

# 再度研究设计应用钢板梁悬索桥

徐恭义<sup>1,2</sup> 傅战工<sup>2</sup> 苏\* 鸿<sup>3</sup>

(1 西南交通大学土木工程学院 四川成都 610031 2 中铁大桥勘测设计院有限公司  
湖北武汉 430050 3 柳州城市投资建设发展有限公司 广西柳州 545001)

**摘要:**结合柳州红光大桥工程实际介绍钢板式加劲梁悬索桥的设计研究及应用实践情况,这是继40年代美国塔科玛板式加劲梁悬索桥风毁事故以来,国际上首次再度设计应用的桥型。

**关键词:**悬索桥 钢板梁 加劲梁 桥梁设计

## 1 设计背景

柳州红光大桥位于广西柳州市,在中心城区跨越柳江,为连接城市主干道的城市桥梁。桥址处在柳江“U”形弯道的弯顶,桥轴线与河道交角约 $5^\circ$ ,水流流态较复杂;桥址上游925m及下游950m处各有已建成的桥梁,因而要求本桥必须采用一孔跨江的桥型。又及,桥址两岸陆上街道狭窄,水上河段现状为V级航道,水位又受季节影响显著,大件运输受到限制。同时,建设方对桥型方案的景观标志及经济性有较高要求。基于上述,在众多参选的桥型方案中,业主选中了我们设计的主跨380m的钢板梁悬索桥作为实施方案,其立面布置见图1。

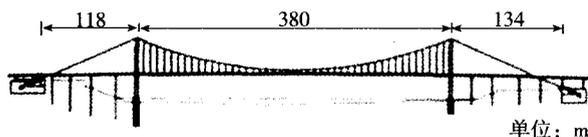


图1 红光大桥立面布置

桥上布置4条机动车道,两侧各4m宽的非机动车道和2m宽的人行道,含人行道栏杆、护栏及锚固区的桥面总宽27.8m。

鉴于桥位区实测历年极大风速 $24.3\text{m/s}$ ,基本设计风压为 $400\text{Pa}$ ,风速相对较小;又结合水陆大件运输不便的建桥条件,基本上排除了选用钢箱梁作悬索桥加劲梁的可能性,为此考虑采用开口式钢板加劲梁结构。

## 2 钢板式加劲梁的技术特点

开口式钢板梁截面因抗扭刚度小,不利于悬

注:《柳州市红光大桥》项目获第二届欧维姆预应力技术奖三等奖。

索桥的整体抗风稳定。上世纪40年代,美国塔科玛大桥因采用类似截面的加劲梁而被风吹毁;该桥修复时转而采用钢桁加劲梁。此后工程界一直避免将其再应用于悬索桥加劲梁。

然而,毫无疑问,钢板梁具有受力明确、制作简单、运输方便等优点。经济性方面,正交异性钢桥面板既作为加劲梁的上翼缘,又兼当行车道板,有效减轻了主缆、主塔和锚碇的负担,为大桥设计从总体上节省创造了前提条件。结构受力方面,在认识到悬索桥钢箱加劲梁底板应力总是偏低,底板设计往往由构造控制、材料得不到充分利用的特征后,钢板梁作加劲梁的力学优势进一步显现出来。制造方面,开口截面不需像钢箱梁一样要求保证全断面对接的制造精度,工艺要求因而降低,工装设备也更加简单,钢梁的单价必然随之下降。运输方面,钢板式加劲梁可在工厂制成板件,选用公路或铁路运输到现场后再组拼成节段,运输组拼方式灵活,不受桥址处水上运输条件的限制。钢加劲梁节段吊装上桥后,节段间对接的工作量及材料用量也较小。在适宜的条件下钢板式加劲梁不失为优良的截面形式,特别是在桥梁抗风研究日益深入,悬索桥工程实践经验逐渐丰富之后,更有条件在悬索桥加劲梁上予以采用。由此可见,采用钢板式加劲梁对柳州红光大桥而言具有充分的技术依据。

