

市政工程软基处理施工技术研究

文 / 苏 辉 广东省水利水电第三工程局有限公司

摘要：在城市化进程不断加快的当下，市政工程的建设规模与日俱增。软土地基作为一种常见的地质条件，广泛分布于城市建设区域。软土地基具有含水量高、压缩性大、抗剪强度低等不良工程特性，若处理不当，会导致道路沉降、桥梁倾斜、地下管道破裂等一系列工程病害，严重影响市政工程的质量和使用寿命，甚至威胁到公众的生命财产安全。因此，深入研究市政工程软基处理施工技术，选择科学合理的处理方法，对于保障市政工程的安全稳定运行，推动城市建设的可持续发展具有至关重要的现实意义。

关键词：市政工程；软基处理；施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.11.021

引言

市政工程是城市基础设施建设的重要组成部分，其建设质量直接关系到城市的正常运转和居民的生活品质。然而，软土地基的存在给市政工程建设带来了诸多挑战。随着工程技术的不断发展，虽然已经有多种软基处理施工技术可供选择，但不同的技术在适用性、处理效果和经济成本等方面存在差异。如何根据具体的工程地质条件、工程要求和环境因素，准确选择和应用合适的软基处理技术，是当前市政工程建设中亟待解决的关键问题。开展市政工程软基处理施工技术研究，具有很强的必要性和紧迫性。

一、软土地基的工程特性

软土地基具有显著且复杂的工程特性，对工程建设影响极大。其含水量高，通常可达30%-70%，这是由于软土

多形成于水流缓慢的环境，大量水分被包裹在土颗粒之间。高含水量导致软土孔隙比大，一般在1.0-2.0之间，使得土体结构松散。低渗透性也是软土地基的重要特性，渗透系数多在 10^{-6} - 10^{-8} cm/s范围内，水分排出困难，这使得软土地基在受压时固结时间长，沉降过程缓慢且持续时间长。软土地基还具有高压缩性，压缩系数常大于 0.5MPa^{-1} ，在建筑物荷载作用下，容易产生较大的沉降量，且不均匀沉降问题突出。其抗剪强度低，内摩擦角小，黏聚力也低，这使得软土地基难以承受较大的剪切力，在受到水平力或上部荷载时，容易发生滑动破坏。此外，软土还具有触变性，当原状土受到扰动时，其强度会显著降低，甚至变成流动状态。这些特性综合起来，给市政工程建设带来了诸如路面开裂、建筑物倾斜、基础下沉等诸多难题，因此在工程中必须采取有效的处理措施。

表1 软土地基工程特性

| 工程特性 | 描述 / 数据范围 |
|------|--|
| 含水量 | 高，通常可达30%-70% |
| 孔隙比 | 大，一般在1.0-2.0之间 |
| 渗透性 | 低，渗透系数多在 10^{-6} - 10^{-8} cm/s范围内 |
| 固结时间 | 长，沉降过程缓慢且持续时间长 |
| 压缩性 | 高，压缩系数常大于 0.5MPa^{-1} |
| 沉降量 | 在建筑物荷载作用下，容易产生较大的沉降量，且不均匀沉降问题突出 |
| 抗剪强度 | 低，内摩擦角小，黏聚力也低 |
| 触变性 | 当原状土受到扰动时，强度会显著降低，甚至变成流动状态 |

二、软土地基对市政工程的危害

软土地基对市政工程危害极大，涉及道路、桥梁、地下管道等多个方面。在道路工程中，软土地基的高压缩性和低抗剪强度是主要隐患。由于软土压缩性高，道路建成后会出现不均匀沉降，导致路面开裂、坑洼不平。车辆行驶在这样的路面上，不仅舒适度降低，还会加速车辆磨损，增加交通事故风险。而且软土抗剪强度低，在车辆荷载反复作用下，易产生侧向位移，使路面结构遭到破坏。桥梁工程受软土地基影响也十分严重，软土地基的沉降会使桥

梁基础产生不均匀下沉，导致桥墩倾斜、梁体开裂。这不仅影响桥梁的外观和使用寿命，更会威胁到桥梁的结构安全，严重时甚至可能引发桥梁坍塌事故。对于地下管道工程，软土地基的危害同样不可小觑。软土的不均匀沉降会使管道承受额外的应力，导致管道接口处破裂、脱节，造成污水泄漏、地下水污染等问题。同时，管道的损坏还会影响城市的排水、供水等基础设施的正常运行，给居民的生活带来极大不便，并且修复地下管道工程的成本高、难度大，会造成巨大的经济损失。

