

道路工程中的路基处理技术研究

张 祥

招商局重庆交通科研设计院有限公司 重庆 400060

摘 要：道路工程作为交通基础设施的核心组成部分，其路基稳定性直接影响路面使用寿命与行车安全。本文聚焦道路工程路基处理技术，系统分析路基常见沉陷、边坡失稳、冻胀翻浆等问题及其危害，详细阐述换填法、强夯法、排水固结法等多种路基处理技术的原理与应用。通过实际案例验证处理技术有效性，并对新技术新材料研发、智能化应用、多学科融合等发展趋势进行展望。研究表明，合理运用路基处理技术对保障道路工程质量与安全意义重大，为道路工程建设提供了科学参考与实践指导。

关键词：道路工程；路基处理；技术研究

引言：随着交通基础设施建设的快速推进，道路工程的质量与稳定性愈发关键。路基作为道路结构的根基，其性能直接影响道路使用寿命与行车安全。然而，复杂的地质条件与多变的环境因素，致使路基常出现沉陷、边坡失稳等病害，严重威胁道路正常使用与交通安全。因此，深入研究路基处理技术，探究高效、科学的病害防治措施，不仅是提升道路工程质量的迫切需求，更是推动交通事业可持续发展的重要保障，对完善道路工程理论与实践体系具有深远意义。

1 道路工程中路基常见问题分析

1.1 路基沉陷

路基沉陷指路基在垂直方向出现较大沉降。一方面，若原地面存在软弱土层，像淤泥质土、泥炭土等，其强度低、压缩性大，在路基填土与行车荷载作用下，地基土易压缩变形，致使路基下沉。另一方面，路堤填料选用不当，如采用腐殖土、膨胀土等，或填筑方法不合理，压实度未达标准，也会使路堤自身在后期持续压缩沉降。此外，地下水的活动也会影响，当水位变化使路基土含水量改变，强度降低，同样引发沉陷，影响道路平整度与结构稳定。

1.2 路基边坡失稳

路基边坡失稳表现为边坡滑坡、坍塌等现象。边坡坡度设计不合理，过陡的坡度使土体下滑力增大，抗滑力不足，易失稳。边坡土体自身抗剪强度低，如黏土含量高、土体松散等，难以抵抗外力。雨水冲刷和地下水渗透是重要诱因，大量雨水渗入边坡，增加土体重量，降低抗剪强度，还可能形成动水压力，导致边坡失稳。地震、爆破等动力荷载，瞬间增加土体应力，打破边坡原有的力学平衡，引发边坡失稳，威胁道路安全与周边环境。

1.3 路基冻胀与翻浆

在季节性冰冻地区，冬季低温致使路基土中水分冻结，体积膨胀，形成冻胀，使路面隆起、开裂。到了春季，气温回升，冻土融化，若路基排水不畅，融化后的水分积聚在路基中，使土体处于饱水状态，强度大幅下降。此时在行车荷载作用下，路面出现弹簧、冒泥、裂缝等翻浆现象，严重破坏路面结构，影响行车舒适性与安全性，增加道路养护成本与维修频率。

1.4 路基病害的危害

路基病害危害诸多。首先，严重影响道路的正常使用性能，沉陷、翻浆等病害致使路面不平整，车辆行驶颠簸，降低行车速度，增加燃油消耗与车辆磨损。其次，缩短道路使用寿命，病害加速路面结构损坏，需频繁维修甚至重建，大幅提高建设与养护成本。再者，威胁交通安全，边坡失稳、路面严重病害可能引发交通事故，造成人员伤亡与财产损失，还对周边基础设施与生态环境产生不良影响，阻碍地区经济发展与社会稳定^[1]。

2 道路工程中的路基处理技术

2.1 换填法

换填法是将路基基础底面以下一定范围内的软弱土挖除，换填为强度高、压缩性低且无侵蚀性的材料，如砂、碎石、灰土等。其原理在于以优质材料置换不良地基土，改变地基承载力特性，提升抗变形与稳定能力。该方法适用于浅层软弱地基处理，处理深度一般在2-3m内，对诸如淤泥、淤泥质土、松散素填土等均有效，还可用于处理暗浜、暗沟及一些地域性特殊土，像消除膨胀土胀缩作用、湿陷性黄土湿陷性等。施工时，先精准确定换填范围与深度，将软弱土彻底挖除，接着分层回填选定材料，每层厚度严格控制，采用机械或人工夯实，保证压实度达标。比如在某城市道路建设中，部分

