

滚动轴承寿命及可靠性—理论与实践

李兴林¹⁾ 赵丽雅¹⁾ 严思思¹⁾ 曹茂来¹⁾ 陆水根¹⁾ 陈炳顺²⁾

1)(杭州轴承试验研究中心博士后工作站)

2)(杭州诚信汽车轴承有限公司)

摘要: 轴承是装备制造业的核心零部件。2014 年工业信息化部发布了“加快推进工业强基的指导意见”，提出了“四基工程”（关键基础材料、核心基础零部件/元器件、先进基础工艺、质量技术基础）。轴承列在 12 种机械基础件的首位。目前，**风力发电机轴承寿命及可靠性问题、高速铁路轴承**被国外轴承公司垄断及控制问题等仍然是我们的瓶颈，当然，润滑脂的研发和选用也交织在其中。从这个意义上说，轴承已经成为牵涉到一个国家的技术、经济、军事、政治的战略物资。滚动轴承的科研属于工程摩擦学范畴。摩擦学是研究摩擦、磨损、润滑与密封等相关理论与技术的工程技术应用性学科。在滚动轴承精度、性能、寿命及可靠性的检测试验与考核、故障监测与诊断、寿命预测与评估等相关领域中，轴承寿命、可靠性及预估问题是最实用，也是最复杂的集科学、技术与工程、管理于一体的综合性实用课题，而轴承润滑技术与此密切相关，润滑剂（油、脂）被称为“滚动轴承的第五个零件”（其他为内圈、外圈、滚动体、保持架）。加强这一方面的应用基础研究、研发攻关，如何使（用户）主机的寿命最长，服役可靠，无疑具有现实的经济价值及社会价值。本文的根据是我们杭州轴承试验中心（简称：杭轴研、HBRC）自 1980 年联合国援助中国（机械工业部轴承局）轴承行业创建以来的 30 余年，我们主要从事的轴承动态性能和疲劳寿命等高新技术应用研究以及轴承相关产品研究、开发、检测和试验等研究工作。随着中国经济进入新常态以及在供给侧改革大背景条件下，如此众多的中小型轴承企业如何直面新常态，创造新机遇？本文作者结合相关的研究、开发、应用、实践以及不断的修正、完善，综述了滚动轴承寿命及可靠性试验应用技术现状，探讨了该领域的工程技术前沿课题、发展趋势和我们对轴承寿命、可靠性及润滑脂工程应用技术与工程问题进行的技术应用、技术转化等等综合性研究、研发的工作，着重介绍了 A^2BLT+F^2AST 理论基础以及工程应用实践；同时提出对于中国轴承行业，最近在轴承材料、振动、摩擦力矩等等相关新标准发布后，应该与时俱进，适应新常态、赢在新常态、领跑新常态。

关键词: 轴承；转型升级；摩擦学； A^2BLT+F^2AST ；工程应用；技术转化

1 滚动轴承寿命快速试验机 A^2BLT+F^2AST

滚动轴承是广泛应用的重要机械基础件，其质量的好坏直接影响到主机性能的优劣，而轴承的寿命及可靠性则是轴承质量的最综合性的反映；在中国轴承行业“十二五”乃

至“十三五”发展规划中，重点要求开展提高滚动轴承寿命和可靠性工程技术攻关。低载荷、高转速的传统轴承寿命试验方法周期长、费用高，而且试验结果的可靠性差；而强化试验则是在保持接触疲劳失效机理一致的前提下，大大地缩短试验时间，降低了试验成本，从而加快了产品的开发周期和改进步伐，因此轴承寿命可靠性强化试验受到越来越多的关注、研究和应用。轴承快速寿命试验包含了比轴承寿命强化试验更为广泛的内涵，它不仅在寿命试验方面，而且在寿命试验的方案设计，寿命试验数据的处理、分析，寿命的预测评估，轴承失效的快速诊断、分析、处理等系统技术方面具有更新更广的内涵。

