

矩形钢管混凝土异形柱-钢梁框架节点 抗震性能及承载力计算

Research on Seismic Performance and Load - carrying Capacity of Joints between
Concrete - Filled Square Steel Tubular Special - Shaped Columns and Steel Beams

陈 茜 著

中国建筑工业出版社
CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

矩形钢管混凝土异形柱-钢梁 框架节点抗震性能及承载力计算

Research on Seismic Performace and Load-carrying
Capacity of Joints between Concrete-Filled Square Steel
Tubular Special-Shaped Columns and Steel Beams

陈 茜 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

矩形钢管混凝土异形柱-钢梁框架节点抗震性能及承载力计算 / 陈茜著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 11

ISBN 978-7-112-15746-4

I. ①矩… II. ①陈… III. ①矩形—钢筋混凝土柱—异形柱—钢筋混凝土框架—抗震性能②矩形—钢筋混凝土柱—异形柱—钢筋混凝土框架—承载力—计算 IV. ①TU375.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 197785 号

矩形钢管混凝土异形柱-钢梁框架节点抗震性能及承载力计算

Research on Seismic Performace and Load-carrying Capacity of Joints between Concrete-Filled Square Steel Tubular Special-Shaped Columns and Steel Beams

陈茜 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京永铮有限责任公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787 × 960 毫米 1/16 印张: 10 $\frac{3}{4}$ 字数: 200 千字

2014 年 6 月第一版 2014 年 6 月第一次印刷

定价: 28.00 元

ISBN 978-7-112-15746-4

(24536)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

随着房屋政策的改革, 21 世纪的住宅建设更强调“以人为核心”的设计。传统框架结构的梁宽与柱断面都超出墙身的厚度, 影响了空间的完整性, 同时也给装修带来困难和不便。矩形钢管混凝土异形柱、钢梁和组合楼板组成的矩形钢管混凝土异形柱框架结构体系, 具有建筑美观、承载力高、抗震性能好、结构自重轻、施工方便等优点, 特别适用于高层建筑及抗震设防高烈度地区, 是一种广受欢迎的新型结构体系。本书在总结已有研究成果的基础上, 主要讲述了矩形钢管混凝土异形柱-钢梁框架节点抗震性能及承载力计算方法, 内容包括: 文献综述、矩形钢管混凝土异形柱-钢梁框架节点低周反复加载试验、矩形钢管混凝土异形柱-钢梁节点抗震性能、矩形钢管混凝土异形柱-钢梁框架节点恢复力特性分析、矩形钢管混凝土异形柱-钢梁节点非线性有限元分析、矩形钢管混凝土异形柱-钢梁节点承载力计算等。

本书可供结构工程研究人员、工程技术人员参考, 亦可作为土建类专业大专院校师生教学参考。

* * *

责任编辑: 吉万旺

责任设计: 张 虹

责任校对: 王雪竹 赵 颖

前 言

21 世纪的住宅建设更强调“以人为核心”的设计。传统框架结构的梁宽与柱断面都超出墙身的厚度,影响了空间的完整性,同时也给装修带来困难和不便。异形柱框架结构的柱截面形式为 T、L、十形等异形截面,由于其柱肢与填充墙等厚,有效提高了房间的实际使用面积、舒适度和观感,因而在国内外各地得到了广泛应用,是一种符合现代建筑发展方向和潮流的结构形式。目前普遍采用的异形柱框架结构为钢筋混凝土异形柱框架结构,该种结构在应用中存在承载能力低、抗震性能差、施工困难等缺陷,故目前钢筋混凝土异形柱框架结构的适用范围十分有限,仅适用于抗震设防烈度较低地区的多层框架结构中。近年来在组合结构中出现了一种新型的结构形式,即由矩形钢管混凝土异形柱和钢梁组成的框架结构。该种结构不仅秉承了钢管混凝土承载力高、韧性和塑性好等优点,同时克服了钢筋混凝土异形柱结构自身的缺陷。与钢筋混凝土异形柱框架结构相比,矩形钢管混凝土异形柱-钢梁框架结构具有以下优点:(1) 由于钢管对混凝土的约束作用,使得混凝土的强度提高,同时塑性和韧性性能得到改善。(2) 在施工过程中钢管可作为浇灌其核心混凝土的模板,因此可节约费用,加快施工速度。(3) 构件可在加工厂进行焊接,有利于实现构件标准化、技术集成化和产业化。

