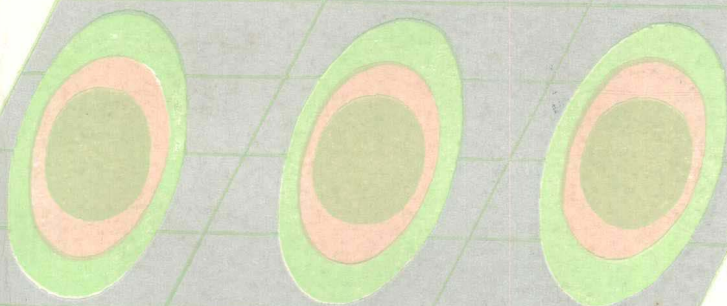


横向铰结斜梁(板)桥实用计算法

(第二版)

席振坤 著



79

人民交通出版社

横向铰结斜梁（板）桥
实用计算法

Hengxiang Jiaojie Xieliang(ban)-
qiao Shiyong Jisuanfa

（第二版）

席振坤 著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书所介绍的实用算法，是以正桥的横向分布理论为基础，用斜桥的有限元分析导出折减系数，并编制成数表的一种查表算法，为现阶段比较合理而简单的斜桥计算方法。可供公路及城市道路桥梁设计人员、科研人员及有关院校的师生参考。

横向铰结斜梁（板）桥

实用算法

（第二版）

席振坤 著

插图设计：高静芳 正文设计：孔 伟 责任校对：王淑琴

人民交通出版社出版发行

（北京和平里东街10号）

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：3 字数：60 千

1980年8月 第1版

1991年1月 第2版 第2次印刷

印数：5500—8900册 定价：2.50 元

ISBN 7-114-00906-2

U·00575

前 言

横向铰结斜梁（板）桥是常用的一种桥梁结构形式。对于正桥，采用铰结梁（板）的荷载横向分布理论来分析，这是大家熟知的。斜桥中荷载的横向分布与正桥相比有很大的差别，沿用正桥分析的思路，引进必要的修正计算来满足斜桥的设计计算要求，这是作者从事这方面研究和编写本书的目的。本书给出的实用计算方法就是以正桥的横向分布理论为基础，用斜桥的有限元分析导出折减系数的一种近似算法。1980年本书初版后不久便销售一空，看来很受欢迎。从那时以来，计算机特别是微机的应用已大为普及，相应的软件也已广泛使用，但仍有读者希望再版，看来近似计算在一定条件下还有其现实意义，尤其是当缺乏软件供给时。

本书再版时，除对初版的内容略作更正补充外，主要根据读者的建议增补了10梁系的有关数表，以满足生产实际的需要。希望本书的再版能对工程上应用和教学上参考有所帮助，并竭诚希望读者批评指正。

目 录

第一节 铰结斜桥的特点	1
第二节 实用算法	5
1. 弯矩计算	5
2. 支点剪力的计算	7
3. 跨中剪力	8
4. 设计计算时的其它要点	9
第三节 关于实用算法误差的分析	10
1. 正桥铰结梁法的误差分析	11
2. 折减系数 k_a 的误差分析	16
第四节 橡胶支座对内力影响的分析	16
1. 计算模型	16
2. 计算结果与分析	18
第五节 有限元法及附表编制简介	23
1. 横向分配影响线的计算	25
2. 弯矩折减系数 k_a 的计算	26
第六节 算例	26
1. 设计资料	26
2. 跨中弯矩	26
3. 支点剪力	30
4. 跨中剪力	34
参考资料	34
附表	35

第一节 铰结斜桥的特点

首先来了解一下斜桥的特点。我们将把它同正桥作对比，来介绍一下模型试验及数值试验的若干结果。

1. 图 1 所示为 8 梁系梁桥。每片梁宽为 1m，跨径为 7.2

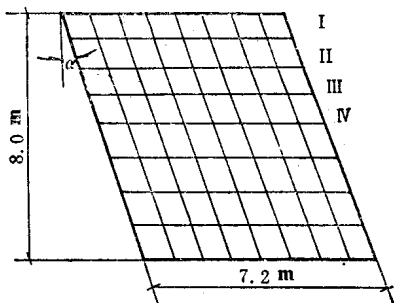


图 1

m, $\gamma = 5.8 \frac{I}{J} \left(\frac{b}{l} \right)^2 = 0.0374$ 。用有限元法，采用将跨径

作八等分的网格，计算了 IV 号梁跨中截面的弯矩场，如图 2 所示。斜角分别为 0° 、 30° 、 45° 、 60° ，单位荷载作用在该截面。从图中等直线的山脊线可以看出斜桥中荷载横向分布的路径，大致是取垂直于自由边的方向（小于 45° ），又介于平行于简支边的方向之间（大于 45° ）。

