

ICS 93.080.01

CCS P 66

DB21

辽宁省地方标准

DB21/T 4188—2025

粉煤灰路基设计与施工规范

Design and construction specification for fly ash roadbed

2025-09-30 发布

2025-10-30 实施

辽宁省市场监督管理局 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 粉煤灰技术要求 2

5 粉煤灰路基设计 3

6 粉煤灰路基施工 6

7 粉煤灰路基施工质量控制与验收 8

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。等同采用内蒙古自治区地方标准《粉煤灰路基设计与施工规范》（DB15/T 3708—2024）。

本文件由辽宁省交通运输厅归口。

本文件起草单位：内蒙古路桥集团有限责任公司、大唐国际发电股份有限公司高铝煤炭资源开发利用研发中心、内蒙古工业大学、内蒙古交通集团蒙通养护有限责任公司、内蒙古交工养护工程技术有限责任公司、内蒙古交通集团有限公司、内蒙古交科路桥建设有限公司、内蒙古路桥工程技术检测有限责任公司、内蒙古自治区交通运输事业发展中心、辽宁省交通规划设计院有限责任公司、大唐同舟科技有限公司。

本文件主要起草人：于敏、孙俊民、沈永飞、张永锋、米世忠、吴平、辛强、李永超、高健、李广、陈聪、龚占德、宋国林、牧仁、徐军、邸雪妍、高海斌、公彦兵、祁祺、罗鑫、李运改、杨雅玲、陈志忠、布林、杨立士、徐晓莹、匡少华、李国春、王瑞雪、冯计周、刘慧萍。

粉煤灰路基设计与施工规范

1 范围

本文件规定了粉煤灰在公路路基中应用的粉煤灰技术要求、粉煤灰路基设计、施工、质量控制与验收的内容。

本文件适用于各级公路新建、改建的纯粉煤灰的路基工程，以粉煤灰为主要原料的路基工程可参照执行。

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 5085.3 危险废弃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/T 39701 粉煤灰中铵离子含量的限量及检验方法
JTG 3430 公路土工试验规程
JTG/T 3610 公路路基施工技术规范
JTG/T F 20 公路路面基层施工技术细则
JTG F 80（所有部分）公路工程质量检验评定标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

粉煤灰 fly ash

电厂锅炉中煤粉燃烧后产生的飞灰和底灰，其中飞灰为烟道气体中除尘器收集的粉末，底灰为锅炉底部收集的灰粒。

注：粉煤灰不包括以下情形：（1）和煤一起煅烧城市垃圾或其他废弃物时；（2）在焚烧炉中煅烧工业或城市垃圾时；（3）循环流化床锅炉燃烧收集的粉末。

3.2

调湿灰 humidified fly ash

利用干灰加水通过机械搅拌调和后，能够满足填筑路基要求的粉煤灰。

3.3

粉煤灰路基 fly ash embankment

全部采用粉煤灰(纯灰)填筑的公路路基。

3.4

粉煤灰路基隔离层 flyash embankment isolation layer

为隔离毛细水的影响，粉煤灰路基地部与地基之间设置的用透水性良好的材料填筑一定厚度的结构层。

3.5

粉煤灰路堤护坡 fly ash embankment slope protection

为防止粉煤灰路堤的冲刷，在粉煤灰路堤的外边缘设置的一定宽度和厚度抗冲刷性能较好的结构层。

3.6

粉煤灰封顶层 fly ash capping layer

为防止路面表层水侵入粉煤灰路基，在粉煤灰路基顶层设置的具有一定封水功能的结构层。

4 粉煤灰技术要求

4.1 理化性能要求

用于填筑路基的粉煤灰除满足表1的理化性能要求外，同时粉煤灰中不应含团块、腐殖质及其他杂质。

表1 公路路基用粉煤灰理化性能要求

项目	理化性能要求
含水率 %	≤20
密度 g/cm ³	≤2.6
细度（0.075方孔筛通过率） %	≤45
液限 %	≤50
烧失量 %	≤20
SO ₃ 含量 %	≤3

4.2 最小承载比要求

粉煤灰路基填料最小承载比应符合表 2 的规定要求。

表2 粉煤灰路基填料最小承载比要求

路基部位		最小承载比CBR %		
		高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
上路堤	轻、中等及重交通	4	3	3
	特重、极重交通			—
下路堤	轻、中等及重交通	3	2	2
	特重、极重交通			

