

[日]田島二郎

高强度螺栓 摩擦连接概论



QIANGDU LUOSHUAN MACA LIANJIE GAILUN

人民铁道出版社

高强度螺栓摩擦连接概论

〔日〕田岛二郎著

铁道部基建局编译组译

人 民 铁 道 出 版 社

1 9 7 8 年 • 北 京

内 容 简 介

本书对采用摩擦连接的高强度螺栓的发展历史, 各个零件的规格要求、机械性质、施工方法等作了系统的叙述。研究分析了接头承受静荷载时的特性, 如母材强度、接头形式、接头大小、螺栓孔错位、拼接板厚薄、拼接后经过不同时间等对摩擦力的影响。此外, 对接头的应力分布, 屈伏和断裂, 以及接头的疲劳等问题, 都作了研究。书中收集和列举了许多国家的研究成果和试验数据, 并摘录了日本建筑、铁路和公路桥梁使用高强度螺栓的设计施工标准。

本书是一本比较全面系统介绍高强度螺栓的基础读物, 可供研究、设计和施工技术人员参考。

高强度螺栓摩擦连接概论 (高力ボルト摩擦接合概説)

〔日〕田岛二郎著

铁道部基建局编译组译

人民铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 8.75 字数: 211 千

1978年5月 第1版

1978年5月 第1版 第1次印刷

统一书号: 15043·6104 定价: 0.83元

目 录

第一章 绪论	1
1.1 高强度螺栓连接的种类	1
1.2 关于高强度螺栓连接的研究和施工的发展过程	2
1.2.1 美国的发展过程	2
1.2.2 德国的发展过程	3
1.2.3 日本的发展过程	3
第二章 螺栓、螺母和垫圈	5
2.1 对螺栓、螺母和垫圈的要求	5
2.2 螺栓的形状	5
2.2.1 螺栓头的形状	6
2.2.2 螺栓杆的直径	7
2.2.3 螺纹	7
2.3 螺栓的机械性质	8
2.3.1 螺栓的机械性质 (规格数值的比较).....	8
2.3.2 螺栓的机械性质 (实验值和计算值).....	10
2.3.3 长期作用的高应力对螺栓强度的影响	11
2.3.4 螺栓的疲劳强度	13
2.4 螺栓的材质	14
2.4.1 美国和英国	14
2.4.2 德国	15
2.4.3 日本	15
2.5 螺母	16
2.6 垫圈	18
第三章 螺栓的拧紧方法	20
3.1 概述	20
3.2 扭矩法	20
3.2.1 扭矩和螺栓应力	20
3.2.2 扭矩系数值	25
3.2.3 扭矩系数值的变化	28
3.3 转角法	30
3.3.1 螺栓的拉力和延伸	30
3.3.2 螺母旋转量和螺栓轴力	30
3.3.3 有关转角法的规定	33
3.4 加热法	35
3.5 张拉挤压法、扭剪法等	36
3.6 螺栓轴力的检查	36
3.6.1 用转松螺母1/6转后, 再拧紧的方法来检查.....	36
3.6.2 用放松扭矩来检查	37

3.6.3 扭矩系数试验	39
3.7 设计螺栓轴力	40
第四章 接头承受静荷载时的特性	43
4.1 摩擦力	43
4.1.1 概述	43
4.1.2 接头板材的滑动	43
4.1.3 母材的强度、接头板材间接触面的状态对摩擦力的影响	47
4.1.4 接头形式对摩擦力的影响	51
4.1.5 接头的大小、螺栓的布置对摩擦力的影响	54
4.1.6 螺栓孔错位和板厚不均匀对摩擦力的影响	62
4.1.7 螺栓的轴力、滑动阻力、滑动应力间的关系	62
4.1.8 厚度大的接头	67
4.1.9 接头拼装后经过的时间对摩擦力的影响	67
4.1.10 滑动系数的离散性	75
4.1.11 设计中使用的滑动系数和安全系数	76
4.2 接头的应力分布	78
4.2.1 概述	78
4.2.2 接头横向应力分布	80
4.2.3 接头纵向应力分布	85
4.3 接头的屈服和断裂	92
4.3.1 概述	92
4.3.2 接头的屈服	95
4.3.3 接头的断裂	101
4.3.4 接头母材的有效截面积	105
第五章 接头的疲劳强度	107
5.1 概述	107
5.2 疲劳试验结果	107
5.2.1 SS41母材和钻孔板	107
5.2.2 SM50母材, 钻孔板和铆钉接头	108
5.2.3 荷载方向上设2、4、6个螺栓的接头	109
5.2.4 扣孔率, 螺栓轴力不同的比较	114
5.2.5 角钢和结点板的连接	116
5.2.6 采用60公斤级钢材的接头	118
5.2.7 根据施泰因哈特和默勒 (Steinhardt, Möhler) 的论文	119
5.2.8 美国的试验	122
5.3 考虑疲劳的接头设计	125
第六章 设计和施工指南	128
6.1 日本建筑学会的设计和施工标准	128
6.2 铁路桥的设计和施工指南	129
6.3 公路桥的设计和施工指南	131

第一章 绪 论

1.1 高强度螺栓连接的种类

高强度螺栓连接,从力的传递方式来看,根据过去对普通螺栓连接的设想,大致可分为三种:摩擦连接,考虑摩擦力、螺栓剪力和承压力三者共同作用的连接,以及螺栓轴向受拉的连接。这里不包括单纯为提高螺栓强度形式的连接。

(1) 摩擦连接 (摩擦式)

这是利用高强度螺栓的强大预拉力将被连接的板束夹紧,依靠接头板层接触面间的摩擦力传递应力的连接方法。应力流通过接触面,是这种连接方法的最大特点(图1-1)。

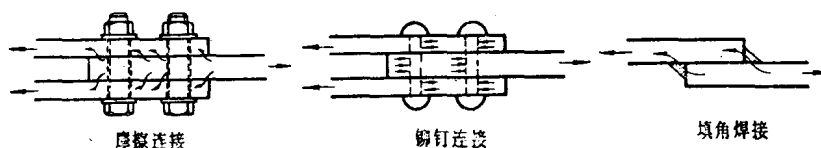


图1-1 摩擦连接、铆钉连接和填角焊接的应力流

所以,摩擦连接是使用高强度螺栓对被连接的钢板加上压力,使在钢板接触面间产生摩擦力的方法。

目前在日本,所谓高强度螺栓连接,一般就是指这种摩擦连接,本书主要也是说明这方面的问题。

(2) 考虑摩擦力及螺栓剪力、承压力的连接 (承压式)

