

# 曲线梁桥支座偏心计算浅析

苏继宏<sup>1</sup>, 周军生<sup>2</sup>

(1. 北京建达道桥咨询有限公司 北京市 100016; 2. 北京中汉威交通科技有限公司 北京市 100101)

**摘 要:** 根据恒载条件下横桥向双支座反力相等原则, 对曲线梁桥设计中常见但尚无定论的支座偏心问题提出了 2 种计算方法, 即最小偏心法和一致偏心法。本文阐述了 2 种方法的计算原理, 推导了圆曲线下相应计算公式, 并结合实际工程给出了实用计算表格, 比较了 2 种方法的优缺点, 探讨了通常偏心值随曲线半径  $R$ 、跨数及集中分布荷载比  $G_P/G_q$  的增大而减小的规律。

**关键词:** 曲线梁桥; 支座; 偏心; 计算方法

## 1 问题的提出

随着公路和城市立交桥建设的飞速发展, 现浇混凝土箱梁桥因具有适应平曲线、桥墩对建筑限界侵占少的优势, 而被越来越多地应用在匝道和高架桥中。在曲线梁桥的设计施工中, 由于曲线梁内外弧长差和横坡等会引起支座反力偏差, 因此支座往往需要设置预偏。此举目的有二: 一是调节扭矩峰值的分布位置; 二是使恒载条件下横桥向双支座反力尽量相等或使独柱墩单支座不发生偏心受压。

目前对于支座预偏值的计算, 一般采用空间程序试算, 尚未见到简便计算方法的讨论, 本文结合工程实例从前述第二点出发, 探讨支座偏心计算方法及规律。

## 2 支座偏移平衡条件

对于中心半径为  $R$  的曲线梁桥, 作用于梁体的恒载主要包括: 梁体自重均布载、桥面系均布载和横隔板集中力。文献[1]指出, 在均布载作用下, 当曲线梁单跨圆心角小于  $20^\circ$  时, 曲线梁弯矩相比直线梁增大值小于  $2\%$ , 而支承反力的误差小于  $0.2\%$ , 此误差随圆心角的减小而减小, 这一点已为有限元分析证实。通常枢纽互通中的匝道桥均能满足这一要求, 因此可以按直线桥计算平均支承反力, 再根据此反力计算支座偏心值。

如图 1, 以曲线梁中心线圆心为原点, 以曲线梁中心线的平分线为  $y$  轴, 建立如图所示右手直角坐

标系。设曲线梁半径为  $R$ , 各支座处支座反力合力为  $F_i$ ,  $F_i$  作用点偏离中心线  $\delta_i$ , 距原点距离为  $R_i$  (即  $R_i = R + \delta_i$ ),  $R_i$  与  $x$  轴夹角为  $\alpha_i$ ; 曲线梁均布荷载重心  $G_q$ , 坐标为  $(0, R_q)$ ; 集中荷载重心  $G_P$ , 坐标为  $(X_P, Y_P)$ 。

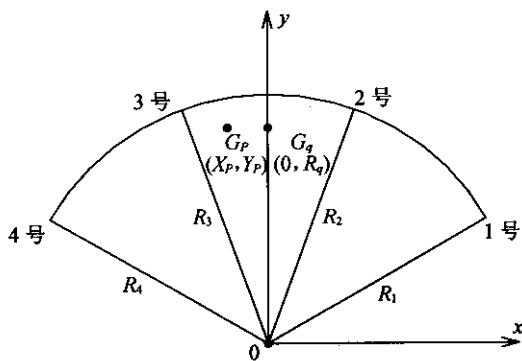


图 1 曲线梁支座偏心计算示意

由梁体受力平衡知, 上述荷载及反力必然满足合力为零及关于  $x$ 、 $y$  轴合力矩为零的条件, 合力为零自然满足, 由合力矩为零, 有:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n F_i (R + \delta_i) \sin \alpha_i - G_q R_q - G_P Y_P &= 0 \\ \sum_{i=1}^n F_i (R + \delta_i) \cos \alpha_i - G_P X_P &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

任何预偏心设置都必然满足式(1)。由式(1)可看出, 当墩台数大于 3 时, 式(1)是关于  $\delta_i$  的不定方程, 满足式(1)的  $\delta_i$  有多组解。要通过式(1)求出  $\delta_i$

