



编 号：CTSO-2C611
日 期：
局长授权
批 准：

中国民用航空技术标准规定

本技术标准规定根据中国民用航空规章《民用航空材料、零部件和机载设备技术标准规定》(CCAR37)颁发。中国民用航空技术标准规定是对用于民用航空器上的某些航空材料、零部件和机载设备接受适航审查时，必须遵守的准则。

航空 5G 机场场面宽带移动通信系统 (5G AeroMACS) 机载移动台 (AMS) 设备

1. 目的

本技术标准规定 (CTSO) 适用于为航空 5G 机场场面宽带移动通信系统 (5G AeroMACS) 机载移动台 (AMS) 设备申请技术标准规定项目批准书 (CTSOA) 的制造人。本 CTSO 规定了 5G AeroMACS AMS 设备申请为获得批准和使用适用的 CTSO 标记进行标识所必须满足的最低性能标准。

2. 适用范围

本 CTSO 适用于自其生效之日起提交的申请。按本 CTSO 批准的设备,其设计大改应按 CCAR-21 第 21.353 条要求重新申请 CTSOA。

3. 要求

在本 CTSO 生效之日或生效之后制造并欲使用本 CTSO 标记进行标识的 5G AeroMACS AMS 设备必须满足本 CTSO 附录 1 中规定的最低性能标准。

a. 功能

本 CTSO 的标准适用于在机场地面运行环境下提供数据链路通信业务的 5GAeroMACS AMS 设备。5G AeroMACS AMS 设备在机场环境下为以下一个或多个服务提供接口：空中交通服务（ATS）、含航空信息服务和气象（AIS/MET）信息的航空公司运行控制（AOC）、航空公司行政管理（AAC）和机场当局通讯，也包括飞机全系统信息管理（SWIM）接口服务。5G AeroMACS AMS 设备包括机载用户终端（CPE）和机载天线，预期在机场地面使用，乘客信息、娱乐服务和乘客拥有的设备不包含在本 CTSO 之内。

5G AeroMACS AMS 设备是运行法规要求的通信辅助设备。5G AeroMACS AMS 设备采用 3GPP 协议规定的 5G 通信协议，只适用于机场地面运行。

b. 失效状态类别

本 CTSO 3.b(1)款至 3.b(3)款定义的失效状态，是基于机场场面运行使用的数据通信、安装 AMS 对自身航空器系统或附近运行的航空器的影响而制定的。

(1) 本 CTSO 3.a 节定义的设备失效使得飞机控制域（ACD）外部的网络域未经授权或无意访问进入 ACD 属重大的失效状态（或者，等效为一种重大的网络安全威胁，具体定义参见《适航安全流程规范》RTCA DO-326A（2014.8）或 EUROCAE ED-202A（2014.6））。ACD 的描述参见《适航安全方法和注意事项》RTCA DO-356A（2018.6）或 EUROCAE ED-203A（2018.6）附录 I 第一部分 1.1 节“ARINC 811

和 ARINC 664 定义的域”。

(2) 本 CTSO 3.a 款定义的功能的失效、而非 3.b.(1)款定义的失效属于微小的失效状态。定义为微小的失效状态是因为 5G AeroMACS AMS 设备上层的网络协议和/或应用系统层具备探测和通告错误的能力，即使这些错误会误导或丢失 ATS 报文。

(3) 除了网络安全分区功能丧失会导致出现 3.b (1) 定义的失效，本 CTSO3.a 节中定义的其他功能的丧失，属于微小的失效状态。

(4) 设备的研制保证等级或网络安全保证等级（如适用），至少应与上述失效状态类别或网络安全威胁类别相对应。

c. 功能鉴定

应按 RTCA DO-346A/EUROCAE ED-223A 第 2.4 节的试验条件，证明设备性能满足要求。申请人必须提出一种方法证明与局方批准的 5G AeroMACS 数据链路的互操作性。

d. 环境鉴定

应按 RTCA DO-346A/EUROCAE ED-223A 第 2.3 节的试验条件，采用适用的标准环境条件和试验程序，证明机载设备性能满足要求。除 RTCA/DO-160G/EUROCAE ED-14G 以外，申请人也可采用其它适用的标准环境条件和试验程序。

注：通常情况下，《机载设备的环境条件和试验程序》RTCA/DO-160D/EUROCAE ED-14D（只包括 Change 1 和 Change 2，不包括 Change 3）或早期版本不再适用，如果使用该版本则需按照本 CTSO 第 3.h 款中的偏离要求进行证明。

e. 软件鉴定

如果设备包含软件，则软件应按照《机载系统和设备合格审定中的软件考虑》RTCA DO-178C(2011.12)/EUROCAE ED-12C(2012.1)及其参考附件（如果适用）的要求进行研制，软件等级至少应与本CTSO 第3.b款规定的失效状态类别一致。如果按照RTCA DO178B(1992.12)/EUROCAE ED-12B(1992.12)研制软件，还应符合《使用RTCA DO-178和EUROCAE ED-12进行机载软件研制》FAA AC 20-115D(2017.7.21)的规定。

f. 电子硬件鉴定

如果设备包含机载电子硬件、并且适用于本CTSO 3.b(1)节定义的失效状态类别，按照《机载电子硬件设计保证指导》RTCA DO-254(2000.4)/EUROCAE ED-80(2000.4)，以及《机载电子硬件研制保证》FAA AC 20-152A(2022.10)进行部件研制，硬件的设计保证等级至少应与本CTSO 第3.b(1)节规定的失效状态类别一致。

g. 航空器信息安全和防护鉴定

如适用，按照《适航安全流程规范》RTCA DO-326A(2014.8)或EUROCAE ED-202A(2014.6)、《适航安全方法和注意事项》RTCA DO-356A(2018.6)或EUROCAE ED-203A(2018.6)设计和研制5G AeroMACS AMS设备。

(1) 必须提供信息安全防护措施，保证本CTSO规定的ACD通信服务的安全，以及航空器信息服务域(AISD)通信服务的安全。

(2) 如果5G AeroMACS AMS设备与ACD、和/或AISD、和

/或航空旅客通信域/旅客信息和娱乐服务域（APC/PIES）均有通信接口，研制的系统必须分区进行安全防护，以确保 5G AeroMACS AMS 设备能安全地与不同域进行共享通信。

h. 偏离

如果采用替代或等效的符合性方法来满足本 CTSO 规定的最低性能标准要求，则申请人必须表明设备保持了等效的安全水平。申请人应按照 CCAR-21 第 21.368 条（一）款要求申请偏离。

