

快速提升中国整体工业基础能力的思考与建议

—— 基于大飞机轴承研发过程遇到的问题

上海联合滚动轴承有限公司总工程师 葛世东

一、前言

大飞机被称为“现代工业的皇冠”，具有区别于其他行业的高安全性、高经济性、高可靠性、高寿命（耐久性）以及高复杂技术的特点，是衡量一个国家科技水平、工业基础水平和综合实力的重要标志，也是检验一个国家工业基础能力强不强的重要试金石。民机工业基础直接决定了整机产品性能和质量水平，是国家工业整体素质和核心竞争力的重要体现，也是我国制造业高质量发展的核心支撑。

基础零部件、原材料与标准件、元器件与芯片、基础工艺、基础产品标准是我国工业基础的基石，支撑着我国工业的高质量发展，决定着我国工业的整体水平。在 C919 研制的过程中，虽然大部分基础产品种类已经有成品，但大多数尚不能满足民机高安全、高可靠、高寿命、高复杂工况适应性的要求。迫切需要通过民机高安全、高可靠、高寿命、高复杂工况适应性的要求，对标国际最先进技术水平，牵引和推动我国工业基础零部件、原材料与标准件、元器件与芯片、基础工艺、基础产品标准的提升，保证我国高端装备产品的高质量发展，使我国基础工业由大而不强，转型升级为且大且强。

二、存在的主要问题

1、民机工业基础薄弱，民机产业基础体系不健全

我国航空工业经过几十年发展，规模从小到大、从修理到制造、从仿制到自行研制，逐步形成门类齐全、科研生产教育都有相当规模的产业体系，原材料、标准件、小设备、机体结构件、部分机载设备等基本上都有国

内配套企业，但主要是由军机发展带动起来，国内民机工业基础薄弱，民机产业基础体系不健全，主要表现在以下四个方面：

1) 关键零部件、原材料与标准件、元器件与芯片等基础产品的自主保障能力不足。国内基础企业关键工艺识别、生产过程控制能力不足，达不到民机一致性稳定性的产品质量要求，在安全性、经济性、可靠性、耐久性等方面离民机要求也有着较大差距，如国产轴承、液压泵、冲压空气涡轮、电机、机轮刹车套件等可靠性水平仅为国外同类产品的十分之一。

2) 民机基础产品标准体系不完整，标准缺乏权威性，未形成满足民机型号需求、覆盖产品全生命周期、符合适航要求的自主的民机标准规范体系。同时，实验数据和服役数据积累欠缺，导致原材料等工业基础产品性能指标的统计不精准不可靠。

3) 围绕着民机产业链的实验能力不健全不成体系。国内研发以仿制为主，基础研究不足，应用基础研究缺乏，未吃透技术原理，通过实验手段获得技术参数、数据积累的能力不足，部分技术标准未经过实验进行验证。

4) 民机产业发展投入不足。民机具有投入大、时间长、见效慢等特点，国内基础企业内部低质量竞争激烈，企业效益低下，持续参与的能力和积极性有待进一步提高。

2、民机工业基础薄弱的深层原因分析

对标欧美发达国家民用飞机制造业水平，针对上述民机工业基础薄弱的外在表现，进一步分析可得出其深层原因。

1) 需求端的捕获及传递不够精准，需求及实验场景考虑不全面不准确

在需求层面，前端的捕获及传递不够精准，需求及实验场景考虑不全面不准确，导致不能完全将民机所要求的高安全、高经济、高可靠、高寿命等特点准确转化为对于基础产品的研制要求。在产品层面，国内已有的基础产品不能满足民机的复杂环境要求，存在着环境适应性差（即功能可靠性低）、

性能稳定性差（性能离散度大）两大问题。

2) 技术端的顶层设计不系统、基础技术研究不深入、试验评估技术不系统、创新能力不强

在技术层面，一是在型号研制过程中，未进行标准化模块化通用化参数化设计，未对基础产品进行分级分类并制定不同的产品标准，对新研系统及产品的数量不做顶层控制，未能提升基础产品的标准化程度并降低项目成本。二是国内基础企业未准确识别出产品的关键性能指标，未掌握影响该关键性能指标的关键技术和关键工艺参数。三是国内针对基础产品关键技术攻关的理论基础、科学机理研究欠缺，对关键性能指标、关键技术和工艺参数等背后的大量科学技术问题未充分开展研究，缺乏大数据支撑。四是产品可靠性、安全性评估技术基础理论和试验评估体系研究不足，产品无法确定是否满足本质安全的要求。五是缺乏产品全寿命周期性能演化和应用技术的研究，无法对产品全寿命周期应用保障提供可靠的技术保障。六是缺乏长期发展顶层设计，技术储备及创新不足，不能满足“探索一代、预研一代、研制一代、生产一代”的技术迭代要求。

