

文章编号: 1674—8247(2018)02—0053—04

济青高速铁路(40+70+70+40)m槽型连续梁设计研究

吴大宏

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300142)

摘要:槽型连续梁的优点是能够最大限度地降低线路纵断面,节约投资。国内槽型梁应用较晚,在建的济青高铁(40+70+70+40)m槽型连续梁将成为国内外跨度最大的高速铁路双线预应力混凝土槽型连续梁。为推进连续槽型梁在铁路桥梁中的应用,为类似的桥梁设计提供参考,本文充分研究了桥面布置、温度荷载、横向计算边界条件、车桥耦合动力分析等槽型梁关键设计参数。研究表明:(1)采用把人行道放在边箱顶的截面布置。(2)提出了运营阶段的温度荷载加载模式。(3)研究了跨中横框六片腹板下弹性支撑刚度。(4)确定了支反力在支点横梁六片腹板处的分配比例。(5)列车运行安全性和平稳性满足规范要求。

关键词:槽型连续梁;桥面布置;温度荷载;横向计算边界条件;车桥耦合动力分析

中图分类号:U448.21⁺3 **文献标志码:**A

Research on the Design of (40+70+70+40)m Continuous Trough Girder of Ji-Qing High-speed Railway

WU Dahong

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300142, China)

Abstract: The continuous trough girder has advantages in maximally lowering the line profile and saving investment. After completion, the (40+70+70+40)m continuous trough girder of Ji-Qing high-speed railway will be a double track prestressed concrete continuous trough girder with the longest span at home and abroad. For promoting the application of continuous trough girder in railway bridges, key design parameters such as the layout of bridge deck, temperature load, lateral boundary condition, vehicle-bridge coupling dynamic analysis are fully studied, which can provide reference for similar bridge designs. Research conclusions: (1) Placing the sidewalk slab on the top of the side box. (2) The loading mode of temperature under operation stage is put forward. (3) The elastic support stiffness at the six web plates of the mid-span frame is researched. (4) The distribution ratio of the supporting force at the six web plates of the cross beam is determined. (5) The results of the bridge meet the requirements of traffic safety and stability.

Key words: trough continuous girder; bridge deck layout; temperature load; transverse calculation boundary condition; vehicle-bridge coupling dynamic analysis

为了推进铁路桥梁的科技水平向前发展,在济青高速铁路设计时采用了(40+70+70+40)m有砟轨

道预应力混凝土槽型连续梁。采用安全可靠的槽型连续梁方案,能最大限度的降低线路纵断面,减少

收稿日期:2017-09-25

作者简介:吴大宏(1975-),男,教授级高级工程师。

基金项目:中国铁路设计集团有限公司科技开发课题(721771)

引文格式:吴大宏. 济青高速铁路(40+70+70+40)m槽型连续梁设计研究[J]. 高速铁路技术,2018,9(2):53-56.

WU Dahong. Research on the Design of (40+70+70+40)m Continuous Trough Girder of Ji-Qing High-speed Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(2): 53-56.

投资^[1-2]。

英国在1952年建成的单线铁路桥罗什尔汉桥是世界上最早的预应力混凝土槽型梁,跨度48.6 m。日本新干线第二丘里跨线桥是目前已建成的最大跨度的铁路简支槽型梁,跨度61.4 m。瑞士里兹跨隆河公路桥,采用变高度槽型梁,跨度达到143 m。国内槽型梁的应用较晚,于上世纪80年代初开始将槽型梁应用于铁路桥梁,目前已建成的或正在建设的最大跨度有48 m单线槽型梁、32 m双线槽型梁和(40+64+40)m单线槽型连续梁等^[3-4]。本桥建成之后,将成为国内外跨度最大的高速铁路双线预应力混凝土槽型连续梁。

