

公路技术资料



人民交通出版社

公路技术资料

(3)

人民交通出版社

1976年·北京

公路技术资料

(3)

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{4}$ 印张: 9.375 字数: 188 千

1976年5月第1版

1976年5月第1版第1次印刷

印数: 0001—11,000册 定价(科四): 0.97元

(限国内发行)

內 容 簡 介

我国公路桥涵梁式桥上部构造的设计中，早已使用弹性理论空间计算方法，经较长期的实践，认识逐步加深，对过去使用的方法，不断地进行批判和革新，有了新的进展。

本专辑汇集了当前有关桥梁荷载横向分布计算的文章计13篇，内容包括：偏心受压法、弹性支承连续梁法、比拟正交各向异性板法等。其中有整体结构和铰结结构，有用图表的计算方法和不用图表的计算方法，有计算简支等截面结构的方法和计算超静定变截面结构的方法。

本书可供公路、城市桥梁设计、科研人员及有关院校教师及工农兵学员参考。

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

列宁为什么说对资产阶级专政，这个问题要搞清楚。这个问题不搞清楚，就会变修正主义。要使全国知道。

百花齐放是一种发展艺术的方法，百家争鸣是一种发展科学的方法。百花齐放、百家争鸣这个方针不但是使科学和艺术发展的方法，而且推而广之，也是我们进行一切工作的好方法。

洋为中用。

批判地吸收外国文化。

编 者 的 话

由于我国公路事业蓬勃发展，公路桥梁结构的设计质量也不断的改进从而减少材料消耗和降低桥梁建筑的成本。桥梁结构的设计质量，与所采用的计算图式是否符合实际工作情况密切相关，两者不相符合的原因之一，在于计算中对结构物的空间工作缺乏充分地考虑。

桥梁结构空间计算是桥梁设计基本理论中的一个比较重要而复杂的问题，一直在引起国内外桥梁工作者的注意。如何求得在结构（无论这个结构是同性的还是异性的，简支的还是连续的，等截面的还是变截面的）上单一集中荷载的影响，是这个课题的主要内容。对这个问题为寻求反映出桥梁结构工作的主要特性而略去次要影响因素的近似计算方法，一直是研究工作的主要方向。虽然为解决繁杂计算的电子计算技术开始发展，但近似计算在实际设计中仍占有优先的位置。

我国公路桥涵梁式桥上部构造的设计，早已使用弹性理论空间计算的方法来求算集中荷载的横向分布系数。实践过程中，经过设计、施工、科研及教学各方面的努力，认识逐步加深，对过去使用的方法，不断地进行批判和革新，有了新的进展。

本专辑搜集了有关桥梁荷载横向分布的文章13篇，按荷载分布理论的类型依次编排：首先是偏压法和弹梁法，其次是各向异性板法和以实际结构作计算图式法；首先是整体结构其次是铰结结构；首先是用图表的计算法其次是不用图表

的计算法；首先是计算简支等截面结构的方法其次是计算超静定变截面结构的方法。

偏压法及弹梁法的研究，总结了过去指出其优缺点及错误，给出考虑扭转的普遍公式能更精确恰当的应用。比拟正交异性板法从变截面各向异性板比拟结构和弹性曲面方程两个基本假定出发，利用变分原理求得近似解，从而导出变截面梁式桥（简支、连续、悬臂、固端）荷载分布系数的一般公式，可视为“比拟板”法的普遍推广。横向铰结梁板的计算，考虑梁板互相依存的关系，以实际结构物作为计算图式，按铰中只有剪力，对等截面简支梁导出剪力计算公式，并根据剪力求得各构件的横向分布系数，给出系数的表达式，编制成表格。钢筋混凝土梁式桥横向分布系数计算和各向异性板公式法两文更进一步了解公式的特性，提出不为图表所限制的计算方法，比较全面的反映桥梁结构的工作特性，得出用公式直接计算空间结构的方法，可以计算整体的铰结的宽、窄桥梁结构。超静定体系近似计算一文，可称为“等代简支梁”法，发展了梁的等同性，除挠曲刚度等同外并导出换算抗扭刚度的公式。在一个跨径中央的扭矩作用下，它的跨中扭转变形将等于所计算的超静定桥梁体系在同一扭矩作用下的跨中扭转变形。

