

大斜交角连续多箱室钢-混凝土组合梁设计研究

林光毅¹, 吴锦耀²

(1. 浙江数智交院科技股份有限公司, 浙江 杭州 310030; 2. 浙江警官职业学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 为探究大斜交角连续多箱室钢-混凝土组合梁设计细节, 以某45°大角度斜交连续钢-混凝土组合梁为例, 通过桥梁博士软件建立不同横梁布置下的梁格法模型, 对比不同横梁布置方式对结构弯矩及支反力的影响; 同时为验证设计中常用的单梁简化建模的有效性, 建立单梁模型与梁格模型进行对比。结果表明: 横梁正置或斜置对斜交桥影响较小, 为便于标准化制造, 推荐中支点横梁采用正置; 内力若采用单梁法简化计算, 误差有10%以上, 需考虑该误差影响。对于大角度斜交桥梁, 单梁计算所得反力误差较大, 推荐采用梁格法进行计算。最后, 给出斜交连续钢-混凝土组合梁负反力处理方式及桥面板钢筋的细部构造, 为同类桥梁的设计提供参考。

关键词: 斜交; 钢-混凝土组合梁; 横梁布置; 设计

中图分类号: U443.32

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)09-0176-04

Study on Design of Continuous Multi-box Steel-concrete Composite Girder with Large Oblique Angle

LIN Guangyi¹, WU Jinyao²

(1. Zhejiang Digital Intelligence Transportation Institute Technology Co., Ltd., Hangzhou 310030, China; 2. Zhejiang Police Vocational Academy, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to study the design details of continuous multi-box steel-concrete composite girder with large oblique angle, taking a continuous steel-concrete composite girder with 45°-large oblique angle as an example, the beam grid method model under different beam arrangements is established through the Bridge Doctor software to compare the effects of different arrangement of beams on the bending moment and reaction force of the structure. At the same time, to verify the effectiveness of the commonly used single-beam simplified modeling in the design, a single-beam model is established to compare with the beam-grid model. The result shows that whether the crossbeam is placed upright or inclined has a relatively small impact on the oblique bridge. To facilitate the standardized manufacture, it is recommended that the middle support point crossbeam is placed upright. If the internal force is simplified and calculated by the single-beam method, the error is more than 10%, and the influence of this error needs to be taken into account. For large-angle oblique bridges, the reaction force error obtained by single-beam calculation is relatively large. It is recommended to use the beam grid method for calculation. Finally, the treatment method for the negative reaction force of the oblique continuous steel-concrete composite girder and the detailed structure of the bridge deck reinforcement are given, which provides the reference for the design of similar bridges.

Keywords: oblique; steel-concrete composite girder; arrangement of crossbeam; design

0 引言

随着经济建设的发展, 路网建设越加复杂, 高等级公路跨越公路时呈斜交状态的比例逐渐增多。一方面现阶段跨越高速施工期间要求尽可能的不中断交通, 另一方面斜交梁桥受力复杂, 采用混凝土梁桥常出现一些病害问题^[1], 故采用钢-混凝土组合梁桥

跨越渐渐成为一种受欢迎的选择。针对斜交桥梁, 前人已有一定研究, 但研究主要集中于钢箱梁及简支梁。吴岩^[2]通过对比不同斜交角度横隔板布置对简支钢箱梁受力的影响, 总结出不同斜交角各自适合的隔板布置方式。梁磊^[3]通过对比直桥斜桥反力分布方式, 指出简支钢箱梁斜桥支座反力分布不均匀, 较易出现负反力。李传琳^[4]则探讨了简支多箱钢-混凝土组合梁的平面布置、断面形式及结构分析方法。吴润泽^[5]通过对比实体模型及梁格法模型, 认为梁格法能够较准确地反应斜交简支组合梁的反

收稿日期: 2025-01-21

作者简介: 林光毅(1993—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁设计工作。

力分布情况。高金^[6]则是介绍了斜交简支钢箱梁的计算要点及设计构造细节。戴公连^[7-8]提出一种连续钢箱梁新的支点横隔板布置方式,取消斜横隔板用两道正横隔板代替,并分析了其整体及局部受力情况。在现有研究基础上,结合工程实例对大斜交角连续多箱室钢-混凝土组合梁横梁布置、建模方式、细节构造进行研究。

