

衡阳市湘江盾构隧道管片结构受力分析

徐望国^{1,2*}, 罗青¹, 杨智³, 钟爱军⁴

(1. 湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201;

2. 湖南科技大学 岩土工程稳定控制与健康检查湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201;

3. 湖南高岭建设集团股份有限公司, 湖南 长沙 410153;

4. 衡阳市城市建设投资有限公司, 湖南 衡阳 421101)

摘要:以衡阳市二环路合江套湘江盾构隧道工程为研究背景,对管片衬砌变形测量的监测方案进行了阐述,应用 ANSYS 有限元软件对隧道管片进行建模分析,通过不同的注浆压力对隧道管片的力学特性及管片的衬砌变形进行研究,分析结果表明:随着注浆压力的增加,管片的第一主应力、第三主应力、剪切应力也增大,但都没有超过 C50 混凝土的最大极限值,管片的竖向变形和水平变形都是先减小再增大,但都不是很明显.通过现场实测数据与数值模拟分析所得结果进行对比,模拟值与实测值的最大竖向位移相差 0.22 mm,最大水平位移值相差 0.47 mm,这说明模拟值与实测值比较接近.

关键词:盾构隧道;衬砌管片;注浆压力;模拟分析

中图分类号:U455.43

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2018)03-0058-06

Stress Analysis of Segment Structure of Shield Tunnel in Xiangjiang, Hengyang City

Xu Wangguo^{1,2}, Luo Qing¹, Yang Zhi³, Zhong Aijun⁴

(1. College of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Geotechnical Stability Control and Health Inspection Hunan Key Laboratory, Xiangtan 411201, China;

3. Hunan Kaolin Construction Group Co., Ltd., Changsha 410153, China;

4. Hengyang City Construction Investment Co., Ltd., Hengyang 421101, China)

Abstract: Based on the research background of the 2nd ring road Hejiang shield tunnel project in Xiangjiang, Hengyang City, the monitoring scheme of the lining cutting deformation is expounded. The ANSYS finite element software is used to model the lining cutting tube. The mechanical characteristics of the tunnel segment and the lining cutting deformation of the tunnel are analyzed by different grouting pressures. Results show that with the increase of grouting pressure, the first main stress, third main stress and shear stress of the pipe also increase, but none of the maximum limit values of C50 concrete are exceeded. The vertical and horizontal deformation of the tubes are both reduced and then increased, but they are not very obvious. The maximum vertical displacement of the simulated value and the measured value is 0.22 mm, and the maximum horizontal displacement difference is 0.47 mm, which indicates that the simulated value is close to the measured value.

Keywords: shield tunnel; lining cut segment; grouting pressure; simulation analysis

随着社会的进步与发展,交通拥挤状况变得日益严重,所以地下隧道运输受到了人们的青睐和重视.近年来随着盾构施工技术的日益成熟,盾构法施工成为修建隧道的首选方法.虽然盾构法修建隧道在各方面取得的成绩比较显著,但还是面临着许多的困难,如何解决大断面^[1]、长距离掘进等问题仍是一个难题.

收稿日期:2018-05-11

* 通信作者, E-mail: 842662871@qq.com

在地下隧道施工中,盾构作为一种安全、经济、快速的施工方法得到了广泛的使用,盾构隧道衬砌一般为管片,盾构管片是整个隧道的骨架^[2],管片结构的安全性能对整个隧道工程有着至关重要的影响.在盾构施工过程中,管片结构不仅承受着周围地层压力,而且还需承担逐渐变化的壁后注浆压力^[3,4],以上外部荷载因素的变化会对管片结构本身以及管片接头产生一定的影响.本文以衡阳市二环路合江套湘江盾构隧道为背景,对管片的受力特性^[5]、不均匀沉降进行研究.

