

# 无桥台斜腿刚架桥的设计与分析

刘遮<sup>1</sup>, 刘国坤<sup>2</sup>, 吴春<sup>1</sup>

(1.山东省冶金设计院股份有限公司, 山东 济南 250000; 2.湖南省交通科学研究院有限公司)

**摘要:** 无桥台斜腿刚架桥具有复杂的结构力学特点,影响结构内力的因素较多。该文通过建立有无边斜杆、边斜杆采用刚性连接与铰接及斜腿采用刚性连接与铰接等模型,并且考虑群桩出口刚度的影响进行结构分析并总结受力特点。研究表明:边斜杆可减小部分水平推力、水平位移,而边斜杆及斜腿采用铰接方式对主梁、边斜杆及斜腿的受力更加有利。

**关键词:** 无桥台斜腿刚架桥; 铰接; 结构分析

无桥台斜腿刚架桥具有结构内部整体无缝、不设支座、经济及便于养护的优点。边斜杆代替桥台与路堤衔接,体系上属于无缝式整体桥梁结构,节省大量的圬工材料,工程经济性合理且减少环境污染。结构形式介于梁桥与拱桥之间,外观形式简洁大方,轻盈飘逸,满足市政桥梁的景观要求。而多次超静定引起的复杂的结构内力效应,形成了该类桥型发展和应用的瓶颈。研究人员为打破这一瓶颈提供了许多可行办法,如斜腿的倾角优化、分跨比优化等。而边斜杆与斜腿对结构的影响及连接方式的不同对结构的影响对比却鲜见报道。

该文以某跨市政河道的无桥台斜腿刚架桥为工程背景,研究边斜杆与斜腿不同的连接方式对结构的影响。通过结构的静力计算和动力计算,对无桥台斜腿刚架桥的结构设计原理进行研究与分析。

## 1 工程实例及有限元模型

### 1.1 工程概况

该桥为(15.5+27.2+15.5) m 预应力混凝土无桥台斜腿刚架双幅桥梁,两幅在翼板处断开,设置避免梁体不均匀沉降引起的错缝。单幅主梁采用单箱双室变截面梁体,跨中梁高 1.2 m,斜腿支撑处梁高 1.8 m,主梁梁高从跨中到中跨支点等截面处的变化曲线为  $y = 0.002\,558x^2 + 1.2$  m,边跨支点处梁高为 1.4 m。主梁顶板全宽为 12.5 m,底板全宽为 9 m,翼板宽为 1.75 m,中跨腹板厚度为 0.5 m,边跨腹板厚度为 0.6 m,顶板厚度为 0.25 m,底板厚度从跨中的 0.25 m 变化到中

跨支点的 0.45 m,底板厚度变化曲线为  $y = 0.000\,852 \times x^2 + 0.25$  m,斜腿及边斜杆均采用 1.2 m 等截面形式,斜腿水平倾斜角度为  $34^\circ$ ,边斜杆水平倾斜角度为  $54^\circ$ 。边斜杆与承台铰接,斜腿与承台铰接,二者轴线相交,取其中一幅梁体进行研究分析。设计荷载等级为城市—A 级,桥型布置如图 1 所示。

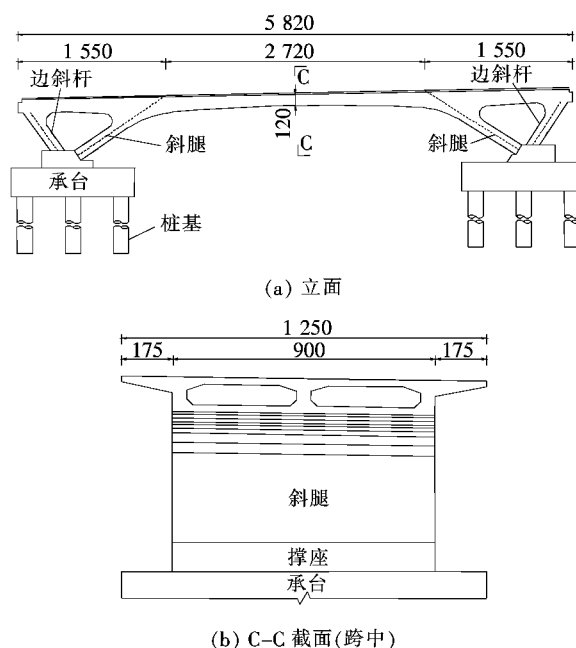


图1 桥型布置图(单位:cm)

