

# 工业固废材料小型构件公路工程 应用技术规范

## 编制说明

2025 年 2 月

# 目 次

一、工作概况 .....	1
(一) 任务来源 .....	1
(二) 起草单位 .....	1
二、制定标准的必要性和意义 .....	1
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 .....	7
(四) 调研及征求意见 .....	8
(五) 报批审核 .....	8
四、编制原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系 .....	8
(一) 编制原则 .....	8
(二) 编制依据 .....	9
(三) 与现行法律法规、标准的关系 .....	10
五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述 .....	11
(一) 主要条款说明 .....	11
(二) 主要技术指标、参数、试验验证的论述 .....	12
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 .....	39
八、知识产权说明 .....	41

九、其他应予说明的事项.....	41
------------------	----

# 《工业固废材料小型构件公路工程应用技术规范》

## 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《工业固废材料小型构件公路工程应用技术规范》地方标准的制订，结合实体工程需求的实际情况，编制宁夏地区工业固废材料小型构件公路工程应用技术规范，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、宁夏嘉恒绿色低碳新材料科技有限公司、宁夏乌玛北高速公路管理有限公司。

#### （三）主要起草人及分工

##### 1.3.1 起草人

门光誉、窦占双、周万福、贾小龙、贾小彤、闫升、马力、刘祺、叶锋、姚志杰、张学思、冯玉钊、郝晨、马旭东、陈浩旭、张让林、张新、张嘉兴。

##### 1.3.2 分工

门光誉：负责标准的总体组织、策划、协调、编制等工作；

窦占双、周万福、贾小龙、贾小彤：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；

闫升、马力、刘祺、叶锋：负责原材料、配合比设计与技术要求章节的编制工作；

姚志杰、张学思、冯玉钊：负责预制与安装章节的编制工作；

郝晨、张让林、张新、张嘉兴：负责质量检验与验收章节的编制工作；

马旭东、陈浩旭：负责对文稿进行修改整理工作。

## 二、制定标准的必要性和意义

工业固废的累计存量和年排放量巨大，约占工业固废总量的 90%。2021 年，我国大宗工业固体废弃物产生量约为 40.38 亿吨，综合利用率为 57.65%，较 2020 年综合利用率提升仅为 0.74%。据统计，我国粉煤灰累计存量 30 亿吨，年增长量为 4 亿吨；煤矸石累计存量达 70 亿吨，年增长量为 3~3.5 亿吨；钢渣累计存量达 20 亿吨，年增长量为 1 亿吨；脱硫石膏累计堆存量 8.5 亿吨，年增长量为 0.8 亿吨；矿渣累计堆存量 30 亿吨，年增长量为 2 亿吨。各种大宗工业固体废物产生量大，贮存、处置占地多，不仅给产废企业造成了严重的经济负担，还对生态环境和社会可持续发展造成了严重的影响，所以如何充分利用工业固废，有效降低存量，成为各行业和社会关注的重点问题。

宁夏地区工业固废种类丰富、涉及煤基固废、冶金固废、化工固废等，包括煤矸石、粉煤灰、炉渣、脱硫石膏、钢渣、高炉矿渣、硅锰渣、双氰胺渣等 10 余种工业固废。年产量约 7800 万吨，年产废强度高，历史累计量大，主要处理方式为堆存或填埋，综合利用率极低，占据了大量的土地，同时对空气、土壤、地下水等都产生极大的环境风险，亟待规模化应用。

2023 年 1 月份生态环境部发布《关于推荐固体废弃物和土壤污

染防治技术的通知》，推荐重点领域其中包括工业副产石膏、尾矿、冶炼渣等典型大宗工业固体废弃物处置及资源化技术。2022年1月份，国家发展改革委《关于加快推进大宗固体废弃物综合利用示范建设的通知》，指出加快推进综合利用示范建设，推动实现“到2025年大宗固废年综合利用量达到40亿吨左右”目标任务。2022年1月份工信部、发改委发布《关于加快推动工业资源综合利用的实施方案》，到2025年，力争大宗工业固废综合利用率达到57%。

2022年2月宁夏回族自治区发布《自治区人民政府办公厅关于2022年自治区政府工作报告任务分工的通知》，提出工业固废综合利用率达到43%。

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。

同时，随着我国公路建设里程不断加大、公路基础设施的快速发展，公路路基边坡防护工程建设需要更多的建筑材料。受资源压力、

发展阶段、环保要求等因素影响，建材价格不断上涨、砂石资源开采困难、公路建设中存在跨省上千公里购买砂石材料，严重制约了公路建设的高质量和可持续发展。为此重点研究基于工业固废材料在公路路基边坡防护工程小型构件中的材料性能及综合应用技术。采用工业固废应用于公路路基边坡防护工程是实现大宗工业固废综合利用的有效途径之一，并通过工业固废成套技术体系的研究，完善工业固废在公路路基工程领域应用的标准体系，实现生产规范化、应用标准化、质量控制一体化，推动工业固废在公路基础设施小型构件建设中的规模化应用。

本标准依托乌海至玛沁公路惠农（蒙宁界）至石嘴山段项目公路路基边坡防护工程小型构件应用为契机，推进大宗工业固废在公路路基工程中的应用技术在宁夏地区实体工程中的应用，总结实体工程应用经验，结合固废原材料特性，研究提出基于宁夏地区工业固废材料小型构件应用技术规范。

本地方标准的制定，将使宁夏地区工业固废在公路路基工程领域应用的

标准化、规范化发展，依据一些工业固废的材料特性，挖掘其潜在价值，有效利用工业固废作为公路路基工程建筑材料，变废为宝，并通过工业固废成套技术体系的研究，完善工业固废在公路路基工程领域应用的标准体系，实现生产规范化、应用标准化、质量控制一体化，推动工业固废在公路基础设施小型构件建设中的规模化应用。

### **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，由宁夏交通建设股份有限公司牵头成

立标准编制起草组，确定主要负责人和编写组成员。

## **(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) 《中华人民共和国标准化法实施条例》
- (5) 《中华人民共和国公路法》
- (6) 《公路工程建设标准管理办法》
- (7) 《公路水运工程质量检测管理办法》
- (8) 《市场监管行业标准管理办法》
- (9) 《市场监管行业标准制定管理实施细则》

### **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) 生态环境部《关于推荐固体废弃物和土壤污染防治技术的通知》
- (6) 国家发展改革委《关于加快推进大宗固体废弃物综合利用示范建设的通知》

(7) 工信部、发改委发布《关于加快推动工业资源综合利用的实施方案》

(8) 《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)》

(9)《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)

(10)《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)

### 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 175 通用硅酸盐水泥

(3) GB/T 176 水泥化学分析方法

(4) GB/T 1345 水泥细度检验方法筛析法

(5) GB/T 1499.1 钢筋混凝土用钢 第 1 部分：热轧光圆钢筋

(6) GB/T 1499.2 钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋

(7) GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰

(8) GB/T 13788 冷轧带肋钢筋

(9) GB/T 14684 建设用砂

(10) GB/T 14685 建设用卵石、碎石

(11) GB/T 14848 地下水质量标准

(12) GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉

(13) GB/T 203 用于水泥中的粒化高炉矿渣

- (14) GB/T 208 水泥密度测定方法
- (15) GB/T 20491 用于水泥和混凝土中的钢渣粉
- (16) GB/T 26748 水泥助磨剂
- (17) GB/T 50081 混凝土物理力学性能试验方法标准
- (18) GB/T 51003 矿物掺合料应用技术规范
- (19) GB/T 8074 水泥比表面积测定方法 勃氏法
- (20) GB/T 8076 混凝土外加剂
- (21) JC/T 949 混凝土制品用脱模剂
- (22) JC/T 2860 水泥和混凝土用脱硫锰渣
- (23) JG/T 486 混凝土用复合掺合料
- (24) JGJ 55 普通混凝土配合比设计规程
- (25) JGJ 63 混凝土用水标准
- (26) JTG 3420 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
- (27) JTG 3432 公路工程集料试验规程
- (28) JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
- (29) JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准第一册土建工程
- (30) YB/T 4229 用于水泥和混凝土中的硅锰渣粉
- (31) T/CECS 689 固废基胶凝材料应用技术规范

### **(三) 编制标准草案**

2024年8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2月，召开标准讨论会，《工业固废材料小型构件公路工程应用技术规范（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**

