

城市地下综合体大跨度异型段结构设计分析

朱鑫龙

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市200092]

摘要:本文介绍了某在建城市地下综合体项目的异型段结构设计理念及计算分析。该项目为超大型城市地下综合体,总建筑面积约180万 m^2 ,为浅埋式箱型混凝土结构体系。该项目的关键点设计在于道路合流和分流点位置大跨度异型段的处理,对此提出采用密肋箱型截面结构计算分析,证明了使用该设计方法的合理性、可靠性和安全性,希望能为类似项目设计提供参考。

关键词:城市地下空间综合体;结构设计;超大跨度;异型段

中图分类号: TU92

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)06-0279-05

0 引言

在城市地下综合体的设计中,往往在地下道路合流和分流的位置,比如主线分匝道、匝道汇合进入主线的位置,由于车道数量突然翻倍,会形成超大跨度地下空间,单向跨度达到20 m以上甚至30 m。此类位置往往形成结构难点,需要针对性地计算分析。对于浅埋地道(覆土2~5 m),解决此类问题,常见的思路有(1)减覆土、(2)加板厚、(3)顶板采用折板、(4)顶板采用空心板,共四种方法,具体介绍如下:

(1)减覆土:在顶板以上部分设置空腔、或者人为抬高顶板标高,减少顶板覆土厚度,减轻了荷载,从而使大跨度结构成为可能。但是如果其中有管线或其他结构限制,此方法会受到约束。

(2)加板厚:通常隧道顶板厚0.9~1.1 m,在关键的大跨度节点,增加顶板板厚至1.4~1.5 m,采用有限元中的厚板单元计算,考虑板单元的面内、面外刚度以及整体结构的空腔效应。其优点是结构构造简单,施工方便,缺点是费材料,此方法在板厚大于1.5 m时往往经济性很差,因为混凝土自重较大,且过厚的顶板会引起大体积混凝土的施工问题,影响浇筑质量。

(3)采用折板:在断面的顶板位置采用折板,通常在顶板中支点和边支点的位置折角。其优点是对中支点、边支点的弯矩有一定程度的消峰,折板方案

的弯矩能比普通方案降低1/3,能节约混凝土和钢筋用量达33%以上^[1-2],缺点是拱形或折型顶板会对侧墙引起附加水平力,导致侧墙的墙根处抗剪不利,较难通过验算。折板作为一种可调节的手段,通过调整折角尺寸可以在抗弯和抗剪中获得平衡。

(4)采用空心板:是借鉴了桥梁结构中的封闭多箱室的箱梁形式,采用密肋腹板封闭箱型截面,把每一道腹板以及腹板两侧有效宽度内的上下翼缘,共同形成工字型截面^[2],充分利用腹板的竖向刚度,和腹板上下有效宽度内的翼缘板宽度,配置受压受拉钢筋,解决此条件下的大跨度问题。

该项目的节点类型多,形状各异,且顶板覆土普遍在2.5~5 m,属于偏深的埋深,且环廊节点下方还布置有管廊;跨度最大的节点位置有20~23 m跨度,属于需要做空腔并且跨度很大的情况。经过分析,这些节点较适合采用第四种空心板思路。

1 工程概述

该项目为超大型城市地下综合体,地下综合体总建筑面积约为180万 m^2 ,项目完工后将成为该地区最大的地下空间项目。

主要设计构成:地下一层为预留空间,是可做部分商业的同时也可联系两侧地块;地下二层为交通环廊,即作为车库同时也是机动车联络通道;地下三层是服务于综合管廊的夹层,为综合管廊进出关键管线、投放物料、对流通风、应急逃逸等功能而设置;地下四层为综合管廊,放置该区域内的各种管线。建成效果见图1所示。

收稿日期:2023-02-16

作者简介:朱鑫龙(1988—),男,工学硕士,工程师,主要从事结构设计研究工作。



图 1 项目示意效果图

2 主要技术标准

- (1)道路等级及设计速度:地下空间联络道,设计速度 30km/h;
- (2)地下联络道荷载标准:城-B 级;
- (3)抗震设防标准:抗震设防烈度为 7 度,场地类别为 II 类,设计地震分组第二组,特征周期 0.40 s。
- (4)抗震设防分类:重点设防乙类;抗震等级为三级;
- (5)结构使用年限:100 a;
- (6)结构安全等级:一级;重要性系数为 1.1;
- (7)地基基础设计等级:甲级;
- (8)混凝土抗渗等级:P8(局部管廊埋深超过 20 m 时为 P10)。