摩擦连接中,一旦摩擦失效,就产生滑动,螺栓杆与孔壁压紧而产生承压力,这样应力就通过承压和螺栓杆受剪来传递。这时才可以对连接同时考虑摩擦、承压和受剪的作用。

但是,这时是考虑由于连接滑动才引起承压作用的,所以,结构必然产生与连接滑动相适应的变形,这在实际使用上有时会出现问题的。因此,在这种情况下,应采用打入式螺栓(图1-2),将螺栓杆加粗,使孔壁间没有空隙。

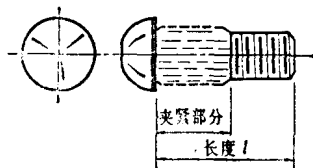


图1-2 在螺栓杆部分设有变形肋的螺栓

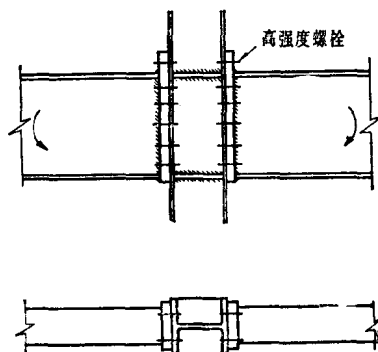


图1-3 螺栓受拉的连接

(3) 螺栓轴向受力的连接——螺栓受拉的连接(受拉式)

上述(1)(2)两种形式,力的作用方向与螺栓轴垂直,有时也有在螺栓轴向有附加力作用的情况。但螺栓受拉的连接,力作用在螺栓轴的方向,根据被连接钢板间压力的变化而传递应力。图1—3即为螺栓受拉的连接的例子。

高强度螺栓连接,如上所述,从受力方向来看分为2种形式[(1)、(2)和(3)]或3种形式。由于近年来合成树脂的飞跃发展,在摩擦连接中,为增大其摩擦力,研究了在接触面上涂粘结剂的方法。又从增加和保证摩擦力出发,进一步发展到考虑将重点放在以粘结剂为主构成接头,而用螺栓来加强粘结部位的方法。

1.2 关于高强度螺栓连接的研究和施工的发展过程

在钢结构的连接上,具体什么时候开始使用高强度螺栓的,并不清楚,大约已有30年的历史。首先在贝里奇(P.S.A. Berridge)的论文中提到,英国的巴索(C. Batho)在1934年和1936年的报告中记载了在永久性建筑物上开始使用 60kg/mm^2 螺栓的事。论文中似乎也提到其后以美国为中心进行高强度螺栓的研究。随着这种螺栓连接的特性日益明确,高强度螺栓已从作为铆钉连接的辅助手段或代用地位,发展到建立新的标准,并成为连接钢结构的主要手段。

由于受到美国的研究和普及的影响,德国和日本大约同时开始进行了研究。

其他各国的发展情况,虽然因各国的情况而有不同,但大体上可分为美英系、以德国为中心的欧洲大陆系,和日本三个系统。以下将介绍美国、德国和日本的主要研究及施工经过。

1.2.1 美国的发展过程

关于高强度螺栓的实验研究,是从1938年伊利诺斯大学威尔逊(Wilson)、维莱尔(Willer)和托马斯(Thomas)发表论文开始的。到1950年为止,陆续发表了很多论文。1947年1月由12个学会和团体的代表和权威人士成立了一个铆钉连接和螺栓连接研究委员会,促进了对铆钉和螺栓连接的统一研究。

1951年1月,上述委员会制订了“高强度螺栓连接施工规则”,其后于1954年进行了修订,1960年改为“采用ASTM A325号螺栓的结构连接施工规则”,1962年又修订了其中一部分,1964年除A325号螺栓外,上述规则中又增加了A490号螺栓。

一直到1954年的规则中规定,设计螺栓连接时,对螺栓和相同公称直径的铆钉是同样对待的。对钢板表面的处理,如螺栓在承压之前允许滑动时,可以在工厂涂防锈油漆;经受反复荷载、冲击和振动作用,不希望连接滑动时,则不涂油漆。此外,在螺栓的拧紧方法方面,规定了螺栓的标准轴力与标准扭矩的相应值。

从1950年前后起,陆续发表的研究报告中,研究了有关螺栓连接各个方面的问题,结合施工经验,进一步使连接合理化。

1960年3月的规范,就是根据那些研究成果修订的,规范中规定高强度螺栓连接分为摩擦连接和螺栓承压受剪力的两种形式,分别规定其容许应力。在螺栓拧紧方法上,停止使用扭矩法,采用螺母转角法(参考第3章)。螺栓形状方面有将螺栓杆加粗(参见图1—2)的例子,准许采用在螺栓头下不用垫圈的方法。此外对螺栓承受附加的轴向拉应力也作了规定。

1962年修订时，统一了使用螺母转角法时的螺母旋转的角度，使施工更加简化。

1964年修订时，对强度极限为80公斤级的A325螺栓和100公斤级的A490螺栓作了规定。

就使用的螺栓、螺母和垫圈来说，1951年在美国材料试验学会（ASTM）中规定了暂行标准，其后虽多少有些修订，但作为80公斤级的螺栓ASTMA325号标准已广泛使用。至于90~110公斤级的高强度螺栓于1952年在ASTM中虽规定有暂行标准，但作为结构用的A490标准是在1964年制定的。

