

文章编号: 0451-0712(2006)05-0086-04

中图分类号: U448.25

文献标识码: B

自锚式悬索桥技术问题探讨

冯广胜^{1,2}

(1. 中南大学土木建筑学院 长沙市 410075; 2. 中铁大桥局集团一公司 郑州市 450053)

摘 要: 平顶山市建设路东出口立交桥是一座主桥跨径为 35 m+72 m+35 m 的自锚式悬索桥, 上部结构采用钢筋混凝土箱梁(梁体为单箱双室), 缆索采用钢绞线外套钢管混凝土结构, 锚固在主梁梁端和主梁跨中。本文结合该桥工程实例, 探讨自锚式悬索桥存在的技术问题和解决办法。

关键词: 自锚式; 悬索桥; 技术

1 自锚式悬索桥的优缺点

自锚式悬索桥不同于一般的锚碇式悬索桥, 它的主缆锚固在自身的主梁上, 因而不需要建造昂贵的锚碇, 这个特点成为其发展的最大优势。自从 1915 年在德国科隆的莱茵河上建造了第一座大型自锚式悬索桥(科隆—迪兹桥)后, 该类型桥梁得到较大发展。

自锚式悬索桥主要有以下优点: (1) 主缆锚于主梁上, 因而不需要建造昂贵的锚碇; (2) 跨径布置灵活, 受地形限制少, 可结合地形灵活布跨, 既可做成多塔多跨的悬索桥, 也可做成单塔两跨的悬索桥; (3) 受力性能好, 与系杆拱桥类似; (4) 主缆和吊杆的应力变化幅度小, 对主缆和吊杆的抗疲劳有好处, 可以将主缆和吊杆的应力用大一些, 因而可以节省材料; (5) 保留了传统悬索桥的美观外形; (6) 缆索可为主梁提供免费的纵向预应力, 对于钢筋混凝土主梁可以节省部分甚至全部的纵向预应力材料。这些优点使得该类桥梁在中小跨径(60~300 m)桥梁中具有很强的竞争优势。

自锚式悬索桥也有其不利之处: (1) 由于主缆直接锚固在主梁上, 主梁承受了很大的顺桥向水平力, 为了能够抵抗这巨大的水平力, 需要加大主梁截面, 由此增加了主梁自重, 反过来又使主缆截面加大, 主缆钢料增加; (2) 施工步骤与有锚碇悬索桥正好相反, 自锚式悬索桥需要先建造主梁和桥塔, 然后挂设主缆和吊杆, 因而需要安装大量的临时支架进行主梁施工, 这在很大程度上限制了自锚式悬索桥的推

广; (3) 与斜拉桥相比, 主缆锚固点受力大、结构复杂; (4) 缆索和主梁、桥塔组成复合体系, 施工控制更加复杂; (5) 吊杆索夹下滑力大, 需采取措施加以解决。

