

文章编号: 0451-0712(2006)03-0178-04

中图分类号: U445.33

文献标识码: B

复合式牵索挂篮设计

彭立志, 吴正安, 袁志宏

(路桥华南工程有限公司 中山市 528403)

摘 要: 广东顺德高赞大桥主桥为跨径280 m的单索面斜拉桥,其主梁采用倒三角形断面箱梁,设计要求采用前支点挂篮施工,施工难度大,重点介绍该挂篮的设计思路及主要设计过程。

关键词: 高赞大桥; 复合式牵索挂篮; 设计

1 工程概况

高赞大桥及引道工程是佛山市“四纵九横”中“横九”主干线的一部分,也是连接杏坛镇和容桂镇的重要通道,路线全长3 300 m,主桥高赞大桥全长1 727.8 m,桥跨组合为 $14 \times 30 \text{ m} + 5 \times 31 \text{ m} + (61 + 89 + 280 + 89 + 61) \text{ m} + 3 \times 40 \text{ m} + 15 \times 30 \text{ m}$ 。高赞大桥主桥采用双塔单索面,墩、塔、梁固结的预应力混凝土斜拉桥,跨径组合为 $61 \text{ m} + 89 \text{ m} + 280 \text{ m} + 89 \text{ m} + 61 \text{ m}$,全长580 m。主塔高70 m,断面采用矩形空心断面,断面尺寸为 320 cm (横桥向) \times ($650 \sim$

850) cm (纵桥向)。主梁采用近似三角形断面,单箱三室结构,梁高3.5 m,箱宽30.5 m。主梁0号块长13 m,0~1号块长6 m,标准节段长6 m(横隔板间距也为6 m),共21对块件。标准梁段断面尺寸为:顶板全宽30.5 m,底板宽4 m,悬臂长4 m。根据设计要求,高赞大桥主梁需采用前支点挂篮悬浇施工。主梁断面见图1所示。

2 挂篮设计思路

2.1 设计前期研究

收稿日期:2006-01-12

主桁杆件最大应力 $42.35 \text{ MPa} < 140 \text{ MPa}$;

主桁杆件最小应力 $2.17 \text{ MPa} < 140 \text{ MPa}$;

主桁杆件最大挠度 $6.0 \text{ mm} < 20 \text{ mm}$ 。

期净值至少增加35万元。

4 结语

后支点菱形挂篮已顺利通过由重庆交通学院、四川省勘测设计院、万州区交委组成的专家组的评审,专家组对挂篮的构造设计给予了充分肯定。

本挂篮吊带在原设计中,主要考虑到用直径为32 mm的精轧螺纹粗钢筋作为吊带,由于业主、监理单位考虑到施工中的安全因素,建议改用钢板制作吊带,这使挂篮吊带的重量有所增加。

本挂篮适用性强,稍加改装即可适用于同等类型斜拉桥、连续刚构桥和连续箱梁的主梁悬浇施工。

追求科技创新,力求达到施工设备的标准化、模块化,是施工企业努力发展的方向。挂篮设计将向轻型高效方向发展,以满足将来大跨径桥梁悬臂施工要求。

由于笔者水平有限,挂篮设计中肯定存在有疏漏或不足之处,敬请各位专家、同仁不吝赐教,以便在日后工作中不断改进。

3 经济分析

3.1 设计与加工直接费

(1)委托专业设计费用:12万元;

(2)自主设计费用:咨询费2万元;

(3)自主加工费用:38.41万元(1 670元/t);

(4)委托加工费用:94.3万元(4 100元/t)。

节约的总费用约: $(12-2) + (94.3-38.41) = 65.89$ 万元。

3.2 远期效益

(1)掌握了设计技术,培养了设计人员。为今后我公司类似的结构设计,提供了一定的保证。可以说,创造了培训费用(节约)约20万元。

(2)挂篮结构形式,适宜于今后的连续刚构桥的施工,挂篮的后期净值达85万元。比常规施工的后

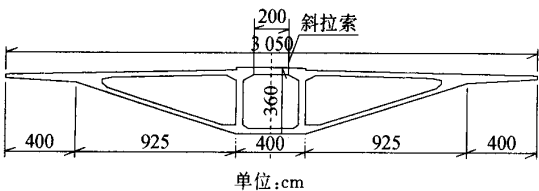


图 1 标准主梁横断面

斜拉桥上部结构总体上一般分钢结构和预应力混凝土结构,钢结构主梁形式可分钢桁架梁式、钢箱梁式、混合梁式和叠合梁式,混凝土结构则有边主梁、标准箱梁、倒三角形箱梁等几种形式,从施工方式上有悬拼、悬浇及现浇几种。

