

公路桥梁路基施工新型压实技术的实践与创新研究

文 / 谢旭龙 宁夏交通建设股份有限公司

摘要：公路桥梁路基的压实质量会对工程结构的稳定性以及其使用寿命产生直接影响。传统的压实技术存在诸多问题，在情况复杂的地质条件下，很难满足施工的各项需求。本文结合具体的工程实践情况，对液压振动压实、智能压实、冲击碾压等新类型技术的原理以及应用场景展开深入剖析，从土力学、材料科学等理论层面，探讨这些技术在提高压实度、减少工程完工后的沉降现象等方面的优势，提出设备和材料协同、智能化监测、优化工艺等创新的发展方向，为公路桥梁路基的施工提供参考依据，促使路基压实技术朝着智能化、高效化的方向发展。

关键词：公路桥梁；路基施工；新型压实技术；技术创新

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.19.065

引言

公路桥梁的路基是承载整个工程质量的根基，它的压实情况是确保桥梁结构稳固安全的关键。然而，以往的压实技术在实际操作中，常常容易出现压实度不够以及局部路段沉降等不良状况，使后期公路桥梁维护的成本有所增加。随着交通车辆增多，车辆带来的荷载压力越来越大，一些新型的压实技术逐渐成为解决问题的有效途径。本文经由对新型压实技术在实际中的运用以及创新途径展开研究，其目的在于为提升路基施工品质、缩减施工时间、降低能源消耗提供技术支持，这对于推动公路桥梁工程建设达成高品质的发展具备重要的意义。

一、公路桥梁路基施工传统压实技术的现状与局限

（一）设备与材料适配性差

从材料力学的视角进行分析，各类土体呈现出各具特色的力学性质，像黏性土所具备的可塑性、砂性土所拥有的透水性以及岩石所具有的坚硬特质，这些对于压实设备施加作用力的方式提出了不同要求。黏性土在进行压实时，须克服其内部的凝聚力，采用频率相对较低且振幅较大的压实方法更合适；而砂性土主要依靠颗粒之间的摩擦力来保持平衡，较高频率且较小振幅的操作更有助于它变得密实。传统的压实设备功能单一，参数能够调节的范围较为有限，很难与这些不同土体的特性相适配。静力压路机仅能够借助调整配重的方式来改变压力，却无法依据黏性土以及砂性土的特点开展差别作业。而对于混合了工业废渣的改良土而言，它的颗粒级配和原生土不同，传统振动压路机的固定频率难以与材料的压实特性相适配，这就造成改良土的压实度常常低于设计的数值，同时有关设备和材料之间的匹配情况缺少基于材料科学方面的系统性研究。

（二）监测与管理方式落后

传统压实质量的监测以统计学里的抽样原理为依据，然而，鉴于路基土体非均质性的特征，像环刀法、灌砂法这类人工抽样检测手段，很难实现样本的代表性。此种检测方式既耗费时间又消耗人力，一个点位的检测往

往需要2至3个人协同合作，并且检测的点位数量较少，每1000平方米仅检测3到5个点，所以很难体现出全断面压实的实际情况，存在“以点代面”的较大的局限性，极有可能遗漏部分压实不够的区域。按照管理学相关理论分析，传统的管理模式主要依靠纸质记录，这使得数据传递存在滞后现象，无法契合现代工程管理里实时性以及溯源性的标准。一旦像压实度未达标这类情况出现时，很难迅速追本溯源并且对施工方案做出调整，通常需要进行返工，进而提升了成本。

（三）施工工艺固化僵化

土在压实时遵循着颗粒重组理论，因地质条件不同，土体颗粒的运动规律存在差异。在高填方路基开展施工时，随着土的深度不断增加，土体自身重量所带来的压力会变大，颗粒之间相互作用的力变得更复杂，这就需要不同的压实能量与之适配。以往常用的施工工艺大多选用统一的碾压参数和操作流程，缺乏依据复杂地质条件作出的差异化设计，无论土层具备怎样的性质都运用“相同厚度、相同遍数”的碾压方法，没有考量深层土体受力传递的规律，很容易造成深层土体压实不充分。而在处理软土地基时，只是单纯依靠振动碾压，没有结合排水、加固这类辅助办法，违背了软土排水固结的力学原理，很难把控工程完成后的沉降情况。