在美国，由于这样有组织的开展研究，螺栓的标准化及大量生产，因而迅速普及。据说桥梁和建筑等工地连接，现在已有90%以上采用了螺栓连接。

1.2.2 德国的发展过程

在德国，从1953年6月到1954年3月，卡尔斯鲁黑（Karlsruhe）工科大学研究所，受德国钢结构委员会的委托进行了研究，此后又进行了许多补充试验研究，才于1956年制定了高强度螺栓连接设计施工及组装的暂行标准。

这个标准和美国的相比有很多不同之点。所用螺栓分为80公斤级和100公斤级二种；螺栓的预拉力，与美国规定允许超过屈服点相反，规定轴向应力和剪应力的合成应力不得超过屈服点的90%；设计中采用的摩擦系数较大，而且对St37和St52的数值是不同的；对于被连接钢板的截面在扣螺栓孔上作了特殊的规定等。所以，不受过去铆钉连接的约束，建立了独立的设计标准。

此外就同时使用粘结剂的连接，也进行了研究。

在1963年1月，根据所积累的经验 and 研究成果，修改了上述标准。对提高螺栓拧紧力，连接按有效截面的计算方法，以及拧紧的标准，都有所改进。

在德国，工地连接不仅有都用高强度螺栓的，也有桥面板在工地焊接，其它用高强度螺栓连接的桁梁。也有翼缘用高强度螺栓连接，而腹板用铆钉拼接的箱形梁等。高强度螺栓的普及程度与铆钉相比约各占一半。

1.2.3 日本的发展过程

日本最初在钢结构中采用高强度螺栓，是1954年5月在高山临时铁路线飞弹细江至角川间架设的桁架桥上（跨度62.4米，活荷载KS12，单线下承桥），是按摩擦连接设计的。1953年末根据采用螺栓连接的决定，由国铁设施局特殊设计室（现在的构造物设计事务所）和铁道技术研究所钢结构研究室（现在的构造物研究室）共同进行了螺栓的扭矩试验，连接的滑动试验等。该桁梁于1年两个月后随工程的结束而拆除，使用期间对螺栓的松弛和桁梁的挠度，桁梁解体时对连接的状况，均进行了调查研究。有关的报告于1954年7月，1956年6月已由大宫和田岛发表。同时立刻开始了疲劳试验，第一次的试验结果是由大宫和田岛在土木学会讲演会上发表的。

1956年9月高强度螺栓连接接着又在中央本线田立至三留野间一座供水坝工程用的临时桥梁上试用，该梁跨度为31.5米，活载KS15，单线下承钢板梁，使用1年8个月后拆除。后又于1959年5月，在同一区间再次架设该梁，为第二期工程使用，一年后拆除。在此期间对连接进行了各种调查。

上述两座桥上使用的高强度螺栓。不象现在使用的那样经过淬火和回火的，而用的是抗拉强度 60kg/mm^2 ，屈服点 40kg/mm^2 的低合金钢或中碳钢，并充分拧紧使达到屈服点。

使用经过淬火和回火，抗拉强度达到 80kg/mm^2 、屈服点为 64kg/mm^2 的螺栓大约是从

1956年左右开始的,当时是用在东京站旅客过道上的钢桥面板的梁上,东海道干线大井川道碴桥面桁架桥,以及其他拼接桥面加劲肋等铆钉连接困难的地方。此外在1960年大阪环线桥梁抬高工程中接高钢桥墩时也使用了。在所有这些设计中,螺栓的容许应力均未另行规定,而是按照相同直径的铆钉数值计算的。

1962年在横浜根岸线及东海道新干线标准线路区间架设了结合梁桥,在这种梁的主梁拼接中第一次采用摩擦连接,规定了铁路桥梁用的容许应力,施工时其接触面也采用喷砂将黑皮除去。在这些桥梁上,不仅采用了80公斤级的螺栓,而且也采用了110公斤级的螺栓。此外,1965年秋,在中央本线新笛吹川桥上采用了130公斤级的螺栓。

在公路桥方面,1956年在东京大井町跨线桥的联结系上,1959年在瓦斯桥和城岛大桥的部分地方开始采用高强度螺栓连接。1962年完成的若户大桥的塔柱也用上了。至于130公斤级的螺栓。从1964年起,在阪神高速道路公团施工的琵琶湖大桥(采用60公斤级钢),花环桥(采用80公斤级钢)等桥上也开始使用了。

现在无论在铁路桥、公路桥和城市桥上,或在简易桥和长大桥上,高强度螺栓都正在逐渐推广使用中。

关于桥梁方面的规范,于1960年8月由首都高速道路公团技术委员会钢铁分会接受编制有关高强度螺栓的规范,第二年编出规范草案。1963年道路协会的桥梁委员会在首都公团草案的基础上进行了讨论。1966年7月制定了“高强度螺栓摩擦连接设计施工指南”。

在建筑方面,1957年由鹤田、丰福和寺田发表了高强度螺栓连接的研究结果,以后大家更加关心螺栓连接,因而研究陆续进行。在施工方面1957年在东京电力千叶火力发电所的工程中使用了一部分美国制品,接着1958年在东京的布利吉斯路大楼增建工程中初次正式使用。

设计和施工的标准是由日本建筑学会构造标准委员会钢结构分会高强度钢小委员会进行研究的,于1959年12月发表了设计标准草案及施工标准草案,1960年2月建设省公布了“关于高强度螺栓摩擦连接的通知”。1965年又在上述标准草案中,加进新的高强度螺栓标准(JIS日本工业标准),进行了修订。

高强度螺栓的规格,起初桥梁和建筑上所用的多少有些不同,同时各个制造厂的规格也有部分不一样的情况,这是发展中免不了的。随着高强度螺栓的普及,统一的趋势日高,1961年12月在钢材协会中设立了高强度螺栓研究会,进行对桥梁和建筑所用螺栓规格的统一编制工作和高强度螺栓连接的研究。1963年2月至3月间在工业技术院标准部主办的JIS草案编制协商会议上又对上述钢材协会委员会的草案进行了研究,同年6月召开JIS专门委员会,1964年6月制定了高强度螺栓的JIS规格。

