

### 循环流化床锅炉灰渣在公路工程混凝土中的 应用技术规程

2023 - 12 - 04 发布

2024 - 04 - 05 实施

# 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	2
4 基本规定 .....	2
5 原材料技术要求 .....	2
6 配合比设计 .....	3
7 施工 .....	3
8 质量控制与验收 .....	4
附录 A（规范性） 有害氧化钙含量测试方法 .....	6
附录 B（规范性） 体积安定性快速试验方法 .....	7
附录 C（规范性） 典型低强度等级 CFB 灰渣混凝土配合比 .....	8

## 前 言

本文件按照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》的规定起草。

本文件由山西省交通运输厅提出、组织实施和监督检查。

山西省市场监督管理局对标准的组织实施情况进行监督检查。

本文件由山西省交通运输标准化技术委员会（SXS/TC37）归口。

本文件起草单位：山西路桥建设集团有限公司、武汉理工大学、山西离隰高速公路有限公司、长治市武理工工程技术研究院。

本文件主要起草人：李殿勤、张红日、陈潇、常新忠、任县刚、牛雨竹、周明凯、杨文方、高鹏、李国伟、史健、孟雪、郭文斌、李凤、张嘉琛、孙慧龙、李益、张亚军、王宇强、张鸽、王建龙。

# 循环流化床锅炉灰渣在公路工程混凝土中的应用技术规程

## 1 范围

本文件规定了循环流化床锅炉灰渣在公路工程混凝土中应用基本规定、原材料技术要求、配合比设计、施工、质量控制与验收。

本文件适用于强度等级不高于C20且不影响结构安全的非承重部位循环流化床锅炉灰渣混凝土的应用。循环流化床锅炉灰渣混凝土的应用，除执行本文件外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 175 通用硅酸盐水泥
- GB 176 水泥化学分析方法
- GB 6566 建筑材料放射性核素限量
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50164 混凝土质量控制标准
- GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
- GB 50666 混凝土结构工程施工规范
- GB/T 14685 建设用卵石、碎石
- GB/T 17671 水泥胶砂强度检验方法
- GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法标准
- GB/T 50081 混凝土物理力学性能试验方法标准
- GB/T 50082 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准
- GB/T 50107 混凝土强度检验评定标准
- GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计标准
- HJ 1091 固体废物再生利用污染防治技术导则
- JC/T 478.2 建筑石灰试验方法
- JG/T 223 聚羧酸系高性能减水剂
- JGJ 63 混凝土用水标准
- JGJ/T 193 混凝土耐久性检验评定标准
- JTG E30 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
- JTG/T 3310 公路工程混凝土结构耐久性设计规范
- JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
- JTG/T F60 公路隧道施工技术细则

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**CFB 飞灰 (CFB fly ash)**

燃煤电厂循环流化床锅炉 (CFB) 烟道气体经除尘收集的粉末。

#### 3.2

**CFB 炉渣 (CFB slag)**

燃煤电厂循环流化床锅炉 (CFB) 底渣。

#### 3.3

**CFB 灰渣 (CFB fly ash and slag)**

CFB 飞灰与 CFB 炉渣的统称。

#### 3.4

**胶凝材料 (cementitious material / binder)**

用于配制混凝土的水泥与矿物掺合料的总称, CFB 飞灰可用作矿物掺合料。

#### 3.5

**CFB 灰渣混凝土 (concrete with CFB fly ash and slag)**

以 CFB 飞灰为矿物掺合料、CFB 炉渣为细集料、碎石或破碎卵石为粗集料的普通混凝土。

#### 3.6

**有害氧化钙含量 (harmful calcium oxide)**

遇水难以水化的氧化钙, 可参照附录 A 进行测定。

### 4 基本规定

- 4.1 CFB 灰渣混凝土中, CFB 飞灰主要作为矿物掺合料使用、CFB 炉渣主要作为细集料使用。
- 4.2 CFB 灰渣混凝土的力学性能和耐久性能应符合 GB 50010、GB/T 50476、JTG/T 3310 的有关规定。
- 4.3 CFB 灰渣混凝土放射性应符合 GB 6566 的有关规定, 重金属浸出浓度应符合 HJ 1091 的有关规定。

