

煤气化炉渣公路路面基层应用技术规范

编制说明

2025 年 3 月

目 次

一、工作概况.....	1
（一）任务来源.....	1
（二）起草单位.....	1
（三）主要起草人及分工.....	1
二、制定(修订)标准的必要性和意义.....	2
三、主要起草过程.....	4
（一）成立起草组、确定分工.....	4
（二）收集资料.....	4
（三）编制标准草案.....	6
（四）调研及征求意见.....	6
（五）报批审核.....	7
四、编制原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系.....	7
（一）编制原则.....	7
（二）编制依据.....	8
（三）与现行法律法规、标准的关系.....	8
五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述.....	9
（一）主要条款说明.....	9
（二）主要技术指标、参数、试验验证的论述.....	10
六、重大意见分歧的处理依据和结果.....	34
七、实施标准的措施及建议.....	34

八、知识产权说明.....	35
九、其他应说明的事项.....	35

《煤气化炉渣公路路面基层应用技术规范》

地方标准编制说明

一、工作概况

（一）任务来源

2024年5月16日，由宁夏交通建设股份有限公司申请地方标准的立项，按照《自治区市场监管厅关于下达生态环境领域地方标准制（修）订计划的通知》，批准《煤气化炉渣公路路面基层应用技术规范》地方标准的制订，结合实体工程需求的实际情况，编制宁夏地区煤气化炉渣在公路水泥稳定类基层应用地方标准，标准由宁夏回族自治区交通运输厅提出并归口。

（二）起草单位

宁夏交通建设股份有限公司、宁夏交建交通科技研究院有限公司、国家能源集团宁夏煤业有限责任公司、宁夏嘉恒绿色低碳新材料科技有限公司。

（三）主要起草人及分工

1.3.1 起草人

闫升、惠迎新、王占银、杨建荣、窦占双、袁明、滕逸伟、王娜、焦智宇、李虎、任斌、李蓉、刘祺、郭瑞、陶智忠、杜乾中。

1.3.2 分工

闫升：负责标准的总体组织、策划、协调、编制等工作；

惠迎新、王占银、杨建荣：前言、范围、规范性引用文件和术语及定义部分的编写以及对本文件的整体文本把控；

窦占双、袁明、滕逸伟：负责原材料及配合比设计等章节的编制

工作；

王娜、焦智宇、李虎：负责施工章节的编制工作；

任斌、李蓉、刘祺：负责质量检验章节的编制工作；

郭瑞、陶智忠、杜乾中：负责对文稿进行修改整理工作。

二、制定(修订)标准的必要性和意义

煤制油是保障国家能源安全的战略性举措，可有效缓解因富煤缺油给我国能源安全带来的挑战。宁东能源化工基地拥有世界单产规模最大的煤制油项目，但其发展过程中，产生大量的煤气化炉渣，年产量超过 500 万吨，目前一直未寻求到规模化综合利用的路径，综合利用率极低，因此开展煤气化炉渣资源化利用具有迫切的现实需求。宁夏公路交通基础设施建设砂石、水泥等材料需求量大。随着环保政策的收紧，砂石开采的限制，面临筑路材料紧缺的问题。若能将煤气化炉渣应用于公路建设中，将实现煤制油产业和公路交通建设发展的“双赢”。

2021 年，国家发改委等十部门联合发布《关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见》（发改环资〔2021〕381 号）和中共中央国务院印发《交通强国建设纲要》明确指出，在工程建设领域推行绿色施工，推进煤矸石、粉煤灰、尾矿、炉渣等固废在工程建设领域利用。宁夏回族自治区应对气候变化及节能减排工作领导小组资源综合利用工作办公室发布《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）和宁夏回族自治区交通运输厅印发《关于推进交通运输治理体系和治理能力现代化的实施意见》明确提出在公路建设领域，开展一般工业固废和施工废旧材料资源化综合利用研究，推动相关标准制定，拓宽应用范围，提高

利用总量。宁夏回族自治区工信厅、发改委、财政厅、生态环境厅、科技厅、交通运输厅等 12 部门联合印发《宁夏“十四五”一般工业固废综合利用工作方案》（宁工信节能发〔2022〕48 号），明确指出开展工业固废在不同种类不同等级道路中路基填筑、路面基层、路面面层、固废材料预制构件等方面的示范应用，制定相关标准、施工规范等技术文件。自治区人民政府印发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），指出积极完善固废资源化利用标准体系。

煤气化炉渣具有一定的集料特性，使其具有代替砂石集料用于公路基层的可行性。因此基于宁夏地区煤气炉渣理化特性和集料特性，揭示煤气炉渣道路材料制备应用的本征特性，研究煤气化炉渣掺量、级配、活性等因素对道路材料性能的影响规律，明晰煤气化炉渣道路材料组成设计方法，形成适用于煤气化炉渣路面基层集料应用的成套技术规范，实现煤气化炉渣在道路工程中的规模化应用，从而推动宁夏地区固废产业升级向绿色、低碳方向发展。

目前，针对煤气化炉渣在公路路面基层中的应用标准依然为空白，暂无国家标准和行业标准，仅山西省发布了地方标准《工业固废 煤气化炉渣路面基层施工技术指南》（DB 14/T 2121-2020），为煤气化炉渣路面基层施工提供技术指南，但由于不同地区煤气化炉渣的差异性，该地方标准不适用宁夏地区煤气化炉渣。

本标准依托实体工程应用，推进煤气化炉渣在道路工程中的应用技术等关键技术宁夏地区实体工程中的应用，总结实体工程应用工程经验，研究提出一套适用于宁夏地区煤气化炉渣公路路面基层应用技术规范。

本地方标准的制定，将促使宁夏地区煤气化炉渣在公路基础设施建设领域应用的标准化、规范化发展，为煤气化炉渣道路资源化应用提供科技支撑，有效提高煤气化炉渣综合利用效率，有助于减少环境污染和资源消耗，促进地方经济绿色发展，实现经济效益和环境效益的双赢。

三、主要起草过程

（一）成立起草组、确定分工

地方标准项目任务下达后，宁夏交通建设股份有限公司联合宁夏交建交通科技研究院有限公司、宁夏嘉恒绿色低碳新材料科技有限公司、国家能源集团宁夏煤业有限责任公司成立标准编制起草组。

宁夏交通建设股份有限公司负责标准的总体组织、策划、协调、编制等工作。

宁夏交建交通科技研究院负责本文件技术指标、参数实体工程验证管理工作。

宁夏嘉恒绿色低碳新材料科技有限公司、国家能源集团宁夏煤业有限责任公司负责本文件主要技术指标、参数与试验验证与技术指导工作。

（二）收集资料

本文件编制过程中，不断收集相关法律法规、政策文件、标准等相关资料。

1. 法律法规

- （1）《标准出版发行管理办法》
- （2）《中华人民共和国标准化法》
- （3）《行业标准管理办法》

- (4) 《公路法》
- (5) 《公路工程建设标准管理办法》
- (6) 《公路水运工程质量检测管理办法》
- (7) 《中华人民共和国标准化法实施条例》

2. 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案 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）

3. 标准规范

- (1) GB/T1.1-2020 《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》
- (2) GB/T 20000 《标准化工作指南》
- (3) GB/T 20001 《标准编写规则》
- (4) GB/T 20002 《标准中特定内容的起草》
- (5) GB/T 20003 《标准制定的特殊程序》
- (6) GB/T 3100 《国际单位制及其应用》
- (7) GB/T 14684 《建设用砂》

- (8) GB/T 14848 《地下水质量标准》
- (9) GB 15618 《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》
- (10) GB 175 《通用硅酸盐水泥》
- (11) GB 18599 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》
- (12) GB 3838 《地表水环境质量标准》
- (13) GB 5749 《生活饮用水卫生标准》
- (14) HJ 557 《固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法》
- (15) JTG 3432 《公路工程集料试验规程》
- (16) JTG 3441 《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》
- (17) JTG 3450 《公路路基路面现场测试规程》
- (18) JTG/T F20 《公路路面基层施工技术细则》
- (19) JTG F80/1 《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》

