

钢箱槽型梁在建筑高度受限的城市桥梁中的应用

施炯亮

(浙大宁波理工学院, 浙江 宁波 315100)

摘要: 针对宁波中兴大桥引桥落地段跨越横向道路时结构高度与横向宽度双重受限的工程难题, 为满足桥下净空及建筑限界要求, 采用30 m简支钢箱槽型梁设计方案。采用MIDAS Civil建立杆系模型和梁-板单元两种计算模型, 对结构进行受力与变形验算, 结果显示槽型梁各项指标均满足规范要求, 且桥面板能有效分担主梁弯矩和扭矩, 改善主梁受力性能。本设计方案成功解决了工程场地的限界难题, 实现了良好的技术与工程效益, 可为同类净空受限条件下的桥梁工程设计提供参考。

关键词: 槽型梁; 钢箱梁; 建筑高度

中图分类号: U442; U448.27; TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)07-0231-05

Application of Steel Box Channel Beams in Urban Bridges with Limited Building Height

SHI Jiongliang

(Ningbo Tech University, Ningbo 315100, China)

Abstract: Aiming at the engineering problem that the landing section of the approach bridge of Ningbo Zhongxing Bridge is restricted in both structural height and lateral width when crossing a transverse road, a design scheme of a 30-m simple-supported steel box channel beam bridge is adopted to meet the requirements of clearance under the bridge and the building boundary limitation. Two calculation models, namely the bar system model and the beam-slab element model, are established by using MIDAS Civil to verify the mechanical behavior and deformation of the structure. The results show that all indexes of the channel beam meet the code requirements, and the bridge deck can effectively bear the bending moment and torque of the girder, thereby improving its mechanical performance of the girder. This design scheme successfully resolves the boundary limitation at the engineering site, achieving the excellent technical and engineering benefits, which can provide a reference for the design of bridge engineering under similar clearance-limited conditions.

Keywords: channel beam; steel box beam; building height

0 引言

槽型梁是一种下承式桥梁, 车辆荷载行驶于两主梁之间, 具备建筑高度低、降噪效果好、截面利用率高及行车安全性强等优势, 在铁路与轨道交通高架桥梁中应用广泛^[1]。

国外预应力混凝土槽形梁最早应用于1952年英国建成的罗什尔汉铁路桥, 随后该桥型在日本、德国铁路桥梁中得到进一步应用和发展^[2]。我国于上世纪80年代开始应用槽型梁, 横跨江汉线的青龙桥(主跨92 m)是国内最长的预应力混凝土连续槽型梁^[2]。随着国内轨道交通的发展, 槽型梁在该领域

逐渐得到推广应用, 如广州、上海、青岛、南京、重庆等城市的地铁高架和铁路桥梁均应用了槽型梁结构^[3-10]。

槽型梁作为下承式开口薄壁组合结构, 其开口截面抗扭刚度弱、空间受力复杂、弯扭耦合效应突出, 成为制约结构性能和设计精度的核心要素。国内外已建槽型梁基本为预应力混凝土槽型梁, 在工程应用中发现, 混凝土边梁和道床板连接处受力较为复杂, 容易产生应力集中现象, 从而导致混凝土开裂^[1]。现有设计多依赖平面杆系简化模型, 难以精准反映道床板与边梁的受力分配、应力集中及整体稳定问题。

