

# 岩土工程施工中基坑边坡失稳及加固处理技术研究

庞伟杰

(山西冶金岩土工程勘察有限公司, 山西 太原 030000)

**摘要** 我国基坑工程不断增加, 边坡失稳事故频发, 已成为制约建筑业发展的瓶颈之一。本文系统分析了基坑边坡失稳的三大主要原因: 地质条件的复杂多变性、基坑开挖扰动引发的应力场演化、支护结构体系的合理性与可靠性, 并针对这些问题, 详细探讨了传统 HDPE 防渗膜加固、抗滑桩支护、排水加固以及复合型加固四种加固处理技术, 从工程勘察与设计论证、材料设备优选配置、施工过程精细化管理、加固效果跟踪监测与评估四个维度提出了加固处理技术的系统应用策略, 以期为确保岩土工程施工安全和质量提供技术支撑和管理依据。

**关键词** 岩土工程; 基坑边坡失稳; 加固处理技术

中图分类号: TU753

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.021

## 0 引言

我国城市建设快速发展, 地下空间开发利用日益增多, 深基坑工程不断增加。然而, 基坑边坡失稳事故时有发生, 严重影响工程安全和施工进度, 已成为制约建筑业发展的瓶颈之一<sup>[1]</sup>。基坑失稳是一个涉及地质、结构、施工等多因素的复杂工程问题。如何针对性地开展基坑失稳机理研究, 创新发展基坑边坡加固处理技术, 优化勘察设计和施工方案, 已成为岩土工程界的重要课题。

## 1 基坑边坡失稳的原因

### 1.1 地质条件的复杂多变性

基坑边坡失稳问题往往源于场地岩土体的复杂性和不确定性。岩土介质的物理力学性质受其组成、结构、胶结状态等因素的综合影响, 表现出明显的非均质性、各向异性和不连续性特征<sup>[2]</sup>。这种天然的离散性质使得土层的强度、变形等力学参数呈现出显著的空间变异性, 局部薄弱区域易形成潜在的滑裂面。当遇到软弱夹层、高液限土、膨胀土等不良地质时, 边坡失稳风险进一步加剧。与此同时, 岩溶发育区的溶洞、溶蚀裂隙等地下通道, 会加速地表水和地下水的侵蚀渗流作用, 不仅降低了土体抗剪强度, 还会引发土体的管涌、流砂、坍塌等工程灾害。

### 1.2 基坑开挖扰动引发的应力场演化

随着开挖面的不断推进, 土体应力状态发生剧烈调整和重新分配。开挖卸荷使基坑周围土体的水平向约束力降低, 土体产生侧向位移并逐步向基坑内部倾

斜。与此同时, 基坑底部土体在上覆土层荷载移除后, 孔隙水压力骤降, 有效应力增大, 导致土体出现弹性回弹变形。在这种动荷载扰动下, 土体应力路径呈现出明显的非线性特征, 强度参数随之衰减<sup>[3]</sup>。一旦土体变形累积到一定程度, 超过其自身的屈服极限, 边坡就可能突然失稳, 甚至整体坍塌。尤其对于软土地基, 由于固结压缩和蠕变效应显著, 开挖卸载引发的剪应变局部集中更加明显, 极易诱发边坡的渐进性破坏。

### 1.3 支护结构体系的合理性与可靠性

基坑支护结构作为抵抗土压力、维护边坡稳定的重要屏障, 其设计与施工的合理性和可靠性直接影响着基坑工程的安全。不合理的支护方案选型, 例如刚度不足、嵌固段短、搭接位置控制不当等, 会导致支护结构内力分布不均、变形过大, 无法有效约束土体位移<sup>[4]</sup>。支护结构设计参数的不当取值, 如混凝土强度等级偏低、钢筋配筋率不足、截面尺寸偏小等, 将削弱结构的承载能力和整体稳定性, 尤其在复杂地质和超深基坑条件下, 更易引发支护结构的屈曲失效和连续倒塌。施工工艺和质量控制的缺陷, 如成槽质量不佳、混凝土振捣不密实、钢筋保护层不足、锚杆预应力张拉不到位等, 也会显著降低支护结构的耐久性和使用性能, 加剧边坡失稳的风险。

## 2 岩土工程施工中基坑边坡加固处理技术

### 2.1 传统 HDPE 防渗膜加固技术

HDPE 防渗膜加固技术是一种传统而有效的基坑边坡加固方法。其工作原理是利用高密度聚乙烯膜的隔

水性能,在基坑侧壁形成一道防渗屏障,阻断地下水渗流,降低土体含水率,从而提高土体抗剪强度和整体稳定性。该技术适用于地下水位较高、渗透系数大的砂性土和粉土等透水性强的地层中,尤其对于较浅的基坑或地下连续墙施工中的防渗护壁,具有明显的加固效果。在设计中需要重点把控HDPE膜的厚度、搭接宽度、焊接质量以及与基坑支护结构的连接方式等参数。同时应在支护桩或地下连续墙等结构中预埋防水止水带,将HDPE膜边缘可靠固定,形成严密的防渗体系。必要时可在膜后设置排水盲沟,有序导排渗水,避免水压聚集诱发膜后土体流失和结构变形。

