

文章编号: 1674—8247(2019)03—0083—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.03.018

椒江特大桥主桥设计研究

薛宪政

(中铁第五勘察设计院集团有限公司, 北京 102600)

摘要:椒江特大桥是杭州经绍兴至台州客运专线的控制工程,主桥采用(84+156+480+156+84)m钢桁斜拉桥,具备四线、宽桁、大跨、高速等特征。为保证该桥设计方案合理可行、经济美观,本文就该桥的桥梁结构型式、主梁结构类型、桥面系构造等进行综合比选。研究表明:(1)主跨采用480 m 1跨跨越习惯航迹线,满足通航、防洪要求和受力景观需要,减小船撞风险;(2)桥面布置采用四线双桁同层布置,优化线间距,节省引桥投资,减少建设规模;(3)桥面采用密横梁正交异性复合钢板桥面系,有效降低二恒大小,减小主桁宽度。
关键词:宽桁;结构型式;桥面构造;四线;双桁斜拉桥
中图分类号:U442.55 **文献标志码:**A

Research on Design of Main Bridge of Jiaojiang Long Span Bridge

XUE Xianzheng

(China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Beijing 102600, China)

Abstract: Jiaojiang bridge is the key project of Hangzhou-Shaotai-Taizhou passenger dedicated line, (84+156+480+156+84)m steel truss cable-stayed bridge is used for the main bridge. This bridge contains characters such as four tracks, wide truss, long span and high speed. In order to ensure the project to be feasible, practical and economical, this paper conducts series of comparison and selection on structural style of the bridge, designs of the main girder and structure of the deck. Research conclusions show: (1) The main span using 480m span crossing the customary track line meets the requirements of navigation, flood control and the stressed landscape needs, and the risk of boat collision is reduced; (2) The layout of bridge deck is four line double truss and same layer arrangement, the line space is optimized, the approach bridge investment is saved, the scale of construction is reduced; (3) The dense cross beam orthotropic composite steel deck is adopted for bridge deck, the secondary dead load is effectively reduced, and the width of main truss is reduced.

Key words: wide truss; structural type; bridge deck structure; four-track; dual-truss cable stayed bridge

1 工程概述

新建杭州经绍兴至台州铁路^[1](简称杭绍台铁路)位于浙江省中东部,线路起自杭甬客运专线绍兴北站,接入既有甬台温客运专线温岭站;椒江特大桥跨

越椒江,桥梁轴线与航道中心线方向的夹角为94°,根据交通部关于《新建铁路杭州经绍兴至台州线工程椒江特大桥航道条件与通航安全影响评价报告》评价意见,椒江特大桥主跨需1跨跨过习惯性航迹线,主跨跨度需480 m,通航净高按不小于38 m考虑。桥位下游

收稿日期:2018-04-18

作者简介:薛宪政(1983-),男,高级工程师。

引文格式:薛宪政. 椒江特大桥主桥设计研究[J]. 高速铁路技术,2019,10(3):83-87.

XUE Xianzheng. Research on Design of Main Bridge of Jiaojiang Long Span Bridge[J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(3): 83-87.

接泥塘山一号、二号隧道和台州中心站(高架站),桥位处线路标高受下游隧道埋深及台州中心站站房高度的控制。

2 主要技术标准

- (1) 铁路等级:客运专线。
- (2) 正线数目:四线,分别为杭绍台铁路左右线及预留沿海客运专线双线。
- (3) 线路纵坡:上行 1.3‰,下行 1.3‰。
- (4) 桥梁设计活载:ZK 活载。
- (5) 设计速度:250 km/h,预留 300 km/h 的行车速度。

3 桥梁结构形式选择

3.1 选择桥型遵循的原则

(1) 安全

桥跨布置需满足通航净空要求、防洪等对阻水率的要求,同时还需满足结构受力要求。

(2) 适用

大桥需满足时速 250 km/h,预留 300 km/h 的行车速度的功能要求,结构本身竖向刚度、强度、稳定须满足规范要求,并需满足旅客乘车舒适性要求。

(3) 经济

大桥方案经综合比选,经济性能应较好。

(4) 美观

桥址区河槽宽浅、河面宽达 1.5 km,桥址区视野开阔,地形没有大的起伏,根据台州市椒江区一江两岸的规划,桥型方案应与地型地貌环境协调,桥式方案应具有多通航孔功能,纵向应具有韵律感。

