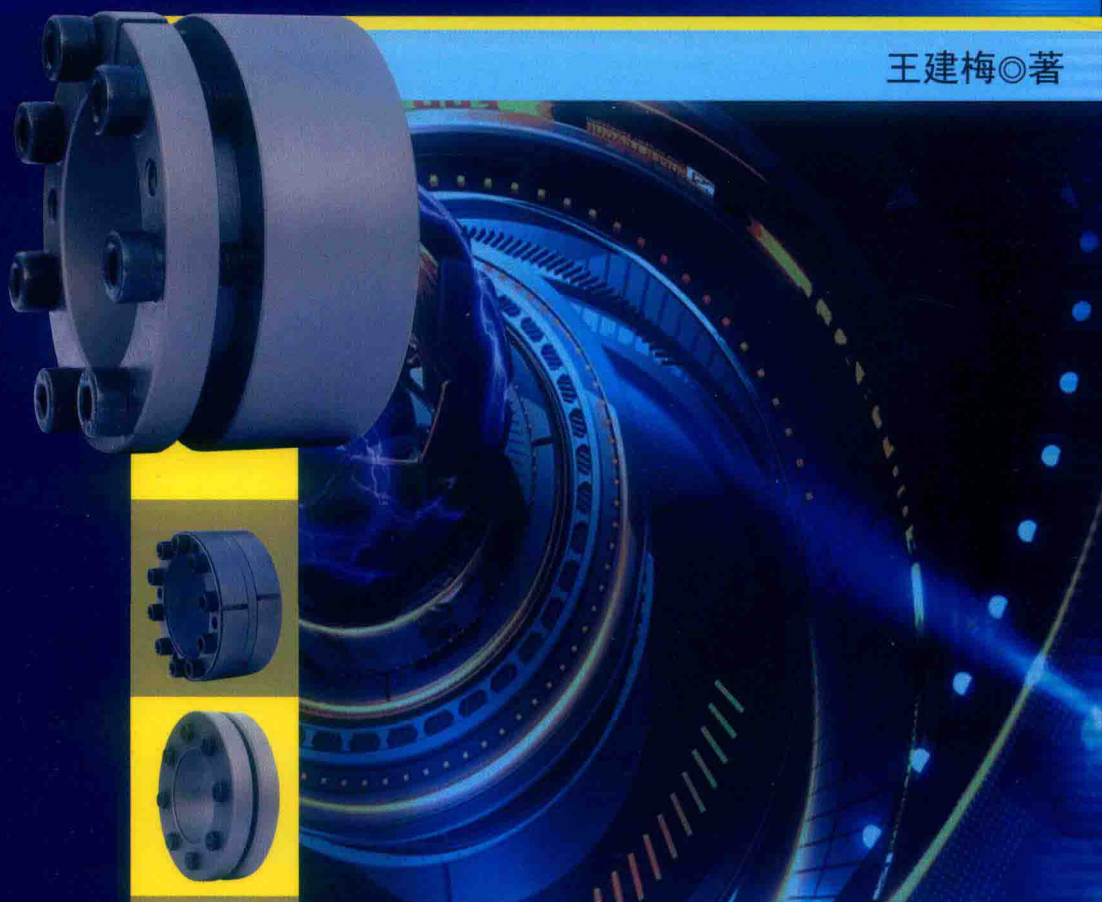


多层过盈联接设计 理论与技术

王建梅◎著



 科学出版社

多层过盈联接设计理论与技术

王建梅 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书对多层过盈联接的设计进行研究,涉及理论算法推导、数值模拟验证、现代设计方法应用等。全书共7章,介绍过盈联接的相关知识、圆柱过盈联接与圆锥过盈联接的理论算法、多层过盈联接的理论算法和现代设计方法及校核算法、多层过盈联接性能的影响因素、风电关键基础件的设计与计算实例、新型离散化圆锥过盈联接的计算方法等。

本书可供从事机械设计及理论研究的科技人员参考,也可供高等院校机械类专业师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

多层过盈联接设计理论与技术/王建梅著. —北京:科学出版社,2019.4
ISBN 978-7-03-060975-5

I. ①多… II. ①王… III. ①过盈联接-设计-研究 IV. ①TH131.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第063983号

责任编辑:冯涛 苏德华 杨昕 / 责任校对:赵丽杰
责任印制:吕春珉 / 封面设计:东方人华平面设计部

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司印刷

科学出版社发行

各地新华书店经销

*

2019年4月第一版

开本:B5(720×1000)

