

机械工业可靠性技术应用研究

——2019 年第四届全国机械工业可靠性技术应用交流大会论文集

吴智恒 陈启愉 罗良传主编

华南理工大学出版社



机械工业可靠性技术应用研究

——2019年第四届全国机械工业可靠性技术应用交流大会论文集

吴智恒 陈启愉 罗良传 主编



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

机械工业可靠性技术应用研究: 2019 年第四届全国机械工业可靠性技术应用交流大会论文集/吴智恒, 陈启愉, 罗良传主编. — 广州: 华南理工大学出版社, 2019. 12

ISBN 978 - 7 - 5623 - 6184 - 8

I. ①机… II. ①吴… ②陈… ③罗… III. ①机械工业 - 工业产品 - 可靠性 - 中国 - 学术会议 - 文集 IV. ①F426.4 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 248940 号

Jixie Gongye Kekaoxing Jishu Yingyong Yanjiu: 2019 Nian Di-si Jie Quanguo Jixie Gongye Kekaoxing Jishu Yingyong Jiaoliu Dahui Lunwenji

机械工业可靠性技术应用研究: 2019 年第四届全国机械工业可靠性技术应用交流大会论文集
吴智恒 陈启愉 罗良传 主编

出 版 人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼 邮编: 510640)

http: //www. scutpress. com. cn E-mail: scutc13@scut. edu. cn

营销部电话: 020 - 87113487 87111048 (传真)

责任编辑: 王荷英

印 刷 者: 广州市新怡印务有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 16 字数: 400 千

版 次: 2019 年 12 月第 1 版 2019 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 78.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

机械工业可靠性技术应用研究

——2019 年第四届全国机械工业可靠性技术应用交流大会

主办：中国机械工业质量管理协会、广东省振动工程学会

承办：广东省机械工业质量管理协会

中机质协机械工业可靠性工作委员会

广东省机械工业专家委员会

广东省智能制造研究所

广东省高性能计算学会 CAE 专业委员会

组织委员会主席：王建和、梁志锋

程序委员会主席：马宝发、吴智恒

组织委员会：李月华、阎建华、赵廷弟、邵家骏、罗衍领、刘富臻、刘新新、邓 智、

胡金寿、邓凤霞、罗良传、施 维、朱 园

程序委员会：陈启愉、张华伟、赵 奔、毛华亮、李 森、王景凯、钟洪文、史玉芳、

齐媛媛、张 奇、冷 校、汝学斌、王丽敏、上官琪、刘前程、纪春阳、

张序星

出版委员会：吴智恒、陈启愉、罗良传

序

装备制造业是国之重器。习近平总书记指出，制造业是实体经济的基础，实体经济是我国发展的本钱，是构筑未来发展战略优势的重要支撑；把制造业高质量发展作为主攻方向，推动我国经济由量大转向质强；装备制造业练好“内功”才能永立不败之地。

如何发展高质量的机械装备产品，我国著名机械工程专家、原机械工业部副部长沈鸿同志早在1979年2月就专门撰文，从品种、质量、成套、服务四个方面对“先进的机械产品”进行了明确界定和形象描述。品种上，要推陈出新，不断发展；质量上，要可靠、耐用、高效、经济。品种、质量、成套、服务是产品相互联系的，质量是品种的生命，品种是成套的基础，成套是形成生产能力的手段，服务是产品使用与制造之间的桥梁。可见，在改革开放初期，我们就已经意识到：质量是产品的生命，没有优良的品质与可靠性，就没有高质量的机械装备产品。

改革开放的40年，我国机械工业发生了天翻地覆的变化，在总量上成为名副其实的机械装备制造大国，机械装备产品的功能已接近国外先进水平，目前的差距主要在产品可靠性上。按照习近平总书记强调的练好“内功”，必须在提高可靠性上下功夫。众多机械装备制造企业已经意识到这个问题，在积极探索提高产品可靠性的有效途径，努力开展可靠性技术相关应用，不断提升质量竞争力。可靠性工程在企业内部涉及产品制造全过程，设计是灵魂，材料是基础，工艺是保障，测试是关键；延伸到企业外部，实施产品全生命周期质量可追溯，实现全产业链的可靠性管理，是保证机械装备可靠性的重要举措。