我国有关公路桥梁荷载横向分布的研究，在继续发展，例如斜交各向异性板和拱上荷载分布的研究以及有限单元法电子计算机计算技术的发展，本辑尚不能概括。由于编者水平不高，错误之处在所难免，请读者批评指正。

目 录

1. 桥跨结构考虑抗扭修正的偏心受压法的研究
..... 东北林学院 胡肇滋(1)
2. 箱梁计算
..... 交通部第一公路工程局设计所 史尔毅(16)
3. 用弹性支承连续梁法求桥跨结构横向分布
系数之研究..... 东北林学院 胡肇滋(23)
4. 弹性支承连续梁修正法
..... 东北林学院 胡肇滋(42)
5. 梁式桥荷载横向分布计算(比拟变截面正
交异性板法)..... 上海市市政工程设计院
林元培、程为和、张迺华(56)
6. 荷载分布理论..... R.E.Rowe著 史尔毅译(111)
7. 主梁剪力和支点反力的计算
..... R.Bareš著 史尔毅译(146)
8. 横向铰结梁板桥荷载横向分布的计算
..... 北京市市政工程设计院 王春富(175)
9. 铰结板计算原理
..... 重庆建筑工程学院 郑孝达(183)
10. 钢筋混凝土梁式桥横向分布系数计算
..... 重庆建筑工程学院 郑孝达(200)
11. 桥跨结构立体计算各向异性板公式法
..... 东北林学院 胡肇滋(226)

12. 超靜定桥梁体系荷载横向分布的近似计算
..... 北京市市政工程设计院 王春富(267)
13. 荷载横向分布计算种种
..... R. Bareš 著 史尔毅译(273)

桥跨结构考虑抗扭修正的 偏心受压法的研究

东北林学院 胡肇滋

用偏心受压法求桥跨结构的横向分布系数，其广泛的适应性和计算简捷，为任何方法所不及。为补救其计算结果偏大的缺陷，国内外广泛地引用考虑截面抗扭刚度加以修正。这种办法很好，既能使之不失偏压法之优点，又能对其结果偏大有所缓解，因此偏压修正法是一个具有较高实用价值的近似法。

本文就考虑自由扭转及薄壁截面的约束扭转分别求得偏压修正法的普遍公式。并以之与所见国内外报刊介绍的诸公式，作出比较。通过讨论，对各家公式略加评议，以期能对偏压修正法作一初步梳理，以便应用时有所抉择。在分析中进一步发现，苏联波利万诺夫在《钢筋混凝土桥》一书中提出的，所谓精确法的刚性梁法与偏压修正法殊途同归，用后者代替前者，不仅概念更加明确，而且使设计工作大为简化。

一、抗扭修正偏压法的实质

如所周知，偏压法给出任一梁 i 的横向分布系数：

$$\eta_i = \frac{J_i}{\sum J_i} \pm \frac{e\alpha_i J_i}{\sum \alpha_i^2 J_i} \quad (1)$$

式中： J_i ——为任一梁 i 的抗弯惯矩；

α_i ——为 i 梁至纵轴的距离；

e —— 为荷载 $P = 1$ 作用点距纵轴之偏心距。

上式等号右边前后两项，分别为中心压力 $P = 1$ ，及扭矩 $M = Pe = e$ 所引起 i 梁的压力。上式之推导，系假定外扭矩 M 完全由各梁沉陷所产生之反力构成之抗扭矩 M_R 所平衡。它未考虑截面因扭转而产生的剪流所构成的抗扭矩 M_τ (当自由扭转时， $M_\tau = M_K$ ；约束扭转时， $M_\tau = M_K + M_w$)，如计入考虑由两者共同承载，如图 1-1 所示，

