



T/CECS G XXXX: 2021

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路工业废渣路面基层应用
技术规程

(征求意见稿)

Technical Specification for Application of Industrial Waste
in Highway Roadbases

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction
Standardization

中国工程建设标准化协会标准

公路工业废渣路面基层应用技术规程

Technical Specification for Application of Industrial Waste in
Highway Roadbases

T/CECS G XXXXX-2021

主编单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

实施日期：2021 年××月××日

×××××× (出版单位)

中国工程建设标准化协会公告

20XX 年第 XX 号

关于发布《公路工业废渣路面基层应用技术规程》

(CECSG ×××××—2021) 的公告

现发布中国工程建设标准化协会标准《公路工业废渣路面基层应用技术规程》(CECSG ×××××—2021), 自 2021 年××月××日起实施。

《公路工业废渣路面基层应用技术规程》(CECSG ×××××—2021) 的版权和解释权归中国工程建设标准化协会所有, 并委托主编单位中交第二公路勘察设计研究院有限公司负责日常解释和管理工作。

中国工程建设标准化协会

2020 年××月××日

前 言

根据中国工程建设标准化协会“关于印发《2018年第二批工程建设协会标准制订、修订计划》的通知”（建标协字 [2018]030号）的要求，由中交第二公路勘察设计研究院有限公司承担《公路工业废渣路面基层应用技术规程》（以下简称本规程）的制定工作。

为科学、合理确定工业废渣路面基层技术指标，统一指导工程实践，本规程编写组在总结、归纳公路工业废渣路面基层技术与工程应用经验的基础上，通过大量的文献查阅、现场调研及验证试验等工作，并广泛征求了有关单位和专家意见，经过反复讨论修改，最终形成本规程。

本规程的主要内容共分 8 章、1 个附录，主要内容包括：1.总则；2.术语、符号；3、基本规定；4、工业废渣环境影响评价；5、钢渣基层；6、煤矸石基层；7、铁尾矿基层；8、质量标准与检验评定；附录 A.煤矸石材料活性试验方法。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由中交第二公路勘察设计研究院有限公司负责具体技术内容解释。请各有关单位在使用过程中注意总结经验，将发现的问题和意见函告本规程日常管理组，联系人：曾文博（地址：武汉市经济技术开发区创业路 18号，中交第二公路勘察设计研究院有限公司，邮编：430056；联系电话：027-84214101；电子邮箱：812263478@qq.com），以便修订时参考。

主编单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司

参编单位：新疆交通建设集团有限公司、吉林建筑大学、河北省交通规划设计院、贵州大学、武汉理工大学、*****

主 编：程平

主要参编人员：***、***

主 审：付智

主要审查人员：***、***

1 总则

1.0.1 为了推广利用工业废渣修筑公路路面基层、底基层，充分利用工业废渣替代天然集料，节约土地、保护环境，降低工程造价，并保证工业废渣路面基层的工程质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建或改扩建公路工业废渣基层的设计与施工。

1.0.3 公路工业废渣基层的应用应按照因地制宜、就地取材、节约土地、保护环境的原则进行综合设计，保证基层具有足够的承载能力、抗疲劳开裂性能、耐久性和水稳定性。

1.0.4 公路工业废渣基层的应用，应贯彻国家有关技术经济政策，积极慎重地采用试验和实践论证成功的新技术、新材料、新工艺。

1.0.5 公路工业废渣基层的应用除应满足本规程的规定外，尚应符合国家及行业相关标准规范的规定。

2 术语

2.0.1 工业废渣

基层用工业废渣是指在工业生产中，排放出的符合工程要求的钢渣、铁尾矿等固体废渣。

2.0.2 水泥稳定工业废渣材料

以水泥为结合料，通过加水与被稳定的工业废渣材料共同拌和形成的混合料。

2.0.3 石灰稳定工业废渣材料

以石灰为结合料，通过加水与被稳定的工业废渣材料共同拌和形成的混合料。

2.0.4 综合稳定工业废渣材料

以两种或两种以上材料为结合料，通过加水与被稳定的工业废渣材料共同拌和形成的混合料。

2.0.5 钢渣

经稳定化处理合格并用于公路基层的转炉钢渣或电炉钢渣。

2.0.6 煤矸石

煤层形成过程中与煤伴生或共生的一种含煤量较低的岩石，是煤炭生产的副产品，是采煤过程中分离出来的含煤矿石，分已燃煤矸石和未燃煤矸石。

2.0.7 铁尾矿碎石

选矿过程中，将低品位的岩层剥落破碎后所产生的废弃碎石。

2.0.8 铁尾矿砂

选矿厂在特定的经济技术条件下，将铁矿石磨细、选取有用成分后排放的废弃物，其最大粒径一般不超过4.75mm。

3 基本规定

3.0.1 所用工业废渣必须符合国家现行环境保护的有关规定，避免对环境造成污染。

3.0.2 所用工业废渣及其基层的工程性能必须符合国家现行公路路面基层的有关规定，符合基层的工程需求。

3.0.3 工业废渣使用前应崩解稳定，且宜通过不同龄期条件下的强度和模试验以及温度收缩和干湿收缩试验等评价混合料性能，

3.0.4 工业废渣基层所用的废渣、水泥、石灰、粉煤灰、粗细集料等材料应据项目特点、地区条件等综合因素确定。

3.0.5 除工业废渣外，在基层、底基层中使用的天然集料、水泥、石灰、粉煤灰等其他原材料应符合《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）的相关规定。

3.0.6 各等级公路各设计阶段，无机结合料稳定工业废渣混合料的弯拉强度和弹性模量应符合《公路沥青路面设计规范》（JTG D50）中 5.4.5 条相关规定，宜采用水平一进行试验测试。其中弹性模量测试应符合《公路沥青路面设计规范》（JTG D50）中附录 E 的有关规定，弯拉强度测试应符合《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》（JTG E51）中 T 0851 的有关规定。

