

# 大宽跨比整体简支板桥合理简化计算模式探讨

周建庭, 蓝 勇, 袁 瑞, 潘东宏, 邓 智

(重庆交通大学, 重庆 400074)

**摘要:** 针对宽跨比较大的整体简支板桥, 分析现今常用横向分布计算方法原理的近似与局限。选取 3 组不同宽跨比桥梁, 依不同桥面布载分 5 种工况建立 ANSYS 有限元实体模型。分析模型数据与常用横向分布计算方法之间的结果差异, 提出了一套适用于整体板桥的内力简化计算模式。

**关键词:** 整体板; 有限元法; 横向分布; 简化计算

中图分类号: U 443.35

文献标志码: A

文章编号: 1674-0696(2009)06-0991-04

## Reasonably Simplified Calculation Model of Integral Simple Supported Slab Bridge with Large Width-Span Ratio

ZHOU Jian-ting LAN Yong YUAN Rui PAN Dong-hong DENG Zhi

(Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract** Aiming at the integral simple supported slab bridge with large width-span ratio, the approximation and limitation of the calculation principle of transverse distribution commonly used nowadays are analyzed. Three bridges with different width-span ratio are selected, and five kinds of ANSYS finite element entity models are established according to different deck-load conditions. A reasonably simplified calculation model of internal force of integral simple supported slab is put forward by analyzing the difference between the results got by model and those got by transverse distribution calculation method.

**Key words** integral slab; finite element method; transverse distribution; simplified calculation

## 1 引言

在 20 世纪 80 年代, 我国公路及城市道路的小跨径桥涵, 上部构造多采用装配式的预制构件。板桥式小跨径钢筋混凝土桥外形简单、制作方便、建筑高度小、整体性好, 是最常见的形式之一<sup>[1]</sup>。

宽跨比较大的整体板空间受力明显, 要准确分析其受力情况就必须进行空间分析。但实际上, 通过位移和内力的假设, 普遍将整体板的空间受力问题简化为平面问题<sup>[2]</sup>。目前, 常用的板桥计算理论主要有整体板法和刚接板法。整体板法考虑板桥全截面为一个整体, 假定板全截面平均承担内力<sup>[2-3]</sup>。在桥梁宽跨比较小的情况下, 整体板法应用误差较小。但当宽跨比较大时, 计算结果偏不安全。刚接板法通过某些物理和数学意义上的假设来计算荷载横向分布<sup>[2-3]</sup>, 虽然算法成熟, 但计算过程繁琐, 计算结果与实际之间存在一定的误差。

按不同宽跨比和布载情况, 建立钢筋混凝土板

ANSYS 有限元实体模型。提取跨中截面各控制点内力, 分析板实际受力情况。并与传统计算方法结果进行比较、分析。针对目前板桥计算中存在的问题以及实际应用中的不足点, 在现有计算方法上提出一套实用有效的简化计算方法以便在实际工程中应用。

## 2 基于不同宽跨比的空间有限元分析

### 2.1 建模简介

ANSYS 有限元实体模型, 自由度庞大、单元精细、能准确模拟板在实际中的受力情况, 计算结果全面可靠。

在西部地区, 现役的整体板桥中一般为等厚实心截面, 跨径在 8 m 及以下, 主要在县乡道公路中建设运营, 桥面宽度依路线标准而定<sup>[1]</sup>。以 1989 年设计标准图为准, 选取跨径为 8 m, 宽度为 7.9~11 m 的 3 种不同宽跨比的实心板桥进行数值模拟。采用 SOLID 65 单元模拟混凝土结构; PIPE 20 单元模拟

收稿日期: 2009-03-17

作者简介: 周建庭 (1972-), 男, 浙江金华人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为桥梁加固与远程监测、安全评价。E-mail: jt-zhou@163.com

普通箍筋; SF 面力模拟车轮荷载<sup>[4]</sup>; 对板端支座截面所属单元采用  $x$ 、 $y$  双向约束来模拟简支板桥固定支座, 通过对  $y$  方向约束来模拟实桥滑动支座<sup>[5]</sup>。全桥 ANSYS 模型见图 1。

