

ICS 13.220.01

CCS C 81

CSF

团 体 标 准

T/CSF xxx—xxxx

森林草原火情监测光谱雷达系统技术规范

Technical specification for forest and grassland fire monitoring spectral radar system

xxxx -xx-xx 发布

xxxx -xx-xx 实施

中国林学会 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 系统构成	3
5 系统功能要求	3
6 系统性能要求	4
7 试验方法	6
附录 A（规范性）光谱雷达设备功能	8
附录 B（规范性）火情监测软件平台功能	10
附录 C（规范性）火情告警响应时间测定方法	12
附录 D（规范性）同一时间多火点识别能力测定方法	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。

本文件由中国林学会提出并归口。

本文件起草单位：江苏大元物联网科技有限公司、中国消防救援学院、朗森科技（宜兴）有限公司、泰州市玉林动力机械有限公司、森安信息技术（青海）有限公司、博盛智慧物联科技有限公司。

本文件主要起草人：游政、石宽、傅立业、袁斌豪、白夜、武英达、袁树伟、张露、卢夏林、程杰、陈国峰。

森林草原火情监测光谱雷达系统技术规范

1 范围

本文件规定了森林草原火情监测光谱雷达系统的系统构成、功能要求和性能要求，描述了相应的试验方法。

本文件适用于对森林草原地表火、林下火、树冠火、阴燃火、雷击火等早期火情进行识别、监测与定位的火情监测光谱雷达系统设计与试验。

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 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 4208-2017 外壳防护等级（IP 代码）
- GB/T 16838 消防电子产品环境试验方法及严酷等级
- GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3 - 2023 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验 文中无引用
- GB/T 17626.5 - 2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验 文中无引用
- GB 50057 建筑物防雷设计规范
- GB 50343 建筑物电子信息系统防雷技术规范
- JY/T 0424 教学用玻璃仪器 酒精灯

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

光谱雷达 spectral radar

利用植被等含碳化合物燃烧过程中释放的二氧化碳（CO₂）吸收发射特定波段光谱的特征，基于光谱扫描、光谱成像、光谱图像分析等技术，实现对早期火情的精准识别及监测的设备。

3.2

移动端 mobile

用于接收系统发送的火情告警电话及火情告警短信的用户手机。

3.3

光谱传感器 spectral sensor

用于采集特定波段的红外光谱信息，并针对CO₂特征波长4.26 μm吸收带进行优化设计，具备窄带滤波与高信噪比探测能力的传感器。

3.4

全景图像 panoramic image

由前后两个180°扫描采集的数据组成，即光谱雷达通过前后两个视窗，在转台旋转180°过程中完成前后180°扫描，从而实现360°全景采集所形成的图像。

3.5

成像图像 background image

全景图像，由光谱雷达对周边背景环境红外波段（至少涵盖波长3 μm ~ 5 μm宽带谱范围）扫描形成。

3.6

扫描图像 scanning image

全景图像，由光谱雷达对周边特征红外波段（CO₂特征波长4.26 μm窄带谱）扫描形成。

3.7

扫描周期 scanning period

光谱雷达在连续工作过程中，生成扫描图像所需的平均时间间隔。

3.8

扫描视窗 scanning window

光谱雷达工作时在垂直方向上受控的前后扫描视场。

3.9

转镜 scanning mirror

光谱雷达工作时在垂直方向上旋转收集原始光谱信号的反射装置。

3.10

转台 rotary platform

光谱雷达工作时水平方向移动，配合转镜一起实现360°光谱信号收集的水平方向旋转装置。

3.11

固件 firmware

光谱雷达内部使用的嵌入式软件，是光谱雷达控制外设与光谱雷达内部计算等基础功能的软件程序集合。

3.12

OTA 升级 over the air update

通过空中下载技术远程下载光谱雷达固件以实现设备更新。

3.13

GNSS 定位 Global Navigation Satellite System positioning

利用全球导航卫星系统（GNSS）获取设备地理位置信息的功能。

4 系统构成

森林草原火情监测光谱雷达系统（以下简称“系统”）主要由光谱雷达设备（以下简称“光谱雷达”）、火情监测软件平台（以下简称“平台”）构成：

- a) 光谱雷达：包括控制器、光谱传感器、转镜、转台、滤光镜控制器、无线通信传输模块、数据存储模块、卫星定位模块、供电等部件；
- b) 平台：包括部署在“云端”“本地”“端+云混合模式”的服务与移动端应用。服务具有光谱图像火情分析告警、发送火情电话通知、短信通知、移动端通知、火情标注、火点定位、设备管理等功能。移动端应用具有查看并定位火情位置、导航到火情位置等功能。

