

住宅深基坑施工技术在特殊地质条件下的优化研究

郭 旭

(郓城县建筑设计院, 山东 菏泽 274700)

摘 要 在住宅建设中, 特殊地质条件给深基坑施工带来诸多难题。本研究聚焦住宅深基坑施工技术在特殊地质条件下的优化, 通过系统剖析特殊地质对施工工序、结构安全及作业效率造成的影响, 提出优化施工技术与工艺, 进而提升施工的安全性、稳定性和作业效率。从支护体系、土方开挖等方面给出优化方案, 为特殊地质状况下住宅深基坑施工提供科学参考, 以期为保障工程质量与施工安全提供参考, 进而有效规避施工风险, 推动住宅建设领域深基坑施工技术的迭代升级与高质量发展。

关键词 住宅深基坑; 特殊地质条件; 支护技术优化

中图分类号: TU753

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.15.041

0 引言

城市化不断推进, 住宅建设规模持续扩大, 深基坑工程数量增多, 特殊地质情况, 如软土、岩石、高水位等时常出现, 给深基坑施工带来很大困难。传统施工技术在特殊地质下, 容易产生支护失效、土体变形等状况, 影响工程质量及周边环境安全。所以, 针对住宅深基坑施工技术在特殊地质条件下的优化研究具有十分重要的现实意义, 可以有效解决施工难题, 提升工程建设水平。

1 特殊地质条件分析

1.1 特殊地质类型及特征

我国住宅深基坑施工中常见特殊地质有软土、黄土、岩溶、强风化岩、季节性冻土、填土等, 不同地质差异明显。软土多分布于长江中下游、珠江三角洲等沿海、河湖沉积区, 天然含水量高、孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低, 承载力低, 易产生不均匀沉降和侧向变形。黄土分布于华北、西北地区, 粉粒为主, 湿陷性显著, 遇水后结构破坏、强度降低, 深度方向湿陷性差异大。岩溶地质多见于西南、华南地区有溶洞、溶蚀裂隙等不良地质体, 填充物多为黏土、碎石, 稳定性极差。强风化岩地质在全国分布较广, 岩石风化严重, 结构破碎, 岩块强度低, 易坍塌。季节性冻土主要分布于东北、西北及华北北部, 冻融循环易使土体膨胀、收缩, 破坏基坑稳定性。填土地质多存在于城市旧区改造场地, 成分复杂, 含建筑垃圾、生活

垃圾及素填土, 压实度低, 均匀性差, 承载力波动大。

1.2 特殊地质对深基坑施工的影响

特殊地质条件对住宅深基坑施工的影响从开挖到支护、降水全流程都存在, 直接影响施工安全性与经济性。软土地质中基坑开挖后侧向土压力大, 支护结构易过大变形、坑底隆起, 软土渗透系数小降水效率低, 易形成基坑内积水, 加剧土体软化, 黄土湿陷性导致基坑周边地面沉降, 降水过程破坏黄土结构易造成基坑边坡坍塌, 雨季施工风险高。岩溶地质溶洞可能导致基坑突水突泥, 溶洞未填充或填充不密实易导致开挖过程坑底塌陷。岩溶区域地下水系复杂, 降水难度大, 周边地下水位大幅下降, 影响周边建筑物基础。强风化岩地质开挖时, 容易坍塌, 边坡坡度难以控制, 边坡需要经常修整, 岩块磨损开挖机械, 降低施工效率。季节性冻土在冻结期土体强度升高, 但在冻融循环期土体强度反复变化, 容易使支护结构产生附加应力, 引起结构开裂。冻胀力还容易破坏基坑防渗体系, 引起基坑渗漏。填土地质不均匀, 容易造成局部承载力不足, 引起基坑不均匀沉降, 填土中可能有大块杂物, 影响开挖和支护施工, 加大施工难度^[1]。