国内外历次大地震的震害表明节点是框架最易受损的部分,因此对抗震结构来说,节点的研究具有更重要的意义。然而国内外对于矩形钢管混凝土异形柱-钢梁框架节点的研究刚刚起步,因此研究该类新型节点的抗震性能及承载力对于促进结构形式的多样化,适应我国经济建设迅速发展的需要,以及普遍提高我国地震区房屋结构的抗震性能具有积极的作用。本书通过内隔板式矩形钢管混凝土异形柱-钢梁框架节点的低周反复荷载试验及非线性有限元软件 ANSYS 的模拟分析,研究节点的抗震性能,提出节点恢复力模型、受剪承载力和屈服剪力的计算公式,对于角节点给出了剪扭作用下的受剪和受扭承载力计算公式。

本书内容安排如下:

第 1 章“文献综述”,介绍钢筋混凝土异形柱结构体系、矩形钢管混凝土

土结构体系、异形钢管混凝土结构体系的研究概况。

第2章“矩形钢管混凝土异形柱-钢梁框架节点低周反复加载试验”，介绍试验试件的设计与制作，试验中试件的整个破坏过程，并分析试件的破坏模式。

第3章“矩形钢管混凝土异形柱-钢梁节点的抗震性能”分析节点的抗震性能，包括荷载-位移滞回曲线、承载能力、延性、层间位移角、耗能能力和强度、刚度退化等；通过对节点钢腹板的应力-应变进行分析得出节点内混凝土和钢管相互作用的规律；根据剪力流理论得出节点钢管剪力流的分布规律。

第4章“矩形钢管混凝土异形柱-钢梁框架节点恢复力特性分析”，建立节点三折线骨架曲线模型，并得出骨架曲线各个关键点的计算公式；对节点正反向卸载和加载刚度退化规律以及基于试验现象的滞回规则进行了分析，并通过回归试验数据得出骨架曲线各阶段的刚度公式。

第5章“矩形钢管混凝土异形柱-钢梁节点非线性有限元分析”，分析节点混凝土的受力分析模型、节点混凝土受柱钢管约束作用的规律、节点钢腹板的应力分布规律、组成节点的各部分在各个受力阶段的剪力及其发展规律，同时分析了轴压比和翼缘伸出长度对节点承载力及延性的影响。

第6章“矩形钢管混凝土异形柱-钢梁节点承载力计算”，提出了矩形钢管混凝土异形柱-钢梁框架节点抗剪承载力和屈服剪力的计算公式，对于角节点给出了剪扭作用下的受剪和受扭承载力计算公式。

在研究过程中，我的同事们以及课题组的博士研究生和硕士研究生，为我提供了无私的帮助，在此对他们表示诚挚地感谢。由于作者水平有限与时间紧迫，书中难免会有错误与不足之处，恳请读者赐正。

陈茜

2013年6月

于河南科技大学

摘 要

随着中国经济的迅速发展,异形柱结构体系得到了日益广泛的应用。异形柱结构以其独特的优越性得到了业主和房地产开发商的青睐,但是目前广泛应用的钢筋混凝土异形柱结构具有节点构造复杂、承载能力低、抗震性能差和浇筑混凝土困难等缺点,限制其在高层及高烈度区的应用。矩形钢管混凝土异形柱-钢梁框架结构是一种新型的异形柱结构,该种结构充分利用钢材和混凝土两种材料的优点,具有承载力高、韧性和塑性好等优点;同时施工过程中钢管可作为浇灌其核心混凝土的模板,可节约费用,加快施工进度;有利于实现构件标准化、技术集成化和产业化。作为主要传力部件的节点是矩形钢管混凝土异形柱-钢梁框架结构研究的关键,目前对该类节点的研究才刚刚起步。在已有研究的基础上,本书的主要研究内容及成果概括如下:

(1) 进行了矩形钢管混凝土异形柱-钢梁框架节点的低周反复荷载试验,试件包括5个中节点、2个边节点和2个角节点,考虑的变化参数为节点类型、轴压比和柱截面肢高肢厚比。试验采用柱端加载的方式,观察了试件的受力过程及破坏形态,并分析了试件的抗震性能,包括荷载-位移滞回曲线、承载能力、延性、层间位移角、耗能能力和强度、刚度退化等。结果表明:矩形钢管混凝土异形柱-钢梁框架节点的典型破坏形态是节点核心区剪切斜压破坏、节点核心区腹板与柱翼缘连接的竖向焊缝断裂;试件滞回曲线饱满,层间位移延性系数介于1.44~2.74,弹塑性极限层间位移角约为 $1/43 \sim 1/21$,等效黏滞阻尼系数介于0.227~0.316;当柱截面肢高肢厚比为3、4时,破坏时节点核心区的剪切角约为0.01~0.03,当柱截面肢高肢厚比为2时,破坏时节点核心区的剪切角约为0.08~0.1。

