

超宽型桥面斜拉挂篮构造分析及探讨*

李生海, 苏永会, 丁忠诚

(中港二航路桥建设有限公司, 重庆 400042)

摘要:以某斜拉桥主梁悬浇为实例,比较详细地阐述了超宽型桥面斜拉挂篮主要构件的构造及其功能、运行原理、计算模型。对挂篮主梁悬浇施工中出现的构造和功能方面的问题作了进一步的探讨。

关键词:超宽型;挂篮;构造;分析

中图分类号:TV74 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2006)05-0007-06

Structural Analysis and Discussion of Wide-stayed Bridge Basket

LI Sheng-hai, SU Yong-hui, DING Zhong-cheng

(2d Navigation Bureau Road and Bridge Construction Co. Ltd, Chongqing 400042, P. R. China)

Abstract: Based on a cable-stayed bridge girder as an example, the structure and function, the operating principle and calculation model of the main elements of the Basket of wide-stayed bridge were described in detail. A further discussion was carried out on the Basket of Cantilever construction of the main beam in the structure.

Keywords: super wide type; basket; structure; analysis

某H形独塔、双索面、塔梁柱固结、混凝土斜拉桥,主跨跨径190m。主梁为双主肋断面形式,由主肋、桥面板和横隔板组成。主肋标准高为2.7m,宽1.7m,两主肋中心距29.5m,桥面宽40.5m,见图1。横隔板纵向标准间距为6m,为双长悬臂结构,横隔板及桥面板厚均为0.28m。一个标准节段混凝土方量为146.4m³,悬浇节段长6m。斜拉索采用环氧喷涂钢绞线,OVM250-55平行钢绞线拉索体系,共24对,布置为竖琴式,梁上间距6m,与主梁夹角32°,设计为塔内张拉。

与同类桥型相比,本桥有3大特点:其一,桥面超宽达40.5m,是国内最宽的桥;其二,斜拉索采用环氧喷涂钢绞线,是一种新技术产品;其三,主梁采用密索体系,抗弯刚度相对较大。

本桥上述特点,使主梁悬浇挂篮的设计与施工成为一个值得研究的课题。

1 挂篮构造及运行原理

1.1 挂篮构思

自原联邦德国迪维达克公司开创挂篮悬臂浇筑法以来,至今,已开发出桁架式、三角式、型钢式、斜拉式等结构形式多种多样的挂篮。作为一种移动支架,挂篮的运行原理是一致的:即利用已筑梁体结构承受待

筑梁段的施工荷载。

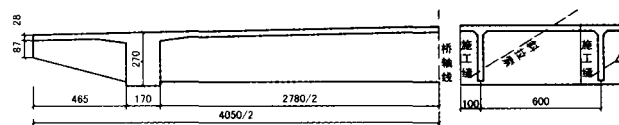


图1 主梁标准断面/cm

就前支点斜拉挂篮而言,按受力方式可分为长平台和短平台两种。本桥斜拉索采用的是钢绞线拉索体系,根据施工工艺的要求,斜拉索初张力(即挂篮后、混凝土浇筑前)很大,几乎占混凝土浇筑完毕后索力的1/2。由于短平台斜拉挂篮具有与已筑梁体连接弱的缺陷,不能平衡斜拉索初张力所产生的强大的挂篮后倾力。因此,本桥选择长平台前支点斜拉挂篮形式。

对本工程,构思挂篮总体构造,最大的难点在于应该采用怎样的结构使挂篮满足超宽型主梁的施工。本桥宽40.5m,翼缘悬臂4.65m,主肋中心距29.5m,是国内同类桥型中最宽的桥。结构除了要满足强度的要求外,还要满足刚度的要求,但横跨大,要满足变形(挠度)小的要求太难;其超长悬臂,给挂腿的设计增加很大困难。采用挂篮现浇的混凝土斜拉桥,其翼缘悬臂一般都不大,大多在1.5m以内,而本桥为4.65m,也就是说挂腿需要从主梁主肋底部出发,绕过长长的悬臂翼缘,最终挂在主肋位置桥面上。这势必造成

