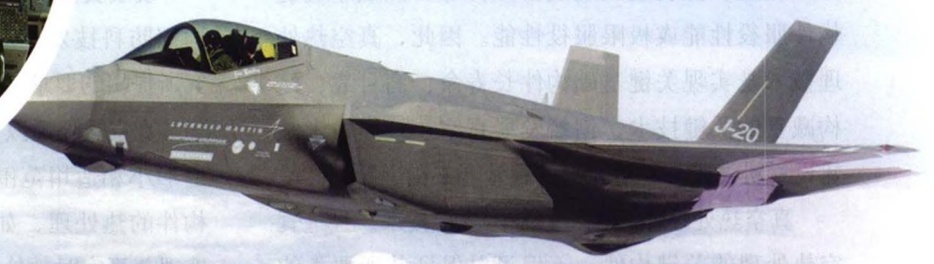

航空领域真空热处理发展趋势

中国航空工业集团公司北京航空材料研究院　（北京　100095）　张善庆

航空工业服务的主要对象就是高端武器装备，它的生产实力在很大程度上决定了国际竞争力的强弱。关键构件既是航空发动机的保障，也是高端机械装备的基础，关键构件的服役寿命决定着整个高端机械装备的使用寿命；真空热处理通过采用加热、冷却、真空压强等技术控制关键构件的相变、微观组织等，赋予关键构件服役性能或极限服役性能；通过全过程质量管理控制真空热处理生产过程中人、机、料、法、环、测、查、审、安、密等诸环节，保证关键构件服役性能或极限服役性能的可靠性、稳定性与一致性。

一、概述

一个国家是否强大，一要看国民的生活是否富足和安居乐业；二要看这个国家在国际舞台上的话语权是否有高度的权威性；三是要看国家的国防力量是否足够强大；四是要看基础工业和高端机械装备工业在国际上是否具有强大的竞争力。而高端武器装备的生产实力在很大程度上决定了国防力量是否足够强大，这绝对是不争的事实。

航空工业服务的对象就是高端武器装备，它的生产实力在很大程度上决定了国防力量是否足够强大，其包括飞机、直升飞机、发动机等，如航空发动机是由进气道、压气机、燃烧室、涡轮、尾喷管等关键部件组成，其主要特征则是由数以千计的叶片、盘和轴承等关键构件所构成。

所谓关键构件，是指那些决定装备的主要功能、体现装备的寿命长短和可靠性的构件。具体涉及到三类构件，即：转动构件，如叶片、盘、轴等；传动构件，如齿轮、轴承等；主承力构件，如接头、对接螺栓、弹簧等。

关键构件既是关键部件（如涡轮、压气机等）的保障，也是高端武器装备（如发动机、飞机等）的基础，关键构件的服役寿命决定着整个高端武器装备的使用寿命。

赵振业院士在其《中国热处理与表面改性技术路线图》中明确了真空热处理技术作为高端武器装备

及其关键构件核心技术之一。真空热处理技术通过采用加热、冷却、真空压强等技术控制关键构件的相变、微观组织及残留应力等，以赋予关键构件服役性能或极限服役性能。因此，真空热处理技术是实现关键基础构件长寿命、高可靠、结构减重的关键技术，创新发展真空热处理技术是建设材料强国与制造强国的根基和必由之路。

真空热处理作为独特的整体改性技术。经过真空热处理的关键构件，不但可以保证其所要求的组织、力学性能与工艺性能，还可以深入挖掘出关键构件的潜能，保证和提高关键构件的质量和寿命，最大限度地发挥材料的潜力。从而满足关键构件长寿命、高性能、结构减重的技术要求，实现全寿期成本的经济可承受性，获得自主创新的知识产权，达到国际先进水平，真空热处理技术属于国家核心竞争力。

二、真空热处理技术可赋予关键构件服役性能或极限服役性能

精密热加工技术是武器系统关键制造技术之一，主要包括：精密铸造、精密塑性成形、特种热处理（包含真空热处理技术等）及特种焊接技术。精密热加工技术具有生产周期短，成本低，零件使用性能好，产品可靠性高，以及制坯近无余量等优点，受到世界各国的高度重视。近十年来，美国十分注重发展精密热加工和提高性能一体化技术。例如：其单晶叶片通过精密铸造技术+真空热处理技术+……，可以提高涡轮温度55℃，节省燃料10%。