本文介绍了宁波市中兴大桥引桥采用钢箱槽型梁方案, 跨越建筑高度受限的城市道路, 实现了良好的工程效益和社会效益。

收稿日期: 2026-04-08

作者简介: 施炯亮(2005—), 男, 本科, 学生, 从事钢结构桥梁学习和研究工作。

1 工程概况

宁波市中兴大桥的南岸引桥在跨越江东北路处设置一对平行匝道,其总体平面、立面和横断面布置如图1~3所示。

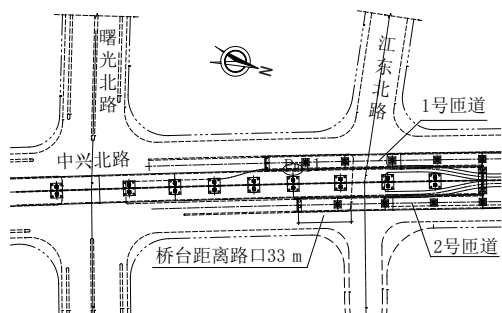


图1 中兴大桥引桥跨越江东北路平面图

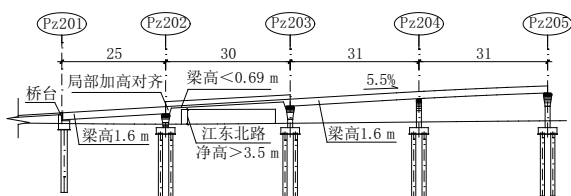


图2 匝道立面布置图(单位:m)

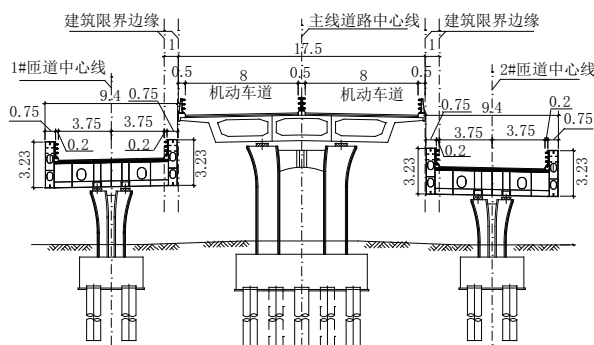


图3 江东北路交叉处桥墩横断面图(单位:m)

从图1~3可知,1#、2#平行匝道跨越江东北路后落地,落地处桥台到路口最小距离仅25 m,而江东北路下穿要求净空高度大于3.5 m,上部结构建筑高度最大仅为0.78 m,扣除桥面铺装0.09 m,桥梁结构高度需要小于0.69 m。采用常规现浇梁结构(梁高约1.6 m),无法满足桥下净空要求。

在平面布置上,主线高架半幅桥面宽度 $17.5/2=8.75$ m,平行匝道半幅机动车道宽度 $7.5/2=3.75$ m,主线高架与平行匝道中心线间距为13.5 m。因此,本跨槽型梁的横向建筑宽度(主梁+防撞护栏宽度)也受到限制,要求小于1.0 m。

2 槽型梁结构比选

国内外已建槽型梁的构造形式多为主梁+整板体系,由主梁上翼缘、腹板、端横梁及道床板等组

成^[7-8]。在跨中区域,汽车荷载的传递路径是道床板—主梁—端横梁—支座;在支点附近区域,汽车荷载的传递路径是道床板—端横梁—支座。槽型梁荷载从道床板传向主梁时,不仅引起主梁的弯曲,还会引起主梁的扭转^[1]。当跨度增大时,扭转效应加剧,可采用箱形截面来增大结构抗扭刚度^[11-12]。

槽型梁常见的主梁截面形式有斜墙式、直墙式、箱型、U型等^[9],如图4所示。由于槽型梁结构中心线与主线高架防撞护栏边缘的建筑限界距离仅4.75 m,若采用预应力混凝土槽型梁结构,其上翼缘和腹板已侵入主线现浇梁的建筑限界。

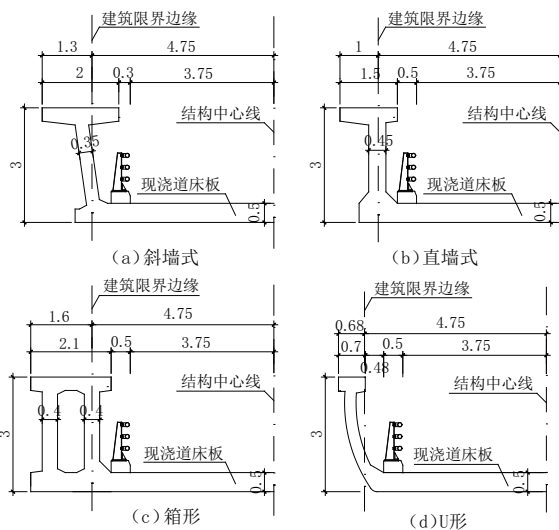


图4 预应力砼槽型梁横断面图(单位:m)

