

文章编号:1673-9469(2010)02-0042-04

边梁扭矩对柱端弯矩增大系数的影响

宋金祥¹, 秦士洪², 李唐宁²

(1.广州市科城建筑设计有限公司, 广州 510000; 2.重庆大学, 重庆 400030)

摘要:通过两榀带边梁的大跨度预应力平板-异形柱整体结构试件以及两榀大跨度预应力次梁整体结构试件在低周反复水平荷载作用下的试验,对有较大边梁扭矩情况下的柱端弯矩增大系数进行了研究,初步探明了边梁扭矩对柱端弯矩增大系数的影响。

关键词:边梁; 扭矩; 柱端弯矩增大系数

中图分类号: TU311

文献标识码: A

Impact of beam torque to flexural strength ratio

SONG Jin-xiang¹, QIN Shi-hong², LI Tang-ning²

(1. Guangzhou Keycity Architecture Design CO., LTD, Guangdong Guangzhou 510000, China; 2. Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The flexural strength ratio under large beam torque was researched through the experiments of the prestressed long-span slab-special shaped column system and the prestressed long-span beam system, under the low-frequency cycle reversed cyclic loading. And the impact of beam torque to flexural strength ratio was preliminarily ascertained.

Key words: beam; torque; flexural strength ratio

我国的规范一般采用增大柱端弯矩设计值的方法来推迟柱端的屈服,但在抗震规范相关条文中没有考虑柱两侧与抗震验算方向垂直的相交梁的抗扭能力。这种“强柱弱梁”的要求对于普通框架节点而言是可行的,但对于带边梁的大跨度预应力平板-异形柱结构及大跨度预应力次梁结构而言,由于跨度较大,垂直于水平力方向的边梁传递给节点的扭矩不能忽略,它在节点左右梁端截面逆时针或顺时针方向组合的弯矩设计值之和中所占的比例较大,因此《规范》建议的“强柱弱梁”原则是否还适用,值得商榷。本文通过两榀带边梁的大跨度预应力平板-异形柱整体结构试件以及两榀大跨度预应力次梁整体结构试件在低周反复水平荷载作用下的试验,对有较大边梁扭矩情况下的柱端弯矩增大系数进行了研究,初步探明了边梁扭矩对柱端弯矩增大系数的影响。

1 柱端弯矩增大系数

从试验数据及现象来看,对于预应力平板-异形柱结构,受扭边梁出现大量受扭裂缝,钢筋应力已接近屈服应力,但还没有达到受扭极限承载能力;对于大跨度预应力次梁整体结构,结构以受扭边梁破坏作为试验的结束,已达到受扭极限承载能力。因此对这种大跨度结构体系而言,垂直于水平力方向的边梁的扭矩是比较大的,如果忽略其扭矩,有可能会使柱端组合的弯矩设计值略大于甚至小于梁端组合的弯矩、扭矩设计值,“强柱弱梁”机制有可能不会实现。

因此对有较大边梁扭矩情况下的大跨度结构,柱端组合的弯矩设计值应符合下式要求

$$\sum M_c = \eta_c (\sum M_b + \sum T_b) \quad (1)$$

一级框架结构及9度时尚应符合

$$\sum M_c = 1.2 (\sum M_{bua} + \sum M_{tua}) \quad (2)$$

式中 $\sum T_i$ - 节点左右与抗震验算方向垂直的相交梁端截面反时针或顺时针方向组合的扭矩设计值之和; $\sum T_{kna}$ - 节点左右与抗震验算方向垂直的相交梁端截面反时针或顺时针方向实配的正截面抗震受扭承载力所对应的扭矩值之和, 根据实配钢筋面积和材料强度标准值确定。