发展关键构件的精密热加工和提高性能一体化技术研究，符合我国国防科技发展对关键基础加工技术研究所提出的要求。

真空热处理技术作为国防工业系统关键制造技术之一，同样受到世界各国的高度重视。例如：美国为加速其航天飞机的发展，由5家公司组成联合体共同开发针对5种新材料的成形及真空热处理工艺，即：高温Ti-Al化合物、C/C复合材料、陶瓷基复合材料、高蠕变强度材料、高导热材料。美国经韧化处理后的金属间化合物可显著提高韧性，并经真空工艺处理的金属间化合物，更适于高温下使用，如：Ti3Al可在816℃、TiAl可在1083℃下使用，是航天飞机和航空发动机理想的材料。

发展关键构件的真空热处理技术研究，符合我国国防科技发展对国防工业系统关键制造技术研究所提出的要求。

真空热处理以其特有的无污染、无氧化、工件变形小和适用范围广等优点，广泛用于航空关键构件的热处理，如：航空发动机叶片的真空固溶处理与真空时效处理等。美国热处理设备约有50%以上为真空热处理炉，且规格齐全、配套完整。此外，真空热处理炉已广泛采用了计算机控制系统。通过对各种关键构件升温、保温、分压、冷却等工艺参数系统与完整的研究，并对应相变、微观组织及残留应力等全面、深入、细致地分析与研究，以及对应性能的系统测试与严格验证，从而赋予了关键构件稳定、可靠、一致性的服役性能或极限服役性能。

国内在真空热处理领域也开展了相应的研究工作，并取得了显著成果。即：解决了真空热处理技术硬件的“有无”问题；打破了西方发达国家对真空热处理技术硬件的垄断；打破了西方发达国家对真空热处理技术尖端硬件的禁运；促成了西方发达国家对真空热处理技术尖端硬件的合理定价；促成了西方发达国家对真空热处理技术尖端硬件在国内生产的局面；同时，促进了国内真空热处理技术硬件的长足进步。因此，国内的真空热处理技术的硬件的确有了长足的发展，具备了由“仿制技术”向“自主创新技术”发展的前提条件，只要能得到相关政策的扶持，实现上述的飞跃只是时间的问题。

但是，由于其属于唯一的整体改性技术，具有看不见摸不着、分析困难、测试周期漫长、需要长期与持久的数据积累等典型特点，加之经费投入严重不足，因此与国外相比尚有显著差距。

国内真空热处理技术的软件发展的确举步维艰，关键在于受到“传统观念束缚”的影响与极难养成“严谨的工作习惯”的纠结；实属“填空补缺”之范畴，但总是无法得到认同；本属日积月累之事，却总想急功近利。因此，飞跃只能从认识开始！

我国航空发动机发展史证明，突破技术并不是

最大的“拦路虎”，重要的是对航空发动机研制需要长时间、大投入和基础科研的特点有清晰的认识。从正确的认识出发，制订基础科研和工程发展长远规划，并且按照规划矢志不移地进行持续科学的科研管理，是航空发动机成功研制发展的唯一发展策略。因此，今后应抓紧加大力度开展该领域的系统性研究，从而进一步缩小与国外的差距。

三、对真空热处理生产过程实施全过程质量管理控制

中国有句古话：“良药苦口利于病，忠言逆耳利于行”。

美国海军军事学院副教授安德鲁·埃里克森在一份报告中称：“各方面的估计表明，根据中国现有的知识，如果不出现大的波折，并且坚持不懈的话，那么中国需要两到三年时间来全面掌握先进发动机的技术能力，当然这也与中国在喷气发动机领域的总投入相称”。安德鲁·埃里克森认为，中国目前喷气发动机的技术水平接近F－15C战斗机使用的普拉特-惠特尼公司生产的F100－PW－100发动机。

美国军事专家吉伯·柯林斯认为，中国飞机发动机工业的一大弱点在于涡轮叶片的制造和流程的标准化。“他们确实很接近PW－100的技术水平。不过麻烦的是一些细节，如果中国航空业不能完全掌握军用规格质量控制流程，它就很难制造出足够多的高质量发动机，从而真正降低中国对俄罗斯高性能战术飞机喷气发动机的依赖。”

美国专家称，近年来随着冶金和制造技术的发展，中国在航空领域已经取得了一些进步，系统设计、集成和管理已经成为制约发动机生产的最大薄弱环节。在地面测试和模拟飞行中，中国发动机面临着叶片弯曲、破坏及其他问题。为了攻克这个难关，中国的军用喷气发动机制造商需要实现一些生产和流程管理突破。

美国蒂尔集团公司的分析家理查德·阿布拉菲亚认为，中国要制造出与美国最先进发动机相媲美的战斗机发动机，需要的时间也许远不止5～10年。“他们与F119/F135/F136技术水平相去甚远。他们必须在材料、设计以及制造方面取得巨大的进步。等他们走到那一步时，西方又向前跨出了很远”。

