

中国交通运输协会团体标准

公路水泥稳定煤矸石基层施工技术规范

编制说明

邯郸中建恒质工程项目管理有限公司

中路高科（北京）公路技术有限公司

二零二叁年 九月

目 录

1.任务来源，起草单位，写作单位，主要起草人	3
1.1 任务来源	3
1.2 起草单位，协作单位，主要起草人	3
2.制定标准的必要性和意义	3
3.主要工作过程	5
4.制定标准的原则和依据，与现标准行法律、法规、标准的关系	5
4.1 制定标准的原则和依据	5
4.2 与现标准行法律、法规、标准的关系	6
5.主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述	6
5.1 主要条款的说明	6
5.2 主要技术指标、参数、试验验证的论述	7
6.重大意见分歧的处理依据和结果	25
7.采用国际标准和国外先进标准的，说明采标程度，以及与国内外同类标准水平的对比情况	25
8.作为推荐性标准建议及其理由	25
9.贯彻标准的措施建议	25
10.其他应说明的事项	25

1.任务来源，起草单位，写作单位，主要起草人

1.1 任务来源

根据中国交通运输协会下达的《关于 2022 年度中国交通运输协会团体标准申报工作的通知》文件精神，为进一步落实指导水泥稳定煤矸石基层材料应用，规范与保证材料的建设质量和使用效果，中国交通运输协会正式批准立项《公路水泥稳定煤矸石基层施工技术规范》（团体标准），合同登记号：

S&T-CCTAS-2023-3-2。

中国交通运输协会标准化技术委员会提出并归口。

1.2 起草单位，协作单位，主要起草人

起草单位：邯郸中建恒质工程项目管理有限公司、中路高科（北京）公路技术有限公司。

协作单位：交通运输部公路科学研究院、邯郸市交通运输局、河北工程大学。

主要起草人：边建民、白良义、蔡燕霞、左小林、路凯冀、王金柱、李冷雪、刘逢涛、弓社强、黄前龙、吕达仁、聂继超、高颖、平树江、续竞台、庞俊杰、王玮巍、白云霄、常帅帅。

2.制定标准的必要性和意义

公路基础设施建设需要消耗大量砂石资源，近年随着对天然砂石资源的限制开采，现有的砂石资源难以满足公路建设需求，给工程带来了诸多困难与挑战。煤矸石作为我国排放量最大的工业固体废弃物之一，堆存量近 50 亿吨，且仍然在以每年亿吨以上的速度增加，堆存量极大。然而国内煤矸石的利用率却较低，大部分未经处理直接采用就近堆积的方式处理，产生诸多安全和环境污染问题，对煤矸石进行科学处理和资源化利用已成为急需解决的重大问题。而将煤矸石用于铺筑公路路面基层，实现规模化、高值化利用，消化存量，无疑是拓宽煤矸石应用范围，解决上述矛盾问题最直接、有效的途径。

目前在水泥稳定煤矸石铺筑路面基层方面已经有了一定的研究基础和应用实例，但尚未形成完整的技术应用体系和成套的质量标准控制依据，亟待建立公路水泥稳定煤矸石基层施工技术规范，从原材料要求、混合料设计、混合料施工、施工质量控制多个方面出发，形成相应的技术规范。

开展资源综合利用是我国深入实施可持续发展战略的重要内容。根据我国

“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见，大宗固体废弃物量大面广、环境影响突出、利用前景广阔，是资源综合利用的核心领域。为了进一步提升大宗固废综合利用水平，全面提高资源利用效率，推动生态文明建设，促进高质量发展，提出以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入贯彻党的二十大精神，坚定不移贯彻新发展理念，以全面提高资源利用效率为目标，以推动资源综合利用产业绿色发展为核心，加强系统治理，创新利用模式，实施专项行动，促进大宗固废实现绿色、高效、高质、高值、规模化利用，提高大宗固废综合利用水平，实现大宗固废“资源化、减量化、无害化”，助力生态文明建设，为经济社会高质量发展提供有力支撑。

当前我国对固废煤矸石的处理方式多处于较低水平，固废煤矸石量大面广、环境和安全问题影响突出，急需实现对煤矸石的减量化、资源化、高值化利用。煤矸石材料组成成分较为复杂，各地区之间存在一定差异，进而对其性能产生较大影响。对煤矸石压碎值、耐崩解系数、烧失量等原材料技术指标的控制，以及混合料配合比组成设计与施工技术要求是应用煤矸石的技术难点。目前煤矸石多用于填筑公路路基，通过相关试验验证和实体工程应用，取得了良好的应用效果，并形成了相关标准或技术指南，而在公路水泥稳定煤矸石基层方面虽进行了一些研究和应用，但尚未形成完整的技术应用体系和成套的质量标准控制依据，亟待建立公路水泥稳定煤矸石基层施工技术规范，从原材料要求、混合料设计、混合料施工、施工质量控制多个方面出发，形成相应的技术规范。

煤矸石作为良好的筑路材料应用于铺筑公路路面基层，利用前景广阔。目前公路水泥稳定煤矸石基层应用技术已达到一定规模和成熟度，通过编制《公路水泥稳定煤矸石基层施工技术规范》，系统提出煤矸石用于公路基层的原材料技术指标、混合料设计、混合料施工、施工质量控制等方面的技术要求，从而为煤矸石在水泥稳定基层中的应用提供技术支撑。推动公路建设采用煤矸石代替传统砂石材料，减少矿山开采，节约天然砂石资源，降低公路路面基层工程造价；解决煤矸石堆积所引起的生态环境污染及安全问题，改善生态环境质量，支撑生态文明建设；提升大宗固废煤矸石资源化利用水平；规范、指导煤矸石在公路基层中的应用，为其在公路路面基层中的科学利用奠定理论基础，为水泥稳定煤矸石基层工程建设提供参考依据。

3.主要工作过程

本规范制订项目起止时间为2023年4月至2024年3月。主要工作过程如下：

第一阶段：立项阶段（2023年4月～2023年5月）：组织标准编写组，根据协会标准管理办法，编制规范申报书，参加立项申报会，完成项目立项。

第二阶段：大纲阶段（2023年6月～2023年7月）：收集国内外相关资料，在了解国内实施煤矸石应用于公路工程方面的相关经验、技术和应用现状的基础上，确定水泥稳定煤矸石基层的技术指标和设计方法，编制工作大纲、标准草稿、编制说明等大纲文件。召开规范大纲评审会，形成会议纪要，根据会议意见修改完善大纲阶段文件并上报协会。

