

中华人民共和国行业标准

公路粉煤灰路堤设计与施工
技术规范

Technical Specifications for Design and
Construction of Fly ash Embankment

JTJ 016—93

主编部门：交通部重庆公路科学研究所

批准部门：交通部

实行日期：1993年12月1日

人民交通出版社

1993·北京

图书在版编目(CIP)数据

公路粉煤灰路堤设计与施工技术规范/交通部重庆公路科学研究所主编. —北京:人民交通出版社,1997.5 重印

ISBN 7-114-01786-3

I. 公… II. 交… III. ①粉煤灰-路堤-设计-规范②粉煤灰-路堤-施工技术-规范 IV. U416.1-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 10883 号

中华人民共和国行业标准 公路粉煤灰路堤设计与施工 技术规范

JTJ 016—93

插图设计:王惠茹 正文设计:崔凤莲 责任校对:王秋红
责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:1.125 字数:24 千

2002 年 2 月 第 1 版 第 9 次印刷

印数:52001—56000 册 定价:4.00 元

ISBN 7-114-01786-3

U·01183

关于发布交通行业标准《公路粉煤灰路堤设计与施工技术规范》的通知

交工发〔1993〕694号

(不另行文)

兹批准、发布交通行业标准《公路粉煤灰路堤设计与施工技术规范》，编号为JTJ 016—93，自一九九三年十二月一日起实行。

该规范由交通部重庆公路科学研究所负责解释。希各单位在实践中注意积累资料，总结经验，及时将发现的问题和修改意见函告交通部重庆公路科学研究所，以便修订规范时参考。

中华人民共和国交通部
一九九三年七月三日

粉煤灰室内试验项目一览表

表2.2.4

序号	试验内容	应提交的试验结果	备注
1	含水量	天然含水量范围	
2	相对密度	相对密度	必要时测定
3	密度	天然密度变化范围	
4	液限	液限	
5	颗粒分析	粒组成分, 级配曲线	
6	天然休止角	天然休止角度(干燥、水中)	必要时测定
7	毛管水上升高度	强烈毛细水上升高度	必要时测定
8	化学分析	化学成分、烧失量、pH值	
9	重金属含量测定	浸出液有害微量元素含量报告	
10	击实试验	最大干密度, 最佳含水量	轻、重型击实
11	不排水抗剪强度	粘结强度C, 内摩擦角 φ (饱水、不饱水)	
12	回弹模量	回弹模量值(饱水、不饱水)	必要时测定
13	承载比	CBR值	必要时测定

2.3 设计参数

2.3.1 粉煤灰使用前必须选择有代表性的试样进行击实试验, 以实测确定最大干密度和最佳含水量, 粉煤灰的松干密度在450~700kg/m³范围内。

2.3.2 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 值范围参见表2.3.2, 可供初步设计稳定验算时选用。

粉煤灰 C、 φ 值

表2.3.2

击实标准		压实度(%)	内摩擦角 φ (°)	粘结强度C(kPa)
重型	饱水	90	18~33	10~20
	不饱水	90	30~42	25~50
轻型	饱水	95	14~33	6~20
	不饱水	95	28~35	21~25

2.3.3 宜通过承载板法等实测手段确定粉煤灰路堤的回弹模量值。在初步设计中如无实测资料时，可按表2.3.3选用。

粉煤灰路堤设计回弹模量值

表2.3.3

压实度 (%)	轻型95%	重型90%
回弹模量(MPa)	25~30	35~40

注：①表值系指路槽底高度大于80cm的路堤。

②地基湿软时取用下限值。

2.3.4 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。

2.4 路堤横断面

2.4.1 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2.4.1所示。

2.4.2 纯灰路堤的边坡和路肩应采取土质护坡保护措施。

2.4.2.1 土质护坡的坡面防护应符合现行的路基设计规范的规定。

2.4.2.2 护坡土料宜采用塑性指数不低于6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、施工条件等因素而定，土质护坡水平方向厚度应保证不小于1m。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。

2.4.2.3 应根据施工季节或当地降雨量大小，决定是否在土质护坡中设置排水盲沟。盲沟断面尺寸宜为40cm×50cm，水平间距10~15m，垂直间距1.0~1.5m呈梅花形交叉布置。路堤底部可适当增加盲沟数量，并应采取措施防止盲沟淤塞。

2.4.3 粉煤灰路堤路槽标高以下20~30cm应设置土质封顶层，也可与路面结构层相结合，采用石灰土、二灰土等路面底基层材

1 总 则

1.0.1 为促进粉煤灰填筑公路路堤技术的推广应用，确保工程建设质量，特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于各级公路新建、改建的纯粉煤灰路堤工程，间隔粉煤灰路堤或其他结构类似的粉煤灰回填工程可参照使用。

1.0.3 本规范所述的粉煤灰是指燃煤发电厂排放的湿排灰（池灰）和调湿灰（干灰掺水调湿），属硅铝型低钙粉煤灰。

1.0.4 粉煤灰路堤系指全部采用粉煤灰（纯灰）或部分采用粉煤灰（灰土间隔）填筑的公路路堤，应具有足够的强度和稳定性，满足公路路堤的技术要求。软弱地基上的高路堤在技术经济合理的条件下应优先采用粉煤灰修筑路堤方案。

1.0.5 粉煤灰路堤具有不同于土石路堤的特性，必须按照设计要求，认真做好施工前的准备工作，编制切实可行的施工组织设计并精心组织施工，健全科学的现场管理制度，坚持“质量第一”的方针，充分发挥工程的经济效益。

