

岩土工程中的地下水渗流及其对工程稳定性的影响

周彦存

云南创韵岩土工程有限公司，云南昆明，650000；

摘要：地下水渗流是岩土工程中不可忽视的重要问题，其对岩土体的物理力学性质、结构特征以及工程稳定性具有显著影响。本文系统研究了岩土体中地下水渗流的基本理论，分析了地下水渗流对岩土体物理力学性质、结构特征的影响机理，并深入探讨了地下水渗流对边坡稳定性、地基稳定性以及地下工程稳定性的影响规律。研究表明，地下水渗流会显著降低岩土体的抗剪强度和变形模量，改变其应力应变关系，并可能导致岩土体结构面的软化、裂隙的扩展以及溶蚀作用的加剧，从而对岩土工程稳定性构成严重威胁。基于此，本文总结了岩土工程中地下水渗流控制的基本原则和主要方法。研究结果表明，通过合理选择和应用防渗、排水和截水等措施，可以有效控制地下水渗流，提高岩土工程的稳定性和安全性。

关键词：岩土工程；地下水渗流；工程稳定性；物理力学性质；控制措施

DOI：10.69979/3029-2727.25.07.050

引言

岩土工程作为土木工程的重要分支，其研究对象是岩土体及其与工程结构的相互作用。地下水作为岩土体的重要组成部分，其渗流行为对岩土体的物理力学性质、结构特征以及工程稳定性具有至关重要的影响。在边坡工程中，地下水渗流会降低岩土体的抗剪强度，增加孔隙水压力，从而诱发滑坡等地质灾害；在地基工程中，地下水渗流会引起地基土的软化、沉降，甚至导致建筑物倾斜、开裂；在地下工程中，地下水渗流会加剧围岩的变形和破坏，增加支护结构的荷载，威胁工程安全。因此，深入研究岩土工程中的地下水渗流问题，揭示其对工程稳定性的影响机理，并制定有效的控制措施，对于保障岩土工程的安全和稳定具有重要的理论意义和现实价值。

1 岩土体中地下水渗流的基本理论

1.1 地下水渗流的基本概念

地下水渗流是指地下水在岩土体孔隙或裂隙中的运动过程，是岩土工程中不可忽视的重要现象。地下水渗流的驱动力主要来源于重力势能和压力势能，其运动方向通常由高势能区向低势能区进行。地下水渗流的基本规律可以用达西定律来描述，该定律表明，渗流速度与水力梯度成正比，与岩土体的渗透系数有关。水力梯度是指单位距离内的水头损失，反映了地下水渗流的驱动力大小。渗透系数是表征岩土体透水能力的重要参数，其大小取决于岩土体的孔隙率、颗粒级配、裂隙发育程度等因素。地下水渗流不仅影响着岩土体的物理力学性

质，还对岩土工程的稳定性产生重要影响，因此，深入研究地下水渗流的基本概念和规律对于岩土工程的设计和施工具有重要意义。

1.2 岩土体的渗透特性

岩土体的渗透特性是指岩土体允许水流通过的能力，通常用渗透系数来表征。渗透系数的大小取决于岩土体的孔隙率、颗粒级配、裂隙发育程度、孔隙水的性质等因素。一般来说，孔隙率越大，颗粒级配越均匀，裂隙越发育，渗透系数就越大。此外，孔隙水的黏滞性也会影响渗透系数，黏滞性越大，渗透系数越小。岩土体的渗透特性是地下水渗流分析的基础，其准确测定对于岩土工程的设计和施工至关重要。目前，常用的渗透系数测定方法包括室内试验和现场试验两种。室内试验主要包括常水头法和变水头法，现场试验主要包括抽水试验和注水试验。

1.3 地下水渗流的数学模型

为了定量描述地下水渗流过程，需要建立相应的数学模型。地下水渗流的数学模型通常由控制方程和定解条件组成。控制方程是基于质量守恒定律和达西定律建立的，用于描述地下水渗流过程中水头分布的变化规律。定解条件包括初始条件和边界条件，用于确定控制方程的唯一解。初始条件是指研究区域内初始时刻的水头分布，边界条件是指研究区域边界上的水头或流量条件。根据研究问题的不同，可以选择不同的控制方程和定解条件，建立相应的地下水渗流数学模型。常用的地下水渗流数学模型包括稳定流模型和非稳定流模型。稳定流

模型适用于地下水渗流状态不随时间变化的情况，非稳定流模型适用于地下水渗流状态随时间变化的情况。

2 地下水渗流对岩土体物理力学性质的影响

2.1 地下水对岩土体物理性质的影响

地下水对岩土体物理性质的影响主要体现在密度、孔隙比和含水量等方面。当岩土体孔隙被水填充时，其总体质量增加，从而导致密度增大。这种变化在饱和状态下尤为明显，因为此时孔隙完全被水占据。地下水会改变岩土体的孔隙比。孔隙比是指岩土体中孔隙体积与固体颗粒体积之比。当地下水渗入岩土体时，孔隙中的空气被水取代，孔隙比会相应减小。特别是在饱和状态下，孔隙比达到最小值。地下水还会显著影响岩土体的含水量。含水量是指岩土体中水的质量与固体颗粒质量之比。随着地下水位的上升，岩土体的含水量逐渐增加，直至达到饱和状态。