2. 斜跨径方向的弯矩随斜角的增大而减小。

(1) 资料 [1] 的模型实验是 $b/l = 1$ ， $\gamma = 0.0320$ ，模拟汽车-15 级荷载。实验结果表明，中梁及边梁的跨中弯矩，随斜

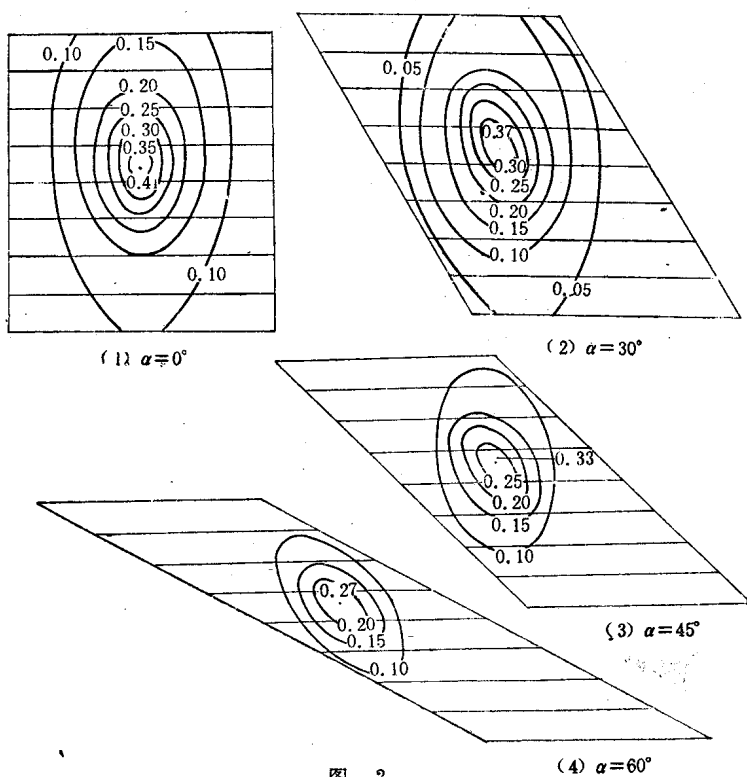


图 2

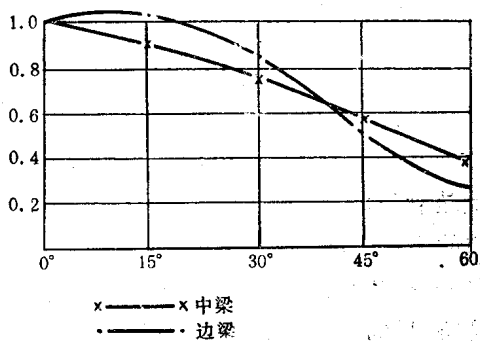


图 3

角增加而减小的曲线如图 3 所示。

(2) 参照图 2 所示的弯矩场, 将各斜角时的弯矩峰值作一序列, 便可得到在单位荷载作用下, 第 IV 号梁跨中弯矩的折减曲线, 如图 4 所示。现在我们来考察该截面, 在最不利汽车荷载的作用下, 截面上最大弯矩值的变化。采用动态规划法加载程序来计算。对于汽车-20 级荷载, 在不同斜角时所得最大弯矩值, 绘成折减曲线, 也示于图 4 中。比较图 4 中的两条曲线, 可以发现, 实际荷载的折减, 比单位荷载的折减要大。