2024年8月，编制起草组组织开展区内和区外工业固废材料小型构件公路工程应用相关调研工作：

##### **(1) 区内工业固废调研**

针对宁夏地区的钢渣、硅锰渣、矿渣、煤气化炉渣、脱硫锰渣、粉煤灰等工业固废分布及工程特性进行了调研，了解掌握宁夏地区的粉煤灰产量、分布以及特性。

##### **(2) 区外工业固废材料小型构件公路工程应用实地考察**

基于宁夏地区工业固废调研情况，并前往新疆、山东、江西、山西、陕西等工业固废道路化应用研究先进的地方进行了实地考察与交流，对工业固废材料小型构件公路工程应用有了全新的认识和充分了解。

2025年3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；《工业固废材料小型构件公路工程应用技术规范（征求意见稿）》通过线上线下的方式广泛征求意见。

2025年\*\*月收集意见并进行整理，采纳了\*\*条意见，并根据采纳意见对标准文本进一步修改并形成了《工业固废材料小型构件公路工程应用技术规范》（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\*\*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**

### (1) 结合区域特点、因地制宜

针对近年来宁夏地区公路路基边坡防护、排水工程建设过程存在的实际问题，结合工业固废在宁夏区域的原材料特点，总结现有经验及成果，开展标准制定工作。

### (2) 技术内容科学、合理、可操作

本文件聚焦工业固废材料小型构件公路工程应用技术积极吸纳近年来区内、国内在公路工程工业固废材料小型构件原材料要求、配合比设计与技术要求、预制与安装、质量检验与验收等方面的经验与做法，广泛征集设计单位、施工单位、质量监督等单位的行业内意见，凝聚共识。制订的技术内容充分考虑实施过程的可行性，形成一套可复制、可推广的完整体系。

### (3) 与相关规范协调一致

本标准编制过程中，借鉴国内外先进标准与技术创新原则，处理好本标准与《钢渣应用技术要求》(GB/T 32546-2016)、《矿物掺合料应用技术规范》(GB/T 51003-2014)、《公路工程水泥混凝土制品 边坡砌块》(JT/T 1148-2017)、《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1)、《公路工程小型预制构件施工技术规范》(DB33/T 2386-2021)等标准规范的协调性，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 1345 水泥细度检验方法筛析法

GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰  
GB/T 14684 建设用砂  
GB/T 14685 建设用卵石、碎石  
GB/T 14848 地下水质量标准  
GB/T 203 用于水泥中的粒化高炉矿渣  
GB/T 208 水泥密度测定方法  
GB/T 20491 用于水泥和混凝土中的钢渣粉  
GB/T 30810 水泥胶砂中可浸出重金属的测定方法  
GB/T 50081 混凝土物理力学性能试验方法标准  
GB/T 50164 混凝土质量控制标准  
GB/T 51003 矿物掺合料应用技术规范  
GB/T 8074 水泥比表面积测定方法 勃氏法  
JC/T 2860 水泥和混凝土用脱硫锰渣  
JGJ 55 普通混凝土配合比设计规程  
JTG 3420 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程  
JTG 3432 公路工程集料试验规程  
JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准第一册土建工程  
YB/T 4229 用于水泥和混凝土中的硅锰渣粉  
T/CECS 689 废基胶凝材料应用技术规范

### **(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《矿物掺合料应用技术规范》、《公路工程水泥混凝土制品边坡砌块》《公路工程质

量检验评定标准 第一册 土建工程》、《公路工程小型预制构件施工技术规范》等多项标准执行。

2021年浙江省市场监督管理局发布《公路工程小型预制构件施工技术规范》(DB33/T 2386-2021)针对普通硅酸盐水泥、天然砂或机制砂、非碱活性集料提出技术要求。

2020年河北省住房和城乡建设厅发布《全固废高性能混凝土应用技术标准》(DB13(J)/T8385-2020)针对铁尾矿砂、铁尾矿废石作为粗细骨料提出相关技术要求。

综上所述,一、现有技术规范缺乏工业固废原材料应用于小型构件的技术指标要求;二、工业固废与传统材料性能存在一定的差异,固废材料的施工要点以及验收标准有别于现有技术规范要求。

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**

本文件规定了宁夏地区公路工程工业固废材料小型构件应用的术语和定义、原材料要求、配合比设计与技术要求、预制与安装、质量检验与验收等内容。本文件适用于公路路基边坡防护、排水工程小型构件的设计、施工和质量检验。

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章阐述了本标准中公路工程小型构件、固废复合矿物掺合料、

工业固废粗集料、工业固废细集料、成品质量检验等相关术语和定义。

第4章规定了原材料的特性，包括原材料的一般规定、固废复合矿物掺合料主要材料与组分、技术要求、重金属离子浸出浓度限值、固废集料的技术要求等。

第5章阐述配合比设计过程中不同强度等级工业固废材料小型构件混凝土水胶比、胶凝材料用量推荐范围，以及提出小型构件混凝土抗压强度、吸水率、耐久性能等相关技术要求。

第6章阐述小型构件预制与安装的一般要求，预制施工准备、钢筋的制作与安装、拌合、浇筑、振动、转运与收面、带模养护、脱模、二次养护、存放、运输与安装过程相关技术要点。

第7章阐述工业固废材料小型构件原材料检验、成品质量检验、构件安装质量检验等相关技术要求。

## **(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。

### **5.1 原材料**

#### **5.1.1 粒化高炉矿渣**

##### **(1) 粒化高炉矿渣的生产工艺**

粒化高炉矿渣是冶炼生铁时从高炉中排出的一种废渣，由助熔剂石灰和铁矿石中的石英、氧化铝或者还有煤的灰烬在1350-1550℃熔融状态下反应形成。矿渣的活性与其冷却工艺密切相关，矿渣的玻璃体状态一方面由粒化前熔渣的温度和粘度控制，另一方面又受到粒化过程的冷却速率影响。熔融矿渣的冷却分为缓慢的空气冷却和快速的

水淬冷却两种方式。缓慢冷却的熔融矿渣是由 Ca-Al-Mg 硅酸盐晶体组成的一种稳定的固体，主要矿物相是黄长石，它是钙黄长石（ $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ ）和镁黄长石（ $2\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$ ）的固溶体，具有胶凝活性的成分较少。因此，慢冷结晶态矿渣的胶凝活性很弱或者没有，应用较少。

### （2）粒化高炉矿渣的化学组成

粒化高炉矿渣的化学成分随炼铁方法和铁矿石种类的变化而变化，主要成分是  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{MgO}$ 。一般而言， $\text{CaO}$  含量为 30%~50%， $\text{SiO}_2$  是 27%~42%， $\text{Al}_2\text{O}_3$  为 5%~20%， $\text{MgO}$  为 1%~18%。与硅酸盐水泥相比，矿渣含钙量低，含硅量高。粒化高炉矿渣的化学组成在一定程度上决定了其玻璃体的结构，对矿渣的水硬活性有很大的影响。

通过取样测试了各钢厂的化学组分，试验结果（见表 5-1）。

表 5-1 已调研钢厂矿渣的化学成分

产地	各成分含量 (%)									
	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ti <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO
宁钢	43.1	0.54	28.3	7.84	0.36	12.71	3.5	3.4	-	1.2
建龙	42.4	0.705	26.8	6.70	-	13.46	5.53	1.95	0.12	1.3
八一	26.8	9.91	33.3	7.51	0.02	11.9	7.1	1.47	-	0.6

### （3）粒化高炉矿渣的活性

矿渣化学活性主要来源于无定形态玻璃体结构，与矿渣中所含化

学成分有一定程度上的相关性。其中 CaO 含量对矿渣活性起到重要贡献,在一定范围内, CaO 含量越高,矿渣玻璃体无定形态程度越大,反应活性越高,但 CaO 含量过高,在高炉中的熔融态矿渣容易析出晶相,矿渣玻璃化程度降低,矿渣的活性反而会降低; SiO<sub>2</sub> 对于矿渣玻璃体的形成具有促进作用, SiO<sub>2</sub> 的含量越多,熔融矿渣的玻璃体含量越高,但 SiO<sub>2</sub> 含量过高,冷却时易形成低碱性硅酸钙和高硅玻璃质,降低了反应活性。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 在矿渣中常以四配位和六配位两种配位的形式存在, Al 原子可以取代部分 Si, 改变产物网络结构,一定程度上也决定了矿渣活性。MgO 为碱性氧化物,是矿渣玻璃体中的网络改变体,由于 Mg-O 化学键较弱,更容易发生断裂,有利于矿渣网络结构的解聚。MnO 是有害成分,会与硫化物生成 MnS,对矿渣的活性有害。

