

公路工程路基加固处理工艺与技术

朱达

台州天宏工程管理有限公司 浙江台州 317200

DOI:10.12238/jpm.v6i4.7884

[摘要] 当前，我国交通事业发展如火如荼，运输网络四通八达。公路是联系城乡、促进经济往来的重要纽带，其施工质量对交通安全和效率具有重要影响。路基是公路工程的重要组成部分，其直接关系到项目使用寿命及行车舒适性，但是由于复杂的地质环境、多变的气候和不均衡的施工工艺，使得路基经常出现沉降、裂缝、滑坡等病害。这不仅增加了养护费用，也威胁着行车安全，因此如何对路基进行有效的加固处理，提高工程整体施工质量，是目前公路建设中迫切需要解决的一个重要问题。

[关键词] 公路；路基；加固处理

Technology and technology of highway engineering subgrade reinforcement treatment

Zhu da

Taizhou Tianhong Engineering Management Co., LTD.

[Abstract] At present, China's transportation industry development is in full swing, and the transportation network extends in all directions. Highway is an important link to connect urban and rural areas and promote economic exchanges, and its construction quality has an important impact on traffic safety and efficiency. Subgrade is an important part of highway engineering, which is directly related to the service life of the project and the driving comfort. However, due to the complex geological environment, changeable climate and unbalanced construction technology, the roadbed often appears subsidence, cracks, landslide and other diseases. This not only increases the maintenance cost, but also threatens the safety of driving, so how to effectively reinforce the subgrade and improve the overall construction quality of the project is an important problem that needs to be solved in the current highway construction.

[Key words] highway; roadbed; reinforcement treatment

引言

在交通基础设施需求持续增长与环境保护理念日益深化的背景下，公路工程路基加固处理技术的创新与应用尤为迫切与重要。路基作为支撑路面荷载、确保行车安全与舒适性的关键结构层，其稳定性、耐久性和安全性是衡量工程建设质量的核心指标。面对复杂多变的地质条件、极端恶劣的气候环境以及日益增长的交通流量，传统的路基加固技术已难以满足现代公路工程的高标准要求。

1 公路工程路基稳定性评估方法

现代路基稳定性评估体系融合了物理力学试验、数值模拟计算与实时监测三大技术支撑。物理力学试验采用三轴剪切仪、固结仪等设备，获取了岩土体强度、变形等关键参数；数

值模拟计算基于有限元方法，构建三维数值模型，分析了路基应力应变分布规律；实时监测系统则依托北斗定位技术与光纤传感器，动态采集路基位移、孔隙水压力等关键指标。评估过程中，通过建立参数映射关系，将各类数据有机整合，形成统一的评估基准。深层地质结构探测技术与地球物理勘察手段的结合，为路基稳定性评估提供了新的研究思路。高密度电法勘探可精确探测地下含水层分布；地震波测试能够识别岩层软弱夹层；瞬态电磁法则可探测深部地质构造。这些先进技术的应用使得路基稳定性评估更加全面深入，评估结果的准确性与可靠性得到显著提升。探地雷达与三维激光扫描等新型检测手段的引入，进一步拓展了评估方法的应用范围，为路基建设质量控制提供了有力保障。

2 公路工程路基加固处理工艺与技术

2.1 预压加固技术

预压加固技术是在软土路基上，预先堆放足够的堆石或堆土重物，以此对路基预压，使软土固结、密实的一种路基处理技术，这种路基处理技术适用于淤泥质黏土、淤泥与人工冲填土等等软弱路基。预压加固技术可分为堆载预压和真空预压两种。堆载预压就是在路基上堆放重物进行预压，在堆载预压加固时，需要分级加载，即在前一级荷载作用下路基基本固结后，再施加下一级荷载，这种做法可以防止超堆载时压坏路基，而且在堆载预压加固时，需要密切关注地面沉降和土中空隙水压力消散情况，从而方便技术人员对预压进行控制。真空预压加固是以大气压作为预压荷载，对路基土进行抽气，在土中形成一定的真空度，形成大气压力与真空压力的差值作用，以此加固路基。在应用真空预压法处理路基时，应当在路基内设置排水竖井，防止路基施工中的渗水给施工造成影响。

2.2 深层搅拌桩支护法

深层搅拌桩支护法是一种通过搅拌施工机械将水泥、石灰等固化材料混入软土中，形成一定直径和深度的搅拌桩，在深层搅拌桩支护法的施工前，需要对软土地层进行详细的勘察和剖析，对软土的类型、含水量、承载力、地层分层情况等参数进行测定和评估。通过地质勘察和分析，了解软土路基的物理特性和工程性质，确定软土路基的处理方案和施工参数，从而确保施工方案与软土路基的实际情况相符合，提高施工的准确性和有效性。然后，根据软土路基的地质条件和工程要求，确定合理的桩位布置方案，包括确定桩孔的位置、深度、直径以及间距和布置形式等内容，桩的布置期间，需要确保桩群均匀分布在软土路基中，这样才能够切实提供良好的支护达到理想的改良效果。然后，需要采用深层搅拌桩设备进行钻孔施工，将搅拌头送入软土中，并同时注入水泥、石灰等固化材料，在注入的过程中，搅拌头会旋转搅拌，将软土和固化材料充分混合搅拌，形成搅拌桩，搅拌桩设备会逐渐向下推进，同时，不断注入固化材料，直至达到设计要求的深度。

