



第二十三届全国桥梁学术会议 论文集（下册）

2018 · 贵阳

中国土木工程学会桥梁及结构工程分会 编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

Di-Ershisan Jie Quanguo Qiaoliang Xueshu Huiyi Lunwenji

第二十三届全国桥梁学术会议论文集

(下册)

中国土木工程学会桥梁及结构工程分会 编

2018 · 贵阳



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书为第二十三届全国桥梁学术会议论文集,是由中国土木工程学会桥梁及结构工程分会精选的130余篇优秀论文汇编而成。本论文集包括大会报告,设计与施工,结构分析、抗风与抗震,检测、加固、试验与新材料四个部分,全面、系统地展示了近一时期我国桥梁工程建设的新动态、新理念、新成果和新经验。

本书可供从事桥梁工程设计、施工、检测、管理等相关工作的技术人员参考使用,也可供高等院校相关专业师生阅读学习。

图书在版编目(CIP)数据

第二十三届全国桥梁学术会议论文集 / 中国土木工程学会桥梁及结构工程分会编. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2018.4

ISBN 978-7-114-14629-9

I. ①第… II. ①中… III. ①桥梁工程—学术会议—文集 IV. ①U44-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 068406 号

书 名:第二十三届全国桥梁学术会议论文集(下册)

著 作 者:中国土木工程学会桥梁及结构工程分会

责任编辑:郭红蕊 张征宇

责任校对:刘 芹

责任印制:张 凯

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:65.75

字 数:1663千

版 次:2018年4月 第1版

印 次:2018年4月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-14629-9

定 价:220.00元(上、下册)

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

第二十三届全国桥梁学术会议

学术委员会

名誉主任 项海帆
主 任 葛耀君
委 员 (以姓氏笔画为序)
牛 斌 吉 林 孙利民 苏权科 肖从真 肖汝诚
邵长宇 孟凡超 高宗余

组织委员会

名誉主任 刘士杰
主 任 肖汝诚
副 主 任 李建钢 马白虎 张胜林 母进伟 杨志刚
委 员 (以姓氏笔画为序)
朱 路 华彦常 孙 斌 杨 雪 宋超林 武肖良
松 宇 罗文秀 赵 伟 胡 涛 秦一栋 郭海龙
廖 玲

编辑委员会

主 任 肖汝诚
副 主 任 孙 斌 杨志刚
委 员 (以姓氏笔画为序)
于抒霞 王 硕 牛 斌 吉 林 肖从真 宋超林
陈 晨 邵长宇 孟凡超 高宗余 葛耀君 穆 玉

主办单位

中国土木工程学会桥梁及结构工程分会

支持单位

贵州省交通运输厅

贵州省公路局

贵州交通建设集团有限公司

协办单位

贵州省公路开发有限责任公司

贵州桥梁建设集团有限责任公司

贵州省公路工程集团有限公司

承办单位

《桥梁》杂志社

目 录(下册)

67. 太原南站东广场钢平台受力分析研究 杨 志 曾明根(515)
68. 有轨电车墩台纵向刚度限值问题分析 罗雪珍 胡方健 吴定俊 李 奇(522)
69. 大跨度波形钢腹板连续刚构桥的徐变效应研究
..... 时 代 占玉林 杨 伟 任 剑(528)
70. 考虑施工过程的悬索桥合理成桥状态迭代分析方法 黄健涌 孙 斌(537)
71. 单箱多室波形钢腹板组合梁桥的简化有限元分析 龙 嘉 程 进(544)
72. 三塔悬索桥反对称竖弯基频分析 赵陈嘉皇 贾丽君 林赞笔(551)
73. ANSYS 中准确施加和计算索力的方法 周琳淇 周水兴 孟 云(556)
74. 山区地形大跨桥梁桥位风特性研究
..... 刘志文 丁 冬 陈政清 辛亚兵 龚 平 龙海兵(561)
75. 大跨度悬索桥颤振的精细化分析 张新军 余天程(570)
76. 红水河特大桥抗风性能研究 周 潇(577)
77. 强震区大跨度重主梁斜拉桥创新减震体系——永宁黄河大桥减震设计
..... 管仲国 彭志城 郭 河 张菊辉(584)
78. 典型铁路简支梁桥摩擦摆支座减震性能研究..... 董 俊 曾永平 庞 林 杨国静(591)
79. 高烈度区液化场地连续梁桥减隔震设计 曹孙林 崔存玉 王 臻(600)
80. 基于 SAP2000 的高铁简支梁桥横向地震碰撞效应分析..... 孟栋梁 杨孟刚(606)
81. 强震地区公路简支梁桥减震支座比选分析 庞 林 曾永平 董 俊(616)
82. 独塔自锚式悬索桥地震响应分析 张杨宾 王志强(622)
83. 高低塔斜拉桥横向减震体系 周连绪 周 良 吴 勇 庄 鑫 叶爱君(631)
84. 高铁桥梁地震易损性研究——以 CRTS II 型板式
无砟轨道高速铁路连续梁桥为例 魏 标 王 鹏 蒋丽忠 李朝斌(640)
85. 简支梁和桥面连续简支梁纵向抗震性能比较 王 琦 易 江 李建中(648)
86. 板式橡胶支座桥梁纵向地震作用下易损部位研究 徐文靖 王献攀 李建中(657)