3 结构设计

3.1 结构设计原则

- (1)结构中的标准段采用平面杆系程序建立横向框架模型,纵向取每延米进行计算;
- (2)分别进行自重工况和水反力工况内力计算;
- (3)强度验算:按偏压构件,考虑结构重要性系数 1.1 进行强度验算;
- (4)裂缝验算:按 0.2 mm 最大裂缝宽度的控制要求进行验算;
- (5)抗剪验算:验算最不利截面的最小抗剪尺寸、抗剪强度,根据计算结果合理设置闭合抗剪箍筋;
- (6)抗浮计算:按最不利状态计算结构抗浮,不考虑侧壁摩擦,取 1.05 倍安全系数;
- (7)顶板收缩按降温 15℃考虑;
- (8)箱内外梯度温差按 10℃考虑;
- (9)结构按抗震等级采取相应的抗震构造措施。

3.2 大跨度异型段结构构造设计

该项目加宽段节点共 13 个,分上部有空腔、上部有地下一层空间两种,又分为带分支口、不带分支口两种(见表 1)。

A1 型、A2 型加宽段为不带地下一层空间,合并

表 1 加宽段位置与类型列表

加宽段类型	环廊上层结构	墙间跨度范围	形态
A1	密肋空腔	13~22 m	加宽段+分支口
A2	密肋空腔	13~23 m	加宽段+分支口
A3	密肋空腔	12~20 m	Y 型加宽段
B1	地下一层结构	12~21 m	仅加宽段
B2	地下一层结构	12~21 m	加宽段+分支口

为 A 类进行计算,但具体配筋单独计算;A3 型与 A1、A2 型相似,两侧墙壁板厚、配筋相同,仅墙的平面形态略有不同,且两墙之间最大跨度没有 A1、A2 型的大,因此可参考 A1、A2 型计算。

B1 型与 B2 型的上层为地下空间结构,下层为环廊,合并为 B 类加宽段进行计算。

3.2.1 交通环廊车库接口与综合管廊管线分支口合建节点

由于交通环廊车库接口没有侧墙支撑,纵向最大跨径 22 m,采用下翻梁跨越,梁高 2 m,利用车库出入口处标线的三角区设置 $\phi 1.3$ m(1.4 m)立柱外包钢板加强,并支撑在翻梁跨中,解决翻梁跨径过大问题。个别车库接口上方无地下一层空间的,采用做结构空腔的方法,控制覆土厚度 2.5 m,满足上方过雨污水管线的需求(见图 2、图 3)。

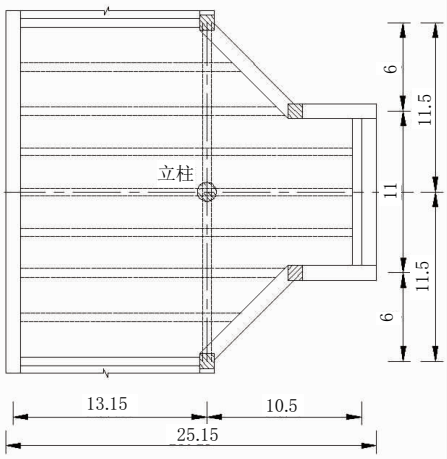


图 2 车库接口平面图(单位:m)

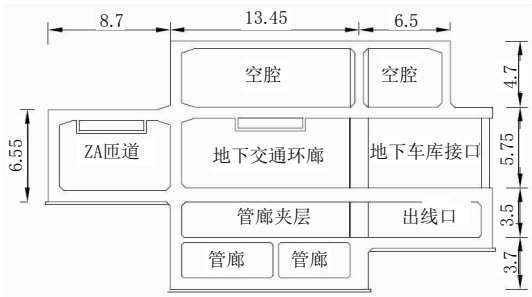


图 3 车库接口与综合管廊管线分支口合建节点断面图(单位:m)

