

文章编号: 1674—8247(2019)05—0041—04  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.05.009

# 蒙华铁路龙门黄河大桥桥式方案设计研究

徐洪权

(中国铁路设计集团有限公司,天津 300142)

**摘 要:**蒙华铁路龙门黄河大桥是全线的重点、难点和控制性工程。文章重点介绍了该桥的方案构思,提出中承式拱桥和悬索桥两种可行的桥式方案。对两种桥式方案进行比选分析,在满足重载铁路桥梁使用功能和防洪、通航、立交等要求的前提下,力求桥梁结构新颖,经济合理,与周围环境和景观协调,最终选定 202 m 中承式拱桥为推荐方案。

**关键词:**重载铁路;桥式;中承式拱桥;悬索桥

**中图分类号:**U442.5<sup>+</sup>4      **文献标志码:**A

## Design and Research of the Style Schemes of Longmen Yellow River Bridge on Haolebaoji-Ji'an Railway

XU Hongquan

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300142, China)

41

**Abstract:** Longmen Yellow River Bridge on Haolebaoji-Ji'an Railway is the key, difficult and control project of the uhole line. In this paper, the design of the bridge are introduced, two feasible bridge schemes are put forward, which are half-through arch bridge and suspension bridge. Through comparison and analysis of the two schemes, on the premise of satisfying the requirements of using function, flood control, navigation and interchange of heavy haul railway bridges, the 202 m half through arch bridge is selected as the recommended scheme, considering a novel structure and reasonable economy as well as coordinating with the surrounding environment and landscape.

**Key words:** heavy haul railway; bridge style; half-through arch bridge; suspension bridge

## 1 工程概述

### 1.1 工程概况

新建蒙西至华中地区铁路煤运通道工程,是国家“十二五”规划纲要中的重大交通基础设施,全长 1 837 km,拟在陕西和山西省交界处的禹门口地区跨越黄河,大桥示意图,如图 1 所示。桥址处河道较顺直,河床平坦且基岩裸露,无边滩,河道水流方向与线

路正交。河道底宽约 90 m,上口宽约 150 m,小里程侧岸坡较为平坦,上覆新黄土,大里程侧岸坡较为陡峭,基岩出露,岸边高出河底约 50 m,此处流量水位不控制桥下净高。

### 1.2 主要技术标准

- (1) 铁路等级:国铁 I 级,重载铁路标准。
- (2) 正线数目:双线;线间距:4.0 m。
- (3) 线路平、纵断面:本桥位于直线和 -4‰的纵

收稿日期:2018-09-03

作者简介:徐洪权(1981-),男,高级工程师。

引文格式:徐洪权. 蒙华铁路龙门黄河大桥桥式方案设计研究[J]. 高速铁路技术,2019,10(5):41-44.

XU Hongquan. Design and Research of the Style Schemes of Longmen Yellow River Bridge on Haolebaoji-Ji'an Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(5): 41-44.

坡上。

(4) 轨道:采用有砟轨道,轨下枕底道砟厚度为350 mm。

(5) 设计活载:中活载(2005)之 ZH 荷载,轴重系数  $Z = 1.2^{[1-2]}$ 。

(6) 设计速度:120 km/h。

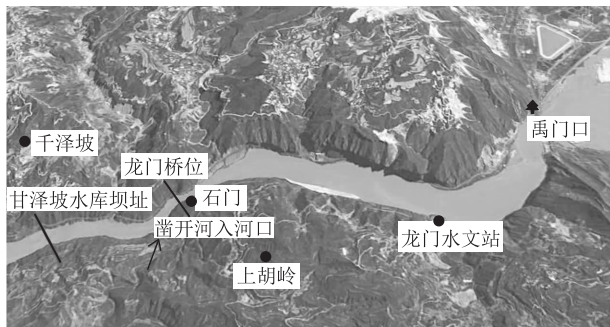


图1 龙门黄河大桥桥位示意图

### 1.3 桥式方案构思

蒙华铁路作为国内首条轴重达30 t级的长大干线

重载铁路,其桥梁设计与普通铁路相比,列车运行速度相对较低,但列车荷载重、参振质量大、冲击幅度大、频次高,要求结构具有更高动强度、更大支承刚度、更好的抗疲劳性能和后期变形小等要求。结合桥址处的建桥条件,确定桥式方案的设置原则有:全桥一跨跨越黄河,河道内不设桥墩;满足上跨龙虎公路的立交要求和黄河桥的通航条件;结构构造简洁、刚度满足使用要求;结构疲劳性能优秀;经济合理等。综合以上因素,提出202 m的中承式拱桥和悬索桥方案进行比选。