### 1.2 有限元建模

采用有限元软件 Midas Civil 2019 建立该桥的空间模型。由于该桥宽跨比较小,采用单梁进行模拟,可充分反映结构的受力状态。因该桥采用预应力钢筋混凝土建造,全桥采用梁单元进行模拟。各个构件之间

的连接方式为:用一般弹性支承模拟群桩的出口刚度;边斜杆与承台的连接及斜腿和承台的连接采用弹性连接(刚性)并在靠近基脚处释放梁端约束进行模拟;主梁与边斜杆顶部及主梁与斜腿顶部分别用弹性连接方式的刚性进行模拟。

## 2 无桥台斜腿刚架桥的计算与分析

### 2.1 结构体系计算与分析的基本假设

如前所述,该桥单幅宽跨比较小,采用单梁法进行有限元计算,可满足相应结构的受力要求。为了达到比较条件的同等性,采取如下假定:

(1) 主体结构尺寸及参数不变,仅改变部分构件或约束条件。

(2) 分析运营状态结构体系的内力,不考虑施工阶段的影响。

(3) 结构效应的荷载均采取荷载组合 I。荷载组合 I = 1.2 恒载 + 1.4 汽车荷载 + 1.4 人群荷载。

### 2.2 边斜杆对结构受力的影响

该桥为无桥台斜腿刚架桥,其结构形式兼备了拱式结构与梁桥结构的特点。同时具备拱式与梁桥结构

的受力性能特点。边斜杆、副孔与斜腿形成三角形稳定结构,限制上部结构上翘与下挠,且同时抵抗外部荷载的作用。而作为全桥核心构件之一的边斜杆的形心轴线和斜腿的形心轴线在基脚处相交于一点。通过有限元模型的静力分析,可以得出,边斜杆产生的水平推力可以抵消部分由斜腿产生的水平推力。而普通有桥台斜腿刚架桥的斜腿无法抵消由斜腿产生的水平推力。

为了表明这一结论,分别建立了有边斜杆和无边斜杆的有限元模型。结构计算取值点简图如图 2 所示。图中点 1、点 2(左、右)、点 3 代表主梁弯矩( $\text{kN} \cdot \text{m}$ ),点 4 代表距斜腿基脚 1 m 处弯矩( $\text{kN} \cdot \text{m}$ ),点 5 代表距边斜杆基脚 1 m 处弯矩( $\text{kN} \cdot \text{m}$ ),点 6 代表承台底水平推力( $\text{kN}$ )与水平位移( $\text{mm}$ )的效应,荷载组合 I 作用下的结构效应见表 1。

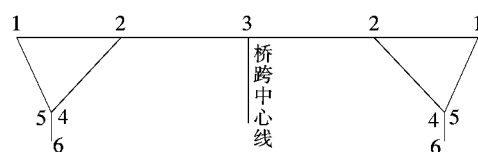


图 2 结构计算取值点简图

表 1 荷载组合 I 作用下的结构效应(1)

结构形式	水平推力 (6)/kN	水平位移 (6)/mm	弯矩/( $\text{kN} \cdot \text{m}$ )					
			1	2 左	2 右	3	4	5
有边斜杆(铰接)	-17 691	-2.10	4 256.9	-7 672.7	-20 595.3	17 821.5	1 609.0	555.5
无边斜杆	-19 218	-2.35	2 032.3	-15 671.6	-24 197.5	17 233.5	2 667.4	—

注:点 6 负值代表由主梁跨中向桥台端的纵桥向作用方向;点 1、2、3、4、5 中负值代表构件上侧受拉。下同。

由表 1 可得:① 在承台底产生的水平推力,有边斜杆(铰接)的结构形式比无边斜杆的结构形式减小 8.0%,相应的水平位移减小 10.6%。边斜杆(铰接)对下部结构的受力有利;② 无边斜杆的结构形式比有边斜杆(铰接)的结构形式,1 减小了 52.3%,但有边斜杆(铰接)的结构形式比无边斜杆的结构形式,2 左减小了 51.0%,2 右减小了 14.9%,3 截面变化不明显,设置边斜杆对副孔受力不利,对主孔有利;③ 在斜腿截面 4,有边斜杆(铰接)的结构形式比无边斜杆的结构形式减少了 39.7%,设置边斜杆对斜腿受力有利。