* 收稿日期:2006-05-15

作者简介:李生海(1975-),男,四川宜宾人,工程师,主要从事路桥施工研究。

挂腿过于庞大。

针对以上两个难点,本桥采取的对策是:采用拱架模板系统解决横跨大挠度大的问题,采用后浇悬臂翼缘砼绕开过大的挂腿设计。

拱架模板系统具有重量轻,刚度大的特点,这不仅成功的解决了横跨大的难题,同时也减轻了挂篮重量。采用悬臂翼缘后浇,也就是挂腿前移后再补浇后面的翼缘混凝土,使挂腿不必绕过宽翼缘,重量大大减轻,也使挂腿设计和运行变得容易。

挂篮是主梁悬浇施工的重要设备,本工程主梁节段混凝土方量大(146.4 m^3),挂篮所荷载荷大,使用工况复杂,是目前国内使用过的最大挂篮之一。因此,其主要承载构件采用钢箱梁截面形式。

1.2 总体构造

挂篮由承载平台、张拉系统(体系转换系统)、锚固系统、行走系统、拱架模板系统等主要功能系统组成,见图2,图3。

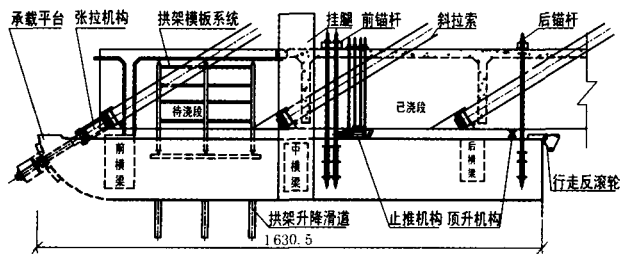


图2 挂篮纵断面/cm

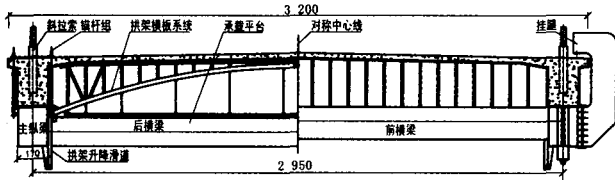


图3 挂篮横断面/cm

1.2.1 承载平台 承载平台是挂篮的主体结构,是挂篮各系统实现其功能的载体(传力路径)。承载平台由一个平面刚架和各功能附件组成。如图4。

平面刚架为二纵梁三横梁式,包括主纵梁二根,前、中、后横梁各一根,中横梁、后横梁之间设两道型钢桁架。

承载平台上平面距离主肋底面40 cm,分别作为设置模板、张拉机构、止推机构、顶升机构的操作空间。

前横梁直接承受现浇节段隔板混凝土等施工载荷,并将载荷传递给挂篮纵梁,再由纵梁上锚固系统传递给已浇梁体。中横梁和后横梁在本挂篮中不直接承受力,主要起构造作用。

纵梁是整个挂篮体系的核心构件,它直接或间接的承受各类载荷(新浇节段混凝土重量、斜拉索索力、

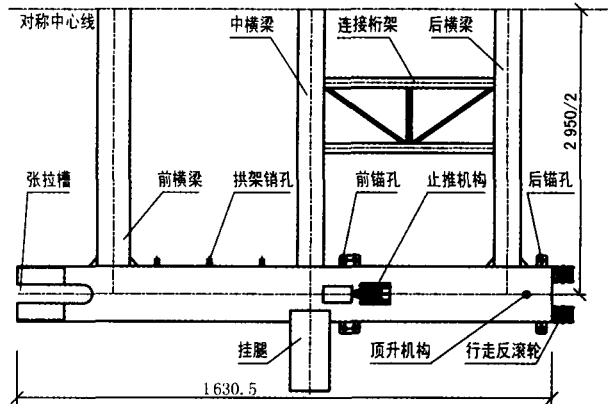


图4 1/2 承载平台/cm

挂篮自重等),并将此载荷传递给已浇梁体。纵梁上各功能附件主要有以下几项:

1)张拉槽。主纵梁通过张拉槽接受斜拉索索力(载荷)。张拉槽设置在主纵梁前端,它是以主肋上锚固点为中心的圆弧形承力面,以适应张拉系统(体系转换)的布置。

2)拱架销孔。设置在主纵梁内侧,它间接的承受通过拱架模板系统传递过来的主梁顶板混凝土等载荷。

3)锚固系统功能附件。包括纵梁上前、后锚孔、止推机构、顶升机构。锚固系统功能附件是挂篮体系处于工作状态时向已浇梁体传力的通道,其中止推机构是纵梁向已浇梁体传递水平力的唯一路径(忽略摩擦力)。

4)行走系统功能附件。包括挂腿和行走反滚轮。行走系统功能附件是挂篮体系处于行走状态时向已浇梁体传力的通道。

1.2.2 张拉系统 张拉系统的功能是在挂篮悬浇施工时将斜拉索与挂篮连接起来形成前支点,以降低施工中主梁临时内力峰值;在悬浇完成后,将斜拉索与挂篮分离,实现索力的转换。见图5。

张拉系统由张拉垫块、张拉机构及钢绞线斜拉索锚具组成。张拉机构中的张拉千斤顶通过撑脚固定在张拉垫块上。张拉垫块可沿主纵梁头部曲梁内导轨上下滑动并锁定,因而前支点位置可调,以适应中跨、边跨节段斜拉索平面位置的变化。前支点定位完成后,可由丝杆、螺母锁定。张拉千斤顶通过张拉杆、索力转换架(图6)实现与拉索锚具的连接和分离。

挂索,即张拉机构与拉索锚具连接,其操作程序为:

1)锚具带斜拉索在索导管内精确定位。根据锚具规格选配索力转换架的连接螺母;

2)放松张拉千斤顶端头及撑脚内锁紧螺母,使张

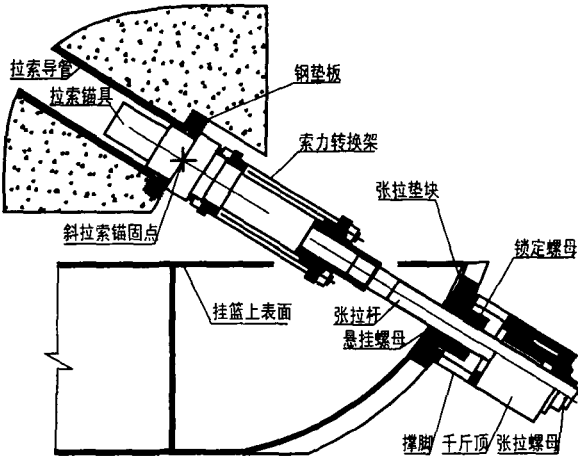


图 5 张拉系统

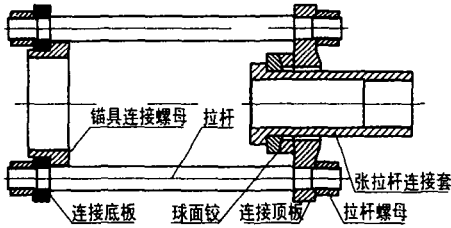


图 6 索力转换架

拉杆与索力转换架对齐,拧上连接螺母;

3) 借助设在主纵梁头部手拉葫芦,拖动张拉垫块在主纵梁头部曲梁上滑动,使张拉机构与斜拉索定位在一条直线上;调整张拉垫块上的锁紧螺母,固定张拉机构位置;

4) 调整撑脚内锁紧螺母,使锁力通过张拉杆及撑脚内锁紧螺母,由张拉垫块传至挂篮上。

索力张拉:

