

DOI: 10.11779/CJGE201912020

甬江沉管隧道运营期接头监测数据安全性分析

谢雄耀^{1, 2}, 易成敏^{1, 2}, 李伟平³, 方勇刚³

(1. 同济大学岩土及地下工程教育部重点实验室, 上海 200092; 2. 同济大学土木工程学院地下建筑工程系, 上海 200092;

3. 浙江省交通规划设计研究院, 浙江 杭州 310000)

摘要: 沉管隧道接头的力学性能是其安全运营的关键。通过宁波甬江沉管隧道 23 a 的运营期接头沉降的监测数据分析, 找出了沉管隧道在软土地基中产生的不均匀沉降与沉管隧道接头各种变形的关系, 讨论了甬江沉管隧道在 23 a 运营期间的不均匀沉降的规律。其次, 建立 GINA 止水带的受力模型, 计算了由于接头变形导致的 GINA 止水带受力的问题, 并检验了接头止水的安全性。最后, 提出了在隧道运营期间, 可通过强制位移法利用隧道沉降监测数据对结构进行安全性评估的方法。

关键词: 沉管隧道; 运营期监测; 不均匀沉降; 接头变形; 安全分析

中图分类号: TU433

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2019)12-2338-07

作者简介: 谢雄耀(1972—), 男, 博士, 教授, 主要从事地下空间监测施工等方面的教学和科研工作。E-mail: xiexiongyao@tongji.edu.cn。

Safety analysis of settlement monitoring data of joints of Yongjiang immersed tube tunnel during operation period

XIE Xiong-yao^{1, 2}, YI Cheng-min^{1, 2}, LI Wei-ping³, FANG Yong-gang³

(1. Key Laboratory of Geotechnical and Underground Engineering, Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Department of Underground Building Engineering, School of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. Institute of Transportation Planning and Design of Zhejiang Province, Hangzhou 310000, China)

Abstract: The mechanical properties of immersed tunnel joints are the key to their safe operation. By analyzing the monitoring data of joint settlement of Yongjiang immersed tube tunnel in Ningbo for 23 years operation, the relationship between uneven settlement of immersed tube tunnel in soft soil foundation and joint deformation of immersed tube tunnel is found, and the laws and reasons of uneven settlement are analyzed and discussed. The stress model for GINA waterstop is established, the stress of GINA waterstop caused by joint deformation is calculated, and the safety of joint waterstop is checked. Finally, the safety assessment method for the structures by using the settlement monitoring data of the tunnel through the forced displacement method during its operation is put forward.

Key words: immersed tube tunnel; operation monitoring; uneven settlement; joint deformation; safety analysis

0 引 言

建于软土地基上的沉管隧道由于存在较长的沉降周期, 沉管隧道的管段会产生不均匀沉降。因为沉管隧道接头的部位刚度会比管段部分小, 隧道的不均匀沉降引起的剪切、扭转等变形都集中到接头部位, 使得沉管隧道接头的部位变成了受附加荷载和附加变形的重要部位。

对此, 许多学者也进行了研究。刘鹏等^[1-2]在考虑管节接头力学特性的基础上提出了相应的力学模型及其参数确定的系列方法; 萧文浩等^[3]对港珠澳沉管隧道进行了大比例尺管节接头压弯试验研究; 禹海涛等^[4]在此基础上提出了相应的力学模型及解析。

许多学者也对此进行了较多研究工作, 胡指南等^[5]、武义凯等^[6]就节段接头剪力键破坏状态与机理开展了相应研究; 黄帆^[7]基于橡胶材料本构模型、Mooney-Rivlin 参数应变能函数公式和蠕应变率方程建立数学模型进行数值模拟分析; 刘正根等^[8]计算得出保证 GINA 止水带的防水性的最小压缩量要求。

目前, 关于软土地基上沉管隧道接头变形与沉管隧道长期不均匀沉降之间的关系还没有系统的研究。本文依托于甬江沉管隧道的工程实例, 详细分析甬江隧道运营 23 a 来的接头变形量和接头沉降之间的关

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC0809600, 2018YFC0809601)

收稿日期: 2019-02-21

系,建立了相应的接头力学模型,计算了接头承受的附加应力,检验了接头安全,最后提出了在隧道运营期间,可通过强制位移法利用隧道沉降监测数据对结构进行安全性评估的方法。

1 甬江沉管隧道工程概况

浙江宁波甬江的沉管隧道管段基础均处于淤泥及淤泥质土上,工程地质条件差,隧道埋置于底部的沉管段共由 5 节沉管 420 m (85 m+80 m+85 m+85 m+85 m) 采用半刚半柔性接头(如图 1 所示)连接而成。