3.0.7 公路设计阶段，应开展工业废渣使用条件调查，充分掌握工程需求，综合确定工业废渣材料在工程项目中的适用性。

4 工业废渣环境影响评价

4.1 一般规定

4.1.1 工业废渣在满足物理性能指标的同时，还应满足环境指标要求。

4.1.3 在初步设计阶段，应查明工业废渣的来源、类别、物理化学性能、力学性能和对环境的影响。

4.2 工业废渣基层环境影响评价

4.2.1 工业废渣基层设计时应进行固体废物浸出毒性测定，其试验方法应符合现行《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》（GB 5085.3）的有关规定。

4.2.2 工业废渣基层固体废弃物浸出液内有害含量应符合表 4.2.2。

表4.2.2 工业废渣浸出液内有害物质含量

序号	危险成分项目	浸出液中危害成分质量浓度限值 (mg/L)
1	铜（总铜）	100
2	锌（以总锌计）	100
3	镉（以总镉计）	1
4	铅（以总铅计）	5
5	总铬	15
6	铬（六价）	5
7	烷基汞	不得检出
8	汞（以总汞计）	0.1
9	铍（以总铍计）	0.02
10	钡（以总钡计）	100
11	镍（以总镍计）	5
12	总银	5

13	砷（以总砷计）	5
14	硒（以总硒计）	1
15	无机氟化物（不包括氟化钙）	100
16	氰化物（以CN ⁻ 计）	5

征求意见稿

5 钢渣基层

5.1 一般规定

5.1.1 钢渣基层适用于修筑各等级公路的基层与底基层中的施工技术应用。

5.1.2 无机结合料稳定钢渣组成设计应包括原材料检验、混合料的目标配合比设计、混合料的生产配合比设计和施工参数确定四部分。

5.2 原材料要求

5.2.1 公路基层用钢渣骨料，应在破碎后陈化，且陈化时间应不短于1年，方可用于制作公路基层。

条文说明

稳定性是影响道路使用寿命的首要条件，如钢渣陈化时间不够，其未充分反应的游离氧化钙组分遇水会产生化学反应，出现体积膨胀从而导致道路基层的开裂和破坏，对基层的板体完好性和疲劳性能的损害很大。因此要求钢渣在破碎后陈放，不是原状大颗粒陈放；二是要求陈放时间不少于一年，最好陈放3~5年再使用，以最大限度地降低产生爆裂之可能性。

5.2.2 钢渣骨料浸水膨胀率应小于2.0%，压蒸粉化率应小于5.0%，金属铁含量应小于2.0%，游离氧化钙含量应小于3.0%，其试验方法应符合现行《钢渣稳定性试验方法》（GB/T 24175）的有关规定。

5.2.3 钢渣粗集料技术指标应符合表5.2.3中规定。

表5.2.3 钢渣粗集料技术指标要求

指标	层位	高速公路和一级公路		二级及二级以下公路	试验方法
		极重、特重交通	重、中轻交通		
压碎值	基层	≤22	≤26	≤35	T 0316
	底基层	≤30	≤30	≤40	

针片状颗粒含量 (%)	基层	≤18	≤22	—	T 0312
	底基层	—	—	—	
0.075mm 以下 粉尘含量 (%)	基层	≤1.2	≤2	—	T 0310
	底基层	—	—	—	
软石含量 (%)	基层	≤3	≤5	—	T0320
	底基层	—	—	—	

5.2.4 钢渣粗集料化学指标应符合表 5.2.4 中规定。

表5.2.4 钢渣粗集料化学指标要求

序号	检测项目	技术要求		试验方法
		高速公路和一 级公路	二级和二级以 下公路	
1	钢渣碱度 (%)	>2.5	>1.8	YB/T 022
2	游离氧化钙 (%)	<2.0	<3.0	YB/T 140
3	金属铁含量 (%)	≤2.0		YB/T 140

注：1. 钢渣碱度宜作为沥青混合料技术要求；

2. 城市道路中钢渣化学指标可参照二级及二级以下公路技术要求执行。

5.2.5 对于高等级公路，基层和底基层用钢渣的最大粒径不宜大于 26.5mm。对于其他等级公路，基层和底基层用钢渣的最大粒径应不大于 31.5mm。

5.2.6 基层、底基层用钢渣材料宜筛分、分档后进行使用，其规格组成应符合现行《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）的相关规定。

