

紧邻不停运轨道交通条件下的大型公共建筑施工技术研究

张 敏

上海建工二建集团有限公司

摘 要:以中国博览会会展综合体项目为背景工程,针对紧邻不停运轨交条件下的大型公共建筑基坑施工开展了系统研究。克服了包括标段内轨道交通横向穿越、工期紧张、施工界面复杂等问题,在上海首次实现了距离运营轨道交通 5.5 m 的大型基坑施工,为上海乃至全国的类似工程提供了有效借鉴。

关键词:紧邻轨交;大型场馆施工;不停运;施工管理

随着我国城市建设的飞速进展,越来越多的城市大型公共建筑的基坑施工需要在紧邻运营中的轨交条件下进行^[1-4]。为解决这类工程问题,本文以中国博览会会展综合体(简称会展综合体)为背景,开展了对该项技术的研究。

1 工程概况

以四叶草为设计造型的会展综合体项目位于上海市虹桥交通枢纽西侧,北至崧泽高架,东至漕港路,南至规划六路,西至诸光路,是由展览场馆、综合配套设施和后勤保障设施构成的会展综合体。

会展综合体项目用地面积 85.6 万 m²,其中地下建筑面积 20 万 m²,主要为停车库和设备用房,局部布置有商业用房;地上建筑面积 124 万 m²,A 区、B 区、C 区、D 区、F 区展厅区域面积 83.4 万 m²,办公楼面积 18.4 万 m²,会议中心面积 6.2 万 m²,E 区配套商业中心面积 15 万 m²,其余配套设施面积 1 万 m²。建筑总高 43 m。

会展综合体项目北块以展览功能为主,南块以展览、商贸、酒店及配套功能为主,项目建成后相当于 2.5 个上海新国际博览中心,也将成为世界上规模大、水平高、竞争力强的会展综合体(见图 1)。

本文研究内容围绕会展综合体的 E1 单体(见图 2 中心部分)展开。E1 单体为商业中心圆楼,总建筑面积 11 万 m²,建筑层高 43 m。地下 1 层近地铁侧局部为混凝土框架结构,其他均为钢结构压型钢板;上部结构采用钢框架结构体系。

E1 单体坐落于轨交 2 号线上方,基坑被轨交线一分为二(见图 3)。在项目开工到竣工的整个周

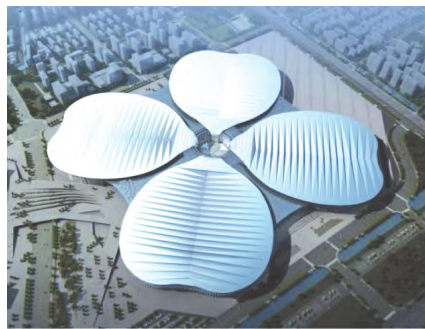


图 1 会展综合体总体效果图

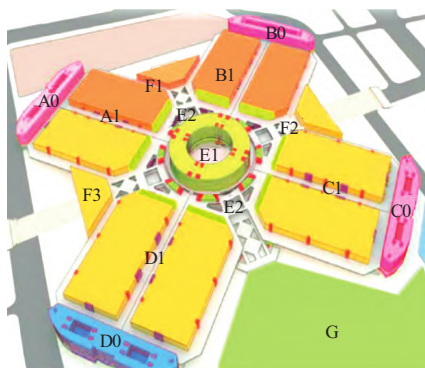


图 2 会展综合体分区示意

期内,轨交均需照常运营。

2 工程难点分析

2.1 标段内有轨交线横向穿越

轨交 2 号线东西向贯穿整个施工区域,商业中心 E1 位于轨交上方。E1 区基坑位于处于运营状态下的上海轨交 2 号线徐泾东站两侧,基坑被轨交车站及区间分隔为南北 2 个半圆形。基坑与轨交区间外边线最近距离仅 5.5 m。

根据《上海地铁沿线建筑施工保护地铁技术管

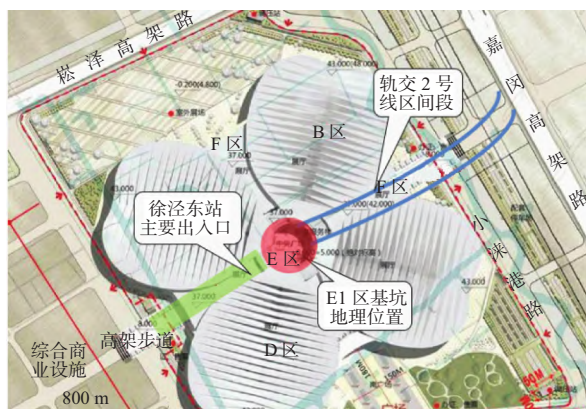


图3 E1区基坑位置

理暂行规定》，轨交车站需作为施工期间的重点保护对象。施工期间需确保轨交2号线的正常运营和车流、人流通畅，轨交车站及区间段的最终绝对沉降量和水平位移控制在10 mm以内。