设计要求张拉操作在塔上进行。

索力转换,即在一个节段浇筑完成后,将索力由挂篮转换到已筑梁体上,并使挂篮与斜拉索分离,其操作程序为:

1) 操作张拉千斤顶施加张拉力,拧紧拉索锚具上拧紧螺母;

2) 放松张拉千斤顶,使索力由锚具承受;

3) 拆除连接螺母,挂篮与斜拉索分离。

1.2.3 锚固系统 锚固系统包括前后锚杆组、止推机构和顶升机构。

前锚杆组设主纵梁中部,其作用是将承载平台承受的施工荷载传递到已浇梁体上,后锚杆组设主纵梁尾部,其作用是平衡挂篮斜拉索初张拉时产生的后倾力。

止推机构设主纵梁中部、前锚杆组附近。止推机构的作用是抵抗斜拉索张拉力的水平分力,并可纵向微调挂篮位置。见图 7。

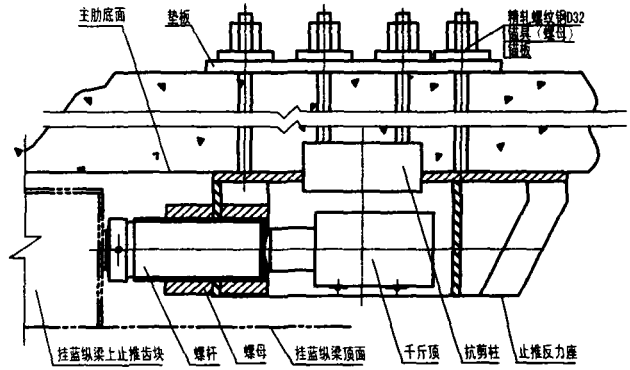


图 7 止推机构

止推机构的操作程序为:(1)安装止推反力座、精轧螺纹钢及锚具;(2)安装止推千斤顶;(3)同时操作左右两台止推千斤顶,使挂篮前移到位;(4)转动锁紧螺母,顶紧止推反力座。

顶升机构设主纵梁尾部、后锚杆组附近。顶升机构实现挂篮空载时前端标高的调整以及挂篮状态转换两种功能。见图 8。

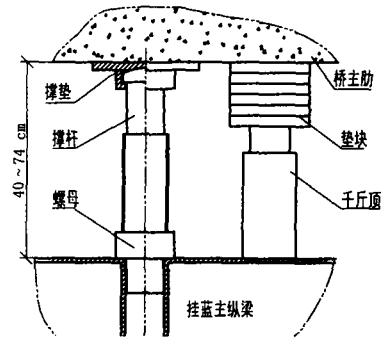


图 8 顶升机构

顶升机构的操作程序为:(1)当挂篮纵向定位后,在其尾部安装顶升千斤顶;(2)千斤顶油缸伸长,调节螺杆上升或下降,可调挂篮前端标高;(3)当标高满足要求后,锁定支座顶面的螺母。

1.2.4 行走系统 行走系统由挂腿、牵引机构及行走反滚轮组成,实现挂篮空载前移功能。

牵引机构由两台 650 kN 穿心千斤顶通过两根 Φ32 精轧螺纹钢筋,同步牵引挂腿下部行走滑靴带动挂篮前移,行走滑靴在主梁桥面铺设的专用滑板上滑动。挂篮行走时由行走反滚轮平衡前倾力,行走反滚轮在已浇主梁主肋底面滚动。见图 9。