1.0.6 粉煤灰路堤的设计与施工，应符合国家有关环保规定，应采取必要措施，预防运输和施工过程中对环境的污染。

1.0.7 粉煤灰路堤的设计、施工及有关测试方法，除应符合本规范外，尚应符合现行部颁规范的规定。

2 粉煤灰路堤设计

2.1 一般规定

2.1.1 用粉煤灰修筑公路路堤，应采取相应的技术措施，做好断面设计、结构设计和排水设计，保证粉煤灰路堤有足够的强度和稳定性，在荷载作用和水温等自然因素的不利影响下，应能满足设计要求，并具有可供铺筑路面的坚实基础。

2.1.2 对道路局部边角地带，如检查井周围、桥台或挡墙后背，沟槽回填等不能使用大型压路机碾压的部位，应采取换填其他材料等措施，如换填石灰土、粉煤灰掺石灰、砂砾料等，以保证达到压实度和强度的要求。

2.1.3 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。

2.1.4 位于地震基本烈度6度和6度以上地区的粉煤灰路堤，应按现行的《公路工程抗震设计规范》的有关规定进行设防。

2.2 粉煤灰

2.2.1 电厂排放的硅铝型低钙粉煤灰，都可作为路堤填料使用。

2.2.2 用于高速公路、一级公路路堤的粉煤灰烧失量宜小于12%，烧失量超过标准的粉煤灰应作对比试验，分析论证后采用。

2.2.3 粉煤灰粒径应在0.001~2mm之间，为便于压实，小于0.074mm的颗粒含量宜大于45%。

2.2.4 设计粉煤灰路堤应预先调查料源并作好必要的室内试验，掌握粉煤灰材料的工程特性。室内试验项目参见表2.2.4，试验方法遵照《公路土工试验规程》执行。

粉煤灰室内试验项目一览表

表2.2.4

序号	试验内容	应提交的试验结果	备注
1	含水量	天然含水量范围	
2	相对密度	相对密度	必要时测定
3	密度	天然密度变化范围	
4	液限	液限	
5	颗粒分析	粒组成分, 级配曲线	
6	天然休止角	天然休止角度(干燥、水中)	必要时测定
7	毛管水上升高度	强烈毛细水上升高度	必要时测定
8	化学分析	化学成分、烧失量、pH值	
9	重金属含量测定	浸出液有害微量元素含量报告	
10	击实试验	最大干密度, 最佳含水量	轻、重型击实
11	不排水抗剪强度	粘结强度C, 内摩擦角 φ (饱水、不饱水)	
12	回弹模量	回弹模量值(饱水、不饱水)	必要时测定
13	承载比	CBR值	必要时测定

2.3 设计参数

2.3.1 粉煤灰使用前必须选择有代表性的试样进行击实试验, 以实测确定最大干密度和最佳含水量, 粉煤灰的松干密度在 $450 \sim 700 \text{kg/m}^3$ 范围内。

2.3.2 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 值范围参见表2.3.2, 可供初步设计稳定验算时选用。

粉煤灰 C、 φ 值

表2.3.2

击实标准		压实度(%)	内摩擦角 φ (°)	粘结强度C(kPa)
重型	饱水	90	18~33	10~20
	不饱水	90	30~42	25~50
轻型	饱水	95	14~33	6~20
	不饱水	95	28~35	21~25

2.3.3 宜通过承载板法等实测手段确定粉煤灰路堤的回弹模量值。在初步设计中如无实测资料时，可按表2.3.3选用。

粉煤灰路堤设计回弹模量值 表2.3.3

压实度(%)	轻型95%	重型90%
回弹模量(MPa)	25~30	35~40

注：①表值系指路槽底高度大于80cm的路堤。

②地基湿软时取用下限值。

2.3.4 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。

2.4 路堤横断面

2.4.1 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2.4.1所示。

2.4.2 纯灰路堤的边坡和路肩应采取土质护坡保护措施。

2.4.2.1 土质护坡的坡面防护应符合现行的路基设计规范的规定。

2.4.2.2 护坡土料宜采用塑性指数不低于6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、施工条件等因素而定，土质护坡水平方向厚度应保证不小于1m。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。

2.4.2.3 应根据施工季节或当地降雨量大小，决定是否在土质护坡中设置排水盲沟。盲沟断面尺寸宜为40cm×50cm，水平间距10~15m，垂直间距1.0~1.5m呈梅花形交叉布置。路堤底部可适当增加盲沟数量，并应采取措施防止盲沟淤塞。

2.4.3 粉煤灰路堤路槽标高以下20~30cm应设置土质封顶层，也可与路面结构层相结合，采用石灰土、二灰土等路面底基层材

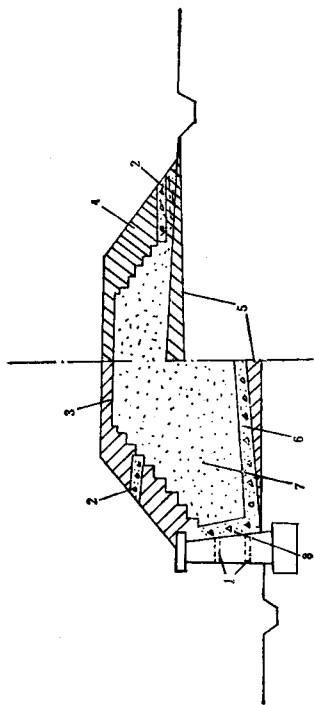


图2.4.1 粉煤灰路堤结构示意图

注：1-泄水孔 2-盲沟 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

料作封顶层。

2.4.4 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位50cm以上，否则应设置隔离层。宜采用稳定性好的工业废渣、炉渣、钢渣、矿渣，或天然砂砾料、采石场碎块片石等透水性良好的材料填筑隔离层。隔离层厚度不宜小于30cm，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。

