

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.08.002

轴承压装工艺智能化方案设计支持系统研究^{*}

丁亚昕¹, 贺颖相¹, 胡欣欣², 赵振华², 王卫英², 王体春^{2*}

(1. 江西洪都航空工业集团有限责任公司,江西 南昌 330024; 2. 南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

摘要:针对关节轴承压装工艺过程中的智能化方案设计问题,对轴承压装工艺过程中压装力计算模型和过盈量计算模型两个重要技术环节进行了理论分析,对基于 Web 构建轴承压装工艺工程数据库技术进行了研究,提出了一种基于 B/S 架构的智能化方案设计系统的开发目标、功能模型和结构体系。采用 Java 语言和 Oracle 数据库构建了轴承压装工艺智能化方案设计支持系统,对压装力计算和过盈量计算的流程实现了代码编译,对各数据模块实现了搜索、调用等功能。研究结果表明,该系统能实时完成压装力计算和过盈量计算,能够对轴承及其安装、固定工艺中所产生的工艺数据进行统一管理与重用,系统信息检索效率高、可靠性强。

关键词:轴承;压装工艺方案设计;压装力计算;过盈量计算;智能化

中图分类号:TH162; TP311

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)08-0922-06

Design support system of the bearing press process intelligent scheme

DING Ya-xin¹, HE Ying-xiang¹, HU Xin-xin², ZHAO Zhen-hua²,
WANG Wei-ying², WANG Ti-chun²

(1. Jiangxi HONGDU Aviation Industry Group Ltd., Nanchang 330024, China; 2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Aiming at the intelligent scheme design of the joint bearing pressing process, as two important technical aspects in the joint bearing pressing process, the calculation model of pressing force and the calculation model of interference amount were analyzed theoretically. And the study of construction of database technology base on Web was carried out. Based on above work, a kind of intelligent design system based on B/S architecture were proposed, the development goal, the function model and the structure system included. By using Java language and Oracle database, the intelligent design support system for bearing pressing process was constructed, the calculation processes of pressing force and interference amount were implemented by coding, the functions of search and calling were implemented in each data modules. The results indicate that in the intelligent scheme design system, the calculations of pressing force and interference amount are completed successfully, the data about bearing in the process of installation and fixation could be unified managed and reused, the information retrieval is efficient and the reliability of system is strong.

Key words: bearing; pressing process scheme design; calculation of pressing force; calculation of interference amount; intelligent

0 引言

过盈联接是利用过盈配合将包容件和被包容件联

接起来。过盈联接的装配方法主要有以下两种:①压入法,利用压装机等设备将被包容件压入到包容件中;②温差法,根据金属的热胀冷缩性质,使零件便于装配,然后恢复到常温下实现过盈联接^[1]。

收稿日期:2016-04-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51005114);中国博士后科学基金资助项目(2013M540445);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(NS2014050)

