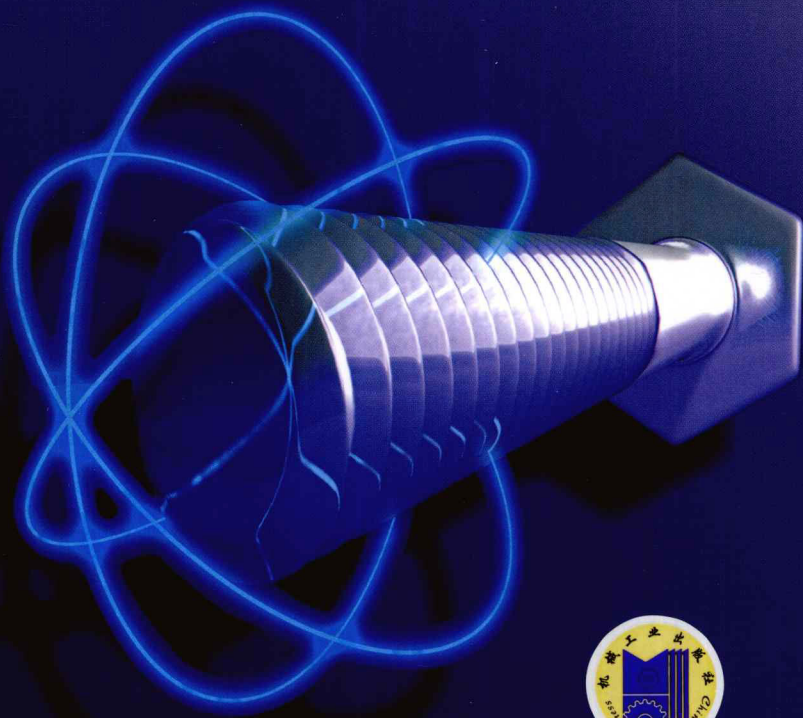


10 实现螺栓可靠装配的 个步骤

(德) Volker Schatz 著

朱正德 郭林健 等译



一本可以显著提高螺纹副连接质量的指导书



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

实现螺栓可靠装配的10个步骤

(德) Volker Schatz 著

朱正德 郭林健 等译



机械工业出版社

本书介绍了对装配程序中所有因素都有影响的10个步骤,并对影响螺栓连接紧固质量的因果关系进行了分析和研究。这10个步骤可制作成步骤检查表,用于监测在螺栓接头紧固过程中所实施的方法的完善程度。另外,这10个步骤也可用作制定反映最尖端的质量体系现行标准的指南。

该书专为那些制定装配计划和工艺、质量保证、装配工具的维护及生产等方面的专家、工程技术人员和现场装配人员撰写,同时此书也可作为整个螺栓装配过程的检查表。为了测试业已存在的、并正在执行的螺栓装配相关的国际和国家标准,完全可以采用此书作为指导,将质量保证提升到最高水平,并符合当今的各种标准和方法。

Copyright © 2008 by Tectum Verlag. All rights reserved. This book, or parts thereof, may not be reproduced in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or any information storage and retrieval system now known or to be invented, without written permission from the Publisher.

北京市版权局著作权合同登记号:图字01-2009-6660号

图书在版编目(CIP)数据

实现螺栓可靠装配的10个步骤/(德)斯恰兹(Volker Schatz)著;朱正德等译.
—北京:机械工业出版社,2009.11

ISBN 978-7-111-28974-6

I. 实… II. ①斯…②朱… III. 螺栓连接—可靠性 IV. TH131

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第200455号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:赵鹏 封面设计:鞠杨 责任印制:王书来

三河市宏达印刷有限公司印刷

2010年1月第1版第1次印刷

148mm×210mm·5.25印张·147千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-28974-6

定价:39.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

推 荐 序

SCHATZ公司成立于1955年，成立至今一直致力于开发各种螺栓装配和质量保证的解决方案，与广大用户建立了良好的合作关系。50多年来，SCHATZ公司始终把自己作为用户的合作伙伴，无论是新技术的应用，还是合理地简化检测工艺，都保持持续创新，将解决方案不断完善，尽量做到完美。其理念是：用户的质量就是SCHATZ的目标！