2.3 高压旋喷桩施工技术

在操作前，需要进行测量放线、确定孔位，并使用专用钻机造孔，造孔时应避免塌孔问题发生，可以采用泥浆护壁，同时要保证钻孔垂直，钻孔口径必须比喷射管外部口径大 30~50mm，确保喷射过程中正常实现冒浆。根据喷射流体的不同，高压旋喷桩工艺可分为单管法、双管法和三管法。单管法是只使用一根注浆管进行高压水泥浆液的喷射，形成旋喷桩，这种方法工艺简单、成本较低，但形成的旋喷桩强度和稳定性相对较低。双管法是在单管法的基础上增加了一根空气管，通过同

时注入水泥浆液和压缩空气形成旋喷桩，这种方法可以提高旋喷桩的强度和稳定性，但成本相对较高。三管法则使用三根注浆管，分别注入水泥浆液、压缩空气和水，通过三者的混合搅拌来形成旋喷桩，这种方法可以进一步提高旋喷桩的性能，但工艺复杂、成本最高。在实际应用中，应根据工程的具体要求和地质条件选择合适的旋喷桩工艺类型。

2.4 强夯技术

强夯技术又被称为动力固结技术，在公路工程施工中，强夯施工技术原理是将机械夯锤提升到相应高度后自由下落，夯锤下落过程中受重力影响产生很大冲击，冲击力实现对路基表面夯实，缩小路基土壤固体颗粒间隙，从而实现路基加固。在路基加固中应用强夯技术，具备成本低、施工便捷优势，受到很多施工队伍的青睐。发挥强夯技术优势可以在更短时间内完成公路施工、提升施工质量，为后续公路施工奠定基础。为确保强夯技术在公路路基加固中得到更好应用，工作人员要对强夯技术原理有正确认识。强夯技术主要使用的工具是重锤、起吊设备，利用起吊设备将重锤提升距离地面 10~25m 高空自由下落，重锤在加速度下会将 100~200 t 夯实能量作用在路基上，实现路基土体夯实，夯实深度通常保持 3~6m，重复上述操作加固路基土体。强夯技术不仅可以应用在软土路基加固中，而且在其他类型路基加固中也能够达到良好效果，因此，在公路工程施工中得到广泛应用。强夯技术应用中的一项重点是重锤的选择，施工人员根据工程项目实际情况，选择质量合适的重锤，确保重锤自由下落过程中产生的能量符合路基需求，防止能量过大、过小等情况发生，能量过小情况下，无法达到夯实、加固效果；如果重锤产生能量过大，很有可能会破坏结构层，造成路基土体坍塌，影响施工进度与施工质量。

2.5 注浆加固技术

在深层软土路基加固领域，高压旋喷注浆技术性能卓越。通过高压喷射设备将水泥浆液注入路基土层，利用高压射流的切割与搅拌作用，使浆液与土体充分混合，形成高强度的复合路基结构。实验研究证实，注浆压力达到 25~35 兆帕时，浆液扩散半径可达 1.2~1.8 米，注浆体抗压强度普遍超过 15 兆帕，远高于常规处理方法。深层搅拌法与压浆工艺的有机结合，进一步提升了注浆加固效果。创新型双液注浆系统实现了浆液配比的实时调控，根据土层特性智能调整凝固时间与强度等级。基于光纤传感网络的全程监测数据显示，复合注浆工艺处理后的路基承载力提升 3~4 倍，侧向变形量降低约 85%，路基长期稳定性显著增强。结合北斗卫星定位技术，注浆设备的施工轨迹与注浆量实现精准控制，确保注浆体的连续性与均匀性，为路基长期稳定运营提供了可靠保障。

2.6 泡沫混凝土加固技术

泡沫混凝土是一种新型的路基处理技术，其基本原理是将泡沫混凝土灌注到土体中，使其形成多孔结构，从而提高路基承载力及稳定性。泡沫混凝土是一种新型的加固方法，具有施工周期短、环境友好、造价低廉等优点，特别适合于复杂地质条件下的软土、淤泥和膨胀土。在工程实践中，泡沫混凝土的配制与施工技术对加固效果起着决定性的作用，具体而言，泡沫混凝土的密度一般为 $300\sim 1800\text{kg/m}^3$ ，低密度有利于提高保温隔热效果，但同时也会降低强度。通常采用泡沫混凝土进行路基加固时，密度应控制在 $600\sim 1200\text{kg/m}^3$ 之间，既能保证强度，又能满足重量要求，便于施工，泡沫混凝土通常要求其抗压强度为 $0.5\sim 10\text{MPa}$ ，才能取得预期的增强效果，在具体的施工中，要根据具体的路基土条件及设计要求，对泡沫混凝土配合比及施工参数进行合理的选择，如对于软土路基，可适当提高其强度以提高其承载力及耐久性能。以某公路路基处理工程为例，采用泡沫混凝土对其进行加固处理，对密度 900kg/m^3 、 3MPa 的泡沫混凝土进行设计，泡沫混凝土作为一种新型结构形式，可有效提高其承载力及稳定性，并通过工程验收。

