



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112114218 B

(45) 授权公告日 2024.02.23

(21) 申请号 202011002095.2

CN 103884937 A, 2014.06.25

(22) 申请日 2020.09.22

CN 103926483 A, 2014.07.16

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 103929260 A, 2014.07.16

申请公布号 CN 112114218 A

CN 106383273 A, 2017.02.08

(43) 申请公布日 2020.12.22

CN 107037303 A, 2017.08.11

(73) 专利权人 上海无线电设备研究所

CN 107657082 A, 2018.02.02

地址 200233 上海市闵行区中春路1555号

CN 109655670 A, 2019.04.19

CN 109655671 A, 2019.04.19

(72) 发明人 石国昌 陈亚南 胡雅涵

CN 109709403 A, 2019.05.03

CN 110441618 A, 2019.11.12

(74) 专利代理机构 上海元好知识产权代理有限公司

CN 110954770 A, 2020.04.03

公司 31323

CN 111003207 A, 2020.04.14

专利代理师 张妍 周乃鑫

CN 111665014 A, 2020.09.15

(51) Int. Cl.

EP 2448165 A2, 2012.05.02

G01R 31/00 (2006.01)

US 2010010794 A1, 2010.01.14

US 2014368213 A1, 2014.12.18

(56) 对比文件

CN 103033708 A, 2013.04.10

石国昌.非封闭舱室内电场统计均匀测试方法.《北京航空航天大学学报》.2018,2416-2422.

CN 103185841 A, 2013.07.03

刘勇.基于高强度辐射场的低电平扫频场试验方法研究.《微波学报》.2020,20-25.

CN 103323682 A, 2013.09.25

CN 103323709 A, 2013.09.25

CN 103630777 A, 2014.03.12

审查员 高僮

权利要求书2页 说明书4页 附图6页

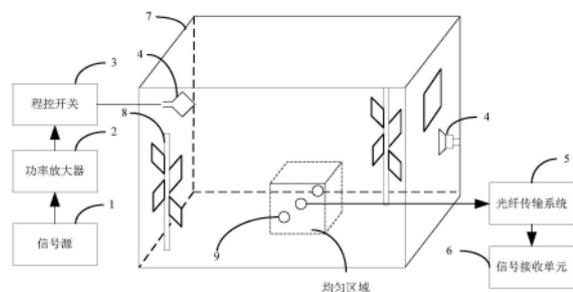
(54) 发明名称

一种用于HIRF试验的高电平试验系统及试验和验证方法

平整机HIRF试验的相互验证,为飞机高强辐射场效应的防护设计和安全性评估提供了有效试验手段。

(57) 摘要

一种用于HIRF试验的高电平试验系统及试验和验证方法,高电平试验系统包含多个布置在测试区域内的发射天线,连接发射天线的射频源,设置在测试区域内的采集装置,连接采集装置的信号接收单元,以及系统状态监测装置。利用高电平试验系统进行高电平扫频测试,获得高电平扫频测试的异常频点,利用低电平等效试验系统在与高电平扫频测试同样的频点进行低电平扫频测试,获得低电平扫频测试的异常频点,对比高电平扫频测试的异常频点和低电平扫频测试的异常频点,验证高电平试验结果。本发明实现了高电平的地面模拟试验,并完成了高低电



CN 112114218 B

1. 一种飞机级HIRF效应高电平试验及等效验证方法,其特征在于,包含:

利用高电平试验系统进行高电平扫频测试,获得高电平扫频测试的异常频点;所述高电平试验系统包含:多个布置在测试区域内的发射天线,连接发射天线的射频源,设置在测试区域内的采集装置,连接采集装置的信号接收单元,以及系统状态监测装置;在所述高电平扫频测试过程中,系统状态监测装置判断飞机待测舱室内的A级系统是否出现异常,如未出现异常,则进行下一频点的测试,如出现异常,则进一步开展异常限值确认;所述的异常限值确认方法包含:将出现异常时的输入功率降低3dB,并以1dB作为步进逐渐增加功率,直至出现异常,同时,再次降低1dB时,异常消失,则出现异常时的输入功率即为异常限值;高电平扫频测试结束后,分别记录非异常频点 $F_h(n)$ 和异常频点 $F_h'(n)$ ;

搭建低电平等效试验系统,针对飞机待测舱室内的A级系统开展低电平扫频测试,低电平的测试频点与高电平的测试频点保持一致,获取该舱室衰减传输函数 $f$ ;

利用低电平等效试验系统在与高电平扫频测试同样的频点进行低电平扫频测试,将低电平扫频测试结果外推处理,并与测试对象的敏感阈值进行对比,其中,超出敏感阈值的外推结果所对应的频点即为低电平扫频测试的异常频点;将低电平等效试验系统获取的衰减传输函数 $f$ 进行外推处理,计算得到HIRF限值要求 $E_1$ 下的场强值 $E_k$ ;  $E_k = f \cdot E_1$ ,将场强值 $E_k$ 与A级系统的敏感阈值 $Q_k$ 进行对比,筛选出 $E_k$ 大于 $Q_k$ 的异常频点,记为 $F_1'(n)$ ,剩余频点为 $F_1(n)$ ;