中国机械工业质量管理协会于2005年组织成立了“机械工业可靠性工作委员会”，汇聚科研院所、高校及企业的专家力量，开展可靠性技术研究、案例分析、典型经验总结，培育品牌标杆、制定标准等，致力于推进行业可靠性技术与管理提升。2018年制定发布了行业第一个可靠性管理标准《机械工业可靠性管理指南》，在总结、提炼机械工业可靠性管理实践的基础上，借鉴国内外的先进经验，规定了可靠性工作的基本原则和组织的可靠性管理职责、策划、实施及改进的要求，为指导和推进行业可靠性系统工程规范有效实施，建立和运行可靠性管理体系提供详细指导。以贯标为契机，实施标准引领是机械工业可靠性工作发展具有历史意义的一个新节点。

中国机械工业质量管理协会于2016年与广东省机械工业质量管理协会、广东省智能制造研究所合作，举办了第一届全国机械工业可靠性技术应用交流大会，搭建了一个新的交流平台。我受邀参加了2016年第一届大会，并在会上做了题为“协同创新，

提升产业链竞争力”的报告。会上，来自全国各地的技术专家与企业工程师相互学习交流，活跃的会议氛围给我留下了深刻的印象。2019年是第四届大会了，得知今年还特别出版论文集，其目的是更好地促进机械可靠性相关管理与工程技术人员之间的交流和沟通。论文集内容丰富，包括可靠性与质量管理、可靠性测试与故障诊断分析、可靠性设计三大领域。我十分赞同大家多做可靠性技术与分享，相互学习、共同提高，所以为论文集写序，衷心希望这个全国性行业交流活动越办越好，影响力越来越大，为推进我国机械工业可靠性技术应用做出新的更大的贡献。

陆燕荪

2019年10月

(作者系原国家机械工业部副部长，中国机械工业质量管理协会第二、三、四届理事长)

前 言

——我国装备可靠性应用技术研究背景与若干思考

2017年10月召开的党的十九大提出，要贯彻新发展理念，建设现代化经济体系，把提高供给体系质量作为主攻方向，显著增强我国经济质量优势。装备制造产业作为我国国民经济与社会发展的基础产业，尽管取得了许多举世瞩目的成绩，但目前在很多领域仍处于价值链的低端，存在着可靠性水平偏低的明显短板，面临着转型升级的迫切任务。

当前，我们迎来了世界新一轮科技革命和产业变革同我国转变发展方式的历史性交汇期，同时国际环境风云变化，不确定性风险增大，形势逼人，挑战逼人，使命逼人。习近平总书记在2018年5月28日举行的两院院士大会上提出“实践反复告诉我们，关键核心技术是要不来、买不来、讨不来的。”对于装备制造产业来说，装备可靠性较差就是制约我国装备产业迈向中高端的瓶颈。持续开展装备可靠性技术应用研究与实践，不断提升自主创新能力，是我国装备产业向中高端发展的必由之路。

一、装备制造全球竞争环境

当今世界强国均是工业强国，均是装备制造强国。美国、日本及欧盟等装备制造强国通过大力发展高水平的现代装备制造业，长期占据民用干线大飞机、大型医疗设备等高端装备的优势地位，在全球产业链分工中继续处于领先地位。美国在航空航天、燃气轮机、工程机械和智能测控装置方面，德国和日本在数控机床、数控系统和液压件方面世界领先。另外，英国、法国、瑞典等国家也有一些具备明显优势的高端装备领域，如英国的发动机、法国的核电装备、瑞典的轴承等。

高端装备作为制造业的高端领域，一直是国际竞争的焦点。发达国家与新兴经济体共同发力，多维度出击，聚焦新一代高端装备技术的创新发展，力争保持本国在国际竞争中的优势地位。

美国作为世界头号制造强国，虽然制造业占其经济比重近些年一直在下滑，但因美国经济总量保持稳步增长态势，美国制造业总量其实也处于上升态势，目前其制造业总产出量仅落后于中国，且在高精尖领域优势明显。2008年国际金融危机以来，美国一直在推动制造业“回流”，奥巴马政府时期推出了“再工业化”政策，2014年通过了美国制造业竞争力法案，可谓不遗余力。如今特朗普政府于2018年10月出台了《先进制造业美国领导力战略》。从美国重振制造业的各项举措来看，其决心很大，许多举措都是以法律形式出台，比如在投资审查和技术管制等方面。此外，为遏制中国的崛起，美国于2018年对中国挑起贸易战，同时加强技术封锁。对于中国而言，可以预见，今后企业通过资本并购来实现跨越式发展将越来越困难，未来的中国将不得不更多依靠自主创新来推动产业升级和技术进步。

