

复杂地质条件下岩土施工策略与技术创新

冯光海

山东黄河三角洲国家级自然保护区大汶流管理站, 山东 东营 257500

摘要: 随着城市化进程的加快和基础设施建设的深化, 岩土施工的安全性和可持续性成为必然需求。在此背景下, 本文探讨了复杂地质条件下岩土施工中的技术瓶颈及其应对策略, 通过分析岩石构造多样性、地质不稳定因素以及传统施工方法的适应性缺陷, 揭示了当前施工面临的主要难点。同时, 文章系统论述了施工策略的优化与技术路径创新, 包括基于精细勘察的前期规划、基础加固、桩基技术革新、岩体支护及环境保护等多维策略, 并结合具体案例进行了验证。进一步地, 文章展望了智能化、自动化与绿色建造等未来发展趋势, 强调新型材料、废弃物循环利用和多功能智能机械在提升施工效率和生态友好性方面的潜力。

关键词: 复杂地质; 岩土施工; 技术创新

引言

现代城市化进程的加速推进, 岩土工程在基础设施建设中扮演着愈发重要的角色。然而, 复杂地质条件的多样性与不确定性使得传统施工方法面临严峻挑战, 施工的安全性与可持续性成为亟待解决的核心问题。复杂地质条件不仅涉及岩石构造的多样性、地下水渗透和地震活动等因素, 还伴随有滑坡隐患与不稳定土体的多重影响^[1]。这些因素对施工的稳定性和安全性构成了巨大的技术瓶颈, 同时对施工工艺的适应性和创新能力提出了更高要求。

1 复杂地质条件下的施工难点与技术瓶颈

1.1 地质条件的多维复杂性与风险分析

在岩土施工过程中, 地质条件的多维复杂性始终是不可忽视的技术瓶颈。地质环境的差异性与不确定性构成了施工过程中的重大挑战, 直接影响施工的进度与质量, 更对工程安全性提出了严苛要求。

复杂岩石构造的多样性常常在施工现场显露无遗。在软硬岩石交替出现的情况下, 不同类型岩石的物理学性质差异明显, 软岩部分容易在开挖过程中产生坍塌或变形, 而硬岩则可能因开挖难度大、切割速度慢而导致施工效率下降。与此同时, 地质不稳定因素则进一步加剧了施工过程中的不确定性。首先, 地下水渗透是一个潜在的风险因素。地下水不仅会影响地

基的承载力, 还会加速土体的松动, 导致基坑开挖过程中的边坡失稳。若处理不当, 地下水压力的突变甚至可能引发严重的涌水或突涌现象, 极大地威胁施工安全。其次, 地震带动因素在特定地区的岩土施工中具有显著影响。由于地震带来的地层应力瞬间释放, 地基结构可能在短时间内遭遇巨大的剪切力和应力变化, 导致桩基或支护结构的瞬时失稳。地震的反复冲击还可能引发岩体内的裂隙扩展, 导致潜在的地基失效风险。

1.2 传统施工方法的适应性缺陷

传统施工方法在应对复杂地质条件时, 常显现出适应性缺陷, 难以满足现代岩土工程对高效性和安全性的多重要求。尽管这些技术在较为单一或稳定的地质条件下曾取得显著成效, 但面对当今施工环境的多变性和复杂性, 其局限性逐渐显现。

首先, 工艺技术滞后与适应性不足成为施工中最显著的瓶颈之一^[2]。在复杂地质条件下, 传统施工方法多以经验为主导, 缺乏对地质条件变化的即时反应能力和动态调整机制。这种滞后性常常表现为对施工中突发问题的应对迟缓, 尤其是在遇到不可预见的岩溶、裂隙或地下水突涌时, 传统工艺的响应速度和调整能力明显不足, 极易导致施工中断或质量问题。

其次, 传统施工方法的适应性缺陷直接导致了施工成本的上升和环境破坏风险的加剧。由于传统工艺在适应复杂地质条件时需要进行大量的修正和反复试探, 必然增加施工的时间成本和材料消耗。例如, 在

