

文章编号: 1005—0523(2009)01—0007—05

深大基坑开挖对邻近地铁车站影响研究

海明雷, 孙玉永, 王炳龙

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

摘要:在运营地铁车站周边进行基坑开挖, 无疑会对车站结构的变形产生影响. 为确保邻近地铁车站的正常运行, 运用 PLAXIS 软件建立平面数值分析模型模拟实际基坑开挖过程, 研究了世博轴深大基坑工程开挖对邻近耀华路地铁车站水平、竖直及总变形的影响, 并分析了不同基坑连续墙位移下运营车站的变形情况. 计算结果表明, 在基坑开挖过程中, 运营车站竖向隆起量先增加后减少, 而水平变形不断增加. 运营车站竖向、水平变形的最大值均与基坑连续墙侧向变形最大值呈线性关系.

关 键 词:基坑开挖; 地铁车站; 数值模拟; PLAXIS

中图分类号: TU473.12

文献标识码: A

随着城市地铁的不断扩展和延伸, 在已建车站旁边开挖基坑的情况会越来越多, 在运营车站旁进行新工程建设, 后建工程的施工必然会对已有车站产生影响^[1~5]. 对于地铁车站这样对变形要求极其严格的地下结构物, 如何在后建工程施工过程中, 既经济又安全地保障其运营安全, 已成为后建工程建设中一个亟待解决的难题.

近年来许多学者对此问题进行了研究, 取得了一些有益成果. 文献 [1] 采用 FLAC 程序分析了有地铁车站存在时, 基坑开挖土层位移的变化规律. 文献 [2] 采用 ANSYS 有限元软件对紧邻运营地铁车站的基坑开挖进行有限元模拟, 研究了不同施工参数对运营车站变形的影响. 文献 [3] 利用三维有限元软件对穿越车站施工引起的老车站结构变形和内力进行分析, 提出了一些相应的保护性措施. 文献 [4] 采用弹性地基上的板壳有限元, 分析了地铁平行换乘车站深基坑开挖过程中, 坑底土体加固的深度、加固的密度、加固的程度对基坑变形的影响. 文献 [5] 通过建立三维板壳有限元模型, 分析了基坑与运营车站共用连续墙时开挖对既有车站结构内力的影响, 讨论了基坑开挖对既有车站共用墙体和车站内顶、中、底板的内力影响, 得到了一些内力变化规律.

上海世博会世博轴及地下综合体工程 1 标段工程位于浦东世博园区, 基坑东侧紧邻已经建成的 M8 线耀华路地铁站, 距车站主体结构仅 25 m 左右. 南侧紧邻即将施工的 M7 线上海南路地铁站, 工程周边环境见图 1. 基坑施工无疑会对已运营车站造成影响. 世博轴 1 标段基坑净尺寸为 205 m × 110 m, 属超大超宽基坑, 这无疑加剧了施工对车站的风险. 然而, 目前尚未有一套成熟的理论能准确的预测基坑施工对紧邻车站变形的影响, 从而确保紧邻车站运营的绝对安全. 本文通过数值模拟分析, 研究了世博轴 1 标段基坑开挖各施工

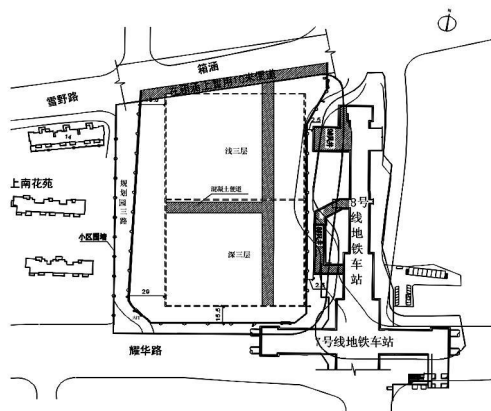


图 1 基坑周围环境示意图

收稿日期: 2008—11—04

作者简介: 海明雷 (1982—), 男, 河北沧州人, 硕士研究生, 主要从事岩土工程、地下空间与工程等领域的研究.

工况对运营车站变形影响及不同连续墙位移下运营车站变形情况,得出了一些规律性的认识.

