

循环流化床锅炉（CFB）灰渣改良土路基 施工技术规范

2022 - 12 - 02 发布

2023 - 03 - 02 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 1

4 材料技术要求 1

5 混合料配合比设计 3

6 施工 3

7 质量管理与验收 4

附录 A（规范性） 重金属浸出浓度的测试方法 6

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、山西路桥集团吕梁国道项目建设管理有限公司。

本文件主要起草人：张宏、库雁兵、王勇、马金虎、高国刚、高鹏、李志达、王杰。

循环流化床锅炉（CFB）灰渣改良土路基 施工技术规程

1 范围

本文件规定了燃煤电厂循环流化床锅炉（CFB）灰渣改良土路基的适用条件、术语和定义、材料技术要求、混合料配合比设计、施工、质量管理与验收相关技术要求。

本文件适用于各等级公路细粒土改良的施工，其他道路可参照执行。

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/T 176 水泥化学分析方法
- GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB 5085.3 危险废品鉴别标准 浸出毒性鉴别
- GB 6566 建筑材料放射性核素限量
- HJ/T 299 危险废品鉴别标准 浸出毒性鉴别
- JGJ 63 混凝土用水标准
- JTG 3430 公路土工试验规程
- JTG 3450 公路路基路面现场测试规程
- JTG/T 3610 公路路基施工技术规范
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

CFB 飞灰

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

燃煤电厂循环流化床锅炉（CFB）的炉底渣。

3.3

CFB 灰渣改良土

CFB飞灰改良土、CFB炉渣改良土及CFB飞灰和CFB炉渣复合改良土的统称。

4 材料技术要求

4.1 原材料技术要求

4.1.1 CFB 灰渣

CFB 飞灰和 CFB 炉渣应满足表 1 的技术要求。

表1 CFB 飞灰和 CFB 炉渣的技术要求

检测项目	技术要求		试验方法
游离氧化钙（f-CaO）质量分数/%	≤7.0		GB 176 甘油法
7d 或者 28d 强度活性指数/%	≥70.0		GB/T 1596
重金属浸出浓度	重金属种类	浓度限值/（mg/L）	见附录 A
	砷（As）	0.1	
	铅（Pb）	0.3	
	镉（Cd）	0.03	
	铬（Cr）	0.2	
	铜（Cu）	1.0	
	镍（Ni）	0.2	
	锌（Zn）	1.0	
	锰（Mn）	1.0	
放射性	$I_{Ra} \leq 1.3$ 且 $I_r \leq 1.9$		GB 6566
注 1：CFB 炉渣测定 f-CaO 和强度活性指数时应先粉磨至 45μm 筛余<30%； 注 2：当有不同 CFB 飞灰、CFB 炉渣可供选择时，宜优先选取 f-CaO 质量分数较高的，但不能超过 7%； 注 3：7d、28d 任一龄期强度活性指数满足要求即可。			

4.1.2 土

4.1.2.1 应为不含有草皮、生活垃圾、树根、腐殖质等的细粒土。

4.1.2.2 灰、渣及灰渣复合均可用于改良黏质细粒土, 粉质细粒土宜采用渣或灰渣复合改良。

4.1.3 水

应符合 JGJ 63 混凝土用水的要求。

4.2 改良土技术要求

4.2.1 改良土最小承载比 (CBR 值) 应符合表 2 的要求。

表2 最小承载比 (CBR 值) 技术要求

应用部位	技术要求	试验方法
结构物 (桥台、涵洞等) 背部回填	$\geq 25\%$	JTG 3430
上路床	$\geq 30\%$	
下路床	$\geq 25\%$	

上路堤	≥20%	
-----	------	--

5 混合料配合比设计

5.1 一般规定

- 5.1.1 应通过原材料性能评价、施工条件评估，合理选择采用灰、渣或者灰渣复合改良土，同条件下，宜优先选用渣改良土或者灰渣复合改良土。
- 5.1.2 配合比设计时原材料及其含水率状态、存放时间应与施工用原材料相一致，当 CFB 灰渣料源或土质发生较大变化时，需重新进行配合比设计。

5.2 目标配合比设计

- 5.2.1 CFB 飞灰改良土的灰掺量应为 10%~50%，CFB 炉渣改良土的渣掺量应为 10%~30%，CFB 灰渣复合土的灰掺量宜为 5%~10%、渣掺量宜为 10%~30%。上述掺量均为质量内掺。
- 5.2.2 在 5.2.1 范围中选择 5 个 CFB 灰渣掺量，按照 JTG 3430 中 T 0131 重型击实试验方法分别确定最大干密度和最佳含水率。
- 5.2.3 按照 JTG 3430 中 T 0134 静压法成型 5.2.2 中不同 CFB 灰渣掺量改良土在设计压实度下的 CBR 试件，浸水 96h 后测定 CBR 值。
- 5.2.4 设计压实度下 CBR 满足 5.1.2 要求的最小掺量即为施工最小 CFB 灰渣掺量，具体掺量可根据技术经济分析与施工实际适当增加。

5.3 施工配合比设计

- 5.3.1 根据目标配合比确定的比例，检测物料含水率状态进行质量校正，当采用体积法计量时，还应分别测定 CFB 灰渣和土在施工含水率状态下的堆积密度，将施工质量配比换算成体积配合比。
- 5.3.2 按照上述配合比进行试拌，取混合料验证 CBR 值。不满足要求时，应适当提高 CFB 灰渣掺量，再进行试拌，直至混合料 CBR 满足设计要求，即为施工配合比 CFB 灰渣掺量。
- 5.3.3 以施工配合比设计结果为依据，综合考虑施工过程的气候条件，混合料含水率可较最佳含水率增加 1.0%~3.0%。

