

铜尾矿作道路材料应用技术规程

Technical specifications for using copper tailings as road materials

2025 - 01 - 24 发布

2025 - 02 - 24 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 基本要求 2

5 原材料 2

 5.1 铜尾矿 3

 5.2 胶结材料 3

 5.3 其他材料 3

6 设计 4

 6.1 一般规定 4

 6.2 材料组成设计 4

 6.3 结构设计 7

7 施工 7

 7.1 一般规定 7

 7.2 路基施工 8

 7.3 底基层、基层施工 8

 7.4 铜尾矿水泥混凝土施工 8

8 质量控制与验收 8

 8.1 一般规定 8

 8.2 质量控制 9

 8.3 验收 9

9 环境监测 9

附录 A（资料性） 安徽省铜尾矿原材料基本情况 10

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司提出。

本文件由安徽省交通运输厅归口。

本文件起草单位：安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司、铜陵有色金属集团铜冠建筑安装股份有限公司、铜陵市公路管理服务中心、生态环境部固体废物与化学品管理技术中心、安徽省质量和标准化研究院、铜陵有色金属集团控股有限公司、安徽工业大学、安徽铜冠产业技术研究院有限责任公司、矿冶科技集团有限公司、中国标准化研究院、安徽省华通路桥工程有限责任公司、铜陵鑫铜建设监理有限责任公司、铜陵有色设计研究院有限责任公司、安徽省七星工程测试有限公司、铜陵铜冠建筑工程技术检测有限责任公司、铜陵铜冠建安新型环保建材科技有限公司。

本文件主要起草人：吴志刚、查全钢、罗宝莲、裴珏、任园、蒋科宏、吴志停、陈丽、张玉斌、陈贵斌、张进飞、巩瑞晨、牛京涛、朱雷、薛军、任中山、吴江敏、唐刚、王春红、丁鹏、赵庆朝、王秀腾、章伟、方肖立、徐文江、韩明志、杨龙、董亮、裴浩宇、姚迁、汪蕾、朱延明、马韬、王宇、汪炜、谢王健。

铜尾矿作道路材料应用技术规程

1 范围

本文件规定了铜尾矿作道路材料应用技术的基本要求、原材料、设计、施工、质量控制与验收以及环境监测。

本文件适用于公路、城市道路的新建、改扩建及养护工程，其他道路可参照使用。

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 3838-2022 地表水环境质量标准
GB 6566 建筑材料放射性核素限量标准
GB/T 14848-2017 地下水质量标准
GB 30760 水泥窑协同处置固体废物技术规范
GB 36600-2018 土壤环境质量建设用地突然污染风险管控标准
GB 50666 混凝土结构工程施工规范
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
CJJ 1 城市道路工程施工与质量验收规范
CJJ 169 城市道路路面设计规范
HJ/T 91 地表水和污水监测技术规范
HJ/T 164 地下水环境监测技术规范
HJ/T 166 土壤环境监测技术规范
HJ/T 299 固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法
HJ 557 固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法
HJ 1091 固体废弃物再生利用污染防治技术导则
JC/T 478.1 建筑石灰试验方法 第1部分：物理试验方法
JC/T 478.2 建筑石灰试验方法 第2部分：化学分析方法
JG/T 622 硅酸盐建筑制品用砂
JGJ 55 普通混凝土配合比设计规程
JGJ 63 混凝土用水标准
JTG 3430 公路土工试验规程
JTG/T 3610 公路路基施工技术规范
JTG D30 公路路基设计规范
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/T F20 公路路面基层施工技术细则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

铜尾矿 copper tailings sand

铜矿石经磨细、分选等工艺提取铜精矿后产生的固体废弃料。

3.2

铜尾矿路基材料 copper tailings subgrade materials

采用全部或一定比例的铜尾矿，经适量黏土、水泥或石灰等改良后，制备成满足路基使用要求的混合料。

3.3

铜尾矿水泥稳定材料 copper tailings cement stabilized material

铜尾矿替代全部或部分细集料、土等原材料，制备而成的水泥稳定碎石混合料。

3.4

铜尾矿水泥混凝土 copper tailings concrete

铜尾矿替代部分细集料制备而成的水泥混凝土

4 基本要求

4.1 铜尾矿原料不应混入除铜尾矿外的其他固体废物，进场前应进行铜尾矿浸出试验，浸出液危害成分浓度限值应符合表1规定。

表1 铜尾矿浸出液危害成分浓度限值要求

序号	指标	单位	浸出浓度限值	试验方法
1	总铜	mg/L	0.5	HJ 557
2	总铅	mg/L	1	
3	总锌	mg/L	2	
4	总钡	mg/L	4	
5	总铬	mg/L	1.5	
6	总锰	mg/L	2	
7	氟化物	mg/L	10	
注：通过对安徽省铜尾矿浸出液危害成分浓度检测，并结合环保相关规范要求，确定了本文件表1中铜尾矿浸出液危害成分浓度限值要求，具体铜尾矿浸出液危害成分浓度指标及其限值确定过程详见附录A。				