（四）技术标准与协同性欠缺

传统的压实技术标准没能充分汲取土力学、材料科学等学科的全新成果，大多依据之前的施工状况制定，没有及时将新型材料与工艺方面的要求考虑进去。按照系统工程理论，路基施工属于有机的统一体，每道压实工序之间应相互配合，构建起连续的质量保障系统。然而在传统技术中，路基的碾压工作与边坡的压实工作相互分离，边坡压实常运用与路基主体相同的工艺，忽视了边坡土体所承受力的独特之处，从而造成边坡压实程度比中部低。不同的施工团队所采用的技术标准不一致，比如，在同一个项目中两个班组的碾压次数相差2-3次，增加了质量管控的困难度，没能形成系统性的合力。除此之外，由于针对不同压实技术的适用范围以及参数设

定方面，并未存在清晰明确的规定，使得施工过程中很随意，对整体工程的质量产生了不良影响。

二、公路桥梁路基施工新型压实技术的创新方向

(一) 设备与材料的协同创新

依托材料科学以及智能控制理论，在未来，压实设备会朝着“多参数自适应”的方向迈进，借助搭载人工智能算法达成对土体类型的自动判别，并适配出最适宜的压实参数。从材料工程的视角出发，对于盐渍土、冻土这类特殊的路基情况，有必要研发专门适用的压实技术方法。在研发过程中，需要充分考量盐分迁移的规律、冻融循环所展现出的特性等多种要素，比如，采用“低温振动压实+固化剂改良”这种组合式的技术手段，通过精准把控碾压时的温度，来有效减少盐分的迁移现象。同时，再配合使用固化剂以此增强土体的强度，对于新型环保压实机械的研究与开发，契合绿色工程相关理论要求，这样的研发成果能够降低施工过程中产生的噪音量以及碳排放的程度。

(二) 智能化监测与信息化管理

按照信息融合理论的要求，搭建“物联网+BIM”的压实管理平台，在这个平台中将实时的压实数据同路基BIM模型进行关联，达成施工整个过程的数字化管控。此平台能够汇集压路机的位置信息、压实参数、土体反应等多种不同来源的数据，凭借BIM模型的可视化功能，直观地呈现压实质量在空间上的分布状况，助力管理人员迅速辨认出薄弱区域。

从系统论的视角来看，这个平台具备整合监测功能、分析功能、决策功能等的的能力，进而形成一种闭环式的管理模式。借助5G技术达成对压实设备的远程监督把控，针对异常参数进行即时警告，像压实程度低于设计标准数值、振动的频率出现异常等，这与智能建造中实时感知信息、动态把控过程的观念相契合，系统会自行推送出整改方面的建议内容，例如增添碾压的次数、调节碾压的速度等，能够显著提高施工管控的效率，达成质量管理工作的精确化目标。

(三) 施工工艺的优化创新

依托土力学范畴内的分层压实原理，面向高填方路基运用“分层差异化压实”技法。依照不同深度土层的受力特性挑选适宜的压实技术搭配，对于底层0-5m的土层，采用冲击碾压与液压振动相结合的技术，借助冲击碾压具备的强大深层压实能力以及液压振动带来的良好密实效果，以此保证深层土体处于稳定状态；针对中层5-15m的部分，采用智能压实控制的方法，通过开展实时监测并依据情况来调整参数，从而保障压实作业均匀；在顶层15-20m的区域采用精平碾压的手段以此提升表面的平整程度。于特殊的地质状况下，例如在岩溶区域开展路基施工时，开创“冲击预处理+注浆加固”的工艺方法，此工艺从地质力学的层面着手，借助冲击碾压手段，将溶洞的所在位置清晰呈现之后，再有针对性地进行注浆填充操作，防止在压实作业过程中产生塌陷，这样的工艺规划全面考量了地质条件所具有的复杂特性，能够大幅度增强路基的稳固程度。

(四) 技术标准与协同应用体系构建

以标准化理论作为出发点，拟定新型压实技术的施工规范以及质量验收标准，将各项技术的适用范围、参数设置以及操作步骤清晰界定，保障技术运用具有一致性与可信赖性。在制定标准时，应将诸多的工程实际操作情况与理论探究成果相结合，要全面考虑不同的地质状况、材料特性对压实成效产生的影响。

依据系统工程相关理论，构建多种技术协同合作运用机制，按照工程所处的地质情形要不同的技术结合使用，达成技术之间的互补。举例来讲，在软土地基区域，可采用“液压振动压实加上智能监测”的技术组合；在高填方地段，则采用“冲击碾压加上分层智能压实”的技术组合。与此同时，进一步强化产学研方面的合作交流，积极推进新型技术成果进行转化以及向外界推广拓展，构建技术数据库以及案例库，为相似的工程提供参考，促进新型压实技术达成规范化、规模化的有效应用。