根据《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GBT18046), 7d 活性应≥70%, 28d 活性应≥95%, 玻璃体含量≥85%。我区矿渣的玻璃体含量及活性指数均符合规范要求(见表 5-2)。

表 5-2 粒化高炉矿渣的活性

产地	活性		玻璃体含量
	7d	28d	
宁钢	71	98	93
建龙	85	101	91
八一	73	96	89

#### (4) 粒化高炉矿渣的细度

粒化高炉矿渣不同粉磨时间与细度参数的影响规律如表 5-3。

5-2 粒化高炉矿渣的细度参数

序号	名称	掺量 (%)	球磨时间 (min)	细度检测	
				45 $\mu\text{m}$ 筛余 (%)	比表面积 ( $\text{m}^2/\text{kg}$ )
1	粒化高炉矿渣	50	50	12.6	398.68
2		50	60	6.9	453.4
3		50	70	3.4	481.7
4		50	80	1.5	541.35
5		50	90	2.6	603.53

一般来说，矿渣的水硬活性随着其细度的增加而提高。因为随着粉磨时间的延长，不但增加了材料的比表面积，而且会增加位于边缘、顶角、解理以及内原子排列不正常或者镶嵌有其他原子的活性中心的数量。这样的中心数量越多，矿渣的水硬活性就越高。所以，控制矿渣的粒度分布对于固废复合矿物掺合料的制备是一个关键的技术参数。

### 5.1.2 粉煤灰

#### (1) 粉煤灰的产生和分类

粉煤灰是火力发电厂煤粉燃烧后的残余产物，一般含有大量的球状玻璃体颗粒。其主要化学成分是硅铝化合物，此外还含有一些铁、钙等氧化物。按照 CaO 含量的不同，可以将粉煤灰分为高钙粉煤灰 (CaO 含量 $>10\%$ ) 和低钙粉煤灰 (CaO 含量 $<10\%$ ) 两种。高钙粉煤灰一般由褐煤、亚沥青质煤燃烧后得到，由于褐煤和亚沥青质煤的灰烬中 CaO 含量较高，可达 10% 以上。低钙粉煤灰一般由无烟煤、沥青质煤燃烧得到。无烟煤和沥青质煤的灰烬富含  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ，它们三者的质量分数占 70% 以上，而 CaO 含量相对较少。同时，玻

璃体含量较高钙粉煤灰少，而莫来石含量较多，其活性主要取决于非晶态的玻璃体成分及其结构。

粉煤灰自身胶凝性十分微弱，但在细分散状态和潮湿环境中，常温下就会和  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  发生化学反应生成胶凝产物。目前，低钙粉煤灰已经广泛地应用于地质聚合物的研究以及作为水泥混合材应用于水泥混凝土工艺中，并体现出了非常好的工作性和耐久性。而对于高钙粉煤灰来说，由于其游离氧化钙含量高，容易导致水泥安定性不合格以及混凝土膨胀开裂，因而尚未得到很好的利用。

分别调研了国能大武口热电有限公司、国电石嘴山发电有限责任公司生产的粉煤灰，该粉煤灰为低钙粉煤灰。

## (2) 粉煤灰的物理特性

粉煤灰的物理性质是粉煤灰品质分级、分类的一个重要依据，具体包括以下几方面的内容：密度、细度、需水量比等。根据《用于水泥和混凝土的粉煤灰》(GBT 1596)，其物理特性见表 5-3。

5-3 粉煤灰物理特性研究

序号	项目	检测结果		技术指标
1	SiO <sub>2</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 和 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 等氧化物总含量 (%)	大武口	89.7	≥70
		石嘴山	92.0	
2	烧失量 (%)	大武口	3.2	三级灰≤10
		石嘴山	2.8	
3	pH 值	大武口	9.53	/
		石嘴山	10.05	
4	含水率 (%)	大武口	0.311	≤1.0
		石嘴山	0.335	

5	密度 (g/cm)	大武口	1.958	≤2.6
		石嘴山	1.962	
6	SO <sub>3</sub> (%)	大武口	0.21	≤3.0
		石嘴山	0	
7	需水量比 (%)	大武口	104	三级灰≤115
		石嘴山	109	
8	细度 (0.045mm 筛余%)	大武口	41.75	三级灰≤45
		石嘴山	56.99	

### (3) 粉煤灰的化学组成

调研了京能电厂、宁煤动力车间、枣庄电厂、鸳鸯湖电厂、石嘴山电厂及大武口电厂粉煤灰，其化学组成见表 5-4，由表可知，宁夏地区粉煤灰的主要成分为 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO 为主，它们之和占粉煤灰的 95%以上，其他成分有 MgO、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O、TiO<sub>2</sub> 和微量稀有元素等，属于典型低钙粉煤灰。活性的组分包括活性的 SiO<sub>2</sub> 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，它们会在水的作用之下跟碱性物质、硫酸盐类发生某些化学反应，生成胶凝类型的稳定化合物，以促进固废复合矿物掺合料的进一步水化。

表 5-4 粉煤灰的化学成分分析

厂区名称	类型	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
京能电厂	粗灰	50.13	32.1	1.44	6.25	4.36	0.96	1.86	0.74
宁煤动力车间	细灰	50.34	24.94	1.36	7.41	7.6	2.07	2.78	1.64
	粗灰	51.61	22.67	1.26	8	8.56	1.85	2.81	1.57
枣庄电厂	粗灰	49.08	25.97	1.28	7.55	8.32	1.7	2.3	1.3
	细灰	45.89	24.75	1.28	7.26	11.18	2.67	2.23	1.99
鸳鸯湖电厂	原灰	46.58	22.01	1.21	7.71	12.73	2.82	2.41	2.2

	细灰	50.48	27.97	1.33	7.33	5.95	1.52	2.5	1.07
石嘴山电厂	原灰	48.34	36.82	1.64	6.86	3.37	0.29	1.13	/
大武口电厂	原灰	48.35	34.11	1.62	7.32	4.4	0.65	1.62	/

#### (4) 粉煤灰的物相分析

粉煤灰是晶体矿物和非晶体矿物的混合物。晶体矿物含有石英、莫来石、磁铁矿、方镁石、生石灰及无水石膏等（见图 5.1）。非晶矿物包括玻璃体、无定型碳和次生褐铁矿等，其中玻璃体含量一般在 50%。

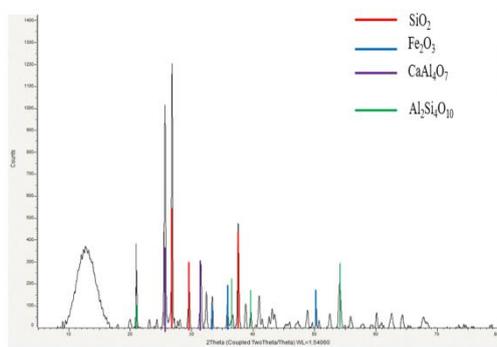


图 5.1 粉煤灰物相组成分析

#### (5) 粉煤灰的细度

粉煤灰不同粉磨时间与细度参数的影响规律如表 5-5。

5-5 粉煤灰的细度参数

序号	名称	掺量 (%)	球磨时间 (min)	细度检测	
				45 $\mu$ m 筛余 (%)	比表面积 (m <sup>2</sup> /kg)
1	粉煤灰	30	20	3.0	406.8
2		30	30	0.80	479.84
3		30	40	1.0	517.12
4		30	50	8.30	536.56
5		30	60	11.50	553.28

