文章编号： 1674—8247(2019)05—0062—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.05.013

某拱承斜拉桥设计方案探讨

王 聪 曾永平

（中铁二院工程集团有限责任公司， 成都 610031）

摘 要：某高速铁路在小角度跨越既有高速公路时，主桥采用(32+160+32)m 拱承斜拉桥结构，拱式桥塔分立高速公路两侧，采用全飘浮体系，于辅助墩及边墩墩顶设置支座。通过复核验算，原设计存在主梁跨中残余徐变上拱度、梁端钢轨横向相对位移超限、高速铁路正线限界上方拱圈接头处的高强螺栓断裂后对高速行车有重大安全隐患三大问题。文章分析了问题产生的原因，并提出了具体的优化建议，确保了结构安全，可为类似结构工程提供参考。

关键词：拱承斜拉桥；残余徐变；上拱度；梁端；横向相对位移
中图分类号：U442.6 **文献标志码：**A

Discussion on Design Schemes of A Arch-supported Cable-stayed Bridge

WANG Cong ZENG Yongping

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: A (32+160+32) m arch-supported cable-stayed bridge structure is adopted for main bridge of a high-speed railway crossing existing expressway at a small angle, and the arch bridge towers are separated on both sides of the expressway. A full floating system is adopted and supports are installed on the top of auxiliary piers and side piers. Through re-check and calculation, it is clearly pointed out that the original designs have three major problems: the residual creep in the middle span of the main girder and the lateral relative displacements of the rail at the beam ends are all overrun, and the high-strength bolts fracture at the arch joints above the limits of the high-speed railway main lines, which may cause major safety hazards to high-speed driving. The causes of the problems are analyzed in the paper and specific optimization suggestions are proposed to ensure the safety of the structure, and it provides references for similar structural works.

Key words: arch-supported cable-stayed bridge; residual creep; camber; beam ends; lateral relative displacement

1 工程概况

某高速铁路跨越深汕西高速公路，线路与高速公路夹角为 26°。桥址处高速公路为路堑段，现状为双向四车道(正宽 29 m)，沥青路面，深汕西高速公路后期规划为双向八车道(宽 44 m)，净空不小于 6.0 m。

主桥采用(32+160+32)m 双线铁路拱承斜拉桥上跨深汕西高速公路，斜拉桥桥塔、桥墩整体采用拱式结构横跨既有高速公路两侧[1]。

主要技术标准为：

(1)设计速度目标值 350 km/h。

(2)双线，线间距为 5 m。

(3)设计活载为 ZK 活载。

(4)轨道类型为 CRTS Ⅰ 型双块式无砟轨道。

收稿日期：2018-10-30
作者简介：王聪(1979-)，男，高级工程师。
引文格式：王聪，曾永平. 某拱承斜拉桥设计方案探讨[J]. 高速铁路技术，2019，10(5)：62-66.
WANG Cong, ZENG Yongping. Discussion on Design Schemes of A Arch-supported Cable-stayed Bridge [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(5): 62-66.

(5)主桥纵向位于平坡上,平面位于直线上。

2　主桥原设计方案

2.1　总体设计

主桥跨度为(32 + 160 + 32) m 拱塔斜拉桥,主跨采用全飘浮体系,设辅助墩,辅助墩和边墩上设支座,纵向固定支座设在大里程侧辅助墩上,横向固定支座与简支梁部分统一设在线路左侧。主桥长 225.5 m(含两侧梁端至支座中心线各 0.75 m),含梁缝全长 225.8 m,主桥总布置如图 1 所示。

