

公路工程路基施工技术与质量控制研究

罗兆奇

新疆北新路桥集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]路基为公路工程的承重基础, 承受路面结构自重和行车荷载反复作用。填筑压实不规范、特殊路基处理适应性差、排水防护质量不高、过程管控不到位等都会影响到路基整体质量水平。对路基施工技术要点和质量控制要求进行梳理, 从填筑压实工艺优化、特殊路基处理方案完善、排水防护质量加强、全过程检测机制建立四个方面提出改进措施, 可以为提高路基施工质量提供一定的参考。

[关键词]公路工程; 路基施工; 施工技术; 质量控制

DOI: 10.33142/ec.v9i10.20527

中图分类号: U416.04

文献标识码: A

Research on Construction Technology and Quality Control of Highway Engineering Roadbed

LUO Zhaoqi

Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: The roadbed is the load-bearing foundation of highway engineering, which bears the repeated effects of the self weight of the pavement structure and traffic loads. Improper filling and compaction, poor adaptability to special roadbed treatment, low drainage and protection quality, and inadequate process control can all affect the overall quality level of the roadbed. Sorting out the key points and quality control requirements of roadbed construction technology, proposing improvement measures from four aspects: optimizing the filling and compaction process, improving the special roadbed treatment plan, strengthening the quality of drainage protection, and establishing a full process detection mechanism, which can provide some reference for improving the quality of roadbed construction.

Keywords: highway engineering; roadbed construction; construction technology; quality control

引言

路基是公路的基础结构层, 路基施工质量好坏直接影响到公路的稳定性、耐久性、安全性。随着公路建设向复杂地质区拓展, 路基施工所遇到的技术难题越来越明显。目前实践当中, 填筑压实不规范、特殊路基处理不到位、排水防护施工质量参差不齐、过程管控流于形式等问题比较普遍, 由此造成的不均匀沉降和边坡失稳等病害也时常出现。围绕路基施工技术及质量控制展开系统研究, 整理出技术要点和质量要求, 分析存在的问题并提出相应的改进措施, 对提高路基工程质量有现实意义。

1 公路工程路基施工技术与质量控制的理论基础

路基施工质量控制的主要目的就是保证路基有足够的强度、稳定性、耐久性, 在设计使用年限内能够安全地承受自重和行车荷载。从力学角度来讲, 路基承载能力是由填筑材料的密实度、土颗粒间嵌锁摩擦力和含水率来决定的。压实度不够会造成孔隙率偏大, 在荷载、水的作用下容易出现压缩变形、剪切破坏, 是路基病害的主要原因。

含水率的变化会引起土体基质吸力的改变, 从而影响到抗剪强度参数, 在细粒土路基中更加明显。通过全比尺现场试验可知, 大吨位压路机产生的土压力比传统压路机高 2.1~3.5 倍, 在碾压 6~7 遍之后, 55cm、65cm 两种厚度的路基均能达到 94% 的压实度要求, 地基承载力的各项指标也优于常规压路机。因此施工机械选型和碾压工艺参数对压实效果起着决定性的作用。质量控制理论重视全过程、全要素的系统管理, 全过程包含施工准备、材料控制、工艺实施、验收检测等全部环节, 全要素包含人员、机械、材料、方法、环境五个方面, 材料质量和施工工艺是决定路基质量的关键变量。对特殊土路基, 选择改良方法要兼顾物理改良和化学改良的适用情况, 物理和化学改良都会对土中的结合水造成较大影响, 结合水的变化可能是导致土体强度降低的主要因素。

2 公路工程路基施工技术与质量控制的基本要求

2.1 路基施工技术的主要内容与工艺流程

路基施工技术体系包括基底处理、填料选择、摊铺整

平、碾压压实、排水防护等几个部分。填筑施工的一般工艺流程为基底清理和压实、填料运输和摊铺、含水率调节、分层碾压、压实度检测、下一层填筑。填石路基施工工艺有特殊之处,要重视填料最大粒径控制、摊铺厚度均匀性以及压实设备选择是否匹配。高填深挖路基还要考虑边坡稳定和分层填筑的节奏。碾压作业属于路基施工中的重要工序^[1]。相关研究表明,用改进灌砂法检测路基压实度时,以累计沉降量、沉降差、地基系数 K_{30} 、动态变形模量 E_{vd} 、弯沉检测结果为依据,建议 94 区地基系数 K_{30} 、动态变形模量 E_{vd} 控制指标分别为 102MPa/m、60MPa。压实质量控制正由原来的单一密度指标向多参数综合控制方向发展。试验段铺筑是不可忽视的前置工序,在工艺流程上,试验段铺筑可以检验填料性能,确定松铺系数,优化碾压组合,给大规模施工提供可靠的工艺参数。

