

一种新型拉索体系—— 双群锚干风 (SQGF) 体系

6448.271

②
5-10

侯引程

【摘要】 本文介绍一种适用于由布置在外套管内的平行钢绞线束组成的拉索新型体系。它的主要性能特点是：1) 可单根更换钢绞线，但对群锚的夹片无特殊苛刻的要求。2) 可安全可靠地将拉索锚固在任何一种梁的底部。3) 对外套管鼓入干风同时抽出管内湿空气的防护系统使钢绞线索处于可监测和控制的可靠状态下。

【关键词】 桥梁 斜张桥 拉索体系 拉索锚具 拉索防护 锚具与梁塔的连接 钢绞线 群锚 干湿空气循环系统 发明创造 专利

一、现有技术情况

斜张桥的拉索体系由拉索、防护结构、锚具以及锚具与塔梁的连接构造几个部分组成。这些部分是紧密联系相互影响的。拉索体系一般只占桥梁上部结构造价的约20%，但是它却以如下性能控制着斜张桥的使用寿命和悬臂施工进度：锚具的抗疲劳性能，拉索的抗腐蚀能力、便于运输和安装，便于检查和养护以及必要时便于更换的程度。此外，它的组成部分中锚具与塔梁的连接构造的可靠和紧凑还影响着整座斜张桥的安全、经济和美观。因此，对拉索体系品质的要求远远高于对它本身造价的要求。

由平行高强度钢绞线束组成的拉索因为便于运输和安装，得到越来越广泛的应用。从九十年代开始在欧美大多数重要的斜张桥都用此种拉索。中国也在近年开始使用。但是此种拉索目前还存在下列三个未能解决好的重要问题。

问题(甲)——锚具

目前用于此种拉索的性能较好的锚具有两种：

1) 冷铸群锚

侯引程：广东虎门技术咨询有限公司，90年移居瑞典

为了克服群锚夹片处钢绞线应力集中造成的拉索抗疲劳性能下降，加设一个辅助的冷铸锚将所有张拉过的钢绞线用冷铸材料以无应力集中的方式一起锚固于其中来抵抗疲劳荷载。此种称为 Stronghold 的技术是欧洲在七十年代末开发出来的。我国近年也完成了此种锚具的研制和工程应用。此种锚具的主要缺点是，在某根钢绞线发生损坏时不能只更换此钢绞线而必须整索更换。

2) 带抗疲劳夹片的群锚

为了克服上述锚具的缺点，具世界领先地位的法国 Freyssinet 预应力公司经多年努力于 1988 年开发出既可将钢绞线可靠地夹固于群锚中又可减少应力集中的特种夹片，并成功地应用在 Coatzacoalcos 和 Tampico 两座大桥中，使单根更换钢绞线得以实现[1]。此后欧洲绝大多数的斜张桥，例如 Normandy 和 Oeresund 等大桥，都采用这种锚具。可见受欢迎的程度，但是此技术却又带来另一个致命缺点：特种夹片的批量生产必须有特别高的工艺水平和质量控制水平来作保证，否则会使工程面临巨大的危险。要达到如此水平非一日之功，例如吾德瓦拉 (Uddevalla) 大桥锚具的研制，这就是此项技术在预应力界长期

拉索体系

不能得到推广的原因。

如果找出一条新路,既能单根更换钢绞线又能避免抗疲劳夹片苛刻的工艺要求,应该是很有意义的。

问题(乙)——防护结构

经多年的努力和改进,目前用于此种拉索的最先进防护结构是先在工厂对单根镀锌钢绞线进行覆腊和包HDPE防护层等处理,然后在工地将这种钢绞线穿入内有间隔分丝板的外套管既固定它们之间的位置又加一道防护。这种结构的优点是便于安装和单根更换钢绞线,但是它有一个谁也不能回答清楚的问题:如果在钢绞线束和外套管间有水分和潮气,如何发现和清除?此外,笔者最近在工程实践中还发现过去一直被忽视的一个严重问题:拉索的最低点是梁端锚固点,在重力作用下外套管内外的水分总是向该处集中,为了使夹片能牢牢夹紧钢绞线,恰恰在该处钢绞线不但没有腊和HDPE防护层,连锌层也被夹片齿咬透了,而且,该处又有绞线、夹片和锚杯三种物理化学性质很不同的金属互相接触,本来就容易发生电化学腐蚀。于是水、应力集中以及不同金属接触三个不利因素的组合,使得对这个敏感区域处理得稍不周全,钢绞线就会首先在那里被腐蚀,不得不令人担忧。