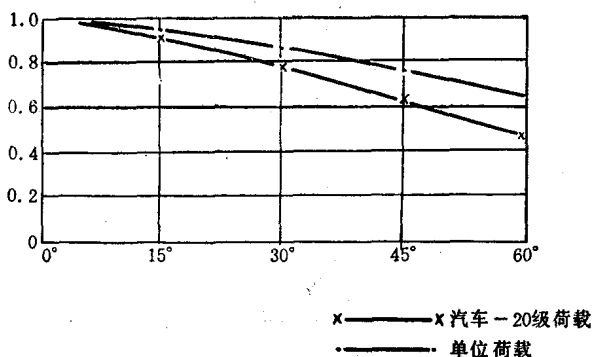


图 4

3. 主梁中的剪力, 不论是支点截面, 还是跨中截面, 均随斜角的增大而增大。

(1) 按资料〔1〕模型实验的加载条件(它的弯矩折减曲线见图3), 用有限元法计算第 IV 号梁跨中截面的剪力, 可发现剪力随斜角的增大而增大, 绘成曲线如图 5 所示。

(2) 图 6(1) 是单位荷载作用下, 第 IV 号梁跨中截面及支点附近截面 ($L/8$) 中剪力递增的情况。图 6(2) 是汽车-20 级

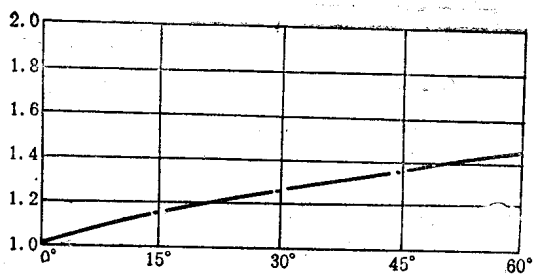


图 5

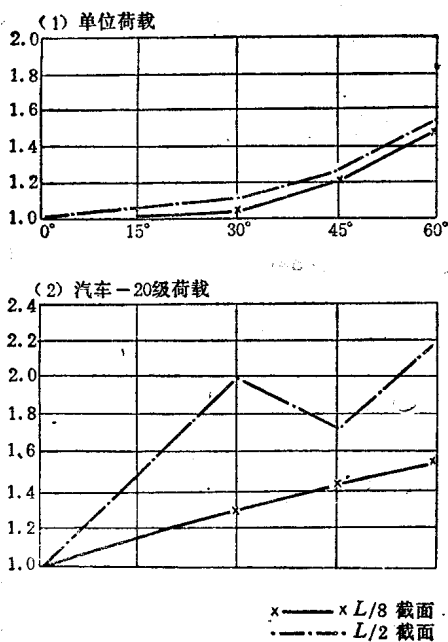


图 6

荷载作用下，用动态规划法算得的同样截面上最大剪力的递增情况。可以看到，剪力递增的程度，大致是跨中截面比支点处截面为大。最大递增率可达 2 倍左右。

第二节 实用算法

对于小跨径的铰结梁（板）桥，在设计中有决定意义的是跨中的弯矩及支点的最大剪力。然而铰结式体系设计跨径有时也较大，横截面采用 T 型或箱型等薄壁形式。鉴于前节中所述第三个特点，对于跨径内截面的剪力也应十分注意。

1. 弯矩计算

我们取斜桥的斜长 l 为计算跨径的正桥，作为对应正桥（图 7）。根据上节斜桥特点表明，斜桥中的最大弯矩，

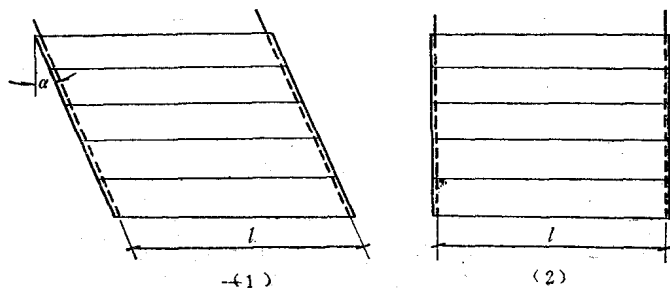


图 7

如第 i 号梁的跨中弯矩（严格地讲，在跨中附近）与对应正桥中第 i 号梁的跨中弯矩之比，随斜角 α 的增大而减小，可以用下式表示为：

$$k_{\alpha} = \frac{M_i^{\alpha}}{M_i^0} \quad (1)$$

式中： k_a ——斜角折减系数；

M_i^* ——斜桥中第 i 号梁的设计弯矩；

M_i^0 ——对应正桥中第 i 号梁的设计弯矩。

其中， M_i^0 可用正桥的铰结梁法计算。一般采用横向分配影响线和纵向内力影响线相结合的近似计算方法。在最不利的布车时，通常在所计算截面处（即第 i 号梁的跨中截面），将会布置一个重轮，并且它的影响是主要的。为了简化数值计算，就近似地取