## 3 钢板式加劲梁结构设计

### 3.1 节段长度及吊索间距

考虑施工方便,节段吊装重量控制在 $80\text{t}$ 左右,所以标准节段长定为 $8.25\text{m}$ ;与之匹配的吊

索间距为8.25 m, 与本桥的跨度及规模相适应。

横梁间距采用的较小值为2.75 m, 一是着眼于钢加劲梁的横向刚度, 保证吊索索力在纵横向的有效传递, 二是为桥面刚度提供保证, 改善路面工作条件。

### 3.2 梁高及梁宽

本桥使用净宽要求为26.6m, 梁宽除满足桥面布置要求外, 兼顾吊索锚箱等构造要求, 加劲梁实际梁宽为27.8 m。由于本桥活载与恒载的比值较大, 梁高不宜过小, 取2.2m, 以使加劲梁的应力水平保持合理。加劲梁高宽比为1/12.6。作为城市桥梁, 本桥人行道布置在主梁外侧, 不仅有效缩减了锚碇的横向宽度, 有利于减少城市拆迁量, 还降低了横梁的应力水平, 有利于结构受力。

加劲梁截面见图2。加劲梁梁高2.2m, 桥面顶板宽27.8m, 纵梁间距22.8m, 横梁间距2.75 m。顶板板厚14mm, 顶板U形加劲肋高260mm, 横向间距615mm, 壁厚6mm; 纵梁下翼缘板厚28mm, 腹板16mm; 横梁下翼缘板厚28mm, 腹板板厚10mm。

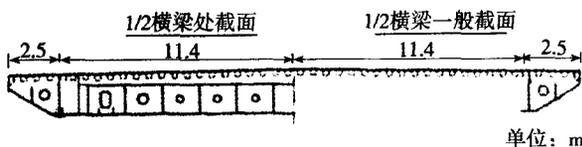


图2 加劲梁横截面

### 3.3 吊索锚箱

吊索锚箱焊接于纵梁顶板上方, 既方便梁段吊装时及时将梁段转挂至吊索, 又便利了加劲梁的防腐及吊索检修维护。考虑钢加劲梁制造安装、索夹工地安装、吊索下料长度均有不同程度的误差, 采用锚箱构造为吊索长度的少量调整提供了可能, 可使吊索索力更加均匀, 加劲梁吊装过程临时连接也更容易实施。吊索下端采用冷铸锚与锚箱连接, 连接处采用球形螺母并在螺母与锚板间设有球形垫圈, 以适应运营工况下的连接点处的转角要求, 降低吊索锚头附近应力, 提高使用寿命。吊索锚箱结构见图3。

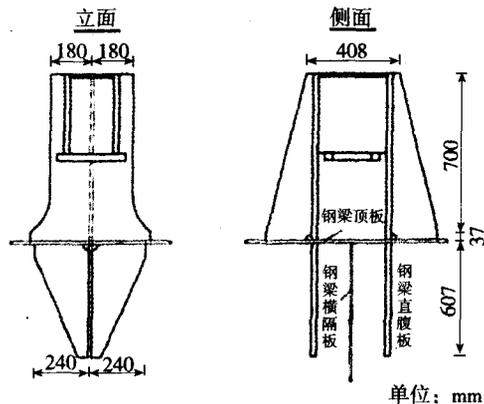


图3 吊索锚箱结构

### 3.4 梁端节段

加劲梁在主塔位置处的端节段需设置大位移伸缩缝、竖向支座、水平支座及限位挡块, 端节段加劲梁的梁宽度及细节构造不同于标准节段。

### 3.5 加劲梁材质

加劲梁各构件材质均为Q345-D碳素结构钢。

### 3.6 开口钢板梁的油漆防腐

由于加劲梁采用无底板开口式截面, 直接暴露于多雨潮湿的大气环境中, 因此对防腐要求较高。设计推荐使用长效重防腐涂装体系, 其中底漆为保证寿命采用大于30年的水性无机硅酸锌(IC531)涂料, 以提高结构使用寿命和延长维修养护周期。

## 4 抗风稳定对策

本工程设计基于抗风安全性考虑, 进行了多项专题研究, 并提出了4项工程设计对策以确保结构抗风安全稳妥可靠。

- (1) 在悬索桥跨中设置中央扣(图4)。
- (2) 在加劲梁两侧各加0.75m高的导风裙板。
- (3) 在梁底不设外凸的检查设备, 在梁顶不设抬高的人行道板。
- (4) 在加劲梁两端设置纵向阻尼器(图5)。