粉煤灰（原灰）的最佳粉磨时间为 30min，较长的粉磨时间可能会使部分颗粒过度破碎，导致颗粒团聚，反而使细度筛余升高。所以

粉煤灰的粉磨一定要注意不要过度粉磨。

### 5.1.3 煤气化炉渣

#### (1) 煤气化炉渣的来源

煤气化是煤或煤焦在高温下,通入氧气、水蒸气或氢气等气化剂,经过化学反应使煤或煤焦的可燃部分生成合成气的过程。煤在气化炉中经历了燃烧、气化等热转化过程后,煤中的矿物质和其他无机组分先后经历了破裂、团聚和熔融等过程,最终与部分未参与反应的煤或煤焦形成灰渣。煤气化渣分为粗渣和细渣,从气化炉排渣口获得的气化渣通常称为粗渣,随合成气离开的飞灰称为细渣。粗渣顺着气化炉壁,经过渣口下降管在激冷室淬冷,迅速固化为固体小颗粒沉降在激冷室底部,最终产生于气化炉的排渣口,占总渣量的 60%~80%;细渣是由激冷室中的飞灰和悬浮在激冷水中的细颗粒渣组成的,它们随黑水排放进入灰水处理系统,产生于合成器的除尘装置,占 20%~40%。

#### (2) 煤气化炉渣理化特性

煤气化渣化学组成与煤的灰分、助熔剂类型和引入量以及气化工工艺等因素有关,煤气化渣主要由  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  和残炭组成。

本试验所用煤气化渣 (CGS) 由国家能源集团宁夏煤业有限公司提供,采用 X 射线荧光光谱分析化学组成 (见表 5-6), 3d、7d、28d 活性均处于 15-30 间,整体活性较低 (见表 5-7),采用 X 射线衍射仪

测定物相组成（见图 5.2）。

表 5-6 煤气化炉渣的化学组成

名称	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Cl	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
样品 1	43.94	17.60	15.10	14.64	1.40	1.84	1.74	0.53	0.29	0.53
样品 2	44.05	17.22	15.26	14.30	1.38	2.26	1.72	0.30	0.69	0.46
样品 3	43.52	17.33	15.07	14.66	1.35	2.50	1.72	0.23	0.92	0.31

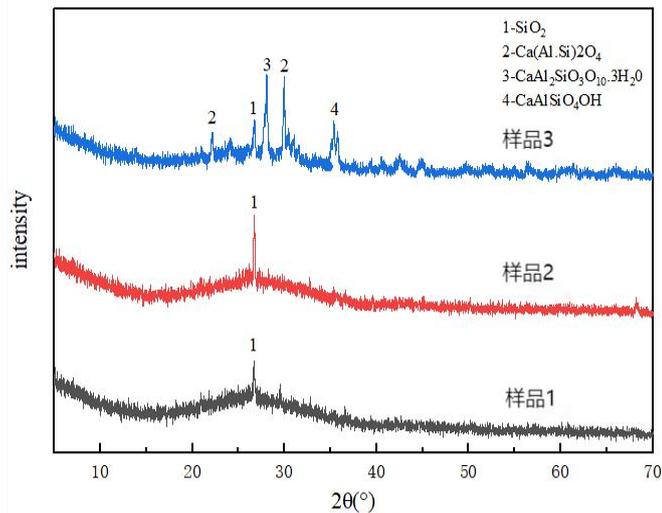


图 5.2 煤气化炉渣的物相组成

试验结果表明，在 20~35°之间出现一个弥散的“馒头峰”，并零散分布着少许尖锐的衍射峰，说明煤气化渣由玻璃态和结晶相矿物相组成，整体看来，非晶相物质主要为铝硅酸盐玻璃和无定形碳；其晶相物质主要为石英和少量的方解石。品中 CaO 含量较高，是由于在煤气化过程中为了降低气化渣的熔融温度和粘度，常引入石灰石或萤石作为助熔剂。

### (3) 煤气化炉渣的细度与活性指数

煤气化炉渣不同粉磨时间与细度参数的影响规律如表 5-7，强度活性指数如表 5-8。

5-7 煤气化炉渣的细度参数

序	名称	掺量 (%)	球磨时间	细度检测
---	----	--------	------	------

号			(min)	45 $\mu$ m 筛余 (%)	比表面积 (m <sup>2</sup> /kg)
1	煤气化炉渣	30	40	19.7	306.98
2		30	50	9.5	329.47
3		30	60	3.7	397.35
4		30	70	1.1	434.88
5		30	80	0.9	473.02

表 5-8 煤气化炉渣的活性指数 (%)

名称	3d	7d	28d
样品 1	61	70	92
样品 2	60	72	90
样品 3	63	75	95

煤气化炉渣的最佳粉磨时间为 80min，且细度与活性指数之间存在一定的正相关关系。细度越高，活性指数也越高，表明煤气化炉渣的潜在活性得到了更好地发挥。因此，在实际应用中，通过调整煤气化炉渣的粉磨时间，可以控制其细度，从而影响其在水泥或混凝土中的活性表现。

#### (4) 煤气化炉渣微观形貌分析

煤气化炉渣的微观形貌如图 5.3 所示。煤气化炉渣颗粒形貌不一，大致含有以下三类：球状、棒状、疏松多孔状和残留活性炭。球状炉渣主要分布在 0.075~2.36mm 区间，棒状炉渣主要集中在 0.3~1.18mm 区间，疏松多孔状炉渣主要分布在 0.075~0.6mm 区间，活性炭主要集中在 0.075~0.3mm 区间。球状玻璃体的形成，均有较为明显的结渣现象，这是由于渣中的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub> 与 MgO、CaO 等碱性组分在高温条件下容易形成共熔体，该共熔体经过急速冷却后形成了形状规则且表面光滑的球状玻璃体和细小的残渣颗粒，用于骨料可以增大砂浆流动度使之具有较好的工作性能，且其具有较高的潜在化学活性，表面与

固废复合矿物掺合料体反应后结合更加紧密，使砂浆具有较好的力学性能；棒状炉渣虽然对流动性不利但可以一定程度增强固废复合矿物掺合料的抗折强度；疏松多孔状由于表面凹凸不平存在较多坑槽使其与固废复合矿物掺合料浆体咬合较为紧密，可以提高力学性能，但其结构疏松导致需水量增大，疏松的结构可以吸收体系中富余的自由水进而减少砂浆中由于自由水挥发造成的孔隙，使固废复合矿物掺合料的干缩小于普通水泥。活性炭结构疏松，往往造成固废复合矿物掺合料需水量增大，且活性炭具有强烈的化学吸附作用，吸附在固废复合矿物掺合料颗粒表面阻碍固废复合矿物掺合料正常水化，还会对一些外加剂定向吸附，使其作用大大降低。煤气化炉渣的加入，既存在有利的一面，又存在不利的一面，其两个因素的制衡是影响固废复合矿物掺合料性能的主要原因。通常情况下球状炉渣由于具有滚珠效应将有利于固废复合矿物掺合料砂浆的流动性，而棒状炉渣、疏松多孔状炉渣和残留的活性炭将是阻碍流动性的重要原因。

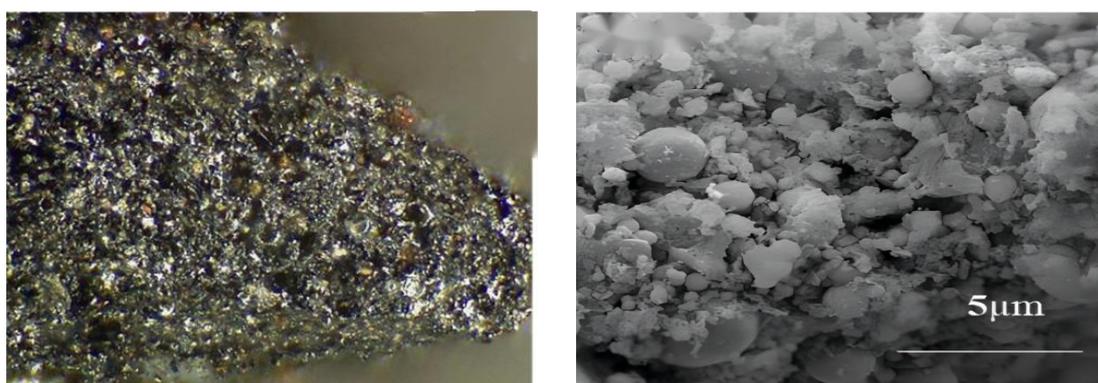


图 5.3 煤气化炉渣的微观形貌

#### 5.1.4 硅锰渣

##### (1) 硅锰渣的理化特性

硅锰渣是硅锰合金生产过程中产生的固体废弃物。硅锰合金生产主要采用高炉法或电炉法，在高温条件下，通过硅石（SiO<sub>2</sub>）和锰矿石的还原反应生成硅锰合金，同时排放出大量废渣。这些废渣主要来源于锰矿石中的杂质和未反应完全的原料，在冶炼过程中与石灰石等助熔剂反应后形成，化学成分见表 5-9。