《实现螺栓可靠装配的10个步骤》专为那些制定装配计划和工艺、质量保证、装配工具的维护及生产等方面的专家、工程技术人员和现场装配人员撰写，同时此书也可作为整个螺栓装配过程的检查表。为了测试业已存在的并正在执行的螺栓装配相关的国际和国家标准，完全可以采用此书作为指导，将质量保证提升到最高水平，并符合当今的各种标准和方法。

在装配链中，所有的错误或不正确度将最终体现在最后装配的产品中。此书作者Schatz博士把螺栓装配描述成10个步骤，无论在理论上，还是实践装配方面都深入、全面地分析影响螺栓装配的所有因素，同时提出了测量和解决方案，使得螺栓装配既满足安装要求，符合国际标准，又经济可靠。

参与翻译此书的人员有：中国汽车工程学会制造分会朱正德，全国紧固件标准化技术委员会杨林和丁宝平，中国航天标准化研究所林海燕，大众汽车（中国）投资有限公司陈鸿均，国家标准件产品质量监督检验中心侯维明和张青春，广西玉柴机器股份有限公司王玉茂和吴志鹏，东风汽车有限公司工艺研究所李满良、卢海波和牛恩来，上海汽车集团技术中心张琼敏，中国航空综合技术研究所隋明丽和刘涛。全书由上海兹韦克仪器科技有限公司郭林健和朱正德审阅。

Schatz博士将积累了数十年的经验编写成了这本关于螺纹连接的理论指导书籍，上海兹韦克仪器科技有限公司在第一时间将此书引入中国，希望能对中国汽车、航空航天和螺栓制造等领域的螺栓装配技术发展有所帮助。

上海兹韦克仪器科技有限公司
李维伦（总经理）

目 录

推荐序

引言 “落后者自食苦果”	1
--------------------	---

步骤1 - 验证设计参数	4
--------------------	---

螺栓连接是如何起作用的?	7
在装配过程中确定预紧力	9
在紧固过程中估算摩擦系数	12
转矩和转角	16
断裂试验	18
弹性极限在哪里?	21
图形分析和评估	22
连接松弛的影响	27
自攻螺栓的旋入特性	28

步骤2 - 检查材料的质量	31
---------------------	----

螺栓的装配特性	33
面向实际的检查	38
锁紧转矩——典型的防松螺母	41
氢脆试验	43
自攻螺栓的检查	44

步骤3 - 选用合适的工具	46
---------------------	----

动力工具的性能	49
偏差	52

动力工具的转速.....	54
连接类型的定义.....	57
拧紧系统的最低要求.....	58
步骤4 - 建立一个恰当的检验计划.....	62
螺栓紧固工具的机器适用性验证.....	64
使拧紧工具重新符合适用性要求 (BIC)	66
使拧紧工具保持适用性 (KIC)	67
螺栓连接的随机抽检.....	69
螺栓紧固过程的保证.....	70
步骤5 - 只使用具有相应能力的工具.....	73
手动扭力扳手的转矩标定.....	75
手动扭力扳手转角标定.....	76
旋转工具的鉴定.....	77
脉冲动力工具的检查.....	81
步骤6 - 确保连接的随机取样.....	84
装配过程中的测量.....	86
计算机辅助统计过程控制.....	87
统计评定方法.....	90
步骤7 - 确定装配过程中的正确参数.....	92
进一步拧紧时的转矩测量.....	94
检查参数的确定.....	96
步骤8 - 使用统一的方法.....	100
测试方法的统一.....	103

独立文件的生成.....	106
质量保证.....	106
研发.....	109
校准实验室.....	112
维护.....	114
生产.....	116
外部服务商.....	118
步骤9 - 员工培训.....	121
培训策略.....	122
用户培训.....	124
工艺规程、标准和指导方针的应用.....	125
认证培训.....	127
步骤 10 - 确保独立的测量.....	129
什么是校准?	131
谁被允许进行校准?	133
校准是怎样发生的?	134
为什么需要实施校准?	137
测量系统的能力验证.....	139
技术的分级.....	144
独立的校准实验室.....	146
结论	149
参考文献	151

引言 “落后者自食苦果”