隧道各层土体的分布如图 2 所示。图中可以看出,该处地层分层明显,由上至下依次是粉质黏土,淤泥,淤泥质黏土和淤泥夹层,中砂层,含泥砂层。各层土的物理力学参数见表 1。甬江隧道于 2007 年 11 月到 2008 年 3 月期间大修,其后由于 2015 年 9 月台风水淹大修,至 2016 年 10 月完成。23 a 的运营期间采用水准仪观测沉降,每 10 min 测得一个数据。

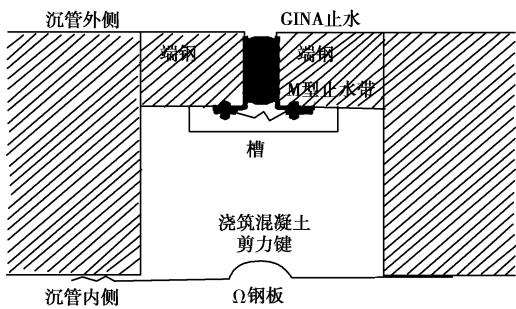


图 1 宁波甬江隧道半刚半柔性接头示意图
Fig. 1 Schematic diagram of semi-rigid semi-flexible joint of Yongjiang tunnel in Ningbo

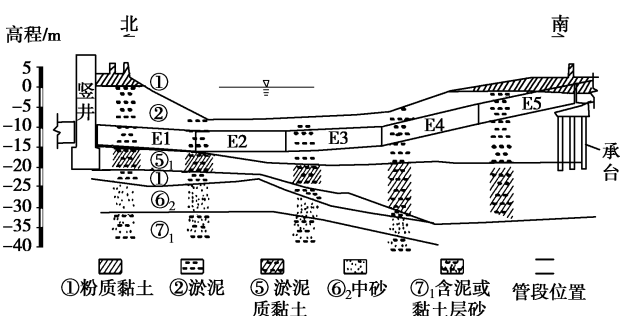


图 2 甬江沉管隧道地层剖面图
Fig. 2 Stratigraphic section of Yongjiang immersed tube tunnel

2 监测数据分析

2.1 测点布置

沉降监测采用水准仪观测隧道内侧墙上固定标志点的绝对高程,并以此计算沉管隧道的沉降,纵向不均匀沉降和相邻管节的差异沉降,精度为 0.1 mm。宁波沉管隧道采用半刚半柔性接头,接头部位的刚度约为正常管段的 1/600~1/400,监测点的布置及编号如图 3 所示。为方便表示,监测断面从左至右依次称为 J1~J6,每个接头部位均设 4 个接头沉降观测点,分别位于混凝土管节端头两侧的侧墙上(J1、J6 除外,部分设置于竖井)。

2.2 沉降数据和接头变形的关系

沉管隧道接头的位移^[9]分解为管段差异沉降、管端差异沉降、横向差异沉降 3 种位移,相应的导致了接头部位弯曲、剪切、扭转 3 种类型的变形,对应了接头部位受弯、受剪、受扭 3 种受力状态,如图 4 所示。

表 1 土的物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of soils

| 土层编号 | 土层名称 | 含水率 /% | 密度 /(g·cm ⁻³) | 孔隙比 | 液限 /% | 塑限 /% | 塑性指数 | 压缩模量/MPa | 黏聚力 /kPa | 内摩擦角/(°) |
|----------------|-------|--------|---------------------------|-------|-------|-------|------|----------|----------|----------|
| ① | 粉质黏土 | 38.0 | 1.84 | 1.038 | 32.4 | 20.0 | 12.4 | 4.93 | — | — |
| ② | 淤泥 | 40.2 | 1.81 | 1.094 | 33.7 | 21.2 | 12.6 | 3.21 | 19 | 13.0 |
| ⑤ ₁ | 淤泥质黏土 | 49.1 | 1.72 | 1.367 | 40.6 | 23.8 | 16.9 | 2.81 | 23 | 16.1 |
| ⑥ ₂ | 中砂 | 22.8 | 1.87 | 1.040 | 22.9 | 13.8 | 9.1 | 6.10 | 8 | 30.0 |
| ⑦ ₁ | 含泥层砂 | 38.5 | 1.82 | 1.070 | 33.1 | 20.2 | 12.9 | 5.27 | 14 | 20.0 |