87. 连续弯梁桥延性抗震设计方法比较	王 臻	崔存玉	曹孙林(666)		
88. 驳船一方柱斜撞的修正半波正弦荷载模型	马 宇	王君杰	尹海蛟(672)		
89. 公轨合建景观桥梁桥上建筑振动性能研究	程路超	吴定俊	李 奇(680)		
90. 跨座式单轨交通车桥系统随机振动研究	周智辉	史耀君	陈熠南	张锦涛	宋仁杰(690)
91. 超高速磁浮交通简支梁车致动力响应分析	汪 斌	张焱焜	于和路	李永乐(697)	
92. 自由梁导纳计算的 2.5 维有限元方法及程序验证	张 杉	李 奇(702)			
93. 一种可滑移钢阻尼装置研究	姜逸伦	王君杰	高 昊(709)		
94. 斜拉索主共振的同伦分析	刘 菁	梁 栋	戎 贤(717)		
95. 跨线桥附加广告牌对系统耦合振动的影响研究	祖民星	钟 华(723)			
96. 大跨拱桥施工阶段索——拱组合体系的模态特征及动力响应	易壮鹏	张鑫宇	张 勇	曾有艺	涂光亚(731)

四、检测、加固、试验与新材料

97. 基于频域分解法的桥梁健康监测实时在线模态识别	梁 鹏	贺 敏	李琳国	王晓光	马旭明(743)	
98. 既有城市危桥改造的案例及对策研究					穆祥纯(752)	
99. 集成磁通量传感器一体的预应力锚具及其在监控中应用	邓年春	杨 阳			郭 晓(758)	
100. 基于加速度监测的拉索振动附加索力频域识别	淡丹辉			徐 斌	(764)	
101. 面向桥梁及道路的交通流荷载实时监测与识别	淡丹辉			葛良福	(770)	
102. 受疲劳破坏正交异性钢桥面板的 CFRP 加固效率数值参数化研究	姜 旭	罗程巍			梁雲憑(777)	
103. 既有高架桥梁盖梁托换技术研究与应用	成 凯	施瑞欣	陈湘华	叶锡钧	梁 伟(785)	
104. 基于 ANSYS 的公路桥梁支座更换施工有限元分析	王 剑	李佳颖	包文静	崔弥达	李慧乐	吴 刚(792)
105. 正交异性钢桥面板疲劳加固方法	曹星儿	曹一山			程 斌(797)	
106. 基于导波模态转角的钢绞线张力检测方法研究	钱 骥	杨金川			李长春(805)	
107. 基于时间序列的桥梁损伤识别方法	颜永逸	杨国静	曾永平	郑晓龙	翁 顺(815)	
108. 基于卷积神经网络的混凝土桥梁裂缝智能识别研究	梁 栋	周学锋	何 佳	王 松	(821)	
109. 基于压电阻抗法高强螺栓锈蚀损伤监测研究	蒋田勇	张耀文			唐 超(829)	
110. 基于阻抗法的钢管桁架拱结构健康监测试验研究	蒋田勇			宁怡豪	(836)	