比对 $F_1'(n)$ 和高电平等效试验获得的异常频点 $F_h'(n)$ ,若两者所涵盖频点相同,即可验证高电平试验结果。

2. 如权利要求1所述的飞机级HIRF效应高电平试验及等效验证方法,其特征在于,在进行高电平扫频测试之前,预先进行高电平校准测试,高电平校准测试分为非封闭机库内的校准测试方法和开阔场条件下的校准测试方法。

3. 如权利要求2所述的飞机级HIRF效应高电平试验及等效验证方法,其特征在于,所述的高电平扫频测试的方法包含:在100MHz ~ 18GHz范围内进行高电平扫频测试,从设定的初始输入功率开始,按照固定的步进值,逐步增加发射天线的输入功率,直至发射天线的输入功率达到校准输入功率或者待测飞机出现异常,在此过程中,记录出现异常时对应的异常频点。

4. 如权利要求3所述的飞机级HIRF效应高电平试验及等效验证方法,其特征在于,所述的将出现异常时的异常限值确认方法包含:将出现异常时的输入功率降低3dB,并以1dB作为步进逐渐增加功率,直至出现异常,同时,再次降低1dB时异常消失,则出现异常时的输入功率即为异常限值。

5. 一种用于实现如权利要求1-4中任意一项所述的飞机级HIRF效应高电平试验及等效验证方法的HIRF试验的高电平试验系统,其特征在于,包含:多个布置在测试区域内的发射天线,连接发射天线的射频源,设置在测试区域内的采集装置,连接采集装置的信号接收单元,以及系统状态监测装置。

6. 如权利要求5所述的用于HIRF试验的高电平试验系统,其特征在于,所述的射频源包含:信号源,以及连接信号源和发射天线的功率放大器。

7. 如权利要求6所述的用于HIRF试验的高电平试验系统,其特征在于,所述的测试区域位于非封闭机库时,所述的高电平试验系统还包含多个搅拌器,所述的搅拌器设置为可调

连续旋转模式,所述的非封闭机库的内壁采用金属结构,所述测试区域内形成统计均匀场,场均匀性满足3dB要求。

8.如权利要求6所述的用于HIRF试验的高电平试验系统,其特征在于,所述的测试区域位于外部开阔场时,所述的高电平试验系统还包含连接功率放大器和发射天线的程控开关,用于切换高频天线和低频天线,通过多点布设天线的方式在测试区域内形成均匀场,场均匀性满足3dB要求。

9.如权利要求7或8所述的用于HIRF试验的高电平试验系统,其特征在于,所述的采集装置采用场强探头或接收天线;所述的信号接收单元通过光纤传输系统连接所述的采集装置,所述的光纤传输系统包含多通道光电转换器和光纤。

10.如权利要求9所述的用于HIRF试验的高电平试验系统,其特征在于,所述的信号接收单元包含场强计或频谱仪,以及控制计算机。

## 一种用于HIRF试验的高电平试验系统及试验和验证方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电磁环境效应技术领域,尤其涉及一种HIRF效应高电平试验系统及高电平试验和验证方法。

### 背景技术

[0002] 高强度辐射场(HIRF)是由人类活动造成的单位面积辐射能量较高的电磁环境,主要是来自地面、舰船、海上平台或航空器上的雷达、无线电、导航、广播等高功率发射机的辐射。HIRF具有频带宽、峰值高和作用时间长等特点,使得飞机系统内电子设备面临潜在的电磁损伤,主要体现在外部强电磁场与电子系统的耦合,从而影响飞机关键/重要电子系统的正常工作。从飞行安全性考虑,美国联邦适航局(FAA)、欧洲联合适航局(JAA)相继颁布了条款,强制规定各类飞机必须满足HIRF适航认证要求,我国民航总局参照FAA和JAA的相关要求,也颁布了相应专用条件和问题纪要,论证研制的新型国产飞机,无论是国内使用还是出口,都需要满足HIRF安全性评估要求。

[0003] 国内在飞机高强度辐射场(HIRF)效应方面的研究开展较晚,相关的研究成果较少。可查询的相关知识产权有国家发明专利《一种飞机全机高强度辐照试验方法》(专利授权号:ZL201210541488.X),提出采用低电平的方式测量飞机的屏蔽效能,并对机内设备进行辐射敏感度测试,提高试验效率。发明专利《一种新型飞机全机高强度辐照试验方法》(专利授权号:ZL201110303988.5),提出以“路”替代“场”,通过注入电流的方式进行试验,提高测试效率。

