

软土地基深基坑开挖施工技术及支护分析

吴 琼

(江苏省地质局第一地质大队, 江苏 南京 210041)

摘 要 软土地基因具有高含水量、高压缩性、低承载力及强触变性等工程特性, 给深基坑支护与开挖施工带来诸多技术难题, 易引发基坑失稳、周边建筑物沉降开裂、地下管线破坏等安全事故。本文以软土地基深基坑工程为研究对象, 阐述了软土地基深基坑支护及开挖施工技术研究的工程意义, 分析当前施工过程中存在的问题, 并提出软土地基深基坑支护及开挖施工技术优化措施, 旨在为相关工作人员提供参考。

关键词 软土地基; 深基坑; 支护技术; 开挖施工

中图分类号: TU47

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.07.017

0 引言

软土地基在我国沿海、沿江等地区分布广泛, 此类地基土的工程性质复杂, 承载能力弱且变形量大, 在深基坑支护与开挖过程中, 若施工技术不当或控制措施不力, 极易导致基坑支护结构变形过大、坑底隆起、周边土体不均匀沉降等问题, 进而威胁临近建(构)筑物、地下管线及道路的安全稳定。因此, 系统开展软土地基深基坑支护及开挖施工技术研究, 解决当前施工中存在的技术瓶颈, 优化施工工艺与控制措施, 对于保障深基坑工程施工安全、提高工程质量、降低工程风险具有重要的现实意义和工程应用价值。

1 软土地基深基坑开挖施工技术及支护工程意义

1.1 筑牢工程施工安全防线

软土地基具有高含水量、低抗剪强度的显著特性, 深基坑开挖时极易引发土体滑移、坑底隆起、支护结构失稳等安全风险^[1]。科学规范的支护与开挖施工技术能够有效平衡基坑周边土体应力, 抑制坑周土体过量位移, 避免支护结构因受力失衡发生倾覆或破坏。通过精准控制施工流程与技术参数, 可从源头降低基坑坍塌等安全事故发生概率, 为施工人员、设备及工程整体施工过程提供坚实的安全保障, 是深基坑工程顺利推进的核心前提。

1.2 守护周边环境稳定安全

城市深基坑工程多紧邻既有建筑物、地下管线、城市道路等重要设施, 软土地基的不均匀沉降对周边环境敏感度极高。合理的支护与开挖技术能有效控制土体变形速率与沉降量, 避免因基坑施工导致周边建筑物开

裂倾斜、地下管线断裂、道路塌陷等问题。通过减少施工对周边岩土体的扰动, 维持区域地层力学平衡, 保障城市基础设施正常运行, 减少施工对居民生活与城市交通的不利影响, 实现工程建设与周边环境的和谐共存。

1.3 夯实工程建设质量根基

深基坑施工质量直接决定后续主体结构的稳定性与耐久性, 软土地基的复杂性对施工精度与工艺要求更为严格。规范的支护施工可确保支护结构承载能力与变形控制符合设计标准, 精细化的开挖工艺能避免坑底土体结构破坏, 保障地基承载力满足工程要求。通过严格控制支护结构施工精度、基坑开挖平整度及降水效果, 为后续主体结构施工创造良好条件, 有效提升工程整体建设质量, 延长建筑物使用寿命, 降低后期维修养护成本。

2 软土地基深基坑开挖施工技术及支护存在的问题

2.1 支护结构选型缺乏针对性

当前部分软土地基深基坑工程在支护结构选型时, 未能充分考虑软土地层的具体特性、基坑开挖深度、周边环境条件等因素, 存在盲目选型的问题^[2]。例如: 在含水量高、抗剪强度低的淤泥质软土地层中, 单纯采用土钉墙支护, 由于土钉与土体的粘结力不足, 难以有效控制基坑变形; 而对于开挖深度较大、周边建筑物密集的基坑工程, 若选用支护刚度不足的钢板桩, 易导致支护结构变形过大, 威胁周边环境安全。

2.2 开挖施工工艺不够优化

软土地基深基坑开挖施工工艺的合理性直接影响基坑的稳定性。目前, 部分工程在开挖过程中存在开

作者简介: 吴琼(1989-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 水工环地质勘察。

挖顺序不合理、开挖速度过快、超挖现象严重等问题。在开挖顺序方面,未严格遵循“分层开挖、分层支护”的原则,一次性开挖深度过大,导致基坑周边土体应力集中,加剧了土体变形;在开挖速度方面,盲目追求施工进度,开挖速度超过土体的应力调整速度,使得支护结构未能及时发挥作用,增加了基坑失稳的风险;超挖现象的存在,破坏了坑底土体的原始结构,导致坑底隆起量增大,同时也增加了支护结构的受力负担。

