

# 单塔空间索面悬索桥缆索的体系转换

张日亮 彭春阳 黄家珍  
(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

**摘要:**单塔空间索面的自锚式悬索桥,其主缆线形是空间结构,在立面和平面上的投影皆为抛物线。施工过程中,要求主缆从自由平面向空间索面转换。结合天津富民桥,介绍与空间缆索结构相关的一些新的设计与施工技术,对空间缆索的体系转换具体实施方式、张拉方法等进行简要叙述。

**关键词:**空间索面 体系转换 可转动索夹 空间吊索 张拉

## 1 概述

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,在立面及平面的投影皆为抛物线,在体系转换时主缆存在竖、横、纵三向变位,索夹即存在三向变位。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设计和专业施工,完成了缆索系统安装,并取得体系转换成功。

天津富民桥是天津海河两岸综合开发项目主要内容之一。主桥由两跨组成,其跨径为主跨

157.081米+边跨86.4米。主桥边跨锚碇设计为预应力钢筋混凝土重力式锚碇,以克服主缆产生的上拔力;主跨端设计为自锚端,即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平行缆索形式(图1)。缆索系统的体系转换,是主跨主缆由自然平面索面向空间索面过度的过程。针对天津富民桥空间缆索结构的力学及施工要求,本文着重对主缆、索夹及吊索进行了分析,在原有悬索桥缆索结构基础上进行了创新,满足了该桥的使用要求。

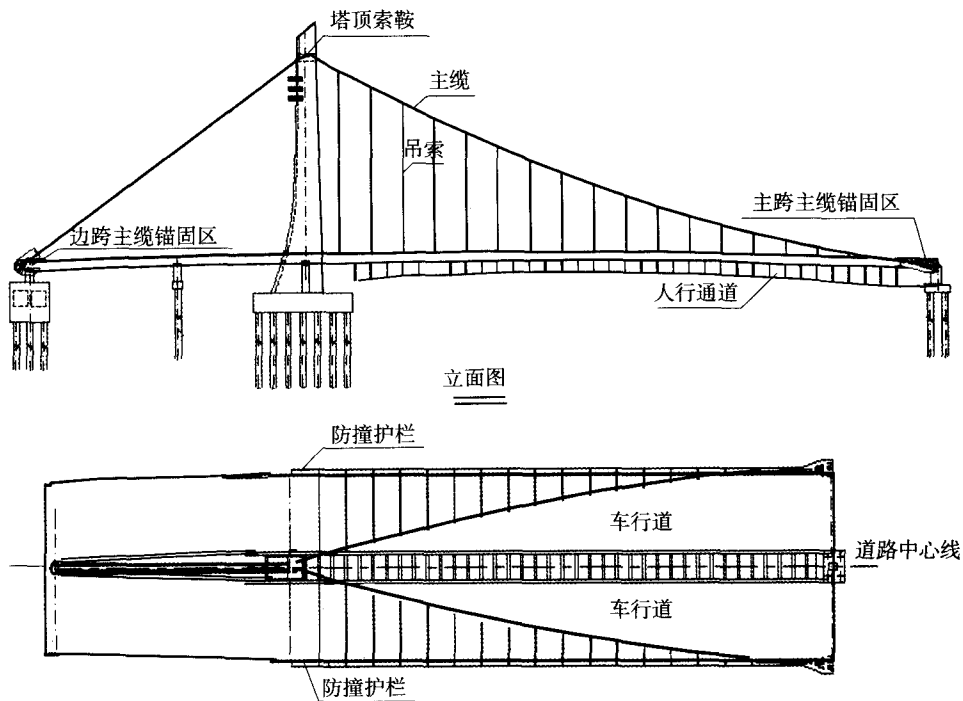


图1 缆索系统立面及平面布置

## 2 主缆索股结构

天津富民桥主缆共2根,采用PPWS(预制平行钢丝索股)法编制<sup>[1]</sup>,每根主缆由37股预制平行钢丝索股组成,每根索股含有127根直径为 $\phi 5.2$ 毫米的镀锌钢丝,紧缆后的理论直径为393.64毫米<sup>[2]</sup>。单根主缆的设计拉力4000吨,安全系数K为4.0。主缆索股一头采用热铸