4. 标记

a. 至少应为一个主要部件设置永久清晰的标记，标记应包括 CCAR-21 第 21.423 条（二）款规定的所有信息，标记必须包含设备序列号。

b. 如果设备包含软件和/或机载电子硬件，则件号表必须能表明软件和机载电子硬件的构型。件号表中软件、硬件和机载电子硬件可使用独立、唯一的部件号。

c. 可以使用电子标记标识软件或机载电子硬件，此标记可通过软件写入硬件部件内部，而不用将其标识在设备铭牌中。如果使用电子标记，则其必须容易读取，读取无需使用特殊工具或设备。

5. 申请资料要求

申请人必须向负责该项目审查的人员提交相关技术资料以支持设计和生产批准。提交资料包括 CCAR-21 第 21.353 条（一）款 1 项规定的符合性声明和以下资料副本。

a. 手册，包括以下内容：

(1) 运行说明和设备限制，该内容应对 5G AeroMACS AMS 设备的运行服务能力进行充分描述。

(2) 对所有偏离的详细描述。

(3) 安装程序和限制条件必须确保 5G AeroMACS AMS 设备按照安装或运行程序安装后，仍符合本 CTSO 的要求。限制条件应确定任何特殊的安装要求。还必须以注释的方式包含以下声明：

“本设备满足本 CTSO 规定的最低要求。如欲上机安装此设备，必须获得装机批准。”

(a) 对于提供 ACD, 和/或 AISD, 和/或 APC/PIES 通信服务的设备, 设备整体上机安装 (部分或全部) 后如果还要按照本 CTSO 3.a 款和 3.g 款规定对 ACD, AISD 与 APC/PIES 之间的通信进行网络安全, 则必须单独提供网络安全的安装程序和限制条件。

(4) 对于每个独立的软件和机载电子硬件构型, 参照以下内容:

(a) 软件件号, 包括版本和研制保证等级;

(b) 机载电子硬件件号, 包括版本和研制保证等级;

(c) 功能描述。

(5) 设备中每个部件进行环境鉴定的试验条件总结 (例如, 可采用 RTCA DO-160G /EUROCAE ED-14G 附录 A 中的表格形式进行描述)。

(6) 原理图、布线图以及 5G AeroMACS AMS 设备安装所需的其它文件。对于支持 ACD/AISD 和 APC/PIES 共享通信的 5G AeroMACS AMS 设备, 还必须单独说明网络安全隔离措施是如何

保证 ACD/AISD 与 APC/PIES 之间安全通信的。

(7)5G AeroMACS AMS 设备的可更换部件清单(注明件号)。

如适用, 包括对供应商件号的交叉索引。

b. 持续适航文件, 包含设备周期性维护、校准和修理要求, 以保证设备的持续适航性。如适用, 应包括建议的检查间隔和使用寿命。

c. 如果设备需要进行软件鉴定, 则还应提供: 软件合格审定计划 (PSAC), 软件构型索引和软件完结综述。

d. 如果设备需要进行硬件鉴定, 则还应提供: 硬件合格审定计划 (PHAC), 硬件构型索引和硬件完结综述。

e. 如果设备的信息安保和防护要满足本 CTSO 第 3.a, 3.b. (1) 和 3.g 款的要求, 则还应提供: 网络安全合格审定计划 (PSecAC), 以及其他适用的支撑材料。

f. 铭牌图纸, 规定设备如何标识本 CTSO 第 4 款所要求的标记信息。

g. 确定设备中所包含而未按照本 CTSO 第 3 款进行评估的功能或性能 (即: 非 CTSO 功能)。在获得 CTSOA 的同时, 非 CTSO 功能也一同被接受。接受这些非 CTSO 功能, 申请人必须声明这些功能, 并在 CTSO 申请时提供以下信息:

(1) 非 CTSO 功能的描述。如: 性能规范、失效状态类别、软件、硬件和环境鉴定类别。还应包括一份确认申明以表明非 CTSO 功能不会影响设备对本 CTSO 第 3 款要求的符合性。

(2) 安装程序和限制, 能够确保非 CTSO 功能满足本 CTSO 中

5.g.(1)款所声明的功能和性能规范。

(3) 本 CTSO 第 5.g.(1)款所描述的非 CTSO 功能的持续适航要求；

(4) 接口要求和适用的安装试验程序，应确保对本 CTSO 第 5.g.(1)款性能资料要求的符合性。

(5) (如适用) 试验大纲、试验分析和试验结果，以验证 CTSO 设备的性能不受到非 CTSO 功能影响。

(6) (如适用) 试验大纲、试验分析和试验结果，以验证本 CTSO 中 5.g.(1)款所描述的非 CTSO 功能的功能和性能。

h. 按 CCAR-21 第 21.358 条要求提供质量系统方面的说明，包括功能试验规范。质量系统应确保能检测到可能会对 CTSO 最低性能标准符合性有不利影响的任何更改，并相应地拒收该产品。

i. 按 CCAR-21 要求提供申请人的组织机构说明。

j. 材料和工艺规范清单。

k. 定义该设备设计的图纸和工艺清单（包括修订版次）。

l. 制造人的 CTSO 鉴定报告，表明按本 CTSO 第 3.c 款完成的试验结果。

6. 制造人资料要求

除直接提交给局方的资料外，还应准备如下技术资料供局方评审：

a. 功能鉴定规范，用于鉴定每件设备是否符合本 CTSO 要求；

b. 设备校准程序；

c. 原理图；

- d. 布线图；
- e. 材料和工艺规范；
- f. 根据本 CTSO 第 3.f 款要求进行的环境鉴定试验结果；
- g. 如果设备包含软件,还应提供本 CTSO 3.e 款适用版本的 RTCA DO-178/EUROCAE ED-12 中规定的相关文档, 包括所有支持附件 A“软件等级的过程目标和输出”中适用目标的资料；
- h. 如果设备包含机载电子硬件, 并且符合本 CTSO 第 3.b.(1)款对失效状态的规定, 还应提供支撑设计保证等级的硬件全生命周期数据, 设计保证等级的规定见 FAA AC 20-152A 和 RTCA DO-254/EUROCAE ED-80 附件 A 表 A-1。
- i. 如果设备包含非 CTSO 功能, 必须提供第 6.a 节至第 6.h 节与非 CTSO 功能相关的资料。

7. 随设备提交给用户的资料要求

- a. 如欲向一个机构（如运营人或修理站）提供一件或多件按本 CTSO 制造的设备, 则应随设备提供本 CTSO 第 5.a 和 5.b 节的资料副本, 以及设备正确安装、审定、使用和持续适航所必需的资料。
- b. 如果设备包含已声明的非 CTSO 功能, 则还应包括本 CTSO 第 5.g.(1)至 5.g.(4)款所规定资料的副本。
- c. 如果设备包含软件和复杂机载电子硬件, 还包括提供给型号合格证持有人、补充型号合格证持有人或型号合格证更改持有人的开口问题报告摘要的副本。

8. 引用文件

RTCA 文件可从以下地址订购：

Radio Technical Commission for Aeronautics, Inc.

