

在市政道路工程中软基加固技术的应用分析

万强

丰和营造集团股份有限公司

摘要:软基是指强度较低、压缩性较大的土层,其承载能力不足以满足上部建筑物的要求,容易发生沉降、变形等问题。市政道路作为城市交通的重要基础设施,其路基的稳定性直接影响着道路的使用寿命和行车安全。因此,在软土地基上修建市政道路时,需要对软基进行加固处理,以提高其承载能力和稳定性。近年来,随着软基加固理论和技术的不断发展,各种新型软基加固技术相继涌现,为市政道路工程的建设提供了更加可靠的技术支撑。本文将对软基加固技术的现状进行综述,分析其在市政道路工程中的应用特点,并针对不同类型的软基提出相应的加固技术措施,以期为市政道路工程的建设提供参考。

关键词:市政道路工程;软基加固技术;应用路径研究

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2023.09.105

前言

随着城市化进程的不断加快,市政道路建设规模不断扩大,对道路工程质量的要求也越来越高。软土地基广泛存在于城市地区,其承载能力低、易发生沉降变形等问题,严重影响了市政道路的使用寿命和安全性能。因此,在市政道路工程中,采用有效的软基加固技术,提高软基的承载能力和稳定性,对于确保道路工程质量具有重要意义。

一、市政道路工程中软基的特点与危害性分析

软土地基是指由于特殊的沉积环境和物质成分,形成了具有较高含水率、低强度和高压缩性的土层。这种特殊的地基条件会给市政道路工程带来诸多挑战和风险。软土地基主要分布于河流、湖泊、海湾等水体沉积环境附近。软土地基的形成与多种因素密切相关。首先是地质历史因素,如冰川作用、海侵海退等地质构造运动,为软土的形成奠定了基础。其次是环境水文条件,静水环境有利于细小颗粒的富集沉淀,形成高含水率的淤泥质土层。再者,物源供给情况也是重要影响因素,河流、风成等外源物质输入量大,易形成厚层软土。最后,沉积物的粒度组成决定了软土的性质,细颗粒黏土和淤泥质沉积物更易形成高压缩性的软土地基。在市政道路工程中,软土地基存在诸多危害性。其一,强度低、压缩性高,难以满足道路工程的承载力要求,极易发生不均匀沉陷、侧向位移等变形破坏。其二,高含水率使得软土在荷载作用下将产生较大的长期沉降,影响道路的平整度和使用性能。其三,高压缩性使得软土在荷载卸除后容易发生反弹隆起,造成道路面层裂缝、起拱等病害。其四,水化学性质异常的软土还可能腐蚀混凝土和钢筋等结构材料,缩短工程使用寿命。因此,在

软土地基区域进行市政道路工程建设时,必须采取针对性的设计和施工措施。可采用换填土夯实、预压缩排水固结、垫层加筋、管柱赫夫卡复合地基等方法,提高地基承载力,控制沉陷变形。同时加强道路面层设计,提高抗裂防渗能力,并合理设置地下管线位置和防护措施。此外,还应重视工程监测,及时发现并处理软土地基的异常变形,保证道路工程的质量安全。

二、软土地基加固技术的发展状况与应用价值

软土地基加固技术是确保市政道路工程质量安全的关键技术之一,近年来取得了长足进步,在工程应用中发挥了重要作用。传统的软土地基加固技术主要包括换填夯实、预压缩排水固结、垫层加筋等方法。其中,换填夯实是将原有的软土开挖掘除,再将良好的填土分层夯实而形成新的地基承载层的做法。这种方法虽然可靠,但土方开挖量大、造价较高。预压缩排水固结则是在软土地基上预先压实一定时间,排除多余的孔隙水,从而提高其承载力。该方法操作相对简单,但周期较长、加固效果易受地下水位影响。垫层加筋是在软土地基上设置水平和垂直的土工格栅或筋材,构建受力骨架,从而提高承载能力。其施工简便,但对地基要求较高。

近年来,随着新型材料和施工工艺的发展,软土地基加固技术不断创新。其中管柱复合地基技术逐渐成为主流。该技术是在软土地基上植入水泥土搅拌桩、碎石桩或沉管等刚性桩体,形成“柱”状承载单元,同时在桩体间回填软土中的砂石材料,以此形成抗剪层,两者共同承担上部荷载。这种复合型地基具有承载力高、变形小、施工便捷等优点,被广泛应用于高速公路、城市道路等工程,解决了软土地基问题。除此之外,近年来

也出现了一些新型软土加固技术。如高压旋喷注浆桩、排水顶管置换法等,可在不扰动原地基的情况下,在地下成孔注入或搅拌形成灰土/砂石桩体,有效加固软土地基。此外,粉体注浆或胶体注浆技术利用化学材料注入软土中形成凝固体,可改善软土的抗剪强度和压缩性。应用于市政道路边坡稳定、地基加固等方面,具有一定的经济和环保优势。

