

# 轴向拉力作用下钢框架与混凝土核心筒之间 钢梁传力系数实用计算方法\*

题目:二号宋体。上标\*表示有基金项目资助。

作者姓名:小四仿宋。上标1,.....表示单位的序号。

李国强<sup>1,2</sup>, 李亮<sup>2</sup>, 李武波<sup>2</sup>

(1 同济大学土木工程防灾国家重点实验室,上海 200092;2 同济大学建筑工程系,上海 200092)

单位名称:五号宋体。单位全称,所在市、邮编,单位前加上序号。

[摘要] 在水平荷载作用下,钢框架以剪切变形为主,混凝土核心筒以弯曲变形为主,楼板和钢梁构成的组合梁将钢框架和核心筒连接起来迫使它们协同工作,在组合梁内将产生反复轴力作用。利用有限元软件 ANSYS 对选取的可能影响钢梁和楼板拉力-配关系的6个参数进行分析,并对分析结果进行拟合,得到了钢梁传力系数的实用计算公式,经与有限元计算结果对比,证明该公式计算结果略偏于安全,对大多数工程可满足工程精度要求。

摘要、关键词:小五,除[摘要],[关键词]五字为黑体,其余均为宋体。

[关键词] 剪切变形;混凝土核心筒;组合梁;反复轴力

中图分类号:TU398.7 文献标识码:A 文章编号:1002-848X(2010)03-0091-03

Practical calculation method research on axial tensile force transfer coefficient

of steel beams at joints connecting steel frame and concrete core tube

作者姓名拼音:小五Times New Roman。姓、名间用空格分开,首字母大写。上标同中文部分。

Li Guoqiang<sup>1,2</sup>, Li Liang<sup>2</sup>, Li Wubo<sup>2</sup>

英文题目:小五Times New Roman,加粗。

Key Laboratory for Disaster Mitigation in Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2 Department of Building Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

单位英文名称:小五Times New Roman。

**Abstract** Under the lateral force, the main deformation of steel frame is shear deformation, and the main deformation of concrete core tube is bending deformation. The steel frame and core tube are connected by composite beams to work together, and repeated axial forces would be created within the composite beams. Analyses are performed to research six selected parameters which may effect the axial tensile force transfer coefficient of steel beams at joints connecting steel frame and concrete core tube by ANSYS. The comparisons between the results of practical calculation formulas and finite element analysis are made to show that the results of the practical calculation formulas are lean to security, and could meet the requirements of engineering precision for most projects.

**Keywords** shear deformation; concrete core tube; composite beam; repeated axial force

二级标题:五号黑体。二级标题题号:1.1, 1.2, ...。

## 0 概述

一级标题:五号黑体。若有引言或概述题号从0开始。

钢框架-混凝土核心筒混合结构是由钢框架与混凝土核心筒组成的共同承受竖向和水平作用的高层建筑结构。钢框架强度高、自重轻、构件截面小、楼面跨度大,主要用于承受竖向荷载;混凝土核心筒造价低、侧向刚度大,主要用于承受风和地震等水平作用<sup>[1,2]</sup>。

在水平荷载作用下,钢框架与混凝土核心筒之间通过钢梁和楼板构成的组合梁在钢梁标高处协同变形,其变形和受力性能具有以下特点:1)钢框架以剪切变形为主,其层间位移角自上而下逐渐增大,底部达到最大;混凝土核心筒以弯曲变形为主,其层间侧移角是自下而上逐渐增大,顶部达到最大。2)钢梁和楼板构成的组合梁在各层标高处将钢框架和核心筒连接起来,迫使两部分协同工作,整体呈弯剪变形,组合梁不仅承受剪力和弯矩作用,同时还承受轴力作用。

图1为在水平地震作用下,某钢框架-混凝土核心筒混合结构梁中轴力引起钢梁与混凝土核心筒连接处混凝土严重脱落。

## 1 研究现状

### 1.1 轴力计算公式

同济大学对地震作用下混合结构中连接钢框架与混凝土核心筒的梁承受的轴力进行了分析,提出结构在水平荷载作用下层*i*中组合梁*k*承受轴力为<sup>[3]</sup>。在反复轴力作用下脱落



照片图要求清晰,请用嵌入式!