为推进槽型连续梁在铁路桥梁中的应用,设计者对桥面布置优化、温度荷载、横向计算边界条件、车桥耦合动力分析等进行了充分的研究。

1 桥面布置及结构尺寸优化

本梁两侧分别接24 m、32 m简支箱梁,箱梁顶宽11.6 m,梁体中心线处高度为2.784 m。为与两侧简支梁顺接,桥面布置如图1所示。这种桥面布置的缺点是:①主梁截面全宽尺寸较大,横向配束困难,抗扭刚度较小;②桥墩尺寸较大,造价较高;③横向尺寸与相邻简支梁变化突兀,景观效果差;④两个边箱受太阳直射,非线性温差对结构受力影响较大,对边箱上缘压应力的影响达7 MPa^[5-6]。

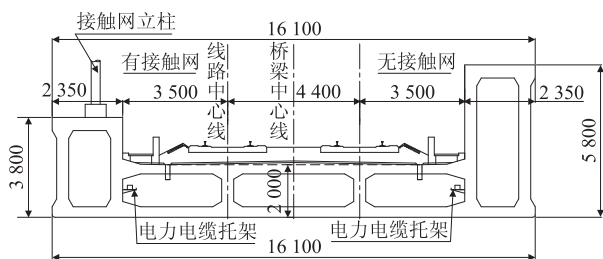


图1 人行道放在中箱顶桥面布置方案示意图(mm)

通过把人行道放在边箱顶对桥面布置进行优化,优化后的桥面布置如图2所示。这种桥面布置的优点是:①大大减小了主梁、主墩的横向尺寸;②人行道对边箱顶起到隔热层的作用,大大降低了非线性温差对结构受力的影响;③行车道梁高从2.0 m优化到1.6 m(相应跨度普通连续梁中支点处梁高5.89 m,中跨跨中及边跨直线段梁高为3.59 m),进一步优化了线路纵断面。

优化后主要构造尺寸:支座中心线至梁端0.7 m,梁长(40.7+70+70+40.7)m,全长221.4 m。主梁(边箱)梁高3.5~5.5 m,梁顶由支轴向跨中按圆曲线

变化,曲线半径为207.64 m。行车道梁(中箱)高1.6 m。腹板宽度由跨中(或边支点)的40 cm变化至中支点的45 cm(仅在腹板变化段按线性形式变化)。梁顶全宽14.5 m,底板宽度13.8 m。边箱两侧腹板与顶底板相交处均采用圆弧倒角过渡。边箱顶板标准厚度0.6 m,在支点倒角位置线性变化至0.7 m,中箱顶板厚度0.3 m,在支点倒角位置线性变化至0.4 m,底板厚度0.35 m,在支点倒角位置线性变化至0.45 m。

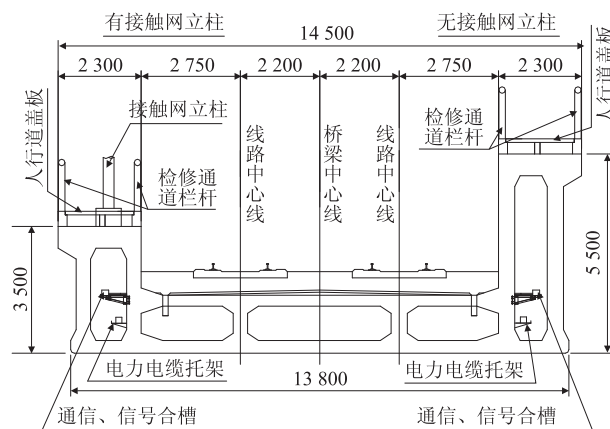


图2 人行道放在边箱顶桥面布置方案示意图(mm)

