

# 梁格法在预应力混凝土斜交箱梁桥中的运用

杨传永

(安徽省交通规划设计研究院,安徽 合肥 230031)

**摘 要:**介绍了现有斜交箱梁桥的主要计算方法,并分析其各自的特点与局限性,着重分析了梁格法的基本原理及应用于斜交混凝土箱梁桥中的计算方法,运用 MIDAS/Civil 桥梁结构计算分析软件分析了变宽的预应力混凝土斜交箱梁受力特点,并总结方法和基本规律给设计工作提供了参考。

**关键词:**梁格法;斜交箱梁;不对称配束

**中图分类号:**U448.41;U448.213

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-5781(2009)02-0196-03

## 0 引 言

随着我国公路事业的迅速发展,越来越多的互通立交桥出现,随之不可避免的产生了主线桥或匝道桥与被交路斜交,采用的预应力混凝土斜交箱梁,能够改善被交道路的线型,有利于改善桥下行车视距,跨线桥斜交斜做能够有效的降低梁高,从而降低造价。箱梁截面的特点是抗弯、抗扭刚度大,稳定性好,而且在偏载作用下,箱梁的整体受力状况非常良好。因而,在实际设计中,箱梁被广泛用于斜交跨线桥中。有些互通立交主线桥跨越被交路时处于主线与匝道的分流点附近,这就导致了主线桥跨越被交路段处于变宽段上,主线桥往往呈现出“宽桥”特点,即宽跨比接近1;为了降低梁高,节约桥梁造价,往往采用斜交变宽现浇箱梁跨越被交路。由于斜交箱梁桥的结构受力分析比正交箱梁桥复杂得多,如何计算变宽的预应力斜交箱梁的内力并根据内力包络图进行配束,寻找一种满足精度要求并且实用方便的计算方法成为斜交跨线桥设计的关键环节。

## 1 变宽斜交箱梁的计算方法

### 1.1 变宽斜交箱梁的受力特性

由于斜交变宽箱梁几何构造上的特殊性,决定了在受力上比正交箱梁桥具有更复杂的特点<sup>[1-3]</sup>:

(1) 由于斜交箱梁的横隔梁中心线与箱梁的纵向中心线斜交,使得箱梁斜交跨每道腹板的长度不同,斜交箱梁桥即使在对称荷载作用下,除产生弯矩

内力外还要产生扭矩,发生弯扭耦合作用。

(2) 斜交箱梁桥弯扭耦合作用的直接后果是跨中弯矩比同等跨径的正交桥小,可是横向弯矩却远大于同等大小的正交桥。

(3) 斜角箱梁桥在支承边上的反力分布很不均匀,钝角区域出现的反力比锐角区域大好几倍,甚至锐角区域可能会出现负反力。

### 1.2 斜交箱梁桥的计算方法

传统的计算方法主要是采用平面杆系程序用梁单元来模拟斜交箱梁桥,通常计算模型都以箱梁轴线或路线设计线的跨径为依据建模,此种方法虽然能够粗略的计算箱梁内力,但对于箱梁的斜交跨,其每道腹板的长度不一致,使得每道腹板产生的恒载弯矩不同,从而计算失真。

梁格法的主要思路是将桥跨结构用一个等效的梁网格来简化,将分散在箱梁每个区域内的弯曲刚度和抗扭刚度“凝聚”于最邻近的等效梁格内。采用 Hambly<sup>[4]</sup>提出的折算刚度的方法:从边腹板与中腹板中间切开,模拟纵梁的抗弯刚度。纵梁抗弯刚度的计算,按整体箱形断面自由扭矩刚度平摊到各纵梁长。由箱梁顶板和底板模拟虚拟横梁的刚度。若有横隔梁则计入横隔梁自身刚度于虚拟横梁中。

