

# T/CEATEC

团 体 标 准

T/CEATEC XXXX—XXXX

## 无人机用轻量化光学镜头

Lightweight optical lenses for UAV

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—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 技术要求 ..... 2

    4.1 外观要求 ..... 2

    4.2 光学性能要求 ..... 2

    4.3 轻量化性能要求 ..... 3

    4.4 机械性能要求 ..... 3

    4.5 环境适应性要求 ..... 3

    4.6 可靠性要求 ..... 4

    4.7 无热化要求 ..... 4

5 试验方法 ..... 4

    5.1 外观检验 ..... 4

    5.2 光学性能试验 ..... 4

    5.3 轻量化性能试验 ..... 4

    5.4 机械性能试验 ..... 5

    5.5 环境适应性试验 ..... 5

    5.6 可靠性试验 ..... 5

    5.7 无热化试验 ..... 6

    5.8 系统整合与实拍试验 ..... 6

6 检验规则 ..... 6

    6.1 检验分类 ..... 6

    6.2 出厂检验 ..... 6

    6.3 型式检验 ..... 6

7 标志、包装、运输和贮存 ..... 7

    7.1 标志 ..... 7

    7.2 包装 ..... 7

    7.3 运输 ..... 7

    7.4 贮存 ..... 7

## 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。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件首次发布。

# 无人机用轻量化光学镜头

## 1 范围

本文件规定了无人机用轻量化光学镜头的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于无人机用轻量化光学镜头（以下简称“镜头”）。

## 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 191 包装储运图示标志

GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温

GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温

GB/T 2423.3 环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验

GB/T 2423.10 环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）

GB/T 2423.27 环境试验 第2部分：试验方法 试验方法和导则：温度/低气压或温度/湿度/低气压综合试验

GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划

GB/T 2829 周期检验计数抽样程序及表（适用于对过程稳定性的检验）

GB/T 9917.1 照相镜头 第1部分：变焦距镜头

GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

GB/T 10987 光学系统 参数的测定

GB/T 26331 光学薄膜元件环境适应性试验方法

JB/T 8248.1 照相镜头光谱透射比的测量方法

JB/T 13702.3 照相机环境试验 第3部分：冲击试验

ISO 12233 摄影 静态电子图像成像 分辨率和空间频率响应(Photography — Electronic still picture imaging — Resolution and spatial frequency responses)

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**无人机用轻量化光学镜头** lightweight optical lens for UAV

专门为无人机系统设计开发，采用轻量化材料和结构优化技术，在不牺牲成像质量的前提下大幅减轻镜头重量与体积，从而提升无人机续航、机动性与任务适应能力的光学成像系统核心组件。

### 3.2

**光学分辨率** optical resolution

镜头分辨物体细节的能力，通常以每毫米能够清晰分辨的线对数（lp/mm）来表示，是衡量镜头成像清晰度的核心指标。

### 3.3

**相对孔径** relative aperture

镜头入瞳直径与焦距的比值。相对孔径直接决定单位时间内进入系统的光能量，镜头的进光量越大，在低光照环境下的成像性能越好。

注：F数：相对孔径的倒数。

3.4

畸变 distortion

由于镜头光学结构的原因，导致成像画面中直线变为曲线的现象，有负畸变（桶形畸变）、正畸变（枕形畸变）之分。通常用相对畸变，即以不同视场的主光线通过光学系统后与高斯像面的交点高度和理想像高之差（镜头畸变）与理想像高的百分比（%），表示畸变程度。

3.5

轻量化系数 lightweight coefficient

用于量化评估镜头轻量化水平的核心参数，为镜头核心光学性能参数与整体重量的归一化比值，用以量化评价镜头在满足特定性能前提下，减轻重量、提升集成效率的综合水平。计算方式为镜头重量与F数的乘积，除以焦距与像高的乘积，表达式见式（1）。该系数越小，表明镜头在满足相应光学性能要求的前提下，轻量化性能越优异。

$$LC = (W * F\#) / (f * IH) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- W——镜头重量单位：g；
- f——焦距单位：mm；
- IH——像高单位：mm。

3.6

轻量化设计 lightweight design

在保证镜头光学性能、机械可靠性及环境适应性不降低的前提下，通过材料优化、结构简化、工艺改进等手段，实现镜头重量合理降低的设计方法。

4 技术要求

4.1 外观要求

- 4.1.1 镜头镜筒表面应平整、光滑，无明显划痕、凹陷、变形、色差及污渍，涂层应牢固、均匀，无脱落现象。
- 4.1.2 光学镜片表面应清洁透明，无划痕、气泡、霉斑、雾状、杂质等缺陷，镜片边缘无崩边、破损。
- 4.1.3 镜头的标识、刻度应清晰、准确、完整，无模糊、残缺现象，装配接口应完好无损，螺纹光滑无毛刺。

4.2 光学性能要求

4.2.1 光学分辨率

按照传感器像素大小进行分辨率设定，应符合GB/T 9917.1中的规定。

4.2.2 相对孔径

应符合GB/T 9917.1中的规定，按F数大小放宽偏差，以“Ev值”量化，应符合以下要求：

- a) 当F数<5.6时，偏差≤±0.33 Ev；
- b) 当F数≥5.6时，偏差≤±0.50 Ev；
- c) 额外要求：相邻两挡F数误差之差的绝对值≤0.67 Ev。

注：v为曝光量等级，1Ev对应通光量翻倍。

4.2.3 畸变

畸变率应不大于5%，确保成像画面无明显几何失真，应符合GB/T 9917.1中的规定。

4.2.4 光谱透射比

在可见光波长范围（400 nm~760 nm）内，镜头的平均透射比应不低于85%，保证充足的进光量。

#### 4.2.5 像面照度均匀性

按影像传感器面积及焦距区间设定照度比。

#### 4.2.6 视场角

镜头视场角应符合设计标定值，实际测量值与设计标定值的偏差不超过 $\pm 3^\circ$ 。

### 4.3 轻量化性能要求

#### 4.3.1 一般要求

镜头成像系统采用玻塑混合材料、非球面/自由曲面镜片等设计，核心成像镜片保持光学玻璃、非关键镜片采用光学塑料，光路尽可能选用镜片少、总长短设计方案；镜筒优先选用AL6061、镁合金或碳纤维复材等密度低且易加工材料；用电子防抖替代机械防抖等。

#### 4.3.2 轻量化系数

光学镜头由公式（1）计算出的轻量化系数值越小，表征该镜头轻量化的程度越高。对于焦距5 mm～20 mm的镜头，轻量化系数应不大于0.8 g/mm；对于焦距20 mm～50 mm的镜头，轻量化系数应不大于1.2 g/mm；对于焦距50 mm以上的镜头，轻量化系数应不大于1.5 g/mm。

#### 4.3.3 重量偏差

同一型号镜头的实际重量与设计重量的偏差应不超过 $\pm 5\%$ ，保证批次产品重量一致性。

### 4.4 机械性能要求

#### 4.4.1 装配精度

镜头各组件装配应牢固、可靠，无松动现象，镜筒与镜片之间的配合间隙应符合设计要求，在受到轻微振动时无位移。

#### 4.4.2 接口配合

镜头与无人机成像系统的连接接口应配合良好，插拔顺畅，无卡滞现象，连接后无松动，确保信号传输稳定。与无人机飞控、图传、POS（位置姿态系统）一体化布线，减少重复接口。

#### 4.4.3 调节性能

对于具备焦距、光圈调节功能的镜头，调节机构应灵活、平稳，调节范围准确，无空回、卡滞现象。

### 4.5 环境适应性要求

#### 4.5.1 高低温性能

在无人机实际应用场景的温度范围内应能正常工作，无机械结构变形等问题；试验后光学分辨率下降不超过10%。

#### 4.5.2 湿热性能

在温度 $40\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ 、相对湿度90%～95%的环境下，持续放置48 h后，镜头应无霉斑、雾状等现象，光学性能无明显变化。

#### 4.5.3 振动性能

在频率10 Hz～2000 Hz、加速度5 g的条件下，进行三个轴向的正弦振动试验，试验后镜头无结构损坏、组件松动，光学分辨率下降不超过5%。

#### 4.5.4 低气压性能

在气压5 kPa（相当于海拔约20000 m）的环境下，镜头应能正常工作，无漏气、光学性能异常等现象。

#### 4.5.5 耐盐雾性能

经过48 h中性盐雾试验后，镜头金属部件无明显锈蚀，光学性能无下降，涂层无脱落。

#### 4.6 可靠性要求

##### 4.6.1 工作寿命

在正常使用条件下，镜头的连续工作寿命应不低于2000小时，累计工作寿命应不低于10000小时。

##### 4.6.2 稳定性

镜头在连续工作24小时后，光学分辨率、透射比等关键性能指标的变化量应不超过5%，确保长时间工作的稳定性。

##### 4.6.3 耐冲击性能

在100 g的冲击加速度、持续时间1 ms的条件下，镜头无结构损坏，光学性能下降不超过10%。

##### 4.6.4 防抖性能

镜头内置电磁防抖镜组，镜组自身谐振点须 $>300$  Hz，避免与无人机桨频耦合。

#### 4.7 无热化要求

镜头应采用无热化设计，通过材料选型优化、光学结构补偿等技术，确保在工作温度 $-40^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 内，光学分辨率、像面照度均匀性等关键光学性能指标变化量不超过3%。

### 5 试验方法

#### 5.1 外观检验

在室温、正常自然光或400 lux $\sim$ 600 lux的白光照明条件下，距离镜头30 cm $\sim$ 50 cm处，用肉眼直接观察，必要时可使用5倍 $\sim$ 10倍放大镜辅助检验，记录镜头外观情况是否符合4.1的要求。

#### 5.2 光学性能试验

##### 5.2.1 光学分辨率

按照GB/T 10987中的规定，采用分辨率测试卡，通过专业光学测试系统采集图像，分别测量镜头中心视场和边缘视场的分辨率，判断是否符合4.2.1的要求。

##### 5.2.2 相对孔径

结合焦距测量值计算相对孔径（F数），同一批次随机抽取10个样品进行测试，计算偏差值，判断是否符合4.2.2的要求。

##### 5.2.3 畸变

采用畸变测试卡，通过专业光学测试系统捕捉图像，利用图像分析软件计算畸变率，测试结果应符合4.2.3的要求。

##### 5.2.4 光谱透射比

按照JB/T 8248.1中的规定试验，判断是否符合4.2.4的要求。

##### 5.2.5 像面照度均匀性

按照GB/T 9917.1中的规定试验，判断是否符合4.2.5的要求。

#### 5.3 轻量化性能试验

##### 5.3.1 轻量化系数

使用精度为0.01 g的电子天平测量镜头重量，使用光学测长仪测量镜头焦距，计算轻量化系数，判断是否符合4.3.2的要求。

### 5.3.2 重量偏差

随机抽取同一型号10个镜头，分别测量实际重量，与设计重量对比，计算重量偏差，判断是否符合4.3.3的要求。

## 5.4 机械性能试验

### 5.4.1 装配精度

用手轻轻晃动镜头各组件，观察是否有松动现象；使用塞规测量镜筒与镜片之间的配合间隙，判断是否符合4.4.1的要求。

### 5.4.2 接口配合

将镜头与标准接口工装进行插拔试验，重复10次，观察插拔过程是否顺畅，有无卡滞现象；连接后施加5 N的拉力，观察是否有松动，判断是否符合4.4.2的要求。

### 5.4.3 调节性能

对于可调节镜头，自动调节焦距和光圈，观察调节机构的灵活性和平稳性，使用光学测试系统验证调节范围的准确性，判断是否符合4.4.3的要求。

## 5.5 环境适应性试验

### 5.5.1 高低温性能

按照GB/T 2423.1和GB/T 2423.2的规定进行试验，将镜头放入高低温试验箱中，在无人机实际应用场景的温度范围内保温4小时，恢复至室温后测试光学分辨率，判断是否符合4.5.1的要求。

### 5.5.2 湿热性能

按照GB/T 2423.3的规定进行试验，将镜头放入湿热试验箱中，在温度 $40\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度90%~95%的条件下持续放置48 h，取出后观察外观并测试光学性能，判断是否符合4.5.2的要求。

### 5.5.3 振动性能

按照GB/T 2423.10的规定进行试验，将镜头固定在振动试验台上，在频率10 Hz~2000 Hz、加速度5 g的条件下，每个轴向振动30分钟，试验后检查结构完整性并测试光学性能，判断是否符合4.5.3的要求。

### 5.5.4 低气压性能

按照GB/T 2423.25的规定进行试验，将镜头放入低气压试验箱中，将气压降至5 kPa并保温2小时，试验过程中测试光学性能，试验后检查外观，判断是否符合4.5.4的要求。

### 5.5.5 耐盐雾性能

按照GB/T 10125的规定进行中性盐雾试验，试验时间48 h，试验后取出镜头，用清水冲洗并晾干，观察金属部件锈蚀情况和涂层状态，测试光学性能，判断是否符合4.5.5的要求。

## 5.6 可靠性试验

### 5.6.1 工作寿命

将镜头安装在模拟无人机工作环境的试验平台上，在正常工作条件下连续运行，记录工作时间，直至光学性能下降超过10%，判断工作寿命是否符合4.6.1的要求。

### 5.6.2 稳定性



将镜头在正常工作条件下连续工作24小时，分别在工作开始和结束时测试光学分辨率、透射比等性能指标，计算变化量，判断是否符合4.6.2的要求。

5.6.3 耐冲击性能

按照JB/T 13702.3中的规定进行实验，判断是否符合4.6.3的要求。

5.6.4 防抖性能

激光测振仪扫频确认镜头镜组自身谐振点频率，判断是否符合4.6.4的要求。

5.7 无热化试验

按照GB/T 2423.1和GB/T 2423.2的规定，将镜头置于高低温试验箱中，在-40℃~60℃范围内进行温度循环试验，分别在常温、极限低温、极限高温及温度切换过程中，通过光学测试系统测量光学分辨率、像面照度均匀性，计算性能变化量，判断是否符合4.7的要求

5.8 系统整合与实拍试验

5.8.1 实验室模拟测试：在光学平台上，将镜头与相机传感器组装，在可控环境、镜头不同变倍比下拍摄 ISO 12233 分辨率标准测试标板，定量分析成像质量。

5.8.2 地面与飞行测试：搭载于无人机进行实际飞行测试。在不同的飞行高度、速度下拍摄，评估动态成像效果、防抖性能以及整个光电系统的工作稳定性。

6 检验规则

6.1 检验分类

镜头检验分为出厂检验和型式检验。

6.2 出厂检验

6.2.1 每批产品出厂前均需进行出厂检验，检验合格并附检验合格证明后方可出厂。

6.2.2 出厂检验项目包括：外观要求、光学分辨率、相对孔径、轻量化系数、装配精度、接口配合、无热化试验。

6.2.3 出厂检验按 GB/T 2828.1 的规定执行，采用一次抽样方案，检验水平为 II，接收质量限（AQL）为 2.5，抽样方案见表 1。

表 1 出厂检验抽样方案

| 批量范围（N）  | 样本量（n） | 接收数（Ac） | 拒收数（Re） |
|----------|--------|---------|---------|
| 1~25     | 5      | 1       | 2       |
| 26~50    | 8      | 2       | 3       |
| 51~150   | 13     | 3       | 4       |
| 151~500  | 20     | 5       | 6       |
| 501~1200 | 32     | 7       | 8       |

6.2.4 检验结果判定：样本中不合格品数小于或等于接收数（Ac）时，该批产品合格；样本中不合格品数大于或等于拒收数（Re）时，该批产品不合格。对于不合格批次，应进行全检，剔除不合格品后重新提交检验。

6.3 型式检验

6.3.1 有下列情况之一时，应进行型式检验：

- d) 新产品研发成功后或老产品转产时；
- e) 产品结构、材料、工艺有重大改变，可能影响产品性能时；
- f) 产品停产 6 个月以上恢复生产时；
- g) 连续生产 12 个月时；
- h) 出厂检验结果与上次型式检验结果有较大差异时；

- i) 国家相关部门或客户提出型式检验要求时。
- 6.3.2 型式检验项目为本文件第 4 章规定的全部要求。
- 6.3.3 型式检验的样本应从出厂检验合格的产品中随机抽取，样本量为 3 个，若样本量不足，可适当增加，但不得少于 2 个。
- 6.3.4 型式检验按 GB/T 2829 的规定执行，采用一次抽样方案，判别水平为 II，不合格质量水平 (RQL) 为 10，抽样方案见表 2。

表 2 型式检验抽样方案

| 样本量 (n) | 接收数 (Ac) | 拒收数 (Re) |
|---------|----------|----------|
| 3       | 0        | 1        |

6.3.5 检验结果判定：所有检验项目均合格时，型式检验合格；若有一个样本的任一项目不合格，应加倍抽取样本进行复检，复检后若仍有不合格项，则型式检验不合格。

7 标志、包装、运输和贮存

7.1 标志

- 7.1.1 产品标志：每个镜头上应清晰标注以下内容：
  - a) 产品名称及型号；
  - b) 生产厂家名称或商标；
  - c) 生产批号；
  - d) 焦距和相对孔径；
  - e) 生产日期。
- 7.1.2 包装标志：产品包装上应标注以下内容，符合 GB/T 191 的规定：
  - a) 产品名称、型号及数量；
  - b) 生产厂家名称、地址、联系方式；
  - c) 包装尺寸、毛重；
  - d) “小心轻放” “怕湿” “向上” 等储运图示标志；
  - e) “检验合格” 标志。

7.2 包装

- 7.2.1 镜头应先采用清洁、柔软的专用防尘袋包裹，再放入符合尺寸要求的泡沫塑料或纸质衬垫中，确保镜头在包装内无晃动。
- 7.2.2 装有镜头的衬垫应放入坚固的纸箱或塑料箱中，箱内可填充缓冲材料，防止运输过程中受到冲击。
- 7.2.3 每个包装内应随附产品合格证、使用说明书、保修卡等文件，文件内容应完整、准确。

7.3 运输

- 7.3.1 产品运输时应选择清洁、干燥、防雨、防潮、防震的运输工具，避免与有毒、有害、腐蚀性物品及尖锐物品混装运输。
- 7.3.2 运输过程中应轻装轻卸，严禁抛摔、撞击、挤压包装，运输温度范围为-20 ℃~50 ℃，相对湿度不大于 85%。
- 7.3.3 运输过程中应做好防护措施，防止产品受到剧烈振动、冲击和日晒雨淋。

7.4 贮存

- 7.4.1 产品应贮存在清洁、干燥、通风良好的库房内，库房温度应控制在-10 ℃~40 ℃，相对湿度不大于 75%，无腐蚀性气体、粉尘和易燃易爆物品。
- 7.4.2 产品应放置在专用货架上，远离地面和墙壁，堆放高度不宜过高，防止压损包装和产品。
- 7.4.3 产品在库房内的贮存期限，在符合上述贮存条件下，自生产之日起不应超过 2 年，超过贮存期限的产品应重新进行检验，合格后方可使用。

---