

建筑基坑支护预应力锚杆技术应用研究

王文明

山东昌舜岩土工程有限公司 山东 济南 250000

摘要：随着城市化进程加速，建筑基坑向更深、更复杂方向发展，对支护技术的安全性与可靠性提出更高要求。本文聚焦建筑基坑支护预应力锚杆技术，深入研究其构造与工作原理、施工关键技术及实际应用。剖析预应力锚杆锚固体、杆体等部件的协同机制，详述成孔、安装张拉及施工监测的技术要点，探讨其与不同支护结构组合、在各类地质条件及特殊环境下的应用策略。研究表明，通过精准把控施工工艺与优化应用方案，预应力锚杆技术可有效提升基坑稳定性，控制变形。

关键词：建筑基坑支护；预应力锚杆；关键技术；具体应用

引言：预应力锚杆技术凭借主动支护、高效控变形等优势，成为基坑支护的关键手段。但在不同地质条件、复杂环境下的应用仍面临诸多挑战，需深入研究其技术原理与应用策略。本文系统探讨预应力锚杆技术的构造与工作原理，分析施工核心技术及在多元场景下的应用，旨在为优化基坑支护设计、保障工程安全提供理论支撑与实践指导，推动该技术的创新发展与广泛应用。

1 建筑基坑支护预应力锚杆技术的构造与工作原理

1.1 预应力锚杆技术的构造组成

预应力锚杆作为建筑基坑支护的核心结构，由以下锚固体、杆体、张拉锁定装置及锚头四部分构成。（1）锚固体是锚杆与土体的连接基础，通常通过钻孔后灌注水泥浆形成，其直径与长度依据地质条件和设计荷载确定。在软土地层中，锚固体需增大直径以提升锚固力；在岩质地层，可通过加长长度增强稳定性。（2）杆体一般采用高强度钢绞线或钢筋，具备优异的抗拉性能，负责传递锚固体与锚头间的拉力。（3）张拉锁定装置包含千斤顶、锚具等，通过张拉杆体施加预应力，锚具则用于锁定预应力，防止松弛。（4）锚头是锚杆外露部分，与支护结构（如冠梁或腰梁）连接，将锚杆拉力有效传递至整体支护体系，保障基坑稳定。各部件间协同作用，锚固体提供锚固力，杆体传递拉力，张拉锁定装置施加预应力，锚头实现力的转换与传递。

1.2 预应力锚杆技术的工作原理

预应力锚杆工作原理基于土体与锚固体间的摩阻力，通过主动施加预应力控制基坑变形。施工时，先钻孔置入杆体，灌注水泥浆形成锚固体，待强度达标后张拉杆体，向土体施加压力，产生预应力。此预应力使土体处于受压状态，增强土体抗剪强度和稳定性，有效抑制基坑变形。在受力过程中，基坑侧壁土体因开挖卸荷

产生向坑内变形趋势，带动锚杆位移，锚杆受拉产生拉力。该拉力经杆体传递至锚固体，锚固体依靠与土体间摩阻力抵抗拉力，将荷载分散至稳定土体深处。预应力的存在，使土体在基坑开挖前已处于预压状态，减小土体初始变形，降低基坑坍塌风险。锚杆与周边土体形成共同作用体系，通过应力重分布，进一步提升土体整体稳定性，确保基坑在施工期间的安全，体现预应力锚杆在主动支护方面的技术优势。预应力锚杆的工作过程还涉及动态的应力调整。随着基坑开挖进程推进，土体应力状态不断变化，锚杆通过持续传递和调节拉力，动态平衡土体压力。这种自适应特性，使预应力锚杆能有效应对复杂施工工况，保障支护体系在基坑全生命周期内的稳定可靠，为地下工程建设提供坚实技术保障^[1]。

2 预应力锚杆施工关键技术

2.1 成孔工艺与质量控制

成孔是预应力锚杆施工的基础环节，其质量直接决定锚杆的锚固效果。目前主流成孔方法包括螺旋钻机成孔、潜孔锤成孔和套管跟进成孔，不同工艺需根据地质条件精准选择。在粘性土、粉土地层中，螺旋钻机成孔效率高且不易塌孔，通过连续螺旋叶片排土，可有效控制孔壁光滑度；而在砂卵石层或破碎岩层中，套管跟进成孔技术更为适用，利用套管护壁防止塌孔，同时保证钻孔垂直度。

成孔过程中的质量控制需关注三大核心指标：孔径、孔深和垂直度。孔径需严格符合设计要求，偏差控制在 $\pm 20\text{mm}$ 以内，避免孔径过大导致注浆量增加或孔径过小影响锚杆安装；孔深误差应不超过 $\pm 50\text{mm}$ ，确保锚固体嵌入稳定土层深度达标；垂直度控制则通过使用带有导向装置的钻机，配合全站仪或测斜仪实时监测，要求孔斜率不大于1%。成孔完成后需进行清孔处理，采