（三）编制标准草案

2024 年 6 月，标准起草组对所收集的资料进行梳理、分析，形成工作组讨论稿。

2025 年 1 月，召开标准讨论会，《煤气化炉渣公路路面基层应用技术规范（征求意见稿）》修改后形成标准征求意见稿，完成编制说明的编写。

（四）调研及征求意见

2023 年 8 月，编制起草组组织开展区内和区外煤气化炉渣路面基层应用调研

- (1) 区内煤气化炉渣调研

针对宁夏地区的煤气化炉渣分布及煤气化炉渣特性进行了调研，了解掌握宁夏地区的煤气化炉渣产量、分布以及特性。

(2) 区外煤气化炉渣道路化综合利用实地考察

基于宁夏地区煤气化炉渣调研情况，并前往山西、内蒙古、甘肃等煤气化炉渣研究应用先进的地方进行了实地考察与交流，对煤气化炉渣在道路基层应用有了新的认识和充分了解。

2025 年 X 月在自治区市场监督管理局网站上公开标准文本和编制说明，进行线上广泛征求意见，为期 30 天；《煤气化炉渣公路路面基层应用技术规范（征求意见稿）》通过线上线下的方式广泛征求意见。

2025 年 X 月收集意见并进行整理，采纳了 X 条意见，并根据采纳意见对标准文本进一步修改并形成了《煤气化炉渣公路路面基层应用技术规范》（送审稿）和编制说明，保证该标准的科学性和适用性。

(五) 报批审核

2025 年 X 月形成地方标准送审稿，报行业主管部门审核。

四、编制原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系

(一) 编制原则

本文件聚焦煤气化炉渣在公路工程路面基层的应用技术，结合煤气化炉渣在宁夏地区的原材料特点，在兼顾各环节、全过程的同时，重点关注对工程质量产生显著影响的关键环节、关键指标和关键要求。

本文件涉及煤气化炉渣原材料技术要求、基层配合比设计、施工和质量检验等各阶段各环节的技术内容，力求在煤气化炉渣路面基层应用技术内容上的相对完整和自成体系。

本文件编制过程中，遵从了借鉴国内外先进标准原则、技术创新原则，与其他标准协调性原则，标准文本规范性与适用性原则和突出产品技术性原则，在公路行业标准规范体系顶层设计的指导下开展制订工作。

（二）编制依据

本文件依据 GB/T 1.1-2020 《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求进行编制。并参考依据了如下标准规范：

GB/T 14684	建设用砂
GB/T 14848	地下水质量标准
GB 15618	土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）
GB 175	通用硅酸盐水泥
GB 18599	一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
GB 3838	地表水环境质量标准
GB 5749	生活饮用水卫生标准
HJ 557	固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法
JTG 3432	公路工程集料试验规程
JTG 3441	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/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标准 第一册 土建工程

（三）与现行法律法规、标准的关系

本标准的制定严格按照《标准出版发行管理办法》《市场监管行业标准管理办法》《市场监管行业标准制定管理实施细则》《中华人民共和国标准化法》等相关法律法规要求实施；并参考了《公路工程集料试验规程》《公路路基路面现场测试规程》《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》、《公路路面基层施工技术细则》《公路工程质量检验评定标准》等多项标准执行。

经调研，与本文件相关的标准有《工业固废 煤气化炉渣路面基层施工技术指南》（DB14/T 2121-2020），此标准中仅对煤气化炉渣细集料烧矢量进行了要求，并未指出煤气化炉渣原材料重金属离子浸出浓度、硫酸盐含量、SO₃含量以及塑性指数进行要求，且该标准仅适用于山西地区的煤气化炉渣路面基层。《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）适用于各级公路路面基层的施工，未对煤气化炉渣原材料进行限定，无法适用于宁夏地区煤气化炉渣特性。

因此，本文件符合现行的相关法律、法规、规章的要求，并与现行标准无冲突，并具有协调一致性。

五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述

（一）主要条款说明

本文件规定了稳定类煤气化炉渣基层原材料、级配设计、施工、质量检验与验收等内容。本文件适用于各等级公路煤气化炉渣集料混合料基层与底基层。

具体条款如下：

第1章规定了本标准的主要构成要素及适用范围。

第2章明确了本标准引用的相关规范。

第3章规定了煤气化炉渣、煤气化炉渣集料、无机结合料稳定煤气化炉渣碎石混合料等术语及其定义。

第4章规定了原材料的特性，包括煤气化炉渣的放射性、重金属离子浸出浓度、粒径、集料指标以及粉煤灰等其他材料等技术要求。

第5章规定了配合比设计，包含混合料最佳含水率和最大干密度的确定方法、不同无机结合料稳定材料的7d抗压强度、无机结合料的计算和比例、并提出了混合料推荐级配及技术要求。

第6章规定了基层材料的压实度标准、拌和方式、存储要求、拌合与运输、机械摊铺及碾压以及养生等技术要求。

第7章规定了稳定类煤气化炉渣基层的质量检验与验收，包括原材料检验、混合料检验、施工过程检验、质量检查及验收等技术要求。

（二）主要技术指标、参数、试验验证的论述

本标准编制过程中，通过现场调研、资料分析、室内试验、专家咨询等各种方法，对技术指标及参数等进行了深入分析，确保各技术标准条文准确、可靠。

1、主要技术指标及参数

（1）原材料

1) 煤气化炉渣重金属离子浸出浓度

选用煤气化炉渣重金属浸出浓度限制应按照《地下水质量标准》（GB/T 14848）、《地表水环境质量标准》（GB 3838）、《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 15618）的要求执行。

根据煤气化炉渣工程应用位置及渗滤液去向，判断工程应用煤气

化炉渣影响的是地下水还是地表水，或是土壤，来确定限制要求是参照地下水，还是地表水或是土壤质量标准。渗滤液去向影响超过二类的，择其最高要求执行。其重金属浸出浓度限制应符合下列规定：

（1）若按照《地下水质量标准》（GB/T 14848）执行，执行标准根据工程所在地地下水功能和用途确定。

（2）若按照《地表水环境质量标准》（GB 3838）执行，执行标准根据工程所在地地表水功能和用途确定。

（3）若按照《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》（GB 15618）执行，执行标准根据工程所在地的农用地土壤污染风险管控标准确定。”

对宁夏地区煤气化粗渣中砷、铅、镉、铬、铜、镍、锌、锰的浸出金属浓度及砷、铅、镉、铬、铜、镍、锌、锰的含量进行了分析。其检测结果见下表。

表 5-1 宁夏地区煤气化炉渣重金属离子浸出浓度

检测项目	单位	检测结果	限制（mg/L）
铜	mg/L	0.005L	1.0
铅	mg/L	0.005L	0.3
镉	mg/L	0.001L	0.03
铬	mg/L	0.01	0.2
镍	mg/L	0.03	0.2
砷	mg/L	0.005L	0.1
锰	mg/L	0.2	1.0
锌	mg/L	0.2L	1.0

注：表中带“L”的结果代表样品检测值低于方法检出限

表 5-2 宁夏地区煤气化炉渣重金属离子含量检测

检测项目	单位	检测结果	GB30760-2014 限制（mg/L）
铜	mg/kg	25.5	100

铅	mg/kg	3.34	100
隔	mg/kg	0.05	1.5
铬	mg/kg	54.1	150
镍	mg/kg	18.5	100
砷	mg/kg	10.4	40
锰	mg/kg	581	600
锌	mg/kg	8.74	500

注：表中带“L”的结果代表样品检测值低于方法检出限

对宁夏不同地区的煤气化炉渣经过长期浸水试验，检测其水质中重金属浓度，得出宁夏地区煤气化炉渣的重金属离子浸出浓度标准应满足地下水Ⅳ类水质量要求；重金属离子含量符合《地下水质量标准》（GB/T 14848）相关技术要求。