在结构高度和横向宽度同时受限的条件下,为保证行车安全并使防撞护栏与相邻现浇梁顺接,确保结构线形美观,最终决定采用跨径30 m的简支钢箱槽型梁结构。

3 钢箱槽型梁结构构造

本桥钢箱槽型梁结构,跨径30 m,全宽9.4 m,由箱形主纵梁、横梁、小纵梁和钢-混凝土组合桥面板组成。

主纵梁采用钢箱梁结构,梁高2.0 m,宽0.85 m,跨中段顶、底板厚分别为45 mm和30 mm,腹板厚16 mm。箱梁内部设置标准横隔板,间距3.0 m,两道横隔板中间设一道腹板竖向加劲,以增大主梁抗扭刚度。在主纵梁端部设置箱形截面端横梁,将主纵梁连接成整体并将恒、活载传递至支座,端横梁与相邻现浇梁等高对齐。横梁和小纵梁均采用焊接工字形截面,纵、横向间距均为3 m。组合桥面板钢底板厚14 mm,混凝土桥面板厚150 mm,两者之间采用 $\phi 16 \times 100$ 剪力钉连接。钢箱梁和纵横梁主要构件钢材均采用

Q345qD,混凝土桥面板采用C50低收缩混凝土。横断面和底平面布置如图5、6所示。

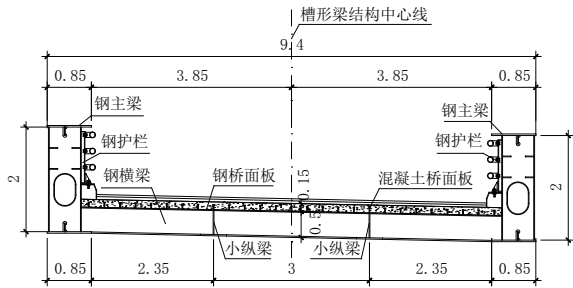


图5 钢箱槽型梁横断面图(单位:m)

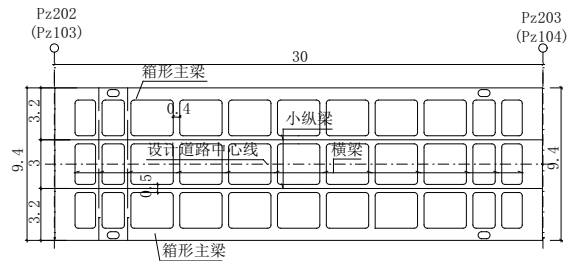


图6 钢箱槽型梁底平面图(单位:m)

4 钢箱槽型梁结构计算

4.1 杆系计算模型

槽型梁属于典型的空问梁板结构,本文首先建立杆系计算模型。对结构进行单元离散,主梁、小纵梁和横梁均采用梁单元模拟,其中小纵梁和横梁采用钢-混凝土组合截面模拟,考虑有效宽度范围内的钢和混凝土桥面板,支座采用弹性连接模拟。施工阶段模拟为:钢结构架设;混凝土桥面板浇筑—桥面附属结构安装—收缩徐变。杆系计算模型可以快速地对槽型梁进行静力分析和稳定分析,确保极限状态下结构强度满足规范要求,同时保证正常使用状态下行车平稳性和舒适度^[13-15]。采用MIDAS Civil建立杆系模型如图7所示,主要计算结果如图8~10所示。基本组合考虑恒载、活载和温度梯度作用。