4.2 应考虑铜尾矿材料对道路结构强度、刚度和稳定性的影响，兼顾排水与环保要求。

4.3 自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区和其他特别保护区范围内，不得使用铜尾矿进行道路填筑。

4.4 应建立健全的安全生产管理体系和应急预案，明确安全责任，严格执行安全操作规程，保障施工人员的职业健康和施工安全。

4.5 应建立全过程的质量保障体系，明确全员质量责任，加强各工序质量控制与管理，保证工程质量。

4.6 铜尾矿在使用过程中，除满足本文件要求，尚应满足国家和行业现行有关标准的规定。

5 原材料

5.1 铜尾矿

5.1.1 不同来源的铜尾矿应分类堆放，并设有专门堆放料场，堆放场地应进行硬化处理，并采用防雨棚遮盖。

5.1.2 铜尾矿原材料技术要求应符合表 2 规定。

表2 铜尾矿原材料技术要求

项次	检查项目		规定值或允许值			试验方法
			路基用	水泥稳定材料用	水泥混凝土用	
1	粒径	最大粒径（mm）	2.36			JTG 3432 T0327
		0.075mm 以下含量（%）	≤75			
2	界限含水率 ^① （%）		液限≤30，塑性指数≤5			JTG 3430 T0118
3	含泥量（按质量计，%）		/	≤2.0	≤2.0	JTG 3430 T0333
4	有机质含量（%）		≤3.0	<2.0	/	JTG 3430 T0151
5	硫化物含量（%）		≤3	/	≤0.5	JTG 3430 T0153
6	易溶盐含量（%）		≤0.3	≤0.25	/	JTG 3430 T0158
7	砂当量（%）		/	≥40	≥60	JG/T 622
8	放射性	内照射指数	≤1			GB 6566
		外照射指数	≤1			
注：①界限含水率指粒径小于0.5mm细粒料的液限、塑限、塑性指数。						

注：①界限含水率指粒径小于0.5mm细粒料的液限、塑限、塑性指数。

5.2 胶结材料

5.2.1 铜尾矿用作道路材料时，宜掺入一定比例的水泥、石灰等胶结材料，用于改善其路用性能，并达到道路使用的技术要求。

5.2.2 水泥应符合下列规定：

- a) 初凝时间应大于 3h，终凝时间不应小于 6h，其他性质应符合国家现行有关标准的规定；
- b) 水泥应有出厂合格证与生产日期，复验合格方可使用；
- c) 不应使用快硬水泥、早强水泥和受潮变质的水泥，当水泥贮存期超过 3 个月或受潮时，应进行性能试验，合格后方可使用。

注：本文件中应用的水泥主要包括普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥或复合水泥等，水泥的强度等级42.5MPa及以上，也可使用钢铁渣复合料等胶凝材料，强度等级32.5MPa及以上。

5.2.3 石灰宜采用消石灰，并应符合下表 3 规定：

表3 石灰质量要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
外观	/	无团粒结块	目测
CaO+MgO	%	≥75	JC/T 478.2
MgO	%	≤5	
SO ₃	%	≤2	
游离水含量	%	≤2	
细度 (下列筛孔通过率)			JC/T 478.1
<0.2mm	%	≥98	
<90um		≥93	
加热安定性	/	合格	JC/T 478.1