2.2 地下水对岩土体力学性质的影响

地下水对岩土体力学性质的影响主要体现在抗剪强度、变形模量和应力应变关系等方面。首先，地下水会显著降低岩土体的抗剪强度。抗剪强度是岩土体抵抗剪切破坏的能力，其大小取决于有效应力和内摩擦角。当地下水渗入岩土体时，孔隙水压力增加，有效应力减小，从而导致抗剪强度降低。这种现象在饱和状态下尤为明显，因为此时孔隙水压力达到最大值。其次，地下水会降低岩土体的变形模量。变形模量是岩土体在受力作用下抵抗变形的能力，其大小反映了岩土体的刚度。当地下水渗入岩土体时，颗粒间的摩擦力减小，岩土体的刚度降低，从而导致变形模量减小。此外，地下水还会改变岩土体的应力应变关系。在干燥状态下，岩土体的应力应变关系通常呈线性或近似线性；而在饱和状态下，由于孔隙水压力的作用，应力应变关系往往表现出非线性特征。

2.3 地下水渗流对岩土体结构的影响

地下水渗流对岩土体结构的影响主要体现在结构面、裂隙发育和溶蚀作用等方面。首先，地下水渗流会软化岩土体的结构面。结构面是岩土体中存在的软弱面或分界面，如节理、层理和断层等。当地下水渗入结构面时，会降低其抗剪强度，增加其变形能力，从而导致岩土体的整体稳定性下降。其次，地下水渗流会促进岩土体裂隙的发育。裂隙是岩土体中存在的裂缝或空隙，其发育程度直接影响岩土体的渗透性和力学性质。当地下水渗入裂隙时，会产生水力劈裂作用，使裂隙进一步

扩展和延伸。这种现象在高压地下水条件下尤为明显。此外，地下水渗流还会加剧岩土体的溶蚀作用。溶蚀作用是指地下水中的化学物质与岩土体中的可溶性矿物发生反应，导致岩土体结构破坏的过程。这种现象在石灰岩、石膏等可溶性岩层中尤为常见。

3 地下水渗流对岩土工程稳定性的影响

3.1 地下水渗流对边坡稳定性的影响

地下水渗流对边坡稳定性的影响主要体现在降低岩土体抗剪强度、增加孔隙水压力以及改变边坡应力分布等方面。首先，地下水渗流会降低边坡岩土体的抗剪强度。当地下水渗入边坡岩土体时，孔隙水压力增加，有效应力减小，从而导致岩土体的抗剪强度降低。这种现象在饱和状态下尤为明显，因为此时孔隙水压力达到最大值。其次，地下水渗流会增加边坡的孔隙水压力。孔隙水压力是指地下水在岩土体孔隙中产生的压力，其大小直接影响边坡的稳定性。当地下水渗入边坡时，孔隙水压力会显著增加，从而降低边坡的抗滑力，增加滑坡的风险。此外，地下水渗流还会改变边坡的应力分布。当地下水渗入边坡时，会在边坡内部形成渗流场，从而改变原有的应力分布状态。这种应力分布的改变可能导致边坡局部应力集中，进而诱发边坡失稳。

3.2 地下水渗流对地基稳定性的影响

地下水渗流对地基稳定性的影响主要体现在降低地基承载力、增加地基沉降以及诱发地基液化等方面。首先，地下水渗流会降低地基的承载力。承载力是指地基在承受荷载时抵抗破坏的能力，其大小取决于地基土的抗剪强度和变形特性。当地下水渗入地基土时，孔隙水压力增加，有效应力减小，从而导致地基土的抗剪强度降低，承载力下降。其次，地下水渗流会增加地基的沉降。沉降是指地基在荷载作用下发生的竖向变形，其大小直接影响建筑物的安全和使用功能。当地下水渗入地基土时，会导致地基土的压缩性增加，从而增加地基的沉降量。此外，地下水渗流还可能诱发地基液化。液化是指饱和砂土在地震或振动荷载作用下失去抗剪强度，表现出类似液体性质的现象。

3.3 地下水渗流对地下工程稳定性的影响

地下水渗流对地下工程稳定性的影响主要体现在增加围岩压力、加剧围岩变形以及诱发突水突泥等方面。首先，地下水渗流会增加地下工程围岩的压力。围岩压力是指地下工程开挖后，周围岩土体对支护结构产生的压力，其大小直接影响支护结构的设计和施工。当地下