德国是老牌装备制造强国。“德国制造”以装备产品的高品质闻名天下。尽管德国制造业基础很好，但面对科技发展日新月异的潮流以及激烈的全球化竞争环境，德国政府为了稳固制造业领先地位，仍然制定了诸多举措。2013年4月，在弗劳恩霍夫协会、德国工程院、西门子公司等德国学术界和产业界的建议和推动下开展了“工业4.0”（industry 4.0）研究项目。如今，“工业4.0”已上升为国家级战略，是德国《高技术战略2020》确定的十大未来项目之一，旨在支持工业领域新一代革命性技术的研发与创新。在2019年2月5日，德国联邦经济事务与能源部发布了《国家工业战略2030》草案，旨在有针对性地扶持重点工业领域，提高工业产值，保证德国工业在欧洲乃至全球的竞争力。该战略将钢铁铜铝、化工、机械、汽车、光学、医疗器械、绿色科技、国防、航空航天和3D打印等10个工业领域列为“关键工业部门”，认为这是德国制造的核心。

“二战”结束后，日本制造业从战争废墟中快速恢复并崛起。自20世纪80年代以来，“日本制造”长期凭借其优越的产品性能和可靠的产品质量享誉全球。日本将多批量、多品种与低成本、高质量结合起来，通过全员、全过程的持续改善和管理提升，真正做到“多快好省”和“精益求精”。面对21世纪新技术革命，日本也在不断发力，一直围绕着机械设备制造商进行产业的连接和融合。2017年3月在德国CeBIT展会上，安倍首相提出了“互联工业”（connected industry）计划，极力推进产业界的融合。日本的长期研发投入，使日本的科技创新能力处于全球前列。在《2015年全球创新创业百强》榜单中，日本以40家入围企业成为全球最具创新力的国家。日本消费电子领域衰退的背后是日本创新方向的转变，日本开始在上游的原材料、智能技术和关键装备及关键零部件领域拥有更多的话语权。例如松下在失去电气行业的优势后，在汽车电子、住宅能源和商务解决方案等领域找到了新的发展机会，同时也成为世界上最先进的电池生产商，特斯拉电动车使用的就是松下公司的电池。索尼在丧失消费电子领域老大的地位后，在医疗领域取得突破，已经占据了医疗内窥镜全球80%以上的市场份额。为迎接新的科技浪潮，日本软银集团面向人工智能、联网机器人和机器人等领域设立了愿景投资基金，该基金将在10年内增长到1000亿美元，可见日本在未来高端装备领域的雄心壮志。

2019年2月，全球知名的资讯服务提供机构科睿唯安（Clarivate Analytics，其前身为汤森路透）遴选出的2018—2019年度全球创新百强企业与机构中，按入围数量的多少来排序，分别是日本39家、美国33家、法国7家、德国4家、瑞士3家、韩国3家、中国大陆3家、中国台湾3家、荷兰2家、俄罗斯1家、瑞典1家、芬兰1家。由此可见，创新能力较强企业仍然集中在美、日、欧盟等发达国家或地区。随着各国促进制造业发展措施的出台与实施，全球化竞争将变得日益激烈，更加需要我们维持好自己的战略定力，做好自己的事情，逐渐形成自己的优势，才能在全球化竞争中占有一席之地。

二、国内装备制造业发展现状与问题

随着经济全球化的发展，国内装备市场已经越来越国际化。我国装备制造业在全球市场的占有率、发展规模、发展速度、产业链的覆盖等方面都取得了长足进步。数据显示，早在2010年，中国制造业产出约占世界的20%，已成为全球制造业第一大国。近年来，我国高端装备制造业快速发展，一批高端装备实现重大突破，大型客机（C919）成功下

线，北斗导航系统突破千万级用户，海洋石油 981 深水半潜式钻井平台创造了世界半潜式平台之最，载人航天器、探月工程等航天重大装备举世瞩目，第一艘自主建造的极地科学考察破冰船“雪龙 2”号下水，高铁、电力设备已经走出国门。“中国制造”的高端装备逐渐进入全世界的视野。

