

文章编号: 1674—8247(2018)05—0084—04

## (100 + 180 + 100) m 大跨连续刚构桥设计

冯亚成

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710043)

**摘要:**大跨连续刚构桥采用墩梁固结的结构形式,取消了大吨位支座,节省了造价,方便施工,且结构动力性能优异,是大跨度桥梁中十分有竞争力的桥梁类型,在山区跨越深沟大壑或河流时广泛采用。某跨越黄河峡谷的铁路桥梁主桥采用预应力混凝土连续刚构,孔跨布置为(100 + 180 + 100) m。主梁采用单箱单室预应力混凝土箱梁,主墩采用薄壁空心桥墩,主墩基础采用明挖满灌基础。采用有限元分析法对主桥进行了整体静力、动力分析计算,并进行了车桥耦合动力分析。结果表明,该桥在施工和运营阶段各项指标均满足相关规范要求,结构安全可靠,具有良好的列车行车安全性和平稳性,动力性能符合要求。可为同类桥梁结构提供参考。

**关键词:**铁路桥梁; 预应力混凝土; 大跨连续刚构; 设计

**中图分类号:** U442.5      **文献标志码:** A

## Design of (100 + 180 + 100) m Large Span Continuous Rigid Frame Bridge

FENG Yacheng

(China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an 710043, China)

**Abstract:** Thanks to the adoption of the consolidated structure for pier and beam, large tonnage bearing is cancelled for large-span continuous rigid frame bridge, cost is also saved, and a convenient construction could be got. This bridge type is a very competitive bridge style, and it is very popular when bridge designer counters deep groove. A main railway bridge across the Yellow River valley adopts prestressed concrete continuous rigid frame type, and its span arrangement is (100 + 180 + 100) m. The upper main girder adopts a single concrete box girder with a single ventricular, the lower main pier adopts thin wall voided pier, and its abutments use open-cut foundation. Static and dynamic analyses and calculations are carried out for the main bridge by finite element analysis, and vehicle-bridge interaction analysis is also conducted. The results indicate that the bridge is safe and reliable, and every index meet the relevant requirements of codes. It has sound security and riding quality, and the dynamic performances meet requirements. The design of the bridge could provide references for similar structures.

**Key words:** railway bridges; prestressed concrete; large-span continuous rigid frame; design

### 1 工程概况

大跨连续刚构桥采用墩梁固结的结构形式,取消了大吨位支座,不仅节省了造价,方便施工,而且结构

动力性能优异,是大跨度桥梁中十分有竞争力的桥梁类型,在山区跨越深沟大壑或河流时更受工程师们的青睐<sup>[1-6]</sup>。

某铁路黄河桥,桥址处地形狭窄,黄河沟谷呈典型

收稿日期: 2018-05-21

作者简介: 冯亚成(1983-),男,高级工程师。

引文格式: 冯亚成. (100 + 180 + 100) m 大跨连续刚构桥设计[J]. 高速铁路技术, 2018, 9(5): 84-87.

FENG Yacheng. Design of (100 + 180 + 100) m Large Span Continuous Rigid Frame Bridge [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(5): 84-87.

的“V”字型沟谷。河流两岸的陡立坡面基岩裸露,在黄河右岸,峡谷区段陡坡顶部地形相对平缓,局部发育有深切的沟谷,在黄河左岸,地形起伏较大,坡顶为黄土丘陵,坡面浑圆。该桥主桥全长 382.4 m,最大墩高

