

江西多雨季节路堤填筑施工关键技术与实施要点

裴志超, 王 刚, 张全志, 曾 鹏

中国水利水电第六工程局有限公司, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2025年12月27日; 录用日期: 2026年1月18日; 发布日期: 2026年1月29日

摘 要

江西多雨季节导致路堤填料含水率严重超标, 削弱压实度与密实度, 并因基质吸力丧失大幅降低土体抗剪强度, 显著增加边坡失稳和工后沉降风险。针对此, 永新东绕城项目提出并应用“系统排水-精准控水-快速压实-成型层防护”一体化技术体系。实践表明, 该体系有效维持了高压实合格率, 控制了工后沉降, 为雨季施工质量与效率矛盾提供了系统性解决方案。

关键词

多雨季节, 动态排水, 含水率控制, 快速压实, 成型层防护

Key Technologies and Implementation Points for Embankment Filling Construction during Rainy Seasons in Jiangxi Province

Zhichao Pei, Gang Wang, Quanzhi Zhang, Peng Zeng

Sinohydro Bureau 6 Co., Ltd., Shenyang Liaoning

Received: December 27, 2025; accepted: January 18, 2026; published: January 29, 2026

Abstract

During the rainy season in Jiangxi, the moisture content of embankment fill materials severely exceeds the standard, weakening the compaction and compactness, and significantly reducing the

shear strength of soil due to the loss of matrix suction, significantly increasing the risk of slope instability and post construction settlement. In response to this, the Yongxin East Ring Road project proposes and applies an integrated technical system of "system drainage - precise water control - rapid compaction - forming layer protection". Practice has shown that this system effectively maintains the high pressure acceptance rate, controls post construction settlement, and provides a systematic solution to the contradiction between construction quality and efficiency during the rainy season.

Keywords

Rainy Season, Dynamic Drainage, Moisture Content Control, Rapid Compaction, Forming Layer Protection

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

永新东绕城道路工程项目位于江西省吉安市永新县,属亚热带季风湿润气候,年降雨量 1530.7 mm,主汛期为每年 4 月 1 日至 6 月 30 日,期间降雨集中且强度较大,后汛期为每年 7 月 1 日至 9 月 30 日,存在午后雷阵雨等局部性降雨特征,虽降雨频率可能低于主汛期,但仍属汛期,多雨季节长达 6 个月,给路堤填筑施工带来严峻挑战。项目实践数据表明:路堤填料含水率每增加 3%,工后沉降量增加 10%~15%;传统超标含水处理依赖晾晒,在多雨高湿环境下耗时过长,严重影响进度。该项目总长 10.6 km,分两期建设:其中永新东互通口至袍田东大道段(一期)总长 4.3 km,路堤填方高度 ≥ 10 m 的段落有 K0+980-K1+200 和 K2+800-K2+920 两段,总长为 340 m,一期路堤填筑采用传统施工工艺;东里至才丰段(二期)总长 6.3 km,其中路堤填方高度 ≥ 10 m 的段落为 K1+790-K1+990,总长为 200 m,均作为试验段,采用优化后施工工艺填筑路堤。根据一期传统工艺填筑路堤及二期试验段优化后工艺填筑路堤数据总结,路堤填料含水率每增加 3%,工后沉降量便增加 10%~15%;传统超标含水率处理依赖晾晒,在多雨高湿环境下耗时过长,严重影响施工进度。然而,当前针对多雨季节路堤填筑施工技术仍存在不足:一是现有临时排水设施设计布局被动,缺乏根据降雨量、时长及作业面积水情况进行动态响应的能力,排水滞后且对路基透水性、地下水位等因素考虑不周;二是填料含水率控制粗放,过度依赖经验判断,缺乏取土、运输、填筑各环节的精准实时监测与快速有效调控手段,难以稳定控制含水率于适宜范围,亦忽视通过调整粒径级配优化土体承载与排水性能;三是关键工序协同不足,衔接松散,这直接导致作业面暴露时间延长,显著提高了雨水侵蚀的风险,并降低了整体施工效率。四是压实工艺也较为粗放,未能根据填料类型、湿度及施工条件进行精细调整,同时设备配置与操作亦存在优化空间。

