

湿陷性土地基处理方法探讨

答帅

深圳市天健建工有限公司

摘要：湿陷性黄土地基由于其特有的湿陷特性，对工程结构物的安全和使用构成严重威胁。介绍了多种湿陷性土地基处理工程技术，如换填法、预浸法、强夯法、固结灌浆法等，这些方法各有优缺点，适用于不同条件和环境的湿陷性地基。在选择和应用处理技术时，应综合考虑地基特性、工程需求、经济成本和环境影响等因素。总结了湿陷性土地基处理的现状和存在的问题，对未来的研究方向进行了展望，包括湿陷性地基处理新方法的探索、现有技术的优化以及湿陷性地基长期稳定性研究等。

关键词：湿陷性土地基；处理方法；黄土；检测技术；工程技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.21.031

一、湿陷性土地基概述

湿陷性土地基，尤其是以黄土为代表的湿陷性土体，其特性及处理方法一直是岩土工程领域的重要研究课题。黄土地基的湿陷性，源自其独特的地质构成与物理性质。这种特性在特定的水分条件下，会导致地基承载力显著下降，对上部结构产生严重威胁，引发沉降、开裂甚至结构破坏，从而对工程项目的稳定性和耐久性构成巨大挑战。

湿陷性黄土，又称为胀缩土，是由于其特殊的多孔性结构和天然节理特性，在水分作用下，土颗粒之间的结构稳定性被破坏，造成显著的附加下沉。这种现象根据是否在自重应力作用下发生，可以分为自重湿陷性和非自重湿陷性。自重湿陷性黄土在自然状态下就可能产生湿陷，而非自重湿陷性黄土则需要外加荷载与自重应力的共同作用才会引发湿陷。

在处理湿陷性土地基时，需综合考虑多种因素，包括土体的湿陷等级、结构物的类型和荷载、工程的经济性和环境影响。处理方法种类繁多，如素土挤密法、浸水预湿处理、重锤夯实法、强夯法以及挤密桩法等，每种方法都有其适用条件和局限性。针对浅层湿陷性土层，常采用素土或灰土回填并分层夯实；而对于深层次的湿陷性土层，可能需要采用强夯法或挤密桩法，有时需现场试验来确定最优处理参数。对于已建结构物，可采用硅化法等加固技术，以提高地基的稳定性。

二、湿陷性土地基的成因分析

（一）土壤结构和含水量对土地基的影响

土壤结构和含水量是影响湿陷性土地基稳定性的重要因素。湿陷性黄土的多孔性结构和天然垂直节理赋予其独特的力学特性，这些特性在含水量变化时尤为显著。在干燥状态下，黄土颗粒间的联系相对紧密，土体具有较高的强度和较低的压缩性，能够较好地支撑上部结构。然而，一旦水分侵入，土颗粒间的孔隙被水填充，土颗粒的接触面被润滑，导致颗粒间的摩擦力减小，颗粒间的结构稳定性破坏，抗剪强度大幅下降。

含水量的变化对湿陷性地基的影响是双向的。在自重湿陷性黄土中，含水量增加会导致湿陷性程度加剧，地基承载力显著下降。而在非自重湿陷性黄土中，含水量的变化可能影响其转变为自重湿陷性，或者影响外部荷载对湿陷性的影响程度。因此，对土壤含水量的精确监测和控制，是预防和治理湿陷性地基的关键环节。

在实际工程中，通过预湿处理和浸水预压等方法，可以预估并控制土壤的含水量，以降低其湿陷性。预湿处理通过在施工前让地基土体充分吸水，提前释放一部分湿陷变形，从而减少后期结构物的沉降。而浸水预压则是在施工过程中，通过模拟使用阶段的水分条件，使土体提前达到湿陷状态，以适应将来的荷载条件，从而达到稳定地基的目的。

（二）外部环境因素对地基湿陷性的影响

水文地质条件是湿陷性黄土形成的关键因素。地下水的高低、地下水的运动以及地下水的矿化程度，都直接关系到地基的含水量和土体的化学状态。地下水位过高，尤其是在土体的毛细上升范围内，会导致土壤长时间处于饱和状态，增加了土体的湿陷性。此外，频繁的地下水位波动，通过不断改变土壤的湿干状态，加速了湿陷过程。地下水的矿化程度，特别是含有水溶性盐分，会降低土颗粒间的凝聚力，增加土壤的湿陷性。

气候条件，尤其是降雨和温度的季节性变化，对土壤的含水量有显著影响。湿润季节，降雨的增多会使土壤含水量上升，湿陷性增强；而干燥季节，水分蒸发可能导致土壤结构的重塑，降低湿陷性。温度变化影响土壤的冻融过程，冻融交替可加剧土壤内部的松散和不稳定性，促进湿陷的发生。