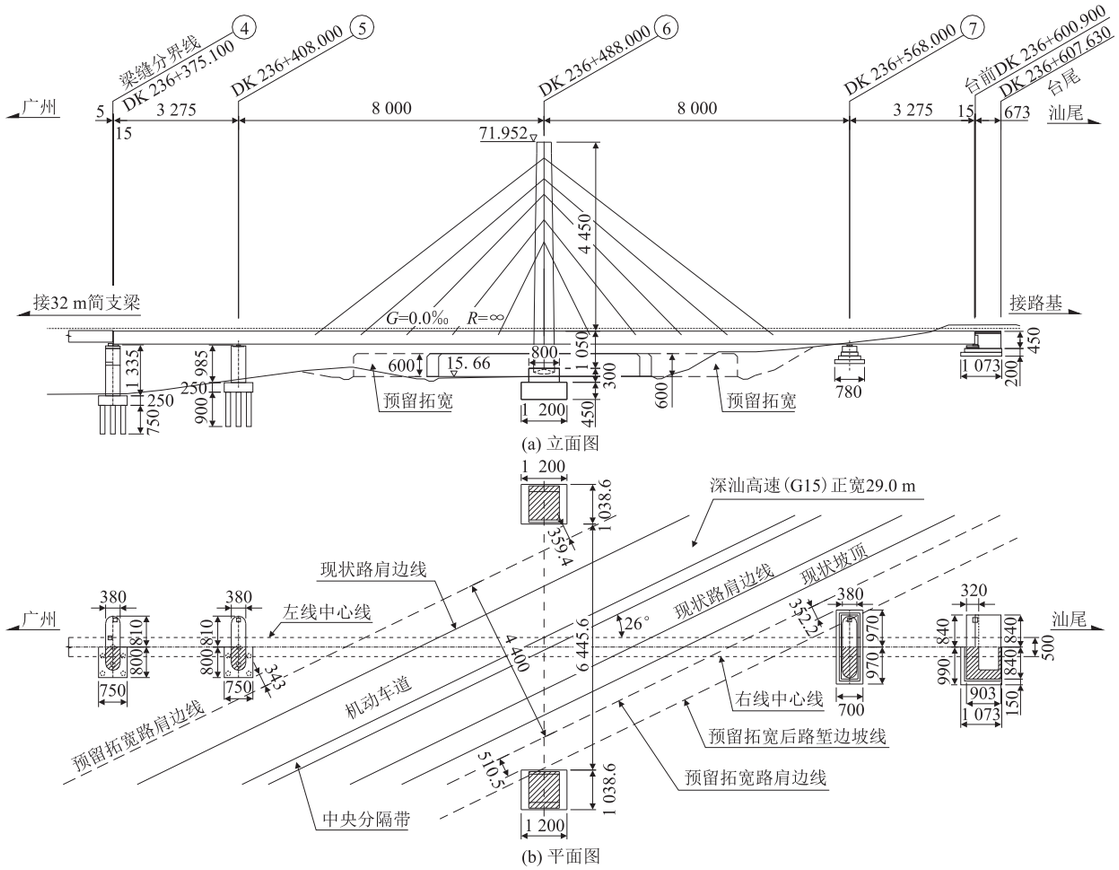

图 1　主桥总布置示意图(cm)

2.2　主梁构造及桥面布置

主梁采用纵肋倒置式钢混组合桥面板,桥面宽 15.9 m,中心线处梁高 3.4 m(钢梁底面至混凝土板顶)。

钢桥面板厚 10 mm(墩顶附近部分节段加厚至 14 mm),底板厚 16 mm(墩顶附近部分节段加厚至 20 mm),腹板厚 16 mm(墩顶附近部分节段加厚至 24 mm)。桥面板加劲肋采用板肋,宽 80 mm,厚 8 mm,间距 400 mm,底板和腹板加劲肋采用板肋,宽 160 mm,厚16 mm,间距 500 mm。横隔板标准间距 3.0 m,板厚 16 mm 墩顶及跨中加厚至 20 mm。桥面布置如图 2 所示。

两侧边箱梁由工厂加工完成后运至现场,与横隔梁腹板通过高强螺栓连接;顶底板现场焊接,形成钢梁节段后,采用步履式顶推施工到位。

主桥支座横向设于两侧钢锚箱底部中心处,横向间距 14.2 m。

2.3　桥塔构造

桥塔采用拱型结构,塔底以上桥塔高 55 m,桥面以上塔高 44.5 m,桥面以下塔高 10.5 m。

拱轴线线型采用二次抛物线,截面采用等高等宽箱型截面,截面尺寸为 4 m(顺桥向) × 4.5 m(横桥向),板厚为 20 ~ 28 mm,加劲肋采用板肋,宽 160 ~ 200 mm,厚 16 ~ 20 mm,间距 500 mm,桥塔断面如图 3 所示。

2.4　斜拉索

斜拉索采用抗拉标准强度 1 860 MPa 镀锌平行钢

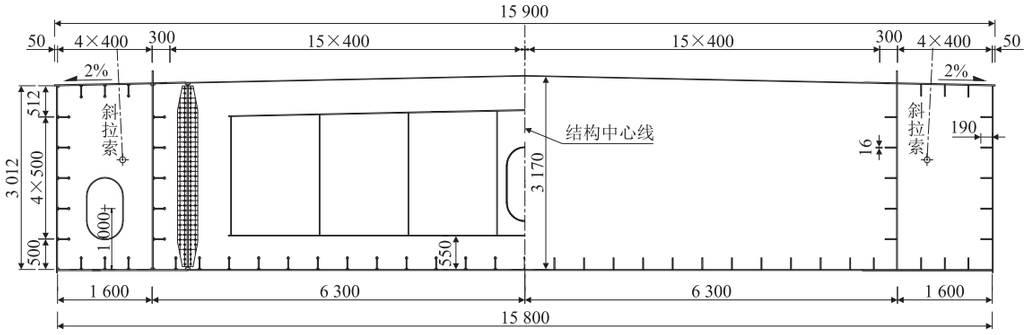

图 2　结合梁桥面布置示意图(mm)