3.2 桥式方案^[2]

当跨度达 300 m 以上时,桥式一般选用钢桁拱和斜拉桥。钢桁拱桥有较好的刚度条件,但用钢量大、工程造价高,节点构造、受力复杂,且施工需采用吊索塔架辅助施工,施工期间稳定问题突出。

斜拉桥为柔性支撑体系结构,由于铁路,列车荷载大,运行安全性和平稳性要求高,结构刚度是设计的控制因素^[3]。

国外第一座现代高速铁路斜拉桥为 1997 年在日本建成的主跨为 133.9 m 的第二千曲川桥,为双线铁路桥,最高设计速度为 260 km/h,是世界首座高速铁路斜拉桥。

四线铁路斜拉桥大都采用钢桁斜拉桥结构型式,且多为三主桁形式。本桥受线路标高控制,桥下净空受限,钢箱梁斜拉桥净空不满足净空要求。故选取钢桁梁^[4]。据此,椒江特大桥主桥桥式布置为(84+156+480+156+84) m 钢桁斜拉桥。主桥桥式布置,如图 1 所示。

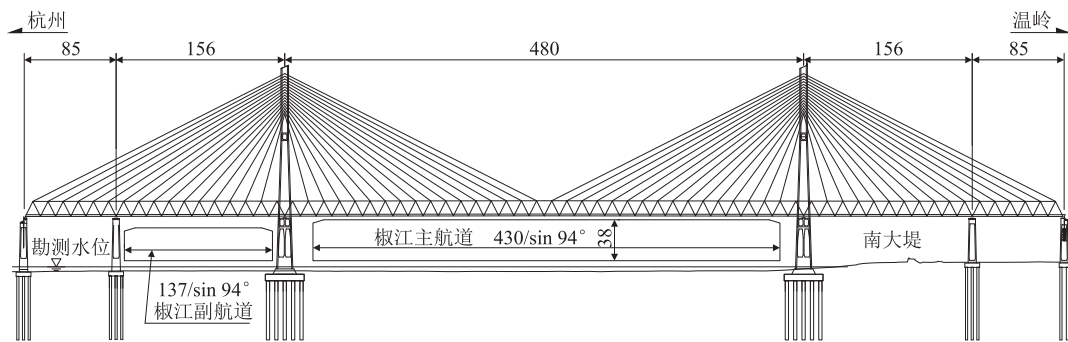


图1 连续钢桁斜拉方案布置示意图(m)

4 主桁横断面选择

我国目前在建或拟建大跨度四线合建铁路中,武汉天兴洲、南京大胜关、宁安城际安庆桥、合福客运专线铜陵桥均采用四线三桁结构体系。

当四线铁路按三片桁设计,桁宽按构造控制设计,中间两线线间距取 8.7 m;外侧预留沿海高速铁路左右线分别与杭绍台铁路左右线的线间距按最小构造控制取 5.3 m。主桁桁宽取 14.0 m,三片主桁的桁宽为

2×14 m。三片桁方案横断面布置,如图 2 所示。

我国目前在建或拟建大跨度四线合建铁路中,京沪高铁济南黄河桥、东新赣江铁路桥、贵广铁路北江桥等均采用 4 线 2 桁结构体系。

当四线铁路按两片桁设计,桁宽按构造控制设计,中间两线为杭绍台左右线,线间距最小值取 5.0 m,外侧预留沿海高速铁路左右线分别与杭绍台铁路左右线的线间距按最小构造控制取 5.3 m。考虑人行道栏杆外侧角钢支架的检修空间,桁宽取 24.3 m。二片桁方

