

# 土力学的理论、应用与发展

陈思雨<sup>1\*</sup>, 周延波<sup>1,2</sup>, 马丛<sup>1</sup>, 徐骥骋<sup>1</sup>, 代明江<sup>1</sup>, 袁晓洒<sup>1</sup>

<sup>1</sup>西京学院陕西省混凝土结构安全与耐久性重点实验室, 陕西 西安

<sup>2</sup>松滋市新江口街道办事处, 湖北 松滋

收稿日期: 2025年11月9日; 录用日期: 2025年11月30日; 发布日期: 2025年12月17日

## 摘要

本文详细阐述了土力学这一学科的基本概念和核心原理, 同时探讨了其在各类实际工程领域中的广泛应用。通过分析土的物理性质、力学特性等, 深入剖析了土力学在基础工程设计、边坡稳定性分析、地基处理技术等重大工程领域的关键作用与重要性。此外, 本文还展望了土力学与机器学习的融合应用及该领域未来的发展趋势, 旨在为从事相关工程实践的专业人士及开展相关研究的学者提供有价值的参考与启示。

## 关键词

土力学, 土的物理性质, 土的力学特性, 基础工程, 边坡稳定

# Theory, Application and Development of Soil Mechanics

Siyu Chen<sup>1\*</sup>, Yanbo Zhou<sup>1,2</sup>, Cong Ma<sup>1</sup>, Jicheng Xu<sup>1</sup>, Mingjiang Dai<sup>1</sup>, Xiaosa Yuan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Concrete Structure Safety and Durability of Shaanxi Province, Xijing University, Xi'an Shaanxi

<sup>2</sup>Xinjiangkou Sub-District Office, Songzi Hubei

Received: November 9, 2025; accepted: November 30, 2025; published: December 17, 2025

## Abstract

This article elaborates on the fundamental concepts and core principles of soil mechanics, and also explores its wide applications in various practical engineering fields. By analyzing the physical properties and mechanical characteristics of soil, it delves into the critical role of soil mechanics in foundation engineering design, slope stability analysis, foundation treatment technology and other major engineering fields. Additionally, it looks ahead to the integration and application of soil

\*通讯作者。

**mechanics with machine learning, and discusses the future development trends of this field, aiming to offer valuable references and insights for relevant engineering practitioners and researchers.**

## Keywords

**Soil Mechanics, Physical Properties of Soil, Mechanical Properties of Soil, Foundation Engineering, Slope Stability**

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

土力学是土木工程专业(特别是岩土工程方向)的专业基础课，具有承前启后的作用，是后续学习边坡工程、基础工程和基坑工程等专业课的基础[1]。土作为一种自然地质材料，其性质复杂多变，土力学的研究对于合理设计和建造各类工程结构，确保工程的安全与稳定具有不可替代的作用。从古老的建筑到现代的超高层建筑、大型桥梁、高速公路等，土力学的理论和方法贯穿于工程建设的各个环节。近年来，随着信息技术的飞速发展，机器学习技术逐渐融入土力学领域，为土力学的研究和应用带来了新的思路和方法。

## 2. 土力学的基本概念与原理

### 2.1. 土的物理性质

土壤是一种复杂、不可替代且不可或缺的自然资源，对于维持生态系统和为人类提供食物、能源和纤维至关重要[2]。土是由固体颗粒、水和气体三相组成的分散体系。固体颗粒构成土的骨架，其矿物成分、颗粒大小和形状等对土的性质有显著影响。土中的水可分为结合水和自由水，结合水对土粒表面有较强的吸附作用，影响土的可塑性等性质；自由水则在土孔隙中自由流动，与土的渗透性等相关。土中的气体存在于孔隙中，对土的压缩性等力学性质有一定影响。

土的物理特性是控制土与结构界面力学行为的关键因素，主要包括土体类型、密度、含水率及粒径级配等[3]。土的密度反映了单位体积土的质量，重度则是单位体积土所受的重力，它们与土的密实程度相关。含水量表示土中水的质量与土粒质量之比，对土的工程性质影响较大。孔隙比和孔隙率反映了土中孔隙的相对大小，是衡量土的密实程度和压缩性的重要指标。

### 2.2. 土的力学特性

目前，针对结构性土的力学特性已进行了大量研究，其中包括现场取样对原状土进行固结试验、三轴试验等[4]。土的渗透性是指土允许水透过的能力。根据达西定律，水在土中的渗流速度与水力梯度成正比，与土的渗透系数成反比。渗透系数是反映土壤渗透性强弱的关键参数，其大小与土的颗粒级配、孔隙大小和连通性等因素有关。在工程中，土的渗透性对地基的沉降、基坑降水、堤坝的渗流稳定性等方面有重要影响。