2.4.5 临时积水或毛细水影响不大的路段，隔离层可采用粘质土或砂性土，但禁用粉性土。

2.4.6 粉煤灰路堤边坡率应视路堤高度而定。5m以下的路堤，边坡率应为1:1.5，5m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。

2.4.7 粉煤灰路堤的挡墙结构，应按有关规范设计，但应注意，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30cm以上，防止水流倒灌。

2.5 稳定验算和沉降计算

2.5.1 对于非软弱地基上的粉煤灰路堤，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以上的路堤，必须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，其抗滑安全系数应大于1.25。

2.5.2 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，必须进行边坡稳定性验算。

2.5.2.1 厚层均质软土地基上路堤极限高度可按下式估算：

$$H_c = 5.52 \frac{C_u}{\gamma} \quad (2.5.2)$$

式中： H_c ——路堤极限高度 (m)；

C_u ——由快剪法测得的软土粘结强度 (Pa)；

γ ——填料的湿容重 (N/m^3)。

2.5.2.2 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。

2.5.3 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。

$$S = m_s \sum_{i=1}^n \frac{e_{oi} - e_{si}}{1 + e_{oi}} \Delta H_i \quad (2.5.3)$$

式中： e_{oi} ——地基中各分层的天然孔隙比；

e_{si} ——受荷载后各分层的稳定孔隙比；

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)。

2.6 压实标准

2.6.1 应根据道路等级、路堤高度确定粉煤灰路堤压实标准。对高速公路、一级公路应采用重型压实标准，其他公路可采用轻型压实标准。二级公路（包括二级汽车专用公路）宜采用高速、一级公路的压实标准。

2.6.2 各等级公路压实度标准见表2.6.2。

各等级公路粉煤灰路堤压实度标准

表2.6.2

路堤类型	距路槽底深度 (cm)	压实度 (%)			
		高速公路、一级公路		其他公路	
		重 型	轻 型	重 型	轻 型
地 灰 路 堤	0~30封顶层	95	—	93	98
	30~80	93	—	90	95
	80~150	92	—	87	92
	>150	90	—	87	92

注：①表列压实度系按交通部现行《公路土工试验规程》轻、重型击实试验法求得的最大干密度的密实度系数。

②封顶土层一般厚度为20~30cm，按土方路基压实度标准要求。

③灰土间隔路堤可参照执行。

④特殊干旱或特殊潮湿地区，表内压实度数值可减少1%~2%。

3 粉煤灰路堤施工

3.1 准备工作

3.1.1 施工单位应全面熟悉设计文件，进行现场核对和施工调查，对不符合实际的设计可根据施工管理程序向有关部门提出修改意见。

3.1.2 根据工程数量和工期要求，制订施工组织设计。做到材料、机具设备、劳动力、临时工程、生活供应等全面落实。

3.1.3 应按设计图表，恢复路线中桩，定出路堤坡脚、护坡道及边沟等具体位置，以便清理现场和施工。

3.1.4 在路堤填筑前，应按现行《公路路基施工规范》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。

3.1.5 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。

3.1.6 湿润粉煤灰的用水，应采用人或牲畜可饮用的水，遇有可疑水源时，应进行试验鉴定。

3.1.7 粉煤灰路堤宜用机械施工，机具主要有自卸汽车、推土机、平地机、洒水车或其他洒水设备，20~50t的中型和重型振动压路机或自行式、拖式羊足碾，机械设备性能应良好，并作好检修和保养工作。

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

3.2 粉煤灰储运

3.2.1 粉煤灰含水量的调节宜在堆场或灰池中进行。过湿的粉煤灰应堆高沥干，过干的粉煤灰应在摊铺前2~3天在堆场中洒水闷料，视运输距离和气候条件将含水量调节到略高于最佳含水量范围。

3.2.2 运输方式要因地制宜，宜采用自卸汽车运输和机械化装车，减少中转环节，降低运输成本。应防止运输途中的扬尘或流失污染，必要时应采取覆盖措施。

3.2.3 中转站堆灰场地宜为硬地面，以利机械作业和排水。大型灰场需设置雨水沉淀池，防止粉煤灰流失并减少污染。堆场应设有洒水设备，以利控制、调节粉煤灰的含水量，并防止干灰扬尘污染环境。

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

3.2.5 粉煤灰宜采用机械装卸，当采用人工取灰和装卸时，应配备劳动保护用品，以保证工人的劳动安全。

3.3 粉煤灰摊铺

3.3.1 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%，碾压应达到规定的压实度。

3.3.2 摊铺前应先放样，划出路堤边线、土质护坡界线、盲沟位置等。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。

3.3.3 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150cm，保证相邻作业段接头范围内的压实度。

