

某铁路架梁会车平台稳定性分析

汪依文

中铁四局集团第四工程有限公司, 安徽 合肥

收稿日期: 2025年11月5日; 录用日期: 2025年11月26日; 发布日期: 2025年12月9日

摘要

为保障高铁桥梁架设过程中的作业安全, 本文以新建某铁路标段架梁会车平台为研究对象, 针对运梁车行进过程中的受荷稳定性问题, 基于设计与施工资料, 建立三维有限元数值模型, 对桥墩、挡墙及其与回填体之间的协同作用机制进行系统分析。通过设置四种典型不利工况, 模拟运梁车及预压箱梁荷载作用, 提取平台结构关键部位的位移变化和应力响应。分析结果表明: 受预压箱梁和重载运梁车共同作用, 320墩在最不利工况下的竖向沉降达11.00 mm, 顺桥向最大水平偏移量达6.00 mm, 承受的最大主压应力为14.24 MPa; 挡墙与桥墩连接处为应力集中区, 320墩侧挡墙最大Von Mises应力达2.30 MPa, 接近材料强度极限。由于墩身、挡墙与填料之间存在显著刚度差异, 连接区域的受力不均加剧, 应作为设计与施工中的重点控制部位。研究成果可为类似工程中会车平台结构设计优化与施工安全控制提供理论支撑与实践依据。

关键词

会车平台, 运梁车, 有限元分析, 结构稳定性, 数值模拟

Stability Analysis of a Railway Beam Assembly Platform

Yiwen Wang

China Railway Fourth Bureau Group Fourth Engineering Co., Ltd., Hefei Anhui

Received: November 5, 2025; accepted: November 26, 2025; published: December 9, 2025

Abstract

In order to ensure the safety of operations during the construction of high-speed railway bridges, this paper takes the newly built railway section's beam assembly platform as the research object. Based on design and construction data, a three-dimensional finite element numerical model is established to systematically analyze the collaborative mechanism between bridge piers, retaining

文章引用: 汪依文. 某铁路架梁会车平台稳定性分析[J]. 土木工程, 2025, 14(12): 2878-2888.

DOI: 10.12677/hjce.2025.1412309

walls, and backfill materials in response to the stability of the load during the operation of the beam transport vehicle. By setting up four typical unfavorable working conditions, simulating the load effects of beam transport vehicles and preloaded box girders, the displacement changes and stress responses of key parts of the platform structure are extracted. The analysis results show that under the combined action of preloaded box girders and heavy-duty beam transport vehicles, the vertical settlement of 320 piers under the most unfavorable conditions reaches 11.00 mm, the maximum horizontal displacement along the bridge direction reaches 6.00 mm, and the maximum principal compressive stress borne is 14.24 MPa. The connection between the retaining wall and the bridge pier is a stress concentration zone, and the maximum Von Mises stress of the retaining wall on the 320 pier side reaches 2.30 MPa, approaching the material strength limit. Due to significant stiffness differences between the pier body, retaining wall, and filling material, the uneven stress in the connection area is exacerbated, and it should be a key control area in design and construction. The research results can provide theoretical support and practical basis for the optimization of assembly platform structure design and construction safety control in similar projects.

Keywords

Assembly Platform, Beam Transport Vehicle, Finite Element Analysis, Structural Stability, Numerical Simulation

Copyright © 2025 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

随着我国高速铁路建设的不断推进,运梁车作为桥梁预制阶段运输的重要设备,其作业安全性逐渐成为施工过程中的关键控制环节。会车平台作为临时结构,承担着运梁车通行、交汇及荷载传递的功能,其稳定性直接影响架梁作业的安全与效率[1][2]。尤其在回填土体构筑的平台结构中,由于运梁车辆荷载大、变化频繁,加之桥墩、挡墙与填料间刚度差异显著,极易引发平台不均匀沉降、局部滑移及应力集中等问题[3]-[5]。

当前,国内学者围绕临时施工平台、回填结构及重载道路的稳定性问题,已展开了多层次研究。如彭光辉等[6]指出,填料性能与压实工艺对平台整体刚度与承载性能具有显著影响;朱江江[7]通过室内模型试验揭示了高填平台挡墙与桥墩连接区域的受力集中规律。近年来,区域工程实践也推动了相关结构设计优化与分析技术的发展,尤其是在不同工况下临时结构的响应规律与控制对策方面取得了诸多进展[8]-[10]。

与此同时,数值模拟技术在临时结构稳定性分析中的应用日益广泛,借助 Midas/GTS NX、ABAQUS 等有限元平台,研究人员可对桥墩-挡墙-回填-地基系统进行多工况建模与精细分析,识别关键部位的受力薄弱环节[11]-[13]。研究表明,平台结构的整体稳定性不仅受单一构件性能影响,更取决于其与周边构件及地基土体间的协同响应机制[14]。此外,非线性接触模型对填土-结构界面滑移与变形协调的刻画也在平台变形控制分析中发挥着越来越重要的作用[15]。