20世纪早期直至90年代以前，我国轴承行业一直沿用前苏联的ZS型疲劳轴承寿命试验机和试验规范来进行轴承疲劳寿命试验，这类轴承寿命试验机试验精度低、加载系统不稳定、没有自动控制系统，其性能远远不能满足大量试验工作的需要，已明显落后于试验发展需求。由于原机械工业部定点的河北省石家庄轴承专用设备厂改制，被民营企业收购重组，这种模仿前苏联技术的ZS型寿命试验机已经不再生产。从美国引进的F&M 5英寸新型滚动轴承疲劳寿命试验机除了价格昂贵外，还采用气动高压动力源和60Hz的电频率，不太适合中国的国情。因此在20世纪的90年代，在吸取相关国外试验机先进性的基础上，杭州轴承试验研究中心研制了新一代自动控制滚动轴承疲劳寿命强化试验机B10-60R及其改进的滚动轴承疲劳寿命强化试验机；在持续地消化、吸收和改进及其再创新的基础上，通过个性化的设计，我国自行设计研制的ABLT (Accelerated Bearing Life Tester) 系列滚动轴承疲劳寿命强化试验机，已获得国家发明专利授权；具有完全自主知识产权的新型轴承寿命试验技术和方法，基本能满足大多数滚动轴承疲劳寿命强化试验的需要。ABLT-1寿命强化试验机试验技术一定程度地采用了自动化控制技术，具有操作方便、精度大大提高、使用可靠、减少了劳动强度。ABLT系列疲劳寿命强化试验机吸收了以前试验技术的优点，进一步加强和完善了自动化控制水平。在ABLT系列试验机的基础上，进一步开发A²BLT+F²AST (Automatic Accelerated Bearing Life Tester & Fast Failure Analysis System Technology) 寿命强化试验机和进一步研究开发包括快速失效诊断技术、快速失效分析技术、快速失效处理技术等三大方面技术，将是我们轴承行业试验机研发的下一个重要的方向、关键性课题。滚动轴承寿命及可靠性强化试验系统 (A²BLT+F²AST)，属国内独创，该项目已产业化生产，并解决了关键技术应用基础性问题，产品已系列化(表1)：ABLT-1A, ABLT-1B, ABLT-2, ABLT-3, ABLT-4, ABLT-5, ABLT-6, ABLT-7, ABLT-8。

表 1 ABLT 系列滚动轴承疲劳寿命强化试验机主要性能参数

试验机类型		ABL-1A	ABL-2	ABL-3	ABL-4	ABL-5
项目		球轴承和滚子轴承		球轴承	球轴承和滚子轴承	
	试验轴承内径/mm	$\phi 10 \sim \phi 60$	$\phi 60 \sim \phi 120$	$\phi 5 \sim \phi 12$	$\phi 120 \sim \phi 180$	$\phi 180 \sim \phi 240$
试验轴承数量		2~4 套				
试验轴承转速 r/min		1000~10000 (可调)	500~5000 (可调)	5000~36000 (可调)	500~3000 (可调)	300~2500 (可调)
最大径向载荷/kN		100	250	1.5	400	800
最大轴向载荷/kN		50	125	0.4	200	300
电 源	主轴电机/kW	3	7.5	1.5	10	15
	油泵电机/kW	0.37	0.75	0.04	1.5	2
	功率消耗/kW	约 3.5	约 9	约 1.8	约 15	约 20
环境温度		10℃~40℃				
总质量/kg		约 1000	约 2000	约 500	约 3500	约 4500
整机尺寸/mm		1500×720×1200	1750×900×1200	1100×650×1000	2000×1000×1500	2200×1100×1600

为了更加丰富完善 ABLT 强化试验机的系列化，杭州轴承试验研究中心专门设计了 ABLT-6 型外圈旋转轴承寿命强化试验机和 ABLT-7 型带座外球面轴承寿命及可靠性强化试验机；在 ABLT-6 型的基础上，又开发了 ABLT-8 型外圈旋转轴承寿命强化试验机。这三种试验机的技术参数见表 2。表 1、2 中的载荷误差 $\leq \pm 2\%$ ，转速为无级可调。ABL-9 的研发工作正在进行中。

表 2 ABLT-6、ABLT-7、ABLT-8 轴承寿命及可靠性强化试验机主要性能参数

项目	ABLT-6	ABLT-7	ABLT-8
试验轴承内径/mm	10~60	10~60	60~120
试验轴承外径/mm	30~150	--	100~260
试验轴承数量/套	2~4	4	2
试验轴承转速 r/min	50~1500	500~5000	50~200
最大径向载荷/kN	60	25	200
测控方式	计算机自动监测、自动报警停机、自动记录	计算机自动监测、自动报警停机、自动记录	计算机自动监测、自动报警停机、自动记录
测量参数	轴承转速、振动及内圈温度	轴承转速、温度及振动	轴承转速、振动及内圈温度
备注		可进行带座外球面轴承寿命及可靠性强化试验,同时可以兼做极限转速和漏脂、温升、防尘试验。	

