

建筑工程深基坑开挖中土钉支护技术的应用与实践

徐小芳

汉江水利水电（集团）有限责任公司水电公司，湖北 丹江口 442700

摘要：在现代建筑工程中，深基坑开挖是一项技术要求高、风险较大的施工活动。随着城市化进程的加快，地下空间的开发利用日益频繁，深基坑工程在建筑、地铁、隧道等项目中变得越来越普遍。为了确保施工安全和工程质量，基坑支护技术的选择至关重要。在众多支护技术中，土钉支护技术因其独特的优势，在深基坑开挖中得到了广泛的应用。本文通过探讨建筑工程深基坑开挖中土钉支护技术的应用与实践，旨在有效提高基坑的稳定性和安全性，为建筑工程的顺利进行提供有力保障。

关键词：建筑工程；深基坑；土钉支护技术

Application and Practice of Soil Nail Support Technology in Deep Foundation Pit Excavation in Construction Engineering

Xu Xiaofang

Hanjiang Water Conservancy and Hydropower (Group) Co., LTD. Hydropower Company, Danjiangkou, Hubei 442700

Abstract : In modern construction engineering, deep foundation pit excavation is a construction activity with high technical requirements and greater risk. With the acceleration of urbanization process, the development and utilization of underground space is increasingly frequent, and deep foundation pit engineering has become more and more common in construction, subway, tunnel and other projects. In order to ensure the construction safety and engineering quality, the selection of foundation pit support technology is very important. Among the many support technologies, the soil nail support technology has been widely used in the deep foundation pit excavation because of its unique advantages. By discussing the application and practice of soil nail support technology in the excavation of deep foundation pit in the construction engineering, this paper aims to effectively improve the stability and safety of the foundation pit and provide a strong guarantee for the smooth progress of the construction engineering.

Keywords : construction engineering; deep foundation pit; soil nail support technology

引言

土钉支护技术是一种通过在土体中置入钢筋或其他加筋材料，形成一种复合土体结构，以提高边坡或基坑边壁稳定性的技术。它通过在坡面喷射混凝土，形成一种连续的挡土结构，从而有效地控制土体的位移和变形。土钉墙技术的核心在于土体与加筋材料之间的相互作用，这种作用力能够将土体的潜在滑移面转化为稳定的复合体，从而达到加固边坡的目的。在深基坑开挖中，土钉支护技术的应用与实践，不仅需要考虑土体的物理力学特性，还要综合考虑地下水情况、周边环境、施工条件等多种因素。通过精心设计和施工，土钉支护技术能够为深基坑工程提供安全、经济、高效的支护解决方案，确保工程的顺利进行和周边环境的安全稳定。随着技术的不断进步和工程实践的积累，土钉支护技术在深基坑开挖中的应用将更加广泛和成熟。

一、土钉支护技术的适用性和特点

1. 土钉支护技术的适用性

土钉支护技术是一种有效的边坡稳定方法，尤其适用于地下水位较低或经过降水处理的土坡开挖工程。在实际应用中，土钉支护通常采用分阶段开挖的方式，每阶段高度控制在1—2米，以

确保在无支撑状态下开挖段的土层能够自立稳定。这种技术特别适合于具有粘结性的土层，如杂填土、粘性土、粉土、黄土以及弱胶结的砂土边坡。然而，对于标准贯入击数低于10击的岩土边坡，使用土钉可能不经济；对于不均匀系数小于2的砂土、含水丰富的粉细砂层、砂卵石层和淤泥质土，土钉支护同样不适宜。此外，对于塑性指数大于20的粘性土，必须评估其蠕变特性后，

作者简介：徐小芳（1980.01-）女，汉，籍贯：湖北孝感，职称：中级，研究方向：工程项目管理及概预算。

才能考虑将土钉作为永久性挡土结构。土钉支护技术不适用于软土边坡，因为软土提供的界面摩阻力较低，技术经济效益不佳。在腐蚀性土层（如煤渣、矿渣、炉渣酸性矿物废料等）中，土钉也不适合作为永久性支挡结构。此外，土钉一般不适用于挡水结构，也不适合用于对变形要求严格的深基坑支护工程^[1]。

2. 土钉支护技术的特点

土钉支护技术的主要特点包括施工的快速性、对周围环境影响小、施工设备简便以及经济效益显著。土钉墙施工过程迅速且及时，它通过小台阶逐段开挖的方式进行，开挖后立即安装土钉和面层结构，这样可以最小化对坡体的扰动。由于施工与基坑开挖同步进行，不需要额外的工期，因此可以快速稳定土坡。实测数据表明，土钉支护的土坡即使只有微小的变形也能有效发挥土钉的加固作用，从而使得坡面位移和坡顶变形保持在较低水平，对邻近建筑物的影响微乎其微。土钉支护技术使用的施工机具简单，操作灵活，占用的施工场地小。钻进和混凝土喷射等设备都是小型的，机动性强，即使在空间有限的区域也能进行施工。此外，施工过程中产生的振动和噪音较低，这使得土钉支护技术在城市环境中具有明显的优势。与排桩法和钢板桩相比，土钉墙支护可以节省25% ~ 40%的投资；对于开挖深度在10米以内的基坑，土钉支护比锚杆支护节省10% ~ 30%的投资。因此，采用土钉墙支护不仅技术上可行，而且在经济上具有较高的吸引力^[2]。

