

市政道路软土路基处理技术与设计方法探讨

李文奎

天津市政工程设计研究总院有限公司成都分公司 四川 成都 610000

摘要：本文深入剖析软土的成因、特性及其对市政道路的危害，系统阐述物理、化学、复合等多种软土路基处理技术原理与适用场景。结合工程实例，探讨如何依据软土特性、工程要求及环境因素，科学选择处理技术并优化设计方法。同时，对未来软土路基处理技术在智能化、绿色化、综合化等方面的发展趋势进行展望，为市政道路软土路基处理提供全面、深入的理论支持与实践指导。

关键词：市政道路；软土路基；处理技术；设计方法；发展趋势

1 引言

市政道路作为城市交通的脉络，其质量直接关系到城市的运行效率与居民的生活品质。然而，在我国广袤的地域中，大量市政道路建设不可避免地会遭遇软土路基问题。软土因其独特的物理力学性质，在道路荷载作用下易产生过大的沉降、不均匀沉降以及失稳等病害，严重影响道路的使用性能和寿命。因此，深入研究市政道路软土路基处理技术与设计方法，对于保障城市交通基础设施的安全与可靠运行具有至关重要的现实意义。

2 软土的成因、特性及对市政道路的危害

2.1 软土的成因与分类

四川盆地软土的形成与区域地质构造、河流演化密切相关，主要受岷江、沱江等水系长期作用影响。根据物质组成和沉积环境，四川软土可分为以下类型：（1）河漫滩相软土：分布于河流弯道外侧及古河道区域，如成都平原府河、清水河沿岸，由粉砂与粘土互层沉积形成，含水量30%-45%，压缩系数0.3-0.6MPa⁻¹。（2）山间盆地相软土：见于绵阳、乐山等丘陵地带，厚度3-8m，以淤泥质粘土为主，承载力特征值60-80kPa。（3）人工池塘相软土：由历史农耕活动形成，如德阳、眉山等地的废弃鱼塘区域，有机质含量较高。

2.2 软土的工程特性

一是高含水量与高孔隙比：软土的含水量通常接近或超过其液限，孔隙比往往大于1.0。这使得软土呈现出一种近乎饱和的松散状态，土颗粒间的连接极为微弱，导致其强度极低。二是高压缩性与低渗透性：软土具有较高的压缩系数，在荷载作用下会产生显著的压缩变形。同时，其渗透系数极小，一般在10⁻⁶-10⁻⁸cm/s之间，水分排出缓慢，固结过程漫长，这使得软土路基的沉降往往需要较长时间才能稳定。三是低抗剪强度与触变性：软土的不排水抗剪强度通常较低，一般在20kPa以

下。此外，软土还具有明显的触变性，当受到振动或扰动时，其强度会急剧降低，甚至呈现流动状态。

3 市政道路软土路基处理技术

3.1 物理处理技术

换填法：换填法是一种较为传统且常用的软土路基处理方法。其原理是将软土路基部分或全部挖除，然后换填强度较高、稳定性好的材料，如砂石、碎石、灰土等，并分层压实，形成良好的持力层。该方法适用于浅层软土路基处理，处理深度一般不超过3m。换填法的优点是施工简单、工期短、成本较低，但换填材料的来源和运输成本可能会对工程造价产生一定影响。

排水固结法：排水固结法是通过在软土路基中设置排水通道，如砂井、塑料排水板等，然后施加预压荷载，使软土中的水分沿排水通道排出，土体逐渐固结，强度得到提高。该方法适用于处理饱和软黏土地基，对于深厚软土层效果尤为显著^[1]。排水固结法的关键在于合理设置排水通道和确定预压荷载的大小及加载方式。在施工过程中，需要严格控制加载速率和预压时间，以确保软土能够充分固结。

强夯法：强夯法是利用重锤从高处自由落下，对软土路基进行强力夯实，使土体产生强烈的振动和冲击，降低土的压缩性，提高土的强度和承载力。该方法适用于处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土与黏性土、湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基。强夯法的优点是施工设备简单、加固效果好、工期短，但对于饱和度较高的软土，强夯法效果较差，需要结合其他方法进行处理。

3.2 化学处理技术

水泥搅拌桩法：水泥搅拌桩法是利用水泥作为固化剂，通过特制的深层搅拌机械，将水泥和软土强制搅拌，使水泥和软土发生一系列物理化学反应，形成具有一定强度的桩体，与周围软土共同构成复合地基，提高