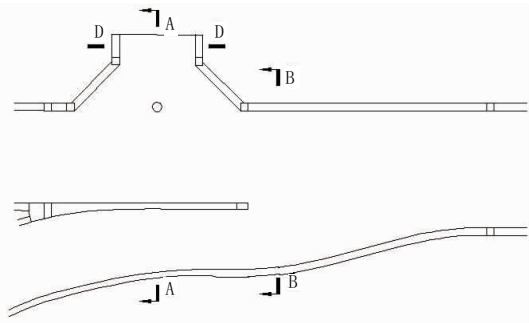


图 8 A1 型加宽段剖面位置示意图

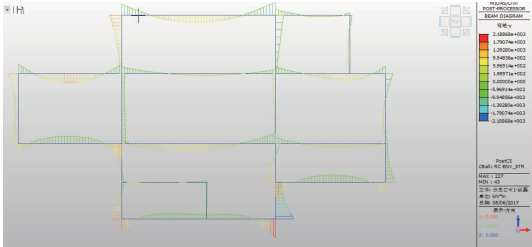


图 9 A-A 剖面弯矩图(承载力极限状态)

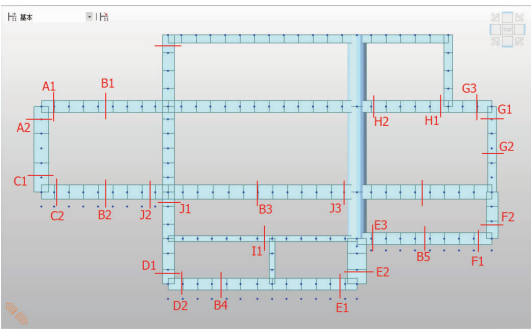


图 10 A-A 剖面:模型计算截面示意图

表 2 A-A 剖面:截面强度验算表(承载力极限状态)

截面	抗弯配筋	弯矩 / (kN·m)	剪力 / kN	轴力 / kN	截面厚度 /mm	抗剪箍筋
A1	2 排 C 28@100	1 157	1 039	-527	800	C16@150
A2	2 排 C 28@100	1 157	530	-1 098	800	C16@200
B1	1 排 C 32@100	1 039	0	-527	800	—
B2	1 排 C 32@100	887	0	-421	800	—
C2	2 排 C 32@100	972	892	-420	800	C16@150

表 3 A-A 剖面:截面强度验算表(正常使用极限状态)

截面	弯矩 /(kN·m)	剪力 /kN	轴力 /kN	裂缝 /mm
A1	905	820	-392	0.093
A2	905	411	-832	0.083
B1	823	0	-392	0.113
B2	693	0	-352	0.101
C2	658	708	-352	0.072

因此,其强度均满足要求;其裂缝也满足要求。

4.4 盈建科计算

采用 YJK 盈建科建立模型(见图 11),计算 A1 型加宽段,环廊加宽段和管廊分支口交叉处的立柱轴力、剪力、弯矩,加宽段腹板配筋,以及分支口交叉处互相交叉的腹板的配筋。

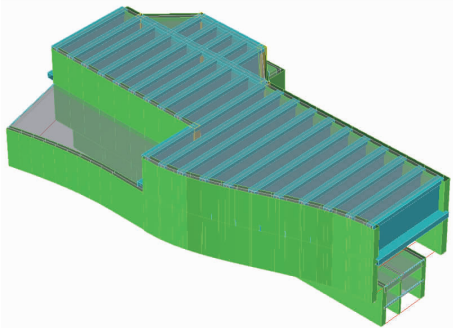


图 11 YJK 模型三维示意图

将空腹腹板+顶板+底板一起,模拟为工字型截面,工字型截面顶、底板宽度取为腹板间距,翼缘厚度等于相应的板厚,由于顶底板都算在梁内,因此楼板的厚度设为 0,不考虑其自重。

由于箱梁存在剪力滞后效应,在腹板与顶底板的交接处附近,正应力存在不均匀分布的情况,需计算上下翼缘的有效宽度。根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018),有效宽度与计算截面的位置、梁高与跨度之比有关。该项目因为覆土偏深,设计上倾向于加高空腔,所以当梁高 h 设计为 $h=5.3\text{ m}$ 时,对于 3 m 的腹板间距, $bi=1.5\text{ m}$, $bi/0.3=5$,满足 $h\geq bi/0.3$,因此翼缘有效宽度应采用翼缘实际宽度,即认为工字型截面上下翼缘全部截面均参与受力。这样,通过加高空腔,减少覆土的同时又增大了翼缘有效宽度,使参与受力的钢筋更多,提高了结构效率。表 4 为 YJK 的 A1 型计算结果汇总表。

