

关于高档数控机床关键功能部件可靠性技术研究的探讨

内容摘要：产品可靠性与寿命评估方法设计科学合理至关重要，真实地反映产品的可靠性对于建设节约型社会十分有益，基于此我们设计的产品性能可靠性与寿命评估方法是：包括：应用贝叶斯方法得到单元可靠性分布参数和屏蔽概率的验后分布；可靠性参数的验后概率密度函数；可靠性参数 Bayes 估计。

国内数控机床近些年来得益于政府政策的强力支持、广大用户的鼎力相助以及机床行业的不懈努力，技术水平迅速提升，产品品种不断扩大，市场占有率持续攀升，机床产业发展取得了显著的进步，得到了广泛的认知。但是众所周知，机床行业能够提供国民经济建设的高端产品依然有限，高档数控机床依赖进口的局面依然存在，究其原因，主要是国产机床精度保持性差、性能可靠性低，满足不了用户的需求，产生这些问题的主要原因是：国产关键功能部件技术水平低、精度保持性差、性能可靠性不高。而功能部件行业企业规模一般较小，技术力量单薄，资金有限，难于吸引高端人才对于产品可靠性研究，是导致产品可靠性差的根源，在此笔者结合近些年来在工作实践，对滚动功能部件产品可靠性技术进行了有益的探索，愿与有关专家、同行进行交流，从而使得功能部件行业可靠性试验和寿命研究迈上一个新台阶，促进行业技术发展。

根据一般性产品可靠性研究的规律，结合滚动功能部件行业的实际，我们对滚动功能部件产品可靠性研究做了以下设计，共分五部分：指标确定及体系研究、试验与失效分析、产品性能可靠性与寿命评估方法、试验标准制定、可靠性管理技术，并进行了部分试验，现就可靠性规划及研究思路简要予以说明：

1、可靠性指标确定及体系研究

(1) 可靠性指标确定

为设计要求制定、可靠性管理实施提供依据：国内目前没有建立起滚动功能部件的可靠性指标体系，各厂家产品出厂前不能完整准确地回答相关可靠性问题，突出表现在没有确切给出针对产品可靠性定义的五要素，指标笼统，缺乏针对性，无法进行量化考核。为此，必须建立起科学完整的可靠性指标体系和指标确立方法。

(2) 体系设计的研究内容

主要研究内容：

① 高档数控机床可靠性指标分配方法研究。与高档数控机床用户联合开展整机可靠性指标的论证，创新传统可靠性分配方法，研究确定合理的可靠性分配技术。

② 论证和确立高档数控机床可靠性指标和要素组成，形成完整的指标体系。

③ 建立科学合理的可靠性指标分配原则。根据机床各组件的功能、重要度，综合考虑经济、技术及资源等内容，确定相应可靠性指标的动态影响因子，指导设计、制造和采购组件，促进可靠性不断增长。

2、产品可靠性试验与失效分析

可靠性试验费时、费力、费物，可靠性大纲的试验计划安排应该尽可能把可靠性性能加载跑合试验、性能测试、环境应力筛选试验与耐久性（寿命）试验结合起来，构成一个比较全面的可靠性综合试验设计，这样可以避免重复试验，且不遗漏在单项试验中经常易受忽视的缺陷，从而节省时间、费用。性能测试分为试验前的性能测试、试验中的性能测试、实验后的性能测试，以积累性能变化的规律和基础数据。

我们设计的产品可靠性试验分两类，其一是综合试验，其二是工程试验。

综合试验首先要设计制造试验台，其次根据产品可靠性综合试验计划安排试验，根据得到的试验结果，分析试验条件、环境条件、失效模式、失效判据、任务剖面、试验剖面、性能检测点及检测周期等，为产品设计改进提出建议。

可靠性工程试验，目的是充分暴露问题，迫使存在于产品中的会变成早期故障的缺陷提前变成故障，以便在产品投入现场使用前就加以纠正。

（1）可靠性综合试验台研制

研究内容包括：

① 采用微机控制+电液伺服加载+可靠性综合试验方案。研究各类滚珠丝杠副和直线导轨副的工作特征，研制符合其加载方式、装夹要求和工作模式的可靠性综合试验台。试验台不仅用于性能检测，还能完成疲劳可靠性试验，可进行断裂力学研究和疲劳强度试验研究。该试验台要按照相关国家标准进行研制。

② 试验台软件系统设计研制。根据试验台总体方案要求，按照使用方便，功能完备的原则研制系统软件。主要内容包括试验参数设置、试验控制、数据分析与处理，实时静动态显示及必要的统计和打印功能等。

③ 可靠的数字集成化伺服驱动、控制和检测技术，确保激振系统工作稳定，性能可靠。实现无人监控下自动试验，完成预定试验任务后，系统自动安全停机，并存储结果和试验历程。