ABL T 系列滚动轴承疲劳寿命及可靠性强化试验机项目已解决了关键技术问题,申请国家发明专利 4 项,获得授权国家发明专利 3 项,实现产业化生产、销售 400 余台,创产值 8000 余万元,替代进口产品,为国家节省了大量外汇。ABL T 系列滚动轴承疲劳寿命及可靠性强化试验机已在中国宝钢集团、辽宁瓦轴集团、河南洛轴集团、浙江万向集团、人本集团、浙江天马轴承股份有限公司、宁波摩士集团、重庆长江轴承工业有限公司、山东烟台西蒙西轴承公司、江苏常州光洋轴承公司、苏州新豪轴承公司、广东阳春轴承公司、台湾东培轴承有限公司、台湾普盟轴承公司等 300 余家国内外轴承制造和相关的公司推广使用,用户反映良好。该成果达到了国外同类试验机的水平,既快(比模仿前苏联的 ZS 型寿命试验机要快 5~10 倍),又好(可靠性高,精确度准),还省(可节省试验费用 4/5 左右,大大缩短产品的开发周期),具有明显的社会效益和经济效益。值得一提的是,尤其 2015 年上半年以来,美国、墨西哥、俄罗斯、立陶宛、西班牙、斯洛伐克、印度、伊朗、韩国、朝鲜等等国际轴承公司纷纷购买我们的强化寿命试验机,并到我们中心或者我们中心派人到国外现场进行培训。在 ABL T 系列滚动轴承疲劳寿命强化试验机的基础上,进一步开发 A²BLT+F²AST 寿命及可靠性强化试验机,进一步研究开发包括快速失效诊断技术、快速失效分析技术、快速失效处理技术等三大技术,将是

轴承疲劳寿命试验机研发的下一个重要课题。现杭州轴承试验研究中心博士后科研工作站正在进行一些轴承行业基础性的研究工作，每年招收 1 名企业博士后，进一步开发研究 A²BLT 寿命及可靠性强化试验机，并使 ABLT 型寿命及可靠性强化试验机产品化、商品化、系列化、智能化、国际化，从而形成轴承试验机技术更新换代、与时俱进的良性循环。

2 滚动轴承寿命试验技术

2.1 滚动轴承寿命试验标准及数据处理

由于影响轴承寿命及可靠性的工程因素太多、太复杂，而且轴承疲劳寿命理论仍需进一步完善，因此进行寿命及可靠性试验成为评定轴承寿命的主要手段。相对于 SKF、舍夫勒(INA/FAG)、Timken/Torrington、NSK、NTN、JTEKT、NACHI、NMB 等八大国外公司，我国轴承寿命试验起步较晚，对失效机理等基础理论研究明显不足，目前尚处于大量积累试验数据的阶段。2010 年 4 月 1 日实施的 GB/T 24607-2009 **滚动轴承寿命及可靠性试验及评定**，废止了原 JB/T50013-2000 及 JB/T50093-1997 两项标准。杭州轴承试验研究中心有限公司企业博士后科研工作站招收的第二位博士后楼洪梁副教授（现在任职中国计量大学），进行了**小样本条件下滚动轴承可靠性评价方法的研究**。博士后研究报告得到清华大学摩擦学国家重点实验室雒建斌院士和中国轴承行业协会高级专家的高度评价，目前已经顺利出站并取得中国博士后证书，还在指导研究生进一步研究这方面的课题。无失效数据的 bayes 分析法和无失效数据的配分布曲线法正在受到人们的关注和研究。随着轴承寿命试验数据处理技术的创新，人们对于产品质量及可靠性工程的重视，必将促进滚动轴承快速寿命及可靠性试验系统技术的发展。

2.2. 滚动轴承故障诊断及寿命预估技术

滚动轴承的状态监测与故障诊断是通过对滚动轴承在各种工况下表现出来的振动、噪声、温度、工作参数、气味、泄漏等信息的监测和综合分析来对其工作状态、故障类型和故障严重程度进行综合评价的过程，主要包括**检测试验技术、信号处理技术、模式识别技术和预测评估技术**四项基本技术，从而实现检测和发现异常、诊断故障状态和部位、分析故障类型、提出诊断方案和诊断结论的目的。