有关摩擦连接的研究和使用情况已如前述。关于螺栓受拉的连接于1955年在佐久间发电所室外钢结构的工地连接上开始采用。仲·吉本等也有基本的试验报告。最近在神户港的高塔上也有实际施工的例子。统一研究的趋势正日益高涨。

第二章 螺栓、螺母和垫圈

2.1 对螺栓、螺母和垫圈的要求

高强度螺栓摩擦连接中，螺栓及螺母的作用，是将其拧紧使在被连接钢板间产生摩擦力，原则上在连接形成后，螺栓及螺母不直接受外力的影响。但是由于接头的偏心，或者由于连接构造上的关系产生附加力，在螺栓轴向不可避免地会承受附加的拉力，不过其数值一般较小。

对螺栓及螺母的性能要求如下：

- (1) 能承受使在接头中产生规定的摩擦力所必要的螺栓预拉力。
- (2) 能准确地施加螺栓预拉力，也就是说能可靠的进行拧紧作业。
- (3) 应能确保其预拉力。
- (4) 在一般情况下，预拉力产生的螺栓应力对螺栓钢材来说是相当高的应力，但在这种情况下应不发生脆性破坏，而安全可靠。
- (5) 要考虑腐蚀的问题。
- (6) 制造简便，能大量生产，价格便宜。

关于垫圈的作用，起初没有被认识清楚。1945年西北大学的曼尼 (Maney) 在试验中遇到了以下的困难，连接承受拉压荷载作用时，螺栓头和螺母压进被连接钢板的表面中，降低了螺栓的预拉力。其后，该大学的兰曾 (Lenzen) 等比较了各种软硬垫圈，到 1947 年才采用今天这样形状的垫圈。

此外，调查了一部分美国从1948年以来在各地实际使用高强度螺栓的铁路桥梁的结果也说明，使用普通垫圈的高强度螺栓不能保持预拉力，而用硬化垫圈的能保持住预拉力。

还有，使用硬化垫圈，旋转螺母拧紧螺栓时，所需扭矩小，并且可以使扭矩值保持不变。与使用硬化垫圈比较，使用普通垫圈时，当拧紧螺栓时螺母压入垫圈，虽然扭矩大小相同，后者轴力的离散性较大，结果是平均螺栓轴力竟只达60%。此外，当只在转动的螺母下用硬化垫圈，而在螺栓头下不用时，则螺栓头就压进母材，因而浪费能量，需要多余的扭矩。因此一般规定使用高强度螺栓连接时，在螺栓头和螺母下各置垫圈一个。但是，1960年美国的规范中规定，使用普通大小的螺栓和螺母时，必须在螺栓头及螺母下置硬化垫圈，但在使用大六角头螺栓、螺栓杆加粗的螺栓，以及大六角螺母，则在拧紧时不转动的一侧可以不加垫圈。1964年的规范又规定：A325螺栓（80公斤级）采用转角法时不用垫圈，A490螺栓（100公斤级）采用转角法及A490、A325螺栓采用扭矩法时，只在转动的一侧用硬化垫圈。当采用A490螺栓而被连接钢板的屈服点在 28kg/mm^2 以下时，两侧均需加硬化垫圈。

2.2 螺栓的形状

各国高强度螺栓的形状，除一部分以外，与普通螺栓规格没有很大的差别。

螺纹的形状有公制螺纹，尤氏螺纹，威氏螺纹，以及ISO式螺纹数种，从理论上研究及

其普及程度来说, 究竟应该采用那种形式, 对各个部门都是一个比较困难的问题。

现在日本使用的高强度螺栓规格, 开始以普通的螺栓JIS规格为标准, 到1964年制定了JISB1186的规格。螺纹则根据螺栓厂设备的状况和螺栓可适用于19mm、25mm直径的铆钉孔的情况出发, 同时采用了英制和威氏普通螺纹, 但现在公制已普及推广。

2.2.1 螺栓头的形状

螺栓头的形状如图2—1所示。(a)是普通螺栓头的形状, 在JISB1186制定以前, 国铁的高强度螺栓即按此形状。(b)是有台面的螺栓头, 这在建筑系统很早就使用了, 飞机上用的六角螺栓也是这样的, 德国和美国等的高强度螺栓也带台面, JIS也采用了这种形状。带台面的主要目的, 是制造时螺栓经冷镦后头部有飞边, 冲掉此飞边有时产生毛刺, 有了台面就不会影响头部底面的密贴(图2—2)。同时当转动螺栓头时, 也可防止六角棱角部损伤母材——损伤油漆面, 影响外观及油漆效果。此外, 有人认为当转动螺栓头来拧紧螺栓时, 螺栓头有了棱角, 则它与垫圈间的摩擦就增大。但关于此点, 只要垫圈平滑同时螺栓头底面和螺栓轴很好的保持垂直的话, 则似乎没有什么大的影响。国铁曾使用了相当数量不带台面的螺母, 并未发现有什么困难。

图2—1(c)是头部上下面都带圆角的。图2—1(d)是在螺栓头下带有和垫圈的大小和厚度相似的突边, 这是和螺栓头一次冷镦形成的, 这种螺栓在使用上也没有什么妨碍。

表2—1是直径22mm, 7/8"的螺栓头部尺寸规格比较表。

螺栓头部尺寸比较 (单位: 毫米)

表2—1

	日 本		美 国			英 国	德 国
规 格	JIS B 1186 1964	JIS B 1180 1961	ASA 18.2—1952			BS 3139 1959	DIN 6914 1962
基本直径	22.22, 22		7/8"			7/8"	22
类 别		黑	普 通	普通半精制	重型半精制		DIN 267—g
H	15 ±0.9	15 <14> ±0.90	14.68 +0.66 ~ -1.02	13.89 +0.41 ~ -0.40	17.46 ±0.67	14.300 ~ 13.538 (0.762)	14
B	35 0 ~ -1	35 <32> 0 ~ -1	33.34 0 ~ -1.10	33.34 0 ~ -1.10	36.51 0 ~ -1.10	33.338 ~ 32.576 (0.762)	36
C	约40.4	约40.4 <约37>	38.506 ~ 36.754 (1.175)	38.506 ~ 36.754 (1.175)	42.164 ~ 40.361 (1.803)	最大 38.506	41.6
r	1.2 ~ 2.0 (0.8)	最大1.2	最大1.575	1.194 ~ 0.787 (0.407)	1.194 ~ 0.787 (0.407)	1.143 ~ 0.508 (0.635)	2 容许误差 0.5
h	约0.4	<约0.6>	—	约0.397	约0.397	0.381	0.8