[0004] 前期HIRF适航符合性试验仍需委托国外机构来完成,严重制约了我国飞机的研制进程,且不利于对核心技术的掌握与控制。针对飞机级HIRF试验,国内外通常采用低电平耦合等效的方式。但是,低电平等效试验技术在飞机级HIRF时存在明显不足:其一,低电平试验技术测试过程繁琐,测试系统复杂,耗时长;其二,低电平试验结束后需进行大量的数据处理,将低电平测试结果外推至高电平,采用等效的方式进行飞机的安全性评估,试验结果不直观。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种用于HIRF试验的高电平试验系统及试验和验证方法,解决了飞机HIRF效应低电平等效试验技术所存在的测试过程繁琐、数据处理复杂以及无法定性考核的问题,实现了高电平的地面模拟试验,并完成了高低电平整机HIRF试验的相互验证,为飞机高强辐射场效应的防护设计和安全性评估提供了有效试验手段。

[0006] 为了达到上述目的,本发明提供一种用于HIRF试验的高电平试验系统,包含:多个布置在测试区域内的发射天线,连接发射天线的射频源,设置在测试区域内的采集装置,连接采集装置的信号接收单元,以及系统状态监测装置。

[0007] 所述的射频源包含:信号源,以及连接信号源和发射天线的功率放大器。

[0008] 所述的测试区域位于非封闭机库时,所述的高电平试验系统还包含多个搅拌器,

所述的搅拌器设置为可调连续旋转模式,所述的非封闭机库的内壁采用金属结构,所述测试区域内形成统计均匀场,场均匀性满足3dB要求。

[0009] 所述的测试区域位于外部开阔场时,所述的高电平试验系统还包含连接功率放大器和发射天线的程控开关,用于切换高频天线和低频天线,通过多点布设天线的方式在测试区域内形成均匀场,场均匀性满足3dB要求。

[0010] 所述的采集装置采用场强探头或接收天线;所述的信号接收单元通过光纤传输系统连接所述的采集装置,所述的光纤传输系统包含多通道光电转换器和光纤。

[0011] 所述的信号接收单元包含场强计或频谱仪,以及控制计算机。

[0012] 本发明还提供一种飞机级HIRF效应高电平试验及等效验证方法,利用所述的高电平试验系统进行高电平扫频测试,获得高电平扫频测试的异常频点;利用低电平等效试验系统在与高电平扫频测试同样的频点进行低电平扫频测试,将低电平扫频测试结果外推处理,并与测试对象的敏感阈值进行对比,其中,超出敏感阈值的外推结果所对应的频点即为低电平扫频测试的异常频点;对比高电平扫频测试的异常频点和低电平扫频测试的异常频点,验证高电平试验结果。

[0013] 在进行高电平扫频测试之前,预先进行高电平校准测试,高电平校准测试分为非封闭机库内的校准测试方法和开阔场条件下的校准测试方法。

[0014] 所述的高电平扫频测试的方法包含:

[0015] 在100MHz~18GHz范围内进行高电平扫频测试,从设定的初始输入功率开始,按照固定的步进值,逐步增加发射天线的输入功率,直至发射天线的输入功率达到校准输入功率或者待测飞机出现异常,在此过程中,记录出现异常时对应的异常频点。

[0016] 所述的出现异常时的异常限值确认方法包含:

[0017] 将出现异常时的输入功率降低3dB,并以1dB作为步进逐渐增加功率,直至出现异常,同时,再次降低1dB时异常消失,则出现异常时的输入功率即为异常限值。

[0018] 本发明可解决飞机HIRF效应低电平等效试验技术所存在的测试过程繁琐、数据处理复杂以及无法定性考核的问题,实现高电平的地面模拟试验,并完成高低电平整机HIRF试验的相互验证,为飞机高强辐射场效应的防护设计和安全性评估提供有效试验手段。

## 附图说明

[0019] 图1是本发明提供的一种用于HIRF试验的高电平试验系统的结构示意图。

[0020] 图2是本发明提供的一种飞机级HIRF效应高电平试验及等效验证方法的流程图。

[0021] 图3是非封闭机库内飞机级HIRF效应校准试验的示意图。

[0022] 图4是开阔场中飞机级HIRF效应低频校准试验的示意图。

[0023] 图5是开阔场中飞机级HIRF效应高频校准试验的示意图。

[0024] 图6是非封闭机库内飞机级HIRF效应高电平试验的示意图。

[0025] 图7是开阔场中飞机级HIRF效应高电平低频试验的示意图。

[0026] 图8是开阔场中飞机级HIRF效应高电平高频试验的示意图。

[0027] 图9是飞机级HIRF效应高低电平等效验证结果示意图。

## 具体实施方式

[0028] 以下根据图1~图9,具体说明本发明的较佳实施例。

[0029] 如图1所示,本发明提供一种用于HIRF试验的高电平试验系统,包含:多个布置在测试区域内的发射天线4,连接发射天线4的射频源,设置在测试区域内的采集装置9,连接采集装置9的信号接收单元6。

[0030] 进一步,所述的射频源包含:信号源1,连接信号源1的功率放大器2,以及连接功率放大器3的程控开关3,所述的程控开关3连接所述的发射天线4,所述的信号源1产生一定功率的连续波信号,经功率放大器2放大后注入发射天线4,进一步,所述的发射天线4分为低频天线和高频天线,不同频段的发射天线4通过程控开关3进行切换。