征求意见稿阶段（2023年8月～2023年10月）：根据大纲文件，开展相关调研和研究分析工作，完成征求意见稿草稿、编制说明、调研报告等文件。召开征求意见稿评审会，形成会议纪要，根据会议意见修改完善征求意见稿阶段文件并上报协会。利用社会资源采取纸质文件、网络、组织专家会审等形式广泛征求有关方面专家意见，对征求意见进行汇总整理，进一步调整、完善征求意见稿。

第三阶段：技术审查阶段（送审稿）（2023年11月～2023年12月）：完成送审稿草稿、编制说明、意见汇总处理表、调研报告等技术审查文件，组织召开技术审查会，形成会议纪要，根据意见修改完善形成报批稿并上报协会。

第四阶段：符合性审查阶段（报批稿）（2024年1月～2024年3月）：完成报批函、报批稿草稿、编制说明、调研报告、意见汇总处理表、标准简要说明等报批文件，组织召开审查会，形成会议纪要，根据意见修改完善形成最终报批稿，对文件汇总整理，按协会要求提交标准报批稿相关资料。

4.制定标准的原则和依据，与现标准行法律、法规、标准的关系

4.1 制定标准的原则和依据

本标准编制遵循我国标准体系，借鉴了国内其他相关标准、规范，在吸收国内外先进的研究成果和工作经验的机会上，严格按照GB/T1.1《标准化工作导则第一部分：标准的结构和编写》的要求进行编制，具有先进性、合理性和适用性。标准的各个方面均遵循国家有关标准和行业标准，达到可应用、规范化的目的。

该标准编制工作由邯郸中建恒质工程项目管理有限公司和中路高科（北京）公路技术有限公司牵头，交通运输部公路科学研究院、邯郸市交通运输局、河北

工程大学等单位共同参编完成。标准主要参考了以下标准：

GB/T 1.1 标准化工作导则第一部分：标准的结构和编写

GB/T 14685 建筑用卵石、碎石

GB/T 14684 建筑用砂

GB/T 29162 煤矸石分类

GB/T 29163 煤矸石利用技术导则

GB/T 35986 煤矸石烧失量的测定

GB 175 通用硅酸盐水泥

GB 5749 生活饮用水卫生标准

JTG/T F20 公路路面基层施工技术细则

JTG D50 公路沥青路面设计规范

JTG 3430 公路土工试验规程

JTG E42 公路工程集料试验规程

JTG E51 公路工程无机结合料稳定材料试验规程

JTG 3450 公路路基路面现场测试规程

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准

4.2 与现标准行法律、法规、标准的关系

经调研，本标准制定的原则遵循国家有关标准政策，符合现行的有关法律、法规、规章的要求，与相应国家标准相匹配，具有协调一致性。

5.主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述

5.1 主要条款的说明

《公路水泥稳定煤矸石基层施工技术规范》主要由范围、规范性引用文件、术语和定义、原材料要求、混合料设计、混合料施工、施工质量控制等组成，涉及煤矸石应用于路面基层的材料、设计、施工、检测评价等内容。标准主要章节框架和-content如下：

- 1 范围
- 2 规范性引用文件
- 3 术语和定义
- 4 原材料要求

- 4.1 一般规定
- 4.2 煤矸石
- 5 混合料设计
 - 5.1 一般规定
 - 5.2 混合料技术要求
- 6 混合料施工
 - 6.1 一般规定
 - 6.2 混合料拌和与运输
 - 6.3 混合料摊铺与碾压
 - 6.4 养生及交通管制
- 7 施工质量控制
 - 7.1 一般规定
 - 7.2 材料检验
 - 7.3 施工过程检测
 - 7.4 质量检查
- 5.2 主要技术指标、参数、试验验证的论述
 - 5.2.1 原材料要求

(1) 压碎值

压碎值用于衡量石料在外部荷载作用下抵抗压碎的能力，反应材料力学性能。

通过文献调研：

2013 年柴亚南通过煤矸石路基填料分级标准及沉降特性研究，对全国 40 多个矿区煤矸石压碎值指标的调查结果见下表。

省份	产地	压碎值（%）
安徽	港口一矿	28.05
	港口二矿	28.30
	淮南矿区煤矸石	26.10
	淮南潘一矿	22.65
	淮南谢一矿	22.64
	淮南孔集矿	22.73
	淮南望峰岗选煤厂	22.67
	淮南谢三矿（东）	22.65

	淮南李一矿	22.64
	淮南李咀孜	22.73
	淮南谢三矿（西）	22.67
	淮南谢二矿	22.65
	淮南谢三矿（南）	22.64
	淮南谢三矿（北）	22.73
吉林	蛟河矿区（已燃）	44.40
	蛟河矿区（未燃）	37.70
	九台矿区	39.40
	珥春矿区	28.70
	道清矿区	21.30
	辽源矿区	32.60
	湾沟矿区	26.50
	刘房子矿区（已燃）	38.30
	刘房子矿区（未燃）	33.10
江苏	徐州权台新矿	22.10
	徐州权台老矿	23.60
	徐州韩桥矿夏桥井	28.30
	徐州大黄山矿	29.90
	徐州青山泉二号井	24.30
山东	潍坊矿区煤矸石（红矸石）	35.20
	潍坊矿区煤矸石（黑矸石）	34.30
河北	邯邢武安矿区陶一矿未燃	30.40
	邯邢武安矿区陶一矿已燃	27.70
	邯邢武安矿区陶二矿未燃	29.60
	邯邢武安矿区陶二矿已燃	26.80
	峰峰矿区灰色煤矸石	24.52
	峰峰矿区红色煤矸石	28.63
	峰峰矿区黑色煤矸石	28.86
	邢台矿灰色煤矸石	30.50
	邢台矿红色煤矸石	27.10
	邢台矿黑色煤矸石	28.50

