

湿黏土地区高速公路石灰改良土路基填筑关键控制技术研究

朱文科

新疆生产建设兵团交通建设有限公司 新疆 石河子 832017

摘要: 南方地区广泛分布高塑性湿黏土, 该类土体含水率高、胀缩性显著、固结缓慢, 直接用于高速公路路基填筑易产生不均匀沉降、开裂及翻浆等病害, 严重影响路基整体稳定性。为解决湿黏土路基施工难题, 本文依托高速公路工程施工实际情况, 分析湿黏土基本工程特性及病害产生机理, 系统研究石灰改良土路基原材料管控、拌和、摊铺碾压及养护等关键施工技术, 梳理成套标准化填筑施工工艺。

关键词: 湿黏土; 高速公路; 石灰改良土; 路基填筑; 控制技术

引言: 我国南方多雨地区湿黏土分布范围广, 此类土体工程性质较差, 是公路路基施工中常见的软弱填料。在高速公路建设过程中, 湿黏土受气候水文及施工条件限制, 填筑路基普遍存在成型难度大、后期变形量大、病害多发等问题, 难以满足高速公路高强度、高稳定性的建设要求。石灰改良是处置湿黏土路基经济有效的技术手段, 但现场施工参数把控不严、工艺不规范, 容易造成改良效果不均、路基质量不稳定。为此, 本文结合现场施工经验, 针对性开展湿黏土石灰改良路基填筑关键技术研究, 细化施工工艺与质量控制措施, 为同类工程施工提供技术参考。

1 湿黏土工程特性及路基填筑病害机理

1.1 湿黏土核心工程特性

湿黏土广泛分布于南方多雨地区, 土体天然含水率偏高、塑性指数大, 是高速公路路基施工的特殊性软弱填料。这类黏土孔隙结构细密, 保水能力极强, 自然状态下含水率常年接近饱和状态, 水分难以自然排出, 土体长期处于软塑、流塑状态。湿黏土具备明显的胀缩特性, 遇水吸湿膨胀、失水收缩干裂, 土体结构稳定性极差。在压实作业中, 湿黏土压实区间较窄, 含水率稍有偏差便难以达到规范压实度标准, 极易出现压实不均、表层弹簧等问题。

1.2 路基填筑主要病害及形成机理

湿黏土填筑路基后, 受自身特性与外界水文、荷载作用, 易出现沉降、开裂、翻浆等典型病害, 直接影响路基整体稳定性。土体高含水率带来的固结沉降是路基变形的核心原因, 行车荷载反复作用下, 土体孔隙持续压缩, 产生不均匀沉降, 造成路面起伏、塌陷。干湿循环作用会加剧土体胀缩变形, 路基表层反复收缩膨胀,

逐步产生横向、纵向裂缝, 雨水沿裂缝渗入路基内部, 软化深层土体, 扩大病害范围。雨季降水富集于路基基底与填筑层之间, 无法及时排出, 会弱化土体强度, 降低层间粘结力, 车辆碾压后便会引发路基翻浆、唧泥病害, 严重破坏路基整体结构, 大幅降低高速公路通行安全性与使用寿命^[1]。

2 湿黏土地区高速公路石灰改良土路基填筑关键控制技术

2.1 原材料精准管控技术

湿黏土改良土路基填筑质量的核心前提为原材料标准化管控, 针对湿黏土土质不稳定、石灰易失效的工程特点, 全程落实量化管控标准, 杜绝原材料不达标引发的路基质量隐患。(1) 湿黏土填料筛选控制, 现场取用路基填料时, 彻底剔除土壤内树根、杂草、淤泥、大块硬质杂物, 严格限定填料粒径, 最大土粒尺寸不得超过 15mm (JTG/T3610-2019《公路路基施工技术规范》)。对现场湿黏土进行分区检测, 塑性指数控制在 16~22 之间, 填料天然含水率不满足施工最优状态时, 禁止直接进场使用, 需通过翻晒、洒水调湿预处理, 确保填料含水率适配施工要求。(2) 消解石灰质量控制, 工程施工统一选用合格消解生石灰, 严格查验出厂检测报告, 有效氧化钙和氧化镁含量必须满足公路路基施工规范要求。石灰消解时间控制在 7~10 天, 消解完成后过 10mm 筛网, 彻底筛除未消解硬块、杂质, 消解后的石灰采用封闭堆放模式, 覆盖防水土工布, 避免受潮结块、失效变质。(3) 辅助材料管控, 施工用水选用洁净无杂质的地表水或地下水, 严禁使用酸碱超标、含油污的污染水体。路基填筑所用土工布、防护材料等辅助材料, 均需符合高速公路路基施工技术标准, 进场后抽样复检, 合格后方可投入使用^[2]。