2.2 工期紧张

本项目开工日期为2013年2月28日。为满足场馆开馆日期要求，要求竣工日期为2014年6月30日。此外，为确保对运行中轨交的保护，基坑开挖施工工期也受到较为严格的控制。

2.3 基坑形状及围护形式复杂，分块要求高

E1区基坑形式不规则，围护体系为SMW工法桩与钻孔灌注桩结合，围护交接节点较多。此外，为满足紧邻运行中轨交的保护要求以及总体工期要求，需要对基坑进行合理分块，细化施工顺序与时间之间的关系，并对基坑开挖作业面、分块施工流程、换撑传力构造等开展合理优化。

2.4 施工界面复杂

本工程地下室基坑为钢结构桁架结构与混凝土工程相结合，施工过程中土建结构与钢结构交接节点复杂，须采取优化措施，以保证钢结构基础节点吊装施工顺利进行。

3 施工总体部署

3.1 基坑分区及开挖顺序

本项目为确保基坑施工期间对运行中轨交的保护效果，与设计单位、轨交运营方对基坑分区及开挖顺序等问题开展研究，最终将E1区整个基坑分为4个区，分布在轨交线路的南、北两侧，南侧分为E-S-1和E-S-2，北侧分为E-N-1和E-N-2（见图4）。

针对基坑紧邻运营轨交结构及区间段的工况，提出了“先南后北”、“先大后小”、“先外后里”的基坑施工流程。

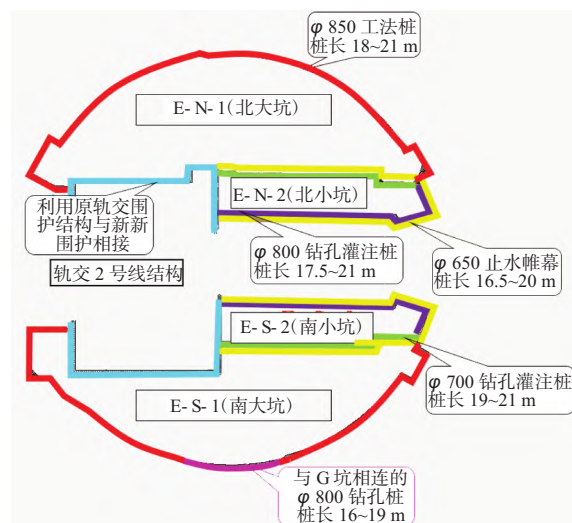


图4 E1区基坑分区情况

先开挖E-S-1基坑，底板结构完成后开挖E-N-1基坑，E-N-1基坑底板完成后开挖E-S-2基坑，E-S-2基坑底板完成后再开挖E-N-2基坑。

开挖均以基坑西侧为主要作业起始点，向东侧逐步推进，均由远离轨交侧的土方为最先开挖取土点，进而向轨交侧开挖，同时及时跟进垫层及支撑，减少轨交侧围护墙暴露时间，以保护运营轨交安全。根据运营线路和结构保护要求，大坑从开挖至底板形成时间不超过20 d，小坑不超过15 d。

3.2 栈桥布置优化

由于场地较为狭小，为满足上述底板形成的时间要求，保证基坑施工对轨交车站造成的影响最小化，需要确保挖土有足够的作业面。因此，在原先基坑首道支撑原栈桥基础上，新增栈桥作为挖土及钢支撑吊装场地。栈桥板厚400 mm，配置22 mm@100 mm上层钢筋，20 mm@150 mm下层钢筋（见图5）。

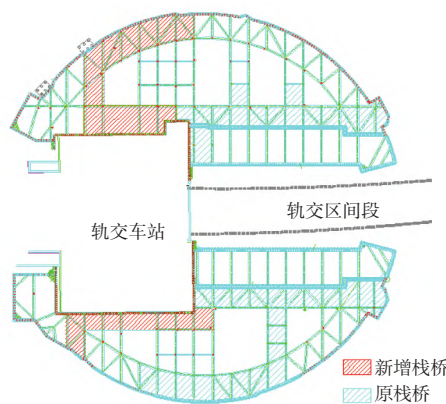


图5 新增栈桥示意

3.3 施工流程

根据上述“先南后北”“先大后小”“先外后里”