3.3.4 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

缺陷，始能进行实测项目的检查评定。

4.4.2 基本要求

4.4.2.1 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。

4.4.2.2 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。

4.4.2.3 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、设置隔离层或排水盲沟等处治措施。

4.4.3 外观鉴定

4.4.3.1 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。

4.4.3.2 路堤边坡顺直，曲线圆滑，坡面平整稳定。

4.4.3.3 路拱平顺，排水良好。

4.4.3.4 盲沟布置合理，无阻塞。边沟通畅，路堤无浸泡。

4.4.4 进行抽样检查必须是随机的，不能带有任何倾向性，实测项目分为路堤、路肩、边坡和边沟等项。

4.4.5 路堤

粉煤灰路堤检验内容和要求见表4.4.5。

粉煤灰路堤实测项目

表4.4.5

项次	实测项目	检验频率		规定值或允许偏差		检验方法	规定分
		范围	应测点数	高速公路 一级公路	其他公路		
1	纵断高程 (mm)	每200m	4点	10~-20	10~-30	水准仪	10
2	中线偏位 (mm)	每200m	2点(弯道加 测ZY, YZ)	≤50	≤100	经纬仪	5
3	宽度 (mm)	每200m	4处	不小于设计值		皮尺	5

3.4.3 粉煤灰碾压，应遵循先轻后重原则。对人工摊铺的灰层宜先用履带式机具或8~12t轻型压路机静压1~2遍，稳压后，用振动压路机振碾3~4遍。机械摊铺的灰层可直接用20t以上的中型或重型振动压路机碾压3~4遍，振动压路机压后再以静作用压路机静碾1~2遍。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。

3.4.4 碾压顺序应遵循先低后高的原则，直线段由土质护坡向路中心碾压，曲线段由弯道内侧向外侧碾压。碾压速度，稳压时采用1档(1.5~1.7km/h)，振碾时用2档(2.0~2.5km/h)为宜。碾压轮迹应相互搭接，后轮必须超过两段的接缝。

3.4.5 对道路局部边角地带，如检查井周围、桥台或挡墙后背、沟槽回填等不能使用压路机碾压的部位，应采用小型手扶式振动压路机、蛙式夯实机进行碾压夯实并达到规定的压实度。

3.4.6 因粉煤灰压实时的最佳含水量较高，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。

3.4.7 每层粉煤灰碾压结束后，应在压实层中间部位用环刀法检验压实度。也可用灌砂法、核子密度仪等方法检验压实度，但应建立相关关系。

3.4.8 铺筑上层时，应控制卸料汽车的行驶方向和速度，不得在下层灰面上调头、高速行驶、急刹车等，以免造成压实层松散。

3.5 粉煤灰路堤的养护

3.5.1 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。

3.5.2 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。

3.5.3 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。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。

4 粉煤灰路堤施工质量管理及检验

4.1 一般规定

4.1.1 本章所定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。

4.1.2 必须建立、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。检验不合格的部位必须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。

4.1.3 施工质量管理包括所用材料的标准试验、中间检查和竣工检验。工程质量检验评定标准应按照部颁《公路工程质量检验评定标准》中对于土方路基的有关规定执行。

4.1.4 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。

4.2 材料试验

4.2.1 在组织现场施工前及粉煤灰料源变化时，必须对拟采用的材料进行表2.2.4所规定的基本性能试验，评定材料质量是否符合要求。

4.2.2 土质护坡和封顶层所用土料和一般土方路基相同，其性能试验应遵照部颁《公路土工试验规程》执行。

4.2.3 隔离层和排水盲沟所用砂砾料、矿渣料等，最大粒径应不大于8cm，5mm以下细料含量不大于50%，含泥量小于5%为宜。

4.3 中间检验

4.3.1 施工过程中的检验包括路堤外形尺寸和路堤质量的控制、检验。

4.3.2 外形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4.4.5、表4.4.6、表4.4.7中所规定的工程验收标准。

4.3.3 路堤工程的质量应按表4.3.3进行控制施工和管理。

质量控制的项目、频率和质量标准

表4.3.3

项次	项 目	频 率	质 量 标 准	备 注
1	含水量	据观察、异常时随时测定	在最佳含水量允许范围内	酒精法、烘箱法、核子仪法
2	碾压检查	随时全面观察	无明显轮迹、无湿软、弹簧现象产生	
3	填筑厚度	每100m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、削坑检测
4	压实度	200m每层检查4处，每200m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200m测量2处	不小于设计宽度	皮尺丈量

4.4 竣工检验

4.4.1 竣工检验的目的是评价所完成的粉煤灰路堤是否满足设计文件和施工规范的要求。检验内容包括基本要求、外观鉴定和实测项目三部分。只有在符合基本要求的規定，并无严重的外观

缺陷,始能进行实测项目的检查评定。

4.4.2 基本要求

4.4.2.1 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。

4.4.2.2 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。

4.4.2.3 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、设置隔离层或排水盲沟等处治措施。

4.4.3 外观鉴定

4.4.3.1 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。

4.4.3.2 路堤边坡顺直,曲线圆滑,坡面平整稳定。

4.4.3.3 路拱平顺,排水良好。

4.4.3.4 盲沟布置合理,无阻塞。边沟通畅,路堤无浸泡。

4.4.4 进行抽样检查必须是随机的,不能带有任何倾向性,实测项目分为路堤、路肩、边坡和边沟等项。

4.4.5 路堤

粉煤灰路堤检验内容和要求见表4.4.5。

粉煤灰路堤实测项目

表4.4.5

项次	实测项目	检验频率		规定值或允许偏差		检验方法	规定分
		范围	应测点数	高速公路 一级公路	其他公路		
1	纵断高程 (mm)	每200m	4点	10~-20	10~-30	水准仪	10
2	中线偏位 (mm)	每200m	2点(弯道加 测ZY,YZ)	≤50	≤100	经纬仪	5
3	宽度 (mm)	每200m	4处	不小于设计值		皮尺	5