系统组成示意图如图1所示。

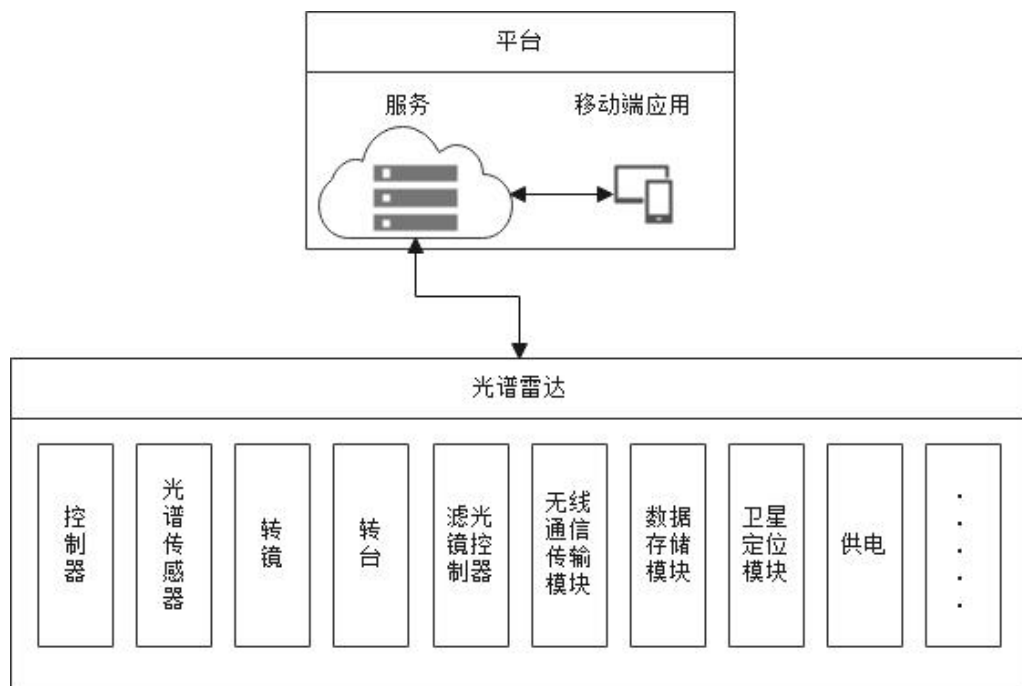


图1 系统组成示意图

5 系统功能要求

5.1 系统通用要求

系统应具备以下要求：

- a) 应具备光谱雷达的接入和数据采集、光谱图像数据分析和告警、数据管理和安全、系统扩展和

兼容、运维管理等功能；

- b) 应具备接入视频监控设备、控制视频监控画面、光谱雷达联动视频监控画面等功能。

5.2 光谱雷达

5.2.1 光谱雷达设备

光谱雷达设备应具备设备自检、红外成像、红外扫描、GNSS 定位、通信、固件 OTA 升级、主备固件切换、固件升级可靠性设计等功能，具体要求见附录 A。

5.2.2 光谱雷达供电

光谱雷达供电具体要求如下：

- a) 光谱雷达应配备备电设备并满足当地环境要求；
- b) 应具有浪涌保护及剩余电流动作保护功能；
- c) 宜配备稳压设备。

5.3 平台

平台应具备火情告警、火情定位、设备分布、设备管理、告警信息、雷达视频联动等功能，具体要求见附录 B。

6 系统性能要求

6.1 系统探测性能

系统火情探测性能应满足以下技术要求：

- a) 告警响应时间：不大于 360 s；
- b) 同一扫描周期内多火点识别能力：不小于 3 个；
- c) 扫描周期：不大于 180 s。

6.2 光谱雷达

6.2.1 光谱雷达设备

光谱雷达设备的性能要求如下：

- a) 光谱雷达扫描水平范围不小于 360°，垂直方向不小于 80°；
- b) 光谱雷达垂直方向扫描角度需要支持动态可调；
- c) 光谱雷达扫描解析力水平方向不小于 14 400 点，垂直方向不小于 3 200 点，生成的全景图像分辨率不低于 4 608 万像素；
- d) 采用制冷型红外光谱传感器，正常工作时光谱传感器核心温度不高于-40℃。