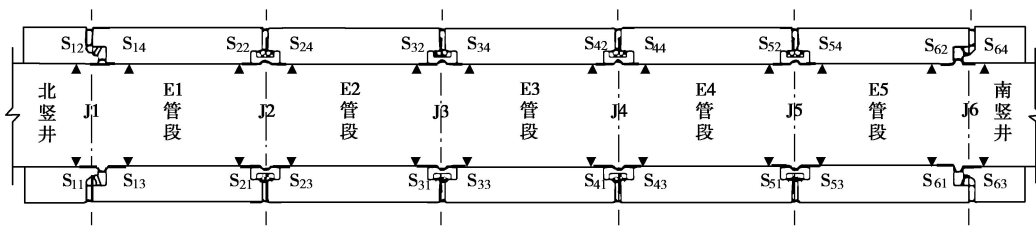


图 3 接头沉降的监测位置
Fig. 3 Monitoring position of joint settlement

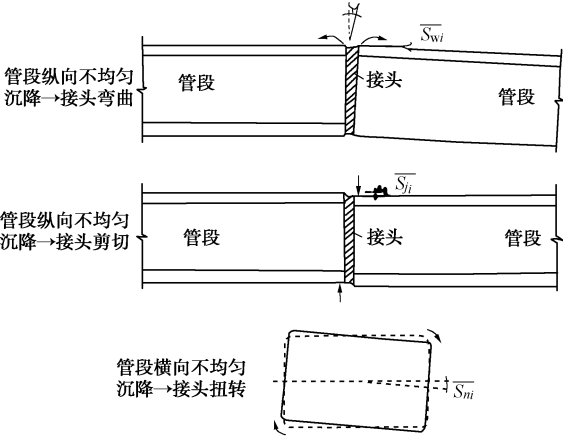


图 4 沉降与接头变形的关系示意图

Fig. 4 Schematic diagram of relationship between settlement and joint deformation

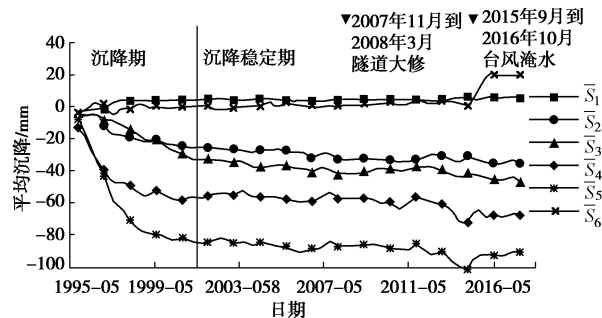
2.3 位移监测数据

(1) 各管端平均沉降监测

各管端的平均累积沉降量可以用公式

$$\bar{S}_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 S_{ij} \quad (1)$$

计算, 其中 \bar{S}_1 到 \bar{S}_6 分别是北竖井-E1 管段到 E5 管段-南竖井间的平均累积沉降值, 曲线如图 5。



注: 与管段对应图可参考图3接头沉降的监测位置, 沉降为“-”, 上浮为“+”

图 5 接头历年累计沉降曲线

Fig. 5 Curves of cumulative settlement of joints

从图 5 中可以看出:

隧道自 1996 年运营开始, 至 2001 年 1 月的 5 a 间, 隧道完成了大部分的沉降, 此时间内隧道沉降速率很大, 把这段时期称为隧道沉降期。

2001 年 5 月到 2008 年 9 月隧道沉降基本趋于稳定, 这段时间称为沉降稳定期。

2007 年 11 月开始到 2008 年 3 月为隧道大修期间, 此后, 沉降变化比较稳定。

2016 年由于台风“杜娟”, 隧道积水最深至 1.5 m, 造成隧道内机电设施受到不同程度的水淹损害, 隧部分管段略有上浮, 说明隧道水淹事故对沉管隧道短期沉降有所影响, 但经过及时的补救施工措施, 并不会对隧道长期稳定性造成影响。

在隧道运营期间, 沉降最小的 E1-E2 接头平均上浮 10 mm, 沉降最大的 E4-E5 接头平均沉降量达到 101 mm, 分析图 6 可知, 沉管隧道的永久沉降量和地层条件几乎成正相关, 软弱土层越厚, 沉降越大, 式 (1) 也说明, 永久沉降在荷载相同的情况下, 和土层性质有关。

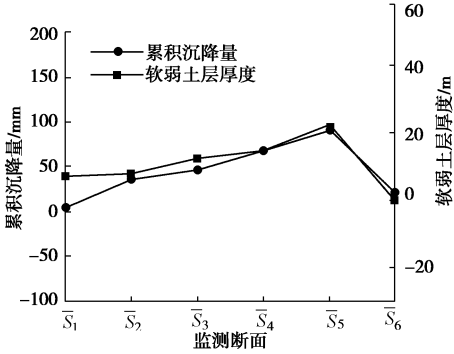


图 6 接头历年累计沉降与软弱土层厚度对比曲线

Fig. 6 Comparison of cumulative settlements and thicknesses of soft soil layer in different years

