

# 湿陷性黄土地基湿陷机理及地基处理方法

许前进

陕西省建筑科学研究院有限公司 陕西 西安 710008

**摘要：**湿陷性黄土因其特殊的物理力学性质，在遇水或受外力作用下易发生显著变形，导致地基承载力下降，对建筑物安全构成严重威胁。针对这一问题，本文综述了多种处理方法，包括单液硅化法、碱液加固法、挤密法、桩基础法及桩柱搅拌法等，详细阐述了各方法的原理、操作步骤及适用范围。通过对比分析，指出在实际工程中应根据具体地质条件、工程需求及经济成本等因素，选择最合适的地基处理方案，以确保建筑物地基的稳定性和安全性。

**关键词：**湿陷性黄土地基；湿陷机理；地基处理方法

## 引言

湿陷性黄土地基作为一种特殊的地质现象，广泛分布于我国多个地区，对土木工程建设构成了严峻挑战。湿陷性黄土因其高孔隙率、低强度及遇水易变形的特性，在工程建设中常导致地基沉降、结构开裂等问题，严重影响建筑物的使用功能和安全性。因此，深入研究湿陷性黄土地基的湿陷机理，探索有效的地基处理方法，对于保障工程安全、促进经济发展具有重要意义。

## 1 湿陷性黄土地基湿陷机理

湿陷性黄土地基湿陷机理是一个复杂而深刻的地质工程问题，广泛存在于我国东北、西北、华中和华东的部分地区，这一现象主要源于黄土独特的物理和化学性质，以及其在特定环境条件下的响应机制。湿陷性黄土是一种在特定条件下，特别是遇水浸湿后，其结构迅速破坏并发生显著附加下沉的特殊土壤，其土质较均匀，结构疏松，孔隙发育，颗粒组成以粉土颗粒为主，约占50%以上，其中粗粉土颗粒（0.05~0.01mm）尤为显著。这种土壤在未受水浸湿时，通常具有较高的强度和较小的压缩性，然而，一旦受到水的作用，其内部结构和力学性能将发生显著变化。湿陷性黄土地基湿陷机理的核心在于土壤内部胶结物的软化和土粒间联结的减弱，黄土中的胶结物主要包括可溶性碳酸盐等，这些物质在干燥状态下起到稳固土壤结构的作用<sup>[1]</sup>。然而，当黄土遇水时，这些胶结物会溶解或软化，导致土粒间的联结力显著下降。同时，黄土的多孔性和多洞性为水的迁移提供了有利条件，使得水能够迅速渗透到土壤内部，进一步加剧了土壤结构的破坏。在湿陷过程中，土粒间的结合水膜增厚，土粒间的距离增大，土壤颗粒间的接触点减少，土壤结构的整体性受到破坏。在外部压力（包括自重应力和附加应力）的作用下，原本松散的土壤颗粒被压缩，大孔变小，排列趋于紧密，从而形成湿陷。值

得注意的是，湿陷性黄土可分为自重湿陷性黄土和非自重湿陷性黄土两类。前者在仅受自重作用下即可发生湿陷，而后者则需要附加外部压力才能触发湿陷。

## 2 湿陷性黄土的分类

湿陷性黄土，这一独特的土壤类型，以其在水侵袭后易于发生结构变化并显著下沉的特性，在地质学与工程领域中占据着重要位置，它与非湿陷性黄土的根本区别在于，前者在遭遇水分渗透后，其下沉量（通常以湿陷系数 $\delta_s$ 来衡量）显著超过0.015的阈值，这一数值成为了界定两者界限的关键指标。湿陷性黄土的这一特性，使得它在自然环境和工程建设中展现出独特的行为模式，需要特别关注与处理。深入探究湿陷性黄土的分类，我们可以发现其内部存在着更为细致的划分，主要依据是土壤在湿陷过程中所受压力的不同来源。首先，是自重性湿陷黄土，这类土壤即便在没有外部附加荷载的情况下，仅凭自身重力及水分的渗透作用，就能引发显著的湿陷现象<sup>[2]</sup>。这主要归因于其内部结构的松散性，以及胶结物在水作用下的迅速软化和失效，自重性湿陷黄土的存在，对地基稳定性构成了严重威胁，尤其是在降雨频繁或地下水位上升的地区，其潜在的湿陷风险不容忽视。相比之下，非自重性湿陷黄土则表现出更为复杂的湿陷机制，在缺乏外部压力的情况下，这类土壤即便受到水分侵蚀，也不会立即发生显著的下沉。然而，一旦受到建筑物、道路等结构物的附加荷载作用，其湿陷性便会被激发，导致地基沉降和变形。非自重性湿陷黄土的这种特性，使得在工程建设中必须充分考虑其潜在的湿陷风险，并采取相应的地基处理措施，以确保工程结构的安全与稳定。此外，还有一类湿陷性黄土，它们经历了长期的自然侵蚀和湿陷过程，其湿陷性已逐渐减弱甚至消失。这类土壤虽然仍保留着湿陷性黄土的某些物理和化学特性，但在实际工程中已不再表现出显著