世界各国都十分重视对大型设备的状态监测和故障诊断工作，积极开展故障机理、故障监测、故障诊断技术等方面的研究和系统开发工作，自从上个世纪 70 年代以来，国外的机械设备状态监测和故障诊断技术已经进入实用化阶段。我国故障诊断技术经过 20 多年的发展，从简易诊断到精密诊断，从一般诊断到智能诊断，从单机诊断到网络诊断，逐步走出了一条适合我国国情的发展道路；不论在故障诊断理论和方法上，还是在

工程实践及监测诊断产品的研发中，都已经有了一定的基础。故障监测和诊断技术发展到今天，已经初步形成一门跨学科的综合信息处理技术。鉴于此种情况，我们正着力于将故障监测和诊断技术与滚动轴承试验技术进行有效的结合，开发滚动轴承寿命及可靠性强化试验系统技术（A²BLT+F²AST），力图在进行轴承性能试验的同时，对其使用性能的劣化和潜在缺陷进行监测和诊断，指导试验的快速、有效地开展。在不久的将来，用于滚动轴承故障监测和诊断的时频分析法、小波分析法、时变参数模型法、分段平稳 AR 模型法、自适应 AR 模型法等前沿技术将进一步完善，高阶循环统计量技术、分形维数等技术将有望得到进一步的突破，专家系统和人工神经网络技术等综合型的故障智能监测和诊断系统具有很大的发展潜力和广阔的发展前景。

早在 20 世纪 70 年代初，Chiu P 和 Tallian T E 提出了考虑表面的裂纹生成方式的接触疲劳工程模型，该模型可以解释一些 L-P 模型难以解释的问题，例如表面粗糙度、弹流油膜厚度、切向摩擦牵引力以及润滑介质存在污染物等情况对接触疲劳的影响。20 世纪 80 年代，Ioannides E 和 Harris T A 在引进了材料疲劳极限应力和考虑应力体积内各点应力及其深度的情况下，给出了 I-H 模型，该模型比 L-P 模型考虑的更加细致和接近实际的情况。但美国 NASA 的 Zaretsky E V 认为该模型高估了轴承的寿命。Zaretsky E V 提出的基于 Weibull 模型基础上的修正模型、Cheng W Q 和 Cheng H S 提出的用疲劳裂纹产生的时间来表示轴承寿命的 C-C 模型、Tallian T E 提出的 T 模型、Yu W K 和 Harris T A 提出的 Y-H 模型都从不同的角度提出了对寿命的预测和评估的方法。科学准确地预测轴承疲劳寿命一直是机械工程学者关心又难以解决的难题，三参数 Weibull 分布和修正的 Palmgren-Miner 疲劳损伤累积法将是滚动轴承应用中亟待研究的课题，同时建立关于轴承疲劳机理研究、失效因素分析、材料冶炼加工工艺、试验数据分析等的数据库也是任重道远。

2.3 滚动轴承润滑脂寿命及可靠性工程应用技术

润滑脂的使用寿命直接影响机械设备(轴承)的维修保养期、补脂的周期。润滑脂使用工作环境温度、机械设备运转速度对润滑脂的使用寿命影响很大。工作环境温度越高，润滑脂使用寿命越短。这是由于高温，加速了润滑脂的基础油的蒸发损失和氧化反应以及胶体结构破坏。设备运转速度越快，润滑脂所承受的剪切应力就越大，润滑脂结构遭受到的破坏作用也越大，使润滑脂使用寿命大大缩短。因此，在高温环境、高转速条件下，要选用氧化安定性能好、蒸发损失小、滴点高、抗机械剪切能力好的润滑脂。高温下润滑脂在抗磨轴承中工作性能是指在高温、高转速、轻载荷条件下润滑脂在抗磨轴承中的工作性能。试验方法见 SH/T0428—2008《高温下润滑脂在球轴承中的寿命测定法》，此方法等效采用美国联邦试验方法标准 FS 791 B331.2。在使用过程中，滚动轴承由于

其阻力使轴承不断磨损而失效，润滑脂(油)和润滑方式的不同，对降低轴承摩擦磨损效果显著不同。因此润滑技术已成为轴承技术研究的重要组成部分，润滑脂(油)被称为“滚动轴承的第五个零件”（其他为内圈、外圈、滚动体、保持架）。研究润滑技术的主要任务就是开发不同润滑脂(油)及其润滑方式，使其滚动轴承阻力最小而且稳定(波动性小)，寿命最长，服役可靠。

