

广州地铁4号线大直径单圆双线盾构施工段的线路平面设计

刘延晨

(广州地铁设计研究院股份有限公司, 510010, 广州//高级工程师)

摘要 介绍了采用大直径单圆双线盾构施工技术与传统盾构技术的设计差别。详细阐述了左右线平面设计方法及比选。基于广州地铁4号线,对线间距等关键参数进行了计算。从防火门设置、建筑限界、施工误差等方面校核了线间距取值的合理性,并最终确定施工线位置。

关键词 地铁;大直径盾构;线间距;线路平面设计

中图分类号 U231.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.08.005

Line Plane Design of the Large Diameter Single Circle-Double Track Shield Construction Section on Guangzhou Metro Line 4

LIU Yanchen

Abstract There are obvious differences between the large diameter single circle-double track shield technology and that of the traditional shield. In this paper, the plane design method of left and right lines are elaborated and compared. Taking Guangzhou metro Line 4 as an example, key parameters like the line spacing are calculated, the rationality of line spacing is checked from the aspects of fire-proof door setting, construction clearance and engineering errors. Finally, the location of construction line is determined.

Key words metro; large diameter shield; line spacing; line plane design

Author's address Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., 510010, Guangzhou, China

大直径单圆双线盾构机的出现,改进了软土地区单一的区间隧道施工方法^[1-2]。大直径单圆双线盾构(以下简称“大盾构”)的施工,可有效减少软土沉降对工程实施的影响,加快工程实施进度。大盾构技术已在地铁隧道施工中成功应用,并积累了大量的设计及施工经验^[3-4]。

广州地铁4号线(以下简为“4号线”)北起黄

村站,南至南沙客运港站。线路全长49.8 km,为广州中心区连接南沙新区的南北向快线,采用设计速度为90 km/h的4节编组L型车。在4号线最南端,靠近珠江岸边处存在厚20~30 m的软土层。为减少软土沉降对工程实施的影响,在该软土段采用内径为10.3 m的大盾构施工。大盾构施工段长约1 489 m,其断面如图1所示^[5]。如何在大盾构方案下开展线路平面设计是本次研究的重点。

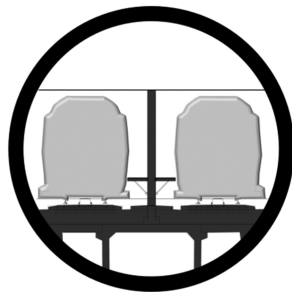


图1 大盾构横断面图

1 大盾构与传统盾构的设计差别

内径为5.4 m或5.5 m的传统盾构与内径为10.3 m的大盾构在设计上存在以下差别。

1.1 最小施工半径及管片厚度

传统盾构适用于半径不小于250 m的曲线段及直线段。大盾构适用于半径不小于800 m的曲线段及直线段。传统隧道管片厚度为0.3 m;大盾构隧道的管片厚度为0.5 m^[6],其抗压能力更强。

1.2 曲线位置

传统盾构为单洞单线,其左右线分开施工;在曲线段,可通过隧道的整体偏移来满足列车转弯要求。大盾构为单洞双线,其左右线位于同一个隧道内(由中隔墙分离左右线);在曲线段,只能通过加宽左右线的线间距来满足列车转弯要求。

1.3 线路平面设计

传统盾构段,采用两线设计即可满足施工要求。大盾构需要采用三线设计(左线、施工线和右线)。其中左线与右线只适用于轨道铺轨,不能作为大盾构施工线;线路施工线才是大盾构施工的基础线(如图2所示)。一般施工线布置依据左右线设计,位于左右线的中间位置。因此,待左右线确定后,大盾构施工线才确定。

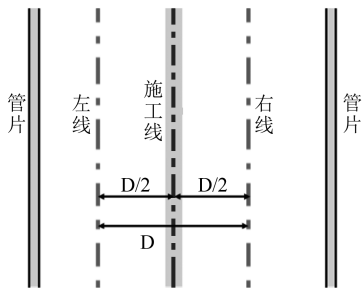


图2 大盾构的线路平面三线设计

2 左右线的线路平面设计

在大盾构直线段,只要左右线线间距确定,左右线即可确定线路设计方案。而施工线可通过偏移左线或右线来实现,其设计比较简单。

在大盾构曲线段,由于需要加宽左右线线间距,故要采用专门的设计方法。在我国,对于共底结构(如左右线共墩高架、单洞双线盾构隧道、单洞双线矿山隧道等),左右线加宽的设计有同心圆设计和直曲一致设计。