路段地基为软黏土,通过换填砂垫层,有效改善了地基承载性能,保障了后续路基施工质量。换填法施工流程较为清晰,开挖前需做好场地清理、排水及测量放线等准备工作,开挖过程注意保护基底原状土,避免超挖或扰动。回填材料选择至关重要,需具备良好级配、低压缩性与高抗剪强度,像级配良好的中粗砂、碎石等。回填时按设计要求分层填筑,控制每层虚铺厚度,一般不超30cm,用压路机等设备压实,每层压实后及时检测压实度,不达标需补压或返工,直至满足设计。换填法施工工艺相对简单,成本较低,能有效处理浅层软弱地基,但对深层软弱地基效果欠佳。

2.2 强夯法

强夯法借助大型履带式强夯机,将8-30吨重锤从6-30米高度自由落下,强力夯实土体。重锤冲击使地基土孔隙压缩、密实度提升,改变一定深度内土的孔隙分布,快速增强地基承载力与压缩模量。此方法适用于碎石土、砂土、低饱和度粉土与黏性土、湿陷性黄土、素填土及杂填土等地基。施工前,需在代表性场地开展试夯,确定有效加固深度、单位夯击能量、夯点间距等关键参数。正式施工时,先清理、平整场地,标出夯点位置,起重机就位使夯锤对准夯点,起吊至预定高度后自由下落,按设计夯击次数与控制标准操作,完成一个夯点夯击后,重复流程完成全部夯点,最后用低能量满夯表层松土。在某高速公路填土地基处理中,运用强夯法后,地基压实度大幅提高,满足了设计承载要求。强夯施工过程中,夯击参数确定极为关键,锤重、落距、夯击遍数、击数等相互关联,需经试夯确定。如土质较软,需适当降低单位夯击能,增加夯击遍数;土质较硬,则可提高单位夯击能,减少夯击遍数。强夯对周边环境有一定影响,施工时产生的振动与噪声较大,需采取相应防护措施,如设置隔振沟、合理安排施工时间等。同时,强夯后地基土需一定时间恢复强度,应预留足够间歇期,一般粘性土需2-4周,砂土1-2周,确保地基土充分固结,强度稳定提升,发挥强夯加固效果。强夯法加固效果显著,可快速提高地基承载力,减少沉降,但对施工设备要求高,且有一定环境影响。

2.3 排水固结法

排水固结法针对饱和软弱土层,先在地基设置砂井、袋装砂井或塑料排水带等竖向排水体,利用建筑物自身重量分级加载,或预先加载预压,促使土体孔隙水排出,实现地基沉降与强度提升。该法主要用于解决地基沉降与稳定问题,通过增设排水途径、缩短排水距离,加速地基固结,让沉降提前完成,同步提升地基土

抗剪强度。依据排水技术不同,分为堆载预压法、真空预压法、降水预压法与电渗排水法。堆载预压常与砂井法结合,利用堆载使地基沉降提前;真空预压通过密封砂垫层抽真空,降低孔隙水压力;降水预压靠抽水降低地下水位;电渗排水借助电渗使土中水从阳极流向阴极排出。在沿海软土地基道路工程中,排水固结法应用广泛,有效控制了路基沉降。排水固结法施工,竖向排水体设置是关键环节,砂井、袋装砂井或塑料排水带的间距、长度、直径等需根据地基土特性、排水要求与工期等确定。砂垫层作为水平排水通道,其厚度、平整度与渗透系数影响排水效果,一般厚度控制在30-50cm,材料选用级配良好的中粗砂,含泥量不超5%。加载预压过程需严格控制加载速率,防止地基失稳,通过监测孔隙水压力、沉降量等指标指导施工,如孔隙水压力超警戒值,需暂停加载或减缓速率。真空预压施工时,密封膜铺设质量影响真空度维持,需确保密封良好,避免漏气。排水固结法能有效处理深厚软土地基,控制沉降与提高稳定性,但工期较长,需合理安排施工计划。

2.4 复合地基法

复合地基法是在地基中设置增强体,如水泥土搅拌桩、CFG桩、碎石桩等,与地基土协同承载,形成复合地基。增强体凭借自身高强度,与地基土共同作用,改善地基整体力学性能。不同增强体适用不同地基条件,水泥土搅拌桩适用于淤泥、淤泥质土、粉土及含水量高、承载力低的黏性土地基;CFG桩适用于黏性土、粉土、砂土及自重固结素填土等地基。施工时,按设计要求确定增强体的类型、直径、长度、间距等参数,采用相应机械设备进行施工。在某道路工程中,采用水泥土搅拌桩复合地基,有效提高了地基承载能力,减少了路基沉降。以水泥土搅拌桩施工为例,施工前需对场地进行平整、清理,测量放线确定桩位。施工中,搅拌机就位调平,搅拌头下沉过程中喷浆搅拌,控制下沉与提升速度、喷浆量,确保桩身均匀性与强度。成桩后按规定进行质量检测,包括桩身完整性、单桩与复合地基承载力检测。CFG桩施工多采用长螺旋钻孔、管内泵压混合料成桩等工艺,施工时控制好钻孔深度、泵送压力、提钻速度等参数,保证桩体质量。复合地基法适应性强,可根据不同地基条件与工程要求选择合适增强体,加固效果好,但施工工艺复杂,质量控制要求高。

