

国外机械工业基本情况

滚动轴承

机械工业部洛阳轴承研究所 邢镇寰 邢应五 主编

机械工业出版社

1994年6月

国外机械工业基本情况

滚动轴承

机械工业部洛阳轴承研究所 邢镇寰 邢应五 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

机械工业出版社

(京)新登字 051 号

内 容 简 介

本书是《国外机械工业基本情况》丛书中的《滚动轴承》工业综述分册；全书共四章，内容包括：1986~1993年国外轴承企业的经营状况；开发的新产品、新材料、新工艺、新设备、新仪器、新的润滑方法和润滑剂；采用的卓有成效的管理技术和国际轴承市场的现状、动向及竞争情况等。可供轴承生产厂家、使用部门以及高等院校、领导机关和科研院所参考使用。

滚 动 轴 承

机械工业部洛阳轴承研究所 邢镇寰 邢应五 主编

*

责任编辑：朱峰 孙力 版式设计：李松山

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

邮政编码：100037

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

河南省郑州市荣阳县高中印刷厂印刷

开本 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张 11.1 字数 168千字

1994年6月北京第1版 1994年6月郑州第1次印刷

印数 001—550 · 定价：30.00元

*

ISBN 7-111-04355-3/TH·549

出版说明

机械工业肩负着为国民经济各部门提供实用、先进的技术装备的重任。为适应社会主义市场经济体制的发展要求,必须大力发展机械工业。上质量、上品种、上水平,提高经济效益,是今后一个时期机械工业的战略任务。为了借鉴国外机械工业的发展道路、措施方法和经验教训,了解国外机械工业的生产、技术和管理水平,以便探索我国机械工业在社会主义市场经济体制下自我完善的发展道路,我们组织编写了第四轮《国外机械工业基本情况》。这一轮是在前三轮的基础上,围绕我国机械系统各行业和专业的发展战略,针对我国机械工业技术发展的实际要求,全面系统地介绍国外机械系统各行业、企业、生产技术和科学研究等方面的综合情况,着重报道了国外机械工业80年代中后期到90年代初期的水平及到本世纪末的发展趋向。

第四轮《国外机械工业基本情况》共60多分册,编写人员达500余人。本书为《滚动轴承》分册,由机械工业部洛阳轴承研究所邢镇寰、邢应五主编,责任编辑:朱峰 孙力。

机械工业部科技信息研究院

目 录

第 1 章 世界轴承工业的现状与展望.....	(1)
第 2 章 国外轴承工业生产技术概况.....	(9)
1 产品的开发	(9)
2 材料的发展	(29)
3 制造工艺的改进	(37)
4 测试技术的进步	(47)
5 应用技术的成就	(55)
6 管理水平的提高	(59)
第 3 章 各国轴承工业及主要公司概况	(64)
1 日本轴承工业及主要公司	(65)
2 美国轴承工业及主要公司	(87)
3 德国轴承工业及主要公司	(92)
4 瑞典 SKF 公司	(99)
5 法国轴承工业及主要公司	(102)
6 英国轴承工业概况	(104)
7 原苏联轴承工业概况	(105)
8 韩国轴承工业概况	(108)
9 印度轴承工业概况	(110)
第 4 章 国际轴承市场的竞争与动向.....	(111)
主要参考文献.....	(116)

第 1 章 世界轴承工业的现状与展望

滚动轴承得到较普遍的应用始于上世纪末,虽然从经济角度看,轴承工业的总产值在世界工业总产值中并不占有举足轻重的地位,但从其作用来看,其价值却不能低估,它与人民生活、国家安全、技术进步都有密切相关的联系,因为从家用洗衣机、旋转式住宅到宇宙航行都离不开滚动轴承这种理想的支承件。如果用于军事装备的轴承不能保证在各种苛刻条件下的使用性能,无疑会削弱国家的防御能力,其后果将不堪设想。美国曾反复提出,国家安全条款要保护美国的轴承工业,美国空军对航天工业所做的研究表明,航天工业能否健康发展,取决于轴承制造业的现代化,因而在军方资助下实行“发动机轴承技术现代化”计划,以振兴其轴承工业。

尽管滚动轴承是用于各种装备中的支承元件,但由于品种繁多,加工精密,外径从 10m 到几毫米,加工公差从微米到更小,所以轴承工业可以说是机械工业中的一种特殊的独立的工业,它有力地支持了世界范围的技术进步。从 1990 年的统计数字看,除原苏联和东欧各国外,国外的轴承工业总产值约为 160 亿美元,其中美国、日本和德国约占 70%。

由于轴承生产需要大量的设备投资(目前世界轴承制造业的总资产约为 140 亿美元)和从实践中积累的专门技术诀窍,所以要想挤入这种工业的行列并非易事,这就使得一些开办较早、经营有方或者创业稍晚急起直追的企业经过发展产品、提高质量、改进技术和开拓市场形成今天这种垄断集团的态势。从产值看,瑞典的 SKF 公司名列榜首,其次是德国的 FAG 公司和日本的 NSK、NTN 公司;从 1989 年的统计情况看,在不包括美国公司在内的世界 500 家大公司中,SKF 居第 236 位,FAG、NSK 和 NTN 分别居第 385、361 和 413 位。当然这一名次不是固定的,它随着世界经济形势和各公司的发展状况不同而异。从目前情况看,世界轴承贸易额的一半左右集中在 SKF、NSK、FAG、Timken 和 Torrington 等公司。微型轴承世界市场则由德国的 GRW、GMN、INA、FAG、美国的 MPB、BMB、Barden、Fafnir、日本的 NMB、法国的 ADR、瑞士的 RMB 和 Bulle 等公司所垄断,随着娱乐性的电子产品的发展,微型轴承市场呈发展势头。

