

高速公路粉煤灰路基填筑施工技术

梁振飞

安徽建工（宿州）投资发展集团有限公司 安徽 宿州 234000

摘 要：粉煤灰作为绿色工业固废填料，具备质轻、易压实、后期强度稳定等优势，适用于高速公路下路堤填筑工程。本文结合工程施工实际，阐述粉煤灰材料特性与应用优势，从施工准备、摊铺、含水率管控、碾压、接缝处理等环节，梳理标准化施工关键技术，明确材料检验、试验交底及包边防护、施工禁区等管控要点，有效解决路基沉降、开裂等病害，提升路基施工质量与生态效益。

关键词：高速公路；粉煤灰；路基填筑；施工技术

引言

高速公路路基施工对填料稳定性、经济性及环保性要求持续提升，传统土石方填料存在资源紧缺、地基荷载大等弊端。粉煤灰作为燃煤工业固废，资源化利用可有效节约天然资源，契合绿色基建理念。因其自身抗冲刷、侧边稳定性不足，且存在严格施工适用范围，需配套专属施工工艺。为规范现场施工、把控工程质量，系统化梳理粉煤灰路基填筑全套施工技术，为同类高速公路施工提供实操参考。

1 粉煤灰的特性与作为路基填筑材料的优势

1.1 粉煤灰的物理化学性质

粉煤灰是燃煤电厂烟气除尘收集的微细固体工业废渣，主要化学成分为二氧化硅、氧化铝和氧化铁，化学性质稳定，具备潜在胶凝活性。物理层面，粉煤灰多呈浅灰色，颗粒多孔、比表面积大、质轻低密度，相较于天然土体容重更小，压实性能优良。根据细度、烧失量等关键指标，粉煤灰可划分为不同等级，等级差异直接影响其颗粒级配、结构稳定性和后期强度，是决定路基施工质量的重要因素。凭借质轻、易压实、后期强度持续增长的特性，粉煤灰成为性价比极高的绿色路基填筑材料。需要重点明确的是，粉煤灰路基存在严格的施工适用范围，仅允许用于高速公路下路堤填筑，严禁应用于上路堤及路床部位；同时水资源保护区、水渠、沟塘等特殊水域上方路基禁止使用粉煤灰填筑，且粉煤灰填筑段落必须配套规范包边土结构施工，以此弥补材料自身抗冲刷、侧边稳定性不足的缺陷，保障路基整体安全与生态合规。

1.2 粉煤灰作为路基填筑材料的优势

粉煤灰结合配套包边灰土施工工艺，可充分发挥材

料性能优势，适配高速公路下路堤填筑施工，兼具经济、质量与环保价值，核心优势如下。第一，物料资源充足稳定，我国火电产业规模大，粉煤灰年产出量巨大，可源源不断为路基工程提供填料，替代天然土石方，减少自然资源消耗，能够满足大规模高速公路路基施工的用料需求。第二，自重轻、地基适配性强，粉煤灰容重远小于常规土体，填筑后可大幅降低路基整体自重，有效减小地基承载压力，尤其适用于软土地基路段，可简化地基处理工序、降低施工成本，搭配外侧包边土可彻底解决粉煤灰侧边松散、抗侵蚀性差的问题。第三，压缩性低、结构稳定性好，粉煤灰经规范压实后压实度高、压缩变形小，不易发生不均匀沉降，配合包边防护结构可有效抑制路基开裂、沉陷等常见病害，大幅提升路基耐久性。第四，水稳性与抗冲刷能力优异，粉煤灰遇水可形成稳定胶凝结构，长期受地下水、雨水侵蚀不易软化崩解，结合封闭性包边灰土结构，可避免粉煤灰外露流失，保障潮湿环境下路基结构稳定^[1]。第五，生态环保效益显著，粉煤灰资源化利用可解决工业固废堆放占地、水土污染等问题，契合绿色基建发展理念，而标准化的包边土施工能够进一步降低粉煤灰流失污染风险，实现工程建设与生态保护兼顾。

2 高速公路粉煤灰路基填筑施工前准备工作

2.1 材料选择与检验

原材料选型与进场检测是粉煤灰路基质量管控的首要环节，除主体粉煤灰填料外，需同步严格管控包边土、底部灰土、石灰等配套材料质量，所有材料均需符合规范及设计要求。本项目选用火电厂湿排、调湿粉煤灰作为下路堤专用填料，进场后重点检测细度、烧失量、含水率等核心指标，不合格材料严禁使用，严格执

行上路堤、路床及水域保护区上方禁用粉煤灰的施工准则。路基填土优先选用有机质含量低、塑性指数适中的黏性土或砂性土,作为粉煤灰路基专用包边土及底部灰土的原材料。配套胶凝材料选用Ⅲ级及以上优质生石灰或消石灰,生石灰使用前需充分消解,杜绝未消解颗粒后期膨胀导致路基变形破损。施工配套防护垫层采用不低于1m厚的4%灰土,路基两侧设置不小于2m宽的4%灰土包边,两类灰土原材料需单独检测土质、配比稳定性,确保满足层间结合与防护承重要求。所有原材料进场时,必须核验出厂合格证,并开展现场抽样送检,以试验数据为判定依据,严格落实不合格材料禁入制度,从源头保障粉煤灰主体填筑、灰土垫层及包边防护结构的整体施工质量。

