

双线平行顶管穿越既有输水箱涵影响分析

齐亚静

天津市水务规划勘测设计有限公司, 天津 300204

摘 要： 在实施大口径顶管穿越既有输水箱涵的复杂工程中，施工活动对输水箱涵的影响是不可避免的问题。本研究运用 Midas GTS NX 岩土有限元分析软件，对某双回 220 千伏线路工程中采用双线平行顶管技术穿越既有输水箱涵的施工阶段进行了数值模拟分析。通过建模来评估顶管施工对输水箱涵的潜在影响。本研究旨在为类似穿越工程方案的决策提供科学依据，确保电力线路安全与地下设施稳定的同时，促进施工技术的优化与风险管理。

关 键 词： 顶管穿越；输水箱涵；Midas GTS NX；影响分析

Analysis of Influence of Double-Line Parallel Pipe Jacking Through Existing Water Delivery Tank Culvert

Qi Yajing

Tianjin Water Planning Survey and Design Co., Ltd. Tianjin 300204

Abstract： In the implementation of large diameter pipe jacking through the complex project of existing water delivery tank culvert, the impact of construction activities on the water delivery tank culvert is an inevitable problem. In this paper, Midas GTS NX geotechnical finite element analysis software is used to simulate and analyze the construction phase of a double-loop 220 kV line project that uses double-line parallel pipe jacking technology to cross the existing water delivery tank culvert. Modeling was used to evaluate the potential impact of pipe jacking construction on the water delivery tank culvert. The purpose of this study is to provide scientific basis for the decision-making of similar crossing engineering schemes, to ensure the safety of power lines and the stability of underground facilities, and to promote the optimization of construction technology and risk management.

Keywords： pipe jacking through; water delivery tank culvert; Midas Gts NX; impact analysis

一、计算模型

在某 220 千伏双回输电线路工程中，为安全穿越一重要输水箱涵，特采用顶管施工技术。该顶管工程以垂直交叉的方式（交叉角度为 90 度）穿越箱涵，两根顶管中心间距为 15 米，从相邻两节箱涵间隙中穿过。顶管材料选用 C50 预制混凝土，P10 抗渗等级，每节管长度为 2.5 米，内径为 3.5 米，管壁厚度 320mm，确保了结构的稳定性和耐久性。

此次顶管施工位于粉土层，顶部距离箱涵结构底部 13.85 米，距离地面 21.75 米。交叉位置的箱涵为 3 孔 4.4m × 4.4m 的输水箱涵，总宽度为 15.20 米，高度为 5.60 米，箱涵埋设于地下。现场实测数据显示，箱涵顶高程为 6.57 米，地面高程为 8.87 米，箱涵顶部距离地面仅 2.3 米。

为了准确模拟顶管施工过程中对输水箱涵的影响，本文运用了 Midas GTS NX 岩土有限元分析软件，构建三维应变有限元数值模型^[1]。模型在水平 X 方向上取顶管顶进长度 120 米，垂直 Y 方向上取 10 节整箱涵长度 150 米，竖直 Z 方向上则取至已知地层深度 60 米。在模型底部施加水平和竖直方向的位移约束，两侧则控制轴向位移，而地表则设置为自由边界，以贴近实际工程状况。

土体本构模型采用莫尔-库伦模型，该模型为非线性力学本构^[2]。箱涵、顶管及注浆体则按照弹性材料进行处理，以简化计算并突出主要分析目标^[3]。地下水位按照埋深 14.5 米进行计算，以确

保模型分析的准确性。通过有限元模型及网格划分，探讨顶管施工对输水箱涵结构稳定性的影响，为工程安全提供有力保障。

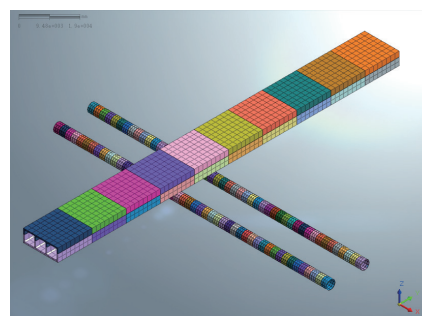


图1 数值计算模型及输水箱涵与顶管相对位置关系

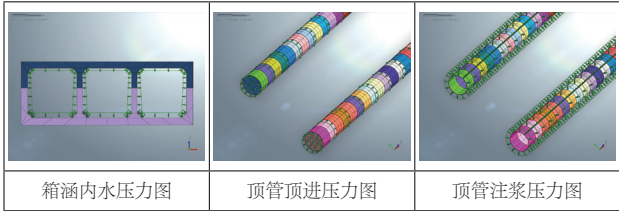
二、顶管施工阶段

在箱涵沉降达到稳定状态后，针对原状地面进行了细致的模拟分析^[4]。首先，施加了土层及箱涵自重的荷载，同时考虑了箱涵内部的水压力。考虑到顶管施工前，箱涵与周围土体之间已形成相对稳定的平衡状态，因此在模型中，将施工阶段由自重引起的位移归零，以确保分析结果的准确性。

