

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.06.059

运营期沉管隧道沉降变形分析

史志想^{1,2}, 吴华勇^{1,2}, 文水兵^{1,2}

(1.上海市建筑科学研究院有限公司, 上海市 200032; 2.上海市工程结构安全重点实验室, 上海市 200032)

摘要:以某沉管隧道 16 a 的长期沉降监测数据为范本,对隧道沉降的纵向分布规律、沉降稳定性、隧道差异沉降以及各个管节自身的竖向弯曲变形姿态进行了系统分析。分析结果显示:沉管隧道的沉降受到地基刚度分布、覆土厚度以及周边环境的影响而具有很大的不确定性,隧道姿态的变化会导致沉管隧道各管节处于不同形态的自身竖向弯曲状态,进一步加剧管节受力的复杂性。综合分析显示该隧道整体趋于稳定状态,相关分析结果可为同类沉管隧道结构安全分析提供技术参考。

关键词:沉管隧道;沉降;运营期监测

中图分类号: U456.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)06-0233-05

0 引言

沉管隧道由于在环境适应性、施工难度和成本造价等方面具有一定的优势,自 1894 年美国波士顿首条沉管隧道^[1]建成使用以来,在全世界范围内得到了大量应用。到目前为止,全世界已经投入运营的沉管隧道已经超过 150 座^[2],特别是我国港珠澳大桥中沉管隧道工程的应用为该技术的研究和推广提供了一个良好的技术范本^[3-4]。

随着沉管隧道运营年限的增加,周边环境的影响、材料的老化退化,以及日益增加的交通荷载,导致大量沉管隧道因为性能退化而进入高维修阶段。国内现有的标准体系和评价标准主要针对钻爆法施工的山岭隧道,而对于沉管隧道运营阶段的检测内容和评价方法研究很少。沉管隧道作为长距离的线状基础设施,对于不均匀沉降尤为敏感。由于结构特点差异,沉管隧道的沉降发展规律与盾构隧道存在一定的区别^[5]。沉管隧道的抗浮系数比较小,所以往往较多地考虑隧道的上浮,而忽视隧道沉降效应^[6]。运营实测数据显示,沉管隧道的沉降发展非常显著。

本文基于某沉管隧道 16 a 的沉降监测数据,对于在役沉管隧道的沉降变形规律进行分析研究。

1 工程背景

某沉管隧道自 1999 年 12 月 28 日开工,于 2003

年 6 月 21 日正式建成通车,采用双向 8 车道,设计时速 80 km/h。隧道沉管段全长 736 m,共分为 7 节管节。各段的名称及名义长度分布为:E1(108 m),E2(104 m),E3(100 m),E4(100 m),E5(108 m),E6(108 m),E7(108 m)。

隧道平面分布见图 1。沉管横断面外部尺寸为 9.55 m × 43 m,沉管段采用框架式钢筋混凝土结构,管节间采用柔性连接,接头防水采用 GINA 和 OMEGA 双层止水带。

隧道标准横断面见图 2。

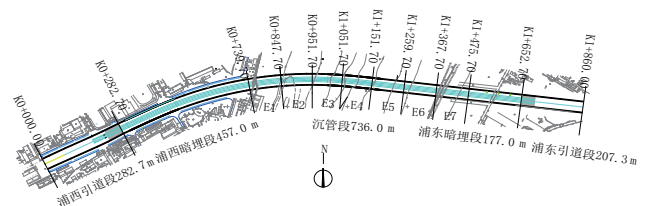


图 1 隧道平面分布图

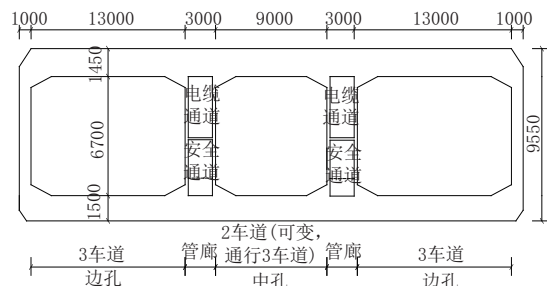


图 2 隧道标准横断面图(单位:mm)

