DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2009.17.012

军用航空再制造发动机相关概念和标准探讨 *

Correlation Concept and Criterion Discuss on Military Aero-Remanufacturing-Engine

空军工程大学工程学院　　顾明星　王　瑛　王莉莉

[摘要]　提出了军用航空再制造发动机的概念、制造要求和相关标准。因此,普通发动机的大部分概念与标准对航空再制造发动机同样适用,本课题仅讨论与普通航空发动机不一致的概念和标准。

关键词：再制造技术　航空再制造发动机　全寿命费用　万时率　提前更换率

[ABSTRACT]　The concept of military aero-remanufacturing-engine, produce request and correlation criterion are put forward. Thereby, mostly concept and criterion of common engine can be the same with aero-remanufacturing-engine. The inconsistent concept and criterion relative to common engine are only discussed.

Keywords: Remanufacturing technique　Aero-remanufacturing-engine　LCC　Ten thousand hours rate　Ahead replace rate

再制造技术是表面物理工程的先进技术,该技术可以提高材料的各项物理指标,使废旧材料能满足新产品的要求,进行循环使用。再制造技术具有可以节约大量资金、减少环境污染和提高稀缺原料利用率等显著优点 [1],已在制造业中得到广泛应用。

军用航空发动机通常选用多种耐热合金、高强度合金等材料,其制造技术先进,同一型号采用批次生产,产品各项技术指标完全相同,发动机的零部件可以互换,如果到寿即弃之不用,对资源和资金都是极大的浪费。

目前,再制造技术应用广泛,但主要应用在地面车辆的发动机和零部件的再制造上,对于航空发动机的再制造,国内尚处于理论研究阶段。本课题为了节约资金,提高原材料的利用率,提出军用航空再制造发动机的概念,并由此衍生出其他相关概念和要求。

1　军用航空再制造发动机基本概念和技术要求

1.1　基本概念

军用航空再制造发动机是指对已经达到设计使用寿命或大修时限的军用航空发动机进行完全分解,剔除易损件(如橡胶件等),保留基础件(如涡轮叶片、机匣、燃烧室等)。对基础件进行彻底清洗、探伤,遴选出符合要求的零部件,采用新材料表面处理技术,加工至完全符合新发动机零部件的技术要求。同时,用新件替换易损件,并按照现行的军用航空发动机生产技术要求生产组装再制造发动机。再制造航空发动机在性能和质量上应达到甚至超过正常生产的新发动机。军用航空再制造发动机也可称为军用航空再生发动机。

1.2　技术要求

(1)工艺先进 。采用先进的表面处理技术,同时,这些技术应当是已经得到广泛应用的成熟技术,即“货架”技术,不应当存在技术风险,如激光表面强化、纳米涂层等技术虽然已经成熟,但在航空发动机上还没有得到广泛应用,不宜轻易选取。

(2)产品性能、技术指标应与原发动机的技术指标一致甚至超过原有技术指标。主要表现在航空再制造发动机可以承受更高的涡轮前、涡轮后温度,进而达到比原发动机更大的推重比;可以提供与原发动机相同甚至更长的使用寿命。

(3)节约资金。通过对报废航空发动机的再制造处理,要达到节省资金 70% 以上、节约原材料 90% 以上以及缩短生产时间 50% 以上的目标。

2　军用航空再制造发动机的相关概念

2.1　产品生命周期

再制造产品的生命周期 [2] 是一个闭环系统(图 1)。其中,研制、生产和使用阶段是普通产品的一般步骤。再制造产品与普通产品的不同之处是:普通产品的报废阶段变成了回收和再制造阶段,并且生产、使用、回收和再制造形成了一个闭环系统。这说明,再制造产品本身也是可以进行再次再制造处理的,即再次再生。

2.2　物流体系

军用航空再制造发动机产品的物流体系与传统的

*　军队创新基金科研基金资助项目(08JZ3H1–0316R)。

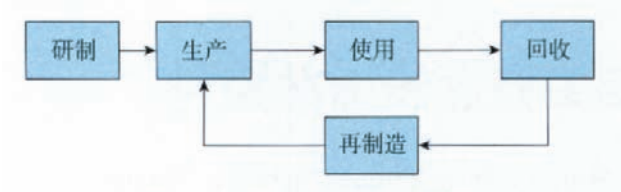

图 1 再制造产品的生命周期

Fig.1 Life cycle of remanufacturing product

军事物资物流体系不完全一样。传统的军事物资物流体系的概念是：军事物资的设计、开发、采购、存储、运输、分配、保养、疏散及废弃处理。军用航空再制造发动机的物流体系与它本身的生命周期相似，也是一个闭环系统，因此，军用航空再制造发动机的物流体系的定义是军用航空发动机的设计、生产、采购、运输、使用、回收及再制造处理，如图 2 所示。