1150 18th Street NW, Suite 910, Washington D.C. 20036

也可通过网站 www.rtca.org 订购副本。

EUROCAE 文件可以通过网站 www.eurocae.net 订购副本。

附录 1 5G AeroMACSAMS 设备最低性能标准

本附录规定了 5G AeroMACS 机载移动台设备的最低性能标准。

1 机载 CPE 最低性能要求

1.1 机载 CPE 的一般要求

1.1.1 结构

机载 CPE 结构应有良好的工业性，应保证足够的机械强度，牢固、可靠、安全、便于安装。

1.1.2 尺寸

机载 CPE 外形尺寸应能符合其使用场合的要求。

1.1.3 重量

机载 CPE 重量应能符合其使用场合的要求。

1.1.4 接口

机载 CPE 接口应满足下列要求：

- 1) 至少具有 2 个 ARINC 429 数据接口；
- 2) 机载 CPE 与智能卡接口协议应符合电信行业管理要求；
- 3) 至少具有 1 路双工百兆以太网接口；
- 4) 具有 1 路调试接口，用于本地调测；
- 5) 至少具有 2 路离散数字开关接口。

1.1.5 供电

交流 115V（单相 360-800Hz）或直流 28V。

1.1.6 安装

设备安装位置应符合适航所需的检查和更换要求。

1.2 机载 CPE 功能要求

1.2.1 5G 网络通信功能

应具备 3GPP 协议规定的 5G 通信协议处理功能，与 5G AeroMACS 地面基站进行数据和控制信令通信，提供无线通信传输链路。

1.2.2 组网方式

应支持 5G 独立组网（SA）功能。

1.2.3 支持 MIMO 功能

支持 MIMO 功能，下行应支持双发射通道、单接收通道的工作模式。

1.2.4 上行功率控制

应支持上行发射功率控制，通过调整机载 CPE 上发射机的发射功率，保证上行发送数据的质量。

1.2.5 工作频段

频率范围为：5091-5150MHz，载波带宽 5MHz、20MHz、30MHz、40MHz、50MHz。

1.2.6 收发通道数

应支持 TDD 工作制式，至少具备 2 个发射通道和 1 个接收通道。

1.2.7 设备工作模式

应至少支持 2 种模式，正常工作模式和维护测试模式。

1.2.8 射频发射控制功能

应支持根据飞机落地信息和射频发射控制开关，来启动和禁用射频发射功能。

应提供两路飞机接地感应的数字开关信号（轮毂信号开关，或其他航空电子开关，或驾驶舱开关）进行开启/禁用控制，两路信号均指示飞机落地时，启动射频发射功能。

1.2.9 软件版本管理能力

应具备软件版本管理能力，支持版本升级和回退功能。

应具备软件和数据库的电子加载、更新功能。应符合 ARINC 615A 有关使用有线局域网进行软件加载的规定。数据加载时，设备应中断与 ACD、AISD 的数据通信。

1.2.10 工作状态指示功能

应具备工作状态实时指示功能。

1.2.11 自检功能

应具备自检功能，显示和报告故障信息及自检信息。可实现上电自检、周期自检和人工自检。

1.3 机载 CPE 性能要求

1.3.1 接收机邻道选择（ACS）

对于最大-25dBm 的邻道干扰信号，机载 CPE 的 ACS 应不低于 33dB。

1.3.2 接收机最大不损坏电平

接收机天线端口接收的最大不损坏电平为-21dBm。

1.3.3 接收机参考灵敏度

在 50MHz 带宽，30kHz 子载波，误码率小于 5%的条件下： ≤ -88 dBm。

1.3.4 发射机发射功率动态范围

机载 CPE 发射机最大输出功率为 26dBm，容差-3~+2dB。机载 CPE 发射机的最小输出功率要求见表 1。

表 1 机载 CPE 发射机最小输出功率要求

信道带宽 (MHz)	最小输出功率 (dBm)	测量带宽 (MHz)
5	-40	4.515
20	-40	19.095
30	-38.2	28.815
40	-37	38.895
50	-36	48.615

1.3.5 发射机误差矢量幅度（EVM）

不同调制方式下发射机的最大误差矢量幅度见表 2。

表 2 误差矢量幅度要求

调制方式	EVM
QPSK	17.5%
16QAM	12.5%
64QAM	8%
256QAM	3.5%

1.3.6 开关时间模板

机载 CPE 的开关时间模板应不超过 10us。

1.3.7 发射机带外杂散

表 3 发射机带外杂散要求

频率范围	测量带宽	最大电平	备注
$30\text{MHz} \leq f < 1000\text{MHz}$	100kHz	-36 dBm	无
$1\text{GHz} \leq f < 12.75\text{GHz}$	30kHz	-52 dBm	$2.5 * \text{信道带宽} \leq f - f_{\text{中心}} < 10 * \text{信道道宽}$
	300kHz	-42 dBm	$10 * \text{信道带宽} \leq f - f_{\text{中心}} < 12 * \text{信道道宽}$
	1MHz	-37 dBm	$12 * \text{信道带宽} \leq f - f_{\text{中心}} $

1.3.8 峰值速率

50MHz 通道带宽上下行峰值总速率不小于 400Mbps。

1.3.9 接入距离

机载 CPE 最大接入距离不低于 1.7km。

1.3.10 地速

支持 300km/h 的飞机移动速度，系统能保持正常通信工作。

1.3.11 切换时延

在 5G AeroMACS 小区之间切换时应能保持正常通信，近点无误包的场景下，Xn 切换控制面时延不高于 40ms。

2 机载天线最低性能要求

2.1 机载天线一般要求

机载天线应遵守《中华人民共和国无线电管理条例》，具备制造商定义的预期功能，其合理使用不应该对空域其他用户造成危害，并满足如下最低性能标准要求。

2.2 机载天线性能要求

2.2.1 工作频率

频率范围为：5091~5150MHz。

2.2.2 天线增益

机载天线增益不大于 15dBi。

2.2.3 有效各向辐射功率（EIRP）

机载天线 EIRP 值不超过 30dBm。

2.2.4 接收灵敏度

在 50MHZ 通道带宽、30KHz 子载波条件下，接收灵敏度 \leq -87 dBm。

附录 2 5G AeroMACS AMS 设备测试程序

1 总体说明

机载 CPE 和机载天线测试程序与技术要求的对应关系如下表所示。测试时使用的 5G AeroMACS 基站设备应获得局方的批准，但基站设备的测试要求不在本文件的规定范围之内。

