

大型基坑逆作法施工影响分析及关键技术研究

谢圣浩

宏润建设集团股份有限公司, 浙江 宁波 315000

[摘要]随着国内城市地下空间的开发建设,大型基坑工程在国内层出不穷,并不断向更深、更大的趋势发展。大型基坑工程的施工建设也不断向高难度、高风险方向发展,给大型基坑开挖作业,基坑稳定性、变形控制带来更大的挑战,对大型基坑技术方案合理化提出了更高的要求,也促进了大型基坑计算方法和施工工艺的发展。本文以杭州武林广场大型基坑为研究对象,根据工程特点和施工实际情况,通过有限元数值模拟及实验数据分析,对逆作法大型基坑施工过程中承压水治理及降水相关措施、基坑变形控制等关键技术问题进行了较详细分析,讨论了大型基坑开挖对坑外邻近建筑物、已建地铁1号线及基坑内已建上部结构的影响,并总结了相关技术措施。

[关键词]基坑;逆作法施工;数值模拟;承压水治理;基坑变形控制

DOI: 10.33142/aem.v6i3.11299

中图分类号: TU753

文献标识码: A

Impact Analysis and Key Technology Research on Large-scale Foundation Pit Reverse Construction Method

XIE Shenghao

Hongrun Construction Group Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315000, China

Abstract: With the development and construction of urban underground spaces in China, large-scale foundation pit projects are emerging one after another, and are constantly moving towards deeper and larger trends. The construction of large-scale foundation pit projects is also constantly developing towards high difficulty and risk, posing greater challenges to the stability and deformation control of large-scale foundation pit excavation operations. This has put forward higher requirements for the rationalization of technical schemes for large-scale foundation pits, and has also promoted the development of calculation methods and construction processes for large-scale foundation pits. This article takes the large-scale excavation of Wulin Square in Hangzhou as the research object. Based on the characteristics of the project and the actual construction situation, through finite element numerical simulation and experimental data analysis, a detailed analysis is conducted on key technical issues such as pressure water treatment and precipitation related measures, and deformation control of the foundation pit during the reverse construction process of the large-scale excavation. The impact of large-scale excavation on adjacent buildings outside the pit, the existing subway line 1, and the existing upper structure inside the foundation pit is discussed, and relevant technical measures are summarized.

Keywords: foundation pit; reverse construction method; numerical simulation; pressure water treatment; excavation deformation control

1 工程概况

1.1 工程概况

杭州武林广场地下商城空间开发项目位于广场东通道西侧,体育场路北侧,广场西通道东侧,浙江展览馆南侧,以已建地铁1号线武~风明挖区间西侧地下连续墙为界,将基坑分为东、西两个区域。该工程基坑南北向最长为185.60m,东西向最长为179.10m。地铁3号线区间结构底板深度为27.00m,其余段基坑深度约为23.00m。

该工程结构采用复合墙体系,利用1200mm地下连续墙+300mm内衬墙结构做为永久地下商场外墙。主体结构形式为现浇混凝土框架结构,主体结构基础采用挤扩支盘桩基础,一柱一桩,桩径为 $\Phi 1800\text{mm}$,下面进行两次扩底,扩底直径均为 $\Phi 2600\text{mm}$ 。为满足结构整体抗浮效果,在基础地板下增设直径 $\Phi 1000\text{mm}$ 钻孔灌注桩,地下室底板采用平板式筏形基础,柱下加设柱墩。该工程基坑采用逆作

法进行基坑开挖。

图1为武林广场地下商城逆作法基坑示意图,图2为武林广场地下商城基坑周边环境示意图。

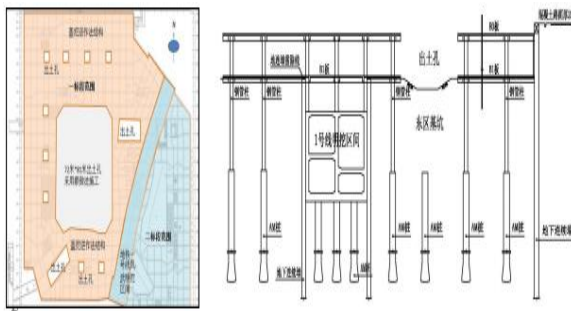


图1 武林广场地下商城逆作法基坑示意图

1.2 工程地质条件

工程场区内地势平坦,周围高层建筑密集。地理位置

隶属于于浙北平原区之南端,地貌单元属海积平原区,地貌形态单一。场地浅部土层主要为海相沉积的软土,中部为河流湖相、海相和冲洪积相沉积的粘性土、砂性土和碎石类土,基岩为白垩系的泥质粉砂岩、侏罗系的凝灰岩。基坑地址纵坡面如图2。