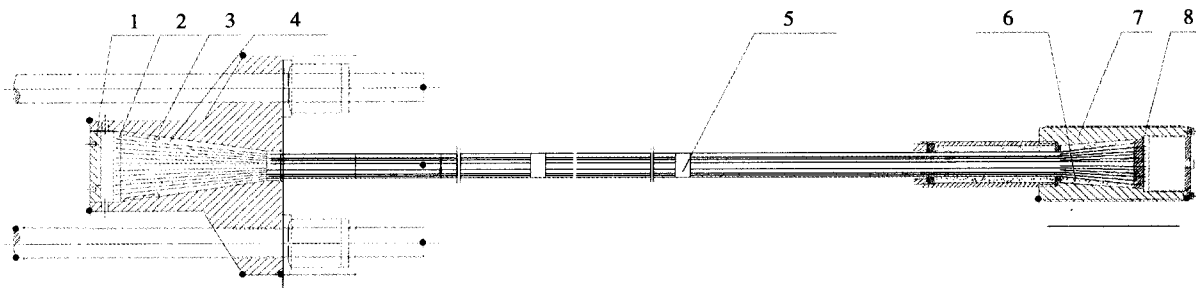


图2 主缆索股结构 (mm)

1-后盖板; 2-分丝板; 3-热铸锚杯; 4-锌铜合金  
5-纤维定型带; 6-环氧铁砂; 7-冷铸锚杯; 8-锚板

## 3 新型可转动索夹

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。设想在空缆时给索夹一个预偏角,通过辅助张拉也可以实现主缆的三向变位的体系转换;如果所计算的预偏角不准确或者安装存在较大误差时,体系转换在二次张拉调索时就会遇到困难,使主缆发生了一定角度的扭转,对主缆是不利的。对于索夹也可能存在扭矩,影响使用性能。根据空间缆索结构悬索桥的要求,富民桥主跨索夹采用了新型可转动索夹,即由内索夹与外索夹组成<sup>[3]</sup>;而边跨索夹采用传统索夹起定型作用<sup>[4]</sup>。

新型可转动索夹的特点是能适合空间缆索结构悬索桥在施工过程中转动的要求。新型可转动索夹由索夹体、转动件、耳板及配套高强螺栓副组成,索夹体、转动件采用全铸钢结构(图3)。索夹体的中部是一外圆,转动件可以在其上自由转动。可转动索夹由于结构改进,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变位需要,使施工变得简单、可行。

锚,通过拉杆和索股连接器锚固于边跨地锚,另一头采用常规冷铸锚结构自锚于主梁的两侧(图2)。

天津富民桥主缆首次采用了异种铸体浇注方式。在主缆上的应用冷铸锚,索股上盘后要进行超张拉十分困难,通过顶压试验和超张拉试验对比,运用顶压技术替代冷铸锚超张拉。

为了验证可转动索夹的性能,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试验。试验验证内容:索夹体抗滑性能及机械性能,索夹转动体的机械性能及索夹转动体与索夹体之间的尺寸配合程度。试验结果表明可转动索夹的设计是合理的,机械性能是可靠的,使用性能是可行的<sup>[5]</sup>。

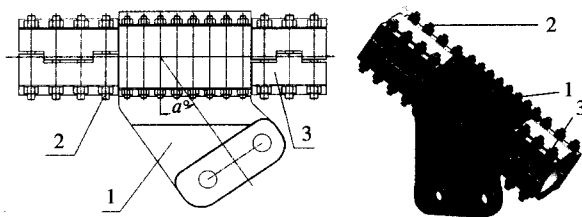


图3 新型可转动索夹结构示意图

1-转动体; 2-高强螺栓副; 3-索夹体

## 4 空间结构的吊索

空间缆索系统的悬索桥的缆索系统由空缆状态到成桥状态的施工过程中,要求吊索上吊点能与主缆一起实现三向变位,配合可转动索夹,调整吊索张力和主缆线形。显然传统的悬索桥所采用的吊索型式在技术上已满足不了要求。使用辅助张拉设备将浪费材料,提高桥梁造价和施工成本。而空间结构的吊索能满足该要求,使吊索上

吊点能够移动、伸缩一定长度,同时可转动较大的角度。天津富民桥采用双吊索结构的空吊索(图4),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上的叉耳通过螺纹连接,空间结构的吊索下端锚固装置包括下端锚具、螺纹连杆、连接套筒、球面连杆、底座以及位于球面连杆和底座之间的转动副。底座的底端端面与箱梁通过螺栓固定连接。吊索上下端锚具均采用冷铸锚形式,吊索索体为91- $\phi$ 5丝镀锌平行钢丝索体<sup>[6]</sup>。