6.2.2 气候环境适应性

光谱雷达的贮存温度范围应为-50℃～85℃，工作温度范围应为-40℃～70℃，相对湿度范围应为 10%～90%。光谱雷达应能耐受表 1 所规定的气候环境条件下的各项试验。试验后，应无电气故障，机壳、插接件等无严重变形，各项功能均正常。

表 1 气候环境适应性要求

项目	试验参数	试验条件	具体要求
高温（贮存）试验	温度	85℃	试验中不工作；试验后检查光谱雷达设备功能
	持续时间	8h	
低温（贮存）试验	温度	-50℃	试验中不工作；试验后检查光谱雷达设备功能
	持续时间	8h	
高温（运行）试验	温度	70℃	试验中正常工作；试验后检查光谱雷达设备功能
	持续时间	2h	
低温（运行）试验	温度	-40℃	试验中正常工作；试验后检查光谱雷达设备功能
	持续时间	2h	
恒定湿热试验	温度	40℃±2℃	12 h 不工作，12 h 正常工作；试验后检查光谱雷达设备功能
	持续时间	24h	
	相对湿度	93%±3	

6.2.3 外壳防护等级

光谱雷达外壳防护等级应不低于GB/T 4208—2017中IP65的要求。

6.2.4 电磁兼容性

光谱雷达应满足表2所规定条件下的各项试验要求。试验期间，应保持正常工作状态；试验后，各项功能均正常，不应出现电气故障。

注：正常工作状态指光谱雷达在电源正常供电条件下，无故障报警、进入扫描状态时所处的工作状态。

表 2 电磁兼容试验项目表

项目	试验参数	试验条件	具体要求
静电放电抗扰度试验	接触放电/KV	空气放电（外壳为绝缘体）：8 接触放电（外壳为导体）：6	正常工作状态；试验后光谱雷达应不出现电气故障
	放电极性	正、负	
	放电间隔/s	≥1	
	每点放电次数	10	
射频电磁场辐射抗扰度试验	场强/（V/m）	10	正常工作状态；试验后光谱雷达应不出现电气故障
	频率范围/MHz	80~1 000	
	扫描速率/10 oct/s	≤1.5×10 ⁻²	
	调制幅度	80%（1 kHz，正弦）	
浪涌（冲击）抗扰度试验	浪涌（冲击）电压/KV	AC 电源线 线-线：1×（1±0.1） AC 电源线 线-地：2×（1±0.1） 其他连接线 线-地：1×（1±0.1）	正常工作状态；试验后光谱雷达应不出现电气故障
	极性	正、负	
	试验次数	5	

6.2.5 光谱雷达供电

具体要求如下：

- a) 备电时间不小于 72 h；
- b) 高寒地区的备电设备应在不低于-40℃的环境下正常工作；
- c) 高温地区的备电设备应在不高于 60℃的环境下正常工作；
- d) 浪涌保护设备应符合 GB 50057 和 GB 50343 的规定。

7 试验方法

7.1 试验纲要

7.1.1 除在有关条文中另有说明外，各项试验均应在下述大气条件下进行：

- 温度：15℃～35℃；
- 相对湿度：25%～75%；
- 大气压力：86 kPa～106 kPa。

7.1.2 除有关条文另有说明外，各项试验数据的容差均应为±5%，环境条件参数偏差应符合 GB/T 16838 的要求。

7.1.3 光谱雷达在试验前应按下列要求进行试验前检查：

- 表面无腐蚀、涂覆层脱落和起泡现象、无明显划伤、裂痕、毛刺等机械损伤；
- 紧固部位无松动。

7.2 功能试验

7.2.1 光谱雷达设备

7.2.1.1 成像功能试验

光谱雷达接通电源，待指示灯指示运行正常后，通过平台向该光谱雷达发送成像指令。观察光谱雷达是否响应该指令，并开始对周边背景环境红外波段进行扫描。待扫描结束后，平台查询成像图像是否正确上传。

