

# 地下闭合框架结构岔口段的处理

王 航

(北京市市政工程设计研究总院有限公司, 北京 100082)

**摘 要:**地下闭合框架结构的主要受力荷载为土压力,由于其受力模式与常规桥梁不同,与隧道也不同,特别是分岔处的处理对结构的受力影响较大,因此,利用闭合框架垂直分岔的工程实例进行了不同处理方式的对比计算,以便为设计者提供参考。

**关键词:**地下结构;闭合框架;垂直分岔;T型墙

**中图分类号:** U 412.373.1; TU 323.5      **文献标志码:** B      **文章编号:** 1009-7767(2016)03-0155-05

## Crotch Section Practice of Underground Closed Framework Structure

Wang Hang

随着城市交通压力的加大,地下空间的利用和开发,已经越来越引起城市规划者的注意。地下工程的发展空间非常广阔,目前已经在多处出现了地下多层立体交叉和单层分岔的路网结构,这种地下的立交系统从功能上完成了常规城市立交桥梁的作用,但是没有占用寸土寸金的城市地面,优势非同一般。但是,该结构形式的出现,也给桥梁工程师提出了很大的技术挑战。因为地下立交与地上立交桥梁的受力体系完全不同,另外这种地下交通,往往埋深相对浅些,可以采用明挖施工,并且不断地有路网接口,车道变宽、分岔异型居多,与常规的隧道工程有很大的不同。基于这种地下结构的功能需求和受力模式,设计人员多采用钢筋混凝土闭合框架结构来实现。因此,笔者结合深圳前海深港合作区地下道路工程,对地下闭合框架结构分岔的处理方式进行研究和模拟计算,以确定合理的处理方式。

### 1 工程概况

该工程为多点进出的地下道路,包含主线和多条匝道,部分匝道与主线或匝道与匝道斜交分叉,并且分岔形式多样。根据分岔角度的大小,可以分为夹角较小顺向分岔和夹角较大甚至近乎直角的垂直分岔两种。顺向分岔 2 条线路夹角较小,结构处理相对简单;垂直分岔夹角较大,结构处理相对较难。相对来说,顺向分岔处理原则争议不大;对于垂直分岔,不同工程师有不同的处理原则。笔者以前海工程第 4 标段 Z16 线 A3 块

侧面分岔为例,针对垂直分岔的情况进行讨论。

该块的设计条件为覆土厚 8.5 m,从净宽 9.25 m 的匝道分成了直行净宽 6.75 m 和岔分匝道净宽 9 m 的 2 条匝道,结构尺寸见图 1。

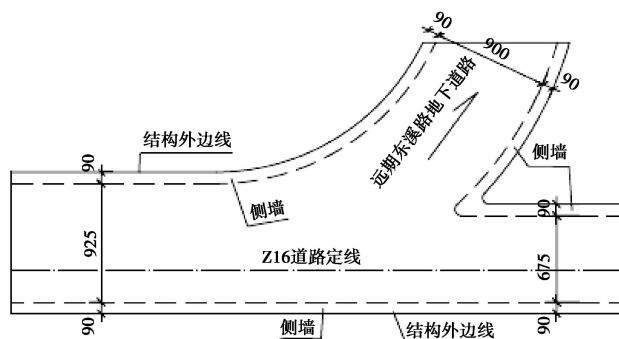


图 1 垂直分岔平面图(cm)

1) 施加于结构上的荷载包括<sup>[1-2]</sup>:永久作用,即结构自重、结构附加恒载(含顶面填土和内铺装)、侧墙土压力、侧墙水压力、混凝土收缩和徐变影响力、水浮力;可变作用,即地面车辆荷载及超载、地下道路车辆荷载、风机等设备引起的动荷载、车辆引起的侧墙土压力、施工临时荷载;温度作用。

2) 部分设计参数<sup>[1-2]</sup>为:填土重度 20 kN/m<sup>3</sup>,内摩擦角 30°,基床系数 28 000 kN/m<sup>3</sup>。