需求、产品和技术之间是相互影响、互相依存、相互促进的关系。只有需求捕获并传递清楚，才能有效地牵引产品研发，而技术始终服务于产品，只有通过不断地提升关键技术成熟度，才能逐步提升产品的环境适应性，减小性能离散度，最终降低成本，形成产品竞争力。

三、思考和建议

通过民机的研发中遇到的以上问题，有如下思考和建议：

1、发挥新型举国体制优势，以重大项目为抓手，牵引带动中国工业转型升级

发挥新型举国体制优势，以影响面大、拉动效果强、基础技术推动力强、国计民生密切相关的重大项目（民用航空、轨道交通、民用航天、新能源智

能驾驶汽车、人形机器人、无人智能装备等)为抓手,集中优势资金、优势资源,建立重大项目产学研用一条龙国家龙头优势产业平台,结合投资基金、产业基金等社会优质资源,长期、稳定、持续的予以支持。通过龙头的产业平台为载体,以高科技、高安全、高可靠、高稳定、高经济等需求为牵引,形成牵引示范效应,同时向社会推出通用规范和技术平台,吸引社会资源积极介入,从而推动相关产业的快速发展和技术进步,拉动全社会的工业基础产业转型升级和高质量发展。

2.重新规划和建设国家级科研体系,增强基础研发能力

目前国家科研体系主要包括大学、科研院所、企业,但是大学、科研院所和企业的脱节情况严重。项目立项及经费拨付主要由各部委负责,所以大学、科研院所都是围着国家各部委的项目转,但往往写指南、立项、结题往往都是同一批人,项目的立项、指标要求往往和实际需求脱节严重,项目指标只求容易通过验收,不考虑满足实际应用。结果形成了一批学霸和利益圈子,国家大量科研资金浪费,严重阻碍了中国科学技术的发展。虽然目前有些应用类项目已经开始向企业方向倾斜,但是大量企业科研能力弱、底子薄,在现有僵化的项目评价体系下,也很难做出理想的成果,所以国家科研体系改革已经势在必行。

民机的主要技术瓶颈是基础零部件、原材料与标准件、元器件与芯片、基础工艺、基础产品标准,涉及面比较广,面临卡脖子的问题也比较多。针对民机工业基础能力提升,进行重大体制机制创新,建议组建国家建设、企业主导、产学研高度协同、聚焦满足应用需求的大飞机科研创新体系。

具体设想为优选国内相关优势单位,建立大飞机一条龙产业创新联盟,联盟分为基础原理研究、基础制造技术研究、批量制造技术研究、应用评价技术研究四个层次,基础原理研究主要以相关的大学重点实验室和相关科研院所为主,主要负责基础理论研究,重点解决本质科学问题,明确应用目标

和基础材料、基础工艺的耦合关系为产品设计和工艺提供理论依据，本层次的资金支持以长期稳定为主，保持其长期稳定发展；基础制造技术研究主要以相关企业技术中心、相关科研院所为主，重点解决产品设计及制造技术与产品最终性能相关性的问题，通过对关键设计技术、制造技术的研究，实现原理到实物的进化，本层次的资金支持以项目支持为主，以项目结果达到阶段目标要求为评价指标；批量制造技术研究主要由相关企业和企业技术中心为主，通过对工艺过程中工艺参数与产品质量稳定性的研究，实现产品的批量稳定生产，本层次的资金支持主要以项目补贴和产品订单支持为主，以产品质量稳定达到应用要求为评价指标；应用评价技术研究主要以主机应用单位为主，重点研究产品的可靠性试验评价技术、产品应用技术、产品全生命周期使用维修技术等。

牵头单位定期评估联盟各单位工作质量后，根据完成质量动态分配，打破经费管理和使用原有模式，提高项目资金使用效率。同时联盟对参与单位建立动态评估和调整体系，通过定期工作质量评价，不断淘汰任务完成不好、实力不强的单位，引入外部优质单位参与，实现内部科研力量优化，保证联盟的长期稳定发展。

