

# Review on Punching Resistance of Slab and Column Structures

Kai Zhang

College of Civil Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei, 063000, China

## Abstract

Slab and column structure has the advantages of fast construction speed, low height between floors, easy to separate rooms, easy to arrange pipelines, good comprehensive benefits and so on. It is widely used in underground garage and other projects. However, the joints of slab-column structure are weak due to their complex stress state and large internal force. Under the action of load, the shear failure of slab-column joints is easy to occur, which leads to the continuous collapse of slab-column structures, resulting in very serious consequences. This paper reviews the current situation of column structure in China and other countries, combed the national specification for punching strength of slab-column structure calculation method, and analyzes the factors affecting slab-column structure cutting performance, cutting resistance of slab-column structure, as reference for further research and application for the development of new type of slab-column structure provides a train of thought.

## Keywords

slab column structure; punching resistance; punching shear damage

## 板柱结构抗冲切性能研究综述

张凯

华北理工大学建筑工程学院, 中国·河北唐山 063000

## 摘要

板柱结构具有施工速度快、层间高度低、便于分隔房间、便于管线布置、综合效益良好等优点,在地下车库等工程中被广泛应用。但板柱结构节点处受力状态复杂、节点内力大,是板柱结构的薄弱部位。在荷载作用下,板柱节点极易发生冲切破坏,进而使板柱结构发生连续性倒塌,造成非常严重的后果。论文对中国及其他国家板柱结构研究现状进行了综述,梳理了各国规范对板柱结构抗冲切承载力的计算方法,并分析了影响板柱结构冲切性能的因素,对板柱结构抗冲切性能的进一步研究及应用提供了参考,为新型的板柱结构的发展提供了思路。

## 关键词

板柱结构; 抗冲切性能; 冲切破坏

## 1 引言

板柱结构也称为无梁楼盖,由水平构件楼板和竖向构件柱子组成。板柱结构的外观形式比较简单,其平面布置灵活,使用空间较大,可以有效地降低建筑物层高,且具有施工简捷、管线布置方便、综合效益良好等优点,可较好地满足建筑空间和使用功能方面的要求,适用于多层厂房、仓库、地下车库、公共建筑等,也可用于办公楼和住宅等,是一种常见的建筑结构形式。但板柱结构节点处受力状态复杂,侧向刚度较弱,在竖向荷载和水平荷载作用下,除承受较大的冲切力外,还承担较大的不平衡弯矩,节点处的应力比较集中,非常容易发生节点的脆性冲切破坏,在整个结构的受力

作用下,进而发生严重的连续性倒塌。因此,中国及其他国家学者对板柱结构抗冲切性能进行了大量的研究,分析了其破坏机理及力作用机制。本文对板柱结构研究现状进行了综述,梳理了规范对板柱结构抗冲切承载力的计算方法,分析了影响板柱结构冲切性能的因素,为板柱结构抗冲切性能进一步研究及应用提供了参考。

## 2 板柱结构抗冲切性能研究现状

Raffaele 等<sup>[1]</sup>通过对配有剪力销钉的板柱节点试件进行试验,验证了这种新型板柱结构抗冲切加固的有效性。结果表明,带有剪力销钉的板柱节点即提高了抗冲切承载力,又提高了节点的变形能力。同时,将试验结果与临界剪切裂缝理论模型的计算结果进行了对比,表明理论模型计算具有良好的预测性。

Navarro 等<sup>[2]</sup>利用 ABAQUS 有限元分析软件建立了配

【作者简介】张凯(1995-),男,中国河南兰考人,硕士,从事土木工程—结构工程研究。

有抗剪螺栓的四分之一板柱结构模型,分析了抗剪螺栓在三种不同布置形式(双线、放射状、菱形)的板柱结构的抗冲切效应,结果表明,抗剪螺栓的放射状布置是最适合的板柱结构加固方式,抗剪螺栓的布置间距与抗剪螺栓直径成正比,并建议第一组抗剪螺栓到柱端面之间的距离约为抗剪螺栓直径的5倍。

Bu等<sup>[3]</sup>通过对5个带有剪切螺栓加固的板柱节点试件进行了水平往复地震荷载和重力荷载试验研究。结果表明,配有剪切螺栓的板柱节点在侧向承载力、极限破坏荷载以及失效破坏时延性均有明显提高,使板柱节点由脆性破坏转为延性,提高了板柱节点的耗能能力。

