

无桥台斜腿刚架桥在斜桥中的应用研究

高荣雄¹, 占爱民²

(1. 华中科技大学 武汉市 430074; 2. 黄石市公路工程质量检测站 黄石市 435000)

摘要: 通过对无桥台斜腿刚架桥在斜桥中的应用分析, 指明这种桥型能有效减少斜桥常见病害, 分析其力学特性, 探讨这种桥型在斜桥中的应用前景。

关键词: 无桥台斜腿刚架桥; 斜桥; 梁体旋转; 力学特性; 斜度

1 斜桥病害

近十几年时间里, 我国斜桥建设进入了实质性高潮。路桥建设者一改过去路线走向服从桥梁布置的思维定式, 使得斜桥结构在桥梁建设中的比重越来越大, 尤其是高等级道路中斜桥有很大的数量。由于各种原因, 许多斜桥经过一段时间运行后, 出现了不少病害缺陷。

(1) 梁体旋转(爬行): 主梁与桥头搭板之间经常发生如图 1 所示的旋转病害。梁体会发生向主梁的锐角方向错位, 桥头搭板则发生向主梁的钝角方向移动, 从平面上看, 整个桥面向锐角方向旋转了某一个角度, 使得伸缩装置失去伸缩性能, 无法发挥作用。据调查某一斜交角度达 41° 的连续梁桥, 桥长 132 m, 建成运行 10 年后, 梁体发生非常明显的旋转, 根据实际测量结果, 右岸横向错位达 12 cm, 左岸上游横向错位为 3.3 cm, 下游梁的横向错位为 4.6 cm。

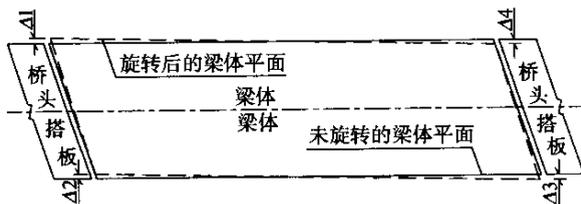


图 1 斜桥梁体旋转

(2) 支座横向位移: 斜梁桥由于梁体的平面旋转使支座常发生横向偏移, 这种横向偏移在桥台处支座表现得最为明显, 过大的偏移常导致支座因此

而破坏。根据一座实桥的调查结果, 该桥左岸上下游支座发生的横向位移平均达 5 cm, 右岸支座横向位移达 6 cm, 由于位移过大, 左右岸支座的限位钢裙被剪切破坏, 支座丧失其功能。

(3) 桥面系状况: 斜桥由于梁体易出现裂缝, 导致桥面防水功能降低, 雨水常渗透桥面铺装层而侵蚀梁体; 桥面栏杆由于梁体的旋转而常常出现较为明显的扭曲和破损。

上述病害可以说是斜桥的通病, 但实践发现: 不同桥型上述病害的影响程度是明显不同的, 简支斜梁桥和连续斜梁桥的病害表现相对突出些, 连续刚构斜桥的病害表现相对弱些。无桥台斜腿刚架桥(图 2)作为近十几年发展起来的一种新桥型, 其在中小跨径的桥梁结构中具有明显的优势, 从开始研究这种桥型时起, 我们就重视其在斜桥中的应用, 并不断地进行探索。实践证明: 这种桥型虽然无法避免斜桥的平面旋转, 但却能在较大程度上降低斜桥的病害缺陷。1982 年在原武汉城建学院校内修建的湖溪桥为无桥台斜腿刚架桥, 桥长 36 m, 斜交角度 45° , 使用 20 多年了, 目前桥况还非常好, 根据实际测量结果, 平面旋转引起的桥头错位最大的仅有 0.4 cm, 桥面栏杆完好。

