

大跨度异形分叉钢箱梁设计与分析

吴振¹, 柳建设¹, 王军¹, 屈东洋²

(1. 西安市政设计研究院有限公司, 陕西 西安 710068; 2. 西安市轨道交通集团有限公司, 陕西 西安 710008)

摘要: 桥梁建设中匝道桥与主线桥交会区域往往呈现出多种非标准的分叉形态, 以适应复杂地形和交通需求。以具体工程实例为依托, 通过理论分析与工程实践相结合的方式, 深入探讨了异形分叉钢箱梁的设计思路、腹板布置、构造细节, 以及针对各跨桥梁宽度变化所采取不同的结构处理措施。并通过建立板单元有限元模型, 对钢箱梁的应力分布及挠度变形进行了计算分析, 结果表明结构各项指标均满足要求, 整体变形协调良好, 可为类似结构的设计提供了新的思路和实践参考。

关键词: 异形钢箱梁; 结构设计; 箱梁腹板布置; 细部构造处理; 有限元分析

中图分类号: U443.32

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)08-0138-04

Design and Analysis of Long-span Special-shaped Forked Steel Box Girder

WU Zhen¹, LIU Jianshe¹, WANG Jun¹, QU Dongyang²

(1. Xi'an Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710068, China; 2. Xian Rail Transit Group Co., Ltd., Xi'an 710008, China)

Abstract: In bridge construction, the intersection area between ramp bridges and mainline bridges often presents various non-standard bifurcation forms to adapt the complex terrain and traffic demands. Based on a specific engineering case, the design concept, web arrangement and construction details of the special-shaped forked steel box girder, and the different structural treatment measures for changes in bridge width with various spans are deeply discussed through the combined method of theoretical analysis and engineering practice. By establishing a finite element model of the plate elements, the stress distribution and deflection deformation of the steel box girder are calculated and analyzed. The results show that all indicators of the structure meet the requirements, and the overall deformation is well-coordinated, which can provide the new ideas and practical references for the design of similar structures.

Keywords: special-shaped steel box girder; structural design; box girder web arrangement; detailed structural treatment; finite element analysis

0 引言

在城市立交桥和高架桥的建设中, 为了确保立体交叉路网的高效运行与车辆行车方向的顺畅转换, 通常需要设置曲线匝道桥。然而, 鉴于地形环境的多样性、既有道路网络的复杂性以及地面构筑物的制约, 匝道桥与主线桥交会区域往往呈现出多种非标准的分叉形态。这些形态各异的分叉结构, 受诸如坡度、宽度、曲率、线性等多种空间因素的影响, 在承受各类荷载作用时, 导致结构的力学性能除了产生拉、压、弯、剪、扭之外, 还会产生畸变效应。当采用宽翼缘箱梁结构形式时, 还必须考虑“剪力滞”

现象, 必要时还要考虑这些效应的耦合^[1]。

分叉钢箱梁凭借其材料各项同性、结构轻质高强、构造及板件布置灵活及施工过程便捷等优点, 展现出独特的结构优势和广阔的应用前景, 为解决上述复杂问题提供了新的思路与手段。

1 工程概况

宝鸡市陈仓渭河大桥全长 1 007.5 m, 主线桥在跨越南侧堤顶路时, 河道管理部门要求: 堤顶和河堤内侧边坡不允许设置桥墩, 桥墩桩基距离河堤内侧坡脚不小于 5 m, 以保证堤防安全。

同时, 为满足交通快捷转换的需求, 桥梁在跨越南侧河堤后, 需要设置两个右进右出匝道, 与滨河南路相接, 受现状滨河南路与堤顶路位置限制, 匝道桥只能布置在河堤外侧边坡上。导致匝道桥与主线桥