沉管隧道预制管段沉放对接结束后,需对其管底进行基础处理。在软土高回淤河床条件下,对于无桩基础的管段,基础处理一般采用灌砂法。在上述沉放工艺顺序完成后,通过水上灌砂作业船,利用管段内已预留的直径 200 mm 管道,向已沉管段底和基槽

收稿日期: 2021-10-27

基金项目:上海市科学技术委员会科研计划项目(18DZ1201200)

作者简介:史志想(1986—),男,学士,工程师,从事桥梁隧道检测评估工作。

底之间实施分批灌砂,使已沉管段坐落在较为密实的砂盘基础之上。

为掌握隧道的长期沉降发展规律,隧道建成后分别在隧道南孔、北孔设置了116个、119个沉降观测点(测点编号及位置示意图3),对该隧道沉降情况进行长期监测。从2003年至2011年间基本按每月1次进行沉降测量;从2012年至今,按每季度1次进行沉降监测。截至2019年6月,北孔、南孔已分别进行过135、136次沉降观测。在沉降规律上南北

孔具有一定的相似性,本文重点以南孔为例,对隧道监测数据进行分析。

2 隧道整体沉降测量结果与分析

截至2019年第2季度,从2003年10月6日以来,南孔隧道各沉管累计沉降情况如下:隧道整体呈沉降趋势,各管节间沉降不均匀,中间管节E3~E6累计沉降较大,两端累计沉降较小。隧道沉降纵向分布图见图4。

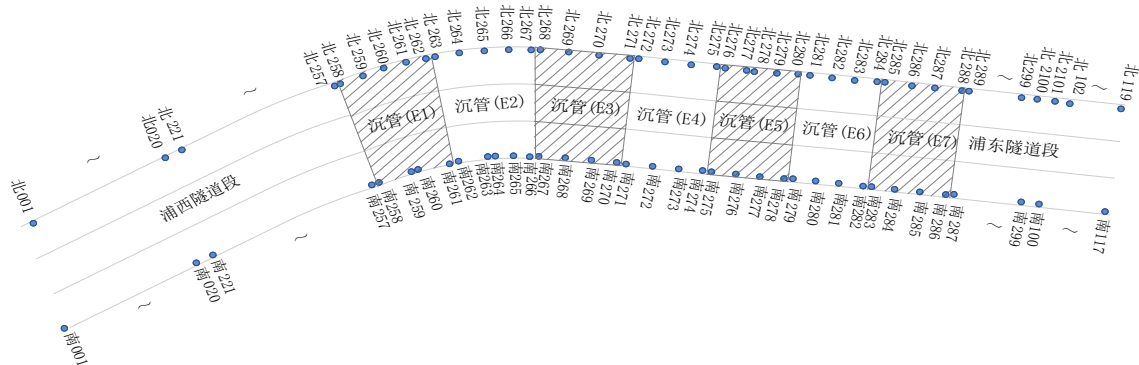


图3 隧道测点布置示意图



图4 隧道南孔各区间结构累计沉降分布

数据分析显示,黄浦江两侧引道段和暗埋段主要表现为整体沉降,最大沉降量为-34.8 mm,局部范围存在轻微上抬现象,最大量未超过13 mm。

沉管管节沉降测点累计沉降量为-283.4~48.3 mm。其中E4~E6共3个沉管的所有测点累计沉降量均大于100 mm,而E6沉管浦西端测点(近E5沉管端)的累计沉降量最大,为-283.4 mm,该测点位于隧道E6-2沉管管节,距离最终接头边缘约1.8 m(最终接头2.5 m区域内未设置测点)。这主要是隧道施工时江中最终接头位于E6-2管节与E6-1管节之间(由西向东方向距E6与E5管节缝3.5~6 m范围),由于最终接头区域回淤比较严重,基础处理较差,导致此处附近测点沉降较大。