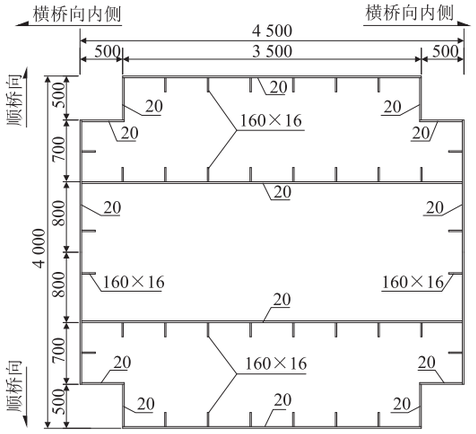

图 3　桥塔标准断面示意图(mm)

丝拉索,空间双索面体系,辐射形布置,全桥共设 13 对斜拉索,梁上索距 12 m。

索塔及索梁锚固采用钢锚箱方式锚固,张拉端设置在主梁侧;斜拉索在梁端均设外置式阻尼器以抑制风雨振,并在其下端 2.5 m 范围内外包不锈钢管。

2.5　下部构造

桥塔承台尺寸为 12 m×12 m,厚 4.5 m,设 3 m 高塔座。基础采用扩大基础。

辅助墩及连接墩均采用实体墩,墩高 5 ~ 14 m,厚 2.5 m,小里程端连接墩及辅助墩采用钻孔桩基础,大里程端均为扩大基础。

2.6　施工方案

桥梁主要施工步骤为:①桥塔采用履带吊车,逐段吊装施工;②在施工平台组拼钢加劲肋及钢导梁,采用步履式逐段顶推施工;③绑扎桥面板钢筋,按设计要求分段现浇混凝土桥面板;④挂索(不张拉);⑤拆除临时支墩及大临措施;⑥上二恒及附属工程;⑦调整索力、主梁和桥塔线形;⑧安装斜拉索减振设施,主梁及桥塔钢结构涂装整修;⑨联调联试及交付运营。

3　设计方案存在问题及优化建议

3.1　主跨跨中残余徐变上拱问题

根据 TB 10621 - 2014《高速铁路设计规范》、TB 10002 - 2017《铁路桥涵设计规范》要求,桥面附属设施宜在轨道铺设前完成。轨道铺设完成后,跨度大于 50 m 的无砟桥面,竖向变形不应大于 $L/5\ 000$ 且不大于 20 mm[2-3]。上述规定是对梁部残余徐变变形作出的限制,且主要针对预应力混凝土结构,但实质上是借此控制桥上轨道结构铺设完成后梁体的竖向变形量,以确保高速铁路线路的平顺性,因此规定的“残余徐变变形”限值也可拓展至钢梁、结合梁等结构。

本桥二恒施工完毕后,主梁跨中梁部残余徐变上拱值计算结果如表 1 所示[4]。从表中可以看出,最大残余徐变上拱度为 455.4 mm,远远超过规范 20 mm 的限值不满足规范要求。其主要原因是由于斜拉索初拉力较小(只挂索,未张拉,初拉力基本为零),调整索力阶段补张幅度较大,二次补张力占补张后总索力的比例过高所引起。

表 1　主跨跨中梁部残余徐变上拱计算表

上完二恒后累计变形/mm	斜拉索终张拉完时累计变形/mm	收缩徐变完成时累计变形/mm	上完二恒后残余徐变/mm	斜拉索终张拉完后残余徐变/mm
-231.8	215.6	223.6	455.4	8.0

主梁的残余徐变上拱变形应自轨道结构施工完成即开始计算,若此期间有调索所引起的梁部竖向变形或其它弹性变形,也应计入“残余徐变变形”。因张拉斜拉索期间,梁部竖向位移较大,为减少竖向变形对无砟轨道铺设、调整的影响,降低现场施工测量、定位的难度,建议无砟轨道部分二恒应待斜拉索张拉完成后再行施工(斜拉索张拉完毕后,因混凝土残余徐变所引起的主梁跨中上拱度最大仅 8.0 mm)。