(2) 根据试验所得的滞回曲线和骨架曲线,用试验拟合方法建立了节点三折线骨架曲线,给出了骨架曲线各个关键点的计算公式;对节点正反向卸载和加载刚度退化规律以及基于试验现象的滞回规则进行了分析,并通过回归试验数据得出骨架曲线各阶段的刚度公式。

(3) 利用非线性有限元软件 ANSYS10.0 对试验进行模拟分析,得到了试件的荷载-位移骨架曲线及各部分的应力图,计算结果与试验结果符合较

好。通过对节点混凝土主应力和等效应变进行分析,得出节点核心区混凝土的斜压杆受力模型及其受柱钢管约束作用的规律,结果表明柱钢管对节点腹板肢和翼缘肢混凝土斜压杆均有约束作用,且该约束作用的大小与柱截面肢高肢厚比、节点类型和偏离柱中线距离有关。由有限元分析结果得出节点钢腹板的应力分布规律、组成节点的各部分在各个受力阶段的剪力及其发展规律,同时分析了轴压比和翼缘伸出长度对试件承载力及延性的影响,结果表明随着轴压比的增大,试件承载力逐渐提高,延性逐渐减小,特别是当轴压比大于 0.5 后,骨架曲线下降速度加剧;文中给出了翼缘伸出长度影响系数。

(4) 在试验研究的基础上分析了节点核心区受到的剪力和扭矩及各特征点处各抗力元件承担的剪力,得出节点受力机理为钢桁架、主斜压杆和约束斜压杆的综合作用,并将节点域抗剪贡献分为三部分进行研究,包括节点域钢管腹板的抗剪贡献、节点域混凝土主斜压杆的抗剪贡献和约束斜压杆的抗剪贡献。根据试验结果和力学分析,推导了核心区钢腹板剪力计算公式;由虚功原理得出核心区混凝土约束斜压杆的强度计算公式;通过对试验数据和有限元结果的回归分析,得到核心区混凝土主斜压杆的强度计算公式。在此基础上提出了矩形钢管混凝土异形柱-钢梁框架节点屈服剪力和抗剪承载力的计算公式,公式不仅考虑了柱轴向压力对节点核心区实际受力状态的影响,而且考虑了钢管对混凝土的约束作用。对于角节点给出了剪扭作用下的受剪和受扭承载力计算公式。

Research on Seismic Performance and Load-carrying Capacity of Joints between Concrete-Filled Square Steel Tubular Special-Shaped Columns and Steel Beams

Abstract

With the development of China's economy, special-shaped column structural system is increasingly widespread. Special-shaped column residence is welcome for both owners and designers because of its unique advantages. But there are many weaknesses for ordinary reinforced concrete special-shaped column such as poor ductility, limited loading capacity, complicated reinforcement disposing in beam-column joints and not convenient in construction, which restrict their applications in high-rise and high-intensity area. The frame consisting of steel beam and concrete-filled square steel tubular special - shaped column is a new type of special-shaped column structural system. The composite frame fully develops the merits of steel and concrete, has the advantage of better ductility, higher loading capacity, uncomplicated reinforcement disposing and convenience in construction, resulting in achieving standardization in components, integration and industrialization in technology. The connection region as main force transfer component is key to the research of concrete-filled square steel tubular special-shaped columns and steel beams frames. Recently the research focusing on the static and seismic performance of the joint only just begun. On the basis of existing research, the following work was done to improve the joint between concrete-filled square steel tubular special-shaped columns and steel beams.

(1) 9 specimens were tested under reversed cyclic loading to investigate the failure modes and seismic behavior of the joints between concrete-filled square steel tubular special-shaped columns and steel beams. The test parameter was the type of joint, the ratio of the height to thickness of section of column and the axial compression ratio. The specimens were loaded on the end of the columns. The failure characteristics, mechanical behaviors such as the load-displacement hysteresis loops, load carrying capacity, ductility, interstory drift ratio, energy

dissipation, degeneration of strength and rigidity of the joints were analyzed. The main failures patterns of the joints are those of the shear failures of web in joint zone, and vertical weld fractures between the webs of the joints and the flanges of the columns. The hysteresis loops of the joints are in a plump-shape. The ductility factors of the story drift are between 1.44 and 2.74. The ultimate elastic-plastic story drift rotation is about $1/43 \sim 1/21$. The equivalent viscous damping coefficient is about 0.227 to 0.316, indicating that the joint has stronger energy dissipation capacity. When the ratio of height to thickness of column section is 3 and 4, the shear deformation of joint core is about 0.01 to 0.03 as the joint failed. When the ratio of height to thickness of column section is 2, the shear deformation of joint core is about 0.08 to 0.1 as the joint failed.

