

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqyfh.250058

T 构桥梁转体系统精细化分析与研究

陈 伟

(中国铁建大桥工程局集团有限公司设计研究院, 浙江 杭州 310000)

摘 要: 以宁波市某快速路上跨既有高速铁路转体 T 构桥梁为例, 利用 Rhinoceros+Grasshopper 软件建立参数化模型, 并采用通用有限元软件 ANSYS、MIDAS FEA 对大吨位转体 T 构桥梁的转体系统进行实体模型精细化分析, 探索转体系统受力的特点, 为上跨既有运营铁路的转体 T 构以及类似工程的设计工作提供借鉴和参考。

关键词: 转体 T 构; 参数化模型; 有限元; 精细化分析

中图分类号: U448.23 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-7716(2025)08-0018-06

Refined Analysis and Research on Rotation System of T-structure Bridge

CHEN Wei

(Design Institute of China Railway Construction Bridge Engineering Bureau Group Co., Ltd., Hangzhou 310000, China)

Abstract: Taking a rotational T-structure bridge spanning an existing high-speed railway on an expressway in Ningbo City as an example, the Rhinoceros and Grasshopper software is used to establish a parametric model. And the general finite element software ANASYS and MIDAS FFA are used to carry out the refined analysis of the solid model on the large-tonnage rotational T-structure system, and to explore the stress characteristic of the rotational system, which provide the reference for the design of rotational T-structures and similar projects spanning the existing railways.

Keywords: rotational T-structure; parametric model; finite element; refined analysis

0 引 言

随着经济和社会的发展,我国已经逐步进入现代化交通强国的新阶段。当新建桥梁需要上跨交通繁忙的既有铁路、公路以及城市道路时,为减小桥梁建设对既有交通运营的影响,常常采用转体施工的方法实现对既有路线的跨越^[1-2]。转体系统是转体桥设计及施工内容的核心,对转体桥顺利实施起着至关重要的作用。目前针对转体桥转体系统的研究及简化的分析方法不多^[3-6],且现阶段采用的《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)所给出的承台拉压杆计算公式不能精确地反映转体 T 构桥梁转体系统的受力。因此,本文采用 Rhinoceros+Grasshopper 软件,快速建立参数几何模型,并用大型通用有限元软件 ANSYS 及 MIDAS FEA 建立精细化实体有限元模型进行分析计算,探索转体 T 构转体系统的受力方式,以期为今后类似工程提供一些经验和参考。

收稿日期: 2025-01-15
作者简介: 陈伟(1987—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁设计工作。

1 工程概况

1.1 总体布置

宁波市某城市快速路设计车速为 60 km/h,需上跨甬台温高速铁路。经前期与铁路及其他相关部门充分沟通后,采用 2×58 m 转体 T 构方案上跨杭深高铁线,施工方案为平面右转 68°。主桥桥宽 29.7 m,转体总重量为 15 050 t。

桥型立面图和断面图见图 1、图 2。

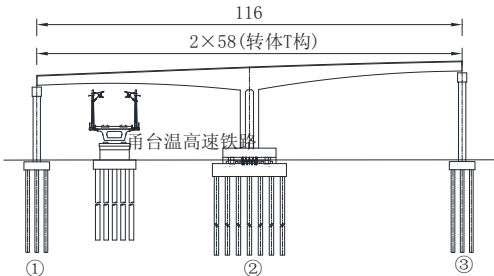


图 1 桥型立面图(单位:m)

主桥 T 构主梁采用预应力混凝土单箱 3 室变高度直腹板连续箱梁,箱梁 0 号段长 8.0 m;主墩 T 构纵桥向划分成 31 个对称梁段。梁段数及梁段长度从根部至跨中分别为 8.0 m(0 号段)+4×3.0 m+5×3.5 m+3×40.0 m+2×4.5 m+3.5 m,累计悬臂总长 58.0 m,所用

