

3.5.7 工业废渣路基填筑应符合下列规定：

1 路基地基表层处理应符合现行《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610)的有关规定。

2 同一水平层路基的全宽应采用同一种类型且工程性质接近的工业废渣，禁止混合填筑，当采用性质不同的工业废渣填料时，可分段填筑。

3 工业废渣路基的包边土应与工业废渣填筑同步进行施工。

3.5.8 工业废渣路基的冬季和雨季施工应符合现行《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610)的有关规定。

3.6 基层通用要求

3.6.1 工业废渣基层设计应符合下列要求：

1 应根据公路等级、路面结构层位、交通荷载等级及环境条件，结合工业废渣材料特性进行混合料组成设计和性能试验，确定工业废渣应用方式及应用层位。

2 赤泥、磷石膏、黄金尾矿等细粒工业废渣基层应采用封闭式路面结构。

3.6.2 路面结构验算时，工业废渣基层的弯拉强度和弹性模量应按照现行《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)的规定，依据相应的水平确定。

3.6.3 工业废渣基层正式施工前，应铺筑长度不小于 200m 的试验段，并应符合现行《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)的有关规定。

3.6.4 工业废渣基层施工应符合下列规定：

1 混合料组成设计应符合现行《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)的规定。

2 施工过程中，原材料发生变化时，应重新进行混合料组成设计。

3 工业废渣材料与其他材料掺配使用时，应符合本规范相应掺配率要求。

4 混合料宜采用集中厂拌生产工艺，保证混合料拌和均匀。

5 混合料宜采用封闭运输设备。

6 混合料施工过程中应加强生态环境保护，减少扬尘、噪声，防止土壤、

水体和空气污染。

3.7 环境监测要求

3.7.1 第 II 类一般工业废渣用于路基和基层时，应按照国家有关自行监测的规定及本规范的要求进行环境监测。

3.7.2 第 II 类一般工业废渣路基和基层施工前应监测地下水本底水平，施工期和运营期应进行地下水监测，必要时宜进行地表水和土壤监测，环境监测应符合下列规定：

1 地下水监测项目及限值按照《地下水质量标准》（GB/T 14848）执行，执行标准根据所在地地下水功能和用途确定。

2 地表水监测项目及限值按照《地表水环境质量标准》（GB 3838）执行，执行水质标准根据所在地地表水功能和用途确定。

3 土壤质量监测项目及限值应以现行《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 15618）中的农用地土壤污染风险筛选值为主。

3.7.3 第 II 类一般工业废渣地下水监测应符合下列规定：

1 监测井位应选择在最可能产生污染的区域，且在地下水流场上游应布设 1 个监测井，下游至少应布设 1 个监测井。在可能出现污染扩散区域至少应布设 1 个监测井，岩溶发育区或地下水位较高区域宜增加数量。

2 监测井的建设应符合现行《地下水环境监测技术规范》（HJ/T 164）的有关规定。

3 施工期间监测频次每月应不少于 1 次，工后及运营期监测频次每季度应不少于 1 次，连续 2 年地下水监测结果不超出地下水本底水平时，可不进行跟踪监测。

3.7.4 第 II 类一般工业废渣地表水监测应符合下列规定：

1 在最可能产生污染的区域地表水流域（水系）至少布设 1 个入境监测断面、1 个控制监测断面和 1 个出境监测断面。在流经湖泊、水库、岩溶等地区应增加地表水控制监测断面数量。

2 地表水环境质量监测的布点采样、分析方法等应符合现行《地表水环境质量监测技术规范》（HJ 91.2）的有关规定。

3 施工期间监测频次每月应不少于 1 次，工后及运营期监测频次可按水文周期或季节开展。特征污染物连续 3 年均未检出时，每年可采样一次进行测定。一旦检出，即恢复正常采样。

3.7.5 第 II 类一般工业废渣土壤监测应符合下列规定：

1 根据地形特征、主导风向和地表径流方向，应布设 1 个土壤监测对照点作为土壤背景值，在可能产生影响的土壤环境敏感目标处布设 1 个土壤监测点。

2 土壤环境监测的布点采样、分析方法等规定应符合现行《土壤环境监测技术规范》（HJ/T 166）的有关规定。

3 施工期间监测频次每月应不少于 1 次，工后及运营期监测频次应为每 3 年 1 次，采样深度根据可能影响的深度适当调整，以表层土壤为重点采样层。

征求意见稿

4 煤矸石路基和基层

4.1 原材料要求

4.1.1 用于路基与路面基层的煤矸石中主要成分 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 的总含量之和不应低于 70%。

4.1.2 煤矸石应根据来源进行分类收集与处理，煤矸石材料路用分级标准应符合表 4.1.2 的规定。

表 4.1.2 煤矸石材料路用分级标准

项目	I 级	II 级	III 级
压碎值 (%)	≤ 22	22~35	> 35

4.1.3 未经充分氧化与陈化、塑性指数大于 10 的煤矸石不宜直接用于填筑高速公路和一级公路路堤。性能较差的煤矸石应通过改良，并经试验论证后方可采用。

4.1.4 用于路基的煤矸石技术要求除应符合现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 和《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610) 的规定外，还应符合表 4.1.4 中规定的 CBR 值、耐崩解性指数和热值。煤矸石用于季节性冻土和多年冻土区路基填料时，还应开展饱水冻胀率和导热系数测试，确定煤矸石路基的冻胀性能。如需改良处理，应经试验验证后方可采用。

表 4.1.4 煤矸石路基填料技术要求

项目		高速公路和一级公路		二级及以下公路	试验方法
		特重、极重交通	轻、中等、重交通		
CBR (%)	下路床	≥ 10	≥ 8	≥ 6	JTG 3430 T 0134
	上路堤	≥ 6		≥ 4	
	下路堤	≥ 4		≥ 3	
耐崩解性指数 (%)		≥ 70		≥ 60	JTG 3431 T 0207
热值 (cal/g)		≤ 500		≤ 1000	GB/T 213
饱水冻胀率 (%)		≤ 3.5		≤ 6	JTG 3430 T 0187
导热系数 (W/(m·K))		≤ 0.45		≤ 0.50	JTG 3430 T 0185

烧失量	≤20	GB/T 35986
-----	-----	------------

条文说明

根据山西、内蒙古、陕西、河南、山东、黑龙江、辽宁和吉林等地区煤矸石调查表明，煤矸石 CBR 普遍在 10%以上，是力学性能优良的路基填料，填筑路基时可满足路基填料的 CBR 要求。

4.1.5 用于基层的煤矸石集料技术要求除应符合现行《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)的规定外，还应符合表 4.1.5-1 和表 4.1.5-2 的规定。粗、细集料为同一料源煤矸石时，可仅检验细集料烧失量。

表 4.1.5-1 煤矸石粗集料技术要求

项目	高速公路和一级公路	二级及以下公路	试验方法
耐崩解性指数 (%)	≥90	≥85	JTG 3431 T 0207
烧失量 (%)	≤12		GB/T 35986

4.1.5-2 煤矸石细集料技术要求

项目	高速公路和一级公路	二级及以下公路	试验方法
烧失量 (%)	≤12		GB/T 35986
砂当量 (%)	≥40	-	JTG 3432 T 0334

4.1.6 用于基层的煤矸石集料规格应符合现行《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)的规定。

4.2 煤矸石路基设计

4.2.1 煤矸石路基宜采用塑性指数不小于12的黏性土进行包边，包边土最小宽度和边坡防护型式宜满足表4.2.1的要求。

表 4.2.1 煤矸石路基包边土宽度及防护型式

路基填筑高度 h (m)	包边土宽度 (m)		边坡防护型式
	高速公路和一级公路	二级及二级以下公路	
h ≤ 3	1.0	0.5	植草防护
3 < h ≤ 5	1.5	1.0	
h > 5	2.0	1.5	植草+圪工防护

4.2.2 煤矸石应具有良好的颗粒组成，天然级配的煤矸石经碾压后能达到良好的压实效果。不同强度的煤矸石材料，应按照压碎值的大小分别采用

不同的最大粒径和分层填筑厚度。煤矸石路基最大粒径和分层填筑厚度应符合表4.2.2 的要求。

表4.2.2 煤矸石路基最大粒径和分层填筑厚度

分区	路面底面以下深度 (m)	I级、II级		III级	
		分层厚度 (mm)	最大粒径 (mm)	分层厚度 (mm)	最大粒径 (mm)
下路床	0.3~0.8	≤300	≤100	≤300	<100
上路堤	0.8~1.5	≤400	<2/3 层厚	≤300	<层厚
下路堤	>1.5	≤500mm	<2/3 层厚	≤400	<层厚

4.2.3 煤矸石路基防冻胀设计应符合下列规定：

1 煤矸石路基设计前应进行充分勘察，查明沿线地质、地下水埋深、地表水分布等情况，结合区域冻结指数、年降雨量等因素综合进行防冻胀设计。

2 路基填挖交界过渡段基底，根据填、挖段不同的冻胀量进行处理，使挖方终点的冻胀量和填方段的冻胀量基本一致。

3 冰冻地区路基设计中宜通过试验确定所用煤矸石的冻胀率、导热系数，综合考虑煤矸石材料的隔温性能。

4.3 煤矸石路基施工

4.3.1 对施工中存在的超粒径煤矸石材料，可采用人工移除或破碎的措施，使其满足路基填筑要求。

4.3.2 在透水性不好的压实层上填筑塑性指数小于7的煤矸石材料时，应在其表面设2%~4%的双向横坡，并采取相应的防水措施。

4.3.3 I级、II级煤矸石填筑路基时，应进行边坡码砌。

4.3.4 半填半挖路基、路堤路堑过渡段的煤矸石路基施工应严格处理横向、纵向、原地面等结合界面，当采用煤矸石换填处治地基时，应满足塑性指数小于7。

4.4 煤矸石基层设计

4.4.1 I级煤矸石适用于各等级公路的基层和底基层；II级煤矸石除特重、极重交通等级的高速公路和一级公路的基层外，均可使用；III级煤矸

石仅适用于二级及二级以下公路的基层和底基层。

4.4.2 煤矸石粗集料压碎值不满足现行《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)要求时,可掺配其他集料,掺配后的混合集料应符合有关规定。

4.4.3 根据集料压碎值要求确定掺配率,掺配其他集料时,应在工程粒径不小于 10mm 的集料规格中优先掺配其他集料。

4.5 煤矸石基层施工

4.5.1 寒冷地区无机结合料稳定煤矸石混合料应进行抗冻性能检验,其残留抗压强度比应满足表 4.5.1 的规定。

表 4.5.1 无机结合料稳定煤矸石材料的抗冻性技术要求

项目	中冻区	重冻区	试验方法
残留抗压强度比 (%)	≥65	≥70	JTG 3441 T 0858

注:以 28d 龄期的试件经过 5 次冻融循环后的残留抗压强度比进行评价。

4.5.2 煤矸石基层施工应符合现行《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)的规定。

5 粉煤灰路基和基层

5.1 原材料要求

5.1.1 粉煤灰按照氧化钙（CaO）含量的大小可分为低钙粉煤灰和高钙粉煤灰。用于路基与路面基层的粉煤灰主要成分 SiO₂、Al₂O₃ 和 Fe₂O₃ 总含量之和、SO₃ 含量应符合表 5.1.1 的规定。

