



T/CECS XXX-

202X

中国工程建设标准化协会标准

铁（钼）矿尾砂路面基层应用技术规程

Technical Specifications for Construction of Cement Stabilized Iron
and Molybdenum Tailings Pavement Bases

（征求意见稿）

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国工程建设标准化协会 发布

中国工程建设标准化协会标准
Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

铁（钼）矿尾砂路面基层应用技术规程

Technical Specifications for Construction of Cement Stabilized Iron
and Molybdenum Tailings Pavement Bases

T/CECS XXX—202X

主编单位：
批准部门：中国工程建设标准化协会
施行日期：202X年XX月XX日

XXXX出版社

2026 北京

前言

铁矿和钼矿尾砂是矿石经过精选后剩余的粉状固体废弃物。我国的铁尾砂和钼尾砂堆存量巨大，尾砂堆存需要占用大量土地，污染环境，并存在安全隐患。

研究和工程实践表明，铁矿和钼矿尾砂固化稳定后用于公路路面基层，具有较好的路用效果，可实现尾砂固废循环利用，减少基层碎石的消耗，节约工程建设费用，具有显著的环保意义和经济效益。2010年以来，稳定尾砂基层已在安徽、河南、山西等多个省份得到成功应用，积累了丰富的技术成果和实践经验。为便于该技术在公路工程中的应用推广，制定本规程。

本规程以交通运输部行业标准《公路沥青路面设计规范》（JTD50-2017）和《公路路面基层施工技术细则》（JTGT F20-2015）为基础，充分吸收近年来科研成果和工程实践经验制定。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会归口管理，由南京润程交通科学研究院有限公司负责解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送南京润程交通科学研究院有限公司（地址：江苏省句容市碧桂园华东大楼裙楼 703 室，邮编：212426，邮箱：289761065@qq.com）。

主编单位：南京润程交通科学研究院有限公司

参编单位：中交公路规划设计院有限公司

中交路建交通科技有限公司

安徽东润新材料科技有限公司

北京华路新科技发展有限公司

马鞍山市县乡公路管理局

安徽工业大学

郑州鑫鸿路桥建设工程有限公司

主 编：白琦峰

主要参编人员：

主 审：伍石生

参与审查人员：

目次

1 总则	1
2 术语和定义	2
3 结构设计	3
3.1 结构组合	3
3.2 设计参数	3
4 原材料	4
4.1 铁（钼）矿尾砂	4
4.2 结合料	4
4.3 集料	5
4.4 水	5
5 混合料设计	6
5.1 强度要求	6
5.2 击实方法	6
5.3 推荐材料用量范围	6
6 施工	8
6.1 一般要求	8
6.2 拌和	8
6.3 运输	9
6.4 摊铺与碾压	9
6.5 施工缝	10
6.6 养生	10
7 施工过程中的质量管理	11
7.1 一般要求	11
7.2 质量要求	11
8 交工验收	13
附录 A 无机结合料稳定铁尾砂基层应用示例（资料性）	14

Contents

1 General Provisions	1
2 Terminology and definition	2
3 Layer design	3
3.1 Structure combination.....	3
3.2 Design parameter.....	3
4 Raw material	4
4.1 Iron (molybdenum) ore tailings.....	4
4.2 Inorganic binder.....	4
4.3 Aggregate.....	5
4.4 Water.....	5
5 Mixture design	6
5.1 Strength requirement.....	6
5.2 Compaction molding method.....	6
5.3 Recommended material dosage range.....	6
6 Construction	8
6.1 General requirements.....	8
6.2 Blend.....	8
6.3 Transport.....	9
6.4 Spreading and rolling.....	9
6.5 Construction joints.....	10
6.6 Maintenance.....	10
7 Quality management during construction	11
7.1 General requirements.....	11
7.2 Quality requirements.....	11
8 Project checking and accepting	13
Appendix A Application example (Data)	14

1 总则

1.0.1 为了规范铁（钼）矿尾砂基层的设计、施工、质量控制与验收，提高铁（钼）矿尾砂基层质量，制定本规程。

1.0.2 本规程规定了无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂基层的相关术语和定义、结构设计、原材料、混合料设计、施工工艺和质量管理等。

1.0.3 本规程适用于各等级新建、改扩建公路无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂基层的设计与施工。