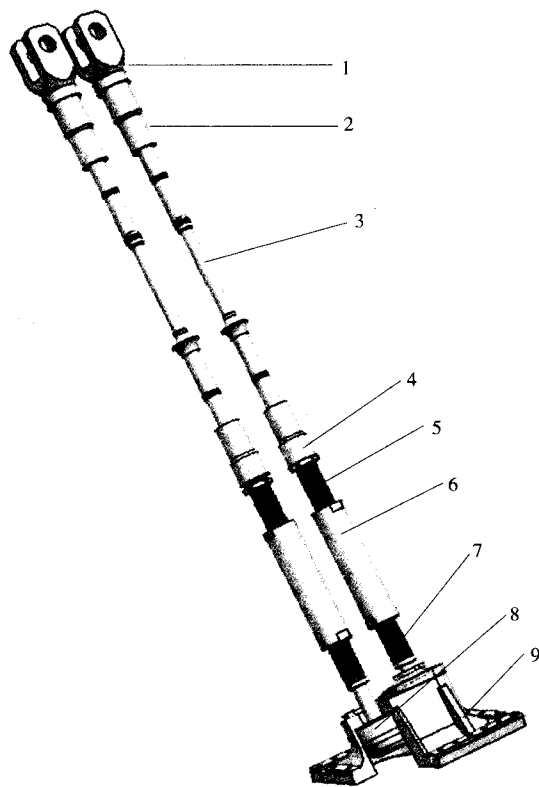


图4 双吊索结构的空吊索示意图

1-叉耳; 2-吊索锚具; 3-吊索索体; 4-吊索锚具; 5-螺纹连杆;  
6-连接套筒; 7-球面连杆; 8-球形支座; 9-底座

## 5 体系转换及张拉安装

空间缆索结构的吊索配合可转动索夹,满足了空间缆索体系的体系转换要求。当进行体系转换时,可在下端锚具顶端设置一扁担梁A,在连杆的台阶处设置另一扁担梁B,两扁担梁之间通过张拉杆连接,并在扁担梁A顶部用千斤顶进行张拉(图5),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。这种结构连接方式相对简单、调节量较大,较适合空间缆索结构的吊索安装。

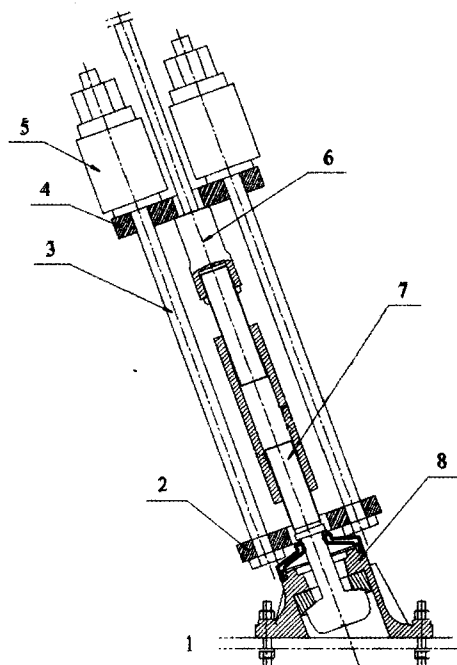


图5 空间吊索张拉示意图

1-箱梁; 2-扁担梁; 3-张拉杆; 4-扁担梁A;  
5-千斤顶; 6-下端锚具; 7-连杆; 8-底座

富民桥在吊索设计上充分考虑到吊索安装和更换的可操作性,采用双吊索的结构。在体系转换前先将吊索从连接套筒到叉耳段装配好,并通过叉耳与索夹耳板销接。体系转换时通过千斤顶张拉一根吊索到一定位置后连接另一根吊索的连接套筒与球面连杆的连接,待螺栓旋合至一定程度后卸掉原张拉吊索再通过手动葫芦连接原张拉的吊索。在二次张拉调索时,同时装上千斤顶同步张拉,达到调节主缆线形和吊索张力的目的。

