

复杂地质条件下明挖宽大基坑施工技术研究

高雨楠

中国水利水电第十一工程局有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i4.20275

[摘要] 随着城市地下空间开发向“深、大、邻、紧”方向持续推进,复杂地质条件下宽大基坑的施工安全与变形控制已成为地下工程领域的核心技术难题。本文以某过江通道工程(一期)江南基坑群为工程案例,针对长江漫滩地质高水位、强渗透、低承载力的特殊工程特性,结合该工程超深基坑群施工面临的涌水涌砂风险高、核心城区空间约束严、多基坑施工干扰大等突出挑战,系统分析了该工程所采用的“滑降钢支撑+逆作法”复合支护体系、动态作业面转换施工组织、基坑群统一控制网与智能监测等关键技术的应用实践。工程实践验证表明,该成套施工技术成功实现了多个超深基坑的安全封底,有效破解了复杂地质与敏感环境下的施工难题,为同类水文地质条件下的宽大基坑施工提供了宝贵的技术参考与工程借鉴。

[关键词] 复杂地质; 明挖法; 宽大基坑; 长江漫滩; 基坑群施工
中图分类号: P5 **文献标识码:** A

Study on construction technology of open-cut wide foundation pit under complex geological conditions

Yu'nan Gao

China 11th Water Conservancy and Hydropower Engineering Bureau Co., Ltd.

[Abstract] With the continuous development of urban underground space in the direction of "deep, large, adjacent and tight", the construction safety and deformation control of wide foundation pit under complex geological conditions have become the core technical problems in the field of underground engineering. In this paper, taking a foundation pit group in the south of the Yangtze River as an engineering case, aiming at the special engineering characteristics of high water level, strong permeability and low bearing capacity of the Yangtze River floodplain, combined with the outstanding challenges faced by the construction of the ultra-deep foundation pit group in this project, such as high risk of water gushing and sand gushing, strict space constraints in the core city and great interference in the construction of multiple foundation pits, the "sliding steel support+top-down method" composite support system, dynamic working face conversion construction organization and foundation pit group adopted in this project are systematically analyzed. The engineering practice shows that the complete set of construction technology has successfully achieved the safe back sealing of several ultra-deep foundation pits, effectively solved the construction problems in complex geological and sensitive environments, and provided valuable technical reference and engineering reference for the construction of wide foundation pits under similar hydrogeological conditions.

[Key words] complex geology; Cut and cover; Wide foundation pit; The Yangtze River floodplain; Foundation pit group construction

引言

明挖法作为地下工程最传统、最直接的施工方法,凭借其施工工艺简单、成本可控、施工效率较高等优势,在交通枢纽、地下综合体等宽大地下结构建设中仍占据不可替代的地位。但随着基坑工程向超深、超宽方向拓展,加之复杂软弱地层、敏感周

边环境等多重约束,其施工风险呈指数级上升,施工难度大幅增加。尤其在长江中下游广泛分布的长江漫滩地质区域,该区域地下水水位高、粉质砂土渗透性强、土体承载力极差,因此被业内视为深大基坑施工的“禁区”——在此类地层中进行基坑开挖,如同在流动的泥沙中作业,极易引发涌水涌砂、围护结构失稳、

周边土体沉降等灾难性后果。因此,针对长江漫滩这类复杂地质条件,研究并构建一套科学、可行、高效的明挖宽基坑施工技术体系,解决施工中的核心痛点,对地下工程领域具有重要的工程实践意义与技术推广价值。

1 工程概况与地质条件

1.1 工程概况

某过江通道是串联江北新区与江南主城区的核心交通枢纽,其江南段明挖基坑群地处长江漫滩滨江地段,地理位置特殊且施工环境复杂。该工程共包含多个超深基坑,最大开挖深度大、土方开挖总量可观,涵盖盾构接收井及井后明挖段、地下互通等关键工程节点,且施工周期长、工序繁琐,导致其施工组织与协调难度极高。