续上表

项次	实测项目	检验频率		规定值或允许偏差		检验方法	规定分
		范围	应测 点数	高速公路 一级公路	其他公路		
5	横坡度 (%)	每200m	4个断面	±0.5	±0.5	水准仪	5
6	压实度 (%)	每200m	每层测4 处(或根 据要求决 定)	不低于表2.6.2规定 值		环刀法、 灌砂法、 核子仪法	30
7	弯沉值 (mm)	单向每个 车道	50m测1 点(或根 据要求决 定)	不大于设计计算容 许值		弯沉仪	15
8	回弹模量 (MPa)	每500m 路中心	检测1点	不低于设计规定值		承载板法	15

4.4.6 路肩

路肩边线应顺直，弯道应圆顺，表面平整稳定，无阻水现象。路肩允许偏差应符合表4.4.6的规定。

粉煤灰路堤路肩实测项目

表4.4.6

项次	实测项目	计量 单位	检验频率		规定值或 允许偏差	检 验 方 法	规定分
			范 围	实测点数			
1	压实度	%	每100m	检测1点	≥设计值	环刀法、 灌砂法、 核子仪法	30
2	平整度	土路肩	每100m	检测1处 1处3尺	≤20	3m直尺	30
		铺装路肩	每100m	检测1处 1处3尺	≤10	3m直尺	
3	宽 度	mm	每100m	检测1点	不小于 设计值	用皮尺 检测	20
4	横坡度	%	每100m	检测1点	±1%	用水准仪	20

4.4.7 边坡和边沟

边坡坡面必须平整、密实、稳定，严禁贴坡；边沟上口线应平齐、顺直，沟底平整，不积水，排水畅通；边坡、边沟允许偏差应符合表4.4.7的规定。

粉煤灰路堤边坡和边沟实测项目

表4.4.7

项次	实测项目	计量单位	检验频率		规定值或 允许偏差	检验方法	规定分
			范围	应测点数			
1	边坡坡度		每100m	检测2个 断面	不陡于设计值	尺量	40
2	沟底高程	mm	每100m	检测2点	±30	水准仪	30
3	沟底宽度	mm	每100m	检测2点	不小于设计宽度	尺量	30

4.4.8 检验评定段的计算弯沉值，考虑采用一定保证率(或概率)的测量值上波动界限应不大于设计计算容许弯沉值。

4.4.9 检验评定段的压实度(算术平均值的下置信界限)应大于设计值或表2.6.2的规定值。

4.4.10 用承载板法实测的路基顶面的回弹模量值应不低于设计要求值或表2.3.3的规定值。

附加说明

主编单位：交通部重庆公路科学研究所

参加单位：云南省公路规划设计院 山东省交通科学研究所

浙江省交通设计院 江苏省交通厅公路局

江苏省交通科学研究所 云南省交通科学研究所

主要起草人员：

张斌涛(执笔)、张帮元、张善法、汪银华、
程怀祖、方晔、蒋振雄、郑治、张春霖、
朱振祥。

**附件 公路粉煤灰路堤设计与施工
技术规范**

JTJ 016—93

条文说明

编制说明

随着我国电力工业的发展，粉煤灰的排放量将以每年600万t骤增。预计到2000年，年排灰量将达到1.6亿t，占地将增加到40多万亩，已成为我国三大工业废渣之一。为改善粉煤灰排放污染环境 and 占用大量土地堆放贮存的问题，积极开展工业废渣——粉煤灰的综合利用已是当前一项刻不容缓的紧迫任务。

利用粉煤灰筑路是解决粉煤灰大宗利用的有效途径之一。尤其是以灰代土修筑公路路堤，它具有用灰量大、上马快、投资较少、效益显著等特点，对减少环境污染，节约土地，开拓筑路材料的新来源都具有重大的现实意义。

交通部粉煤灰筑路技术推广课题组先后在云南、浙江、山东、江苏等省市开展了用粉煤灰修筑公路路堤的示范工程。借鉴国外的经验，吸取了“七五”攻关和市政部门的研究成果，结合试验工程的实践，在送审稿基础上，经广泛征求各方面专家、学者的意见和建议，作了进一步的修改和补充形成该稿。

本规范由总则、粉煤灰路堤设计、粉煤灰路堤施工，粉煤灰路堤施工质量管理及检验四部分组成。为了使本规范更好地适应粉煤灰路堤修筑技术的发展，在执行过程中尚需结合各地的实际情况，不断总结经验，积累资料，以趋完善。

对本规范的修改意见和建议，请信寄交通部重庆公路科学研究所，以便修订时参考。

1 总 则

1.0.1 关于制定目的

目前粉煤灰公路路堤设计与施工尚未发布部颁标准。为了促进用粉煤灰修筑公路路堤新技术的推广应用，为了使粉煤灰路堤设计与施工有章可循，确保工程建设质量，满足生产实践的迫切需要，特制定本规范，其对于促进用粉煤灰修筑公路路堤新技术的推广应用具有重要的现实意义。