2.2 路拌法拌和精细化控制技术

针对湿黏土天然含水率高、保水性强、土质均匀性差的特性,采用现场路拌法施工,依托原位拌和优势适配湿黏土施工工况,重点落实含水率调控与二次掺灰工艺,解决湿黏土拌和不均、含水率超标、灰量流失、混合料稳定性差等难题,保障改良土拌和质量达标。(1)精准备土布灰控制,施工前根据路基填筑断面尺寸、松铺厚度及试验最优灰剂量,精准计算单幅、单段落用量与石灰用量,采用石灰洒布车均匀布灰,规避人工布灰不均、局部灰量超标或不足问题。结合室内试验数据,现场灰剂量预留 0.3%~0.5% 损耗富余值,抵消路拌过程中石灰扬尘、吸附损耗,全程核查布灰均匀度,为均匀拌和奠定基础。(2)常规路拌拌和流程控制,采用稳定土路拌机原位分层拌和,正式拌和前调试设备拌和深度、行走速度,确保拌和深度穿透整个松铺土层,无底层素土夹层。因湿黏土天然含水率普遍偏高,仅采用干拌作业,连续干拌 3~4 遍充分破碎土块、融合石灰粉体,确保混合料无花白料、灰团结块、土体分层现象,土颗粒与石灰粉体充分结合。(3)合含水率过高二次掺灰核心技术,针对湿黏土天然含水率超标、常规拌和后含水率仍高于最佳含水率 $\pm 2\%$ 的核心问题,落实专项二次掺灰调控工艺。首次拌和后实时逐点位检测混合料含水率,含水率超标段落立即进行翻松晾晒,待含水率回落至可控区间后,根据含水率损耗、石灰水化消耗情况,精准计算二次补灰剂量,均匀撒布消解石灰后再次全幅路拌,通过二次掺灰补偿高含水工况下石灰稀释、失效损耗,强化土体絮凝改良效果,彻底解决高含水率湿黏土改良不彻底、混合料易黏结、成型性差的问题。(4)混合料时效与废料管控,路拌完成的改良土混合料需即时检测均匀度与含水率,常温工况下混合料有效施工时长严格把控,避免长时间静置积水、初凝板结。

2.3 路拌混合料摊铺碾压一体化控制技术

基于路拌法施工的混合料特性,结合湿黏土改良土固结速度慢、高含水易变形、碾压成型难度大的特点,采用原位摊铺、精准整平、分层碾压一体化连续施工工艺,适配路拌混合料工况,严控各环节施工参数,规避摊铺离析、碾压不实、沉降变形等质量问题。(1)原位分层摊铺控制,路拌合格后的改良土混合料采用薄层匀速摊铺工艺,虚铺厚度统一依据填筑试验段获取的松铺系数推算确定,整体厚度偏差控制在 $\pm 2\text{cm}$ 以内。施工现场采用自卸汽车运土、推土机整平的方格网法进行上料摊铺。针对路基边缘、结构物周边等路拌及摊铺盲区,采用人工精细化补铺找平,保证全断面摊铺厚度均匀一致,无厚薄不均区域。(2)动态精细整平控制,摊铺作业完成后即刻采用平地机开展精平作业,严格贴合路基设计纵横坡度施工,实时排查修补局部坑槽、土体

