

文章编号: 0451-0712(2005)11-0009-06

中图分类号: U448.25

文献标识码: B

自锚式悬索桥评述

徐风云¹, 陈德荣², 宋凤立³

(1. 武警交通设计研究所 北京市 102206; 2. 润扬长江大桥指挥部 镇江市 212006; 3. 中咨公司监理部 北京市 100101)

摘 要: 介绍自锚式悬索桥发展概况。对这种桥型的合理性及施工方法进行分析评价。论证了自锚体系是“轴向力自平衡闭环传递系统”, 因而不会发生钢箱梁整体失稳问题。

关键词: 自锚式悬索桥; 评述

1 问题的提出

自锚式悬索桥是一种古老的桥型。古代桥梁中已见类似结构。作为近代城市桥梁, 早在 1915 年~1929 年间, 德国、美国、日本已先后修建了 4 座, 此后的 60 多年中, 世界各国再没有修建这种桥梁。20 世纪 90 年代, 日本、美国、韩国重新推出这种老桥型, 但 10 年中也只修了 3 座。美国奥克兰海湾新桥自锚式悬索桥方案已出台 10 余年, 至今未见实施。21 世纪初, 自锚式悬索桥, 被宣扬为新桥型, 登上中国桥梁舞台, 并立即受到设计者、评审者、决策者的青睐, 短短 5 年中, 已建成或在建的有 10 座之多。据笔者所知, 已纳入计划或指定要建的自锚式悬索桥还有 3 座, 发展速度居世界之首, 大有成为“时尚”桥型的趋势。

自锚式悬索桥具有传统悬索桥的主要审美特征, 桥型独特、壮观, 如生动活泼、富于张力的曲线主缆; 雄伟壮观、富于吸引力的索塔, 等等。在对景观要求较高的城市或景区修建此类标志效应鲜明的桥梁, 以期展示区位特色或个性, 是可以理解的。但是客观的桥梁设计者也有责任说明, 自锚式悬索桥并不是新桥型, 受体系特点和施工方法的限制, 其跨

越能力有限, 审美表现力不会很突出, 如果建于平坦宽浅河滩, 索塔“身长腿短”与桥位环境极不和谐, 昂贵的代价不一定能收到预期的审美效果。

笔者曾参与多座自锚式悬索桥设计方案评审和建设, 深感有必要对这种桥型的合理性做科学反思。本文将以数据为依据, 评述自锚式悬索桥的合理性。论证自锚式悬索桥属于“轴向力闭环自平衡体系”, 不会发生钢箱加劲梁整体失稳问题, 应用这个观点进行设计, 将会大大减少钢箱梁用钢量, 降低工程造价, 提高其技术经济竞争力。

2 桥型方案合理性评述

如图 1 所示, 自锚式悬索桥与传统悬索桥的最大区别有两点: 其一是主缆锚固于边跨加劲梁(即锚跨), 因而可以利用加劲梁的水平支承能力来平衡(传递、支承)主缆水平分力, 利用锚跨自重来平衡主缆拉力的竖向分力, 可节省庞大的锚碇工程, 在地质条件差或深水桥位, 这个优点十分突出; 其二, 可以利用主缆水平分力为加劲梁提供压应力, 因而加劲梁可采用普通钢筋混凝土结构, 节省预应力费用。