作者简介:丁亚昕(1973-),男,江苏如皋人,工程师,主要从事机械加工工艺技术方面的研究. E-mail:18379136816@139.com

通信联系人:王体春,男,副教授,硕士生导师. E-mail:wangtichun2010@nuaa.edu.cn

在对过盈联接的分析研究方面,国内外主要是对过盈联接影响主要因素的研究及这些因素对其过盈联接产生的影响。Parsons 和 Cole^[2]早在 1968 年,以拉美公式为理论基础推导了厚壁圆筒理论^[3],该理论在确定过盈量范围及结合处表面间的应力、应变方面应用较为广泛,其理论前提是包容件与被包容件的结合表面都为理想表面,处于平面应力状态;包容件与被包容件在沿轴线方向上接触应力为一常数;包容件与被包容件的材料都处于弹性变形范围,且其弹性模量都为一常数。G. M. Yang 与 J. C. Coquille 等人^[4]研究了结合处表面的粗糙度对其过盈量的影响。厚壁圆筒理论的适用前提是联接两零件的接触面为理想表面,实际包容件及被包容件的接触表面是凹凸不平的。他们假设了接触表面中一方对另一方而言是非常光滑的,将接触表面的实际过盈进行了修正。张洪武,廖爱华等人^[5]采用有限元参数二次规划法,并结合多重子结构技术,充分利用两种方法各自的长处分析求解柴油机涡轮增压器叶轮与轴套、轴套与轴的三维弹塑性有摩擦接触问题,针对不同的过盈量、摩擦因数、转速和轴套壁厚进行了大量计算,获得了叶轮、轴套与轴之间接触应力的相应分布规律,研究了过盈量、摩擦系数、材料参数及结构参数等对接触应力的影响。大连理工大学的刘宝庆^[6]从大连重工起重集团减速机厂风机设备的工程实际背景出发,从理论和试验的角度对过盈联接的摩擦系数进行分析研究,采用数值分析方法首先从理论上对过盈联接摩擦系数进行研究分析,利用过盈联接的有限过盈联接中的包容件与被包容件配合表面摩擦系数进行有限元仿真分析及试验研究,得出了通过有限元仿真分析和过盈装配试验研究联合确定配合表面摩擦系数的方法。

在现代企业中,信息和数据的量大、来源多,要实现信息和功能的全面集成,必然要充分依靠计算机信息技术和网络资源,建立一个完善而流畅的企业信息管理系统,使企业内部管理人员与操作人员成为一个有机整体一样有条不紊地运作,是企业管理的必然选择^[7-8]。本研究在对过盈连接的理论分析基础上,引入基于计算机信息管理技术的方案设计,对轴承压装工艺过程中压装力和过盈量两个模块进行智能化设计。

1 轴承压装工艺关键支撑技术与算法

1.1 压装力计算模型

普通情况下,轴承外圈和轴承座孔的紧配合被视为组合筒问题。如关节轴承外圈与轴承座孔在过盈联

接时,轴承座孔将向外发生膨胀,座孔孔径增大,轴承外圈将向内发生收缩,轴承外径变小^[9-10]。

设轴承外径 $D = 2b$, 轴承外圈内侧平均直径 $d_1 = 2a$, 轴承座外圆直径 $D_1 = 2c$ 。由弹性力学理论可以列出:

外圈外半径处的径向位移为(单位 mm):

$$\frac{\delta_1}{2} = -\frac{pb}{E_1} \left(\frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} - \nu_1 \right) \quad (1)$$

座孔的径向位移为(单位 mm):

$$\frac{\delta_2}{2} = \frac{pb}{E_2} \left(\frac{c^2 + b^2}{c^2 - b^2} + \nu_2 \right) \quad (2)$$

轴承外圈与轴承座孔之间理论过盈量为(单位 mm):

$$\delta = 2 \left(\left| \frac{\delta_1}{2} \right| + \left| \frac{\delta_2}{2} \right| \right) \quad (3)$$

将式(1)、式(2)代入式(3)中得:

$$p = \frac{\delta}{2b \left[\frac{1}{E_1} \left(\frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} - \nu_1 \right) + \frac{1}{E_2} \left(\frac{c^2 + b^2}{c^2 - b^2} + \nu_2 \right) \right]} \quad (4)$$

轴承压装力理论计算公式(单位 N):

$$F = p \cdot S \cdot f \quad (5)$$

将式(4)代入式(5)得:

$$F = \frac{\pi/\delta}{\frac{1}{E_1} \left(\frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} - \nu_1 \right) + \frac{1}{E_2} \left(\frac{c^2 + b^2}{c^2 - b^2} + \nu_2 \right)} \cdot x \quad (6)$$

由上述公式推导可知,当轴承与轴承座确定的情况下,从理论上压装力 - 位移($F - x$)曲线只与过盈量有关,通过考察曲线上某点压装力的大小,可以知道该处过盈量的变化,有利于监控整个压装过程,有利于对轴承压装质量的综合判定。