2.4 滚动轴承试验技术的智能化和个性化

智能化和个性化是轴承寿命及可靠性试验技术的发展方向，根据特定的试验条件，设定转速谱和载荷谱等以满足试验要求，同时应用**人工智能和专家系统等知识库技术**来进行智能化处理。2005年第一作者在**德国慕尼黑技术大学**等培训学习汽车模拟试验技术，并实地考察了舍夫勒(INA/FAG)轴承公司、KLUBER 润滑脂公司及其测试中心的模拟试验现场情况，实地看到了如此众多的面向应用对象的模拟测试技术的各种台架，的确大开了眼界，增长了见识。如汽车轮毂轴承单元模拟测试，特殊润滑脂应用工况评估测试，如 FE8 和 FE9 等，对此有了更深刻的感悟。舍夫勒(INA/FAG)轴承公司、KLUBER 润滑脂公司 2010 年均到杭州 HBRC 考察，并进一步交流了相关的研究工作。目前也有进一步的联系、交流、合作。2012 年和 2014 年的上海国际轴承展览会期间，我们都进行了面对面的深入交流。

3 HBRC 实践

3.1 企业博士后科研工作站

杭州轴承试验研究中心有限公司企业博士后科研工作站，是杭州市下城区第一个、中国轴承行业第五个企业博士后科研工作站，从 2006 年创建以来，试图与国内外著名高等院校合作，以市场为导向、**产学研用、合作共赢**的合作模式，在滚动轴承性能寿命的检测试验考核、故障监测诊断、寿命预测评估等相关领域进行研发攻关。已和浙江大学、上海交通大学、国防科技大学、中国人民解放军军械学院等联合指导博士生 10 余名，已和浙江大学、电子科技大学、长安大学、浙江工业大学、燕山大学、中国人民解放军后勤工程学院等联合招收企业博士后 12 名，其中 6 名已顺利出站。第七位博士后周兆忠教授（全国博士后编号是：115217）正在进行**滚动轴承陶瓷滚子制造工艺试验应用研究**。第八位博士后（全国博士后编号是：142897）刘志亮副教授正在进行**滚动轴承故障诊断及健康状态评估（寿命及可靠性）试验应用研究**。第九位博士后（全国博士后编号是：155436）张龙副教授正在进行**变工况下滚动轴承性能退化评估及可靠性预测研究**。第十位博士后（全国博士后编号是：154870）彭朝林讲师正在进行**苛刻条件下脂润滑滚动轴承摩擦磨损机理及润滑特性研究**。而且可与各个有优势的轴承企业集团联合招收项目博士后，针对各个有优势的轴承企业集团实际技术难题，各个击破！对于每个具有相

对比较优势的轴承企业来说，一定要抓住国家培育发展**高端装备制造产业**，加强“四基工程”（关键基础材料、核心基础零部件/元器件、先进基础工艺、质量技术基础），这一个千载难逢的战略机遇期间，抢占“十三五”发展的制高点，使其成为各具有相对比较优势的轴承企业的“十三五”规划的重要组成部分。

3.2 国家级检测实验室(CNAS No. L0309)

机械工业轴承产品质量检测中心（杭州），是原机械工业部轴承局根据联合国开发计划署援助，在杭州建立的滚动轴承真正意义上的第三方检测试验研究基地。2003 年经中国实验室国家认可委员会(CNAL)评审，成为**中国轴承行业首家通过 ISO/IEC 17025 的国家级检测实验室(CNAS No. L0309)**，且具有独立法人资格，检测试验数据能国际互认，并成功为美日德等行业内外的国际知名轴承公司和轴承使用大户提供国际轴承测试服务，为中国轴承行业测试技术走向世界迈出了关键性的第一步，同时大大地推进了中国轴承行业轴承寿命及可靠性试验系统技术的进步。2013 年 6 月 23 日，CNAS 轴承检测领域认可能力表述技术研讨会在我们杭州轴承试验研究中心成功举行。到目前为止，我国轴承行业已经有 20 余家国家认可的检测实验室，大多数实验室所在企业同时生产制造轴承，唯一不生产一套轴承的研究院所仅仅我们一家。

