

[摘要] 以上海市轨道交通 8 号线和 10 号线换乘车站共用扩大站厅层基坑工程为背景,采用有限元方法分析基坑开挖对已建车站结构的影响规律。结合监测数据,重点研究共用地下连续墙和车站结构板的变形规律,指出紧邻车站基坑开挖卸载引起共用地下连续墙向基坑内变形,已建车站结构板靠近基坑一侧上浮较明显。总结了高压旋喷桩加固、分块凿除共用地下连续墙等控制已建车站结构变形的关键技术措施,为同类工程设计施工提供借鉴。

[关键词] 地铁车站;地下连续墙;深基坑;近接施工

0 引言

随着我国大城市地铁工程的快速持续建设和城市地下空间开发利用规模的不断扩大,出现大量在既有地铁线路旁进行基坑开挖、穿越施工等现象,并且规模越来越大、距离越来越远,势必造成新建构筑物与既有结构物之间的相互影响和相互作用,从而产生对既有结构的种种不利影响[1]。

在地下工程近接施工中,新建构筑物的施工会改变既有结构物的受力状态,初始应力场经过多次扰动,使结构物受力更加复杂[2]。现有研究按照位置关系对新旧构筑物近接施工相互影响进行了分类,提出了无影响范围、要引起注意的影响范围和须采取措施的影响范围的概念,并针对不同空间位置、不同间距情况规定了需遵循的划分标准和对策措施。相邻、相交、重叠或交叉隧道的建设对投资、设计和施工都产生重要影响,比单条隧道正常情况需要更多的经验和判断[1-3]。同济大学、西南交通大学等单位提出了近接施工的有关定义,并以弹塑性理论为基础,综合运用隧道力学、岩土力学及既有结构理论阐明了地下工程近接施工的力学原理。总之,现有的近接施工研究方法较多,成熟、可靠的理论分析较少,缺乏系统的隧道、基坑、周边构筑物相互近接施工的解决对策,能够解决实际工程问题的简单实用的方法还较少[1-8]。以上海市轨道交通 8 号线四平路车站周边扩大站厅基坑施工为例,对近接施工引起结构变形的规律进行分析,并总结出控制结构变形所采取的关键技术措施。

1 工程概况

上海市轨道交通 8 号线(M8)和 10 号线(M10)换乘车站位于大连路与四平路的交叉口,8 号线四平路车站主体结构先建,周围东北 1 区、东北 2 区和西南附属共用站厅层后建。东北 1 区基坑呈不规则形状,长 47.4m,宽 14.8~22.5m,开挖深度约 16m。该基坑西南侧紧邻已建 M8 四平路车站东端井和东标准段轴③~⑦,与车站共用一道地下连续墙(图 1),共用连续墙深 33m,其他围护墙深度为 31m,厚均为 800mm,开挖时共设 5 道支撑,第 1 道为混凝土支撑,第 2~5 道为 609 钢支撑。

该区域地质条件较为特殊,上海市常见的层③、④土在此位置缺失,层②3b 灰色砂质粉土将被挖去,底板位于层⑤1a 灰色粘土中,此层土易产生流变和回弹隆起,层⑤1b 灰色粉质粘土易发生流砂管涌现象,可见基坑开挖地层变形比较敏感,所以必须采取措施控制已建车站结构的变形。

该基坑变形控制保护等级定为一级[10],影响范围确定为 4 倍开挖深度,基坑开挖最深为 16m,因此在 64m 范围内的建(构)筑物均作为监测保护的對象,测点布置见图 1。



