

# 空间缆索结构悬索桥索夹的研发

彭春阳 黄家珍 张日亮 李文献

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

**摘要:**目前国内正在建造多座空间缆索结构的自锚式悬索桥。其主缆线形是空间结构,吊索也是空间结构。空间缆索结构悬索桥的索夹在体系转换时需要与吊索一起在空间进行转动。本文阐述了一种新型的可转动的索夹,其结构能较好地适应空间缆索结构悬索桥对体系转换的需要。

**关键词:**空间缆索 自锚式 悬索桥 索夹 转动

## 1 引言

悬索桥近几年在国内发展很快,已经由平面缆索结构向空间缆索结构方向发展。目前国内已经在设计、建造多座空间缆索结构的悬索桥,例如国内首座单塔空间索面自锚式悬索桥——天津富民桥。

目前悬索桥上使用的索夹,基本上分为两大类,第一类为骑跨式索夹,用于钢丝绳作吊杆的悬索桥;第二类为带耳板式索夹,用于平行钢丝绳成品索作吊杆的悬索桥。两类索夹都是通过高强螺栓固定在悬索桥的主缆上。索夹安装于主缆之上,既对主缆和吊杆之间起联接作用,将吊杆承受的荷载传递到主缆,又对主缆起定型作用。因此索夹的设计与施工是一个重要的组成部分。索夹的制作精度、安装误差,将直接对吊杆和加劲梁的受力产生影响<sup>[1]</sup>。

空间缆索结构的自锚式悬索桥在体系转换时即由空缆状态到成桥状态的施工过程中,由于主

缆在纵、横、竖三个方向都要发生位移,因此,索夹在纵、横、竖三个方向也要发生位移,从空缆状态到成桥状态索夹就会发生转动。常规悬索桥上使用的索夹不能转动,满足不了此要求。本文以天津富民桥工程为例,说明一种能适合空间缆索结构自锚式悬索桥的可转动索夹的研发过程。

## 2 天津富民桥概况

天津富民桥工程作为天津海河两岸综合开发项目内容之一,修筑起点为富民路,终点至洞庭路,横跨海河。全桥总长340.3米,主桥为单塔空间索面自锚式悬索桥。主跨157.081米,边跨86.4米,两岸引桥为预应力混凝土箱梁,图1为缆索立面布置图。

主跨主缆锚于主梁的两侧,边跨主缆锚于地锚,形成一个稳定的机构体系。主跨主缆采用三维空间线形,在立面及平面皆为抛物线,边跨采用一组不加竖向吊索的缆索形式。在设计成桥状

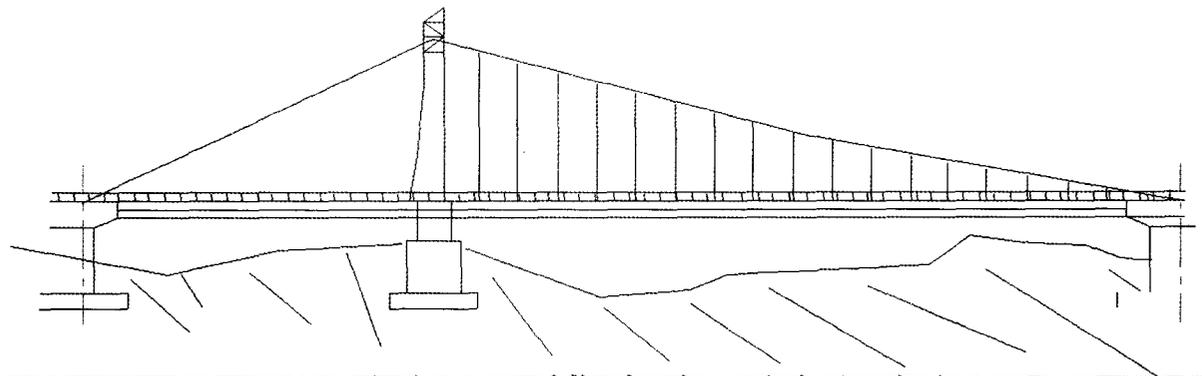


图1 缆索立面布置图

态下,主缆锚固于主跨锚面体系两端;边跨直接锚固于重力式地锚上。主缆采用PPWS(预制平行钢丝索股)法编制,每根主缆由37股预制平行钢丝索组成,每根索股含有127根直径为5.2毫米的镀锌钢丝,紧缆后的理论直径为393.64毫米<sup>[2]</sup>。

### 3 可转动索夹的结构

天津富民桥是我国第一座空间缆索自锚式索悬索桥,没有太多的工程可以借鉴。经过柳州欧维姆机械股份有限公司和天津城建集团等单位的精心研究,终于研发了一种新型可转动的索夹<sup>[3]</sup>(图2)。

