

Review on the Research Progress of Blind Bolts for Assembly Steel Structures

Jie Yin*, Honggang Lei#, Jinfeng Jiao

School of Architecture and Civil Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan Shanxi
Email: 742825396@qq.com, #lhgang168@126.com

Received: Feb. 16th, 2019; accepted: Mar. 5th, 2019; published: Mar. 12th, 2019

Abstract

The key to the design of fabricated steel structure is the design of beam-column joints. Whether the node design is reasonable is directly related to the safety and economy of the whole structure. As a new type of bolt connection for beam and column joints—blind bolt connection, it is widely used in closed section joints. In this paper, the blind bolts are taken as the research object, and the static and seismic performance of bolts under tension, shear and tension-shear are discussed. The application and research status of beam-column joints are summarized in detail. Finally, suggestions are made for the problem of blind bolted joints to be further studied.

Keywords

Fabricated, Steel Structure, Blind Bolt, Fastening Mechanism, Beam Column Connection

装配式钢结构用单向螺栓的研究进展评述

尹杰*, 雷宏刚#, 焦晋峰

太原理工大学, 建筑与土木工程学院, 山西 太原
Email: 742825396@qq.com, #lhgang168@126.com

收稿日期: 2019年2月16日; 录用日期: 2019年3月5日; 发布日期: 2019年3月12日

摘要

装配式钢结构设计关键是梁柱节点连接设计, 其节点设计是否合理直接关系到整个结构的安全性和经济

*第一作者。

#通讯作者。

性。作为梁柱节点新型螺栓连接——单向螺栓连接，其广泛应用于封闭式截面构件连接。本文以单向螺栓为研究对象，主要探讨了螺栓受拉、受剪和拉-剪联合作用下的静力和抗震性能，并对其在梁柱节点方面的应用和研究现状进行了详细的总结和评述。最后，对单向螺栓连接节点有待深入研究的问题提出了建议。

关键词

装配式，钢结构，单向螺栓，紧固原理，梁柱连接

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着国内钢结构产业的迅猛发展，越来越多的装配式钢结构建筑进入人们的视野[1] [2] [3] [4]。在装配式钢结构建筑中，高强螺栓作为主要连接件被广泛应用[5] [6]。单向螺栓是一种新型的高强螺栓，可以实现单侧安装、单侧拧紧功能，有效地解决了闭口截面无法双侧作业的问题[7] [8] [9]。多年来，国内外学者对单向螺栓受力性能进行了大量研究工作，有些研究成果为实际的工程设计提供了很好的依据。单向螺栓示意图如图 1 所示。

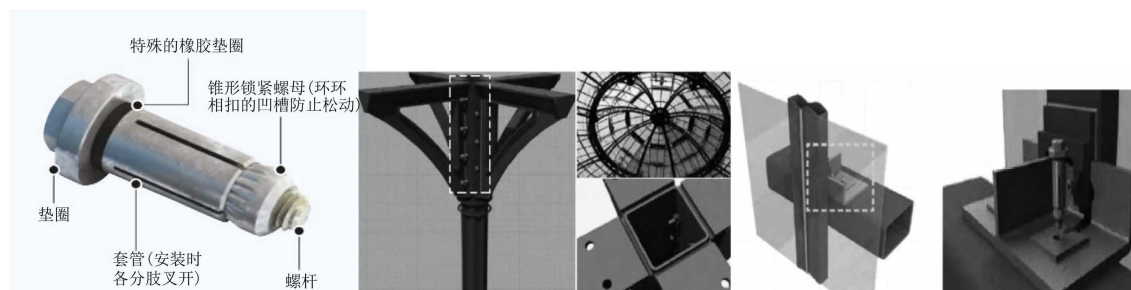


Figure 1. The schematic diagram of blind bolt and its application

图 1. 单向螺栓示意图及其应用

2. 静力性能

2.1. 抗拉承载力

装配式钢结构建筑的梁柱节点[10] [11]、外墙板，在风荷载、地震作用等情况下，单向螺栓会承受拉力。此外，在单向螺栓尾部增加构造措施或者在方钢管中填充混凝土，都提高了螺栓的抗拉性能。Wang [12]等研究了单向螺栓端板连接节点在拉伸作用下屈服强度并建立模型，此模型考虑了柱的塑性发展和节点的破坏模式下螺栓的复合作用，为端板连接强度设计提供了依据。曲慧、潘洪伟[13] [14]发现考虑混凝土粘结效应后的单向螺栓 HB 的破坏模式为中心螺栓达到抗拉极限承载力后被拉断，这是因为混凝土的粘结效应使 HB 的破坏从套管转移到中心螺杆。王雅纯[15]等得出国产单向螺栓的抗拉力稍低于日本单向螺栓，主要是由于材质和加工工艺造成的。汤镇州[16]通过 ABAQUS 有限元分析软件，提出了两种单向螺栓拉拔模型的建立方法，并通过试验验证了其可行性。柴文娟[17]研究发现常规高强螺栓抗拉极限承载