基于此,本文依托新建某铁路工程典型架梁会车平台,结合实测工程参数与施工工况,构建三维有限元模型,系统分析运梁车多工况加载下平台关键结构的位移响应与应力演化特征,识别受力不利部位与变形集中区,为类似工程中平台设计优化与施工控制提供理论依据与工程参考。

2. 工程依托

2.1. 工程概述

新建某铁路 ZQ-I 标正线土建里程范围：DK0+000~DK48+788.63，正线长度 47.701 km (含先期开工段：DK17+220.455~DK18+782.055，长度 1.5616 km)、铺轨里程 DK0+000~DK182+564，铺轨长度 362.19 正线公里。含 2 个车站、1 个动车存车场和 2 条联络线、2 条动走线。其中 320#~318#墩钻孔桩、承台、墩身施工完成后，该 2 孔箱梁暂不架设，将 2 孔箱梁位置采用填料填筑至箱梁顶面平，填筑横向宽度 18 m，纵向填筑长 65.2 m (图 1)。运梁车在会车平台上行进过程中，320#~318#墩及墩上挡墙的受荷模式、位移分布和应力分布需要进行针对性地分析研究。

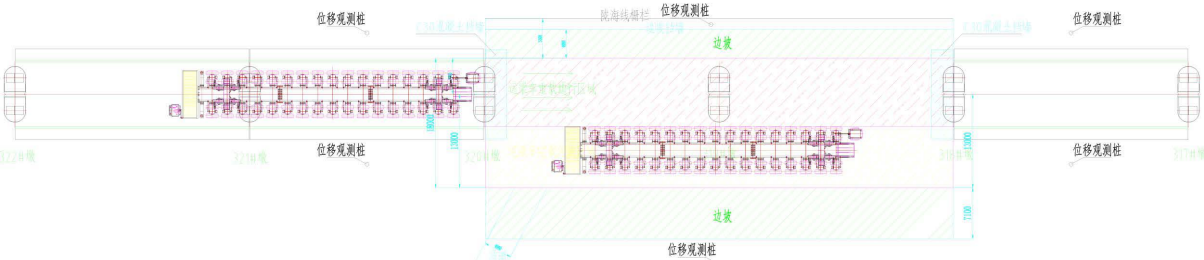


Figure 1. Schematic diagram of the beam transport vehicle passing scheme
图 1. 架梁会车方案示意图

2.2. 施工方案

(1) 施工准备

施工前，挖机对已完成的 318#~320#墩原地面进行清表，对泥浆池等松软地基全部开挖换填，采用 20 t 压路机弱振 1 遍、强振 4 遍后确保碾压密实对原地面进行检测，压实度不得低于 0.9，技术人员通过 RTK 对 29.1 m 宽范围的填筑宽度进行放线，方可填筑。

(2) 分层填筑

填筑采用履带挖机配合渣土车从 320#墩开始先填筑线路右侧，依次再填筑 319#墩、318#墩全部填筑包裹，为防止填土对墩身造成偏压，墩身四周需对称分层填筑，填料分层填筑、分层压实，每层填筑厚度不大于 30 cm，距离墩身 2 m 范围外采用 20 t 压路机碾压，压实顺序应由线路右侧开始向线路左侧碾压，先静压行驶 1 遍后强振 3 遍、再弱振 1 遍，确保碾压密实，墩身附近采用人工夯机夯实。墩身沉降观测标移至承台顶面采用沉降观测板接长螺杆的方法进行沉降观测。

填筑至墩顶标高后，为防止填土对箱梁有侧压力影响，在 318#墩和 320#墩距箱梁端头 15 cm 采用 C30 砼施工一道挡墙，挡墙横向长 12.5 m，顺桥向宽 3 m，高 3.22 m。挡墙完成达到强度后，填筑剩余 1.2 m 厚 B 料，最后填筑 40 cm 厚级配碎石并养护。

2.3. 架梁设备

架梁设备主要为 DCY900 运梁车和 DF900 架桥机，其主要技术参数分别见表 1、2。

Table 1. Main technical parameters of the DCY900 beam transport vehicle
表 1. DCY900 运梁车主要技术参数