2.7 复合路基加固技术

复合路基加固技术是路基加固新技术中的重要组成部分，在非刚性体构成的碎石桩、挤密桩中可以达到更好的应用效果。不难发现，当前复合路基加固技术存在一定局限性，相关部门要加大研究力度，提升复合路基加固技术适用性。虽然该项技术目前并未形成系统的实验数据、成熟的技术理论知识，但在公路路基加固中，能够提升路基承载力，在保证公路建设安全、使用安全中发挥着重要作用。

2.8 纳米材料加固技术

纳米材料可显著增强土颗粒间的粘附力与摩擦系数，提高路基承载力与变形性能。常用的纳米材料有纳米二氧化硅、纳米碳酸钙和纳米铝矾土等，这类材料能在微观尺度上填补土体空隙，形成密实结构，提高路基强度与稳定性。在工程实践中，采用纳米材料加固技术，必须严格按照一定的规范及参数进行加固，应注与选择合适的纳米材料，以及它们之间的比例。如纳米二氧化硅的加入量一般占土壤质量的 $0.5\sim 2\%$ 。具体掺量应根据土质及工程需要适当调整，一般情况下，掺量越大，加固效果越好，但造价也就越高，所以必须在效果与造价之间寻求一个平衡。另外纳米材料需与水或其它分散介质充分混合，才能形成均匀的悬浮液，为了保证纳米粒子在土壤中的均匀分布，需要采用高剪切力搅拌器或者超声分散装置，混合后的纳米材料混悬液使用时间较短，防止沉淀、分层。在工程建设阶段，需要对纳米材料应用于土体的预处理，纳米材料的搅拌和

喷洒，压实和固化。要做好路基土的预处理工作，主要包括清除松散土、松土和调节含水量，然后将纳米材料混悬液均匀地喷洒于土体表面，或者按照一定的深度将其喷射到土体中，最后采用振动压路机等压实机械压实，保证纳米材料与土体充分结合，形成稳定的加固结构。例如，某公路路基加固工程中，采用掺量为 1.5% 的纳米二氧化硅为主要加筋材料，采用高剪切仪对纳米二氧化硅和水按照 $1:10$ 的比例进行混合，得到了一种均匀的混悬剂。然后用喷洒机在表土上均匀喷洒悬浮液，用 25t 级振动压路机反复碾压，经一周养护后，路基承载力、抗压强度、变形量分别提高了 30% 左右。

2.9 生物技术

生物技术系通过利用特定微生物和生物材料改善土体的力学性质。该技术可以有效应对由于温度变化引起的冻胀和融化问题，从而减少路基结构的变形和破坏。例如，在低温条件下，通过引入嗜冷菌或耐冷菌，可以帮助稳定土体结构，降低冻融循环的破坏性。这些微生物通过分泌胞外聚合物（EPS）或其他生物化合物，增加土体颗粒间的黏结力，提高其抗剪强度。此外，植物根系的生物加固效果也可用于改善路基稳定性，选用耐寒植物如某些草本植物或灌木，其根系能深入土体，通过物理纠缠和化学改良增强路基整体稳定性。这种“绿色加固”不仅提高了路基的承载能力，也有利于生态环境的保护。

结语

综上所述，路基加固处理工艺与技术的科学应用对整个公路工程施工质量、进度及安全产生直接影响。施工人员需意识到路基加固处理施工重要作用，将各种处理技术优势发挥出来，提升路基加固效果，保证路基强度符合标准。

[参考文献]

- [1]李振虎.公路工程施工中路基加固处理的工艺与技术要点[J].交通建设与管理, 2023, (06): 142-144.
- [2]田均.公路工程施工中路基加固处理的关键技术分析[J].运输经理世界, 2023, (21): 16-18.
- [3]李岩, 毛新玲.公路工程施工中不良路段路基加固的处理方法[J].运输经理世界, 2023, (20): 108-110.
- [4]郭松华, 马奎尧.公路工程施工中路基加固技术的应用[J].住宅与房地产, 2018(2): 195-196.
- [5]沈庆祥.软土区高速公路地基处置技术与监测方法分析[J].福建交通科技, 2022(08): 10-15.
- [6]欧阳龙.高速公路软土地基处理施工技术分析[J].工程建设与设计, 2021(18): 157-159.
- [7]冉玉莲.高速公路软土区地基处治技术及监测方法分析[J].交通世界, 2024(22): 75-77.