### 5 原材料技术要求

#### 5.1 用于混凝土的 CFB 飞灰

用于混凝土的 CFB 飞灰应符合表 1 的技术要求。

表 1 用于混凝土的 CFB 飞灰技术要求

检测项目	技术要求	试验方法
烧失量 (LOI) /%	≤15.0	GB 176
三氧化硫 (SO <sub>3</sub> ) 质量分数/%	≤6.0	
有害氧化钙含量/%	≤2.0	按附录 A 进行
28d 强度活性指数/%	≥70.0	GB/T 17671

#### 5.2 用于混凝土的 CFB 炉渣

用于混凝土的 CFB 炉渣其最大粒径不宜超过 4.75mm, 应符合表 2 的技术要求。

表2 用于混凝土的 CFB 炉渣的技术要求

检测项目	技术要求	试验方法
烧失量 (LOI) /%	≤10.0	GB 176
三氧化硫 (SO <sub>3</sub> ) 质量分数/%	≤4.0*	
有害氧化钙含量/% <sup>a</sup>	≤1.0	按附录A进行
*必须进行混凝土的体积安定性检测 (参照附录B), 且验证合格。		

### 5.3 水泥

水泥应符合GB 175的相关要求

### 5.4 碎石和卵石

碎石和破碎卵石应符合GB/T 14685的相关要求。

### 5.5 外加剂

外加剂应符合GB 8076和JG/T 223的规定。所用外加剂包括减水剂、缓凝剂及引气剂等, 其中减水剂宜采用抗吸附及缓释型减水剂。

### 5.6 拌和及养生水

混凝土拌和及养生用水应符合JGJ 63的规定。

## 6 配合比设计

### 6.1 一般规定

6.1.1 CFB 灰渣混凝土性能及试验方法, 应符合 GB/T 50080、GB/T 50081 和 GB/T 50082 的有关规定; 有耐久性要求的 CFB 灰渣混凝土配合比设计, 应符合 GB/T 50476 的有关规定; CFB 灰渣混凝土的氯离子含量和总碱量, 应符合 GB 50010 的有关规定。

6.1.2 CFB 灰渣混凝土的配合比计算宜采用绝对体积法。

6.1.3 CFB 灰渣来源、产地以及特性发生变化后, 需重新进行配合比设计。

### 6.2 CFB 灰渣混凝土的配合比设计

6.2.1 配制相同强度等级的混凝土, CFB 灰渣混凝土的用水量宜在普通混凝土用水量的基础上适当增加 40~100kg/m<sup>3</sup>, 增加幅度与 CFB 飞灰掺量、CFB 炉渣用量等参数相关, 经试验后确定。

6.2.2 配制 CFB 灰渣混凝土时, 宜先确定胶凝材料用量及 CFB 飞灰掺量, 通过工作性与强度综合确定 CFB 炉渣与碎石比例以及用水量及外加剂掺量。

6.2.3 配制相同强度等级的混凝土, CFB 灰渣混凝土的胶凝材料用量宜在普通混凝土胶凝材料用量的基础上增加 40kg/m<sup>3</sup>~100kg/m<sup>3</sup>, 水泥用量可较普通混凝土降低 5kg/m<sup>3</sup>~10kg/m<sup>3</sup>, 经试验后确定。

6.2.4 CFB 灰渣混凝土中 CFB 飞灰最大掺量不宜超过 220kg/m<sup>3</sup>, CFB 炉渣最大掺量不宜超过 1000kg/m<sup>3</sup>。

6.2.5 可在附录 C 提供的典型低强度等级 CFB 灰渣混凝土配合比的基础上进一步结合试验设计。

6.2.6 在进行 CFB 灰渣混凝土配合比设计时, 除进行常规的混凝土工作性能、力学性能测试外, 还需进行加速养护条件下混凝土体积安定性检验, 试验方法参照附录 B, 检验合格方可使用。

## 7 施工

## 7.1 基本规定

7.1.1 CFB 灰渣混凝土的施工，除了符合本标准要求外，还应符合 GB 50164、GB 50666、JTG/T 3650 的有关规定。

7.1.2 CFB 灰渣混凝土的原材料管理、拌合与运输、浇注与振捣、养护等施工要求与普通混凝土基本相同，但受 CFB 灰渣特点及 CFB 灰渣混凝土特性的影响，有其特殊之处。

## 7.2 原材料管理

CFB灰渣混凝土的原材料管理与普通混凝土基本相同，其中CFB飞灰及CFB炉渣应严格按照不同产地、来源分开贮存，CFB飞灰应采用粉料仓贮存，CFB炉渣贮存方式与机制砂等细集料相同。

