

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2015.S0.028

# 不同方法计算肋梁结构中次梁内力的误差分析

曾 静, 周 畅, 唐 盼, 傅剑平

(重庆大学 土木工程学院, 重庆 400041)

**摘 要:**改变主、次梁线刚度比和荷载大小等参数,采用简化手动计算方法与采用 ABAQUS 有限元软件对钢筋混凝土单向板肋梁结构中的次梁在最不利荷载布置下进行弹性内力计算,得到两种计算方法的次梁内力误差。理论分析和实验结果表明:主梁的挠度和对次梁的转动约束是产生误差的主要原因;误差随主次梁线刚度比及次梁所受永久荷载可变荷载之比呈单调变化;某些截面误差超过 5%,不可忽略,就此提出次梁内力局部调整系数表,使简化手工计算结果比较符合有限元软件分析的次梁内力值。

**关键词:**肋梁结构;弹性;有限元;计算方法;内力;误差

**中图分类号:**TU3 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2015)S0-0144-06

## Error analysis about beam internal force calculated by different methods in rib structure

Zeng Jing, Zhou Chang, Tang Pan, Fu Jianping

(College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400041)

**Abstract:**Error exists between the internal forces from manual calculation and that from simulation by ABAQUS. By changing line stiffness ratio of girder to beam and magnitude of load, it analyzes how girder's deflection and its constraint to secondary's rotation effect the error which is not considered in manual calculation. Also it concludes the facts that the error can't be ignored since that it may be up to 40%, far larger than the maximum error-5% permitted in engineering. So, it proposed a coefficient table to correct internal forces of beam from manual calculation to promote the safety and economy of structure design.

**Key words:**rib structure; elasticity; finite element; computing method; internal force; error

主次梁楼盖体系是目前工程中最常见的一种承受竖向荷载的结构体系。工程中,当采用简化计算方法计算这类楼盖结构中的内力时,通常都是将次梁作为板、和主梁作为次梁的不能发生竖向位移只能发生转动的连续铰支座,作用在板上的竖向荷载传递到相邻的次梁上,次梁再将荷载传递到主梁上,然后分别将主梁、次梁以及板作为各自独立的单根连续梁进行内力计算。工程中另一种采用比较符合肋梁楼盖实际受力情况的方法是利用结构受力分析

软件,将肋梁结构作为承受竖向荷载的平面受力结构来进行内力分析。根据变形协调条件,在竖向荷载作用下,板与次梁相交部位,以及主梁与次梁相交部位都会产生竖向变形,导致支撑在次梁处的板以及支撑在主梁上的次梁部位会产生竖向沉降;此外由于次梁对板的变形、主梁对次梁的变形有一个约束作用,这样导致按照上述两种方法计算出板的内力以及次梁的内力会有一定的误差。由于在实际工程中,梁板的相对几何尺寸是变化的,即次梁与板的

收稿日期:2015-03-15

基金项目:国家级大学生创新训练项目(201410611065)

作者简介:周畅(1994-),女,主要从事结构工程研究,(E-mail)769102768@qq.com。

傅剑平(联系人),男,教授,博士生导师,(E-mail)fjp@cqu.edu.cn。

相对刚度以及主梁与次梁的相对刚度是在一定范围内变化的,按照上述计算方法带来的误差大小也将随它们相对刚度的变化而有所差别。这种误差有多大,很有必要进行分析研究<sup>[1-6]</sup>。

本文将根据上述两种肋梁结构的内力计算方法,考虑主、次梁的相互作用,在材料弹性前提下,针对次梁所受的不同恒荷载与活荷载比值(以下简称荷载比)和不同的主、次梁线刚度比,研究上述两种结构内力计算方法对次梁控制截面内力的相对误差。软件进行的结构内力分析通过 ABAQUS 有限元程序进行。

1 研究概况

1.1 结构平面布置

分析所取用的平面结构布置<sup>[7-8]</sup>如图 1。梁板体系的四边支承在钢筋混凝土墙或砌体结构墙等竖向变形可以忽略的结构上,主梁间距  $L_1=6\text{ m}$ ,次梁间距  $L_2=2.1\text{ m}$ , $L_1/L_2>2.5$ ,为单向板。主梁、次梁的截面尺寸,相对线刚度比等参数详见表 1。