[0031] 在本发明的一个实施例中,所述的采集装置9一般采用场强探头或接收天线。所述的信号接收单元6通过光纤传输系统5连接所述的采集装置9,所述的光纤传输系统5包含多通道光电转换器和光纤,所述的信号接收单元6包含场强计或频谱仪,以及控制计算机。

[0032] 在本发明的一个实施例中,所述的测试区域位于非封闭机库7,则需要所述的非封闭机库7设置多个大型搅拌器8(此处所描述的“大型”搅拌器是相对于后续低电平测试中所用的“小型”搅拌器而言的,并没有具体的标准,是与测试区域相关的),所述的大型搅拌器8设置为可调连续旋转模式,且所述的非封闭机库7的内壁必须采用金属结构,从而使得发射天线4辐射出的电磁波在非封闭机库7内不断反射,通过大型搅拌器8的连续旋转,将机库内的电磁波进行不断搅拌,改变其边界条件,在部分区域形成均匀区域,采集装置9对位于均匀区域内的待测区域内的场强进行监测,并通过光纤传输系统5输入信号接收单元6,控制计算机负责实现对试验系统的自动化控制。

[0033] 在本发明的另一个实施例中,所述的测试区域位于外部开阔场,则需要多点布设发射天线4,从而在部分区域形成均匀区域,采集装置9对位于均匀区域内的待测区域内的场强进行监测,并通过光纤传输系统5输入信号接收单元6,控制计算机负责实现对试验系统的自动化控制。

[0034] 如图2所示,在本发明的一个实施例中,提供一种飞机级HIRF效应高电平试验及等效验证方法,包含以下步骤:

[0035] 步骤S1、搭建用于飞机级HIRF试验的高电平试验系统;

[0036] 所述的高电平试验系统包含:多个发射天线,连接发射天线的射频源,设置在测试区域内的采集装置,连接采集装置的信号接收单元;

[0037] 步骤S2、在非封闭机库或外部开阔场选取测试区域;

[0038] 所述的测试区域需满足场均匀性要求,场均匀性满足3dB要求(场均匀性要求,为了保证测试精度的)的区域即为测试区域,同时需确保测试区域能满足待测飞机的结构和尺寸要求;

[0039] 步骤S3、在飞机进入测试区域前,开展校准试验,监测不同频点下测试区域的场强值,当场强值达到HIRF限值要求 $E_1$ 时,记录发射天线的输入功率 $P_1$ (dB);

[0040] 如图3所示,对于非封闭机库的校准测试,由于非封闭机库内腔结构的反射效应,发射天线只需输入较低功率(这个较低功率是相对于开阔场的测试方法来说的,是相对值。此处的发射天线包括低频天线和高频天线)的信号即可实现高电平模拟;

[0041] 如图4和图5所示,对于开阔场的校准测试,在400MHz以下的低频发射天线波束较

宽,而400MHz以上的高频发射天线波束相对较窄,因此,在后续针对飞机进行高电平试验时,400MHz以上频段需布设更多的发射天线,从而满足辐射到机体表面的电磁波满足场均匀性要求,使得飞机机体所有孔缝及机内A级系统均能接受外部高电平HIRF模拟环境的照射,具体的天线数量、布局方式与飞机结构、频率密切相关,而由于校准测试时飞机尚未入场,因此可事先通过仿真手段确定;

[0042] 步骤S4、如图6所示,将飞机停放至非封闭机库,或者如图7和图8所示,将飞机停放至开阔场,使得待测舱室置于校准所用测试区域,并确认步骤S3中发射天线的数量和布局方式的适用性,明确测试对象,确认待测舱室内的待测A级系统及其系统状态监测装置,所述的系统状态监测装置用于观测A级系统是否出现异常情况,其余测试系统状态与校准测试保持一致;

[0043] 步骤S5、在100MHz ~ 18GHz (HIRF的场强测试一般就是这个频段) 范围内进行高电平扫频测试,在每个频点(频率间隔无特殊要求,可自定义)下,设置发射天线的初始输入功率 $P_2$  (dB),  $P_2$  (dB) =  $P_1$  (dB) - 12 (dB) (12dB属于自定义的合理值,但并没有强制规定。),发射天线产生的电磁波均匀照射飞机的待测舱室,并以3dB的步进(属于自定义的合理值,但并没有强制规定)逐渐增加发射天线的输入功率 $P_2$  (dB) 的量值,观察并记录飞机的A级系统的状态,直至发射天线的输入功率 $P_2$  (dB) 达到输入功率 $P_1$  (dB) 或者A级系统出现异常;

[0044] 步骤S6、在扫频测试过程中,系统状态监测装置判断A级系统是否出现异常(异常是判断A级系统是否敏感的一种状态,具体系统具体分析,在测试前会预定义),如未出现异常,则进行下一频点的测试,如出现异常,则进一步开展异常限值确认;

[0045] 所述的异常限值确认方法包含:将出现异常时的输入功率降低3dB,并以1dB(或更小)作为步进逐渐增加功率,直至出现异常,同时,再次降低1dB时,异常消失,则出现异常时的输入功率即为异常限值;