2.3 变形控制与监测体系不完善

在软土地基深基坑施工过程中,基坑变形和周边土体沉降是必然现象,有效的变形控制和监测是保障工程安全的重要手段。当前部分工程在变形控制方面缺乏有效的技术措施,未能根据基坑变形的实际情况及时调整施工参数和支护措施,导致变形量超过允许值。在监测体系方面,存在监测点布置不合理、监测频率不足、监测数据处理不及时等问题。监测点布置过于稀疏,难以全面反映基坑变形和支护结构受力的真实情况;监测频率不符合规范要求,无法及时捕捉基坑变形的动态变化;监测数据处理不及时,不能为施工决策提供及时有效的参考,导致无法及时发现工程隐患,错过最佳的处理时机。

3 软土地基深基坑开挖施工技术及支护优化措施

3.1 支护结构精准选型与参数优化

支护结构的合理性直接决定软土地基深基坑的稳定性,需基于地质勘察数据、基坑深度及周边环境进行精准选型^[3]。对于浅层软土分布区域、开挖深度小于6 m且周边无重要构筑物的基坑,可选用土钉墙与喷锚联合支护形式,通过增强土体粘结力控制浅层变形;开挖深度6~12 m的基坑,宜采用水泥土搅拌桩挡墙,利用其整体性强、防渗效果好的优势适配软土高含水量特性;深度超过12 m或临近建筑物、隧道的基坑,应优先选用地下连续墙或SMW工法桩结合内支撑体系,提升支护刚度以限制大变形。同时,需严格把控关键参数:基坑与临近建筑物桩基间距 L/B' 应大

于1.4,避免整体失稳和倾覆破坏;支挡结构嵌固深度 D/B' 需根据失稳类型调整,整体失稳控制在0.8以上,倾覆失稳不小于0.7,坑底隆起失稳则需维持在0.4以上,通过参数优化实现支护结构与软土地基特性的精准匹配。

3.2 分层分段开挖与动态降水协同技术

软土地基开挖需严格遵循“分层开挖、先撑后挖、限时闭环”原则,避免土体应力集中引发失稳^[4]。开挖分层厚度应控制在2 m以内,分段长度不超过15 m,优先开挖基坑周边土体再推进至中心区域,每层开挖完成后48小时内必须完成对应层支护施工,减少土体暴露时间。针对软土高含水量特点,采用动态降水技术,通过管井或轻型井点降水系统,将地下水位控制在基坑底以下0.5~1.0 m,降水过程中实时监测水位变化速率,避免单口水位降幅超过0.5 m导致周边土体不均匀沉降。结合江北新区地层特性,对于淤泥质粉质黏土与粉土互层区域,可采用“分层降水+水平止水帷幕”组合方案,在基坑周边设置水泥土搅拌桩止水帷幕,渗透系数控制在 10^{-6} cm/s以下,有效阻断地下水渗透路径,配合分层开挖形成协同防护体系,降低坑底隆起和土体滑移风险。

3.3 变形监测与安全预警智能化升级

构建全维度智能化监测体系是软土地基基坑施工的关键保障,需覆盖基坑变形、支护结构受力及周边环境三大核心监测对象^[5]。监测点布置应遵循“重点区域加密、全域覆盖”原则,在基坑转角处、临近建筑物侧等关键部位,沉降监测点间距加密至5 m,支护结构水平位移监测点每10 m设置一处,同时在周边建筑物基础及地下管线上布设监测点,实现数据全面采集。监测频率根据施工阶段动态调整,开挖期间每日监测1~2次,支护完成后每3日监测1次,数据异常时加密至每2小时1次。通过物联网技术将监测数据实时传输至智能分析平台,结合预设预警阈值实现分级预警,具体预警标准如表1所示。

通过智能化监测与分级预警,实现风险的早发现、早处置,避免变形累积引发安全事故。

表1 预警标准

监测项目	预警阈值	报警阈值	应急处置措施
支护结构水平位移	≥ 10 mm	≥ 15 mm	暂停开挖,加密支撑或注浆加固
周边地面沉降	≥ 8 mm	≥ 12 mm	调整降水参数,增设沉降隔离桩
桩侧土压力	达到设计值的80%	达到设计值的90%	检查支护结构完整性,必要时增加内支撑
坑底隆起量	≥ 5 mm	≥ 8 mm	采用沙袋堆载反压,加固坑底土体