表 5-9 硅锰渣化学成分

名称	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MgO	MnO
硅锰渣	35.4	19.6	15.0	3.6	4.3	17.5

硅锰渣的 X 射线衍射图谱如图 5.4 所示，从图中可以看出其主要矿物组成为硅酸钙碳氧化物（Calcium Titanium Silicon Oxide）、钙铝黄长石（Gehlenite）、透辉石（Diopside）从硅锰渣的化学成分和矿物组成分析可知，试验所用硅锰渣具备一定的火山灰活性和水硬性。

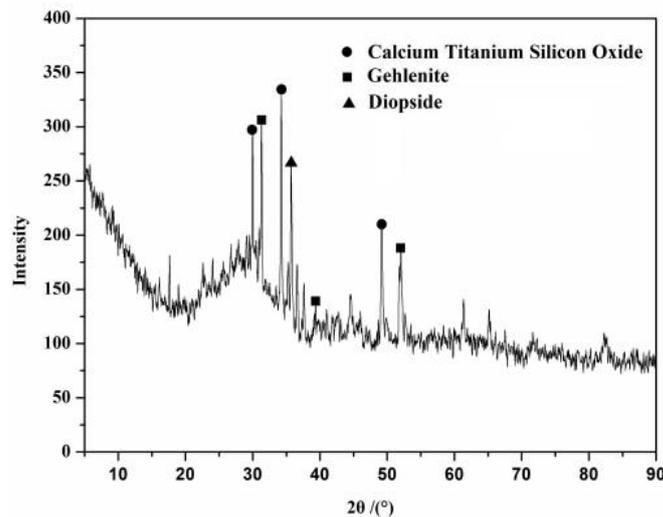


图 5.4 硅锰渣的 X 射线衍射图谱

## (2) 硅锰渣的细度与活性指数

硅锰渣不同粉磨时间与细度参数的影响规律如表 5-9，强度活性指数如表 5-10。

5-9 硅锰渣的细度参数

序	名称	掺量 (%)	球磨时间	细度检测
---	----	--------	------	------

号			(min)	45 $\mu$ m 筛余 (%)	比表面积 (m <sup>2</sup> /kg)
1	硅锰渣	30	40	13.8	318.76
2		30	50	8.1	358.93
3		30	60	3.9	445.13
4		30	70	1.6	496.34
5		30	80	2.0	547.38
6		30	90	2.0	589.95

表 5-10 硅锰渣的活性指数 (%)

名称	3d	7d	28d
样品 1	62	64	78
样品 2	71	75	88
样品 3	73	77	102

随着粉磨时间的增加，硅锰渣粉比表面积呈上升的趋势，45 $\mu$ m 筛余逐渐降低，细度参数与活性指数之间存在一定的正相关关系，细度参数越高，活性指数也越高，机械粉末后，硅锰渣活性大幅提升，潜在活性得到了更好的发挥。

### 5.1.5 钢渣

#### (1) 钢渣的理化特性

对钢渣进行不同批次和年度的长期化学组成检验分析，实测数据如表 5-11 所示。从检测结果可看出，钢渣主要由钙、铁、铝、镁等的金属氧化物组成，并含有少量的其他氧化物。

表 5-11 钢渣化学成分检测

试样	CaO	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO
1	37.78	9.93	1.67	11.24	1.22	13.88	3.39
2	36.30	8.99	1.49	13.72	1.48	12.31	2.62
3	37.04	10.06	2.15	12.18	2.04	13.92	2.61
4	34.17	8.48	1.74	11.63	1.36	15.20	2.72

5	35.31	9.58	2.42	13.92	2.47	12.80	2.95
---	-------	------	------	-------	------	-------	------

通过 X 衍射, 钢渣的主要成分有硅酸二钙( $C_2S$ )、硅酸三钙( $C_3S$ )、钙镁橄榄石 ( $CaO-RO-SiO_2$ ) 和氧化铁相、铁酸钙 ( $CaO-FeO$ )、RO (RO 代表镁、铁、锰的氧化物形成的固溶体总称) 等, 如图 5.5 所示。

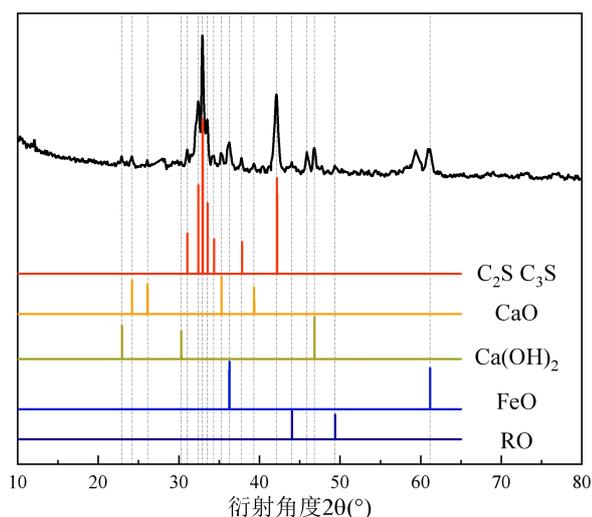


图 5.5 钢渣的 X 衍射图谱

其矿物成分与水泥主要物质相似, 并且在钢渣料堆表面存在一定厚度的胶结层, 说明钢渣具有水化胶凝的特性。而钢渣除了有图 5.5 中所含矿物外, 能起到胶凝特点的另一原因就是钢渣成分中含有大量的  $CaO$ 。根据表 5-11 钢渣化学成分和已有学者总结的碱度值计算, 钢渣碱度一般在 2.5 以上, 属于高度碱钢渣, 具有较高活性, 可为渣体提供碱性环境, 促进胶凝产物的生成。

## (2) 钢渣的细度与活性指数

钢渣不同粉磨时间与细度参数的影响规律如表 5-12, 强度活性指数如表 5-13。

5-12 钢渣的细度参数

序号	名称	掺量 (%)	球磨时间 (min)	细度检测	
				45 $\mu$ m 筛余	比表面积

				(%)	(m <sup>2</sup> /kg)
1	钢渣	30	60	26.6	577.76
2		30	70	23.4	762.48
3		30	80	23.0	762.48
4		30	90	22.6	744.60

表 5-13 钢渣的活性指数 (%)

名称	3d	7d	28d
样品 1	65	73	72
样品 2	74	78	74
样品 3	77	80	83
样品 4	79	74	76

随着粉磨时间的增加，钢渣粉比表面积呈上升的趋势，45 $\mu$ m 筛余逐渐降低，细度参数与活性指数之间存在一定的正相关关系，细度参数越高，活性指数也越高，机械粉末后，钢渣活性大幅提升，钢渣的最佳粉磨时间为 80min。

### (3) 钢渣放射性指标

对钢渣的放射性指数进行了检测，放射性指数检测结果见表 5-14。

表5-14 钢渣放射性指标

检测项目		技术要求	检测结果	单项结论	检测依据
放射性核素限量	内照射指数 (I <sub>Ra</sub> )	≤1.0	0.1	合格	GB6565-2010
	外照射指数 (I <sub>r</sub> )	≤1.0	0.1	合格	

由表 5-14 可知，钢渣内照射指数 (I<sub>Ra</sub>) 和外照射指数 (I<sub>r</sub>) 均为 0.1，满足标准要求小于 1.0 的技术要求。

### (4) 钢渣浸出金属浓度

对钢渣的浸出金属浓度进行了检测，浸出液有害金属检测结果见表 5-15。

表5-15 浸出液有害物质浓度

检测项目	单位	检测结果	限值	参考规范
镉	mg/L	0.001L	≤0.01	GB/T 14848
铅	mg/L	0.005L	≤0.10	
铬	mg/L	0.0020L	≤0.10	
砷	mg/L	0.005L	≤0.05	
镍	mg/L	0.01L	≤0.10	
铜	mg/L	0.005L	≤1.50	
锌	mg/L	0.2L	≤5.00	
锰	mg/L	0.1	≤1.50	

注：表中带“L”的结果代表样品检测值低于方法检出限。

钢渣浸出重金属离子结果均符合《地下水质量标准》(GB/T 14848)等相关技术要求，说明钢渣对环境的影响较小。

工业固废应根据工程应用位置及渗滤液去向，判断工程应用工业固废影响的是地下水还是地表水或是土壤，从而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两种类别的，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。

## 5.2 配合比设计

### 5.2.1 固废小型构件混凝土力学性能

固废复合矿物掺合料作为混凝土粘结剂可将固废集料胶结成具有一定强度和耐久性的建筑材料，胶凝材料很大程度上能影响固废混凝土拌和物的性能，合理用量可以获得良好性能的混凝土。本小节研究固废复合胶凝材料用量对固废混凝土流动性及力学性能的影响，具体实验配比见下表，坍落度及强度数据见下图。

表5-16 固废复合矿物掺合料-钢渣M30砂浆

编号	水泥	固废复合矿物掺合料	钢渣 (0~5mm)	河沙	水	减水剂
M30-CFS-0	330	220	1850	/	220	11
M30-CFSS-1	330	220	925	925	220	11
M30-CFSS-2	312	208	925	925	220	11
M30-CFSS-3	294	196	925	925	220	11
M30-CFSS-4	276	184	925	925	220	11



图 5.6 固废复合矿物掺合料-钢渣 M30 砂浆工作性

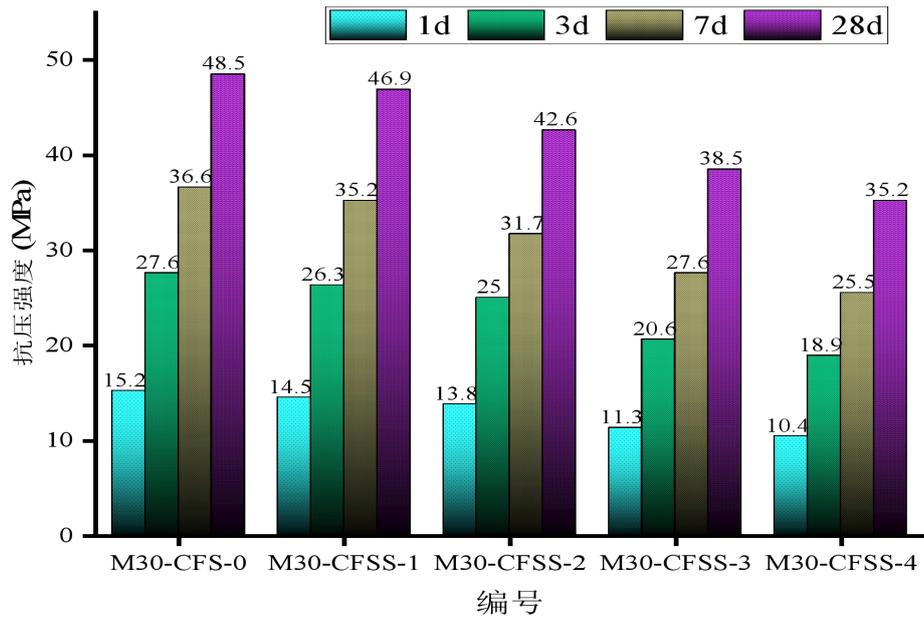


图 5.7 固废复合矿物掺合料-钢渣 M30 砂浆强度

固废复合矿物掺合料-钢渣砂浆 M30 砂浆：胶材总量为 520~550kg/m<sup>3</sup>，7d 龄期即可达到设计强度，28d 龄期抗压强度可达到设计强度 142%~162%；M30-CFSS-3，胶材总用量 490kg/m<sup>3</sup>，28d 龄期可达到试配强度 (≥38.2MPa) 的要求，所以其为最优配比。

表5-17 固废复合矿物掺合料-钢渣-硅锰渣M30砂浆

编号	水泥	固废复合矿物掺合料	钢渣 (0~5mm)	硅锰渣 (0~5mm)	水	减水剂
M30-CFSM-1	360	240	1000	542	252	12
M30-CFSM-2	348	232	1000	542	252	12
M30-CFSM-3	336	224	1000	542	252	12

M30-CFSM-4	324	216	1000	542	252	12
M30-CFSM-5	312	208	1000	542	252	12

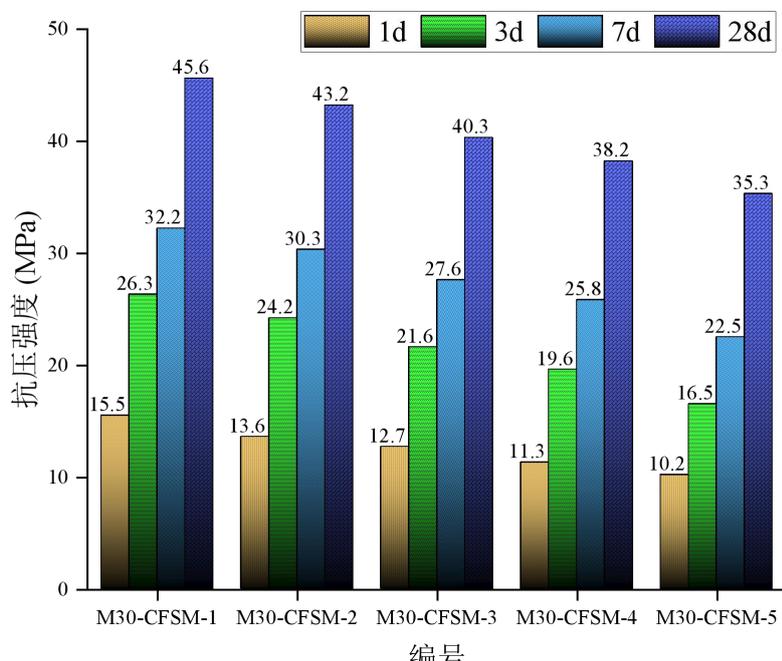


图 5.8 固废复合矿物掺合料-钢渣-硅锰渣 M30 砂浆强度

固废复合矿物掺合料-钢渣-硅锰渣 M30 砂浆：胶材总量为  $580\sim 600\text{kg}/\text{m}^3$ ，7d 龄期即可达到设计强度，28d 龄期抗压强度可达到设计强度 144~152%；M30-CFSM-4，胶材总用量  $540\text{kg}/\text{m}^3$ ，28d 龄期可达到试配强度 ( $\geq 38.2\text{MPa}$ ) 的要求，所以其为最优配比。

表5-18 固废复合矿物掺合料-钢渣-碎石C30混凝土

编号	水泥	固废复合矿物掺合料	碎石 (10~20 mm)	碎石 (5~10m m)	钢渣 (5~10m m)	河沙	钢渣 (0~5m m)	水	减水剂
C30-CFG-1	246	164	831	356	/	727	/	185	7.38
C30-CFG-2	234	156	831	356	/	727	/	185	7.38
C30-CFG-3	222	148	831	356	/	727	/	185	7.38
C30-CFSSG-4	246	164	831	/	356	363.5	363.5	185	7.38