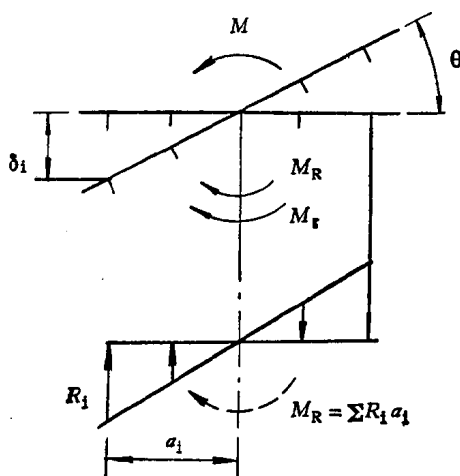


图 1-1

$$M = M_R + M_\tau \quad (2)$$

显然截面扭转必将减小，控制设计的边梁沉陷及相应之压力 R 亦将随之有所减小。是以抗扭修正主要是针对式(1)之后项。一般地是以乘上一个小于 1 之修正系数 β 达成的。故修正偏压法可写为如式(3)的形式：

$$\eta_i = \frac{J_i}{\sum J_i} \pm \frac{ea_i J_i}{\sum a_i^2 J_i} \beta \quad (3)$$

二、抗扭修正系数的刚度表达式

设桥跨结构如图 1—2a 所示，在距支点 A 为 x 之任一截面 C ，作用一扭矩 $M=e$ ，截面 C 扭角为 θ ，令 $\theta=1$ 时各梁支点反力构成的抗扭矩为 m_R ，扭转剪流构成的抗扭矩为 m_τ ，由式 (2) 可得

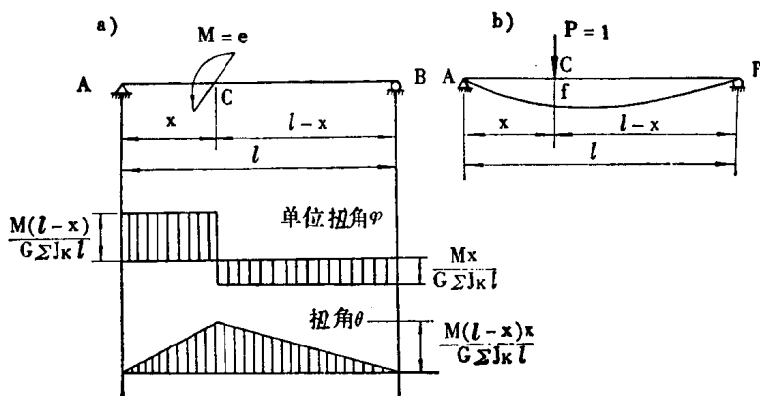


图 1—2

$$e = \theta(m_R + m_\tau)$$

$$\theta = \frac{e}{m_R + m_\tau} \quad (4)$$

由结构力学可得图 1—1 任一梁 i 之支点反力：

$$R_i = \pm \delta_i w_i = \pm \theta a_i w_i \quad (5)$$

式中： w_i ——为梁 i 单位沉陷所需之力。

以式 (4) 代入式 (5) 得：

$$R_i = \frac{e}{m_R(1 + \frac{m_\tau}{m_R})} a_i w_i \quad (6)$$

上式如不考虑剪流抗扭矩， $m_\tau=0$ 则相当于偏心受压情

况得,

$$R_i = -\frac{\theta}{m_R} a_i w_i \quad (7)$$

比较式 (6)、(7) 可得式 (3) 之抗扭修正系数的刚度表达式,

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{m_r}{m_R}} \quad (8)$$

因为 $\theta=1$ 之 m 等于 $M=1$ 之扭角 φ 的倒数, 上式亦可写为 (令 φ_R 、 φ_r 为 $M=1$ 时各支点反力 R_i 及剪流产生的扭角),

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{\varphi_R}{\varphi_r}} \quad (9)$$

