ICS 33.200
CCS M 53

T

团 体 标 准

T/CEATEC XXX—2026

低空有源相控阵探测雷达技术要求与性能检测评估方法

Technical requirements and performance test & evaluation methods for low-altitude active phased array detection radar

2026-X-XX 发布 2026-X-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
5 系统组成 2
6 技术要求 3
6.1 环境适应性 3
6.2 主要性能指标 3
6.3 电磁兼容性要求 5
6.4 可靠性要求 5
6.5 结构与防护要求 5
7 性能检测评估方法 5
7.1 环境适应性检测 5
7.2 主要性能指标检测 6
7.3 电磁兼容性检测 7
7.4 可靠性检测 8
7.5 结构与防护检测 8

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。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

低空有源相控阵探测雷达技术要求与性能检测评估方法

1 范围

本文件规定了低空有源相控阵探测雷达（以下简称“雷达”）的缩略语、系统组成、技术要求以及性能检测评估方法。

本文件适用于工作频段为X波段（8GHz～12GHz）、Ku波段（12GHz～18GHz）或Ka波段（26.5GHz～40GHz），用于低空域（高度0m～3000m）非合作目标探测与跟踪的有源相控阵雷达的研制、生产、检验。

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 2423.5 环境试验 第2部分:试验方法 试验Ea和导则:冲击

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 2423.17 环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾

GB/T 2423.38 环境试验 第2部分：试验方法 试验R：水试验方法和导则

GB/T 3784 电工术语 雷达

GB/T 5080.7 设备可靠性试验 恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方案

GB/T 9254.1 信息技术设备、多媒体设备和接收机 电磁兼容 第1部分：发射要求

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 电磁兼容 试验和测量技术 第3部分：射频电磁场辐射抗扰度试验

3 术语和定义

GB/T 3784界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

有源相控阵雷达 active phased array radar

天线阵列中每个辐射单元均由独立的发射/接收（T/R）组件驱动，通过控制各单元信号的相位和幅度实现波束在空间的电子扫描，并完成目标探测与跟踪的雷达。

3.2

低空目标 low-altitude target

飞行高度在0m～3000m范围内的空中目标，包括但不限于无人驾驶航空器、轻型飞机、直升机、滑翔伞等。

3.3

探测距离 detection range

在规定的目标雷达截面积（RCS）、探测概率和虚警概率条件下，雷达能够发现目标的最大距离。

3.4

最小可检测信号 minimum detectable signal

在满足规定探测概率和虚警概率条件下，雷达接收机能够检测到的最小输入信号功率。

3.5

波束宽度 beam width

天线方向图主瓣两个半功率点（-3dB点）之间的夹角，分为方位波束宽度和俯仰波束宽度。

3.6

副瓣电平 sidelobe level

天线方向图中最大副瓣的功率密度与主瓣最大功率密度之比，以分贝（dB）表示。

3.7

T/R组件 T/R module

有源相控阵雷达天线阵列中集成了发射功率放大器、接收低噪声放大器、移相器、衰减器和收发开关等功能电路的基本收发单元。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BIT——机内测试（Built-In Test）
CFAR——恒虚警率（Constant False Alarm Rate）
EIRP——等效全向辐射功率（Effective Isotropic Radiated Power）
LRU——现场可更换单元（Line Replaceable Unit）
MTBF——平均无故障工作时间（Mean Time Between Failures）
MTD——动目标检测（Moving Target Detection）
MTI——动目标显示（Moving Target Indication）
MTTR——平均修复时间（Mean Time To Repair）
PRF——脉冲重复频率（Pulse Repetition Frequency）
RCS——雷达截面积（Radar Cross Section）
T/R——发射/接收（Transmit/Receive）