2）煤气化炉渣的集料技术指标

（a）SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃的总含量

对不同批次的煤气化炉渣样品进行 X 射线荧光光谱仪（XRF）分析，对比不同批次气化渣的化学成分如下表所示。

表 5-3 各批次煤气化炉渣化学成分

样品种类	样品批次	氧化物组分（XRF）/%									化学元素
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	TiO ₂	C
煤气化炉渣	第一批	47.15	17.59	14.68	10.48	2.71	2.15	0.49	1.67	1.41	3.97
	第二批	46.69	17.95	15.02	11.28	2.51	2.05	0.48	1.55	1.39	4.12
	第三批	46.93	18.36	14.07	11.43	2.56	2.03	0.51	1.59	1.46	4.06
	第四批	45.94	17.89	15.28	12.06	2.27	2.08	0.53	1.58	1.52	3.85

由上表可知，各批次煤气化炉渣样品主要化学组分含量占比基本相当，化学成分含量最高的均为 SiO₂，其他化学组成主要为 Fe₂O₃、Al₂O₃、CaO、MgO。其中煤气化粗渣中的 SiO₂、Al₂O₃ 和 Fe₂O₃ 总质量均大于 70%，满足路面基层原材料技术要求。

（b）烧矢量

烧失量是衡量煤气化炉渣质量的一个重要指标。烧失量较高的煤气化炉渣可能会对路面基层产生以下影响：

①影响强度：烧失量高意味着煤气化炉渣中有机物质的含量较高，这些有机物质可能会在一定程度上降低路面基层的强度。

②收缩变形：高烧失量的煤气化炉渣可能在干燥或其他环境条件变化时发生收缩变形，从而影响基层的稳定性。

③压实性能：烧失量过高可能会影响煤气化炉渣与骨料的结合，进而影响基层的压实性能，导致难以达到预期的压实度。

使用《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTG 3441—2024)中的 JTG 3441 T0817 方法测定煤气化炉渣的烧失量。不同批次煤气化炉渣样品的烧失量见下表。

表 5-4 各批次煤气化炉渣的烧失量

项目	样品批次	检测结果
煤气化炉渣的烧失量 (%)	第一批	3.78
	第二批	3.96
	第三批	2.78
	第四批	4.15

表 5-5 工业废渣用于路面基层的烧失量规定

标准规范名称	对工业废渣中烧失量的规定 (%)
《公路路面基层施工技术细则》 (JTG/T F20-2015)	≤20

行业标准对于工业废渣用于路面基层中烧失量控制值为不大于 20%，宁夏地区煤气化炉渣含量亦可满足此要求。为避免煤气化炉渣表面残余碳及有机质含量对基层混合料后期强度增长的影响，为此，本文件规定了宁夏地区路面基层用煤气化炉渣中烧失量≤5%。

(c) 硫酸盐含量

使用《水泥化学分析方法》（GB/T 176-2017）中的 GB/T 176 方法测定煤气化炉渣中的硫酸盐含量。宁夏煤气化炉渣不同批次的硫酸盐含量见下表。

表 5-6 各批次煤气化炉渣中硫酸盐含量

项目	样品批次	检测结果
煤气化炉渣中硫酸盐含量（%）	第一批	0.09
	第二批	0.12
	第三批	0.13
	第四批	0.11

表 5-7 细集料硫酸盐含量技术要求

项目	水泥稳定	水泥粉煤灰稳定	试验方法
硫酸盐含量（%）	≤0.25	≤0.25	T 0341

现行标准规范《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20-2015）中规定，用于高速公路和一级公路细集料中的硫酸盐含量应不大于 0.25%。同时，宁夏地区硫酸盐含量也满足此指标。为此，本文件规定了宁夏地区路面基层用煤气化炉渣的硫酸盐含量≤0.25%。

为确认煤气化炉渣残碳含量指标，对宁夏地区煤气化炉渣采取脱碳预处理，脱碳方法为将煤渣投入到煤化工气化炉渣脱碳研磨机内研磨成煤碳渣粉末；向流化床中通入空气，控制空气温度为 650~720℃，通入空气的流量为 20~40m/h，随后将气化炉渣粉末投入流化床内；使碳化渣粉末在流化床内反应，反应 20~40min 后，得到游离碳含量≤2wt%的碳渣，完成煤气化炉渣脱碳。

对未进行预处理的普通湿排煤气化炉渣与进行预处理后脱碳煤气化炉渣，以及不同脱碳程度进行对比分析，见下图。从外观形貌上看，普通煤气化炉渣偏粉末状，烘干状态下粉末状较多，而脱碳煤气化炉渣外观颗粒状明显，烘干状态下粉末状较少。脱碳 70%的煤气化

炉渣相比于脱碳 30%的煤气化炉渣，颗粒外观更加光滑，颗粒感更明显，表面无明显残余碳，无扬尘。从试件成型角度，脱碳煤气化炉渣所成型试件颜色偏黑，减少了表面残余碳的灰分。