值,必须引入附加条件。

### 3 最小偏心法

最小偏心法的思想是各  $\delta_i$  在满足式(1)的条件下,总体上取最小值。为此构造泛函如下:

$$\Pi = \delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2 + \lambda_1 \left( \sum_{i=1}^n F_i (R + \delta_i) \sin \alpha_i - G_q R_q - G_P Y_P \right) + \lambda_2 \left( \sum_{i=1}^n F_i (R + \delta_i) \cos \alpha_i - G_P X_P \right) \quad (2)$$

由泛函  $\Pi$  取极值的条件,有

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Pi}{\partial \delta_i} &= 2\delta_i + \lambda_1 F_i \sin \alpha_i + \lambda_2 F_i \cos \alpha_i = 0 \\ \frac{\partial \Pi}{\partial \lambda_1} &= \sum_{i=1}^n F_i (R + \delta_i) \sin \alpha_i - G_q R_q - G_P Y_P = 0 \\ \frac{\partial \Pi}{\partial \lambda_2} &= \sum_{i=1}^n F_i (R + \delta_i) \cos \alpha_i - G_P X_P = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

将式(3)整理,并改写为矩阵形式:

$$\begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 & \dots & 0 & F_1 \sin \alpha_1 & F_1 \cos \alpha_1 \\ 0 & 2 & 0 & \dots & 0 & F_2 \sin \alpha_2 & F_2 \cos \alpha_2 \\ 0 & 0 & 2 & \dots & 0 & F_3 \sin \alpha_3 & F_3 \cos \alpha_3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & F_n \sin \alpha_n & F_n \cos \alpha_n \\ F_1 \sin \alpha_1 & F_2 \sin \alpha_2 & F_3 \sin \alpha_3 & \dots & F_n \sin \alpha_n & 0 & 0 \\ F_1 \cos \alpha_1 & F_2 \cos \alpha_2 & F_3 \cos \alpha_3 & \dots & F_n \cos \alpha_n & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \vdots \\ \delta_n \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ G_q R_q + G_P Y_P - R \sum_{i=1}^n F_i \sin \alpha_i \\ G_P X_P - R \sum_{i=1}^n F_i \cos \alpha_i \end{pmatrix} \quad (4)$$

求解式(4),即可求得各支座反力的  $\delta_i$  值,也即是支座偏心  $\delta_i$  值。

特别地,当集中荷载仅为各墩顶横隔梁荷载时,设为  $G_i$ ,则式(4)等号右边最后两项可表达为:

$$\left. \begin{aligned} G_q R_q - R \sum_{i=1}^n (F_i - G_i) \sin \alpha_i \\ - R \sum_{i=1}^n (F_i - G_i) \cos \alpha_i \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

最小偏心法优点是适应性强,适用于跨径不等及非对称布跨情形,能够保证总体偏心最小,特别是

边墩偏心值仅为一致偏心法计算值的 40% 左右;缺点是公式较为复杂,需求解矩阵方程,另外边、中墩偏心值不同,需要施工时留意。

### 4 一致偏心法

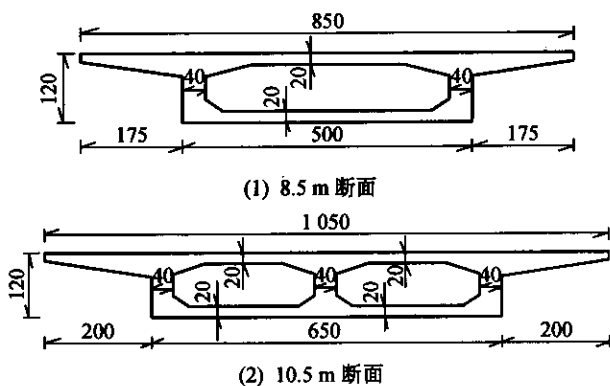
如图 1,当跨径布置关于  $y$  轴对称且荷载对称时,亦可采用一致偏心法求解,此时若设各墩具有相同偏心  $\delta$ ,则式(1)之第二式自动满足,由第一式解得:

$$\delta = \frac{G_q R_q - R \sum_{i=1}^n (F_i - G_i) \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^n F_i \sin \alpha_i} \quad (6)$$