土在压力作用下体积减小的特性称为土的压缩性。土的压缩主要是由于土颗粒的重新排列、孔隙中水和气体的排出。通过室内压缩试验可得到土的压缩曲线，进而确定土的压缩系数、压缩模量等参数，这些参数用于计算地基的最终沉降量，是基础设计的重要依据。

土的抗剪强度是指土体抵抗剪切破坏的极限能力。库仑定律表明，土的抗剪强度由两部分组成，即土粒间的黏聚力和由法向应力引起的摩擦力。土的抗剪强度参数黏聚力和内摩擦角与土的类型、含水量、密实度等因素密切相关，在边坡稳定分析、地基承载力计算等工程问题中起着核心作用。

### 3. 土力学在工程中的应用

#### 3.1. 基础工程

土力学部分研究的内容包括土的物理力学性质、土中的应力计算、土体的压缩变形、土的抗剪强度、土压力及边坡的稳定性分析；基础工程部分主要是运用土力学理论知识来解决工程实践问题，其内容包括浅基础设计、桩基础设计、沉井及其他特种基础设计[5]。

浅基础是将上部结构的荷载直接传递到浅层地基土上的基础形式。在设计浅基础时，需要根据建筑物的荷载大小、性质以及地基土的承载能力，确定基础的埋深、尺寸和形式。土力学中的地基承载力理论用于计算地基能够承受的最大荷载，确保基础不会因地基土的破坏而发生过大沉降或倾斜。同时，通过土的压缩性计算来预估基础的沉降量，保证建筑物的正常使用。

当浅层地基土的承载能力不足或建筑物对基础的沉降要求较高时，常采用深基础，如桩基础、沉井基础等。在桩基础设计中，土力学知识用于确定桩的类型、长度、直径以及桩的承载力。通过分析桩与土之间的相互作用，考虑桩侧摩阻力和桩端阻力，确保桩基础能够安全可靠地将上部结构荷载传递到深部坚实土层。

#### 3.2. 边坡稳定

土坡是具有倾斜坡面的土体。地质作用形成天然土坡、人工开挖或回填形成人工土坡。自然土坡与人造边坡的垮塌是经常发生的工程事故[6]。对于天然的山坡、河岸等自然边坡，土力学通过各种分析方法来评估其稳定性。常用的分析方法有极限平衡法，如瑞典条分法、毕肖普法等，这些方法基于土的抗剪强度理论，通过计算边坡土体在自重和其他外力作用下的滑动力矩和抗滑力矩，来判断边坡是否处于稳定状态。如果边坡不稳定，需要采取相应的加固措施，如削坡、设置挡土墙、排水等，以提高边坡的稳定性。

在工程建设中，如道路工程中的路堤边坡、露天矿的采场边坡等人工边坡，同样需要进行稳定性分析和设计。根据工程要求和场地的地质条件，运用土力学原理设计合理的边坡坡度，并采取必要的防护和加固措施，防止边坡在施工和使用过程中发生滑坡等破坏现象，确保工程的安全和正常运行。

#### 3.3. 地基处理

软地基具有孔隙大、含水率高、压缩性强等特点，容易导致地基变形、沉降等问题，严重影响道路的稳定性和安全性[7]。这类地基在建筑物或构筑物的荷载作用下，往往难以满足稳定性、变形和承载力的要求，因此需要进行处理。

软地基处理的方法多种多样，常见的包括换填法、预压法、强夯法、振冲法等。换填法是通过挖除软土，换填强度较高、压缩性较低的材料，如砂、碎石等，以提高地基的承载力。预压法是在建筑物或构筑物施工前，对地基进行预压，使地基土提前完成大部分沉降，减少施工后的沉降量。强夯法是利用重锤从高处自由落下，对地基土进行强力夯实，提高地基土的密实度和承载力。振冲法则是通过振动和水冲的作用，使地基土颗粒重新排列，形成密实的结构，从而提高地基的承载力。

在实际工程中，软地基处理方案的选择应根据地基土的性质、建筑物的荷载特点、施工条件和经济因素综合考虑。同时，处理过程中还需进行严格的监测和控制，确保处理效果满足设计要求。

对于一些特殊土，如湿陷性黄土、膨胀土、冻土等，由于其特殊的工程性质，也需要进行专门的地

基处理。湿陷性黄土在遇水浸湿后会发生显著的下沉，对建筑物危害较大，常采用土垫层法、强夯法等消除其湿陷性。膨胀土具有吸水膨胀、失水收缩的特性，可通过改良土质、设置防水和排水措施等方法进行处理，减小其对建筑物的影响。冻土在低温下会冻结，体积膨胀，对建筑物构成威胁，常用的处理方法包括预热法、保温法等，以改善冻土的工程性质，提高其稳定性。此外，针对软土地基中的有机质土、盐渍土等特殊土，也需要根据其具体的工程特性，采取相应的处理措施，以确保地基的稳定性和承载力满足工程要求。

