

固废材料在市政道路基层及底基层中的 应用技术规程

地方标准草案编制说明

2024 年 11 月 1 日

目 录

- 一、工作概况
- 二、规程化制定的必要性及意义
- 三、规程编制原则和确定规程主要内容
- 四、试验验证
- 五、知识产权说明
- 六、采标情况
- 七、预期达到的社会效益，对产业发展的作用等情况
- 八、重大意见分歧的处理
- 九、规程性质的建议说明
- 十、其他应予说明的事项

《固废材料在市政道路基层及底基层中的应用技术规程》

地方规程草案编制说明

一、工作概况

（一）任务来源

为深入贯彻落实自治区党委十三届五次全会精神，推进《关于深入学习贯彻习近平总书记重要指示精神、全面推进新征程生态文明建设、加快建设美丽宁夏的意见》（以下简称《意见》）及环境整治、生态修复、绿色发展、组织保障 4 类专项文件落地落实，根据《自治区市场监管厅关于下达 2024 年生态环境领域宁夏地方标准制（修）订计划的通知》开展标准的编制工作，结合实体工程需求，开展了《固废材料在市政道路基层及底基层中的应用技术规程》地方标准的立项申请，本规程由宁夏回族自治区住房和城乡建设厅提出并归口，计划应完成时间是 2025 年 5 月 31 日。根据行业评审会专家意见，为更加清晰地体现规程应用的范围及场景，将立项名称《市政道路基层及底基层固废应用技术规程》统一修改为《固废材料在市政道路基层及底基层中的应用技术规程》。

（二）起草、协作单位

地方标准承担单位：*****

参与单位：*****

（三）起草组主要成员及其所做的主要工作

组长：*****

主要起草人员：*****

以上人员均参与规程内容的编写，负责采标、制标、修标、征求意见、送审等工作。

（四）主要工作过程

(1)组织召开关于该规程编制的动员会，成立规程编制小组，制定方案，确保编制工作按期完成。为编写该规程，编制组查阅了大量相关资料，结合宁夏工业及道路固废综合处置利用及市政道路工程施工现状，参考以往工程验收经验、技术能力，联合建筑行业监管部门、设计院、知名科研院校、施工龙头企业共同完成。

起草（草案、论证）阶段：编制小组对国内外道路综合固废处置技术应用现状与发展情况进行了全面调研，同时广泛收集和检索了国内外的相关技术文献和资料，进行了大量的研究分析、资料查证工作。结合实际应用经验，进行全面总结和归纳，在此基础上编制《固废材料在市政道路基层及底基层中的应用技术规程》地方标准草案。2023年11月召开了工作组讨论会，经工作组及有关专家研讨后，对规程的草案进行了认真地修改，于2024年1月形成了规程工作组讨论稿及其编制说明。2024年2月底参加了立项评审会，5月收到立项批准通知后，经过编制小组的不断修改和完善，于2024年8月完成了本规程的内审工作。

(2)调研该施工技术在国内外应用发展情况，收集汇总资料，确定编制思路，工作重点、技术方案。

(3)结合宁夏地区已经实施的相关项目，综合分析评价，对重点指标进行试验验证，对工艺方法进行总结提炼。结合在宁夏、山东等地公路工程采用黄土复合固化技术的先进经验，在宁夏市政道路基层及底基层设计中积极应用和不断完善过程中，将固化技术与固废材料高效结合，从而达到绿色、低碳、可持续长寿路面一体化解决方案。

(4)编写地方规程讨论稿，聘请区外专家和宁夏行业内专家进行内部多次讨论论证，最终形成征求意见稿。

二、规程化制定的必要性及意义

“无废城市”建设试点任务是党中央、国务院在打好污染防治攻坚战，决胜全面建成小康社会关键时期作出的重大改革部署。宁夏作为全国试点城市之一，深入贯彻落实党中央、国务院要求，积极探索可复制、可推广的“无废城市”建设经验。根据国办发〔2018〕128号文件的要求，宁夏住房和城乡建设厅经市场调研后发现，工业及道路固废集料可应用于市政道路基层（底基层），而我区尚无工业及废旧路面材料在市政道路基层（底基层）方面应用的规程。结合宁夏地区固化技术应用推广的优势和经验，以提高工业及道路固废应用范围及消纳能力为目的，特编制该规程使工业及道路固废用于道路基层（底基层），同时填补了该项技术的省内地方标准的空白。

大宗固废综合利用是绿色低碳循环经济的重要内容。国家7部委《关于加快推动工业资源综合利用的实施方案》要求：到2025年大宗工业固废综合利用率达57%，其中冶炼渣要达到73%。特别提出在黄河流域，着力促进煤矸石、粉煤灰等固废通过多式联运跨区域协同利用。宁夏地区资源匮乏、工业结构简单，工业固废产量大且固废处理技术方法单一，固废综合利用率相对较低，消纳能力严重不足，粉煤灰和煤矸石存量最大，尤其是市政道路废旧材料在无害化处置方面，还有所欠缺。截至2023年初工业固废累计堆存量约1.7亿吨，年新增堆存量近5000万吨，目前综合利用率仅为45%，与“十四五”大宗工业固废综合利用指导意见中提出的固废综合利用率达到60%仍然有一定差距。综合固废现仍以水泥基材料为主，针对水泥高耗能、高污染、高排放等缺陷，结合我区2021年发布的《自治区“十四五”科技创新发展规划》《自治区工业固体废物综合利用管理办法》等关于工业废渣处置与资源化综合利用相关要求，现提出与城市道路固废处理技术相匹配的新型施工技术以及评价规程，制定《固废材料在市政道路基层及底基层中的应用技术规程》为适应城市道路发展的需要，使城市道路路基工程设计符合安全适用、技术经济合理的要求，提高工业及道路固废资源的综合利用，减少环境污染，促进合规工业及道路固废在市政道路

工程中的应用，确保市政道路建设的质量，制定本规程。

传统工艺有水泥作为胶凝材料的固化方式用于道路基层、底基层，对砂砾及碎石的需求量大，且成本较高。寻找砂砾、碎石的替代材料成为工作目标，选取工业及道路固废作为替代材料由于不同工业固废材料的物理、化学性质差别极大，因此同一固化材料在不同场地的固化效果相差很大，不同固化剂有不同的适用范围。因此有必要制定针对宁夏地区的市政道路工程固废固化技术的应用技术规程，指导市政道路工程固废固化技术的设计与施工，提升市政和城乡建设工程质量，促进环境保护和可持续发展。

粉煤灰作为一种电厂的燃料废渣，是很多企业的痛点，大量的粉煤灰需要占用大面积的土地进行堆放，粉煤灰的粉尘造成周边环境严重污染。随着各行各业对粉煤灰的开发和利用，特别是近几年全国高速公路的迅猛发展，粉煤灰在道路工程中的利用率越来越高，使粉煤灰“变废为宝”，不但使工程造价大大降低，而且在节约土地、环境保护方面更是意义深远。粉煤灰在施工过程中压缩变形较大，压实后的粉煤灰的压缩性小，后期变形较小，能减少建成后路堤的沉降量；因为粉煤灰是一种多孔颗粒材料，其透水性好，固结快，往往雨后台水量仍在最佳含水量左右，便于雨后尽快恢复施工。粉煤灰的众多优越性，在路基填筑施工中逐渐得到大范围推广使用。

煤矸石是一种常见的工业固体废弃物，其主要成分是煤炭的残留物。煤矸石弃置不用，会占用大片土地。煤矸石中的硫化物溢出或浸出更会污染大气、农田和水体。受资源禀赋、能源结构、发展阶段等因素影响，砂石料供应保障等困难和问题凸显，但公路和市政道路建设逐年增加，优质筑路材料短缺，亟须寻求新的筑路材料替代品。宁夏地区无烟煤伴生产生的煤矸石，具有密度大、硬度高，耐风化的特点，且洗煤厂排出的煤矸石级配良好，料源丰富，可代替砂石集料成为优良的筑路材料。在道路基层及底基层施工建设中，煤矸石可作为一种廉价、环保材料，提高筑路结构层的强度和耐久性。

道路固废属于非可再生资源，如果不加以处理利用，会对环境造成严重的污染。而道路固废作为道路基层、底基层集料使用，不仅可以将道路固废高附加值应用，还能有效保护自然环境和生态系统。将道路固废与固化剂配合使用，是一种既环保又经济的有效方法。不仅可以实现道路固废的循环利用水平，同时提高道路结构层的承载能力和抗渗能力，降低路面工程的成本。因为道路固废集料的硬度较高，不易磨损和变形，能够有效防止路面出现裂缝、坑洼等问题，延长路面使用寿命。

三、规程编制原则和确定规程主要内容

（一）规程编制原则

本规程依据现行公路行业相关规范、规程、技术规程、指南等文件参考编制，遵循“面向市场、服务产业、自主制定、适时推出、及时修订、不断完善”的原则，注重规程修订与技术创新、试验验证、产业推进、应用推广相结合，本着先进性、科学性、合理性和可操作性以及规程的目标、统一性、协调性、适用性、一致性和规范性的原则来进行本规程的制定工作。

