

引用本文:侯胜男,岳建勇,周 延.复杂环境下某体育建筑深大基坑分区设计与实践[J].建筑科学与工程学报,2021,38(6):119-127.
HOU Sheng-nan, YUE Jian-yong, ZHOU Yan. Design and Practice of Partitioning of Deep Large Foundation Pits Under Complex Environment Conditions[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2021, 38(6): 119-127.

DOI:10.19815/j.jace.2021.09041

复杂环境下某体育建筑深大基坑分区设计与实践

侯胜男^{1,2}, 岳建勇^{1,2}, 周 延^{1,2}

(1. 华东建筑设计研究院有限公司上海地下空间与工程设计研究院, 上海 200011;

2. 上海基坑工程环境安全控制工程技术研究中心, 上海 200011)

摘要:为减小大范围土体卸载对周边环境的影响,加强对周边复杂环境的保护,对上海徐家汇体育公园项目深大基坑进行了合理设计。在充分考虑基坑邻近地铁、高架、管线以及基坑内部和周边建筑物环境复杂等特点的基础上,基坑支护结构设计采用“分区顺作+板式支护+多道支撑+合理换撑”的设计方案,介绍了基坑工程整体分区、支撑及栈桥布置、临时隔断换撑等设计思路 and 具体实践,并通过现场分区变形监测分析基坑分区设计方案的合理性。结果表明:底板完成后东亚大厦最大沉降变形约为6 mm,差异沉降约为1 mm;上海体育馆最大沉降约为8 mm,最大差异沉降约为2 mm;上体馆主变站沉降增加约4 mm,差异沉降小于1 mm;施工期间上体馆主变站和电缆隧道虽发生一定沉降变形,但变形均处在可控范围内,远小于上海申通地铁对沉降控制的要求,确保了整个地铁系统的正常运营;合理的基坑分区设计方案和技术措施可以确保基坑自身及周边环境的安全,可为相关工程设计与实践提供参考。

关键词:深大基坑;分区设计;环境影响;体育建筑

中图分类号: TU973.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2049(2021)06-0119-09

Design and Practice of Partitioning of Deep Large Foundation Pits Under Complex Environment Conditions

HOU Sheng-nan^{1,2}, YUE Jian-yong^{1,2}, ZHOU Yan^{1,2}

(1. Shanghai Underground Space Engineering Design & Research Institute, East China Architecture Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200011, China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Safety Control for Facilities Adjacent to Deep Excavations, Shanghai 200011, China)

Abstract: In order to reduce the influence of large-scale soil unloading on the surrounding environment and strengthen the protection of the surrounding complex environment, the deep foundation pit of Shanghai Xujiahui Sports Park was reasonably designed. Based on fully considering the characteristics of metro, overpass and pipeline near foundation pit, and the complex environment of the internal and surrounding buildings of the foundation pit, the design scheme of supporting structure of foundation pit with “partitioning parallel operation + plate support + multi-strut + reasonable support change” was adopted. The design ideas and specific practices of the partitioning implementation of the foundation pit, the layout of the support and

收稿日期:2021-09-10

基金项目:上海市优秀技术带头人计划项目(20XD1430300)

作者简介:侯胜男(1984-),女,安徽阜阳人,高级工程师,工学硕士,E-mail:243496083@qq.com。

trestle, and the temporary isolation and support replacement were introduced in detail, and the rationality of the partitioning implementation of the foundation pit was analyzed through the on-site deformation monitoring. The results show that the maximum settlement deformation of the East Asian Building is about 6 mm after the baseplate completed, and the differential settlement is about 1 mm. The maximum settlement of Shanghai Stadium is about 8 mm, and the maximum differential settlement is about 2 mm. The settlement of the Shanghai Stadium transformer substation increases by about 4 mm, and the differential settlement is less than 1 mm. During the construction, although the settlements of the Shanghai Stadium transformer substation and cable tunnel increase a little, but the deformation is in the controllable range, which is far less than settlement control criterion proposed by the Shanghai Shentong Metro Group, ensuring the normal operation of the whole subway system. Reasonable partitioning implementation and technical measures can ensure the safety of foundation pit and the surrounding environment, which can provide a reference for the relevant engineering design and practice.

Key words: deep large foundation pit; partitioning implementation; environmental influence; sports building

0 引言

随着全民健身运动和体育强国战略的蓬勃发展,市民对城市基础设施的要求越来越高,体育健身意识越来越强,体育建筑与城市形成统一和谐的城市景观,这就对一些体育建筑提出了更高的要求。目前大跨度、高层高的体育场馆均采用深埋地下室的形式,而一些体育建筑基坑的周边环境十分复杂,如既有场馆、地铁、保护建筑、高架等多因素复合,对于基坑设计是一个新挑战,也是一个新机遇^[1-3]。

邻近地铁、桥梁、保护建筑等敏感环境条件下的深大基坑多采用分区施工方案^[4-9]。殷一弘^[10]对宁波绿地中心项目分区方案进行了介绍,该项目西侧邻近地铁,采用了“分区顺作+板式支护+多道支撑”的支护体系方案,并在邻近地铁区域设置隔离桩、轴力自动伺服应力补偿系统钢支撑等,相比宁波类似邻近地铁项目,该工程采取的分区措施有效保证了地铁车站的正常运营。吴西臣等^[11]基于“大坑化小、分区(段)设计、轻重结合、组合支护”等设计理念,对武汉地区长江一级阶地上深厚软土层中某超大深基坑支护方案进行了介绍,通过采用联合支护、合理布置内支撑等手段,达到了经济合理、有效缩短施工时间的目的。刘传平等^[12]对上海某深大基坑工程分区设计方案进行了介绍,该基坑形状极不规则,施工过程中要求多个相邻分区同步实施、交叉施工,通过选择合适的支护结构方案和对相邻分区同步开挖回筑交叉施工工况的设计控制,以及选择合适的与各分区围护结构的连接措施,有效地保证了

