

文章编号:1673-2049(2014)02-0057-08

冷弯薄壁型钢单颗自攻螺钉抗剪连接性能研究

石 宇¹,王身伟^{1,2},刘永健³

(1. 长安大学 建筑工程学院,陕西 西安 710061; 2. 沈阳金地长青房地产开发有限公司,辽宁 沈阳 110168;
3. 长安大学 公路学院,陕西 西安 710064)

摘要:为研究中国规范《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018—2002)计算壁厚 2 mm 以下钢板自攻螺钉连接抗剪承载力的适用性和钢板-非钢板单颗自攻螺钉连接抗剪承载力设计方法,对钢板-钢板、钢板-石膏板以及钢板-定向刨花板(OSB 板)连接件共计 34 个试件进行了试验研究,分析了板材类型、螺钉端距等因素对连接件抗剪承载力的影响,并将中国规范、英国规范和北美 AISI S100-12 规范计算结果与试验结果进行对比分析,最后提出钢板-非钢板单颗自攻螺钉连接抗剪承载力设计方法。研究表明:钢板-OSB 板、钢板-石膏板连接件破坏模式为 OSB 板与石膏板发生承压破坏,且具有明显的方向性;随螺钉端距的增大,试件抗剪承载力有所提高;中国规范 GB 50018—2002 适用于壁厚 2 mm 以下冷弯薄壁型钢单颗自攻螺钉连接抗剪承载力的设计计算,且偏于安全。

关键词:冷弯薄壁型钢;自攻螺钉;抗剪承载力;规范;设计方法;石膏板;OSB 板

中图分类号:TU392.5 **文献标志码:**A

Research on Shear Behavior of Single Tapping Screw Connection in Cold-formed Thin-wall Steel Structures

SHI Yu¹, WANG Shen-wei^{1,2}, LIU Yong-jian³

(1. School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China; 2. Shenyang Gemdale Changqing Real Estate Development Company Limited, Shenyang 110168, Liaoning, China;
3. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to investigate the applicability of calculating the shear capacity of single tapping screw connection with sheet steel under 2 mm according to Chinese code *Technical Code of Cold-formed Thin-wall Steel Structure* (GB 50018—2002) and the design method of single tapping screw connection between steel plate and non-steel plate, a total of 34 specimens were tested in three series, which were distinguished by the connection forms, such as steel plate-steel plate connection, steel plate-gypsum wallboard connection and steel plate-oriented strand board (OSB) connection. Authors analyzed the influence of sheet material and the screw end distance, etc. for the shear capacity of single tapping screw connection and compared the calculation results with the test results according to Chinese code, British code and North American AISI S100-12 standard. Finally, the design method of shear capacity of single tapping screw connection between steel plate and non-steel plate was proposed. The research results show that the failure modes of steel plate-OSB connection and steel plate-gypsum wallboard connection are bearing damage in

收稿日期:2013-11-15

基金项目:国家自然科学基金项目(51108033);陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2013JQ7032)

作者简介:石 宇(1978-),女,湖北宣恩人,副教授,工学博士,E-mail:shiyu7811@163.com。

plate-gypsum wallboard and OSB which are both anisotropic. With the screw end distance increasing, the shear capacity of specimens is improved. Chinese code GB 50018—2002 is suited to calculate the shear capacity of single tapping screw connection in cold-formed thin-wall steel with sheet steel under 2 mm and the results are safe.

Key words: cold-formed thin-wall steel; tapping screw; shear capacity; code; design method; gypsum wallboard; oriented strand board

0 引 言

自攻螺钉连接以其施工方便、承载力高、连接刚度好等特点在冷弯薄壁型钢结构住宅体系中得到了广泛应用^[1-3]。自攻螺钉连接件按连接板件材料的不同分为钢板-钢板自攻螺钉连接件和钢板-非钢板自攻螺钉连接件 2 种类型。近些年,各国对钢板-钢板单颗自攻螺钉连接的抗剪性能进行了大量试验研究,并基于试验结果提出了设计方法。1996 版 AISI 规范以 ECCS 建议、英国标准为基础,并结合美国、加拿大、瑞典、英国及荷兰 3 500 多个试验的结果,提出了螺钉连接的设计方法与构造要求^[4]。Rogers 等^[5]采用澳大利亚 AS/NZS 4600:2005 规范、加拿大 CSA-S136-07 规范和 1996 版 AISI 规范计算了不同母材厚度的钢板-钢板自攻螺钉连接的抗剪承载力,均偏于不安全。潘景龙^[6]在试验研究的基础上,讨论了影响自攻螺钉连接抗剪性能的因素,并根据各国 30 余组试件的试验结果,提出了抗剪强度表达式。黄川^[7]通过试验研究了自攻螺钉直径、板件厚度及连接类型等因素对壁厚 2 mm 以下钢板-钢板单颗自攻螺钉连接抗剪性能的影响。舒赣平等^[8]采用试验分析了不同板厚钢板-钢板单颗自攻螺钉连接件的破坏机理、受力特点以及螺钉直径、钢板厚度等关键因素对连接强度和刚度的影响,并采用最小二乘法拟合出自攻螺钉连接强度的计算公式。中国规范《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018—2002)^[9](适用于壁厚为 2~6 mm 的承重构件)基于欧洲建议,提出了钢板-钢板单颗自攻螺钉连接抗剪承载力的设计方法,但是并没有对壁厚 2 mm 以下冷弯薄壁型钢构件的设计计算方法作出明确规定。

