

ICS: 03.220

CCS: V50/59

团 体 标 准

T/AOPA 0001—2020

无人机搭载红外热像设备 检测建筑外墙及屋面作业

Operational criterion for the defects detection of exterior
walls coating of building with UAV based infrared
thermography device

2020-5-19 发布

2020-5-20 实施

中国航空器拥有者及驾驶员协会 发布

目 录

前言

引言

1. 范围.....	1
2. 规范性引用文件.....	1
3. 术语和定义.....	2
4. 检测仪器.....	3
5. 检测程序.....	4
6. 检测数据分析.....	8
7. 检测结论与报告.....	8
8. 红外热像仪校准方法.....	9
9. 资质要求.....	12

附录:

1. 全国部分城市红外热像法检测建筑外墙饰面粘结质量适宜检测时段
2. 常用饰面材料表面发射率
3. 检测记录表

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本标准由中国航空器拥有者及驾驶员协会 (Aircraft Owners and Pilots Association of China, 以下简称 AOPA) 制定、发布、解释并组织实施。

本标准起草单位: 中国航空器拥有者及驾驶员协会、东方雨虹建筑修缮技术有限公司、上海野戈智能科技发展有限公司、云南省建筑科学研究院。

本标准起草人: 王英勋、段志勇、陈铭、张会军、孙毅、柯玉宝、王夏峥、郝琦、何宁、孟雅妮、张力、陈海霞、孙芳芳、梁文广、刘绍光、张勇、窦吉培、陈刚、单良、顾海龙、周远、陈治任、王舒婷、郝鹏。

引 言

民用无人机行业迅猛发展，应用领域不断得到开拓，尽管无人机基础操作合格认定体系已经趋于成熟，但各行业应用人才队伍素质良莠不齐，应用标准尚待制定，导致无人机在具体应用场景运行尤其是建筑外墙质量检测中的安全与作业质量得不到保障，从而发生检测工作质量低下甚至出现一系列无人机作业事故等。因此，为了行业的健康发展，针对无人机应用方向中的建筑检测，建立一个完整、系统、有操作性的作业运行标准是必不可少的。

本标准是中国 AOPA 组织、实施无人机建筑检测相关认证工作的基本依据，是所有自愿接受行业自律的投资和运营人共同遵守的行为规范。

无人机搭载红外热像设备检测建筑外墙及屋面作业

1. 范围

1.1 目的和依据

为规范多旋翼无人机搭载红外热像技术在建筑外墙及屋面饰面层粘结质量检测中的应用，制定本标准。

1.2 适用范围

(1)本标准适用于建筑外墙采用满粘法施工的饰面层粘结质量检测，不适用于下列饰面层的粘结质量检测：

(i) 采用混色饰面砖或涂料，且影响检测结果判断的饰面层；

(ii) 金属氟碳漆、釉面饰面砖、干挂石材、金属装饰面等外墙装饰面；

(iii) 表面有较大凹凸装饰的饰面层。

(2) 使用无人机搭载红外热像机进行建筑外墙饰面层粘结质量检测作业的人员至少 2 人，其中至少 1 人应通过专业无人机红外热像检测技术培训，并依据本标准取得相应的培训合格证，并应持有建筑工程质量检测人员上岗证，依据本标准规定的设备及作业程序标准完成建筑外墙及屋面检测作业。

(3) 建筑外墙饰面层粘结质量检测应至少 2 年一次，根据所处地区的日照与湿度等情况酌情减少检测周期。

(4) 采用无人机搭载红外热像法检测建筑外墙饰面层粘结质量时，除应符合本标准外，尚应符合国家和相关部门现行针对无人机运行相关的法律法规，以及国家其他检测的标准规范。