图名:小五号宋体,居中。图号采用1, 2, ...。

$$N_{Bik} = N_{Bi} \cdot \sum_{j=1}^i D_j / \sum_{j=1}^m D_j \quad (1)$$

式中: $\sum_{j=1}^m D_j$ 为层*i*中所有柱抗侧刚度之和; $\sum_{j=1}^i D_j$ 为层*i*中在组合梁*k*轴线上并与其相连一侧所有柱抗侧刚度之和; $N_{Bi}$ 为组合梁中的总轴力,当*i* < *n*/5时

公式:变量符号用斜体,下角标一般采用正体(字母1为了同数字1区分采用斜体),如明确为变量也采用斜体,如式(1)中的*i*,*j*用斜体。

$$N_{Bi} = 6\alpha_1 mH \cdot \frac{1 + (\lambda/n)^2}{n(1 + 10/\lambda^2)}$$

\*国家自然科学基金创新研究群项目(50621062),国家科技支撑计划项目(2006BAJ01B02)。作者简介:李国强,教授,博导,Email:qqli@tongji.edu.cn。

正文:五号宋体,段前缩进2个字符。

参考文献:按照顺序在文中相应位置标出。

符号说明:对公式中提到的变量符号应在文中添加定义。

图引用:出现的图在文中都应该引用,可采用:如图1所示,见图1,图1为...,等。一般情况下,图引用在前,图在后。

基金及作者简介:基金前加“\*”表示,在括号内添加基金编号。作者简介包括:姓名,学历,学位,职称,Email等。

公式编号采用(1), (2), .....。在文中引用采用:式(1)

如果图比较小,可以考虑两张图并排。

当  $i \geq n/5$  时:

$$N_{Bi} = 2\alpha_1 mH \left[ \frac{\lambda^2}{6n} \frac{4 + \lambda^2}{2 + \lambda^2} \left( 1 + \frac{\lambda^2}{50} \right) - 0.0471 \frac{\lambda^3}{n} \right] \quad (3)$$

式中:  $\alpha_1$  为相当于结构的基本周期时的地震影响系数;  $m$  为结构单位高度上的质量;  $H$  为结构的总高度;  $\lambda$  为结构刚度特征值,  $\lambda = H \sqrt{C_F/EI_w}$ ,  $C_F$  为钢框架各层抗侧刚度的平均值,  $EI_w$  为核心筒所有剪力墙的平均总抗弯刚度;  $n$  为结构的层数。

### 1.2 节点受力性能

组合梁由钢梁和钢筋混凝土翼板通过抗剪连接件组合而成,能整体受力<sup>[4]</sup>。钢梁与混凝土核心筒的连接常采用铰接以减小因钢框架和混凝土核心筒的竖向差异变形而产生的附加内力效应<sup>[5]</sup>。楼板和混凝土墙体之间通过预埋在混凝土墙中的锚固钢筋连接,见图2。

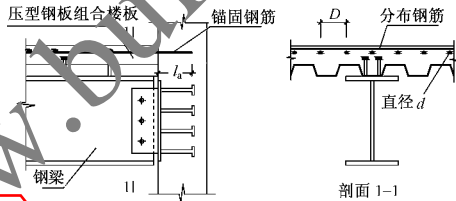


图2 组合梁与混凝土核心筒铰接节点

显然,组合梁中的轴力一部分由钢梁与混凝土核心筒的连接承受,另一部分由混凝土楼板与混凝土核心筒间的钢筋承受。为了确定组合梁中钢梁与混凝土核心筒连接节点的受力,定义钢梁传力系数  $\eta$  为组合梁中钢梁传递轴力  $F_s$  与组合梁中总轴力  $F$  的比值:

$$\eta = F_s/F \quad (4)$$

## 2 有限元分析

### 2.1 基本假设

影响钢梁传力系数的因素较多,为了简化分析,采取以下假定:1)结构处于弹性阶段;2)不考虑楼板与钢梁之间的滑移。

不分段时,序号用1).....;2).....;.....。

### 2.2 参数选取

根据组合梁和混凝土核心筒连接节点的受力性能,选取6个可能对钢梁传力系数有影响的参数(图3):锚筋直径  $d$ ;锚筋间距  $D$ ;混凝土核心筒计算宽度  $b_w$  (面外侧墙之间距离);混凝土墙体厚宽比  $t_w/b_w$ ;钢梁位置  $s_w/b_w$  ( $s_w$  为钢梁距面外侧墙的距离);截面因子  $r$ , 其为钢梁截面刚度与混凝土楼板截面刚度的比值:

$$r = E_s A_s / E_c A_c \quad (5)$$

$$A_c = h_c b_w \quad (6)$$

式中:  $A_s$  为钢梁截面面积;  $E_s$  为钢材弹性模量;  $E_c$  为混凝土弹性模量;  $A_c$  为混凝土楼板等效面积;  $h_c$  为混凝土楼板的计算厚度,对无压型钢板的现浇混凝土楼

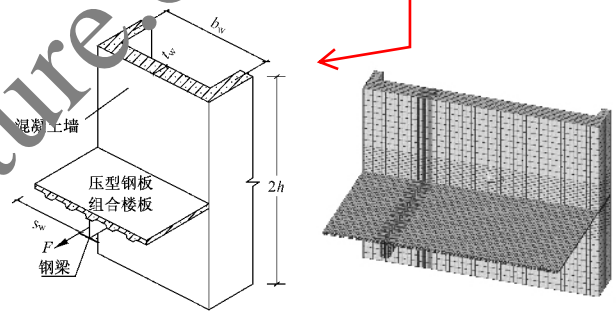


图3 节点图

图4 节点的有限元模型

板取楼板厚度  $h_0$ ,对有压型钢板的现浇混凝土楼板,压型钢板板肋平行于钢梁布置,取压型钢板顶面以上混凝土厚度加上压型钢板板肋高度的一半,若板肋垂直于钢梁布置,则不考虑板肋高度。

### 2.3 有限元模型

利用有限元软件 ANSYS 对组合梁与混凝土核心筒连接节点处的钢梁传力系数进行研究。采用 Solid65 实体单元模拟钢筋混凝土楼板和钢筋混凝土核心筒,采用具有塑性、徐变、大挠度、大应变能力的 Shell181 单元来模拟钢梁、压型钢板,图4为单元划分后的节点有限元模型。

模型界面的介绍:1)钢梁与混凝土板之间为完全抗剪连接,不考虑滑移,直接粘结在一起;2)混凝土板与混凝土核心筒之间连接采用 Combin39 非线性弹簧单元模拟,弹簧单元的力-变形曲线可根据锚固钢筋的直径、锚固长度以及混凝土楼板的强度等级建立;3)钢梁与混凝土核心筒的连接也采用 Combin39 非线性弹簧单元模拟,弹簧刚度根据连接板和螺栓等建立。

确定弹簧单元的抗拉刚度时,其计算长度的选取是一个关键问题。目前,研究人员提出了一些不同的计算公式,但差别不大<sup>[5]</sup>。文中取钢筋计算长度为锚固长度的一半,根据功能原理,可得到楼板与混凝土核心筒之间连接弹簧单元的刚度为:

$$k = 2E_s A_0 / l_a \quad (7)$$

$$l_a = \alpha f_y / f_c \quad (8)$$

式中:  $A_0$  为锚固钢筋截面面积;  $l_a$  为钢筋的锚固长度;  $f_y$ ,  $d$  分别为锚固钢筋的强度设计值和直径;  $f_c$  为混凝土的抗拉强度设计值;  $\alpha$  为钢筋的外形系数,光面钢筋为 0.16,带肋钢筋为 0.14。