图 9 牵引机构

牵引机构的操作程序为:(1)滑板前移;(2)安装千斤顶及精轧螺纹钢筋;(3)两台千斤顶同步工作,牵引挂篮前移。

1.2.5 拱架模板系统 拱架模板系统由横梁底模及侧模、主肋侧模、顶模、顶模拱架等组成。

横梁底模位于承载平台前横梁之上。后端顶模采用拱架支撑,拱架通过铰接固定在主纵梁内侧的滑轨上。

拱架用 650kN 穿心式千斤顶提升到位,并用销轴定位。因而可方便地立模、拆模并将模板系统整体移至下一待浇节段。见图 10。

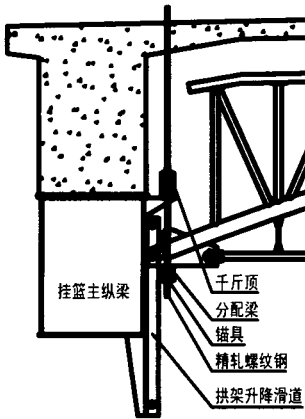


图 10 拱架升降机构

1.3 运行原理

一个循环节段内挂篮悬浇施工的工艺为:(1)混凝土养护;(2)体系转换、调整斜拉索索力(三张);(3)挂篮移至下一节段;(4)钢筋绑扎;(5)挂索(一张);(6)浇筑混凝土至 1/2;(7)调整斜拉索索力(二张);(8)浇筑余下 1/2 混凝土。

在各节段的施工过程中,挂篮均存在两个状态:即行走状态和浇筑状态。其中第(3)项“挂篮移至下一节段”包含了挂篮在两个状态之间转换的过程,主要有以下工序:(1)拆除模板,下落拱架;(2)拆除前后锚杆组,挂腿下落至滑板上;(3)拆除止推机构;(4)顶升机构千斤顶反顶主肋,安装行走反压滚轮;(5)张拉牵引机构千斤顶,牵引挂篮至下一节段位置;(6)安装止推机构;(7)顶升机构千斤顶反顶主肋,拆除行走反压滚轮;(8)安装前后锚杆组;(9)通过顶升机构调整模板标高;(10)提升拱架模板系统;(11)连接张拉机构与斜拉索,形成挂篮前支点。

2 计算模型

挂篮计算包括挂篮各构件、各运行工况的强度、刚度和稳定性验算。本节以挂篮主纵梁在节段混凝土浇筑刚刚完毕后的工况为示例,进行强度计算,重在结构

分析,说明计算方法。

索力载荷化。斜拉索对主纵梁作用的真实情况是弹性约束,挂索后,索力在各工况、各阶段随其它载荷的变化而变化,即此时的主纵梁理论上应简化为超静定结构。实际施工中,由于斜拉索力需要根据施工情况调整,即调索。若按超静定结构求解出的斜拉索力进行调索,有时并不能反映实际施工中主纵梁受力的真实情况。另一方面,调索的幅度是有限的,调索后索力的大小是一个随机变量,其数值与监控的准确程度有关。实用计算中,可以根据设计、施工的经验偏安全的取一个力作为斜拉索力计算值,如本挂篮设计索力计算值 3 500 kN,从施工结果看,实际索力 3 200 kN。由此可见,在进行结构分析时,为了计算方便,可将斜拉索索力作为挂篮主纵梁载荷处理。