2019年4月第一次印刷

印张:12 1/2

字数:259 000

定价:89.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈骏杰〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62135397-2032

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

《中国制造 2025》将工业强基工程作为五大重点工程之一；《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》也将实施工业强基工程纳入其中；工业和信息化部等发布的《工业强基工程实施指南（2016—2020 年）》将核心基础零部件等产业作为重点发展领域；为落实《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》《国家创新驱动发展战略纲要》等规划，2018 年科学技术部启动了国家重点研发计划“制造基础技术与关键部件”重点专项。2018 年《政府工作报告》再次明确将全面推进工业强基工程。机械基础件是我国高端装备制造产业的关键组成部分，其设计质量和水平直接关系产品的性能和技术经济效益。

由于工程实际的需要，采用多层过盈联接结构的机械基础件得到了广泛应用。常见的多层过盈联接基础件包括锁紧盘、力矩限制器、挤压筒、凹模等，这些部件作为大型发电设备和金属挤压、成型制造装备的核心基础部件，在国防建设和国民经济建设领域具有不可替代的作用。

本书的主要内容如下：

第 1 章绪论。简要介绍过盈联接的概念、类型、影响因素、装拆工艺、应用范围和研究进展。

第 2 章多层过盈联接的计算方法。给出过盈联接的计算基础、典型多层过盈联接的过盈量设计算法和其他多层过盈联接过盈量的设计方法，并结合实例进行多层过盈联接过盈量的设计计算。

第 3 章多层过盈联接可靠性稳健设计。利用现代设计方法，提出多层过盈联接可靠性稳健设计和多层过盈联接的动态可靠性稳健设计，并将蒙特卡罗法与可靠性稳健设计结果做对比。

第 4 章多层过盈联接多目标智能协同设计。简要介绍多目标智能协同设计基础和设计方法，分析多层过盈联接的多参数关系。

第 5 章多层过盈联接性能的影响因素。分析多层过盈联接性能的主要影响因素。

第 6 章多层过盈联接设计实例数值模拟。以风电关键基础件为实例，对厚壁圆筒、单层过盈联接和多层过盈联接 3 种情况进行数值模拟，并对多层过盈联接的装配过程进行动态仿真。

第 7 章离散化圆锥过盈联接计算方法。提出新型离散化圆锥过盈联接计算方法，建立区别于有限元方法的离散化模型，并通过算例证明该方法的合理性与求解优势。

本书介绍的多层过盈联接属于机械零件基础理论与设计范畴。通常机械零件

中过盈配合是根据机械设计手册粗略计算获得的, 缺乏从弹、塑性力学受力角度的科学分析, 结合过盈配合基础理论知识, 进行接触面配合的精确计算。本书针对多层过盈联接结构, 重点给出多层过盈联接的设计算法和校核方法; 结合现代设计方法与理念, 如可靠性稳健设计、协同设计、离散化设计等, 提出融合现代设计方法的多层过盈联接设计理论; 同时, 将有限元数值模拟所得数据和应用多层过盈联接设计理论与方法所得的数值进行对比, 验证理论方法的准确性和可靠性。

本书的主要创新点及研究意义是对过盈配合类机械零件设计理论与方法的系统性进行了改进, 开展了多层过盈联接组件从设计到计算校核的理论研究, 体现了经典设计方法与现代设计方法的融合, 完善了机械零件过盈联接的设计理论与计算方法, 为机械零件设计的科学计算提供理论依据, 对提高设备运行效率和运行可靠性具有实用参考价值。本书是在《锁紧盘设计理论与方法》(王建梅、唐亮著, 冶金工业出版社出版) 著作的基础上, 对多层过盈联接理论的进一步完善, 是作者所在课题组成员多年来科学研究成果的结晶。

借本书出版之际, 作者向资助本书出版的国家自然科学基金面上项目(项目批准号 51875382)、国家自然科学基金联合基金项目(项目批准号 U1610109)、山西省重点研发计划(指南)项目(项目编号: 201803D421103)和太原重型机械装备协同创新中心专项(1331 工程)表示由衷的感谢。在本书的撰写过程中, 作者得到了宁可、唐亮、陶德峰、徐俊良、白泽兵、康建峰、杨健、耿阳波等研究生的协助; 封面图片由山西大新传动技术有限公司提供, 在此一并表示衷心感谢!