92 m,桥梁孔跨布置为(100+180+100)m,采用预应力混凝土连续刚构结构形式,是典型的高墩大跨结构,主桥立面布置如图 1 所示。

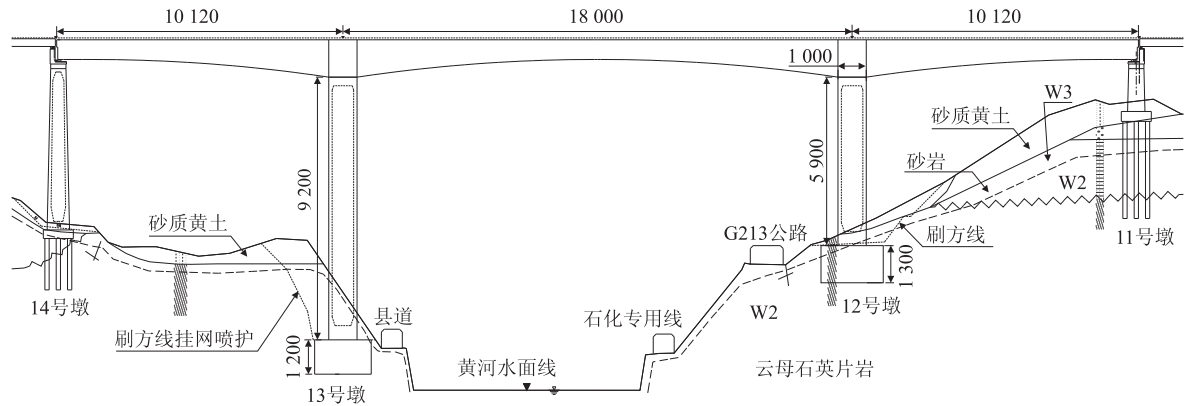


图1 (100+180+100)m连续刚构立面布置示意图(cm)

1.1 基本资料

- (1)线路资料:主桥位于平坡、直线上。
- (2)气象资料:冬季12月份最冷,最低气温-18.2℃;7月份最热,极端最高气温可达40.7℃,昼夜温差悬殊;年平均降水量281.2mm,降雨量的70%集中在第三季度,年平均气温9.3℃,年平均蒸发量1567.2mm,年平均风速0.9m/s,最大积雪深度8cm,最大季节冻结深度102cm。
- (3)地震参数:桥址处地震动峰值加速度值为0.20g(相当于地震基本烈度八度),地震动反应谱特征周期0.45s。
- (4)耐久性设计:梁部及墩台结构碳化环境为T2等级,环境土对混凝土具硫酸盐化学侵蚀性,环境作用等级分别为H1、L2。桥梁各部位混凝土材料的选用、配合比及施工、养护等工艺遵照TB 10005-2010《铁路混凝土结构耐久性设计规范》执行。

1.2 技术标准

- (1)铁路等级:国铁I级。
- (2)设计速度:120km/h。
- (3)正线数目:单线。
- (4)牵引种类:电力牵引。
- (5)设计活载:中-活载。
- (6)轨道类型:有砟轨道,正线钢轨60kg/m。
- (7)设计使用年限:主体工程正常使用下100年。

2 主桥结构设计

2.1 主梁设计

主梁采用C55混凝土,为单箱单室、直腹板变高

度预应力混凝土箱梁,横断面如图2所示。中支点处梁高13.0m,跨中及边跨梁端处梁高6.8m,梁体下缘除中跨合龙段2m及边跨端部12.2m梁段为等高直线段外,其余按二次抛物线变化,二次抛物线方程为 $y=6.2x^2/84^2+6.8(x=0\sim84\text{m})$ 。梁顶道砟槽宽4.9m,箱梁顶宽9.0m,底宽8.0m,支座处截面加宽至9.0m。箱梁横断面对称中心位置顶板厚45~70cm(不计桥面坡的影响),中支点顶板加厚至100cm,底板厚跨中60~115cm,支点处150cm,腹板厚65~120cm,支点处170cm。箱内顶板处设120cm×40cm梗肋,底板处设40cm×40cm梗肋。

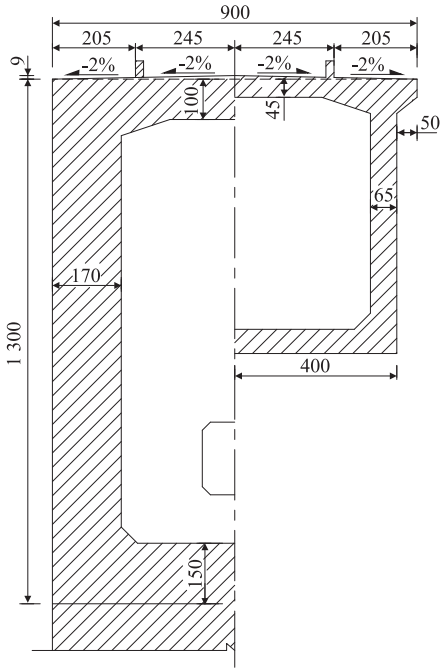


图2 主梁横断面示意图(cm)

全梁在中支点处设置 180 cm 横隔墙,边支座处设 200 cm 厚横隔板,全桥共 6 道横隔板,横隔板开孔洞供人行通过。腹板设  $\phi 10$  cm 通风孔。挡砟墙与梁体一起成型灌注。为方便进入箱内,梁端顶板悬臂长 40 cm。