对于混凝土斜拉桥的施工,悬臂吊机和悬浇挂篮大家已很熟悉,且有较成熟的技术,其中前支点悬浇挂篮在铜陵长江大桥上首次应用,随后在江西南昌新八一大桥、武汉江汉四桥、湖南岳阳洞庭湖大桥、

江西鄱阳湖大桥、湖北荆沙长江大桥等多座斜拉桥上成功应用,技术成熟可靠。高赞大桥采用的是倒三角形箱梁,底板宽度为 4 m,斜拉索横向间距为 2 m,设计上根据结构需要明确要求采用牵索挂篮施工。通过对国内采用前支点挂篮施工桥梁的统计分析,发现大部分桥梁主梁为双索面、边主梁(双肋板式)结构,对于本桥箱梁来说若采用常规牵索挂篮施工则存在以下几个问题:挂篮前端横向稳定性差(两根索横向中心间距仅为 2 m,受力点非常集中,且主梁断面为倒三角形)、底篮前端横向悬臂大(挂篮设计难度大)、C 型梁没有合适的支撑点(若设在顶板与斜腹板的交汇处,C 型梁设计制作难度大,且非常笨重不便施工)。在考虑设计方案时对国内多座相对类似桥梁施工进行了调研与分析,同时广泛咨询了多位行内专家的意见。部分桥梁牵索挂篮情况见表 1。

表 1 国内部分牵索挂篮施工的统计分析

项目名称	主梁基本尺寸及相关数据	斜拉索横向间距	施工方案比较
临江门斜拉桥	倒梯形双室开口箱梁,梁宽 27.5 m,高 2.0 m,节段长度 7.5 m,单块重约 300 t	双索面,7.5 m	牵索挂篮,底篮由万能杆件拼装而成,C 型梁倒挂,行走时利用 C 型梁在梁顶滑移来完成,后滚轮配合
武汉长江二桥	梁宽 29.4 m,高 3.0 m,双边箱开口截面,节段长度 8 m,单块重约 500 t	双索面,28.4 m	复合型牵索挂篮施工,牵索挂篮与上行挂篮综合,纵梁与底篮是一整体,浇注混凝土时斜拉索与上行挂篮共同承受荷载,行走时分两次进行,先行走上行桁架,然后再行走底篮
西昌大桥	梁宽 28.5 m,高 3.36 m,单箱五室,底板宽 12.3 m,节段长度 6 m	单索面,1.34 m	复合型挂篮施工,该挂篮牵索纵梁设置在主梁的箱室内而不是与底篮连接成整体,浇注混凝土时斜拉索与上行挂篮共同承受荷载,行走时上行桁架与底篮整体行走
广东崖门大桥	梁宽 26.8 m,高 3.55 m,单箱五室,底板宽 10 m,节段长度 6 m	单索面,2.0 m	牵索挂篮(无 C 梁)施工,纵梁与底篮是一整体,浇注混凝土时前端只有斜拉索承受荷载,行走时在主梁前端安装有导梁作为前移轨道,后端则利用锚固在主梁上的吊架

从表 1 可以看出,西昌大桥和广东崖门大桥与高赞大桥比较相似,均为单索面结构,但箱梁截面有较大区别,其梁顶宽度比高赞大桥小,梁底板宽度比高赞大桥大,挂篮设计及施工难度均比高赞大桥小,因此高赞大桥因其自身的特点在国内是唯一的。

2.2 总体设计方案的确定

经过大量的分析比较,认为采用复合式牵索挂篮比较合适,即将牵索挂篮和普通中支点挂篮综合使用,以解决常规牵索挂篮应用在本项目上存在的问题。

在挂篮方案选型过程中,影响方案最终定型的几个重要因素有:(1)挂篮的行走方式;(2)中支点反力的数值及作用位置;(3)大悬臂底篮结构的横向刚度;(4)底篮系的结构外形。因本桥箱梁独特的断面形式,常规 C 型挂钩滑行方式无法实现,在此参考中支点挂篮的行走方式,即在梁顶设置行走桁架来负