1.2 水文地质条件

该工程处于长江漫滩地貌,其水文地质条件复杂,直接关系到基坑施工的核心难点,并且这三点互相影响、相互叠加,进一步提升了施工难度。

首先是地层软,该工程地面以下是厚厚的粉细砂和淤泥质的粉质黏土,此类土层天然承载力低,在基坑里开挖的时候,像在烂泥一样的“流塑体”里工作。而且此类地层还有个明显的特点,就是一碰到、一受力就容易变形,若是控制不好,土体很容易坍塌,进一步增加施工难度。

其次,地下水富集且渗透性强。长江漫滩区地下水位与长江水位水力联系密切,水位常年偏高,且该工程所处区域的粉砂土层渗透性强,这使得基坑开挖过程中涌水涌砂风险极高,一旦出现防渗失效,将直接威胁施工安全,甚至导致基坑施工停滞。

除此之外,周边环境约束极为敏感。该工程的基坑群周围分布着商场、学校、居民区等建筑,并与旁边项目的深基坑紧紧相邻,形成了典型的“基坑群”施工场景。这就对基坑的变形控制、施工时的噪音、扬尘治理,提出了苛刻要求,进一步压缩了施工空间与作业灵活性。

2 工程难点识别

结合上述长江漫滩软弱透水地层、高水位强渗透的水文条件,以及核心城区的敏感环境约束,叠加本工程超深、宽大、群坑同步施工的特点,本工程施工过程中面临的三大核心难点相互关联、彼此影响,共同构成了工程施工的主要障碍,具体深层症结分析如下:

2.1 超深基坑稳定性控制难度大

本工程基坑开挖深度大且位于长江漫滩软弱透水地层,该区域土体抗剪强度低、压缩性高,天然地基承载力不足,开挖时土压力与水压力叠加作用于围护结构,且软弱地层的触变性、流变性导致开挖卸荷后短时间内土体变形量大。在此情况下,基坑无支撑暴露时间过长易引发围护结构位移超标、坑底隆起及涌水涌砂、结构失稳等事故,因此将无支撑暴露时间控制在安全阈值、实现“随挖随支”,是保障本工程基坑安全的核心技术关键。

2.2 狭窄场地施工组织困难

本工程位于城市核心区,施工场地受周边敏感建(构)筑物

约束,可用宽度有限且基坑边缘距周边建筑极近,而基坑施工需大型设备作业及材料堆放、土方周转、多工序并行,导致空间需求与约束之间的矛盾十分突出。传统固定区域施工模式下,设备与材料周转交叉作业频繁,不仅导致设备闲置、工序脱节、周期延长,还易引发安全隐患,该模式已无法适配本工程的施工约束,因此优化施工组织、高效利用有限空间,是本工程需破解的核心难题^[1]。

2.3 基坑群施工干扰显著

本工程含多个超深基坑且与相邻项目基坑相连形成基坑群,多基坑同步开挖产生的叠加干扰,是本工程面临的另一核心难点。多基坑同步开挖时,各基坑的开挖扰动会相互叠加,周边土层会形成多个应力场相互影响的情况,不仅让土层应力变得更集中,扰动区域也会相互重叠渗透,进而导致土层位移跨基坑传递。这种土层扰动,会直接影响相邻基坑的围护结构,打破它原本的受力平衡,导致围护桩、连续墙等出现变形过大、裂缝甚至渗漏等问题,大大增加基坑坍塌、周边建筑沉降的风险。另外,如果每个基坑都单独布设控制网、使用不同型号和精度的监测设备,会出现监测基准不统一、数据不同源、监测频率不一致的问题,这样监测数据没法对比,也没有关联性,没法准确判断整个基坑群的变形规律和发展趋势,更没法实现各基坑的协同管控,最终会让施工安全风险进一步变大。针对这些难点,构建统一的基坑群控制网,搭建能实时监测、融合数据、智能预警和协同调度的监测体系,实现基准统一、数据互通、风险协同处置,才是解决多基坑同步开挖安全管控难题的关键^[2]。