注: (1) H, B, C, r, h见图2—1。

(2) 表中 () 内数值表示最大和最小值的差数。

(3) 德国在1956年暂定标准中, DIN931中规定B=32, C约为36.9, r在2mm以上。本表内数值是根据1963年的暂定标准DIN6914。

(4) JIS B 1180在1965年经修订, M22 < > 内数值为修正值。

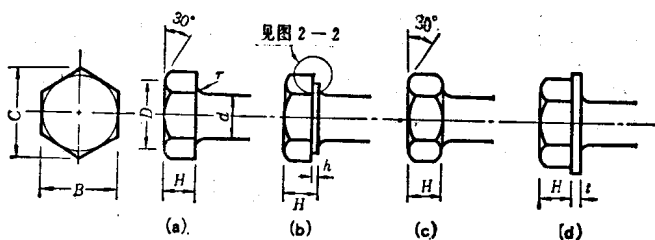


图 2-1 螺栓头的形状

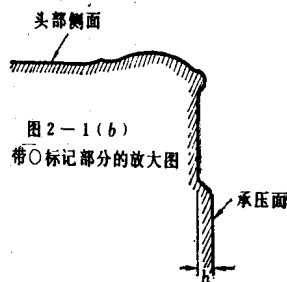


图 2-2 头部放大图

2.2.2 螺栓杆的直径

螺栓杆与螺栓孔之间的间隙大小,从摩擦连接的性质上讲,是没有什么影响的。由于没有必要考虑螺栓杆和螺栓孔的支承压力,螺栓杆的直径,只要能够承受螺栓轴力,螺栓便于插入就行。所以,一般杆部的直径与阳螺纹的外径相等,或比阳螺纹的外径细一些(图 2-3)。施泰因哈特(Steinhardt)等就这两种式样的螺栓进行了扭矩系数、破坏力矩等试验,认为没有什么不同。而英国的福斯(Forth)公路桥和希文(Severn)桥上均采用了后一种形式的螺栓。

杆径较细的,在制造过程中丝扣滚轧前不必轧缩丝扣部分直径,所以比较经济。同时在拧紧螺栓时杆部的延伸变大,这对用转角法来拧紧螺栓较为有利,但在搬运和插入螺栓孔时却有损伤螺纹的危险。

冷镦螺栓头时,螺栓头底下很难避免不产生粗根,粗根严重时则对产生曲轴和斜头等缺陷,可能有很大的影响。粗根和弯曲,只要减少原材料直径和锻模直径差数,正确掌握原材料切断尺寸,就可减小这些缺点。在JIS中基本尺寸 d_1 规定是从螺栓头下起离开约 $1/4$ 直径处量测的尺寸,并规定了 d_1 的公差,但未规定粗根及弯曲的公差,这是制造中必须注意的。

2.2.3 螺纹

关于螺纹,迄今为止已有许多研究报告,并且仍在继续研究中。

螺纹的规格, JIS中曾规定有公制、尤氏和威氏三种系统。但威氏系统已于1968年3月废止。不过,在桥梁和建筑方面习惯上多用威氏系统。由于这与机械零件不同,将来没有必要有那样的互换性,所以可以采用大量应用的螺纹系统。

JIS中规定的螺纹尺寸容许误差及公差中,对于直径22mm及直径 $7/8"$ 者,其数值如表2-2所示。

螺纹精度不良时,则拧紧的精度差,螺纹牙顶变形加大。但是,当外螺纹与内螺纹之间的间隙过小,则拧紧时牙顶容易变形,并容易受到螺纹间少许异物的影响,造成拧紧困难。可是如精度要求过高,则不经济。在JIS B 1186中规定公制粗牙螺纹为2级,威氏粗牙螺纹为3级,但规定威氏粗牙外螺纹的外径(圆形)、中径及内径的尺寸误差为 $-0.05 \sim 0.06\text{mm}$,这是考虑了当外螺纹和内螺纹相互配合时能确保其最小间隙的[参见表2-2注解及JIS B 1186表3的注(2)]。

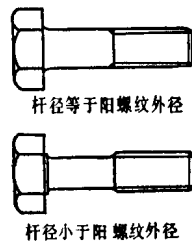


图 2-3

螺纹尺寸容许误差及公差(JIS B0209, B0210—1965)

表2—2

种 别	等 级	螺距或牙顶数 (每25.4mm)	外 螺 纹									内 螺 纹									标准 配合 长度 mm
			外 径 d			中 径 d_2			内 径 d_1			外径 D			中径 D_2			内径 D_1			
			上 偏差	下 偏差	公 差	上 偏差	下 偏差	公 差	上 偏差	下 偏差	公 差	上 偏差	下 偏差	公 差	上 偏差	下 偏差	公 差	上 偏差	下 偏差	公 差	
M22	1 级	2.5	0	160	160	0	110	110	542	832	290	虽外 径未 规之 定间 ,多 但少 与有 些螺 缝纹 隙	不 作 规 定	0	110	110	0	355	355	22	
	2 级	2.5	50	290	240	50	210	160	592	912	320			0	190	190	0	450	450	22	
	3 级	2.5	50	370	320	50	270	220	592	982	390			0	270	270	0	560	560	22	
W外螺纹 7/8圆形	2 级	9 [2.8222]	0	410	410	0	170	170	0	400	400			0	170	170	420	1080	660	22	
	3 级	[2.8222] (60)	0	410	410	0 (60)	230	230	0 (60)	450	450			0	230	230	420	1080	660	22	
	4 级	[2.8222]	0	630	630	0	280	280	0	510	510			0	280	280	420	1080	660	22	
7/8-9 UNC	3A, 3B	9	0	353	353	0	119	119	406	728	322			0	155	155	8	341	333		
	2A, 2B	9	48	401	353	48	208	160	454	817	363			0	208	208	8	592	584		
	1A, 1B	9	48	577	529	48	289	241	454	898	444			0	313	313	8	592	534		

