

新建管线穿越现役桥梁安全性影响分析

励授缙

上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海

收稿日期: 2023年6月27日; 录用日期: 2023年7月18日; 发布日期: 2023年7月28日

摘要

新建管线穿越现役桥梁的安全问题一直是建设工程管理重点关注的焦点之一。为了对新建管线穿越现役桥梁进行安全性影响分析, 本文以潮州市潮安区水厂工程下穿甬莞高速公路省道跨线桥为例, 分别对设计方案与施工方案进行了深入分析, 以穿越对象在施工前后安全为目标, 对方案中涉及的安全问题进行了剖析, 尤其是针对顶管下穿施工对甬莞高速公路桥梁可能存在的安全问题构建了仿真模型, 为营运管理者提供了有利参考。

关键词

新建管线, 现役桥梁, 安全性分析

Analysis on the Safety Impact of New-Constructed Pipelines Crossing Bridge in Service

Shoujin Li

Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai

Received: Jun. 27th, 2023; accepted: Jul. 18th, 2023; published: Jul. 28th, 2023

Abstract

The safety issue of the new-constructed pipelines crossing bridge had always been one of the key focuses of construction project management. In order to analyze the safety impact of the new-constructed pipelines crossing the bridge, this article took the provincial road overpass bridge of the Yongguan Expressway under the water plant project in Chao'an District, Chaozhou City as an example, and conducted in-depth analysis of the design and construction plans. The safety issues involved in the plan were analyzed with the goal of crossing the object before and after construc-

tion. In particular, a simulation model had been constructed to address the potential safety issues that may exist in the construction of pipe jacking underpass for bridges on the Yongguan Expressway, providing favorable reference for operational managers.

Keywords

New-Constructed Pipelines, Bridges in Service, Safety Analysis

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着公路建设的不断发展,公路网密度随之加大。管线路径选择往往与公路相互交叉,交叉位置主要为公路路基段或者桥梁段。目前,管线穿越公路的施工工艺主要为顶管与定向钻,其工艺选择依据穿越位置、施工难易程度及地质条件等因素确定[1]。新建管线在穿越现役桥梁时,施工产生的扰动将对桥梁桩基产生水平与竖向的偏移。若施工不当有可能引起桥梁盖梁移动,导致桥梁路面结构出现严重破坏,从而对行车安全造成不利影响。为了降低对公路路产损失的影响,确保公路安全平稳运行,有必要对管线穿越现役桥梁安全性影响进行深入分析。

目前国内对新建管线穿越现役桥梁展开了一系列的研究,孙萍萍[2]研究了管线基坑穿越城市地铁桥梁变形规律,结合数值分析给出了监测变形结果。张扬[3]针对给水管线穿越机场第二高速桥梁安全性,着重探讨了管线穿越桥梁时相应的保护措施。马建军[4]采用有限元分析对管线穿越既有高速铁路桥梁进行了安全性评估,认为合理的管线施工方案能够控制桥梁变形在允许的范围内。

本文仅就新建管线穿越现役桥梁进行研究,并以潮州市潮安区水厂工程下穿甬莞高速公路省道跨线桥为例,从安全角度对新建给水管线的设计方案、施工方案进行详细的影响性分析。

2. 工程概况

2.1. 新建管线穿桥概况

该水厂工程拟建两根 DN1600 原水管自“三江连通工程”盾构井取水,往西沿河堤敷设约 225 m 在甬莞高速主线前横穿高速和河道,穿越长度约 276 m,随后位于河道南岸拐角横穿河道到北侧河堤,穿越长度约 209 m,再沿着河道的北侧河堤敷设 851 m 至厂区,厂区内敷设 38 m 至格栅吸水井。

两根 DN1600 原水管采用顶管的方式敷设,沿线设置 5 个顶管工作井及 4 个接收井,顶管井均采用沉井方式施工。水管下穿甬莞高速省道跨线桥,其跨越平面布置图如图 1 所示。

