

## 钢混组合梁截面形式优化研究

叶梦雨

中南勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430074

**[摘要]**组合梁桥是指采用剪力连接件将抗拉性能好的钢材构件与抗压性能好的钢筋混凝土结构结合成组合截面工作的一种复合式结构。近年来,随着组合梁技术的不断发展,其使用范围已扩展到连续梁桥、拱桥和斜拉桥等多种复杂体系。组合梁中的钢梁部分也由原先单一的钢板梁拓宽到钢箱梁、钢槽梁和钢桁梁,组合梁的截面形式也由工字形发展到箱型、倒梯形甚至三角形<sup>[1]</sup>。当主梁截面采用多根单梁组成多箱室截面时,不同的截面形式造成单梁之间横向联系方式和混凝土桥面板施工方法大不相同。本文研究同等跨径、同等宽度条件下某省两条高速公路主线桥钢混组合梁截面形式由钢箱梁优化为钢槽梁后各方面性能指标,为今后的项目建设提供依据和参考

**[关键词]**钢混组合梁;钢箱梁;钢槽梁;截面优化

DOI: 10.33142/ec.v7i2.11119

中图分类号: U443.35

文献标识码: A

### Research on Optimization of Section Form of Steel Concrete Composite Beams

YE Mengyu

Zhongnan Engineering Corporation Limited, Wuhan, Hubei, 430074, China

**Abstract:** Composite beam bridge refers to a composite structure that uses shear connectors to combine steel components with good tensile performance and reinforced concrete structures with good compressive performance into a composite section. In recent years, with the continuous development of composite beam technology, its application scope has expanded to various complex systems such as continuous beam bridges, arch bridges, and cable-stayed bridges. The steel beam section in composite beams has also expanded from a single steel plate beam to steel box beams, steel groove beams, and steel truss beams. The cross-sectional form of composite beams has also evolved from I-shaped to box shaped, trapezoidal, and even triangular [1]. When the main beam section is composed of multiple single beams to form a multi box section, different section forms result in significant differences in the lateral connection between the single beams and the construction method of the concrete bridge deck. This article studies the performance indicators of the steel-concrete composite beam section of two main highways in a certain province under the same span and width conditions, which is optimized from a steel box beam to a steel trough beam, providing a basis and reference for future project construction

**Keywords:** steel reinforced concrete composite beams; steel box girder; steel trough beams; section optimization

### 引言

钢混组合梁相比于纯钢桥,在采用截面较小钢梁的情况下,截面惯性矩明显增大,有利于减少结构在活载作用下的挠度。通过抗剪连接件的连接作用,钢筋混凝土桥面板对钢梁翼缘起到约束作用,从而增强了钢梁的稳定性。截面高度的降低,增加了桥下净空或降低了桥面高程。钢混组合梁相比于混凝土桥,其上部结构较低,自重减轻、地震作用较小,相应下部结构可采用较小的尺寸。同时,组合梁桥便于工厂化生产,施工质量容易得到保障。尤其在项目与既有路交叉时,组合梁可以做到施工速度快、对既有路交通影响小等优点,目前钢混组合梁已成为跨线桥首选结构。

国外的研究和统计表明,对于跨度超过 18m 的桥梁,组合桥在综合效益上具有一定的优势。例如,法国统计资料表明,当跨径为 30~110m,特别是 60~80m 范围内,钢混组合梁的单位面积造价要比混凝土桥低 18%<sup>[2]</sup>。在这一跨度范围内,法国近年建造的桥梁中有 85%都采用了组

合技术<sup>[2]</sup>。目前,国内 20m 以下的小跨度桥梁多采用钢筋混凝土梁桥,20~40m 跨径采用预应力混凝土梁桥,40~60m 跨径往往会采用钢混组合梁。

钢混组合梁有多种不同的截面形式,主要分为钢箱组合梁和钢板组合梁两大类。钢箱组合梁由钢板围焊而成的箱型或槽型截面钢梁和混凝土桥面板组成,桥面板可以采用现浇板、预制板或其他结构形式的组合板,桥面板和钢梁之间采用剪力连接件连接。钢板组合梁由若干片工字形断面钢主梁通过横向联结系连接,并通过剪力连接件与混凝土桥面板形成整体共同受力。