2.1 同心圆设计

同心圆设计是一种内、外圆为同圆心的设计^[7],要实现左右线在圆曲线位置的等线间距。同心圆设计原理如图3所示。

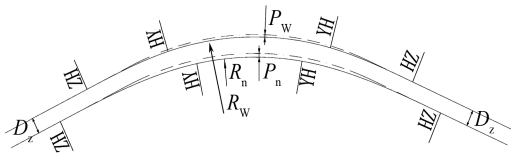


图3 同心圆设计原理图

为满足内外曲线同心要求,有:

$$R_w + \frac{l_w^2}{24R_w} - \left(R_n + \frac{l_n^2}{24R_n} \right) = D_z \quad (1)$$

式中:

R_n ——内侧曲线半径;

R_w ——外侧曲线半径;

l_n ——内侧曲线缓和曲线长度;

l_w ——外侧曲线缓和曲线长度;

D_z ——直线段线间距。

为满足曲线加宽要求,内外圆曲线的移动量之差应等于曲线加宽量:

$$P_n - P_w = w \quad (2)$$

即:

$$\frac{l_n^2}{24R_n} - \frac{l_w^2}{24R_w} = w \quad (3)$$

式中:

P_n ——内圆曲线移动量;

P_w ——外圆曲线移动量;

w ——曲线加宽量。

$$R_w - R_n - D = w \quad (4)$$

根据式(2)~(3)可知, l_n 并非整数。根据式(4)可知:曲线段线间距与直线段线间距不一致;不同半径的曲线段线间距也不一致,并非整数。由此可见,同心圆设计并不简便,给设计和施工带来不便;此外,施工线还要以左线或右线为基准再开展同心圆设计,该设计过程太过复杂。故不采用同心圆设计。

2.2 直曲一致设计

直曲一致设计是一种类同心圆的设计。其设计原理为:直线段最小线间距 $D_{z,min}$ 要满足限界、土建和设备安装的左右线最小距离;在直线段最小线间距基础上,加上两倍曲线段最大加宽量(考虑了曲线分左右转,并保证直线位置对称的要求)即得到全线通用的线间距 D 。故有:

$$D = 2w_{max} + D_{z,min} \quad (5)$$

式中:

w_{max} ——大盾构曲线段最大加宽量。

此时, $R_w = R_n + D$ 。可见,直线段与曲线段线间距一致,即为直曲一致设计。故有:

$$R_w - R_n = D \quad (6)$$

直曲一致设计相对比较简单:只要确定了 D 和 R_n ,即可通过式(6)得到 R_w ;由于 $l_n = l_w$,施工线可直接以左线或右线为基准,通过直曲一致设计得到。

2.3 左右线设计方法选择

综合比较上述两种设计方法,直曲一致设计的实施比较简单。故本段采用直曲一致设计。直曲一致的关键是要确定左右线的线间距 D 。

3 关键参数计算及验证

3.1 $D_{z,min}$

根据限界和工点提供的资料,大盾构直线段线

间距主要受疏散平台宽度、分隔墙位置、疏散平台处的车辆设备限界(以下简为“设备限界”),以及设备限界与疏散平台之间的安全间隙控制^[8],如图4所示。

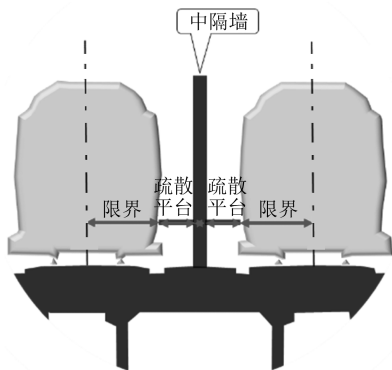


图4 线间距控制因素

根据 GB 50157—2013《地铁设计规范》,当疏散平台位于隧道一侧时,疏散平台一般情况下的宽度不宜小于 0.70 m,疏散平台边缘至车辆设备限界的安全间隙不宜小于 0.05 m^[5]。根据 GJJ 96—2003《地铁限界标准》,疏散平台处的设备限界半宽为 1.522 m^[9];分隔墙厚度为 0.300 m。因此,理论上 $D_{z,min}=4.844$ m。考虑到疏散平台边缘至车辆设备限界的安全裕量,也为便于设计, $D_{z,min}$ 取 4.9 m。