通过以上体系建设，补齐和加强大飞机等高端装备制造行业共性的基础研究环节，强化大飞机等战略产业整体创新效能，通过产品研发、装机应用、性能再提升等循环迭代，实现国产基础零部件的真适航、真装机、能竞争，最终达到符合民机要求的高水平的产品性能，为大飞机事业高质量发展与国际竞争提供战略支撑。

3.加强基础材料、基础零部件试验评价中心建设

基础零部件的可靠性、稳定性、安全性需要大量的实验数据支承，目前我国在这方面与国外存在巨大的差距。一方面我国缺乏能够长期进行各种性能评估实验的试验基地，另一方面我国也缺乏系统的科学的试验评估体系。

由此对于影响基础材料和基础零部件性能稳定性和可靠性的因素缺乏明确的了解，导致提高产品可靠性和稳定性的技术手段缺乏明确方向，提升效果不明显。同时对于零部件的维护、保养、更换时间、剩余寿命、剩余可靠性等缺乏科学的支撑，导致主机运行保养周期短，费用高、经济性差。所以建议国家大力支持基础材料、基础零部件试验评价中心建设，建立我国民机的关键基础材料、基础零部件安全可靠性和寿命试验数据库，建立关键基础材料、基础零部件安全性和可靠性评估体系，并为基础材料和基础零部件安全性和可靠性的提高提供科学依据，同时还可以根据相关大数据评估建立主机全寿命周期关键零部件安全变化情况，优化主机运行保养周期，降低主机运行成本。另外试验过程中的零部件故障特征频谱，也可以为机载设备在线远程故障评估提供支持。

4. 加强国际技术交流和沟通，紧跟国际技术前沿发展趋势，增强自主创新能力

参照 SAE 等国际标准化组织的百年发展历史，推进国内民机团体标准发展，围绕民机产业链打造民机团体标准发布平台，提高民机产业标准自主权。积极参与重要国际航空组织，参与基础领域相关国际标准和规则的制定，提高标准话语权。探索建设民机基础产品公共服务平台，加强产品故障和可靠性方面数据共享。统筹利用行业内外实验与验证资源，开展合作与服务单位认证，推进资源共享共用。同时积极开展国际合作，借鉴和使用全球之成熟经验和成熟技术，推动和促进国内基础企业与国外相关的上下游企业开展交流和合作，积极促成具备条件的国内基础企业与国外供应商合资合作，利用成熟经验缩短研制周期和降低研制成本。另外加强国内实验室、标准协会团体等与国外相关单位开展交流和合作。加强基础产品和研究成果进行跨国推广和转化应用。

5、加强重大装备自主设计及创新能力，争取早日实现由技术跟跑到领跑的转变

围绕民机高安全、高经济、高可靠、高寿命等特点，针对基础零部件、原材料与标准件、元器件与芯片等基础产品，聚焦环境适应性、功能可靠性、性能稳定性等要求，准确捕获、逐级分解和验证民机产品核心“8+3”需求（民机核心需求的8项定量指标：安全概率、研制保证等级、可靠性指标、TBO、寿命、软件虚警率、成本、使用及维修性分配；3项定性指标：接口、主要功能、软件）。将民机核心“8+3”需求自上而下逐级分解到系统、设备、原材料、电子元器件等，自下而上地开展逐级验证，提升各级产品正向设计能力。

需充分发挥企业创新主体作用，推动实现产业链带动创新链、创新链服务产业链、两链各环节融通发展的局面。中国商飞作为产业链链长，要主动作为，带动基础零部件、原材料、工艺及设计、制造、验证、维修等产业链与创新链各个环节共同发力。产业链各企业作为创新主体亦需牢牢把握其产品实现与性能指标的关系、技术实现与标准、工具、方法、装备的关系、产品创新与技术创新的关系，在各自环节上奋力争先。

在大飞机产业联盟联盟的框架下，推动政产学研用高效联动。持续建设5G制造创新生态联盟、大飞机先进材料创新联盟、民机材料产业发展联盟、大飞机先进总装制造技术创新联合体、卓越创新中心等。并参与汽车行业电子元器件等联盟，积极推动航空、航天、汽车、高铁、核电等行业共通产业链创新链建设。提高创新能力，争取早日实现由技术跟跑到领跑的转变。