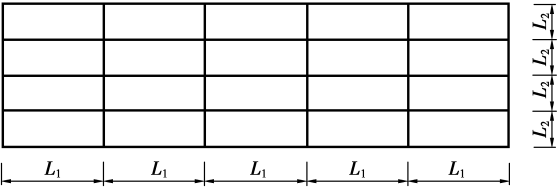


图 1 平面布置

表 1 参数设置

序号	主梁截面 尺寸/mm	次梁截面 尺寸/mm	主次梁 线刚度比
1	300×600	200×500	1.85
2	350×700	200×500	3.43
3	400×800	200×500	5.85
4	400×900	200×500	8.33
5	400×1000	200×500	11.43

1.2 结构加载

手工简化计算的次梁简化模型为 5 跨连续梁,对跨中及支座进行编号如图 2,按照工程设计方法,每一跨跨中的最不利弯矩以及每一支座的最不利剪力对应一种荷载布置,由最不利荷载布置规律可以得到本研究的荷载布置方式:第一、三跨跨中最不利弯矩对应的活荷载布置方式为一、三、五跨,第二跨跨中最不利弯矩对应的活荷载布置方式

为二、四跨,第三支座的最不利负弯矩及剪力对应的活荷载布置方式为二、三、五跨。ABAQUS 程序建立的模型中,每根次梁所对应的荷载相同。

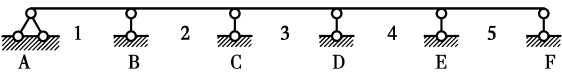


图 2 五跨连续梁

本次分析有五组永久荷载和可变荷载的比值  $g/q$ :2、1.6、1.2、1.0、0.8。

1.3 测试内容

- 1)跨中弯矩:一、二、三跨提取对应的活荷载不利布置方式下的弯矩;
- 2)支座剪力:B、C 支座提取对应的活荷载不利布置方式下的左右剪力。

2 误差分析

2.1 误差原因分析

根据手算时的简化假定可知,主梁的挠度和其对次梁转动约束的大小是导致次梁内力计算误差的直接原因。在手算中,有通过对次梁进行荷载折算来减小忽略主梁对次梁的转动约束所造成的误差的简化计算方法,即增大恒荷载、相应减小活荷载、保持总荷载不变。因此,在误差分析时分为两个部分,一部分是荷载折算方法的精确度,一部分是主梁的挠度。由于主梁的挠度不能以变量的形式作为参数进行研究,考虑到主梁的挠度与其抗弯刚度有关,并且梁的高宽比在工程设计常用范围内,认为主梁的抗弯刚度增大,它的抗扭刚度也增大,所以以主次梁线刚度比这一可控制的间接变量作为参数进行研究。假定一组板上作用的恒载和活载值,换算到次梁上为  $g=10\ 969\text{ N/m}$ , $q=13\ 650\text{ N/m}$ ,以是否限制主梁挠度和是否进行荷载折算为条件,分别研究在这两个原因的影响下,次梁各控制截面内力相对误差随主次梁线刚度比增大的变化规律,并简要分析原因。

2.1.1 荷载折算方法的精确度 手算(折算荷载)与 ABAQUS 中限制主梁挠度的内力结果比较,两种情况都不考虑主梁的挠度,因而相对误差产生的原因就是折算荷载方法的精确度大小。如图 3,其中 Bl、Br、Cl、Cr 分别为 B、C 支座左右截面剪力相对误差,1、2、3 分别为第一、二、三跨跨中弯矩相对误