二、建筑工程深基坑开挖中土钉支护技术的加固机理

1. 提升土体整体刚度与稳定性

土钉支护技术通过将土钉植入土体中，与周围土体产生相互作用，形成一种复合体结构。这种结构的形成显著提升了土体的整体刚度和稳定性。

具体来说，土钉在土体中起到类似钢筋在混凝土中的作用，通过与土体的摩擦力和粘结力，增强了土体的抗剪强度。这种增强作用使得原本可能因为自重或外部荷载而产生变形或破坏的土体能够维持其结构的完整性。土钉的加入，不仅提高了土体的内聚力，还增加了土体的摩擦角，从而进一步提升了土体的抗剪强度。这意味着土体在面对外部荷载时，能够以更小的变形量来维持其稳定性，有效避免了土体的突然破坏。

在深基坑开挖过程中，土体的侧向位移是导致不稳定的主要因素之一。土钉通过其加固作用，能够有效地抵抗这种侧向位移，从而保持土体的稳定性。这种加固效果不仅减少了基坑开挖对周围环境的影响，还提高了施工的安全性。

2. 提高土体抗剪强度

土钉作为一种细长的金属杆件，被插入土体中，通过与周围土体的机械咬合和摩擦作用，形成一种复合体结构。当土体受到外部荷载作用时，土钉能够有效地将应力传递到更深层的稳定土层中，从而分散应力集中，减少土体的剪切变形。

土钉与土体之间的相互作用，类似于在土体中植入了无数的“锚杆”，这些锚杆在土体发生位移时，能够提供反向的抵抗力，限制土体的进一步移动。这种作用机制类似于土体中的“箍筋效

应”，能够有效地约束土体的变形，提高土体的整体稳定性。土钉的设置密度越大，其与土体之间的相互作用就越强，从而能够更有效地提高土体的抗剪强度。

土钉支护技术还能够通过其与土体的相互作用，提高土体的内摩擦角和凝聚力，从而增强土体的抗剪强度。这种加固效果不仅能够提高基坑边坡的稳定性，还能有效控制基坑开挖过程中土体的位移，确保施工安全。

3. 增强土体与土钉间黏结和整体作用

在土钉安装后，通常会执行压力注浆工艺，这一过程涉及将浆液注入土体的裂隙和空隙中。随着浆液的扩散和固化，它会形成坚硬的浆脉，这些浆脉不仅将土钉与周围的土体紧密结合，而且在结构上形成一个加固的网络。这种黏结作用显著提升了土钉与土体之间的相互作用力，确保了它们作为一个整体来共同承担外部载荷。

注浆工艺的实施不仅限于增强黏结力，它还对土体本身的物理力学特性产生了积极影响。通过注浆，土体的密实度得到提升，其抗渗性能也得到显著改善。这意味着土体的稳定性得到了增强，其抵抗剪切破坏的能力也随之提高。因此，土钉支护结构通过注浆工艺不仅增强了土体的局部抗剪强度，而且通过改善土体的整体性能，实现了更为有效的加固效果^[3]。

三、土钉支护技术在应用与实践方面存在的问题

1. 土钉支护与岩土介质相互作用机理研究不足

目前，对土钉支护与岩土介质相互作用的某些机理认识还停留在定性描述阶段，缺乏深入的定量分析。这导致在设计理论方面，很多情况下不得不依赖于工程类比法，而非基于充分科学依据的计算模型。这种依赖经验而非理论的现状，限制了土钉支护技术在复杂或特殊地质条件下的应用，也增加了工程风险。由于缺乏对土钉支护与岩土介质相互作用机理的深入理解，设计时往往无法准确预测土钉的承载力、变形特性以及与周围岩土介质的相互作用效果，从而影响了工程的安全性和经济性。

2. 土钉支护深度与临空面稳定性问题

对于一般岩土介质，土钉支护的深度可以达到20.5米左右，而对于软土介质，深度则限制在10米左右。尽管如此，准确回答土钉支护临空面特别是直立临空面的深度上限问题，目前仍然存在困难。临空面的稳定性不仅取决于变形的大小，更重要的是变形速率的控制。不同介质构成的临空面具有不同的临界变形速率，但目前我们只能对少数几种岩土介质提出相应的判断准则，对于大多数岩土介质的临界变形速率尚不明确。这限制了土钉支护技术在更深层次岩土介质中的应用，也增加了工程设计的不确定性。