（二）规程主要内容

《固废材料在市政道路基层及底基层中的应用技术规程》地方标准主要由三个部分组成，分别是《粉煤灰混合料》《煤矸石混合料》和《道路再生混合料》。三个部分分别详细阐述了工业及道路固废综合处置应用和施工技术的规范性文件。本规程编制遵循中华人民共和国国家规程 GB/T 1.1-2020 规程化工作导则第 1 部分：规程化文件的结构和起草规则的原则，主要技术内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、材料、质量控制及验收。具体技术内容及依据说明如下：

1. 范围

该部分说明本文件的制订大纲及适用范围。本文件适用于市政道路的主干路、次干路和支路，不适用于市政道路快速路。（城市道路工程设计规范 CJ37）

2. 规范性引用文件

该部分列出了本文件参考过的国家、行业或地方规程。基于以下三个方面的考虑，列出了该文件引用的主要文件：一是充分利用现行国家、行业规程中相关内容，避免新规程内容上的重复、冗杂；二是地方规程中名词术语定义、技术要求等内容建立的前提是满足相应国家、行业规程规范要求；三是充分结合宁夏回族自治区现有地方规程的要求，与宁夏回族自治区地方特色保持一致。

GB/T 14685 建设用卵石、碎石

GB/T 29162（煤矸石分类）

GB/T 50640 建筑与市政工程绿色施工评价规程

GB/T 50743 工程施工废弃物再生利用技术规范

GB 50988 有色金属工业环境保护工程设计规范

GB 51286 城市道路工程技术规范

CJJ 1 城镇道路工程施工与质量验收规范

CJJ 169 城镇道路路面设计规范

JGJ/T 498 施工现场建筑垃圾减量化技术规程

JTG E42 公路工程集料试验规程

JTG/T F20 公路路面基层施工技术细则

JTG F80/1 公路工程质量检验评定规程 第一章 土建工程

DB13(J)T 8472（建筑垃圾再生产品应用技术规程—河北）

DB11/T 999（城镇道路建筑垃圾再生路面基层施工与质量验收规范）

HJ1091 固体废弃物再生利用污染防治技术导则（重金属析出）

3. 术语和定义

本部分列出了煤矸石混合料、粉煤灰混合料、道路再生混合材料的术语和定义。

4. 材料

本部分主要列出了煤矸石混合料、粉煤灰混合料、道路再生混合材料等原材料的技术要求。

4.1 一般规定

本部分列出了固废再生料的生产、包装、运输的要求以及固废再生料在堆放过程中的分类要求。

4.2 粉煤灰混合料

起草组在充分了解市政道路基层（底基层）施工中的基本要求后，经过多次抽样检测、文献资料调研、室内粉煤灰基混合料试样生产、中试、工业化生产，同时参考国家规程 GBJ 146《粉煤灰混凝土应用技术规范》，最终确定了使用高钙粉煤灰砖制定高钙粉煤灰基市政道路基层的技术要求，见规程文本表 1 数据具体论证阐述，如下：

1)外观；灰色、粉末状

粉煤灰的主要成分是二氧化硅（ SiO_2 ）和三氧化二铝（ Al_2O_3 ），其总含量一般超过 70%，氧化钙（ CaO ）含量在 2%~6%内被称作硅铝粉煤灰（见图 1）。氧化钙（ CaO ）含量在 10%~40%被称为高钙粉煤灰（见图 2）。



图 1 硅铝粉煤灰



图 2 高钙粉煤灰

2) 氧化钙含量：

起草组针对宁夏地区的马连台、枣全、京能、西夏热电厂四大地区较为典型的样品进行相关物理参数如下图所示。检测结果如下所示：

表格 1 粉煤灰氧化钙含量

Method:X_UQ		X-ray Path:Vacuum	
Kappa List:Any Sample		Film Type:None	
Shape&ImFc:Teflon		Collimator Mask:29mm	
Calculated as:Oxides		Viewed Diameter=29.0mm	
View Area=660.52mm ²		View Mass=11563.75mg	
Sample Name	Compound		Wt. %
Malian Tai	CaO		5.92
Zao Quan	CaO		5.01
Jing Neng	CaO		5.81
Xi Xia	CaO		3.88

宁夏地区的氧化钙含量小于 10%，大部分集中在 6%左右，样品偏离度相对较低，仅西夏区粉煤灰氧化钙含量为 3.88%。

表格 2 粉煤灰物理性能指标

	细度	烧失量	密度	含水量	游离 CaO	氯离子	SO ₃	安定性
马#1	46.1	5.43	2.19	7.9	1.46	0.03	6.02	1.5
枣#2	91.1	12.55	2.45	21.5	1.69	11.04	11.04	2.5
京#3	66.0	5.77	2.13	9	1.39	4.66	4.66	3.5
西#4	55.4	5.66	2.32	10.5	1.53	6.71	8.11	2.5

起草组针对材料宁夏地区几个较为典型的粉煤灰样品进行检测，检测结果如表 2 所示，统计数值结合应用场景相关技术要求，最终确定了本文件中对于粉煤灰的物理技术指标。

表格 3 粉煤灰选择试验数据统计

分类	掺量	实验室生产状态		工业生产状态		粉煤灰二次加工状况
		状态观测	7d 强度指标	状态观测	7. d 强度指标	
高钙粉煤灰	3.0	成型	≥2.0	成型	1.5	可批量加工
	6.0	成型	≥3.0	成型	2.5~3.0	可批量加工

	9.0	成型	≥ 3.5	成型	≥ 2.5	可批量加工
硅铝粉煤灰	3.0	不成型	/	不成型	/	可批量加工
	6.0	成型	≥ 1.5	不成型	/	可批量加工
	9.0	成型	≥ 2.0	不成型	/	可批量加工

（JTG/T F20 公路路面基层施工技术细则）

3)最佳含水率、最大干密度

起草组搜集宁夏地区几个较为典型的电厂进行取样分析，采用四分法取样分析。四种材料的密度、含水率如下所示：

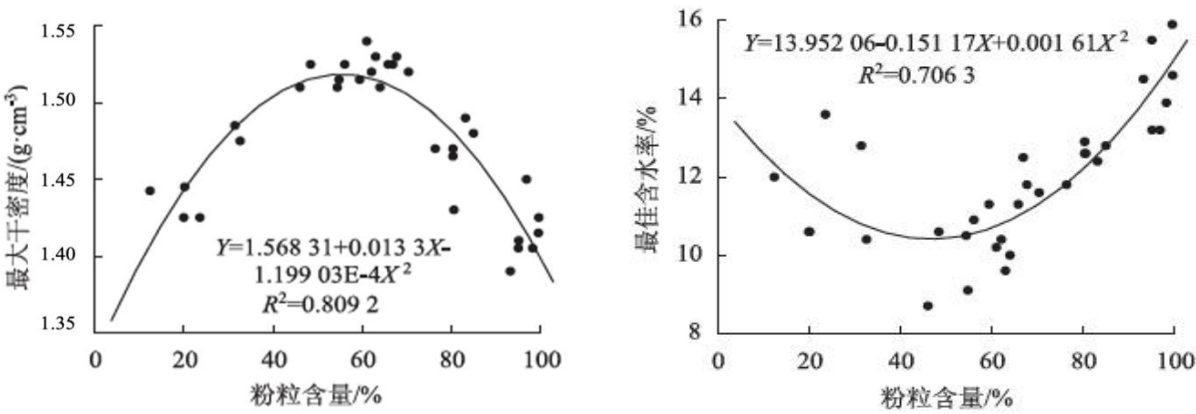


图 3：素样最佳含水率、最大干密度

可以看出，材料的最佳含水率范围在 9～16 之间，最大干密度范围在 1.45～1.55 之间，密度和含水率分布如下所示。

表格 4 马莲台

密度	1.486	1.534	1.536	1.536	1.472
含水率	10.1	12.2	14.1	15.6	17.8

表格 5 鸳鸯湖

密度	1.453	1.48	1.484	1.482	1.442
含水率	9.8	12.3	13.9	15.3	17.7

表格 6 枣泉

密度	1.736	1.779	1.772	1.658	1.572
含水率	7.6	9.4	11.2	13.1	14.9

表格 7 西夏热电厂

密度	1.483	1.507	1.519	1.503	1.451
含水率	9.7	11.6	13.7	15.5	17.5

起草组针对宁夏较为典型的四个电厂，开展干密度和含水率的试验，样品偏离度较低。起草组基于试验统计数值，结合既往经验，最终确定了本文件中煤基超硬质改性沥青的技术指标。

1)原材料质量主控项目

标准文本中，“原材料验收检查主控项目”中参数具体论证阐述，如下：

为使研究成果具有代表性、普遍性，本文件以宁夏地区马莲台、枣全、京能、西夏热电厂为代表，进行了数十次取样比对。起草组基于粉煤灰性能特点，结合公路路面基层施工技术细则《JTG-T-F20》中的相关技术指标要求，采用四步法对粉煤灰样品进行跟踪检测，检测频率和质量偏离度统计如下表：

表格 8 样本偏离度

频 率	变 异 系 数			
	马莲台	枣全	京能	西夏热电厂
500	2.9%	2.8%	2.9%	2.9%
1000	3.8%	3.4%	3.1%	3.5%
1500	4.0%	4.1%	4.4%	4.5%
2000	4.3%	4.4%	4.5%	4.7%
2500	9.6%	9.1%	9.2%	9.4%
3000	13.5%	13.1%	13.9%	13.3%