收稿日期: 2024-09-25

作者简介: 吴振(1986—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁设计与研究工作。

的分叉位置正好位于跨越河堤桥孔的跨中,见图 1。

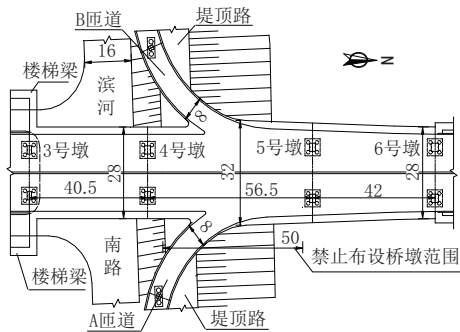


图 1 异形钢箱梁桥跨平面布置图(单位:m)

鉴于大跨度梁桥跨中接匝道叉口的设计国内经验较少,经多方面论证,在跨越南侧河堤处采用跨径布置为 40.5 m+56.5 m+42 m 的大跨度异形分叉钢箱梁结构,利用钢结构各向同性、轻质高强的优点来解决异形分叉梁结构应力分布和变形协调的复杂技术难题^[2]。

2 结构设计

2.1 设计思路与措施

钢箱梁的设计应遵循确保结构安全、满足使用功能、符合经济合理性以及便于施工和维护的基本原则。根据以上原则及本联梁的桥面宽度变化、匝道引出段位置、相接混凝土梁的断面形状,在保证结构安全、传力明确的基础上,确定本联异形钢箱梁的设计思路及措施如下:

(1)为保证景观效果,并满足整体结构线形流畅的需求,本联异形钢箱梁桥在设计时,其断面形状应与主线桥、匝道桥混凝土梁外形基本一致。钢箱梁在主线范围内采用双箱多室断面,两箱间净距 4.0 m;匝道引出段则采用单箱双室断面。箱梁均为直腹板,单侧悬臂长度 2.0 m。

(2)第一跨为 28 m 桥面等宽段,钢梁箱室等宽布置;第三跨桥面宽度为 28~30.44 m,桥面宽度变化不大,采用边箱室变宽的思路解决桥宽变化的问题,另外第一、三跨顺桥向间距约 15 m 设置一道箱型横梁,以增强桥梁横向刚度。第一、三跨断面示意图见图 2,匝道引出段断面见图 3。

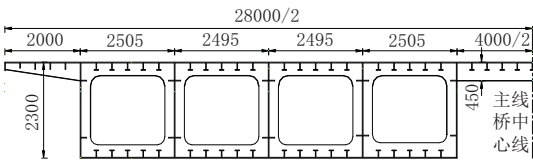


图 2 28m 桥宽钢箱梁 1/2 横断面图(单位:mm)

(3)第二跨桥宽变化剧烈,且 A、B 匝道接入跨中,需要增加钢梁箱室,调整腹板布置,腹板布置见

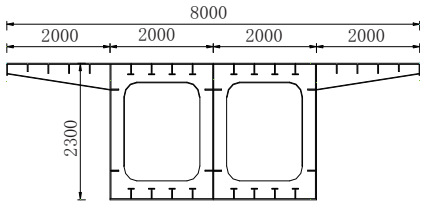


图 3 匝道引出段横断面图(单位:mm)

图 4,具体的设计措施为:

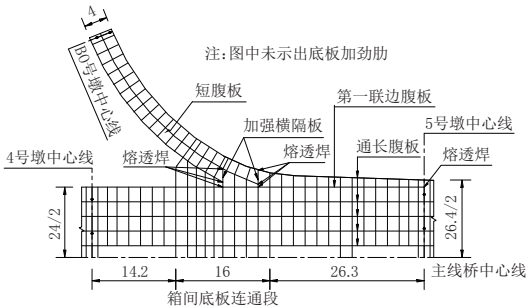


图 4 第二跨 1/2 腹板布置平面图(单位:m)