三、湿陷性土地基的检测方法与指标

(一) 现有地基湿陷性检测方法的比较与分析

在湿陷性土地基的检测与处理中，选择合适的检测方法至关重要。目前，常用的湿陷性检测方法大致可以分为现场原位测试、室内试验以及综合评价体系。每种方法都有其优缺点，适用于不同条件和环境的湿陷性地基，因此，理解并比较这些方法对于制定有效的处理策略具有重要意义。

值得注意的是，湿陷性检测是一个动态过程，随着地基处理的进行，检测结果可能会发生变化。因此，处理过程中的持续监测和评估是确保工程安全的关键。未来的研究应继续改进现有检测方法，开发更加高效、准确的检测手段，以期为湿陷性土地基的处理提供更为精确的数据支持。同时，研究不同检测方法的协同应用，利用多源信息融合，将有助于提高湿陷性地基评价的精度和可靠性。

(二) 适用于湿陷性土地基的新型检测指标探讨

随着科技的进步和对湿陷性土地基理解的深入，研究人员开始探索新型的检测指标，旨在更准确、更全面地评估地基的湿陷性。以下是一些正在研究或初步应用的新型检测指标和方法。

一种新型的检测指标是基于土壤微观结构的分析。通过扫描电子显微镜（SEM）和X射线衍射（XRD）等技术，可以直接观察和分析土颗粒的形状、大小、表面特征以及矿物组成。这些微观特性与土体的湿陷性密切相关，如颗粒形状的不规则程度和矿物结晶度都会影响到湿陷性。通过这类微观结构分析，可以深入理解湿陷性发生的微观机制，为改进处理方法提供理论基础。

另一种潜力巨大的检测方法是利用遥感和地理信息系统（GIS）。通过无人机或卫星影像，可以对大面积的黄土地域进行高分辨率的地形和土壤湿度监测，结合GIS技术进行数据整合和空间分析，可以预测和识别潜在的湿陷性区域。这种方法尤其适用于大规模工程项目的前期风险评估，避免因湿陷性而产生的后期问题。

声学 and 电磁波技术也开始应用于湿陷性土地基的检测。声波测井和电磁波成像技术能穿透地层，实时、非破坏地获取地基的物理特性，如孔隙度、渗透率、结构完整性等。这些信息有助于更精确地评估湿陷性，同时也对处理后的效果进行实时监测，为优化处理措施提供实时反馈。

生物标志物作为新型检测指标也引起了关注。有些微生物如微生物气泡的存在和分布，可能与湿陷性黄土

的形成和稳定性有关。通过分析地基土体中的微生物组成和活性，或许可以预测地基的湿陷性，甚至通过生物修复技术改善地基性能。

(三) 地基处理前后的湿陷性指标变化研究

地基处理前后的湿陷性指标变化研究是评估处理效果和优化处理方案的关键环节。在实施湿陷性土地基处理后，需要通过一系列检测手段，对比处理前后的湿陷性指标，以验证处理措施的成效，并为后续的地基设计和施工提供依据。这些指标的改变，不仅反映了地基物理力学性质的改善，还反映了土体结构和化学性质的调整，为湿陷性土地基的长期稳定性评估提供了有力证据。

处理后的湿陷性等级变化是一个重要的评价指标。通过湿陷性试验，如三轴湿陷试验，可以测量处理前后土样的湿陷变形量。如果处理后的湿陷变形量显著降低，甚至接近非湿陷性土地基的标准，那么说明处理措施有效。此外，湿陷等级的降低还意味着地基承载力的提高，对上部结构的稳定性有显著提升。

四、湿陷性土地基处理工程技术

(一) 桩基处理在湿陷性土地基上的应用研究

桩基处理作为一种有效的湿陷性土地基处理方法，已在黄土地区得到了广泛应用。通过在地基中打入桩体，破坏湿陷性黄土的松散结构，形成密实的桩土复合地基，以减少或消除湿陷性。桩基处理的方法多种多样，包括预应力混凝土管桩、打入式预制方桩、素混凝土预制桩和打入式钢桩等，选择哪种桩型通常取决于土质特性、工程要求和经济成本。

对于深层湿陷性黄土地基，桩基处理尤为适用。强夯法和重锤夯实法虽然有效，但对于大深度地基的处理效果受限，而桩基处理则能够提供更稳定的承载平台。在湿陷性黄土地区，桩基深度通常需穿透湿陷性土层，延伸至非湿陷性土层，以确保足够的承载力。桩间距的确定同样关键，过密的桩会增加工程成本，过疏的桩可能无法有效消除湿陷性，因此，需通过现场试验确定最优的桩距和桩径。

桩基处理过程中，预处理如素土或灰土挤密法可先用于浅层湿陷性土层，以降低上部桩体的湿陷性影响。在打桩过程中，控制桩的入土速度和施工工艺，有助于防止因振动过大导致的湿陷性土层扰动。桩体打入后，通过桩土共同作用，湿陷性黄土的孔隙被有效填充，土体结构得到改善，抗剪强度和承载力得以提升。