7.2.1.2 扫描功能试验

光谱雷达接通电源，待指示灯指示运行正常后，检查光谱雷达应处于扫描状态。待扫描结束后，平台查询扫描图像是否正确上传。

7.2.2 其他系统功能试验

其他系统功能描述参见附录 A 和附录 B，采用实际操作方法验证。

7.3 性能试验

7.3.1 探测性能试验

7.3.1.1 火情告警响应时间测定

火情告警响应时间测定方法参见附录 C。

7.3.1.2 同一时间多火点识别能力测定

同一时间多火点识别能力测定方法参见附录 D。

7.3.1.3 扫描周期测定

扫描周期测定方法如下：

- a) 光谱雷达处于连续扫描工作状态，转台应从 0°扫描运行至 180°，完成扫描后会从 180°快速返回 0°，以此反复；
- b) 测试开始，记录第 1 次扫描 0°开始时间点 t_1 ，第 2 次扫描 0°开始时间点 t_2 ，第 3 次扫描 0°开始时间点 t_3 ，第 4 次扫描 0°开始时间点 t_4 ；
- c) 计算各扫描时间段所需时长： $T_1 = t_2 - t_1$ ； $T_2 = t_3 - t_2$ ； $T_3 = t_4 - t_3$ ；
- d) 单个扫描周期 T 取 3 次扫描所需时间的平均值： $T = (T_1 + T_2 + T_3) / 3$ ，T 应不大于 180 s。

7.3.2 气候环境适应性试验

低温试验按照 GB/T 2423.1 中的规定执行；高温试验按照 GB/T 2423.2 中的规定执行；恒定湿热试验按照 GB/T 2423.3 中的规定执行。试验结果应满足 6.2.2 的要求。

7.3.3 外壳防护等级试验

外壳防护等级试验按照 GB/T 4208 中的规定执行，试验结果应满足 6.2.3 的要求。

7.3.4 电磁兼容试验

按照 GB/T 17626.2、GB/T 17626.3、GB/T 17626.5 的规定，对光谱雷达施加表 2 所示条件进行试验，观察并记录光谱雷达工作状态，试验中及试验后不应出现电气故障，测试结果应满足 6.2.4 的要求。

7.3.5 光谱雷达供电性能试验

采用实际操作方法验证。

附 录 A
(规范性)
光谱雷达设备功能

A.1 自检功能

光谱雷达应具备故障自检功能，通过设备指示灯的亮、灭、闪烁状态反映设备当前工作状态是否正常。

A.2 成像功能

光谱雷达应支持扫描周边背景环境红外波段（至少涵盖波长 $3\ \mu\text{m}$ ~ $5\ \mu\text{m}$ 宽带谱范围），生成成像图像并上报平台。

A.3 扫描功能

光谱雷达应支持扫描周边特征红外波段（ CO_2 特征波长 $4.26\ \mu\text{m}$ 窄带谱），生成扫描图像并上报平台。

A.4 GNSS 定位功能

光谱雷达应具备GNSS定位功能，结合平台可查看设备所在位置的经度、纬度定位状态信息。光谱雷达应在上报的成像图像与扫描图像的详情数据中包含成像、扫描动作发生时的经度、纬度定位状态信息。

A.5 通信功能

光谱雷达的通信功能应包括以下内容：

- a) 光谱雷达应支持全天候不间断的平台远程连接。在光谱雷达设备及通信网络均正常的情况下，因其他外部原因导致平台连接中断后，能自主恢复与平台的网络通信连接；
- b) 当光谱雷达无法正常连接到平台时，应离线保存不少于 48 h 的扫描图像。通信恢复后，优先上传实时扫描图像，之后再按生成时间倒序上传离线期间保存的图像；
- c) 当光谱雷达未正常连接到平台超过 1 h 时，平台应提醒该光谱雷达绑定的负责人，以应对光谱雷达离线无法获取扫描图像的情况。

A.6 运行参数管理

光谱雷达应支持本地或平台远程配置、修改运行参数的功能。

A.7 固件 OTA 升级

光谱雷达应支持固件远程OTA升级。

A.8 主备固件切换功能

光谱雷达应具备至少两套固件的可靠性设计。当主固件出现问题时可切换至备用固件进行工作。

A.9 固件升级可靠性

光谱雷达应具备在升级固件期间异常断电后仍不影响正常启动工作的可靠性设计。

A.10 光谱传感器温度监测

光谱雷达应具备光谱传感器温度监测功能，通过传感器获取光谱传感器的温度，并上报平台。光谱传感器温度上报频率应不少于1条/min，且光谱传感器工作温度始终低于-40℃。