以某航空再制造发动机为例，该型航空发动机再

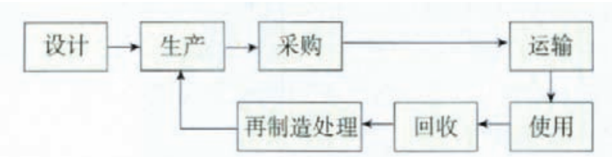

图 2 再制造产品的物流流程图

Fig.2 Logistic flow of remanufacturing product

制造的工艺流程与正规的大修有近似之处，二者的最大区别是再制造后的发动机性能要达到甚至超过原新品。因此，再制造发动机的工艺流程确定为军用航空再制造发动机的拆卸、分类清洗、探伤、再制造加工或更换新件、装配、组装和检测等，如图 3 所示。该工艺流程的关键步骤是：拆卸、清洗、探伤和再制造加工，这也是与普通工艺生产的航空发动机最显著的不同之处[3]。

2.3 全寿命费用

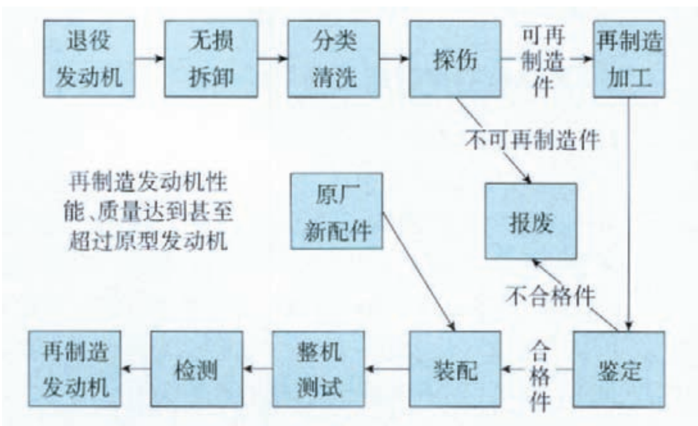

图 3 某型航空再制造发动机的工艺流程图

Fig.3 Process flow of a certain aero-remanufacturing-engine

军用航空再制造发动机产品的全寿命费用管理与普通发动机的全寿命费用管理不一样。普通发动机的全寿命费用主要由研制、生产、采购、维护和报废等 5 部分组成，其中，维护费用占总费用的 50%~70%[4]；军用航空再制造发动机的全寿命费用主要由回收、再制造处理、购买、维护和再次回收等组成，其维护费用应占总费用的 90% 以上。与普通航空发动机的全寿命费用相比，航空再制造发动机减少了研制、生产和报废部分，节省了时间和经费，减少了资源的耗费。

3 军用航空再制造发动机的相关标准

航空发动机有其特殊性，如果空中发生故障，轻则出现事故症候，重则引起等级事故，因此，军用航空再制造发动机的评价标准应严格制订。

航空再制造发动机产品的性能要求与普通发动机是完全一样的，可以按普通发动机的技术要求来制订再制造发动机的产品评价标准。在评价标准中，特别需要强调的是：

(1) 航空再制造发动机空中停车万时率（在一定时间内，再制造发动机空中停车次数与飞行总小时数的比值，以万时率计）。这项内容叙述了再制造发动机关于使用可靠性和维修性的重要指标。

(2) 航空再制造发动机提前更换率（在一定时限内，再制造发动机没有使用到已给定的期限，提前更换的台数与飞行时间的比值，以万时率计）。这项内容叙述了再制造发动机中制造和维修质量的标准。

3.1 航空再制造发动机的可行性标准

航空再制造发动机以到寿报废的发动机为基础，通过再制造工艺使之恢复原有的工作性能，是否可行的主要指标包括技术可行性、资源可行性、经济可行性和环境可行性等。只有在这些指标都大幅超越生产新发动机的相关指标时，才可以进行废旧发动机的再制造处理。

3.2 航空再制造发动机的可靠性要求

航空再制造发动机的可靠性[5]包含固有可靠性和使用可靠性 2 方面的内容。再制造发动机的固有可靠性由原发动机的设计和生产决定；使用可靠性由废旧发动机在再制造过程中的设计、制造等因素决定。航空再制造发动机要求在固有可靠性确定的情况下，尽量提升其使用可靠性。提升使用可靠性的途径有：采用先进工艺对废旧发动机进行处理，提高产品安装工艺，针对再制造发动机采用专门的维修手段和方法。