基础层的压缩^[10]计算公式为

$$\Delta \varepsilon = k_1 (\sigma_2^n - \sigma_1^n) \quad (2)$$

式中, $\Delta \varepsilon$ 为基础层的压缩应变, σ_1 与 σ_2 为基础层的初始应力和最终应力, k_1 与 n 为基础层压缩试验常数, 与土层性质有关。

(2) 管段纵向差异沉降——弯曲变形

管段纵向差异沉降由管段北端接头沉降减南端接头沉降得到, 用公式

$$\bar{S}_{wi} = \frac{1}{2} (S_{i3} + S_{i4} - S_{(i+1)1} - S_{(i+1)2}) \quad (3)$$

计算, 其中 S_{wi} 结果如图 7 所示。

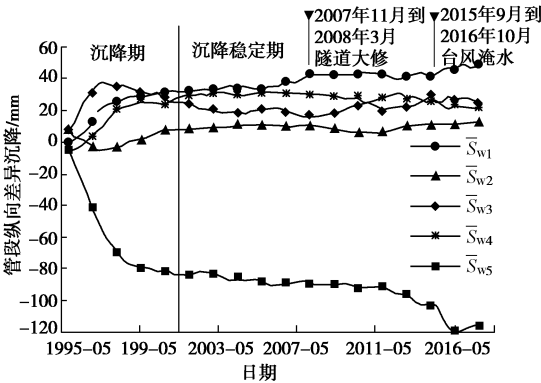


图 7 各接头历年管段纵向差异沉降曲线

Fig. 7 Curves of longitudinal differential settlement of pipe ends

由图 7 中可以看出:

接头管端差异沉降大部分也在沉降期完成, 沉降稳定期波动较小。

除 E5 管段外, E1, E2, E3 和 E4 管段的差异沉降均为正值, 说明 E1, E2, E3 和 E4 管段南端的沉降

较北端大,管段相对原来平衡位置为顺时针方向旋转,只有 E5 北端的沉降较南端大,管段逆时针方向旋转(管端纵向差异沉降累计值见表 2),这是由于管段左右下覆软弱土层厚度差异引起,参见图 2。

表 2 接头历年管端纵向差异沉降累计值表格
Table 2 Accumulated values of longitudinal differential settlement of pipe ends

| 管段 | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 管段纵向差异沉降累计值/mm | 48.65 | 12.65 | 24.55 | 21.45 | -115.65 |

注:正值表示管段北端沉降小于南端,负值表示管段南端沉降小于北端。

管段差异沉降反映出接头弯曲变形的趋势。5 个管段两端的差异沉降量呈现“中间小,两头大”的趋势,这是由于端头竖井基础埋置深,绝对沉降小,而中间管段基础为软弱土,绝对沉降较大的缘故,沉降示意图见图 8,该沉降引起接头弯曲变形。

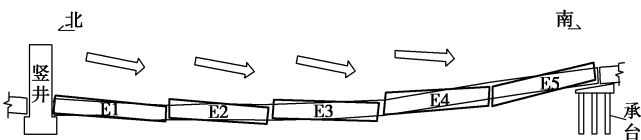


图 8 管段差异沉降下的管段变形趋势图
Fig. 8 Deformation trend of pipe section under differential settlement

假设每个管段是刚性的,绕管段接头进行转动,则管段转角近似计算公式为

$$\theta_{i-(i+1)} = \frac{\bar{S}_{wi}}{l_i} - \frac{\bar{S}_{wi+1}}{l_{i+1}}, \quad (4)$$

式中, $\theta_{i-(i+1)}$ 为 $Ei-E(i+1)$ 管段接头的转角, \bar{S}_{wi} 为 Ei 管段两端纵向的不均匀沉降, l_i 为 Ei 管段长度。换算出的弯曲变形角度见表 3。

表 3 管段接头纵向弯曲角
Table 3 Longitudinal bending angles of pipe joints

| 管段 | E1-E2 | E2-E3 | E3-E4 | E4-E5 |
|--------|--------|---------|--------|-------|
| 弯曲/rad | 0.0041 | -0.0013 | 0.0004 | 0.016 |

注:正值表示向下弯曲,负值表示向上弯曲。

(3) 管端纵向差异沉降——剪切变形
管端纵向差异沉降由管端接头北测点减南测点数据得到

$$\bar{S}_{ji} = \frac{1}{2}(S_{(i+1)1} + S_{(i+1)2} - S_{(i+1)3} - S_{(i+1)4}), \quad (5)$$