1 工程概况

以浙江省内某联(25+40+35)m斜交连续钢-混凝土组合梁为工程背景。该桥跨越沪渝高速,现场钢梁形成连续受力后,采用先现浇跨中桥面板后现浇支点桥面板的施工方法。全桥采用双箱单室截面,斜交角为45°。每个箱室下方设置一个支座。桥梁全宽12 m,桥面设置2%双向横坡,截面梁高2.05 m,其中钢梁高1.78m,混凝土桥面板全桥等厚0.27 m。钢主梁顶板厚25~35 mm,腹板厚16~18 mm,底板厚16~25 mm。跨中标准横断面见图1。钢主梁采用Q355D钢,桥面板采用C40混凝土。横梁及横隔板间距6~8m,除端支点处采用斜交布置外,其余横梁均采用正交布置。

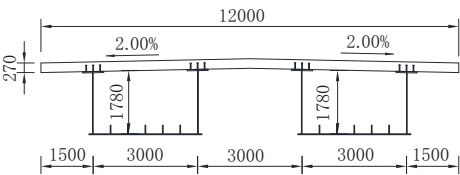


图1 组合梁跨中标准横断面(单位:mm)

2 计 算

针对该大斜交角三跨连续钢-混凝土组合梁,采用桥梁博士软件建立梁格模型。纵梁采用联合截面模拟,横梁按实际位置布置。为模拟桥面板的横向传力作用,常规段每隔2m间距设置与纵梁正交的虚拟桥面板,靠近斜交端部由正交转为斜交扇形布置。按照规范^[9]施加各类荷载。其中,车辆荷载采用普通单梁加载方式及影响面加载方式包络计算。梁格模型见图2,其中虚线为虚拟横向桥面板,圆为支座位置。

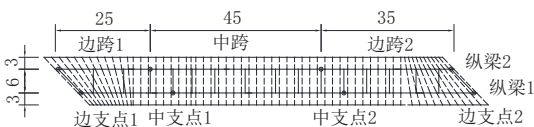


图2 梁格模型(单位:m)

2.1 不同横梁布置对计算的影响

钢-混凝土组合梁常在跨间及支点设置横梁,增

加纵梁间的整体性并传递水平荷载^[10]。斜交桥梁边支点由于空间的限制通常斜桥斜做,但是中支点有不同的处理方式,常见处理方式有如下两种^[11]:横梁及横隔板正置(见图3),横梁横隔板均斜置(见图4)。

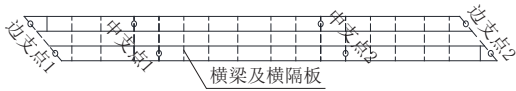


图3 中支点横梁正置

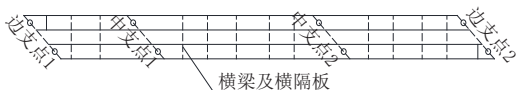


图4 中支点横梁斜置

针对两种方案,分别建立两种横梁布置的梁格模型进行对比分析。

2.1.1 内力比对

表1为不同横梁布置方式下各纵梁的对比情况。从表1中可以看出,中支点负弯矩采用斜置比正置增加666.9~1 296.6 kN。除锐角处边跨(纵梁1的边跨2,纵梁2的边跨1)外,正弯矩采用斜置比正置增加94.5~252.8 kN,锐角处边跨变化不明显,仅为11.2、27.8 kN。其原因在于正置方式中支点设置两道横梁,纵梁中支点处通过横梁与另一纵梁相连,由于两组纵梁间距较小,导致横梁相连非支点处的纵梁竖向刚度也较大,卸载了跨中及支点的弯矩。锐角处的边跨由于仍采用边支点横梁,正置的中支点横梁对其无影响,无该卸载作用,故变化不大。

表1 基本组合下弯矩对比 单位:kN·m

项目	边跨1 跨中弯矩	中支点1 弯矩	中跨 跨中弯矩	中支点2 弯矩	边跨2 跨中弯矩
正置 纵梁1	10 920.9	-31 098.4	20 694.9	-33 546.4	19 157.1
正置 纵梁2	8 653.5	-27 541.6	20 249.9	-31 387.4	17 180.4
斜置 纵梁1	10 932.1	-31 965.6	20 858.8	-34 843.0	19 409.9
斜置 纵梁2	88 54.5	-28 208.5	20 344.4	-32 275.3	17 152.6

2.1.2 支反力比对

表2为标准组合下梁格法横梁正置斜置支反力比对情况。由结果可知,横梁布置方式影响各支点反力-88~69.2 kN,斜置相对于正置减少了中支点的支反力0.75%~1.11%,增加了边支点的支反力1.88%~3.15%,效果均不明显。