1 工程概况

世博轴 1 标段基坑净尺寸为 205 m×110 m,分为深三层和浅三层两部分.工程场地标高为 +4.2 m,深三层开挖深度为 21.5 m,浅三层开挖深度为 17 m,深浅交界处设置地下连续墙分隔,分隔顶标高至浅三层底板.浅三层外侧采用水泥土搅拌桩加固,基坑内采用旋喷桩加固;深三层坑外不加固,坑内采用旋喷桩加固.本文选取深三层断面进行研究,主要土层物理力学参数见表 1.围护结构采用地下连续墙,墙厚 1 m,深 43 m. M8 线耀华路车站为地下两层结构,围护用地下连续墙厚 1 m,深 33 m,底板底面埋深 19.6 m.基坑东侧连续墙距车站主体结构仅 26 m 左右.基坑等级及控制参数要求见表 2

本工程土层分为六层,基坑分五步开挖,主体结构采用逆作法施工,施工顺序为先开挖至连续墙顶部以下 0.6 m,然后施作结构顶板;待顶板到达设计强度后,开挖至第一层中板处,施作基坑中部的第一层中板;待中板到达设计强度后,按上述方法依次施作第二层中板、混凝土支撑及开挖至基坑底施作结构底板.车站与基坑剖面见图 2

表 1 各土层的物理力学参数

层号	土层名称	天然重度 /(kN·m ⁻³)	孔隙比 e	天然含水量 w/%	压缩模量 /MPa	粘聚力 /kPa	内摩擦角 /(°)
① ₁	填土						
② ₁	褐黄~灰黄色粘土	18.5	0.911	31.7	4.89	21	19
③	灰色淤泥质粉质粘土	17.3	1.198	42.3	3.27	12	19
③ _夹	灰色粘质粉土	18.1	0.972	34.4	11.05	5	29.5
④	淤泥质粘土	16.5	1.458	50.9	1.99	14	11
⑤ ₁	灰色粘土	17.4	1.195	41.8	3.06	14	15
⑤ ₂₋₁	灰色砂质粉土 夹粉质粘土	18.1	0.938	32.4	8.91	4	29
⑦ ₂	粉细砂	18.9	0.765	26.7	14.95	0	32.5

表 2 基坑等级及控制参数表

基坑等级	控制参数要求
一级	围护墙体最大水平位移≤1.4‰H
	坑外地表最大沉降量≤1.0‰H
	M8 线耀华路地铁站水平位移≤20mm
	M8 线耀华路地铁站附加沉降≤20mm

2 计算模型

长条形地铁车站平行于本基坑工程,故可看作平面应变问题.通过有限元程序 PLAXIS 计算基坑开挖对基坑周围位移场及运营车站的影响.对于地铁车站结构和地下连续墙材料,由于其弹性模量比土体大的多,因此可按弹性受力状况来考虑,在计算中采用弹性梁单元模拟.为反映初次加载和卸载一再加载之间的刚度差别,土体采用强化岩土模型(该模型参数由摩尔-库仑模型参数推导而出).在地铁车站、基坑围护结构与周围土体之间设置接触面单元.边界约束采用左右两侧水平方向约束,下部边界设水平、竖向约束,上部边界为自由

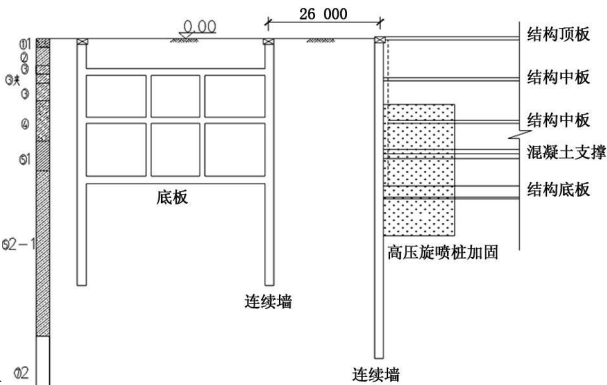


图 2 车站与基坑剖面图

边界. 由于本基坑工程属超大超宽基坑, 建立模型尺寸为 $200\text{ m}\times80\text{ m}$, 采用刚度相同的混凝土支撑模拟结构顶板及中板, 最终建立有限元模型见图 3.