结果如图 9 所示,纵向差异沉降累计值列于表 4。

从图 9 中可以看出:
与图 7 相比较,各接头的管端差异沉降量小于管段差异沉降量,差异沉降值大致在 $-2 \sim +5$ mm 之间变

化,管端差异沉降稳定。

表 4 管段纵向差异沉降累计值表
Table 4 Accumulative values of longitudinal differential settlement of pipe sections

| 管段 | E1-E2 | E2-E3 | E3-E4 | E4-E5 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| 管段纵向差异沉降累计值/mm | -0.9 | -0.25 | 0.25 | 4.85 |

注:北端相对南端下沉表示为正值,反之表示为负值。

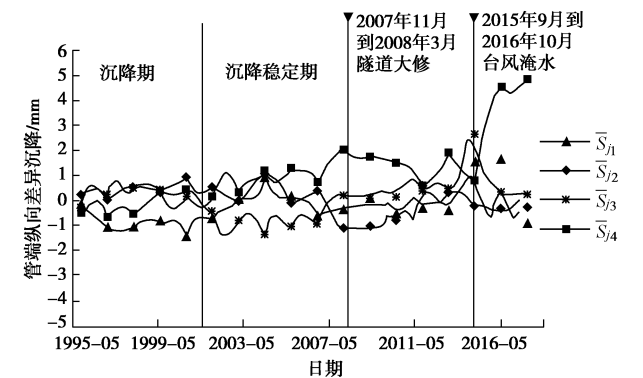


图 9 各接头历年管端纵向差异沉降的比较
Fig. 9 Comparison of longitudinal differential settlements of pipe ends in different joints

管端纵向差异沉降反映出接头剪切变形的大致趋势。E1-E2, E2-E3 管端差异沉降基本保持为零,没有明显剪切, E4 相对 E3, E5 相对 E4, E1 相对于北竖井均有相对向上的剪切作用, E5 相对与南竖井相对向下的剪切作用。

(4) 管端横向差异沉降——扭转变形
管端横向差异沉降由管端接头上游测点减下游测点数据得到

$$\bar{S}_{ni} = \frac{1}{2}(S_{(i+1)1} + S_{(i+1)3} - S_{(i+1)2} - S_{(i+1)4}), \quad (6)$$

结果如图 10 所示,横向差异沉降累计值列于表 5。

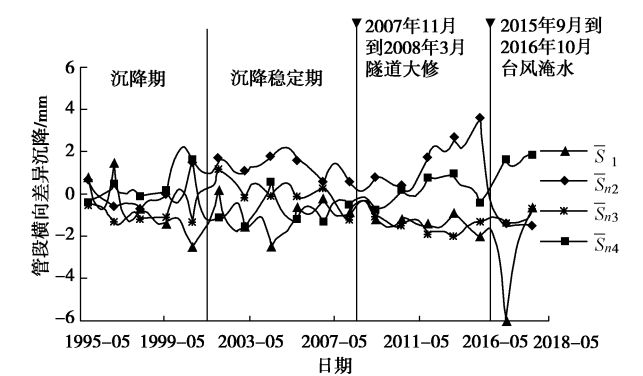


图 10 各接头历年管端横向差异沉降的比较
Fig. 10 Comparison of transverse differential settlements of pipe ends in different joints

从图 10 中可以看出:

接头横向差异沉降反映出接头扭转变形的大致趋势，E2-E1，E4-E3 管端横向差异沉降基本保持为零，即没有明显扭转，而 E3-E2 管端有逆时针方向的扭转作用，E5-E4 管端有顺时针方向的扭转作用，体现为地层横向差异性不大，差异沉降小。

表 5 管端横向差异沉降累计值表

| Table 5 Accumulative values of lateral differential settlement of pipe ends | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|
| 管段 | E1-E2 | E2-E3 | E3-E4 | E4-E5 |
| 管端横向差异沉降累计值/mm | -0.6 | -1.5 | -0.7 | 1.9 |

注：西端相对东端下沉表示为正值，反之表示为负值。

3 接头受力计算

3.1 接头变形

管段接头变形量如表 3~5 所示。接头几何变形示意图如图 11 所示。弯曲变形对应压缩和张开的正应变，剪切变形对应剪应变。

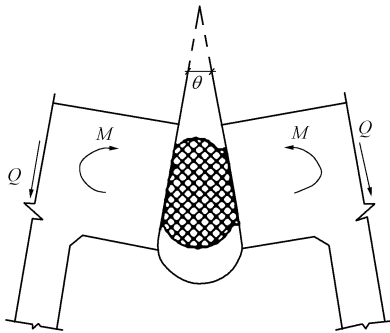


图 11 沉管隧道接头处几何变形示意图

Fig. 11 Schematic diagram of geometric deformation at joint of immersed tunnel

3.2 接头止水带刚度模型

沉管隧道的接头部分防水采用 GINA 橡胶和 OMEGA 钢板止水带双层的组合止水方式，GINA 止水带^[11]、剪力键和 OMEGA 钢板可看成轴向弹簧和切向弹簧组成，如图 12 所示。