2 带边梁的预应力平板结构

2.1 M'_c 的计算

由于柱底全部采用铰接, 通过柱底水平传感器可以测出柱底水平反力 F , 该水平反力乘以柱高即得柱端实际弯矩 M'_c 。

2.2 M'_b 的计算

先按公式(3)、(4)划分柱上板带, 再根据板带内钢筋实测应变值, 按《规范》提供的计算纯弯构件的正截面承载力公式求得, 板带内预应力钢筋的贡献也必须考虑在内。所有钢筋及混凝土的材料特性均按实测值计算。

边等代框架

$$\begin{cases} b_z = 0.5C_y + 0.075l_y + 0.15 \sqrt[4]{D_{\Delta} l_{x边}/t} \\ \alpha = 0.5C_x/l_{x边} + 0.075l_y/l_{x边} + 0.15 \sqrt[4]{D_{\Delta}/t} \end{cases} \quad (3)$$

中等代框架

$$\begin{cases} b_z = 1.2C_y + 0.2l_y + 0.05 \sqrt[4]{D_{\Delta} l_{x中}/t} \\ \alpha = 1.2C_x/l_{x中} + 0.2l_y/l_{x中} + 0.05 \sqrt[4]{D_{\Delta}/t} \end{cases} \quad (4)$$

2.3 受扭边梁的翼缘宽度

我国《规范》认为受扭梁翼缘宽度可取 3 倍的板厚, 但这是从普通框架结构的受力性能出发的, 对大跨度预应力平板 - 异形柱(短肢墙)结构并不一定适用。从实验现象来看, 到极限状态时, 板上出现两条贯通的主裂缝, 其形状见图 1(右边的裂缝形状与左边完全对称。从图中可以看出, 中间“一”字形短肢剪力墙附近的裂缝是沿梁边开裂, 并且几乎与受扭梁平行。在角柱处, 裂缝从柱长肢处开始, 以大约呈 45° 的方向发展。通过以上分析, 对于大跨度平板 - 异形柱(短肢剪力墙)结构, 我个人认为受扭梁的翼缘宽度可以这样取值: “一”字形短肢剪力墙两侧的受扭梁梁端, 不考虑板的影响, 即按矩形截面计算; 异形柱两侧的受扭梁梁端的翼缘宽度 b 可按公式 5 计算。公式(5)是

按图 2 所示的相对关系推导的, 图中 H 即为异形柱两侧的受扭梁梁端的翼缘宽度。

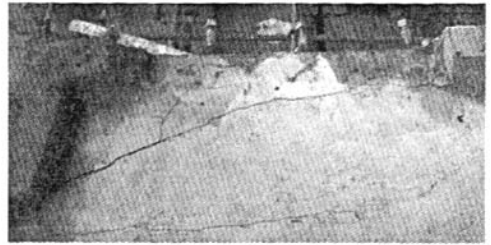


图1 极限荷载下板主裂缝形状

Fig.1 The shape of primary crack on the slab under utmost load

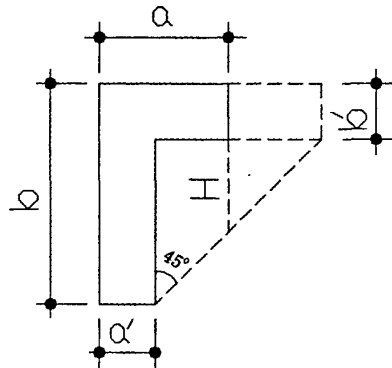


图2 翼缘宽度计算示意图

Fig.2 The diagrammatic sketch of calculating flange width

$$\begin{cases} b = (b - a) - (b' - a') & b > a \\ b = 0 & b \leq a \end{cases} \quad (5)$$

