

邻近地铁侧超深悬臂基坑围护方案研究

陈 挺

(上海斯美科汇建设工程咨询有限公司, 上海市 200433)

摘 要: 随着城市地下空间的充分利用,新的地下工程问题也逐渐产生。基坑开挖深度达到了11.25 m,并且紧邻运营中的地铁,而且现场不具备支撑和拉锚条件,只能采用悬臂式的围护型式,这对设计和管理提出了很高的要求。通过各类技术措施,从多方面综合考虑,利用现场条件,采取了合理的围护形式,严控现场管理,有效地减小了墙后荷载,把基坑开挖对周边环境的影响降到最低。工程结束后再用监测数据与有限元分析结果进行对比,验证了围护形式以及施工过程的合理性。

关键词: 基坑;悬臂;地铁;二级缓降;保护

中图分类号: TU46

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)08-0278-04

Research on Supporting Scheme of Deep Cantilever Excavation near Subway

CHEN Ting

(Shanghai Simeikehui Construction Engineering Consulting Co.,Ltd., Shanghai 200433, China)

Abstract: With the full utilization of urban underground space, the new underground engineering problems are gradually emerging. The excavation depth of the foundation pit has reached 11.25 m, and it is adjacent to the operating subway. Moreover, there are no conditions for support and anchoring in the site, so only the cantilevered enclosure type can be adopted, which poses the high requirements for design and management. Through various technical measures, comprehensively considering from the multiple aspects, and utilizing the site conditions, the reasonable enclosure form is adopted for this foundation pit, and the on-site management is strictly controlled so as to effectively reduce the load behind the wall, and minimize the impact of excavation on the surrounding environment. After the completion of the project, the monitoring data is compared with the results of the finite element analysis in order to verify the rationality of the enclosure form and construction process.

Keywords: foundation pit; cantilever; subway; secondary gradual descent; protection

0 引 言

近年来,随着经济的持续快速发展、人口的膨胀和汽车的普及,城市的生活密度越来越大,为了充分利用不可再生的土地资源,房屋之间的间距越来越小,直接连通、共用一片场地的工程也屡见不鲜。同时,地下空间越来越受到重视并得到了充分的开发,由此产生了新的工程问题,即在复杂的周边环境条件下,在原有建筑旁边进行新的工程建设,深度与已有建筑接近或者更深,甚至没有条件施工支撑而不得不采用悬臂式围护型式的基坑工程设计和施工问题。如何在复杂条件下确保已有建筑和新基坑工程

的安全,对基坑的设计、施工和管理提出了较高要求。处理好上述问题,可以起到节约土地、保护环境、方便人们生活等作用。

1 工程概况

该工程位于广东省佛山市,地下车库基地平面呈长方形,基坑围护墙体周长约850 m,基地开挖面积约37 000 m²,基坑开挖深度10.35~14.4 m,基坑东、西、北三个方向采用放坡开挖的形式,东南侧为广佛地铁线的金融广场站,正在运营中。此处为地铁1#出入口,出入口外墙2 m范围内有3根水管,管线北侧有3个雨污水井,出入口东北侧设置有无障碍通道,通道下暗埋有化粪池。据调查,地铁为地下两层结构,本项目地下车库及地铁现场情况见图1、图2。

收稿日期: 2025-02-21

作者简介: 陈挺(1982—),男,学士,高级工程师,副总经理,从事企业风险管理、项目管理、造价咨询及全过程咨询业务管理工作。

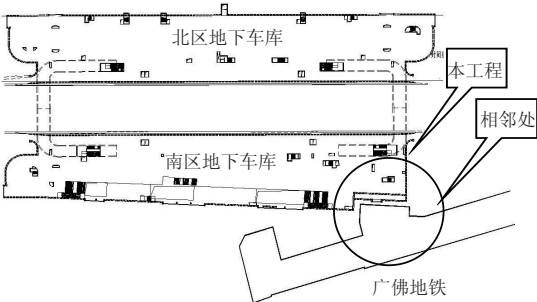


图1 工程位置图

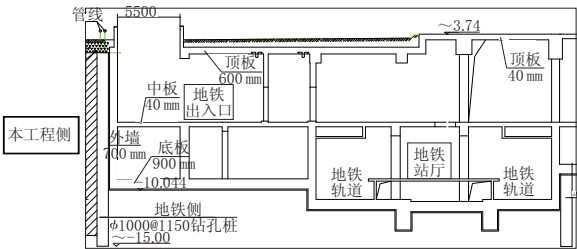


图2 地铁剖面图(单位:mm)

2 工程难点

经征询,当地地铁保护办对地铁临近建筑施工提出了距离要求,故方案最终考虑本地下车库建筑边线往北退界 4.5 m 左右,离开地铁外墙 7 m。边线退界后工程仍存在如下几个难点:

(1)在这 7 m 范围内,有 3 根管线、3 个雨污水井和 1 个残疾人坡道均处于使用状态无法移除。

(2)本基坑其余区域由于周边环境简单,并无需要保护的建构筑物,因此均采用放坡开挖的围护型式,未使用支撑。而此处基坑开挖深度为 11.25 m,属于超深基坑,还有地铁和相关构筑物需要保护,这对悬臂类基坑来说要求较高。

(3)此处场地主要为淤泥质土和粉性土,淤泥质土土质呈流塑状态,承载力低,整体较差。粉性土透水性较强,容易出现流砂等不利情况。同时,该处地下水位位于地表下 0.5 m,水头压力较大。

(4)现场作业场地狭窄,长约 35 m,宽约 5.5 m,一侧为地铁,与本项目场地存在高差,不能作为出入口使用,另外两侧为基坑开挖面,只有宽边能作为施工机械的进出,场地条件较为苛刻。同时周边管线复杂且敏感,通过咨询管线所属单位可知,这些管线均在使用,无法搬迁,需要原位保护。这对现场施工和管理都提出了较高的要求。

(5)本工程其余区域为放坡开挖,放坡比例达到了 1:2,而此处拟采用悬臂式围护方式,两者之间需要有效过渡。

综上所述,基坑此侧区域虽然面积不大,但是土

质和环境较复杂,对地铁保护要求较高。为了地下车库的正常施工并保证地铁的安全使用,并处理好工程与相关设施之间的关系,是设计和现场管理的关键和难点。

3 解决方案

针对上述难点,通过设计、施工及业主单位的协商讨论,最终拟采用如下围护型式和相关施工措施:

(1)建筑边线往北调整后,地铁旁边管线附近腾出一定的空间,故可以保留管线不做调整。施工作业面离开地铁围护墙 1.9 m,离开地铁外墙 3.9 m,有一定的施工作业空间,可用指定的机械完成现场作业,也可减小施工对地铁的扰动影响。

(2)地下车库与地铁之间区域采用重力坝的围护形式,具体形式为 $\phi 1000@1200$ 钻孔灌注桩加 3 排 $\phi 700@500$ 单轴搅拌桩,其中搅拌桩采用 15% 水泥掺量。考虑到地铁外侧留有止水帷幕,但早已硬化,与本基坑止水的连接存在硬连接,将来存在渗漏水风险。因此在围护东侧和西侧,采用 $\phi 700@500$ 旋喷桩连接本基坑和地铁外侧已有的止水帷幕,以达到良好的止水效果,旋喷桩水泥掺量 20%。至此,本地下车库围护形成一个封闭体,见图 3。

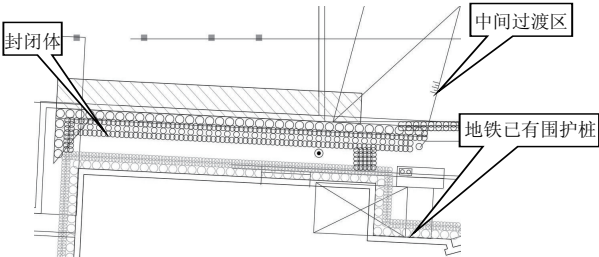


图3 围护平面图

(3)车库东南侧保留无障碍通道及下面化粪池,围护边随建筑往北调整,离开无障碍通道距离增大,有足够的放坡长度,同时为了保障悬臂式和放坡开挖的有效结合,在上述两种围护型式之间采用灌注桩结合内部放坡的形式,灌注桩一直施工至二级放坡处位置,见图 3 中间过渡区。

(4)考虑到此处砂性土较厚,地下水位较高,墙后水头较大等不利因素,拟采用降低墙后地下水位从而达到减小荷载的目的,主要方式为对墙后地下水位进行两次缓降法,即采用深井降水的方式将基坑内侧水位降至地表下 11.75 m,墙后封闭体内水位通过在围护墙上钻孔设置排水管降至地表下 5.1 m,这样可以直接降低坑外水位,减小墙后水土对围护墙体的压力,减小墙体变形,见图 4。

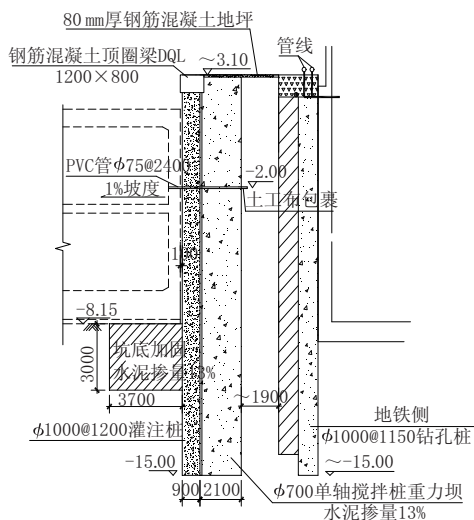


图4 围护剖面图(单位:mm)