基坑及周边环境的安全和基坑工程的顺利实施,也保证了工程的经济合理性。

类似基坑分区设计相关文章可参考文献^{[13]~[25]},在此不做赘述。目前基坑分区相关文章主要集中于对分区方案的介绍,对监测数据的分析也主要集中于对地铁隧道的沉降变形,缺乏对分区施工过程中周边建(构)筑物及管线沉降及变形数据分析,对分区效果缺乏足够的数据支撑。

上海作为典型软土地质发达城市,体育建筑的更新改造需求更具有代表性和前瞻性,本文依托上海市徐家汇体育公园基坑项目,详细介绍了基坑分区思路、水平支撑及栈桥布置、临时隔断换撑等设计思路,对各分区开挖过程中围护体、地铁隧道、周边建(构)物和管线等相关变形及监测数据进行了详尽分析,对今后类似地区的体育建筑基坑建设具有一定的参考价值。

1 工程概况

本基坑项目位于上海徐家汇地区零陵路、漕溪北路、中山南二路和天钥桥路围合区域,基坑总面积约 55 000 m²,总延长约 2 270 m,包括新建体育综合体和上海体育馆改造新增地下室,整体作为一个基坑设计施工。地下室设置体育用房、地下车库及下沉式广场,其中地下室部分包括两部分:上海体育馆新增地下室和新建体育综合体。上海体育馆新增地下室为地下二层训练用房和西侧地下一层环形通道,新建体育综合体整体为一层地下室(北侧为下沉式广场),场地中部为二层地下室。本基坑开挖深度

差异较大,中部地下二层,开挖深度 12.3~12.8 m;外侧地下一层,开挖深度 6.30~8.60 m。

2 周边环境

该项目周边环境异常复杂(图 1),保护要求非常高。基坑南侧邻近地铁 1 号线申通上体馆主变站及电缆隧道、中山南二路(内环高架桥);基坑东侧北部与上海游泳馆既有地下室实现连通,对老的地下室进行改造,实现整体功能的提升;东南侧紧邻保留建筑武警用房,净距仅 3 m;北侧新建半环形地下通道,连接零陵路既有地下一层车库,紧邻上海体育馆,净距仅 3.4 m;北侧邻近地铁 11 号线徐家汇至上海游泳馆区间隧道,西侧邻近地铁 1 号线区间隧道和漕溪北路高架路,均位于地铁 50 m 保护区范围内;南侧紧邻申通上体馆主变站及电缆隧道,净距仅 7.0 m;基坑中间有一幢三层保留砖木建筑物小白楼,四周土体挖除,形成“孤岛”,对于紧邻保留建筑四面均卸载的情况,中国尚不多见。由此可见基坑周边环境异常复杂,以上建构筑物均是基坑施工阶段需重点保护的对象,除此之外,基坑周边的市政道路及煤气、上水、下水、电力、信息市政管线亦是基坑施工阶段需重点保护的对象。

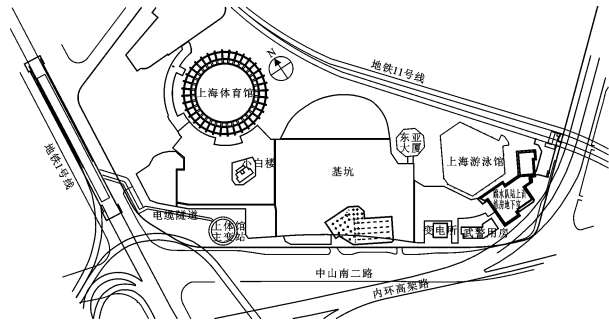


图 1 基坑及周边环境平面图

Fig.1 Plane View of Foundation Pit and Surrounding Environment

本工程所在地地质条件复杂,场地填土厚度普遍较大,最厚处达 2.5 m,场地浅层存在较厚的③层淤泥质粉质黏土、④₁层灰色淤泥质黏土、④₂₋₁层灰色粉质黏土夹黏质粉土,该 3 层土属高压缩性、高含水率、流塑的软土,其土层物理力学指标相对上海地区同类土层较为接近,但物理力学性质相对更差;该场地深部存在④₂₋₂微承压含水层,在围护墙设计时考虑将该微承压含水层隔断。在拟建场地内多处发现有①₂层浜填土分布。场地土性指标详见表 1。

表 1 建筑场地土层及参数

Table 1 Soil Layers and Parameters of Construction Site

土层序号	土层名称	重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(^{\circ})$	渗透系数建议值 $K/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$
②	黏土	18.7	21	14.5	1×10^{-7}
③	淤泥质粉质黏土	17.4	12	13.5	5×10^{-6}
④ ₁	淤泥质黏土	16.8	13	10.0	2×10^{-7}
④ ₂₋₁	粉质黏土夹黏质粉土	18.2	12	18.0	5×10^{-6}
④ ₂₋₂	砂质粉土	18.5	2	30.5	6×10^{-4}
⑤ ₁	粉质黏土	18.0	14	16.5	2×10^{-7}
⑤ ₃	粉质黏土	18.2	16	17.5	5×10^{-6}

3 基坑分区设计策略

该项目基坑形状非常不规则,基坑挖深差别较大,根据本工程的特点,基坑分区时应考虑满足项目的开发节奏,实现工期目标。尽量结合地下室功能分区确定,以确保相关地块同步实施的可能性及相关功能区的完整性。