3.2　梁端钢轨横向相对位移超限问题

根据 TB 10621 - 2014《高速铁路设计规范》要求,无砟轨道桥梁相邻梁端两侧的钢轨支点横向相对位移不应大于 1 mm[2]。

桥位处 1 月平均气温 14 ℃左右,7 月平均气温 28 ℃左右;极端最低气温 - 3 ℃,极端最高气温 40 ℃。据此计算横向位移时,混凝土结构的温差可取 ±12 ℃,钢梁的温差可取 ±23 ℃(无砟轨道横向的锁定温度按 17 ℃ ~20 ℃控制)。

原施工方案中,支座横向设于两侧钢锚箱底部中心处,横向间距 14.2 m,横向固定支座设于左线侧。则右线外侧钢轨距横向温度零点的距离为 10.318 m,温度作用下最外侧钢轨横向变形为 ±2.800 mm。小里程侧 32 m 预应力混凝土简支梁对应钢轨处距横向温度零点的距离为 5.468 m,温度作用下横向变形为 ±0.656 mm。由此计算可得该梁缝两侧钢轨处的横向位移差为 2.144 mm,大于规范 1 mm 的限值,不满足规范要求。

为保障轨道结构安全,优化支座设计,解决梁端两侧钢轨横向相对位移超限,建议在主梁底部的横向中心设置剪力卡榫(只约束横向位移),将横向固定支座设在主梁横向中心。此时,梁上两线最外侧钢轨距温度零点的距离均为 3.218 m,温度作用下最外侧钢轨的横向变形为 ±0.873 mm;简支梁靠近横向固定支座一侧的最外侧轨道的温度跨度为 0.968 m,对应温度作用下的横向变形为 ±0.097 mm;此时,梁端两侧的横向相对位移为 0.970 mm,小于规范 1 mm 的限值,满足规范要求。

3.3　桥塔高强螺栓延迟断裂的隐患问题

本桥桥塔垂直于主梁布置,施工问题中采用等宽矩型截面。桥塔利用大吨位履带吊逐段吊装拼接施工,拱顶节段长约 6.17 m,其余节段长 8 ~9.0 m,节段间采用“端面金属接触 + 摩擦型高强度螺栓连接(HTB)”并用接头。桥上正线限界上方共有 4 道高强螺栓连接面。从目前铁路钢梁运营情况来看,高强螺栓的延迟断裂现象较为普遍[5-6],对下方的铁路运营存在较大的安全隐患。

建议调整桥塔分段,确保桥上正线建筑限界的竖直范围(总宽 9.88 m)内无拱圈接头,以避免高强螺栓延迟断裂对列车运营的不利影响。

在场地吊装能力(节段最大吊高约 60 m)和施工运输条件限制,无法调整桥塔分段避开正线限界区域的情况下应采用全焊连接以彻底解决该隐患。

4　结论

(1)斜拉桥及索加劲连续梁/刚构的梁部一般竖向刚度较小,若施工期间存在二次调索,且调索幅度较大,则调索阶段梁部的竖向变形将远大于混凝土收缩徐变变形(如赣深铁路某四线索加劲连续刚构,主跨跨中部分斜拉索初拉力为 6 000 kN,二次调索后索力为 9 150 kN,调索幅度约 1.53,调索期间梁部竖向变形 160 mm,由混凝土收缩徐变产生的竖向变形仅为 -8.0 mm(变形以向上为正)[7])。因此,为满足轨道结构的铺设要求,推荐先调索再铺设轨道结构[8-9],否则应重点核查主梁的残余徐变变形值。

(2)对于无砟轨道结构,梁端钢轨的横向相对位移主要取决于梁缝两侧梁体横向固定支座(即横向温度零点)的间距以及梁体的材料差异。对于单线或双线混凝土桥梁,若横向固定支座位于同一侧,则横向相对位移基本不控制设计。对于多线桥梁,远离横向固定支座侧的无砟轨道梁端相对变形控制设计。当梁缝两侧的梁体分别为钢结构和混凝土结构时,由于钢材的线膨胀系数比混凝土大 18%,且钢材的温度变化幅度远大于混凝土结构,应重点核查梁端相对变形。

参考文献:

[1]　中铁第四勘察设计院集团有限公司. 跨深汕西高速大桥(主桥)施工图(供咨询)[Z]. 武汉:中铁第四勘察设计院集团有限公司, 2017.
China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd. Construction Drawings of the Major Bridge (Main Bridge) Crossing the Shenzhen-Shanxi Expressway (for Consultation) [Z]. Wuhan: China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 2017.

