

市政道路施工中路基路面压实技术

郑伟民

耀华建设管理有限公司衢州分公司 浙江 衢州 324022

摘要：市政道路施工中，路基路面压实技术是确保道路结构强度、稳定性及耐久性的关键环节。本文围绕压实技术展开研究，阐述了压实作用的力学原理及土体压实特性，分析了土质、含水量、压实机械与参数等影响因素，介绍了振动压实、夯实、碾压、冲击压实及智能压实等常见技术方法，并展望了智能化与自动化、绿色环保技术应用、适应新型材料及多技术融合的发展趋势。研究成果为市政道路施工中的压实技术优化提供理论参考，助力提升道路工程质量。

关键词：市政道路；施工路基；路面压实；技术

引言：市政道路作为城市基础设施的重要组成部分，其施工质量直接关系到交通安全性与使用寿命。路基路面压实是道路施工的核心工序，通过机械作用力使松散材料密实，形成均匀稳定的结构体。然而，在实际施工中，压实效果受土质条件、含水率、机械选型等多因素影响，易出现压实不足或过度压实等问题，导致路面沉降、开裂等病害。随着城市建设快速发展，道路工程面临材料多样化、工况复杂化的挑战，亟需深入研究压实技术原理与应用。系统分析路基路面压实技术的理论、影响因素及实践应用，探索技术发展方向，为提升市政道路施工质量提供科学依据。

1 路基路面压实技术原理

1.1 压实作用的力学原理

路基路面压实过程本质上是力学作用下土体颗粒重新排列与结构重塑的过程。当压实机械对松散土体施加作用力时，压力、冲击力、振动力等多种力协同作用，克服颗粒间的内摩擦力和黏聚力，促使土体颗粒相互靠近、填充孔隙。压力使颗粒产生位移，冲击力瞬间提升颗粒动能实现快速压实，振动力则通过高频振动降低颗粒间摩擦，加速孔隙空气和水分排出，提高土体密实度。

1.2 土体压实特性

土体压实特性受其物理性质和压实条件共同影响。在一定含水量范围内，随着压实功增加，土体干密度逐渐增大，当干密度达到最大值时对应的含水量为最佳含水量，此时土体压实效果最优。不同类型的土具有不同压实特性，黏性土颗粒细、比表面积大，压实需克服较大黏聚力；砂性土颗粒粗、内摩擦力大，易压实但需控制含水量避免松散。此外，土体压实还存在“弹性回弹”现象，即压实后土体因应力释放产生一定程度的回弹变形^[1]。

2 路基路面压实技术的影响因素

2.1 土质的影响

土质是决定路基路面压实效果的基础因素。不同类型的土，其颗粒组成、矿物成分和物理化学性质差异显著，直接影响压实难易程度与最终密实度。黏性土由于颗粒细小，黏聚力大，水分不易排出，压实过程中需采用较小的压实功多次碾压，且要严格控制含水量；砂性土颗粒较粗，内摩擦力大而黏聚力小，压实过程中易松散，需适当增加含水量以提高颗粒间的润滑作用，从而实现有效压实；粉性土介于两者之间，毛细现象显著，受水影响大，压实后稳定性差，需通过改良处理才能达到理想压实效果。因此，施工前需对土质进行详细检测分析，为压实工艺选择提供依据。

2.2 含水量的影响

含水量对土体压实效果起着关键作用。在最佳含水量时，土颗粒间的水膜厚度适中，既能起到润滑作用，减小颗粒间摩擦力，便于颗粒移动填充孔隙，又不会因水分过多导致孔隙水压力增大，削弱压实效果。当含水量低于最佳值时，土颗粒间摩擦力大，难以压实，且易出现表面松散、起皮现象；含水量高于最佳值时，土体处于饱和或接近饱和状态，压实过程中水分无法及时排出，会形成“弹簧土”，导致压实度无法达标。

2.3 压实机械与压实参数的影响

压实机械的类型、性能及压实参数直接决定压实效率与质量。不同类型的压实机械，如振动压路机、夯实机、冲击式压路机等，其工作原理和适用范围不同，需根据土质、工程规模等合理选择。例如，振动压路机适用于各类土质的压实，对砂性土和半刚性基层压实效果尤为显著；夯实机则常用于狭窄区域或局部压实。压实参数方面，压实遍数、行驶速度、振动频率和振幅等均