凸起、混合料离析区域。针对二次掺灰拌和的混合料,重点整平表层松散区域,优化作业面平整度与密实均匀性,为后续碾压施工提供规整、均匀的作业基底。(3)分时梯度碾压控制,严格遵循路拌改良土的碾压时效要求,混合料拌和完成后 4h 内完成初压稳压,8h 内完成全部碾压成型工序,杜绝混合料静置过久水分积聚、土体软化。碾压严格执行“先边后中、先慢后快、先静压后振动”施工原则,初压采用静压方式稳压 1 遍,碾压速度控制为 2km/h,闭合表层土体孔隙;复压采用高频低幅振动碾压 3~4 遍,碾压速度 3~4km/h,充分压实土体内部空隙;终压静压收光 1 遍,彻底消除表层轮迹,保证路基表面平整密实。(4)搭接压实与盲区管控,相邻碾压带搭接宽度不小于 1/3 压路机轮宽,杜绝漏压区域。针对路拌施工路基接缝、边坡边缘等薄弱部位,额外增加 2 遍补压作业,重点补强二次掺灰段落的压实质量,消除压实盲区。

2.4 成型路基养护与缺陷防控技术

湿黏土改良土路基成型后稳定性易受干湿循环、外力扰动影响,需落实专项养护技术与动态缺陷防控技术,保障路基长期施工质量。(1)开放式保湿养护,路基碾压成型并验收合格后,及时开展常态化养护作业,采用洒水车全域喷洒养护的方式,全程保持路基表层土体湿润,养护周期不少于 7d。养护期间严格封闭施工区域,禁止施工车辆、机械设备通行,杜绝表层起皮、松散、变形等问题。(2)干湿循环防控技术,针对南方多雨潮湿气候,养护完成后及时完善路基临时排水体系,避免路面积水长期浸泡路基。高温干燥天气增加洒水频次,防止路基表层失水收缩开裂;路基淋雨过后及时采用压路机复压整平,压实表层松散土体,避免雨水渗透软化路基、引发表层病害。(3)施工缺陷动态防控,施工全程跟踪检测,针对路基常见的压实度不足、表层起皮、局部开裂、不均匀沉降等缺陷,提前制定防控方案。碾压过程出现表层起皮、松散现象,立即微调含水率并重新碾压;发现细微裂缝及时采用水泥浆封堵处理,防止裂缝拓展延伸^[3]。

3 湿黏土地区改良土路基填筑成套施工工艺

3.1 基底与场地预处理工艺

湿黏土路基填筑前需完成标准化场地与基底处理,保证作业面满足施工要求。(1)清理路基范围内腐殖土、杂草、淤泥及杂质,清理深度不小于 30cm,坑洼位置分层回填夯实。(2)对原地面统一碾压处理,一般路段基底压实度不低于 90%,承载力不足地段采用翻晒、换填补强处理。(3)施工现场布设临时排水沟与截水沟,形成完整排水体系,降低基底土体含水率,避免积

水浸泡基底土体。(4)潮湿场地提前晾晒风干,基底含水率超标、泥泞积水状态下禁止填筑施工。

3.2 改良土现场路拌拌和工艺

针对湿黏土含水率高、土质黏重、改良难度大的特点,全程采用原位路拌法施工,并配套落实含水率过高二次掺灰专项调控工艺,保障改良土拌和质量。(1)前期预处理,将湿黏土填料摊铺整平,彻底剔除杂物并破碎土块,严格控制土粒最大粒径不超过 15mm,为均匀拌和奠定基础。(2)初次拌和施工,依据室内试验最优灰剂量,采用石灰洒布车按单位平方称重标准均匀布灰,预留微量灰剂量抵消施工损耗,结合湿黏土高含水特性,全程仅采用干拌作业,通过路拌机多次干拌使石灰与土体充分融合,混合料无花白料、无灰团结块及分层缺陷。(3)高含水率二次掺灰工艺,针对拌和后土体含水率过高、无法满足碾压施工要求的段落,先对土体翻松晾晒,排出多余水分,待含水率回落至可控区间后,精准核算石灰损耗补偿量,均匀补撒石灰并再次整体拌和,有效解决高含水湿黏土改良不彻底、土体黏结抱团的问题,提升土体改良稳定性。(4)拌和质量管控,逐段检测混合料灰剂量、含水率,不合格混合料及时处置,同时缩短混合料静置时间,规避水分散失、提前初凝等质量问题。