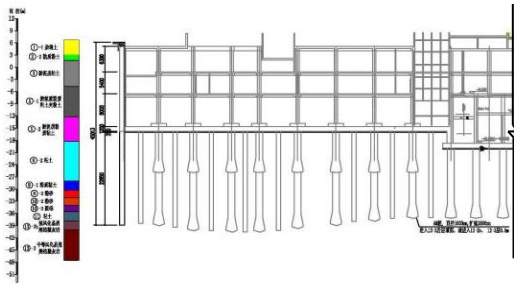


图2 武林广场地下商场空间开发项目基坑地质纵剖面图

1.3 工程水文条件

武林广场基坑工程场地地下水主要为第四系松散岩类孔隙水、孔隙性承压水和基岩裂隙水三大类。

2 施工难点分析

2.1 基坑施工控制重点

基坑施工全过程的变形控制、围护体渗漏控制、坑内土方滑坡及周边管线保护是本工程施工控制的重点。

2.2 超宽超深基坑盖挖施工

本工程设计采用盖挖逆作法施工地下商城主体基坑,因此基坑土方开挖及运输就成为最为重要的环节之一,直接影响后续施工及工程总体施工进度。

2.3 浙江展览馆保护

本工程位于杭州武林广场地块内,北侧为浙江展览馆,展览馆距基坑最近距离 16.10m。展览馆为浅基础建筑,始建于1970年,为地上2~3层框架结构,筏型基础,复合地基。基础下方设砂桩,混凝土桩尖,桩长35.00m,全场范围内重锤夯实。

2.4 地铁1号线的保护

本工程周边地铁1号线主要有:地铁1号线武林广场站、地铁1号线凤起路站~武林广场站明挖区间、地铁1号线凤起路站~武林广场站盾构隧道区间(14#、15#盾构)。

3 施工工艺流程

3.1 武林广场基坑施工步骤

地下商城结构施工工法采用盖挖逆作与明挖顺作相结合的施工方法。地铁3号线区间结构采用顺作法施工。

(1) 盖挖逆作法首先施工地下商城大基坑地连墙、AM桩、钢管混凝土桩、钻孔灌注桩、地基加固、3号区间重力式挡土墙等围护结构。

(2) 基坑开挖至地下一层顶板底标高下150mm,浇筑地下一层顶板,待B0顶板强度达到设计强度后,回填

覆土0.5m,场地硬化。

(3) 采用逆作法进行基坑开挖,开挖至地下一层楼板下150mm,浇筑地下一层楼板、侧墙。当B1板结构达到设计强度90%后,开挖下一层土体。依次施工B2、B3板结构。

(4) 明挖顺做法首先开挖3号线明挖区间坑中坑至基坑底,施作垫层、防水层、3号线明挖区间底板。

(5) 自下而上顺作浇筑3号线区间结构。

(6) 自下而上顺作浇筑逆作法开洞部分结构,施作B0板以上夹层,顶板回填覆土。

4 施工技术措施影响分析及研究

4.1 基坑施工承压水治理与降水措施研究

武林广场地下商场基坑施工场地中部为微承压水层,主要赋存于10-1层粉粉细砂、10-2层圆砾。其含水层顶标高为-34.19m~-30.83m,含水层厚度为0.60m~5.90m,地下水水量丰富,联通性好。主要受同层侧向地下水补给,地下水水位较为稳定。

4.1.1 承压水治理技术措施

(1) 通过围护结构嵌岩方式来部分隔断承压水。为减少承压水对基坑稳定的影响,本工程实例中通过基坑围护结构入岩来隔断承压水。但由于地层、施工等诸多不确定因素的影响,此方法并不能实现完全隔断承压水,涉及承压水问题之深基坑工程风险仍然不能解除,仍需要进行持续的减压降水。