本文以某省两条新建高速公路项目为背景,在同等跨径和同等桥宽的条件下,从结构受力、施工工期、安全风险、施工质量、用钢量、环境影响、整体造价等方面,对两种不同截面形式的钢箱组合梁方案进行对比分析,研究钢箱组合梁截面形式的优化设计,为今后类似项目的建设提供依据和参考。

- 方案一(闭口钢箱梁+现浇混凝土桥面板):

组合梁跨径 50m，桥面宽度 17.0m，梁高 2.5m，其中钢主梁高度 2.25m，现浇桥面板采用 0.25m 厚 C50 现浇混凝土。组合梁采用三片主梁，间距 5.8m。

钢主梁采用直腹板箱型断面形式，顶板宽 2700mm，设 4 道纵向加劲肋，底板宽 2600mm，设 3 道纵向加劲肋。腹板设一道纵向加劲肋，距上翼缘 460mm。箱室内部设置横隔板，横隔板间距 4.0m，纵向每 2 道横隔板间设一道腹板竖向加劲肋。由于本桥桥面板采用现浇施工，故为施工方便，悬臂位置设钢挑臂（大样 A），箱室间设置小横梁（大样 B），箱室间镂空部位用 8mm 厚钢板满铺。

• 方案二（开口钢槽梁+预制混凝土桥面板）：

组合梁跨径 50m，桥面宽度 17.0m，梁高 2.5m，其中钢主梁高度 2.25m，现浇桥面板采用 0.25m 厚 C50 预制混凝土。组合梁采用三片主梁，间距 5.8m。

钢主梁采用斜腹板槽型断面形式，上翼缘板宽 700mm，腹板斜率 1 : 8.76，底板宽 2500mm。腹板设一道纵向加劲肋，距上翼缘 460mm。箱室内部设置横隔板，横隔板间距 4.0m，纵向每 2 道横隔板间设一道腹板竖向加劲肋。箱间不设小横梁。