“落后者自食苦果”，换言之，谁落后了谁就要承担落后的后果。产品或复杂组件的最终安装是产品生产程序链的最重要的一步。对这一程序的所有影响、错误或误差而产生的累积后果都集中地体现于此阶段，特别是在汽车工业，最终产品本身是很复杂的，达到高的质量标准是困难的，因为不仅零件、部件和总成的品种和型号繁多，而且手工装配工作又占相当大的比例。对生产程序的要求现在已经提高，以前的装配程序已远不能适应这些要求，而对复杂的装配程序还增加了新的法律条款、质量规范和环保等方面的要求。总的来说，对生产程序的影响因素包括如下几个方面：

- 1) 产品责任条例。
- 2) 在用车辆的报废规定（ELV）。
- 3) 符合ISO 9000的质量管理条例。
- 4) 符合ISO 14000的环保管理条例。

在过去的几年中，产品责任条例极大地增加了生产程序的复杂性。在产品的开发或装配中，即使出现极微小的误差也会造成数百万的损失。新闻界的负面报导也可能会毁掉一个新产品。除了对产品负责，产品研发人员也要考虑在整个失误事件中的个人责任。

为此，目前正在修订现有的条例，而新的法规也正在制定中，各种计划安排几经反复并相互重叠。在1998~2004年，修订了EMC指导性技术文件，自1998年以来机器管理规程的补充修改也一直在进行，2001~2003年由欧洲委员会组织的一个工作组对低压电器管理规程进行了复审。对这些文件应进行哪些修改是很难判定的，因为修改是由法律界而不是行业界来决定的，因而使这一问题变得越来越繁杂。这在很多案例中得到了证实（Huhle 2004）。

此外，2000年9月德国国家法律采用在用车辆报废规定。这就是说从2006年起，制造商必须保证：一辆需报废的车，至少其平均重量的85%可以被再利用；自2015年起，这一比例将提高到95%，这就需要使用不含铬（VI）的镀覆层。这些将提出新要求，产生新问题，尤其是涉及到螺栓连接的问题。由于这些问题相互联系，十分复杂，因此需要一种整体的方法才能解决。影响装配程序结果的因素不止一个，它受许多变量的影响。如果这些因素改变了，程序结果就会改变。对于这些影响，需要采用一种系统的方法，找出所有可能的原因，并据此来分析装配程序中出现的各种问题。凡是对这些在装配中无数次出现的问题熟悉的人，并能对各种可能的原因进行分析的人，他们将很快得出结论：这些原因有很多，可以列出一个很长的单子。为此，日本科学家Karu Ishikawa作出了图解分析，分类列出了各种原因。如果将这个“原因—结果”的图解分析运用到螺栓拧紧方面，可以确认存在四种主要影响，如图1所示。

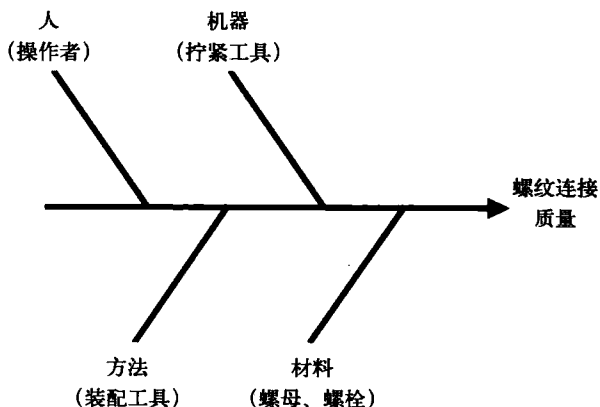


图1 4M影响因素图

可用下列4M来确定在螺栓接头紧固过程中出现质量问题的原因。

1. 人（Man）

有关第一个M，提出的问题是：人在整个过程中的作用有多大？首先

是影响人发挥作用的因素。因为一个人的表现不仅取决于他本人，也取决于他当时的环境情况，另外，技术、组织和社会等方面的因素对他都会有影响，他受到的激励和培训，对程序的结果也会有重要的影响。

2. 机器 (Machine)