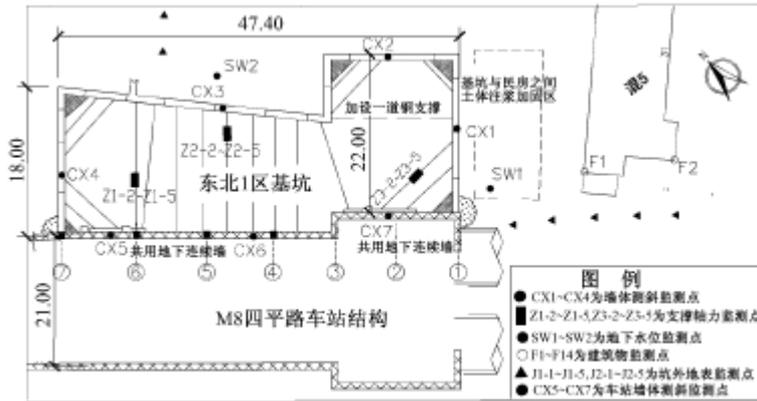


图 1 东北 1 区基坑平面及测点布置图

2 数值模拟计算

2.1 计算模型

计算模型包括已建四平路车站结构和东北 1 区基坑,考虑模型边界约束影响,利用 ABAQUS 软件建立长 500m,宽 200m,高 100m 的有限元模型,共计 36 930 个节点,36 857 个单元。采用有厚度薄层单元模拟地下连续墙及车站结构与周围土体的接触面效应,用弹性梁单元模拟支撑、结构永久柱和梁、临时格构柱等,用弹性壳单元模拟地下连续墙和结构板,用三维实体单元模拟土体。土体本构关系采用横观各向同性弹塑性模型,采用 Drucker-prager 屈服破坏准则和相关联流动法则,主要土层参数见表 1。

各土层力学参数

表 1

土层名称	层厚/m	$\gamma/\text{kN}/\text{m}^3$	c/kPa	$\varphi/^\circ$	E_s/MPa
① ₁ 杂填土	1.83	18.6	21	15.3	5.67
② _{3b} 灰色砂质粉土	12.25	18.9	5	38.5	10.64
⑤ _{2a} 灰色粘土	12.13	17.3	14	13.5	3.08
⑥ 暗绿草黄色粉质粘土	3.56	19.8	40	20.0	7.69
⑦ _{1a} 草黄色粘质粉土	7.90	19.4	3	31.5	9.55
⑧ ₂ 粉质粘土夹砂质粉土	26.98	18.9	17	24.5	6.73
⑨ 灰色粉细砂	35.35	19.0	5	35.5	14.76

模拟计算时,先进行 M8 线四平路车站施工,后模拟东北 1 区基坑开挖,与实际施工过程一致,见图 2。



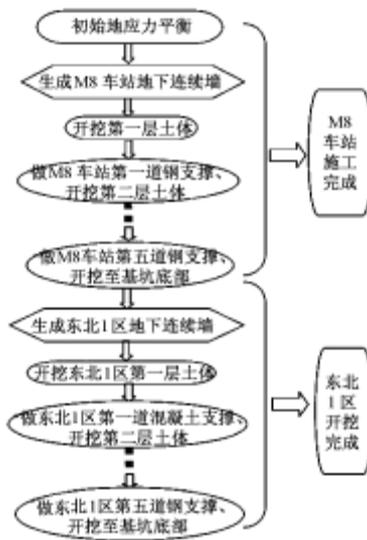


图2 模拟计算施工过程

2.2 结果分析

重点分析东北1区基坑围护结构和已建车站结构的变形规律。

东北1区基坑开挖结束时,测点CX3(图1)处地下连续墙侧移计算值与实测值对比曲线见图3(a)。从图中可以看出,计算值与实测值较吻合,地下连续墙侧移最大值发生在基坑底部16m附近。