接着，按照预定的步骤执行模拟施工。首先激活顶管顶进的壓力，随后钝化顶管内开挖的土体，紧接着激活顶管本身，并施加注浆压力。这一系列操作精确模拟了顶管施工的实际流程^[5]。

对左侧顶管和右侧顶管依次进行顶进操作，每一步均严格遵循工程实际和施工顺序，以确保模拟结果的可靠性与实用性。

该分析流程不仅深入揭示了顶管施工的力学行为，而且通过精细化的模拟步骤，展现了工程实践中对施工顺序和力学响应的精确掌控^[6]。通过此类模拟，能够有效预测和评估顶管施工对既有箱涵结构及其周围土体稳定性的影响，为工程的安全施工和风险管理提供了坚实的技术支撑^[7]。



三、计算结果分析

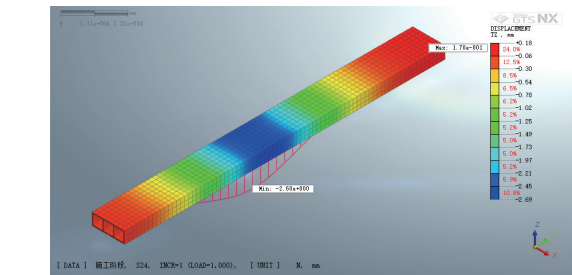


图2 单管顶进后箱涵通水方向底板底竖向沉降位移云图

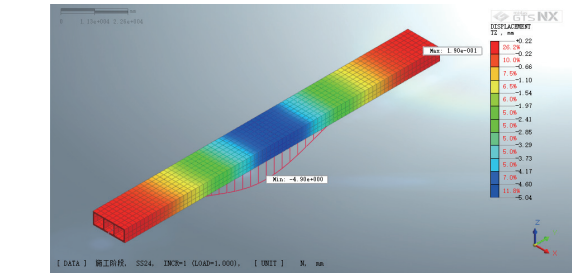


图3 双管顶进后箱涵通水方向底板底竖向沉降位移云图

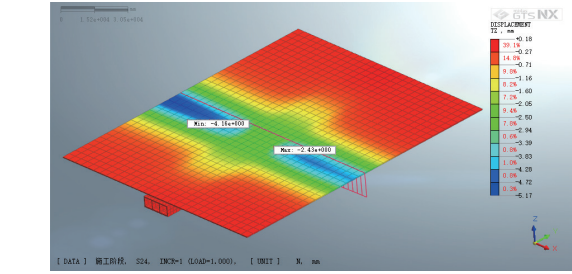


图4 单管顶管顶进方向地面竖向沉降位移云图

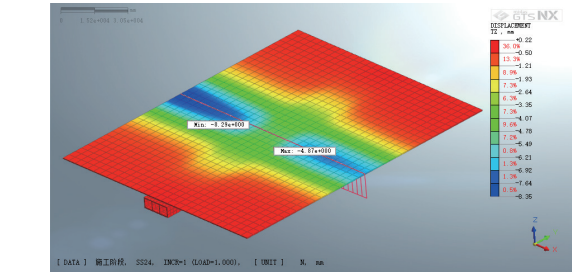
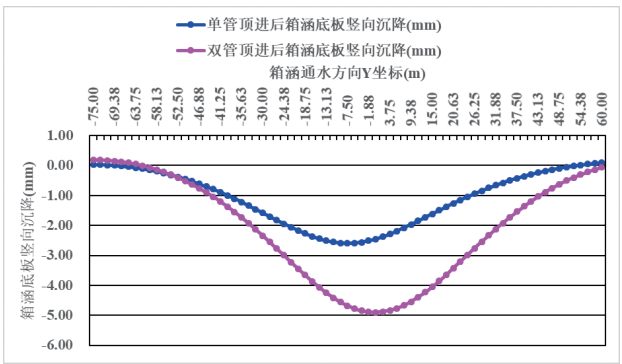
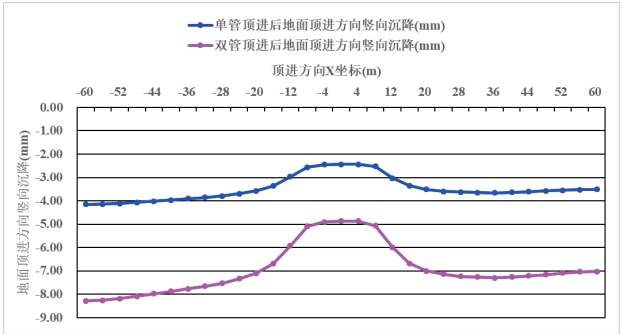