差(下同)。

各截面内力相对误差曲线均随主次梁线刚度比增大而单调递减。

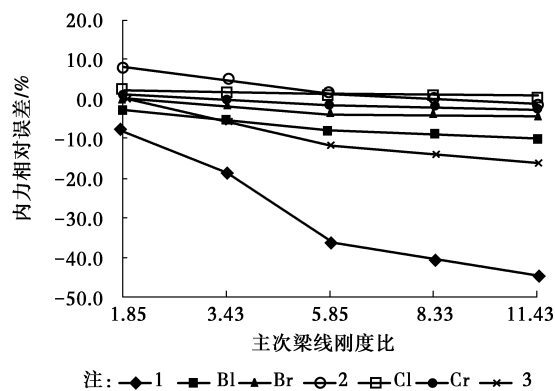


图 3 荷载折算方法引起的相对误差

第一跨跨中弯矩相对误差全为负，且绝对值随主次梁线刚度比增大而增大，说明手算结果偏大。因为主梁对次梁的转动约束越来越大，使得第二支座转角越来越小，导致实际支座负弯矩增大而第一跨跨中弯矩减小，而折算荷载对该跨弯矩折减相对较少。最大误差超过 40%，说明对于该跨内力来说荷载折算太少，手算结果过于安全。第三跨跨中弯矩相对误差都为负，变化趋势与第一跨相同，但变化幅度比第一跨小，因为第三跨受左右主梁抗转动约束共同作用，使得两端支座负弯矩都增大，跨中弯矩减小更多，但由于活载对第三跨跨中弯矩的内力系数接近恒载的两倍，所以荷载折算程度较高，使荷载折算后误差较小。

折算之后支座剪力的相对误差较小，说明折算方法对于支座剪力来说较准确。

2.1.2 主梁挠度的影响 ABAQUS 中不限制和限制主梁挠度的内力结果相对误差为忽略主梁挠度引起的，如图 4。

次梁第一、二跨跨中弯矩相对误差值全部为正，表明电算不限制挠度时次梁第一、二跨跨中弯矩偏大，因为支座下挠使次梁第一、二跨跨中弯矩增大，手算结果偏危险。

次梁第三跨跨中弯矩相对误差值全部为负，表明电算不限制挠度时次梁第三跨跨中弯矩偏小，即考虑挠度后第三跨跨中弯矩减小。因为不限制挠度时，次梁中间两个支座挠度都相等，挠度对作用在第三跨的荷载引起的跨中弯矩没有影响，但主梁的挠度使得两边跨的跨中弯矩增大，从而叠加到第三跨的跨中弯矩减小。所以挠度并不是让每跨跨中弯矩

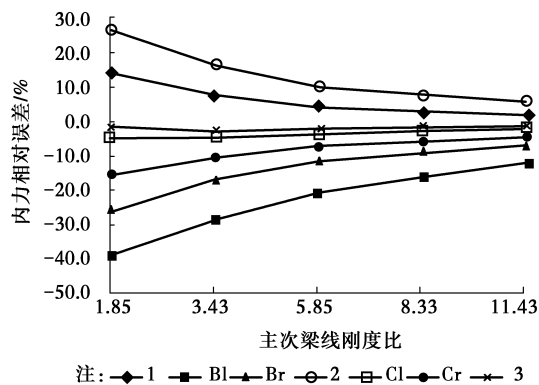


图 4 主梁挠度引起的相对误差

都增大。

支座剪力相对误差值全部为负，表明电算不限制挠度时次梁 B、C 支座左、右截面剪力均偏小，实际工程中手算的 B 支座剪力比实际情况偏安全。

所有控制截面相对误差绝对值随着主次梁线刚度比的增大而减小；随线刚度比增大，主梁的挠度减小，不限制挠度的空间模型越来越接近限制挠度的情况。

2.1.3 弹性计算方法的相对误差 手算(折算荷载)与 ABAQUS 中不限制主梁挠度的内力结果比较，所得的相对误差即为工程弹性计算方法与实际情况下内力的相对误差，如图 5。

