

公路路基施工技术优化与质量控制措施研究

刘 婉

新疆生产建设兵团交通建设有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

【摘要】：公路是我国交通运输体系的重要组成部分，其施工的好坏对区域经济发展、民生改善和交通运输安全具有重要意义。路基是公路的地基和承载体，其建设的好坏直接影响到整个公路的正常运营和服务年限。随着我国公路的发展重点逐渐转向山区、丘陵等特殊地貌地区，其稳定性、均匀性和耐久性问题日趋突出，传统的建造工艺和粗放的治理方式已经不能满足高质量发展的需求。

【关键词】：公路路基；施工技术；质量控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.04.008

公路路基建设是一项涉及勘察设计、选材、工艺实施、过程监控和与周围环境相互作用等多方面的综合系统工程，其薄弱环节极易导致公路的长期运行风险。目前，如何将现代工程技术、信息技术和经营思想相结合，使其更加精确、高效和可靠地进行整个公路工程质量的提高。通过对当前公路工程施工过程中出现的主要技术瓶颈和管理缺陷进行深入分析，建立一套从设计到施工到监控的完整过程，综合考虑技术先进和治理协同等因素，形成一套完整的工程设计、施工和监测一体化的系统的优化方法和质量调控方法，为促进公路工程可持续发展提供科学依据和指导。

1 公路路基施工技术优化与质量控制的研究意义

公路地基是高速公路的地基和承载体，其建设的好坏关系到整个高速公路的服役性能、服役寿命和运行安全性。在山区、软土和冻土等复杂环境中，公路路基将面临沉降不均、边坡失稳和水毁等诸多难题，其施工难度也随之增大。目前，我国公路工程已由数量为目标转向品质效率，其耐久性、稳定性及全生命周期费用均显著提高。但由于其工艺简单、质量控制手段单一、对复杂工况不适应等特点，极易出现压实度不达标、工后沉降过大、早期病害频发等质量问题，不但使后期维修费用大大提高，而且存在重大的安全风险。为此，对路基建造工艺的优化创新和质量管控体系进行深入研究，以实现科技创新和精细管理为基础，从根本上提高路基工程的整体质量和内部质量。该研究可为上部结构提供均匀稳定的支撑，保证车辆行驶的安全性和舒适性，提高公路的服役年限；也可对整个项目的全寿命期费用进行有效的调控，降低因后期检修造成的资源和对社会的影响^[1]。

2 公路路基施工中存在的技术与管理问题

2.1 工艺粗放：技术适应性不足与参数控制失准

在我国目前的公路工程建设中，由于缺乏对工程地质和填

料性质等方面的技术适应能力，所以采取了较为粗糙的方法。对于一些特别的土壤，如软土、膨胀土或高含水率的黏性土，采用传统的压路机配合和碾压次数很难获得理想的压实效果。如当自然含水率大于3%时，仍然使用18-21t的振动压路机，按照传统方法进行6—8次的碾压，实测的压实度只有93%，达不到《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610-2019)关于路面顶面0-80cm压实率不小于95%的规定。其中，参数失准度是指对工程中的重要结构参数的把握过于依靠经验而没有定量的资料。目前对路基填筑层的厚度的测量主要依靠肉眼观察，而路基的填筑厚度往往在设计偏差的20%左右，这对碾压过程中的能量传输造成很大的阻碍。在碾压时，操作者对轮速、振频和振幅的综合调节是任意的，没有按照技术实验区段所决定的最优参数的组合进行的^[2]。

2.2 管控薄弱：过程监测缺失与质量追溯困难

目前，我国公路工程建设中的质量控制总体比较薄弱，其关键是缺乏连续、定量的监测方法。目前，对路基压实度的检测，多采用环刀法和灌砂法，对压实度进行定点、事后取样检测。以2000平方米检测1次为例，该方法只能体现小于0.05%的施工区的整体压实一致性，而不能真正体现全台工件表面压实的均匀性。在高填土的层层填料中，各填料的压实进程很难得到很好地控制，从而造成一层又一层的质量瑕疵。而造成产品品质溯源难度大的原因，是由于缺少工程档案和实物品质的不可伪造性。已有的路基填筑日记以手工书写为主，对路基填筑材料来源、摊铺时间、碾压机具编号和遍数、检测点位等数据存在滞后、模糊、矛盾等问题。运营期间，路基发生的部分沉降或裂缝，因缺少对具体填筑层和碾压断面的全流程信息，导致对其进行成因剖析犹如大海捞针，很难找到具体填料不合格、压路机无法进行有效碾压，或者某一层摊铺厚度过高等问题^[3]。