索力载荷化处理后,主纵梁可以简化为悬挑梁,如图 11、图 12。

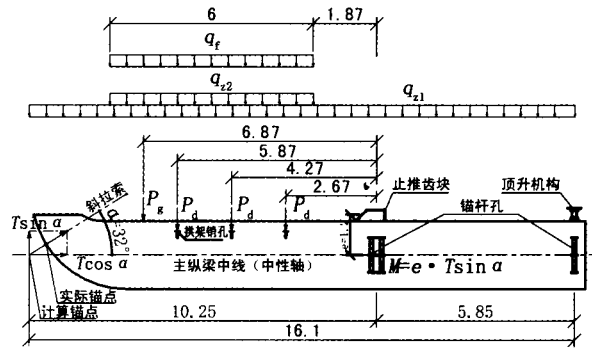


图 11 实际结构/m

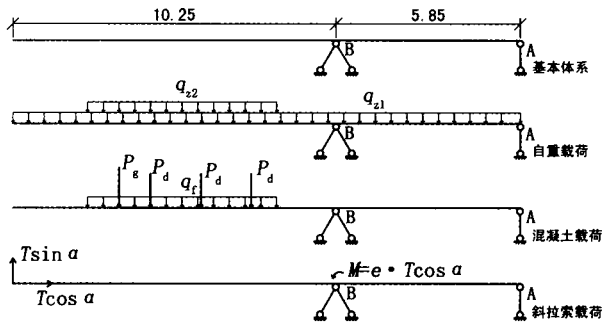


图 12 简化模型/m

该结构为静定体系,支座 B 是双向铰支座,由前锚杆组的竖向约束力和止推的水平约束力组成,支座 A 是单向支座,由后锚杆组和顶升机构的竖向约束力组成。

主纵梁承受的载荷主要有:

2.1 斜拉索索力载荷 T

此项载荷可以分解为竖向分力 $T\sin\alpha$ 和水平分力 $T\cos\alpha$,由于斜拉索的实际锚点不在主纵梁的中轴线上,可将斜拉索力作用线与主纵梁中轴线(中性轴)的交点作为计算锚点,这样处理是为了消除实际斜拉索

水平分力偏心带来的计算模型误差。

止推机构作用于挂篮的力是由斜拉索水平分力引起的,大小等于斜拉索水平分力,方向相反,并且作用位置在主纵梁顶部,偏离主纵梁中轴线 $e = 1.2 \text{ m}$ 。根据力的等效性原则,可将止推力移至主纵梁中轴线上,并增加相应附加弯矩 $M = T \cos \alpha \times e$ 。

由上所述,斜拉索力在简化后的基本体系中可以等效的表示为以下3个力(力偶): $T \sin \alpha$, $T \cos \alpha$, $e \cdot T \cos \alpha$,其作用位置如图12所示。

2.2 挂篮自重 q_{z1}, q_{z2}

由实际构造,整个挂篮的重量分布并不均匀,若为了计算方便,将其视为均布载荷作用于整个主纵梁上会引起较大的计算模型误差。根据挂篮前段比后段重的构造特点,将挂篮自重分解为两个均布载荷 q_{z1}, q_{z2} 较为合理。挂篮实际的自重及重心由设计构造图可查,根据力的等效性原则,可求出 q_{z1}, q_{z2} 。

2.3 横隔墙混凝土载荷 P_g

由挂篮前横梁传递给主纵梁的横隔板混凝土载荷,可将其简化为集中载荷。

2.4 顶板混凝土载荷 P_d

由挂篮拱架传递给主纵梁的顶板混凝土载荷,可简化为3个集中载荷。

值得说明的是,对主纵梁来说,该载荷为横向偏心载荷,如果忽略偏心影响,该载荷产生的主纵梁剪切应力将产生较大误差。对本挂篮,偏心距为 2 m ,主纵梁宽度 1.7 m ,高度 2.0 m ,如果忽略载荷 P_d 偏心,由该载荷引起的剪切应力计算值误差高达 50% 。

2.5 主肋混凝土载荷 q_f

为均布载荷,作用于主纵梁前段。

由线性叠加原理,挂篮主纵梁的内力等于上述各种载荷各自对主纵梁产生的内力之和(其它如施工机具等载荷可折算在上述载荷中)。

由载荷效应的复杂性可知,主纵梁受力复杂,对后段,主纵梁处于弯剪状态;对前段,主纵梁受力状态为压、弯、剪、扭状态,其中扭转是次要的,近似计算时可忽略不计。

本挂篮主要设计载荷有:(1)混凝土载荷:标准节段重量为 380 t ;(2)挂篮体系自身重量为 164 t ;(3)其它施工载荷按《公桥规》取 1.5 kN/m^2 ;(4)斜拉索力,挂篮所受最大索力取 $3\,500 \text{ kN}$ 。

