91	100	96~93	100	94~81	100~90	95~84	100~90
19	85~76	89~82	88~81	91~86	83~67	87~73	87~72	91~77
16	80~69	84~73	84~75	87~79	78~61	82~65	83~67	86~71
13.2	75~62	78~65	79~69	82~72	73~54	75~58	79~62	81~65
9.5	65~51	67~53	71~60	73~62	64~45	66~47	72~54	74~55
4.75	45~35	45~35	55~45	55~45	50~30	50~30	60~40	60~40
2.36	31~22	31~22	39~27	39~27	36~19	36~19	44~24	44~24
1.18	22~13	22~13	28~16	28~16	26~12	26~12	33~15	33~15
0.6	15~8	15~8	20~10	20~10	19~8	19~8	25~9	25~9
0.3	10~5	10~5	14~6	14~6	—	—	—	—
0.15	7~3	7~3	10~3	10~3	—	—	—	—
0.075	5~2	5~2	7~2	7~2	7~2	7~2	10~2	10~2

- 注：1. 用于高速公路和一级公路基层时，石灰粉煤灰总质量宜占 15%，且不应大于 20%，被稳定材料公称最大粒径不应大于 26.5mm，级配应符合表 4.3.9 中 LF-A-2L 和 LF-A-2S 的规定。
2. 用于高速公路和一级公路底基层时，各档被稳定材料总质量宜不小于 80%，级配应符合表 4.3.9 中 LF-A-1L 和 LF-A-1S 的规定。对极重、特重交通荷载等级，级配应符合表 4.3.9 中 LF-A-2L 和 LF-A-2S 的规定。
3. 用于二级及二级以下公路基层时，被稳定材料的公称最大粒径不应大于 31.5mm，其总质量宜不小于 80%，并应符合表 4.3.9 中 LF-B-2L 和 LF-B-2S 的规定。
4. 用于二级及二级以下公路底基层时，各档被稳定材料总质量宜不小于 70%，并应符合表 4.3.9 中 LF-B-1L 和 LF-B-1S 的规定。对极重、特重交通荷载等级，可选择符合表 4.3.9 中 LF-B-2L 和 LF-B-2S 的规定。

#### 4.3.10 对石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石，宜分别按表 4.3.10 比例进行振动压实试验，必要时可采用正交设计或均匀设计方法。

表 4.3.10 石灰粉煤灰稳定材料推荐比例

材料类型	材料名称	使用层位	结合料间比例	结合料与被稳定材料间比例
石灰粉煤灰	硅铝粉煤灰的 石灰粉煤灰类 <sup>a</sup>	基层或底基层	石灰：粉煤灰=1:2~1:9	—
	石灰粉煤灰土	基层或底基层	石灰：粉煤灰=1:2~1:4 <sup>b</sup>	石灰粉煤灰：细粒材料 =30:70 <sup>c</sup> ~10:90
	石灰粉煤灰稳定级 配碎石或砾石	基层	石灰：粉煤灰=1:2~1:4	石灰粉煤灰：被稳定材料 =20:80~15:85 <sup>d</sup>

注：1. CaO 含量为 2%~6%的硅铝粉煤灰；

2. 土以 1:2 为宜；

3. 采用此比例时，石灰与粉煤灰之比宜为 1:2~1:3；

4. 石灰粉煤灰与粒料之比为 15:85~20:80 时，在混合料中，粒料形成骨架，石灰粉煤灰起填充孔隙和胶结作用。这种混合料称骨架密实式石灰粉煤灰粒料。

4.3.11 水泥稳定碎石或砾石的配合比设计步骤及示例见附录 C、附录 D。石灰粉煤灰稳定级配碎石配设计可参考附录 C、附录 D。

## 4.4 生产配合比优化

4.4.1 在目标配合比基础上，应根据现场实际情况进行生产配合比的优化。

4.4.2 生产配合比优化应包括下列技术内容：

- 1 确定料仓供料比例；
- 2 确定混合料的容许延迟时间；
- 3 确定结合料剂量的标定曲线；
- 4 确定混合料的最佳含水率、最大干密度。

## 4.5 施工参数确定

4.5.1 施工参数确定应包括下列技术内容：

- 1 确定施工中结合料的剂量；
- 2 确定施工合理含水率及最大干密度；
- 3 验证混合料强度技术指标。

4.5.2 视拌和设备水泥剂量控制精度，结合施工中原材料变化和施工变异性等因素，工地实际采用水泥剂量可增加 0.5%。

4.5.3 每天开盘前，应检测原材料级配及天然含水率，验证混合料配合比准确性及稳定性。

## 5 施工

### 5.1 一般规定

- 5.1.1** 每一层基层施工前，下承层应满足相应的质量指标，表面应平整、坚实，路拱满足设计要求，不得有松散和软弱点。对于产生松散、离析的路段，应进行返工处理。对于一般裂缝应做相应封闭处理，裂缝严重路段应做返工处理，施工前保证下承层表面湿润。
- 5.1.2** 摊铺前应进行测量放样。按摊铺机宽度与传感器间距，一般在直线上间隔为 10m，在平曲线（匝道）上间隔为 5m，做出标记，并打设好厚度控制线支架。应根据松铺系数算出松铺厚度，决定控制线高度，挂好控制线。用于摊铺机摊铺厚度控制线钢丝的拉力不应小于 800N。
- 5.1.3** 施工时，应合理安排施工顺序和计划，同一路段左右幅施工时间宜错开。养生完成的路段应对施工车辆的通行进行控制。
- 5.1.4** 下层混合料施工结束并达到设计强度后，方可进行上层混合料的施工。两层施工间隔不宜大于 30d。
- 5.1.5** 应硬化运料车使用的便道，严禁轮胎上带有泥土等污染物的运料车（特别是下雨过后）驶上施工完成的基层，避免污染物在结构层之间形成夹层，影响层间粘结。
- 5.1.6** 正常路段的基层每天应连续施工，尽量减少施工接缝，桥头施工应一次成型。
- 5.1.7** 基层、底基层施工日最低气温应在 5℃ 以上，在有冰冻的地区，应在第一次重冰冻到来的 15d~30d 之前完成施工。
- 5.1.8** 在雨季施工时，应避免水泥和混合料遭受雨淋；夏季高温作业时，水泥储存温度不应高于 60℃。降雨时应停止施工，已经摊铺的水泥稳定级配碎石或砾石、石灰粉煤灰稳定碎石或砾石应尽快碾压密实并采取养生措施。

### 5.2 施工准备

- 5.2.1** 施工前应编制施工组织设计。
- 5.2.2** 施工前应对原材料质量进行全面检测，不合格原材料不得用于施工。
- 5.2.3** 施工前应对施工设备全面检查，确保施工设备满足施工要求，并应调试到最佳工作状态。
- 5.2.4** 施工前应先进行混合料配合比设计。
- 5.2.5** 应对拌和设备进行试拌，检验拌和设备工作稳定性，确保生产出的混合料满足目标级配的要求。
- 5.2.6** 施工前应铺筑长度不少于 200 m 的试验段，根据拌和、摊铺、碾压等实测数据，确定施工相关的技术参数。

### 5.3 混合料的生产

- 5.3.1** 混合料应采用中心拌和厂（站）集中拌和，并应符合下列规定：
- 1 拌和厂的设置应符合国家有关环境保护、消防、安全等规定。
  - 2 拌和厂与工地现场距离不应太远，应充分考虑交通堵塞的影响，确保混合料的含水率下降不超过要求，且不致因颠簸造成混合料离析。
  - 3 各种集料应分隔贮存，堆放场地应进行硬化处理并有良好的排水设施，并采用罩棚的方式防雨雪。

**5.3.2 拌和机应符合下列规定：**

- 1 总拌和能力应满足施工进度要求，单机生产能力一般不宜小于 500 t/h。
- 2 集料料仓的数量应满足配合比需要，不宜少于 5 个，并宜比备料档多 1 个。
- 3 拌和设备搅拌轴长宜大于 2.5 m。
- 4 拌和设备应配备集中装卸的成品料储料仓，不得混合料就地堆放。
- 5 原材料应通过计量装置进行控制，称量精度应达到  $\pm 0.5\%$ 。

**5.3.3 为减少集料离析、混料现象，应符合下列规定：**

- 1 装载机取料时应垂直面向料堆，装载机应在料堆的全部高度上进行采掘，避免料堆坍塌产生集料离析。
- 2 在向集料料仓装料时应仔细对准料仓防止发生混仓。应及时向集料料仓加料，使其经常保持相对的满仓状态，各个料仓之间的挡板高度不应小于 1 m。