为减小基坑土方开挖过程对运营中的地铁 1 号线和 11 号线地铁车站、区间隧道及申通上体馆主变站和电缆隧道的不利影响,结合建筑设计方案和基坑开挖深度,经与地铁管理部门汇报,施工顺序采取“先深后浅”和“先一般区域后地铁保护区域”的原则,将本工程分为 7 个区域,见图 2。

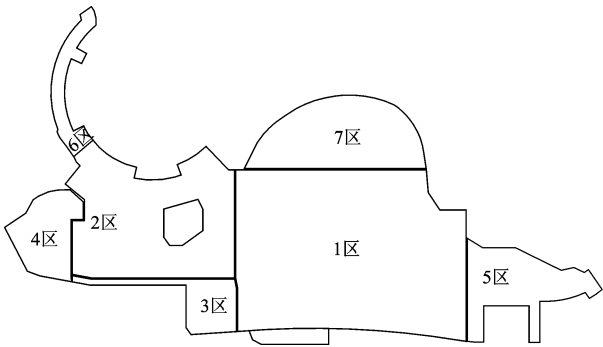


图 2 基坑分区平面布置

Fig.2 Plane Layout of Partitioning of Foundation Pits

1 区位于整个场地中间位置,为地下二层,远离地铁区间隧道和车站出入口等附属结构,周边环境较好,基坑面积约为 22 961 m²;2 区位于 1 区西侧,地下二层,基坑面积约 10 700 m²。考虑到对地铁隧道等敏感建(构)筑物的保护,3~7 区地下室均为地

下一层,其中 5 区和 6 区邻近正在改造中的上海体育馆和上海游泳馆,3,4,7 区分别邻近正在运营的地铁站、隧道及附属设施。

施工顺序采取“先深后浅”和“先一般区域后地铁保护区域”的原则,平面施工工况为:工况 1,先施工 1 区基坑;工况 2,待 1 区地下室顶板及结构楼板缺失处换撑完成后,施工 2 区基坑;工况 3,待 2 区地下室顶板及结构楼板缺失处换撑完成后,即可同时施工 5,6 区;工况 4,待 5,6 区地下室顶板及结构楼板缺失处换撑完成后,最后施工邻近地铁的 3,4,7 区。

4 基坑实施对周边环境的控制措施

4.1 基坑支护设计

本项目根据基坑挖深及周边环境条件的不同要求,采用多种支护体系相结合的基坑支护设计原则。基坑北侧邻上海体育馆、南侧邻申通地铁上体馆主变站和坑内小白楼等环境较为敏感区域采用 1 000 mm 厚临时地下连续墙作为围护体;基坑北侧上海体育场坡道区域(6 区),基坑形状狭长,采用 SMW 工法桩作为围护体;基坑其他区域采用刚度较大且布置更为灵活的直径 850~1 000 mm 钻孔灌注桩排桩结合外侧三轴水泥土搅拌桩止水帷幕作为围护体。基坑围护体平面具体布置见图 3。

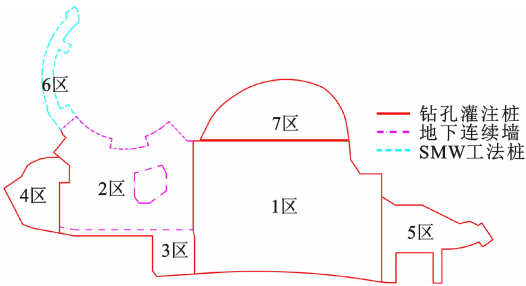


图 3 基坑围护体平面布置

Fig. 3 Plane Layout of Support Structure of Foundation Pit

4.2 水平支撑及栈桥设计

基坑平面形状较不规则,水平支撑结合各分区的特点进行设置,见图 4。1 区采用 2 道钢筋混凝土支撑,平面布置采用对撑、角撑结合边桁架的形式。2 区采用 2 道钢筋混凝土支撑,支撑布置采用十字对撑,水平间距约为 10 m,十字对撑具有较大刚度,能有效控制变形,满足周围保护对象的变形控制要求。3 区、4 区、5 区和 7 区支撑采用 1 道钢筋混凝土十字对撑,水平间距为 8~10 m。6 区支撑采用 2 道钢筋混凝土水平支撑,支撑水平间距为 5~8 m,有效控制围护体变形,加强对邻近上海体育馆的保

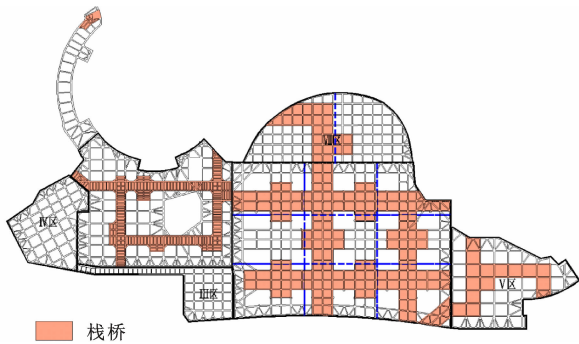


图 4 基坑支撑及栈桥分区平面布置

Fig. 4 Plane Layout of Foundation Pit Support and Trestle Partition

护,第 1 道钢筋混凝土支撑在结构顶板浇筑完成后再拆除。

按照主体结构形式,基坑分区回筑的先后顺序、出土口位置、开挖深度以及最终退场工况等综合考虑后,针对 1 区、2 区、5 区、6 区、7 区进行跨区栈桥设计。3 区、4 区不设置栈桥。该栈桥方案实现了不同分区回筑工况下场地的高效利用,提高了土方开挖和结构施工的效率,满足了业主对工期的要求。

