

高强度螺栓连接

王伯琴 陈景如 陈先峰 编著

1.3

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书全面地介绍了高强度螺栓连接新技术的国内外发展概况和我国高强度螺栓连接的科研、设计、施工经验,并介绍了扭剪型高强度螺栓及其配套机具、摩擦面处理技术及抗滑移系数取值、疲劳抗热性能及设计计算原则和工程应用实例等。本书是多年工程应用实践的经验总结,可供生产、施工、设计部门的工程技术人员、操作工人和管理人员使用,也可供科研人员和大专院校的师生参考。

高强度螺栓连接

王伯琴 陈录如 陈先峰 编著

*

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/32 印张 8 3/4 字数 193 千字

1991年4月第一版 1991年4月第一次印刷

印数00,001~10,000册

ISBN 7-5024-0749-9

TU·36 定价5.60元

前 言

从60年代初以来，冶金工业部建筑研究总院一直从事高强度螺栓连接技术的科研开发工作。特别是通过武汉钢铁公司1700毫米轧机工程和上海宝山钢铁总厂一期工程建设，进一步推动和促进了这项新技术的研究和发展，结合工程建设的实践，消化、吸收、移植创新了一批先进技术：扭剪型高强度螺栓及其配套施工机具，摩擦面处理新技术及抗滑移系数取值，高强度螺栓连接的疲劳和耐热性能，承压型连接的工作特性和设计原则等。大量的工程实践，积累了丰富的设计施工经验，创造了一套确保工程质量的施工方法和检验标准。为适应工业与民用建筑日益发展和钢结构用量迅速增长的形势，我们组织编写了《高强度螺栓连接》这本书，以满足广大科研、设计、施工部门的工程技术人员、技术工人和管理人员的需要。

本书共分七章，由王伯琴、陈录如、陈先峰主编，参加编写的人员还有贺贤娟、李玉成、张效勤等。

限于作者水平，书中不妥之处，敬请读者指正。

编 者

一九八九年四月

基 本 符 号

P ——高强度螺栓的设计预拉力

N ——轴力

N_t^b 、 N_v^b 、 N_c^b ——分别为每个螺栓的抗拉、抗剪和承压设计承载力

f_y ——钢材的屈服强度

f_u ——钢材的抗拉强度

f_t^b 、 f_v^b 、 f_c^b ——分别为高强度螺栓的抗拉、抗剪和承压设计强度

f_v ——钢材的抗剪设计强度

σ ——正应力或标准偏差

M_k ——高强度螺栓的紧固扭矩

$\Delta\sigma$ ——疲劳计算的应力幅

τ_b ——扭剪强度

d ——高强度螺栓的公称直径

A_e ——高强度螺栓的有效截面积

A_b ——高强度螺栓的公称截面积

A_n ——被连接构件的净截面积

A_s ——螺栓的总剪切面积

K ——扭矩系数

λ_1 ——降低系数

目 录

1	概论	1
1.1	高强度螺栓连接的特点及其分类	1
1.2	国外高强度螺栓连接的发展概况	4
1.3	我国高强度螺栓连接的发展概况及工 程应用实例	11
2	高强度螺栓连接副	17
2.1	高强度螺栓	18
2.2	螺母	31
2.3	垫圈	35
2.4	扭剪型高强度螺栓	36
3	高强度螺栓连接的性能	51
3.1	摩擦型高强度螺栓连接的疲劳性能	51
3.2	高强度螺栓连接接头的耐热性能	65
3.3	承压型高强度螺栓连接的性能	84
4	高强度螺栓连接的施工	134
4.1	普通高强度螺栓的紧固原理	134
4.2	普通高强度螺栓的紧固方法	136
4.3	扭剪型高强度螺栓的紧固原理	160
4.4	扭剪型高强度螺栓的紧固方法	163
5	高强度螺栓连接安装质量检查及其机具 ...	166
5.1	高强度螺栓连接安装中的有关事项 ...	166
5.2	高强度螺栓连接的栓孔检查	169
5.3	摩擦面的检查	172