2 桥梁设计

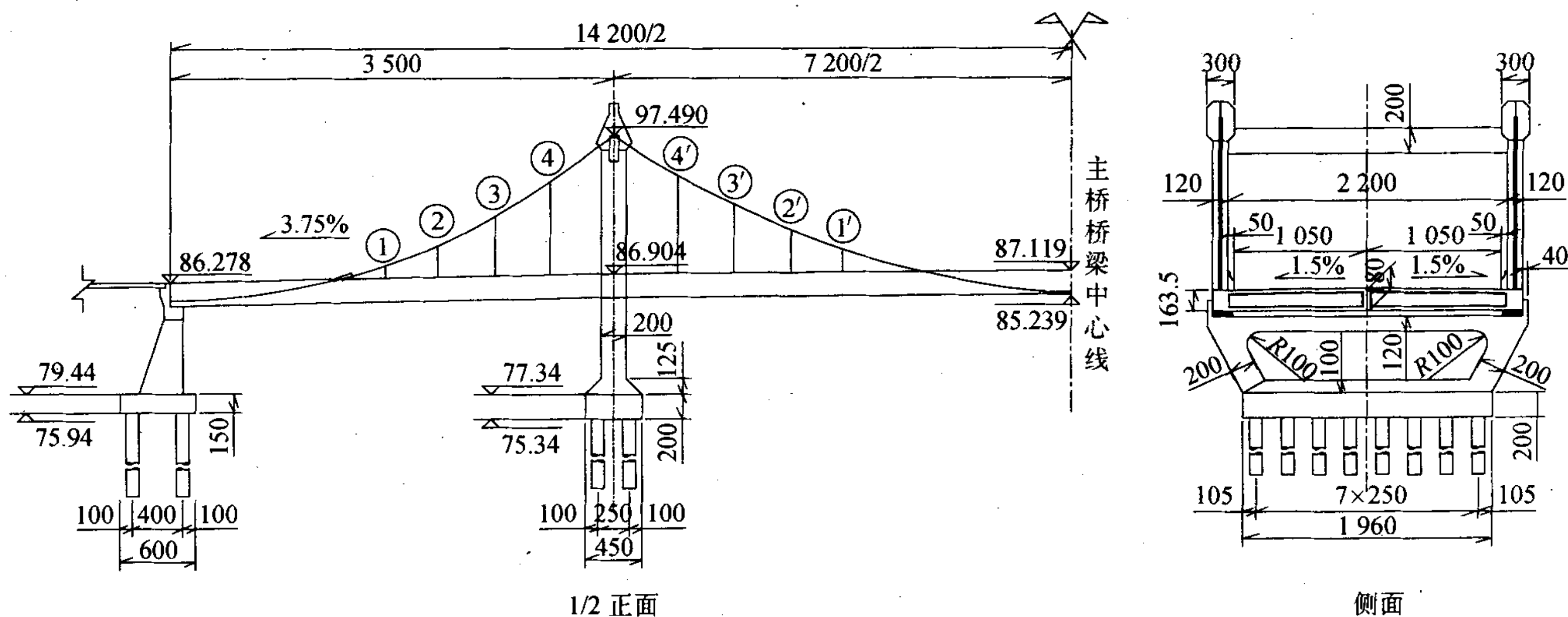
2.1 设计要点

平顶山市建设路东出口立交桥位于平顶山市建设路与许南路交叉口, 跨越许南公路, 是许(昌)平(顶山)南(阳)高速公路连接线工程的重要组成部分。主桥设计为双塔自锚式悬索桥(见图 1), 桥跨布置为 35 m+72 m+35 m, 由下部基础、墩柱、主梁、主缆、吊杆等部分组成。其中墩柱与主梁设为铰接(布置盆式橡胶支座), 塔柱与主梁固结, 主梁两端设置 GJZF440×500×80 矩形橡胶支座和 GQF-C80 型伸缩装置。

下部结构采用钻孔桩基础(主墩每墩为 16 根直径为 1.0 m 的钻孔灌注桩)、桩柱式墩台。

主梁为单箱双室箱梁, 钢筋混凝土结构, 混凝土强度等级为 C50, 箱梁高 1.635~1.80 m, 梁宽 24.4 m, 顶、底板厚 20 cm, 设 3 道腹板, 中腹板厚 40 cm, 边腹板厚 120 cm, 墩顶横隔板厚 100 cm, 端横隔板厚 200 cm。箱梁纵向不配预应力筋, 横向配预应力筋(墩顶横隔板处布置 8 束 8 ϕ 15.24 钢绞线, 端横隔板处布置 8 束 9 ϕ 15.24 钢绞线, 其余横隔板处每处布置 8 束 9 ϕ 15.24 钢绞线)。

塔柱为 2.0 m×1.2 m 的矩形实心截面, 塔高



单位:cm

图1 主桥桥型布置

13 m,钢筋混凝土结构,混凝土强度等级为C40。

主缆采用钢绞线外套钢管混凝土结构,每根主缆中设140根 $\phi 15.24$ 高强度低松弛钢绞线($R_b = 1\,860$ MPa),主缆外套钢管采用材质为Q345的 $\phi 325 \times 10$ 钢管,主缆张拉完毕后,在钢管内灌注C50水泥砂浆保护,主缆断面结构见图2所示。主缆索线型为二次抛物线,中、边跨矢跨比均为1/6。中跨主缆采用两端张拉,张拉端锚固于塔顶,边跨缆索采用单端张拉(锚固端设在主梁端部,张拉端设于塔顶)。主缆在边跨与中跨都有一段从主梁边腹板内通过。