111. 基于中性轴位置的 PC 小箱梁桥性能监测研究	陈力畅	孙利民	夏 烨	雷 伟(843)
112. 基于监测数据的斜拉桥温度变形研究	王思达	周 毅	孙利民(850)	
113. 基于 FBG 传感器的公路桥梁支座更换施工监测	邹友泉	李 莉	李佳颖	王建荣
	崔弥达	吴 刚(854)		
114. 基于应变分离的中小梁桥挠度监测研究	操 莉	孙利民(861)		
115. 基于双基点分析的群决策法在桥梁评估中的应用	邢观华	梁 力	吴凤元(868)	
116. 摄影测量技术在桥塔外观检测应用研究	谢海波	刘晏玲	王培玉(874)	
117. 缆索承重桥梁抗火研究进展	沈锐利	白伦华(881)		
118. 小箱梁中 UHPC 纵向接缝的静力试验研究	石雪飞	曹胜会	马 磊	阮 欣(889)
119. 节段拼装桥墩 UHPC 连接力学性能试验研究	石雪飞	贺桂山	马 磊	阮 欣(896)
120. 新型自锁式灌浆连接件界面性能试验研究	张永涛	贺志启	陈 龙	田 飞(907)
121. 连续梁桥钢—混结合段受力性能试验	何 慧	李 映	徐 晨	苏庆田(915)
122. 移动荷载作用下连续梁桥动力放大系数数值计算及试验验证	胡 琦	孙 智(922)		
123. 组合梁桥波形钢腹板承载力试验研究分析	柳淑波	冯 杰	桑 伟(930)	
124. 基于 TMD 的人行天桥实测减振研究	王 伟	赵 雷	田军伟	唐朋胜(939)
125. GFRP-混凝土-钢组合梁连接件试验研究	佟兆杰	黄 侨	高达文(945)	
126. CFRP 加固过载损伤钢筋混凝土梁桥的抗弯性能研究	黄常开	邓 军	王骥琛	黎晓达(952)
127. 山区装配式箱形拱桥荷载试验研究	施静娴	冉志红	程应杰(959)	
128. PC 梁桥锚下预应力反张拉法检测机制与试验研究			张 朋(968)	
129. 混凝土双轴受压试验研究与破坏准则分析	余振鹏	黄 侨(978)		
130. 间断式双开孔钢板连接件抗剪承载力试验研究	马 帅	顾建成	陈建伟	刘 朵
	张建东(985)			
131. 大跨度钢箱梁悬索桥静力荷载试验优化研究	王 伟	赵 雷	田军伟	唐朋胜
	吕 梁(991)			
132. 弹性约束拱结构动力性能的试验研究	曾有艺	颜东煌	易壮鹏	涂光亚(999)
133. PVF 缠包带在斜拉索防护维修中的应用	方亚非	王祺明(1007)		
134. 智能型大位移量单元式多向变位桥梁伸缩装置的构想与发展	徐 速	王 博	吕建华	吴海兵
	王 娟	林 霞	何慧华(1012)	
135. 区块链技术在桥梁工程中的应用	徐 驰	贾丽君(1018)		
136. 寒冷地区海洋环境下高性能混凝土配合比全计算法的改进	张 方	李松涛(1024)		
137. 纤维增强型沥青混凝土的有效弹性模量		田佳艳(1029)		

67. 太原南站东广场钢平台受力分析研究

杨 志¹ 曾明根²

(1. 同济大学桥梁工程系; 2. 同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司)

摘 要: 钢结构桥梁构件种类繁多、构造复杂,对于具有特殊构造的钢桥,其受力状态更是难以明确。本文以太原南站东广场高架钢平台为研究对象,首先采用 Midas Civil 软件建立杆系模型进行分析,计算钢平台的整体受力情况,然后对钢平台主要受力板件尤其是转弯处构造用板壳单元进行建模分析,明确主要板件受力情况,并比较两种建模精度下分析结果之间的区别。分析结果表明:杆系模型基本可以明确整体应力水平,对于局部板件受力则需要通过板壳模型确定;该联钢平台设计过于保守,应力储备过高,可以适当提高设计的技术、经济合理性。

关键词: 太原南站东广场 钢平台 有限元 局部分析 板壳单元

1 引言

近年来,高铁技术在中国迅速发展。按照国家中长期铁路网规划,以“四横四纵”快速客运网为主骨架的高速铁路建设全面加快推进,我国已建成了一大批设计时速 350km、具有世界先进水平的高速铁路^[1]。随着高速铁路的快速发展,高铁站也随之不断增多。高铁站既需满足旅客及车辆的使用要求,又是城市地标性建筑,不可避免地会给设计带来一定难度。因此如何规划、设计高铁站及附属设施已成为高铁发展中不可或缺的重要部分。

本文以太原南站东广场钢平台为研究对象,采用有限元软件对转弯处有较大悬臂的钢平台进行受力分析,以为同类设计提供参考。

2 项目概况

太原南站东广场及配套路网包括市政路网、北营北路地道、高架匝道、高架平台、地下车库。其中高架匝道、高架平台工程北至太行路,南至北营南路(规划一路),西至龙堡路,东至光明东街。高架匝道及高架平台工程连接太行路高架和太原南站二楼大厅,是由太行路高架进入太原南站的重要通道。本文主要研究高架平台,整个高架平台呈 U 形。如图 1 所示。

高架钢平台共分为 5 联,U01 及 U05 联北侧与高架匝道联。外侧悬臂及梁高与其统一,悬臂长度 1.43m,外侧斜腹板斜率 1:2.5,梁高 2.2m。U01 及 U05 联南侧与高架平台的落客区平台衔接,梁高及内悬臂与其统一,南侧梁高 2.8m,内悬臂长度 2.37m,外包装饰钢板。梁高通过 PT02 及 PT12 支点处过渡,箱梁结构采用单箱多室构造。