水渗入围岩时，会在围岩内部形成渗流场，从而增加围岩的压力。其次，地下水渗流会加剧围岩的变形。围岩变形是指地下工程开挖后，周围岩土体发生的位移和变形，其大小直接影响地下工程的稳定性和安全性。当地下水渗入围岩时，会降低围岩的抗剪强度和变形模量，从而加剧围岩的变形。

4 岩土工程中地下水渗流控制措施

4.1 地下水渗流控制的基本原则

地下水渗流控制的基本原则包括防渗、排水和截水三个方面。防渗是指通过设置防渗层或防渗墙等措施，阻止地下水渗入工程区域，从而减少地下水对岩土体和工程结构的影响。防渗措施适用于地下水渗流量较大、对工程稳定性影响显著的情况。排水是指通过设置排水沟、排水井或排水管等措施，将地下水引出工程区域，从而降低地下水位和孔隙水压力，提高岩土体和工程结构的稳定性。排水措施适用于地下水渗流量较小、但对工程稳定性仍有影响的情况。截水是指通过设置截水帷幕或截水墙等措施，切断地下水的渗流路径，从而阻止地下水进入工程区域。截水措施适用于地下水渗流路径明确、且对工程稳定性影响较大的情况。

4.2 地下水渗流控制的主要方法

地下水渗流控制的主要方法包括地表防渗、地下排水和截水帷幕等。地表防渗是指通过在地表铺设防渗材料或设置防渗层，阻止地表水渗入地下，从而减少地下水渗流量。常用的地表防渗材料包括黏土、膨润土、土工膜等。地表防渗措施适用于地表水渗漏严重、且对地下水渗流影响较大的情况。地下排水是指通过设置排水沟、排水井或排水管等设施，将地下水引出工程区域，从而降低地下水位和孔隙水压力。常用的地下排水设施包括水平排水管、垂直排水井、排水廊道等。地下排水措施适用于地下水位较高、且对工程稳定性影响较大的情况。截水帷幕是指通过注浆、灌浆或设置防渗墙等措施，在地下形成一道连续的防渗屏障，从而切断地下水的渗流路径。常用的截水帷幕材料包括水泥浆、化学浆液、土工膜等。截水帷幕措施适用于地下水渗流路径明确、且对工程稳定性影响较大的情况。

4.3 地下水渗流控制措施的选择与应用

地下水渗流控制措施的选择与应用应根据工程地质条件、水文地质条件、工程设计要求以及经济合理性等因素综合考虑。首先，应详细调查工程区域的地质条件和水文地质条件，包括岩土体的渗透性、地下水位、

地下水渗流路径等，以确定地下水渗流的主要影响因素和控制目标。其次，应根据工程设计要求，确定地下水渗流控制的标准和指标，包括地下水位控制值、孔隙水压力控制值等。然后，根据地质条件、水文地质条件和工程设计要求，选择合适的地下水渗流控制措施，并进行技术经济比较，确定最优方案。最后，在施工过程中，应严格按照设计方案进行施工，并进行实时监测和效果评估，及时调整控制措施，以确保地下水渗流控制的效果。在实际工程中，地下水渗流控制措施的选择与应用往往需要综合考虑多种因素，并结合多种措施进行综合治理，以达到最佳的控制效果。例如，在边坡工程中，可以采用地表防渗和地下排水相结合的措施，以降低地下水位和孔隙水压力，提高边坡的稳定性；在地基工程中，可以采用截水帷幕和地下排水相结合的措施，以切断地下水渗流路径，降低地基土的压缩性，提高地基的承载力和稳定性；在地下工程中，可以采用注浆加固和排水廊道相结合的措施，以增强围岩的强度和稳定性，降低突水突泥的风险。

5 结论

本文系统研究了岩土工程中地下水渗流的基本理论及其对工程稳定性的影响，并提出了相应的控制措施。研究表明，地下水渗流对岩土体的物理力学性质、结构特征以及工程稳定性具有显著影响。首先，地下水渗流会降低岩土体的抗剪强度和变形模量，改变其应力应变关系，从而削弱岩土体的力学性能。其次，地下水渗流会软化岩土体结构面，促进裂隙扩展，加剧溶蚀作用，进而破坏岩土体的结构完整性。这些影响在边坡工程、地基工程和地下工程中尤为突出，可能导致滑坡、地基沉降、围岩失稳等工程问题。

参考文献

- [1] 郑晓珣. 基于流固耦合的强度折减法的地下水渗流对隧道稳定性的影响研究 [J]. 能源与环保, 2022, 44(1) : 284-289.
- [2] 刘宏亮. 地下水渗流影响下基坑工程土体力学特性研究 [D]. 浙江大学, 2022.
- [3] 宋灵修. 渗流和地震耦合作用下边坡稳定性分析 [D]. 兰州理工大学, 2021.
- [4] 周鸿昌. 地下水渗流作用下机场道基的稳定性分析 [D]. 郑州大学, 2020.
- [5] 庄端阳. 开挖作用下大型地下水封石油洞库的渗流通道识别与稳定性研究 [D]. 大连理工大学, 2019.