

寒区公路铜冶炼尾渣路基、基层设计与施工 技术规范

2026 - 05 - 18 发布

2026 - 06 - 17 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 原材料	2
4.1 铜冶炼尾渣	2
4.2 黏质土	3
4.3 集料	3
4.4 水泥	3
4.5 石灰	3
5 路基设计	3
5.1 一般要求	3
5.2 强度与稳定性要求	3
5.3 抗冻要求	4
5.4 压实要求	4
6 基层设计	4
6.1 一般要求	4
6.2 强度要求	4
6.3 抗冻要求	5
6.4 配合比设计	5
7 施工	6
7.1 一般规定	6
7.2 路基施工	6
7.3 底基层、基层施工	7
8 质量控制与验收	7
附录 A（规范性）铜冶炼尾渣浸出毒性鉴别标准	9

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。

本文件由黑龙江省交通运输厅提出并归口。

本文件由黑龙江省交通运输厅组织实施。

本文件由黑龙江省交通运输厅负责解释。

本文件起草单位：黑龙江紫金铜业有限公司、黑龙江省交投工程勘察设计咨询有限公司、矿冶科技集团有限公司、生态环境部固体废物与化学管理技术中心、哈尔滨工业大学、齐齐哈尔市铁峰区交通运输局、齐齐哈尔市公路事业发展中心、黑龙江省交通运输信息和科学研究中心、黑龙江省交投检测咨询公司、黑龙江省生态地质调查研究院、黑龙江省化石交投能源科技有限责任公司。

本文件主要起草人：宋厚彬、林烽先、马洪艳、张华、王佳昌、李新凯、李田玉、林杨、张婷婷、赵庆朝、迟亮、易军艳、林荣琪、李伟光、彭诚、赵磊、罗伟金、曾鑫、韩雪、李勇、李学亮、毛昌伟、王晓民、冯春玲、杨浩、张艳平、张衍刚、沈荣生、裴忠实、张海威、郭鹏、黎楠、王正磊、高志华、于立泽、周雯怡、赵晶。

寒区公路铜冶炼尾渣路基、基层设计与施工技术规范

1 范围

本文件规定了铜冶炼尾渣用于严寒地区公路路基与基层的原材料、路基设计、基层设计、施工及质量控制与验收。

本文件适用于各级公路新建、改扩建及养护工程项目，严寒地区的市政道路建设可参照使用。

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 5085.3 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别
- GB 6566 建筑材料放射性核素限量
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
- 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 687 固体废物 六价铬的测定 碱消解/火焰原子吸收分光光度法
- HJ 702 固体废物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法
- HJ 999 固体废物 氟的测定 碱熔-离子选择电极法
- HJ 1147 水质 pH值的测定 电极法
- HJ 1226 水质 硫化物的测定 亚甲基蓝分光光度法
- JTG D30 公路路基设计规范
- JTG/T D31-06 季节性冻土地区公路设计与施工技术规范
- JTG D40 公路水泥混凝土路面设计规范
- JTG D50 公路沥青路面设计规范
- JTG/T F20 公路路面基层施工技术细则
- JTG/T F30 公路水泥混凝土路面施工技术细则
- JTG F40 公路沥青路面施工技术规范
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
- JTG 3420 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
- JTG 3430 公路土工试验规程
- 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 3610 公路路基施工技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

铜冶炼尾渣

铜矿高温熔炼渣通过破碎、球磨、浮选等工艺回收铜精粉后产生的废弃物。

3.2

铜冶炼尾渣路基材料

全部采用或采用一定比例的铜冶炼尾渣，经适量黏土、水泥或石灰等改良后，制备成满足路基填筑要求的混合料。

3.3

铜冶炼尾渣水泥稳定类材料

采用铜冶炼尾渣替代全部或部分细集料，制备而成的水泥稳定类混合料。

4 原材料

4.1 铜冶炼尾渣

4.1.1 铜冶炼尾渣利用前应按照 HJ/T 299 和 GB 5085.3 进行危险废物判定，应符合一般工业固体废弃物的标准。

4.1.2 铜冶炼尾渣利用前应按照现行 HJ 557 的方法测定浸出液内有害物质含量，按照 GB 18599 确定铜冶炼尾渣的特征污染物浓度（附录 A），按照 GB 8978 判定一般工业固体废弃物的类别。