a. 主线第一联两侧边腹板通过第二联后,熔透焊到 5 号墩处支点横梁上,见图 5。

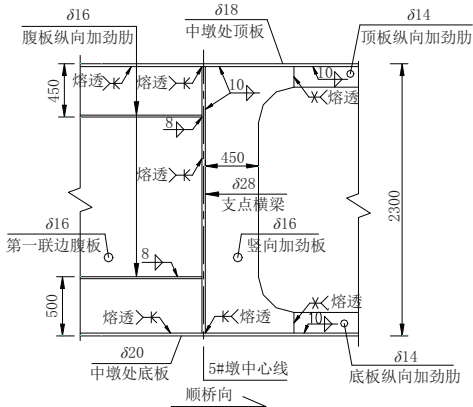


图 5 第一联边腹板与 5#墩支点横梁连接图(单位:mm)

b. 匝道引出段曲线内侧边腹板与第三跨主线边腹板相连续。

c. 匝道引出段曲线外侧腹板、中腹板顺桥向错开熔透焊到加强横隔板上,加强横隔板再熔透焊到两侧腹板,以保证各腹板传力明确,见图 6、图 7。

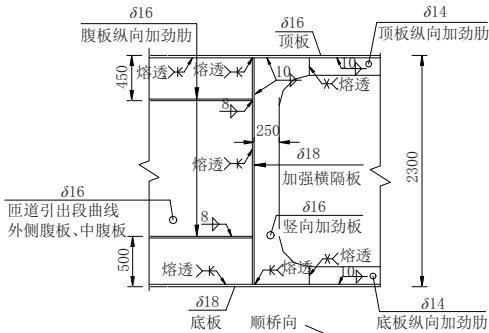


图 6 匝道引出段短腹板与加强横隔板连接图(单位:mm)

d. 匝道接入处,为提高横桥向抗扭刚度,在顺桥向 16 m 范围内,两箱间底板不断开,形成单箱多室

断面。

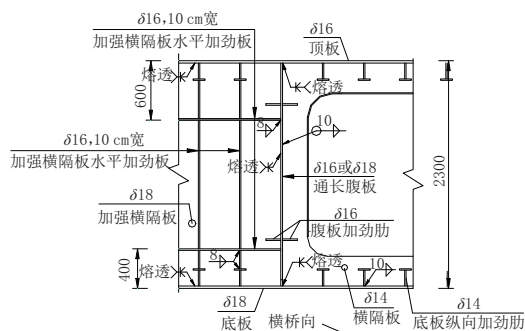


图7 加强横隔板与通长腹板连接图(单位:mm)

2.2 钢箱梁构造

钢梁高度2.3 m,采用Q345qD钢材焊接而成,底板厚18 mm(中墩处加厚到20 mm),顶板厚16 mm(中墩处加厚到18 mm)。与匝道引出段相连的边腹板厚18 mm,其余腹板厚16 mm。

箱内横隔板厚14 mm,间距2 m布置一道。双箱之间横梁高0.45 m,布置间距与箱内横隔板相同。

顶、底板采用T形加劲肋,腹板高150 mm,下翼缘板宽120 mm,板厚均为14 mm。翼缘及腹板加劲肋采用150 mm宽16 mm厚板肋。

加强横隔板厚18 mm,中间设置直径1.0 m圆形开孔,以方便检修。为提高加强横隔板的刚度及结构局部稳定性,在加强横隔板竖向、水平向上设置16 mm厚加劲板,见图8。

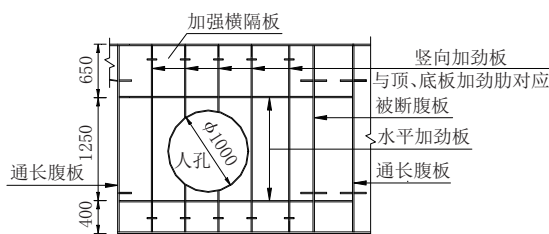


图8 加强横隔板加劲板布置示意图(单位:mm)

