

航空发动机计算分析软件的应用能力认证方法研究

Application Capability Authentication Method of Aero Engine Computing and Analysis Software

■ 刘晓松 张振波 隋岩峰 陈鸿福 史妍妍 / 中国航发动动力所

在航空发动机的研制过程中需要用到大量的计算软件。这些软件来源广、用途多样，但能力水平参差不齐，在为研制效率带来显著提升的同时，也存在诸多亟待解决的评估和管理问题。

作为航空发动机研发体系的重要组成部分，软件为发动机研发活动提供所需的仿真、分析、计算功能。本文通过分析航空发动机研制软件在管控方面存在的问题，提出了软件应用能力的概念，同时借鉴技术成熟度评价，提出一套软件应用能力的测评方法，为软件应用能力的评估提供依据。

软件管控中存在的问题

随着航空发动机研制所用的软件数量和软件规模的逐渐增加，研制单位在应用软件提升研发效率、规范研发过程的同时^[1]，也暴露出软件在管控、校核等方面存在一系列问题。具体表现在以下几个方面。

一是软件测评制度不完善。缺乏软件应用能力界定方法^[2]，对其是否能够支撑技术活动的开展没有统一的标准，同时对软件开发中接口要求、兼容性等方面考虑不足。

二是部分软件重复建设。由于

前期研发体系建设的不规范^[3]，对软件建设缺少统筹规划，导致类似功能的软件存在重复建设的问题。

三是部分软件功能不完善。很多自研或外委课题开发的软件缺乏进一步的校核与验证，计算精度无法满足设计要求；计算分析结果的可靠性差；部分软件通用性差，只能计算特定结构的对象，而对结构变化较大的结构无法计算；部分软件没有操作界面，人机交互性差^[4]。

针对上述问题，结合当前正在开展的研发体系建设，评价软件的工程适用性并给出量化等级，或能较好地解决上述问题。

软件应用能力认证标准

从用户实际应用需求角度，可将软件的应用能力作为研发及管理人员衡量软件计算结果可信度的重要依据。

软件应用能力等级划分

参考国军标《军用软件成熟度模型》^[5]及美国航空无线电技术委员会制定的《机载系统和设备认证中

的软件考虑》^[6]，结合软件实际管理需求，从软件功能、软件结果可信度、软件结果验证情况，将软件应用能力划分为1~5级。其中，1级最低，5级最高，各级含义如下。

1级：软件功能得到确认，软件结果一致性满足专业使用要求。级别评定由评估准则来表明。

2级：软件功能得到确认，软件结果一致性满足专业使用要求，软件结果经过与专业认可的数据（标准数据或文献上公开发表的数据或专业认可的软件计算结果）对比分析，精度满足专业使用要求，可在型号研制中试用。级别评定由评估准则来表明。

3级：软件功能得到确认，软件结果一致性满足专业使用要求，软件结果经过至少一个型号/项目数据的对比分析，精度满足专业使用要求，可在型号研制中应用。级别评定由评估准则来表明。

4级：软件功能得到确认，软件结果的一致性满足专业使用要求，

软件至少在两个型号/项目研制中应用，软件结果经过型号试验验证，精度满足使用要求，推荐在型号研制中使用。级别评定由评估准则来表明。

5级：软件功能得到确认，软件结果的一致性上无差别，软件至少在3个型号/项目研制中应用，结果已经过充分的试验验证，可不附加验证，优先在型号研制中使用。级别评定由评估准则来表明。

软件应用能力通用评估准则

在各级定义基础上，综合考虑

软件资料的完备性、软件的可操作性、软件结果一致性、软件计算精度、软件结果验证情况、软件试用范围等多方面因素，制定各等级的评价准则，同时明确准则中各项条款的含义及需举证的材料，提升准则的适用性。表1是软件应用能力2级的部分评价准则。

软件应用能力认证过程

对软件应用能力的认证过程，实质上是由第三方专家依照软件应用能力认证准则评价软件当前状态，给

出量化的能力等级的过程，其典型过程如图1所示。

认证过程的关键环节是软件应用能力认证申请、制定软件专用评价细则、软件应用能力等级认证评审3个步骤，其他步骤本文不做赘述。

表1 航空发动机软件应用能力2级标准（部分）

序号	内容	备注
1	具有《软件使用说明书》	举证材料：《软件使用说明书》
2	确定了软件的使用环境	包括软件的运行环境，与其他软件兼容性等。举证材料：《软件使用说明书》中对使用环境的描述内容
3	确定了软件能够支撑的技术活动	技术活动需对应技术流程中具体的工作项目。举证材料：使用软件的测试报告，专业技术流程
4	针对软件能力支持的流程活动，确定了软件的适用范围	软件使用的限制条件，如适合某一特定类型的发动机或适用于某类结构的计算分析等。举证材料：《软件使用说明书》中对适用范围的描述内容
5	针对软件能力支持的流程活动，进行了软件的功能、精度、一致性的测试，完成了《软件测试报告》	测试报告要针对软件支持的流程活动进行测试。测试样例需涵盖软件的适用性范围。每个测试样例需包含以下内容：输入数据及说明；边界条件（如果有）；具体的测试操作步骤；对比分析的数据及说明；软件精度分析；计算结果一致性测试。举证材料：《软件测试报告》
6	针对软件能力支持的流程活动，结果经测试表明，一致性达到（ ）%，满足专业使用要求	“软件一致性”的具体要求，由专家根据专业需求确定，需提出一致性的量化指标。举证材料：软件测试报告
7	针对软件能力支持的流程活动，测试结果表明，软件精度达到（ ）%，满足专业使用要求	“软件精度”的具体要求，由专家根据专业需求确定，需提出精度的量化指标。举证材料：软件测试报告

