

# T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXXX—XXXX

## 电动垂直起降飞行器声学性能评价规范

Specification for acoustic performance evaluation of electric vertical take-off and  
landing aircraft

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国西部开发促进会 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 评价指标 .....	1
4.1 基础指标 .....	1
4.2 扩展指标 .....	2
5 测试条件 .....	2
5.1 环境条件 .....	2
5.2 测量设备 .....	3
5.3 设备校准与检查 .....	3
6 测试方法 .....	3
6.1 测试点布置 .....	3
6.2 测试工况及技术要求 .....	4
6.3 测试流程 .....	5
7 数据处理 .....	6
7.1 数据筛选与有效性判断 .....	6
7.2 背景噪声修正 .....	6
7.3 指标计算方法 .....	7
7.4 结果表示 .....	8
8 评价要求 .....	8
8.1 评价等级划分 .....	8
8.2 评价方法 .....	9
9 评价报告 .....	9
附录 A（资料性） 测试数据记录表示例 .....	11
参考文献 .....	13

## 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。

本文件由中国西部开发促进会标准与认证工作委员会提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

# 电动垂直起降飞行器声学性能评价规范

## 1 范围

本文件规定了电动垂直起降飞行器（以下简称eVTOL）声学性能的评价指标、测试条件、测试方法、数据处理、评价要求和评价报告等内容。

本文件适用于民用eVTOL在现场环境（室外）下的声学性能评价。

## 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 3096—2008 声环境质量标准

GB/T 3222.1—2022 声学环境噪声的描述、测量与评价 第1部分：基本参量与评价方法

GB/T 3785.1—2023 电声学 声级计 第1部分：规范

GB/T 3947—1996 声学名词术语

GB/T 15173 电声学 声校准器

GB/T 20441.4—2006 测量传声器 第4部分：工作标准传声器规范

GB 42590—2023 民用无人驾驶航空器系统安全要求

## 3 术语和定义

GB/T 3947—1996、GB 3096—2008和GB/T 3785.1—2023界定的术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**电动垂直起降飞行器** electric vertical take-off and landing aircraft; eVTOL

依靠电动机驱动旋翼、螺旋桨或涵道风扇等升力装置，实现垂直起飞、垂直降落，并能完成悬停、平飞巡航等飞行任务的民用电动航空器。

注：典型构型包括多旋翼、倾转旋翼、复合翼等。

### 3.2

**等效连续 A 声级** equivalent continuous A-weighted sound level;  $L_{Aeq}$

在规定测量时间T内A声级的能量平均值。

注：单位为分贝（dB(A)）。

[来源：GB/T 3096-2008，3.2，有修改]

### 3.3

**最大时间 A 计权声级** maximum time A-weighted sound level;  $L_{Amax}$

在规定时间间隔内时间A计权声级的最大值。

注：单位为分贝（dB(A)）。

[来源：GB/T 3785.1-2023，3.7，有修改]

### 3.4

**1/3 倍频程频谱** one-third octave spectrum

将20 Hz~20 kHz的声频范围按频率比为1:1.26的间隔划分为若干连续频带，每个频带的中心频率与上、下截止频率存在确定数学关系（中心频率是上、下截止频率的几何平均值）的频谱表示方法。

## 4 评价指标

### 4.1 基础指标

基础指标应符合表1的规定。

表1 基础指标

指标名称	符号	单位	应用场景	测量时间	测量方法
等效连续A声级	$L_{Aeq}$	dB(A)	用于评价eVTOL在各稳定工况（如悬停、水平巡航）下的持续噪声水平，是反映长期噪声影响的关键指标	根据工况特性确定，稳定工况不少于60 s	GB/T 3222.1—2022中第6章
最大时间A计权声级	$L_{Amax}$	dB(A)	用于评价eVTOL在动态操作过程（如起飞离地、降落触地、动力系统突变）中产生的瞬时最大噪声，反映噪声的冲击特性	记录整个测试时段内的瞬时峰值，采样间隔不大于10 ms	GB/T 3222.1—2022中第6章
注：核心必需指标，直接决定声学性能等级，综合权重不小于70%。					