## 4. 土力学与机器学习的结合

### 4.1. 结合的应用场景

传统确定土性参数的方法，如室内试验和原位测试，往往成本高、耗时长且具有一定的局限性。随着信息技术的发展，机器学习作为先进的数据分析技术，已经在多个领域展现出强大的数据处理、模式识别能力。在图像识别、语音处理等领域的成功应用，为土木工程结构损伤的自动化、智能化识别提供了新思路[8]。机器学习算法，如人工神经网络、支持向量机等，可以对大量已有的土性数据(包括土的物理指标、力学参数等)进行学习和训练。通过建立输入与输出之间的复杂非线性关系模型，能够快速准确地预测土性参数[9] [10]。这对于在工程前期缺乏详细土性测试数据的情况下，初步评估地基土性质和进行工程设计具有重要意义。

在基础工程、边坡工程等实际应用中，机器学习可用于预测工程结构的性能。例如，对于桩基础，通过收集桩的类型、尺寸、施工工艺以及场地土性等数据，利用机器学习模型可以预测桩的承载能力和沉降变形[11]。在边坡工程中，结合边坡的地形地貌、岩土体性质、水文地质条件以及监测数据等信息，运用机器学习算法能够对边坡的稳定性进行实时评估和预测，提前预警可能发生的滑坡等灾害[12]。

地基处理方法众多，不同的地质条件和工程要求需要选择合适的处理方案[13]。机器学习可以对大量地基处理工程案例数据进行分析，挖掘不同处理方法与处理效果之间的关系。通过建立优化模型，根据具体的地基土性质和工程目标，自动筛选出最优的地基处理方案，提高地基处理的效率和经济性。

### 4.2. 结合的优势

土力学中土体的性质和工程行为往往呈现出复杂的非线性关系，传统的理论分析方法难以准确描述。机器学习强大的非线性映射能力能够有效捕捉这些复杂关系，提高对土力学问题的分析精度[14]。例如，在预测土的抗剪强度时，考虑到土的抗剪强度受多种因素综合影响，且这些因素之间存在复杂的交互作用，机器学习模型能够更好地模拟这种复杂关系，得到比传统经验公式更准确的预测结果。

随着工程建设的不断发展，积累了大量的土力学相关数据。机器学习基于数据驱动的特点，能够充分利用这些丰富的数据资源，挖掘数据背后隐藏的规律和知识。相比传统依靠经验和简化理论模型的决策方式，基于机器学习的数据驱动决策更加科学、准确。例如，在工程设计中，通过对历史工程数据的学习，机器学习模型可以为设计师提供更合理的设计参数和方案建议。

在工程施工和运营过程中，利用传感器等设备可以实时获取大量的监测数据。机器学习可以实时处理这些数据，并与预先建立的模型进行对比分析，实现对工程结构状态的实时监测和反馈。例如，在边坡监测中，通过机器学习算法对位移、应力、孔隙水压力等监测数据的实时分析，能够及时发现边坡的异常变化，为采取相应的加固和维护措施提供依据，保障工程的安全运行。

### 4.3. 面临的挑战

当前土力学与机器学习的结合虽展现出潜力，但也反映出若干关键研究不足。在数据层面，现有研

究多依赖局部或有限样本，缺乏跨地域、大规模高质量数据集的有效构建方法。不同文献采用的数据预处理方式不一，导致模型结果难以横向比较，也尚未系统探讨测量误差与缺失值对不同机器学习算法的差异化影响[15]。

在模型可解释性方面，多数研究仍倾向于使用预测精度高但解释性弱的黑箱模型(如深度神经网络)，缺乏将土力学基本原理，如临界状态理论、本构关系嵌入模型决策机制的尝试[16]。现有可解释性方法SHAP、LIME 多停留在事后归因分析[17]，未能与土力学机理形成深度对话，导致工程人员对模型结果信任不足。

就模型泛化能力而言，当前研究普遍存在“过拟合特定数据集”的问题[18]。由于土力学问题具有强地域特异性，现有模型跨地质条件的适应性尚未建立系统评估标准，缺乏针对迁移学习、领域自适应等泛化技术的针对性优化研究。

## 5. 结论与展望

综上所述，土力学作为一门基础性学科，其理论体系与工程应用已相对成熟，但在应对复杂地质条件与非线性问题时仍面临挑战。机器学习技术的引入为土力学研究提供了新的范式，尤其在参数预测、工程性能评估与方案优化方面展现出显著潜力。然而，当前研究仍存在数据质量不足、模型可解释性弱及泛化能力有限等问题，制约了其在实际工程中的深入应用。