3.3 浙江省轴承工业协会秘书处

浙江省轴承工业协会秘书处就设在 HBRC。中国轴承工业协会等相关领导高度重视并亲临现场指导，亲切指示我们“三个千万不要”，即：千万不要去走轴承生产制造企业的模式，千万不要既当运动员又当裁判员，千万不要被单位的 GDP 牵着鼻子走，保持好、维护好、发展好第三方的独立的科学性、公正性、准确性地位，成为真正意义上的第三方国家级检测校准实验室，实现中国政府在上世纪八十年代建立杭州轴承试验中心时提出的“要成为中国轴承行业对外进行国际交流的窗口”的总体战略以及顶层设计和定位要求。同时我们将以轴承测试仪器、试验机的应用及发展为基础，建好“三口之家”：在“养家糊口”的前提下，继续研发攻关，“替代进口”、“扩大出口”。我们通过对轴承寿命及可靠性工程应用这一领域的科学理论及技术应用研究、研发，进一步实现工程实际推广应用，推进了轴承寿命及可靠性工程快速试验系统技术（A²BLT+F²AST）在中国乃至世界轴承行业的广泛应用。但是，另外一方面，目前的中国轴承行业，有的企业在工程科学、工程技术与工程管理方面的认识、理念明显滞后，有的连起码的科学常识都不足甚至没有。因此，加强轴承寿命、可靠性、润滑脂工程应用等相关常识的科普工作仍然非常急需。通过不断的科学普及教育，提高轴承制造商及轴承主机用户对轴承润滑脂技术及管理的工程认识，以避免在“**润滑脂中加玻璃粉**”和“**水变油事件**”的再次发生！绿色摩擦学及其创新应用问题是目前摩擦学研究的主题，就滚动轴承摩擦学而言，

必须组建工程（科）团队，进行工程创新！实干创新！协同创新！在长期的轴承寿命及可靠性试验工程应用领域的实践中，我们深切感悟到轴承工程是轴承产业发展的物质基础，轴承产业是轴承工程的产生、成长和变迁的轨迹。轴承产业的发展是一个量变到质变的过程，是阶段性的、有拐点的过程。因此，对轴承工程演化的规律性认识会涉及到对轴承产业发展的研究。因为轴承产业是由相关的轴承工程、相似的工程组成的，而且我们采用的轴承产业案例是同一门类下的工程，在一定意义上体现出轴承工程的演化（转型升级）。通过选取具有代表性的轴承工程演化（转型升级）的案例，将理论与案例研究有机地结合起来，将会清晰地说明轴承工程演化（转型升级）的问题。轴承可靠性工程应用是轴承科学问题、轴承技术问题的最终归宿。如果说轴承科学问题是“**化钱创造知识**”的话，那么轴承技术问题就是“**将知识变成钱**”。一种不能“将知识变成钱”的技术，或者说在“将知识变成钱”的过程中是赔钱的技术，无疑不是我们所希望的技术。一种“**忽悠**”人的技术，一种“**过时**”的技术，一种“**太超前**”的技术，还不如没有技术。中国轴承行业转型升级说了这么多年，我们认为收效不大的原因大概在于此吧！

3.4 国际轴承企业之间技术经济合作与交流的窗口

2016年3月22~23日，SCHAEFFLER全球高级副总裁 Dr. Arbogast Grunau 和 SCHAEFFLER 大中华区技术研发部总监刘泳博士考察访问了杭州轴承试验研究中心，这是 Dr. Arbogast Grunau 第四次专程考察 HBRC。作为全球最大的汽车和工业产品供应商（全球 staff 有 84198 人，2015 年业务达 132 亿欧元），分享了世界级的质量和技术，本土化的成本和服务解决方案。X-life 开启了设计和工程技术上的新的可能，就好像 SKF Explorer “探索者”产品一样。当我们赠送了原杭州轴承试验中心刘泽九主任为主编的英文著作（Rolling Bearing Application, 机械工业出版社，2014.1）以及浙江省轴承工业协会会刊——轴承信息，德国客人对于 HBRC“顶天立地”的应用基础研究较为赞赏，并表示要进一步加强项目交流，产学研用，合作共赢！

4 结束语

随着中国经济进入新常态以及在供给侧结构性改革的大背景条件下，如此众多的中小型轴承企业的出路在哪里？如何直面新常态，创造新机遇？“低增速、低效益，多数求生存、少数谋发展”的新常态条件下，开发占领高端，做优做大中端，控制提升低端为产品结构调整方向。企业间的竞争也变得更加惨烈，轴承行业形势的严峻复杂程度远超预期。同时对于中国轴承行业，最近在轴承材料、振动、摩擦力矩等等相关新标准发布后，应该与时俱进，适应新常态、赢在新常态、领跑新常态。GB/T 32562—2016《滚动轴承摩擦力矩测量方法》；JB/T 1255—2014《滚动轴承高碳铬轴承钢零件热处理技