但我国装备制造业仍然存在许多不足。国家在 2016 年 8 月发布的《高端装备创新工程实施指南（2016—2020 年）》明确指出，与世界先进水平相比，我国高端装备制造业仍存在较大差距，主要表现在：总体创新能力不足，部分领域核心技术和核心关键部件受制于人，产品可靠性低；基础配套能力发展滞后，装备主机面临“空壳化”；服务体系建设明显滞后，应用推广难等。尽管近 3 年来我国在装备技术研究方面取得了一些成果，但与世界先进水平的差距仍然很大。以工业机器人产业为例，2018 年我国工业机器人市场约占全球市场份额的三分之一，是全球第一大工业机器人应用市场。然而，我国工业机器人产业本土品牌低端过剩，高端产品供给不足，例如减速器、伺服电机、控制器等高端产品均需要大量进口，外资品牌长期占据主导地位。在 2019 年 8 月举办的世界机器人大会上发布的《中国机器人产业发展报告 2019》也指出，“目前，我国已将突破机器人关键核心技术作为科技发展重要战略，国内厂商攻克了减速机、伺服控制、伺服电机等关键核心零部件领域的部分难题，核心零部件国产化的趋势逐渐显现。”这只是起步，提高核心零部件国产化水平依然任重道远。

在上述的诸多差距当中，“产品可靠性低”这个共性问题尤为突出，已成为“卡脖子”技术问题。可靠性是装备的核心技术，具体体现在耐久性（设备寿命）、稳定性—精度保持（工作性能）、舒适性—环保（振动、噪声）、经济性—成本（轻量化）等方面。目前，国内高端装备与国外先进水平相比，其根本差距不在功能性能，而在于质量和可靠性。只有提高国内装备产品可靠性技术研究与应用水平，才能为装备产品迈向中高端提供强有力的技术支撑。

三、我国质量与可靠性相关政策环境

如今，我国正在大力推进中国制造向中国创造的转变，中国速度向中国质量的转变，中国产品向中国品牌的转变，目标是完成中国制造由大变强的战略任务。为促进装备制造业高质量发展，推动装备产业迈向中高端，我国政府已经出台了一系列的政策文件，推动装备制造业质量与可靠性提升。现对 2012 年党的十八大以来的一部分与可靠性相关的政策内容（按照发布时间排列）进行简要的梳理，以便更好地了解国家政策的导向。

1. 《中国制造 2025》（2015 年 5 月发布）

该文件是由国务院印发的部署全面推进实施制造强国的战略文件，是中国实施制造强国战略的第一个十年行动纲领。文件明确提出要以提升可靠性、精度保持性为重点，加快实现高档数控机床产业化；提升基础产品的质量、可靠性和寿命，强化工业基础能力。具体条款有：

“三、战略任务和重点

“（三）强化工业基础能力 强化基础领域标准、计量体系建设，加快实施对标达标，提升基础产品的质量、可靠性和寿命。

“(四) 加强质量品牌建设 实施工业产品质量提升行动计划, 针对汽车、高档数控机床、轨道交通装备、大型成套技术装备、工程机械、特种设备、关键原材料、基础零部件、电子元器件等重点行业, 组织攻克一批长期困扰产品质量提升的关键共性质量技术, 加强可靠性设计、试验与验证技术开发应用, 使重点实物产品的性能稳定性、质量可靠性、环境适应性、使用寿命等指标达到国际同类产品先进水平。”

“(六) 大力推动重点领域突破发展 高档数控机床。以提升可靠性、精度保持性为重点, 开发高档数控系统、伺服电机、轴承、光栅等主要功能部件及关键应用软件, 加快实现产业化。”

2. 《高端装备创新工程实施指南(2016—2020年)》(2016年8月20日发布)

该文件由国家工信部、发改委、科技部和财政部联合发布, 是《中国制造2025》的配套文件之一。文件明确指出, 要强化高端装备可靠性技术研究与应用, 提升产品质量和安全性、可靠性、实用性。具体条款有:

“(六) 海洋工程装备及高技术船舶 通过增加必要的试验检测装备, 从攻克关键技术入手, 以提升产品品质和质量可靠性为目标, 提高我国配套设备产业市场竞争能力。”