序号	项目	参数
1	额定装载质量	900 t

续表

2	车辆自身质量(含驮梁小车)	≤270 t
4	轮系	2 纵列 17 轴线
5	悬挂数量	34 套

Table 2. Main technical parameters of the DF900 girder erection machine

表 2. DF900 架桥机主要技术参数

序号	项目	参数
1	额定起重能力	900 T
2	架设梁跨	32 m、24 m、20 m 等跨及变跨整孔箱梁
3	梁体起落速度	0~0.5 m/min (重载) 0~1.0 m/min (空载)
4	吊梁小车纵移速度	0~3 m/min (重载) 0~6 m/min (空载)
5	梁体起落高度	7.8 m

3. 计算模型

3.1. 数值模型

根据工程资料及计算特性，本次建模采用 Midas/GTS NX 大型通用有限元软件[13]，计算用到的单元有 3D 实体单元和桩单元两类，其中 3D 实体单元主要用于桥墩、承台、挡墙、填料及地层的建模，桩单元主要用于桩基的建模。网格划分根据模型尺寸及关注的重点区域，采取的原则是“重点区域精细化建模，非重点区域一般建模”，本次建模共产生单元 117,512 个，节点 469,568 个，数值模型见图 2。

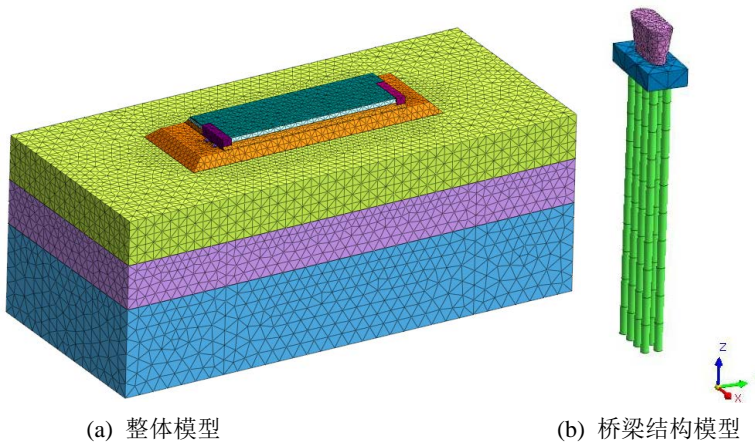


Figure 2. Three-dimensional finite element model
图 2. 三维模型图

3.2. 计算参数

(1)地层及填料参数

根据设计资料，地层主要分为 3~4 黏土(灰黄色~黄褐色，硬塑状， $\sigma_s = 160$ kPa)、4~2 粉土(灰黄色~黄褐色，稍密状， $\sigma_s = 110$ kPa)和 1~2 片麻岩(强风化， $\sigma_s = 400$ kPa)。填料主要分为三层，顶部填筑宽度 18,000 mm，底部填筑宽度 29,100 mm，边坡坡比分别为 1:1 和 1:0.75。根据填筑次序，依次为素填土(填料高度 5500 mm)、B 组分填料(填料高度 1200 mm)和水泥稳定级配碎石(填料高度 400 mm)，地层及填料具体参数见表 3。

Table 3. Material parameters of soil layers and backfill

表 3. 地层及填料参数

填料名称	弹性模量 E (MPa)	天然重度 γ (kN/m ³)	泊松比 μ	粘聚力 c (MPa)	摩擦角 φ (°)
素填土	13.2	16.0	0.35	10	10
B 组分填料	1.32e4	19.0	0.25	/	40
水泥稳定 级配碎石	2.2e4	22.0	0.23	/	/
3~4 黏土	4.5	18.7	0.3	19.0	12.0
4~2 粉土	5.1	18.5	0.3	6.0	20.0
1~2 片麻岩	50	21.0	0.25	/	/

(2) 结构参数

根据设计及施工方案,拟在 320#、318#墩布设混凝土挡墙,该结构用于抵消桥墩两侧不平衡土压力及用于支撑架桥机。其中 318#~321#桥墩墩高 4.85 m,墩身截面尺寸 6.0 m × 2.0 m。承台尺寸 10.2 m × 5.1 m × 2.0 m。桩基单桩直径 1.0 m,承台下布设 2 排 4 根,共计 8 根桩,其中 318#墩桩长 35.0 m,319#墩桩长 33.0 m,320#墩桩长 32.0 m。根据设计资料,该挡墙及桥墩的材料参数见表 4。

Table 4. Material parameters of the concrete retaining wall

表 4. 混凝土挡墙材料参数

结构名称	混凝土等级	重度 γ (kN/m ³)	弹性模量 E (GPa)	泊松比 μ
挡墙	C30	25.0	30.0	0.2
墩身	C35 + C40	25.0	31.5 + 32.5	0.2
承台	C40	25.0	32.5	0.2
桩基	C40	25.0	32.5	0.2

(3) 工况设置

根据工程背景及软件计算效率,运梁车、箱梁和架桥机并非本次计算研究重点,仅作为荷载考虑,因此考虑以下4种不利工况:

1) 工况 1: 运梁车(重载)一半车身进入土坡

通过分析,可以得知此工况下,320#墩上主要承受的荷载为箱梁一端作用(经计算,荷载面压力 $P_1 = 1.442 \text{ MPa}$)、运梁车(重载)作用(荷载面压力 $P_2 = 1.266 \text{ MPa}$),以及作用在填料层顶部作用(荷载面压力 $P_3 = 75.679 \text{ kPa}$),荷载作用示意如图3所示。

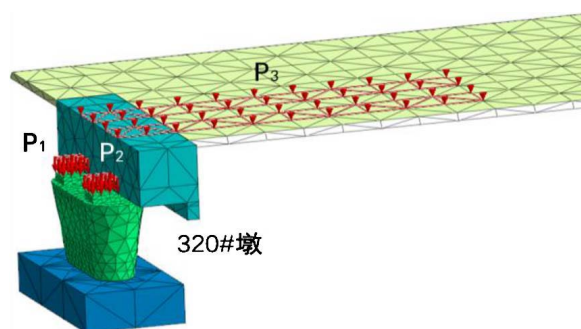


Figure 3. Loading diagram for Load Case 1

图 3. 工况 1 荷载作用示意图

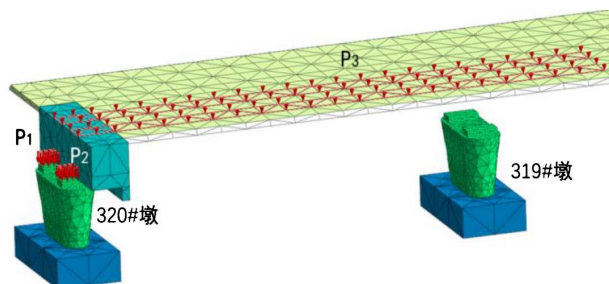


Figure 4. Loading diagram for Load Case 2

图 4. 工况 2 荷载作用示意图

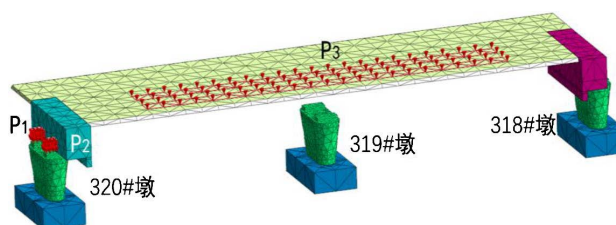


Figure 5. Loading diagram for Load Case 3

图 5. 工况 3 荷载作用示意图

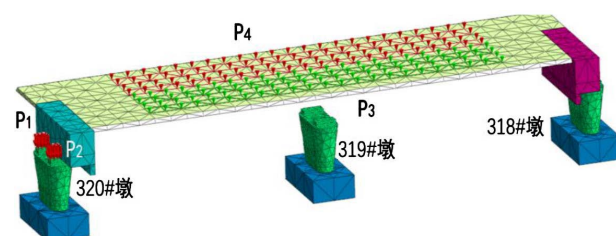


Figure 6. Loading diagram for Load Case 4

图 6. 工况 4 荷载作用示意图

2) 工况 2: 运梁车(重载)全部车身刚进入土坡

通过分析,可以得知此工况下,320#墩上主要承受的荷载为箱梁一端作用(经计算,荷载面压力 $P_1 = 1.442 \text{ MPa}$)、运梁车(重载)作用(荷载面压力 $P_2 = 1.266 \text{ MPa}$),以及作用在填料层顶部作用(荷载面压力 $P_3 = 75.679 \text{ kPa}$),荷载作用示意图如图 4 所示。

3) 工况 3: 运梁车(重载)车身位于土坡中心

通过分析,可以得知此工况下,320#墩上主要承受的荷载为箱梁一端作用(经计算,荷载面压力 $P_1 = 1.442 \text{ MPa}$)、运梁车(重载)不产生作用(荷载面压力 $P_2 = 0$),以及作用在填料层顶部作用(荷载面压力 $P_3 = 75.679 \text{ kPa}$),荷载作用示意如图 5 所示。

4) 工况 4: 两辆运梁车(重载、空载)在土坡中心处会车

通过分析,可以得知此工况下,320#墩上主要承受的荷载为箱梁一端作用(经计算,荷载面压力 $P_1 = 1.442 \text{ MPa}$)、运梁车(重载)不产生作用(荷载面压力 $P_2 = 0$),以及作用在填料层顶部作用(荷载面压力 $P_3 = 75.679 \text{ kPa}$),及运梁车(空载)作用(荷载面压力 $P_4 = 17.464 \text{ kPa}$),荷载作用示意如图 6 所示。