2.2 试验检测

正式施工前需通过室内试验与现场试验段施工,确定粉煤灰填筑及配套灰土施工的全套工艺参数,为标准化工提供数据支撑。室内试验针对粉煤灰、4%底部灰土、4%包边灰土及石灰混合料开展标准击实、CBR承载比、固结压缩、配比强度等试验,精准测定粉煤灰最佳含水率、最大干密度、压缩模量,同时核定灰土垫层与包边土的最优配比、压实参数,明确各类材料力学性能与工程适配性。现场试验选取地质条件具有代表性的下路堤段落铺设试验段,同步开展底部灰土铺垫、粉煤灰分层填筑、两侧包边土铺设、层间拌合等全工序试铺试压作业^[2]。试验过程中重点检测粉煤灰松铺厚度、松铺系数、碾压遍数、最佳含水率区间,验证2m宽包边土、1m厚底部灰土的施工工艺适配性,优化灰土与粉煤灰结合部位的拌合参数,确定最佳拌合深度与拌合速度。通过多组工况对比分析,优化确定全套施工工艺,明确粉煤灰填筑禁区、施工层级、层间拌合、包边施工等关键管控要点,形成标准化施工流程,为后续大规模施工提供实操依据,实现施工全过程质量可控。

2.3 技术交底

工程开工前,项目部需针对管理人员、技术人员及一线作业人员开展粉煤灰路基专项技术交底,覆盖全工序施工要点、质量标准、安全规范及施工禁令。交底核心内容包括:粉煤灰仅限高速公路下路堤填筑,严禁用于上路堤、路床及水资源保护区、沟渠塘坝上方路基施工;底部1m厚4%灰土垫层、两侧2m宽4%包边土的标准化施工工艺;粉煤灰与灰土结合部位拌合机拌合要求,确保结合层形成稳定二灰土结构。同时系统宣讲摊铺、整平、碾压、养护等工序的标准化操作流程,明确各岗位质量管控、安全生产

职责,细化包边施工、层间结合、禁区管控等专项工作要求。交底工作全程留存台账与签字记录,确保所有施工人员熟练掌握核心技术参数、施工工艺、质量标准及安全防护措施,杜绝因操作不规范、技术认知偏差引发的包边脱落、层间松散、违规施工等质量隐患,统一施工标准,保障工程有序推进。

2.4 场地清理与准备

施工前需完成场地清理与基底预处理,为灰土垫层、粉煤灰填筑及包边施工提供良好基底条件。彻底清除作业范围内杂草、树根、腐殖土及建筑垃圾,挖除表层软弱土体,从源头规避路基沉降变形问题。对基底坑洼、沟槽等不良地形,采用合格填料分层摊铺碾压,确保基底密实平整、均匀稳定。同步搭建临时排水系统,在路基两侧修筑排水沟,及时疏导雨水积水,防止基底土体泡水软化、承载力下降,避免底部灰土及后续包边土含水率超标、强度衰减^[3]。针对地下水丰富、水位偏高的路段,采取降水控水措施,保持基底干燥稳定,此类水文复杂区域及水域上方基底,严禁填筑粉煤灰,改用常规填料施工。场地清理、基底修整、排水降水作业完成后,对基底密实度、平整度、排水效果进行全面验收,验收合格后优先施工底部4%灰土垫层,为后续粉煤灰填筑、包边土铺设及层间拌合作业奠定基础。

3 粉煤灰路基填筑施工关键技术

3.1 摊铺

摊铺是决定粉煤灰路基成型质量的核心工序,施工严格执行分层摊铺、同步防护、层间拌合的标准化工艺,严守施工层级与区域禁令。粉煤灰仅用于下路堤填筑,上路堤、路床及特殊水域上方路基采用常规填料施工。粉煤灰采用分层摊铺工艺,单层摊铺厚度严格控制在30cm以内,规避超厚摊铺导致的压实不足、不均匀沉降等问题,摊铺遵循由低到高的顺序,贴合设计宽度与横坡度施工,保证摊铺面平整均匀。摊铺施工遵循先垫层、后主体、再包边的顺序,基底验收合格后,先摊铺压实不低于1m厚的4%灰土垫层;粉煤灰主体分层摊铺完成后,同步开展路基两侧不小于2m宽的4%包边土分层摊铺,保证包边土与粉煤灰填筑层层级同步、厚度一致。针对底部灰土与粉煤灰、粉煤灰与侧边包边土的结合部位,采用专用拌合机充分拌合,使灰土与粉煤灰均匀融合,形成稳定的二灰土结合层,彻底解决层间衔接松散、脱空等问题。施工采用推土机、平地机机械化粗铺粗平,搭配人工精细找平,修正边角不平、布料不均等问题,全程严控物料状态,及时处理离析、粗料堆积现象,保障摊铺层整体均匀密实。