式中各参数的含义见图 3, 其中 b 、 b' 为垂直于受扭梁方向的尺寸; a 、 a' 为平行于受扭梁方向的尺寸, 所有截面均为异形柱截面。

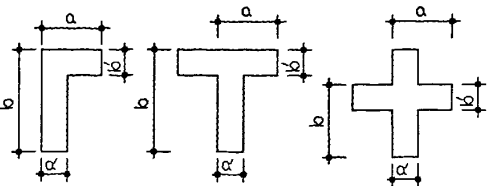


图3 式5各参数含义

Fig.3 The implication of each parameter about formula 5

2.4 边梁扭矩与柱端弯矩增大系数

实测的 M'_c 、 T'_b 、 M'_b 应有如下关系式

$$\sum M'_c = \sum M'_b + \sum T'_b \quad (6)$$

因为 T_b 是界于开裂扭矩和极限扭矩之间的中间状态,难以确定,求出 M_c^i 、 M_b^i 后按式(6)得出 T_b^i 。

根据上述求得的数值,可以得知 ΣM_b^i 与 ΣT_b^i 的比例关系,假定 $\Sigma T_b^i : \Sigma M_b^i = \alpha$,代入公式(1)可得

$$\Sigma M_c = (1 + \alpha) \eta_c \Sigma M_b \quad (7)$$

根据以上思路,求出各项数据,见表1。

3 大跨度预应力次梁楼盖结构体系

对于大跨度预应力次梁楼盖结构体系而言,本次完成的两榀大跨度预应力次梁楼盖结构体系抗震性能试验中,采用两种节点组合体方案:试件

一是预应力次梁和主梁分别在两个方向与框架柱整接;试件二是预应力次梁在一个方向仅与主梁整接,在另一个方向由主梁与框架柱整接,因此试件二中柱上无过柱子次梁,故本文不讨论试件二中柱柱端弯矩增大系数的修正。

整理试验数据(推荷载下三倍位移以内),三者之间的关系如下表,其中 M_c^1 由支座传感器值计算的实验柱端弯矩(kN.m); M_c^2 由钢筋应变反算的实验柱端弯矩(kN.m); M_b^i 由钢筋应变反算的实验过柱子次梁弯矩(kN.m); M_c^a 由规范计算的理论柱端弯矩(kN.m); T_b^1 、 T_b^2 为边主梁实验扭矩(kN.m),具体数值见表2-表6)。

表1 极限荷载作用下柱端弯矩、等代梁弯矩和边主梁扭矩对比关系

Tab.1 Comparison among the end-column-moment, the moment of equivalent and the torque of spandrel beam

角柱	M_c^i	M_b^i	$T_b^i = M_c^i - M_b^i$	T_b^i/M_b^i	T_σ	T_τ^1	T_τ^2
试件一	93.96	80.26	13.69	0.171	12.17	16.27	17.95
试件二	111.82	92.17	19.65	0.213	8.81	11.03	14.59
中柱	M_c^a	M_b^i	$T_b^i = (M_c^a - M_b^i)/2$	$2T_b^i/M_b^i$	T_σ	T_τ^1	T_τ^2
试件一	28.71	10.67	9.02	1.691	8.15	14.26	15.88
试件二	39.39	12.7	13.34	2.101	6.14	9.69	13.08

注:表中所有数值均按实测的材料性能求得,单位均为 kN.m,其中 T_σ 、 T_τ^1 是按我国规范求得, T_τ^2 按文献[3]求得。

表2 试件一边柱一实验柱端弯矩、过柱子次梁弯矩和边主梁扭矩值

Tab.2 The end-column-moment, the moment of secondary beam on column and the torque of spandrel beam of Specimen one in No.1 edge column experiment

位移倍数	M_c^1	M_c^2	M_b^i	M_c^a	$T_b^1 = M_c^1 - M_b^i$	$T_b^2 = M_c^2 - M_b^i$
$\Delta = 1$	151.68	117.41	73.76	160.40	77.92	43.65
$\Delta = 2$	192.80	171.21	106.29	160.40	91.91	64.92
$\Delta = 3$	184.81	169.95	121.88	160.40	62.93	48.07