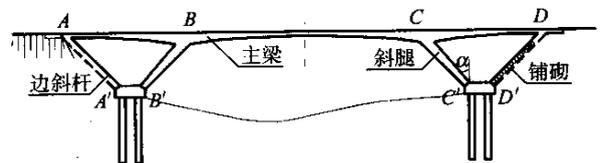


图 2 无桥台斜腿刚架桥

2 力学特性

正交无桥台斜腿刚架桥具有良好的力学性能已得到理论和实践的验证。斜交时虽然中跨主梁与斜腿所形成的结构仍然具有拱桥的受力特点,主梁的弯矩也明显小于相应的连续结构主梁,但其受力特点与正交桥有较大区别,具体表现如下。

(1) 弯扭耦合:当荷载作用于梁轴线上时,除了产生弯矩外,还将产生扭矩。在正交时的主梁中是不会有扭矩产生的,而且斜交主梁中的弯矩与扭矩之间表现出此消彼长的特点。说明斜交无桥台斜腿刚架桥和弯桥一样也具有弯扭耦合的特性。

(2) 各斜腿受到的力不均匀:钝角区域的斜腿反力明显大于锐角处斜腿反力,随着斜角角度的增大和弯扭刚度比的降低,这种反力差越大,甚至锐角区域的斜腿可能受到负反力。

(3) 主梁弯矩值相对于正交而言要小,这是由于弯扭耦合直接造成的。斜度 ψ 越大,弯矩折减就越明显。

(4) 和弯桥一样,在外界因素(如温度变化、混凝土收缩徐变、预加力等)发生变化时,斜桥在其行车道平面内的各点将有应变产生。如当温度上升时,梁体发生伸长,桥头搭板也因此膨胀而向河中心侧产生位移,逐年的温变效应使得伸缩缝的有效伸缩空间减少,而导致桥头搭板与梁端因没有足够的伸缩空间而相抵触,搭板与梁端将产生垂直于交接面的相互作用力,这一作用力的水平分力将使梁体产生横向位移。斜交角度越大,水平分力也就越大,产生的横向位移也相应越大,从而引起“斜桥的旋转(爬行)”。另一方面,斜桥在外荷载(如制动力、风力、地震力等)作用时,如果这些力的合力不通过转动中

心,则这些力即对转动中心产生不平衡的力矩及合力,也引起斜桥上述的病害。

(5) 图 3 为一无桥台斜腿刚架桥应用于斜桥的平面示意。从中可见,各斜腿及边斜杆所形成的 V 形刚架也沿着斜角方向布置。当在外界因素作用下,特别是温变荷载作用时,梁体将有产生平面旋转的趋势。假定梁体受到反时针方向的平面旋转力偶作用,此时梁体有向反时针方向旋转的趋势,梁体的旋转势必带动各斜腿及边斜杆一起转动,由于各 V 形刚架的刚度较大且横向布置具有一定的间距,则各 V 形刚架势必产生较大的反力偶抵抗梁体的转动,如图 4 所示。

