

跨长江黄河的高速铁路大跨度桥梁

高宗余

(中铁大桥勘测设计院有限公司,武汉 430050)

[摘要] 建设中的京沪高速铁路和京广客运专线铁路,跨长江、黄河的4座大跨度桥梁都采用了钢桁梁结构,且均为多线铁路桥或公铁两用大桥,承载能力大、列车运行速度高。诸多新材料、新结构、新工艺获得运用。

[关键词] 高速铁路大跨度桥梁;钢桁梁结构;新技术

[中图分类号] U445 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2009)01-0017-05

桥梁是高速铁路、客运专线重要的工程结构,对于高速列车运行的平稳性、旅客乘坐舒适性和安全性具有重要影响。目前,京沪高速铁路、京广客运专线正在建设,其中共有4座大桥跨越长江、黄河,包括武汉天兴洲公铁两用长江大桥、南京大胜关长江大桥、郑州黄河公铁两用大桥、京沪高速铁路济南黄河大桥。上述大跨度桥梁均采用了能够提供良好刚度条件的钢桁梁结构,设计中采用了多项新材料、新结构、新工艺。

1 武汉天兴洲公铁两用长江大桥

武汉天兴洲公铁两用长江大桥是京广客运专线铁路跨越长江的通道,既是武汉铁路枢纽内的第二过江通道,同时也是武汉市城市三环线的过江通道。大桥位于武汉长江公路桥下游9.5 km的天兴洲江段,通行4线铁路,6车道城市道路。4线铁路中的2线为京广客运专线,其设计车速为200 km/h,为I级干线铁路。

主桥采用98 m + 196 m + 504 m + 196 m + 98 m的双塔三索面斜拉桥,全长1 092 m,如图1所示。斜拉索按扇形布置。加劲梁采用钢桁梁,双层桥面,上层为公路,下层为铁路。

斜拉索采用平行高强钢丝索体系,镀锌钢丝抗拉强度1 670 MPa, $\phi 7$ mm。在主塔两侧各布置16



图1 武汉天兴洲公铁两用大桥主桥

Fig. 1 Main span of Wuhan Tianxingzhou highway and railway bridge

根,全桥共192根,斜拉索截面设计类型共分8种,最大为451 - $\phi 7$ mm。索最长约272 m。梁上索距为14 m,锚固于主桁上弦节点处,横桥向三片主桁均布置斜拉索,形成三索面。斜拉索锚固于塔端主塔上部塔壁。

钢桁梁为公路桥面板与主桁相结合的板-桁结合梁结构,主桁断面见图2。由于桥面较宽,荷载大,为了减小杆件内力、简化横联结构,提高横向刚度,主桁设计为三片桁结构,桁宽30 m、桁高15.2 m、节间长度14 m。主桁杆件钢材:Q 370q E,最大板厚50 mm。主桁杆件弦杆均采用带加劲肋的箱形截面,斜杆和竖杆采用箱形或工字形截面。

上层公路桥面在桥梁两端各168 m范围内设计

[收稿日期] 2008-11-12

[作者简介] 高宗余(1964-),男,教授级高级工程师,中铁大桥勘测设计院有限公司总工程师,博士,研究方向为各类大跨桥梁、跨海桥梁工程设计;E-mail: gaozy@brdi.com.cn

为钢筋混凝土板,中间 756 m 长范围内为钢正交异性板结构,混凝土板和钢正交异性板均和钢桁架的上弦杆顶板连接而共同受力。端部公路桥面设计采用混凝土板,使其既作为行车道板,又以较重的自重来避免边墩及辅助墩支座产生拉力。