表 5.1.1 粉煤灰主要成分要求

项目	低钙粉煤灰 (CaO 含量 < 10%)	高钙粉煤灰 (CaO 含量 ≥ 10%)	试验方法
SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 和 Fe ₂ O ₃ 总含量之和 (%)	≥ 70	≥ 50	T 0816
SO ₃ 含量 (%)		≤ 3	GB/T 176

条文说明

《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》（GB/T 1596-2017）中规定，粉煤灰根据燃煤品种分为 F 类粉煤灰（由无烟煤或烟煤煅烧收集的粉煤灰）和 C 类粉煤灰（由褐煤或次烟煤煅烧收集的粉煤灰，氧化钙含量一般大于或等于 10%）。

通常情况，粉煤灰的主要成分是二氧化硅(SiO₂)和三氧化二铝(Al₂O₃)，其总含量超过 70%，氧化钙(CaO)含量在 2%~10%，属硅铝型的低钙粉煤灰。近年来，随着循环流化床（Circulating Fluidized Bed, CFB）工艺推广应用，CFB 粉煤灰相对增多，其含有 10%~40%的氧化钙，属高钙粉煤灰。

5.1.2 低钙粉煤灰和高钙粉煤灰均可用作路基填料。用于路基的粉煤灰技术要求应符合表 5.1.2 的规定。粉煤灰烧失量不满足表 5.1.2 要求时，应进行对比试验，分析论证后方可采用。

表 5.1.2 粉煤灰路基填料技术要求

项目	高速公路、一级公路	二级及以下公路	试验方法
烧失量 (%)	≤ 12	≤ 20	T 0817
2mm 筛孔通过率 (%)	≥ 90		T 0818
0.075mm 筛孔通过率 (%)	≥ 45		T 0818

5.1.3 低钙粉煤灰和高钙粉煤灰均可用作基层或底基层的结合料。用于基层或底基层的粉煤灰技术要求应符合表 5.1.3 的规定。各等级公路的底基层、二级及二级以下公路基层使用的粉煤灰通过率不满足表 5.1.3 要求时，应进行混合料强度试验，达到要求的强度指标可使用。

表 5.1.3 粉煤灰基层结合料技术要求

项目	技术要求	试验方法
烧失量 (%)	≤20	T 0817
比表面积 (cm ² /g)	>2500	T 0820
0.3mm 筛孔通过率 (%)	≥90	T 0818
0.075mm 筛孔通过率 (%)	≥70	T 0818
湿粉煤灰含水率 (%)	≤35	T 0801

5.2 粉煤灰路基设计

5.2.1 粉煤灰作为路基填料可用于各等级公路路基，尤其是地基土为软土等工程性质较差土，需要适当减轻路基重量的路段，以及拓宽、桥头、墙背、高路堤等工程位置。不得用于高速公路和一级公路的路床、二级公路的上路床和路堤浸水部位。

5.2.2 粉煤灰路基设计时，应预先调查料源并做好室内试验，试验项目和试验内容应符合表 5.2.2 的规定。

表 5.2.2 粉煤灰路基填料设计参数一览表

项目	试验指标或试验结果	备注
含水率	天然含水率	必检
相对密度	相对密度	—
密度	天然密度	必检
液塑限	液限、塑性指数	必检
颗粒分析	粒组成分、级配曲线	必检
天然休止角	天然休止角度（干燥、水中）	—
毛细水上升高度	强烈毛细水上升高度	—
化学分析	化学成分、烧失量、PH 值	必检
重金属含量	浸出液有害微量元素含量	必检
重型击实试验	最大干密度、最佳含水率	必检
不排水抗剪强度试验	黏聚力、内摩擦角（饱水、不饱水）	—
回弹模量	回弹模量值（饱水、不饱水）	—
承载比	CBR 值	必检

5.2.3 粉煤灰路基边坡率应视路基高度而定。5m 以下的路基，边坡率应

为 1: 1.5, 5m 以上的路基, 上部边坡率应为 1:1.5, 下部边坡率应为 1:1.75 如受用地限制, 下部可设置挡土墙, 视具体条件可适当减小边坡率。

5.2.4 粉煤灰路基的挡土墙墙体泄水孔进水口处应设置反滤层, 以防止粉煤灰淋溶流失。下层泄水孔须高出墙面积水位 0.3m 以上, 防止水流倒灌。

5.2.5 粉煤灰路基的稳定性验算方法应符合下列规定:

1 对于非软弱地基上的粉煤灰路基, 其高度小于 5.0m, 采用不小于 1:1.5 边坡率时, 可不作稳定性验算。对于 5.0m 以上的路基, 必须验算路基自身的稳定性, 可采用直线滑动面或圆弧滑动面进行验算。

2 厚层均质软土地基上路基极限高度可按下式估算:

$$H_G = 5.52 \frac{C_a}{\gamma} \quad (\text{式 5.2.5})$$

式中: H_G —路基极限高度 (m)

C_a —由快剪法测得的软土粘结强度 (Pa)

γ —填料的湿容重 (N/m³)

3 厚层非均质软土地基上的粉煤灰路基的稳定分析与土质路基的验算方法相同, 采用圆弧滑动面法验算路基的抗滑稳定性。粉煤灰的黏聚力和内摩擦角应用饱水后测得的值为准, 各层地基土的黏聚力和内摩擦角应按选用的计算方法取用相应的计算参数, 其抗滑安全系数应大于 1.25。

5.2.6 对软土地基上的粉煤灰路基应进行最终沉降量计算, 计算方法用分层总和法计算主固结沉降, 考虑瞬时沉降、蠕变沉降的影响, 可采用综合修正系数予以修正, 计算最终沉降量。达到压实度要求的路基压缩量可忽略不计。

$$S = m_s \sum_{i=1}^n \frac{e_{0i} - e_{i\Delta}}{1 + e_{0i}} \Delta H_i \quad (\text{式 5.2.6})$$

式中: e_{0i} —地基中各分层土体的天然孔隙比;

$e_{i\Delta}$ —受荷载后各分层土体的稳定孔隙比;

ΔH_i —各分层厚度 (cm) ;

m_s —综合修正系数; $m_s = 1.0 \sim 1.4$ 。

s —最终沉降量 (cm)。

5.2.7 粉煤灰路基应分层填筑, 均匀压实, 最小压实度应符合表 5.2.7 的规定。

表 5.2.7 粉煤灰路基最小压实度

路基部位		路面地面以下深度 (m)	最小压实度 (%)		
			高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
上路床		0~0.3	—	—	—
下路床	轻、中等及重交通	0.3~0.8	94	93	92
	特重、极重交通	0.3~1.2	—	90	92
上路堤	轻、中等及重交通	0.8~1.5	92	92	90
	特重、极重交通	1.2~1.9	92	92	90
下路堤	轻、中等及重交通	1.5 以下	91	90	90
	特重、极重交通	1.9 以下			

注: 表列压实度系按现行《公路土工试验规程》(JTG 3430) 重型击实试验所得的最大干密度对应的压实度。

条文说明

《公路路基设计规范》(JTG D30) 中规定, 路堤采用粉煤灰、工业废渣等特殊填料, 在保证路基强度和回弹模量要求的前提下, 通过试验验证, 压实度标准可减低 1~2 个百分点。考虑到表 5.1.2 中对于粉煤灰路基填料 2mm 筛孔通过率 $\geq 90\%$ 、0.075mm 筛孔通过率 $\geq 45\%$ 的技术要求, 宁夏乌玛高速公路等粉煤灰路基的工程试验表明, 粉煤灰路基压实后可达到表 5.2.7 的压实标准, 且满足路基强度和回弹模量要求。

5.3 粉煤灰路基施工

5.3.1 粉煤灰路基施工前, 应做好下列准备工作:

1 清理路基范围内原地面的腐殖土, 若路基位于水塘、水沟等局部低洼积水地段, 应先抽干积水, 清除淤泥, 回填符合要求的当地土、粗粒料或工业废渣, 并分层碾压至基底标高, 且应防止基底积水。

2 截断流向路基作业区的水源, 在设计边沟处开挖临时排水沟, 保证施

工期间的排水通畅。

5.3.2 粉煤灰的储运应符合下列规定：

- 1 粉煤灰含水率的调节宜在储灰场或灰池中进行。
- 2 粉煤灰的装卸、运输和堆放，应采取洒水封盖等防止扬尘的措施。
- 3 粉煤灰填料宜从厂家或渣场直接运输至施工作业面使用。

5.3.3 粉煤灰路基填筑应符合下列规定：

- 1 大风或气温低于 0℃时不宜施工。
- 2 有显著差别的灰源应分别堆放，分段填筑。
- 3 粉煤灰路基的包边土应与粉煤灰同步施工，宽度宜不小于 2m。
- 4 粉煤灰路基碾压，应遵循先轻后重、先低后高的原则。
- 5 施工过程中，作业面应及时洒水润湿，并应合理设置行车便道。
- 6 施工间歇期，作业面应洒水润湿，并应封闭交通；间隙期长时，应在粉煤灰压实层顶面覆盖封闭土层。

5.3.4 粉煤灰路基压实度标准应通过试验路段确定，并应符合表 5.2.7 的规定。包边土和顶面封层土的压实度应符合《公路路基设计规范》(JTG D30) 中对包边土和顶面封层土规定。粉煤灰路基压实度可采用填上层检下层的方式进行检测。

5.4 粉煤灰基层设计

5.4.1 水泥粉煤灰、石灰粉煤灰、高炉矿渣粉煤灰可作为结合料用于各等级新建及改扩建公路的基层和底基层，其适用范围可参照表 5.4.1 选用。

表 5.4.1 粉煤灰类稳定材料在基层中的应用方式与适用交通荷载等级

层位	应用方式	适用交通荷载等级
基层	水泥/石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石、高炉矿渣粉煤灰稳定碎石	各交通荷载等级
	石灰粉煤灰稳定未筛分碎石或砾石、石灰粉煤灰稳定土	轻交通荷载等级
底基层	水泥/石灰粉煤灰稳定级配碎石或砾石、石灰粉煤灰稳定未筛分碎石或砾石、石灰粉煤灰稳定土、高炉矿渣粉煤灰稳定碎石	各交通荷载等级

条文说明

近年来，高炉渣粉等其他工业废渣全部或部分代替水泥，与粉煤灰共同稳定大粒径碎石主骨架，实际应用效果良好，故新增了高炉矿渣粉粉煤灰稳定级配碎石。

5.4.2 CFB 粉煤灰与水泥、高炉矿渣粉与粉煤灰、脱硫粉煤灰与石灰、化工废石膏与粉煤灰、硅钙渣与粉煤灰、电石渣与粉煤灰等多元固废与粉煤灰混合物，如作为基层和底基层结合料，需进行材料组成设计满足底基层和基层材料的技术要求，经充分论证后方可应用。

5.4.3 水泥粉煤灰和石灰粉煤灰稳定材料、高炉矿渣粉粉煤灰稳定碎石的7d无侧限抗压强度应符合现行《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)的有关规定。

5.4.4 冻土地区高速公路和一级公路采用石灰粉煤灰稳定基层时抗冻性能应符合现行《公路沥青路面设计规范》(JTGD50)的有关规定。

5.4.5 针对不同公路等级与层位，粉煤灰类稳定材料的压实标准应符合现行《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)的有关规定。