创新之作, 限于作者的水平, 不当之处在所难免, 欢迎广大读者批评指正。

作者

2019年1月于太原

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 过盈联接的概念	1
1.2 过盈联接的类型	1
1.2.1 按照连接件之间过盈接触面的层数分类	2
1.2.2 按照连接件之间接触面的受力变形性质分类	2
1.2.3 按照过盈联接组件的结构特征分类	3
1.2.4 按照连接件之间接触面的形式分类	3
1.2.5 按照过盈联接的功能分类	3
1.3 过盈联接的影响因素	4
1.4 过盈联接的装拆工艺	8
1.4.1 纵向过盈联接装拆	8
1.4.2 横向过盈联接装拆	9
1.5 过盈联接的应用范围	13
1.6 过盈联接的研究进展	14
参考文献	19
第 2 章 多层过盈联接的计算方法	22
2.1 过盈联接的计算基础	22
2.1.1 过盈联接计算假设	22
2.1.2 厚壁圆筒理论基础	22
2.2 多层过盈联接过盈量设计算法	26
2.2.1 多层过盈联接过盈量与接触压力的关系	26
2.2.2 多层过盈联接过盈量与装配压力的关系	29
2.3 多层过盈联接过盈量的设计计算	33
2.3.1 圆柱过盈联接的相关计算	34
2.3.2 圆锥过盈联接的相关计算	37
2.3.3 配合过盈量的选择	37
2.4 其他多层过盈联接过盈量的设计方法	38
2.4.1 消除位移法	38
2.4.2 消除间隙法	39
2.4.3 受力平衡法	40

2.5	多层过盈联接过盈量设计计算实例	42
2.5.1	过盈量的设计计算	42
2.5.2	尺寸设计	43
2.5.3	螺栓拧紧力矩的计算	46
2.5.4	校核计算	47
2.5.5	锁紧盘设计流程	50
2.5.6	应用说明	51
	参考文献	53
第3章	多层过盈联接可靠性稳健设计	54
3.1	机械可靠性稳健设计基础	54
3.1.1	机械可靠性的定义	54
3.1.2	机械零件的可靠性稳健设计	56
3.2	多层过盈联接可靠性稳健设计计算	57
3.2.1	基本模型	57
3.2.2	可靠性稳健设计计算	61
3.2.3	可靠性稳健设计算例	62
3.2.4	经典设计与可靠性稳健设计对比	69
3.3	多层过盈联接的动态可靠性稳健设计计算	70
3.3.1	基本模型	70
3.3.2	动态可靠性稳健设计计算	71
3.3.3	动态可靠性稳健设计算例	74
3.4	蒙特卡罗仿真	82
3.4.1	蒙特卡罗法原理	82
3.4.2	蒙特卡罗法数值算例	83
3.4.3	蒙特卡罗法与可靠性稳健设计结果对比	85
	参考文献	86
第4章	多层过盈联接多目标智能协同设计	87
4.1	多目标智能协同设计基础	87
4.1.1	试验设计方法	87
4.1.2	近似模型方法	90
4.1.3	多目标智能优化算法	91
4.2	多目标智能协同设计方法	94
4.3	多层过盈联接的多参数关系分析	103
4.3.1	过盈联接组件最外层包容件直径对接触压力的影响	103

4.3.2	过盈联接组件过盈量对接触压力的影响	104
4.3.3	过盈联接次外层包容件直径对接触压力的影响	105
4.3.4	过盈联接最外层包容件直径对最大等效应力的影响	106
4.3.5	过盈联接组件过盈量对最大等效应力的影响	107
4.3.6	过盈联接次外层包容件直径对最大等效应力的影响	107
	参考文献	108
第 5 章	多层过盈联接性能的影响因素	110
5.1	加工偏差	110
5.1.1	有限元模型	111
5.1.2	模拟结果分析	111
5.2	装配间隙	114
5.3	温度	117
5.3.1	温度产生的径向位移计算	117
5.3.2	非均匀温度场	122
5.3.3	均匀温度梯度	126
5.4	离心力	128
5.4.1	离心力产生的径向位移计算	128
5.4.2	有限元模型	133
5.4.3	模拟结果分析	134
5.5	摩擦系数	136
5.6	结合面锥度	137
5.7	装配次数	139
5.8	外环外径	139
5.9	安全系数	139
	参考文献	139
第 6 章	多层过盈联接设计实例数值模拟	141
6.1	有限元法简介	141
6.1.1	有限元基本思想	141
6.1.2	ABAQUS 简介	142
6.1.3	ABAQUS 的接触问题	143
6.2	厚壁圆筒的数值模拟	144
6.2.1	ABAQUS 建模步骤	144
6.2.2	结果与讨论	144