力明显高于单边高强螺栓,这是因为单边高强螺栓因外套管分肢挤压弯折变形而失效。朱绪林[18]采用带有内螺纹的螺栓孔代替螺母,实现螺栓的锚固,发现预紧力对节点极限抗拉承载力基本无影响。李德山[19]等发现在节点核心区焊接4根和8根约束拉杆的抗拉承载力比无加强措施的抗拉承载力分别提高32.2%和42.9%。郭琨、何明胜等[20][21][22]在钢板上钻出丝孔充当螺母,发现螺栓的抗拉随钢板厚度增加而大幅增加。李望芝[23][24]等通过试验得出管壁和贴板强度对螺栓抗拉极限承载力影响较大,单个螺栓极限抗拉承载力随着螺栓数量的增多而有所下降。蒋蕴涵[25]等研究发现单向螺栓轴向拉伸刚度分为3个阶段,通过改进锥头强度等措施可以提高其轴向拉伸刚度。简小刚[26]等对拉伸试验中失效的Hollo-Bolt螺栓套管肢进行了理化检验及失效分析,在此基础上提出了一系列改进措施,以提高其力学性能。王培军[27]等研究发现节点的抗拉强度随温度的升高而降低,其降低程度与高温对钢材材性的折减程度一致。刘礼[28]研究发现柱壁厚度的增加以及方钢管尺寸的增大导致单个螺栓承载力增加,而增加螺栓的个数会导致单个螺栓的承载力降低。王冬花[29]等在考虑了端板类型、楼板组合作用等不同因素下,给出了螺栓抗拉承载力在不同破坏模式下的简化计算方法。谭丁[30]等研究得出混凝土对节点的极限承载力影响不大,单向螺栓可以替代传统高强螺栓以连接钢管混凝土节点。Sami [31]等研究了空方钢管外伸端板单向螺栓连接节点的静力试验,试验锚固表明单向螺栓在抗拉及抗弯方便具有良好的性能 Theodoros [32]等研究发现加锚杆的扩展单向螺栓 EHB 比普通单向螺栓有更好的抗拉刚度,这是因为 EHB 可以减少膨胀套管的变形和相对滑移。Mahdi [33]等研究发现双套管的单向螺栓比扩展型单向螺栓具有更好的抗拉性能,螺栓直径增大提高了双套管的抗拉性能。Hossein Agheshlui [34]等研究了在 AJAX ONESIDE blind bolt 尾端加装一个锚固杆后测其抗拉性能,发现单向螺栓在相对于柱侧壁的位置对其抗拉性能影响明显。刘飞[35]研究发现 SHSOB 螺栓为端被冲切破坏,而普通扭剪型高强螺栓为螺杆拉断。这直接导致 SHSOB 螺栓破坏时的极限拉力值小于扭剪型高强螺栓的极限拉力值。

2.2. 抗拉刚度

Ellison [36]等通过比较有扩展型 HB 和普通 HB 用于钢管混凝土柱 T 型连接的力学性能,得出普通 HB 比有外伸杆 HB 的 T 型连接表现出了更大的初始变形,说明混凝土的粘结效应增强了单向螺栓的抗拔刚度,减小了初始变形。丁娟[37]等研究了高强螺栓自攻螺纹连接形式在单向拉伸试验下的破坏模式,发现自攻螺纹钢板刚度大于螺杆刚度的破坏模式表现出更好的塑性破坏特性。李国强[38][39]等研究发现国产单向螺栓抗拉承载力的理论值和**高强螺栓承压型连接抗拉承载力理论值**相同,并提出了国产单向螺栓轴向抗拉刚度的理论计算公式。Barnett [40]研究了 RMH 单向螺栓的抗拉性能,发现该类型螺栓具有良好的强度和刚度。Yusak Oktavianus [41]等提出一种简化的方法来估计带锚固头的单向螺栓在钢管混凝土柱与梁连接中的抗拉性能,该方法可以直观的观测到混凝土或螺栓的破坏形式和顺序。

各学者研究的单向螺栓抗拉承载力计算方法见表 1,对比发现国内外单向螺栓在螺杆被拉断破坏模式下计算结果相似。国外单向螺栓由于套管材料的不同,会出现套管被剪断的破坏模式,而国内单向螺栓由于套管材料强度高,只有小直径螺栓存在被整体拔出破坏,其它尺寸的螺栓破坏形式均为螺杆被拉断,故可知单向螺栓抗拉承载力的理论值和**高强螺栓承压型连接抗拉承载力理论值**相同。

2.3. 抗剪性能

吴院生[42]研究了单向螺栓 BOM-R20 型单面紧锁螺栓的抗剪性能,发现 6 个试件螺栓均在中部被剪断,并得出了单个螺栓的抗剪承载力设计值。Yeomans [43]研究了方钢管柱 T 型节点单向螺栓连接的抗剪性能,发现应适当考虑单向螺栓套管对其抗剪承载力的影响。Liu [44][45][46][47]等研究了方钢管柱与 H 型钢梁单向螺栓连接节点的抗剪性能,并发现单向螺栓的抗剪性能要优于传统的高强螺栓。刘康[48]

等使用内套筒作为拼接构件的节点在承受轴力时，破坏模式为螺栓剪切断裂，此类拼接节点可按钢结构设计规范建议公式进行设计。Satasivam [49]等研究了纤维增强复合材料钢板拉伸方向对单向螺栓连接节点抗剪刚度和承载力的影响，发现拉伸方向对滑移模量的影响较小。张齐[50]等基于国内钢结构设计规范的要求，由其抗剪时的破坏形式得出自攻螺纹高强螺栓作为承压型高强螺栓进行设计可以满足规范要求。