**5.3.4** 高等级公路水泥稳定级配碎石或砾石、石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石基层混合料拌和时，宜采用二次拌和的生产工艺。

**5.3.5 拌和应符合下列规定：**

- 1 根据施工环境和运距确定含水率。水泥稳定级配碎石或砾石含水率要宜大于设计最佳含水率的 0.5%~1.5%，石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石含水率宜大于设计最佳含水率的 1%~2%，使混合料运到现场碾压时的含水率不小于最佳含水率。
- 2 每天开始拌和前应作筛分试验，发现问题及时调整，全天拌和料应按摊铺面积和规程要求的检测频率进行抽检。当集料的颗粒组成发生变化时，应重新调试设备。

**5.3.6** 拌和现场应随时监测拌和时的结合料剂量、含水率和各种集料的配比，发现异常及时调整或停止生产，水泥剂量（石灰剂量）和含水率应按要求的频率检查并做好记录。

**5.3.7** 施工过程中应加强对拌和设备计量装置、检测仪器等设备的检查、维护，以便能及时发现问题。

## 5.4 混合料的运输

**5.4.1** 在混合料运达工地之前，应对工地具体摊铺位置、运输路线、运距和运输时间、施工条件、摊铺能力以及所需数量等作详细核对，确定满足施工进度要求的运料车吨位和数量。

**5.4.2** 运料车的车厢内侧应严密、清洁，每次使用前应清扫干净，进入摊铺现场时应保持轮胎洁净。从拌和机成品料斗向运料车上装料时，应按“前、后、中”的顺序多次挪动运料车位置，平衡装料，减少混合料离析。混合料在运输过程中应采取苫盖措施保持含水率稳定。

**5.4.3** 混合料从装车到运输至现场，时间控制一小时内，不宜超过容许延迟时间，超过容许延迟时间时应作为废料处置。

**5.4.4** 摊铺过程中运料车应在摊铺机前 10 cm~30 cm 处停住，空挡等候，由摊铺机推动前进开始缓缓卸料，避免撞击摊铺机。

## 5.5 混合料的摊铺

**5.5.1 摊铺机的选择应符合下列规定：**

- 1 摊铺机性能应符合现行行业标准《道路施工与养护机械设备沥青混凝土摊铺机》GB/T 16277 的规定。
- 2 采用梯队流水作业模式，两台或多台摊铺机的型号及性能宜相近。
- 3 应采用摊铺功率不低于 120 kW 的沥青混凝土摊铺机或稳定材料摊铺机摊铺混合料。

**5.5.2 摊铺准备工作应符合以下要求：**

- 1 应控制基层厚度和高程，路拱横坡度应满足设计要求；
  - 2 下承层应洒水湿润；
  - 3 对无机结合料稳定类表面还应撒水泥；
  - 4 水泥用量宜为  $1.0 \text{ kg/m}^2 \sim 1.2 \text{ kg/m}^2$ 。
- 5.5.3** 对高速公路和一级公路，在摊铺过程中宜设立纵向模板。
- 5.5.4** 通过试验确定混合料的松铺系数，应保证足够的厚度，碾压成型后每层的摊铺厚度不宜小于 160 mm，最大厚度不宜大于 200 mm。
- 5.5.5** 具有足够的摊铺能力和压实功率时，可进行大厚度摊铺，具体的摊铺厚度应根据试验结果确定。大厚度的摊铺施工时，应增加相应的拌和能力。
- 5.5.6** 应在下承层施工质量检测合格后，开始摊铺上面结构层。采用两层连续摊铺时，下层质量出现问题时，上层应同时处理。
- 5.5.7** 摊铺机摊铺时应开启振动器和夯锤，并应符合下列规定：
- 1 在施工期间，两台摊铺机的前后间距不宜大于 10 m，且两个施工段面纵向应有 300 mm~400 mm 的重叠；
  - 2 摊铺速度宜控制在  $1.5 \text{ m/min} \sim 2.0 \text{ m/min}$ ，且宜匀速、不停歇地摊铺；
  - 3 振动器振动频率不应低于 30 Hz，夯锤冲击频率不应低于 20 Hz。

## 5.6 混合料碾压

- 5.6.1** 压路机的选择应符合下列规定：
- 1 应采用振动压路机，符合现行国家标准《振动压路机》GB/T 8511 要求
  - 2 碾压机械的种类应当满足施工需要，并确保与拌和、摊铺能力相匹配。
- 5.6.2** 应根据施工情况配备足够的碾压机械，并应符合下列规定：
- 1 双向四车道高速公路或一级公路的半幅摊铺时，应配备不少于 4 台振动压路机；
  - 2 双向六车道的半幅摊铺时，应配备不少于 5 台振动压路机。
- 5.6.3** 采用钢轮压路机初压时，宜采用双钢轮压路机稳压 2 或 3 遍，再用激振力大于 35 t 的振动压路机、18 t~21 t 三轮压路机或 25 t 以上的轮胎压路机继续碾压密实，最后采用双钢轮压路机碾压，消除轮迹。
- 5.6.4** 应安排专人负责指挥碾压，严禁漏压和产生轮迹。
- 5.6.5** 直线段，压路机应从外侧向路中心碾压；平曲线有超高路段，由低侧向高侧、自内向外碾压。
- 5.6.6** 在碾压过程中出现软弹现象时，应及时将该路段混合料挖出，重新换填新料碾压。
- 5.6.7** 碾压作业应在水泥初凝前完成，并达到规定压实度，基层表面无明显轮迹和微裂纹。
- 5.6.8** 碾压过程中，压路机应停放在已碾压完成的路段，严禁随意停放。

## 5.7 接缝

- 5.7.1** 基层或底基层的施工应接缝紧密、连接平顺，不得产生明显的接缝离析。上下基层的纵缝应错开 50 cm 以上。相邻两幅及上下基层的横向接缝应错开 1 m 以上。接缝施工应用 3 m 直尺检查，确保平整度符合要求。
- 5.7.2** 水泥稳定碎石基层的施工应避免设置纵向接缝。当需要设置纵向接缝时，纵向接缝部位的施工应符合下列要求：
- 1 纵缝应垂直相接，不得斜接；
  - 2 当不能在容许延迟时间内完成后续部分摊铺而产生纵向接缝时，宜采用加设挡板方式，挡板的高度与基层压实厚度相同；

3 当摊铺后出现不密实情况，将混合料铲除，将已碾压密实且高程和平整度符合要求的末端挖成一横向垂直向下的断面，摊铺机返回到压实层的端部，用木垫板垫至虚铺高度，再摊铺新的混合料，继续下一步施工，不宜在养生后采用切割机做纵向切缝；

4 养生结束后，在摊铺后续部分之前，拆除挡板；后续摊铺机摊铺后应进行跨缝碾压以消除轮迹。

**5.7.3** 水泥稳定碎石基层的横向接缝宜采用垂直的平接缝，不宜采用自然碾压接缝或阶梯型接缝。横向接缝部位的施工应符合下列规定：

1 在当天可继续施工时，应使工作缝成直角连接。铺筑新混合料后，压路机应先进行横向碾压，再纵向碾压成为一体，充分压实，连接平顺。

2 当天不能继续施工，或因天气及其他原因不能确定后续施工时间时，均应在下一次摊铺前将工作缝做成直角连接。铺筑新混合料前，应在接茬立面上涂刷少量水泥净浆；铺筑新混合料后，压路机应先进行横向碾压，再纵向碾压成为一体，充分压实，连接平顺。

