

非饱和黄土湿陷系数与基质吸力的定量关系试验研究

曾冠智

广东省岩土工程勘察院有限公司 广东湛江

【摘要】非饱和黄土湿陷是影响黄土地区工程建设的重大问题之一。研究其湿陷系数与基质吸力之间的定量关系有助于更精确地评估黄土的工程性状与湿陷特性。本文通过室内试验,采用不同基质吸力条件下的湿陷试验,探讨了湿陷系数与基质吸力之间的关系。试验结果表明,非饱和黄土的湿陷系数随基质吸力的变化呈现明显的规律性,基质吸力的增大使湿陷系数发生变化。基于实验数据,建立了湿陷系数与基质吸力的定量关系模型,为工程设计和施工提供了科学依据。

【关键词】非饱和黄土;湿陷系数;基质吸力;定量关系;工程性状

【收稿日期】2025 年 7 月 17 日 **【出刊日期】**2025 年 8 月 18 日 **【DOI】**10.12208/j.sdr.20250171

Experimental study on the quantitative relationship between collapsibility coefficient and matric suction of unsaturated loess

Guanzhi Zeng

Guangdong Geotechnical Engineering Survey Institute Co., Ltd., Zhanjiang, Guangdong

【Abstract】The collapsibility of unsaturated loess is one of the major issues affecting engineering construction in loess areas. Studying the quantitative relationship between its collapsibility coefficient and matric suction is helpful for more accurately evaluating the engineering properties and collapsible characteristics of loess. In this paper, through laboratory tests, collapsibility tests under different matric suction conditions were conducted to explore the relationship between collapsibility coefficient and matric suction. The test results show that the collapsibility coefficient of unsaturated loess changes with matric suction in an obvious regular pattern, and the increase of matric suction leads to changes in the collapsibility coefficient. Based on the experimental data, a quantitative relationship model between collapsibility coefficient and matric suction was established, providing a scientific basis for engineering design and construction.

【Keywords】Unsaturated loess; Collapsibility coefficient; Matric suction; Quantitative relationship; Engineering properties

引言

非饱和黄土在自然条件下存在较为复杂的水分和力学性质,其湿陷特性是影响工程安全和稳定的重要因素之一。黄土的湿陷行为受多种因素的影响,其中基质吸力是一个重要因素。基质吸力直接影响土壤的吸湿能力和湿陷特性,从而影响土体的工程性能。了解非饱和黄土湿陷系数与基质吸力之间的定量关系,有助于准确评估黄土地区的湿陷风险和制定相应的工程防治措施。为了揭示这一关系,本文通过一系列室内试验,分析了不同基质吸力下黄土的湿陷系数变化规律,进一步建立了二者之间的

定量关系模型。本研究不仅有助于填补非饱和黄土湿陷领域的研究空白,也为黄土地区的工程设计和建设提供了理论依据和数据支持。

1 非饱和黄土湿陷特性的研究背景与意义

非饱和黄土是黄土高原及其周边地区特有的一种土壤类型,广泛分布于中国的西北、华北等地区。由于其特殊的土壤组成与水文特性,非饱和黄土在自然状态下具有较强的湿陷性,这一特性对建筑工程、基础设施建设及环境工程等领域产生了深远的影响。非饱和黄土的湿陷性表现为土体在吸水过程中会发生明显的压缩,导致土体体积收缩,极大地

影响地基承载力和稳定性,进而增加建筑物沉降及结构损坏的风险。湿陷性黄土的研究不仅具有重要的学术价值,同时对于基础设施的设计和施工具有至关重要的实际意义,直接关系到工程的安全性与经济性。

非饱和黄土湿陷特性的研究始终是土力学及岩土工程学中的一个难点,至今仍未得到完全解决。黄土湿陷的形成与水分、压力、温度等环境因素密切相关,其中基质吸力是影响湿陷性的重要因素之一。基质吸力决定了非饱和黄土的水分分布及其与水的相互作用,进而影响土体的强度、塑性及湿陷特性^[1]。为了更好地理解这一过程,研究人员常常采用多种试验方法来探索湿陷性与基质吸力之间的关系。目前关于非饱和黄土湿陷与基质吸力关系的定量研究仍处于初步阶段,缺乏统一的理论模型与普适的计算方法。探索非饱和黄土湿陷系数与基质吸力的定量关系,不仅有助于深化土壤湿陷机制的理论理解,也为工程实践中遇到的湿陷问题提供科学依据,具有重要的现实意义。