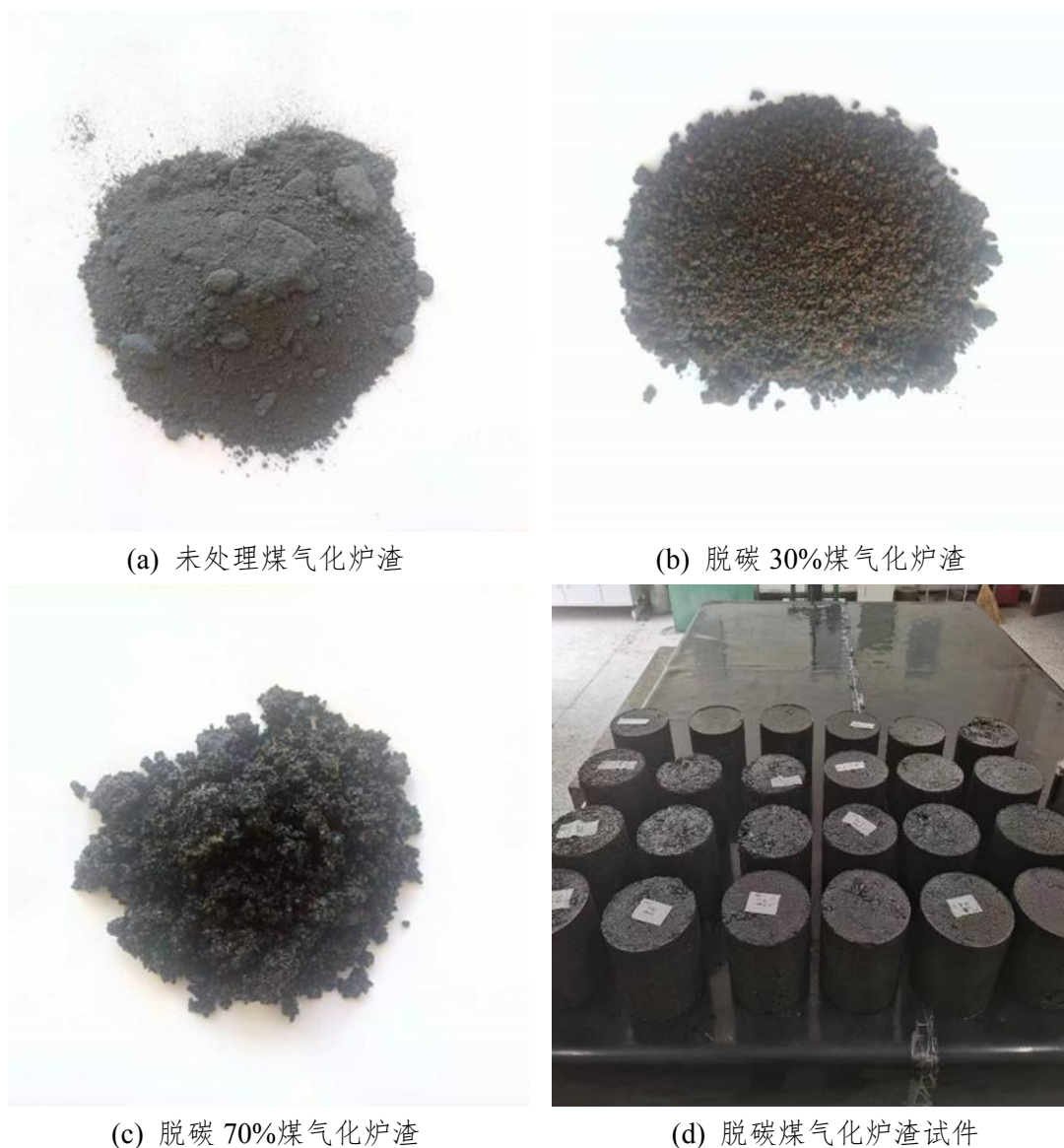


图 5-1 脱碳煤气化炉渣形貌及试件

通过对预处理后脱碳 30%煤气化炉渣、脱碳 70%煤气化炉渣与未进行预处理的煤气化炉渣进行 X 射线衍射分析。由 XRD 图谱可知，脱碳 70%后煤气化炉渣在 $25\sim 30^{\circ}$ 时衍射峰更明显，但整体来看未处理煤气化炉渣、脱碳 30%煤气化炉渣、脱碳 70%煤气化炉渣的整体矿

物种类大体相同，除含有钙长石、钙铁辉石、钾长石和钙黄长石外，还包含少量的莫来石。

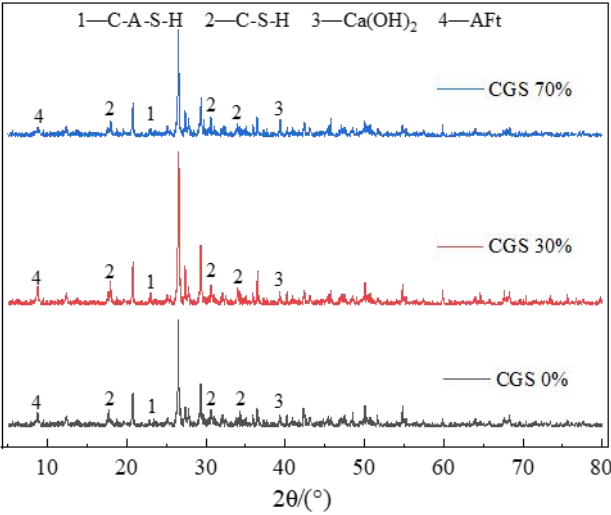
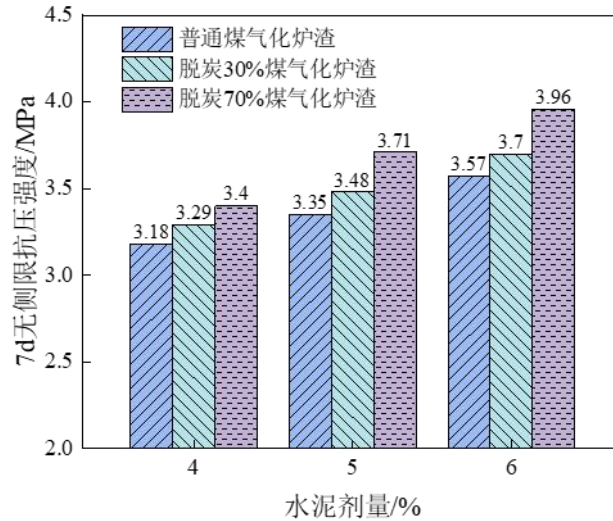
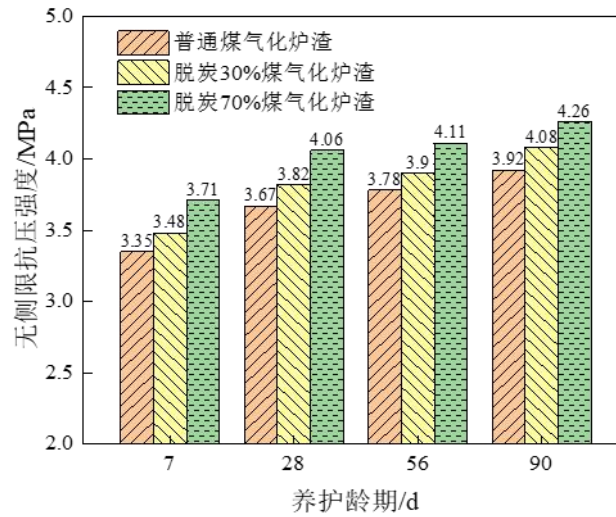


图 5-2 不同脱碳程度煤气化炉渣 XRD 图谱

对进行预处理后的脱碳 30%煤气化炉渣、70%煤气化炉渣与未进行预处理煤气化炉渣进行无侧限抗压强度分析。三种配合比基层混合料无侧限抗压强度均随着水泥剂量、养护龄期的增长而增加；在相同条件下,抗压强度变化规律为脱碳 70%煤气化炉渣>脱碳 30%煤气化炉渣>普通煤气化炉渣。可见随着脱碳程度的增大，力学性能随之增长，可见煤气化炉渣表面的残余碳，会在一定程度上影响混合料水化反应的发生，这种影响从抗压强度上看对于强度的提升在 10%左右。



(a) 不同水泥剂量



(b) 不同养护龄期

图 5-3 不同脱碳程度煤气化炉渣无侧限抗压强度

因此，煤气化炉渣表面残碳对路面基层混合料强度有一定的影响，对残碳含量指标要求为 $\leq 5\%$ ，进一步反应了烧矢量指标的合理性。

3) 煤气化炉渣的粒径规格

煤气化炉渣是一种典型的工业固体废弃物，受排渣方式和气化炉型的不同，不同煤制油厂的气化炉渣以及同一煤制油厂不同批次的气化炉渣化学成分均存在较大差异。由于煤气化炉渣作为细集料应用到路面基层混合料中，煤气化炉渣的颗粒级配以及粗细程度对混合料后期强度的变化有显著影响，因此，根据样品中最大粒径的大小，选用

9.5mm 以下标准筛，首先筛除其中的超粒径材料，然后将样品采用四分法缩分，选取缩分后的样品两份在 105℃±5℃的烘箱中烘干至恒重，冷却至室温后进行筛分。

表 5-8 宁夏地区煤气化炉渣筛分结果

筛孔 (mm)	1 号样				2 号样				平均值
	筛余量 (g)	筛余 (%)	累计筛 余 (%)	通过 (%)	筛余量 (g)	筛余 (%)	累计筛 余 (%)	通过 (%)	通过率 (%)
9.5	0	0	0	100	0	0	0	100	100
4.75	40	7.50	7.50	92.50	39	7.32	7.32	92.68	92.6
2.36	68	12.76	20.26	79.74	62	11.63	18.95	81.05	80.4
1.18	84	15.76	36.02	63.98	82	15.38	34.33	65.67	64.8
0.6	148	27.77	63.79	36.21	147	27.58	61.91	38.09	37.1
0.3	112	21.01	84.80	15.20	115	21.58	83.49	16.51	15.8
0.15	43	8.07	92.87	7.13	46	8.63	92.12	7.88	7.5
0.075	29	5.44	98.31	1.69	32	6.00	98.12	1.88	3.57
筛底	9	1.69	-	-	10	1.88	-	-	-