3. 缺乏对土钉支护参数与临空面变形速率关系的精确描述

在土钉支护条件下，临空面的变形速率与土钉支护参数的强弱密切相关。然而，这种关系的定量描述目前仍在研究之中。缺乏对土钉支护参数与临空面变形速率关系的精确描述，使得在实际工程中难以准确预测和控制土钉支护结构的变形行为，进而影

响到工程的安全性和稳定性。由于无法准确评估土钉支护参数对变形速率的影响，设计时往往需要采用保守的设计方法，这可能导致材料的浪费和成本的增加^[4]。

4. 土钉支护施工技术与队伍素质问题

土钉支护施工的机械设备目前还相对落后，很多情况下仍处于半机械半人工的状态。在砾石层中钻孔、软土中锚管的有效注浆以及垂直锚管的施工效率等方面都存在技术难题。这些问题不仅影响了施工效率，也增加了施工成本。此外，土钉支护施工队伍的素质普遍不高，部分施工队伍甚至素质较差。施工队伍素质低下直接导致工程质量无法得到保证，使用土钉支护方法的工程失败案例时有发生，很多情况下是由于施工质量问题造成的。

四、建筑工程深基坑开挖中土钉支护技术的发展趋势

1. 土钉支护技术的智能化发展

随着人工智能和机器学习技术的飞速发展，土钉支护技术在建筑工程深基坑开挖中的应用正逐步向智能化方向迈进。智能化技术的应用使得土钉支护的设计和施工过程更加精确和高效，显著提升了工程的安全性和可靠性。

通过智能化技术，工程师能够更准确地预测土钉支护结构在施工和使用过程中的变形和潜在破坏模式。这不仅有助于优化设计方案，还能在施工过程中实时监控土钉支护的性能，及时发现并解决可能出现的问题。智能化技术的应用减少了对人工经验的依赖，提高了设计和施工的自动化水平，从而提升了整体效率。

未来，土钉支护技术与智能化技术的融合将更加深入，智能化将成为推动土钉支护技术发展的重要力量。通过不断的技术创新和应用实践，智能化土钉支护技术有望在建筑工程领域发挥更大的作用，为深基坑开挖提供更加安全、高效和经济的解决方案。

2. 土钉支护技术的绿色环保发展

随着全球环保意识的日益增强，建筑工程领域的土钉支护技术也在逐步向绿色环保方向发展。这种趋势不仅体现了对环境的尊重和保护，也符合可持续发展的长远目标。在未来的土钉支

护技术应用中，将更加重视使用可再生材料和资源，以减少对自然资源的消耗和对环境的破坏。例如，采用环保型的土钉材料，以及在施工过程中采取措施减少噪声、尘土和废弃物的产生，从而降低对周围环境的影响。

土钉支护技术的发展将与绿色建筑和绿色城市建设的理念相结合，推动整个建筑行业向更加环保和可持续的方向发展。这意味着在设计和施工过程中，将更加注重节能减排、减少污染、保护生态平衡，并且在工程完成后，能够实现与自然环境的和谐共存。通过这种方式，土钉支护技术不仅能够确保建筑工程的安全和稳定，还能为建设绿色、环保、可持续发展的城市环境做出贡献^[5]。

3. 土钉支护技术的标准化和规范化发展

随着建筑工程深基坑开挖技术的不断进步，土钉支护技术作为其中一种重要的支护方式，其标准化和规范化发展显得尤为重要。标准化和规范化不仅能够提升施工过程中的质量和安全性，还能确保施工的高效性和经济性。未来，土钉支护技术的发展趋势将更加注重于建立和完善一套全面的标准和规范体系，这将有助于统一施工方法、材料选择、设计计算以及施工监测等方面的要求，从而提高整个行业的施工水平。

随着全球化的不断深入，土钉支护技术的标准化和规范化也将与国际标准接轨，以适应全球建筑市场的需求和发展趋势。这不仅有助于提升国内企业在国际市场中的竞争力，还能促进国际的交流与合作，共同推动土钉支护技术的创新和发展。通过标准化和规范化努力，土钉支护技术将在未来的建筑工程中占据更加重要的地位，成为深基坑开挖中不可或缺的支护手段。

五、结语

随着技术的不断进步和工程实践的积累，土钉支护技术在建筑工程中的应用越来越广泛，其在确保工程安全、提高施工效率、节约成本等方面发挥着重要作用。未来，随着更多创新技术的融入，土钉支护技术有望在岩土工程领域发挥更大的作用，为城市建设提供更加坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 魏敏. 高层建筑深基坑开挖复合土钉墙支护施工技术研究 [J]. 江西建材, 2024(2):262-264.
- [2] 杨晓诚, 李辉. 土钉墙技术在深基坑支护中的应用 [C] //2022年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(上册). 2022.
- [3] 魏巍. 土钉支护技术在深基坑支护中的应用 [J]. 科学技术创新, 2024(18).
- [4] 万长发. 建筑基坑土钉墙支护技术应用研究与分析 [J]. 2023(22):34-36.
- [5] 王侃. 土钉墙支护施工技术的应用及其质量控制 [J]. 四川建材, 2024(7).