6.3	单层过盈联接数值模拟	146
6.3.1	ABAQUS 建模步骤	146
6.3.2	结果与讨论	147
6.4	多层过盈联接的数值模拟	148
6.4.1	研究对象与几何模型	148
6.4.2	材料属性与网格划分	149
6.4.3	接触方式与摩擦系数	149
6.4.4	边界条件和载荷	150
6.5	装配过程分析	150
6.5.1	FEM 模拟	150
6.5.2	最小公差配合下的接触分析	153
6.5.3	最大公差配合下的接触分析	161
6.5.4	分析与结论	167
6.6	数值法与解析法对比	169
6.6.1	接触压力	169
6.6.2	承载转矩	171
6.6.3	Von Mises 应力	171
	参考文献	174
第 7 章	离散化圆锥过盈联接计算方法	176
7.1	建立离散化模型	176
7.1.1	离散化计算思想	176
7.1.2	建立离散化物理模型	177
7.1.3	建立离散化数学模型	179
7.2	模型简化与数值求解	182
7.2.1	边界条件与模型简化	182
7.2.2	数值求解与实例运算	183
7.2.3	ABAQUS 模拟试验与结果讨论	188
	参考文献	189
附录	考虑温度与离心力计算参数	191

第1章 绪 论

本章简要介绍过盈联接的概念和特点,给出多层过盈联接的分类,对影响过盈联接性能的主要因素——过盈量、摩擦系数、离心力、工况温度、动载荷等进行阐述。同时,介绍过盈联接结构的装拆工艺和应用范围,以及过盈联接的研究发展状况。

1.1 过盈联接的概念

过盈联接是由两个被连接件之间的过盈配合构成的连接方式。该连接方式也称为干涉配合联接或紧配合联接,是将外径较大的被包容件装配到内径较小的包容件中,如图 1.1 所示。装配完成后,在过盈接触面^①上会产生一定的过盈量,使得接触面形成相应的径向压力。当连接件承受轴向力或转矩时,依靠过盈接触面上的摩擦力或力矩实现额定载荷的传递^[1]。

过盈联接的主要特点是结构简单、生产成本低、对中性好、连接强度高、承载能力强,连接件之间不需要任何紧固件,避免了由附加紧固件对结构强度造成的削弱。鉴于上述优点,过盈联接在机械工程领域的应用较为常见,如车床的夹具、机车的轮轴、发动机中的涡轮盘和电动机的转子等;另外,在精密仪器与仪表制造业中,小尺寸过盈联接的应用也较为广泛。过盈联接的缺点是对接触面的加工精度要求较高,装配过程比较复杂。

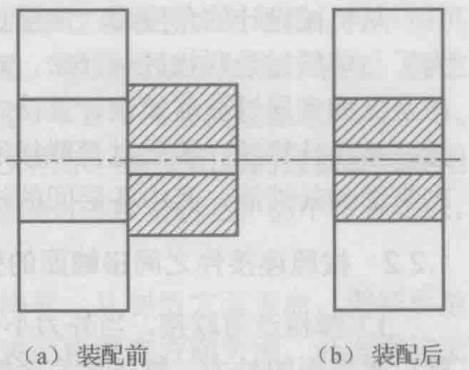


图 1.1 过盈联接示意图

1.2 过盈联接的类型

按照不同的分类形式,过盈联接主要包括以下几种类型。

^① 为便于读者理解,本书中,在介绍界面基理时使用“接触面”,以强调结合面的接触作用;在讲述过盈联接的基本参数时,根据《极限与配合过盈配合的计算和选用》(GB/T 5371—2004),使用“结合面”定义包容件与被包容件相接触的表面。

1.2.1 按照连接件之间过盈接触面的层数分类

1) 单层过盈联接。通常意义上的过盈联接是指单层过盈联接,即只有一个接触面的过盈联接,也即仅由包容件和被包容件两个零部件组成的过盈联接,属于最简单且常见的过盈联接方式。单层过盈联接结构简单,应用较为广泛,一般采用胀缩法进行装拆,如机车的轮与车轴、齿轮与齿毂。

2) 多层过盈联接。多层过盈联接是指两个及两个以上接触面的过盈联接,结构较为复杂,一般分油压法与机械压入法装拆两类结构。采用油压法装拆的多层过盈联接是在单层过盈联接的基础上加中间套;采用机械压入法装拆的多层过盈联接,通过实现自锁产生过盈量,如胀紧连接套与锁紧盘。