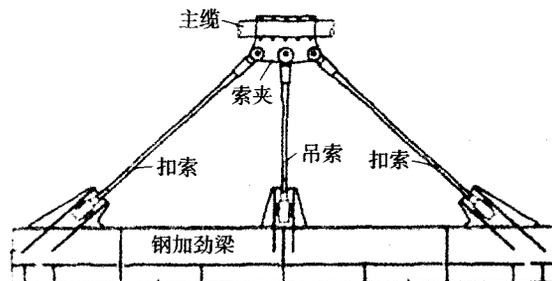


图4 中央扣结构

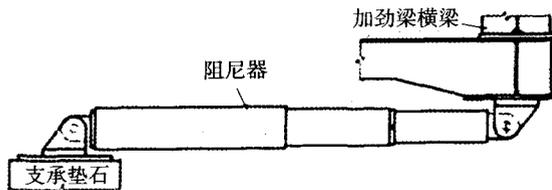


图5 阻尼器安装

## 5 抗风试验研究及设计验证

本桥在方案设计阶段,根据有关抗风设计规范,按主跨380m,100年重现期理论分析求得颤振检验风速仅为39.1m/s。正因为跨度不大、检验风速不高,设计者认为选开口加劲梁截面是可行的,再辅以气动选型并采用合理的加劲梁支承体系,悬索桥桥跨的抗风安全应有充足保障。

初步设计阶段,又进行了节段模型试验,重点比较了不同的气动外型对颤振临界风速的影响,最终确认加劲梁底不设外凸检查车轨道并改用内置检查走道和梁顶不抬高人行道的结构措施对抗风是有利的,同时定量确定了在加劲梁两侧翼缘设置高度为0.75m的导风裙板并验证了设中央扣(缆结)的必要性。最终,采取上述工程设计对策后,本桥的颤振临界风速达45.4m/s,满足《公

路桥梁抗风设计指南》的结构抗风安全性要求。

## 6 结语

本桥因采用钢板式加劲梁而有别于目前众多的悬索桥,独具技术特色。对其抗风稳定性能,设计者认真研究和总结了塔科玛大桥事故的经验教训,采取了多项工程设计对策,并经理论计算和风洞模型试验验证其安全性。工程项目的顺利实施表明,采用板式加劲梁结构达到了设计预期的诸多工程优势,取得了较好的工程效益。加劲梁架设见图6,全桥于2004年上半年完工。



图6 红光桥钢板梁架设

(上接第21页)

填补了空白。水平拉索索长达761m,16根拉索的总索力近2万吨。该水平拉索的设计、构造、加工、安装、张拉等解决了在软土地基中建造超大跨度拱桥的处理方法。

(5) 超大跨径拱桥等效风荷载及抗风稳定研究。上海位于东南沿海地区,夏季受台风直接和间接影响很大,研究主拱结构和钢桥桥面体系在施工阶段和成桥状态的静风稳定问题和风振受力问题是本桥抗风性能研究的关键。

(6) 超大跨径拱桥抗震性能及减震装置研究。主跨达550米的钢拱桥,其抗震设计在我国根本无规范可循。为此对主桥(大跨度系杆拱桥)在地震作用下的性能、薄弱环节的位置及破坏机理等方面的研究是十分必要的。

(7) 虽然国内外已建成的拱桥为我们提供了许多可供借鉴的经验,但本桥在截面形式、构件重量、设备性能、工期要求等方面都与之存在

着较大的差别。主桥钢结构加工和安装施工单位针对本桥构件重量大;安装精度要求高;钢结构现场焊接的工作量大、工期紧、高空焊接条件差;施工过程中体系转换步骤多;长达760米的大吨位超长水平拉索的制作、安装均无先例可查等特点分别进行了大量的专题研究。确保了主桥施工的安全、可靠、顺利。

## 9 结语

卢浦大桥主桥于2000年10月开始主墩基础的打桩施工;2001年4月开始上部钢结构安装施工;2002年10月主桥中跨主拱顺利合龙。2003年6月28日主桥全面建成通车。卢浦大桥由于采用一系列创新技术,使我国超大跨径拱桥的设计施工水平上了一个新台阶。这些创新技术的研制和成功运用,不仅在本桥的建设过程中体现出巨大的社会和经济效益,还将对今后的超大跨径拱桥建设起到推动和示范作用,为我国跻身世界建桥先进行列作出重要贡献。