

《钢结构设计标准》中有关螺栓孔中距、边距及端距规定的图示详解

文 / 刘天雨 汉中天宇工程咨询设计有限公司

摘要:《钢结构设计标准》第11.5.2条规定了螺栓孔的中心距、端距和边距的容许值。规范条文以文字叙述加表格的方式阐述了各种受力情况下的螺栓孔间距的规定,条文叙述简洁但欠直观,部分规定难以理解,对广大钢结构从业者造成困扰。鉴于螺栓排列间距问题比较常见,实际工程中大量出现,容易造成认识混乱。本文通过梳理、归纳和总结,将此问题进行深入探讨并给出较为完美的解读。

关键词:螺栓孔;节点;规范;钢结构

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.05.107

引言

螺栓作为钢结构构件间的连接紧固件,因其构造简单、连接可靠、施工方便而在钢结构工程中被广泛应用。现行《钢结构设计标准》GB50017-2017第11.5.2条对螺栓孔的中心距、端距和边距的容许值进行了规定,通过文字叙述和表格的方式进行了阐述,但由于表述简洁部分规定理解存在困难。因此,在实际工程中,由于缺乏直观指导容易引发困扰。

一、问题的提出

图1为某钢框架梁柱节点,钢柱截面HW400×400×13×21,钢梁截面H496×200×10×18, Q355B钢,节点刚接,采用10.9级M20高强度螺栓摩擦型连接,螺栓孔径d0按22mm,剪切边,连接板采用Q235B,板厚8mm。

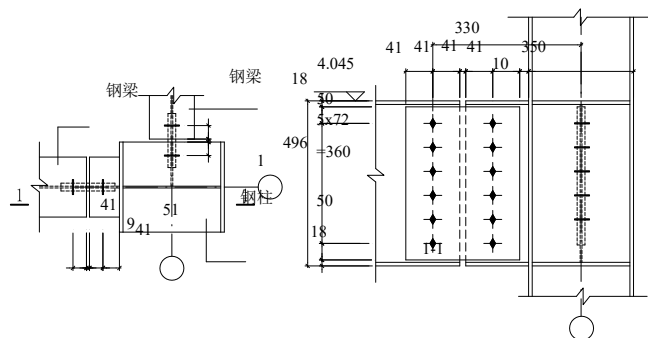


图1 梁柱节点高强度螺栓连接

图示节点连接中,螺栓孔中距72,端距50,边距41。依据规范规定,中距 $72 > 3d_0 = 3 \times 22 = 66$,端距 $50 > 2d_0 = 2 \times 22 = 44$,边距 $41 > 1.5d_0 = 1.5 \times 22 = 33$ 。该节点处高强度螺栓中距、端距、边距均满足《钢标》第11.5.2条的构造要求

二、各规范及资料下的螺栓孔间距规定的汇总

各规范及资料里的具体规定如下:

①《钢结构设计标准》GB50017-2017(即17版《钢标》)第11.5.2条^[4]:(内容见该条文及表格,限于篇幅,从略)

②《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ82-2011第4.3.3条。

③《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB50018-2002第

6.2.4条。

④《钢结构设计手册(第四版)》上册第384页。

⑤《钢结构连接节点设计手册(第五版)》第73、74页。

⑥《高耸结构设计标准》GB50135-2019第5.10.13条表5.10.13。

⑦《钢结构设计规范》GB50017-2003(即03版《钢规》)第8.3.4条。

⑧《建筑结构构造资料集》下册第78页。

⑨《美国建筑钢结构设计规范》ANSI/AISC360-10(即10版《美钢规》)第147、149页规定。

三、规范、资料间的异同比较

以上规范和资料中,第⑧项《构造集》因编制时间较早,采用的规范较老(89版钢规),对螺栓孔间距的规定与现行《钢标》差异较大,虽有图示,但较粗略。第③项《冷弯》条文叙述较简略,虽有图示,但不够细致;第④项《手册》中的图示,如d、 δ 等参数,与手册表格对应的 d_0 、t不一致,与《钢标》中的表格亦不一致。第②项《高强》的规定与《钢标》的规定基本一致,有些许差别,没有图示。第⑦项《钢规》与《钢标》基本一致,表格的注1、2与《钢标》注1、2相同,无《钢标》的注3。第⑥项《高耸》规定及表格与《钢标》基本一致,表格的注3与《钢标》的注3不同。

相比较而言,第①项《钢标》的规定最完整,缺点是没有图示。表格的表头标题有边距、端距等字样,表格中的具体内容无对应文字,只有“外排中心间距”“中间排中心间距”等表述稍欠严谨,不如《钢规》的文字准确。

《钢规》中螺栓间距的有关规定曾借鉴参考了《铁路桥涵钢结构设计规范》TB10002.2和美国钢结构规范AISC1989(见《钢规》条文说明)。对比发现部分名词术语不同,如拉力、压力、应力、裁切边缘、滚压边缘(疑为辊压边缘之误)、靠边的行列等,容许间距的具体要求也不同。规定中首次出现“沿对角线方向”的表述是88版《钢规》所没有的,03版《钢规》加以吸收采纳,并延续至最新的17版《钢标》中。

第⑨项为10版《美钢规》第J.3、J.4、J.5条规定,没有表格及图示,仅用文字叙述。但行文表达清楚

没有疑义。

四、螺栓的分类及受力分析

普通螺栓按产品分为六角螺栓、双头螺栓、地脚螺栓等；按承载性能等级分为3.6、4.6、4.8、5.6、10.9、12.9等十个等级；按传力方式分为抗剪螺栓、抗拉螺栓、既受剪又受拉螺栓。按加工精度分为A、B、C级螺栓，其中A、B级加工精度较高，工业与民用建筑钢结构行业较少采用。实际工程中多为C级螺栓，加工精度较粗糙安装简便，可在承受静力荷载或间接承受动力荷载的次要连接部位使用，拆卸后可重复使用。

高强螺栓按产品分为大六角头连接副和扭剪型连接副；按性能等级分为8.8级和10.9级；按受力特点分为摩擦型连接和承压型连接。高强螺栓一般用于构件的永久连接，一旦拆卸后预应力即丧失，故不可重复使用。

(如图2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)

以下列举了螺栓群的各种受力情形：

(一) 承受轴心力的抗拉连接

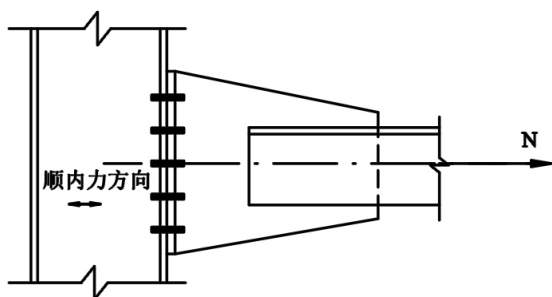


图2 承受轴心力的抗拉连接

(二) 承受撬力的抗拉连接

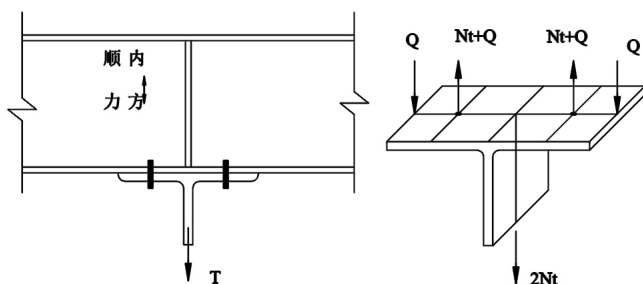


图3 承受撬力的抗拉连接 图4 高强度螺栓连接, T形受拉接头

(三) 承受轴心力的抗剪连接

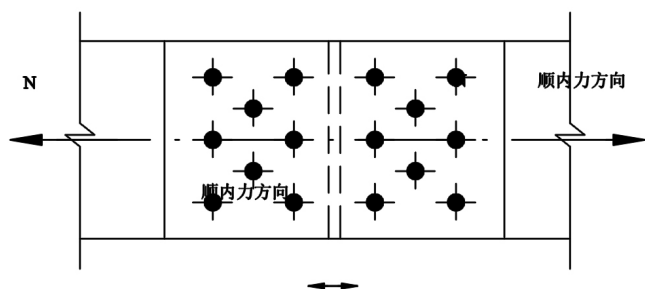


图5 承受轴心力的抗剪连接

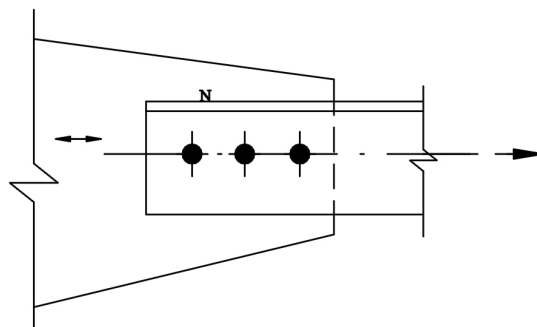


图6 承受轴心力的抗剪连接

(四) 承受弯矩、剪力的抗拉、抗剪连接

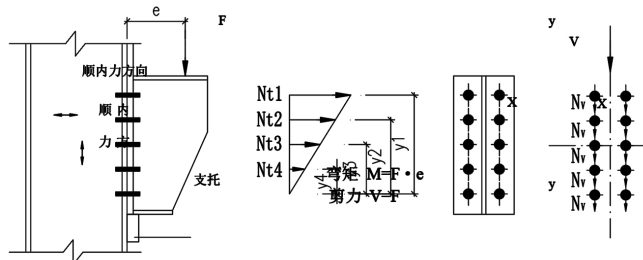


图7 承受弯矩、剪力的抗拉、抗剪连接

(普通螺栓、高强度螺栓承压型连接)

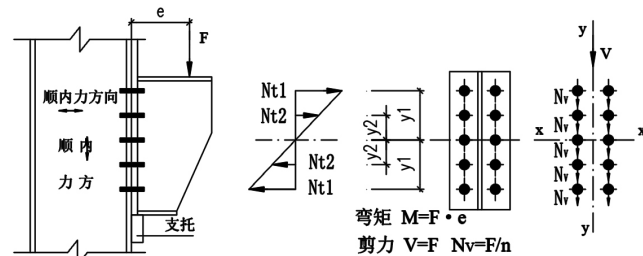


图8 承受弯矩、剪力的抗拉、抗剪连接(高强螺栓摩擦型连接)

(五) 承受扭矩、剪力的抗剪连接

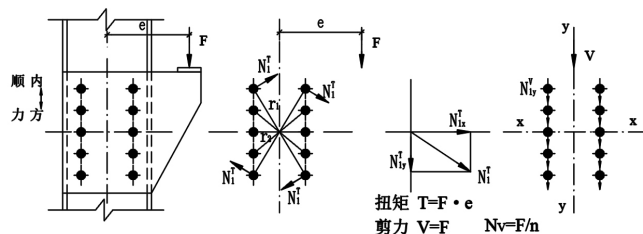


图9 承受扭矩、剪力抗剪连接

(六) 承受弯矩、剪力、轴心力的抗拉、抗剪连接

(图示见《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ82-2011第4.3.3条,限于篇幅,从略。)

五、螺栓的破坏模式

普通螺栓连接的破坏模式,计有以下5种:①螺栓杆被剪断;②钢板被拉断;③孔壁被压坏;④钢板被剪断;⑤螺栓被压弯。

为防止普通螺栓连接的破坏,对上述第①、②、③项可通过计算确定合适的螺栓直径和板厚;第④项可

通过构造措施加以解决，如限制螺栓的端距不能小于 $2d_0$ ；第⑤项可限制板叠厚度不大于 $5d$ ，避免螺栓杆长度超过 $5d$ 而出现压弯破坏，此项仅见于钢结构教材。

高强度螺栓摩擦型连接和承压型连接实际上是同一种螺栓，不同的是设计时是否考虑滑移。摩擦型连接是单纯通过拧紧螺栓杆产生的预拉力，从而把连接板件夹紧，使连接板件接触面间产生挤压力，由挤压力产生摩擦力，通过摩擦力来抵抗剪力，螺栓本身不考虑承受剪力。以板件间出现滑移作为承载力的极限状态，即板件间一旦出现滑移，就认为达到破坏状态。承压型连接允许产生滑移，滑移后螺栓杆开始承受剪力，最终破坏相当于普通螺栓破坏，即螺栓被剪断或钢板被压坏，其受剪承载力计算公式与普通螺栓相同，但当计算剪切面在螺纹处时，应按螺纹处的有效面积计算。由此可见，承压型连接和摩擦型连接是同一高强度螺栓连接的两个不同阶段，可以将摩擦型连接看成承压型连接的正常使用状态，承压型连接是摩擦型连接的损伤极限状态。

六、对规范中一些基本术语解释

1. 中间排中心间距：指螺栓孔的标准间距，位于中间排区域的相邻螺栓孔中心线间的距离，简称中距。
2. 外排中心间距：最外排螺栓孔中心距相邻内侧螺栓孔间的距离。
3. 中心至构件边缘距离：螺栓孔中心至构件外边缘的距离，分端距和边距两种。
4. 线距：螺栓非受力方向（即垂直内力方向）上相邻两排（列）螺栓孔中心线间的距离。
5. 顺内力方向：沿螺栓内力的方向。
6. 垂直内力方向：与螺栓内力垂直的方向，即内力方向的垂直方向。
7. 对角线方向：相邻螺栓孔中心围成的直角三角形的对角线（斜线）方向。
8. 螺栓紧凑布置：在满足螺栓施拧空间的条件下，采用较小间距布置螺栓，称为紧凑布置，包括并列布置和错列布置。

上述术语可参考图10、图11理解。

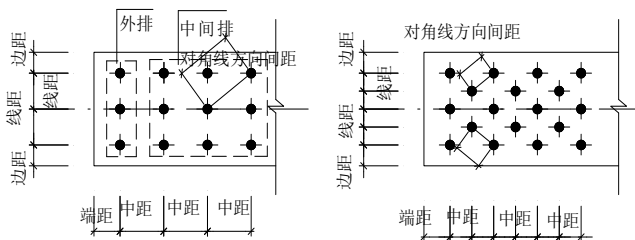


图 11 螺栓并列布置

图 12 螺栓错列布置

9. 标准孔、大圆孔、槽孔：分别为高强度螺栓孔的三种类型。标准孔的孔径 d_0 较螺栓公称直径 d 大 $1.5\sim 3.0\text{mm}$ ；大圆孔的孔径 d_0 较螺栓公称直径 d 大 $4.0\sim 8.0\text{mm}$ ；槽孔即长圆孔，孔型尺寸分短向和长向尺寸。大圆孔和槽孔均属于扩大孔型。承压型连接一般采用标准孔，摩擦型连接可采用标准孔、大圆孔和槽孔。

10. 轧制边：通过轧制加工的钢材边缘，对应的加

工方法为轧制。

11. 剪切边：通过剪切工艺加工形成的钢材边缘，对应的切割方法为剪切，是机械切割的一种。

12. 焰切边：通过火焰切割加工形成的钢材边缘，对应的钢材的加工方法为火焰切割。

13. 气割边：通过气体燃烧的火焰热量切割加工形成的钢材边缘，对应的钢材的加工方法为气割。

14. 锯割边：通过砂轮锯或锯床切割钢材形成的边缘，对应的切割方法为锯割，是机械切割的一种。

七、螺栓孔间距规定详解

首先要了解螺栓孔规定最小间距是避免间距过密或端距过小使螺栓出现应力集中并互相影响或使板件削弱过多而降低承载力以致端部被剪断，同时保证施工有一定的操作空间便于拧紧。规定最大间距的目的是为了避免间距过大时板件受压时会使板件接触不紧密出现凸曲现象，易使潮气入侵而使钢材接触面锈蚀。在实际应用中，螺栓的排列宜尽量采用紧凑型排列，在满足螺栓施拧空间的条件下，尽量采用较小间距布置螺栓可以获得更好的连接效果，所用螺栓数量较少、连接尺寸较小且板件不至削弱过多。以下是修改后表格：

名称	位置和方向	最大容许间距： 取两者的较小值	最小容许间距		
中心间距 (简称中距)	外排（垂直内力方向或顺内力方向）	$\min\{8d_0, 12t\}$	3d0		
	中间排	垂直内力方向		$\min\{16d_0, 24t\}$	
		顺内力方向		构件受压力	$\min\{12d_0, 18t\}$
				构件受拉力	$\min\{16d_0, 24t\}$
沿对角线方向	不限				
中心至构件 边缘距离 (简称端距 及边距)	端距（顺内力方向）		2d0		
	边距（垂 直内 力方向）	剪切边或手工切割边	$\min\{4d_0, 8t\}$		
		轧制边、自动 气割或锯割		高强度螺栓	
				普通螺栓或 铆钉	
		1.2d0			

结束语

《钢标》第11.5.2条关于螺栓孔间距的规定，经过本文的深度剖析，总结如下：

1. 布置螺栓时要根据受力情况选择合适的螺栓类型和布置方式，以保证连接的可靠性。
2. 螺栓的布置要均匀，以减小螺栓之间的应力差异，提高连接的均衡性和稳定性。
3. 螺栓的布置要根据设计要求确定螺栓的数量、规格和布置方式。
4. 螺栓的布置要注意螺栓孔之间的距离。

参考文献

[1] 但泽义. 钢结构设计手册（第四版）[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2018.
 [2] 秦斌. 钢结构连接节点设计手册（第五版）[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2023.