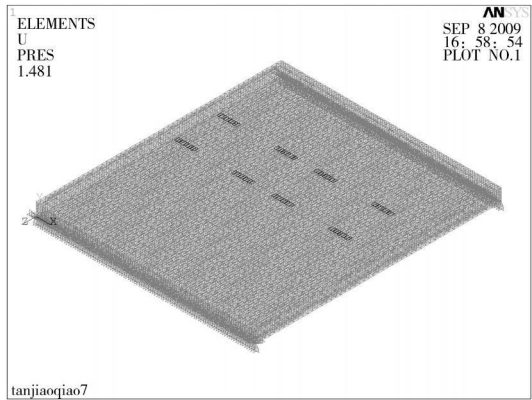


图 1 全桥模型单元

简支板桥计算以端部剪力和跨中弯矩为控制指标, 支座截面采用杠杆法来计算横向分布, 计算结果保守, 偏于安全的考虑, 故不再对支座剪力作分析对比<sup>[6]</sup>。只针对跨中截面进行内力分析。

模型中车辆荷载在跨中截面按偏载方式加载。对 11 m 和 9 m 宽板桥按设置人行道和不设置人行道 2 种不同情况分类布载<sup>[7]</sup>, 7 m 宽板桥不考虑设置人行道 (图 2)。

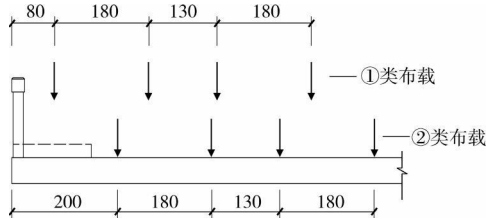


图 2 桥面布载情况

针对不同宽度及不同桥面布置的模型, 具体的加载工况见表 1。

表 1 模型加载工况

工况名称	模型加载	备注
工况 1	7 m 宽板桥 ①类布载	无人行道
工况 2	9 m 宽板桥 ①类布载	无人行道
工况 3	11 m 宽板桥 ①类布载	无人行道
工况 4	9 m 宽板桥 ②类布载	有人行道
工况 5	11 m 宽板桥 ②类布载	有人行道

2.2 模型计算结果

提取各工况有限元模型跨中下缘节点纵向应力  $\delta_j^n$  及竖向挠度  $f_z^n$ , 由式 (1) 计算各节点内力 (位移) 与截面总内力 (位移) 的比值  $P_n$ , 即为各应力 (位移) 沿截面横向分布的比例:

$$P_n = \frac{\delta_j^n \text{ (或 } f_z^n)}{\sum_1^n \delta_j^n \text{ (或 } \sum_1^n f_z^n)}$$

材料力学公式:

$$\delta_j = \frac{M}{W}$$

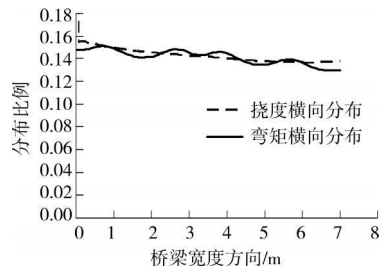
式中:  $\delta_j$  为下缘应力;  $M$  为弯矩;  $W$  为截面抵抗矩, 截面为等截面矩形:  $W_{上} = W_{下} = \text{常数}$ 。

将式 (2) 代入式 (1) 中:

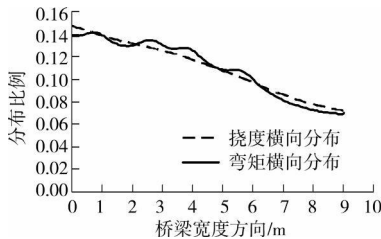
$$P_n = \frac{M^n \text{ (或 } f_z^n)}{\sum_1^n M^n \text{ (或 } \sum_1^n f_z^n)}$$

可知, 跨中截面各点纵向应力与弯矩的横向分布比例相同。

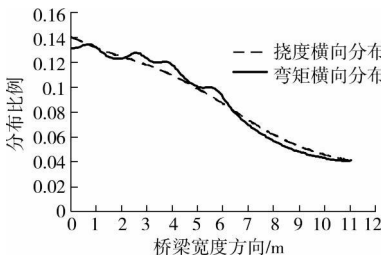
以有限元模型单元大小为单位长度, 绘制跨中单位宽度板弯矩和挠度横向分布图 (图 3)。



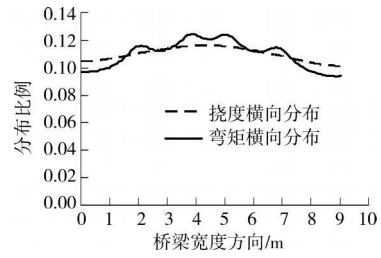
(a) 工况 1



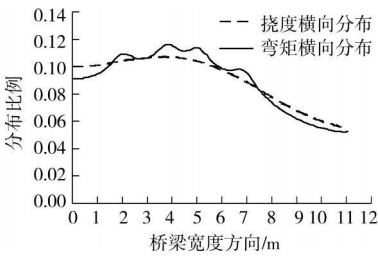
(b) 工况 2



(c) 工况 3



(d) 工况 4



(e) 工况 5

图 3 内力横向分布图

从图 3 可以看出:

1) 挠度分布曲线沿桥宽方向平滑过渡; 弯矩分布曲线在荷载布载点处出现峰值。即跨中截面横向挠度与弯矩分布规律有差异, 最大的偏离差值达 8.37%, 理论计算横向分布假设条件不成立。

2) 在工况 1~ 工况 3 情况下, 标准车辆荷载靠近板边缘布载, 左侧第一个车轮布载点处出现最大弯矩分布比例, 其值分别为: 0.151, 0.141, 0.136。板边缘受力最不利。

3) 在工况 4 和工况 5 情况下, 标准车辆荷载中心靠近桥梁中心线布载, 左侧的第 2 个车轮布载点处弯矩分布比例达到最大值 0.124 和 0.116。在板中心线区域受力最不利。

3 理论计算结果

刚接板法是将全桥沿宽度方向等分成  $n$  块等宽度板。假定各个板块内各点平均分担内力, 将各板块当作彼此之间刚接的板桥来计算其横向分布。根据各个板块边缘的挠度和转角变形协调条件, 利用结构力学可得到正则方程, 通过求解方程组来求得各个板块横向分布系数。

整体板法考虑板以单梁的形式受力, 板内力沿横向均匀分布。单位宽板所分担的内力比例系数  $m$ :

$$m = \frac{1}{b}$$

(4)

式中:  $b$  为板的宽度。

采用刚接板法和整体板法计算各工况横向分布系数。在刚接板法中取不同的板横向分块数  $n$ 。单位米宽度板内力横向分布系数  $m$  见表 2。

表 2 各工况计算结果				
工况	分块数 $n$	最不利板块	刚接板法 $m_1$	整体板法 $m_2$
工况 1	10	1#板	0.149	0.142
	9	1#板	0.149	
	8	1#板	0.148	
	7	1#板	0.148	
	6	1#板	0.144	
工况 2	10	1#板	0.139	0.111
	9	1#板	0.137	
	8	1#板	0.136	
	7	1#板	0.138	
	6	1#板	0.138	
工况 3	10	1#板	0.134	0.090
	9	1#板	0.134	
	8	1#板	0.134	
	7	1#板	0.134	
	6	1#板	0.134	
工况 4	10	5#板	0.116	0.111
	9	5#板	0.117	
	8	5#板	0.117	
	6	3#板	0.124	
工况 5	6	2#板	0.107	0.090

注: 表中板分块的编号为由左到右依次编号。

从计算结果可以看出:

1) 整体板法计算结果比刚接板法计算结果小。

2) 在刚接板法中, 工况 4 5 下跨中截面内力最大点在桥梁中心线附近区域; 工况 1 2 3 下内力最大点在桥梁板左边缘, 随  $n$  的增大, 计算结果增大。

4 计算结果对比分析及简化算法

4.1 计算结果对比分析

对刚接板手算法、ANSYS 电算及整体板法的计算结果进行提取、整理, 见表 3。

表 3 计算结果汇总						
工况	宽跨比	刚接板法 $m_1$	整体板法 $m_2$	ANSYS 模型 $m_3$	误差 $K_1 / \%$	误差 $K_2 / \%$
工况 1	0.875	0.144 98~ 0.149 47	0.142 86	0.151 15	4.26	5.80
工况 2	1.125	0.136 56~ 0.139 28	0.111 11	0.124 27	3.54	27.25
工况 3	1.375	0.134 39~ 0.134 93	0.090 91	0.141 39	1.21	49.63
工况 4	1.125	0.116 28~ 0.124 5	0.111 11	0.116 07	6.86	11.84
工况 5	1.375	0.107 95	0.090 91	0.136 02	7.52	27.68

注: 表中  $K_1$  是刚接板法与 ANSYS 结果误差,  $K_1 = (m_3 - m_{1m1}) / m_1$ ;  $K_2$  是整体板法与 ANSYS 结果误差,  $K_2 = (m_3 - m_{2m2}) / m_2$

从表 3 可以看出:

1) 2 种理论算法结果和 ANSYS 结果有一定的误差, 理论算法结果偏不安全。

2) 宽跨比为 0.875 时, 刚接板法和整体板法误差在 4.06% ~ 5.8% 之间, 误差值相对较小。随着宽跨比增大,  $K_1$  在工况 4 5 中增大;  $K_2$  在各工况中

