

涡轴 16 发动机注重过程的质量控制

The Quality Control Focusing on the Process of WZ16

■ 黄红艳 盛莉 蔡明 / 中国航发东安

在涡轴 16 发动机的 11 年研制历程中，中国航发东安将质量管理融入项目研制全过程，尤其重视民机质量管理体系的建立、注重精细化过程控制和程序化流程管理，为其适航取证奠定了坚实的基础，也为后续国际合作项目提供了宝贵经验。

随着航空产业和技术的发展，航空发动机用户对产品的质量要求从注重产品的一般性能发展为更加注重产品的耐久性、可靠性、安全性、维修性和经济性等，这也对航空发动机研制的质量管理提出了更高的要求。作为我国航空发动机领域中外合作的典范，在涡轴 16 (WZ16) 发动机研制的全过程，中国航发东安借鉴吸收国际先进经验，结合自身企业特点，运用系统思维和以人为本的理念，严把各个流程的质量关，总结出一套行之有效的质量管理方法。

建立民机质量管理体系

质量管理体系是组织内部建立的，为实现质量目标所必需的、系统的质量管理模式。为了使制造过程规范、有效、顺利地实施和改进，建立运行有效的质量管理体系是至关重要的。WZ16 项目的成功与运行优良的质量管理体系是分不开的。

项目初期，为更好地适应民机质量管理的需要，按照中国民航适航规章和民用航空质量管理体系的纲领性文件《民用航空产品质量手册》的要求，结合由中国航发东安、动研所及赛峰直升机发动机

公司三方签署的质量管理计划(QMP)及研制生产实际，公司质量部门编制了《WZ16 发动机质量计划》，规定了研制过程中的质量保证要求和质量控制内容。

以《民用航空产品质量手册》和《WZ16 发动机质量计划》为基础，针对 WZ16 民用产品专有程序要求，编制专用程序文件，结合公司原有程序文件，从上至下，形成一套完善的 WZ16 项目的质量管理体系。在程序文件的指导下，质量部门编制了相关的作业文件 and 操作规范，用于指导现场操作。

按照适航规章和《WZ16 发动机合格审定符合性验证计划》的要求，中国民航 WZ16 发动机审查组对公司的质量保证体系进行了审查，并对 WZ16 发动机制造符合性和试验验证过程进行现场审查。审查结论证明了 WZ16 发动机研制过程中质量管理体系的有效性。

严格控制外购件和原材料的质量

供应商的选择与管理

供应商的选择与管理对航空发动机质量稳定是非常重要的。WZ16

发动机外购件和原材料共涉及 33 个供应商，除生产燃油泵的中国航空工业北京长空机械有限公司为国内供应商外，其余均为国外供应商。按照新供应商和合格供应商选择、审查与考核程序，公司供应商管理部门编制并持续更新合格供应商名录，作为外购件和原材料采购和入厂复验的依据。

明确要求与定期走访

公司和动研所与所有供应商签订了采购合同及技术协议，明确了采购件研制的技术指标和质量要求。按照技术协议要求，对供应商进行走访及现场验收，确保重要外购件交付质量。

入厂验收

公司质量部门编制外购成附件入厂验收检验技术文件，工艺技术部编制原材料入厂验收检验技术文件，明确入厂验收具体要求。依据公司外购器材的验证程序，质量部门按照技术文件对外购成附件和原材料进行各项目入厂复验，对产品“验明正身”，确保产品符合技术文件要求。

建立精细化过程管理方法

在 WZ16 项目研制过程中，为了细

化过程操作、规范过程管理、保证产品质量，公司采取了一系列举措，建立了精细化过程管理方法。

一是细化工艺规程，加入详细的操作步骤和加工参数，提高工艺现场指导性和可操作性，有利于保证产品质量。

二是提前识别重要过程，编制图文并茂、指导性强的工艺规范、检验规范，便于操作者理解和遵守，保证操作一致性。

三是关键过程和特殊过程固化了工序参数和工艺流程，首件鉴定批准后不允许随意调整设备、程序或工装等可能影响产品质量的各种环节。

四是进行过程能力(CPK)分析、过程失效模式及影响分析(FPMEA)、刀具寿命统计分析等，确定过程保证能力、提高过程控制能力。

五是注重过程中的零件防护，严格控制产品清洁度，清洗后化验清洗液的颗粒度，量化指标，便于控制。

特种工艺过程控制

WZ16项目特种工艺的控制包括特种工艺的鉴定和特殊过程的确认。在产品生产前识别出特种工艺项目，WZ16特种工艺项目除热处理、表面加工、焊接、无损检测等工艺，还包括了激光切割、弯管、钛合金磨削等。在零件加工前要进行特种工艺鉴定工作，鉴定文文相符性，鉴定工作包括所涉及的人员、设备、材料、工艺、检测等各方面资料。在生产过程中，根据零件类别和特种工艺类别按需对试件进行特殊过程确认，确认工艺要求能否确保生产出符合要求的零件。

