

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.11.067

小半径通用楔形排水盾构隧道管片几何设计与研究

隋涛

[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: 排水盾构地下管线路由受道路线形所支配,多数情况下均为小半径盾构管道。排水盾构隧道通常设计成通用双面楔形衬砌环,采用较小的轴线环宽和较大的楔形量来满足小半径的线路拟合要求。通用楔形环管片分块环宽主要受管片环轴线环宽、楔形量和接缝夹角大小的影响。为分析这些因素的影响,依据盾构隧道管片结构与其线路关系,推导了通用楔形管片环的楔形量和管片块环宽近似计算式,并采用 BIM 切割实体模型验证了计算式的正确性,以供类似工程参考。

关键词: 小半径;通用管片;楔形量;排水盾构;几何设计

中图分类号: TU992.02

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)11-0294-03

0 引言

排水盾构地下管线路由受道路线形所支配,其直线段通常较短,多数为小曲率半径盾构管道。为了满足盾构隧道在曲线上偏转和纠偏的需要,盾构管片衬砌环通常以错缝拼装,采用左右转弯环(单面前后楔形)+标准环(3种管片)或双面楔形环(1种管片)来满足线路拟合需求。排水盾构隧道因其特殊性,同时考虑经济性,一般设计成通用双面楔形衬砌环,其特点为管片仅采用一种类型的楔形环管片,在其拼装过程中以不同角度的旋转来拟合所需线路,包括施工纠偏和竖曲线。

通用楔形管片的解析解较为复杂,应用不便,而近似解概念清晰,理解容易,更易于管片结构设计。赵国旭等^[1]通过对常规管片(左右转弯环+直线环)拼装、分块的研究分析,将常规管片优化为通用管片拼装,极大地节省了管片投资。张志华等^[2]利用空间矢量坐标系,建立了管片空间排版计算方法,但其参数多,计算量大,应用不便。潘国荣等^[3]结合管片特征,运用空间几何学,提出了考虑隧道结构纵向设计轴线、盾构机轴线、管片成型轴线的简化管片选型法。吴海斌等^[4]运用空间几何向量,通过不同管片拼装拟合,探讨了拼装误差对曲线拟合精度的影响。张稳军等^[5]通过对 4 种通用管片楔形量计算方法的对

比,得出对称间隔交错计算方法更适用于计算通用环管片楔形量的结论,并指出在进行管片楔形量初步设计时,应将线路需要的最小曲线半径折减 50~100 m 作为初步设计的楔形量参数。基于此,本文根据盾构隧道管片结构与其线路关系,推导了通用楔形管片环的楔形量与管片块环宽的计算式,并介绍了空间三维实体模型法,以供类似工程参考。

1 管片环宽与楔形量分析

通用楔形管片环的楔形量一般与线路最小转弯半径、管片内径和厚度、环宽,以及考虑施工偏差的空间几何关系相关。

图 1 为通用楔形环管片连接示意图;图 2 为通用楔形管片急曲转弯示意图。图中: R 为盾构急弯段半径; B 为曲线段每环管片轴线处的环宽; D 为管片环外径; δ 为管片环单侧楔形量; $L_{外}$ 、 $L_{内}$ 分别为急曲线段最外侧和最内侧管片环弧线长度; θ 为急曲线段每环管片轴线所对应的圆弧角。

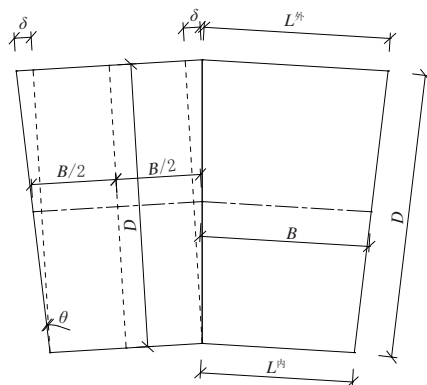


图 1 通用楔形环管片连接示意图

收稿日期: 2023-11-03

基金项目: 创新研究群体科学基金(K2019K070A)

作者简介: 隋涛(1982—),男,博士,高级工程师,从事排水结构管道设计工作。

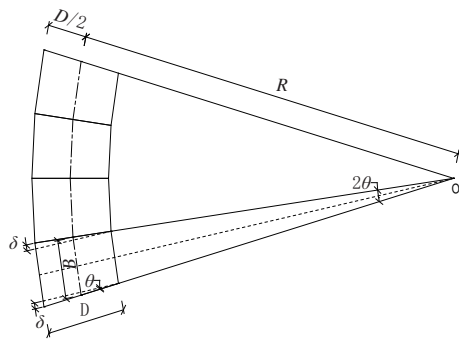


图2 通用楔形管片急曲转弯示意图

由图1、2的几何关系可知,楔形量和管片内外侧环宽有如下的近似关系式:

$$2\delta = (L_{外} - L_{内}) \quad (1)$$

$$2\theta = \frac{L_{外}}{R+D/2} = \frac{L_{内}}{R-D/2} = \frac{B}{R} = \frac{2\delta}{D} \quad (2)$$

$$\delta = \frac{BD}{2R} \quad (3)$$

2 管片环任意一点的环宽计算

2.1 几何近似计算法

通用楔形管片分块示意图见图3。图中 d 为管片内径; h 为管片厚度。其中的封顶块示意图见图4。管片封顶块的纵缝接缝面沿纵向的斜率为 $1:n$, n 为管片分块面的斜率。