表3 试件一中柱实验柱端弯矩、过柱子次梁弯矩和边主梁扭矩值

Tab.3 The end-column-moment, the moment of secondary beam on column and the torque of spandrel beam of Specimen one in mid-column experiment

位移倍数	M_c^1	M_c^2	M_b^i	M_c^a	$T_b^1 = M_c^1 - M_b^i$	$T_b^2 = M_c^2 - M_b^i$
$\Delta = 1$	182.80	120.86	76.58	160.40	106.22	44.28
$\Delta = 2$	195.55	181.79	121.88	160.40	73.67	59.91
$\Delta = 3$	215.41	202.9	121.88	160.40	93.53	81.02

表 4 试件一边柱二实验柱端弯矩、过柱子次梁弯矩和边主梁扭矩值

Tab.4 The end - column - moment, the moment of secondary beam on column and the torque of spandrel beam of Specimen one in No.2 edge column experiment

位移倍数	M_c^1	M_c^2	M_b^1	M_c^u	$T_b^1 = M_c^1 - M_b^1$	$T_b^2 = M_c^2 - M_b^1$
$\Delta = 1$	106.07	119.92	91.14	160.40	14.93	28.78
$\Delta = 2$	153.21	162.58	110.33	160.40	42.88	52.25
$\Delta = 3$	169.28	160.40	121.88	160.40	47.40	38.52

表 5 试件二边柱一实验柱端弯矩、过柱子次梁弯矩和边主梁扭矩值

Tab.5 The end - column - moment, the moment of secondary beam on column and the torque of spandrel beam of Specimen two in No.1 edge column experiment

位移倍数	M_c^1	M_c^2	M_b^1	M_c^u	$T_b^1 = M_c^1 - M_b^1$	$T_b^2 = M_c^2 - M_b^1$
$\Delta = 1$	131.30	143.83	108.83	162.73	22.47	35.00
$\Delta = 2$	196.63	190.06	124.57	162.73	72.06	65.49
$\Delta = 3$	195.00	185.62	135.10	162.73	59.90	50.52

表 6 试件二边柱二实验柱端弯矩、过柱子次梁弯矩和边主梁扭矩值

Tab.6 The end - column - moment, the moment of secondary beam on column and the torque of spandrel beam of Specimen two in No.2 edge column experiment

位移倍数	M_c^1	M_c^2	M_b^1	M_c^u	$T_b^1 = M_c^1 - M_b^1$	$T_b^2 = M_c^2 - M_b^1$
$\Delta = 1$	135.20	140.78	97.83	162.73	37.37	42.95
$\Delta = 2$	193.38	196.95	127.33	162.73	66.05	69.62
$\Delta = 3$	183.30	162.73	138.93	162.73	44.37	23.80

表 7 二倍位移时的计算

Tab.7 Calculating of on twice displacement

边柱一	T_c^1	T_c^2	M_b^1	$\alpha_1 = T_b^1 / M_b^1$	$\alpha_2 = T_b^2 / M_b^1$	T_{bu}^1	T_{bu}^2
试件一	91.91	64.92	106.29	0.86	0.61	58.29	59.48
试件二	72.06	65.49	124.57	0.58	0.53	54.22	56.96
边柱二	T_c^1	T_c^2	M_b^1	$\alpha_1 = T_b^1 / M_b^1$	$\alpha_2 = T_b^2 / M_b^1$	T_{bu}^1	T_{bu}^2
试件一	42.88	52.25	110.33	0.39	0.47	58.29	59.48
试件二	66.05	69.62	127.33	0.52	0.55	54.22	56.96
中柱	T_c^1	T_c^2	M_b^1	$\alpha_1 = T_b^1 / M_b^1$	$\alpha_2 = T_b^2 / M_b^1$	T_{bu}^1	T_{bu}^2
试件一	73.67	59.91	121.88	0.6	0.49	58.29	59.48

