

文章编号:1673-2049(2012)01-0115-06

不锈钢结构螺栓连接节点设计方法比较

关 建¹,王元清^{2,3},张 勇¹,石永久^{2,3}

(1. 北京交通大学 土木建筑工程学院,北京 100044; 2. 清华大学 土木工程安全与耐久教育部
重点实验室,北京 100084; 3. 清华大学 土木工程系,北京 100084)

摘要:根据欧洲规范 EN 1993-1-4:2006、美国规范 ASCE/SEI 8-02、澳大利亚和新西兰规范 AS/NZS 4673:2001、日本不锈钢建筑结构设计标准以及中国规范 GB 50017—2003 对不锈钢结构螺栓连接的设计进行了对比分析,包括连接板的净截面承载力和承压承载力以及螺栓连接的受剪、受拉承载力和剪力拉力联合作用承载力,并对算例计算结果进行了比较。结果表明:欧洲规范设计计算结果较为详尽,日本不锈钢建筑结构设计标准设计规定较为全面,中国规范 GB 50017—2003 不适合直接用来计算不锈钢结构螺栓连接,需要进行系统的研究。

关键词:不锈钢结构;螺栓连接;设计方法;承载力

中图分类号:TU391 **文献标志码:**A

Comparisons of Design Methods for Bolted Connection of Stainless Steel Structures

GUAN Jian¹, WANG Yuan-qing^{2,3}, ZHANG Yong¹, SHI Yong-jiu^{2,3}

(1. School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. Key Laboratory of Civil Engineering Safety and Durability of Ministry of Education, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
3. Department of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: According to European Code EN 1993-1-4:2006, American Code ASCE/SEI 8-02, Australian/New Zealand Code AS/NZS 4673:2001, *Japanese Design Code for Stainless Steel Structure*, and Chinese Code GB 50017—2003, bolted connection for stainless steel was contrasted in the design process, including the bearing capacity of net cross-section, the bearing capacity, the shear capacity, the tensile bearing capacity of the bolt connection, and the bearing capacity under combined shear and tension. The related example in calculation was given and the results of the design were compared. The results show that the calculation results in design of European Code is detailed, the *Japanese Design Code for Stainless Steel Structure* is relatively comprehensive, and it is not proper that GB 50017—2003 is applied in the design of bolt connections in stainless steel structures. Further systematic research should be carried out.

Key words: stainless steel structure; bolt connection; design method; bearing capacity

0 引 言

不锈钢是指铬含量(质量分数)超过 10.5%,碳

含量(质量分数)不超过 1.2%的耐腐蚀合金钢,其作为钢结构中的一种新兴材料,与普通碳素钢相比,具有较好的耐腐蚀性、焊接性能及加工性能,并且其

收稿日期:2011-11-19

基金项目:北京市自然科学基金项目(8112018)

作者简介:关 建(1986-),女,辽宁本溪人,工学硕士研究生,E-mail:guanjian2105@126.com。

外表美观、耐久性好,这些优点使得越来越多的建筑结构中采用了不锈钢材料^[1]。目前,世界上比较完整的不锈钢设计规范有欧洲规范^[2-3]、美国规范^[4]、澳大利亚及新西兰规范^[5],日本也有了不锈钢建筑设计标准(以下简称日本规范)^[6],中国尚没有自己的不锈钢设计规程或规范,中国的《不锈钢结构技术规程》正在编制当中。

螺栓连接的形式多种多样,包括盖板连接、T 型连接、端板连接、法兰连接等^[7],本文中笔者主要针对不锈钢螺栓连接的盖板连接设计过程进行了研究,并对欧洲规范、美国规范、澳大利亚及新西兰规范、日本不锈钢建筑设计标准进行了比较,并参考中国《钢结构设计规范》(GB 50017—2003,以下简称中国规范)^[8]的相关设计条款,通过一个不锈钢螺栓连接的算例,对上述规范进行直观的对比分析。

1 设计规范比较

1.1 设计原则

与普通碳素钢的螺栓连接类似,不锈钢螺栓连接也分为普通不锈钢螺栓连接和高强不锈钢螺栓连接。普通不锈钢螺栓连接的破坏形式主要包括螺栓杆被剪断、孔壁承压破坏、连接板被拉断以及板件被栓杆冲剪破坏 4 种形式。其中连接板被拉断属于构件的强度验算,板件的冲切破坏主要是由于端距太小的缘故,中国规范中是通过构造来保证的。高强螺栓连接分为承压型连接和摩擦型连接。承压型连接的破坏形式与普通不锈钢螺栓相同,计算中不同的是与螺栓有关的抗剪强度以及连接板承压强度的取值。同碳素钢连接类似,不锈钢摩擦型连接一旦摩擦面产生滑移就认为破坏,摩擦型连接需要根据规范施加预拉力。在不锈钢的螺栓连接中较少采用摩擦型螺栓,因为不锈钢板间摩擦因数较小,很难获得一个合适的预拉力值^[9-17]。

欧洲规范、美国规范、澳大利亚及新西兰规范都是基于材料的极限强度,日本不锈钢建筑设计标准则分别从极限强度和容许强度给出了相应的设计规定。

1.2 连接板的承载力

表 1,2,3 中分别给出了 4 个不锈钢设计规范与中国规范中有关承压型螺栓连接节点的承压承载力、连接板净截面抗拉承载力、抗冲切承载力的计算公式对比。

通过比较分析可知:

(1)各国关于不锈钢螺栓连接节点的连接板的

表 1 连接板的承压承载力
Tab. 1 Bearing Capacities of Connected Plates

规范	计算公式	参数说明
中国规范	$N_c^b = d \sum t f_c^b$	N_c^b 为承压承载力; d 为螺栓直径; $\sum t$ 为受力方向较薄连接部分的板件厚度之和; f_c^b 为板件抗压强度设计值
欧洲规范	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,red} d t}{\gamma_{M2}}$	$F_{b,Rd}$ 为承压承载力; $f_{u,red}$ 为折减极限抗拉强度; γ_{M2} 为安全系数,取值 1.25; α_b, k_1 分别为与荷载传递方向和螺栓位置相关的系数; t 为受力方向较薄连接部分的板件厚度
美国规范	$\varphi P_n = \varphi F_p d t$	P_n 为承压承载力; φ 为抗力系数, $\varphi = 0.65$; F_p 为螺栓的名义承压应力
澳大利亚及新西兰规范	$V_b^* \leq \varphi V_b$	V_b^* 为承压承载力; $\varphi = 0.65$; V_b 为每个螺栓的名义承压承载力
日本规范	$P_{ht} = 1.88 n d t f_u$	P_{ht}, P_l 分别为极限强度状态和容许强度状态下的承压承载力; n 为普通螺栓或高强螺栓的个数; f_u 为连接板的抗拉极限强度; f_y 为连接板的抗拉屈服强度
	$P_l = 1.25 n d t f_y$	

表 2 连接板孔洞处净截面的抗拉承载力
Tab. 2 Tensile Bearing Capacities of Net Cross-section at Holes of Connected Plates

规范	计算公式	参数说明
中国规范	$N_u = A_{net} f$	N_u 为抗拉承载力; A_{net} 为连接板孔洞处净截面的面积; f 为连接板的抗拉强度设计值
欧洲规范	$N_{u,Rd} = \frac{k_r A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$	$N_{u,Rd}$ 为抗拉承载力; k_r 为与螺栓位置有关的折减系数; A_{net} 为连接板孔洞处净截面的面积; f_u 为连接板的抗拉极限强度
美国规范	$\varphi P_n = \varphi A_n F_t$	P_n 为抗拉承载力; $\varphi = 0.7$; A_n 为连接板孔洞处净截面的面积; F_t 为连接板的名义拉应力
澳大利亚及新西兰规范	$N_t^* \leq \varphi N_t$	N_t^* 为抗拉承载力; $\varphi = 0.7$; N_t 为连接板的名义抗拉承载力
日本规范	$P_{tu} = A_e f_u$	P_{tu}, P_t 分别为极限强度状态和容许强度状态下的抗拉承载力; A_e 为受拉构件的有效截面面积与连接板的有效截面面积中的较小值
	$P_t = A_e \frac{f_y}{1.5}$	

承载力计算大致是一致的,和中国规范类似,都需要验算连接板的螺栓孔处的净截面受拉承载力和连接板的承压承载力。

表 3 连接板的抗冲切承载力

规范	计算公式	参数说明
美国 规范	$\varphi P_n = \varphi F_y A_n$	P_n 为抗冲切承载力; $\varphi = 0.7$; A_n 为连接板的净截面面积; F_y 为连接板的抗拉屈服强度
澳大利亚 及新西兰 规范	$V_f^* \leq \varphi V_f$	V_f^* 为抗冲切承载力; $\varphi = 0.7$; V_f 为每个螺栓的名义抗剪承载力
日本 规范	$P_{tsul} = (0.47A_{ns} + A_{nt})f_u$	P_{tsul} 、 P_{tsl} 分别为极限强度状态 和容许强度状态下的抗冲 切承载力; A_{ns} 为假设断裂线 上受剪截面面积; A_{nt} 为假设 断裂线上受拉截面面积
	$P_{tsl} = (0.47A_{ns} + A_{nt})\frac{f_y}{1.5}$	

(2)日本不锈钢建筑设计标准容许强度计算和中国规范是基于材料的屈服极限强度值,而其他 3 个规范都是基于材料的极限强度值。

(3)澳大利亚及新西兰规范与美国规范关于不锈钢结构螺栓连接的设计基本相同。

(4)美国规范、澳大利亚及新西兰规范与日本不锈钢建筑设计标准中给出了连接板的抗冲切承载力验算公式,而欧洲规范和美国规范则同中国规范类似,其抗冲切能力是通过螺栓盖板连接端距的要求来保证的。

1.3 螺栓的承载力

表 4、5 中分别给出了 4 个不锈钢设计规范及中国规范中有关承压型螺栓连接的抗剪承载力和抗拉承载力的计算公式,表 6 中给出了抗拉抗剪联合承载力。

表 7 中给出了日本不锈钢建筑设计标准及中国规范中有关摩擦型螺栓连接的承载力计算公式。

通过比较分析可知:

(1)各国规范关于普通螺栓和承压型高强螺栓的承载力设计方法基本是一致的,都是通过对螺栓的抗剪承载力、抗拉承载力以及剪力和拉力联合作用下的螺栓承载力进行验算。

(2)欧洲规范、美国规范和澳大利亚及新西兰规范都是基于极限状态设计法,而日本不锈钢建筑设计标准则分别从极限强度状态和容许强度状态给出了螺栓的承载力计算公式。

(3)在国外规范中,只有日本不锈钢建筑设计标准在容许强度计算部分给出了高强摩擦型螺栓的设计方法,欧洲规范、美国规范和澳大利亚及新西兰规范都没有给出有关不锈钢的高强摩擦型螺栓连

表 4 承压型螺栓连接的抗剪承载力

规范	计算公式	参数说明
中国 规范	$N_v^b = n_v \frac{\pi d^2}{4} f_v^b$	N_v^b 为抗剪承载力; n_v 为受剪面数; f_v^b 为螺栓的抗剪强度设计值
欧洲 规范	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha f_{ub} A'}{\gamma_{M2}}$	$F_{v,Rd}$ 为抗剪承载力; f_{ub} 为螺栓的 抗拉极限强度; A' 为螺栓截面面 积; α 为与剪切面位置相关的系数, $\alpha = 0.6$; γ_{M2} 为安全系数,取值 1.25
美国 规范	$\varphi P_n = \varphi A_b F$	P_n 为抗剪承载力; $\varphi = 0.65$; A_b 为 螺栓的毛截面面积; F 为螺栓的名 义抗剪应力或抗拉应力
澳大利亚 及新西兰 规范	$V_{fv}^* \leq \varphi V_{fv}$	V_{fv}^* 为抗剪承载力; $\varphi = 0.65$; V_{fv} 为 不锈钢螺栓的名义抗剪承载力
日本 规范	$Q_{fu} = 0.5m A_f f_u$	Q_{fu} 、 Q_f 分别为极限强度状态和容 许强度状态下的抗剪承载力; m 为 受剪面数; A_f 为螺栓的毛截面面 积; f_u 为螺栓的抗拉极限强度; f_y 为螺栓的抗拉屈服强度
	$Q_f = \frac{0.5m A_f f_y}{1.5}$	

表 5 承压型螺栓连接的抗拉承载力

规范	计算公式	参数说明
中国 规范	$N_t^b = A_e f_t^b = \frac{\pi d_e^2}{4} f_t^b$	N_t^b 为抗拉承载力; d_e 为螺栓的有 效直径; f_t^b 为螺栓的抗拉强度设 计值
欧洲 规范	$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$	$F_{t,Rd}$ 为抗拉承载力; A_s 为螺栓的 毛截面面积; γ_{M2} 为安全系数,取 值 1.25; 若螺栓为埋头螺栓,系数 k_2 取 0.63,否则取 0.9
美国 规范	$\varphi P_n = \varphi A_b F$	P_n 为抗拉承载力; $\varphi = 0.75$
澳大利亚 及新西兰 规范	$N_{ft}^* \leq \varphi N_{ft}$	N_{ft}^* 为抗拉承载力; $\varphi = 0.75$; N_{ft} 为不锈钢螺栓的名义抗拉承载力
日本 规范	$T_{fu} = 0.75 A_f f_u$	T_{fu} 、 T_f 分别为极限强度状态和容 许强度状态下的抗拉承载力
	$T_f = \frac{0.75 A_f f_y}{1.5}$	

接的相关设计规定。

1.4 摩擦型螺栓连接表面处理

在国外 4 个不锈钢设计规范中,除日本不锈钢建筑设计标准外,其余规范并未给出不锈钢的摩擦型螺栓连接的设计方法。欧洲规范指出,无论是在承载力极限状态下还是正常使用极限状态下,螺栓连接板件间不应做抗滑移设计,除非在特殊的应用中通过试验证明其可以采用。

因不锈钢表面光滑,其板件间摩擦面的处理方

表 6 承压型螺栓连接的抗拉抗剪联合承载力

Tab. 6 Bearing Capacities Under Combined Tension and Shear of Bearing Type Bolt Connection

规范	计算公式	参数说明
中国规范	$\sqrt{(\frac{N_v}{N_v^b})^2 + (\frac{N_t}{N_t^b})^2} \leq 1.0$	N_v, N_t 分别为螺栓所受剪力和拉力
欧洲规范	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4F_{t,Rd}} \leq 1.0$	$F_{v,Ed}, F_{t,Ed}$ 分别为螺栓所受剪力和拉力; $F_{v,Rd}$ 为螺栓的抗拉承载力
美国规范	$\phi P_n = \phi A_b F_{nt}'$	P_n 为抗拉抗剪联合承载力; F_{nt}' 为螺栓的名义抗拉抗剪联合强度
澳大利亚及新西兰规范	$N_{ft}^a \leq \phi N_{ft}'$	N_{ft}^a 为抗拉抗剪联合承载力; N_{ft}' 为螺栓的名义抗拉抗剪联合承载力
日本规范	$(\frac{T}{T_f})^2 + (\frac{Q}{Q_f})^2 \leq 1.0$	T, Q 分别为螺栓所受的拉力和剪力

表 7 摩擦型螺栓连接的承载力

Tab. 7 Bearing Capacities of Friction Type Bolt Connection

规范	计算公式	参数说明
中国规范	$N_v^b = 0.9n_f\mu P, N_t^b = 0.8P, \frac{N_v}{N_v^b} + \frac{N_t}{N_t^b} \leq 1$	n_f 为传力摩擦面数; P 为螺栓的预拉力; μ 为摩擦面的抗滑移系数
日本规范	$Q_t = \frac{m\mu T_0}{1.5}, T_f = \frac{0.9}{1.5}T_0, (\frac{T}{T_f})^2 + (\frac{Q}{Q_f})^2 \leq 1$	m 为剪切面数; T_0 为抗拉强度设计值; $\mu = 0.45$

法成为一个难题。日本规范指出,对于高强摩擦型螺栓连接,因为不锈钢具有不易生锈的特点,所以在这种连接状态下,接触面的摩擦因数将很小。因此,为了确保所需要的摩擦因数,必须对摩擦面进行特殊的加工处理。日本规范中规定,在构件上使用不锈钢摩擦连接时不锈钢表面摩擦因数取 0.2 左右(按日本规范 JIS G 4321:2000 进行表面加工处理),当不锈钢表面生锈时就很难确定其摩擦因数,因此使用不锈钢摩擦连接时应应在其中一个表面喷上无机不锈钢粉末的涂料或进行等离子喷镀,以保证其摩擦因数在 0.45 左右。摩擦面的表面处理方法见表 8。

摩擦面的处理,对其中一个构件表面进行砂轮和爆破处理,表面粗糙度可以认为大于 35 μmRy (表示每 cm^2 范围内的轮廓线峰顶距谷底的距离不超过 35 μm)的粗面,而对另一个接触面,应进行以下处理:用含有无机不锈钢粉末的涂料处理或等离子喷镀。总体上必须按《不锈钢高强螺栓连接施工标准管理纲要》中的规定进行。若确认摩擦因数大

表 8 日本规范中摩擦面表面处理方法

Tab. 8 Treatment Methods of Friction Surface in Japanese Code

处理方法	处理过程	说明
涂料涂漆处理	涂料处理	使用加入了无机不锈钢粉末的涂料
	表面处理	首先在涂漆面上进行砂轮和爆破处理,使表面粗糙度大于 35 μmRy
	涂漆处理	加入无机不锈钢粉末,其平均涂膜厚度在 75 μm 左右
等离子喷镀处理	喷镀材料选择	不锈钢粉末(奥氏体型不锈钢 316 或奥氏体型不锈钢 304 等)
	表面处理	通过有机溶剂清洗摩擦面或通过喷镀除去,喷镀材料有磨料、钢粒、氧化铝、碳化硅等
	等离子喷镀	用专门装置在摩擦面上喷镀不锈钢粉末,使平均膜厚在 100 μm 左右,喷镀皮膜是通过千分尺、涡电流式膜厚计等进行测定的

于 0.45,则不受此限制。

2 算例分析

参考中国规范,本文中选用的设计对象为双剪切面螺栓连接,如图 1,2 所示,连接板材料选用 EN 1.4301 奥氏体型不锈钢,屈服强度标准值 $f_y = 210 \text{ MPa}$,抗拉极限强度 $f_u = 520 \text{ MPa}$,初始弹性模量 $E_0 = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$,螺栓采用 10.9 级 M20 高强螺栓,螺栓未施加预拉力。螺栓孔直径 $d_0 = 21 \text{ mm}$,纵向边距 $e_1 = 42 \text{ mm}$,横向边距 $e_2 = 40 \text{ mm}$,螺栓间距为 $p_1 = 63 \text{ mm}$,螺栓直径 $d_1 = 20 \text{ mm}$,板材厚度 $t = 8 \text{ mm}$ 。

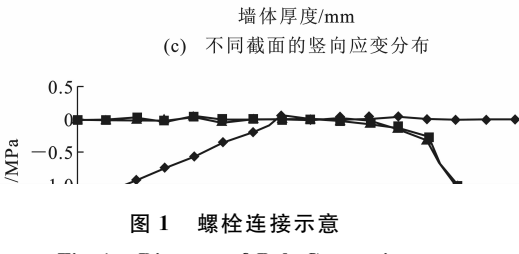


图 1 螺栓连接示意

Fig. 1 Diagram of Bolt Connection

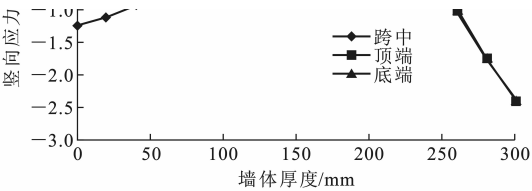


图 2 试件几何尺寸(单位:mm)

Fig. 2 Geometric Sizes of Specimen (Unit:mm)

为了使参数统一而便于规范比较,在计算时进

行了如下假设:

(1)在连接板的净截面承载力计算中,由于中国规范中没有对不锈钢材料的参数进行规定,因此在该算例中取 EN 1. 4301 奥氏体型不锈钢的钢材强度设计值 f 为屈服强度标准值 f_y 除以系数 1. 1,得到 $f=190. 9$ MPa。

(2)在连接板的承压强度计算中,不锈钢板的承压强度值 f_c^b 是按照中国规范中 Q235 钢材的屈服强度与承压强度比值确定的,取为 $f_c^b=420$ MPa。

(3)美国规范和澳大利亚及新西兰规范的螺栓承载力计算是针对螺栓材料为不锈钢的螺栓连接,而该算例采用的是普通 10. 9 级高强螺栓,因此名义拉应力假定取为抗拉极限强度值 f_u ,为 1 000 MPa,

而名义剪应力取为 f_u ,按抗拉承载力设计值 f_t^b 与抗剪承载力设计值 f_v^b 比值所取的值,为 620 MPa。

(4)在螺栓承载力计算中,日本极限强度计算中螺栓抗剪承载力计算公式中的抗剪极限强度假定取为 620 MPa。

螺栓抗剪承载力是计算双剪切面的承载力。普通 10. 9 级高强螺栓的抗拉极限强度 $f_u=1\ 000$ MPa,抗拉屈服强度 $f_y=900$ MPa,抗拉承载力设计值 $f_t^b=500$ MPa,抗剪承载力设计值 $f_v^b=3\ 100$ MPa。

表 9 为各国规范关于不锈钢结构螺栓连接节点的承载力计算结果对比。根据表 9 中的计算结果得到以下 5 个结论:

(1)因材料的极限强度远远大于材料的名义屈

表 9 计算结果对比
Tab. 9 Comparisons of Calculation Results kN

规范	中国规范	欧洲规范	美国规范	澳大利亚及 新西兰规范	日本规范	
					极限强度状态	容许强度状态
连接板净截面受拉承载力	90. 105	185. 307	158. 922	158. 922	245. 440	66. 080
连接板承压承载力	67. 200	88. 960	148. 720	148. 720	156. 416	42. 000
螺栓抗剪承载力	194. 779	251. 328	253. 212	253. 212	194. 779	188. 496
螺栓抗拉承载力	157. 080	226. 195	235. 619	235. 619	235. 619	141. 372

服强度,因此,基于屈服强度的日本规范容许应力验算和中国规范的验算值相对较小,其中前者结果最为保守;其余基于极限强度的欧洲规范、美国规范、澳大利亚及新西兰规范以及日本规范的极限强度计算结果相对较大,结果也较为接近。

(2)4 项验算参数的结果中,美国规范与澳大利亚及新西兰规范计算结果基本相同;4 个规范对螺栓抗剪承载力的计算结果相差最少。

(3)在基于极限承载力的计算结果中,欧洲规范因对极限强度进行折减并考虑了相关安全系数,从而其计算结果较为保守。

(4)在该设计中可以明显看出,连接板的承压强度起控制作用,其中,基于材料屈服强度的计算中日本规范容许强度验算值最小,基于材料极限强度的计算中欧洲规范最为保守。

(5)中国规范的设计值与不锈钢设计规范的设计值差异明显,与日本规范中的容许应力计算最接近但计算值偏大。

3 结 语

(1)直接采用中国规范进行不锈钢螺栓连接的设计是不适合的,因为中国规范是基于材料的屈服极限强度,而其余 4 个不锈钢规范是基于材料的极

限强度,因此计算结果相对保守;其中日本规范在给出极限强度计算方法的同时也给出了基于屈服极限强度的容许强度计算方法,其计算结果比中国规范更为保守。

(2)各国规范对于不锈钢螺栓连接计算的出发点基本相同,但是所采用的安全系数和所采用的强度值存在较大差异。

(3)除日本规范外,其余 3 个不锈钢设计规范的设计方法只适用于普通不锈钢螺栓连接或高强承压型螺栓连接,日本不锈钢建筑结构设计标准的容许强度计算部分还给出了高强摩擦型螺栓的设计方法,并对摩擦型螺栓连接的摩擦面抗滑移系数取值进行了特殊规定。

(4)对于不锈钢螺栓连接的设计,欧洲规范较其他 3 个不锈钢设计规范的规定更详细,考虑的参数更多;日本规范的设计规定较为全面,给出了 2 种设计方法,并囊括了承压型螺栓和摩擦型螺栓;美国规范和澳大利亚及新西兰规范的设计方法大致相同,并且均对扩大孔和槽孔进行了特殊规定。

参考文献:

References:

[1] 王元清,袁煊鑫,石永久,等. 不锈钢结构的应用和研究现状[J]. 钢结构,2010,25(2):1-12,18.