世界轴承工业在国际市场中处于激烈竞争的前哨,它受到变幻无常的国际金融市场的影响,并随着世界经济的兴衰而波动。在 1982~1983 年,由于资本主义世界经济衰退,曾使轴承减产 20%,而 1983~1985 年,因为汽车工业的发展和农业机械、建筑机械的增产,又使国际轴承市场扩大了。从 1983 年瑞典 SKF 公司的情况看,其增长速度为 7%~8%,1989 年,国际轴承总出口量为 60 亿美元。但在 1989 年前后,国际轴承市场又有所变化,美国轴承工业从 1989 年又开始滑坡,减产和裁员之风有所抬头,例如,在 1991 年美国球轴承和滚子轴承的供货量减少 6%,其主要生产轴承的 Timken 公司在 1991 年也开始出现亏损,主要原因是作为轴承产品主要消费者的汽车工业继续不景气,而建筑机械、机床和矿山机械行业对轴承的需求也有所减少所致。到 1992 年,随着汽车和卡车销售量的增加,有助于美国从两年来的销售低谷中摆脱出来,估计当年美国轴承的出口量约增加 10%。在 1993 年,预计美国的直线运动球轴承的销售额会有所增长,可达 6 700 万美元。据预测,美国轴承工业可能从 1993 年夏季以后开始好转。在亚洲,日本从 1986 年 12 月开始,其轴承工业持续增长 52 个月后于 1991 年 8 月开始滑坡,由于个人消费、设备投资和住宅投资的速度放慢,影响了轴承工业的发展。从日本轴承出口

额的变化就可说明这点。据统计,1990年日本的轴承出口额为22 321 460.9万日元,比1989年增长10.7%,而到了1991年,其轴承出口额则下降到20 768 081.5万日元,比1990年减少7.48%。从1991年下半年开始,企业缩短工作时间的现象有所增加。在泰国和新加坡,由于日本的微型轴承生产厂大幅度迁入(65%的生产能力迁至泰国,33%迁至新加坡),在一定程度上改变了这两个国家的工业布局,由于雇用了当地比较廉价的劳动力,也提高了日本微型轴承在国际市场上的竞争能力,预计在1993年春夏之间,日本的轴承工业将出现低谷,但随着库存调整的完成和美国工业复苏,1993年夏季以后,将有所好转。印度在1985年以前轴承工业的总产值仅为40亿卢比,外国制造的廉价轴承大量涌入,企业活动呆滞,开工率低,而到1985年以后,席卷全国的汽车革命,带动了轴承工业的发展,因为有60%的轴承用于汽车工业。另外,电风扇、电动机、电动泵和铁路机车工业的发展也助长了轴承工业的发展势头,使轴承产量达到1亿套,产值在五年间提高到1985年时的3倍以上,而达到130亿卢比,工厂的设备利用率也上升到95%,从1985年到1989年间的轴承市场扩大率为20%。目前印度国内需要的轴承规格为6~7万种,但其国内生产的轴承规格为850种,只能满足所需规格的1%左右,国内市场对轴承需求的年增长率为25%。除上述的几种工业发展所需外,错误的使用和不良的存储均导致了轴承需求的上升。从总的情况看,印度的轴承工业近年来呈发展的态势。在欧洲,英、法等国的轴承工业本来就比较薄弱,难于与美、日、德等轴承强国竞争,日本NSK公司于1990年1月17日用1.45亿英镑购买了英国航空轴承的主要生产公司UPI(联合精密工业公司)一事就说明这一点。UPI是以小批量高利润著称,销售额占英国的17.8%,占欧洲共同体的2.7%,它被NSK买进后,将引进NSK的专门技术。德国的FAG公司在1991年和1992年连续两年亏损,例如,1991年其销售额为39亿马克,而1992年则下降到36亿马克。为了挽回颓势,他们于1993年元月制定了一个紧缩开支,加强关键部门的一揽子计划,总的看来,西欧和美国的各大轴承公司如SKF、Timken等,为了协调自身的影响和改善生产管理,都广泛地利用了以计算机化为基础的情报网络,这使他们有可能实现全球性的生产预测和控制以及交货与订货的计算机控制。在1993年元月已经形成的欧洲统一市场,估计将增强欧洲轴承工业的竞争力,不过在其形成之前,日本已抢先在欧洲建立了一些轴承生产厂,打入了欧洲内部,今后的国际轴承市场竞争将是愈演愈烈的。原苏联的轴承工业就其产量而言,目前已超过11亿套,预计到2000年可达13.5亿套,位居世界第三,其产品从0.5mm~3m,重量从几克到7t。为了加强其生产能力,拟在1995年完成4个轴承厂的建造,并向德国Rothe Erde公司购买生产特大型轴承的许可证,还与德国FAG和日本NMB公司合作生产超精密轴承,他们还购买了德国INA公司生产万向节轴承的新技术。其轴承工业以满足国内需求为主,出口量仅占总产量的10%,1989年出口额为1亿卢布。原苏联解体后,其轴承工业的动向尚待进一步观察。从需求看,目前欧洲占世界轴承市场的35%,美国占30%,日本占25%;从世界主要轴承公司在世界轴承市场所占的份额来看,瑞典的SKF占20%,日本的NSK占11%,NTN占10%,美国Timken和德国的FAG各占8.5%,日本的KOYO占6%,德国的INA占5%,法国的SNR占2%,其它占29%。关于世界主要轴承制造厂家的生产中心分布状况见图1-1。

从轴承性能的变化情况来看,由于材料科学的发展,以及设计、制造技术的提高,改善了轴承的耐久性、内部几何结构和表面粗糙度,其结果是促进滚动轴承性能的惊人的提高。在近50年,尤其是近10年来,前进的步伐显著加快了,滚动轴承的额定寿命、负荷容量和可靠性之所以得到显著的提高,其主要原因在于使用了高纯洁度和均匀的微观结构的钢材。为了满足用户