取水管道采取离心浇铸玻璃钢夹砂管,该管道耐腐蚀性能好,不需要额外的防腐措施。其技术要求为:公称压力 PN 不小于 0.6 MPa,环刚度不小于 40 kN/m²,允许顶力不小于 4300 kN,总壁厚 e59 mm,管长 3 m。夹砂管刚度等级应符合 SN10000 标准。取水管道设计工作压力为 0.2 MPa,管道的试验压力为 0.8 MPa。

2.2. 下穿段省道跨线桥概况

甬莞高速公路省道跨线桥桥梁全长为 1345 m,管线下穿区域桥跨宽度为 25 m,跨越区域桥梁为平曲线路段(R = 1700 m)。桥梁上部结构采用预应力混凝土先简支后桥面连续组合箱梁及现浇预应力混凝土连

续箱梁。桥墩采用柱式墩、桩基础；桥台采用肋板台、桩基础；联间采用 D80 伸缩缝、桥台处设置桥面连续。

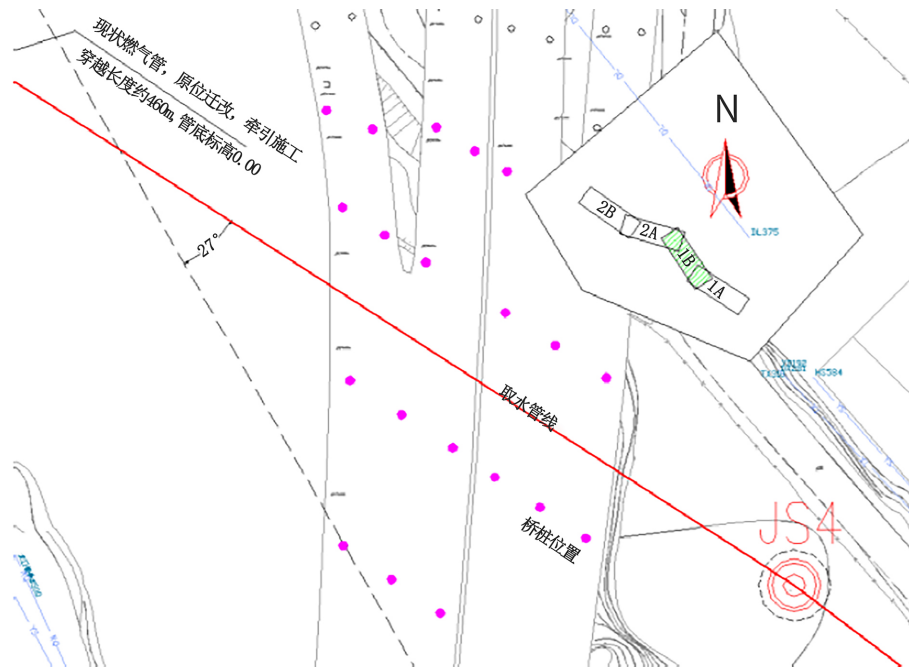


Figure 1. Layout chart of the water pipeline underneath pass the Yongguan expressway provincial road overpass bridge

图 1. 水管下穿甬莞高速省道跨线桥平面布置图

2.3. 顶管穿越桥墩保护方案概况

为了减少顶管施工对甬莞高速的干扰，项目拟在管道顶进方向施工双排旋喷桩进行桥墩保护，隔绝顶管施工对甬莞高速桥梁墩台的影响。旋喷桩施工位置距离顶管中心线 3 m，距离桥墩中心线 8 m。旋喷桩直径为 500 mm，间距为 350 mm，施工长度为 6 m，自河床底向下施工。

3. 设计方案影响评价

根据现有规范要求，对管线穿越现役桥梁的设计方案分别从穿越位置、交叉角度、管道埋深等评价要点进行规范符合性评价[5] [6] [7]，评估各要素的合理性并发现可能存在的安全问题，提出可参考的改善建议。