1.0.2 关于适用范围

本规范系交通行业标准，其适用范围主要针对交通系统的公路工程。由于纯灰路堤工程与间隔土粉煤灰路堤工程、墙背回填以及其它陆上结构回填工程的特性、施工工艺基本相类似，可参照使用。

灰土间隔路堤中的灰层对用过湿土作为填料的路堤有其有利一面，由于粉煤灰的透水性好，在路堤中形成侧向排水通道，对路堤的强度和稳定性的提高均有利。但是间隔填土层往往受含水量偏高的影响，会给施工碾压带来困难，尤其雨季施工，更影响施工进度。另一方面，灰土间隔路堤的强度低于纯灰路堤，用灰量也小于纯灰路堤。所以在灰源充足的前提下，推荐采用纯灰路堤，发挥其用灰量大，强度高，自重轻，施工简便，受雨季影响小的优点。

1.0.3 目前公路粉煤灰路堤所用的粉煤灰主要是湿排灰(池灰)，调湿灰次之，均属硅铝型的低钙粉煤灰。干灰、炉底渣灰和硫钙型的高钙粉煤灰均没有工程实践经验和应用实例。所以本规范只针对硅铝型低钙粉煤灰而言。

1.0.4 粉煤灰的湿密度比一般的土料低25%左右，是一种理想

的轻质填料。与土质路堤相比，由于粉煤灰路堤自重减轻，软弱地基和路堤的沉降变形得到改善，总沉降量可减少20%~30%；相应地也提高了地基的抗滑稳定性，粉煤灰路堤的极限高度可增加30%~40%，节省了地基的处治费用。在软弱地基上应用粉煤灰修筑高路堤，工程经济效益明显，具有广泛的应用前景。

2 粉煤灰路堤设计

2.1 一般规定

2.1.1 粉煤灰路堤应注意基底和边坡的稳定性，应采取相应的技术防护措施。其中以加强排水为主，严禁长期积水浸泡路堤基底。

2.1.3 对软土地基上的粉煤灰路堤，其设计结构形式，主要应考虑软基的固结沉降量，从而设计土质路拱或隔离层的厚度。为了防止因沉降量过大而产生倒拱，应与软基处治设计同步进行。

2.2 粉煤灰

2.2.2 本规范所述的粉煤灰属硅铝型低钙粉煤灰，相当于美国标准(ASTM C618-87)中的F级粉煤灰。该标准是针对用作普通水泥混凝土添加料的粉煤灰技术要求而制定的。规定最大烧失量为6%，若有试验资料作依据，可允许使用最大烧失量12%的F级粉煤灰，但对路堤填料未作明确规定。据报导，含碳量的大小影响粉煤灰压实和强度性能。目前国内绝大部分电厂湿排灰的烧失量一般为3%~11%，作为路堤填料烧失量指标可放宽，以使国内绝大部分灰源均能满足用作路堤填料的要求。

2.2.3 粉煤灰的粒度成分与它的路用性能有一定关系，粗颗粒含量偏大，比表面积偏小，会影响石灰和粉煤灰之间的物理化学作用的效应，尤其是7天早期强度增长变慢。用于加固的粉煤灰，法国资料报导通过0.04mm筛的含量不小于40%，白(莱因)氏比面积2200~4000cm²/g。美国ASTM C618-87标准，要求0.045mm(325号)筛上的最大筛余量(湿筛法)为34%。原建

工部硅酸盐生产工艺规程，要求0.074mm分计筛余量不大于15%。

国内外标准均要求粉煤灰有一定数量的细料含量，以利早期强度的发展。但作为路堤填料，主要是利用其机械强度，对粉煤灰的粒度成分并无严格的要求。从压实角度看，含较多粗颗粒的粉煤灰，材料的内摩擦角会增大，表现出一定的有利的倾向。但实践中也发现，纯炉灰或炉底渣，颗粒尺寸单一，细料太少，粗颗粒易压碎，压实成型困难。所以控制一定数量的细料含量是必要的。

2.2.4 粉煤灰路堤对环境的影响一直是各国研究关注的问题。从上海和杭州地区粉煤灰浸出液微量元素分析和现场地下水水质分析试验结果表明：浸出液中铜、镉、铅、铬、砷、汞、镍、锌等重金属元素均符合二级地面水质量标准(GB3833-83)，另外，粉煤灰固体中重金属含量与农田淤泥中污染控制标准(GB4284-84)对比，除铬和砷个别试样超标外（砷标准为不大于75ppm，实测为0~165ppm；铬标准为不大于100ppm，实测为54~1331ppm），其他指标均在允许范围内。

上述室内外试验结果表明，采用湿排灰和结合结构封闭措施后，对周围地下水和地表水不会造成污染。英国、加拿大的报告也有类似结论。

2.3 设计参数

2.3.1 粉煤灰的粒度成分是直接影响粉煤灰最大干密度和最佳含水量的主要因素之一。它与燃煤性质、煤粉细度、燃烧条件、收尘和输送方式等因素有关。同一灰池不同部位的试样，差异较大，所以选择有代表性的试样进行测定甚为重要。

标准密度值是衡量现场压实度的尺度，要求具有足够精度。由于平行试验误差，一组试验求得的标准值难以如实反映试样的实际情况。为此，规定标准密度试验一般应进行三组，以平均最大干密度作为标准密度值。