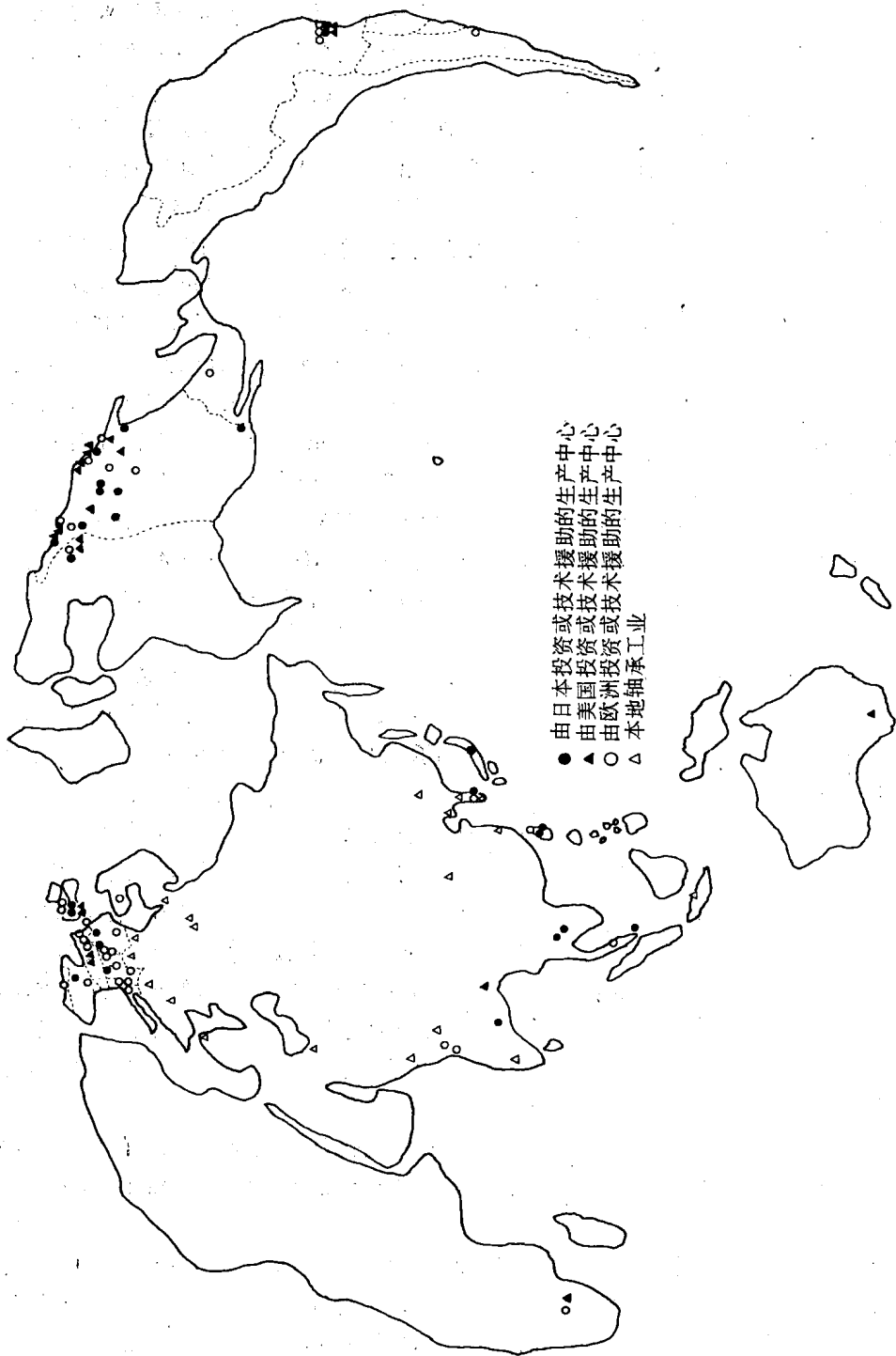


图 1-1 世界主要轴承制造厂家的生产中心分布状况
 【注】在独联体、中国和印度的本地轴承工业的生产中心仅限于主要的厂家

提出的在各种使用条件下对轴承性能的要求,在使用了优质材料的情况下,必然要研究产品设计和加工工艺,因而要加强对滚动轴承科学研究的力量已成为当代世界轴承工业界的共识,而研究与开发已作为企业重要战略,例如,SKF公司在1989年的研究开发费用为5亿克郎,占其总销售额的2%,它的研究中心每年获得150余项专利。美国为了发展陶瓷轴承,由国家对此项目给予专项经费;日本KOYO公司除本国有科研机构外,1991年还在美国建立了科研机构。日本的轴承公司正在研究替代加工技术(如硬车削)和提高飞机轴承耐蚀性的措施,他们还还对疲劳破坏的起因及进展进行了高水平的研究,发现在许多情况下表面疲劳比表面下疲劳更容易发生,研究产生的成果之一是成功地开发了对表面疲劳不敏感的密封清洁的通用轴承。有些重大的项目还形成了国际性的合作研究,例如1985年开始生产的V2500航空发动机,要求轴承具备长寿命,轻量化和高可靠性,这种发动机是由日、英、美、德和意大利共同开发研制的,其No. 1、No. 3轴承由日本NSK研制, No. 2轴承由日本NTN研制,这些轴承结构比较复杂,使用真空重熔的M50钢。再如,FAG和NSK合作开发用于日本东京湾海底隧道掘进机的大型轴承。国外近期的研究和开发工作的重点将是:提高轴承的负荷容量、使用寿命、精度和可靠性,并缩小体积,扩大轴承的转速范围,改善摩擦性能,降低振动和噪声,改进装配工艺,简化技术保养并采用计算机建立新的设计计算方法(例如,NSK的MAGMA系统,可根据用户所提最佳参数,进行最佳设计并提供图样,得到用户同意后,即可经CAD、CAM和CAE系统提出制造图样),开发新型材料和精密高效的加工和检测装置。从轴承工业各个方面取得的成果看,科研工作卓有成效的。

