植物根系在土壤中的力学效应及其对水利基础工程安全性的评估

李彦伦

中工武大设计集团有限公司新疆分公司，新疆乌鲁木齐，830000；

摘要：本文探讨了植物根系在土壤中的力学效应及其对水利基础工程安全性的影响。首先，概述了植物根系的基本特性与分类。随后，详细分析了植物根系对土壤物理结构、土壤与根系相互作用机制的影响，并介绍了根系力学效应的定性评估方法。接着，论文阐述了水利基础工程安全性评估的重要性，构建了安全性评估指标体系，并讨论了常用的评估方法与技术。在此基础上，重点研究了植物根系对土壤渗透性、抗剪强度以及变形和沉降特性的影响，进而分析了这些影响如何作用于水利基础工程的防渗性能、抗滑稳定性和整体稳定性。最后，总结了本研究的主要发现，指出了存在的不足，并对未来研究方向提出了展望。本研究成果对于深入理解植物根系与土壤及工程结构的相互作用机制，以及指导水利基础工程的设计与施工具有重要意义。

关键词：植物根系；力学效应；水利基础工程；边坡防护；堤防加固

DOI：10.69979/3060-8767.25.03.005

引言

在全球气候变化和自然灾害频发的背景下，水利基础设施的安全性和稳定性备受关注。水利基础工程是保障水资源安全、防洪抗旱的关键，其建设质量与维护管理直接关乎人民生命财产安全。近年来，植物根系在土壤中的力学效应及其对土木和水利工程结构稳定性的影响成为研究热点。植物根系作为天然加固材料，能改善土壤物理结构，增强抗剪强度和稳定性，在边坡防护和堤防加固等工程中作用显著。然而，根系生长也可能带来不利影响，如穿插生长破坏土体原有结构，降低土壤均匀性和密实性，导致工程基础承载力下降；根系腐烂形成空洞，增加土体孔隙率，改变渗透路径，可能引发渗漏；深根植物根系可能穿透防渗体或护坡结构，造成破坏；在堤坝等工程中，根系还可能影响边坡稳定性，增加滑坡风险。因此，水利工程建设需充分考虑根系影响，并采取合理防护和处理措施。

1 植物根系的基本特性与分类

1.1 植物根系的生长规律

植物根系的生长具有一定的规律性。在种子萌发后，主根首先开始生长，随着主根的不断深入，侧根也逐渐从主根上生长出来。侧根的生长往往呈现出向四周扩散的趋势，形成了广泛的根系网络。与此同时，不定根也可能在茎、叶等部位生长出，进一步增加了根系的复杂性和稳定性。

在根系生长过程中，根系的生长速度和生长方向受到多种因素的影响，包括土壤条件、水分供应、光照强度等。例如，在肥沃、疏松的土壤中，根系生长迅速，根系网络更加发达；而在贫瘠、坚硬的土壤中，根系生长受限，根系网络相对稀疏。

此外，植物根系的生长还受到植物体内激素的调控。生长素、细胞分裂素等激素在根系生长过程中发挥着重要作用，它们通过调节根细胞的分裂和伸长，控制着根系的生长速度和方向。

1.2 植物根系的分类

根据植物根系的形态和生长特点，可以将其分为直根系和须根系两大类。直根系主要由一条明显的主根和若干条侧根组成，主根粗壮发达，侧根相对细弱。这种根系类型多见于双子叶植物，如大豆、棉花等。直根系的生长具有较强的方向性，能够深入土壤，有效固定植物体，对土壤有较强的锚固作用。在基础工程领域，直根系的深入和强大的固土能力可能对建筑物的地基稳定性产生积极影响，尤其是在需要增强土壤承载力和防止土壤侵蚀的工程中。然而，当直根系过于发达时，也可能对基础工程造成潜在的破坏，如树根穿透防水层或地基，导致结构受损。

须根系则是由许多粗细相近的不定根组成，没有明显的主根和侧根之分。须根系多见于单子叶植物，如水稻、小麦等。须根系的生长较为灵活，能够适应不同的土壤条件，通过广泛分布增加植物体的稳定性和吸收面

积。对于基础工程而言，须根系由于其广泛的分布和较浅的根系深度，可能更容易受到施工活动的影响，如挖掘、压实等，导致根系受损，进而影响植物的生长和土壤的稳定性。同时，须根系也可能在基础工程周边形成密集根系网络，对土壤渗透性和排水性能产生影响，从而影响工程的安全性和稳定性。

不同类型的植物根系在生长规律、构成以及功能方面存在差异，但都在植物体的生长和发育过程中发挥着重要作用。了解植物根系的基本特性和分类，以及它们对基础工程可能产生的影响，有助于我们更好地进行工程规划和设计，以确保工程的安全性和稳定性，同时减少对植物生态的破坏。