用高压空气或泥浆循环清除孔底沉渣,沉渣厚度控制在50mm以内,防止因沉渣影响锚杆与土体的粘结强度。

2.2 锚杆安装与张拉工艺

锚杆安装环节需确保杆体在孔内的居中定位和防腐处理。杆体下放前,应在其表面安装对中支架,间隔1.5-2m设置一组,保证杆体处于钻孔中心,避免注浆后出现偏心受力。对于采用钢绞线的锚杆,需对其进行防腐处理,常见方式为双层防腐,内层涂抹防腐油脂并套上塑料套管,外层采用热收缩套密封,以延长锚杆使用寿命。注浆是锚杆安装的关键工序,分为一次常压注浆和二次高压注浆。一次注浆采用水泥砂浆,水灰比控制在0.45-0.55之间,注浆压力保持在0.3-0.5MPa,待浆液初凝后进行二次高压注浆,压力提升至2-4MPa,通过劈裂作用扩大锚固体直径,增强与土体的摩擦力。

张拉锁定工艺直接决定预应力施加效果。张拉前需对张拉设备进行标定,确保张拉力精度控制在 $\pm 3\%$ 以内。张拉过程遵循分级加载原则,一般分3-5级进行,每级加载后持荷5-10min,待锚杆位移稳定后再施加下一级荷载。当张拉力达到设计值的105%-110%时,进行超张拉,持荷15-20min,以补偿锚固段土体压缩和杆体松弛引起的预应力损失。锁定时采用锚具将钢绞线固定,锁定后需对预应力进行复测,若损失超过设计值的10%,需进行补张拉。

2.3 施工监测技术

施工监测是保障预应力锚杆施工安全和质量的重要手段,主要包括锚杆轴力监测和基坑变形监测。锚杆轴力监测通过在锚杆上安装振弦式测力计或应变计实现,监测点布置遵循“重点部位加密、一般部位适度”原则,在受力较大的锚杆及周边环境复杂区域增加测点。监测频率在张拉阶段需加密至每2小时一次,待锚杆稳定后可调整为每天1-2次,实时掌握锚杆受力变化趋势。基坑变形监测包含水平位移和竖向位移监测。水平位移采用全站仪进行极坐标法测量,竖向位移则通过水准仪进行水准测量,关键部位还可采用自动化监测系统,实现24小时不间断数据采集与传输。监测预警值根据基坑等级和周边环境确定,一般当水平位移累计值达到30-50mm或变化速率超过3-5mm/d时,需立即停止施工并采取加固措施。此外,通过对监测数据的分析,可及时调整后续锚杆施工参数,如优化张拉顺序、调整注浆压力等,确保整个基坑支护体系的稳定性^[2]。

3 预应力锚杆技术在建筑基坑支护中的具体应用

3.1 预应力锚杆与不同支护结构的协同应用

3.1.1 与排桩支护结构组合

在建筑基坑支护中,预应力锚杆与排桩的组合应用极为常见。排桩作为挡土结构,承受基坑侧壁的土压力,而预应力锚杆则通过施加拉力,将排桩所受荷载传递至深部稳定土体。施工时,先完成排桩的成桩作业,待桩身强度达到设计要求后,在排桩上预留锚杆连接节点,进行锚杆钻孔施工。锚杆钻孔需精准控制角度和深度,确保其与排桩的连接可靠。锚杆安装完成并注浆达到强度后,对锚杆进行张拉锁定,使排桩在预应力作用下处于受压状态,有效减少排桩的侧向位移,提升整个支护体系的稳定性。此组合尤其适用于土质较差、基坑深度较大的工程,通过发挥排桩的挡土优势和锚杆的主动支护特性,实现对基坑变形的有效控制。

3.1.2 与地下连续墙结合

预应力锚杆与地下连续墙结合的支护形式,常用于超深基坑或对周边环境变形控制要求极高的项目。地下连续墙施工完成后,在墙身合适位置设置锚杆锚固点。锚杆的布置需综合考虑地下连续墙的受力分布、地质条件以及周边环境因素。锚杆钻孔需避免对地下连续墙造成损伤,采用特殊的成孔工艺,如在靠近墙体处采用小直径钻头缓慢钻进。锚杆注浆时,需保证浆液与地下连续墙的紧密结合,形成可靠的传力体系。张拉锁定过程中,严格控制预应力大小和张拉顺序,确保地下连续墙受力均匀,防止因锚杆张拉导致墙体出现裂缝或过大变形,从而保障基坑安全和周边建筑物的稳定。

3.1.3 与土钉墙联合支护

预应力锚杆与土钉墙联合支护是一种经济有效的支护方式,适用于土质较好、基坑深度适中的工程。在施工过程中,先按照设计要求分层分段施工土钉墙,完成一定高度的土钉墙施工后,穿插进行预应力锚杆的施工。锚杆的设置可根据土体稳定性和基坑变形要求,布置在土钉墙的关键部位,如基坑转角处、土质变化处等。锚杆与土钉墙相互协同工作,土钉墙提供一定的被动土压力,预应力锚杆则通过主动施加拉力,增强土体的整体稳定性,提高支护体系的抗滑和抗倾覆能力^[3]。