1.2 过盈量计算模型

圆柱过盈配合较为广泛地应用于工程实际中^[11],然而,设计人员在进行设计时如果考虑不周或使用的工艺方法不当,将会导致包容件或被包容件遭到破损,或会在受载时产生滑动。因此需要通过分析计算来估测包容件及被包容件需要多少过盈才满足工程实际要求,以确保包容件及被包容件过盈装配后各自的强度及联接可靠性。

具体算法步骤如下:

(1) 计算结合压力 $P_{f\min}$

如果联接件受到扭矩 M 作用时,则:

$$P_{f\min} = \frac{2M}{\pi d_f l_f} \quad (7)$$

如果联接件受到轴向力 F_x 作用时,则:

$$P_{f\min} = \frac{2F_x}{\pi d_f l_f} \quad (8)$$

根据所求得的 $P_{f\min}$ 值, 计算必需的最小有效过盈量 $\delta_{e\min}$:

$$\delta_{e\min} = e_{a\min} + e_{i\min} = \frac{p_f d_f}{E_a} \left(\frac{1 + q_a^2}{1 - q_a^2} + \nu_a \right) + \frac{p_f d_f}{E_i} \left(\frac{1 + q_i^2}{1 - q_i^2} - \nu_i \right) \quad (9)$$

由于联接零件表面粗糙不平, 对计算出的最小有效过盈量进行修正求得所需的最小过盈量为:

$$\delta_{\min} = \delta_{e\min} + 2(1.6R_a + 1.6R_i) \quad (10)$$

(2) 计算最大结合压力

根据包容件和被包容件所用材料的屈服强度, 其包容件和被包容件容许的最大结合压力分别为:

$$P_{f\max} = a\sigma_{sa} \quad (11)$$

被包容件不产生塑性变形所容许的最大结合压力为:

$$P_{f\max} = c\sigma_{si} \quad (12)$$

选择 $P_{r\max}$ 为: $P_{f\max}$ 和 $P_{f\max}$ 中的最小值。

联接件不产生塑性变形的传递力为:

$$F_t = p_{f\max} \pi d_f l_f \quad (13)$$

包容件不产生塑性变形所允许的最大直径变化量:

$$e_{a\max} = \frac{p_{f\max} d_f}{E_a} \left(\frac{1 + q_a^2}{1 - q_a^2} + \nu_a \right) \quad (14)$$

被包容件不产生塑性变形所允许的最大直径变化量:

$$e_{i\max} = \frac{p_{f\max} d_f}{E_i} \left(\frac{1 + q_i^2}{1 - q_i^2} - \nu_i \right) \quad (15)$$

由此可以推出联接件不产生塑性变形所允许的最大有效过盈量为:

$$\delta_{e\max} = e_{a\max} + e_{i\max} = \frac{p_{f\max} d_f}{E_a} \left(\frac{1 + q_a^2}{1 - q_a^2} + \nu_a \right) + \frac{p_{f\max} d_f}{E_i} \left(\frac{1 + q_i^2}{1 - q_i^2} - \nu_i \right) \quad (16)$$

(3) 配合的选择

针对选出的配合, 其最大过盈量 [δ_{\max}] 和最小过盈量 [δ_{\min}] 应满足下列要求:

要保证过盈联接传递给定的载荷:

$$[\delta_{\min}] > \delta_{\min} \quad (17)$$

要保证联接件不发生塑性变形:

$$[\delta_{\max}] \leq \delta_{e\max} \quad (18)$$

轴承装配规范标准模块, 对基孔制配合, 其值等于轴的基本偏差的绝对值; 对基轴制配合, 其值等于孔的基本偏差的绝对值。初选基本过盈量 δ_b , 一般情

况取 $\delta_b = \delta_{\min} + \delta_{\max}$, 当要求有较大的联接强度时, 可取:

$$\delta_{\min} < \delta_b < \frac{\delta_{\min} + \delta_{\max}}{2} \quad (19)$$