5.4	接头的组装	174
5.5	高强度螺栓的紧固	175
5.6	紧固轴力的检查	179
5.7	接头刷漆	181
5.8	扭剪型高强度螺栓专用YJ-A24型电 动扳手	181
6	摩擦面处理及抗滑移系数的取值	195
6.1	抗滑移系数及其影响因素	195
6.2	摩擦面的处理方法	216
6.3	抗滑移系数的取值及施工安装的技术 措施	218
7	高强度螺栓连接的设计构造要求和计算 实例	227
7.1	高强度螺栓连接的计算	227
7.2	高强度螺栓连接的构造要求	253
7.3	计算实例	257
	参考文献	272

这种连接是在构件接头处用高强度螺栓紧固，使连接板层贴紧，利用由此产生于连接件板层之间接触面间的摩擦力来传递外力。螺栓在连接中的作用，就是给连接件之间施加接触压力，从而使接触面产生摩擦力。这种连接受力时，螺栓只受拉，不受剪，即使在重复荷载作用下，也不会引起螺栓轴力下降。所以在摩擦连接接头中，其疲劳强度由连接构件的本身强度决定，而几乎与螺栓无关。其疲劳强度介于母材与有孔构件之间。这种连接应力传递圆滑，接头刚性好。一般不需对板的承压力进行验算。通常所指的高强度螺栓连接，就是指的这种摩擦型连接。

1.1.2.2 张拉型连接

这是一种传递作用于螺栓轴向力的连接方法，和摩擦型连接相同，也是利用紧固螺栓时产生在构件间的压力进行应力传递的。但是，其应力传递的形式和摩擦型连接有着本质上的区别。张拉型连接的特点是，作用的外力应和紧固螺栓时产生在构件间的压力相平衡，所以在外力作用下，螺栓的附加轴力变得很小，而使接头获得较大的刚度。

1.1.2.3 承压型连接

这是一种用高强度螺栓连接紧固接头构件，使构件间产生的摩擦力和螺栓中心轴剪切力与构件的承压力同时作用，由此传递应力的连接方法。这种连接方法带有高强度螺栓摩擦连接与铆钉剪切连接联合作用的性质，属于受剪类型的连接，所以在使用场所上受一些条件限制，但总的说来可按摩擦连接那样来使用。根据承压型连接的形状和施工方法，又可将其分为三种连接法，即高强度螺栓承压连接、研磨高强度螺栓承压连接和打入式高强度螺栓承压连接。

随着高强度螺栓的日益发展，高强度螺栓的形式亦越来越

越多，除了普通大六角头高强度螺栓外，还出现了一些自标量型高强度螺栓、扭剪型高强度螺栓（图1-1）、带冠螺母高强度螺栓（图1-2）、刻痕高强度螺栓（图1-3）、打入式高强度螺栓（图1-4）、精制高强度螺栓和槽路螺栓。打入式高强度螺栓的螺头有大六角头、圆头、皿头等，螺纹外径比螺杆稍细，螺杆上有肋，螺栓孔比螺栓外径稍小，施工时把螺栓打进去，栓孔和螺杆间没有空隙。精制高强度螺栓，用于承压连接，螺杆经过加工，螺孔与螺杆孔隙为0.2毫米，槽路螺栓的螺杆上开有纵向和环向槽口，可在螺栓孔中互相咬合，以防受力过程中连接件之间的过分滑动。