另外,挂篮所受的风载荷作为挂篮校核载荷处理,取值为:挂篮工作状态风速取 13.6 m/s (六级风);挂篮非工作状态风速取 28.9 m/s (桥面设计风速)。

根据上述计算模型,主纵梁截面最大正应力 150 MPa ,最大剪切应力 47 MPa 。与设计提供的最大正应

力 145 MPa ,最大剪切应力 44 MPa 的电算结果相一致。

3 对挂篮构造进一步改进的探讨

3.1 挂腿和翼缘后浇

前面提到,由于主梁翼缘悬臂太长,为避免挂篮的行走挂腿过于庞大,采用了翼缘后浇技术绕过了这个问题。但实际施工中,主梁翼缘后浇有令人不满意的两点:

3.1.1 后浇翼缘预留钢筋处理困难 由于预留钢筋阻挡了挂腿的通道,需要预先弯折,挂腿过后再调直。这不但大大增加了翼缘钢筋绑扎的工作量、影响了速度,而且,钢筋经过一弯一直处理,一定程度上影响了翼缘工程结构的质量。

3.1.2 主梁合拢段施工困难 在进行合拢段施工时,由于挂腿的阻挡,翼缘有 15 m 长不能合拢,只有在主肋和顶板合拢后,再拆除挂腿,补浇这部分混凝土。这额外增加了施工工作量,影响了施工速度。

上述问题的出现,有必要研究宽翼缘悬臂挂篮挂腿。

根据主梁翼缘带悬挑隔墙的特点,可以将挂腿在桥面的着力点不作用在主肋附近,而是往翼缘方向适当外移,并在桥面挂腿着力点铺设一道滑梁,以弥补桥面翼缘顶板混凝土强度不足的缺陷,这样挂腿重量就会大大减轻。如图13。

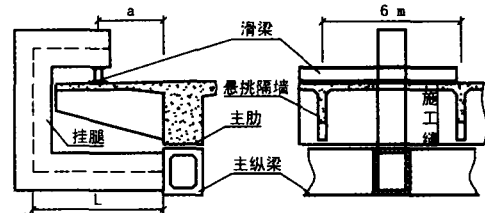


图13 挂腿设想图

为了使挂腿重量最小,挂腿在桥面的着力点到主肋外壁距离应满足 $a = L/2$,这样可使挂腿截面的控制最大弯矩最小。它与挂腿着力点位于主肋外侧壁桥面相比,挂腿的控制弯矩将减少到一半,使挂腿的设计相对容易。

参照主梁结构图,主梁悬挑隔墙布置有4束 $12\Phi^{15.24}$ 钢绞线,受力能满足挂腿布置的需要。

滑梁的受力可简化为计算跨度 5.24 m 的简支梁,在挂腿着力 $P = 1\,200 \text{ kN}$ 情况下,不考虑翼缘顶板混凝土受力,采用4肢并排 I56 型钢即能满足受力,但在布置上不合理,底宽 70 cm 过大。可考虑做成钢箱梁形式滑梁,箱梁底宽 50 cm ,高 60 cm ,重量仅 30 kN 。

3.2 止推机构

止推机构具有3大功能:(1)抵抗斜拉索的水平分力(止推功能),该功能是主要的;(2)纵向微调挂篮位置(微调功能),该功能是辅助的;(3)顶紧挂篮,防止挂篮纵向非弹性变形(位移)过大(顶紧功能),该功能也是辅助的。从设计角度看,该机构功能完美,从施工角度看,却增加了止推机构的安装难度。

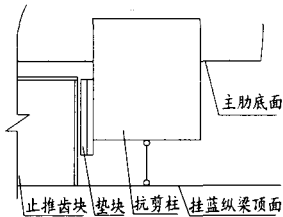


图14 止推机构设想图

施工中最难安装的是止推机构的8根精轧螺纹钢,精轧螺纹钢预留孔($\Phi 50$ mm PVC管)穿过2.7 m厚的主肋混凝土,易造成预留孔平面位置精度不够、倾斜度偏大,达不到安装质量要求。