(2) According to the loading-displacement hysteretic curves and skeleton curves in the test results, a three-line model of skeleton curve was established, and the yielding, ultimate and damage point on skeleton curve were obtained on the basis of theoretic formulas and testing data. Based on the testing data the stiffness degradation laws for the loading and unloading stiffness and hysteretic rules of joint are analyzed. Through the regression of test data, the stiffness formula of various stages of skeleton curves was given.

(3) Simulating and analyzing the test specimens by non-linear finite element software ANSYS 10.0, the load-displacement skeleton curves and stress distribution figure were obtained. The calculation results are in good agreement with the experimental results. By analyzing the principal stress-equivalent strain of concrete in joints of specimens, it proved that compression strut mechanism was reasonable in the analysis of concrete of joints. Through the analysis of concrete in joints of specimens, the results showed that there was confinement between the tube of column and compression strut of concrete in flange – pier wall and web-pier wall of joint. And the confinement was concerned with the ratio of the height to thickness of section of column, the type of joint and the distance deviating from the center line of column. The rule of distribution of stress of steel web of joint, the law of the shear of the composition of joint in different stages were obtained from the result. At the same time the axial compression ratio and extending length of the flange which affected the bearing capacity and ductility were further analyzed. It showed that the bearing capacity of the specimens increased and the ductility of the specimen gradually worse with the axial compression ratio

increased. Especially the deformation behavior dropped sharply when the axial compression ratio was greater than 0.5. The influence factors of the flange extended length are presented.

(4) According to the experimental research of the joints, the shear force and torque of the resistance elements of joint on characteristic points were analyzed. The results indicate that the shear mechanism is the combination of steel truss mechanism, the main compression strut mechanism and the confined compression strut mechanism. Based on the model, the shear capacity of the connections is divided into three parts: the contribution of steel tube webs, the contribution of the main compression strut in the concrete core, the contribution of the confined compression strut in the concrete core. Based on the analysis of the experimental results, the calculating model of the shear strength of web in panel zone is established. The formula for calculation of the shear capacity of the confined compression strut in the concrete core is proposed based on the principle of virtual work. Through regression analysis of the test data and results by non-linear finite element analyzing, formulas for shear capacity of the main compression strut in the concrete core were put forward. The calculation formulas of the yield and ultimate shear capacity of the connections were established. The formulas not only take into account the effect of axial compressive force of column, but also the restriction provided by steel tube for concrete. For the corner joint under the action of shear-torsion, the shear and torsion bearing capacity formulas were also presented.

目 录

1 文献综述	1
1.1 钢筋混凝土异形柱结构体系的研究概况	1
1.1.1 钢筋混凝土异形柱	1
1.1.2 钢筋混凝土异形柱框架节点	2
1.1.3 钢筋混凝土异形柱框架	3
1.2 矩形钢管混凝土结构体系的研究进展	4
1.2.1 矩形钢管混凝土柱	4
1.2.2 矩形钢管混凝土框架节点	5
1.2.3 矩形钢管混凝土框架	7
1.3 异形钢管混凝土结构体系的研究概况	8
1.3.1 钢管混凝土异形构件	8
1.3.2 钢管混凝土异形柱框架节点	10
1.3.3 钢管混凝土异形柱框架	10
1.4 本书的主要工作	10
2 矩形钢管混凝土异形柱-钢梁框架节点低周反复加载试验	12
2.1 试验设计	12
2.2 试件的制作	15
2.3 加载及量测装置	20
2.4 试验过程描述	25
2.5 破坏模式分析	30
2.6 小结	30
3 矩形钢管混凝土异形柱-钢梁节点的抗震性能	31
3.1 节点滞回性能	31