[2]　TB 10621 - 2014 高速铁路设计规范[S].
TB 10621 - 2014 Code for Design of High Speed Railway[S].

[3]　TB 10002 - 2017 铁路桥涵设计规范[S].
TB 10002 - 2017 Code for Design on Railway Bridge and Culvert [S].

[4]　中铁二院工程集团有限责任公司. 跨深汕西高速公路大桥(32 + 160 + 32)m 拱承斜拉桥检算报告[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2017.
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Checking Report of the (32 + 160 + 32) m Arch-supported Cable-stayed Bridge in the Major Bridge Crossing the Shenzhen-Shanxi Expressway [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2017.

[5]　朱素华. 高速铁路特大桥钢桁梁高强度螺栓断裂分析及养修建议[J]. 上海铁道科技, 2016,41(4):79 - 80.
ZHU Suhua. Fracture Analysis and Maintenance Suggestion of High Strength Bolts in Steel Truss Girder of High Speed Railway Bridge

[J]. Shanghai Railway Science & Technology, 2016, 41(4): 79-80.

[6] 金辉. 京沪高铁南京大胜关长江大桥养护模式探讨[J]. 现代交通技术,2013,10(6):51-55.
JIN Hui. Discussion on Maintenance Method of Beijing-Shanghai High-speed Railway of Nanjing Dashengguan Yangtze River Bridge [J]. Modern Transportation Technology, 2013, 10(6):51-55.

[7] 中铁第四勘察设计院集团有限公司. 剑潭东江特大桥(136+260+136) m 四线铁路预应力混凝土部分斜拉桥施工图(供咨询)[Z]. 武汉:中铁第四勘察设计院集团有限公司,2017.
China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd. Construction Drawing of the (136+260+136) m Prestressed Concrete Partial Cable-stayed Bridge of the Jiantan Dongjiang Four Lines Railway Super Major Bridge (for Consultation) [Z]. Wuhan: China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 2017.

[8] 中铁二院工程集团有限责任公司. 剑潭东江特大桥(136+260+136)m 四线铁路预应力混凝土部分斜拉桥检算报告[R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司, 2017.
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Checking Report of the (136+260+136) m Prestressed Concrete Partial Cable-stayed Bridge of the Jiantan Dongjiang Four Lines Railway Super Major Bridge [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2017.

[9] 中铁二院工程集团有限责任公司. 新白沙沱长江特大桥施工图[Z]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司,2012.
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Construction Drawing of the New Baishatuo Yangtze River Super Major Bridge [Z]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2012.

(编辑:赵立红　白雪)

(上接第 61 页)

5　结论

(1)该桥桥址区处于特殊的水文地质部位,加之沟谷周围发育 4 个岩溶落水洞、且下伏基岩岩溶发育,这些条件十分有利于地下水的汇聚及消散,加剧了地下水波动。因此,认真分析桥址谷区地下水存在较大波动的可能性和原因十分重要。

(2)对厚覆盖层区的桥梁基础,若覆盖土中地下水变幅较大,应高度重视地下水渗流引起的地基土弹性变形,正确计算地基土在地下水流渗流作用下的弹性变形量,分析弹性变形对桥梁桩基础的影响程度。

(3)跨越山区沟谷的桥梁,应充分研究桥址区水文、水文地质条件,特别要查清地下水补、迳、排条件,确定桥址区水文年度区地下水波动幅度,应认真分析地下水动水位波动在土层中形成的渗透压力、地下水浮力等对桥梁桩基础产生的影响。

参考文献:

[1] TB 10027—2012 铁路工程不良地质勘察规程[S].
TB 10027—2012 Code for Unfavorable Geological Condition Investigation of Railway Engineering[S].

[2] 工程地质手册编委会. 工程地质手册(第四版)[K]. 北京:中国建筑工业出版社,1992.
Editorial Board of Engineering Geology Manual. Engineering Geology Manual (4th Edition) [K]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1992.

[3] TB 10093—2017 铁路桥涵地基和基础设计规范[S].
TB 10093—2017 Code for Design on Subsoil and Foundation of Railway Bridge and Culvert [S].

[4] 中铁二院工程集团有限责任公司. 尖山营特大桥桥墩异常升降补充地质勘察报告[R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司,2014.
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Supplementary Geological Investigation Report on Abnormal Sinking and Floating of Jianshanying Super-large Bridge piers[R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.,2014.

[5] 张倬元,王士天,王兰生,等. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社,2009.
ZHANG Zhuoyuan, WANG Shitian, WANG Lansheng, et al. Principle of Engineering Geological Analysis [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009.

(编辑:苏玲梅　张红英)