三、市政道路工程中软土加固技术的类型与应用路径

(一) 双向水泥搅拌桩法

双向水泥搅拌桩技术是一种行之有效的软土地基加固方法,主要应用于市政道路、铁路、码头等交通工程软基处理。该技术的核心原理是通过水泥浆液与原状土的搅拌反应,形成具有一定强度和低渗透性的水泥土桩体,从而改善软土地基的抗剪强度、压缩模量和渗透性能。在施工过程中,双向水泥搅拌装置先将钻头插入至设计深度,随后开启搅拌头并注入水泥浆液,同时朝相反方向缓慢提拔,使水泥浆与原状土充分搅拌均匀。这种双向搅拌过程能有效地消除搅拌体内部的空腔,增加桩体质量的均匀性。搅拌后的水泥土在一定时间内会凝固硬化,形成单桩直径 0.5-1.2米、单体抗压强度可达 1-5MPa的刚性桩柱。水泥搅拌桩的加固效果主要体现在三个方面:第一,桩体本身的强度较高,可作为刚性支撑体提高地基整体承载能力;第二,加固后的土层渗透性变差,有利于防止软土在外荷载作用下发生流失失稳;第三,搅拌过程使得原状软土结构被重新置换,改善了土层压缩性,减小沉降变形。

在实际应用中,双向水泥搅拌桩技术需要合理确定桩体排布形式和搅拌参数。一般而言,对于高度要求的道路工程,通常采用等间距正三角形或正方形排布,桩间净距控制在2-3倍桩径;对于一般市政道路,也可采用梅花形或叠加桩组形式,以降低单位面积施工量和工程造价。同时应优化水泥浆液配合比,保证桩体内部无空洞,单桩强度系数在0.8以上。此外,水泥搅拌桩技术施工时需严格控制搅拌参数。一般情况下,搅拌转速应控制在15-30r/min之间,桩身提拔速度为20-60cm/min,避免搅拌不足或搅拌过度引起水泥浆离析;桩体设计长度需贯穿整个软土层,桩端至少要插入坚硬层2-3米。通过合理的桩位布置、搅拌参数和施工工艺控制,双向水泥搅拌桩可保证整体设计强度满足路基承载需求。该技术在工程实践中具有良好的应用价值。以滨海地区某市政道路工程为例,由于道路全线穿过厚6-12

米淤泥质软土层,传统换填土法造价高且影响大。经过勘测分析,最终采用双向搅拌桩加固,桩长10米,单桩抗压承载力设计值为500kN,等间距正三角形布桩。通过加固,路基压缩量控制在25cm以内,有效解决了软基问题。同时,该技术无需大面积开挖,节省了大量工程投资成本。

(二) 真空联合堆载预压法

真空联合堆载预压法是一种行之有效的软土地基加固处理技术,主要应用于公路、城市道路、工业场地等需要较高承载力地基的工程项目中。该方法将真空压实和堆载预压工艺有机结合,以强化软土地基排水固结效果,提高工期和抗震能力,具有显著优势。真空联合堆载预压加固软土地基的核心原理,是利用真空压力和堆载荷载的双重作用,促进软土中孔隙水的高效排出,从而达到压缩固结、提高强度和降低压缩性的目的。具体施工过程为:首先在待处理区域布设垂向排水板和渗水盲沟,随后在地表覆盖防水膜形成密闭的真空腔室,再通过抽气泵系统产生足够的负压真空(一般在60~90kPa)。此时,负压将作用于软土层表面及内部,强化了径向和垂向的固结排水效果。待真空预压固结达到一定程度后,再在地表加载一定厚度的堆料荷载,使荷载与真空压力共同作用于软土层,进一步促进排水固结和压缩。采用真空联合堆载预压法加固软土地基,可有效克服传统堆载预压法的固结排水效率低、施工周期长等弊端。通过真空预压提高了孔隙水的排出效率,且构造简单、成本低廉。整个施工过程中无需大规模开挖,环境污染小,也避免了对周边环境的扰动。同时结合堆载,使软土整体承载力得到显著提高,满足工程要求。

(三) 强夯法

强夯法是一种常用的软土地基加固技术,主要通过重型夯锤自由落体的冲击作用,对待处理的软土地基进行压实、振动,从而改善其工程性能,提高承载力。在市政道路软基加固工程中,该技术具有施工方便、效果可靠的特点,应用广泛。强夯法的基本工作原理是,通过大质量的夯锤从一定高度自由落体碰撞地面,产生的强大动力波能量向四周扩散。这种冲击波将导致周边土体颗粒重新排列、密实,使土层发生复合变形和压密。在振动冲击作用下,松散的砂土颗粒发生相对位移,土层孔隙度减小、密实度提高;同时软塑性土的空间结构遭到破坏,致密度增加、剪切强度提高。强夯作业过程中,通过控制夯锤质量、落距、振动频率等参数,可以