E1管节东端及E2管节均存在不同程度的累计上抬,最大上抬量为48.3 mm,位于E1~E2管节缝处。该处为水位最低的航道处,这应是管节覆土发生变化及管节发生相对不均匀沉降而产生端部翘曲所致。

3 隧道沉降稳定性分析

在上述分析基础上对隧道南孔的沉降稳定性进行进一步分析。

由于隧道测点高程受潮汐、温度影响较大,所以在分析历年高程数据时,选取测量时潮位及温度接近的测量月份数据进行对比,以尽可能排除潮汐、温度影响。同时,为了分析隧道沉降速率的变化规律,分别求得2013年4月至2016年3月、2016年3月至2019年4月的沉降量及对应的沉降速率。隧道南孔近6 a高程的沉降速率变化分布图见图5。

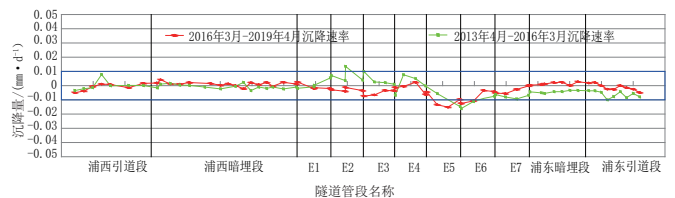


图5 隧道南孔近6 a高程的沉降速率的变化分布图

从2016年3月至2019年4月近3 a时段内,黄浦江浦西引道段、浦西暗埋段、浦东引道段、浦东暗埋段沉降点沉降量分别为-5.639~1.838 mm、-2.523~4.645 mm、-5.553~-2.453 mm、0.128~3.077 mm,沉降速率分别为-0.005~0.002 mm/d、-0.002~0.004 mm/d、-0.005~-0.002 mm/d、0~0.003 mm/d,小于《地基基础设计规范》(DGJ 08-11-2010)提出的沉降稳定判定值(0.01 mm/d),表明该时段内引道段及暗埋段沉降已趋于稳定。

沉管段 E1~E7 管节基本呈沉降趋势,沉降速率为 $-0.001\sim-0.015$ mm/d,其中 E5 与 E6 管节接头处 4 个测点的沉降速率为 $-0.011\sim-0.015$ mm/d,略超过规范限值,其他位置则均小于沉降稳定判定值 0.01 mm/d,可以认为沉降趋于稳定。

进一步比较图 5 中 2 个时段的沉降速率情况。2016 年 3 月~2019 年 4 月近 3 a 时段内隧道南孔各测点沉降速率较 2013 年 4 月~2016 年 3 月近 3 a 时段内的沉降速率基本呈减小趋势,表明其沉降状况趋缓。

E2、E3 管节整体及 E1、E4 管节局部出现上抬,近 3 a 上抬量为 $1.076\sim 14.429$ mm;上抬速率为 $0.001\sim 0.014$ mm/d,其中上抬速率为 0.014 mm/d 的测点位于 E2 管节中部。

进一步分析 E2 管节历年沉降的变化趋势(见图 6)。南孔 E2 沉管管节总体表现为早期先下沉,近 10 a 表现为上抬,E2 管节的上抬量由黄浦江浦西端向浦东端逐渐减小,但是近 6 a 整体上抬趋势趋缓,累计上抬量基本稳定在 50 mm 以下。进一步结合河床覆土厚度比较,可以发现该时段内 E1、E2 沉管管节的覆土厚度几乎保持不变。由此可见,管节上抬趋势整体处于稳定状态。