图5 双管顶管顶进方向地面竖向沉降位移云图



图表1 箱涵通水方向底板底竖向沉降位移图表



图表2 顶管顶进方向地面竖向沉降位移图表

表3 相邻箱涵结构缝沉降统计表

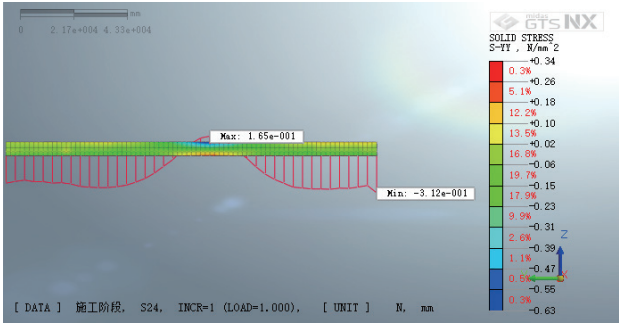
施工阶段	单管顶进后箱涵底板竖向沉降 (mm)	结构缝处沉降差 (mm)	双管顶进后箱涵底板竖向沉降 (mm)	结构缝处沉降差 (mm)
第一段箱涵两端竖向位移	0.03	0.04	0.19	0.06
	-0.11		-0.01	
第二段箱涵两端竖向位移	-0.15	0.09	-0.07	0.14
	-0.61		-0.76	
第三段箱涵两端竖向位移	-0.70	0.12	-0.90	0.21
	-1.46		-2.13	
第四段箱涵两端竖向位移	-1.58	0.08	-2.34	0.20
	-2.36		-3.87	
第五段箱涵两端竖向位移	-2.44	0.06	-4.06	-0.01
	-2.51		-4.88	
第六段箱涵两端竖向位移	-2.45	0.12	-4.90	0.18
	-1.73		-4.23	
第七段箱涵两端竖向位移	-1.61	0.09	-4.05	0.21
	-0.84		-2.55	
第八段箱涵两端竖向位移	-0.75	0.05	-2.33	0.15
	-0.24		-1.04	
第九段箱涵两端竖向位移	-0.18	0.02	-0.89	0.07
	0.07		-0.13	
第十段箱涵两端竖向位移	0.09		-0.07	
	0.17		0.19	

根据有限元分析的计算结果，可以得出以下结论：在单管顶进施工过程中，箱涵通水方向上的底板底部所引起的最大竖向沉降为2.60毫米，而双管顶进施工则导致最大竖向沉降增至4.90毫

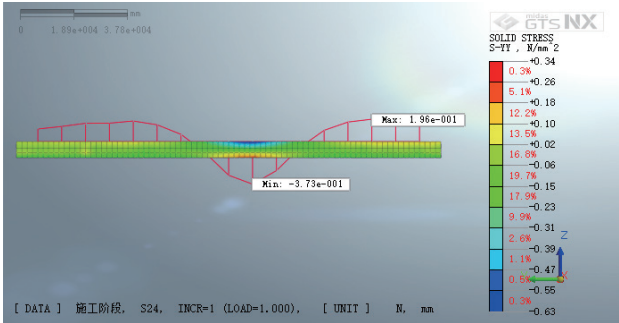
米。这表明双管施工对箱涵结构的影响更为显著。同时,相邻箱涵结构缝之间的沉降差最大为0.21毫米,这一数据反映了箱涵结构的整体稳定性和接缝处的变形协调性。

在地面顶进方向上,单管顶进施工引起的最大竖向沉降为4.16毫米,而双管顶进施工则将这—沉降值提高至8.29毫米。这一结果揭示了顶管施工对地表沉降的显著影响,尤其是在双管施工条件下,地表沉降的增幅更为明显。