会影响压实效果。压实遍数不足，土体无法达到设计压实度；遍数过多则可能导致过度压实，破坏土体结构。

3 市政道路施工中常见路基路面压实技术

3.1 振动压实技术

在市政道路施工中，振动压实技术凭借其高效、可靠的压实效果，成为路基路面施工的关键工艺之一。该技术通过振动压路机的振动轮产生高频低幅的机械振动（频率通常为25-50Hz，振幅0.4-2mm），使土体颗粒在周期性冲击力作用下发生动态位移，破坏原有松散结构，促使颗粒重新排列并相互嵌挤，从而有效降低孔隙率、提升密实度。相较于传统静力压实，振动压实可将压实效率提高40%-60%，尤其在处理砂性土、碎石土及级配良好的填料时，能显著减少碾压遍数（通常可缩短至静压的1/2-2/3），同时增强路基的抗剪强度和承载能力，为道路长期稳定性奠定基础。在实际应用中，振动压实需严格遵循“分层填筑、逐层压实”原则，根据填料类型（如黏性土需降低振幅、增加遍数，砂性土则反之）和含水量（接近最佳含水量 $\pm 2\%$ 时效果最佳）动态调整振动参数。例如，在2023年某城市主干道改造工程中，通过采用22吨振动压路机配合智能压实监测系统，实现了压实度均匀性提升15%，有效避免了因压实不足导致的路基沉降问题。此外，该技术还需注意振动频率与行进速度的匹配（一般控制在2-4km/h），以防止因振动能量衰减造成压实盲区，确保路基整体质量达标。

3.2 夯实压实技术

夯实压实技术利用夯锤从一定高度自由下落产生的冲击力，对路基路面进行压实。强大的瞬时冲击力能使土体颗粒重新排列，有效提升地基承载能力，尤其适用于软弱地基处理、填石路基压实以及狭窄区域的压实作业。施工前需通过试夯确定关键参数，根据土质类型、含水量和填方高度等因素，合理设置夯击次数、夯击能和夯点间距。在某老旧城区道路改造项目中，针对杂填土路基，采用强夯法处理，经多遍夯击后，地基承载力显著提高，满足了后续道路建设需求。该技术优势在于可深度压实地基，大幅减少沉降；但施工过程中产生的噪音和振动较大，对周边环境及建筑物影响明显，需采取降噪减振措施。同时，其施工效率相对较低，不适用于大规模快速施工，且对操作人员把控参数的经验要求较高。

3.3 碾压压实技术

碾压压实技术借助压路机滚轮的重力，通过持续施加静压力，迫使被压材料产生塑性变形，使颗粒相互靠近、重新排列，从而实现压实效果。根据滚轮结构

和材质差异，主要分为钢轮压路机、轮胎压路机和胶轮压路机，广泛应用于市政道路路基、基层及路面各结构层的压实作业。钢轮压路机凭借刚性滚轮，能提供稳定且均匀的压力，常用于路基和基层的初压与终压，可有效提高基础结构的密实度；轮胎压路机和胶轮压路机则依靠轮胎的弹性变形，在沥青路面压实中优势显著，能紧密贴合路面，消除轮迹，增强压实均匀性。施工过程中，需严格遵循“先慢后快、先轻后重、由边向中”的原则，合理控制碾压速度和遍数。如初压速度宜控制在1.5-2km/h，复压速度2-4km/h，终压速度3-6km/h。在某市政快速路基层施工中，通过钢轮压路机与胶轮压路机的科学组合，不仅高效完成了水泥稳定碎石基层的压实任务，还保障了基层整体强度和稳定性。该技术操作简单、成本较低，适用于大多数常规市政道路压实需求。但面对较厚铺筑层时，深层压实效果欠佳，需分层压实。同时，不同类型压路机的合理搭配及碾压工艺，对施工人员的经验和技术水平要求较高^[2]。

3.4 冲击压实技术

冲击压实技术采用多边形非圆截面的碾压轮，在牵引机械的带动下高速滚动，对地面产生周期性的冲击、搓揉和碾压作用。与传统压实方式不同，其产生的巨大冲击力可达300-500kN，影响深度最深可达3米，能够有效压实深层土体，特别适用于高填方路基、旧路改造、湿陷性黄土等特殊地质条件下的路基处理。在施工时，冲击压路机通常以10-15km/h的速度行驶，通过连续循环冲击对路基进行压实。每冲击一遍后，需调整轮迹，保证压实区域的全覆盖。例如在某城市新区建设中，针对填方高度达8米的路基，采用冲击压实技术，经过20遍冲击作业后，路基压实度显著提升，工后沉降量大幅减小。该技术的优势在于能显著提高路基密实度和稳定性，减少后期沉降，尤其对处理软弱地基效果突出；并且施工效率相对较高，可缩短工期。但也存在明显不足，冲击压实设备购置成本高，运行和维护费用也较大；施工过程中产生的振动和噪音较大，对周边建筑物和居民生活影响明显，需采取防护措施。

