



中华人民共和国国家标准

GB/T 38930—2020

民用轻小型无人机系统抗风性要求及 试验方法

Requirements and test methods of the capability of wind resistance for
civil small and light unmanned aircraft system

2020-07-21 发布

2021-02-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 要求 2

5 试验方法 3

 5.1 试验目的 3

 5.2 试验条件 3

 5.3 试验环境 4

 5.4 试验中断和恢复 4

 5.5 合格判据 4

 5.6 试验过程 5

 5.7 试验数据处理 7

 5.8 试验结果评定 9

 5.9 试验报告 9



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国航空器标准化技术委员会(SAC/TC 435)提出并归口。

本标准起草单位:国网智能科技股份有限公司、中国航空综合技术研究所、北京理工大学、西北工业大学、国网山东省电力公司、易瓦特科技股份有限公司、深圳一电航空技术有限公司、南京航空航天大学、深圳市大疆创新科技有限公司、西安爱生技术集团公司、哈尔滨工业大学(威海)。

本标准主要起草人:刘佺、舒振杰、许玮、何志凯、张飞、张剑锋、叶川、孙晓斌、乔耀华、孙明健、潘峰、胡应东、王亮、赵国成、曹国杰、张显志、操李敏、张锐、杨旻、贾佳。

民用轻小型无人机系统抗风性要求及 试验方法

1 范围

本标准规定了民用轻小型无人机系统的抗风性要求及试验方法,包括抗风能力要求、试验目的、试验条件、试验环境、试验中断和恢复、试验判据、试验过程、试验数据处理、试验结果评定及试验报告。

本标准适用于民用轻小型旋翼类无人机(起飞重量在 0.25 kg~150 kg 之间)系统(含飞行器和地面站),包括无人直升机系统、多旋翼无人机系统、垂直起降固定翼无人机系统(仅起降阶段)以及其他旋翼无人机系统;其他类型无人机系统可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 2422 环境试验 试验方法编写导则 术语和定义

GB/T 28591 风力等级

GB/T 35018—2018 民用无人驾驶航空器系统分类及分级

GB/T 38152—2019 无人驾驶航空器系统术语

3 术语和定义

GB/T 2422、GB/T 28591、GB/T 35018—2018、GB/T 38152—2019 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

持续风 sustained wind

风速和风向在一定时间内,始终保持稳定不变的风。

3.2

阵风 gust

短时间风向变动不定,风速剧烈变化的风。

注:阵风通常理解为风速突然增强的风。

3.3

切向风 shear wind

在同一高度或不同高度短距离内风向和(或)风速变化的风。

注:指空间中两点之间风的矢量差。

3.4

抗风能力 capability of wind resistance

在飞行控制系统参与的情况下,无人机系统抵抗一定等级风力的能力。

注:根据无人机系统抵抗相应风速时的状态可将抗风能力分为最低安全抗风能力与最低作业抗风能力。

3.5

最低安全抗风能力 minimum security capability of wind resistance

在飞行控制系统参与的情况下,无人机系统在持续风、阵风、风切变等不大于一定等级下可保证飞行安全的能力。

注:飞行安全一般指无人机系统不坠机。

3.6

最低作业抗风能力 minimum operation capability of wind resistance

在飞行控制系统参与的情况下,无人机系统在持续风、阵风、风切变等不大于一定等级下可正常工作的能力。

4 要求

根据 GB/T 35018—2018 第 5 章的规定,按照最大起飞重量/空机重量将轻小型旋翼类无人机系统分为 II 级、III 级、IV 级。II 级、III 级、IV 级旋翼类无人机系统在起降阶段和飞行阶段的抗风能力应满足表 1 或用户的要求,风力等级划分应按照表 2 的规定。