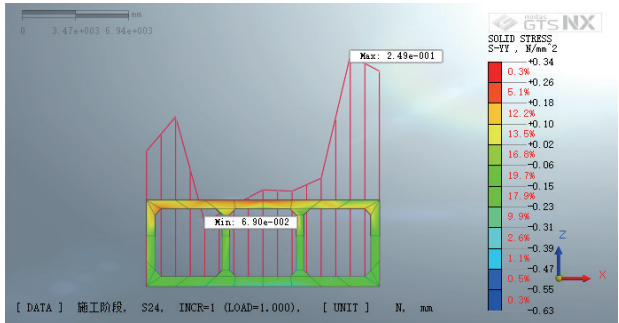
这些数据不仅提供了顶管施工对箱涵及地表沉降影响的量化指标,而且也体现了在复杂地质条件下,采用精细化数值模拟方法对预测和评估施工影响的重要性^[9]。



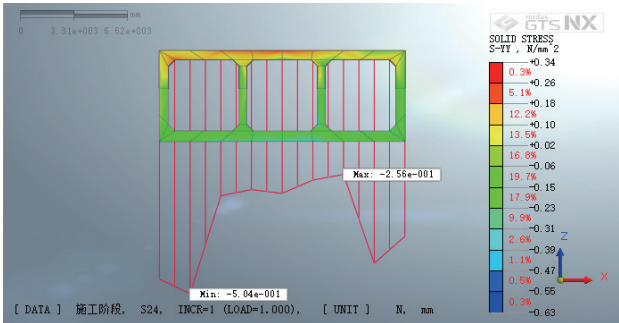
单管顶进后箱涵纵向应力云图(箱涵纵向底板底部应力线上图)



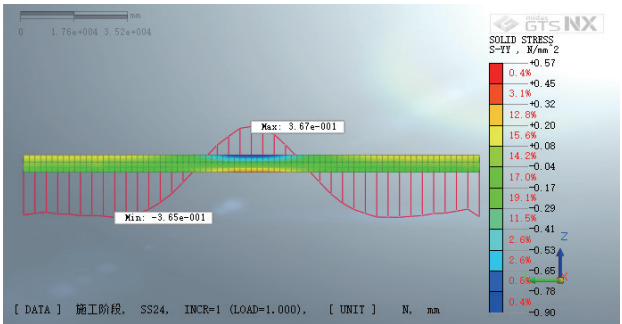
单管顶进后箱涵纵向应力云图(箱涵纵向顶板顶部应力线上图)



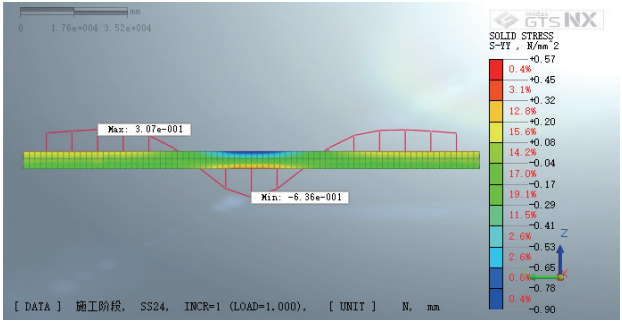
单管顶进后箱涵纵向应力云图(箱涵横向底板底部应力线上图)



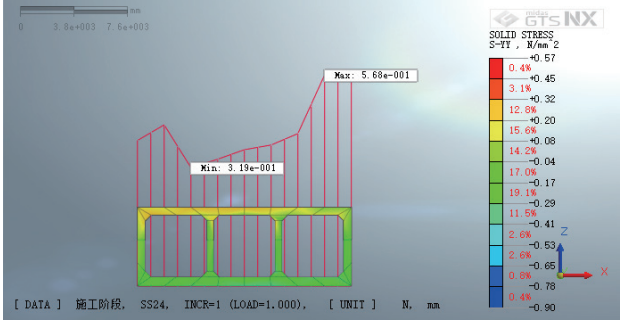
单管顶进后箱涵纵向应力云图(箱涵横向顶板顶部应力线上图)



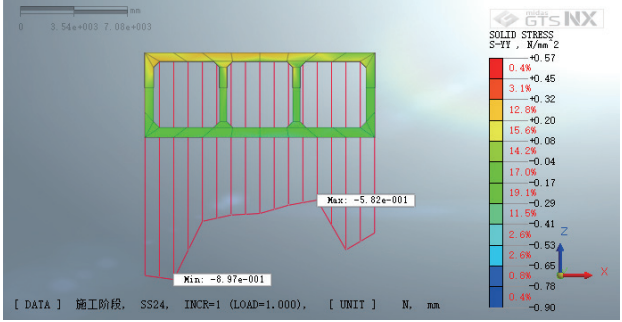
双管顶进后箱涵纵向应力云图(箱涵纵向底板底部应力线上图)