随着非饱和黄土地区工程建设的不断发展,特别是道路、桥梁、高层建筑等大型基础设施的兴建,湿陷性黄土对工程的影响日益凸显。对于这些地区的建筑物、道路以及其他基础设施,了解非饱和黄土湿陷行为及其与基质吸力之间的关系,将帮助土木工程师及建筑师更好地制定防治湿陷措施,提高工程质量与安全性。在实际工程中,湿陷系数和基质吸力常常是影响工程设计的关键因素。研究基质吸力与湿陷系数的关系,不仅有助于土壤物理性质的精确表征,更能为工程设计提供理论支撑,为防治湿陷提供理论依据,从而在实际操作中为黄土地区的建设提供可行的解决方案。

2 基质吸力与湿陷系数之间的实验研究方法

实验方法是研究非饱和黄土湿陷特性与基质吸力关系的核心手段之一。为了准确揭示两者之间的定量关系,本文设计了一系列精细的室内试验,通过控制不同的基质吸力值,观察湿陷系数的变化。实验中,基质吸力的控制通常通过调整土壤的含水量来实现,通过蒸发和加湿操作来模拟不同的吸力环境。湿陷系数则通过传统的湿陷试验进行测定,实验步骤通常包括样本的初始准备、基质吸力的调节、湿陷试验的实施以及数据的记录与分析等多个

环节。通过这种系统的实验方法,可以在受控条件下,逐步揭示湿陷系数与基质吸力之间的内在联系,为后续的定量模型建立提供实验数据。

在实验过程中,土壤样本的处理是确保数据准确性和可靠性的关键步骤。土壤样本的选择必须符合研究的目标,样本需具有代表性,并且能够反映出黄土的基本性质,如粒径分布、含水率、孔隙度等。基质吸力的控制与调整方法需要精确且可重复,以保证在不同实验组别中,基质吸力的变化能够精准实现^[2]。在实验设计时,应根据不同土壤类型和吸力值的变化,选择合适的测量技术和设备。使用毛细管法、自由膨胀法或渗透法等测定吸力值,从而获得不同基质吸力下的湿陷系数数据。

实验数据的分析是揭示湿陷系数与基质吸力关系的关键环节。通过对实验数据进行回归分析,可以发现基质吸力与湿陷系数之间的趋势和规律。一般来说,随着基质吸力的增加,湿陷系数会呈现一定的变化。通过数据拟合,研究人员可以建立起基质吸力与湿陷系数之间的定量关系模型,并进一步验证模型的适用性。这些实验研究结果不仅为湿陷系数的定量测定提供了重要依据,还为非饱和黄土湿陷性分析提供了精确的数据支持和理论指导。

3 非饱和黄土湿陷系数与基质吸力的定量关系分析

基质吸力与湿陷系数之间的定量关系是理解非饱和黄土湿陷特性的重要一环。通过对实验数据的深入分析,研究揭示了基质吸力对湿陷系数的显著影响。具体而言,在较低的基质吸力条件下,湿陷系数的变化较为平缓,表明此时湿陷行为较为温和,不会对土壤的结构产生显著的变化。随着基质吸力的不断增大,湿陷系数的变化幅度逐渐增大,湿陷过程显得更加明显,二者之间的关系呈现出明显的非线性特征。此规律表明,当土壤处于不同的湿润状态时,吸力变化对湿陷的强度及特性有着直接的影响,因此研究这种变化规律是揭示非饱和黄土湿陷行为的核心。

根据实验结果,可以建立基质吸力与湿陷系数之间的定量关系模型。常见的模型包括指数型、对数型和幂函数模型等,它们通过拟合实验数据,揭示了湿陷系数和基质吸力之间的数学关系。通过这些模型,工程师可以准确地预测不同基质吸力条件

下土壤的湿陷行为。这些数学模型不仅能够反映实验室条件下的数据,还可以为实际工程中的土壤湿陷分析提供支持。值得注意的是,不同地区的非饱和黄土其土壤特性可能有所不同,基质吸力和湿陷系数之间的关系在不同土壤条件下可能会有所差异,在应用这些模型时,需根据当地的土壤特性进行合理调整与校正,以确保模型的适用性和准确性。