3.2	节点承载力和位移分析	32
3.3	节点延性分析	34
3.4	节点耗能分析	36
3.5	节点核心区剪切变形	38
3.6	节点承载力	39
3.7	节点刚度	39
3.8	梁柱相对转角	40
3.9	节点核心区应变	42
3.10	试验试件钢梁翼缘和柱翼缘应变分析	49
3.11	节点钢腹板应力分析	51
3.12	本章小结	60
4	矩形钢管混凝土异形柱-钢梁框架节点恢复力特性分析	62
4.1	恢复力模型的组成	62
4.2	恢复力模型的确定	63
4.3	矩形钢管混凝土异形柱-钢梁节点恢复力模型	64
4.3.1	建立的方法	64
4.3.2	骨架曲线模型	64
4.3.3	刚度退化规律	65
4.3.4	恢复力模型的建立	71
4.4	骨架曲线与试验结果的比较	72
4.5	本章小结	74
5	矩形钢管混凝土异形柱-钢梁节点非线性有限元分析	75
5.1	材料的本构模型	75
5.1.1	不同材料之间的相互作用	75
5.1.2	材料本构模型	76
5.2	有限元模型的建立	77
5.2.1	创建几何模型并划分网格	77
5.2.2	边界条件的设置	78

5.2.3	施加荷载与求解	78
5.3	有限元计算结果分析	78
5.3.1	试件荷载-位移骨架曲线	78
5.3.2	试件混凝土裂缝分析	80
5.3.3	试件应力图	83
5.3.4	试件节点钢腹板	86
5.3.5	试件节点混凝土	94
5.3.6	试件节点各组成元件的剪力	105
5.4	试件节点参数分析	107
5.4.1	轴压比对节点受力性能的影响	107
5.4.2	柱翼缘肢伸出长度对节点受力性能的影响	107
5.5	本章小结	108
6	矩形钢管混凝土异形柱-钢梁节点承载力计算	110
6.1	矩形钢管混凝土异形柱-钢梁节点的受力分析模型	110
6.1.1	节点受力机理研究概况	110
6.1.2	矩形钢管混凝土异形柱-钢梁节点内隔板传力机制	115
6.1.3	矩形钢管混凝土异形柱-钢梁节点受力机理	116
6.1.4	矩形钢管混凝土异形柱-钢梁节点混凝土分析	118
6.1.5	矩形钢管混凝土异形柱-钢梁节点钢腹板分析	123
6.2	节点核心区水平剪力和扭矩的计算	125
6.2.1	节点核心区水平剪力的计算	125
6.2.2	节点核心区扭矩的计算	128
6.2.3	节点核心区各部分承担的剪力	129
6.3	节点受剪承载力计算	132
6.3.1	节点钢腹板的剪力计算	132
6.3.2	节点混凝土的剪力计算	134
6.3.3	节点受剪承载力计算	137
6.3.4	节点屈服剪力计算	139

6.4 剪扭构件承载力计算	140
6.4.1 纯扭构件承载力计算	141
6.4.2 剪扭构件承载力计算	142
6.5 本章小结	143
参考文献	144
附录1 攻读博士学位期间发表的学术论文	157
附录2 攻读博士学位期间申报及获得国家专利	157

1 文献综述

1.1 钢筋混凝土异形柱结构体系的研究概况

1.1.1 钢筋混凝土异形柱

从 20 世纪 80 年代起美国的 Cheng-Tzu^[1]、印度的 Ramamurthy L. N.^[2]、Mallikarjural^[3]、Sinha S. N.^[4]、委内瑞拉的 Joaquín Marín^[5]、日本的 Oya^[6]，以及香港的 Yan C Y^[7]等学者对钢筋混凝土异形柱进行了研究。从 20 世纪 90 年代起，我国学者也开展了对钢筋混凝土异形柱的研究。为研究 L 形截面框架柱的受力性能与矩形柱的差异，1999 年天津大学的巩长江、康谷贻和姚石良进行 L 形钢筋混凝土异形柱的反复加载试验^[8]，结果表明 L 形柱的受拉翼缘改善了翼缘处的纵筋与混凝土的粘结性能，使得异形柱的承载力有所提高。天津大学的赵艳静通过轴向力及双向弯矩共同作用下的反复加载试验研究十字形截面钢筋混凝土柱的箍筋对混凝土的约束作用^[9]，结果表明配置足够的箍筋可提高混凝土的极限压应变值，增加其延性，但混凝土强度对截面延性的影响较小。2001 年西安建筑科技大学的赵鸿铁和周建中对不等肢钢筋混凝土异形柱的试验研究^[10]表明平均应变的平截面假定在不等肢 L 形截面构件中仍然适用。2002 年西安建筑科技大学的郭棣基于 4 根钢筋混凝土宽肢 T 形柱的试验数据^[11]，重点分析了加载方向的变化对宽肢 T 形柱力学性能的影响，结果表明随水平受力方向的变化宽肢 T 形柱的力学性能（强度、刚度、滞回耗能特性）有较大的差异，且在破坏后期轴压比对试件的滞回性能影响较大。2002 年同济大学的李杰和吴建营对柱肢高厚比分别为 4、5 和 6 的宽肢 L 形和 Z 形截面钢筋混凝土柱进行的试验研究^[12]表明异形柱的扭转变形较小；异形柱的剪力作用主要由柱腹板抵抗，且其剪切变形较大；异形柱的翼缘受压时对柱抗弯承载力贡献较大，但其对柱的抗剪承载力贡献较小。为提高异形截面柱的抗震能力，2002 年北京工业大学的曹万林进行了 12 个较小剪跨比带暗柱的十、L、T 形钢筋混凝土柱的抗震性能试验^[13]，结果表明钢筋混凝土异形柱框架结构可通过加设暗柱

