

## 不同强度混凝土梁柱节点承载性能研究

段建中, 刘立兵, 方高倪, 江 勇

(合肥工业大学 土木建筑工程学院, 安徽 合肥 230009)

**摘 要:**为了保证高层建筑混凝土梁柱节点核心区强度和承载性能,研究参考国内外经验数据,提出相应的方法,其中柱采用强度等级较高的混凝土,梁和节点区采用强度等级较低的混凝土,2 个试件节点区采用角钢笼加强,并结合现行混凝土规范,论述了 4 个梁柱节点试件的试验结论,提出了梁柱节点的设计建议。

**关键词:**不同强度等级混凝土;梁柱中节点;角钢笼;轴心受压

**中图分类号:**TU375.4      **文献标识码:**A      **文章编号:**1003-5060(2004)04-0396-05

### Experimental research on interior beam-column joints as the column and beam are constructed with different strength concrete

DUAN Jian-zhong, LIU Li-bing, FANG Gao-ni, JIANG Yong

(School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** In order to make the beam-column joints in high-rise buildings have considerable strength and bearing capability, it is put forward that the strength of concrete in the beam-column joints shall be the same with that in the beams and slabs, and in the meantime, the joints shall be reinforced with the cage structure formed with angle bars and gusset plates. The test results of four specimens of reinforced concrete interior beam-column joints are described and analyzed. And the joints of two specimens are strengthened with the cage structure. The design recommendations of beam-column joints are given.

**Key words:** different strength concrete; interior beam-column joint; cage structure formed with angle bars and gusset plates; axial-compression

高层钢筋混凝土结构受柱轴压比和截面限制,普遍采用柱混凝土强度等级比梁、板混凝土强度等级要高很多的办法。施工中较难做到柱混凝土终凝以前浇注梁和板,这势必造成柱与梁、板交接处留有大量的施工缝,高层建筑的这种施工缝多达数千米,这将给工程质量造成隐患。日本阪神地震对高层建筑的破坏也证实了这一点,破坏大多发生在钢筋混凝土结构的梁柱节点处<sup>[1~3]</sup>。

因此,考虑既不降低梁柱节点核心区强度和延性,同时又减少梁柱节点交接处的施工缝,提出降低梁柱节点核心区混凝土强度等级,使之与梁、板混凝土同等级,并同时用角钢笼加强梁柱节点核心区的处理方法。柱分为上、下两段,既消除了大量施工缝,又提高了梁柱节点核心区的强度与延性。

收稿日期:2003-06-03;修改日期:2003-11-28

作者简介:段建中(1948—),男,山东青州人,合肥工业大学副教授,硕士生导师。

## 1 梁柱节点试件制作

### 1.1 节点试件设计目的

#### 1.1.1 试件A

正常配筋试件在轴心受压情况下的柱节点处承载力,与加配角钢的试件B、C进行比较,分析节点区的受力性能改善情况。

#### 1.1.2 试件B

梁柱在正常配筋情况下,再在节点区加配角钢与缀板,通过试验,分析在轴心受压情况下的柱节点处的承载力。

#### 1.1.3 试件C

梁柱在正常配筋情况下,再在节点区加配角钢与缀板,但数量和试件B数量不同,通过试验,分析角钢和缀板配置量的不同对轴心受压柱在节点处的承载力的影响情况。

#### 1.1.4 试件D

梁柱在正常配筋情况下,再在节点区放置几根短钢筋条(4 $\phi$ 18),分析短钢筋条对轴心受压柱在节点处承载力的改善情况,并与试件B、C相比较,寻求梁柱节点处的最佳处理方法。