“(八) 高档数控机床 深入开展高档数控机床关键功能部件、数控装置的理论体系、关键共性技术、功能及稳定性、可靠性检测与试验等相关研究, 进一步提升高档数控机床功能部件、数控装置的自主研发能力。突破高档数控系统、高性能功能部件和用户工艺研究, 提升产品的稳定性和可靠性, 提高高中档数控机床的国际竞争力。”

“(十) 高性能医疗器械 努力提高国产诊疗设备的质量、性能、可靠性和技术服务水平等。”

“(十一) 先进农机装备 掌握核心零部件制造和可靠性关键技术, 拖拉机和联合收割机平均无故障时间提高50%。突破农业机械数字化设计实验验证技术、技术可靠性与价值工程开发技术、关键零部件标准验证技术、传感与控制技术、动力机械智能化技术等关键共性技术。”

3. 《中共中央国务院关于开展质量提升行动的指导意见》(2017年9月5日发布)

这是中共中央、国务院首次针对“质量”领域联合发文, 足以体现出国家对“质量”的重视。文件明确提出, 要加快装备制造业质量提升, 提高装备制造关键领域核心竞争力, 其中重点提到要提高精度保持能力, 加强可靠性设计、试验与验证技术开发应用。具体条款有:

“(六) 提升装备制造竞争力 加快装备制造业标准化和质量提升, 提高关键领域核心竞争力。实施工业强基工程, 提高核心基础零部件(元器件)、关键基础材料产品性能, 推广应用先进制造工艺, 加强计量测试技术研究和应用。发展智能制造, 提高工业机器人、高档数控机床的加工精度和精度保持能力, 提升自动化生产线、数字化车间的生产过程智能化水平。”

“(十二) 实施质量攻关工程 围绕重点产品、重点行业开展质量状况调查, 组织质量比对和会商会诊, 找准比较优势、行业通病和质量短板, 研究制定质量问题解决方案。加强与国际优质产品的质量比对, 支持企业瞄准先进标杆实施技术改造。开展重点行业工艺优化行动, 组织质量提升关键技术攻关, 推动企业积极应用新技术、新工艺、新材料。”

加强可靠性设计、试验与验证技术开发应用，推广采用先进成型方法和加工方法、在线检测控制装置、智能化生产和物流系统及检测设备。实施国防科技工业质量可靠性专项行动计划，重点解决关键系统、关键产品质量难点问题，支撑重点武器装备质量水平提升。”

4. 《促进制造业产品和服务质量提升的实施意见》(2019年9月6日发布)

该文件是工信部为加快提升制造业产品和服务质量，推动制造业高质量发展而发布的。文件中提出要强化技术支撑作用，增强装备制造业质量竞争力等意见。具体条款有：

“(八) 强化技术支撑作用 推广数字孪生、可靠性设计与仿真、质量波动分析等技术的开发应用，提升产品质量设计和工艺控制能力。持续推进两化融合管理体系贯标，推动云计算、大数据、人工智能等新一代信息技术在质量管理中的应用，支持建立质量信息数据库，开发在线检测、过程控制、质量追溯等质量管理工具，加强质量数据分析，推动企业建立以数字化、网络化、智能化为基础的全过程质量管理体系。”

“(十四) 增强装备制造业质量竞争力 实施工业强基工程，着力解决基础零部件、电子元器件、工业软件等领域的薄弱环节，弥补质量短板。按照《工业企业技术改造升级投资指南》规划，梳理产业质量升级亟需的新技术、新装备、新工艺目录，积极引导产业基金及社会资金支持，提高装备制造业的质量水平。”

尽管上述这些文件中对于质量与可靠性的表述只有简短的几行字，但其分量是非常厚重的，意味着需要艰苦的技术攻关与长期的高强度投入；同时，也给装备制造业的高质量发展指明了方向。

四、装备可靠性应用技术研究主要问题

根据国家标准 GB/T 2900.99-2016/IEC 60050-192:2015《电工术语 可信性》，产品的可靠性定义为“在给定的条件、给定的时间区间，能无失效地执行要求的能力”（产品可以是单个部件、元件、器件、功能单元、设备、分系统或系统；产品可以由硬件、软件、人员组成，或其任意组合）。可靠性工程是提高装备产品质量的共性关键技术，是为了达到系统全生命周期可靠性要求而进行的有关分析、设计、管理、试验等一系列工作的总和。