2) 细度

高钙粉煤灰细度分布统计结果见表 2。

高钙粉煤灰细度作为添加剂对 7d 无侧限抗压强度产生显著的影响，细度越细，无侧限抗压强度越高，且试样的变异性呈下降趋势。说明细度会直接影响材料反应面积，增加高钙粉煤灰的粘结强度。由于单掺粉煤灰无法形成有效强

度，试验以 6%水泥作为基底。当于细度大于 2600 时，粉煤灰对成型试样的强度影响幅度明显减少，对材料工作性能提升明显，成型试样变异系数越低，材料稳定性越高。（见下表）但实际生产作业通过压铸成型而非自然成形，综合考虑造价和材料力学性能，本规范约定煤灰细度大于 2600。

表 9 粉煤灰细度试验

细度	流动度	无侧限抗压强度 Mpa	95. 保证率代表值	变异系数%
1700	170~190	3.2	3.1	8.91
2000	185~225	4.1	3.9	6.92
2300	195~225	5.8	4.7	5.46
2600	230~250	7.0	6.5	4.33
2900	255~290	7.4	6.8	3.33
3200	280~310	8.3	7.5	3.01

3)力学性能指标

起草组结合《城镇道路工程施工与质量验收规范 CJJ 1》中市政道路的主干路、次干路、支路部分开展相关比对分析。起草组参考 CJJ 1 中水泥稳定类基层中水泥稳定土类粒料中对于掺量的约束，以水泥、石灰类常规材料作为固化剂对粉煤灰进行固化，掺量为 4%~8%（对标水泥细粒土最小掺量 4%）。强度分布结果见表 3。

表 10 基层抗压强度统计表

固化剂类型	变异系数	平均值	最小值	最大值	1/4 位值	3/4 位值
4. 水泥	0.05	4.86	4.3	5.5	4.4	4.8
6. 水泥	0.08	5.06	3.8	5.7	4.8	5.5
8. 水泥	0.10	5.45	4.2	6.2	5.1	5.8
4. 石灰	0.06	5.1	3.7	6.0	5.2	5.1
6. 石灰	0.06	5.9	4.5	7.4	5.7	6.1
8. 石灰	0.07	6.46	5.0	7.5	6.3	7.0

统计结果显示，石灰—粉煤灰结合效果明显优于水泥—粉煤灰的固化效果。随着外加剂掺量的增加，材料的变异系数增加，整体稳定性逐渐降低，一方面原因是掺量增加造成的稳定性减弱；另一方面，掺量增加难免出现拌和不均匀的情况，反应速率不同造成同配比试样具有一定的偏差。

表 11 底基层抗压强度统计表

固化剂类型	变异系数	平均值	最小值	最大值	1/4 位值	3/4 位值
3. 水泥	0.03	3.33	3.0	3.7	3.3	3.5
4. 水泥	0.03	3.83	3.5	3.9	3.4	3.6
5. 水泥	0.04	4.45	4.1	4.9	4.4	4.4
3. 石灰	0.04	3.70	3.5	4.0	3.6	3.8
4. 石灰	0.05	4.37	3.9	4.3	4.0	4.1
5. 石灰	0.06	4.69	4.3	4.9	4.4	4.5

考虑到基层技术指标要求相比较基层低，起草组在基层基础上下调 1%的固化剂掺量。综合两种较为典型的凝胶材料，4.5Mpa、3Mpa 数值分别作为 7d 标养条件下基层和底基层的力学指标阈值，采用限制最大指标时需满足小于 3/4 位值要求，限制最小指标时需满足大于 1/4 位值要求。起草组基于试验统计数值，结合既往经验，最终确定了本文件中城镇道路中轻、中、重交通的相关技术指标。起草组针对传统固化剂（单掺）在不同掺量下的力学强度进行汇总，结果如下：

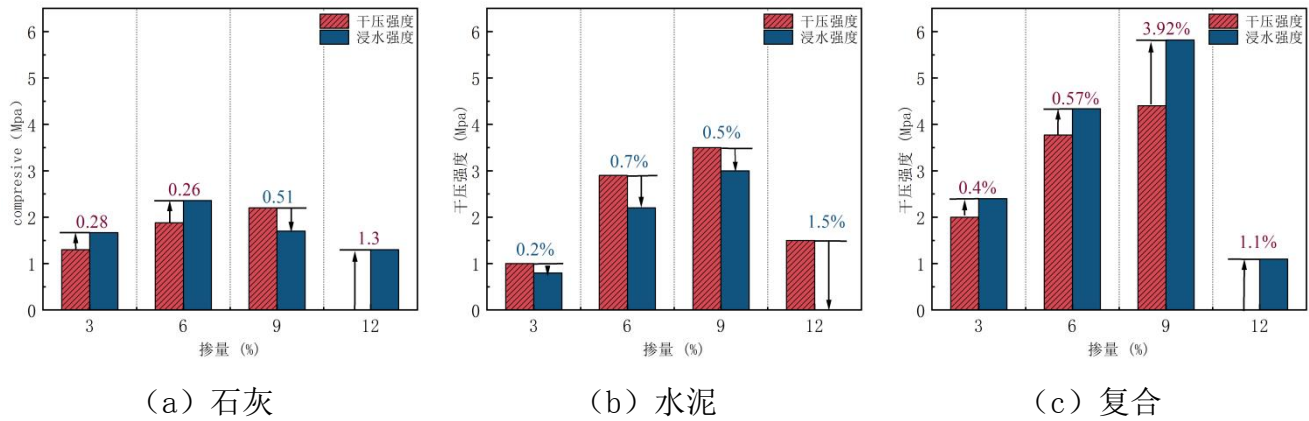


图 4：单掺、复合固化在不同掺量下的力学强度

通过汇总可以发现，对于单一掺量下的常规固化而言，石灰、水泥等传统固化技术之间（后文统称为 AE 固化方案）的力学强度特征相似，材料数据偏离度较低，耐水能力较差；对于复合固化方案而言（后面统称为 FG 固化方案）力学强度指标差距较大，材料力学指标偏离度较高，且耐水能力较强，且浸水强度明显优于干压强度。测定结果表明，单掺量粉煤灰固化材料的抗压强度指标之间的数值差距不大，误差浮动在 5%以内，为了使比对结果更加直观，起草组就常见单掺固化材料和复合固化材料进行比对分析，柱状图上端通过误差棒进行说明，材料如下所示：

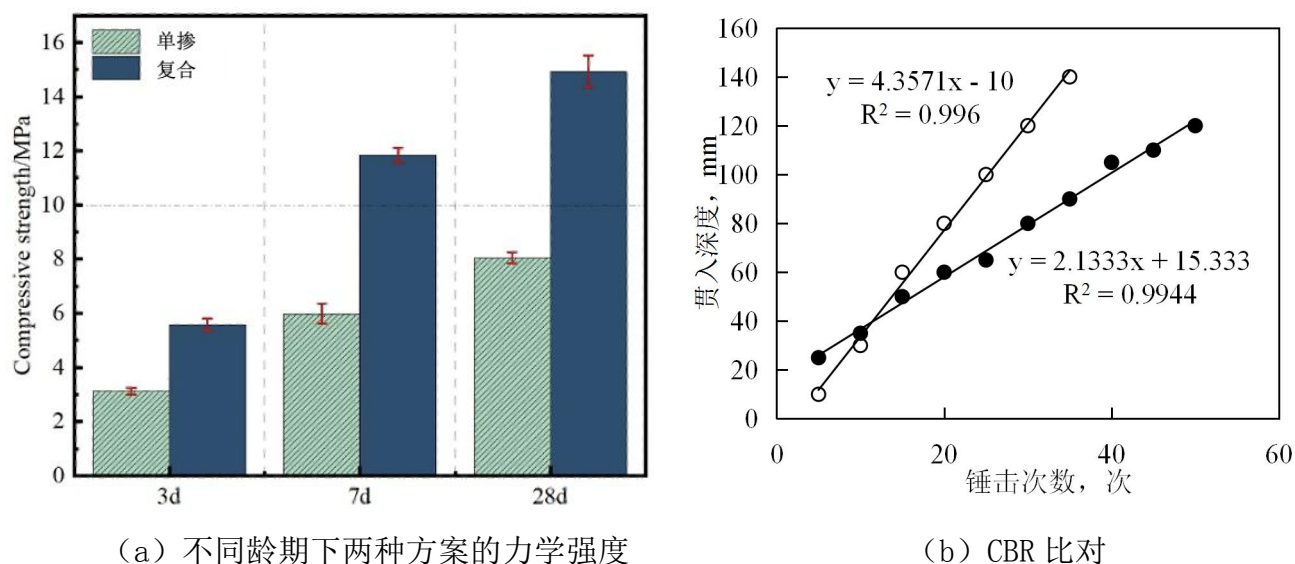


图 5：单掺、复合两种方案在不同龄期力学强度比对

起草组针对宁夏地区素样粉煤灰分别进行单掺（以水泥、石灰为典型代表的绿色柱状图）和复合基（有机与或非无机按一定配比掺加组成的蓝色柱状图）进行标准无侧限抗压试验（6d+12h 泡水），结果表明，绿色柱状图误差较低，整体强度在 3~7.9Mpa 之间，复合固化的样本偏离度较高，强度在 5~14Mpa 之间，起草组综合考虑单掺和复合两种方案的力学强度范围，并参考市政道路设计规范 CJJ-169 中对于市政道路轻、中、重交通荷载等级分类，约定了市政道路等级划分及性能指标（规范表 4）。

