

浅议沉管隧道管节接头的位移监测

任颖铭

港珠澳大桥管理局 广东珠海 519000

摘要: 本文针对已建成的沉管隧道沉管管节接头的位移观测进行一般方法的梳理, 简要介绍沉管管节的生产运移、组装施工、检测维护过程, 重点突出沉管隧道建成后沉管管节的维养工作, 而预警维护的重点就是检测, 为此, 本文重点介绍沉管隧道中沉管管节的检测手段和检测方法。

关键词: 沉管管节生产; 现场施工; 观测设备安装; 观测方法

Displacement monitoring of pipe joint in immersed tube tunnel

Yingming Ren

The Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge Authority, Zhuhai, Guangdong, 519000

Abstract: This paper provides a general overview of the displacement monitoring methods for the joint connections of immersed tube tunnels that have been completed. It briefly introduces the production, transportation, assembly, and construction processes of the immersed tube joint, with a focus on the maintenance and preservation work of the joint connections after the completion of the immersed tube tunnel. The emphasis of the warning maintenance is on the detection. Therefore, this paper focuses on the detection means and methods for the joint connections of immersed tube tunnels.

Keywords: Production of sink pipe section; site operation; Installation of observation equipment; Observation method

一、概况

我国继三峡工程、青藏铁路、南水北调、西气东输、京沪高铁之后, 继续加大交通基建建设, 目前跨海通道的建设技术已走向成熟, 但运营期内的维养工作则成为保证跨海通道能够安全使用的重点, 采用沉管管节拼接的方式建设的沉管隧道需要在建设前就设计好沉管隧道沉管管节的维养方法, 选定沉管隧道建设中的检测设备、安装方法, 以及运营期内沉管隧道的维养工作。

沉管隧道的沉管管节是营运过程中需要维养的结构主体, 会受到地震、潮汐、温度、沉降等多种应力因素的影响, 管节接头处会出现纵向、垂直、水平三个方向上的位移表现, 为此, 早期设计需重点进行力学分析。沉管隧道沉管的管节施工监测装置在监测值接近警戒值时发出报警, 可以防止大部分工程非正常的建造。其次, 对沉管隧道沉管管节对接完成后的检测设备安装, 同时, 对管段基础是否充填完成, 管段上台量是一个重要指标, 需要不

间断监测, 以确保管段基础质量, 在以往工程施工中对其检测往往只是单方位检测, 不够全面准确, 其次在携带和安装的时候不够便捷,

为此, 进入运营期后的维养工作中发现检测精度不够, 维养施工不便等问题还需进行优化。

二、建立沉管隧道及接头模型

2.1 多尺度模型

沉管隧道根据地震响应分析的多尺度方法, 其中宏观多质点-弹簧-梁耦合模型用于描述沉管隧道结构与地层的动力相互作用及隧道整体地震响应特征, 微观精细化模型用于捕捉沉管接头的张合量、剪力键受力等动态演化规律。

2.2 隧道整体宏观模型

本文提出的多尺度方法中, 宏观模型采用多质点-弹簧-梁模型, 其假定地层的自振特性不受隧道存在的影响。而由于隧道尺度与整个场地范围相比很小, 隧道存在对整个场地的基频基本没有影响, 但对于隧道周边局部范围仍具

有一定局限性。但考虑到局部相互作用的复杂性以及研究的重点,本文简化方法仍遵循这一假定。此外隧道的地震响应主要受地层的基本剪切振型控制,且忽略隧道自身惯性力对其动态响应的影响,这一点已被以往的大量研究所证实。^[1]

2.3 接头细观精细化模型

依据管节接头的细部设计构造及其受力特征,建立沉管接头细观精细化力学模型。沿管节端面 GINA 橡胶止水带的中心线,每隔 1m 设置一个非线性弹簧单元来模拟 GINA 止水带的受力和变形;根据接头水平和竖向剪力键的实际位置,采用多折线弹簧单元来模拟剪力键的受力和变形。各弹簧节点与相邻管节端点刚性连接,即形成接头细观精细化模型。其中,各弹簧单元方向的定义与整体坐标系一致,GINA 止水带仅产生轴向受力和变形,相应弹簧单元方向为轴向 xx 方向,水平和竖向剪力键的弹簧单元方向则分别为 yy 方向和 zz 方向。

沉管隧道由多个管节组成,每外管节有公母两级,每管节组装时公母对应,为保证在经常检查和巡查过程中能够对节段接头处的横、竖和纵向位移有直观的感知,在节段接头处设置相对位移观测坐标系。