### 3 板柱结构抗冲切承载力规范计算公式

#### 3.1 中国规范 GB50010—2010

中国规范<sup>[4]</sup>基于偏心剪应力模型,其无抗剪钢筋的板柱结构抗冲切承载力的计算公式为:

$$F_1 = (0.7\beta_h f_t + 0.25\sigma_{pc,m})\eta u_m h_0 \quad (1)$$

#### 3.2 欧洲规范 EC2—2004

对于无抗剪钢筋的板柱结构,其抗冲切承载力按下式计算<sup>[5]</sup>:

$$V_{Rd,c} = 0.18k(100\rho_{ct})^{1/3}u_1d \quad (2)$$

#### 3.3 美国规范 ACI318—19

美国规范<sup>[6]</sup>中板柱结构抗冲切承载力 $V_c$ 为下列计算式中最小值:

$$V_c = 0.083\left(2 + \frac{4}{\beta}\right)\sqrt{f_c'}b_0d \quad (3)$$

$$V_c = 0.083\left(\frac{a_s d}{b_0} + 2\right)\sqrt{f_c'}b_0d \quad (4)$$

$$V_c = 0.333\sqrt{f_c'}b_0d \quad (5)$$

#### 3.4 英国规范 BS8110—97

规范<sup>[7]</sup>规定板柱结构的冲切控制截面为距柱边1.5倍板有效高度,其抗冲切承载力的计算公式为:

$$V_p = 0.79u_m h_0 \sqrt[3]{100\rho} \sqrt[4]{\frac{400}{h_0}} \sqrt[3]{\frac{f_{cu,k}}{25}} \quad (6)$$

### 4 板柱结构抗冲切性能的影响因素

大量研究表明,板柱结构的抗冲切性能受多种因素的影响,主要分为以下几种。

#### 4.1 混凝土强度

混凝土是板柱结构的一种重要的建筑材料,对板柱结构抗冲切性能的影响很大。大量研究表明,在一定的范围内,高强度混凝土可显著提高板的抗冲切能力,并且板的抗弯钢筋使用效率较高。

#### 4.2 纵向钢筋配筋率

板的纵向钢筋不仅作用在抗弯阶段,还具有销栓作用,可以抑制受拉区混凝土裂缝的开展,进而影响板柱节点抗冲切承载力。研究表明,在一定范围内,增大纵筋配筋率可提高板柱节点的抗冲切承载力,但具有非线性关系,改变纵筋的布置方式也可改善板柱节点的受力性能。

#### 4.3 抗冲切元件

随着土木工程行业的快速发展,普通混凝土板柱结构的抗冲切性能已无法满足社会的需要,国内外学者通过配置抗冲切元件来提高板柱结构的抗冲切性能,常见的抗冲切元件有弯起钢筋、锚栓、箍筋、型钢剪力架及纤维增强聚合物等,产生了一些新型的板柱结构体系,这些抗冲切元件即能提高板柱结构的抗冲切承载力,又能改善板柱结构的延性。

#### 4.4 其他

除以上主要的因素之外,还有一些因素也影响着板柱结构的抗冲切性能。如板柱结构的冲跨比及板厚,在一定范围内,减小冲跨比,可提高板柱结构抗冲切承载力,但延性会降低。另外柱子的截面形式、柱子安放的位置以及板上开洞等都会对板柱结构的抗冲切性能产生影响。

### 5 结语

①不同的学者对板柱结构的不同形式进行了研究分析,给出了板柱结构的理论分析模型及有效的计算方法,为以后新型板柱结构的产生奠定了理论基础。

②分析梳理了各国规范对板柱结构抗冲切承载力的计算公式,为学者分析研究板柱结构的受力情况及数值计算提供了理论依据。

③在一定范围内,改变影响板柱结构抗冲切性能的因素,可提高板柱结构的抗冲切承载力以及改善延性,但配置有不同的抗冲切元件的板柱结构发生冲切破坏的机理存在差异,需要进一步分析研究。

④目前国内外学者对板上开洞、边柱和角柱的研究较少,这种板柱结构形式在荷载作用下的受力比较复杂,需要进一步深入分析研究。

#### 参考文献

[1] Raffaele C, Miguel F R, Bujnak J, et al. Enhancing punching strength and deformation capacity of flat slabs[J]. ACI Structural

- Journal,2019,116(5):261-274.
- [2] Navarro M, Ivorra S, Varona F B. Parametric finite element analysis of punching shear behaviour of RC slabs reinforced with bolts[J]. Computers & Structures,2020(228):106-147.
- [3] Bu W, Polak M A. Seismic retrofit of reinforced concrete slab-column connections using shear bolts[J]. ACI Structural Journal,2009,106(4):514-522.
- [4] GB 50010—2010 混凝土结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [5] EN 1992—1—1 Eurocode 2 Design of Concrete Structures, Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings[S].2004.
- [6] ACI 318—19 Building code requirements for structural concrete and the commentary:[S]. American Concrete Institute,2019.
- [7] BS 8110—97 Structural use of concrete, Part 1: Code of Practice for Design and Construction[S]. British Standards Institution, London, UK,1997.