各国对钢板-非钢板单颗自攻螺钉连接抗剪承载力的研究较少。董军等^[10]通过试验得到了无石棉大幅面纤维水泥加压板(NAFC 板)和低收缩性纤维水泥加压板(LCFC 板)的力学特性及其采用自攻螺钉与轻钢龙骨连接的承载力和荷载-位移特征。秦雅非^[11]对钢板-石膏板、钢板-OSB 板单颗自攻螺钉连接的抗剪性能进行了试验研究,得到了连接件

的剪切刚度。潘斯勇^[12]采用试验研究了钢板-石膏板、钢板-OSB 板单颗自攻螺钉连接件的剪切破坏模型与受力性能。目前,还没有钢板-非钢板单颗自攻螺钉连接抗剪承载力的设计方法。

本文中笔者分别对钢板-钢板、钢板-石膏板、钢板-OSB 板单颗自攻螺钉连接件进行试验研究,并分析总结各国学者已有的研究成果,探讨中国规范 GB 50018—2002 中规定的单颗自攻螺钉连接抗剪承载力设计方法是否适用于计算壁厚 2 mm 以下钢板自攻螺钉连接的承载力,最后根据试验结果,提出钢板-非钢板单颗自攻螺钉连接的抗剪承载力设计方法。

1 试验研究

1.1 试件设计

为了研究板材类型、螺钉端距等因素对壁厚 2 mm 以下钢板-钢板、钢板-非钢板单颗自攻螺钉连接抗剪承载力的影响,先后进行了 2 组试验^[13-14]。第 1 组试件板材尺寸取 300 mm×50 mm,螺钉距板边缘 15 mm;钢板厚度为 1 mm;OSB 板厚度为 9 mm,石膏板厚度为 12 mm,两者与钢板的连接均采用 ST4.2 的自攻螺钉。第 2 组试件板材尺寸取 300 mm×50 mm,螺钉端距取 15 mm 和 25 mm 两种情况;钢板厚度为 0.84 mm 和 1.6 mm;OSB 板厚度为 12 mm 和 18 mm,石膏板厚度为 12 mm;钢板与钢板、钢板-OSB 板的连接采用 ST4.8 的自钻自攻螺钉,钢板-石膏板的连接采用 ST4.2 的自攻螺钉。为防止试验机夹坏试件石膏板和 OSB 板的端部,在每个试件的端部设置 120 mm×40 mm×4 mm 的钢板夹头和 40 mm×40 mm 的配套钢夹板,并采用 4 颗 M5 螺钉与石膏板和 OSB 板尾部相连。试件设计见图 1,试件编号规则见图 2,试件编号及试验结果见表 1。根据材性试验及文献[11],[15]试验所用钢板、石膏板和 OSB 板材料特性见表 2。

1.2 试验装置与加载制度

试验在长安大学建筑工程实验室完成,采用长春科新试验仪器有限公司生产的 WDW3030 微控

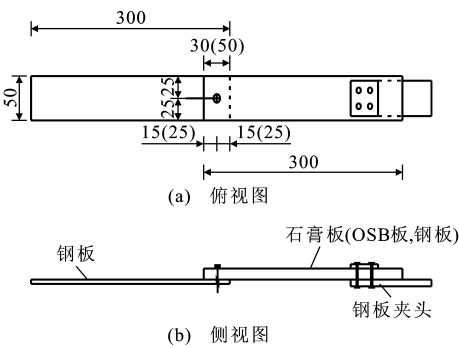


图 1 试件设计 (单位:mm)
Fig. 1 Specimen Design (Unit:mm)

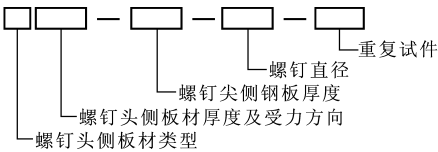


图 2 试件编号规则

Fig. 2 Specimen Labeling Rule

电子万能试验机,见图 3。根据规范 AISI TS-4-02^[16],第 1 组试件采用力控制加载方式,加载速度为 10 N·s⁻¹;第 2 组试件采用位移控制加载方式,加载速度为 0.5~1 mm·min⁻¹。试验加载过程可按事先设定的程序由计算机全程自动控制,试件滑