Table 1. Ensile capacity of four types of blind bolts
表 1. 四种类型单向螺栓抗拉承载力

	公式	破坏模式	备注
Hollo-bolt 单向螺栓抗拉承载力	$B_{as} = \frac{k_2 \sigma_{as} A_{sh}}{\gamma_{M2}}$	螺杆被拉断	σ_{as} 为螺栓材料抗拉强度, A_{sh} 为螺杆有效截面面积, k_2 和 γ_{M2} 分别取 0.9 和 1.25
	$B_{sh} = \frac{\sqrt{2} \sigma_{sh} t_s (\pi d_{sl} - 4b_s)}{\sqrt{3}}$	套管被剪断	t_s 为套管张开部分的平均厚度, σ_{sh} 为材料抗拉强度; d_{sl} 为未张开时套管外缘直径, b_s 为套管分隔部分之间宽度
国产单向螺栓抗拉承载力设计值	$F_{max} = 0.48 \sigma_s A_e$	螺杆被拉断	σ_s 为螺杆的抗拉强度, A_e 为螺杆的有效面积
攻丝型单向螺栓抗拉承载力	$F_{bo} = 0.25 l_{eff} t_{cf}^2 f_y \frac{l}{a(l-a)}$	方钢管端部破坏	l_{eff} 为塑性较长长度, t_{cf} 为方钢管柱壁厚, f_y 为方钢管柱壁屈服强度, a 为螺栓距离方钢管柱壁约束处的距离, l 为方钢管管内的净尺寸
单向螺栓尾部焊接钢筋	$F_{bo} = \frac{A_{bo} \cdot f_{y,bo} + \tau \alpha \frac{l_a}{d} f_i}{\gamma_{bo}}$	螺栓屈服或断裂	A_{bo} 为单个螺栓截面面积; γ_{bo} 为考虑螺栓撬力影响折减系数, 取 1.33; $f_{y,bo}$ 为螺栓屈服强度; l_a 、 d 为锚固钢筋长度和直径; τ 为锚固力影响系数; α 为锚固钢筋外形系数; f_i 为混凝土抗拉强度设计值

综上所述，单向螺栓的抗剪承载力由螺杆和外套管共同提供(见表 2)，相比于普通的高强螺栓以及同样是用在闭合截面的对穿螺栓，对穿螺栓对于柱截面的尺寸选择有一定限制，而单向螺栓可以用在大截面尺寸的梁柱构件中，并且单向螺栓可以提供更高的抗剪强度，比对穿螺栓具有更高的抗剪承载力，设计时可以按传统的摩擦型高强螺栓进行设计。

Table 2. Shear capacity of three kinds of bolts
表 2. 三种不同类型螺栓的抗剪承载力

	公式	破坏模式	备注
扭剪型单向螺栓	$P_t = P_f + P_v P_f = 0.9 k n_f \mu N$ $P_v = \frac{1}{\sqrt{3}} (\sqrt{f_y^2 - \sigma^2} A_c + f_y A_t)$	螺杆和外套筒同时剪断	P_f 发生摩擦滑移破坏时的摩擦承载力, P_v 为螺栓杆承受的剪力, f_y 为材料屈服强度, A_c 为螺栓杆螺纹处面积, A_t 为套筒截面面积
国产单向螺栓	$V_{max} = \tau_s A_s$	螺杆和外套筒同时剪断	τ_s 为单向螺栓的抗剪强度(包括螺杆和套筒), A_s 为单向螺栓的截面积(包括螺杆和套筒)
对穿螺栓	$R_n = n F_v A_b$	螺杆剪断	n 为螺栓剪切面个数, F_v 为螺栓材料极限抗剪强度, A_b 为剪切面面积

3. 抗震性能

李维伟[51]研究发现单向螺栓连接节点具有良好的转动能力和延性，有利于满足抗震设计的要求，节点弯矩-转角曲线表现出明显的非线性。王静峰等[52] [53] [54]研究了钢管混凝土组合框架端板连接节点的滞回性能，发现同级荷载作用下没有明显的强度和刚度退化。黄春晓[55]对比静力荷载模拟结果，发现低周反复荷载作用下的抗弯承载力和刚度性能均有所下降。张娜[56]通过研究圆中空夹层钢管混凝土柱半刚性节点的滞回曲线，得出节点滞回性能较饱满，其强度刚度在达到峰值后降低不明显。贺泽峰[57]通过对新型单边全螺栓连接节点和普通全螺栓连接节点进行低周反复试验，表明新型单边全螺栓连接节点属

于半刚性节点范围。彭啸[58]通过试验得出单向螺栓端板连接方钢管和圆钢管混凝土框架的累积滞回耗能随着加速度峰值的变大而不断增加,设计时应着重考虑端板形式影响。刘礼、焦健[59][60]利用在柱壁相应位置攻丝形成单向螺栓,发现与传统的栓焊连接方式相比较,新型全螺栓连接具有更好的承载能力和抗震性能。Li [61]等通过在框架中间填充钢板剪力墙,发现在刚度、强度、延性和耗能等方面,柱截面类型对填充框架的体系的抗震性能影响不大。Mourad [62][63]等基于极限状态设计法,对比已有试验数据及有限元分析模型,对 HSBB 单向螺栓连接节点进行低周循环加载试验,发现一般框架的分析方法可以用来模拟此类节点。Wang [64]研究了在反复荷载作用下,楼板对单向螺栓连接钢管混凝土框架力学性能的影响,发现此类框架节点具有良好的滞回性能、较大的延性和较好的耗能能力。Yusak Oktavianus [65]在单向螺栓尾部加两个锚固头形成双锚固头单向螺栓,并研究了其在反复荷载作用下的拉拔性能。

4. 节点研究

4.1. 节点抗弯性能

单向螺栓连接节点有平齐式和外伸式端板连接、T 型连接以及贴板自攻螺纹连接。王志宇[66]等得出可以在拉力作用下连接件荷载折算来评估单向螺栓连接节点在屈服极限平衡条件下的受弯承载力。Korol [67]等研究了 BOM 单向螺栓连接方钢管柱外伸端板连接节点的破坏形态,发现此种连接节点具有较好的承载力及延性。张娜[56]通过在螺栓尾部焊接钢筋等加强措施,发现这几种措施都可以不同程度的提高圆钢管混凝土节点的极限抗弯承载力。李国强[68][69]等研究了国产单向螺栓平齐式和外伸式端板连接节点的抗弯性能,并给出了相应的破坏模式对应的抗弯承载力公式。李德山[70][71][72]等通过在节点核心区外焊槽钢或内置短 H 型钢形成加强型节点,发现该节点可以显著提高抗弯承载力。管长勇[73]研究了单向螺栓连接角钢节点在中柱失效后的抗倒塌性能,节点主要依靠抗弯机制抵抗竖向荷载,在梁顶部加角钢可以大幅改善其力学性能。王燕[74]等研究得出单边高强度螺栓 T 型件节点与常规高强螺栓 T 型件节点的承载力基本相同。