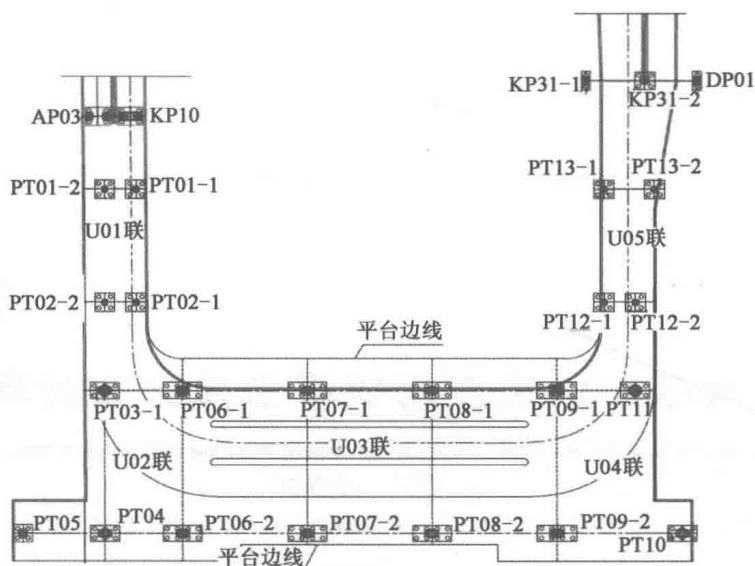


图1 钢平台总体布置图

3 钢平台构造

本文所分析钢平台为 U01 联,该联高架钢平台在支座 PT06 处与落客平台相接,此联包含部分转弯平台,如图 2 所示。

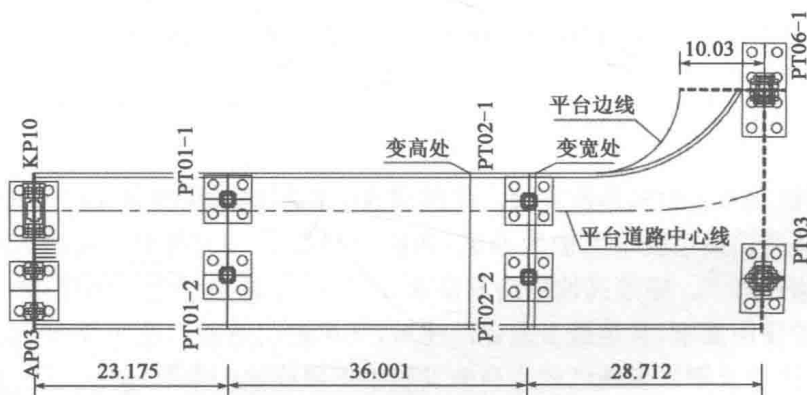


图2 U01 联钢平台总体布置图(尺寸单位:m)

U01 联钢平台跨径布置为 23.175m+36m+28.712m。桥面布置为单向四车道。由于钢平台包含转弯处,因此桥面宽度从 18.3m 过渡到 28.217m。桥面变宽从第三跨内距离中支座 0.79m 处开始。从前述项目概况可知,梁高需考虑到其相连的匝道和其他联钢平台,为了整体美观需要取值从 2.2m 过渡到 2.8m。梁高变化处位于中跨内,距离 PT02 支座 7.03m。

平台采用单向多室钢箱梁断面,顶板厚 14mm,设置纵向 I 形加劲肋。底板支座处厚 20mm,其余部分厚 14mm,同样设置纵向 I 形加劲肋。腹板厚度均为 16mm,设置 2 道纵向加劲肋。考虑到平台变宽,腹板在变宽位置逐渐增加 2 道腹板。桥横向箱内设置横隔板和横肋,箱外设置挑臂板。腹板及横隔板布置如图 3 所示。图中横隔板和横肋分别以实线和虚线表示。

平台转弯处典型断面如图 4 所示。在此区域考虑有相连的 U03 联钢平台以及此处顶板

悬臂较大等因素,顺桥向设置悬臂支撑结构,板厚均取 16mm。主桥通过挑臂与悬臂支撑结构相连接。并且,在此处腹板外侧顶板除了纵向加劲肋之外还设置小纵梁。此处顶板受力类似于纵横向加劲的钢桥面板。悬臂支撑结构构造如图 5 所示。



图 3 腹板布置图

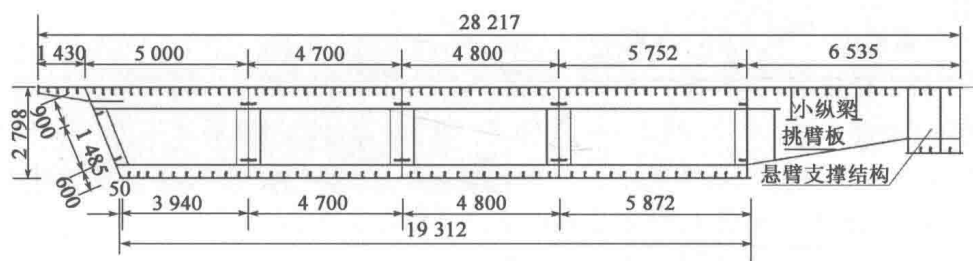


图 4 平台转弯处断面构造图(尺寸单位:mm)