2 支护技术优化

2.1 新型支护结构应用

面对特殊地质条件, 我国住宅深基坑施工中新型支护结构的应用重点放在提高承载能力, 控制变形, 适应复杂地质环境。软土、填土等软弱地质条件下,

作者简介: 郭旭(1996-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 建筑工程。

广泛采用型钢水泥土搅拌墙（SMW工法桩），这种结构由型钢和水泥土搅拌桩复合而成，水泥土桩体具备防渗功能，型钢承担侧向土压力，相比传统钢板桩，其施工噪声小，对周边环境的影响小，适合城市住宅密集区施工，在软土分布典型区域应用效果良好，能够有效控制支护结构变形。针对黄土、强风化岩地质，推行双排桩支护结构，经由前后排桩与冠梁，连梁构建空间受力体系，优化刚度，相比于单排桩，抗倾覆能力明显加强，可以有效地控制黄土湿陷引起的变形^[2]。在岩溶、地下水丰富的地区，采用地下连续墙支护，既可以防渗，又可以支护，墙身接头采用锁口管或接头箱，防渗效果较好，能有效防止突水事故。在深基坑大跨度区域，采用组合式支护结构，如“地下连续墙+内支撑”“SMW工法桩+锚索”，取长补短，适配不同结构的复杂地质条件，曾在软土、填土复合地质的住宅深基坑工程中应用，有效解决了深基坑支护难题，变形控制满足规范要求。

2.2 支护参数优化调整

支护参数优化调整要根据特殊地质勘察数据，结合基坑深度、周边环境要求，采用数值模拟和现场试验，确定合理的支护参数，保障支护结构安全可靠。软土地质中优化支护桩直径和桩间距，提高桩身抗弯承载力，加大桩身嵌固深度，防止坑底隆起和桩体倾斜。黄土地质中支护结构水平间距根据湿陷系数调整，湿陷性较强的区域适当减小桩间距，优化锚索参数，控制入射角和锚固长度，锚索与黄土土体咬合，提高抗拔能力。在岩溶地质下，依据溶洞分布状况调整支护桩布置，如果遇到大型溶洞区域就避开，要是避开就改良桩体设计，需采用加强配筋之类的方法来改良桩体抗剪和抗折的能力。遇到强风化岩地质时，合理改良支护边坡的坡度，适当放慢边坡以提升其稳定性，而且在边坡表面喷射混凝土并铺上钢筋网，从而加强边坡的整体性，防止岩块脱落。改良支护参数时，要按照《建筑基坑支护技术规程》的要求，利用数值模拟软件做受力和变形分析，保证改良支护参数之后，支护结构符合安全储备要求。

3 土方开挖与降水技术

3.1 土方开挖方式改进

针对特殊地质情况，住宅深基坑土方开挖方式的改进主要是指分层分段开挖、控制开挖速度、减少对土体的扰动、适应不同地质的承载能力。对于软土、填土地质来说，采用“分层开挖、分层支护、限时完成”的开挖方式，分层厚度控制在1.5~2.0 m之间，每层开挖长度控制在20 m以内，开挖后48小时内必须

完成该层的支护施工，防止土体长时间暴露而导致强度降低，同时采用机械开挖和人工清槽相结合的方式，坑底保留300~500 mm厚的土层，由人工清理，防止机械开挖造成超挖，破坏坑底土体结构。对于黄土地质来说，需考虑湿陷性的影响，开挖过程中严禁雨水侵入基坑，采用放坡开挖和分级支护相结合的方式，分级高度控制在2.0~3.0 m之间，每级设置1.0~1.5 m宽的平台，坑壁表面做防渗处理，采用防水卷材和水泥砂浆抹面，防止雨水渗透造成湿陷。强风化岩地质层采取“机械破碎+分层开挖”的办法，用液压破碎锤来破碎岩石，不要用爆破施工，这样会干扰周边住宅建筑，分层厚度为2.0~2.5 m，开挖完之后尽快把破碎的岩块清理掉，防止堆得太多，造成边坡坍塌。岩溶地质开挖之前先对溶洞实施探测和处理，用注浆填充或者换填压实的办法来巩固溶洞区域，开挖的时候顺着基坑周边开挖探沟，探沟深度不低于1.5 m，随时注意地质变化，如果遇到新的溶洞，马上停止开挖，采取加固措施，保证开挖安全^[3]。