## 2 中承式拱桥方案

### 2.1 桥式布置及结构构造

全桥拱肋计算跨度为202 m,矢高50.5 m,矢跨比1/4,中承式拱桥总体布置如图2所示。拱轴线采用悬链线,拱轴系数  $m = 1.6$ 。主拱截面为钢管混凝土桁式拱,每片拱肋由4根 $\phi 900$  mm的钢管组成,钢管内灌注C50微膨胀混凝土,采用等宽变高形式,桁宽3.0 m,拱脚处桁高7.6 m,拱顶处桁高5.6 m,两榀拱肋间设9道横撑。

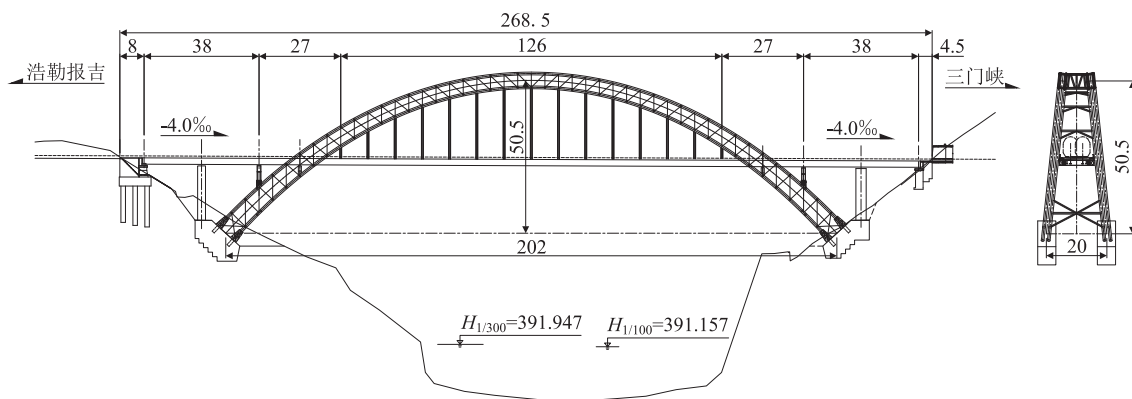


图2 中承式拱桥总体布置示意图(m)

全桥设15对纵向双吊杆,吊杆间距9.0 m,采用300 MPa超高疲劳应力幅的低应力钢绞线拉索体系。吊杆上端锚固于拱肋锚梁,下端销接于桥面悬挑横梁。

桥面系主梁为多跨连续的钢-混结合梁,支承跨度为 $(2 \times 19.0 + 2 \times 13.5 + 14 \times 9 + 2 \times 13.5 + 2 \times 19.0)$  m,两侧桥台分别接路堑和隧道。主梁设钢双主纵梁、钢横梁、钢小纵梁和混凝土桥面板。桥面板采用预制安装后浇湿接缝,不设预应力。桥面系连续主梁的支座布置形式与多跨连续梁相同,固定支座设在三方侧拱座的支墩上,浩方侧拱座支墩上设置阻尼器。

两侧桥台均采用一字台,浩方台采用柱桩,三方台为明挖基础。拱座上方设混凝土的框架墩、拱肋上设钢支墩和钢横梁。

### 2.2 主要计算结果

(1) 全桥结构自振基频为0.476 3 Hz,对称平弯,

满足 $1/(0.011 L)$ 的要求。

(2) 1/4拱跨处静活载作用下的挠度差值为108 mm,挠跨比为1/1 870。

(3) 桥面系主梁在静活载作用下,跨中最大挠跨比为1/2 069;梁端转角1.38‰;横向力作用下中跨最大横向位移为38.5 mm,挠跨比为1/5 247。

(4) 桥台处支反力较小,最小为1 037 kN。

(5) 拱肋钢管最大压应力为195 MPa,拱肋混凝土在拱脚处出现最大拉应力为3.5 MPa,其余部位均小于2.0 MPa,拱脚部位需要采用钢纤维混凝土。拱肋按单管和格构柱计算的强度安全系数均在1.41以上,稳定安全系数均在1.72以上。

(6) 桥面系主梁考虑桥面板折减后,钢梁最大正应力为200.1 MPa,剪应力为69 MPa,主纵梁疲劳应力最大,为72.1 MPa,均小于相应限值;桥面板最大压应

力为 15.5 MPa,最大拉应力为 2.4 MPa,需加强负弯矩区域的钢筋配置。

(7)吊杆强度安全系数在 4.36~4.92 之间,最大拉力为 1 737 kN,疲劳应力幅在 168~182 MPa 之间。

### 2.3 施工方案

结合桥位处地形地貌,本桥采用缆索吊装、斜拉扣挂法施工<sup>[3-5]</sup>,浩方侧可设置缆塔和扣塔合一的塔架,三方侧可设置塔架,亦可设置岩锚。主要步骤如下:

(1)完成塔架、锚碇和拼装场等临时工程施工和边坡防护。

(2)施工桩基、承台、桥台、拱座、拱上支墩。

(3)依次吊装各拱肋节段、张拉扣索并最终合龙拱肋,顶升拱肋混凝土后拆除扣索。

(4)依次吊装各桥面系钢纵横梁节段、安装相应吊杆,并最终合龙后安装桥面板。

(5)施工附属设施,拆除缆索和塔架,全桥静动载试验等。

## 3 悬索桥方案

设计过程中考虑到桥址所在区域的环境特征,强调工程与环境和谐理念,并考虑未来区域规划,提出了外形轻盈柔美,与环境协调的悬索桥方案<sup>[6]</sup>。

### 3.1 桥式布置及结构构造

悬索桥由于其跨越能力大、与周围环境的协调性以及构件组合的灵活性而在世界各国得到迅速发展,其跨度也不断增长。由于铁路荷载比较大的特点以及悬索桥本身属于柔性结构,因此,目前世界上还没有重载铁路专用的悬索桥。

尽管各国规范对桥梁的竖向和横向刚度作出了比较详尽的规定,但一方面都建立在中小跨度桥梁的动力分析与实测实验,基本不能用于大跨度桥梁;另一方面悬索桥本身具有的柔性,使其刚度问题显得异常突出。

经过初步方案对比,选择出刚度较大的下承式钢桁梁悬索兜底的悬索桥方案,如图 3 所示。

悬索桥主缆跨度 202 m,主缆垂度为 31.5 m,垂跨比为 1/6.4,加劲钢桁梁主跨为(13.5+202+13.5) m,采用主缆悬挂在主桁梁底部的布置方式。两侧索塔高度均为 42.5 m,采用门式框架型索塔,通过后背拉索将锚碇和索塔形成整体受力体系,小里程侧后背索水平夹角约为 34°,长度约为 65 m,大里程侧后背索水平夹角约为 29°,长度约为 40 m,为了避免锚碇与隧道和路堑发生干扰,将锚碇向外偏转 5°设计。

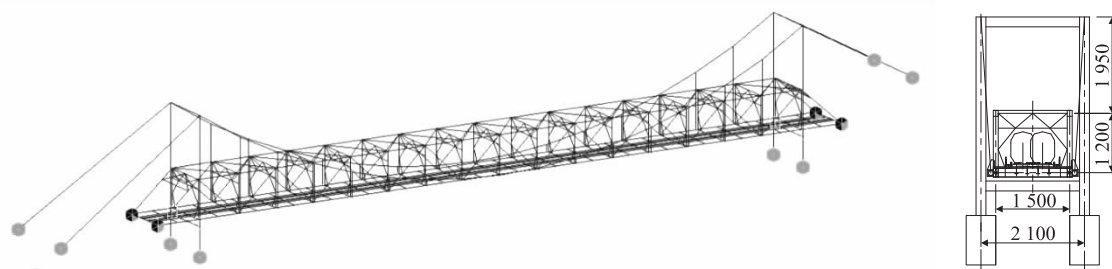


图3 悬索桥方案布置示意图(cm)

主桁为两片桁架,采用有竖杆三角形桁(华伦式),桁高 12.0 m,节间长度 12.5 m,主桁中心距 15 m。上弦杆采用带肋箱型截面,下弦杆采用箱型截面。斜腹杆采用箱型截面和 H 型截面。

### 3.2 主要计算结果

(1)全桥结构自振基频为 0.659 Hz,为主梁对称横弯。

(2)主梁跨中竖向挠度为 210 mm,挠跨比为 1/962;梁端转角为 1.73‰;横向力作用下中跨最大横向位移为 70.9 mm,挠跨比为 1/2 849。

(3)反力计算:索塔轴力在 -2~169 MN 之间,最大纵向弯矩为 84 MN·m,横向弯矩为 45 MN·m。

(4)锚碇最大水平力为 64 MN,最大竖向力为 26 MN。

(5)桥台支座反力在 4~-14 MN,出现 14 MN 的负反力,需要设置抗拔支座。桥塔处最大支反力为 26 MN,未出现负反力。

(6)主缆安全系数为 3.84,采用 55 股 127φ5 平行钢丝。

### 3.3 施工方案<sup>[7-8]</sup>

结合桥位处地形地貌和黄河水流不丰沛的情况,本桥主梁采用缆索吊装,整体节段的逐段刚接法。主要步骤如下:

(1)完成临时工程和拼、吊装场地的施工,同时完

成桥塔和主缆的施工。

(2)依次将各钢桁梁整体节段运至拼装场,组拼完毕运至吊装场后,利用缆索吊机吊运、并对称架设加劲梁,同步安装吊杆,直至合龙。

(3)施工附属设施,拆除临时吊运缆索,全桥静动载试验等。

4 桥式方案比较

对中承式拱桥和悬索桥分别从美观、经济、动力性能、技术先进性以及施工与养护方面综合比较,如表 1 所示。

表 1 竖向刚度计算表

桥式	中承式拱桥	悬索桥
河道、航运	一跨跨越,河中不设墩	一跨跨越,河中不设墩
美观性	美观	美观
用钢梁	14.42 t/m	18.2 t/m
结构刚度	横、竖向刚度较大	横、竖向刚度较小
动力性能	第一阶为对称平弯,动力性能较好	第一阶为对称平弯,动力性能好
技术创新性	重载铁路中尚属首次运用	重载铁路中尚属首次运用
环境影响	噪声小	噪声较小
施工难易度	采用缆索吊装、斜拉扣挂法,施工技术成熟	采用缆索吊装,整体节段的逐段刚接法,施工难度较大,需要开发吊运机具
后期养护维修	双吊杆换索方便,钢结构防腐工作量较大	主缆需要特殊养护,更换困难,钢结构防腐工作量
其他	墩台无负反力且支座吨位小	桥台和主塔存在很大的负反力,支反力也非常大,需要特殊设计的大型抗拔支座

5 结论

(1)中承式提篮拱桥具有较好的静动力性能,竖向刚度、横向刚度、梁端转角、自振频率等各项指标均满足规范要求;梁端支座支反力储备较为充足,不会出现负反力;上下部结构连接构造简单,传力路径清晰明确;拱肋构件轻巧,曲线造型美观;技术成熟、应用广泛、施工技术成熟可靠。

(2)悬索桥方案刚度较弱,梁端转角超出规范容

许值,支座负反力很大,缆索与主梁的连接构造受力复杂,可供参考的成功经验甚少。

(3)经以上综合比选,桥式方案推荐采用中承式提篮拱桥方案。研究成果应用于铁路山区大型跨河桥梁设计及重载铁路中承式钢管拱桥设计。

参考文献:

[1] TB 10625-2017 重载铁路设计规范[S].  
TB 10625-2017 Code for Design of Heavy Haul Railway[S].

[2] 杨文东,韩皓.山西中南部铁路 30t 轴重重载技术方案设计研究[J].铁道标准设计,2015,59(4):1-5.  
YANG Wendong, HAN Hao. Approach to Technical Design of 30 t Axle Load Heavy Haul Railway in South Central Shanxi[J]. Railway Standard Design, 2015, 59(4): 1-5.

[3] 许三平.重载铁路桥梁设计的几点思考[J].铁道标准设计,2016,60(7):77-79.  
XU Sanping. Study on the Design of Heavy Haul Railway Bridges[J]. Railway Standard Design, 2016, 60(7): 77-79.

[4] 陈宝春.钢管混凝土拱桥(第二版)[M].北京:人民交通出版社,2007.  
CHEN Baochun. Concrete Filled Steel Tube Arch Bridge (Second Edition)[M]. Beijing: China Communications Press, 2007.

[5] 陈宝春.钢管混凝土拱桥发展综述[J].桥梁建设,1997,27(2):8-13.  
CHEN Baochun. Summary of Development of CFST Arch Bridges[J]. Bridge Construction, 1997, 27(2): 8-13.

[6] 王忠彬,沈锐利,唐茂林.悬索桥钢桁架加劲梁施工方法分析[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2006,19(1):117-121.  
WANG Zhongbin, SHEN Ruili, TANG Maolin. Analysis of Construction Method of Steel Truss Stiffening Girder of Suspension Bridge[J]. Journal of Shijiazhuang Tiedao University (Natural Science Edition), 2006, 19(1): 117-121.

[7] 沈世钊.悬索结构设计[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.  
SHEN Shizhao. Design of Suspended Cable Structure[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2006.

[8] 徐岳,张劲泉,鲜正洪.悬索桥施工控制方法的研究[J].西安公路交通大学学报,1997,17(4):48-52.  
XU Yue, ZHANG Jinqun, XIAN Zhenghong. Study on Construction Control Method of Suspension Bridge[J]. Journal of Xi'an Highway Jiaotong University, 1997, 17(4): 48-52.

(编辑:赵立红 白雪)