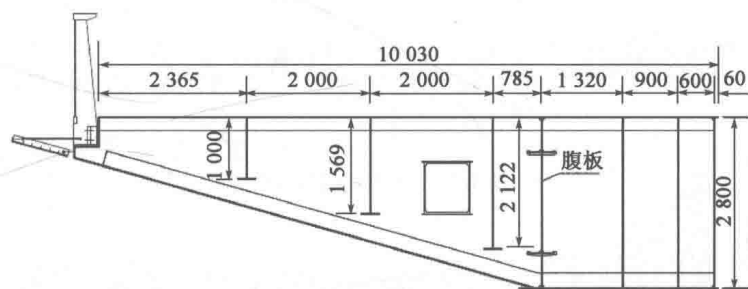


图 5 悬臂支撑结构构造图(尺寸单位:mm)

4 钢平台有限元计算

考虑到此类构造复杂的钢平台受力特点以及计算效率,首先采用杆系模型计算桥梁的整体受力情况,初步估算其应力水平,然后采用板壳模型精确分析各主要受力板件,着重分析转弯处板件的受力状态。

4.1 杆系模型

采用 Midas 杆系模型整体计算,考虑的荷载包括:自重、二期铺装、支座沉降、温度、汽车荷载(考虑冲击)^[2]。根据钢桥设计规范,模型中考虑钢箱截面局部稳定和剪力滞效应^[3]。模型如图 6 所示。

4.2 板壳模型

采用 Midas 薄板单元模拟钢平台,对主要受力板件均模拟出来。单元包括:顶板、底板、

腹板、横隔板、横肋、挑臂板、悬臂支撑板。荷载与杆系模型相同,模型如图 7 所示。



图 6 Midas 杆系模型



图 7 Midas 板壳模型

5 计算结果与分析

5.1 杆系模型计算结果与分析

根据钢桥设计规范规定,受压翼缘需要同时考虑局部稳定和剪力滞效应的影响。计算出总的有效宽度折减系数后输入 Midas 中,输出应力时即为考虑折减后的应力。基本组合下钢梁上、下缘应力分别如图 8、图 9 所示。关键位置正应力值如表 1 所示。其中,AP03、PT01、PT02 和 PT03 分别为边支点 1、中支点 1、中支点 2 和边支点 2。

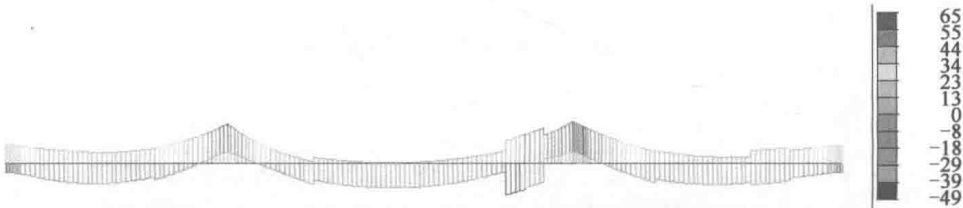


图 8 基本组合上缘应力图(单位:MPa)

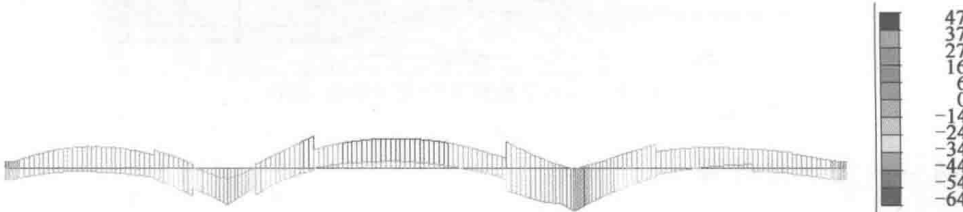


图 9 基本组合下缘应力图(单位:MPa)

上下缘基本组合正应力值(单位:MPa) 表 1

位置	边支点 1	边跨 1 跨中	中支点 1	中跨跨中	中支点 2	边跨 2 跨中	边支点 2
上翼缘	29.4	-31.5	61.2	-38.3	65.0	-33.0	28.0
下翼缘	-17.6	31.2	-54.7	43.00	-63.8	34.0	-17.8

钢梁上下缘最大应力为 65MPa(负值为压应力,下同)。计算结果表明钢平台整体受力下应力水平偏低。主要是由于需要考虑 U01 联与高架匝道和落客大平台 U03 联相连,对于最大跨径 36m 的连续钢箱梁来说梁高取 2.2~2.8m,偏大^[4]。应力储备过大,经济性不

够好。

杆系模型只能反映整体受力情况,对于局部板件的受力无法准确反映,例如腹板、横隔板等。特别是对于 U01 联钢平台,由于存在转弯区域,平台宽度变化、车辆荷载作用转向以及纵横向隔板等复杂的构造,杆系模型都无法准确分析此区域板件的受力情况。

5.2 板壳模型计算结果与分析

板壳模型包含了钢平台的所有主要受力板件,能充分模拟各部位板件,特别是对于杆系模型无法直接计算出的腹板、横隔板以及钢平台的特殊复杂构造等。

基本组合下,顶板纵向正应力如图 10 所示。从应力分布上看,直线段应力水平和杆系模型基本相同,且分布位置也基本相同。在转弯处靠近腹板外侧出现拉应力,不符合纵向此处为正弯矩区域,顶板应为压应力的情况。这是由于在转弯处顶板有较大悬臂,且钢平台在此区域由纵向受力逐渐转变为横向受力导致的^[4]。