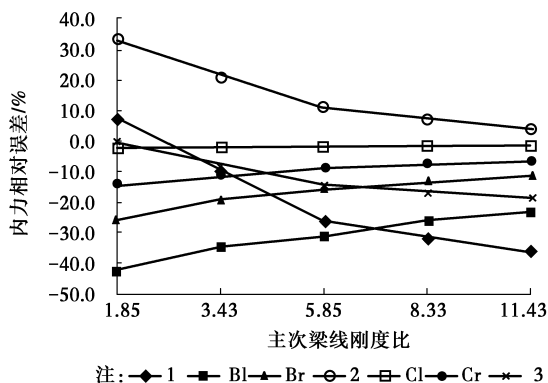


图 5 弹性计算方法的相对误差

次梁第一、三跨跨中弯矩相对误差基本全为负，表示手算结果偏安全；次梁第二跨跨中弯矩相对误差基本全为正，表示手算结果偏危险；跨中弯矩的相对误差随线刚度比的增大而减小，线刚度比增大，即主梁刚度增大，则主梁挠度越小，电算结果越小。第二跨的电算结果始终比手算结果大，因此相对误差随线刚度比的增大而减小。第一、三跨的电算结果始终比手算结果小，因此相对误差的绝对值随线刚度比的增大而增大。

支座剪力的相对误差基本全为负,表示手算结果偏安全;支座剪力的相对误差的绝对值随线刚度比的增大而减小,即主次梁线刚度比越大,手算结果与电算结果越接近。

其中第三支座左侧剪力  $C_1$  相对误差基本为零,表示手算结果较准确。

## 2.2 影响因素分析

在工程结构中,主梁的挠度和其对次梁转动约束的大小还与次梁所承受的荷载大小有关,为了定量分析误差,以荷载大小为又一变量进行试验,改变几组不同的恒荷载和活荷载,分析误差规律。

从各截面内力相对误差变化的情况来看,发现

误差随次梁受到的恒载  $g$  和活载  $q$  的比值有规律地变化,当  $g$  和  $q$  各自改变,但保持比值不变,以及主次梁线刚度比等其他条件不变,空间模型下的次梁各截面内力与手算结果的相对误差都相同。为了让研究所得到的相对误差更具有普适性,我们便设置了五组次梁的  $g/q$  值,即 2、1.6、1.2、1.0、0.8,结合主次梁线刚度比这一变量,分别作出了跨中弯矩及支座剪力的相对误差随  $g/q$  值和主次梁线刚度比  $i_1/i_2$  值变化的折线图,每条线代表一种  $g/q$  比值情况,如图 6( $C_1$  截面剪力相对误差均小于 5%,可忽略,不作为研究对象):