3.3 路拌混合料分层摊铺碾压施工工艺

路拌混合料成型后立即开展分层摊铺碾压连续施工,严控各工序参数,保障路基成型质量。(1)分层摊铺作业,采用自卸汽车运土、推土机整平的方格网法开展上料摊铺作业,严格依据试验段确定的松铺系数把控单层虚铺厚度,及时修补施工过程中出现的混合料离析、局部坑槽等问题,保证整体摊铺面平整均匀、厚度一致。(2)精细整平处理,摊铺完成后采用平地机精准精平,严格按照设计要求控制路基纵横坡度,对路基边缘、结构物周边等机械施工盲区进行人工修整,消除施工薄弱区域。(3)分层碾压施工,碾压遵循先边后中、先静压后振动的原则,分初压、复压、终压有序施工,规范设置碾压带搭接宽度,对施工接缝、边坡等关键部位加强补压,杜绝漏压、压实不均问题。(4)动态质量管控,碾压全程实时检测路基压实度,对未达标路段及时补压补强,针对表层起皮、松散等施工缺陷,立即排查原因并返工处理,确保路基整体压实均匀、成型稳定^[4]。

为直观展现全流程工序逻辑,梳理各分项施工先后

衔接关系,绘制完整施工工艺流程如图 1 所示。

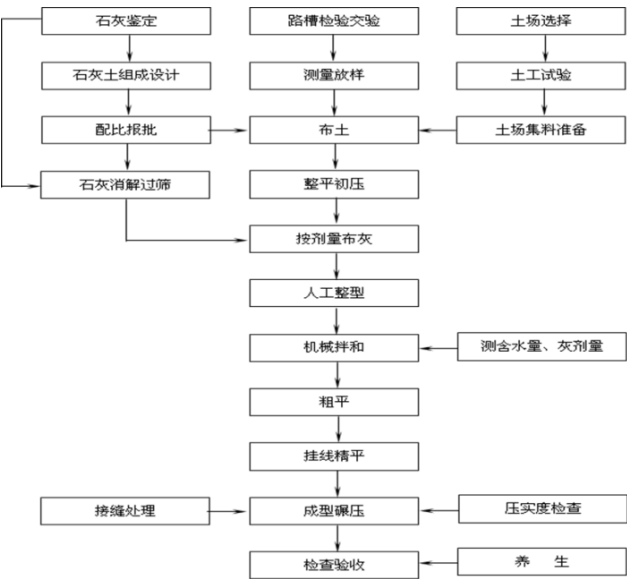


图 1 路拌法石灰改良土路基施工流程图

结束语: 本文通过分析湿黏土工程特性与路基病害机理,总结适配湿黏土地区高速路基的石灰改良填筑关键技术与成套施工工艺。研究明确了原材料、拌和、碾压及养护各环节的核心控制参数。实践表明,精细化参数控制和标准化施工工艺,能够有效改善湿黏土改良土的填筑效果,降低路基沉降、开裂等病害发生率。本次研究可有效提升湿黏土地区路基施工规范化水平,对保障高速公路路基施工质量、延长道路使用寿命具有实际工程意义。

参考文献

[1] 刘子涵. 改良低液限黏土在高速公路路基施工中的应用 [J]. 工程建设与设计,2024(6):152-154.
[2] 魏盼业. 高速公路石灰改良土路基填筑技术的施工对策 [J]. 居业,2022(1):67-69.
[3] 屈文光. 高速公路膨胀土路基施工关键技术及石灰改良参数研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术,2025(11):115-118.
[4] 易宇安. 石灰改良高速公路膨胀土路基的施工工艺及质量控制技术 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术,2016(8):240-241.