4.3 大面积顶板缺失区域临时隔断换撑设计

体育场馆一般都具有跨度大、层高高的特点,因此本工程地下一层及一层区域绝大部分都是两层通高,本基坑 1 区和 2 区的顶板大范围缺失,这就要求基坑分区临时隔断换撑设计上既要考虑后做区域土方开挖临时阶段传力的要求,又要考虑在结构回筑阶段拆除临时隔断时的受力要求。

本项目在 1 区和 2 区临时隔断两侧设置换撑板带,板带顶标高低于结构板顶标高 200 mm,板带范围避开主次梁设置,确保不影响永久结构施工,同时满足受力要求。在先施工的 1 区设置混凝土斜换撑,将 2 区第 1 道支撑的水平力传递到地下一层结构,确保了 2 区基坑支护体系的受力要求,如图 5 所示。

5 实施与监测

本基坑面积大,开挖深度深,周边环境复杂,从 1 区正式开挖到完成新建综合体竣工验收,历时近 3 年时间。本工程部分监测点布置如图 6 所示,其中, CX1-7~CX7-7 为围护体测斜监测点,SD1,SD2 为坑外电缆隧道沉降监测点,M2~M22 为基坑南侧煤气管线沉降监测点,J1-3~J3-6 为基坑周边建筑物沉降监测点。

本工程 1 区先行施工。1 区施工期间基坑南侧

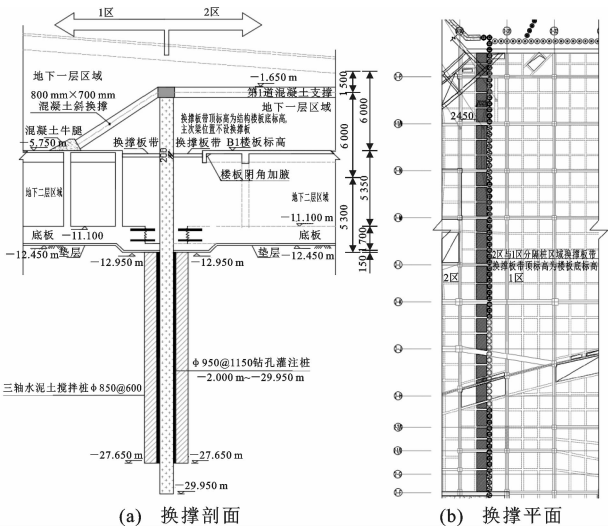


图 5 换撑剖面及平面 (单位:mm)

Fig. 5 Plane and Section of Support Replacement (Unit:mm)

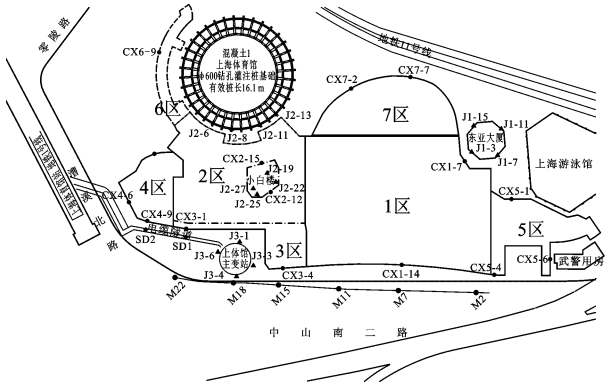


图 6 部分基坑监测点平面布置

Fig. 6 Plane Layout of Some Foundation Pit Monitoring Points

邻近中山南二路及东侧邻近东亚大厦区域围护体侧移如图 7 所示,基坑施工期间东亚大厦沉降如图 8 所示。1 区第 2 道支撑施工完成后围护体最大位移约 20 mm,底板施工完成后围护体最大位移约 40 mm,第 2 道支撑施工完成至底板施工完成期间围护体最大变形增加约 20 mm;施工期间东亚大厦最大沉降变形约 6 mm,差异沉降约 1 mm;根据监测结果可知,施工期间围护体及周边建筑物变形均在控制范围内,有效地保证了周边环境的安全。

待 1 区地下室顶板及结构楼板缺失处换撑完成后,2 区基坑开始施工。2 区施工期间围护体侧移如图 9 所示,基坑施工期间小白楼沉降如图 10 所示,体育馆沉降如图 11 所示。2 区底板施工完成后围护体最大位移约 25 mm,第 2 皮土方开挖完成至底板施工完成期间围护体变形最大增加约 15 mm;施