1.3 基于 Web 的轴承压装工艺工程数据库构建技术

在实际研发生产中, 大量轴承资料均为书籍类纸质材料, 翻阅起来较麻烦, 且年数久了损坏情况严重, 针对这些资料可以实现电子化阅读查看, 利用数据库技术存储, 再利用 Web 技术构建工程数据库^[12]。在数据库中, 建立表格需要根据数据类型和大小来选择类型, 一般包括 4 个部分: 主键、字段、数据类型、大小。其中主键在任何大小、性质的表中有且仅有一个。

数据库建表内容如图 1 所示。

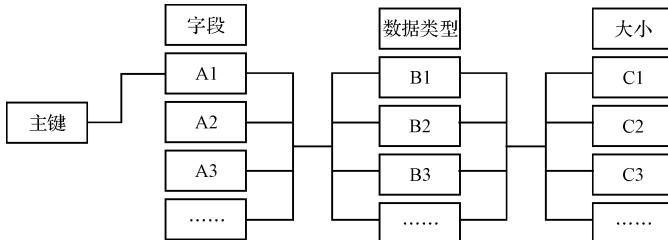


图 1 数据库建表内容

大型数据库如 SQL Server、Oracle、MySQL 等各自拥有一套相关标准, 为了解决面向对象与关系数据库存在的互不匹配的现象, 本研究利用对象关系映射 (Object Relational Mapping, 简称 ORM) 技术^[13], 即使用描述对象和数据库之间映射的元数据, 将 Java 程序中的对象自动持久化到关系数据库中。本质上就是将数据从一种形式转换到另外一种形式, 继而 Java 程序中用 JS/CSS 技术将所有数据显示在电脑 Web(浏览器)中。

2 方案设计支持系统总体设计

2.1 方案设计支持系统总体开发目标

针对轴承压装工艺智能化方案设计中存在的问题, 本研究开发了基于知识管理关键技术的轴承压装工艺方案设计支持系统, 包括以下几个方面:

- (1) 轴承压装工艺方案设计中关键技术环节的计算机辅助设计实现;
- (2) 对各种类型轴承数据进行统一管理与重用;
- (3) 对轴承安装、固定工艺中所产生的工艺数据进行统一管理与重用;
- (4) 高效率、高准确度地对轴承压装工艺设计信息进行检索、设计重用与共享。

2.2 方案设计支持系统功能模型设计

轴承压装工艺方案设计支持系统采用采用结构化、层次性模型,该系统分为轴承库模块、材料库模块、实测数据处理模块、计算与分析模块、轴承装配参考资料模块及用户管理模块组成。

轴承库主要包含滚动轴承和关节轴承两部分,具体到某一种轴承包含与轴承相关的属性信息,包括轴承内径、外径、宽度、转速、重量、额定静载荷及额定动载荷等信息。

材料库综合了轴承及轴承座所用到的材料信息,每种材料包括弹性模量、泊松比、质量密度、屈服强度、线膨胀系数等属性信息,还可以添加材料手册以便查阅。

实测数据处理模块包括压装力实验、拉脱力试验、气动力矩实验3种数据的上传和计算。

计算与分析模块由压装力计算、过盈量计算及仿真模块3部分组成,压装力计算可以利用弹性力学理论对理想情况下的压装力进行估算,而过盈量模块是根据传递力或扭矩的大小推算需要的过盈量范围,两者相互结合,仿真模块是通过仿真软件对轴承压装的模拟分析,存储在该模块中以供工程技术人员作为参考。

轴承装配参考资料模块包含了企业内部标准、轴承安装标准(包括国标、行标、军标等)、轴承安装规范、轴承固定规范4个部分组成。

用户管理模块是对使用用户的管理,具有创建新的用户及根据具体用户进行权限的分配等功能。

2.3 方案设计支持体系结构构建

该系统是轴承压装工艺智能化方案设计的信息集成平台,是构建企业内部研发管理标准和提高研发人员高效率工作的计算机辅助设计系统。该系统主要由3个层面组成:应用层、支持层和基础层。将MyEclipse作为集成开发环境,底层数据库采用Oracle 11g。

(1)应用层是直接与用户关联的部分,是设计人员利用本系统进行轴承压装工艺方案设计的应用工具集;同时,应用层负责用户和系统间的数据交互,接受用户的输入,将用户需要的数据以适当的形式输出。