## 2.2 抗滑桩支护技术

抗滑桩支护技术是岩土工程施工中常用的边坡加固方法之一。其基本原理是通过在边坡土体内设置一系列垂直或斜向的钢筋混凝土桩体,利用桩周土体与桩体之间的相互作用,提高边坡整体的抗剪抗滑能力。当潜在滑动面上的土体产生位移时,位于滑动面下方的抗滑桩段可提供额外的抗剪阻力,而上方桩段则依靠土体的被动土压形成抗滑反力,共同抵抗滑动力的作用,达到稳定边坡的目的。该技术适用于各类土质边坡,特别是对于高陡边坡、软弱夹层边坡以及滑坡体等复杂地质条件下的基坑工程,具有较好的加固效果。但在饱和软黏土等特殊土层中,抗滑桩的加固机理有所不同,设计时需引起重视。

## 2.3 排水加固技术

排水加固技术是基坑边坡加固的关键措施之一。该技术通过设置合理的排水系统,有效控制地下水位,降低孔隙水压力,提高土体强度。在实际应用中,常采用明暗管排水、水平射孔排水、垂直降水井等多种形式,形成系统的排水网络。其中,水平射孔排水适用于岩质边坡,可在坡面钻设一定倾角的排水孔,及时疏导深层水压;垂直降水井则适合砂卵石层等透水性强的地层,通过管井抽水快速降低地下水位。为保证排水效果,需根据工程地质条件和水文特征,合理布置排水设施的位置、间距和深度,并做好排水管道的防堵塞处理。在软土地层中,还可配合真空预压等措施,加快固结排水速度,提高地基承载力。此外,应建立完善的监测体系,实时掌握排水效果和边坡稳定性,确保基坑施工安全。

## 2.4 复合型加固技术

复合型加固技术是岩土工程施工中基坑边坡加固处理的一种高效方法。该技术通过巧妙组合多种加固

手段,充分发挥各自优势,实现基坑边坡的综合加固。例如,可将抗滑桩支护与排水加固相结合,在提高边坡稳定性的同时,有效降低地下水位,减小土体软化风险。又如,将土钉墙与喷锚支护相融合,既能增强边坡浅层土体强度,又可有效约束深层位移,从而全方位提升边坡整体性能。值得一提的是,复合型加固往往能减少施工工序,缩短工期,节约成本。同时,其加固效果优于单一技术,且适用性更广。因此,复合型加固技术已成为岩土工程领域的研究热点和发展趋势,具有广阔的应用前景。

## 3 岩土工程施工中加固处理技术的应用策略

### 3.1 工程勘察与设计阶段的全面论证

加固处理技术的合理应用离不开前期扎实的工程勘察和审慎的方案设计,勘察工作应全面详实,既要查明场地的地层岩性、结构构造等基本地质条件,也要重点调查岩土体的物理力学性质、地下水文特征等影响稳定性的关键要素。对于特殊复杂地层,如饱和软土、多孔卵石、岩溶发育区等,要进一步加密勘察点位,提高勘察数据的代表性和可靠性。与此同时,设计阶段的方案论证要做到客观全面,采取多方案比选的方式,从技术可行性、经济合理性、工期保证性等角度对加固处理技术进行评判和优选。

### 3.2 加固材料与设备的优选配置

材料是加固施工的物质基础,其品质直接影响加固效果。设备则是加固施工的执行载体,先进可靠的设备是保障工程质量和进度的关键。因此,工程各参与方应高度重视加固材料和设备的优选配置,严把质量关,强化过程管控。对于材料选用,要本着因地制宜、优质优价的原则,选择品质稳定、性能可靠的产品。水泥、钢材、砂石等原材料,应优选信誉良好的供应商,对材料的技术指标进行严格把关,必要时开展进场检验试验。外加剂选型要慎重,避免盲目使用,宜通过室内外试验优化掺量,既要改善材料性能,又要兼顾经济性和环保性。在设备选择上,要立足工程实际需求和技术特点,优选先进实用、性能可靠的设备<sup>[5]</sup>。大型设备如钻机、灌浆泵等,应选择自动化程度高、故障率低的知名品牌产品。小型机具如注浆管、搅拌器等,要兼顾性能和成本。设备进场前要检验核实,使用中应加强维护保养,定期检修校准,确保设备安全高效运转。