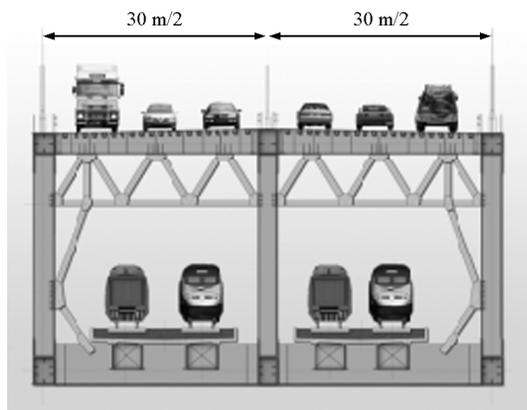


图2 主桁断面图

Fig. 2 Cross section of steel truss of Tianxinzhou Bridge

主塔设计为倒“Y”型钢筋混凝土结构,以适应景观及结构方面三主桁、三索面布置的需要。塔身全高 190 m。在两主塔下横梁顶面与桁梁之间设置阻尼约束,该阻尼约束采用流体阻尼和磁流变液阻尼的混合控制方案,其目的是减小列车制动及地震时产生的顺桥向作用力和位移,但不阻碍温度变化

时产生的位移变化,可实现多种作用效应下结构位移-力响应的综合控制。主塔基础采用 $\phi 3.4$ m 钻孔灌注桩,承台采用双壁钢吊箱围堰施工。

主桥钢梁架设采用整节段拼装的方式,整节段架设的节间由上下弦杆、斜杆、竖杆、铁路纵横梁及平联、公路正交异性钢桥面板和临时杆件组成。一个节间最大吊重约为 650 t,这种施工方法在中国钢桁桥梁施工中首次采用。

2 南京大胜关长江大桥

南京大胜关长江大桥是京沪高速铁路全线的控制性工程,也是沪汉蓉铁路与新建南京铁路枢纽的重要组成部分,同时预留南京市双线地铁。其中,京沪高速铁路设计速度目标值 300 km/h。大桥位于南京长江大桥上游约 20 km 处,距下游的南京三桥约 1.55 km。

大桥两岸的长江大堤之间,正桥与南岸引桥共 3.674 km,按 6 线设计(高速双线、沪汉蓉双线、南京地铁双线),北岸 5.599 km 按京沪高速双线、沪汉蓉双线设计。

正桥采用大跨度钢桁梁桥,全长 1 615 m,基本覆盖了全部水域范围,主桥采用 108 m + 192 m + 336 m + 336 m + 192 m + 108 m 的 6 跨连续钢桁梁拱桥,北岸浅水区采用二联 2 m × 84 m 连续钢桁梁结构布置,见图 3。



图3 南京大胜关长江大桥效果图

Fig. 3 Nanjing Dashenguan Yangtze River Bridge rendering

钢桁梁采用三片主桁结构,桁间距为 15 m,4 线铁路合建于桁内,沪汉蓉双线和京沪客运专线分置于上下游侧,地铁布置于主桁外的横梁悬臂上,如图 4 所示。

主桥桁架的两端各 240 m 为平弦桁架,高 16.0 m,节间长 12.0 m,平弦与拱跨间上弦以变高桁连接;下弦用加劲弦连接。因主墩附近拱桁的斜、竖杆交角较小,在 3 个主墩两侧各 4 个节间长度改为 15 m。桁式结构布置采用 N 型桁架。

钢桁拱拱顶桁高 12 m,从拱趾到拱顶总高约 96 m;杆件最大轴力约 93 000 kN。主桁杆力较大的杆件选用 Q420qE 等级钢材,最大板厚选用 60 mm,其余杆件选用 Q370qE 等级钢材,杆件最大重量 116 t。桥面采用钢正交异性板整体桥面结构,由纵肋(梁)、横肋(梁)及其加劲的钢桥面板组成。桥面结构的横肋(梁)与桥面板及主桁的下弦杆焊接在一起组成板桁组合结构。钢桁拱采用墩旁托架固定双伸臂施工,墩顶吊索塔架辅助安装。主墩采用 46