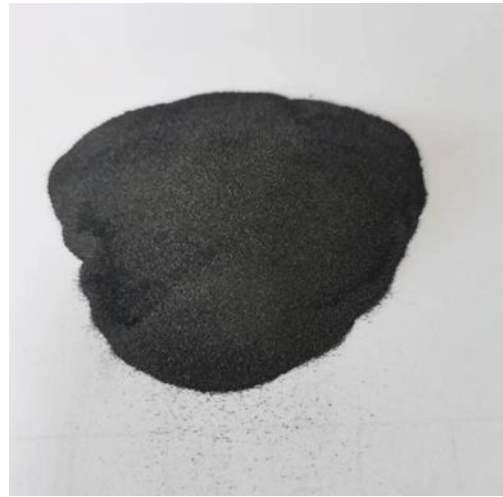
对煤气化炉渣粒径范围在 0.075mm 以下、0.075—0.15mm、0.15—1.18mm、1.18—4.75mm 的颗粒进行如下统计。每一档粒径的煤气化炉渣筛分后的外观形貌如下图所示，可见四档煤气化炉渣有明显的粒径差别，0.075mm 以下、0.075—0.15mm 煤气化炉渣呈粉末状，且具有明显的扬尘；0.15mm—1.18mm、1.18mm—4.75mm 煤气化炉渣颗粒状明显，呈不规则块状，表面明亮无灰分。

表 5-9 宁夏地区煤气化炉渣粒径分布

粒径	分布/%
1.18mm~4.75mm	27.8
0.15mm~1.18mm	57.3
0.075mm~0.15mm	3.93
0.075mm 以下	3.57



(a) 0.075mm 以下



(b) 0.075mm—0.15mm

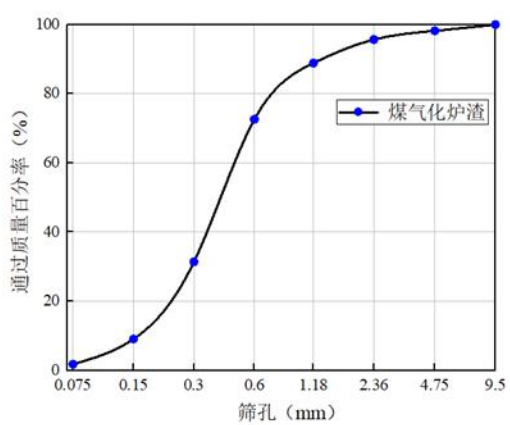


(c) 0.15mm—1.18mm

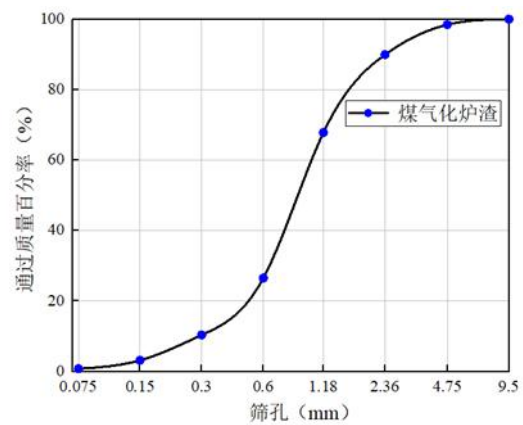


(d) 1.18mm—4.75mm

图 5-4 煤气化炉渣筛分后外观形貌



(a) 第一批料



(b) 第二批料

图 5-5 煤气化炉渣筛分曲线

根据各筛上的累计筛余百分率 (%) 计算煤气化炉渣细度模数。

$$\begin{aligned}
M_x &= \frac{(A_{0.15} + A_{0.3} + A_{0.6} + A_{1.18} + A_{2.36}) - 5A_{4.75}}{100 - A_{4.75}} \\
&= \frac{(90.45 + 68.21 + 26.95 + 10.74 + 3.75) - 5 \times 1.27}{100 - 1.27} \\
&= 1.33
\end{aligned}$$

煤气化炉渣粒径分布在 0.15mm 以下占比仅 7.5%，0.15mm—4.75mm 粒径占比 85.1%，绝大部分颗粒粒径在 4.75mm 以下。细度模数计算结果表明，该煤气化炉渣细度模数在 0.7-1.5 之间，属于特细砂，具有细集料和砂一般的级配，从筛分析结果来看，煤气化炉渣 0-3mm 粒径分布的占比 95.49%，具有可替代路面基层细集料的可行性。

另外，依据行业规范《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20-2015）中的要求，对 0-3mm 和 0-5mm 的细集料应严格控制大于 2.36mm 和 4.75mm 的颗粒含量，对 3-5mm 的细集料应严格控制小于 2.36mm 的颗粒含量。高速公路和一级公路，细集料中小于 0.075mm 的颗粒含量应不大于 15%。因此，煤气化炉渣集料粒径规格要求满足技术规范中表 2 的规定。

4) 其他材料

(a) 粉煤灰

煤气化炉渣公路路面基层所使用的粉煤灰应当符合下表的技术要求。

表 5-10 煤气化炉渣路面基层所用的粉煤灰技术要求

项目	技术要求	试验方法
SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 和 Fe ₂ O ₃ 的总含量 (%)	≥70	T 0816
烧失量 (%)	≤20	T 0817
0.3mm 筛孔通过率 (%)	≥90	T 0818
0.075mm 筛孔通过率 (%)	≥70	T 0818
湿粉煤灰含水率 (%)	≤35	T 0801

(b) 无机胶凝材料

煤气化炉渣公路路面基层所使用的无机胶凝材料应当满足强度等级为 32.5 或 42.5 要求，且所用无机胶凝材料初凝时间应大于 3h，终凝时间应大于 6h 且小于 10h。

(c) 水

符合现行《生活饮用水卫生标准》（GB 5749）的饮用水可直接作为基层、底基层材料拌和与养生用水。拌和使用的非饮用水应进行水质检验，并符合下表规定。

表 5-11 煤气化炉渣路面基层所使用的非饮用水技术要求

项次	项目	技术要求	试验方法
1	pH 值	≥ 4.5	JGJ 63
2	Cl ⁻ 含量 (mg/L)	≤ 3500	
3	SO ₄ ²⁻ 含量 (mg/L)	≤ 2700	
4	碱含量 (mg/L)	≤ 1500	
5	可溶物含量 (mg/L)	≤ 10000	
6	不溶物含量 (mg/L)	≤ 5000	
7	其他杂质	不应有漂浮的油脂和泡沫及明显的颜色和异味	

(2) 配合比设计

1) 煤气化炉渣掺量

编制组通过研究分析水泥稳定煤气化炉渣材料性能变化规律发现，水泥稳定类煤气化炉渣材料的无侧限抗压强度、间接抗拉强度、弯拉强度以及抗压回弹模量都会随着煤气化炉渣掺量增加而逐渐增大，说明合理地掺入一定量的煤气化炉渣，在一定程度上能提高基层的强度，但超出合理范围，会随着煤气化炉渣掺量的增加而降低。在满足设计强度的条件下，可以适当降低水泥用量，从而提高基层的抗裂性。同时，水泥稳定类煤气化炉渣材料的干缩应变随着煤气化炉渣

掺量的增加而逐渐减小，干缩系数随着煤气化炉渣掺量的增加逐渐减小，说明掺入煤气化炉渣能对水泥稳定煤气化炉渣材料的干缩有一定的补偿效果。综上，整体上看，掺入煤气化炉渣能减少基层的收缩量，提高基层的抗裂性能。