表 4 最低性能标准和测试程序对应表

附录 1 要求章节号	标题名称	附录 2 测试章节号
1.2.1	5G 网络通信功能	2.2.1
1.2.2	组网方式	2.2.2
1.2.3	支持 MIMO 功能	2.2.3
1.2.4	上行功率控制	2.2.4
1.2.5	工作频段	2.2.5
1.2.6	收发通道数	2.2.6
1.2.7	设备工作模式	2.2.7
1.2.8	射频发射控制功能	2.2.8
1.2.9	软件版本管理能力	2.2.9
1.2.10	工作状态指示功能	2.2.10
1.2.11	自检功能	2.2.11
1.3.1	接收机 ACS	2.3.1
1.3.2	接收机最大不损坏电平	2.3.2
1.3.3	接收机参考灵敏度	2.3.3
1.3.4	发射机发射功率动态范围	2.3.4
1.3.5	发射机 EVM	2.3.5
1.3.6	开关时间模板	2.3.6
1.3.7	发射机带外杂散	2.3.7
1.3.8	峰值速率	2.3.8
1.3.9	接入距离	2.3.9
1.3.10	地速	2.3.10
1.3.11	切换时延	2.3.11
2.2.1	天线增益	3.2.1
2.2.2	EIRP	3.2.2
2.2.3	接收灵敏度	3.2.3

2 机载 CPE 测试方法

2.1 测试框图

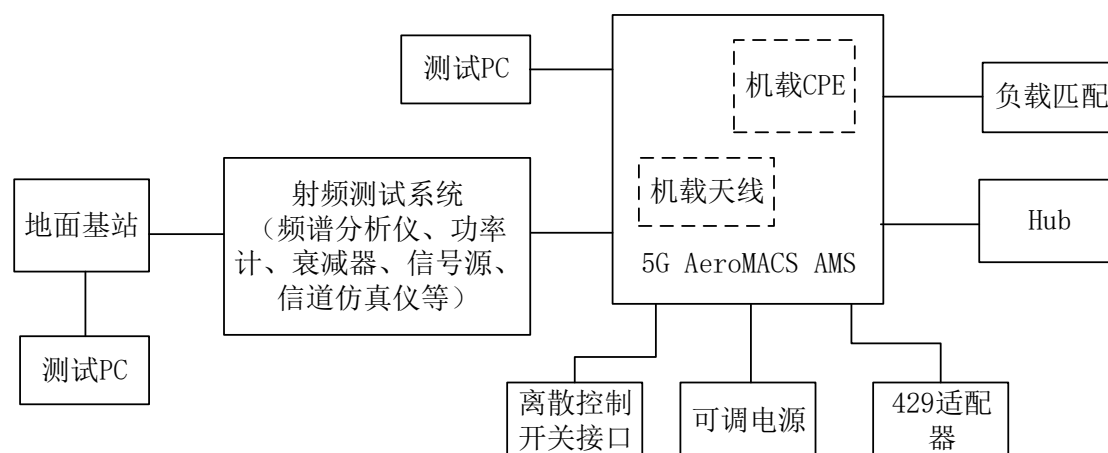


图 1 机载 CPE 测试图

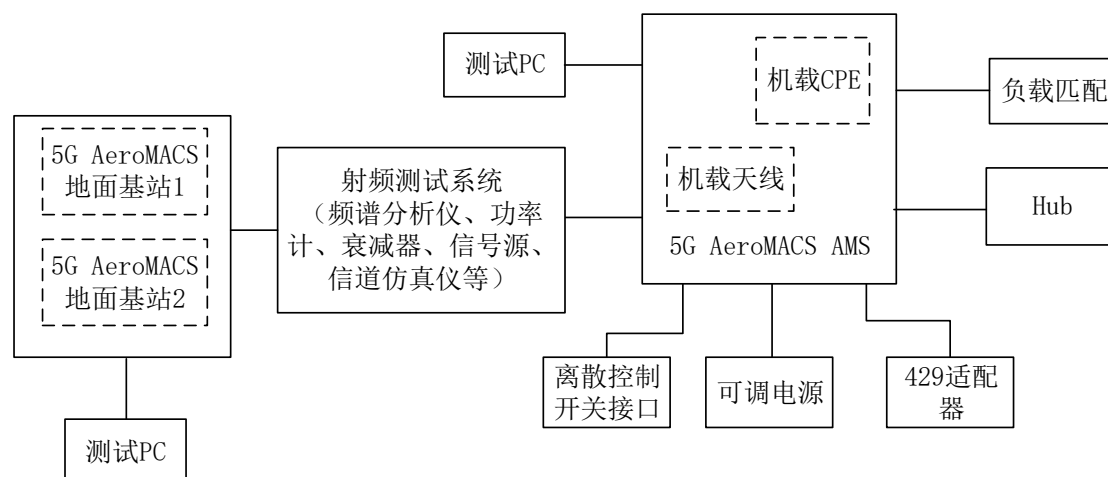


图 2 切换时延测试图

2.2 功能测试

2.2.1 5G 网络通信功能

测试条件：

- 1) 按照图 1 所示搭建测试环境；
- 2) CPE 设备上电初始化及自检完成；
- 3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期内；