5.3 其他材料

5.3.1 水

应符合现行行业标准JGJ 63的规定，宜采用饮用水及不含油类杂质的清洁中性水，pH值宜为6~8。

5.3.2 黏土

采用黏土作为胶结材料改善铜尾矿性能时，黏土的塑性指数宜为17~26，不得使用泥炭土、淤泥、冻土、强膨胀土、有机质土及易溶盐超过允许含量的土。

5.3.3 粗集料

粗集料性能应符合有关规范的相应技术要求。

5.3.4 细集料

细集料性能应符合有关规范的相应技术要求。

6 设计

6.1 一般规定

6.1.1 应结合当地自然气候条件和工程地质条件，合理确定铜尾矿使用层位，并做好材料组成设计及结构设计。

6.1.2 材料组成设计应根据公路等级、交通荷载等级、材料类型等因素，选择技术经济合理的混合料类型和配合比。

6.1.3 结构设计应遵循各种结构组合的力学特性和功能特性，保证结构的安全、耐久和全寿命周期经济合理。

6.1.4 铜尾矿路基材料、铜尾矿水泥稳定材料、铜尾矿水泥混凝土在使用前，应通过室内试验进行浸出液检测，浸出液危害成分浓度限值应符合表4规定。

表4 浸出液危害成分浓度限值要求

序号	指标	单位	浸出浓度限值	试验方法
1	总砷	mg/L	0.1	GB 30760
2	总铅	mg/L	0.3	
3	总镉	mg/L	0.03	
4	总铬	mg/L	0.2	
5	总铜	mg/L	1.0	
6	总镍	mg/L	0.2	
7	总锌	mg/L	2	
8	总锰	mg/L	0.5	
9	总钡	mg/L	4.0	HJ 557
10	氟化物	mg/L	2.0	
注：依据HJ 1091第6.3条规定以及生态环境部《关于明确固废制陶粒项目执行固废再生导则问题的回复》，利用铜尾矿制备成路基材料，要求参照GB/T 30760中要求的浸出重金属含量限值执行，给出了表4中序号1~8指标浸出浓度限值要求。此外，结合铜尾矿的浸出毒性检测结果，选取钡和氟化物特征污染物作为补充指标，考虑到道路周边浅层地下水主要用于农业用水的实际情况，依据GB/T 14848中IV地下水环境质量标准管控钡和氟化物环境风险。				

6.2 材料组成设计

6.2.1 路基材料组成设计

6.2.1.1 铜尾矿路基材料最小强度(CBR)应满足表 5 要求，黏土掺配比例宜为 30%~60%，水泥或石灰等胶结材料掺配比例宜通过试验确定。

表5 铜尾矿路基材料路用性能指标要求

评价指标		技术要求		试验方法
公路等级		高速、一级公路，城市快速路、主干路	二级及以下公路，其他等级城镇道路	
CBR 值（%）	上路床	≥8	≥6	JTG 3430 T0134
	下路床	≥5	≥4	
	上路堤	≥4	≥3	
	下路堤	≥3	≥2	

6.2.1.2 铜尾矿路基材料应采用重型击实试验确定相关参数。

6.2.1.3 铜尾矿路基材料压实标准应符合表 6 规定。

表6 路基材料路用性能指标

填料应用部位	压实度（%）				
	高速、一级公路	二级及以下公路	城市快速路、主干路	次干路	支路及其他公路
上路床	≥96	≥95	≥95	≥93	≥90
下路床	≥96	≥95	≥95	≥93	≥90
上路堤	≥94	≥94	≥93	≥90	≥90
下路堤	≥93	≥92	≥90	≥90	≥87

注：由于铜尾矿压实易松散，当铜尾矿掺配比例较高时，宜采用填上层检验下层方法。

6.2.2 水泥稳定材料组成设计

6.2.2.1 铜尾矿水泥稳定材料中铜尾矿掺配比例宜不大于 50%，水泥稳定材料级配范围应满足表 7 规定，并符合下列规定：

- a) X1 级配可用于各等级公路、城市道路的基层、底基层；
- b) X2 级配可用于高速公路、一级公路以及城市主干路、快速路的底基层；
- c) X3 级配可用于二级及以下公路以及城市次干路的底基层。

表7 铜尾矿水泥稳定材料推荐级配范围（%）

筛孔尺寸（mm）	X1	X2	X3
37.5	/	100	100
31.5	/	/	/
26.5	/	/	/
19	100	/	/
16	93~88	/	/
13.2	86~76	/	/
9.5	72~59	/	/
4.75	45~35	100~50	100~50
2.36	31~22	/	/
1.18	22~13	/	/
0.6	15~8	100~17	100~17
0.3	10~5	/	/
0.15	7~3	/	/
0.075	5~2	30~0	50~0

- 6.2.2.2 铜尾矿水泥稳定材料水泥剂量宜为 5%~9%，具体掺量应通过试验确定，7d 无侧限抗压强度标准应符合 JTG/T F20、CJJ 1 等有关规范的规定。
- 6.2.2.3 抗冻及水稳定性能应符合表 8 的规定。