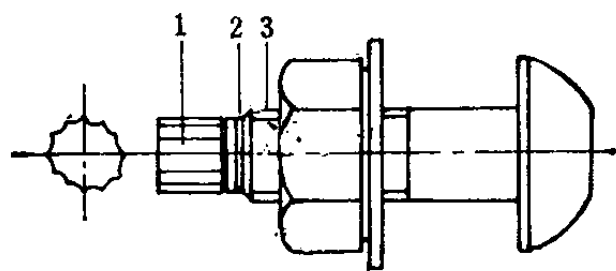


图 1-1 TC螺栓

1—梅花卡头；2—切口；3—螺纹部分

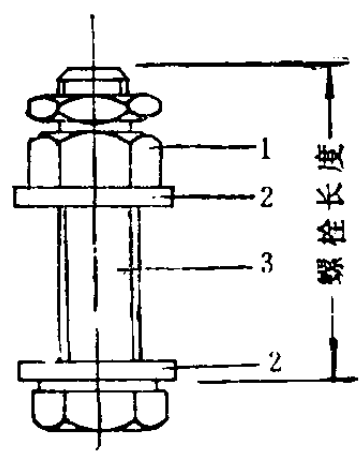


图 1-2 PI螺栓

1—带冠螺母；2—垫圈；3—螺栓

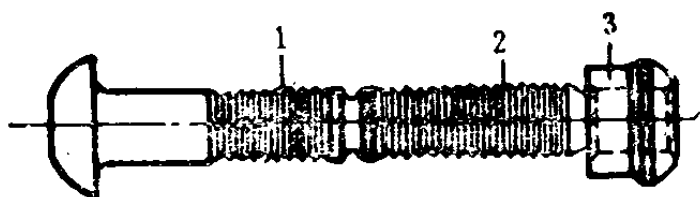


图 1-3 刻痕螺栓

1—固定槽；2—张拉用刻槽；3—挤压变形套环

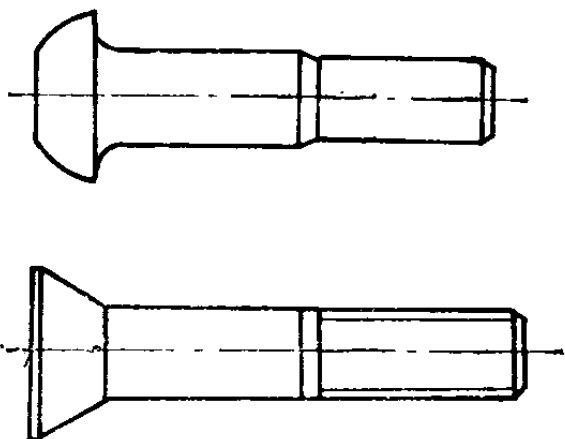


图 1-4 打入式高强度螺栓

按照高强度螺栓的紧固方法，又可分为扭矩控制法和螺母转角法两种。自标量型螺栓，究其紧固原理，仍属扭矩控制法。这种螺栓的紧固轴力由螺栓本身的构造和特性来决定。

1.2 国外高强度螺栓连接的发展概况

1.2.1 美国高强度螺栓连接的发展

世界上最早使用高强度螺栓的是美国。早在1938年，美国就在桥梁维修上首次使用了高强度螺栓，至今已有50年历史。研究工作也进行了40多年，1947年美国成立了“铆钉连接和螺栓连接委员会”，1951年该委员会制定了《高强度螺

栓连接施工规则》。

20世纪初，铆钉是钢结构连接的主要紧固件，虽然软钢螺栓偶尔也在结构中使用。长期以来人们就知道热铆钉一般会产生夹紧力，但其轴向力是不能控制的，并且是变化的、不稳定的。因此，它不能用于连接的设计。巴索（Batho）和贝特曼（Beteman）是最早建议用高强度螺栓组装钢结构的。1934年，他们向英国科学和工业研究钢结构委员会（The Steel Structures of Scientific and Industrial Research of Great Britain）报告，在结构连接上，螺栓可以拧紧到足以防止滑动。最低屈服强度为324兆帕的螺栓可以拧紧到足够抵抗连接部件的滑动，而且有足够的安全度。

直到1947年铆接和栓接结构委员会（Research Council on Riveted and Bolted Structural Joints，以下简称RCRBSJ）成立，该委员会发起对高强度螺栓和铆钉及其用于结构连接的研究。在最初阶段，螺栓在桥梁维修中的应用，极为有力地支持了这一研究工作。自从RCRBSJ成立以后，高强度螺栓作为永久性紧固件使用才较为普遍。在这之前，热处理过的碳钢螺栓仅用于装配目的和安装时承受临时荷载（安装荷载）。