地基的承载力和稳定性。该方法适用于处理正常固结的淤泥与淤泥质土、粉土、饱和黄土、素填土、黏性土以及无流动地下水的饱和松散砂土等地基。水泥搅拌桩法的优点是施工噪音小、无振动、对周围环境影响小,但施工质量控制难度较大,需要严格控制水泥掺量、搅拌工艺和桩体质量。

高压喷射注浆法:高压喷射注浆法是利用高压喷射流,冲击破坏土体,使浆液与土颗粒充分搅拌混合,形成具有一定强度的固结体,从而提高地基的承载力和抗渗能力。该方法适用于处理淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土、人工填土和碎石土等地基。高压喷射注浆法可以根据工程需要形成不同类型的固结体,如旋喷桩、定喷墙和摆喷墙等,具有较大的灵活性和适应性。

3.3 复合处理技术

真空-堆载联合预压法:真空-堆载联合预压法是将真空预压和堆载预压两种方法相结合,先在软土路基表面铺设密封膜,通过真空泵抽气形成负压,使土体中的水分排出,然后再施加堆载荷载,进一步加速土体的固结^[2]。该方法综合了真空预压和堆载预压的优点,能够显著提高软土路基的固结效率和承载力,缩短工期。

碎石桩-水泥搅拌桩联合法:碎石桩-水泥搅拌桩联合法是将碎石桩和水泥搅拌桩两种桩型相结合,碎石桩主要起到排水和置换作用,提高软土的排水性能和承载力;水泥搅拌桩则起到加固和止水作用,增强桩间土的强度和稳定性。该方法适用于处理深厚软土路基,能够充分发挥两种桩型的优势,提高复合地基的整体性能。

4 市政道路软土路基处理设计方法

4.1 设计原则

(1) 安全性原则:软土路基处理设计应确保市政道路在使用期间的安全性和稳定性,满足设计荷载要求,避免发生沉降、变形、滑坡等工程事故。在设计过程中,应充分考虑软土的工程特性、地质条件、环境因素等对道路安全的影响,采取合理的设计措施和安全储备。(2) 经济性原则:在满足工程安全要求的前提下,应选择经济合理的处理技术和方案,降低工程造价。设计时应进行多方案比较,综合考虑处理效果、材料成本、施工工期、维护费用等因素,选择最优的设计方案。(3) 适用性原则:根据软土的性质、分布范围、厚度、工程地质条件等因素,结合当地的施工经验和材料资源,选择适合的处理技术和方法。不同的软土类型和工程要求需要采用不同的处理方案,设计时应做到因地制宜、对症下药^[3]。(4) 环保性原则:在软土路基处理过程中,应尽量减少对周围环境的污染和破坏,采用环

保节能的材料和施工工艺,实现可持续发展。例如,优先选用当地材料,减少材料运输过程中的能源消耗和环境污染;采用低噪音、低振动的施工设备,减少施工对周边居民的影响。

4.2 设计流程

工程地质勘察:详细了解软土的分布范围、厚度、物理力学性质等工程地质条件,收集相关的地质资料和试验数据,为软土路基处理设计提供准确的基础资料。工程地质勘察应采用多种勘察手段相结合的方法,如钻探、原位测试、室内试验等,以确保勘察结果的准确性和可靠性。

确定处理目标和要求:根据市政道路的等级、使用功能、设计荷载等因素,确定软土路基处理后的承载力、沉降、稳定性等目标和要求。处理目标和要求应符合相关规范和标准的规定,同时应考虑工程实际情况和使用要求,做到合理可行。

选择处理技术和方案:根据工程地质条件和设计要求,结合各种处理技术的适用范围和特点,初步选择几种可行的处理技术和方案。在选择处理技术和方案时,应充分考虑技术可行性、经济合理性、施工便利性等因素,进行综合比较和分析。

进行技术经济比较:对初步选择的几种处理技术和方案进行技术经济比较,综合考虑处理效果、工程造价、施工工期、施工难度、环境影响等因素,选择最优的处理技术和方案。技术经济比较可以采用定量分析和定性分析相结合的方法,建立科学合理的评价指标体系,确保比较结果的客观性和准确性。

进行详细设计:根据选定的处理技术和方案,进行详细的设计计算,确定处理技术的各项参数,如换填材料的厚度、排水固结法的排水通道间距和预压荷载、强夯法的夯击能和夯击次数、水泥搅拌桩的水泥掺量和桩长等。详细设计应符合相关规范和标准的要求,同时应考虑施工的可行性和方便性,为施工提供详细的指导。