(5)尽量减小施工荷载的作用,总包做好市场的调研工作,了解目前市面上能完成上述工艺的机器的型号和重量,从中选择功率满足且重量较小的机械,最终确定好施工机械尺寸,并控制施工荷载在 5 kN/m^2 以下。

(6)在基坑内侧进行搅拌桩贴边加固,采用 $\phi 700@500$ 单桩搅拌桩,水泥掺量13%,加固深度为3 m,宽度为3.7 m,以提升被动区^[1]土层强度。在搅拌桩与灌注桩之间采用压密注浆进行顶紧处理,确保加固效果。同时桩底进入强风化岩层一定距离。为了保证土体在坑底以上的部分在搅拌桩扰动后强度不降低,对搅拌桩在坑底以上的土体进行一定的水泥回掺^[2],掺量为7%。

(7)加强现场管理,制定应急预案,准备应急物资,主要包括:

a. 场地附近设置水位观测井^[3]。除常规监测项目外,还有专人每天巡视泄水管排水情况是否与水位观测井相匹配,如观测井水位较高但泄水管未出水,则表明泄水管存在堵住的情况,墙外水位增加会引起围护墙荷载增加,对围护不利,应采取措施疏通泄水管,确保基坑安全。对上述观测提出具体量化要求,确定好初始数据和报警数据,其中报警数据分为日变形报警值和总量报警值,两者有一个达到报警值就应该立刻启动应急预案。

b. 现场设置警示标牌,标牌上明确此处限载要求及相关负责人联系方式,如发生意外,可第一时间联系到相关人员。

c. 成立基坑应急指挥小组,其职责是:服从总包的统一指挥和安排,负责施工现场应急抢险救灾的指挥、部署、实施和督查,及时汇报抢险情况,妥善解

决、协调抢险工作及善后工作。

d. 准备应急物资,在基坑影响范围之外准备好装土的麻袋、钢管、注浆机等,如围护发生变形过大的情况,可第一时间停止施工并将麻袋在基坑内侧进行堆放或采取注浆的方式,等采取上述临时措施后,再开展应急会议以便发现问题及采取进一步的措施。

e. 应急预案启动后,按应急总指挥的部署,有效地组织周边施工现场的应急物资资源,及时对事故现场进行应急救援补充。

f. 此处开挖尽量选择在长期天气晴好的时段,因此需提前查好天气预报,一旦开挖应加快施工速度,见底后应立即浇筑混凝土垫层和底板。

4 计算过程

4.1 计算原则和假定

(1)采用有限元计算软件plaxis^[4]对本基坑开挖进行分析计算(见图5、图6)。竖向开挖过程的围护按支承在弹性地基^[5]上的梁系结构^[6]进行内力和变形分析,模拟实际的施工工序,对不同的工况计算内力和变形后进行综合包络。

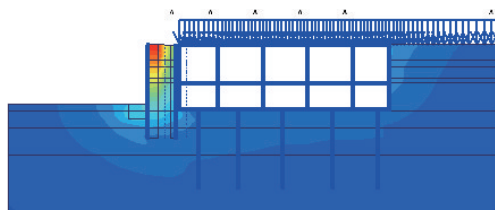


图5 开挖至基底水平变形云图(单位:mm)

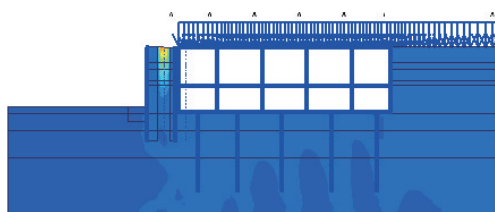


图6 开挖至基底竖向变形云图(单位:mm)

(2)采用水土分算^[7]的计算模式。土体采用Hardening-soil^[8]模型,该模型在岩土工程中应用较多。Hardening-soil模型是一种改进了的模拟岩土行为的模型,适用于所有的土,但是它不能用来解释黏性效应,即蠕变和应力松弛。对比Mohr-Coulomb^[9]模型,Hardening-Soil模型还可以用来解决模量依赖于应力的情况,这意味着所有的刚度随着压力的增加而增加。

(3)采用弹塑性无厚度 Goodman^[10]接触面单元模拟混凝土结构与土体之间相互作用。

(4)围护墙后荷载按实际情况进行输入。

(5)模型中设置分级水位线,场地水位取地面以下 0.5 m,坝体内取地面以下 5.1 m,基坑内取坑底以下 0.5 m。

4.2 计算结果

由计算可知,本车库基坑开挖围护墙体墙顶最大水平位移约为 26 mm,最大位移出现在围护桩顶部,最大竖向位移约为 1 mm。引起地铁底板和外墙最大水平位移和竖向位移分别为 5.2 mm 和 4.3 mm,由计算数值可知,基坑悬臂开挖卸土对地铁位移影响很小。现场照片见图 7。



