

悬臂式行车道板伸缩装置设计与施工要点

冯淑珍¹, 崔海², 刘夕强²

(1. 南京铁道职业技术学院, 江苏 南京 210000; 2. 中铁大桥(南京)桥隧诊治有限公司)

摘要:伸缩装置是承受桥面荷载、释放桥梁变位的重要构件,其病害发生率较高,对于钢结构桥梁更甚。不同的桥梁形式、结构特点,伸缩装置的设计应具有相应的针对性。该文结合实际工程项目,在总结钢梁伸缩装置设计及施工要点的基础上,对某钢桁梁桥行车道板伸缩装置设计及施工要点进行详细介绍,阐述其设计参数、适应性、冗余性。

关键词:钢桥; 伸缩装置; 设计与施工; 冗余性

1 项目概况

某铆接五跨钢桁梁于1964年建成通车,桥梁布置如图1所示。大桥全长384 m,总体上为简支梁带挂

孔(吊梁)体系,挂孔长度均为48 m。简支梁支座间距为80 m,每侧悬臂20 m与吊梁通过铰轴连接为整体。大桥钢桁梁为带竖杆的三角桁架,桁高6.2 m,节间长度4 m。主梁在桥墩支座处设有加劲弦杆,高度为9 m。

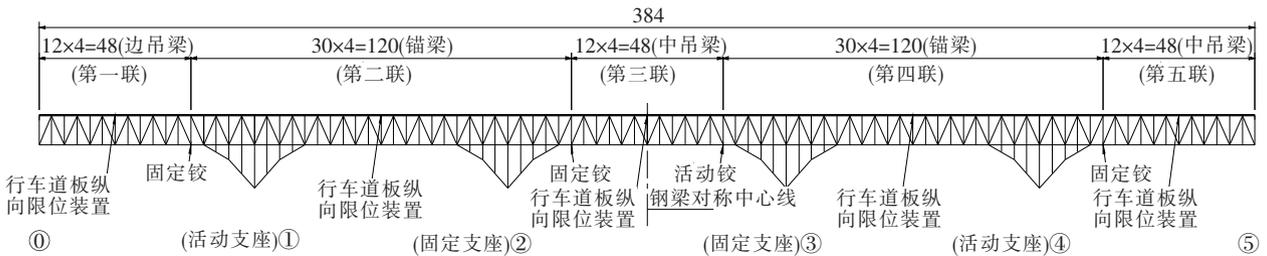


图1 某钢桁梁立面(单位:m)

[5] Daoud OEK, Lovegrove JM. The Effect of Concrete Bond on the Stress Intensity Factors for an Edge Crack in a Reinforcing Bar[J]. Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 2010, 6(3): 257-269.

[6] 肖顺, 童乐为. 三维表面裂纹应力强度因子数值计算方法比较[J]. 建筑钢结构进展, 2018(3).

[7] 俞树荣, 吴艳萍, 荆场. 表面裂纹的三维模型及应力强度因子计算[J]. 兰州理工大学学报, 2017(1).

[8] 茹忠亮, 朱传锐, 赵洪波. 裂纹扩展问题的改进 XFEM 算法[J]. 工程力学, 2012(7).

[9] 许红胜, 吴佳东, 颜东煌, 等. 基于蚀坑参数的既有斜拉索钢丝腐蚀程度分级评价研究[J]. 中外公路, 2015(6).

[10] 刘钧玉, 林皋, 胡志强. 裂纹面荷载作用下多裂纹应力强度因子计算[J]. 工程力学, 2011(4).

[11] 马文涛, 许艳, 马海龙. 修正的内部基扩充无网格法求解多裂纹应力强度因子[J]. 工程力学, 2015(10).

[12] 陈景杰, 范新帅, 黄一. 共线双裂纹应力强度因子计算方法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2017(4).

[13] 中国航空研究院. 应力强度因子手册[M]. 北京: 科学出版社, 1993.

[14] 黄娟. 模拟酸雨环境下拉索钢丝腐蚀发展规律研究[D]. 长沙理工大学硕士学位论文, 2017.

[15] 曾毅杰. 斜拉索腐蚀钢丝蚀坑等效当量化方法及有效性研究[D]. 长沙理工大学硕士学位论文, 2017.