4.3 环保要求

- 4.3.1 放射性满足 GB 6566 中建筑主体材料规定的指标要求。
- 4.3.2 粉煤灰浸出液中有害元素满足 GB 5085.3 规定要求。
- 4.3.3 氨含量满足 GB/T 39701 标准要求。

5 粉煤灰路基设计

5.1 一般规定

- 5.1.1 用粉煤灰修筑公路路基，应根据使用目的、荷载等级、地形地质条件、环境条件及路基整体几何参数特点，采取相应的技术措施，做好断面设计、结构设计和排水设计，保证粉煤灰路基具有足够的强度和稳定性。
- 5.1.2 粉煤灰材料路基结构设计应采取有效的防护措施，粉煤灰不应直接裸露，路基的横断面应采用设置支挡结构的直立式路基或土质包边护坡的斜坡式路基。
- 5.1.3 粉煤灰填筑路基厚度应根据工后沉降计算确定。
- 5.1.4 对于软弱地基上的粉煤灰路堤，其设计结构形式应与软基处治设计同步进行，并应进行稳定验算和沉降计算。
- 5.1.5 设计粉煤灰路基应预先调查料源并做好必要的室内试验，掌握粉煤灰材料的工程特性，确定粉煤灰的设计参数。

5.2 设计参数要求

- 5.2.1 粉煤灰使用前应选择有代表性的试样进行重型击实试验，以实测确定最大干密度和最佳含水量。
- 5.2.2 应通过试验测定粉煤灰的内摩擦角 ϕ 和粘结强度 C。用直剪仪在不固结快剪状态测得的 C、 ϕ 值范围见表 3 可供初步设计稳定验算时选用。

表3 粉煤灰 C、 ϕ 值

击实标准		压实度 %	内摩擦角 ϕ °	粘结强度 C kPa
重型击实	饱水	90	18~33	10~20
	不饱水	90	30~42	25~50

- 5.2.3 粉煤灰路基的回弹模量值宜通过承载板法等实测手段确定。在初步设计中如无实测资料时，可

按表 4 选用。

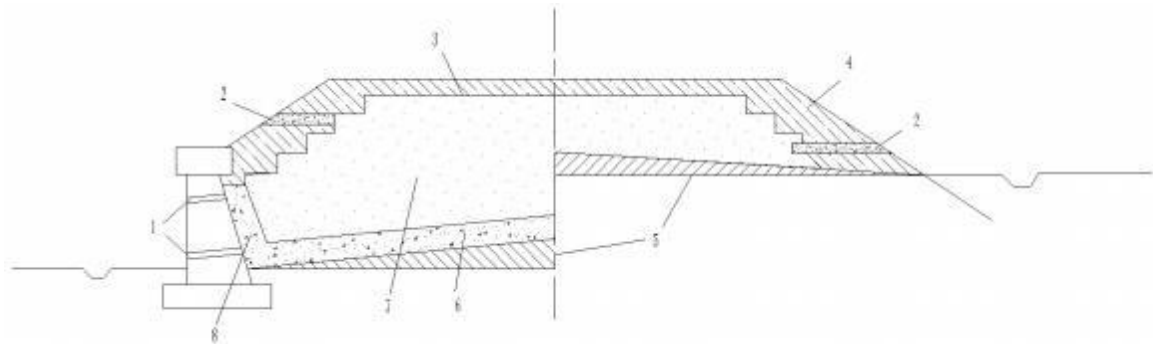
表4 粉煤灰路堤回弹模量值

压实度 %	重型 90%
回弹模量 MPa	35~40

5.2.4 粉煤灰的渗透系数、压缩系数、毛细水上升高度随粉煤灰的粒组成份、压实度不同而变化，宜通过试验确定。

5.3 路堤横断面设计

5.3.1 粉煤灰路堤由路堤主体部分(粉煤灰)、护坡和封顶层(粘性土或其他材料)、隔离层、排水系统等部分组成。粉煤灰路堤结构示意图如图 1 所示。



注：1-泄水孔 2-渗沟 3-封顶层 4-土质护坡 5-土质路拱 6-粒料隔离层 7-粉煤灰 8-反滤层

图1 粉煤灰路堤结构示意图

5.3.2 粉煤灰路堤边坡率应视路堤高度而定。5 m 以下的路堤，边坡率应为 1:1.5，5 m 以上的路堤，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，下部可做路肩挡墙，视具体条件可适当减小边坡率。