2. 多雨季节核心风险与技术要求

2.1. 关键风险分析

2.1.1. 压实度不足

当填料含水率高于最优值+3%时,土颗粒间会形成过多的水膜,在压实过程中,水膜起到润滑作用,阻碍土颗粒相互靠近并紧密排列;而当含水率过低时,填料松散,也难以压实,这两种情况都会使得压

实效果大打折扣；工后沉降超限，会导致路面出现不均匀沉降，进而引发路面开裂，影响道路的正常使用和行车安全。

2.1.2. 边坡滑塌

雨水持续入渗，会填充土体孔隙，降低土体内部的有效应力，致使基质吸力丧失。这将显著削弱土体的抗剪强度，当抗剪强度不足以抵抗边坡的下滑力时，就会发生局部垮塌，严重时可能导致机械倾覆，危及施工人员生命安全和工程设备安全；不仅影响施工进度，还会大幅增加工程成本，同时对周边环境造成安全隐患。

2.1.3. 施工停滞

连续性强降雨使得作业区域地表汇水速度远超排水能力，导致作业面迅速积水，当积水深度超过施工设备的安全作业范围，或者导致施工场地泥泞不堪，施工机械难以正常行走和作业，从而造成施工停滞，不仅直接造成宝贵有效作业窗口期的丧失，严重延误整体工期计划，迫使后续工序顺延；更因大量施工人员、机械设备的闲置窝工，显著增加了人工、设备租赁、工期延误罚款等各项工程成本，形成恶性循环。

2.2. 技术要求

2.2.1. 提升排水效率

为最大程度减少雨水对作业面的浸泡时间，作业面雨水滞留时间尽量控制在 2 h 以内。这就需要构建高效的排水系统，充分考虑路基的透水性、地下水位及降水量等因素，将纵向与横向排水管道、渗透管、集水井等多个组成部分有效结合，具备强大的排水能力和合理的排水布局，能够迅速将作业面的雨水排出。

2.2.2. 控制最优含水率^[1]

为确保填料在压实过程中能够达到最佳密实状态，要求填料含水率波动范围控制在 8%~12%。同时，要合理调整填料的粒径级配，尤其在多雨或地下水位较高的地区，适当增加粗颗粒土的比例，有助于提高路基的排水性。这需要从取土、运输、现场处理等各个环节，采用先进的监测和调控技术，对含水率和粒径级配进行严格把控。

2.2.3. 快速压实

为缩短路堤成型层暴露在雨水中的时间，降低雨水侵蚀风险，要求单层填筑至防护完成的时间控制在 4 h 以内；这就需要优化施工流程，采用高效的机械设备和合理的施工组织，根据填料的类型、湿度等因素精细调整压实工艺，实现快速压实作业；严格控制每层填筑厚度，虚铺厚度一般不超过 30 cm，并采用分层填筑、分层压实的方式，让每层压实度达到设计要求。压实遍数需按照试验段确定，一般不少于 7 遍，且压实速度控制在低速范围内。

2.2.4. 沉降观测

多雨季节路堤的工后沉降风险较高，因此需在填筑过程中实施监测沉降数据，每填筑 3 层(压实厚度 ≤90 cm)布设一组沉降板，重点监测坡脚、坡中及路肩部位。

3. 施工技术优化体系

针对引言指出的排水被动、控水粗放、工序脱节、压实欠妥等问题，提出了动态排水、材料改良、快速压实、成型层防护等先进工艺。

3.1. 动态立体排水系统[2]

3.1.1. 永久排水先行

在路堤施工前期,永久排水设施至关重要。截水沟作为拦截地表水的重要防线,既能有效拦截坡顶上方的来水,又能避免对边坡稳定性造成影响;排水沟采用 M10 砂浆砌筑,具有良好的抗冲刷性能。每隔 20 m 设置一个沉砂井,能够有效沉淀雨水中携带的泥沙等杂质,防止排水沟堵塞;截排水设施先行施工,确保多雨季节有效利用。