(4)压实度说明（压实度比公路工程要求更低）

起草组测定，样品素样粒径 $<0.05\text{mm}$ ，属于细粒土范围。现行规范《城镇道路路面设计规范》CJJ169-2012 仅对集料类半刚性基层进行了压实度和 7d 无侧限抗压强度规定，而缺少对于细料相关技术指标的约定。起草组针对细料类粉煤灰基稳定材料进行压实度、抗压强度的相关试验，试验结果如下：

表格 12 压实度与抗压强度关系

层 位	次干路、支路		主干路	
	压实度 (%)	抗压强度 (Mpa)	压实度 (%)	抗压强度 (Mpa)
上基层	≥ 96	2.0~3.0	≥ 95	1.5~2.0
	≥ 94	2.3~3.1	≥ 93	1.7~2.2
	/	/	≥ 93	1.7~2.3
下基层	≥ 93	1.3~1.8	≥ 92	0.8~1.3
	≥ 92	1.5~1.9	≥ 91	1.0~1.5
	≥ 92	1.5~1.9	≥ 90	1.0~1.5

试验结果表明，粉煤灰基材料可达到的极限压实度为 96%，且压实度到达 91%后抗压强度受压实度影响明显减弱。对比于 CJJ169 中水泥粉煤灰稳定类材料的压实度与 7d 龄期抗压强度和石灰粉煤灰稳定类材料的压实度与 7d 龄期抗压强度，粉煤灰基材料可在较低压实度达到相应的强度要求，综合分析、讨论之后，最终确定了粉煤灰基材料的压实度和抗压强度指标要求。

(5)耐久性试验

耐冻融能力：

粉煤灰的冻融试验采用的是无结合料稳定材料的抗冻性评价方法，以 28d 龄期的稳定土经过 5 个冻融循环后的饱水抗压无侧限强度与冻前保水无侧限抗压强度之比来评价。图 4- 6 为两种方案稳定土在每次冻融循环后的样品状态，图 4- 7 为稳定土每次冻融循环后的质量倍率变化。现象表明，在 3 次循环以后，AE 稳定土试件出现浸泡发胀的现象，表面变得颗粒疏松，出现裂缝；而 FG 稳定

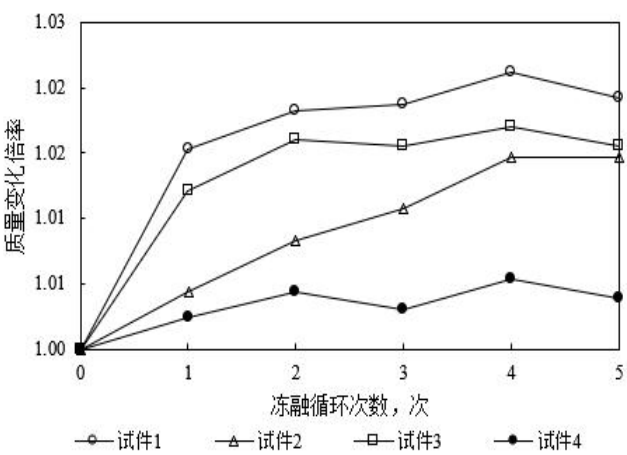
土则表现相对稳定，在第四次循环后才出现表面损伤和微细裂缝。



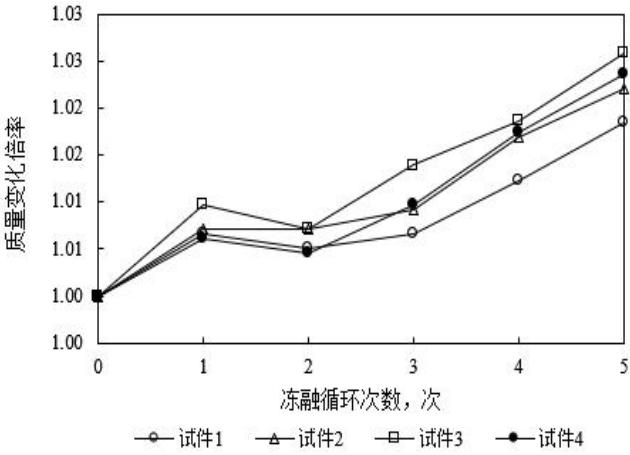
图 1 粉煤灰试件冻融循环图解

循环 1 次 循环 2 次 循环 3 次 循环 4 次 循环 5 次

力学强度统计数据表明，针对粉煤灰，常规固化剂单掺效果相似，统计表明数值误差较低，为了使数据和统计更加简洁、直观，起草组分别针对单掺、复合两种固化思路分别进行耐久性试验，由于作用层级为路面基层，结合宁夏当地的地理环境特点，本文采用耐水性、抗冻融能力作为粉煤灰材料的耐久性指标。两种方案的冻融指标如下所示：



(a) 单掺固化粉煤灰



(b) 复合固化粉煤灰

从而可以看出，FG（复合）稳定试件尽管吸水，但其质量倍率保持在

1.02 以下，试件冻融带来得到结构性破坏不至于快速发展；而 AE（单掺）稳定的质量变化率相对单调增长，4 次循环后，质量变化率大于 1.02，试件容易导致结构性整体性破坏。最终 5 次循环后，AE 方案和 FG 方案的质量变化率（ W_n ）分别为-2.2%、-0.4%，说明 FG 方案提供了更好的抗冻性。

冻融试件无侧限强度表明，FG（复合）稳定在 5 次冻融循环之后，仍能保留 0.85MPa 的强度，相对于未冻融试件，强度保持率 BDR 为 51.2%；而此时的 AE 稳定土仅能保留 0.25MPa 的强度，试件颗粒斑驳，靠土体中的沥青颗粒黏结维持，强度保持率 BDR 为 38.6%。结合试件质量变化情况，可以说明 FG（复合）固化方案的稳定方案在抵抗冻融能力上有着比 AE（单掺）更好的效果。

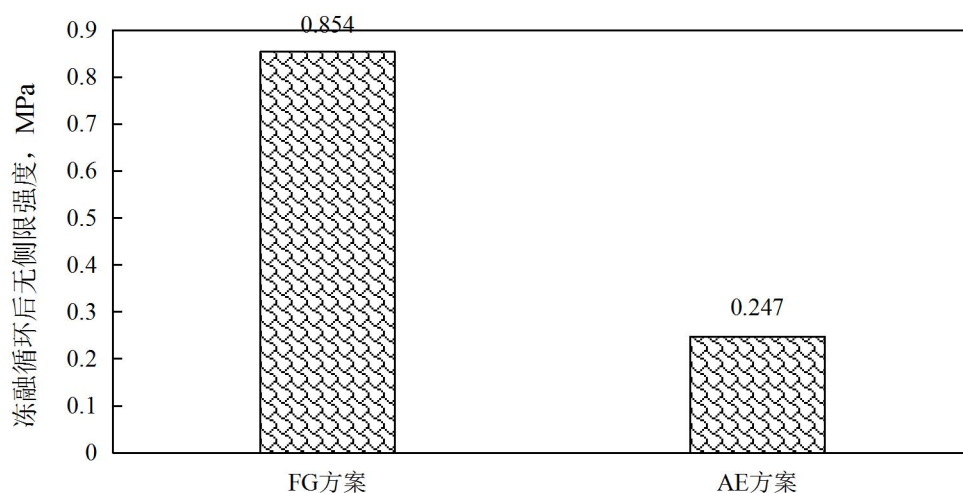


图 2：冻融后无侧限抗压强度

耐水能力：

水稳定性是粉土稳定中的关键性质。图 3 表明，AE 稳定土在 3d 时的水稳系数即能达到 0.9，大于 FG 稳定土水稳系数 0.728；但是随着养生时间的增长，水稳系数有所降低，7d 之后的水稳系数变化幅度趋于稳定，远小于 0-7d 之前的变化。因此，对于两种方案的稳定土，7d 的养生是保障水稳定性的必要条件。

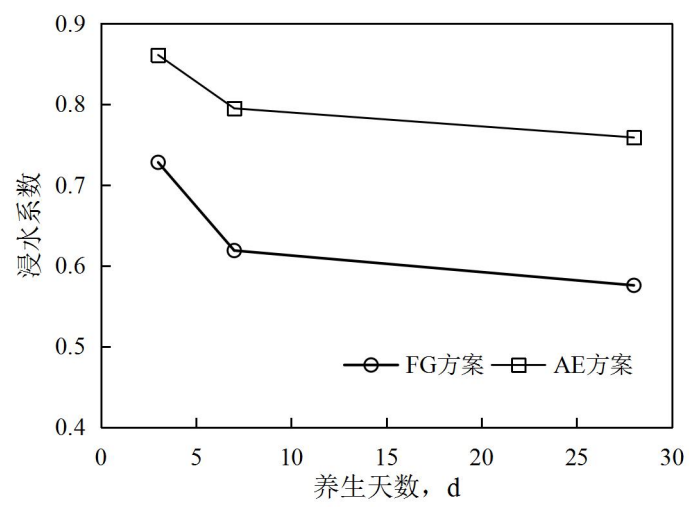


图 3: 不同方案水稳定性

4.3 煤矸石混合料（煤矸石利用技术导则）

起草组在充分了解煤矸石生产工艺的基础上，经过多次抽样检测、文献资料调研、室内球磨机生产、厂拌中试、工业化生产，同时参考国家标准《公路路基设计规范》（JTG D30）、《公路路基施工技术规范》（JTG F10）、《建筑材料放射性核素限量》（GB 6566）中对路基施工中的填料、压实度、含水量等具体要求。以《煤矸石综合利用技术政策要点》作为针对煤矸石综合利用的政策文件，作为其在道路建设中的应用指南。