### 2.4 参数分析

利用有限元软件 ANSYS 分别研究了各种参数对钢梁传力系数  $\eta$  的影响,见图5。由图5(a)可知,改变锚筋直径  $d$  对  $\eta$  的影响很小,可以忽略。由图5(b)可知,  $\eta$  随着锚筋间距  $D$  的增大而增大,影响较为显著;分析认为,随着  $D$  的增大,楼板和混凝土核心筒之间

的连接逐渐减弱,同时,随着混凝土核心筒壁厚  $t_w$  的增加,钢梁传力系数  $\eta$  增大。由图 5(c)可知,钢梁传力系数随着核心筒厚宽比  $t_w/b_w$  增大而逐渐增大,但增大趋势会逐渐减弱。由图 5(d)可知,钢梁传力系数随着钢梁位置  $s_w/b_w$  减小而增大,且增大趋势逐渐增强。由图 5(e)可知,随着混凝土核心筒宽度的增大,钢梁传力系数逐渐增大,但影响不显著。由图 5(f)可知,钢梁传力系数随着截面因子的增大而增加,且影响较为显著。

于是,钢梁传力系数的实用计算公式:

$$\eta = \frac{1}{3} \times \left( \frac{D}{150} + \dots \right)$$

式中  $k, \beta$  分别为斜率和截距

表题:小五号黑体,右对齐。表字和表注:六号宋体。表号采用 1, 2, ...。表尽量排半栏。删除同项目的横线。

斜率  $k$  和截距  $\beta$

表 1

$s_w/b_w$	$k$				$\beta$			
	$b_w/m$				$t_w/b_w$			
	4	6	8	12	2/40	3/40	4/40	5/40
0	0.841	1.006	1.089	1.210	0.288	0.240	0.216	0.197
1/6	0.716	0.638	0.846	0.987	0.090	0.070	0.085	0.083
1/3	0.443	0.529	0.664	0.940	0.022	0.026	0.055	0.082
1/2	0.215	0.423	0.712	1.238	0.025	0.028	0.065	0.083

#### 4 有限元验证

为了验证参数拟合得到的实用公式(13)的可靠性,文中选取 7 个节点模型,将实用公式计算结果与 ANSYS 计算结果进行对比,见表 2。由表可知:1)实用公式计算结果略大于有限元分析结果,利用该公式对钢梁节点进行设计是偏于安全的;2)参数  $s_w/b_w$  对实用公式的误差影响非常显著,但误差大多在 10% 以内,满足工程精度要求。

实用公式与有限元计算结果对比

表 2

模型	$d/mm$	$D/mm$	$r$	$s_w/b_w$	$t_w/mm$	$b_w/mm$	$k$	$\beta$	$\eta_{公式}$	$\eta_{有限元}$	误差/%
2	8	150	0.230	0	800	8000	1.089	0.216	0.466	0.459	1.53
3	8	150	0.300	0	400	8000	1.089	0.288	0.615	0.604	1.82
4	12	100	0.470	1/2	500	4000	0.215	0.083	0.184	0.181	1.66
5	10	150	0.198	1/4	700	8000	0.755	0.059	0.208	0.189	10.1
6	10	150	0.100	1/6	300	6000	0.638	0.090	0.154	0.133	15.9
7	10	150	0.120	1/12	600	9000	0.878	0.166	0.271	0.229	18.3

#### 5 结语

利用有限元方法对可能影响联系钢框架与混凝土核心筒的钢梁和楼板之间轴力分配关系的 6 个参数进行分析,并对分析结果进行拟合,得到了钢梁传力系数实用计算公式。与有限元结果的对比表明,文中提出的钢梁传力系数公式计算结果略偏工程可满足工程精度要求,可用于混凝土核心筒间连接节点的设计。

#### 参考文献

[1] 李国强,周昊冬,周向明. 高层钢-混凝土混合结构抗震性能分析[J]. 建筑结构学报, 2003, 24(1): 40-45.