3.5 智能压实技术

智能压实技术是依托物联网、大数据、传感器、GPS定位等前沿技术，与传统压实机械深度融合的新型技术。通过在压路机等设备上安装高精度传感器，实时采集振动频率、振幅、碾压速度、遍数、温度等参数，并借助GPS定位系统获取压实位置信息，将数据传输至云端平台进行分析处理，生成可视化的压实质量云图，实现对压实施工全过程的动态监测与精准控制。在市政

道路施工中,智能压实技术可应用于路基填筑、基层压实以及沥青路面铺筑等各个环节。例如在某市政重点道路工程中,施工团队利用智能压实系统,通过实时反馈的压实数据,及时调整压路机作业参数,对薄弱区域精准补压,使压实质量一次验收合格率从传统施工的85%提升至98%。该技术优势显著,一方面能有效避免欠压或过压现象,提升压实质量和施工效率;另一方面通过数字化记录压实数据,便于质量追溯和管理。但目前智能压实技术也面临挑战,其前期设备购置、系统搭建成本高昂,对施工人员的技术水平和操作能力要求较高,且系统运行依赖稳定的网络环境,在网络信号不佳区域应用受限,这些都制约了该技术的大规模推广。

4 市政道路施工中路基路面压实技术的发展趋势

4.1 智能化与自动化发展

智能化与自动化成为路基路面压实技术的核心发展方向。随着物联网、人工智能和5G技术的普及,未来压实设备将具备更强大的自主决策能力,通过实时采集与分析数据,自动调整振动频率、碾压速度等参数,实现精准压实。例如,智能压实系统可利用AI算法预测压实薄弱区域,提前规划补压路径,大幅提升施工效率与质量。同时,无人化压实设备也将逐步推广,通过远程操控或自动驾驶技术,减少人工干预,降低施工安全风险,尤其适用于高风险或恶劣环境下的作业。

4.2 绿色环保技术应用

在“双碳”目标驱动下,绿色环保技术在压实领域的应用愈发重要。一方面,电动化压实设备将逐步替代传统燃油设备,减少尾气排放与噪音污染;另一方面,新型节能环保压实工艺不断涌现,如采用低能耗振动技术降低设备运行功耗,或通过优化压实流程减少材料浪费。此外,再生材料在压实中的应用也将得到加强,通过对旧路面材料的循环利用,既能降低资源消耗,又能减少建筑垃圾,实现市政道路施工的可持续发展。

4.3 适应新型材料与复杂工况

市政道路建设对新型材料的需求日益增长,如高模量沥青混合料、生态透水材料等,这要求压实技术与之

适配。研发针对新型材料特性的压实工艺与设备,成为重要发展方向。同时,复杂工况下的压实需求也促使技术创新,如在冻土、软土等特殊地质条件,或城市密集区域施工时,需开发低振动、高精度的压实技术,减少对周边环境的影响。此外,模块化、多功能的压实设备将更受青睐,以满足不同工程场景的多样化需求^[1]。

4.4 多技术融合与协同创新

未来路基路面压实技术将呈现多技术融合趋势。通过整合岩土工程、材料科学、机械制造、信息技术等多学科知识,开发综合性解决方案。例如,将地质雷达技术与压实设备结合,实时检测路基压实度与内部缺陷;利用3D打印技术制造定制化压实部件,提升设备性能。同时,行业内企业、高校和科研机构将加强协同创新,通过产学研合作,加速新技术、新设备的研发与应用,推动压实技术向更高水平迈进,为市政道路建设提供更强有力的技术支撑。

结束语

市政道路施工中的路基路面压实技术正朝着智能化、绿色化、多元化方向加速演进。从传统振动、碾压技术,到如今智能监测与自动化作业,每一次革新都为道路工程质量与施工效率带来质的飞跃。在“双碳”目标与新型材料广泛应用的背景下,绿色环保工艺与多技术融合创新成为行业焦点^[4]。未来,随着技术的持续突破,路基路面压实技术将更好地满足复杂工况需求,为市政道路建设提供更坚实的技术保障,助力城市交通网络高质量发展。

参考文献

- [1]李亚东,刘士闯.市政道路施工中路基路面压实技术分析[J].居舍,2022(01):77-79+155.
- [2]于宏利.市政道路施工中路基路面压实技术分析[J].中华建设,2020(08):88-89.
- [3]范进双.市政道路工程路基路面压实技术的控制要点[J].四川水泥,2020(06):323.
- [4]赵广婧.市政道路施工中路基路面压实技术的探讨[J].建材与装饰,2020(16):230+232.