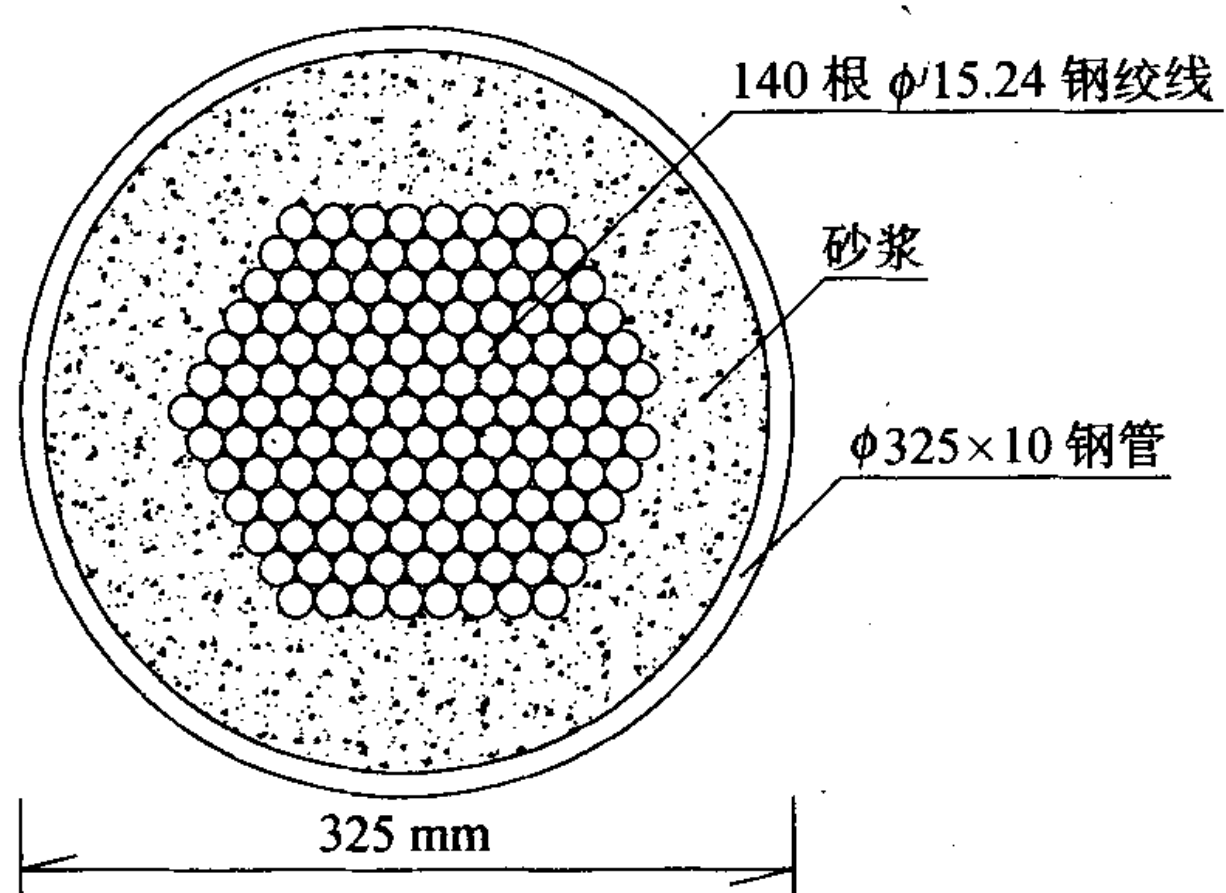


图2 主缆断面示意

吊杆结构见图3所示,吊杆也采用钢绞线外套钢管混凝土结构,每根吊杆中设12根 $\phi 15.24$ 钢绞线($R_b = 1\,860$ MPa),外套材质为Q345的 $\phi 194 \times 10$ 钢管,张拉完毕后,在钢管内压注C50水泥砂浆保护。吊杆上端(与主缆连接处)设为固定端,下端(与主梁连接处)设为张拉端,锚固端采用P型锚具,张拉端采用HVM锚具。