2013 年董建勋在桥涵台背回填煤矸石应用技术研究中对四个矿区的煤矸石压碎值测试结果为 24.1%、22.3%、28.7%、20.4%；2015 年高建在巴彦高勒矿区煤矸石路用性能研究中得出所用煤矸石压碎值为 26.7%；2015 年滕飞等人在自燃煤矸石粗骨料混凝土双变量强度公式研究中对取自阜矿集团所属的 4 个不同矿区煤矸石样品压碎值测试结果为 19.6%、20.82%、22.93%、23.94%；2015 年王妮妮在沈抚地区煤矸石在辽东北地区普通公路基层中的应用研究中得出煤矸石压碎值为 23.9%；2017 年程温卿通过基于新型抗冻植被混凝土的煤矸石分级研究，对 10 种煤矸石样品进行了压碎值检测，结果分别为 24.3%、23.39%、16.91%、

18.33%、17.33%、15.74%、20.36%、23.54%、25.03%、10.96%；2017 年夏政在水泥稳定水洗煤矸石材料的基层应用研究中得出煤矸石压碎值为 33.1%；2017 年侯新月在煤矸石替代粗骨料的塑性混凝土力学性能与渗透性能的研究中对四个矿区的煤矸石压碎值测试结果分别为 17.6%、17.25%、21.1%、14.2%；2019 年赵忠忠在钢渣基人造彩砂制备及性能研究中得出所用洗选矸石压碎值为 21.8%；2019 年李明通过淮北水洗煤矸石在路面基层中的应用研究得出所用煤矸石压碎值为 29.6%；2019 年赵旭在水泥稳定煤矸石混合料路用性能分析中得出煤矸石压碎值为 20.8%；2019 年邱继生通过不同地质条件及地层下煤矸石理化性质的试验研究得出试验选取煤矸石压碎值分别为 21.3%、25.9%、20.8%、21.6%、20.8%、20.7%、20.4%；2019 年刘灏等人在煤矸石烧结页岩砖材的耐久性研究中得出煤矸石压碎值为 15.84%；2019 年李霖皓等人在煤矸石作为骨料对不同水泥基材料耐久性影响中，对四个许昌、太原、长治、榆林四个产地的煤矸石压碎值测试结果为 19.1%、20.1%、20.4%、21.9%；2020 年安永在煤矸石工程特性及在通航机场中的应用研究中对四种煤矸石材料压碎值测试结果分别为 26.82%、25.89%、26%、26.34%；2020 年温久然等人在黏土质煤矸石强化技术研究中得出试验采用煤矸石压碎值为 30.8%、38.95%；2020 年李少伟等人在自燃煤矸石粗骨料特性及其对混凝土性能的影响中得出煤矸石压碎值为 25.2%；2021 年刘乃成在煤矸石在水泥稳定碎石基层中的路用性能研究中得出煤矸石压碎值为 28.09%；2021 年王明华在高温对固废骨料混凝土性能影响的实验研究中得出所用煤矸石压碎值为 15.4%；2022 年王海在非自燃煤矸石粗骨料混凝土力学性能与耐久性研究中得出所用煤矸石压碎值为 17.31%；2022 年杨俊鑫在碱矿渣胶结的煤矸石道路稳定材料力学与微结构特征试验研究中得出所用煤矸石压碎值为 18.8%。2022 年金明亮等通过煤矸石在干旱黄土地区高等级公路路基中的应用研究，得出试验用三种煤矸石样本的压碎值分别为 25.2%、20.2%、34.5%。

通过试验研究：

对五个矿区的煤矸石压碎值进行了试验测试，其结果见下表。

不同矿区煤矸石编号	试验验证数据				
	1#	2#	3#	4#	5#

压碎值（%）	25.2	29.4	27.1	35.4	33.4
--------	------	------	------	------	------

通过标准调研：

现行标准《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20-2015）中对粗集料压碎值的技术要求如下表所示：

指标	层位	高速公路和一级公路		二级公路	试验方法
		极重、特重交通	重、中、轻交通		
压碎值（%）	基层	≤22 ^a	≤26	≤35	T 0316
	底基层	≤30	≤30	≤40	

注：^a对花岗岩石料，压碎值可放宽至 25%。

调研了煤矸石相关标准中压碎值指标技术状况，如下表所示：

标准名称	压碎值指标（%）				标准类型
公路路基煤矸石填筑应用技术指南（DB13/T 1382-2011）	≤30				河北地标
高速公路煤矸石填筑路基施工技术规程（DB13/T 5054-2019）	填筑路基 路床：≤25 路堤：≤30				河北地标
《掘进煤矸石路面基层材料应用技术规程》（T/CBCA 006-2020）	1 级：≤24 11 级：≤32				河南团标
寒区公路工程煤矸石应用技术指南（DB22T 2062-2014 ）	指 标	一 级		二 级	
	压 碎 值%	≤30	30～35		35～42
	活 性 Mpa	-	≥11.5	< 11.5	> 8.5
煤矸石道路基层材料应用技	层	高 速 公 路 和 一		二 级	中国工业合作

术指南（征求意见稿）	位	级公路		及 以 下 公 路	协会团标
		极重、 特重交 通	重、中 轻 交 通		
	基 层	≤30	≤35	≤40	
	底 基 层	≤35	≤40	≤45	
煤矸石路面基层施工技术指南（征求意见稿）	使用范围			压碎值指 标%	陕西地标
	二级及以 下公路	基层		≤32	
		底基 层		≤38	

通过调研煤矸石压碎值技术指标可知：煤矸石的压碎值从 10.96%变化到 44.4%，其中 $\leq 26\%$ 约占 61.6%， $\leq 30\%$ 约占 83.8%， $\leq 40\%$ 约占 98.9%，且在煤矸石作基层材料研究中均能满足力学指标要求。结合调研煤矸石技术指标情况，在保证基层材料力学性能的基础上，为扩大煤矸石的适用范围，对煤矸石压碎值进行了规定，并以此作为煤矸石材料路用分级标准。

指标	I 级	II 级	试验方法
压碎值（%）	$\leq 26^a$	≤ 35	JTG E42 T 0316
注： ^a 不适用于极重、特重交通等级的高速公路和一级公路。			

(2) 耐崩解性指数

因含有粘土矿物这类亲水性较强的物质，在岩石渗入水后，会吸水膨胀，使内部应力不均匀，加之胶结物被水溶解，最后造成岩石中颗粒及其集合体的分散，为岩石的崩解性。耐崩解性指数为煤矸石试样在经过两次干湿标准循环后残留的质量与原质量之比，以百分数表示，以评价其抵抗软化及崩解的能力。