根 $\phi 2.8$ m 的钻孔桩,其最大桩长 112 m。

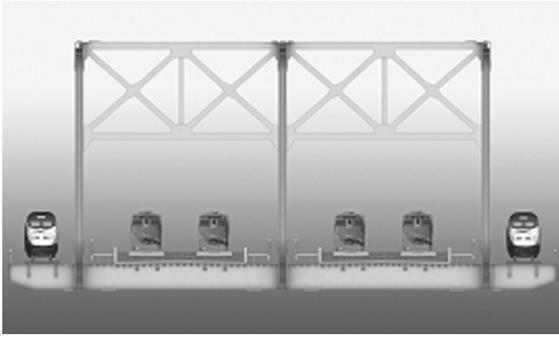


图 4 大胜关主桥断面图

Fig. 4 Cross section of steel truss of Dashengguan Bridge

3 郑州黄河公铁两用大桥

郑州黄河公铁两用大桥是京广客运专线及河南郑州 - 新乡城际公路跨越黄河的特大公铁两用桥。主要技术标准:一是铁路,双线客运专线,设计速度 350 km/h。二是公路,一级公路,双向 6 车道,设计速度 100 km/h。

两岸大堤之间为公铁合建段,长约 9.2 km,采用上下层布置方式,公路在上层,铁路在下层。主桥分两联布置,总长 1 684 m。第一联采用 120 m + 5 m × 168 m + 120 m 六塔单索面部分斜拉连续钢桁结合梁方案。第二联采用 5 m × 120 m 连续钢桁结合梁方案,见图 5、图 6。

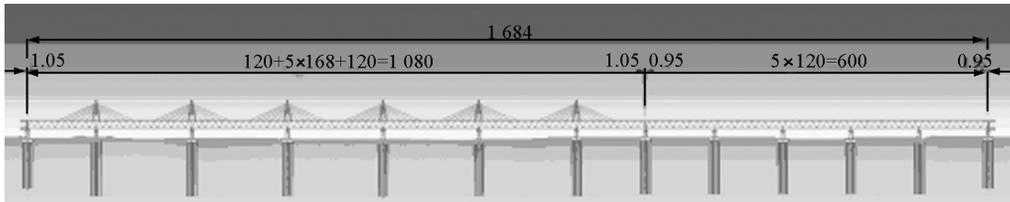


图 5 郑州黄河公铁两用大桥主桥跨度布置图

Fig. 5 Layout of Zhengzhou Yellow River highway and railway bridge



图 6 主桥效果图

Fig. 6 Main span rendering

上层公路桥面宽 32.5 m,设双向 6 车道,下层铁路桥面为双线客运专线。主桁采用无竖杆的三角形桁式,桁高 14 m,节间距 12 m。横向布置为三片桁,中桁垂直,边桁倾斜,下弦桁间距 8.5 m,上弦桁间距 12 m,见图 7。

斜拉索为单索面布置,桥塔布置在桥梁中心线上,索、塔与中主桁相接,桥塔采用钢箱结构,塔高 37 m,主塔立面布置为“人”字形,每个主塔布置有 5 对斜拉索。铁路桥面为钢正交异性板结构(有砟桥面),公路桥面为预制混凝土板。

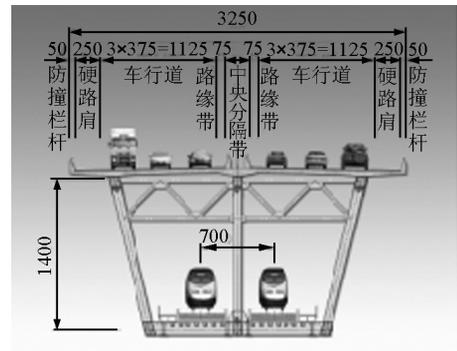


图 7 斜拉桥横断面图(单位:cm)

Fig. 7 Cross section of cable-stayed bridge

滩地铁路引桥采用 40.7 m 预应力混凝土简支箱梁,公路引桥采用 40.7 m 预应力混凝土连续箱梁,公路在上层、铁路在下层,滩地公路引桥在两岸黄河大堤附近平面弯出,公路、铁路分别立交跨越黄河大堤。