2 植物根系在土壤中的力学效应

2.1 根系对土壤物理结构的影响

植物根系在土壤中生长，其生长过程对土壤的物理结构产生了深远的影响。根系在土壤中穿插、扩展，不仅增加了土壤的孔隙度，还改善了土壤的通气性和透水性。根系在生长过程中会分泌有机物质，这些物质与土壤颗粒结合，形成稳定的团聚体，提高了土壤的抗蚀性和稳定性。同时，根系通过其生物力学作用，如根系对土壤的挤压和拉伸，能够改变土壤颗粒的排列方式，优化土壤结构，减少土壤侵蚀和流失。

根系在土壤中的生长还促进了土壤微生物的活动和繁殖，这些微生物通过分解有机物质，释放养分，进一步改善了土壤的物理和化学性质。根系对土壤物理结构的积极影响，有助于提升土壤的肥力，为植物的生长提供更好的环境条件。此外，根系还能在土壤中形成错综复杂的网络结构，这种结构能够增强土壤的抗剪强度和承载力，对防止土壤滑坡和塌陷具有重要作用。

2.2 根系与土壤的相互作用机制

植物根系与土壤之间的相互作用机制复杂而多样。根系通过其生长过程中的物理和化学作用，与土壤颗粒形成紧密的结合，增强了土壤的凝聚力。根系对土壤的挤压和拉伸作用，能够调整土壤颗粒的排列，形成更加稳定的土壤结构。同时，根系分泌的有机物质和无机盐类，能够改善土壤的酸碱度和养分状况，促进土壤微生物的繁殖和活动，进一步增强了土壤的稳定性。

根系在土壤中的生长还具有动态性，能够随着植物体的生长和发育不断调整其分布和形态。这种动态性使得根系能够更好地适应不同的土壤条件和环境变化，保持土壤结构的稳定性和连续性。此外，根系与土壤之间的相互作用还表现在根系对土壤水分的吸收和运输上，

根系通过其吸水作用，能够调节土壤的水分状况，保持土壤湿度的平衡。

2.3 根系力学效应的定性评估方法

为了定性评估植物根系在土壤中的力学效应，研究者们开发了多种评估方法。其中，直接剪切试验是一种常用的方法，通过模拟根系对土壤的剪切作用，测量土壤的抗剪强度，从而评估根系的加固效果。原位水平挤出法则通过测量根系在土壤中的挤出力，来评估根系对土壤的固土作用。此外，还有研究者利用计算机模拟技术，通过建立根系与土壤的力学模型，对根系的力学效应进行数值模拟和分析。

这些评估方法各有优劣，选择哪种方法取决于具体的研究目的和实验条件。直接剪切试验和原位水平挤出法能够直接测量根系的力学效应，但操作相对复杂，成本较高。计算机模拟技术则具有操作简便、成本低廉的优点，但模型的准确性和可靠性需要得到验证。在实际应用中，应根据具体情况选择合适的评估方法，以获得准确的评估结果。

3 水利基础工程安全性评估方法

为了对水利基础工程的安全性进行量化评估，需要建立一套科学、合理的评估指标体系。该指标体系应涵盖工程的结构、功能、环境等多个方面，能够全面反映工程的安全性状况。

在评估指标体系中，结构稳定性指标用于评估工程结构在静力和动力荷载作用下的稳定性；抗渗性能指标用于评估工程结构的防渗性能，防止渗透变形对工程造成损害；抗滑稳定性指标用于评估工程结构在滑动力作用下的稳定性，防止滑坡等灾害的发生；耐久性指标用于评估工程结构在长期运行过程中的耐久性，防止因老化、腐蚀等原因导致的安全事故；抗震性指标则用于评估工程结构在地震等自然灾害作用下的抗震性能。

水利基础工程的安全性评估方法与技术多种多样，包括现场检测、数值模拟、专家评估等。现场检测是通过实地测量和观测，获取工程结构的实际状态数据，为评估提供基础依据。数值模拟则是利用计算机仿真技术，对工程结构进行模拟分析，预测其不同工况下的响应和性能。专家评估则是邀请相关领域的专家，根据工程的特点和需求，进行专业的评估和分析。

4 植物根系对水利基础工程安全性的影响

4.1 根系对土壤渗透性的影响

植物根系在土壤中的生长和分布对土壤的渗透性

具有显著影响。根系通过其错综复杂的网络结构，能够改变土壤的孔隙分布和连通性，从而影响地下径流的方向。一方面，根系能够增加土壤的孔隙度，提高土壤的透水性，有利于土壤中的水分快速排出，降低地下水对水利基础工程的潜在影响。另一方面，根系在生长过程中会分泌有机物质，这些物质与土壤颗粒结合，形成稳定的团聚体，可能在一定程度上堵塞土壤孔隙，降低土壤的渗透性。然而，这种影响通常局限于根系密集的区域，且随着根系的衰老和分解，土壤渗透性会逐渐恢复。