2. 规范性引用文件

《民用无人机驾驶员合格审定规则》

《红外热像法检测建设工程现场通用技术要求》GB/T 29183-2012

《红外热像法检测建筑外墙饰面粘结质量技术规程》JGJ-T 277-2012

《建筑红外热像检测要求》JG/T 269-2010

3. 术语和定义

3.1 多旋翼无人机,是指一种重于空气的无人机,其飞行升力主要由三个及以上动力驱动的旋翼产生,其运动状态改变的操纵一般通过改变旋翼转速来实现。

3.2 无人机系统驾驶员,是指依据《民用无人机驾驶员合格审定规则》取得无人机驾驶员合格证,对无人机的运行负有必不可少职责并在飞行期间适时操纵无人机的人。

3.3 视距内(VLOS: Visual Line of Sight)飞行,是指无人机在驾驶员或观测员与无人机保持直接目视视觉接触的范围内运行,且该范围为目视视距内半径不大于500米,人、机相对高度不大于120米。

3.4 无人机地面站,也称无人机遥控站,是指包括用于操纵无人机的遥控器,显示器,数传和图传等设备系统的总称。

3.5 无人机云台,是指无人机用于安装、固定摄像机等任务载荷的支撑设备。

3.6 饰面层,是指附着于建筑外墙或屋面外侧,起装饰作用的构造层。

3.7 空间分辨力,是指红外热像仪分辨物体空间几何形状细节的能力。

3.8 图像处理,是指对红外热像图进行除噪声、图像色彩调整、消除背景、空鼓面积计算等处理。

3.9 空鼓,是指饰面层与基层之间或饰面层内部各层材料之间因相互粘结不牢而出现的分层现象。

3.10 缺陷率,此指标为建筑外墙饰面检测主要判断指标,缺陷率=缺陷面积/检验批总面积*100%。

4. 检测仪器

4.1 检测仪器技术要求

4.1.1 红外热像仪的性能指标应满足下列条件:

- (1) 工作波段为 $8\ \mu\text{m} \sim 14\ \mu\text{m}$, 且具备可见光成像辅助功能;
- (2) 检测温度范围为 $-20^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$;
- (3) 温度显示分辨率不大于 0.08°C ;
- (4) 测温一致性不大于 0.5°C ;
- (5) 测温准确度为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$;
- (6) 探测器像素值不小于 320×240 ;
- (7) 空间分辨力不小于 1mrad 。

4.1.2 红外热像仪应具有产品合格证。

4.1.3 红外热像仪应定期进行校准, 并应符合下列规定:

- (1) 红外热像仪校准方法应按本标准执行;
- (2) 校准项目应包括温度示值误差和测温一致性;
- (3) 校准有效期不宜超过 1 年。

4.1.4 多旋翼无人机系统性能指标应满足下列条件:

- (1) 云台角度抖动量不超过 $\pm 0.01^{\circ}$;
- (2) 无人机加红外热成像机等载荷总质量不超过 7kg ;
- (3) 无人机单程飞行续航时间不短于 10 分钟;
- (4) 无人机应具备抵抗 5m/s 风速的抗风性能;
- (5) 无人机支持 GPS 或北斗定位等常用定位模式参与飞行控制。

4.2 使用环境条件

无人机以及红外热像仪的使用环境条件应符合下列规定:

- (1) 环境温度应在 $-5^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$;
- (2) 环境湿度应小于 90% , 待测区域不应有明水;

- (3) 在晴天、低风速的条件，且风速不宜大于 4m/s；
- (4) 大面积反光装饰面环境下不适宜采用红外热像仪检测设备；
- (5) 采用红外热像仪检测环境应处于温度变化过程中(升温或降温)。