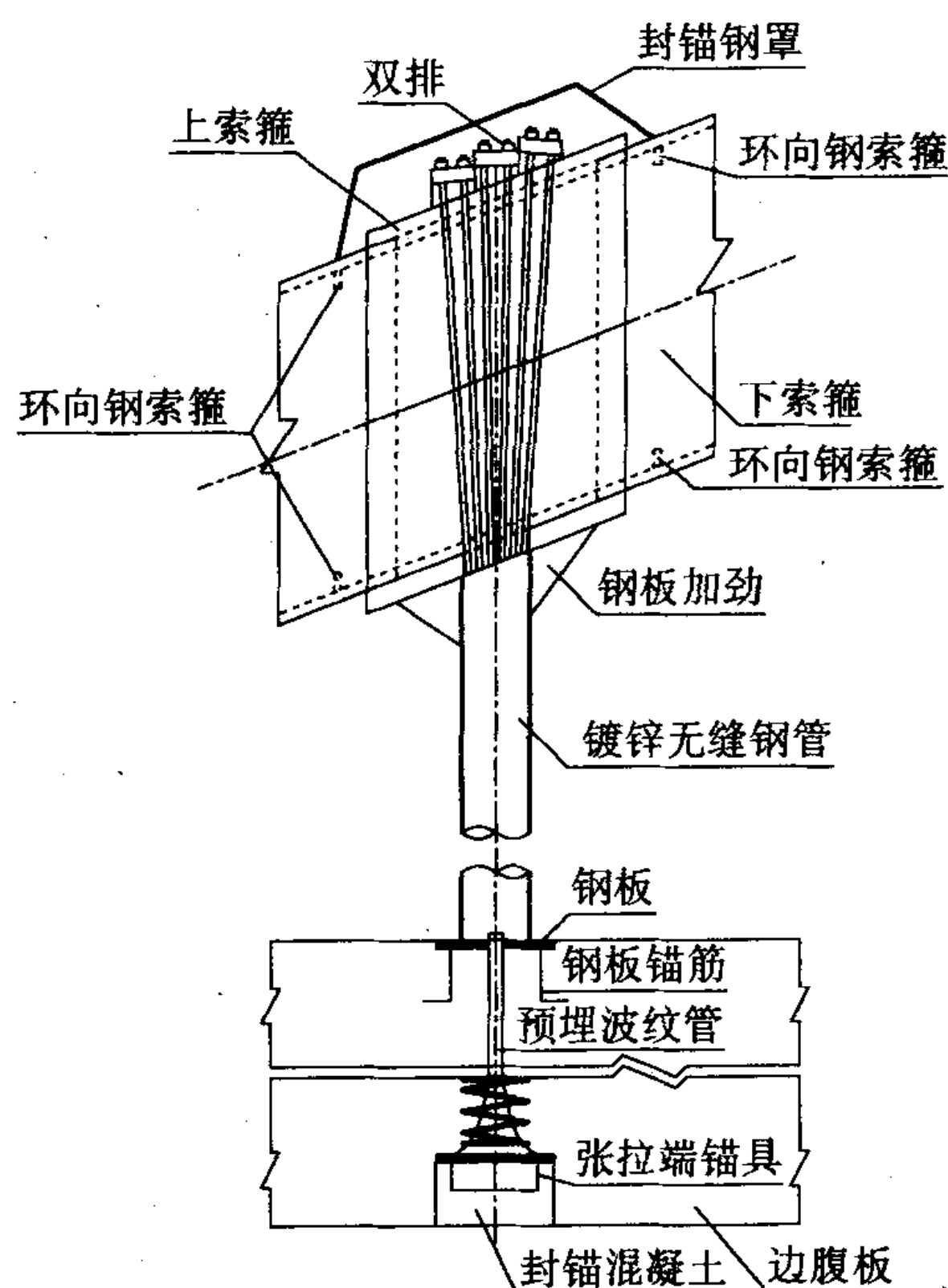


图3 吊杆结构示意图

桥面铺装为8 cm厚C40钢纤维混凝土。

采用此种型式的主缆和吊杆,主要有3个好处:

- (1)主缆和吊杆截面大,可减小运营状态下主梁的变形;
- (2)主缆和吊杆外部的钢管混凝土可以对钢绞线进行有效的防护;
- (3)吊杆上吊点的下滑力由外部钢管混凝土传递到主梁和塔柱上,可以解决自锚式悬索桥吊杆索夹下滑力偏大、索夹不易处理的问题。

2.2 设计指标

设计荷载:汽车—20级,挂车—100。

主桥桥面宽度:1.2 m(主缆)+0.5 m(防撞护栏)+2×10.5 m(行车道)+0.5 m(防撞护栏)+1.2 m(主缆),全宽 24.4 m。

3 桥梁施工

3.1 施工工序

施工工序见图 4 所示。

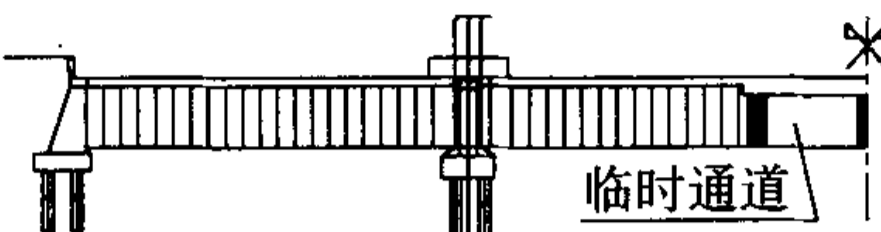
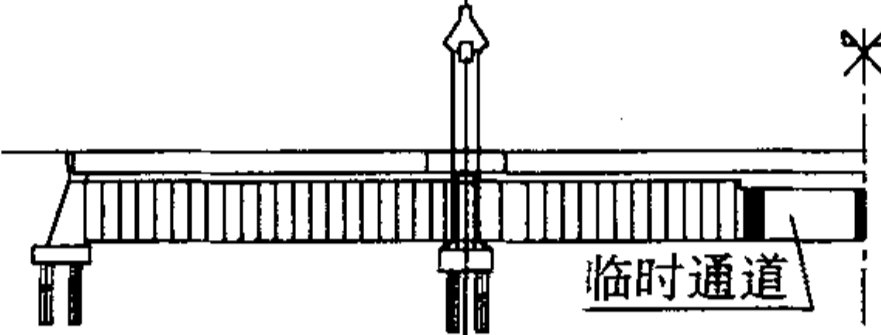
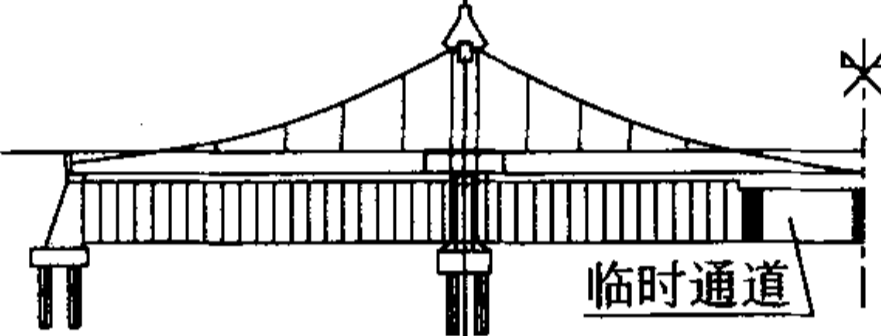
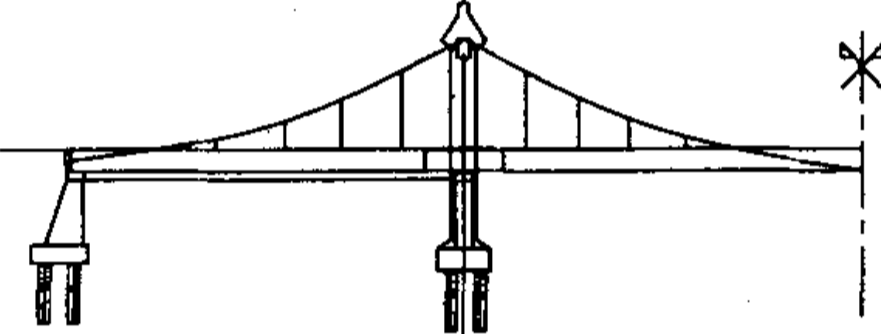
施工步骤一		(1)施工主桥墩和桥台钻孔灌注桩、承台、立柱、台帽等; (2)搭设中孔和边孔钢管支架,中孔预留通车孔,按照 1.25 倍主梁自重对支架进行预压; (3)浇注主塔处梁段。
施工步骤二		(1)在支架上现浇箱梁,浇注顺序由主墩向两侧进行; (2)施工主塔及塔顶风撑; (3)待箱梁混凝土达到 90% 设计强度时,开始张拉主梁横向预应力筋。
施工步骤三		(1)安装主缆、吊杆钢管; (2)穿主缆、吊杆钢绞线; (3)焊主缆、吊杆钢管; (4)焊牢后分步张拉吊杆,主缆钢绞线。
施工步骤四		(1)主缆、吊杆张拉完成并满足设计要求后,拆除支架; (2)压注主梁中主缆波纹管内 C50 水泥砂浆; (3)在主缆钢管与吊杆钢管中压注水泥砂浆; (4)施工桥面铺装及防撞栏杆。