3.4 坑底加固与周边环境防护补强措施

针对软土地基承载力低、坑底隆起风险高的问题,采用坑底加固技术提升地基稳定性。对于开挖深度超过 10 m 的基坑,坑底采用高压旋喷桩加固,加固深度为基坑开挖深度的 0.5~0.8 倍,桩径 600 mm,桩间距 1.2 m,加固后土体承载力特征值提升至 120 kPa 以上,有效抑制坑底隆起。临近既有建筑物或隧道的基坑,在基坑与构筑物之间设置隔离防护带,采用水泥土搅拌桩形成隔离桩墙,桩长超出基坑底 3 m,阻断土体变形传递路径。对于既有隧道周边基坑,根据基坑等级控制安全保护距离,一级、二级基坑保护距离不小于基坑开挖深度 H,三级基坑不小于 0.5 H,基坑深度超过 20 m 时调整为 0.8 H,同时对隧道侧壁采用注浆加固,增强隧道抗变形能力。通过坑底加固与周边防护的双向补强,形成立体防护体系,保障基坑与周边环境的双重安全。

4 典型案例分析

4.1 基本概况

本案例选取南京江北新区某滨江地下综合体项目的深基坑工程,该项目地处江北新区核心区域,是区域地下空间开发“一心、三轴、多点”布局中的重要节点工程,主要承担地下交通换乘、商业配套及市政管廊等功能。工程基坑开挖深度 18 m,占地面积约 12 000 m²,属于一级基坑工程。场地工程地质条件复杂,分布的土层自上而下依次为 1 层填土(厚度 1.5~3.0 m)、②1b2-3 粉质黏土(厚度 2.0~4.5 m)、②2b4 淤泥质粉质黏土(厚度 3.5~6.0 m,天然含水量 41%,压缩系数 1.05 MPa⁻¹,抗剪强度 11 kPa)、②2bd 粉质黏土与粉土互层(厚度 4.0~5.5 m)、②2d3 粉细砂(厚度 3.0~4.2 m),下部为②3d1-2 粉细砂及②4e 卵砾石层。场地地下水位埋深 1.2~1.8 m,水量丰富,地层透水性强,浅部软土具有高含水量、高压缩性、低承载力的典型特征。基坑周边环境敏感,北侧 5~8 m 处为既有桩基础建筑物(6 层框架结构),东侧 12 m 处分布有地下综合管廊,西侧紧邻城市主干道,南侧距离既有地铁隧道约 15 m(基坑深度 H=18 m,安全保护距离按 H 控制),周边构筑物对土体变形敏感度高,需严格控制基坑施工引发的沉降与位移。

4.2 工程实施效果

该工程通过科学适配的支护体系、精细化施工工艺及全维度监测预警机制,实现了基坑本体与周边环境的双重安全管控,整体实施效果显著。施工全过程基坑

未出现整体失稳、倾覆破坏等风险,坑底最大隆起量仅 7 mm,远低于设计控制值,支护结构最大水平位移为 11 mm,符合安全预警标准,且变形规律与软土地基深基坑变形特征一致,验证了支护方案的合理性。周边环境变形得到有效控制,既有建筑物最大沉降量 16 mm,地下综合管廊最大沉降 8 mm,地铁隧道最大变形 5 mm,均未超出规范允许限值,未引发建筑物开裂、管廊渗漏等问题,邻近建筑物桩基水平位移最大 6 mm,桩侧土压力处于设计安全范围内,成功规避了基坑施工对周边构筑物的不利影响。同时,地下水控制成效突出,通过“管井降水+水平止水帷幕”协同方案,地下水位平稳降至基坑底以下 1.0 m,未出现管涌、流砂等不良地质现象,基坑内干燥无积水,为开挖施工创造了良好条件,实现了基坑稳定性、周边环境安全性与施工效率的协同达标。

5 结束语

软土地基深基坑支护与开挖施工的核心在于破解软土高含水量、高压缩性、低承载力带来的技术难题,实现工程安全与周边环境稳定的双重保障。本文通过分析软土地基深基坑工程的工程意义与现存问题,从支护结构选型、开挖降水工艺、变形监测预警及防护补强四个维度提出优化措施,构建了针对性强、可操作性高的技术体系。南京江北新区工程案例的实践成效表明,科学适配的支护方案、精细化的施工管控与智能化的监测预警,能够有效控制基坑变形、规避失稳风险,实现工程建设与周边环境的和谐共存。未来,需进一步结合地质勘察精度提升与数字化施工技术创新,持续优化软土地基深基坑施工技术体系,为类似工程提供更具针对性的技术参考,推动深基坑工程向安全、高效、绿色的方向高质量发展。

参考文献:

- [1] 汪炳仙.软土地基深基坑支护设计的相关探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2024(33):26-28.
- [2] 杨伟.深基坑支护施工技术在建筑工程中的实践探究[J].居业,2024(10):40-42.
- [3] 周孙桐.软土地基深基坑支护及开挖施工技术分析[J].中国建筑金属结构,2024,23(08):75-77.
- [4] 郑剑杰.软土地基地下调蓄池深基坑设计研究[J].城市道桥与防洪,2024(07):294-298,31.
- [5] 张开勇.建筑工程深基坑支护施工的关键技术探究[J].建材发展导向,2024,22(13):95-97.