一致偏心法优点是公式简单,计算方便,边、中墩偏心值相同,施工简便;缺点是适应性略差,仅适用于均布跨及荷载对称情况。

### 5 工程实例及计算表格

本文对图 2 所示的两种常见匝道桥进行了计算,纵向为跨径 20 m 的连续梁,计算参数见表 1,其中端横隔梁厚 1 m,中横隔梁厚 2 m,铺装层厚 16 cm,护栏单边按 0.75 t/m 考虑。等跨连续梁在均布荷载作用下支承反力系数见表 2。限于篇幅仅列出曲线半径  $R$  分别为 65、100、200、300 m 时的结果,计算结果见表 3、表 4。



单位:cm

图 2 匝道桥断面

由表 3、表 4 可得,当跨径  $L$  一定时,通常偏心值随曲线半径  $R$  增大(即圆心角减小)而减小;当跨径  $L$  和曲线半径  $R$  一定时,通常偏心值随跨数增加而减小;进一步分析表明,通常偏心值随集中分布荷载比  $G_P/G_q$  的增大而减小。

此外,最小偏心法求出的边墩偏心值,一般为—

表 1 计算参数

桥宽 $B/\text{m}$	8.5	10.5
截面面积 $A/\text{m}^2$	5.759 4	7.376 9
跨径 $L/\text{m}$	20	20
横隔梁面积 $A_{hg}/\text{m}^2$	3.14	3.88
单跨重 $q_L/\text{t}$	299.49	383.6
端横隔梁梁重/t	8.164	10.088
中横隔梁梁重/t	16.328	20.176

表 2 支承反力系数

墩号	2 跨	3 跨	4 跨	5 跨
1 号	0.375	0.4	0.393	0.394
2 号	1.25	1.1	1.143	1.132
3 号	0.375	1.1	0.928	0.974
4 号	—	0.4	1.143	0.974
5 号	—	—	0.393	1.132
6 号	—	—	—	0.394

表 3 8.5 m 宽匝道桥偏心值m

曲线半径 $R$	墩号	2 跨		3 跨		4 跨		5 跨	
		最小偏心法	一致偏心法	最小偏心法	一致偏心法	最小偏心法	一致偏心法	最小偏心法	一致偏心法
65	1 号	0.037 9	0.098 1	0.027 2	0.068 9	0.013 4	0.038 3	0.005 0	0.015 8
	2 号	0.132 6		0.082 6		0.045 4		0.017 8	
	3 号	0.037 9		0.082 6		0.038 7		0.016 9	
	4 号	—	—	0.027 2		0.045 4		0.016 9	
	5 号	—	—	—	—	0.013 4	—	0.017 8	
	6 号	—	—	—	—	—	—	0.005 0	
100	1 号	0.025 7	0.064 6	0.019 7	0.046 9	0.010 9	0.028 0	0.005 4	0.014 6
	2 号	0.087 4		0.056 4		0.033 6		0.017 0	
	3 号	0.025 7		0.056 4		0.027 8		0.015 2	
	4 号	—	—	0.019 7		0.033 6		0.015 2	
	5 号	—	—	—	—	0.010 9	—	0.017 0	
	6 号	—	—	—	—	—	—	0.005 4	

表 4 10.5 m 宽匝道桥偏心值m

曲线半径 $R$	墩号	2 跨		3 跨		4 跨		5 跨	
		最小偏心法	一致偏心法	最小偏心法	一致偏心法	最小偏心法	一致偏心法	最小偏心法	一致偏心法
200	1 号	0.013 3	0.032 8	0.010 6	0.024 4	0.006 2	0.015 1	0.003 5	0.008 7
	2 号	0.044 5		0.029 3		0.018 3		0.010 3	
	3 号	0.013 3		0.029 3		0.014 9		0.009 0	
	4 号	—	—	0.010 6		0.018 3		0.009 0	
	5 号	—	—	—	—	0.006 2	—	0.010 3	
	6 号	—	—	—	—	—	—	0.003 5	
300	1 号	0.008 9	0.021 9	0.007 1	0.016 3	0.004 2	0.010 2	0.002 4	0.006 0
	2 号	0.029 7		0.019 7		0.012 3		0.007 1	
	3 号	0.008 9		0.019 7		0.010 0		0.006 1	
	4 号	—	—	0.007 1		0.012 3		0.006 1	
	5 号	—	—	—	—	0.004 2	—	0.007 1	
	6 号	—	—	—	—	—	—	0.002 4	