(4) 接触设置

1) 桩土接触

考虑到桩土接触关系[11]及计算效率,本次计算将桩简化为 Midas/GTS 特有的嵌入式单元,直接将承台下方的 2 排 4 根桩嵌入地层中,桩土之间协同变形[15],见图 7。

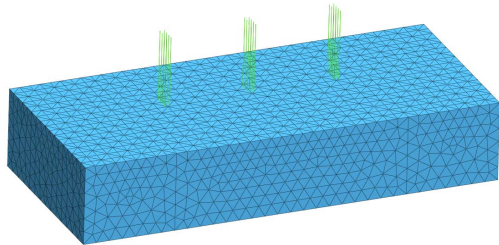


Figure 7. Schematic diagram of the pile–soil contact model
图 7. 桩土接触模型示意图

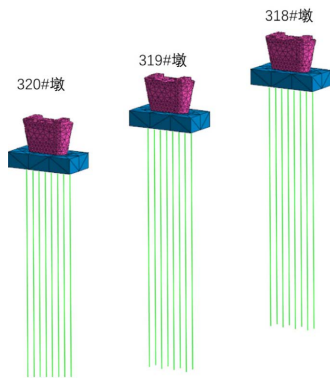


Figure 8. Schematic model of the interaction between pier, pile cap and piles
图 8. 桥墩 - 承台 - 桩相互关系模型

2) 墩身 - 填料接触

根据实际工程情况,桥墩与填料层并非刚性连接,其变形模式也并非协同变形,二者之间由于刚度差异会产生变形差,因此考虑将墩身与填料之间的接触设置为库伦摩擦接触[12],接触面切向力与位移关系采用 Coulomb 摩擦模型,接触面等效摩擦应力为:

$$\tau_{eq} = \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2} \quad (1)$$

式中: τ_1 、 τ_2 为摩擦面内两垂直向剪切应力。

临界剪切应力为:

$$\tau_{crit} = \mu p \quad (2)$$

式中: μ 为摩擦系数。

对于摩擦系数 μ , 经验数据表明,静摩擦系数与动摩擦系数不同,两者近似满足以下指数关系:

$$\mu = \mu_k + (\mu_s - \mu_k) e^{-d_c \dot{\gamma}_{eq}} \quad (3)$$

式中: μ_k 为动摩擦系数; μ_s 为静摩擦系数; d_c 为折减系数; $\dot{\gamma}_{eq}$ 为滑动应变率。

相对滑移发生条件:

当 $\tau_{eq} \geq \tau_{crit}$ 时则发生相对滑移; 当 $\tau_{eq} < \tau_{crit}$ 时则不发生相对滑移。

各向的滑移速度由下式确定:

$$\frac{\tau_i}{\tau_{eq}} = \frac{\gamma_i}{\gamma_{eq}} \quad (4)$$

式中： τ_i 为*i*向的剪切应力； γ_i 为*i*向剪切滑移速度； γ_{eq} 为总的剪切滑移速度。

3) 桥墩 - 承台 - 桩相互关系

由于桥梁结构的墩身、承台和桩基刚度相比填料和地层刚度较大，常规的设计计算中，将桥墩、承台和桩基之间设置为刚性连接，两两之间协同变形，共同承载，桥墩 - 承台 - 桩相互关系示意如图 8 所示。