三、软基处理施工技术选择的影响因素

软基处理施工技术选择受多种因素影响,不同的软土地基其土质特性差异大,如淤泥质土含水量高、压缩性大、抗剪强度低;而粉土的渗透性相对较好。土层的厚度、分布情况也很关键,浅层软土与深层软土适用的处理技术不同。若软土层较薄,换填法可能是经济有效的选择;若软土层深厚,则需考虑排水固结法等。工程要求也不容忽视,不同的市政工程对地基的承载能力、沉降控制等要求不同。例如,道路工程对地基的平整度和沉降均匀性要求较高,需保证车辆行驶的舒适性和安全性;而桥梁工程则对地基的承载能力要求极高,要能承受桥梁自身及过往车辆的巨大荷载。施工环境同样是重要影响因素,施工现场周边的建筑物、地下管线分布等会限制施工技术的选择。若周边有对振动敏感建筑物,强夯法就不适用,以免振动对其造成破坏。此外,施工季节、气候条件也会影响施工技术的实施,如在雨季施工,排水固结法的效果可能会受影响。经济成本也是必须考虑的因素,不同的软基处理技术成本差异较大,在满足工程要求的前提下,应选择成本较低的处理技术,以提高经济效益。

四、市政工程软基处理施工技术

(一) 换填法

换填法是一种较为常见且基础的软基处理施工技术,其核心原理是将地基中一定范围内的软弱土层挖除,然后换填强度较高、压缩性较低且性能稳定的材料,如砂、碎石、灰土等,以改善地基的承载能力和变形特性。在施工准备阶段,需要进行详细的地质勘察,准确确定软弱土层的范围和深度,为后续的土方开挖和换填材料的选择提供依据。同时,要根据设计要求准备好合适的换填材料,并对其质量进行严格检验,确保其符合工程标准。土方开挖过程中,应严格按照设计的开挖深度和坡度进行施工,避免超挖或扰动基底土。开挖完成后,要及时对基底进行清理和平整,确保基底的平整度和密实度符合要求。换填材料的填筑是关键环节,在填筑前,要对换填材料进行分层摊铺和压实。分层厚度应根据压实机械的类型和性能合理确定,一般不宜超过300mm。压实过程中,要采用合适的压实方法和压实遍数,确保换填材料的压实度达到设计要求。对于砂和碎石等透水性材料,可采用水撼法或振动压实法;对于灰土等黏性材料,则可采用夯实法或碾压法。换填法适用于处理浅层软弱地基,一般处理深度在2-3m以内。在一些小型市政道路工程中,当软土层较薄时,采用换填法可以快速有效地提高地基的承载能力,保证道路的稳定。然而,该方法也存在一定的局限性,如土方开挖和回填工作量较大,对环境的影响相对较大,且处理深度有限。

(二) 排水固结法

排水固结法主要是通过设置排水系统和施加预压荷载,使软土地基中的孔隙水排出,土体逐渐固结,从而提高地基的强度和减少后期沉降。排水系统通常由竖向排水体和水平排水垫层组成,竖向排水体一般采用塑料排水板或砂井,其作用是缩短孔隙水的排水路径,加速

土体的固结过程。水平排水垫层则采用砂或碎石等透水性材料,将从竖向排水体排出的孔隙水迅速排走。预压荷载的施加方式有多种,常见的有堆载预压和真空预压。堆载预压是在地基上堆填一定重量的材料,如土、砂等,使地基在荷载作用下产生固结。真空预压则是通过在地基表面铺设密封膜,利用真空泵抽气形成真空,使地基中的孔隙水在真空压力作用下排出。在施工过程中,要严格控制排水系统的施工质量。竖向排水体的插入深度和间距应符合设计要求,确保排水通道的畅通。水平排水垫层的厚度和密实度也至关重要,要保证其具有良好的透水性。同时,在施加预压荷载时,要控制加载速率,避免加载过快导致地基失稳。排水固结法适用于处理厚度较大的饱和软土地基,如沿海地区的淤泥质土地基。在一些大型市政工程,如港口、机场跑道等的建设中,排水固结法得到了广泛应用。该方法的优点是处理效果好,能够有效减少地基的后期沉降,但施工周期较长,需要一定的时间来完成土体的固结过程。