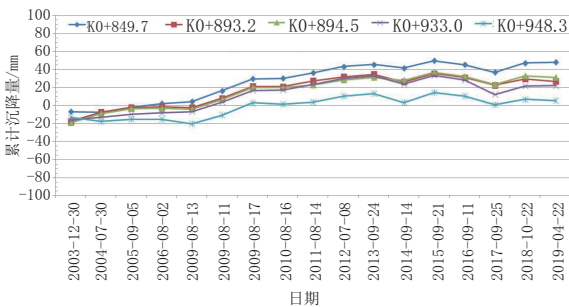


图 6 南孔 E2 沉管管节 2003 年 10 月 6 日以来历年累计沉降变化图

4 隧道差异沉降分析

对于沉管隧道,如果相邻管节之间的差异沉降过大,可能导致剪力键过大而使沉管管节出现破损,甚至出现渗水病害。针对南孔各相邻沉管管节间的差异沉降分析如图 7 所示。总体来看,近 10 a 来,各管节之间的累计差异沉降量基本稳定,各管节之间存在少量的差异沉降,累计差异沉降量基本在 10 mm 以内变化。从相邻监测期的数据来看,相邻管节之间的差异沉降不明显,其中 E7 管节和暗埋段之间的差异沉降在近 5 a 来整体趋于稳定。

5 沉管管节自身竖向弯曲变形分析

根据 2003 年 10 月初始监测数据与 2019 年 4

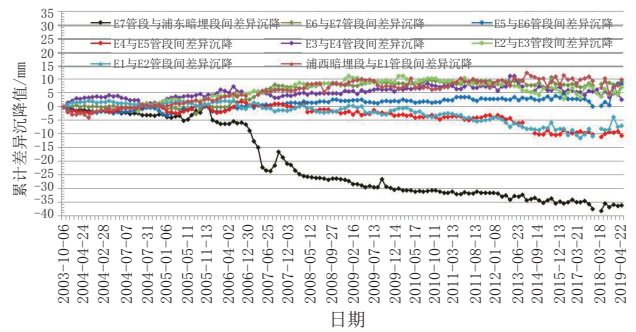


图 7 南孔各相邻沉管管节间历年累计差异沉降变化图
月的隧道沉降监测数据,计算各沉管管节测点的相对沉降值,并据此绘制南、北孔相对沉降曲线(见图 8~图 14),得到各管节中部测点相对端部的竖向变形值,分析各管节自身纵向的竖向弯曲变形。