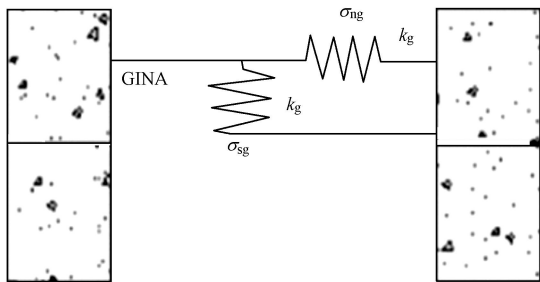


图 12 GINA 止水带受力模型

Fig. 12 Force model for GINA waterstop

GINA 止水带受力为

$$\left. \begin{aligned} \sigma'_{ng} &= k_g u_{ng} + \sigma_{ng} \\ \sigma'_{sg} &= k_g (u_{sg} + \nu u_{ng}) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

式中， k_g 是沉管隧道接头部分 GINA 止水带的轴向刚度，由于止水带橡胶是各向同性材料，因此也是切向刚度； u_{ng} 是沉管隧道接头部分 GINA 止水带的轴向等效变形量，而 u_{sg} 是切向等效变形量； σ_{ng} 是管隧道接头部分 GINA 止水带等效的初始应力； σ'_{ng} 为变形后轴向应力； σ'_{sg} 为变形后切向应力； ν 为橡胶材料的泊松比，取 0.5。

OMEGA 等效弹簧组受力为

$$\left. \begin{aligned} \sigma'_{n\Omega} &= k_{\Omega} u_{n\Omega} + \sigma_{n\Omega} \\ \sigma'_{s\Omega} &= k_{\Omega} (u_{s\Omega} + \mu u_{n\Omega}) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

式中， k_{Ω} ， $u_{n\Omega}$ ， $u_{s\Omega}$ ， $\sigma_{n\Omega}$ ， $\sigma'_{n\Omega}$ ， $\sigma'_{s\Omega}$ ， μ 的含义与前文相似。

剪力键等效弹簧组受力为

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ns} &= 0 \\ \sigma_{ss} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

式中， σ_{ns} ， σ_{ss} 含义与前文相似。

在水力压接的作用下，GINA 止水带被压紧，待水力压接完成后，安装 OMEGA 止水带。此时，纵向力完全由 GINA 止水带承担。若剪力键在竖向和水平方向的相对位移小于剪力键与樨之间的相应空隙宽度，则剪力键并没有受力，同理 OMEGA 钢板受力也较小。因此本节主要关注 GINA 止水带的受力情况。

根据图 13 可知，GINA 止水带的压缩位移和压力的关系，分段拟合，取

$$k_g = \begin{cases} 1.56 \times 10^6 & (u_g < 32 \text{ mm}) \\ 5.56 \times 10^8 u_g - 0.18 \times 10^8 & (u_g \geq 32 \text{ mm}) \end{cases} \quad (10)$$

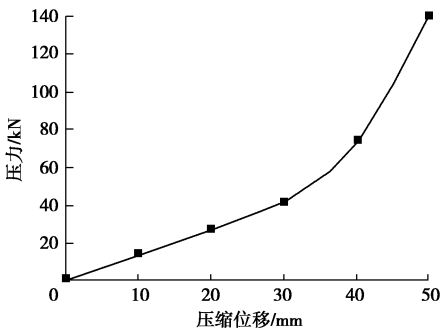


图 13 GINA 止水带压力 - 压缩曲线

Fig. 13 Pressure-compression curves of GINA water-stop

由表 3 的纵向弯曲角，假设 GINA 止水带位于边缘 0.3 m 处，则各管段接头弯曲纵向变形量计算式如下（结果列于表 6）：

$$u_g = 0.3 \times \theta \times 10^3 \quad (11)$$

代入 GINA 止水带的受力模型可以得到 GINA 止

水带受到的附加轴向应力、附加切向应力的图像（见图 14）。

表 6 各管段接头弯曲纵向变形量

| Table 6 Longitudinal bending deformations of joints of pipe sections | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|
| 管段 | E1-E2 | E2-E3 | E3-E4 | E4-E5 |
| u_g/mm | 1.23 | -0.39 | 0.12 | 4.8 |

