

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.08.081

# 郑州某地铁上盖建筑结构设计分析

张 帆

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

**摘 要:** 随着地铁设施的普及建设,地铁上盖建筑也大量涌现,但两者的设计及施工常存在不同步现象。相关地铁上盖建筑在设计及施工过程中均应考虑对下方地铁设施的保护问题。以郑州某地铁上盖建筑为例,论述了结构选型及施工方案确定的思路,并分析了工程对下方地铁设施的影响。

**关键词:** 地铁上盖建筑;地铁保护;回弹再压缩;变形控制

**中图分类号:** U231.3      **文献标志码:** B      **文章编号:** 1009-7716(2021)08-0313-03

## 0 引 言

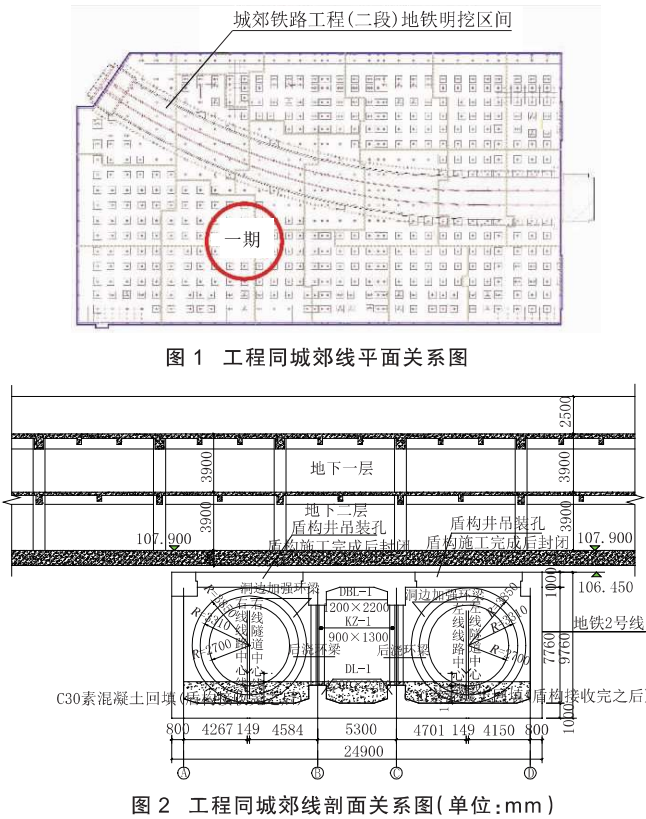
伴随地铁这一轨道交通形式在我国城市公共交通体系中体现越来越重要的作用,地铁上盖建筑也大量涌现。而地铁上盖建筑设计中最为特殊且重要的一点即要确保地铁结构安全及正常运营,这往往会给设计施工带来较大的难度。虽然现在有较多工程采用一体化设计,如北京八王坟车辆段上盖、上海地铁莘庄站、徐盈路站地铁上盖等<sup>[1]</sup>,但是也存在地铁结构设计未考虑上盖建筑,地铁施工在上盖建筑施工前已完成等情况。对于此类情况,上盖建筑设计施工过程中就需采取措施减小对地铁影响,确保相关影响满足地铁相关规范要求。

本文以郑州高铁南站西广场地下空间工程一期工程为例,分析工程施工及使用对于下方城郊铁路工程(二段)的影响,并在设计中提出减小相关影响的措施。

## 1 工程概况

本项目位于郑州高铁南站西广场地下,紧邻地铁功能区,为地下两层公共停车场建筑,且包括部分地下通道及公共空间。项目地面为广场,部分为地面道路。项目分为一、二两期工程,一期下方为郑州市南四环至郑州南站城郊铁路工程(二段)地铁明挖区间(下文称地铁),其为三跨箱体结构,总跨度约 25 m,与本工程竖向净距为 0.25 ~ 1.6 m,见图 1、图 2。

地铁原设计考虑工况为:地铁土建施工结束后



即回填覆土至设计地面标高。根据施工进度安排,本工程施工前,地铁主体结构已施工完成。

## 2 结构方案选型

根据施工进度安排,地铁施工完成后本工程才开始施工,地铁原设计仅考虑上方约 11.36 ~ 13.45 m 的覆土荷载,并未考虑与本工程合建而进行相应设计预留。针对此情况,结构方案的选择有以下三种:一、跨越方案,设置转换结构将本工程荷载直接传至地铁两侧围护桩及新增桩基上。二、合建方案,依据地铁柱位确定本工程相关区域柱位,底板以下设置短柱同地

收稿日期: 2021-01-24  
作者简介: 张帆(1988—),男,硕士,工程师,从事工程结构设计工作。

铁柱相连。三、分离方案,将本工程施工过程作为一个类似地铁施工覆土回填的过程看待,通过调整本工程建筑及结构布置、施工过程控制等措施,来确保地铁设施的安全及正常使用。

此三种方案各有优劣,方案一对地铁影响最小,可将本工程与地铁完全脱离开来,传力路径清晰,受力明确。但地铁跨度约 25 m,本工程与地铁之间净距无法满足跨越结构的净空要求。方案二中地铁与本工程合建,考虑到原地铁顶板设计荷载比本工程荷载要大,采用此方案能满足地铁原设计的要求,且施工方便。但一方面地铁柱网与本工程柱网斜交,若按地铁柱网进行相应布置,本工程建筑功能较难实现;另一方面,地铁与本工程的设计使用年限不匹配。方案三的设计前提是本工程整体荷载小于地铁原设计荷载,通过在设计上的措施来满足地铁设施安全性和使用性的要求。此方案需在设计中根据地铁做出相应的调整,且需根据地铁相关情况及要求,针对性的进行施工组织。但此方案在现有客观情况下对建筑功能影响最小,对地铁影响亦可控。经综合考虑,本工程采用方案三,即分离方案,地铁同本工程之间采用素混凝土回填以保护地铁设施。

### 3 地铁保护关键节点设计

#### 3.1 情况说明

(1)地铁原设计考虑覆土约 11.36 ~ 13.45 m,未设置抗拔桩。本工程结构整体自重比地铁顶板原设计荷载小,需采取措施保证地铁抗浮稳定性满足要求。

(2)地铁顶板原设计考虑的是均布土压力荷载,本工程采用框架结构,传至地铁顶板的荷载为按柱位分布的集中荷载,荷载形式不同,需核算地铁顶板结构的安全性及耐久性。

(3)分离式方案无法将本工程荷载直接传至地铁两侧,必须考虑本工程对下方地铁设施的变形影响。根据《城市轨道交通结构安全保护技术规范》(CJJ/T 202—2013)<sup>[2]</sup>、《郑州市城市轨道交通运营管理办法》,以及当地其他工程(郑东新区综合交通枢纽地下道路工程、郑州东站东广场地下空间开发工程等)的建设及评审案例,本工程各种加、卸载施工引起的地铁铺轨施工后的地铁结构设施绝对沉降量及水平位移量需小于 10 mm。

#### 3.2 设计应对措施

##### (1)地铁抗浮

地铁原设计无抗拔桩,为确保地铁抗浮稳定性满足要求,设计中采取以下措施:a. 建筑设计中,地铁上方区域不设置楼梯、坡道、下沉广场等无覆土或少覆土区域。确保地铁上方区域地下室顶板至少有 2 m 覆土。b. 结构设计中,地铁两侧设置抗拔桩,桩径 700 mm,桩长 25 m,桩间距 2.1 m,与地铁外墙净距 2.7 m。c. 施工过程中,要求地铁原有降水设施继续工作,降水方案采用原地铁基坑降水方案,本工程地下室主体结构封顶且顶板覆回填完毕后方可停止地铁基坑降水。

##### (2)地铁变形控制

地铁基坑深度约 20 m,地铁及本工程总荷载小于地铁基坑深度处原始土自重应力,地铁地基为超补偿状态,不产生附加应力引起的沉降,此时的地基变形即为基坑土体的回弹再压缩变形。土工试验结果表明,卸荷量较小时基本不回弹,当卸荷比  $R < 0.4$  时已完成的回弹变形不到总回弹变形量的 10%;再加荷时,随着再加荷量的增加,再压缩量开始发展较快,而后平缓,见图 3<sup>[3]</sup>。当再加载荷量为卸载量的 20%时,土样再压缩变形量已接近回弹变形量的 40% ~ 60%;当在加载量为卸载量的 40%时,土样再压缩变形量为回弹变形量的 70%;当在加载量为卸载量的 60%时,土样再压缩变形量为回弹变形量的 90%<sup>[4]</sup>。考虑到地铁设施的变形控制要求主要集中于地铁铺轨施工之后,设计中可根据土体回弹再压缩变形特点,将地铁上方相关区域的施工过程提前至地铁铺轨前,即将再压缩变形发展较快的施工过程提前,以确保铺轨后的施工及使用过程引起的地铁设施变形满足要求。而且按此施工方案,地铁铺轨后的施工过程为地铁两侧区域的施工,其对地铁设施的影响也较小。

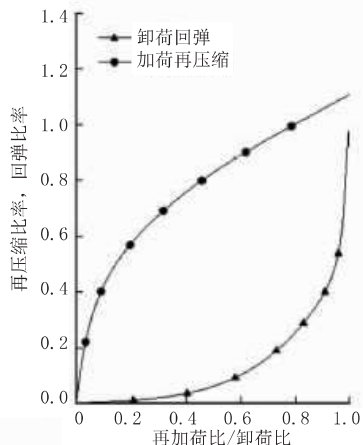


图3 土体回弹变形与再压缩变形典型曲线

(1)卸荷比  $R$

$$R=(P_{\max }-P_i) / P_{\max }$$

式中:  $P_{\max }$  为最大预压荷载,或初始上覆荷载;  $P_i$  为卸荷后上覆荷载。

(2)回弹比率  $r$

$$r=\left(S_e-S_{b i}\right) /\left(S_e-S_b\right)$$

式中:  $S_e$  为载荷试验中全部加荷完成后土体沉降变形稳定时产生的沉降量;  $S_b$  为载荷试验中卸荷全部完成后土体回弹变形稳定时余下的沉降量;  $S_{b i}$  为载荷试验卸荷过程中第  $i$  级卸荷后土体回弹变形稳定时余下沉降量。

(3)再加荷比  $R'$

$$R'=P_i / P_0$$

式中:  $P_0$  为卸荷前所加最大压力;  $P_i$  为再加荷过程中经第  $i$  级加荷后荷载值。

(4)再压缩比率

$$r'=\Delta S_{r e i} / S_e$$

式中:  $\Delta S_{r e i}$  为载荷试验中再加荷过程中经第  $i$  级加荷,土体再压缩变形稳定后产生的再压缩变形量;  $S_e$  为载荷试验中卸载阶段产生的回弹变形量。

具体的施工要求为:在地铁铺轨前完成地铁上方相关区域的结构施工及覆土回填施工;此外,要求地铁上方及两侧基坑开挖及结构施工对称同步进行,避免对地铁产生水平向作用。

3.3 模型计算

(1)抗浮验算

采用 MIDAS GEN 建立三维有限元模型(见图 4),模型包括本工程(包括抗拔桩)及下方地铁结构。两者之间通过系杆连接(仅受压),以模拟两者之间素混凝土回填做法。根据地勘参数设置底板、侧墙及桩底约束。抗浮验算模型,顶板覆土按 2.0 m 考虑。计算结果显示,抗浮验算工况下,地铁两侧抗拔桩上拔力最大值约为 780 kN,满足抗拔承载力要求。

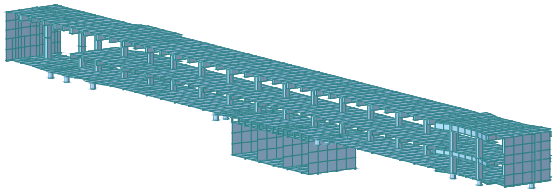


图 4 MIDAS GEN 模型局部示意图

(2)地铁结构承载力验算

根据上节所述 MIDAS 模型,按地面覆土 3.0 m 考虑,验算地铁顶板、侧墙及底板的承载力及裂缝,结果显示本工程作用下地铁结构的承载力及裂缝宽

度满足规范要求。

(3)地铁结构变形验算

采用采用岩土工程变形与稳定计算专业软件 PLAXIS2D,通过对实际工况的模拟,分析地下空间开发对下部地铁结构的影响。计算断面见图 5,根据地质资料、围护结构施工图、本工程及地铁结构施工图建立模型,地下空间开发位于地铁上方,平均净距约为 1.0 m。上部地下空间顶板覆土约为 3 m。为减小边界效应,计算范围横向取 215 m,竖向取 40 m。

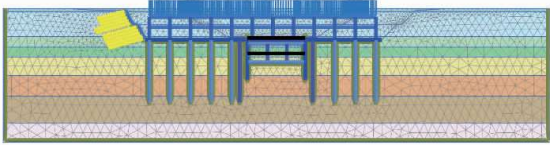


图 5 PLAXIS 计算模型示意图

上文已提及,地铁地基变形主要为回弹再压缩变形,计算中首先求得基础开挖完成后地铁地基的回弹量,在根据地勘所提供参数,分析得出各工况下地铁底板处地基最大变形量见表 1。本方案要求地铁铺轨前完成本工程地铁上方相关区域施工,可得出从地铁铺轨完成至本工程施工结束,地铁底板的最大变形量为 17.1-12.8=4.3 mm,基本满足地铁设施的变形控制要求。