1) 外观；黑色、块状

煤矸石的颜色主要取决于其中的碳质和矿物成分，通常呈现灰色、黑灰色、深灰色或黑色。与煤炭相比，煤矸石的黑色调较淡，颜色更接近灰色。局部呈红褐色或黄褐色：一些煤矸石在氧化后会呈现红褐色或黄褐色，尤其是经过风化或长期暴露在空气中的部分。煤矸石的表面一般较为粗糙，并且由于内部含有气孔，整体质地较为疏松、硬度较低，通常容易破碎，具有一定的脆性。



图3 处理前煤矸石



图4 处理后煤矸石

2) 粒度

煤矸石的粒度可以根据不同应用需求调整，自然状态下：10 毫米到 100 毫米。粗粒：公称最大粒径不宜超过 31.5mm，压碎值根据城镇道路的主干路、次干路、支路制定性能指标。细集料应满足公路路面煤矸石基层施工技术规范

DB61/T1730-2023。煤矸石原材料伴生大量如页岩、石英、长石、黏土矿物等杂质，线级配并不合理，可通过筛选加工的方式筛除部分杂质，使材料级配曲线更加合理（如图 1 所示）。

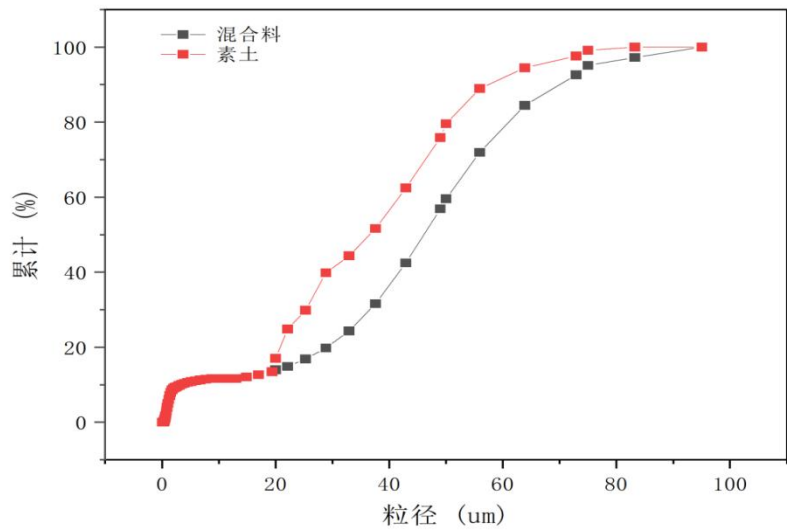


图 1 煤矸石二次加工前后级配曲线

煤矸石的粒度通常根据工程或加工要求进行定制，以达到最佳的使用效果。受到设备和操作人员影响，工业二次加工后材料状态与实验室生产状态具有一定差异，为此，起草组在每档筛孔尺寸通过率基础上对基层、底基层约定了不同的通过率要求。

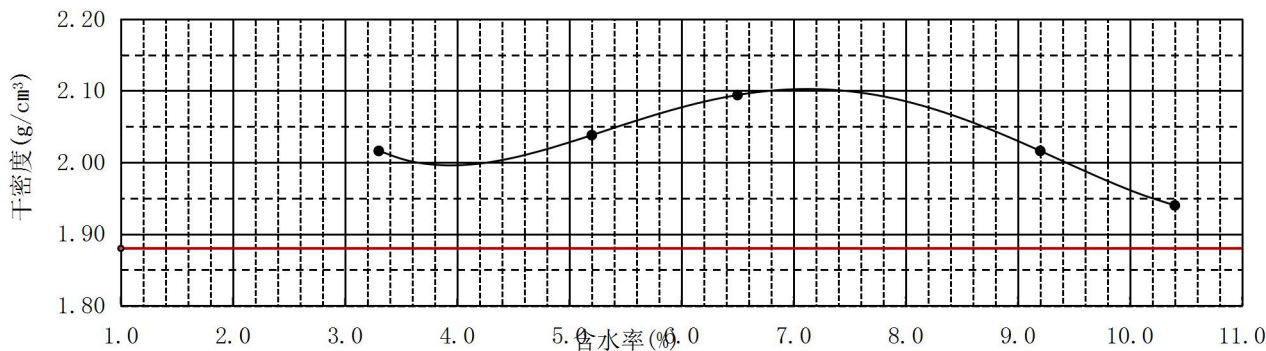
表格 13 煤矸石二次加工后集料级配范围

煤矸石筛 孔尺寸 mm	实验室生产状态		工业生产状态	煤矸石二次加工状况
	状态观测	通过率%	状态观测	
31.5	存在大量杂质颗粒	100~90	/	不宜批量加工
26.5	存在大量杂质颗粒	100~84	/	可批量加工
19	体系基本呈均匀状态	91.72	存在大量杂质颗粒	可批量加工
16	存在杂质颗粒，杂质进一步减少	86.67	体系基本呈均匀状态	可批量加工
13.2	存在杂质颗粒，杂质进一步减少	81.62	体系基本呈均匀状态	可批量加工
9.5	体系呈均匀状态	74.54	体系基本呈均匀状态	可批量加工
4.75	体系呈均匀状态	60.40	/	可批量加工
2.36	体系呈均匀状态	44.24	/	可批量加工

1.18	体系呈均匀状态	33.15	/	可批量加工
0.6	体系呈均匀状态	25.9	/	可批量加工
0.075	体系均匀	10.2	/	可批量加工

3)粉磨后煤矸石最佳含水率、最大干密度

本地标对煤矸石材料的定义分为两类，一类为煤矸石粗集料，指的是可以满足压碎值要求的煤矸石素样，作为填充石料直接使用；第二类为煤矸石细集料，对于压碎值不满足标准约定的煤矸石式样，通过粉碎作为填充料使用。经测定，煤矸石粗集料的天然含水率范围在 2%~18%之间，粉磨过后的细集料煤矸石击实后的最佳含水率和最大干密度如下图所示：



图表 2 粉磨后煤矸石

4)放射性要求

起草组参考煤矸石为原料生产的建材产品所应用的国家、行业标准。对用于生产建材产品的煤矸石应进行放射性测量，原料符合 GB9196—88 标准，制品中放射性元素含量符合 GB6763—86 标准。综合分析、讨论之后，最终确定了煤矸石的相关技术要求。

5)杂质含量

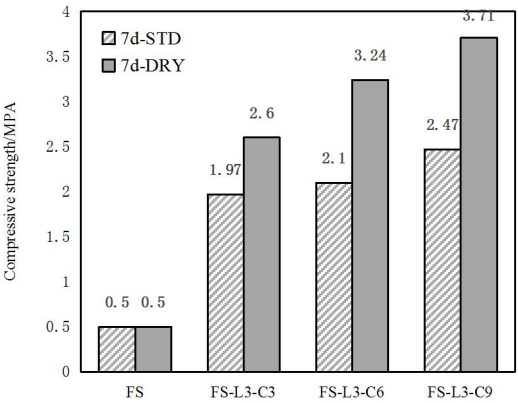
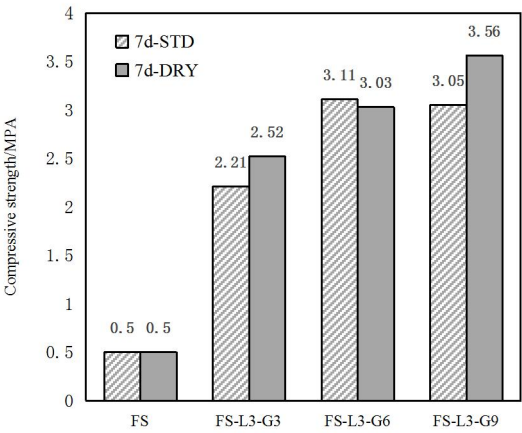
煤矸石是煤炭开采和洗煤过程中排出的固体废弃物。它是一种矿石类废物。杂质主要由煤炭中的无机杂质如页岩、石英、长石和黏土矿物组成。杂质含量越多，二次加工后的煤矸石粉末稳定性越差，见表 3。

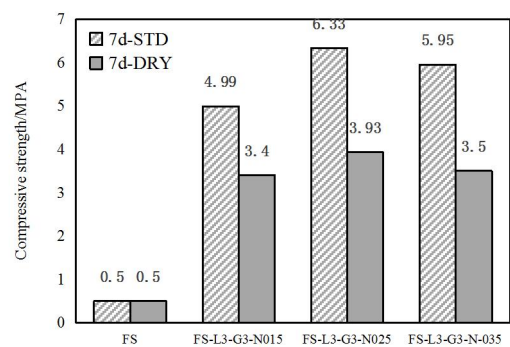
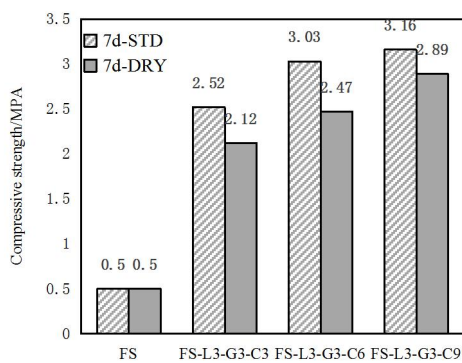
表格 14 不同杂质含量下煤矸石状态