因此，从平衡混合料性能和充分利用固废材料的角度出发，本标准依据已有科研成果，提出煤气化炉渣掺配比例宜于 20%~40%。

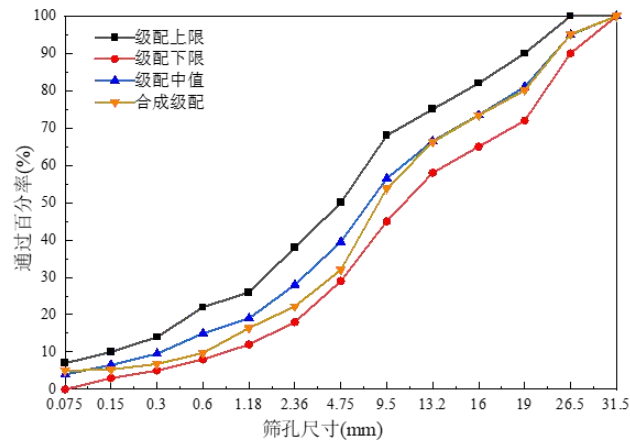
2) 强度试验及标准要求

本文件中给出了用于路面基层的稳定类煤气化炉渣基层混合料的强度试验及标准要求，其中基层混合料的强度试验及标准要求与《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）中基层混合料的强度试验及标准要求基本一致。

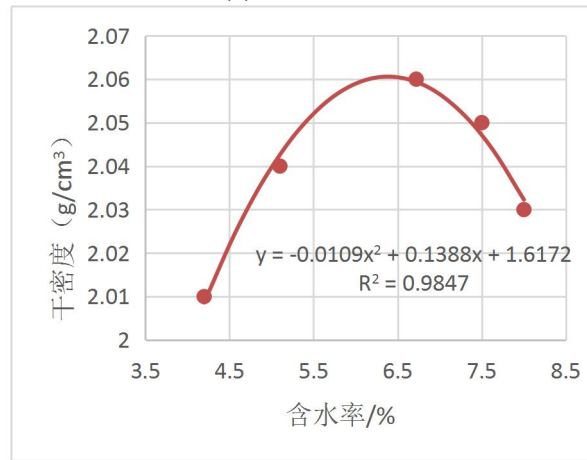
3) 稳定类煤气化炉渣混合料配合比设计

(a) 针对水泥与粉煤灰的比例，以及水泥粉煤灰的总质量比例范围做了要求，其中由于不同电厂、不同等级的粉煤灰其活性有所差异，根据粉煤灰活性的不同可适当调整结合料间的比例，其范围不限于 1:3~1:9，同样水泥粉煤灰的总质量比例宜为 12%，应不大于 18%。水泥粉煤灰稳定煤气化炉渣基层的推荐级配范围及应用部位应符合 JTG/T F20 的要求。

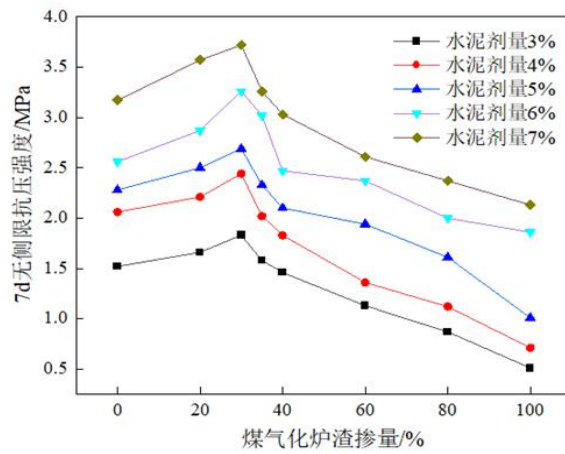
(b) 水泥稳定类煤气化炉渣级配设计、水泥粉煤灰稳定类煤气化炉渣级配设计可根据 JTG/T F20-2015 附录 A 无机结合料稳定材料级配设计规定的方法构造粗、细集料级配曲线，计算各筛孔通过率，完成级配的设计。



(a) 级配曲线

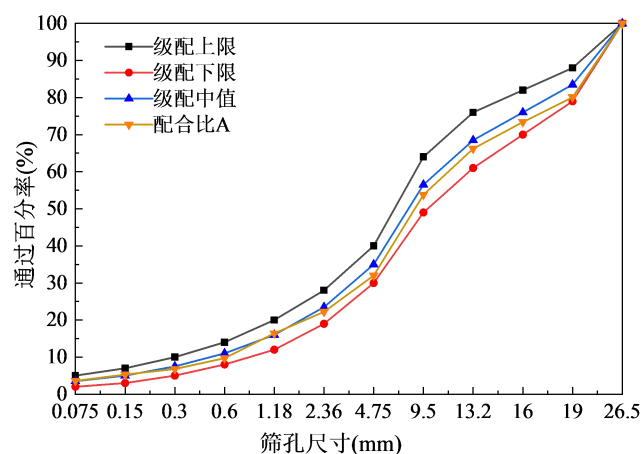


(b) 击实曲线

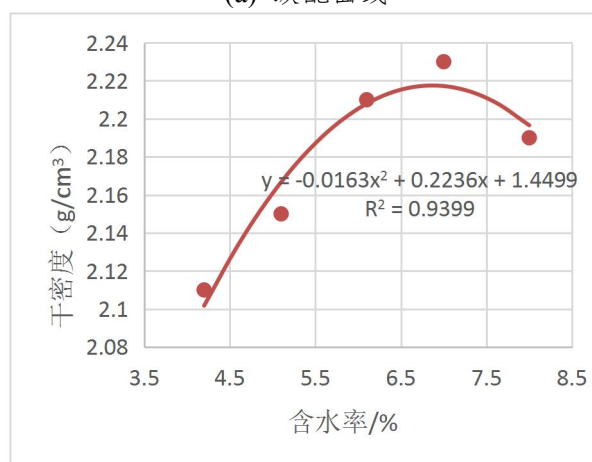


(c) 无侧限抗压强度

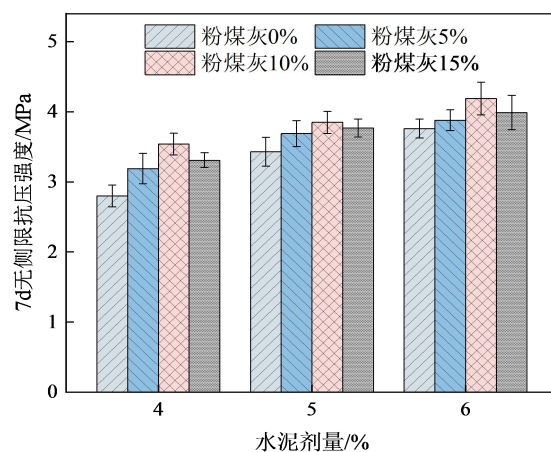
图 5-6 水泥稳定煤气化炉碎石



(a) 级配曲线



(b) 击实曲线



(c) 无侧限抗压强度

图 5-7 水泥粉煤灰稳定煤气化炉渣碎石

依据以上级配曲线及击实曲线，编制组通过对水泥稳定煤气化炉渣碎石、水泥粉煤灰稳定煤气化炉渣碎石配合比的无侧限抗压强度进行测试，得出满足标准编制配合比下的试件无侧限抗压强度满足规范

要求。因此，选用标准规范中 5.4.1 中推荐级配范围。

(3) 施工

1) 煤气化炉渣含水率控制及施工注意事项

采用新排煤气化炉渣基层施工，需对煤气化炉渣的进场含水率进行控制。煤气化炉渣含水率过低时，较大的吸水率会造成基层混合料干缩开裂；煤气化炉渣含水率过高时，细集料含水率会影响混合料最佳含水率，进而影响混合料最大干密度。

以水泥粉煤灰稳定煤气化炉渣基层混合料配合比为例，100kg 混合料所需煤气化炉渣 25kg。混合料以 5%水泥掺配所需用水 7.5kg，而煤气化炉渣进场含水率 21%时所能提供蓄水量 5.3kg。为提高工程效率，减少施工步骤，可提高煤气化炉渣出场含水率，以满足直接拌合要求，则 25kg 煤气化炉渣干基为达到要求，包含 7.5kg 的水，共需要煤气化炉渣湿渣 32.5kg，其出场含水率为 23%。考虑到煤气化炉渣运输及装卸过程水分损耗，故出场含水率控制到 25%较为合适。