本次试验主要考虑2个因素对梁柱节点承载力的影响,一个因素是角钢量的影响,另一个因素是梁柱混凝土强度等级之比不同时对梁柱节点承载力的影响。

### 1.2 试件制作

试件设计,如图1所示。试件在合肥市一个建筑工地制作,混凝土采用机器搅拌及振捣棒振捣,试件分2次浇注,先浇注上、下柱混凝土,再浇注梁和节点区混凝土,自然养护。

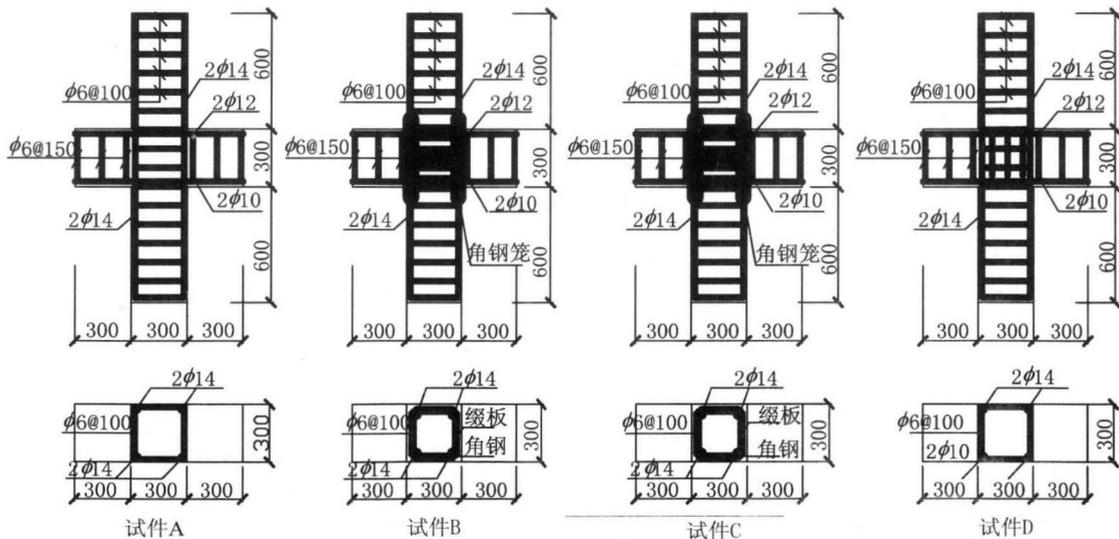


图1 试件设计图

### 1.3 试件设计

试件柱为正方形,边长为300 mm,梁高、宽均为300 mm。柱纵筋采用II级钢筋,直径为14 mm;梁顶部钢筋采用II级钢筋,直径为12 mm;梁底部采用I级钢筋,直径为10 mm;梁、柱箍筋均为I级钢筋,直径为6 mm。角钢长度为400 mm,角钢和缀板焊接成笼,放置在节点区。

4个试件的配筋数量及混凝土实际配制强度,见表1所列。

表 1 配筋数量及混凝土实际配制强度

参 数	试件 A	试件 B	试件 C	试件 D
柱纵筋数量	4 $\phi$ 14	4 $\phi$ 14	4 $\phi$ 14	4 $\phi$ 14
柱箍筋数量	$\phi$ 6@100	$\phi$ 6@100	$\phi$ 6@100	$\phi$ 6@100
梁顶纵筋数量	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12	2 $\phi$ 12
梁底纵筋数量	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10	2 $\phi$ 10
梁箍筋数量	$\phi$ 6@150	$\phi$ 6@150	$\phi$ 6@150	$\phi$ 6@150
加配角钢数量	—	4L20 $\times$ 4	4L50 $\times$ 5	—
缀板块数	—	8	8	—
缀板尺寸/mm	—	230 $\times$ 40 $\times$ 4	230 $\times$ 40 $\times$ 4	—
上、下柱混凝土强度/MPa	36.6	37.2	37.2	36.6
梁与节点区混凝土强度/MPa	23.6	20.0	20.0	23.6

#### 1.4 加荷试验

在长柱结构试验机上(最大量程为5 000 kN)采用一次单调轴向加载,每级荷载为180 kN,每级荷载持荷约10 min,当出现裂缝后,每级荷载为90 kN,直至试件最后破坏。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 试验结果

试验结果见表 2 所列,试件破坏状态如图 2 所示。

表 2 试验结果一览表

试 件	柱理论承载力 /kN	节点区理论承载力 /kN	开裂荷载 /kN	破坏荷载 /kN	柱、梁混凝土 强度比
试件 A	2 743	1 861	1 440	2 830	1.55
试件 B	2 788	1 609	1 120	2 400	1.86
试件 C	2 788	1 609	1 260	2 470	1.86
试件 D	2 743	1 861	1 300	2 740	1.55