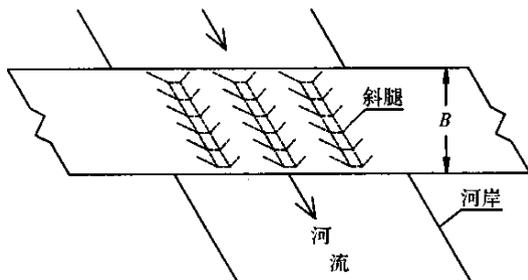


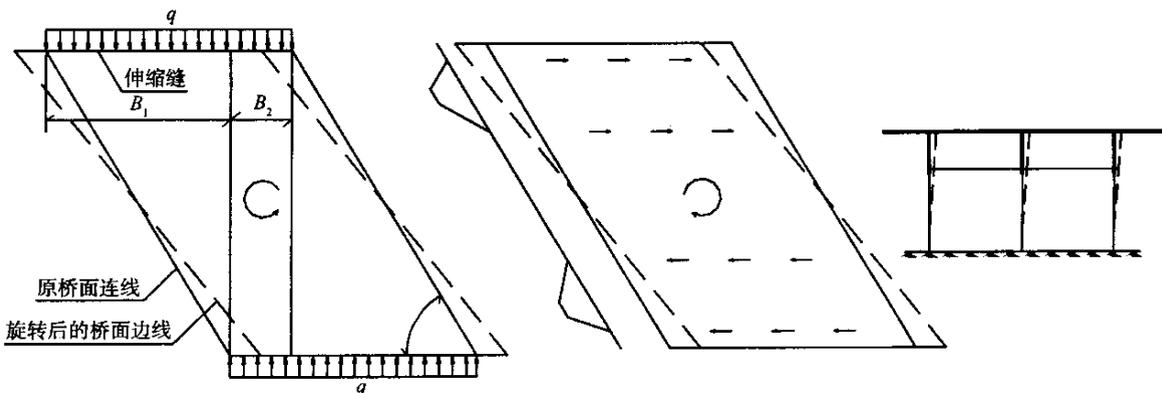
图 3 无桥台斜腿刚架桥斜桥平面布置

假定支承边界产生的反力集度为 q ,则外力产生使梁体转动的力矩 $M_{外}$ 为:

$$M_{外} = qB_1(B_1 + B_2) \tag{1}$$

式中: B_1 、 B_2 见图 4 标注。

由于斜腿的约束作用,结构自身将产生抵抗力矩 $M_{抗}$ 来阻止梁体旋转,设 V 形刚架的横桥向抗推刚度为 K (K 的求解可以按下端固结,上端铰结的柱结构弹性常数进行),则 $M_{抗}$ 为:



(1) 斜桥桥面——受反时针方向的旋转力

(2) 斜桥的斜腿——形成顺时针方向的旋转力可阻止桥面的转动

$$M_{抗} = K \cdot \Delta \cdot L \quad (2)$$

式中: V 为形刚架顶面横向平均位移; L 为左右两 V 形刚架的间距。

由于无桥台斜腿刚架桥的横向主梁间距一般采用 1.5~3.5 m, 通常一座桥梁具有较多的刚架片数。因此, V 形刚架的横桥向抗推刚度 K 一般较大, 梁体较小的横向位移就使得斜腿产生很大的约束力, 从而使结构获得较大的抵抗力矩 $M_{抗}$ 阻止梁体旋转。可见, 无桥台斜腿刚架桥结构自身能有效克服斜桥的病害。

另一方面, 与跨径相同的其他梁式桥相比, 无桥台斜腿刚架桥主梁弯矩相对较小, 中跨主梁又受到较大的“免费”压力作用, 大大地改善了主梁受力, 从而能有效克服斜桥主梁容易开裂的缺陷。

3 构造要求

通过如图 5 所示的对无桥台斜腿刚架桥斜桥的内力的分析可知: 中跨主梁跨中弯矩和轴力(压力)随分跨比的增大而减小, 边跨主梁的跨中弯矩和轴力(拉力)却随分跨比的增大而增大, 斜腿及边斜杆截面的弯矩随分跨比的增大而呈现出受双向异号弯矩, 基础水平推力随着分跨比的增大而减小。合理的分跨比能使中跨主梁及边跨主梁充分发挥各自杆件的功能, 使其负、正弯矩绝对值之比达到极小值, 且



(1) 荷载组合作用下主梁轴力包络图



(2) 荷载组合作用下主梁剪力包络图



(3) 荷载组合作用下主梁弯矩包络图

图 5 无桥台斜腿刚架桥斜桥主梁内力

让边斜腿和斜腿始终处于受压状态。根据分析和无桥台斜腿刚架桥斜桥的工程实践, 无桥台斜腿刚架桥斜桥的边中跨比可取 0.6 左右甚至略小一点为宜。

斜腿的作用主要有二: 一是斜腿的轴向力可分解一个水平力, 使两斜腿之间的主梁承受水平压力, 即“免费预应力”; 二是斜腿可加大桥梁的跨越能力。当斜腿竖向倾角 α 很小时, 水平分力很小, 此时与直腿刚架接近, 但 α 角过大时, 水平分力过大, 对桥墩受力不利。计算表明: 斜腿倾角 α (竖向倾角) 采用 $35^\circ \sim 45^\circ$ 为宜。