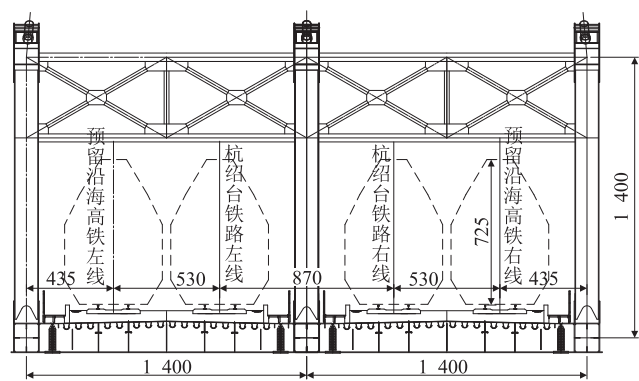


图 2 三片桁方案横断面布置示意图 (cm)

案横断面布置,如图 3 所示。

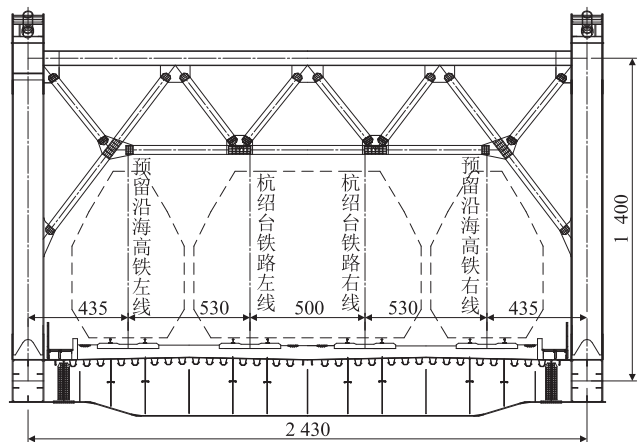


图 3 二片桁方案横断面布置示意图 (cm)

四线铁路钢桁斜拉桥二片桁、三片桁均有工程实例,其结构控制指标对比,如表 1 所示。

表 1 不同桁片结构指标对比表

结构体系		三片桁 (三角形桁)	两片桁 (三角形桁)
中跨跨中静活载 挠度/m	边桁	0.586	0.634
	中桁	0.590	
中跨跨中竖向挠跨比 (静活载)	边桁	1/819	1/758
	中桁	1/813	
中跨跨中挠度(考虑 温度影响)/m	边桁	0.649	0.699
	中桁	0.653	
中跨跨中竖向挠跨比 (考虑温度影响)	边桁	1/741	1/687
	中桁	1/735	
梁端转角/rad‰	边桁	0.986	1.036
	中桁	1.377	
塔顶水平位移/m		0.205	0.223
塔底活载弯矩/(kN·m)		429 277	459 530
横向位移值/mm		132	217
用索量/t		2 982	2 894
用钢量		31 317	30 169

从二片桁、三片桁方案综合对比结果可知,三片桁和二片桁结构的静活载(考虑温度影响)挠跨比均满足要求,三片桁的竖向刚度优于二片桁,相应塔顶位移

与塔底弯矩要小。三片桁主桁的横向刚度大于二片桁。但三片桁比二片桁用钢量及斜拉索用量均多,分别多 3.3% 和 3%。

二片桁较三片桁减小钢桁横断面总宽度,节省了两端引桥的用地规模,使线路更加顺畅。同时,三片桁方案的引桥双线分建,将会使基础工程量增加,从而增加总的投资,基于以上原因,椒江桥主桥考虑二片桁方案。结构受力更明确,桥面更紧凑,空间更开阔,并为大型机械养护和行车创造了良好的条件。

5 二片桁桥面系设计

宽桁结构主要有 4 种断面形式,如图 4(a)~(d) 所示。根据铁路限界的要求,各断面所需的主桁最小中心距依次为 27.0 m、29.1 m、28.1 m(检修道外置)和 24.3 m。图 4(a)~(c) 断面的横梁有吊杆或 K 撑支撑,横梁端弯矩小,有利于主桁腹杆的面外抗弯设计,但需较宽的主桁中心距,一般只适用于有竖杆的 N 式或华伦式主桁。图 4(d) 断面的主桁中心距明显小于前 3 种,可适用于任何形式的主桁,但由于横梁中间没有任何支撑,桥面横梁的端弯矩和跨中弯矩较大,主桁的腹杆一般需设计成箱形截面^[5]。