注：正值表示受压弯曲，负值表示受拉弯曲。

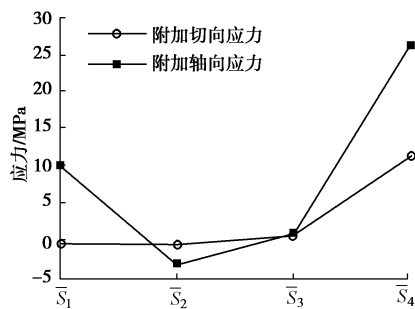


图 14 各管端接头附加应力

Fig 14 Additional stress of pipe end joints

计算发现 E4-E5 管段附加轴向应力和附切向应力最大，因此在所有管段中处于最不利的状态。

表 7 GINA 止水带的剩余压缩量监测预警值

| Table 7 Monitoring and warning values of residual compression of GINA waterstop (mm) | | | | | |
|--|----------------|------------|------|------|------|
| 安全等级 评价 | 警戒范围 | 沉管隧道接头断面位置 | | | |
| | | E1-2 | E2-3 | E3-4 | E4-5 |
| 安全 | $U>0.5U_0$ | 8.9 | 6.0 | 8.7 | 8.0 |
| 三级预警 | $U\leq 0.5U_0$ | 8.9 | 6.0 | 8.7 | 8.0 |
| 二级预警 | $U\leq 0.3U_0$ | 5.3 | 3.6 | 5.2 | 4.8 |
| 一级预警 | $U\leq 0.1U_0$ | 1.8 | 1.2 | 1.7 | 1.6 |

注：表中 U_0 是沉管隧道各接头的 GINA 止水带的安全极限剩余压缩量， U 是沉管隧道智能健康监测系统的实测剩余压缩量。

由于端面接口初始预留安全剩余压缩量为 48 mm，计算得出的最大接头张开量为 4.8 mm（E4-E5），则剩余压缩量还有 44.2 mm，大于表 7 所示的设计时的安全预警值 8 mm，仍然处于安全运营状态，2009 年大修时对该管段接头进行了检查，也验证了这一结论。

4 结 语

本文综合分析了甬江沉管隧道运营期沉降的数据，得到了软土地基上沉降的规律，沉降的大小主要受到地基土层性质影响。

研究了软土地基上沉管隧道的沉降与接头变形的关系，运用此数据得到的接头变形计算了接头受力，

找出了最危险接头，对比安全限值，验证了接头防水的安全性。

最后，提出了在隧道运营期间，可通过强制位移法利用隧道沉降监测数据对结构进行安全性评估的方法。

参考文献：

[1] 刘 鹏, 丁文其, 金跃郎, 等. 沉管隧道接头三维非线性刚度力学模型[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2014, 42(2): 232 - 237. (LIU Peng, DING Wen-qi, JIN Yue-lang, et al. Three-dimensional nonlinear stiffness mechanics model of immersed tube tunnel joints[J]. Journal of Tongji University (Natural Science Edition), 2014, 42(2): 232 - 237. (in Chinese))

[2] 刘 鹏, 丁文其, 杨 波. 考虑接头力学特性的沉管隧道计算方法[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014(6): 1983 - 1991. (LIU Peng, DING Wen-qi, YANG Bo, et al. Calculation method of immersed tube tunnel considering mechanical properties of joints[J]. Journal of Central South University (Natural Science Edition), 2014(6): 1983 - 1991. (in Chinese))

[3] 萧文浩, 徐国平, 禹海涛, 等. 沉管隧道大比尺管节接头压弯试验研究[J]. 结构工程师, 2014(5): 181 - 186. (XIAO Wen-hao, XU Guo-ping, YU hai-tao, et al. Experimental study on bending of large-scale pipe joints in immersed tunnel[J]. Structural Engineer, 2014(5): 181 - 186. (in Chinese))

[4] 禹海涛, 袁 勇, 刘洪洲, 等. 沉管隧道接头力学模型及刚度解析表达式[J]. 工程力学, 2014, 31(6): 145 - 150. (YU Hai-tao, YUAN Yong, LIU Hong-zhou, et al. Mechanics model and rigidity analytical formula of immersed tube tunnel joints[J]. Engineering Mechanics, 2014, 31(6): 145 - 150. (in Chinese))

[5] 胡指南, 谢永利, 来弘鹏, 等. 沉管隧道节段接头剪力键破坏状态与机理研究[J]. 建筑结构, 2015(1): 77 - 81. (HU Zhi-nan, XIE Yong-li, LAI Hong-peng, et al. Study on failure state and mechanism of shear keys in section joints of immersed tube tunnel[J]. Building Structure, 2015(1): 77 - 81. (in Chinese))