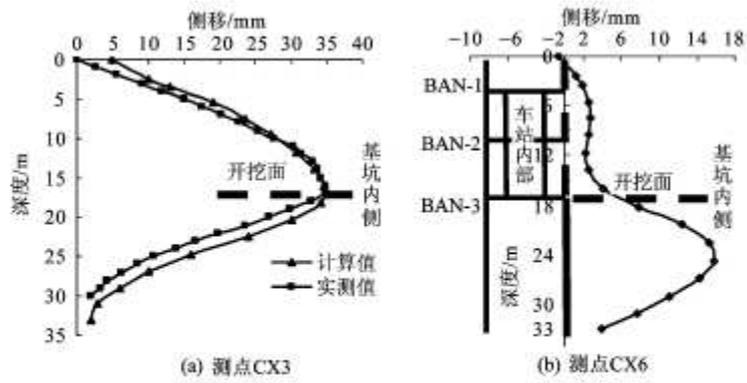


图3 地下连续墙侧移曲线

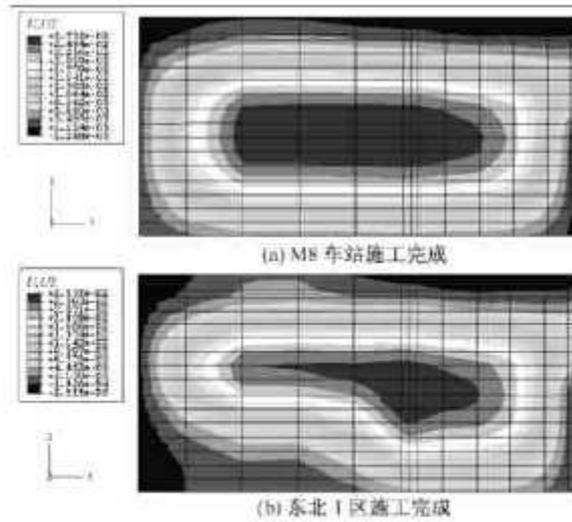


图4 共用地下连续墙水平变形云图/m

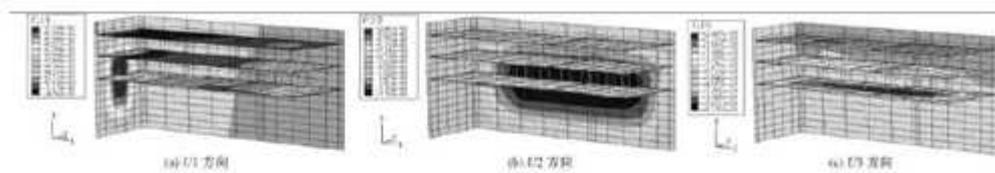


图5 东北1区基坑开挖结束后紧邻车站变形云图/m

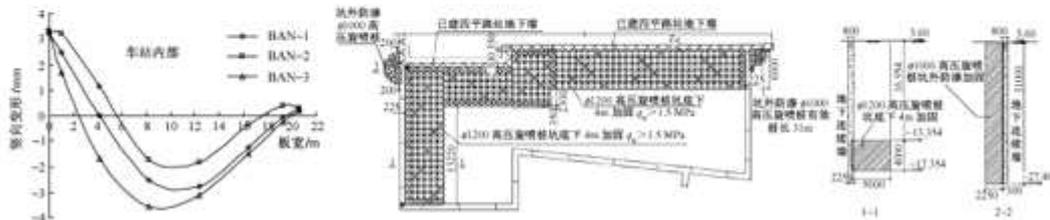


图6 基坑开挖引起车站各板竖向变形曲线

图7 基坑底部加固示意图

共用地下连续墙在车站施工完成和东北1区施工完成后水平变形(U2方向,即垂直连续墙方向)见图4。由图可见,两种工况下共用地下连续墙向车站一侧变形减小,即向后挖基坑内侧发生了水平变形,最大约为2mm。

从图 3(b)共用地下连续墙测点 CX6 计算侧移曲线可以看出,东北 1 区基坑开挖结束,地下连续墙整体向基坑内侧发生水平变形。在开挖面以上,受已建车站结构整体约束,地下连续墙最大变形仅 3mm。开挖面以下 8m 处,地下连续墙变形最严重,达到 16mm,这是由于基坑开挖卸载,基坑底部发生隆起变形,经多次施工扰动,被动区土压力小于车站底板下土压力,导致开挖面下地下连续墙变形较大[4,8]。

已运营 M8 车站顶板 BAN-1、中板 BAN-2 和底板 BAN-3 位置见图 3(b)。从图 5 车站结构在东北 1 区基坑开挖结束后的变形云图可以看出,两侧地下连续墙水平变形 U1 和 U2 方向及车站结构板竖向变形 U3 方向最大值均发生在车站底板 BAN-3 位置处,分别为 17.04,27.93,24.67mm。

从图 6 东北 1 区基坑开挖结束,车站各板竖向变形计算曲线可以看出,车站各板产生明显的差异变形,靠近基坑一侧由于卸载带动结构上浮[5],所以靠近基坑板上浮约 3.2mm,导致各板中部向下弯曲变形,BAN-3 向下弯曲变形最大值为 3.6mm。距离基坑较远一侧板基本不变形。

3 关键技术措施

针对共用站厅层近接施工难题,主要采取以下施工措施和工艺来保证车站结构的安全。

3.1 高压旋喷桩加固

基坑东侧紧靠住宅,南侧与已建车站结构共用地下连续墙,在基坑降水、开挖过程中要有效控制基坑的变形,尤其是侧墙变形和坑底隆起。开挖前在东侧和南侧 5m 范围内底板以下进行加固,共打入 438 根长 4m、 $\Phi 1200$ 的高压旋喷桩。东北 1 区新建地下连续墙与四平路车站已有连续墙之间连接时,采用 $\Phi 1000$ 高压旋喷桩进行防渗加固,加固桩长 31m,加固半径约 2.25m,新建连续墙与已有连续墙两连接处共施工 24 根高压旋喷桩,见图 7。