绘制施工图纸:根据详细设计结果,绘制软土路基处理的施工图纸,包括平面图、剖面图、节点详图等。施工图纸应清晰、准确、完整,标注必要的尺寸、标高、材料规格等信息,为施工提供直观的依据。

4.3 工程实例分析

以四川某市的市政道路工程为例,该道路沿线存在较厚的河滩沉积软土层,软土厚度一般为4-7m,其含水量高达65%-75%,压缩系数为1.3-2.0MPa⁻¹,不排水抗剪强度仅为12-18kPa。根据工程地质勘察结果和设计要求,采用真空-堆载联合预压法结合碎石桩-水泥搅拌桩联合法

进行软土路基处理。

真空-堆载联合预压法设计

在软土路基表面铺设两层土工布和一层密封膜,形成密封系统。设置塑料排水板作为排水通道,排水板间距为1.1m,呈正方形布置。先进行真空预压,真空度保持在82kPa以上,预压时间为2.5个月;然后进行堆载预压,堆载高度为2.2m,分三级加载,每级加载间隔时间为12天。预压期间定期观测地基的沉降和孔隙水压力变化,根据观测结果调整预压参数。

碎石桩-水泥搅拌桩联合法设计

在真空-堆载联合预压法处理后的地基上,设置碎石桩和水泥搅拌桩。碎石桩桩径为0.75m,桩间距为1.4m,呈梅花形布置,桩长为5.5m;水泥搅拌桩桩径为0.45m,桩间距为1.15m,呈正方形布置,桩长为7.5m,水泥掺量为14%。碎石桩和水泥搅拌桩施工完成后,进行复合地基承载力检测,结果表明复合地基承载力特征值达到140kPa,满足设计要求。

施工完成后,对该路段进行了长期的质量检测。通过沉降观测,道路在使用2年后的最大沉降量小于8cm,沉降均匀,未出现裂缝等病害;通过静载试验检测复合地基的承载力,结果表明承载力满足设计要求。说明该软土路基处理方案取得了良好的效果。

5 市政道路软土路基处理技术的发展趋势

市政道路软土路基处理技术正朝着多元且先进的趋势发展。智能化施工技术应用前景广阔,物联网、大数据、人工智能等技术持续进步,促使该技术在市政道路软土路基处理中广泛应用成为可能。施工现场安装的各类传感器可实时监测软土物理力学性质、设备运行状态及施工参数变化,数据传至云端分析处理后,人工智能算法能优化控制施工过程,实现自动化、智能化、精准化施工,提升质量效率,降低成本与安全风险。绿色环

保材料推广也是重要趋势,软土路基处理会更注重这类材料应用,研发推广新型环保固化剂、填筑材料,减少传统水泥、石灰使用,降低能耗与污染。如利用工业废渣、建筑垃圾制备固化材料,实现资源循环利用与废弃物减排,兼具环境与经济效益。鉴于软土路基复杂性,综合处理技术将更受青睐,多种处理技术有机结合形成完整体系,能提高处理效果与可靠性,像物理、化学、生物处理技术结合可实现快速加固与生态修复。此外,数字化设计与模拟技术将深化应用,三维建模和有限元分析软件用于软土路基处理方案设计与模拟分析,能直观展示效果与过程,提前发现设计问题与潜在风险,为优化设计提供依据,还可实现设计信息共享与协同工作,提升设计效率质量。

结语

市政道路软土路基处理是一项复杂而系统的工程,需要综合考虑软土的成因、特性、工程要求和环境因素等多方面因素。本文深入探讨了多种软土路基处理技术的原理、适用场景和设计方法,并结合工程实例进行了分析。随着科技的不断进步,软土路基处理技术将朝着智能化、绿色化、综合化和数字化方向发展。在实际工程中,应根据具体情况选择合适的处理技术和设计方法,不断创新和优化,以提高市政道路软土路基处理的质量和效果,为城市的发展和居民的生活提供更加安全、可靠的交通基础设施。

参考文献

- [1]张慧,秦通.市政道路设计中软土路基处理的方法探讨[J].科技创新导报,2020,17(18):7+9.
- [2]胡立兵.某市政道路工程中软土路基施工技术优化路径[J].中国建筑金属结构,2025,24(13):66-68.
- [3]陈勇,卢青峰.市政道路工程软土路基施工技术研究[J].科技创新与应用,2025,15(17):190-192+196.