表 5-12 煤气化炉渣原材料进场含水率

煤气化炉渣	含水率/%	平均值/%
第一批	19.7	21
第二批	22.3	
第三批	21.5	
第四批	20.5	

为避免工程所需原材料混杂，格挡集料间应独立存放，并有明显的标志。混合料拌和后需保障运输道路畅通，确保混合料运输到现场时间在 15min 左右，现场采用 2 台水稳摊铺机同步施工，压路机重叠 1/3 轮宽，养生期间及时补水保持湿润。

2) 施工过程含水率控制

针对最佳含水率的控制进行了特别说明，当天气炎热或运距较远

时,集中厂拌的水泥稳定煤气化炉渣混合料拌和时宜适当增加含水率。混合料的含水率可高于最佳含水率 0.5%~1%。混合料拌和时,含水率的控制应注意煤气化炉渣的含量对混合料含水率的影响。同时,在施工期间需慎重调整含水率,避免“弹簧”现象产生,在后期的养生过程中容易产生干缩裂缝。

(4) 质量检验与验收

1) 最大干密度确定方法

与振动击实法相比,重型击实法能够得到较小的干密度及较大的含水率。目前振动击实仪没有统一的设备型号和要求,且无法进行振幅、激振力、频率等的标定,也缺乏相关的比对数据;同时,编制组通过调研发现,目前区域内公路水泥稳定材料混合料最大干密度及最佳含水率的确定仍采用重型击实法为主,因此为了保证现场的压实效果,本标准提出将重型击实法得到的最大干密度作为现场压实度控制的标准最大干密度,具体采用系数应以试验段取芯情况及压实度检测结果综合确定,利用重型击实法对振动击实法所得结果进行校正,亦可作为最大干密度确定方法。

2) 稳定类煤气化炉渣基层材料含水率检测频率

现行《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20-2015)中规定稳定类基层材料施工过程中混合料含水率指标检测频度为每天使用前测 2 个样品,测定的含水率与规定含水率的绝对误差应不大于 2%。

3) 煤气化炉渣基层压实度及环境影响评价检测频率

针对基层和底基层用煤气化炉渣集料试验项目中压实度检测做

了要求，按压实度评定规定检查每 200m 测 2 个点，基层压实度代表值 $\geq 98\%$ ，底基层压实度代表值 $\geq 95\%$ 。由于煤气化炉渣在应用前需要进行预处理，而煤气化炉渣通过预处理后，其表面残碳指标、烧矢量和环境影响已达到稳定状态，因此其检测频率要求为做材料组成设计时每批次预处理煤气化炉渣测 2 个样品。

2、试验验证的论述

结合前期室内研究成果，在石嘴山市滨湖大道改移工程开展了煤气化炉渣道路化应用试验段的建设。试验段所用原材料基本指标如下表所示：

表 5-13 “赛马”牌 P·O 42.5（缓凝）水泥相关指标检测结果

检测项目			单位	技术要求	实测值	判定结果
细度			m ² /kg	≤ 10	4.1	合格
初凝时间			min	≥ 240	341	合格
终凝时间			min	≥ 360 且 ≤ 600	426	合格
安定性（雷氏夹法）			mm	≤ 5.0	0.5	合格
强度	抗折强度	3d	MPa	≥ 3.5	5.2	合格
		28d	MPa	≥ 6.5	9.1	合格
	抗压强度	3d	MPa	≥ 17.0	23.7	合格
		28d	MPa	≥ 42.5	46.6	合格

表 5-14 各档料仓集料检测结果

检测项目	单位	检测结果					技术要求	判定结果
		5-10m m 碎石	10-20m m 碎石	20-25m m 碎石	3-5m m 碎石	0-3m m 石屑		
软石含量	%	1.5	1.8	1.1	-	-	≤ 3	合格
0.075mm 以下粉尘含量	%	0.6	0.5	0.6	-	-	≤ 1.2	合格
针片状含量	%	5.6	6.5	9.6	-	-	≤ 18	合格
压碎值	%	-	19.8	-	-	-	≤ 22	合格
塑性指数	-	-	-	-	15.6	14.8	≤ 17	合格

表 5-15 煤气化炉渣金属浸出浓度检测结果

检测项目	单位	检测结果	GB30760-2014 限制（mg/L）
------	----	------	--------------------------

铜	mg/L	0.004L	1.0
铅	mg/L	0.003L	0.3
隔	mg/L	0.001L	0.03
铬	mg/L	0.01	0.2
镍	mg/L	0.02	0.2
砷	mg/L	0.004L	0.1
锰	mg/L	0.2	1.0
锌	mg/L	0.1L	1.0

注：表中带“L”的结果代表样品检测值低于方法检出限

其中，混合料拌和、养生均采用惠农区生活用水。

各料仓动态 R 值标定及水泥胶凝材料 R 值标定如下表所示。

表 5-16 各料仓集料 R 值标定（标定产量：500t/h）

料仓/材料规格	比例（%）	R 值	5min 产量（t）	1h 产量（t）
1#仓石屑（0-5）mm	12	343	2.9	35
2#仓碎石（5-10）mm	18	390	6.7	80
3#仓碎石（10-20）mm	35	419	14.2	170
4#仓碎石（20-30）mm	21	486	10.4	125
5#仓煤气化炉渣（0-5）mm	8	457	4.1	45
6#仓粉煤灰	6	1037	2.5	30

表 5-17 水泥胶凝材料 R 值标定

料仓/材料规格	比例（%）	R 值	5min 产量（kg）	1h 产量（t）
水泥胶凝材料（外掺）	3.0	2670	55.6	20

施工过程中可以基于此表，对混合料各档碎石、煤气化炉渣、水泥和粉煤灰进行更加精确地控制。

根据配合比设计要求，并结合该试验段所在项目交通荷载等级，以项目实际使用的集料进行级配设计确定满足要求的集料掺配比例。本次无机结合料生产配合比设计的矿料合成级配如下图所示。

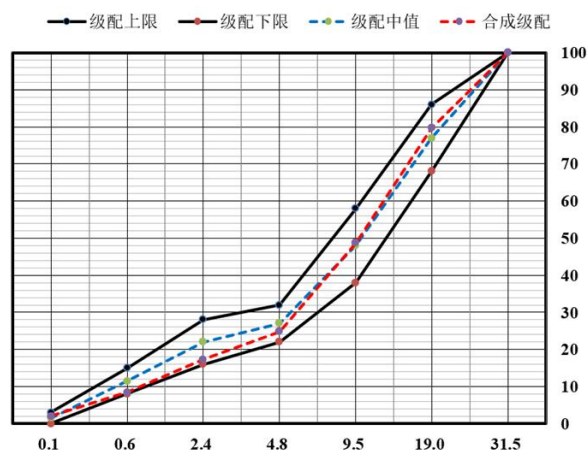


图 5-8 矿料合成级配

拌合站的主要任务是按照生产配合比所确定的集料级配、水泥剂量和最佳含水量进行混合料的拌和。拌合站必须保证原材料合格，保证有良好的集料堆放场地和良好的排水设施。在其他基础条件良好的情况下，在试验路的混合料拌和期间，从以下三个方面来控制混合料的级配，主要是通过室内试验来控制。

1) 集料级配控制

拌合机控制室根据所给配比调节料仓出料速度，从而控制每档石料和煤气化炉渣的用量。在每次开启拌和机拌和混合料时，都需要进行取样进行筛分试验，控制集料级配。在料仓出料混合以后、未进入拌和仓之前取料筛分结果如下图所示。