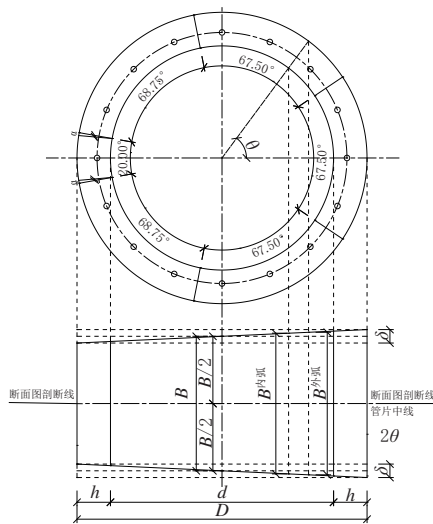


图3 通用楔形管片分块示意图

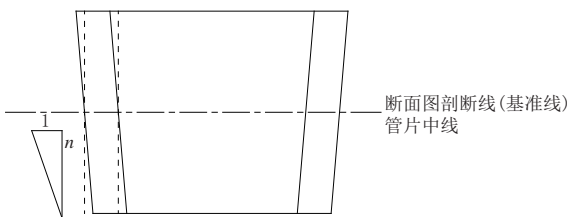


图4 封顶块示意图

对于管片标准块而言,其曲线段每环管片轴线处大小端的内弧侧环宽和外弧侧环宽 $B_{外弧}$ 、 $B_{内弧}$ 的近似计算

式为:

$$B_{外弧} = B + \delta \cos \theta \quad (4)$$

$$B_{内弧} = B + \frac{\delta}{D} d \cos \theta \quad (5)$$

对于管片封顶块而言,其曲线段每环管片轴线处大小端的内弧侧环宽和外弧侧环宽近似计算式为:

$$B_{大端内弧} = B + \frac{\delta}{D} d \cos(\theta - \tan^{-1} \frac{1}{2n}) \quad (6)$$

$$B_{小端内弧} = B + \frac{\delta}{D} d \cos(\theta + \tan^{-1} \frac{1}{2n}) \quad (7)$$

$$B_{大端外弧} = B + \delta \cos(\theta - \tan^{-1} \frac{1}{2n} + \frac{h \tan \alpha}{D}) \quad (8)$$

$$B_{小端外弧} = B + \delta \cos(\theta + \tan^{-1} \frac{1}{2n} + \frac{h \tan \alpha}{D}) \quad (9)$$

2.2 三维实体模型法

管片结构三维整环模型可采用 MIDAS NX, Solidword 三维建模软件进行建模,三维实体法可直接在三维模型图中量取所需的管片几何参数;采用旋转平面切割后,可直接测量每块管片的设计参数(分块环宽、弧长、弦长)。管片环及其分块图见图5。

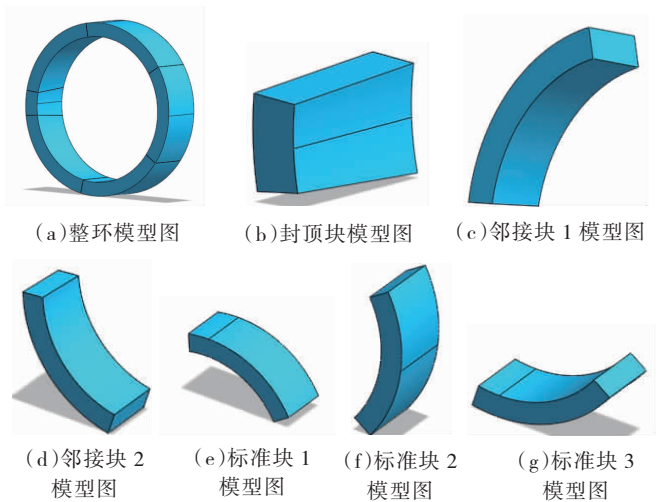


图5 管片环及其分块图

3 工程案例

某急曲线盾构隧道管片隧道内径 4 m , 壁厚 380 mm , 急曲线段转弯半径为 150 m 。管片环结构由 1 块封顶块、 2 块邻接块和 3 块标准块共 6 块管片组成,如图6所示。经分析计算,管片环宽 800 mm ,楔形量可取为 40 mm ,单侧楔形量为 20 mm 。管片环宽分析结果见表1。

