

新型空间大角度长调节量吊索 在天津富民桥上的应用

李新春 彭春阳 李东平 张日亮 郑国坤

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

摘要: 本文介绍了一种新型的用于空间缆索结构悬索桥的空间大角度长调节吊索, 对其结构设计、具体实施方式、张拉方法等进行叙述, 通过与传统结构的吊索对比得出其优异性, 并在天津富民桥项目中实施验证了该型吊索的可用性。

关键词: 悬索桥 空间缆索 吊索 连杆 底座

1 引言

近年来, 随着桥梁结构型式的不断发展创新, 一种结构新颖、外型美观的空间缆索结构悬索桥在国内已经开始得到应用。这种悬索桥采用空间缆索结构, 主缆线形是空间结构, 在竖直面、水平面上的投影同时呈曲线线型, 在体系转换时主缆存在竖、横、纵三向变位。天津海河两岸综合开发项目主要内容之一、国内首座单塔空间索面自锚式悬索桥—天津富民桥, 经过柳州欧维姆机械股份有限公司精心组织和精心施工, 已完成了其中的缆索系统安装, 并已取得体系转换成功。

2 悬索桥传统吊索的局限性

悬索桥的传统吊索(以下简称传统吊索), 一般结构如图1所示^[1-3], 其下端锚固装置包括下端锚具、纠偏装置, 吊索下端锚固装置穿过箱梁内的预埋管并被锚固在箱梁底端。由于在悬索桥主缆由空缆状态到成桥状态的施工过程中, 这种吊索下端锚固装置只能通过调整球形压板/球

形垫板配合进行角度微调, 同时受到箱梁内预埋管尺寸的限制, 吊索几乎不能转动或者只能做微小角度调整, 一般只有 $\pm 1.5^\circ$ 左右; 而且吊索只能靠调节下端锚具的螺母位置进行微量的长度调整, 基本上位置是固定的, 也无法对成品吊索长度进行调节。

对于空间缆索结构悬索桥而言, 施工时主缆存在空间竖、横、纵三维方向变位, 没有先例可借鉴。其由空缆状态到成桥状态的施工过程中, 吊杆需要配合空间结构的索夹, 调整吊索张力和主缆线形。而传统的悬索桥所采用的吊索型式在技术上已满足不了空间缆索系统的悬索桥的技术发展要求, 因此有必要研制一种新型结构的空间缆索结构吊索以满足设计要求和施工需要。

新设计的空间结构吊索需要解决以下问题: 提供一种能适应空间缆索结构的悬索桥吊索, 使吊索能够移动、伸缩一定长度同时可转动较大的角度, 以解决现有吊索的结构型式不能适应上述新型悬索桥的问题。

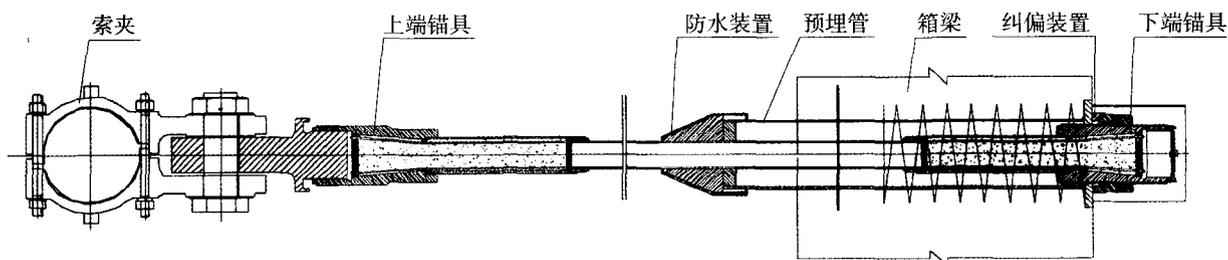


图1 常规悬索桥用传统吊索结构

3 新型的底座式吊索设计

3.1 结构设计

为解决以上问题,在悬索桥使用的传统吊索结构基础上研制了一种新型空间吊索并命名为“空间大角度长调节量吊索”(以下简称空间吊索),并根据实际设计要求,分为I型和II型两种结构。由于空间缆索系统悬索桥对吊索在桥梁由空缆状态到成桥状态的施工过程中要求能够按照施工需要进行转动和伸缩,因此可在吊索下端部采用球面连杆和球面支座结构形式配合以保证吊索的可转动角度,增加连接套筒结构使吊索能够按施工要求进行有限度的长度调整,其结构简图如图2所示。

