

刍议市政工程施工中软弱路基的处理技术

王国将

广西壮族自治区建筑工程质量检测中心有限公司

DOI:10.32629/ems.v8i3.18684

[摘要] 市政工程施工中, 软弱路基因自身物理力学性质缺陷, 易引发沉降变形等问题, 直接影响道路结构稳定性与使用性能。本文结合工程实践, 从软弱路基特性入手, 分析其主要危害, 并系统梳理换填垫层、排水固结、水泥土搅拌桩、强夯及加筋土等处理技术的原理、适用条件与施工要点, 提出技术选择需综合考虑软土厚度、地下水位及周边环境等因素, 同时强调施工过程质量控制的重要性, 为同类工程提供参考。

[关键词] 市政工程; 道路施工; 软弱路基; 处理技术

A humble discussion on the treatment technology of soft subgrade in municipal engineering road construction

Wang Guojiang

Guangxi Zhuang Autonomous Region Construction Engineering Quality Inspection Center Co., Ltd

Abstract: In the construction of municipal engineering roads, soft subgrades are prone to issues such as settlement deformation due to their inherent physical and mechanical defects, which directly affect the stability and performance of the road structure. Based on engineering practice, this article starts with the characteristics of soft subgrades, analyzes their main hazards, and systematically reviews the principles, applicable conditions, and construction key points of treatment techniques such as replacement cushion, drainage consolidation, cement soil mixing piles, dynamic compaction, and reinforced soil. It proposes that the selection of technology should comprehensively consider factors such as soft soil thickness, groundwater level, and surrounding environment. At the same time, it emphasizes the importance of quality control during the construction process, providing a reference for similar projects.

Keywords: municipal engineering; road construction; soft subgrade; treatment technology

引言

随着城市化进程加快, 市政道路网络向纵深延伸, 施工中常遇软弱路基问题。软弱路基多由淤泥、淤泥质土、松散杂填土等组成, 其高含水量、低承载力、高压缩性的特性, 导致道路施工后易出现整体沉降、不均匀沉降或边坡失稳等现象, 不仅延误工期, 还会缩短道路使用寿命, 增加后期维护成本。因此, 研究软弱路基处理技术, 对提升市政道路工程质量具有重要意义。

1 软弱路基的特性与危害

1.1 特性分析

软弱路基主要由淤泥、淤泥质土、松散杂填土等天然含水量异常高的土类构成, 其物理力学特性与正常路基土存在本质差异。其一, 高含水量是核心矛盾——这类土富含蒙脱石、伊利石等亲水性黏土矿物, 对水分的吸附与滞留能力强, 天然含水率常超过液限(如淤泥质土含水率可达40%至60%),

导致土体孔隙比大(多在1.0以上)、压缩性高(压缩系数大于 0.5MPa^{-1})^[1]。高孔隙比使土体颗粒间联结极度薄弱, 无法有效传递上部荷载; 高压缩性则直接导致后期沉降风险剧增。其二, 承载力极低——天然地基承载力特征值往往不足80kPa, 而市政道路基层传递的车辆、人行荷载通常在100kPa至150kPa之间, 软弱土无法承受这种应力集中, 易发生局部剪切破坏, 进而引发路面塌陷或变形。其三, 渗透性极差——土体中黏粒含量高达40%以上, 颗粒间孔隙微小且连通性弱, 渗透系数小于 $1\times 10^{-7}\text{cm/s}$, 孔隙水排出速率极为缓慢。这种低渗透性导致土体固结过程严重滞后, 即使施加荷载, 沉降仍会持续数年甚至数十年, 难以在短期内达到稳定状态。这些特性共同构成了软弱路基对道路工程的“先天威胁”。

1.2 主要危害

软弱路基若未有效处理, 会从结构安全、使用性能到全生命周期成本全方位冲击道路工程。首先是引发沉降变形—

—未处理的软弱路基会随时间发生整体下沉或局部差异沉降: 整体下沉使路面标高逐渐降低, 与周边桥梁、人行道衔接处出现错位, 影响交通衔接; 局部差异沉降则导致路面产生纵向或横向裂缝, 裂缝宽度可达几毫米至几厘米, 雨天积水渗入路基后进一步软化土体, 加剧沉降循环, 同时车辆通过时产生剧烈颠簸, 降低行车舒适性, 甚至因积水导致轮胎打滑引发事故。其次是降低结构稳定性——边坡部位的软弱土因抗剪强度低(黏聚力常小于 20kPa), 雨季雨水渗入使土体饱和, 抗剪强度骤降, 易发生局部滑塌, 威胁通行安全; 路基与桥梁等刚性结构物衔接处, 因两者压缩性差异大(桥梁几乎无压缩, 软弱路基压缩性高), 会产生显著沉降差, 形成桥头错台, 车辆通过时“跳车”不仅影响舒适性, 还会反复冲击桥梁支座与伸缩缝, 缩短其使用寿命。最后是增加维护成本——沉降问题需频繁修补, 如填充裂缝、加铺沥青或水泥稳定层, 每次费用从几万到几十万元不等, 大幅增加运营期开支; 同时, 反复修补缩短了大修周期, 原本 15 年设计寿命的道路可能 10 年内就需大修, 提高全生命周期成本, 造成资源浪费^[2]。