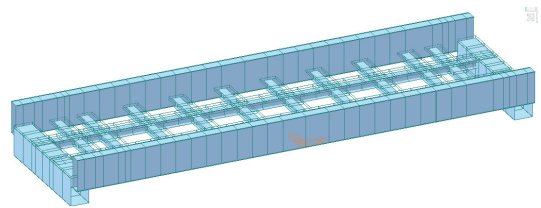


图7 梁格计算模型

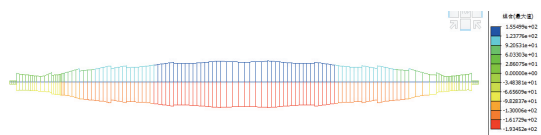


图8 基本组合主梁应力包络图(单位:MPa)

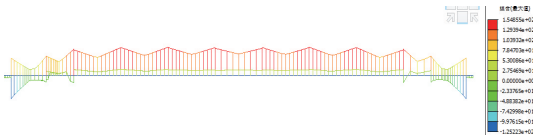


图9 基本组合小纵梁应力包络图(单位:MPa)

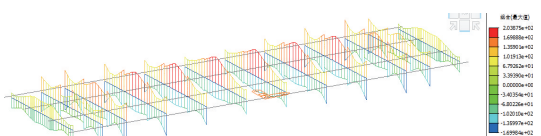


图10 基本组合横梁应力包络图(单位:MPa)

由上图看出,在基本组合作用下,主梁上缘最大压应力194 MPa,下缘最大拉应力155 MPa,小纵梁最大拉应力155 MPa,横梁最大拉应力204MPa,均满足规范要求,结构处于弹性状态。在城-A级荷载下,钢桥面跨中最大挠度为28.2 mm,挠跨比为1/1064<1/500,满足规范要求。

4.2 梁-板单元计算模型

城市槽形梁桥的主梁与行车道板共同承受荷载作用,杆系计算模型忽略了钢-混凝土组合桥面板对承担纵向弯矩的贡献,计算结果偏于保守。梁-板单元模型中主梁、纵梁、横梁均用梁单元模拟,钢桥面板和混凝土桥面板分别用板单元模拟,并用节点刚性连接,汽车荷载用车道面方式来施加。梁-板单元模型可以准确确定板单元的内力状况及分布规律,得到纵梁、横梁及桥面板内力叠加效应的分析结果^[13-15]。梁-板单元计算模型如图11所示,主要计算结果如图12~15所示。基本组合考虑恒载、活载和温度梯度作用,并考虑混凝土收缩徐变作用。

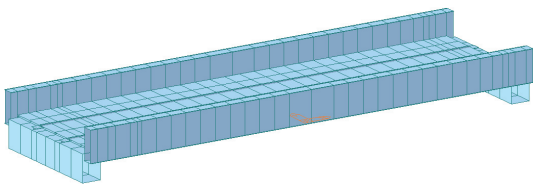


图11 梁-板单元计算模型

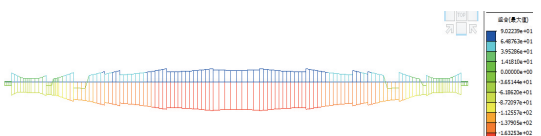


图12 基本组合主梁应力包络图(单位:MPa)

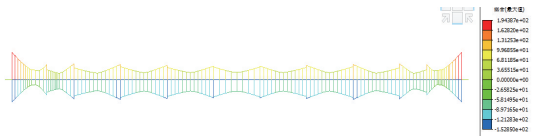


图13 基本组合小纵梁应力包络图(单位:MPa)

由上图看出,在梁-板单元模型中,主梁最大压应力为189 MPa(上缘),最大拉应力为91 MPa(下

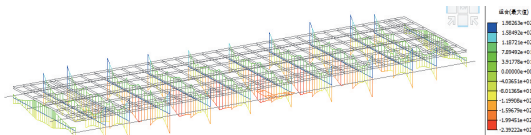


图 14 基本组合横梁应力包络图(单位:MPa)