以上二式, 可以适用于各种静力体系的桥跨结构。只要求出 $M=1$ 时之扭角 φ , (或 $\theta=1$ 时之 m) 则可求得 β 。

三、简支梁桥考虑自由扭转之 β

由式 (5) 可得, 当 $\theta=1$ 断面 C 各支点反力构成之抗扭矩,

$$m_R = \sum R_i a_i = \sum a_i^2 w_i \quad (10)$$

式中 w_i 如图 1—2 (b) 所示可求之如下,

$$w_i = \frac{P}{f} = \frac{3EJ_i l}{X^2(l-X)^2} \quad (11)$$

代入式 (10),

$$m_R = \frac{3El}{X^2(l-X)^2} \sum a_i^2 J_i \quad (12)$$

如图 1—2 (a) 所示截面 C 扭角, 按材料力学方法可得,

$$\theta = \frac{M(l-X)X}{G \sum J_K l} \quad (13)$$

令 $\theta=1$ 可得剪流构成的抗扭矩,

$$m_\tau = \frac{G \sum J_K l}{X(l-X)} \quad (14)$$

以式 (12)、(14) 代入式 (8) 得任意点之修正系数

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{X(l-X)G \sum J_K}{3E \sum a_i^2 J_i}} \quad (A)$$

当扭矩 M 作用于跨中时, 以 $X = \frac{l}{2}$ 代入得中点之修正系数,

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{l^2}{12} \frac{G \sum J_K}{E \sum a_i^2 J_i}} \quad (A')$$

讨论:

1. 从式 (A) 可见: β 是 $G \sum J_K$ 、 $E \sum a_i^2 J_i$ 和荷载位置 X 的函数。当 $G \sum J_K \rightarrow 0$ 、 $\beta \rightarrow 1$ 可还原为偏压公式。当 $X \rightarrow 0$ 或 l 时, $\beta \rightarrow 1$ 亦变成偏压公式。 β 的变化从跨径中点向支座逐渐增大, 这是由于扭角逐渐减小的结果。

2. 式 (A') 与德国斯氏 (Schöttgen) 公式 [1] 完全相同。找到了公式的来历, 进一步明确了它是式 (A) 的当荷载 M 作用于跨径中点的特殊情况。它是式 (A) 中的最小值, 如对任意荷载位置一律采用斯氏公式 [式 (A')], 是偏于不安全的。

3. 与郑孝达文中 [2] 所提的公式相比较

郑文中公式经过整理, 化为适用于 J_i 不等的普通公式得,

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{l^2}{\pi^2} \frac{G \sum J_K}{E \sum a_i^2 J_i}} \quad (B)$$

上式与式 (A) 比较有两点不同：① β 与荷载位置 X 无关，这是由于郑文假设扭角与挠度在纵向具有相同的变化规律 $\sum a_n \sin \frac{n\pi X}{l}$ 使然。显然对扭角作这种假设，与精确计算有较大的差异。②式 (B) 分母中的 π^2 ，是由取级数首项 $n=1$ 得来的近似值。取 $n=1$ 对于 M 作用于中点准确度较高，但以之与 (A') 相比 $\pi^2 < 12$ 可见：郑文的 β 较式 (A') β 的最小值还小，可能是偏于不安全的。

本文式 (A) 是从静力平衡关系导出，似较郑文以能量法导出之式 (B) 为准确。从这个角度来评价式 (B)，应属于式 (A') 的近似解。

4. 与 B.E. 乌里茨基公式 [3] 比较

乌氏根据斯氏公式即式 (A')，对有一根或多根加大的边梁的情况，导得以下两式：

边上加强梁的压力：

$$\left. \begin{aligned} R_{KP} &= \frac{\alpha P}{(\alpha-1)n_1+n} \pm \frac{\alpha P l a_i}{\sum a_{0P}^2 + \alpha \sum a_{KP}^2 + A} \\ \text{中间未加强梁的压力：} \\ R_{0P} &= \frac{P}{(\alpha-1)n_1+n} \pm \frac{P l a_i}{\sum a_{0P}^2 + \alpha \sum a_{KP}^2 + A} \end{aligned} \right\} (C) \quad \textcircled{1}$$