1 工程概况

衡阳市湘江隧道工程位于衡阳市城区北部,东西岸分别是珠晖区和石鼓区,隧道工程位于蒸水、耒水、湘江三水汇水口处,距下游约 2 400 m 是蒸水汇水口处,距上游约 200 m 是耒水汇水口处,是衡阳市规划二环线第一条过江隧道.盾构隧道的内外直径分别是 10.3, 11.3 m,分南北两线穿越江底,南线长 935.000 m,北线长 932.201m,工程平面位置见图 1,工程示范图见图 2.

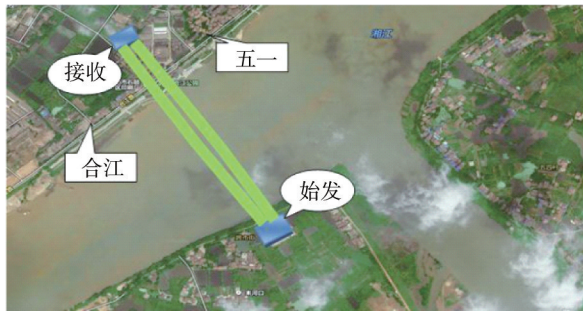


图1 工程平面位置

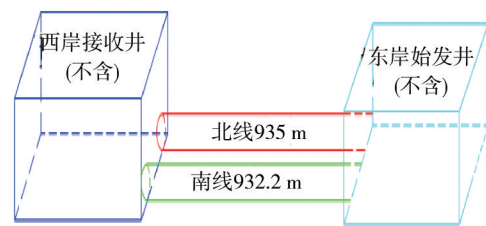


图2 工程示范

2 模型建立及边界条件

本文建立的模型以衡阳市二环路合江套湘江盾构隧道为背景,其具体的参数由查阅设计图纸及相关资料可得到如下所述:

- 1) 盾构隧道管片的宽度以及厚度分别为 2 000, 500 mm,管片所选用的形式为平板型管片,管片的链接方式是用直螺旋、斜螺旋、弯螺栓进行接头的连接;
- 2) 盾构隧道管片埋深 $H=26$ m,天然容重 $\gamma=19.6$ kN/m³,土的饱和重度 $\gamma_w=18$ kN/m³;
- 3) 地层的弹性反力系数、内摩擦角以及土压力系数分别为 $k=360$ MPa/m, $\varphi=10.0$, $K_a=0.55$;
- 4) 盾构管片采用混凝土的等级为 C50,弹性模量 E_x 为 28 GPa,泊松比 μ 0.33,密度为 2 400 kg/m³;
- 5) 用于盾构隧道管片链接的螺栓的规格型号 B 级 M24,性能等级 6.8,弹性模量 E_x 为 210 GPa,泊松比 0.3,密度 2 500 kg/m³.

盾构隧道的模型采用 ANSYS 有限元软件进行分析,衡阳市湘江隧道内径为 10.3 m,外径为 11.3 mm,盾构管片环用 9 块管片拼装而成,在该管片进行建模时,所用到的实体单元有 SOLID65 单元、COMBIN39 单元、CONTA173 单元以及 SURF154 单元,模型中采用映射进行网格划分.

1) 施加约束:在模型管片 Z 方向上施加纵向的约束,以防止发生 Z 方向的移动,在模型管片 X 方向施加约束,防止管片发生 X 方向的转动,再施加弹簧单元末端 X, Y, Z 这 3 个方向的约束.

2) 施加荷载:首先施加沿 Y 方向的重力,然后施加竖向和横向的外荷载.

根据隧道现场的实际情况,取隧道北线第 76~第 79 环四环管片进行建模,有限元管片实体模型及网格划分模型如图 3,外荷载的大小采用修正惯用模型进行计算确定,得出上覆荷载 $P_1=0.38$ MPa,水平荷载 $P_2=0.21$ MPa.