3.1. 穿越位置

本工程管线下穿甬莞高速公路省道跨线桥桥跨空间区域，其穿越路径与桥梁墩柱接近平行。该穿越方案经可行性研究报告、征询意见、初步设计比选后确定，相比其他方案影响最小，最近工作井距离桥梁边缘为 33.7 m，位于建筑控制区外(30 m)，其穿越位置合理。

3.2. 交叉角度

根据公路设计规范要求，管线穿越公路桥梁时，应尽量垂直，其交角应接近 90°，任何情况下不得小于 30°。为保证与桥梁墩柱平行，本工程管线穿越点与甬莞高速公路省道跨线桥交叉角度为 83°，能满足规范要求。

3.3. 管道埋深

《顶管技术规程》(DBJ/T 15-106-2015) [8]规定管顶最小覆土深度不应小于 1.5 倍且不应小于 3 m, 同时规范相邻管道之间的间距, 其间距要求如表 1 所示。

Table 1. Minimum distance between adjacent pipelines

表 1. 相邻管线最小间距要求

管线相互位置	混凝土管	玻璃纤维增强塑料管	钢管
与既有管线平行	2 m, 且大于 1D	2 m, 且大于 1D	1 m, 且大于 1D
与既有管线形成交叉	3 m, 且大于 1.5D	3 m, 且大于 1.5D	2 m, 且大于 1.5D

注明: D 指的是新建管线直径大小。

根据《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63-2019) [9]规定, 管线与既有桥梁桩基之间的间距不应小于 3.875D 的要求, 本工程顶管管道采用两根 DN1600 离心浇铸玻璃钢夹砂管敷设, 管底齐平, 双管中心间距 4.0 m。管顶距河床顶最小净距 3.5 m, 距离桩基水平距离 ≥ 6.2 m (即 $\geq 3.875D$, $D = 1.6$ m), 因此该管线埋深及相邻建筑物间距满足规范要求。

3.4. 后座力计算

为确保后座在顶进过程中的安全, 后座的反力或土抗力 R 应为的总顶进力 P 的 1.2~1.6 倍, 反力 R 可采用公式 1 计算:

$$R = \alpha \cdot B \cdot \left(\gamma \cdot H^2 \cdot \frac{K_p}{2} + 2c \cdot H \cdot \sqrt{K_p} + \gamma \cdot h \cdot H \cdot K_p \right) \quad (1)$$

式中: R 为总推力之反力, kN ; α 为系数, 取值范围为 1.5~2.5; B 为后座墙的宽度, m ; γ 为土的容重, kN/m^3 ; H 为后座墙的高度, m ; K_p 为被动土压系数; c 为土的内聚力, kPa ; h 为地面到后座墙顶部土体的高度, m 。

当油缸总推力的作用点低于后座被动土压力的合力点时, 后座所能承受的推力为最大; 当油缸总推力的作用点与后座被动土压力的合力点相同时, 后座所承受的推力略大些; 当油缸总推力的作用点高于后座被动土压力的合力点时, 后座的承载能力最小。所以, 为了使后座承受较大推力, 工作坑应该尽可能深, 后座墙也尽可能埋入土中多一点。

结合本工程实际情况, 取 $\alpha = 2$, $B = 4$ m, $\gamma = 19.3$ kN/m^3 , $H = 7.5$ m, $h = 2$ m, $K_p = 2.04$, $c = 49$ kPa , 得出 $R = 21981$ kN , 大于顶管最大顶推力(5500 kN), 因此后座反力能够满足顶推力的要求。

3.5. 对甬莞高速公路扩建的影响

甬莞高速公路一期工程暂时无拓宽计划, 如后期进行拓宽, 按最大范围内考虑, 即扩建工程采用两侧拼宽方案, 两侧按四车道考虑 15 m, 因管道与墩柱横向平行, 不影响管线与墩柱的净距, 因此本工程不影响省道跨线桥两侧扩建。