增加较大。可见,在宽跨比大于 0.875 的情况下,理论算法误差较大。

3) 误差  $K_1$  中,工况 4 比工况 2 误差大 3.32%; 工况 5 比工况 3 误差大 6.31%; 工况 5 出现最大误差 7.52%, 同个工况中,随着手算法中板桥的分块数  $n$  增大误差呈减小趋势。说明在相同宽跨比下,考虑人行道时,刚接板法计算误差较大。

4) 误差  $K_2$  中,工况 3 比工况 2 的误差大 15.41%; 工况 5 比工况 4 的误差大 21.93%, 在工况 5 中出现最大误差 49.63%。说明在相同宽跨比下,考虑人行道时,整体板法计算误差较小。

产生误差因素的分析:

1) 刚性横梁法计算横向分布在物理上和数学上的近似,即假设各截面挠度比、弯矩比、剪力比相同,但在实际中一般不成立。

2) 板桥的计算过程中略去了混凝土板的横向收缩系数的作用及某些次要的内力,横向分布计算是一个近似的计算方法<sup>[2]</sup>。

3) 整体板法假定板桥全截面平均分担内力,与实际内力分布有较大差异。

4.2 简化计算模式

通过对 ANSYS 模型数据和理论算法的差异进行分析可知,当宽跨比大于 0.875 时,常用的计算方法计算误差较大。为了修正常用算法中由于计算理论的近似和假设对实际横向分布系数的影响,结合模型的计算分析结果,针对 2 种不同的布载情况提出横向分布系数的修正系数  $\xi_1$ 、 $\xi_2$  见表 4。

表 4 内力修正系数

类别	计算方法	修正系数
A 桥面设置人行道、板边边布载	刚接板法	$\xi_1 = 1.05$
B 桥面无人行道、靠板中心布载	整体板法	$\xi_2 = 1.3$

1) 当类似 A 类布载情况下,采用修正的刚接板法计算。结合表 3 中误差统计数据,在刚接板法计算结果上乘以  $\xi_1 = 1.05$  的内力增大系数。为了能更好的反映板实际受力,在刚接板算法中  $n$  取 10。

2) 在类似 B 类布载情况下,采用修正的整体板法。从表 3 中可见,虽然采用刚接板法计算精度优

于整体板法。但根据宽跨比及具体布载的不同,桥梁具体的最大受力点不易确定。并且文献[2]中的影响线图表中并未给出  $n=10, 9, 8, 7$  情况下的所有板块数据,给计算带来一定的麻烦。为了避免繁琐的计算,采用整体板法来计算板梁内力。结合表 3 中的误差数据,提出内力增大系数  $\xi_2 = 1.3$  当板的宽跨比大于 1.375 时,可根据实际情况增大系数  $\xi_2$ 。

5 结 论

1) 在整体板桥受力中,截面横向挠度与弯矩分布规律有差异,横向分布假设条件不成立。

2) 宽跨比小于 0.875 的整体板,理论计算方法计算误差较小,可采用整体板法近似计算。

3) 宽跨比大于 0.875 的整体板,跨中截面采用修正后的整体板法及修正后的刚接板法计算横向分布。对于设置人行道,车辆靠近桥梁中心线对称布载的整体板桥,先用整体板法计算内力,然后在此计算结果上乘以 1.3 的内力增大系数,对于宽跨比大于 1.375 的板桥,可以适当增大系数;对于未设置人行道,车辆靠近桥梁板边缘布载的整体板桥,取  $n=10$  用刚接板法计算最边板内力,并乘以 1.05 的内力增大系数。

参考文献:

[1] 杜龙义. 整体式钢筋混凝土简支板桥承载能力研究 [D]. 天津: 河北工业大学建筑与土木工程系, 2007.

[2] 李国豪, 石 洞. 公路桥梁荷载横向分布计算 [M]. (2 版). 北京: 人民交通出版社, 1987.

[3] 贺栓海, 谢仁物. 公路桥梁荷载横向分布计算方法 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1996.

[4] 李 围, 刘春山. ANSYS 土木工程应用实例 [M]. (2 版). 北京: 中国水利水电出版社, 2006.

[5] 邢静忠. ANSYS 应用实例与分析 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.

[6] 林阳子, 黄 侨. 再议梁板桥横向分布及其在加固中的问题 [J]. 公路交通科技, 2008, 25(8): 82-86.

[7] JTG D 60—2004 公路桥涵设计通用规范 [S].

[8] 范立础, 徐光辉. 桥梁工程: 上册 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.