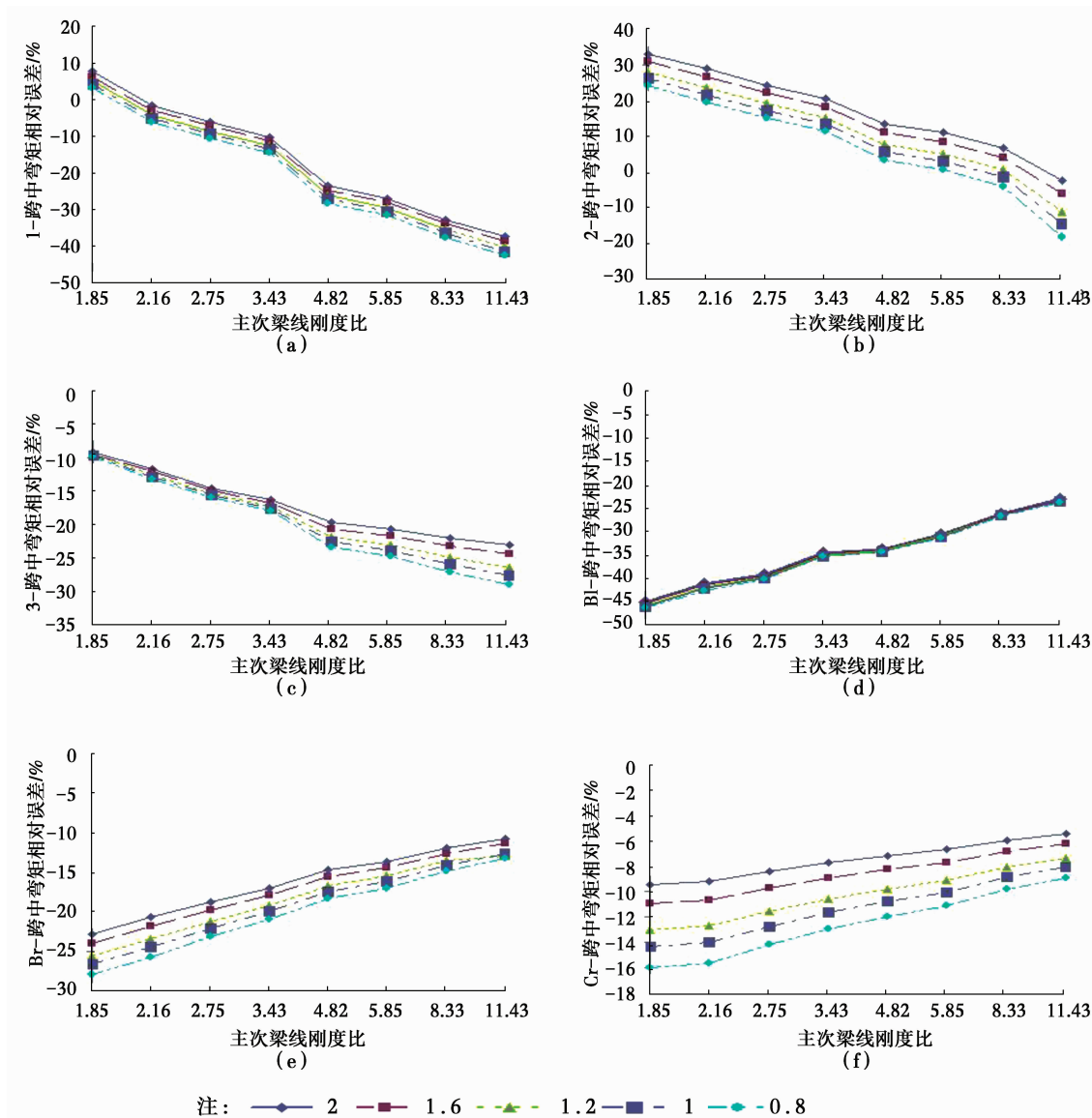


图 6 弹性计算方法的相对误差

3 内力局部调整系数

上述研究结果显示,次梁跨中弯矩和支座截面剪力相对误差随主次梁线刚度比  $i_1/i_2$  和所受恒荷载与活荷载之比  $g/q$  都有不同幅度的变化,最大误差超过 40%,说明工程中实际采用的弹性计算方法,即仅对主梁抗扭刚度影响进行荷载折算,且完全忽略主梁挠度对次梁受力的影响,并不适用于所有

的梁板体系,这样计算得到的结果很不精确。根据 7 组主次梁线刚度比和 5 组次梁恒载活载比变量确定的各截面内力相对误差,提出了次梁内力调整系数(表 2~7),用结构力学方法求得的、在活载最不利布置情况下次梁各截面的内力乘上所给的调整系数,则可得到与软件计算较符合的内力值,作为工程设计的参考。

表 2 次梁第一跨跨中弯矩调整系数

$g/q$	$i_1/i_2$							
	1.85	2.16	2.75	3.43	4.82	5.85	8.33	11.43
2.0	1.09	0.98	0.94	0.91	0.83	0.79	0.75	0.73
1.6	1.07	0.97	0.93	0.90	0.82	0.78	0.75	0.72
1.2	1.06	0.96	0.92	0.89	0.81	0.77	0.74	0.71
1.0	1.05	0.95	0.91	0.88	0.81	0.77	0.73	0.71
0.8	1.03	0.94	0.90	0.87	0.80	0.76	0.73	0.70

表 3 次梁第二跨跨中弯矩调整系数

$g/q$	$i_1/i_2$							
	1.85	2.16	2.75	3.43	4.82	5.85	8.33	11.43
2	1.50	1.41	1.32	1.26	1.17	1.12	1.07	0.98
1.6	1.45	1.36	1.29	1.22	1.14	1.09	1.04	0.94
1.2	1.39	1.31	1.24	1.18	1.10	1.05	1.01	0.90
1	1.36	1.28	1.21	1.16	1.07	1.03	0.98	0.87
0.8	1.32	1.24	1.18	1.13	1.05	1.00	0.96	0.84