关于国外一些轴承公司近年来建立的科研机构以及科研投资等情况见表1-1。

轴承工业必须满足大量生产(如汽车工业,日本在1992年生产的小轿车即达938万辆)以及多种多样小批量生产(如机床)的需求,从世界轴承工业的状况看,大量生产的轴承主要用于机动车辆、标准电机和农业机械等,它们约占总产量的80%和全规格的10%(目前世界轴承的规格已超过15万个),剩下的90%的规格和20%的数量由变化很大的小批量生产完成,鉴于这种不平衡的情况,极易产生长线产品积压,短线产品不足,国外一些公司在这种认识的基础上,重新布置了生产结构,除根据需要发展批量较大的自动化生产线外,同时也纷纷建立柔性加工系统,以适应小批量多品种轴承的生产需要(例如,沙特阿拉伯的一个轴承订货单中能包括几百个规格,用量多者百余套,少者只有1~2套),这类轴承多具有高附加值的性质,因而经济效益还是可观的,但投资也不少,因为组建适于多品种小批量生产的柔性加工系统,需要数控车床,其价格比通用车床或半自动车床要高4~9倍,例如,原苏联一台ДФ2CNC数控车床在1988年的折旧费为1.9万卢布,等于一台KM-205多刀半自动车床的价格。

展望21世纪,滚动轴承的内部结构不会有异常的变化,但是它将面临新的轴承品种的挑战,例如,德国最新发展的用磁力轴承支承的机床主轴与球轴承支承的主轴相比,由于它不受球轴承因离心力造成轴承负荷,可使转速达到40000r/min,从而使切削能力达到球轴承主轴的4倍(目前使用磁力悬浮的轴承,在真空中的转速可达100000r/min),还有一种超导体悬浮轴承,在真空中的转速可达200000r/min。由于超导体的浮力是自稳定的,所以不需反馈控制,将钇-钡-铜氧化物超导陶瓷,冷却到液氮温度时,即可浮起具有稀土永久磁场的转子,而用高温超导体制成的磁力轴承,具有目前为止最低的磨耗,它比现有最好的磁力轴承的磨耗降低25倍,比滚动轴承的磨耗降低1000倍,这些情况都值得滚动轴承工业界高度重视。

表 1-1 近年来国外轴承科研机构的设置及投资情况

序号	国家或公司名称	科研机构设置及投资情况
1	美国	1. 美国政府于 1990 年向 Torrington 和 Norton 公司提供 1 450 万美元, 以开发陶瓷轴承制造技术; 2. 建立国立制造技术中心和研磨技术中心, 以夺回失去的市场并研究开发精度在 0. 25 μ m 以下的超精密轴承、内装传感器轴承和陶瓷轴承。
2	瑞典 SKF 公司	1. 1989 年投资 4. 98 亿克郎, 1990 年投资 5. 34 亿克郎, 据认为 SKF 强大的秘密在于重视科学研究, 其在荷兰的研究中心有 170 名研究人员, 每年发明 150 项专利, 其设备可与美国的硅谷相匹敌。该研究中心特别注意情报交换; 2. 在日本的 SKF 公司新建开发公司, 投资 7 亿日元, 用于发展精密轴承、主轴单元和技术情报收集等。
3	美国 Timken 公司	1. 从 1989 年始, 计划于 6 年内投资 10 亿美元, 以扩大其业务, 当年的科研开发投资为 3 700 万美元; 2. 收买了美国的 MPB 公司, 加强了研究能力。
4	日本 KOYO 公司	在美国新建技术开发中心“北美技术中心”从事轴承产品开发和实验研究。
5	日本 NSK 公司	1. 用 6000 万美元发展滚珠丝杠和直线运动导轨; 2. 收买英国的 UPI 后, 1992 年 3 月将国内的科研机构迁往英国, 成立欧洲研究中心 (ERC), 开始以欧洲为基地进行轴承科研工作。
6	日本 NTN 公司	把分散在各工厂的研究、开发和情报部门集中, 先后于 1988 年在美国建立“安阿伯研究所”; 1989 年在日本组建“磐田技术中心”和“桑名技术中心”; 于 1990 年在德国建立了第 4 个技术中心。以进行产品试验研究, 在其研究所中配有宇航轴承试验机及大型轴承试验设备。
7	日本 Tomson 公司	1990 年 9 月在日本建立技术中心, 以加强研究开发能力。

在 21 世纪, 人们也许会追求为维持和延长人的生命的机械, 即生命科学和生物工程学中有关健康、医疗和人工内脏的机械(与生命有关的机械), 这些机械要求轴承具有绝对的可靠性, 它将是发展上述与人命有关的机械的基础; 在机械工程领域, 无论是动力传输或机械传动系统都将有高功率密度的要求, 也就是要求负荷敏感元件能传递较大的功率, 但具有较小的占据空间和高的可靠性, 比如说, 在由轴承、齿轮和传动轴组成的动力传输系统中, 轴承常常是被作为薄弱环节来看待的, 例如, 传输系统要求的可靠性为 90%, 如果把组成此传输系统的轴承的可靠性由 96% 提高到 98%, 而仍然保持系统运行的可靠性为 90%, 则可以使所传递的功率增加 5%, 这就是说, 在 21 世纪, 轴承工业不仅要像现在这样继续为一些特殊领域, 如航空、铁路等方面提供高可靠性的轴承, 而且也要更多地为一些机械工程、生物工程所用的装备提供高可靠性的轴承。

从轴承技术的发展角度看, 21 世纪, 轴承工业必然将采用一些迅速发展的高技术, 如新材料的开发、表面处理技术、新的加工工艺和检测技术等, 只有这样, 才能开发出能满足高技术产业需要的“高技术轴承”。如果说, 在 20 世纪后半期, 由于对轴承材料、润滑剂、摩擦学、弹性流体动力润滑理论, 精密加工和测量技术等一系列对轴承生产至关重要的领域进行了卓有成效的研究和开发, 使轴承工业取得重大的发展的话, 那么, 在 21 世纪, 以有效利用计算机为基础的设计, 生产、流通、管理等整个系统必将使轴承工业进一步取得显著进步。

从技术经济角度来看, 降低生产成本一直是轴承生产厂家和用户的共同愿望, 但遗憾的是, 这种愿望有时会受到“超常工程”的干扰, 所谓“超常工程”是指, 研制或开发优于或超出正