1.0.4 铁（钼）矿尾砂基层的应用除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2.0.1

铁（钼）矿尾砂 Iron and Molybdenum Tailings

铁（钼）矿石经研磨精选后剩余的粉状、颗粒状固体废弃物，以下简称尾砂。

2.0.2

尾砂稳定结合料 Cement for Stabilizing Tailings

在水作用下产生水化反应，水化反应结晶物裹覆、黏结尾砂颗粒，使尾砂形成整体强度的粉状水硬性胶凝材料，以下简称结合料。

2.0.3

无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂混合料 Inorganic binder Stabilized Iron and Molybdenum Tailings

将无机结合料、水、铁（钼）矿尾砂等材料按照一定比例拌和形成的混合料。

3 结构设计

3.1 结构组合

3.1.1 无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂可用于重、中等和轻交通公路的路面基层，和各交通荷载等级公路的路面底基层和路基改善层。

3.1.2 无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂压实厚度不应小于 15 cm，不宜大于 25 cm。

条文说明

稳定尾砂基层压实厚度太薄，容易推移，影响成型；太厚则不容易压实，且影响平整度，配备具有足够压实功的压路机时，可采用 25cm 以上的压实厚度。

3.2 设计参数

3.2.1 采用无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂基层的沥青路面应按 JTG D50 的规定进行结构设计。

3.2.2 结构验算时，无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂泊松比取 0.25，90 天龄期弯拉强度和弹性模量参照表 1 取值。

表 1 无机结合料类材料的弯拉强度和弹性模量取值范围

材料	弯拉强度/MPa	弹性模量/MPa
无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂混合料（集料掺量30%以上）	1.5~2.0	18000~28000
无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂混合料（集料掺量30%以下或不掺）	0.5~1.5	14000~20000

注：结合料用量高、材料性能好、级配好或压实度大时取高值，反之取低值。

3.2.3 无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂基层疲劳开裂验算采用 JTG D50 附录 B.2 规定的疲劳模型。

4 原材料

4.1 铁（钼）矿尾砂

4.1.1 无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂的使用应符合国家环境和生态保护、安全生产的相关规定。

4.1.2 尾砂含水量不得高于 15%，砂当量不小于 65%。

条文说明

稳定尾砂混合料需在最佳含水量时进行压实，当尾砂含水量过高时，其自身含水量可能超出最佳含水率需求，影响拌和均匀性和压实度控制，故对尾砂含水量提出要求。黏性土或杂质的含量太高会影响稳定尾砂混合料的强度并增加收缩裂缝，因此规定了砂当量指标，以控制黏性土和杂质含量。

4.2 结合料

4.2.1 稳定尾砂结合料宜采用低热微膨胀水泥或其他满足要求的水硬性材料。根据 GB/T 17671 测试结合料抗压强度和抗折强度，不同龄期的强度应满足表 2 的要求。

表 2 结合料抗压强度和抗折强度技术要求

强度	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
	3天	28天	3天	28天
技术要求	≥17.0	≥42.5	≥4.0	≥6.5

4.2.2 采用 GB/T 1346 测试结合料初凝时间、终凝时间和安定性，初凝时间应大于 3 h，终凝时间应大于 6 h 且小于 10 h，安定性应合格。

4.2.3 采用 GB/T 8074 测试结合料比表面积，比表面积应不小于 400 m²/kg。

4.2.4 结合料的其他技术要求应符合 GB 2938 的规定。

条文说明

尾砂中 0.075mm 通过率高，稳定尾砂干缩系数大。采用低热微膨胀水泥或其他具有类似性能的结合料，通过结合料的微膨胀作用，减小稳定尾砂混合料干

缩量，避免产生过多干缩裂缝；研究和工程实践表明，结合料比表面积对稳定尾砂的强度有显著影响，比表面积越大，颗粒越细，稳定尾砂效果越好，为此，规定了结合料比表面积的要求。

4.3 集料

4.3.1 集料宜采用硬质岩石或砾石加工成的碎石，亦可直接采用天然砾石或矿渣等，技术要求应符合 JTG/T F20 的规定。

4.3.2 集料应洁净，无黏土块、有机质等杂质，最小粒径应大于 4.75 mm，最大粒径不宜超过 31.5 mm，规格满足 JTG/T F20 对 G2~G11 集料的要求。

4.4 水

4.4.1 符合 GB 5749 规定的饮用水可直接作为拌和与养生用水。

4.4.2 采用非饮用水时，应满足 JTG/T F20 的要求。

5 混合料设计

5.1 强度要求

无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂混合料静压法成型试件的7天无侧限抗压强度满足表3要求。