由表1可知,管片环标准块环宽近似计算法结果与三维实体分块法计算结果相同。封顶块、邻接块(与封顶块相连的一侧)环宽近似计算法结果与三维

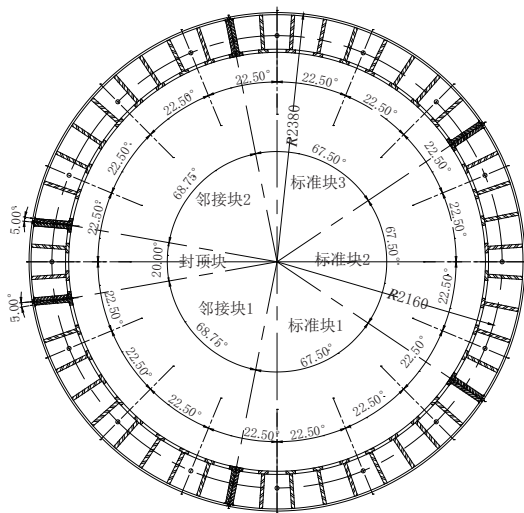


图6 管片分块断面示意图

表1 管片环宽分析结果

管片块	接缝位置 与水平轴 夹角 / (°)	近似算法		实体模型法	
		外弧侧 环宽 /mm	内弧侧 环宽 /mm	外弧侧环 宽 /mm	内弧侧 环宽 /mm
封顶块	± 170	780.332	783.391	780.326	783.382
		780.210	783.514	780.196	783.525
邻接块 1	-101.25	796.098	796.098	796.098	796.098
	-170	780.332	783.391	780.326	783.382
邻接块 2	101.75	796.098	796.098	796.098	796.098
	170	780.332	783.391	780.326	783.382
标准块 1	-101.25	796.098	796.721	796.098	796.721
	-33.75	816.629	813.974	816.629	813.974
标准块 2	± 33.75	816.629	813.974	816.629	813.974
		816.629	813.974	816.629	813.974
标准块 3	33.75	796.098	796.721	796.098	796.721
	101.25	816.629	813.974	816.629	813.974

实体分块法计算结果稍有差异,外弧侧环宽最大差异为 0.014 mm,内弧侧环宽最大差异为 0.011 mm,环宽误差远小于《盾构法输水隧道结构设计规程》(T/CECS 610—2019)规定的构造要求限值。

4 结论

(1)排水盾构隧道通用楔形环管片环楔形量主要受管片环的轴线环宽、转弯半径以及管片环外径影响。对于急曲线段盾构隧道,一般采用较小的轴线环宽(通常为 600~800 mm)和较大的楔形量来满足急曲线的线路拟合要求,同时为满足管片手孔拼接以及施工纠偏等要求,通常采用钢结构管片。

(2)排水盾构隧道通用楔形环管片分块环宽主要与管片环轴线环宽、楔形量和接缝夹角有关。文中推导了通用楔形管片环的楔形量与管片块环宽的近似计算式,并在工程案例中采用 BIM 切割实体模型量得尺寸与其进行对比,验证了其可行性与准确度,为后续类似工程提供了可靠的技术支撑。

参考文献:

[1] 赵国旭,何川.盾构隧道通用管片设计及应用[J].铁道建筑技术,2003(2):5-8.
 [2] 张志华,朱国力,隆泗.盾构管片排版计算方法的研究[J].地下空间与工程学报,2013,9(5):1040-1044,1086.
 [3] 潘国荣,荣一夫.盾构通用管片排版与纠偏控制的简化解法[J].大地测量与地球动力学,2014,34(1):55-58.
 [4] 吴海彬,何川,晏启祥,等.通用楔形管片盾构隧道曲线段线路拟合算法及应用[J].铁道学报,2016,38(10):90-97.
 [5] 张稳军,朱战魁,张琪,等.地铁盾构通用环管片楔形量计算方法研究[J].隧道建设(中英文),2019,39(5):746-753.

(上接第 283 页)

[3] 赵国藩,曹居易,张宽权.工程结构可靠度[M].北京:水利电力出版社,1984.
 [4] 李本伟,姚红兵,汪军,等.钢箱梁的优化设计研究[D].呼和浩特:内蒙古大学,2007.
 [5] 何小兰,李强.浅析跨河桥梁桥墩局部冲刷[J].中国水运(下半月),2013,13(1):198-200.
 [6] 查雅平,张永良,余锡平,等.某跨海大桥复合桥墩潮流作用下局部冲刷深度的数值分析[J].水运工程,2007(423):33-37.
 [7] 魏荣灏,史永忠,李最森,等.多波束测深系统在某跨海大桥桥墩局

部冲刷监测中的应用[C]//第十五届全国水利量测技术综合学术研讨,2014,128-133.
 [8] 陈柏麟,郭力纶,张达德.水压计用于河床冲刷的实时监测研究[J].岩土力学,2017,38(8):2448-2455.
 [9] MARONI A, TUBALDI E, FERGUSON N, et al. Electromagnetic sensors for underwater scour monitoring[J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2020, 20(15):4096.
 [10] 曹斌,朱述龙,邱振戈,等.WorldView-2 影像双介质摄影测量的浅海地形测绘试验[J].遥感学报,2018,22(5):745-757.