C30-CFSSG-5	234	156	831	/	356	363.5	363.5	185	7.38
C30-CFSSG-6	222	148	831	/	356	363.5	363.5	185	7.38

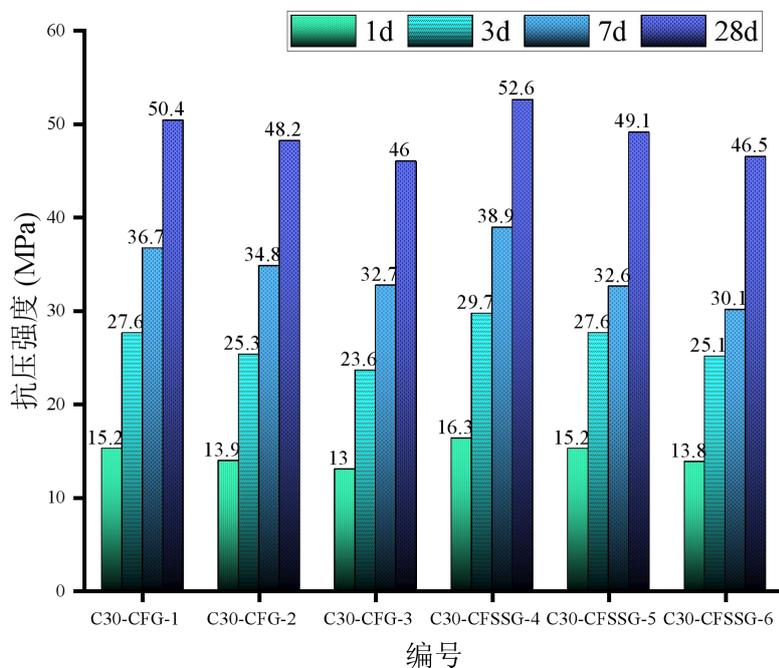


图 5.9 固废复合矿物掺合料-钢渣-碎石 C30 混凝土强度

固废复合矿物掺合料-钢渣-碎石 C30 混凝土：用 5~10mm 钢渣 100%替代 5~10mm 钢渣，用 0~5mm 钢渣 50%替代河沙，胶材总量为 370~410kg/m<sup>3</sup>，7d 龄期即可达到设计强度，28d 龄期抗压强度可达到设计强度 153~175%；且钢渣替代后对强度均有提升作用，这是因为钢渣中的活性成分参与了水化反应，促使强度提升。C30-CFSSG-6，胶材总用量 370kg/m<sup>3</sup>，28d 龄期可达到试配强度 (≥38.2MPa) 的要求，所以其为最优配比。

### 5.2.2 固废小型构件混凝土抗渗性能

针对上述的最优配比进行固废小型构件混凝土抗渗试验，水压从 0.1MPa 开始，每隔 8h 增加水压 0.1MPa，直至压力加至 1.2MPa，

经过 8h，试件表面均无渗水现象，则抗渗等级均为 P12，抗渗等级优良。



图 5.10 固废小型构件抗渗试验

### 5.2.3 固废小型构件混凝土抗冻性能

表5-19 固废小型构件抗冻试验数据

编号	质量损失 (100次冻融循环)	质量损失 (125次冻融循环)	质量损失 (150次冻融循环)	未冻融抗压强度/MPa	冻融循环后抗压强度/MPa	抗压强度损失比
M30-CFSS-3	0.64%	0.85%	1.02%	38.6	36.6	94.82%
M30-CFSM-4	0.72%	0.89%	1.13%	45.2	42.4	93.81%
C30-CFSSG-6	0.53%	0.75%	0.98%	44.5	42.7	95.96%



图 5.11 固废小型构件抗冻试验

经过 150 次冻融循环，固废小型构件试件表面完整，无剥落、掉皮现象，质量损失较小，满足规范要求（质量损失率 $\leq 5\%$ ），强度损失也较小，从 150 次冻融循环数据分析可得固废复合矿物掺合料-粉煤灰-钢渣-碎石 C30 混凝土的抗冻性相对较好。

#### 5.2.4 固废小型构件混凝土高温稳定性

表5-20 固废小型构件高温稳定性试验数据

编号	对照组抗压强度	1 个月高温后抗压强度	1 个月沸煮后抗压强度	高温抗压强度损失比	沸煮抗压强度损失比
M30-CFSS-3	38.5MPa	35.1	36.8	91.17%	95.58%
M30-CFSM-4	38.2MPa	34.6	36.5	90.58%	95.55%
C30-CFSSG-6	46.5MPa	42.5	44.3	91.40%	95.27%



图 5.12 固废小型构件高温稳定性试验

开展了 30d 的高温环境、沸煮环境，试件表面完整，无开裂、无剥落、掉皮现象，强度损失也较小，三种配比具有优良的高温稳定性、高温水稳定性。

### 5.3 施工

#### 5.3.1 工程概况

乌海至玛沁公路惠农（蒙宁界）至石嘴山段工程，起点位于惠农区南黄河大桥西桥头，终点位于石嘴山南互通，路线全长约 57.29km。全线采用封闭式双向四车道高速公路标准，设计速度 100km/h，整体式路基宽度为 26m，分离式路基宽 13.0m，计算荷载等级采用公路—I 级；惠农南互通连接线采用二级公路，设计速度 80km/h，路基宽度 12.0m，石嘴山北互通连接线采用一级公路，设计速度 80km/h，路基宽度 25.5m。

本项目路段地势相对起伏较小、地形平坦，为湿地保护，植被茂盛，地层上部主要以粉质粘土为主，局部发育淤泥、淤泥质粉质粘土等，下部为第四系粉细砂、局部夹薄层粉土等。不良地质为强震区、地震液化，特殊性岩土为软土、盐渍土、季节性冻土。

### 5.3.2 施工准备

(1) 全线的导线、水准点的复测工作已完成，成果上报并已得到监理办批复。

(2) 测量人员校核控制点坐标、高程布设施工坐标点及水准点。

(3) 施工现场三通一平、临时设施等工作已完成。

(4) 项目试验室原材料检测和配合比试验批复工作均已完成，检测结果均满足设计及规范要求。

(5) 小型预制构件水泥混凝土目标及生产配合比已批复。

(6) 技术人员、试验检测人员、施工人员全部到位。

(7) 测量、试验、检测仪器全部到位并标定完成，可以满足施工检测需要。

(8) 施工机械已全部进场满足施工需要。

(9) 三级技术交底工作已完成，现场技术人员及施工人员已熟悉施工工艺及各项检测指标。

(10) 制定了安全、环保、文明施工措施。

### 5.3.3 施工工艺流程

施工准备→测量放样→沟槽开挖→基底处理→混凝土浇筑→养生→整修验收→边坡整修→预制构件安装。

### 5.3.4 测量放样

工程开工前，根据设计图纸提供的位置进行现场放样，对防护工程位置的原地面进行复测，以核实图纸上结构物尺寸、形状及基础标高是否符合实际，复测结果做详细记录，并报请监理复测。然后放出

基坑开挖线，确定基槽开挖线。路基填筑完成后按设计标高及坡度修整坡面，依据图纸尺寸及形状放样并挂线施工。

### **5.3.5 沟槽开挖**

根据测量放样结果，采用人工配合机械进行坡面防护预制构件安装基坑开挖。本项目框格基础宽 40cm，沟深 85cm，开挖前，应先对原地基进行挖探坑的办法检测框格地基土质及密实程度。如果原地基属于粉土或者黄土，则需要先进行表面洒水并碾压，确保地基有足够的密实度后再进行开挖；如若原地基土质孔隙较大或者砾类土含量较多时，则需要不同程度的更换土质，确保开挖后不会出现塌方或者基坑不规则现象。开挖合格后的基坑还需对底部夯实。如若不能及时浇筑混凝土的基坑必须采用塑料薄膜覆盖，防止风吹日晒或者雨水冲刷而损坏基坑模型。

### **5.3.6 各类型构件安装需要的现场条件**

菱形框格、八棱砖、空心六棱砖、实心六棱砖、急流槽（槽身）：路基交验后即可进行施工。

路肩板：应在路肩培土施工后进行。

排水槽、路缘石：至少须待基层开始施工提供工作面后进行。为保证线形不受影响，最好在中下面层铺筑完成切边后进行安装。

六棱砖：最好待桥头预压完成清理后进行施工。

### **5.3.7 构件运输**

采用人工配合叉车装卸，平板车运输的方式，遵循“轻装轻卸”原则。

(1) 小型预制构件装车前应将场地平整好，将打包好的小构件用叉车缓慢稳妥的托至平板运输车。

(2) 小型预制构件紧密放置于车厢上，在运输车厢底板、侧帮及小型预制构件层间须用棉被或木条垫好，防止装卸、运输过程中对小型预制构件的损伤

(3) 运输车车速应平稳。

(4) 运至安装现场时，缓慢下滑至相应地点，不得人工抛置。

(5) 装卸、运输途中已损坏的小型预制构件不得使用，并作报废处理

### 5.3.8 边坡设计

填方路段：边坡高度  $H \leq 8\text{m}$  时，边坡坡率采用 1:1.5，一坡到底。边坡高度大于 8m 时，采用折线坡，在 6m 处边坡，一级边坡坡率为 1:1.5，二级边坡坡率为 1:1.75。