## 5.8 养生及交通管制

**5.8.1** 基层碾压完成后应及时进行质量检查，并应开始养生。

**5.8.2** 养生可采用洒水养生、土工布覆盖养生、草帘覆盖养生、洒铺乳化沥青养生等方式，宜结合工程实际情况选择适宜的方式。

**5.8.3** 洒水养生时，洒水车的喷头宜采用喷雾式，不得使用高压式喷头，以免破坏基层结构，及时洒水确保养生期间应始终保持基层表面湿润。

**5.8.4** 对于上基层，也可采用沥青乳液进行养生，并根据设计要求和经验确定洒布量和洒布时间。

**5.8.5** 养生期宜不少于 7 d，并宜延长至上层结构开始施工的前 2 d。养生期间，除洒水车外，严禁各种施工车辆通行。

**5.8.6** 水泥稳定碎石或砾石基层、底基层宜采用预切缝措施以减少开裂，并应符合下列规定：

1 预切缝的间距宜为 20 m~30 m；

2 宜在养生的 5 d~7 d 内切缝；

3 切缝深度宜为基层厚度的 1/2~1/3，切缝宽度约 5 mm；

4 切缝后应及时清理缝隙，并在面层沥青混凝土施工前用热沥青填满。

**5.8.7** 养生期结束后上层施工前应视天气情况，安排一定次数的洒水作业，避免因长期暴晒或降温造成基层开裂。

**5.8.8** 养生完成的基层上严禁一切超载车辆通行，同时应采取措施避免车辆集中快速行驶，保护基层不受破坏。

## 6 质量检验与控制

### 6.1 一般规定

- 6.1.1** 混合料应按摊铺面积和现行行业标准《公路工程质量检验评定标准第一册土建工程》JTG F80/1规定的检测频率进行抽检。
- 6.1.2** 在施工过程中，应配备相应数量的质量控制环节责任人。
- 6.1.3** 每天应记录实际水泥用量（石灰剂量）、集料用量和实际工程量，计算日均水泥剂量（石灰剂量）。
- 6.1.4** 基层、底基层施工质量标准和控制应包括原材料检验、施工参数确定、施工过程中的质量检查验收等方面，并应符合下列规定：
- 1 按要求备料，严把进料质量关；
  - 2 按施工需求合理布置建设场地，选择适宜的拌和、摊铺和碾压机械；
  - 3 将试验段确定的施工参数作为施工过程中质量控制的标准；
  - 4 健全工地试验室能力，试验、检验数据真实、完整、可靠；
  - 5 各个工序完结后，应检验查收；合格后，方可进行下一工序。
- 6.1.5** 施工过程中发现质量缺陷时，应加大检测频率；一旦发生质量缺陷，应当及时予以处理，并分析原因。处理方式宜采用挖除换填，不得贴补。
- 6.1.6** 施工关键工序宜拍摄照片或录像，作为现场记录保存。

### 6.2 检验

- 6.2.1** 施工过程检验包括外形尺寸检查及内在质量检验两部分。
- 6.2.2** 外形尺寸检查项目、频度和质量标准按表 6.2.2。

表 6.2.2 外形尺寸检查项目、频度和质量标准

工程类别	项目		频度	质量标准	
				高速公路和一级公路	二级及二级以下公路
基层	纵断高程(mm)		二级及二级以下公路每 20m 1 点；高速公路和一级公路每 20m 1 个断面，每个断面 3~5 点	+5~-10	+5~-15
	厚度(mm)	均值	每 1500m <sup>2</sup> ~2000m <sup>2</sup> 6 点	≥8	≥10
		单个值		≥10	≥20
	宽度(mm)		每 40m 1 处	>0	>0
	横坡度(%)		每 100m <sup>3</sup> 处	±0.3	±0.5
	平整度(mm)		每 200m 2 处，每处连续 10 尺(3m 直尺)	≤8	≤12
连续式平整度仪的标准差			≤3.0	—	

底 基 层	纵断高程(mm)		二级及二级以下公路每 20m1 点；高速公路和一级公路每 20m1 个断面，每个断面 3~5 点	+5~-15	+5~-20
	厚 度 (mm)	均 值	每 1500 m <sup>2</sup> ~2000m <sup>2</sup> 5 点	≥-10	≥-12
		单 个 值		≥-25	≥-30
	宽 度(mm)		每 40 m 1 处	>0	>0
	横 坡 度(%)		每 100m <sup>3</sup> 处	±0.3	±0.5
	平 整 度(mm)		每 200m 2 处，每处连续 10 尺(3m 直尺)	≤12	≤15

6.2.3 施工过程中的内在质量检验应分为原材料质量检验、拌和质量检验、摊铺及碾压质量检验等四部分。

6.2.4 施工过程中主要原材料质量检验应符合下列规定：

1 对拌合厂（站）检验粗、细集料品质、级配和结合料品质应进行检验，粗、细骨料、级配异常时随时检验，结合料每批次检验。

2 粗集料：表观密度、压碎值、软石含量应分别按照现行行业标准《公路工程集料试验规程》JTG E42 中 T 0308 粗集料密度及吸水率试验(容量瓶法)、T 0316 粗集料压碎值试验检验，T 0320 粗集料软弱颗粒试验的规定进行检测。

3 细集料：表观密度、压碎值、含泥量应分别按照现行行业标准《公路工程集料试验规程》JTG E42 中 T 0328 细集料表观密度试验(容量瓶法)、T 0350 细集料压碎指标试验、T 0333 细集料含泥量试验(筛洗法)的规定进行检测。

4 水泥：应按照现行行业标准《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》JTG 3420 中 T0505 水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性试验方法检测水泥初终凝时间和 T 0506 水泥胶砂强度试验方法(ISO 法)检测强度。

5 粉煤灰：应按照现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 中 T0817 粉煤灰烧失量测定方法检测烧失量，T0816 粉煤灰二氧化硅、氧化铁和氧化铝含量测定方法检测有效成分；

6 石灰：应按照现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 中 T0811 石灰有效氧化钙测定方法测定有效氧化钙含量、T0812 石灰氧化镁测定方法、T0813 石灰有效氧化钙和氧化镁简易测定方法测定氧化镁含量。

6.2.5 施工过程中拌和质量检验应符合下列规定：

1 应对混合料质量进行检查，检查项目包括水泥剂量、石灰剂量、含水率、混合料最大干密度等。水泥剂量、石灰剂量、含水率每 2000m<sup>3</sup> 检查一次，混合料最大干密度没工日检查一次。

2 混合料中水泥剂量(石灰剂量)应符合现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 中 T0809 水泥或石灰剂量的测定 EDTA 滴定法的规定，要求拌和出料后应立即取样并 10min 内送达工地试验室进行滴定试验。

3 混合料含水率应按照现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 中 T0801 含水量实验方法（烘干法）进行测定。

4 最大干密度应按照现行行业标准《公路土工试验规程》JTG 3430 中 T 0133 表面振动压实仪法进行试验。

6.2.6 施工过程中摊铺过程检验应符合下列规定：

1 摊铺过程检验应按表 6.2.6 进行。

2 基层在施工中应钻取芯样检验其完整性，并应符合下列规定：

- 1) 芯样直径为 150 mm；
- 2) 采用随机取样方式，不得在现场人为挑选位置；否则，评价结果无效；
- 3) 芯样顶面、四周应均匀、致密；
- 4) 芯样的高度不应小于实际摊铺厚度的 95 %；
- 5) 取不出完整芯样时，应找出实际路段相应的范围，返工处理。

表 6.2.6 摊铺过程的质量检验

项目	内容	频度	试验方法
摊铺目测	是否离析	随时	—
	粗估含水率状态	随时	—
碾压目测	压实机械是否满足	随时	—
	碾压组合、次数是否合理	随时	—
压实度检测	含水率	每一作业段检查 6 次以上	现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 (T 0803)
	压实度	每一作业段检查 6 次以上	现行行业标准《公路土工试验规程》JTG 3430 (T 0111)
强度检测	在前场取样成型试件	每一作业段不少于 9 个	现行行业标准《公路土工试验规程》JTG 3430 (T 0148)
钻芯检测	—	每一作业段不少于 9 个	现行行业标准《公路路基路面现场测试规程》JTG 3450 (T 0912)
弯沉检测	—	每一评定段(不超过 1km) 每车道 40~50 个测点	现行行业标准《公路路基路面现场测试规程》JTG 3450 (T 0953)
承载比	—	每 2000m <sup>2</sup> 1 次，异常时，随时增加试验	现行行业标准《公路土工试验规程》JTG 3430 (T 0134)

6.2.7 碾压结束检验应符合以下规定：

1 应在现场碾压结束后及时检测压实度。压实度检测中，测定的含水率与规定含水率的绝对误差不应大于 2%；不满足要求时，应分析原因并采取必要的措施。

2 压实度检测应按现行行业标准《公路土工试验规程》JTG 3430 的 T 0111 灌砂法检测，灌砂深度与现场摊铺厚度一致。

3 对高速公路和一级公路的基层、底基层，应在养生 7d~10d 内检测弯沉；不满足要求时，应返工处理。

4 养生 7 d 后，试验段应及时检测下列技术项目：

- 1) 标准养生试件的 7 d 无侧限抗压强度；
- 2) 钻取直径为 150 mm 芯样，评价芯样外观，取芯样本量不应少于 9 个；
- 3) 对完整芯样从底部进行截取，切割成标准试件，测定强度；
- 4) 按车道，每 10 m 一点测定弯沉指标；
- 5) 按车道，每 50 m 一点测定承载比。