5.2.7 不同工程粒径钢渣粗集料的通过筛孔的质量百分率应符合现行《道路用钢渣》（GB/T 25824）的相关规定。

5.2.8 钢渣细集料不宜在公路基层、底基层中应用。

5.2.9 材料分档与掺配应符合现行《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）的相关规定。

5.2.10 钢渣基层中可掺入天然粗集料、细集料以改善级配。

5.2.11 在使用的天然集料的材料分档符合现行《公路路面基层施工技术细则》

(JTG/T F20) 相关规定条件下, 钢渣进行筛分实验后可单独作为一档集料进行掺配。

5.3 混合料组成设计

5.3.1 无机结合料钢渣基层材料组成设计流程见图 5.3.1。

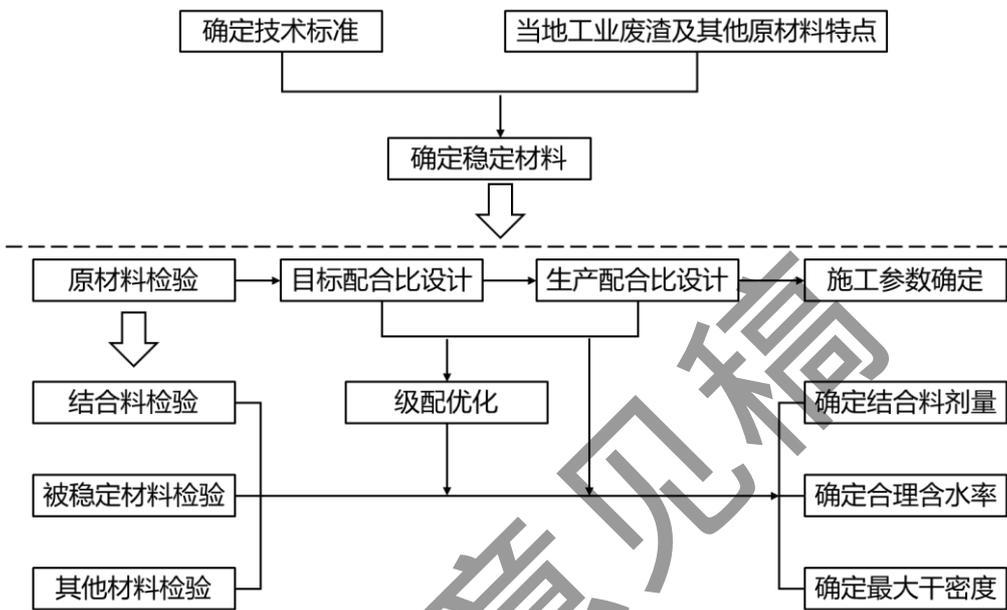


图 5.3.1 无机结合料稳定材料设计流程

5.3.2 水泥稳定钢渣基层材料 7d 龄期无侧限抗压强度标准 R_d 应符合表 5.3.2 的规定。

表 5.3.2 水泥稳定钢渣基层材料 7d 龄期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
--	-----------	---------	---------	---------

5.3.3 石灰粉煤灰稳定钢渣基层材料 7d 龄期无侧限抗压强度标准 R_d 应符合表 5.3.4 的规定。

表 5.3.3 石灰煤灰稳定钢渣基层材料 7d 龄期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	≥ 1.1	≥ 1.0	≥ 0.9
	二级及二级以下公路	≥ 0.9	≥ 0.8	≥ 0.7
底基层	高速公路和一级公路	≥ 0.8	≥ 0.7	≥ 0.6
	二级及二级以下公路	≥ 0.7	≥ 0.6	≥ 0.5

5.3.4 水泥粉煤灰稳定钢渣基层材料 7d 龄期无侧限抗压强度标准 R_d 应符合表 5.3.4 的规定。

表 5.3.4 水泥粉煤灰稳定钢渣基层材料 7d 龄期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	4.0~5.0	3.5.0~4.5	3.0~4.0
	二级及二级以下公路	3.5~4.5	3.0~4.0	2.5~3.5
底基层	高速公路和一级公路	2.5~3.5	2.0~3.0	1.5~2.5
	二级及二级以下公路	2.0~3.0	1.5~2.5	1.0~2.0

5.3.3 无机结合料钢渣混合料应采用质量配合比计算，以无机结合料：钢渣：

其他天然集料（若含有）的质量比表示。

5.3.4 水泥稳定钢渣混合料级配可采用表 5.3.4 中的级配范围。

表5.3.4水泥稳定钢渣混合料级配范围（%）

筛孔尺寸 (mm)	高速公路和一级公路			二级及二级以下公路		
	C-B-1	C-B-2	C-B-3	C-C-1	C-C-2	C-C-3
37.5	—	—	—	100	—	—
31.5	—	—	100	100~90	100	—
26.5	100	—	—	94~81	100~90	100
19	86~82	100	86~68	83~67	87~73	100~90
16	79~73	93~88	—	78~61	82~65	92~79
13.2	72~65	86~76	—	73~54	75~58	83~67
9.5	62~53	72~59	58~38	64~45	66~47	71~52
4.75	45~35	45~35	32~22	50~30	50~30	50~30
2.36	31~22	31~22	28~16	36~19	36~19	36~19
1.18	22~13	22~13	—	26~12	26~12	26~12
0.6	15~8	15~8	15~8	19~8	19~8	19~8
0.3	10~5	10~5	—	14~5	14~5	14~5
0.15	7~3	7~3	—	10~3	10~3	10~3
0.075	5~2	5~2	0~3	7~2	7~2	7~2

5.3.5 水泥粉煤灰稳定钢渣混合料可采用表 5.3.5 中的级配范围。

表5.3.5水泥粉煤灰稳定钢渣混合料级配范围（%）

层位	混合料 类型	通过下列筛孔（mm）的质量百分率（%）							
		37.5	31.5	19.0	9.50	4.75	2.36	0.6	0.075
基层	悬浮密			90~	60~	29~	15~		
	实型		100	100	80	49	32	6~20	0~5
	骨架密			68~	38~	22~	16~		
	实型		100	86	58	32	28	8~15	0~3
底基	悬浮密	100	90~	75~	50~	29~	15~	6~20	0~5

层	实型		100	90	70	50	35		
---	----	--	-----	----	----	----	----	--	--

5.3.6 石灰粉煤灰稳定钢渣混合料可采用表5.3.6中的级配范围。

表5.3.6石灰粉煤灰稳定钢渣混合料级配范围（%）

层位		基层		底基层
混合料类型		悬浮密实型	骨架密实型	悬浮密实型
通过下列筛孔 (mm) 的质量 百分率 (%)	37.5			100
	31.5	100	100	94~100
	26.5		95~100	
	19.0	88~98	48~68	79~92
	9.50	55~75	24~34	51~72
	4.75	30~50	11~21	30~50
	2.36	16~36	6~16	16~36
	1.18	10~25	2~12	10~25
	0.6	4~18	0~6	4~18
	0.075	0~5	0~3	0~5

5.3.7 无机结合料稳定钢渣材料目标配合比设计、生产配合比设计技术要求应符合《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）4.6节、4.7节的相关要求。

5.4 施工要求

5.4.1 按照有关规定和要求建立试验室，及时对拟用于公路路面基层的原材料性质进行取样试验。除对水泥、粉煤灰、石灰、天然集料的基本性能检测外，试验内容还应包括钢渣材料的浸水膨胀率、压蒸粉化率、金属铁含量、游离氧化钙、压碎值、针片状颗粒含量、0.075mm 以下粉尘含量、软石含量等。