弯矩及支反力对比结果表明,横梁布置方式对大斜交角连续钢-混凝土组合梁受力影响不大,为便于标准化制造,减小加工及施工难度,建议中支点处

表2 标准组合下支座反力最大值对比 单位:kN

项目	边支点1	中支点1	中支点2	边支点2
正置纵梁1	2 792.0	6 552.0	7 248.3	2 486.6
正置纵梁2	1 727.8	5 988.3	6 569.2	2 791.2
斜置纵梁1	2 880.0	6 485.6	7 179.1	2 492.4
斜置纵梁2	1 760.2	5 921.8	6 519.8	2 787.2

采用横梁正置方式。

2.2 单梁模型比对

梁格法已能较为准确地模拟斜交对桥梁结构的影响^[5],但建模相对复杂,为简化计算方便设计,设计人员通常会采用单梁模型进行验算^[12-13]。为验证单梁模型有效性,分别按照杠杆法、刚接横梁法、刚接板梁法计算得该桥活载横向分布系数见表3。

表3 活载横向分布系数

方法	横向分布系数
杠杆法	1.85
刚接横梁法	1.216
刚接板梁法	1.209

初步试算单梁与梁格法结果比对可知,杠杆法结果误差较大,后续单梁相关讨论基于活载横向分布系数为1.21时的结果。

2.2.1 内力对比

表4反应的是梁格法横梁正置及单梁在基本组合下的弯矩比对情况。由结果可知,单梁计算弯矩接近梁格法平均值,偏差在-2.79%~2.02%范围内。但单梁与梁格法纵梁实际弯矩相差-12.35%~10.62%。若采用单梁法设计,需考虑该误差,避免造成安全隐患。

表4 基本组合下弯矩对比 单位:kN·m

项目	边跨1 跨中弯矩	中支点1 弯矩	中跨 跨中弯矩	中支点2 弯矩	边跨2 跨中弯矩
梁格法纵梁1	10 920.9	-31 098.4	20 694.9	-33 546.4	19 157.1
梁格法纵梁2	8 653.5	-27 541.6	20 249.9	-31 387.4	17 180.4
梁格法平均	9 787.2	-29 320.0	20 472.4	-32 466.9	18 168.8
单梁	9 872.8	-29 697.1	20 894.6	-32 155.9	17 674.8

2.2.2 竖向支座反力对比

表5为标准组合下梁格法正置横梁及单梁支反力比对情况。由结果可知,单梁支座反力与梁格法最大相差46.46%,位于梁格法纵梁1的边支点1处;其次为梁格法纵梁2的边支点2,相差34.41%。偏差最大的两个位置均位于钝角侧。偏差原因在于梁格法计算时,采用影响面加载方式,故总体支反力相较单梁影响线加载方式大;同时斜交角度越大,钝角侧

锐角侧反力差越显著^[14],梁格法能考虑该影响,单梁模型无法考虑,进一步加大了支反力的偏差。

表5 标准组合下支座反力最大值对比 单位:kN

项目	边支点1	中支点1	中支点2	边支点2
梁格法纵梁1	2 792.0	6 552.0	7 248.3	2 486.6
梁格法纵梁2	1 727.8	5 988.3	6 569.2	2 791.2
梁格法平均	2 259.9	6 270.2	6 908.8	2 638.9
单梁	1 906.3	5 398.1	5 759.4	2 124.0

3 其他细部构造

大角度斜交桥梁还需关注负反力及桥面板钢筋构造细节^[15]。

本桥基本组合下最小支反力见表6,可以看出小边跨钝角侧出现负反力,不满足规范要求。本桥边中跨比为0.55,在常规钢-混凝土组合梁边中跨比范围以内,但由于本桥斜交角度高达45°。中支点处通过横梁连接至另一个纵梁,导致另一个纵梁横梁相交处竖向刚度也较大,可以简化认为该处跨径减小至19 m,此时边中跨比为0.42,较易出现负反力。

表6 基本组合下最小支反力 单位:kN

纵梁	边支点1	中支点1	中支点2	边支点2
纵梁1	-263	3 409.7	4 159.6	739.4
纵梁2	174.8	3 247.9	3 379.6	559.9

负反力常规处理方式^[16]有设置拉力支座、增加压重、改变受拉支座处桥台为整体式桥台等方式。一方面考虑拉力支座寿命较短,需常维护。另一方面考虑本桥负反力较小,可使用压重处理,无需改变结构形式。故在出现负反力跨加设0.4 m厚布置范围10 m长的铁砂混凝土,并规定铁砂混凝土容重应不小于35 kN/m³。经过处理后,反力达到88.3 kN,满足规范要求。

