

公路工程路基路面压实施工技术研究

孙小新

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830054

摘要: 压实是公路工程建设中至关重要的施工环节,直接关系到路基与路面的承载能力、稳定性、耐久性及使用性能。本文系统阐述了公路工程中路基与路面压实的基本原理、影响因素、常用设备及施工工艺,并结合当前工程实践,深入分析了压实质量控制的关键指标与检测方法。同时,针对当前压实技术存在的问题,提出了智能化压实、绿色施工等发展方向。研究表明,科学合理的压实参数选择、严格的过程控制以及先进检测手段的应用,是确保公路工程质量的核心保障。本文旨在为公路工程压实施工提供理论支持与实践指导。

关键词: 公路工程; 路基; 路面; 压实技术; 质量控制; 智能压实

引言

随着我国交通基础设施建设的持续高速发展,公路网规模不断扩大,对道路工程的质量和耐久性提出了更高要求。在公路结构体系中,路基作为承载层,路面作为行车层,其密实度直接决定了整个道路结构的力学性能与使用寿命。压实作为路基路面施工中的关键工序,通过外力作用使土体或混合料颗粒重新排列,减少孔隙率,提高材料的密实度和强度,从而增强其抗变形能力和水稳定性。然而,在实际施工过程中,由于材料性质差异、环境条件变化、施工机械选型不当或操作不规范等因素,常导致压实不足或过度压实,进而引发沉降、车辙、裂缝等早期病害,严重影响道路使用性能与安全。因此,深入研究路基路面压实施工技术,优化施工参数,提升压实质量控制水平,具有重要的理论价值与现实意义。本文将从压实机理出发,系统梳理路基与路面压实的技术要点,分析影响压实效果的关键因素,介绍主流压实设备与施工工艺,并重点探讨压实质量的检测与控制方法,最后展望压实技术的发展趋势,以期为公路工程建设提供有益参考。

1 压实的基本原理与作用

1.1 压实的物理机制

压实是指通过机械碾压、振动、冲击等方式,使松散的土体或沥青混合料颗粒在外部荷载作用下发生位移、嵌挤和重排,从而减少内部孔隙体积、增加单位体积质量(即干密度)的过程。其核心目标是达到设计要求的最大干密度和最佳含水率(对无机结合料稳定材料)或目标空隙率(对沥青混合料)。对于路基填料而言,如黏土、砂土或碎石土等,压实主要依靠静压力、振动或冲击力克服颗粒间的摩擦力和粘聚力,促使颗粒紧密排列,形成稳定的骨架结构。而对于沥青路面,压实则是在高温状态下通过碾压使沥青胶结料充分裹覆集

料,并排出混合料中的空气,最终形成致密且连续的整体结构。这一过程不仅依赖于材料本身的物理化学特性,也高度受控于施工温度、时间窗口和机械作用方式。

1.2 压实的作用

压实对公路工程整体性能具有决定性影响。首先,充分压实显著提高了材料的承载能力,使其能够有效抵抗车辆反复荷载作用而不发生塑性变形。其次,压实降低了材料内部的孔隙率,从而增强了其水稳定性,有效防止水分渗入引发的冻胀、翻浆、软化等水损害问题。此外,良好的压实还能最大限度地减少工后沉降,保证路面长期平整度,避免因不均匀沉降导致的跳车、开裂等病害。更为重要的是,压实质量直接关系到道路的使用寿命——只有在施工阶段实现高密实度,才能为后期服役提供坚实的结构基础,延缓疲劳开裂、车辙发展等典型病害的发生,从而延长养护周期、降低全寿命周期成本。

2 路基压实技术

2.1 路基压实的影响因素

路基压实效果是多种因素综合作用的结果,其中含水率是最为敏感且关键的变量之一。对于细粒土而言,存在一个“最佳含水率”,在此含水率下施加相同压实功可获得最大干密度;若含水率过低,颗粒间缺乏润滑作用,难以滑移密实;若过高,则孔隙被自由水填充,难以排出,易形成“弹簧土”现象,导致压实失败。土质类型同样深刻影响压实行为,砂性土透水性强、内摩擦角大,易于压实但保水性差;黏性土则对含水率极为敏感,需严格控制施工窗口;而级配良好的砾石类材料则因颗粒嵌挤效应显著,压实后强度高、稳定性好。此外,压实功的大小——包括碾压遍数、碾压速度、激振频率与振幅等——直接决定了能量输入是否足以驱动颗粒重排。铺层厚度亦不可忽视,虚铺过厚会导致下层压实能量衰减严重,形成“上硬下软”的薄弱层;过薄则