计算分析采用 Midas Civil 程序建立空间板单元模型进行空间计算,基底按只受压土弹簧模拟。

## 2 设计方案

针对垂直分岔角度较大的特点,工程师对其有 2 种处理方案。

### 2.1 方案 1

考虑到分叉处应力集中,需对分岔位置的侧墙进行处理。在满足道路功能的前提下,在分岔处将两侧受力不好的曲线侧墙变通为 1 个直线型的 T 型墙,避免了分岔处的应力集中,形成整体结构,从而保证了岔口与相接断面挠度的一致,极大地避免了分岔处受力不均现象的发生,见图 2。

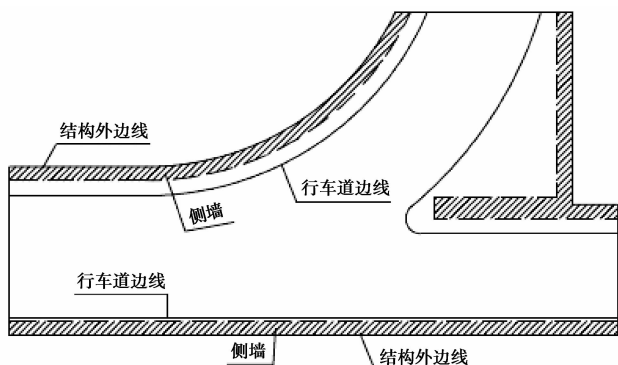


图 2 方案 1 平面图

针对该节段划分方案,利用 Midas Civil 计算程序,建立计算模型,见图 3。

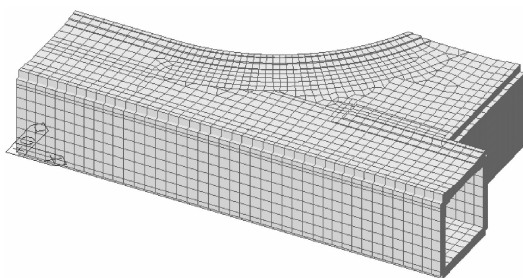


图 3 方案 1 计算模型

承载能力极限状态下<sup>[3]</sup>顶板的受力云图见图 4、5, T 型墙的受力云图见图 6。

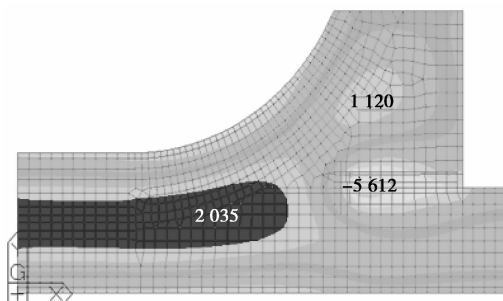


图 4 顶板  $M_{xx}$  (kN·m)

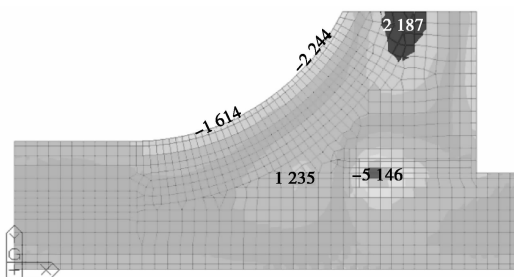


图 5 顶板  $M_{yy}$  (kN·m)

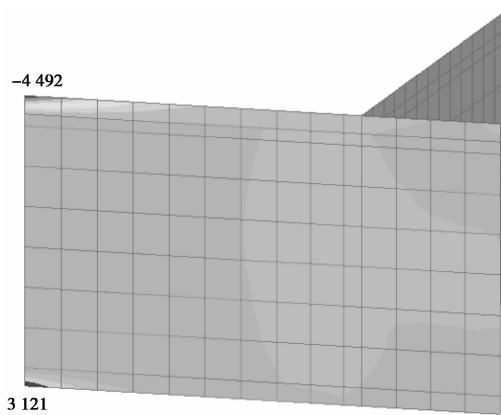


图 6 T 型墙  $M_{yy}$  (kN·m)

