

深基坑支护施工中土钉墙变形控制措施研究

石 睿

中国电建集团四川工程有限公司 四川 成都 610051

【摘要】：深基坑土钉墙支护施工中，墙顶水平位移、沉降及局部鼓凸等变形问题频发，其诱因涉及地质条件、施工工艺、支护参数及周边环境等多方面，若管控不当易引发支护失稳、周边设施损坏等安全风险。本文通过剖析土钉墙变形的典型类型、主要诱因及潜在风险，从设计优化、施工过程规范化、变形异常针对性处理三个维度，提出差异化控制措施。实践表明，合理确定土钉参数、规范施工工序、及时处置变形隐患，可有效抑制土钉墙变形，保障基坑施工安全与周边环境稳定，为同类深基坑土钉墙支护工程提供理论参考与实践借鉴。

【关键词】：深基坑；土钉墙；变形控制；施工工艺；支护结构

DOI:10.12417/2811-0528.26.13.035

引言

随着城市地下空间开发力度不断加大，深基坑工程数量逐年增多，土钉墙因施工简便、经济性好、适用性强等优势，成为深基坑支护的常用形式。但在实际施工中，受地质条件复杂、施工操作不规范、支护参数设计不合理等多种因素影响，土钉墙易出现水平位移、沉降、局部鼓凸等变形问题，不仅威胁基坑施工安全，还可能损坏周边建筑物、地下管线等设施，引发安全事故与经济损失。因此，深入剖析土钉墙变形的类型、诱因及潜在风险，探索科学有效的变形控制措施，对保障深基坑工程施工安全、提升支护结构稳定性具有重要的工程实践意义。基于此，本文围绕土钉墙变形控制展开系统分析。

1 深基坑土钉墙施工变形问题剖析

1.1 土钉墙变形的典型类型

土钉墙变形的常见形态涵盖墙顶水平位移、沉陷形变及局部鼓胀形变三类，见图1。墙顶水平位移集中于基坑开挖中下部，土钉锚固效能不足、土体抗剪性能偏弱会促使支护体系向坑内产生平缓或突发侧移，偏移量自基坑顶端至底端逐步递增，常诱发墙面裂隙且多呈竖向或斜向排布，裂隙随偏移持续推进不断拓宽。沉陷形变多见于基坑周边地表及土钉墙顶端，土体自重压密、地下水渗流或土钉施工对土体的扰动均会引发此类现象，具体体现为地表均匀或非均匀下沉，非均匀下沉易造成土钉墙局部受力失衡，进一步加重墙面开裂^[1]。局部鼓胀形变常出现在土体软弱夹层或土钉间距偏宽区域，局部土体承受侧向压力后向坑内鼓起形成凸起，未及时处置会导致鼓胀范围蔓延，最终造成整个支护体系失效。

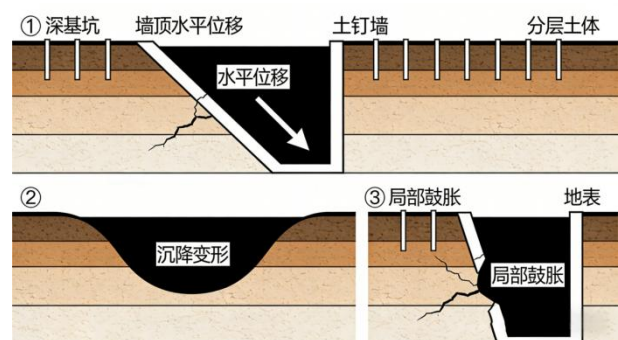


图1 土钉墙典型变形类型示意图

1.2 土钉墙变形的的主要诱因

深基坑土钉墙施工过程中，变形现象的产生与地质条件、施工工艺、支护参数及周边环境等多方面因素密切相关。基坑所处区域的土层性质直接影响土钉墙的稳定性的，粉质黏土、粉土等软土质地层抗剪强度低、压缩性高，在基坑开挖卸荷后易发生沉降变形，而砂层地层则可能因渗水导致土体流失，进而引发土钉墙局部鼓凸或整体位移。支护参数设计不合理也是重要诱因，土钉长度不足、间距过大导致支护承载力不足，土钉与砂浆粘结不紧密、注浆不饱满使得土钉无法有效传递土体应力，均会造成土钉墙受力失衡。此外，基坑开挖速度过快、分层开挖厚度超标，会使土体应力瞬间释放且无法及时通过土钉传递，周边建筑物荷载、施工机械碾压等附加荷载，也会加剧土钉墙的变形。

1.3 土钉墙变形的潜在风险

土钉墙变形的潜在风险主要体现在基坑周边环境破坏、支护结构失稳及施工安全隐患三个核心层面。变形初期多表现为墙面细微裂缝、局部鼓凸，若未及时管控，裂缝会逐渐延伸扩大，导致墙面整体位移加剧，进而牵拉周边土体产生沉降或滑