通过文献调研：

2013 年柴亚南通过煤矸石路基填料分级标准及沉降特性研究，对全国 13 个矿区煤矸石耐崩解性指标进行了调查，调查结果见下表。

省份	产地	煤矸石崩解量（%）		
		粒径 60mm	粒径 40mm	粒径 20mm
安徽	港口矿区	3.7	3.7	2.5
山东	山东潍坊煤矸石（红矸石）	2.6	2.7	2.8
	山东潍坊煤矸石（黑矸石）	2.8	2.9	2.7
河北	邯邢武安矿区陶一矿未燃	3.9	6.4	5.8
	邯邢武安矿区陶一矿已燃	3.2	1.1	3.6
	邯邢武安矿区陶二矿未燃	5.2	3.7	1.6
	邯邢武安矿区陶二矿已燃	1.4	0.8	0.7
	峰峰矿区灰色煤矸石	9.3	8.8	8.3
	峰峰矿区红色煤矸石	2.1	1.3	3.4
	峰峰矿区黑色煤矸石	6.5	6.9	5.6
	邢台矿灰色煤矸石	3.2	6.8	5.6
	邢台矿红色煤矸石	2.4	4.2	1.9
	邢台矿黑色煤矸石	5.3	7.3	3.7

2017 年夏政在水泥稳定水洗煤矸石材料的基层应用研究中得出所用煤矸石耐崩解性指数为 94.4%（崩解量为 5.6%）。

2019 年李明在淮北水洗煤矸石在路面基层中的应用研究中得出所用煤矸石耐崩解性指数为 95.21%（崩解量为 4.79%）。

2020 年安永在煤矸石工程特性及在通航机场中的应用研究中得出四种煤矸石样品耐崩解性指数为 97.4%、100%、96.7%、99%（崩解量为 2.6%、0%、3.3%、1%）。

通过试验研究：

参照《公路工程岩石试验规程》（JTG E41-2005）中 T 0207-2205 耐崩解性试验，对五个矿区的煤矸石崩解量进行了试验测试，其结果见下表。

不同矿区煤矸石编号		1#	2#	3#	4#	5#
崩解量（%）	粒径 60mm	12.5	1.5	2.5	16.5	14.2
	粒径 40mm	14.4	12.9	3.3	16.8	15.5
	粒径 20mm	13.4	11.8	1.5	15.5	13.7

通过标准调研：

调研了相关标准中耐崩解性指数指标的技术要求：

规范	崩解量 指标要求
《公路路基煤矸石填筑应用技术指南》 （DB13/T 1382-2011）	≤30%
《高速公路煤矸石填筑路基施工技术 规程》（DB13/T 5054-2019）	填筑路床 ≤25% 填筑路堤 ≤30%
《公路煤矸石路堤设计与施工指南》 （DB34 / T 2376-2015）	崩解量≤30%
《煤矸石路面基层施工技术指南》（征 求意见稿）	≤10%

调研发现，大部分煤矸石的耐崩解性指数能达到 85%以上，另外相关标准中规定煤矸石填筑路床崩解量≤25%，因此为保证路面基层强度和稳定，扩大煤矸石适用范围，对煤矸石耐崩解性指数进行了规定。

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
耐崩解性指数（%）	基层	≥85		JTG E41 T 0207
	底基层			

(3) 塑性指数

塑性指数是指煤矸石中细粒土（<0.5mm）的液限和塑限的差值，用 I_p 表示，用于反应材料的物质组成。在工程中常用于细粒土的分类，如 $I_p > 17$ 为粘土； $10 < I_p \leq 17$ 为粉质粘土； $I_p < 10$ 为粉土。塑性指数越大，表明土的颗粒越细，比表面积越大，土的粘粒或亲水矿物（如蒙脱石）含量越高，土处在可塑状态的含水量变化范围越大。

通过调研发现，煤矸石材料的塑性指数与矿物成分及自由膨胀率之间具有良

好的相关关系，采用塑性指数可以反映煤矸石矿物成分的性质。根据《煤矸石筑路技术研究及应用》研究成果表明：塑性指数大于 10 的煤矸石通常含有较多的蒙脱石、伊利石等不稳定成分，而且膨胀率都比较大。同时塑性指数是影响水稳基层干缩应变的主要因素之一，且干缩系数随着塑性指数的增大而增大，考虑高速公路和一级公路煤矸石塑性指数指标确定为 ≤ 10 ，二级以二级以下公路指数指标确定为 ≤ 17 。

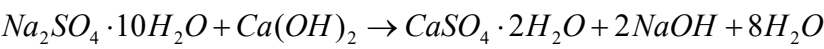
规范	塑性指数 指标要求
《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20-2015)	≤ 17
寒区公路工程煤矸石应用技术指南 (DB22/T 2062-2014)	< 10
《掘进煤矸石路面基层材料应用技术规程》(T/CBCA 006-2020)	≤ 10
煤矸石道路基层材料应用技术指南(征求意见稿)	≤ 17

(4) 硫化物及硫酸盐含量

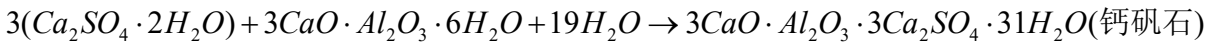
硫化物及硫酸盐含量指标用于评价材料中含有的有害硫酸盐、硫化物含量，按 SO₃ 计。SO₃ 含量控制的主要原因是考虑到其可能会与水泥中的铝酸盐反应，形成钙矾石（AFt）针棒状晶体，产生不均匀膨胀，影响水泥安定性，从而导致材料的结构破坏。

反应机理如下：

当硫酸盐（如 Na₂SO₄、K₂SO₄）中 SO₄²⁻ 大于 1044mg/L 时，硫酸盐能与水泥中的 Ca(OH)₂ 作用产生 CaSO₄，而硫酸钙（CaSO₄ · 2H₂O）就能结晶析出。反应式如下：



当 SO₄²⁻ 浓度低（但 $\geq 2.5\%$ ）时，硫酸钙也能与水泥中的固态水化铝酸钙作用，生成水化硫酸铝酸钙晶体。反应式如下：



由于水化铝酸钙下硫酸钙作用生成水化硫酸铝酸钙的反应是在固相中进行的，其中结合着大量结晶水，其体积约为原来水化铝酸钙的 2.5 倍，亦即硫酸盐

与结硬水泥中的铝酸三钙结合而产生水化硫酸铝酸钙（钙矾石），这一新生成物能膨胀，使原来的体积增大，产生很大的内应力从而破坏水泥稳定材料的胶结作用，影响其整体稳定性及强度。