由上述计算结果可见,中墙前端处上、下顶底板的结构内力最大;在承载能力极限状态下,顶板在 T 型墙顶处的最大负弯矩达到了 5 612 kN·m,跨间的最大正弯矩均达到了 2 000 kN·m 以上,其中岔口出口处的最大弯矩达到了 2 187 kN·m。

顶板在承载能力极限状态下,中间部分的最大竖向位移为 3.3 cm,分岔出口处的最大竖向位移为 3.6 cm; T 型墙的最大位移发生在分岔后的尾端,最大值为 2.4 cm;曲线墙的最大位移为 2.4 cm。最大位移均发生在进出口处。

### 2.2 方案 2

考虑到该闭合框架为地下结构,主要的荷载来自于填土,在填土 8.5 m 的情况下,地面车辆荷载等代土层厚度为 0.72 m,相对于 8.5 m 的填土而言,显得微不足道。另外,计算结果表明,该类型结构中墙处顶底板是负弯矩最大的部位,而且是多方向控制。其原因在于该处周围 360°范围内的填土荷载均集中到了一点上,所以结果必然是惊人的。基于这样的想法,该方案在分岔后首先应保证中墙刚度满足受力要求,然后满足分岔后下一节段侧墙的施工空间要求后,再沿两分岔垂直截断。节段划分平面见图 7。

针对该节段划分方案,利用 Midas Civil 计算程序,建立计算模型,见图 8。

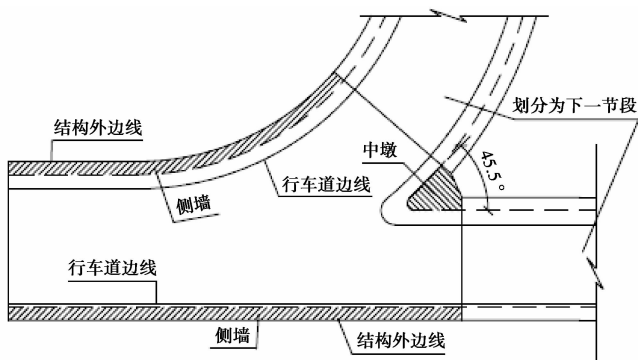


图7 方案2平面图

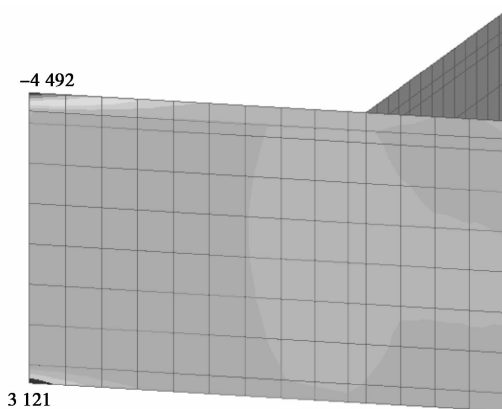


图11 T型墙  $M_{yy}$ (kN·m)

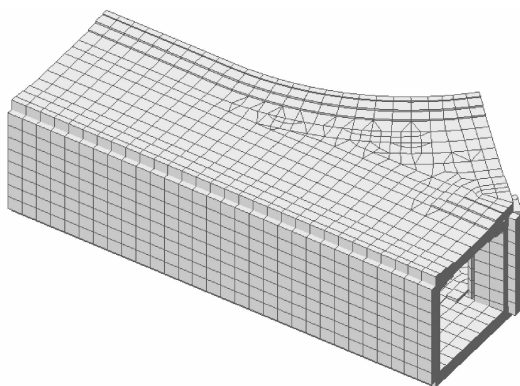


图8 方案2计算模型

承载力极限状态下<sup>[3]</sup>顶板的受力云图见图9~11。

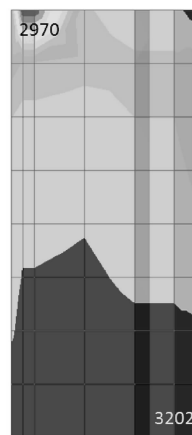


图12 立柱  $M_{yy}$ (kN·m)