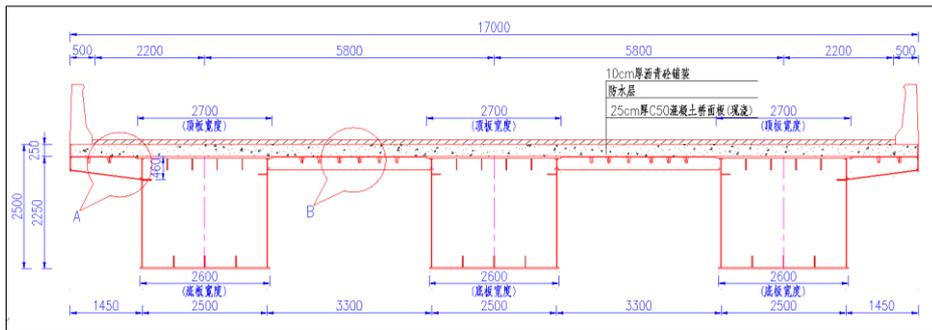


图 1 方案一横断面图（闭口钢箱梁+现浇混凝土桥面板）

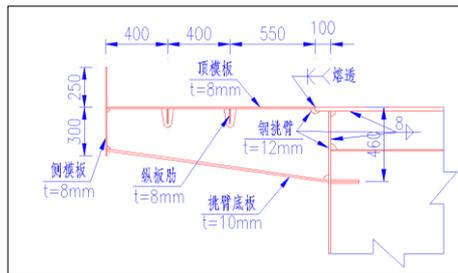


图 2 A 大样

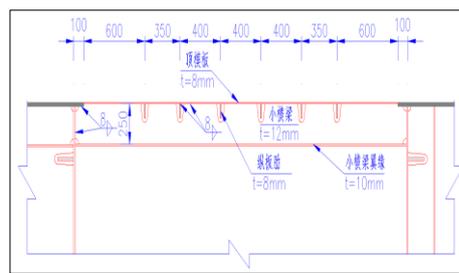


图 3 B 大样

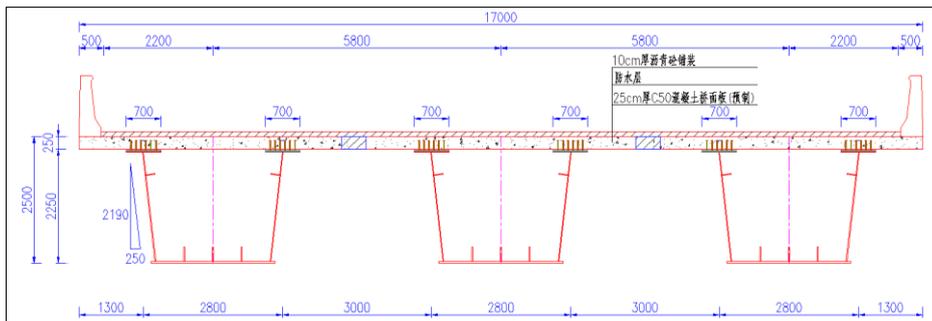


图 4 方案二横断面图（开口钢槽梁+预制桥面板）

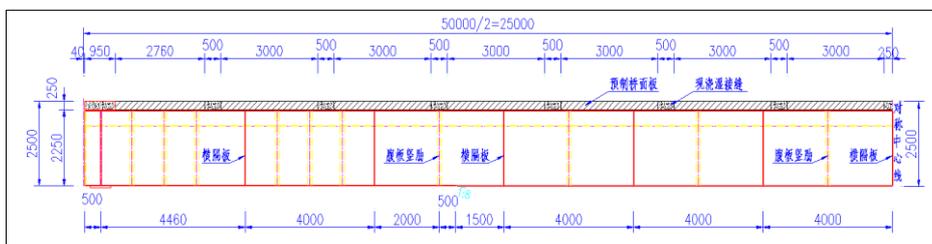


图 5 组合梁横向加劲位置示意图

在方案一的基础上,方案二主要在以下几个方面进行了优化设计:(1)钢主梁截面由闭口箱型截面优化为开口槽型截面。钢箱梁顶板由宽度 2700mm,厚度 16mm 的一块整板优化为宽度 700mm,厚度 20mm 两块翼缘板,取消了顶板纵向加劲肋。(2)桥面板 C50 钢筋混凝土由整体现浇优化为分块预制吊装。由于不再需要考虑现浇桥面板所需要的支模工序,优化后可取消钢挑臂及箱室内小横梁及其加劲肋和顶底模板。(3)剪力钉由顶板满布优化为只在钢主梁翼缘板上布置。

## 2 结构强度及可靠性计算对比

采用桥梁博士 V4.4.1 对方案一、方案二组合梁桥采用有限元模型进行计算分析。

上部结构钢主梁及横梁采用 Q345Qd 钢材,满足《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64-2015):弹性模量  $E=2.06 \times 10^5 \text{Mpa}$ ,密度  $\rho=7850 \text{kg/m}^3$ ,泊松比  $\nu=0.31$ ,线膨胀系数  $\alpha=12 \times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$ ;桥面板采用钢筋和混凝土两种材料,C50 混凝土满足《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362-2018):弹性模量  $E=3.45 \times 10^4 \text{MPa}$ ,泊松比  $\nu=0.2$ ,轴心抗压强度设计值  $f_{cd}=22.4 \text{MPa}$ 。

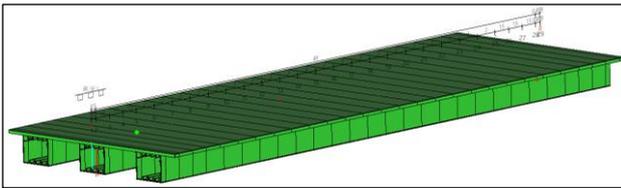


图 6 方案一 桥模模型示意图

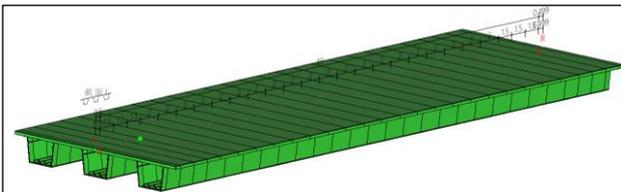


图 7 方案二 桥模模型示意图

表 1 计算结果对比表

力学指标	方案一 (闭口钢箱梁+现浇混凝土桥面板)	方案二 (开口钢槽梁+预制桥面板)
钢主梁上缘最大压应力 (MPa)	121.66	135.17
钢主梁下缘最大拉应力 (MPa)	196.41	195.34
桥面板最大压应力 (MPa)	12.44	12.96
折算应力 (MPa)	196.53	195.47
腹板稳定性验算	满足	满足
连接件抗剪强度验算	满足	满足
挠度 (mm)	19.26	20.17

荷载包括结构自重、二期恒载(10cm 厚沥青混凝土铺装、护栏)以及汽车公路-I 级活荷载。梯度温度按照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D30-2015)组合梁升降温模式考虑。