## 2 梁格法计算实例

### 2.1 工程实例概况

安徽某高速公路互通立交主线桥跨越 A 匝道,

收稿日期:2009-01-24

作者简介:杨传永(1965-),男,安徽怀远人,安徽省交通规划设计研究院高级工程师。

跨越 A 匝道时均采用斜交跨跨越,斜交跨的桥墩轴线与路线的夹角为  $70^\circ$ ,如图 1 所示。

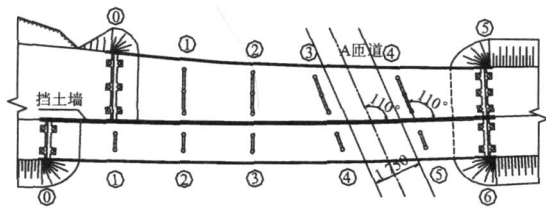


图 1 桥型布置图

左幅桥的路线中心线的跨径布置为  $2 \times 25 \text{ m} + 29 \text{ m} + 30 \text{ m} + 26 \text{ m}$ ,右幅桥的路线中心线的跨径布置为  $3 \times 25 \text{ m} + 29 \text{ m} + 30 \text{ m} + 26 \text{ m}$ 。左幅桥(图 2)位于减速车道内,宽度变化范围为  $24.83 \sim 18.22 \text{ m}$ ,为适应桥宽的变化,采用斜腹板单箱四室和斜腹板单箱五室,梁高等高为  $1.6 \text{ m}$ ,悬臂宽  $2.7 \text{ m}$ ,顶板厚  $25 \text{ cm}$ ,底板厚  $22 \text{ cm}$ ,腹板跨中处厚  $40 \text{ cm}$ ,支点处厚  $50 \text{ cm}$ ;左幅桥墩采用三柱墩,柱桩直径均为  $140 \sim 160 \text{ cm}$ 。

箱梁伸缩缝处左幅桥墩墩顶扩大为  $160 \text{ cm}$ ,以放置支座,支座采用盆式支座;桩间设置系梁,桩基为摩擦桩,采用钻孔灌注桩。桥台采用座板式桥台,桩基础为直径  $120 \text{ cm}$  钻孔灌注桩。



图 2 左幅桥平面构造图

## 2.2 计算模型的建立

由于左幅桥变宽且斜交,所以本文对左幅箱梁进行分析计算。左幅箱梁为斜交变宽的异形箱梁,最大宽跨比为  $0.99$ ,属于异形宽桥,由于本桥第一~三跨与第四~五跨箱室个数不同,第三跨和第五跨箱梁每道腹板的长度不同,故本桥箱梁的空间受力效应显著,平面杆系程序难以真实的反映箱梁的实际受力情况,本次设计计算采用空间梁格法,将每道腹板划分一系列纵梁<sup>[5]</sup>,如图 3 所示。



图 3 箱梁纵梁单元划分平面图

边腹板呈“ $\Gamma$ ”形,中腹板呈“ $\Pi$ ”字形,截面划分时使每道纵梁的中性轴与原位处的箱梁截面中性轴大

致保持在同一高度上,如图 4 所示。

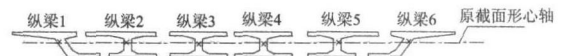


图 4 箱梁纵梁单元划分断面图

纵梁沿顺桥向每  $2 \text{ m}$  或  $2.5 \text{ m}$  一个单元,在腹板渐变段处采用变截面,原箱梁每个截面面积与划分后的纵梁截面面积之和相等,以保证自重和原箱梁相同。梁格法中的横梁沿顺桥向  $2 \text{ m}$  或  $2.5 \text{ m}$  设一个单元,在实际的中横梁和端横梁处以实际的横梁截面输入,并计入 6 倍的顶底板厚度,截面呈“ $\Pi$ ”字形;在非实际横梁处以矩形截面输入,截面高度为顶底板的厚度之和,截面宽度为  $2 \text{ m}$  或  $2.5 \text{ m}$ ,为了不增加恒载,将非实际横梁处的虚拟横梁自重系数设为  $0$ 。本次计算采用 MIDAS/Civil2006 结构分析软件。

## 2.3 荷载作用的施加

加载防撞墙的自重时,在箱梁的悬臂端设置虚拟单元,并用刚臂和边纵梁连接,防撞墙的每延米自重为  $10.7 \text{ kN/m}$ 。沥青混凝土铺装厚度  $10 \text{ cm}$ ,容重  $= 23 \text{ kN/m}^3$ ,加载桥面铺装时,将每跨的桥面铺装重量均布在每跨的纵梁上,第一~五跨的纵梁的铺装分别为  $9.97 \text{ kN/m}$ 、 $9.27 \text{ kN/m}$ 、 $8.79 \text{ kN/m}$ 、 $9.99 \text{ kN/m}$  和  $9.34 \text{ kN/m}$ 。

本桥基础为钻孔灌注桩,桩基持力层为弱风化泥质粉砂岩,且跨径相对较小,桩基反力也较小,通过计算可知,基础沉降较小。为了安全起见,本次计算按照各墩台沉降  $0.5 \text{ cm}$  计,取最不利组合。结构整体温度变化按桥位处最高和最低温度确定,按照规范规定,本地区属于温热地区,计算最高温度为  $34^\circ\text{C}$ ,计算最低温度为  $-3^\circ\text{C}$ <sup>[6,7]</sup>。考虑到实际温度大于计算温度,本次验算按照升降温  $25^\circ\text{C}$  考虑,体系温差只对纵梁设置。主梁结构温度梯度按文献[6,7]温度梯度曲线确定,温度梯度也只对纵梁设置。汽车荷载为公路 I 级,按 5~6 车道考虑,方便起见把每道腹板设为一个车道,车道偏载作用以偏载系数考虑,偏载系数取  $1.15$ <sup>[8]</sup>。