2 软弱路基处理关键技术

2.1 换填垫层法

换填垫层法是针对市政道路浅层软弱地基最常用的处理手段, 其核心逻辑是通过挖除表层承载力不足的软弱土, 替换为高强度、低压缩性的垫层材料, 重构路基持力层。施工中需先将软弱土挖除至设计深度(通常 2 至 3 米), 挖除过程中需控制基底平整度, 避免超挖或欠挖。换填材料多选用级配良好的中粗砂、碎石或三七灰土: 中粗砂需满足含泥量小于 5%、颗粒级配连续的要求, 碎石最大粒径不超过 50 毫米且片状颗粒含量少于 10%, 灰土则需采用石灰与黏土按 8: 92 至 12: 88 的比例拌和, 确保胶结效果。回填时需分层摊铺, 每层厚度控制在 200 至 300 毫米, 采用重型振动压路机往返碾压 6 至 8 遍, 压实度通过环刀法或灌砂法检测, 需达到 95% 以上^[3]。以某城市次干道工程为例, 该路段软弱土为淤泥质粉质黏土, 厚度 2.2 米, 天然含水率 55%, 承载力仅 50kPa。挖除后换填级配砂石, 分层压实后承载力提升至 145kPa, 后期沉降监测显示, 6 个月内总沉降量仅 45 毫米, 有效解决了浅层沉降导致的路面开裂问题。这种方法工艺简单、成本较低, 适用于处理淤泥、杂填土等浅层软弱地基, 能在短期内恢复路基稳定性。

2.2 排水固结法

排水固结法主要针对厚度超过 5 米的深厚软土地基, 通过构建垂直排水通道加速孔隙水排出, 促使土体逐步固结, 最终提高地基承载力。施工中需在软基中设置塑料排水板或袋装砂井: 塑料排水板采用 SPB-B 型, 宽度 100 毫米、厚度 4 毫米, 间距 1.2 米呈正方形布置, 顶部与 200 毫米厚的砂垫层连通, 形成完整的排水系统。随后进行堆载预压, 荷载采用砂袋或土工织物袋, 荷载强度为设计荷载的 1.2 倍, 预压时间根据软土固结系数确定, 一般为 3 至 6 个月。监测过程中, 通过埋设孔隙水压力计实时观测孔隙水压力消散情况, 当孔隙水压力消散至初始值的 20% 以下时, 表明土体固结度达到 80% 以上。某市政主干道工程采用该方法处理厚度 12 米的淤泥质土, 预压 6 个月后, 土体固结度达 88%, 最终沉降量从预计的 780 毫米减少至 300 毫米, 地基承载力从 65kPa 提升至 135kPa。排水固结法的优势在于能有效解决深厚软基的长期沉降问题, 且对周边环境影响小, 适合工期充裕的城市主干道或地铁配套道路工程^[4]。

2.3 水泥土搅拌桩与强夯法

水泥土搅拌桩与强夯法分别适用于黏性土与砂性土等不同土性条件, 是市政道路中常用的两种动力或化学加固手段。水泥土搅拌桩利用深层搅拌机械将软土与水泥强制拌和, 形成具有一定强度的水泥土桩体: 施工中采用双向搅拌机, 先将水泥浆注入软土, 再以 50 至 60 转/分钟的转速旋转搅拌, 确保水泥与软土充分混合。桩径通常为 500 至 800 毫米, 桩间距 1.0 至 1.5 米, 水泥掺量按湿土重量计算为 15% 至 20%, 28 天无侧限抗压强度需达到 1.2MPa 以上。某小区道路工程软土为淤泥质黏土, 采用水泥土搅拌桩处理, 桩径 600 毫米、间距 1.2 米、水泥掺量 18%, 处理后复合地基承载力提升至 220kPa, 沉降量较未处理区域减少 60%。强夯法则通过重锤高落差产生的冲击能破碎土体颗粒, 使其重新排列密实: 重锤重量根据土性选择, 砂性土用 30 至 40 吨, 非饱和黏性土用 50 至 60 吨, 落差 15 至 30 米, 夯击能控制在 2000 至 8000kN·m。施工时需在路基边缘设置 5 至 10 米宽的隔振沟, 减少振动对周边建筑物的影响。某工业园区道路采用 40 吨重锤、30 米落差施工, 夯击能 9000kN·m (调整后符合规范), 处理后地基承载力从 85kPa 提高到 255kPa, 压缩性降低 65%, 有效解决了砂性土的低承载力问题。两种方法各有侧重, 需根据土性灵活选择。