参数化模型的最大特点在于可以根据项目要求以及有限元软件分析计算结果进行参数调整,导出有限元软件支持的相应格式文件,再重新导入有限元软件进行结构分析,可省去在有限元软件中的复杂建模过程。

3 转体系统 ANSYS 有限元分析

3.1 结构的简化

采用大型通用有限元分析程序 ANSYS 进行该桥转体系统局部结构实体建模并分析。转体系统 ANSYS 模型见图 7。

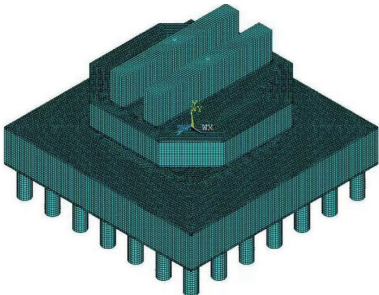


图 7 转体系统 ANSYS 模型

考虑到实际安全性能的要求,整体结构为小偏心受压构件,球铰处不能脱空、不能承受拉应力。为简化计算模型,将球铰模拟成圆柱形的实体块,不考虑分开建模;上承台撑脚为转体时保持转体结构平稳的保险腿,与下承台之间存在空隙,不考虑其参与受力,建模时忽略其影响。在后文计算中会对模型简化的合理性进行验证。

3.2 单元选取

通过 solid95 创建实体模型,link8 单元模拟预应力钢筋,预应力钢筋为 $\phi_s 15.2$ mm 的钢绞线,截面面积为 139 mm^2 , $f_{pk}=1\ 860\text{ MPa}$, $E_p=1.95\times 10^5\text{ MPa}$ 。ANSYS 模型预应力束见图 8。

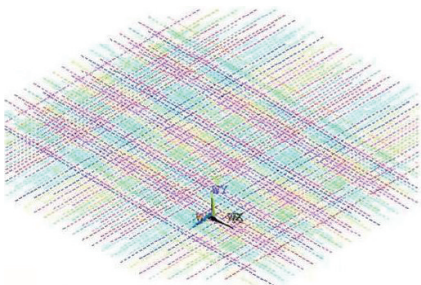


图 8 ANSYS 模型预应力束

3.3 边界荷载效应

为取消边界局部效应的影响,除了承台,还建立了高度均为 3 m 的桥墩和桩基模型。在桩底进行固结,分别在 2 个桥墩截面中心位置建立加载点,并通

过刚臂与截面上的所有节点相连。

3.4 设计荷载

施工过程中的最大悬臂阶段为承台受力的最不利状态,提取整体模型中最大悬臂施工阶段距离上承台上面 3 m 的桥墩截面内力作为承台荷载。以 ANSYS 中上承台的正交方向为参考方向,转体系统设计荷载值见表 1。

表 1 转体系统设计荷载值		
荷载	左墩	右墩
F_y/kN	-61 478.7	-61 478.7
$M_z/(\text{kN}\cdot\text{m})$	579.9	-579.9
$M_x/(\text{kN}\cdot\text{m})$	382.3	382.3

3.5 分析结构

3.5.1 上承台验算

上承台顺桥向、横桥向应力云图见图 9、图 10。分析可见,若忽略掉预应力束耦合作用和边界的应力集中,则上承台局部有 0.42 MPa 的拉应力。

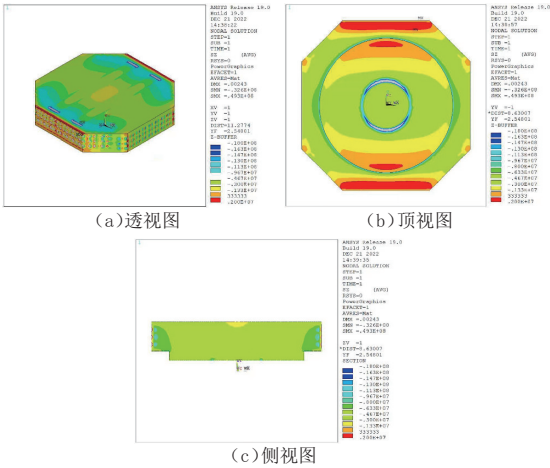


图 9 上承台顺桥向应力云图(单位: N/m²)