5.5 粉煤灰基层施工

5.5.1 水泥粉煤灰、石灰粉煤灰稳定材料的组成设计应符合现行《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)的规定。

5.5.2 高炉矿渣粉粉煤灰稳定材料中，高炉矿渣粉与粉煤灰的掺配比例宜控制在1:0.6~1:1.5范围内。

5.5.3 水泥粉煤灰、石灰粉煤灰稳定材料的拌和、摊铺、碾压与养生技术要求应符合现行《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)的规定。

6 赤泥路基和基层

6.1 原材料要求

6.1.1 用于路基和基层的赤泥浸出液 pH 值和特征污染物浓度应符合表 6.1.1 的规定，含其他特征污染物时，特征污染物浓度应符合现行《地下水质量标准》（GB/T 14848）中 III 类地下水质量标准限值规定。

表 6.1.1 赤泥浸出液 pH 值和特征污染物浓度限值

项目	技术要求	试验方法
pH 值	6~9	GB 6920
总汞 (mg/L)	≤0.05	GB 7468
总镉 (mg/L)	≤0.1	GB 7475
总铬 (mg/L)	≤1.5	GB 7466
六价铬 (mg/L)	≤0.5	GB 7467
总砷 (mg/L)	≤0.5	GB 7485
总铅 (mg/L)	≤1.0	GB 7475
总镍 (mg/L)	≤1.0	GB 11912
总铍 (mg/L)	≤0.005	—
总银 (mg/L)	≤0.5	GB 11907
氟化物 (mg/L)	≤10	GB 7484
总铜 (mg/L)	≤0.5	GB 7475
总锌 (mg/L)	≤2.0	GB 7475
总硒 (mg/L)	≤0.1	GB 11902
锑 (mg/L)	≤0.005	GB/T 14848
钡 (mg/L)	≤0.7	GB/T 14848
钼 (mg/L)	≤0.07	GB/T 14848

条文说明

因矿石成分不一致，导致赤泥中除上表所列检测项目（危险废物鉴别标准项目）外仍有可能含有其他特征污染物，因此在使用赤泥填筑路基和基层时，需预先调研所使用赤泥的其他特征污染物，并补充检测其有害物质浸出浓度，保证浸出浓度符合《污水综合排放标准》（GB 8978）的限值要求。

根据调研结果，赤泥中含有《污水综合排放标准》（GB 8978）中所列污染物之外的其他污染物：钼、钡、锑，为保证赤泥的工程应用满足环保要求，本条借鉴《地下水质量标准》（GB/T 14848）给出对应技术要求和测定方法。

按照生产工艺赤泥分为拜耳法赤泥、烧结法赤泥和联合法赤泥。目前我国氧化铝或氢氧化铝生产主要采用拜耳法工艺,该工艺产生的赤泥约占赤泥总量的92%以上,另外两种赤泥的产存量及工程应用较少,因此本规范所述赤泥特指拜耳法赤泥。

6.1.2 赤泥浸出液 pH 值和特征污染物浓度不满足表 6.1.1 的要求时,应采用化学改良方式对赤泥进行改性处理,改性剂的剂量宜大于满足表 6.1.1 环保性能和路用性能要求的最低掺量。

6.1.3 赤泥使用前应进行破碎处理,路基用赤泥最大粒径应满足现行《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610)中路基填料最大粒径要求。基层用赤泥公称最大粒径应满足现行《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)中细粒材料公称最大粒径要求。

6.2 赤泥路基设计

6.2.1 赤泥路基设计时,应通过试验确定赤泥的含水率、界限含水率、密度、最大干密度、最佳含水率、内摩擦角、黏聚力、压缩系数、膨胀系数、回弹模量和 CBR 值。

6.2.2 赤泥路基的结构设计应符合下列规定:

1 赤泥路基应采用封闭式路基结构,边坡和路肩应采用细粒土进行包边防护,包边土宽度应根据道路等级、地理环境、自然条件、土质、施工条件等因素确定,宜不小于 2m,包边土底部 0.5m 范围内宜采用透水性填料。

2 赤泥路基应设置封顶层,封顶层可为土质填筑的上路床,也可与路面结构层相结合,采用无机结合料类稳定材料基层或底基层作封顶层。

3 赤泥路基高度超过 4m 时,每填筑 2~3m 应设置 300mm 厚的细粒土隔离层。

条文说明

当赤泥只用于路堤及下路床填筑时,采用土质填筑的上路床作为封顶层;当赤泥用于路床填筑时,采用无机结合料稳定材料基层或底基层作为封顶层;当路基和底基层同时用赤泥填筑时,采用无机结合料稳定材料基层作

为封顶层。

6.3 赤泥路基施工

6.3.1 赤泥或填筑路基时，应通过试验验证不同剂量结合料的混合料路用性能，并根据本规范技术要求，确定结合料最佳剂量。

条文说明

赤泥水稳定性不足，CBR 指标难以满足路用性能要求，因此应采用结合料稳定赤泥进行路基填筑。

6.3.2 赤泥路基采用路拌法施工时应符合下列规定：

1 运送至施工现场的赤泥宜采用推土机配合平地机整平，松铺厚度应根据前期试验段确定。

2 宜采用方格法或其他合适的布料方式撒布赤泥改性材料和结合料，应严格控制赤泥改性材料和结合料的掺加剂量。

3 改性材料和结合料撒布完成之后，应采用路拌机拌和，拌和过程中应随时检查拌和深度及搭接宽度，并检查拌和均匀性。

6.3.3 赤泥路基采用厂拌法施工时应符合下列规定：

1 拌和后的赤泥混合料应尽快运输至施工现场。

2 高速公路和一级公路宜采用摊铺机进行摊铺，二级及以下公路可采用推土机、平地机组合摊铺。

6.3.4 赤泥路基压实机械规格、机具组合、碾压遍数、碾压速度等应根据试验段参数确定。

6.3.5 赤泥路基养生应符合下列规定：

1 经压实度检验达到要求的赤泥路基，宜采用洒水养生，每天洒水的次数应视气候而定，养生期不宜少于 3d，整个养生期间应保持赤泥路基表面潮湿。

2 养生期间应封闭交通，除洒水车和小型通勤车辆外严禁其他车辆通行。

3 施工间歇期作业面应封闭交通，并洒水湿润。施工间隔时间较长时，应在压实层顶面覆盖封闭土层，并设置路拱横坡，以利表面排水。

条文说明

赤泥路基从摊铺碾压完成，到下一层施工之前都属于养生期。3d 是赤泥路基施工质量控制的一个推荐时间节点，养生 3d 后需开展弯沉、回弹模量等质量评定检测，合格后方可进行上层结构层施工。

6.3.6 包边土应与赤泥路基同步施工，底部应埋入原地面以下 20cm，顶部应至封顶层底面，并应压实补强，压实度应满足同等级公路路床压实度要求。

条文说明

包边土压实度参照路床压实度的规定，防止雨水冲刷及边坡风蚀，确保路基稳定。

6.4 赤泥基层设计

6.4.1 赤泥作为被稳定材料用于各等级新建及改扩建公路的底基层。

条文说明

目前赤泥用于基层主要有赤泥作为被稳定材料和赤泥基胶凝材料两种应用场景，由于在基层中胶凝材料掺量一般较少，且胶凝材料中赤泥比例也不固定，因此本节只规定赤泥作为被稳定材料应用于基层的要求。

经实体工程调研，目前以赤泥为被稳定材料的赤泥基层现场取芯 7d 无侧限抗压强度可达到 4.0MPa 以上，符合各等级公路的底基层和重、中、轻交通荷载等级下二级及二级以下等级公路的基层的强度要求。但《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20-2015）第 4.1.10 条条文说明中规定：强度是无机结合料稳定材料重要的技术指标，但并不意味着强度满足要求就可以用于基层。无机结合料稳定细粒材料，如水泥稳定土、水泥稳定石屑，强度可以满足技术要求，但是抗冲刷和抗裂性不足，并不适用于基层。因此本条规定赤泥用于各等级新建或改扩建公路的底基层。

6.4.2 赤泥基层应采用封闭式路面结构，上层结构应采用无机结合料稳定材料基层作为封顶层，两侧应采用土路肩包边，宽度不宜小于 0.5m。

条文说明

赤泥基层由于主要为细粒材料，抗冲刷性较低，为防止雨水地表径流冲刷导致的赤泥基层外露，赤泥基层需进行封闭处理，两侧采用土路肩进行包边，上部采用无机结合料稳定材料作为封顶层，两侧包边宽度参考土路肩设计宽度。

6.4.3 赤泥用于基层时，宜开展不同龄期条件下混合料的强度、模量、温度收缩、干湿收缩等试验评价混合料性能，强度满足要求时，尚应检验其抗冲刷性能。

6.4.4 赤泥基层混合料 7d 无侧限抗压强度应符合现行《公路沥青路面设计规范》（JTG D50）的有关规定。

6.5 赤泥基层施工

6.5.1 赤泥基层混合料的组成设计应符合现行《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）中稳定细粒材料的有关规定。

6.5.2 赤泥基层混合料的生产宜采用集中厂拌法，混合料的运输、施工、养护应符合现行《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）中稳定细粒材料的有关规定。

6.5.3 应先将两侧土路肩培好再进行赤泥基层施工，土路肩的压实厚度应与赤泥基层的压实厚度相同。施工过程中，在两侧土路肩上，宜每隔 5~10m 交错开挖临时泄水槽。

7 钢渣、高炉渣路基和基层

7.1 原材料要求

7.1.1 用于路基与路面基层的钢渣和高炉渣的金属铁含量不应大于2.0%，游离氧化钙含量不应大于2.0%。

条文说明

钢渣中游离氧化钙含量过高易造成道路结构出现膨胀开裂等问题，炼钢工艺、钢渣处理方式、存放时间等因素均对游离氧化钙含量产生影响。表1为目前国内现行的标准对游离氧化钙含量的技术指标要求，大部分标准中游离氧化钙含量规定上限值为2.0%或3.0%。根据大量室内试验验证，当钢渣游离氧化钙含量 $<2.0\%$ 时，测得钢渣的浸水膨胀率均 $<2.0\%$ ，同时，通过典型试验路跟踪观测发现，采用游离氧化钙含量 $<2.0\%$ 的钢渣铺筑的试验路服役状况良好。此外，对国内代表钢厂产出钢渣采样检测发现，绝大部分钢渣样品的游离氧化钙含量 $<2.0\%$ ，因此游离氧化钙含量的上限值规定为2.0%。

表7.1.1 现行标准关于钢渣金属铁含量和游离氧化钙含量的指标要求

标准	金属铁含量 (%)	游离氧化钙含量 (%)
团标《钢渣沥青路面应用技术规程》	≤ 2.0	≤ 3.0
《道路用钢渣砂》(YB/T 4187-2009)	≤ 2.0	/
《路面基层用钢渣混凝土通用技术要求》(DB13/T 2490-2017)	/	高速公路和一级公路： ≤ 2 ； 二级及二级以下公路： ≤ 3
《公路水泥稳定钢渣混合料设计与施工技术规范》(DB15/T 2427-2021)	≤ 2.0	≤ 3.0
《沥青混合料路面及道路基层用钢渣》(DB 31/T82-1999)	/	≤ 5
《钢渣混合料城镇道路基层施工及验收规程》(XJJ 139-2021)	≤ 2.0	≤ 2.0
《钢渣石灰类道路基层施工及验收规范》(CJJ 35-90)	/	≤ 3
《公路路基设计规范》(JTG D30-2015)	≤ 2.0	≤ 3.0

