

ICS 49.020

CCS V 35

T

团体标准

T/CEATEC XXX—2026

电动航空螺旋桨噪声测试与评估方法

Electric aircraft propeller noise testing and evaluation methods

(征求意见稿)

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 测试条件 1

 4.1 环境条件 1

 4.2 机械安装条件 1

5 测试设备与校准 2

 5.1 声学测量系统 2

 5.2 转速与工况监测设备 2

6 测试程序 2

 6.1 测点布置 2

 6.2 运行工况设定 2

 6.3 数据采集 3

7 数据处理与评估 3

 7.1 基础声学量计算 3

 7.2 频谱分析 3

 7.3 评估指标 3

8 测试报告 3

 8.1 报告内容 3

 8.2 结果表述 4

前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：

本文件主要起草人：

本文件首次发布。

电动航空螺旋桨噪声测试与评估方法

1 范围

本文件规定了电动航空螺旋桨噪声测试与评估的测试条件、测试设备与校准、测试程序、数据处理与评估及测试报告。

本文件适用于电动航空螺旋桨噪声测试与评估。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 3241.1 电声学 倍频程和分数倍频程滤波器 第1部分：规范

GB/T 3768 声学 声压法测定噪声源声功率级和声能量级 采用反射面上方包络测量面的简易法

GB/T 3785.1 电声学 声级计 第1部分：规范

ISO 3744:2010 声学 使用声音压力测定噪音源声功率级与声能级 采用反射面上的自由声波场的工程测量法 (Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电动航空螺旋桨 electric aviation propeller

由电动机驱动、用于产生推进力的旋转式空气动力装置，其桨叶为刚性或柔性结构，设计适配于电动垂直起降航空器（eVTOL）、轻型电动固定翼飞机等低空慢速航空器。

4 测试条件

4.1 环境条件

4.1.1 声学环境

测试应在符合 GB/T 3768 中规定的“近似自由场”或“半自由场”条件的场地进行；若采用室内测试，混响时间在 500 Hz 频带不应大于 0.5 s，背景噪声应比被测噪声低至少 10 dB (A)。

4.1.2 气象条件

测试期间，环境温度应为 15 ℃~35 ℃，相对湿度不应大于 85%，风速应小于 1.0 m/s（距螺旋桨轴线 1 m 高度处测量），大气压力应为 86 kPa~106 kPa。

4.2 机械安装条件

4.2.1 台架刚度

测试台架固有频率应高于螺旋桨最高工作转速对应基频的 3 倍，且在测试全转速范围内无共振响应。

4.2.2 螺旋桨安装

螺旋桨应按制造商规定的扭矩和对称性要求紧固于电机输出轴；桨毂中心轴线与测试台基准面垂直度偏差不应大于 0.2° ；所有紧固件应处于额定预紧状态。

5 测试设备与校准

5.1 声学测量系统

5.1.1 传声器

应采用符合 GB/T 3785.1 中 1 级精度要求的预极化驻极体传声器，频率响应范围覆盖 20 Hz~20 kHz (± 2 dB)，动态范围不低于 110 dB。

5.1.2 声级计或数据采集系统

应具备实时 A 计权、C 计权及线性 (Z 计权) 声压级测量功能，并支持 1/3 倍频程实时分析；采样率不应低于 51.2 kHz；抗混叠滤波器截止频率应可调且符合 GB/T 3241.1 要求。

5.1.3 校准

每次测试前、后均须使用声校准器，应符合 GB/T 3785.1 的要求，对传声器系统进行 94.0 dB(1 kHz) 声压级校准；两次校准读数偏差不应超过 0.3 dB。

5.2 转速与工况监测设备

5.2.1 转速测量

应采用光电编码器或非接触式激光转速传感器，测量误差不应大于 ± 0.5 r/min。

5.2.2 电气参数监测

应同步记录电机输入电压、电流、功率，测量设备精度等级不应低于 0.5 级。

6 测试程序

6.1 测点布置

6.1.1 主测点位置

主测点应位于螺旋桨旋转平面法向方向，距离桨尖轨迹圆周最远点 1.0 m 处，高度与螺旋桨旋转轴线中心平齐；该点记为 P0。

6.1.2 辅助测点

应在 P0 所在水平面内，沿以桨毂中心为原点的极坐标系，以 30° 为间隔布设不少于 11 个辅助测点 (含 P0)，最大径向距离为 2.0 m。

6.1.3 高度方向测点

应在 P0 垂线上，向上、向下各延伸 0.5 m，以 0.25 m 为间隔增设 4 个垂直测点，用于评估声辐射指向性。

6.2 运行工况设定

6.2.1 转速序列

应按等间隔选取不少于 5 个转速点，覆盖额定转速的 40%、60%、80%、100% 及 110% (超速验证工况)；每点稳态运行时间不应少于 60 s。

6.2.2 负载模拟

静态测试中，电机负载应通过电子负载或制动器模拟典型推力工况；若无负载模拟，应在报告中明确标注“无推力约束工况”。

6.3 数据采集

6.3.1 采集时长

每个工况下，连续采集时间不应少于 30 s，且应剔除启停过渡段（前 5 s 与后 5 s）；有效采集时段内，转速波动不应大于 $\pm 0.5\%$ 。

6.3.2 同步记录

声信号、转速、电压、电流应严格时间同步采集，时间戳分辨率不应劣于 1 ms。

7 数据处理与评估

7.1 基础声学量计算

7.1.1 等效连续 A 声级

应按 GB/T 3768 中公式（1）计算各测点 30 s 等效连续 A 声级 $L_{Aeq,T}$ ，取整至 0.1 dB。

7.1.2 声功率级

应依据 ISO 3744:2010，采用半球面测点阵列法反演螺旋桨声源声功率级 L_W ；测点数量不足 12 个时，不得外推计算 L_W 。

7.2 频谱分析

7.2.1 1/3 倍频程分析

应对每个测点原始声信号进行 1/3 倍频程谱分析，中心频率自 50 Hz 起，至 10 kHz 止，共 31 个频带；各频带声压级应按 GB/T 3241.1 修约至 0.1 dB。

7.2.2 主导频率识别

应识别声压级高于邻频带 3 dB 以上的离散谱线，其阶次应关联螺旋桨转速基频 $f_0 = n/60$ （ n 为转速，单位 r/min）的整数倍，记为 $k \cdot f_0$ （ $k=1, 2, 3\cdots$ ）。

7.3 评估指标

7.3.1 基准声功率级 $L_{W,ref}$

应以 100%额定转速、额定推力工况下测得的 L_W 作为基准声功率级，单位为 dB（re $10^{-12}W$ ）。

7.3.2 噪声增量 ΔL_W

应计算 110%超速工况与 100%额定工况的 L_W 差值； ΔL_W 不应大于 3.0 dB。

7.3.3 声辐射指向性指数 D_i

应计算 P0 点 $L_{Aeq,T}$ 与全部水平面辅助测点中最小 $L_{Aeq,T}$ 之差， D_i 不宜大于 8.0 dB。

8 测试报告

8.1 报告内容

测试报告应至少包含以下内容：

- 螺旋桨型号、制造商、桨叶数量、直径、材料、桨叶剖面类型；
- 测试日期、地点、环境温湿度与气压；
- 测试系统溯源信息（传声器型号/编号、校准日期、声级计型号）；
- 台架结构简图与测点三维坐标；

- e) 全部工况下 P0 点 $L_{Aeq,T}$ 、 LW 、 $1/3$ 倍频程谱及主导阶次列表;
- f) ΔLW 与 D_i 计算结果;
- g) 异常现象说明 (如啸叫、涡脱落脉冲等)。

8.2 结果表述

所有声学量数值应修约至 0.1 dB; 转速修约至 0.1 r/min; 电气参数修约至 0.1%满量程; 报告中不应使用“约”“大致”“接近”等模糊表述。