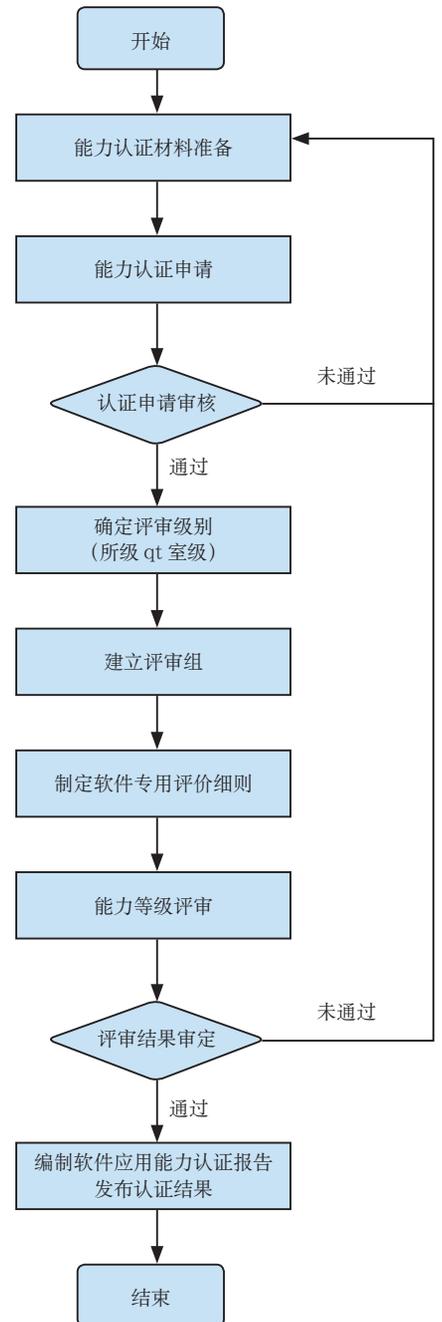


图1 软件应用能力认证工作流程

软件应用能力认证申请

申请方依据能力认证标准预判软件申请的认证等级，并针对申请等级对应的评价细则准备证明材料，要求预判等级对应的评估准则中各项条款均需有对应的证明材料，且证明材料应是正式文件，并填写《计算分析软件应用能力认证申请单》(如图2所示)。

制定软件专用评价细则

由软件管理方成立软件应用能力评审组，并召开评审会，制定软件专用评价细则。

专用评价细则的制定须对照通用评估准则，按预判等级对应的标准逐条细化，原则上通用评估准则中的条款不能任意裁剪；如标准中确有某项条款确实不适合被认证软件，可由申请方提出，专家一致同意后可以删去（并在最终的软件认证报告中注明原因）。此外，专用评价细则在制定时须注意：由于不同专业对软件应用能力的“一致性”

要求和“精度”要求是不同的，因此在通用评估准则相应条款中对软件应用能力的“一致性”和“精度”未给出统一要求，这需要评审组在制定专用评价细则中，明确专业对软件的一致性和精度的指标要求，并纳入专用评价细则中，并在此基础上制定软件认证专家评审单（如图3所示）。

软件应用能力等级评审

评审组组长主持评审会，各评审专家参与，由能力认证申请方介绍软件的基本信息、相关证明材料与认证标准的对应情况。评审专家依据申请方的介绍情况及提供的证明材料，对照《软件认证专家评审单》中软件应用能力专用评价细则，逐条判断认证标准中各条款的满足情况，每位专家完成一份《软件应用能力认证专家评审单》。

需注意的是，专用评价细则中的软件的一致性和精度的指标要求是软件应用能力的最低要求，软件

实测的一致性和精度指标要等于或高于专用评价细则的一致性和精度指标，才可判定为通过。

由软件管理方接收全部评审组成员的《软件应用能力认证专家评审单》，进行汇总分析，测算软件专用评价细则中各项条款的通过率，填入《软件应用能力认证审批单》(如图4所示)，并给出软件应用能力等级认证结果意见，报与决策层审定。