致偏心值的40%左右;次边墩偏心值,一般为一致偏心值的120%左右;中墩偏心值与一致偏心值相当。

通常匝道桥中墩采用独柱形式,一联长度过长将导致箱梁扭转剪应力过大及支座横向转角过大,

因此尽管偏心值随跨数增加而减小,实际设计时不宜通过一味增加跨数来减小偏心。

6 结 论

通常曲线梁桥可按照同跨径直线桥计算支承反力,然后根据本文方法计算支座偏心,从而保证恒载情况下横桥向双支座反力相等。通常偏心值随曲线半径  $R$ 、跨数及集中分布荷载比  $G_P/G_q$  的增大而减小。

最小偏心法优点是适应性强、总体偏心最小,特别是边墩偏心值仅为一致偏心计算值的 40% 左右;缺点是较为复杂,需求解矩阵方程,另外边、中墩偏心值不同,需要施工时留意。

一致偏心法优点是简单易行,边、中墩偏心值相

同,施工简便;缺点是适应性略差,仅适用于均布跨及载荷对称情形。

本文讨论了圆曲线下支座偏心布置,给出了具体公式和典型工程实例表格,当曲线为缓和曲线或缓和曲线与圆曲线的组合曲线时,本文所讨论的最小偏心法一般原则仍然适用,具体公式将另文讨论。

本文表中数据适用于钢筋混凝土桥,如为预应力混凝土结构,则需在考虑预应力引起的二次力对支座反力的影响后,再根据本文方法计算。

参考文献:

- [1] 姚玲森. 曲线梁[M]. 北京:人民交通出版社,1986.
- [2] 建筑结构静力计算手册编写组. 建筑结构静力计算手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1998.

Approach to Calculation of Bearing Off-Center of Curved Beam Bridge

SU Ji-hong<sup>1</sup>, ZHOU Jun-sheng<sup>2</sup>

(1. Beijing Jianda Road and Bridge Consulting Co. Ltd. Beijing 100016, China;

2. Beijing ZhongHanWei Communications Co. Ltd. Beijing 100101, China)

**Abstract:** Two methods about how to calculate the bearing off-center of curved beam bridge are presented, which is common but no conclusion now. The two methods are minimum off-center method and coincidence off-center method. The principles of the two methods are explained, the formulas and calculation tables with practical engineering are given, and the two methods compared. Last, it is indicated that the off-center values decrease commonly with the increase of curve radius  $R$ , number of span and the value  $G_P/G_q$ .

**Key words:** curved beam bridge; bearing; off-center; calculation method

苏 通 大 桥 首 节 钢 混 结 构 段 混 凝 土 浇 筑 成 功

近日,苏通大桥北索塔上塔柱首节钢混结构段混凝土浇筑成功,塔柱高至 224.8 m。

苏通大桥北索塔柱高 300.4 m,分为下、中、上塔柱。自柱高 220.959 2 m,采用中间设钢锚箱,外包混凝土的钢筋混凝土钢锚箱组合结构。钢锚箱为箱形结构,总高度为 73.6 m,由 30 节组成,分 A、B、C 三种类型,每节钢锚箱顺桥向 7.118 m 至 8.157 m、顺江向 2.4 m、高 2.3 m 至 3.55 m。钢锚箱是锚固斜拉索,承受斜拉索传来的桥面荷载的关键结构,制作与安装的标准极高,工厂制作、组拼合格后运至北主塔水域,用起重能力达 3 600 t 的塔吊起吊至塔顶,再精准安装定位。

桥梁建设中上塔柱采用钢锚箱组合结构在我国尚属首次,建设者在施工前进行了为期半年的足尺模型试验,对安装工艺、混凝土配合比、混凝土浇筑工艺、锚箱与混凝土的相关性等进行反复的科学论证和优化,并细化、量化了各项技术措施,形成了精确的工艺规程,确保了 4.5 m 高的首节段混凝土浇筑按时完成。