

深基坑支护工程中的动态设计与施工管理

刘 斌

义马煤业集团股份有限公司 河南 义马 472300

摘要：本文聚焦深基坑土钉+预应力锚索复合支护工程，深入探讨动态设计与施工管理。首先详细分析该复合支护技术特点、适用条件及关键技术参数，阐述动态设计的内涵及实施流程，接着从施工准备、过程控制、质量监测等多方面剖析施工管理要点。最后对未来发展方向进行展望，旨在为提高深基坑支护工程的安全性、经济性和可靠性提供全面且具有实操性的理论支持与实践指导。

关键词：深基坑；土钉+预应力锚索复合支护；动态设计；施工管理

1 引言

随着城市化进程的迅猛推进，地下空间开发利用规模日益扩大，深基坑工程数量急剧增多。深基坑支护作为保障地下结构施工安全和周边环境稳定的核心环节，其设计与施工质量直接关系到整个工程的成败。土钉+预应力锚索复合支护技术凭借其独特的优势，在深基坑工程中得到了广泛应用。然而，深基坑工程具有高度的复杂性和不确定性，地质条件、周边环境、施工工艺等因素的动态变化都可能对支护结构的性能产生显著影响。因此，采用动态设计与施工管理模式，依据工程实际情况及时调整设计与施工方案，成为确保深基坑工程安全、高效实施的关键举措。

2 土钉+预应力锚索复合支护技术概述

土钉+预应力锚索复合支护技术，原理上是通过土钉将土体与喷射混凝土面层结合成整体，利用土体自承和土钉作用抵抗侧压力，预应力锚索则将不稳定土体拉力传至稳定土层，二者结合增强支护结构稳定性和抗变形能力。该技术经济性好，相比传统支护结构材料用量少、造价低；施工便捷，工艺简单、速度快，工期可缩短30%-50%；适应性强，适用于多种地质和基坑深度，还有柔性支护特点。其适用条件为土质较好、地下水位低或经处理的土层，基坑深度一般15m以内，周边环境对变形要求高时也可通过合理设计满足安全要求。

3 动态设计在深基坑土钉+预应力锚索复合支护工程中的内涵与流程

3.1 动态设计的内涵

动态设计是指在深基坑工程设计和施工过程中，根据现场监测数据、地质勘察资料的补充和修正以及施工过程中的实际情况，对原设计方案进行及时调整和优化的设计方法。它强调设计与施工的紧密结合，以实时信息反馈为基础，通过不断调整设计参数和施工工艺，确

保支护结构的安全性和稳定性，同时实现工程的经济合理性和施工的可行性。动态设计不是对原设计方案的否定，而是在原设计基础上，根据实际情况进行的合理调整和完善。

3.2 动态设计的实施流程

前期准备：在工程前期，收集详细的地质勘察资料、周边环境信息以及相关规范标准，进行初步设计方案制定。同时，确定监测项目和监测点布置方案，为动态设计提供数据支持。监测项目一般包括支护结构位移、土体深层水平位移、地下水位、周边建筑物沉降和倾斜等。监测点布置应根据基坑形状、规模和周边环境特点合理确定，确保能够全面、准确地反映基坑和周边环境的变化情况。

施工过程监测：在基坑施工过程中，按照监测方案对各项监测项目进行实时监测，并及时整理和分析监测数据。监测频率应根据施工进度和监测数据变化情况确定，在基坑开挖初期和关键部位施工时，监测频率应适当提高^[1]。例如，在基坑开挖至设计深度的1/3和2/3时，应每天进行一次监测；在锚索张拉和土钉注浆等关键工序施工时，应实时监测。

信息反馈与分析：将监测数据与设计计算值进行对比分析，评估支护结构的受力状态和稳定性。如果监测数据超过预警值或与设计计算值存在较大偏差，应及时分析原因，判断是否需要调整设计方案。预警值应根据工程实际情况和相关规范要求确定，一般取设计允许值的70%-80%。例如，若设计允许基坑周边土体最大水平位移为30mm，则预警值可设为21-24mm。

设计方案调整与优化：根据信息反馈分析结果，结合工程实际情况，对原设计方案进行调整和优化。调整内容包括土钉和锚索的参数（如长度、间距、直径、预应力大小等）、支护结构的施工顺序和方法等。调整后

的设计方案应进行重新计算和验证,确保其安全性和合理性。

实施调整方案并继续监测:将调整后的设计方案付诸实施,并在施工过程中继续进行监测,验证调整方案的有效性。如果监测结果仍不满足要求,则需进一步调整设计方案,直至支护结构的安全性和稳定性得到保障。