3.2 曲线段最大加宽量 w_{max}

在大盾构双线单洞区间,曲线处应根据限界给予加宽,以满足车辆的设备限界要求、保障列车运行安全^[10]。对应大盾构段,在曲线处车辆左右倾斜只在疏散平台处产生加宽,加宽量可通过式(7)、(8)计算得到。

对于 L 型车,疏散平台距离轨面高度为 0.8 m,平台边缘处车辆设备限界内侧加宽量 w_1 (mm)、外侧加宽量 w_2 (mm) 计算公式如下。

$$w_1 = \frac{20\ 510}{R_w} + \frac{850 \times h}{1\ 500} + 15 \quad (7)$$

$$w_2 = \frac{26\ 055}{R_n} - \frac{850 \times h}{1\ 500} + 15 \quad (8)$$

若(8)式计算结果小于 0,取 0 值。

式中:

R_w ——内侧曲线半径,m;

R_n ——外侧曲线半径,m;

h ——曲线超高,mm。

本段大盾构最小内圆半径为 800 m,应对的超高为 108 mm;最小外圆半径为 805.2 m,对应超高

为 106 mm,代入上式得出内外加宽量之和为 126 mm。为了便于计算和设计,取整为 0.15 m。

3.3 D 的计算及校核

综合上述, $D=5.2$ m

本文主要从区间联络通道防火门、建筑限界、大盾构施工误差等方面分析 D 是否满足相关要求,以校核 D 的合理性。

3.3.1 防火门及联络通道要求

4 号线大盾构段全长约 1 489 m,至少应设置两处联络通道。由于分隔墙只有 0.3 m 厚,故防火门不能太宽,且必须设置在直线段,否则将会影响 D 的取值。

在必须设置防火门的位置同时设置了 2 道联络通道。联络通道宽度为 2.00 m,对应的防火门采用双开门,且单扇防火门净宽 0.83 m。可得,在联络通道处的最小线间距要求为 5.00 m(如图 5 所示)。 D 为 5.2 m,大于 5.00 m,满足了大盾构直线段设置联络通道的要求。

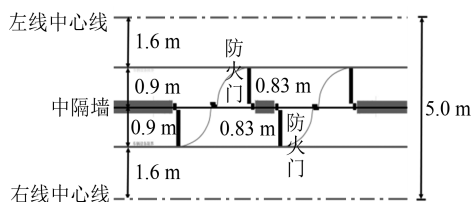


图5 大盾构联络通道处最小线间距要求示意图

3.3.2 建筑限界的要求

4 号线所用的大盾构内径为 10.3 m。根据限界专业计算,该大盾构隧道的建筑限界直径为 9.9 m,左右两侧预留了 0.2 m 的施工富裕量,可以满足盾构机具的要求。

3.3.3 施工误差的考虑

在大盾构施工时,应在隧道中心位置预留可设置分隔墙的口子件。在大盾构施工过程中可能会出现施工误差,盾构机的施工偏差也会导致预留的分隔墙口子件向左或向右偏移,进而使分隔墙施工也向左或向右偏移,从而出现车辆侵限。

在直线段,5.2 m 的线间距设置不仅满足了联络通道的防火门设置要求,还在两侧疏散平台位置为施工误差各预留了 0.1 m 的富裕量。

在曲线段,在 $D=5.2$ m 时,疏散平台一般按照 0.70 m 宽度预留,在困难情况下疏散平台宽度取 0.55 m。因此,在曲线段,只要盾构的施工偏差左右不大于 0.15 m,都可满足规范要求。

3.3.4 小结

综上所述,大盾构采用的 5.2 m 线间距可以满足盾构机具、车辆设备限界、其他设备安装、中隔墙设置及防火门安装等要求,并预留了 0.10~0.15 m 的施工误差富裕量。可见该设计是合理的。