地下水丰富区域，传统的排水措施多为大量抽水与排水井布设，这种方式虽可暂时解决地下水问题，但长期来看会导致土壤结构的破坏和地基沉降，增加后期的加固和修复成本。

2 施工策略的优化与技术路径创新

2.1 基于精细勘察的前期规划

现代岩土工程逐步摒弃传统粗放式勘察，转向依赖高精度的地质雷达与探测仪器来实现深层次的地质信息获取。这种探测技术通过非破坏性手段，可对地下岩层、土体结构以及地下水分布进行详细成像与分析，不仅能精确识别地层的软硬分布、岩溶发育程度和断裂带位置，还可动态监测地下水的流动状态与潜在的突涌风险^[3]。

在地下水丰富区域的岩土施工中，高精度探测技术的应用尤为突出。通过先进的地质雷达和地下探测仪器，工程团队能够在施工前准确识别地下水的分布规律与水位变化，提前评估可能的涌水风险。这一过程为基础设施的设计提供了科学依据，也使得施工过程中能够采取更为精准的排水与加固措施，从而避免了因地下水突涌导致的施工中断、地基不稳及环境污染等问题。

2.2 工艺技术的多元化组合应用

2.2.1 基础加固技术

深基坑支护与高压注浆技术作为现代岩土工程中的核心技术手段，已在多种复杂环境下得到广泛验证和应用。这些技术不仅针对地基的不稳定性问题提供了解决方案，更是在高地下水位等严苛条件下实现了安全作业的保障。

深基坑支护技术通过设置高强度的支护结构，在基坑开挖过程中提供必要的侧向支撑，从而有效防止土体坍塌和边坡失稳。这一技术在应对不同地质构造时，能够根据现场地质参数进行多种支护形式的灵活组合，包括钢筋混凝土支护、地下连续墙、土钉墙等。高压注浆技术则进一步提升了基础加固的效果。通过将高浓度的水泥浆液以高压方式注入地基土体中，该技术可在短时间内填充土体空隙，并在浆液凝固后形成致密的加固层，从而增强地基的整体承载力。这一技术在地下水丰富的地质环境中表现尤为突出，因为高压注浆能够在快速封堵地下水通道的同时，有效控制土体变形，确保基坑开挖的安全性和稳定性。如，

某地下工程在高地下水位条件下的深基坑支护实施。施工方在详细勘察后选用地下连续墙作为主要支护形式，并结合高压注浆技术，对地基进行综合加固。通过同步降水与高压注浆的多层次防护措施，工程团队在整个基坑开挖过程中保持了土体的稳定性，并成功避免了涌水现象的发生。

2.2.2 桩基技术

面对断裂带、岩溶发育等不稳定地质结构，传统的桩基工艺往往难以保证充分的承载力与持久性，而长螺旋钻孔灌注桩与CFA（连续飞旋）桩的结合，作为新一代桩基技术的代表，正逐步展现其在复杂地质环境中的适应能力和优势。

长螺旋钻孔灌注桩作为深基础施工中的常用技术，因其具备施工速度快、成桩质量好、对地质环境扰动小等特点，已广泛应用于软弱地基及砂层等地质条件下。然而，在断裂带等复杂地层中，长螺旋钻孔灌注桩往往面临钻进阻力大、孔壁易塌陷等挑战，难以单独实现稳定桩基的目标。相较之下，CFA桩具备更强的适应能力，其在钻进过程中，通过连续螺旋钻头的旋转，能够有效减少对地层的扰动，同时在拔钻过程中进行同步注浆，提升了桩基的密实度，也显著增强了桩体与地基的结合力^[4]。如，某大型地下工程位于断裂带密集区域，由于地质结构的非均质性及地层的不稳定性，单一的桩基技术难以有效控制地基沉降与桩体变形。为此，工程团队采用了长螺旋钻孔灌注桩与CFA桩的组合方案。在施工过程中，长螺旋钻孔灌注桩首先进行初步钻进，以打破较硬的表层岩层和初步支撑软弱土层；随后，利用CFA桩技术对桩体进行二次注浆加固，以确保桩基在高应力状态下的稳定性与均匀沉降控制。

