

文章编号: 1000-8055(2006)06-1059-05

国内外航空发动机研制过程中 评审工作的对比分析

杨 锐¹, 郝 勇², 张恩和², 李其汉¹

(1. 北京航空航天大学 能源与动力工程学院, 北京 100083;

2. 沈阳发动机设计研究所, 辽宁 沈阳 110015)

摘 要: 评审是航空发动机研制过程中一个必不可少, 至关重要的阶段, 组织缜密、有效地评审对于降低研制风险、缩短周期、减少反复将起到不可或缺的作用。本文分别介绍了罗罗公司对某高压压气机技术方案的评审, 和国内某发动机技术设计的评审。通过对评审人员的组成、评审内容和资料的准备以及评审结论、跟踪检查的对比, 分析了两次评审在评审过程、评审机制等方面的差异。

关 键 词: 航空、航天推进系统; 评审; 高压压气机; 罗罗公司

中图分类号: V23

文献标识码: A

Analysis of the difference between reviews of overseas and domestic aero-engine in developing process

YANG Rui, HAO Yong, ZHANG En-he, LI Qi-han

(1. School of Jet Propulsion,

Beijing University of Aeronautics and astronautics, Beijing 100083, China;

2. Shenyang Aeroengine Research Institute, Shenyang 110015, China)

Abstract: The review is absolutely necessary matter and phase in the developing process of an aero-engine. The pertinent and effective review is a great help to the aero-engine being developed. The concept review of a HP Compressor which carried out broadly according to the formal Rolls-Royce technical review was introduced and a domestic aero-engine concept review was introduced also. The two review process and mechanism and etc. were analyzed according to the comparing with the review committee, prepared data, and review conclusions as well as tracing examination.

Key words: aerospace propulsion system; review; HP Compressor; Rolls-Royce company

在某型涡扇发动机的研制过程中, 对于方案以及出现的故障等进行过多次的评审, 累积评审时间也相当的多, 良好的、有益的评审对于发动机的顺利研制起到了很大的作用。评审已经是发动机研制过程中一个必不可少的内容。国外各大航空发动机公司对发动机研制过程中的评审也是相

当的重视, 每个公司都有自己的专业评审人员, 评审人员具有相当的发动机背景知识, 从事过多种专业的工作, 各公司都有相应的评审规范指导评审工作, 发动机研制的每一个阶段都进行相应的评审, 以 F119 发动机为例, 设计定型的评审时间长达 6 个月。如此长时间, 如此详细的评审对于

收稿日期: 2006-03-21; 修订日期: 2006-07-10

作者简介: 杨锐(1962-), 男, 辽宁康平人, 北京航空航天大学动力系博士生, 研究员, 主要从事航空发动机结构方面的研究。

发动机的研制有着相当的意义,本文以罗罗公司对某高压压气机的评审和国内某型发动机在技术方案阶段的评审为例,对国内外在发动机研制过程中有关评审工作进行了对比分析。

1 罗罗公司的评审流程、评审机制

某六级高压压气机在设计中采用罗罗公司的管理方法、产品研制流程以及设计准则。在方案定义阶段和详细方案定义阶段进行了两次评审。两次的评审都是根据罗罗公司的评审程序进行的,参加的评审人员有工程师和管理人员,其中评审负责人是罗罗公司的一位专业评审工程师,他的工作职责就是负责发动机各类项目的评审。

罗罗公司对于发动机项目的评审有专门的评审规范,对于不同阶段的工作内容制定了不同的评审内容以及被评审对象所需提供的评审材料。

罗罗公司的航空发动机设计流程概括的说分为三个阶段:初始方案定义阶段,详细方案定义阶段,产品发放阶段,这一点与国内航空发动机的研制流程基本相同。

罗罗公司对航空发动机的研制有着严格的过程控制,所谓严格的过程控制简单的说就是发动机的研制包括哪些阶段,在相应的阶段应该做什么样的工作,以及如何评价所做的工作等等。罗罗公司对于发动机项目在研制过程中的评审工作也是有严格控制要求的,项目进行到一个阶段结束时均必须进行评审,在每个阶段的评审应该提供的技术文档等也在相应的文件中有明确的规定。

罗罗公司有一支高效、高水平的评审队伍,由专业全面、经验丰富的专职评审专家组成。根据罗罗公司的业务,评审队伍分为四组,其中欧洲三个组,分别负责航空发动机、舰船、能源;北美业务由单独一个组负责。航空发动机组由 5 人组成,大致专业分工为:需求分析、气动专业;结构强度、热分析;试验测试、适航取证;项目管理;成本分析、财务控制。由于评审项目较多,评审时可根据项目阶段、专业性质和评审内容的重要性,有一名到五名专家出席,并可以加入临时选定的专家组成评审组。

罗罗公司的评审工作包括事先消化资料、评审会、会后讨论并形成评审意见三个过程。罗罗公司对于需要的评审对象,要求被评审项目组提前半个月到一个月提供评审资料,以便评审人员有充分的时间提前审查相关资料。由于每次的评审准备时间充分,同时评审组人员的专业能力强,因此在评审的结论中提出的问题比较全面并具有

针对性和权威性。

罗罗公司将评审中的问题归为 3 类:

- Action(改进项):强制性的,要求在进入下一个阶段之前必须进行改正或是采取措施的评审类别;
- Recommendation(建议项):建议性的,可以在该阶段完成也可以在下阶段完成的,不需要必须改正或是采取措施改正的评审类别;
- Observation(观察项):跟踪性的,评审组人员通过评审发现的问题,供参考;

评审的主要意见由评审组的专家起草,并在会议结束时由评审组组长宣读,如有异议可当面提出,会后评审组组长负责编制书面评审意见并转发至相关人员。由于评审意见的中肯、全面、专业,所以这种评审工作确实能够起到技术把关的作用。

评审的科学性还在于积累,每个评审组成员的手中都有一本厚厚的评审手册,这是经过罗罗公司多年的积累编制而成的。针对发动机不同部件、系统及其研制阶段,在每个专业领域都有相关问题和提示。评审专家对手册非常熟悉,根据汇报和技术报告随时进行提问,另外评审组的专家还负责日常对评审手册进行更新。

有了完善的评审机制,评审规范,严格的执行力,对于发动机的研制将会起到相当重要的作用,会促进发动机研制的顺利进行。

2 对某六级高压压气机的评审

罗罗公司对某六级高压压气机进行了两次评审,第一次评审对应于罗罗公司航空发动机设计流程中的第一个阶段:初始方案定义阶段;第二次评审对应于罗罗公司航空发动机设计流程中的第二个阶段:详细方案定义阶段。

在发动机研制的过程中,罗罗公司对应不同的项目有不同的评审周期要求,如表 1 所示,罗罗公司对超过 400 个项目进行的统计表明,在项目的开始阶段或是结束阶段应尽可能多的进行评审,这样才能保证项目顺利的进行。

2.1 第一次评审

该阶段对某六级高压压气机结构方案的评审基本上涵盖了高压压气机气动、结构和强度设计的相关问题。从项目组提供的报告到罗罗公司的评审准备,评审内容,评审结论都是详实与丰富的,由于需要罗罗公司派人到中国来进行评审,所

以评审的时间和人数都受到了限制。这次评审时间为 1 天,评审人员包括评审专家 1 名,管理人员 1 名,压气机气动设计专家 1 名,共三位评审人员。

表 1 罗罗公司对不同项目的评审周期要求

Table 1 Time requirment for different program review of Rolls-Royce

项目类型	评审频率	响应周期
低风险	每月	一季度
正常	每周	一月
关键	每天	一星期

如:项目组向评审组提供了如下技术文件:

- 6 级高压压气机的项目计划;
- 气动设计(包括 1D,S1,S2,3D 计算)报告;
- 结构方案设计;
- 叶片轴向间距设计报告;
- 叶片和轮盘的 2D 应力计算报告;
- 叶片振动,机匣强度计算报告;
- 重量分析报告;
- 加工能力的分析报告;
- 轮盘的寿命计算报告;
- 软件的验证情况报告。

根据项目组成员的汇报以及相关的技术报告,评审组专家提出的评审结论包括了 16 项内容,其中 Action(改进项)有 9 项,包括:

- 转子动力学;
- 风险分析;
- 钛合金与钛合金摩擦的风险;
- 喘振裕度的预测;
- 叶尖间隙;
- 热分析;
- 轴向间距;
- 第一级转子的坎贝尔图;
- 整体叶盘的热分析。

Recommendation(建议项)共 6 项,包括:

- 第 5 和第 6 级转子叶片根部的密封;
- 转子组合件的螺栓分析;
- 第一级转子的包容性分析;
- 轮盘寿命;
- 规范要求;
- 关于第二阶段计划。

Observation(观察项)共 1 项,主要内容为:项目组团队的协同工作问题。

评审组对其中的每一项进行了详细的评述,

包括问题出现在哪里,应该如何解决问题等。

2.2 第二次评审

在第二次评审中,评审专家对每一改进项根据未完成可能对项目造成的风险又分为主要的或是次要的两种类别。本次评审发现有 7 个主要的改进项和 5 个次要的改进项。其中的一些项目需要在第二阶段结束之前完成。除此之外,还提出了一些观察项和建议项提供给项目组在将来的工作中予以考虑。