$$k_a = \frac{M_i^*}{M_i^0} \quad (2)$$

式中： M_i^* ——斜桥中第 i 号梁的跨中作用单位荷载时， i 号梁的跨中弯矩；

M_i^0 ——对应正桥中第 i 号梁跨中作用单位荷载时， i 号梁的跨中弯矩。

实际作用的车列荷载中，除作用在计算截面的轮重外，其它位置的车轮，折减系数更小（参见图 4 中两条曲线的比较）。因此采用单个集中荷载的斜角折减系数，来代替实际不利布车时的整个车列荷载的斜角折减系数，会使计算结果偏大。这在设计中是偏安全的。

根据公式(2)，用有限元法计算了不同弯扭参数 γ 及不同梁数时，每片梁对应于不同斜角时的折减系数（计算原理见下节），编制成表（见附表）。

这样，对于斜桥的跨中截面弯矩计算顺序可归纳如下：

(1) 先不计斜角，应用铰结梁法，根据表列的横向分配影响线，计算对应正桥的设计弯矩 M_i^0 ；

(2) 考虑斜角的影响，查表中相应梁系、相应弯扭参数 γ 值、相应梁号、相应斜角的折减系数 k_a ；

(3) 斜桥中的跨中设计弯矩 $M_1^0 = k_a M_1^0$ 。

2. 支点剪力的计算

计算支点最大剪力时，对于正桥，在支点计算横向分布系数，一般采用杠杆分配原理。如图8(2)所示，是II号梁的支点横向分配影响线（即所谓0-1法）。此时，在影响线区域外的车轮对II号梁是没有影响的。而在斜桥中，不难推断，其它轮重对所计算的梁（如II号梁）由于弹性分布会有影响，基于上节对斜桥特点之一的分析，我们假定横向分布取垂直于自由边的方向，如图8(1)中实线所示。现在，计算

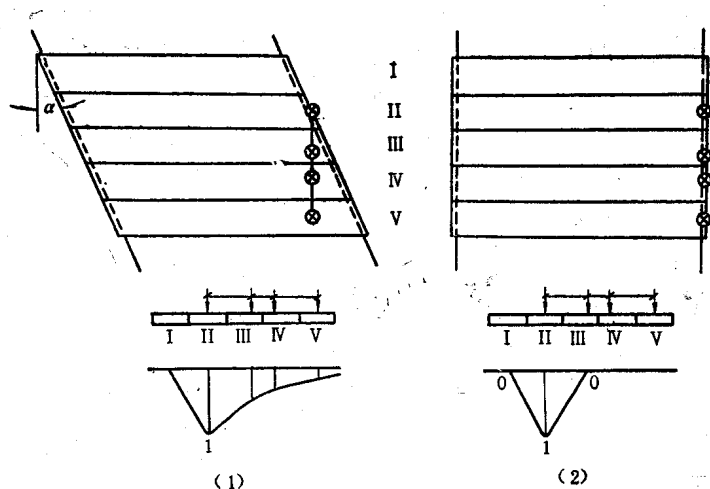


图 8

支点横向分布系数时，采用加载混合横向分配影响线的办法。直接作用在支点的轮子，采用杠杆分配原理，如图8(1)中II号梁处的纵标。其它轮子，则采用弹性分配。由于斜桥

中的荷载横向弹性分布比正桥要复杂得多，精确的分析，必然使方法复杂化。本文就近似地采用对应正桥跨中的横向分配影响线。从概念上讲，混合影响线已改变了横向分配影响线本来的力学含意，即影响线纵标之和为1。然而它的物理意义是显然的，这反映了斜桥中荷载分布的特点。具体步骤可归纳如下：