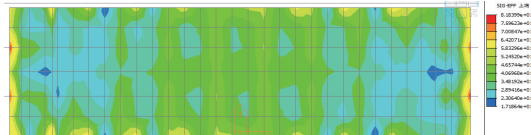


图 15 基本组合钢桥面板应力包络图(MPa)

缘),小纵梁最大拉应力为194 MPa,横梁最大拉应力239 MPa,钢桥面板最大拉应力为70 MPa,均满足设计规范要求。在城-A级荷载下,钢桥面跨中最大挠度为22.2 mm,挠跨比为 $1/1351 < 1/500$,满足规范要求。在图15中,主梁和横梁连接处的局部应力满足规范要求,支座位置加劲肋满足局部应力计算满足规范要求。

表 1 槽型梁主要计算结果

项目	杆系模型	梁-板单元模型
主梁上缘应力/MPa	194	189
主梁下缘应力/MPa	155	91
小纵梁应力/MPa	155	194
横梁应力/MPa	204	239
主梁弯矩/(kN·m)	10 699	7 323
主梁扭矩/(kN·m)	1 177	798
钢桥面最大挠度/mm	28.2	22.2

4.3 模型结果对比分析

从上表可以看出,杆系模型中小纵梁和横梁应力均小于梁-板单元模型,其中小纵梁应力分别为155 MPa和194 MPa,横梁应力分别为204 MPa和239 MPa,这是因为在梁-板单元模型中,小纵梁和横梁均采用工字钢梁截面建模,而杆系计算模型中采用钢-混凝土组合截面建模,使得杆系模型中小纵梁和横梁计算应力较低,两种模型计算结果均满足规范要求。

对比两种模型,主梁上缘应力分别为194 MPa和189 MPa,非常接近;而主梁下缘应力分别为155 MPa和91 MPa,降幅明显。这是因为钢桥面板和混凝土桥面板均靠近主梁下缘,在考虑钢桥面板和混凝土桥面板受力后,桥面板承担的纵横向轴力直接向主梁传递并改善了主梁下缘受力,降低了主梁弯矩值、扭矩值和下缘应力。主要计算结果对比如图16~18所示。从图中可以看出,两种模型中主梁扭矩峰值分别为1 085 kN·m和669 kN·m,桥面板分担的主梁扭矩为416 kN·m,分担比例为38.3%;两种模型中主

梁弯矩峰值分别为10 700 kN·m和7 323 kN·m,桥面板分担的主梁弯矩为3 377 kN·m,分担比例为31.6%,也就是说,桥面板可以分担主梁约1/3的扭矩和弯矩值,对主梁受力改善明显。

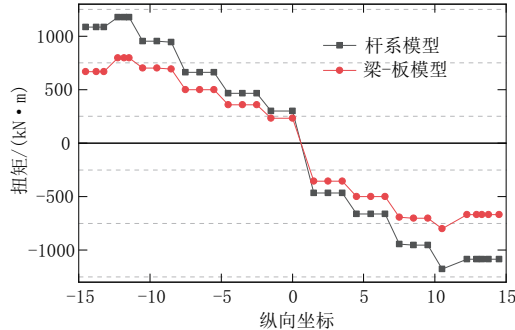


图 16 主梁扭矩对比图(单位:kN m)

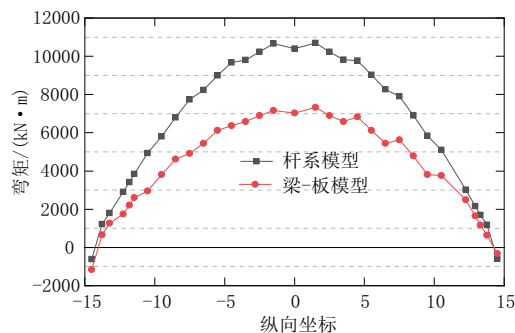


图 17 主梁弯矩对比图(单位:kN m)