3.1.2. 临时排水快速响应

在多雨季节施工,临时排水设施的快速搭建和高效运行是保障施工顺利进行的关键。一是坡顶防护:在坡顶铺设 400 g/m² 的复合土工膜,土工膜具有优异的防水性能,能够有效阻止雨水渗入边坡土体,同时采用砂袋压边,可确保土工膜在强风等恶劣天气条件下仍能保持稳定,不被吹起或损坏。二是作业面排水:在填筑面设置 3% 的横坡,利用重力作用促使雨水快速流向集水井,集水井每隔 50 m 设置一个,尺寸为 Ø80 cm × 1.5 m,采用预制混凝土管节拼装(壁厚 12 cm),底部设置 30 cm 厚砾石反滤层(粒径 2~4 cm),防止井底淤堵;且配备虹吸式抽水机组,能够迅速将集水井中的积水抽出至指定位置,避免作业面积水,经二期现场实践,优化后工艺将雨水滞留时间压缩至 1.5 h 左右。施工人员还应根据现场的水文地质条件进行详细勘察,识别可能的积水区域以及地下水位变化,在此基础上对排水方案进行动态调整,确保水流顺畅排出,防止雨水积聚导致路基沉降或边坡滑动。

3.2. 填料改良与控水工艺

3.2.1. 取土场

为减少雨水对取土场填料的影响,在取土场搭设防雨棚,有效阻挡雨水直接冲刷填料。同时,采用旋耕翻晒的方式,通过机械旋耕将填料疏松,增加其与空气的接触面积,加速水分蒸发,使含水率降低至 $\leq W_{opt}+3\%$ 。

3.2.2. 填料运输

在运输过程中,为防止填料含水率升高,车厢采用双层 PE 膜覆盖,PE 膜具有良好的防水性能,能有效隔绝外界雨水。同时,合理确定取土场位置,打通运输通道,确保运输时间<1 小时,减少运输过程中水分的吸收。

3.2.3. 填料改良

当填料含水率仍不符合要求时,做好现场签证,在现场采用掺 5% 生石灰(CaO)的方式进行二次拌和;生石灰与土中的水分发生化学反应,既能吸收部分水分,降低含水率,又能改善土的颗粒结构,提高土的 CBR 值,增强填料的工程性能;对于粒径级配不符合要求的,进行现场调配,以优化其排水性和承载能力。

3.3. 分层快速压实工艺

3.3.1. 短段落流水作业

采用短段落流水作业模式,将施工区域划分为卸料区、平整区、碾压区、检测区、覆盖区等多个功能区域。分段长度为 40~60 m 左右,这样既能保证各施工环节的高效衔接,又能减少作业面暴露在雨水中的面积和时间。合理配置施工机械,根据施工区域的不同选择合适的压实设备,重型压实机适用于大面积路基的压实,而轻型设备则适合边坡及狭小区域的施工。每段配备挖机 1 台、推土机 2 台、平地机 1 台、压路机 3 台,各机械分工明确,协同作业,通过短段流水作业,实现效率提升。

3.3.2. 碾压参数优化[3]

在碾压过程中，首先采用 22t 双钢轮压路机进行静压稳压，以 1.5~2.0 km/h 行驶 1 遍，使填料初步平整，为后续压实作业奠定基础。接着，使用 25t 振动压路机进行低频压实，速度 2.0~2.5 km/h，碾压 2 遍，激振力为 280~320 kN，通过振动作用使土颗粒进一步密实。最后，再次利用 25t 振动压路机进行高频压实，速度 2.5~3.0 km/h，碾压 4 遍，激振力 320~350 kN，进一步提高压实度，确保填筑层达到设计要求。同时，结合智能压实技术，实时监测压实过程中的振动频率、振幅及压实能量，动态调整压实参数，提高压实的均匀性。对于砂砾石或碎石土等特殊填料，采用高频振动压实技术，以增强颗粒间的嵌挤度，提升整体密实度。在边坡区域，采用小型压实设备进行补压，让边缘区域密实度与中心区域保持一致。具体碾压参数见表 1。