主桥施工方案:斜拉桥钢桁梁采用顶推法架设,公路面混凝土桥面板分块预制,钢桁梁顶推完成后安装钢塔、混凝土桥面板、张拉斜拉索,浇注湿接头,形成结合桁梁斜拉桥体系。

4 京沪高速铁路济南黄河大桥

京沪高速铁路济南黄河大桥是京沪高速铁路在济南跨越黄河的重要工程。大桥在两岸临黄大堤之间为京沪高速铁路和太原青岛客运专线4线共建。



图8 京沪高速铁路济南黄河大桥效果图

Fig. 8 Jinan Yellow River Bridge rendering of Beijing-Shanghai high-speed railway

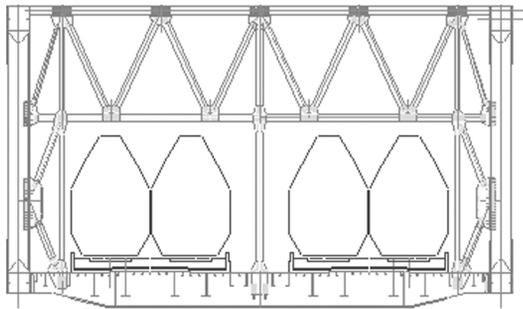


图9 主桥横断面图

Fig. 9 Cross section of steel truss

主桥钢桁梁采用先梁后拱的方式施工,即先悬臂拼装平弦钢桁梁,该部分合龙后再拼装拱架部分。

5 高速铁路大跨度钢桥技术特点

京沪高速铁路、京广客运专线铁路设计速度目标值均为350 km/h,根据桥位处线路行车条件及结构特点,各桥设计速度目标值如表1所示。大跨度桥梁的结构恒载大,且大多通行多线铁路或公路,活载重量也大。武汉天兴洲公铁两用长江大桥设计活载为4线铁路和6车道公路,南京大胜关长江大桥设计活载为4线铁路加2线轻轨,均是目前世界上设计荷载最大的桥梁。各桥的跨度和设计活载见表2。

表1 设计速度目标值

Table 1 Objective design speeds

项目	天兴洲	大胜关	郑州黄	济南黄
	大桥	大桥	河桥	河桥
设计速度目标值/(km·h ⁻¹)	200	300	350	350

主桥跨度布置为112 m + 3 m × 168 m + 112 m,采用等高度的刚性梁柔性拱方案,见图8。刚性主梁采用带竖杆的等高度三角形桁架,柔性拱肋按圆曲线布置,主桥横向采用两片主桁,桥面采用正交异性钢桥面板,有砟桥面,见图9。

表2 各桥的跨度和设计活载

Table 2 Spans and live loads

项目	天兴洲	大胜关	郑州黄	济南黄
	大桥	大桥	河桥	河桥
跨度/m	504	336	168	168
铁路	2线客运专线 2线I级铁路	2线客运专线 2线I级铁路	2线客运 专线	4线客运 专线
公路	6车道公路	/	6车道公路	/
轻轨	/	2线轻轨	/	/
活载值 /(t·m ⁻¹)	35.1	34.7	19.1	25.6

针对“大跨、高速、重载”的特点,在几座大桥的设计中,开展了多项科学研究,采用了多项新技术。

5.1 高强度钢材

高速铁路大跨度桥梁荷载重,钢梁杆件的内力大。南京大胜关长江大桥主桁杆件最大轴力达到93 000 kN,需要采用更高强度级别的Q420钢。

根据主桁结构不同部位的受力状况,选用不同强度等级的钢材。轴力在55 MN以下的主桁杆件以及联结系、桥面结构采用Q370qE材质的钢板。轴力超过55 MN的大型杆件采用高强度、高韧性、良好焊接性能的Q420qE钢板。

5.2 新结构

1) 三片主桁空间桁架结构。由于通行多线铁路或公路荷载,南京大胜关长江大桥、武汉天兴洲公铁两用大桥和郑州黄河公铁两用大桥均采用了三片主桁的空间桁架结构。采用设置三片主桁的桁架结构减小了主桁单根杆件内力,有利于杆件的制造和运输、架设。减小了横向跨度,有利于桥梁的横向受力。