4.1.3 铜冶炼尾渣应符合 GB 18599 有关要求，且符合第 I 类一般工业固体废弃物的标准，不应采硫化物有害物质含量超标的铜冶炼尾渣填筑路基、基层，硫化物有害物质含量应符合 HJ 1226 的标准要求。

4.1.4 在江河、湖泊、渠道、水库、水田、自然保护区、水源保护地的最高水位线以下的滩地和岸坡等区域以及浸水路段范围内，不应使用铜冶炼尾渣填筑路基和基层。

4.1.5 铜冶炼尾渣利用前应对铜冶炼尾渣进行颗粒分析，确定其烧失量、pH 值、天然含水率、塑性指数、有机质含量等指标，用于寒区道路路基、基层材料中的铜冶炼尾渣技术要求应符合表 1 的要求。

表 1 铜冶炼尾渣技术要求

检测项目		技术指标	试验方法
烧失量（%）		≤2.0	JTG 3430 T0150
pH值		6.0~9.0	HJ 1147
含水率（%）		≤15	JTG 3430 T0103
塑性指数Ip		≤17	JTG 3430 T0118
有机质含量（%）		<2.0	JTG 3430 T0151
浸水膨胀率（%）		≤2.0	JTG 3432 T0339
易溶性硫酸盐含量（%）		≤0.8	JTG 3430 T0158
0.3mm筛孔通过率（%） ¹		≥90	JTG 3430 T0818
0.075mm筛孔通过率（%） ¹		≥70	JTG 3430 T0818
放射性	内照射指数	≤1.0	GB 6566
	外照射指数	≤1.0	
浸出毒性 ²		符合浸出毒性鉴别标准值的要求	HJ/T 299、HJ 557、HJ 687、HJ 702、HJ 999
水污染物		符合一级排放标准的要求	GB 8978
注 1：铜冶炼尾渣用于基层的技术指标			
注 2：包括 GB 5085.3 中表 1 的前 16 个项目，详见附录 A			

4.1.6 按照 JTG/T D31-06 要求,铜冶炼尾渣用作寒区公路的路基填料时,应按照 JTG 3430 中的试验方法测定其冻胀率,按照 JTG/T D31-06 确定冻胀等级和类别,若不具备条件时,铜冶炼尾渣的冻胀率及冻胀分级参照表 2 取值,可掺拌黏质土降低其冻胀率,掺拌后的铜冶炼尾渣的冻胀率及冻胀分级按表 2 进行内插取值。

表 2 铜冶炼渣尾渣的冻胀率及冻胀分级

黏质土掺量 (%)	冻前含水率 (%)	冻胀率 (%)	冻胀等级	冻胀类别
0	≤25	6.5	IV	强冻胀
25		6.0	III	冻胀
50		5.5	III	冻胀

4.2 黏质土

黏质土掺拌改善铜冶炼尾渣粘聚性和抗冻性能时,黏质土的平均冻胀率应小于4.5%,不应使用冻土、膨胀土、有机质土及易溶盐超过0.8%的土。

4.3 集料

集料性能应符合JTG F40和JTG/T F30 中的技术要求。

4.4 水泥

铜冶炼尾渣水泥稳定材料所用水泥初凝时间应小于3 h,终凝时间应不大于10 h,并应符合JTG 3420 中的技术要求。

4.5 石灰

道路用石灰宜采用1~3级的新石灰,并应符合JTG F20中的技术要求。

5 路基设计

5.1 一般要求

5.1.1 铜冶炼尾渣路基设计时,应调查公路工程项目周边铜冶炼尾渣储存场情况,核实铜冶炼尾渣堆存量及公路工程材料需求数量,合理确定铜冶炼尾渣利用方案,应结合当地自然气候条件和水文地质条件,合理确定铜冶炼尾渣填筑路基的层位。