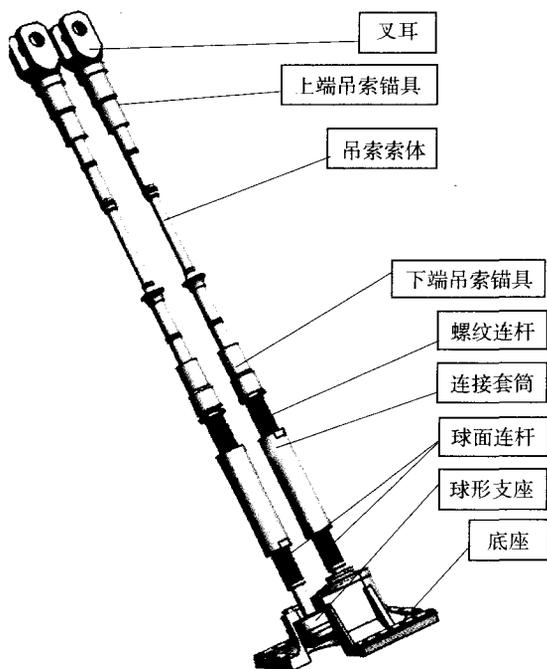


图2 双吊索结构新型空间吊索示意图

图2中显示的是一种双吊索结构的新型空间吊索,包括上端锚具、吊索索体以及下端锚固装置,上端锚具与销接在可转动索夹^[4]上的叉耳通过螺纹连接,空间吊索下端锚固装置包括下端锚具、连杆、底座以及位于连杆和底座之间的转动副。图中所示的连杆是带圆柱头的长螺纹杆,分为螺纹连杆和球面连杆两部份:螺纹连杆为两端均带有外螺纹的连杆,球面连杆为一端带有外螺纹,另一端为球面圆柱头的连杆。螺纹连杆和

球面连杆通过带有内螺纹通孔的连接套筒连接。底座为带有台阶孔、上端小底端大的塔状体,且其底端端面为倾斜面,底座上端面设有防水罩以防雨水渗透。球面连杆的螺纹杆端穿过底座的台阶孔与下端锚具的内螺纹孔连接,球面圆柱头端卡在底座台阶孔内的转动副端面上;底座的底端端面与箱梁活动或固定连接。转动副由环形球面支座的内球面和球面连杆的圆柱头上端面的外球面组成。吊索上下端锚具均采用冷铸锚形式,吊索索体为 $\phi 5-91$ 丝镀锌平行钢丝索股。吊索的强度根据设计要求按照相关国标进行设计计算,保证足够安全系数^[3]。

3.2 新型空间吊索的具体型式

3.2.1 I型空间吊索

如图3所示,I型空间吊索由上端锚具2、吊索索体3和下端锚固装置组成。上端锚具2与销接在索夹上的叉耳1通过螺纹连接,下端锚固装置锚固于箱梁顶面上。下端锚固装置包括下端锚具4、连杆5、底座6以及位于连杆和底座之间的转动副。图中的球面连杆是带外球面圆柱头的长螺纹杆,在长螺纹杆的螺纹收尾部设有张拉台阶;底座为带有台阶孔、上端小底端大的塔状体,且其底端端面为倾斜面;转动副为一端端面上带有内球面的环形球面支座7,其与连杆圆柱头上端面的外球面相配合;球面连杆的螺纹杆端穿过底座的台阶孔与下端锚具内螺纹孔连接,圆柱头端的外球面卡在底座台阶孔内的球面支座内球面上,底座的底端端面与箱梁顶面通过螺栓副8活动连接。在下端锚具的底端还设有紧固螺母9,用于固定连杆使之锁死在下端锚具上。

为适应施工需要,连杆长螺纹杆的螺纹收尾部的张拉台阶还可以替换为张拉螺母。

此外,下端锚固装置也可锚固于箱梁底面;底座的底端端面与箱梁顶面也可以通过焊接方式或其它方式固定连接。

3.2.2 II型空间吊索

图4是II型空间吊索,其基本结构与I型所不同之处在于:II型的连杆5分为螺纹连杆5.1和圆柱头连杆5.2两部份,螺纹连杆为两端均带有外螺

纹的连杆，球面连杆为一端带有外螺纹，另一端带有外圆面圆柱头的连杆，螺纹连杆和球面连杆通过带有内螺纹通孔的连接套筒5.3连接。

作为本型空间吊索的一种变换，螺纹连杆还可以是一端带有外螺纹，另一端固定连接带有内螺纹孔的连接套筒的连杆，球面连杆的螺纹端与固定在螺纹连杆一端的连接套筒的螺纹孔连接。