表3 无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂7天无侧限抗压强度要求

结构层	公路等级	重交通/MPa	中等、轻交通/MPa
基层	高速公路、一级公路	4.0~6.0	3.0~5.0
	二级及二级以下公路	3.0~5.0	2.0~4.0
底基层	高速公路、一级公路	2.5~4.5	2.0~4.0
	二级及二级以下公路	2.0~4.0	1.0~3.0

5.2 击实方法

5.2.1 无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂应按照 JTG/T F20 的规定进行混合料设计。

5.2.2 混合料设计确定最佳含水率和最大干密度的击实试验宜采用振动成型法，不具备条件时，可采用重型击实法并将重型击实密度乘以 1.02 的系数，换算为振动成型密度。

条文说明

密度对无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂强度有重要影响，相同配比的混合料，密度越大，则强度越高。振动击实试验得到的混合料最大干密度通常大于重型击实，且与现场碾压环节配比度更高，因此规定优先考虑振动成型法。对于缺少振动成型设备的工程，可采用重型击实仪进行击实试验，并根据重型击实与振动成型密度的经验关系进行修正。

5.3 推荐材料用量范围

混合料设计时，无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂混合料，材料用量范围可参考表4。

表 4 无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂建议材料用量范围

结构层	公路等级	重交通	中等、轻交通
基层	高速公路、一级公路	30%~40%集料、60%~70%尾砂、 结合料剂量7%~10%	30%~40%集料、60%~70%尾砂、 结合料剂量6%~10%
	二级及二级以下公路	30%~40%集料、60%~70%尾砂、 结合料剂量6%~9%	100%尾砂、结合料剂量8%~12%
底基层	高速公路、一级公路	100%尾砂、结合料剂量8%~13%	100%尾砂、结合料剂量6%~10%
	二级及二级以下公路	100%尾砂、结合料剂量6%~10%	100%尾砂、结合料剂量6%~8%

条文说明

为便于缺少稳定尾砂应用经验的单位参考，基于前期工程应用情况，给出了稳定尾砂材料用量的建议范围。此用量范围仅供混合料设计初选级配时参考，实际采用的配比可不受此限。

6 施工

6.1 一般要求

6.1.1 无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂应采用稳定材料集中厂拌机械拌和，摊铺机摊铺。

6.1.2 规模施工前，应通过试验段确定施工机具组合和施工工艺，并编制试验段总结报告。

6.1.3 施工前应清除路床或下承层表面的浮土、积水等，并洒水湿润。

6.1.4 无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂宜在气温较高的季节施工，施工期的日最低气温应在 5℃以上，在有冰冻的地区，应在第一次重冰冻到来的 15 天之前完成施工。

6.1.5 无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂宜避免在雨季施工，且不应在雨天施工。

6.1.6 无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂施工除满足本章要求外，尚应符合 JTG/T F20 对水泥稳定类材料的规定。

6.2 拌和

6.2.1 拌合机应配备带破拱装置的尾砂料仓和带活门漏斗的成品料仓。

条文说明

尾砂颗粒细，含水量大，为防止因尾砂堵塞仓门，要求安装破拱装置。

成品料仓配备活门漏斗，便于混合料装车时按照“前、后、中”顺序装料，减少装料环节的离析。

6.2.2 拌和前应检查场内各种材料的含水量，确定施工配合比。混合料含水率宜在最佳含水率基础上增加 0.5%~1.0%。

6.2.3 混合料应按规定取样，对铁（钼）矿尾砂和结合料剂量进行检查，并根据温度变化调整用水量。

6.2.4 宜采用二次拌或间歇式拌和生产工艺，拌和时间不应少于 15s。

6.2.5 混合料装车时，应按“前、后、中”顺序分次装料。

6.3 运输

6.3.1 运输车辆应保持车厢干净整洁，数量应满足拌和出料和摊铺需要。

6.3.2 混合料运输过程中应覆盖，从装车到运输至摊铺现场，时间不宜超过 1h。

6.4 摊铺与碾压

6.4.1 摊铺前应在下承层喷洒结合料净浆，喷洒量宜为 $1.0 \text{ kg/m}^2 \sim 1.5 \text{ kg/m}^2$ 。净浆应洒布均匀，洒布长度以摊铺机前 30 m~40 m 为宜。