[0046] 扫频测试结束后,分别记录非异常频点 $F_h(n)$  和异常频点 $F_h'(n)$  (是指出现异常时所对应的频点);

[0047] 步骤S7、搭建低电平等效试验系统,针对飞机待测舱室内的A级系统开展低电平扫频测试,低电平的测试频点与高电平的测试频点保持一致,获取该舱室衰减传输函数 $f$ ;

[0048] 步骤S8、将低电平等效试验系统获取的衰减传输函数 $f$ 进行外推处理,计算得到HIRF限值要求 $E_1$ 下的场强值 $E_k$ ;

[0049]  $E_k = f \cdot E_1$

[0050] 步骤S9、将场强值 $E_k$ 与A级系统的敏感阈值 $Q_k$ 进行对比,筛选出 $E_k$ 大于 $Q_k$ 的异常频点,记为 $F_1'(n)$ ,剩余频点为 $F_1(n)$ ;

[0051] 步骤S10、如图9所示,比对 $F_1'(n)$  和高电平等效试验获得的异常频点 $F_h'(n)$ ,若两者所涵盖频点相同,即可验证高电平试验结果。

[0052] 本发明可解决飞机HIRF效应低电平等效试验技术所存在的测试过程繁琐、数据处理复杂以及无法定性考核的问题,实现高电平的地面模拟试验,并完成高低电平整机HIRF试验的相互验证,为飞机高强辐射场效应的防护设计和安全性评估提供有效试验手段。

[0053] 尽管本发明的内容已经通过上述优选实施例作了详细介绍,但应当认识到上述的描述不应被认为是对本发明的限制。在本领域技术人员阅读了上述内容后,对于本发明的多种修改和替代都将是显而易见的。因此,本发明的保护范围应由所附的权利要求来限定。