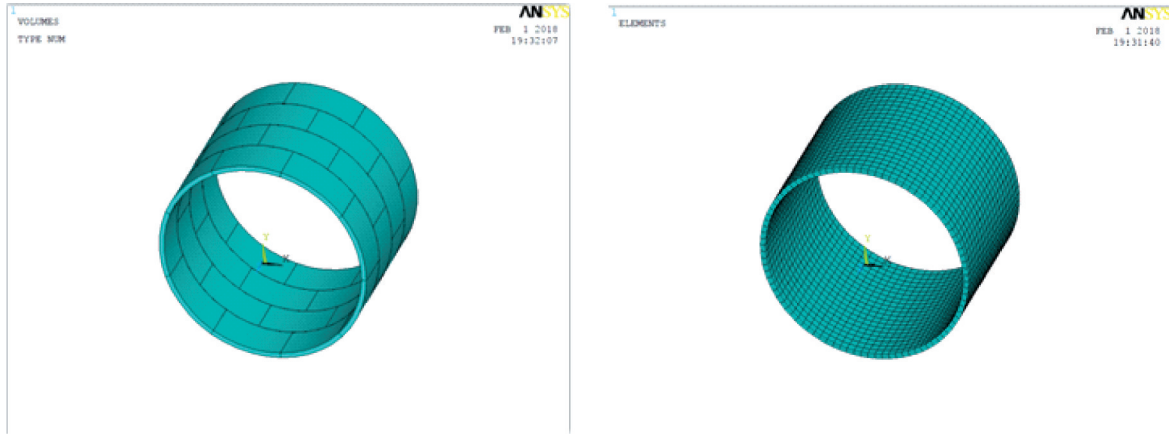


图3 有限元管片模型及网格划分模型

3 衬砌管片变形的监测

在管片横断面,拱顶设置一个测沉降的点,拱腰两侧各设置一个测收敛的点,形成三角形布置测点.管片衬砌竖直位移采用水准仪,水平位移采用收敛尺,管片结构变形监测的等级划分和精度要求按照《城市轨道交通工程监测技术规范》GB50911-2013 要求进行监测.管片横断面设置监测点如图4所示.

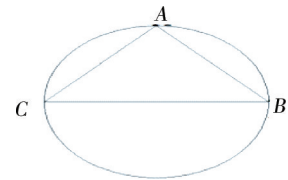


图4 管片衬砌变形监测点布置

A 点为测拱顶沉降监测点,B,C 点为测水平收敛监测点,根据现场实际情况,对北线第76环~第79环管片4环管片进行衬砌变形监测,监测时间为30 d,在管片注浆后布置监测点,先对监测点测一个初始值,后每隔3 d对监测点进行一次观测,每次监测的高程与上一次监测高程的差值,即为本次的变形值.管片衬砌竖向变形值与水平变形值随时间的变化监测值如图5和图6.图7为现场监测图.