6.4.2 摊铺应连续、匀速，摊铺速度宜控制在 $1 \text{ m/min} \sim 2 \text{ m/min}$ 。

6.4.3 从装料到摊铺超过初凝时间的混合料应予以废弃。

6.4.4 现场观察摊铺和碾压过程中混合料含水情况，含水量偏差明显过大时，应及时采取调整措施，并采用酒精法现场测试含水量。

条文说明

混合料含水量偏差过大时，在摊铺、碾压过程中，会有明显迹象，如出现弹簧、微裂纹现象等。摊铺现场人员要观察这些迹象，迹象显示含水量明显偏大或偏小时，及时采取调整措施。

6.4.5 压路机应紧跟摊铺机进行碾压，碾压长度宜为 50 m~80 m。

6.4.6 碾压应按照试验段确定的程序与工艺进行，稳压应充分、振压不起浪、不推移。宜采用重量不小于 26t 的单钢轮弱振 1~2 遍，强振 2~3 遍，再采用 25t 以上胶轮碾压 2~3 遍，最后采用重量不小于 12t 的双钢轮收光，碾压压至无轮迹印。碾压时压路机应重叠 1/2 轮宽。

6.4.8 压路机换挡应轻且平顺。第一遍初步稳压时，倒车后应原路返回，换挡位置应在已压好的段落上进行；在未碾压端换挡倒车位置应错开成齿状，出现局

部拥包时，应进行铲平处理。

6.4.9 压路机碾压时的行驶速度，第1遍~2遍为1.5 km/h~1.7 km/h，以后各遍应为1.8 km/h~2.2 km/h。

6.4.10 压路机不得在未完成的或正在碾压的路段上调头和急刹，不得停放于未碾压完成的路段。

6.5 施工缝

6.5.1 施工缝应采用与车道中心线垂直的横缝，接缝断面应竖直。

6.5.2 施工缝处开始施工时，压路机先沿施工缝横向碾压2~3遍，再纵向正常碾压。

6.6 养生

6.6.1 碾压完成的路段应及时进行质量检查，并实施养生。

6.6.2 养生宜采用麻布、透水无纺土工布或塑料薄膜等措施。在7天内应保持潮湿状态，7天养生期结束，经强度检测合格后方可进行上层的施工。7天后不实施上层施工的路段，应继续保持养生至28天。

条文说明

7天养生期结束后，虽然具备了施工上层的条件，稳定尾砂结构层的强度仍在持续增长，为获得更好的最终强度，并避免过早去除养生措施导致收缩裂缝，规定7天养生结束后如不马上施工上层，需继续保持养生。

6.6.3 养生洒水应采用喷雾式喷头，不得采用高压式喷管洒水。

6.6.4 养生期间应封闭交通。养生完成后，下承层为上路床或粒料类结构层的单层无机结合料稳定尾砂基层应避免大型货车通行。

条文说明

单层的无机结合料稳定尾砂基层位于上路床或粒料类结构层上部时，模量比大，稳定尾砂基层厚度薄，重车作用下稳定尾砂基层会产生较大弯拉应力导致开裂。

7 施工过程中的质量管理

7.1 一般要求

7.1.1 混合料中结合料剂量测定，应在拌和站取样，并立即（原则上 10 min 内）进行滴定试验。

7.1.2 结合料剂量除用 EDTA 滴定法检测外，应结合实际结合料、铁（钼）矿尾砂、集料用量和实际工程量进行总量控制。

7.1.3 无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂基层的整体性应采用钻芯取样方式检验，芯样直径为 150 mm，钻芯取样应随机布点。芯样应完整，且表面均匀、密实。

7.2 质量要求

无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂基层的施工质量应满足表 5 的要求。

表 5 无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂基层质量要求

检查项目		规定值或允许偏差				检查规定	
		基层		底基层			
		高速公路 一级公路	其他 公路	高速公路 一级公路	其他 公路	最低频率	检查方法
压实度/%		≥98	≥98	≥97	≥97	4 处/200m/ 层	每处每车道测一点，用灌砂法检查，采用重型击实标准
平整度/mm		≤8	≤12	≤12	≤15	2 处/200m	用 3m 直尺连续量 10 尺，每尺取最大间隙
纵断高程/mm		+5, -10	+5, -15	+5, -15	+5, -20	1 断面/20m	每断面 3~5 点用水准仪测量
厚度 /mm	代表值	-8	-10	-10	-12	1 处/200m/ 车道	每处 3 点，路中及边缘任选挖坑丈量
	合格值	-10	-20	-25	-30		
弯沉 /0.01mm	满足设计要求	40~50 个测点/车道/评定段落（不超过 1km）	贝克曼梁或落锤式弯沉仪	弯沉 /0.01mm	满足设计要求	40~50 个测点/车道/评定段落（不超过 1km）	贝克曼梁或落锤式弯沉仪