3 关键施工技术

针对上述三大核心难点,本工程施工单位研发并集成应用了三大关键施工技术,通过机理优化、流程规范与标准化操作,实现了施工安全、效率与质量的协同管控,有效破解了工程施工中的各类难题。

3.1 “滑降钢支撑+逆作法”复合支护体系

针对长江漫滩粉细砂与淤泥质粉质黏土地层强触变性、低承载力的核心症结,以及传统支护工艺施工周期长、无法满足“随挖随支”需求的痛点,本工程创新应用“滑降钢支撑+逆作法”复合支护体系,通过临时支护与永久结构双重受力协同,从机理上有效抑制土体应力释放与流变变形,保障基坑稳定性。

在实际施工操作的时候,滑降钢支撑用的都是高精度的预制构件,施工单位会提前根据基坑的断面尺寸,精准加工好这些构件,这样就能避免到了现场再拼装,耽误施工时间。

开挖基坑之前,施工人员会先在围护结构的内侧,预先装好高精度的滑降轨道,这样做既能保证钢支撑的安装精度,也能让它后续移动起来更顺畅,待每一层土方挖到设计好的标高之后,施工人员会马上把钢支撑沿着轨道快速滑到指定位置,和围护结构精准固定好,同时还要及时施加预紧力。整个安装过程都会严格控制时间,肯定比传统的钢支撑拼装、混凝土支撑养护要快得多,能最大限度缩短基坑没有支撑的暴露时间,有效防止土体发生流变变形^[3]。

除此之外,逆作法施工的核心思路就是用永久结构代替临时支撑。在基坑关键的控制区域,等基坑挖到主体结构梁板的设计标高后,施工单位会优先施工主体结构的梁板,利用梁板自身的刚度来当水平支撑,和滑降钢支撑配合形成复合受力体系。这样一来,临时支撑的数量就能大大减少,施工成本和作业难度也能跟着降低。操作的时候,施工人员会严格控制梁板的施工精度,确保梁板和围护结构贴得紧密,同时还会实时监测支撑轴力的变化,根据监测到的数据调整预紧力,保障基坑整体的稳定性。另外,施工单位还配套用了分层分级的降水工艺,严格控制降水的深度和速度,避免因降水太快导致周边土体沉降,做到支护和降水协同配合,防范施工风险。

3.2 “动态作业面转换”施工组织技术

面对核心区施工场地狭窄、空间冲突剧烈、传统施工模式难以适配的困境,针对这个难题,项目团队研发了“动态作业面转换”的施工组织技术,它的核心思路就是通过“关键线路牵引、空间循环利用”,来解决空间不够和工序冲突的问题,将有限的场地资源用到位,提高施工效率。

在具体操作的时候,施工单位首先会用BIM技术将工程的关键线路梳理清楚,明确每个核心节点的时间要求和空间需求,再结合基坑的布局,将整个施工区域科学分成作业分区。每个分区都有自己专属的施工设备、材料堆放地方和作业人员,这样就能避免不同分区的施工互相干扰。等其中一个分区完成核心工序后,施工人员会马上启动作业面转换流程:先快速将设备撤出,完成场地清理,确保这个场地能满足下一道工序的施工要求;然后根据关键线路的进度安排,把闲置的设备和材料精准转移到下一个需要施工的分区;同时还要做好技术交底和人员调配工作,确保工序衔接顺畅,不出现脱节的情况^[4]。

为了保证该技术的顺利操作,项目团队还制定了详细的作业面转换管控标准,明确了设备怎么转移、材料怎么周转,还有专人负责调度,这样有效减少了设备闲置的时间,也避免了工序衔接的时候出现延误,最后在狭窄的场地里,实现了多个工序高效同时施工。