术条件》；GB/T 18254《高碳铬轴承钢（报批稿）》研讨轴承钢发展方向和措施；随着ISO 15242-1：2015（ISO 15242-1：2004已经转化为GB/T24610.1-2009 滚动轴承-振动测量方法-第一部分：基础）和ISO 15242-2：2015（ISO 15242-2：2004已经转化为GB/T24610.2-2009 滚动轴承-振动测量方法-第二部分：具有圆柱孔和圆柱外表面的向心球轴承）的发布，滚动轴承振动速度测量方法的研究应用将更加被广泛接受。

经过 30 余年的努力，我国的轴承寿命及可靠性试验技术已经得到了较大的发展。同时，时不我待，目前互联网+已经完全改变了信息的分布与获取方式，颠覆了以往的传统制造业思维。如何以国际化视野来谋划中国轴承企业的未来，将市场需求作为加速器，通过科技创新手段引领中国轴承企业的发展。需求导向的轴承学术理论、轴承共性技术、轴承工程应用相关的轴承制造业信息服务，同时将技术信息、技术服务、技术中介、技术金融互动融合，支持新的模式，支持新的生活方式，支持打破自由禁锢的获取知识方式！在质量、技术、服务和交货期的综合研究认识、掌控、利用方面，关注宏观政策红利、行业层面机遇和企业自身优势，整合资源，顺势而为。创新驱动求发展，托起轴承强国梦想！

本文旨在**抛砖引玉，加强交流**，代表行业利益、凝聚行业智慧、形成行业共识，共同为我国轴承行业**转型升级**，从轴承制造到**轴承智造**，贡献出力！**本文的不足之处，敬请批评指正！谢谢！**

* 李兴林：教授级高级工程师，浙江大学博士，上海交通大学博士后，原杭州轴承实验研究中心有限公司董事长

参考文献：

- [1] Li Xinglin. Accelerated rolling bearing life testing is just unfolding. 2005（李兴林. 我国轴承寿命强化试验方兴未艾. 机电商报, A06版. 基础件. 轴承, 2005.6.20）
（<http://www.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=ccnd&dbname=ccnd2005&filename=jdsb20050620a062&uid=WEEvREcwSIJHSlRa1FiNlpKRzBzOEIUOWt5dVc3a2pQbkxTN2FzRFBkdTd5a2V3Q2RQcmJMYzF4N3IsUXdjPQ==&p>）
- [2] Li Xinglin. Development and status in quo of rolling bearing life performance testing technology, 2007（李兴林. 轴承寿命性能试验技术现状及发展. 杭州：杭州轴承试验研究中心）
（<http://www.cbia.com.cn/luntan/2007-1/5.htm>）
- [3] Li Xinglin, Xue Jin, Wu Baojie, et al. Application of Rolling Bearings Lubrication Grease Testing, 2011