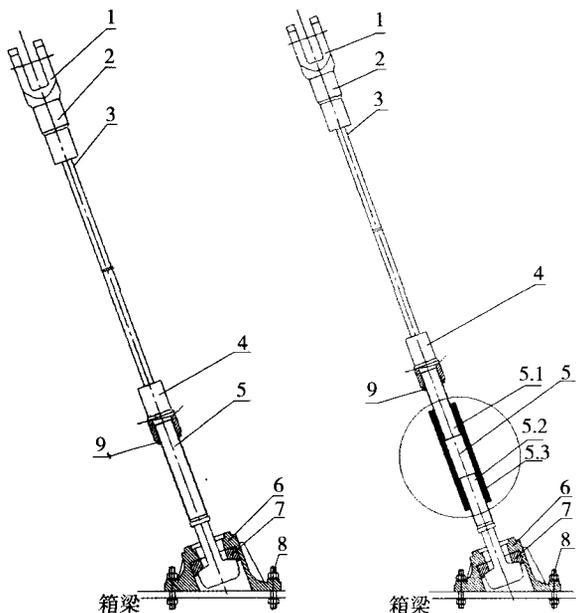


图3 I型空间吊索

图4 II型空间吊索

3.3 空间吊索的张拉安装

如图5，新型底座式空间缆索结构吊索在张拉时，可在下端锚具顶端设置一扁担梁A11，在连杆的台阶处设置另一扁担梁B13，该两扁担梁A和扁担梁B之间通过张拉杆12连接，并在扁担梁A顶部用千斤顶10进行张拉，只要调节连接套筒在螺纹连杆、圆柱头连杆之间的不同位置便可达到所要调整吊索拉力及主缆线形的目的。

空间吊索的实施型式可根据具体的设计要求选定。天津富民桥项目为了在施工中便于调节，并考虑到换索要求，采用了双吊索结构，同时双吊索结构的受力也较为均衡。当进行体系转换时，可先对其中一根吊索进行张拉，吊索的球面连杆可根据施工要求自动调整偏转角度，通过调节连接套筒与球面连杆的螺纹位置调节吊索长度。当该吊索按照设计要求张拉到位后可方便地张拉结构中的另一根吊索。现场张拉如图6所示。

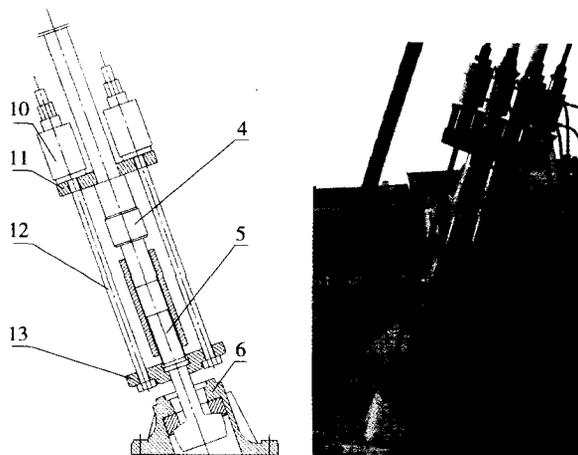


图5 空间吊索张拉示意图

图6 现场张拉

4 分析与结论

本文所设计的新型底座式空间缆索结构吊索，与传统吊索相比具有以下优点：

4.1 保证吊索有较大转动的角度

由于空间吊索其下端锚固装置采用的转动副是一端端面上带有内球面的环形球面支座，并且在连杆的圆柱头上端面设有与球面支座内球面相配合的外球面，球面支座的内球面和连杆圆柱头的外球面之间的配合能使吊索的转动角度可达 $6\sim 10^\circ$ ，甚至更大，满足了采用空间缆索结构的悬索桥在施工过程中要求其吊索能够进行大角度转动的需求，使索夹与吊索的轴线始终保持一致，避免了索夹在与吊杆轴线不一致时受到的附加弯矩和扭矩，从而可提高索夹与吊索的使用寿命。

4.2 便于调节吊索长度，以调整吊索张力和主缆线形

由于新型空间吊索下端锚固装置的连杆分为螺纹连杆和圆柱头连杆两部份，且该螺纹连杆和圆柱头连杆是通过连接套筒内的梯形螺纹进行连接，通过调节连接套筒在螺纹连杆、圆柱头连杆之间的不同位置便可达到所要调整吊索张力和主缆线形的目的，而且调节该连接套筒的距离要比调节传统锚固装置中螺母的距离要长，因此，采用这种形式的空间吊索非常便于调整吊索张力和主缆线形。