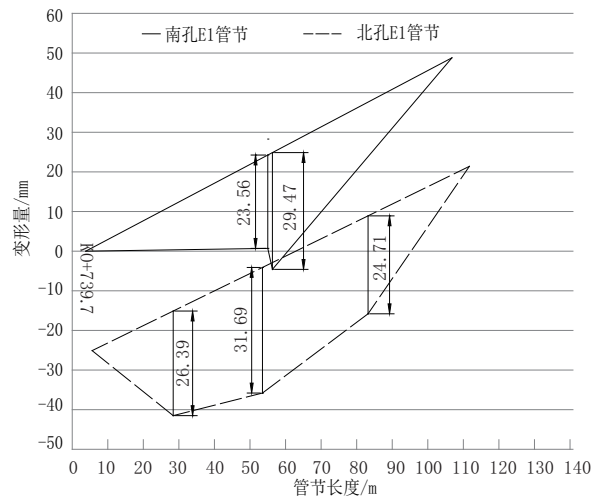


图 8 E1 管节竖向弯曲变形图

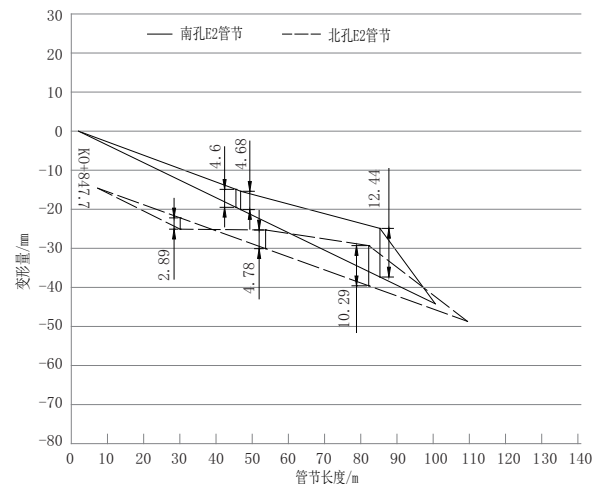


图 9 E2 管节竖向弯曲变形图

隧道南、北孔测点的相对沉降值均以该沉管管节南孔浦西端测点为基准点。

由图 8 可知,E1 沉管管节纵向呈“两端高、中间低”的盆式竖向弯曲变形状态,且北孔沉降比南孔沉降大,变形量最大值为 31.69 mm。

由图 9 可知,E2 沉管管节纵向沉降由浦西向浦

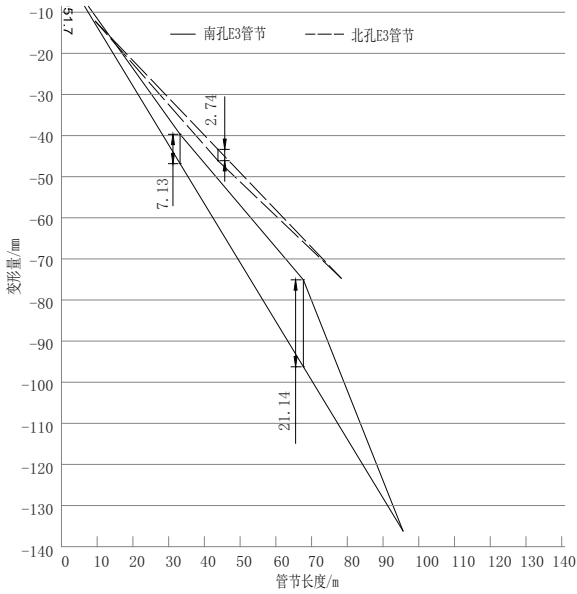


图 10 E3 管节竖向弯曲变形图

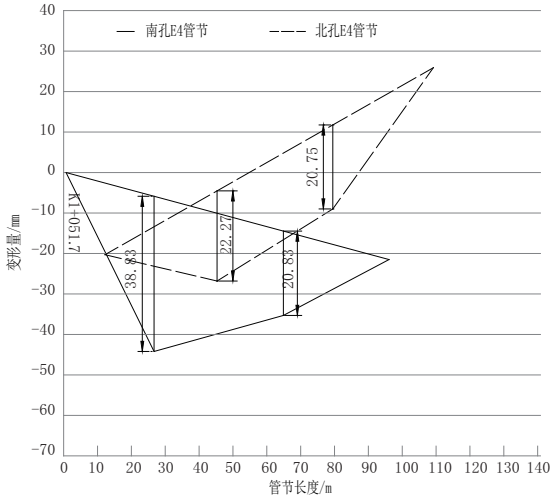


图 11 E4 管节竖向弯曲变形图

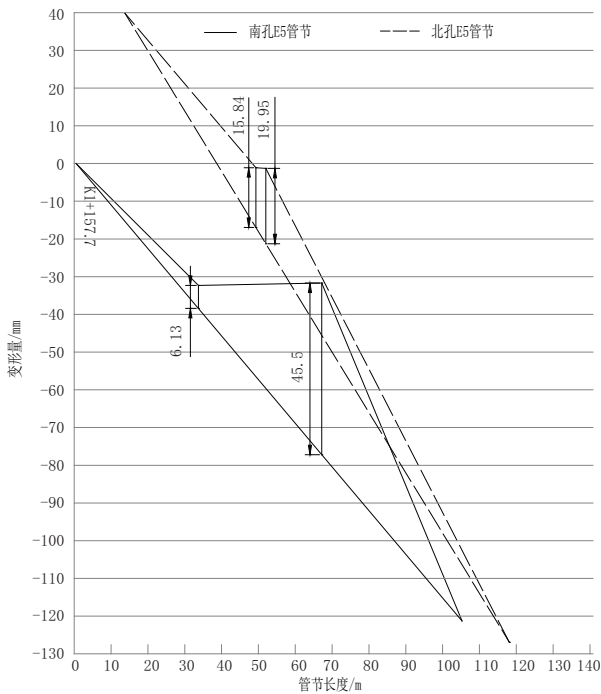


图 12 E5 管节竖向弯曲变形图

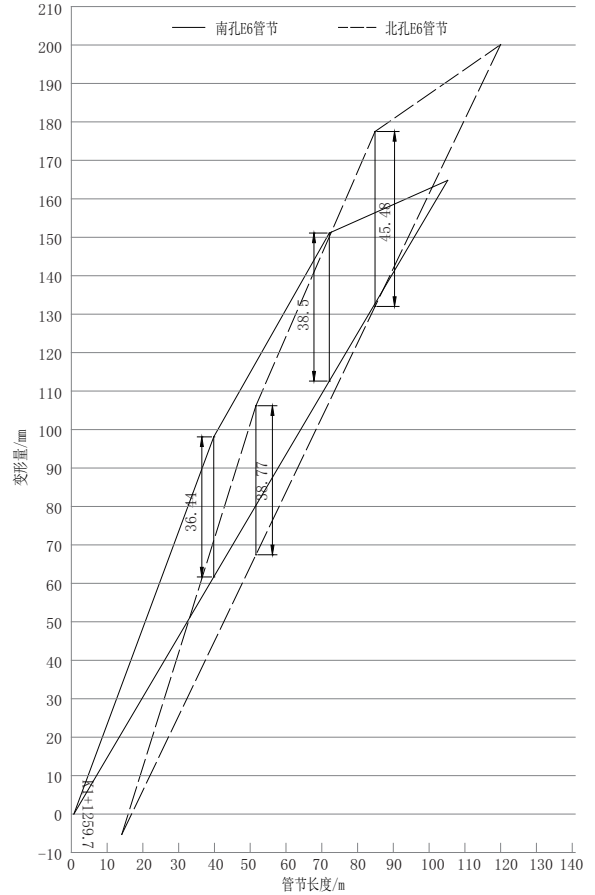


图 13 E6 管节竖向弯曲变形图

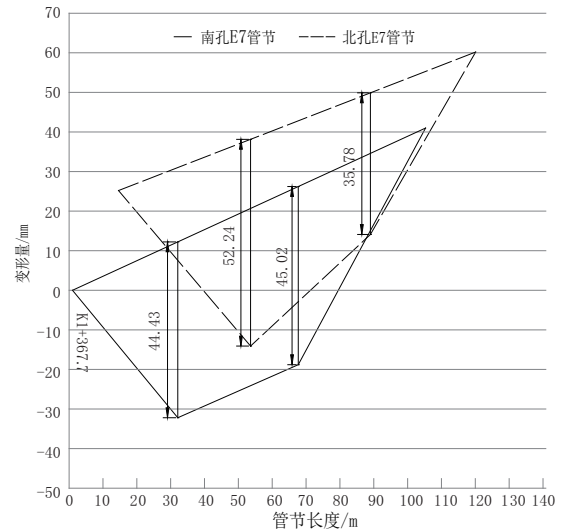


图 14 E7 管节竖向弯曲变形图

东增大,管节内竖向弯曲变形量最大值为 10.29 mm,且沉管纵向基本呈“前部下挠、后部上拱”的弯折变形状态。

由图 10 可知,E3 沉管管节纵向沉降由浦西向浦东增大,管节内竖向弯曲变形量最大值为 21.14 mm,且沉管浦东侧纵向呈“轻微上拱”的竖向弯曲变形状态。

由图 11 可知,E4 沉管管节纵向呈“两端高、中间低”的盆式竖向弯曲变形状态,且南孔沉降比北孔

