

# 匝道小半径单箱槽形组合连续梁桥设计关键技术

赵政耀

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

**摘要:** 长沙市某立交匝道桥曲线半径150 m, 采用单箱槽形钢混组合连续梁结构, 跨径布置为35 m+53 m+35 m。以此为工程背景, 对比分析MIDAS单梁与梁格模型, 明确了若采用理想化闭口箱形截面单梁模型, 能够解决曲线小半径单箱钢混组合梁在组合前因槽形开口截面计算抗扭刚度不足而导致的计算结果失真问题; 同时就负弯矩区桥面板抗裂措施、结构抗倾覆能力提高、负弯矩区组合与叠合技术应用等设计要点进行分析, 确认了以上设计措施的有效性。

**关键词:** 小半径; 组合连续梁; 槽形截面; 抗扭刚度; 抗倾覆; 组合与叠合

**中图分类号:** U448.21

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2025)04-0087-03

## Key Technologies for Design of On-ramp Small-radius Single-box Slot Composite Continuous Beam Bridges on Ramps

ZHAO Zhengyao

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

**Abstract:** The curve radius of an interchange ramp bridge in Changsha is 150 m, and a single-box slot steel-concrete composite continuous girder structure is adopted. Its span layout is 35 m+53 m+35 m. Based on this engineering background, the MIDAS single beam and beam lattice models are compared and analyzed to clarify that the problem of calculation distortion caused by insufficient calculation of torsional stiffness of single-box steel-concrete composite beams with small curved radius before assembling can be solved if a single beam model with idealized closed box section is adopted. And the design essentials such as crack resistance measures for bridge deck slabs in negative bending moment zone, improvement of structural overturning resistance, and application of negative moment region combination and superposition technology are analyzed to confirm the effectiveness of the above design measures.

**Keywords:** small radius; composite continuous beam; slot-shaped section; torsional stiffness; anti-overturning; combination and superposition

## 0 引言

近年来随着城市立交建设的发展, 跨越路口、桥梁的大跨度小半径曲线桥梁日益增多。钢混组合连续梁凭借跨越能力强、造价低、整体刚度好的优点被广泛应用<sup>[1-2]</sup>。

与直桥相比, 小半径曲线桥梁桥空间受力情况更为复杂, 随着跨径的增大, 其弯-扭耦合效应也更加明显。大量学者就曲线梁空间受力问题进行研究, 相继提出了以纯扭转理论为代表的经典解析法和有限元法<sup>[3]</sup>。目前, 大跨度小半径曲线梁桥主要采用单梁或梁格方式建立空间有限元模型

进行设计计算。

本文以长沙市某大跨度小半径匝道连续组合梁桥为背景, 对比分析MIDAS单梁与梁格模型, 就槽形单箱钢混组合截面在组合前槽形钢梁抗扭刚度模拟方法的有效性进行验证, 并针对设计中关注的小半径匝道桥梁抗倾覆问题、连续钢混组合梁负弯矩区桥面板开裂问题进行分析, 以期今后类似工程的设计提供参考。

## 1 结构总体设计

长沙市某立交匝道曲线半径为150 m, 斜交上跨主线桥梁, 采用单箱槽形钢混组合连续体系, 跨径布置为35 m+53 m+35 m, 桥宽9.64 m。钢主梁采用单箱双室开口槽形截面, 高2.4 m; 桥面板采用“叠合板+现浇板”结构, 厚0.3 m, 梁高合计2.7 m。钢主梁

收稿日期: 2024-03-26

作者简介: 赵政耀(1992—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁设计工作。

标准截面图见图 1。

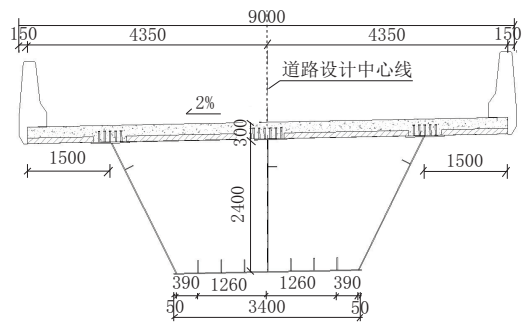


图 1 钢主梁标准截面图(单位:mm)