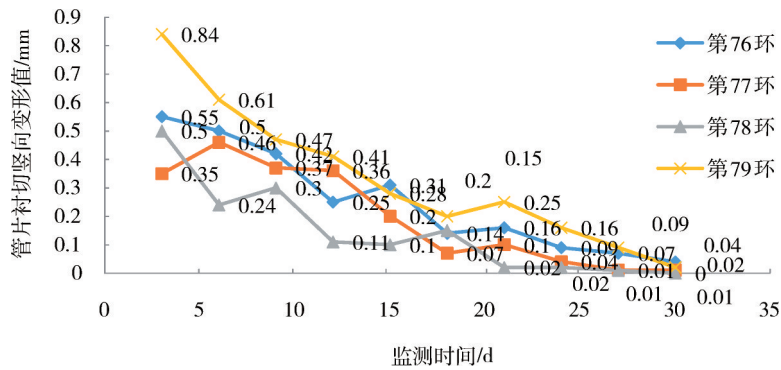


图5 管片衬砌竖向变形值随时间的变化趋势

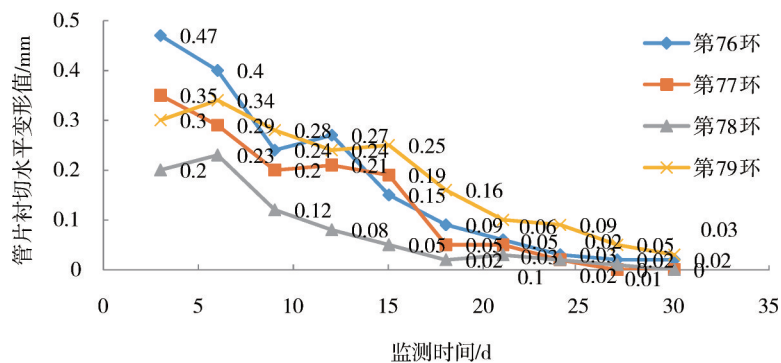


图6 管片衬砌水平变形值随时间的变化趋势

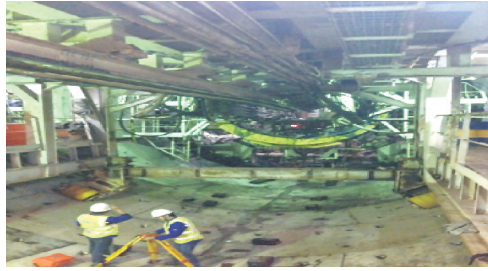


图7 管片变形现场监测

4 数值计算结果分析

盾构隧道在进行施工时,由于受到外荷载作用,会引起周围的地表沉降,为了减小地表的沉降,在盾构隧道进行施工时,在管片将要脱出盾尾时,对盾构管片与围岩之间的间隙进行同步注浆处理^[6,7]。

注浆压力在盾构管片上的分布是非常复杂的,由于注浆孔的分布限制以及时间效应的影响^[8,9],因此,注浆压力在衬砌管片上呈梯形分布^[10]。现保持各千斤顶推力大小相等,注浆压力从 0.1~0.3 MPa 依次增大,来研究注浆压力对衬砌管片的力学影响。

4.1 管片的力学性能分析

不同注浆压力作用下管片的第一主应力云图如图 8 所示。从图 8 中可以看出注浆压力不同的情况下第一主应力的分布不同,第一主应力随注浆压力增大而增加,且都位于第四环侧壁接缝处,其拉应力最大值分别为 1.14, 1.77, 2.24 MPa,并且 4 种工况下最大拉应力没有超过 C50 混凝土的极限抗拉强度 3.10 MPa。

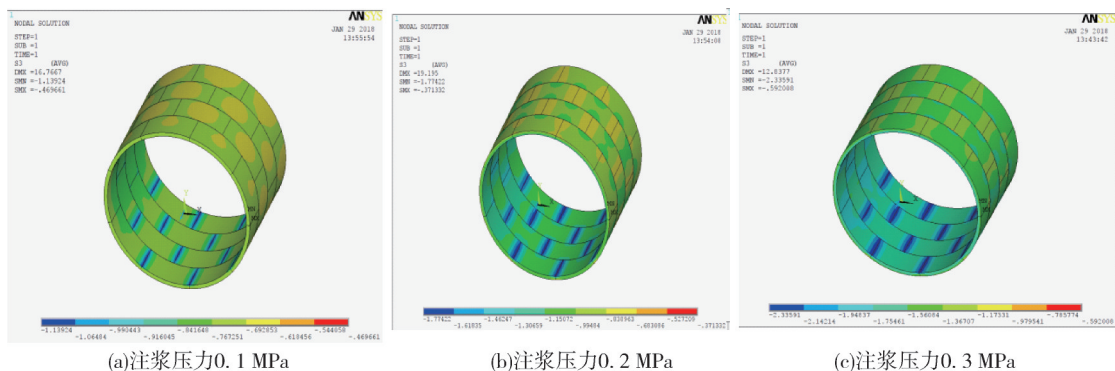


图8 不同注浆压力下管片的第一主应力云图(单位:MPa)

不同注浆压力下管片的第三主应力云图,如图 9 所示。从图 9 中可以看出不同注浆压力下管片第三主应力的最大值不同,随着注浆压力增大而增大,其最大值分别为 0.343, 0.528, 0.666 MPa。从图中还可以看出最大最小主应力的位置也不同,在注浆压力为 0.1 MPa 情况下,最大压应力普遍出现在第四环侧壁管片连接处,最大拉应力普遍出现在第三环侧壁与拱底连接处;在注浆压力为 0.2 MPa 时,最大压应力出现在第三环拱底与侧壁连接位置,最大拉应力出现在第一环拱底与侧壁连接位置;在注浆压力为 0.3 MPa 情况下,最大拉、压应力浸出现在第四环侧壁位置。

不同注浆压力下管片的剪切应力云图如图 10 所示。由图可以看出管片的剪切拉应力的最大值随着注浆压力的增大而增加,当注浆压力为 0.1, 0.2, 0.3 MPa 时,对应的剪切应力分别为 1.47, 2.63, 3.79 MPa。在这 3 种不同的注浆压力作用下,最大剪切应力出现的位置是一样的,都是出现在管片的第四环侧壁位置。

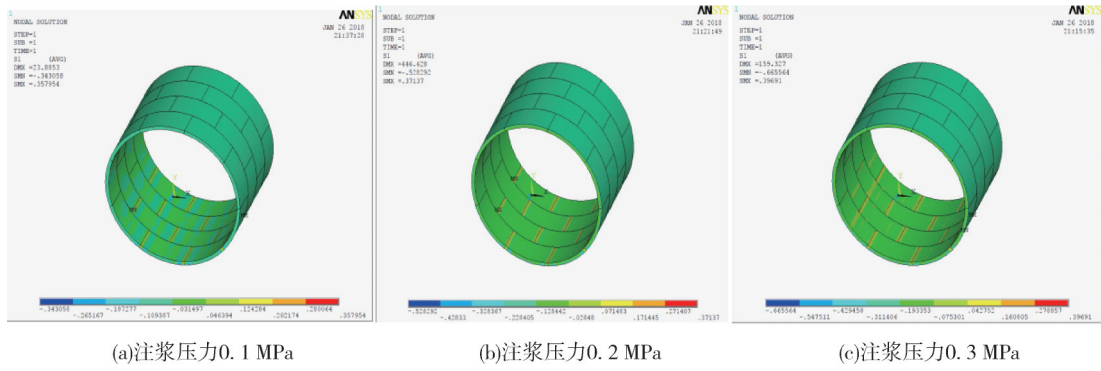


图9 不同注浆压力下管片的第三主应力云图(单位:MPa)

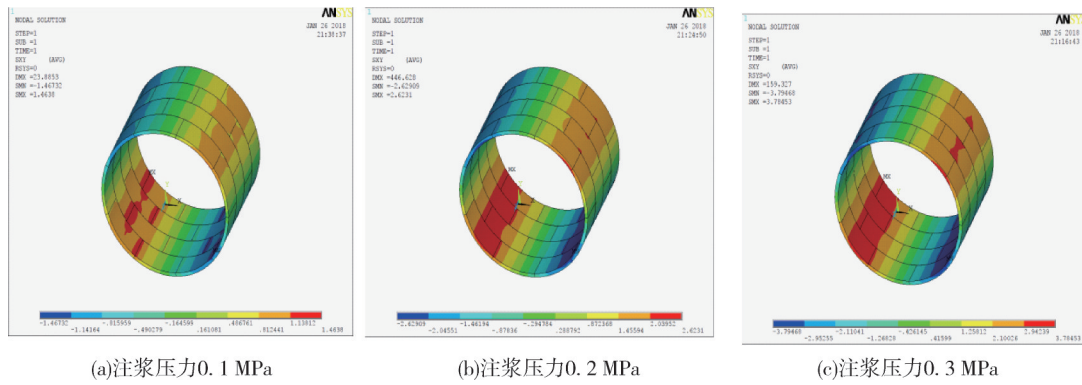


图10 不同注浆压力下管片的剪切应力云图(单位:MPa)

4.2 管片的衬砌变形分析

不同注浆压力作用下管片的竖向变形位移云图如图 11 所示.从图 11 可以看出在其他的受力情况相同下,竖向位移随着注浆压力的变化而发生变化,当注浆压力增大时,管片的竖向位移先减小后增大,4 种不同注浆压力作用下拱顶最大的位移分别为 3.58,3.48,3.52 mm,这是由于一方面注浆压力会增大管片结构竖向荷载,增大结构竖向位移;一方面注浆压力的横向支撑作用会减小结构竖向位移.