3.2 预应力锚杆在不同地质条件下的应用

3.2.1 软土地层中的应用

在软土地层进行基坑支护时,由于土体强度低、压缩性高,基坑变形控制难度大,预应力锚杆技术的应用需采取特殊措施。首先,在锚杆设计方面,需增大锚杆长度和直径,以增加锚固体与土体的接触面积,提高锚固力。同时,采用压力分散型锚杆等特殊结构形式,将集中荷载分散传递,减少土体局部应力集中。施工过程中,成孔工艺选择套管跟进法,防止塌孔;注浆时采用

二次高压注浆技术,通过劈裂注浆扩大锚固体直径,增强与软土的粘结强度。在锚杆张拉阶段,分多级缓慢加载,避免因加载过快导致土体产生过大变形。

3.2.2 砂卵石地层中的应用

砂卵石地层颗粒间无粘结力,成孔困难且易塌孔,是预应力锚杆施工的难点。在此类地层中应用时,优先选用潜孔锤成孔工艺,利用潜孔锤的高频冲击破碎卵石,同时采用套管护壁,确保成孔质量。锚杆杆体选择高强度、大直径的钢筋或钢绞线,以承受较大的拉力。注浆材料采用高流动性、早强型水泥砂浆,并适当提高注浆压力,使浆液充分填充卵石间隙,增强锚固体与地层的握裹力。锚杆张拉前,需对锚固体强度进行检测,达到设计强度后方可进行张拉作业,保证锚杆的锚固效果,有效抵抗砂卵石地层的土压力,维持基坑稳定。

3.2.3 岩质地层中的应用

在岩质地层中,预应力锚杆的应用需根据岩石的性质和风化程度进行调整。对于完整性较好的岩石,锚杆钻孔可采用凿岩机直接成孔,钻孔直径和深度根据设计要求确定。锚杆杆体与岩石的粘结主要依靠水泥砂浆的粘结力和机械咬合力,因此注浆质量至关重要。采用高压注浆方式,使浆液充分填充岩石裂隙,增强锚杆与岩石的连接。对于风化严重的岩石地层,需先对风化层进行处理,如采用灌浆加固等措施,再进行锚杆施工。在锚杆张拉过程中,由于岩石的弹性模量较大,需严格控制张拉速率和张拉力,避免因张拉应力过大导致岩石破裂,确保锚杆在岩质地层中发挥有效支护作用。

3.3 特殊环境下预应力锚杆技术的应用

3.3.1 城市密集区域的应用

在城市密集区域进行基坑支护,周边建筑物、地下管线密集,对基坑变形控制要求极高。预应力锚杆技术在此环境下应用时,需进行精细化设计和施工。在设计阶段,采用高精度的数值模拟软件,对基坑开挖过程进行全过程分析,预测锚杆张拉和基坑开挖引起的周边环境变形,优化锚杆布置和施工参数。施工过程中,加强对周边建筑物和地下管线的监测,实时掌握变形情况。

采用微扰动的成孔工艺,如旋挖钻机成孔,减少施工对周边环境的影响。锚杆张拉采用自动化张拉设备,精确控制张拉力和张拉速率,确保基坑变形在允许范围内,保护周边既有建筑物和地下设施的安全。

3.3.2 临近水体区域的应用

临近水体的基坑工程,地下水丰富且水位变化大,对预应力锚杆的耐久性和抗水侵蚀性能提出更高要求。在设计阶段,锚杆杆体采用耐腐蚀材料,如不锈钢钢绞线或进行特殊防腐处理,增加防腐涂层厚度和层数。锚固体采用抗渗性能好的水泥砂浆,并添加防水剂和抗侵蚀剂,提高其抗水侵蚀能力。施工过程中,做好基坑降水和排水工作,降低地下水位,减少水对锚杆施工的影响。锚杆钻孔完成后,及时进行注浆作业,防止地下水渗入孔内影响注浆质量。在锚杆张拉锁定后,对锚头部位进行防水密封处理,避免地下水与锚杆直接接触,延长锚杆使用寿命,保障基坑在复杂水环境下的稳定^[4]。

结束语:预应力锚杆技术在建筑基坑支护中展现出显著技术优势与应用价值,通过明确构造原理、严控施工技术及优化应用方案,有效保障了基坑工程安全。但在复杂地质条件下的适应性、长期性能稳定性等方面仍存在改进空间。未来研究可聚焦新材料研发、智能化监测技术应用及施工工艺创新,进一步提升预应力锚杆技术的可靠性与经济性,推动其在建筑基坑支护领域的持续优化,更好地服务于城市建设与基础设施发展。

参考文献

- [1]狄宝亮.建筑基坑支护预应力锚杆技术应用研究[J].砖瓦,2025(5):180-182.
- [2]尚新乐.深基坑施工中预应力锚杆支护技术的实践研究[J].工程技术研究,2019,4(1):49-50.
- [3]胡倬洲.预应力锚杆在深基坑支护中的应用[J].建材与装饰,2021,17(22):35-36.
- [4]罗贞海,黄志强,王泽旺,等.浅析预应力锚杆在深基坑支护中的应用[J].建筑工程技术与设计,2021(33):3015-3016.