4) 各种线损均已补偿，测试人员采取了辐射防护和防静电措施；

5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤：

1) 操作信道仿真仪，加载飞机距离基站为“高度 0 米、水平 0 米”的信道模型，配置对应 300km/h 的多普勒频偏及各端口适配的输入/输出功率；

2) 操作软件加载对应“高度 0 米”的航空参数模拟数据；

3) CPE 接入，确认 CPE 处于基站近点覆盖（水平 0km，RSRP=-85dBm 左右）；

4) CPE 做 ping 包业务；

5) 触发上下行 UDP 测试；

6) 重复上述操作，遍历 CPE 处于基站远点覆盖（水平 1.7km，RSRP=-100dBm 左右）。

合格判据：

CPE 均正常接入；

ping 包时延满足：平均时延低于 40ms；

上下行流量满足：上下行峰值速率合计不小于 400Mbps @50MHz。

2.2.2 组网方式

测试条件：

1) 按照图 1 所示搭建测试环境；

2) CPE 设备上电初始化及自检完成；

3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期内；

4) 各种线损均已补偿，测试人员采取了辐射防护和防静电措施；

5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤：

1) 操作信道仿真仪，加载飞机距离基站距离为“高度 0 米、水平 0 米”的信道模型，配置对应 300km/h 的多普勒频偏及各端口适配的输入/输出功率；

2) 通过软件加载对应“高度 0 米、水平 1700 米”的航空参数模拟数据；

3) CPE 接入，确认 CPE 处于基站近点覆盖；

4) CPE 做 ping 包业务；

5) 触发上下行 UDP 测试。

合格判据：

CPE 均正常接入；

ping 包时延满足：平均时延低于 40ms；

上下行流量满足：上下行峰值速率合计不小于 400Mbps @50MHz。

2.2.3 支持 MIMO 功能

测试条件：

1) 按照图 1 所示搭建测试环境；

2) CPE 设备上电初始化及自检完成；

3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期内；

4) 各种线损均已补偿，测试人员采取了辐射防护和防静电措施；

5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤：

1) 操作信道仿真仪，加载近场信道模型（如飞机距离基站距离为“高度 0 米、水平 0 米”的），配置对应 300km/h 的多普勒频偏及各端口适配的输入/输出功率；

2) 通过软件加载对应“高度 0 米、水平 0 米”的航空参数模拟数据；

3) CPE 接入后，触发上下行 UDP 测试。

合格判据：

CPE 接入正常，下行峰值速率合计不小于 400Mbps @50MHz。同时检查相关日志，确认上行调度为两流，下行调度为单流。

2.2.4 上行功率控制功能

测试条件：

1) 按照图 1 所示搭建测试环境；

2) CPE 设备上电初始化及自检完成；

3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期内；

4) 各种线损均已补偿，测试人员采取了辐射防护和防静电措施；

5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤：

1) 操作信道仿真仪，加载近场信道模型（如飞机距离基站距离为“高度 0 米、水平 0 米”的），配置对应 300km/h 的多普勒频偏及各端口适配的输入/输出功率（保证 CPE 接入后处于近点）；

2) 操作 429 总线或适配软件，加载对应“高度 0 米、水平 0 米”的航空参数模拟数据；

3) CPE 接入后，触发上下行 UDP 业务测试；

4) 打开日志记录开关；

5) 操作信道仿真仪的慢衰落仿真业务，逐步拉远 CPE 与基站之间的路损（如 5s 拉远 1dB），直到 RSRP 到达目标值或 CPE 失步；

6) 停止日志记录；

7) 基站侧修改配置，打开 PUSCH 开环功控；

8) CPE 重新接入，重复 3~6 的测试步骤。

合格判据：

分析测试日志，观察上行流量、上行 MCS、上行 RB 数、误码统计及上行 PUSCH 发射功率各指标曲线与各项指标设计曲线趋势相符。

2.2.5 工作频段

测试条件：

1) 按照图 1 所示搭建测试环境；

- 2) CPE 设备上电初始化及自检完成；
- 3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期内；
- 4) 各种线损均已补偿，测试人员采取了辐射防护和防静电措施；
- 5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤：

- 1) 配置上下行中心频点、工作带宽等参数，下发测试源；
- 2) 设置射频测试系统，通过射频测试系统读取载波功率值；
- 3) 遍历高、中、低频点，分别重复 1~2 步；
- 4) 遍历其他发射通道，分别重复 1~3 步；
- 5) 选用一个天线端口接收下行有用信号，在其它天线端口处加匹配负载；
- 6) 配置上下行中心频点、工作带宽、单天线接收等参数；
- 7) 选择低待测载波频点，配置射频测试系统发送下行有用信号；
- 8) 调低有用信号功率并查看吞吐量，直到吞吐量不低于最大吞吐量的 95%，记录有用信号功率；
- 9) 分别选择中、高待测载波频点，重复 5~8 步进行测量；
- 10) 换用其他天线端口重复 5~9 步测量。

合格判据：

在 5091-5150MHz 内所有通道：

不同调制方式下额定功率发射 EVM 满足表 2 要求，且所有端口和频点的接收参考灵敏度在 50MHz 带宽，30kHz 子载波条件下： $\leq -88\text{dBm}$ 。

2.2.6 收发通道数

测试条件：

- 1) 按照图 1 所示搭建测试环境；
- 2) CPE 设备上电初始化及自检完成；
- 3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期内；
- 4) 各种线损均已补偿，测试人员采取了辐射防护和防静电措施；
- 5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤：

- 1) 配置上下行中心频点、工作带宽等参数，下发测试源；
- 2) 设置射频测试系统，通过射频测试系统读取载波功率值；
- 3) 遍历高、中、低频点，分别重复 1~2 步；
- 4) 遍历其他发射通道，分别重复 1~3 步；
- 5) 选用一个天线端口接收下行有用信号，在其它天线端口处加匹配负载；
- 6) 配置上下行中心频点、工作带宽、单天线接收等参数；
- 7) 选择低待测载波频点，配置射频测试系统发送下行有用信号；

8) 调低有用信号功率并查看吞吐量，直到吞吐量不低于最大吞吐量的 95%，记录有用信号功率；

9) 分别选择中、高待测载波频点，重复 6~8 步进行测量；

10) 换用其他天线端口重复 6~9 步测量。

合格判据：

2 个发射通道不同调制方式的额定功率发射 EVM 满足表 2 要求；

1 个接收通道接收参考灵敏度在 50MHz 带宽，30kHz 子载波条件下： $\leq -88\text{dBm}$ 。

2.2.7 设备工作模式

测试条件：

1) 按照图 1 所示搭建测试环境；

2) 机载 CPE 设备上电初始化及自检完成；

3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期内；

4) 各种线损均已补偿，测试人员采取了辐射防护和防静电措施；

5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤：

1) 根据测试条件配置相关的开关和参数；

2) 机载 CPE 接入，观察机载 CPE 模式；

3) 机载 CPE 连接维护工具进行维护/测试时，观察机载 CPE 模式。

合格判据：

机载 CPE 接入后，能进入正常工作模式；

机载 CPE 连接维护工具进行维护/测试时，能够进入维护测试模式。

2.2.8 射频发射控制功能

测试条件：

- 1) 按照图 1 所示搭建测试环境；
- 2) 机载 CPE 设备上电初始化及自检完成；
- 3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期内；
- 4) 各种线损均已补偿，测试人员采取了辐射防护和防静电措施；
- 5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤：