## 4.2 扩展指标

扩展指标应符合表2的规定。

表2 扩展指标

指标名称	应用场景	说明	测量方法
噪声暴露级	用于评价单次完整飞行事件（如从起飞到降落的全过程）的总噪声暴露量，便于不同持续时间的噪声事件进行比较	针对完整的飞行阶段（如起飞阶段、降落阶段、完整飞行循环）分别计算	GB/T 3222.1—2022中第6章
1/3倍频程频谱	分析噪声的频率构成特征，识别主要噪声源（如旋翼气动噪声、电机电磁噪声、机械传动噪声等），为噪声控制提供技术依据	频率范围：20 Hz~20 kHz，包含中心频率25 Hz、31.5 Hz、40 Hz、50 Hz、63 Hz、80 Hz、100 Hz、125 Hz、160 Hz、200 Hz、250 Hz、315 Hz、400 Hz、500 Hz、630 Hz、800 Hz、1000 Hz、1250 Hz、1600 Hz、2000 Hz、2500 Hz、3150 Hz、4000 Hz、5000 Hz、6300 Hz、8000 Hz、10000 Hz、12500 Hz、16000 Hz、20000 Hz共30个频带	GB/T 3785.1—2023中附录C
噪声指向性	描述eVTOL噪声在不同空间方向上的分布特性，为起降场选址、飞行航线规划提供依据	以极坐标图表示，极轴为声压级（dB），极角为方位角（°），可按不同高度分层绘制	/
噪声持续时间	评价噪声对环境的时间影响范围，特别是在人口密集区域的短期干扰	eVTOL噪声超过背景噪声5 dB(A)以上的持续时间，单位为秒（s）	/
注：补充分析指标，支撑深度评价与场景适配，综合权重不大于30%。			

## 5 测试条件

### 5.1 环境条件

现场测量应结合评价等级对应的使用区域实际情况，满足下列规定，并记录相关参数。

- a) 风速：地面 10 m 高度处测量，平均风速不大于 5 m/s，阵风风速不大于 7 m/s。

- b) 相对湿度：30%~90%。
- c) 大气压力：86 kPa~106 kPa。
- d) 温度：-10 °C~40 °C。
- e) 天气现象：无降水、雾、霾、沙尘暴、雷电等影响声波传播或设备运行的天气现象。
- f) 光照条件：测试宜在白天进行，避免强光直射传声器，必要时采取遮阳措施。
- g) 场地类型：应选择开阔、平坦的区域，地面可为混凝土、沥青等硬质铺装或短草覆盖。
- h) 反射体控制：测试点周围 50 m 范围内不宜有高度超过 3 m 的固定反射体；100m 范围内不宜有大型反射结构。
- i) 背景噪声满足 GB 3096—2008 中功能区分类的限值要求；
- j) 电磁环境：符合 GB 42590—2023 中 4.12 的要求。

## 5.2 测量设备

测量设备应包括下列内容：

- a) 声级计：声级计符合 GB/T 3785.1 的 1 级精度要求，支持 A 计权、倍频程分析，具备数据存储功能；
- b) 传声器：采用自由场响应传声器，在 20 Hz~20 kHz 频率范围内灵敏度偏差不得超过 ±1 dB，满足 GB/T 20441.4—2006 的要求；
- c) 声校准器：符合 GB/T 15173 要求的 1 级声校准器，校准频率为 1000 Hz，校准声压级为 94 dB 或 114 dB；
- d) 数据采集系统：采样频率不小于 50 kHz，支持存储原始声压数据，便于后续追溯与分析；
- e) 风速仪：测量范围 1 m/s~20 m/s，精度 ±0.5 m/s，用于监测测试期间的风速；
- f) GNSS（含北斗系统）：通过 RTK（实时动态差分定位）技术实现厘米级精度，三维定位误差应不大于 0.05 m（水平 ±2 cm、垂直 ±3 cm），三维速度误差不大于 0.1 m/s。