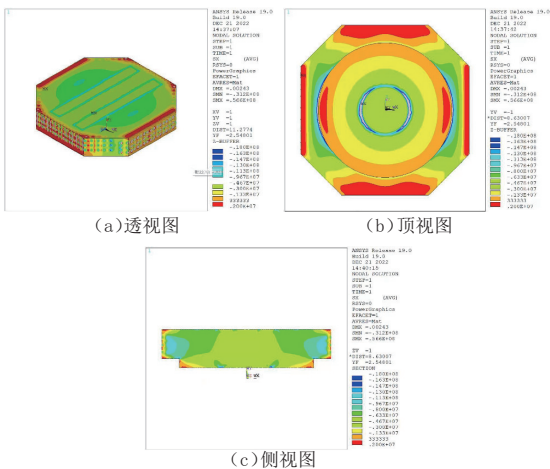


图 10 上承台横桥向应力云图(单位: N/m²)

3.5.2 下承台验算

下承台顺桥向、横桥向应力云图见图 11、图 12。分析可见,若忽略掉边界的应力集中,则下承台局部

有 1.5 MPa 拉应力。

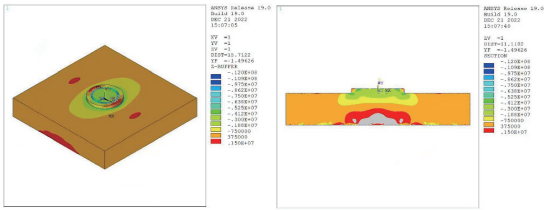


图 11 下承台顺桥向应力云图(单位: N/m²)

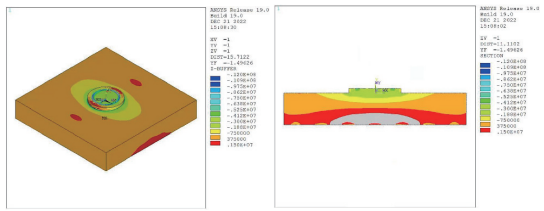


图 12 下承台横桥向应力云图(单位: N/m²)

3.5.3 预应力束验算

上承台预应力束应力云图见图 13。分析可见, 预应力束的应力在 1 170~1 390 MPa 范围内, 小于 1 395 MPa, 满足设计要求。

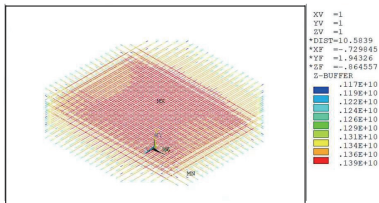


图 13 上承台预应力束应力云图(单位: N/m²)

3.5.4 转体系统验算

为保证结构安全, 球铰须满足以下要求:

- (1)球铰在竖直平面内不能进行滑动、错动;
- (2)球铰上不能承受拉应力;
- (3)球铰不能分离并且不会被压坏。

3.5.4.1 撑脚验算

撑脚与下承台的实际空隙为 24 mm, 由上承台在荷载作用下转体前后的竖向变形云图可见(见图 14), 竖向位移最大为 2.42 mm, 远小于实际空隙, 说明模型对撑角的简化是合理的。

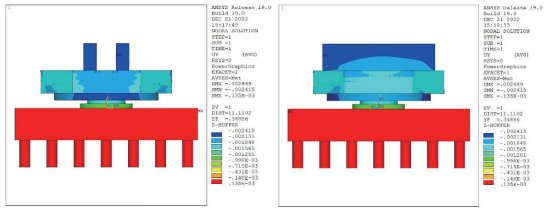


图 14 竖向位移云图(单位: m)