5 系统组成

低空有源相控阵探测雷达系统主要由天线分系统、收发分系统、信号处理分系统、数据处理分系统、伺服与结构分系统、电源分系统和监控分系统组成，各分系统功能如下：

a）天线分系统：由辐射单元阵列、T/R组件阵列、波束形成网络和天线罩组成，实现射频信号的空间辐射与接收，并完成波束的电子扫描；

b）收发分系统：包括频率综合器、发射激励源、接收前端和中频处理模块，产生雷达发射信号并对回波信号进行放大、变频和滤波；

c）信号处理分系统：完成脉冲压缩、动目标显示（MTI）、动目标检测（MTD）、恒虚警率（CFAR）检测和目标参数测量等处理；

d）数据处理分系统：实现目标航迹起始、跟踪滤波、多目标关联、威胁评估和数据输出等功能；

e）伺服与结构分系统：提供天线的机械转动（如方位旋转）和结构支撑，部分型号采用全电扫体制则无机械伺服；

f）电源分系统：将输入市电或发电机电源转换为各分系统所需的直流电源，并具备过压、过流和短路保护功能；

g）监控分系统：实现对雷达各分系统工作状态的实时监测、故障诊断、参数标定和工作模式控制。

6 技术要求

6.1 环境适应性

雷达应能在表1规定的环境条件下正常工作。

表1 雷达环境适应性要求

项目	工作条件	贮存条件
环境温度	-40℃～+55℃	-55℃～+70℃
相对湿度	≤95%（+30℃时，无凝露）	≤95%（+40℃时）
大气压力	55kPa～106kPa	—
降雨强度	≤16mm/h（连续工作）	—
风速	≤25m/s（正常工作）；≤50m/s（不损坏）	—
盐雾	沿海型：5% NaCl溶液，48h	—
振动	正弦振动，频率5Hz～500Hz，5～9Hz位移幅值1.5mm，9～500Hz加速度幅值20m/s²，扫频速率1oct/min，三个轴向各扫频2次	—
冲击	半正弦波，峰值加速度150m/s²，持续时间11ms，三个轴向各3次	—

6.2 主要性能指标

6.2.1 探测性能

在目标RCS为0.01m²（对应小型无人机）、探测概率Pd≥90%、虚警概率Pfa≤10^{-6}的条件下，雷达探测性能应符合表2的规定。

表2 探测性能要求

性能项目	X波段	Ku波段	Ka波段
最大探测距离	≥15km	≥12km	≥8km
最小探测距离	≤50m	≤30m	≤20m
方位覆盖范围	0°～360°（机械旋转+电扫）或±60°（全电扫）	同左	同左
俯仰覆盖范围	-2°～+30°（电扫）	-2°～+45°（电扫）	-2°～+60°（电扫）
最大跟踪目标数	≥200批	≥200批	≥150批
数据率（360°覆盖）	≥6r/min（即10s/圈）	≥12r/min（即5s/圈）	≥20r/min（即3s/圈）
注：对于RCS为0.1m²的目标（对应中型无人机），最大探测距离应不小于表中数值的1.78倍；对于RCS为1m²的目标（对应轻型飞机），最大探测距离应不小于表中数值的3.16倍。			

6.2.2 测量精度

雷达对目标参数的测量精度（均方根误差）应符合表3的规定。

表3 测量精度要求

测量项目	X波段	Ku波段	Ka波段
距离测量误差	≤10m	≤5m	≤3m
方位角测量误差	≤0.5°	≤0.3°	≤0.2°
俯仰角测量误差	≤0.8°	≤0.5°	≤0.3°
径向速度测量误差	≤2m/s	≤1m/s	≤0.5m/s

6.2.3 分辨率

雷达的距离分辨率、角度分辨率和速度分辨率应符合表4的规定。

表4 分辨率要求

分辨率项目	X波段	Ku波段	Ka波段
距离分辨率	≤15m	≤10m	≤5m
方位角分辨率	≤1.8°	≤1.2°	≤0.8°
俯仰角分辨率	≤3.0°	≤2.0°	≤1.5°
速度分辨率	≤5m/s	≤3m/s	≤2m/s

6.2.4 天线与T/R组件性能

雷达天线分系统和T/R组件的性能应符合表5的规定。

表5 天线与T/R组件性能要求

性能项目	X波段	Ku波段	Ka波段
天线法向增益（发射）	≥38dB	≥36dB	≥34dB
天线法向增益（接收）	≥37dB	≥35dB	≥33dB
第一副瓣电平	≤-30dB	≤-28dB	≤-25dB
平均副瓣电平	≤-40dB	≤-38dB	≤-35dB
法向波束宽度（方位）	≤1.8°	≤1.2°	≤0.8°
法向波束宽度（俯仰）	≤3.0°	≤2.0°	≤1.5°
扫描角范围（无栅瓣）	±60°	±60°	±50°
T/R组件峰值输出功率	≥10W	≥5W	≥2W
T/R组件接收噪声系数	≤3.0dB	≤3.5dB	≤4.5dB
移相器位数	≥6bit	≥6bit	≥6bit
移相器均方根误差	≤5°（6bit）	≤5°（6bit）	≤5°（6bit）
衰减器位数	≥6bit	≥6bit	≥5bit
波束切换时间	≤10μs	≤10μs	≤5μs