5.4.2 为保证拌和质量，应采用拌和站进行集中厂拌。低等级公路如无条件可采用路拌机现场拌和，但需保证拌和均匀。

5.4.3 无机结合料钢渣基层混合料生产、摊铺及碾压应符合现行《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）相关规定。

5.4.4 无机结合料钢渣混合料的养生、交通管制、层间处理应符合现行《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）相关规定。

征求意见稿

6 煤矸石基层

6.1 一般规定

6.1.1 根据 6.2.2 条中对于煤矸石材料的分级技术指标，一级煤矸石可用于交通荷载等级重交通以下的高速公路、一级公路底基层以及其他等级公路基层、底基层，二级煤矸石可应用于二级及二级以下公路基层、底基层。

6.1.2 无机结合料稳定煤矸石组成设计应包括原材料检验、混合料的目标配合比设计、混合料的生产配合比设计和施工参数确定四部分。

6.2 原材料要求

6.3.3 煤矸石按燃烧与否分为已燃煤矸石和未燃煤矸石。

6.2.2 煤矸石基层材料分级指标应符合表 6.2.2 中规定。

表6.2.2 煤矸石粗集料分级技术指标

指标	一级		二级		试验方法
塑性指数 I_p %	<10				JTG E 40-2007 T0118
压碎值 %	≤ 30	30~35	35~42		JTG E 42-2005 T0316
活性 MPa	—	≥ 11.5	<11.5	>8.5	附录 A

注1：应结合煤矸石单质材料特性并通过试验确定煤矸石的合理稳定形式，满足强度和耐久性要求后方可应用。
注2：二级煤矸石用于基层时，压碎值宜为30~35。
注3：本分级标准适用于塑性指数小于10的煤矸石；对于塑性指数大于等于10的煤矸石，应根据其特性采取特殊处理措施，满足强度要求后方可应用。

条文说明

稳定性是影响道路使用寿命的首要条件，如煤矸石的塑性指数大于 10，其水稳定性就无法得到保证，不能够用作道路材料，因此用塑性指数指标作为煤矸石用于基层时共同的首要条件。

6.2.4 未燃煤矸石细集料的技术指标应满足《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)的细集料指标中有机质含量和硫酸盐含量的要求;其烧失量应小于12%。

6.2.3 对于高速公路、一级公路底基层用煤矸石的最大公称粒径应不大于26.5mm。对于其他等级公路,基层和底基层用煤矸石的最大公称粒径分别应不大于26.5、31.5mm。

6.2.5 基层、底基层用煤矸石材料宜破碎、筛分、分档后进行使用,建议采用3档或4档配料,其规格组成应符合《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)中3.8节相关规定。

6.3 混合料组成设计

6.3.1 无机结合料煤矸石混合料组成设计流程应符合《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)相关规定。

6.3.2 水泥稳定煤矸石材料的7d龄期无侧限抗压强度标准 R_d 应符合表6.3.2的规定。

表6.3.2 水泥稳定煤矸石的7d龄期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	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	—	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	2.0~3.0

6.3.3 石灰粉煤灰稳定煤矸石材料的7d龄期无侧限抗压强度标准 R_d 应符合表6.3.5的规定。

表6.3.3 石灰粉煤灰稳定煤矸石的7d龄期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	二级及二级以下公路	≥ 0.9	≥ 0.8	≥ 0.7
底基层	高速公路和一级公路	—	≥ 0.7	≥ 0.6
	二级及二级以下公路	≥ 0.7	≥ 0.6	≥ 0.5

6.3.4 强度试验试件的径高比应为 1:1，直径为 150mm，平行试验的最小试件数量为 13 个，试验结果的变异系数应满足 15%~20%。

6.3.5 水泥稳定煤矸石的水泥剂量应以水泥质量占全部干燥被稳定材料质量的百分率表示。

6.3.6 石灰粉煤灰煤矸石混合料应采用质量配合比计算，以石灰粉煤灰：煤矸石：其他集料（若含有）的质量比表示。

6.3.7 水泥稳定煤矸石混合料目标配合比设计试验推荐水泥剂量为 3%、4%、5%、6%、7%；二灰稳定煤矸石混合料目标配合比设计试验比例推荐为石灰：粉煤灰=1:2~1:4，石灰粉煤灰：煤矸石=30:70~15:85，必要时可采用正交设计方法。

6.3.8 水泥稳定煤矸石混合料级配可采用表 6.3.8 中的级配范围。

表 6.3.8 水泥稳定煤矸石混合料级配范围（%）

筛孔尺寸 (mm)	高速公路和一级公路			二级及二级以下公路		
	C-B-1	C-B-2	C-B-3	C-C-1	C-C-2	C-C-3
37.5	—	—	—	100	—	—
31.5	—	—	100	100~90	100	—
26.5	100	—	—	94~81	100~90	100
19	86~82	100	86~68	83~67	87~73	100~90
16	79~73	93~88	—	78~61	82~65	92~79
13.2	72~65	86~76	—	73~54	75~58	83~67
9.5	62~53	72~59	58~38	64~45	66~47	71~52
4.75	45~35	45~35	32~22	50~30	50~30	50~30
2.36	31~22	31~22	28~16	36~19	36~19	36~19
1.18	22~13	22~13	—	26~12	26~12	26~12
0.6	15~8	15~8	15~8	19~8	19~8	19~8
0.3	10~5	10~5	—	14~5	14~5	14~5
0.15	7~3	7~3	—	10~3	10~3	10~3
0.075	5~2	5~2	0~3	7~2	7~2	7~2