对于广大装备制造业企业来说，开展装备可靠性技术应用，就是要解决日常工作中碰到的可靠性相关技术问题。这些问题林林总总、千差万别，涉及可靠性问题的方方面面。下面从不同的角度来简要地梳理一下，有助于我们较全面地了解一些研究者正在做的可靠性技术应用研究的相关工作。

1. 从方法到实践，从局部到全部

凡事预则立，不预则废。开展可靠性技术应用，当然也是首先需要规划、有方法，并以此来指导应用实践。从质量与可靠性管理规划、质量方针，到具体的项目立项、攻关、外协等等，环环相扣，相互促进。刚开始之时，可能是某个部门或者小部分人员参与，之后范围逐渐扩大到全面质量管理、全员参与，一步一个脚印地持续提升产品的质量与可靠性。

2. 从模型到数据，从以往（验证）到未来（预测）

研究者往往是通过研究模型来揭示被研究对象的形态、特征、本质及发展规律，并通

过从被研究对象身上得到的数据来分析相关的现象。对于可靠性应用而言，相关的研究可能涉及模型的建立、修正与完善，可靠性评估与分析，数据采集、分析与应用等。随着研究的深入，大家的视角可能会从分析与验证现有的数据，逐渐延伸到基于数据与模型分析的故障预测及寿命预测，不断提高研究成果应用的智能化水平。

3. 从设计到制造，从测试到维护

可靠性问题贯穿于产品全生命周期，需要考虑全生命周期各阶段的具体情况，从而形成立体化的研究框架与多维度解决问题的思路。工程技术人员往往从可靠性优化设计、轻量化设计，到可靠性制造，通过对制造过程的控制优化来提高产品的可靠性；从可靠性测试、疲劳测试、加速寿命测试、环境测试，到预防性运维、远程运维等，通过关注各个环节的可靠性问题，以期求得更客观更有效的解决问题之道。

4. 从事后到事前，从虚拟到现实

我们进行故障分析、性能测试等工作，其目标通常是要减少出现故障的次数、降低故障的负面影响，最好是能够避免产品工作时故障的发生。现在大家做得比较多的事情是在故障出现之后的故障分析，以期做到亡羊补牢。随着技术发展，人们逐渐意识到事前预防性技术的重要性，必须从源头开始进行预防，最大程度防范故障的出现。从成本与效率的角度出发，更加重视从仿真设计、虚拟测试到现实的样机制造与实物测试整个链条的融合。通过各种先进技术手段的应用，降低设计与测试的成本，在提升工作效率的同时，有效提高产品的质量与可靠性。

5. 从微观到宏观，从偶然到必然

一般来说，产品往往是由不同的材料以某种方式组合而成，是由不同的部件装配而成。无论我们是否能够清楚了解，产品中各种材料、各个部件之间总存在着某种客观联系。因此，可靠性技术的研究，可能小到微观材料分析，到各部件的独立分析，再到整机装备与系统的耦合分析。研究对象的尺度也是大不相同，从芯片制造纳米级的“小”东西到长达几十米，甚至上百米的超大型装备，都可能是我们需要关注的对象。在认识到可靠性对于产品的重要性之后，我们对可靠性提升的态度也许会出现一些变化，从偶尔做一些可靠性补救，到系统性考虑进行可靠性设计与保障，逐渐将可靠性技术应用视作常规性的必须做的重要工作。

五、若干思考

自2010年来，我们一直在思考同一个问题，就是怎样在推动我国装备可靠性水平提高方面贡献自己的绵薄之力。由于身处我国经济大省广东，我们在日常的工作中接触了许多装备制造企业，对企业在发展过程中遇到的各种问题感同身受。在为企业开展装备可靠性方面的技术服务过程中，对解决可靠性相关技术问题的迫切性、艰巨性与长期性有了较深刻的体会。我们有一个强烈的感受，就是许多可靠性技术问题不是短时间就能解决的。可靠性技术研究的特点，决定了我们开展装备可靠性技术研究是一个长期的工作，决定了问题的解决是一个从量变逐渐到质变的过程。