5 基层的完整芯样应切割成标准试件，检测强度，并应符合下列规定：

- 1) 标准试件的直径为 150 mm，从芯样底部开始截取，径高比为 1:1；
- 2) 记录实际养生龄期；
- 3) 根据实际施工情况确定试件强度的评价标准；
- 4) 同一批次强度试验的变异系数不应大于 12%；
- 5) 样本量不少于 9 个。

6 水泥稳定级配碎石或砾石、石灰粉煤灰稳定碎石压实度应符合表 6.2.7 的规定，按行业标准《公路工程质量检验评定标准第一册土建工程》JTG F80/1-2017 附录 B 进行，每 200 米测 2 点。

表 6.2.7 压实度要求

公路等级	层位	集料规格	压实度 (%)
高速公路、一级路	基层	中粗粒料	≥98
	底基层	中粗粒料	≥96
二级路及以下	基层	中粗粒料	≥97
		细粒料	≥95
	底基层	中粗粒料	≥95
		细粒料	≥93

## 6.3 验收

6.3.1 基层、底基层的交工验收应符合以下基本要求的规定：

- 1 集料应符合本文件和设计的要求；
- 2 水泥剂量、粉煤灰剂量、石灰剂量和矿料级配应符合设计要求；
- 3 混合料应在最佳含水率状态下碾压至规定的压实度；
- 4 检测合格后，应立即覆盖保湿养生，养生应符合本文件要求；
- 5 养生至第 7d，应采用直径 150 mm 钻头取芯检查，芯样应完整无断根现象；
- 6 每组评定试件的强度变异系数不大于 12 %。

6.3.3 外观鉴定应符合以下规定：

- 1 表面平整密实、无坑洼、无明显离析；
- 2 施工接缝齐整、严密。

6.3.4 基层、底基层质量检验评定应符合现行行业标准《公路工程质量检验评定标准第一册土建工程》JTG F80/1 的规定。

## 附录 A 振动压实试验方法

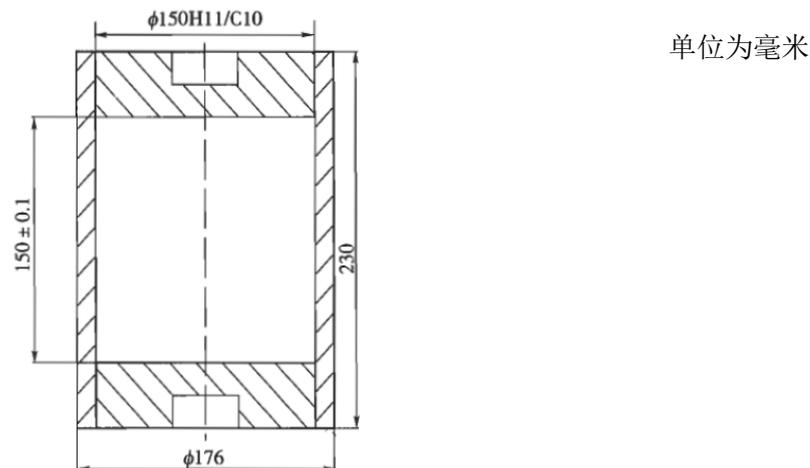
### A.0.1 适用范围

本方法用于绘制混合料在振动压实条件下的干密度—含水率曲线，并确定其最大干密度和最佳含水率。

### A.0.2 仪器设备

振动压实试验宜包括下列主要仪器设备：

- 1 振动压实仪：工作频率  $30\text{Hz} \pm 1\text{Hz}$ ；名义振幅： $1.3\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ ；上车系统重量： $1.2\text{kN} \pm 0.01\text{kN}$ ；下车系统重量： $1.8\text{kN} \pm 0.01\text{kN}$ 。
- 2 试模：试模尺寸  $176\text{mm}/150\text{mm}$ /公差为  $\pm 0.1\text{mm}$ ，示意图见图 A.0.2。
- 3 电子天平：量程  $30\text{kg}$ ，感量  $0.1\text{kg}$ 。
- 4 方孔筛：孔径  $53\text{mm}$ 、 $37.5\text{mm}$ 、 $31.5\text{mm}$ 、 $26.5\text{mm}$ 、 $19\text{mm}$ 、 $9.5\text{mm}$ 、 $3.75\text{mm}$ 、 $2.36\text{mm}$ 、 $0.6\text{mm}$ 、 $0.075\text{mm}$  标准筛各 1 个。
- 5 量筒： $200\text{mL}$ 、 $500\text{mL}$  的量筒各 1 个。
- 6 直刮刀：长约  $200\text{mm} \sim 250\text{mm}$ 、宽约  $30\text{mm}$ 、厚约  $3\text{mm}$ ，一侧开口的直刮刀 1 把。
- 7 拌和工具：约  $1000\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 1\text{mm}$  长方形铁皮，拌和用平头小铲等。
- 8 脱模器、烘箱等其他用具。



注：H11/C10 表示垫块和试模的配合精度。

图 A.0.2 圆柱体试模和垫块设计尺寸

### A.0.3 试验准备

试验前，将各种规格集料置烘箱中烘干至恒重，烘箱温度为  $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ，时间为  $4\text{h} \sim 6\text{h}$ 。

### A.0.4 振动压实法试验步骤

试验步骤应符合下列规定：

- 1 将烘干后的各种规格集料按照矿料级配要求配制 5 份~6 份，每份试料的干质量  $m_s$  为  $5000\text{g} \sim 5500\text{g}$ ；

- 2 取烘干试料 1 份，平铺于长方形铁皮上，用小铲将试料充分拌和均匀，然后按预定剂量加入质量为  $m_j$  水泥，再次拌和均匀，得到干混合料；
- 3 将质量  $(m_s+m_j) \times w_i$  的水加入制备好的干混合料中拌和均匀，得到湿混合料；其中， $w_i$  为第  $i$  次试验时加入干混合料中的拌和含水率， $i=1, 2, 3, 4, 5$ ；一般地， $w_1=4\% \sim 5\%$ ；
- 4 将直径 149mm、高 40mm 的试模下压柱放入试模下部并使底部齐平，所述试模的内径 150mm×高度 230mm±10mm，取制备好的湿混合料一份，按四分法装入试模中；
- 5 将整个试模(连同下压柱)固定在振动仪底板上，放下振动器使振动锤与被压材料接触，振动压实 100s；
- 6 吊起振动器，取下试模并放到脱模器上将试模内混合料顶出，即为试验用试样。试样高度控制在 150mm±10mm，当试样高度超出该范围时应作废，并视试样高度，适当增加或减少  $m_s$ ，并按照上述 2~6 步骤重新制备试样；
- 7 计算第  $i$  次试验所得的试样干密度，见公式 (A.0.4)：

$$\rho_{d(i)} = \frac{m_{2(i)} - m_0}{V_i \times (1 + 0.01W_i)} \quad (\text{A.0.4})$$

式中：

$\rho_{d(i)}$ ——第  $i$  次试验时试样的干密度， $\text{g/cm}^3$ ；

$m_{2(i)}$ ——第  $i$  次试验时的试样及试模总质量， $\text{g}$ ；

$m_0$ ——试模质量， $\text{g}$ ；

$W_i$ ——第  $i$  次试验时加入干混合料中的拌和含水率， $\%$ ；

$V_i$ ——第  $i$  次试验时的试样体积， $\text{cm}^3$ 。

- 8 计算第  $i+1$  次试验时所需的拌和含水率：计算振动压实前后湿混合料质量差  $m_{1(i)} - m_{2(i)}$ ，确定第  $i+1$  次试验时加入混合料的拌和含水率  $W_{i+1}$ ；其中  $m_{1(i)}$  第  $i$  次试验时装入试模中的湿混合料质量，当  $m_{1(i)} - m_{2(i)} < 50\text{g}$  时， $W_{i+1} = W_i + 0.5$ ，当  $m_{1(i)} - m_{2(i)} \geq 50\text{g}$  时， $w_{i+1} = w_i - 0.7$ ；
- 9 根据步骤 4)~8) 方法重复 5~6 次试验，确保 5 组试样高度有效，计算得到 5 组拌和含水率和干密度。以拌和含水率为横坐标、干密度为纵坐标，绘制干密度——含水率关系曲线，驼峰形曲线顶点的纵横坐标分别为最大干密度  $\rho_{d\max}$  和最佳含水率  $w_0$ 。

#### A.0.5 结果整理

- 1 混合料计算密度应保留小数点后 3 位有效数字，含水率应保留小数点后 1 位有效数字。
- 2 应做两次平行试验，两次试验最大干密度的差不超过  $0.03\text{g/cm}^3$ 。