2.2 主梁预应力

梁体设置纵桥向和竖向预应力。梁体横桥向较窄,经横向环框内力分析,配置直径 20 mm,间距 10 cm 的 HRB400 钢筋即可。纵向预应力均采用标准抗拉强度为 1 860 MPa 的钢绞线,顶板束、腹板束采用 21- $\phi 15.2$  mm 的钢绞线,其余钢束采用 19- $\phi 15.2$  mm 的钢绞线,圆形锚具。梁体腹板竖向采用  $\phi 25$  mm 的预应力混凝土用螺纹钢筋(PSB830 精轧螺纹钢)。

2.3 下部结构

该桥位于峡谷风口区,基本风压  $W_0=500$  Pa。薄壁空心墩能以较少的材料获得较大的截面惯性矩,为充分发挥材料性能,且方便施工,主桥 12 号、13 号墩墩身采用钢筋混凝土矩形薄壁空心墩,C40 钢筋混凝土结构。12 号、13 号主墩墩顶纵横向尺寸为 10 m  $\times$  9 m,墩身纵向直坡,横向放坡。墩壁纵向等厚为 1.2 m,横向向外坡坡度为 20:1,内坡坡度为 30:1,墩壁横向变厚度,墩身最薄处为 1.25 m,上、下实体段高度分别为 3.0 m 和 5.0 m,最大墩高 92 m。12 号桥墩墩身构造示意如图 3 所示。11 号边墩采用钢筋混凝土矩形实体墩,14 号边墩采用钢筋混凝土矩形空心墩。

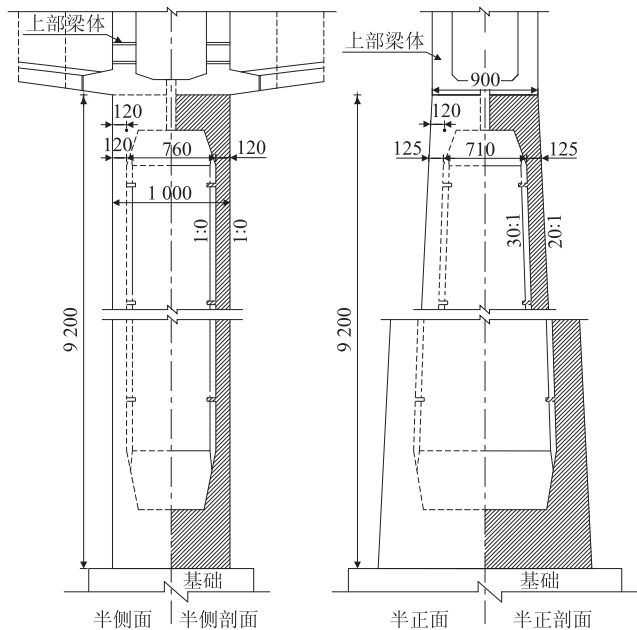


图3 12号桥墩墩身构造示意图(cm)

基础持力层为云母砂质片岩,地质情况较好,根据表层砂质黄土的覆盖厚度不同,12 号、13 号主墩基础

采用明挖满灌基础,11 号、14 号边墩采用  $\phi 1.5$  m 的柱桩设计。

2.4 主要工程数量

本桥的主要工程数量如表 1 所示。

表1 (100+180+100)m连续刚构主要工程数量表

项目部位	梁部	桥墩	承台	主墩明挖基础	边墩基础
混凝土/m <sup>3</sup>	11 568	12 997.1	1 044	16 408	1 245.8
预应力钢筋/t	675	-	-	-	-
普通钢筋/t	1 302.7	1 373	87	252	29 316

3 结构计算

3.1 静力计算指标

静力计算采用 BSAS4.22 平面杆系单元建模计算,全桥共分为 127 个梁单元,其中桥梁梁体 108 个单元,桥墩 19 个单元,主墩基础采用固结,主墩与梁体采用主从约束。

(1) 单线活载作用下,梁体最大竖向挠度 26.5 mm,挠跨比为 1/6 792;梁端竖向转角 0.33‰。

(2) 有砟轨道铺设后中跨的徐变上拱值为 -34.1 mm,边跨为 2 mm。

(3) 主梁最大温度变形,中跨为 40.7 mm,边跨为 15.3 mm。

(4) 主梁横向变形:列车摇摆力、风力、温度力作用下,梁体水平挠度 14.82 mm,横向挠跨比为 1/12 145。

施工阶段,在最不利组合下,顶板最大压应力为 10.27 MPa,最大拉应力为 0.46 MPa,底板最大压应力为 11.78 MPa,最大拉应力为 0.61 MPa。运营阶段,在最不利组合下,顶板最大压应力为 14.29 MPa,最小压应力为 2.10 MPa,底板最大压应力为 13.71 MPa,最小压应力为 2.01 MPa。梁体最大主压应力出现在中支点截面附近,最大值为 15.7 MPa,最小主应力为 -2.39 MPa(附近为 -1.86 MPa),出现在主墩的中支点截面,主+附作用下梁体主应力包络图如图 4 所示。各项指标均满足规范要求。