2 温度荷载

根据桥址处气象条件、合龙温度,梁体按均匀升温25℃、降温-25℃计算,非线性温度变化应按TB 10092-2017《铁路桥涵混凝土结构设计规范》^[7]附录B取值。对于运营阶段主梁截面环框计算,由于边箱顶有人行道盖板作为隔热层,中箱顶铺设道砟,考虑到人行道盖板及道砟的隔热作用有利于降低非线性温差对结构受力的影响,可根据梁顶裸露面积所占的比例对边、中箱顶非线性温差进行折减,故日照模式下边、中箱顶 T_0 均可按10℃考虑,日晒侧阳面腹板按10℃计,阴面腹板按5℃计。寒潮则统一按内外温差10℃考虑。运梁车及架桥机验算考虑裸梁状态 T_0 取20℃。温度荷载加载模式如图3所示。

3 横向计算边界条件

3.1 跨中截面

横向受力分析可按照被支承在主梁腹板中心线下缘的箱形框架计算^[8]。计算模型如图4所示。

为确定各腹板下弹性支承的刚度:①通过在BSAS纵向计算模型跨中位置施加单位力,计算获得六片腹板底的总竖向弹簧刚度。②通过建立Midas板单元模型获得六片腹板位置的挠度比,然后按此比例将总弹簧刚度分配给相应的腹板底弹性约束^[9-10]。例如:跨

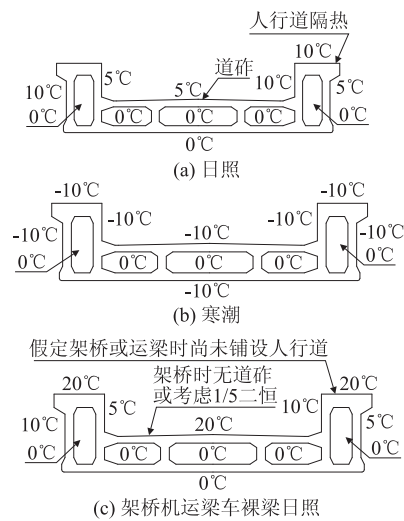


图3 温度荷载加载模式

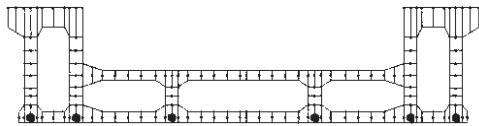


图4 环框模型图

中横框六片腹板位置的挠度比为7:7:8:8:7:7,则得到各腹板的刚度比为1/7:1/7:1/8:1/8:1/7:1/7。
③应用 Adina 建立实体有限元模型,对 Midas 梁单元及板单元模型的计算结果进行校核,如图5所示。

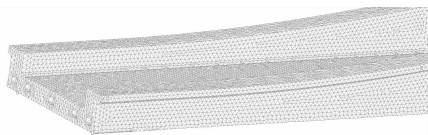


图5 实体元模型

3.2 支点横梁

支点横梁的边界条件根据实际支座布置确定。
横梁计算的要点在于确定支点反力在横梁6片腹板上的分配比例。采用 midas FEA 建立全桥实体元模型^[11],如图6、图7所示,读取实体模型中六片腹板相对应的剪力(通过单元应力积分并求和获得)。剪力分配比例部分计算结果如表1所示。