如果能开发一种更可靠的防护结构避免上述危险,那就更理想了。

问题(丙)——锚具与梁的连接构造

在混凝土斜张桥中,锚固区的梁腹板厚度通常大于锚具直径,因此拉索锚具可以容易地穿过梁腹可靠地锚固在梁底部。而在用得越来越多的工字形结合梁和钢梁斜张桥中,纵梁或横梁的腹板厚度总是远远小于锚具直径,因此锚具与梁的连接构造变得复杂起来,目前只有以下三种性能都不完善的构造在使用着:

1) 锚具通过焊于单片钢板内的锚固钢管

锚于梁的上方,而这单片钢板在它的轴面与梁腹轴面重合的条件下焊于梁的上翼缘[4]或梁腹上部。如此布置,索力不会对钢梁产生偏心扭矩,但会带来三个问题:a)传力路线曲折,而且巨大的焊缝拉剪应力和一定的桥面混凝土板内拉应力不可避免。b)拉索阻尼器离锚具太近,使它的减振效果大大削弱。c)拉索不能在梁端张拉。

2) 拉索锚具通过梁的一侧锚在两片焊于梁腹的加劲板的近底部[4],如此布置会使索力对钢梁产生偏心扭矩,拉索仍然不能在梁端张拉。但避免了焊缝和混凝土的拉应力,并使拉索阻尼器与锚具的距离变得合理。

3) 在保证拉索轴线重合于梁腹轴面的条件下于梁的上方将锚具锚固在栓接于两片大钢板间的锚固板和加劲板上,而这两片平行于梁腹的大钢板经梁腹两侧穿过桥面通过四片加劲板栓接到梁腹上[5]。如此布置虽然既避免了1)的焊缝和混凝土的拉应力又避免了2)的索力对钢梁产生的偏心扭矩,但是此结构很笨重很占空间,而且传力路线曲折,拉索阻尼器离锚具太近,拉索不能在梁端张拉等问题仍然存在。

如果能开发出一种轻巧的连接构造,将锚具可靠地锚固在梁的底部并保证拉索轴线重合于梁腹轴面,则上述所有缺点都可一并得到克服。

本新型拉索体系旨在把问题(甲)、(乙)、(丙)一齐加以解决。

二、新型拉索体系的组成

图1是为由穿入外套管(1b)的平行高强钢绞线束(1)组成的拉索而开发的新型拉索体系的总布置图,它由以下五部分组成:

1. 主群锚(1)

在主群锚(1)上的钢绞线束(1)的锚孔分成对称的两群。此对称轴与任何一种梁(II或II'd)的梁腹轴面重合,因此对于任何一种梁都可在拉索轴线与梁腹轴面重合的条件下将主群锚

拉索体系

(1) 可靠地锚固于梁的底部。

2. 辅助群锚

辅助群锚(2)由一对半圆柱体组成,分别布置在工字形钢梁(II),钢系梁(3)或钢锚座(4)腹板的两侧。在它的帮助下主群锚所承受的疲劳荷载大大降低因而在主群锚上常规夹片也能使用。由于辅助群锚仅在通车后才需要工作,因而可在索力调整完成后从容地进行辅助群锚的施工。除了抗疲劳要求外,对辅助群锚还有另一个要求——能单根地更换钢绞线。新型拉索体系的以下两种辅助锚均满足这些要求,可供选择:

第一种是夹片形辅助群锚。在它的锚杯内每

根钢绞线都有自己的圆锥形锚孔,孔内安置倾角比一般夹片小、带有圆角齿形的夹片以提高对钢绞线的强迫夹紧力并减少对钢绞线造成的应力集中,形成对疲劳荷载的抵抗力。当需要单根更换钢绞线时,可在塔内用普通单根绞线千斤顶将要更换的钢绞线拉出,使塔端主群锚和辅助群锚的夹片卸载拨出,然后回油卸除钢绞线的拉力并在梁底用短行程单根绞线千斤顶将主群锚和辅助群锚的夹片卸载拨出,移去已完全松弛的要更换的钢绞线。