4.2. 节点刚度

Elghazoul [75]等根据单向螺栓角钢连接的破坏模式,提出了节点的简化刚度模型,并给出了相应的计算公式。郭水平、陈莉萍[76][77]研究发现随着端板厚度的增加,节点的弯矩承载力和初始刚度有显著提高。刘坚等[78][79]提出新型节点的弯矩转角曲线模型,并给出了其对应的公式。France [80][81][82]等对 Flowdrill 单向螺栓连接钢管混凝土柱-钢梁连接节点进行了一系列试验,表明这类节点整体性好,且具有良好的转角延性。张琳[83]通过对钢管混凝土柱-钢梁单向螺栓外伸端板连接节点的低周反复荷载试验研究,得出端板厚度越大,节点初始刚度越大。王冬花[84]发现在低周反复荷载作用下,方钢管混凝土组合框架破坏刚度为初始刚度的 18.6%~26.9%,而圆钢管为 18.8%~28.7%。史伟伟[85]研究发现单向螺栓外伸端板连接节点在常温下抗弯承载力和初始刚度较高,破坏区在钢梁受压翼缘,当温度超过 500°时破坏区发展到钢管柱。Wijesiri Pathirana [86]等研究了 M20-8.8 级单向螺栓和普通栓焊连接在组合梁中复合作用的性能,研究表明带有单向螺栓的复合钢-混凝土梁展现出比栓焊连接更优良的刚度。Wang [87]等发现增加内隔板、加厚柱壁或者填充混凝土可以大幅提高连接的初始刚度,此连接符合欧洲规范 3 的刚性连接。Zhong [88]等研究发现楼板的存在明显提升了节点的刚度,但反复荷载明显降低了节点的刚度。Tizani [89]研究得出带锚固头的单向螺栓用于钢管混凝土 T 型连接节点在混凝土粘结效应下,节点的刚度、强度都得以提高。Huu-Tai Thai [90]通过有限元分析软件对单向螺栓平齐端板进行建模,发现网格的划分不影响节点刚度。Sameera [86]等对比了两种类型单向螺栓和栓焊连接节点的刚度,发现单向螺栓连接节点的刚度与栓焊连接节点的刚度相当。Wang [91]等建立了单向螺栓 T 型连接节点的拉拔刚度模型并进行

分析,发现连接板的厚度和外套管撑开的角度对节点的刚度影响较大。Lee [92]等对方钢管柱与 T 型梁单向螺栓连接节点的进行静载试验研究,发现此类节点可以作为一种半刚性节点连接节点。李孝龙[93]等基于回归公式计算得到的形状参数可用在三参数模型中用于计算弯矩 - 转角关系,且与有限元与试验结果对比吻合良好,便于工程设计时使用。

综上所述,单向螺栓连接节点有良好的刚度,端板连接节点的弯矩转角曲线见图 2,此类节点均属于半刚性连接节点。对比发现,三种节点破坏模式下,外伸式端板连接节点有更高的承载力,而平齐式端板连接节点有更好的转动能力,有更好的延性。在单向螺栓尾部增加构造措施或是在节点增加构造,不仅可以提高单个螺栓的承载力,还可以提高节点的抗弯承载力,使节点具有更高的强度。当钢管柱中填充混凝土时,由于混凝土的握裹力的作用,提高了节点的整体性,使节点刚度有所提高。而端板厚度的增加也可以提高节点刚度,但厚度增加到一定程度后节点刚度提高不明显。