斜腿上由于轴力很大和弯矩很小, 对结构受力有利, 且弯矩上大下小, 所以斜腿可做成上大下小的形式。主孔主梁有较大的弯矩和较大的轴力, 属偏压构件; 而副孔部分由于既受弯又受拉, 属弯拉构件, 对结构受力不利。所以, 在进行结构设计时, 斜腿部分由于轴压力很大, 除了验算弯矩作用平面内强度外, 还需验算面外的稳定性; 主孔部分由于有较大的弯矩, 除进行强度计算外, 注意验算裂缝宽度; 副孔上除按弯拉构件进行强度计算外, 要特别注意裂缝宽度的验算, 同时对此部分的挠度及预拱度计算也必须予以足够的重视。

随着斜度的增大, 主梁及斜腿受到的扭矩相应增加, 为了加强结构的横向刚度, 建议在斜腿顶面、跨中及主梁高度变化处设置横隔板, 同时当相邻两片横隔板的间距超过 12 m 以上(针对主梁采用 T 形截面的无桥台斜腿刚架桥而言)时, 宜适当增设横隔板。根据目前实践经验和在对无桥台斜腿刚架桥斜桥继续深入研究前, 建议斜度不要超过 30° 。

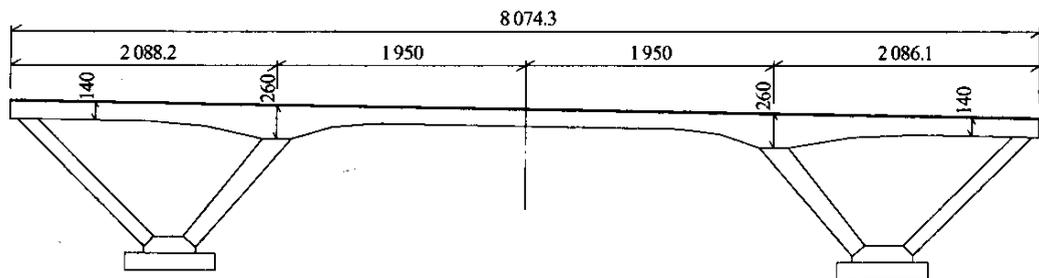
4 工程实践

无桥台斜腿刚架桥是一种适用、经济、美观的新桥型。我校于 1991 年开展此种桥型的研究工作, 1998 年获建设部科技进步三等奖。由于优点突出, 短短几年时间, 在江西、广东及湖北等省的高等级公路和城市桥梁中建成此种桥型 70 余座, 其中斜桥 7 座, 最大斜度 30° 。

武汉绕城高速公路黄陂互通 1 号桥就是一座斜无桥台斜腿刚架桥, 它也是目前已建的这种桥型中斜交角度最大的一座, 具有代表性。该桥为黄陂互通主线跨岱黄线跨线桥, 分左右两幅, 桥长为 80.743 m (不含桥头搭板), 桥位处于半径 $R=9\,000$ m 的平曲线上, 与岱黄线斜交角为 51° , 为了改善结构受力, 桥梁的斜交角采用 60° 。桥梁设计荷载为汽车一超 20 级, 挂车

—120。本桥为(19.5+39.0+19.5)m 预应力混凝土无桥台斜腿刚架,下部采用扩大基础,桥梁总体布置见图 6 所示。施工时为了不阻断桥下公路通行,本桥采用带挂孔的无桥台斜腿刚架桥,挂孔为 25 m 预应力混凝土宽幅空心板(斜交角度 60°),空心板梁支撑在 V 形刚架悬臂的牛腿上,先简支后连续。左幅桥刚