5.1.2 铜冶炼尾渣路堤应采用封闭式路堤结构,对边坡和路肩采取土质护坡保护措施,包边土的宽度不应小于2.0 m,在土质护坡中设置排水渗沟,渗沟外围应设置反滤层。

5.1.3 铜冶炼尾渣路堤顶面标高以上应设置≥30 cm厚的黏质土封顶层。

5.1.4 铜冶炼尾渣路堤底部应高于地下水位或地表长期积水位0.3 m以上,且设置厚度不小于0.5 m的隔离层,隔离层材料应按照 JTG/T D31-06 选用。

5.1.5 铜冶炼尾渣用作路基填料时应通过试验确定其内摩擦角、粘聚力、CBR 和回弹模量等参数。

5.2 强度与稳定性要求

5.2.1 铜冶炼尾渣的最佳含水量与最大干密度应按 JTG 3441 中的重型击实试验方法确定。

5.2.2 铜冶炼尾渣可直接填筑路基,铜冶炼尾渣路基填料的最小承载比(CBR)应符合表 3 的要求,当铜冶炼尾渣路基粘聚性和抗冻性不足时,可掺拌一定比例的黏质土改善,黏质土掺量范围为0%~50%,

应根据击实试验结果确定适宜的掺量。

表 3 铜冶炼尾渣路基填料的最小承载比 (CBR)

路基应用部位		最小承载比 (CBR) (%)			试验方法
		高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路	
上路堤	轻、中及重交通	8	6	5	JTG 3430 T0134
	特重、极重交通				
下路堤	轻、中及重交通	5	4	3	
	特重、极重交通	6	5	4	

5.2.3 铜冶炼尾渣填方路基高度应 ≤ 6 m, 当路基高度 ≥ 4 m时, 应在路堤中部设置土质夹层, 并按照 JTG D30 进行路基稳定性计算, 其抗滑稳定系数应符合 JTG D30 中的要求。

5.3 抗冻要求

5.3.1 应根据公路结构形式、材料类型等因素, 按照 JTG/T D31-06 开展铜冶炼尾渣路基的综合抗冻设计; 冻区划分方法和路基冻深范围按照 JTG/T D31-06 执行。

5.3.2 铜冶炼尾渣不应直接用于重冻区的路床和地下水位距路面小于 3 m 的上路堤, 掺配一定比例黏质土可提高铜冶炼尾渣路基抗冻性能, 可用于重冻区地下水位距路面大于 3 m 的下路床和地下水位距路面小于 3 m 的上路堤。

5.3.3 重冻、中冻地区宜采用水泥、石灰等结合料处治铜冶炼尾渣后用做路基填料, 不受本文 5.3.2 条限制, 水泥掺量一般为 3%~5%, 石灰掺量一般为 3%~6%。