在水利基础工程中，土壤渗透性的变化对工程的稳定性和安全性至关重要。过高的渗透性可能导致土壤中的水分快速流失，影响工程的抗浮稳定性和地基承载力；而过低的渗透性则可能引发土壤内部的孔隙水压力升高，增加工程发生渗透破坏的风险。若基础持力层范围内存在密集根系，根系穿插生长会破坏土体的原状结构，导致土壤密实度与承载力分布不均。当根系腐烂后，土体内部形成空洞或松软区域，进一步加剧持力层的不均匀性。这种不均匀性在荷载作用下易引发基础的不均匀沉降，导致结构产生差异变形，严重时可能造成基础开裂、倾斜甚至整体失稳。例如，在堤坝工程中，若坝基持力层内根系分布不均，坝体可能因局部沉降差异而产生裂缝，威胁工程安全。因此，在设计和施工水利基础工程时，应充分考虑植物根系对土壤渗透性的影响，采取合理的工程措施，如设置排水系统、优化地基处理等，以确保工程的安全性和稳定性。

4.2 对坝体结构的渗透破坏

植物根系在坝体土体中生长时，其穿透作用会改变土壤的渗透路径，形成优先水流通道的。深根植物的根系可能贯穿坝体防渗层或护坡结构，直接连通上下游水位，导致渗漏量显著增加。长期渗漏不仅会造成水资源浪费，还可能引发管涌、流土等渗透破坏现象，严重时导致坝体失稳溃决。此外，根系腐烂后形成的空洞会进一步降低土体抗渗性，扩大渗漏范围。例如，在土石坝工程中，若坝体填筑料中混入根系残体，或坝肩山体植被根系侵入坝体，均可能形成渗漏隐患。因此，坝体设计与施工中需严格控制根系侵入，对已存在的根系通道需采取灌浆、防渗墙等工程措施进行封堵。

4.3 根系对土壤变形和沉降的影响

植物根系对土壤的变形和沉降也具有一定的影响。一方面，根系通过其生长过程中的物理和化学作用，能够改善土壤的结构和性能，减少土壤在荷载作用下的变

形和沉降。另一方面，根系在生长过程中会对土壤产生一定的挤压作用，可能导致土壤局部区域的变形和沉降。然而，深根植物的根系可能穿透边坡支护结构（如挡土墙、抗滑桩），削弱其支护功能。同时，根系生长引起的土体干湿循环变化可能降低边坡土体的抗剪强度，增加滑坡风险。此外，根系腐烂后形成的软弱夹层可能成为滑坡的滑动面，导致边坡整体失稳。例如，在库区边坡或河道护坡工程中，若植被管理不当，根系可能破坏护坡结构完整性，引发局部坍塌或滑坡。

在水利基础工程中，土壤变形和沉降是影响工程安全性和稳定性的重要因素之一。过大的变形和沉降可能导致工程结构的破坏和失效。因此，在设计和施工水利基础工程时，应充分考虑植物根系对土壤变形和沉降的影响，通过合理的植物配置和地基处理等措施，减少土壤变形和沉降对工程的潜在威胁。同时，还应加强工程的监测和维护工作，及时发现和处理土壤变形和沉降等问题，确保工程的安全性和稳定性。

5 结论

植物根系在土壤中的力学效应对水利基础工程的安全性具有重要影响。根系能改善土壤结构，增强抗剪强度和承载力，但也可能破坏土体原有结构，降低土壤均匀性和密实性，影响工程基础承载力。根系生长和腐烂还可能改变土壤渗透性，影响工程的防渗性能和抗滑稳定性。因此，水利工程建设需充分考虑根系影响，采取合理措施进行防护和处理。深入研究根系与土壤及工程结构的相互作用机制，对于指导水利基础工程的设计与施工具有重要意义。

参考文献

- [1] 崔明华. 大连地区生态护坡草本植物根系固土机理和护坡稳定性分析[D]. 大连交通大学, 2023.
- [2] 陈雪冬, 李尤亮, 杨旸. 植物根系对浅层边坡的水文学加固研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2022, 44(01): 33-40.
- [3] 王杨. 锚杆联合植物根系护坡的综合评价研究[D]. 大连交通大学, 2021.
- [4] 郝需婷. 3种水土保持植物根系固土力学特性研究[D]. 内蒙古农业大学, 2021.

作者简介：李彦伦，1993年8月，男，汉族，新疆昌吉州呼图壁县人，本科，中级职称，研究方向：工程勘察。