表8 抗冻及水稳定性能技术要求

结构层	基层	底基层	试验方法
冻融循环强度比 (%)	≥80	≥75	JTG 3441 T0858
干湿循环强度比 (%)	≥90		JTG 3441 T0854

6.2.2.4 铜尾矿水泥稳定材料目标配合比设计流程如图 1 所示：

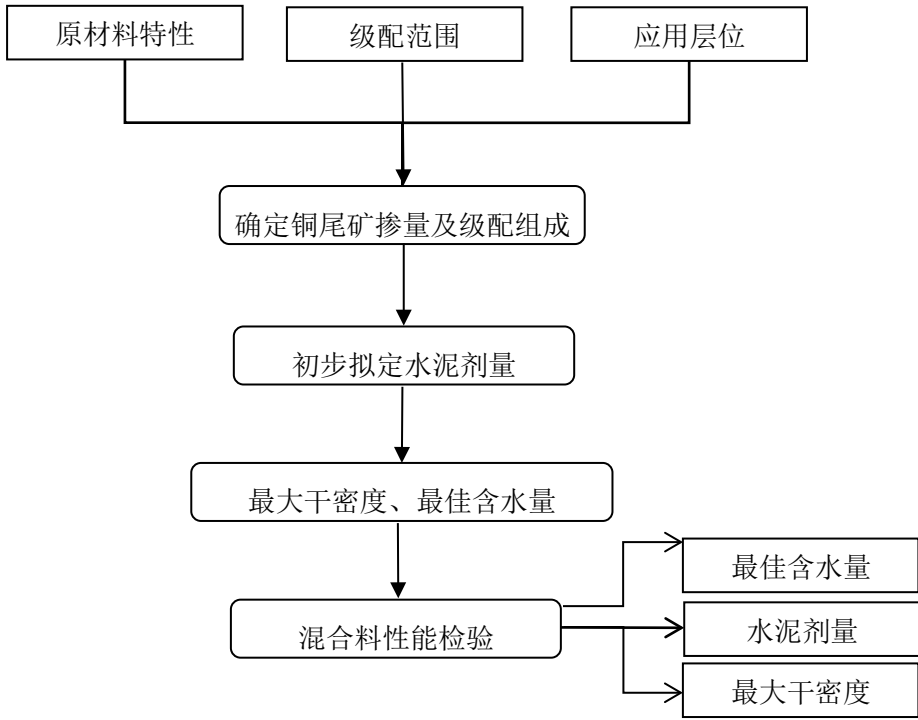


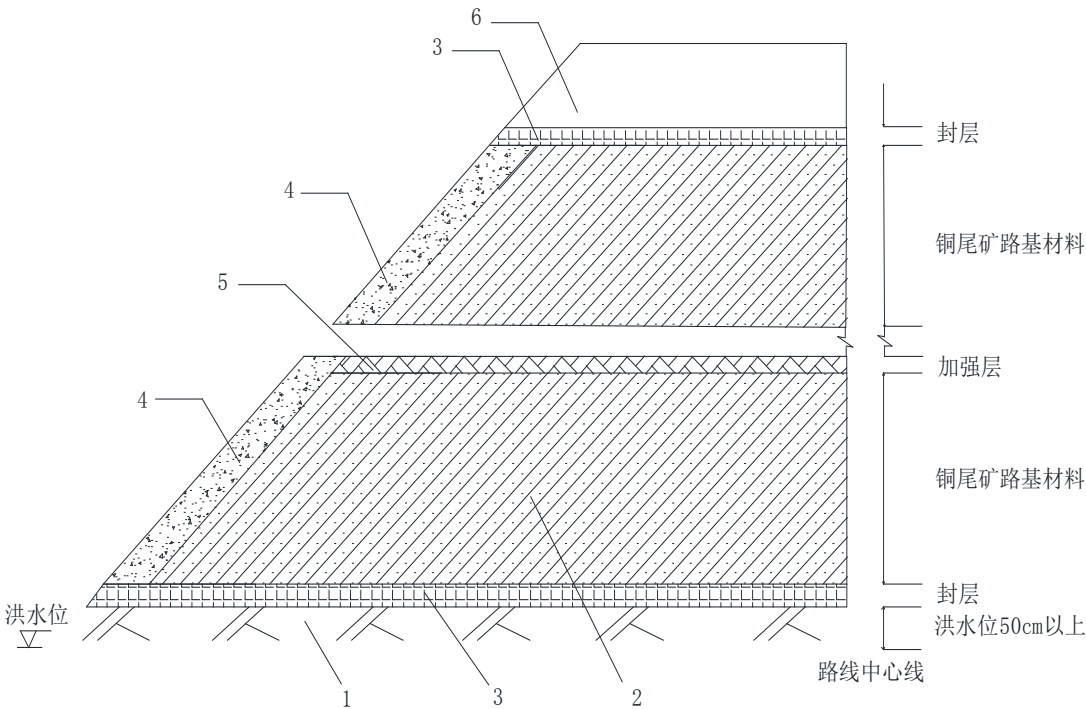
图1 铜尾矿水泥稳定材料目标配合比设计流程

- 6.2.3 铜尾矿水泥混凝土
- 6.2.3.1 应将铜尾矿与天然集料掺配使用，铜尾矿掺量宜不大于 15%。
- 6.2.3.2 宜用作小型构件使用，设计强度应采用 28d 龄期的立方体抗压强度。
- 6.2.3.3 配合比设计宜采用正交试验法或经验法，应按照 CJJ 169、JGJ 55 的规定执行。
- 6.2.3.4 配制相同强度等级的水泥混凝土，铜尾矿水泥混凝土的用水量、凝胶材料用量宜在天然砂混凝土基础上增加，增加量应经试验确定。
- 6.2.3.5 按拟定配合比进行试验室试拌，混凝土的坍落度、抗压强度、泌水等性能指标应符合现行国家标准有关规定。

6.3 结构设计

6.3.1 路基结构设计应符合以下规定：

- a) 铜尾矿路基材料填筑的底部，应高于洪水位 50cm 以上；
- b) 铜尾矿路基材料填筑底部和顶部应设置不透水封层，封层设计厚度宜为 20cm~40cm；
- c) 路基结构两侧应设置包边土，宽度宜为 2m~3m，路堤高度大于 3m 时，宜设置路基中间加强层，路基结构形式宜按图 2 进行设计；



标引序号说明：1-地面；2-铜尾矿路基材料；3-封层；4-包边土；5-加强层；6-路面。

图2 铜尾矿路基结构图

- d) 包边土、封层和中间加强层一般采用石灰改善土、水泥改善土、低液限黏土等不透水材料；
- e) 路堤边坡坡率不宜陡于 1: 1.5，当路基填筑高度大于 8m 时，应采用阶梯形边坡型式，下部路基边坡坡率不宜陡于 1: 1.75；