建议《软件应用能力认证审批单》中“软件应用能力评价细则”的每项条款通过率90%以上，则判定该项条款通过；所有条款均通过，则判定软件达到相应的能力等级。

软件应用能力认证工具

为提升软件应用能力认证工作效率，提升软件管控能力，借助信息化手段将软件应用能力认证标准、软件应用能力认证程序进行集成，开发研发体系要素（软件属研发体系要

计算分析软件应用能力认证申请单	
软件名称:	版本:
申请方:	软件负责人:
申请认证等级: 1级 2级 3级 4级 5级	
类型: 商用软件 / 自研软件	
软件申请能力认证的设计活动: 此处填写所申请的认证等级对应的设计活动	
软件适用范围: 如只适合于某一特定类型的发动机; 又或只适用于某类结构的分析等。	
应用能力认证细则	材料明细
.....
管理层意见: 负责人: ____ 年 月 日	
评审组意见: 负责人: ____ 年 月 日	

图2 软件应用能力认证申请单

计算分析软件应用能力认证专家评审单	
软件信息	软件名称及版本: 申请方:
	申请认证等级: 1级 2级 3级 4级 5级
	软件分类: 商用软件 / 自研软件
	软件申请能力认证的设计活动: 此处填写所申请的认证等级对应的设计活动
专家信息	软件适用范围: 如只适合于某一特定类型的发动机; 又或只适用于某类结构的分析等。
	专家姓名: 职务/职称:
	工作单位: 联系方式:
	应用能力专用评价细则 是否满足
评审结果	具有《软件设计说明书》 是否

细则共计 ____ 项, 其中 ____ 项满足, ____ 项不满足。	
专家签名: ____ 年 月 日	

图3 软件应用能力认证专家评审单

计算分析软件应用能力认证审批单		
软件信息	软件名称及版本: 申请方:	
	申请认证等级: 1级 2级 3级 4级 5级	
	支持的设计活动	
	软件的适用范围:	
专家信息	软件分类: 商用软件 自研软件	
	专用评价细则	条款通过率
	____ %
	____ %
软件评审组成员名单及签名		
专家姓名	职务或职称	工作单位
.....
决策层意见: 经专家组评审, 认为 ____ 软件针对 ____ 设计活动, 其能力等级达到 ____ 级。 (建议每项条款通过率90%以上, 判定该项条款通过; 所有条款均通过, 判定软件达到相应的能力等级。)		
签名: ____ 年 月 日		

图4 软件应用能力认证审批单



图5 软件浏览界面



图6 软件评价界面

要素范畴)管理系统(如图5、图6所示),使之具备软件应用能力认证申请、评审组建立、专家在线评价、结果发布、软件浏览查询及软件统计分析等功能。

应用情况及注意的问题

为验证方法的可行性,从航空发动机设计涉及的各专业团队中选取发动机研制中常用的30个软件开展了认证。认证结果表明该方法能够有效评价软件针对具体流程活动的工程适用性,为计算结果可信度的判定提供依据;能够牵引软件应用能力的提升,为后续软件的进一步完善指明方向。

方法在实施过程中还应注意以下问题。

一是软件应用能力表征采用软件开展具体设计活动时软件的工程适用性。因此,当一个软件支撑多个技术活动时,须针对不同的技术活动分别开展认证与准入。

二是被评价软件原则上要求软件精度须可测量,即计算结果能够与可信数据对比,测算出精度。而

业内还存在的一些普遍应用的软件由于条件所限存在无法测算精度的情况,如该软件的计算分析结果在多个型号中应用,且型号后续试验验证中没有由于计算结果不准确引起的故障,该软件也可开展软件应用能力的认证与准入。

三是软件应用能力认证可越级申请,如1级软件可越级申请3级的能力认证。

四是软件应用能力等级以最近一次认证通过的认证等级为准。

结束语

软件应用能力认证方法能够实现对软件应用能力的量化评估,为开展技术活动中软件的选用以及计算分析结果的可信度的判别提供依据,同时能有效避免软件的重复建设;结合流程建设,能够明确企业当前的软件缺失、软件应用能力不足、软件重复建设等问题,为后续建设指明方向;结合信息化系统的应用,支撑软件应用能力认证全过程,实现对软件应用能力提升的追溯、软件的统计分析,有效提升企业软件的

管控能力。

航空动力

(刘晓松,中国航发动力所,高级工程师,主要从事系统工程、航空发动机研发体系建设研究)

参考文献

- [1] 李华文,梁春华.航空发动机研制降低费用、缩短周期技术综述[J].航空发动机,2006,32(4):54-58.
- [2] 中国航空学会.第七届中国航空学会青年科技论坛文集:第7集[M].北京:航空工业出版社,2016:256-260.
- [3] 陈冬梅,立卫民.软件合格审定研发管理体系建立要点的研究[J].航空电子技术,2011,42(4):45-49.
- [4] 任喜录,胡勇.关于武器装备软件问题产生原因分析[J].计算机测量与控制,2017,25(2):110-112.
- [5] 中国人民解放军总装备部.GJB 5000A—2008军用软件成熟度模型[S].北京:总装备部军标出版发行部.2008:2-5.
- [6] Radio Technical Commission for Aeronautics.RTCA DO-178B software consideration in airborne systems and equipment certification[S].RTCA SC-167/EUROCAEWG-12.1992:13-15.