(2)支持层是该系统实施的基础,由轴承库、材料库、实验数据、计算与分析等数据库构成。

(3)基础层主要指操作系统、网络环境和计算机硬件等为系统正常运行提供基础条件的软件与硬件环境。系统的体系结构如图2所示。

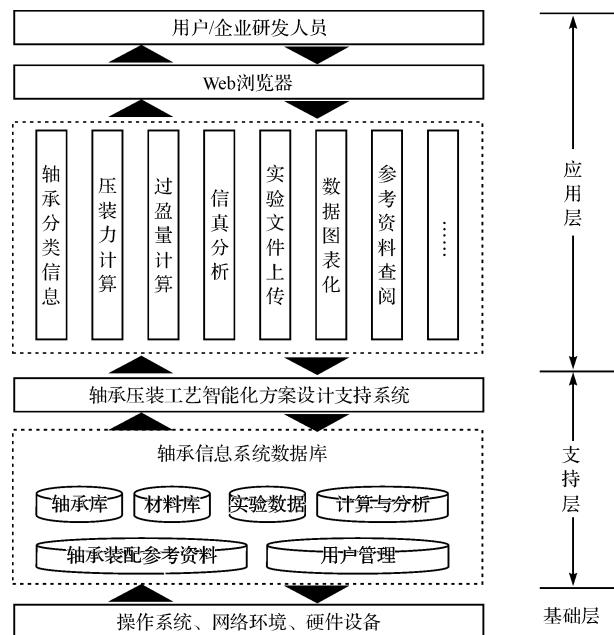


图2 系统的体系结构

3 方案设计支持系统的技术实现

3.1 压装力计算支持系统实现

一般情况下,轴承或衬套与座孔采用过盈配合进行装配联接,这种联接方法一般是在利用压装机等压力设备将轴承或衬套直接压入到座孔使其配合起来,要通过设计联接件的内外径尺寸公差来保证两零件装配完毕后形成过盈配合。根据弹性力学解析计算,可以推导出在轴承或衬套与座孔压装配合情况下,压装力与结合长度的函数关系。