的原则,确定基坑及地下结构施工流程如下:

围护桩及立柱桩施工→坑底加固→第一道混凝土支撑及栈桥施工→基坑内轻型井点降水施工→E-N-1 基坑开挖→E-N-1 基坑局部第二道支撑、挖土→E-N-1 基坑底板施工→E-S-1 基坑开挖(E-N-1 基坑拆除部分支撑后、地下结构同步施工)→E-S-1 基坑开挖局部第二道支撑、挖土→E-S-1 基坑开挖底板施工(E-N-1 基坑地下室封顶)→E-N-2 基坑开挖(E-S-1 基坑开挖拆除部分支撑后地下结构同步施工)→E-N-2 基坑底板施工(E-S-1 基坑开挖地下室封顶)→E-S-2 基坑开挖→第二道支撑、挖土→E-S-2 基坑底板施工→E-S-2 基坑地下室封顶。

此外,地下室钢结构在开挖完成后开始施工。E1 地上钢结构施工时,使用 E2 区域作为机械开行

道路,E1 地上钢结构施工完成后,开始 E2 钢结构施工。E2 钢结构施工完成后,大型机械由 F3 退场,届时所有单体间的 16 m 层环岛贯通,方便后续的幕墙、金属屋面、精装饰材料运输。

4 基坑变形控制关键技术

4.1 钢支撑轴力自动补偿

由于本工程基坑临近轨交 2 号线,开挖时考虑土体变化对轨交侧的影响,小坑采用二道支撑体系(第一道混凝土支撑,第二道 $\phi 609$ mm 钢管支撑)。钢支撑采用自动应力补偿系统(见图 6)。此外,基于对钢支撑自应力补偿系统工艺的成熟经验,项目部与业主、设计方沟通后,决定将南坑第二道混凝土等效替换为钢支撑。并采用自动应力补偿系统减少钢支撑用量,由原设计 8 根替换为 6 根。



图 6 钢支撑自动补偿系统

每根钢支撑设置 1 个带回锁功能压力量程达 3 000 kN 的油压缸。按设计要求对钢支撑施加预应力,施加预应力分两次进行,每级为 300 kN,然后检查螺栓并紧固后施加剩预应力,支撑轴力严格按照设计要求实施附加补偿。

4.2 土方开挖

本项目南、北大基坑有第二道混凝土支撑的部分均分层、分块开挖,无第二道混凝土支撑部分按 1:2 放坡至坑底开挖。小坑挖土采用顺作法进行施工,挖土施工按“分层、分块、限时、错位”工况流水作业,小坑按钢支撑组数(每 2~3 根钢支撑为 1 组)进行分块,相邻分块不超过一个流水工况。土方开挖分层、分块进行。北侧小坑开挖至顶板完成后,方可开挖南侧小基坑。

在开挖过程中,凿除支撑范围内混凝土,剥出围护桩钢筋,焊接钢支撑埋件。待挖土完成后,安装钢支撑并施加相应预应力及自动补偿系统(3~4 h 内)完成相应支撑施工(1 组支撑挖土+支撑时间

控制在 16 h 范围内,混凝土支撑 24 h)。完成相应 1 组钢支撑后,方可对下一小块土方开挖施工。

5 地下结构优化施工

5.1 地下室外墙传力墙节点优化

为确保项目工期,上部钢结构系统吊装必须与地下室施工同时进行,因此首道混凝土支撑必须第一时间拆除。支撑拆除后基坑处于无支撑状态,被动土的暴露时间较长,故应先行施工基坑围护与地下室侧墙传力墙节点。

与设计单位沟通确认后修改传力墙节点,将原结构侧墙与围护间素混凝土传力墙改为图 7 所示的钢筋混凝土传力墙,作为首道支撑受力换撑的施工措施。实现了提前拆除首道混凝土支撑,有效节约了施工工期。