杂质含量/%	贮存稳定性离析，48h 差/%	二次加工（球磨）过程前后状态
5	0.5	粉磨前后状态一致，分散较好，均匀
10	1.2	粉磨后与常规粉剂混合后，分散均匀
15	12.7	粉磨后杂质较多，有大量沉淀

6)力学指标

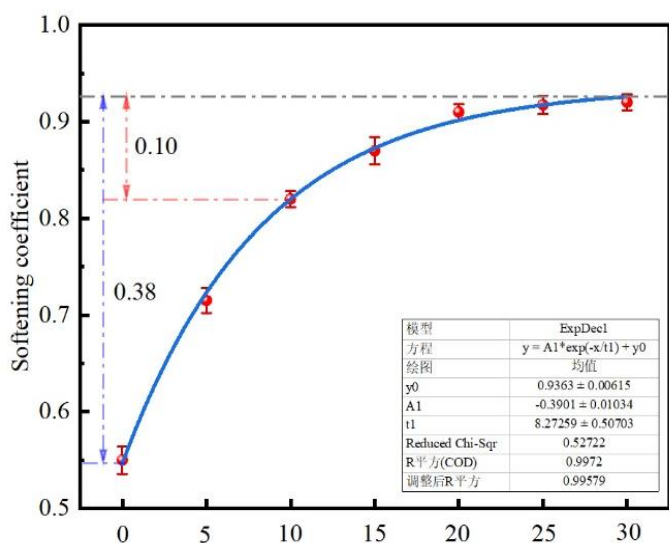
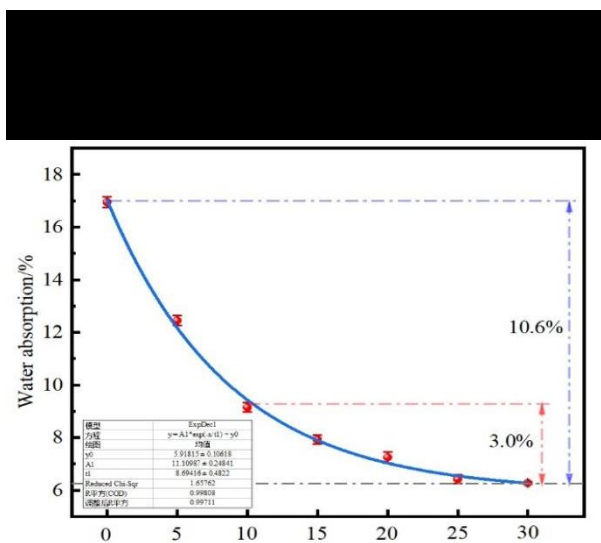
FS 为无外掺级添加的煤矸石试样，虽有一定强度，但并不具备耐水能力，浸水强度前后相同。为了进一步说明煤矸石的力学性能，起草组参考相关文献中煤矸石常规固化配方，以煤矸石素样作为对照组，对于试件的命名规则为：原状素土为 FS，掺加固化剂的固化土试块以掺加材料类型以及掺量命名，如 FS-L3-G3-C6 表示为煤矸石原样+3%重量比石灰+3%重量比矿粉+6%重量比的水泥；FS-L3-G3-N015 表示为煤矸石原样+3%重量比石灰+3%重量比矿粉+1.5%硅酸钠（水玻璃）。





综合以上几种较为典型的固化后煤矸石试样浸水前后的强度变化规律，起草组分别针对城市主干路、次干路、支路中基层和低基层按照交通量的大小进行规定，其中，以无机复合试样的下限约定为城镇道路次干路、支路中轻交通的力学强度指数指标；以硫酸钠有机无机复合作为城镇道路主干路中、中交通的力学强度指标。

7) 耐久性



表格 15 软化系数表征煤矸石掺量对试样耐水性影响

试验时发现软化系数、吸水率与矿渣粉掺量的关系分别近似于对数、指数函数模型，数据拟合后相关系数均大于 0.99，每组数据标准差均小于 0.05，拟合度较高对优化制品耐水性有指导意义。由图 7 可以看出，随固化剂掺量增加，软化系数逐渐增大，吸水率逐渐减小。一方面是由于引入固化剂可促进地聚反应，生成的 CGGP、ATt 和 AFm 等水化产物使试样更加密实；另一方面是由于煤

矽石粉和粒径不同，二者混合能够形成粉料二级配置粗细颗粒间相互填充，优化粉料堆积结构降低空隙率。当固化剂掺量从 0%提高至 30%，试样吸水率下降 10.6%，软化系数提高 0.38，而固化剂掺量从 10%提高至 30%，吸水率下降 3.0%，软化吸水提高 0.10，试样耐水性能的提高仅为前者的三分之一，因此从 4%掺量起，继续提高固化粉剂掺量对试样耐水性能提高较小，且固化粉剂掺量 10%时，吸水率为 9.2%，软化系数为 0.82 已满足普通环境下护坡砖吸水率不超过 15%，软化系数不低于 0.8 的要求。从提高煤矽石利用率和保证制品耐水性考虑，固化粉剂掺量宜在 4%~6%。

4.4 道路再生混合料

1) 外观；粉末状

道路再生集料是指城市道路及公路工程在新建、改扩建过程中产生的且满足一定物理指标的水泥稳定类铣刨料、拆除的道路构造物破碎料。其主要由无机物和少量有机物组成，通常无机物占比 90%以上，并非所有道路再生材料都可以被直接使用于市政道路中，起草结合现有试验结果和市政道路路用性能要求对道路再生材料进行物理性能指标约定。对于符合相关指标要求的材料通过粒径分为固废粗集料和固废细集料。约定中，经过破碎、筛分、分拣后粒径大于 4.75mm 的固废集料为固废粗集料、小于 4.75mm 的为固废细集料。

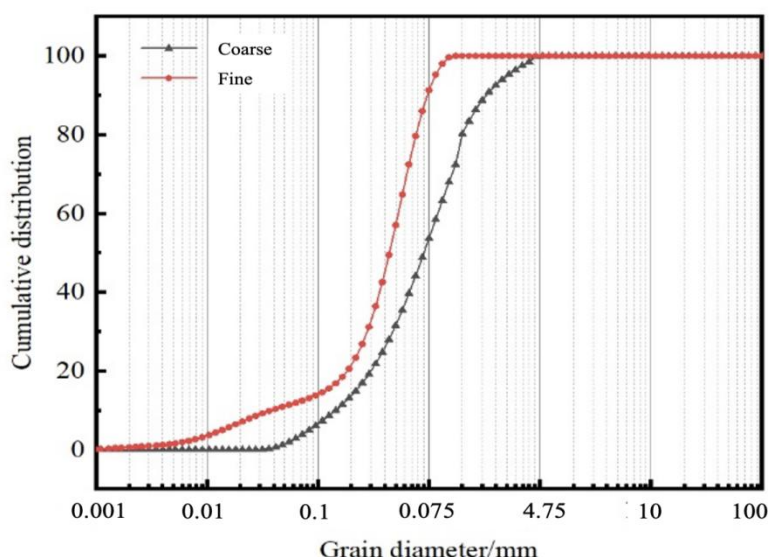
2) 道路固废集料技术指标

固废集料参考《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》（JTG 3441），使用应符合下表：

表格 15 固废集料使用规定

分类	>4.75mm 颗粒含量%	<0.075mm 颗粒含量%	说 明
I	≥20	<50	可应用
II	≤20	50~80	处理后可用
III	—	80.100	不得用于集料加工

此外，粗集料和细集料的应用还应符合如下标准，标准文本中粗、细集料参数具体论证阐述如下：为使研究成果具有代表性、普遍性，本文件选择多种宁夏地区常用的城市道路及公路工程在新建、改（扩）建过程中产生的水泥稳定类铣刨料、拆除的道路构造物及桥梁混凝土破碎料为代表。起草组对几种不同的道路固废集料进行取样，激光粒度分析结果如下图所示。综合而言，道路固废细集料和粗集料质量中位数在 4.75mm，道路固废材料由于含有大量无机结合料，粒径布点较密集，粗细料的差距并不大，起草组借鉴无机结合料规范中对粗细集料的分界依据，以 4.75mm 作为数据采集上限，4.75 后不再做更多细化分级。



表格 16 道路固废材料粗、细集料激光粒度分析

结合 GB/T50743 工程施工废弃物再生利用技术规范中对集料的技术指标要求，对再生集料的压碎值、针片状含量、砂当量、塑性指数等指标进行检测，起草组分别针对道路固废材料粗集料、道路固废细集料进行技术约定。

道路再生材料粗集料：公称最大粒径不宜超过 37.5mm，技术指标及应用层级如下所示：

表格 16 市政道路路面基层、底基层再生集料粗集料技术指标

技术指标	结构层	技术要求		试验方法
		快速路、主干路	次干路、支路	
杂物含量%	基层	≤1	≤6	附录 A、附录 B
	底基层			
混凝土块含量%	基层	≥40	≥35	
	底基层	≥35	≥30	
压碎值%	基层	≤45	≤50	JTG3432
	底基层	≤50	≤55	
针片状含量%	基层	≤20		
	底基层			