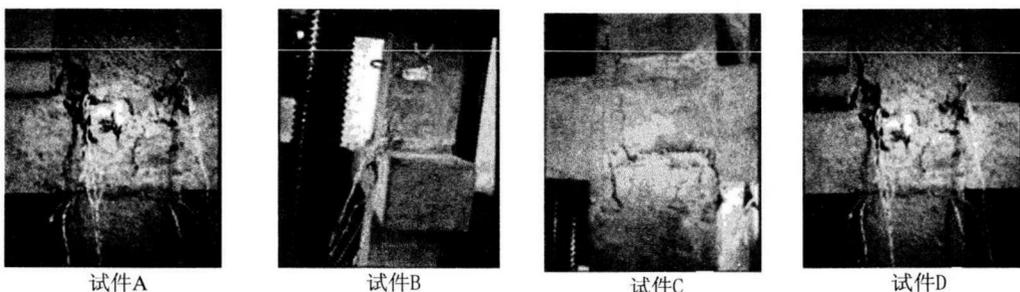


图 2 试件破坏形态

### 2.2 结果分析

#### 2.2.1 破坏形态

(1) 试件 A、D 破坏时,梁和柱相交的上表面混凝土沿柱边开裂,这可能是节点区混凝土在轴向压力的作用下产生膨胀,将周围作为约束作用的梁胀裂,同时梁端的自重对裂缝也有一定影响。

如果梁端有荷载作用,这样的裂缝将很可能开展得更大一些,因为梁上有荷载作用时,梁(楼板)柱

节点处的轴向承载力将会降低。为了防止裂缝开展过大,有必要在梁的顶部多配置纵向钢筋,同时要加密箍筋的配置量,如果是无梁楼板,则要在靠近柱边处及板顶部钢筋集中布置,这样可以防止裂缝过大,增大节点处的承载力,同时对板的抗冲切承载力有较大的提高<sup>[4,5]</sup>。

(2) 在一端梁上出现一条开展较宽、延伸较长的斜裂缝(从靠近柱的梁底延伸到梁端头的顶部),说明这一端梁发生了典型的受剪破坏,但另一端梁没有出现大的斜裂缝,这可能是加载时,试件受力不均匀,其中一端的受力较大。因此一端的节点区混凝土产生的压缩变形较大,使作用在一端梁上的剪力比另一端梁上的剪力大,在剪力的作用下,梁发生了受剪破坏,因此梁端的箍筋一定要加密。

(3) 在破坏时,节点区梁自由面混凝土均鼓出,这是因为在自由面混凝土没有受到约束,混凝土可以自由地向外膨胀,所以保护层混凝土被压碎崩落。梁顶部出现了细微的垂直裂缝,这些裂缝最后没有发展成破坏裂缝,说明梁的纵向钢筋在最后试件破坏时也没有屈服,阻止了裂缝的发展。

(4) 试件B、C破坏时,没有出现试件A、D破坏时的第1、2点情况,说明梁柱节点区在角钢笼的约束下,在一定程度上阻止了核心区混凝土的膨胀,从而阻止了试件沿柱边开裂。另外,角钢与箍筋所形成的“笼子”对混凝土的约束及角钢自身的销栓作用,有效地防止了梁发生剪切破坏。

但试件B、C破坏时,出现了第3、4点情况,说明节点区在角钢笼及梁的约束下,其极限承载力并没有达到或超过其上、下柱的极限承载力,因此在极限荷载的作用下,节点核心区首先发生了破坏,这可能是因为节点区的混凝土强度相对于柱混凝土强度来说太低,即使在加强约束的条件下,也未达到柱所能承受的承载力。

本次试验所采用的角钢笼类似于节点区采用外包型钢加固,能够提高极限轴压承载能力,也有利于节点的抗震。另外,采用较多的角钢,对极限承载力提高要大一些。

### 2.2.2 实际破坏荷载分析

对于试件A、D,其上、下柱混凝土轴压强度 $f'_{cc}$ 与梁混凝土轴压强度 $f'_{cb}$ 之比较小( $f'_{cc}/f'_{cb} = 1.55$ )时,即使在没有任何加强措施的情况下其破坏荷载值超过了按柱混凝土强度计算的理论承载力值。在实际工程中,中柱节点一般四边都受梁板约束,节点区混凝土处于三向受压状态,它的承载能力能够进一步提高,因此直接按照柱混凝土强度计算比较安全。文献[6]规定柱混凝土强度等级不能超过梁混凝土强度等级的30%较安全,实际中可以根据经验放宽一些。对于试件B、C,其上、下柱混凝土轴压强度 $f'_{cc}$ 与梁混凝土轴压强度 $f'_{cb}$ 之比较大( $f'_{cc}/f'_{cb} = 1.86$ )时,即使在节点核心区采取型钢加强措施,其破坏荷载还是没有达到按柱混凝土强度计算的承载力值<sup>[7,8]</sup>。