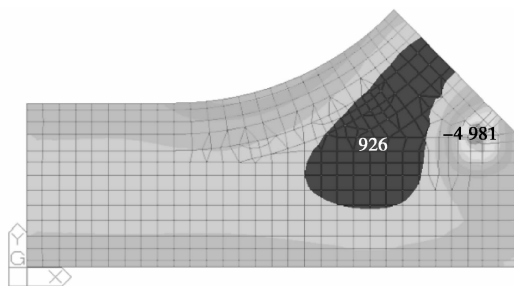


图9 顶板  $M_{xx}$ (kN·m)

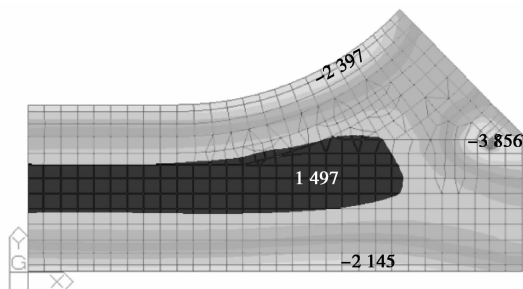


图10 顶板  $M_{yy}$ (kN·m)

立柱在荷载组合作用下<sup>[3]</sup>的受力云图见图12。

由上述计算结果可见：

1)在承载力极限状态下,顶板的最大负弯矩仍然发生在立柱的上缘,最大值与方案1的方向不同,而是发生在  $M_{xx}$  方向,这是因为切断了岔出部分力的传递,所以  $M_{yy}$  方向不再控制支点上缘的顶板受力,  $M_{xx}$  方向的最大负弯矩值仅为 4981 kN·m,比方案1的最大负弯矩减少了 12%;跨间的最大正弯矩值为 1497 kN·m,比方案1的最大正弯矩减少了 35%左右,岔口处正弯矩也不再控制设计。

2)立柱的最大弯矩也发生在顶底端,最大值为 2970 kN·m。该计算结果是在假定立柱侧面完全自由的情况下得出的。实际上,立柱与下一节段相接,存在纵向的相互约束,因此荷载要比计算值小一些。但即使是这样的内力情况,在受力方向设置直径 28 mm 的钢筋其间距 10 cm 也足矣。

3)顶板在荷载组合作用下的最大竖向位移为 1.27 cm,发生在中间正弯矩较大区域。立柱在完全自由情况下

顶端的最大位移为0.16 cm。实际上,立柱受到相邻节段侧墙的限制,其位移值将比计算值小得多,而内侧

曲线墙的最大位移仅为 0.2 cm。

汇总上述方案,其计算结果见表 1。

表 1 方案汇总结果

荷载组合	方案 1(T 型墙)				T 型墙	方案 2(单点支撑)				立柱
	中墙顶		跨中			中墙顶		跨中		
	纵向	横向	纵向	横向		纵向	横向	纵向	横向	
承载力弯矩/(kN·m)	-5 612	-5 146	2 035	2 187	4 492	-3 856	-4 981	1 497	926	2 970
最大位移/cm			3.60		2.40			1.27		0.16

### 3 原因分析

由上述 2 种节段划分方案的计算结果可见,节段划分对结构受力有很大的影响,与通常立交桥梁分岔处桥梁伸缩缝位置的影响情况完全不同,经过反复计算对比,笔者认为原因如下:

1)结构受力除了结构自重以外,主要荷载是顶板上面的填土荷载。与常规桥梁自重以外的主要荷载是车辆活载的受力情况完全不同,根据桥梁和地铁的相关规范<sup>[2,4]</sup>,填土厚度大于 0.5 m 时不计冲击力,地面超载在填土为 8.5 m 时的等代土层厚度仅为 0.72 m,相对于 8.5 m 深的覆土荷载,仅占不到 10% 的比例。基于这样的原因,就需要对 2 种方案进行填土荷载的仔细对比。对顶板而言,虽然作为超静定的空间异型板的受力,很难界定中墙到底承担了哪些范围的土荷载,但是根据板结构短边传力的原则,可以大致划分受力范围,见图 13。