A. 11 主板温度监测

光谱雷达应具备主板温度监测功能，通过传感器获取光谱雷达的主板温度，并上报平台。光谱雷达主板温度上报频率应不少于1条/min，且相较于测试光谱雷达周边环境温度，温升应小于30℃。

A. 12 内部温度监测

光谱雷达应具备内部温度监测功能，通过传感器获取光谱雷达的内部温度，并上报平台，平台可检索指定时间段内的光谱雷达内部温度记录。光谱雷达内部温度记录频率应不少于1条/min，且相较于测试光谱雷达周边环境温度，温升应小于30℃。

A. 13 环境温度监测

光谱雷达应具备环境温度监测功能，通过传感器获取光谱雷达的环境温度，并上报平台，平台可检索指定时间段内的光谱雷达环境温度记录。光谱雷达环境温度记录频率应不少于1条/min，且相较于测试光谱雷达周边环境温度，温升应小于30℃。

A. 14 输入电压监测

光谱雷达应具备输入电压监测功能，通过传感器获取光谱雷达输入电压的电压值，并上报平台，平台可检索指定时间段内的光谱雷达输入电压记录。光谱雷达输入电压记录频率应不少于1条/min，且电压与实际供电电压一致，误差在 ± 0.5 V以内。

A. 15 转镜转速监测

光谱雷达应具备转镜转速监测功能，通过传感器获取光谱雷达转镜的转速，并上报平台，平台可检索指定时间段内的光谱雷达转镜转速记录。光谱雷达转镜转速记录频率应不少于1条/min，记录中转速应在750 rpm \pm 100 rpm范围内。

附 录 B
(规范性)
火情监测软件平台功能

B.1 火情告警

平台应具备分析光谱雷达上报的扫描图像并识别是否存在火情的能力,当分析存在疑似火情时,应向设定的火情告警接收号码发出语音与短信告警信息,告警响应时间应满足6.1的要求。

B.2 火情定位

平台应具备在火情发生时对火情点进行地理位置经纬度坐标定位的能力。

B.3 设备分布

平台应支持以浏览地图的方式查看设备位置以及在线状态。

B.4 设备管理

平台应支持对已接入平台的所有光谱雷达进行设备管理,包括查看在线状态、控制设备主要参数、展示光谱雷达上报的各类传感器数值。

B.5 告警信息

平台应具备记录分析光谱雷达上报的红外扫描图像后产生的疑似火情告警的详情数据,包括疑似发生火情的时间、对应的光谱雷达设备编号、通知到的负责人姓名等信息。

B.6 成像详情

平台应具备对光谱雷达上报的成像图像/扫描图像按设备编号、时间范围、成像类型进行检索的功能。

B.7 特征区域标注

平台应具备对光谱雷达扫描视窗范围内区域进行白名单特征区域(已知火源或高温热源等明确不需要产生火情告警响应的区域)标注的能力,特征区域用于标识不触发火情预警的区域,该区域内检测到火情时仅做标注,不触发告警。

B.8 设备告警对象绑定

平台应具备光谱雷达告警对象绑定功能,可对相应光谱雷达的告警通知对象进行绑定,且支持同一光谱雷达绑定多个告警对象。

B.9 权限登录功能

平台应具备光谱雷达管理部门分组及多级用户权限登录功能,不同权限操作使用不同管理模块,且权限界限明晰。

B.10 电话及短信通知记录

平台应支持对系统产生的电话及短信通知进行详情记录,可用于回溯指定时间产生的电话通知详情及短信通知详情。

B.11 雷达视频联动

平台应支持接入视频监控设备的能力，当光谱雷达发现疑似火情时，平台联动视频监控设备，控制视频监控画面移动追踪到光谱雷达发现疑似火情区域，抓取不小于15 min的监控视频并存储，并提供检索疑似火情关联视频的功能。

B.12 移动端应用

平台应支持移动端应用，该移动端应用具备设备告警查询、火情点定位、火情点地图、设备通知浏览、设备地图查询、设备状态查询等功能。

附 录 C
(规范性)
火情告警响应时间测定方法

C.1 试验场景

火情告警响应时间的测定，可根据检测目的选择实验室场景或实际应用场景进行。

C.2 试验要求

C.2.1 实验室场景试验要求

试验设备由计时器及符合JY/T 0424要求的酒精灯组成。

C.2.2 实际应用场景试验要求

试验设备：燃烧盘的尺寸为1 m × 1 m，高度不低于0.1 m，燃烧盘内为正庚烷液体，液面高度不低于0.01 m。

试验环境：室外空旷环境，试验时间为白天有光照，天气条件满足工作温度-10℃~40℃、工作湿度10%~90%和大气压力75 kPa~100 kPa，无雨雪，风力不大于3级。