通过文献调研：

2013 年东北林业大学的董建勋研究了桥涵台背回填煤矸石应用技术，对黑龙江七台河地区内 4 个矿区、其他省份的 4 个矿区产出的煤矸石理化性能进行测定与调查，结果见下表：

省份	产地	硫化物及硫酸盐含量（%）
黑龙江	新立矿区	0.1
	新兴矿一区	0.3
	桃山矿区	0.15
	新兴矿二区	0.13
广东	富强矿	0.1
山东	枣庄矿	6.8
山西	太原矿	0.5
江苏	徐州矿	0.64

2015 年内蒙古工业大学的高建对内蒙古鄂尔多斯市巴彦高勒矿区的煤矸石路用性能展开研究，通过 XRD 仪器分析得出该矿区煤矸石硫化物及硫酸盐含量（SO₃ 含量）为 0.43%；

2017 年黑龙江大学的侯新月通过研究煤矸石替代粗骨料的塑性混凝土力学性能与渗透性能，试验得出黑龙江省达连河煤矿的硫化物及硫酸盐含量为 0.35%；

2020 年中国民航大学的安永研究了陕西某地的煤矸石路用性能，通过煤矸石原料的灰分分析得出 4 组试样的硫化物及硫酸盐含量分别为 1.89%、2.76%、6.26%、5.82%；

2020 年长安大学的温久然等人以陕西铜川煤矿的煤矸石为研究对象，研究黏土质煤矸石强化技术，其中测得硫化物及硫酸盐含量为 0.71%；

2022 年杨俊鑫研究了碱矿渣胶结的煤矸石道路稳定材料力学与微结构特征，以安徽淮南的张集矿矿场的煤矸石为研究对象，测得其硫化物及硫酸盐含量为 0.31%。

2010 年李化建编著的书籍《煤矸石的综合利用》中提到煤矸石中硫的存在形式对煤矸石应用的影响较大，我国大部分矸石含硫量比较低，一般低于 1%。

2011 年陈文敏、杨金和、詹隆主编的书籍《煤矿废弃物综合利用技术》中

提到我国的煤矸石含硫量 S_{td} 绝大部分都是低的，多小于 1%，但也有一些矿井的矸石，其硫份很高，有的甚至高达 18.93%，如四川的南桐煤矿、贵州的六枝煤矿。硫在煤矸石中存在形态，大部分为黄铁矿硫，即以大小不同的黄铁矿晶体或结核存在于矸石中，因此可根据硫在矸石中的赋存情况采用人工手选、机械分选、燃烧加工等方法，以便更好地利用矸石中的硫。

通过试验研究：

对五个矿区的煤矸石硫化物及硫酸盐含量进行了试验测试，其结果见下表。

不同矿区煤矸石编号	试验验证数据				
	1#	2#	3#	4#	5#
硫化物及硫酸盐含量（%）	1.32	2.70	1.87	2.23	2.98

通过标准调研：

调研了相关标准中硫化物及硫酸盐含量指标的技术要求：

规范	硫酸盐含量 指标要求
CB/T 建筑用砂	≤ 0.5
GB 50164 混凝土质量控制标准	-
JGJ 普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准	≤ 1.0
JTG/T F30 公路水泥混凝土路面施工技术规范	≤ 0.5
JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范	≤ 0.5
《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20-2015）	水泥稳定类 ≤ 0.25 石灰稳定类 ≤ 0.80 石灰粉煤灰综合稳定 - 水泥粉煤灰综合稳定 -
《高速公路煤矸石填筑路基施工技术规范》（DB13/T 5054-2019）	≤ 1.0
《掘进煤矸石路面基层材料应用技术规程》（T/CBCA 006-2020）	I 级煤矸石： $\leq 0.25\%$ ， II 级煤矸石：不做要求 （I 级煤矸石可用于高速公路，一级公路以及其他等级公路；II 级煤矸石只能用于二级及二级以下公路）

高速公路煤矸石填筑路基施工技术规范（DB13/T 5054-2019）	填筑路基 路床：≤1% 路堤：≤1%
-------------------------------------	--------------------------

国家标准规定，硅酸盐水泥中氧化镁（ MgO ）含量不得超过 5.0%，如果水泥经压蒸安定性试验合格，则氧化镁的含量允许放宽至 6.0%；三氧化硫（ SO_3 ）的含量不得超过 3.5%。

可见我国大部分矸石含硫量比较低，一般低于 1%。煤矸石的硫含量与同矿原煤的硫含量密切相关，一般煤矸石的硫含量低于同矿的原煤，约为同矿井原煤硫含量的 30%~60%；但也存在高于原矿硫含量的煤矸石，特别是洗煤厂排出的，因为洗煤的目的之一就是洗除煤中的硫化物，所以洗出的煤矸石硫含量会远高于原煤，其中的硫多以黄铁矿形式存在。可以看出当煤矸石符合以下两点之一，其硫含量可能出现较高的情况：同矿原煤硫含量高、来源出自洗煤厂。但从原煤硫含量上看，我国各地的煤以特低硫煤（ $<0.5\%$ ）和低硫煤（ $0.5\%\sim 0.9\%$ ）为主，保有储量分别占全国保有储量的 40.56%和 31.84%；从来源上看，洗煤煤矸石约占煤矿生产阶段排出煤矸石的 5%。因此硫含量较高的煤矸石数量相对较小。

另外，基层中水泥用量偏少，铝酸盐含量也就偏少；同时其结构相对酥松，具有一定空间以容纳 AFt 的膨胀。因此在基层体系中，考虑将细集料中的硫酸盐含量确定为 $\leq 1.0\%$ ，以扩大煤矸石的适用范围。

(5) 烧失量

煤矸石烧失量是指将 $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 干燥后的煤矸石试样，于 $1000\sim 1100^\circ\text{C}$ 温度下灼烧至恒重，以失去的质量计算烧失量。它表征原料加热分解的气态产物(如 H_2O ， CO_2 等)和有机质含量的多少，从而可以判断在使用时原料是否体积稳定。相关研究表明，随着烧失量的增大，混合料的工作性、流动性越差，同时高烧失量材料中由于未燃尽成份较多，体积不稳定，后期易造成混合料收缩、开裂，因此需严格控制其烧失量。