双管顶进后箱涵纵向应力云图(箱涵纵向顶板顶部应力线上图)



双管顶进后箱涵纵向应力云图(箱涵横向底板底部应力线上图)



双管顶进后箱涵纵向应力云图(箱涵横向顶板顶部应力线上图)

通过分析单管顶进后的箱涵纵向应力云图,我们可以观察到应力分布的变化^[9]。在顶管穿越的箱涵节段,纵向底板底部出现了最大拉应力,其值为0.165MPa,而顶板顶部则承受了最大压应力,达到0.373MPa。在横向应力分布上,底板底部的最大拉应力为0.249MPa,顶板顶部的最大压应力则为0.504MPa。

当双管顶进完成后,箱涵纵向应力云图显示了更为显著的应力变化^[10]。在顶管穿越的箱涵节段,底板底部的最大拉应力增至0.367MPa,顶板顶部的最大压应力则达到0.636MPa。在横向应力分布上,底板底部的最大拉应力为0.568MPa,顶板顶部的最大压应力更是达到了0.897MPa。

值得注意的是,上述所有应力数值均未超过 C30 混凝土的抗拉强度设计值,即 1.43MPa。这一结果表明,在顶管施工过程中,虽然箱涵结构的应力状态发生了显著变化,但结构的安全性仍然得到了保证,混凝土材料的设计强度足以抵抗施工引起的应力。

四、结束语

利用 Midas GTS NX 岩土有限元分析软件构建了三维立体应

变有限元数值模型,以模拟顶管顶进过程,并评估其对输水箱涵的影响,旨在为同类型工程提供借鉴。鉴于顶管施工技术要求严格,数值模拟基于理想的施工状态进行,因此,在顶管顶进过程中对输水箱涵的实际影响需通过加强施工期间的安全监测来进一步验证。同时,需进行实时分析,并根据监测数据及时调整施工策略,以最大限度地减少对现有输水箱涵的潜在不利影响,确保工程的安全与稳定。

参考文献

[1]王海礼,周国群. 平行顶管穿堤施工三维数值模拟及工程案例对比分析 [J]. 浙江水利科技, 2021, 49(05):29-32.DOI:10.13641/j.cnki.33-1162/tv.2021.05.006.

[2]齐亚静. 城市道路桥梁跨越输水箱涵模拟分析 [J]. 河北水利, 2021, (09):10-11.

[3]郭勤,臧振涛,衡阳,等. 顶管穿越河道工程对地层沉降影响分析 [J]. 黑龙江水利科技, 2022, 50(03):30-32+92.DOI:10.14122/j.cnki.hskj.2022.03.010.

[4]芮勇勤,袁健玮,范文举,等. 双线隧道施工过程中地层变形控制数值分析 [J]. 公路, 2023, 68(06):455-462.

[5]陈南,赵庆山. 钢筋混凝土输水箱涵渗漏原因分析及封堵技术 [J]. 河北水利, 2023, (10):41-42.

[6]邢晓婷,姚广亮. 双线盾构隧道下穿输水箱涵安全性影响的有限元分析 [J]. 吉林水利, 2023, (02):12-15.DOI:10.15920/j.cnki.22-1179/tv.2023.02.002.

[7]郝仕阳. 基于遗传算法和 BIM 的输水箱涵施工进度优化 [D]. 河北农业大学, 2022.DOI:10.27109/d.cnki.ghbnu.2022.000846.

[8]刘佳,王玲玲. 顶管穿越施工对天津干线地下输水箱涵的影响分析 [C] //中国水利学会. 2022 中国水利学术大会论文集 (第三分册).中水东北勘测设计研究有限责任公司;中国南水北调集团中线有限公司天津分公司; ,2022:6.DOI:10.26914/c.cnkihy.2022.059452.

[9]周八军. 西安黑河输水箱涵杏树沟渠道渡槽伸缩缝处理工程施工技术探讨 [J]. 工程与建设, 2022, 36(05):1495-1498.

[10]董丹丹,李成,毕京龙,等. 南水北调天津干线有压输水箱涵实际糙率研究 [J]. 水利水电工程设计, 2022, 41(03):14-17.