3.2 动力特性

采用桥梁专用分析软件 Midas-Civil 2012 建立主桥(100+180+100)m 连续刚构的动力分析模型。两主墩采用固结约束,两过渡墩采用 6 个方向的自由度对承台进行约束。

本桥的前 10 阶段动力特性,如表 2 所示。

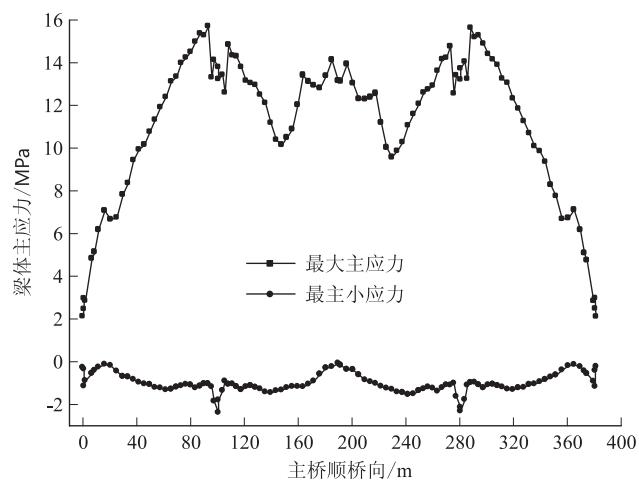


图 4 主 + 附作用下梁体主应力包络图

表 2 桥梁前 10 阶段动力特性描述

振型阶数	周期/s	频率/Hz	振型特征
1	1.821	0.549	主桥横桥向振动
2	1.478	0.677	主桥顺桥向振动
3	1.306	0.766	主桥横桥向振动
4	1.105	0.985	主桥横桥向振动
5	0.842	1.188	14 号边墩顺桥向振动
6	0.786	1.272	主桥竖向振动
7	0.765	1.307	主桥横桥向对称振动
8	0.530	1.885	主桥横桥向反对称振动
9	0.459	2.232	主桥竖向反对称振动
10	0.412	2.427	主桥竖向对称振动

由表 2 可以看出,桥梁 1 阶段横向振动周期 1.8 s,1 阶段顺桥向振动周期 1.48 s,1 阶段竖向振动 0.79 s,相对顺桥向和竖向振动,横向振动偏弱。

4 车桥耦合动力仿真分析

根据车-线-桥耦合振动分析理论,针对(100+180+100)m 连续刚构桥,采用空间有限元方法建立全桥动力分析模型,对该桥的空间自振特性进行了计算。同时,对该桥在 HXD 牵引 C70 货车以及韶山 SS7 机车+提速客车组作用下的车桥空间耦合振动进行了分析,评价该桥的动力性能以及列车运行的安全性与舒适性,为大桥设计工作提供参考依据。

分析结果表明,在 HXD 牵引 C70 货车以速度 60~100 km/h、韶山 SS7 机车+提速客车组以 60~140 km/h 通行时,列车行车安全性和运行平稳性(舒适性)满足要求,其动力性能符合要求。

5 桥梁施工

5.1 施工工艺

主梁采用悬臂浇筑法施工,挂篮计算重为 1 600 kN。全桥梁部共分为 119 个梁段,中支点 0 号块长 15 m,一般梁段长度分别为 3 m、3.5 m、4 m 和 4.5 m,边中跨合龙段长度均为 2.0 m。

5.2 降低施工风险的措施

(1) 上部结构施工

本桥 13 号刚构墩墩高 92 m,梁体距勘测时水库水位约 120 m,高墩大跨的施工具有一定风险,施工时需加强监控监测工作。

(100+180+100)m 连续刚构处于水库下游 1.5 km 处,属峡谷地带,大里程侧边墩高 59 m,为减小施工风险、方便施工,设计时采用了较小的边/中跨比(0.56),以期减小边跨现浇段的长度,减小施工难度。

设计中主要从降低边跨施工难度的角度考虑,对桥梁的合龙顺序进行优化。采用“先中后边”的合龙顺序,不仅可以使两个“T”型的静定结构早日形成“π”型超静定构造,增加结构的安全冗余,而且在“π”型超静定结构的基础上超打一个 3 m 的边跨梁段也更安全,也进一步减小了边跨现浇段的长度。降低施工风险措施如图 5 所示。