评审是根据罗罗公司的技术评审流程进行的。在第二阶段出口,应完成详细的分析工作和足够的试验工作来确认设计可以满足要求。同样对于用于第三阶段(最后阶段)的计划和资源也应建立和进行约定,评审时间为 2 天,评审人员包括评审专家 1 名,气动、结构、强度各 1 位,管理人员 1 名,共 5 位评审人员,评审组提供的评审意见,包括主要的改进项如下:

- 第一级转子叶片的气动设计;
- 叶片振动;
- 机匣设计;
- 空气系统;
- 第四到第六级转子的缘板安装角;
- 轮盘的寿命;
- 转子动力学。

包括次要的改进项如下:

- 可调叶片的间隙;
- 平衡;
- 第 4、5 和 6 级的密封金属丝;
- 前轴颈;
- 风险分析。

包括 Observation(观察)2 项:对于喘振裕度的要求;对于工程资源的确认。

评审意见中再一次强调了集成团队的工作形式,并作为建议项提供给项目组。

3 国内某发动机的技术评审

以某型发动机设计技术评审为例:评审程序按照相关的体系文件进行,评审组成员由业务主管部门指定,多为各单位、各行业的技术领导及专家。评审项目组预先得得到评审日期,准备评审资料,然后在规定的评审日期,由被评审者陈述评审内容,结束后,评审组成员提问,被评审人员回答问题,最后形成评审纪要(评审纪要一般由评审人员草写,然后与会评审组人员讨论,定稿),该项目的评审组成员为 22 人,包括管理人员 5 名,结构

强度专家3名,气动总体专家13名,经过3天的评审,形成的评审意见如下:

- 提供的主机及辅助系统资料基本齐全,满足评审要求;

- 在方案设计的基础上,经过深入的工作,形成的技术设计在总体上满足技术规范的要求;

- 对控制系统,电机气动系统的方案进行了审查,方案可行,可转入技术设计阶段;

- 主机具有电机起动和液压起动两种起动方案,样机调试可采用液压起动系统,300小时耐久性试验可采用电机起动。

- 应尽快进行排气管及引射装置的模型试验;

- 在参考专家组意见对技术设计进行适当调整后,可转入下一阶段工作。

项目组根据评审意见,进行方案的修改,然后进行下一步的工作,不过对于评审意见的执行情况还没有做到跟踪检查。

4 国内外评审工作的对比

从上面介绍的情况可以看出国内在发动机研制过程中的评审与罗罗公司的评审还是有很大区别的,国内的评审人员数量较国外的多,评审人员的组成是由组织评审的主管部门指定的,而非专职的。更没有规范的评审机制和规范来保证评审质量;国内的评审也无需提前提供被评审资料,主要是在评审会上由被评审者介绍待评审内容,然后评审组人员提出问题,被评审者回答问题,最后形成评审纪要。对于评审结论以及效果没有跟踪检查。虽然对比的评审项目不同,但从中还是可以看出我们国内的评审与国外评审的差别,主要体现在机制、程序、规范及跟踪检查上。

航空发动机的研制过程是一项复杂的系统工程,如何控制好其中的每一环节,是管理、计划、质量控制等多方面综合的结果。而其中的评审是很重要的一个控制过程,经过罗罗的高压压气机的评审过程也就可以理解了为什么F119等发动机在定型之前会有长达6个月的评审时间。

4.1 评审前期的准备过程

罗罗公司在进行高压压气机的两次评审前,都要求提前一个月提供评审需要的相关资料,而每一阶段需要提供什么资料在相应的设计流程中都有明确的规定,被评审项目组只需按照规定提供评审资料即可,罗罗公司评审组成员对于提供的资料在评审前进行深入细致的消化、理解。国

内的项目评审在前期只是通知何时进行评审工作,没有或很少有预先消化资料这一过程,这一过程的缺乏会使评审人员对评审的内容缺少足够的消化时间,会造成对评审的内容仅仅停留于表面,评审结论也不够深入、有价值。评审的意义本身就在于能够对项目的走向和发展提供一个正确的导向和对错误的内容提出正确的改进方案 and 方向。

4.2 评审资料的差异

国内外评审要求提供的资料有差别,国外要求提供的资料是在设计流程中预先规定的,涉及面广、内容丰富、详细。国内要求提供的评审资料在设计流程中规定的还比较泛泛。

例如罗罗公司对于方案设计阶段所需的资料规定如下:

- 技术描述;
- 与未选方案的对比;
- 性能要求;
- 重量;
- 单元成本;
- 材料选择;
- 寿命;
- 风险分析;
- 技术时间预估(设计);
- 加工可行性和用于可靠性过程的处理能力。

其中的风险分析包括:

- 对所有“高/高”项目(可能性和后果)的有缓解计划的风险分析。

- 用于以下的 Monte Carlo 分析:

- △推力;
- △规定的燃油耗油率;
- △稳定性;
- △重量;
- △噪音和排放;
- △单元成本;
- △成本技术项目;
- △供应商的非补充成本;

- 有缓解计划的供应商风险注册。

国内被评审项目组提供的资料包括:

- 技术设计总结;
- 燃油供给及叶片调节系统技术说明;
- 润滑系统设计说明;
- 电子控制器设计说明;
- 起动系统设计说明;
- 技术方案评审专家意见落实汇报。

当然这也和我们国内发动机的研制水平比较低有关系,随着发动机研制经验的不断积累,对于研制过程中的方方面面也应该不断的补充、完善。

4.3 评审结论的差异

在要求提供评审资料的时间不同和评审规范的差别以及评审人员构成上的差别,虽然每次评审的时间不长、人员不多,不过罗罗公司的评审内容详实、准确,为项目的进展提供了相当有价值的信息。相对而言,国内评审组人员数量虽然多、评审时间长,但是因为众多方面的差异使得评审内容不够充实,失去指导意义。

4.4 评审组人员的差异

罗罗公司参加JET01 高压压气机的评审人员有工程师和管理人员,共5人,其中评审负责人是罗罗公司的一位专业的评审工程师,他的工作职责就是负责发动机各类项目的评审。罗罗公司在评审人员的构成上多由退休的,并从事过多年发动机研制的技术人员组成,因此评审组人员在各个专业上都有着相当的经验。国内的评审组成员多为技术管理人员,本身缺乏发动机研制经验,虽然评审组还有一些技术人员、专家,由于国内在发动机研制方面没有多少经验,因此能够提出什么样的评审结论也是可以预见的。

4.5 评审结论别具特点

罗罗公司的评审结论内容具体、具有权威性,并进行了分类,评审结论如前面介绍包括:

- Action(改进项):强制性的;
- Recommendation(建议项):建议性的;
- Observation(观察项):跟踪性的。

同时在第二次的评审中,又将 Action(行动)分为主要和次要两种,这种评审结论便于跟踪检查,对于下一阶段的工作指导意义很大,方便被评审人员的工作。但是这种评审结论需要评审工作有着相当的积累才能做到这一点。

4.6 评审的检查跟踪

第二阶段的评审同时包括了对第一阶段评审所提出问题的跟踪和检查,当第一阶段的 Action 问题没有得到解决时,是不允许进行第二阶段工作的,这里就包括了评审工作的检查、跟踪和严肃性。

正如前面所说航空发动机的研制过程是一项复杂的系统工程,控制好其中的每一环节是非常重要的,而不是仅仅控制比如设计这一个环节就可以保证发动机研制成功。发动机的研制过程就像一个互相联结的链条,各环节相互依赖,缺了,

或弱了哪一个环节都会使链条松动或脱开。同样每一个环节都遵循相应的或是管理或是计划或是控制或是规范都会使最终的链条结实、可靠,否则当无章可循的链条组成之后,出了问题再返回去查就很难查处究竟是哪一个环节出了问题,并且这需要耗费大量的人力和时间,远超过控制好每一个环节所需人力、时间。

5 总 结

罗罗公司作为世界闻名的发动机公司研制出了一台又一台先进的可以满足不同用处的发动机,罗罗德国公司尽管只成立了十几年的时间但是其成果有目共睹。所有的这一切不仅仅是依赖于他们的坚实的工业基础,其中严谨而科学的管理起到了至关重要的作用。

对比国内外评审的差异,除了在发动机研制经验上面所造成的区别,其余许多方面我们可以加以改进、缩短差距的。

评审的目的是首先应该解决的问题,是为了项目能够得到有益的指导意见,降低项目的风险,使项目能够顺利进行下去,还是仅仅为了走个过场,让项目能够向下进行?

在评审组成员的构成上面,很多情况下我们还未形成固定的面向不同项目类型的专家库,因此,在选择评审人员时存在较大的随意性。国内的许多项目的评审为了提高项目的重要程度,请的评审人员往往为非技术一线的领导等,真正从事多年技术工作的专家很少会被邀请参加评审。这里面当然也有更深层次的原因,也有体制方面的原因,因为往往领导的一句话决定了一个项目的走向和发展。

在已有的发动机研制经验上面进行总结,归纳出尽可能完整的研制流程,不断建立完善各种规范的建立,比如评审流程和规范等。建立类似于罗罗公司的评审机制,比如预先提供评审资料,加强评审的跟踪,完善评审的结论等是今后可以并且应该抓紧时间进行的工作。

以上对国内外两个项目的评审过程和评审结果的差异进行了分析,并重点介绍了罗罗公司组织评审时所采取的流程和机制。作者试图通过对比找出国内评审过程中存在的问题和改进方向,为国内发动机研制过程中组织各类评审工作提供改进参考,从而不断提高评审工作的程序化、规范化水平,使评审工作发挥应有的作用。