通过文献调研：

2013 年柴亚南通过煤矸石路基填料分级标准及沉降特性研究，对全国 16 个省市 85 个矿区的煤矸石烧失量指标的调查结果见下表。

省份	产地	烧失量（%）
辽宁	抚顺矿区	23.02
黑龙江	鸡西矿区	18.42

	七台河市富强未燃煤矸石	7.45
	七台河市桃山自燃燃煤矸石	0.28
新疆	石河子矿区	1.90
	硫磺沟煤矿	22.18
	五彩湾煤矿	18.20
	新疆哈 1 矿	9.19
	新疆哈 2 矿	8.90
	新疆哈露矿	2.38
	新疆伊喀矿	9.07
	新疆伊达矿	5.44
山西	大同矿区	16.52
	西山矿区	24.19
	阳泉矿区	16.54
江西	萍乡矿区	20.71
四川	攀枝花矿区	19.17
贵州	六枝矿区	17.60
重庆	重庆綦江矿区	38.26
	南桐矿区芭蕉湾已燃煤矸石	7.40
	南桐矿区芭蕉湾未燃煤矸石	12.80
山东	肥城矿区	16.75
	枣矿东井黑色矸石	20.26
	兴隆庄煤矿	15.65
	汤庄矿区（红矸石）	10.44
	淄博矿区（红矸石）	9.53
	潍坊矿区（红矸石）	11.00
	潍坊矿区（黑矸石）	17.30
	枣矿东井灰红色矸石	13.25
	枣矿北 1 井黄色矸石	7.70
	官庄矿枣庄北 2 井红色矸石	2.16
	枣庄山家林 1 矿灰黑色矸石	13.44
	枣庄山家林 2 矿灰黑色矸石	18.93
	枣庄周营矿黄色矸石	13.95
	枣庄后湾矿灰黑色矸石	4.50
安徽	宁国港口矿区	10.80
	阜新自然煤矸石	10.20
	淮南潘一矿	14.09
	淮南谢一矿	14.15
	淮南孔集矿	14.12
	淮南望峰岗选煤厂	14.09
	淮南谢三矿（东）	14.15
	淮南李一矿	14.12
	淮南李咀孜	14.09
	淮南谢三矿（西）	14.15

	淮南谢二矿	14.12
	淮南谢三矿（南）	14.09
	淮南谢三矿（北）	14.15
江苏	徐州权台老矿	14.00
	徐州权台新矿	13.07
河南	鹤壁矿区（红矸石）	15.62
	平顶山矿区未燃矸石	14.80
	平顶山矿区自燃矸石	6.18
	鹤壁矿区煤矸石	24.15
	焦作鑫珠春矿煤矸石	19.74
	焦作 1# 矿区	26.04
	焦作吴村矿区	16.44
	焦作李固矿区	12.52
	焦作程村矿区	16.78
陕西	黄陵矿区	16.68
吉林	营城矿区自燃煤矸石	0.27
	营城矿区未燃矸石	0.92
	蛟河矿区（已燃）	0.90
	蛟河矿区（未燃）	8.40
	九台矿区	4.00
	珥春矿区	6.34
	道清矿区	8.50
	辽源矿区	5.40
	湾沟矿区	5.00
吉林	刘房子矿区（已燃）	6.10
	刘房子矿区（未燃）	12.80
广西	合山矿务局煤矸石	34.78
河北	唐山市开滦矿务局林西煤矿红色煤矸石	13.50
	唐山市开滦矿务局林西煤矿黑色煤矸石	14.22
	唐山市开滦矿务局林西煤矿灰色煤矸石	13.96
	邯邢武安矿区陶一矿未燃	10.18
	邯邢武安矿区陶一矿已燃	9.04
	邯邢武安矿区陶二矿未燃	12.9
	邯邢武安矿区陶二矿已燃	10.82
	峰峰矿区灰色煤矸石	18.13
	峰峰矿区红色煤矸石	15.71
	峰峰矿区黑色煤矸石	17.05
	邢台矿灰色煤矸石	10.24
	邢台矿红色煤矸石	9.53
	邢台矿黑色煤矸石	12.38

2013 年董建勋在桥涵台背回填煤矸石应用技术研究得出煤矸石烧失量为 20.3%。

2015 年高建对巴彦高勒矿区煤矸石路用性能研究中得出煤矸石烧失量为 10.56%。

2017 年夏政在水泥稳定水洗煤矸石材料的基层应用研究中得出煤矸石烧失量为 15.4%。

2019 年赵旭在水泥稳定煤矸石混合料路用性能分析中得出自燃煤矸石烧失量为 1.86%，未燃煤矸石烧失量为 8.34%。

2020 年安永在煤矸石工程特性及在通航机场中的应用研究中得出煤矸石烧失量为 12.8%。

2021 年刘乃成通过煤矸石在水泥稳定碎石基层中的路用性能研究得出 1mm 以下煤矸石烧失量为 14.97%。

2022 年金明亮等通过煤矸石在干旱黄土地区高等级公路路基中的应用研究，得出试验用三种煤矸石样本的烧失量分别为 11.27%、8.5%、16.5%。

通过试验研究：

对五个矿区的煤矸石烧失量进行了试验测试，其结果见下表。

不同矿区煤矸石编号	试验验证数据				
	1#	2#	3#	4#	5#
硫化物及硫酸盐含量（%）	10.92	16.803	9.235	16.834	17.921

通过标准调研：

调研了相关标准中煤矸石烧失量指标的技术要求：

规范	烧失量 指标要求
公路路基煤矸石填筑应用技术指南（DB13/T 1382-2011）	≤20 为宜，<15 时最佳
高速公路煤矸石填筑路基施工技术规范（DB13/T 5054-2019）	填筑路基 路床：≤18，<15 时最佳 路堤：≤20
掘进煤矸石路面基层材料应用技术规范（T/CBCA 006-2020）	≤10

寒区公路工程煤矸石应用技术指南 (DB22/T 2062-2014)	<12
《公路煤矸石路堤设计与施工指南》 (DB34 / T 2376-2015)	≤12

可见煤矸石烧失量从 0.27%变化至 38.26%，其中烧失量<12%的比例约为 39%，相对而言，未燃煤矸石烧失量较大，主要是由于未燃煤矸石堆放时间短，残留煤和有机质的含量高。结合调研情况，考虑将煤矸石烧失量指标确定为≤12%。