提高其抗震能力。2005 年曹万林和黄选明对带暗柱和带交叉钢筋的 Z 形、T 形、十字形、L 形截面钢筋混凝土短柱进行了抗震性能试验研究^[14]，试验结果表明带暗柱和带交叉钢筋的异形截面钢筋混凝土短柱的承载力和延性明显提高，滞回曲线相对饱满，耗能能力增强。为研究不同肢长对钢筋混凝土异形柱的承载力、刚度及延性的影响，2005 年沈阳建筑大学的陈鑫和赵成文进行了 1/3 缩尺的 4 根 T 形柱、2 根十字形柱模型试验^[15]，结果表明在轴压比较大时，试件承载力、侧移刚度较大，但延性较差；随着柱子肢长的增加，试件承载力、侧移刚度随之提高。

1.1.2 钢筋混凝土异形柱框架节点

国外学者还未开展有关异形柱框架节点的研究，相比之下国内学者对钢筋混凝土异形柱框架节点进行了大量的研究。1994 年华南理工大学的冯建平和平和吴修文进行了 5 个 1/2 足尺钢筋混凝土 T 形截面柱框架边节点的低周反复荷载试验^[16]，结果表明当梁宽大于柱腹板宽度时，处于柱腹板外的梁纵筋在节点处锚固较差。为研究异形截面柱框架节点的承载力、抗震性能与矩形柱框架节点的差异，1999 年天津大学的曹祖同等进行异形框架节点和矩形框架节点的对比研究^[17]，结果表明在试验条件、节点水平截面积均相同的前提下 L 形、T 形、十形截面柱的框架节点承载能力比矩形截面柱框架节点承载能力分别低 33%、17.5% 和 8% 左右；轴压力的存在影响异形柱框架节点的承载能力，且低轴压比时起有利作用，高轴压比时起不利作用。为研究钢筋混凝土异形柱框架中间层端节点翼缘对节点受力性能的影响，2004 年重庆大学的张笛川对钢筋混凝土异形柱框架中间层边节点进行研究^[18]，结果表明节点翼缘对节点的抗剪贡献具有滞后性。为改善钢筋混凝土异形柱框架节点布筋难的问题，2004 年河北理工学院的李淑春、苏幼坡和王绍杰提出在钢筋混凝土异形柱框架顶层边节点和中节点采用分散式配筋梁^[19]，结果表明分散式配筋不会对 T、十形截面钢筋混凝土柱框架节点的受力性能和抗震性能带来不利影响。为研究 T 形截面钢筋混凝土柱框架节点翼缘宽度对节点抗剪性能的影响，2006 年西安建筑科技大学的马乐为对 6 个 T 形截面钢筋混凝土柱框架节点试件进行低周反复荷载试验研究^[20]，得出节点区翼缘板外伸宽度对节点抗震性能有较大的影响，且节点的延性和耗能能力与轴压比、节点区的水平箍筋量和梁柱抗弯刚度比有关。为研究钢筋混凝土异形柱框架 T 形节点在低周反复荷载作用下的受力性能，2006 年华东交通大学的李荣年和徐海燕对 3 个钢筋混凝土异形柱框架 T 形节点进行了试验研究和分析^[21]，结果表明该类节点在多次反复荷载作用下，由于节点腹板混凝土主要抵抗剪力作用，节点在剪切破坏后轴向压力将由翼缘承担，故节点