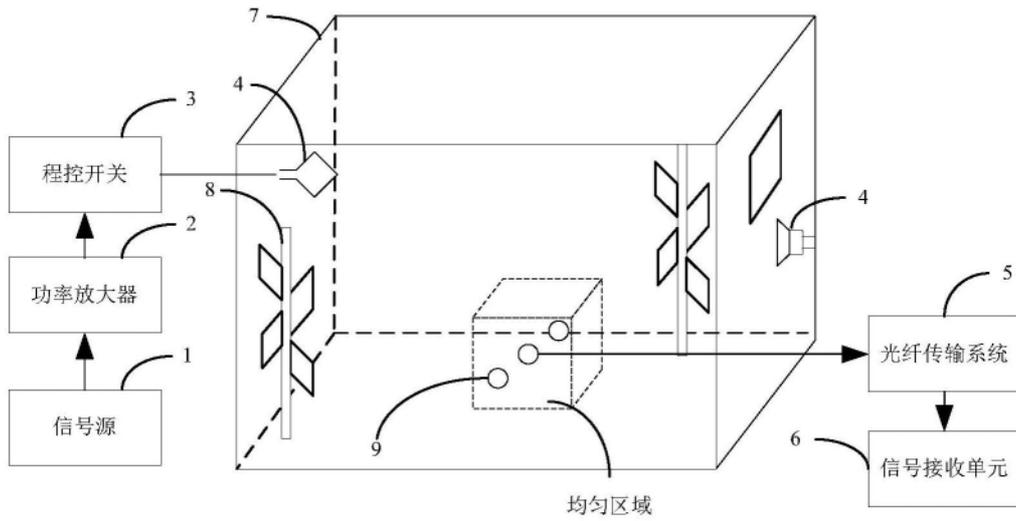


图1

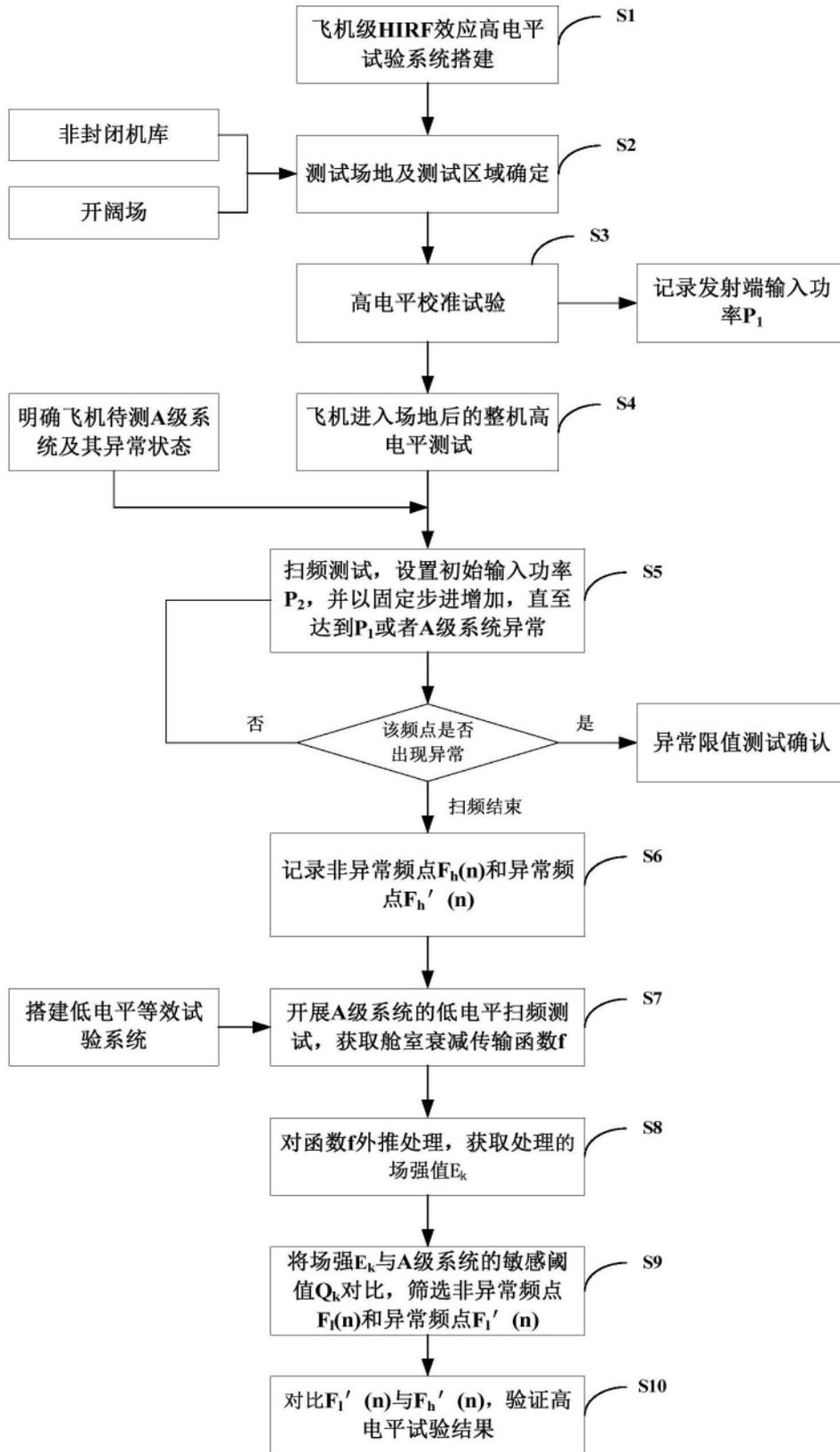


图2

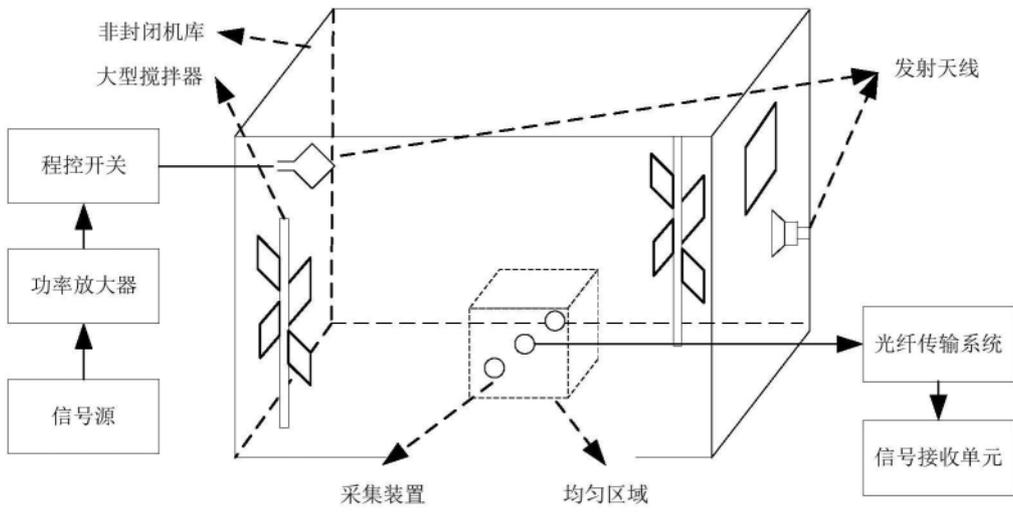


图3