[6] 武义凯, 谢永利. 沉管隧道的 ANSYS 三维有限元分析研究[J]. 西安科技大学学报, 2014, 34(3): 296 - 301. (WU Yi-kai, XIE Yong-li. ANSYS three-dimensional finite element analysis of Immersed Tunnel[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2014, 34(3): 296 - 301. (in Chinese))

- [7] 黄帆. 沉管隧道GINA橡胶止水带数值模拟分析[J]. 结构工程师, 2010, 26(1): 96 - 102. (HUANG Fan. Numerical simulation and analysis of GINA rubber water stop belt in immersed tunnel[J]. Structural Engineer, 2010, 26(1): 96 - 102. (in Chinese))
- [8] 刘正根, 黄宏伟, 张冬梅. 沉管隧道接头三维非线性数值模拟[J]. 地下空间与工程学报, 2011, 7(4): 691 - 694. (LIU Zheng-gen, HUANG Hong-wei, ZHANG Dong-mei. Three-dimensional nonlinear numerical simulation of immersed tube tunnel joints[J]. Journal of Underground Space and Engineering, 2011, 7(4): 691 - 694. (in Chinese))
- [9] 唐英, 管敏鑫, 万晓燕. 沉管隧道接头的理论分析及研究[J]. 中国铁道科学, 2002, 23(1): 67 - 72. (TANG Ying, GUAN Min-xing, WANG Xiao-yan. Theoretical analysis and research on the joint of immersed tube tunnel[J]. Railway Science in China, 2002, 23(1): 67 - 72. (in Chinese))
- [10] 谢雄耀, 王培, 李永盛, 等. 甬江沉管隧道长期沉降监测数据及有限元分析[J]. 岩土力学, 2014(8): 2314 - 2324. (XIE Xiong-yao, WANG Pei, LI Yong-sheng, et al. Long-term settlement monitoring data and finite element analysis of Yongjiang immersed tunnel[J]. Geotechnical Mechanics, 2014(8): 2314 - 2324. (in Chinese))
- [11] 刘洪洲, 张志刚, 柴瑞, 等. 沉管隧道节段接头作用机理及构造形式探讨[J]. 公路, 2015(4): 27 - 32. (LIU Hong-zhou, ZHANG Zhi-gang, CHAI Rui, et al. Discussion on the mechanism and structure form of segment joint of immersed tube tunnel[J]. Highway, 2015(4): 27 - 32.)

第29届全国土工测试学术研讨会通知 (2020年7月18, 19日, 呼和浩特)第1号通知

主办单位: 中国土木工程学会土力学及岩土工程分会, 中国水利学会岩土力学专业委员会。

承办单位: 内蒙古工业大学等。

协办单位: 《岩土工程学报》编委会等。

大会邀请及主题: 中国土木工程学会土力学及岩土工程分会, 中国水利学会岩土力学专业委员会拟定于2020年7月在呼和浩特召开“第29届全国土工测试学术研讨会”, 会议主题: “岩土工程勘察技术及土工测试新技术、新方法”。中国土木工程学会土力学及岩土工程分会, 中国水利学会岩土力学专业委员会邀请全国相关学科的专家、学者、科技工作者与工程技术人员, 特别是青年岩土工程工作者踊跃撰稿, 集聚呼和浩特, 围绕会议主题探讨与交流土工测试最新研究成果与实践经验。

会议要点: 本次学术研讨会组织委员会、学术委员会由承办、协办单位, 学会专委会专家组成。会议将邀请国内著名土工测试专家进行特邀报告和主题报告, 并进行新编《土工试验方法标准》(GB/T50123—2019)宣贯。

会议专题: ①岩土工程勘察技术; ②土基本性质测试; ③

土工物理模型试验; ④土工原测试技术; ⑤现场土工监测技术; ⑥环境土工测试技术; ⑦特殊土性质测试技术; ⑧土工微观测试新技术; ⑨土工测试新型技术设备。

会议论文与出版: 会议投稿论文要求为原创、未公开发表的内容, 论文篇幅一般在5页以内, 格式请参考《岩土工程学报》。会议期间将通过投票遴选优秀论文推荐到《岩土工程学报》(增刊)(EI收录)、《地下空间与工程学报》、《内蒙古农业大学学报》、《内蒙古科技大学学报》、《内蒙古工业大学学报》其他论文将在论文集中刊出。

投稿邮箱: geotest2020@163.com。

重要日期: ①2019年12月30日前提交论文全文; ②2020年2月15日前返回论文录用通知; ③2020年3月15日前返回修改后论文。

会议联系方式: 地址: 内蒙古呼和浩特市新城区爱民街49号内蒙古工业大学土木工程学院, 邮政编码: 010051, 联系人: 刘俊芳: 18647964316; 杜强: 15560924010; 马建国: 18847187706。

(大会组委会 供稿)