4 深基坑土钉+预应力锚索复合支护工程施工管理要点

4.1 施工准备阶段管理

组织施工人员熟悉施工图纸和相关规范标准,进行技术交底,确保施工人员了解设计意图和施工要求。同时,编制详细的施工组织设计和专项施工方案,明确施工工艺流程、质量标准和安全措施。根据设计要求,选择合格的材料供应商,确保土钉、锚索、钢筋、水泥等原材料的质量符合标准。对进场的材料进行严格检验和试验,合格后方可使用^[2]。配备齐全的施工设备,如钻机、注浆泵、张拉设备等,并对设备进行调试和维护,确保设备性能良好,能够满足施工需要。平整施工场地,清除障碍物,做好排水设施。根据监测方案布置监测点,并做好保护措施。

4.2 施工过程管理

4.2.1 土方开挖管理

土方开挖应遵循“分层、分段、对称、平衡、限时”的原则,严禁超挖。每层开挖深度应根据地质条件和支护结构形式确定,一般不超过1.5m。在软土地区,每层开挖深度应适当减小,控制在1.0m以内。开挖过程中应及时排除坑内积水,防止积水浸泡土体,影响土体强度和支护结构的稳定性。可采用明沟排水或井点降水等方法进行排水,确保坑内干燥。明沟排水应设置在基坑四周,坡度不小于0.5%;井点降水应根据基坑深度和土质条件选择合适的井点类型和布置方式。在开挖至土钉和锚索位置时,应预留一定厚度的土层,采用人工开挖,避免机械开挖对土钉和锚索造成破坏。预留土层厚度一般为200-300mm,人工开挖时应小心操作,确保土钉和锚索的位置准确。

4.2.2 土钉施工管理

土钉成孔应采用合适的钻孔设备,确保孔径、孔深和孔斜符合设计要求。成孔过程中应记录钻孔地质情况,如发现与设计不符的地质条件,应及时通知设计单位进行处理。孔径一般比土钉直径大20-50mm,孔深偏差不得超过 ± 50 mm,孔斜偏差不得超过1%。例如,若设计土钉直径为25mm,则孔径应控制在45-75mm之间。土钉制作

应严格按照设计要求进行,钢筋的规格、长度、间距以及锚头的加工质量等应符合标准。土钉钢筋应平直,无局部弯折,锚头应焊接牢固,确保土钉与喷射混凝土面层的连接可靠。土钉制作完成后应进行外观检查和尺寸测量,合格后方可使用。注浆是土钉施工的关键环节,应采用合适的水泥浆液配合比,注浆压力和注浆量应符合设计要求。一般采用水泥砂浆或水泥净浆进行注浆,水泥砂浆的水灰比宜为0.4-0.5,水泥净浆的水灰比宜为0.45-0.55。注浆压力一般为0.2-0.5MPa,注浆量应保证孔内充满浆液。注浆过程中应密切观察注浆管的情况,防止堵管现象发生。若发生堵管,应及时清理注浆管,确保注浆连续进行。

4.2.3 预应力锚索施工管理

锚索制作应保证钢绞线的平直,锚具、隔离架等配件的安装位置准确。锚索下料长度应根据锚索设计长度、张拉设备工作长度和锚具厚度等因素确定。钢绞线应采用砂轮锯切割,不得采用电弧切割,以免损伤钢绞线的性能。锚具和隔离架的安装应牢固,确保锚索在张拉过程中不发生滑动和变形。锚索成孔与土钉成孔要求类似,但锚索孔径一般较大,对成孔质量要求更高。成孔后应及时进行锚索安装和注浆,防止孔壁坍塌。锚索孔径一般比锚索直径大100-150mm,成孔后应立即清孔,清除孔内杂物和积水。锚索安装时应缓慢下放,避免锚索弯曲和损坏。锚索张拉应在注浆体强度达到设计要求后进行。张拉过程中应按照设计张拉程序和张拉力进行操作,严格控制张拉速度和张拉位移^[3]。张拉程序一般采用分级张拉,先进行预张拉,再进行正式张拉。预张拉力一般为设计张拉力的10%-20%,正式张拉时应分级加载,每级加载量为设计张拉力的20%-25%,持荷5-10min后进行下一级加载,直至达到设计张拉力。张拉完成后应及时进行锚头锁定,确保锚索预应力稳定。锚头锁定后应再次检查锚索的伸长量和预应力损失情况,若预应力损失过大,应进行补张拉。