- 1) 将发射控制信号置于关闭射频状态，通过离散控制开关接口输入两路高电平离散信号，观测机载 CPE 射频发射通道是否开启；
- 2) 将发射控制信号置于打开射频状态，通过离散控制开关接口依次输入一路低电平离散信号、两路低电平离散信号，观测机载 CPE 射频发射通道是否均关闭；
- 3) 将发射控制信号置于关闭射频状态，观测机载 CPE 射频发射通道是否关闭。
- 4) 将发射控制信号置于关闭射频状态，通过离散控制开关接口输入一路高电平离散信号，观测机载 CPE 射频发射通道是否打开。

合格判据：

执行 1 步骤后，机载 CPE 发射通道打开；且

执行 2 步骤后，机载 CPE 发射通道关闭；且

执行 3 步骤后，机载 CPE 发射通道关闭；且

执行 4 步骤后，机载 CPE 发射通道关闭。

2.2.9 版本管理能力

测试条件：

- 1) 按照图 1 所示搭建测试环境；
- 2) 机载 CPE 设备上电初始化及自检完成；
- 3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期内；
- 4) 各种线损均已补偿，测试人员采取了辐射防护和防静电措施；
- 5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤：

- 1) 通过有线局域网使用数据加载工具加载 A 版本软件；
- 2) 加载成功后，重启 CPE 设备，查询软件版本；
- 3) 通过有线局域网使用数据加载工具加载 B 版本软件；
- 4) 加载失败后，重启 CPE 设备，查询软件版本；
- 5) 通过有线局域网使用数据加载工具加载 C 版本软件；
- 6) 加载成功后，重启 CPE 设备，查询软件版本。

合格判据：

步骤 2 中，查询软件版本为 A；且

步骤 4 中，查询软件版本为 A；且

步骤 6 中，查询软件版本为 B。

2.2.10 工作状态指示功能

测试条件：

- 1) 按照图 1 所示搭建测试环境；
- 2) 机载 CPE 设备上电初始化及自检完成；
- 3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期内；
- 4) 各种线损均已补偿，测试人员采取了辐射防护和防静电措施；
- 5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤：

- 1) 观察状态指示灯点亮和熄灭状态；
- 2) 进行不同操作观察状态指示灯是否与方案一致。

合格判据：

设备电源正常工作，电源灯长亮；

基带板程序加载完成，运行灯长亮；

基带板获取 IP，开始正常运行，运行灯长亮；

设备工作正常，运行灯长亮。

2.2.11 自检功能

测试条件：

- 1) 按照图 1 所示搭建测试环境；
- 2) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤:

1) 设备完成上电初始化, 上电自检完成后, 读取自检文件, 查看结果;

2) 设备运行中, 触发人工自检, 读取自检文件, 查看结果;

3) 在设备连续运行过程中, 触发 CPE 接口和设备异常, 查看告警。恢复 CPE 接口和设备异常, 查看告警。

合格判据:

可查看自检结果; 有告警上报和恢复。

2.3 性能测试

2.3.1 接收机 ACS

测试条件

1) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线, 测试仪器在计量有效期之内;

2) 各种线损均已补偿;

3) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求;

4) 测试人员采取了辐射防护和防静电措施;

5) PC 具有吞吐量统计上报功能, 且精度经过验证。

测试步骤

1) 按照图 2 连接测试系统, 选用一个天线端口接收上行有用信号, 在其他天线端口处增加匹配负载;

2) 在下行频率范围内取中频点作为待测载波频率;

3) 使用 PC 配置机载 CPE 的上下行中心频点、工作带宽、接收天

线；

4) 选择待测载波频点，配置矢量信号源发送固定参考测量信道下行有用信号，下行有用信号功率设置为-56.5dBm；

5) 按照表 5 给定功率配置矢量信号源发送邻道干扰信号，干扰信号功率设置为-25dBm，调整干扰信号频率直到吞吐量不低于参考测量信道最大吞吐量的 95%，记录该频点的 ACS；

6) 换用分集天线端口重复 1-5 步。

合格判据

机载CPE的ACS不低于33dB。

表 5 机载 CPE 的 ACS 要求

接收机参数	单位	信道带宽		
		20MHz	40MHz	50MHz
有用信号功率	dBm	-56.5		
干扰信号功率	dBm	-25		
干扰信号带宽	MHz	20	40	50
干扰信号频偏范围	MHz	20/-20	40/-40	50/-50

2.3.2 接收机最大不损坏电平

测试条件

- 1) 按照图 1 所示搭建测试环境；
- 2) 机载 CPE 设备上电初始化及自检完成；
- 3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期内；
- 4) 各种线损均已补偿，测试人员采取了辐射防护和防静电措施；
- 5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤

- 1) 选用一个天线端口接收上行有用信号，在其它天线端口增加匹配负载；
- 2) 在下行频率范围内取中频点作为待测载波频率；
- 3) 配置中心频点、工作带宽、接收天线；
- 4) 选择待测载波频点，配置矢量信号源发送固定参考测量信道下行有用信号；
- 5) 调低有用信号功率，有用信号功率使功率输出-21dBm 功率拷机 2 小时；
- 6) 停止大信号输入，查看灵敏度是否正常；
- 7) 换用其他天线端口重复 1-6 步。

合格判据

当所有通道有用信号功率使功率输出-21dBm功率拷机2小时后，灵敏度结果正常。

2.3.3 接收机参考灵敏度

测试条件：

- 1) 按照图 1 所示搭建测试环境；
- 2) 机载 CPE 设备上电初始化及自检完成；
- 3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期内；
- 4) 各种线损均已补偿，测试人员采取了辐射防护和防静电措施；
- 5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤：

- 1) 配置上下行中心频点、工作带宽、接收天线；
- 2) 在下行频率范围内取低频点作为待测载波频率；
- 3) 选择低待测载波频点，配置射频测试系统发送灵敏度测试用的固定参考测量信道下行有用信号；
- 4) 调整有用信号功率，直到吞吐量不低于最大吞吐量的 95%，记录有用信号功率；
- 5) 分别选择中、高待测载波频点，重复 3~4 步进行测量；
- 6) 换用其他天线端口重复 1~5 步。

合格判据：

所有端口和频点的灵敏度： $\leq -88\text{dBm}$ 。

2.3.4 发射机发射功率动态范围

测试条件

- 1) 按照图 1 所示搭建测试环境；
- 2) 机载 CPE 设备上电初始化及自检完成；
- 3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期内；
- 4) 各种线损均已补偿，测试人员采取了辐射防护和防静电措施；
- 5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤

- 1) 按照图 1 连接测试系统，选用一个天线端口发射上行有用信号，在其他发射端口增加匹配负载；
- 2) 在上行频率范围内选择高、中、低三个待测载波频率；

3) 选择低待测载波频点，通过 PC 发送测试数据，并将机载 CPE 的功率调整至额定输出功率；

4) 通过频谱分析仪测量机载 CPE 发射周期的输出功率；

5) 选择中、高待测载波频点重复 3、4 步，测量机载 CPE 发射周期的输出功率；

6) 对不同的配置信道带宽，重复 3-5 步，测量机载 CPE 各信道带宽下发射周期的输出功率；

7) 将发射功率调至最小发射功率，重复 3-6 步，测量机载 CPE 最小输出功率。

合格判据

机载 CPE 发射机最大输出功率 26dBm，容差 -3~+2dB；机载 CPE 发射机的最小输出功率符合表 1 要求。

2.3.5 发射机 EVM

测试条件

- 1) 按照图 1 所示搭建测试环境；
- 2) 机载 CPE 设备上电初始化及自检完成；
- 3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期内；
- 4) 各种线损均已补偿，测试人员采取了辐射防护和防静电措施；
- 5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤

- 1) 选用一个天线端口发射上行有用信号，在其他发射端口增加匹

配负载；

- 2) 在上行频率范围内选择高、中、低三个待测载波频率；
- 3) 选择低待测载波频点,通过 PC 发送定制调制方式的测试数据,并将机载 CPE 的功率调整至额定输出功率；
- 4) 通过频谱分析仪测量机载 CPE 发射周期的误差矢量幅度；
- 5) 选择中、高待测载波频点重复 3~4 步。

合格判据

不同调制方式下发射机的误差矢量幅度不超过表2的限值。

2.3.6 开关时间模板

测试条件

- 1) 按照图 1 所示搭建测试环境；
- 2) 机载 CPE 设备上电初始化及自检完成；
- 3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期内；
- 4) 各种线损均已补偿，测试人员采取了辐射防护和防静电措施；
- 5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤

- 1) 选用一个天线端口发射上行有用信号，在其他发射端口增加匹配负载；
- 2) 在上行频率范围内选择高、中、低三点作为待测载波频率；
- 3) 选择低待测载波频点,通过 PC 发送制定调制方式的测试数据,并将机载 CPE 的功率调整至额定输出功率；

- 4) 通过频谱分析仪测量机载 CPE 的开关时间模板；
- 5) 选择中、高待测载波频点重复 3、4 步；
- 6) 对不同的配置信道带宽，重复 3-5 步，测量各信道带宽下的开关时间模板。

合格判据

机载CPE开关时间模板不超过10us。

2.3.7 发射机带外杂散

测试条件：

- 1) 按照图 1 所示搭建测试环境；
- 2) 机载 CPE 设备上电初始化及自检完成；
- 3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期内；
- 4) 各种线损均已补偿，测试人员采取了辐射防护和防静电措施；
- 5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤：

- 1) 配置上下行中心频点、工作带宽，下发满 RB 测试源；
- 2) 设置功率计和频谱仪等测试设备，测试各个频段的杂散值；
- 3) 遍历高、中、低频点，分别重复 1~2 步；
- 4) 遍历所有支持的载波带宽，重复 1~3 步。
- 5) 换用其他天线端口重复 1~4 步。

合格判据：

发射机带外杂散满足表3的要求。

2.3.8 接入距离

测试条件:

- 1) 按照图 1 所示搭建测试环境;
- 2) 机载 CPE 设备上电初始化及自检完成;
- 3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线, 测试仪器在计量有效期内;
- 4) 各种线损均已补偿, 测试人员采取了辐射防护和防静电措施;
- 5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤:

- 1) 操作信道仿真仪, 加载飞机距离基站距离为“高度 0km、水平 1.7km”的信道模型, 配置对应 300km/h 的多普勒频偏及各端口适配的输入/输出功率;
- 2) 通过软件加载对应“高度 0km、水平 1.7km”的航空参数模拟数据;
- 3) 观察 CPE 接入情况。

合格判据:

CPE 正常接入。

2.3.9 地速

测试条件:

- 1) 按照图 1 所示搭建测试环境;
- 2) 机载 CPE 设备上电初始化及自检完成;
- 3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线, 测试仪器

在计量有效期内；

- 4) 各种线损均已补偿，测试人员采取了辐射防护和防静电措施；
- 5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤：

1) 操作信道仿真仪，加载近场信道模型（如飞机距离基站距离为“高度 0km、水平 1km”的），配置对应 300km/h 的多普勒频偏及各端口适配的输入/输出功率；

2) 通过软件加载对应“高度 0km、水平 1km”的航空参数模拟数据；

- 3) CPE 接入后，触发上下行 UDP 测试。

合格判据：

CPE 接入正常，上下行 UDP 测试表现符合当前信道条件，观察下行频偏值符合 300km/h 对应的多普勒频偏。

2.3.10 峰值速率

测试条件：

- 1) 按照图 1 所示搭建测试环境；
- 2) 机载 CPE 设备上电初始化及自检完成；
- 3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期内；

- 4) 各种线损均已补偿，测试人员采取了辐射防护和防静电措施；
- 5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤：

1) 操作信道仿真仪，加载近场信道模型（如飞机距离基站距离为“高度 0km、水平 0km”的），配置对应 300km/h 的多普勒频偏及各端口适配的输入/输出功率；