(2) 可靠性综合试验

研究内容包括：

①模拟加载性能试验：模拟实际运转工况的试验方法研究；通过载荷采集和分析，获得需要的载荷谱，并通过试验台的随机载荷加载方式实施模拟加载。

②加速寿命试验：①统计模型研究。主要基于一系列失效时间分布、寿命-应力关系、试验状态（如记录的数据、并存的失效机理、不断变化的应力等）开发新的统计模型。②环境应力、应力水平、试验顺序研究。研究每个应力水平上分配的时间、项目的优化方法；③加速寿命试验中设计额定应力最大值和设计应力极限值研究。④破坏性评估试验中应力步进的步长研究。

③失效分析：利用失效模式与失效影响及致命度分析（FMECA）对试验结果进行定性及定量的分析，给出滚珠丝杠副可靠性的薄弱环节及关键件。

(3) 可靠性工程试验

研究内容包括：

① 环境应力筛选是一工艺，不是一种试验，根据试验剖面，设计环境应力加载方式与方法，进行筛选试验，筛除早期故障，目的是迫使存在于产品种的会变成早期故障的缺陷提前变成故障，以便在产品投入现场使用前就加以纠正。

② 通过统计模型、环境应力、应力水平、试验顺序研究，加速寿命试验中设计额定应力最大值和设计应力极限值研究，破坏性评估试验中应力步进的步长研究，进行加速寿命试验，目的是让一台或多台试验产品承受加强的环境应力，从而使失效显现的比正常使用环境要快。

3、产品性能可靠性与寿命评估方法

产品可靠性与寿命评估方法设计科学合理至关重要，真实地反映产品的可靠性对于建设节约型社会十分有益，基于此我们设计的产品性能可靠性与寿命评估方法是：

(1) 滚动功能部件寿命分布特征的威布尔分布参数确定与模型建立

对经过筛选的有效可靠性数据进行参数回归分析与假设检验，提出估计威布尔分布三参数的二阶矩方法和应用无约束优化方法求解似然函数的方法；给出寿命分布形状参数、位置参数、尺度参数，进而建立威布尔分布模型，为寿命预测、维修策略制定提供依据，对数控机床整机的可靠性预测提供理论支撑。

(2) 基于贝叶斯方法的滚动功能部件产品性能可靠性与寿命评估方法

研究含有屏蔽寿命数据的寿命服从 Weibull 分布下小样本数据的贝叶斯统计分析的可靠性评估方法。包括：应用贝叶斯方法得到单元可靠性分布参数和屏蔽概率的验后分布；可靠性参数的验后概率密度函数；可靠性参数 Bayes 估计。

4、可靠性试验标准制定

根据前面可靠性综合试验、可靠性工程试验的数据，加之试验前各种信息、专家主观判断、历史数据等，结合现场试验数据，经过筛选有效数据进行参数回归分析与假设检验，给出产品寿命分布的形状参数、位置参数、尺度参数，建立威布尔分布模型，进而进行性能可靠性的评估与预测。对工作台系统进行可靠性综合评估。包括：①建立可靠性框图；②确定评定模型及估计方法；③获取实验数据获验前信息；④利用评定模型对可靠性特性进行估计，确定可能的置信区间。

主要研究内容有：

- (1) 制定各项试验的试验程序；
- (2) 制定各类试验的合理试验顺序；
- (3) 选择试验项目的原则和依据；
- (4) 各类可靠性试验的具体内容、方法、试验设备要求、数据采集和处理方法、试验结果判定准则等；
- (5) 经典试验案例举例和分析。

5、产品可靠性管理技术

主要研究内容有：

(1) 开发设计的可靠性管理。研究设计过程可靠性管理要求，进行可靠性论证，在此基础上提出具体可靠性技术要求。研究设计过程可靠性工作内容包括：保证产品可靠性的技术手段及有关设计措施，保证产品可靠性的组织与管理。

(2) 生产过程的可靠性管理：两大重点：最大限度地排除与控制各种不可靠性因素；最大限度地检出不可靠因素造成的缺陷。制定生产过程可靠性管理的内容。

(3) 使用维修过程的可靠性管理：维修数据的记录与整理分析；制定维修策略和手段。

通过可靠性综合试验计划的制定与实施，可以摸清滚珠丝杠副、直线导轨副的性能保持性的寿命分布特征，进而给出定量的可靠性评估结果，完善国内该领域的研究内容，形成比较完善的可靠性试验体系，使之能够指导滚动功能部件产业的发展。

总之，为了整体提高高档数控机床（高速、重载条件下）关键功能部件（滚珠丝杠、直线导轨等）的可靠性，应该制定能够监督和指导研制与生产阶段的可靠性试验标准。有关单位在进行技术改进、新产品设计研制和生产定型阶段，参照或参考该试验标准进行合理、全面和完整的试验考核。通过本课题的研究实施，广泛研究国内外相关试验案例，参考相关的国（军）标、行业标准和企业标准，制定较为详细的，又灵活可用的各项可靠性试验标准，规范和统一各阶段的试验内容、方法，试验数据处理方法和判定准则，有利于比较和评价产品可靠性，并整体提高产品的可靠性水平。