#### A.0.6 报告

报告应包括以下内容：

- 1 试样的最大粒径、超尺寸颗粒的百分率；
- 2 水泥的品牌、种类和强度等级；
- 3 水泥剂量（石灰剂量）；
- 4 最佳含水率；
- 5 最大干密度；
- 6 附振动压实曲线。

#### A.0.7 记录

本试验的记录格式见表 A.0.7。

表 A.0.7 水泥稳定级配碎石或砾石、石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石垂直振动压实试验记录表

工程名称		试验方法					
试样编号		试验者					
混合料名称		校核者					
水泥(石灰)剂量		试验日期					
试验序号	1	2	3	4	5	6	
含水率 $w$ (%)							
试模质量 $m_0$ (g)							
压实前试模+湿混合料的质量 $m_1$ (g)							
压实后试模+湿混合料的质量 $m_2$ (g)							
试件平均高度 $h$ (cm)							
$(m_1-m_2)$ (g)							
判断是否 $(m_1-m_2)$ 是否大于 50g							
试件体积 $V=(176.71 \times h)$ (cm <sup>3</sup> )							
湿密度 $\rho_w=(m_1-m_2)/V$ (g/cm <sup>3</sup> )							
干密度 $\rho_d=\rho_w/(1+0.01w)$ (g/cm <sup>3</sup> )							

## 附录 B 振动压实法的试件成型

### B.0.1 适用范围

本方法适用于混合料无侧限抗压强度等试验用圆柱体试件。圆柱体试件尺寸为直径 150mm×高度 150mm。

### B.0.2 仪器设备

同附录 A。

### B.0.3 试验准备

试验前，将各种规格集料置烘箱中烘干至恒重，烘箱温度为  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，时间为 4h~6h。

### B.0.4 试验步骤

试验步骤包括以下内容：

- 1 称取制备一个试件所需的干燥试料质量  $m_d$ ，其中， $m_d = \rho_{dmax} \times 2655 \times (1 - 0.01 \times P)$ ， $\rho_{dmax}$  为振动压实确定的混合料最大干密度， $P$  为预设水泥剂量；
- 2 加入质量为  $\rho_{dmax} \times 2655 \times 0.01 \times P$  的水泥到质量为  $m_d$  干燥试料中，拌和均匀得到干混合料；加入质量  $\rho_{dmax} \times 2655 \times 0.01 \times w_0$  的水到干混合料中，拌和均匀得到湿混合料，其中， $w_0$  为振动压实确定的混合料最佳含水率；
- 3 将直径 149mm、高 40mm 的试模下压柱放入试模下部并使底部齐平，所述试模的内径 150mm×高度(230mm±10mm)。将湿混合料按四分法装入试模中，且边装料边用夯棒轻轻均匀插实。装料的质量 =  $2650.72 \times k \rho_{dmax} (1 + 0.01 w_0)$ ，其中， $k$  为试件的预定压实度，  
 $V = \pi \times 7.5 \times 7.5 \times 15 = 2650.72 \text{cm}^3$  为试件的体积；
- 4 将装有湿混合料的整个试模(连同下压柱)固定在振动仪底板上，放下振动器使振动锤与被压材料接触，振动压实至试件高度 150mm。事先可通过 3 组~5 组试验建立振动时间与试件高度关系，求取试件高度达到 150mm 时所需振动时间，并以此时间作为振动压实时间；
- 5 吊起振动器，取下试模并放到脱模器上将试模内混合料顶出，即为圆柱体试件。在脱模器上取试件时，应用双手抱住试件的侧面的中下部，然后沿水平方向轻轻旋转，待感觉到试件移动后，再将试件轻轻捧起，放置到试验台上。切勿直接将试件向上捧起；
- 6 称试件的质量  $m_2$ ，精确至 0.1g。然后用游标卡尺测量试件的高度  $h$ ，精确至 0.1mm。检查试件的高度和质量，不满足成型标准的试件作为废件；
- 7 试件称量后应立即放在塑料袋中封闭，并用潮湿的毛巾覆盖，移放至养生室。

### B.0.5 结果整理

B.0.5.1 试件高度误差范围控制在 -0.1mm~+0.3mm。

B.0.5.2 试件的质量损失不应超过 15g。

### B.0.6 记录

本试验的记录格式见表 B.1。

表 B.1 垂直振动成型水泥稳定级配碎石或砾石、石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石圆柱体试件记录表

工程名称					混合料名称	
配合比					最佳含水率 (%)	
最大干密度 (g/cm <sup>3</sup> )					试件压实度 (%)	
试件标准质量 (g)					试验方法	
试验者					试验日期	
编号	高度 (mm)				质量 (g)	压实度 (%)
	1	2	3	平均		
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

## 附录 C 配合比设计步骤

### C.0.1 振动压实试验方法配合比设计步骤:

1 参考表 4.3.7 或 4.3.10 推荐比例,按附录 A 确定各混合料的最佳含水率和最大干密度,试件留置数量应符合表 C.0.1 的规定。

表 C.0.1 试件数量

$C_v$	小于 10%	10%~15%
试件数量/个	9	13
注: $C_v$ 为试件的偏差系数。		

2 按规定的压实度分别计算不同结合料剂量的试件应有的干密度。

3 按规定的压实度分别计算不同结合料剂量的试件应有的干密度。按最佳含水率计算得出湿密度,按附录 B 成型制备试件,并按现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 规定的方法进行养生及无侧限抗压强度试验。

4 计算试验结果的平均值和偏差系数。

5 根据设计要求强度,选定合适的结合料剂量,此剂量试件的室内试验结果的平均抗压强度 $\bar{R}$ 应符合公式(C.0.1)的要求:

$$\bar{R} \geq R_d / (1 - Z_\alpha C_v) \quad (\text{C.0.1})$$

式中:

$\bar{R}$ ——试件的平均抗压强度,单位兆帕(MPa);

$R_d$ ——抗压强度设计值,单位兆帕(MPa);

$C_v$ ——试验结果的偏差系数,%;

$Z_\alpha$ ——标准正态分布表中随保证率(或置信度 $\alpha$ )而变的系数,高速公路和一级公路应取保证率为95%,即 $Z_\alpha=1.645$ ;其他等级道路应取保证率为90%,即 $Z_\alpha=1.282$ 。

C.0.2 配合比设计报告应包括:原材料检测结果、设计级配范围及级配曲线、最佳含水率和最佳干密度、无机结合料剂量、7d无侧限抗压强度、强度变异系数、最大干密度确定方法和试件成型方法等内容。

C.0.3 在目标配合比选取中,应选择不少于5个结合料剂量,分别确定各剂量条件下混合料的最佳含水率和最大干密度,最佳含水率和最大干密度按相关试验规范确定。

C.0.4 应根据试验确定的最佳含水率、最大干密度及压实度要求成型标准试件,验证不同结合料剂量条件下混合料的技术性能,确定满足设计要求的最佳剂量。

C.0.5 在目标级配曲线优化选择过程中,应选择不少于3个级配曲线,试验级配曲线可按推荐的级配范围和以往的工程经验选取。

C.0.6 选定目标级配曲线后,应对各档进行筛分,确定其平均筛分曲线及相应的变异系数,并按2倍标准差计算出各档材料筛分级配的波动范围。

C.0.7 应按下列步骤合成目标级配曲线并进行性能验证:

- 1 按确定的目标级配,根据各档材料的平均筛分曲线,确定其使用比例,得到混合料的合成级配;
- 2 根据合成级配进行混合料振动压实试验和7d龄期无侧限抗压强度试验,验证混合料性能;应根据已确定的各档材料使用比例和各档材料级配的波动范围,计算实际生产中混合料的级配波动范围;并应针对这个波动范围的上、下限验证性能。

**C.0.8** 根据目标配合比确定的各档材料比例，应对拌和设备进行调试和标定，确定合理的生产参数。

**C.0.9** 对水泥稳定级配碎石或砾石，应分别进行不同成型时间条件下的混合料强度试验，绘制相应的延迟时间曲线，并根据设计要求确定容许延迟时间。

## 附录 D 水泥稳定级配碎石配合比设计示例

### D.1 任务来源

某道路等级为一级公路（重交通）工程基层用水泥稳定级配碎石混合料进行目标配合比设计，7d 无侧限抗压强度不低于 6MPa，设计方法采用振动压实方法。

### D.2 设计依据

- D.2.1 《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》（JTG E51—2009）
- D.2.2 《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20—2015）
- D.2.3 《公路工程集料试验规程》（JTG E42—2005）
- D.2.4 《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》（JTG 3420—2020）
- D.2.5 《通用硅酸盐水泥》（GB175—2020）
- D.2.6 《公路土工试验规程》（JTG 3430—2020）
- D.2.7 委托方提供的设计图纸