6.3.9 石灰粉煤灰稳定煤矸石混合料级配可采用表 6.3.9 中推荐的级配范围，

并应符合下列规定：

1 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%，级配宜符合表6.3.9中LF-1-1S的规定。

2 用于二级及二级以下公路基层时，各档被稳定材料总质量宜不小于80%，级配宜符合表6.3.9中LF-B-2S的规定。

3 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%，级配宜符合表6.3.9中LF-B-1S的规定。对极重、特重交通荷载等级，可选择符合表4.5.6中LF-B-2S的规定。

表 6.3.9 石灰粉煤灰稳定煤矸石的推荐级配范围（%）

筛孔尺寸 (mm)	高速公路和一级公路		二级及二级以下公路	
	LF-A-1S	LF-A-2S	LF-B-1S	LF-B-2S
37.5	—	—	100	—
31.5	100	—	100~90	100
26.5	95~91	100	94~81	100~90
19	85~76	89~80	83~67	87~73
16	80~69	84~73	78~61	82~65
13.2	75~62	78~65	73~54	75~58
9.5	65~51	67~53	64~45	66~47
4.75	45~35	45~35	50~30	50~30
2.36	31~22	31~22	36~19	36~19
1.18	22~13	22~13	26~12	26~12
0.6	15~8	15~8	19~8	19~8
0.3	10~5	10~5	—	—
0.15	7~3	7~3	—	—
0.075	5~2	5~2	7~2	7~2

6.3.6 无机结合料煤矸石混合料的设计级配应符合《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）相关规定。特别是小于4.75mm筛孔的颗粒含量不能超过规范要求。

6.3.8 无机结合料稳定煤矸石目标配合比、生产配合比阶段，除应满足《公路

路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）4.6 节、4.7 节的相关规定外，还应进行酒精燃烧法与烘箱法测定含水率的相关关系试验。

6.3.9 煤矸石基层材料级配不满足要求时，可掺入天然粗集料、细集料以改善级配，但掺入集料的压碎值宜与煤矸石的压碎值相近。

6.4 施工要求

6.4.1 按照有关规定和要求建立试验室，及时对拟用于公路路面基层的原材料性质进行取样试验。除对水泥、粉煤灰、石灰、天然集料的基本性能检测外，试验内容还应包括煤矸石材料的塑性指数、压碎值、活性等。

6.4.2 为保证拌和质量，应采用拌和站进行集中厂拌。低等级公路如无条件可采用路拌机现场拌和，但需保证拌和均匀。不应采用人工拌和的施工方式。

6.4.3 无机结合料煤矸石混合料生产、摊铺及碾压应符合《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）相关规定。现场压实度快速检测可采用酒精燃烧法测含水率，如遇压实度检测异议，应以烘箱测含水率为准，计算压实度。

6.4.4 无机结合料煤矸石混合料的养生、交通管制、层间处理应符合《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）相关规定。

7 铁尾矿基层

7.1 一般规定

7.1.1 铁尾矿基层适用二级及二级以下公路的基层与底基层。

7.1.2 无机结合料稳定铁尾矿组成设计应包括原材料检验、混合料的目标配合比设计、混合料的生产配合比设计和施工参数确定四部分。

7.2 原材料要求

7.2.2 对于高等级公路底基层用铁尾矿的最大公称粒径应不大于 26.5mm。对于其他等级公路，基层和底基层用铁尾矿的最大公称粒径应不大于 31.5mm。铁尾矿碎石技术要求应符合表 7.2.2 的规定。

表7.2.2 铁尾矿碎石技术要求

指标	单位	技术要求	
		基层	底基层
压碎值	%	≤35	≤40
针片状颗粒含量	%	≤20	
软石含量	%	≤5	
表观相对密度	—	≥2.45	

7.2.3 宜选用硬质铁矿产出的铁尾矿砂，铁尾矿砂应洁净、干燥、无风化、无杂质，并有适当的颗粒级配。集料规格要求应符合表 7-1 的规定，并且严格控制大于 4.75mm 的颗粒含量。

表7.2.3 铁尾矿砂规格要求

材料名称	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)							
	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
铁尾矿砂	100	90~100	—	—	—	—	—	0~20

7.2.4 普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥均可用于水泥稳

定铁尾矿基层，水泥强度等级宜采用 R42.5。水泥初凝时间不得小于 3h，终凝时间宜在 6h 以上且小于 10h，不应使用快硬水泥、早强水泥。

7.3.5 被水泥稳定的铁尾矿材料的液限应不大于 40%，塑性指数应不大于 17%，不均匀系数应大于 5。有机质含量超过 2%、硫酸盐含量超过 0.25%的铁尾矿，不宜用水泥稳定。

7.3 混合料组成设计

7.3.1 无机结合料铁尾矿混合料组成设计流程应符合现行《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）相关规定。

7.3.2 水泥稳定铁尾矿的 7d 无侧限抗压强度应符合表 7-6 的规定。

表7.3.2 水泥稳定铁尾矿混合料的7d龄期无侧限抗压强度指标

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

7.3.3 石灰、粉煤灰稳定铁尾矿的 7d 无侧限抗压强度要求应符合表 7-8 的规定。

表7.3.3 石灰、粉煤灰稳定铁尾矿混合料的7d龄期无侧限抗压强度指标

公路等级	基层 (MPa)	底基层 (MPa)
二级公路	≥0.9	≥0.6
二级以下公路	≥0.8	≥0.5

7.3.4 无机结合料铁尾矿混合料应采用质量配合比计算，以无机结合料：铁尾矿：集料的质量比表示。

7.3.5 水泥稳定铁尾矿的水泥剂量宜取 4%~8%。

7.3.6 水泥稳定铁尾矿混合料级配可采用表 7.3.5 中的级配范围。

表7.3.4 适宜用水泥稳定的铁尾矿级配范围

公路等级及适用范围		高速公路和一级公路的基层	高速公路和一级公路的底基层	二级以下公路的基层	二级及二级以下公路的底基层
级配编号		A-1	A-2	A-3	A-4
质量通过率 (%)	53	-	-	100	100
	37.5	-	100	90~100	—
	31.5	100	90~100	—	—
	26.5	-	—	66~100	—
	19	90~100	67~90	54~100	—
	16	79~92	—	—	—
	13.2	67~83	—	—	—
	9.5	52~71	45~68	39~100	—
	4.75	30~50	29~50	28~84	50~100
	2.36	19~36	18~38	20~70	—
	1.18	12~26	—	14~57	—
	0.6	8~19	8~22	8~47	17~100
	0.3	5~14	—	—	—
	0.15	3~10	—	—	—
	0.075	2~7	0~7	0~30	0~30