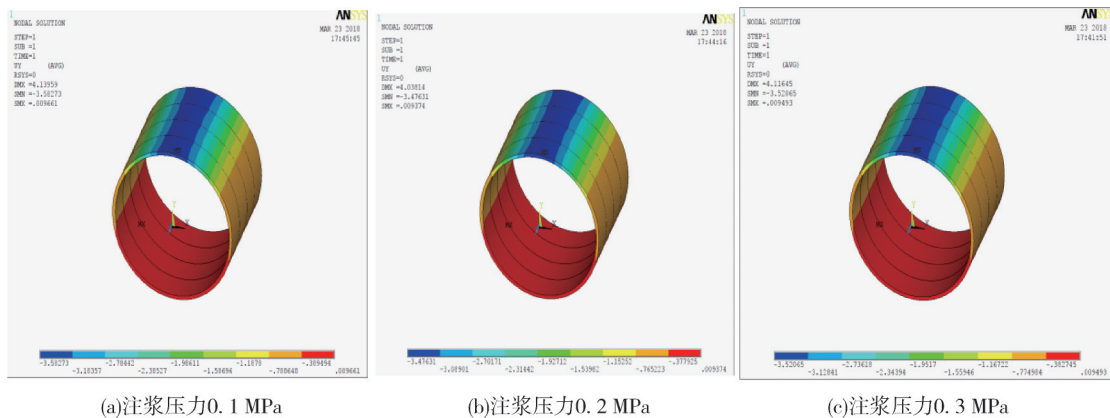


图11 不同注浆压力作用下管片的竖向位移云图(单位:MPa)

不同注浆压力作用下管片的水平变形位移云图如图 12 所示.从图 12 可以看出在其他的受力情况相同下,随注浆压力的增大,结构的水平位移先减小后增大,4 种不同注浆压力作用下拱顶最大的位移分别为 2.35,2.29,2.31 mm.

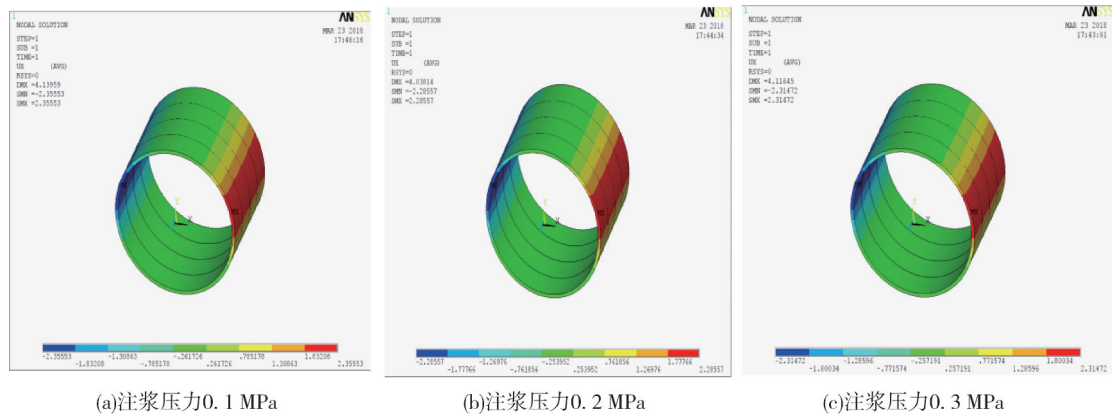


图12 不同注浆压力作用下管片的水平位移云图(单位:MPa)

5 实测值与模拟值对比分析

根据现场实际施工情况,隧道北线第76环~第79环管片注浆后的注浆压力为0.3 MPa左右,这里取0.3 MPa时的计算结果与实测结果进行对比分析.当注浆压力为0.3 MPa时,模拟值的最大竖向变形位移和最大水平变形位移都出现在第79环,大小分别为3.52, 2.31 mm.现场实测累计变形值如图13.