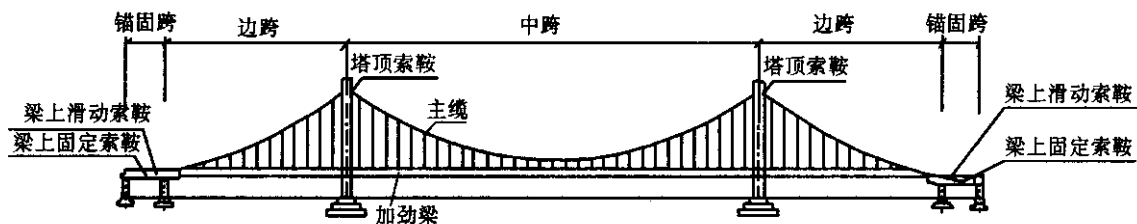


图 1 自锚式悬索桥

这是设计者特别强调的两大优点。深入分析已建成或在建自锚式悬索桥发现,上述两大优点是有条件的、局限的,它也会引发一些新问题或负效应,分述如下。

(1)主缆水平分力改变了加劲梁的受力行为,提高了钢箱梁的应力水平,大大增加了用钢量和工程费。传统地锚式悬索桥钢箱梁为零自重应力的悬吊受弯构件,应力水平一般在100 MPa左右,梁高多为3.0 m,钢箱梁单位用钢量为400~600 kg/m²,多数桥梁在500 kg/m²以下,见表1。而自锚式悬索桥钢箱梁为长细比很大,存在轴向压应力的悬吊压弯构件,压应力水平高达150 MPa以上。为了适应过大的压应力,防止钢箱梁板单元局部失稳,通常要采取非常规设计,加大钢箱梁单元尺寸和整体尺寸,从而大大增加了用钢量。如某在建独塔自锚式钢箱梁悬索桥,主跨跨径仅为350 m,设计梁高达3.5 m,钢箱梁单位用钢量约为740 kg/m²。大大高于传统悬索桥钢箱梁用钢量指标。

(2)边跨普通钢筋混凝土加劲梁的总费用高于预应力梁。自锚式悬索桥对加劲梁提供的压应力只能在体系转换之后才能发挥作用,在此之前,为了防止普通钢筋混凝土梁开裂,设计要求设庞大的跨中临时墩或支架支承。此外,为了适应轴压力引起的弹性压缩和后期徐变收缩,防止支座竖向力偏心,需要设置大偏位量活动支座。这两项费用已超过了预应力设施费用。如某在建自锚式悬索桥混凝土加劲梁平均单价约3 638元/m²,而相邻的预应力混凝土引桥单价只有1 983元/m²。

(3)锚跨结构复杂,高空施工难度大,材料用量高,不一定比地锚经济。某在建自锚式悬索桥2个锚跨的C50混凝土用量分别为7 259 m³、6 013 m³,钢材用量分别为866 t、938 t,含钢率分别为119.3 kg/m³、156 kg/m³,锚跨施工作业面高10余m,混凝土工程施工危险性很大。该锚跨位于旱地,基岩埋深12 m,很适合建重力式锚碇。为此笔者曾建议改为重力式锚,经测算:①重力式锚碇将增加C30混凝土量约47 100 m³,增加材料费约1 200万元;②可减少钢箱梁用钢量3 700 t(按500 kg/m²计算),减少费用约4 800万;③可减少锚碇用钢量约400 t(按含钢率30 kg/m³计算),减少材料费180万元。3项相加,仅材料费就可节省3 780万元。此外,可按传统悬索桥施工,采用缆载吊机架设钢箱梁,节省临时墩费用。施工方面则避免了在通航航道设临时墩,在高空浇注大体

积锚碇混凝土等危险性;减少了体系转换和强制调整主缆和钢箱梁线型等复杂工序。总体而言,利大于弊。用德国科隆——米耳海姆桥的改建实例更能说明问题。该桥在二战中被毁坏,战后重建该桥时,结构尺寸未变,仅由自锚式改为地锚式,全桥用钢量约5 800 t,仅为原建自锚式悬索桥用钢量12 800 t的45.3%。

(4)跨越能力有限,造价高,制约了自锚式悬索桥的竞争力。已建自锚式悬索桥的跨径范围为60~350 m,爱沙尼亚虽有480 m方案,但未能实现,这个跨径范围分别为PC连续刚构桥、PC连续梁桥、混凝土斜拉桥的最佳跨径范围。在同等条件下,自锚式悬索桥的造价约为这些桥型的1.5~2倍。如某在建自锚式悬索桥主桥的单价将达28 723元/m²。浙江省某跨径为220 m的自锚式悬索桥(方案)单价达到25 827元/m²,为连续刚构桥比较方案单价18 432元/m²的1.4倍。