C.3 试验方法

C.3.1 实验室场景试验方法

实验室场景试验方法如下：

- a) 酒精灯放置在光谱雷达正前方扫描区域距离光谱雷达中心 30 m 处，光谱雷达与酒精灯之间的视线无遮挡；
- b) 点燃酒精灯，记录酒精灯点火时间点 T1，移动端接收到火情告警（火情告警应符合附录 B 中的功能描述）信号，记录时间点 T2；
- c) 计算光谱雷达告警响应时间为 $T = T2 - T1$ 。

C.3.2 实际应用场景试验方法

实际应用场景试验方法如下：

- a) 将光谱雷达安装在试验塔上，在距离试验塔 1 km 处放置试验燃烧盘为测试火源，使系统处于正常扫描状态，确保测试火源与光谱雷达之间的视线无遮挡；
- b) 点燃测试火源，记录火源稳定燃烧后的起始时间点 T1，移动端接收到火情告警（火情告警应符合附录 B 中的功能描述）信号，记录时间点 T2；
- c) 计算光谱雷达告警响应时间为 $T = T2 - T1$ 。

C.4 判定

光谱雷达告警响应时间T应不大于360 s。

附 录 D
(规范性)
同一时间多火点识别能力测定方法

D.1 试验场景

同一时间多火点识别能力测定方法，可根据检测目的选择实验室场景或实际应用场景进行。

D.2 试验要求

D.2.1 实验室场景试验要求

试验设备由计时器及符合JY/T 0424要求的酒精灯组成。

D.2.2 实际应用场景试验要求

试验设备：燃烧盘的尺寸为1 m×1 m，高度不低于0.1 m，燃烧盘内为正庚烷液体，液面高度不低于0.01 m。

试验环境：室外空旷环境，试验时间为白天有光照，天气条件满足工作温度-10℃~40℃、工作湿度10%~90%和大气压力75 kPa~100 kPa，无雨雪，风力不大于3级。

D.3 试验方法

D.3.1 实验室场景试验方法

实验室场景试验方法如下：

- a) 以光谱雷达为圆心，在距离光谱雷达中心 30 m 处间隔 120°布置 3 处测试用酒精灯模拟火情，光谱雷达与酒精灯之间的视线无遮挡；
- b) 控制 3 处酒精灯点火时间差不超过 3 s，确保近似同时点火；
- c) 计点火开始时间为 T 。

D.3.2 实际应用场景试验方法

实际应用场景试验方法如下：

- a) 将光谱雷达安装在试验塔上，试验燃烧盘作为测试火源，以光谱雷达为圆心，3 处测试火源分布需保证光谱雷达前/后每个视窗内至少存在一个，测试火源距离试验塔 1 km，使系统处于正常扫描状态，确保测试火源与光谱雷达之间的视线无遮挡；
- b) 控制 3 处燃烧盘点火时间差不超过 3 s，确保近似同时点火；
- c) 计点火开始时间为 T 。

D.4 判定

D.4.1 实验室场景判定

实验室场景判定方法如下：

- a) 检查平台端，在时间范围 T~T+360 s 内应存在火情告警信息，火情告警信息应包含 3 处火情点标注。

b) 检查相关告警信息中的扫描图像上的火情点标注位置,将火情点标注位置与酒精灯模拟火情位置在测试环境下物体的相对位置关系进行目视对比检查(视觉偏差不超过 2°),火情标注位置应与3处酒精灯放置位置一致。

D.4.2 实际应用场景判定

实际应用场景判定方法如下:

a) 检查平台端,在时间范围 $T \sim T+360\text{ s}$ 内应存在火情告警信息,火情告警信息应包含3处火情点标注。

b) 检查相关告警信息中的扫描图像上的火情点标注位置,将火情点标注位置与燃烧盘模拟火情位置在实际环境中所处位置地形地貌的相对位置关系进行目视对比检查(视觉偏差不得超过100 m),火情标注位置应与3处燃烧盘放置位置一致。

c) 检查相关告警信息中的火情点定位位置,将火情点定位位置与燃烧盘模拟火情位置在实际环境下地图位置进行对比检查(地图测量距离偏差不得超过100 m)。