[2] 李国强,曲冰,孙飞飞. 高层建筑混合结构钢梁与混凝土墙节点低周反复加载试验研究[J]. 建筑结构学报, 2003, 24(4): 1-7.

[3] DG/T 98—15—2004 高层建筑钢-混凝土混合结构设计规程[S]. 上海, 2004.

[4] JG 13—2002 高层建筑混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.

[5] LI GUOQIANG, QU BING, SUN FEIFEI, et al. Experimental research on steel beam to concrete wall joints under cyclic loading[J]. International Journal of Steel Structure, 2003, 3(1): 1-7.

参考文献这四个字小五号黑体。下面是小五号宋体。按文内出现的先后次序编号,在文内相应引用位置注明序号。参考文献只要引用在文章必须标注出来。

#### 3 实用计算公式拟合

选取了可能影响钢梁传力系数的 6 个参数,拟合得到的钢梁传力系数可表示为这 6 个参数的函数,即:

$$\eta = f(d, D, r, s_w/b_w, t_w/b_w, b_w) \quad (9)$$

将反映楼板与混凝土核心筒连接性能的参数  $d, D$  用单独的函数表示,由于锚筋直径  $d$  对钢梁传力系数的影响可以忽略,因此上式可表示为:

$$\eta = f_1(D) \times f_2(r, s_w/b_w, t_w/b_w, b_w)$$

下面利用有限元分析结果,拟合

(1) 如图 5(b)所示,钢梁传力系数随锚筋间距  $D$  呈线性变化。对分析结果进行线性拟合,得到锚筋间距对钢梁传力系数的影响函数为

$$f_1(D) = (D/150)$$

(2) 根据图 5(c)~(f)所示有限元分析结果,拟合得到的钢梁传力系数可表示为截面因子  $r$  的一次函数,即  $r$  趋近于 0 时,  $\eta$  不等于 0。对参数进行纵轴截距不等于 0 的线性拟合,得到剩余参数对钢梁传力系数的影响函数为:

$$f_2(r, s_w/b_w, t_w/b_w, b_w) = kr + \beta \quad (12)$$

期刊类:作者.题目[J].期刊名称,年,卷(期):页码。

规范类:规范编号 规范名称[S].出版地:出版社,出版时间。

其他:图书类:编者名称.书名[M].版本.出版地:出版社,出版时间。

英文作者姓名全部大写,姓前名后,文献题目首字母大写,其余小写。

此图用excel或origin绘制,图中的线形或标记不能一样,要求能明显区分。

同一类型的图考虑合并为一张图,大图中的各小图用(a), (b).....来表示。

分段时,序号用(1).....;(2).....;.....

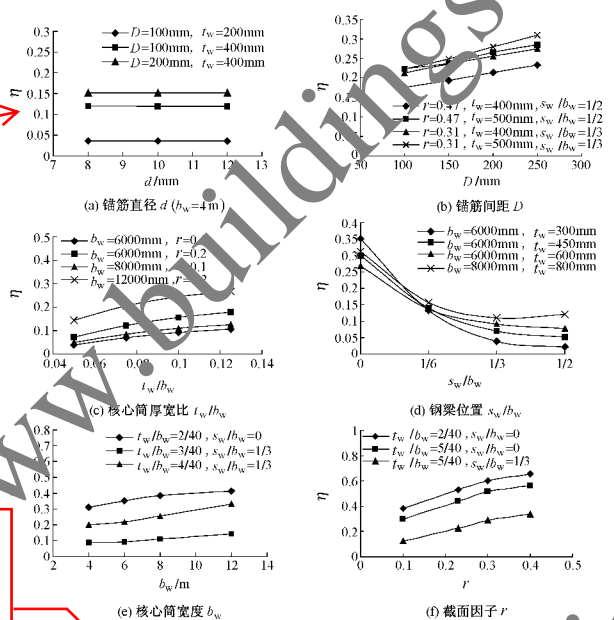


图 5 钢梁传力系数随各参数变化图