3 施工方法引发的技术问题

自锚式悬索桥上部结构主要施工流程如图2所示。它与传统悬索桥的最大区别有3点:其一,必须先完成加劲梁(包括主跨钢箱梁,边跨加劲梁及锚跨);其二,必须进行体系转换;其三,必须进行强制性线形调整。笔者在参建某自锚式悬索桥过程中,深感这三大差异造成的施工难度和引发的技术问题很多,在此简要介绍,目的是希望引起重视,探讨新施工方法。

3.1 顶推架设钢箱梁施工方法的思考

跨径较大的自锚式钢箱梁悬索桥,多推荐采用顶推法架设钢箱梁,见图3所示。此法的主要难点如下。

(1)水中的临时墩不仅费用高,而且存在受船舶撞击等安全隐患。据查,某自锚式悬索桥4个水中临时墩用钢量达约3 300 t,费用计2 490万元。

(2)钢箱梁梁段需运至现场拼装,受桥跨限制,拼装平台不可能太长,而需采用所谓“短线拼装法”。观测表明,受已推出梁段悬臂重量的影响,拼接梁段将会出现初应力,实际拼装线形难以预控。

(3)在顶推过程中,钢箱梁的受力状态和应力分布不断变化。如某桥顶推阶段钢箱梁最大应力达83 MPa,已接近地锚式悬索桥的最大应力水平。观测证明,这个应力难以全部消除,运营阶段钢箱梁中可能残留不明确的附加应力,而地锚式悬索桥钢箱梁中则不会发生这种附加应力。