(6) 砂当量

砂当量是指测定细集料中所含的粘性土或杂质的含量，用以评定集料的洁净程度。砂当量越大，表明细集料越洁净。研究表明砂当量与水稳碎石无侧限抗压强度呈正相关关系，同时与水稳碎石的裂缝也具有一定关系。为保证水稳碎石强度和耐久性，应对煤矸石的砂当量进行规定。

祁敏、陈妍通过细集料砂当量对于水泥稳定碎石无侧限抗压强度和裂缝的影响分析，砂当量与水稳碎石无侧限抗压强度有一定关系，同时与水稳碎石的裂缝也具有一定关系。根据经验，提出控制砂当量指标不少于 40%的要求，完成了相应基层施工。

2009 年姬智菲通过集料对水泥稳定碎石无侧限抗压强度及芯样完整性的影响分析，2012 年耿京芳等通过水泥稳定多孔性碎石强度影响因素及施工控制研究，得出细集料的含泥量对水稳碎石强度存在一定程度影响，细集料砂当量越大，无侧限抗压强度就越大，两者呈正比关系。

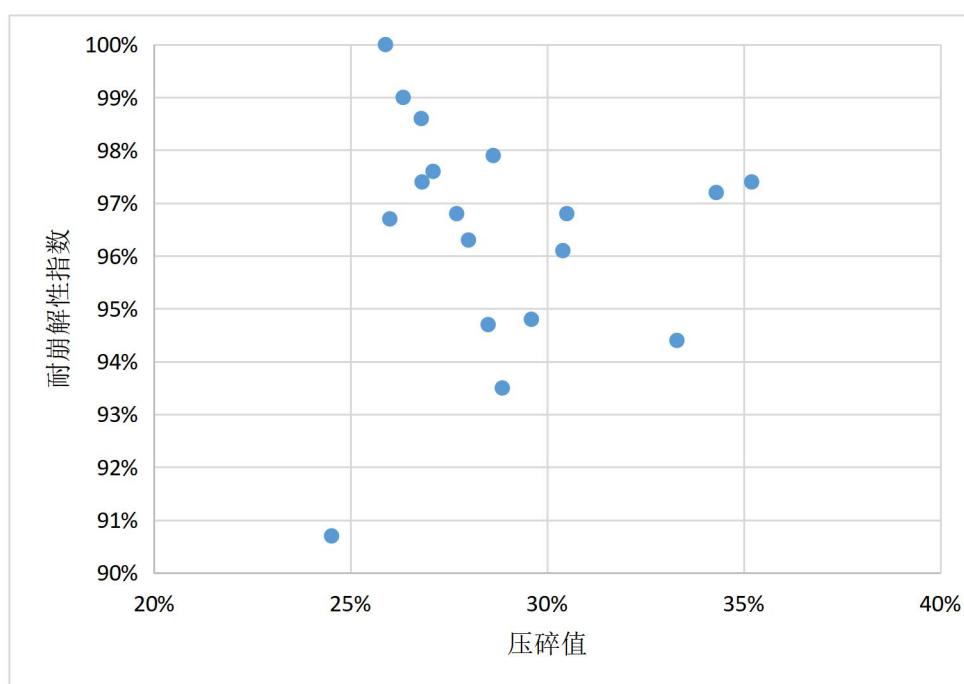
2015 年王妮妮通过沈抚地区煤矸石在辽东北地区普通公路基层中的应用研究，得出煤矸石细集料砂当量为 83.4%。

2021 年朱璧禾通过季冻区煤矸石稳定基层介观多尺度破坏演化机理研究，得出煤矸石细集料砂当量为 76.2%。

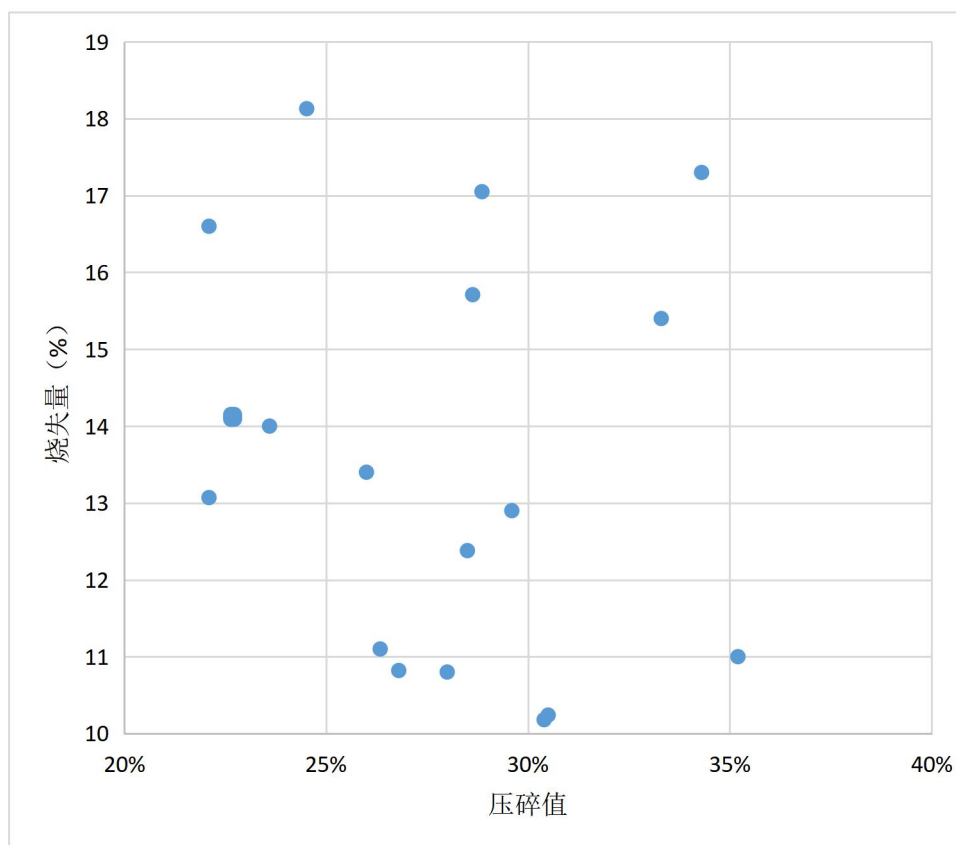
《公路工程利用建筑垃圾技术规范》（JTG/T 2321-2021）中提出路面基层用细集料砂当量指标≥40%。