[16] 席婧仪, 陈忠辉, 张伟. 单轴拉伸作用下不等长裂纹相互影响的断裂力学分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2014(a02).

收稿日期: 2021-05-10(修改稿)

基金项目: 江苏省青蓝工程项目(编号: rcql18101, rcql18209)

作者简介: 冯淑珍, 女, 博士, 副教授.

早期设计的钢桁梁多采用预制混凝土行车道板。行车道板不参与主桁架受力,搁置于主桁结构上,并间隔一定距离设置伸缩装置。大桥除了在梁端和铰接位置设置大型伸缩装置外,在每跨内每间隔 24 m(6 个节间)设置一道小型伸缩装置。全桥合计设置 17 道伸缩装置。

在运营 50 余年后,大桥于 2018 年启动维修。其中桥面行车道板是重点改造内容,采用正交异性钢结构行车道板。桥梁伸缩装置的布置、规格型号、数量也进行了相应调整。

2 伸缩装置安装位置比选

该桥梁为简支静定体系,原则上桥梁伸缩装置应设置于梁端和铰接位置,全桥合计为 6 道。但是伸缩装置布置于节点上方还是节间需要从主桁结构耐久性、行车道板受力特点、伸缩装置安装施工及维护等多方面进行比选。

既有混凝土行车道板中,桥梁伸缩装置均布置于节点的正上方。运营中发现,桥梁伸缩装置止水效果不好,引起节点处钢构件大量锈蚀,尤其是行车道外侧路缘附近,钢构件锈蚀及垃圾堆积现象普遍存在且十分严重。从保护主桁结构耐久性出发,伸缩装置的安装位置应避开钢桁梁的主要节点。

采用钢结构正交异性行车道板后,预留的伸缩间隙为 500 mm。若将伸缩装置设置在节点位置,则需要将行车道板端部钢纵梁的顶面设置支撑,否则悬臂长度将达到 3.5 m,行车道板强度及刚度无法满足规范要求。在主桁内侧,可直接支撑于钢纵梁的顶面。但是在主桁外侧托架上则需要沿着纵桥向两侧增设支

撑点(构造形式如图 2 所示)。一方面,需要对托架进行钻孔并增加钢结构,每个托架处需要增加重量约 0.45 t;另一方面,托架在新增加支点处承受附加面外弯矩,最大附加面外弯矩达到 28 kN·m;运营阶段长期承受该作用时对托架受力不利。

改造以后采用正交异性钢结构行车道板。行车道板纵横肋均采用倒 T 形截面。纵肋布置间距为 0.43 m,横肋布置间距为 4 mm。纵横肋翼缘板厚度均为 20 mm,宽度为 0.2 m。桥面板顶板采用 20 mm 厚度的中厚板。改造后标准横断面如图 3 所示。

基于结构受力及耐久性两方面原因,确定桥梁伸缩装置设置于节间中部,行车道板为悬臂受力结构,单侧悬臂长度达到 1.75 m。为了提高悬臂端部行车道板的刚度,行车道板纵梁腹板由 10 mm 加厚至 20 mm。

3 设计要点

3.1 伸缩装置选型

桥梁结构体系以及行车道板的支撑体系决定桥面伸缩装置的规格和型号。一方面,桥梁在 2[#]、3[#] 墩设置固定支座,其余支座为活动支座,总体上为对称体系;另一方面,正交异性钢桥面板设计以铰轴及梁端为界限全桥划分为 5 联,在每一联的中部设置纵向限位装置。即行车道板以中部纵向限位装置为基准点相对于主桁结构进行伸缩。主桁与行车道板的顺桥向伸缩相互影响相互制约。