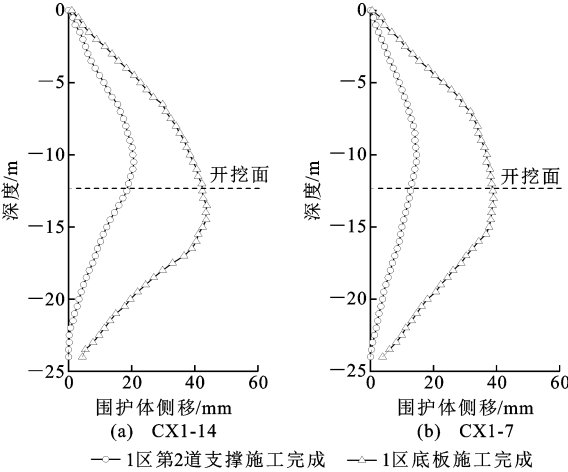


图 7 1 区围护体侧移

Fig. 7 Displacement of Envelop Enclosure of Partitioning 1

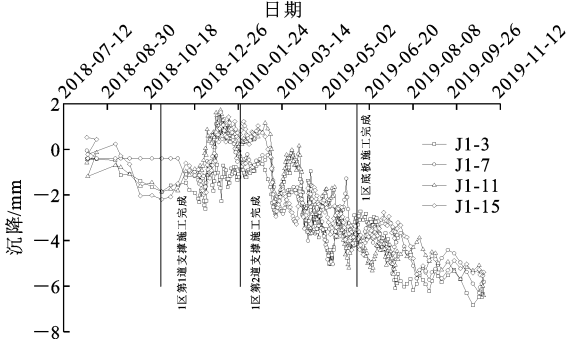


图 8 1 区施工期间东亚大厦沉降

Fig. 8 Settlement of East Asian Building During Construction of Partitioning 1

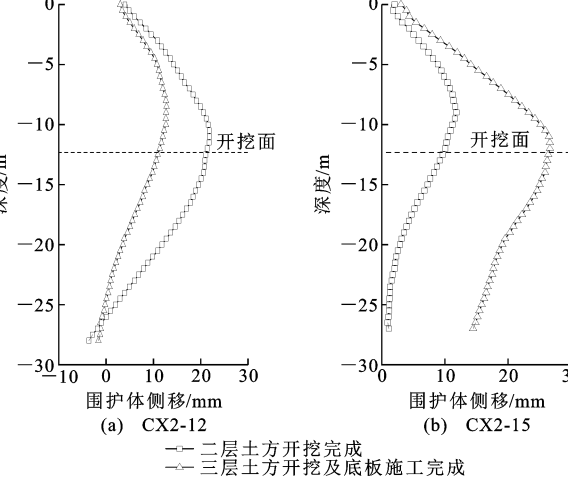


图 9 2 区围护体侧移

Fig. 9 Displacement of Envelop Enclosure of Partitioning 2

工期间小白楼最大沉降变形约 35 cm,差异沉降约 10 cm;体育馆最大沉降约 8 mm,最大差异沉降约 2 mm;施工期间围护体及周边建筑物变形均在控制

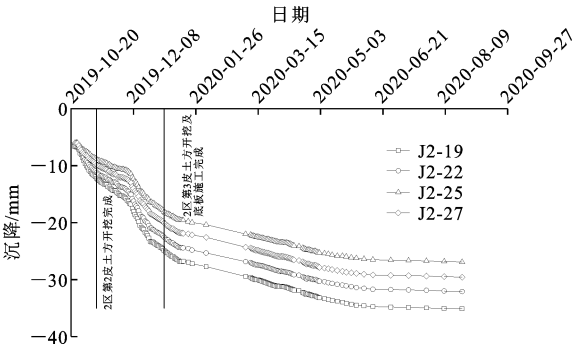


图 10 2 区施工期间小白楼沉降

Fig. 10 Settlement of White Building During Construction of Partitioning 2

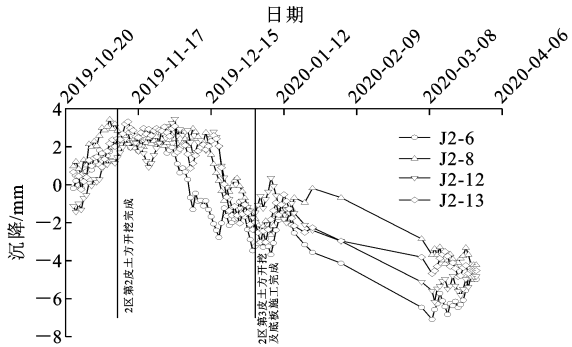


图 11 2 区施工期间体育馆沉降

Fig. 11 Settlement of Stadium During Construction of Partitioning 2

范围内;考虑到小白楼位于 2 区基坑中部,位置特殊,围护施工、基坑降水、土方开挖等对其周边土体扰动较大,均会导致小白楼整体产生较大变形,整体而言小白楼沉降虽然较大,但差异沉降处于允许范围内,因此本工程采取措施有效地保证了小白楼的安全,对类似工程具有重要参考意义。

1,2 区施工期间基坑南侧煤气管线沉降变形如图 12 所示。从图 12 可知:整个施工期间煤气管线最大沉降约 60 mm,1 区施工期间煤气管线沉降变化最大(约 45 mm),2 区施工期间煤气管线沉降变化较小(约 15 mm);M2~M15 距离 1 区基坑较近,因此 1 区开挖对其影响较大。

待 1,2 区施工完毕后,施工 5,6 区。5,6 区施工期间围护体侧移如图 13 所示。5 区底板施工完成后,围护体最大变形约 20 mm;6 区底板施工完成后围护体最大变形约 20 mm,围护体变形均在控制范围内。比较图 13(a),(b)可知,虽然 5,6 区挖深相近,且最大位移相同,但围护体变形模式略有不同,原因在于 5 区围护体采用钻孔灌注桩,围护体刚度较大,受力变形时同时发生绕顶端支撑点的转动

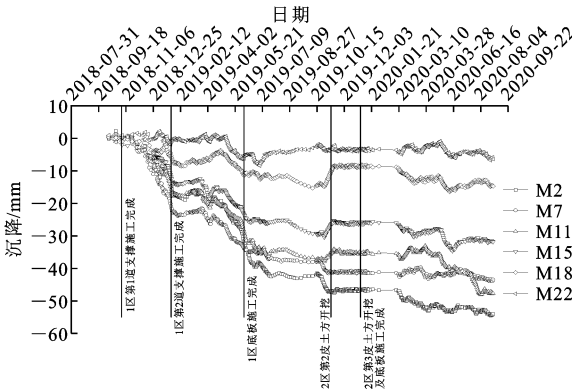


图 12 1 区及 2 区施工期间煤气管线沉降

Fig. 12 Settlement of Pipeline During Construction of Partitioning 1 and Partitioning 2

