

文章编号: 1005-0523(2006)04-0018-04

# 斜交无桥台斜腿刚架桥抗旋转性能研究

高荣雄, 杨 涛, 李孟然

(华中科技大学 土木工程与力学学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 无桥台斜腿刚架桥是一种新的结构形式, 由于其构造上的固有特点, 进而具有力学上的特殊性质. 论文通过理论分析证明了此种桥型能最大限度地限制一般斜桥的平面位移这一主要缺陷, 表明这种桥型在斜桥中具有广泛的应用前景.

**关键词:** 无桥台斜腿刚架桥; 斜桥; 平面位移; 旋转力矩

**中图分类号:** TN915.6; TN929.11

**文献标识码:** A

## 1 构造特点

无桥台斜腿刚架桥<sup>[1]</sup>(图 1)是在斜腿刚架桥的

基础上, 取消桥台, 增设边斜杆, 梁端荷载通过边斜杆传递到基础上的一种新桥型. 由于其在中小跨径的桥梁结构中具有明显优势, 发展势头很好.

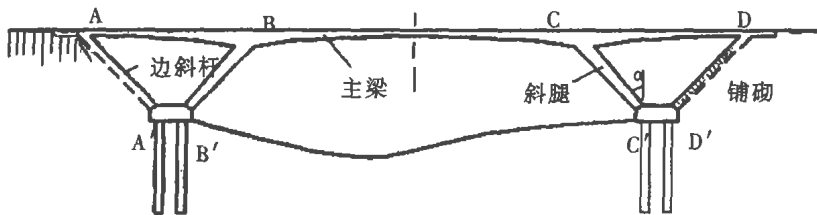


图 1 无桥台斜腿刚架桥

斜交无桥台斜腿刚架桥除了具备满足桥台功能和结构合理、受力性能好等构造优点之外, 由于在中小跨径的桥梁中, 其横桥向一般采用多梁式或箱梁结构(图 2), 下构对主梁的约束是既能起到抗弯又能抗扭的弹性约束作用, 下部构件不仅可以分摊主梁内力, 而且横向相隔并排的斜腿和边斜杆所产生抗扭力偶可以大大降低主梁扭矩, 主梁的计算图式可以采用如图 3, 所以与斜连续梁和简支梁相比, 该桥型主梁的弯矩和扭矩相对较小; 上下部结构连成一体, 形成坚固几何形态兼具梁式刚架和拱特性的整体结构, 于是受力较大的区域(主梁

跨中附近)产生压力, 而在其受力较小的区域(近端部)让其纯弯, 桥梁整体性和刚度均得到较大的提高, 这种构造上的特殊使得斜交无桥台斜腿刚架桥自然具备有利于抵抗弯扭剪复合作用的特点; 上下部构件可以沿斜交方向并排布置, 即使将其应用到斜度较大的桥位处, 横桥向各片主梁的跨度也相同, 因此, 桥型布置上具备适应不同斜度的优点.

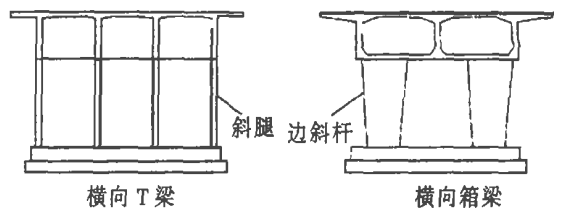


图 2 横桥向布置

收稿日期: 2006-02-12

作者简介: 高荣雄(1969-), 男, 武汉华中科技大学副教授.

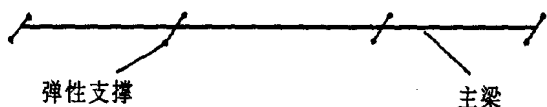


图3 主梁的计算简图

## 2 面内扭转<sup>[2]</sup>

### 2.1 斜桥平面位移的产生原因

与正桥相比,斜桥的受力复杂得多,梁体旋转是斜弯桥最主要的病害(图4),即梁体发生向主梁锐角方向错位、桥头搭板则向主梁钝角方向移动.从平面上看,整个桥面向锐角方向旋转了一个角度,使得伸缩装置失去作用.影响斜弯桥位移的因素包括支座刚度、墩台刚度、墩台与梁的连接形式、斜度等等.根据对斜桥的分析,引起平面内位移和转动的主要原因包括:风力、地震力、温度变化、混凝土收缩、徐变和预应力等.

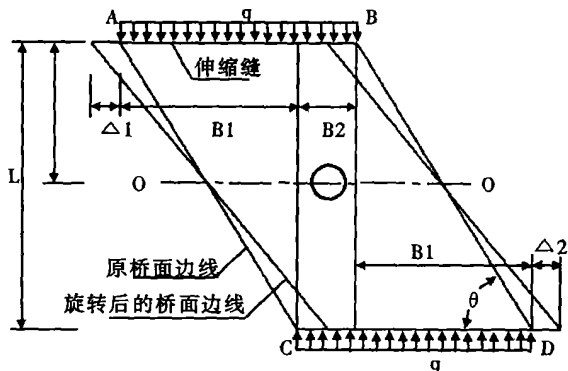


图4 斜桥面内的旋转(受反时针方向的力)

假定支承边界产生的反力集度为  $q$ , 对  $AB$  (或  $CD$ ) 中的任意点取矩, 则外力产生使梁体转动的力矩  $M_{转}$  为:

$$M_{转} = q \times \frac{B_1^2}{2} + qB_1 \left( \frac{B_1}{2} + B_2 \right) = qB_1(B_1 + B_2) \quad (1)$$

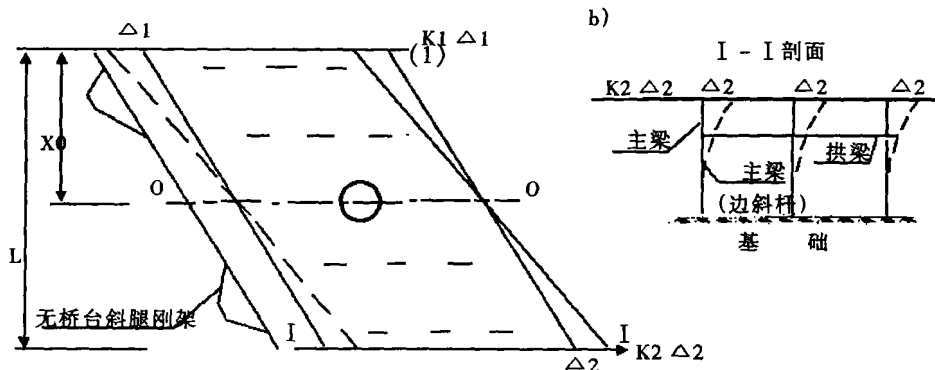


图6 无桥台斜腿刚架桥的抗旋转

式中:  $B_1$ 、 $B_2$  见图4.

在斜桥中,由于转动力矩  $M_{转}$  导致梁体向锐角方向产生横向水平位移  $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$  和旋转.由于梁式桥的支座(一般采用橡胶支座)不能抵抗梁体的横向变位,因而导致支座产生横向偏移,严重时会使支座破坏.

### 2.2 无桥台斜腿刚架桥的抗旋转特性

与传统斜腿刚架桥相比,无桥台斜腿刚架桥在构造上只是以边斜杆代替桥台,但实际结构性能却发生很大的变化.以图5所示(平面示意)的一无桥台斜腿刚架桥为例,当主梁受到外力作用产生水平面旋转力偶时,梁体将有在平面内旋转的趋势,梁体的旋转势必要带动各斜腿及边斜杆一起转动,由于斜腿、边斜杆及主梁组成的V形刚架有很大的刚度,且与下构连为一体,则V形刚架必将产生较大的反力抵抗梁体的转动.因此,无桥台斜腿刚架桥能够利用其自身的构造特点有效地克服斜桥的平面内旋转.

### 2.3 抗旋转力矩

设斜桥两端在锐角方向产生的横向水平位移为  $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$ , 则因无桥台斜腿刚架桥中横桥向抗推刚度 ( $K_1$  和  $K_2$ ) 的作用,会产生与  $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$  方向相反的水平力  $K_1\Delta_1$ 、 $K_2\Delta_2$ , 阻止斜桥向锐角方向移动(图6), 即抵抗斜桥向锐角方向旋转.

图6所示无桥台斜腿刚架桥的斜桥中,因桥的两端在锐角方向产生的水平位移 $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$ 方向相反,故存在位移零点 $X_0$ .根据图中的几何关系,建立如下方程式:

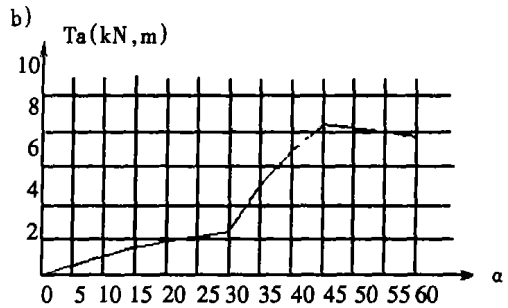
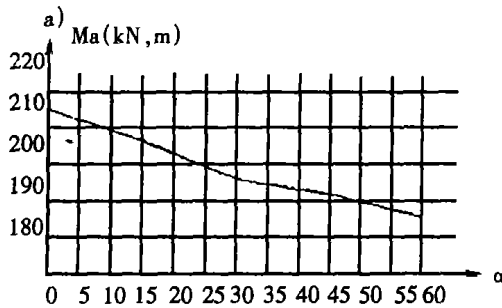
$$\Delta_1(L - X_0) = \Delta_2 X_0 \quad (2)$$

$$\text{由上式得 } X_0 = \frac{\Delta_1 L}{\Delta_1 + \Delta_2} \quad (3)$$

设无桥台斜腿刚架桥在 $\Delta_1$ 端的横向抗推刚度为 $K_1$ (其抗力为 $K_1 \Delta_1$ ),在 $\Delta_2$ 端的横向抗推刚度为 $K_2$ (其抗力为 $K_2 \Delta_2$ ),对 $O-O$ 轴取矩,可得抗旋转力矩 $M_{\text{抗}}$ (其方向与 $M_{\text{转}}$ 相反)为:

$$M_{\text{抗}} = K_1 \Delta_1 X_0 + K_2 \Delta_2 (L - X_0) \\ = \frac{K_1 \Delta_1^2 + K_2 \Delta_2^2 L}{\Delta_1 + \Delta_2} \quad (4)$$

由于无桥台斜腿刚架桥有较大的横向抗推刚度 $K$ ,桥梁愈宽, $K$ 值愈大.若考虑边斜杆之间土体对边斜杆的嵌固作用, $K$ 值将会更大,则 $M_{\text{转}}$ 也就相应提高.正因为斜交无桥台斜腿刚架桥在构造上具备较大的抗旋转力矩,理论分析表明这种桥型可显著减小桥梁的旋转“爬行”,实际运行效果也证明了这一点:1982年在原武汉城建学院校内修建的一座湖溪桥(无桥台斜腿刚架桥),桥长36m,斜交角度 $45^\circ$ ,使用20多年了,目前桥况非常好,根据实际



Ma、Ta—斜度为 $\alpha$ 时对应的跨中弯矩及扭矩  $k$ —弯扭刚度比

图8 斜度变化与跨中弯矩及扭矩的关系( $k = 3.53$ )

图8给出了在永久荷载效应下主梁跨中截面弯矩 $M$ 及扭矩 $T$ 与斜度的关系.

可以看出,随着斜度的增大,主梁跨中弯矩随之减小,当斜度大于 $30^\circ$ 时,跨中弯矩的减小率有降低趋势.而随着斜度的增大,主梁扭矩呈增大趋势,在 $20^\circ$ 以内,主梁扭矩相对较小,当斜度大于 $20^\circ$ 时,扭矩增长明显加快,并在 $45^\circ$ 附近达到最大,随后扭矩随之变小.

以上分析是基于弯扭刚度比这一重要参数不变的前提条件下得出的,进一步分析表明:不论是跨中弯矩还是扭矩的变化,都同时取决于斜度及弯

测量结果,平面旋转引起的桥头错位最大的仅有0.4cm,桥面栏杆完好.而湖北汉施公路上某一斜交角度达 $41^\circ$ 的连续梁桥,全长332m,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12cm,左岸上游横向错位为3.3cm,下游梁的横向错位为4.6cm.虽然两座桥长度不同,但若将错位按照桥长进行换算对比,也可见无桥台斜腿刚架桥优越的抗旋转性能.

### 3 空间受力特性

为了解主梁主要截面的内力随斜度变化规律,以一座跨度25m,桥宽13.5m的斜无桥台斜腿刚架桥为例,该桥横向共4片T肋,梁高支点处1.2m,跨中0.75m,梁底按圆曲线变化,桥基为扩大基础.取图7所示的计算模型(主梁分360个单元,斜腿及边斜杆分104个单元),在弯、扭刚度及其他条件不变的前提下,采用梁格法对其进行受力分析.

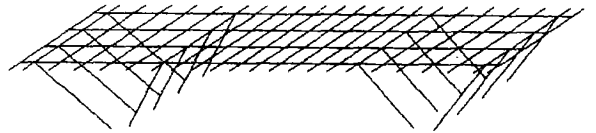


图7 斜交无桥台斜腿刚架桥的空间计算模型

扭刚度比这两个影响因素<sup>[3]</sup>.特别对于无桥台斜腿刚架桥新桥型,还需要通过大量理论分析及现场试验来确定斜度和弯扭刚度比对结构内力的影响.

### 4 结语

无桥台斜腿刚架桥由于其本身构造上的优势,已经在武汉绕城公路等工程中得到应用.武汉外环线上共修建9座无桥台斜腿刚架桥,其中5座为斜桥,最大斜度为 $30^\circ$ ,跨径55.836m;广东揭神线K36

+625.800 立体交叉跨线桥,斜度  $15^\circ$ ,跨径 46.321m.这些桥梁投入使用多年来,实践表明:它能够很好地限制斜桥的平面内旋转,降低了斜桥常见病害.

### 参考文献:

- [1] 王昌武,丁锐,王国鼎.无桥台斜腿刚架桥结构特性分析[J].中南公路工程,1998,(1):47~49.  
 [2] 高荣雄,占爱民.无桥台斜腿刚架桥在斜桥中的应用研究.公路[J].2004,(12):53~56.  
 [3] 黄平明.混凝土斜梁桥[M].北京:人民交通出版社,1999.

## Research on Property of Resistance to Rotation about the Skew Slant Leg Rigid Frame Bridge Without Abutment

GAO Rong-xiong, YANG Tao, LI Meng-ran

(School of Civil Eng. & Mechanics, HUST, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The slant leg rigid frame bridge without abutment is a new type of bridge. It has especial characteristics in mechanics for its advantages. The article proves that this kind of bridge can avoid the displacement defect of general slant bridges to the maximum by theoretical analysis. It shows that the kind of bridge has a broad prospect.

**Key words:** slant leg rigid frame bridge without abutment; skew bridge; plane displacement; rotary moment

(上接第 14 页)

从表 2 中可以看出,纵向地震输入作用下,计算模型 1 的边塔和中塔塔顶纵向水平位移要比计算模型 2 的大,说明设置稳定索对塔纵向位移有一定约束作用,可以减小塔顶在地震作用下的位移反应.计算模型 1 的中跨跨中竖向位移要比计算模型 2 的大,这是由于斜向稳定索限制了中塔塔顶的水平变位,从而降低了跨中在纵向地震作用下的位移反应.

从表 3 中可以看出,竖向地震输入作用下,两个计算模型的塔顶纵向位移和跨中竖向位移都很小且比较接近.这说明在竖向地震作用下,设置稳定索对三塔斜拉桥塔顶和跨中的位移反应的影响很小.

## 7 结束语

根据以上的模态分析和反应谱分析,本文得出以下结论:斜向稳定索的设置提高了三塔斜拉桥的竖向弯曲振型频率,降低了塔顶和跨中在纵向地震作用下的位移反应.

### 参考文献:

- [1] 郑春,刘晓东.论多塔斜拉桥的刚度[J].公路,2002,(6):98~100.  
 [2] 范立础,等.桥梁抗震[M].同济大学出版社,1991.

## Effects of Stable Cable on Dynamic Behaviors of Three Towers Cable-stayed Bridges

YE Mei-xin, JIN fei

(Department of Engineering and Architecture, Central South University, Changsha 410075, China)

**Abstract:** Three towers cable-stayed bridge without stable cable and with stable cable are calculated in two aspects of mode analysis and spectrum analysis. The result is that, stable cable can enhance the frequency of vertical flexure mode shape and reduce the displacement response on the top of tower and in the middle of span under earthquake effect.

**Key words:** three towers cable-stayed bridges; stable cable; mode analysis; spectrum analysis