

大飞机发动机自主研制影响因素分析^{*}

Independent Research and Analysis of Influence Factors About Large Aircraft Engine

西北工业大学管理学院 侯立珍 张亚莉
一汽-大众汽车有限公司 赵磊

[摘要] 研制拥有自主知识产权的大飞机是国家的既定战略,发动机是大飞机的核心,发动机的自主研制关系到具有自主知识产权大飞机的实现。通过对飞机企业、发动机企业的调查和相关文献的搜集,找出大飞机发动机自主研制的影响因素,利用解释结构模型法建立发动机自主研制影响因素的解释结构模型,再利用层次分析法计算出各个影响因素的权重,在此基础上分析了各因素的重要作用,并提出了提高这些制约因素的对策。

关键词: 大飞机 解释结构模型 层次分析法

[ABSTRACT] Developing large aircrafts with independent intellectual property rights is a national established strategy, the engine is the heart of the aircraft, and the independent research of the engine with independent intellectual property rights relates to the realization of the aircraft. Through investigation of the engine enterprises and related literature collection, the factors that influence the independent research of aircraft engine. Using the interpretative structural modeling method, the structural model of the influencing factors are established, and then the weight of each factor is calculated using the method of AHP, then the important role of each factor is analyzed, finally, some countermeasures to improve the factors are put forward.

Keywords: Large aircraft ISM AHP

大飞机的需求市场极为广阔,据波音公司预测,至2023年,全球机队的飞机总数将达到34000架。在中国经济的飞速发展和对外贸易的拉动下,我国航空运输业增长速度明显高于世界平均水平,预计到2023年,中国民用飞机需求量将达2140架,总产值1294亿美元,约占全球总需求的7.5%。如此庞大的市场给中国航空工业的起飞带来了绝好机会,大飞机项目的启动标志着我国自主研制大飞机项目进入了初步阶段。全球航空制

造两大“寡头”波音和空客通过各种渠道暗示将全面封杀中国与大型飞机有关的所有技术输入。中国要想打破“双寡头”的遏制,发展自己的大飞机,争夺国际航空市场,成为后起之秀,必然要在核心技术上有重大突破。发动机是大飞机的核心,大飞机发动机的研制依靠国际合作行不通,突破关键技术、走自主研制航空发动机之路是我国的必然选择。大飞机发动机涉及专业广、结构复杂、技术难度大,是一项复杂的系统工程,制约发动机自主研制的影响因素极多。

中航商用飞机发动机有限责任公司揭牌成立,标志着我国大飞机发动机项目研制发展工作迈出重要一步。研制发动机是一项复杂的系统工程,接下来还有很多难点需要突破,目前很多文献主要从大飞机发动机自主研制的必要性和研制发动机需要突破的关键技术的角度进行分析^[1-3],指出发动机的自主研制困难重重,但是没有系统给出发动机自主研制的制约因素和改善这些制约因素的措施。发动机自主研制能力不足,导致的因素很多,很复杂,利用解释结构模型可以把这些模糊不清的制约因素转化为直观的具有良好结构关系的模型。本文通过分析得出发动机自主研制影响因素的解释结构模型,在此基础上,利用层次分析法得出各个要素相对于上一层要素的权重,并且详细分析了各个要素,提出了提高发动机自主研制能力的建议。

1 模型构建

1.1 大飞机发动机自主研制影响因素

针对大飞机发动机自主研制的现状,作者对相关企业进行了实际调查,结合公司技术人员提出的意见,进行了文献搜集工作,分析了一系列案例和理论后,得出了影响大飞机发动机自主研制的因素,依次用 S_1 、 S_2 、 \dots 、 S_{12} 表示,如表1所示。

1.2 解释结构模型的建立

根据对发动机企业的调查和研究,结合技术人员的意见,并参考文献中各位学者的意见,确定了两两因素之间的邻接关系,按照各自影响关系最终确定各要素之间的相互关系并计算出可达矩阵,如表2所示。

根据建立的可达矩阵,应用系统工程的分析方法,

^{*} 中国商用飞机有限责任公司管理创新模式研究基金(2010001)、西北工业大学人文与管理振兴基金(RW201106)项目资助。

表1 发动机自主研制影响因素

关键问题: 大飞机发动机自主研制能力不足 S_0			
S_1	总体结构设计要素理解不够	S_7	反推力装置落后
S_2	复合材料制造之难	S_8	智能管理系统不足
S_3	需要巨额资金支持	S_9	基础研究不够
S_4	试验技术和手段落后	S_{10}	试验平台不健全
S_5	没有可供参考的规范性文件	S_{11}	国家政策环境
S_6	防冰系统设计技术落后	S_{12}	研发专业人才缺少

表2 可达矩阵

	S_0	S_1	S_2	S_{11}	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_3	S_9	S_{10}	S_{12}
S_0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_{11}	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_4	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
S_5	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
S_6	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
S_7	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
S_8	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
S_3	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0
S_9	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0
S_{10}	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0
S_{12}	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1

建立解释结构模型,如图1所示。

1.3 影响因素权重的确定

本文在构建发动机自主研制能力影响因素的解释结构模型的基础上,应用层次分析法,根据专家打分对各个影响因素之间的相对重要性进行比较,将定性的比较转化为定量的比较矩阵,从而确定出各项因素的权重。通过专家打分,按照1~9标度构建判断矩阵,相对

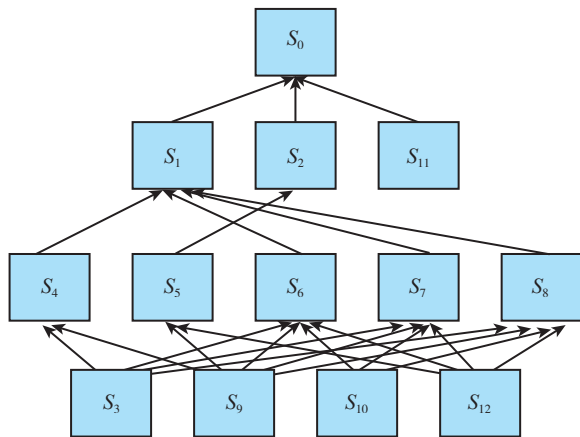


图1 解释结构模型

Fig.1 Interpretative structure model

于上层同一要素,1表示本层2个因素具有相同的重要性,随着标度值的增大,前者比后者的重要度也增大,9表示2个因素相比,前者比后者极为重要。例如,相对于试验技术落后,基础研究不够比缺乏资金支持重要,如表3所示。

表3 判断矩阵

S_4	S_3	S_9	W_i
S_3	1	1/5	0.167
S_9	5	1	0.833

依次构造多个判断矩阵,并对判断矩阵进行归一化处理,利用权重系数计算公式(1),计算出各个因素的权重,根据权重,结合公式(2)和公式(3),对所得结果进行一致性检验。若 $C.I.<0.10$,则通过一致性检验。以下列出直接影响因素和基础影响因素的权重,如表4~表5所示。

$$w_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n b_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n b_{ij}}}, \quad (1)$$

$$BW = \lambda W, \quad (2)$$

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (3)$$

表4 二级要素判断矩阵

S_0	S_1	S_2	S_{11}	W_i	$C.I.$
S_1	1	3	3	0.6	$0 < 0.10$
S_2	1/3	1	1	0.2	
S_{11}	1/3	1	1	0.2	

表5 四级要素综合权重数据表

	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	权重
S_3	0.6	0.05	0.05	0.05	0.05	0.106
S_9	0.1		0.002	0.002	0.002	0.574
S_{10}	0.5	0.038	0.012	0.012	0.012	0.036
S_{12}		0.013	0.027	0.027	0.027	0.094

上述结果表明,影响发动机自主研制的基础因素相对优先顺序为: $S_9 > S_3 > S_{12} > S_{10}$,依次为预先研发、基础研究不够,发动机发展需要巨额资金支持,发动机设计研发专业人才缺少,航空发动机试验平台不健全。在直接

影响发动机自主研制的准则层中国家政策环境也有相当大的比重。

2 分析与对策

通过解释结构模型可以分析出影响发动机自主研制的直接因素主要有:发动机总体结构设计要素理解不够,高温材料和复合材料制造之难,国家政策环境。其中,总体结构设计要素理解不够对发动机自主研发能力的影响最大。在基础层中,预先研发、基础研究不够,发动机发展需要巨额资金支持,发动机设计研发专业人才缺少,航空发动机试验平台不健全是影响发动机自主研发能力最基础的因素,这几个因素的发展水平通过影响其他因素的发展最终影响发动机自主研制能力。通过层次分析法对以上因素进行分析可以得出各个因素的权重,根据因素的权重采取相应的措施改善这几个因素,从而提高我国大飞机发动机自主研制能力。