2 单箱槽形组合截面抗扭刚度模拟

采用 MIDAS Civil 2022,按照“钢主梁+桥面板”双单元方式建立空间有限元单梁模型,见图 2。

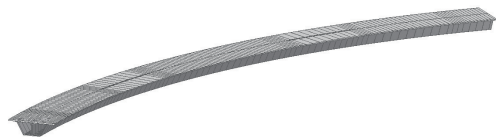


图 2 MIDAS 有限元模型

钢混组合截面组合过程为:(1)钢主梁单元激活;(2)施加桥面板湿重荷载;(3)桥面板单元激活。

在施工过程中,对于扭转作用明显的小半径曲线桥扭转刚度的模拟至关重要。但由于本桥钢主梁截面是开口槽形截面,截面计算抗扭刚度非常小,导致组合前各阶段的结构位移变形,支座反力计算结果明显失真。实际工程中,钢槽形截面顶部通过钢板支撑连接来增加整体抗扭惯性矩。设计时采用将钢槽形截面顶部钢板厚度根据支撑的类型和间距,通过手动计算将其理想化为箱形截面的方法来模拟该槽形钢梁的抗扭刚度。该项目在槽形钢梁顶板间每隔 4.5 m 设置 1 道宽 700 mm、厚 20 mm 的钢板,以加强顶部钢板之间的联系。按照体积等效的原则,将该连接钢板等效成厚度为 3 mm 的钢板,全范围布置于槽形截面的顶板之间,从而将原来的槽形开口截面等效为顶板闭合的钢箱截面。

为验证上述抗扭刚度模拟方法的有效性,将该槽形截面按腹板分解成 3 片工字型主梁,然后建立梁格模型,将底板、底板横向加劲肋、横隔板和横梁按照横向刚度等效的原则来模拟 3 片主梁间的横向连接刚度。

单梁模型和梁格模型的计算结果见表 1。

经对比分析可知,将槽形钢梁理想化为箱型截面的单梁模型计算结果与梁格模型计算结果相近,采用理想化箱形截面的单梁模型能够解决小半径单

表 1 单梁模型与梁格模型计算结果对比表

| 项目           | 单梁模型    | 梁格模型    | 差比/% |
|--------------|---------|---------|------|
| 钢梁上缘最大应力/MPa | 181.1   | 187.3   | 3.5  |
| 钢梁下缘最大应力/MPa | 112.9   | 115.6   | 2.3  |
| 边支座内侧恒载反力/kN | 1 384.0 | 1 359.0 | -1.8 |
| 边支座外侧恒载反力/kN | 1 270.0 | 1 307.0 | 2.9  |
| 中支座内侧恒载反力/kN | 4 496.0 | 4 447.0 | -1.1 |
| 中支座外侧恒载反力/kN | 4 250.0 | 4 284.0 | 0.8  |
| 跨中恒载最大位移/mm  | 50.1    | 51.9    | 3.6  |

箱钢混组合梁在组合前因槽形截面计算抗扭刚度不足而导致的计算结果失真问题。

3 负弯矩区抗裂设计

钢混连续组合梁在墩顶存在负弯矩区。负弯矩区桥面板处于受拉状态,因此负弯矩区桥面板的抗裂设计是项目重点。小半径曲线桥存在内外侧受力不均、支座顶升难以同步的问题,故在该桥负弯矩区桥面板抗裂设计中未采用效果较好的预压应力法。本桥采用的负弯矩区抗裂措施主要有以下 3 种。

(1)钢梁架设完成后,首先浇筑正弯矩区桥面板,待正弯矩区混凝土强度达到设计强度的 90% 后,拆除临时支撑,随后浇筑负弯矩区混凝土。正弯矩区混凝土在达到设计强度后,截面已形成组合状态,抗扭刚度已得到显著提高,因抗扭刚度不足而导致的侧翻问题不再显著,具备拆撑条件。拆除临时支撑后,由钢梁单独承受墩顶负弯矩,后浇的负弯矩区混凝土未参与一期恒载受力,从而有效避免了一期恒载作用下产生的轴拉力。

(2)在墩顶两侧 0.2L 范围内采用抗拔不抗剪剪力钉,以减少桥面板与钢梁之间的纵向连接刚度。桥面板与钢梁顶板之间可以有一定程度的自由滑动<sup>[4]</sup>,进而改善了组合截面的受力状态。墩顶桥面板负弯矩主要由钢梁承担,减少了负弯矩区桥面板内钢筋的拉应力。

(3)该项目标准段桥面板纵向主筋为直径 22 mm 的 HRB400 钢筋,布置间距为 100 mm,分 2 层布置于桥面板的上缘和下缘。为加强负弯矩区桥面板配筋,在中墩顶两侧各 10 m 范围内,将桥面板纵向主筋由直径 22 mm 加强至 28 mm。

在综合采取上述抗裂措施后,计算得到的裂缝宽度为 0.011 mm,满足《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)第 6.4.2 条的有关规定。