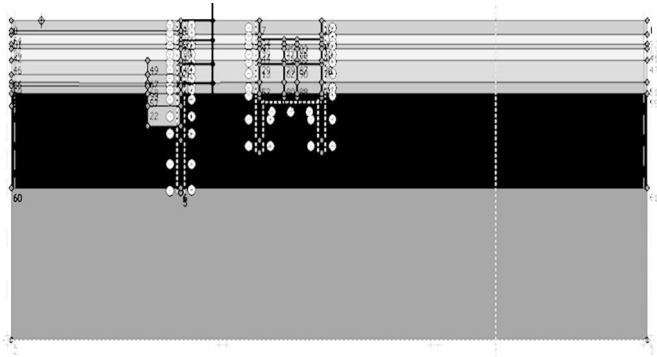


图 3 有限元模型图

3 计算结果分析

3.1 基坑开挖对车站竖向变形的影响分析

由于车站结构整体刚度较大, 以其底板作为竖向变形的研究对象. 图 4 为基坑开挖各工况下车站底板的竖向变形 (横轴 0 点为靠近基坑侧底板与连续墙交点), 从图上可以看出, 车站靠近基坑侧所受施工影响要比远离基坑侧大得多. 开挖至 -16 m 以前, 车站底板整体呈隆起状态, 且隆起量随着开挖的进行逐步增加, 这也验证了文献 [1] 的结论. 然而, 基坑开挖至 -21.5 m 时, 靠近基坑侧车站底板隆起量并未再增加, 而远离基坑侧底板隆起量减少.

为了探究车站底板竖向变形随开挖深度的变化规律, 假设基坑继续开挖至 -26 m (须在原开挖面位置设置一道支撑), 发现底板隆起量明显减少, 远离基坑侧底板甚至由隆起变为沉降. 图 5 为车站底板最大竖向变形随开挖深度的变化. 从图上可以看出, 车站底板竖向变形经历一个隆起量先增加后减少 (先隆起后沉降的过程). 分析原因认为, 基坑连续墙侧向变形的最大值出现在开挖面附近, 从模拟计算的位移场可以看出, 坑外土体有向最大位移处移动的趋势. 当基坑开挖面较高时, 车站底部土体有上移的趋势, 故车站底板隆起量不断增加. 随着开挖的进行, 连续墙变形最大值位置不断下移, 车站底部土体位移趋势逐渐向下变化, 故车站底板隆起量逐渐变小甚至变为沉降. 本工程中, 地铁车站底板底标高约 -20 m , 与基坑最终开挖深度 -21.5 m 相近, 因此认为在基坑连续墙位移不大的情况下, 当基坑开挖深度与原车站底板底标高近似相等时底板隆起量达到最大值. 同时, 受地铁车站连续墙隔断作用的影响, 车站底板的竖向变形其绝对值都很小, 模拟计算得在本工程各开挖工况下, 车站底板的最大隆起量为 3.2 mm .

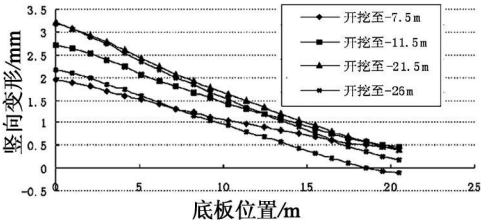


图 4 车站底板竖向变形图

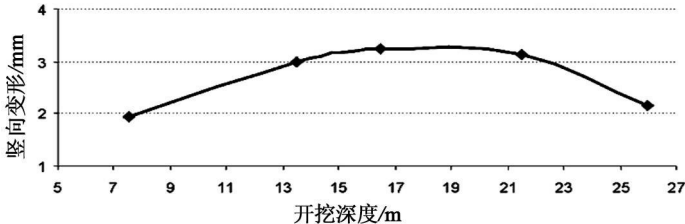


图 5 车站底板最大竖向变形随开挖深度变化图

3.2 基坑开挖对车站水平变形的影响分析

以车站连续墙作为车站水平变形的研究对象. 图 6 为基坑开挖各工况下车站连续墙的水平变形图, 从图上可以看出, 车站主体结构部分呈整体向基坑侧移动的趋势, 结构的相对变形很小, 但基坑开挖对车站水平变形影响的绝对值要比竖向变形大. 随着施工的进行, 车站水平变形不断增加, 车站连续墙底部水平变形增加尤为明显. 这是因为地铁车站结构刚度非常大, 整体性强, 而本工程采用逆作法施工, 结构中板做为围护支

撑与普通支撑相比刚度非常大,从而限制了车站上部主体结构的变形.