美国材料试验协会（ASTM）和RCRBSJ合作编制了高强度螺栓材料暂行规范，规范在1949年得到了批准。RCRBSJ利用它的研究成果在1951年1月编制和发布了采用高强度螺栓连接的第一本规范。该规范允许在一比一的基础上用螺栓代替铆钉。这就为高强度螺栓在钢结构工程中推广应用打下了基础。

早在20世纪50年代，美国就对经不同表面处理的接头的

抗滑移阻力和在重复荷载下的接头性能进行了研究。通过研究，容许应力得到提高，拧紧方法得到改进，并且规范编进了采用A490合金钢螺栓、镀锌接头和螺栓以及长圆孔等新的内容。

1.2.2 日本高强度螺栓连接发展概况

日本于1954年开始研究高强度螺栓，制订了《摩擦型连接用高强度六角螺栓、六角螺母、平垫圈连接副标准》，并于1965年发表了《高强度螺栓摩擦型连接设计施工规范》。这本规范在日本建筑界的结构技术人员中得到广泛使用。70年代初，高强度螺栓在日本的施工现场连接中得到了普遍应用，取代了过去沿用的铆钉连接。随着高强度螺栓连接技术的日益发展，1972年，日本编制出版了《高强度螺栓连接设计施工指南》，使这项新技术更臻完善。

根据新的JIS标准，日本高强度螺栓种类和等级如表1-1所示。

日本高强度螺栓的种类和等级 表 1-1

连接副的种类		按组成部件的机械性能分级		
按机械性能分类	按扭矩系数值分类	螺 栓	螺 母	垫 圈
一 类	A	F8T	F8	
	B			
二 类	A	F10T	F10	F35
	B			
三 类	A	F11T	F10	
	B			

日本在高强度螺栓的研究方面做了大量工作，在螺栓用钢材材质的选择方面，曾采用过F13T高强度螺栓，以求得更高的接头效益，但因F13T螺栓（ $f_a > 1300$ 兆帕）在实际应用中发生滞后断裂才终止了使用。在摩擦面处理方面，日本首先成功地采用了摩擦面生成赤锈，组装前除去浮锈的办法，不但提高了抗滑移系数，而且简化了摩擦面处理工艺，有利于现场的安装使用。在高强度螺栓的形状方面，日本首先研究成功自标量式的扭剪型高强度螺栓。在应用方面，日本已将上述新技术应用于大跨度桥梁工程上，如港大桥工程，主跨510米，梁宽22.5米，大桥为三跨悬臂栓焊钢桁架公路桥，总用钢量4万吨，其中HT70与HT80高强度钢5000多吨，使用高强度螺栓80万套，其中使用M30粗直径螺栓8万套。在施工机具方面亦有了新的发展，研制成功了扭剪型高强度螺栓配套的电动扳手、轴力计等。

1.2.3 西德高强度螺栓连接发展概况

西德于50年代初开始研究高强度螺栓，1976年编制出版了《钢结构中高强度螺栓使用规程》，替代了1963年第二版的《高强度螺栓连接暂行规程》和1967年出版的《关于高强度螺栓连接在以静荷载为主的钢结构中应用暂行规程的补充规定》。该规程进一步明确了高强螺栓作为钢结构的一种连结方式，可以采用承压型、摩擦型或同时承拉的型式。该规程还规定被连接构件材料只能采用符合《普通建筑钢材的质量标准》DIN17100规定的St37和St52号钢，以及符合《耐气候建筑钢材的交货、加工和使用规程》DAST-Ri007规定的WTSt37和WTSt52号钢。当采用其他建筑钢材时，需经主管工地的技术监督机构工艺性能检验合格后才能使用，同时还必须注意有关该钢材的交货条件、基本计算原则和加工要

求。

对连接件用材亦明确规定，螺栓必须符合DIN6914的规定，其强度等级应符合DIN867第3章规定的10.9级，螺帽必须按DIN6915规定执行，其强度等级应符合DIN267第4章规定的10级，垫圈和方型垫板应分别符合DIN6916和DIN6818的规定。西德曾用过12K（1200牛）级螺栓，但在1974年修改标准时，规定只使用10K（1000牛）级螺栓。其原因是强度过高，引起螺栓的滞后断裂问题没有得到解决。