3 结构计算及分析

3.1 模型的建立

板壳有限元模型可对构造复杂的箱梁结构进行模拟,使模型尽可能地接近实际的箱梁结构,同时对于箱梁的薄壁效应、剪力滞后效应以及局部荷载效应也均能计算,因此通常被作为分析薄壁箱梁结构受力的精细化分析模型^[3]。另外,该方法不分主梁体系和桥面体系,将结构按薄壳考虑,荷载直接施加于薄壳上,并且能同时考虑整体受力与局部受力的耦合关系,比较接近于结构的实际受力情况^[4]。

为全面反映结构的受力特性、应力分布和传力途径,本文采用MIDAS Civil软件建立全桥三维薄板

单元模型进行设计计算,并以《公路钢结构桥梁设计规范》为标准,进行验算。全桥共划分为33 444个节点、50 692个单元,见图9。

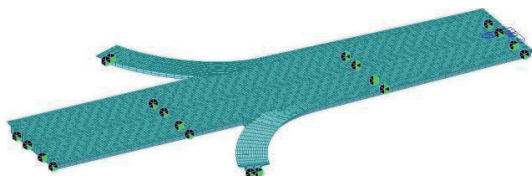


图9 薄板单元计算模型

计算时考虑了结构自重及二期恒载、城—A级汽车荷载、人群荷载、支座沉降及升、降温^[5]。

依据模型特征值分析结果,结构竖向基频为2.9 Hz,对应车辆荷载冲击系数为0.17。车辆与人群荷载在程序中采用车道面的形式进行加载,车道数依据桥宽根据规范选取,车辆荷载按偏载、中载两种方式进行布置,按最不利结果进行验算。

3.2 计算及分析

3.2.1 应力计算及分析

承载能力极限状态下各板件的应力云图如下各图所示。

(1)顶、底板正应力

从顶、底板应力云图(见图10、图11)中可以看出,匝道引出段,应力最大值位于匝道接入主线处于匝道边支座范围的跨中,这是由于匝道接入处设置了16m长的箱间连通段,有效地提高了接入处的横向抗扭刚度。顶、底板正应力计算结果见表1。

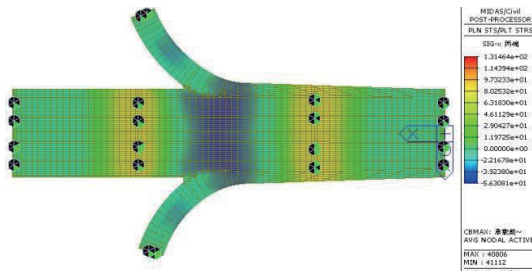


图10 顶板正应力云图(单位:MPa)

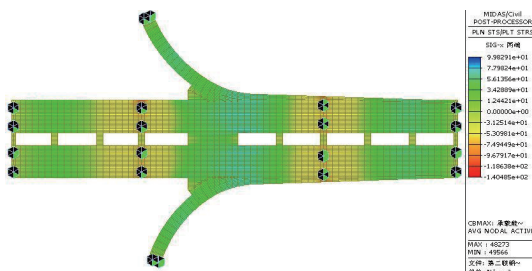


图11 底板正应力云图(单位:MPa)

(2)腹板、加强横隔板剪应力

腹板最大剪应力发生在5号墩墩顶,为84.5 MPa<155 MPa,满足规范要求(见图12)。

表 1 顶、底板正应力计算结果					单位:MPa
板件	最大拉应力		最大压应力		规范限值
	位置	大小	位置	大小	
顶板	5号墩墩顶	131.5	第二跨跨中	56.3	270
底板	第二跨跨中	99.8	5号墩墩顶	140.4	

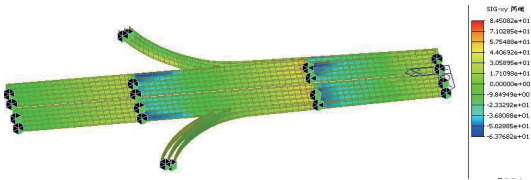


图 12 各腹板剪应力云图(单位:MPa)