2.1 直接影响因素分析

发动机是大飞机的核心,它是所有动力装置中技术含量最高、技术难度最大的,它对外部运行环境要求极其苛刻,要求在高温、高寒、高速、高压等环境下达到正常工作寿命。现阶段,我国还没有自主研制的能力,但是最终研制具有自主知识产权的发动机是我国的既定战略。研制大飞机发动机面对的最直接的困难就是对发动机总体结构设计理解不够^[1],设计之难导致了研制之难。追溯影响设计之难的因素可以知道,我国没有可供参考的文件,试验的技术手段落后,防冰系统、发推力装置、智能系统不健全。要想提高发动机的设计能力,需要从这几方面提高。没有可供参考的文件、试验技术手段落后主要是因为基础研究不够,这就需要通过以下提高基础研究的措施进行改进;防冰系统、发推力装置、智能系统不健全主要是因为我国没有发动机研制的专业人才,没有人才就没办法制造出这些先进的装置,人才的培养可以通过以下人才培养的措施进行改进。

发动机需要在极其恶劣的环境下运行,这就对组成发动机的材料提出了较高的要求,为了不使我国发动机的研制受制于人,复合材料的研制亟待突破。相对于发达国家而言,我国复合材料制造技术还很落后,这主要是因为我国的试验技术手段落后、没有可供参考的文件,归根到底还是因为我国的基础研究不到位,没有积累这方面的经验,这对发动机材料的制造指明了方向,提高基础研究,号召材料制造的各方面的人士积极参与到发动机的材料研制上来,同时对材料的制造工艺进行改进,早日突破材料制造的难关。

航空制造企业承担的政策风险是非常大的,项目干一半,上级下令下马,前期的工作都白做,从“运十”项

目中可以吸收经验教训,使项目承担的政策风险降到最低^[4]。纵观波音、空客的成功可以发现,它们成为垄断巨头背后有着不计血本的国家力量的支持。美国的力量源源不断地扶持波音成为航空工业的垄断霸主;空客曾经经历了25年的亏损,如果没有国家的全力支持,它不会成为唯一一个可以与波音抗衡的航空巨头^[4]。国家的政策环境将决定自主研制发动机的发展还是停滞,这给我们国家一个启示:政府如果下决心研制发动机并且在政策方面给予大力支持,就会克服各种困难,最终会拥有自主研制的发动机。近年来,我国在国际上的地位稳步上升,在研制大飞机方面也逐步建立起自己的威信,但是自主研制发动机会遇到美国联邦适航局和欧洲联合适航局颁发的适航证等方面的考验,这就需要国家在政策上给予全力的支持,通过我国在国际上的威信及大国之间的博弈获得适航证的主动权。

2.2 基础影响因素分析

我国自主研制发动机需要有很多关键技术去突破,关键技术的取得需要国家自己积累,同时也是对一个国家机械、冶金、材料等工业基础水平的考验,发动机的发展以多种学科的发展为基础。当自主研制发动机需要这些学科的支撑作用时,基础研究的重要性就显露出来。美国、欧洲等国家实施了很多超前于具体型号的基础研究^[2],扎实的基础研究为突破各种技术难关提供了储备,我国在基础研究方面与美国、欧洲相差甚远,以至于自主研制发动机时遇到重重困难。

西方国家的经验表明,一项新的发动机关键技术从开发到应用大约需要10年的时间。波音飞机价格中发动机价格所占的比例都在15%以上,预计到2020年,B-737-600/900的发动机价格会达到430万美元。如果国家没有资金的大力支持,企业不会负担起这么多的资金,我国自主研制大飞机发动机将走不到终点。大飞机产业不能只停留在战略产业口号的阶段上,国家更应该给予实质性的大力帮助。

大飞机发动机自主研制需要技术人员的支持,但是我国相关的技术人员储备不足,虽然截至2011年8月初,我国发动机设计研发人才队伍已达300余人^[5],初具规模,发动机设计需要多学科人才的支持,仅靠这些人远远不够,需要大力培养发动机设计制造的人才和相关专业人才,最终形成一个规模宏大的大飞机发动机研发团队。

航空发动机试验平台对航空工业整体发展,特别是对先进航空动力的自主创新具有重大的推动作用,具有基础性、关键性、全局性、战略性意义。研制一台发动机需要进行数万次的试验,对相应的试验平台提出了较高的要求,先进的试验平台可以减小研制中的风险^[2],但

是我国发动机试验平台不完善,很多试验技术领域经验欠缺,这无疑制约着发动机各零部件的试验。

2.3 对策

针对发动机预先研发、基础研究不够的事实,我国应该多加强基础学科建设,加强与发动机发展相关的结构力学、材料学、电子学等学科建设,加强学术方面的积累,鼓励各学科专家、教师、学生加强基础研究,为发动机的发展打好基础。在加强基础研究的同时,加强发动机关键技术的研究,着重解决当前所面临的问题。找出发动机自主研制的薄弱环节后,加强研究,早日找出解决问题的答案。基础研究和应用研究相结合才能早日突破发动机自主研制的难点。

国家应该给予发动机项目更多的资金支持,同时设立专门的机构监督这些资金的运用情况,降低大飞机项目成为“名利场”的风险。号召社会各界给予发动机自主研制大力支持,鼓励效益好的民营企业的资金支持,政府、航空工业、公众形成合力,为振兴我国的飞机行业而共同努力。

在人才培养方面,加强校企联合^[6],提高在校大学生解决实际问题的能力。学生的创造能力是极强的,如果给予他们相应的培训,提供相应的平台支持,他们的创造力就能充分发挥出来。在校大学生在课余时间和节假日参与到发动机自主研制的项目中来,他们或许可以给予专家灵感,加快发动机自主研制的速度。企业与校方共同建立科研基地,联合申报科研项目,推进校方科技成果转化。校方应该加大对骨干教师、专家、人才的交流和培养力度,使他们切实为我国自主研制发动机做出贡献。

我国商用飞机发动机项目公司的成立为发动机的研制提供了一个平台,但是初步建立的这样一个平台还有很多条件达不到试验的要求。我们应该在硬件设施和软件设施方面不断完善,遇到问题及时解决,使平台的建设不断满足试验的技术要求,同时成立一个高层领导机构保证平台建设的顺利进行,高层领导机构在保证平台建设的同时,应该对发动机平台建设的风险征兆进行及时的识别,并进行纠偏,防止我国由于这方面的技术不先进造成重大后果,建立风险管理体系的结构性支持和非结构性支持,通过企业内部的危机管理体系和与内部结构相连的社会界的共同努力防止风险发生或者减小风险的损失,使我国的发动机试验平台建设顺利进行。

3 结束语

本文从提高发动机自主研制能力的目的出发,运用系统工程中的解释结构模型对影响发动机自主研制的

各个因素进行了系统化的分析,然后运用层次分析法给予每个因素权重,在此基础上根据我国发动机发展的现状提出了加强基础研究、培养相关的人才以及加大各种硬件设施建设的建议。利用系统的思想探究各个影响因素之间的联系,可以减少由于主观因素而导致的判断错误,便于企业从最基本的影响因素着手,提高发动机的自主研制能力。但是由于影响发动机自主研发能力的因素有很多,评价指标的选取和方法的选择还需要深入的研究,同时,现代发动机正向着大推力、长寿命、低油耗、低排放等方向发展,我国自主研制的大飞机发动机必须满足这些技术要求,才能在竞争激烈的民机市场中站的一席之地,这对我国自主研制的发动机提出了更高的要求,这就需要发动机自主研制提出更多更好的建议。社会各界积极参与到发动机的研制中来,我国大飞机一定可以适时装配自主研制的先进发动机,具有自主知识产权的大飞机一定可以早日飞向蓝天。

参 考 文 献

- [1] 梁春华. 21世纪大飞机发动机的预研计划与关键技术. 航空制造技术,2009(17):40-44.
- [2] 黄春峰,唐丽君. 中国大飞机发动机研制任重道远. 航空制造技术,2010(14):49-52.
- [3] 田秋丽,刘战合. 中国大飞机的自主创新和国际合作探. 长沙航空职业技术学院学报,2009(3):44-47.
- [4] 宁南. 大飞机项目卡在哪里. 商务周刊,2006(5):27-40.
- [5] 柏培. 国产大飞机发动机设计研发人才队伍初具规模. 中国民航报,2010-08-17[6].
- [6] 沈文敏. 我大飞机发动机探索“校企合作”. 中国工业报,2010-06-21[2].

(责编 夏宛)

(上接第76页)

化、整体化、复杂化方向演变,解决其加工变形问题对于提高航空产品质量和加工效率具有重要意义。

在分析了典型薄壁件和整体件加工变形特征的基础上,用低熔点合金作为包裹辅助材料提高零件刚性,材料常温性能稳定,可以很好地控制零件精度,有效解决了薄壁零件加工易变形的问题,提高了零件的工艺性,取得了较好的效果。该方法不仅可以包裹外形,更可以填充零件内腔,实现高效优质地完成薄壁零件的精密加工。

参 考 文 献

- [1] 何宁. 航空结构件加工变形及其控制. 航空制造技术,2009(6): 32-35.
- [2] 张虎. 浅谈防止薄壁类零件变形的办法. 科技信息,2010(23): 622,610.
- [3] 汤湘中. 机床夹具设计. 北京:国防工业出版社,1988.

(责编 夏宛)