2.3.2 粉煤灰的粘结强度 C 和内摩擦角 φ 是路堤稳定验算的重要指标， C 、 φ 值随粉煤灰种类、粒组成分、密实程度的不同而有较大变化。饱水后的 C 、 φ 值均有降低趋势。表2.3.2所列参考值是根据昆明水塘、杭州钱江二桥、济青高速公路、104国道徐州段等试验路堤室内试验结果汇总而提出的。鉴于目前粉煤灰高路堤实践经验不多，需要重视饱水后粉煤灰 C 、 φ 值的测定和稳定性验算。

2.3.3 表2.3.3所列的粉煤灰路堤设计回弹模量值是根据上海沪嘉、莘松高速公路、104国道徐州段，路堤高度小于3m的试验工程，杭州钱江二桥引道和济青高速公路3~4m路堤，昆明水塘6~8m路堤的实测资料分析得出。当地基强度小于20MPa时，需要采取软基加固处治措施。

2.3.4 粉煤灰渗透系数、压缩系数、毛细水上升高度按部颁标准《公路土工试验规程》进行试验测定。

粉煤灰在松散状态下有良好的渗透性，这与粉煤灰的多孔结构、球形粒径等材料固有特性有关。在压实状态下，粉煤灰的渗透性取决于它的粒度成分、压实度和火山灰反应程度。据室内试验，粉煤灰的渗透性与试样的压实度有密切关系，即压实度越大，其渗透性越小。粉煤灰的渗透系数比粘性土的渗透系数大数百倍。可见粉煤灰的渗透性比粘性土优越得多。

粉煤灰的压缩性表示在外荷载作用下材料的压缩特性。压缩系数愈小，路堤建成后的沉降量越小，路面平整度易于保证。据室内压缩试验结果表明：压缩系数随压实度增加而减小，例如某组试件，相同密实度（重型 $K=100\%$ ）的土与灰相比较，土的压缩系数 $a_{10N-20N}=0.24\text{MPa}^{-1}$ ，而灰的压缩系数 $a_{10N-20N}=0.15\text{MPa}^{-1}$ ，土的压缩系数比灰的压缩系数大40%~50%。因此可以认为相同密实度的粉煤灰路堤的压缩变形要小，优于土质路堤。

粉煤灰的毛细水上升高度与试件的原始含水量、压实度及试件的密封程度等因素有关，尤其是压实度影响较显著。随压实度

的增加，毛细水上升高度呈下降趋势。据现有资料分析，轻型击实标准压实度95%时，粉煤灰毛细水上升高度1.0~1.4m，重型击实标准压实度90%时，粉煤灰毛细水上升高度0.8~1.2m，比粘性土毛细水上升高度0.4~0.6m大一倍左右，而轻重型击实标准制件测得的毛细水上升高度，轻型要大20%左右。总的来看，粉煤灰的毛细现象十分强烈，为保证路堤稳定性，在路堤设计与施工中应采取隔离地下水的措施，限制其不利影响。

表2.3.4系根据几个试验工程室内试验结果分析汇总得出的，当无实测资料时，可参见表值选用。

粉煤灰渗透系数、压缩系数、毛细水上升高度参考值 表2.3.4

渗透系数 cm/s		压缩系数 $a_{10^4-10^6}$ (MPa ⁻¹)		毛细水上升高度 (m)	
轻 型 95%	重 型 90%	轻 型 95%	重 型 90%	轻 型 95%	重 型 90%
2.80~15.50	1.90~7.50	0.19~0.34	0.11~0.22	1.00~1.40	0.80~1.20
X10-5	X10-5				

2.4 路堤横断面

2.4.1 隔离层起隔断毛细水的作用，应根据当地的地质、水文条件，地表积水情况，决定是否需要设置隔离层。

2.4.2 为防止排水盲沟的淤塞，宜采用200~400g/m²的无纺土工织物作滤层，也可采用排水板作为横向排水通道。

2.4.4 据室内粘质土毛细水上升高度试验结果，一般在40~60cm范围，故规定粉煤灰路堤底部距地下水位或地表长期积水水位50cm以上，否则应设置隔离层。

2.4.7 泄水孔进水口处宜采用200~400g/m²无纺土工织物作滤层，防止粉煤灰淋溶流失，施工也比较简便。

2.5 稳定验算和沉降计算

2.5.1 对于一般地基上的粉煤灰路堤，经几个试点工程的设计

与施工实践经验表明，其抗滑稳定性验算均能满足规范要求，施工中也未出现过任何不良征兆。为了减少设计工作量，规定了5m以下的粉煤灰路堤可以不作稳定性验算和沉降计算。

2.6 压实标准

2.6.1 路堤压实标准对路堤的强度、稳定性、施工周期、压实机械的配置等影响较大。国内多雨潮湿地区，土方路基因土壤天然含水量偏大，采用重型压实标准存在一定困难，需要采取工程措施才能达到压实标准，增加了工程费用或使工期延长。而粉煤灰与土的工程特性有显著差别，特别是它的渗透性比粘性土大得多，施工受雨季的影响较小，雨季施工的优越性特别明显。另外，粉煤灰的各项物理力学指标采用重型压实标准比轻型压实标准均有明显的提高，有利于提高路基强度。在多雨潮湿地区也有采用重型压实标准的工程实例。所以，对汽车专用公路采用重型压实标准是可行的，也是适宜的。