表中: T_{bu}^1 是按我国规范求得, T_{bu}^2 按文献[2]求得, 单位均为 kN.m。

4 结论

由上面数据可以看出, 在二倍位移时, 边主梁扭矩均比较大, 因此重点讨论在二倍位移的情况下的柱端弯矩增大系数的修正值 α , 具体计算如表 7。

1) 按我国规范建议的抗扭极限承载力公式计算所得的数值偏小, 因此当给定(下转第 59 页)

- 34 (11): 857 - 867.
- [42] GUSTAFSON K E, DICKHUT R M. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in Southern Chesapeake Bay surface water: Evaluation of three methods for determining freely dissolved water concentrations [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1997, 16: 452 - 461.
- [43] MASKAOUI K, ZHOU J L, HONG H S, *et al.* Contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Jiulong River estuary and western Xiamen sea, China [J]. *Environmental Pollution*, 2002, 118: 109 - 122.
- [44] COUNTWAY R E, DICKHUT R M, CANUEL E A. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) distributions and associations with organic matter in surface waters of the York River, VA Estuary [J]. *Organic Geochemistry*, 2003, 34: 209 - 224.
- [45] EL NEMR A, ABD - ALLAH A M. Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in microlayer and subsurface waters along Alexandria coast, Egypt [J]. *Chemosphere*, 2003, 52(10): 1711 - 1716.
- [46] 罗孝俊, 陈社军, 余梅, 等. 多环芳烃在珠江口表层水体中的分布与分配[J]. *环境科学*, 2008, 29 (9): 2385 - 2391.
- [47] LAW R J, DAWES V J, WOODHEAD R J, *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in seawater around England and Wales [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1997, 34: 306 - 322.
- [48] BARRON M G, PODRABSKY T, OGLE S, *et al.* Are aromatic hydrocarbons the primary determinant of petroleum toxicity to aquatic organisms [J]. *Aquatic Toxicology*, 1999, 46: 253 - 268.
- [49] GB 3838 - 2002, 地表水环境质量标准[S].

(责任编辑 马立)

(上接第45页)梁的截面及配筋,按公式(4)计算柱子配筋时,结构将偏于不安全。

2)在进行边主梁的正常使用状态验算时,边主梁在竖向荷载和水平荷载作用下产生的扭矩应该分开计算,取不同的扭矩折减系数,建议对水平荷载产生的扭矩最好不折减。

3)进行承载力极限状态计算时,在满足正常使用极限状态的前提下,水平荷载和竖向荷载作用引起的边主梁扭矩都可以折减,并且最好进行最大程度的折减,但折减应分开进行:竖向荷载作用引起的扭矩折减部分应该转移到楼面次梁的跨中弯矩上,而水平荷载作用引起的扭矩折减部分必须转移至与其正交的过柱梁上。

4)虽然本结构体系一般适用于建造8~12层的小高层,但由于是大跨度空间结构体系,抗侧力构件几乎只有普通结构的一半,建议取 $\eta_c = 1.2$ 。从构件设计和最后实验数据来看,这个取值是合

理的。

参考文献:

- [1] GB 50011 - 2001, 建筑抗震设计规范[S].
- [2] GB 50010 - 2002, 混凝土结构设计规范[S].
- [3] KOUTCHKALINE, BELARBI A. Torsion of high - strength reinforced concrete beams and minimum reinforcement requirement[J]. *ACI Structural Journal*, 2001, 98(4): 462 - 469.
- [4] 郑道宏. 高效预应力砼结构经济效益与大开间住宅建筑体系选择[J]. *四川建筑科学研究*, 1999, 25(2): 3 - 6.
- [5] 丁智潮. 大跨度预应力次梁楼盖结构体系的弯扭受力试验研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2003.
- [6] 李俊兰. 地震作用下板柱结构等代框架法计算模型的研究[J]. *建筑结构学报*, 1999, 20(1): 39 - 45.
- [7] 李家亮. 无粘结预应力混凝土平板结构住宅设计研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2000.