5.3.4 应按照 JTG/T D31-06 计算路基容许冻胀量, 路基容许冻胀量应满足 JTG/T D31-06 中的要求。

5.3.5 铜冶炼尾渣路基回弹模量设计值宜通过试验确定, 无试验条件时, 可按照 JTG/T D31-06 确定。

5.3.6 应按照 JTG/T D31-06 计算道路多年最大冻深, 掺配黏质土的铜冶炼尾渣热物性参数应取值为 1.05。

5.4 压实要求

5.4.1 铜冶炼尾渣路基各层位的压实度应满足 JTG D30 和 JTG/T D31-06 规范中的要求。

6 基层设计

6.1 一般要求

6.1.1 铜冶炼尾渣作为无机结合料中的细集料用于公路基层时, 应采用水泥进行稳定; 铜冶炼尾渣基层应具备良好的抗冻性能。

6.1.2 铜冶炼尾渣水泥稳定类材料应符合 JTG/T F30 中关于水泥稳定类基层的技术要求。

6.2 强度要求

6.2.1 铜冶炼尾渣水泥稳定类材料 7 d 无侧限抗压强度试件的成型试验应按照 JTG 3441 规范中的方法进行。

6.2.2 铜冶炼尾渣水泥稳定类材料用于基层时, 其 7 d 无侧限抗压强度应按 JTG 3441 规范中的方法测定, 铜冶炼尾渣水泥稳定类材料 7 d 无侧限抗压强度标准应满足表 4 的要求。

表 4 铜冶炼尾渣水泥稳定类材料 7d 无侧限抗压强度标准 (MPa)

结构层	公路等级	交通等级		
		极重、特重交通	重交通	中、轻交通
基层	高速公路和一级公路	5.0~7.0	4.0~6.0	3.0~5.0
	二级及二级以下公路	4.0~6.0	3.0~5.0	2.0~4.0
底基层	高速公路和一级公路	3.0~5.0	2.5~4.5	2.0~4.0
	二级及二级以下公路	2.5~4.5	2.0~4.0	1.0~3.0

6.3 抗冻要求

6.3.1 铜冶炼尾渣应用于中冻区和重冻区高速公路和一级公路基层时，重冻区水泥掺量应不低于 5%，中冻区水泥掺量应 $\geq 4\%$ 。

6.3.2 铜冶炼尾渣水泥稳定类材料用于寒区公路基层时，应按 JTG 3441 中规定的试验方法确定其冻融循环质量损失率，应满足表 5 的要求。

6.3.3 铜冶炼尾渣用于中冻区和重冻区高速公路和一级公路基层时，应按 JTG 3441 中规定的方法进行材料的残留抗压强度比试验，铜冶炼尾渣水泥稳定类材料的抗冻性能要求应满足表 5。

表 5 铜冶炼尾渣水泥稳定类材料的抗冻性能要求

项目	重冻区	中冻区
10次冻融循环质量损失率 (%)	≤ 5	≤ 8
残留抗压强度比 (%)	≥ 75	≥ 70

6.4 配合比设计

6.4.1 根据公路等级及使用层位进行配合比设计，根据粗、细集料配比的不同，配合比分可为密实型 WZ1、悬浮密实型 WZ2、骨架密实型 WZ3，铜冶炼尾渣水泥稳定类基层的集料推荐级配范围见表 6 所示。

6.4.2 密实型 WZ1，铜冶炼尾渣掺配比例不超 90%，适用于三、四级公路的基层、底基层，二级公路的底基层，具体掺配比例应通过击实试验确定，水泥掺量建议 5%~7%。

6.4.3 悬浮密实型 WZ2，铜冶炼尾渣掺配比例不超 60%，适用于高速公路、一级公路的底基层，二级及以下公路的基层、底基层，水泥掺量建议 4%~6%。

6.4.4 骨架密实型 WZ3，铜冶炼尾渣掺配比例宜为 10%~15%，适用于各等级公路的基层、底基层，水泥掺量建议为 3%~6%。

表 6 铜冶炼尾渣水泥稳定类基层的集料推荐级配范围

级配类型	通过下列方筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)									
	31.5	19.0	9.50	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
WZ1	/	/	/	/	100	/	/	100~10	/	70~0
WZ2	/	100	100~70	76~54	/	/	/	50~60	/	60~0
WZ3	100	86~68	58~38	32~22	28~16	22~13	15~8	12~7	7~4	0~5

6.4.5 铜冶炼尾渣水泥稳定类材料在寒区应用时，其配合比按表 7 中的冻融循环质量损失率和残留抗压强度比要求进行选择。

表7 冻融循环质量损失率和残留抗压强度比要求

级配类型	冻融循环次数			
	10	20	10	20
	质量损失率 (%)		残留抗压强度比 (%)	
WZ1	≤6	≤8	≥75	≥70
WZ2	≤5	≤6	≥85	≥80
WZ3	≤5	≤5	≥90	≥85