7.1.2 钢渣、高炉渣在用于路基和基层前，应进行安定性评价，安定性技术要求应符合下列规定：

1 钢渣、高炉渣的浸水膨胀率不应大于 2.0%，压蒸粉化率不应大于 5.0%。

2 钢渣、高炉渣浸水膨胀率的测定应符合本规范附录 A 的有关规定，钢渣、高炉渣压蒸粉化率的测定应符合现行《钢渣稳定性试验方法》（GB/T 24175）的有关规定。

7.1.3 路基用钢渣、高炉渣的最大粒径不应大于 60mm。

7.1.4 基层用钢渣、高炉渣质量技术要求应符合下列规定：

1 基层用钢渣、高炉渣粗集料的公称最大粒径不宜大于 31.5mm。

2 基层用钢渣、高炉渣粗集料和细集料质量要求应符合现行《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）的有关规定。

7.2 钢渣、高炉渣路基设计

7.2.1 钢渣、高炉渣不应用于浸水地段以及洪水浸淹部位。

7.2.2 钢渣、高炉渣路基填筑前，应进行地基承载力和沉降验算。

7.2.3 钢渣、高炉渣用于路基时，应及时对材料取样，进行天然含水率、击实、CBR、膨胀性及压蒸粉化率等试验。

7.3 钢渣、高炉渣路基施工

7.3.1 钢渣、高炉渣路基施工时，含水率宜比最佳含水率增加 1%~2%。

7.3.2 钢渣、高炉渣路基施工应符合本规范第 3 章的有关规定。

7.4 钢渣、高炉渣基层设计

7.4.1 全部或部分钢渣、高炉渣可作为被稳定材料用于各等级新建及改扩建公路的基层。

7.4.2 钢渣、高炉渣混合料的技术要求应符合现行《公路沥青路面设计规范》（JTG D50）的有关规定。

7.5 钢渣、高炉渣基层施工

7.5.1 钢渣、高炉渣混合料中掺加天然集料时，应进行设计级配体积比与质量比的换算。换算方法按式（7.5.1-1）和式（7.5.1-2）计算。

$$\gamma_{sb} = \frac{p_1\gamma_1 + p_2\gamma_2 + \dots + p_n\gamma_n}{100} \quad (7.5.1-1)$$

式中： γ_{sb} —合成毛体积相对密度；

p_1 、 p_2 、…、 p_n —各种矿料成分的体积配合比，其和为 100；

γ_1 、 γ_2 、…、 γ_n —各种矿料相应的毛体积相对密度。

$$P_i = \frac{p_i\gamma_i}{\gamma_{sb}} \quad (7.5.1-2)$$

式中： i —各种矿料成分， $i=1, 2, \dots, n$ ；

P_i —各种矿料成分的质量配合比；

p_i —各种矿料成分的体积配合比。

条文说明

钢渣与天然集料的密度差异较大，设计级配时需依据密度进行换算。

7.5.2 钢渣、高炉渣混合料的施工准备、试验段、拌和与运输、摊铺与碾压、养生应符合现行《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）的有关规定。

7.5.3 钢渣、高炉渣混合料中掺加天然集料时，拌和过程中宜适当延长混合料拌和时间，具体延长时间应根据混合料拌和状态和拌和均匀性确定。

条文说明

钢渣与天然集料的密度差异较大，为保证钢渣、高炉渣混合料的拌和均匀性，宜适当增加拌和时间。

8 磷石膏路基和基层

8.1 原材料要求

8.1.1 用于路基与路面基层的磷石膏应按现行《磷石膏》（GB/T 23456）测定二水硫酸钙（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）（干基）含量，其含量应不小于 85%。

8.1.2 用于路基与路面基层的磷石膏浸出液特征污染物浓度应符合表 8.1.2 的规定。

表 8.1.2 磷石膏浸出液特征污染物浓度限值

项目	技术要求	试验方法
总汞（mg/L）	≤ 0.05	GB 7468
总镉（mg/L）	≤ 0.1	GB 7475
总铬（mg/L）	≤ 1.5	GB 7466
总砷（mg/L）	≤ 0.5	GB 7485
总铅（mg/L）	≤ 1.0	GB 7475
水溶性氟化物（mg/L）	≤ 20	GB/T 15555.11

8.1.3 磷石膏或改性磷石膏在使用前应充分破碎筛分，使其呈现粉状疏松状态，无结块、无杂质。

8.1.4 用于磷石膏路基与路面基层的水泥宜采用 42.5 级普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥，其性能应满足现行《通用硅酸盐水泥》（GB 175）的相关技术要求。

8.1.5 用于磷石膏路基与路面基层的矿渣粉宜采用 S95 级别及以上矿渣粉，其技术指标应满足《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》（GB/T 18046）的相关规定。

8.1.6 用于磷石膏路基与路面基层的外掺剂掺量宜按复合材料的质量百分比计算，应在混合料组成设计中根据其路用性能与环保性能要求确定。

条文说明

外掺剂主要作用是激发复合材料中磷石膏、水泥、矿渣粉等的胶凝活性，提高磷石膏路基材料、磷石膏路面基层材料的强度，改变磷石膏酸碱度、耐

水性，并降低、包裹、固化磷石膏中的有害元素。

8.2 磷石膏路基设计

8.2.1 磷石膏路基的包边土应符合下列规定：

1 包边土宜选用易于植被生长的低液限黏土、低液限粉土等材料，土的液限宜小于等于 40%，塑性指数宜大于等于 12，粒径小于 0.075mm 的颗粒含量宜大于 65%。

2 包边土底部应埋入原地面下 20cm，顶部应至硬路肩底面，并形成 4~5% 的向外横坡。

8.2.2 磷石膏路基的顶面应填筑一层厚度为 25cm~30cm 的黏性土作为封顶层，且路拱横坡不应小于 3%。

条文说明

磷石膏路基采用黏土封顶，以便施工过程中及时排除雨水并防止坡脚积水倒灌，避免雨水和地表水浸入路基内部。

8.3 磷石膏路基施工

8.3.1 磷石膏路基材料的生产应符合下列规定：

1 应采用集中厂拌法，可采用连续式拌合装置，具体拌和时间由试拌确定，拌和前应检测磷石膏的含水率，确保在最佳含水率范围内。

2 拌和生产过程中，应采用实时计量装置，定量计量进料情况，确保磷石膏路基材料符合配合比设计要求

8.3.2 磷石膏路基的填筑与碾压应符合下列规定：

1 应采用台阶法填筑作业，分层填筑厚度宜为 0.2~0.3m。

2 相邻台阶接缝处应切除 30cm 宽旧料，并在洒水后填筑新料。

3 宜在压路机钢轮上加装钢丝绳，及时清理刮除粘结的细料。

8.3.3 磷石膏路基材料的最佳含水率控制应符合下列规定：

1 当施工环境温度高于 25℃时，含水率应在室内试验确定的最佳含水率基础上增加 1%~3%。

2 在摊铺过程中若不连续施工，应用塑料薄膜将已摊铺的磷石膏路基临时覆盖或根据表层干湿状况及时补洒水，避免水分流失。

8.3.4 磷石膏路基的养生应符合下列规定：

1 经压实度检验达到要求的磷石膏路基，应采取洒水养生，及时填筑黏性土上封层，并设置路拱横坡，以促进表面排水。

2 磷石膏路基的养生应不少于 7d，日均气温低于 10℃ 的低温天气、雨季等不利天气施工时应适当延长养生时间至 14d，总养生期宜延长至上层结构开始施工的前 2d，在此期间严禁车辆通行。

8.4 磷石膏基层设计

8.4.1 磷石膏或改性磷石膏可作为胶凝材料或被稳定材料用于各等级新建及改扩建公路的基层。

条文说明

根据实体工程与研究表明，磷石膏用作路面基层时既可作为胶凝材料又可用作骨料。用作胶凝材料时常与水泥、矿渣粉等材料复合，以稳定碎石等材料；用作被稳定材料时，通常将磷石膏通过预处理制成陶粒（轻骨料），部分或全部代替骨料，通过调研获取的磷石膏复合稳定基层材料配比见表 8.4.1。

表 8.4.1 常用磷石膏复合稳定基层材料比例一览表

序号	外掺剂		磷石膏	集料	使用层位
	水泥	矿渣粉			
比例 1	4%~12%	—	88%~96%	—	基层或底基层
比例 2	4%~12%	—	50%~88%	0%~45%	基层或底基层
比例 3	1%~2%	3%~4%	15%	80%	基层或底基层
比例 4	1.2%~2.4%	3.6%~4.8%	24%	70%	底基层

8.4.2 宜采用液体外掺剂，外掺剂的储备应根据材料性质使用专门的装置，对于可能沉淀的外掺剂，应安装搅拌设备。

8.4.3 应按现场压实度标准采用静压法成型试件，试件高径比应为 1:1，磷石膏复合稳定中、粗粒材料的试件直径应为 150mm，确定磷石膏复合稳

定基层材料最大干密度、最佳含水率指标时宜采用重型击实方法。

8.4.4 磷石膏复合稳定基层材料应验证 7d 和 14d 龄期的无侧限抗压强度、水稳定性系数，并宜验证 28d 龄期的冻融循环强度比、28d 龄期干湿循环强度比和 90d 龄期弯拉强度。

条文说明

磷石膏复合稳定基层材料的冻融循环强度比和干湿循环强度比可以不作为性能验证的必选指标，可根据工程所在地的温度、降雨情况进行选择，如在低温、多雨地区需验证这些性能。

8.4.5 磷石膏复合稳定基层材料包含碎石时宜采用 7d 龄期无侧限抗压强度作为配合比设计的主要指标，不包含碎石时宜采用 14d 龄期无侧限抗压强度作为配合比设计的主要指标，材料组成设计时，无侧限抗压强度代表值应满足表 8.4.5 的规定，宜取上限。

表 8.4.5 磷石膏复合稳定基层材料无侧限抗压强度标准 (MPa)

结构层	公路等级	极重、特种交通	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

条文说明

磷石膏复合稳定基层材料不含碎石时，磷石膏成分占比较高，前期强度增长缓慢，7d 无侧限抗压强度较低，工程实践中其 14d 的无侧限抗压强度可与 7d 水泥碎石稳定层相比，因此不含碎石时将 14d 无侧限抗压强度作为设计与施工质量控制的主要依据指标。

8.4.6 磷石膏复合稳定基层材料的水稳定系数、冻融循环强度比（需验证时）、干湿循环强度比（需验证时）应满足表 8.4.6 的规定。

表 8.4.6 磷石膏复合稳定基层材料水稳定系数、冻融循环强度比、干湿循环强度比技术要求

项目	基层	底基层	试验方法
水稳定性系数	≥0.8		附录 B

冻融循环强度比 (%)	≥80	≥75	JTG 3441 T 0858
干湿循环强度比 (%)	≥90		附录 C

8.4.7 磷石膏复合稳定基层宜设置防水封层，可采用热沥青同步碎石封层，热沥青的洒布量宜不小于 1.5kg/m²。

8.5 磷石膏基层施工

8.5.1 磷石膏复合稳定基层材料的配合比应通过试验确定，应按照表 8.5.1 规定的压实度进行配合比设计，验证不同磷石膏掺量、外掺剂剂量等不同组成混合料的技术性能。