道路再生混合细集料：道路固废细集料应洁净、干燥、无风化、无杂质，并有适当的颗粒级配。对 0~3 mm 和 0~5 mm 的细集料应分别严格控制大于 2.36 mm 和 4.75 mm 的颗粒含量。对 3~5 mm 的细集料应严格控制小于 2.36 mm 的颗粒含量。

表格 17 市政道路路面基层（底基层）混合细集料技术指标

技术指标	技术要求	试验方法
砂当量%	≥ 40	JTG 3432(T0334)
0.075mm 以下材料的塑性指数	≤ 17	JTG 3430(T0118)
有机质含量%	< 2	JTG 3432(T0313)

综合考虑道路固废粗集料和细集料的相关技术要求，起草组初步采用 75% 的合格率数值作为道路固废粗集料、细集料的指标阈值，采用限制最大指标时需满足小于 3/4 位值要求，限制最小指标时需满足大于 1/4 位值要求，起草组基于试验统计数值，结合既往经验，按照道路基层、底基层最终确定了本文件中道路固废集料的相关物理技术指标。

表格 18 道路再生集料技术指标

项目	单位	平均值	最小值	最大值	1/4 值	3/4 值
杂物含量	%	3	0.5	1.5%	1.8%	2.8*
混凝土块含量	%	41	30	70	38	50
压碎值	%	44	27	60	40	45

针片状	%	20	17	23	18	22
砂当量	%	40	33	62	38	45
0.075mm 以下塑性指数	/	20	13	24	15	20
有机质含量	%	2	2	2	2	2

3)固化剂集料级配

起草组针对宁夏道路再生混合材料粒度对固化后混合材料性能的影响，做了对比分析，有关检测数据统计如下表所示。基于固化后混合料的工作性、稳定性，结合工业生产工艺情况，最终确定固化剂稳定道路再生混合料级配范围如下：“表 5 固化剂稳定道路再生集料级配范围”中参数论证阐述：

表格 19 道路固废集料级配范围

钻孔尺寸	通过率	示例 1	示例 2	示例 3	示例 4	示例 5
53	%	100	100	100	100	100
37.5	%	90.100	80.100	70.100	60.100	50.100
9.5	%	50.100	40.100	30.100	20~90	10~90
4.75	%	30~80	25~85	20~85	15~85	10~90
0.6	%	5~45	8~45	15~45	19~45	26~45
0.075	%	0~10	0~15	0~17	0~20	0~22
抗压强度	%	0~5.0	1.0~6.0	0~5.5	0~4.5	/

考虑到样品稳定性以及不同级别的强度范围，决定采用示例二级配，道路固废稳定材料的抗压强度标准应符合表 20 要求。

表格 20 道路固废混合料 7d 无侧限抗压强度

市政道路等级	结构层	中、重交通	轻交通
城市快速路、主干路	基层	4.0~6.0	3.0~5.0
	底基层	3.0~5.0	2.0~4.0
次干路	基层	2.5~4.5	2.0~4.0
	底基层	2.0~4.0	1.0~3.0

当交通荷载等级为重、特种交通或结构安全要求高时，推荐取值上限强度标准。用于城镇道路主干路、次干路、支路底基层的固废集配集料 CBR 强度应不小于 60%。设计步骤如下：

a) 级配设计应以实际工程使用的材料为对象，根据推荐的级配范围构造 3~4 条试验级配曲线，通过配合比试验，优化级配；

b) 固化剂稳定道路固废混合料配合比应采用重型击实或振动成形试验方法，确定最佳含水率和最大干密度；

c) 应按试验确定的级配和最佳含水率，以及现场施工的压实标准成形试件，进行 CBR 强度试验和回弹模量试验；

d) 应选择 CBR 强度最高的级配作为工程使用的目标配合比，并确定相应的最佳含水率。主干路、次干路、支路底基层的固废集配 CBR 强度不小于 60%。

e) 混合料目标配合比设计技术要求、混合料生产配合比设计技术要求应符合现行标准 JTG/T F20 的相关规定；

f) 应采用重型击实试验方法确定不同固化剂掺量下的固化剂固化固废混合料的最佳含水率和最大干密度；

g) 按规定的压实度计算不同固化剂掺量试件的干密度；

h) 制备固化剂稳定道路固废混合料试件，试件尺寸 $\Phi 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ ，试件数量不少于 9 个；

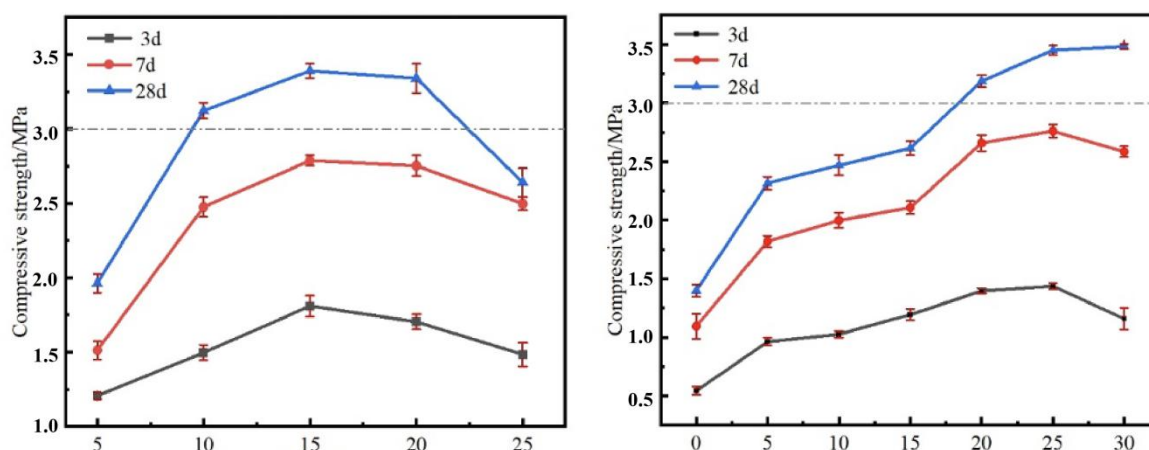
i) 试件养护和抗压强度测定应按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 执行；

k) 抗压强度平均值 R 应满足下式 1，当试验结果的变异系数大于表 10 中规定值，应重做试验。

4) 力学性能指标

结合现行规范以及起草组对道路固废材料取样分析可知，道路固废材料以无机结合料为主，主体包括钙质粉煤灰、矿粉，胶结料以水泥为主，粉碎后石块杂质含量较低，常规无机胶凝材料即可实现固化，起草组以水泥、二灰两种常用固化材料作为胶结料对道路固废材料分别开展固化，起草组为探究道路固废材料强度变化趋势以及力学性能上限，胶结料以水泥为例（胶结料可选范围

包括但不限于水泥、石灰、石灰），掺加比例范围为 5%~40%（如果强度峰值已出现，则不再继续增加胶结料掺量），压实成型，套袋养生，培养龄期为 3、7、28d。并以此为基础提出相关力学技术指标要求，不同龄期下的力学指标如下图所示：



表格 17 道路固废材料在不同龄期下的抗压强度表现

图 17 试样不同龄期抗压强度曲线，可以看出高掺量的强度增长明显提高，这主要是因为：一方面，道路固废材料中 Si/Al 比较低，引入水泥会增加体系内 Al 占比，更多的 Al 代替 Si 进入 SiO_4 中形成硅铝酸盐，比单纯的硅酸盐结构具有更高的稳定性和强度；另一方面，水泥引入的 Ca 可与 Si 生成低钙硅比的 C-A-S-H 凝胶，可以作为地聚合物凝胶的成核中心，促进地聚反应， Ca^{2+} 也可以作为二价平衡电荷，与三维网络状地聚合物凝胶镶嵌在一起，提高体系稳定性。当水泥类无机材料掺量大于 20% 后，试样 28d 抗压强度增长速率变缓，且试样 3d、7d 抗压强度较 25% 掺量下降，3d 抗压强度组的标准差为 0.93 相比其他组偏大，这是由于水泥，高碱环境下快速反应生成大量水化产物，覆盖未水化颗粒表面，阻止进一步凝聚反应，且水泥含量高的局部会过早硬化，导致试样内部不均匀，强度下降。因此，水泥掺量为 5%~25% 时较为合理，掺量为 20% 时 28d 抗压强度达到 31.8MPa，为强度增长率峰值点。综合考虑施工造价，推荐使用水泥基无机类材料的掺量为 4%~10%。

五、知识产权说明

该项标准无涉及相关知识产权。

六、采标情况

本标准编制过程中，持续收集相关法律法规、政策文件、标准等相关资料。

（一）法律法规

- (1) 《标准出版发行管理办法》
- (2) 《市场监管行业标准管理办法》
- (3) 《市场监管行业标准制定管理实施细则》
- (4) 《中华人民共和国标准化法》
- (5) 《中华人民共和国标准化法实施条例》
- (6) 《行业标准管理办法》