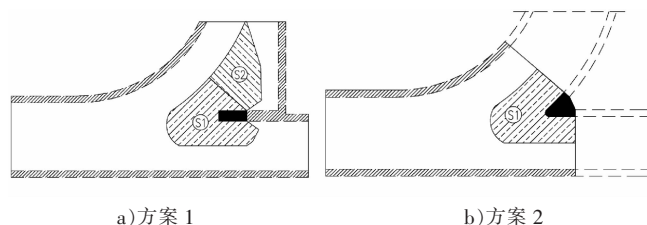


图 13 顶板受力范围示意图

图 13 中,方案 1 由于中墙端部在其周围 360°范围内的土体均对其产生作用,把 T 型墙外侧本来居于结构范围以外的填土,也加到了结构上面,对本就不利的中墙更增加了受力范围(见图 13 中 S1、S2);方案 2 由于在分岔后 S2 范围的填土产生的结构内力无法传至立柱,所以可以认为在立柱周围仅 S1 范围内的土体对其产生影响。从影响范围来看,方案 1 中墙承载的土体范围大致是方案 2 的 2 倍。另外对于分岔出口的跨中部分,由于一侧为直墙,另一侧为斜向曲线墙,其

土压力产生的荷载很难传递到斜墙上,只能传到对面的 T 型墙上,从而加大了 T 型墙端部顶板的负弯矩。

2)通过计算可知,方案 1 在分岔出口处的正弯矩很大,甚至超过了中间部分,而且方案 1 的整个跨间正弯矩普遍大于方案 2。其原因在于当 T 型墙距离岔口不远,分岔出口的跨中部分除了旁边的直墙,另一侧的曲线墙对其产生不了太大的拉力,也就是说周围的墙体对其约束作用较弱,势必产生较大的弯矩;另外,T 型墙的设置,人为地加大了框架分岔部分的跨径,跨间正弯矩必然加大。所以,对于这种主要承受土压力的钢筋混凝土框架结构,分叉处的受力情况较为复杂,应该在力的传递方向上,在尽可能短的位置进行切断或分块,否则将造成结构内力的进一步加大和复杂化。

3)从构造细节上看,T 型墙方案可以将纵横向钢筋穿过 T 型墙弯矩最大点,构造处理就会相对简单,但是如果不考虑支点、跨间增大的弯矩,必然增加钢筋用量,异型结构的钢筋指标为 342 kg/m<sup>3</sup>,而标准的闭合框架的钢筋指标约为 210 kg/m<sup>3</sup>,故从总的经济指标上看,T 型墙方案显得弄巧成拙,而且 T 型墙以及增加的顶底板范围,都将进一步加大结构的成本,显然方案 1 不够经济。

### 4 结论

1)对于埋深较深的闭合框架结构,覆土荷载是结构的主要荷载,在此情况下,分岔节段的划分位置必须以减少中墙的承载范围为原则。在保证中墙的合理尺寸——既要满足与相邻节段的对接空间,又要满足受力要求的情况下,应尽早切断结构,以减少承载范围内结构内力的传递,从而使结构的受力尽可能减少和简化。

2)方案 1 在感官上,似乎把受力集中的中墙进行了荷载的分摊,但是笔者认为受力最集中的中墙前角点,受力情况并没有因此而改善,反而加大了覆土的

(下转第 165 页)



基压实度,保证施工质量。碾压过程中表面应始终保持湿润。因堆载时间比较长,场地特别是坡面裸露的时间长,遇降雨时应采用防老化防渗编织布临时覆盖,以防止坡面水土流失。边坡采用防老化防渗编织布大袋砂护面,分层堆载时,边堆载边排水。

### 3 结语

在新滩互通 D 匝道 DK0+000—DK6+000 段的路基施工过程中,针对关键工序进行有效的质量控制,最终路基的施工质量满足设计要求,施工进度满足计划要求,为下一阶段施工打下坚实基础。

总之,路基吹填砂施工中,管线送砂时,噪声小,没有扬砂,对沿线的居民和环境影响小;更重要的是减少了大型机械的进场施工,更有利于现场管理和控制,可以有效地提高工作效率和施工质量。