(1) 先不顾斜角，查得对应正桥的横向分配的影响线纵标（图9(2)）；

(2) 将上述影响线在所计算的梁位处的纵标，用杠杆原理进行修正，得到支点的混合横向分配影响线（图9(3)）；

(3) 对(1)、(2)步所得的横向影响线，同时进行最不利加载。参照算例中图18所示，图中实线接点划线的表示支点混合横向影响线，虚线接点划线的表示跨中的横向影响线。横向最不利加载应首先对混合横向影响线进行，并同时尽量满足对跨中横向影响线的不利布车。这样，分别求得计算支点剪力时的跨中及支点横向分布系数 $m_{支}$ 及 $m_{中}$ 。分布系数的过渡段长度与斜角有关，根据数值试验结果，大致为 $\alpha < 30^\circ$ 时，可与正桥相同地取 $L/5$ ； $\alpha = 45^\circ$ 时可取 $L/4$ ； $\alpha = 60^\circ$ 时可取为 $L/2$ 。 L 为计算跨径（图9(4)）。

(4) 加载纵向剪力影响线，计算支点的剪力（图9(5)）：

$$Q = \sum m_i p_i y_i \quad (3)$$

对于汽车荷载，式(3)还须乘以冲击系数 $(1 + \mu)$ 。

3. 跨中剪力

上节已经指出，虽然斜桥的跨中弯矩随斜角增大而减小，但跨中剪力却反而增大。这是由于斜板的扭曲及弯矩梯度的加大所致。考虑到跨中截面剪力一般并不控制设计，根据上节数值试验结果，就近似地采用对应正桥的跨中剪力

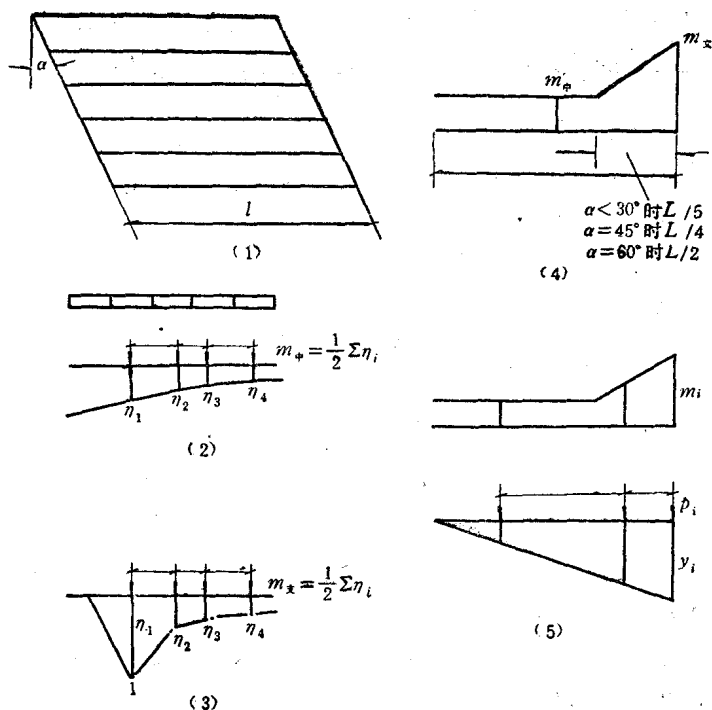


图 9

值，并乘以下式的递增系数：

$$\psi = 1 + \frac{\alpha}{60^\circ} \quad (4)$$

4. 设计计算时的其它要点

(1) 斜桥中，跨径中的最大弯矩并不在跨中截面，而是斜角愈大，向钝角方面偏移也愈多，如图 10(1) 所示。因此弯矩包络图对跨中并不对称。实际上，构件往往设计成对跨中对称的，此时应注意包络图的顶点不应从跨中开始。设计

时可偏安全地在跨中保留一个水平段，即假定上面计算出来的弯矩值，包括跨中附近的一个区段。水平段的长度，根据数值试验的结果，可在跨中两边各取 $l/8$ ，见图10(2)。