表 1 无人机系统抗风能力要求

单位为千克

级别	空机重量	最大起飞重量	起降阶段抗风能力	飞行阶段抗风能力
II 级	$0.25 < \text{空机重量} \leq 4$	$0.25 < \text{最大起飞重量} \leq 7$	3 级	5 级
III 级	$4 < \text{空机重量} \leq 15$	$7 < \text{最大起飞重量} \leq 25$	4 级	6 级
IV 级	$15 < \text{空机重量} \leq 116$	$25 < \text{最大起飞重量} \leq 150$	5 级	6 级
注:植保类无人机起降阶段抗风能力 3 级,飞行阶段抗风能力为 4 级。				

表 2 风力等级划分表

持续风		阵风		切向风		等级
稳定风速 m/s	试验时间 min	瞬时风速 m/s	试验时间 s	切向风速 m/s	试验时间 s	
0.0~0.2	5	0.0~0.2	30	0.0	30	0 级
0.3~1.5	5	0.3~1.5	30	0.0~0.2	30	1 级
1.6~3.3	5	1.6~3.3	30	0.3~0.6	30	2 级
3.4~5.4	5	3.4~5.4	30	0.7~1.5	30	3 级
5.5~7.9	5	5.5~7.9	30	1.6~2.6	30	4 级
8.0~10.7	5	8.0~10.7	30	2.7~3.3	30	5 级
10.8~13.8	5	10.8~13.8	30	3.4~4.4	30	6 级
13.9~17.1	5	13.9~17.1	30	4.5~5.4	30	7 级
17.2~20.7	5	17.2~20.7	30	5.5~7.9	30	8 级
20.8~24.4	5	20.8~24.4	30	8.0~10.7	30	9 级
24.5~28.4	5	24.5~28.4	30	10.8~13.8	30	10 级
28.5~32.6	5	28.5~32.6	30	13.9~17.1	30	11 级
32.7~36.9	5	32.7~36.9	30	17.2~20.7	30	12 级

5 试验方法

5.1 试验目的

对旋翼类无人机系统抗风能力进行试验,检测其所能达到的抗风能力等级。

5.2 试验条件

5.2.1 技术文件

旋翼类无人机系统抗风能力试验前应准备以下文件:

- a) 产品说明书、操作手册、维护手册;
- b) 其他资料等。

5.2.2 试验设备和仪器

用于试验的仪器设备(包括专用设备)应经检定或校准并在有效期内,陪试设备应检验合格。所用测试仪器应满足预期的使用要求,其测量不确定度或最大允许误差应小于被测参数最大允许误差的三分之一,所使用的试验设备和仪器如下:

- a) 风场模拟系统:风速调节范围至少应为 $0\text{ m/s}\sim 25\text{ m/s}$,精度应 $\geq 1\text{ m/s}$;
- b) 飞行精度测量系统:用于测量无人机系统飞行过程中的位置与角度变化,水平方向测量精度应 $\leq 10\text{ cm}$,垂直方向测量精度应 $\leq 15\text{ cm}$,角度测量精度应 $\leq 1^\circ$,测量间隔时间应 $\leq 0.5\text{ s}$;
- c) 计时器:测量精度应 $\leq 0.1\text{ s}$ 。

5.2.3 人员要求

试验人员应能熟练操作试验件、测试设备,具有相应岗位的技术和能力,并具备相应级别的人员认证和企业认证。

5.2.4 试验件

试验件应满足以下要求:

- a) 试验件应与提交的产品资料内容相符;
- b) 试验件数量应满足试验要求,一般至少需要 2 套无人机系统试验件;
- c) 进行认证试验的试验件应有企业合格证等质量检验证明。

5.2.5 试验件进场后的管理

试验件进场后管理规定如下:

- a) 试验件进场后应按承试单位试验管理规则执行;
- b) 试验件交接后,未经同意不应随意调整、调试,其操作由承试单位组织实施,研制设计单位进行技术保障。

5.2.6 试验场地

旋翼类无人机系统抗风能力试验场地规定如下:

- a) 试验场地环境不应影响无人机系统正常飞行;
- b) 为保证风速测量值的准确性,推荐在室内场地进行;室内试验场地空间应满足无人机系统的飞行安全要求,并保证一定的净空高度,不影响无人机系统的正常飞行性能;