由于四线铁路荷载较大,且横梁跨径较大,梁端弯矩问题突出,相应腹杆杆端弯矩也较大。为分析宽桁的横向受力特性,建立静力分析模型,在横梁中间 20.0 m 范围内加载 10 kN/m 的线荷载,分析 4 种横梁的受力特性,横梁及腹杆弯矩,如图 5 所示。

从图中可以看出^[6]:

在相同的荷载作用下,图 4(a)、(b) 断面的横梁跨中弯矩明显小于图(c)、(d) 断面,说明吊杆对横梁的跨中起到了支撑作用。

同时,图 4(a)、(b) 断面的吊杆将一部分竖向荷载通过横联传递到上弦节点,需增大横联杆件的截面。从行车角度来看,由于吊杆布置在线路之间,线间距加大,增加引桥投资。

对于图 4(c) 断面,虽然横梁端弯矩较图 4(d) 小,但在 K 撑支点处弯矩较大,且腹杆在 K 撑支点处弯矩突变,对腹杆设计起控制作用的弯矩反而比图 4(a)~(b) 断面大。图 4(a)~(c) 断面只适用于 N 式和华伦式主桁,横向弯矩主要由主桁的竖杆承担,而竖杆在该方向上的截面高度受到主桁弦杆内宽的限制,给竖杆的设计带来很大的困难。因此,图 4(a)~(c) 断面不适合用于该桥的宽桁横断面。图 4(a)~(d) 横梁方案的比较结果,如表 2 所示。

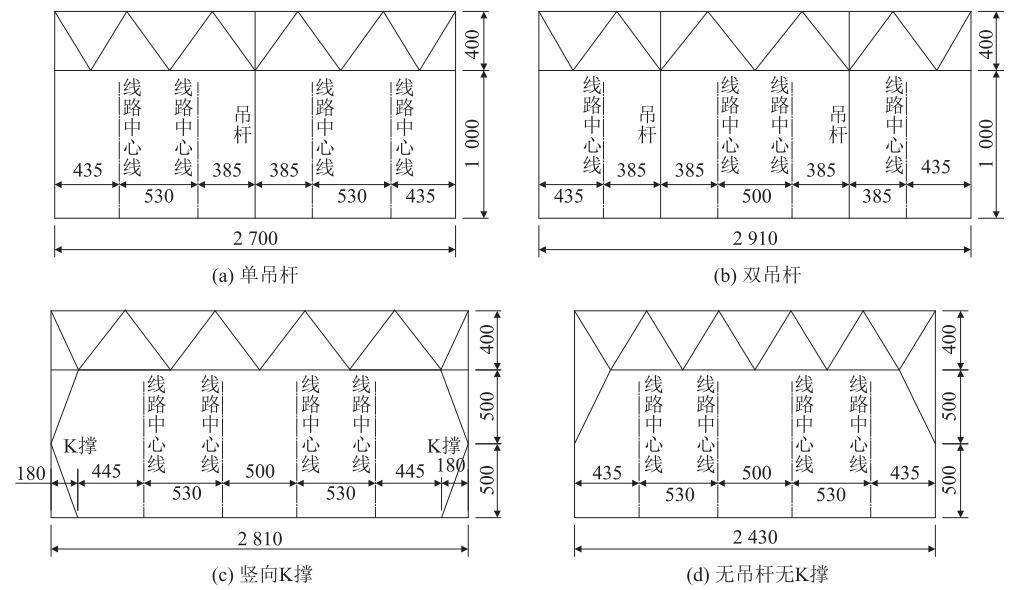


图 4 二片桁方案横断面型式 (cm)