### 2.3 边斜杆的基脚处采用铰接与刚性连接对结构受力的影响

为了研究边斜杆采用铰接与刚性连接对结构受力作用的影响,在模型中,把边斜杆基脚处的梁端顺桥向弯矩释放掉,进行结构受力结果的对比。边斜杆与下

部结构的不同连接方式直接决定了结构的超静定次数,不同构件内力有所变化。结果见表 2。

由表 2 可知:在边斜杆中,采用铰接结构形式的弯矩比刚性连接结构形式的弯矩,1 减小了 40.2%,2 左减小了 18.2%,2 右减小了 16.8%,3 影响较小。通过计算还发现刚性连接的结构形式的水平推力及水平位移比铰接结构形式的水平推力及水平位移减小 22%左右,但边斜杆基脚处弯矩剧增。边斜杆需要通过增大截面尺寸和钢筋尺寸的方式来抵抗荷载的作用效应,截面尺寸大的边斜杆需要更多的混凝土和钢筋,失去了“无桥台”的意义,而且从外观上来看也不协调,显得臃肿,影响了城市的美化。

经过分析,可知边斜杆在基脚处设置铰接是十分有利的,不仅极大减小了边斜杆的内力,还减小了主梁的内力,使边斜杆线条显得轻巧,在整座桥的布置中也

显得匀称,“无桥台”意义突出。

2.4 斜腿在基脚处采用铰接与刚性连接对结构受力的影响

为了减少结构的超静定次数,并使斜腿基脚处的

地基受力均匀,一般将斜腿基脚处设计成铰接。下面通过斜腿基脚处设置为刚性连接和铰接的有限元模型,进行结构的受力分析,结果见表 3。

表 2 荷载组合 I 作用下的结构效应(2)

结构形式	水平推力 (6)/kN	水平位移 (6)/mm	弯矩/(kN·m)					
			1	2 左	2 右	3	4	5
边斜杆(铰接)	-17 691	-2.1	4 256.9	-7 672.7	-20 595.3	17 821.5	1 609.0	555.5
边斜杆(刚接)	-13 859	-1.6	7 120.2	-9 382.6	-24 744.4	17 039.2	1 367.4	21 381.0

表 3 荷载组合 I 作用下的结构效应(3)

结构形式	水平推力 (6)/kN	水平位移 (6)/mm	弯矩/(kN·m)					
			1	2 左	2 右	3	4	5
斜腿(刚接)	-14 458	-1.63	4 372.2	-14 955.7	-23 647.6	18 017.5	-10 291.3	461.2
斜腿(铰接)	-17 691	-2.10	4 256.9	-7 672.7	-20 595.3	17 821.5	1 609.0	555.5

表 3 表明:相对斜腿采用刚性连接的连接方式而言,斜腿采用铰接的连接方式对主梁结构产生更有利的受力效果。① 2 左可以有效减小 48.7%,其他主梁截面弯矩也有不同程度的减小;② 斜腿基脚处弯矩可以得到很明显的减小。斜腿铰接结构形式的水平推力和水平位移比刚性连接结构形式的水平推力和水平位移有所增大,但不明显。在地基基础承载力性能较好的

位置,斜腿铰接结构形式比刚接结构形式更有利。

2.5 斜腿铰接结构形式和斜腿刚性连接结构形式的动力特性对比

采用 Lanczos 法分别对斜腿采用铰接的结构形式与斜腿采用刚性连接的结构形式,进行全桥结构的模态分析计算。取桥梁结构前 5 阶的自振频率和振型特征,结果如表 4 所示。

表 4 两种结构形式模态分析的对比

振型 阶数	斜腿(铰接)		斜腿(刚接)	
	自振频率/Hz	振型特征	自振频率/Hz	振型特征
1	3.57	整体 1 阶反对称竖弯	4.86	整体 1 阶正对称竖弯
2	4.75	整体 1 阶正对称竖弯	4.93	整体 1 阶反对称竖弯
3	6.83	整体 1 阶正对称横弯	6.83	整体 1 阶正对称横弯
4	10.81	整体 1 阶反对称横弯	10.81	整体 1 阶反对称横弯
5	12.09	整体 2 阶反对称竖弯	12.20	整体 2 阶反对称竖弯

由表 4 可知:

(1) 斜腿铰接结构形式第 1 阶振型为整体 1 阶反对称竖向弯曲变形,相应的自振频率为 3.57 Hz,而斜腿刚性连接的结构形式的第 2 阶振型产生整体 1 阶反对称竖向弯曲变形,第 2 阶竖向振动的频率为 4.93 Hz。第 1 阶反对称竖向振动的频率减少了 27.6%。斜腿铰接结构形式第 2 阶振型形状和斜腿刚接结构形式第 1 阶一样,都以顺桥向对称竖弯为主,二者的自振频率基本相同,说明斜腿铰接结构形式比斜腿刚性连接结构形式的竖向刚度小。