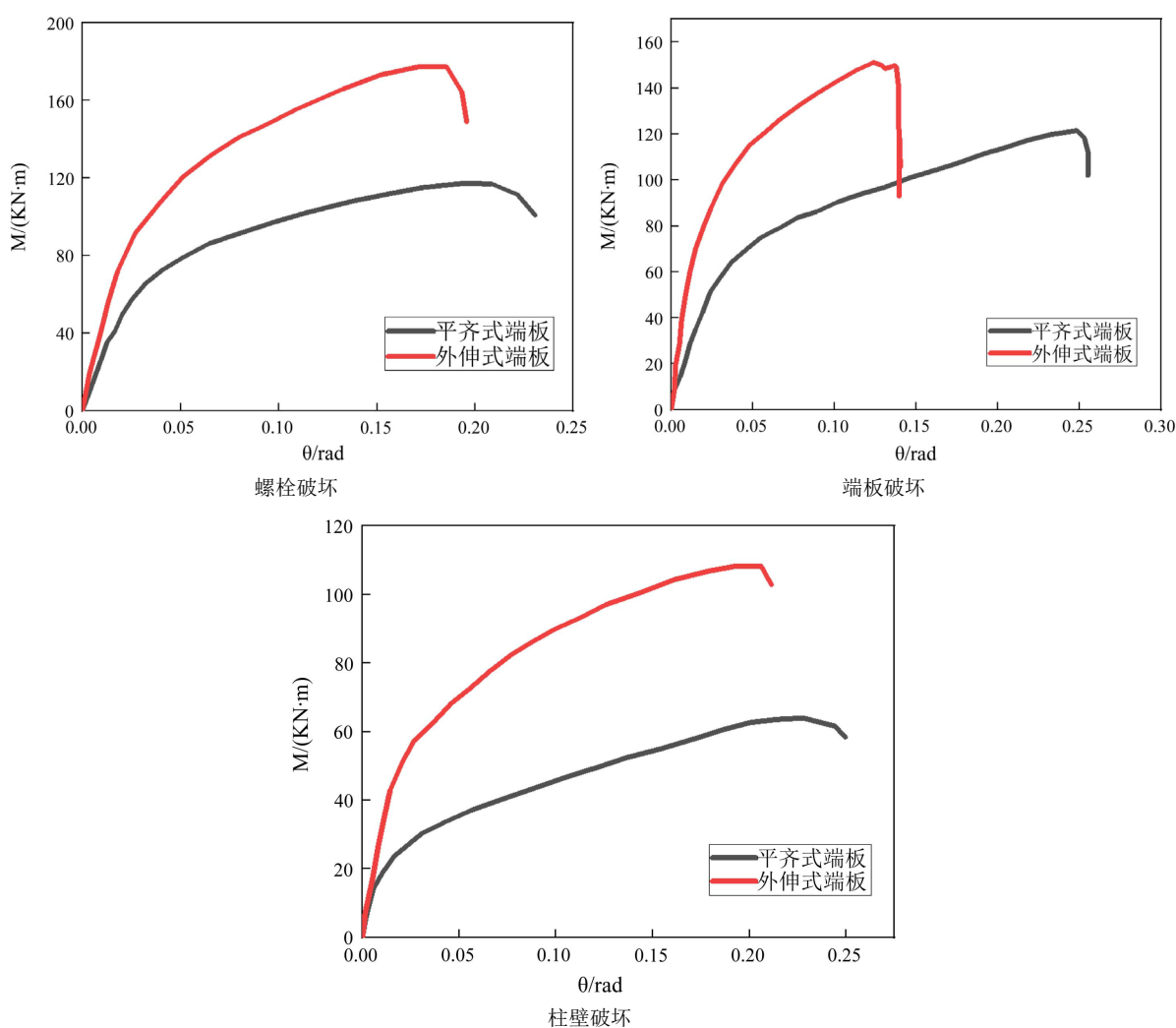


Figure 2. Bending moment-angle curve of horizontal and extended end plates

图 2. 平齐式与外伸式端板弯矩 - 转角曲线

5. 结论与建议

综上所述,对装配式钢结构住宅中单向螺栓的研究,主要集中在其种类及应用的研究,国外对于单

向螺栓在连接节点中的应用已经比较成熟, 并且有相应的规范可以作为设计依据。随着国内装配式钢结构住宅的不断发展, 单向螺栓将会有更为广阔的研究前景, 但笔者认为当前单向螺栓还在以下几个方面有待研究。

1) 单向螺栓在反复拉伸作用下, 锥头和套管及螺杆容易发生类似脱扣现象, 影响其承载力, 需要进一步研究卸荷后承载力的损失情况。

2) 通过对管壁挤开型螺栓的研究, 当对螺栓施加预紧力, 孔和套管开始挤压, 在持续剪切力作用下, 产生塑性滑移, 影响工作性能。可以设置相关连接端板或柱壁的模数, 减小螺栓开始工作前对套管的破坏, 同时也可以加快节点装配速度。

3) 对于小截面的连接板件, 由于单向螺栓套管的存在, 连接件上开洞的尺寸要大于传统高强螺栓, 影响连接件的强度, 需要通过研究确定单向螺栓适用的最小截面尺寸。

4) 缺乏对国内单边螺栓在反复荷载作用下疲劳性能的研究。

5) 套筒张开型的单向螺栓轴拉作用下的破坏模式为螺杆被拉断, 而实际中套管被挤压变形已经大大降低其承载力, 需要进一步研究其套管破坏时的抗拉承载力。

6) 需要对比几种不同类型的单向螺栓的承载力, 对比其在抗拉、抗剪方面的优缺点及适用范围。

参考文献

- [1] 叶之皓. 我国装配式钢结构住宅现状及对策研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2012.
- [2] 周子淳. 一种新型的第三类高层钢结构住宅体系的试验研究及可行性分析[D]: [硕士学位论文]. 太原: 太原理工大学, 2016.
- [3] 卢俊凡, 王佳, 李玮蒙, 等. 装配式钢结构住宅体系的发展与应用[J]. 城市住宅, 2014(8): 26-29.
- [4] 王雅虹. 山西省装配式钢结构住宅适宜技术研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 太原理工大学, 2017.
- [5] 王双, 王波, 侯兆新, 等. 自锁式单向螺栓工程影响现状与研究方向[J]. 钢结构, 2016, 31(9): 30-33.
- [6] 雷宏刚, 邱斌, 姬艳玲. 装配式轻钢结构住宅中自攻螺丝连接受力性能研究评述[J]. 太原理工大学学报, 2017, 48(3): 265-274.
- [7] 徐婷, 王伟, 陈以一. 国外单边螺栓研究现状[J]. 钢结构, 2015, 30(8): 27-33.
- [8] 陈珂璠, 李宇晗, 陆金钰. 单边紧固螺栓在结构工程中应用的研究进展[J]. 江苏建筑, 2016(1): 27-30.
- [9] 吴玉全, 汪发. 梁-钢管柱节点暗螺栓连接研究概述[J]. 低温建筑技术, 2011, 33(2): 48-50.
- [10] 赵金峰. 装配式钢管混凝土柱-钢梁节点力学性能试验研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2011.
- [11] 张梁, 陈以一. 方钢管柱与 H 型钢梁连接形式评述[J]. 结构工程师, 2009, 25(4): 130-137.
- [12] Wang, Z.Y. and Wang, Q.Y. (2016) Yield and Ultimate Strengths Determination of a Blind Bolted Endplate Connection to Square Hollow Section Column. *Engineering Structures*, **111**, 345-369. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.11.058>
- [13] 曲慧, 潘洪伟, 刘艳芝, 等. 考虑混凝土粘结效应的盲眼螺栓抗拉性能研究[J]. 西南交通大学学报, 2017, 52(5): 985-993.
- [14] 潘洪伟. 盲眼螺栓 Holo-bolt 抗拉性能研究[D]: [硕士学位论文]. 烟台: 烟台大学, 2017.
- [15] 王雅纯, 林万雅. 单向固定螺栓和单向连接螺栓[J]. 工业建筑, 1991(12): 14-17.
- [16] 汤镇州, 覃健桂. 单边螺栓拉拔试验的有限元模拟[J]. 低温建筑技术, 2018, 40(5): 37-40.
- [17] 柴文娟. T 型件单边高强螺栓连接节点力学性能试验研究及有限元分析[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛理工大学, 2017.
- [18] 朱绪林. 常温及火灾下单边螺栓 T 型节点抗拉性能研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2017.
- [19] 李德山, 陶忠, 王志滨. 钢管混凝土柱-钢梁单边螺栓连接节点静力性能试验研究[J]. 湖南大学学报, 2015, 42(3): 43-49.
- [20] 郭琨. 轻钢结构新型全螺栓连接螺栓力学性能研究[D]: [硕士学位论文]. 石河子市: 石河子大学, 2014.