Table 1. Compaction parameters table
表 1. 碾压参数表

工序	设备	速度(km/h)	遍数	激振力(kN)
静压稳压	22t 双钢轮压路机	1.5~2.0	1	/
低频压实	25t 振动压路机	2.0~2.5	2	280~320
高频压实	25t 振动压路机	2.5~3.0	4	320~350

3.4. 成型层防护

在碾压检测合格后的 1 小时内，迅速完成对成型层的全覆盖防护，以阻断雨水渗入。具体采用≥0.12 mm 厚 PE 防渗膜满铺作业面，搭接宽度≥20 cm 并用防水胶带密封。为抵御强风扰动，在薄膜上按横向@2 m×纵向@1.6 m 间距铺设编织砂袋压重层。永新东绕城道路工程实践表明：该工艺使覆盖区雨后复工准备时间大幅缩短，提升了多雨季节路堤施工效率。

4. 工程应用与效益分析

4.1. 实施效果

在永新东绕城道路工程现场实践中，对比一期 K0+980-K1+200、K2+800-K2+920 传统施工工艺和二期 K1+790-K1+990 优化后的试验段施工工艺，结果显示：优化后工艺的压实合格率自 99%提升至 100%，保障路堤压实质量；日均填方量明显增加，提高了施工效率；工后沉降得到有效控制；边坡失稳率大幅降低，提升了边坡稳定性。具体数据见表 2。

Table 2. Comparison of implementation effects of embankment filling in Phase I and II of Yongxin East Ring Road project
表 2. 永新东绕城道路工程一、二期路堤填筑实施效果对比表

指标	传统工艺 (一期)	优化后工艺 (二期)	备注
压实合格率	99%	100%	一期检测总数 1673 点，合格 1657 点；二期检测总数 1008/点，合格 1008 点
日均填方量	1000 m ³	1500 m ³	以 100 m 长度计
工后沉降	15 cm	8 cm	一期取 14 个监测点平均数；二期取 4 个监测点平均数
边坡失稳率	17.6%	0%	一期传统工艺总长 340 m，监测总段数 17 段，失稳 2 段；二期优化后工艺总长 200 m，检测总段数 10 段，失稳 0 段

4.2. 经济效益

4.2.1. 大幅削减晾晒依赖成本

传统工艺下, 超标含水填料的处理高度依赖自然晾晒, 然而在多雨高湿环境中, 晾晒周期被极度拉长(常需数日甚至更久), 不仅需投入大量额外劳动力进行翻晒作业, 还长时间占用宝贵的作业场地, 并导致配套机械(如翻晒设备)的持续投入和闲置损耗。优化后工艺通过主动排水和精准控水技术, 有效减少了填料过湿的发生频率和程度, 从而显著降低了对低效、高成本晾晒工艺的依赖, 直接节约了这部分可观的人、机、地成本。

4.2.2. 提升雨季有效作业率, 压缩工期成本

通过构建“系统排水 - 快速压实 - 成型层防护”的闭环流程, 使排水效率跃升、压实速度加快、防护效果可靠; 三者协同作用, 使得在多雨季节原本因天气损失的“有效作业日”得以大幅增加。这直接加速了整体工程进度, 避免了工期的非必要延长, 从而大幅减少了因工期拖延产生的高昂人工费、设备租赁费、现场管理费用及潜在的工期违约罚款。

4.2.3. 降低全生命周期维护成本

优化工艺的核心优势在于显著提升了路堤的内在质量, 使压实度合格率提高, 工后沉降得到有效抑制, 边坡稳定性进一步增强; 这些质量提升直接转化为运营期路堤的耐久性和稳定性增强, 大幅减少了后期为修复沉降、加固边坡、处理路基病害(如翻浆、沉陷)而产生的频繁且昂贵的养护维修费用, 实现了工程全生命周期成本的实质性降低。