5 检测程序

无人机加载红外热像法检测建筑外墙及屋面饰面层粘结质量工作程序，应按图 1 进行。

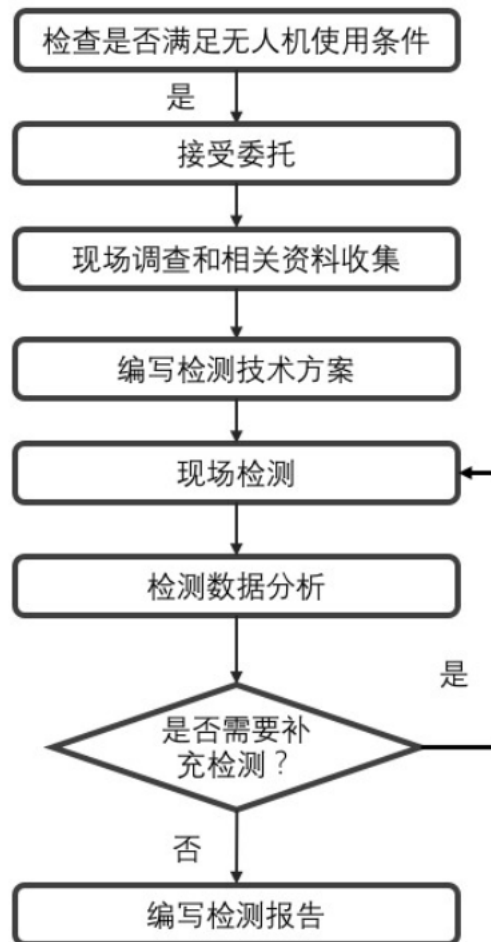


图 1

5.1 作业准备

5.1.1 在接受委托前，接受委托的无人机驾驶员需要符合下列规定：

(1) 无人机驾驶员需要获得依据行业标准认可颁发的驾驶员合格证后,须取得依据本标准中对于建筑检测相关质量工作的能力要求颁发的无人机建筑检测应用合格证,方能操控其合格证对应等级的无人机进行现场检测工作。

(2) 在中华人民共和国境内最大起飞重量为 250 克以上 (含 250 克) 的民用无人机拥有者须依据民航相关法规进行实名登记。

(3) 无人机运行应满足通用航空运行相关法规,运行前依据无人机相关运行法规要求,接入无人机云系统以向航空管制部门提供所需的动态运行监控数据。

5.1.2 接受委托后,应进行现场调查和资料收集,并应包括下列内容:

- (1) 检测飞行区域合法性;
- (2) 建筑物结构形式、规模、饰面情况、使用时间;
- (3) 建筑设计图纸;
- (4) 建筑物方位、朝向、日照、周边环境遮挡或反射情况;
- (5) 建筑物冷、热源部位及工作情况;
- (6) 建筑物外墙渗漏、开裂、脱落及维修等情况;
- (7) 建筑饰面材料施工方法及养护维修记录。

5.1.3 检测前应编写检测技术方案,并应符合下列规定:

(1) 检测技术方案应依据委托的内容、现场调查结果和收集的资料编写。

(2) 检测技术方案应包括下列内容:

- (i) 检测时间和地点;
- (ii) 被检墙面的方位及检测时段;
- (iii) 无人机飞行路线,在飞行计划的地图中标注出来;
- (iv) 无人机飞行高度和墙面距离、拍摄角度及拍摄次数(应保证被

测建筑物周边环境无障碍物遮挡，并应保证所得图易于识别)；

(v) 针对无人机无法检测的墙面，手持红外热成像拍摄补充方案

(vi) 对检测结果进行验证的方法。

5.1.4 检测时段可按本规程附录 1 确定。

5.2 现场作业程序

5.2.1 红外热像法现场检测时，除满足以上条款标准外，应注意下列情况的影响：

(1) 降水、雾霾、扬尘等因素的影响；

(2) 拍摄距离与角度及光学变焦镜头的影响，所选拍摄距离与角度及光学变焦镜头宜确保每张红外热像图的最小可探测面积在目标物上不大于 50mm × 50mm；

(3) 外墙饰面材料发射率的影响。常用饰面材料表面发射率可按本规程附录 2 确定；

(4) 建筑物内外冷热源的影响；

(5) 相邻建筑物对待测目标物区域的影响；

(6) 待测区域存在污垢、渗漏等情况的影响；

(7) 建筑物外立面凹凸状外形构造阴影区域及幕墙、门窗等反射阳光不均匀导致的影响；

(8) 建筑物高度、方向、风速变化的影响；

(9) 建筑物结构变化(冷、热桥)导致温度场异常的影响；

(10) 建筑周围障碍物和爬墙植物对无人机拍摄的影响；

(11) 尽量避开在人群聚集区的正上空检测。

5.2.2 现场作业步骤

(1) 无人机起飞检查：

(i) 飞行前检查：

- a) 机头方向;
- b) GPS 朝向;
- c) 主控安装方向;
- d) 各个旋翼转向是否匹配;
- e) 电气连接各部分是否牢靠。

(ii) 通电检查:

- a) 打开遥控器, 然后接通总电源;
- b) 主控通电后, 保持飞机静止, 不要触碰, 待 LED 灯在红绿交替闪烁完成后, 观察 LED 状态指示灯颜色;
- c) 来回切换飞行模式开关, 观察 LED 灯飞行模式与模式通道开关位置保持一致。

(iii) 低空试飞:

- a) 保证距飞行器至少 10 米距离, 等待飞控系统搜星正常;
- b) 在姿态模式下, 将遥控器左右操控杆同时扳到右下角, 电机解锁并从电机开始轮流启动;
- c) 电机完全启动后, 轻推油门杆至 30%左右时保持轻微打滚转俯仰杆, 观察电机加速趋势是否与杆量一致。若一致, 则滚转、俯仰杆回中, 继续推油门, 直到飞行器离地。

(2) 使用地面站调试红外热成像仪器及设备, 使其处于正常工作状态。

(3) 记录天气、气温、日照、风速、饰面层表面温度等。

(4) 拍摄并记录被测区域红外及可见光图像。

(5) 验证疑似缺陷部位。

(6) 填写检测记录表, 记录表格式可按本标准附录 3 执行。

6. 检测数据分析

6.1 红外热像图分析时,应采用易识别粘结缺陷的图像表达检测结果。

6.2 红外热像图分析应包括下列内容:

(1) 对分块拍摄的红外热像图进行准确的拼接合成;

(2) 对合成后的图像进行几何修正;

(3) 除去背景,选择适宜的温度范围,选用 2 色~3 色显示图像,突出缺陷在图像中的分布;

(4) 采用箭头、框图等标注方法说明缺陷位置及范围;

(5) 将经过处理得到的缺陷分布图与所测外墙立面可见光图像准确叠加,输出结果图。

6.3 粘结缺陷判定可按下列步骤进行:

(1) 对红外热像图和可见光图像进行分析处理,得到所测饰面层红外热像和可见光粘结缺陷标记图像;

(2) 根据检测现场的实际环境和条件,排除周边环境的影响,得出检测结果,必要时,应采用辅助检测方法验证检测结果;

(3) 推定饰面层粘结缺陷部位和程度。

7. 检测结论和报告

7.1 根据检测结果,应对建筑外墙饰面层粘结质量进行分级,给出措施建议,并应符合表 1 的规定。

表 1 建筑外墙及屋面饰面层粘结质量分级及措施建议

等级	缺陷率	分级	措施建议
I	≤ 5%	无明显缺陷	可不采取措施
II	> 5%	有明显缺陷	应采取措施

7.2 检测报告应包括下列内容:

(1) 工程名称及工程概况;

(2) 委托单位;

- (3) 检测单位及人员名称;
- (4) 检测仪器型号及编号;
- (5) 检测区域范围及被测墙面轴线位置;
- (6) 检测区域墙体饰面材料类型;
- (7) 检测时间、环境和条件;
- (8) 检测数据(红外热像图及相同位置的可见光图像);
- (9) 检测结论;
- (10) 图释, 或者无人机 3D 建模并在模型中标注缺陷位置;
- (11) 建议采取措施和需要的补救材料。

8. 红外热像仪校准方法

8.1 红外热像仪校准的环境条件应符合下列规定:

- (1) 环境温度应为 $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$, 湿度不应大于 85 % RH;
- (2) 应满足校准设备和被校准热像仪的适用条件要求;
- (3) 不应有强环境热辐射。

8.2 校准红外热像仪的仪器及设备应符合下列规定:

- (1) 宜采用铂电阻温度计、热电偶或辐射温度计测量黑体辐射源温度;
- (2) 黑体辐射源的温度范围应满足被校准热像仪的技术要求。

8.3 红外热像仪的校准项目应包括外观、示值显示、示值误差、测温一致性。

8.4 红外热像仪的外观可通过手动、目测检查, 且热像仪的外壳、机械调节部件、外露光学元件、按键、电器连接键等不应有影响热像仪测量功能的缺陷。

8.5 红外热像仪的示值显示可手动、目测检查, 且热像仪的示值显示效果不应有影响正常使用的缺陷。

8.6 红外热像仪的示值误差校准应符合下列规定:

(1) 校准温度点应为量程的上、下限及量程的中间值。

(2) 应清洁热像仪光学外露元件。

(3) 应安装附加光学镜头等光学元件。

(4) 应根据热像仪的聚焦范围要求、光学分辨力及黑体辐射源直径, 确定测量距离。

(5) 校准前, 应将热像仪预先开机。

(6) 应根据热像仪的使用要求, 输入量程和校准条件数据, 且校准时热像仪发射率参数应设置为 1 或等于黑体辐射源发射率。

(7) 在进行示值误差校准之前, 应完成热像仪的使用说明要求的对测量结果有影响的操作。

(8) 应将被校准热成像仪置于点温度测试模式, 测量黑体辐射源目标中心温度。在每一个校准温度点, 应至少进行 4 次测量, 并应同时记录黑体辐射源参考标准的测量值 ($t_{BBi.j}$)、被校准热成像仪示值 ($t_{i.j}$) 和被校准热成像仪当前量程。

(9) 黑体辐射源辐射温度平均值 (t_{BBi}) 可按下式计算:

$$t_{BBi} = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} t_{BBi.j}$$

式中: ($t_{BBi.j}$) —— 在第 i 个校准温度点, 标准器的第 j 个黑体辐射源温度测量值; (m_i) —— 在第 i 个校准温度点的测量次数; $m_i > 4$;

(10) 被校准热成像仪示值平均值 (t_i) 可按下式计算:

$$t_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} t_{i.j}$$

式中： $(t_{i,j})$ ——在第 i 个校准温度点，被校准热成像仪的第 j 个示值； (m_i) ——在第 i 个校准温度点的测量次数； $m_i > 4$ ；

(11) 第 i 个校准温度点的被校准热成像仪的示值误差(t_i)可按下列式计算：

$$t_i = \overline{t_{i,j}} - t_{BBi} \quad (i=1, 2, 3 \dots n)$$

8.7 红外热像仪的测温一致性校准应符合下列规定：

(1) 应根据热像仪实际使用情况设定黑体辐射源温度，宜为 100℃；

(2) 应清洁热像仪光学外露元件；

(3) 应安装附加光学镜头等光学元件；

(4) 校准前，应将热像仪预先开机；

(5) 应根据热像仪的使用要求，输入量程和校准条件数据，且校准时热像仪发射率参数应设置为 1 或等于黑体辐射源发射率；

(6) 应根据热像仪的聚焦范围要求、光学分辨力及黑体辐射源直径，确定测量距离。在进行测温一致性测试时，不应使用热像仪的数字变焦功能；

(7) 在进行测温一致性校准之前，应完成热像仪使用说明要求的对测量结果有影响的操作；

(8) 应将被校准热像仪显示器画面划分为 9 个区域，且 9 个区域的中心点应分别标记；

(9) 在实验条件下，当黑体辐射源的尺寸不能完全覆盖热像仪视场时，应采用腔式黑体辐射源进行测温一致性测试，并应调整热像仪或黑体辐射源位置，使黑体辐射源中心分别成像于标记点，使用热像仪测量黑体辐射源中心温度；当黑体辐射源的尺寸能完全覆盖热像仪视场时，应采用面黑体辐射源进行测温一致性测试，调整热像仪或黑体辐射源位置，使面辐射源清晰成像，并将热像仪发射率参数设置为面辐射源发射率。应分别

测量并记录标记点温度 t_{ri} 和 t_{r5} , 且测量顺序应为 $5 \rightarrow i \rightarrow 5$ ($i = 1, 2, \dots, 9, i \neq 5$);

(10) 被校准热像仪测温仪执行的值 Φ_i 可按以下式计算:

$$\Phi_i = \bar{t}_{ri} - t_{r5} (i = 1, 2, \dots, 9, i \neq 5)$$

式中: \bar{t}_{ri} ——在 i 个标记点, 被校准热像仪示值的平均值。

9. 资质要求

无人机驾驶员需要获得依据行业标准认可颁发的驾驶员合格证后, 须取得依据本标准中对于建筑外墙相关质量工作的能力要求颁发的无人机建筑外墙检测应用合格证, 方能操控其合格证对应等级的无人机进行现场检测工作。