注: () 内数值为JIS B1186的推荐值。

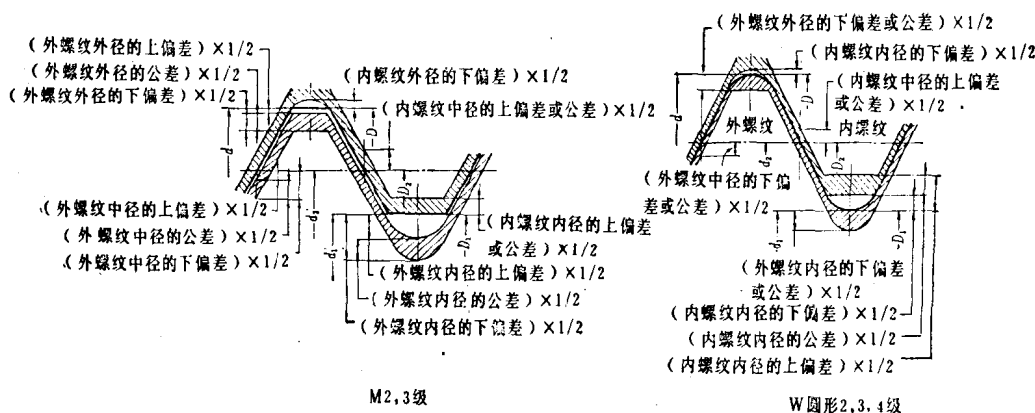


图 2—3

2.3 螺栓的机械性质

2.3.1 螺栓的机械性质 (规格数值的比较)

要求螺栓的抗拉强度和屈服点,是和连接在承载力计算中所采用滑动系数的大小(参阅4.1.11),以及必须传递应力的的大小等有关,实用上是按直接能和这种连接作经济比较的铆钉连接的容许应力来考虑的。在螺栓制造上,必须要有廉价优质的材料。此外,为要得到较高的螺栓轴力,如没有与之相适应的简易可靠的拧紧方法,则无论制造出强度多么高的螺栓,也是毫无意义的。

表2—3为国内外高强度螺栓规格的比较,其中JIS B 1180是普通螺栓规格,供参考用。建筑用例,表示曾按这种特别规格订过货的例子。

旧铁路桥的1种(80公斤级),考虑用中碳钢(例如S55C等)制造比较容易,同时考虑可以使连接能得到和铆钉的容许应力同样大小的容许应力。旧建筑标准的Ⅱ种(90公斤级),因在建筑上提高了铆钉的容许应力,所以一面考虑使用中碳钢那样的材料,并尽量提

各国高强度螺栓规格的比较

表2—3

类 别		屈服点	保证应力	抗拉强度	延伸率	断面收缩率	硬 度	
		kg/mm ²	kg/mm ²	kg/mm ²	(%)	(%)	布 氏	洛 式
旧国有 铁 路	1 种	65	—	80	16	40	—	21~30
	2 种	95	—	110	12	35	—	33~42
旧建筑 学 会	I 种	56	—	72	17	45	—	17~23
	II 种	70	—	90	14	35	—	26~32
建筑用例		80	—	95	14	35	—	28~35
JISB 1180	7 T	50	—	70	15	—	201~277	—
	8 T	65	—	80	15	—	229~321	—
	10T	90	—	100	15	—	293~352	—
JISB 1186	F 7 T	50	—	70	17	45	—	B95~C30
	F 9 T	70	—	90	14	35	—	26~35
	F11T	95	—	110	14	35	—	33~40
	F13T	110	—	130	14	35	—	36~45
A 325	1/4~3/4	61.9	59.8	84.4	—	—	241~302	23~32
	7/8~1	57.0	54.8	80.9	—	—	235~302	22~32
	1 ¹ / ₈ ~1 ¹ / ₂	54.1	52.0	73.8	14	35	223~285	19~30
	1 ³ / ₄ ~3	38.7	38.7	63.3	14	35	183~235	—
A 490	1/2~2 ¹ / ₂	87.9	84.4	105.5	14	40	302~352	32~38
	2 ⁵ / ₈ ~4	80.9	73.8	98.4	14	40	285~341	30~36
B.S. 3139	1/2~3/4	—	59.8	84.4	14	35	246~310	维式硬度 (B.S.427)
	7/8~1	—	54.8	80.9	14	35	240~310	
	1 ¹ / ₈ ~1 ¹ / ₂	—	52.0	73.8	14	35	228~295	
塞班桥等		81.9	—	102.4	16	—	293~341	—
DIN 267	8 G	64	—	80	12	—	≥230	—
	10K	90	—	100	8	—	≥285	—
	12K	108	—	120	8	—	≥340	—
法国国 有铁路	1	90	—	100	8	—	≥285	—
	2	64	—	80	12	—	≥230	—
	3	48	—	60	8	—	≥170	—

注* 1. 屈服点或0.2%应变时的应力。

2. 测定延伸率时标点间距离, 日本、美国和英国为50mm, 2*及3.54D, 德国和法国为5D。

高对强度的要求。

美国和英国虽然标准规定到80公斤, 但自1964年以来已用到100公斤等级的螺栓了。

德国100公斤级的10K已订为标准。

表2—3所示数值中, 美国和英国规定了保证荷载的标准, 其值小于屈服点。所谓保证荷载是将该荷载加在螺栓上一定时间后, 在考虑测量误差的基础上, 在实用上不显示残余变形时的荷载。这是检验螺栓成品机械性质的方法。JIS中也曾研究采用这个方法, 但螺栓在使用中因结构物对象的不同, 所加的螺栓轴力也多少有些差别, 因此在决定保证荷载的大小和容许残余延伸率等标准数值上是有困难的。同时这种试验方法与制造螺栓材质的机械性质(直接用试件得出的屈服点, 抗拉强度, 延伸率及断面收缩率)之间的关系也还未弄清楚。所以这次JIS中未采用这种方法。