- f) 铜尾矿路基填筑高度超过 5m 时，应进行稳定性验算。

6.3.2 路面基层结构设计应符合以下规定：

- a) 路面基层、底基层采用铜尾矿水泥稳定材料时，基层、底基层的横断面端部设计应符合 JTG D50、CJJ 169 规定；
- b) 路面基层、底基层厚度，宜根据道路等级、交通量情况以及当地的工程经验拟定，并按照 JTG D50、CJJ 169 进行路面结构验算。

6.3.3 铜尾矿水泥混凝土用于小型构件设计，应参照相关要求执行。

7 施工

7.1 一般规定

- 7.1.1 应调查周边铜尾矿储量等相关情况，确定道路用铜尾矿原材料的需求。
- 7.1.2 施工前，应对铜尾矿取样，进行相关检测与性能试验，各项性能应满足环境保护要求及本文件的相关规定，且不得含有生活与建筑垃圾、树根等其他杂质。
- 7.1.3 应进行试验段铺筑，路段长度不宜小于 200m，通过试验段总结，确定具体施工工艺及施工参数。
- 7.1.4 宜选择气温 5℃ 以上的晴朗天气施工。雨期施工时，应做好防排水措施。
- 7.1.5 宜采用机械装车，自卸汽车拉运，运输过程中，顶部应进行覆盖。
- 7.1.6 除满足本文件要求外，尚应符合国家及行业相关标准的规定。

7.2 路基施工

- 7.2.1 路基施工前，应检测铜尾矿路基材料的含水率，超过最佳含水率 2% 时应采用晾晒等措施。
- 7.2.2 布料时，每层填筑前应划分网格，按照松铺厚度以及铺筑宽度计算每个网格所需材料数量。
- 7.2.3 宜采用拌和设备进行现场拌合，拌合后混合料均匀，颜色一致，无夹层，并按照规范 JTG/T 3610 要求进行整平。
- 7.2.4 碾压宜按照“先边缘后中间，先慢后快”的原则进行，压实路线纵向互相平行，宜选用重型振动压路机，碾压完毕后应及时检查压实度。
- 7.2.5 包边土应与路基填料同步施工，以增加结构整体性。
- 7.2.6 坡面防护及排水施工，应参照 JTG/T 3610、CJJ 1 等有关要求执行。