### D.3 原材料检测

该工程基层水泥稳定级配碎石混合料采用的原材料为：XX 水泥厂 P O 42.5 水泥，X 县产粗、细集料。

#### D.3.1 水泥

水泥试验项目及试验结果见表 D.3.1。试验结果表明，该水泥所检测项目符合本规程和《通用硅酸盐水泥》（GB 175—2020）中对于水泥的技术要求。

表 D.3.1 水泥试验结果

检测项目		技术要求	试验结果	标准条款
凝结时间(min)	初凝	>180	353	T0505
	终凝	360~600	458	T0505
3d 抗折强度 (MPa)		≥3.5	6.8	T0506
3d 抗压强度 (MPa)		≥17.0	30.4	T0506

#### D.3.2 集料

水泥稳定级配碎石混合料目标配合比设计采用集料为粗、细集料。

##### D.3.2.1 粗集料

粗集料为 20mm~30mm、10mm~20mm、5mm~10mm 三种规格集料，试验项目及试验结果见表 D.3.2.1。试验结果表明，各规格粗集料所检测项目符合委托方提供技术要求。

表 D.3.2.1 粗集料试验结果

检测项目		技术要求	试验结果	标准条款
压碎值 (%)		≤26	14.7	T0316
针片状颗粒含量 (%)	20mm~30mm	≤22	5.2	T0312
	10mm~20mm	≤22	6.8	

	5mm~10mm	≤22	9.9	
软石含量 (%)	20mm~30mm	≤5	0.0	T0320
	10mm~20mm	≤5	0.0	
	5mm~10mm	≤5	0.1	
0.075mm 以下粉尘含量 (%)	20mm~30mm	≤2	0.1	T0310
	10mm~20mm	≤2	0.3	
	5mm~10mm	≤2	0.2	

D. 3. 2. 2 细集料

细集料为 0mm~5mm 集料，试验项目及试验结果见表 D.3.2.2。试验结果表明，细集料所检测项目符合本规程中对于一级公路（重交通）基层水泥稳定级配碎石细集料的技术要求。

表 D. 3. 2. 2 细集料试验结果

检测项目		技术要求	试验结果	标准条款
颗粒分析 (%)	9.5mm	100	100.0	T0327
	4.75mm	90~100	100.0	
	0.075mm	0~20	7.8	
塑性指数		≤17	8.0	T0118
有机质含量 (%)		<2	0.20	T0151
硫酸盐含量 (%)		≤0.25	0.02	T0341

D. 4 混合料配合比设计

根据委托方的要求，采用振动压实试验方法进行水泥稳定级配碎石混合料配合比设计。

D. 4. 1 混合料级配设计

依据委托方提供的水泥稳定级配碎石混合料矿料级配范围要求确定级配组成见表 D.4.1，矿料级配曲线如图 D.4.1 所示。

表 D.4.1 水泥稳定级配碎石级配设计表

筛孔尺寸 (mm)	各材料所占百分比 (%)				合成级配 (%)	要求级配范围 (%)
	20~30	10~20	5~10	0~5		
	17.0	34.0	20.0	29.0		
	配合前各档料通过率 (%)					
31.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100

26.5	73.6	100.0	100.0	100.0	95.5	90~100
19	1.4	85.0	100.0	100.0	78.1	73~85
9.5	0.1	5.0	98.3	100.0	50.4	44~56
4.75	0.1	0.3	8.7	100.0	30.9	24~36
2.36	0.1	0.3	0.9	79.0	23.2	16~26
0.6	0.1	0.3	0.2	36.3	10.7	8~15
0.075	0.1	0.3	0.2	7.8	2.4	0~5

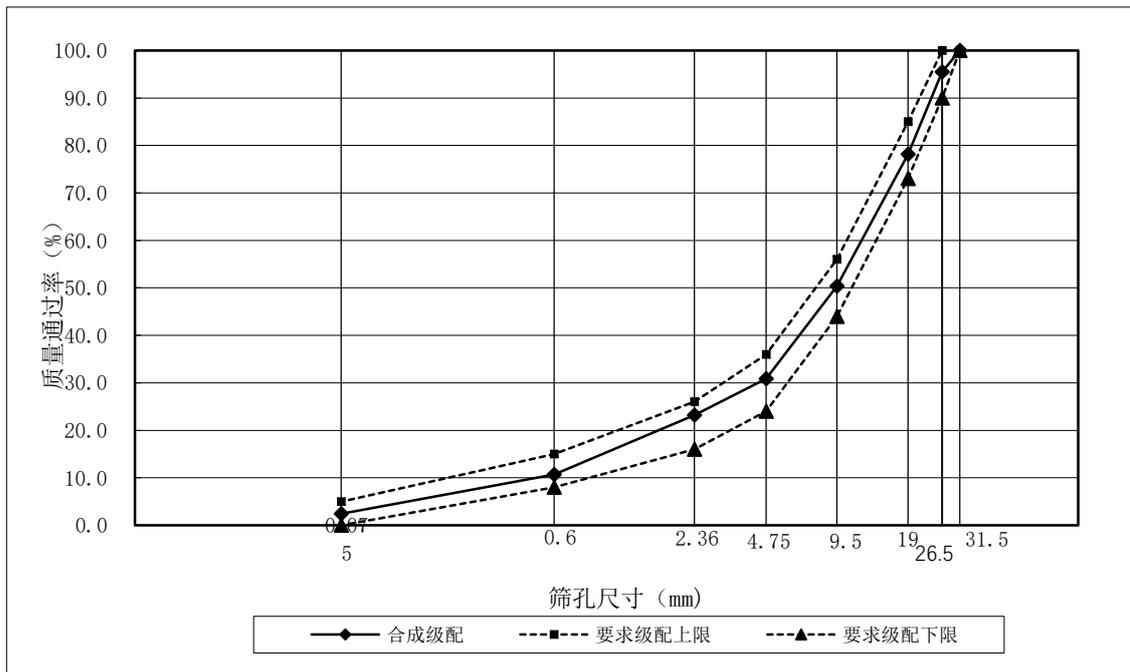


图 D.1 水泥稳定级配碎石级配曲线

D.4.2 混合料最佳含水率、最大干密度的确定

水泥稳定级配碎石混合料采用振动压实方法确定混合料最佳含水率、最大干密度，试验结果见表 D.4.2。

表 D.4.2 水泥稳定级配碎石最佳含水率、最大干密度试验结果

试验类型	振动压实试验				
	3.0:100	3.5:100	4.0:100	4.5:100	5.0:100
水泥：级配碎石	3.0:100	3.5:100	4.0:100	4.5:100	5.0:100
最佳含水率 (%)	4.3	4.3	4.4	4.5	4.6
最大干密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.427	2.440	2.451	2.465	2.474

D.4.3 7d 无侧限抗压强度试验

采用振动压实试验方法成型圆柱形试件，振动压实成型试件的压实度为振动压实试验确定的混合料最大干密度的 98%，尺寸为  $\Phi 15\text{cm} \times 15\text{cm}$ 。按标准试验方法进行试验，试验结果见表 D.4.3。

表 D.4.3 水泥稳定级配碎石 7d 无侧限抗压强度试验结果

成型方式	振动压实成型				
	3.0:100	3.5:100	4.0:100	4.5:100	5.0:100
水泥：级配碎石	3.0:100	3.5:100	4.0:100	4.5:100	5.0:100

7d 无侧限抗压强度平均值(MPa)	4.6	5.4	6.2	6.9	7.8
变异系数 $C_v$ (%)	10.1	8.0	8.7	9.1	9.5
强度代表值 $R_d^0$ (MPa) (保证率 95%)	3.8	4.7	5.3	5.9	6.6

#### D. 4. 4 确定试验室配合比

(1) 比较强度代表值  $R_{0d}$  和设计强度值  $R_d$ , 水泥剂量取 4.0%、4.5%、5.0% 时, 振动压实成型试件的强度代表值  $R_d^0$  均不小于基层设计强度值 6.0MPa, 满足  $\bar{R}(1 - Z_\alpha C_v) \geq R_d$  要求。

(2) 从工程经济性和现场拌和、施工工艺考虑, 基层水泥稳定级配碎石的水泥剂量确定为 4.0% (外掺法)。

#### D. 5 结论

目标配合比设计结果见表 D.5。

表 D. 5 水泥稳定级配碎石混合料配合比设计结果

粒径(mm)	级配碎石				部位	水泥剂量(%) (外掺法)	最佳含水率 (%)	最大干密度 (g/cm <sup>3</sup> )
	20~30	10~20	5~10	0~5				
配合比 (%)	17.0	34.0	20.0	29.0	基层	4.0	4.4	2.451