西德对各种形式的高强度螺栓连接的适用范围作了规定。对于承压型连接，孔壁间隙为1毫米的承压型高强度螺栓连接，只允许用于以静荷载为主的结构；孔壁间隙小于0.3毫米的承压型精制高强度螺栓连接，也可用于不以静荷载为主的结构。对于摩擦型高强度螺栓连接或摩擦型精制高强度螺栓连接，允许用于以静荷载和非静荷载为主的结构。

1.2.4 澳大利亚高强度螺栓连接发展概况

澳大利亚十分重视钢结构连接用高强度螺栓的研究开发工作。澳大利亚标准协会制订了《钢结构用高强度螺栓标准》(AS 1511—1973)。标准中规定，适用于摩擦型连接的高强度螺栓，也可适用于承压型连接。为了确保承压型连接的质量，规定螺栓通过的两个荷载传力层之间的共同的接触面，不允许有垫板。而对摩擦型连接没有这条限制。在螺栓长度的选用上，给出了规定的余量值。该余量值包括采用粗制半成品六角螺母和单个平垫圈时的制造公差在内的大概数值，每增加一个平垫圈，其值增加4毫米，每采用一个斜垫圈，其值增加8毫米。对螺栓的最小拉力作了明确的规定，见表1-2。

设计规定中，对于仅在螺栓轴线方向施加一个拉力的连

螺栓最小拉力

表 1-2

螺栓标准直径	螺栓最小拉力 (千牛)
M12	50
M16	90
M20	145
M24	205
M30	325
M36 ^①	475

①规定为部件旋转法紧固的M36螺栓，只有在可能得到的设备条件，经过专门试验之后才被采用。

接，对任一个螺栓的拉力不应该大于表1-2中规定的最小螺栓拉力值的0.6倍。对处于疲劳状态的螺栓，对任一个螺栓上的拉力不应超过表1-2中规定的最小螺栓拉力的0.5倍。对摩擦型连接，在符合接触表面规定的要求下，其抗滑移系数为0.35。若施加涂层或其他表面状态，包括机加工的表面在内，应根据充分的试验资料确定抗滑移系数。并规定摩擦型连接的接触表面，不应有涂料、喷漆、电镀或其它表面涂层。而对于承压型连接，接触表面施加涂层是允许的。

对只承受剪力的摩擦型连接，在有效接触的平面内，其高强度螺栓的数量和布置应该是成比例的，因此在任一螺栓中产生的力不得超过下值：

$$\frac{\text{抗滑移系数}}{\text{荷载系数}} \times \text{有效接触面积} \times \text{螺栓最小拉力}$$

对于同时承受拉力和剪力的摩擦型连接，应满足下式要求：

$$\frac{P_t}{P_{t0}} + \frac{V}{V_{0b}} \leq 1.0$$

- 式中 P_t ——螺栓张力；
 P_{t0} ——表1-3中规定的螺栓最大允许拉力；
 V ——在螺栓中由摩擦而承担的剪力；
 V_{0b} ——表1-3中规定的螺栓最大允许剪力。

按照AS1250设计连接的最大允许作用力 表 1-3

螺 栓 标准直径	最大允许作用力（千牛）			
	拉 力 P_{t0}	剪力 V_{0b}		承 受 力
		螺纹部位	非螺纹部位	
M12	30	19	27	对承受单剪力和多剪力的各种直径的螺栓，螺栓和任一层板之间传递的力不该超过 $1.35F_y \cdot d \cdot t$
M16	54	35	49	
M20	87	55	76	
M24	123	79	110	F_y —板的屈服应力； t—板的厚度； d—螺栓的标准直径
M30	195	126	171	
M36	285	184	247	