7.3 底基层、基层施工

- 7.3.1 基层、底基层施工应采用集中厂拌、摊铺机摊铺。
- 7.3.2 铜尾矿水泥稳定材料的松铺系数、摊铺预压实度应通过试验段确定。
- 7.3.3 施工时，应在混合料处于或略大于最佳含水率的状态下碾压，气候炎热干燥时，碾压含水率可比最佳含水率增加 2~3 个百分点，压路机碾压段的总长度不宜过长。
- 7.3.4 施工前及施工过程中，原材料发生变化时，应重新进行混合料配合比设计。
- 7.3.5 基层、底基层其他施工工艺及压实度指标应符合 JTG/T F20、CJJ 1 等相关规范规定。

7.4 铜尾矿水泥混凝土施工

- 7.4.1 拌和宜采用强制式搅拌机，有条件时可采用振动搅拌，随着铜尾矿掺量的增加宜增加搅拌时间 10s~20s。
- 7.4.2 采用搅拌运输车运送的铜尾矿水泥混凝土，应控制混凝土运至浇筑地点后不离析、不分层，使混凝土拌和物性能满足施工要求。
- 7.4.3 泵送铜尾矿水泥混凝土运送至浇筑地点，坍落度损失较大不能满足泵送要求时，不得使用。
- 7.4.4 铜尾矿水泥混凝土运输、泵送、浇筑过程中不得加水。
- 7.4.5 铜尾矿水泥混凝土生产与施工的其他要求应符合现行国家 GB 50164、GB 50666 等标准有关规定。

8 质量控制与验收

8.1 一般规定

- 8.1.1 施工中应建立材料试验、施工质量检查验收等制度，每道工序完成后均应进行检验，确认合格后方可进行下道工序施工，原始记录应齐全。
- 8.1.2 铜尾矿施工使用前，应对铜尾矿取样测试，符合规定后方可进场使用。

8.1.3 材料需要检测的其他项目及相关要求应符合 JTG F80/1、CJJ 1 等相关规范的规定。

8.2 质量控制

8.2.1 铜尾矿检验规则应符合下列规定：

- a) 同一厂家、同一矿源的铜尾矿，一个检验批不应大于 600t；
- b) 同一厂家、同一矿源的铜尾矿，当连续 3 次进场检验均一次检验合格时，后续的检验批量可扩大一倍。

8.2.2 施工过程中，应对路基宽度、包边土宽度、高程、路基横坡等项目进行控制。

8.2.3 路基各分层应进行压实度检测，其施工过程压实检验应符合相关规范规定。

8.2.4 铜尾矿水泥稳定材料施工过程中，应对原材料、混合料以及施工环节等方面进行检查，符合 JTG/T F20、CJJ 1 规定。

8.2.5 铜尾矿水泥混凝土生产过程中，宜对混凝土原材料进行抽检，检验应符合现行国家标准 GB 50164 的有关规定。

8.3 验收

验收应按照 JTG F80/1、CJJ 1 等现行有关标准要求执行。

9 环境监测

9.1 施工前，应对项目区域内的土壤按照 HJ/T 166 要求进行现状监测，监测指标包括本文件表 4 中的污染物以及 GB 36600-2018 中表 1 中其他重金属和无机物指标。

9.2 施工前，应对项目区域内可能受到铺设路段影响的地表水按照 HJ/T 91 要求进行现状监测，监测指标包括本文件表 4 中的污染物以及 GB 3838-2022 中表 1 中其他重金属和无机物指标。经论证对地表水无影响的，可不监测。

9.3 施工前，应对项目区域内的地下水按照 HJ/T 164 要求进行现状监测，监测指标本文件表 4 中的污染物以及 GB/T 14848-2017 中表 1 中其他重金属和无机物指标。

9.4 施工期间，土壤监测频次一般每年 1 次，监测指标和要求与 9.1 保持一致。土壤监测应考虑在道路的两侧交替等间距布点，原则上每项工程的土壤采样点位数不少于 6 个，并根据实际情况酌情增加。采样深度应与铜尾矿路基底面标高保持一致。