表 1 国内外跨径 500 m 以上钢箱梁悬索桥技术指标对比

| 序号 | 桥 名 | 所在地 | 竣工年 工期(月) | 跨径布置或 主孔跨度/m | 桥类 | 加劲梁桥面系 | | | | 主 缆 | | | 索 塔 | | 锚碇 | 用钢量 kg/m ² |
|----|------------------------|-----|--------------|-------------------|----|----------------|------------|---------|---------|--------|----------|----------------|-----|---------|-----|--------------------------|
| | | | | | | 钢箱梁 形式 | 车道数 | 梁宽 m | 梁高 m | 垂跨比 | 中心距 m | 主缆 直径 mm | 材料 | 高度 m | | |
| 1 | 大贝尔桥 | 丹麦 | 1998 (80) | 535+1 624+535 | 公 | 3 跨连续半 漂浮体系 | 4 | 31.0 | 4.0 | 1/9 | 27 | 827 | 混凝土 | 245 | 重力式 | 460.3 |
| 2 | 滨海高桥 | 瑞典 | 1997 | 310+1 210+280 | 公 | 3 跨连续半 漂浮体系 | 4 | 22 | 4.0 | 1/9 | 20.8 | 630 | 混凝土 | 178.6 | 重力式 | 397.3 |
| 3 | 厦门海沧大桥 | 中国 | 1999 (36) | 230+648+230 | 公 | 3 跨连续全 漂浮体系 | 6 | 36.6 | 3.0 | 1/10.5 | 34 | 570 | 混凝土 | 128 | 重力式 | 395.1 |
| 4 | 鹅公岩长江大桥 | 中国 | 2000 (36) | 211+600+211 | 公 | 3 跨连续全 漂浮体系 | 6 | 35.5 | 3.0 | 1/10 | 33.5 | 584 | 混凝土 | 163.9 | 重力式 | |
| 5 | 润扬长江大桥 | 中国 | 2005 (53) | 470+1 490+470 | 公 | 单跨简支 | 6 | 38.7 | 3.0 | 1/10 | 34.3 | 906 | 混凝土 | 210.3 | 重力式 | 411.2 |
| 6 | Humber 桥 | 英国 | 1981 (84) | 280+1 410+530 | 公 | 3 跨双铰 | 4 | 28.5 | 4.5 | 1/10.6 | 22.0 | 700 | 混凝土 | 155.5 | 重力式 | 516.2 |
| 7 | 江阴长江大桥 | 中国 | 1999 (60) | 336.5+1 385+309.3 | 公 | 单跨简支 | 6 | 36.9 | 3.0 | 1/10.5 | 32.5 | 860 | 混凝土 | 196 | 重力式 | 399.7 |
| 8 | 第二 Bosphorus 桥 | 土耳其 | 1988 | 210+1 090+210 | 公 | 单跨简支 | 8 | 39.4 | 3.0 | 1/11.4 | 33.8 | 764 | 钢 | 111.0 | 重力式 | 388.1 |
| 9 | 第一 Bosphorus 桥 | 土耳其 | 1973 (40) | 231+1 074+255 | 公 | 单跨简支 | 6 | 33.4 | 3.0 | 1/11.8 | 28.0 | 580 | 钢 | 165.0 | 重力式 | |
| 10 | 来岛第二大桥 | 日本 | 1999 | 250+1 020+245 | 公 | 2 跨连续 | 4 | 28.5 | 3.8 | 1/10.1 | 27.0 | | 钢 | 181.75 | 重力式 | |
| 11 | Severn 桥 | 英国 | 1966 | 304.8+987.6+304.8 | 公 | 3 跨简支 | 4 | 31.86 | 3.05 | 1/12 | 22.86 | 508 | 钢 | 121.9 | 重力式 | |
| 12 | 宜昌长江公路大桥 | 中国 | 2001 (45) | 246.3+960+246.3 | 公 | 单跨简支 | 4 | 30 | 3.0 | 1/10 | 24.4 | 655 | 混凝土 | 142.2 | 重力式 | 443.6 |
| 13 | 西陵长江大桥 | 中国 | 1996 (29) | 225+900+255 | 公 | 单跨简支 | 4 | 20.6 | 3.0 | 1/10.5 | 20.0 | 570 | 混凝土 | 120 | 重力式 | 444.4 |
| 14 | 虎门大桥 | 中国 | 1997 (57) | 302+888+348.5 | 公 | 单跨简支 | 6 | 35.6 | 3.0 | 1/10.5 | 33 | 687 | 混凝土 | 147.6 | 重力式 | 393.7 |
| 15 | Askoybrua 桥 | 挪威 | 1993 | 173+850+173 | 公 | 单跨简支 | | 15.22 | 3.00 | 1/10.6 | 13.75 | 21×99 | 混凝土 | 152 | | |
| 16 | 白鸟大桥 | 日本 | 1998 | 330+720+330 | 公 | 3 跨简支 | 4 | 22.9 | 2.5 | 1/10.1 | 18.0 | 472 | 钢 | 128.1 | 重力式 | 524.8 |
| 17 | Stordabrua 桥 | 挪威 | 2001 | +677+边跨曲梁 | 公 | 单跨简支 | | 12.7 | 2.7 | 1/10 | 11.7 | 323 | | 90.0 | | |
| 18 | Lille Belt 桥 | 丹麦 | 1970 | 240+600+240 | 公 | 3 跨简支 | 6 | 33.3 | 3.0 | 1/9 | 28.1 | 580 | 混凝土 | 112.7 | 重力式 | |
| 19 | 大岛大桥 | 日本 | 1988 | 140+560+140 | 公 | 单跨简支 | 4 | 23.7 | 2.2 | 1/10 | 22.5 | 472 | 钢 | 88.35 | 重力式 | 402.4 |
| 20 | 来岛第一大桥 | 日本 | 1999 | 140+600+170 | 公 | 3 跨连续半 漂浮体系 | 4 | 28.5 | 3.3 | 1/9 | 27.0 | | 钢 | 122.7 | 重力式 | 569.6 |
| 21 | George—Washington 桥 | 美国 | 1931 | 186+1 066.8+198 | 公 | 3 跨简支 | 上 8 下 6 | 32.31 | 9.14 | 1/10.8 | 32.31 | 914 | 钢 | 183.8 | 重力式 | 606.7 |