(2) 通过基坑内降水来治理承压水。在施工工程中通常以“以降为主,按需降水”的设计思路进行基坑内降水来治理承压水。基坑内布置22口降承压水井,以降承压水水头高,基坑外布置5口承压水观测井。坑内地层承压降水井布置及降水模型如图3所示。另坑内约每200m²设1口潜水井,共158口。

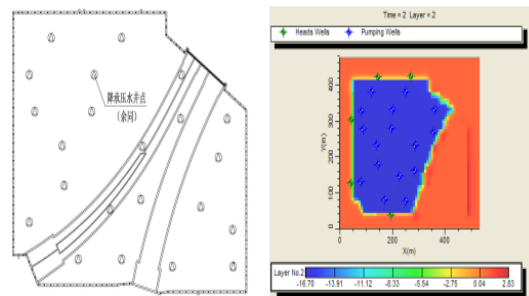


图3 地层承压降水井布置及降水模型图

承压降水井为减压井,深入基底下承压水隔水底板顶以下1.50m,潜水井为疏干井,深入基坑底下3m,均采用直径300mm壁厚4mm的钢管,侧壁设置梅花孔($\varnothing 25@100$)。

4.1.2 基坑降水对基坑稳定性及周边环境影响分析

(1) 对基坑稳定的作用。增加边坡和坑底的稳定性,防止边坡或坑底的土层颗粒流失,防止流砂产生;有效提

高土体的抗剪强度与基坑稳定性;对于支护开挖,可增加被动区土抗力,减少主动区土体侧压力,从而提高支护体系的稳定性和强度保证,减少支护体系的变形。减少承压水头对基坑底板的顶托力,防止坑底突涌。

(2) 对周边环境的影响

根据施工实践,基坑内降水施工一般对周边环境影响微小。基坑外降水施工对桩基基础建筑物的沉降影响相对较小,对天然地基基础如条形基础、筏基基础建筑物的沉降影响相对较大。

4.2 基坑变形控制相关技术及措施

4.2.1 基坑周边荷载对基坑变形的影响分析

建筑物荷载对基坑的影响不仅跟建筑物与基坑的相对位置关系有关,还跟建筑物的基础形式有关。由于武林广场地下商场基坑距离周边建筑物相对较远,建筑物荷载仅对建筑物周边地层应力造成突变现象,未对靠近基坑处的地层应力产生影响。

4.2.2 基坑坑内裙边加固措施对基坑变形的影响分析

(1) 坑内裙边加固措施。为保证武林广场大型基坑稳定性,对基坑周边荷载较大处位置进行了基坑裙边加固,主要对基坑底部以上 14.55m 范围采用三轴 ϕ 850@600 水泥搅拌桩进行裙边弱加固处理,对基坑底部以下 4m 范围采用三轴 ϕ 850@600 水泥搅拌桩进行被动区裙边加固,并对中板结构底部以下 2m 范围采用旋喷桩进行地模加固。

(2) 数值模拟分析。根据工程实际工况,本论文采用 Plaxis 分析软件进行基坑、建筑物荷载有限元分析。首先对基坑裙边为加固工况下开挖数值模拟分析,武林广场地下商场基坑未裙边加固工况下基坑开挖后地层最大总位移为 79mm,基坑裙边加固工况下基坑开挖后地层最大总位移为 62mm。

4.2.3 设置底板加撑措施对基坑变形的影响数值模拟分析

为防止基坑在进行地下三层开挖时出现大幅度围护结构水平位移变形,可采取保留靠近基坑围护结构处的土坡,先进行基坑中部位置开挖及底板结构施工,当基坑中部底板结构施工完毕后在地下三层架设斜向上钢支撑,一端支于侧墙,一端支与底板牛腿处。施加钢支撑时应预加轴力,最后进行靠近围护结构处土坡开挖及剩余结构施工。

根据数值模拟分析,当采用底板斜撑结构后将部分基坑外侧水、土压力通过斜撑结构传递至基坑中间位置的底板,有效减少了围护结构侧向水平位移。采用底板斜撑措施后,基坑围护结构最大位移可减少至 45mm,其中水平位移为 38mm。