图 4 施工工序

3.2 主梁施工

本桥为塔梁固结体系。中跨主梁下方为许南公路,为了保障施工期间道路的畅通,设置上下行各一个汽车通道及人行通道(通道采用扩大基础,立柱和上部分配梁均采用型钢结构),其他梁段采用满堂钢管脚手架作为承重支架,支架和箱梁模板之间设置方木和可调楔块调整标高。由于主梁纵向为非预应力的钢筋混凝土结构,为防止主梁结构开裂,有的类似桥梁采用了在主梁纵向加设临时预应力的措施。考虑到本桥主梁纵向长度较短、地基较好,施工中仅采取了支架预压措施,施工后未见主梁产生裂纹。

3.3 主塔施工

在主梁混凝土浇注施工后进行主塔施工,根据主塔高度及工程量,塔柱混凝土分两次浇注,第一次施工下节 8 m 高度范围,第二次施工上节 5.333 m 塔柱锚固部分(该部分采用在塔柱上设置支承牛腿托架进行施工)。塔柱风撑采用满堂钢管支架法施工。

塔柱锚固区钢筋密集,主跨和边跨的主缆索管道相互交叉,施工相当困难。与本桥类似的桥梁塔顶锚固区发现有裂纹产生。为避免产生类似裂纹,本桥采取了表面设防裂钢筋网片,使用钢纤维混凝土等

措施,保证了钢筋混凝土的强度和密实度,避免了张拉时塔顶可能出现的裂缝。

3.4 主缆及吊杆施工

设计中主缆的 140 根 $\phi 15.24$ 钢绞线位于缆索的中央,理论上主缆断面呈现出对称的理想结构(见图 2)。但由于主缆在立面上为向上凹的曲线,张拉时钢绞线将向上移动,如果不采取措施,张拉后的钢绞线不再居于缆索钢管的中央,由此会带来以下问题:(1)实际的主缆线形与设计线形不符;(2)钢绞线在缆索钢管内相互挤压,不仅增大了钢绞线间的摩阻力,同时张拉过程中钢绞线容易发生缆索横断面上的位置变化,从而极易造成钢绞线间的受力不均(在穿钢绞线时如果发生钢绞线扭绞现象,情况会更严重);(3)由于钢绞线紧贴钢管上部内侧,在钢管焊接时容易造成钢绞线的损伤;(4)不利于灌浆材料的灌注和对钢绞线的防护。

在本桥的施工中主要采取了以下措施来解决此问题:(1)在主缆和吊杆的连接部位附近的主缆钢管内侧,设置环向钢索箍(结构见图 3 所示),以便减小张拉时钢绞线在钢管内的偏位;(2)在穿主缆钢绞线时逐束进行穿挂,加强位置核对,避免发生每束间的扭绞现象;(3)在主缆钢管焊接时在钢绞线与钢管之