7 施工

7.1 一般规定

7.1.1 施工前，应对铜冶炼尾渣取样，进行相关检测试验，各项性能应满足环境保护要求及本文件的相关规定。

7.1.2 在路堤填筑前，将路堤范围内原地面进行表土剥离，基底压实。

7.1.3 铜冶炼尾渣填筑路基和基层均应进行试验段铺筑，路段长度不宜小于 200 m，通过试验段确定具体施工工艺及施工参数。

7.1.4 铜冶炼尾渣与桥涵等混凝土结构接触处，应在结构物接触面均匀涂刷两层沥青，以防腐蝕。

7.1.5 铜冶炼尾渣运输和施工过程中应采用自卸汽车运输，应采取覆盖措施，避免造成扬尘污染，注重环境保护。

7.2 路基施工

7.2.1 应按照 JTG/T D31-06、JTG/T 3610 规范进行铜冶炼尾渣路基施工。

7.2.2 应通过标准击实试验确定铜冶炼尾渣原料的最佳含水率；应对铜冶炼尾渣原料出场的含水率进行检测，采用直接填筑时，超过最佳含水率 2 %时应采用晾晒等措施，超过最佳含水率时应采取加水拌合措施至最佳含水率±1 %。

7.2.3 采用铜冶炼尾渣和黏质土掺配填筑路基时，应对黏质土材料进行基本性能试验，满足本文件 4.2 条要求，通过室内试验确定掺配比例及最佳含水率和最大干密度。

7.2.4 铜冶炼尾渣掺配黏质土的拌合方式满足下列规定：

- 宜采用厂拌方式，在低等级公路应用且用料较少时可采用机械或人工现场拌和；
- 机械路拌法应采用拌和设备，也可用其它机械设备翻拌均匀，对机械不易拌到之处，应辅以人工拌和均匀；
- 人工路拌应采用条拌法。将铜冶炼尾渣和黏质土分层铺成条形后，边翻拌边前进，翻拌 2 遍～3 遍后，按最佳含水率所需的用水量顺条均匀地洒入混合料，再拌和至均匀至颜色一致为止。

7.2.5 铜冶炼尾渣掺配黏质土和铜冶炼尾渣采用水泥、石灰加固时，拌和过程配合比的质量控制应符合 JTG/T 3610 要求。

7.2.6 铜冶炼尾渣摊铺前应通过试验路段确定松铺系数，无实测资料时，宜参照如下范围为人工拌和与人工摊铺为 1.4～1.5，机械拌和与机械摊铺为 1.2～1.35。

7.2.7 铜冶炼尾渣混合料摊铺，宜采用大功率摊铺机，摊铺后应及时碾压，应采用大于 20 t 的振动压路机，每层压实厚度应不大 30 cm，碾压完毕后应及时检查压实度。

7.2.8 包边土和封顶层所用土料宜和土方路基相同，应满足 JTG/T 3610 相关要求，包边土应与铜冶炼尾渣填筑同步施工，排水和坡面防护施工应按照 JTG/T 3610 相关要求执行。

7.2.9 压实完成后的路基压实度、厚度、宽度、横坡、标高和平整度应符合设计要求和本文件的验收

要求。

7.2.10 越冬时，铜冶炼尾渣路基顶面应采取素土覆盖并密实整平等防冻措施，加强顶面排水，防止雪水融化渗入路基；越冬后路基压实度不满足本文件 5.4 条要求时，应进行复压、复检直至满足要求。