(责任编辑 刘存英)

边梁扭矩对柱端弯矩增大系数的影响

作者: [宋金祥](#), [秦士洪](#), [李唐宁](#), [SONG Jin-xiang](#), [QIN Shi-hong](#), [LI Tang-ning](#)
作者单位: [宋金祥, SONG Jin-xiang\(广州市科城建筑设计有限公司, 广州, 510000\)](#), [秦士洪, 李唐宁, QIN Shi-hong, LI Tang-ning\(重庆大学, 重庆, 400030\)](#)
刊名: [河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING \(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)
年, 卷(期): 2010, 27(2)

参考文献(7条)

1. GB 50011-2001, 建筑抗震设计规范
2. GB 50010-2002, 混凝土结构设计规范
3. KOUTCHKALINE;BELARBI [A Torsion of high-strength reinforced concrete beams and minimum reinforcement requirement](#)[外文期刊] 2001(04)
4. 郑道宏 [高预应力砼结构经济效益与大开间住宅建筑体系选择](#)[期刊论文]-[四川建筑科学研究](#) 1999(02)
5. 丁智潮 [大跨度预应力次梁楼盖结构体系的弯扭受力试验研究](#)[学位论文] 2003
6. 李俊兰 [地震作用下板柱结构等代框架法计算模型的研究](#) 1999(01)
7. 李家亮 [无粘结预应力混凝土平板结构住宅设计研究](#)[学位论文] 2000

本文读者也读过(10条)

1. [曲小钢](#), [冯芙叶](#) [一个边梁刚度的配置公式](#)[期刊论文]-[西安建筑科技大学学报\(自然科学版\)](#)2003, 35(3)
2. [毛卓鹏](#), [MAO Zhuopeng](#) [边梁设置对板柱结构受力性能的影响分析与判定](#)[期刊论文]-[中外建筑](#)2009(6)
3. [郭凯](#) [荷载作用下不同截面尺寸边梁对板-柱结构受力影响分析研究](#)[期刊论文]-[广东建材](#)2010, 26(6)
4. [李作骏](#), [葛鑫](#), [LI Zuo-jun](#), [GE Xin](#) [混凝土水平折梁的连续配筋构造](#)[期刊论文]-[工程建设与设计](#)2007(12)
5. [郭靳时](#), [尹新生](#), [隋莉莉](#), [Guo Jinshi](#), [Yin Xinsheng](#), [Sui Lili](#) [钢筋混凝土有边梁扁梁边节点受力性能试验研究](#)[期刊论文]-[工业建筑](#)2005, 35(10)
6. [王梦婷](#), [曲小钢](#), [李皓](#), [WANG Meng-ting](#), [QU Xiao-gang](#), [LI Hao](#) [具有边梁加固的板弯曲问题的变分-差分方法研究](#)[期刊论文]-[数学的实践与认识](#)2009, 39(4)
7. [程江涛](#), [晏鄂川](#), [刘莉](#), [Cheng Jiangtao](#), [Yan Echuan](#), [Liu Li](#) [格构锚杆组合加固技术在高边坡治理中的应用](#)[期刊论文]-[三峡大学学报\(自然科学版\)](#) 2007, 29(3)
8. [秦士洪](#), [杨鸿飞](#), [黄音](#), [李唐宁](#), [QIN Shi-hong](#), [YANG Hong-fei](#), [HUANG Yin](#), [LI Tang-ning](#) [基于变刚度的协调扭转分析方法及应用](#)[期刊论文]-[工程力学](#)2006, 23(8)
9. [李德月](#), [董秋田](#), [生墨海](#) [大边梁加固技术在公路旧桥改造中的应用](#)[期刊论文]-[山东交通科技](#)2001(2)
10. [马木欣](#) [中小跨径桥梁边中跨比与梁开裂关系的回归分析](#)[期刊论文]-[交通科技](#)2010(2)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb201002012.aspx