



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—××××

航空发动机叶盘榫槽量规校准规范

Calibration specification for tenon groove gauges of aircraft engine blades

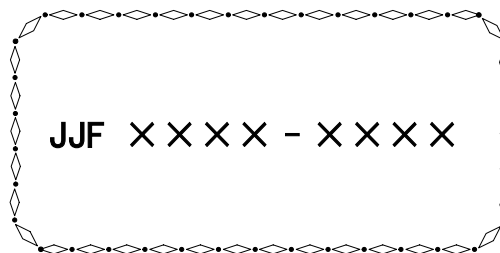
（征求意见稿）

XXXX - XX - XX 发布

国家市场监督管理总局发布

航空发动机叶盘榫槽量规 校准规范

Calibration specification for tenon groove
gauges of aircraft engine blades



归口单位：全国航空专用计量测试技术委员会

主要起草单位：中国航发哈尔滨东安发动机有限公司

中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所

中国航发南方工业有限公司

参加起草单位：黑龙江省计量检定测试院

哈尔滨工业大学

中国航发商用航空发动机有限公司

本规范委托全国航空专用计量测试技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

孙艳玲（中国航发哈尔滨东安发动机有限公司）

张世林（中国航发哈尔滨东安发动机有限公司）

黄 意（中国航发南方工业有限公司）

张 野（中国航发哈尔滨东安发动机有限公司）

钱 丰（中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所）

参加起草人：

侯 阳（中国航发哈尔滨东安发动机有限公司）

张海波（黑龙江省计量检定测试院）

袁 园（中国航发南方工业有限公司）

刘永猛（哈尔滨工业大学）

曹 玮（中国航发商用航空发动机有限公司）

目 录

引 言	III
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语	1
4 概述	2
5 计量特性	3
6 校准方法	5
7 校准项目	6
8 校准结果的处理	10
9 复校时间间隔	10
附 录 A 燕尾形榫槽量规对表芯棒垂直度误差测量不确定度评定	11
附 录 B 枞树形榫槽量规齿距测量不确定度评定	13
附 录 C 枞树形榫槽量规量棒距测量不确定度评定	15
附 录 D 校准原始记录参考格式	18
附 录 E 校准证书内容及内页格式	19

引 言

JJF 1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011 《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本校准规范制定工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

航空发动机叶盘榫槽量规校准规范

1 范围

本规范规定了航空发动机涡轮盘、压气机盘等叶盘榫槽量规的校准方法。适用于榫头为燕尾形和枞树型榫槽量规的校准工作，同时叶片类专用夹测具工装的榫头部分尺寸校准可依据本规范执行。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 1958 产品几何量技术规范（GPS）几何公差 检测与验证

HB5964 燕尾形榫头、榫槽尺寸标注与技术要求

HB5965 枞树形榫头、榫槽尺寸标注与技术要求

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语

HB 5964、HB 5965、GB/T 1958 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 燕尾形榫头（榫槽） dovetail root(groove)

横截面的几何图形近似于梯形的榫头（榫槽）。

3.2 底角 bottom angle

平面底面与侧面的夹角： β （榫头）、 β_c （榫槽）。

3.3 榫头（榫槽）对称平面 root(groove)symmetry plane

榫头（榫槽）顶角的角平分面。

3.4 榫头（榫槽）宽度平面 root(groove)width plane

设计上给定的用于确定榫头（榫槽）宽度的平面，该平面垂直于榫头（榫槽）的对称平面。

3.5 底面高 bottom surface high

底面与榫头（榫槽）宽度平面之间的距离： C （榫头）、 C_c （榫槽）。

3.6 榫头（榫槽）宽 root (groove) width

在榫头（榫槽）宽度平面上，两侧面间的距离： N （榫头）、 N_c （榫槽）。

3.7 枞树形榫头（榫槽） fir-tree blade root(fir-type groove)

具有两对或两对以上榫齿且其截面形状为枞树形的榫头（榫槽）。

3.8 枞树形榫头（榫槽）节线 pitch line of fir-tree blade root(fir-type groove)

确定榫齿位置和几何要素等直线，在节线上齿厚和齿槽宽等基本尺寸相等。

4 概述

榫槽量规作为航空发动机叶盘榫槽加工的专用测量装置，主要用于发动机各轮盘榫槽的位置及形状偏差。一般按榫头形状分为燕尾形榫槽量规和枞树形榫槽量规。

4.1 燕尾形榫槽量规

燕尾形榫槽量规是一种用于检测压气机盘或风扇盘燕尾形榫槽形状或位置的专用量规，其榫头横截面的几何图形近似于梯形，典型的燕尾形量规如图 1 所示。

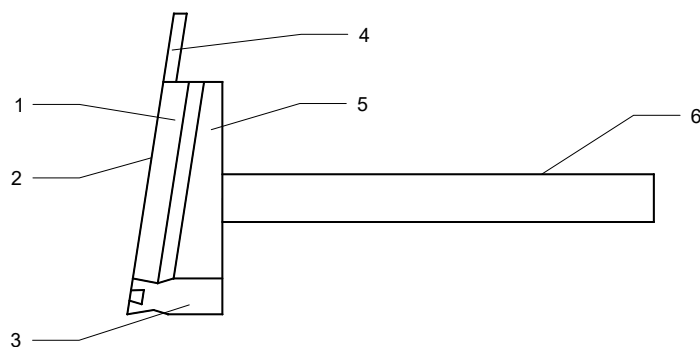


图 1 燕尾形榫槽量规示意图

1—榫头侧面；2—榫头底面；3—前端面；4—紧固楔片；5—量规侧面；6—对表芯轴

4.2 枞树形榫槽量规

枞树形榫槽量规是一种用于检测涡轮盘枞树形榫槽形状轮廓或综合位置的专用量规，其榫头部分具有两对或两对以上榫齿且其截面形状为枞树形，典型的枞树形榫槽量规如图 2 所示。

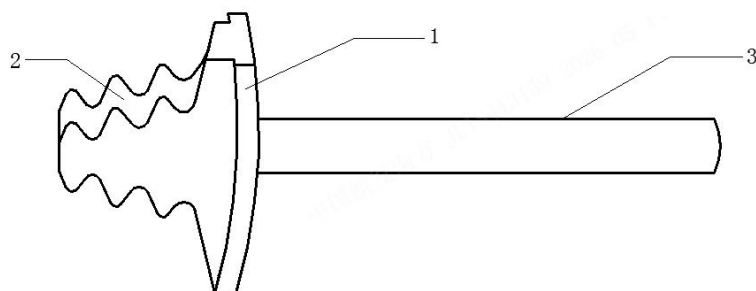


图 2 枞树形榫槽量规示意图

1—枞树形榫头；2—榫头工作面；3—手柄

5 计量特性

5.1 工作面的表面粗糙度

榫槽量规工作面的表面粗糙度参照表 1 要求，或依据设计图样要求。

表 1 榫槽量规的表面粗糙度要求

量规部位	表面粗糙度 $R_a / \mu\text{m}$
齿型面（与榫槽啮合型面）	≤ 0.4
其它工作面	≤ 0.8

5.2 燕尾形榫槽量规计量特性

5.2.1 榫头宽度，在（ θ 角度） K 方向下，榫头底面高度 C 处的两侧面距离，如图 3 所示尺寸 N 。

5.2.2 榫头底角，指 K 方向下的榫头平面底面与侧面间夹角，如图 3 所示角度 β 。

5.2.3 榫头前端面角度，如图 3 所示角度 γ 。

5.2.4 榫头两侧面对称度，指在 K 方向下，两侧面对基准 A 的对称度，如图 3 所示误差 t_1 。

5.2.5 对表芯轴与前端面距离，如图 3 所示尺寸 L_1 。

5.2.6 对表芯轴直径，如图 3 所示尺寸 D 。

5.2.7 榫头底面与对表芯轴间的垂直度

榫头底面与对表芯轴垂直度，是指在 E-E 剖面下，榫头底面与对表芯轴间的垂直度，如图 3 所示误差 t_2 。

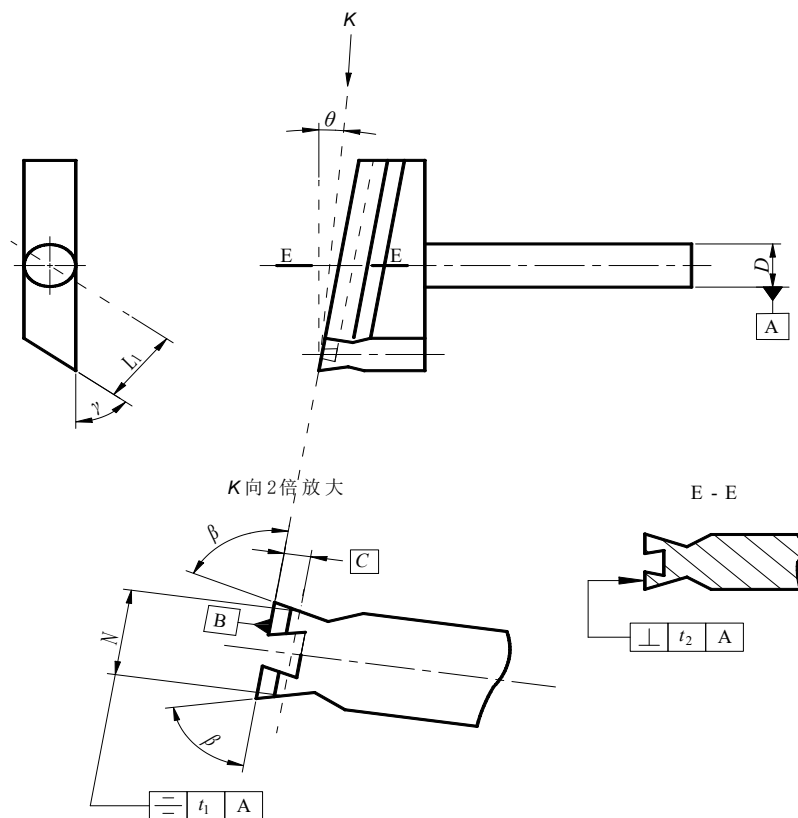


图3 燕尾形榫槽量规计量特性示意图

5.3 枞树形榫槽量规计量特性

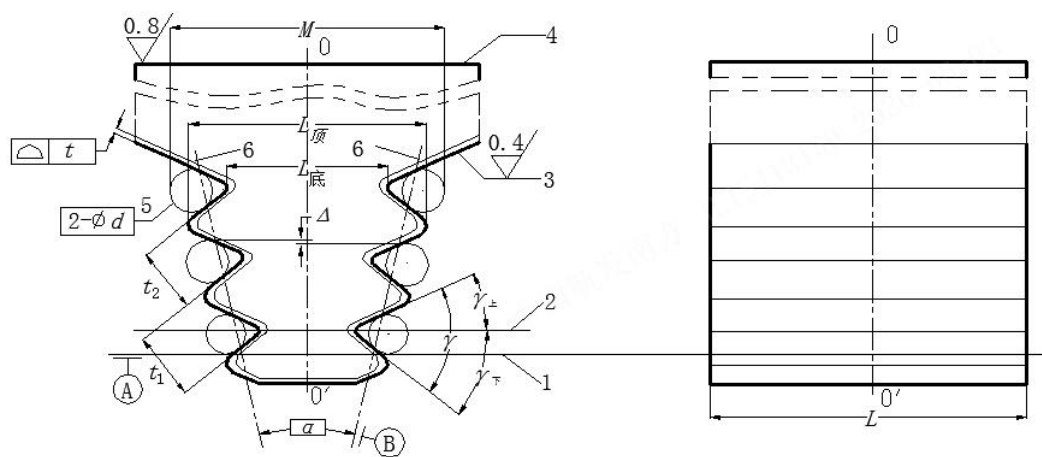


图4 枞树形榫槽量规截面特性示意图

1-零位基准面；2-与零位基准平行的面；3-榫头齿型面；4-其它工作面；5-标准量棒；6-节线

5.3.1 榫齿型面轮廓度，枞树形榫槽量规榫头外形轮廓偏差要求，包括榫齿齿面、齿顶和

齿根圆弧等，通常为单一公差带或变公差带的轮廓度要求，如图 4 中公差 t 。

5.3.2 齿形角，榫槽两侧面的夹角，如图 4 中的角度 γ ；齿侧角，榫槽两侧面与基准 A 的夹角，如图 4 中角度 $\gamma_{\text{上}}$ 、 $\gamma_{\text{下}}$ 。

5.3.3 错移（开）量，是指同一量棒在榫头对称平面（基准 B）上的相互最大允许错移量，即量棒至基准 A 的最大距离差，如图 4 中的尺寸 d 。

5.3.4 齿顶距，对称榫齿顶部距离，如图 4 中的尺寸 $L_{\text{顶}}$ ；齿底距，对称榫槽底部距离，如图 4 中的尺寸 $L_{\text{底}}$ 。

5.3.5 齿距，榫头同侧相邻齿面的距离，如图 4 中的尺寸 t_1 、 t_2 。

5.3.6 量棒距（跨棒距），是指利用一对直径相同的标准量棒，在对称齿槽上保持量棒与齿面相切，两量棒外侧间的距离。如图 4 中的尺寸 M 。

5.3.7 榫头长度，是指榫头工作面全长，如图 4 中的尺寸 L 。

注：榫槽量规特性公差执行设计图样要求。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境条件一般控制在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度不大于 80%，平衡温度时间不少于 2h。