9.5 施工期间，地表水监测频次每半年不少于 1 次，监测指标和要求与 9.2 保持一致。应在受到铺设路段影响地表水的上、下游各布设 1 个地表水断面。

9.6 地下水的监测应符合以下要求：

- a) 施工期间，每年监测不少于 3 次，且应覆盖每年的枯、平、丰水期；
- b) 项目交工后，至少每半年监测 1 次，直到地下水水质连续 2 年不超出按照 9.3 要求监测的地下水现状水平；
- c) 监测指标和要求与 9.3 保持一致；
- d) 地下水监测布点应考虑在地下水径流的上、下游布点，上游井 1 口，下游井 2 口。地质和水文地质资料表明含水层埋藏较深，经论证认定地下水不会被污染时，可不设置地下水监测点。

附 录 A

(资料性)

安徽省铜尾矿原材料基本情况

铜尾矿污染性指标的提出，主要是对安徽省内典型的尾矿库取样，对铜尾矿22种污染性的元素进行全量分析，在筛选出有污染风险的危害成分后再进行浸出试验。按照HJ/T 299 和 HJ 557 规定的方法获取浸出液，并对浸出液中危害成分浓度进行检测分析。依据GB 5085.3-2007，分析铜尾矿的酸浸出液中任何一种危害成分浓度是否超过标准浓度限值，判定铜尾矿是否具有危险废物的浸出毒性；依据 GB 18599-2020，分析铜尾矿的水浸出液中任何一种危害成分浓度是否超过 GB 8978 最高允许排放浓度（第二类污染物最高允许排放浓度按照一级标准执行），且pH值在6~9范围内，检测结果如表A.1所示，判定其为第I类或第II类一般工业固体废物。

表A.1 铜尾矿危害成分全量检测结果

危害成分项目	冬瓜山铜矿	铜山矿	安庆铜矿	沙溪铜矿	琅琊山铜矿
砷 (mg/kg)	28.7~97	4.96~18.6	4.9~9.9	3.62~8.15	9.42~11
铅 (mg/kg)	2.9~9.6	6.2~10.8	2~7.3	6.1~10.6	4.7~28
铬 (mg/kg)	70.4~117	41.7~60	10.7~61.7	16.5~27.1	12.9~26.1
铜 (mg/kg)	313~546	1040~1980	380~1280	110~164	133~614
镍 (mg/kg)	7.1~14	32.2~56.5	48.8~112	45.9~108	48.9~145
锌 (mg/kg)	66.8~98.1	195~301	22~38.6	18.8~28.4	14.3~26.7
锰 (mg/kg)	1480~3030	3110~8710	769~2000	235~395	641~1070
氟 (mg/kg)	790~940	710~870	710~920	970~1150	890~950
钡 (mg/kg)	74.5~143	86.7~350	49.2~277	298~391	152~256
钴 (mg/kg)	5.1~19.2	10.8~13.5	17.5~32.8	1.2~2.8	0.6~4
钒 (mg/kg)	17.4~41.6	28.3~34.6	89.6~149	37.7~58.3	13.9~25.2
汞 (mg/kg)	0.05~0.137	0.122~0.181	0.02~0.047	0.005~0.008	0.028~0.055
钼 (mg/kg)	未检出	3.83~10.5	0.7~9.43	0.32~0.45	5.14~11.8
铍 (mg/kg)	未检出	0.33~0.41	0.42~0.83	0.75~0.96	0.43~0.51
六价铬 (mg/kg)	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
银 (mg/kg)	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
硒 (mg/kg)	1.32~1.72	0.431~0.515	0.331~0.573	0.019~0.13	0.198~0.325
锑 (mg/kg)	0.139~0.223	0.042~0.171	0.046~0.195	0.029~0.17	0.005~0.168
钨 (mg/kg)	5.1~19.2	10.8~13.5	17.5~32.8	1.2~2.8	0.6~4
铊 (mg/kg)	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
氰化物 (mg/kg)	未检出	0.09~0.2	0.01	0.09~0.16	0.09~0.12
硫化物 (%)	0.03~0.1	未检出	未检出	未检出	未检出

按照环保规范要求，对上述表A.1中铜尾矿全量检测分析结果，筛选出有全量污染性指标如表A.2所示：

表A.2 铜尾矿危害成分指标筛选情况

尾矿	锰	铜	钡	镍	铬	锌	钒	氟	铅	钴	砷
冬瓜山铜矿	√	√	√		√	√	√	√			√
铜山矿	√	√	√	√	√	√	√	√			
安庆铜矿	√	√	√	√	√	√	√	√		√	
庐江沙溪铜矿	√	√	√	√	√	√	√	√			
琅琊山铜矿	√	√	√	√	√	√	√	√	√		