2.2 路基施工质量控制的基本原则与技术要求

路基施工质量控制要以预防为主,过程受控,数据说话,持续改进为原则。施工前要完成试验段铺筑,确定松铺系数、碾压遍数、最佳含水率等重要参数。施工时每层填筑完后要进行压实度检测,合格后方可进行上层施工。质量控制要体现分级管理的思想,对路基的不同部位、不同填筑分区实行不同的控制标准,不能用一刀切的粗放式管理。技术要求上,路基压实度要符合设计规范所规定分区标准。填料含水率应控制在最佳含水率 $\pm 2\%$ 。对不同性质的填料要避免混填造成层间强度突然变化。排水设施应与路基填筑同时施工,施工时保持施工区范围内积水迅速排出,不得使路基浸泡在水中。路基底部处理同样要重视,基底承载力不够时应进行换填或者加固处理,防止由于基底软弱而引起整体失稳。填料最大粒径应与压实层厚相适应,一般不宜大于层厚的 $2/3$,以保证碾压均匀、压实度一致。

3 公路工程路基施工技术与质量控制存在的问题

3.1 路基填筑与压实施工技术不规范

填筑压实施工中技术不规范问题有三个方面的表现。第一,分层厚度控制不严格,部分施工单位为了赶工期而增大松铺厚度,造成底层压实效果差。第二,含水率调节随意,填料含水率偏高造成弹簧土,偏低达不到密实要求。第三,碾压工艺参数选择没有依据,碾压遍数、行进速度、搭接宽度等都是凭经验确定的,并没有对填料性质以及压实设备性能做系统的试验验证。填石路基压实质量控制难度大,怎样对填石路基压实质量进行快速、准确的评价,是公路工程中亟待解决的问题^[2]。填石路基的填料粒径差别大,孔隙结构复杂,传统的压实度检测方法不能使用。

另外,部分项目在填筑过程中对于临时排水不够重视,在雨季施工时由于填料含水率变化较大,压实质量控制变得更加困难。

3.2 特殊路基处理技术适应性不足

特殊路基有软土路基、湿陷性黄土路基、膨胀土路基、盐渍土路基、岩溶地区路基等。不同的特殊土不良工程性质差别很大,处理技术的选择要和地质条件精确对应。实践当中,特殊路基处理技术适应性欠缺的现象比较明显。软土路基处理方法的选择没有针对性的论证,排水固结法和复合地基法的选用有时会脱离工程实际。湿陷性黄土路基的防渗、压实标准执行不到位,不良地质会对公路工程建设过程造成不良影响,对于不良地质的处理是保证路基施工质量的关键。膨胀土的胀缩特性如果不加以控制,就会不断地破坏路基结构的完整性。盐渍土的盐胀、溶陷问题需要专门的处理方法,通用填筑技术不能奏效。更难对付的是,多种特殊土混杂在一起的地方往往要采取组合处理的办法,但是工程实践当中对于组合方案的协同效应研究还远远不够。

3.3 路基排水与边坡防护施工质量不高

排水和防护工程属于维持路基长久稳定性的附属设备,但是此类工程点多量少、分布分散,施工质量一般没有得到与主体工程同等的重视。路基防护及排水工作是路基施工的重中之重,若处理失当,则会对路基施工质量产生不良影响,引发风险事故,例如边坡坍塌、边坡沉降等。常见的质量问题有边沟纵坡不够造成排水不畅、浆砌片石防护砂浆饱满度不够、泄水孔设置位置不当或者数量不够、边坡植被防护成活率低等。砂性土高填方路基的排水防护尤其重要,因为砂性土粘聚力小,所以采用砂性土路基的高填方区常常会出现滑坡现象,而造成滑坡的主要原因就是水的影响。另外部分项目的排水系统没有与主体工程同步进行,施工期间雨水冲刷坡面,造成坡面沟槽、局部坍塌。

3.4 路基施工质量检测与过程管控不到位

质量检测是判定路基施工是否合格的直接方法。目前检测环节存在的主要问题就是检测频率不够,检测点位代表性差,检测方法单一。部分项目只用压实度指标来衡量,对于弯沉、回弹模量、动态变形模量等体现路基整体承载能力的指标考虑得不够。过程控制方面施工记录不全、隐蔽工程验收流于形式、监理旁站不到位等现象比较普遍。质量控制只依靠事后检测,没有对施工过程中重要参数实施实时监控和预警^[3]。对含水率变化、碾压速度、填筑层厚度等过程参数缺少系统的记录和分析,造成质量问题无

法找到原因。检测数据的整理和反馈也存在滞后现象，检测结果不能及时指导后面的施工调整，降低了质量检测对施工过程的指导作用。

4 公路工程路基施工技术优化与质量控制措施

4.1 优化路基填筑压实工艺与施工技术

填筑压实工艺优化要从填料控制、含水率管理、碾压参数三个方面着手。填料进场时应做颗粒级配、击实试验，确定最大干密度及最佳含水率。细粒土填料含水率偏离最佳值时应进行晾晒或洒水调整。对巨粒土、填石路基要重视填料级配优化，掺配细料改善孔隙结构，提高压实效果。碾压参数要经由试验段来确定。根据填料种类及压实设备性能，系统对不同松铺厚度、碾压遍数、行进速度的组合进行压实效果测试，得到最佳参数组合。大吨位压路机使用可以改善超厚层路基的压实质量，但是需要相应的检测方法来检验压实效果。对填石路基可以采用沉降差法作为压实质量的辅助控制指标，和传统的压实度检测互相补充。施工组织上要合理安排填筑和碾压的流水作业，缩短填料暴露时间，防止含水率由于蒸发或者降雨而大幅度变化。