(三) 水泥搅拌桩法

水泥搅拌桩法是利用水泥作为固化剂,通过深层搅拌机械将水泥与软土强制搅拌,使软土硬结形成具有一定强度和稳定性的桩体,从而提高地基的承载能力。施工前,要对水泥等原材料进行严格检验,确保其质量符合要求。同时,要根据地质勘察报告和设计的要求,确定水泥的掺入比和水灰比等参数。施工过程中,深层搅拌机械应准确就位,保证桩位的偏差在允许范围内。搅拌头应匀速下沉和提升,确保水泥与软土充分搅拌均匀。在喷浆过程中,要控制好喷浆压力和喷浆量,保证桩体的质量。水泥搅拌桩的质量检测是关键环节,常用的检测方法有桩身完整性检测和单桩承载力检测。桩身完整性检测可采用低应变法或钻孔取芯法,以检查桩身是否存在缺陷。单桩承载力检测则可采用静载试验,确定桩的承载能力是否满足设计要求。水泥搅拌桩法适用于处理淤泥、淤泥质土、粉土等软土地基。在市政桥梁工程中,当基础需要承受较大荷载时,水泥搅拌桩法可以有效地提高地基的承载能力,减少基础的沉降。该方法的优点是施工过程中对周围环境影响较小,加固效果显著,但对施工工艺和施工质量要求较高。

(四) 强夯法

强夯法是通过重锤自由落下产生的强大冲击力,使软土地基密实,从而提高地基的强度和减少压缩性。强夯施工前,要对场地进行平整,并根据设计要求确定夯点的布置和夯击参数。夯点的间距和排列方式应根据地基的土质条件和工程要求合理确定。夯击参数包括夯击能、夯击次数和夯击遍数等,这些参数直接影响强夯的效果。在强夯过程中,重锤应准确落于夯点上,确保夯击能量的有效传递。每次夯击后,要测量夯坑的深度和周围地面的隆起情况,以便及时调整夯击参数。同时,要注意控制夯击的间隔时间,使地基土有足够的时间恢复强度。强夯法施工完成后,要对地基进行质量检测。检测内容包括地基的密实度、承载力等。常用的检测方法有原位测试和室内土工试验等。强夯法适用于处理碎

石土、砂土、低饱和度的粉土与黏性土等多种类型的地基。在一些大型工业厂房和市政广场的建设中,强夯法可以快速有效地提高地基的承载能力。但该方法施工时会产生较大的振动和噪声,对周围环境有一定的影响,因此在居民区等敏感区域使用时需要采取相应的防护措施。

(五) 振冲法

振冲法是利用振冲器的高频振动和高压水流,在地基中形成孔洞,然后填入碎石等材料,形成碎石桩,与周围土体共同组成复合地基,从而提高地基的承载能力和抗液化能力。施工时,首先将振冲器下沉至设计深度,在下沉过程中,通过高压水流冲切土体,形成孔洞。然后,边提升振冲器边向孔内填入碎石,同时振冲器不断振动,使碎石密实。重复上述过程,直至形成完整的碎石桩。振冲法的关键在于控制振冲器的振动参数和填料的质量,振动频率、振幅和留振时间等参数应根据地基的土质条件和设计要求进行调整,以确保碎石桩的密实度和强度。填料应选用级配良好的碎石,其粒径和含泥量等指标应符合设计标准。振冲法施工完成后,要对复合地基进行质量检测。检测方法包括单桩复合地基承载力试验、桩身密实度检测等。通过检测,评估复合地基的处理效果是否满足工程要求。振冲法适用于处理砂土、粉土、粉质黏土等多种地基,尤其在处理可液化地基时具有显著的效果。在一些沿海地区的市政工程中,当地基存在液化可能性时,振冲法可以有效地提高地基的抗液化能力,保障工程的安全。