随着工程实际的需要,出现了越来越多的多层过盈联接结构。常见的多层过盈联接组件包括锁紧盘^[2]、力矩限制器、挤压筒、凹模等。这些部件作为大型发电设备、金属挤压、成型制造装备的核心部件,在国防和国民经济建设中具有不可替代的作用。

从机械设计的角度看,多层过盈联接计算要比单层过盈联接计算复杂得多,为了与单层过盈联接区分开来,本书将两个及两个以上接触面的过盈联接设计算法定义为多层过盈联接设计算法。同时,多层过盈联接设计算法可以包含单层过盈联接设计算法。多层过盈联接通过各过盈接触层之间接触面积的大小和变形状态来影响其性能,其中各层间的过盈量是影响其连接性能的主要因素。

1.2.2 按照连接件之间接触面的受力变形性质分类

1) 弹性过盈联接。当外力小于某一极限值(通常称为弹性极限载荷)时,卸除引起变形的的外力,物体能完全恢复原来的形状,这种能恢复的变形称为弹性变形。拆卸使用后的过盈联接组件,若接触面的变形能恢复为原始尺寸,则称两连接件之间为弹性过盈联接。

2) 塑性过盈联接。当外力超过弹性极限载荷时,卸除引起变形的的外力后,连接件不能恢复原状,一部分不能消失的变形被保留下来,这种不能恢复的变形称为塑性变形。拆卸使用后的过盈联接组件,若连接件存在塑性变形,则称两连接件之间为塑性过盈联接。

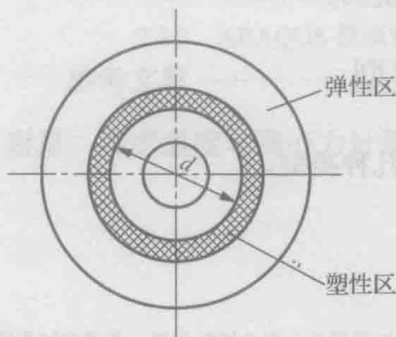


图 1.2 弹、塑性过盈联接

弹、塑性过盈联接如图 1.2 所示。其中, d 为包容件与被包容件的接触直径,塑性变形通常发生在包容件的内表面区域。在实际工况中,全部的塑性过盈联接会使连接强度大幅降低,极易破坏失效。在弹性范围内,过盈联接虽然安全可靠,但材料性能往往不能被充分利用。因此,过盈联接控制在弹、塑性范围内较为合理。

1.2.3 按照过盈联接组件的结构特征分类

1) 薄壁圆筒过盈联接。若圆筒的壁厚与半径相比是一个微小的量,则称该圆筒为薄壁圆筒。薄壁圆筒过盈联接的理论分析是假定切向应力在筒壁厚度范围内为常量,且在壁厚方向没有压力梯度。

2) 厚壁圆筒过盈联接。若圆筒的壁厚与半径相比是同一量级,则称该圆筒为厚壁圆筒。厚壁圆筒的几何形状和载荷对称于圆筒的轴线,壁内各点的应力和变形也关于轴线对称。厚壁圆筒过盈联接属于弹性力学中的轴对称问题。本书中的多层过盈联接属于厚壁圆筒过盈联接。

1.2.4 按照连接件之间接触面的形式分类

1) 圆柱过盈联接。圆柱过盈联接具有传递载荷大、可靠性高、加工方便等优点,但是该结构装拆较为困难,广泛应用于轴毂、轮圈与轮心、滚动轴承与轴的连接。

2) 圆锥过盈联接。与圆柱过盈联接相比,圆锥过盈联接容易装拆,可以用机械施加轴向力进行装拆,如胀紧连接套与锁紧盘,多采用油压法进行装配。圆锥过盈联接可分为不带中间套与带中间套两种类型。不带中间套的过盈联接用于中、小尺寸或不需多次装拆的连接,其结构如图 1.3 所示;带中间套的过盈联接多用于大型、重载和需要多次装拆的连接;若中间套经过多次装拆后,仍不符合要求,应予以更换。

中间套又可分为外锥面中间套与内锥面中间套。从制造方面考虑,把锥面放在中间套的外表面比放在内表面更易加工;从表面粗糙度方面考虑,外套内表面与主轴外表面都有可能出现孔隙,造成油压失稳。因此,若主轴外表面有孔隙,则用带外锥面的中间套,如图 1.4 (a) 所示;若外套内表面有孔隙,应该用带内锥面的中间套,如图 1.4 (b) 所示。