4.2.4 地连墙嵌岩对基坑变形的影响数值模拟分析

地连墙嵌岩有效限制了墙趾水平位移,对基坑围护结构水平位移控制起到了很大的作用。根据有限元数值模拟,当墙趾嵌岩后,当基坑开挖至基坑底部时,墙趾累计水平

位移仅 2mm。在进行围护结构施工过程中应加强墙趾嵌岩深度控制,确保围护结构嵌岩质量,以减少围护结构测斜位移量。

4.3 基坑施工变形监测与数据分析

4.3.1 逆作法大型基坑围护结构水平面位移监测

(1) 逆作法大型基坑不同开挖阶段围护结构水平位移监测

逆作法大型基坑围护结构水平位移将随着开挖不断加深,变形逐步增大,并且侧向位移最大值的位置随着开挖加深而不断下移,而且基本位于开挖面附近。当进行浅层地层开挖时,围护结构水平位移较小,当开挖至地下二层位置时围护结构水平位移增加速率明显变快,当基坑开挖至基坑底部时围护结构水平位移变化最大,如图 4 所示。

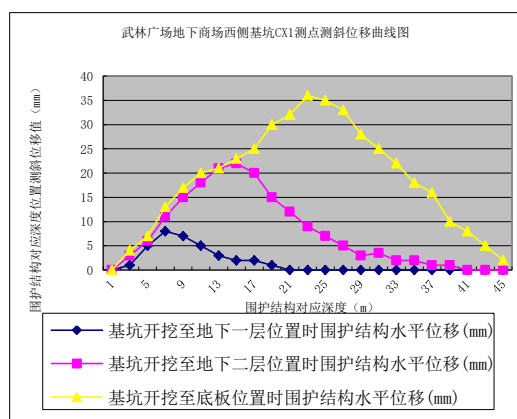


图 4 武林广场地下商场西侧基坑 CX1 测点水平位移曲线图

(2) 顶板出土口设置位置对逆作法大型基坑围护结构测斜位移的影响

杭州武林广场地下商场基坑围护结构监测点 CX1 位于逆作法结构无开洞区域,支撑结构刚度较大,而测斜监测点 CX2 位于逆作法结构大开洞区域,开洞位置削弱了支撑结构的刚度,因此,从围护结构测斜位移监测数据可见,位于无开洞位置的围护结构测斜监测点 CX1 产生的测斜位移略小于位于开洞位置的围护结构测斜监测点 CX2,但总体监测值差异相对较小。

(3) 测斜位移最大值对应深度位置分析

根据杭州武林广场地下商场基坑围护结构测斜位移最大值统计,围护结构最大测斜位移均靠近于基坑底部位置。武林广场地下商场大型基坑底深度为地面以下 24m,根据围护结构测斜监测数据,各区域围护结构最大测斜位移位置 23~26m 处。与有限元数值模拟计算数值比较基本相符。

4.3.2 围护结构、桩基竖向位移监测数据分析

逆作法施工期间,由于基坑开挖土体应力释放,坑内

土体回弹,带动围护结构和基坑内桩基上移。本工程桩基基础采用挤扩支盘桩,抗拔性能较好,在基坑开挖过程中围护结构和桩基竖向位移较小。从实际监测数据可见,当基坑开挖至坑底时,基坑内挤扩支盘桩的向上垂直位移量略大于围护结构垂直位移量,但这种位移差相对较小,对上部已建结构影响不大,未出现结构裂缝或破坏现象。

4.4 基坑施工对邻近结构物与上部结构的影响及相关措施

4.4.1 基坑开挖对地铁1号线影响及相关措施

(1) 合理安排地铁1号线两侧基坑的施工进度,做到结构两侧基坑同步进行开挖卸载避免结构两侧侧向土压力不均衡,产生向土压较弱侧水平位移现象。

(2) 基坑开挖阶段保留已建地铁1号线围护结构,增强地铁1号线抗侧移刚度

在大型基坑开挖阶段,保留地铁1号线围护结构可有效增强已建地铁1号线结构的抗侧移刚度,实际施工过程中可通过预留后浇带的方式,待基坑内主体结构全部完成后凿除已建地铁1号线围护结构,并开始浇筑该区域主体结构。