第二种是冷铸形辅助群锚。在它的锚杯内每根钢绞线都有自己的圆锥形锚孔,孔内压入环氧树脂、辉绿岩粉和石英砂组成的冷铸材料来形成

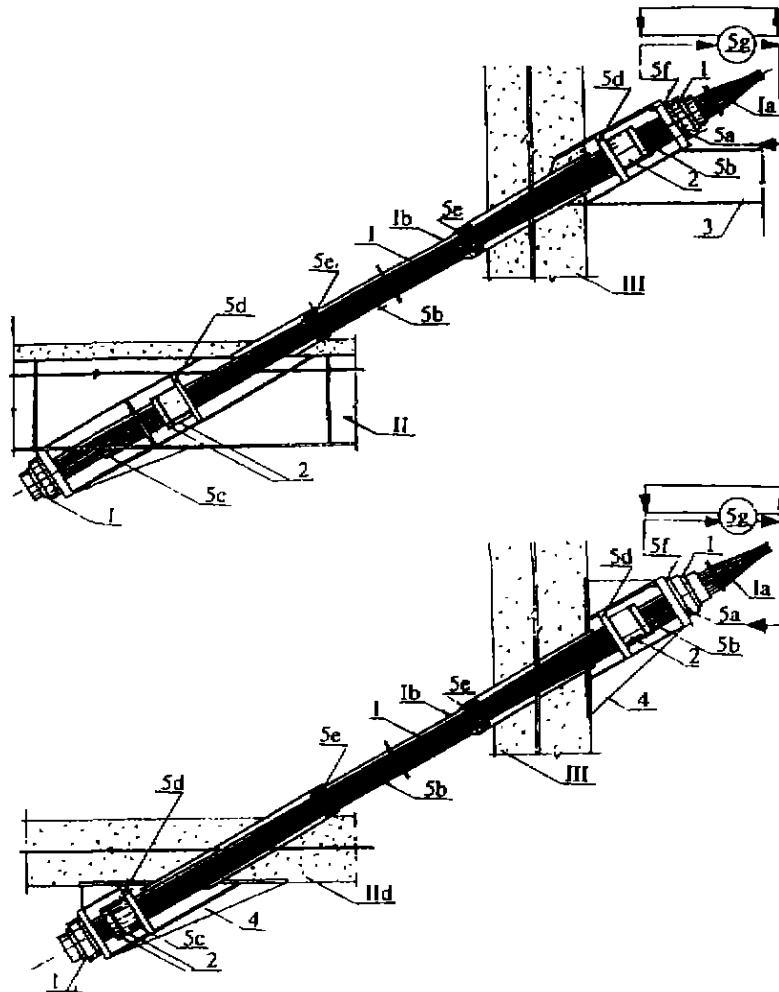


图1 新型拉索体系的总体布置

拉索体系

对疲劳荷载的抵抗力。当需要单根更换钢绞线时,可在塔内用普通单根绞线千斤顶,在梁底用短行程单根绞线千斤顶使两端主群的锚夹片卸载拔出,并使该钢绞线在绝缘的条件单独通电加热至它的辅助锚锚孔的冷铸材料熔松和该钢绞线储存的张拉力完全松弛,移去要更换的钢绞线。

3.塔(III)内工字形钢系梁(3)

在主群锚的锚孔分为两群对称布置的条件下,塔内的钢系梁可简化为工字形梁,这恰好有利于辅助群锚(2)的布置。工字形钢系梁不仅可以用于垂直索面还可在横系杆的帮助下用于倾斜索面。

4.特种钢锚座(4)

为了便于主群锚和辅助群锚在工字形钢梁以外的结构上的布置,可用特种钢锚座(4)来代替一般的锚座。特种钢锚座可以预制安装,因而与一般混凝土锚座相比锚固区的模板可得以简