表 1 试件编号及试验结果

Tab. 1 Specimen Numbers and Test Results

试件编号	螺钉头侧板材类型	螺钉端距/mm	螺钉头侧板材厚度/mm	螺钉头侧板材受力方向	螺钉尖侧钢板厚度/mm	螺钉直径/mm	抗剪承载力试验值/kN
S0.84-0.84-4.8-1	钢板	15	0.84		0.84	4.8	4.151
S0.84-0.84-4.8-2	钢板	15	0.84		0.84	4.8	3.119
S0.84-0.84-4.8-3	钢板	25	0.84		0.84	4.8	4.074
S1.60-1.60-4.8-1	钢板	15	1.60		1.60	4.8	7.093
G12Z-1.60-4.2-1	石膏板	25	12.00	纵向	1.60	4.2	0.486
G12H-1.60-4.2-1	石膏板	25	12.00	横向	1.60	4.2	0.389
G12Z-0.84-4.2-1	石膏板	25	12.00	纵向	0.84	4.2	0.451
G12Z-0.84-4.2-2	石膏板	15	12.00	纵向	0.84	4.2	0.400
G12H-0.84-4.2-1	石膏板	25	12.00	横向	0.84	4.2	0.302
G12H-0.84-4.2-2	石膏板	15	12.00	横向	0.84	4.2	0.288
G12Z-1-4.2-1	石膏板	15	12.00	纵向	1.00	4.2	0.293
G12Z-1-4.2-2	石膏板	15	12.00	纵向	1.00	4.2	0.245
G12Z-1-4.2-3	石膏板	15	12.00	纵向	1.00	4.2	0.261
G12H-1-4.2-1	石膏板	15	12.00	横向	1.00	4.2	0.152
G12H-1-4.2-2	石膏板	15	12.00	横向	1.00	4.2	0.165
G12H-1-4.2-3	石膏板	15	12.00	横向	1.00	4.2	0.130
O12Z-1.60-4.8-1	OSB 板	15	12.00	纵向	1.60	4.8	2.583
O12Z-1.60-4.8-2	OSB 板	25	12.00	纵向	1.60	4.8	2.841
O12H-1.60-4.8-1	OSB 板	15	12.00	横向	1.60	4.8	1.921
O12H-1.60-4.8-2	OSB 板	25	12.00	横向	1.60	4.8	2.146
O18Z-1.60-4.8-1	OSB 板	15	18.00	纵向	1.60	4.8	2.622
O18Z-1.60-4.8-2	OSB 板	25	18.00	纵向	1.60	4.8	3.010
O18H-1.60-4.8-1	OSB 板	15	18.00	横向	1.60	4.8	1.985
O18H-1.60-4.8-2	OSB 板	25	18.00	横向	1.60	4.8	2.853
O12Z-0.84-4.8-1	OSB 板	25	12.00	纵向	0.84	4.8	1.902
O12H-0.84-4.8-1	OSB 板	25	12.00	横向	0.84	4.8	1.471
O9Z-1-4.2-1	OSB 板	15	9.00	纵向	1.00	4.2	1.318
O9Z-1-4.2-2	OSB 板	15	9.00	纵向	1.00	4.2	1.295
O9Z-1-4.2-3	OSB 板	15	9.00	纵向	1.00	4.2	1.295
O9H-1-4.2-1	OSB 板	15	9.00	横向	1.00	4.2	1.023
O9H-1-4.2-2	OSB 板	15	9.00	横向	1.00	4.2	1.086
O9H-1-4.2-3	OSB 板	15	9.00	横向	1.00	4.2	1.113

注:Z 表示纤维纵向;H 表示纤维横向;S 表示钢材;G 表示石膏板;O 表示 OSB 板;N 表示 NAFC 板;L 表示 LCFC 板。

表 2 试验材料特性

Tab. 2 Test Material Properties

板材类型	板材厚度/mm	f_y /MPa	f_u /MPa	纵向静曲强度/MPa	横向静曲强度/MPa
钢板	0.84	334	445		
钢板	1.60	311	424		
钢板	1.00	318	434		
石膏板	12.00			5.59	1.85
OSB 板	9.00			22.00	11.00
	12.00			20.00	10.00
	18.00			21.20	12.20

注： f_y 为试件的屈服强度； f_u 为试件的极限强度。

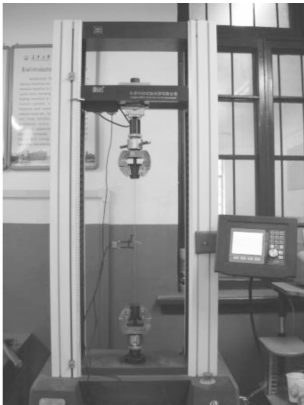


图 3 电子万能试验机

Fig. 3 Electronic Universal Test Machines

移量由电子应变引伸计测量,可有效地避免测量区域以外变形的干扰。加载时调节试件两端夹具,使试件受力在一条直线上,匀速加载至试件破坏。

1.3 试验现象与结果

不同类型连接件的破坏特征表述如下：

(1)钢板-石膏板单颗自攻螺钉连接件。石膏板材料的强度、韧性较差,属于典型的脆性材料,试件石膏板截面尺寸取 50 mm×12 mm,接头取 1 颗螺钉,螺钉的螺纹外径为 4.2 mm,致使抗拉强度自身很低的石膏板在连接处的净截面削弱较大,试验中所有石膏板连接件均在螺钉连接处发生净截面拉断破坏[图 4(a)],破坏时的变形也很小。此外,石膏板的纸质面层对其受力性能有一定影响,且因纸质面层在纵向与横向的纤维差异,致使 2 个方向石膏板的受力性能有明显差异。

(2)钢板-OSB 板单颗自攻螺钉连接件。OSB 板材料的韧性较石膏板好,试验中随荷载的逐渐增大,螺钉与 OSB 板间剪切挤压变形逐渐增大,螺钉因变形螺钉头倾斜内嵌、螺钉尾上翘明显,在荷载接近最大值时,OSB 板端部沿厚度方向出现劈裂,导