5.4 稳定验算和沉降计算

5.4.1 对于非软弱地基上的粉煤灰路堤，其高度小于 5.0 m，采用不小于 1:1.5 边坡率时，可不作稳定性验算。对于 5.0 m 以上的路堤，应验算路堤自身的稳定性，一般采用简单的直线滑动面或圆弧滑动面进行验算。也可查用有关稳定验算图表，其抗滑安全系数二级及以上公路应大于 1.25，三、四级公路应大于 1.15。

5.4.2 对厚层软土地基上的粉煤灰路堤，其高度超过软土地基极限高度时，应考虑堤身和地基共同的滑动破坏，应进行边坡稳定性验算。

5.4.3 厚层均质软土地基上路堤极限高度可按下式估算：

$$H_c = 5.52 \frac{c_u}{\gamma} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

H_c ——路堤极限高度，单位为米（m）；

c_u ——由快剪法测得的软土粘结强度，单位为帕斯卡（Pa）；

γ ——粉煤灰的湿容重，单位为牛每立方米（N/m³）。

5.4.4 厚层非均质软土地基上的粉煤灰路堤的稳定分析与土质路堤的验算方法相同，采用圆弧滑动面法验算路堤的抗滑稳定性。粉煤灰的内摩擦角 ϕ 和粘结强度 C 应用饱水后测得的 C 、 ϕ 值为准，地基土各层次的 C 、 ϕ 值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。

5.4.5 对软土地基上的粉煤灰路堤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堤堤身压缩量可忽略不计。

$$S = m_s \sum_{i=1}^n \frac{e_{oi} - e_{ri}}{1 + e_{oi}} \Delta H_i \dots\dots\dots (2)$$

式中：

S ——最终沉降量，单位为厘米（cm）；

m_s ——综合修正系数 $m = 1.0 \sim 1.4$ ；

e_{oi} ——地基中各分层的天然孔隙比；

e_{ri} ——受荷载后各分层的稳定孔隙比；

ΔH_i ——各分层厚度，单位为厘米（cm）。

5.5 压实标准

粉煤灰路堤每层的填筑厚度应根据施工后沉降计算确定，各等级公路压实度标准均以重型击实试验为标准或通过试验路段确定，并符合表5的规定。粉煤灰压实度可采用填上层检下层的方式进行检测。

表5 粉煤灰路基压实度标准

填料应用部位	压实度 %	
	高速、一级公路	二级、二级以下公路
上路堤	≥94	≥94
下路堤	≥93	≥92
注：表列压实度以JTG 3430中重型击实试验法为准。		

5.6 隔离层

5.6.1 为隔离毛细水的影响，粉煤灰路堤底部应离开地下水位或地表长期积水 50 cm 以上，否则应设置隔离层。隔离层宜采用稳定性好的天然砂砾料、采石场碎块片石或能够满足环保要求的工业废渣（比如炉渣）等透水性良好的材料填筑。隔离层厚度不宜小于 30 cm，如地基软弱应根据计算沉降量留足备沉土质路拱，防止倒拱和离地下水位高度不足。隔离层横坡不宜小于 3%，以利排水。

5.6.2 临时积水或毛细水影响不大的路段，隔离层可采用砂性土（风积沙），但禁用粉性土。

5.7 土质护坡

5.7.1 粉煤灰路堤的边坡和路肩应采取土质护坡包边，加强保护措施。

5.7.2 护坡土料宜采用塑性指数不低于 7 的粘质土。土质护坡厚度应根据道路等级、地理环境、自然条件、土质、施工条件、粉煤灰填筑厚度等因素而定。土质护坡水平方向宽度应保证不小于 2 m。如果护坡土的塑性较低，应适当加宽护坡宽度并采取坡面防护措施，防止地表径流水冲刷坡面。土质护坡压实度应符合表 6 的规定。

表6 土质护坡压实度

路基部位		压实度 %		
		高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
上路堤	轻、中等及重交通	94	94	93
	特重、极重交通			—
下路堤	轻、中等及重交通	93	92	90
	特重、极重交通			

5.7.3 粉煤灰路堤两侧的土质护坡中需设置排水渗沟。渗沟断面尺寸宜为 40 cm×50 cm，水平间距 10 m~15 m，垂直间距 1.0 m~1.5 m 呈梅花形交叉布置。渗沟最低位置宜设置在隔离层顶面，同时可适当增加渗沟数量，且并用无纺土工织物做反滤层，防止渗沟淤塞。