由图13得,实测值的最大竖向变形位移和最大水平变形位移都出现在第79环,分别为3.30, 1.84 mm,模拟值与实测值的最大竖向变形位移相差0.22 mm,最大水平变形位移值相差0.47 mm,这说明模拟值与实测值比较接近的.

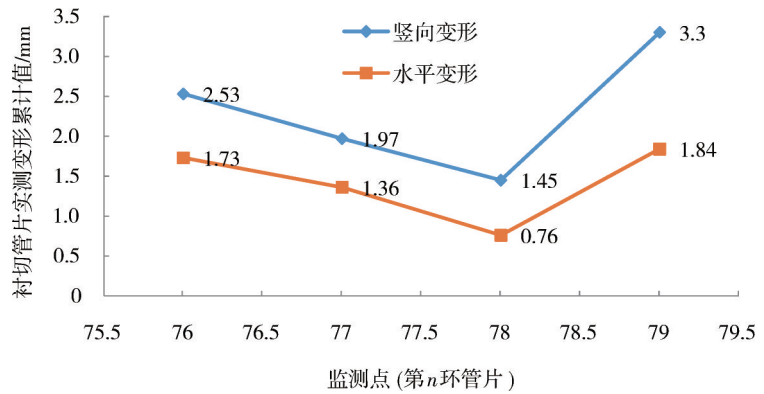


图13 现场实测管片累计变形值

6 结论

1) 对管片衬砌变形进行实测时,壁厚注浆后,管片的竖向变形值和水平变形值随着时间的增加基本上呈减小状态,20 d以后,变形值变化不大.

2) 不同的注浆压力对管片的力学性能产生影响,第一和第三主应力、剪切应力随注浆压力的增加而增加,管片竖向变形和水平变形随着注浆压力的增大先减小后增大,在注浆压力为0.2 MPa时,管片的竖向变形和水平变形分别是3.48, 2.29 mm.

参考文献:

[1] 沈征难.盾构掘进过程中隧道管片上浮原因分析及控制[J].现代隧道技术,2004,41(6):51-56.
 [2] 程晓,潘国庆.盾构施工技术[M].上海:科学技术文献出版社,1990.
 [3] 施仲衡.地下铁道设计与施工[M].西安:陕西科学技术出版社,1997.
 [4] 何川,张建刚,杨征,等.武汉长江隧道管片衬砌结构力学特征模型试验研究[J].土木工程学报,2008,41(12):85-90.
 [5] 何川,唐志成,林刚,等.高水压越江隧洞施工及运营期间结构受力分析[J].现代隧道技术,2005,42(5):37-41.
 [6] 肖中平,李围.大断面盾构隧道管片设计内力和变形极值分析[J].现代隧道技术,2006,43(5):45-49.
 [7] Okada Kiyoshi, Kobayashi Kazuo, Miyagawa Toyooki. Influence of longitudinal cracking due to reinforcement corrosion on characteristics of reinforced concrete members [J]. ACI Structural journal, 1988, 85(2):134-140.
 [8] 叶飞,何川,王士民.盾构隧道施工期衬砌管片受力特性及其影响分析[J].岩土力学,2011,32(6):1802-1808.
 [9] 杨征.武汉长江隧道大型管片衬砌结构力学特征研究[D].成都:西南交通大学,2007.
 [10] 刘云花.盾构隧道管片受力分析[D].石家庄:石家庄铁道学院,2015.