3.6. 顶管下穿施工对甬莞高速公路桥梁影响性分析

本工程顶管自甬莞高速公路省道跨线桥桥下穿越, 管道顶进方向平行于省道跨线桥桥墩及系梁, 顶管施工过程中会对周边土体发生扰动, 从而可能对紧邻的桥梁基础造成不利影响。为此, 根据顶管与邻近桥梁基础周围的工程地质特征, 结合顶管设计、施工方案及邻近桥梁现状情况, 使用 midas GTS NX 软

件建立三维数值模型,模拟计算顶管施工过程中对紧邻桥梁基础的不利影响,重点分析桥梁基础变形情况,进而评估紧邻桥梁的运营安全状态。

3.6.1. 模拟过程

本次模型所采用的地质资料来源于现场钻孔,共涉及七个地层,从上往下分别为:淤泥质土、粗砂、淤泥质土、中砂、粗砂、全风化粉砂岩、中风化粉砂岩,其地层参数如表 2 所示。

Table 2. Table of the formation parameter

表 2. 地层参数表

名称	容重(kN/m ³)	压缩容量(MPa)	弹性模量(MPa)	泊松比	黏聚力(kPa)	内摩擦角(°)
淤泥质土	16	2	/	0.40	10	5
中砂	19	10	/	0.25	1	20
粗砂	19	15	/	0.25	1	25
全风化岩	19.5	8	/	0.24	25	15
中风化岩	21	/	1000	0.20	/	/

最终建立模型尺寸为 76 m*52 m*50 m,采用混合网格生成器,模型最终共计包含 178,567 个单元和 115,469 个节点,最终模型如下图 2、图 3 所示。