规范化产品检验

从WZ16项目开始，公司正式全面使用气泡图、检验计划和检验规范，使检验检测真正实现规范化、程序化，保证检验检测一致性和规范性。

WZ16项目气泡图是在设计图样上标注圈项，避免绘图错误，减少重复劳动。在检验计划中列明所有需检测项目的规定值、公差，并标注测量工具，包括工具的量程、精度、专用测具的编号、数控测量的测量程序号等相关信息(示例见表1)。气泡图和检验计划均有版次控制技术状态，气泡图与设计图样同步的版次管理，可避免设计更改漏贯。

严格控制不合格品

按照《WZ16发动机质量计划》的要求，质量部门编制了不合格品控制程序文件。不合格品一经发现便实施不合格品的标识、隔离、控制。不合格品审理过程包括分析不合格原因，申报不合格品审理单，并经授权人员审理方可下转工序。WZ16项目不合格品控制的严谨性体现在不合格品原因分析和不符合情况描述

两方面。

RCCA在不合格品原因分析的应用

根本原因和纠正措施(Root Cause and Corrective Actions, RCCA)是公司在承担转包任务时引入的分析方法，它从不合格的现象入手，利用故障树图的原理，通过分析根本原因逐步制定遏制措施、纠正措施和预防措施等，最终达到解决质量问题、杜绝不合格现象复现的目的。公司在WZ16项目中对每一个重大超差项目都举行了专题分析会议并运用RCCA工具进行分析。实践证明，RCCA是实现过程稳定的有效工具，避免了大量重复性的不合格品的产生。

不符合情况描述的严谨性

不符合情况描述的严谨性体现在两个方面：一是不合格品审理单中超差项的描述，每个超差项注明超差项在设计图中的位置，截取设计图高亮显示此超差项，需要时拍摄实物照片；二是超差项相关的其他尺寸的提供，一处特性的一个尺寸超差需将其他相关尺寸具体情况

表1 检验计划表示例

区域	工序	规定特性	检验设备/方法	分度值	检验文件	备注
H2	330	$R=0.6\text{min}$	样膏			检查首件
F8	330	$\phi 122.95_{-0.2}^0$ 弦长 $122.91_{-0.2}$	100 ~ 125 千分尺	0.01	ZJWJ-117	
F8	330		CMM		IS-001	
G8	330	$\phi 118$	按照WZ16-GD-008 不检验			
G8	330	$\phi 114_{-0.26}$ 弦长 $113.96_{-0.26}$	尖头千分尺	0.01	ZJWJ-117	
G8	330	$\phi 24.4 \pm 0.2$	0 ~ 150 数显卡尺	0.01	ZJWJ-117	
H9	330	$\phi 16^{+0.018}$	10 ~ 18 内径百分表	0.01	ZJWJ-117	
G8	330	$\phi 20^{+0.011}_{+0.002}$	0 ~ 25 杠杆千分尺	0.001	ZJWJ-117	