三、沉管隧道生产与现场施工

沉管躺在漆黑的海底,隧道歪斜扭曲那可就出大麻烦了。于是工程人员使用打桩船在淤泥层中每隔一定间距就打一根挤密砂桩,对淤泥地基进行排水加固,铺设一条 42m 宽、30cm 厚的平坦“石褥子”,以供安放沉管。

3.1 沉管隧道预制生产

预制厂建设用地主要分为沉管预制厂、砂石料堆场及搅拌站、辅助建筑区、配套码头四大部分。

1 沉管预制厂主要布局:厂房至浅坞与深坞并列布置,共设两条生产线,依次布置有底板、侧墙、顶板钢筋绑扎区,休整区和浇筑台座。

2 砂石料堆场及搅拌站:混凝土搅拌站位于预制厂侧,搅拌站尺寸约为 $100 \times 75m$ 。砂石料堆场位于浅坞西侧紧邻搅拌站,总面积近 $6000m^2$ 。

3 辅助建筑区:沉管预制厂与试验室建在一起,紧挨混

凝土搅拌区和原材料堆场,便于管理人员全天候监管。

4 配套码头作业区:材料便于进入预制场地,码头共设置了杂货码头、散料码头、砂石料码头和供水码头。

3.2 沉管隧道现场施工

3.2.1 沉管隧道运输

沉管隧道施工为目前在建的世界最大超级工程之一,工程施工中所在的海上区域都是船舶出海要道,大型船舶来往穿梭,而地基是厚达数十米的淤泥,为此对施工进行缜密的计划,包括地基的不均匀沉降、大回淤、高水压、沉船、车辆荷载、潮水变化、地震、温度作用、混凝土收缩徐变等。再加上结构受力、防水要求、止水带选型和施工对管节接头和节段接头的影响,都要保证产品的正常运输。

隧道沉管采用浮运,在八艘总马力超过 4 万匹的拖轮牵引下,浮在海面的沉管以缓慢的速度向预定施工海域移动。沉管长 160 米,宽 37.95 米,高 11.4 米,吃水深度约为 11.1 米,总重量为 57000 吨,总排水量为 47000 吨,沉管安放最深的地方深度超过 40 米,如图 1 所示。



图 1 挤密砂桩与尚未下沉的沉管图

3.2.2 沉管隧道管节对接

针对海底厚厚的淤泥层,每隔一定间距就打一根挤密砂桩,6 公里的海底大约打了 6 万根挤密砂桩,在 40 米深的海底,硬是铺设出一条 42 米宽、30 厘米厚的平坦“石褥子”以供安放沉管。

深水沉管隧道每节排水量 75000 吨,放入 40 多米深的海底,沉放施工过程中,沉管由水下定位系统进行定位并不断优化调整,保证两个沉管海底对接时的误差控制在 2 厘米以内。对接完成后,对接端的止水带将通过水压力接密封,使管节一个个紧密连接起来,如图 2 所示



图 2 沉管接头处的止水带示意

3.2.3 沉箱安装要求

1. 沉箱在运输和吊装过程尽量避免碰撞。
2. 沉箱安装前检查基床表面, 对不符合技术要求的部位进行修整。
3. 沉箱安装时, 保证沉箱底面与基床斜面相一致。
4. 沉箱安装后, 保证沉箱底面与基床表面接触严密。
5. 沉箱安装后及时进行箱内注水, 沉箱安装完经一个潮水后检测错牙、位置和标高等符合规范要求。
6. 确认符合质量标准后及时回填块石, 防止沉箱漂移。

四、沉管节段与接头检测设备的安装

根据沉管隧道安装进展, 制定了监测内容, 建立了数字化远程监测平台和监测评价预警体系, 通过 GPRS 数传模块传输至采集工作站来获取采集数据, 并对采集的数据实时分析和处理。

4.1 监测点布设原则

观测系统采用由上至下分别设竖向观测装置、多向观测装置和纵向观测装置, 设置于中管廊安全通道左侧节段接头处墙体, 离通道地面高 1.4-1.6 米区间平整处墙面布设, 如图 3 所示, 观测精度为 1.0mm。

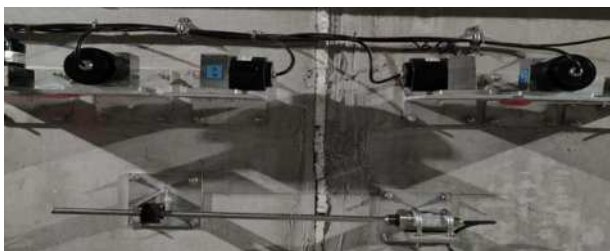


图 3 竖向观测安装示意图

多向观测装置: 在接缝处两侧设置对称并平行于接缝的 L 装置, 右侧为带横向和竖向标尺的装置 (高 5cm*宽 5cm), 左侧为带三角形尖嘴装置 (高 2.5cm*宽 5cm, 三角形长度为 5cm), 底部 (长 5cm*宽 5cm) 安装于墙体, 用