6.2.5 发射与接收性能

雷达发射和接收分系统的性能应符合表6的规定。

表6 发射与接收性能要求

性能项目	X波段	Ku波段	Ka波段
工作频率范围	9.0GHz～9.5GHz（可定制）	15.0GHz～16.0GHz（可定制）	34.0GHz～36.0GHz（可定制）
瞬时带宽	≥500MHz	≥500MHz	≥1GHz
系统峰值功率（EIRP）	≥70dBm	≥67dBm	≥62dBm
系统平均功率	≥500W	≥300W	≥100W
脉冲宽度	0.1μs～100μs（可调）	0.1μs～100μs（可调）	0.05μs～50μs（可调）
脉冲重复频率（PRF）	1kHz～20kHz（可调）	1kHz～30kHz（可调）	2kHz～50kHz（可调）
频率稳定度（短期）	≤5×10^{-10}/ms	≤5×10^{-10}/ms	≤5×10^{-10}/ms
相位噪声（@1kHz偏移）	≤-110dBc/Hz	≤-105dBc/Hz	≤-100dBc/Hz
接收系统噪声系数	≤4.0dB	≤4.5dB	≤5.5dB
接收动态范围	≥80dB	≥75dB	≥70dB
镜频抑制比	≥60dB	≥60dB	≥55dB

杂散抑制	≥60dB	≥55dB	≥50dB

6.3 电磁兼容性要求

雷达的电磁兼容性应符合以下要求：

a）传导发射：电源端子的传导骚扰电压应不超过GB/T 9254.1规定的限值。

b）辐射发射：辐射骚扰场强和功率应不超过GB/T 9254.1规定的限值。

c）静电放电抗扰度：在接触放电±6kV、空气放电±8kV条件下，雷达不应损坏，放电结束后应能自动恢复正常工作；

d）射频电磁场辐射抗扰度：在80MHz～3GHz、场强10V/m的射频电磁场辐射条件下，雷达应能正常工作；

e）天线端口互调：在规定的双音信号输入条件下，三阶互调产物应比主信号低不少于60dB。

6.4 可靠性要求

6.4.1 平均无故障工作时间（MTBF）

雷达系统MTBF应不小于1000h；T/R组件MTBF应不小于100000h。

6.4.2 平均修复时间（MTTR）

雷达系统MTTR应不大于30min；现场可更换单元（LRU）的更换时间应不大于10min。

6.4.3 机内测试（BIT）

雷达应具备完善的BIT功能，故障检测率应不低于95%，故障隔离率应不低于90%（隔离到LRU），虚警率应不高于5%。

6.5 结构与防护要求

6.5.1 外壳防护等级

室外型雷达天线罩和机箱的防护等级应不低于GB/T 4208规定的IP65；室内型应不低于IP3X。

6.5.2 天线罩

天线罩应采用低损耗复合材料，在工作频段内的插入损耗应不大于0.5dB，传输效率应不低于90%。

6.5.3 重量

天线分系统重量应不大于150kg（X波段）、100kg（Ku波段）、60kg（Ka波段）；全系统重量应不大于500kg。

6.5.4 尺寸

天线阵列孔径面积应不大于0.8m²（X波段）、0.5m²（Ku波段）、0.3m²（Ka波段）。

6.5.5 冷却方式

应采用风冷或液冷方式，T/R组件结温应不超过+125℃。

7 性能检测评估方法

7.1 环境适应性检测

7.1.1 高温适应性

按GB/T 2423.2的规定执行。

7.1.2 低温适应性

按GB/T 2423.1的规定执行。

7.1.3 湿热适应性

按GB/T 2423.3的规定执行。

7.1.4 雨淋适应性

按GB/T 2423.38的规定执行。

7.1.5 盐雾适应性

按GB/T 2423.17的规定执行。

7.1.6 振动适应性

按GB/T 2423.10的规定执行。

7.1.7 冲击适应性

按GB/T 2423.5的规定执行。

7.2 主要性能指标检测

7.2.1 探测性能检测

7.2.1.1 最大探测距离检测

采用RCS为0.01㎡±0.5dB的标准目标（如标准金属球或经过标定的无人机），在规定的高度（通常为100 m～500 m）沿径向远离雷达飞行。记录雷达首次连续3次扫描均检测到目标时的距离，即为该方向的探测距离。在方位0°、45°、90°、135°、180°、225°、270°、315°共8个方向上分别测量，取最小值作为最大探测距离的检测结果。