表 8.5.1 磷石膏复合稳定基层最小压实标准

公路等级	基层	底基层
高速公路和一级公路	98%	97%
二级及二级以下公路	97%	95%

8.5.2 磷石膏复合稳定基层材料的拌和应采用厂拌法，并采用两级拌和的生产工艺，拌和时间不应少于 15s，保证拌和均匀性。

8.5.3 磷石膏、水泥、矿渣粉、外掺剂、水、集料等材料应在第一级搅拌缸前端添加，拌和过程中应实时监测各料仓的情况，如存在起拱、堵仓等异常情况应及时处理。

8.5.4 磷石膏复合稳定基层的摊铺应符合下列规定：

1 磷石膏复合稳定基层分层施工时，宜撒布水泥净浆，水泥净浆喷洒量应按水泥质量计，宜为 1.0kg/m²~1.5kg/m²。

2 应避免集料离析及磷石膏结团现象，及时铲除离析或磷石膏结团的部分，并用良好混合料填补。

3 混合料摊铺应保持连续，因故中断时间大于 2h 时，应设置横向接缝。

4 分两幅摊铺时，纵向接缝处应加强碾压，存在纵向接缝时，纵缝应垂直相接，严禁斜接。

8.5.5 磷石膏复合稳定基层的碾压应符合下列规定：

1 应按照稳压、强振、弱振、稳压的工序进行压实，直至表面基本无轮

迹，并达到要求的压实度。

2 新建公路基层、底基层，在摊铺及碾压过程中，宜设立纵向模板。

3 振动频率、振幅、碾压速率、具体碾压组合应经试验段验证，并根据混合料种类和层位选用。

8.5.6 磷石膏复合稳定基层的养生应不少于 7d，日均气温低于 10℃ 的低温天气、雨季等不利天气施工时应适当延长养生时间至 14d，总养生期宜延长至上层结构开始施工前的 2d。

8.5.7 宜采用保湿薄膜覆盖养生，养生过程中，应保持基层处于湿润状态。

征求意见稿

9 煤渣路基和基层

9.1 原材料要求

9.1.1 用于路基与路面基层的煤渣主要成分 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 和 Fe_2O_3 的总含量之和不应低于 70%。

9.1.2 用于路基的煤渣除应符合现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 和《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610) 的规定外, 还应符合表 9.1.2 的规定。

表 9.1.2 煤渣路基填料技术要求

项目	技术要求	试验方法
烧失量 (%)	≤ 20	T 0817
游离氧化钙 (f-CaO) 含量 (%)	≤ 2	GB/T 176

条文说明

煤渣烧失量指煤炭(粉)未经完全燃烧的残余成分, 表征原料加热分解的气态产物(如 H_2O , CO_2 等)和有机质含量的多少, 其含量越高体积稳定性越差, 因此需要严格控制其含量; 煤渣中含有一定的游离氧化钙 (f-CaO), 当游离氧化钙遇水生成氢氧化钙时, 其体积会膨胀一倍, 易造成路基膨胀开裂等病害。

9.1.3 用于基层的煤渣除应符合现行《公路沥青路面设计规范》(JTG D50) 和《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20) 的规定外, 煤渣集料和煤渣胶凝材料的技术要求还应分别符合表 9.1.2 和表 9.1.3 的规定。

表 9.1.3 煤渣基层胶凝材料技术要求

项目	技术要求	试验方法
细度 (45 μm 方孔筛筛余) (%)	≤ 10	GB/T 1345
烧失量 (%)	≤ 8	T 0817
游离氧化钙 (f-CaO) 含量 (%)	≤ 2	GB/T 176
强度活性指数 (%)	≥ 70	GB/T 12957

条文说明

煤渣属于火山灰质材料, 具有一定的力学强度、经磨细后具有火山灰活性, 可用作基层或底基层的集料或胶凝材料, 其理化性质与粉煤灰相似, 故

参照《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》（GB/T 1596）提出煤渣基层或底基层胶凝材料主要技术要求。

9.2 煤渣路基设计

9.2.1 煤渣用于填筑路基时应具有一定的颗粒级配、强度及耐久性，其最小承载比应符合现行《公路路基设计规范》（JTG D30）的规定。

条文说明

煤渣原材料经高温煅烧，具有一定的级配、强度、水稳性，一定配比的煤渣粗集料与细集料组成煤渣级配集料，形成骨架-密实结构；由于煤渣为多孔结构，常掺加一定配比的煤渣复合细粒土，形成密实结构。具体级配调整、掺细粒土配比应根据煤渣原材料粒径、力学强度等因素经试验确定。

9.2.2 煤渣用于填筑路基时应通过试验确定其最大干密度、最佳含水率、压缩系数、膨胀系数、回弹模量、内摩擦角、黏聚力、加州承载比等参数。

9.3 煤渣路基施工

9.3.1 煤渣应按照粗、细集料粒径分类堆放，堆放场地应采取防排水、防扬尘、防雨淋等措施。

9.3.2 煤渣路基填料配比设计应满足下列要求：

1 采用煤渣级配集料作为路基填料时，应根据煤渣 CBR 值设计级配集料，并严格控制煤渣粗、细集料各档粒径掺配比例。

2 采用煤渣复合细粒土作为路基填料时，应根据土的性质、煤渣材料特性宜从煤渣掺量 30%开始选取，通过重型击实试验、CBR 试验，确定煤渣复合细粒土的最佳含水率、最大干密度与煤渣掺量。

9.3.3 煤渣路基采用路拌法施工时除应符合现行《公路路基施工技术规范》（JTG/T 3610）的有关规定，还应满足下列要求：

1 煤渣级配良好时，宜先将粗粒径煤渣均匀填在下层，再将中粒径煤渣均匀填在中层，最后将细粒径煤渣均匀填在上层。

2 煤渣级配不良时，可采用煤渣复合细粒土作为路基填料，应按照设计掺量定间距均匀布料，宜先将煤渣均匀填在下层，再将细粒土均匀填在上层。

3 煤渣路基每层松铺厚度宜为 25cm~30cm，严格控制每次拌和深度，随时检查拌和均匀性。

9.4 煤渣基层设计

9.4.1 煤渣用于基层的主要应用应满足下列要求：

1 煤渣作为集料时，以水泥、石灰、粉煤灰等作为结合料，碎石或土、煤渣组成的混合集料作为被稳定材料，通过加水拌和形成混合料用于基层和底基层。

2 煤渣作为胶凝材料时，以水泥、石灰、煤渣等作为无机结合料，碎石或土组成的混合集料作为被稳定材料，通过加水拌和形成混合料用于基层和底基层。

条文说明

煤渣集料粒径多为 0~26.5mm，相较于天然集料强度偏低，作为集料时，粗粒径档料宜用天然集料，以形成较高强度的骨架，掺配比例应通过试验确定；作为胶凝材料时，煤渣宜掺加一定比例的水泥或石灰等碱性材料激发其活性，掺配比例应通过试验确定。

9.4.2 煤渣基层或底基层应用方式应根据公路等级、交通荷载等级、气候条件和当地材料特性等因素进行综合设计，具体适用方式可参照表 9.4.2 选用。

表 9.4.2 煤渣基层和底基层的适用类型与层位

煤渣应用方式	材料类型	适用交通荷载等级和层位
用于集料	水泥稳定级配煤渣碎石、 水泥粉煤灰稳定级配煤渣碎石、 石灰粉煤灰稳定级配煤渣碎石	各交通荷载等级的基层和底基层
	石灰稳定级配煤渣碎石、 石灰稳定级配煤渣土	轻交通荷载等级的基层、各交通荷载等级的底基层
用于胶凝材料	水泥煤渣稳定级配碎石、 石灰煤渣稳定级配碎石	各交通荷载等级的基层和底基层
	水泥煤渣稳定土、 石灰煤渣稳定土	中等、轻交通荷载等级的基层 各交通荷载等级的底基层

9.4.3 煤渣基层或底基层材料的 7d 无侧限抗压强度应符合现行《公路沥青路面设计规范》(JTG D50) 的规定, 并应具有足够的承载能力、抗疲劳开裂性能、足够的耐久性和水稳定性。

9.4.4 在中~重冰冻、大温差等特殊环境地区, 煤渣用于基层时宜开展其抗冻性能、干湿收缩、温度收缩、抗冲刷性能等试验评价耐候性能, 必要时可掺入适量抗冻剂、外加剂提高煤渣基层或底基层耐久特性。

条文说明

煤渣集料具有多孔结构、具有较高的吸水率, 当应用于中~重冰冻、大温差等特殊环境地区时, 应分析冻融循环、干湿循环等条件下煤渣稳定材料的耐久性能。

9.5 煤渣基层施工

9.5.1 煤渣基层材料组成设计时, 对天然集料的替代率为 20%~30%。

条文说明

参照《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20), 提出煤渣基层和底基层材料的推荐配比, 见表 9.5.1。

表 9.5.1 煤渣基层和底基层的推荐配比

煤渣应用方式	材料名称	使用层位	结合料间比例	被稳定材料间比例
用于集料	水泥稳定级配煤渣碎石	基层和底基层	水泥=4.5~6.5	煤渣:碎石=(20~30):(70~80)
	水泥粉煤灰稳定级配煤渣碎石		水泥:粉煤灰=1:3~1:9	
	石灰粉煤灰稳定级配煤渣碎石		石灰:粉煤灰=1:2~1:9	
	石灰稳定级配煤渣碎石	石灰=7~9		
	石灰稳定级配煤渣土	底基层	石灰=7~9	煤渣:细粒土=(20~30):(70~80)
用于胶凝材料	水泥煤渣稳定材料	基层和底基层	水泥:煤渣:被稳定材料=(3~5):(26~33):(71~62)	
	水泥煤渣土		水泥:煤渣=1:2~1:5	水泥煤渣:细粒材料=1:2~1:5
	石灰煤渣稳定材料		水泥:煤渣:被稳定材料=(7~9):(26~33):	

	料		(67~58)	
	石灰煤渣土		石灰:煤渣 =1:1~1:4	石灰煤渣:细粒材料 =1:1~1:4

9.5.2 煤渣基层施工除应符合现行《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)的规定外,还应满足下列要求:

1 煤渣基层材料生产前宜采用喷洒设备对煤渣集料洒水闷料 6~12h,煤渣稳定材料含水率可比最佳含水率增加 1%~2%。

2 煤渣基层材料拌和时,宜采用两次拌和的生产工艺,拌和总时间应不少于 15s。

征求意见稿

10 其他工业废渣路基和基层

10.1 原材料要求

10.1.1 用于路基和基层的铁尾矿应符合下列规定：

1 铁尾矿有机物、氯化物等有害物质含量应符合表 10.1.1 的规定。

表10.1.1 铁尾矿有害物质含量

项目	技术要求	试验方法
有机物（%）	≤5	T 0151
硫化物及硫酸盐（%）	≤0.5	T 0159
氯化物（按氯离子质量计）（%）	≤0.02	T 0155/T 0156