冲击系数,总体计算按文献[6,7]计算。预应力作用按照施工图所确定的钢束位置及束数进行输入,为了便于张拉,将第三~五跨箱梁两端一次张拉并采用真空吸浆,第一跨和第二跨采用从大桩号向小桩号逐跨张拉。

2.4 计算结果

表1、表2、表3分别表示第三跨、第四跨、第五跨跨中下缘的应力,正值表示压应力,负值表示拉应力。从中可以看出在第三跨跨中纵梁1的压应力明显大于纵梁6的压应力,第五跨跨中纵梁1的压应力明显小于纵梁6的压应力,而对于平行跨的第四跨,纵梁1的跨中应力与纵梁6的跨中应力相差无几,至于短期荷载效应组合下的纵梁1跨中应力比纵梁6的跨中应力稍大主要是因为纵梁1在第三跨的长度较短导致中跨弯矩偏大。第三跨和第五跨跨中应力差在一期恒载完成后就已经存在于结构内,并且短期荷载效应下也无明显的变化,这说明斜交跨跨中的应力差是由于每道腹板的长度不同所造成的,也就是说斜交箱梁的斜交跨截面内力已经不再符合初等梁理论,因此平面杆系计算必然会产生较大的误差,甚至错误的结果。

表4、表5、表6分别表示2号、3号、4号墩顶的上缘应力,从中可以看出纵梁1在2号墩顶上缘的应力小于纵梁6,而纵梁1在4号墩顶上的应力大于纵梁6;就2号、3号、4号墩顶上缘应力而言,纵梁1在3号墩顶处最为不利。

表1 第三跨跨中下缘正应力 MPa

荷载	一期恒载	二期恒载	短期荷载效应组合
纵梁1	6.2	5.8	4.5
纵梁6	5.6	5.3	3.9

表2 第四跨跨中下缘正应力 MPa

荷载	一期恒载	二期恒载	短期荷载效应组合
纵梁1	1.3	0.7	-1.8
纵梁6	1.3	0.7	-1.6

表3 第五跨跨中下缘正应力 MPa

荷载	一期恒载	二期恒载	短期荷载效应组合
纵梁1	4.7	3.7	2.2
纵梁6	5.0	3.9	2.5

表4 2号墩顶上缘正应力 MPa

荷载	一期恒载	二期恒载	短期荷载效应组合
纵梁1	5.0	4.3	2.0
纵梁6	5.9	5.5	2.7

表5 3号墩顶上缘正应力 MPa

荷载	一期恒载	二期恒载	短期荷载效应组合
纵梁1	2.8	2.2	-1.2
纵梁6	2.9	2.4	-0.7

表6 4号墩顶上缘正应力 MPa

荷载	一期恒载	二期恒载	短期荷载效应组合
纵梁1	2.3	1.5	0.2
纵梁6	1.7	1.0	-0.3

从以上结果,可以得知,此斜交箱梁的跨中处是纵梁1在第四跨跨中最为不利,支点处是纵梁1在3号墩顶最为不利,此两处是控制设计的关键。

2.5 调整配束

结构计算的目的就是为了使设计配束更为合理,使结构更加安全,耐久性更好;根据以上的计算结果对原对称配束的方式进行调整,采用不对称配束,即将原来纵梁1的配束由14根1束调整为16根1束,纵梁6的配束由14根1束调整为13根1束,纵梁2、3调整为15根1束,纵梁4、5仍保持14根1束,通过不对称配束来到达各道腹板应力相对均衡。

3 结束语

(1) 经计算分析可以得出斜交变宽箱梁的每道腹板的长度不同导致内力不同,利用传统的平面杆系程序分析必然会带来较大的误差,甚至错误的结果,而利用梁格法来分析则能够得到比较准确的结果。

(2) 传统的箱梁的对称配束方式不利于箱梁截面应力均衡,可以采用不对称配束的方式来平衡每道腹板的不对称的内力,达到应力的均衡。

(3) 梁格法分析斜交变宽箱梁虽比较准确,但划分单元比较费时费力,因此,合理地划分单元以及熟练地使用MIDAS/Civil结构分析程序将有助于较快地对此类桥型进行合理的设计。

【参考文献】

[1] 贺桂海. 桥梁结构理论与计算方法[M]. 北京:人民交通出版社,2003.  
[2] 李国平. 预应力混凝土结构设计与原理[M]. 北京:人民交通出版社,2000.  
[3] 程文. 混凝土结构设计原理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.  
[4] Hamb L Y. 桥梁上部构造性能[M]. 郭文辉译. 北京:人民交通出版社,1982.  
[5] 戴公连,李德建. 桥梁空间分析方法与应用[M]. 北京:人民交通出版社,2001.  
[6] JTG D60 - 2004,公路桥涵设计通用规范[S].  
[7] JTG D62 - 2004,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].  
[8] 范立础. 桥梁工程[M]. 北京:人民交通出版社,2001.