4. 结果分析

4.1. 位移分析

(1) 桥墩位移

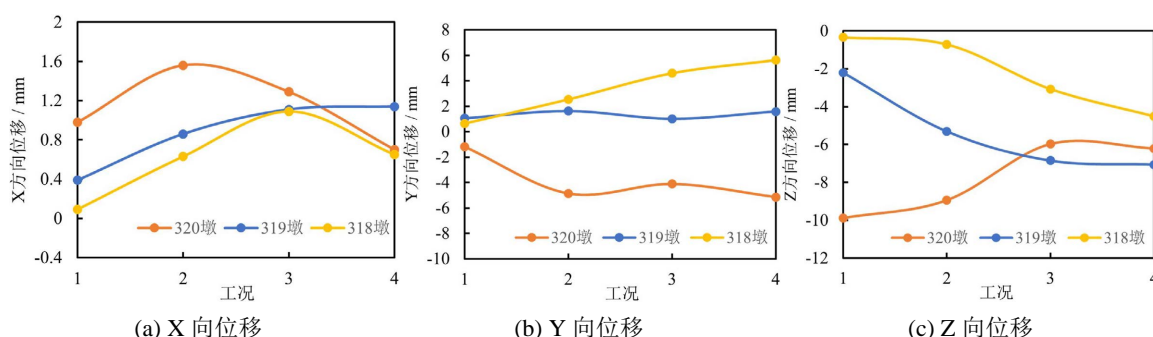


Figure 9. Displacements of the bridge piers

图 9. 桥墩位移量

提取各工况下 320#~318#墩的三向(X: 横桥向, Y: 顺桥向, Z: 竖向)最大位移量如图 9 所示。分析发现, 在横桥向, 四种工况的偏移量均较小, 在前三种工况下, 320#墩受力位移量均大于 319#、318#墩, 且在工况 2 (运梁车身全部刚进入土坡)时, 320#墩的偏移量最大, 达到 1.6 mm; 工况 4 (两辆运梁车在土坡中心处会车)时, 中间 319#墩处于受荷最大模式, 偏移量大于另外两墩, 量值约为 1.2 mm。在顺桥向, 320#墩由于多作用一孔箱梁, 偏移量总体上处于偏向已有箱梁侧, 工况 1 (重载运梁车一半进入土坡)条件下, 320#墩受荷最为均匀, 故顺桥向偏移量最小, 约为 1 mm; 由于填料与桥墩、承台间的刚度差异较大, 319#墩在四种工况下的顺桥向位移量均较小, 随着荷载向 318#墩靠近, 其正向偏移量逐渐增大, 最大约为 6 mm; 总体上, 三桥墩在各工况下均发生了不同程度的沉降, 320#墩在工况 3 (重载运梁车车身位于土坡中心)条件下发生的沉降最小, 在工况 1 (重载运梁车一半车身进入土坡)条件下发生的沉降量最大。319#和 318#墩随着重载运梁车的前进, 沉降量逐渐增大。

(2) 挡墙位移

提取 4 种工况下 320#墩侧和 318#墩侧挡墙的三向最大位移量如图 10 所示。处于受荷较大的 320#墩侧的挡墙受力总体上大于 318#墩侧挡墙, 且由于填土两侧坡度并非一致, 且存在空车、重车并排的情形, 导致挡墙存在 X 向(横桥向)偏压受荷现象, 因此 2#挡墙均存在 X 向(横桥向)的位移, 其中 320#墩侧挡墙在工况 2 条件下达到最大偏移量, 约为 2.4 mm, 318#侧挡墙在工况 3 条件下达到最大偏移量, 约为 1.8 mm; 分析 Y 向(顺桥向)挡墙位移可以发现, 由于填土受到荷载作用, 发生向两侧挡墙的变形, 但由于偏压作用, 2#挡墙的 Y 向位移量方向并不相同, 且 320#墩侧挡墙最大 Y 向位移量大于 318#墩侧挡墙, 320#墩侧挡墙为 -2.72 mm, 318#墩侧挡墙为 2.18 mm。对于 Z 向, 由于主要荷载作用于两挡墙中间, 二者受

力大致相同,但是 320#墩额外作用一孔箱梁,导致 320#墩侧挡墙沉降均大于 318#墩侧挡墙,320#墩侧挡墙最大沉降发生在工况 2 条件下,量值约为 11.00 mm,318#墩侧挡墙最大沉降发生在工况 4 条件下,量值约为 5.44 mm。

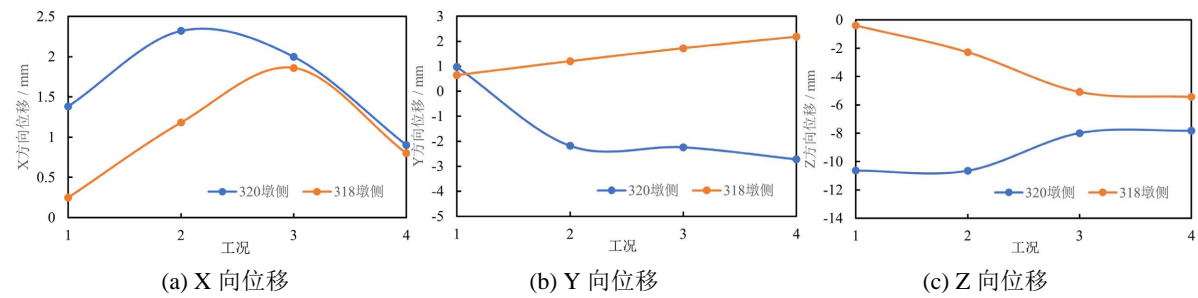


Figure 10. Maximum displacements of the retaining walls under each load case
图 10. 各工况下挡墙最大位移

4.2. 应力分析

4.2.1. 桥墩主应力

(1) 桥墩主应力

考虑桥墩主要承受压力,限于篇幅,仅展示工况 2 的 320#~318#墩的第三主应力如图 11 所示。可以发现,320#墩承受压力最大,约为 14.24 MPa,远离荷载端的 319#、318#墩第三主应力较小,其中由于荷载主要集中在 320#墩附近,使得 320#墩受力分布较 319#、318#墩不均匀。