化,这能加快塔顶部分的施工。

5.可监测控制的拉索防护结构(5)

拉索防护结构(5)由鼓入干燥空气的进气口(5a),干燥空气输送管(5b),干燥空气出口(5c),通气管(5d),通气管(5e),抽除潮湿空气的出气口(5f)和干湿循环机组(5g)几个部分组成。由于塔内经张拉位于锚具外的钢绞线(1a)也可处于干燥机的保护下,因此不必象通常那样将它们割除,这将便于必要时的单根钢绞线更换。

以下对其中的部分构造作比较详细的介绍:

三、锚孔在主群锚和辅助群锚上的布置

目前用于平行高强钢绞线束的拉索锚具上的锚孔一般都是奇数(例如61孔)的。本发明锚具上的锚孔则总是偶数(例如60孔)的。图2显示了主群锚和辅助群锚在工字形钢梁上的布置以及锚孔在主群锚和辅助群锚上的安排情况。两组对

称锚孔的间距 $Dg = Tw$ (工字形钢梁腹板厚度)+ Dh (辅助群锚的锚孔直径)+ $2At$ (辅助群锚内壁的厚度),于是两组钢绞线(1e)和(1f)就能很方便地由紧靠梁腹的两侧穿过工字形钢梁(II)的全高对称于梁腹轴面可靠地锚固于梁底,如此布置有以下五个好处:

- 1) 拉索和梁腹间没有偏心距。
- 2) 约60%的拉索张拉力以压力的方式直接传给梁腹,剩余的力才通过四块加劲板和八条抗剪焊缝间接地传给梁腹,非常可靠。

- 3) 当盖板(IIc)(见图3)卸下后,施工和养护人员可以在整个梁腹范围内从梁的两侧接触到钢绞线和辅助群锚,这是现有的所有拉索体系都无法做到的。

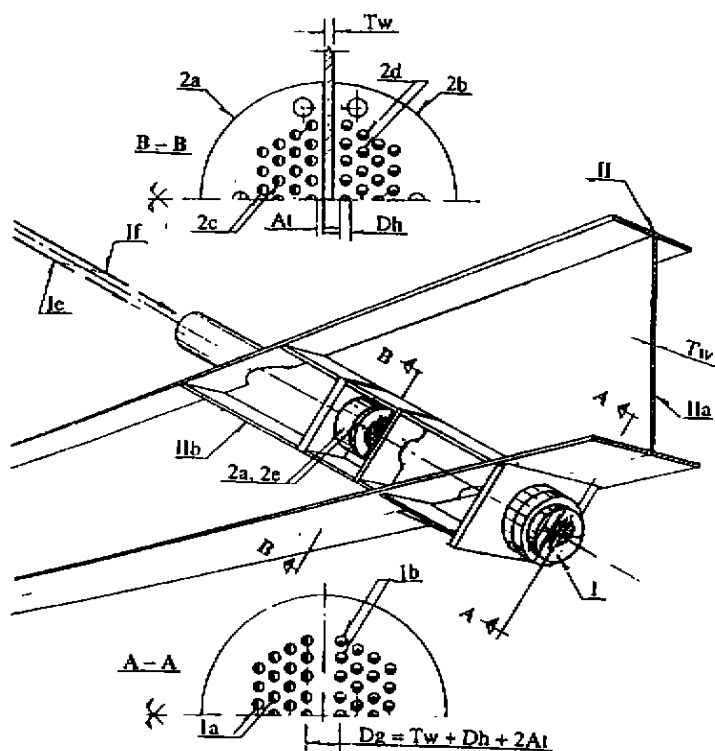


图2 钢绞线锚孔在主群锚和辅助群锚上的布置

拉索体系

- 4) 需要时可以在梁下张拉拉索。
- 5) 辅助锚和拉索抗振阻尼器的距离足够大。

四、可监测控制的拉索防护结构

干湿空气循环系统自1972年第一次在丹麦的小海带桥上使用至今已有二十八年的成功经验。此系统已越来越多地用来防护钢箱梁以及悬索桥的鞍座和锚块。这些经验证明对于可封闭的空间，干燥空气循环系统的防护效果是有效和经济的。在保护钢绞线束的外套管内也正是一个可封闭的空间，而且钢绞线束一般排列成六角形，它与圆形的外套管之间有足够的空间来安置风管。所以有条件将此系统应用于本新型拉索体系中。