- [21] 郭琨, 何明胜, 田振山. 新型全螺栓连接承载力的试验研究及性能分析[J]. 石河子大学学报, 2014, 32(4): 504-510.
- [22] 何明胜, 李志强, 贺泽峰. 新型单边螺栓承载力试验研究[J]. 兰州理工大学学报, 2016, 42(2): 118-123.
- [23] 李望芝, 何明胜, 贺泽峰, 刘礼. 新型单边全螺栓连接螺栓抗拉承载力影响因素研究[J]. 建筑结构, 2017, 47(6): 29-34.
- [24] 李望之. 钢框架新型全螺栓连接节点抗震性能试验研究[D]: [硕士学位论文]. 石河子市: 石河子大学, 2017.
- [25] 蒋蕴涵, 李国强, 侯兆新, 张杰华, 陆焯. 8.8 级国产单向螺栓连接轴向拉伸刚度试验研究[J]. 建筑钢结构进展, 2018, 20(5): 22-30.
- [26] 简小刚, 谢学兴, 等. Holo-Bolt 单向螺栓套管肢断裂原因分析[J]. 理化检验: 物理分册, 2017, 53(9): 679-682.
- [27] 王培军, 乌兰托亚, 朱绪林. 单边螺栓 T 型节点火灾高温下抗拉性能[J]. 防灾减灾工程学报, 2018(3): 425-431.
- [28] 刘礼. 钢框架新型全螺栓连接节点承载力计算方法研究[D]: [硕士学位论文]. 石河子市: 石河子大学, 2018.
- [29] 王冬花, 元萌. 正弯矩作用下端板连接钢管混凝土组合节点的计算简化模型[J]. 景德镇学院学报, 2018, 33(3): 10-14.
- [30] 谭丁, 刘艳芝, 等. 盲眼螺栓连接方钢管混凝土 T 型节点的抗拉性能[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2018, 15(3): 64-70.
- [31] Tabsh, S.W. and Mourad, S. (1997) Resistance Factors for Blind Bolts in Direct Tension. *Engineering Structures*, **19**, 995-1000. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(97\)00011-4](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(97)00011-4)
- [32] Pittrakkos, T. and Tizani, W. (2013) Experimental Behaviour of a Novel Anchored Blind-Bolt in Tension. *Engineering Structures*, **49**, 905-919. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.12.023>
- [33] Jeddi, M.Z. and Sulong, N.H.R. (2018) Pull-Out Performance of a Novel Anchor Blind Bolt (TubeBolt) for Beam to Concrete-Filled Tubular (CFT) Column Bolted Connections. *Thin-Wall Structures*, **124**, 402-414. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2017.12.028>
- [34] Agheshlui, H., Goldsworthy, H., Gad, E. and Fernando, S. (2016) Tensile Behaviour of Anchored Blind Bolts in Concrete Filled Square Hollow Sections. *Materials and Structures*, **49**, 1511-1525. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0592-8>
- [35] 刘飞. 单面螺栓连接及装配式钢结构节点理论与试验研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2015.
- [36] Ellison, S. and Tizanj, W. (2004) Behaviour of Blind Bolted Connections to Concrete Filled Hollow Sections. *Structural Engineer*, **82**, 16-17.
- [37] 丁娟, 张其林, 等. 多层预拼装钢结构系统特殊连接螺栓性能试验研究[J]. 结构工程师, 2014, 30(4): 112-117.
- [38] 李国强, 张杰华, 等. 钢结构用国产自锁式 8.8 级单向螺栓承载性能[J]. 建筑科学与工程学报, 2018, 35(1): 9-16.
- [39] 李国强, 张杰华. 钢结构用自锁式单向螺栓抗拉刚度分析模型[J]. 建筑科学与工程学报, 2018, 35(2): 1-7.
- [40] Barnett, T.C., Tizani, W. and Nethercot, D.A. (2000) Blind Bolted Moment Resisting Connections to Structural Hollow Sections. In: *Connections in Steel Structures IV: Steel Connections in the New Millennium*, Roanoke, VA.
- [41] Oktavianus, Y., Chang, H.F., Goldworthy, H.M. and Gad, E.F. (2017) Component Model for Pull-Out Behaviour of Headed Anchored Blind Bolt within Concrete Filled Circular Hollow Section. *Engineering Structures*, **148**, 210-224. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.06.056>
- [42] 吴院生. 冷弯方管柱——H 型钢梁节点连接承载力研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2005.
- [43] Yeomans, N.F. (1998) Rectangular Hollow Section Column Connections Using the Lindapter HoloBolt. *8th International Symposium on Tubular Structures*, **8**, 559-566.
- [44] Liu, Y., Málaga-Chuquitaype, C.C. and Elghazouli, A.Y. (2012) Behaviour of Beam-to-Tubular Column Angle Connections under Shear Loads. *Engineering Structures*, **42**, 434-456. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.04.027>
- [45] Liu, Y., Málaga-Chuquitaype, C.C. and Elghazouli, A.Y. (2012) Response and Component Characterization of Semi-Rigid Connections to Tubular Columns under Axial Loads. *Engineering Structures*, **41**, 510-532. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.03.061>
- [46] Liu, Y.Z. (2012) Behaviour of Beam-to-Tubular Column Connections under Extreme Loading Conditions. Doctoral Thesis, Imperial College, London.
- [47] Liu, Y., Málaga-Chuquitaype, C.C. and Elghazouli, A.Y. (2014) Behaviour of Open Beam-to-Tubular Column Angle Connections under Combined Loading Conditions. *Steel and Composite Structures*, **16**, 157-185. <https://doi.org/10.12989/scs.2014.16.2.157>
- [48] 刘康, 李国强, 等. 方钢管柱内套筒柱-柱螺栓拼接节点受力性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2018, 39(10):