2.3 协同不足：设计与施工脱节与环境考量欠缺

在公路工程建设中，由于缺乏有效地协调，导致公路工程的设计和施工环境严重脱离。在实际工程中，往往存在勘测不清的软弱地层、岩性多变或地下水文状况突然变化等问题。如在工程中，施工要求使用砂砾料进行软基加固，而工程中的软弱土层厚度远远超出设计要求，致使原计划难以执行，且缺少足够的技术验证和批准程序，容易造成工程不完善。建筑企业常常只是按照图纸来做，对设计意图、关键控制指标等没有深入了解，缺少主动和技术力量，无法针对工程项目的具体情况及时地进行反馈，并进行最优调整。由于缺乏对周围环境影响的考虑，导致建设工程对周围环境干扰的控制不够。强振压路机对邻近敏感建筑（例如 50 m 以内的民居）的作用效果缺少事前评价和实时监控，易引起结构破坏争议。由于对基坑工程中未采取有效的防护、排水措施，造成了严重的土壤侵蚀，并引起部分山体的塌方。建设中的临时公路由于缺乏合理的设计和维护，不但产生大量的粉尘，而且还产生大量的车辙和坑洞，给既有边坡的稳定带来了隐患^[4]。

3 公路路基施工技术优化与质量控制的系统性策略

3.1 技术精细：研发工况适配的智能施工与调控技术

施工工艺的精细化，是保证公路工程施工质量的根本保证。针对复杂环境下路基填筑体性状及压实机制开展研究，基于多因素耦合作用下路基填筑体力学性能及压实机制的研究。对于某些特定类型的填充材料，如高液限粘土和风化物，需要进行实验室压实实验和加州荷载比对，以获得最佳的含水量和最大干密度的标准值。在工程建设方面，采用智能化压实工艺，配备 GPS、多通道加速度传感器和车辆控制电脑等先进的碾压机械。以一种 26 t 级的单轮振动压路机为研究对象，其搭载于车轮上的加速传感器可实现 200 Hz 的振动信号的获取，并对其进行实时处理，形成能够体现路面紧实度的颜色云。驾驶员可以从司机座位上的屏幕上清楚地看见压路机的压载部位已经满足规定的要求（如，压实系数>96%），而在哪个部位仍然有可能出现压力不足或超压力。该系统可以依据不同的填充材料种类和厚度，自动给出最优的压实参数，如碎石土填充物，当铺设深度 30 cm 时，可以提出使用静态压 1 次+强振 6 次+弱振 2 遍的方法，将振动频率设置在 28~32 Hz 之间，行车车速控制在 2~4 km/h^[5]。

针对水分含量高的地区，采用近红外光谱技术，实现路基填筑过程中水分含量的实时监测和实时反馈调控，保证压实度变化不超过最佳含水量的±2%。采用液压夯、冲击压路机等强力加固装置，在桥涵台背和新老路基交界处等容易出现不均匀沉降的重点区域，有针对性地进行加固。利用不规则形状滚轴的不规则撞击效应，在破碎坚硬的土壤中形成高达 250 KN 的

撞击能，可实现对坚硬土壤的高效破碎和深层夯实，其有效作用范围可达到 1.5 m，远远超过常规的振动压路机 0.4~0.8 m，见表 1。

表 1 智能施工关键技术参数与性能表

技术类别	关键参数/指标	性能提升/影响深度
智能压实监测	振动信号采样频率 200Hz	实现压实度可视化 云图监控
含水率在线控制	波动范围±2%（最优值）	保障压实均匀性
冲击补强技术	冲击能量 250kJ，影响深度 1.5m	有效处理深层压实不足区域

3.2 管控透明：构建全过程数字化监控与溯源体系

公路安全管理的透明性有赖于建立涵盖整个公路建设过程的全过程、全要素的数字监测网络和可追溯的信息链。其关键在于构建一个以物联网为基础的建筑工地数据中心。在填筑层，需要将各种类型的智慧感知终端大量布设：在填筑面，采用机载多波段的无人驾驶飞行器，利用卫星遥感影像获取高精度的高程模型，实现对填方量和标高的精确控制，达到±2 cm 的目标。在压实区，除通过智能碾压车反馈的压实度信息，在重点路段设置土压力箱和沉降磁环，利用自动采集器对路堤内的应力和分层沉降进行实时监控，实现 1 h 以内的数据传递。所有设备、运输工具和主要原料（水泥、石灰等）都需要贴上或者嵌入 RFID 标记，在车辆进入特定卸载范围后，埋入地下的 RFID 阅读器对车辆进行识别，并将其与车辆上 GPS 采集的料场位置和运输轨迹数据相结合^[6]。

