

道路施工中路基处理问题及加固技术的应用研究

文 / 马晓翠 潍坊市寒亭区公路事业发展中心

摘要: 文章分析了道路施工中常见的路基问题,如地基软弱与不均匀沉降、地下水位变化、土体压缩性差等,阐述了这些问题对路基稳定性及路面结构的影响。介绍了传统与现代路基加固技术,包括石屑填筑法、注浆加固技术、土工格栅等,重点探讨了高压喷射灌浆法和智能化加固技术的应用前景。同时,路基加固技术应更加注重技术的适应性与环保性能,结合智能化技术和绿色加固材料,以实现更高效、可持续的路基加固方案,提升道路施工的质量与长期稳定性。研究表明,综合运用传统与现代加固技术,能够显著提升路基承载力,减少沉降问题,确保道路工程的稳定性与可持续发展。

关键词: 道路施工; 路基处理问题; 加固技术

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.06.061

前言

随着智能化和绿色技术的发展,现代路基加固技术逐渐向高效、环保、智能方向转型。例如,智能传感器的应用使得路基加固过程中的监测更加精确,自动化加固技术有助于提高施工效率,减少人工操作误差,绿色环保材料的研发与应用则能够有效降低对环境的负面影响。这些新兴技术的出现,不仅为解决路基处理中的实际问题提供了新的思路,也为未来道路工程的可持续发展奠定了基础。

一、道路施工中路基处理的常见问题

(一) 不均匀沉降

在路基产生不均匀沉降时,其作用范围内的路面高度也会随之改变,从而引起路面不平整。不平整地面在长时间的交通影响下,将加快对道路的损坏程度(图1)。由于不均匀沉降引起的路面内部存在着较大的拉应力,而在较长的时间内,由于其内部积累着较大的拉应力,从而造成了路面的裂缝。这种现象会加重路基的变形,从而造成一个恶性循环。裂缝的形成通常从路面开始,逐步向下扩展至路基部分,裂缝一旦出现,路面的结构稳定性受到严重威胁。由于路基在荷载作用下的



图1 道路路基不均匀沉降

差异,路基在荷载作用下将受到较大的荷载作用,从而加快了路基材料的疲劳破坏。特别是当车辆超载时,由于地面沉陷引起的路基变形,会引起路面的沥青层或者是水泥混凝土的裂缝,加快了道路的破坏速度。不均匀沉降不但会对路面的平整度、稳定性产生不利的影

(二) 地下水位变化与湿陷性土壤

地下水位的上升会导致土壤中的水分增加,从而降低土体的密实性和承载能力,特别是在细粒土中,水分的增加使土颗粒间的摩擦力减小,土体的强度和稳定性显著降低。地下水位升降引起一些土层,尤其是膨胀土的体积变化,膨胀和收缩会引起路基的不均匀沉降,从而造成路面裂缝、隆起等现象。在高水位区域,由于水流的作用,土壤中的细颗粒会被带走,从而引起土壤损失或受到强烈的干扰,从而对路基的稳定产生不利的作用,同时,由于地面的上涨,也会引起路基的冲刷或溶解,从而引起路基的不均匀沉降或地基失稳。

由于湿陷性土壤的存在,导致路面产生不均匀沉降,造成路面破裂、下沉或裂缝,从而对路面平整度和行驶安全性产生不利影响。由于湿陷性,土壤在吸收水分后,其强度急剧衰减,进而对路基的承载力产生不利的作用,并导致其在长期作用下,其强度及稳定性均会随之退化,从而使地基发生明显的沉降和变形,从而对道路工程的安全产生不利的影响。由于湿陷性土壤的不均匀性,使得路基产生了不均匀的变形。在湿陷性土壤中,由于受到荷载作用而发生变形,从而导致路面出现裂缝。不但会破坏路面的美观,而且会加快湿气的渗入,造成更严重的破坏。

(三) 路基承载力不足

承载力差的路基在车辆荷载下极易产生不均匀沉降,并以道路表面的部分沉降为特征,造成路面破裂或坑洼,给交通带来极大的危害。在地基承载力不够的情况下,特别是湿或松软的土层中,在荷载下会导致土体压缩,从而引起路面表面裂缝和变形。尤其是在交通量

大、荷载频繁的区域，沥青混凝土路面的裂缝与变形会逐渐增大，从而导致维修难度增大、使用年限缩短。若路基的压缩能力及承载能力不够，则会使路基产生较大的压缩，进而产生塑性变形或流变现象，从而引起路基的破坏。特别是对于软土、膨胀土等低承载力的土壤，会使路基不能承担设计荷载，进而对道路的安全与可靠度产生不利的作用。