压装力计算分析的算法流程如图3所示。

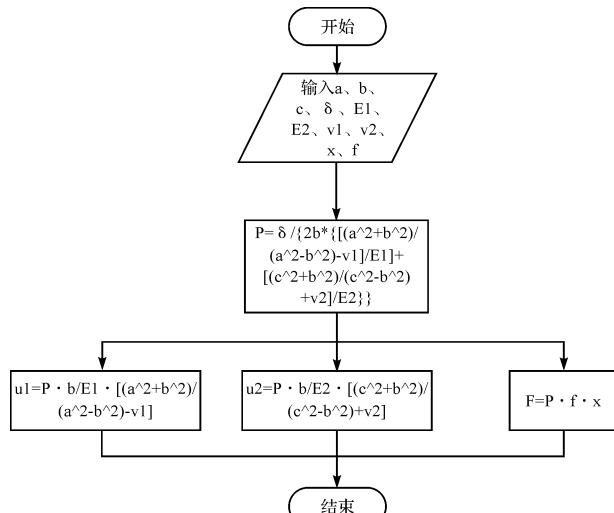


图3 压装力计算流程图

该算法系统实现的部分界面如图4所示,经测试,达到了可用性目标。

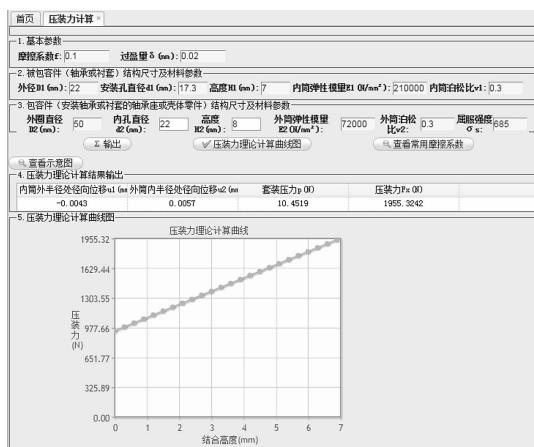


图 4 压装力计算模块界面

3.2 过盈量计算支持系统实现

配合作件的强度是指包容件与被包容件装配完毕后,其各自的应力不能高于材料本身允许的屈服强度,依据联接件要传递的扭矩或最大轴向力来确定其过盈量的大小。

其算法流程如图 5 所示。

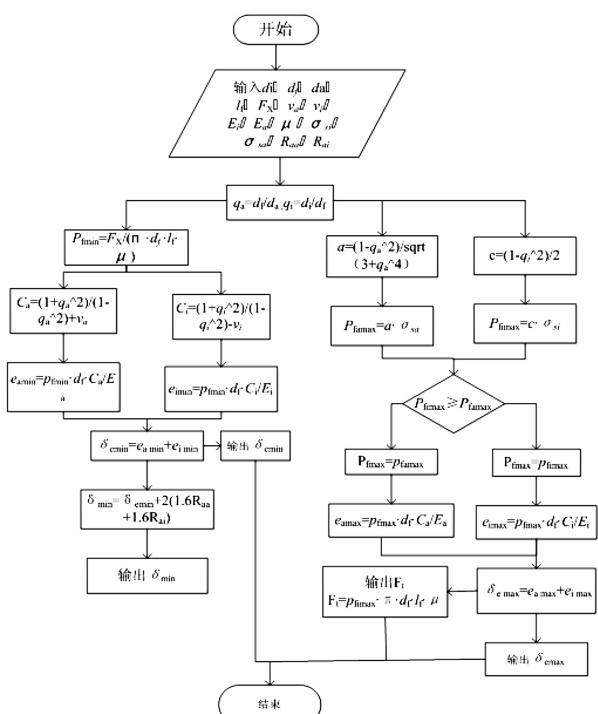


图 5 过盈量计算流程图

该算法系统实现的部分界面如图 6 所示。



图 6 过盈量计算界面

经测试,系统达到了可用性目标。

3.3 基于 Web 的工程数据库实现

针对开发轴承压装工艺智能化方案设计系统的开发目标、功能模型以及体系结构,本研究设计出基于 B/S 架构的知识管理系统,该系统拥有 6 个功能模块,包括轴承库、材料库、实测数据模块、计算与分析模块、轴承装配参考资料模块、用户管理模块。经测试,达到了预期的开发目标和可用性目标。以轴承数据为例,考虑到轴承压装工艺方案设计的多样性与复杂性,需要建立一个轴承数据库对轴承进行管理,该数据库的主要功能是将企业使用的各类轴承及相关的结构、尺寸、载荷等信息存储起来。该轴承数据库的功能十分强大,具有很好的移植性及可重用性,使用起来十分方便。

轴承库模块界面如图 7 所示。



图 7 轴承库模块界面

轴承库模块主要包含滚动轴承和关节轴承两大类,具体到某一种轴承包含与轴承相关的属性信息,包括轴承内径、外径、宽度、极限转速、重量、额定静载荷、额定动载荷等。以关节轴承为例说明轴承模块中具体的功能,其主要功能包括添加、修改、删除、刷新、查询、打印、BOM 表生成、示意图,其界面如图 8 所示。

轴承型号	外形尺寸 mm								允许载荷 N		单位理论重量 kg
	d	D	b	B	d1	r	β	活动载荷用	固定结合用		
U10	10	20	6	9	16	0.5	± 8	23520	47040	0.012	
U12	12	22	7	10	18	1	± 8	30870	61740	0.017	
U15	15	28	8	12	23	1	± 8	50715	101430	0.032	
U17	17	32	10	14	26	1	± 8	63700	127400	0.048	
U20	20	35	12	16	29	1	± 8	85260	170520	0.065	
U25	25	42	16	20	35	1	± 8	13720	274400	0.115	
U30	30	47	18	22	40	1	± 8	176400	352800	0.158	
U5	5	14	4	6	10	0.5	± 8	9800		0.004	
U6	6	14	4	6	10	0.5	± 8	9800		0.004	
U8	8	17	5	8	13	0.5	± 8	15925	31850	0.008	