3.2 含水量控制

含水量是影响粉煤灰、灰土垫层及包边土压实质量、层间结合强度的核心关键因素,直接决定路基填筑的整体稳定性与成型效果。正式施工前,需严格开展标准击实试验,精准测定粉煤灰填料与4%灰土填料的最佳含水率,以此作为现场含水率管控的核心标准,为规范化施工提供数据支撑^[4]。施工全过程需对各类填筑物料的含水率进行常态化、精细化管控,保证实际含水率始终贴合最优施工区间,有效规避含水率过高引发的表层起皮、土体翻浆、结构沉降等病害,以及含水率过低导致的填料松散、压实度不达标、层间黏结薄弱等质量问题。现场依据物料实时干湿状态动态调整施工工艺:含水率偏高时,及时对物料进行翻晒打散处理,加快内部水分均匀蒸发;含水率偏低时,采用少量多次的方式均匀洒水补水,精准把控洒水范围与节奏,杜绝局部积水、干湿不均的情况。洒水完成后,对粉煤灰主体垫层、包边土及各层间结合关键部位进行全面翻拌、机械拌合,促进水分充分渗透、物料均匀融合,保障填筑整体含水率统一、性能稳定,切实提升垫层压实质量与层间结合强度。

3.3 碾压

碾压施工采用振动压路机与静压压路机联合作业模式,针对粉煤灰主体、灰土垫层、包边土及二灰土结合层差异化管控,保障整体密实稳定。碾压严格遵循“先轻后重、先慢后快、先边后中”的原则,优先碾压两侧包边土与底部灰土垫层,固定路基侧边与基底结构,再碾压中间粉煤灰填筑层。碾压流程分为三步:轻型压路机静压1-2遍,实现填筑层初步定型;振动压路机振动碾压3-4遍,强化粉煤灰主体与层间结合层密实度;重型静压压路机终压1-2遍,消除轮迹,优化表层与包边平整度、密实度。碾压速度严格分级管控,静压阶段行驶速度控制在2-3km/h,振动碾压速度不超过4km/h,全程匀速行驶,严禁急加速、急刹车,防止扰动填筑结构。施工过程中结合试验段参数与现场压实度检测结果,灵活微调碾压遍数,确保粉煤灰主体、包边防护、层间结合部位压实度全部达标,有效规避边部开裂、层间脱空、后期沉降等病害。

3.4 接缝处理

粉煤灰路基填筑施工中,纵横接缝是路基质量控制

的关键部位,需严格按照施工规范开展标准化接缝处理作业,同步落实接缝位置包边土衔接施工,有效规避接缝开裂、渗水、不均匀沉降及包边破损等质量通病,切实保障路基整体完整性、密封性和结构稳定性。纵向接缝统一设置在道路中线附近,严格控制搭接宽度不小于2m,先期填筑路段需预留1:1.5标准边坡。后续接续填筑施工前,需对接缝表层及对应包边土表层进行10-15cm深度翻松处理,将新旧粉煤灰填料与包边灰土充分均匀拌合,确保物料配比统一、拌合均匀,再进行整体碾压密实,保障纵向接缝衔接紧密、外侧防护结构连续完整。横向接缝采用台阶式搭接形式,台阶水平宽度不小于1m,台阶高度与单层填筑厚度精准匹配,且台阶结构同步延伸至路基外侧包边区域,实现主体填筑层与包边防护结构无缝搭接^[5]。接续填筑时,对横向接缝台阶表层翻松整平、洒水浸润保湿,保障新旧填料充分黏结结合,最后统一碾压压实成型,通过标准化接缝施工工艺,让新旧路基及防护结构形成整体,全面提升路基的承载稳定性与长期使用耐久性。

结语

综上所述,粉煤灰路基填筑技术可有效利用工业固废,降低路基自重与地基荷载,提升路基结构稳定性,兼具经济与生态价值。施工过程需严格恪守材料检验、试验管控、技术交底等前期准备工作,严控摊铺、含水率调节、碾压、接缝处理等核心工序,落实包边防护与施工禁区管控要求。标准化的施工流程可规避路基病害,保障高速公路路基长期稳定运行,助力绿色公路工程高质量发展。

参考文献

- [1] 顾海军,罗益斌.高速公路路基粉煤灰固化特性研究[J].中国新技术新产品,2025,(2):101-103.
- [2] 杜红涛,董伟,李卫,等.高速公路灰土路基填筑施工技术研究[J].中国高新科技,2025,(8):124-126.
- [3] 李继林.高速公路桥头路基加宽流态粉煤灰处置技术研究[J].工程与建设,2024,38(2):326-328.
- [4] 张立军.高速公路粉煤灰路基填筑主要技术分析[J].设备管理与维修,2023,(16):167-169.
- [5] 李晶晶.高速公路路基的填筑施工技术[J].黑龙江交通科技,2023,46(9):32-34.