责挂篮的前移,但在混凝土施工过程中不参与受力,从主梁的结构特点、受力要求和行走桁架的本身的受力及稳定性方面综合考虑,在梁顶对称设置两组桁架,每组桁架由两片纵向桁架组成,桁架片之间利用杆件连接使整体形成空间结构,桁架形式采用受力性能好的菱形结构。该挂篮在悬浇施工时,中支点的力是比较大的,设计过程中必须考虑混凝土梁的受力要求,在此我们考虑将底篮设计成双钢箱和四钢箱(钢箱之间通过空间桁架连接)结构两种方案,经过计算得出四钢箱结构中的边箱受力远大于中箱受力,对混凝土主梁受力不利,而双钢箱受力状况明显合理。底篮前端只有斜拉索约束,横向悬臂大,若直接通过桁架自身结构来实现足够的刚度,桁架高度将很大,并直接导致自重的增加,在此考虑设置横向对拉系统(可以近似看作体外预应力),施工时根据需要随时施加需要的对拉力以满足横向刚度

要求。至于底篮结构的外形,为减少挂篮模板的加工难度,减轻底模重量,以及从结构美观上考虑,决定将挂篮底篮结构顶面外形与箱梁底面外形相匹配,底篮底面中部位置底宽与箱梁底面同宽,两侧向翼缘外侧边采取直线过渡的方式。

3 挂篮结构设计

3.1 总体构造

该挂篮主要由底篮系统及行走提篮系统两大部分组成,总体结构如图2所示。

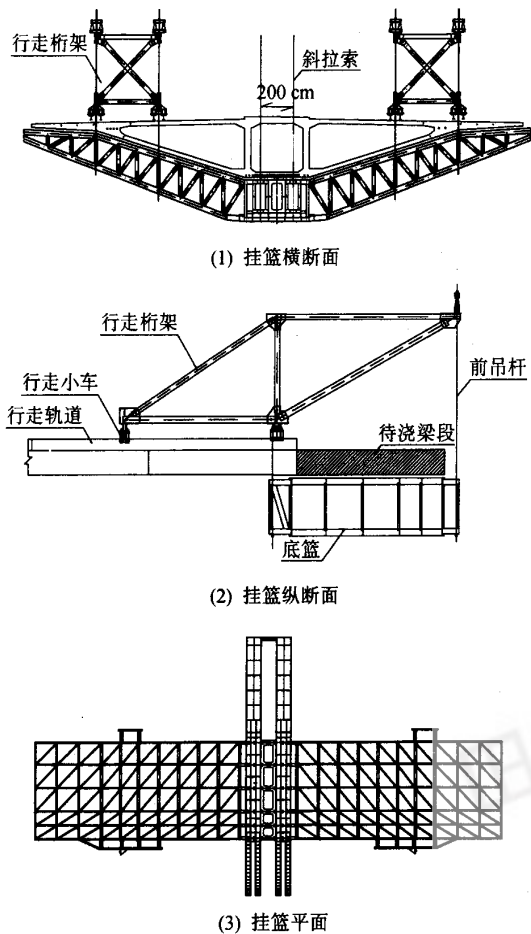


图2 挂篮总体结构

3.1.1 底篮系统

底篮系统包含钢箱系、钢箱行走系、钢箱锚固结构、桁架系、对拉支撑系、桁架锚固结构和钢箱止推机构。

一个挂篮底篮系统共设置两组钢箱,中距为200 cm,与斜拉索梁上锚点同宽。钢箱为底篮系主支撑系统,分弧形梁、中主梁和行走尾梁三部分,前

端弧形梁由斜拉索支撑,钢箱中主梁和尾梁通过锚杆锚固在相邻已浇注梁体上。钢箱中主梁与桁架系连成整体,行走时钢箱前端由桁架系的悬吊系统支撑,后端通过钢箱尾梁在钢箱行走滑车上的滑移来实现整体底篮系统的前移。

桁架采用空间结构,整体形状与高赞大桥主梁底面形状一致,总体平面尺寸为31.5 m×6.3 m,桁架横断面采用不等截面形式,在箱梁底板范围为等高(2.5 m),然后向两侧逐渐递减,纵桥向为等截面。为保证桁架的横向刚度,在底篮前端设置了横向对拉结构,对拉点与前吊点的设置一起考虑。对拉杆只是在悬浇过程中需要预拉力,空载时应松弛。桁架的悬浇锚固均在桁架后端设置,利用粗钢筋作为吊杆支架提住底篮桁架底部节点。止推机构是承担拉索水平分力的主要系统,按剪压摩擦型设计。

3.1.2 行走提篮系统

行走提篮系统包括行走桁架、行走轨道、行走小车、中支点和前吊点等几个部分。

一个挂篮包括两组行走桁架,每组桁架又由两片组成,采用菱形空间结构布置,一组桁架高度为4 m、横向宽度为3.895 m、纵向总长为13.441 m。行走轨道采用标准工字钢组拼,行走桁架通过行走小车、中支点与轨道连接,行走时行走小车倒扣在轨道上。每片行走桁架的前端均设置吊点,采用钢板吊带与底篮桁架前吊点连接,前吊点在悬浇时原则上不允许参与受力,只起平衡保护作用,施工时应严密监测控制。行走桁架在混凝土梁悬浇时后端节点箱需进行反压。