- 112-121.
- [49] Satasivam, S., Feng, P., Bai, Y. and Caprani, C. (2017) Composite Actions within Steel-FRP Composite Beam Systems with Novel Blind Bolt Shear Connections. *Engineering Structures*, **138**, 63-73. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.01.068>
- [50] 张齐, 张其林, 丁娟. 多层预拼装钢结构系统特殊连接螺栓抗剪性能试验研究[J]. 结构工程师, 2014, 30(5): 154-159.
- [51] 李维伟. 单面锁紧螺栓端板连接钢框架梁柱节点力学性能研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2006.
- [52] 王静峰, 韩林海, 郭水平. 半刚性钢管混凝土框架端板节点试验研究及数值模拟[J]. 建筑结构学报, 2009(S2): 219-224.
- [53] 王静峰, 龚旭东, 等. 钢管混凝土边柱与组合梁端板连接的抗震试验研究[J]. 土木工程学报, 2013(11): 44-53.
- [54] 王静峰, 王海涛, 等. 钢管混凝土柱-钢梁单边高强螺栓端板连接框架的拟静力试验研究[J]. 土木工程学报, 2017(4): 13-21.
- [55] 黄春晓. 方中空夹层钢管混凝土半刚性节点的数值分析和受力性能研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥工业大学, 2016.
- [56] 张娜. 圆中空夹层钢管混凝土柱半刚性节点的抗震试验与理论分析研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.
- [57] 贺泽峰. 新型全螺栓结构螺栓群承载力研究[D]: [硕士学位论文]. 石河子市: 石河子大学, 2016.
- [58] 彭啸. 单边螺栓端板连接钢管混凝土框架的抗震试验与理论研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.
- [59] 刘礼, 何明盛. 端板厚度对新型全螺栓连接节点的抗震性能影响[J]. 钢结构, 2018, 33(5): 17-22.
- [60] 焦健. 方钢管与H型钢梁全螺栓节点承载力试验研究及有限元分析[D]: [硕士学位论文]. 石河子市: 石河子大学, 2016.
- [61] Li, B.B., Wang, J.F., Lu, Y., Zhang, Z.D. and Wang, J.X. (2019) Seismic Response Tests and Analytical Assessment of Blind Bolted Assembly CFST Frames with Beam-Connected SPSWs. *Engineering Structures*, **178**, 343-360. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.10.009>
- [62] Mourad, S., Ghobarah, A. and Korol, R.M. (1995) Dynamic Response of Hollow Section Frames with Bolted Moment Connections. *Engineering Structures*, **17**, 737-748. [https://doi.org/10.1016/0141-0296\(95\)00002-0](https://doi.org/10.1016/0141-0296(95)00002-0)
- [63] Mourad, S., Korol, R.M. and Ghobarah, A. (2011) Design of Extended End-Plate Connections for Hollow Section Columns. *Canadian Journal of Civil Engineering*, **23**, 277-286. <https://doi.org/10.1139/196-029>
- [64] Wang, J.F., Li, B.B., Wang, D.H. and Zhao, C.F. (2017) Cyclic Testing of Steel Beam Blind Bolted to CFST Column Composite Frames with SBTD Concrete Slabs. *Engineering Structures*, **148**, 293-311. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.06.065>
- [65] Oktavianus, Y., Goldsworthy, H.M. and Gad, E.F. (2017) Cyclic Behaviour of Individual Double Headed Anchored Blind Bolts within CFST. *Journal of Constructional Steel Research*, **133**, 522-534. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2017.03.004>
- [66] 王志宇, 王清远, 等. 基于屈服线理论的螺栓端板连接方钢管柱承载力计算模型研究[J]. 建筑结构学报, 2016(6): 160-173.
- [67] Korol, R.M., Ghobarah, A. and Mourad, S. (1993) Blind Bolting W-Shape Beams to HSS Columns. *Journal of Structural Engineering*, **119**. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1993\)119:12\(3463\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1993)119:12(3463))
- [68] 李国强, 段炼, 等. H型钢梁与矩形钢管柱外伸式端板单向螺栓连接节点承载力试验与理论研究[J]. 建筑结构学报, 2015(9): 91-100.
- [69] 李国强, 段炼, 等. H型钢梁与矩形钢管柱端板单向螺栓连接节点初始转动刚度性能[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2018, 46(5): 565-573.
- [70] 李国强, 段炼, 等. H型钢梁与矩形钢管柱平齐端板单向螺栓节点承载力性能[J]. 同济大学学报, 2018, 46(2): 162-169.
- [71] 李德山, 王志滨. 加强型单边螺栓连接节点静力性能有限元分析[J]. 华侨大学学报, 2016, 37(4): 427-430.
- [72] 李德山, 王志滨. 方钢管混凝土柱-钢梁单边螺栓连接节点静力性能有限元分析[J]. 福州大学学报, 2016, 44(4): 543-547.
- [73] 管长勇. 盲眼螺栓连接方钢管柱-H型钢梁节点抗连续倒塌性能分析[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2017.