二、传统路基加固方法

(一) 石屑填筑与压实法

石屑填筑与压实法是传统的加固手段之一，主要通过向路基内填充石屑、碎石等颗粒物料，然后进行压实处理，以提高路基的承载力和稳定性。这种方法通常用于土质较差、承载力不足的地区，尤其是在黏土、沙土等松软土壤中应用较为广泛。通过石屑填筑，替代原有的软弱土层，改善路基的整体结构，石屑等颗粒物料具有较强的压实性和较高的承载力，能够有效减小土体的压缩性，提高路基稳定性。压实法则通过机械设备的振动作用，使石屑与土层紧密结合，从而提高其整体密实度和抗压强度。在许多低承载力地区，如湿陷性黄土地区或软土地区，采用石屑填筑与压实法已取得成功。在城市道路建设中，采用这种方法填筑并压实路基，能够有效地改善原有土层的物理性能，确保道路的长期稳定。石屑填筑和压实过程需要较高的施工工艺水平，确保压实的均匀性和密实度，否则会导致局部沉降或不均匀加固。在大规模路基施工时，石屑填筑与压实法需要较长时间的施工过程，一定程度上会影响整体工期。

(二) 深层搅拌法

深层搅拌和是指将水泥、石灰或其他固化剂掺入到软弱土层混合，以达到改善路基力学性能和承载能力的一种方法。对于软土、泥岩等低承载力土壤的加固，深层搅拌法，可以有效地改善路基的强度与稳定，减小路基的沉降与变形。采用深度搅拌设备向土层中灌注固化剂，通过机械搅拌使土层中的固化物质与土壤中的固化剂相互结合，使其具有较高的承载能力，采用粉喷桩处理后，地基抗压强度高，沉降量小。深层搅拌具有很高的设备投入及施工成本，特别是大型项目时，会增加整体费用。

(三) 注浆加固技术

注浆加固技术通过将水泥浆、化学浆液或其他固化剂注入土体中，填充土层中的孔隙，增强土体的密实度和承载力。注浆加固广泛应用于各种土质类型的路基加固，特别是在不均匀沉降或土体松散的地区。注浆是一种将固化浆液注于土体中，可以使土体发生结构性变化，从而达到增强土体强度、抗压强度及稳定的目的。在高速公路、铁路等工程中，注浆加固技术被大量采用，尤其是在软弱地层（如软土、疏松土）中，采用注浆加固技术对其进行处理，可显著改善其稳定性，减小

其沉降和裂缝。注浆时，浆液在土体中的扩散不均匀，易造加固效果不一致。

(四) 振动夯实法

振动夯实法通过利用振动荷载的作用，通过对土体施加周期性的振动，使土粒之间的空隙减小，颗粒重新排列并形成更为紧密的结构，从而提高土体的密实度和承载力。振动荷载的强度和频率会影响土体的压实效果，合理的振动参数设置对于提升加固效果至关重要。通常使用振动夯实机如振动压路机、振动夯等进行施工，设备的选择要根据土层的类型和压实要求进行，确保振动效果能够达到预期。在施工过程中，夯机会通过振动荷载作用于地基土层，逐层进行夯实，振动的时间、频率以及每次夯实的振动范围都需要根据土层的实际情况来调整，以达到最佳的压实效果。振动夯实法通常是逐层进行的，在压实后对各层的压实情况进行检测，确定符合设计标准后方可开始下一层。振动夯实技术尤其适合于粒状土或多碎石土层，它可以提高土的承载能力和稳定度，并通过对土层进行加固处理，可以大大降低后期的沉降，提高基础的长期稳定性。

三、现代路基加固技术

(一) 地基加固材料

高分子合成材料作为现代路基加固中的重要组成部分，凭借其优异的强度、耐腐蚀性、弹性和耐久性，在许多工程中得到了广泛应用。常见的高分子材料包括聚氨酯、聚丙烯酰胺、聚乙烯等，这些材料不仅能够增强土体的结构强度，还能有效改善土壤的水力特性。高分子合成材料是一种能与土层中的水、矿物等物质发生化学反应的物质，在土层中构成一个高强、稳定的加固层。这种材料与土体混合后，可以构成一种有黏性的复合材料，因此可以改善土层的承载能力，压缩强度和抗渗性。近年来，高分子材料在路基加固中的创新应用逐渐增多，例如，聚氨酯类材料在湿陷性土壤中作为注浆材料，能够在短时间内固化并增强土层的稳定性。地基注浆技术通过将固化剂、浆液等注入土层中，以填充土体空隙，增强土壤的密实度和稳定性，这项技术常用于软土、膨胀土、沙土等土质较差的地区，能够有效解决路基不均匀沉降和土体承载力不足的问题。普通材料与环保材料性能对比见表1。

表 1 普通材料与环保材料性能对比表

| 材料类型 | 抗压强度 (MPa) | 吸水率 (%) |
|------|------------|---------|
| 普通材料 | 25 | 10 |
| 环保材料 | 30 | 5 |

(二) 高压喷射灌浆法

高压喷射灌浆法通过高压喷射使浆液在土层中迅速扩散，形成三维加固结构。浆液在土层中的扩散既可以提高土体的强度，又可以改变土体的结构，从而提高土

体的抗压、抗拉和抗渗透能力。注浆时，在压力的作用下，可使土体产生大量的空隙和裂缝，使其达到良好的稳定状态。在高速公路和铁路桥梁建设中，采用高强度喷射灌浆技术对软土和膨胀土进行了处理。