的湿陷行为。但是，这并不意味着可以忽视其潜在的地质风险，因为地质条件的变化和人为活动的干扰仍可能重新激活其湿陷性。

### 3 湿陷性黄土地基的处理方法

#### 3.1 浸水法

浸水法是通过预先对黄土进行水浸处理，利用黄土遇水易湿陷的特性，加速其湿陷过程，从而在施工过程中有针对性地解决湿陷问题。这一方法的精髓在于，它巧妙地利用了黄土的自然属性，将潜在的湿陷风险提前释放，为后续工程建设创造一个更加稳定的地基条件。在具体实施过程中，浸水法要求施工人员在黄土与水分尚未充分融合之前，就采取积极措施，对目标土层进行充分的水浸处理。通过向黄土中注入适量的水分，使其内部结构在水的渗透和作用下逐渐软化，胶结物溶解，土粒间的连接力减弱，进而在自重和外界压力的共同作用下，加速湿陷过程的进行。这一过程中，湿陷产生的压力会逐渐累积，并在一定范围内形成较为稳定的压力场，为后续的处理措施提供了有力的支撑。值得注意的是，浸水法的适用范围并非无限制。一般来说，当土层厚度超过一米，且湿陷性土层厚度大于0.5米时，采用浸水法处理湿陷性黄土地基能够取得较为理想的效果。这是因为在此类土层条件下，湿陷过程更为显著，湿陷产生的压力也更为集中，有利于施工人员准确判断和处理湿陷区域。然而，浸水法也并非一蹴而就的解决方案，它需要施工人员具备足够的耐心和细致的观察力，因为湿陷过程需要一定的时间来完成。在湿陷过程中，施工人员需要密切关注土层的变化情况，及时记录相关数据，以便为后续的处理措施提供科学依据。同时，为了确保施工安全和质量，还需要在湿陷完全祛除后，对地基进行进一步的加固和处理，以确保其满足工程建设的需要。

#### 3.2 单液硅化法

单液硅化法，作为一种针对湿陷性黄土地基的高效加固技术，其核心在于利用硅酸钠溶液（一种具有低粘度、高渗透性的化学物质）与黄土之间的独特化学反应，来显著增强黄土地基的承载能力和稳定性。这一方法的实施，不仅是对传统地基处理技术的一次创新，更是对黄土工程特性深刻理解的体现。单液硅化法首先要求施工团队准确评估地基的湿陷性程度和范围，以确定合理的硅化处理区域和深度。随后，在适宜的压力条件下，通过特制的注浆设备，将精心调配的低粘度硅酸钠溶液缓缓注入黄土地基之中，这一步骤的关键在于确保硅酸钠溶液能够均匀、充分地渗透到黄土的每一个细微

孔隙中，从而实现与黄土颗粒的广泛接触<sup>[3]</sup>。随着硅酸钠溶液的深入渗透，其与黄土之间的化学反应逐渐展开，这一反应过程中，硅酸钠溶液中的硅酸根离子与黄土中的钙、镁等阳离子发生置换或络合作用，形成了一种新的、更为稳定的矿物胶结物质。这种新生成的矿物胶结物不仅填补了黄土颗粒间的空隙，增强了颗粒间的连接力，还显著提高了黄土的整体强度和抗水性。同时，由于硅酸钠溶液的渗透作用，黄土中的微裂隙和孔隙得到了有效封堵，进一步提高了地基的密实度和耐久性。此外，单液硅化法在处理湿陷性黄土地基时，其加固效果并非一蹴而就，而是随着硅酸钠溶液与黄土反应时间的延长而逐渐显现。因此，在施工过程中，施工团队需要密切关注地基的变化情况，通过定期的检测和评估来确保加固效果达到预期目标。并且，为了充分发挥单液硅化法的加固效果，往往还需要结合其他地基处理技术进行综合治理，如配合排水固结、强夯等措施，以进一步提升地基的整体性能。

#### 3.3 碱液加固法

碱液加固法，作为湿陷性黄土地基处理的一种创新技术，其核心理念在于利用氢氧化钠溶液（NaOH）的强碱性特性，与土层中的碱性金属阳离子发生化学反应，进而改变土体的微观结构和物理力学性质，以达到降低地基湿陷性、增强承载能力的目的。这一方法在处理机制上与单液硅化法虽有相似之处，但在具体作用机理和效果上却展现出独特的优势。在实施碱液加固法时，首先需对湿陷性黄土地基进行详尽的勘察与分析，明确土层的厚度、湿陷程度以及地下水位等关键参数，以确保加固方案的针对性和有效性。然后，通过专业的注浆设备，将配置好的氢氧化钠溶液在适宜的压力下注入土层之中。这一过程中，氢氧化钠溶液凭借其良好的渗透性和反应性，迅速与土层中的碱性金属阳离子（如钙、镁等）发生置换反应，生成相应的碱土金属氧化物（如硅酸钙、硅酸镁等）。这些新生成的碱土金属氧化物在土体中扮演着重要的角色，它们不仅作为填充物填充了土体原有的孔隙和裂隙，减少了土体的渗透性，还通过化学键合作用增强了土体颗粒间的连接力，使得土体结构更加致密和稳定。