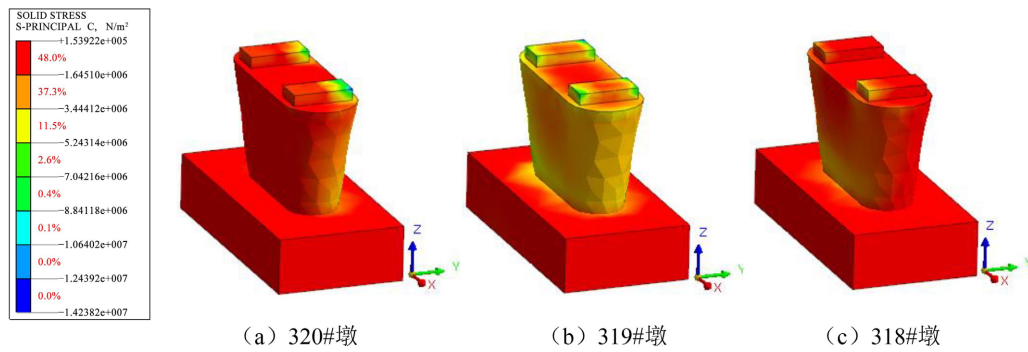


Figure 11. Third principal stress of the bridge piers under Load Case 2
图 11. 工况 2 桥墩第三主应力

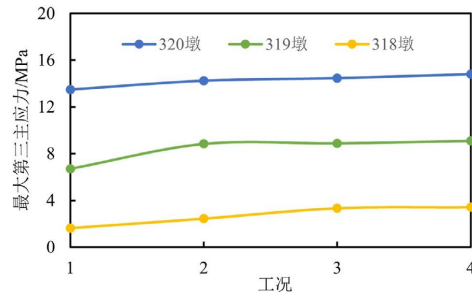


Figure 12. Maximum third principal stress of the bridge piers under each load case
图 12. 各工况桥墩最大第三主应力

汇总各工况下 3 桥墩的最大第三主应力, 如图 12 所示, 总体而言, 3 桥墩均随着运梁车的行进, 最大第三主应力均增大, 即受到的压应力逐渐增大, 且 320#墩的最大第三主应力大于 319#墩大于 318#墩。

4.2.2. 挡墙 Von Mises 应力

(2) 挡墙 Von Mises 应力

提取工况 1 的挡墙应力, 如图 13 所示。由于挡墙受力较为复杂, 可能同时承受压力和拉力, 因此提取两挡墙的 Von Mises 应力, 分析发现, 近载端的 320#墩侧挡墙最大 Von Mises 应力出现在桥墩相接处, 量值为 1.88 MPa, 未达到混凝土的破坏强度; 远载端的 318#墩侧挡墙受力较为均匀, Von Mises 应力较小, 最大约为 0.24 MPa。

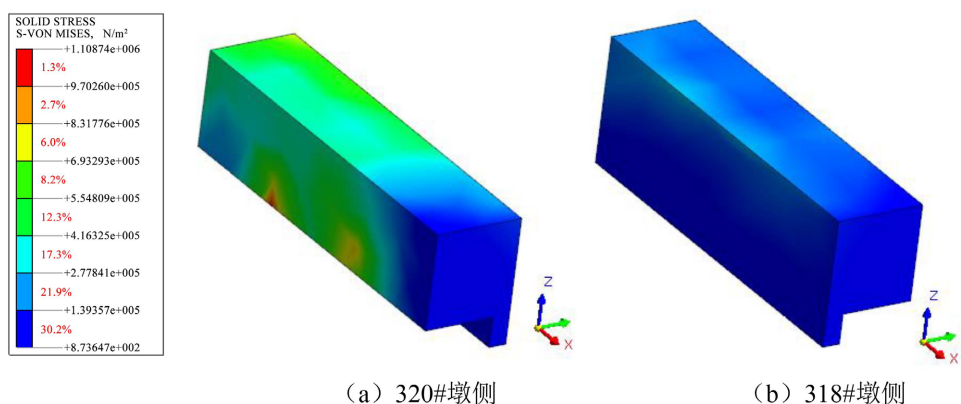


Figure 13. Von Mises stress distribution of the retaining walls under Load Case 1
图 13. 工况 1 挡墙 Von Mises 应力