2.2.3 岩体支护与加固

锚杆支护与预应力锚索技术作为现代岩土加固手段的核心部分，通过增强岩体内部的整体性和抗剪能力，为岩体结构提供了长效稳定的支撑。这些技术不仅在承载力和抗变形能力上表现优异，还能够有效控制施工过程中岩体的变形与位移，保障施工的安全性。

锚杆支护通过在岩体内部设置锚杆，将岩体的各层结构牢固连接，形成一个整体的支护体系。这种支护方式不仅能够有效提升岩体的承载能力，还可以在施工过程中即时控制岩体的位移，防止岩层的滑移和坍塌。相比之下，预应力锚索技术则进一步提升了岩

体的抗剪强度与稳定性。预应力锚索通过在锚索安装完成后施加预应力，使得锚固段岩体在施工前即进入受压状态，从而有效控制岩体裂隙的扩展和位移变形。如，在某隧道项目中，由于岩层结构极其复杂且伴随断裂带的存在，传统支护技术难以有效应对岩体的不稳定性。为确保隧道施工的顺利进行，工程团队决定采用预应力锚索技术进行岩体加固。通过在岩体中布设高强度的预应力锚索，并在安装完成后施加设计预应力，使得岩体在施工开始前便处于受控状态。

2.3 环境保护与可持续发展并行的施工

2.3.1 基于生态修复的工程施工

随着可持续发展理念的不断深化，工程项目不仅需要满足建设要求，还需将生态保护作为重要目标之一。其中，土壤改良与植被恢复技术作为核心的生态修复手段，在恢复施工区域的自然生态功能方面发挥着重要作用，成为提升整体环境质量的有效措施^[5]。

土壤改良作为生态修复的基础环节，旨在通过对土壤物理、化学和生物特性的全面优化，实现土壤生态功能的恢复与提升。其具体措施包括利用有机物料和土壤调理剂改善土壤的结构和养分含量，通过增强土壤的通透性与保水性，为后续植被生长创造有利条件。在此过程中，土壤改良不仅能修复因施工而破坏的土壤层次结构，还能提升其抗侵蚀能力，避免水土流失。植被恢复则作为生态修复的关键步骤，通过种植适应性强、耐旱性好的本地植物，实现对施工区域生态环境的长效保护。植被的重建过程需根据区域的地形地貌、气候条件及土壤特性进行科学规划，以确保植被覆盖的多样性与稳定性。在某山区工程项目的施工后期阶段，工程团队在大面积裸露地表开展了植被恢复行动。该项目地处山区，施工过程中难免对周边植被造成破坏，且地形陡峭、降雨量大，容易引发水土流失。为此，工程方在施工后期集中开展了系统化的土壤改良措施，选用合适的土壤调理剂和有机肥料，全面改善了土壤的结构和肥力。随后，工程团队在坡面种植了本地耐旱草种，并通过护坡网等措施进行保护，以确保植被能够迅速扎根、稳定生长。经过多轮生态监测，植被覆盖率得到了显著提升，水土流失现象明显减少，区域生态环境质量也得以大幅改善。

2.3.2 清洁能源和智能化设备的运用

当前，工程界对减少碳排放与能源消耗的需求愈

发迫切，而清洁能源的引入和智能化设备的广泛使用，既为施工过程提供了高效的能源利用方式，也在降低环境影响的同时显著提升了施工效率。这种新兴的施工策略，顺应了现代社会的环保要求，也在技术创新的框架内实现了施工质量的提升。