架部分横向为 6 片刚架,空心板部分横向为 10 块板,行车道宽 16.117 m;右幅桥刚架部分横向为 5 片刚架,空心板部分横向为 7 块板,行车道宽 12.117 m。桥梁刚架与桥面板采用 40 号混凝土整体现浇,空心板部分采用 50 号混凝土,扩大基础采用 20 号混凝土。

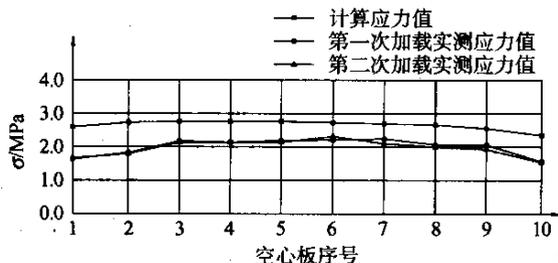


单位:cm

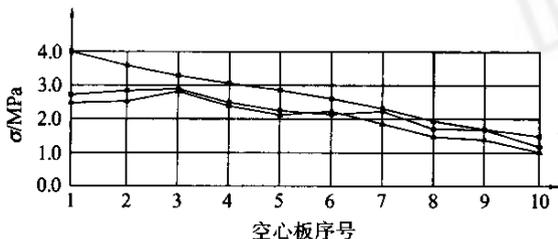
图 6 黄陂互通 1 号桥总体布置

这座桥竣工后,为了了解结构性能,建设方委托第三方进行了实桥荷载试验。根据测试结果,中跨跨中截面在荷载作用下的应力横向分布如图 7 所示,边跨跨中截面的应力横向分布如图 8。

值与计算值接近,且横向分布与计算值基本一致,两次加载重复性较好。



(1) 工况 1: 中跨跨中最大正弯矩对称加载

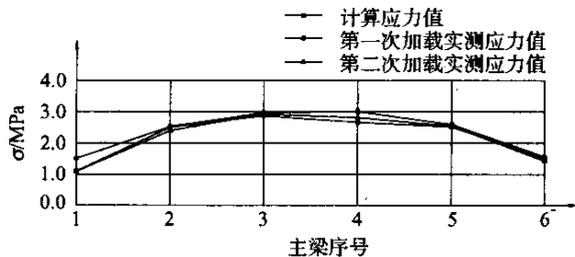


(2) 工况 2: 中跨跨中最大正弯矩偏心加载

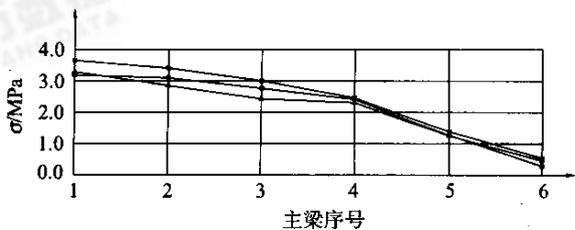
图 7 中跨跨中截面应力横向分布

从图 7 可以看出:实测截面梁底应力小于计算值,校正系数在 0.62~0.99 之间,均小于 1,且横向分布与计算值基本一致,两次加载重复性较好。

从图 8 可以看出:边跨跨中截面梁底应力小于计算值,校正系数在 0.52~0.99 之间,均小于 1,实测



(1) 工况 3: 边跨跨中最大正弯矩对称加载



(2) 工况 4: 边跨跨中最大正弯矩偏心加载

图 8 边跨跨中截面应力横向分布

斜腿及边斜杆上下端截面上测点的应力校正系数在 0.36~0.95 之间,下部构件受力良好。该斜桥是较为复杂的一座斜无桥台斜腿刚架桥,斜度较大,空间效应明显。通过静动载试验得出:在各工况下的结构受力均满足设计要求,结构的刚度较大,梁体的残余挠度很小,梁体处于弹性工作状态。同时,试验也表明:该桥动刚度较大,冲击系数小于规范值,各

文章编号: 0451-0712(2004)12-0057-05

中图分类号: U448.275.4

文献标识码: B

单索面预应力混凝土部分斜拉桥 施工控制技术及关键施工工艺的研究

张 善¹, 卢明康², 惠 新¹, 马 恒², 王建秋², 张宇峰³(1. 江苏省高速公路建设指挥部 南京市 210017; 2. 常州市高速公路建设指挥部 常州市 213003;
3. 江苏省交通科学研究院 南京市 210017)

摘 要: 以常州两座单索面预应力混凝土部分斜拉桥的施工过程为研究对象,建立了以主梁线形控制为主且兼顾斜拉索索力、主梁应力的控制体系,并通过索塔足尺节段模型试验等工作对部分斜拉桥关键性施工工艺开展研究。目前两桥均已高精度合拢,取得了满意的施工质量和控制结果。

关键词: 部分斜拉桥; 施工控制; 施工工艺

1 工程概况

常澄高速公路常州东互通式立交主线桥及常州东环公路京杭运河桥,均采用 70.15 m+120 m+70.15 m 三跨双塔单索面预应力混凝土塔梁固结式部分斜拉桥,除桥面宽度分别采用 28 m 和 26.5 m 外,其余条件均相同。桥长 260.3 m,桥上设 0.273% 的单向纵坡,无竖曲线,桥梁结构位于半径为 8 600 m 的平曲线上。

该两座部分斜拉桥主梁均采用单箱三室大悬臂变截面预应力混凝土连续箱梁,三向预应力体系,支点梁高 4.1 m,跨中梁高 2.6 m,从支点起 39 m 范围内梁高按二次抛物线变化。主梁划分为 59 个梁段,其中 0 号、1 号和 1' 号梁段总长 12 m,在墩顶及墩旁临时支架上立模现浇;边跨支架现浇梁段长 9 m,边、中跨合拢段长 2 m,其他各梁段长 3~5 m,采用挂篮悬臂浇注法施工。

索塔高 31 m,为钢筋混凝土独柱实心矩形截面,

顺桥向长 3 m,横桥向宽 2 m,布置在中央隔离带上,并与箱梁固结。

斜拉索为单索面,双排布置在中央隔离带上,每个塔上设有 8 对 32 根斜拉索,全桥共 64 根,拉索与索塔连接采用鞍座形式。斜拉索梁上标准间距为 5 m,双排横向布置间距为 1.0 m,塔上竖向间距 2.33 m,索与梁的水平夹角 25°。

从斜拉索安全度控制、主跨与塔高之比、斜拉索与水平轴夹角等斜拉桥要素来看,常澄高速公路常州东互通式立交主线桥及常州东环公路京杭运河桥均应被称为斜拉桥,设计中也是将其按斜拉桥进行设计的,但其较大的边跨与主跨之比、主梁变截面、布索区较短、桥塔附近主梁中的无索区段较长、边跨梁端无锚固索等结构特点,又引入了典型的部分斜拉桥设计理念,因此结构形式较为新颖。同时,由于两桥相互紧邻且采用完全相同的结构形式,为使索面外观整齐,达到良好的视觉效果,故在桥面较宽的

收稿日期: 2004-07-05

项动力特性处于合理的范围内。

5 结语

通过研究无桥台斜腿刚架桥斜桥的特性和工程实践,对推动这种桥型的发展和实际应用具有一定的参考价值,也为解决和降低斜桥的病害缺陷增添了一种途径。

参考文献:

- [1] 黄平明. 混凝土斜梁桥[M]. 北京:人民交通出版社, 1999.
- [2] 邵容光,夏淦. 混凝土弯梁桥[M]. 北京:人民交通出版社,1994.
- [3] 中铁大桥局集团武汉桥梁科学研究院. 武汉市绕城公路黄陂互通 1 号桥静动载试验报告.