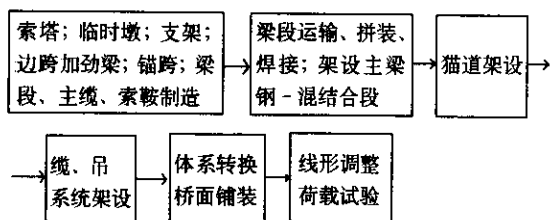


图2 自锚式悬索桥施工流程



图3 顶推法架设钢箱梁

(4) 需要对钢箱梁和顶推系统做特殊设计。顶推法已是成熟的施工方法,但用于架设钢箱梁时,则需特别控制支承面大偏心受压、预防纵隔板偏移出滑道、造成底板局部受压力等问题。为此,设计采取了局部加强纵隔板、加大支承面积、增大导梁长度等措施。某桥钢箱梁顶推跨径为78 m,导梁长度达60 m,支承面积达4.5 m×2.5 m。

3.2 体系转换及线形调整引发的问题

体系转换和成桥线形调整,是自锚式悬索桥区别于地锚式悬索桥的又一特殊工序,也是最复杂的工序。在该工序中,结构受力模型、体系内(应)力、变形都会发生极大变化,如:

(1) 主缆将由低拉应力状态过渡到高拉应力状态,由自重悬垂线形过渡到成桥抛物线形;

(2) 吊索将由零拉应力状态过渡到设计拉应力状态;

(3) 加劲梁将由零轴向压应力状态过渡到高轴向压应力状态,受力体系将由支架支承多跨连续梁过渡到弹性支承多跨悬吊连续梁,线形将会发生多次变化;

(4) 支架和临时墩将由高压应力状态过渡到零压应力状态,同时产生弹性回弹;

(5) 在体系转换过程中,混凝土加劲梁支座将随梁的弹性压缩而产生水平位移,桥墩将承受水平力,等等。

桥梁施工经验表明,在体系转换过程中,最容易发生重大施工安全事故和工程质量问题。为了顺利

完成体系转换,防止发生安全事故,通常要求按照“平稳、平衡、逐步过渡”的原则,拟定合理的转换程序;进行精细地计算、测量;制定标高和索力“双控”方案及误差限制目标;严格及时地监控体系状态。

成桥线形调整精度对桥梁使用期的受力和变形影响很大,也是一个重要工序。由于二期恒载较大(约为一期恒载的17%~20%),为了尽可能符合设计线形和内力分布,一般应在体系转换后施工桥面铺装,然后再进行主缆及桥面线形调整。

4 钢箱梁失稳问题的评述

自锚式悬索桥钢箱梁整体失稳和局部失稳是设计评审中争论最大的问题之一。设计者按照简单压弯杆件整体失稳的传统观念,把自锚式悬索桥钢箱梁整体失稳问题看得非常严重,而采取了非常规设计,用加大钢箱梁整体尺寸和单元尺寸方法来防止所谓的整体失稳。鉴于此问题的重要性,笔者应用经典弹性理论,对自锚式悬索桥荷载分配及内力传递路径做了理论分析,论证了以下观点。

(1) 自锚式悬索桥主桥的主缆、吊索、钢箱梁组成了一个“轴向力自平衡闭环传递系统”,在此系统中,吊索索力、主缆水平分力、钢箱梁轴向力将随钢箱梁曲率、主缆线形而变化,实现荷载重分配和内力自调节。

(2) 钢箱梁不是简单的压弯构件,而是拱式悬吊压弯构件,它主要依靠分配于钢箱梁的垂直荷载所产生的水平推力来平衡主缆水平分力。因此,宜适当增大钢箱梁的纵坡(即曲率),突出“拱式体系”功能。