4.2.4 喷射混凝土面层施工管理

喷射混凝土面层应在土钉和锚索施工完成后进行。在喷射混凝土前,应清理坡面浮土和杂物,设置排水孔和泄水孔。排水孔和泄水孔的间距应根据土质条件和地下水位确定,一般间距为2-3m。排水孔和泄水孔应采用PVC管制作,管径不宜小于50mm,管壁应钻孔,孔径为5-10mm,孔间距为50-100mm。喷射混凝土应采用湿喷工艺,严格按照设计配合比进行配料。配合比需根据原材料性能和喷射混凝土强度要求进行试验确定,一般水泥与砂、石的质量比为1:(2-2.5),水灰比宜为0.4-0.5。喷

射时应分段、分片进行,自下而上喷射,确保混凝土与坡面紧密贴合,厚度均匀。喷射混凝土厚度一般不小于设计厚度的90%,且最小厚度不宜小于80mm。例如,若设计喷射混凝土厚度为100mm,实际喷射厚度应控制在90-100mm之间。为保证喷射混凝土质量,应控制好喷射压力和喷射距离。喷射压力一般控制在0.12-0.15MPa,喷射距离以0.8-1.5m为宜。同时,要注意控制回弹率,通过调整砂率、水灰比和喷射角度等措施,将回弹率控制在15%-25%以内。喷射过程中应安排专人对喷射混凝土面层进行观察,若发现表面有裂缝、脱落等情况,应及时进行处理。喷射混凝土终凝后2h内应进行养护,养护时间不应少于7d。可采用喷水养护或覆盖养护等方式,保持混凝土表面湿润。在养护期间,应避免在喷射混凝土层面上施加荷载或进行其他作业,以免影响混凝土强度的发展。

4.3 施工质量管理

施工单位应建立完善的质量管理体系,明确各部门和人员的质量职责,制定质量管理制度和质量检验计划。质量管理体系应符合相关标准和规范要求,确保施工全过程的质量控制。例如,设立专门的质量管理部门,配备专业的质量管理人员,对施工过程中的各个环节进行质量监督和检查。对施工过程中的关键工序和关键部位进行重点质量控制,如土钉和锚索的成孔、注浆、张拉,喷射混凝土的配合比、喷射厚度等。每道工序施工完成后,应进行自检、互检和专检,合格后方可进行下一道工序。例如,在土钉注浆完成后,应检查注浆饱满度,可通过观察注浆管是否有浆液溢出或采用钻孔取芯等方法进行验证。按照相关规范标准对支护结构进行质量检验和验收,检验项目包括土钉和锚索的抗拔力、喷射混凝土的强度和厚度、支护结构的位移等。检验频率应符合规范要求,检验结果应符合设计要求^[4]。例如,土钉和锚索的抗拔力检验应采用现场抗拔试验,检验数量不应少于土钉和锚索总数的1%,且不应少于3根;喷射混凝土的强度检验应采用标准试件法,每500m²喷射混凝土面积应制作一组试件。

4.4 施工安全管理

施工安全管理在深基坑工程中至关重要。施工单位需制定完善的安全管理制度,涵盖安全生产责任制、安全教育培训及检查制度等,明确各级人员安全职责,通过定期安全培训与新员工三级安全教育,提升施工人员的安全意识与操作技能,使其熟悉安全规程与应急措施。同时,要加强现场安全防护,设置明显警示标志,隔离危险区域,为施工人员配备安全帽、安全带等防护用品,基坑周边设不低于1.2m的防护栏杆与挡脚板,保障临时用电与消防安全,如采用三相五线制、设置漏电保护装置等。此外,要定期开展安全检查和隐患排查,每周全面检查,登记隐患并跟踪整改,确保及时消除隐患。最后,针对基坑坍塌、土钉和锚索断裂、火灾等可能事故制定应急预案,明确应急组织、物资设备及响应程序等内容,每半年组织一次如基坑坍塌的应急演练,检验预案可行性与有效性,提高施工人员应急处置能力。

结语

深基坑土钉+预应力锚索复合支护工程中,动态设计与施工管理是保障工程安全、经济、可靠实施的关键。动态设计可依实际情况及时调整方案,适应地质与环境变化;施工管理则通过严格的质量、安全及监测管理,确保施工符合要求与规范。展望未来,随着科技进步与实践积累,该工程动态设计与施工管理将朝着智能化、精细化迈进,利用先进技术实现实时精准监测预警,结合人工智能优化设计与工艺,同时加强规范标准制定,推动技术不断提升。

参考文献

- [1]杨修歌.预应力锚索复合土钉墙变形与内力分析及工程应用[D].河南理工大学,2020.
- [2]黄素丽.基坑预应力锚索复合土钉墙支护优化设计研究[D].华北水利水电大学,2018.
- [3]李海凤.基于预应力锚索的基坑支护体系变形控制研究[J].凿岩机械气动工具,2025,51(04):163-166.
- [4]潘军.土建基础施工中深基坑支护实施技术的创新应用[N].贵州民族报,2024-12-03(B04).