2) 铁路钢正交异性板整体桥面。桥面结构和

的平顺性是桥梁能否满足高速行车性能的关键因素,传统的明桥面系统已不能满足时速 200 km 以上的高速行车要求。整体桥面结构能满足高速铁路的运行要求,与钢桁梁明桥面体系相比,在结构构造与受力上更为复杂。通过对多种整体桥面结构进行的分析比选,上述桥梁均采用整体桥面结构。

南京大胜关长江大桥、郑州黄河公铁两用大桥、京沪高速铁路济南黄河大桥均采用了钢正交异性桥面板结构。

3) 组合钢桁梁结构。天兴洲大桥公路桥面采用了正交异性钢板与混凝土板混合桥面的新结构。公路桥面两端 168 m 为预制钢筋混凝土板,目的是克服边墩及锚墩的负反力,其余区段为钢正交异性板桥面。郑州黄河公铁两用大桥公路桥面采用预制混凝土板,铁路桥面采用钢正交异性板,与钢桁梁形成组合结构共同受力。

4) 桥上大位移轨道温度调节器和梁端伸缩调节装置直接关系到高速列车通过桥梁时的行车安全性和舒适度。武汉天兴洲公铁两用长江大桥、南京大胜关长江大桥和郑州黄河公铁两用大桥均采用了伸缩量 800 ~ 1 000 mm 的桥梁轨道温度调节器和梁端伸缩装置。

5) 大吨位铸钢球形支座。多线铁路大跨度桥梁恒、活载重量大。由于桥梁跨度大,支座的位移量也相当大;因列车速度提高,支座位移速度相应增加,所以支座除满足承载力要求外,应具有良好的位移和转动性能、减隔振性能。经专题研究,大吨位支座大量采用了铸钢球型支座,以耐久性能优异的聚

四氟乙烯-不锈钢为摩擦付,以球形支承面滑动实现转动位移,以平面支承面滑动实现线位移。取消了橡胶体,提高了支座的使用寿命。南京大胜关长江大桥采用了承载力达 180 MN 的铸钢球型支座。

6) 大吨位阻尼器。天兴洲公铁两用长江大桥采用了大吨位流体阻尼器和磁流变液阻尼器的混合阻尼控制方案。其中,流体阻尼器的最大阻尼力为 2 000 kN,磁流变液阻尼器的最大阻尼力为 400 kN。流体阻尼器能有效地抑制主梁的纵向地震反应,而由流体阻尼器和磁流变液阻尼器组成的混合控制系统,既可有效地抑制主梁的纵向地震反应,又能有效地抑制因列车制动引起的主梁的纵向振动反应。

5.3 新工艺

根据结构特点及地形、水文、运输条件,各桥的施工方案多有创新。如天兴洲公铁两用长江大桥施工中钢梁架设采用整节段拼装的方式;南京大胜关长江大桥钢桁拱采用墩旁托架固定双伸臂施工,墩顶吊索塔架辅助安装技术;郑州黄河公铁两用大桥主桥钢桁梁采用顶推法施工等。

6 结语

上述 4 座大桥目前都在建设中。其中天兴洲公铁两用长江大桥已于 2008 年 9 月 10 日合龙,目前正在进行桥面工程施工,预计明年上半年即可通车。大胜关长江大桥正在进行钢梁架设,郑州黄河大桥和京沪高速铁路济南黄河大桥即将开始钢梁架设。我国首批建设的跨越长江和黄河的高速客运铁路大桥。

Large-span high-speed railway bridges across Yangtze River and Yellow River

Gao Zongyu

(China Zhongtie Major Bridge Reconnaissance & Design Institute Co., Ltd., Wuhan 430050, China)

[Abstract] The steel truss structure is adopted for all of these bridges of the under construction Beijing-Shanghai and Beijing-Guangzhou High Speed Railways across Yangtze River and Yellow River, and they are multy railway lines or rail-cum-road bridges, with heavy loading capacity and high railway operation speeds. Some new materials, new structures and new workmanship are applied accordingly.

[Key words] large-span high-speed railway bridge; steel truss structure; new technology