3.2 降水方案优化设计

降水方案优化设计要结合特殊地质水文地质条件，关注降水效率的提升、地下水位的控制，避免对降水周边环境造成影响，符合我国住宅基坑施工的环境和安全要求。在软土地质中，土体渗透系数小，采用“轻型井点降水+深层搅拌桩防渗帷幕”的组合方案，轻型井点间距控制在1.0~1.5 m，滤管埋深比基坑底低1.0~1.5 m，同时在基坑周边布置深层搅拌桩防渗帷幕，桩径600~800 mm，桩间距400~600 mm，形成封闭防渗体系，减少地下水补给，降水过程中地下水位控制在基坑底以下0.5~1.0 m，防止过度降水引起周边地面沉降。黄土地质需根据湿陷性与地下水分布特点，采取“管井降水+明沟排水”策略，管井间距8~12 m，井深比基坑底低3~5 m，井内装潜水泵，排水量随地下水位变化而调整，而且设置基坑内明沟与集水井，及时排除雨水和上层滞水，防止黄土因水而湿陷。岩溶地质，地下水系复杂，采取“分区降水+注浆堵水”策略，按照溶洞分布划分降水区域，每个区域设置独立的管井降水系统，管井深度穿过溶洞含水层，而且对溶洞周围土体开展注浆加固，堵住地下水渗漏通道，降水时严格控制地下水位降幅，防止引发溶洞坍塌。

3.3 开挖与降水的协同控制

开挖与降水的协同控制主要是使两者之间实现动态匹配，通过实时监测来调整施工参数，确保基坑的稳定性。在软土地质中，实现“降水先行，分层开挖，同步监测”的机制，降水达标后再进行开挖，同时根据开挖进度动态调整降水强度，同步监测关键指标，

出现问题时立即停工。在黄土地质中,主要是防范雨水侵入和地下水位的波动,开挖前做好防渗排水系统,合理规划开挖顺序,缩短边坡暴露时间,结合开挖进度动态调整降水频率,避免水位骤变导致湿陷。岩溶地质下,采用“分区协同,动态调整”模式,开挖前做好降水和地质探测,施工时同步监测溶洞稳定和水位变化,出现异常马上停工排查,改善降水和注浆方案,防控突水坍塌风险,全程协同控制依照相关规范,保证监测数据可靠和施工安全^[4]。

4 施工监测与风险防控

4.1 监测指标与方法

针对特殊地质条件下住宅深基坑施工特点,优化监测指标与方法时,全面覆盖风险点、提升监测精度、适应国内学术与工程规范是重点,支护结构变形、土体位移、地下水位、周边建筑物沉降、管线变形及应力应变等核心监测指标都被包含在内。支护结构变形监测时,软土、填土地质用测斜仪和水准仪组合监测,测斜仪埋设在支护桩内部,水准仪监测冠梁沉降;黄土、强风化岩地质增加支护结构裂缝监测,用裂缝宽度仪,裂缝发展时加密监测频率。土体位移监测时,软土地质用分层沉降仪监测坑底土体隆起,监测点设在坑底关键位置,岩溶地质用位移计监测溶洞周边土体变形,监测点埋深到溶洞顶部以上合理位置。地下水位监测用到水位计,地质不同就安排监测点,降水和开挖关键时期加大监测频次,数据异常时马上监测。周边建筑物沉降监测用水准仪,重点承重部位设监测点,再用经纬仪监测建筑物倾斜情况。管线变形监测针对燃气、供水、供电等重要管线,用百分表和位移计组合监测,监测频次跟开挖进度同步,保证管线变形控制在规范许可范围,所有监测数据都经由自动化采集系统传输,做到数据实时分析和反馈。