常所需功能产品的工程,超常工程是对欧洲工业国家所倾向的完美主义的错误理解,它也可能是由于对所进行的研制工作无很大把握而形成的,特别是缺乏所需有关信息和不具备有关知识与经验的情况下,必然会导致增加多余的对产品要求的性能储备,即提高了“担心系数”,这就造成提高对产品的技术要求,其后果就带来了生产成本的增加。因此,这就要求轴承生产厂家改进加工工艺,提高生产效率,同时也希望用户能紧密配合,尽量使用标准轴承,减少变异产品。预计在 21 世纪,由于共同的利益,会促进用户与生产厂家的合作。

对于新产品的开发,应立足于针对实际工况条件所提出的技术要求的基础之上,并应在考虑到技术与经济的条件下,选择最佳方案,如果所做出的产品性能略高出用户提出的技术要求,则是最理想的状态,因为这意味着,以最低的生产费用解决了问题,满足了用户的要求。

对于新产品的开发、研制时所面临的状况,可用图 1-2 所示的三角战略关系图予以阐明。

以往,评定产品时,是以其技术性能作为其价值尺度的,这种观点必将导致从事这方面工作人员把兴趣主要放在从技术角度考虑使产品尽善尽美,而成本及制造时间则被认为并不十分重要。而今,产品开发与研制人员则处于以新产品的三要素(功能-成本-制造时间)为标志的三角形三

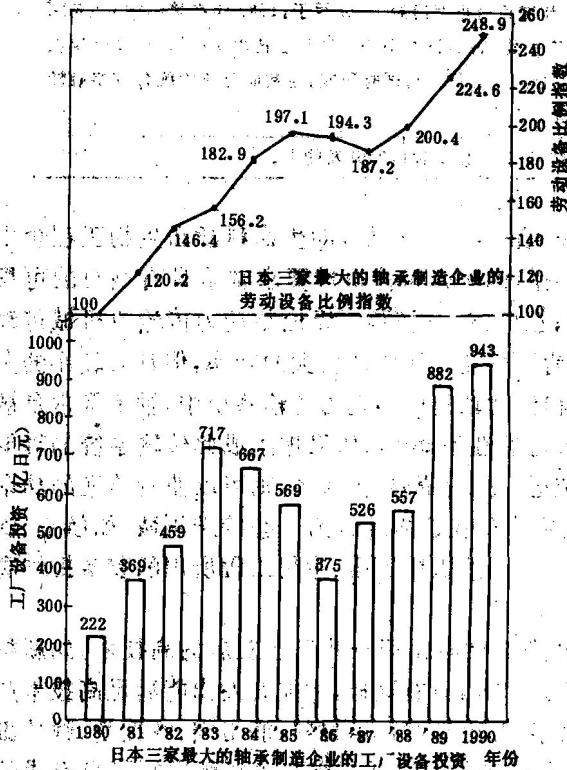


图 1-3 日本轴承工业工厂设备投资和劳动设备比例指数历年来的变化情况

$$\text{劳动设备比例} = \frac{\text{实有的固定资产}}{\text{职工人数}}$$

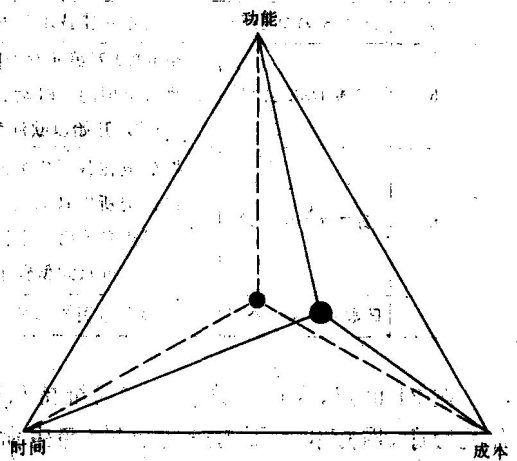


图 1-2 功能-成本-时间三角战略关系图

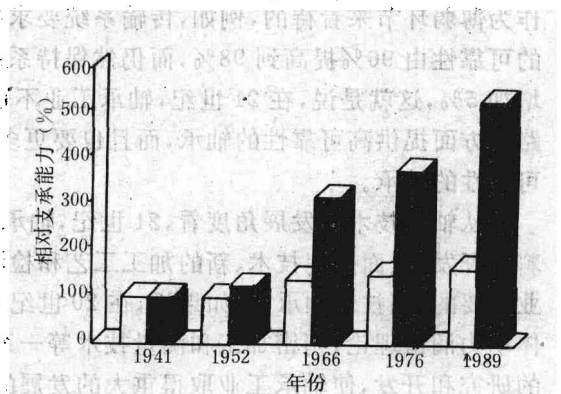


图 1-4 圆柱滚子轴承支承性能的发展情况

图中,白色块表示动负荷容量,黑色块表示额定寿命

个顶点的应力场中,对于每一要素的改变,不可能不涉及其它两个要素,例如,对产品的功能有改变时,就会影响到成本与时间,最佳的选择是处于三角形的重心。

综观上述的世界轴承工业的概况,可以预测,虽然世界轴承工业随着主机工业的起伏而时兴时衰,但从总的情况看,还是在不断发展和进步的,主要表现在投资规模愈来愈大,轴承生产厂家愈来愈多,轴承产品精度和可靠性愈来愈高,承载能力愈来愈大,寿命愈来愈长(见图 1-3、图 1-4 和表 1-2)。

