国家计量技术规范

航空发动机叶片测试规范 压气机

编 制 说 明

（征求意见稿）

规范起草组

2024年12月25日

**1 工作简况**

**1.1 任务来源**

根据《市场监管总局办公厅关于印发2024年国家计量技术规范制定、修订及宣贯计划的通知》，《航空发动机叶片几何参数测试规范 压气机》国家计量技术规范（计划编号：MTC32-2024-09（C））由全国航空专用计量测试技术委员会提出制定并归口，起止年限为2024年至2025年。

**1.2制定背景**

叶片是航空发动机中非常关键的一类典型零件，具有种类多，数量大、型面复杂、几何精度要求高等特点。压气机叶片的尺寸、形状、位置等几何参数决定了其气动特性，进而影响发动机的效率、功率和稳定性。例如，叶片的轮廓度误差会显著影响叶表附近的流场结构，若误差较大，会导致叶背过早出现附面层分离，降低气动效率。此外，叶片的弦长、前后缘半径等参数也直接影响压气机的增压比，从而影响整个发动机的性能。压气机叶片几何参数的精确测量对于保障发动机的安全性和可靠性也至关重要。叶片在长时间的高速运转过程中，会受到高温、高压、高转速等多种极端条件的考验，容易产生疲劳、磨损、变形等缺陷。通过对叶片几何参数的精确测量，可以排除不合格叶片，避免潜在的安全隐患。因此，对压气机叶片的几何参数进行精确测量，是确保发动机性能稳定、提升效率的关键步骤。目前起草组已经开展了对叶形扭转角、叶形位置度、叶片厚度等参数一定程度的研究。

同时，目前国内航空发动机压气机叶片制造领域迫切需要对压气机叶片的检测和评价方法有更深刻和统一的认知，需要一种共识的方法和标准检测和评价叶片。叶片检测规范的统一，将确保不同检测机构或人员采用相同的方法和标准进行检测，从而保证检测结果的准确性和一致性，避免因差异导致的误判和后续维护困难。规范发布后，将应用于航空发动机工业企业的验收单位（含计量技术机构），为机构在检测压气机叶片几何参数的工作中提供依据。

**1.3 起草过程**

**1.3.1 预研阶段**

全国航空专用计量测试技术委员会（以下简称“委员会”）作为国家市场监督管理总局成立的专业技术委员会，承担着全国航空专用计量技术规范的起草、审定任务。《航空发动机叶片几何参数测试规范 压气机》国家计量技术规范申报立项前，委员会秘书处组织专家对本规范进行了广泛的调研，经过调研，中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所承担了本规范的牵头起草工作，并成立由中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所、中国航发四川燃气涡轮研究院、中国航发商用航空发动机有限责任公司起草，中国航空发动机集团有限公司沈阳发动机研究所、中国航发南方工业有限公司、中国航发成都发动机有限公司、西安航空发动机（集团）有限公司参加起草组成的规范起草组。规范起草组成员即时查阅国内外相关资料，在前期项目研究、文献资料分析和调研的基础上，规范起草组召开了多次会议，讨论并确定了开展规范起草工作的原则、程序、步骤和方法，起草形成文本初稿。

**1.3.2 起草阶段**

2024年5月31日，国家计量技术规范制定计划下达。

2024年6月2日，规范起草组线上+线下的形式召开了规范起草启动会。会上，牵头起草单位向与会专家介绍了规范的立项背景，并结合前期各单位申请加入规范起草组情况，介绍了规范起草工作组的暂定方案，规范制定原则和框架内容，确定了下一步工作计划。

2024年6月至7月，起草组编写了规范草案，并将规范草案发送到规范起草组所有成员征求意见。根据意见对规范草案进行修订，形成了规范初稿。

2024年8月至9月，规范起草组将规范初稿发送到部分行业内专家征求意见，并根据意见对规范初稿进行了修订。

2024年10月至11月：规范起草组经过多次讨论修改，形成《航空发动机叶片测试规范 压气机》（初审稿），提交委员会。

2024年11月27日，参加委员会组织的初稿审定会，会上起草组向委员会汇报规范起草工作情况，听取委员专家的意见。会后起草组按照专家意见进行了较大的内容调整，形成预审稿。

2024年12月10日至11日，邀请行业内专家及规范主要使用者召开讨论会，根据会议意见对规范预审稿进行修订，形成征求意见稿。

下一步工作安排：规范的征求意见稿通过网站公示、电子邮件、微信等方式向航空发动机压气机叶片制造、使用企业、检验检测机构、计量机构、高校、研究机构进行广泛而全面的意见征集工作，并根据征求意见情况进行修改，形成送审稿。

**2 编制原则、主要内容及其确定依据**

**2.1 编制原则**

本规范在结构编写和内容编排等方面依据GB/T 20001.5-201《标准编写规则—第5部分：规范标准》和国家计量技术规范JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》进行编写。在规范编制过程中，重点遵循以下原则：