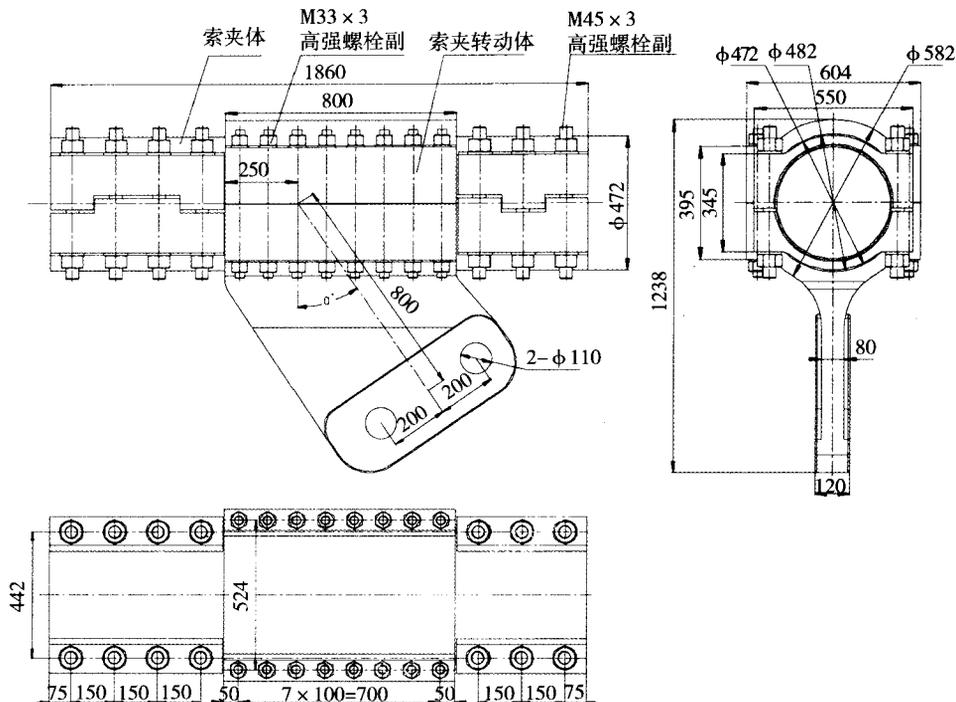


图2 可转动的索夹结构

可转动的索夹要解决的技术问题是:能适应空间缆索结构的悬索桥在施工过程中能够转动的要求。该新型索夹由索夹体、转动件、耳板及配套高强螺栓副组成,索夹体的中部是一外圆,转动件可以在其上转动。

### 4 可转动索夹的特性

可转动索夹由于结构的改进,改变了索夹的受力结构形式,合理地将吊索的拉力进行了转化,满足了空间缆索结构的悬索桥对索夹的需要,使施工变得简单、可行。其具有以下特点:

(1) 由于空间缆索结构的悬索桥主缆,体系转换时在纵、横、竖三个方向都要发生位移,这样索夹的安装就有一个预偏角,可转动索夹的结构形式能很好地解决这个问题,索夹的安装不需要预偏,给设计、监控、施工带来很大方便,保证了索夹的安装质量;

(2) 可转动索夹可以满足空间缆索结构的

悬索桥对吊杆的不同角度要求。

(3) 可转动索夹的结构,可以避免索夹受到由于吊杆与索夹轴线不一致时产生的弯矩;

(4) 主缆索股在架设过程中不能发生扭转,在体系转换过程中整根主缆及两个索夹之间的主缆段也不能发生扭转。可转动索夹能很好地在体系转换过程中避免主缆发生扭转<sup>[3]</sup>。

### 5 试验验证

为了验证设计的可行性,对整座桥中吊杆设计拉力最大、安装倾角最大的索夹进行了一组试验,以检验其安全性。试验除按常规做索夹抗滑试验,还做了索夹转动体的机械性能及索夹转动体与索夹体之间的配合尺寸试验。试验结果表明<sup>[5]</sup>:

(1) 索夹体的主缆孔直径为 $\phi 392\text{mm}$ 时,可达到主缆设计空隙率要求。

(下转第29页)

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。

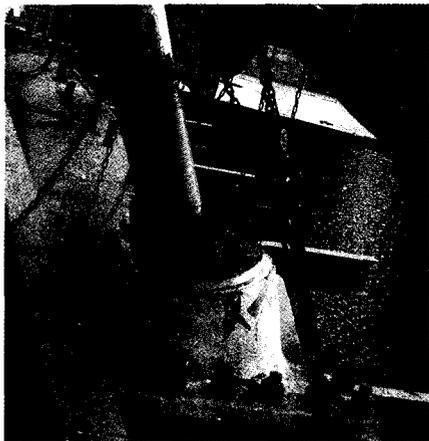


图7 底座



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 $34.66^\circ$ ,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.