3.5.4.2 球铰验算

球铰 Mises 等效应力云图见图 15。球铰主体采用 ZG270-500 材质(中碳铸钢), 屈服强度不小于

270 MPa, 抗拉压强度不小于 500 MPa。由图 15 可知, 桥梁转体前后球铰处最大等效应力为 61.1 MPa, 小于 270 MPa, 满足设计要求。

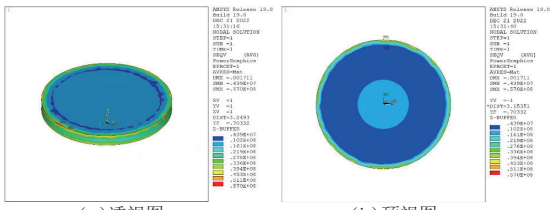


图 15 球铰 Mises 等效应力云图(单位: N/m²)

4 转体系统 MIDAS FEA 精细化有限元验证

4.1 MIDAS FEA 精细化有限元模型

采用 Grasshopper 建立参数化几何模型并导出 sat 格式的几何模型。几何模型将桥墩、上承台、下承台实体进行分层, 方便网格划分以及各层计算结果的提取, 指导结构配筋。

MIDAS FEA 精细化有限元模型见图 16。

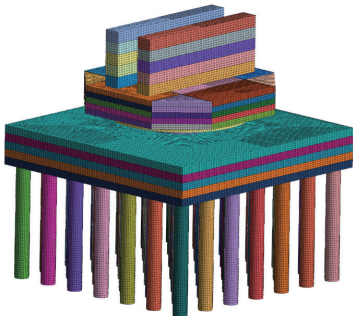


图 16 MIDAS FEA 精细化有限元模型

4.2 计算参数

- (1)材料: 主墩、承台、转盘、球铰采用 C50 混凝土; 桩基础采用 C30 混凝土; 上承台预应力采用 15.2-15 钢绞线。
- (2)单元类型: 混凝土采用实体单元; 预应力采用 1D 线单元, 线性静力分析。
- (3)荷载工况: 转体阶段。
- (4)边界条件: 桩基础底固结。
- (5)荷载: 计算荷载同表 1。

4.3 上承台计算结果

上承台顺桥向、横桥向正应力云图见图 17、图 18。由图 17、图 18 可知, 应力较大的区域主要集中在承台中心和承台边缘预应力锚固处。现不考虑承台边缘处由于预应力锚固引起的应力集中效应, 仅选取中间区域单元查看应力结果。另外, 为分析沿承台不同高度方向的应力变化, 将上承台划分成 5 层区域进行查看(见图 19、图 20)。