- [74] 王燕, 郑书朔, 柴文娟. 单边高强螺栓 T 型连接节点试验研究及数值模拟[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2018, 51(A1): 78-85.
- [75] Elghazouli, A.Y., Málaga-Chuquitaype, C., Castro, J.M. and Orton, A.H. (2009) Experimental Monotonic and Cyclic Behaviour of Blind-Bolted Angle Connections. *Engineering Structures*, **31**, 2540-2553. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.05.021>
- [76] 郭水平. 薄壁钢管混凝土框架梁柱端板连接节点的静力性能[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2010.
- [77] 陈莉萍. 半刚性钢管混凝土框架端板连接节点静力试验和理论分析[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2010.
- [78] 刘坚, 高奎, 等. 采用外套管式单边螺栓端板连接节点钢管混凝土框架滞回性能研究[J]. 建筑科学, 2017, 33(1): 88-95.
- [79] 刘坚, 高奎, 等. 带外套管钢管混凝土柱与钢梁节点力学性能研究[J]. 郑州大学学报(工学报), 2015, 36(5): 58-62.
- [80] France, J.E. Davison, J.B. and Kirby, P.A. (1999) Strength and Rotational Response of Moment Connections to Tubular Columns Using Flowdrill Connectors. *Journal of Constructional Steel Research*, **50**, 1-14. [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(98\)00235-1](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(98)00235-1)
- [81] France, J.E. Davison, J.B. and Kirby, P.A. (1999) Strength and Rotational Stiffness of Simple Connections to Tubular Columns Using Flowdrill Connectors. *Journal of Constructional Steel Research*, **50**, 15-34. [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(98\)00236-3](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(98)00236-3)
- [82] France, J.E. Davison, J.B. and Kirby, P.A. (1999) Moment-Capacity and Rotational Stiffness of Endplate Connections to Concrete-Filled Tubular Columns with Flowdrilled Connectors. *Journal of Constructional Steel Research*, **50**, 35-48. [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(98\)00237-5](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(98)00237-5)
- [83] 张琳. 半刚性钢管混凝土框架端板连接节点的抗震性能试验与理论研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.
- [84] 王冬花, 王静峰, 等. 装配式钢管混凝土组合框架的抗震性能试验研究[J]. 土木工程学报, 2017, 50(8): 20-28.
- [85] 史伟伟, 王静峰, 等. 高温下方钢管柱与钢梁外伸端板连接的力学性能及破坏机理[C]//中国力学学会. 第 21 届全国结构工程学术会议论文集: 第 3 册. 工程力学杂志社, 2012: 90-95.
- [86] Pathirana, S.W., Uy, B., Mirza, O. and Zhu, X. (2016) Flexural Behaviour of Composite Steel-Concrete Beams Utilising Blind Bolt Shear Connectors. *Engineering Structures*, **114**, 181-194. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.01.057>
- [87] Wang, W., Li, M.X., Chen, Y.Y. and Jian, X.G. (2017) Cyclic Behavior of Endplate Connections to Tubular Columns with Novel Slip-Critical Blind Bolts. *Engineering Structures*, **148**, 949-962. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.07.015>
- [88] Tao, Z., Hassan, M.K., Song, T.-Y. and Han, L.-H. (2016) Experimental Study on Blind Bolted Connections to Concrete-Filled Stainless Steel Columns. *Journal of Constructional Steel Research*, **128**, 825-838. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.10.016>
- [89] Tizani, W. and Pitakkos, T. (2015) Performance of T-Stub to CFT Joints Using Blind Bolts with Headed Anchors. *Journal of Structural Engineering*, **141**, 1-12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001169](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001169)
- [90] Thai H.-T., Vo T.P., Nguyen T.-K. and Pham, C.H. (2017) Explicit Simulation of Bolted Endplate Composite Beam-to-CFST Column Connections. *Thin-Wall Structures*, **119**, 749-759. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2017.07.013>
- [91] Wang, Z.Y., Tizani, W. and Wang, Q.Y. (2010) Strength and Initial Stiffness of a Blind-Bolt Connection Based on the T-Stub Model. *Engineering Structures*, **32**, 2505-2517. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.04.005>
- [92] Lee, J., Goldsworthy, H.M. and Gad, E.F. (2010) Blind Bolted T-Stub Connections to Unfilled Hollow Section Columns in Low Rise Structures. *Journal of Constructional Steel Research*, **66**, 981-992. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2010.03.016>
- [93] 李孝龙, 高敏. CFST 柱-钢梁单边螺栓端板连接节点弯矩-转角关系研究[J]. 建筑与装饰, 2018(21): 65-66.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3458，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjce@hanspub.org