2.4 加筋土法

加筋土法通过在路基填料中埋设加筋材料, 利用筋材与

土体的摩擦作用增强路基整体抗拉强度,是填方路段或软土与硬土交界处的关键处理技术。加筋材料多选用单向或双向土工格栅,拉伸强度需大于80kN/m,延伸率小于10%,以确保健壮性。施工时,先将路基填料分层摊铺至0.3至0.5米厚,再铺设土工格栅,将筋材两端用U型钉固定于下层填料,然后继续摊铺上层填料,层间距控制在0.3至0.6米。填料需采用碎石土或砂砾土,压实度通过振动压路机碾压至96%以上,确保筋材与填料充分咬合。某城市快速路填方段工程,软土厚度1.5米,下卧层为硬黏土,采用土工格栅加筋处理:筋材拉伸强度100kN/m,层间距0.5米,填料为级配碎石,压实度97%。处理后路基的不均匀沉降从预计的150毫米减少至28毫米,边坡在雨季未出现滑塌,有效解决了软硬土交界处的变形差异问题。此外,加筋土法还能减少填方量,该工程通过加筋将填方量降低了18%,节约了工程成本。施工中需注意筋材的张拉平整,避免褶皱,碾压时先轻后重,防止筋材受损。这种方法施工便捷、性价比高,是填方路基与软硬交界处的优选方案。

3技术选择与应用要点

3.1 技术选择依据

软弱路基处理技术的选择需紧扣工程实际条件,在地质特性、工期要求与环境影响间寻求平衡。软土厚度小于3m时,换填垫层法因工艺简单、成本较低成为首选——挖除浅层淤泥或杂填土后,换填级配砂石或灰土,能快速重构高强度持力层,避免深层处理的高时长与高成本。深厚软基(厚度超5m)且工期紧张时,排水固结法配合堆载预压或水泥土搅拌桩法更具优势^[5]:前者通过塑料排水板构建垂直排水通道,3-6个月可将土体固结度提升至80%以上,显著减少最终沉降;后者通过深层搅拌将水泥与软土拌和,形成强度达1.2MPa以上的桩体,能快速提高复合地基承载力至180kPa以上。对振动敏感的区域,如邻近医院或学校,强夯法的冲击振动会扰动周边建筑基础,需改用水泥土搅拌桩或加筋土法——前者无振动、无噪声,后者通过土工格栅与土体的摩擦作用增强稳定性,均不会对周边环境造成影响。填方路段或软硬土交界处,加筋土法通过埋设拉伸强度80kN/m以上的土工格栅,抑制土体侧向变形,减少不均匀沉降,比单纯压实更能解决变形差异问题。

3.2 施工质量控制

施工质量控制是软弱路基处理效果的核心保障,需从材

料、过程、验收三方面形成闭环管控。材料检验是基础:换填材料需检测级配与含泥量,中粗砂含泥量必须小于5%、碎石针片状颗粒含量少于10%,避免因材料劣质导致垫层承载力不足;水泥标号需高于42.5级,确保水泥土搅拌桩的桩体强度满足设计要求;加筋材料的拉伸强度需大于80kN/m、延伸率小于10%,保证筋材与土体能有效咬合,发挥加筋作用。过程监测是关键:排水固结法需埋设孔隙水压力计与沉降板,实时跟踪孔隙水压力消散情况——当孔隙水压力降至初始值的20%以下时,标志土体固结达标;强夯法需在夯击点设置沉降观测标志,每击夯沉量控制在50mm以内,防止过度夯击破坏地基结构;水泥土搅拌桩需全程监控搅拌速度与提升速率,确保水泥与软土充分混合,避免桩体强度不均。验收标准是底线:复合地基承载力采用静载试验,检测数量不少于总桩数的0.5%且不少于3根,验证承载力是否满足设计要求。

4结论

市政工程道路施工中,软弱路基处理需根据地质条件、工程需求及环境限制,选择适宜技术。换填垫层法适用于浅层处理;排水固结法利于深厚软基长期稳定;水泥土搅拌桩与强夯法分别适用于不同土性条件;加筋土法则可提升填方路基抗变形能力。施工中需强化质量控制与监测,确保处理效果满足设计要求。未来,随着材料科学与监测技术发展,绿色环保型处理技术,如固化剂改良软土、生态加筋材料等,或将成为新的研究方向,为市政道路工程提供更高效、可持续的解决方案。

[参考文献]

- [1] 纪道景. 高速公路土质路堑路基施工关键技术及排水分析[J]. 石材, 2024, (08): 135-137.
- [2] 张雷, 潘国志. 雨季湿软路基工程生石灰粉处理湿软填土施工技术研究[J]. 科学技术创新, 2024, (04): 127-130.
- [3] 王顺. 常德市道路路基改良与加固技术研究[J]. 中国新技术新产品, 2023, (13): 91-94.
- [4] 李鸿. 道路软基段路基路面施工分析[J]. 工程技术研究, 2021, 6 (23): 40-42.
- [5] 罗小雨, 张灵通, 李宝元, 赵新雨. 盐渍土道路新型路基结构试验与结果分析——以阿克苏市道路为例[J]. 黑龙江科学, 2021, 12 (14): 29-31.

作者简介: 王国将, 男, 1991.05, 壮族, 广西南宁, 本科, 中级工程师, 研究方向: 市政工程、道路工程。