在摊铺机上装有红外线体温计，可以对卸载后的路面进行迅速地检测，以避免出现冻结或路面结冰等情况。在云计算的基础上，通过 BIM 建模实现集成和可视化展示。在该系统中，管理员可以在任何一段的实时压实度云图、分层沉降曲线和对应的施工机械轨道、操作人员信息和测试报告等信息。当建筑工程完工后，该系统会生成包含时间、空间、工艺参数、质量指标和人员等数据的“质量卡”，并与相应 BIM 部件进行长期绑定。在后期，由于公路开裂、下沉等原因，可以通过定位获取相应部位以下各个构造层的全部施工记录和测试资料，从而精确追溯质量问题，确定相应的责任。

3.3 协同优化：推动动态设计施工一体与环境主动防护

协同优化旨在突破设计—施工—环境三者间的屏障，形成动态交互的全局最优闭环。这就要求建立一个以“数字化双元”

为基础的协作管理平台。以设计机构给出的初始地质模型、路基设计模型和施工组织图为基础，进行数据传输。根据工程前期的补充资料及场地测量资料，对该数值模式进行了第一次标定和精化。该系统在整个工程建设中起到了一个重要的作用，能够将各种监测系统中的各种数据及时地收集起来。监测结果显示，在软土地基处治段的实际沉降量持续超出预定值等情况下，除发出警报外，系统还将启动模拟计算模型。

开发以现场实测的土体力学性能为基础的数值模型，通过数值计算和数值计算相结合的方法，对路堤在不同加载条件下的变形发展规律和稳定状态进行数值仿真。将模拟的成果和警报消息通过该系统发送给设计人员和工程技术主管。项目参与方可以通过在线协商，根据模拟结果对项目进行修改和修改。如模拟结果表明，如果按照原来的方案进行，坡体的安全度将趋于极限，这时，设计者可以在线发出“停止回填，加铺一层土工布”的修改命令，并对其进行修改。施工单位接到订单后，对随后的生产过程和物资安排进行了相应的调整。通过“监控—模拟—判断—调节”的动态过程，可以使结构的动力设计和建造达到真正的集成。从环保角度看，该系统需要将气象预测、

地下水监测和周围建筑物的震动监测等信息融合起来。在发出大雨警告之前，通过检测路面上的临时排水设施，对已经被压实而没有被压实的工程表面加一个篷盖。通过对临近住宅小区或建筑敏感地段的强振压力实时测量，当其达到《城市区域环境振动标准》要求（白天 75 dB）时，该装置会自动发出相应的控制信号，以达到工程建设与环境的积极协调。

4 结语

综上所述，对公路路基的建造工艺和质量调控进行研究，不但可以提高单个项目的固有品质和长期服役能力，还可以促进公路建筑产业向精细化、智能化和绿色化的方向发展。这是对我国公路网络建设的一种深入创新，是保证我国公路网络安全、耐用、经济运行的基础技术，也是我国“交通强国”建设的关键基础。随着智能感知、大数据和人工智能等新一代信息技术的发展，公路建设进入了“以数据驱动决策，以智能赋能管控”的新时代。通过不断的科技创新和管理水平的提升，为我国的公路建设打下坚实的、可靠的、智慧的地基，为我国的经济、社会的发展和人们的生活质量的提高奠定更加坚实的基础。

参考文献：

- [1] 刘中兰,牟映衡.高速公路填石路基施工技术及质量控制措施分析[J].交通科技与管理,2025,6(14):85-87.
- [2] 杨雪婷.公路工程中石灰土路基施工技术应用及质量控制措施[J].汽车周刊,2025,(05):116-118.
- [3] 牛福伟.公路路基施工技术与质量控制措施[J].汽车画刊,2025,(02):113-115.
- [4] 牟加磊.公路路基施工技术及质量控制措施探讨[J].四川建材,2024,50(11):127-129.
- [5] 和龙.公路路基施工技术要点及质量控制措施[J].汽车画刊,2024,(09):203-205.
- [6] 唐玲伟.公路工程中石灰土路基施工技术应用及质量控制措施[J].运输经理世界,2024,(26):43-45.