清洁能源的运用在施工过程中表现出诸多优势。太阳能、风能和电池储能系统等绿色能源形式的应用，已逐步取代了传统的柴油发电机和燃油机械设备。这种能源替代不仅减少了施工过程中的温室气体排放，还大幅降低了因燃油使用带来的环境污染问题。此外，清洁能源在运行过程中具备更高的能源转化效率，能够为智能化设备提供稳定、持久的能源支持。智能化设备的应用在提高施工效率和精度方面亦发挥着不可替代的作用。这些设备不仅在地质勘察、施工监测和自动化施工中表现出色，还通过数据分析和反馈功能，实现了施工过程的实时优化。自动化掘进机、智能化基坑支护系统和无人机测绘技术等先进设备的广泛使用，使得施工的机械化与智能化水平显著提升。如，在某隧道工程中，大量应用清洁能源和智能化设备的组合策略取得了显著效果。施工方在工程初期即引入了太阳能光伏板和风力发电系统，全面替代了传统的柴油发电机组。这不仅实现了施工过程中的碳排放减半目标，还大幅减少了施工现场的噪声污染和空气污染。同时，工程团队还配备了全自动掘进机和智能化监测系统，结合无人机进行三维地质扫描，实现了施工的精准性。

3 未来技术革新方向

科技的日益进步，智能化与自动化施工技术正逐步引领行业的革新方向，通过深度融合人工智能（AI）、大数据分析、无人化设备和绿色建造理念等新兴技术，为工程的高效性与可持续性注入全新动力。这一发展趋势不仅是当前技术升级的必然路径，也将为未来的岩土工程开拓更为广阔的应用前景。

在智能化与自动化施工领域，AI与大数据的应用正在显著提升地质勘察与施工管理的科学性与精准性。通过AI算法对大量地质数据进行深度分析，不仅能实时识别复杂地层的物理特性，还可对潜在的施工风险进行智能预测。这种智能化的勘察技术将极大地提高工程的前期规划效率，并在施工过程中实现动态调整。此外，大数据在施工管理中的应用也日益深化，通过

将实时监测数据与历史数据相结合，可对施工进度、资源配置及设备运行状态进行全面优化，从而显著提升施工效率和质量一致性。

无人化设备与多功能智能机械的推广则是施工技术革新的另一个重要方向。随着传感技术、机器人技术和自动控制系统的不断进步，无人化施工设备正在逐渐取代传统的人工操作，实现施工过程的全自动化。无人化设备不仅具备高精度、高效率的施工能力，还可在高风险环境中实现远程操作与实时监控，极大地提高施工的安全性和稳定性。同时，多功能智能机械的发展也在加速推进，通过集成多种作业功能与智能化操作系统，进一步提升设备的适应性与作业效率。

绿色建造理念的深化与技术融合是未来岩土工程可持续发展的必然趋势。新型材料的研发与应用将在绿色施工中发挥关键作用。通过使用环保型、高强度

的新型建材，不仅能有效降低材料的环境负荷，还可提升工程的耐久性和资源利用效率。例如，低碳混凝土、可再生钢材以及复合环保型支护材料的应用，不仅在施工过程中减少了碳排放，还可通过高效的材料性能提升施工质量与结构安全。

4 结语

综上，通过对施工难点的深入分析，揭示了岩石构造多样性、地质不稳定性及传统施工方法适应性不足等技术瓶颈，并提出了基于精细勘察、基础加固、桩基技术革新、岩体支护及生态修复的多维施工策略。这些策略的有效实施，显著提高了施工的安全性和效率，也为绿色建造与智能化施工提供了重要实践基础。未来，岩土工程的可持续发展需要技术革新与生态理念的深度融合，以实现更高效、更环保的建设目标。

参考文献

- [1] 蒋兆威. 复杂地质条件下超长桩基础沉降数值模拟分析[J]. 重庆建筑, 2024, 23(10): 57-60.
- [2] 李伟强. 复杂环境与地质情况下深基坑顺逆结合设计与施工技术研究[J]. 建筑施工, 2024, 46(10): 1679-1682+1686.
- [3] 胡俊, 杨佳坤, 胥洪成, 等. 复杂地质条件储气库多因素库容复核新方法[J]. 油气藏评价与开发, 2024, 14(05): 795-804+813.
- [4] 周新勍, 刘荣乐, 樊忠华, 等. 复杂地质条件下措施斜坡道法施工破碎硐室[J]. 建井技术, 2024, 45(05): 23-27+50.
- [5] 张欣欣. 综合勘察技术在岩土工程施工中的应用[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, [2024-07-01]