4.2 风险评估与预警机制

风险评估与预警机制必须建立在特殊地质风险的基础上,结合《建筑施工安全检查标准》(JGJ 59-2011),形成分级评估、分级预警体系。风险评估方面采用定性定量相结合的方法;定性评估方面关注特殊地质隐患如软土侧向变形隐患、黄土湿陷隐患、岩溶突水隐患等;定量评估方面利用数值模拟方法计算支护结构安全系数、土体稳定性系数等指标,安全系数小于 1.2 判定为高风险^[5]。首先,支护结构变形量超过规范允许值 120%,坑底隆起量大于 50 mm,周边建筑物沉降量大于 30 mm,地下水位急剧升高等于 1.0 m/d 时发生红色预警;其次,黄色预警规范允许值 10%,坑底隆起量 30 ~ 50 mm,周边建筑物沉降 20 ~ 30 mm 发生黄色预

警;再次,发生蓝色预警规范允许值 120%,坑底隆起量 10 ~ 30 mm,周边建筑物沉降 10 ~ 20 mm 发生蓝色预警。预警信息发布之后,同步开启响应机制,红色预警马上停止施工,黄色预警停止高风险区域施工,蓝色预警加大监测频率,保证风险随时受控,风险评估与预警期间,定期执行风险复盘,依照施工进度与地质改变来调整评估指标和预警阈值。

4.3 应急处理措施制定

制定应急措施需针对特殊地质条件下的典型风险事故,结合住宅深基坑施工场地特点,保证针对性、可操作性,符合相关应急管理规范。软土,填土地质的支护结构变形过大,坑底隆起,应急措施主要包括:立即停止开挖作业,立即在坑底周缘放置反压土袋,而且要进行临时支撑,提升支护结构的刚度,若变形继续发展,则开始实施应急降水平方案,从而减小地下水水位,减弱土体变形。黄土地质边坡坍塌和湿陷,应急措施主要是:立即从现场撤离人员和机器,边坡发生坍塌以后,在坍塌地区周围树立起警戒线,并设置起临时防护,以免坍塌地域扩大,对边坡实行注浆加固,加固之后再清除坍塌下来的土体,重新调整边坡,巩固防渗处理。针对岩溶地质的突水、突泥事故,要立即关闭降水,带着水桶围住水流,用双液注浆堵住水,水流减小时,往溶洞里填东西加固。

5 结束语

针对特殊地质条件的住宅深基坑施工技术研究具备极高的实践价值。通过对特殊地质条件的针对性分析,可从支护工艺、土方开挖与降排水施工等核心环节提出优化方案,并在此基础上搭建完善的施工监测与风险防控体系。上述研究成果能够有效提升特殊地质条件下住宅深基坑工程的施工安全性与结构稳定性,保障工程项目顺利推进。未来仍需持续深化相关研究,不断完善深基坑施工技术体系,以应对愈发复杂的地质条件与多样化的工程建设需求。

参考文献:

- [1] 钱坤.城市住宅项目深基坑支护结构施工质量安全控制与优化[J].中国建筑金属结构,2025,24(24):160-162.
- [2] 李扬.高层住宅深基坑工程自动化监测应用[J].居舍,2025(31):66-69.
- [3] 刘峰.浅谈住宅建筑施工项目安全管理控制的有关策略[J].居舍,2024(36):116-119.
- [4] 陈燕坤.高层住宅建筑深基坑支护工程施工技术要点分析[J].中华民居,2024,17(08):172-174.
- [5] 陈真标.住宅建筑深基坑支护工程大直径深层搅拌桩止水施工技术[J].居舍,2024(31):47-50.