2.5 化学加固法

化学加固法向地基土注入水泥浆、水玻璃、聚氨酯等化学浆液,使其与地基土发生化学反应,改变土的物理力学性质,增强地基承载能力与稳定性。主要包含

灌浆法、高压喷射注浆法与深层搅拌法。灌浆法将浆液经钻孔注入土孔隙,填充胶结土体;高压喷射注浆法利用高压设备将浆液喷射到地基土,形成加固体;深层搅拌法通过机械搅拌使浆液与地基土混合成加固体。该法适用于各类软弱地基,但施工工艺复杂、成本较高。在对某古建筑附近道路地基处理时,为减少对周边建筑影响,采用化学加固法中的灌浆法,成功加固了地基,保障了道路施工安全。化学加固法施工,浆液配制是关键,需根据地基土性质、加固要求准确控制浆液配合比、浓度与添加剂用量,确保浆液可注性、胶凝时间与强度满足设计。灌浆法施工,钻孔位置、深度与角度需精确控制,保证浆液注入效果;注浆过程控制压力、流量,防止串浆、冒浆。高压喷射注浆法施工,控制喷射压力、提升速度、旋转速度等参数,确保加固体形状、尺寸与强度。深层搅拌法施工,搅拌机械的搅拌叶片设计、搅拌速度与深度影响搅拌均匀性与加固效果。化学加固法可有效处理复杂地质条件下的软弱地基,但对环境有一定污染,施工时需采取环保措施,且成本较高,需综合考虑工程经济效益^[2]。

3 路基处理技术的发展趋势

3.1 新技术、新材料的研发与应用

新技术与新材料不断涌现,为路基处理注入活力。泡沫轻质土技术发展迅猛,其轻质高强、施工便捷,能有效解决桥头跳车、高填方路基沉降等难题。如在某市政道路桥头过渡段,采用泡沫轻质土填筑,显著降低了地基附加应力,减少了沉降差异。还有高黏高弹改性沥青等新型材料,用于路基路面结合处,可增强界面黏结力,提升路基结构整体性。此外,再生材料应用逐渐广泛,像废弃混凝土、沥青铣刨料经加工处理后用于路基填筑,既环保又经济,符合可持续发展理念,未来有望在更多路基工程中大规模推广,进一步革新路基处理方式。

3.2 智能化、信息化技术在路基处理中的应用

智能化、信息化技术深度融入路基处理。借助传感器、物联网,可实时监测路基施工与运营状态,如在路

基关键部位布设传感器,实时采集沉降、位移、应力等数据,经物联网传输至管理平台分析,及时发现隐患。智能压实系统能精准调控压路机参数,确保压实质量均匀稳定,像在某高速公路路基施工中,运用该系统使压实度合格率从85%提升至95%。BIM技术构建路基三维模型,模拟施工过程,提前优化方案,减少设计变更与施工风险,实现精细化管理,让路基处理更科学高效,保障道路全寿命周期性能。

3.3 多学科交叉融合

路基处理技术正走向多学科融合之路。岩土工程与材料科学结合,研发出适配不同地质的高性能加固材料,如纳米改性水泥土,提升土体强度与耐久性。引入生物工程技术,利用植被根系固土护坡,实现路基边坡生态防护,增强稳定性同时美化环境。力学理论为路基结构优化提供支撑,结合数值模拟分析,精准设计路基参数。环境科学助力研发环保型处理技术,降低施工对周边生态影响。多学科交叉打破技术壁垒,为路基处理开拓新思路,解决复杂工程问题,推动行业迈向更高水平^[3]。

结束语

综上所述,路基处理技术在道路工程建设中起着举足轻重的作用。常见路基问题诸如沉陷、边坡失稳、冻胀与翻浆等,严重威胁道路的使用性能与安全。而换填法、强夯法、排水固结法等一系列成熟技术,在解决这些问题上成效显著。同时,新技术、新材料的研发,智能化、信息化技术的融入,以及多学科的交叉融合,为路基处理技术注入新活力。

参考文献

- [1]华正晓.道路工程中软土路基处理技术探讨[J].中国设备工程,2022(03):241-243.
- [2]高春旭.市政道路工程软土路基施工处理技术浅析[J].四川水泥,2021(11):201-202.
- [3]刘春霞.市政道路工程软土路基施工处理技术分析[J].农业科技与信息,2022(23):121-123.