图 8 轴承库模块界面

经测试,该模块系统达到了可用性目标。

4 结束语

本研究以弹性力学理论为基础讨论了理想情况下

轴承压装力与结合长度之间的关系,推导了其运算公式;在针对过盈连接的理论分析基础上,引入了基于知识管理关键技术的轴承压装工艺方案设计,对压装力和过盈量两个模块进行了智能化设计,并实现了基于Web的工程数据库。此系统由轴承库模块、材料库模块、实测数据处理模块、计算与分析模块、轴承装配规范标准模块及用户管理模块组成。可以在轴承库、材料库中实现对轴承、材料实现增、删、改、查等功能,实测数据处理模块可以实现对进行过试验的试验数据进行存储以方便查询,计算与分析模块中是以弹性力学理论为基础对轴承在理想装配情况下的计算分析,轴承装配参考资料模块能够实现对轴承装配相关的标准、规范信息的全面收集,能够让用户高效率地、尽可能多地检索到与轴承装配相关的资料信息。

参考文献(References):

- [1] 吴珊珊. 机械装配中的过盈联接装配[J]. 现代冶金, 2015, 43(5):28-29.
- [2] CHENG W, CHI C, WANG Y, et al. Volume calculation of the spur gear billet for cold precision forging with average circle method[J]. 煤炭学报(英文版), 2014, 1(4):456-462.
- [3] FELLNER T, ZUKOWSKI E, WILDE J, et al. Modeling of thermoplastic materials for the process-simulation of press-fit interconnections on moulded interconnected devices [J]. Journal of Electronic Packaging Transactions of the

Asme, 2012, 134(3):25-32.

- [4] YANG G M, COQUILE J C, FONTAINE J F, et al. Influence of roughness on characteristics of tight interference fit of a shaft and a hub[J]. Solids and Structures, 2001, 38(S42-43):7691-7701.
- [5] 张洪武,廖爱华,吴昌华. 压气机过盈配合的弹塑性有摩擦接触的研究[J]. 工程力学, 2007, 24(1):186-192.
- [6] 刘宝庆. 过盈联接摩擦系数的理论及试验研究[D]. 大连:大连理工大学机械工程学院, 2008.
- [7] 刘思聪. 过盈联接零件装配的力-位移在线监控系统的研究[D]. 重庆:重庆理工大学机械工程学院, 2015.
- [8] 林 辉,赵文礼,程 琼,等. 过盈配合的轮毂轴承芯轴有限分析[J]. 机械, 2014, 41(1):27-31.
- [9] 刘 健. DCT壳体轴承外圈压装 CAE 分析与试验研究[D]. 合肥:合肥工业大学机械工程学院, 2013.
- [10] 田晓春. 铁路货车滚动轴承压装质量不合格的原因分析及预防措施[J]. 铁道技术监督, 2014, 42(1):30-32.
- [11] 陶德峰. 多层圆筒过盈连接设计方法及试验研究[D]. 太原:太原科技大学机械工程学院, 2013.
- [12] 邹青春. Web 数据库安全体系构建策略探讨[J]. 电子技术与软件工程, 2014, 4(11):203-204.
- [13] LUKYANCHIKOV O, PLUZHNIK E, PAYAIN S, et al. Using object-relational mapping to create the distributed databases in a hybrid cloud infrastructure[J]. International Journal of Advanced Computer Science & Applications, 2015, 5(12):61-64.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

丁亚昕,贺颖相,胡欣欣,等. 轴承压装工艺智能化方案设计支持系统研究[J]. 机电工程, 2016, 33(8):922-927.

DING Ya-xin, HE Ying-xiang, HU Xin-xin, et al. Design support system of the bearing press process intelligent scheme[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016, 33(8):922-927.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>