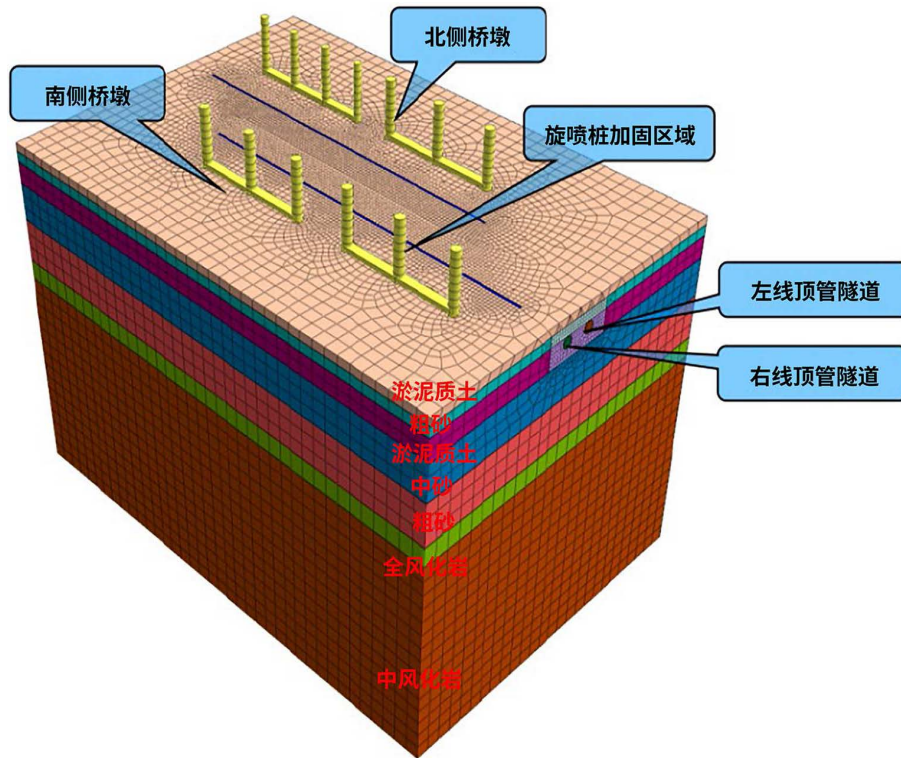


Figure 2. Diagram of the overall model

图 2. 整体模型示意图

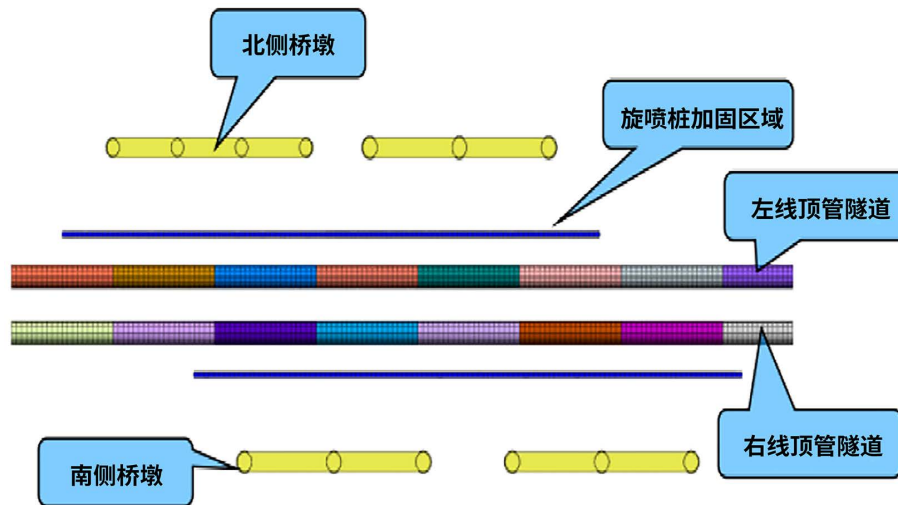


Figure 3. Top view of the relationship between pipe jacking and bridge
图 3. 顶管与桥梁关系俯视图

对于顶管施工，由于计算阶段较多，加之模型施工步计算结果具有累加性，本次主要分析顶管接近既有桥梁、顶管穿越至桥梁中间以及穿越完成三个典型工况下地表及桥墩沉降变形、桥梁桩基水平位移变形情况，利用 midas GTS NX 软件进行模拟分析后，不同工况下的桥梁沉降变形及桩基水平位移变形如图 4~6 所示。