1.2.5 苏联高强度螺栓连接发展概况

苏联对高强度螺栓的研究和工程应用亦是十分重视的，在1982年出版的苏联钢结构设计规范 СНИП ІІ-23-81 中规定，对于设有吊车梁的厂房和构筑物的结构安装连接及铁路桥梁结构的安装连接，必须采用焊接或高强度螺栓连接。在 高强度螺栓连接副的选材方面有严格要求，应考虑所采用高强度螺栓的地区气候条件、螺栓工作条件以及承受荷载的类

别，选择螺栓、螺母和垫圈的不同选材要求及强度等级。如高强度螺栓应按ГОСТ 22353—77和ГОСТ 22356—77选用；与其相应的螺母和垫圈则按ГОСТ 22354—77和ГОСТ 22355—77选用等。对材质和强度等级上提出了严格的要求。

1.3 我国高强度螺栓连接的发展概况及工程应用实例

1.3.1 我国高强度螺栓连接的发展概况

我国高强度螺栓连接技术的研究和应用，与工业发达国家相比，起步稍晚，但近几年的发展速度是很快的，无论是高强度螺栓连接技术的研究，还是在工程实践中的应用，都有迅速的发展。

1957年，铁道部科学研究院开始研究高强螺栓连接技术。1961年12月我国建成了第一座孔跨长41.62米的栓焊桁架桥；1964年11月又建成一座孔跨长62米的低合金钢栓焊桁架桥；1968年建成南京长江大桥，其纵横梁连接均用40B钢制作的高强度螺栓，1973年以后在跨度100米以下的钢结构桥梁工程中，基本上都采用了栓焊钢桁架。

在工业与民用建筑中，1968年建成的首都体育馆的钢结构中，采用45号钢制作的高强度螺栓连接。1970年包钢无缝钢管车间的中列柱安装两榀栓焊桁架式吊车梁，跨度30米，其节点连接全部采用40B钢制作的高强度螺栓。随后在包钢转炉车间、首钢850车间和鞍钢二初轧厂房扩建等工程的钢结构连接中也都采用了高强螺栓。70年代施工建造的武钢1700毫米轧机工程，包括连铸车间、热轧薄板厂、冷轧薄板厂、硅钢片厂等四个主体工程 and 为其服务的配套工程，总建

筑面积84.8万米²,钢结构总量9.16万吨,现场安装连接用M20、M22、M24三种规格的高强度螺栓总计33万套。80年代新建的宝钢一期工程,钢结构总量30万吨,现场安装连接全部采用高强度螺栓,总用量达200万套,远远超过了日本港大桥等工程的高强度螺栓使用量。80年代初,在上海锅炉厂、上海电机厂和上海汽轮机厂的某些扩建工程项目中,采用了40Cr钢制作的高强度螺栓。1987年建成投产的中美合资新建的平朔露天煤矿,其厂房和构筑物的钢结构用量1.1万吨,现场安装全部采用高强度螺栓连接,总用量达57万套,其中国产高强度螺栓15万套,日本进口42万套。

我国的高强度螺栓连接技术不但在新建工程中得到了推广应用,而且在市政建设中也大为应用,如北京崇文门过街天桥和北京站进站台的架空栈桥的现场安装中也都成功地采用了高强度螺栓连接。这种技术,施工时间短,工程质量可靠,可以夜间施工,解决了城市交通工程改扩建中经常遇到的交通堵塞等疑难问题。另外,高强度螺栓连接技术还在老企业的技术改造中得到了推广应用,如鞍钢第二炼钢厂35米跨钢吊车梁的加固中就采用了这种连接技术,同时还结合工程的需要,又进行了高强度螺栓连接在200℃温度烘烤下的性能试验,进一步拓宽了高强度螺栓在老企业加固改造中的适用范围,为在冶金工业炉窑钢结构工程中采用高强度螺栓连接创造了条件。

通过近几年的科学研究和工程实践,我国在高强度螺栓的材质选择(由40B钢发展到20MnTiB钢),造型(由单一的大六角头螺栓发展到自标量型的扭剪型高强度螺栓),紧固机具(由普通的手动、风动扳手发展到电动扳手)以及摩擦面处理方法上也有了新的突破。我国的高强度螺栓连接技