5.7.4 粉煤灰路堤的挡墙结构，墙体泄水孔进水口处应设置反滤层，以防止粉煤灰流失。下层泄水孔应高出墙面积水位 30 cm 以上，防止水流倒灌。

5.8 封顶层

粉煤灰路堤顶面标高以上应设置20 cm~30 cm粘质土封顶层或防水土工布等其它防水材料，也可与路面结构层相结合。

6 粉煤灰路基施工

6.1 施工前准备工作

6.1.1 施工单位应全面熟悉设计文件，进行现场核对和施工调查。

6.1.2 在粉煤灰路堤填筑前，应按照 JTG/T 3610 的规定，将路堤范围内原地面的淤泥、腐殖土、杂草、农作物根茎、树根等进行清理和整修。若路堤位于水塘、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。

6.1.3 施工前，应截断流向路堤作业区的水源，并应在设计边沟的位置上开挖临时排水沟，保证施工期间的排水。

6.1.4 在组织现场施工前及粉煤灰料源变化时，应对拟采用的材料进行表 1 所规定的基本性能试验，评定材料质量是否符合要求。

6.1.5 调湿粉煤灰的用水，应符合 JTG/T F20 中的相关规定。遇有可疑水源时，应进行试验鉴定。

6.1.6 粉煤灰路堤应用机械施工，机具主要有灰土拌合机、自卸汽车、推土机、平地机、大厚度灰土摊铺机、洒水车（或其他洒水设备），20 t 及以上单光轮振动压路机等，性能应良好的机械设备。

6.1.7 凡粉煤灰与桥涵等混凝土结构、金属结构物接触处，应在结构物表面均匀涂刷一层沥青，以防腐蚀。

6.1.8 6 级以上大风或气温低于 0 ℃时不宜施工，不应在雨天施工。

6.2 粉煤灰路基施工工艺

6.2.1 粉煤灰路基施工工艺流程如图 2。

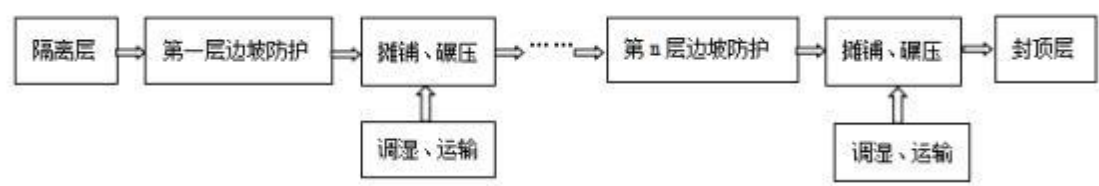


图2 粉煤灰路基施工工艺流程

6.3 隔离层施工

6.3.1 隔离层所用砂砾料、矿渣料等，最大粒径应不大于 8 cm，5 mm 以下细料含量应不大于 50%，含泥量宜小于 5%，且压实度满足表 6 规定。

6.3.2 按设计要求铺筑土质或粒料隔离层，隔离层底的路拱横坡度不宜小于 3%，碾压应达到表 6 规定的压实度。

6.4 边坡防护和封顶层施工

6.4.1 土质护坡和封顶层宜所用土料和同一段土方路基相同，在符合 5.7.2 规定要求时，其它性能应满足 JTG/T 3610 相关要求，且压实度满足表 6 规定。

6.4.2 土质护坡应与粉煤灰填筑同步进行。土质护坡摊铺宽度应保证削坡后的净宽满足设计要求，同时应按设计要求作好土质护坡的排水渗沟。

6.5 粉煤灰调湿与运输

6.5.1 粉煤灰最佳含水率应在灰场或产出地通过拌合设备加水拌合调湿后再运输到施工现场直接摊铺碾压。采用间歇式拌合机拌合时，拌合时间不应低于 15 s。采用连续式拌合机拌合时拌合机拌缸长度不应低于 7.5 m。调湿后的粉煤灰含水率不应高于最佳含水率。

6.5.2 粉煤灰调湿前应对原灰进行含水率检测，每工作日不少于 1 次。如原灰含水率变化较大应加大检测频次，及时调整拌合用水。同时要加强调湿粉煤灰含水率的出场试验检测，每工作日不少于 2 次。