铜尾矿全量污染性筛选出七个指标，按照筛选出的七个指标，对铜尾矿的浸出液中危害成分浓度检测结果进行汇总分析，结果如表 A. 3、A. 4 所示：

表A.3 铜尾矿浸出液中危害成分检出情况汇总分析

污染物	冬瓜山铜矿检出率 (%)		铜山矿检出率 (%)		安庆铜矿检出率 (%)		沙溪铜矿检出率 (%)		琅琊山铜矿检出率 (%)	
	酸浸	水浸	酸浸	水浸	酸浸	水浸	酸浸	水浸	酸浸	水浸
锰	83.3	66.7	16.7	66.7	16.7	0	33.3	0	16.7	0
钡	0	0	16.7	0	16.7	16.7	66.7	16.7	16.7	16.7
铅	0	0	0	0	16.7	16.7	0	0	0	0
铜	0	16.7	0	0	0	0	16.7	0	0	0
铬	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0
锌	0	0	0	0	0	0	16.7	0	0	0
氟化物	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

表A.4 铜尾矿浸出液中危害成分浓度限值

指标	单位	锰	铜	钡	铅	铬	锌	氟化物
水浸最大值	mg/L	1.02	未检出	0.12	0.00199	未检出	未检出	1.22
酸浸最大值	mg/L	0.32	0.02	1.66	0.00135	0.47	0.17	1.05
GB 8978 污水综合排放	mg/L	2	0.5	/	1	1.5	2	10
GB 14848 地下水 III 类水	mg/L	0.1	1	0.7	0.01	六价铬 0.05	1	1
本文件中提出限制要求	mg/L	2	0.5	4	1	1.5	2	10

从上述检测结果可以看出，从全量检测结果来看，锰、铜、氟和钡的含量排在前 4 位。锰、铜、钡、镍、铬、锌、钒和氟共 8 种需重点关注的共性污染物，而铅、钴和砷分别是琅琊山铜尾矿、安庆铜尾矿和冬瓜山铜矿特有污染物。5 个矿山的铜尾矿均不具有危险废物的浸出毒性和腐蚀性特征，都属于第 I 类一般工业固体废物。在酸浸时，铜尾矿中锰、钡、铅、铜、铬、锌和氟化物 7 种污染物检出，在水浸时，检出的污染物较少，仅有锰、钡、铅和 氟化物 4 种。其中，5 个铜矿山铜尾矿中的氟化物最容易浸出，锰和钡相对容易浸出，铜、铅、铬和锌不易浸出。因此提出了本文件表1中铜尾矿浸出液危害成分浓度限值要求。

铜尾矿原材料，对安徽省典型地区铜尾矿进行检测，对铜尾矿的粒度进行分析，结果如表 A. 5 所示：

表A.5 铜尾矿粒径检测结果（%）

粒度分级	≥0.15mm	0.15mm~0.075mm	0.075mm~0.045mm	≤0.045mm
冬瓜山矿	6.71	23.3	16.61	53.38
铜山矿	12.63	20.91	15.91	51.55
安庆矿	12.6	16.5	20.3	50.6
沙溪铜尾矿	4.8	9.6	15.6	70
琅琊山铜尾矿	34.73	29.51	21.25	14.51

从成分来看,除琅琊山铜尾矿稍粗外,其他矿山铜尾矿粒度较细,45 μ m 以下的颗粒占比超过了50%,75 μ m以下的颗粒多数占比在70%~75%,颗粒太细会影响压实、强度形成等方面效果,为了保证使用过程具有较好性能,对0.075mm以下含量进行控制。

对安徽省典型铜尾矿进行液限和塑性指数试验,结果如表A.6所示:

表A.6 铜尾矿液塑性检测结果

矿区	冬瓜山矿	铜山矿	安庆矿	沙溪铜尾矿	琅琊山铜尾矿
液限 (%)	23.4	24.8	21.6	22.8	17.8
塑性指数	3.5	4.2	3.3	3.1	2.8

从试验结果可以看出,安徽省铜尾矿液限均在30以内,塑性指数在5以内。

基于安徽省典型铜尾矿调研和试验结果,提出了本文件表2中铜尾矿粒径要求和液塑限要求控制指标。