- WANG Yuan-qing, YUAN Huan-xin, SHI Yong-jiu, et al. A Review of Current Applications and Research of Stainless Steel Structure[J]. Steel Construction, 2010, 25(2): 1-12, 18.
- [2] EN 1993-1-4:2006, Eurocode 3: Design of Steel Structures. Part 1-4: General Rules—Supplementary Rules for Stainless Steels[S].
- [3] EN 1993-1-8:2005, Eurocode 3: Design of Steel Structures. Part 1-8: Design of Joints[S].
- [4] ASCE/SEI 8-02, Specification for the Design of Cold-formed Stainless Steel Structural Members[S].
- [5] AS/NZS 4673: 2001, Cold Formed Stainless Steel Structures[S].
- [6] JIS G 4321:2000, 日本不锈钢建筑结构设计标准[S]. JIS G 4321:2000, Japanese Design Code for Stainless Steel Structures[S].
- [7] 关 建, 王元清, 张 勇. 不锈钢连接节点及其工程应用研究[J]. 钢结构, 2010, 25(增): 125-140.
GUAN Jian, WANG Yuan-qing, ZHANG Yong. Study on Connection Joint of Stainless Steel and Its Engineering Application[J]. Steel Construction, 2010, 25(S): 125-140.
- [8] GB 50017—2003, 钢结构设计规范[S].
GB 50017—2003, Code for Design of Steel Structures [S].
- [9] BOUCHAIR A, AVERSENG J, ABIDELAH A. Analysis of the Behaviour of Stainless Steel Bolted Connections[J]. Journal of Constructional Steel Research, 2008, 64(11): 1264-1274.
- [10] 高 博, 王元清, 戴国欣, 等. 各国规范不锈钢受弯构件设计方法比较分析[J]. 四川建筑科学研究, 2010, 36(5): 1-4.
GAO Bo, WANG Yuan-qing, DAI Guo-xin, et al. Comparative Study on Design Methods for Stainless Steel Flexural Members in Different Codes [J]. Sichuan Building Science, 2010, 36(5): 1-4.
- [11] 朱 铭, 王荣辉, 黄永辉. 钢桁桥长列高强螺栓群优选布置的有限元分析[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2009, 29(4): 59-62.
ZHU Ming, WANG Rong-hui, HUANG Yong-hui. Finite Element Analysis on Optimized Arrangement of Long List Bolts Group with High Strength in Steel Truss Bridges[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2009, 29(4): 59-62.
- [12] 王斌华, 吕彭民, 吴纪生. 造桥机主梁高强连接螺栓群的有限元计算[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2006, 26(1): 97-100.
WANG Bin-hua, LU Peng-min, WU Ji-sheng. Finite Element Analysis of High-strength Bolts for Overhead Launching Gantry's Main Girder[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(1): 97-100.
- [13] 黄永辉, 王荣辉, 甘 泉. 钢桁梁桥整体节点焊接残余应力试验[J]. 中国公路学报, 2011, 24(1): 83-88.
HUANG Yong-hui, WANG Rong-hui, GAN Quan. Experiment on Welding Residual Stress of Integral Joint for Steel Truss Bridge[J]. China Journal of Highway and Transport, 2011, 24(1): 83-88.
- [14] 谭明鹤, 王荣辉, 黄永辉, 等. 刚性悬索加劲钢桁梁桥特殊节点模型试验[J]. 中国公路学报, 2008, 21(1): 47-52.
TAN Ming-he, WANG Rong-hui, HUANG Yong-hui, et al. Special Joint Model Test of Stiff Suspension Reinforced Steel Truss Bridge[J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(1): 47-52.
- [15] 金怀印, 薛伟辰, 周德源. RC 梁-CCFST 柱加强环式节点抗剪承载力计算分析[J]. 建筑科学与工程学报, 2011, 28(2): 106-113.
JIN Huai-yin, XUE Wei-chen, ZHOU De-yuan. Calculation and Analysis of Shear Capacity of Connection with Stiffening Rings Between RC Beam and CCFST Column[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2011, 28(2): 106-113.
- [16] 李 琪, 张 景, 刘 平, 等. 配置不同屈服点钢筋的 RC 十字型节点试验[J]. 建筑科学与工程学报, 2011, 28(3): 9-13.
LI Qi, ZHANG Jing, LIU Ping, et al. Experiment of RC Cross-shaped Nodes Configured with Different Yield Point Steels [J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2011, 28(3): 9-13.
- [17] 窦祖融, 王 怡, 薛伟辰. 低周反复荷载下装配整体式混凝土框架边节点的抗震性能[J]. 建筑科学与工程学报, 2010, 27(2): 61-66.
DOU Zu-rong, WANG Yi, XUE Wei-chen. Seismic Performance of Precast Monolithic Concrete Frame Exterior Connections Under Low Cyclic Loading[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2010, 27(2): 61-66.