桩基处理其应用也受到一些限制。首先，对于自重

湿陷性黄土，湿陷压力会在桩体打入过程中诱发湿陷，可能影响桩的稳定性，因此需要采取特殊设计和施工工艺，如预压处理或采用特殊桩型。其次，桩基处理可能会导致地下水位上升，从而引起邻近区域的湿陷问题，因此在设计时需考虑排水措施，避免因水位变化加剧湿陷。

桩基处理的经济性也是一个重要因素。尽管桩基处理能够提供较高的承载力，但其材料成本和施工成本通常较高，对于一些浅层或小规模工程，可能需要考虑经济性更优的处理方法。因此，选择桩基处理时，需综合考虑地基条件、工程需求、成本预算以及环境影响，以实现最优的经济效益和工程安全。

在桩基处理后，对地基的湿陷性指标进行检测和评估是必不可少的。通过湿陷性试验、压缩试验和固结试验，可以对比处理前后的土体性质变化，确认处理效果。同时，对桩基的完整性检测，如低应变动力检测或声波成像，也能评估桩的质量和稳定性，确保桩基在长期使用中的可靠性。

（二）土壤加固剂对湿陷性土地基处理效果的影响

土壤加固剂作为一种新型的湿陷性土地基处理手段，近年来在黄土地区得到了越来越多的关注和应用。通过在湿陷性黄土中添加特定的化学或物理加固剂，可以改变土粒间的相互作用，增强土体结构的稳定性，降低湿陷性。加固剂种类繁多，包括石灰、水泥、固化剂、土壤改性剂以及有机聚合物等，其对湿陷性土地基处理效果的影响主要体现在以下几个方面：

加固剂能够改善土体的微观结构。例如，石灰和水泥固化剂能够与土体中的矿物质发生反应，形成稳定的矿物质凝胶，填充土粒间的空隙，减少水的渗透，从而降低湿陷性。同时，这些反应产物还能增强土体的黏结力，提高土体的压缩性和抗剪强度。

加固剂能够改变土体的化学性质。一些加固剂，如固化剂和土壤改性剂，能够降低土体中水溶性盐的含量，减少水分对土粒凝聚力的破坏。同时，它们还能提高土体的渗透阻力，降低水分对地基的渗透速率，减缓湿陷过程。

加固剂的应用可以增强土体的耐水性能。有机聚合物等高分子材料作为加固剂，可以提高土体的水稳性，通过形成网状结构，增强土粒间的胶结，降低土体在水分作用下的变形能力。这有助于提高地基的承载力，减少湿陷性对上部结构的影响。

不同的加固剂对湿陷性土地基的处理效果可能存在

差异，且处理效果受多种因素影响，如土质特性、加固剂的种类和剂量、拌合均匀性、施工工艺等。此外，加固剂的使用还可能带来成本增加、环境影响以及处理效果的长期稳定性问题。例如，一些加固剂可能对地下水造成污染，或在长时间使用后出现性能衰减。

在实际应用中，选择合适的加固剂和确定适当的剂量，通常需要通过室内试验和现场试验相结合的方式。室内试验可以初步评估不同加固剂对湿陷性土的改良效果，如抗压强度、湿陷性试验和渗透性试验。而现场试验则需要在实际工地上进行，以验证室内试验结果的适用性，并对处理后的地基性能进行长期监测。

五、结论

经过深入探讨，湿陷性土地基处理已成为黄土地区工程结构建设的关键技术环节。本文通过系统梳理湿陷性土地基的理论基础，详细分析了其成因、检测方法、处理技术和效果评估，为湿陷性黄土地基的工程实践提供了扎实的理论支持。过去的研究已证明，采用合适的处理方法，如桩基处理、土壤加固剂应用等，能有效改善湿陷性地基的稳定性，保障工程结构物的安全和耐久性。

检测技术的创新：探索基于新型传感器、遥感技术和人工智能的检测方法，实现对湿陷性地基的实时、精确和低成本评估。将多源数据融合，构建多尺度的湿陷性评价体系，以提高预测的准确性和精度。

处理方法的优化：针对不同的湿陷性地基条件，研发新型的处理技术，如基于生物工程和生态修复的处理方法，以提高处理效果的同时，减少对环境的影响。优化现有处理工艺，降低施工成本和环境负荷。

参考文献

- [1] 张飞. 湿陷性黄土地区岩土工程勘察与软土地基处理试验研究[J]. 《中国新技术新产品》，2024年第1期91-93，共3页
- [2] 宋晓慧. 市政工程湿陷性黄土地基处理方法探讨[J]. 《四川水泥》，2023年第1期268-270，共3页
- [3] 高继章. 灰土挤密桩处理湿陷性黄土地基载荷沉降试验研究[J]. 《中国煤炭地质》，2024年第1期68-71，77，共5页
- [4] 张哲文. 湿陷性黄土地区公路地基处理方法研究[J]. 《散装水泥》，2023年第1期116-118，共3页
- [5] 张同凯. 明渠工程中湿陷性黄土地基处理方法比选[J]. 《东北水利水电》，2023年第3期17-18，30，共3页