## 5.3 设备校准与检查

### 5.3.1 校准时机应包括下列内容：

- a) 测试前校准：所有测量设备在测试前进行校准；
- b) 测试后校准：测试结束后进行校准；
- c) 期间检查：环境条件发生显著变化时，进行一次中间校准。

### 5.3.2 校准应按下列流程执行：

- a) 传声器校准：将声校准器紧密套在传声器上，启动校准器，记录声级计显示值，与校准器标准值的偏差应不大于 0.5 dB；
- b) 系统校准：对整个测量链（传声器、前置放大器、声级计/数据采集系统）进行整体校准，确保系统误差在允许范围内；
- c) 校准记录：详细记录校准时间、环境条件、设备编号、校准值、偏差等信息，形成校准报告。

### 5.3.3 设备检查应包括下列内容：

- a) 外观检查：检查设备是否有物理损坏、连接是否牢固；
- b) 功能检查：测试设备的各项功能是否正常，数据记录是否完整；
- c) 电池检查：确保所有设备电池电量充足，满足测试需求。

## 6 测试方法

### 6.1 测试点布置

6.1.1 测试点布置参考 GB/T 28543 中的内容，应设置在 eVTOL 外部（非机舱内），坐标系定义以 eVTOL 实际飞行的航迹为基准，建立下列三维直角坐标系：

- a) X 轴：平行于地面，沿 eVTOL 预设/实际飞行的航迹方向（飞行方向），作为“航迹纵向基准轴”，用于区分“航迹前方”（飞行器去向）、“航迹后方”（飞行器来向）的噪声变化；
- b) Y 轴：平行于地面，垂直于 X 轴（航迹方向），指向航迹右侧（以飞行方向视角为准），作为“航迹横向基准轴”，用于区分“航迹左侧”“航迹右侧”的噪声分布；

c) Z轴：垂直于地面向上，地面高度为0 m，保持不变，用于定义测量点的垂直高度。

6.1.2 针对垂直起飞和降落、悬停，测量点布置以原点为中心，包括下列测量半径：

- a) 30 m半径圆周上：均匀布置8个测量点，方位角分别为0°（正北）、45°、90°（正东）、135°、180°（正南）、225°、270°（正西）、315°；
- b) 50 m半径圆周上：均匀布置4个测量点，方位角分别为0°、90°、180°、270°；
- c) 100 m半径圆周上：均匀布置4个测量点，方位角分别为0°、90°、180°、270°。

注：可根据实际运行场景（如城市核心区、郊区）调整布点方案。测试前需根据起降场所在地的人口密度、建筑分布、敏感目标位置确定场景类型，优先采用对应场景的基础布点。

6.1.3 垂直高度上每个水平测量点设置下列测量高度：

- a) 1.2 m~1.5 m：模拟成年人耳高度，评价对地面人员的影响；
- b) 9.5 m±10.5 m：模拟多层建筑物高度，评价对周边环境的影响。

6.1.4 特殊测量点根据测试需求，可增加下列特殊测量点：

- a) 起飞/降落路径延长线上的测量点，用于评价飞行轨迹下方的噪声影响；
- b) 高噪声敏感区域（如学校、医院附近）的额外测量点。

6.1.5 测量点标识每个测量点应进行唯一标识，标识内容包括半径、方位角、高度。

## 6.2 测试工况及技术要求

### 6.2.1 地面静态测试

6.2.1.1 测试条件：eVTOL 静止在起降中心点，起落架接触地面。

6.2.1.2 操作应按下列步骤执行：

- a) 启动动力系统，按低、中、高三种电机转速运行；
- b) 每种转速稳定运行 60 s；
- c) 记录电机转速、电池电压等运行参数。

6.2.1.3 数据采集：应连续记录整个过程的噪声数据。

### 6.2.2 悬停测试

6.2.2.1 测试条件应符合下列规定：

- a) 悬停高度：10 m±0.5 m、30 m±1 m 两个高度；
- b) 位置保持：水平位置偏差宜不超过±0.5 m，高度偏差宜不超过±0.1 m。

6.2.2.2 操作应按下列步骤执行：

- a) eVTOL 从地面起飞至指定悬停高度；
- b) 稳定悬停 60 s；
- c) 如需测试另一高度，先降落至地面，休整 5 min 后再起飞至新高度。

6.2.2.3 数据采集：应从悬停稳定后开始记录，持续 60 s。

### 6.2.3 垂直起飞测试

6.2.3.1 测试条件应符合下列规定：

- a) 起飞路径：垂直向上，通过 10 m±0.5 m、30 m±1 m 高度点；
- b) 起飞速度：按制造商规定的正常起飞速度，加速度保持稳定。

6.2.3.2 操作应按下列步骤执行：

- a) eVTOL 在地面准备就绪；
- b) 按正常程序启动垂直起飞；
- c) 持续起飞至 30 m±1 m 高度后悬停 10 s。

6.2.3.3 数据采集：应从动力系统启动开始，至达到 30 m±1 m 高度悬停稳定。

### 6.2.4 垂直降落测试

6.2.4.1 测试条件应符合下列规定：

- a) 起始高度：30 m±1 m；
- b) 降落路径：垂直向下；
- c) 降落速度：按制造商规定的正常降落速度，加速度保持稳定。

#### 6.2.4.2 操作应按下列步骤执行：

- a) eVTOL 在  $30\text{ m}\pm 1\text{ m}$  高度稳定悬停；
- b) 按正常程序开始垂直降落；
- c) 持续降落至触地，完成着陆。

#### 6.2.4.3 数据采集：应从开始下降动作至完全触地。

### 6.2.5 水平巡航测试

#### 6.2.5.1 测试条件应符合下列规定：

- a) 巡航高度： $120\text{ m}\pm 1\text{ m}$ ；
- b) 巡航速度：按制造商规定的典型巡航速度，保持匀速；
- c) 飞行路径：直线飞行。

#### 6.2.5.2 操作应按下列步骤执行：

- a) eVTOL 起飞并爬升至  $120\text{ m}\pm 1\text{ m}$  高度；
- b) 转换至水平飞行模式，加速至巡航速度；
- c) 保持巡航速度直线飞行，通过测量区域；
- d) 飞过测量区域后，减速并降落。

#### 6.2.5.3 数据采集：应从 eVTOL 进入测量区域前约 100 m 开始，至离开测量区域后约 100 m。

### 6.2.6 过渡阶段测试

#### 6.2.6.1 测试条件应符合下列规定：

- a) 转换高度： $30\text{ m}\pm 1\text{ m}$ ；
- b) 转换过程：按制造商规定的标准程序进行模式转换。

#### 6.2.6.2 操作应按下列步骤执行：

- a) eVTOL 垂直起飞至  $30\text{ m}\pm 1\text{ m}$  高度悬停；
- b) 执行从垂直模式到水平模式的转换；
- c) 稳定后，再执行从水平模式到垂直模式的转换；
- d) 垂直降落到地面。

#### 6.2.6.3 数据采集：应从模式转换开始前 10 s 至转换完成后 10 s。

## 6.3 测试流程

### 6.3.1 测试前准备

测试前准备应至少包括下列内容。

- a) 场地检查：确认测试场地符合要求，清除可能的障碍物和干扰源。
- b) 设备部署：按测试点布置图安装传声器和辅助设备，确保设备稳固、线缆连接正确。
- c) 设备校准：按 5.3 节要求对所有测量设备进行校准。
- d) 环境测量：测量并记录初始环境参数（风速、温度、湿度、气压等）。
- e) 背景噪声测量：为掌握测试全程环境噪声变化对数据有效性的影响，分三个阶段开展测量：
  - 1) 测试前测量：在 eVTOL 未启动前，测量各测试点的背景噪声，持续时间不少于 5 min，作为基准背景噪声数据；
  - 2) 测试中测量：在每种工况测试间隙（如地面静态测试与悬停测试之间、不同重复测试轮次之间），再次测量各测试点背景噪声，持续时间不少于 5 min，排查工况切换期间外部干扰源引入的噪声变化；
  - 3) 测试后测量：在所有工况测试完成、eVTOL 停机并撤离测试区域后，测量各测试点背景噪声，持续时间不少于 5 min，验证测试全程环境噪声的稳定性。
- f) 飞行器检查：确认 eVTOL 状态正常，飞行参数设置符合测试要求。
- g) 安全措施：设置安全警戒区域，配备必要的安全防护设备和应急人员。