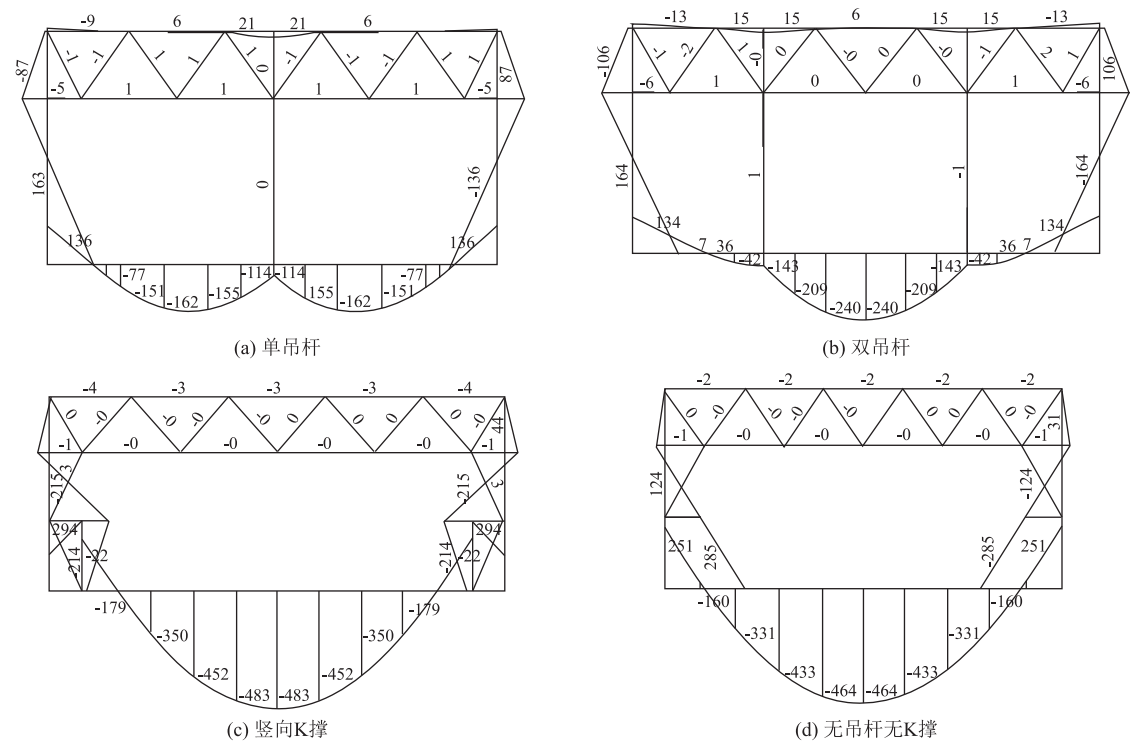


图 5 横断面弯矩图 (kN·m)

表 2 主梁横断面方案比较			
方案	优点	缺点	适合的桁式
a	吊杆加强了桥面系横梁的竖向刚度,桥面系横梁的端弯矩较小	拉大了桥面宽度,上平联横撑需要加强,桥上视野不开阔,隔断了杭绍台铁路两条线路的整体性	N 形桁式、华伦式桁
b	吊杆加强了桥面系横梁的竖向刚度,桥面系横梁的端弯矩较小	拉大了桥面宽度,上平联横撑需要加强,桥上视野不开阔,养护条件较差	
c	竖向 K 撑减小了桥面系横梁的端弯矩,改善了主桁的竖杆受力	需要较宽的桥面	
d	压缩了桥面宽度、结构紧凑简洁,桥面视野开阔,便于养护	相对于(a)、(b)、(c)方案,桥面系横梁相对计算跨度大	N 形桁式、华伦式桁、三角形桁

综合考虑铁路限界的要求、大型机械养护条件、空间视野、经济性、技术性等多重因素,主桁断面采用图4(d)断面形式。虽然图4(d)断面仍存在腹杆面外弯矩及横梁跨中弯矩较大的问题,但可通过对主桁桁式、桥面结构的研究,以及选择合适的横梁高度来解决。

对桥面采用纵横梁+砟桥面板结合或半结合组合结构形式、正交异性板+砟桥面板结合桥面、正交异性钢桥面进行了对比分析。若采用结合桥面,由于桥梁长度大,且在塔梁结合区存在较大的负弯矩区,在温度力的影响下,桥面板开裂成为一个无法避免的问题,影响桥梁的耐久性且难以维护。考虑到本桥梁承受荷载较大,采用了自重较轻、承载力较大的复合正交异性钢桥面系^[7]。