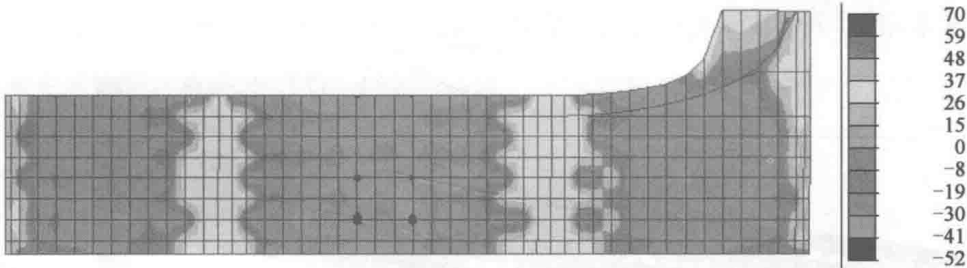


图 10 顶板基本组合纵向正应力图(单位:MPa)

基本组合下底板纵向正应力如图 11 所示。从应力分布图上看,其应力水平也基本与杆系模型相同。其中最大应力为 183MPa,这是由于模型中未考虑支座加劲,而支座处底板受到集中力,局部承压应力过大导致的。另外,底板处由于没有较大悬臂且不直接承受车辆荷载,不会出现像顶板一样的反常应力。

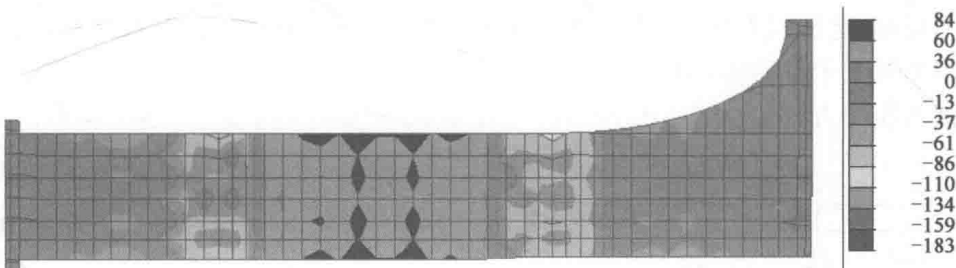


图 11 底板基本组合纵向正应力图(单位:MPa)

沿桥纵向关键位置顶、底板纵向正应力值如表 2 所示。表中不包括转弯处板件的应力。

顶、底板基本组合纵向应力值(单位:MPa) 表 2

位置	边支点 1	边跨 1 跨中	中支点 1	中跨跨中	中支点 2	边跨 2 跨中	边支点 2
顶板	34	-47	70.7	-53.9	77.4	-48.0	29.0
底板	-40.4	58.3	-105.8	88.10	-108.8	54.1	-196.5

悬臂支撑结构作为转弯处顶板大悬臂的主要支撑构件,其有效应力图如图 12 所示。可以看出,由于此处纵、横向均布置了多道隔板且板件均相应加厚,其应力水平较低。主要是由于行车道不经过此处,此处主要承受自重、铺装以及防撞栏杆等荷载。但是需要注意的是,此处

顶板受力情况较特殊,处于拉压应力变化区域,在设计中需要特别关注^[5]。

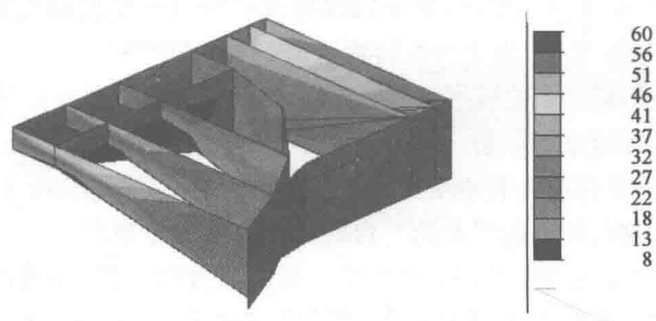


图 12 悬臂支撑结构基本组合应力图(单位:MPa)

在杆系模型中无法直接得出的腹板和横隔板的受力情况,在板壳模型中则可以直接计算出。腹板和横隔板的 Mises 应力如图 13 所示。可以看出,其 Mises 应力值也较小,与顶底板应力水平基本相符,表明该平台设计安全储备过大。