（二）政策文件

- (1) 中共中央、国务院《国家标准化发展纲要》
- (2) 中共中央、国务院《国家创新驱动发展战略纲要》
- (3) 中共中央、国务院《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》
- (4) 中共中央办公厅、国务院办公厅《“十四五”文化发展规划》
- (5) 《宁夏回族自治区推动高质量发展标准体系建设方案（2021 年—2025 年）》
- (6) 《2021 年全区一般工业固体废物资源综合利用工作方案》（宁节能资源办发〔2021〕1 号）
- (7) 《宁夏回族自治区一般工业固体废物综合利用项目管理办法》（宁工信规发〔2023〕4 号）

（三）标准规范

本技术规范为首次起草的宁夏回族自治区地方标准，参照国内外相关规范和标准。

GB/T1.1 《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》

GB/T 20000 《标准化工作指南》

GB/T 20001 《标准编写规则》

GB/T 20002 《标准中特定内容的起草》

GB/T 20003 《标准制定的特殊程序》

GB/T 3100 《国际单位制及其应用》

本技术规范采用以下行业及地方标准：

GB 6566 《建筑材料放射性核素限量》

HJ 1091 《固体废物再生利用污染防治技术导则》

JGJ 63 《混凝土用水标准》

JTG 3430 《公路土工试验规程》

JTG E51 《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》

JTG E60 《公路路基路面现场测试规程》

CJJ 137 《城市道路工程设计规范》

CJJ 194 《城市道路路基设计规范》

CJJ 169 《城镇道路路面设计规范》

CJJ 1 《城镇道路工程施工与质量验收规范》

JTG/T F20 《公路路面基层施工技术细则》

CJ/T 486 《土壤固化外加剂》

JTG/T D31-05 《黄土地区公路路基设计与施工技术规范》

DB61/T 1160 《道路用建筑垃圾再生材料加工技术规范》

DB4110T 6-2020 《建筑垃圾再生集料道路基层应用技术规范》

DB61 / T-1175-2018 《建筑垃圾再生材料公路应用设计规范》

T/CECS 737—2020 《道路固化土应用技术规程》

DB61/T 1147-2018 《陕西省道路用建筑垃圾再生细集料技术规范》

DB61/T 1730-2023-3 《陕西省公路路面煤矸石基层施工技术规范》

DB13(J) / T 8385-2021 《河北省全固废高性能混凝土应用技术标准》

DB32/T 4060-2021 《江苏省建筑垃圾再生骨料路面基层应用技术标准》

DB34/T 4098.3-2022 《安徽省建筑固废再生作道路材料应用技术规程》

这些标准的制定与实施提供了工业及建筑固废固化再生材料基层施工的相关指标，这些标准的实施都取得了良好的环境生态效益。

（四）与国家标准的关系

与本文件密切相关的法律及政策文件有：《交通运输部关于印发《绿色交通“十四五”发展规划》的通知》（交规划发〔2021〕104号）、《宁夏回族自治区推动高质量发展标准体系建设方案（2021年—2025年）》《2021年全区一般工业固体废物资源综合利用工作方案》（宁节能资源办发〔2021〕1号）、《宁夏回族自治区一般工业固体废物综合利用项目管理办法》（宁工信规发〔2023〕4号）。本文件符合上述法律及政策文件的要求。

目前已颁布实施的相关国家标准有 JTG E51《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》、JTG E42《公路工程集料试验规程》、CJJ194《城市道路路基设计规范》、CJJ169《城镇道路路面设计规范》、CJJ4-97《粉煤灰石灰类道路基层施工及验收规程》、CJ/T486《土壤固化外加剂》、DB61/T 1160《道路用建筑垃圾再生材料加工技术规范》。本文件与行业标准相辅相成，共同指导煤矸石、粉煤灰、道路固废材料在宁夏地区的规模化应用。

相同点：本文件中固化剂、混合料技术指标检测方法大部分采用了行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》（JTG E51）中规定的方法；集料试验则采用了《公路工程集料试验规程》（JTG E42）中规定的方法；现场检测、工程管理与验收则参考了《公路路基路面现场测试规程》（JTG 3450）、《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1）相应规定。

不同点：CJJ194《城市道路路基设计规范》、CJJ169《城镇道路路面设计

规范》规定了城镇道路不同等级道路技术要求。此两项标准中涉及的固化剂与本文件中的固化剂不一样，在混合料指标阈值方面也不一样。

本文件对原材料、混合料设计、施工、质量控制等方面均做了规定。

七、预期达到的社会效益，对产业发展的作用等情况

2023 年，全区水泥、混凝土、砖瓦等固废利用企业利用粉煤灰、煤矸石、脱硫石膏等工业固废约 3600 万吨，同比增加 510 万吨。现提出与市政道路固废处理技术相匹配的新型施工技术以及评价规程，使城市道路路基工程设计符合安全适用、技术经济合理的要求，提高工业及道路固废资源的综合利用，减少环境污染，促进和规范工业固废在市政道路工程中的应用，确保市政道路建设的质量，提升市政和城乡建设工程质量，促进环境保护和可持续发展。培育道路工程资源综合利用技术骨干，推进资源、技术、资金、人才等资源要素向资源综合利用产业集聚，相关产业可带动当地就业，为美丽宁夏建设贡献力量。

（一）固化粉煤灰混合料基层经济效益分析

1、成本节约

原材料方面，宁夏粉煤灰存量较大，利用其作混合料可减少购买传统基层材料费用。与购买新石料相比，粉煤灰成本低，若建设一定规模道路基层，能大幅降低采购成本。运输成本降低，因其可就地取材，相比从远处运输石料等材料，可节省运输开支。

2. 环境效益转化的经济效益

减少粉煤灰堆存处理成本，目前大量粉煤灰堆存需占地管理，用于基层可节省费用。而且减少因粉煤灰堆存造成的污染治理成本，间接创造经济价值。

3. 施工与长期效益

施工中，其良好和易性可减少机械磨损和能源消耗，降低施工成本。

从长期看，能为道路提供稳定支撑，在宁夏的交通条件下，延长道路大修周期，减少维修成本，提高道路使用寿命和经济效益。

预算分析对比表

结构层名称	单位	估算成本价（元）	估算每公里造价（万元）
水泥稳定碎石底基层（厚 18cm）	m ²	54.92	1000*28*54.92=154 万
固化粉煤灰底基层（厚 18cm）	m ²	37.90	1000*28*37.90=106 万
水泥稳定碎石基层（厚 18cm）	m ²	57.67	1000*28*57.67=161 万
固化粉煤灰基层（厚 18cm）	m ²	38.66	1000*28*38.66=108 万
即路面基层每公里可节约造价约 101 万元			

（二）固化煤矸石混合料基层经济效益分析

1. 资源利用效益

宁夏煤矸石产量大，将其固化用于基层，成本远低于传统材料。可减少煤矸石堆放场地建设和管理成本，包括防止自燃、雨水冲刷等处理费用，同时节省土地资源成本。

2. 环保经济价值

避免煤矸石对环境的破坏，减少因环境恶化导致的周边土地价值下降、生态修复成本等，提升区域整体价值，产生经济收益。

3. 施工和产业协同效益

施工时，其透水性等特性有助于排水，减少道路积水损害，降低维修成本。而且促进煤炭和道路建设产业协同，煤炭企业减废，道路建设企业得低成本材料，推动地区经济发展。

预算分析对比表

结构层名称	单位	估算成本价（元）	估算每公里造价（万元）
水泥稳定碎石底基层（厚 18cm）	m ²	54.92	1000*28*54.92=154 万
固化煤矸石底基层（厚 18cm）	m ²	38.45	1000*28*38.45=107 万
水泥稳定碎石基层（厚 18cm）	m ²	57.67	1000*28*57.67=161 万
固化煤矸石基层（厚 18cm）	m ²	39.22	1000*28*39.22=109 万
即路面基层每公里可节约造价约 97 万元			

（三）固化道路再生混合料基层经济效益分析

1、成本降低

利用旧路面材料、建筑垃圾等固废，减少废弃物处理成本和新材料采购成本。旧路面材料再利用节省破碎加工成本，建筑垃圾利用也降低了原材料开支。

2. 资源与环境效益

减少对天然砂石等资源依赖，缓解资源压力，避免因资源短缺导致的价格上涨成本。同时减少固废对环境的污染，节省环境治理费用。

3. 施工与社会经济效益

施工中，旧路面材料的级配特性利于压实，提高施工效率，降低机械使用和时间成本。而且创造就业机会，如固废收集、加工环节，提升地区形象，吸引投资，促进经济发展。

预算分析对比表

结构层名称	单位	估算成本价（元）	估算每公里造价（万元）
水泥稳定碎石底基层（厚 18cm）	m ²	54.92	1000*28*54.92=154 万
固化道路固废底基层（厚 18cm）	m ²	46.05	1000*28*46.05=128 万
水泥稳定碎石基层（厚 18cm）	m ²	57.67	1000*28*57.67=161 万
固化道路固废基层（厚 18cm）	m ²	46.98	1000*28*46.98=131 万
即路面基层每公里可节约造价约 56 万元			

八、重大意见分歧的处理

无。

九、标准性质的建议说明

本标准 of 宁夏市政道路施工建设领域首次编制的道路基层及底基层固废应用技术规范，需各方面进行逐步修订和完善，建议为推荐性标准。待本标准批准发布后，建议由标委会及交通行业主管部门组织相关生产、检验、施工、设计等有关单位进行宣贯。

十、其他应予说明的事项

无。