得出的结论是:自锚式悬索桥钢箱梁不会发生整体失稳。兹论证如下。

按照悬索桥古典弹性理论,假设作用于体系的竖直荷载(包括缆、索、梁恒载、浮载垂直力)沿跨径 L 均匀分布,见图4(1),垂直荷载集度 q 为:

$$q = \sum_{i=1}^n N_i \cdot \frac{1}{l} \quad (1)$$

地锚式悬索桥为主缆、吊索、钢箱梁“分离体系”,垂直荷载全部通过吊索传递给主缆,主缆产生的轴向拉力 T_D 、垂直分力 V_0 、水平分力 H_0 全部传递到地锚,不会发生循环及转换,且有:

$$H_0 = \frac{q_0 l^2}{8f_0}$$

自锚式悬索桥主缆锚固于锚跨,与钢箱梁(含相

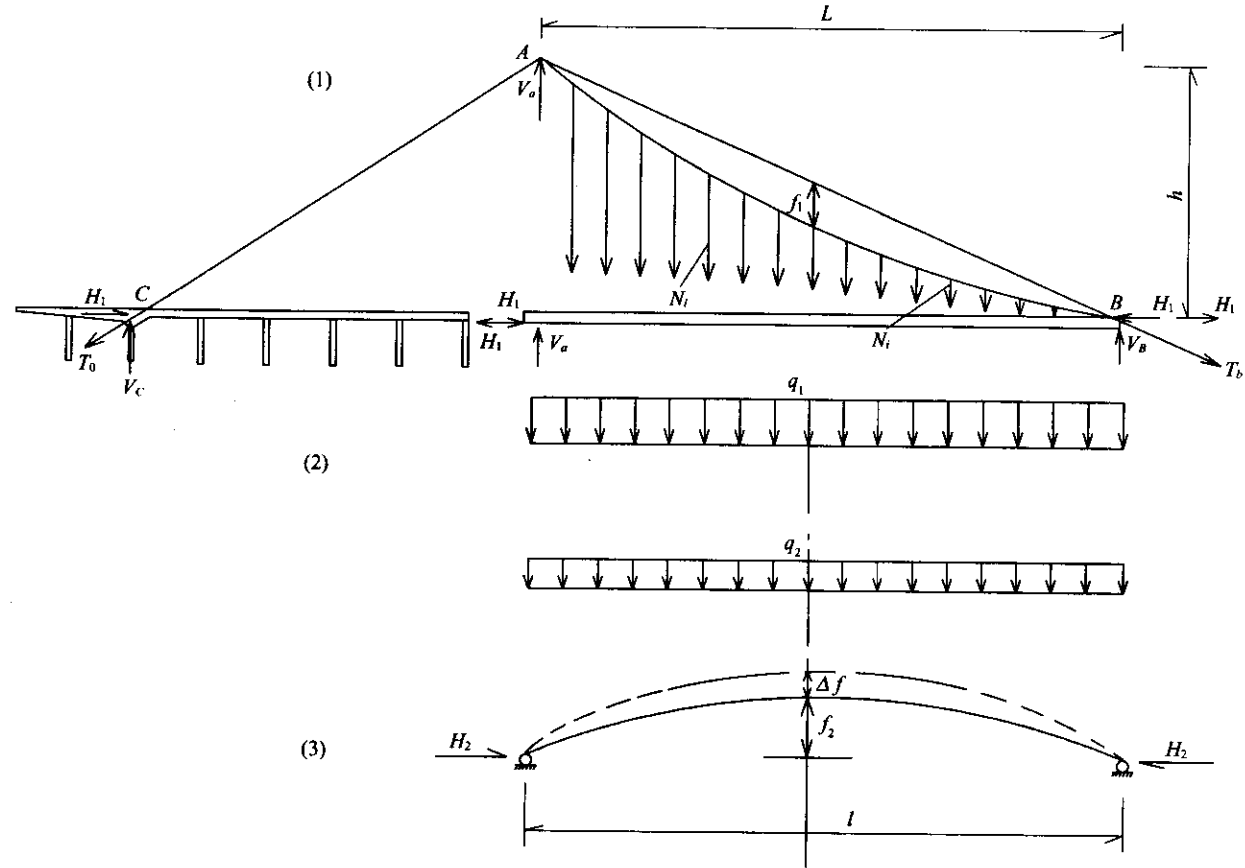


图 4 自锚式悬索桥整体弹性稳定分析简图

连的混凝土梁)、吊索组成了“闭合体系”,见图4(1),作用于体系的垂直荷载 q 要发生再分配,一部分即 q_1 (包括缆自重)通过吊索传递给主缆,另一部分即 q_2 为作用于钢箱梁的变形恢复力,它的作用是使梁轴线恢复到初始平衡状态,并产生梁端推力来平衡锚跨处的主缆水平力 H_1 ,见图4(2)。这是自锚式悬索桥与地锚式悬索桥垂直荷载分配及轴向力循环与传递路径的重大区别。且有:

$$q = q_1 + q_2 \tag{2}$$

$$H_1 = \frac{q_1 l^2}{8 f_1} \tag{3}$$

式中: H_1 为均布垂直力 q_1 产生的主缆拉力的水平分力; L 为主桥跨径; f_1 为主缆矢高。

在式(2)、式(3)中, q_1 、 q_2 是未知的,因此需要建立另一个方程来求解。取曲线形钢箱梁为脱离体并以水平力 H_2 替代锚跨作用,则可把钢箱梁转换为受均布荷载 q_2 和水平力 H_2 作用的两铰坦拱,见图4(3),则有:

$$H_2 = \frac{q_2 l^2}{8 f_2} \tag{4}$$

式中: f_2 为钢箱梁矢高,即跨中曲线高差。

注意到主缆与加劲梁形成了一个自平衡闭合系统,脱离体处的内力是平衡的,即有:

$$H_1 = H_2 \tag{5}$$

由式(2)、式(3)、式(4)、式(5)得:

$$\frac{q_1 l^2}{8 f_1} = \frac{q_2 l^2}{8 f_2}$$

$$q_1 / q_2 = f_1 / f_2$$

代入式(2),得:

$$q_1 = \frac{q f_1}{(f_1 + f_2)} \tag{6}$$

$$q_2 = \frac{q f_2}{(f_1 + f_2)} \tag{7}$$

式(6)、式(7)论证了作用于自锚式悬索桥的垂直荷载不是全部作用于主缆而必然发生分配的论点,还说明这个分配关系与主缆矢高 f_1 和钢箱梁矢高 f_2 有关。注意到 $f_1 + f_2$ 是一个定值,并可通过吊索来协调,即,如果钢箱梁向一阶失稳模态发展,拱轴线向上(或向下)偏移 Δf ,则拱矢高 f_2 将增大为 $f_2 + \Delta f$ (或减小为 $f_2 - \Delta f$),由式(7)看出,此时分配于钢箱梁的垂直荷载集度 q_2 将增大(或减小) Δq_2 ($\Delta q_2 = \Delta f q / (f_1 + f_2)$),即增大(或减小)压重,抑止

失稳模态。相应地,主缆矢高 f_1 将减小为 $f_1 - \Delta f$ (或增大为 $f_1 + \Delta f$),分配于主缆的垂直荷载集度 q_1 将减小(或增大) Δq_1 ($\Delta q_1 = \Delta f q / (f_1 + f_2)$)。但是,在此过程中,主缆水平分力 H_1 和钢箱梁端推力 H_2 是不会变化的,因此,梁轴线实际上不会发生偏移,即在 q_2 作用下, Δf 将始终为零。兹证明如下。

初始状态自锚式悬索桥的主缆水平分力 H_1 的计算式为:

$$H_1 = \frac{ql^2}{8f_1} \times \frac{f_1}{f_1 + f_2} = \frac{ql^2}{8(f_1 + f_2)}$$

假定梁轴线偏移 Δf ,主缆水平分力 H_1' 为:

$$H_1' = \frac{ql^2}{8(f_1 - \Delta f)} \times \frac{f_1 - \Delta f}{f_1 + f_2} = \frac{ql^2}{8(f_1 + f_2)}$$