在紧固螺母和螺栓时，如果使用的工具不能满足装配程序的要求，例如存在缺陷、维护不当或已过时失效，都会使工具成为问题。一件工具如果要满足装配程序的要求，达到高质量的预期效果，就必须进行系统的检查并证明其具有完成任务的能力，必须通过定期的例行检查来证明工具符合所有的质量要求。

3. 方法 (Method)

方法说明了如何做某件事，例如，完成某个指定任务的程序，各个步骤的先后顺序。在这种情况下，必须检查所选择的方法是否适当，是否正确使用了这些方法，以证明这些方法能否达到预定的质量目标。在螺栓连接紧固方面，安装策略对本类别的任务具有最重要的影响。然而，如果所使用的方法不能产生预期的效果，就会引发无穷尽的问题。为了评估安装策略，操作人员应按照预期的效果来检查方法的有效性。

4. 材料 (Material)

材料是不可或缺的。只有螺母、螺栓和零件连接在一起后达到了满意的质量，并具备相应的功能，装配程序才算是成功的。在装配过程中，进货检验和现场检查可以保证所使用的材料质量合格。

步骤1 - 验证设计参数

就螺纹副连接的紧固而言，拧紧方法是安装策略中最重要的一個方面。对于把组合件装配在一起的每一个螺栓紧固操作，都要有指南说明紧固时应采取的步骤和应使用的测量数据。为此，应在抽象模型的基础上，计算装配步骤的参数。由于是抽象模型，这些参数仅是实际条件的近似值。在此所提供的一系列假设和估算可作为紧固件连接设计的基础。被装配的零部件之间的摩擦特性以及通过连接各个零部件而相互传递的力都会在这方面起到极为特殊的决定性作用。

图表、标准和试验的结果经常未能在实际装配操作中反映影响装配的因素，而这些结果往往用作装配操作的基础。目前，生产中所使用的拧紧规范通常规定了一个具有相应公差范围的转矩，或者规定了采用拧紧紧固件的转角法，即将紧固件旋转到一定的角度后使其达到预定的转矩。在生产中，必须遵守这些公差，所有其他的装配步骤都源于这些基本规范。在观察螺栓连接紧固过程时，乍一看似乎非常简单。在使用一个有旋转动力的工具进行紧固连接时，螺栓被拧入螺孔，直到其头部与被装配件相接触之时，扳拧工具突然停止转动。在此过程中，多数的时间用来旋入紧固件，在实际的装配过程中，也就是将两个或多个零件连接在一起时，这一动作是在1s的时间利用摩擦力而瞬间完成的。

在这种情况下，安装时，用转矩控制装配过程是最常用的安装规范。这是因为用规定的力矩进行装配是一种相对简单的、直截了当的安装方法。用旋转动动力工具拧紧螺栓的所谓动力工具——它们转动紧固件直到特定转矩产生机械关停来阻止力矩流再起作用，这样，螺栓的紧固就完成了（图2）。

手工安装时，使用经过校准的棘轮扭力扳手，这种工具在中断转矩的同时发出信号，即“卡嗒”一响的机械响声，表示已达到了规定的转矩。

另一种更复杂的方法是使用具有显示功能的经过校准的手动扭力扳手，用它们转动紧固件直到显示出已达到规定的转矩。当从外部观察这一过程时，可能很难评估该螺栓连接是否会永远牢固，是否不受所有外力的影响。这就是为什么在转矩紧固技术领域，越来越多地使用电子监测拧紧装配系统，以在装配过程中测量所达到的转矩，并能够选择性地控制拧紧工具以达到所需的转矩。

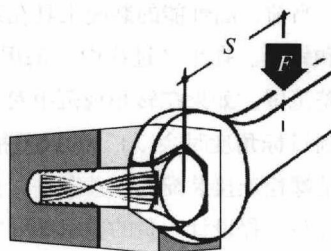


图2 转矩控制的装配方法

第二种方法是用转角来控制的装配方法（图3）。这种方法间接测量了螺栓长度的变化，其理论基础是基于螺纹的螺距，本意是设计人员根据材料的性能计算出为使被装配件精确连接所必需的螺栓伸长量。例如，若设计人员对螺距为1mm的M6螺栓进行计算所得出的结果是必需伸长0.5mm，那么就知道了为了达到所需的螺栓伸长量，应该在螺栓头的接触处旋转螺栓180°。但是，就最终分析而言，这仅仅是一种理论上的方法：除了螺栓的伸长，被装配件也可能产生变形。