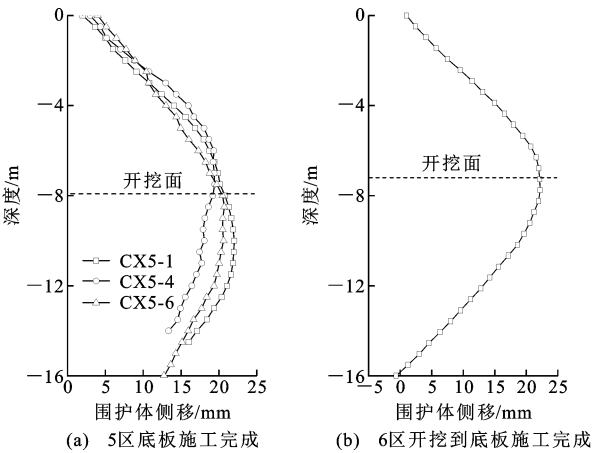


图 13 5 区及 6 区围护体侧移

Fig. 13 Displacement of Envelop Enclosure of Partitioning 5 and Partitioning 6

及围护体挠曲;6 区采用 SMW 工法桩,围护体刚度较弱,围护体受力变形时主要发生挠曲变形。

待 5,6 区地下室顶板及结构楼板缺失处换撑完成后,最后施工邻近地铁的 3,4,7 区。3,4,7 区施工期间围护体侧移如图 14 所示,可知围护体变形均在控制范围内。3 区底板施工完成后围护体最大侧移约 10 mm;4 区施工期间围护体最大侧移约 10 mm,施工期间邻近漕溪北路及地铁 1 号线部分围护体侧移(CX4-6,CX4-9)明显大于非邻近(CX4-1)部分,说明邻近道路交通荷载对围护体存在不利影响;7 区施工期间围护体最大位移约 20 mm。从监测结果可知,CX7-7 监测点位于该分区的中间位置,围护体变形也较大,符合基坑卸荷的空间效应。

基坑西南侧电缆隧道靠近 3,4 区,施工期间电力隧道沉降如图 15 所示。3 区施工期间电缆隧道最大沉降约 50 mm,底板施工完成前,电缆隧道沉降约 40 mm,底板施工完成后电缆隧道沉降变化趋

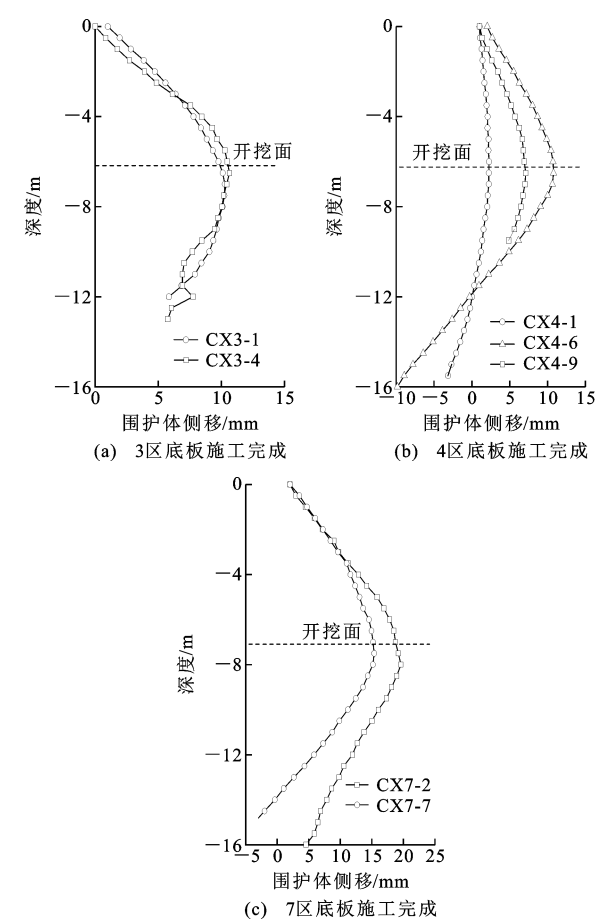


图 14 3 区、4 区及 7 区围护体侧移

Fig. 14 Displacement of Envelop Enclosure of Partitioning 3, Partitioning 4 and Partitioning 7

于稳定;4 区施工期间电缆隧道最大沉降约 25 mm,底板施工完成前,电缆隧道沉降约 20 mm,底板施工完成后电缆隧道沉降变化趋于稳定。

3 区施工期间上体馆主变站沉降结果如图 16 所示。3 区开挖至底板施工完成,上体馆主变站沉降增加约 4 mm,差异沉降小于 1 mm,本工程采取措施有效保证了施工期间上体馆主变站的正常运营。

总体而言,3,4 区施工期间上体馆主变站和电缆隧道虽发生一定沉降变形,但变形均处在可控范围内,远小于上海申通地铁对沉降控制的要求,确保了整个地铁系统的正常运营。

6 结 语

上海徐家汇体育公园项目为复杂环境下的超大面积基坑,周边围绕着正在运营的地铁 1 号线、4 号线和 11 号线及地铁车站出入口,同时邻近既有体育场馆、“孤岛式”保留建筑、市政道路及高架桥等,保护要求非常高。基坑支护结构设计充分考虑基坑特