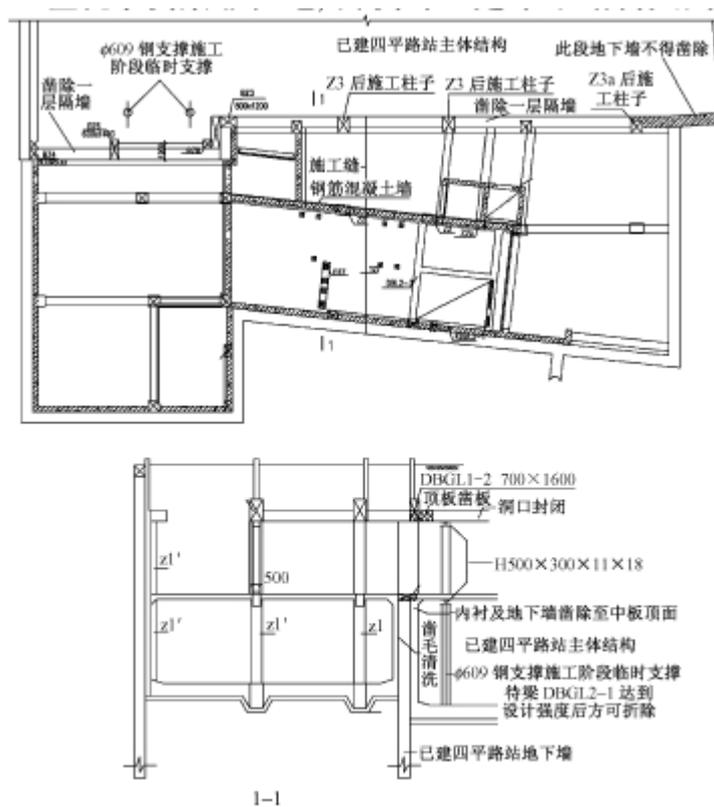


图 8 共用地下连续墙凿除施工示意图

3.2 共用地下连续墙凿除施工工艺



为使东北共用站厅与已建车站连通,施工中按照图 8 的方案凿除地下层 1 共用连续墙。东端并用 2 根 $\Phi 609$ 钢支撑加型钢支撑顶板,进行结构受力托换,凿除一层隔墙,然后施工梁、柱结构。东标准段轴③~⑦,先凿除顶板横梁部位地下连续墙,并与东北 1 区顶板一起浇注,在柱子轴线部位预留钢筋接驳器,凿除柱子部位的地下层 1 连续墙,浇注结构柱,上部与横梁相连,下部与地下层 2 连续墙相接,待柱达到强度要求再凿除中间部位连续墙,实现顶板结构受力体系的安全转换。

4 结论

(1)地下工程近接施工相互影响因素复杂,数值计算时采用横观各向同性弹塑性模型和薄层单元法可以较好地模拟车站和基坑的各施工步,地下连续墙侧移计算值与实测值吻合较好。

(2)基坑与车站的共用地下连续墙在基坑开挖至坑底时,产生向基坑内部的最大侧移值为 16mm。靠近基坑一侧车站结构板产生上浮变形,最大值 3.2mm,板中向下弯曲变形,最大值 3.6mm。

(3)采取高压旋喷桩加固土体等关键技术措施可有效控制近接施工中结构的变形问题,成功地控制了已建车站结构的变形,保护了周边环境。

(4)按照先施工托梁再施工结构柱,最后分块凿除共用地下连续墙的近接施工工法,使车站结构成功进行受力体系转换,打通隔墙保证已建车站结构的安全。

参考文献

- [1]仇文革.地下工程近接施工力学原理与对策的研究[D].成都:西南交通大学,2003.
- [2]闻毓民.两孔平行盾构隧道近接施工的力学行为分析[D].成都:西南交通大学,2005.
- [3]李永明.盾构隧道近接基坑施工的数值模拟及地面变形分析[D].武汉:武汉理工大学,2007.
- [4]孔祥鹏,刘国彬,廖少明.明珠线二期上海体育馆地铁车站穿越施工对地铁一号线车站的影响[J].岩石力学与工程学报,2004,23(5):821-825.
- [5]曾远,李志高,王毅斌.基坑开挖对邻近地铁车站影响因素研究[J].地下空间与工程学报,2005,1(4):642-645.
- [6]廖少明,杨俊龙,奚程磊.盾构近距离穿越施工的工作面土压力研究[J].岩土力学,2005,26(11):1727-1730.
- [7]廖少明,余炎,李文林.地中弹性边界对盾构近距离掘进位移场的影响[J].岩石力学与工程学报,2005,24(19):3534-3540.
- [8]高盟,高广运,冯世进,等.基坑开挖引起紧贴运营地铁车站的变形控制研究[J].岩土工程学报,2008,30(6):818-823.
- [9]刘建航,侯学渊.基坑工程手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [10] SZ—08—2000 上海地铁基坑工程施工规程[S].上海:上海市市政工程管理局,2000.