## 3 结 论

(1) 柱混凝土强度等级不超过梁混凝土强度等级的1.5倍时,由于梁的约束,节点处的轴心抗压极限承载力能够达到柱的极限承载力。

(2) 柱混凝土强度等级与梁混凝土强度等级相差较大时(超过1.5倍),采用角钢笼的约束对节点区的轴向抗压极限承载力有所提高。但节点处的轴心抗压极限承载力不能达到柱的极限承载力,只能通过折算强度来计算节点区的轴心抗压极限承载力。

(3) 角钢的数量和缀板的间距对节点区的轴向抗压极限承载力有一定影响,随着角钢配置数量的增加及缀板间距的减小,节点区的轴向抗压极限承载力将增大。

(4) 采用角钢笼的约束,对梁柱节点的裂缝和变形有明显的抑制作用,即对梁柱节点的正常使用性能有明显的改善。

(5) 当柱混凝土强度等级与梁混凝土强度等级之比小于1.5( $f'_{cc}/f'_{cb} \leq 1.5$ )时,采用型钢加强,梁柱节点核心区混凝土皆可随楼板同时浇捣。

(6) 柱混凝土强度等级与梁混凝土强度等级之比小于1.5( $f'_{cc}/f'_{cb} \leq 1.5$ )时,利用折算强度公式

计算节点处的轴向抗压承载力<sup>[9]</sup>。

(7) 当柱采用较高强度混凝土,梁和节点区采用低强度混凝土时,梁柱节点核心区可以采用钢纤维混凝土或在节点周围做水平加腋以加强对梁柱核心区的约束,这样梁柱节点核心区混凝土皆可随楼板同时浇筑。

### [参 考 文 献]

- [1] 陆海翔,孙建军.超高层钢筋混凝土结构不同强度等级混凝土梁柱节点的模型试验与有限元分析[J].实验力学,1999,13(3):356—363.
- [2] 汪文颖.超高层建筑柱、梁节点的实验应力分析和有限元计算[J].天津轻工业学院学报,1998,5(2):46—49.
- [3] 段建中,郭宝军.空间角钢骨架加强节点变形及抗剪能力试验[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2003,26(6):1 203—1 207.
- [4] McHarg P J, Cook W D, Mitchell D, *et al.* Improved transmission of high-strength concrete column loads through normal strength concrete slabs[J]. ACI Structural Journal, 2000, 97(1): 157—165.
- [5] Shu C C, Hawkins N M. Behavior of columns continuous through concrete floors[J]. ACI Structural Journal, 1992, 89(4): 405—414.
- [6] GB50010—2002, 混凝土结构设计规范[S].
- [7] Gamble W L, Klinar J D. Tests of high-strength concrete columns with intervening floor slabs[J]. Journal of Structural Engineering, 1991, 117(5): 1 462—1 476.
- [8] Marzouk H, Emam M, Hilal S. Effect of high-strength concrete columns on the behavior of slab-column connections[J]. ACI Structural Journal, 1996, 93(5): 545—554.
- [9] 程懋坤.高强混凝土柱的梁柱节点处理方法[J].建筑结构,2001,31(5):3—5.

(责任编辑 吕 杰)

### • 下期文章摘要预告 •

## 基于J2EE的分布式数据库查询系统研究与应用

查道鹏, 杨善林, 何建民

(合肥工业大学 管理学院, 安徽 合肥 230009)

**摘 要:**针对目前基于网络环境下的分布式查询需求,将J2EE技术与分布式数据库理论结合,提出基于J2EE的分布式数据库查询系统模型。文章还以固定资产查询系统为例,系统论述了基于J2EE的分布式数据库查询系统的开发过程,并重点研究其中的事务处理及查询优化问题,最后提出了适合系统需求的查询优化策略并加以分析。

## 基于双DSP的三相短路小电流速断的仿真研究

秦养浩, 高亚玲, 王俊才

(合肥工业大学 电气与自动化工程学院, 安徽 合肥 230009)

**摘 要:**三相短路保护的关键是快速断开,而影响速断的主要原因是大电流被断开时产生的长时间拉弧。为此,提出一种新的电力系统短路保护的方法,即通过半波傅立叶算法,求出短路电流表达式中的未知参数,进而预算出零点,然后在零点附近使断路器断开电路。并建立了基于双DSP的硬件仿真模型。