效率低下，增加施工成本^[1]。最后，压实机械的类型与匹配性决定了能量传递方式与效率，不同土质需选用适宜的压实设备方能取得理想效果。

2.2 路基压实设备

在路基施工中，压实设备的选择需综合考虑土质特性、工程规模与施工效率。静作用压路机主要依靠自重产生垂直压力，适用于非黏性或粗粒材料的初步稳压，但其压实深度有限、效率较低，已逐渐被更高效的设备所替代。振动压路机通过偏心块高速旋转产生高频振动，使土颗粒在短暂液化状态下重新排列，特别适用于砂砾类材料，压实深度大、效率高，已成为路基压实的主力机型。对于高填方路段或旧路地基加固工程，冲击式压路机凭借其高能量、低频次的冲击波，可实现深层压实，有效消除深层隐患。而在桥台背、涵洞侧墙、挡土墙后等狭窄区域，大型机械难以作业，此时需采用蛙式打夯机、液压夯实机等小型夯实设备进行补充压实，确保结构物周边回填质量，防止差异沉降引发跳车。

2.3 路基压实工艺流程

路基压实并非简单的机械重复操作，而是一套严谨的系统化工艺流程。正式施工前，必须选取具有代表性的试验段进行压实工艺验证，通过现场击实试验确定最佳含水率，并结合不同虚铺厚度、碾压遍数与速度组合，找出最优施工参数组合。进入正式施工阶段后，路基填筑严格实行分层填筑原则，每层虚铺厚度通常控制在20至30厘米之间，具体数值依据压实机械性能与填料类型动态调整^[2]。在摊铺完成后，需根据现场快速含水率检测结果，通过洒水或晾晒手段将填料含水率调节至接近最佳值。随后进入碾压阶段，一般分为初压、复压和终压三个步骤：初压采用轻型压路机进行1至2遍静压，目的在于初步稳定松铺层并整平表面；复压是核心环节，使用重型振动压路机按照试验段确定的参数进行多遍碾压，直至达到设计压实度要求；终压则采用静压方式收面，消除轮迹，提升表面平整度。每一压实层完成后，必须及时进行密实度检测，只有检测合格方可进行上一层填筑，形成闭环质量控制。

3 路面压实技术

3.1 沥青路面压实

沥青混合料的压实是在高温条件下完成的动态过程，其成败直接决定路面空隙率、平整度与耐久性。由于沥青混合料的黏弹性特性，压实必须在有限的时间-温度窗口内高效完成。整个压实过程通常划分为初压、复压和终压三个阶段。初压紧随摊铺机之后进行，此时混合料温度通常高于140℃，采用双钢轮压路机静压1至2遍，主要目的是稳定摊铺层、防止横向推移，并为后续复压提供良好基础。复压是压实的核心阶段，混合料温度处于120℃至140℃之间，此时沥青黏度适中，最有利于颗粒嵌挤密实。此阶段多采用轮胎压路机或振动压路机进行3至6遍碾压，轮胎压路机通过揉搓作用促进细集料填充空隙，而振动压路机则利用高频振动加速密实，二者常组合使用以达到最佳效果。终压在混合料温度降至90℃以上时进行，采用双钢轮压路机静压1至2遍，旨在消除复压留下的轮迹，提升路面宏观平整度。在整个碾压过程中，必须严格遵循“先轻后重、先边后中、先慢后快”的原则，避免急停、急转或在同一位置长时间停留，以防混合料推移、拥包或温度离析。

3.2 水泥稳定基层压实

水泥稳定碎石或水泥稳定土等半刚性基层材料的压实具有鲜明的时间敏感性。由于水泥水化反应一旦开始便不可逆，压实作业必须在混合料初凝前完成，通常要求从加水拌和到碾压结束不超过2小时。为补偿运输与摊铺过程中的水分蒸发损失，现场拌和时的含水率通常略高于室内击实试验所得的最佳含水率，一般控制在+0.5%至+1%范围内。压实设备多选用20吨以上的重型振动压路机，以确保足够的压实功穿透整个基层厚度；同时配合胶轮压路机进行揉搓碾压，有助于细料填充空隙、提升表面密实度^[3]。值得注意的是，水泥稳定基层严禁采用薄层贴补方式进行找平，因为后加的薄层难以与下承层形成整体，极易成为结构薄弱面，在荷载作用下率先开裂。因此，摊铺平整度控制尤为关键，压实过程应一气呵成，确保基层整体均匀密实。

4 压实质量检测与控制

4.1 常用检测方法

表1：常用检测方法

方法	适用对象	原理	优缺点
灌砂法	路基、基层	用标准砂置换试坑体积，计算干密度	准确但费时，破坏性
环刀法	细粒土路基	直接取样测湿密度与含水率	操作简单，仅适用于细粒土
核子密度仪	路基、基层	利用γ射线测定密度与含水率	快速无损，需标定，有辐射
落锤式弯沉仪（FWD）	整体结构	反演模量，间接评价压实质量	非直接，用于验收评估
智能压实监测系统（ICM）	全过程	实时采集振动响应、位移等参数	连续、全面，成本较高