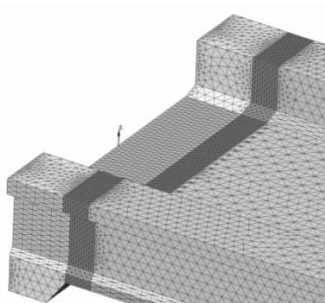


图6 端横梁

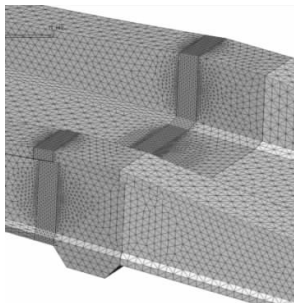


图7 中横梁

表1 支反力在各腹板上的分配比例计算结果

	腹板编号	1	2	3	4	5	6
端横梁	自重	3.26	3.47	1	1	3.47	3.26
	二期	1.14	2.01	1	1	2.01	1.14
	静活载	1.49	2.04	1	1	2.04	1.49
	支座沉降	3.26	3.47	1	1	3.47	3.26
	梯度升温	3.26	3.47	1	1	3.47	3.26
	横梁重	3.26	3.47	1	1	3.47	3.26
中横梁	自重	3.68	4.73	1	1	4.73	3.68
	二期	2.55	3.65	1	1	3.65	2.55
	静活载	2.74	4.33	1	1	4.33	2.74
	支座沉降	3.68	4.73	1	1	4.73	3.68
	梯度升温	3.68	4.73	1	1	4.73	3.68
	横梁重	3.68	4.73	1	1	4.73	3.68

4 车桥耦合动力分析

应用中南大学高速铁路建造技术国家工程实验室研发的列车-轨道-桥梁系统随机振动分析软件 TBPROB,在广义概率密度演化随机振动理论的框架下,对济青高速铁路(40+70+70+40)m有砟轨道预应力混凝土槽型连续梁进行了列车-轨道-桥梁系统耦合随机动力学分析研究。计算过程中:

- (1)车桥耦合动力计算轨道不平顺采用德国低干扰轨道不平顺谱,波长范围1~150 m。
- (2)车辆模型:假设列车每节车辆的车体、转向架、轮对均为刚体,那么车体与转向架、转向架与轮对之间的连接以弹簧阻尼器来模拟,蠕滑力按线性计算,暂不考虑弹簧、阻尼的非线性特性;轮对、转向架和车体均作微振动;轮对与钢轨接触采用线性化的赫兹弹簧接触。基于弹性系统动力学总势能不变值原理,建立空间车辆总势能的表达式。

(3)轮轨关系:在处理轮轨接触问题时,轮轨法向力采用应用广泛的非线性 Hertz 弹性接触理论模型。因非线性弹簧显著增加振动分析的计算机时和计算难度,尤其是直接对车桥系统振动进行频域分析时,采用非线性弹簧刚度模型几乎是不可能的。因此,大多数情况下对轮轨接触非线性弹簧刚度进行线性化处理。

(4)有砟轨道模型:钢轨以空间梁单元进行模拟,钢筋混凝土轨枕视为刚体,考虑其竖向、横向、纵向和绕纵轴的转角运动,而对下部道床结构,则以钢轨扣件为作用点简化为点质量来模拟,钢轨与轨枕的垫片、轨枕与道床、道床板与底座之间的道砟层均等效成线性弹簧阻尼器,用线性弹簧刚度和弹簧阻尼进行模拟。

(5)桥梁模型:桥梁和桥墩均采用空间梁单元建模,地基对桥墩桩基的约束采用等效弹簧刚度、阻尼来模拟;桥梁支座根据支座类型以弹簧阻尼器来模拟;所

有构件之弹性模量 E 和泊桑比 μ 按现行桥规取值。

篇幅原因,计算结果略。计算结果表明,该桥具备了良好的安全行车条件,在设计运营速度内各项参数指标均满足行车安全性和平稳性。

5 结束语

通过对济青高速铁路(40+70+70+40)m槽型连续梁多项关键设计参数的研究,得出以下结论:

(1)采用人行道放在边箱顶的截面布置,不仅可以大大减小主梁、桥墩的横向尺寸、增强观赏性,而且明显降低了非线性温差对结构受力的影响。

(2)由于人行道对边箱顶起到隔热层的作用,依据规范提出了槽型梁温度荷载的加载模式,为类似计算提供借鉴。

(3)跨中截面横向计算的关键是各腹板下弹性支承的刚度的确定。结合 BSAS 及 Midas 模型确定跨中横框六片腹板下的弹性支撑刚度,并通过 Adina 实体模型校核了计算结果的可靠性。