表 4 次梁第三跨跨中弯矩调整系数

$g/q$	$i_1/i_2$							
	1.85	2.16	2.75	3.43	4.82	5.85	8.33	11.43
2	0.92	0.90	0.87	0.86	0.84	0.83	0.82	0.81
1.6	0.91	0.89	0.87	0.86	0.84	0.82	0.81	0.80
1.2	0.91	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81	0.80	0.79
1	0.91	0.89	0.86	0.85	0.82	0.81	0.79	0.78
0.8	0.91	0.88	0.86	0.85	0.82	0.80	0.79	0.77

表 5 次梁第二支座左截面剪力调整系数

$g/q$	$i_1/i_2$							
	1.85	2.16	2.75	3.43	4.82	5.85	8.33	11.43
2	0.69	0.71	0.72	0.74	0.75	0.77	0.79	0.81
1.6	0.69	0.70	0.72	0.74	0.75	0.76	0.79	0.81
1.2	0.69	0.70	0.72	0.74	0.75	0.76	0.79	0.81
1	0.68	0.70	0.71	0.74	0.74	0.76	0.79	0.81
0.8	0.68	0.70	0.71	0.74	0.74	0.76	0.79	0.81

表 6 次梁第二支座右截面剪力调整系数

$g/q$	$i_1/i_2$							
	1.85	2.16	2.75	3.43	4.82	5.85	8.33	11.43
2	0.81	0.83	0.84	0.85	0.87	0.88	0.89	0.90
1.6	0.81	0.82	0.83	0.85	0.87	0.87	0.89	0.90
1.2	0.80	0.81	0.82	0.84	0.86	0.87	0.88	0.89
1	0.79	0.80	0.82	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89
0.8	0.78	0.79	0.81	0.83	0.84	0.85	0.87	0.88

表 7 次梁第三支座右截面剪力调整系数

$g/q$	$i_1/i_2$							
	1.85	2.16	2.75	3.43	4.82	5.85	8.33	11.43
2	0.91	0.92	0.92	0.93	0.93	0.94	0.94	0.95
1.6	0.90	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.94	0.94
1.2	0.88	0.89	0.90	0.90	0.91	0.92	0.93	0.93
1	0.87	0.88	0.89	0.90	0.90	0.91	0.92	0.93
0.8	0.86	0.86	0.88	0.89	0.89	0.90	0.91	0.92

4 结 语

1)手算时所采用的荷载折算方法和不考虑挠度使得次梁相应截面的内力产生较大偏差,某些截面上的内力相对误差值超过 40%,因此计算次梁内力时有必要考虑主次梁的相互作用。

2)经研究表明,次梁截面内力相对误差随主次梁线刚度比及次梁所受到的恒荷载与活荷载的比值而有规律地变化,因此本文就工程上常用的几种荷载比与主次梁线刚度比,提出了具体的次梁内力局部修正系数。

3)本研究基于材料弹性的假设,因此可以假设材料弹塑性进行进一步的研究。

参考文献:

[1] 陈天愚,张克绪,胡庆立. 修正刚度矩阵法求解弹性地

基梁板体系[J]. 哈尔滨建筑大学学报,2001(3).

[2] 王铁红,孙飞,王雪飞. 钢筋混凝土边梁抗扭设计探讨[J]. 化工设计,2010,20(1).

[3] 王志远,魏琰,蓝宗建. 考虑钢筋混凝土梁板结构相互作用时楼板合理设计方法的研究[J]. 建筑结构,2003(9).

[4] 郭建华,陈东海. 梁板相对刚度对现浇板弯矩影响的修正研究[J],华中科技大学学报:城市科学版,2007(1).

[5] 李平昌,白绍良,王志军. 现浇钢筋混凝土楼盖模型边主梁受扭的弹性有限元分析[J]. 建筑结构,2002(8).

[6] 王素裹. 正交梁刚度对板筋参与梁端抗弯能力的影响研究[J]. 地震工程与工程振动,2014(2):58-63.

[7] GB 50010—2010 混凝土结构设计规范[S].

[8] GB 50009—2012 建筑结构荷载规范[S].

(编辑 王秀玲)