3.2 结构计算

3.2.1 计算工况分析

计算时将底篮和行走桁架单独进行。根据对该挂篮施工过程的研究,底篮结构最不利工况为梁段混凝土浇注结束时和挂篮刚行走到位时。计算时分别对1号(斜拉索倾角最大)和21号(斜拉索倾角最小)梁段进行了计算,同时考虑到止推器的受力分析,最不利为21号梁段施工时;行走桁架最不利工况为挂篮行走到位时。

3.2.2 计算

底篮系统为本设计的关键,21号块段悬浇满载为最不利施工状况,计算时采用的是功能强大的ANSYS空间有限元程序软件。

(1) 计算模型

计算模型见图3所示。

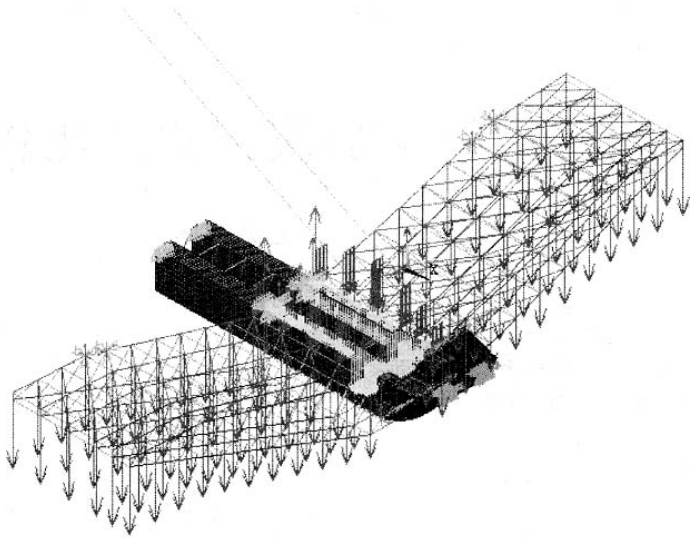


图3 挂篮计算模型

(2) 计算结果。

结构竖向最大变形发生在底篮桁架横向的最外端,最大值为 13.14 mm;

结构的最大拉应力为 111 MPa;

结构的最大压应力为 95.9 MPa。

3.3 挂篮施工流程设计

该挂篮施工工序较复杂,施工过程中需严格按照程序进行,否则会产生质量和安全隐患。挂篮的总体施工顺序为:测量放样→挂篮锚固就位→斜拉索挂索安装并初拉→底模调校→底板、腹板钢筋绑扎→侧模及内顶模安装→顶板钢筋绑扎→浇注 30%混凝土→索力二次调整→浇注 70%混凝土→索力再次调整→混凝土养生→主梁体内预应力束张拉→斜拉索张拉至设计吨位→对拉体系转换→安装行走系→卸锚杆底篮落模→挂篮前移行走至下一块段施工→重复以上步骤进行下一块段悬浇施工。

3.4 施工监控设计

施工监控对斜拉桥上部结构施工相当关键,总体来说,施工监控包括的内容很多,而且这个工作需要与设计单位、监控单位共同来完成。在挂篮设计时为满足施工过程中的监控需要,按施工程序对每一

块段施工时的各个阶段进行模拟计算,统计出各控制位置的挠度、关键构件的内力、斜拉索的张拉力及底篮前面梁段横向对拉力等数据。另外,为保证计算数据的准确性,在正式施工前进行压载试验,将试验结果与计算结果比较,认真分析后对计算数据进行修正,最后用于指导施工。

4 结语

高赞大桥主桥上部结构倒三角形箱形断面主梁,结构轻,材料省,抗风性能又好,线型优美,该结构在沿海台风区和其他风速较大的区域有广阔的市场前景,复合式牵索挂篮则从施工上给予了有力的支持,本挂篮的成功设计与使用,为以后同类型桥梁施工提供了宝贵的经验。

该挂篮设计构思新颖,底篮采用了受力性能好的空间桁架结构,外形上使挂篮顶面与混凝土梁底面保持一致,大大减轻了模板重量,挂篮总体重量也相应地减轻了。底篮前端设置了预拉设施,既保证了结构刚度也减轻了底篮自重。行走方式上引入了中支点挂篮的行走特点,给牵索挂篮的使用注入了新的思路。