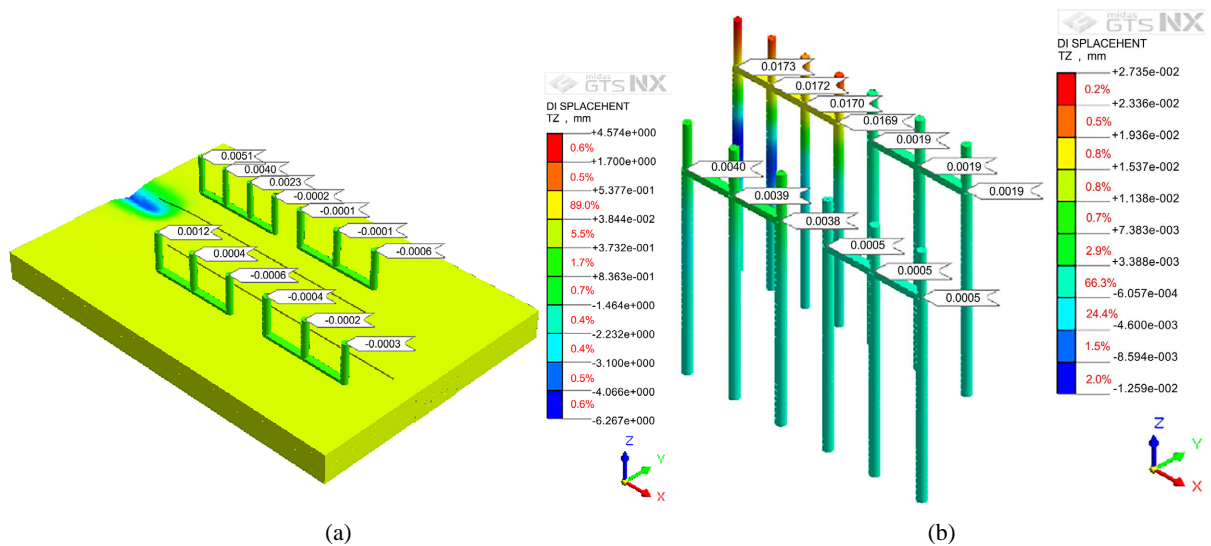


Figure 4. Diagram of the settlement deformation and pile foundation horizontal deformation when the pipe jacking approaches to bridge
图 4. 顶管接近桥墩下桥梁沉降变形及桩基水平变形

3.6.2. 计算结果

根据《涉路工程安全评价规范》(DB34/T 2395-2015) [10]中第 3.2.1 条：相邻墩台间不均匀沉降差值，不应使桥面行成大于 0.1%的附加纵坡(折角)，桩顶水平位移不大于 3 mm。为方便与规范限制进行对比和分析，整理上述典型工况顶管下穿桥梁施工引起桥梁基础位移最大值如下表 3 所示。

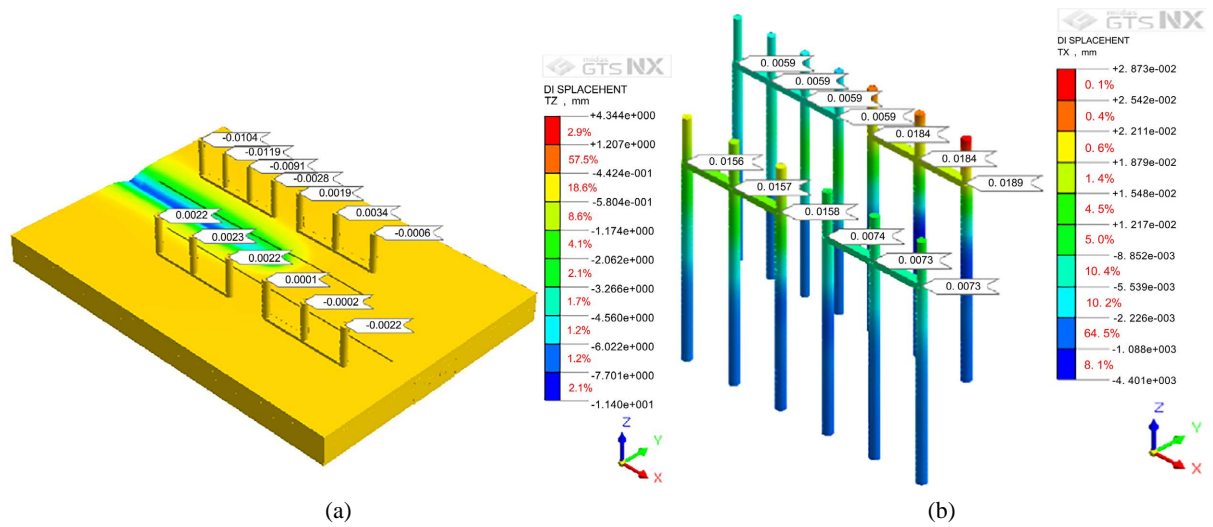


Figure 5. Diagram of the settlement deformation and pile foundation horizontal deformation when the pipe jacking passes the bridge