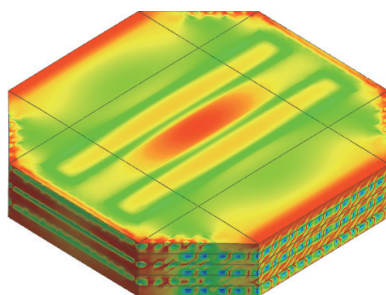


图 17 上承台顺桥向正应力云图

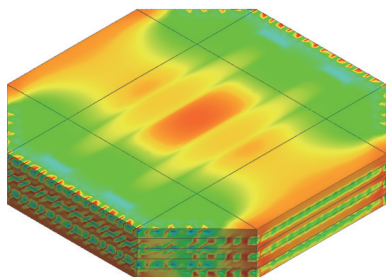


图 18 上承台横桥向正应力云图

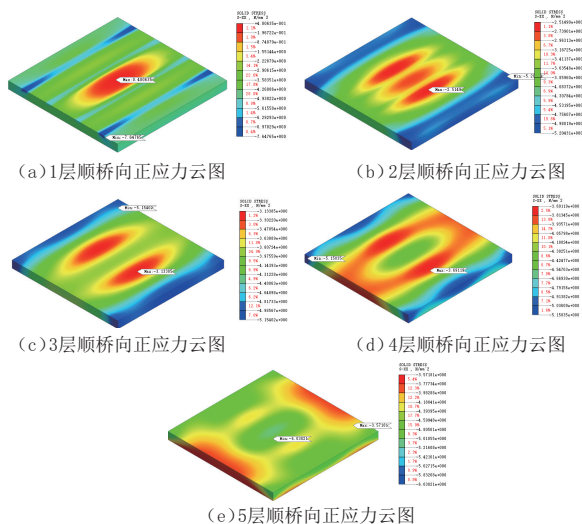


图 19 上承台顺桥向分层正应力云图(单位:MPa)

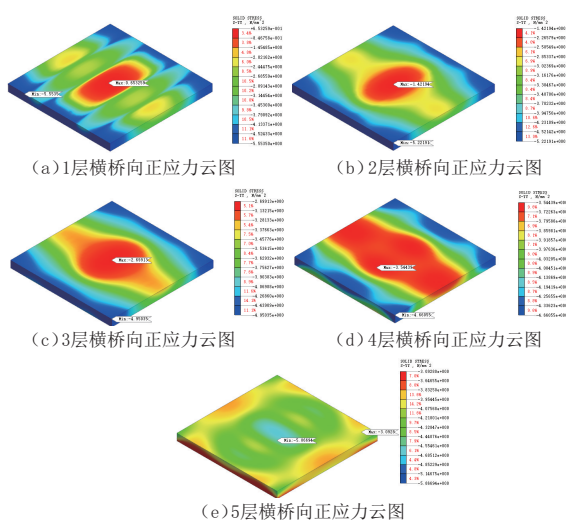


图 20 上承台横桥向分层正应力云图(单位:MPa)

由图 19、图 20 可知,上承台顺桥向及横桥向最大拉应力发生在顶层中心处,分别为 0.48 MPa 和

0.65 MPa,其余层未产生拉应力。由《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)第 7.2.8 条可知, $\sigma_{t,cl}=1.855$ MPa,显然要比上述数值大得多,故钢筋按受拉区最小配筋率 0.2% 控制即可。

4.4 下承台计算结果

同样,为了分析沿承台不同高度方向的应力变化,将下承台划分成 5 层区域。根据单元内力积分获取相应截面的内力进行配筋计算。下承台顺桥向、横桥向正应力云图见图 21、图 22;分层正应力云图见图 23、图 24。

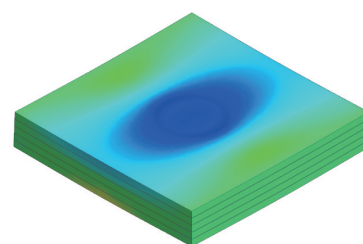


图 21 下承台顺桥向正应力云图

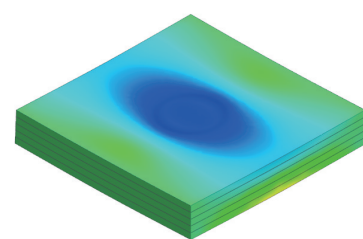


图 22 下承台横桥向正应力云图

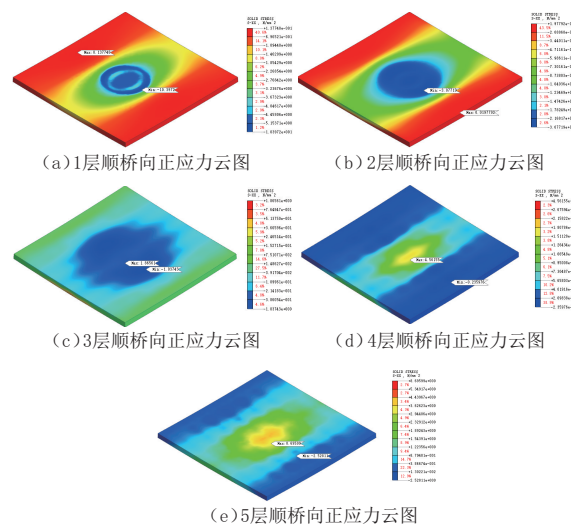


图 23 下承台顺桥向分层正应力云图(单位:MPa)