2 铁尾矿浸出液特征污染物浓度应符合现行《污水综合排放标准》（GB 8978）的有关规定。

3 应选择硬质、中硬的铁尾矿渣，其饱和抗压强度不宜小于 15MPa。

4 铁尾矿渣耐崩解指数不应低于 80%，压碎值应小于 30%。

条文说明

我国铁尾矿种类多、性质复杂。铁尾矿化学成分主要有 SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、CaO、MgO 等，还含有少量的 K₂O、Na₂O、P₂O₅ 以及 S 等。因铁矿石产地和选矿工艺的不同，其成分及含量也不同，导致尾矿性质存在差异。铁尾矿渣除预选抛出少量粗粒铁尾矿石渣以外，大部分选矿排出的尾矿粒度很细，主要以细粒、微细粒的矿粉形式存在，尾矿粒度在 0.075mm 以下的占 50%~75%。

具有膨胀性、易溶性和盐化尾矿渣不得直接用于公路路基填筑。表 10.1.1 铁尾矿有害物质限量源自《铁尾矿砂》（GB/T 3128—2014）。

10.1.2 用于路基和基层的黄金尾矿应符合下列规定：

1 黄金尾矿有机物、氯化物等有害物质限量应符合表 10.1.2-1 的规定。

表10.1.2-1 黄金尾矿有害物质含量

项目	技术要求	试验方法
有机物（%）	≤5	T 0151
硫化物及硫酸盐（%）	≤0.5	T 0159
氯化物（按氯离子质量计）（%）	≤0.02	T 0155/T 0156

2 用于路基和基层填筑的黄金尾矿不得含有氰化物，浸出液特征污染物

浓度应符合表 10.1.2-2 的规定，含其他特征污染物的黄金尾矿浸出浓度应符合现行《污水综合排放标准》（GB 8978）的有关规定。

表 10.1.2-2 黄金尾矿浸出液特征污染物浓度限值

项目	技术要求	试验方法
总汞（mg/L）	≤0.05	GB 7468
总砷（mg/L）	≤0.5	GB 7485
氟化物（mg/L）	≤10	GB 7484
总锌（mg/L）	≤2.0	GB 7475
总锰（mg/L）	≤2.0	GB 11911
总硒（mg/L）	≤0.1	GB 11902

3 黄金尾矿应为矿石破碎、磨细后，采用浮选工艺选出金精矿时，同步产出的浮选尾矿。

10.1.3 用于路基和基层的锂渣应符合下列规定：

1 锂渣水溶性盐含量应不大于 5%，水溶性盐总量测试方法按照现行《土壤检测 第 16 部分 土壤水溶性盐总量的测定》（NY/T 1121.16）执行。

2 锂渣浸出液特征污染物浓度应符合表 10.1.3-1 的规定，含其他特征污染物时，特征污染物浓度应符合现行《污水综合排放标准》（GB 8978）的规定。

表 10.1.3-1 锂渣浸出液特征污染物浓度限值

项目	技术要求	试验方法
总铍（mg/L）	≤0.005	HJ/T 59
氟化物（mg/L）	≤10	GB 7484
总锰（mg/L）	≤2.0	GB 11911
总铈（mg/L）	≤0.005	HJ 748-2015

条文说明

大量室内试验测试结果表明，锂渣中易溶盐含量较高，浸出液中锰、铍、铈及氟化物存在浸出污染风险。

3 锂渣作为胶凝材料时，性能要求应满足表 10.1.3-2 规定。

表 10.1.3-2 锂渣作为胶凝材料使用时性能要求

项目	技术要求	试验方法
比表面积（m ² /kg）	≥400	GB/T 8074
需水量比（%）	≤105	GB/T 1596
强度活性指数（%）	7d	GB/T 12957
	28d	
含水率（%）	≤1.0	T 0801

烧失量 (%)	≤5.0	GB/T 176
氯离子含量 (%)	≤1.5	T 0155/T 0156
游离氧化钙 (f-CaO) 含量 (%)	≤1.0	GB/T 176
三氧化硫 (%)	≤9.0	GB/T 176
初凝时间比 (%)	90~130	GB/T 1346
二氧化硅、三氧化二铝、三氧化二铁总质量分数 (%)	≥55	T 0816
安定性 (雷氏法) (mm)	≤5.0	GB/T 1346
密度 (g/cm ³)	≥2.5	GB/T 208

10.1.4 用于路基和基层的锰渣应符合下列规定：

1 锰渣水溶性盐含量应不大于 5%，水溶性盐总量测试方法按照现行《土壤检测 第 16 部分 土壤水溶性盐总量的测定》(NY/T 1121.16) 执行。

2 锰渣浸出液污染物浓度要求应符合表 10.1.4 的规定，含其他特征污染物时，特征污染物浓度应符合现行《污水综合排放标准》(GB 8978) 的规定。

表10.1.4 锰渣浸出液特征污染物浓度限值

污染物	技术要求	试验方法
pH 值	6~9	HJ 1147
六价铬 (mg/L)	0.5	GB 7467
色度 (稀释倍数) (mg/L)	50	GB 11903
悬浮物 (mg/L)	70	GB 11901
氨氮 (mg/L)	15	HJ 537
总锰 (mg/L)	2	GB 11911

3 锰渣改性过程排放废气中颗粒物应符合现行《大气污染物综合排放标准》(GB 16297) 规定的排放限值要求，氨气应符合现行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554) 规定的排放限值要求。

条文说明

根据现行《锰渣污染控制技术规范》(HJ 1241) 要求，结合大量室内试验数据，锰渣在进行公路工程应用时，需控制上述特征污染物质含量。

10.2 其他工业废渣路基设计

10.2.1 黄金尾矿、锂渣、锰渣等工业废渣路基断面形式应采用包边封闭式路基结构，由废渣填筑层、隔离层、土质封层、包边土层、边坡防护、防

渗层及防渗保护层等部分组成，应符合下列要求：

1 应采用土工合成材料作为防渗层，其防渗性能应符合现行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599）的有关规定。

2 毛细水上升较高或易受地表水影响的路段，应在路基内部设置碎石或砂砾隔离层，碎石或砂砾的最大粒径应不大于 37.5mm。

3 宜采用塑性指数不小于 12 的黏性土进行防护。土质封层厚度应不少于 80cm。

4 宜采用工程防护措施进行边坡防护，防止边坡冲刷。

5 包边土底部 0.5m 范围宜采用透水性材料。在包边土底部应设置纵、横向排水渗沟，将路基内部渗水引排至排水边沟；地表水不得从排水渗沟倒灌进入路基。

10.2.2 黄金尾矿、锂渣、锰渣等工业废渣不应直接作为上路床填料，细砂、粉砂状废渣不应直接作为桥背、涵背、台背回填料。

10.2.3 使用不满足原材料或路基填料要求的工业废渣填筑路基时，应对其进行改良处治，改良材料可选用黏土、碎石、石灰、水泥等，其掺量应通过试验确定。

10.3 其他工业废渣路基施工

10.3.1 黄金尾矿、锂渣、锰渣等工业废渣填料进场前，应取样测定其放射性、浸出液有害物质等，其指标应符合原材料的规定，同一料源测定不应少于 1 次。

10.3.2 黄金尾矿、锂渣、锰渣等工业废渣的含水率宜在储渣场中进行调节，废渣运输和施工时应采取防雨、防风、防扬撒、防渗液等措施。

10.3.3 黄金尾矿、锂渣、锰渣等工业废渣路基施工应符合下列要求：

1 宜采用厂拌法施工，拌和时应做好浸出污染物质、有害气体的排放控制措施。

2 应采用包边土与废渣同步施工的方法，先施工两侧包边土、后施工工业废渣填筑层。包边土应采用超宽方式填筑，每侧应超出设计宽度 500mm。

包边土与废渣不得混杂填筑。

3 施工间隔时间较长时，应在压实层顶面覆盖封闭土层，并设置路拱横坡，以利表面排水。

4 采用黄金尾矿、锂渣、锰渣等工业废渣路基填筑路段应设置标志标识。路基翻修、重建或废弃时，应做好渣体开挖、运输、贮存及处置利用等环节的环境污染控制及安全防护措施，并编制专项技术方案。

10.4 其他工业废渣基层设计

10.4.1 铁尾矿、锂渣及锰渣可用于各等级新建及改扩建公路的基层或底基层。黄金尾矿可用于各等级新建及改扩建公路工程的底基层。其他工业废渣应根据试验确定其应用部位。

条文说明

黄金尾矿经无机结合料稳定后，强度可以满足技术要求，但是抗冲刷和抗裂性不足，并不适用于基层。因此本条规定黄金尾矿用于各等级新建或改扩建公路的底基层。

10.4.2 黄金尾矿、锂渣、锰渣等工业废渣基层设计应采用封闭式路面结构，上层结构应采用无机结合料稳定材料基层作为封顶层，两侧应采用土路肩包边，宽度不宜小于 0.5m。

条文说明

工业废渣抗冲刷性较低，为防止雨水地表径流冲刷导致的工业废渣基层外露，基层需进行封闭处理，两侧采用土路肩进行包边，上部采用无机结合料稳定材料作为封顶层，两侧包边宽度参考土路肩设计宽度。

10.4.3 黄金尾矿、锂渣、锰渣等工业废渣用于基层时宜开展不同龄期条件下混合料的强度、模量、温度收缩、干湿收缩等试验评价混合料性能，强度满足要求时，尚应检验其抗冲刷性能。

10.4.4 黄金尾矿、锂渣、锰渣等工业废渣在路面基层的应用中可以部分代替细集料，塑性指数应不大于 17，其掺量应不大于 30%，其组成设计应

通过配合比试验确定。

10.5 其他工业废渣基层施工

10.5.1 混合料的生产宜采用集中厂拌法，应严格控制各档原材料的含水率。

10.5.2 黄金尾矿、锂渣、锰渣等工业废渣的含水率宜在储渣场调节。废渣作为胶凝材料使用时应采用罐装储存方式。

10.5.3 应先将两侧土路肩培好再进行废渣基层施工，土路肩的压实厚度应与基层的压实厚度相同。施工过程中，在两侧土路肩上，宜每隔 5~10m 交错开挖临时泄水槽。

10.5.4 黄金尾矿、锂渣、锰渣等工业废渣基层的施工应做好环境保护，应及时清理多余及散落的混合料。

征求意见稿

11 质量管理与检查验收

11.1 一般规定

11.1.1 应严格监测工业废渣材料的环保技术指标，严禁采用有害物质超标的工业废渣作为筑路材料。

11.1.2 不同来源的工业废渣，性能差异大时，宜分别堆放、分段填筑。

11.1.3 工业废渣路基和基层施工质量管理与检查验收应包括材料检验、施工过程中的质量控制、工程质量验收等方面。

11.2 材料检验

11.2.1 在施工前以及在施工过程中，原材料或混合料发生变化时，应重新检验原材料，并进行混合料组成设计。

11.2.2 用于路基和基层的工业废渣，在使用前以及料源发生较大变化时，应检测其浸出液特征污染物浓度和 pH 值；当不确定放射性指标是否满足要求时，应检测工业废渣的放射性，并应符合本规范相应章节的规定。

11.2.3 用于路基的工业废渣材料应按《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610) 规定的要求，进行含水率、液限、塑限、颗粒分析等检测。用于路基填筑煤矸石、粉煤灰、赤泥、钢渣、高炉渣、磷石膏、煤渣、铁尾矿、黄金尾矿、锂渣、锰渣等原材料还应按表 11.2.3 所列试验项目和要求检测评定。检测指标应满足本规范的规定。

