

2022年度福建省科学技术奖 提名项目（候选人）公示内容

高校（盖章）：三明学院

2号项目

- 1.项目名称：小样本高可靠性产品寿命评估方法及优化设计研究
- 2.提名奖种：福建省自然科学奖
- 3.提名单位：福建省教育厅
- 4.项目简介：

可靠性是产品质量最为重要的定量指标，高可靠性产品在较短时间内几乎无失效数据或寿命数据样本量不大，基于大样本的可靠性评估方法不再适用。在小样本下，如何使用少量的信息对高可靠性产品进行建模和可靠性评估，同时保证统计推断的稳定性，是一个极大的挑战。

主要研究内容：一是结合客观贝叶斯理论构建小样本长寿命复杂产品可靠性评估方法，有力解决可靠性评估中样本量不足问题；二是构建小样本贝叶斯优化设计框架，提出相应优化算法解决最优解问题；三是对屏蔽系统可靠性不可估问题进行研究，构建屏蔽数据模型贝叶斯分析方法的理论框架。主要科学发现点如下：

一、首次提出了客观贝叶斯可靠性分析理论框架，破解了无历史信息可用时小样本下可靠性难以评估的难题。传统的无信息先验存在致命缺点：在中小样本下估计不稳定及频率意义下的概率不匹配问题。本项目提出了非传统的 Reference 先验，它有效地避免近似误差，且对样本容量要求很低，具有非常好的频率稳定性。解决了小样本下可靠性评估中样本量不足问题和先验选择的主观性问题。

二、首次提出了基于小样本下的贝叶斯最优设计理论框架，解决了相应全局最优解难以确定问题。传统优化设计都是基于大样本条件下的 D-准则或 V-准则，在小样本下，这些准则不再有效。本项目突破原来（大

样本)假设的限制,提出了一种全新的 Reference 最优先验试验准则,构建了效率高和稳定性强的优化算法,解决了二十多年来小样本加速寿命试验设计无法解决的国际难题。

三、首次提出了失效信息屏蔽时系统可靠性分析的理论框架,解决了屏蔽时可靠性不可估问题。传统的竞争失效数据分析都假定失效原因已知,实际中精确的失效原因通常未知,经典统计方法无法对参数进行识别估计。本项目首次引入了辅助变量用于标记失效原因,建立了屏蔽数据的多层贝叶斯分析理论框架,解决了极大似然估计不可识别问题。

这些新理论方法突破了传统可靠性分析依赖于经典统计大样本或近似方法的约束,有效解决了小样本信息量少下长寿命产品可靠性难以评估和推断问题;受到国际著名的可靠性统计专家 W.Meeker, M.Xie, N.Balakrishnan 等正面评价,被美国麻省大学达特茅斯分校,加拿大高等理工大学,印度理工学院,德黑兰大学,新加坡管理大学,北京航空航天大学,厦门大学,西北工业大学等学者们的引用和推广。本成果是完成人主持多项国家自然科学基金项目的结晶,在权威期刊 Applied Mathematical Modelling, Computational Statistics and Data Analysis, IEEE Transaction on Reliability 等发表论文 100 多篇,SCI 收录 60 多篇,SCI 总引 500 多次;5 篇代表性论文 SCI 总引 103 次,SCI 他引 75 次。

5. 主要完成单位:

三明学院、华东师范大学、浙江工商大学

6. 主要完成人及其贡献:

第一完成人管强:建立了客观贝叶斯可靠性分析的理论框架,解决了小样本下长寿命产品可靠性评估中样本量不足问题和先验选择的主观性问题;提出了基于小样本下的贝叶斯最优设计准则,解决了小样本下加速寿命试验优化设计难以实施难题。推动了小样本情形下寿命试验的最优设计理论。对本项目的发现点一和二做出了贡献。

第二完成人汤银才:提出了可靠性中客观贝叶分析的理论,成功把这理论应用到可靠性领域,引领了客观贝叶斯方法在可靠性领域的发展。提出竞争相依或屏蔽场合贝叶斯统计分析的理论框架,推动了屏蔽数据统

计方法的发展和应用。对本项目的发现点一和三做出了贡献。

第三完成人徐安察:建立了竞争相依或屏蔽数据的多层贝叶斯方法和非参数贝叶斯方法,解决了屏蔽时可靠性不可估问题。建立了贝叶斯reference 最优设计准则,并给出具体的优化设计方案;对本项目的发现点二和三做出了贡献。

7. 主要知识产权目录:

无

8. 代表性论文专著目录:

[1] *Applied Mathematical Modelling*. Objective Bayesian analysis accelerated degradation test based on Wiener process models[J]. 40(4), 2743-2755,2016. 第一作者/管强、第二作者/汤银才、第三作者/徐安察.
(论文第一单位三明学院)

[2] *Applied Mathematical Modelling*. Objective Bayesian analysis for competing risks model with Wiener degradation phenomena and catastrophic failures[J], 74: 422-440, 2019. 第一作者/管强、第二作者/汤银才、第三作者/徐安察. (论文第一单位三明学院)

[3] *Computational Statistics and Data Analysis*. Objective Bayesian Analysis For Bivariate Marshall-Olkin Exponential Distribution[J]. 64, 299-313, 2013. 第一作者/管强、第二作者/汤银才、第三作者/徐安察.
(论文第一单位三明学院)

[4] *Acta Mathematica Applicata Sinica, English series*, Bayesian Planning of Optimal Step-Stress Accelerated Life Test for Log-Location-Scale Distributions[J], 34(1), 51-64,2018.第一作者/管强、第二作者/汤银才(论文第一单位三明学院)

[5] *Communications in Statistics-Simulation and Computation*. Bayesian Analysis of Masked Data in Step-stress Accelerated Life Testing[J], 43 (8), 2016-2030.2014. 第一作者/徐安察、第二作者/汤银才、第三作者/管强. (论文第一单位浙江温州大学)

9. 其他支撑材料目录:

1. 管强主持完成国家青年自然科学基金项目:《小样本区间型加速退化试验中的客观贝叶斯方法研究》(编号:11401341),起止年月:2015.1-2017.12.

2. 管强主持完成福建省自然科学基金项目:《小样本加速退化试验的优化设计研究》(编号:2015J05014)。起止年月:2015.4-2018.4.

3. 管强主持完成福建省自然科学基金项目:《小样本加速退化试验的可靠性评估研究》(项目编号:2019J01821.),起止年月:2019-04-01-2022-04-01。

4. 汤银才主持完成国家自然科学基金面上项目:《可靠性与生存分析中的客观贝叶斯方法研究》(编号:11271136),起止年月:2014.1-2017.12.

5. 徐安察主持完成国家自然科学基金面上项目:《竞争失效模型中若干关键问题的研究》(编号:11671303),起止年月:2017.1-2020.12.

6. 徐安察主持完成国家青年自然科学基金项目:《加速寿命试验中小样本最优设计方法》(编号:11201345),起止年月:2013.1-2015.12.