于观测竖向和横向水平位移, 左侧装置的指针指向右侧装置的红心位置, 如图 4 所示。



图 4 多向观测装置安装位置

4.2 设备安装

施工工艺流程: 施工准备→定位→基面清理→粘贴装置→场地清理。

施工工序说明: (1) 准备工具、材料。(2) 激光水平仪固定整平后放样。(3) 用海绵或抹布对节段接头进行基面清理。(4) 先通过胶枪将结构胶均匀的注射在墙体上, 然后粘贴装置, 并用铲刀修整边幅。(5) 施工结束后, 将现场杂物清理干净。

五、监测方法、维护与记录

5.1 监测方法

5.1.1 严格执行测量组织体系标准: ① 组建中心测量队, 均为参加过多项大型项目建设且经验丰富的测量工程师。② 负责测量控制网监测、工前测量、施工定位测量、沉降和位移观测、施工过程工艺检测以及监理工程师有要求的工艺检测等工作。

5.1.2 测量控制网及基准站: ① 统一采用相关技术数据和 GPS 控制网转换参数等数据。② 工程施工中控制点测量基线在施工过程中定期复核。③ 控制网定期复测。④ 定期对高等级控制点采用 GPS RTK 三维坐标进行比对, 以检验测量控制系统的稳定性, 发现异常及时与监理沟通。

5.1.3 施工测量: ① 水上船舶安装 GPS 定位, 确保船型参数的正确和精度。② 优化天线安装间距尽可能获得高的 GPS 定位精度。③ 测量工程师对 GPS 及船舶定位软件中的各项参数设置, 经监理工程师批准后实施。

5.2 维护方法

5.2.1 通过检测系统将海底隧道健康监测系统, 对地震安全、混凝土结构耐久性、沉管管节变形和海底隧道回淤

等进行监测。

5.2.2 对传感、采集、传输、控制、支持等系统设备进行定期维护。

5.2.3 通过分析软件对系统及采集控制软件进行定期维护。

5.2.4 通过外观检查、设备测试、数据分析等方式对专项监测设备进行定期维护。

5.3 记录内容

根据监测点的角度、距离,计算监测点,记录监测二维平面坐标值,其具体记录数据有以下几点。

5.3.1 地震动数值:隧道地震动加速度 10 分钟均方根最大值横向 0.02mg。地震动数值偏小,未对隧道结构产生影响。

5.3.2 管节张合量值:管节位移变化值范围为 [0.3-4.4mm]。最大变化值为 4.4mm,在设计允许范围内。

5.3.3 隧道应变值:应变最大值为 77.6 $\mu\epsilon$, 发生在位置的最终接头处。

5.3.4 测深测速值:流速 1 基本集中在[-1, 1m/s]范围内,流速 2 基本集中在[-0.5, 0.5m/s]在范围内。深度 2 测点测量值变化较小,深度 2 测深基本稳定在 9.2~10.2m 区间。全年范围水深无明显变化规律,平均深度为 9.825m,水深变

化较小。

5.3.5 结构温度值:隧道结构温度最大值为 30°C,最小值为 12.7°C,均属于正常气温,未见异常情况。

5.3.6 环境温度值:隧道环境温度最大值为 26.7°C,最小值为 14.7°C,属于正常温度主体工程结构健康监测系统以内,未见极端异常温度。

5.3.7 隧道环境湿度:环境湿度变化范围在 [26.9%-100%],大部分位置湿度都接近于 90%。

六、结论

依托港珠澳大桥岛隧工程,建立了一套完整的设计、生产、加工、安装、沉管隧道施工监测整套工艺和方法。并通过多年维护、记录数据计算证明多管节组成的沉管隧道完全符合设计要求,监测体系完整。

建议今后要关注检查隧道内的积水情况,做好除湿工作,设备安装便于观测检验维护,特别是各类传感器的安装与维护,提高检测设备的自动化控制程度,自动观测中的自动记录与人工记录保持一致,提高维护精度。

参考文献:

[1]禹海涛;宋毅;李亚东;张劭华;徐磊.沉管隧道多尺度方法与地震响应分析. 同济大学学报(自然科学版). 2021-06-15