为保证水稳碎石强度和耐久性，规定用于高速公路和一级公路的煤矸石细集料砂当量不少于 40%，二级及二级以下公路不做要求。

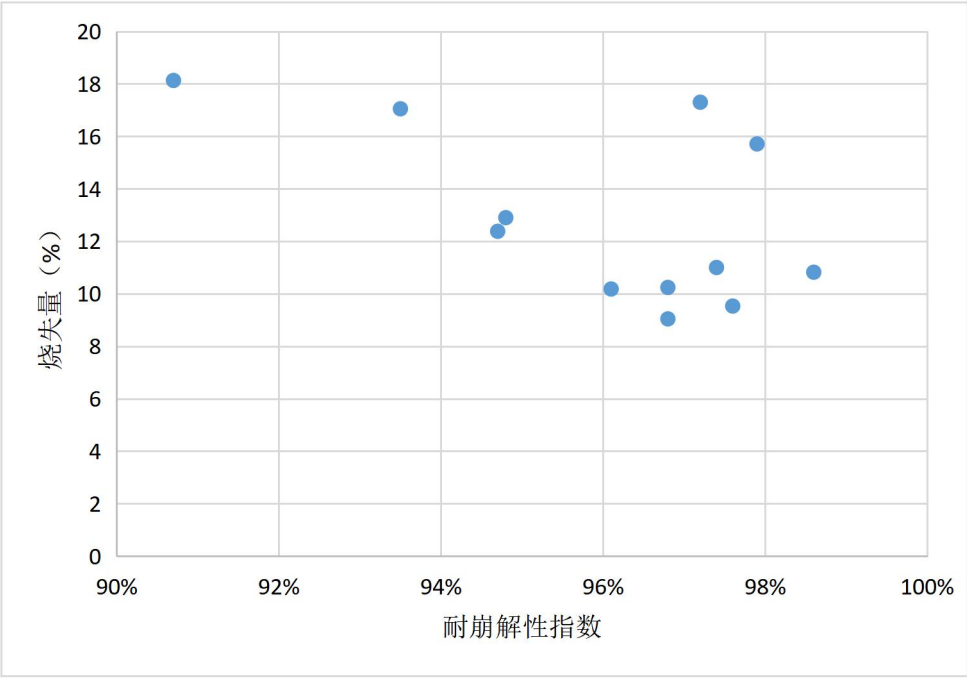
(7) 压碎值、耐崩解性指数和烧失量的关联性分析



两者均可反映出在破坏作用下煤矸石破碎出的小颗粒含量。但试验结果关联性不强。压碎值试验更能体现煤矸石的力学性质，耐崩解性指数试验更能体现抗软化的能力。



可以看出，不同煤矸石可测得相近的压碎值，但烧失量明显不同。两试验得出的结果之间关联性较差。



数据大体呈现出耐崩解性指数越大，烧失量越小的趋势，但关联性不强，存在一定离散性。

5.2.2 混合料设计

(1) 混合料级配技术要求

水泥稳定煤矸石材料的级配可采用下表推荐的级配范围。

水泥稳定煤矸石材料的推荐级配范围

筛孔尺寸 (mm)	通过率 (%)
37.5	-
31.5	100
26.5	-
19	68~86
16	-
13.2	-
9.5	38~58

4.75	22~32
2.36	16~28
1.18	-
0.6	8~15
0.3	-
0.15	-
0.075	0~3

(2) 混合料强度要求

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

水泥稳定煤矸石材料的 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	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

(3) 混合料抗冻性要求

编制组调研发现，煤矸石集料压碎值随着浸水时间的变化会逐渐增大，且浸水、冻融循环条件均会对水泥稳定煤矸石基层材料的抗冻性产生重大影响。与《公路路面基层施工技术细则》（JTG/TF20-2015）相比，本标准中对水泥稳定煤矸石基层材料的抗冻性提出了技术要求。

调研了相关标准中水泥稳定煤矸石材料的抗冻性技术要求。《寒区公路工程煤矸石应用技术指南》（DB22/T 2062-2014）中规定：寒冷地区应用煤矸石基层时，应进行抗冻性能检验，以 28d 龄期的试件经 5 次冻融循环后的残留抗压强度比进行评价。煤矸石基层材料的抗冻性技术要求如下表所示。

气候分区	中冻区	重冻区
------	-----	-----

残留抗压强度比（%）	≥65	≥70
------------	-----	-----

《煤矸石道路基层材料应用技术指南》（征求意见稿）中提出水泥稳定煤矸石集料抗冻性应满足下表的要求。

性能	表征指标	技术要求	试验方法
抗冻性	抗冻性指标（%）	≥80%	T 0858

本标准规定水泥稳定煤矸石材料的抗冻性技术要求如下表所示。

水泥稳定煤矸石材料的抗冻性技术要求

表征指标	中冻区	重冻区	试验方法
残留抗压强度比（%）	≥65	≥70	JTG E51 T 0858

6.重大意见分歧的处理依据和结果

无。

7.采用国际标准和国外先进标准的，说明采标程度，以及与国内外同类标准水平的对比情况

无。

8.作为推荐性标准建议及其理由

《公路水泥稳定煤矸石基层施工技术规范》中规定了煤矸石等原材料的技术要求、水泥稳定煤矸石混合料设计方法、混合料施工、施工质量控制等内容。目前我国在水泥稳定煤矸石基层方面尚未形成完整的技术应用体系和成套的质量标准控制依据，亟待建立公路水泥稳定煤矸石基层施工技术规范，从原材料要求、混合料设计、混合料施工、施工质量控制多个方面出发，形成相应的技术规范。建议将本标准作为推荐性标准使用。

9.贯彻标准的措施建议

标准批准发布后，建议由标准归口单位及交通行业主管部门加强在公众媒体、行业内部或对外的有关信息上公开报道宣传和贯标指导，组织相关生产、检验、施工、设计等有关单位进行宣贯，引导促进煤矸石的高值化规模化应用。

10.其他应说明的事项

无。