不锈钢板与钢桥面板结合形成复合钢板桥面系,充分利用不锈钢阻蚀特点,保证桥面耐久且无养护。

充分发挥不锈钢和桥梁钢各自的优点和长处,显著提高桥面的抗腐蚀能力和使用寿命,实现目前普通的防腐工艺难以达到的耐久性目标。

6 结论及建议

椒江特大桥选用斜拉桥桥式满足了桥位、通航及防洪和景观的要求。主梁采用二片桁钢桁梁,建筑高度低,竖向及横向刚度较大,满足了受力及四线高速铁路运营的需求。主桁采用二片桁有效减小了引桥的用地规模,降低工程总投资,主桁受力更加明确,桥面更紧凑,空间更开阔,并为大型机械养护和行车创造了良好的条件。桥面采用复合正交异性钢桥面系,不仅承载力较大,且有效减小了二期恒载,其良好的耐久性及免维护的优点值得推广。

参考文献:

- [1] 中铁第五勘察设计院集团有限公司. 杭州经绍兴至台州线初步设计鉴修[R]. 北京:中铁第五勘察设计院集团有限公司,2016.
China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd.
Preliminary Design of Hangzhou-Shaoxing-Taizhou Railway Construction

- [R]. Beijing: China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd., 2016.
- [2] 李永乐,苏茂材,王士刚,等. 大跨度钢桁梁铁路斜拉桥刚度参数敏感性分析[J]. 振动与冲击,2015,34(2):166-169.
LI Yongle, SU Maocai, WANG Shigang, et al. Sensitivity of Structural Stiffness Parameters of Sensitivity Analysis of Stiffness Parameters of Long-span Steel Truss Cable-stayed Railway Bridge[J]. Journal of Vibration and Shock, 2015, 34(2): 166-169.
- [3] 朱志虎. 钢桁加劲梁铁路斜拉桥竖向刚度分析研究[J]. 世界桥梁,2003,31(1):52-54.
ZHU Zhihu. Vertical Stiffness Analysis of Steel Truss Girder Railway Cable-stayed Bridge [J]. World Bridges,2003, 31(1): 52-54.
- [4] 艾宗良,马庭林,戴胜勇. 东新赣江特大桥主桥设计研究[J]. 铁道工程学报,2016,33(4):60-64.
AI Zongliang, MA Tinglin, DAI Shengyong. Research on the Design of the Main Bridge of Dongxin Ganjiang Bridge[J]. Journal Railway Engineering Society, 2016, 33(4): 60-64.
- [5] 瞿国钊. 思贤客大桥四线铁路宽桁斜拉桥关键技术研究[J]. 铁道工程学报. 2011,28(6):34-38.
QU Guozhao. Research on Key Technologies for Sixianjiao Four Tracks Railway Widetrussed Cable-stayed Bridge [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2011, 28(6): 34-38.
- [6] 王志英,徐召,王洛鑫,等. 济南长清黄河公路大桥主桥设计方案比选[J]. 桥梁建设,2016,46(4):97-100.
WANG Zhiying, XU Zhao, WANG Mingxin, et al. Comparison and Selection of Design Schemes for Main Bridge of Changqing Huanghe River Highway Bridge in Jinan [J]. Bridge Construction, 2016, 46(4): 97-100.
- [7] 戴胜勇,艾宗良,杨善奎. 客运专线4线双桁钢桁连续梁桥面系统设计研究[J]. 铁道标准设计,2009,53(8):38-40.
DAI Shengyong, AI Zongliang, YANG Shankui. Design and Research on Deck System of Four Line Double Truss Steel Truss Continuous Girder Bridge for Passenger Dedicated Line [J]. Railway Standard Design,2009, 53(8): 38-40.
- [8] 龚中平,戴利民,郑本辉. 椒江二桥主桥方案设计[J]. 公路,2010,55(3):56-59.
GONG Zhongping, DAI Limin, ZHENG Benhui. Conceptual Design of Main Bridge of Second Jiaojiang Bridge [J]. Highway, 2010, 55(3): 56-59.

(编辑:刘会娟 苏玲梅)