7.3.7 水泥稳定铁尾矿砂时,宜在铁尾矿砂中添加部分粉煤灰或少部分塑性指数小于 10 的土,加入比例通过击实试验确定,取最大干密度最大时的添加比例,一般约为 20%~40%。

7.3.8 当水泥稳定铁尾矿砂无法满足本标准的强度要求时,宜掺加 30%左右的 15mm~20mm 的粗集料来调整级配以提高其强度。

7.3.9 石灰粉煤灰稳定铁尾矿碎石,石灰与粉煤灰的比例可采用 1:2~1:4,结合料与铁尾矿料的比例宜采用 20:80~15:85。

7.3.10 石灰粉煤灰稳定铁尾矿混合料级配可采用表 7.3.8 中推荐的级配范围,并应符合下列规定:

1 石灰粉煤灰稳定铁尾矿用做基层时，铁尾矿料颗粒的最大粒径不应大于31.5mm，被稳定材料的质量宜占80%以上，并符合表7-5中B-2的级配范围。

2 石灰粉煤灰稳定铁尾矿用做底基层时，铁尾矿料颗粒的最大粒径不应大于37.5mm，被稳定材料的质量宜占70%以上，并符合表7-7中B-1的级配范围；对于极重、特重级交通可选择表7-5中B-2的级配范围。

表7.3.8 适宜用石灰粉煤灰稳定的铁尾矿碎石级配范围 (%)

材料类型	稳定铁尾矿碎石	
	B-1	B-2
孔径 (mm)		
37.5	100	-
31.5	100~90	100
26.5	94~81	100~90
19	83~67	87~73
16	78~61	82~65
13.2	73~54	75~58
9.5	64~45	66~47
4.75	50~30	50~30
2.36	36~19	36~19
1.18	26~12	26~12
0.6	19~8	19~8
0.075	7~2	7~2

7.3.11 石灰粉煤灰稳定铁尾矿砂可用于二级及二级以下公路底基层，石灰与粉煤灰的比例可采用1:2~1:4，结合料与铁尾矿砂的比例宜采用40:60~10:90。

7.3.12 当被稳定的铁尾矿级配不能满足设计级配要求时，可掺入天然粗集料、细集料以改善级配。

7.3.13 无机结合料稳定铁尾矿材料目标配合比设计、生产配合比设计技术要求应符合《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20) 4.6节、4.7节的相关要求。

7.4 施工要求

7.4.1 按照有关规定和要求建立试验室，及时对拟用于公路路面基层的原材料性质进行取样试验。除对水泥、粉煤灰、石灰、天然集料的基本性能检测外，试验内容还应包括铁尾矿材料的压碎值、针片状颗粒含量、软石含量、表观相对密度等。

7.4.2 为保证拌和质量，应采用拌和站进行集中厂拌。低等级公路如无条件可采用路拌机现场拌和，但需保证拌和均匀。

7.4.3 无机结合料铁尾矿混合料的生产、摊铺及碾压应符合现行《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）相关规定。

7.4.4 无机结合料铁尾矿混合料的养生、交通管制、层间处理应符合现行《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）相关规定。

征求意见稿

8 质量标准与检验评定

8.1 一般规定

8.1.1 粒料应符合设计和施工规范要求,应分解稳定,发现未分解渣应予剔除。

8.1.2 混合料配比应准确。

8.1.3 运输及摊铺时要注意消除离析现象,碾压时应先用轻型压路机稳压,后用重型压路机碾压至要求的压实度。

8.2 原材料检验

8.2.1 在施工前以及在施工过程中,原材料或混合料发生变化时,应检验拟采用材料。

8.2.2 原材料应分别符合 5.2、6.2、7.2 节的要求。其他材料应符合《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)的规定。

8.3 工程质量检验与评定

8.3.1 工业废渣基层基本要求应符合下列规定:

- 1 应选择质坚干净的粒料,矿渣应分解稳定,未分解渣块应予剔除。
- 2 路拌深度应达到底层
- 3 碾压检查合格后立即覆盖或洒水养护,养护期应符合规定。

8.3.2 工业废渣基层实测项目应符合表 8.3.2 的规定。

表8.3.2 工业废渣基层实测项目

项次	检查项目		规定值或 允许偏差				检查方法和频率
			基层		底基层		
			高速公路 一级公路	其他 公路	高速公路 一级公路	其他 公路	
1△	压实度	代表值	≥98	≥97	≥96	≥95	按压实度评定规定

		极值	≥94	≥93	≥92	≥91	检查, 每 200m 测 2 点
2	平整度 (mm)		≤8	≤12	≤12	≤8	3m 直尺: 每 200m 测 2 处 X5 尺
3	断面高程 (mm)		+5, -10	+5, -8	+5, -5	+5, -20	水准仪: 每 200m 测 2 个断面
4	宽度 (mm)		满足设计要求		满足设计要求		丈量: 每 200m 测 4 点
5	厚度 (mm)	代表值	-8	-10	-10	-12	按路面结构厚度评定规定检查, 每 200m 测 2 点
		合格值	-10	-20	-25	-30	
6	横坡	(%)	±0.3	±0.5	±0.3	±0.5	水准仪: 每 200m 测 2 个断面
7△	强度	(MPa)	满足设计要求		满足设计要求		按无机结合料稳定材料强度评定规定检查