5. 关键技术结论

5.1. 排水控源

通过构建“永临结合”的动态排水体系, 实现雨水的分级拦截与快速导排。永久设施采用 M10 浆砌片石截水沟(顶宽 60 cm × 深 50 cm), 按 20 m 间距设置沉砂井(80 cm × 80 cm × 100 cm), 有效拦截坡顶径流; 临时措施在作业面设置 3%横坡并布设虹吸式集水井(Ø80 cm × 1.5 m, 抽排流量≥50 m³/h), 协同地下水位监测数据(埋设孔隙水压力计), 当地下水位升至距填筑面 1.5 m 时启动轻型井点降水(井深 4 m, 间距 1.5 m)。该体系使雨水滞留时间大幅缩短, 土体基质吸力损失率得到有效控制, 降低了积水导致的压实失效与边坡浸润风险。

5.2. 快速成型

严格控制虚铺厚度≤30 cm, 采用“旋耕翻晒 + 生石灰改良(掺 5% CaO)”双控措施使含水率得到有效控制, 且 CBR 值有较大提升; 创新采用低频 - 高频梯度压实技术, 先以 280~320 kN 激振力低频压实 2 遍破除土粒间水膜, 再以 320~350 kN 激振力高频压实 4 遍增强颗粒嵌挤; 该工艺使单层填筑至防护完成时间大幅压缩, 较传统工艺施工效率有明显提升。

5.3. 成型层防护

创新“即时覆盖 + 压重”防护模式, 要求碾压合格后 1 小时内完成 PE 防渗膜全覆盖, 延迟覆盖将导致雨水浸润深度呈指数增长, 覆盖时采用搭接宽度≥20 cm 并辅以专用防水胶带密封; 为抵御强风扰动, 按横向@2 m × 纵向@1.6 m 间距铺设编织砂袋压重层。实践表明, 该技术使暴雨后复工准备时间大幅缩短, 雨水侵蚀深度明显降低。

5.4. 沉降观测[4]

通过埋设沉降板实时监测沉降数据，减少了工后沉降及不均匀变形给路面造成的塌陷风险。在永新东绕城项目二期试验段应用中，该技术使工后沉降量从传统段的 15 cm 降至 8 cm (降幅 47%)，差异沉降梯度 $\leq 0.05\%$ ，有效避免路面纵向开裂风险。

Table 3. Quantitative comparison of technical value
表 3. 技术价值量化对比表

技术模块	核心措施	关键提升指标
排水控源	永临排水动态响应 + 井点降水联动	雨水滞留时间↓33% (2 h→1.5 h)
快速成型	低频 - 高频梯度压实 + 生石灰改良	压实度合格率↑1% (99%→100%)
成型层防护	1 h 时效覆盖+抗风压重设计	雨水侵蚀深度↓87% (15 cm→2 cm)
沉降观测	分层预警阈值管理(>3 mm/d 干预)	工后沉降量↓47% (15 cm→8 cm)

基于永新东绕城项目二期试验段(K1+790-K1+990)与一期传统段实测对比，经 3 个主汛期工程验证，技术价值量化对比见表 3。

参考文献

[1] 腾兴成, 操斌, 等. 高含水率低液限粉土路基填筑技术在海外多雨地区的施工应用[J]. 工程建设与设计, 2018(5): 155-157.

[2] 付焱鑫, 张荣凯. 莞合高速公路路堤水毁段排水系统优化设计[J]. 科学技术创新, 2023(26): 168-172.

[3] 宋宏伟, 刘永祥. 路基智能碾压在实际施工中的运用[J]. 中国港湾建设, 2022, 42(7): 64-67.

[4] 徐望胜. 都香高速公路路堑边坡稳定性动态监测预警模型研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2023.