此外，还存在如何判断螺栓头何时与被装配件接触的问题。为了解决这一问题，可以通过试验来确定所有零件在紧固件连接中被连接在一起时的那一刻，并根据这一转矩测出此刻的转角。以下是德国VDI指南2230建议的关于转角拧紧方法描述：“在确定转角的试验中，为了能正确地测定结构的回弹性能，应尽可能地采用未用过的新零件。施加适当的转角可以避免因为超过抗拉强度极限而造成螺栓的断裂或超载”。

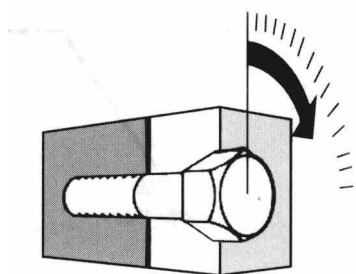


图3 转角的装配方法

当前,高性能的装配工具在装配操作中能够实施公差范围内的规定转矩和转角。在生产过程中,采用适当的紧固件装配系统可以达到 $\pm 5\%$ 的公差范围。如果在转角规范中对公差范围提出要求的话,可控动力工具在达到目标角度时会以 1° 的误差精确地关机。但是,规定的公差事实上是否是螺栓连接装配的相关条件,仍是一个问题。所使用的材料性能实际上是否与工程设计人员的要求相同?装配过程中所发生的变化是否是由于供应商或生产方法的改变而造成的?规定的装配程序是否过时?是否考虑了各方面的因素?因为在全球化的今天,所使用的规范都已国际化了,所以对现场的具体情况一般不会给予足够的重视。实际所用材料的质量和性能是否与实验室条件下所用的材料一致?在装配的最后阶段,也就是程序链的最终阶段,经常会产生如下问题:规定的装配方法确实能达到预定的结果吗?在这些情况下,就需要通过测试来确认或证明装配方法在实践中是否合适,如图4所示。

在第一步中指出了在现场执行的分析方法,以及可以使用哪些方法来验证安装策略和公差是否确实适合于装配程序。

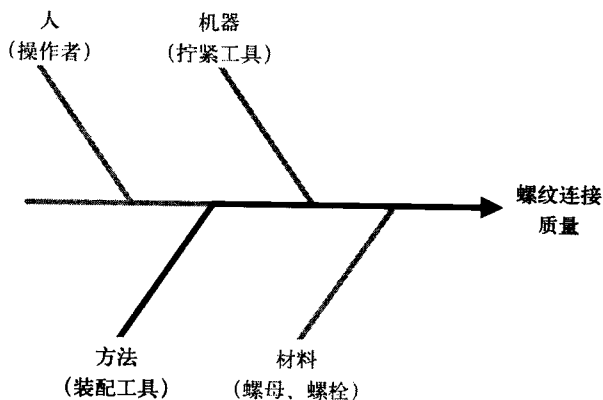


图4 验证设计参数

螺栓连接是如何起作用的？

螺母和螺栓在整个工业技术领域中是最适用的紧固元件，它们可以经受很高的工作负荷，也可以拆卸下来再加以利用。螺栓连接是基于可拆卸连接设想而创造的，可以用一个或多个螺栓来连接两个或多个零件。这样，连接起来的部件就可以像一个零件那样运转和移动。螺栓连接必须能抵抗外力的作用，使已被装配的零件不会向分离的方向移动，否则会造成螺栓接头的松动、破坏或脱落。这就是为什么工程人员所设计的螺栓连接在履行其功能的同时，必须经得住加给它的所有各种力的作用。用螺栓连接方式进行装配，其任务是使被装配的零部件牢牢地紧固在一起，使外力不能将它们分开。因此，在设计螺栓连接时，直接作用在螺杆周围的力要特别给予考虑。