### 6.3.2 测试实施

测试实施应至少包括下列内容：

- a) 测试顺序：建议按地面静态→悬停→垂直起飞→垂直降落→水平巡航→过渡阶段的顺序进行；
- b) 重复次数：每种工况至少重复测试3次，每次测试间隔不少于10 min，确保eVTOL和测量设备恢复稳定状态；
- c) 数据同步：确保噪声数据与eVTOL飞行参数（高度、速度、姿态等）的同步记录，时间戳精度不低于1 ms；
- d) 实时监控：安排专人实时监控测量数据质量，发现异常情况（如设备故障、外部干扰）应及时记录，并考虑重新测试；
- e) 过程记录：详细记录每次测试的时间、环境条件、eVTOL状态、测试人员等信息，参考附录A。

### 6.3.3 测试后工作

测试后工作应至少包括下列内容：

- a) 设备校准：测试结束后，对测量设备进行再次校准，确认设备性能稳定；
- b) 数据备份：及时将所有原始数据备份至安全存储设备，避免数据丢失；
- c) 设备回收：小心回收所有测量设备，进行清洁和检查；
- d) 初步数据分析：对测试数据进行初步检查，确认数据完整性和有效性；
- e) 测试总结：编写测试简报，记录测试完成情况、异常事件及处理措施。

## 7 数据处理

### 7.1 数据筛选与有效性判断

#### 7.1.1 数据筛选原则

数据筛查原则包括下列内容。

- a) 剔除受明显外部干扰（如突发噪声、设备故障、电磁干扰）的数据段。
- b) 剔除eVTOL未按规定工况运行的数据（如高度偏差超标、速度不稳定）。
- c) 剔除环境条件超出规定范围时的数据。
- d) 对于重复测试数据，若某次测试结果与其他几次偏差超过3 dB，应查明原因，必要时剔除该次数据。包括但不限于出现以下情况：
  - 1) 测试环境异常：当测试时出现超过标准规定的环境干扰，如存在其他声源干扰、温度或湿度超出标准要求范围等；
  - 2) 测试设备问题：传声器校准不合格、数据采集系统故障、测量仪器未按标准进行预热或校准、传声器位置发生偏移等设备相关问题；
  - 3) 测试过程失误：飞行器未按标准要求的飞行轨迹、高度、速度进行测试、测试点位置错误、飞行器状态异常等操作失误；
  - 4) 数据异常确认：通过统计分析确认该次数据确实为异常值，而非正常波动；
  - 5) 重复验证确认：在查明原因后，通过重复相同条件的测试，确认该异常数据确实是由上述因素导致，而非飞行器噪声特性的真实变化。

#### 7.1.2 有效性判断标准

有效性判断标准包括下列内容：

- a) 有效测试次数：每种工况的有效测试次数不应少于3次，否则需重新测试；
- b) 校准偏差：测试前后校准结果偏差不应超过0.5 dB，否则该时段数据无效；
- c) 背景噪声：经修正后的噪声数据应能真实反映eVTOL的噪声特性，修正量不应超过3 dB。

### 7.2 背景噪声修正

#### 7.2.1 修正条件

当被测噪声与背景噪声的差值在3 dB~10 dB之间时，需进行背景噪声修正；差值大于10 dB时，无需修正；差值小于3 dB时，测试结果无效。

#### 7.2.2 修正方法

按GB/T 3222.1中规定的能量减法进行修正，修正后的等效连续A声级按照公式（1）计算：

$$L_{A,corr} = 10 \log_{10}(10^{0.1L_{A,meas}} - 10^{0.1L_{A,bg}}) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$L_{A,corr}$ ——修正后的等效连续A声级，单位为dB(A)；

$L_{A,meas}$ ——测量得到的等效连续A声级（含背景噪声），单位为dB(A)；

$L_{A,bg}$ ——背景噪声的等效连续A声级，单位为dB(A)。

### 7.2.3 修正记录

详细记录背景噪声测量值、测量时间、修正前后的噪声值及修正方法。

## 7.3 指标计算方法

### 7.3.1 等效连续 A 声级

按公式（2）计算：

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0.1L_{A(t)}} dt \right) \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$L_{Aeq,T}$ ——测量时间为T的等效连续A声级，单位为分贝（dB(A)）；

$T$ ——规定的测量时间，单位为秒（s）；

$L_{A(t)}$ —— $t$ 时刻的瞬时A计权声压级，单位为分贝（dB(A)）。

### 7.3.2 最大时间 A 计权声级

7.3.2.1 从整个测试时段的 A 计权声压级时间序列中，提取最大值作为峰值声压级。应严格匹配各测试工况的既定测试时长，确保计算范围覆盖工况核心噪声产生阶段，避免因时段界定模糊导致数据偏差，具体对应关系应符合表 3 的规定。

表3 最大时间 A 计权声级计算时间段

测试工况	计算时间段范围
地面静态测试	电机某一转速稳定运行的60 s完整时段（不含转速爬升、下降过渡段）
悬停测试	悬停高度稳定后持续记录的60 s时段（如10 m/30 m高度悬停，需排除起飞爬升、降落下降段）
垂直起飞测试	从动力系统启动（开始输出升力）至eVTOL达到30 m±1 m高度并悬停稳定的全过程时段（含起飞加速、匀速爬升段，不含悬停稳定后的10 s）
垂直降落测试	从eVTOL在30 m±1 m高度开始下降动作，至完全触地的全过程时段（含减速下降、触地缓冲段，不含下降前的悬停稳定段）
水平巡航测试	eVTOL进入测量区域前100 m（开始进入噪声监测范围）至离开测量区域后100 m（噪声脱离监测范围）的完整过境时段（含巡航匀速段、进出区域过渡段）
过渡阶段测试	从模式转换（垂直→水平/水平→垂直）开始前10 s（准备阶段）至转换完成后10 s（稳定阶段）的全过程时段

7.3.2.2 计算所用的 A 计权声压级时间序列，应满足以下处理间隔要求：

- 基础采样间隔：每 10 ms 至少记录 1 个瞬时 A 计权声压级数据，避免遗漏电机转速突变、旋翼气流扰动等产生的短时峰值噪声；
- 数据提取频率：处理时基于原始采样数据逐点提取瞬时值，不对数据进行“降频采样”，防止峰值被平滑抵消。

### 7.3.3 噪声暴露级

按公式（3）计算：

$$SEL = L_{eq,T} + 10 \log_{10} T \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$L_{eq,T}$ ——在时间 $T$ 内的等效连续A计权声压级（dB）；

$T$ ——噪声事件的持续时间（s）。

#### 7.3.4 1/3 倍频程频谱

对原始声压信号进行1/3倍频程分析，计算每个中心频率的声压级，频率范围20 Hz~20 kHz。

#### 7.3.5 噪声指向性

以eVTOL为中心，将同一半径、不同方位角的测量点在相同工况下的声压级数据，绘制极坐标图，极角为方位角，极半径为声压级。

### 7.4 结果表示

#### 7.4.1 数值表示

7.4.1.1 所有声压级结果保留一位小数。

7.4.1.2 时间参数保留整数位。

7.4.1.3 频率参数按 1/3 倍频程中心频率表示。

#### 7.4.2 图表表示

7.4.2.1 时域特性：绘制声压级随时间变化的曲线，标注关键时间点（如离地、达到指定高度）。

7.4.2.2 频谱特性：以表格或柱状图形式表示 1/3 倍频程频谱数据。

7.4.2.3 指向性：以极坐标图表示不同半径、不同高度的噪声指向性。

7.4.2.4 空间分布：可采用 contour 图表示噪声在水平面上的分布。

#### 7.4.3 统计处理

7.4.3.1 同一工况、同一测量点的多次有效测试结果，取算术平均值作为最终结果。

7.4.3.2 计算标准差，反映测试数据的离散程度。

7.4.3.3 结果表示格式：平均值±标准差。

## 8 评价要求

### 8.1 评价等级划分

#### 8.1.1 一级

适用于GB 3096—2008中1类声环境功能区。

a) 30 m处 1.5 m高度：

1) 悬停工况  $L_{Aeq} \leq 65$  dB；

2) 起飞/降落工况  $L_{Amax} \leq 80$  dB；

3) 水平巡航工况  $L_{Aeq} \leq 58$  dB。

b) 频谱要求：2000 Hz 以上高频噪声的声压级应低于总声压级 15 dB。

c) 噪声暴露级（SEL）：单次飞行事件  $SEL \leq 85$  dB（30 m处）。

d) 干扰处理：现场测量时若存在不可避免的干扰，增加测试次数（不少于 5 次），剔除偏差超过 2 dB 的数据，采用有效数据平均值作为判定依据。

#### 8.1.2 二级

适用于GB 3096—2008中2类声环境功能区。

a) 30 m处 1.5 m高度：

1) 悬停工况  $L_{Aeq} \leq 70$  dB；

2) 起飞/降落工况  $L_{Amax} \leq 85$  dB；

- 3) 水平巡航工况  $L_{Aeq} \leq 63$  dB。
- b) 频谱要求：2000 Hz 以上高频噪声的声压级应低于总声压级 10 dB。
- c) 噪声暴露级 (SEL)：单次飞行事件  $SEL \leq 90$  dB (30 m 处)。
- d) 干扰处理：现场测量时允许修正量不超过 3 dB，有效测试次数不少于 4 次。

### 8.1.3 三级

适用于适用于 GB 3096—2008 中 3 类声环境功能区。

- a) 30 m 处 1.5 m 高度：
  - 1) 悬停工况  $L_{Aeq} \leq 75$  dB；
  - 2) 起飞/降落工况  $L_{Amax} \leq 90$  dB；
  - 3) 水平巡航工况  $L_{Aeq} \leq 68$  dB。
- b) 频谱要求：2000 Hz 以上高频噪声的声压级应低于总声压级 5 dB。
- c) 噪声暴露级 (SEL)：单次飞行事件  $SEL \leq 95$  dB (30 m 处)。
- d) 干扰处理：现场测量时若背景噪声修正量超过 3 dB，应在报告中明确说明干扰来源及对结果的影响程度。

## 8.2 评价方法

### 8.2.1 单项指标评价

将各测试点、各工况的测量结果与相应等级的指标要求进行比对，判断是否符合要求。

### 8.2.2 综合评价

- 8.2.2.1 所有测量点、所有工况的指标均符合某一等级要求时，判定为符合该等级。
- 8.2.2.2 部分指标符合高等级要求，部分指标符合低等级要求时，判定为符合低等级要求。
- 8.2.2.3 有任何指标低于三级要求时，判定为不符合要求。

### 8.2.3 特殊情况处理

- 8.2.3.1 对于不同半径的测量点，以最严格（数值最低）的要求作为评价依据。
- 8.2.3.2 对于特殊用途 eVTOL，可根据实际应用场景，在本文件基础上制定专项评价指标。
- 8.2.3.3 对于城市中心等无法满足理想测量条件的区域，可采用移动测量平台或多点同步测量方式，结合空间插值法修正数据。

### 8.2.4 评价结论

评价结论应包括下列内容：

- a) 测试 eVTOL 的声学性能等级判定；
- b) 各项指标的具体测试结果与评价等级要求的对比；
- c) 不符合项的详细说明（包括超标指标、超标数值、测试条件）；
- d) 对 eVTOL 噪声控制的建议（如噪声源识别、降噪措施建议）；
- e) 对 eVTOL 适用运行区域的建议。

## 9 评价报告

评价报告应完整、准确、规范，应包括下列内容：

- a) 报告基本信息：报告编号、版本号、测试名称、测试日期、测试地点、委托单位、测试单位等；
- b) 测试对象信息：eVTOL 型号、序列号、生产厂家、生产日期、主要技术参数（最大起飞重量、动力系统类型、电机数量及功率、旋翼直径等）；
- c) 测试环境条件：测试场地描述（地理位置、地形地貌、周边环境）、测试期间的气象参数（风速、风向、温度、湿度、气压）、背景噪声测量结果、是否满足对应评价等级的环境要求；
- d) 测试设备信息：测量设备清单（声级计、传声器、校准器、辅助设备 etc.），包括型号、编号、生产厂家，设备校准记录；

- e) 测试方案：测试点布置图（包括坐标、高度、数量）、测试工况说明及技术参数、测试流程及质量控制措施；
- f) 测试结果与分析：各工况、各测试点的原始数据汇总表、数据处理方法及修正说明、各项评价指标的计算结果、频谱分析结果、噪声指向性分析；
- g) 评价结论：声学性能等级判定结果、存在的问题及原因分析、改进建议。

附录 A  
(资料性)  
测试数据记录表示例

A.1 环境参数记录表见表 A.1。

表A.1 环境参数记录表

序号	测试日期	测试时段	测试点标识	风速 m/s	风向	温度 ℃	相对湿度 %	大气压力 kPa	天气现象	记录人	备注
1											
2											
3											
...											

A.2 设备校准记录表如表 A.2 所示。

表A.2 设备校准记录表

序号	校准日期	校准时段	设备名称	设备型号	设备编号	校准点	标准值 dB	测量值 dB	偏差 dB	校准人员	校准证书编号	备注
1												
2												
3												
...												

A.3 地面静态测试数据记录表如表 A.3 所示。

表A.3 地面静态测试数据记录表

序号	测试次数	测试日期	测试时段	电机转速 r/min	测试点标识	背景噪声 $L_{Aeq}$ dB	测量 $L_{Aeq}$ dB	修正后 $L_{Aeq}$ dB	$L_{Amax}$ dB	持续时间 s	记录人	备注
1												
2												
3												
...												

A.4 悬停测试数据记录表如表 A.4 所示。

表A.4 悬停测试数据记录表

序号	测试次数	测试日期	测试时段	悬停高度 m	测试点标识	背景噪声 $L_{Aeq}$ dB	测量 $L_{Aeq}$ dB	修正后 $L_{Aeq}$ dB	$L_{Ama}$ dB	悬停稳定性 $\pm m$	记录人	备注
1												
2												
3												
...												

A.5 垂直起飞/降落测试数据记录表如表 A.5 所示。

表A.5 垂直起飞/降落测试数据记录表

序号	测试类型 (起飞/降落)	测试次数	测试日期	测试时段	起始高度 m	终止高度 m	测试点标识	背景噪声 $L_{Aeq}$ dB	全程 $L_{Aeq}$ dB	最大 $L_{Amax}$ dB	SEL dB	持续时间 s	记录人	备注
1														
2														
3														
...														

A.6 水平巡航测试数据记录表如表 A.6 所示。

表A.6 水平巡航测试数据记录表

序号	测试次数	测试日期	测试时段	巡航高度 m	巡航速度 km/h	测试点标识	背景噪声 $L_{Aeq}$ dB	过境 $L_{Aeq}$ dB	最大 $L_{Amax}$ dB	SEL dB	噪声持续时间 s	记录人	备注

### 参 考 文 献

- [1] GB/T 3767 声学声压法测定噪声源声功率级和声能量级反射面上方近似自由场的工程法
  - [2] GB/T 17247.1 声学 户外声传播衰减 第1部分：大气声吸收的计算
  - [3] GB/T 28543 电力电容器噪声测量方法
  - [4] MH/T 6128 航空器噪声测量和评估
  - [5] 《航空器型号和适航合格审定噪声规定》（CCAR-36）
-