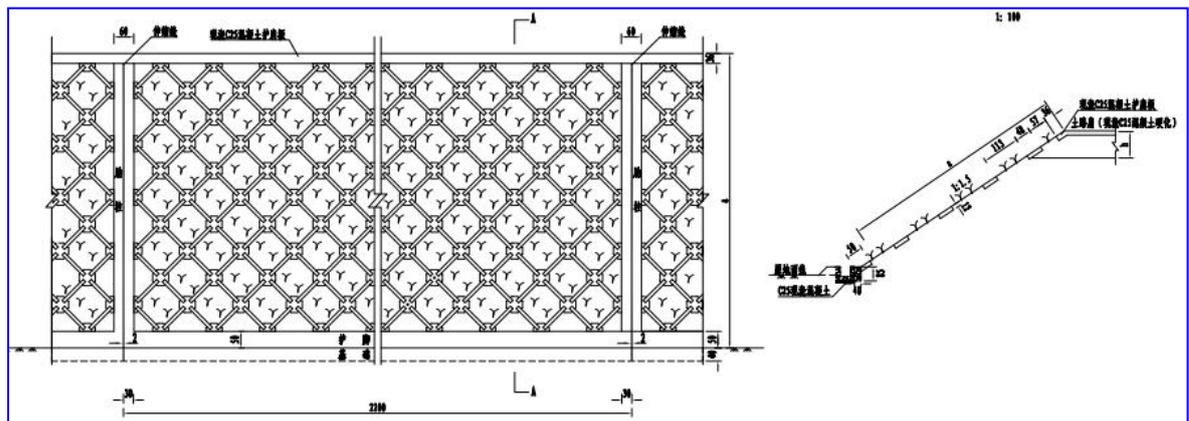


图 5.13 菱形框格植草

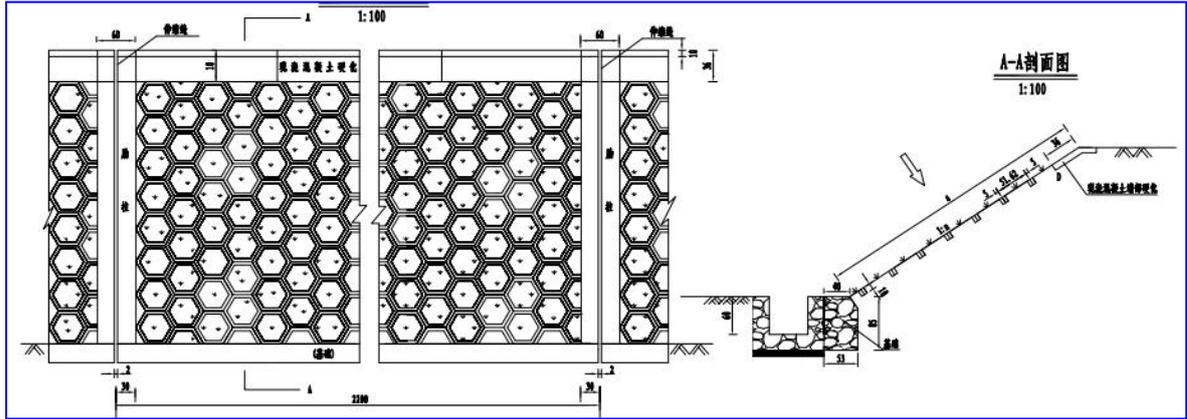


图 5.14 空心六棱砖植草

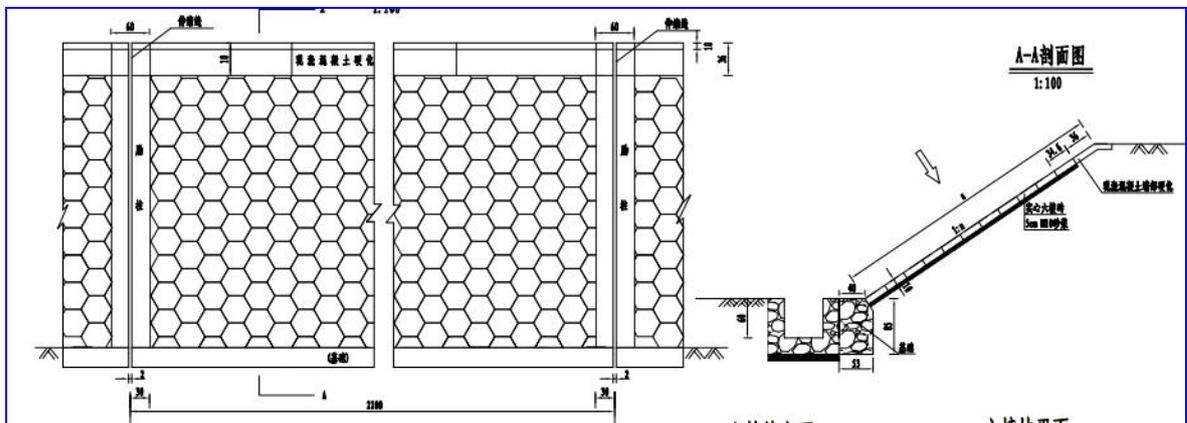


图 5.15 实心六棱砖

### 5.3.9 小型预制构件基础养生

混凝土基础在施工结束后应立即进行塑料薄膜覆盖养生。为了避免洒水对混凝土表面的冲刷，可根据基础纵坡大小，使用打土埂的方法合理分段并聚集养生水，利用阳光照射塑料薄膜产生蒸汽，达到蒸汽养生的效果。养生期间，只需保证边沟内养生水不缺失即可。养生7天后，清除沟内杂物。

### 5.3.10 施工注意事项

#### 1. 菱形框格条边坡防护安装:

1) 计算调整竖肋之间的间距，使之八棱砖或框格条与竖肋紧密相

贴。

2)一边采用八棱砖进行蹬边，按照结构尺寸砌筑，另一边若八棱砖无法蹬边，则采用框格条蹬边。

3)主肋浇筑必须采用定型钢模，保证侧面、顶面直顺平整。

4)底部八棱砖不进行切割填补，采用直接浇筑混凝土的方式进行(即首先采用钢钎方式固定八棱砖砌筑部分坡面，然后挂线浇筑坡脚护面，使八棱砖与坡脚护面紧密镶嵌)，保证美观性。

5)坡顶护面同样与八棱砖或框格条紧密镶嵌。

### 5.3.11 检测验收

表5-21 构件安装质量要求

序号	指标	规定值或允许偏差	检验方法和频率
1	砂浆强度 (MPa)	符合设计要求	按 JTG F80/1-2017 附录F检验
2	表面平整度 (mm)	≤5	直尺和塞尺：每100m测3处
3	坡度	≤设计值	坡度尺：每段护坡抽检6处 (上、中、下部各2处)
4	相邻构件高差 (mm)	≤5	直尺和塞尺：每100m检查5处
5	相邻构件缝宽 (mm)	±10	塞尺：每100 m检查5处

## 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，本标准制定过程无重大分歧意见。

## 七、实施标准的措施及建议

### (一) 组织措施

标准归口单位进行贯标指导，组织标准宣贯培训班，由标准制定人员主讲。设立专门的答疑或咨询部门，为贯标各企业单位排忧解难，具体组织措施如下：

1.组织行业相关人员积极参加为贯标组织的各项活动，培训班等。及时了解国内外标准制、修订信息，尤其是大宗工业固废综合利用方面的技术标准、规定、试验方法等。

2.成立标准贯彻实施小组，由试验人员、技术人员、施工人员组成，进行明确的分工合作。

3.借助区内的宣传部门及相关部门通过官网、公众号、板报进行大力宣传。

4.标准贯彻实施小组全面负责贯标实施工作，跟踪服务对贯标中出现的的技术问题进行协调处理并做好贯标记录，并进行长期监督检查工作。

## （二）技术措施

（1）实地走访国内从事工业固废利用技术的研发公司、科研机构、高校、公路建设单位和管理单位了解生产和建设中大宗工业固废应用中的质量控制点和技术举措。

（2）提供基于宁夏回族自治区大宗工业固废，固废原材料的详细指标要求，便于相关技术部门及企业参考。

（3）提供技术咨询和支持，以帮助设计和施工企业适应新标准。

## （三）建议

本文件为宁夏公路工程施工建设领域首次编制的工业固废材料

小型构件公路工程应用技术规范，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、其他应予说明的事项**

无。