4.2 质量控制标准

不同结构层对压实度的要求存在差异。高速公路路基通常要求压实度不低于96%（以重型击实标准为基准），其他等级公路则依据《公路路基施工技术规范》分级控制。水泥稳定类基层因属半刚性材料，要求更为严格，压实度一般不低于98%；级配碎石等柔性基层则要求不低于97%。对于沥青面层，压实度通常以马歇尔标准密度的93%至98%或理论最大密度的92%至96%作为控制范围，具体数值依混合料类型与气候分区而定。这些标准不仅是验收依据，更是施工过程中必须坚守的质量底线。

4.3 过程控制要点

有效的压实质量控制不仅依赖于事后检测，更在于全过程精细化管理。首先，应建立明确的压实责任制度，将操作手、质检员、技术员的职责落实到人。其次，积极引入信息化手段，如利用GPS跟踪碾压轨迹、传感器监测碾压遍数与温度，实现过程可追溯。再次，建立异常响应机制，一旦检测发现局部压实不足，应立即标记、分析原因并返工处理，杜绝质量隐患遗留^[4]。最后，针对雨季、低温、大风等特殊气候条件，应提前制定专项压实方案，如调整含水率控制策略、缩短碾压段落、加强保温措施等，确保在不利环境下仍能保障压实质量。

5 压实技术存在的问题与对策

5.1 常见问题

尽管压实技术已较为成熟，但在实际工程中仍存在诸多问题。结构物周边、路基边坡、中央分隔带边缘等区域因作业空间受限，常出现压实盲区，导致密实度不足，成为后期沉降与开裂的诱因。现场含水率调控往往滞后，尤其在雨季或多风干燥地区，难以实时精准控制，造成压实效果波动。部分施工单位过度依赖操作人员经验，缺乏基于试验段的科学参数指导，导致压实遍数随意、机械组合不合理。此外，传统检测方法多为抽样、点测、滞后，无法真实反映全断面压实均匀性，容易遗漏薄弱区域。

5.2 改进对策

针对上述问题，应从技术与管理两方面协同改进。大力推广智能压实（Intelligent Compaction, IC）技术，通过集成传感与定位系统，实现压实过程的实时监控、自动反馈与质量云存储，从根本上解决“看不见、控不

住”的难题。推动BIM技术与数字孪生在压实施工中的应用，在虚拟环境中模拟不同参数组合下的压实效果，优化施工方案。发展绿色压实理念，鼓励使用低噪声、低排放的电动或混合动力压实设备，减少施工对环境的影响。同时，加强一线操作人员与技术人员的专业培训，提升其对压实机理的理解与参数调控能力，将“经验施工”转变为“科学施工”。

6 压实技术发展趋势

展望未来，公路工程压实技术将朝着智能化、精准化、绿色化方向加速演进。自动驾驶压路机结合AI路径规划算法，可实现无人化、高一一致性碾压作业，大幅提升效率与安全性。基于物联网的压实数据云平台将实现“一机一档、一段一码”的全生命周期质量追溯，为智慧工地与数字交通提供基础数据支撑。随着再生沥青、温拌沥青、泡沫沥青等新型环保材料的广泛应用，配套的专用压实工艺与设备也将同步发展，以适配其独特的流变特性。更重要的是，“双碳”目标驱动下，可持续压实理念将深入人心，节能减排、资源循环利用将成为压实技术发展的核心导向，助力公路建设迈向高质量、绿色化新阶段。

7 结语

路基路面压实作为公路工程的核心施工环节，其质量直接决定道路的服役性能与寿命。本文系统分析了压实机理、影响因素、设备选型、施工工艺及质量控制方法。研究表明，科学确定压实参数、严格执行分层施工、采用先进检测手段、强化过程管理是保障压实质量的关键。未来，随着智能建造与绿色施工理念的深入，压实技术将朝着数字化、精准化、低碳化方向发展。工程实践中应不断总结经验，融合新技术，推动公路建设高质量发展。

参考文献

- [1]罗强.公路工程路基与路面压实施工技术[J].交通世界,2025,(32):75-77.
- [2]董晶辉.公路工程路基压实施工技术的应用[J].汽车画刊,2025,(09):137-139.
- [3]李诚昊.公路工程路基路面压实施工技术研究[J].运输经理世界,2025,(26):28-30.
- [4]杨勇,刘颖.公路工程路基路面压实施工技术措施分析[J].散装水泥,2025,(04):139-141.