7.2.1.2 最小探测距离检测

将标准目标从远处沿径向靠近雷达飞行，记录雷达最后一次能够稳定检测到目标时的距离；目标应在不同方位上重复测量不少于3次，取最大值作为最小探测距离。

7.2.1.3 覆盖范围

标准目标在方位0°～360°、俯仰-2°～+60°范围内飞行，记录雷达能够稳定检测和跟踪目标的方位和俯仰角度区间。

7.2.1.4 多目标跟踪能力检测

同时释放不少于规定数量的无人机目标（或使用目标模拟器生成），各目标在方位和距离上均匀分布，雷达同时对所有目标进行跟踪。记录雷达能够稳定跟踪（连续跟踪时间≥30s，航迹不丢失）的目标数量。

7.2.1.5 数据率检测

在360°方位覆盖模式下，使用秒表或时间戳记录雷达完成一次完整方位扫描所需的时间，连续测量10次取平均值。对于全电扫体制，测量雷达完成一次全空域搜索帧所需的时间。

7.2.2 测量精度检测

7.2.2.1 距离测量精度检测

使用差分GPS作为真值设备，将GPS接收机安装在目标上，以10 Hz以上的采样率记录目标的真实位置。目标在不同距离段（1km～3km、3km～6km、6km～10km、10km～最大探测距离）分别进行不少于50次的距离测量。将雷达测量的距离值与GPS真值进行比对，按数理统计方法计算均方根误差。

7.2.2.2 角度测量精度检测

与距离精度检测同时进行。将雷达测量的方位角和俯仰角与由GPS真值换算得到的角度进行比对，按方位区间（0°～90°、90°～180°、180°～270°、270°～360°）和俯仰区间（0°～10°、10°～20°、20°～30°）分别统计均方根误差。每个区间的有效测量样本数应不少于50个。

7.2.2.3 速度测量精度检测

目标以不同的径向速度（5m/s、10m/s、20m/s、30m/s、50m/s）朝向或远离雷达飞行，每个速度点稳定飞行时间不少于10s。将雷达测量的径向速度与GPS真值进行比对，计算均方根误差。

7.2.3 分辨率检测

7.2.3.1 距离分辨率

两个相同RCS标准目标沿径向排列，逐步减小间距直到雷达无法区分，记录能区分的最小距离间隔，重复5次取平均。

7.2.3.2 角度分辨率

两个相同RCS标准目标置于同一距离，沿方位方向排列，逐步减小角度差直到无法区分，记录能区分的最小角度间隔，重复5次取平均；俯仰角分辨率方法类似。

7.2.3.3 速度分辨率

两个目标沿同一径向以不同速度飞行，逐步减小速度差直到雷达无法区分两个速度目标，记录能区分的最小速度差，重复5次取平均。

7.2.4 天线与T/R组件性能检测

7.2.4.1 天线增益

在微波暗室内采用比较法，将被测天线与标准增益天线分别对准发射源，测量接收功率计算增益，分别测量法向及±15°、±30°、±45°、±60°处增益，每点测3次取平均，法向与±45°处增益差为扫描增益损失。

7.2.4.2 副瓣电平

在微波暗室内测方位面和俯仰面方向图（扫描范围±90°，步进≤0.1°），从方向图读取最高副瓣相对主瓣峰值的电平（第一副瓣）及所有副瓣平均值（平均副瓣），收发状态分别测。

7.2.4.3 波束宽度

从方向图中读取主瓣两侧-3dB点之间的角度间隔，分别测量方位面和俯仰面。

7.2.4.4 扫描角范围

在微波暗室内逐步增大扫描角，直到方向图出现栅瓣（副瓣电平超过-10dB），记录无栅瓣的最大扫描角，即为无栅瓣扫描角范围。

7.2.4.5 T/R组件性能

组件装入测试夹具，每批随机抽不少于3%且不少于5只，功率计测峰值输出功率，Y系数法测接收噪声系数，网络分析仪遍历移相状态测移相器均方根误差、遍历衰减状态测衰减器精度，示波器测波束切换时间（指令发出到功率稳定±0.5dB）。

7.2.5 发射与接收性能检测

7.2.5.1 工作频率与瞬时带宽

雷达发射机正常工作时，用频谱分析仪测量发射信号的载波频率。逐步调整雷达的工作频率设置，记录能够正常发射的最低频率和最高频率，二者之差即为工作频率范围；在中心频率处读取发射频谱的-3dB带宽，即为瞬时带宽。

7.2.5.2 峰值功率与平均功率

将通过式功率计串联在雷达发射输出端，在最大占空比工作状态下分别读取峰值功率和平均功率，平均功率与峰值功率之比即为占空比。每项参数读取3次取平均值。

7.2.5.3 脉冲特性与PRF

通过定向耦合器取出少量发射信号送入示波器，测量脉冲宽度（半高点之间的时间）、上升沿（10%～90%）、下降沿（90%～10%）和顶降；用频率计数器测量1s内的脉冲个数，即为PRF。

7.2.5.4 频率稳定度与相位噪声

以高稳定度参考源为频率基准，用信号源分析仪测量发射载波频率在1ms内的最大相对偏差，即为短期频率稳定度；同时读取1kHz频率偏移处的单边带相位噪声电平。

7.2.5.5 接收噪声系数

采用Y系数法，将噪声源分别设置为冷态和热态并接入接收机输入端，测量两种状态下的输出功率，由Y因子推导得到噪声系数。在工作频段的高、中、低三个频点分别测量，取最大值。

7.2.5.6 接收动态范围

从接收机灵敏度电平开始，以1dB为步进逐步增加输入连续波信号功率，同时监测输出信号功率。当输出功率比线性外推值低1dB时，对应的输入功率即为1dB压缩点；1dB压缩点与灵敏度电平的差值即为线性动态范围。

7.2.5.7 镜频抑制与杂散抑制

测量镜频抑制时，在接收机输入端分别注入信号频率和镜频频率的等幅连续波信号，用频谱分析仪测量两者在中频输出端的幅度差；测量杂散抑制时，雷达正常发射，用频谱分析仪在输出端测量各杂散分量相对于主载波的电平，取最差值。

7.3 电磁兼容性检测

7.3.1 传导发射

按GB/T 9254.1的规定执行。

7.3.2 辐射发射

按GB/T 9254.1的规定执行。

7.3.3 静电放电抗扰度

按GB/T 17626.2的规定执行。

7.3.4 射频电磁场辐射抗扰度

按GB/T 17626.3的规定执行。

7.3.5 天线端口互调

在天线端口注入两个等幅双音信号，用频谱分析仪测量输出端三阶互调产物电平

7.4 可靠性检测

7.4.1 MTBF

按GB/T 5080.7的规定执行。

7.4.2 MTTR

在雷达正常工作状态下，通过拔出LRU或断开连接线的方式模拟不少于5种典型故障，记录从故障被BIT报告到雷达恢复正常工作的时间，取平均值作为MTTR观测值；LRU更换时间单独记录。

7.4.3 BIT功能验证

通过人工注入故障方式验证故障检测率、隔离率和虚警率，注入故障不少于20种，覆盖各主要LRU。

7.5 结构与防护检测

7.5.1 外壳防护等级

按GB/T 4208的规定执行。

7.5.2 天线罩插入损耗

在微波暗室内用网络分析仪测量天线罩在工作频段内的插入损耗和传输效率。

7.5.3 重量与尺寸

用经检定的衡器测量天线分系统和全系统重量，用钢卷尺测量天线阵列孔径尺寸。

7.5.4 冷却性能

雷达在最大功耗状态下连续运行2h，用红外测温仪或埋置热电偶测量T/R组件壳体温度。

T/CEATEC XXX—XXXX

中 华 人 民 共 和 国

团 体 标 准

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

T/CEATEC XXXX－XXXX

*

中国欧洲经济技术合作协会

网址 https://www.ceatec.org.cn/

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 XXX 千字

2026 年 X 月第一版 2026 年 X 月第一次印刷

*

如有印装差错 由中国欧洲经济技术合作协会调换

版权专有 侵权必究

举报电话：010-64516951