- c) 若不具备室内场地,可在室外露天场地进行,试验空域应满足无人机系统的飞行安全要求。

5.3 试验环境

除另有规定外,无人机系统抗风能力试验应在下列条件下进行:

- a) 温度:室内 $15^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$,室外温度应在制造商规定的工作温度范围内;
- b) 相对湿度: $20\% \sim 80\%$;
- c) 气压: $86\text{ kPa} \sim 106\text{ kPa}$;
- d) 风速:室外露天场地进行试验时,环境风速不超过 2 m/s 。

5.4 试验中断和恢复

试验中断和恢复处理方法如下:

- a) 试验中出现下列情况之一终止试验:
 - 1) 试验件关键指标不合格;
 - 2) 试验件因故障不能正常工作,且不能修复;
 - 3) 试验环境超过试验条件的要求。
- b) 试验中出现下述情况时应进行恢复试验:
 - 1) 个别试验项目不合格,已找出原因并纠正;
 - 2) 试验过程中出现安全隐患,已找出原因并消除后;
 - 3) 维修与调整中改变了原设计;
 - 4) 更换了影响试验件技术性能的元器件或组件。

5.5 合格判据

5.5.1 抗风能力

除另有规定外,试验件在起降阶段和飞行阶段的抗风能力满足表 1 或用户的要求,即可判定为合格。当试验件能够承受表 2 规定各类试验风速时,则判定该试验件具有了相应等级的抗风能力。

5.5.2 最低安全抗风能力

除另有规定外,试验件在持续风、阵风、风切变均不大于表 1 或用户规定的风力等级下可保证飞行安全(一般指无人机系统不坠机)。

5.5.3 最低作业抗风能力

除另有规定外,试验件在持续风、阵风、风切变均不大于表 1 或用户规定的风力等级下,应同时满足以下要求,即可判定为合格。

- a) 在一定等级风速下,试验件在起飞、降落、悬停、转向、前飞、后飞、侧飞作业过程中位置变化应满足以下要求:
 - 1) 与标准点的最大水平偏移量 $\leq 1.5\text{ m}$;
 - 2) 与标准点的最大垂直偏移量 $\leq 3\text{ m}$,其中在起飞降落时不做此指标判断;
 - 3) 最大水平标准差 $\leq 0.75\text{ m}$;
 - 4) 最大垂直标准差 $\leq 1.5\text{ m}$,其中在起飞降落时不做此指标判断。
- b) 在一定等级风速下,试验件在正常作业过程中角度变化应满足以下要求:
 - 1) 与标准点的横滚角度差 $\leq 45^{\circ}$;
 - 2) 与标准点的俯仰角度差 $\leq 45^{\circ}$;

3) 与标准点的偏转角度差 $\leq 45^\circ$,其中在转向飞行时不做此指标的判断。

5.6 试验过程

5.6.1 试验准备

5.6.1.1 试验前准备

试验开始前,应确定试验程序、试验件的技术状态、试验风速、试验参数量值等。

5.6.1.2 试验前检测

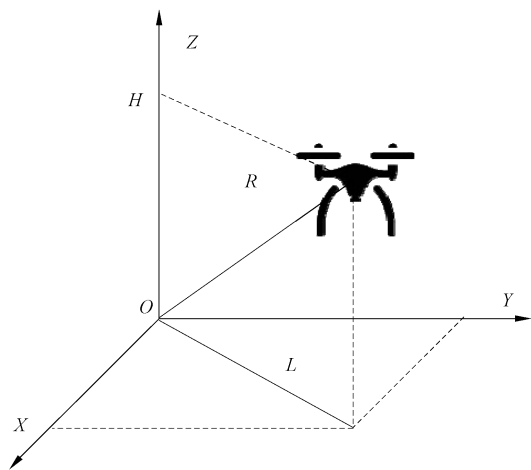
试验前应进行以下检测:

- a) 检查试验件的外观、配置、数量,工作人员对整套系统进行拍照。做好试验登记表记录,写明地点、时间、试验场地、试验环境、人员、数量信息;
- b) 检查试验场地、试验环境是否满足要求;
- c) 将试验件在室外进行操作检测,确保试验件能够正常飞行,检测人员记录检测结果;
- d) 在室内场地进行试验前,应将试验件在室内进行操作检测,确保试验件在室内能够正常飞行,检测人员记录检测结果。

5.6.2 试验程序

抗风能力检测的试验程序如下:

- a) 将试验件在指定起降区域通电,并开机完成自检,达到随时起飞待命状态。
- b) 试验件在稳定风速不大于 2 m/s 的环境条件下使用不同操作模式或不同操作模式切换可正常工作。
- c) 将试验件稳定悬停于指定区域与高度位置(脱离地效),如图 1 所示,在风速满足试验条件的环境状态下(室内无风,室外自然环境风速始终不大于 2 m/s 时),悬停 5 min,测量并记录其悬停精度。5 min 后使其降落。



说明:

X —— 横轴方向;

Y —— 纵轴方向;

Z —— 竖轴方向;

O —— 起始点位置;

L —— 与 O 点的水平距离;

H —— 与 O 点的垂直距离;

R —— 与 O 点的距离。

图 1 无人机悬停示意图

- d) 检测试验件起降时抵抗一定等级风力的能力。使用测量系统对试验件空间位置进行持续测量和记录。按要求将试验件起飞并悬停于指定区域与高度位置(脱离地效),场地内风速按表 2 的风速等级从第 1 级开始,依次增加,当在一定等级内不能正常起飞降落,停止抗风试验,并使试验件安全降落,所得到的最高等级即为起飞降落时的抗风能力水平。改变相对于试验件位置方向的风向,重复上述步骤。
- e) 检测试验件悬停时抵抗一定等级风力的能力。使用测量系统对试验件空间位置进行持续测量和记录。如图 2 所示,按要求将试验件起飞并悬停于指定区域与高度位置(脱离地效),场地内风速按表 2 风速等级从第 1 级开始,依次增加,当在一定等级内不能正常悬停飞行,停止抗风试验,并使试验件安全降落,所得到的最高等级即为悬停时的抗风能力水平。改变相对于试验件位置方向的风向,重复上述步骤。