引起行车道板伸缩的因素包括:主桁变形、整体升降温、温度梯度。整体升降温需要综合考虑主桁边界及行车道板相对于主桁的约束条件,以第二联行车道

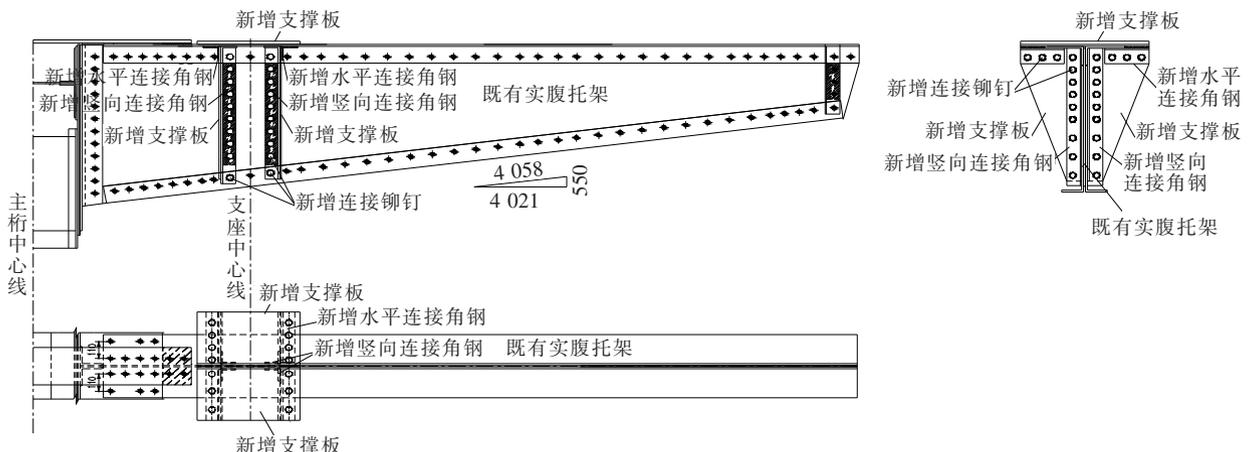


图 2 托架纵桥向增设支点构造示意(单位:cm)

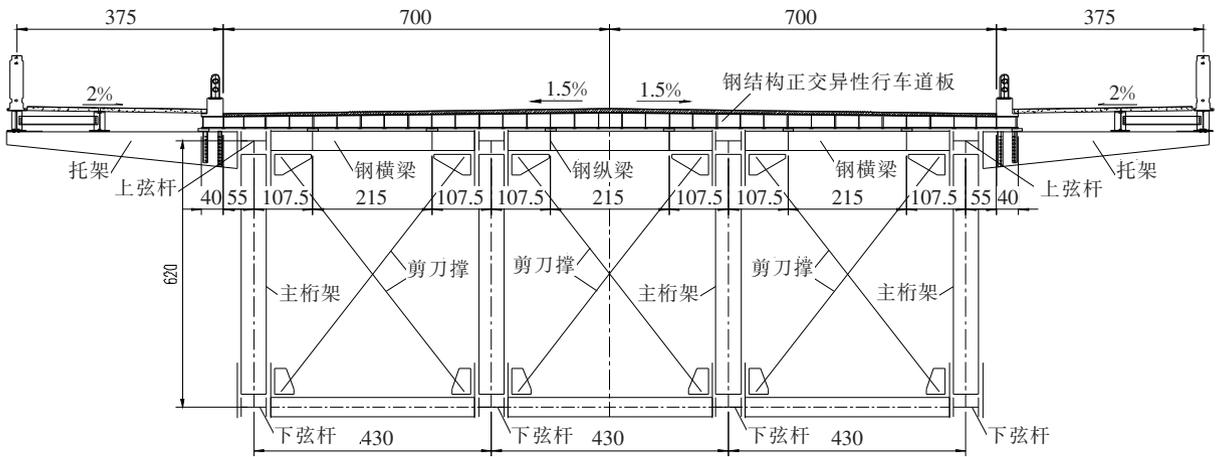


图 3 某钢桁梁改造后横断面(单位:cm)

板为例进行推算,以 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为基准,整体升温 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,钢桁梁与行车道板间相对位移量如表 1 所示。

表 1 整体升温 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 作用下行车道板相对位移量

位置	内容	伸缩变形量/mm	相对量/mm
1 左	主桁变形	-14.40	7.20
	行车道板变形	21.60	
1 右	主桁变形	-15.84	-7.20
	行车道板变形	8.64	