图 7 为车站结构最大水平位移随开挖深度的变化图.从图上可以看出,车站最大水平位移量与基坑的开挖深度成线性增长关系.

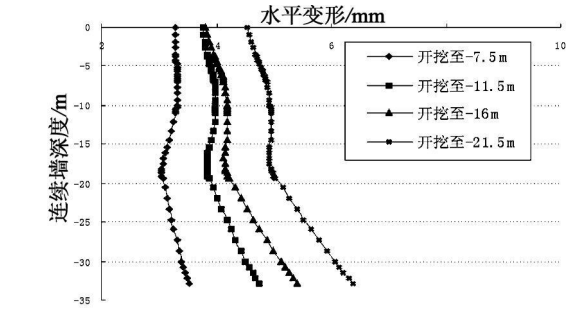


图 6 车站连续墙水平变形图

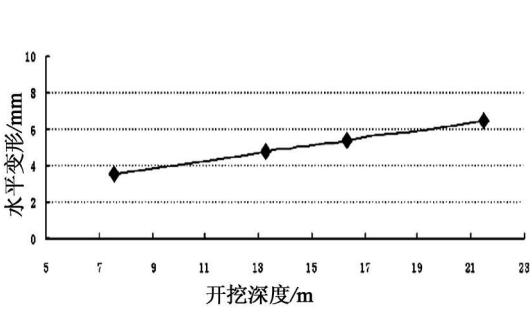


图 7 车站结构最大水平变形随开挖深度变化图

3.3 基坑开挖对车站总变形的影响分析

对地下工程设施,考虑总位移的影响也是非常必要的.总变形为各点位移的绝对值,即: $\sqrt{u^2+v^2}$.
由于车站结构整体刚度较大,以地铁车站底板与连续墙交接点(命名为 A 点)作为总变形的研究对象.图 8 为 A 点总变形随开挖深度的变化图.从图上可以看出,随着基坑开挖的进行,车站总变形量不断增加,但增加的速度逐渐减缓.这是因为,车站竖向变形量随开挖深度的增加先增加后减少,车站水平变形量随开挖深度的增加不断增加,且水平变形量绝对值比竖向变形大的缘故.

3.4 不同基坑连续墙侧移下车站变形分析

根据一级基坑控制标准,连续墙侧向位移控制标准为 $0.14\% H=30.1\text{ mm}$.然而,本工程为超宽超大基坑,由于施工工序复杂、土体暴露时间较长等原因,基坑开挖至 -11.5 m 时现场监测数据显示连续墙最大变形已达 29 mm .为控制施工风险,研究不同连续墙侧移对车站变形影响无疑有着重要的意义.具体分析过程为:将最终工况下连续墙侧向变形计算值等比例放大(1.2倍、1.5倍、1.8倍、2倍和 2.5倍)作为连续墙的指定位移,计算不同指定位移下运营车站的结构变形.计算结果见图 9、图 10.图 9 为连续墙最大侧移值与车站竖向变形最大值之间的关系,从该图可以看出,随着连续墙侧移的不断增大,车站底板竖向变形隆起量逐渐减少.从拟合结果来看,二者呈线性降低关系,斜率为 -0.0576 .图 10 为连续墙最大侧移值与车站侧向变形最大值之间的关系图.从该图可以看出,随着连续墙侧移的不断增大,车站侧向变形也随之增加,从拟合结果来看,二者亦呈线性增长关系,斜率为 0.142 .