4.2 完善特殊路基处理技术与施工方案

特殊路基处理方案的确定要以详细的地质勘察、现场试验为基础。软土路基要根据软土厚度、含水率及灵敏度指标，在排水固结法、水泥搅拌桩法、碎石桩法或者换填法中选取合适的方案。湿陷性黄土路基应加强防渗处理，采用强夯、灰土垫层或冲击碾压消除湿陷性，并完善地表排水系统。公路路基施工处理关系到公路施工工程质量，对特殊路基应采取特殊措施进行处理，才能保证公路工程施工质量，延长公路使用寿命。膨胀土路基可以使用石灰改良或化学固化剂抑制胀缩变形。盐渍土路基应设置隔离层并控制填筑含水率，防止盐分迁移引起的次生病害。对多种特殊土共存的复杂路段，可以采用物理改良和化学改良相结合的方式进行处理，并且在施工现场设置试验段来检验处理的效果，根据监测数据及时调整施工参数。

4.3 强化路基排水及边坡防护施工质量控制

排水系统施工质量控制要从材料、工艺、验收三个环节入手。边沟、排水沟的纵坡应符合设计要求，沟底纵坡不够时应加以调整，保证水流畅通地排出。浆砌片石工程应控制砂浆配合比和砌筑工艺，保证灰缝饱满、砌体密实。泄水孔间距及坡度按设计要求，反滤层材料应符合级配要求。边坡防护工程应根据边坡高度、坡率、土质条件选择合适的防护形式。坡面植被防护所选草种要符合当地气候条件，施工期不能在极端干旱或者暴雨季节进行。砂性土高填方边坡的排水防护措施要在填筑施工过程中同步进行，施工时需要从土料力学性能、掺灰量的确定、压实度控制等角度对排水防护施工质量进行深入研究。防护工程完工后要定时检查，及时发现并处理裂缝、沉降等病害。工程防护和植物防护相结合，在坡面防护方面具有较好的短期稳定和长期生态效果，在合适的条件下可以推广应用。

4.4 健全路基施工全过程质量检测与管理机制

质量检测体系的完善应该由单一指标向多指标综合控制转变。除了压实度以外，还应该包括地基系数 K30、动态变形模量 E_{vd}、弯沉值等承载性能指标，对路基质量进行全方位的评价。检测频率及点位要依照路基重要程度及填料变异性来合理安排，关键部位要加大检测。过程控制机制要强化施工参数的即时记载和剖析。通过施工前准备、施工阶段、施工后验收等各阶段的详细分析，找出各个阶段的关键影响因素和质量控制要点，从而保证公路路基达到设计要求。建立路基施工质量信息管理系统，把填料含水率、碾压遍数、层厚、检测结果等数据纳入到统一平台上，实现质量问题的可追溯和预警。监理单位要加强旁站、巡视力度，对于施工中出现违反工艺规程的行为要及时制止并督促整改。还需要建立检测数据快速反馈机制，把检测结果及时传达到施工一线，指导后续填筑、碾压参数的调整，实现检测与施工的良好互动。

表 1 路基施工质量控制关键指标与检测方法

控制指标	技术要求	检测方法	适用条件
压实度	符合设计分区标准	灌砂法、环刀法	一般土质路基
地基系数 K30	94 区 $\geq 102\text{MPa/m}$	K30 平板载荷试验	粗粒土、填石路基
动态变形模量 E _{vd}	94 区 $\geq 60\text{MPa}$	动态平板载荷试验	粗粒土、填石路基
沉降差	试验段确定	沉降观测法	填石路基
含水率	最佳含水率 $\pm 2\%$	烘干法、酒精燃烧法	细粒土填筑

5 结语

路基施工技术及质量控制属于公路工程建设的关键部分。填筑压实工艺规范化、特殊路基处理精准化、排水防护施工精细化、质量检测体系系统化这四个主要方面组成了路基质量保证的四个主要方面。在目前的实践当中存在着填筑压实不规范、特殊路基适应性差、排水防护质量低、过程管控不到位等状况,必须依靠技术改良和管理加强来加以解决。大吨位压实设备的使用、多参数压实质量控制指标的提出、全过程信息化管理手段的推行,给提高路基施工质量提供了一条有效的技术途径。未来要继续开展特殊土改良技术适用性研究和新型检测技术工程化应用工作,不断改善路基施工质量。

[参考文献]

- [1]王国勋.不良地质条件下公路路基工程施工技术应用研究[J].建筑机械,2024(8):144-147.
- [2]刘鹏.公路工程路基施工质量全过程控制策略研究[J].山东交通科技,2025(1):64-66.
- [3]李小勇,李庆广,矫芳芳,等.基于全比尺现场试验的黏质土路基压实质量控制[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2025,49(6):1339-1345.

作者简介:罗兆奇(1991—),毕业于长沙理工大学交通土建工程专业,现就职于新疆北新路桥集团股份有限公司,中级工程师。