2) 通过软件加载对应“高度 0km、水平 0km”的航空参数模拟数据；

3) CPE 接入后，触发上下行 UDP 测试。

合格判据：

CPE 接入正常，上下行峰值总速率不小于 400 Mbps @50MHz。

2.3.11 小区切换时延

测试条件：

1) 按照图 2 图所示搭建测试环境；

2) 根据测试条件配置相关的开关和参数；

3) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期内；

4) 配置地面基站参数，基站 1 和基站 2 之间配置 Xn 链路；

5) 基站 1 和基站 2 的接入衰减相同；

6) CPE 上电成功、自检完成；

7) 各种线损均已补偿，测试人员采取了辐射防护和防静电措施；

8) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤：

1) CPE 接入基站 1；

2) 调节信号衰减，使 CPE 发生切换，从基站 1 切换到基站 2；

3) 重复步骤 2，使 CPE 切换次数达 10 次以上。

合格判据：

接入成功；切换次数大于等于 10 次，切换无失败，控制面平均切换时延不超过 40ms。

3 机载天线测试方法

3.1 测试框图

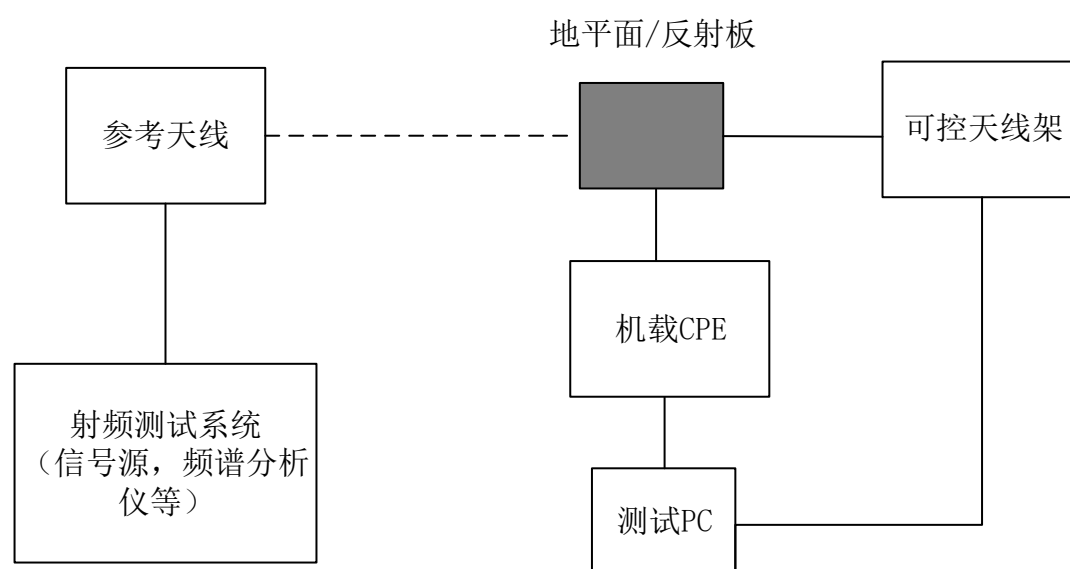


图3 机载天线测试图

3.2 性能测试

3.2.1 天线增益

测试条件：

- 1) 按照图 3 搭建测试环境；
- 2) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期要求之内；
- 3) 各种线损等均已补偿；空间损耗已计算补偿；
- 4) 测试人员采取了辐射防护和防静电措施；

5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤:

- 1) 配置上下行中心频点、工作带宽，并下发测试源；
- 2) 设置频谱分析仪，通过频谱分析仪读取载波功率值；
- 3) 方位面步进 30°，俯仰面步进 5°；读取频谱分析仪功率值；
- 4) 计算天线增益。

合格判据:

天线增益不大于 15dBi。

3.2.2 EIRP

测试条件:

- 1) 按照图 3 搭建测试环境；
- 2) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线，测试仪器在计量有效期要求之内；
- 3) 各种线损等均已补偿；空间损耗已计算补偿；
- 4) 测试人员采取了辐射防护和防静电措施；
- 5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤:

- 1) 配置上下行中心频点、工作带宽，并下发测试源；
- 2) 设置频谱分析仪通过频谱分析仪读取载波功率值；
- 3) 遍历高、中、低频点，分别重复 1~2 步。

合格判据:

EIRP 最大值不超过 30dBm。

3.2.3 接收灵敏度

测试条件:

- 1) 按照图 3 搭建测试环境;
- 2) 测试仪器经过充分预热、工作正常、连接保护地线, 测试仪器在计量有效期要求之内;
- 3) 各种线损等均已补偿; 空间损耗已计算补偿;
- 4) 测试人员采取了辐射防护和防静电措施;
- 5) 测试环境符合正常测试环境或者极限测试环境要求。

测试步骤:

- 1) 配置上下行中心频点、工作带宽、单天线接收等参数;
- 2) 在下行频率范围内取低频点作为待测载波频率;
- 3) 选择低待测载波频点, 配置矢量信号源发送灵敏度测试用的固定参考测量信道下行有用信号;
- 4) 调整有用信号功率, 直到吞吐量不低于最大吞吐量的 95%, 记录有用信号功率;
- 5) 分别选择中、高待测载波频点, 重复 3~4 步进行测量。

合格判据:

接收灵敏度在 50MHz 带宽, 30kHz 子载波条件下 ≤ -87 dBm。

缩略语	英文全称	中文全称
3GPP	3rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴计划
5G	5th Generation Mobile Communication Technology	第五代移动通信技术
ARINC	Aeronautical Radio INCorporated	航空无线电通信公司
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics	航空无线电技术委员会
EUROCAE	European Organization for Civil Aviation Electronics	欧洲民用航空设备组织
AeroMACS	Aeronautical Mobile Airport Communication System	航空机场场面移动通信系统
CPE	Customer Premises Equipment	用户终端设备
dB	decibel	分贝
dBm	decibels relative to 1 mW	分贝毫瓦
dB _i	Decibel isotropic	各向同性分贝
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power	有效各向辐射功率
EVM	Error Vector Magnitudes	误差矢量幅度
ACS	Adjacent Channel Selectivity	邻道选择
ATS	Air Traffic Services	空中交通服务
SWIM	System Wide Information Management	全系统信息管理
AIS	Aeronautical Information Services	航空信息服务
MET	Meteorology	航空气象
AAC	Airline Administrative Communication	航空行政通信
AOC	Aeronautical Operational Communication	航空运行通信
AMS	Airborne Mobile Station	机载移动台
ACD	Aircraft Control Domain	航空器控制域
AISD	Aircraft Information Services Domain	航空器信息服务域
APC	Aeronautical Passenger Communication	航空旅客通信
PIES	Passenger Information and Entertainment Services	旅客信息娱乐服务
Mbps	Megabits per second	兆比特每秒
MIMO	Multiple Input Multiple Output	多输入多输出
MCS	Modulation and Coding Scheme	调制编码方案
ms	Millisecond	毫秒
PC	Personal Computer	计算机
PING	Packet Internet Grope	因特网包探索器

缩略语	英文全称	中文全称
PHAC	Plan for Hardware Aspects of Certification	硬件审定计划
PSAC	Plan for Software Aspects of Certification	软件审定计划
PSecAC	Plan for Security Aspects of Certification	安保审定计划
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel	物理上行链路共享信道
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying	正交相移键控
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	正交振幅调制
RSRP	Reference Signal Received Power	参考信号接收功率
RB	Resource Block	资源块
SA	Standalone	独立组网
TDD	Time Division Duplex	时分双工
UDP	User Datagram Protocol	用户数据报协议
UL	Uplink	上行链路
UPA	User Power Amplifiers	用户功率放大器
Xn	Xn interface	一种接口，连接不同基站