## 用词说明

为了便于在执行本规程条文时区别对待，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，在条件允许时首先这样做的词：  
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，采用“可”。

## 引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本规程；不注日期的，其最新版适用于本导则。

- 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 《生活饮用水卫生标准》 GB 579
- 《振动压路机》 GB/T 8511
- 《道路施工与养护机械设备沥青混凝土摊铺机》 GB/T 16277
- 《混凝土用水标准》 JGJ 63
- 《公路工程集料试验规程》 JTG E42
- 《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》 JTG E51
- 《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》 JTG 3420
- 《公路土工试验规程》 JTG 3430
- 《公路路基路面现场测试规程》 JTG 3450
- 《公路路面基层施工技术细则》 JTG/T F20
- 《公路工程质量检验评定标准第一册土建工程》 JTG F80/1

中华人民共和国建材行业标准  
振动压实法道路基层混合料配合比设计  
及应用技术规程

**JC/T XXXXX—20XX**

条文说明

## 制定说明

《振动压实法道路基层混合料配合比设计及应用技术规程》JC/T XXXXX—20XX，经工业和信息化部 202\*年\*月\*\*日以第\*\*号公告批准、发布。

本规程制订过程中，编制组进行了广泛的调查研究和工程验证试验，总结了振动压实法道路基层混合材配合比设计与应用的实践经验，同时参考了国内先进技术法规、技术标准，广泛征求有关专家 and 单位的意见并积极吸取各方建议编制而成。

为便于广大施工、监理、设计、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《振动压实法道路基层混合料配合比设计及应用技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与本规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

## 目次

1	总则.....	35
2	术语.....	36
3	原材料.....	37
3.1	一般规定.....	37
3.2	水泥.....	37
3.3	粉煤灰.....	37
3.4	消石灰.....	37
3.5	粗集料.....	37
3.6	细集料.....	38
3.7	集料分档.....	38
4	混合料配合比设计.....	39
4.1	一般规定.....	39
4.3	混合料的目标配合比选取.....	39
4.4	生产配合比优化.....	39
4.5	施工参数确定.....	39
5	施工质量控制.....	40
5.1	一般规定.....	40
5.2	施工准备.....	40
5.3	混合料的生产.....	40
5.4	混合料的运输.....	40
5.5	混合料的摊铺.....	40
5.6	混合料的碾压.....	41
5.7	接缝.....	41
5.8	养生及交通管制.....	41
6	质量检验与控制.....	42
6.1	一般规定.....	42
6.2	检验.....	42
6.3	验收.....	42
	附录 A 振动压实试验方法.....	43
	附录 B 振动压实法的试件成型.....	44

# 1 总则

**1.0.1** 近年来，国内很多高等级公路水泥稳定级配碎石或砾石基层、石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石的施工都在采用振动压实法（或称为振动成型法）进行配合比设计，并指导施工质量的控制。近十余年来，通过天津、河北、河南、浙江、内蒙古、江苏等省份的多条高等级公路半刚性基层的施工建设，均取得了良好的路用性能，显著提高了半刚性基层的耐久性。为了便于施工、监理及建设单位掌握该项技术，提高道路半刚性基层设计施工水平，延长路面使用寿命，普及和推广使用振动压实法半刚性基层混合料设计新方法，特制定本规程。

## 2 术语

**2.0.1** 半刚性基层指的是用无机结合料稳定土铺筑的能结成板体并具有一定抗弯强度的基层，也就是采用无机结合料稳定集料或土类材料铺筑的基层，目前应用最广泛的是水泥稳定级配碎石或砾石和石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石。

**2.0.4** 干混合料质量包括粗、细集料和无机结合料。

**2.0.5** 采用振动压实设备进行水泥稳定级配碎石或砾石、石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石混合料最大干密度和最佳含水率试验有称为振动成型试验方法的，也有称为振动压实试验方法的，本规程称为振动压实试验方法，建议使用振动压实仪进行试验设计。

## 3 原材料

### 3.1 一般规定

**3.1.2** 现场材料的应用以试验为依据，严格控制质量，防止因使用不符合要求的材料而造成损失的情况发生。在实际操作过程中，不得以供应商提供的检测报告代替现场检测。

**3.1.3** 考虑到我国大力提倡固废利用、无废城市和双碳概念，特意提出满足本规程要求的冶金矿山分选的废石、隧道洞渣加工集料和建筑固废再生集料等材料都可应用于基层，这也为很多具有这方面资源的地区提供标准支撑。本条所指的专项论证包括技术论证和环保论证两方面，因为考虑到金属冶炼后产生的一些废渣由于存在过烧和过量的游离氧化钙、游离氧化镁等会存在体积稳定性问题，不少应用钢渣的路段都发生过基层爆起现象，需要引起注意，同时，有些冶炼渣可能会有溶出性毒性物质。

### 3.2 水泥

**3.2.1** 为了规范水泥的生产质量，在 GB 175-2007《通用硅酸盐水泥标准》中已取消了普通硅酸盐水泥强度等级 32.5 和 32.5R，但对于矿渣硅酸盐水泥和火山灰质硅酸盐水泥仍保留了 32.5 和 32.5R 水泥强度等级。很多研究表明，对于水泥稳定碎石或砾石这种半刚性材料宜采用强度等级较低的水泥，因此本条款仍提出宜采用强度等级 32.5 或 42.5 的水泥，早强水泥会造成水稳很快失去工作性能，不利于施工，不建议使用。

**3.2.2** 水泥的凝结时间对水泥稳定碎石或砾石施工质量影响非常显著，而温度直接影响着其凝结时间，水泥温度过高会混合料很快失去工作性能，因此，对其最高温度应该限定，可采取水泥罐体喷淋降温系统对罐体降温进而降低水泥温度。

### 3.3 粉煤灰

**3.3.2** 由于静电吸附，很多粉煤灰颗粒会黏附一起，造成试验通过率指标失真，因而，必要的时候可以直接应用于水稳或二灰碎石制样的强度检测，如果其 7d 无侧限抗压强度满足要求，也可以应用。

### 3.4 石灰

生石灰的消解是施工拌和中的一个重要环节，具体施工中要对其过程进行有效地控制，生石灰的消解实际上是一个  $\text{CaO}$  ( $\text{MgO}$ ) 的水化 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 放热反映过程，要正确地控制加水量和加水速度，使消解后的消石灰即不能过干而“扬尘”，也不能过湿而“粘结发软”，表面看起来要松散，实测含水量不超过 35%，以有利于二灰结石混合料的均匀拌和，实际施工中通常采用提前消解、打堆闷料、覆盖、过筛的办法来满足施工需要（提前消解的时间一般在 7~10 天），因直接应用生石灰的很少，且拌合不均使其体积稳定性不易控制，这里建议使用消石灰。

### 3.5 粗集料

**3.5.1** 近些年来国内各地区高等级公路半刚性基层施工实际经验来看，各地区高速公路建设部门对集料质量越来越重视，甚至有的地区直接采用了沥青面层对集料的质量要求，对提高半刚性基层、底基层

的施工质量起到了很好的促进作用。同时，考虑到优质矿料资源紧缺，避免过度开采矿山资源，节约投资，故本规程给出符合本规程要求的固体废弃物生产的粗集料也可应用。

**3.5.2** 本规程考虑与现行规范尽量一致衔接，按现行行业标准《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20对集料的质量技术要求。

### 3.6 细集料

**3.6.1** 考虑到优质矿料资源紧缺，避免过度开采矿山资源，节约投资，故本规程给出满足本规程要求的固体废弃物生产的细集料也可应用。

### 3.7 集料分档

**3.7.2** 集料要满足级配的要求，一般进场的集料很难满足连续级配要求，为了实现这个目标，集料首先要按筛孔的不同进行分档，然后再按适当比例掺回，基层和底基层的碎石按不同技术要求分成几档料的掺配，以保障其质量稳定性。

## 4 混合料配合比设计

### 4.1 一般规定

混合料配合比设计是施工过程中一项十分重要的工作，是本规程的核心内容之一。注意施工使用的材料与配合比设计所使用材料的一致性，保障混合料性能稳定性。

### 4.3 混合料的目标配合比选取

**4.3.2** 由于骨架密实型水泥稳定碎石基层结构中粗集料比较多，故石子与石子之间产生嵌挤作用，使得混合料强度提高；粗集料之间的空隙又由适当体积的细料填充，经过振动压路机合理压实，提高了水泥稳定碎石混合料的密实度，增强了基层的抗冲刷性能。研究表明，骨架密实结构水泥稳定碎石基层具有重要的工程路用价值。