大,变形量最大值为 38.83 mm。

由图 12 可知,E5 沉管管节纵向沉降由浦西向浦东增大,管节内竖向弯曲变形量最大值为 45.5 mm,且沉管管节纵向基本呈“上拱”的竖向弯曲变形状态。

由图 13 可知,E6 沉管管节纵向沉降由浦西向浦东减小,管节内竖向弯曲变形量最大值为 45.48 mm,且沉管管节纵向基本呈“上拱”的竖向弯曲变形状态。

由图 14 可知,E7 沉管管节纵向呈“两端高、中间低”的盆式竖向弯曲变形状态,变形量最大值为 52.24 mm,且为诸多沉管管节中的最大变形量。

综上所述,南北孔各管节的内部弯曲形态基本一致。因为不均匀沉降导致的管节内部竖向弯曲必然影响管节的受力性能,尤其是 E2 管节局部出现反弯点,导致其受力更加复杂。管内姿态的不同也会影响地基刚度的分布,加上经过多年运营后接头状态的退化和变异,会进一步改变各管节的受力状态。因此对于沉管隧道的性能分析需要考虑不均匀沉降发展规律和自身弯曲状态的综合效应,同时结合各个管节对应的表观病害进行关联分析。

6 管节接头两侧沉管扭转变形分析

根据 2003 年 10 月至 2019 年 4 月的隧道沉降监测数据,计算各管节接头两侧沉管端部断面测点的相对沉降值,并据此绘制各管节接头两侧的相对沉降曲线,以分析管节接头两侧沉管是否存在横向扭转变形。测点的相对沉降值均以该沉管管节南孔浦西端测点为基准点。4# 节段缝两侧沉管横向累计相对沉降差(相对 2003 年 10 月)见图 15。

由图 15 可知,4# 节段缝两侧沉管目前未发生明

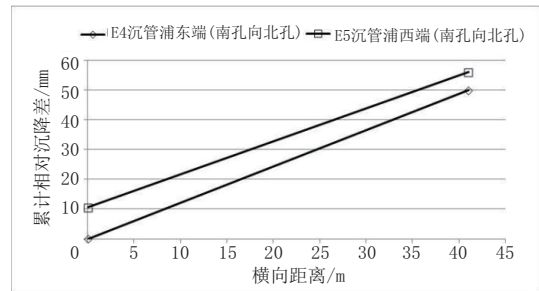


图 15 管节接头两侧沉管横向累计相对沉降差变形图显的横向扭转沉降变形。