为了确保施工质量,在施工过程中,必须针对施工关键工序,采取相应的控制方法确保施工质量,例如:对水塘进行清淤晾晒处理、采用梯形断面围堰、分期

分层吹填、压实度控制、合理布置路基排水系统等,都能有效地控制各工序的施工质量。MET

### 参考文献:

- [1] 刘俊杰. 多水塘区域路基吹填砂施工技术[J]. 城市建筑, 2014(30):91-92.
- [2] 陈端阳. 吹填砂路堤施工[J]. 湖南交通科技, 2005(2):46-47.
- [3] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司. 公路软土地基路堤设计与施工技术细则:JTGT D31-02-2013[S]. 北京:人民交通出版社, 2013.
- [4] 周翰斌, 郑彬. 高等级公路路堤吹填砂施工中若干问题的处理[J]. 路基工程, 2006(2):110-112.
- [5] 张耀海. 软土路基吹填砂施工方法[J]. 广东建材, 2010(5):78-82.
- [6] 夏立峰. 吹砂填筑填砂路堤施工方法[J]. 山西建筑, 2004, 30(3):116-117.

收稿日期: 2015-12-08

作者简介: 宁伟,男,工程师,学士,主要从事建筑施工工作。

(上接第 158 页)

承载范围。另外方案 2 中立柱的受力也在合理可控的范围内,所以方案 2 的切分方式更为经济合理。

### 3)构造细节的处理非常关键。

计算表明,中墙、直墙墙身受力不大,但是曲线侧墙纵向以及板墙相接的拐角处、立柱的顶底端是内力较大的位置,需要有针对性地进行构造加强。另外立柱上下缘对应的顶底板受力较为不利,立柱根部剪力较大,所以在满足净空要求的前提下需要在立柱周围加大加腋尺寸,增加斜筋和吊筋的数量和密度,以满足结构的需求。MET

(上接第 162 页)

结构的水平位移由顶部向下逐渐增加,达到最大水平位移后又逐渐减小,呈现出“大肚”形。

2)围护结构侧向水平位移最大值为 19.2 m,最大位移出现在开挖面附近,因此在基坑开挖至坑底时,需加强施工监测,防止出现更大的变形,影响基坑施工安全。

3)基坑开挖对临近建筑物倾斜的影响与其相对位置有关,邻近建筑物基础距离基坑越近,建筑物基础变形越大。MET

### 参考文献:

- [1] 龚晓南,高有潮. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京:中国建筑

### 参考文献:

- [1] 中交公路规划设计院有限公司. 公路桥涵地基与基础设计规范:JTG D63-2007[S]. 北京:人民交通出版社, 2007.
- [2] 中交公路规划设计院. 公路桥涵设计通用规范:JTG D60-2004[S]. 北京:人民交通出版社, 2004.
- [3] 中交公路规划设计院. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥梁设计规范:JTG D62-2004[S]. 北京:人民交通出版社, 2004.
- [4] 北京城建设计研究总院. 地铁设计规范:GB 50157-2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2013.

收稿日期: 2015-12-21

作者简介: 王航,女,高级工程师,硕士,主要从事桥梁设计工作。

筑工业出版社, 1998:4.

- [2] 秦昊. 地铁车站基坑开挖对邻近地下管线的影响研究[D]. 北京:中国地质大学, 2010.
- [3] 郑刚,李志伟. 不同围护结构变形形式的基坑开挖对邻近建筑物的影响对比分析[J]. 岩土工程学报, 2012(6):969-977.
- [4] 郑刚,李志伟. 基坑开挖对邻近不同楼层建筑物影响的有限元分析[J]. 天津大学学报, 2012(9):829-837.
- [5] 潘久荣. 地铁车站施工基坑开挖对临近建筑物的影响研究[D]. 南昌:华东交通大学, 2012.

收稿日期: 2015-12-27

作者简介: 陆善佳,男,工程师,硕士,主要从事隧道与地下工程的设计工作。