图1 压路机施工图



图2 压路机压实台背



图3 液压夯补强夯实台背

三、公路桥梁路基施工新型压实技术的实践应用

(一) 液压振动压实技术

液压振动压实技术是以土体动力学原理为基础，借助液压系统来调控振动的频率以及振幅，运用高频低幅或者低频高幅的组合方式，来适配不同特性的土体。此技术所使用的设备采取双钢轮，或是胶轮与钢轮相组合的形式，使得激振力有很大的提高，压实深度也有明显增加。从土力学的层面来讲，这项技术能够更有效地推动土体颗粒克服内摩擦力以及内聚力，达成密实的排列。

在对黏性土开展处理工作时，运用低频高幅的模式，能够破坏土体的团聚结构；而在针对砂性土进行处理时，采取高频低幅的模式，可以促使颗粒迅速填充孔隙，这种处理方式适用于软土地基、高填方路基以及填石路基的施工场景；在处理软土地基的过程中，与塑料排水板进行配合来实现排水固结，这契合软土排水-压实协同作用的原理，能够加快土体孔隙水的排出速度，减少工程完成后的沉降现象；在填石路基施工中，借助高频振动使块石彼此嵌挤，从而增强整体的稳定性。

(二) 智能压实技术

智能压实技术整合了信息理论以及控制理论，凭借全球定位体系、传感器以及物联网的技术，在当下即时收集压实轨迹、振动频次、激振力量、土体坚硬程度等相关数据，架构起“压实操流程-质量方面的反馈-参数的调节”这样封闭循环式的管控系统。从控制理论来讲，该管控系统能够依照土体在当下时刻的实际状况，灵活变动各类参数，契合自适应控制的基本原理，借助持续不断的反馈性调节举措，促使压实操过程始终契合土体的各项特性。智能压路机作为核心设备，配备了各种传感器以及数据传输单元，能够生成直观呈现不同区域压实情况的压实质量热力图。与传统技术相比，它

可以通过实时监控防止出现漏压、过压的现象，优势十分突出。

(三) 冲击碾压技术(新型升级款)

新型冲击碾压技术以动量定理为依据，将冲击轮的重量予以提升，借助“势能转变为动能”途径对路基开展深层压实作业。冲击轮采用的是多边形构造，每旋转一圈就会生成多次冲击，促使土体产生塑性形变，它的有效处理深度远远超过传统的振动碾压。从土的深层压实原理来讲，该技术能将冲击力传递至更深土层，克服深层土体的抗剪强度，使土体颗粒重新排列并密实。

在对软土地基开展预处理时，能凭借冲击荷载来破坏土体的既有结构，从而加快土体固结的进程。在实施旧路拓宽的工程中，可消除处于新旧路基结合部位的差异性沉降，使之与路基整体受力的均匀性标准相契合，降低因沉降差异而引发的路面开裂问题。从理论层面看，多边形冲击轮的设计使冲击作用呈现周期性变化，形成连续的冲击荷载波，这种波动能沿路基深度方向有效传递，激发土体内部孔隙水压力的消散，促进土体结构的重塑与致密化。相较于传统振动碾压仅依赖振动波的表层作用，其通过能量的深层渗透，实现了从表层到深层的全域压实效果。

结语

新颖的压实工艺为公路桥梁的路基建造提供了高效的解决方法，像液压振动压实、智能压实、冲击碾压这类技术，在提高压实品质、缩减施工周期、降低能源消耗方面展现出明显优势。这些技术充分依照土力学、材料科学等原理，能够更好地契合不同地质情况下的施工需求。在未来，要进一步促进设备智能化的升级、工艺的优化以及信息化管理的深度融合，要从理论层面深入推进对压实原理的探究，例如，深入探寻土体在不同压实形式下微观结构所产生的改变。经由持久的技术践行与革新，持续提高路基建造水准，为公路桥梁项目的安全性与持久性供应稳固保障，推动交通基础设施营建朝着高质量、可持续的方向迈进。

参考文献

- [1] 戴莹. 公路桥梁建设台墙背振动压实装置技术探析[J]. 中国公路, 2024, (24): 104-105.
- [2] 王琦. 公路路基压实施工技术及其质量控制分析[J]. 交通建设与管理, 2024, (06): 88-90.
- [3] 高福, 曾龙. 关于道路桥梁工程路基路面压实施工技术研究[J]. 低碳世界, 2024, 14(03): 148-150.
- [4] 吴浩. 特殊地质导流坝新型智能振动压路机压实施工技术[J]. 建筑技术, 2023, 54(18): 2286-2289.
- [5] 叶阳升, 蔡德钧, 朱宏伟, 等. 基于振动能量的新型高速铁路路基压实连续检测控制指标研究[J]. 铁道学报, 2020, 42(07): 127-132.