图3显示了拉索防护结构的构造。两根干燥空气输送管(5b)在塔内由主群锚的锚板(4a)进入加劲板(IIb)和防护盖板(IIc)围成的封闭空间，通过塔导管(Ic)、外套管(Ib)，梁导管(Ic)直至梁内加劲板(IIb)和防护盖板(IIc)围成的封闭空间。干燥空气输送管(5b)

的上端入口(5a)与塔内的干湿循环机组(5g)中的干风机相连，而干燥空气输送管(5b)的中部和下部有若干个流通量各异的干燥空气出口(5c)。在梁塔辅助群锚锚固板上开有通气孔(5d)，在拉索定位器上开有通气管(5e)。在塔内主群锚的锚板上开有连接干湿循环机组(5g)中的抽湿机的出气口(5f)。当干湿循环机组(5g)中的干风机开动，干空气将喷入从塔内由主群锚的锚板至梁底主群锚的锚板之间的整个拉索封闭空间；当干湿循环机组(5g)中抽湿机开动，上述整个封闭空间的潮湿空气将被抽出；当两机同时开动，就形成干湿空气循环，整个封闭空间将处于很干燥的状态。如此操作可通过一定的时间间隔分别向各根拉索提供。类似的操作也可向塔内拉索锚固区的整个封闭空间提供以保护张拉出主群锚外的钢绞线。

拉索封闭空间内的水分和潮湿空气分别有向下集中和向上集中的趋向，因此在拉索底部的封闭空间布有钢绞线试件(5k)湿度量测点(5i)并在拉索顶部的封闭空间布有钢绞线试件(5l)

湿度量测点(5h)。需要时，钢绞线试件(5k)和(5l)可送至试验室进行试验鉴定以了解它们所代表的拉索钢绞线的情况。湿度量测点(5i)和(5h)可连接到干湿循环机组(5g)的控制系统。当某根拉索湿度量测点测得的相对湿度超过限制值(40%)时可立即自动向该索提供干湿空气循环操作。如果在拉索

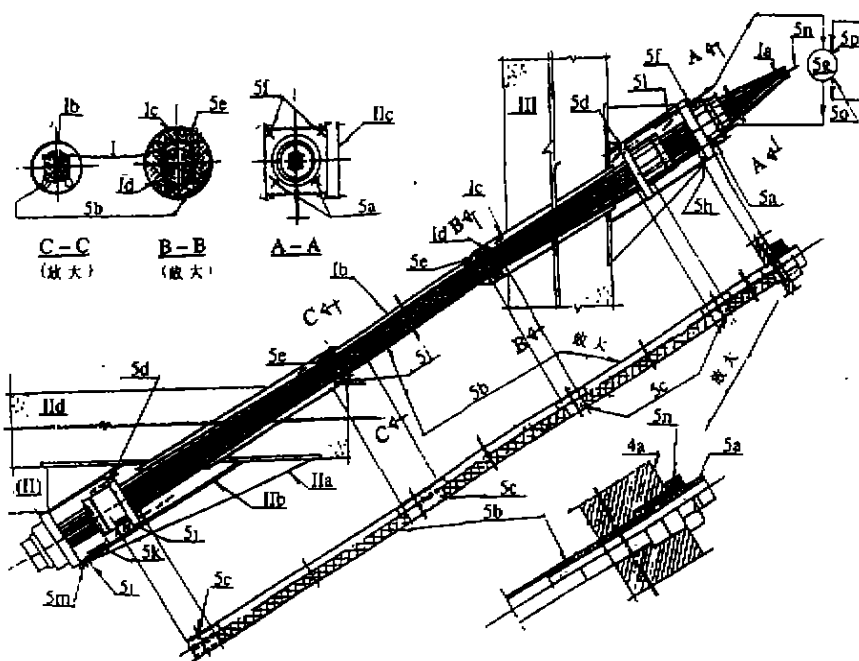


图3 可监测控制的拉索防护结构

拉索体系

封闭空间有水分存在,它们将向下集中通过过水孔(5j)流向的最低点的放水阀(5m)并在该处由养护人员抽出。

此拉索防护结构的优点是:

1) 拉索防护结构的可见度、可控度、可知度和可靠度高于现有的所有体系。

2) 便于单根钢绞线的更换。

3) 有可能简化单根钢绞线的多层防护,例如只镀锌。

4) 为了避免拉索的风雨激振[6],外套管通常要进行加设螺旋线等表面处理[7][8],但是这样会使外套管表面易积雪反而造成风雪激振[10],所以目前解决这个矛盾的简便办法还没有。而如果干湿循环机组中的干风机鼓入热空气,在有螺旋线的外套管上所积的雪就能融化,拉索风雪激振的和风雨激振的问题就可同时得到解决。

五、新型拉索体系的名称来由以及实现和应用的展望

从以上介绍可以看到新型拉索体系在构造上有这样的特点:锚具由主群锚和辅助群锚两部分组成,而主群锚上的锚孔分成对称的两群,辅助群锚是对称的一双,都是成双成对的。此外干风机的应用是防护上的另一特点,所以取名为“双群锚干风(SQGF)体系”。

由于双群锚干风(SQGF)体系基本是在现有的工艺和设备基础上进行创造性的组合而成,没有很特殊的加工工艺要求,我国不少预应力公司在生产制造上都不难实现。而且,本发明的各项技术措施都属于增加工程的安全可靠度但不增加多少(甚至减少)工程投资,便于安装和保养的措施,因此,建设、设计、施工单位都易于接受。

本新型拉索体系已于1998年10月向欧洲专利局(EPO)提出发明专利申请(申请号

98119471.5-2303,专利号1001089),并已于2000年5月17日在第2000/20号欧洲专利公报(European Patent Bulletin)上公布。为了使此项新技术能早日在中国实现,1999年10月向中国专利局提出申请(申请号:99117135.7,和99117134.9)时,提出了“要求提前公开声明”,中国国家知识产权局将于2000年9月20日在38号专利公报上公布。双群锚干风体系能在祖国大地上诞生,这是笔者多年的心愿。

参考文献

1. Cable stayed bridge in Mexico and Marbella 19th & 20th October 1989 CABLE STAYED BRIDGES .Freysinet Magazine-December 1989.

2. VSL International Ltd. VSL Stay Cable System SSI 200. Internet address:

<http://www.vsl-intl.com/activities/activities.htm>.

3. P.R.Taylor. Annacis Bridge Superstructure -A major composite cable-stayed bridge. December 6, 1985.

4. Holgel S. Svensson and Thomas G. Lovett. Cable-stayed Houston Ship Channel Crossing .Transportation Research Record No. 1290. Leonhardt, Andr ̄ und Partner.

5. H. Svensson and K. Humpf. Die Schrägkabelbrücke über den Mississippi bei Burlington. Stahlbau 63(1994).

6. Constantin Verwiebe. Rain-wind-induced vibration of cables and bars. Proceedings of the international symposium on advances in bridge aerodynamics. Copenhagen, 1998.

7. H. Yamaguchi and Y. Fujino. Stayed cables dynamics and its vibration control. Proceedings of the international symposium on advances in bridge aerodynamics. Copenhagen, 1998.

8. Michel Virlogeus. Cable vibrations in cable-stayed bridges. Proceedings of the international symposium on advances in bridge aerodynamics. Copenhagen, 1998.

9. Klaus H. Ostenfeld and Allan Larsen. Bridge engineering and aerodynamics. Proceedings of the first international symposium on aerodynamics of large bridges. Copenhagen, 1992.

编者注:本文作者为国内拉索体系的完善与改进提出了一种新的思维方式,作者时刻关注国内预应力技术产品的发展,并为此作出努力是值得敬佩的。经过一些年来的努力,国内的拉索体系研究与开发已取得了一定的进步,如OVM200拉索体系也能实现整体换索或单根换索,并具有较成熟的防护技术。这是国内的科研与生产厂家,施工单位等共同努力的结果。