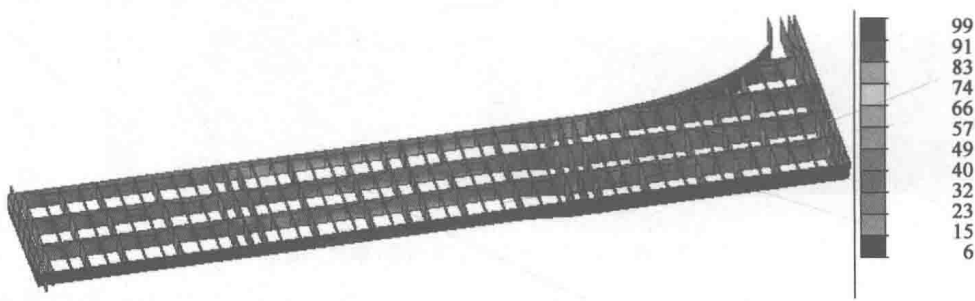


图 13 腹板、横隔板 Mises 应力图(单位:MPa)

5.3 计算结果与对比分析

将杆系模型和板壳模型计算应力结果做对比分析,应力值均取绝对值,顶、底板应力结果对比图分别如图 14、图 15 所示。从应力对比图可以看出,板壳模型计算出的顶、底板正应力均大于单梁模型,这是因为板壳模型计算结果考虑到了第二体系受力的情况。板壳模型中底板支点处应力远大于单梁模型中结果,这是因为底板局部承压所致,设置支撑加劲肋以后可大大减小局部承压应力值。

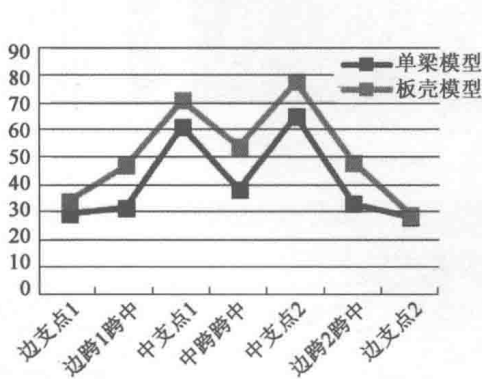


图 14 顶板应力对比图

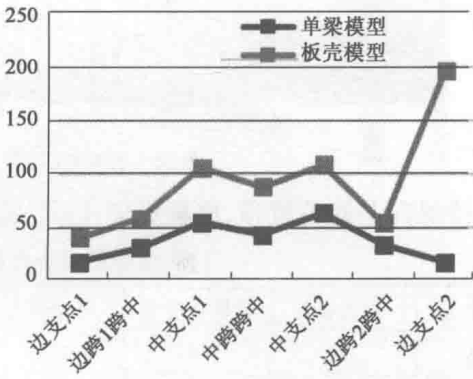


图 15 底板应力对比图

6 结语

通过对比 Midas Civil 杆系模型和板壳模型计算结果,可以得出以下结论:

(1)通过杆系模型计算分析结果表明,该钢平台应力水平较低,满足规范要求,其整体上构造较为合理。

(2)由板壳模型计算结果并对照杆系模型结果可知,杆系模型对于计算构造比较复杂的钢箱梁结构其精度基本足够,但还是需要辅以更精确的分析。特别是对于构造复杂、受力情况不明确的部分,需要通过详细的计算确定其控制受力状态。

(3)由于整体钢平台设计需要,该联钢平台设计梁高偏大,应力水平偏低,应力储备过大,不具有良好的经济性。在以后设计中需要注意如何协调整体设计要求和经济性指标。

参 考 文 献

- [1] 胥军,胥祥. 中国高铁发展概述[A]. 硅谷 Silicon Valley, 2014(01).
- [2] 中华人民共和国行业标准. JTG D60—2015 公路桥涵设计通用规范[S]. 北京:人民交通出版社, 2015.
- [3] 中华人民共和国行业标准. JTG D64—2015 公路钢结构桥梁设计规范[S]. 北京:人民交通出版社, 2015.
- [4] 范立础. 桥梁工程(上册)[M]. 2 版. 北京:人民交通出版社, 2012.
- [5] 吴冲. 现代钢桥(上册)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2005.

68. 有轨电车墩台纵向刚度限值问题分析

罗雪珍¹ 胡方健² 吴定俊¹ 李 奇¹

(1. 同济大学桥梁工程系; 2. 上海市城市建设设计研究总院)

摘 要:为研究现代有轨电车桥梁梁轨相互作用的特点,以城市高架桥梁为分析对象,考虑嵌入式槽型钢轨,根据现代有轨电车(4 模块+4 模块)加长编组车辆模型建立梁轨相互作用模型。计算分析了现代有轨电车荷载作用下城市高架桥的无缝线路纵向附加力,并对城市高架桥梁墩顶纵向刚度的合理取值进行探讨。研究表明,有轨电车桥梁线路列车荷载小,荷载加载长度小,因此制动附加应力小于伸缩附加应力;钢轨附加应力受墩顶纵向刚度影响不大,拟改建的旧桥的桥墩有保留沿用的可能。

关键词:现代有轨电车 桥梁设计 梁轨相互作用 刚度

1 引言

现代有轨电车发展始于 20 世纪 90 年代的欧洲,这种交通方式具有投资低、建设周期短、运能适宜、节能环保等特点^[1-3]。对于我国部分城市出现的交通资源紧缺现象,建设发展有轨交通方式成为一种理想选择。