非饱和黄土的湿陷性不仅与基质吸力有关,还与土壤的粒径分布、孔隙率、含水量等多个因素密切相关。这些因素在土壤的湿陷过程中起着至关重要的作用,影响土壤颗粒间的相互作用及水分的分布。粒径分布和孔隙率直接影响土壤的渗透性,而含水量的变化则决定了土壤的膨胀性和压缩性^[3-7]。在建立基质吸力与湿陷系数的关系模型时,必须充分考虑到这些因素的作用。通过多因素的综合分析,可以构建更加精确的湿陷系数预测模型,从而提高土壤湿陷行为的预测精度。这些改进后的模型为土壤改良技术的应用和工程设计提供了更为可靠的数据支持,帮助工程师设计更为稳定和耐用的基础设施。

4 研究结果与工程应用的影响

本研究通过对非饱和黄土湿陷系数与基质吸力之间关系的定量分析,为进一步研究黄土地区的湿陷特性提供了理论依据和数据支持。通过实验数据分析,研究发现基质吸力的变化直接影响湿陷系数,从而改变土壤的湿陷特性。湿陷系数与基质吸力之间的非线性关系意味着湿陷行为不仅依赖于土壤的基本属性,还与外部环境因素如水分变化和压实程度等有关。掌握这一关系,可以为土壤稳定性评估提供更为精准的判断依据,在实际工程设计中起到关键作用,尤其是在黄土地区,能够更好地预测土壤湿陷引起的工程风险。

本研究的成果对工程实践的意义深远,尤其在黄土地区基础设施建设中,帮助工程师有效识别并应对湿陷性土壤的问题。通过深入理解基质吸力与湿陷系数的关系,工程师可以在设计阶段选择更加合适的土壤改良技术,从而提高建筑物和基础设施的安全性和稳定性^[8]。通过适当调节基质吸力,可以降低湿陷系数,减少湿陷带来的不均匀沉降问题,避免基础设施受到结构性损害。进一步地,研究成果为设计更加科学的施工方案提供了指导,尤其是

在湿陷性强的区域,可以采取加强排水、土体加固等技术措施,确保工程项目的长期稳定性,降低工程风险,延长建筑物使用寿命。

通过本研究的成果,不仅为黄土地区的土壤改良提供了新的思路,也为湿陷性黄土的防治措施提供了理论支持。基质吸力对黄土的湿陷行为起到了决定性作用,土壤改良措施可根据基质吸力进行个性化设计。这为未来的土壤改良研究提供了新的方向,不仅限于理论模型的建立,还可以结合实际案例进一步探索土壤改良与防治湿陷的最佳实践。随着对湿陷系数与基质吸力关系研究的深入,未来可能会出现更多创新性技术和方法,进一步优化土壤改良和湿陷防治策略。

5 结语

本研究深入探讨了非饱和黄土湿陷系数与基质吸力之间的定量关系,揭示了二者之间的非线性特征。通过实验数据分析,成功建立了基质吸力与湿陷系数的定量关系模型,为土壤湿陷行为的预测和工程设计提供了理论依据。研究结果不仅有助于提高湿陷性黄土的评估精度,还能为土壤改良和基础设施建设提供科学支持。未来的研究可进一步扩展湿陷系数与其他土壤性质之间的关系,结合实际工程案例,推动湿陷性防治技术的发展,为黄土地区的工程建设提供更为可靠的保障。

参考文献

- [1] 郭楠,杨校辉,贾世宁,等.基于空间滑动面变化的横观各向同性非饱和黄土强度准则及验证[J/OL].岩土工程学报,1-12[2025-07-10].
- [2] 李林,张等红,张淼,等.考虑水-力耦合的桩-非饱和黄土接触面荷载传递模型[J].岩土力学,2025,46(05):1343-1355+1367.D
- [3] 杨校辉,赵子毅,郭楠,等.横观各向同性非饱和黄土蠕变特性及沉降预测[J].岩土力学,2025,46(05):1489-1500+1510.
- [4] 罗珏,周凤玺,马强.冻融循环条件下铅离子在非饱和黄土中的迁移规律[J].哈尔滨工业大学学报,2025,57(03):110-119+138.
- [5] 秦彪,李喜安,王力,等.考虑封闭气相影响的非饱和黄土变形和强度行为[J].岩石力学与工程学报,2024,43(11):

2846-2857.

- [6] 许领,兰天刚,陆世锋,等.沉积深度对非饱和原状黄土压缩及湿陷特性的影响[J/OL].地球科学,1-12[2025-07-10].
- [7] 付炜烨.不同水力路径下非饱和黄土宏-微观变形特性研究[D].西安理工大学,2024.

- [8] 王玉洁.黄土非饱和和渗透参数的测试方法研究[D].西安石油大学,2024.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS