

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.10.067

# 深埋地下环路结构方案对经济性的影响

胡潇帆

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

**摘要:**近年来,为了突破城市规划局限于地面层的维度,大型地下空间项目的数量日益增加,使城市逐步演变为“立体城市”。地下环路,作为一种极具重要性的地下空间设施,不但起到联系相邻地下空间、地下空间与地上空间的作用,亦有效改善了城市核心区的交通问题。以深埋地下环路工程为切入点,从结构角度出发,分析了不同形式单建暗埋标准段的受力特征。为了保证其合理经济性,在限制相同力学参量的情况下,在用量层面对地下环路是否加设结构空腔进行了比选,验证加设空腔的必要性。

**关键词:**地下环路;暗埋段;经济性;结构优化

**中图分类号:** U459.3

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2023)10-0268-04

## 0 引言

随着城市化进程发展速度和深度地逐渐提升,出现了城市发展所面临的一些普遍性问题,如人口密集集中于某一区域,使得行人有效活动空间减小;民用汽车数量激增,加剧了地面层的噪声污染和空气污染,这些都对城市形象带来了负面影响<sup>[1]</sup>。为了解决上述问题,诸多城市突破了仅在地面层进行城市空间规划的维度,在其核心开发区域进行大型地下空间的建设,通过地下环路将地上地下串联起来,形成多维度的城市交通网络<sup>[2]</sup>。地下环路作为城市地下空间核心区伴生的一种交通设施,实现了地下空间集约化利用以及将地下空间和地面层串联,有效缓解了交通拥堵的问题,亦改善了地面层的品质<sup>[3]</sup>。

目前,地下环路深度已经从 3 m 的浅层地下空间向 10 m 以上的深层地下空间发展<sup>[4]</sup>,对结构提出了新的要求和挑战。地下环路一般采用厚板的结构形式,而深埋地下环路由于覆土较厚,对结构安全提出了挑战。为了承担深厚覆土带来的荷载,目前主要的处理方式有两种,一是在结构上增加空腔减少荷载,可以有效减小结构断面,但缺点是占用了中层地下空间;二是增加结构构件尺寸,缺点是结构效率较低。在工程中不同的方案对总投资会造成较大影响。

本文将某市地下环路项目为例,对深埋地下

环路工程的暗埋标准段是否加设空腔进行方案对比,用 Autodesk、Robot Structural Analysis、PyRobot 等多款软件进行结构受力计算,结合工程经济性与安全性,总结两种方案的适用范围。

## 1 工程概况

某地下环路位于城市中心区位,环路整体形成“三环(远期预留一环),五进四出(远期预留一进口)”的布局。该地下环路工程平面布置如图 1 所示,其中 1 号主环首尾相连形成闭合环路,线形为一半径为 278.75 m 的圆形,全长约 1.8 km;2 号主环与 1 号主环的西北区域以及北侧进口匝道部分合建,全长约 2 km;3 号主环为远期工程。为方便出入主环设置多处坡道及出入口连接地块与地面交通,主环环路标高均在地面下 15~17 m,属于深埋地下环路。

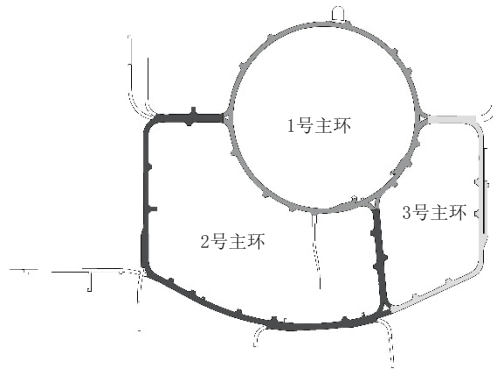


图 1 地下环路工程平面布置

为了满足不同建筑对地下空间的要求,主环有 2 车道、3 车道和 4 车道三种形式,三者均采用厚板结构,净宽分别为 8.2、11.6、17 m,其中四车道中设中隔墙,环路净高 5.9 m(含风道)。当不加设结构空腔

收稿日期: 2023-02-10

作者简介: 胡潇帆(1989—),男,硕士,工程师,从事工程结构设计工作。

时,覆土较厚,约为 7.5 m,地下水位于设计地面以下 1 m。

### 2 结构设计参数及控制指标

该工程主体结构采用 C35 混凝土,HRB400 级热轧钢筋。根据规范要求,工程结构设计使用年限为 100 a; 结构安全等级为一级, 结构重要性系数为 1.1;地基基础设计等级为甲级;地下主体结构防水等级为二级;环路结构抗震设防烈度 7 度(0.1g)<sup>[5]</sup>, 设防类别为重点设防类;设计地震分组为第二组。

主体结构采用箱涵结构,抗震等级为二级;结构设计按最不利情况进行抗浮稳定验算,不计摩阻力时抗浮安全系数不小于 1.1。地下环路结构分析时所受的荷载见表 1。竖向基床系数可取 45 000 kN/m<sup>3</sup>,水平基床系数考虑基坑开挖回填土,可取 15 000 kN/m<sup>3</sup>。结构具体受力示意图如图 2 所示。

表 1 结构荷载

荷载	结构
永久荷载	结构自重
	覆土荷载
	水平土压
	吊顶荷载
可变荷载	地面超载
	水平超载
	行车活载
偶然荷载	地震作用

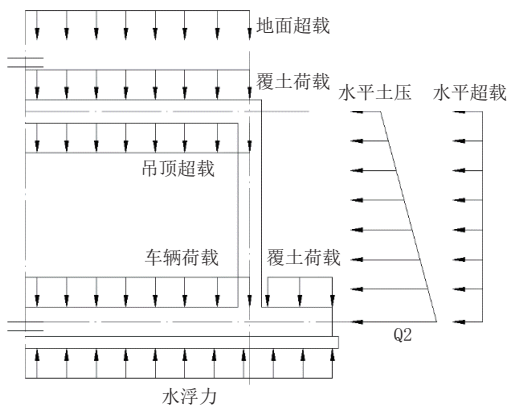


图 2 环路结构暗埋段受力示意图

地下环路结构在荷载准永久组合下,地下环路底板、侧墙迎土(水)面、顶板上表面以及室外露天构件最大裂缝宽度不应超过 0.2 mm,在构件背土面和内部结构构件的最大裂缝宽度不应超过 0.3 mm。

在计算主体结构配筋时限制一些力学参量来选取板厚,以保证结构受力的合理性:抗剪箍筋承担总

剪力一般不超过 30%;板配筋率控制在 0.6%~0.8%,局部较大处不超过 1.2%

### 3 暗埋标准段结构分析

地下环路暗埋段覆土达 8 m,深厚的覆土产生很大荷载,为了保证结构安全性,目前有“增加构件承载力”和“减少荷载”两种结构设计方案(见图 3、图 5、图 7):

(1)不设置空腔,增加构件承载力,其结构断面为“口”字形。该方案下覆土较大,需要增加结构截面尺寸及配筋,以提升结构承载力。其优点是仅仅占用一层地下空间,方便后续地下空间资源利用。其缺点是此时结构板厚通常超过 1.5 m,底板加厚导致基坑深度增加,同时,板钢筋有 2~3 排,施工难度也较大。

(2)在环路上方设置一层空腔,减少荷载,其结构断面为“日”字形。一般而言在埋深 4 m 以下的地下空间增设空腔不会影响路面管线敷设,所以以 4 m 为结构顶标高加设一层空腔。其优点是可以有效减少减小覆土荷载,从而构件截面、配筋相对较小。其缺点是空腔占用了中层的地下空间,本身并没有建筑功能,形成了一定的浪费。

以深埋地下环路二车道、三车道、四车道三种典型断面为对象,比较加设空腔与不加设空腔两种方案,通过 Robot 软件计算受力,根据板受剪、受弯所规定的力学参量合理选取板厚,计算其工程量并讨论方案的适用范围。

#### 3.1 主环三车道区段结构分析

当不加设结构空腔时,暗埋标准段选取的板厚如下:顶板 1 300 mm、外侧墙 1 300 mm、底板 1 500 mm,当加设结构空腔时,选取的板厚如下:顶板 1 100 mm、外侧墙 1 100 mm、底板 1 200 mm。具体结构尺寸如图 3 所示。

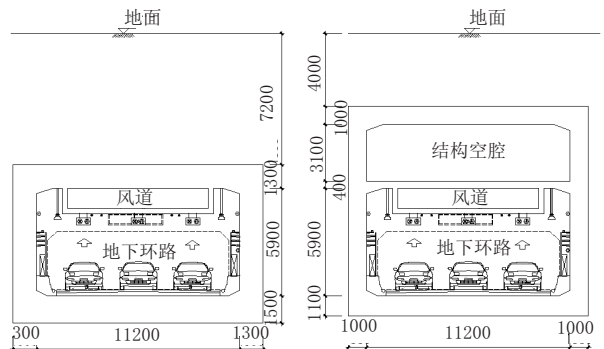


图 3 主环三车道区段比选方案结构布置图(单位:mm)

计算结果如图 4 所示。主环三车道标准段(不加设空腔)的板厚主要控制因素为顶板和底板的支座

剪力,此时抗剪箍筋承担总剪力的份额约为30%,对应的板配筋率约为0.6%~0.8%,相对较小。外侧墙的剪力相比于顶板较小,且其弯矩均在外侧,内侧无弯矩,说明外侧墙在荷载组合下未充分发挥结构受力的作用。经过统计,主环三车道标准段(不加设空腔)每延米的混凝土量为59.42 m<sup>3</sup>。

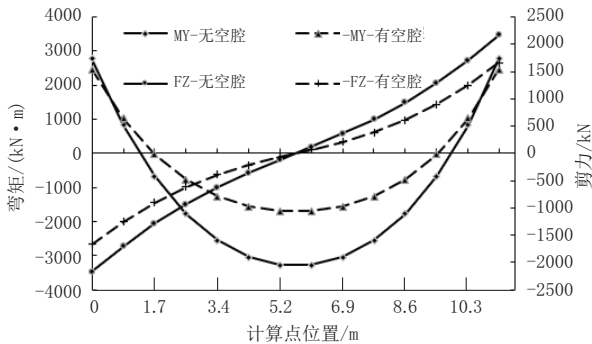


图4 主环三车道区段底板弯矩、剪力包络图

当加设结构空腔时,板厚主要控制因素为底板和侧墙的支座剪力,此时抗剪箍筋承担总剪力的份额分别为33%和21%,板配筋率约为0.6%~1.0%。从图4中可以看出,相比于不加设空腔的情况,外侧墙的抗剪和抗弯能力得到了适当的利用,结构顶板、底板和侧墙的弯矩、剪力分布更加合理。经统计,主环三车道标准段(加设空腔)每延米的混凝土量为56.51 m<sup>3</sup>。与不加设空腔时相比,每延米的混凝土量下降了2.91 m<sup>3</sup>,更加经济。

### 3.2 主环两车道区段结构分析

当不加设结构空腔时,暗埋标准段选取的板厚如下:顶板800 mm、外侧墙800 mm、底板1 000 mm;当加设结构空腔时,选取的板厚如下:顶板700 mm、外侧墙700 mm、底板800 mm,此时的覆土厚度从7.7 m减小到了5 m。具体结构尺寸如图5所示。

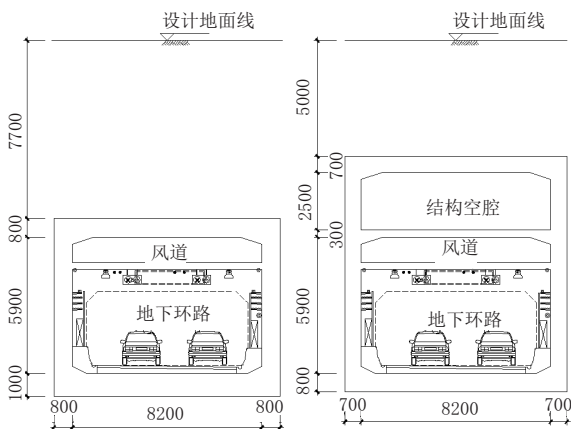


图5 主环两车道区段比选方案结构布置图(单位:mm)

计算结果如图6所示。当加设结构空腔时,板厚主要控制因素为底板支座处的剪力,此时抗剪箍筋

承担总剪力的份额为31%,对应的板配筋率约为0.7%~1.0%。经过统计,主环两车道区段(加设空腔)每延米的混凝土量为32.22 m<sup>3</sup>。从板配筋率和抗剪箍筋承担总剪力份额的结果统计可以看出,对于主环两车道区段,是否加设空腔对于主体结构受力特征影响并不大,结构板厚的主要控制因素均包括底板的支座剪力。与不加设空腔时相比,每延米的混凝土量增加了2.22 m<sup>3</sup>,且考虑到地下空间的利用率,主环两车道区段若仅为单建环路,不加设空腔较为合理。

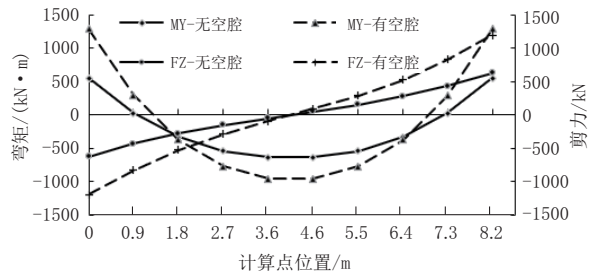


图6 主环两车道区段底板弯矩、剪力包络图

### 3.3 主环四车道区段结构分析

当不加设结构空腔时,暗埋标准段选取的板厚如下:顶板1 000 mm、外侧墙1 000 mm、底板1 100 mm;当加设结构空腔时,选取的板厚如下:顶板800 mm、外侧墙800 mm、底板900 mm,此时的覆土厚度从7.5 m减小到了5 m。具体结构尺寸如图7所示。

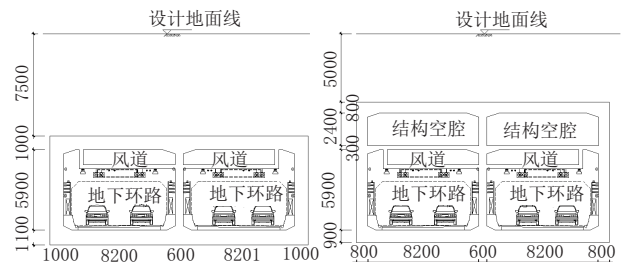


图7 主环四车道区段比选方案结构布置图(单位:mm)

计算结果如图8所示,主环四车道相邻区段(不加设空腔)的板厚主要控制因素为顶板中隔墙支座的弯矩,此时顶板在该支座处配筋率达到1.2%,其余板的配筋率约为6%~8%,抗剪箍筋承担总剪力的份额约为24%~26%。经过统计,主环四车道相邻区段(不加设空腔)每延米的混凝土量为62.95 m<sup>3</sup>。

当加设结构空腔时,板厚主要控制因素为顶板中隔墙支座和外侧墙底部支座的弯矩,此时顶板和侧墙在对应支座处的配筋率达到1.18%,其余板的配筋率约为6%~9%,抗剪箍筋承担总剪力的份额约为21%~23%。经统计,主环四车道标准段(加设空腔)每延米的混凝土量为63.63 m<sup>3</sup>。从板配筋率和抗剪箍筋承担总剪力份额的结果统计可以看出,对于

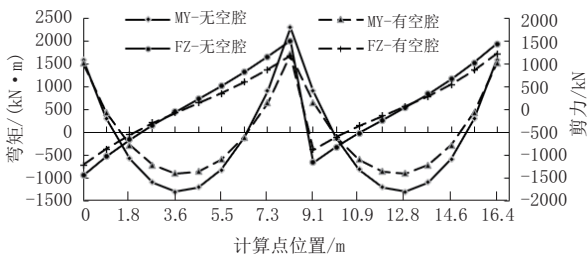


图8 主环四车道区段底板弯矩、剪力包络图

主环四车道区段,是否加设空腔对于主体结构受力特征影响并不大,结构板厚的主要控制因素均为顶板在中隔墙支座的弯矩。与不加设空腔时相比,每延米的混凝土量增加了 0.68 m<sup>3</sup>,且考虑到地下空间的利用率和施工难度,四车道区段若仅为单建环路,不加设空腔较为合理。

### 4 结 语

该文以深埋地下环路为研究对象,对不同的跨度及埋深的地下环路进行计算,研究了经济性,得出以下结论:

(1)针对覆土大于 7 m 的三车道地下环路,在保证浅层地下空间不被侵占的前提下,加设空腔能有效减少结构工程量。

(2)针对覆土大于 7 m 的两车道地下环路,加设空腔减少工程量不显著,经济性不明显,考虑到较小的截面导致钢筋配置的增加,且占用了中层的地下空间,建议不加设空腔为宜。

(3)针对多跨地下环路,情况与单跨类似,由于加设空腔会导致节点设计更为复杂,需要工程师结合工程实例进行判断。

(4)需要注意到空腔本身还可以提供管廊、机房等的布置空间,在地下环路综合性愈强的背景下,需要从各专业角度对经济性进行综合考量。

#### 参考文献:

[1] 俞明健.城市地下道路设计理论与实践[M].北京:中国建筑工业出版社,2014.  
 [2] 王寿生.地下空间发展历程与新思维[J].地下空间与工程学报,2022,18(3):733-742.  
 [3] 李少杰.城市核心区地下环路建设模式分析[J].地下空间与工程学报,2019,15(6):1591-1598.  
 [4] 俞明健,游克思.我国城市地下道路建设进展与趋势[J].城乡建设,2017(1):60-62.  
 [5] GB 51336—2018,地下结构抗震设计标准[S].  
 [6] GB 50010—2010,混凝土结构设计规范(2015年版)[S].

## 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: [cdq@smedi.com](mailto:cdq@smedi.com)