坡。此类变形会直接影响基坑周边既有建筑物、地下管线的安全,造成建筑物墙体开裂、基础不均匀沉降,地下管线破损泄漏,引发燃气、供水、供电等公共设施故障,影响周边正常生产生活。同时,土钉墙变形会削弱支护结构的承载能力,当变形量超过设计限值时,土钉可能出现拉断、拔出现象,喷混凝土面层发生剥落、坍塌,进而导致基坑整体失稳,引发坍塌事故,不仅会造成施工停滞、工期延误和经济损失,还会对施工区域及周边人员的生命安全构成严重威胁。

2 深基坑土钉墙变形控制具体措施

2.1 土钉墙设计优化控制措施

土钉墙设计优化需整合基坑开挖深度、地质勘察成果及周边环境要素,精准设定土钉参数以遏制形变。土钉长度依据土力学特性实施差异化配置,软土、粉质黏土层中需适度加长土钉并加密布置,保障其深入稳定土层形成可靠锚固,规避锚固效能不足引发的墙体偏移。土钉直径选取需契合受力需求,常规采用 16-22mm 螺纹钢,合理规划布设间距,纵向控制在 1.5-2.0m、横向 1.2-1.8m,间距偏宽易致支护体系受力失衡,偏窄则抬升施工成本且破坏土体完整性。注浆采用水泥浆与水泥砂浆复合配比,水泥强度等级不低于 42.5 级,注浆压力维持在 0.3-0.5MPa,保障注浆密实度以强化土钉与土体的黏结效能,土钉端部增设承压板提升抗拔能力,从设计层面遏制墙顶水平位移与沉降。

2.2 施工过程规范化控制方法

施工过程规范化控制需贯穿土钉墙施工全流程,严格把控各工序施工参数与操作标准,确保施工质量与安全。土钉成孔前,需采用精准定位设备精确确定孔位、孔径及孔深,孔位偏差严格控制在规范允许范围内,成孔后立即清理孔内浮土、杂物及松动岩块,防止孔壁坍塌,保障土钉锚固效果。土钉制作需严格按设计规格选用合格钢材,全面做好除锈、防腐处理,安放时精准对齐孔轴线,确保土钉轴线与孔轴线保持一致,到位后及时注浆,注浆材料配合比经现场试验确定,注浆压力均匀稳定,确保浆液充盈孔壁、与土体紧密结合,提升锚固承载

力。喷射混凝土施工前,彻底清理坡面浮土、碎石,修整坡面平整度,喷射时分层分段进行,每层厚度控制在合理范围,喷射角度与速度适中,保证混凝土强度达标、与坡面粘结牢固^[2]。同时,严格控制施工分层分段长度,避免单次开挖与支护范围过大引发土体变形,做到各工序有序衔接,杜绝违规操作。

2.3 变形异常的针对性处理方案

针对深基坑土钉墙施工中出现的不同变形异常情况,需结合现场监测数据精准制定处理方案,做到早发现、早处置,防范险情扩大。当监测发现土钉墙墙面出现局部鼓凸、裂缝宽度超过规范限值时,立即停止该区域土方开挖作业,在鼓凸部位增设加密土钉,采用高强度螺纹钢土钉并加长锚固长度,确保土钉与土体有效咬合,同时对裂缝进行灌浆处理,选用微膨胀水泥砂浆高压注入裂缝内部,填充缝隙并增强墙面整体性^[3]。若出现整体沉降量过大或沉降速率持续超标,需在基坑周边设置临时降水井,合理控制地下水位稳定,减少土体自重沉降影响,同时在土钉墙顶部增设压顶梁,增强支护结构整体刚度,有效限制沉降发展。若监测显示土钉墙水平位移异常增大,需在位移较大区域增设锚索,与原有土钉形成协同支护体系,通过锚索张拉施加预紧力,抵消土体侧向推力,同步加强现场监测频率,实时调整处理参数,确保变形异常得到有效控制,保障基坑施工安全。

3 结语

深基坑土钉墙支护的变形控制是保障基坑施工安全与周边环境稳定的核心环节,其变形主要表现为墙顶水平位移、沉降及局部鼓凸,诱因与地质条件、施工工艺、支护参数等密切相关,若管控不当易引发支护失稳、周边设施损坏等风险。本文结合变形问题剖析,从设计优化、施工规范化、变形异常处理三个维度提出针对性控制措施,通过合理确定土钉参数、严格把控施工工序、及时处置变形隐患,可有效抑制土钉墙变形。实践表明,科学统筹设计与施工,强化全过程监测与动态调整,能实现土钉墙变形的有效管控,为深基坑土钉墙支护施工安全提供可靠保障,也为同类工程施工提供参考与借鉴。

参考文献:

- [1] 李启标.超深基坑中复合土钉墙支护体系变形机理研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(14):184-186.
- [2] 杨峰峰.土钉墙支护技术在深基坑工程中的应用与效果分析[J].陶瓷,2025,(02):168-171.
- [3] 张子辰,严长江,李旺.某黄土深基坑复合土钉墙变形监测分析[J].兰州工业学院学报,2023,30(01):27-31.