空间缆索结构悬索桥体系转换还有个重要的技术难点之一,就是猫道的线形。天津富民桥的猫道和主缆线形一样,开始是自然悬垂状态。经过体系转换后,主缆成了空间线形,要求猫道也跟着同步变化,保证后期工序的顺利进行。要使猫道的线形与主缆线形一致,采用辅助工具把猫道直接挂到主缆上的可转动索夹的内索夹上,用索夹螺栓来固定。体系转换时,通过空间吊索的张拉与调整,猫道随主缆移动,线形基本和主缆一致(图6)。

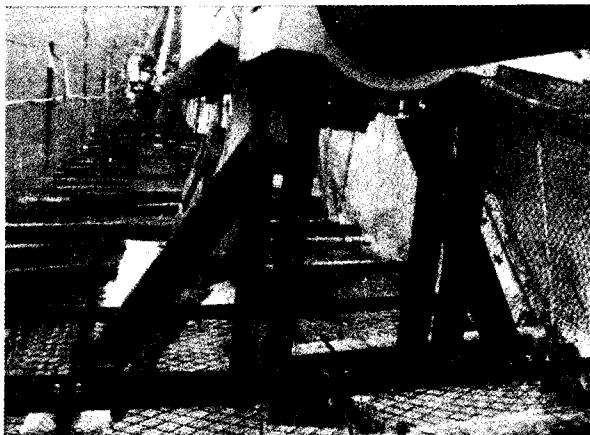


图6 现场锚道线形调整

## 6 结语

悬索桥因其造型流畅、美观而在世界各地迅速发展。随着国内第一座独塔空间缆索结构悬索桥—天津富民桥的顺利完工,对今后桥梁的发展具有重要意义。空间缆索结构悬索桥的设计与建设也将会越来越多。

(1) 空间缆索结构的悬索桥在体系转换过程中要求吊索上吊点能够适应主缆线形的变化,

(上接第22页)

(2) 将组装好的减振器推入调整护管内,直至减振器端面与调整护管端口持平,再收紧螺栓;按内缩外胀原理,使其内外分别与索体和调整护管壁紧紧相贴。

(3) 在成型的索体相应位置装上索夹并收紧螺栓,使索与索夹间紧密。

### 4.2.9 安装梁端防松装置

安装前,应先用手提砂轮机切除锚头两端的多余绞线,并预留一定长度。要求钢绞线端头平整、光滑。装上防松装置,拧紧锁紧螺母,防止夹片松动。

### 4.2.10 整体张拉

采用YCW500型千斤顶进行整体张拉时,应对调索工况、设计调整索力、设计张拉油压、初动力、实际张拉油压、实际调整索力、调索前后锚板外露长度、回缩值等参数进行记录。

### 4.2.11 锚固筒、减振器及连接装置等安装

将锚固筒推向分丝管,直至靠近钢垫板,并用螺杆将其与钢垫板连接、扭紧。锚固筒安装完成后,即可依次进行减振器、索箍及连接装置安

装。在安装过程中要注意减振器处索体之间的密封,以保证锚固筒内灌环氧砂浆时不漏浆。

(2) 通过调节空间结构吊索的张拉调节,便于调整吊索张力和空间主缆线形。

(3) 本文从空间缆索结构的悬索桥体系转换的关键工序简单介绍了空间吊索和可转动索夹实现体系转换的施工方法,为今后的空间缆索结构悬索桥的施工提供参考。

## 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] ケーブルバンド 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.
- [6] JT/T 449-2001. 公路悬索桥吊索[S]. 北京:人民交通出版社,2001

装。在安装过程中要注意减振器处索体之间的密封,以保证锚固筒内灌环氧砂浆时不漏浆。

### 4.2.12 无粘结筋专用防护灌注

根据设计要求,锚具外露钢绞线的保护罩和梁端锚具密封筒内灌注无粘结筋专用防护油脂;塔端锚固筒内装环氧砂浆防护。灌注防护油脂及环氧砂浆时,为保证其密实度,除用专用高压灌浆泵外,要求灌浆孔在排气孔的下方。

钢绞线的油脂附着层务必清洗干净。灌注油脂环氧砂浆前应检查灌浆线路必须通畅,灌浆设备性能良好。灌注防腐油脂过程中要避免现场环境受到污染。

## 5 结语

斜拉索张拉采用了等值张拉法,逐股穿索、张拉。当每根斜拉索各股钢绞线全部安装后,一次性整体张拉到位。经检测各项误差均能满足设计要求。

工程实践表明:该斜拉索施工方法精细合理,能满足工程要求,可供同类工程施工参考和借鉴。