国外对真空热处理，将其确定为“特殊工艺过程”予以高度关注；国外采用最为可靠与稳定的“全过程质量控制”方法加以最严格的管理与控制；国外树立“以制件为对象，一切服务于服役要求”的原则；国外秉承“乘法（即：任何一个环节是零，其最终的结果就是零，无论是一般制造，还是高端制造）原则”对待一切制造；国外将制件的真空热处理视为“以制件为对象的一项改性工程”，从“人、机、料、法、环、测、审、安、密”诸方面精细化地控制与管理；国外将真空热处理技术视为绝对的技术秘密加以严格保护。

国内对真空热处理，将其视为“不会带来经济效益的中间工序”予以消弱与忽视；国内通常采用“行政管理模式”的方法加以简单、粗暴地干涉；国内建立起“以材料为对象，之后直接转嫁给制件”的硬性管理模式；国内秉承“加法（即：突出重点环节，无视薄弱环节，即使某环节是零，也自信不会影响最终的结果）的管理原则”对待一切制造；国内将制件的真空热处理视为以材料为对象的一项改性技术，但仅从“工艺参数”一方面予以“作坊”式地管理；国内将真空热处理技术定位为“某一种工种的简单技能”。

中航发动机控股有限公司副总经理、研究院院长张健在近期的航展现场公布，这将是一个从“填空补缺”到“望其项背”，最终确保和发达国家“并驾齐驱”的“三步走”过程。展望未来，中国国产大飞机有望在2025年前后用上“中国动力”。“现在我们还处于‘填空补缺’阶段。到2020年，我们的目标是‘望其项背’，接近对方的水平。我们的最终目标是‘并驾齐驱’，在部分领域还要赶超他们。”

通过在政策层面，树立符合工业革命发展规律的真空热处理的“制造和流程的标准化”理念；在政策层面，规划、设计真空热处理的“综合预防的环境保护策略”；在管理层面，培养符合工业革命发展规律的真空热处理的“从业人员的职业道德、工作习惯与专业素养”；在制度层

面，建立、健全真空热处理相关的计量、测试、审查、审核的规章与制度；在条件保障层面，着力开展真空热处理相关设备和配套设备的升级换代，为逐步形成真空热处理产业化创造前提条件；在标准化层面，一方面建立、健全真空热处理制造和流程的标准化；另一方面，建立、健全真空热处理相关辅助材料的标准化；在技术研究层面，首先，要明确服务对象是基础构件，服务目标是高端装备的研究宗旨；其次，要树立真空热处理技术的精密化研究的理念。在真空热处理制造与流程过程中，最终构建成“以基础构件为生产对象（劳动对象），依靠真空热处理产业化的真空热处理相关设备和配套设备（劳动工具），凭借从业人员的职业道德、工作习惯与专业素养（劳动力），充分利用真空热处理技术的精密化研究成果（科学技术），严格遵循特殊过程确认、全过程质量控制、全过程审核等管理程序（制度与法规）”符合工业革命发展规律的标准化生产力模式。

航空航天制造技术专题

利用上述“制造和流程的标准化”理念，开展新材料与新工艺的探索、研究、研制、生产与开发工作；利用“制造和流程的标准化”理念，开展真空热处理设备自身加热过程的数字化研究工作，从而建立适合不同类型真空热处理设备的数字化模型；利用“制造和流程的标准化”理念，开展真空热处理设备自身冷却过程的数字化研究工作，从而建立适合不同类型真空热处理设备的数字化模型；利用“制造和流程的标准化”理念，开展关键构件真空热处理加热过程的数字化研究工作，从而建立适合关键构件真空热处理加热过程的数字化模型；利用“制造和流程的标准化”理念，开展关键构件真空热处理冷却过程的数字化研究工作，从而建立适合关键构件真空热处理冷却过程的数字化模型；利用“制造和流程的标准化”理念，开展关键构件真空热处理过程表面完整性的数字化研究工作，从而建立适合关键构件真空热处理过程表面完整性的数字化模型；利用“制造和流程的标准化”理念，形成关键构件真空热处理的数字化平台，建立关键构件真空热处理的数据库；利用“制造和流程的标准化”理念，关键构件真空热处理的数字化平台，以及关键构件真空热处理的数据库，实现关键构件真空热处理的“精密-高效-经济-清洁-产业”的技术路线图的发展目标，最终实现高端机械装备“高可靠性-长寿命-结构减重-全寿期成本-自主创新”的战略目标。从而使真空热处理“赋予材料极限性能，赋予关键构件极限服役性能，属于国家核心竞争力”成为现实。**MW**　（20131105）