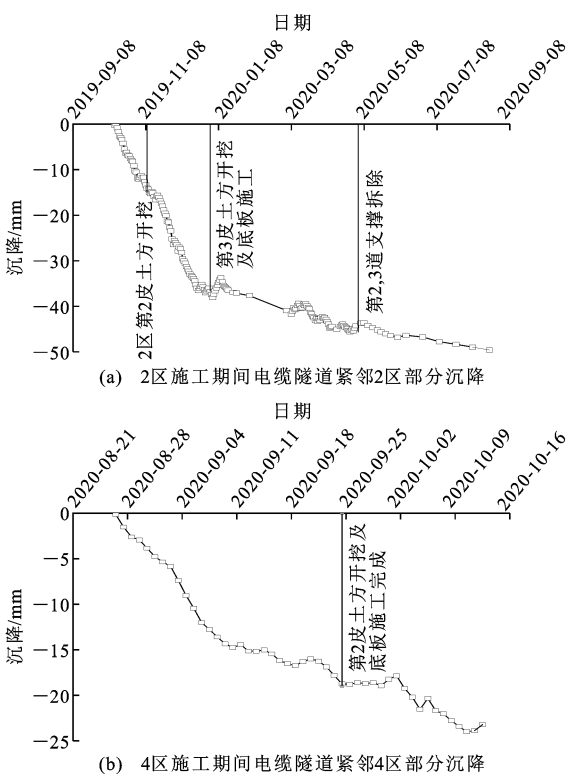


图 15 施工期间电缆隧道沉降

Fig. 15 Settlement of Cable Tunnel During Construction

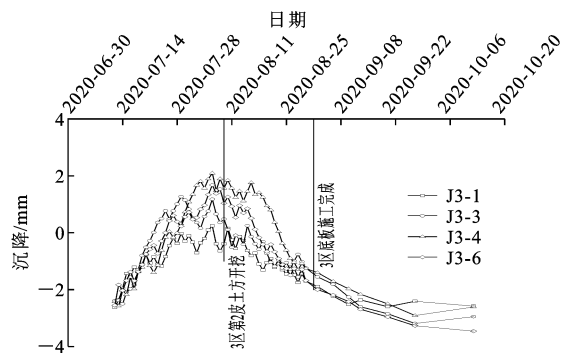


图 16 3 区施工期间上体馆主变站沉降

Fig. 16 Settlement of Substation During Partitioning 3 Construction

点,结合建筑功能、基坑挖深和环境保护要求,采用“分区顺作+板式支护+多道支撑+合理换撑”的支护设计方案。为了减少大范围土体卸载对周边环境的影响,采用多项技术措施相结合。最终结果表明,本基坑开挖引起的地铁车站、隧道及建筑物的变形均得到了有效控制,解决了周边环境影响问题,为相关工程提供了有价值的参考借鉴。

参考文献:

References:

[1] 刘国彬,王卫东.基础工程手册[M].2 版.北京:中国建筑工业出版社,2009.

- LIU Guo-bin, WANG Wei-dong. Excavation Engineering Manual[M]. 2nd ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.
- [2] 王卫东, 吴江斌, 黄绍铭. 上海地区建筑基坑工程的新进展与特点[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(4): 547-553.
- WANG Wei-dong, WU Jiang-bin, HUANG Shao-ming. Recent Progress and Characteristics of Pit Foundation in Shanghai[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2005, 1(4): 547-553.
- [3] 张庆, 邹正盛, 李利峰, 等. 基于文献计量的我国深基坑工程研究现状分析[J]. 工业建筑, 2010, 40(增): 719-723.
- ZHANG Qing, ZOU Zheng-sheng, LI Li-feng, et al. The Status Analysis of Deep Excavation via the Literature Metrology in China[J]. Industrial Construction, 2010, 40(S): 719-723.
- [4] 王卫东, 李进军, 徐中华. 敏感环境条件下深基坑工程的设计方法[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(增): 349-354.
- WANG Wei-dong, LI Jin-jun, XU Zhong-hua. Design Methods for Deep Foundation Pits in Lose Proximity to Sensitive Properties[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, 30(S): 349-354.
- [5] 凌岗. 毗邻轨道交通地下线等复杂环境的深基坑施工变形控制研究[J]. 建筑施工, 2019, 41(8): 1399-1400, 1403.
- LING Gang. Research on Deformation Control of Deep Foundation Pit Construction Adjacent to Underground Rail Transit Line and Other Complex Environments[J]. Building Construction, 2019, 41(8): 1399-1400, 1403.
- [6] 唐梦雄, 陈如桂, 陈伟. 深基坑工程变形控制[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- TANG Meng-xiong, CHEN Ru-gui, CHEN Wei. Deformation Control of Excavation Engineering[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2006.
- [7] 王建华, 徐中华, 陈锦剑, 等. 上海软土地区深基坑连续墙的变形特性浅析[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(4): 485-489.
- WANG Jian-hua, XU Zhong-hua, CHEN Jin-jian, et al. Deformation Properties of Diaphragm Wall Due to Deep Excavation in Shanghai Soft Soil[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2005, 1(4): 485-489.
- [8] 徐中华, 王建华, 王卫东. 软土地区采用灌注桩围护的深基坑变形性状研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(5): 1362-1366.
- XU Zhong-hua, WANG Jian-hua, WANG Wei-dong. Deformation Behavior of Deep Excavations Retained by Bored Pile Wall in Soft Soil[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(5): 1362-1366.
- [9] 翁其平. 复杂环境条件下深基坑支护技术应用与分析[J]. 四川建筑科学研究, 2020, 46(增1): 97-104.
- WENG Qi-ping. Application and Analysis of Deep Foundation Pit Supporting Technology Under Complex and Sensitive Environmental Conditions[J]. Sichuan Building Science, 2020, 46(S1): 97-104.
- [10] 殷一弘. 深厚软土层紧邻地铁深大基坑分区设计与实践[J]. 岩土工程学报, 2019, 41(增1): 129-132.
- YIN Yi-hong. Design and Practice of Partitioning of Deep Large Foundation Pits Close to Subway in Thick Soft Soils[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2019, 41(S1): 129-132.
- [11] 吴西臣, 徐杨青. 深厚软土中超大深基坑支护设计与实践[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(增): 404-408.
- WU Xi-chen, XU Yang-qing. Design and Practice of Large-scale Deep Excavations in Deep Soft Soils[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, 34(S): 404-408.
- [12] 刘传平, 贾坚, 郑俊星. 上海某复杂边界条件深大基坑工程的设计与实践[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(增1): 377-382.
- LIU Chuan-ping, JIA Jian, ZHENG Jun-xing. Design and Practice of a Deep Foundation Pit with Complex Boundary Conditions in Shanghai[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(S1): 377-382.
- [13] 胡耘, 沈健, 常林越, 等. 岩土工程新技术在软土地区深大地下工程中的应用[J]. 建筑结构, 2018, 48(21): 109-113.
- HU Yun, SHEN Jian, CHANG Lin-yue, et al. Application of New Geotechnical Technologies in Deep and Large Underground Projects in Soft Soil Area[J]. Building Structure, 2018, 48(21): 109-113.
- [14] 王海, 卢慈荣, 张鑫, 等. 软土地区多基坑及邻近地铁车站同步开挖设计方案分析[J]. 建筑结构, 2020, 50(增2): 738-741.
- WANG Hai, LU Ci-rong, ZHANG Xin, et al. Analysis on Design Schemes of Simultaneous Excavation of Multiple Foundation Pits and Subway Station Foundation Pits in Soft Soil Area[J]. Building Structure, 2020, 50(S2): 738-741.
- [15] 徐中华, 宗露丹, 沈健, 等. 邻近地铁隧道的软土深基坑变形实测分析[J]. 岩土工程学报, 2019, 41(增1): 41-44.