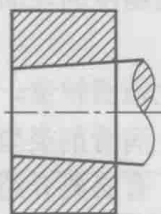
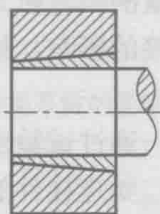
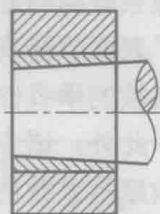


图 1.3 不带中间套的圆锥过盈联接



(a) 带外锥面的中间套



(b) 带内锥面的中间套

图 1.4 带中间套的圆锥过盈联接

1.2.5 按照过盈联接的功能分类

1) 用于传递载荷的过盈联接,如减速箱中传动齿轮与轴的连接、风电锁紧盘

低速轴与齿轮箱的连接、机车中车轴与轮心及轮心与轮毂的连接等。该类过盈联接传递载荷大，过盈量较大。

2) 用于固定连接的过盈联接，如轴承外圈与轴承座的连接、齿轮与轴套的连接等。该类过盈联接不传递载荷，受力不大，过盈量较小。

1.3 过盈联接的影响因素

过盈联接的性能受多种因素的影响，如过盈量、摩擦系数、离心力、工况温度和动载荷等。

1. 过盈量

过盈联接依靠接触面径向压力产生的摩擦力来传递载荷。随着过盈量的增加，接触压力单调递增。设计时，如果计算所得的过盈量偏小，则有可能在实际运行过程中无法传递规定载荷而失效；如果计算所得的过盈量偏大，则又可能导致装配困难，组件应力偏大，降低使用寿命。因此，设计时需要准确计算所需的过盈量。

2. 摩擦系数

过盈联接的计算中，若已知连接件的几何尺寸和过盈量，则轴向和圆周方向的承载能力取决于接触压力的大小和摩擦系数。准确选用摩擦系数对于过盈联接的计算十分重要，直接关系到过盈联接的可靠性。但是，摩擦系数的影响因素较多，准确计算摩擦系数十分困难。各国学者为此做了大量的试验和研究工作。在摩擦学发展的最初阶段，有学者曾发表过摩擦系数不变的假设；后来，库仑（Coulomb）确定了压力对摩擦系数的影响，求出了几种材料相互配合时的摩擦系数，推翻了摩擦系数不变的观点。到19世纪中叶，各国学者在理论上论证了表面粗糙度、压力、温度等对摩擦系数的影响。近年来，也有不少学者对过盈联接中摩擦系数的问题进行了大量的试验研究。例如，拉马钱德兰（Ramachandran）研究了表面粗糙度对过盈联接的影响，结果表明具有较低粗糙度的表面能够提高过盈联接的承载性能。

此外，诸多研究表明，通过试验求得的摩擦系数变化范围较宽，主要是因为影响摩擦系数的因素较多，如连接件的材料、装配方式、润滑剂类型等。在提供摩擦系数参考表时，必须指明该系数的应用条件。因此，有必要介绍摩擦系数的各种影响因素，并提供推荐摩擦系数的参考表。

1) 接触面的加工方法对压入、压出摩擦系数的影响。从表1.1中可知，接触面的加工方法对压入摩擦系数与压出摩擦系数影响较大，加工精度越高，摩擦系数越低。对于同一种加工方法，压出摩擦系数一般大于压入摩擦系数。

表 1.1 接触面加工方法与压入、压出摩擦系数的关系

加工方法	压入摩擦系数 μ_{xi}	压出摩擦系数 μ_{xe}
研磨	0.23	0.23
精磨	0.21	0.23
弹簧光刀精加工	0.19	0.229

2) 润滑剂对摩擦系数的影响。如何选择接触面润滑剂的类型是压入连接的重要问题。润滑剂可以防止连接表面在连接过程中被划伤, 但会引起连接强度的降低。根据润滑剂对连接质量影响的有关资料可知, 对于铸铁件, 润滑剂选用植物油较合适。

通过压入连接试验, 研究汞润滑剂、航空油润滑剂、无润滑剂对连接强度的影响, 结果表明, 当采用航空油润滑剂和汞润滑剂比无润滑剂的连接强度分别降低了 18% 和 210%。其他接触面润滑剂对摩擦系数的影响见表 1.2^[1]。

表 1.2 接触面润滑剂对摩擦系数的影响

润滑剂	摩擦系数	
	压入摩擦系数 μ_{xi}	压出摩擦系数 μ_{xe}
机械油	0.058	0.061
菜籽油	0.058	0.064
脂肪	0.032	0.064
无润滑剂	0.058	0.086