7 结语

沉管隧道的沉降受到地基刚度分布、覆土厚度以及周边环境的影响而具有很大的不确定性。对于隧道沉降发展规律的分析 and 性能评价,需要综合考虑隧道沉降纵向整体分布规律、沉降速率的稳定性和隧道差异沉降分布规律。隧道姿态的变化会导致沉管隧道各管节处于不同形态的自身竖向弯曲状态,从而进一步加剧管节受力的复杂性。本文基于长期沉降监测数据,对某沉管隧道的安全性能进行系统分析,得出该隧道沉降发展整体趋于稳定的结论。

参考文献:

- [1] GURSOY A. Immersed steel tube tunnels: An American experience[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 1995, 10(4): 439-453.
- [2] 李宏哲,姜国栋,张国柱,等. 沉管隧道常见病害及检查维护思考[J]. 隧道建设, 2019, 39(1): 465-470.
- [3] 林鸣,林巍,李哈汀,等. 港珠澳大桥沉管隧道运行情况[J]. 中国港湾建设, 2018, 38(1): 1-6.
- [4] 林鸣,刘晓东,林巍,等. 沉管隧道半刚性管节[J]. 水道港口, 2018, 39(2): 1-13.
- [5] 谭长建,吴华勇. 运营期盾构隧道沉降分析研究[J]. 上海公路, 2016(1): 43-45.
- [6] 方亮,蔡文豪. 沉管隧道差异沉降容许值的计算[J]. 广东土木与建筑, 2019, 26(5): 10-13.

《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