(2) 斜腿铰接结构形式第 3 阶至第 4 阶的振型形状与斜腿刚性连接结构形式的第 3 阶至第 4 阶的振型形状,都以横桥向正反对称弯曲为主。表明这两种桥型的横桥向刚度要比竖向刚度大,而且相同的阶数振型频率也相同,说明斜腿采用铰接或采用刚性连接对结构的横向刚度影响不大。

3 结语

无桥台斜腿刚架桥采用边斜杆铰接形式,抵消部

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2019.06.024

# 考虑行车安全性的桥梁竖向涡振限值计算

陈尚烽

(湖南华罡规划设计研究院有限公司, 湖南 长沙 410076)

**摘要:**目前对于涡激振动的限值主要考虑行人行车舒适性以及结构疲劳的影响,而针对行车安全性影响的研究相对较少,该文通过建立考虑行车安全性的涡振限值计算模型,采用迭代方法进行求解,与规范采用的方法及其限值进行比较,求解得到的涡振限值小于规范值,并通过迭代结果拟合得到了其近似计算公式。

**关键词:**桥梁工程; 涡振限值; 行车安全性; 几何模型; 迭代

## 1 引言

进入21世纪,中国现代桥梁正向着大跨度及超大跨度发展,伴随着桥梁跨度的增加,桥梁长、细、轻、柔与低阻尼的特点愈加突出,其风振问题也日益凸显,涡激振动便是其中之一。涡激振动是大跨度桥梁在低风速下出现的一种复杂的风致振动,其发生频次较高,严重时可能引起构件裂纹或结构疲劳损伤,影响行车的舒适性和安全性。

中国JTG/T 3360-01-2018《公路桥梁抗风设计规范》、《日本公路抗风设计指南》以及《桥梁空气动力学设计法则》均对主梁涡振限值做了直接规定,其中中国和日本采用的是规定主梁涡振振幅容许值,而英国则采用动力敏感参数来评价涡振的影响,对于涡激振动的限值主要考虑的行人行车舒适性以及结构疲劳的影响。中国新版JTG/T 3360-01-2018《公路桥

梁抗风设计规范》虽然在涡振振幅限值计算条文说明中给出了考虑行车安全的涡振振幅参考限值0.35 m,参考限值来源于文献[8],但文献[8]采用的是一种近似求解的方法,且涡振对行车视线影响的最不利位置取在驻点位置,仍有待进一步改善,因此有必要进行相应研究。

图1为某大桥发生涡振时,在桥塔附近观测点记录的不同时刻的两张图片,图片中白色电箱位于桥梁跨中附近,其在同一观测点的竖向相对位置发生了明显变化。由此可见,当振幅达到一定程度时,其波形曲线可能对驾驶员视线形成干扰,从而对行车安全构成威胁。JTG B01-2014《公路工程技术标准》规定了高速公路和一级公路不同设计车速下的停车视距要求限值以及相应的竖曲线半径和长度极限值,但是在发生涡激振动的情况下,仅考虑这两者的要求是不够的,还应考虑涡激振动对于行车视线的影响。

分水平推力及水平位移,对基础有利,并有效减小自身及斜腿弯矩,从而可以降低边斜杆及斜腿结构的工程数量,降低全桥的工程造价。斜腿基脚处设置成铰接,斜腿基脚处弯矩大幅度释放,构件以受压为主,并使整体结构刚度减小,结构偏柔,对主梁受力有利。

## 参考文献:

[1] 陈宝春,付鑫,庄一舟.中国无伸缩缝桥梁应用现状与发展对策[J].中外公路,2018(1).

[2] 尚刚.无桥台斜腿刚架桥台后土沉陷及防治对策[J].土木工程与管理学报,2018(4).

[3] JTG D63-2007 公路桥涵地基与基础设计规范[S].

[4] 蒋翔,彭冉.基于m法的桩基分析程序开发[J].中外公路,2017(1).

[5] 吴小云,卢红.无桥台斜腿刚架桥的受力分析及体会[J].工程建设与设计,2016(13).

[6] 杨兴,武电坤.短边跨连续梁设计理论与创新技术研究[J].中外公路,2017(1).

收稿日期:2019-07-18(修改稿)

作者简介:陈尚烽,男,大学本科,工程师.E-mail:21361627@qq.com