4.4.2 坑内回弹位移对已建结构的影响及相关措施

逆作法大型基坑开挖卸载时,基坑底部下方土层回弹作用将造成桩基及已施工结构上浮现象。根据数值模拟分析,如采用普通钻孔灌注桩,当基坑开挖至坑底部时,基坑内桩基将出现整体向上位移30mm,远大于围护结构、已建地铁1号线围护及主体结构垂直位移。受各区域差异竖向位移的影响,在靠近基坑围护结构及靠近已建地铁1号线处已建逆作结构将产生剪力、弯矩突变现象,造成已建结构破坏。为减少桩基竖向位移,该工程立柱桩基均采用挤扩支盘桩,在抗拔方面具有优良的性能。

4.4.3 逆作法大型基坑变形对周边其它建筑物的影响

当周边建筑物与逆作法大型基坑的净距大于30m时,基坑开挖对已建建筑物的影响相对较小,当建筑物基坑形式为桩基基础时,基坑开挖主要使桩基产生水平位移和微量垂直沉降,桩基水平位移将使桩基产生一定的附加剪力和弯矩。但由于桩基垂直沉降量较小,因此基坑开挖对30m以外建筑物的上部结构影响较小。

5 结束语

论文以杭州武林广场地下商场空间开发项目为研究对象,根据工程特点和施工实际情况,通过有限元数值模拟及实验数据分析,对逆作法大型基坑施工过程中承压水治理、降水相关措施,以及基坑变形控制等技术进行了较详细的研究分析,并总结了相关措施。通过研究可得出以下几点重要结论:

(1) 大型基坑逆作法施工过程中承压水预处理在进行基坑开挖前,应做好基坑内承压水处理。本工

程采取围护结构嵌岩隔断承压水层和大型基坑内降水相结合的方式。根据以往施工经验及本工程的实践,该方法在浙江地区大型基坑承压水处理施工过程中得到了显著效果。

(2) 大型基坑逆作法施工降水方案的合理性选择

基坑降水施工对基坑稳定性控制具有很大作用,基坑降水主要分为基坑内降水施工和基坑外降水施工。基坑内降水施工主要根据地质、水文情况和降水井试验情况合理进行降水井布置,将基坑内水位降至坑底部以下1~2m。基坑外降水可有效减少围护结构坑外侧向力作用,但基坑外降水施工对周边环境的影响较大,坑外水位的下降将导致坑外土体固结产生沉降现象,因此,当基坑周边环境较复杂时,一般会取消坑外降水措施。

(3) 大型基坑逆作法施工变形控制措施

大型基坑逆作法施工时的变形控制可通过合理布置基坑平面位置,使基坑与周边建筑物的净距大于30m,并通过基坑内裙边加固、基坑底板设置钢斜撑、加强地连墙嵌岩施工质量等措施来减少基坑变形量。

(4) 减少基坑开挖对已建结构的影响

当逆作法大型基坑内存在已建结构时,应对已建结构周围地层进行分层分段开挖,并始终使已建结构两侧的侧向压力受力均衡。逆作法基坑立柱桩形式应优先采用挤扩支盘桩,以减少立柱桩上浮位移量。

【参考文献】

- [1] 夏明耀,曾世伦.地下工程设计施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [2] 史广德,胡德均,邢克宣.深基坑逆作法支承柱的设置及节点的技术处理[J].施工技术,2002,11(12):22-23.
- [3] 赵琪,谢剑彬,茅振伟.高层建筑深基坑逆作法施工中的节点处理[J].地下空间与工程学报,2006,12(10):28-29.
- [4] 徐至钧,韩顺和,张晓玲.挤扩桩设计施工与工程应用[M].北京:中国标准出版社,2011.
- [5] 谢才军,林贤根.基坑变形监测与VB编程[M].浙江:浙江大学出版社,2012.
- [5] 赵同新,高霁生.深基坑支护工程的设计与实践,第四版[M].北京:地震出版社,2010.
- [7] 刘俊岩.建筑基坑工程监测技术规范实施手册,第四版[M].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [8] 姚天强,石振华.基坑降水手册,第四版[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [9] 樊彦国,李瑞华.变形监测数据处理分析研究[M].北京:工程勘察,2009.

作者简介:谢圣浩(1980.6—),毕业院校:宁波大学,所学专业:建筑工程,当前就职单位:宏润建设集团股份有限公司,职务:项目经理,职称级别:高级工程师。