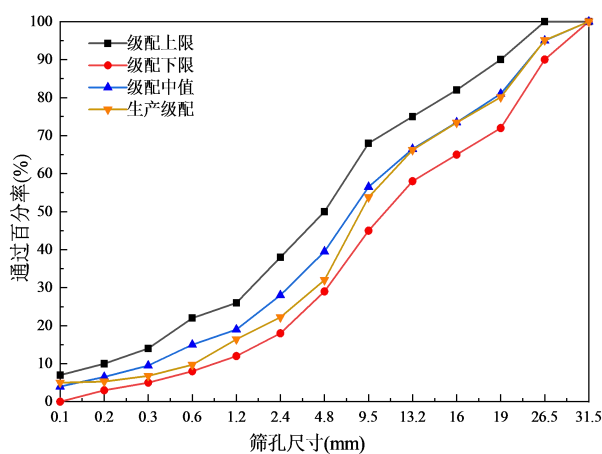


图 5-9 拌和仓级配筛分结果

2) 含水量的控制

含水量是水泥稳定煤气化炉渣碎石混合料配合比中的一个重要的指标。研究表明，混合料的含水量增加 1% 左右所导致的干缩应变变量要比多加 1% 胶凝材料产生的干缩应变量大很多。当混合料含水量过低时，混合料难以成型，集料嵌挤度不足，压实度不能满足设计要求，取出的芯样松散，强度低；当含水量偏大时，碾压车轮会很容易带起混合料，不易碾压，并且铺筑完几天后便会出现很明显的干缩裂缝。

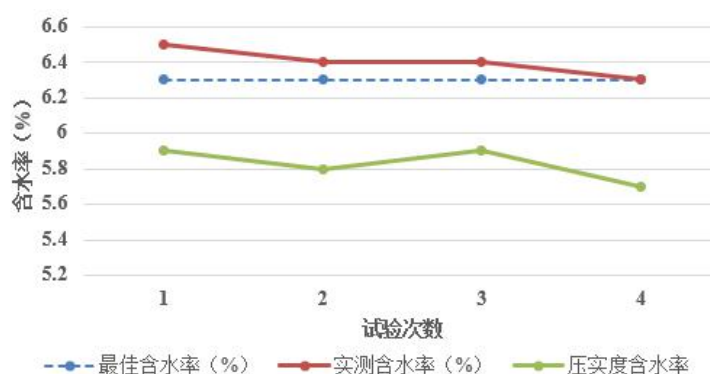


图 5-10 现场混合料实测含水率对比结果

在试验段施工期间，实测含水率均大于最佳含水率，混合料摊铺时正值正午时分，气温高，因此含水率更高。在实际施工过程中，含水率应根据运距的远近、天气的变化、气温、现场的碾压情况随时进行调整，以保证碾压时含水率在最佳含水率 $\pm 0.5\%$ 之间。

3) 水泥剂量的控制

水泥剂量是影响水泥稳定煤气化炉渣碎石基层强度的重要因素，也是控制基层干缩情况的关键。水泥剂量过少，则不能达到设计强度，水泥剂量过大，则容易使基层干缩温缩裂缝增加。同控制集料级配一样，每天拌合站拌料时，从料仓中取出适量的已经拌和均匀的混合料，在试验室进行水泥剂量滴定试验，将滴定结果与设计水泥剂量作对比，

并且及时反馈至控制室，若不合格，控制室应及时调整水泥用量。

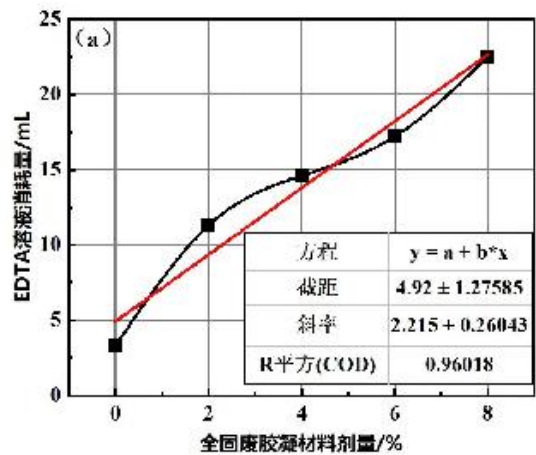


图 5-11 现场混合料胶凝材料用量滴定结果

表 5-18 水泥稳定煤气化炉渣碎石基层

EDTA 消耗量(m1)		水泥剂量 (%)		平均值 (%)
1#	2#	1#	2#	/
3.8	3.9	3.5	3.6	3.6

4) 碾压过程的质量控制

压实度是保证施工质量的重要控制因素，压实时，应标记好初压区、复压区和终压区，严格控制压实机械的规格和压实数量。摊铺完成后，应及时进行碾压工作，延时碾压、过度碾压和压实不足都会对水泥稳定煤气化炉渣碎石基层产生不利。碾压完成后水泥稳定煤气化炉渣碎石基层的厚度为 20cm，碾压完成后需要现场进行压实度检测。对于水泥稳定煤气化炉渣碎石混合料，碾压的时间延后越长，路面基层的压实度和强度损失的程度就会越大。由下表可知，水泥稳定煤气化炉渣碎石基层混合料压实度满足要求。

表 5-19 水泥稳定煤气化炉渣碎石基层压实度

检测次数	K0+150 右 5.0m	K0+200 右 7.5m
压实度实测值 (%)	97.5	97.6
压实度设计值 (%)	≥97	≥97
结果判定	符合	符合

5) 养生过程的质量控制

试验段在完成碾压并经压实度检测合格后应立即进行养生，不能延误。养生用土工布覆盖进行养生，并周期性在土工布上洒水，加快水泥稳定煤气化炉渣碎石基层中水泥的水化，从而在规定的养生周期内形成足够的强度。按技术规范养生期应不小于 7d，在养生期间硬封闭交通，除洒水车外禁止任何车辆行驶。

6) 基层试验段质量评价

(a) 7 天芯样情况

水泥稳定煤气化炉渣碎石基层混合料 7 天龄期现场钻芯取样，芯样如下图所示，可见 7 天龄期下煤气化炉渣碎石底基层芯样完整、密实。底基层设计厚度 20cm，试验段所取芯样厚度为 195mm，坑深 197mm，所取芯样剖面可以看出混合料骨架密实，四周均匀。





图 5-12 水泥稳定煤气化炉渣碎石底基层试验段取芯

(b) 28 天芯样情况

水泥稳定煤气化炉渣碎石基层混合料 28 天龄期现场钻芯取样，芯样如下图所示，28d 龄期芯样由于已经铺设完成下基层、上基层，因此取芯过程中将上基层、下基层、底基层芯样一并完整取出，28 天龄期下煤气化炉渣碎石底基层芯样完整、密实。底基层设计厚度 20cm，试验段所取芯样厚度为 195mm，坑深 196mm，所取芯样剖面可以看出混合料骨架密实，四周均匀。





图 5-13 水泥稳定煤气化炉渣碎石底基层试验段取芯

(c) 芯样无侧限抗压强度

通过对所取芯样进行室内无侧限抗压强度测试，得出所取芯样的 7d 无侧限抗压强度均值为 4.7MPa，28d 无侧限抗压强度均值为 5.6MPa。满足规范对基层材料无侧限抗压强度要求。

表 5-20 水泥稳定煤气化炉渣碎石基层无侧限抗压强度

类型	7d 无侧限抗压强度/MPa			
	芯样 1#	芯样 2#	芯样 3#	平均值
水泥稳定煤气化炉渣碎石	4.7	4.5	4.9	4.7
	28d 无侧限抗压强度/MPa			
	芯样 1#	芯样 2#	芯样 3#	平均值
	5.5	5.7	5.6	5.5

六、重大意见分歧的处理依据和结果

本文件的编制主要按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则第 1 部分：标准的结构和编写规则》给出的规则进行编写。编制过程中注重宁夏特色的体现，无重大意见分歧。

七、实施标准的措施及建议

本文件为宁夏公路工程施工建设领域首次编制煤气化炉渣水泥稳定类基层应用技术规范，需各方面进行逐步修订和完善，建议为推荐性标准。待本文件批准发布后，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。

八、知识产权说明

本文件不涉及相关知识产权。

九、其他应说明的事项

无。