注: △标识的检测项目为对结构安全、耐久性和主要使用功能起决定性作用的关键项目, 其合格率应不低于 95%, 否则该检查项目为不合格。其他一般项目的合格率应不低于 80%, 否则该检查项目为不合格。

8.3.3 工业废渣基层外观质量要求应符合下列规定:

- 1 表面应无松散、无坑洼、无碾压轮迹。
- 2 表面连续离析不得超过10m, 累计离析不得超过50m。

8.3.4 在摊铺机后应设专人消除粗细集料离析、松散、坑洼现象, 应及时铲除局部粗集料堆积或离析的部位, 并用新拌混合料填补。

附录 A 煤矸石材料活性试验方法

A.1 试验目的

本试验方法适用于煤矸石材料的活性试验。其目的是通过分析煤矸石材料自身的活性，对路面基层用煤矸石进行分级。煤矸石材料的活性，以强度等级为 42.5 的普通硅酸盐水泥与煤矸石材料拌和成型的试件在标准养护 3d 后的抗压强度来评价。采用其它标号水泥或其它水泥时，要对试验结果进行修正。试件采用尺寸为 40 mm×40 mm×160 mm 的长方体。

A.2 仪器设备

A.2.1 混合料搅拌机

混合料搅拌机用于拌和水泥与煤矸石混合料，采用搅拌叶片和搅拌锅作相反方向转动的行星式搅拌机。叶片和锅由耐磨的金属材料制成，叶片与锅底、锅壁之间的间隙为叶片与锅壁最近的距离。

A.2.2 振动台

振实台由装有两个对称偏心轮的电动机产生振动，使用时固定于混凝土基座上。基座高约 400 mm，混凝土的体积约 0.25 m³，重约 600 kg。为防止外部振动影响振实效果，可在整个混凝土基座下放一层厚约 5 mm 天然橡胶弹性衬垫。将仪器用地脚螺丝固定在基座上，安装后设备成水平状态，仪器底座与基座之间要铺一层砂浆以确保它们完全解除。

A.2.3 试模及下料漏斗

采用水泥胶砂用试模为可装卸的三联模，由隔板、端板、底座等部分组成，可以同时成型三条截面为 40mm×40mm×160mm 的梁形试件；下料漏斗由漏斗和模套两部分组成。漏斗用厚为 0.5mm 的白铁皮制作，下料口宽度一般为 4mm~5mm。试模高度为 20mm，用金属材料制作。套模壁与模型内壁应重叠，超出内壁不应大于 1mm。

A.2.4 抗折试验机和抗折夹具

抗折试验机一般采用双杠杆式，也可采用性能符合要求的其它试验机。加荷与支撑圆柱必须用硬质钢材制造。通过三根圆柱轴的三个竖向平面应该平行，并在试验时继续保持平行和等距离垂直试件的方向，其中一根支撑圆柱能轻微地倾斜使圆柱与试件完全接触，以便荷载沿试件宽度方向均匀分布，同时不产生任何扭转应力。抗折强度也可用抗压强度试验机来测定。

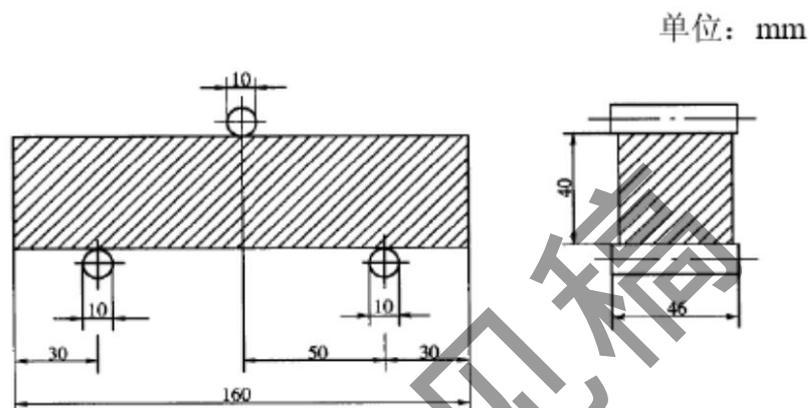


图 A-1 抗折强度测定加荷图

A.2.5 抗压试验机和抗压夹具

抗压试验机的吨位以 200 kN~300 kN 为宜。抗压试验机在较大的 80%量程范围内使用时，记录的荷载应有+1.0%的精度，并具有按 2400 N/s+200 N/s 速率的加荷能力，应具有一个能指示试件破坏时荷载的指示器。压力机的活塞竖向轴应与压力机的竖向轴重合，而且活塞作用的合力要通过试件中心。压力机的下压板表面应与该机的轴线垂直并在加荷过程中一直保持不变的。抗压夹具由硬质钢材制成，受压面积为 40 mmx40 mm。

A.2.6 养护箱或养护室

能保持温度 $20^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度大于 90%，养护水的温度 $20^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

A.2.7 天平

感量为 1g。

A.2.8 其他仪器

烘箱、量筒、拌和工具等。

A.3 材料

A.3.1 水泥

标号为 42.5 的普通硅酸盐水泥,当水泥试样从取样到试验要保持 24h 以上,应将其储存在基本装满和气密的容器中,该容器不能和水泥反应。

A.3.2 煤矸石

试验用煤矸石为对粒径小于 4.75mm 的颗粒进行筛分,按照附表 A.1 中级配进行回配。

表 A.1 试验用煤矸石级配

筛孔 mm	0~0.075	0.075~0.15	0.15~0.3	0.3~0.6	0.6~1.18	1.18~2.36	2.36~4.75
重量 g	60	90	240	390	390	180	150

A.3.3 水

试验用水为饮用水,仲裁试验时用蒸馏水。

A.4 温度与相对湿度

A.4.1 试件成型实验室应保持实验室温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (包括强度实验室),相对湿度大于 50%,水泥试样、煤矸石材料、ISO 标准砂、拌和水及试模等的温度与室温相同。