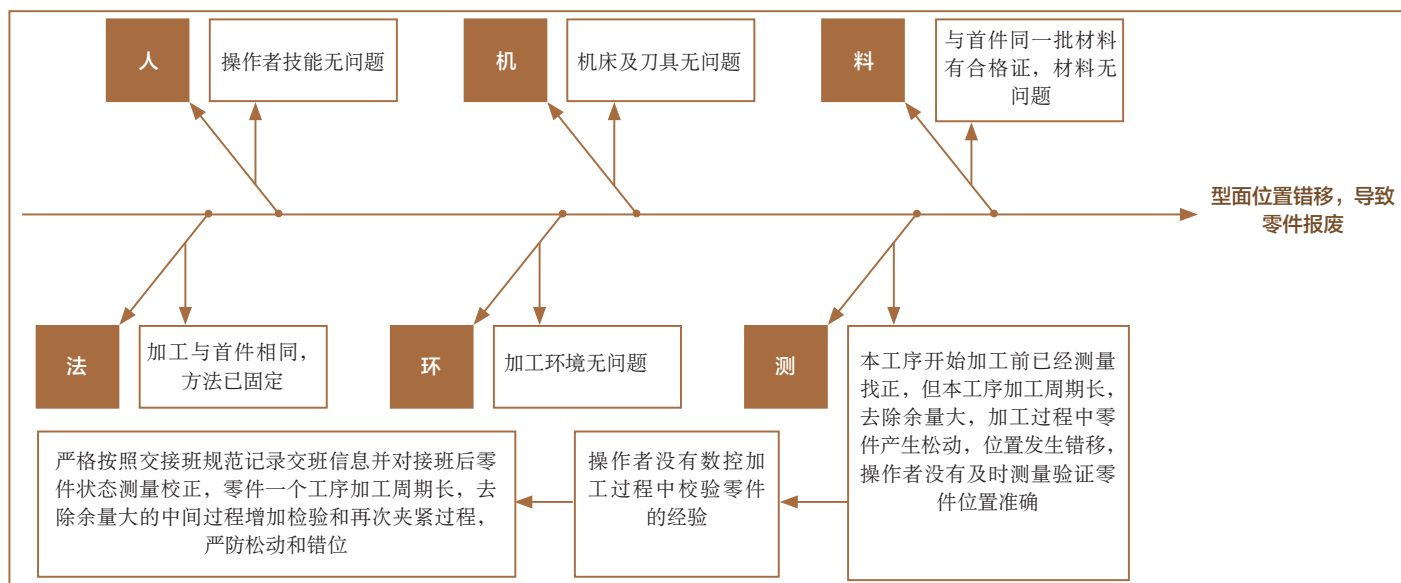


图1 RCCA分析示例图

均列出, 以便审理人员分析。对于位置度及轮廓度超差情况, 须测量报告并画出理论值与实际值进行对比, 必要时将测量点作为不合格品审理单附件。

首件鉴定

公司质量部门按照《WZ16发动机质量计划》具体要求, 参照赛峰直升机发动机公司首件鉴定制度, 编制了首件鉴定程序文件。公司对WZ16零组件、部件均开展首件鉴定批准工作。对设计状态、制造状态发生了更改的零部件均重新提交首件鉴定工业化验证文档 (DVI) 并通过批准。

与原有的首件鉴定程序不同的是, 该工作将首件鉴定的部分工作 (材料供应、工艺规程、特种工艺、检验计划等) 安排在投产之前进行, 而将制造过程验证安排在生产之后进行。所做工作更加细致, 更有利于控制科研产品的质量, 即后续的批产质量。

DVI工作的4个阶段

DVI工作分为4个里程碑阶段, 贯穿在产品的设计、制造到交付的全过程。

第一阶段 (J1): 在制造准备工作完成后, 汇总所有制造准备资料, 包括设计图纸、工艺规程 (MOS)、检验气泡图 (B-B Drawing), 并以固定表格格式提交, 提交表格中还包 括原材料 (含外购器材)、特种工艺等信息, 以上的提交用以证明既定的制造过程具备交付符合设计的零件的能力。

第二阶段 (J2): 对第一阶段提交的DVI进行审查、批准, 认可制造准备工作并同意进行生产。

第三阶段 (J3): 在零件制造完成后, 将所有原始质量记录 (包括随件单、特种工艺过程记录、探伤记录、检测记录、超差信息) 进行汇总, 扫描成电子版格式, 并须完善DVI表格, 将制造过程信息进行添加, 一并提交。

第四阶段 (J4): 对提交的DVI

第三阶段进行审查、批准, 认可制造过程及结果, 并同意将零件交付装机, 及其以后按照此制造过程进行该零件的批生产。

DVI工作的特点

DVI程序的4个阶段, 贯穿在研制过程中的各个阶段和环节, 总结起来有4个特点: 全、细、严、实 (详见表2)。

交付质量评审

整机装配检验合格之后, 交付之前须按交付评审程序文件, 由设计部门、技术部门和质量部门共同组成评审组进行质量评审, 审查发动机是否达到交付要求。评审主要分3部分内容。

一是评审装配车间的装配情况, 包括: 装配依据及装配过程、设计更改和技术通知贯彻情况、装配过程问题处理、装配过程符合情况等。

二是评审工艺部门的工艺技术, 包括: 工艺文件与设计文件状态的一致性、工艺总方案和工艺评审结论、

设计更改在工艺文件贯彻情况等。

三是评审质量部门的制造符合性情况，包括：质量保证大纲执行情况、首件鉴定开展情况、不合格品处理情况等。

制造符合性检查和控制

根据《民用航空产品和零部件合格审定规定》(CCAR-21)和《航空器型号合格审定程序》(AP-21-03)，公司编制了《WZ16发动机制造符合性检查管理程序》，以指导、规范

WZ16发动机型号合格审定阶段的制造符合性检查管理工作。

在审查过程中，审查组深入公司生产现场，对WZ16发动机零部件的制造、试验、组装和发动机分解、装配等进行了70余次制造符合性检查和现场目击。审查结论证明，公司保障WZ16发动机符合经批准的设计的手段是受控的、有效的。

结束语

在WZ16研制过程中，项目团队付出

了艰辛努力，对过程质量控制由最初的不理解和被迫接受，到最后主动推进工作，公司的质量管理经历了质的飞跃，也收获了如下的宝贵经验。

一是制度至上。任何人、任何事不能凌驾于制度之上，从操作者、技术主管到项目经理，都不应有超越程序的想法和行动。当现场执行与制度不符合时，唯一的解决途径是：研究问题，制定措施，满足制度。所有人员各司其职，严格按照各项制度，按部就班、有条不紊。

二是计划先行。在首件鉴定审批、特种工艺鉴定、检验计划编制等工作开展前，均结合项目、生产计划制订详细的专项计划，具体到每一天，每项工作甚至每一个件号均有负责人。实时跟踪，及时补救，工作有的放矢，扎实推进。

三是以人为本。现场操作工作以人为本。指导现场操作者工作的工艺规程、工艺规范、检验计划、检验规范等，均有详细的操作步骤和加工参数，不给现场发挥留余地。任何具有资格证的操作者均能按要求完成工作，能保证操作一致性。

四是保证适航。在WZ16发动机取证过程中，东安深入学习、消化、吸收适航规章和程序，建立运行优良、满足适航要求的质量管理体系。多次邀请专家对技术、管理人员进行培训，且派遣包括质量检查人员在内的专业人员参加委任代表培训，营造了适航学习氛围，形成了东安的适航文化，建立了一支理解规章、敬畏规章的质量保证队伍。 **航空动力**

(黄红艳，中国航发东安，工程师，从事航空发动机检验技术研究)

表2 DVI的具体特点

全	过程全	DVI的8张表格控制生产的每个过程(从原材料采购—加工过程—包装发运)：采购过程、冷加工过程、热加工过程、试验过程、装配过程、不合格品处理过程等
	内容全	DVI的内容涉及以下所有文件：设计图样、检验计划、产品随件单、设计规范、检验规范、原材料合格证、工艺规程、质量记录、不合格审理单、工艺规范、特殊过程文件等，涉及到产品实现过程的所有文件
	程序全	设计图样批准，特殊过程批准，测量系统批准，工艺规程批准，产品实现后的不合格品批准，所有涉及到产品实现过程中的所有应批准程序
细	计划细	DVI计划包括所有零组件，每个零组件均需要制定J1、J2、J3和J4的具体提交和批准时间
	内容细	设计图样和设计规范上所有的要求，均需要有具体的证明材料，包括所有尺寸的实测值报告、照片； 所有质量记录要有唯一编号，保持可追溯性； 所有文字材料均需要电子版，一个DVI文件一个压缩包（包括设计图纸、工艺规程、工艺规范、检验计划、质量记录、审批文件、照片等）
	审批细	每一份DVI文件包审批时间是1个月； 质量专家牵头，设计、工艺技术专家、检测专家共同配合共同审批文件
严	程序严	按照阶段批准，批准后允许投产和交付； 特殊过程不批准，DVI不批准； 不合格品不批准使用，DVI不批准； 每份DVI审批时间保证1个月时间； 每份超差单处理时间平均为1个月时间
	管理严	质量组独立行使职权； 积极配合，但不放松
实	操作实	细化步骤，建立规范，注重过程，谨守程序
	结果实	环环相扣，层层把关，质量稳定