加强横隔板与短腹板交接处应力变化均匀最大剪应力为 19.7 MPa<155 MPa, 满足规范要求(见图 13)。

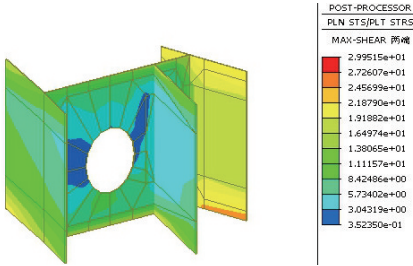


图 13 加强横隔板最大剪应力云图(单位:MPa)

3.2.2 挠度计算及分析

活载标准值作用下,结构竖向变形见图 14。

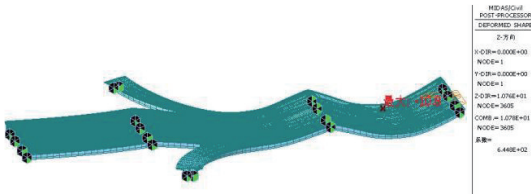


图 14 活载位移云图(单位:mm)

钢箱梁在活载标准值作用下,最大竖向位移发生在第三跨距梁端 19.5 m 处,为 10.8 mm,小于规范允许值 $L/500=82.9$ mm,满足规范要求^[6]。从图 14 可以看出,结构整体变形较协调,符合连续梁结构受力变形的特点。

4 钢箱梁制造及安装

钢箱梁采取工厂分段加工,在纵向分段位置搭设支架,采用履带吊进行吊装,对位、固定,再进行焊接、涂装的施工工艺方案。总体思路为“工厂分块加工、试拼—现场块体吊装—对位—粗调—精调—固

定—复核—焊接—检测、探伤”,逐段进行吊装,逐段焊接直至合龙段安装。纵向分块时,分段位置避开跨中、墩顶等应力较大的部位,最大纵向分段长度 13.685 m。

现场焊接前,对焊缝区域 50 mm 范围进行表面处理,达到 ST3 级。焊接采用 CO₂ 气体保护焊,的气体纯度必须大于等于 99.5%,在大风或下雨天不进行施焊作业,对于环境温度低于 5℃,空气相对湿度大于 80% 的,采用火焰加热母材,预热范围为焊接区域 50 mm,预热温度 80~100℃^[7]。焊缝焊接时焊缝两端使用引板,避免引弧、息弧出现在焊缝端部。腹板接口焊接时保持同步,以便于控制焊接变形。

5 结 语

通过对本联异形分叉钢箱梁的设计思路梳理和计算分析,可得出如下结论:

(1)钢箱梁因其具有材料各项同性、结构轻质高强、板件布置灵活的优点,可适应复杂桥梁的布局 and 受力需求。

(2)异形分叉钢箱梁在箱室划分时,可以通过采用设置加强横隔板截断腹板,将被截断的腹板剪力通过加强横隔板传递到通长腹板上,进而传递到支座,这种处理方式传力明确,能有效保证结构安全。

(3)通过建立三维薄板有限元模型,可以模拟出在不同荷载组合下的应力分布和位移变形情况。在进行静力分析时,需要特别关注分叉点以及梁体连接处等关键部位的应力分布情况。在这些部位可通过合理布置板件及设置加劲板的方式,分散应力确保结构安全性和耐久性。

参考文献:

[1] Fut C C, Hsu Y T. The Development of an Improved Curvilinear Thin-walled Vlasov Element[J]. Computers & Structures, 1995, 54(1): 147–159.

[2] 柳建设,孙虎平,吴振. 宝鸡市陈仓渭河大桥工程设计[J]. 城市道桥与防洪, 2021(11): 71–74.

[3] 黄燕萍. 薄壁钢箱梁结构受力实用精细化分析方法研究[D]. 福州: 福州大学, 2021.

[4] 吴冲. 现代钢桥·上册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.

[5] JTG D60—2015, 公路桥涵设计通用规范[S].

[6] JTG D64—2015, 公路钢结构桥梁设计规范[S].

[7] JTG/T 3651—2022, 公路钢结构桥梁制造和安装施工规范[S].