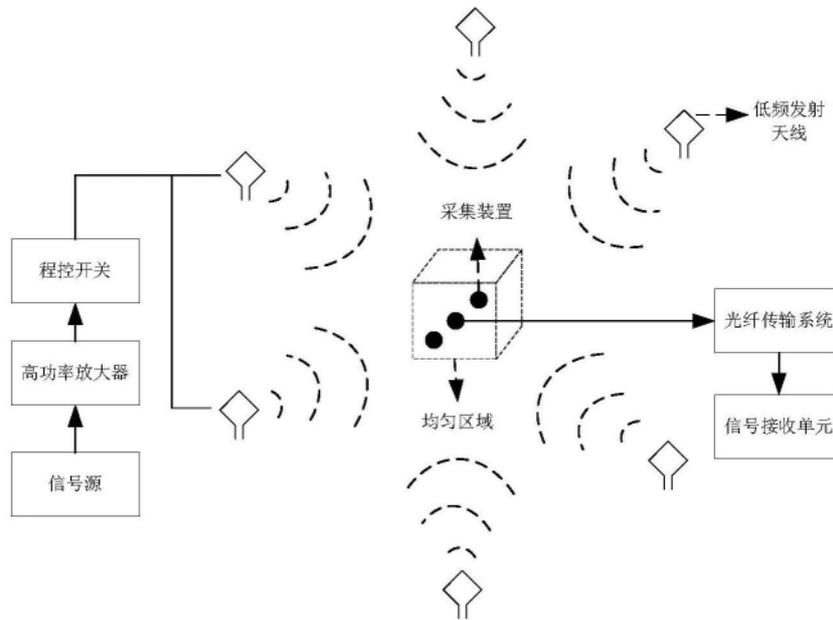


图4

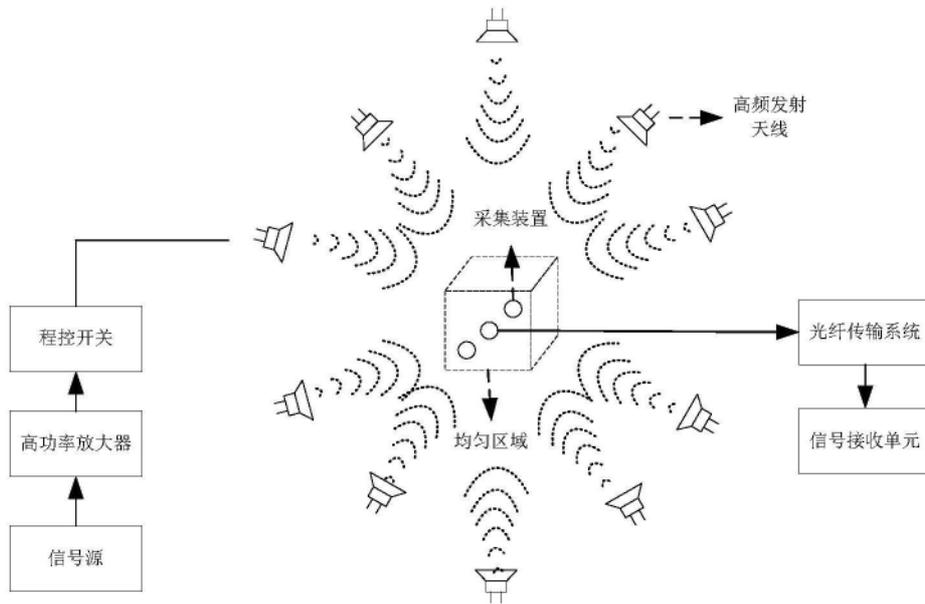


图5

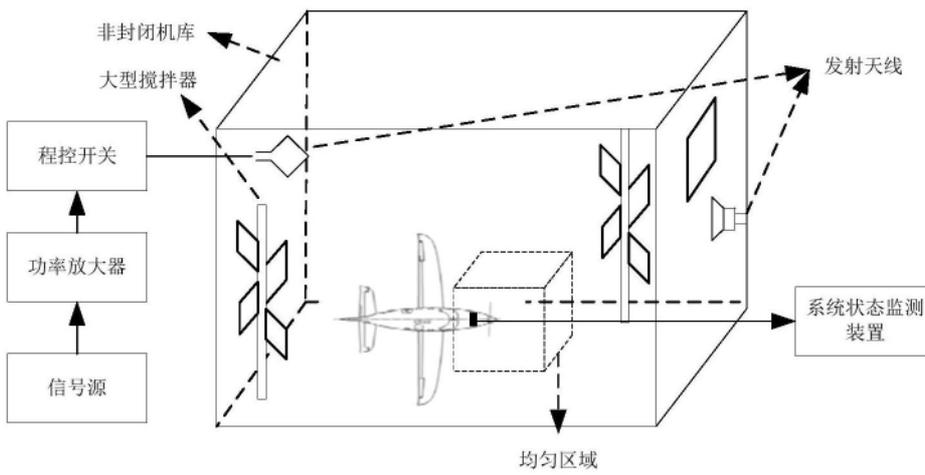


图6