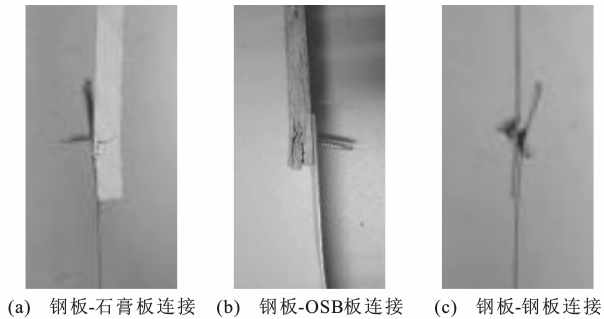


图 4 试件破坏形态

Fig. 4 Failure Modes of Specimens

致连接件破坏[图 4(b)]。

(3)钢板-钢板单颗自攻螺钉连接件。钢板材料的强度与韧性较石膏板、OSB 板好,试验中随荷载的逐渐增大,螺钉与钢板的剪切挤压变形也逐渐增大,螺钉倾斜明显,在荷载接近峰值时,由于螺钉孔挤压变形过大、螺钉头被剪断,而导致连接件破坏[图 4(c)]。

各试件的抗剪承载力试验值见表 1。由试验结果可以看出:钢板-石膏板连接的抗剪承载力远小于其他 2 种连接类型;对于钢板-石膏板、钢板-OSB 板连接件,试件的抗剪承载力主要由自攻螺钉孔边板的承压强度控制,墙面板材料特性对连接件的抗剪承载力有明显影响,并且墙面板沿纵向纤维方向的抗剪承载力均比沿横向纤维方向大;另外,随螺钉端距的增大,试件抗剪承载力也相应增大。

2 试验结果分析

各国钢板-钢板单颗自攻螺钉连接抗剪承载力设计方法如表 3 所示。

近年来,中国学者对壁厚 2 mm 以下钢板自攻螺钉连接的抗剪性能进行了试验研究。黄川^[7]于 2003 年进行了钢板-钢板自攻螺钉抗剪承载力试验。试验试件分为 2 组,一组螺钉直径为 4.8 mm,钢板厚度为 1 mm;另一组螺钉直径为 5.5 mm,钢板厚度为 1.5 mm。试验中试件的破坏模式主要为螺钉倾斜拔脱和螺钉被剪断 2 种,且以螺钉倾斜拔脱为主。舒赣平等^[8]进行了 3 种自攻螺钉规格、4 种钢板厚度的单颗自攻螺钉连接件试验。当自攻螺钉直径较小时,连接破坏形式为螺钉被剪断,变形能力较小,属于脆性破坏;而对自攻螺钉直径较大的薄板-薄板、薄板-厚板及厚板-厚板的连接,破坏形式主要为板孔边缘压溃、鼓曲或连接板拉断,变形能力较大,属于延性破坏。董军等^[10]进行了 NAFC 板、LCFC 板及其与轻钢龙骨自攻螺钉连接性能的试验

表 3 各国钢板-钢板连接抗剪承载力设计方法

Tab. 3 Design Method of Shear Capacity Between Steel Plate and Steel Plate Connection in Different Countries

规范	计算公式		破坏模式	备注
中国规范 GB 50018—2002 ^[9]	$t_1/t=1.0$	$N_v^t=3.7(t^3d)^{1/2}f$	螺钉倾斜拔出	N_v^t 为单颗螺钉连接件的抗剪承载力设计值; d 为自攻螺钉直径; t 为较薄板(螺钉头接触侧的钢板)厚度; t_1 为较厚板(螺钉尖侧的钢板)厚度; f 为被连接钢板的抗拉强度设计值
		$N_v^t\leqslant 2.4tdf$	被连接板件撕裂	
	$t_1/t\geqslant 2.5$	$N_v^t=2.4tdf$	被连接板件撕裂	
	当 $1.0<t_1/t<2.5$ 时, N_v^t 由以上 2 种情况插值求得			
北美 AISI S100-12 规范 ^[17]	$t_2/t_1\leqslant 1.0$	$P_{ns}=4.2(t_2^3d)^{1/2}F_{u2}$	螺钉倾斜拔出	P_{ns} 为单颗螺钉的额定抗剪强度; d 为自攻螺钉直径; t_1 为与螺钉头接触的板件厚度; t_2 为不与螺钉头接触的板件厚度; F_{u1} 为与螺钉头接触的板件抗拉强度; F_{u2} 为不与螺钉头接触的板件抗拉强度
		$P_{ns}\leqslant 2.7t_1dF_{u1}$	连接材料承压破坏	
		$P_{ns}\leqslant 2.7t_2dF_{u2}$		
	$t_2/t_1\geqslant 2.5$	$P_{ns}=2.7t_1dF_{u1}$	连接材料承压破坏	
		$P_{ns}\leqslant 2.7t_2dF_{u2}$		
	当 $1.0<t_2/t_1<2.5$ 时, P_{ns} 由以上 2 种情况插值求得			
英国规范 BS 5950-5:1998 ^[18]	$t_2/t_1=1.0$	$P_s=3.2(t_1^3d)^{1/2}p_y$	螺钉倾斜拔出	P_s 为单颗螺钉连接件的抗剪强度; t_1 为与螺钉头相邻的钢板厚度; t_2 为与螺钉头不相邻的钢板厚度; d 为螺钉名义直径; p_y 为钢板的设计强度
		$P_s\leqslant 2.1t_1dp_y$	被连接板件撕裂	
	$t_2/t_1\geqslant 2.5$	$P_s=2.1t_1dp_y$	被连接板件撕裂	
	当 $1.0<t_2/t_1<2.5$ 时, P_s 由以上 2 种情况插值求得			