表 1 各工况地铁底板处地基最大变形量表

| 工况表述                                       | 地铁底板处地基最大变形<br>(mm,向上为正值) |
|--------------------------------------------|---------------------------|
| 地铁基坑按设计工况逐级开挖至坑底                           | 41.6                      |
| 地铁结构施工结束                                   | 33.1                      |
| 地铁上部区域本工程基础底板施工结束 + 地铁两侧抗拔桩施工结束            | 25.2                      |
| 地铁上部区域本工程结构施工结束 + 顶板覆土回填施工阶段(此施工需在地铁铺轨前结束) | 17.1                      |
| 地铁两侧区域本工程基础底板施工结束 + 本工程抗拔桩施工结束             | 14.6                      |
| 本工程施工结束                                    | 12.8                      |

4 结 语

本工程位于城郊线明挖区间上方,地铁施工在本工程施工前已完成。以地铁原设计方案为依据,在充分考虑施工条件可行性、建筑功能合理性等要求下,设计采用了分离方案。通过调整建筑结构布置、设置抗拔桩及采取针对性的施工组织方案等措施来确保本工程对地铁影响满足相关要求。在施工组织设计中,充分利用了土体回弹再压缩的变形特征,将对再压缩变形影响较大的施工过程提前至地铁铺轨

(下转第 325 页)



### 3 结 论

削坡法通过减小隧道地表的坡角,降低埋深较大处的土层厚度,减小隧道的埋深,致使隧道周围应力向着均匀性和对称性的良性方向发展,从而减小偏压所造成的危害<sup>[8]</sup>。本文通过使用FLAC3D数值模拟软件,对回头沟隧道采用不同削坡角度时的作用效果进行模拟。通过对模拟数据的分析对比,得出如下结论:

#### (1)作用效果对比

a. 以右拱肩为例,削坡 $5^{\circ}$ 与削坡前相比,水平位移仅为2.627 mm,比之前降低了61%,竖直位移比之前降低了47.87%;削坡 $10^{\circ}$ 与削坡前相比,水平位移降低了92%,竖直位移比之前降低了77.3%。

b. 削坡前左、右拱肩位移差为18.621 mm,削坡 $5^{\circ}$ 左右拱肩位移差为8.857 mm,比削坡前降低了52.4%;削坡 $10^{\circ}$ 左右拱肩位移差为4.536 mm,比削坡前降低了75.6%。

#### (2)削方量对比

a. 削坡 $5^{\circ}$ 时,削去断面面积为429.092 2  $\text{m}^2$ ;

b. 削坡 $10^{\circ}$ 时,削去断面面积为774.451 5  $\text{m}^2$ 。

(3)当使用削坡法对地形偏压隧道进行处理时,

随着削坡角度的不断增加,隧道围岩的形变量渐渐减小,应力集中现象有所缓解,塑性区的区域逐渐减小,偏压所产生的危害越来越小。

(4)削坡 $5^{\circ}$ 和削坡 $10^{\circ}$ 的作用效果相差较小,而工程量相差一倍。综合考虑经济性以及对环境的影响,对于回头沟隧道来说,采用削坡 $5^{\circ}$ 较为合适。

#### 参考文献:

- [1] 朱同华,薛文博.浅埋偏压隧道地表及洞内开裂的岩体整治[J].隧道建设,2000(2):7-12.
- [2] 邱恩喜,苏谦,薛元,刘洋.早塘坡隧道口斜坡变形分析及防护措施研究[J].铁道工程学报,2016(7):41-45.
- [3] 彭雪峰.偏压隧道洞口段卸荷反压施工效能分析[J].公路交通科技应用技术版,2016(11):176-177.
- [4] 高天羽,罗志刚.隧道浅埋偏压洞口段施工技术[J].公路,2012(7):311-316.
- [5] 于勋.地质顺层偏压隧道施工力学研究[D].成都:西南交通大学,2004.
- [6] 周奎,何永东.浅析削坡减载在滑坡应急抢险中的应用[J].科技信息,2014(2):217+219.
- [7] 王乐华,郭永成,韩梅.削坡减载法在边坡稳定治理中应用[J].三峡大学学报(自然科学版),2009,31(4):57-60.
- [8] 张志杰.不同削坡减载方式对边坡稳定性的影响[J].湖南水利水电,2003(2):3-4.

(上接第315页)

前,确保铺轨后地铁设置变形满足要求。经分析计算,地铁铺轨后本工程引起的地铁明挖段最大变形量为4.3 mm,满足地铁设施的变形控制要求。

#### 参考文献:

- [1] 史春光.非一体化设计的地铁上盖结构的设计施工方案探讨[J].城

市建设理论研究(电子版),2018(3):99-101.

- [2] CJJ/T 202—2013,城市轨道交通结构安全保护技术规范[S].

- [3] 李建民,滕延京.基于载荷试验的土体回弹再压缩变形规律及计算方法[J].岩土力学,2018,7(39):113-120.

- [4] GB 50007—2011,建筑地基基础设计规范[S].