7.3 底基层、基层施工

7.3.1 应选择气温 5℃ 以上的晴朗天气进行组织施工，雨期施工时，应做好防排水措施。

7.3.2 铜冶炼尾渣底基层、基层在低温施工时（5℃~15℃）应增加水泥剂量 1.0 个百分点；越冬时应采取素土覆盖并密实整平等防冻措施。

7.3.3 高速公路、一级公路和二级公路底基层、基层施工，应采取集中厂拌、摊铺机摊铺机械。

7.3.4 遇高温天气时，由于混合料在储存、运输和摊铺时蒸发失水，拌和含水量应高于最佳含水率的 2%。

7.3.5 应按照 JTG/T F20 规范进行铜冶炼尾渣底基层、基层的摊铺和碾压施工。

7.3.6 压实成型并验收合格的铜冶炼尾渣底基层、基层，应按照 JTG/T F20 要求进行养生。

7.3.7 养生期间除洒水车外，应封闭交通。对个别不能断绝交通的道路，宜选用 WZ2 或 WZ3 型铜冶炼尾渣水泥稳定底基层、基层，碎石封层后开放交通，并应限制车速和交通量。

8 质量控制与验收

8.1.1 铜冶炼尾渣施工使用前，应对铜冶炼尾渣取样测试，符合本文件表 1 的规定后方可进场使用。

8.1.2 铜冶炼尾渣填筑路基施工过程中，应对铜冶炼尾渣的含水率和拌合均匀度进行控制，应对路基的压实度、弯沉值，宽度、厚度、高程、横坡度、平整度等项目进行控制，铜冶炼尾渣填筑路基的质量控制及检查要求见表 8。

表 8 铜冶炼尾渣填筑路基质量标准及检查要求

序号	项目	质量标准与允许误差	检查要求
1	含水率	最佳含水率±1 %	取工地每作业段（不超过1 000 m ² ）的路基填料
2	拌和均匀度	混合料颜色均匀一致，没有粗细颗粒“窝”	随时观察
3	压实度	满足设计要求	每碾压作业段不超1 000 m ² 不应少于1 处
4	弯沉值	满足设计要求	每车道每20 m测1 点
5	纵断高程	符合JTG F80/1 规定	
6	厚度		
7	宽度		
8	横坡度		
9	平整度		

8.2 铜冶炼尾渣底基层、基层施工过程中，应对铜冶炼尾渣水泥稳定类材料的含水率、拌合均匀度和水泥剂量进行控制，应对底基层、基层的压实度、宽度、厚度、高程、横坡度、平整度等项目进行控制，铜冶炼尾渣底基层、基层质量控制及检查要求见表 9。

表9 铜冶炼尾渣底基层、基层质量标准及检查要求

序号	项目	质量标准与允许误差	检查要求
1	含水率	最佳含水率 $\pm 1\%$	取工地每作业段（不超过1 000 m ² ）的混合料
2	拌和均匀度	混合料颜色均匀一致，没有粗细颗粒“窝”	随时观察
3	水泥剂量	不小于设计值的1 %	每2 000 m ² 检查1次
4	压实度	满足设计要求	每碾压作业段不超1 000 m ² 不应少于1处
5	纵断高程	符合JTG F80/1规定	
6	厚度		
7	宽度		
8	横坡度		
9	平整度		

8.3 铜冶炼尾渣路基、底基层、基层施工完成后，验收应按照 JTG F80/1 等现行有关标准要求执行。

附录 A

(规范性)

铜冶炼尾渣浸出毒性鉴别标准

表 A.1 铜冶炼尾渣浸出毒性鉴别标准

序号	危害成分项目	浸出液中危害成分浓度限值 (mg/L)
1	铜 (以总铜计)	100
2	锌 (以总锌计)	100
3	镉 (以总镉计)	1
4	铝 (以总铝计)	5
5	总铬	15
6	铬 (六价)	5
7	烷基汞	不应检出
8	汞 (以总汞计)	0.1
9	铍 (以总铍计)	0.02
10	钡 (以总钡计)	100
11	镍 (以总镍计)	5
12	总银	5
13	砷 (以总砷计)	5
14	硒 (以总硒计)	1
15	无机氟化物 (不包括氟化钙)	100
16	氰化物 (以CN计)	5