同理推算,在整体降温作用下,行车道板与钢桁梁间无相对伸缩变形。即整体升降温作用下,行车道板相对于主桁的伸缩量为零。

主桁变形引起的板桁间相对伸缩量是存在的,但是由于主桁刚度大、变形量小,板桁之间设置了抗拉拔装置,经整体计算,由此引起的行车道板端部的伸缩量最大为 3 mm ,可以忽略。因此,行车道板伸缩装置的伸缩量主要是由于梯度温度控制。根据现场实际测量数据,在环境温度为 $39.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,桥面板最高温度为 $60\sim 65\text{ }^{\circ}\text{C}$,主桁温度为 $40\sim 47\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。偏于安全地,板桁温差按照 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 考虑和计算相应的伸缩量。同时,悬臂板端部具有 4.28 mm 的挠度,端部转角约为 0.15° 。综合考虑悬臂板同时具有上挠和下挠,且两侧存在不同步可能,选用单元式多向变位桥梁伸缩装置,且远离主桁固定支座铰接位置伸缩量最大,设置 240 型伸缩装置。伸缩装置标准断面如图 4 所示。

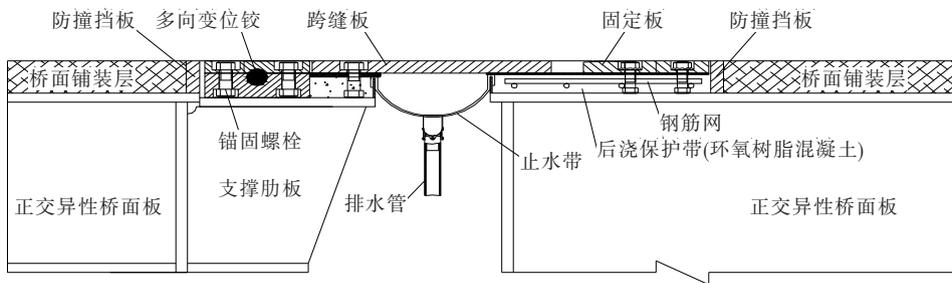


图 4 伸缩装置标准横断面

3.2 相关结构强度验算

结构强度验算应包括行车道板及伸缩装置构件。行车道板可简化为五跨连续的悬臂梁构造。纵肋间距为 0.43 m ,单片纵肋分配轮载为 $70 \times 0.43 / 0.6 = 50.17\text{ kN}$ 。经计算,行车道板纵梁弯矩及剪力包络图如图 5 所示。

相应地截面上缘拉应力约为 41.1 MPa ,下缘压应力约为 105.1 MPa ,截面剪应力为 18.5 MPa 。

伸缩装置构件除了跨缝板厚度检算外,重点且容易被忽视的是以支撑板抗剪切验算为主的构件连接强度检算。计算剪力按照单个车轮的重量施加。双侧角焊缝有效焊高为 $8 \times 0.7 = 5.6\text{ mm}$,抗剪强度为 140 MPa ,则焊缝长度不小于 50 mm 。现场可焊构造长度单侧达到 213 mm ,具有约 4 倍的安全系数。