通过以上计算结果对比可知,钢主梁截面优化为开口槽型截面后,由于钢主梁顶板尺寸减小,其应力变大。取消了钢挑臂和箱室内小横梁,结构自重减少,故底板应力减小。优化后截面惯性矩由  $1.22 \times 10^{12} \text{mm}^4$  减小为  $1.15 \times 10^{12} \text{mm}^4$ ,其挠度增大。主梁竖向最大挠度为 20.17mm,跨径 50m,  $20.17 \text{mm} < 50000/500=100 \text{mm}$ ,满足规范要求。

除以上各项验算外,其余各项指标都满足规范要求,在此不再赘述。

## 3 综合对比分析

对一座桥梁是否采用组合结构或采用何种结构形式进行经济性分析时,并不能单纯从节省用钢量的角度来进行考虑,而应对包括施工性能、建设速度、环境影响、下部结构造价、综合受力性能、养护与维修成本、景观效果和整体造价等在内的各个因素进行综合评估<sup>[3]</sup>。

目前桥面板常采用全部现浇和工厂预制两种方法。现浇法能很好地适用于一些特殊类型的混凝土板(斜支撑、任意曲线、任意形状)。此时需要考虑支模的方便性。若模板支撑到钢主梁上,还需要考虑局部屈曲及失稳等问题。采用预制构件使得混凝土板流水线施工变得可能,预制构件可以在工厂,也可以现场制作,然后运输和安置到钢梁上<sup>[4]</sup>。为方便运输安装,本项目预制桥面板最大尺寸为  $5.4 \times 3.0 \times 0.25 \text{m}$ ,最大吊装重量 10.1t。

表 2 综合对比表

	方案一 (闭口钢箱梁+现浇混凝土桥面板)	方案二 (开口钢槽梁+预制桥面板)
工期	较短;钢箱梁架设完毕后一次性浇筑混凝土桥面板,节约工期。	短;桥面板预制与钢槽梁加工可同步进行,钢槽梁架设与桥面板吊装亦可同步进行。桥面板架设完成后一次性浇筑湿接缝。
安全风险	低;桥面板浇筑时完全不影响被路交通。	较低;桥面板吊装过程需要进行抗倾覆验算。
桥面板施工质量	现场施工,混凝土浇筑及养护质量较难保证。	采用工厂预制,方便混凝土浇筑和后期养护,可以很好地保证预制部分桥面板质量。但湿接缝位置混凝土浇筑质量难以保证,需采取特殊措施,如采用低收缩混凝土。
用钢量	410.0kg/m <sup>2</sup>	310.3 kg/m <sup>2</sup>
环境影响	低	低
整体造价	高	低

本文方案二对比方案一,除了将钢主梁由闭口箱型截

面优化为开口槽型截面,还将整体现浇桥面板优化为预制桥面板,桥面板预制与钢主梁加工可以同步进行,减少了施工工期,采用工厂预制,方便混凝土浇筑和后期养护,可以很好地保证预制桥面板的施工质量,同时,用钢量也大幅降低,具有更好的经济性。因此,本文建议,在条件合适的情况下,钢混组合梁结构应优先推荐采用预制桥面板。两个方案详细对比分析见表2。

#### 4 结论

(1)通过综合性对比结果表明,优化后承载能力几乎不变的情况下,结构用钢量由 $410.0\text{kg}/\text{m}^2$ 减少至 $310.3\text{kg}/\text{m}^2$ ,用钢量降低24%,工程造价大幅降低。(2)桥面板由现浇改为预制,更利于工厂标准化施工,同时桥面板施工质量得到保证。桥面板预制与钢结构加工同步进

行,可缩短工期。(3)上部结构优化后,自重减少,一定程度上可减小下部结构尺寸,进一步降低工程造价。

#### [参考文献]

- [1]吴冲.现代钢桥(上册)[M].北京:人民交通出版社,2006.
- [2]聂建国.钢-混凝土组合结构桥梁[M].北京:北京人民交通出版社,2011.
- [3]拉伯特(瑞士),赫特(瑞士)编著,葛耀君等翻译.钢桥,钢与钢-混组合桥梁概念和结构设计[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.

作者简介:叶梦雨(1990.4—),汉族,硕士研究生学历,毕业院校为重庆交通大学。现就职中南勘察设计院集团有限公司。