获得不同的能量输入，从而达到所需的压实效果。一般情况下，对于厚度6-10米以内的粉土、淤泥等土层，单重夯锤重量可控制在2.5-5吨，落距为4-8米；而对于更厚的砂质软土或者需更大能量的情况，可采用5-20吨重量的重锤，落距可达15米以上，以增加单位面积的能量输入。同时，空场夯击与道路路基下施工会有一定差别，后者可通过分区分段施工的方式来实施。

根据不同的工程环境，施工人员需合理选择强夯作业工艺，以获得理想的处理效果。对于宽度较大的路基或地基区域，可采用点阵式强夯，通过多次重复夯击，逐渐将加固区域扩大；对于宽度较窄的狭长区域，可围绕中心线一次性进行强夯处理。通过工艺参数优化，强夯法可有效提升淤泥质软土地基的承载力，使其满足市政道路工程需求。除了合理的施工工艺，科学的夯实地布置也是关键。需要根据不同的地质土层条件，合理选择夯击点并控制重叠夯击范围。通常控制相邻两夯击点的最大间距为1.5-2倍夯锤直径，以确保能量覆盖的均匀性。同时需注重边缘效应的控制，避免出现空鼓区。夯击点可根据需求采用正方形、三角形等布置形式。此外，夯击深度应超过软土层底界1-2米，以确保基底效应得以完全发挥。强夯法在市政道路路基加固工程中的应用具有典型案例。比如某高速公路路基施工中，遇到1.5米厚的淤泥质软土层，技术人员主动采用15吨重锤、5米落距的强夯法处理，单点夯击能量达 $550\text{kN}\cdot\text{m}$ 。经过两遍重复夯击后，软土承载力从 15kPa 提高到 105kPa ，满足路基设计要求。再如某城市快速路工程，由于沿线存在3-5米厚的粉质黏土层，施工单位采用5吨重锤、5米落距，点阵式两遍重复强夯，有效控制了地基沉降变形。总之，强夯法凭借其操作简便、加固效果显著的优势，在市政道路路基加固工程中发挥了重要作用。通过合理设计施工工艺、参数和场地布置，能够充分发挥强夯技术的处理效能，确保道路工程质量和使用寿命。

（四）软基换填加固技术

软基换填加固技术是针对软土地基进行加固处理的传统方法之一，在市政道路工程中得到了广泛应用。它的基本原理是将原状软土开挖掘除，再将优质填土回填并分层夯实，从而构建满足承载力要求的新地基层。软基换填作业通常包括以下几个主要环节：首先，按照设计挖深对原有软土进行开挖清理，挖深一般应贯穿整个软土层，并延伸插入基底良好土层1-2米。对于较厚软

土层，可分层进行开挖换填。其次，采用优质填土（如卵石、砂砾等）进行分层回填，每层回填厚度一般控制在20-40cm，并对每层填土进行平整和压实处理。压实方式可采用重型平夯机或振动压路机等，压实度标准以满足工程设计要求为准。最后，可在回填地基的顶面铺设防水土工布或碎石垫层，以提高地基排水性和均匀性。

软基换填加固技术能够从根本上提高地基承载力，但同时也存在一些局限性。例如施工工序较为复杂，需要大面积开挖回填，工程量较大；对软土强度较低、流动性较大的地段，难以保证开挖操作安全；在高地下水水位条件下，地基换填作业受到一定限制等。因此，在实际的工程应用中，需要根据具体情况合理选择换填参数，发挥其最大效能。第一，应充分勘察软土分布范围和性质，确定合理的换填深度。一般情况下，对于厚度小于6米的软土层，可采取整层换填；厚度6-12米时，可分层换填；超过12米则需结合其他加固措施。第二，选择合适的填土材料。一般要求填土颗粒级配适中、压实性能良好，常用的有中粗砂、碎石等。第三，合理确定换填层压实度标准。饱和非黏土层可控制在90%以上，黏性土则应 $\geq 93\%$ 。通过科学严格的施工，使换填地基的压缩模量达到 100MPa 以上。第四，加强边坡防护和地基排水设计，避免雨季地下水位抬升对新地基造成不利影响。

结论

软基加固技术在市政道路工程中的应用具有广阔的发展前景。随着城市化进程的加快，软基问题将更加突出，对软基加固技术的应用需求也将不断增长。未来，软基加固技术将朝着以下方向发展：技术人员将加强软基加固理论研究，提高软基加固技术的科学性和可靠性；同时重点开发新型软基加固材料和技术，提高软基加固的效率和经济性；促进软基加固技术与市政道路工程的结合，提高道路工程的整体质量和使用寿命。

参考文献

- [1] 唐袁森. 市政道路施工中软基加固技术分析[J]. 居舍, 2022, 04.
- [2] 刘永彬. 软基加固施工技术在市政道路施工中的应用[J]. 运输经理世界, 2021, 27.
- [3] 刘延军, 王忠. 市政道路工程中软基加固技术应用[J]. 工程设计与施工, 2023, 5(1): 25-27.