图 5. 顶管通过桥墩下桥梁沉降变形及桩基水平变形

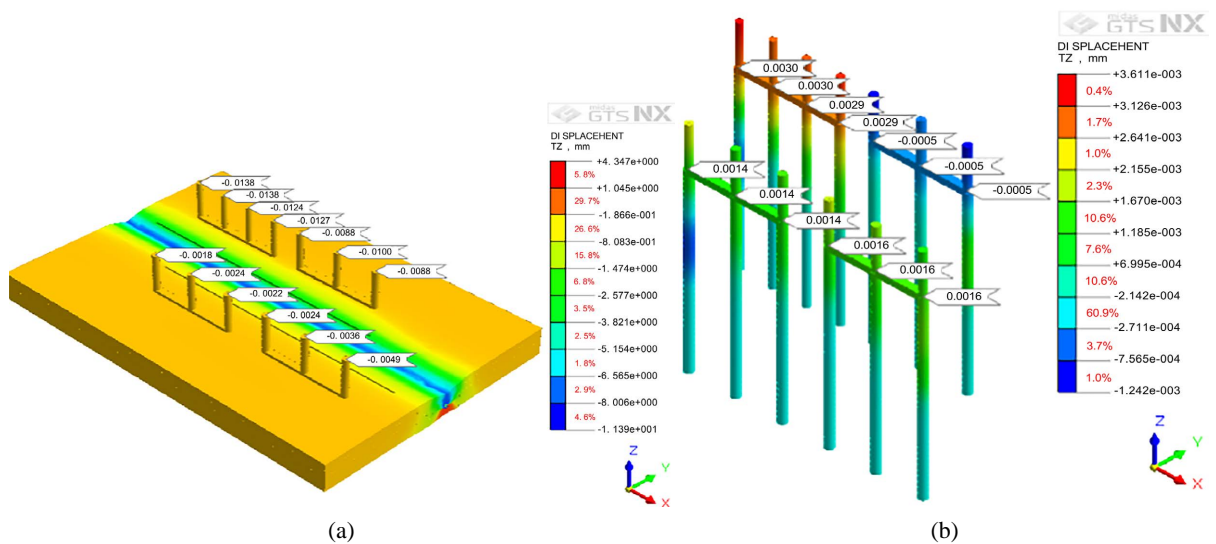


Figure 6. Diagram of the settlement deformation and pile foundation horizontal deformation after completion of pipe jacking construction

图 6. 顶管施工完成后桥梁沉降变形及桩基水平变形

Table 3. Table of the calculation result (unit: mm)

表 3. 计算结果(单位: mm)

工况	桩顶水平位移最大值	桥墩竖向沉降最大值	相邻桥墩差异沉降最大值
顶管接近桥墩	0.075	0.005	0.003
顶管通过桥墩	0.141	0.011	0.012
顶管施工完成	0.132	0.013	0.012

从整个施工过程模拟分析结果可知，在顶管不同线路先后通过既有桥梁基础时，计算所得的桩顶水平位移最大值为 0.132 mm，桥墩竖向沉降最大值为 0.013 mm，相邻桥墩差异沉降最大值为 0.012 mm，

均满足相关控制标准要求。

3.6.3. 顶管对周围土体及桥梁桩基础变形机理分析

由图 4-6 可知, 顶管穿越土体时所产生的变形仅在管道两侧 3 m 范围内, 而桥梁桩基础范围土体沉降十分微小, 说明采用旋喷桩灌注形成保护墙体能够抵抗顶管相应的扰动, 从而削弱了对桥梁桩基础的影响。

从桥梁桩基础水平位移和沉降来看, 顶管通过桥墩所产生的水平位移高于接近桥墩、施工完成, 而顶管通过桥墩产生的沉降居于接近桥墩、施工完成两者之间, 说明顶管穿越现役桥梁区域时, 往往顶管通过桥墩产生的地层变形对桥墩影响最大, 采用桥墩保护措施认为是有必要的。对于桥梁沉降在顶管行进过程中不断增大的问题, 考虑桥梁产生的地层变形形成的惯性累积, 将导致桥梁桩基础沉降上升, 因此顶管穿越过程中做好桥梁沉降监测工作, 确保沉降值满足规范要求。