2.3.2 螺栓的机械性质 (实验值和计算值)

螺栓成品的抗拉强度, 虽然可用表 2—3 所示应力乘以计算截面积即可求出, 但在 ASTM 及 B.S. 中仍规定有螺栓强度, 作为计算上的标准。

计算螺栓的强度或其应力时, 螺纹部分有效截面积的计算方法, 由于与轴成直角的截面包含着螺纹, 计算十分复杂, 应力状态也很复杂, 所以求算理论上的受力截面积是很困难的。因此各个标准均以实验式来确定该值。JIS 以中径和内径之平均值作为直径的圆截面为有效截面, ASTM 和 B.S. 则用 $A_s = 0.7854(D - 0.9473/n)^2$ (n 为 1 英寸的螺纹牙数) 来计算。就直径 7/8" 的螺栓来说, 其有效截面积分别如下:

ASTM, B.S.: 298.0mm^2

JIS : 299.1mm^2

但如用 JIS B 1180-1965 参考表中考虑螺纹的 2 级公差的直径计算, 则为 294.7mm^2 。这样各数多少有些差别, 不过相差不过 1~1.5% 左右。

表 2—4 为 5 种材料的螺栓受拉试验的结果。将由材料试验和螺栓成品试验所得的抗拉强度相对比, 则 No.1~No.3 中螺栓成品的抗拉强度大 9~17%, 平均 14%。所以, 与采用有效截面积 299.1mm^2 来计算相比, 采用螺栓中径截面来计算较为吻合 (中径截面积/有效截面积 = 1.10)。No.4 和 No.5 是与从和螺栓同样进行热处理的原料中取下的试件 (JIS4 号, 直径 14mm) 相比较, No.4 中的切削螺纹, 因螺纹面粗糙, 带有微小的切削伤痕, 所以, 以内径作为直径计算截面积则比较吻合 (内径截面积/有效截面积 = 0.91)。No.5 的试验由于延伸率高达 27%, 同时用螺纹梳刀切削的螺纹质量良好等原因, 所以, 滚压螺纹和切削螺纹差别不大, 而螺栓成品的抗拉强度大了不少。

图 2—4 为采用 S55C 号钢制造的 W7/8 螺栓在验收检查时统计的螺栓成品和用 4 号试件进行抗拉试验强度的对比结果。说明在一般情况下, 采用 JIS 的 $A_s = 294.7\text{mm}^2$, 则螺栓成品与试件试验结果大体相接近。后者指的是按 4 号试件的结果, σ_v 为 80kg/mm^2 强, σ_B 为 100kg/mm^2 强, 延伸率达 18% 左右。

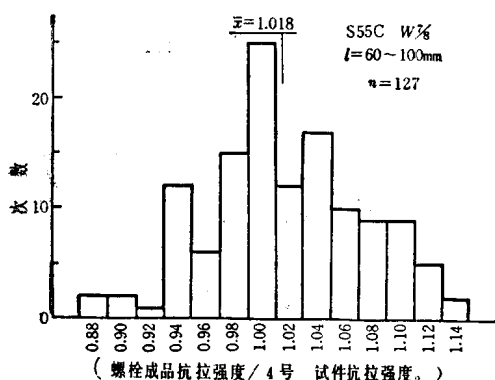


图 2—4 螺栓成品和 4 号试件抗拉强度的比较

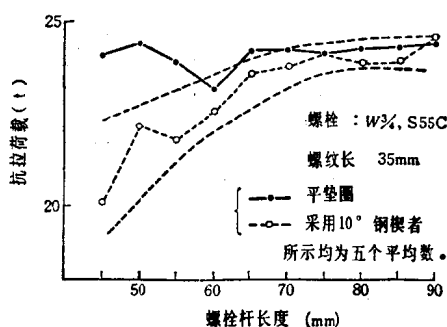


图 2—5 螺栓杆长度和张拉荷载的关系

JIS 规定螺栓成品在抗拉试验时, 需在螺栓头下加 10° 斜垫圈, 因而螺栓受到弯曲作用, 这种作用在螺栓长度小时, 影响其断裂强度。图 2—5 所示即为螺栓杆长度与断裂荷载间的关系, 长度小的强度随之降低。

螺栓成品和试件两者试验结果不同的原因之一是由于材料的淬透性不同。热处理后的螺

螺 栓 抗 拉 试 验

表2—4

编 号	材 料	试 件				螺 栓 成 品 (W7/8)			附 注
		试 件	σ_y (kg/mm ²)	σ_B (kg/mm ²)	延伸率 (%)	试验数	$\bar{\sigma}_B$ (kg/mm ²)	$(\bar{\sigma}_B/\sigma_B)$	
1	SS41	2号 φ25	30.0	46.0	32 (标距200)	3	52.6	1.14	滚压螺纹
2	S45C	2号 φ25	39.8	64.9	20 (标距200)	3	73.4	1.13	用正火后材料 滚压螺纹
3	HS3	2号 φ25	41.3	63.4	23.5 (标距200)	3	72.4	1.14	滚压螺纹
4	S50C	4号 φ14 2个平均	68.5	97.2	18.0 (标距50)	2	104.9	1.08	热处理后滚压 螺纹
						2	91.7	0.94	热处理后切削 螺纹
5	S50C	4号 φ14 3个平均	66.3	84.7	27.0 (标距50)	11	103.7	1.22	热处理后滚压 螺纹
						9	101.1	1.20	热处理后切削 螺纹