## 7.3 拌和与运输

7.3.1 CFB 飞灰的计量误差参照水泥、矿物掺合料等粉状料执行，CFB 炉渣的计量误差参照天然砂、机制砂等细集料执行，其最大允许偏差应符合下列规定（按重量计）：CFB 飞灰±1%，CFB 炉渣±2%。

7.3.2 混凝土搅拌前，应测定 CFB 炉渣等原材料的含水率以及因天气变化引起的含水量变化，并根据测定结果及时调整混凝土施工配合比。

7.3.3 CFB 灰渣混凝土的搅拌时间宜较普通混凝土搅拌时间延长 30s 以上，且投料搅拌顺序宜为 CFB 炉渣、水泥、CFB 飞灰（碎石）投入（30s）—加拌和水+减水剂（搅拌约 90s）—出料。

7.3.4 CFB 灰渣混凝土拌和过程中，应密切观察出机混凝土的拌和质量，加大坍落度的检测频率，同时还需密切关注 CFB 灰渣混凝土工作性的经时变化。

7.3.5 CFB 灰渣混凝土应使用搅拌罐车运送，搅拌罐车装料前应将筒内的积水或黏附的混凝土清除干净。运输或暂存混凝土的容器内壁应平整光滑、不渗漏、不吸水，每天工作后或浇筑中断 30min 及以上时间予以清理干净。

## 7.4 浇筑与振捣

CFB灰渣混凝土的浇注、振捣与普通混凝土类似，应密切关注混凝土表面状态，避免混凝土过振、表面浮浆过厚等问题。

## 7.5 养护

7.5.1 采用自然养护时，宜选用薄膜或吸水养生膜覆盖养，混凝土全部表面应覆盖严密，保持膜内有凝结水，湿养时间不少于 14d。

7.5.2 采用蒸汽养护（针对预制构件）时，可分静停、升温、恒温、降温四个阶段，静停期间应保持环境温度不低于 5℃，浇筑结束 4h~6h 且混凝土终凝后方可升温；升温速度不宜大于 10℃/h；恒温期间混凝土内部温度不宜超过 60℃，最大不得超过 65℃，恒温养护时间应根据构件脱模强度要求、混凝土配合比情况以及环境条件等通过试验确定；降温速度不宜大于 10℃/h。

## 8 质量控制与验收

### 8.1 原材料的质量控制

CFB飞灰应按表3所列项目和要求检测评定，CFB炉渣应按表4所列项目和要求检测评定，其它原材料按照相关标准和设计要求检测评定。

表3 CFB 飞灰检测项目与要求

检测项目	频次	技术要求	试验方法
烧失量 (LOI) /%	仅在料源发生变化时进行	≤15.0	GB 176
三氧化硫 (SO <sub>3</sub> ) 质量分数/%	使用前取2个, 使用过程中每	≤6.0	
有害氧化钙含量/%	200t取样2个 (不足200t, 按	≤2.0	按附录A进行
强度活性指数/%	200t计), 结果以2个样品检测结果平均值为准	≥70.0	GB/T 17671
重金属浸出浓度	仅在料源发生变化时进行	执行HJ 1091	HJ 1091
放射性		执行GB 6566	GB 6566

表4 CFB 炉渣检测项目与要求

检测项目	频次	技术要求	试验方法
烧失量 (LOI) /%	仅在料源发生变化时进行	≤10.0	GB 176
三氧化硫 (SO <sub>3</sub> ) 质量分数/%	使用前取2个, 使用过程中每	≤4.0	
有害氧化钙含量/%	200t取样2个 (不足200t, 按200t计), 结果以2个样品检测结果平均值为准	≤1.0	按附录A进行
重金属浸出浓度	仅在料源发生变化时进行	执行HJ 1091	HJ 1091
放射性		执行GB 6566	GB 6566