6.5.3 运输方式要采用自卸汽车运输和机械化装车，运输过程中应采取覆盖措施。

6.5.4 粉煤灰的颗粒组成以及最大干密度和最佳含水率有显著差别的灰源应分别堆放拌合，分段填筑，分段检测。

6.6 粉煤灰摊铺

6.6.1 摊铺前应先划出土质护坡界线、渗沟位置等。边线要准确、顺直、弯道要圆顺。摊铺长度应以当天摊铺、当天碾压结束为原则。

6.6.2 粉煤灰路堤的摊铺应采用机械摊铺，宜采用大厚度灰土摊铺机摊铺，且摊铺机速度不宜大于 5 m/min。

6.6.3 粉煤灰路堤采用水平分层填筑法施工。当分成不同作业段填筑时，先填地段应分层留台阶，使每个压实层相互重叠搭接，搭接长度应大于 2 m，保证相邻作业段接头范围内的压实度。台阶厚度宜与压实层厚度一致。

6.6.4 粉煤灰路堤摊铺前应在路堤中心、路堤边缘等处设置松铺厚度控制桩，控制摊铺厚度。粉煤灰的松铺系数应通过试验确定，无实测资料时，可按表 7 中数值选用并在施工中予以调整。

表7 粉煤灰路堤松铺系数

摊铺方式	松铺系数
推土机摊铺	1.2~1.3
平地机摊铺	1.1~1.2
大厚度摊铺机摊铺	1.1~1.2

6.7 粉煤灰压实

- 6.7.1 摊铺后的粉煤灰应及时碾压，做到当天摊铺，当天碾压完毕，以防止水分蒸发而影响压实效果。碾压时，应使粉煤灰处于最佳含水量状态。
- 6.7.2 粉煤灰路堤应分层填筑，分层碾压，宜采用振动压路机碾压。碾压应遵循先轻后重，先低后高的原则。碾压完毕应及时检验压实度，符合规定要求后方可继续填筑上层。宜采用 20 t~30 t 的振动压路机，每层压实厚度应不大于 30 cm。
- 6.7.3 因粉煤灰压实时的最佳含水率较高，为防止粉煤灰含有大量冰晶影响压实效果和工程质量，粉煤灰路堤的施工气温应在 0℃以上。
- 6.7.4 铺筑上层时，应控制卸料汽车的行驶方向和速度，不应在下层灰面上调头、高速行驶、急刹车等，以免造成压实层松散。
- 6.7.5 粉煤灰路堤的施工应加强试验段的总结，确定出科学合理的摊铺、压实工艺，保障工程质量要求。

6.8 粉煤灰路堤的养护

- 6.8.1 经检验达到要求压实度的粉煤灰压实层，如暂时不能立即铺筑上层粉煤灰，应禁止或限制车辆行驶并适量洒水润湿，防止表层干燥松散。
- 6.8.2 当粉煤灰路堤因故较长时间不能继续施工时，应进行表层覆土封闭并碾压密实，作好路拱横坡，以利表面排水，或采取防水土工布等其他防水材料对其覆盖。同时应保持路基排水设施的完好，加强日常养护工作。复工前，路堤若有损毁，应按设计要求进行整修。
- 6.8.3 阴雨天气，当土质护坡高于灰面时，应及时挖好护坡临时排水沟，排除灰面的积水，以免影响上层铺筑。对湿软的局部地方，要采取翻晒或挖换处理。

7 粉煤灰路基施工质量控制与验收

7.1 一般规定

- 7.1.1 本章规定的质量管理及检验内容适用于质量管理中施工单位的自检、工序交接检验、质检部门的检查以及工程竣工检验。
- 7.1.2 应建立、健全质量管理体系，实行施工单位自检和质监部门抽检相结合的质量管理制度。检查应做到方法规范、原始资料齐全、数据可靠。检验不合格的部位应采取补救措施使其达到规定要求，经检查合格后，方可进行下一道工序。路堤施工结束后，应进行全面检查、验收。
- 7.1.3 施工质量控制包括所用材料检测、施工过程质量控制和工程验收。工程质量检验评定标准应按照 JTG F80（所有部分）中对于土方路基的有关规定执行。
- 7.1.4 施工单位的工地试验室应能进行施工质量检验，应配备进行材料、施工质量控制和检验所需的试验设备和仪器，同时还应配备相应的技术和管理人员。