注：螺栓应力计算截面规定为299.1mm²。No.3之HS3是Si-Mn类低合金钢。

栓，一般在其中心部分强度下降。根据淬火状态的不同，螺栓成品和试件的试验结果可能产生相当大的差别。因此，在JIS的试验方法11.1.1中规定加工试件的最小尺寸。

2.3.3 长期作用的高应力对螺栓强度的影响

在高强度螺栓连接中，螺栓承受很大的拉应力，经常是超过屈服点的，即使其应力小时，就有效截面而言已超过屈服点的60%。而且，这只是指平均应力而言，由于螺纹牙根处和螺母部分的应力集中，这些地方其应力都远远超过屈服点。而且，拧紧螺栓施加扭矩时，还要加上因扭转所产生的剪力。因此有必要就螺栓在高应力长期作用下的影响进行研究，如螺栓和螺母螺纹部分的徐变，松弛以及由此而产生的材质的变化，以及应力腐蚀，延迟断裂等问题。

关于这个问题，在美国是允许拧紧力超过屈服点的（见3.3），长期的使用经验表明，对于80公斤级和100公斤级的螺栓，认为似乎没有什么坏影响。

在日本对预应力钢筋的松弛试验中，就试验后材料的机械性质来说，0.9 σ_y 经过10小时，0.7 σ_y 或0.8 σ_y 经过1000小时，其抗拉强度，屈服点和弹性模量均无变化，而延伸率则因松弛愈大似乎多少有些下降。

图2—6为连接经过1年或半年，进行滑动荷载变化的试验研究后，将使用过的螺栓进行受拉试验的结果，发现未使用过的螺栓、连接组装后立即进行滑动荷载试验后的螺栓，以及连接在11个月后进行滑动试验后的螺栓，相互间没有差别。未用过的和用了23周后的螺栓，性能也一样。

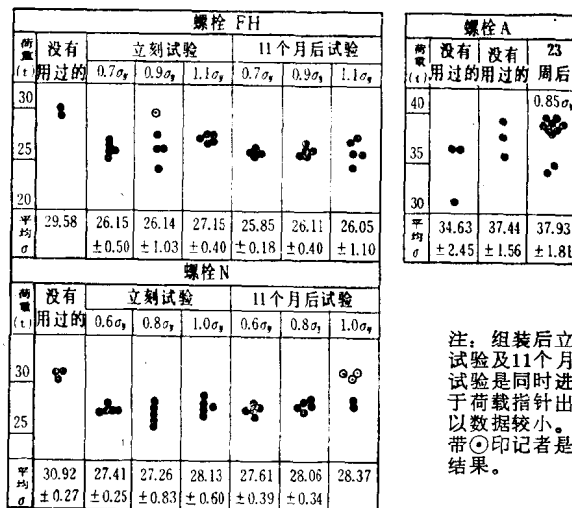


图2—6 螺栓在使用前后受拉试验的结果 (W7/8螺栓)

表 2—5 是用如图 2—7 所示试件进行冲击试验的结果, 试验用材料和图 2—6 中的螺栓相同, 该图中HF为油淬S55C号钢, N为高周波水淬的 S40C号钢, A为油淬 SC4 号钢。

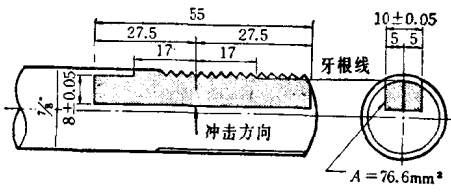


图 2—7 螺纹部分的冲击试件

抗拉强度 (t)	30		
25			
平均 u	29.54 ± 1.21	27.61 ± 0.66	29.04 ± 1.26
没有用过的带 10°斜垫圈			
一年后			
①有弯曲 ②无弯曲			

图 2—8 使用 1 年后受拉试验的结果 (W7/8螺栓)

图 2—8 是未用过的螺栓和在现场使用了一年后的螺栓受拉试验的结果, 螺栓①是用在槽钢的翼缘处, 由于没有垫适当的斜垫圈, 所以在螺纹开始处附近产生 1 mm左右的弯曲。螺栓②没有弯曲。螺栓材料为 S50C, 4 号试件的试验结果为 $\sigma_y=81.2\text{kg/mm}^2$, $\sigma_B=102.6\text{kg/mm}^2$, 延伸率 17.5%。螺栓的预拉力平均为 19.7t, 其轴向应力相当于屈服点的 80%。从图 2—8 的结果比较其平均值如下:

- ① 带弯的/没有用过的 (加斜垫圈的) = 0.935相差 6.5% ± 2.8% (危险率 5%)
- ② 不带弯的/没用过的 (加斜垫圈的) = 0.985无明显差别
- ①带弯的/②不带弯的 = 0.951
相差 4.9% ± 4.1% (危险率 10%)

所以, 可以说完全垂直拧紧的其强度并不降低。

图 2—9 是上述①、②的螺栓的螺纹部分和螺杆部分冲击试验的结果, 两种螺栓之间看不出有什么差别。螺纹部分的冲击试件的取法见图 2—7 (①带弯的螺栓, 取样时使其受拉一侧承受冲击), 螺杆部分的试件是 V 形缺口试件。

冲击试验结果 (单位 $\text{kg} \cdot \text{m/cm}^2$)

表 2—5

	螺 栓 HF			螺 栓 N			螺 栓 A		
	0.7σ _y	0.9σ _y	1.1σ _y	0.6σ _y	0.8σ _y	1.0σ _y	未 使用	6.0 14.2	
立 刻	4.7	15.7*	5.0	16.1	15.7	15.7	23 周 后	13.0 13.6	
	4.7	4.7	6.2	17.6	15.7	17.2		0.85 σ _y	6.0
	7.0	8.5	5.9	15.7	14.9	18.5			未 用 过 (√形缺口)
平 均	5.5	6.6	5.7	16.5	15.4	17.1			
	5.8			16.3					
11 个 月 后	6.1	7.3	5.9	14.9	17.0	17.4			
	5.0	5.0	7.0	15.2	17.8	16.9			
	4.8	5.3	5.6	17.8	17.2	17.6			
平 均	5.3	5.9	6.2	16.0	17.3	17.3			
	5.8			16.9					

注: 1) 带*标记的计算平均值时不利用。
2) 图2—7试件的计算截面积为0.766cm², V形缺口试件按0.8cm²计算。