4. 施工方案影响评价

对于管线穿越式涉路工程来说, 顶管施工具备不影响桥梁结构、公路能够正常运行等优点, 这也使其成为管线穿越工程最佳施工方式。本文将从施工工艺、结构物保护、交通组织方案及应急预案合理性进行评价, 给出相应改善建议。

4.1. 施工工艺

本工程管道连接方式采取 FWC 管件接头连接, 管道转弯处使用专用角度离心浇筑玻璃钢夹砂管弯头, 弯头与管道的连接方式采取机械式活接头。其中管道施工采取顶管施工, 施工工艺采用泥水平衡法, 而穿越土层夹有圆砾、卵石, 故选择具有破碎功能的偏心破碎刀盘泥水平衡顶管掘进机。经核查, 该施工工艺不影响甬莞高速公路安全运行, 各项工艺参数符合相关规范要求。

4.2. 施工期间的结构物保护

为了减少顶管施工对甬莞高速的干扰, 本工程在拟在管道顶进方向施工双排旋喷桩进行桥墩保护, 隔绝顶管施工对甬莞高速桥梁墩台的影响。同时, 施工过程中加强顶管施工控制、加强周边环境监测以达到控制地面变形, 保护沿线桥墩的目的, 确保工程顺利进行。经核查, 采用双排旋喷桩进行桥梁结构保护, 其针对性较强且安全可靠, 满足相关规范要求。现场施工场地狭窄, 桥下净空不能满足货车通行, 需在此绕行。

4.3. 施工期间交通组织

本工程为在甬莞高速公路省道跨线桥桥下施工, 施工便道为地方道路, 不影响甬莞高速公路车辆通行, 因此, 不需进行交通疏导, 也不需要制定专项交通组织。

4.4. 施工应急预案

本工程成立了应急救援领导小组, 危险源辨识与风险分析基本合理, 工程实施过程需要建立路政、交警、项目部等部门的联动机制, 应急处置措施包括适用范围、应急组织机构及职责、应急启动条件、应急处置、后期处置、应急保障、事故发生的急救措施等, 符合《生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则》。但该预案针对性不强, 建议增加针对性较强的事故应急处置措施。

5. 结论

管线穿越现役桥梁存在的安全性问题一直是营运管理者关注的焦点, 本文根据已有的技术标准, 对

设计方案中穿越位置、交叉角度、管道埋深等评价要点进行了评价,同时对施工方案中施工工艺、结构物保护、交通组织方案及应急预案合理性进行了评价,并对现有的方案提出了对策与建议。涉路工程对公路安全存在着长时间的影响,因此有必要对工程实施前进行严格审查,解决穿越对象后续可能存在的安全问题。

参考文献

- [1] 李正中, 邳慧然, 王伟广, 肖庆一. 管线穿越式涉路工程安全评价研究[J]. 现代交通技术, 2019, 16(2): 11-15.
- [2] 孙萍萍. 管线基坑穿越地铁高架区间桥梁变形规律研究[J]. 山西建筑, 2023, 49(4): 151-153.
- [3] 张杨. 给水管线拉管穿越首都机场第二高速施工要点及桥梁保护措施[J]. 工程技术研究, 2022, 7(13): 63-65.
- [4] 马建军. 新建管线穿越既有高速铁路变形影响的研究[J]. 四川建筑, 2015, 35(1): 111-112+116.
- [5] 公路路线设计规范 JTG D20-2017 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2017.
- [6] 公路交通安全设施设计规范 JTG D81-2017 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2017.
- [7] 公路桥涵施工技术规范 JTG/T 3650-2020 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2020.
- [8] 《顶管技术规程》(DBJ/T 15-106-2015) [S]. 广州: 广东省交通运输厅, 2015.
- [9] 《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3663-2019) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2019.
- [10] 涉路工程安全评价规范 DB34/T 2395-2015 [S]. 合肥: 安徽省质量技术监督局, 2015.