3) 接触压力和装配方式对接触面摩擦系数的影响。当过盈联接组件接触面的尺寸一定时, 增大接触压力, 实际的接触面积随之增大, 微观的塑性变形也会增加。随着接触压力的进一步提高, 摩擦系数会达到峰值。当接触压力足够大时, 实际的接触面积基本保持不变。此时, 摩擦系数随着接触压力的增大而逐渐减小。同时, 装配方式对摩擦系数的影响也很大。部分连接件材料采用不同装配方式时对摩擦系数的影响见表 1.3。

表 1.3 装配方式对摩擦系数的影响^[1]

装配方式	连接件材料	摩擦系数 μ	
		无润滑	有润滑
压入法	钢-钢	0.07~0.16	0.05~0.13
	钢-铸钢或优质结构钢	0.11	0.08
	钢-结构钢	0.10	0.07
	钢-铸铁	0.12~0.15	0.05~0.10
	钢-青铜	0.15~0.20	0.03~0.06
	铸铁-铸铁	0.15~0.25	0.05~0.10

续表

装配方式	连接件材料	摩擦系数 μ	
		无润滑	有润滑
胀缩法	钢-钢, 电炉加热包容件到 300℃	0.14	
	加热到 300℃后, 接触面脱脂	0.20	
油压法	钢-钢, 压力油为矿物油	0.125	
	压力油为甘油, 接触面排油干净	0.18	
	钢-铸铁, 压力油为矿物油	0.10	

4) 不同接触面质量对摩擦系数的影响。过盈联接的两个接触面质量对摩擦系数影响较大, 表 1.4 列出了不同接触面质量的摩擦系数。由表 1.4 可知, 圆锥过盈联接比圆柱过盈联接的摩擦系数大; 对于不同接触面质量, 不同的装配方式也会使摩擦系数相差较大。

表 1.4 不同接触面质量的摩擦系数

接触面质量	装配方式	摩擦系数		
		μ_c	μ_r	
磨削 ($Ra = 0.32 \sim 1.25 \mu\text{m}$)	热压配合 (缩紧)	0.24	0.38	
	冷却被包容件 (胀缩)	0.27	0.31	
	油压连接 (油)	T22	0.23	0.25
		Mc-20	0.22	—
氧化处理轴	热压配合	0.40	0.40	
	油压连接 (油)	T22	0.36	—
		Mc-20	0.31	0.34
扭转时轴镀锌, $h_{zn} = 4 \sim 15 \mu\text{m}$ 轴向剪切, $h_{zn} = 15 \sim 20 \mu\text{m}$	热压配合	0.31	0.45	
	油压连接 (油): Mc-20	0.29	0.45	
镀镉轴 $h_{cd} = 4 \sim 11 \mu\text{m}$	热压配合	0.25	—	
轴渗氮, 硬度为 5160~5300HV	热压配合	0.33	—	
	油压连接 (油): Mc-20	0.30	—	
覆盖 Al_2O_3 与油混合层	热压配合	0.49	—	

注: μ_c 为圆柱过盈联接摩擦系数, μ_r 为圆锥过盈联接摩擦系数; h_{zn} 为镀锌层厚度; h_{cd} 为镀镉层厚度。

3. 离心力

过盈联接组件多用于旋转工况, 随着旋转速度的提高, 过盈联接的设计不仅要考虑传递转矩的要求, 还必须考虑离心力形成的径向膨胀对过盈联接性能的影响。过盈联接组件在离心力作用下, 包容件接触面相比被包容件接触面产生较大的径向位移, 导致接触面之间过盈量减小, 从而导致接触面接触压力降低。当转速很高时, 接触面之间的接触压力不足以传递相应的转矩, 造成包容件与被包容件滑脱。此时, 离心力的影响成为决定性因素^[2]。

4. 工况温度

在某些特殊工况下,过盈联接组件的温度变化较大,致使零件材料发生热胀冷缩现象。温度分布的不均匀会影响过盈量的大小,零件内部产生的热应力也会影响过盈联接的性能。随着温度的升高,过盈联接组件受热膨胀,由于包容件接触面与被包容件接触面之间的膨胀程度不同,接触面过盈量会随之减小。此外,过盈联接组件内外表面的温度差也会影响膨胀大小,温度差越大,过盈联接组件接触面膨胀程度越大。同时,温度对摩擦系数也有较大影响。大多数金属的摩擦系数随温度的升高而减小,也有少数金属的摩擦系数随温度的升高而增大。