#### 3.4 挤密法

挤密法作为一种针对深层湿陷性黄土地基的有效加固技术，其独特的处理机制与显著的应用效果在土木工程领域备受瞩目。该方法通过精心设计的施工流程，旨在显著提升土层的密实度和支撑强度，为建筑物提供一个稳定可靠的地基基础。在应用挤密法处理湿陷性黄

土地基时，第一是深入分析工程现场的实际情况，包括地质条件、土层分布、湿陷程度等因素，以确定合理的处理点位和布局方案。这一步骤至关重要，它直接关系到后续施工的效果和质量。第二，施工人员会在选定的处理点上进行打桩作业，这些桩体将成为加固土层的重要支撑结构。第三，便是材料准备与混合阶段，在此阶段，高质量的素土与灰土被精心挑选并混合均匀，同时严格控制其含水量，以确保混合土料具有良好的可塑性和夯实性能。这一步骤的严谨执行，为后续土料的填充与夯实奠定了坚实的基础。第四，随着混合土料的准备就绪，施工人员开始利用专业的压力设备，将搅拌好的灰土与素土注入到先前打好的孔洞中<sup>[4]</sup>。这一过程中，土料在压力的作用下被紧密地填充到孔洞的每一个角落，形成密实的填充体，为了确保填充体的稳定性和承载能力，施工人员还会对填充体进行分层夯实处理，通过机械或人工的方式对每一层土料进行反复压实，直至达到预定的密实度和强度要求。

### 3.5 桩基础法和桩柱搅拌法

桩基础法是一种成熟且广泛应用的地基处理技术，其核心在于通过构建稳固的桩基础体系，将建筑物的荷载传递至深层非湿陷性土层，从而彻底摆脱湿陷性黄土对建筑物稳定性的影响。该方法适用于湿陷性黄土层较厚、难以直接处理或处理成本过高的场景，在实施过程中，首先需对地基进行详细的勘察与分析，确定合适的持力层位置及桩基础类型（如预制桩、灌注桩等）。随后，根据建筑物的荷载需求及地质条件，设计并施工固定范围内的桩基础，确保其能够稳定承载来自高层建筑物的巨大压力。桩基础法的优势在于其适应性强、经济性好，能够有效提高地基的承载力和稳定性。然而，该方法对桩基础的规划与设计的要求较高，需由具备丰富经

验和专业知识的技术人员负责，以确保施工过程的顺利进行及最终加固效果的达成。与桩基础法相比，桩柱搅拌法则是一种更为灵活且创新的加固技术，该方法借鉴了灰土挤压密桩法的原理，通过向湿陷性黄土地基中注入经搅拌处理的水泥浆，利用水泥浆的胶结作用与黄土颗粒发生化学反应，形成具有一定强度和稳定性的复合地基。这一过程中，水泥浆的渗透与固化不仅能够有效填充黄土颗粒间的孔隙，提高土体的密实度，还能显著改善土体的物理力学性质，增强其抗剪强度和承载能力。桩柱搅拌法的实施相对简便，且能够根据实际情况调整水泥浆的配比与注入量，以达到最佳的加固效果。

### 结语

综上所述，湿陷性黄土地基的湿陷机理复杂，对工程建设的影响深远。通过采用科学合理的地基处理方法，可以有效改善湿陷性黄土的物理力学性质，提高地基的承载力和稳定性。本文介绍的单液硅化法、碱液加固法、挤密法、桩基础法及桩柱搅拌法等处理方法各具特色，适用于不同的地质条件和工程需求。未来，随着科技的不断进步和工程实践的深入发展，将有更多创新的地基处理技术涌现，为湿陷性黄土地基的处理提供更加高效、经济的解决方案。

### 参考文献

- [1]赵学亮.湿陷性黄土路基素土挤密桩处理方法[J].广东建材,2021,37(03):66-68.
- [2]张继周.黄土地基湿陷性处理技术探讨[J].甘肃水利水电技术,2020,56(10):56-61.
- [3]满文德.湿陷性黄土地基处理设计中的注意事项[J].智能城市,2020,6(10):177-178.
- [4]边江,张创.湿陷性黄土地基湿陷机理及地基处理方法探讨[J].湖北农机化,2019(13):40.