- XU Zhong-hua, ZONG Lu-dan, SHEN Jian, et al. Deformation of a Deep Excavation Adjacent to Metro Tunnels in Soft Soils[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2019, 41(S1): 41-44.
- [16] 闫静雅. 邻近运营地铁隧道的深基坑设计施工浅谈[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(增1): 234-237.
- YAN Jing-ya. Design and Construction of Deep Foundation Pits Near Metro Tunnels[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(S1): 234-237.
- [17] 谢小林, 杨科. 商业开发与地铁站同期共建深大基坑综合设计技术[J]. 建筑结构, 2020, 50(13): 134-138.
- XIE Xiao-lin, YANG Ke. Comprehensive Design Technology of Deep and Large Excavation of Commercial Development and Metro Station Co-construction[J]. Building Structure, 2020, 50(13): 134-138.
- [18] 张娇, 王卫东, 李靖, 等. 分区施工基坑对邻近隧道变形影响的三维有限元分析[J]. 建筑结构, 2017, 47(2): 90-95.
- ZHANG Jiao, WANG Wei-dong, LI Jing, et al. Three-dimensional Finite Element Analysis of the Impact of Zoned Excavation on Adjacent Tunnels[J]. Building Structure, 2017, 47(2): 90-95.
- [19] 施佩文. 从某基坑实例探讨深大基坑对换乘运营地铁设施的保护措施[J]. 建筑结构, 2017, 47(增1): 1118-1122.
- SHI Pei-wen. Discussion on Protective Measures for Running Transfer Subway Nearby Deep Excavation Based on a Case Study[J]. Building Structure, 2017, 47(S1): 1118-1122.
- [20] 朱刚. 多地铁交会的深基坑施工技术[J]. 建筑施工, 2019, 41(12): 2120-2123.
- ZHU Gang. Construction Technology for Deep Foundation Pit with Multiple Metros[J]. Building Construction, 2019, 41(12): 2120-2123.
- [21] 卢晓. 苏州中心广场超大型地下空间基坑方案选型与研究[J]. 施工技术, 2019, 48(18): 90-94.
- LU Xiao. Selection and Research of Foundation Excavation Scheme for Super-large Underground Space of Suzhou Central Plaza[J]. Construction Technology, 2019, 48(18): 90-94.
- [22] 王志伟, 秦国鹏, 杨振平, 等. 大型深基坑分区拆换撑施工技术[J]. 中国港湾建设, 2019, 39(7): 28-32.
- WANG Zhi-wei, QIN Guo-peng, YANG Zhen-ping, et al. Construction Technology of Dismantling and Replacing Bracing in Subdivision of Large Deep Foundation Pit[J]. China Harbour Engineering, 2019, 39(7): 28-32.
- [23] 贺翀, 金芸芸. 软土地区超大规模深基坑群承压水控制[J]. 施工技术, 2020, 49(3): 95-98.
- HE Chong, JIN Yun-yun. Control of Confined Water in Super-scale Deep Foundation Excavation Group in Soft Soil Area[J]. Construction Technology, 2020, 49(3): 95-98.
- [24] 张竹庭. 中心城区软土深基坑分区设计关键技术对策[J]. 建筑施工, 2020, 49(12): 2221-2223.
- ZHANG Zhu-ting. Key Technologies and Countermeasures for Partition Design of Soft Soil Deep Foundation Pit in Central Urban Area[J]. Building Construction, 2020, 42(12): 2221-2223.
- [25] 陈畅. 敏感保护环境下大面积深基坑工程的设计与实践[J]. 山西建筑, 2020, 46(22): 1-4.
- CHEN Chang. Design and Application of Large-area Deep Foundation Pit in Sensitive Protective Environment[J]. Shanxi Architecture, 2020, 46(22): 1-4.