除此之外,伸缩装置支撑板与行车道板的焊接质量应保证结构安全和疲劳要求。要求采用熔透焊接,

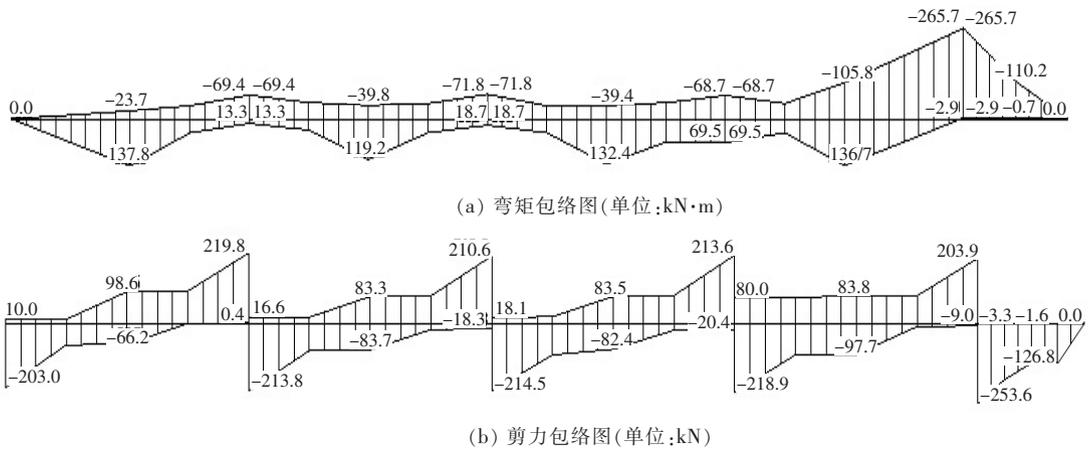


图5 纵梁在轮载作用下弯矩及剪力包络图

不低于二级焊缝要求。

3.3 下方支撑设计

伸缩装置位于行车道板的悬臂端,悬臂长度为1.7 m。根据JTGD64—2015《公路钢结构桥梁设计规范》,梁的悬臂端允许挠度为 $L/30=5.67$ mm。经计算在城—B荷载作用下该悬臂结构下挠3.20 mm,上挠1.8 mm,合计为4.28 mm。满足设计规范要求。

为保证行车平顺、综合考虑桥梁运营的复杂性和不确定性,在悬臂下方设置板式橡胶支座(GJZ150 mm×200 mm×42 mm)辅助行车道板受力。板式橡胶支座位于行车道板纵肋下方、钢桁梁纵梁上方。在运营状态,板式橡胶支座与行车道板不接触,支座顶面距离悬臂板下缘2 mm,相当于局部作用87.5 kN的集中荷载作用效应。板式橡胶支座下方行车道纵梁上设置角钢支撑,顶部磨光顶紧以防止疲劳开裂。

4 钢桥伸缩装置施工细节及质量要求

总体上采用先施工桥梁伸缩装置后摊铺桥面铺装顺序。安装施工细节主要包括以下几个方面:

(1) 为了避免行车冲击造成后浇带啃边以及混凝土开裂等问题,在伸缩装置端部设置厚度为20 mm的防撞挡板。防撞挡板与行车道板双面焊接,应具有足够的强度抵抗冲击荷载。桥梁伸缩装置不设置后浇带,防撞挡板后方直接衔接桥面铺装,桥面铺装摊铺时高于防撞挡板顶面5 mm,且与挡板相接位置应反复碾压密实。

(2) 桥面铺装采用浇筑式沥青混凝土,摊铺温度较高。为了避免暂时高温的影响,桥梁伸缩装置在安

装和初步调试完成后,卸除跨缝板,在铺装层温度降低至常温后重新安装和调试。

(3) 橡胶止水带破损造成的漏水会引起钢桥面板及钢桁梁锈蚀。为杜绝漏水现象,伸缩装置在既有橡胶止水带基础上增加了不锈钢止水带,不锈钢板厚度2 mm,梁段与行车道板焊接连接。

5 结语

桥梁伸缩装置是重要的可更换附属构件,也是在运营过程中发现病害较多的构件。其设计与选型应综合考虑桥梁结构体系、行车道板边界条件、行车道板刚度以及气候条件等多种因素。对于复杂的桥梁或者行车道板结构体系应进行专项设计以保证受力和耐久性要求。在施工阶段应注重细节,精细化施工以提高桥梁伸缩装置的耐久性。

在设计和施工过程中适当提高冗余度是十分必要的,以延长伸缩装置使用寿命。改造后该钢桁梁桥全桥合计设置了6道伸缩装置,大幅度提高了行车舒适性。运营1年后,伸缩装置服役状态良好。

参考文献:

- [1] 范立础. 桥梁工程[M]. 北京:人民交通出版社,2012.
- [2] 李杨海,程海洋,鲍卫刚,等. 公路桥梁伸缩装置实用手册[M]. 北京:人民交通出版社,2007.
- [3] JTGD64—2015 公路钢结构桥梁设计规范[S].
- [4] JTGT/F50—2011 公路桥涵施工技术规范[S].
- [5] JTGD60—2015 公路桥涵设计通用规范[S].
- [6] 董浩,关长禄. 公路桥梁异型钢单缝式伸缩装置常见病害分析[J]. 中外公路,2017(1).