由图 23、图 24 可知,下承台顺桥向及横桥向最大拉应力发生在下承台底层中心处,具体结果见表 2。

选取下承台底层和第 4 层最大拉力进行配筋计算。若按钢筋承受 120 MPa 计,则所需钢筋面积为 0.559 m^2 ,计算配筋率为 0.79%。因此,下承台底缘顺桥向及横桥向钢筋配筋率按不小于 0.79% 配筋即可。

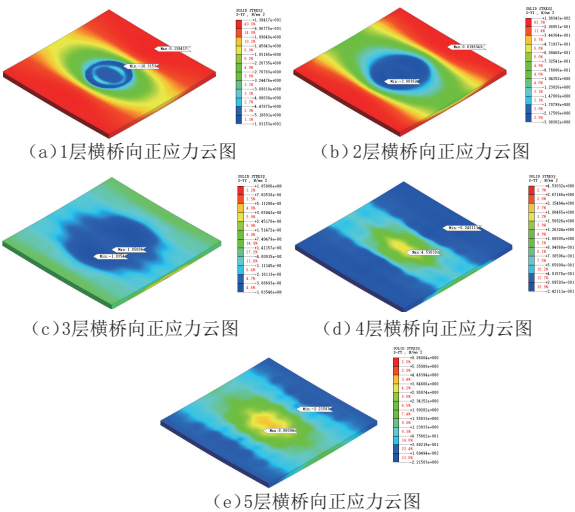


图 24 下承台横桥向分层正应力云图(单位:MPa)

表 2 转体系统设计荷载表

项目位置	最大拉应力/MPa		分层积分拉力/kN	
	顺桥向	横桥向	顺桥向	横桥向
第 1 层				
第 2 层				
第 3 层	1.7	1.9	5 533	5 535.6
第 4 层	4.6	4.5	25 997	25 878.0
第 5 层	8.7	8.9	41 117	41 198.0

5 结 语

(1)上承台通过设置顺桥向及横桥向预应力,可有效控制上承台的拉应力,避免施工过程中开裂,保证转体过程中的安全。

(2)通过分层读取下承台各部位计算结果,求出各分层积分拉力,再根据分层积分拉力指导下承台结构配筋。该方法可为今后上跨既有运营铁路的转体T构以及类似工程的设计工作提供借鉴和参考。

参考文献:

[1] 徐春东,胡洲,关俊锋,等.跨线铁路转体桥施工技术发展综述[J].华东交通大学学报,2021,38(6):54-60.
[2] 迟德有.双幅整体转体跨铁路刚构桥主墩设计方案比选[J].桥梁建设,2024,54(3):123-128
[3] 郑元勋,刘上,孙猛,等.大吨位转体桥梁不平衡力矩计算方法优化研究[J].世界桥梁,2024,52(6):64-70
[4] 刘宇.T型刚构转体设计与力学性能分析[D].重庆:重庆交通大学,2015.
[5] 张龙.超宽超重转体T型刚构关键参数研究[J].建筑安全,2024,32(9):44-50.
[6] 董月龙.公跨铁2×65 m T构转体桥梁设计与荷载敏感性分析[J].工程建设与设计,2022,21(3):65-69.
[7] 曹菲.城市景观桥梁创新设计研究[D].南京:东南大学,2015
[8] 丁智光.参数化设计件景观桥梁工程中的应用研究[D].南京:东南大学,2016.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: roadbridgeflood@163.com