### 3.3 加固施工过程的精细化管控

由于加固施工多为隐蔽工程,不易实施全过程监

控,且诸多环节交叉作业,组织协调难度大,因此必须采取精细化管理模式,实现全要素、全过程、全方位的质量把控。首先,要建立健全的技术管理体系和责任制度,细化分解施工任务,明确各岗位职责,确保管理到位、责任到人。其次,要编制详细的施工组织设计和作业指导书,对关键工序、特殊工况制定针对性的技术措施,为精细化施工提供依据。再者,要加强材料设备管理,做好原材料抽检、设备性能校核等,为施工创造硬件条件。此外,要强化过程监控,及时发现并处置施工偏差,通过工序检验、巡视检查等方式控制一次成优率。最后,要完善信息化管理手段,利用物联网、大数据等技术实现材料、设备、人员的动态管理,为科学决策提供依据。唯有严而又严、细而又细地把控施工全过程、各环节,才能确保加固施工的高效有序进行。

### 3.4 加固效果的跟踪监测与评估

加固处理技术的实施成效需要科学评估和持续跟踪,开展加固效果的监测评估,一方面可及时掌握加固体的工作状态,预警安全风险;另一方面可客观评价加固设计的可靠性和施工的规范性,为优化完善提供依据。因此,工程各方应高度重视加固效果的跟踪监测与评估工作,将其作为质量管理和技术优化的重要抓手。首先,应在设计阶段制定完备的监测方案,明确监测目的、监测项目、仪器配置、测点布置、频率要求、预警值等。其次,要建立专业化的监测队伍,配备先进可靠的自动化监测设备,规范实施现场监测。再者,要加强监测数据的传输、存储、分析能力建设,及时编制监测报告,形成闭环管理。此外,应针对监测异常数据开展专题分析,查明原因,评估其对工程的影响程度。对于问题突出、风险较大的情况,应及时预警,采取应急处置措施。最后,要总结监测成果,评估加固效果,剖析设计施工中存在的不足,并针对性地提出优化建议,为后续类似工程提供借鉴。

复合型加固技术涉及多种加固处理手段,监测评估内容更为复杂。以土钉墙和微型桩组合的加固方案为例,应分别针对土钉、基坑桩及周围土体布设监测点。土钉方面,应监测土钉轴力、桩帽正反位移,评估土钉的受力状态和变形趋势。微型桩方面,应监测桩体的轴向力、倾斜度、桩间土压力等,分析桩基的整体稳定性。邻近土体方面,应布设深层位移计和孔隙水压力计,及时掌握土体变形发展规律。在开挖和施工各阶段,要严格执行信息化、自动化监测,确保监测数

据的准确性和连续性。当发现土钉轴力异常、桩帽位移超限、土体变形速率加快等预警信号时,应立即报告,开展应急处置<sup>[6]</sup>。积极采取加密土钉、压浆封闭裂缝、设置支撑等补救措施,避免问题扩大化。工程竣工后,还应持续性地开展跟踪监测,评价加固工程的使用性能。通过比对分析设计预期和实际加固效果,找出设计和施工的薄弱环节,总结经验教训。同时针对性地开展技术攻关,优化土钉抗拔参数、改进钻孔成型工艺、提高桩体成桩质量,切实提升复合型加固技术的可靠性和适用性。

## 4 结束语

岩土工程施工中基坑边坡加固处理技术的合理应用是保障工程安全和质量的关键,需要工程各参与方协同发力,统筹兼顾,系统施策。在前期,要高度重视工程勘察设计,详细查明场地工程地质和水文地质条件,并在此基础上优化设计方案,合理选择加固技术。在施工阶段,要强化过程控制和精细化管理,严格把控材料、设备、工艺、人员等要素,确保加固施工的规范有序。同时,还要做好施工过程的跟踪监测和效果评估工作,及时掌握加固体系的工作状态,发现问题及时预警和处置。只有全过程、全方位、全要素地把控基坑边坡加固处理,建立健全技术与管理双优机制,才能为岩土工程筑牢安全防线,实现建设工程高质量可持续发展。

## 参考文献:

- [1] 刘海超.关于岩土工程基坑边坡失稳加固技术的探讨:以日照岚山疏港铁路工程对应项目为例[J].价值工程,2024,43(03):149-151.
- [2] 刁峰.岩土工程施工中基坑边坡失稳与加固处理技术的探讨[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(05):79-81.
- [3] 陈川,包毅辉.贺巴高速公路某路堑高边坡坍塌失稳治理及全过程监测分析[J].西部交通科技,2024(03):34-38,43.
- [4] 周伟.公路工程岩土边坡稳定性研究[J].广东建材,2023,39(08):101-104.
- [5] 季文魁.关于岩土工程中高填方边坡的稳定性分析与治理措施[J].中华建设,2023(02):113-115.
- [6] 肖春碑.粤北某国道边坡整体失稳机制分析及治理措施优化研究[J].铁道建筑技术,2024(10):204-208.