(六) 高压喷射注浆法

高压喷射注浆法是利用高压喷射设备,将水泥浆液以高速喷射到地基土中,使水泥浆液与土体混合,形成固结体,从而改善地基的物理力学性质。根据喷射方式的不同,高压喷射注浆法可分为旋喷、定喷和摆喷。旋喷形成的固结体呈圆柱状,适用于提高地基的承载能力;定喷形成的固结体呈壁状,常用于基坑防渗等工程;摆喷形成的固结体呈扇状,可根据工程需要进行调整。施工前,要对场地进行平整,并确定孔位。钻孔过程中,要保证钻孔的垂直度和深度符合设计要求。然后,将喷射管插入孔内,启动高压泵,使水泥浆液以高速喷射到土体中。在喷射过程中,要控制好喷射压力、提升速度和旋转速度等参数,确保固结体的质量。高压喷射注浆法施工完成后,要对固结体进行质量检测。检测内容包括固结体的强度、直径和均匀性等。常用的检测方法有钻孔取芯、标准贯入试验等。高压喷射注浆法适用于处理淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土等多种地基。在一些市政地下工程中,如地铁车站的基坑支护和防渗处理,高压喷射注浆法可以有效地提高地基的稳定性和防水性能。

(七) 加筋法

加筋法是在软土地基中铺设筋材,如土工格栅、土工织物等,通过筋材与土体之间的摩擦力和咬合力,增强土体的整体性和稳定性,提高地基的承载能力。在铺设筋材前,要对地基表面进行平整和清理,确保筋材能

与土体紧密接触。筋材的铺设应按照设计要求进行,保证筋材的铺设方向、间距和搭接长度符合标准。在筋材铺设过程中,要避免筋材受到损伤。同时,要及时在筋材上覆盖填土,进行压实,使筋材与土体形成一个整体。填土的压实度应符合设计要求,以充分发挥筋材的加筋作用。加筋法的效果与筋材的性能、铺设方式以及填土的性质密切相关。从筋材性能来看,不同类型的筋材其强度、弹性模量、耐久性等指标差异较大。例如,高强度的土工格栅具有较高的抗拉强度和较低的延伸率,能够在土体发生变形时提供较大的拉力,有效约束土体的侧向位移;而土工织物除了具备一定的抗拉性能外,还具有良好的透水性,可在排水的同时起到加筋作用。在选择筋材时,需要根据软土地基的具体情况和工程要求,综合考虑筋材的各项性能指标,以确保其能够满足工程的长期使用需求。筋材的铺设方式也对加筋效果有着重要影响,铺设方向应根据土体的受力方向和变形特点进行合理确定。一般来说,对于承受单向荷载的地基,筋材应沿荷载方向铺设;而对于承受双向或多向荷载的地基,则需要采用双向或多向铺设的方式。此外,筋材的铺设层数和间距也需要经过精心设计。增加铺设层数可以提高地基的承载能力,但同时也会增加工程成本;合理的间距能够使筋材与土体充分协同工作,发挥最佳的加筋效果。填土的性质同样不容忽视,填土的颗粒级配、含水量和压实度等因素都会影响筋材与土体之间的相互作用。在施工过程中,要严格控制填土的质量,确保填土的各项指标符合设计要求。

结语

综上所述,市政工程软基处理施工技术的研究是一项复杂而重要的工作。通过对各种软基处理技术的深入研究和实践应用,我们能够更好地应对软土地基带来的挑战,提高市政工程建设质量和安全性。在未来的工程建设中,我们应不断探索和创新软基处理技术,结合先进的科学理论和工程实践经验,进一步优化处理方案,降低工程成本,减少对环境影响。同时,加强对软基处理施工过程的质量控制和监测,确保每一项市政工程都能经得起时间和使用的考验,为城市的发展和人民的幸福生活提供坚实的基础保障。

参考文献

- [1] 高阳,任豪.市政道路施工中软基加固技术分析[J].中国住宅设施,2023,(12):67-69.
 - [2] 赖俊杰.市政工程施工软基处理技术研究[J].居业,2023,(12):179-181.
 - [3] 李月明.软基处理施工技术在市政公路施工中的应用[J].交通世界,2023,(35):71-73.
 - [4] 钟舜琪.市政工程城市道路施工技术研究[J].黑龙江交通科技,2023,46(09):84-86.
 - [5] 刘振中.软基加固技术在市政施工中的应用分析[J].大众标准化,2023,(09):37-39.
- 作者简介:苏辉(1988.12—),男,汉族,广西桂林人,工程师,本科,研究方向:市政路桥工程。