A.4.2 养护箱或养护室温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$,相对湿度大于 90%,养护水温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

A.4.3 试件成型实验室的空气 (温度和相对湿度在工作期间每天应至少记录一次。养护箱或养护室的温度和相对湿度至少每 4h 记录一次。

A.5 试件成型

A.5.1 成型前将试模擦净,四周模板与底座的接触面应涂黄油,紧密装配,防止漏浆,内壁均匀地刷一薄层机油。

A.5.2 试验前将按级配回配的煤矸石材料拌和均匀，并放入浅盘内，一起放入烘箱内烘干 $8\text{h}\pm 1\text{h}$ ，烘箱温度控制在 $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

A.5.3 水泥与煤矸石的质量比为 1:3，水灰比为 0.6。每成型三条试件需用水泥 $430\text{g}\pm 2\text{g}$ ，煤矸石 $1290\text{g}\pm 5\text{g}$ ，水（258+细料吸水量） $\text{g}\pm 1\text{g}$ 。

A.5.4 将水加入拌和锅内，再加入水泥，把锅放在固定架上并上升至固定位置。然后立即开动机器，低速搅拌 30s 后，在第二个 30s 开始的同时均匀将煤矸石加入，再高速搅拌 30s。停拌 90s，在停拌中的第一个 15s 内用胶皮刮具将叶片和锅壁上的混合料刮入锅中。在高速下继续搅拌 60s，各个阶段时间误差应在 $\pm 1\text{s}$ 内。

A.5.5 将空模和模套固定在振实台上，用适当的勺子直接从搅拌锅中将混合料分为两层装入试模。装第一层时，用大播料器垂直架在模套顶部，沿每个模槽来回一次将料层播平，接着振实 60 次。再装入第二层混合料，用小播料器播平，再振实 60 次。移走模套，从振实台上取下试模，并用刮尺以 90 度的角度架在试模顶的一端，沿试模长度方向以横向锯齿割动作慢慢向另一端移动，一次将超出试模的混合料刮去，并用同一直尺在近乎水平的情况下将试件表面抹平。

A.5.6 在试模上作标记或加字条标明试件的编号和试件相对于振实台的位置。

A.5.7 试验前或更换水泥品种时，须将搅拌锅、叶片和下料漏斗等抹擦干净。

A.6 养护

A.6.1 编号后将试模放入养护箱养护，养护箱内箆板必须水平，水平放置时刮平面应朝上。在成型 20h~24h 后脱模，脱模时要非常小心，应防止试件损伤。

A.6.2 试件脱模后即放入水槽中养护，试件之间间隙和试件标明的水深不得小于 5mm。每个养护池中只能养护同类水泥试件，并应随时加水，保持恒定水位，不允许养护期间全部换水。

A.6.3 养生三天后进行试验，试件应在试验前 15min 从水中取出，抹去表面沉淀物，并用湿布覆盖。

A.7 强度试验

A.7.1 试件应在成型后 72h±45min 内进行强度试验。

A.7.2 抗折强度 试验采用杠杆式抗折试验机以中心加荷法测定抗折强度。试件放入前，应使杠杆成水平状态，将试件成型侧面朝上放入抗折试验机内，试件放入后调整夹具，使杠杆在试件折断时尽可能地接近水平位置。抗折试验加载速度为 50N/s±10N/s，直至折断，并保持两个半棱柱试件处于潮湿状态直至抗压试验。通过杠杆抗折试验机读出抗折压力与抗折强度，并做好记录。抗折强度结果取三个试件平均值，精确至 0.1MPa。当三个强度值中有超过平均值±10%的应剔除后再平均，以平均值作为抗折强度试验结果。

A.7.3 抗压强度试验用抗压夹具进行，试件受压面为试件成型时的两个侧面，面积为 40mm×40mm。试验前应清除试件受压面与加压板间的砂粒或杂物，试件的底面靠紧夹具定位销，断块试件应对准抗压夹具中心，并使夹具对准压力机压板中心，半截棱柱体中心与压力机压板中心差应在±0.5mm 内，棱柱体露在压板外的部分约为 10mm。压力机加荷速度应控制在 2400N/s±200N/s 速率范围内，在接近破坏时严格掌握。抗压强度按式 A.1 计算：

$$R_A = \frac{F_C}{A} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

R_A ——抗压强度，煤矸石材料活性，单位为兆帕(MPa)；

F_C ——破坏荷载，单位为牛顿(N)；

A ——受压面积，40m×40mm=1600mm²。

抗压强度结果为一组 6 个断块试件抗压强度的算术平均值，精确到 0.1MPa。如果 6 个强度值中有一个值超过平均值±10%的应剔除后以剩下的 5 个值得算术平均值作为最后结果。如果 5 个值中再有超过平均值±10%的，则此组试件无效。

A.8 试验结果

以小梁试件 3d 抗压强度试验得出的数据作为煤矸石材料活性指标。若试验中采用的水泥不是普通硅酸盐水泥或者水泥标号不是 42.5，按式 A.2 对试验结果

进行修正。

$$R'_A = \frac{21.46}{R_{3d}} \times R_A \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

R'_A ——修正后的煤矸石材料活性，单位为兆帕(MPa)；

R_A ——抗压强度，煤矸石材料活性，单位为兆帕(MPa)；

R_{3d} ——非 42.5 普通硅酸盐水泥标准胶砂强度试验 3d 抗压强度，单位为兆帕(MPa)。

条文说明

煤矸石材料活性试验中采用标号为 42.5 的普通硅酸盐水泥，其 3d 抗压强度为 21.46MPa。若试验中采用的水泥不是普通硅酸盐水泥或者水泥标号不是 42.5，则需按所使用水泥的 3d 抗压强度对煤矸石材料活性进行修正。

征求意见稿