受操作空间的限制,止推机构的螺杆螺母旋紧困难,千斤顶油管的连接也不方便。

从施工角度,挂篮的止推机构宜做成图14的简单形式,如宁波大榭岛跨海桥主梁悬浇挂篮的止推机构形式。图14所示止推机构除保留止推功能外,缺少了微调和顶紧功能。现从施工角度,对原止推作一简要讨论:

3.2.1 原精轧螺纹钢锚杆的设置不是必须的 设置锚杆的主要意图是为了防倾,理论分析表明,防止止推机构倾翻可以由抗剪柱的抗弯刚度来实现,实际施工中,由于锚杆安装困难,通常只能安装4根(设计8根),而且安装精度往往达不到设计要求。

3.2.2 原止推机构微调挂篮的功能可以由其它途径实现 原止推机构微调挂篮功能,是为了实现挂篮纵向位置的精确定位。实际施工中,很少用这一功能。主要原因是:挂篮的定位实质上就是模板的定位,而模板的安装定位是一块一块的安装的。即使挂篮精确定位后,模板还得由测量放样确定。从施工人员看来,安装精度的调整比操作笨重的挂篮整体更方便、更直观、更容易实现。

3.2.3 原止推机构顶紧挂篮的功能可以取消 顶紧功能是为了防止止推机构和挂篮间留下“空隙”。施工中,在止推与挂篮间填塞钢垫板,其空隙一般可控制在5 mm以内,对挂篮悬浇主梁来说,这个误差完全可以接受。实际施工中,有时因为止推机构安装误差较大,不得不在止推机构的螺杆前端增设钢垫板,或取下

螺杆、螺母而直接以钢垫板替代。

综上所述,图14所示止推机构构造简单、受力明确、操作性强,可满足施工需要,是一种可供选取的止推方式。

3.3 拱架

设置拱架是为了解决挂篮横向跨度大、桥面顶板挠度大的问题。它使施工操作简便,速度快。但从挂篮自身的结构看,拱架的设置使挂篮中横梁、后横梁不参与受力(实际受力,但很小),仅起构造作用,这就增加了挂篮重量。

为了避免上述弊端,同时解决挂篮横向挠度大的问题,可尝试取消拱架,增设中纵梁,并在桥面中部挂篮后端增设跨中锚杆组,依靠中纵梁的悬臂刚度承受部分混凝土载荷。这样,也可以达到减小挂篮横向挠度的目的。由于挂篮中横梁、后横梁参与受力,它还可以减轻挂篮重量。

4 结语

1) 本挂篮自重164 t,节段混凝土重380 t,挂篮系数0.43。主梁施工速度快,一般情况下7 d一个节段,其中混凝土养护3 d,移挂篮2 d,钢筋绑扎和混凝土浇筑2 d。

2) 根据悬浇主梁特点及工程实际情况,找出挂篮应满足施工所需要的使用功能,是挂篮初步设计需要收集的资料。挂篮结构的详细设计阶段,应按施工工艺,特别注意挂篮操作的方便性,否则很难按设计意图运行。

3) 斜拉索力载荷化处理是对前支点斜拉挂篮结构受力分析的一种简化计算方法,它既避免了求解超静定结构,又能符合斜拉挂篮的受力实际工况。

4) 本文对超宽型桥面斜拉桥挂篮结构分析及探讨中提出的解决思路和办法,以及对施工中出现的问題进行的处置,希望能对类似桥梁工程施工具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 项海帆,姚玲森. 高等桥梁结构理论[M]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [2] TJT 041-2000,公路桥涵施工技术规范[S].
- [3] 交通部第一公路工程局. 桥涵(公路施工手册)[M]. 北京:人民交通出版社,1985.
- [4] 黄绳武. 桥梁施工及组织管理[M]. 北京:人民交通出版社,1992.