原国家机械工业部陆燕荪副部长语重心长地跟我们说过，可靠性问题是我国机械工业的老顽疾了，投入大，见效慢，不是一朝一夕就可以解决的，需要十年，甚至几十年的不

断努力才可能逐步解决。因此，若要从事可靠性技术研究，就要做好长期艰苦奋斗的准备。可靠性研究涉及的面很广，有理论层面的，有应用层面的，有时候两者又是相互交叉的，非常复杂。由于我们的工作单位是研究所性质，在应用技术研究方面做的工作相对多一些，与企业接触相对多一些，因此，我们希望能够借助这些机缘，在装备可靠性技术应用研究方面多做一些工作。于是，在中国机械工业质量管理协会及其可靠性工作委员会的大力支持下，我们于2016年在广州策划组织召开了首届全国机械工业可靠性技术应用交流大会，希望通过搭建一个全国机械工业从业者的技术交流平台，加强管理部门、研究机构、应用企业、工程技术人员等单位及个人的相互沟通，共同推动我国装备可靠性水平不断提高。

2019年11月，我们将在广州组织召开第四届全国机械工业可靠性技术应用交流大会。我们计划将部分会议上交流的论文集结出版，希望可以让与会者以及相关的技术与管理人员更方便、更有效进行沟通交流。在社会各界的支持下，本次出版的论文共32篇，内容涉及非常广，现将其分为可靠性与质量管理、可靠性测试与故障诊断分析、可靠性设计等三个领域，方便大家阅读与参考。在此，对踊跃投稿的企事业单位及研究机构的相关同志表示衷心的感谢！

书中各篇可靠性技术应用研究文章，无论是对可靠性与质量发展战略的探讨，还是针对某产品（或部件）或者某工艺的可靠性设计、制造、维护等方面进行的探索，都融入了工程师与科研工作者的巨大心血，都是对我国装备可靠性水平持续提升方法的有益尝试。可能有人会问，这样做的效果不错，其原理是什么？其模型是怎样的？或者还有其他问题。在这本论文集里，可能暂时找不到答案，但我们认为，通过持续不断的应用研究，会有更多的研究人员关注更深层次、更具抽象意义的理论问题，必然会有助于相关理论创新，并最终会有助于更好地解决生产实践中出现的可靠性技术问题。

我们相信，这里的每一篇可靠性技术应用研究论文，就像小小的水滴，不断地滴在可靠性问题的岩石上，总能溅起一些小水花。虽然每一滴水的力量都非常有限，不足以滴穿石头，但假以时日，其功效一定会逐渐显现。

我们在此抛砖引玉，欢迎大家多提宝贵意见。

吴智恒 陈启愉 罗良传

广东省智能制造研究所

2019年10月

目 录

可靠性与质量管理

复杂装备系统的综合一体化模型构建方法研究	3
面向智能产品的可靠性工程	12
“问题导向”是快速提升产品可靠性的有效方法	19
装备制造业质量提升的方法途径——降低人在质量管理中的影响力	26
数字化制造质量管理模式的创新构建与实践	32
基于风险思维的质量管理实践与思考	38
基于3C端构建“三基四线五精”的品质改善平台	44
食品饮料行业单件小批量机械产品的质量设计方法	53

可靠性测试与故障诊断分析

实验室如何保证检测设备准确、可靠	63
无刷直流电动机故障快速分析方法研究	69
风电运维可靠性数据探究	75
关于汽车自动焊接中焊点位置偏移原因的研究	83
SG80壳体钢针生锈原因分析与缺陷消除实践研究	88
电机定子短路故障分析及改进实践	97
浅谈交流异步电机噪声分析及控制措施	105
一种基于轴承参数的高速电主轴高加速寿命试验	112
高速线材轧机远程智能运维系统设计与实现	120
商用车辆自燃故障原因分析及事故案例述评	126

可靠性设计

基于数字化技术的高压开关操动机构可靠性改善应用研究	135
磨齿机可靠性增长实施方法研究	143
风力发电机组可靠性设计与分析应用研究	150
涂层滚刀重磨质量与可靠性提升方法研究	157
油封压装精度提升方案设计与实践研究	164

吐丝头有限元模态分析与优化	173
基于齿轮及功率匹配性分析的起动机可靠性研究	178
船用中速柴油机燃油滤清器故障分析与预防技术研究	186
光纤自动化点胶组装装备精度保障技术研究	194
高可靠性电机自动装配线设计与实现	201
基于多孔跳跃介质模型的医用升温毯温度场改善研究	210
高速货运动车组电动集装器锁紧器可靠性分析	216
流延主冷辊水循环系统流动仿真研究	224
基于三次设计的断相性能可靠性增长研究	230

可靠性与质量管理