4 施工线设计

根据直曲一致设计,施工线依据左线或右线设置,位于左右线的中间位置,距离左右线均为 2.6 m。具体如图 6 所示。

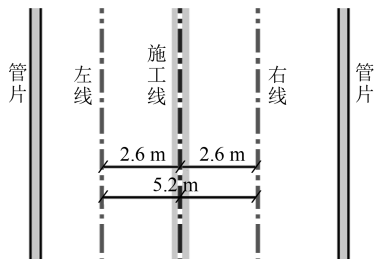


图 6 施工线的位置示意图

5 结语

大盾构施工线路采用三线设计,明显区别于传统盾构施工。在曲线段,通过加宽左右线线间距来满足车辆转弯要求。从设计角度来看,三线平面设计建议采用直曲一致设计,其设计比较简单。

对于左右线的线间距,本文从车辆设备限界、

疏散平台、中隔墙、防火门、大盾构施工等角度进行论证。论证结论表明:左、右线线间距采用 5.2 m 是合适的;施工线位于左右线的中间,与左、右线的线间距均为 2.6 m。

参考文献

- [1] 梁锋. 大盾构超深中间风井的设计与施工[J]. 山西建筑, 2013(19): 151.
- [2] 王建,叶宇航,刘加福,等. 软土地基大直径地铁盾构隧道运营期衬砌结构受力特性现场测试研究[J]. 隧道建设, 2017(7): 781.
- [3] 徐秀峰,黄爱军,王春凯,等. 地面超载软土大直径地铁盾构隧道结构变形预测[J]. 城市轨道交通研究, 2018(1): 57.
- [4] 陈卫军. 大直径盾构在轨道交通中的应用前景分析[J]. 现代城市轨道交通, 2017(4): 39.
- [5] 广州地铁设计研究院股份有限公司. 广州市城市轨道交通四号线工程区间结构施工图[R]. 广州:广州地铁设计研究院股份有限公司, 2016.
- [6] 李宏安. 大直径盾构建造地铁区间及扩挖车站工程实践及应用前景分析[J]. 现代隧道技术, 2015(5): 16.
- [7] 刘延晨,刘国祥. 南京地铁机场线高架 U 梁段同心圆设计[J]. 城市轨道交通研究, 2014(8): 62.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2013.
- [9] 中华人民共和国建设部. 地铁限界标准: GJJ 96—2003[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2003.
- [10] 李睿,杨作刚,欧阳全裕. 地铁线路最小线间距与加宽计算研讨[J]. 城市轨道交通研究, 2018(4): 53.

(收稿日期:2019-12-07)

(上接第 18 页)

隔振器布置数量和支撑失效等情况对隔振器动力学性能的影响。研究结果表明:浮置板轨道橡胶隔振器减振性能能够满足要求,对城市轨道交通减振降噪作用显著。

参考文献

- [1] 陈新华. 轨道减振器性能参数系统研究[D]. 成都:西南交通大学, 2014.
- [2] SCHILLEMANS L. Impact of sound and vibration of the North-South high-speed railway connection through the city of Antwerp Belgium [J]. Journal of Sound and Vibration, 2003(3): 637.
- [3] 王丹,张亚红,白长青,等. 新型橡胶隔振器参数辨识及动力学特性研究[J]. 应用力学学报, 2017(3): 410.
- [4] 耿传智,刘在庆. 城市轨道交通弹簧浮置板轨道过渡段设计

分析[J]. 城市轨道交通研究, 2011(2): 39.

- [5] 姚纯洁,郑玄东,肖安鑫. 弹簧浮置板轨道结构静力学分析[J]. 城市轨道交通研究, 2012(2): 104.
- [6] 刘伟栋,廖英英,刘永强. 基于 GA-PS 的轨道橡胶隔振器滞回模型参数识别[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2017(4): 46.
- [7] 王新敏. ANSYS 工程结构数值分析[M]. 北京:人民交通出版社, 2007.
- [8] 王新敏,李义强,许宏强. ANSYS 结构分析单元与应用[M]. 北京:人民交通出版社, 2011.
- [9] 王新敏. ANSYS 结构动力分析与应用[M]. 北京:人民交通出版社, 2014.
- [10] 陈志伟,董月亮. MSC Adams 多体动力学仿真基础与实例解析[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2012.

(收稿日期:2018-10-23)