6 施工

6.1 施工方式

- 6.1.1 宜采用路拌法施工。
- 6.1.2 宜连续施工。

6.2 灰渣运输与储存

- 6.2.1 干灰宜采用水泥罐运输，湿灰、干渣或者湿渣宜采用自卸车运输。
- 6.2.2 湿灰的含水率宜为 10%~20%，湿渣的含水率宜为 8%~15%。
- 6.2.3 湿灰和湿渣可直接运输至施工现场堆存，但为保证改良效果，堆存放置时间不宜超过 3d；在环

保允许情况下，干灰和干渣也可堆存在现场，但应采用覆盖塑料篷布等措施避免扬尘与雨水浸泡；若环保不允许，宜在密闭堆棚堆存，并在堆棚内雾化增湿防尘。

6.3 土及 CFB 灰渣的摊铺与整平

6.3.1 土的摊铺与整平

应采用推土机或者平地机将土摊铺和整平。

6.3.2 CFB 灰渣摊铺与计量

6.3.2.1 CFB 飞灰宜优先采用水泥洒布车布料，通过单位面积或者某一段落总撒铺量控制掺量，或将 CFB 飞灰装袋，通过单位面积袋装数量控制掺量。

6.3.2.2 CFB 炉渣低掺量时，也可袋装使用，掺量较高时，宜在土层上摊铺炉渣并整平，通过松铺系数控制掺量。

6.4 拌和

6.4.1 应采用高效路拌机先将土与 CFB 灰渣混合均匀后，洒水至混合料含水率超过最佳含水率 1%~3%，再湿拌 2 次以上直至上中下层含水率极差小于 1.5%。

6.4.2 路拌机拌和深度应深入下层的表面 1cm~2cm 左右，应设专人检查拌和深度，并及时作出调整。

6.5 碾压

6.5.1 改良土的压实厚度不宜超过 20cm，经试验段验证后可放宽至 25cm。

6.5.2 碾压时应先静压 1 遍，碾压速度宜为 1.5km/h~2.0km/h；再根据振压压路机吨位及摊铺厚度按照轻振-强振-轻振的顺序振压 2~4 遍，碾压速度宜为 2.0km/h~3.0km/h，错轮量不宜小于 1/3，且振压最后 1~2 遍时宜调整错轮至 1/2；最后采用振动压路机静压 1~2 遍收面，必要时可采用胶轮压路机辅助收面，直到压实度达到设计要求。

6.6 养生

6.6.1 连续施工时可不养生。

6.6.2 若上层不能及时铺筑，宜采用洒水养生保湿，并采取适当措施避免冲刷。

6.7 铺筑试验段

6.7.1 正式施工前，应铺筑长度不小于 200m 试验段，或者 1~2 个结构物回填试验段。

6.7.2 通过试验段确定松铺系数、碾压工艺等施工参数，并按照设计要求进行质量检查，合格后方可大面积施工。

7 质量管理与验收

7.1 CFB 灰渣入场检验

CFB 飞灰、CFB 炉渣应按表 3 所列项目和要求检测评定。

表3 CFB 飞灰、CFB 炉渣检测项目和要求

检测项目	频度	技术要求	试验方法
游离氧化钙 (f-CaO) 质量分 数/%	每 2500t~3000t 检测一次; 当料源发生变化时, 立即追加检测一次	≤ 7.0	GB 176 中甘油法
7d 或者 28d 强度活性指数/%	每 2500t~3000t 检测一次; 当料源发生变化时, 立即追加检测一次	≥ 70.0	GB/T 1596 中附录 C
重金属浸出浓度	料源发生变化时	符合表 2 要求	附录 A
放射性	料源发生变化时	$I_{Ra} \leq 1.3$ 且 $I_r \leq 1.9$	GB 6566

7.2 施工过程检验

改良土施工过程中, 应按表4所列项目和要求检测评定。

表4 改良土施工过程检测项目和要求

检测项目	频度	技术要求	试验方法
均匀性	每 1000m ² 检测不少于 2 点	上中下层含水率极差 $< 1.5\%$	酒精灼烧法
压实度	每 1000m ² 检测不少于 2 点	符合 JTG/T 3610 或者 设计要求	JTG 3450 中灌砂法
混合料承载比 (CBR)	每次原材料或者配合比发生变化时, 取拌 和均匀混合料 2 个	符合表 2 要求	JTG 3430 中承载比 (CBR) 试验

7.3 质量检查与验收

本文件未列出的技术指标应按照 JTG/T 3610、JTG F80/1 和相关设计文件进行检查与验收。

附 录 A

(规范性)

重金属浸出浓度的测试方法

A.1 浸出液制备

取改良土用CFB飞灰或CFB炉渣，在105℃烘箱中烘干至恒重后，CFB飞灰无需预处理，CFB炉渣需破碎至粒径小于9.5mm，然后按照HJ/T 299要求制备浸出液；

A.2 重金属浓度检测

取浸出液，按照GB 5085.3中附录A等离子体原子发射光谱方法，对CFB灰渣样品中可能超标的铜、锌、镍、铅、镉、钡、总铬、砷等8种毒性效应较强的重金属浸出浓度进行检测。