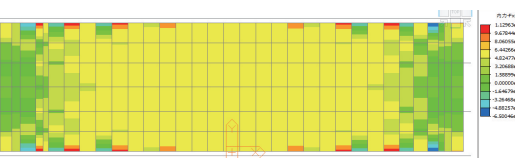


图 18 钢桥面板轴力图(梁-板模型)(单位:kN)

4.4 结构整体稳定计算

考虑自重、二期恒载、活载(换算均布荷载)及温度荷载,MIDAS计算结构前两阶屈曲模态如图19、20所示,前5阶整体屈曲稳定系数如表2所示。结构整体稳定满足规范要求。

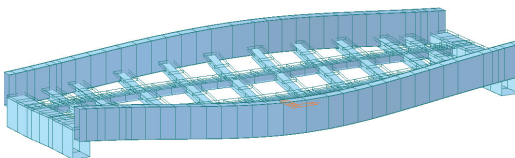


图 19 第1阶屈曲模态图

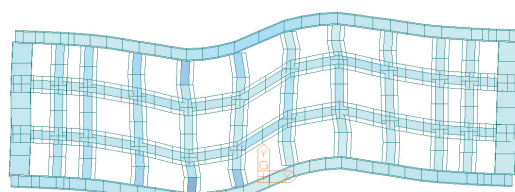


图 20 第2阶屈曲模态图

表 2 槽型梁整体稳定计算系数

屈曲模态阶数	稳定系数
1	115.40
2	142.38
3	153.92
4	166.45
5	169.89

5 结 语

本文以宁波中兴大桥引桥跨越横向道路时结构高度、横向宽度双重受限为工程背景,采用 30 m 简支钢箱槽型梁方案,通过本桥设计研究可以得到如下结论。

(1)采用钢箱槽型梁承载方式由上承式转化为下承式,大幅降低结构高度,解决在桥下净空受限的难题。

(2)通过两种模型对比可知,采用杆系模型可以完成钢箱槽型梁的快速建模和结构分析,计算结果能够满足设计要求。梁-板单元模型揭示了钢桥面板和混凝土桥面板的受力贡献,能分担主梁约 1/3 的扭矩和弯矩,故而降低了主梁下缘应力水平。

(3)本桥仅为宽度 9.4 m 的匝道桥,对于桥面宽度较大的桥梁,可采用更精细的全桥板单元模型,重点分析钢槽型梁桥的弯剪扭耦合效应以及主梁与横梁连接角隅处的局部效应。

参考文献:

[1] 吴天群. 轨道交通槽形梁桥静动力特性研究综述及展望[J]. 现代城市轨道交通, 2005(1): 28-30.

[2] 贺恩怀. 槽形梁在城市轨道交通工程中的应用[J]. 铁路工程学报, 2003(6): 13-16.

[3] 刘建萍. 上海轨道交通 6 号线槽形梁设计[J]. 铁道标准设计, 2009(12): 55-57.

[4] 文志云, 刘兰. 上海轨道交通 6 号线高架区间 30 m 简支槽型梁设计简介[J]. 现代城市轨道交通, 2005(1): 28-30.

[5] 张鲁明, 王利伟. 预制 U 梁在青岛 13 号线轨道交通中的应用[J]. 城市道桥与防洪, 2017(8): 102-105.

[6] 蒋海军, 张鲁明. 青岛市轨道交通 13 号线 U 型梁设计分析[J]. 现代城市轨道交通, 2019(6): 117-121.

[7] 李方柯. 单线铁路 48 m 简支槽型梁结构设计[J]. 铁道建筑技术, 2014(1): 7-10.

[8] 程正林. 八百河大桥 40 m+64 m+40 m 预应力混凝土连续槽型梁设计[J]. 城市道桥与防洪, 2014(7): 174-176.