图 7 施工现场围护照片

5 施工监测数据分析

该基坑工程目前已施工完毕,施工过程中对自身围护结构、周边场地及地铁内部进行了位移监测,监测结果见图 8、图 9。

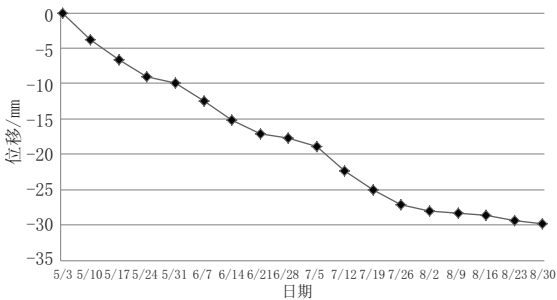


图 8 灌注桩水平变形曲线(单位:mm)

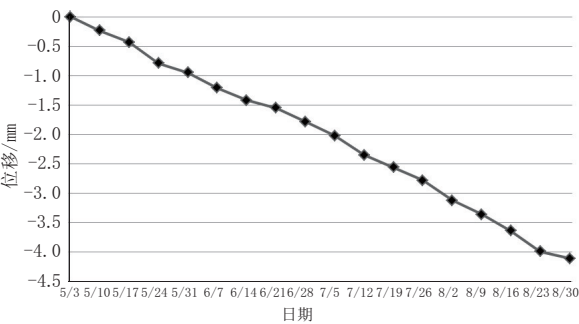


图 9 地铁内部邻近底板水平变形曲线(单位:mm)

监测从基坑施工开始到基坑回填结束,贯穿了整个基坑施工期间。监测结果显示本围护灌注桩墙体墙顶水平位移约为 30 mm,地铁内部底板及外墙位移均小于 5 mm,与软件计算结果基本吻合。设计及施工单位也对现场进行了巡视,围护墙体未出现明显倾斜,泄水管工作情况良好,有水量但并不是很大,与场地附近水位观测井基本一致。场地未出现明显裂缝,既有管线运行正常,地铁管理部门也反映一切正常,由此说明本工程施工对地铁影响很小。

6 结 语

本基坑开挖深度到达了 11.25 m,本方案从结构安全、节约成本、方便施工和保护环境的角度出发,采用了单排灌注桩结合搅拌桩重力坝的悬臂式围护型式。通过对墙后地下水位进行两次缓降法处理的方式,有效地减小了墙后水压力,结合施工荷载管控和现场全方面监测,达到了控制围护墙体变形、减小环境影响的目的。通过监测数据和现场巡视情况可知,基坑围护自身变形及对环境的影响均较小,且监测数值与软件计算结果基本吻合,从而证明了围护计算参数取值的正确性以及围护选型的合理性,同时结合施工过程的管控及应急预案的制定,确保了项目最终的安全。

参考文献:

[1] 徐伟,太俊,温永凯,等.软土基坑被动区加固强度参数试验研究及变异性分析[J].岩土工程技术,2024,38(1):110-115.
[2] 李黎明,郭立贤.水泥掺量及施工工艺对水泥搅拌桩成桩强度的影响[J].混凝土世界,2023,11(1):59-62.
[3] 唐九安,沈旭章,高安泰.承压水位观测井观测数据评价方法探讨[J].大地测量与地球动力学,2012,32(4):37-40.
[4] R. B. J. Brinkgreve. PLAXIS Scientific Manual[Z]. America: Delft University of Technology & PLAXIS b_v., The Netherlands, 2010.
[5] 徐中华,李靖,王卫东.深基坑工程竖向弹性地基梁法中 m 值反分析[J].建筑结构,2020,50(6):1000-1006.
[6] 袁行飞,蒋淑慧,丁锐.梁系结构冗余度及其特性分析[J].建筑结构学报,2016,37(11):167-173.
[7] 刘发前.再论“水土合算”与“水土分算”[J].城市道桥与防洪,2016(1):173-175.
[8] T. Schanz, P. A. Vermeer, P. G. Bonnier. America: The Hardening Soil Model, Formulation and verification. In: Ronald B. J. Brinkgreve, Beyond 2000 in Computational Geotechnics [Z]. Balkema: Rotterdam, 2000.
[9] 张晋梅,张震,仇荔斐.基于修正 Mohr-Coulomb 模型考虑非饱和效应的基坑开挖[J].科学技术与工程,2020,20(24):10003-10010.
[10] 李守德,俞洪良. Goodman 接触面单元的修正与探讨[J].岩石力学与工程学报,2004,23(15):2628-2631.