未来研究应聚焦于构建高质量岩土数据库、发展物理机理与数据驱动融合的“灰箱”模型，并推动机器学习技术在工程全生命周期中的集成应用。通过跨学科协作与技术创新，有望实现土力学从经验依赖向智能决策的范式转变，为岩土工程的安全性与可靠性提供更强支撑。

总体而言，土力学与机器学习的深度融合将推动学科向智能化、精准化方向发展，但其发展仍需以扎实的土力学理论为基础，以解决实际工程问题为导向，实现理论与技术的协同进步。

## 参考文献

- [1] 冯健雪, 王林均, 王建祥. 新工科背景下土力学课程教学改革实践探索[J]. 科教导刊, 2023(24): 103-105.
- [2] Templ, M. and Hofer, C. (2025) Compositional Analysis of the Relationships between the Organic Matter Content and Chemical and Physical Properties of Soil. *Applied Geochemistry*, **193**, Article 106526.  
<https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2025.106526>
- [3] 许增光, 李梦平, 曹成. 水利工程土与结构界面力学特性研究综述[J]. 水利水电科技进展, 2025, 45(5): 56-69.
- [4] 雷华阳, 安涛, 王磊, 等. 人工地聚物结构性土的结构性评价及力学特性研究[J]. 岩土工程学报, 2025, 47(S2): 133-138.
- [5] 许端端, 周艳清, 李倩, 等. 超星学习通教学平台在课程设计环节中的应用——以土力学与基础工程课程为例[J]. 黑龙江科学, 2022, 13(1): 72-73+76.
- [6] 曾春华, 张会领, 吴光林, 等. 边坡稳定分析软件 SLIDE 在《土力学》教学中的应用[J]. 佳木斯职业学院学报, 2019(11): 230-231+233.
- [7] 王海龙. 城市道路路基软土地基处理过程中的市政工程技术探究[J]. 散装水泥, 2025(1): 160-162.
- [8] 王增军, 王善烨, 余弦. 基于机器学习的土木工程结构损伤识别技术分析[J]. 石材, 2025(6): 105-107.
- [9] 周世杰. 基于机器学习的冻融循环下黏土力学特性预测研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2024.
- [10] 汪姚文. 基于机器学习的宁波软土参数取值校正与可靠性分析研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国矿业大学, 2023.
- [11] 陈元畅. 基于机器学习的粗粒土缩尺效应的迁移性研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2023.
- [12] 陈志雄, 仇文岗, 丁选明, 等. 基于三种机器学习模型的土力学课程目标达成情况分析研究[J]. 高等建筑教育, 2021, 30(6): 137-143.

- 
- [13] 李沐阳. 基于序列模型的粗粒土力学特性研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2023.
  - [14] 齐晓琳. 考虑环境温度影响的水泥基粉土泡沫轻质土力学性能与配比设计方法[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2021.
  - [15] 姜秀峰, 庄培芝, 钱远顺, 等. 基于稀疏地勘数据的岩土地层信息智能解析研究[J/OL]. 河南理工大学学报(自然科学版), 1-11.  
[https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=7DUETwKSFy6ngQpQdY-6ub9eVjtuYPe2WbGnAKOER11-L12GRNdwucCfqbdVzVIWo3wOlybsna3MFR8lVpyLVaCOOWbGi3dWjHz7ZilP88lM5TEhqyVM1mMtU9EiTseLR-fUmcmeEo52ZpwcFFyd456ZisQrM\\_8g7DEJdzKovg0=&uniplatform=NZKPT](https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=7DUETwKSFy6ngQpQdY-6ub9eVjtuYPe2WbGnAKOER11-L12GRNdwucCfqbdVzVIWo3wOlybsna3MFR8lVpyLVaCOOWbGi3dWjHz7ZilP88lM5TEhqyVM1mMtU9EiTseLR-fUmcmeEo52ZpwcFFyd456ZisQrM_8g7DEJdzKovg0=&uniplatform=NZKPT), 2025-11-13.
  - [16] 江晓童, 张西文, 吕颖慧, 等. 机器学习在岩土工程中的应用现状与未来展望[J]. 岩土力学, 2025, 46(S1): 419-436.
  - [17] 耿铭屿, 李兆焱, 张升, 等. 基于机器学习算法的土壤液化判别研究进展综述[J]. 世界地震工程, 2025, 41(1): 99-109.
  - [18] 王海静, 周博, 薛世峰, 等. 基于数值模拟和机器学习的岩石力学性能预测[J]. 实验室研究与探索, 2024, 43(7): 81-85.