式中：

$$A = \frac{l^2}{12} - \frac{GI_{KP}}{EI} (n - n_1 + \beta n_1);$$

$$\alpha = \frac{I'}{I}; \quad \beta = \frac{I'_{KP}}{I_{KP}};$$

I, I', I_{KP}, I'_{KP} —— 为中间梁，边梁 (有撇号者) 之惯矩反抗扭惯矩。

式 (C) 除具有沿用式 (A') 于全跨时之偏于不安全的

注：①上式在原著 [3] 中有多处错误悉预更正。从式 (A') 稍作演化不难见之，故不逐一指出。文字代号涵义详见 [3]。

缺点外，还有值得讨论的问题是：乌氏建议的用加强边梁来减小边梁与中间梁负荷的差距，使设计趋于经济的意图是否合理可行？

如图 1—3 所示，毋庸赘言用偏压法求边上一二根的压力值肯定是偏大的。但对中间各梁，无论考虑 P 或 M 产生之压力均偏小。 $\sum R_i = P$ ，考虑抗扭修正，边梁偏大有所减轻，相反的中间梁之偏小加剧。再考虑加强边梁，因实际横向刚度并非无穷大，边梁压力不可能符合理论上按刚度比例增大，必又转嫁一部分荷载到中间梁上。不难想见，中间梁之实际压力或将远大于理论值。显然企图以加强边梁来达到内外梁负荷接近均衡是形式主义的办法，是不安全的。如果用其他比较精确的方法计算，能取得这个效果又当别论。

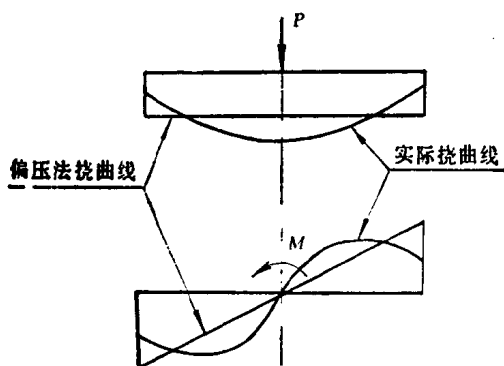


图 1—3

四、简支梁桥开口截面考虑约束扭转之 β

对于具有刚劲横隔梁的薄壁桥跨结构，由于截面不能自由翘曲，应考虑约束扭转求修正系数。

由开口薄壁理论，如图 1—2 所示截面 C 之扭角：

$$\theta = \frac{M}{2G \sum J_K} \left(x - \frac{\operatorname{sh} \alpha x}{\alpha \operatorname{ch} \frac{\alpha l}{2}} \right)$$

$$= \frac{M}{2G \sum J_K} \left(x - \frac{\operatorname{sh} \alpha x}{\alpha \operatorname{ch} u} \right) \quad (15)$$

式中: $u = \frac{\alpha l}{2}$;

$\alpha = \sqrt{\frac{G \sum J_K}{EI_w}}$ 为开口薄壁弯扭特性;

J_K 为一根梁的抗扭惯矩, I_w 为横向全截面的扇性惯矩。

当 $\theta = 1$ 时约束扭转相应内力矩, 由上式得:

$$m_\tau = m_K + m_w = \frac{2G \sum J_K}{\left(x - \frac{\operatorname{sh} \alpha x}{\alpha \operatorname{ch} u} \right)} \quad (16)$$

以式 (16)、(12) 代入式 (8) 得约束扭转 β 之普遍公式:

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{m_\tau}{m_R}} = \frac{1}{1 + \frac{2x^2(l-x)^2 G \sum J_K}{3l \left(x - \frac{\operatorname{sh} \alpha x}{\alpha \operatorname{ch} u} \right) E \sum \alpha_i^2 J_i}} \quad (D)$$

以 $x = \frac{l}{2}$ 代入得中点的修正系数:

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{l^2 G \sum J_K}{12 E \sum \alpha_i^2 J_i} \left(\frac{1}{1 - \frac{\operatorname{th} u}{u}} \right)} \quad (D')$$

求弯扭特性 α 时, 需求横截面整体的扇性惯矩 I_w , 计算极其烦琐。波氏[4]对于仅有横梁相连接的装配式桥, 肯定扭转是各梁绕各自扭转中心转动的, 为此取上式: