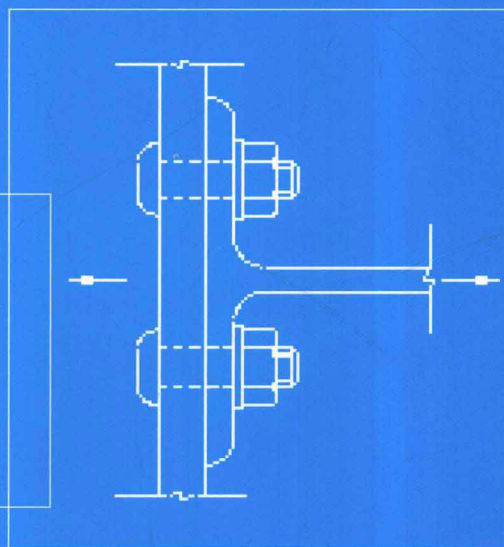
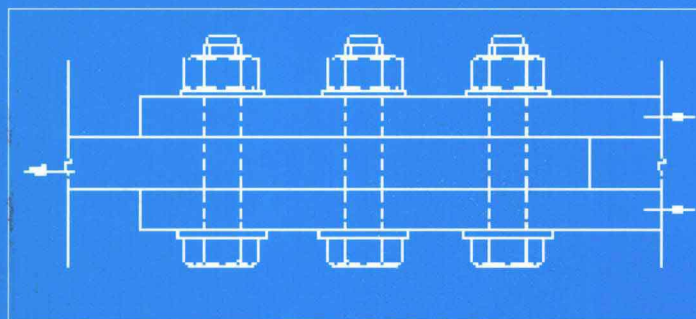


侯兆新 编著

高强度螺栓连接 设计与施工



中国建筑工业出版社

高强度螺栓连接设计与施工

侯兆新 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高强度螺栓连接设计与施工/侯兆新编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2012. 6
ISBN 978-7-112-14319-1

I. ①高… II. ①侯… III. ①高强度-螺栓连接-研究 IV. ①TH131

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 093575 号

本书共分 10 章, 分别是: 高强度螺栓连接及其分类、高强度螺栓预拉力值确定及紧固原理、受剪作用的摩擦型连接接头、受拉剪组合作用的摩擦型连接接头、承压型高强度螺栓连接、摩擦-承压型受剪连接接头变形准则、高强度螺栓受拉连接接头、高强度螺栓与焊缝并用连接、高强度螺栓连接施工、高强度螺栓连接施工质量检验与验收。对高强度螺栓连接理论、设计、施工进行了全面和系统地论述, 展示国内在高强度螺栓连接领域的最新研究成果, 介绍国外最新研究进展和技术标准, 可作为从事钢结构设计与施工技术人员使用《钢结构高强度螺栓连接技术规程》(JGJ 82—2011) 时配套宣贯资料, 也可作为高校钢结构专业教学的参考资料, 还可用作相关人员的培训用书。

* * *

责任编辑: 曾 威 王砾瑶

责任设计: 董建平

责任校对: 刘梦然 王雪竹

高强度螺栓连接设计与施工

侯兆新 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京汉魂公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 28¼ 字数: 690 千字

2012 年 11 月第一版 2012 年 11 月第一次印刷

定价: 65.00 元

ISBN 978-7-112-14319-1

(22330)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

1984年我来到冶建总院参加工作，正是我国钢结构行业刚刚开始发展之时，时任钢结构研究室主任陈禄如教授把我从人事处领到了办公楼四楼西头办公室的场景仍历历在目，偌大的办公室里坐着大家耳熟能详的我国著名的钢结构专家俞国音、贺贤娟、何文汇、李继读、李秀川等我的老前辈，从此，我在老前辈的带领和指导下，开始了高强度螺栓连接领域的研究、设计、施工、检测及标准编制工作，至今已经28年有余。

1984年至1988年，作为助理工程师，跟随贺贤娟教授以及铁道部科学研究院沈家骅研究员的团队，开展高强度螺栓连接的推广应用工作，带着几十公斤的螺栓轴力计等试验仪器，足迹遍布北京、上海、山东、安徽、贵州等地，期间获得“高强度螺栓承压型连接试验研究”研究成果。

1988年至1991年，作为研究生，师从李继读、贺贤娟导师系统地对高强度螺栓连接变形准则进行了试验研究，在同济大学读基础课期间，得到沈祖炎院士的专业指导，试验研究期间得到清华大学王国周教授的精心指点。

1991年至1995年，作为工程师，在俞国音、贺贤娟两位教授的带领下，从事高强度螺栓连接检测，特别是在役钢结构高强度螺栓可靠度研究工作，我们的研究团队在宝钢、武钢、鞍钢、首钢等大型钢铁企业老厂房鉴定检测中留下足迹，期间获得“高强度螺栓连接接头检测及风险评估”科技成果。

1995年至2001年，作为高级工程师，参加国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2001)编制工作，在担任编制组组长的同时，负责有关高强度螺栓连接章节的编制工作，与贺贤娟教授一起对高强度螺栓连接施工、检测及质量验收等进行系统地研究，并将研究成果纳入标准中。

2001年至2005年，作为研究生导师，在何文汇、侯忠良教授的协助下，指导研究生先后完成了涂层摩擦面、大孔及槽孔、转角法施工、栓焊并用连接等一系列课题的试验研究，培养5名硕士研究生，其研究成果纳入相应的技术标准。

2005年至2010年，作为编制组长，主持《钢结构高强度螺栓连接技术规程》(JGJ 82—2011)编制工作，在柴昶、贺贤娟、沈家骅、何文汇教授等支持下，带领编制组开展全面、系统地调研和研究工作，在借鉴国际先进标准的基础上，在孔型系数、涂层抗滑移系数、受拉螺栓撬力(杠杆力)计算、栓焊并用连接、转角法施工等几个方面，填补国内在技术标准方面的空白，达到国际先进水平。

2011年，与清华大学石永久教授、青岛理工大学王燕教授等一起申报的“建筑钢结构新型连接节点及体系的设计理论、关键技术和工程应用”获得2011年度国家科学进步二等奖，与此同时，《钢结构高强度螺栓连接技术规程》(JGJ 82—2011)发布并实施，在此收获的时候，应中国建筑工业出版社的邀请，将我及我们团队20多年积累的研究成果汇编成册，权当《钢结构高强度螺栓连接技术规程》(JGJ 82—2011)实施的参考资料。

在本书的编写中，采纳了何文汇、吴耀华教授及我的师兄宋连生教授的部分研究成果；同事黄国宏、文琳骏利用业余时间试算了大量的算例并汇编成表格；我的学生王庆梅、彭铁红、张东旭、李辰、孙磊等都做了大量的工作，付出辛勤的劳动；我的同事杨智慧、安伟芳参加文字的编辑工作，在此一并表示衷心的感谢。

侯兆新

目 录

第 1 章 高强度螺栓连接及其分类	1
1.1 高强度螺栓连接机理及其特点	1
1.2 高强度螺栓连接分类	1
1.3 高强度螺栓连接副及其分类	3
第 2 章 高强度螺栓预拉力值确定及其紧固原理	10
2.1 高强度螺栓预拉力（紧固轴力）的确定	10
2.2 大六角头高强度螺栓扭矩紧固原理	11
2.3 大六角头高强度螺栓螺母转角法紧固原理	14
2.4 扭剪型高强度螺栓紧固原理	16
第 3 章 受剪作用的摩擦型连接接头	19
3.1 连接板摩擦面处理及抗滑移系数	19
3.2 涂层摩擦面抗滑移系数	21
3.3 螺栓孔距对抗滑移系数的影响	28
3.4 螺栓孔型系数	29
3.5 连接接头设计	37
第 4 章 受拉剪组合作用的摩擦型连接接头	40
4.1 试验情况	40
4.2 双剪摩擦面接头抗滑移试验	41
4.3 单剪摩擦面接头抗滑移试验	43
4.4 拉剪组合作用下连接接头抗滑移试验	45
4.5 连接接头设计建议	51
第 5 章 承压型高强度螺栓连接	52
5.1 高强度螺栓的剪切强度	53
5.2 连接钢板的承压强度	61
5.3 带孔板的受力性能	67
5.4 承压型连接接头承载力	72
第 6 章 摩擦—承压型受剪连接接头变形准则	82
6.1 变形准则的基本原理及国内外研究概况	82
6.2 试验研究	84
6.3 多栓接头中螺栓不同时承压问题的理论分析	94
6.4 多栓接头承压力的理论分析和计算	97
6.5 变形准则在连接设计中的应用	105

6.6	结论	107
第7章	高强度螺栓受拉连接接头	110
7.1	高强度螺栓受拉连接的工作机理	110
7.2	T形受拉件中高强度螺栓撬力(杠杆力)计算	112
7.3	T形受拉连接接头设计	114
7.4	外伸式端板连接接头设计	116
7.5	轴向拉力作用下钢管法兰连接	117
第8章	高强度螺栓与焊缝并用连接	154
8.1	试验概况	154
8.2	有限元分析及其与试验结果的比较	158
8.3	栓焊并用连接节点承载力设计公式分析	173
8.4	设计建议	174
第9章	高强度螺栓连接施工	176
9.1	连接件加工与制孔	176
9.2	高强度螺栓连接安装	178
9.3	大六角头高强度螺栓连接副扭矩法紧固	180
9.4	扭剪型高强度螺栓连接副紧固	182
9.5	高强度螺栓连接副转角法紧固	185
9.6	高强度螺栓连接副储运与保管	186
9.7	高强度螺栓连接副转角法紧固试验研究	187
第10章	高强度螺栓连接施工质量检验与验收	213
10.1	高强度大六角头螺栓连接副进场检验	213
10.2	扭剪型高强度螺栓连接副进场检验	213
10.3	摩擦面抗滑移系数检验	213
10.4	紧固质量检验	214
10.5	施工质量验收	215
附录	T形受拉连接接头撬力(杠杆力)速算图表	218
附1	高强度螺栓连接副(10.9S)+Q235连接板材	220
附2	高强度螺栓连接副(8.8S)+Q235连接板材	248
附3	高强度螺栓连接副(10.9S)+Q345连接板材	276
附4	高强度螺栓连接副(8.8S)+Q345连接板材	304
附5	高强度螺栓连接副(10.9S)+Q390连接板材	332
附6	高强度螺栓连接副(8.8S)+Q390连接板材	360
附7	高强度螺栓连接副(10.9S)+Q420连接板材	388
附8	高强度螺栓连接副(8.8S)+Q420连接板材	416
参考文献		444

第 1 章 高强度螺栓连接及其分类

1.1 高强度螺栓连接机理及其特点

高强度螺栓连接已经发展成为与焊接并举的钢结构主要连接形式，具有受力性能好、耐疲劳、抗震性能好、连接刚度、施工简便、可拆换等优点，被广泛地应用在建筑钢结构、桥梁钢结构、塔桅钢结构等的工程连接中，成为钢结构现场安装的主要手段之一。

在我国钢结构受剪连接接头中使用的螺栓连接一般分普通螺栓连接和高强度螺栓连接两种。选用普通螺栓或选用高强度螺栓（8.8S 以上）作为连接紧固件，但不施加紧固轴力，当受外力时接头连接板即产生滑动，外力通过螺栓杆受剪和连接板孔壁承压来传递（图 1-1a），该连接称普通螺栓连接；选用高强度螺栓作为连接的紧固件，并通过对螺栓施加紧固轴力，将被连接的连接板夹紧产生摩擦效益，当受外力作用时，外力靠连接板层接触面间的摩擦来传递，应力流通过接触面平滑传递（图 1-1b），该连接被称为通常意义上的高强度螺栓摩擦型连接。

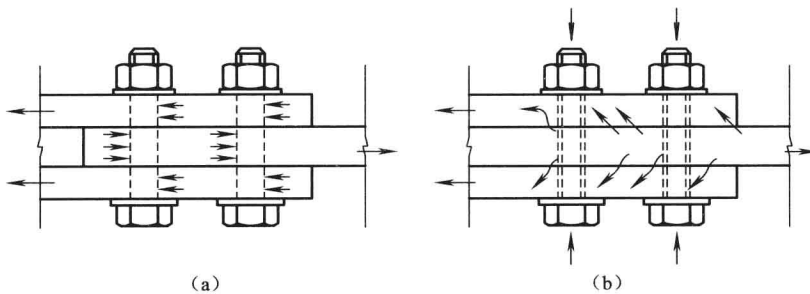


图 1-1 普通螺栓连接和高强度螺栓连接工作机理示意
(a) 普通螺栓连接；(b) 高强度螺栓摩擦连接

1.2 高强度螺栓连接分类

高强度螺栓连接接头按受力状态大致区分为：主要传递垂直于螺栓轴方向剪力的受剪连接接头（图 1-2a）和主要传递沿螺栓轴方向拉力的受拉连接接头（图 1-2b）。两者传递力方向不同，但在利用拧紧高强度螺栓所得紧固轴力方面是相同的。

高强度螺栓受剪连接接头是最常见的连接形式，图 1-3 为高强度螺栓受剪连接接头典型荷载—变形曲线，其中竖坐标为施加在接头上的剪切荷载，横坐标为接头沿受力方向的变形，通常为接头连接板之间的相对位移。

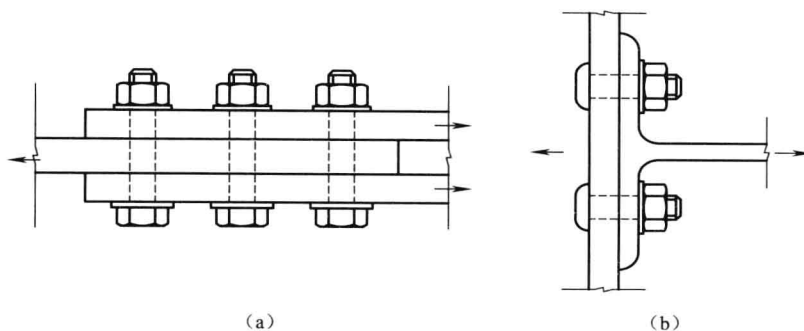


图 1-2 高强度螺栓连接接头示意
(a) 受剪连接接头示意；(b) 受拉连接接头示意

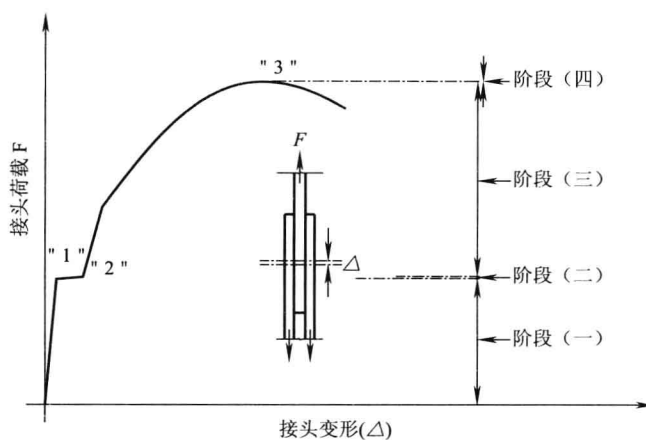


图 1-3 高强度螺栓受剪连接接头典型荷载—变形曲线

从图 1-3 曲线上可以把连接工作过程分为三个节点四个阶段：

(1) 阶段（一）为静摩擦抗滑移阶段，即摩擦型连接工作阶段。在此阶段外力全部靠连接板层之间接触面间的摩擦力来传递，螺栓在连接中只担当一个角色，即靠本身的紧固轴力给连接板之间施加接触压力，从而使接触面产生摩擦力。在这个过程中，螺栓本身不受剪力，即使在重复荷载作用下，螺栓的轴力等受力状态不会发生变化，同时连接接头的变形很小，可以忽略不计。

(2) 阶段（二）为主滑移阶段，当接近和达到节点“1”时，荷载达到克服摩擦阻力，接头突然发生滑移；当达到节点“2”时，意味着螺栓杆与连接板孔壁接触，连接进入主滑移标志摩擦型连接的破坏。通常把节点“1”定义为摩擦型连接的极限状态，此时的荷载为摩擦型连接的极限承载力。

(3) 阶段（三）为摩擦-承压阶段，此阶段荷载由摩擦力、螺栓杆受剪及连接板孔壁承压三者共同传递，在开始处于弹性变形阶段，逐渐地进入弹塑性阶段，此阶段一般采用变形准则的方法来确定连接承载力，即给定一个接头变形量 Δ ，通过图 1-3 曲线可以得到接头承载力。

(4) 阶段（四）为接头极限破坏阶段，随着螺栓剪切变形的加大，其紧固轴力渐渐减小，摩擦的作用也就逐渐消失，当接近和达到节点“3”时，螺栓的紧固轴力已经松弛殆

尽，最后螺栓被剪断或连接板破坏（拉脱、承压和净截面拉断），与普通螺栓连接的极限破坏相同，曲线的终点“3”即为承压型连接极限破坏状态，此时荷载即为承压型连接接头的极限承载力。

高强度螺栓受拉连接常见于悬挂节点、法兰连接以及梁柱外伸端板连接等，属于传递作用于螺栓轴向力的连接形式，利用紧固螺栓时产生在连接板间的压力进行应力传递，其特点是作用的外力和紧固螺栓时产生在连接板间的压力相平衡，使得螺栓本身的轴力变化很小，接头始终具有较大的连接刚度。当外拉力接近或达到螺栓紧固轴力时，接头连接板间压力接近消失，意味着连接板间进入拉脱状态，此时为高强度螺栓受拉连接的极限状态。

1.3 高强度螺栓连接副及其分类

在我国通常把性能等级 8.8S 及以上的螺栓称为高强度螺栓，螺栓的性能等级在世界上通用，其中第一位数字代表螺栓材质标称抗拉强度值等级，后面的两位代表该材质的屈服比（屈服强度与抗拉强度的比值），例如性能等级为 10.9S 高强度螺栓是指“螺栓材质的抗拉强度达到 1000MPa 等级，其屈服强度与抗拉强度比值为 0.9”。

从国内外试验研究和工程实践来看，当高强度螺栓材质抗拉强度超过 1000MPa 时，紧固后螺栓处于高应力状态下易发生滞后断裂问题，也就是螺栓出现断裂的几率较高，造成工程安全隐患。因此，我国从 20 世纪 80 年代开始，不再使用 12.9S 高强度螺栓，目前常用的是 8.8S 和 10.9S 两种。

从外形上看，国内外最常用的有大六角头和扭剪型两种。从表面处理来分主要是磷化、皂化处理和镀锌处理，其中镀锌处理一般应用在 8.8S 高强度螺栓中。

总体上讲，虽然各国制造高强度螺栓的材料不一，但只要性能等级相同，其性能就是一样的。表 1-1 列出各主要国家高强度螺栓性能的对比情况。

主要国家高强度螺栓性能对比

表 1-1

国家	螺栓标准	性能等级	连接副类型	抗拉强度值 (MPa)
中国	GB/T1231	8.8S	大六角头型	830~1030
		10.9S	大六角头型	1040~1240
	GB/T3632	10.9S	扭剪型	1040~1240
美国	ASTM A325	8.8S	大六角头型	725~830 (不同直径下最低值)
	ASTM A490	10.9S	大六角头型	1035~1190
	ASTM F1852	8.8S	扭剪型	725~830 (不同直径下最低值)
欧盟	BS EN14399	8.8S	大六角头型	800 (名义抗拉强度)
	ISO898-1	10.9S	大六角头型	1000 (名义抗拉强度)
日本	JIS B 1186	F10T	大六角头型	1000~1200
	JSS II 09	S10T	扭剪型	1000~1200

1.3.1 大六角头高强度螺栓连接副

大六角头高强度螺栓连接副含一个螺栓、一个螺母、两个垫圈（螺头和螺母两侧各一个垫圈），参见图 1-4。螺栓、螺母、垫圈在组成一个连接副时，其材料以及性能等级要匹配，表 1-2 为大六角头高强度螺栓连接副材料及性能等级匹配表。

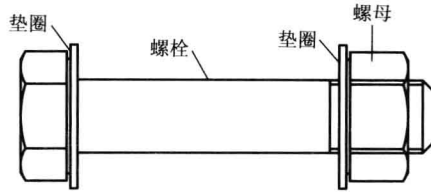


图 1-4 大六角头高强度螺栓连接副示意

大六角头高强度螺栓连接副材料及性能等级匹配表

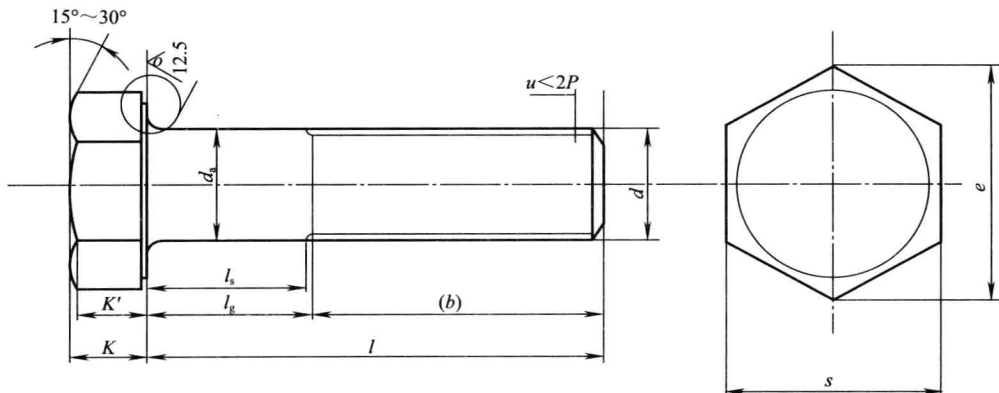
表 1-2

类别	性能等级	推荐材料	材料标准	备注
螺栓	8.8S	45号	GB/T 699	
		35号	GB/T699	
	10.9S	20MnTiB	GB/T 3077	
		40B	GB/T 3077	
螺母	10H	45号或35号	GB/T 699	
		15MnVB	GB/T 3077	
垫圈	HRC35-45	45号或35号	GB/T 699	

大六角头高强度螺栓连接副中螺栓、螺母、垫圈型号及规格分别参见表 1-3~表 1-5。

大六角头高强度螺栓型号及规格表 (mm)

表 1-3



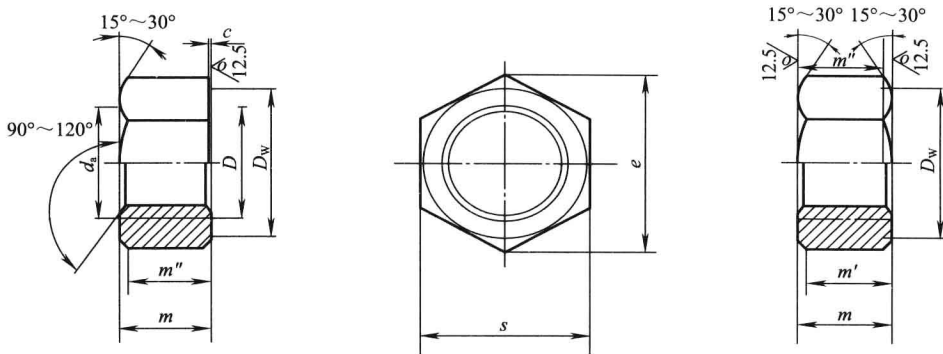
续表

公称尺寸	螺纹规格 d							螺纹规格 d						
	M12	M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	M12	M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30
	(b)							每 1000 个钢螺栓的理论质量 (kg)						
35	25							49.4						
40								54.2						
45	30							57.8	113.0					
50		35						62.5	121.3	207.3				
55	40							67.3	127.9	220.3	269.3			
60		45						72.1	136.2	233.3	284.9	357.2		
65	50							76.8	144.5	243.6	300.5	375.7	503.2	
70		55						81.6	152.8	256.5	313.2	394.2	527.1	658.2
75	60							86.3	161.2	269.5	328.9	409.1	551.0	607.5
80		35							169.5	282.5	344.5	428.6	570.2	716.8
85	40								177.8	295.5	360.1	446.1	594.1	740.3
90		45							186.4	308.5	375.8	464.7	617.9	769.7
95	50								194.4	321.4	391.4	483.2	641.8	799.0
100		55							202.8	334.4	407.0	501.7	655.7	828.3
110	60								219.4	360.4	438.3	538.8	713.5	886.9
120		35							236.1	386.3	469.6	575.9	761.3	945.6
130	40								252.7	412.3	500.8	612.9	809.1	1004.2
140		45								438.3	532.1	650.0	856.9	1062.8
150	50									464.2	563.4	687.1	904.7	1121.5
160		55								490.2	594.6	724.2	952.4	1180.1
170	60										625.9	761.2	1000.2	1238.7
180		35									657.2	798.3	1048.0	1297.4
190	40										688.4	835.4	1095.8	1356.0
200		45									719.7	872.4	1143.6	1414.7
220	50										782.2	946.6	1239.2	1531.9
240		55										1020.7	1334.7	1649.2
260	60												1430.3	1766.5

注：括号内的规格为第二选择系列。

大六角头螺母型式及规格表 (mm)

表 1-4

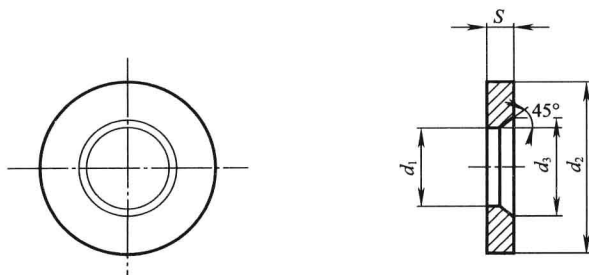


螺纹规格 d		M12	M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30
P		1.75	2	2.5	2.5	3	3	3.5
d_a	max	13	17.3	21.6	23.8	25.9	29.1	32.4
	min	12	16	20	22	24	27	30
d_w	min	19.2	24.9	31.4	33.3	38.0	42.8	46.5
e	min	22.78	29.56	37.29	39.55	45.20	50.85	55.37
m	max	12.3	17.1	20.7	23.6	24.2	27.6	30.7
	min	11.87	16.4	19.4	22.3	22.9	26.3	29.1
m'	min	9.5	13.1	15.5	17.8	18.3	21	23.3
m''	min	8.3	11.5	13.6	15.6	16.0	18.4	20.4
c	max	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	min	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
s	max	21	27	34	36	41	46	50
	min	20.16	26.16	33	35	40	45	49
支承面对螺纹轴线的垂直度		0.29	0.38	0.47	0.50	0.57	0.64	0.70
每 1000 个钢螺母的理论重量 (kg)		27.68	61.51	118.77	146.59	202.67	288.51	374.01

注：括号内的规格为第二选择系列。

大六角头垫圈型式及规格表 (mm)

表 1-5



续表

规格 (螺纹大径)		12	16	20	(22)	24	(27)	30
d_1	min	13	17	21	23	25	28	31
	max	13.43	17.43	21.52	23.52	25.52	28.52	31.62
d_2	min	23.7	31.4	38.4	40.4	45.4	50.1	54.1
	max	25.00	33.00	40.00	42.00	47.00	52.00	56.00
s	公称	3.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	min	2.5	3.5	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5
	max	3.8	4.8	4.8	5.8	5.8	5.8	5.8
d_3	min	15.23	19.23	24.32	26.32	28.32	32.84	35.84
	max	16.03	20.03	25.12	27.12	29.12	33.64	36.64
每 1000 个钢垫圈的理论质量 (kg)		10.47	23.40	33.55	43.34	55.76	66.52	75.42

注：括号内的规格为第二选择系列。

1.3.2 扭剪型高强度螺栓连接副

扭剪型高强度螺栓连接副含一个螺栓、一个螺母、一个垫圈（螺母侧一个垫圈），参见图 1-5。螺栓、螺母、垫圈在组成一个连接副时，其材料以及性能等级要匹配。表 1-6 为扭剪型高强度螺栓连接副材料及性能等级匹配表。

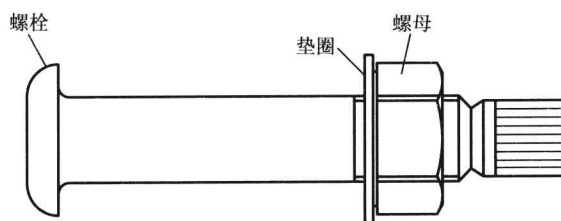


图 1-5 扭剪型高强度螺栓连接副示意

扭剪型高强度螺栓连接副材料及性能等级匹配表

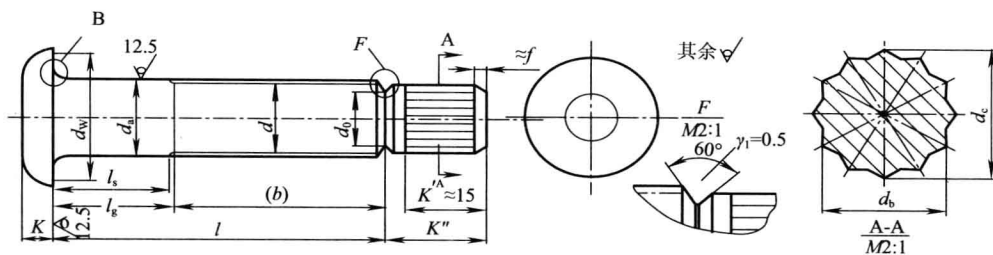
表 1-6

类别	性能等级	推荐材料	材料标准	备注
螺栓	10.9S	20MnTiB	GB/T 3077	
螺母	10H	45号或35号	GB/T 699	
		15MnVB	GB/T 3077	
垫圈	HRC35-45	45号或35号	GB/T 699	

扭剪型高强度螺栓连接副中螺栓、螺母、垫圈型号及规格分别参见表 1-7~表 1-9。

扭剪型高强度螺栓型号及规格表 (mm)

表 1-7



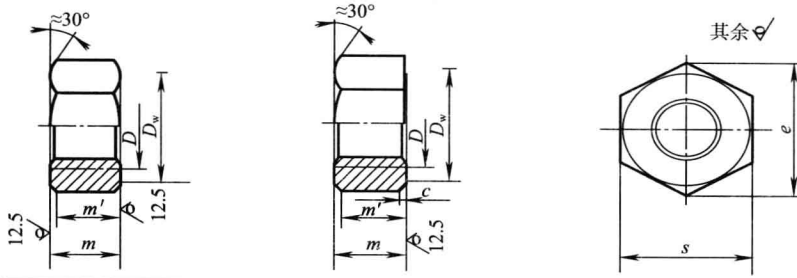
公称			螺纹规格 d								b 参考												
			M16		M20		(M22)		M24				M16	M20	(M22)	M24							
			无螺纹杆部长度 l_s 和夹紧长度 l_g																				
min	max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max												
40	38.75	41.25	4	10																			
45	43.75	46.25	9	15	2.5	10																	
50	48.75	51.25	14	20	7.5	15	2.5	10															
55	53.5	56.5	14	20	12.5	20	7.5	15	1	10													
60	58.5	61.5	19	25	17.5	25	12.5	20	6	15													
65	63.5	66.5	24	30	17.5	25	17.5	25	11	20													
70	68.5	71.5	29	35	22.5	30	17.5	25	16	25													
75	73.5	76.5	34	40	27.5	35	22.5	30	16	25													
80	78.5	81.5	39	45	32.5	40	27.5	35	21	30													
85	83.25	86.75	44	50	37.5	45	32.5	40	26	35													
90	88.25	91.75	49	55	42.5	50	37.5	45	31	40													
95	93.25	96.75	54	60	47.5	55	42.5	50	36	45													
100	98.25	101.75	59	65	52.5	60	47.5	55	41	50													
110	108.25	111.75	69	75	62.5	70	57.5	65	51	60													
120	118.25	121.75	79	85	72.5	80	67.5	75	61	70													
130	128	132	89	95	82.5	90	77.5	85	71	80													
140	138	142			92.5	100	87.5	95	81	90													
150	148	152			102.5	110	97.5	105	91	100													
160	156	164			112.5	120	107.5	115	101	110													
170	166	174					117.5	125	111	120													
180	176	184					127.5	135	121	130													