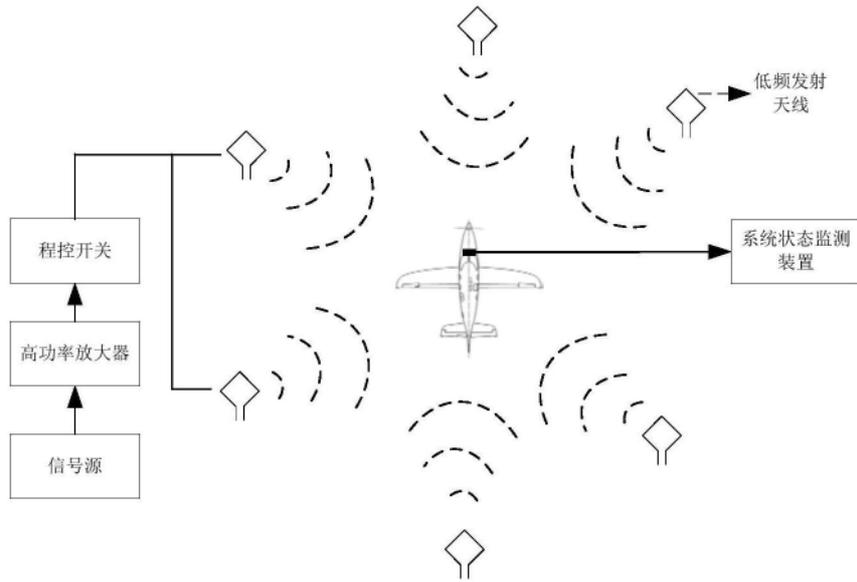


图7

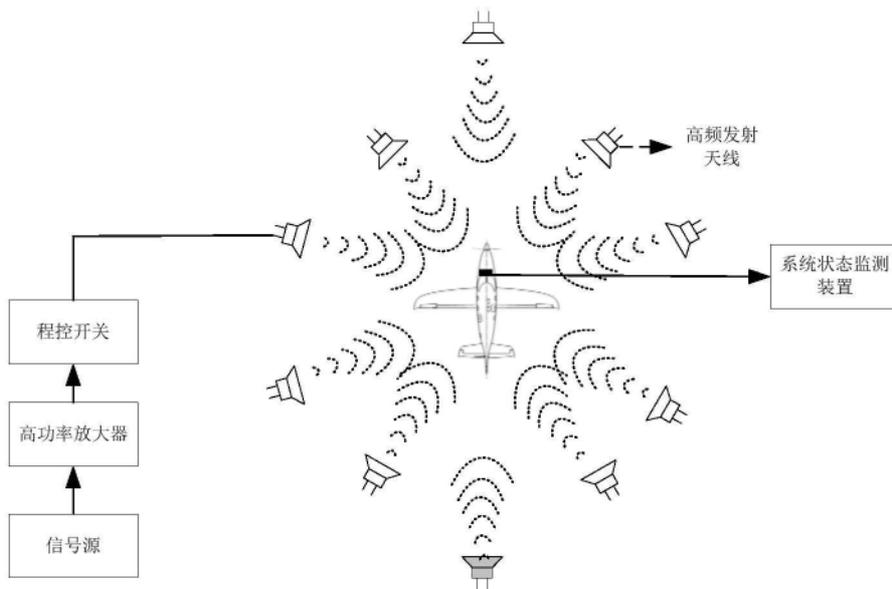


图8

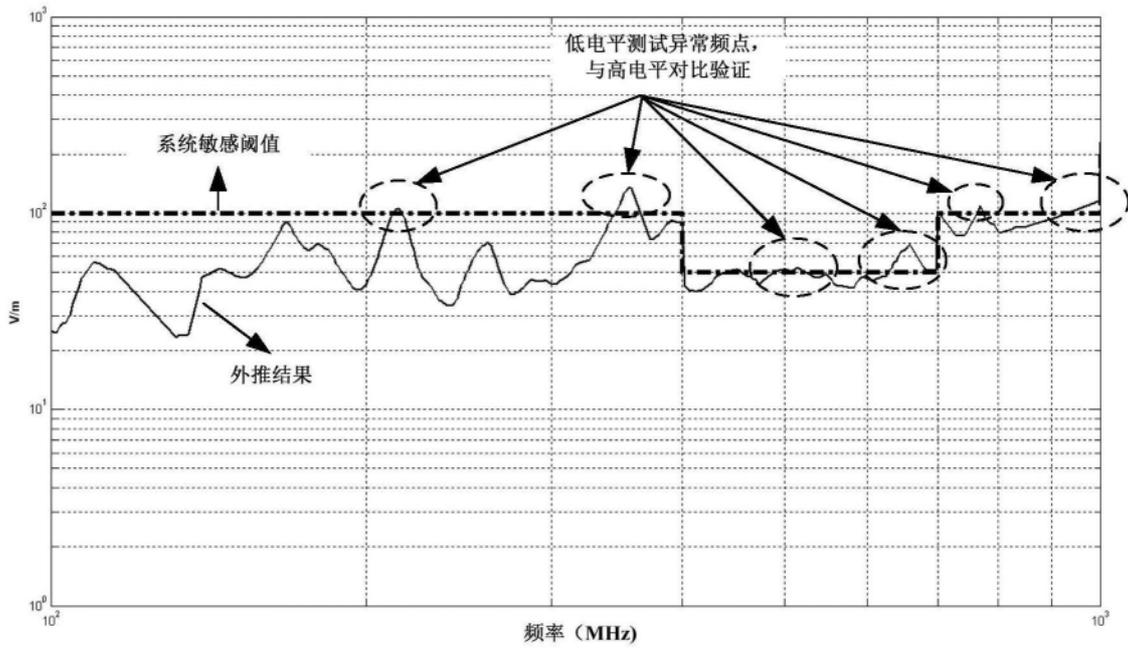


图9