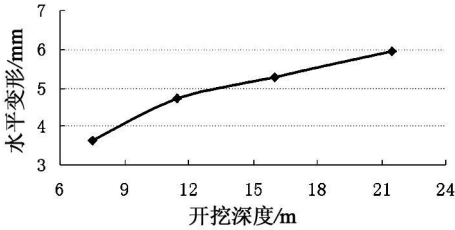


图 8 A点总变形随开挖深度的变化图

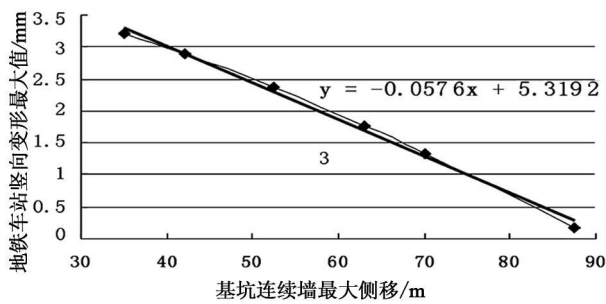


图 9 连续墙侧移最大值与车站竖向变形最大值关系图

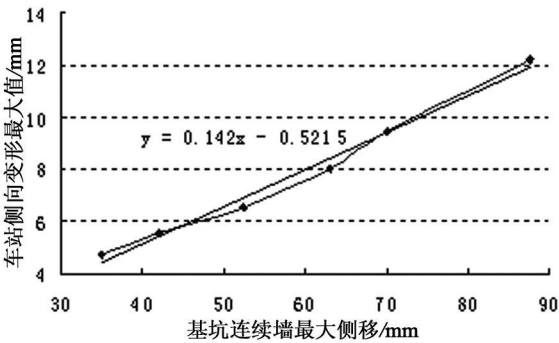


图 10 连续墙侧移最大值与车站侧向变形最大值关系图

从以上分析可以看出,基坑连续墙侧移的增加对车站侧向变形影响要比竖向变形明显(拟合直线斜率

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

的绝对值前者比后者大)。从计算结果来看,基坑连续墙侧移小于 9 mm 时,车站最大侧向变形 12 mm,最大竖向变形 3.2 mm,均满足控制参数要求的 20 mm,因此认为本工程在遵照时空效应等软土地区施工规律施工时,不会影响耀华路地铁车站的正常运营。

4 结论

- 本文根据上海世博轴 1 标段工程的具体情况,通过数值模拟计算分析,得出以下结论:
- (1) 基坑开挖过程中,坑外土体有向连续墙最大位移处移动的趋势。当邻近运营车站底板底面高于基坑最终开挖面时,开挖过程中车站隆起量不断增加。当邻近运营车站底板底面低于基坑最终开挖面时,开挖过程中车站隆起量先增加后减少,基坑开挖深度与车站底板底标高接近时车站底板隆起量达到最大值。
 - (2) 本基坑开挖对邻近运营车站侧向变形影响要比竖向变形大。运营车站主体结构随基坑开挖呈整体向基坑侧移动的趋势,其最大侧移量与基坑的开挖深度成线性增长关系。
 - (3) 随着基坑连续墙侧移的不断增大,邻近运营车站侧向变形不断增加,竖向变形由隆起向沉降转变,车站总变形量不断增加,但增加的速度逐渐减缓。连续墙最大侧移值与车站侧向变形最大值之间成线性增长关系,与车站竖向变形最大值之间成线性减少关系。
 - (4) 数值模拟结果表明,基坑连续墙侧移小于 9 mm 时,车站侧向变形、竖向变形均满足控制参数要求。因此认为本工程在遵照软土地区施工规律下施工时,不会影响耀华路地铁车站的正常运营。

参考文献:

[1] 谢秀栋,刘国彬,李志高,等.邻近运营地铁车站基坑开挖土层位移特性分析[J].地下空间与工程学报,2007,3(4):742—744.

[2] 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.

[3] 孔祥鹏,刘国彬,廖少明.明珠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].岩土力学与工程学报,2004,23(5):821—825.

[4] 姚燕明,周顺华,孙 巍,等.坑底加固对平行换乘车站基坑变形影响的计算分析[J].地下空间,2004,24(1):7—10.

[5] 姚燕明,孙 巍.深基坑开挖对共用连续墙的既有车站结构内力影响的空间分析[J].岩土工程学报,2006,28(增刊):1411—1414.

On Deformation Influence of Deep Excavation Adjacent to Subway Station

HA I M ing-lei SUN Yu-yong W A N G B ing-long

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: When excavation projects are built adjacent to the subway, it will have some effects on the station. To insure the normal function of the adjacent station, excavation construction is simulated by PLAXIS program. This paper studies the displacement of the Yaohua Road station caused by the excavation of deep and large foundation pit of Shanghai Expo axis and analyzes the station deformation under different displacement of underground diaphragm wall. The results show that during the excavation, the heave value of adjacent station increases at first and then decreases, and its horizontal displacement keeps increasing. The maximum horizontal and vertical displacement of adjacent station has linear relation with the maximum horizontal displacement of diaphragm wall.

Key words: deep excavation; subway station; numerical simulation; PLAXIS

(责任编辑:王全金)