7.2 材料检测

粉煤灰在灰场进行拌合调湿时，应加强对原灰的质量检测和控制，其质量应按表 8 进行控制和管理。

表8 粉煤灰质量控制的项目、频率和质量标准

项目	频率	质量标准
含水率 %	每个工作日不少于2次	≤ 20
密度 g/cm^3	每50000 m^3 不少于1次	≤ 2.6
细度（0.075方孔筛通过率） %	每50000 m^3 不少于1次	≤ 45
液限 %	每50000 m^3 不少于1次	≤ 50
烧失量 %	每30000 m^3 不少于1次	≤ 20
SO_3 含量 %	每30000 m^3 不少于1次	≤ 3

7.3 施工过程质量控制

7.3.1 施工过程质量控制包括路堤外观尺寸和路堤质量的控制。

7.3.2 外观尺寸主要靠日常管理加以控制。在各层施工中应注意路基宽度、护坡宽度、边坡率、松铺厚度、平整度、高程、压实度等项目的控制，并满足表 7、表 8、表 9、表 10、表 11 中所规定的工程验收标准。

7.3.3 粉煤灰路堤工程的质量应按表 9 进行控制施工和管理。

表9 质量控制的项目、频率和质量标准

序号	项目	频率	质量标准	备注
1	含水率	据实观察、异常时随时测定	不应大于最佳含水率	酒精法、烘干法
2	碾压	随时全面观察	无明显轮迹、无湿软、弹簧现象产生	
3	厚度	每100 m每层设一个控制断面	符合规定的填筑厚度	使用控制桩或标尺、刨坑检测
4	压实度	200 m每层检查4处，每200 m护坡检查2处	不低于设计规定的压实度	环刀法、灌砂法、核子仪法
5	护坡宽度	每200 m测量2处	不小于设计宽度	钢卷尺丈量

7.4 工程验收

7.4.1 基本要求

7.4.1.1 施工原始记录完整齐全。根据材料试验报告核查所用各种材料的各项性能指标，应符合设计规范要求。

7.4.1.2 根据自检记录核查每层的压实厚度、含水量、压实度等，应符合设计或规范要求，检验报告齐全，频率符合规定。

7.4.1.3 根据施工原始记录检验软弱地段，应按设计要求进行处治加固、设置隔离层或排水渗沟等处治措施。

7.4.2 外观质量

7.4.2.1 路槽表面平整密实，无湿软、弹簧等现象，没有明显的碾压轮迹。

- 7.4.2.2 路堤边坡顺直，曲线圆滑，坡面平整稳定。
 - 7.4.2.3 路拱平顺，排水良好。
 - 7.4.2.4 渗沟布置合理，无阻塞。边沟通畅，路堤无浸泡。
- 7.4.3 实测项目

粉煤灰路堤、隔离层实测项目应符合表 10 规定，护坡实测项目应符合表 11 规定。

表10 粉煤灰路堤实测项目

序号	实测项目	检测频率	规定值或允许偏差		检测方法
			高速、一级公路	其他公路	
1	纵断高程 mm	中线位置 2 点/每 200 m	+10、-15	+10、-20	水准仪
2	中线偏位 mm	2 点（弯道加 HY、YH）/每 200 m	50	100	全站仪
3	宽度 mm	2 处×5 尺/每 200 m	满足设计要求		钢卷尺
4	平整度 mm	2 处×5 尺/每 200 m	≤15	≤20	3 m 直尺
5	横坡度 %	4 个断面/每 200 m			水准仪
6	压实度（%）△	一层 2 处/每 200 m	不低于表 6 的规定值		环刀法、灌砂法、核子仪法
7	弯沉值（mm）△	50 m 测一点（或根据要求确定）/单向每个车道	≤设计验收弯沉值		贝克曼梁法、FWD 法
8	回弹模量 MPa	1 点/每 500 m 路中心	不低于设计规定值		承载板法

表11 粉煤灰路堤土质护坡实测项目

序号	实测项目	检测频率	规定值或允许偏差		检测方法
			高速、一级公路	其他公路	
1	宽度（mm）△	2 处×5 尺/每 200 m	满足设计要求	钢卷尺	宽度（mm）△
2	压实度（%）△	一层 2 处/每 200 m	不低于表 6 的规定值	环刀法、灌砂法、核子仪法	压实度（%）△