4.3 施工安全、可靠、操作方便

本文所述的新型底座式空间缆索结构吊索已经在天津富民桥项目中实施使用，经现场检验和施

工证明,其效果良好,达到了设计要求,为体系成功转换奠定了坚实的基础。现场效果图如图7、图8所示。

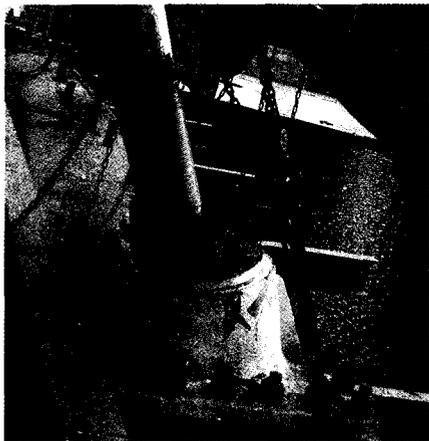


图7 底座

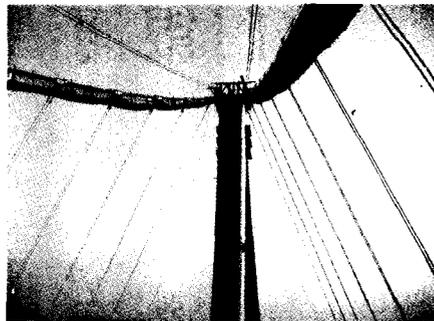


图8 体系转换完成时的空间吊索

参考文献

- [1] 雷俊卿,郑明珠,徐恭义. 悬索桥设计【M】. 人民交通出版社. 2002
- [2] 中交公路规划设计院. 公路悬索桥设计规范(报批稿)【S】. 北京. 人民交通出版社. 2002
- [3] JT/T449-2001. 公路悬索桥吊索【S】.
- [4] 韩振勇,彭春阳,李文献等. 实用新型专利. 可转动的悬索桥索夹【P】. 专利号. ZL2006 2 0098 950.3

(上接第25页)

(2) 索夹体危险截面最大应力不超过索夹体材料的屈服强度 $[\sigma]$, 索夹体未发生塑性变形, 索夹体机械性能符合设计要求。索夹体顺利安装, 索夹体安装紧固后其圆柱体外径尺寸可以确保索夹转动体安装, 且索夹转动体可转动, 索夹体满足使用要求。

(3) 通过索夹体抗滑试验, 测定出索夹高强螺柱副在加载紧固力后, 主缆与索夹之间的摩擦系数大于设计取值0.15, 符合设计要求。

(4) 索夹转动体的机械性能试验, 索夹转动体危险截面最大应力不超过索夹转动体材料的屈服强度 $[\sigma]$, 索夹转动体未发生塑性变形, 索夹转动体机械性能符合设计要求。

6 可转动的索夹在富民桥上的应用

天津富民桥是一座空间缆索自锚式悬索桥, 索夹采用了新型可转动的索夹, 由内索夹与外索夹组成, 最大倾角为 34.66° , 吊索力为203.8t, 索夹材料: ZG35SiMn, 屈服强度 $\sigma_s=345\text{MPa}$, 许用应力为 $[\sigma]=183\text{MPa}$ 。可转动的索夹在安装时与传统的索夹相似, 主缆紧缆完成后, 先装上内索夹, 上好螺栓后再安装外索夹。索夹高强螺柱副的张拉方式采用液压扭矩扳手进行张拉, 经过现场安装使用, 表明可转动索夹是可行的、可靠的(图3)。

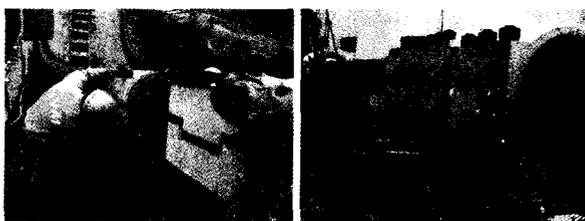


图3 可转动索夹的安装工程图

7 结语

(1) 可转动的索夹能够很好地消化由于设计计算、施工误差带来的不利影响, 保证体系转换的顺利完成, 并具有使用安全、可靠、操作方便的优点。

(2) 可转动的索夹成功地应用在天津富民桥上, 证明该索夹设计的合理性和实用性。

(3) 可转动的索夹的研发是成功的, 已在中国申请了实用新型专利, 该技术成果居国际领先水平。

参考文献

- [1] 雷俊卿,郑明珠,徐恭义. 悬索桥设计【M】. 北京: 人民交通出版社. 2002
- [2] JTJxxx-2002. 公路悬索桥设计规范(报批稿)【S】. 北京: 人民交通出版社. 2002
- [3] 韩振勇,彭春阳等. 实用新型专利: 可转动的悬索桥索夹【P】. 专利号: ZL 2006 2 0098950.3. 2007.10.17
- [4] ケ プルバンド 設計要領(案)【S】. 日本: 本州四國連絡橋公団. 昭和53年3月
- [5] 张日亮,彭春阳,黄家珍. 天津富民桥可转动索夹的性能研究【J】. 预应力技术, 2007, (4): 24-29.