- (李兴林, 薛进, 吴宝杰, 等.滚动轴承润滑脂寿命试验技术进展.石油商技, 2011 (6)
(<http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotal-SYSA201106007.htm>)
- [4] Li Xinglin, Chen Fanghua, Shen Yuntong, et al. The principle of rolling bearing measurement-Systematic measurement technology of vibration, noise and abnormal sound of rolling bearing. 2010(李兴林, 陈芳华, 沈云同.轴承振动测量原理 - 滚动轴承振动、噪声和异音测试系统技术研究.杭州: 杭州轴承试验研究中心, 2010
(<http://wenku.baidu.com/view/c83294244b35eefdc8d333e1.html>)
- [5] Li Xinglin. A²BLT+F²AST—Accelerated Automatic rolling Bearing fatigue Life and reliability Tester and Fast Failure Analysis System Technology in Hangzhou Bearing Test & Research Center with assistance of UNDP/UNIDO, Forum on Frontiers of Engineering.Sponsored by Chinese Academy of Engineering,2009:47
- [6] 李兴林, 吴宝杰, 刘庆廉, 等.我国滚动轴承润滑脂现状与发展//中国工程院工程科技论坛(第28场), 摩擦学工程科技论坛——润滑应用技术论文集(上海).2004: 62-74
- [7] 李兴林.轧机轴承减振、降噪、寿命可靠性及失效模式分析//中国科协、中国工程院第七届中国西部科技进步与经济社会发展专家论坛(中国银川)特邀报告,2004
- [8] 李兴林, 冯强, 吴宝杰, 等.滚动轴承润滑脂性能寿命试验技术现状及发展//全国第十五届润滑脂技术交流会论文集.中国石油学会石油炼制分会,2009:1-6
- [9] 李兴林, 等.轴承可靠性工程应用技术//2011年全国机械行业可靠性技术学术交流会暨第四届可靠性工程分会第三次全体委员大会论文集(山西大同),2011:1-7
- [10] 李兴林, 等.轴承性能寿命及预估//第六届中国轴承论坛(主旨报告)论文集(中国宁波).2011:67-75
- [11] 李兴林.滚动轴承工程前沿信息浅析//2012年中国轴承行业信息化战略论坛(主旨报告)(浙江衢州常山),2012
- [12] 周宇, 李兴林.提高轴承寿命及可靠性, 加快行业转型升级.轴承, 2012(11): 60-62
- [13] Duncan Dowson, History of Tribology, Professional Engineering Publishing Limited. London and Bury St Edmunds, UK 1998
- [14] 殷建军. 自动加载轴承加速寿命试验系统研究. 杭州: 浙江大学、杭州轴承试验研究中心有限公司博士后科研工作站, 2010
- [15] 楼洪梁. 滚动轴承可靠性强化试验方法研究. 杭州: 浙江大学、杭州轴承试验研究中心有限公司博士后科研工作站, 2011
- [16] 邓四二. 角接触球轴承摩擦力矩波动特性研究. 杭州: 浙江大学、杭州轴承试验研究中心有限公司博士后科研工作站, 2013
- [17] 谢平. 风机轴承振动特征提取与故障诊断. 秦皇岛: 燕山大学、杭州轴承试验研究中心有限公司博士后科研工作站, 2014
- [18] 李兴林, 等. 轴承寿命性能试验技术现状及发展. 滚动轴承标准化, 2007,1:11-16
- [19] 李兴林, 等. 滚动轴承疲劳寿命及可靠性强化试验技术现状及发展. 现代零部件,2007(2):66-71
- [20] 李兴林, 李俊卿, 张仰平, 等. 滚动轴承快速寿命试验现状及发展. 轴承,2006(12):44-47
- [21] 邓四二,李兴林,汪久根,等. 角接触球轴承摩擦力矩特性研究. 机械工程学报, 2011,47(5):114-120
- [22] 邓四二,李兴林,汪久根,等. 角接触球轴承摩擦力矩波动性分析. 机械工程学报, 2011,47(23):104-112

- [23] Su Liangcheng, He Shan, Li Xiaoli, et al. Bio-inspired computational techniques based on advanced condition monitoring, ENGINEERING SCIENCES, 2011, 9(1): 90-96
- [24] 张正荣, 李兴林, 陈国建, 等. 我国轴承产业转型升级的路径与策略研究——基于产业链整合与价值提升的分析. 轴承工业, 2010(9): 15-19
- [25] 李兴林, 张仰平, 曹茂来, 等. ABLT 系列滚动轴承寿命及可靠性强化试验技术应用实践. 轴承工业, 2014(9): 23-27
- [26] 李兴林, 周宇, 张燕辽, 等. 滚动轴承可靠性工程与寿命预测应用技术//全国第七届航空航天装备失效分析研讨会会议论文集(贵阳). 北京: 中国航空学会, 2012: 457-464
- [27] 李兴林. 轴承寿命性能试验技术现状及发展//全国轴承行业技术工作会议专家演讲文集. 北京: 中国轴承工业协会, 2006: 82-91
- [28] 李兴林, 张燕辽, 李俊卿. 滚动轴承寿命及可靠性强化试验//发展中的中国轴承工艺装备. 北京: 中国轴承工业协会, 2006: 131-137
- [29] 何加群. 中国战略性新兴产业研究与发展//轴承. 北京: 机械工业出版社, 2012
- [30] 刘泽九, 贺士荃, 李兴林, 等. 滚动轴承应用手册. 3 版. 北京: 机械工业出版社, 2014
- [31] 李兴林, 张仰平, 曹茂来, 等. 滚动轴承寿命及可靠性试验监测诊断技术实践. 设备管理与维修, 2016, 360: 47-50
- [32] 才家刚, 李兴林, 王勇, 等. 滚动轴承使用常识. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2015
- [33] 吴参. 滚动轴承故障混沌动力学分析与专用试验机研制. 杭州: 浙江大学、杭州轴承试验研究中心有限公司博士后科研工作站, 2015