(4)支点横梁计算的要点在于确定支反力在各腹板上的分配比例。通过 midas FEA 建立全桥实体元模型,分析结果表明,各工况下 2、5 号腹板受力最大;1、6 号腹板其次;3、4 号腹板最小。

(5)应用中南大学分析软件 TBPROB 进行计算,结果表明本桥在设计运营速度内各项参数指标均满足行车安全性和平稳性要求。

参考文献:

- [1] 聂建国,陶慕轩,吴丽丽,等. 钢-混凝土组合结构桥梁研究新进展[J]. 土木工程学报,2012,45(6):110-122.
NIE Jianguo, TAO Muxuan, WU Lili, et al. Advances of Research on Steel-concrete Composite Bridges [J]. China Civil Engineering Journal, 2012, 45(6):110-122.
- [2] 吴大宏,左家强,苏勇. 变曲率小半径顶推混凝土连续梁关键技术研究[J]. 高速铁路技术,2017,8(6):56-77.
WU Dahong, ZUO Jiaqiang, SU Yong. Study on Key Technology for Concrete Continuous Beam with Variable Curvature and Small Radius [J]. High Speed Railway Technology, 2017, 8(6):56-77.
- [3] 张吉,陆元春,吴定俊. 槽形梁结构在轨道交通中的应用与发展[J]. 铁道标准设计,2013,57(10):78-82.

ZHANG Ji, LU Yuanchun, WU Dingjun. Application and Development of Trough Girder on Rail Transit [J]. Railway Standard Design, 2013, 57(10):78-82.

- [4] 邵爱军. 预应力混凝土槽型梁在公路桥梁中的应用[D]. 武汉: 武汉理工大学,2003.
SHAO Aijun. Application of Prestressed Concrete U-Shaped Beam in Highway Bridges [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2003.
- [5] 黄侨,陈卓异,杨明. 槽型梁桥力学性能的研究现状与展望[J]. 中外公路,2013,33(6):131-136.
HUANG Qiao, CHEN Zhuoyi, YANG Ming. Research Status and Prospect of Mechanical Properties of Trough Girder Bridge [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2013, 33(6):131-136.
- [6] 段敬民,钱永久. 槽形截面梁静力学特性的研究[J]. 工程力学, 2010, 27(9):128-132.
DUAN Jingmin, QIAN Yongjiu. Study on Static Characteristics of U-shape Beams [J]. Engineering Mechanics, 2010, 27(9):128-132.
- [7] TB 10092-2017 铁路桥涵混凝土结构设计规范[S].
TB 10092-2017 Code for Design of Concrete Structures of Railway Bridges and Culverts [S].
- [8] 李方柯. 单线铁路 48 m 简支槽型梁结构设计[J]. 铁道建筑技术,2014,31(1):7-10.
LI Fangke. Structural Design of 48 m Simply Supported U-shaped Beam in Single-track Railway [J]. Railway Construction Technology, 2014, 31(1):7-10.
- [9] 计锴,姜东升. 预应力混凝土槽型梁的计算方法研究[J]. 山西建筑,2009,35(4):98-99.
JI Kai, JIANG Dongsheng. The Calculation Method Study of Prestressed Concrete Cell Type Beam [J]. Shanxi Architecture, 2009, 35(4):98-99.
- [10] 陈波,赵晓波. 轨道交通预应力混凝土槽型梁有限元分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2011,30(S2):1241-1245.
CHEN Bo, ZHAO Xiaobo. Finite Element Analysis of U-shaped Beam of Prestressed Concrete Used in Rail Transit [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2011, 30(S2):1241-1245.
- [11] 张明俭,刘刚. 轨道交通槽型梁平面与空间受力分析比较[J]. 路基工程,2011,29(3):140-143.
ZHANG Mingjian, LIU Gang. Analysis on Plane Stress and Space Stress of U-shaped Beam of Rail Transit [J]. Subgrade Engineering, 2011, 29(3):140-143.

(编辑:赵立红 白雪)