3 粉煤灰路堤施工

3.4 粉煤灰压实

3.4.2 粉煤灰路堤的压实度与碾压机械压实功能的大小、摊铺厚度、最佳含水量控制、碾压遍数等因素密切相关。其中碾压机械压实功能的大小至关重要。从试验工程压实效果分析可看出，总的趋势是要求采用大吨位（20~50t）的振动压路机或振动羊足碾进行压实作业，能取得满意的压实效果。吨位较轻的光轮静碾机具压实效果较差，不能满足压实度标准要求。

3.4.7 现场压实度检测试验方法，对于细粒土，《公路土工试验规程》规定的环刀法和灌砂法两种试验方法均可采用。但实践中发现，环刀法比灌砂法结果偏小1%左右。粉煤灰的颗粒较细，应以细粒土压实度检测试验方法中的环刀法为准，取样位置应在压实层的中间部位，代表压实层压实度的平均水准。

4 粉煤灰路堤施工质量管理及检验

4.4 竣工检验

4.4.8 为了与其他规范取得一致，弯沉测量的统计计算方法采用正态分布的单边上波动界限，用下式计算：

$$l = \bar{l} + K_a \cdot S \leq l_0 \quad (4.4.8)$$

式中： l ——检验评定段的计算弯沉值；

\bar{l} ——检测评定段各测点弯沉的平均值；

K_a ——与要求保证率有关的系数；

汽车专用公路 $K_a = 2.0$ （保证率为98%）

一般公路 $K_a = 1.645$ （保证率为95%）；

S ——检测值的均方差；

l_0 ——设计计算容许弯沉值。

当 $l \leq l_0$ 时，评定路段弯沉值为合格；当 $l > l_0$ 时，评定路段弯沉值为不合格。

4.4.9 标准密度试验一般应作三组，取其平均值作为现场检验的标准值。

检验评定段的压实度 k 采用 t 分布单边下置信界限，用下式计算：

$$k = \bar{k} - t_{1-\alpha} S / \sqrt{n} \geq k_0 \quad (4.4.9)$$

式中： k ——检验评定段的计算压实度；

\bar{k} ——检验评定段内各测点压实度的平均值；

$t_{1-\alpha}$ —— t 分布表中随自由度和保证率（或置信度）而变的系数，汽车专用公路，保证率为95%，一般公路，保证率为90%；

S ——检测值的均方差；

n ——检测点数；

k_0 ——压实度标准值

当 $k \geq k_0$ 时，评定路段该层压实度为合格；当 $k < k_0$ 时，则为不合格。

现行公路工程标准、规范、规程一览表

序号	名称	序号	名称
1	公路工程技术标准	32	公路土工试验规程
2	公路工程名词术语	33	公路工程沥青及沥青混合料试验规程
3	公路自然区划标准	34	公路工程水泥混凝土试验规程
4	公路工程抗震设计规范	35	公路工程石料试验规程
5	公路建设项目环境影响评价规范(试行)	36	公路工程金属试验规程
6	公路环境保护设计规范	37	公路工程水质分析操作规程
7	公路路线设计规范	38	公路工程无机结合料稳定材料试验规程
8	公路水泥混凝土路面设计规范	39	公路工程集料试验规程
9	公路路基设计规范	40	公路路基路面现场测试规程
10	公路沥青路面设计规范	41	公路土工合成材料试验规程
11	公路加筋土工程设计规范	42	公路勘测规范
12	公路粉煤灰路堤设计与施工技术规范	43	公路桥位勘测设计规程
13	公路软土地基路堤设计与施工技术规范	44	公路隧道勘测规程
14	公路排水设计规范	45	公路工程地质勘察规范
15	公路土工合成材料应用技术规范	46	公路摄影测量规范
16	公路桥涵设计通用规范	47	JTJ/T 066-98) 公路全球定位系统(GPS)测量规范
17	公路砖石及混凝土桥涵设计规范	48	JTJ 071-98) 公路工程质量检验评定标准
18	公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范	49	JTJ 073-96) 公路养护技术规范
19	公路桥涵地基与基础设计规范	50	JTJ 073.1-2001) 公路水泥混凝土路面养护技术规范
20	公路桥涵钢结构及木结构设计规范	51	JTJ 073.2-2001) 公路沥青路面养护技术规范
21	公路隧道设计规范	52	JTJ 074-94) 高速公路交通安全设施设计技术规范
22	JTJ 026.1-1999) 公路隧道通风照明设计规范	53	JTJ 075-94) 公路养护质量检查评定标准
23	JTJ 027-96) 公路斜拉桥设计规范(试行)	54	JTJ 076-95) 公路工程施工安全技术规范
24	JTJ 032-94) 公路沥青路面施工技术规范	55	JTJ 077-95) 公路工程施工监理规范
25	JTJ 033-95) 公路路基施工技术规范	56	JTJ/T 0901-98) 1:1 000 000 数字交通图分类与图式规范
26	JTJ 034-2000) 公路路面基层施工技术规范	57	GBJ 22-87 厂矿道路设计规范
27	JTJ 035-91) 公路加筋土工程施工技术规范	58	GB 50092-96 沥青路面施工及验收规范
28	JTJ 036-98) 公路改性沥青路面施工技术规范	59	GBJ 97-87 水泥混凝土路面施工及验收规范
29	JTJ 037.1-2000) 公路水泥混凝土路面滑模施工技术规范	60	GBJ 124-88 道路工程施工技术标准和标线
30	JTJ 041-2000) 公路桥涵施工技术规范	61	GB 5768-1999 道路工程标志和标线
31	JTJ 042-94) 公路隧道施工技术规范	62	GB 50162-92 道路工程制图标准