5. 动载荷

在工程实际中,绝大多数过盈联接是在动载荷作用下运行的。承受动载荷的过盈联接组件,其状态对轴类零件来说,主要承受拉伸(压缩)、扭转、弯曲等交变载荷。过盈配合的轴类零件交变弯曲分为纯弯曲、悬臂弯曲、综合载荷作用下的弯曲、平面弯曲等。过盈联接组件可同时承受固定的或变动的、轴向的或圆周方向的载荷,如风电机组中的锁紧盘、减速器中的齿轮和轴、涡轮机和液力传动装置中的轴和叶轮、机车齿轮副中的轴和齿轮等。

研究表明^[1],当轴向交变载荷的频率在 10Hz 以下时,动载荷的配合特性和静载荷相比没有什么变化。在这种情况下,任何形式的轴向载荷,其连接特性都相同。在承受轴向交变载荷时,如果其频率不超过 10Hz,可采用静载荷计算公式进行计算。

承受冲击载荷的连接状态取决于冲击能量的大小,当 $A_0/A=0.25$ 时,相比静扭转强度,冲击扭转的连接强度降低 35%~40%。其中, A_0 为轴相对套筒无位移时的冲击能量, A 为在多次冲击载荷下轴和套筒在连接处发生较小的相对位移时的冲击能量。而且,受扭转冲击时发生的累积位移与受轴向冲击时相同。例如,通常锻锤的活塞杆和锤头采用过盈联接,锻打过程中其配合部分承受轴向交变冲击载荷,设计时要考虑配合部分因受轴向交变冲击载荷所引起的疲劳问题。表 1.5 列出了低合金钢材料承受拉伸、压缩交变载荷时的疲劳极限。

表 1.5 低合金钢材料承受拉伸、压缩交变载荷时的疲劳极限

试验件	疲劳极限	
	屈服极限 σ_{w1} /MPa	强度极限 σ_{w2} /MPa
平滑	—	362.6
热压配合	117.6	156.8
热压配合(高频淬火)	284.2	332.2

在同样的拉伸、压缩交变载荷条件下,过盈配合会使疲劳极限降低 1/3。由

表 1.5 可知, 采用高频淬火可以有效地提高疲劳极限。因此热加工工艺对受交变载荷的过盈联接影响很大。

另外, 过盈联接在承受交变弯曲时对连接强度的影响因素也很多, 涉及过盈量、配合长度、包容件的刚度、载荷频率、装配方式、结构变形等。

1.4 过盈联接的装拆工艺

机械制造中过盈联接的装配方式, 按照其原理不同可分为压入法、胀缩法和油压法; 按照作用力方向不同可分为纵向过盈联接装拆和横向过盈联接装拆。本节根据作用力方向的不同分类介绍。

1.4.1 纵向过盈联接装拆

纵向过盈联接装拆是指通过施加轴向压力来进行装拆, 即利用机械压力将被包容件直接压入包容件中, 一般选用压入法。由于过盈量的存在, 在压入过程中, 接触面微观平面度的峰尖会受到擦伤或被压平, 在一定程度上会降低过盈联接的可靠性。因此, 通常会将包容件和被包容件的接触面端部设计成倒角, 在装配前对接触面进行润滑, 从而减轻压入时对接触面性能的影响。

1. 压入法的注意事项

- 1) 接触面必须无脏污、无腐蚀。
- 2) 零件压入前, 必须精确校正, 压装时必须保证足够的对中精度。
- 3) 所选压装设备要有足够的压力, 通常压出力为压入力的 1.3~1.5 倍。
- 4) 压入前, 接触面可根据连接要求均匀涂一层润滑剂, 如机油、柴油、亚麻油或油脂加机油等, 要求油中不含二硫化钼添加剂。
- 5) 连接件材料相同时, 为避免压入时发生黏着现象, 包容件和被包容件的接触面应具有不同的硬度。

2. 对压入圆柱过盈联接的结构要求

过盈联接的压力沿接触面轴向分布不均匀, 如图 1.5 所示。为了改善压力不均, 以减少应力集中, 结构上可采取下列措施^[1]。

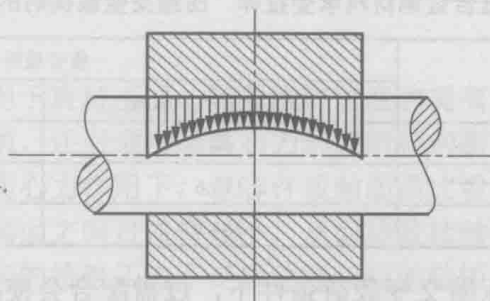


图 1.5 压力沿接触面轴向分布