图5所设定的预紧力必须能阻止因外力而造成的被夹紧件分离。形象说明一个螺栓连接，最好的方式是通过一个简单的机械模型来表述。为了说明这一点，可以把螺栓看成是一个张力很强的弹簧，在进行螺栓连接的装配时产生一个力，使被装配组件压紧在一起。汽车的车轮就是这样的一个例子，轮子由4个或5个螺栓装配起来，当紧急制动时，相对于轴向法兰而言，不是螺杆阻止车轮转动，而是螺栓头部牢固地压紧在轴向法兰上，使紧急制动力不足以转动它。由螺栓所产生的将零件压紧在一起的力称为预紧力。如果现在有一个外力作用在螺栓上，这将会造成零部件的弹性变形。工程设计人员在设计螺栓连接时，可以用数学的方法来确定螺栓的尺寸，使其能承受外载荷并吸收作用力。在设计阶段，工程设计人员必须认识到夹紧力的离散度或多或少地取决于所选择的装配方法和其他外部条件。在装配时，夹紧力必须足够大，以确保被装配零件绝对不会相对移动。另一方面，在紧固时所施加的夹紧力必须保证螺栓不会发生破坏或塑性变形。

为此，紧固程序的唯一目的是要保持预紧力在相应的公差范围内。如

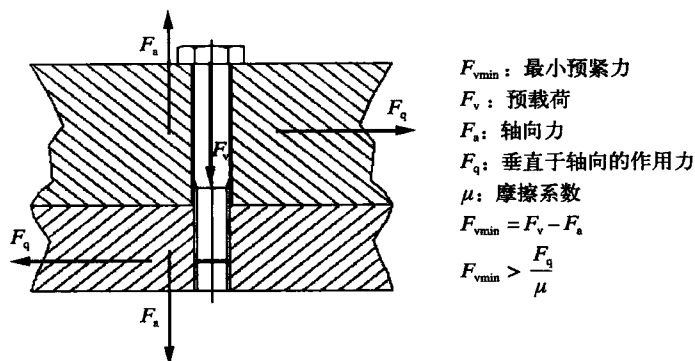


图5 所设计的最小预紧力必须能阻止因外力而造成被连接部件分离

如果在装配时有可能测量这种力并控制施力工具，那么就有可能消除紧固过程中的大多数问题。调查显示，螺栓接头中产生的绝大多数问题，如螺栓松动、螺栓断裂以及泄漏，都是由于所施加的预紧力不精确或不正确而造成的后果。在连接螺纹紧固件时，紧固件的几何形状以及两个表面之间产生摩擦的恒定摩擦系数对螺栓接头的设计有重大的影响。可是在设计螺栓接头连接时，预测摩擦力的影响尤为困难。如果所采用的润滑剂不是工程设计人员根据计算来确定的那种润滑剂，那么螺栓接头就有超载的危险。与螺栓接头设计有关的、值得注意的问题是螺栓头部预留出装配空间尺寸太小，因此，工程设计人员必须密切关注并确保所允许的表面接触压力。

允许的预紧力误差、摩擦系数的误差以及螺栓的直径和强度等级是确定拧紧转矩公差依据。

转矩公差是根据螺栓接头所需最小夹紧力的分析来设计的，如图6所示。转矩的公差下限 T_{ll} 是根据相应的转矩和最大的摩擦系数 μ_{max} 同时出现时，仍能保证有最小的预紧力 F_{vmin} 而制定的；相反，最大的预紧力 F_{vmax} 绝对不能超过螺栓的弹性极限。在此基础上，就可以获得随同最小摩擦系数 μ_{min} 而产生的转矩公差上限 T_{ul} 。