无人机建筑外墙检测应用合格证有效期将与其驾驶员合格证有效期保持一致。

9.1 理论知识要求

- (1) 多旋翼飞行操纵技术
- (2) 建筑设计图纸认知
- (3) 红外热像原理及干扰因素
- (4) 图像修正原理

9.2 操作技能要求

- (1) 多旋翼无人机飞行前检查;
- (2) 红外热像仪校准操作;
- (3) 拍摄并记录被测区域红外及可见光图像;
- (4) 红外热像图分析操作;
- (5) 红外热像仪分辨物体空间几何形状细节的能力;
- (6) 对红外热像图进行除噪声、图像色彩调整、消除背景、空鼓面积计算等处理。

9.3 考核

9.3.1 考核方式

学员通过经认可的培训单位依据要求的理论知识与操作技能培训大纲培训后，方可参加由协会组织的理论及实践考试。参加实践考试前须通过理论考试，实践考试通过后方可取得无人机建筑外墙检测应用合格证。

9.3.2 考试标准

9.3.2.1 理论考试的准考条件和通过成绩

理论考试的申请人应于参加理论考试前出示本人的居民身份证、无人机驾驶员合格证以及培训单位提供的结业证明表明其已完成培训课程，理论考试的程序与通过成绩由协会确定。

9.3.2.2 实践考试的准考条件和科目

实践考试的申请人应于参加实践考试前 24 个日历月内通过 3.2.1 提及的理论考试，且出示本人的居民身份证、无人机驾驶员合格证以及培训单位提供的结业证明表明其已完成培训课程，实践考试的程序与通过成绩由协会确定。实践考试的科目如下：

- (1) 多旋翼无人机飞行前检查；
- (2) 红外热像仪外观、示值显示、示值误差、测温一致性的校准操作；
- (3) 多旋翼无人机任意模式下的起降、绕点飞行与定区域拍摄；
- (4) 红外热像图分析。

附录 1

全国部分城市红外热像法检测外墙 及屋面饰面粘结质量适宜检测时段（资料性附录）

城市	建筑立面的朝向			
	东	南	西	北
北京	7:00—9:00	11:00—13:00	15:00—17:00	11:00—13:00
上海	8:00—9:00	11:00—13:00	15:00—16:00	11:00—13:00
南宁	8:00—9:00	11:00—13:00	15:00—16:00	11:00—13:00
广州	8:00—9:00	11:00—13:00	15:00—16:00	11:00—13:00
福州	8:00—9:00	11:00—13:00	15:00—16:00	11:00—13:00
贵阳	8:00—9:00	11:00—13:00	15:00—16:00	11:00—13:00
长沙	8:00—9:00	11:00—13:00	15:00—16:00	11:00—13:00
郑州	8:00—9:00	11:00—13:00	15:00—16:00	11:00—13:00
武汉	8:00—9:00	11:00—13:00	15:00—16:00	11:00—13:00
西安	8:00—9:00	11:00—13:00	15:00—16:00	11:00—13:00
重庆	8:00—9:00	11:00—13:00	15:00—16:00	11:00—13:00
杭州	8:00—9:00	11:00—13:00	15:00—16:00	11:00—13:00
南京	8:00—9:00	11:00—13:00	15:00—16:00	11:00—13:00
南昌	8:00—9:00	11:00—13:00	15:00—16:00	11:00—13:00
合肥	8:00—9:00	11:00—13:00	15:00—16:00	11:00—13:00

附录 2

常用饰面材料表面发射率（资料性附录）

材料名称	状态	温度 (° C)	发射率
水泥砂浆	干燥	常温	0.54
饰面砖	光滑、釉面	20°	0.92
	白色、发光	常温	0.7~0.75
	红色、粗糙	20°	0.88~0.93
	黄色、平滑耐火砖	20°	0.85
大理石	光滑	常温	0.94

附录 3

检测记录表

工程名称：地址：
 仪器名称：编号：
 基层材料：饰面材料：
 天气：气温：
 风速：日照情况：

编号	分区	楼层	立面朝向	红外像片号	数码像片号	拍摄距离	拍摄角度	拍摄时间	饰面层表面温度

检测：_____ 校核：_____ 检测日期：_____