[9] 陈华明. 单线铁路 32 m 简支槽型梁桥设计参数研究[J]. 山西建筑, 2012, 38(23): 183-184.

[10] 刘全民, 张智凯. 铁路连续槽形梁桥静力特性分析[J]. 桥梁建设, 2023, 53(4): 70-77.

[11] 胡宇. 某 54 m 简支变截面钢槽型梁结构稳定设计[J]. 高速铁路技术, 2018(4): 44-49.

[12] 黄海涛. 钢槽型梁腹板局部稳定性分析[J]. 科技信息, 2013(6): 347-348.

[13] 邵爱军. 预应力混凝土槽型梁在公路桥梁中的应用[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2003.

[14] 马莹, 席进, 叶见曙, 等. 基于板理论的公路混凝土槽形梁内力计算方法[J]. 中国公路学报, 2012, 25(3): 107-111; 119.

[15] 司万胜. 铁路混凝土槽形梁弯扭耦合效应分析与设计优化[J]. 铁道建筑, 2018, 58(4): 5-9.

(上接第 230 页)

总体上,该桥设计的强度、刚度和稳定性均符合要求,可为同类大型跨钢箱梁桥工程提供相关的设计思路和计算方法。

参考文献:

[1] 李传习, 李游, 陈卓异, 等. 钢箱梁横隔板疲劳开裂原因及补强细节研究[J]. 中国公路学报, 2017, 30(5): 45-52.

[2] 熊诚, 汪斌, 梁庆学. 城市高架连续钢箱梁计算分析[J]. 城市道桥与防洪, 2018(6): 89-92.

[3] 张清华, 王景全, 刘钊. 宽幅钢箱梁桥局部稳定性性能研究[J]. 公路交通科技, 2018, 35(8): 34-40.

[4] 陈鹏, 林楚, 车平, 等. 小半径钢箱梁温度梯度下强度与局部稳定分析[J]. 中外公路, 2025, 45(3): 112-117.

[5] 刘洪进. 单箱双室钢箱梁弯桥设计与分析[J]. 城市道桥与防洪, 2019(2): 56-59.

[6] 吉伯海, 袁周致远, 朱志伟, 等. 钢箱梁桥正交异性桥面板疲劳性能试验研究[J]. 桥梁建设, 2019, 49(4): 23-28.

[7] 周绪红, 狄谨, 程德林, 等. 曲线钢箱梁桥强度与稳定协同优化设

计[J]. 土木工程学报, 2020, 53(2): 56-63.

[8] 吴臻旺, 郑凯锋, 苟超, 等. 钢箱梁局部稳定的参数化分析及设计建议[J]. 四川建筑科学研究, 2021, 47(3): 78-83.

[9] JTG D64—2015 公路钢结构桥梁设计规范[S].

[10] 张宏, 张伟. 连续钢箱梁桥抗倾覆稳定性及局部稳定分析[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2021, 42(4): 90-95.

[11] 张宇, 郑凯锋, 胡博. 免涂装耐候钢的腐蚀模型及其桥梁强度和稳定设计方法研究[J]. 铁道标准设计, 2023, 67(2): 102-107.

[12] 黄侨, 樊健生, 王春生, 等. 钢箱梁桥疲劳荷载谱与寿命评估方法研究[J]. 中国铁道科学, 2023, 44(5): 34-41.

[13] 刘洪进, 赵秋, 肖贞科, 等. 波形钢腹板钢箱梁局部稳定与强度耦合分析[J]. 钢结构, 2024, 39(1): 89-94.

[14] 蒋定衍. 大跨连续钢箱梁设计[J]. 城市道桥与防洪, 2018(3): 68-71.

[15] 邓果. 正交异性钢桥面第二体系受力影响分析[J]. 城市道桥与防洪, 2019(9): 78-81.

[16] 魏孟春, 王文欣, 熊刚, 等. 基于规范的钢箱梁强度验算方法对比研究[J]. 公路, 2020, 65(7): 123-127.