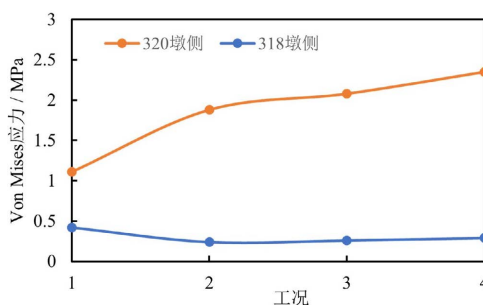


Figure 14. Maximum Von Mises stress of the retaining walls under each load case

图 14. 各工况下挡墙最大 Von Mises 应力

汇总各工况下 2 挡墙的 Von Mises 应力, 如图 14 所示, 总体而言, 320#墩侧挡墙的最大 Von Mises 应力随着运梁车的前进逐渐增大, 最大值发生在工况 4 条件(两辆运梁车在土坡中心处会车), 约为 2.30 MPa, 318#侧挡墙反之, 随着运梁车的前进, 最大 Von Mises 应力逐渐减小, 但由于离荷载较远, 各工况受力较为均匀, 量值也较小。

5. 结语与讨论

本文对架梁会车平台受力进行分析, 针对其特殊的移动荷载进行了详细的数值计算分析, 得出以下结论:

- (1) 预先作用于 320#墩上的一孔箱梁使 320#墩在 4 种工况下受荷均较大, 应在设计施工过程中关注

320#墩的偏移量、沉降量和应力分布,由于填料与桥墩、承台间的刚度差异较大,319#墩出现顺桥向偏压,远载端318#墩受荷较小。

(2) 墩上挡墙两侧刚度约束差异较大,运梁车在行进过程中,近载端320#墩侧挡墙受荷较远载端318#墩侧挡墙复杂,会同时承受拉压应力,最大 Von Mises 应力出现在桥墩相接处。

(3) 需要指出的是,本文数值分析采用多工况静力分析方法,将运梁车在会车平台上的不同停留位置视为一系列静态工况进行等效模拟,并未考虑车辆行进过程中的动力放大效应。由于 DCY900 运梁车在重载及空载工况下的运行速度分别不超过 3 m/min 和 6 m/min,属于典型低速受压状态,按现行工程设计通常可采用静力荷载组合进行控制,故本文的分析结果对平台结构整体稳定性具有一定代表性。尽管如此,车辆加减速、制动及突发工况下的惯性效应可能对局部应力和变形产生一定影响。后续研究将基于三维有限元模型,引入车-路-结构耦合动力分析方法,进一步评估不同行车速度和制动工况下平台结构的安全储备及动力响应特征。

参考文献

- [1] 郑健. 中国高速铁路桥梁建设关键技术[J]. 中国工程科学, 2008, 10(7): 18-27.
- [2] 张耀辉, 陈士通. 大型架桥机设备在高铁施工中的应用[J]. 筑路机械与施工机械化, 2011, 28(4): 23-29+49.
- [3] 刘帅帅, 武帅, 梁亚林. 杂填土路堑边坡防护设计[J]. 山东交通科技, 2025(2): 110-112.
- [4] 杨雍, 陈建申, 郭相武. 会车平台在哈大铁路客运专线长大桥梁运架梁中的应用[J]. 铁道标准设计, 2012(5): 116-119.
- [5] 陈丽丽, 张娟. 基于 ANSYS 的运梁车大车架设计及有限元分析[J]. 铁道建筑技术, 2025(6): 23-26+34.
- [6] 彭光辉, 钱立军. 平潭海峡公铁两用大桥裸岩区施工平台搭建技术[J]. 施工技术, 2018, 47(16): 83-85.
- [7] 朱江江. 重载铁路软质岩填料路基工程特性试验研究[D]: [博士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2019.
- [8] 叶小斌. 结构临时加固技术——简易施工栈桥 Midas 设计与运用[J]. 四川建筑, 2016, 36(2): 285-286+290.
- [9] 王化杰, 钱宏亮, 等. 基于临时支撑结构的杆件初弯曲对其轴压性能的影响[J]. 四川建筑, 2021, 41(1): 163-165.
- [10] 邓志朋, 廖健凯. 高架桥满堂支架大跨度门洞施工设计与检算[J]. 四川建筑, 2020, 40(1): 264-266+269.
- [11] 黄清云, 张克, 兰国冠, 等. 桩土耦合接触的基坑支护数值模拟[J]. 厦门理工学院学报, 2019, 27(5): 78-85.
- [12] 栾茂田, 田荣, 杨庆, 等. 有限覆盖无单元法在岩土类弱拉型材料摩擦接触问题中的应用[J]. 岩土工程学报, 2002(2): 137-141.
- [13] 郝玉. 基于 Midas GTS 的某高速公路边坡稳定性分析[J]. 土工基础, 2023, 37(1): 31-35.
- [14] 王昌杰. 转体施工 T 型钢构桥整体受力分析与桥墩优化设计[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2017.
- [15] 刘博. 抗拔桩承载破坏机理及桩-土渐进性演化规律研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2019.