表 1-2 世界主要轴承公司近年来新建、扩建工厂情况

公司名称	国家	年份	投资金额	投资用途
SKF	瑞典	1987	3 500 万马克	扩建美国佐治亚州球轴承厂
SKF	瑞典	1989	1 540 万马克	扩建德国吕肖轴承厂
SKF	瑞典	1989	4.98 亿克朗	1989 年研究开发费
SKF	瑞典	1990	200 亿日元	新建马来西亚工厂
SKF	瑞典	1990	7 亿日元	新建日本 SKF 产品服务中心(长野县)
SKF	瑞典	1990	5.34 亿克朗	1990 年研究开发费
SKF	瑞典	1991	20 亿卢比	印度轴承工厂现代化
FAG	德国	1990	5.28 亿卢比	扩建印度巴罗达工厂
FAG	德国	1990	—	新建美国密苏里州乔普林工厂汽车轮毂单元轴承厂
FAG	德国	1991	3.5 亿马克	重建原民主德国轴承厂
GMN	德国	1989	1 700 万美元	新建美国伊利诺伊州罗克福德工厂
GMN	德国	1990	2 420 万马克	设备投资
GMN	德国	1991	2 000 万马克	设备投资
Timken	美国	1990	3 440 万美元	新建印度合资工厂
Timken	美国	1990	2 300 万美元	新建美国弗吉尼亚工厂
Timken	美国	1991	2 亿美元	新建北卡罗来纳工厂和欧州工厂
MPB	美国	1990	2 000 万美元	设备投资
F·M	美国	1987	6 400 美元	设备投资
Torrington	美国	1989	1 亿美元	扩建 5 个工厂
Torrington	美国	1993	1 400 万美元	新建康涅狄格工厂
日本精工	日本	1991	80 亿日元	扩建埼玉工厂
日本精工	日本	1991	100 亿日元	扩建美国三个工厂
日本精工	日本	1991	300 亿日元	新建福冈汽车轴承厂
NTN	日本	1990	40 亿日元	新建长野精密机器厂

(续)

公司名称	国家	年份	投资金额	投资用途
NTN	日本	1990	30 亿日元	扩建美国埃尔金工厂
NTN	日本	1990	35 亿日元	新建桑名精密轴承厂
NTN	日本	1990	29 亿日元	新建桑名技术中心
NTN	日本	1990	100 亿日元	扩建冈山 CVJ 工厂
NTN	日本	1991	46 亿日元	新建桑名圆柱滚子轴承厂
NTN	日本	1991	4 000 万马克	新建德国第 3 轴承厂
NTN	日本	1991	300 亿日元	新建锻造厂
NTN	日本	1991	170 亿日元	新建美国哥伦布 CVJ 工厂
光洋精工	日本	1989	60 亿日元	扩建美国奥兰治堡工厂
光洋精工	日本	1989	42 亿日元	新建龟山工厂
光洋精工	日本	1990	8 亿日元	新建美国技术中心
光洋精工	日本	1990	75 亿日元	新建英国工厂
光洋精工	日本	1991	6 亿日元	新建荷兰欧洲统辖中心
不二越	日本	1989	40 亿日元	新建美国格林伍德工厂
不二越	日本	1989	25 亿日元	扩建西班牙工厂
不二越	日本	1990	50 亿日元	扩建美国底特律技术中心
日本微型轴承	日本	1985	4 000 万美元	改造美国新罕布什尔球轴承厂
日本微型轴承	日本	1990~1993	1 500 亿日元	设备投资
日本微型轴承	日本	1990	6 700 万美元	美国新罕布什尔工厂设备投资
日本微型轴承	日本	1991	2 200 万美元	美国新罕布什尔工厂设备投资
日本微型轴承	日本	1991	20 亿日元	松井田工厂和轻井泽工厂设备投资
椿本精工	日本	1990~1995	1 150 万美元	设备投资(美国胡佛精密产品公司)
中西金属工业	日本	1989	7 亿日元	扩建美国工厂保持架生产线
THK	日本	1990	20 亿日元	三重县交叉滚子轴承厂
THK	日本	1993	200 亿日元	新建岐阜县关原工厂

我们的轴承工业处于激烈的竞争时代,立足本国,环顾世界,面对现实,展望未来,从世界轴承工业的发展过程中获得经验,从浩瀚的技术发展洪流中取长补短,为我所用,疏通信息渠道,掌握国际市场动态,提高产品质量,降低制造成本,保证交货周期,取得良好信誉,这样才有可能在风云起伏、适者生存的世界轴承市场的角逐中处于不败之地。

第2章 国外轴承工业生产技术概况

1 产品的开发

目前世界上生产滚动轴承规格已超过15万种,虽然通过标准化工作及主机的变更,削减一些型号,但同时由于新产品层出不穷,又增加了更多的型号,最后的结果是轴承品种有增无减。在70年代,日本的轴承制造业只埋头于少数小尺寸、大批量标准轴承的生产,以后不得不开拓特殊及大型轴承。他们在美国建厂制造非标准轴承,并且从生产标准轴承部分转向生产具有某种特性的轴承组件也是快速的。例如,轮毂轴承单元,组装简单,适于前轮驱动汽车。这类多性能的轴承,先是由航空、宇航与农机工业界提出研制的,以后才发展到其它工业。它的价格较高,但从简化安装、减少尺寸等方面考虑还是经济的。SKF公司的轮毂单元轴承首先装在1969~1970年研制的第一台前轮驱动的汽车(VW)上,到1984年已进入第四代,轴承寿命与轿车一样长,其外圈与大王销合为一体。目前他们已设计出90年代的汽车发动机FIRE1000用的轴承,包括:BB1B630632皮带张紧装置轴承单元,BBWD446034水泵连轴轴承,这些轴承在发动机工作期间无需维护。

80年代以来,各使用部门对轴承性能的要求显著提高,未来的飞机涡轮发动机轴承工作温度可达500~700℃(目前波音747飞机轴承的工作温度为480℃);原子反应堆的液钠温度为650℃;高速切削机床主轴的转速由10000r/min增加到20000~30000r/min;球轴承的DN(D——轴承内径mm,N——轴承转速r/min)值将从 3×10^6 提高到 4×10^6 (40年代中期为 0.5×10^6 ,80年代初期为 2.5×10^6);在航天火箭领域要求超低温性能(液氧-183℃,液氢-253℃),而在人造卫星方面则有高真空度需求($< 133 \times 10^{-12}$ Pa),这就促使要研制新型特殊轴承;由于家电产品的发展,进一步开发了小型、高精度、低噪声轴承;而超薄壁轴承(厚度 < 3 mm)则是机器人所需的配件,机器人轴承的 $D_m N$ (D_m ——滚动体中心圆直径mm,N——轴承转速r/min)值已从70000提高到150000;可受多方向负荷的组合轴承是为了适应谐波传动的需要而研制的。当前对轴承的基本要求可归纳为:

- 高精度化——减少静误差、动误差、热误差;
- 高速化——提高强度、耐久性、降低振动、噪声;
- 高可靠性——提高疲劳寿命、磨损寿命,降低装配误差;
- 标准化和单元化——统一尺寸、增加功能;
- 高度适应性——能满足各种特殊工作条件的要求。

近年来,通过改进轴承的结构,显著提高了其负荷容量和其它性能,原苏联的圆锥滚子轴承及调心滚子轴承有60%~70%采用加强型结构,50%的球轴承是封闭型。

在标准的小型球轴承套圈与滚动体方面,虽然已基本上不存在非要改变的大的技术问题,但在降低噪声、改善润滑和密封等方面还有不少工作要做;在滚子轴承方面,曾就圆柱滚子母线形状进行过外形对比分析和试验,结果认为:用对数曲线外形的滚子,可以改善负荷分布,消

除边缘应力集中。

从产品设计的角度看,今后的主要任务是:提高负荷容量和寿命、降低能耗、减少维护、改进动态性能(包括刚性)、降低噪声和保证经济地加工。改善轴承周围的结构也是非常重要的,不少情况下,一部分轴承的功能,浪费于与周围结构不适当的匹配上,这一点需用户与设计部门密切合作才能取得效果。

在计算机辅助设计方面,今后的发展趋势是在应用有限元分析法的基础上,设计人员不但可以进行更多项目的设计工作,而且还可以检查各个零件及其相互的作用,最重要的进展将是把设计与分析功能结合在一起,根据分析结果自动改正设计,推进最佳设计技术。当前 FAG 公司开展的 CAD 工作内容包括:技术应用服务,有限元计算、绘图、CNC 程序编制与管理 and 生产计划管理。美国宇航局研究中心采用电子计算机设计航空发动机高速轴承和航天飞机用轴承已取得成效;日本 NTN 公司已将几种通用轴承(深沟球轴承、圆锥滚子轴承等)的 5 000 个 CAD 图形和数据录于磁带,随时可调出使用。

由于 CAD 和分析技术的发展,出现了拟动力学和动力学的高级分析模型和各种暂态、稳态分析方法及计算机软件。在过去十几年中,滚动轴承的性能分析模拟是引人注目的研究课题, Jones 的简单的拟静力学模型目前已被动力学模型代替,它不仅解答了轴承零件运动的微分方程,还提供了—个轴承性能的实时模拟,例如对保持架的动力学模拟结果(如采用 SEP-DYN 程序),预测了球轴承保持架的运动及其它工作性能。

近年来,世界轴承工业界研制了大量的新型品种,以适应特殊用途的需求和提高通用轴承的性能。对于一般用途的轴承,通过最大限度地利用其有效面积、采用新型密封(如嵌式密封、植毛密封),改善润滑结构等措施加以改进,如磨床主轴用角接触球轴承采用了半径为钢球直径的 0.54 倍的内滚道尺寸的套圈和增加钢球数目后,既提高了工作转速,又降低了能耗和振动;在德国的 SKF 子公司发展的新一代圆锥滚子轴承,其特点是:增加了滚子长度和数目,改用对数曲线外形滚子、改变了滚子端面与挡边的接触状况以改善弹流润滑性能,使寿命得到提高,例如,将 NU211 改为 NU211EC 后,其额定静负荷与动负荷容量分别提高了 42% 和 24%,使用寿命为原来的 1.6 倍。在汽车轴承方面,轴承单元化的倾向明显,SKF 近期大力发展的汽车轮毂轴承组件是以双列圆锥滚子轴承为基础的,它装有两个尼龙 66 玻璃纤维增强的保持架,滚子由内圈挡边引导。另外还有水泵连轴轴承单元、离合器分离轴承单元等。

为了进一步了解国外轴承产品的研制情况,现就各公司最近几年开发的轴承新产品及其发展趋势介绍如下,以供国内轴承厂家开发新产品和开拓市场参考。

1.1 美国 Torrington(托云顿)公司

1.1.1 新型航空轴承 托云顿和法弗纳合营企业最近推出一批令人感到振奋的飞机用新型轴承,这批轴承无论在材料上或设计上均属首创,成为新一代的航空轴承。这些轴承是:①主轴轴承。这种轴承是新研制成功的,材料采用 M50NiL 钢,能在 DN 值 300 万下连续工作。②推力矢量喷管用轴承。这种新轴承是采用一种叫“BG12”的不锈钢制成的,能经受高负荷在高温下工作。

1.1.2 具有轴承和传感功能的传感器轴承 汽车用传感器轴承,主要用于后轮驱动系统,自动变速装置等,监控汽车行驶状态。这种轴承提供了有关汽车主要机械系统状况或性能的可靠资料,组合的装置将轴承和传感器组合成一个独立的紧凑单元,这就简化了安装,省去了昂贵

的调整装置。

一个组合的传感器和旋转的轴承无需与外部线路连在一起,可将轴承每个零件的运动情况显示出来。

传感器轴承有宽广的工作范围,在 $-40\sim+150^{\circ}\text{C}$ 的温度下,可测出从静止起动至轴承极限速度全过程的信号,并将采用各种不同的标准润滑剂所传出的信号用以判断轴承工作的可靠性。