研究。NAFC 板、LCFC 板的厚度有 8 mm 和 12 mm 两种,钢板厚度为 2 mm,螺钉直径为 3.5 mm,试件破坏形式主要为自攻螺钉孔边板被压酥,承载力主要由自攻螺钉孔边板的承压强度控制。另外,2 种板材均有明显的方向性,纵向纤维受力性能明显好于横向纤维受力性能。文献[7],[8],[10]试件编号及试验结果见表 4,材料特性见表 5。通过对中国已完成的相关试验进行总结,分析板材类型、螺钉尺寸等因素对钢板-钢板和钢板-非钢板单颗自攻螺钉连接抗剪承载力的影响。

2.1 钢板-钢板单颗自攻螺钉连接的抗剪承载力

依据第 2 节各国规范关于单颗自攻螺钉连接抗剪承载力的设计方法,计算各试验中钢板-钢板连接件的理论抗剪承载力,并与试验结果进行对比,对比结果如表 6 所示。计算时,中国规范与英国规范钢板材料强度取其屈服强度,北美 AISI S100-12 规范取其极限抗拉强度。

由表 6 可以看出:①采用各国规范计算壁厚 2 mm 以下钢板-钢板自攻螺钉连接抗剪承载力时,对于等厚钢板连接,北美 AISI S100-12 规范设计方法计算的抗剪承载力与试验结果比较接近,具有一定的可行性,而采用中国规范和英国规范计算得到的抗剪承载力则偏于保守;②对于非等厚钢板连接,采用中国规范和英国规范计算得到的单颗自攻螺钉抗剪承载力与试验结果较为接近,而北美 AISI S100-12 规范理论计算结果偏于不安全。由以上分析可知,中国规范规定的钢板-钢板单颗自攻螺钉连接抗剪承载力设计方法适用于壁厚 2 mm 以下冷弯薄壁

型钢板自攻螺钉连接的设计计算,且偏于安全。

2.2 钢板-非钢板单颗自攻螺钉连接的抗剪承载力

由试验结果可知,钢板-非钢板单颗自攻螺钉连接的抗剪承载力主要由螺钉孔边板的承压强度控制,根据各国规范考虑破坏模式为被连接件撕裂的设计方法,提出钢板-非钢板连接抗剪承载力的计算公式为

$$P=tdf \tag{1}$$

式中: P 为钢板-非钢板单颗自攻螺钉连接件的抗剪承载力; t 为非钢板连接件的厚度; d 为自攻螺钉直径; f 为非钢板连接件的静曲强度。

由公式(1)计算各钢板-非钢板连接的理论抗剪承载力,并与试验结果进行对比,结果如表 7 所示。由表 7 可以看出:①LCFC 板螺钉连接件的抗剪性能好于 NAFC 板螺钉连接件;②与石膏板、OSB 板类似,NAFC 板和 LCFC 板纤维纵向的抗剪性能好于纤维横向的抗剪性能;③非钢板类材料的静曲强度与板材厚度是影响其螺钉连接抗剪承载力的主要因素;④按建议公式(1)计算得到的抗剪承载力与试验结果进行对比,偏于安全保守,可以按此方法对钢板-非钢板螺钉连接的抗剪承载力进行设计计算。

3 结 语

(1)根据本文试验,钢板-钢板连接件破坏时螺钉倾斜严重,在螺钉连接处有被撕裂的趋势,并出现螺钉被剪断现象;钢板-OSB 板、钢板-石膏板连接件破坏模式为 OSB 板与石膏板发生承压破坏,纵向纤维受力性能均好于横向纤维受力性能;随螺钉端距

表 4 文献[7],[8],[10]试件编号及试验结果

Tab. 4 Specimen Numbers and Test Results of Literatures [7],[8],[10]

文献来源	试件编号	螺钉头侧 板材类型	螺钉头侧 板材厚度/mm	螺钉头侧板材 受力方向	螺钉尖侧钢板 厚度/mm	螺钉直径/mm	抗剪承载力 试验值/kN
文献[7]	S1-1-4. 8-1	钢板	1. 0		1. 0	4. 80	3. 100
	S1-1-4. 8-2	钢板	1. 0		1. 0	4. 80	3. 300
	S1-1-4. 8-3	钢板	1. 0		1. 0	4. 80	3. 200
	S1-1-4. 8-4	钢板	1. 0		1. 0	4. 80	3. 400
	S1-1-4. 8-5	钢板	1. 0		1. 0	4. 80	3. 500
	S1. 5-1. 5-5. 5-1	钢板	1. 5		1. 5	5. 50	6. 000
	S1. 5-1. 5-5. 5-2	钢板	1. 5		1. 5	5. 50	6. 100
	S1. 5-1. 5-5. 5-3	钢板	1. 5		1. 5	5. 50	5. 700
	S1. 5-1. 5-5. 5-4	钢板	1. 5		1. 5	5. 50	5. 800
	S1. 5-1. 5-5. 5-5	钢板	1. 5		1. 5	5. 50	6. 000
文献[8]	S0. 8-0. 8-3. 45-1	钢板	0. 8		0. 8	3. 45	2. 130
	S0. 8-0. 8-4. 87-1	钢板	0. 8		0. 8	4. 87	2. 190
	S0. 8-0. 8-5. 43-1	钢板	0. 8		0. 8	5. 43	2. 900
	S1. 5-1. 5-3. 45-1	钢板	1. 5		1. 5	3. 45	4. 420
	S1. 5-1. 5-4. 87-1	钢板	1. 5		1. 5	4. 87	5. 300
	S2-2-5. 43-1	钢板	2. 0		2. 0	5. 43	7. 300
	S0. 8-2-4. 87-1	钢板	0. 8		2. 0	4. 87	2. 460
	S0. 8-2-5. 43-1	钢板	0. 8		2. 0	5. 43	2. 890
	S0. 8-3-4. 87-1	钢板	0. 8		3. 0	4. 87	2. 520
	S0. 8-3-5. 43-1	钢板	0. 8		3. 0	5. 43	2. 650
文献[10]	N8Z-2-3. 5-1	NAFC 板	8. 0	纵向	2. 0	3. 50	1. 647
	N8H-2-3. 5-1	NAFC 板	8. 0	横向	2. 0	3. 50	0. 965
	N12Z-2-3. 5-1	NAFC 板	12. 0	纵向	2. 0	3. 50	2. 507
	N12H-2-3. 5-1	NAFC 板	12. 0	横向	2. 0	3. 50	1. 733
	L8Z-2-3. 5-1	LCFC 板	8. 0	纵向	2. 0	3. 50	2. 013
	L8H-2-3. 5-1	LCFC 板	8. 0	横向	2. 0	3. 50	1. 380
	L12Z-2-3. 5-1	LCFC 板	12. 0	纵向	2. 0	3. 50	2. 813
	L12H-2-3. 5-1	LCFC 板	12. 0	横向	2. 0	3. 50	1. 980

表 5 文献[7],[8],[10]试验材料特性

Tab. 5 Test Material Properties in
Literatures [7],[8],[10]

文献来源	板材类型	板材厚度/mm	f_y /MPa	f_u /MPa	纵向静 曲强度/ MPa	横向静 曲强度/ MPa
文献[7]	钢板	1. 0	206. 80	340. 90		
	钢板	1. 5	210. 60	340. 30		
文献[8]	钢板	0. 8	298. 33	365. 67		
	钢板	1. 5	198. 00	335. 00		
	钢板	2. 0	261. 67	388. 33		
	钢板	3. 0	271. 67	391. 67		
文献[10]	NAFC 板	8. 0			15. 9	8. 8
	NAFC 板	12. 0			16. 7	10. 8
	LCFC 板	8. 0			22. 8	15. 8
	LCFC 板	12. 0			24. 7	17. 8

的增大,试件抗剪承载力有所提高。

(2)通过将钢板-钢板连接件试验结果与各国规范设计方法理论计算值比较可知,对于等厚钢板连接,中国规范与英国规范计算结果较试验值偏于安全,而北美 AISI S100-12 规范计算结果与试验结果较为接近;对于非等厚钢板连接,中国规范和英国规范计算结果与试验值较为接近,而北美 AISI S100-12 规范计算结果偏于不安全。

(3)中国规范《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018—2002)中规定的单颗自攻螺钉连接抗剪承载力设计方法适用于壁厚 2 mm 以下冷弯薄壁型钢自攻螺钉连接的设计计算,且偏于安全。

(4)根据试验结果及各国设计方法,提出钢板-非钢板连接件发生非钢板连接板件承压破坏时的抗剪承载力计算公式,并与试验结果进行对比,偏于安

表 6 钢板-钢板连接件抗剪承载力按规范计算结果与试验结果的比较

Tab. 6 Comparison of Shear Capacity Between Code Calculation Results and Test Results About Steel Plate and Steel Plate Connection

试件编号	$P_{\text{test}}/\text{kN}$	N_s^t	$P_{\text{test}}(N_s^t)^{-1}$	P_{ns}/kN	$P_{\text{test}}P_{\text{ns}}^{-1}$	P_s/kN	$P_{\text{test}}P_s^{-1}$
S0. 84-0. 84-4. 8-1	4. 151	2. 085	1. 991	3. 151	1. 318	1. 803	2. 302
S0. 84-0. 84-4. 8-2	3. 119	2. 085	1. 496	3. 151	0. 990	1. 803	1. 730
S0. 84-0. 84-4. 8-3	4. 074	2. 085	1. 954	3. 151	1. 293	1. 803	2. 260
S1. 60-1. 60-4. 8-1	7. 093	5. 102	1. 390	7. 896	0. 898	4. 413	1. 607
S1-1-4. 8-1	3. 100	1. 676	1. 849	3. 137	0. 988	1. 450	2. 138
S1-1-4. 8-2	3. 300	1. 676	1. 969	3. 137	1. 052	1. 450	2. 276
S1-1-4. 8-3	3. 200	1. 676	1. 909	3. 137	1. 020	1. 450	2. 207
S1-1-4. 8-4	3. 400	1. 676	2. 028	3. 137	1. 084	1. 450	2. 345
S1-1-4. 8-5	3. 500	1. 676	2. 088	3. 137	1. 116	1. 450	2. 414
S1. 5-1. 5-5. 5-1	6. 000	3. 357	1. 787	6. 158	0. 974	2. 904	2. 066
S1. 5-1. 5-5. 5-2	6. 100	3. 357	1. 817	6. 158	0. 991	2. 904	2. 101
S1. 5-1. 5-5. 5-3	5. 700	3. 357	1. 698	6. 158	0. 926	2. 904	1. 963
S1. 5-1. 5-5. 5-4	5. 800	3. 357	1. 728	6. 158	0. 942	2. 904	1. 998
S1. 5-1. 5-5. 5-5	6. 000	3. 357	1. 787	6. 158	0. 974	2. 904	2. 066
S0. 8-0. 8-3. 45-1	2. 130	1. 467	1. 454	2. 041	1. 045	1. 269	1. 681
S0. 8-0. 8-4. 87-1	2. 190	1. 743	1. 262	2. 425	0. 907	1. 507	1. 459
S0. 8-0. 8-5. 43-1	2. 900	1. 840	1. 581	2. 561	1. 136	1. 592	1. 828
S1. 5-1. 5-3. 45-1	4. 420	2. 459	1. 801	4. 681	0. 946	2. 152	2. 058
S1. 5-1. 5-4. 87-1	5. 300	2. 970	1. 786	5. 704	0. 930	2. 569	2. 066
S2-2-5. 43-1	7. 300	6. 381	1. 145	10. 750	0. 680	5. 519	1. 324
S0. 8-2-4. 87-1	2. 460	2. 790	0. 882	3. 847	0. 640	2. 441	1. 008
S0. 8-2-5. 43-1	2. 890	3. 110	0. 931	4. 289	0. 675	2. 721	1. 064
S0. 8-3-4. 87-1	2. 520	2. 790	0. 904	3. 847	0. 656	2. 441	1. 033
S0. 8-3-5. 43-1	2. 650	3. 110	0. 855	4. 289	0. 620	2. 721	0. 977

注: P_{test} 为抗剪承载力试验值。

全,具有一定的可行性。

参考文献:

References:

[1] 周绪红,石宇,周天华,等. 低层冷弯薄壁型钢结构住宅体系[J]. 建筑科学与工程学报,2005,22(2):1-14.

ZHOU Xu-hong, SHI Yu, ZHOU Tian-hua, et, al. Cold-formed Steel Framing System of Low-rise Residential Building[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering,2005,22(2):1-14.

[2] 石宇,周绪红,刘永健. 冷弯薄壁卷边槽钢偏心受压构件承载力计算的折减强度法[J]. 建筑科学与工程学报,2011,28(3):40-48.

SHI Yu, ZHOU Xu-hong, LIU Yong-jian. Strength-reduction Method for Load-carrying Capacity of Cold-formed Thin-walled Lipped Channel Members Under Eccentric Compression [J]. Journal of Architecture and Civil Engineering,2011,28(3):40-48.

[3] 周绪红,李喆,刘永健,等. 冷弯薄壁型钢拼合截面柱轴压承载力计算[J]. 建筑科学与工程学报,2012,29(4):1-6.

ZHOU Xu-hong, LI Zhe, LIU Yong-jian, et al. Calculation Method for Bearing Capacity of Cold-formed Steel Built-up Columns Under Axial Compression[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering,2012,29(4):1-6.

[4] YU W W. Cold Formed Steel Design[M]. 3rd ed. New York:John Wiley & Sons Inc,2000.

[5] ROGERS C A, HANCOCK G J. Screwed Connection Tests of Thin G550 and G300 Sheet Steels[J]. Journal of Structural Engineering,1999,125(2):128-136.

[6] 潘景龙. 自攻螺钉连接的抗剪性能研究[J]. 哈尔滨建筑大学学报,1995,28(6):41-47.

PAN Jing-long. A Study on the Shear Behavior of the Self-tapping Screw Connection[J]. Journal of Harbin University of Architecture and Engineering,1995,28(6):41-47.

表 7 钢板-非钢板连接抗剪承载力理论计算结果与试验结果的比较

Tab. 7 Comparison of Shear Capacity Between Theoretical Calculation Results and Test Results of Steel Plate and Non-steel Plate Connection

试件编号	$P_{\text{test}}/\text{kN}$	P/kN	$P_{\text{test}} P^{-1}$
G12Z-1. 60-4. 2-1	0. 486	0. 282	1. 726
G12H-1. 60-4. 2-1	0. 389	0. 093	4. 169
G12Z-0. 84-4. 2-1	0. 451	0. 282	1. 599
G12Z-0. 84-4. 2-2	0. 400	0. 282	1. 421
G12H-0. 84-4. 2-1	0. 302	0. 093	3. 234
G12H-0. 84-4. 2-2	0. 288	0. 093	3. 083
G12Z-1-4. 2-1	0. 293	0. 282	1. 039
G12Z-1-4. 2-2	0. 245	0. 282	0. 869
G12Z-1-4. 2-3	0. 261	0. 282	0. 926
G12H-1-4. 2-1	0. 152	0. 093	1. 634
G12H-1-4. 2-2	0. 165	0. 093	1. 774
G12H-1-4. 2-3	0. 130	0. 093	1. 398
O12Z-1. 60-4. 8-1	2. 583	1. 152	2. 242
O12Z-1. 60-4. 8-2	2. 841	1. 152	2. 466
O12H-1. 60-4. 8-1	1. 921	0. 576	3. 335
O12H-1. 60-4. 8-2	2. 146	0. 576	3. 725
O18Z-1. 60-4. 8-1	2. 622	1. 832	1. 431
O18Z-1. 60-4. 8-2	3. 010	1. 832	1. 643
O18H-1. 60-4. 8-1	1. 985	1. 054	1. 883
O18H-1. 60-4. 8-2	2. 853	1. 054	2. 707
O12Z-0. 84-4. 8-1	1. 902	1. 221	1. 557
O12H-0. 84-4. 8-1	1. 471	0. 703	2. 093
O9Z-1-4. 2-1	1. 318	0. 832	1. 584
O9Z-1-4. 2-2	1. 295	0. 832	1. 014
O9Z-1-4. 2-3	1. 295	0. 832	1. 556
O9H-1-4. 2-1	1. 023	0. 416	2. 459
O9H-1-4. 2-2	1. 086	0. 416	2. 610
O9H-1-4. 2-3	1. 113	0. 416	2. 675
N8Z-2-3. 5-1	1. 647	0. 445	3. 699
N8H-2-3. 5-1	0. 965	0. 246	3. 916
N12Z-2-3. 5-1	2. 507	0. 701	3. 574
N12H-2-3. 5-1	1. 733	0. 454	3. 821
L8Z-2-3. 5-1	2. 013	0. 638	3. 153
L8H-2-3. 5-1	1. 380	0. 442	3. 119
L12Z-2-3. 5-1	2. 813	1. 037	2. 712
L12H-2-3. 5-1	1. 980	0. 748	2. 648

[7] 黄 川. 冷弯薄壁 C 型钢梁柱半刚性节点实验及有限元分析[D]. 重庆:重庆大学,2003.
HUANG Chuan, Experimental Research and Finite Element Analysis on Cold-formed Thin-walled C Steel Semi-rigid Beam-to-column Connections [D]. Chongqing:Chongqing University,2003.

[8] 舒赣平,梁元玮. 金属蒙皮抗剪连接试验研究及计算探讨[J]. 建筑结构学报,2009,30(2):77-84.

SHU Gan-ping, LIANG Yuan-wei. Experimental Research and Calculation Study of Metal Skin Shear Connection[J]. Journal of Building Structures,2009,30(2):77-84.

[9] GB 50018—2002,冷弯薄壁型钢结构技术规范[S].
GB 50018—2002, Technical Code of Cold-formed Thin-wall Steel Structures[S].

[10] 董 军,夏冰青,马 宏,等. NAFC、LCFC 板及其与轻钢龙骨自攻螺栓连接性能[J]. 南京工业大学学报:自然科学版,2002,24(5):12-15.
DONG Jun, XIA Bing-qing, MA Hong, et al. Researches on NAFC and LCFC Plates and Their Screw Connections with Light-gauge Steel Members [J]. Journal of Nanjing University: Natural Science Edition,2002,24(5):12-15.

[11] 秦雅菲. 冷弯薄壁型钢低层住宅墙柱体系轴压性能理论与试验研究[D]. 上海:同济大学,2006.
QIN Ya-fei. Theoretical and Experimental Research of Cold-formed Steel Residential Building Wall Stud System Subject to Centric Axial Loads [D]. Shanghai: Tongji University,2006.

[12] 潘斯勇. 高强冷弯超薄壁型钢自攻螺钉连接承载力试验研究[D]. 上海:同济大学,2009.
PAN Si-yong. Experimental Investigation on Carrying Capacity of High-strength Cold-formed Thin-walled Steel Screw Connection[D]. Shanghai: Tongji University,2009.

[13] 石 宇. 低层冷弯薄壁型钢结构住宅组合墙体抗剪承载力研究[D]. 西安:长安大学,2005.
SHI Yu. Study on the Shear Resistance of Cold-formed Steel Stud Walls in Low-rise Residential Structures[D]. Xi'an:Chang'an University,2005.

[14] 石 宇,周绪红,聂少锋,等. 冷弯薄壁型钢结构住宅螺钉连接的抗剪性能试验研究[J]. 建筑结构学报,2010,31(增 1):184-188.
SHI Yu, ZHOU Xu-hong, NIE Shao-feng, et, al. Experimental Investigation on Shear Behavior of Screw Connection in Cold-formed Steel Residential Building [J]. Journal of Building Structure,2010,31(S1):184-188.

[15] LY/T 1580—2010,定向刨花板[S].
LY/T 1580—2010, Oriented Strand Board[S].

[16] AISI TS-4-02, Standard Test Methods for Determining the Tensile and Shear Strength of Screws[S].

[17] AISI S100-12, North American Specification for the Design of Cold-formed Steel Structural Members[S].

[18] BS 5950-5:1998, Structural Use of Steelwork in Building—Part 5. Code of Practice for Design of Cold Formed Thin Gauge Sections[S].