## 8.2 过程检测

8.2.1 CFB 灰渣混凝土过程检测分为施工前、施工过程和施工后三个阶段进行检验。

8.2.2 CFB 灰渣混凝土施工前的检验项目主要包括混凝土各种组成材料的质量、施工设备和场地。

8.2.3 CFB 灰渣混凝土施工过程的质量检验项目及频率应符合表 5 的规定。

表5 CFB 灰渣混凝土拌合物的质量检验项目和频率

检测项目	检测频率	试验方法
水灰比及其稳定性	每5000m <sup>3</sup> 抽验1次, 有变化时随时测	JTG E30 T0529
坍落度及其损失率	每工班测3次, 有变化随时测	JTG E30 T0522
含气量	每工班测2次, 有抗冻要求不少于3次	JTG E30 T0526
泌水率	每工班测2次	JTG E30 T0528
表观密度	每工班测1次	JTG E30 T0525
离析	随时观测	——

8.2.4 CFB 灰渣混凝土施工后的检验项目包括混凝土强度检验, 应符合 GB/T 50107 的有关规定, 其它力学性能检验应符合设计要求。

## 8.3 质量验收

8.3.1 CFB 灰渣混凝土质量检验与验收应符合 GB 50204, 其中公路工程混凝土应符合 JTG/T 3650、JTJ/T F60、JTG F80/1 的相关要求。

8.3.2 CFB 灰渣混凝土耐久性能检验评定和长期性能检验规则应符合 JGJ/T 193 的有关规定。

附录 A  
(规范性)

有害氧化钙含量测试方法

按GB/T 176乙二醇法测定灰渣的总氧化钙含量为 $\omega_1$ ，其中搅拌时间延长至30 min，乙二醇-乙醇溶液增加至45 ml。按JC/T 478.2生石灰有效氧化钙测定方法测定灰渣的有效氧化钙含量为 $\omega_2$ ，其中称取灰渣试验样品的质量增加至8.412克。

灰渣有害氧化钙质量分数按公式(A.1)计算，结果保留至0.1%。

有害氧化钙含量测试方法

$$\omega_g = (\omega_1 - \omega_2) \times 100\% \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

$\omega_g$ ——有害氧化钙含量，%；

$\omega_1$ ——按GB/T 176乙二醇法所得灰渣的总氧化钙含量，%；

$\omega_2$ ——按JC/T 478.2所得灰渣的有效氧化钙含量，%。

**附录 B**  
**(规范性)**  
**体积安定性快速试验方法**

本试验方法用于检验低强度等级CFB灰渣混凝土是否具有由于膨胀引起的体积安定性危害。

低强度等级CFB灰渣混凝土体积安定性测试参照GB/T 50082中碱-骨料反应试验进行试件制备，采用装有钉头的75×75×275 mm的模具成型，每个配比成型3个试件。24h后脱模，测量此时试件初始长度，将试件浸泡于温度为45±5℃的水浴箱中养护至28d。测量28d时试件长度，并按照式(B.1)计算膨胀率，如膨胀率≤0.04%，且试件外观完整，无明显胀裂、局部暴突等现象，则视为检验合格。反之，则视为不合格。

$$W = \frac{L-L_0}{L_0-2\Delta} \times 100\% \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

- W——试件28天龄期时膨胀率，%；
- L——试件28天龄期时长度，mm；
- L<sub>0</sub>——试件初始状态时长度，mm；
- Δ——钉头的长度，mm。

附录 C  
(规范性)

典型低强度等级 CFB 灰渣混凝土配合比

表C.1 典型低强度等级 CFB 灰渣混凝土配合比表 (kg/m<sup>3</sup>)

编号	水泥	粉煤灰	矿粉	CFB飞灰	CFB炉渣	碎石 (5-20mm)		水	外加剂*
						5-10mm	10-20mm		
C10	140	0	0	220	900	701	289	270	适量
C15	160	0	0	200	900	701	289	235	适量
C20	180	0	0	180	900	701	289	200	适量
C10	130	60	0	160	900	701	289	245	适量
C15	150	60	0	140	900	701	289	210	适量
C20	170	60	0	120	900	701	289	175	适量
C10	120	0	80	140	900	701	289	240	适量
C15	130	0	80	120	900	701	289	200	适量
C20	140	0	80	100	900	701	289	160	适量