国内外专家、学者对高速铁路桥梁或者大铁路桥梁进行了较多的梁轨相互作用研究,闫斌、戴公连^[4]提出可应用于多种桥型、可正确模拟地震响应的梁轨相互作用模型;张迅、苏斌、李小珍^[5]等提出主梁收缩与徐变引起的梁轨相互作用力大于伸缩力或挠曲力。此外,也有部分学者对城市轨道交通桥梁进行了梁轨相互作用研究,蒋鹏、马坤全等^[6]研究提出城市轨道交通桥梁墩顶纵向水平刚度的最小规定取值可以做适当的调整;同济大学吴亮秦^[7]在某新建高架标准槽形梁为对象,研究了城市轨道交通桥梁列车制动力及其传递规律;吴定俊、石龙、李奇^[8]研究了考虑加载历程的城市轨道交通梁轨相互作用问题;石龙、吴定俊、李奇^[9]基于扣件纵向位移阻力弹塑性滞回模型,研究了考虑加载历程的城市轨道交通简支梁梁轨相互作用。然而,极少有文献对现代有轨电车作用下的梁轨相互作用进行分析研究。新建有轨电车桥梁大都采用地铁设计规范或其他相关规范作为设计依据,墩顶纵向线刚度的取值缺乏合理性;部分有轨电车项目还将直接沿用既有旧桥。随着现代有轨电车系统在我国大、中城市里的不断发展,有必要对这种新型荷载作用下的桥梁安全性进行分析,同时为桥墩墩顶纵向线刚度的取

值给出合理的意见与建议。

本文以城市高架桥梁为研究背景,借助 ANSYS 建立梁轨相互作用模型,研究现代有轨电车荷载作用下桥梁结构的受力特点,探究了简支梁刚度、跨度和墩顶纵向线刚度对桥梁安全性的影响,供设新建和改建桥梁设计参考。

2 有轨电车桥梁设计的特点

有轨电车桥梁墩顶纵向刚度、主梁竖向刚度等设计参数取值,与其结构特点及所受荷载密切相关,从以下几个方面来分别阐述。

2.1 有轨电车列车活载小

我国铁路桥梁设计采用中—活载,由货车控制设计荷载,是考虑多种列车组合后的概化荷载^[10],较实际运营荷载要大,设计计算时可截取任意长度作荷载计算,加载长度通常较长。现代有轨电车编组灵活,根据客流需求而定,通常编组较小,且列车轴重小,荷载取值依据实际情况加以考虑,常用有轨电车编组为 2~8 节。例如某市现代有轨电车采用 4 模块编组(图 1、图 2),轴重 $P=11t$,客运需求较大时,采用(4 模块+4 模块)加长编组(图 3)。



图 1 4 模块编组有轨电车示意图

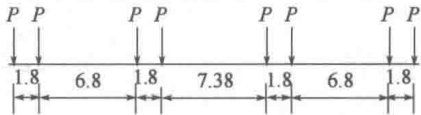


图 2 4 模块车辆轴距分布图示(尺寸单位:m)

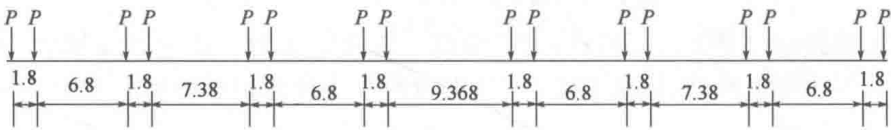


图 3 4+4 模块车辆轴距分布图示(尺寸单位:m)

2.2 钢轨截面及支承方式

有轨电车钢轨不同于普通铁路及城市轻轨,其钢轨有一种独特的形式,嵌入式槽型钢轨。槽型轨嵌入路面,受嵌入式材料的连续支承作用。而普通钢轨仅受扣件的点支承,因此有轨电车钢轨所受约束更强。钢轨支承方式的不同,将影响钢轨动弯矩的大小,式(1)、式(2)给出动弯矩计算公式^[11]:

$$M_d = M_0 \cdot (1 + \alpha + \beta)$$
 (1)

$$M_0 = \frac{1}{k} \sum P_i \cdot \mu_i$$
 (2)

式中: M_d ——钢轨动弯矩;

α, β ——速度系数及偏载系数;

k ——钢轨地基与钢轨的刚比系数,与钢轨支承刚度负相关;

μ_i ——连续弹性基础上等截面无限长梁的弯矩影响系数。

可以看出,在其他参数相同的情况下,钢轨支承刚度大,钢轨中产生的动弯应力越小,有轨电车简支线路钢轨动弯应力不到 50MPa^[12],而铁路线路钢轨动弯应力可达 150MPa 左右^[13]。

2.3 主梁竖向刚度

有轨电车桥梁主梁高度较铁路桥梁要小,本文中列举的 30m 简支梁截面高度仅 1.8m。