5.2 底板传力带节点优化

在地下室施工过程中,大、小基坑间的中隔墙需拆除。为确保中隔墙的两侧受力作用,在中隔墙两侧位置设置临时传力带(见图 8)。传力带厚度自

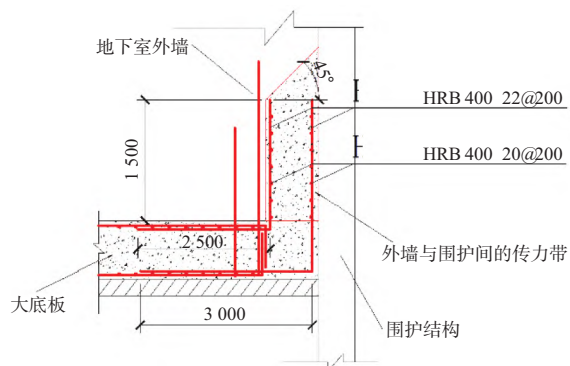


图 7 传力墙优化节点

底板底层以下 700 mm。传力带宽度自中隔墙向外侧延伸 1 750 mm 的水平延长面,自底板底层标高按 1:1 放 45°斜坡至传力带底层。传力带底层设置 200 mm 厚混凝土底板垫层级配的素混凝土,并铺设防水卷材层。该节点施工简便,且能有效降低渗漏风险,用于紧邻运营轨交的地下室施工效果十分良好。

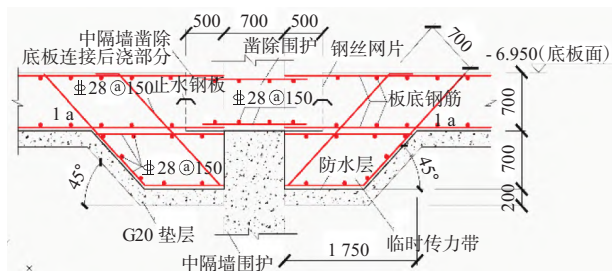


图 8 隔墙临时传力带节点

5.3 基于 BIM 技术的综合优化

此外,本项目利用 BIM 技术,开展了整体施工部署模拟、钢与混凝土交接界面模拟、综合管线模拟等工作(见图 9)。



图 9 整体施工部署模拟

在符合设计要求的前提下对钢筋接头、穿型钢方式等进行了 BIM 优化,有效简化了施工难度;并对各专业管线进行碰撞检测,依据检测报告所示碰撞点和碰撞数量,逐一进行调整,最终确保模型显示“零”碰撞。这些调整优化有效提高了整个项目的施工效率,不仅减少了施工过程中的浪费和隐患,

而且有效缩短了施工工期(见图 10)。

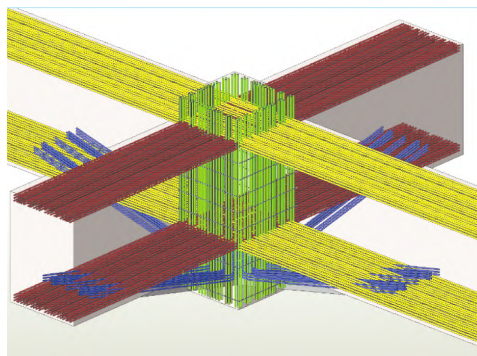


图 10 梁、柱节点处钢筋排布 BIM 模型

6 实施效果

会展综合体工程自 2013 年 2 月开工以来,经过周密部署、精心施工,截至 2014 年 12 月底,已全面竣工。其中轨交以北区域已于 2014 年 6 月底顺利竣工,并在 2014 年 10 月进行了试运营。2015 年 3 月起已全面投入使用。

在 E1 基坑大面积开挖、支撑、浇筑结构、拆撑、楼层封闭的各施工阶段内,运营地铁的结构变形量一直处于稳定、平缓的趋势。轨交车站绝对沉降量和水平位移未超过运行线路和结构保护要求的 10 mm 限值,确保了线路的安全运营。

7 结语

本项目针对紧邻运营轨交车站及区间段的工程难点开展了系统研究,提出了基于“分层、分块、限时、错位”思想的低扰动基坑施工技术路线,在上海首次实现了距离运营轨交 5.5 m 条件下的大型基坑施工,研发形成了紧邻运营轨交车站及区间段的大型公共建筑施工技术体系,并有效保障了背景工程项目的顺利竣工。

如今,随着上海城市建设的进一步推进,基坑紧邻轨交线路的情况与日俱增。本文的研究成果为上海乃至国内紧邻轨交的大型场馆施工提供了可借鉴的实践经验。

参考文献:

- [1] 王春华,余国梁,方能榕,等.改扩建机场超大超深基坑群施工管理[J].施工技术,2021,50(5):12-15.
- [2] 冉喆,张海洲.不停航施工中深基坑施工组织研究[J].工程技术研究,2020,5(21):97-98.
- [3] 高卫明.高敏感环境下紧邻运营航站楼的深基坑施工技术[J].建筑施工,2020,42(5):679-681.
- [4] 王远良.不迁移基坑范围既有管廊地铁车站不停运施工技术[J].建筑技术开发,2021,48(15):55-56.

(收稿日期:2022-01-17)