表 4 YJK 的 A1 型计算结果汇总表

位置	最大跨度 /m	跨中正弯矩 / (kN·m)	跨中配筋	跨中裂缝 /mm	支座负弯矩 / (kN·m)	支座配筋	支座裂缝 /mm
加宽段最大跨	22.5	23 408	30C32	0.15	-3 657	20C32	0.15
工字型截面 A							
中柱横梁 B	11.5	14 428	22C32	0.15	-4 289	20C32	0.15
最上端梁 C	12	18 179	25C32	0.15	-5 468	20C32	0.15

与 Midas Civil 计算的 A-A 剖面对比可知,两者的结果均近似两端简支梁。

实际上,一面墙与工字型截面的交角介于垂直与平行之间不断变化,另一面墙始终与梁平行,因此工字型截面介于两端固接与铰接之间,但更倾向于铰接。为结构整体安全考虑,梁下缘受拉钢筋按 Midas 偏简支的计算结果配筋(跨中正弯矩更大),梁上缘负筋按盈健科偏两端固支的计算结果配筋(支座负弯矩更大)。

4.4.1 梁配筋:按工字型截面计算

工字型截面上缘:在受拉范围 3 m 内,实配 1 排 C 32@100,相当于每根梁在其范围内配置 30C32,满足要求。

工字型截面下缘:在受拉范围 3 m 内,实配 2 排 C32@100,相当于每根梁在其有效宽度内均有配置 60 C32,对于跨度最大的三根梁,再在腹板附近区域局部增加第三排 C 32,验算后满足要求。

4.4.2 板配筋

计算空腔顶板配筋时:板厚按实际板厚输入,程序计算板实际自重+上部土压力;

空腔顶板实际配筋,短跨方向受力筋 C22@150,长边方向受力筋按工字型截面受弯控制,为 C32@110,满足要求。

4.4.3 柱轴压比验算(见表 5)

提取 YJK 的地下一层的柱计算结果,加上夹层和管廊层的重量,进行柱轴压比验算。其中 A2 型加宽段由于轴力较大,将直径加大为 1.4 m,其余为 1.3 m。

根据《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3—2010),框架-剪力墙结构,抗震等级二级,轴压比限值为 0.85,均满足规范要求。

5 结 语

本文介绍了一个建筑面积约 180 万 m² 的超大

表 5 柱轴压比验算表

位置	柱底轴力 /kN	柱截面直径 /m	C40 混凝土抗压强度	轴压比	轴压比限值
A1 型加宽段中柱	20 415	1.3	19.1	0.73	0.85
A2 型加宽段中柱	21 713	1.4	19.1	0.83	0.85

型全埋式地下综合体的关键节点结构设计,采用空心板方案解决了较大覆土+大跨度的结构顶板受力问题。从中不难发现:

(1)通过两款软件对结构的有限元计算分析可知,对于大跨度的复杂结构,选取剖面进行验算是有必要的。该项目中的关键节点段通过对比验算,结构尺寸和配筋均满足设计要求。

(2)对于埋深较深的全埋式地下结构的大跨度段设计,可在结构顶部设结构空腔并在空腔内等距离加设腹板,以抵抗顶板土压力;根据项目实际情况,通过设定空腔高度和调整腹板间距,来控制有效翼缘宽度的取值,可以得到最优性价比结构。

(3)在大跨度地下结构的异型段的顶板设计中,灵活设置空心板结构,是一种较好的结构设计手法,可作为同类项目的经验参考。

参考文献:

[1] 刘建辉,郭乾坤,石玉华.浅埋地下大跨空间的合理结构体系研究[J].地下空间与工程学报.2019,15(3):865-870
[2] 刘发前,超大跨度地下矩形隧道结构型式及经济性分析[J].地下空间与工程学报.2018,14(3):792-798
[3] 侯圆,惠小记,王勇.超大跨度地下矩形隧道结构形式及经济性分析——以乌鲁木齐绕城高速(西线)工程五一隧道工程为例[J].工程技术研究.2022,7(122):129-131.
[4] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
[5] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[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