4 抗倾覆设计

匝道桥梁具有桥面宽度小、恒载占比小、抗倾覆能力弱的特点,设计时应重点关注其抗倾覆问题。对于小半径曲线匝道桥,在基本组合作用下,支反力最小值位于边墩内侧支座,此时的抗倾覆设计重点应是防止边墩内侧支座脱空。本桥设计过程中针对抗倾覆问题采取了如下措施。

(1) 支座调偏: 全桥支座沿桥梁结构中心线的法线向曲线外侧平移 200 mm, 以保证内外侧支座在恒载作用下受力均匀。

(2) 压重: 对边墩 5 m 范围内的钢梁填充压重混凝土, 以增加边墩支座恒载反力, 保证支座在基本组合作用下始终保持受压状态。

(3) 增大支座间距: 支座间距为 2.4 m, 支座间距与桥宽比为 4.0, 减少了在最不利活载作用下的支座负反力, 提高了结构整体抗倾覆能力。

经计算, 结构在基本组合作用下, 最小支反力为 410.6 kN, 整联横向抗倾覆稳定性系数为 8.1, 满足《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG/T D64—2015) 第 4.2.2 条的有关规定。

5 组合与叠合技术应用

钢混组合梁的负弯矩区顶部桥面板承受着较大的轴拉力, 存在桥面板开裂问题; 除此之外, 负弯矩区钢梁底板承受着较大压应力, 钢结构存在局部和侧向失稳的问题。段树金等<sup>[5]</sup>在负弯矩区桥面板与钢梁上翼缘能够自由滑动的基础上, 提出了钢混组合与叠合梁的概念 (见图 3)。负弯矩区组合与叠合截面由上层混凝土板、钢梁、下层混凝土板和抗剪连接件组成, 上层混凝土板与钢梁上翼缘之间采用抗拔不抗剪剪力钉连接, 形成能够纵向移动且能阻止桥面板翘起的叠合界面; 下层混凝土板与钢梁下翼缘采用普通剪力钉连接, 形成组合截面<sup>[6]</sup>。

在本桥设计过程中, 下层混凝土板为厚 500 mm 补偿收缩复合纤维混凝土, 用  $\phi 22 \times 220$  剪力钉连接钢梁下翼缘; 剪力钉按照 150 mm 间距布置。

负弯矩区底板组合结构大样图见图 4。

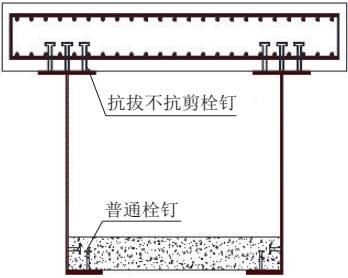


图 3 组合与叠合技术截面示意图

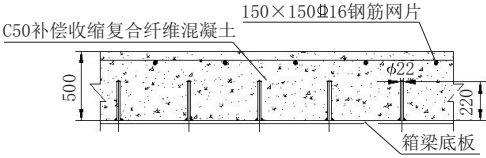


图 4 负弯矩区底板组合结构大样图 (单位: mm)

该技术的应用主要有以下优点: (1) 可以提高底板和腹板的局部稳定性, 防止受压失稳; (2) 底板形成组合截面, 使截面承载能力得到增强; (3) 刚度增大, 抗扭与抗变形能力增强<sup>[5]</sup>; (4) 全桥恒载增加, 桥梁整体抗倾覆能力增强。

6 结 语

(1) 对比分析 MIDAS 单梁与梁格模型, 明确了采用理想化箱形截面的单梁模型能够解决小半径单箱钢混组合梁在组合前因槽形截面计算抗扭刚度不足而导致的计算结果失真问题。

(2) 针对设计中关注的小半径匝道桥梁抗倾覆问题、连续钢混组合梁负弯矩区桥面板开裂问题进行分析, 验证了设计措施的有效性。

(3) 对负弯矩区组合与叠合技术的应用进行阐述, 为今后类似工程的设计应用提供参考。

参考文献:

[1] 聂建国. 钢-混凝土组合结构桥梁[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.  
[2] 邵长宇. 梁式组合结构桥梁[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.  
[3] 陈金涛. 小半径钢箱-砼组合曲线梁桥空间效应分析[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2021.  
[4] 聂鑫, 薛志超. 大跨钢-混组合连续梁桥负弯矩区桥面板抗裂技术研究[J]. 桥梁建设, 2022, 5(4): 22-30.  
[5] 段树金, 霍军会, 安蕊梅. 钢-混凝土双面组合连续梁承载能力研究[J]. 铁道学报, 2010, 32(5): 82-87.  
[6] 王园园. 钢-混凝土组合与叠合梁静力性能试验研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2018.