注：1. 括号内的规格为第二选择系列，应优先选用第一系列（不带括号）的规则。

2. 当 $l_s < 5\text{mm}$ 时，螺杆允许制成全螺纹。

扭剪型高强度螺母型号及规格 (mm)

表 1-8



D		16	20	(22)	24
s	最大	27	34	36	41
	最小	26.16	33	35	40
m	最大	16.4	20.6	22.7	24.7
	最小	15.7	19.5	21.4	23.4
c	最大	0.8	0.8	0.8	0.8
	最小	0.4	0.4	0.4	0.4
e	最小	29.56	37.29	39.55	45.2
m	最小	13.1	15.5	17.8	18.3
m''	最小	11.5	13.6	15.6	16
D_w	最小	24.9	29.5	33.3	38
支承面对螺纹轴线的垂直度		0.43	0.51	0.58	0.66
每 1000 个钢螺母重量 (kg)		57.27	92.12	135.96	189.30

注：1. 括号内的规格尽量不采用。

2. D_w 的最大尺寸等于 s 实际尺寸。

扭剪型高强度垫圈型号及规格 (mm)

表 1-9



d		16	20	(22)	24
d_1	最大	17.7	21.84	23.84	25.84
	最小	17	21	23	25
d_2	最大	33.0	40.0	42.0	47.0
	最小	31.4	38.4	40.4	45.4
s	最大	3.3	4.3	5.3	5.3
	最小	2.5	3.5	4.5	4.5
c	最小	1.2	1.6	1.6	1.6
每 1000 个钢垫圈重量 (kg)		18.2	26.6	28.4	36.7

注：括号内的规格尽量不采用。

第 2 章 高强度螺栓预拉力值确定及其紧固原理

2.1 高强度螺栓预拉力（紧固轴力）的确定

高强度螺栓连接与普通螺栓连接的主要区别就是对高强度螺栓施加一个预拉力，预拉力越大，其承载能力就越大，接头的效率也越高，当确定它的大小时，要综合考虑螺栓的屈服强度、抗拉强度、折算应力、应力松弛以及生产和施工的偏差等因素。

设螺栓的屈服强度为 R_e ，抗拉强度为 f_t^b ，螺栓有效截面积为 A_{eff} ，正应力 σ ，剪应力 τ 。

2.1.1 高强度螺栓预拉力确定准则

通过拧紧螺母的方式，螺栓中除产生有张拉应力外，同时还附加有由于扭转产生的剪应力，因此，螺栓在拧紧过程中及拧紧后是处在复合应力状态下工作。高强度螺栓预拉力确定准则就是螺栓中的拉应力和扭矩产生的剪应力所形成的折算应力不超过螺栓的屈服点。根据第四强度理论，强度条件为：

$$8.8S: \quad \sigma_r = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq R_e = 0.8f_t^b \cdot A_{\text{eff}} \quad (2-1)$$

$$10.9S: \quad \sigma_r = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq R_e = 0.9f_t^b \cdot A_{\text{eff}} \quad (2-2)$$

2.1.2 折算应力系数

试验研究表明，由于剪应力的影响，螺栓的屈服强度和抗拉强度较单纯受拉时有所降低，一般降低 9%~18%。考虑到剪应力相对拉应力较小，在确定螺栓预拉力时，剪应力对螺栓强度的影响通常是用折算应力系数来考虑的。我国在确定螺栓设计预拉力时，折算应力系数取 1.2。

2.1.3 预拉力松弛系数

国内外试验研究结果表明，高强度螺栓终拧后会出现应力应变松弛现象，这个过程会持续 30~45h 后稳定下来，大部分松弛发生在最初 1~2h 内，大量实测结果统计分析得到，在具有 95% 保证率的情况下，螺栓应变松弛为 8.4%。因此，螺栓应力松弛系数取 0.9，也就是螺栓的施工预拉力比设计预拉力高 10%。

2.1.4 偏差因数影响系数

高强度螺栓的生产、扭矩系数等施工参数测试以及紧固工具、量具等都存在着一定的偏差，因此，综合考虑偏差因数影响系数采用 0.9。

2.1.5 高强度螺栓设计预拉力值

根据高强度螺栓预拉力确定准则，考虑折算应力系数、预拉力松弛系数以及偏差因数