应用和寿命试验在实验室和现场进行。性能的评价则是在宽广范围的工作条件下进行。

除汽车外,潜在的市场包括宇航、机床、信息系统、农业设备和二冲程的发动机等。

1.1.3 TDC 镀铬层轴承 用一种先进的密实的镀铬薄层,这种镀铬薄层能改善球轴承和滚子轴承的抗腐蚀性和耐磨损性。在应用中已证明,在边界润滑或无润滑条件下,TDC 镀层轴承具有更长的运行寿命。TDC 镀层滚子轴承与球轴承的正常工作温度范围为 $-120\sim+700^{\circ}\text{F}$ 。与其它硬镀铬层相比,TDC 镀层是一种无丝毫自由裂纹的镀层。

1.1.4 铁桥用重大型调心滚子轴承 活动铁桥用的最大调心滚子轴承,外径为 62in,厚度为 20.25in,重量为 5t。这种轴承和其他较小轴承一起,可以把横跨威拉海特河上的伯灵顿北面大桥的 1 500 万 lb 重、526ft 长的中心部分举起。

1.2 美国 Timken(铁姆肯)公司

1.2.1 热补偿圆锥滚子轴承 大部分轿车和轻型卡车的变速箱和传动轴均采用铝制外壳、钢制轴承和钢轴。随着温度的变化,铝和钢不同的热膨胀系数导致轴承预负荷或轴承游隙发生变化。俄亥俄州铁姆肯公司新近推出的一种圆锥滚子轴承却能在任何工作温度下保持其初始预负荷。

这种新型轴承的外圈上有一特制的弹性圆环,由于其热膨胀系数比铝和钢都大,当两种金属以不同的速率膨胀而产生间隙时,弹性圆环正好填补了这一间隙。这种商品名称为 Viton 的氟弹性材料,具有耐高温及在高温、高压下不流动等特点。

由于热补偿滚子轴承能保持恒定的初始预负荷,从而改善了齿轮的啮合和轴的刚性,也提高了轴承的寿命和可靠性。

1.2.2 提高喷气发动机性能的新型轴承 这种单列圆锥滚子轴承能承受较大的轴向负荷,实现正、反运转,用于新型喷气式战斗机的主轴,轴承的滚子、套圈和挡圈都是采用拉却伯钢铁公司(Latrobe Steel)的 CBS600Cr-Mo 钢制作的,它在高温强度、耐胶合性、破坏韧性方面显示出出色的性能。

1.3 美国 Kaydon 公司

轻型 K 系列薄壁转台轴承 这种轴承采用了高级的设计和分析技术,不会降低负荷容量,它与以前的同型薄壁轴承相比,重量大大减轻。由于采用了与合成载荷的条件和安装调整相适应的单列四点接触球轴承,所以性能很好,而且能承受推力负荷和力矩负荷。

凯顿公司开发的 K 系列转台轴承包括无齿轮凸缘型(最小外径 517mm,最大外径 1 197mm),内齿轮凸缘型(带内圈齿轮,尺寸同前)和外齿轮凸缘型(带外圈齿轮,最小外径 505mm,最大外径 1 198mm)三种,每种都有公制系列和英制系列,共有 7 种尺寸规格。

该轴承主要用于工业机器人、转台、小型起重机、包装机械、中轻型升降机和定位工作台

上。

1.4 美国 Bardon 公司

结构新颖的“H”型主轴轴承 Bardon 公司为机床主轴轴承开发了一种已获专利权的“H”型酚醛保持架,它的特色是具有平行的环形槽路,其作用是既能作为润滑通道,又能减小球和保持架窗孔的接触面积。这类酚醛材料还具有高的强度重量比,好的尺寸稳定性,以及低的摩擦系数。综合起来看,这些优点消除了不必要的振动源,从而克服了尖叫声。目前,采用“H”型保持架的主轴轴承十分畅销。

1.5 美国 TRW 公司

MRC7000PJ 系列重型角接触球轴承 美国 TRW 公司 MRC 轴承部生产的 MRC7000PJ 系列轴承是一种外圈有一大挡边和一斜坡、与内圈的一大挡边和一斜坡相对应的单列、40 度角接触球轴承。此种轴承在制造时,外圈受热膨胀而使钢球和内圈通过外圈斜坡实现装配,因此,能使轴承形成不可分离的结构。

由于这种结构比无装球缺口的深沟球轴承能装更多的钢球,具有最大限度的钢球配套定额、最佳的套圈沟深,并和 40°接触角的有效组合形成高的推力负荷承载能力。

7000PJ 轴承的动推力负荷能力是 7000 系列轴承的动推力负荷能力的 1.18~1.40 倍,推力负荷能力的增加,随各种尺寸大小而异,取决于钢球配套的变化,这种轴承通常在理论疲劳寿命方面提高 60%~175%。

保持架设计成精密球兜孔的几何形状,这种设计有利于保持架兜孔和钢球之间的正确接触,提供最佳润滑、最小的磨损以及更好的性能。

1.6 美国 Cooper 公司

在半径方向能分离的滚子轴承 由于它能从半径方向分离和装配,所以,对于轴,可以仅考虑其强度来进行设计,对于轴承则可以仅从负荷的角度来进行选用。

据库珀公司称:由于这种新产品的产生,给设计者带来很大方便,它使机械装置更加紧凑,可以缩短安装、装配、维修保养时间以及无动作时间。

因为轴承的上半部分能卸下来,所以可以容易地观察到滚子工作表面的状况,这样就能预测轴承需要更换的时间。

这种轴承标准尺寸范围为 35~600mm,特殊用途时为 600~1 550mm。

1.7 美国 Ann Arbor 公司

氮化硅陶瓷球轴承 它广泛应用于机床主轴轴承,该球具有明显的耐磨性,而且在无润滑或润滑条件受限制的情况下具有良好的运转性能。这种球能经受住高达 1 400℃ 的高温,它的膨胀系数仅是钢材膨胀系数的 25%,对恶劣的工况条件包括液体金属的适应性强,不受化学腐蚀。它的特点是具有良好的断裂韧度,球形偏差为 0.13μm(5μin),表面粗糙度为 0.02μm(0.8μin)。除应用于机床主轴之外,还应用于化工、核工业、汽车、航空、航天及国防工业。