既有研究^[17]表明多梁式现浇桥面板结构锐角区常出现垂直于布孔线的裂缝,较多裂缝宽度在0.05~0.1 mm之间。为避免该问题,本桥端部增设平行于布孔线的斜交钢筋。因剪力钉构造要求,布置端部剪力钉间距11 cm,正常段间距20 cm,故端部斜交钢筋采用间距11 cm布置,正交钢筋采用间距10 cm布置避让剪力钉。为方便施工,便于钢筋避让剪力钉,剪力钉在端部的布置采用斜置。钢筋、剪力钉布置方式示意图5。

4 结 语

通过桥梁博士软件对大斜交角连续多箱室钢-

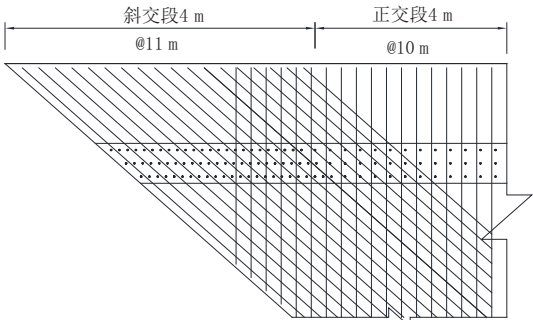


图5 钢筋、剪力钉布置示意

混凝土组合梁进行建模分析比较,得出以下结论:

(1)横梁正置或斜置对斜交桥影响较小,为便于标准化制造,减小加工及施工难度,推荐中支点横梁采用正置。

(2)内力计算时若采用单梁法简化计算,误差达10%以上,需考虑该影响。活载横向分布系数推荐采用刚接横梁法或刚接板梁法;对于大角度斜交桥梁,单梁计算所得反力误差较大,推荐采用梁格法进行计算。

(3)大角度斜交钢-混凝土组合梁桥即使边中跨比在常规范范围内,也容易因斜交角的存在出现负反力,负反力较小时可采用压重进行处理。

参考文献:

[1] 张龙,唐盛华,卢江波.大跨斜交变截面宽箱连续梁桥裂缝成因分析[J].华东交通大学学报,2020,37(6):46-50.
[2] 吴岩.横隔板布置对不同斜交角度简支钢箱梁受力影响分析[J].工程技术研究,2020,5(22):1-3.

[3] 梁磊,田楚灵,刘国龙.简支钢箱梁斜桥静力分析研究[J].公路与汽运,2015(6):150-153.
[4] 李传琳.跨既有铁路多箱斜交简支钢-混结合梁桥设计[J].铁道标准设计,2011(4):62-65.
[5] 吴润泽.斜交钢混组合梁反力影响分析及设计[J].黑龙江科学,2023,14(24):79-81.
[6] 高金.斜交简支钢箱梁桥设计[J].城市道桥与防洪,2014(6):93-96.
[7] 戴公连,栗森.斜交连续钢箱梁桥横隔板布置方式研究[J].铁道工程学报,2015,32(9):67-72.
[8] 戴公连,栗森.一种新支点横隔板设置下的斜交连续钢箱梁桥受力特性分析[J].中南大学学报(自然科学版),2016,47(7):2398-2405.
[9] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
[10] 李立峰,程子涵,冯威,等.不等横向联结系对钢-混组合梁桥荷载横向分布的影响研究[J].铁道科学与工程学报,2020,17(11):2832-2839.
[11] Iles, David C. Composite highway bridge design: Worked Examples[J]. Steel Construction Institute, 2010.
[12] 闫林君,张经纬,罗奎.装配式多主梁钢-混组合梁桥的荷载横向分布研究[J].公路交通科技,2020,37(3):59-69.
[13] 周倩茹.城市钢混组合梁横向分布系数研究分析[J].城市道桥与防洪,2020(1):140-142;154.
[14] 黄平明.混凝土斜梁桥[M].北京:人民交通出版社,2000.
[15] 马凯.斜交板桥上部结构病害分析与加固方法研究[D].西安:长安大学,2014.
[16] 刘政伟,钱媛媛,邹黎琼.曲线钢箱梁支座反力分析及处理措施探讨[J].交通科技,2014(4):32-35.
[17] Deck A, R Silva, J. Canceri. Design and construction of high skew Super-T bridges[C]//8th Austroads Bridge Conference Proceedings. Sydney: IEEE, 2011.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: roadbridgeflood@163.com