表11.2.3 路基用工业废渣质量检查频率与要求

路基用工业废渣类型	检查项目	检查频率	试验方法
煤矸石	SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 和 Fe ₂ O ₃ 总含量	使用前及材料变化时测 2 个样品	GB/T 5762
	饱水冻胀率 ^a		JTG 3430 T 0187
	导热系数 ^a		JTG 3430 T 0185
	热值		GB/T 213

	烧失量		JTG 3430 T 0150
	耐崩解性指数		JTG 3431 T 0207
粉煤灰	SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、Fe ₂ O ₃ 总含量	使用前及材料变化时测 2 个样品	T 0816
	SO ₃ 含量		GB/T 176
	烧失量		T 0817
	2mm 筛孔通过率		T 0818
	0.075mm 筛孔通过率		T 0818
赤泥	有机质和硫酸盐含量	材料组成设计时测 2 个样品	T 0151/T 0153
钢渣 ^b 、高炉渣	金属铁含量	使用前测 2 个样品，使用 过程中每 3000t 测 2 个样 品	YB/T 4188
	游离氧化钙		YB/T 140
	浸水膨胀率		本规范附录 D
	压蒸粉化率		YB/T 801（附录 A）
磷石膏	二水硫酸钙（CaSO ₄ ·2H ₂ O） （干基）	材料组成设计时测 2 个样品	GB/T 23456
煤渣	SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、CaO 和 Fe ₂ O ₃ 总含量	使用前、来源或生产工艺 发生变化时测 2 个样品， 使用过程中每 2000m ³ 测 2 个样品	GB/T 176
	烧失量		T 0817
	游离 CaO 含量		GB/T 176
铁尾矿	有机物	使用前、来源或生产工艺 发生变化时测 2 个样品， 使用过程中每 2000m ³ 测 2 个样品	T 0151
	硫化物及硫酸盐		T 0159
	氯化物		T 0155/T 0156
	饱和抗压强度		T 0221
	耐崩解指数		T 0207
	压碎值		T 0316/T 0350
黄金尾矿	有机物	使用前、来源或生产工艺 发生变化时测 2 个样品， 使用过程中每 2000m ³ 测 2 个样品	T 0151
	硫化物及硫酸盐		T 0159
	氯化物		T 0155/T 0156

锂渣	水溶性盐含量	使用前、来源或生产工艺发生变化时测 2 个样品，使用过程中每 2000m ³ 测 2 个样品	NY/T 1121.16
锰渣	水溶性盐含量	使用前、来源或生产工艺发生变化时测 2 个样品，使用过程中每 2000m ³ 测 2 个样品	NY/T 1121.16

注：^a用于季节性冻土和多年冻土区路基填料时需检测。

^b若钢渣质量波动较大，检查频率宜缩小为每 1000t 测 2 个样品。

11.2.4 用于工业废渣路基填筑的包边土、夹层土及顶面封层土应按《公路路基施工技术规范》（JTG/T 3610）对路基填料的要求，进行试验检测。

11.2.5 用于基层工业废渣材料检测指标应满足本规范的要求，检查项目和频率应满足下列要求：

1 煤矸石按现行《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）的关于集料的规定进行检测评定外，还应按表 11.2.5-1 所列检查项目和要求检测评定。

2 粉煤灰作为胶凝材料应按表 11.2.5-2 所列检查项目和要求检测评定。

3 赤泥检查项目和要求，与用于路基时相同。

4 钢渣、高炉渣按现行《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）的关于集料的规定进行检测评定外，还应按用于路基时的检查项目和频率进行检测评定。

5 磷石膏或改性磷石膏检查项目和要求，与用于路基时相同。

6 煤渣作为胶凝材料，应按表 11.2.5-3 相应的检查项目和要求检测评定；作为被稳定材料，按现行《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）的有关规定进行检测评定外，还应按表 11.2.5-3 相应的检查项目和要求检测评定。

7 锂渣作为胶凝材料，应按表 11.2.5-4 所列检查项目和要求检测评定；尾矿渣、黄金尾矿、锂渣、锰渣作为被稳定材料按现行《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）的关于集料的规定进行检测评定外，还应按用于路基时的检查项目和频率进行检测评定。

表 11.2.5-1 基层和底基层用煤矸石质量检查频率与要求

检查项目	检查频率	试验方法
------	------	------

耐崩解性指数	材料组成设计时及材料发生变化时测 2 个样品， 发生异常时随时检测	JTG 3431 T 0207
烧失量		GB/T 35986
砂当量		JTG 3432 T 0334

表11.2.5-2 基层和底基层用粉煤灰（作为胶凝材料）质量检查频率与要求

检查项目	检查频率	试验方法
SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 和 Fe ₂ O ₃ 总含量	做材料组成设计前测 2 个样品	T 0816、GB/T 176
SO ₃ 含量		GB/T 176
烧失量		T 0817
比表面积		T 0820
0.3mm 筛孔通过率		T 0818
0.075mm 筛孔通过率		T 0818
湿粉煤灰含水率		每天使用前测 2 个样品

表11.2.5-3 基层和底基层用煤渣质量检查频率与要求

检查项目	检查频率	试验方法
SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、CaO 和 Fe ₂ O ₃ 总含量	材料组成设计时及材料发生变化时测 2 个样品	GB/T 176
作为被稳定材料	烧失量	T 0817
	游离 CaO 含量	GB/T 176
作为胶凝材料	细度（45μm 方孔筛筛余）	使用前、做材料组成设计时、 来源或生产工艺发生变化时测 2 个样品，使用过程中每 400m ³
	烧失量	测 2 个样品
	强度活性指数	T 0817
	游离 CaO 含量	GB/T 12957 GB/T 176

表11.2.5-4 基层和底基层用锂渣（作为胶凝材料）质量检查频率与要求

检查项目	检查频率	试验方法
比表面积	使用前、做材料组成设计时、来源或 生产工艺发生变化时测 2 个样品，使 用过程中每 400m ³ 测 2 个样品	GB/T 8074
需水量比		GB/T 1596

强度活性指数 (7d、28d)		GB/T 12957
含水率		T 0801
烧失量		GB/T 176
氯离子含量		T 0155/T 0156
游离氧化钙 (f-CaO) 含量		GB/T 176
三氧化硫		GB/T 176
初凝时间比		GB/T 1346
SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、Fe ₂ O ₃ 总含量		T 0816
安定性 (雷氏法)		GB/T 1346
密度		GB/T 208

11.2.6 工业废渣基层用的粗集料、细集料、水泥、石灰等材料的检查项目、频率应符合现行《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)的规定,技术要求应满足本规范的规定。高炉渣粉作为胶凝材料,材料组成设计时、料源或规格等级变化时测 2 个样品,技术指标和要求应满足《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046)的规定。

11.2.7 用于路基和基层的工业废渣混合料,应按《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20 对混合料的试验项目和要求进行检测评定。用于路基的工业废渣应按《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610)要求进行击实和 CBR 检测。

11.2.8 混合料配合比试验时,寒冷地区无机结合料稳定煤矸石混合料应进行抗冻性能检验;冻土地区高速公路和一级公路采用石灰粉煤灰稳定基层时应进行抗冻性能检验;磷石膏复合稳定基层材料应进行水稳定性检验。

11.3 施工过程中的质量控制

11.3.1 施工过程中的质量控制包括外形尺寸检查和内在质量检验量部分。

11.3.2 施工过程中的内在质量控制应分为原材料质量控制、拌合质量控

制、摊铺和碾压质量控制等四部分。对于集中厂拌、摊铺机摊铺的施工工艺，应按后场与前场划分。

11.3.3 工业废渣路基施工质量控制，检查项目、检查方法和频率按《公路路基施工技术规范》（JTG/T 3610）中的规定执行。检查指标应满足本规范的要求；本规范未规定的，应满足《公路路基施工技术规范》（JTG/T 3610）的要求。赤泥、磷石膏路基应在养生完成后检测弯沉。

11.3.4 工业废渣基层施工时，对原材料的检查应符合 11.2 节的规定。对混合料的检查，按《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）中关于施工过程中后场质量控制的规定执行；此外，还应采用总量控制的方法，每个工日检验各原材的掺配率，并应满足设计要求。

11.3.5 工业废渣基层前场质量控制按现行《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）的规定执行。

11.3.6 工业废渣基层应进行钻芯取样，通过芯样完整性检验基层实体质量，应在下列规定的龄期内取芯：

- 1 用于基层的水泥稳定材料，龄期7d。
- 2 用于基层的水泥粉煤灰稳定材料，龄期10~14d。
- 3 用于基层的石灰粉煤灰稳定材料，龄期14~28d。
- 4 用于基层的高炉矿渣粉煤灰稳定碎石，龄期7d。
- 5 用于基层的磷石膏复合稳定材料，龄期7~14d。

11.3.7 工业废渣路基和基层的外形尺寸检查的项目、频度和质量标准，应分别符合现行《公路路基施工技术规范》（JTG/T 3610）、《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）的规定。

11.4 工程质量验收

11.4.1 工业废渣路基和基层工程质量验收应符合现行《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1）的有关规定。

附录 A 钢渣材料浸水膨胀试验

A.1 适用范围

本试验方法适用于路基和基层材料用钢渣的浸水膨胀率试验。

A.2 设备仪器

仪器设备应符合下列规定：

- 1 称量设备：量程不小于 5kg，最小分度值不大于 1g。
- 2 烘箱：鼓风干燥箱，恒温 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- 3 击实试验设备：包括内径 152mm、高 170mm 的金属圆筒，高 50mm 的套筒，直径 151mm、高 50mm 的筒内垫块，底座，击实仪等。击实锤的底面直径 50mm，总质量 4.5kg。击锤在导管内的总行程为 450mm。
- 4 试验筛：根据集料粒级选择不同孔径的方孔筛，并符合现行《公路工程集料试验规程》（JTG 3432）的有关要求。
- 5 多孔底板：两侧带支架，中间多孔板布满 2mm 的圆孔，不锈钢或黄铜制。
- 6 多孔顶板：直径 148mm，布满 2mm 的圆孔，中心孔带螺纹，不锈钢或黄铜制。
- 7 半圆形荷载板：直径 150mm 的空心同心半圆形不锈钢板，厚度为 10mm，中空圆直径 52mm，每个 1.25kg。
- 8 百分表架及百分表：百分表精度为 0.01mm。
- 9 标准击实仪：符合现行《公路土工试验规程》（JTG 3430）对重型 II-2 有关规定，其中试筒、垫块应满足现行《公路土工试验规程》（JTG 3430）的有关规范，试筒内径为 152mm。
- 10 恒温水浴箱：箱体的最小尺寸：长 1100mm×宽 330mm×高 350mm，控温在 90°C 以上，恒温水浴箱上部应有保温盖板。
- 11 振筛机：振动频率为 221 次/min。
- 12 其他：铲子、玻璃棒、金属盘、毛刷、毛巾、滤纸等。

条文说明

不锈钢或黄铜制多孔顶板和底板在高温持续加热下不易变形,有利于确保试验结果准确可靠。

A.3 试件制备

试件制备应符合下列规定:

1 取具有代表性的样品 100kg,烘干,破碎至全部通过 31.5mm 方孔筛备用。

2 将破碎后的样品经过 31.5mm、26.5mm、13.2mm、4.75mm、2.36mm、0.3mm 及 0.075mm 的方孔筛,将套筛置于振筛机上,振动 10min;取下套筛,按筛孔大小顺序再逐个用手筛,筛至每分钟通过量小于试样总量 0.1% 为止。通过的试样并入下一号筛中,并和下一号筛中的试样一起过筛,这样顺序进行,直至各号筛全部筛完为止。

3 调整粒度使其满足表 A.3 中的粒度分布。若钢渣样品最大自然粒度小于表中所规定的值,粒度分布应满足表 A.3 中钢渣试样最大粒径以下粒度分布的要求。除表 A.3 规定外,也可采用实际工程级配。

表A.3 粒度分布

筛孔尺寸 (mm)	31.5	26.5	13.2	4.75	2.36	0.3	0.075
累计筛余 (%)	0	2.5	30	52.7	65	80	94

A.4 试验步骤

试验步骤应符合下列规定:

1 按照现行《公路土工试验规程》(JTG 3430)的有关规定进行重型击实试验,确定最佳含水率和最大干密度。

2 按试验级配要求称取 3 份钢渣,每份 7kg,按最佳含水率加水,充分拌和均匀,配制 3 个钢渣试样放在密闭的容器内。

3 在试模内装入垫块,铺上滤纸,按照现行《公路土工试验规程》(JTG 3430)的有关规定进行重型击实成型,击实完成后取下套筒,用直尺刮刀刮出多余钢渣,用细料补齐找平试件表面,铺上滤纸,盖上多孔底座。将试模连同多孔底座一起倒置,取走垫块。再次垫上滤纸,装上多孔顶板,擦净试模外部。采用扳手拧紧多孔底板与试模的连接螺丝。

4 在多孔顶板上压 4 块半圆形荷载板,共重 5kg。其上装置测定浸水膨

胀率用的百分表架及百分表。百分表应准确对准中央触点并保持竖直状态。

5 将试模放进恒温水浴箱中，试模应全部浸没水中，水面应高出试模上部 30mm±5mm。静置 30min 后读取百分表的初读数 d_0 ，精确至 0.01mm。

6 水浴加热，升温速率为 $(45^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}) / 0.5\text{h}$ ，水浴箱内温度达到 $90^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 后保持 6h，停止加热，自然冷却至 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，以后每天按第 1 日的步骤进行。并在每天升温前记录百分表读数，如此持续进行 10d，试验过程中应及时加水，保持恒温水浴箱中的水面高出试模上部 30mm±5mm。

7 10d 后读取百分表终读数 d_{10} 。

A.5 计算

钢渣的浸水膨胀率按式 (A.5) 计算：

$$p = \frac{d_{10} - d_0}{120} \times 100 \quad (\text{A.5})$$

式中： p ——浸水膨胀率 (%)；

120 ——试件原始高度 (mm)；

d_{10} ——百分表的终读数 (mm)；

d_0 ——百分表的初读数 (mm)。

浸水膨胀率取 3 个试验的平均值作为试验结果，精确至 0.1%。

附录 B 水稳定性系数试验

B.1 适用范围

本试验方法用于测试计算磷石膏复合稳定基层材料的水稳定性系数，以评价其水稳定性。水稳定性系数为养生 13d 后浸水 1 天的磷石膏复合稳定基层试件的无侧限抗压强度与养生 14d 的同龄期试件的无侧限抗压强度的比值。

B.2 设备仪器

本试验方法采用的试验仪器应符合《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》（JTG 3441）的规定。

B.3 试件的制备与养护

磷石膏复合稳定基层材料试件的制备与养生应符合下列要求：

1 试件尺寸规格为 1:1 的 $\phi 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 或者 $\phi 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的圆柱形试件。

2 按照 JTG 3441 T0804 的方法确定磷石膏复合稳定基层材料的最佳含水率和最大干密度。

3 按照 JTG 3441 T0843 方法制备不少于 12 个 $\phi 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 或 $\phi 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的标准试件，其中 6 个为最后一日浸水 24h 试件，6 个为常规养生试件。

4 6 个常规养生试件按照 JTG 3441 T0845 的标准养生条件进行养生，龄期 14d。

5 6 个浸水试件按照 JTG3441 T0845 的标准养生条件养生 13d 后，放入温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的水中浸水养生 1d，水面应高于试件顶面不少于 2.5cm。

B.4 试验步骤

1 试件养生完毕后取出，浸水试件用湿布擦除表面水分，称量所有试件的质量，并用游标卡尺测量所有试件的高度，精确到 0.1mm，做好记录。

2 按照 JTG 3441 T0805 方法对上述两组试件分别开展无侧限抗压强度试验。

B.5 计算

磷石膏复合稳定基层材料的水稳定性系数按照计算式 (B.5) 计算:

$$WSC = \frac{R_d^1}{R_d^0} \quad (B.5)$$

式中: WSC ——水稳定性系数;

R_d^0 ——未浸水的无侧限抗压强度 (MPa);

R_d^1 ——浸水 24h 的无侧限抗压强度 (MPa)。

征求意见稿

附录 C 干湿循环强度试验

C.1 适用范围

本试验方法用于测试计算磷石膏复合稳定基层材料的干湿循环强度比，以评价其水稳定性。磷石膏复合稳定基层材料的耐干湿循环能力以 28d 龄期的基层材料在经过 7 次干湿循环后的饱水无侧限抗压强度与未经历干湿循环试验的抗压强度的比值来评价。

C.2 设备仪器

本试验方法采用的试验仪器应符合《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》（JTG 3441）的规定。

C.3 试件的制备与养护

磷石膏复合稳定基层材料试件的制备与养生应符合下列要求：

- 1 试件尺寸规格为 1:1 的 $\phi 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的圆柱形试件。
- 2 按照 JTG 3441 T0804 的方法确定磷石膏复合稳定基层材料的最佳含水率和最大干密度。
- 3 按照 JTG 3441 T0843 方法制备不少于 26 个 $\phi 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的标准试件，其中 13 个为干湿循环试件，13 个为常规对比试件。
- 4 所有试件按照 JTG 3441 T0845 的标准养生条件进行养生，龄期 28d，养生期最后一天放入温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的水中浸水养生 24h，水面应高于试件顶面不少于 2.5cm。
- 5 在浸泡于水中之前，应称试件的质量 m_1 。

C.4 试验步骤

- 1 浸水完毕后，取出所有试件，用湿布擦除表面的水分，称得质量 m_2 ；用游标卡尺测量试件的高度，精确至 0.1mm。

2 取 13 个常规对比试件按 JTG 3441 T0805 的方法测定非干湿循环条件下的无侧限抗压强度 R 。

3 取 13 个干湿循环试件组试件，按编号置入恒温烘箱开始鼓风烘干试验。烘箱的温度为 50°C ，烘干时间为 12h，保证试件周围至少留有 20mm 空隙，以利于空气流通。烘干试验结束后，取出试件，量高、称质量 m_3 ；然后立即放入 20°C 的水槽中饱水，饱水时间为 12h。槽中水面应至少高出试件表面 2.5cm，浸水完毕，取出试件擦干后量高、称质量，该次循环即结束。然后往复进行剩余循环。

4 对比多次称量的质量，如试件的平均质量损失率超过 5%，应重新进行试验或重新进行配合比设计；

5 试件达到规定的干湿循环次数后，用软布吸去试件表面的水分，按照 JTG 3441 T0805 的方法进行干湿循环后的抗压强度试验得 R_c 。

6 抗压试验前应称试件质量并进行外观检查。详细记录试件表面破损、裂缝及边角缺损情况。

C.5 计算

磷石膏复合稳定基层材料的干湿循环强度比按式 (C.5) 计算：

$$GSR = \frac{R_c}{R} \times 100 \quad (\text{C.5})$$

式中： GSR ——经 7 次干湿循环后试件的抗压强度比 (%)；

R_c ——7 次干湿循环后试件的抗压强度 (MPa)；

R ——对比试件的抗压强度 (MPa)。

附录 D 磷石膏复合稳定基层完整试件及破碎试件浸出试验

D.1 适用范围

本试验方法适用于评估磷石膏复合稳定基层材料在受到水体浸沥时，基层试件中无机污染物的浸出风险，以及在服役末期出现疲劳损坏（颗粒化）后，受到水体浸沥时，基层试件中无机污染物的浸出风险。

D.2 设备仪器

仪器设备要求如下：

1 提取器：15L 带密封盖的容器，由不能浸出或吸附样品所含成分的惰性材料（如：玻璃或聚乙烯等）制成；

2 天平：精度不低于 $\pm 0.01\text{g}$ ；

3 压力机：最大量程 2000kN；

4 方孔筛；

5 过滤器要求：

1) 过滤装置：加压过滤装置或真空过滤装置，对难过滤的样品也可采用离心分离装置；

2) 滤膜：0.45 μm 微孔滤膜。

D.3 试件的制备与养护

1 室内试件制备：

1) 按照 JTG 3441 T0843 方法制备 1:1 的 $\phi 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的圆柱形试件；

2) 按照 JTG 3441 T0804 确定磷石膏复合稳定基层材料的最佳含水率和

最大干密度；

3) 按照 JTG 3441 T0845 的标准养生条件进行养生，养生龄期 28d。

2 现场基层应养生 28d 后通过现场钻芯取得，并切割至 $\phi 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 标准尺寸。

D.4 试验步骤

1 完整试件浸出步骤：

1) 将试件放置于 20°C 恒温箱中 24h 至表面风干，称重，精确至 0.01g ；

2) 将风干试样置于 15L 带密封盖的容器中，按液固比为 2:1 (L/kg) 计算出浸提剂的体积，加入浸提剂，盖密封盖后在室温下静置 7d；

3) 在压力过滤器上装好滤膜，过滤并收集浸出液；

4) 将浸出液稀释 5 倍后用于污染物浓度检测；

5) 除非消解会造成待测金属的损失，用于金属分析的浸出液应按分析方法的要求进行消解。

2 破碎试件浸出步骤

1) 将养生完毕的试件放置于 20°C 恒温箱中 24h 至表面风干；

2) 将试件放在压力机上进行抗压试验。试验过程中，应保持加载速率为 $1\text{mm}/\text{min}$ 。试件破坏时加载停止；

3) 将破坏试件取出，放置于平板上，用木槌轻轻将大块试件敲碎，使全部混合料通过 37.5mm 筛孔；采用四分法取破碎混合料约 2kg ，称重，精确至 0.01g ；

4) 将风干试样置于 15L 带密封盖的容器中，按液固比为 2:1 (L/kg) 计算出所需浸提剂的体积，加入浸提剂，盖密封盖后在室温下静置 7d；

5) 在压力过滤器上装好滤膜，过滤并收集浸出液；

6) 将浸出液稀释 5 倍后用于污染物浓度检测；

7) 除非消解会造成待测金属的损失, 用于金属分析的浸出液应按分析方法的要求进行消解。

D.5 质量保证和质量控制

- 1 每做 20 个样或每批样品 (样品量少于 20 个时) 至少做一个浸出空白;
- 2 每批样品至少做一个加标回收样品或一个有证标准物质;
- 3 每批样品至少做一个平行双样。

征求意见稿

本规范用词用语说明

本标准执行严格程度的用词，采用下列写法：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

征求意见稿