1）一致性原则：对编制过程中所涉及的相关国际、国内计量技术规范、标准文件进行分析研究，保持与已发布国家计量技术规范的一致性；

2）科学性原则：充分体现技术内容支撑，保证技术内容的科学性和准确性；

3）可操作性原则：结合我国航空制造业发展的实际情况，力求具有指导性和可操作性；

4）简易性原则：规范内容和技术表述简洁易懂，且在实际应用中无歧义。

**2.2 规范主要内容及其确定依据**

**2.2.1 适用范围**

本规范适用于航空发动机压气机叶片几何参数的测试。

**2.2.2 引用文件**

本规范引用了下列文件：

① GB/T 1958-2017 产品几何技术规范（GPS）几何公差 检测与验证；

本规范参考了以下文件：

① JJF 1001-2011 通用计量术语及定义

② HB 5647-1998 叶片叶型的标注、公差与叶身表面粗糙度

③ HB 20126 发动机叶片坐标测量要求

④ JJF（军工）282-2021 航空发动机标准叶片型面参数校准规范

**2.2.3 术语和定义**

本规范术语与定义包括：压气机叶片、叶型、截面、理想叶型、叶身、叶身吸力面（叶背）、叶身压力面（叶盆）、叶身的前缘（前缘）、叶身的后缘（后缘）、叶型中弧线、前缘圆弧、后缘圆弧、前缘半径、后缘半径、前缘切点、后缘切点、弦线、弦长、弦线角、叶型厚度、叶型最大厚度、叶型安装角、叶型轮廓度、叶展轮廓度、积叠轴、积叠点、扭转角、轴向位置度和周向位置度、叶片表面波纹度、测量坐标系等。

**2.2.4 正文部分**

本规范正文部分包括：

1） 4 概述：给出压气机叶片原理、构造和用途；

2） 5 测试项目：给出了压气机叶片具体几何参数的测试项目；

3） 6 测试条件：给出了压气机叶片测试的环境条件、主要测试用设备；

4） 7 测试方法：测试前准备包括对测试设备、待测叶片、夹具及测试前准备的文件给出了程序性规定，叶型测量程序包括建立测量坐标系、路径规划、测量过程及叶型数据处理逐项给出流程规定要求，波纹度测量程序包括波纹度测量过程和波纹度数据处理，粗糙度测量程序包括粗糙度测量过程和粗糙度数据处理，缘板轮廓度、转接圆弧半径、粗糙度测量位置和测量方法，榫头及安装座尺寸和形位公差、轮廓度、粗糙度测量方法；

5） 8测试结果表达：给出测试报告需要包括的内容要求。

**2.2.5 附录部分**

本规范附录部分包括：

1) 附录A测试原始记录格式：以表格形式给出了压气机叶片测试原始记录要求；

2) 附录 B 测试报告内页格式：给出了压气机叶片测试报告内页要求。

**2.3 与其他规范、标准相比，差异及其原因**

与现有计量技术规范的对比分析如表1所示。

表1 与现有计量技术规范的对比分析

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 与本测试规范的对比分析 |
| 1 | HB 5647-1998 叶片叶型的标注、公差与叶身表面粗糙度 | 1）该规范规定了叶片叶型的标注、公差与叶身表面粗糙度的定义；  2）该规范未涉及具体检测方法；  3）本规范根据测量技术发展对测试流程、设备、方法等内容进行了编制。 |
| 2 | HB 20126 发动机叶片坐标测量要求 | 1）该规范规定了基于坐标测量机的叶型和尺寸常规参数评定方法；  2）该规范不包含表面形貌相关参数；  3）该规范未给出非接触测量方法的要求；  4）本规范根据测量技术发展对测试流程、设备、方法等内容进行了编制。 |

**3 试验验证分析，预期的经济效益、社会效益。**

**3.1 试验验证的分析**

目前已做试验的结果表明，《航空发动机叶片测试规范 压气机》对于叶型、缘板、榫头特征上的各计量特性具有较好的实用性和可操作性，可以满足航空发动机压气机叶片测试的要求，从而实现压气机叶片测试量值的统一。

**3.2 预期的经济效益、社会效益**

《航空发动机叶片测试规范 压气机》适用于航空制造生产领域。本规范的制定填补了航空发动机压气机叶片检测标准这一空白，主要针对在进行航空发动机压气机叶片的检测过程中所需要的步骤，明确规定航空发动机压气机叶片几何参数的测量方法，以指导航空企业和计量技术机构正确开展发动机压气机叶片的测试工作，提高检测过程的规范性以达到获得更精确数据，从而为航空发动机生产线和检测线提供更为精准的测量手段，为未来的航空发动机提升性能打下了坚实基础。

本规范的制定将改变目前压气机叶片几何参数定义涵盖不够全面、测量方法没有统一的问题，制定、发布后将为压气机叶片提供一整套规范化、流程化的测试方法方案，以确保测量结果的正确性、合理性。通过统一检测流程和方法，能够有效降低检测成本，提高检测效率，进而缩短生产周期，

随着航空技术的不断发展，对叶片检测技术的要求也越来越高，制定并遵循统一的检测规范，可以推动相关企业和科研机构在检测技术方面进行更多的研究和创新，提升检测技术的水平和能力，有助于促进相关产业链的发展和完善，为航空工业的持续发展提供有力支撑。

**4 与有关法律、行政法规及相关规范、标准的关系**

本规范与我国的现行法律法规和国家计量技术规范、标准没有冲突。

**5 重大分歧意见的处理经过和依据**

无。

**6 涉及专利的有关说明**

本规范不涉及专利。

**7 其他应当说明的事项**

无。