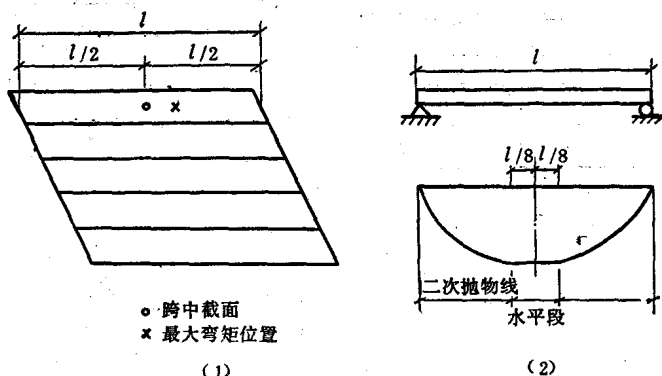


图 10

(2) 对于小跨径桥梁，其它截面的弯矩就可由上述的弯矩包络图来确定。对于较重要的桥梁，八分点截面尚需以不折减的弯矩值作比较，来确定设计弯矩值。

(3) 剪力包络图可近似地采取支点值与跨中值的直线联结图形。

第三节 关于实用算法

误差的分析

上节的实用算法是基于正桥的铰结梁法与有限元法求得的折减系数相结合的方法。现对这两方面的误差加以分析。

1. 正桥铰结梁法的误差分析

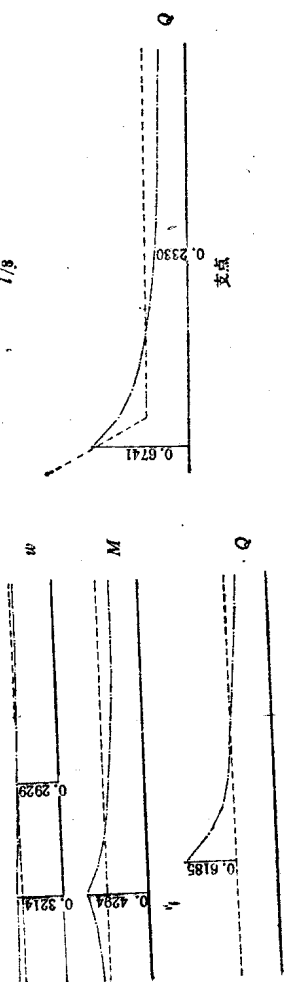
众所周知，荷载横向分布理论是以一个正弦半波荷载作用下跨中截面的荷载横向分布为基础的，并自然引出如下结果：计算挠度、弯矩、剪力时采用同样的分布系数。而横向分布系数沿跨径的变化，当计算跨内各截面内力时，假定沿跨径一律采用跨中求得的（通常是按挠度比求得的）横向分布系数值。当计算支点剪力时，横向分布系数 $m_{支}$ 与跨中的 $m_{中}$ 不同，采用杠杆原理求得。

然而，对于实际作用于桥上的集中形式的轮载，上述的横向分布理论乃是一种近似，因此计算挠度、弯矩、剪力时，实际上应分别采用按挠度比、弯矩比、剪力比计算所得的分布系数，并且横向分布系数沿跨径应是变化的。问题还在于一般只讨论了两个重要截面，即跨中、支点的横向分布系数图。其它截面，如 $l/4$ 、 $l/8$ ，当计算弯矩和剪力时，它们的横向分布系数仍采用跨中截面的横向分布系数值，这会有多大的误差，且横向分布系数图呈何形状呢？

在此，利用有限元法，用集中荷载进行直接求解，通过数值分析来探讨上述问题。以 7 梁系的实心铰结板桥作为计算模型，每片板宽为 1m，板厚为 0.35m，跨径为 7.2m。网格划分为，跨径方向作 16 等分，整个桥跨划分成 $7 \times 16 = 112$ 个单元（参看图 1），可解得每条板上 17 个截面的挠度、弯矩、剪力（及扭矩），据此可求出边梁及中梁的跨径中不同位置的截面，诸如跨中、 $l/4$ 、 $l/8$ 、支点，分别按挠度 w 、弯矩 M 、剪力 Q 所得的横向分布系数图，见图 11 中点划线所示，习惯上用的横向分布系数图等于跨中 $m_{中}$ 值的水平线，用虚线表示同绘于图中以示对比。

(1) 从图 11 中横向分布系数沿跨径的变化可以看出，横

1/4



1/1