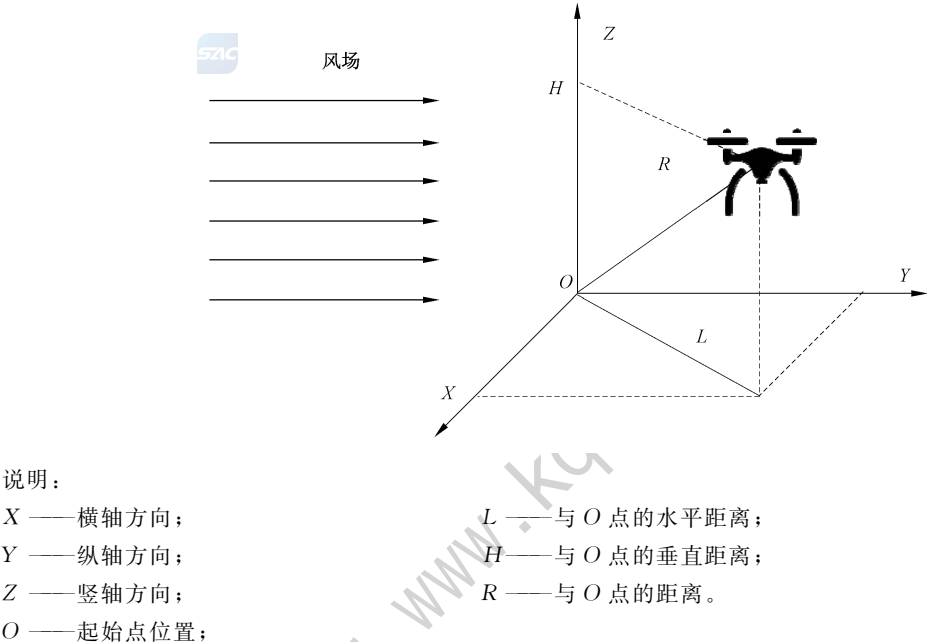


图 2 无人机悬停时抗风检测示意图

- f) 检测试验件前飞、后飞、侧飞、转向、升降时抵抗一定等级风力的能力。使用测量系统对试验件空间位置进行持续测量和记录。按要求将试验件起飞并悬停于指定区域与高度位置(脱离地效),以不小于 2 m/s 的速度沿如图 3 所示的水平 X 轴方向、Y 轴方向正负方向直线飞行以及绕 Z 轴转向飞行 2 min。场地内风速按表 2 风速等级从第 1 级开始,依次增加,当在一定等级内不能正常前飞、后飞、侧飞、转向,停止飞行抗风试验,并使试验件安全降落,所得到的最高等级即为飞行时的抗风能力水平。改变相对于试验件位置方向的风向,重复上述步骤。

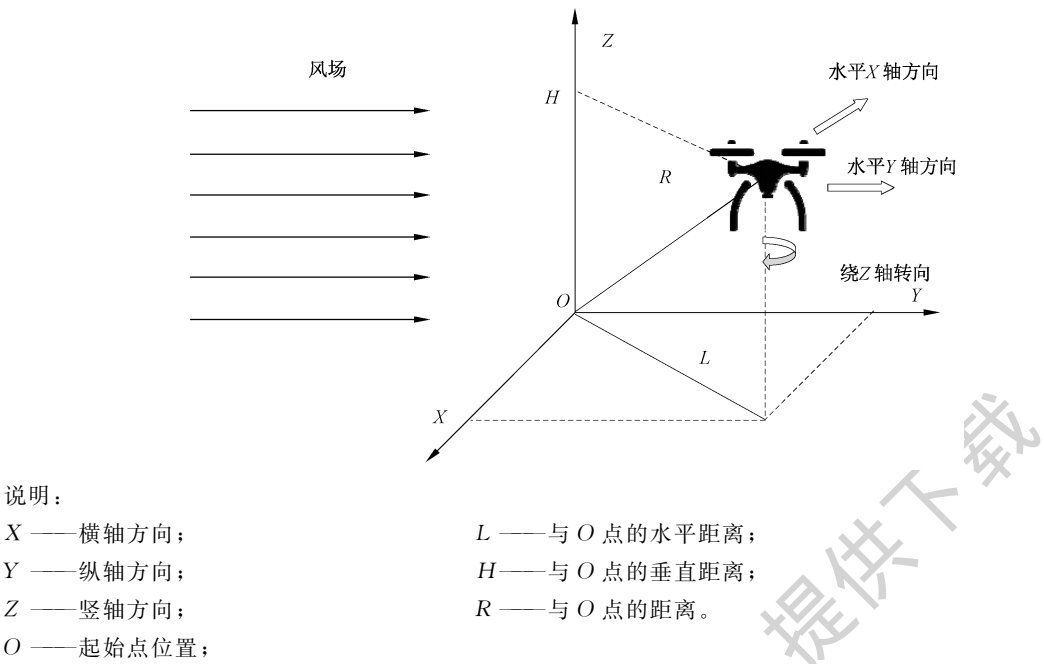


图 3 无人机飞行时抗风检测示意图

g) 抗风能力试验应在检测规范中详细规定。当试验件能够承受表 2 规定试验风速时,则认为该试验件具有了相应等级的最低安全与最低作业抗风能力。当有必要重复抗风能力试验时,应等待足够时间,再进行表 2 中规定试验风速检测,有任何安全飞行隐患时,可采用应急模式将试验件安全降落,试验结束。