（三）土工格栅、土工织物加固技术的应用

土工格栅是一种由高强度聚酯或聚丙烯材料制成的网状结构，广泛应用于路基加固、边坡加固等工程中。通过将土工格栅铺设在路基土层中，可以有效提高土层的抗拉强度和稳定性，减少不均匀沉降和变形。土工格栅可以提高土层的内在约束能力，从而使土体的结构性得到改良，从而构成具有扩散荷载能力的高效抗拉网格，同时，其网络状结构也可起到加强路基整体性，降低路基沉降的作用。在黏土、砂土和软土等多种土壤中使用，可以有效地减小土层的沉降，增加路基的承载力，同时还可以减少后期的养护成本。

土工织物是一种透水性较强的合成材料，常用于路基加固、排水和过滤等工程中，土工织物的主要功能是通过分隔、加固和排水来改善土壤的工程性能。土工织物的主要作用是通过增强土层的结构稳定性和承载力来改善路基性能，土工织物具有较高的抗拉强度和耐久性，能够有效防止土壤颗粒的流失，并增强土层的排水性，减小因积水导致的路基不均匀沉降。在湿润地区或地质条件较差的地方，土工织物能够防止上层土壤被水冲刷，保持路基的稳定性。在某些软土和松散土层的道路工程中，土工织物与其他加固技术如石屑填筑配合使用，能够显著提高路基的稳定性和耐久性。

四、智能化与绿色加固技术

（一）智能传感器监测与自动化加固技术

智能传感器技术是一种基于电子设备与智能化算法的土体监测技术，能够实时采集路基的各类数据，如沉降、变形、温度、湿度等信息，这些数据通过无线通信系统传输至监控中心，为工程管理人员提供实时、精准的路基状态信息。智能传感器被埋设在路基的关键部位如软土层、膨胀土层、湿陷性土层等或加固区，通过传感器的反馈，实时监控路基的沉降、位移等情况。当发现有任何异常情况发生时，该系统会自动给出警报，以提示施工人员和管理者做出相应的对策。该方法克服了以往的手工测量方法带来的错误和延迟，提高了结构的效率和精度。在需要的时候，可以对加固计划进行相应的修改，从而对加固程序进行更好的改进。

自动化加固技术利用机器人、自动化设备及智能算法实现加固施工过程的自动化，减少了人工操作，提高了施工效率和精度。通过集成自动化设备，如自动化钻孔机、喷浆机器人等，施工过程中的大部分操作可以通过编程进行控制，设备根据预设程序精准执行任务。例如，在注浆加固过程中，机器人可以根据土层的不同特性自动选择注浆量与注浆深度，确保施工效果。自动化

设备可提高施工效率，缩短施工周期，特别适合大规模的路基加固项目，自动化设备可代替人工完成高风险工作，保障了施工人员的安全。

（二）环保型加固材料的研发与应用

环保型加固材料是指在生产、使用及废弃时对周围的污染最少，既可达到路基加固的目的，又可满足绿色与可持续发展的需求。绿色建筑加固材料多为天然或生物可生物降解，降低了对环境的影响。在路基处理中，利用绿色建筑材料可以改善土体结构，提高承载能力，同时对周围的环境污染也大大降低。以植物纤维基材料和可降解聚合物材料为代表的生物基加固材料可以降低对周围的环境影响。利用低碳技术制造出的水泥及地质胶结材料，可降低制造时的碳排放量。固体废弃物综合利用是指以建筑废弃物和工业废弃物为原料制备的固体废弃物，不仅可以达到加固作用，而且可以回收利用。在众多的绿色建设工程中，对环保型的钢筋混凝土进行了广泛的使用，特别是对湿陷性土壤和软土层路基进行了大量的改良，在确保加固作用的同时，满足可持续发展的需要。

结论

综上所述，本文通过分析道路施工中常见的路基问题，如不均匀沉降、软土、湿陷性土壤等，探讨了多种路基加固技术的应用与效果。传统的石屑填筑法、深层搅拌法和振动夯实法等技术特定土质条件下具有一定的应用优势，但也存在适用范围和施工周期等局限性。现代加固技术如高压喷射灌浆法、土工格栅加固及智能化加固技术在提高加固效果、节能减排和环保方面表现出较强的优势，特别适用于复杂土层和大规模工程。随着技术的进步，智能化传感器与自动化监测系统的结合为加固施工提供了实时数据支持，能够更精准地调整加固方案，同时，环保型加固材料的应用和高效节能技术的引入，也推动了加固技术朝着绿色、可持续方向发展。

参考文献

- [1] 顾凌军. 市政道路工程软土地基沉降加固技术分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (14): 197-199.
- [2] 周成文. 基于软基加固技术的市政道路施工方法研究[J]. 江西建材, 2023, (09): 284-286.
- [3] 金焱. 道路施工中软基加固技术探究[J]. 交通建设与管理, 2023, (04): 95-97.
- [4] 崔智敏. 软基加固施工技术在道路施工中的应用[J]. 科技与创新, 2021, (03): 180-181.
- [5] 沈平. 软基加固技术在道路施工中的应用[J]. 门窗, 2019, (21): 247.
- [6] 刘志超. 软基加固施工技术在市政道路中的应用[J]. 地产, 2019, (19): 130.