6.2 主要测量设备

推荐使用表 2 和表 3 所列主要测量设备。允许使用满足量规技术要求的其他测量设备进行校准。

表 2 燕尾形榫槽量规主要测量设备

序号	校准项目	主要测量设备
1	工作面的表面粗糙度	表面粗糙度比较样块，MPE: -17%~12% 或表面粗糙度测量仪，MPE: $\pm 10\%$
2	榫头宽度	三坐标测量机，MPE: $\pm (1\mu\text{m} + 3 \times 10^{-6}L)$
3	榫头底角	
4	榫头前端面角度	
5	榫头两侧面对称度	
6	对表芯轴与前端面间距离	
7	对表芯轴直径	
8	对表芯轴垂直度	

表 3 枞树形榫槽量规主要测量设备

序号	校准项目	主要测量设备
1	工作面的表面粗糙度	表面粗糙度比较样块, MPE: -17%~12% 或表面粗糙度测量仪, MPE: $\pm 10\%$
2	榫齿型面轮廓度	三坐标测量机(具有扫描功能), MPE: $\pm (1\mu\text{m} + 3 \times 10^{-6}L)$; T _{HP} : 2 μm
3	齿形角、齿侧角	
4	齿顶距、齿底距	
5	榫头长度	
6	齿距	
7	错移(开)量	
8	量棒距(跨棒距)	标准量棒, 0 级针规; 杠杆千分尺, MPE(指示表): $\pm 1.0\mu\text{m}$; 标准量块, 5 等及以上 或三坐标测量机(具有扫描或自定心功能), MPE: $\pm (1\mu\text{m} + 3 \times 10^{-6}L)$; T _{HP} : 2 μm

7 校准项目和校准方法

7.1 外观

目视观察和试验

量规工作面表面不应有锈蚀, 磨损、碰伤、划痕等缺陷。各部件相互作用平稳无卡滞, 调节和锁紧装置工作有效。检查设计的特殊要求(如保持锐边等)是否符合。

7.2 工作面的表面粗糙度

用表面粗糙度比较样块比较测量。在进行比较时, 所用的表面粗糙度样块和被测量面的加工方法应该相同, 表面粗糙度样块的材料、形状、表面光泽等也应尽可能与被校测量面一致。以相应表面粗糙度比较样块的标称值作为测量结果。

对于可以用表面粗糙度测量仪进行测量的量规, 工作面表面粗糙度有争议时应以表面粗糙度仪测量结果为准。

7.3 燕尾形榫槽量规校准方法

量规测量基准依据设计图样确定。在图 3 量规设计图样中, 以对表芯轴为第一基准, 榫头底面为第二基准, 以燕尾形榫头侧面、底面及定位前端面三者的交点为原点, 建立原始测量坐标系。坐标系建立方式可参照图 5 所示。

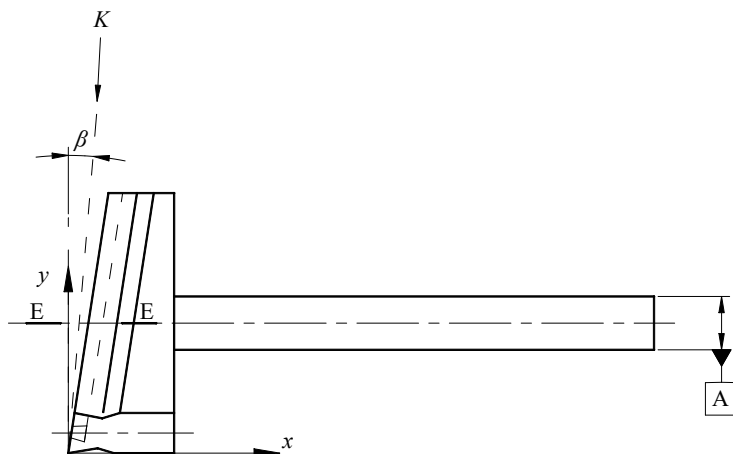


图5 燕尾形榫槽量规测量坐标系示意图

7.3.1 榫头宽度

应用三坐标测量机或万能工具显微镜测量，在仪器工作台上合理固定榫槽量规，采集校准特征。

坐标系旋转 θ 角度，建立 K 向测量坐标系。

在 K 向测量坐标系下，评价榫头两侧面底面高 C 处的距离，为榫头的宽度 N 值。

重新装夹量规，再次重复测量。最终数据要求至少两次以上的测量结果一致。

7.3.2 榫头底角

在 K 向坐标系下，评价燕尾形榫头两侧面与底面间的二维夹角，即为榫头底角 β 值。

以影像法测量时，应保证底面与侧面影像的清晰度一致。

7.3.3 榫头前端面角度

评价榫头前端面与两侧面中分面的夹角，即为榫头前端面角度 γ 值。

7.3.4 榫头两侧面对称度

评价 7.3.1 中两侧面定位点与基准 A 的距离，两距离之差即为对称度误差 t_1 ，如图 3 所示。要求有两次以上的测量结果。

7.3.5 对表芯轴与前端面距离。

评价对表芯轴轴线与前端面的空间距离，即为 L_1 值，如图 3 所示。

7.3.6 对表芯轴直径

评价对表芯轴的直径 D 值。在芯轴工作面上，评价均匀分布三个截面的测量结果。

7.3.7 榫头底面与对表芯轴间的垂直度

在原始测量测量坐标系下，评价 E-E 剖面下，榫头底面基准线与对表芯轴间的垂直度误差 t_2 。

7.4 枞树形榫槽量规校准方法

7.4.1 榫齿型面轮廓度

应用三坐标测量机测量：

- a) 将量规合理装夹固定在工作台上，选择半径小于榫齿齿根圆弧半径的测针。
- b) 导入枞树形榫槽量规模型，在数模上提取坐标定位、轮廓截面的理论数据和矢量信息。
- c) 采集定位元素，建立初始坐标系后扫描测量枞树形榫齿截面轮廓，获得榫齿轮廓的实测数据。注意扫描速度通常在10 mm/s ~20mm/s，扫描点距通常不大于公差1/10。
- d) 榫头长度 $L > 20\text{mm}$ ，选取至少3个轮廓截面，距离榫头前缘/后缘端面5mm以及中间位置，例如图6中 S_1 、 S_2 、 S_3 截面位置；榫头长度 $L \leq 20\text{mm}$ ，选取至少2个轮廓截面，距离榫头前缘/后缘端面5mm位置。
- e) 采用最小二乘法对齿形轮廓进行整体最佳拟合，判定榫齿齿面轮廓、齿顶圆弧、齿根圆弧和榫齿角度的符合情况，取最大值为轮廓度测量结果。

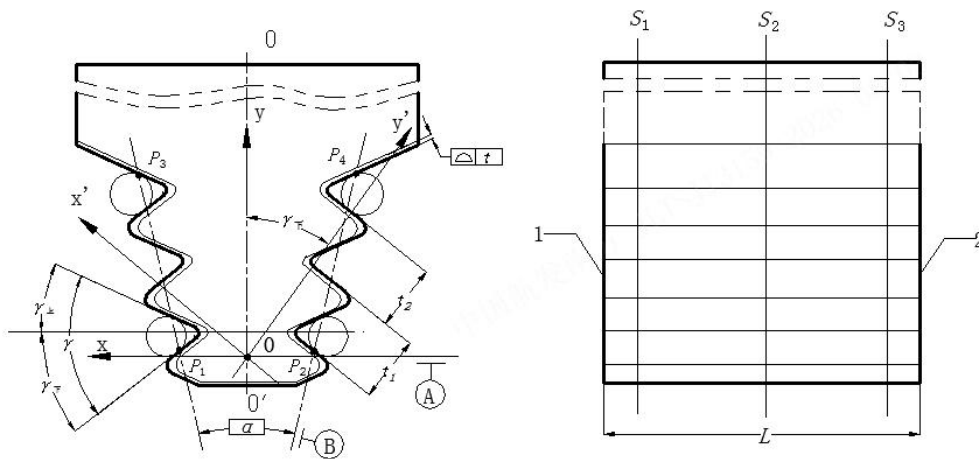


图6 坐标系建立和轮廓截面选取示意图

1-榫头前缘端面；2-榫头后缘端面

P_1 、 P_2 是标准量棒与第一对齿面切点； P_3 、 P_4 是标准量棒与最后一对齿面切点

7.4.2 齿形角、齿侧角

应用三坐标测量机测量：根据 7.4.1 中方法扫描采集截面轮廓元素，按图 6 建立 xy 坐标系，使用图形数据处理软件评价齿形角 γ 和齿侧角 $\gamma_{\text{上}}$ 、 $\gamma_{\text{下}}$ 的值。测量截面参考 7.4.1 d，测量结果取平均值。

7.4.3 齿顶距、齿底距

应用三坐标测量机测量：根据 7.4.1 中方法扫描采集截面轮廓元素，按图 6 建立 xy 坐标系，使用图形数据处理软件评价齿顶距 $L_{\text{顶}}$ 、齿底距 $L_{\text{底}}$ 的值。测量截面参考 7.4.1 d，测量结果取平均值。

7.4.4 榫头长度

应用三坐标测量机测量：如图 6 所示，采集并评价榫头前后缘两端面间的距离 L 。

7.4.5 齿距

应用三坐标测量机测量：根据 7.4.1 中方法扫描采集截面轮廓元素，按图 6 建立 $x'y'$ 坐标系，使用图形数据处理软件评价同侧相邻切点位置在 y' 轴方向上的距离 t_1 、 t_2 的值。测量截面参考 7.4.1 d。同一截面位置至少重复测量 2 次，测量结果取平均值。

7.4.6 错移（开）量

应用三坐标测量机测量：根据 7.4.1 中方法扫描采集截面轮廓元素，按图 7 建立 xy 坐标系，使用图形数据处理软件评价对称两量棒最高点到零位基准面的距离 H_1 和 H_2 的值，错移（开）量 Δ 即为 H_1 和 H_2 的差值（取正数）。测量截面参考 7.4.1 d，测量结果取平均值。

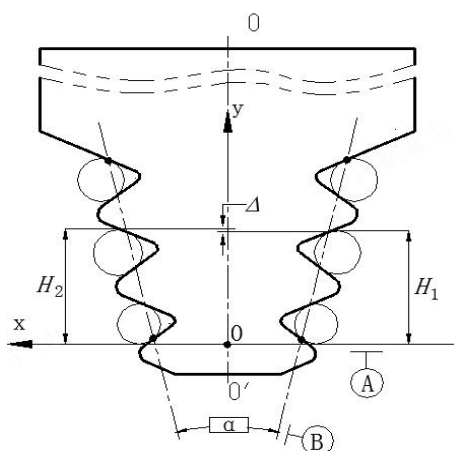


图 7 错移（开）量测量示意图

7.4.7 量棒距（跨棒距）

7.4.7.1 杠杆千分尺测量

如图 4 所示，使用杠杆千分尺、标准量棒、对比标准量块直接测量两量棒外侧之间的最大距离即为量棒距（跨棒距） M 值。测量截面参考 7.4.1 d，测量结果取平均值。

7.4.7.2 三坐标测量机测量

运用自定心探测方法采集，模拟评价量棒距（跨棒距） M 值；或根据 7.4.1 中方法扫描采集截面轮廓元素，使用图形数据处理软件评价量棒距（跨棒距） M 值。测量截面参考 7.4.1 d，测量结果取平均值。

8 校准结果的处理

经校准的榫槽量规出具校准证书，校准证书内容及内页格式见附录 C。

9 复校时间间隔

建议榫槽量规的复校时间间隔一般不超过 1 年。由于复校时间间隔的长短是由榫槽量规的使用情况、使用者、本身质量等诸多因素所决定，因此使用单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

燕尾形榫槽量规榫头宽度尺寸测量不确定度评定

A.1 测量方法

按本规范 7.3.1 校准方法,采用三坐标测量机对燕尾形榫槽量规榫头宽度尺寸进行测量,评定垂直度误差校准结果的不确定度。

A.2 测量模型

燕尾形榫槽量规榫头宽度尺寸:

$$N = l \quad (\text{A.1})$$

式中:

N ——燕尾形榫槽量规榫头宽度尺寸, mm;

l ——三坐标测量机测量结果, mm。

A.3 合成标准不确定度和灵敏系数

合成标准不确定度:

$$u_c^2(N) = c_1^2 u^2(l) \quad (\text{A.2})$$

$$\text{灵敏系数: } c_1 = \frac{\partial N}{\partial l} = 1$$

A.4 标准不确定度评定

A.4.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_1

按本规范中规定的校准方法,对榫头宽度尺寸重复测量 10 次,单次测量的实验标准偏差, $s=0.7 \mu\text{m}$, 实际测量重复测量 2 次,取 $n=2$, 则

$$u_1 = 0.7/\sqrt{2} = 0.50 \mu\text{m}$$

A.4.2 三坐标测量机最大允许误差引入的标准不确定度 u_2

三坐标测量机最大允许误差 MPE: $\pm (1 \mu\text{m} + 3 \times 10^{-6} L)$, 量规工作尺寸 6mm, 服从均匀分布, 计算 u_2 ,

$$u_2 = 1.02/\sqrt{3} = 0.58 \mu\text{m}$$

A.4.3 温度偏离 20℃ 引入的不确定度分量 u_3

测量时温度控制在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, 量规的热膨胀系数为 11.5×10^{-6} , 则计算变形量 Δ ,

$$\Delta = \pm 2 \times 11.5 \times 10^{-6} \times 6 \times 10^3 = \pm 0.14 \mu\text{m}$$

该量作均匀分布处理, 则不确定度分量 u_3

$$u_3 = 0.14/\sqrt{3} = 0.08 \mu\text{m}$$

A.5 标准不确定度汇总

表 A.1.1 标准不确定度汇总表

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$ (μm)	c_i	$ c_i \times u(x_i)$ (μm)
u_1	测量重复性	0.5	1	0.50
u_2	三坐标测量机最大允许误差	0.6	1	0.58
u_3	温度偏离 20℃	0.1	1	0.08

A.6 合成标准不确定度 u_c

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}$$

$$u_c = \sqrt{0.50^2 + 0.58^2 + 0.08^2} = 0.8 \mu\text{m}$$

A.7 扩展不确定度 U

取 $k=2$ ，计算扩展不确定度

$$U = 2 \times 0.8 = 1.6 \mu\text{m}$$

附录 B

枞树形榫槽量规齿距测量不确定度评定

B.1 测量方法

按本规范 7.4.5 校准方法，采用三坐标测量机对枞树形榫槽量规齿距 t_l 进行测量，以齿距 5mm 的尺寸为例，评定校准结果的不确定度。

B.2 测量模型

枞树形榫槽量规齿距：

$$t_1 = l \quad (\text{A.2.1})$$

式中：

t_1 ——枞树形榫槽量规齿距，mm；

l ——三坐标测量机测量结果，mm。

B.3 合成标准不确定度和灵敏系数

合成标准不确定度：

$$u_c^2(t_1) = c_1^2 u^2(l) \quad (\text{A.2.2})$$

灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial t_1}{\partial l} = 1$

B.4 标准不确定度评定

B.4.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_1

按本规范中规定的校准方法，对齿距重复测量 10 次，单次测量的实验标准偏差， $s=0.8\mu\text{m}$ ，实际重复测量 2 次，取 $n=2$ ，则

$$u_1 = 0.8/\sqrt{2} = 0.57\mu\text{m}$$

B.4.2 三坐标测量机最大允许误差引入的标准不确定度 u_2

三坐标测量机最大允许误差 MPE： $\pm(1\mu\text{m} + 3 \times 10^{-6}L)$ ，齿距为 5mm，服从均匀分布，计算 u_2

$$u_2 = 1.02/\sqrt{3} = 0.58\mu\text{m}$$

B.4.3 温度偏离 20℃ 引入的不确定度分量 u_3

测量时温度控制在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，量规的热膨胀系数为 11.5×10^{-6} ，计算变形量 Δ ，

$$\Delta = \pm 2 \times 11.5 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^3 = \pm 0.12\mu\text{m}$$

该量作均匀分布处理，则不确定度分量 u_3

$$u_3 = 0.12/\sqrt{3} = 0.07\mu\text{m}$$

B.5 标准不确定度汇总

表 A.3.1 标准不确定度汇总表

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$ (μm)	c_i	$ c_i \times u(x_i)$ (μm)
u_1	测量重复性	0.57	1	0.57
u_2	三坐标测量机最大允许误差	0.58	1	0.58
u_3	温度偏离 20℃	0.07	1	0.07

B.6 合成标准不确定度 u_c

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}$$

$$u_c = \sqrt{0.57^2 + 0.58^2 + 0.07^2} = 0.8 \mu\text{m}$$

B.7 扩展不确定度 U

取 $k=2$ ，计算扩展不确定度

$$U = 2 \times 0.8 = 1.6 \mu\text{m}$$

附录 C

枞树形榫槽量规量棒距测量不确定度评定

C.1 测量方法

按本规范 7.4.7.1 校准方法，采用杠杆千分尺、量棒、量块测量枞树形榫槽量规的量棒距 M ，以理论量棒直径 $\phi 2\text{mm}$ 、量棒距为 28mm 的尺寸为例，评定校准结果的不确定度。

C.2 测量模型

枞树形榫槽量规量棒距：

$$M = l \quad (\text{A.3.1})$$

式中：

M ——枞树形榫槽量规量棒距，mm；

l ——杠杆千分尺测量结果，mm。

C.3 合成标准不确定度和灵敏系数

合成标准不确定度：

$$u_c^2(M) = c_1^2 u^2(l) \quad (\text{A.3.2})$$

灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial M}{\partial l} = 1$

C.4 标准不确定度评定

C.4.1 量块组引入的不确定度分量 u_1

量块组包含 20 mm、8 mm 两块 5 等量块组合起来的尺寸，5 等量块的不确定度为 $U = 0.5 \mu\text{m} + 5 \times 10^{-6} l_n$ ($k = 2.58$)，则

由 20mm 量块引入的不确定度分量 $u_{1.1} = \frac{0.6}{2.58} \mu\text{m} = 0.23 \mu\text{m}$

由 8mm 量块引入的不确定度分量 $u_{1.2} = \frac{0.54}{2.58} \mu\text{m} = 0.21 \mu\text{m}$

则：

$$u_1 = \sqrt{u_{1.1}^2 + u_{1.2}^2} = \sqrt{0.23^2 + 0.21^2} \mu\text{m} = 0.31 \mu\text{m}$$

C.4.2 量棒引入的不确定度分量 u_2

按照 0 级针规标准， $\phi 2\text{mm}$ 量棒的尺寸偏差允许为 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ ，在区间内呈服从均匀分布，

取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则

$$u_2 = \frac{U}{k} = \frac{0.5 \mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.29 \mu\text{m}$$

C.4.3 杠杆千分尺引入的不确定度分量 u_3

杠杆千分尺指示表（分辨力是 0.002 mm）的示值误差是 $\pm 1.0 \mu\text{m}$ ，设在区间内呈服从均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则

$$u_3 = \frac{U}{k} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.58 \mu\text{m}$$

C.4.4 测量重复性引入的不确定度分量 u_4

按本规范中规定的校准方法，对量棒距重复测量 10 次，单次测量的实验标准偏差， $s=1.2 \mu\text{m}$ ，如果实际测量 2 次，取 $n = 2$ ，则

$$u_4 = \frac{1.2}{\sqrt{2}} = 0.85 \mu\text{m}$$

C.4.5 量规和量块的线膨胀系数差引入的标准不确定度分量 u_5

量棒距为 28mm，取量规和量块线胀系数均为 $\alpha = (11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$ ，线胀系数的界限为 $\pm 2 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$ 。环境温度变化不超过 1°C ，取 $k = \sqrt{6}$ ，则标准不确定度为：

$$u_5 = \frac{28 \times 10^3 \times 1 \times 2 \times 10^{-6}}{\sqrt{6}} \mu\text{m} = 0.02 \mu\text{m}$$

C.5 标准不确定度汇总

表 A.3.1 标准不确定度汇总表

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$ (μm)	c_i	$ c_i \times u(x_i)$ (μm)
u_1	量块组	0.31	1	0.31
u_2	三坐标测量机最大允许误差	0.29	1	0.29
u_3	杠杆千分尺	0.58	1	0.58
u_4	测量重复性	0.85	1	0.85
u_5	量规和量块的线膨胀系数差	0.02	1	0.02

C.6 合成标准不确定度 u_c

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2}$$

$$u_c = \sqrt{0.31^2 + 0.29^2 + 0.58^2 + 0.85^2 + 0.02^2} = 1.1 \mu\text{m}$$

C.7 扩展不确定度 U

取 $k=2$ ，计算扩展不确定度

$$U = 2 \times 1.1 = 2.2 \mu\text{m}$$

附录 D 校准原始记录参考格式

航空发动机叶盘榫槽量规校准原始记录

榫槽量规校准记录					记录编号：	
送检单位		量规名称				
图 号		单件号				
校准环境条件及地点：						
温 度	℃	校准地点				
相对湿度	%	其 他				
校准所依据的技术文件（代号、名称）：						
校准所使用的主要测量标准：						
名 称	编 号	不确 定度/	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-DD)		
校准记录（填写对应量规）						
1.外观						
2.校准结果						
序号	校准项目	校准结果				
		标称值	上公差	下公差	实测值	测量不确定 度（ $k=2$ ）
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

校准人员：

核验人员：

校准日期： 年 月 日

建议有效日期： 年 月 日

第 页 共 页

附录 E 校准证书内容及内页格式

E.1 校准证书内容

校准证书应至少包括下列信息：

- a) 标题“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址(如果与实验室的地址不同)；
- c) 进行校准的地点；
- d) 证书或报告的唯一性标识 (如编号)，每页及总页的标识；
- e) 送检单位的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性的应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

E.2 推荐的校准证书内页格式

推荐的校准证书内页格式见表 C.2.1，C.2.2，C.2.3

表 E.2.1 燕尾形榫槽量规校准证书内页格式

证书编号：

环境条件	温度： 湿度：	地点： 其它：
序号	校准项目	校准结果
1	外观	
2	工作面的表面粗糙度	
3	榫头两侧面定位点尺寸	
4	榫头燕尾角度	
5	榫头定位前端面角度	
6	燕尾形榫头两侧面对称度	
7	对表芯轴与定位前端面间距离	
8	对表芯轴直径	
9	对表芯轴垂直度	

关键尺寸校准不确定度：

表 E.2.2 枞树形榫槽量规校准证书内页格式

证书编号：

环境条件	温度： 湿度：	地点： 其它：
序号	校准项目	校准结果
1	外观	
2	工作面的表面粗糙度	
3	榫齿型面轮廓度	
4	齿形角、齿侧角	
5	齿顶距、齿底距	
6	榫头长度	
7	齿距	
8	错移（开）量	
9	量棒距（跨棒距）	

关键尺寸校准不确定度：