5.6.3 试验后检查

对试验件进行全面的检查,并按有关技术文件规定对试验件进行功能性能检测,记录检测结果。

5.7 试验数据处理

5.7.1 水平偏移量

悬停、转向、起降试验时,按式(1)计算试验件水平偏移量:

$$u_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- u_i ——水平偏移量,单位为米(m);
- x_i ——飞行位置 X 轴坐标,单位为米(m);
- x_0 ——初始位置 X 轴坐标,单位为米(m);
- y_i ——飞行位置 Y 轴坐标,单位为米(m);
- y_0 ——初始位置 Y 轴坐标,单位为米(m)。

前飞、后飞试验时,按式(2)计算试验件水平偏移量:

$$u_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- u_i ——水平偏移量,单位为米(m);
- x_i ——飞行位置 X 轴坐标,单位为米(m);
- x_0 ——初始位置 X 轴坐标,单位为米(m)。

侧飞试验时,按式(3)计算试验件水平偏移量:

$$u_i = \sqrt{(y_i - y_0)^2} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

u_i ——水平偏移量,单位为米(m);

y_i ——飞行位置 Y 轴坐标,单位为米(m);

y_0 ——初始位置 Y 轴坐标,单位为米(m)。

5.7.2 垂直偏移量

起降试验时,不计算垂直偏移量,悬停、前飞、后飞、侧飞、转向试验时,按式(4)计算试验件垂直偏移量:

$$v_i = |z_i - z_0| \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

v_i ——垂直偏移量,单位为米(m);

z_i ——飞行位置高度坐标,单位为米(m);

z_0 ——初始位置高度坐标,单位为米(m)。

5.7.3 水平标准差

按式(5)计算试验件水平标准差:

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(u_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i \right)^2}{n-1}} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

σ_u ——水平标准差,单位为米(m);

u_i ——水平偏移量,单位为米(m);

n ——采样点数量。

5.7.4 垂直标准差

起降试验时,不计算垂直标准差,悬停、前飞、后飞、侧飞、转向试验时,按式(6)计算试验件垂直标准差:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(v_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \right)^2}{n-1}} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

σ_v ——垂直标准差,单位为米(m);

v_i ——垂直偏移量,单位为米(m);

n ——采样点数量。

5.7.5 横滚角度差

按式(7)计算试验件的横滚角度差:

$$\alpha_{hi} = |\alpha_i - \alpha_0| \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

α_{hi} ——横滚角度差,单位为度(°);

α_i ——横滚角度,单位为度(°);

α_0 ——初始横滚角度,单位为度($^{\circ}$)。

5.7.6 俯仰角度差

按式(8)计算试验件俯仰角度差:

$$\beta_{fi} = |\beta_i - \beta_0| \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

- β_{fi} ——俯仰角度差,单位为度($^{\circ}$);
- β_i ——俯仰角度,单位为度($^{\circ}$);
- β_0 ——初始俯仰角度,单位为度($^{\circ}$)。

5.7.7 偏转角度差

转向试验时,不计算偏转角度差,悬停、前飞、后飞、侧飞、起降试验时,按式(9)计算试验件偏转角度差:

$$\theta_{pi} = |\theta_i - \theta_0| \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

- θ_{pi} ——偏转角度差,单位为度($^{\circ}$);
- θ_i ——偏转角度,单位为度($^{\circ}$);
- θ_0 ——初始偏转角度,单位为度($^{\circ}$)。

5.8 试验结果评定

5.8.1 最低安全抗风能力

试验件飞行安全且不坠机,所能承受的最大试验风速等级为其最低安全抗风能力。

5.8.2 最低作业抗风能力

试验件正常作业,且位置变化量与角度变化量满足 5.5.3 的要求,所能承受的最大试验风速等级为最低作业抗风能力。

5.9 试验报告

除另有规定外,试验报告应至少包括以下内容:

- a) 试验件产品型号、样品及供应商信息;
- b) 试验件全貌和关键部件照片;
- c) 试验依据;
- d) 试验项目;
- e) 试验结果和测试数据;
- f) 试验测试图片;
- g) 其他观测结果;
- h) 试验日期;
- i) 存在问题与建议;
- j) 测试人、审核人签名。