续表 5 无机结合料稳定铁（钼）矿尾砂基层质量要求

检查项目	规定值或允许偏差				检查规定	
	基层		底基层			
	高速公路 一级公路	其他 公路	高速公路 一级公路	其他 公路	最低频率	检查方法
宽度/mm	满足设计要求				1处/40m	用皮尺丈量
横坡/%	±0.3	±0.5	±0.3	±0.5	3个断面/100m	用水准仪测量
结合料剂量/%	±0.5				每2000m ² 6个以上样品	EDTA 滴定及总量校核（拌合机取样）
级配	设计级配筛孔通过率±4%				每2000m ² /次	水洗筛分（拌合机取样）
强度/MPa	满足设计要求				2组/每天	7天浸水抗压强度（在前场取样成型试件）
含水率	-1, +2				随时	烘干法
外观要求	表面平整密实，无浮石，弹簧现象；无明显压路机轮迹				随时	目测

8 交工验收

9.0.1 交工检查时，验收判定铁（钼）尾砂基层质量是否合格时，以 1km 长的路段（双幅）为评定单位。检查施工原始记录，对检查内容进行初步判定。

9.0.2 进行随机抽样检查，检查项目、频率和质量标准应符合 JTGF80 的规定。

附录 A

(资料性)

无机结合料稳定铁尾砂基层应用示例

A.1 示例情况

本附录以无机结合料稳定铁矿尾砂基层为例对无机结合料稳定铁矿尾砂的混合料配比、设备配置和施工工艺予以说明。

A.2 路面结构

本示例为重交通二级公路路面改造项目，路面结构见图A.1。

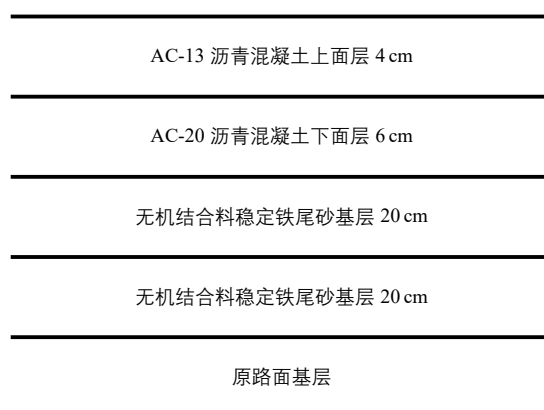


图 A.1 路面结构示例

A.3 混合料设计

A.3.1 本示例采用重型击实法进行混合料设计，采用 30%集料、70%尾砂，结合料剂量 8%。

A.3.2 本示例设计的无机结合料稳定铁尾砂混合料最佳含水量为 9.2%，最大干密度为 2.09 g/cm³，7 天无侧限抗压强度为 4.3 MPa。

A.4 施工机械配置

本示例配备了如下施工机械：

- 1) 水稳拌和机：600 型，1 台；
- 2) 摊铺机：功率大于 120 kw、2.5 m~10.5 m 摊铺宽度范围可调节摊铺机，2 台；
- 3) 单钢轮压路机：26 t 单钢轮振动压路机，2 台；
- 4) 胶轮压路机：30 t，1 台；
- 5) 双钢轮压路机：13 t 双钢轮振动压路机，1 台；
- 6) 自卸汽车：20 辆；
- 7) 洒水车：1 辆。

A.5 关键施工工艺

A.5.1 本示例施工宽度为 11 m，采用 2 台摊铺机梯队摊铺，摊铺机搭接宽度 20 cm，摊铺机前后距离控制在 15 m 以内。

A.5.2 本示例摊铺虚铺系数为 1.25，虚铺厚度为 25 cm。

A.5.3 本示例碾压工艺组合为：单钢轮弱振 2 遍→单钢轮强振 3 遍→胶轮碾压 2 遍→双钢轮收光 2 遍。压路机碾压时重叠 1/2 轮宽。

A.5.4 本示例碾压完成后，采用土工布覆盖洒水养生，养生期为 7 天。