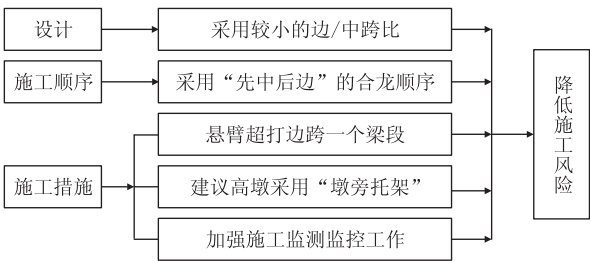


图 5 降低施工风险措施图

(2) 明挖基础施工

12 号、13 号主墩明挖基础紧邻路边,需浇筑混凝土体量大,尤其是 13 号桥墩靠近路边,为最大限度减少施工对周围公路的干扰,保证施工时道路的安全与通畅,12 号、13 号墩明挖基础采用分三次的“跳仓法”分区开挖施工。

6 结论

(100+180+100)m 单线铁路连续刚构桥为目前  
(下转第 92 页)

FAN Qi'en. Analysis of Construction Section Division's Influence on Utilization Ratio and Cost of Tunnel Abandoned Ballast[J]. Railway Engineering Cost Management,2011,26(4):1-4.

[4] 通线(2012)8001(2014 局部修订版) 铁路线路防护栅栏[S].

Tong Xian(2012)8001 (partially revised in 2014) Railway Protective Fence [S].

[5] 黄一民. 铁路线路防护栅栏的设置与施工中的问题及对策[J]. 铁道建筑技术,2015,32(06):76-79.

HUANG Yimin. Setting of Railway Lines Protective Fence and the Problems and Its Countermeasures During Construction[J]. Railway Construction Technology,2015,32(06):76-79.

(编辑:赵立红 白雪)



(上接第 87 页)

国内单线铁路混凝土桥梁的最大跨度。本文介绍了大桥的结构设计、主要工程量指标、主要技术指标、车桥耦合动力仿真分析结论,并从施工角度出发,预先采用了设计手段降低施工风险。该桥的设计可为类似的铁路桥梁设计研究提供借鉴和思路。

参考文献:

[1] 范立础. 桥梁工程(上册)[M]. 北京:人民交通出版社,2001.

FAN Lichu. Bridge Engineering (Volume 1) [M]. Beijing: China Communications Press, 2001.

[2] 马庭林,陈克坚,徐勇. 南昆铁路清水河大桥预应力连续刚构主桥施工设计[J]. 桥梁建设,1997,27(3):69-74.

MA Tinglin, CHEN Kejian, XU Yong. Construction Design of the Main Bridge of the Prestressed Concrete Continuous Rigid Frame of the Qingshuihe Bridge on Nanning-Kunming Railway [J]. Bridge Construction,1997,27(3):69-74.

[3] 刘钱,向学建,杨飞. 大跨径混合梁连续刚构桥边中跨比及墩高性能研究[J]. 公路交通科技:应用技术版,2013,30(10):247-251.

LIU Qian, XIANG Xuejian, YANG Fei. Study on the Mid-span

Ration and Pier Performance of Long-span Hybrid Beams with Continuous Rigid Frame [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development: Application Technology Edition. 2013, 30(10):247-251.

[4] 吴俊骅,刘汉锡,王惠队,等. 连续刚构桥主梁设计参数优化方法研究[J]. 铁道科学与工程学报,2017,14(7):1473-1480.

WU Junguo,LIU Hanxi, WANG Huidui, et al. Study on Optimization Method for Design Parameters of Main Beam of Continuous Rigid Frame Bridge[J]. Journal of Railway Science and Engineering,2017, 14(7):1473-1480.

[5] 李俊龙,陈列,游励晖,等. 沪昆高速铁路高墩大跨连续刚构桥设计研究[J]. 高速铁路技术,2017,8(3):73-76.

LI Junlong, CHEN Lie, YOU Lihui, et al. Research on Design of High Pier and Large Span PC Continuous Rigid Frame Bridge on Shanghai-Kunming High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology,2017,8(3):73-76.

[6] 何庭国,鄢勇. 遂渝铁路新北碚嘉陵江大桥设计[J]. 桥梁建设,2006,36(S2):26-29.

HE Tingguo,YAN Yong. Design of New Beibei Jialing River Bridge on Suining-Chongqing Railway [J]. Bridge Construction,2006,36(S2):26-29.

(编辑:赵立红 白雪)