3.3 基坑群统一控制网与智能监测技术

除此之外,该工程还存在两个关键难题:一是基坑群同步开挖的时候,会出现应力叠加、位移相互传导的问题;二是测量的基准不统一,协同管控困难。针对这两个难题,工程团队搭建了基坑群统一控制网和智能监测体系,形成了“监测-分析-预警-处置”的闭环管理,能有效规避协同施工的风险,保障基坑群施工的安全。

具体来说,在统一控制网布设方面,施工单位遵循“全域覆盖、精度可控”的原则,把高精度定位技术和精密水准测量结合起来用,先在远离基坑开挖影响范围的地方,布设一级基准点,再在能覆盖所有相关基坑的区域,布设二级控制点,而且还会定期对基准点进行复核校准,确保控制网的精度能满足施工和监测的要求,给多个基坑的施工、测量放线提供统一的空间参照,避免因基准不统一,出现施工偏差和监测误差。

此外,在智能监测系统搭建方面,施工单位重点围绕“全指标、实时化、高精度”的要求施工。在围护结构、基坑周边的土体、周边的建筑物和地下管线等关键部位,合理安装了位移、沉降、轴力等各种传感器,并将传感器接入了智能监测平台,能够实现监测数据的实时采集、传输和分析。工程团队还设定了分级预警的数值,一旦监测数据达到预警标准,施工单位就会马上启动相应的处置流程,如增加监测次数、暂停施工、启动应急加固措施等,确保基坑群协同施工能安全可控。

4 实施效果分析

上述三大关键技术的集成应用,精准破解了本工程项目中的地质、场地及协同管控难题,在施工安全、进度管控、环境保护三大核心维度均取得显著成效,充分验证了该成套技术方案的科学性、适用性与可靠性。安全方面,从施工地连墙到基坑封底,全程无重大安全事故,围护结构位移、坑底隆起等关键指标均符合设计要求,盾构接收井顺利封底、盾构机安全接收,进一步验证了复合支护体系的安全性,规避了涌水涌砂等风险。进度方面,依托“动态作业面转换”技术,高效利用空间和设备,缩短工序衔接时间,整体进度提前,所有关键工程节点均按期或提前完成,为后续施工奠定基础。环境方面,通过精细化施工和智能监测,严控基坑变形与降水速度,周边敏感建筑无沉降、开裂等损坏,施工噪音、扬尘达标,实现了工程建设与周边环境和諧共生。

5 结束语

通过工程实践表明,在长江漫滩等软弱透水地层中开展超深、宽大基坑群施工时,通过创新应用“滑降钢支撑+逆作法”复合支护体系、优化“动态作业面转换”施工组织模式、构建基坑群统一控制网与智能监测体系,可有效化解复杂地质条件与敏感环境约束带来的各类施工难题。

上述三者协同形成的成套施工技术方案,针对性解决了软弱地层基坑变形控制、狭窄场地施工组织、多基坑协同管控三大核心痛点,实现了施工安全、效率与环境效益的统一,为同类复杂水文地质条件下的城市宽大基坑群施工提供了可复制、可推广的技术范式与工程参考。

[参考文献]

- [1]曾昭艺.复杂地质条件下明挖宽大基坑施工技术研究[J].建筑机械化,2025,46(05):150-153.
- [2]邱土兴.半盖挖宽大深基坑对临近高层建筑变形影响的数值分析[J].福建建设科技,2023,(05):37-40.
- [3]许奎.复杂环境深大基坑施工对周边环境的影响分析[J].安徽建筑,2025,32(12):149-151.
- [4]孟凡丽,徐嘉懿.BIM在城市深大基坑信息化施工中的应用研究[J].浙江工业大学学报,2026,54(01):54-60.

作者简介:

高雨楠(1995--),女,汉族,河南省三门峡市人,本科,助理工程师,BIM技术在轨道交通工程中的应用。