相较于悬浮密实型，骨架密实型的性能更加出色，因此本规程推荐使用骨架密实型。

**4.3.7** 考虑同样的 7d 无侧限抗压强度，振动压实与重型击实方法达到同样的强度。水泥剂量可以减少 1%~1.5% 左右，水泥剂量参考现行行业标准《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20 下降 1%，同时根据各地区实际经验，以 0.5% 而非 1% 作为步长进行试验更为合理。

**4.3.9** 石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石由于粉料偏多，级配范围与水稳不同，级配设计参考行业标准《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20 要求。

**4.3.10** 对石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石，结合料变量变多，包括石灰、粉煤灰，设计时可考虑采用正交设计或均匀设计方法。

### 4.4 生产配合比优化

当混合料达到最佳含水率时才可能达到其最大干密度，考虑施工环境下的温度、空气湿度和运料时间造成混合料失水，生产水泥稳定级配碎石或砾石含水率要宜大于设计最佳含水率的 0.5%~1.5%，石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石含水率宜大于设计最佳含水率的 1%~2%，使混合料运到现场碾压时的含水率不小于最佳含水率。

### 4.5 施工参数确定

相较实验室进行配合比实验设计用料，现场的拌和机械、控制精度与粗细集料的含水量以及气候都直接影响着拌合物质量，因而施工配合比要及时调整。

## 5 施工

### 5.1 一般规定

**5.1.4** 两层施工时间间隔过长，底层收缩趋于稳定，上一层硬化收缩会受到下一层约束，容易开裂，影响质量。

**5.1.7** 公路长时间处于零下气温和昼夜温差大导致公路使用寿命减短，重冰冻指-3℃~ -5℃的气温。

### 5.2 施工准备

**5.2.5** 操作人员接到生产任务通知后，需要按照顺序开机，对设备和微机进行检查和试运行，对拌和主机和皮带进行空转试运行；检查设备各蝶阀和料门，看看其部件是否正常；检查水和外加剂管道，看是否有堵塞；对水泥螺杆进行检查，使螺杆不会因水泥结块而停止运转。

**5.2.6** 通过试验路段对施工整个过程的人、机、物、料的配给、使用和管理进行评价和总结，制定一套科学的施工管理体系。对施工技术、施工工艺、现场质量保证措施等细节进行经验总结和数据收集，综合试验路段施工过程中的成功经验和存在的缺陷，以及采取的补救措施，确定最佳施工方案来指导后期施工。

### 5.3 混合料的生产

**5.3.2** 确保拌和设备具备足够的生产能力，是为满足高速公路和一级公路连续摊铺作业的要求。事实上，在高速公路和一级公路的水泥稳定碎石或砾石基层施工中，由于标段划分的较短，很多承包商不愿意投入更多的资金用于拌和站的建设，出现了很多以小型或较旧的稳定土拌和设备用于施工的现象，其结果是，供料量不能满足摊铺机连续摊铺的需要，致使水泥稳定碎石或砾石基层施工的接缝较多、波浪较多、平整度较差。因此，本规程根据实际工程经验，提出了拌和设备生产能力一般不宜小于 500t/h 的要求。

**5.3.3** 在水泥稳定碎石或砾石混合料以及石灰粉煤灰稳定碎石或砾石混合料生产过程中，向集料仓装料是按集料规格对应料仓位置进行的，虽然可将集料按规格区分开来，但装载机操作不当也会造成集料堆离析、向料仓装料不均匀、集料窜仓等影响集料级配稳定性的现象发生，这是生产过程中容易忽视而又较为重要的工艺环节。为此，本规程对装载机取料、装料及发现集料离析时的处理措施等进行了规定。

### 5.4 混合料的运输

**5.4.2** 在道路工程施工过程中，运输车辆一般都是自卸式翻斗车，且大都是跟随一个承包商由路基施工到基层或面层。由于目前施工安排比较紧凑，同一辆车有可能上午（或夜间）装运土方、碎石或其他材料，下午（或白天）又开始运送水泥稳定级配碎石或砾石材料或沥青混合料，致使在施工过程中，仍存在运输车辆的车厢内未打扫清理干净，存有异物的现象，这是材料运输过程中需要注意的。

**5.4.3** 本条款考虑到不同季节，延迟时间长短不同，低温时节延迟时间长，高温时节延长时间短。水泥稳定级配碎石或砾石是一种时效性很强的材料，在容许时间内碾压成型。从拌和到碾压的延迟时间越长对混合料的压实越不利。

### 5.5 混合料的摊铺

**5.5.5** 上下两层连续摊铺可以有效改善层间结合状态，缩短养生周期及节约成本，缩短施工工期，因此被不少单位使用。但是，这种施工方法缺乏对下层质量的有效控制，鉴于目前国内的施工现状，两层连续摊铺的施工工艺需慎重使用。

## 5.6 混合料的碾压

碾压是保证道路基层、底基层质量的最重要手段之一，因此要求承包商配备足够吨位和数量的压实设备。

我国道路基层、底基层发生早期损坏，往往是由于压实不足造成的。改善压实工艺，保证混合料充分压实是提高道路基层、底基层建设质量的关键。尤其是当混合料中粗集料含量较多时，混合料含水率散失较快，可供碾压的时间较短，对压实的要求较高。

## 5.7 接缝

**5.7.2** 半刚性基层纵向接缝不好造成纵向开裂的情况虽然不多，但是，由于半刚性基层是路面结构的主要承重层，一旦开裂将无法修复，而且会严重影响沥青路面的使用寿命；因此一般不设纵向接缝。

**5.7.3** 横向接缝对于基层施工而言几乎是不可避免的，而且半刚性基层的横向开裂也几乎是不可避免的。因此，在水泥稳定碎石或砾石基层施工过程中要特别注意水泥稳定碎石或砾石横向接缝的处理，否则很容易在此薄弱处因干缩或温缩先期发生横向开裂。

## 5.8 养生及交通管制

**5.8.5** 严格意义上说，基层从摊铺碾压完成到铺筑上层结构层之前都属于养生期。因此，施工单位需制订合理的施工组织设计，安排好工序。

7d 是无机结合料稳定材料施工质量控制的一个时间节点。在第 7d 需要开展一系列的质量评定检测，因此，一般情况下，无机结合料稳定材料施工后需要养生 7d。但这并不意味着，仅需要养生 7d，其养生期可直至上承层铺设之前。之所以给定 2d 时间，是因为在上承层施工之前，需要对现有施工断面进行清理并进行施工机械的调运、安装以及必要的层间处理。

**5.8.6** 水泥稳定级配碎石或砾石开裂问题一直困扰着技术人员，水泥水化过程也是个收缩过程，借鉴素混凝土路面切缝释放应力的做法，在水稳施工养生期后，也进行切缝处理，这在很多工程上应用效果好。考虑到水稳的水泥用量比素混凝土路面少得多，收缩也相对小一些名单不能忽略，因此提出 20m~30m 考虑切缝，这在实际工程中也有许多成功经验。

## 6 质量检验与控制

### 6.1 一般规定

**6.1.6** 为全面提升工程质量过程管控，有效落实参建各方质量主体责任，加强工程质量影像（包括视频和照片）追溯管理，照片、录像验收过程中，注意隐蔽验收影像资料的清晰、完整性。

### 6.2 检验

**6.2.3** 施工质量管理的变异性是各种变异性的总和，它包括取样的不均匀(缺乏代表性)，拌和的问题以及材料和施工过程的变异性等等。所以为了减小施工质量的变异性，就需要认真从取样、试验、材料及施工各个方面，建立健全有效的质量保证体系，实行全面质量管理。

**6.2.6** 芯样的高度越是接近实际摊铺的厚度，越是直接反映工程实际，定为 95% 更为合理。

### 6.3 验收

现行行业标准《公路工程质量检验评定标准第一册土建工程》 JTG F80/1 是我国目前公路工程普遍遵守的规范，验收方法无特殊要求以此为准。

## 附录 A 振动压实试验方法

附录 A 提出了振动压实仪的具体参数要求，现在大多数地区都在使用，同时给出了振动压实法确定最大干密度和最佳含水率的实验方法和步骤。

## 附录 B 振动压实法的试件成型

附录 B 给出了混合料无侧限抗压强度等试验用圆柱体试件的具体做法和步骤。

---