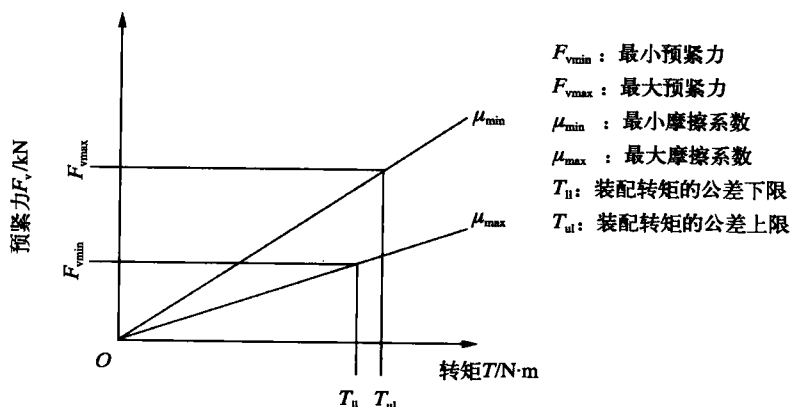


图6 允许的预紧力公差和所生成的摩擦系数决定转矩公差值

对于经受较高动载荷的螺栓连接，其设计取决于载荷的大小以及相关零部件的装配方式。如果在装配过程中，紧固件需要被拧若干次，就必须预先进行实验室分析，以便推荐恰当的装配程序。此外，工程设计人员还必须提供一份说明，指出哪些紧固件适用于多次装配。在计算螺栓接头的尺寸时，要注意超载时的螺栓是在其最脆弱的剖面断裂的。通常最脆弱之处是承受多种载荷的螺纹剖面或腰形杆部。最重要的是，螺栓接头的持久强度是由连接部位的应力集中的大小而决定的。在拧紧螺栓时，起连接作用的预紧力是因为将紧固件拧入螺孔而产生。在这一过程中，除了预紧力外，在螺杆上也产生了力矩。在设计螺栓连接时，必须注意到最大负荷不但来自于最大拉伸力，也来自于预紧力和转矩，这两个重要因素在实际的装配过程中都会同时出现。

在装配过程中确定预紧力

在装配螺纹副连接时，计算机控制的测量和监控电子系统与现代化的传感器结合可提供转矩和转角方面的信息。在这种情况下每一个紧固件连

接的最重要的目标值就是预紧力，因为不可能以足够高的准确度来测量出或估算出预紧力。基于这一原因，目前的大规模工业生产中，转矩是唯一可记录的质量特征值，为了审查紧固连接件的质量，必须对转矩进行系统评估。然而，转矩与预紧力之间的关系取决于紧固件的几何形状和摩擦力，但是摩擦力是无法回避的，而且又是一个很棘手的问题。由于一直存在这个问题，因此，按所施加的转矩装配螺栓时，应该产生多大的预紧力，无法得出直接的结论。只有知道了紧固件连接中的相应摩擦力，才有可能对上述问题作出结论。

目前，电子控制的动力工具系统可以达到 $\pm 5\%$ 的转矩公差，可以保证装配紧固的有效。例如，如果有一个符合DIN 931标准的8.8级M10螺栓，其恒定的摩擦系数 $\mu=0.10$ ，用 $40\text{N}\cdot\text{m}$ 的转矩，也就是用公差范围为 $38\sim 42\text{N}\cdot\text{m}$ 的转矩来紧固该螺栓，那么就可能产生公差范围为 $26.0\sim 28.8\text{kN}$ 的夹紧力。在螺栓紧固技术领域，预紧力能够达到这样的离散范围可以说是一项显著的成果。因此，该技术是很受欢迎的。

然而，实际情况却有不同，螺栓摩擦系数的离散范围始终在 $0.08\sim 0.30$ 之间，在某些情况下，甚至高达 0.40 ，很多情况下，这样的离散范围也属正常。因为连接表面情况各异，包括从加润滑脂的无机涂层到镀锌的干镀层等连接表面。就本例而言，一个符合DIN 931的8.8级M10螺栓，对其施加精确的 $10\text{N}\cdot\text{m}$ 的转矩，假定摩擦系数在 $0.10\sim 0.20$ 的范围内，所产生的预紧力离散范围是 $27.4\sim 14.9\text{kN}$ ，这一预紧力范围比前例高达 4.5 倍。如果事实上摩擦力在紧固过程中起到如此重要的作用，那么就一定要检查在生产中转矩与预紧力之间相互作用的关系。根据标准和质量规范，一些影响因素，如刚度、几何形状、表面涂覆层等，是可以确定和测量的。

在紧固过程中，可采用ISO 16047作为参照标准来确定转矩与预紧力之间的关系。然而，为了贯彻这些规范，需要有综合试验设备，试验是费时的，而且应该由经过培训的合格人员来做试验。这就是为什么确定转矩与预紧力关系的螺栓紧固条件分析必须要在实验室或试验部门进行的原因。