间加垫石棉布防护,防止造成电焊对钢绞线的损伤。

本桥主缆钢绞线数量较多,且穿越箱梁体和塔顶预留孔道,穿行线路长,很容易出现相互扭绞、挤压、错位等现象。施工中采用由下向上单根穿束,充分利用相邻主缆钢管间上索箍施工空间,进行主缆穿束。待吊杆上端的P锚挤压完成后,在桥面上编束,然后用汽车吊机辅以人工整体穿吊杆索。

主缆索的张拉是关系到本桥成败的关键工序。根据分析计算,不能采用简单的先张拉吊杆、后张拉主缆的方案,这样吊杆钢管会因受压力过大而失稳;也不能采用先张拉主缆、后张拉吊杆的方案,这样会将吊杆钢管的预埋板从梁顶拔起而受到破坏。在实际施工中,采用了吊杆与主缆分4次交替张拉到位的张拉方案。吊杆张拉采用先张拉短吊杆后张拉长吊杆的施工顺序(张拉时,主塔两侧同时张拉)。

主缆张拉顺序为先穿的束后张拉,后穿的束先张拉。主缆共20束(每束7根钢绞线),分4批张拉(每批数量依次为4束、6束、4束、6束)。张拉前先对主缆钢绞线进行预紧。预紧后回顶,然后按照 $10\%\sigma_{con} \rightarrow 40\%\sigma_{con} \rightarrow 70\%\sigma_{con} \rightarrow 100\%\sigma_{con}$ (持荷2 min,锚固)的张拉程序进行分级对称张拉。张拉完成后通过预埋在锚固端的锚索测力仪检测,对与设计值偏差较大的主缆进行二次补张拉,使得索力均匀。

3.5 主缆及吊杆压浆

主缆钢管与吊杆钢管相互连通,且与外界通道亦较多,故而采用先顶升压注吊杆钢管,待所有吊杆压浆完成后,再顶升压灌主缆钢管的压浆方案。由于主缆钢管较长,压浆方量大,为了保证主缆钢管压浆密实饱满,采用从下向上压注浆液(在下索箍与吊杆

相接处设置排气孔,以利于压浆顺利进行)。

3.6 体系转换

在主缆索及吊杆的张拉过程中,主梁的自重荷载由满堂支架和墩柱承受逐步转换到由主缆、吊杆和墩柱承受。在这个转换过程中,满堂钢管支架仍会有荷载作用在主箱梁底部,拆除钢管支架进行体系转换时按照三跨同时从塔柱处开始,依次逐排对称向两侧拆除的顺序进行,顺利完成了桥梁的体系转换。

4 结语

本桥不同于常规的自锚式悬索桥,特别是主缆的施工,没有成功经验可借鉴,施工难度大。根据本桥的具体结构特点,在主缆及吊杆施工中采取了多种技术措施,这些措施都是有益的。但最根本的解决方法还是应采取措施将钢绞线在钢管内的位置进行约束,使之不能因张拉而发生横向的位置变动(特别是随机的位置变动)。在吊杆上吊点的结构设计中应特别注意此问题的解决。将吊杆上吊点设计成蜂窝式结构,每根钢绞线从蜂窝孔中穿过的措施应该是一种比较好的解决办法。这种蜂窝式结构已经在矮塔斜拉桥塔上鞍座结构中成功运用,可作为借鉴。

参考文献:

- [1] 颜娟,编译. 自锚式悬索桥[J]. 国外桥梁,2002,(1).
- [2] 张元凯,肖汝诚,金成棣. 自锚式悬索桥的设计[J]. 桥梁建设,2002,(5).
- [3] 石占良,陈长明. 自锚式悬索桥钢筋混凝土主梁施工[J]. 桥梁建设,2004,(2).

Discussion About Technical Problems of Self-anchored Suspension Bridge

FENG Guang-sheng^{1,2}

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Central South University, Changsha 410075, China;

2. The 1st Engineering Co., Ltd. of China Zhongtie Major Bridge Engineering Group, Zhengzhou 450053, China)

Abstract: The overcrossing bridge at east entrance of Jianshe Road in Pingdingshan City is a self-anchored suspension bridge with three spans (35 + 72 + 35) m. In the superstructure, the reinforced concrete box is used, the cables are surrounded by the concrete steel tube. The technical problems of self-anchored suspension and the method to solve them are discussed in this paper.

Key words: self-anchored; suspension bridge; technology