水平分力增量: $\Delta H = H_1' - H_1 = 0$

同理可以推证,此时的梁端推力增量 $\Delta H_2 = 0$ 。

根据位移与力协调原则,力不变,位移也不会变。如果内力增量 $\Delta H_1 = 0, \Delta H_2 = 0$,偏移量 Δf 也必然为零。也就是说不会发生整体失稳,这是自锚体系的重要特点。现用数据说明之,某桥主缆矢高 $f_1 = 28.5 \text{ m}$,矢跨比 $f_1/L = 12.5$,钢箱梁跨中矢高 $f_2 = 1.33 \text{ m}$,全部竖直荷载集度 $q = 237.6 \text{ kN/m}$,按上述公式计算的结果列于表 2。

表列数据证明: $H_1 = H_2$

$$\Delta H_1 = H_1' - H_1 \approx 0$$

$$\Delta H_2 = H_2' - H_2 \approx 0$$

由于任何状态下,自锚式体系的水平力都不会变化,这就说明只要钢箱梁截面强度满足要求,钢箱梁轴线就只能在初始平衡状态下弹性变位,并在 q_2

表 2 计算结果

| 项 目 | 初始状态 | 梁轴线上偏 0.266 m, $f_1' = 1.596 \text{ m}$, $f_2' = 28.234 \text{ m}$ |
|---------|--|---|
| 荷载集度分配值 | $q_1 = 227.01 \text{ kN/m}$ $q_2 = 10.594 \text{ kN/m}$ | $q_1' = 224.887 \text{ kN/m}$ $q_2' = 12.7123 \text{ kN/m}$ |
| 主缆水平分力 | $H_1 = 121\ 963 \text{ kN}$ | $H_1' = 121\ 966 \text{ kN}$ |
| 钢箱梁端推力 | $H_2 = 121\ 970 \text{ kN}$ | $H_2' = 121\ 962 \text{ kN}$ |

(或 q_2')恢复力作用下回复初始平衡状态,而不会发生整体压屈失稳。

营运阶段和顶推架设阶段钢箱梁纵隔板及顶底板是否会发生局部失稳,是另一个争论焦点,它涉及到空间应力分布及计算、局部失稳模态等复杂问题,应用现代计算技术进行仿真计算,并应用现代试验技术进行模型试验,完全可以解决这个问题。自锚式悬索桥施工应力观测及营运实践已经说明,这个问题并不如设计者强调的那样严重。

参考文献:

- [1] 楼庄鸿,严文彪. 自锚式悬索桥[A]. 中国公路学会桥梁和结构工程学会 2002 年全国桥梁学术会议论文集[C].
- [2] 张元凯,肖汝诚,金成棣. 自锚式悬索桥的概念设计[A]. 第十五届全国桥梁学术会议论文集[C]. 2002.
- [3] 宋鑫,邱文亮. 万新大桥主桥结构设计和施工控制[J]. 公路,2005,(4).
- [4] 陈德荣. 悬索桥综述[Z]. 交通部公路科学研究所,1993.

欢迎订阅 2006 年《公路》杂志

《公路》月刊于1956年9月创刊。是我国公路行业出版最早的综合技术类科学技术期刊;全国中文核心期刊。《公路》杂志由交通部主管,由中交公路规划设计院主办,由《公路》杂志社出版。《公路》杂志1996年获第二届全国优秀科技期刊三等奖;双效期刊;2005年荣获第三届国家期刊奖百种重点期刊。

《公路》杂志为大16开,全年12期。栏目主要有道路、桥梁、公路养护与环保、材料与试验、隧道、综合…等等;读者对象主要是从事公路建设的有关人员、大中专院校师生及市政、铁路、水利、林业、机场、矿业及石油等行业的有关人员。

2006年度报刊杂志征订工作已经开始,请您到当地邮局办理订阅手续。

《公路》杂志邮发代号:2—81。每期每本单价:6.80元。

若订阅不便的读者,可直接在我部办理零售业务。2006年零售价全年每套81.60元(免全年邮寄费)。

另本刊还有《公路》2000年~2005年合订本,每年度合订本200.00元(免邮寄费)。欢迎选购。

零售部联系电话:010—65235625,65279988(总机)转1408(上午)、2202(下午)

联系人:叶萍

地址:北京东四前炒面胡同33号

邮编:100010