3.3 航空再制造发动机的维修思想与维修方式

维修思想[4]是指用可靠性理论探索再制造发动机使用规律，制订合适的维修对策，消除过度维修，避免维修不足。建立适合再制造发动机的维修管理和技术理论，制订使用法规，进行信息管理、质量控制、资源管理和效能分析，收集、分析再制造发动机出现的故障性质与类型，加强监控与诊断，从而为航空再制造发动机的应用打好基础。

维修方式[4]是指航空再制造发动机维修活动的基本形式和方法，包含维修组织机构、再制造发动机维修法规和再制造发动机维修方法这几个方面，分为定时维修、视情维修和事后维修 3 类。

(1)定时维修。以再制造发动机使用设计件为基准，按照预定的时间、内容，对发动机进行约期性的维修。

(2)视情维修。以可靠性分析为基础，按照再制造发动机的特点，选定的技术参数的变化情况，或监控一个或几个特征参数的变化，确定需要采取的维修措施。这种维修方式提高维修的针对性，较好地发挥再制造发动机的潜力。

(3)事后维修。在航空再制造发动机的非关键部件出现故障时采取维修措施，可以有效地发挥再制造发动机的潜力。

航空再制造发动机的维修方式应以定时维修为主，视情维修和事后维修为辅，以便最大限度地保证再制造发动机的使用安全。

航空再制造发动机的维修保障与普通发动机不同。再制造发动机由于采用了先进的表面工艺，因而需要采取不同的保障方法，如更换航空滑油，采用添加纳米材料的新型滑油，保护再制造发动机的运动结合面。另外，需加强再制造发动机的定时探伤工作，采用适当的无损探伤手段，扩大探伤范围，及时发现事故隐患。在进行再制造发动机的表面清洗工作时，应严格使用专用清洁剂，防止再制造发动机因表面处理工艺失效而使再制造发动机性能下降。

3.4 适合进行再制造工艺处理的航空发动机的范围确定

航空发动机的再制造优势体现在节约经济成本和时间成本 2 个方面，适合进行再制造工艺处理的航空发动机的范围确定，也应从这 2 方面考虑。从经济成本方面考虑，进行再制造处理的航空发动机原造价非常昂贵，应用再制造技术可以节约大量费用；从时间成本方面考虑，生产新的航空发动机时间周期很长，而进行再制造处理可以节约大量的生产时间。

适合进行再制造工艺处理的航空发动机的要求是：

(1)针对某种型号的航空发动机的要求。首先，生产该型新发动机的制造单价高；其次，部队使用成熟，到寿封存发动机数量大，可进行批量生产。

(2)针对单台航空发动机的要求。首先，该发动机到寿前技术状况良好；其次，对其进行技术性能的详细评估，清查发动机的履历文件，核实该发动机在使用过程中没有发生过严重故障，确定发动机确实具有进行再制造的能力。

4 结束语

航空再制造发动机作为一个全新的概念，在国内还没有得到广泛重视。但在美、英、德等一些技术发达国家较早就开始大力研究航空发动机的再制造技术，目前，已经从理论研究过渡到生产出工程样机的阶段。综上所述，我们必须尽快制订相关标准和要求，早日实现国内军用航空发动机的再制造生产。

参 考 文 献

[1] 储伟俊 . 再制造技术是实现资源再生的一种有效保证 . 再生资源研究 ,2001(2)：27-28.

[2] 史佩京，徐滨士，刘世参，等 . 基于装备多寿命周期理论的发动机再制造工程及其效益分析 . 装甲兵工程学院学报，2006, 20 (6) : 70-74.

[3] 史佩京，徐滨士，刘世参，等 . 面向装备再制造工程的可拆卸性设计 . 装甲兵工程学院学报，2007，21(5) :12-15.

[4] 陈学楚 . 装备系统工程 . 北京：国防工业出版社，1998. 199-235.

[5] 章国栋 , 陆廷孝 , 屠庆慈 , 等 . 系统可靠性与维修性的分析与设计 . 北京：北京航空航天大学出版社 ,1990. 14-33.

（责编　俯芷）

（上接第 88 页）

情况合理选择，如果偏置扭矩选择得太小，则不足以完全克服系统传动摩擦等的影响，消隙效果不理想；如果偏置扭矩选择得太大，则会由于 2 伺服电机相互作用而消耗掉伺服电机的驱动容量，并造成电机发热；

(4)扭矩增益控制器的 P 参数和 I 参数需根据系统负载情况设置，多次调整，以达到最优的消隙效果；

(5)在主从驱动方式下，为了获得尽可能好的控制响应，应保证主动轴和从动轴具有相同的增益；

(6)主从驱动、双电机消隙功能及其参数可以通过 PLC 设置，而对一些特殊的情况，如设备静摩擦等影响较大时，可以在静止和启停状态下改变消隙参数，以获得好的消隙效果。

（责编　良辰）