



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106314822 A

(43)申请公布日 2017.01.11

(21)申请号 201610892277.9

(22)申请日 2014.03.17

(62)分案原申请数据

201410098076.2 2014.03.17

(71)申请人 中国航空无线电电子研究所

地址 200233 上海市徐汇区桂平路432号

(72)发明人 方愔 马琼 徐琪皓 孙文静

吴藻菡

(74)专利代理机构 上海和跃知识产权代理事务  
所(普通合伙) 31239

代理人 杨慧

(51)Int.Cl.

B64F 5/00(2017.01)

G01R 29/08(2006.01)

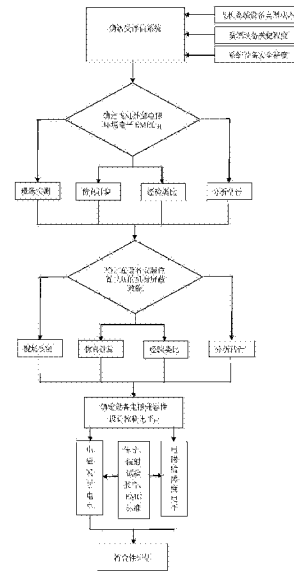
权利要求书2页 说明书9页 附图5页

(54)发明名称

飞机电磁环境安全裕度评估规程方法

(57)摘要

本发明公开了一种飞机电磁环境安全裕度评估规程方法,包含适用于飞机外部电磁环境安全裕度评估的机身屏蔽法,步骤如下:(1)确认受评估系统;(2)确定飞机外部电磁环境电平;(3)确定在设备安装位置呈现的机身屏蔽效能;(4)确定各设备安装位置实际电磁场电平;(5)确定各设备电磁兼容性设计控制电平;(6)符合性评估。本发明通过上述的方法,对飞机电磁环境安全裕度评估工作具有规范化作用,操作性强,具有很好的实用指导性,能显著提高工程上进行此类评估的工作效率、降低费用。



1. 一种飞机电磁环境安全裕度评估规程方法,其特征在于包含适用于飞机外部电磁环境安全裕度评估的机身屏蔽法,步骤如下:

- (1) 确认受评估系统;
- (2) 确定飞机外部电磁环境电平;
- (3) 确定在设备安装位置呈现的机身屏蔽效能;
- (4) 确定各设备安装位置实际电磁场电平;
- (5) 确定各设备电磁兼容性设计控制电平;
- (6) 符合性评估。

2. 如权利要求1所述的飞机电磁环境安全裕度评估规程方法,其特征在於:根据设备出现EMC问题时对飞机可能造成的后果和危害程度,对飞机遂行使命任务的影响程度、设备的功能特性、硬件的不一致性以及有关的不确定性因素,建立各设备重要性等级和对应安全裕度要求。

3. 如权利要求1所述的飞机电磁环境安全裕度评估规程方法,其特征在於:确定飞机外部电磁环境电平采用用户给出的数据或适航认证的要求,引用一些相关平台级电磁兼容标准中的规定,也有给出特定应用场景的具体量化指标。

4. 如权利要求1所述的飞机电磁环境安全裕度评估规程方法,其特征在於:确定飞机外部电磁环境电平采用分析实测法确定,通过分析飞机使用过程中可能遭遇的各种电磁环境,参考、类比以往的工程经验,选取其中电磁环境最严酷的典型场景,进行现场测量统计。

5. 如权利要求1所述的飞机电磁环境安全裕度评估规程方法,其特征在於:确定飞机外部电磁环境电平采用仿真计算确定。

6. 如权利要求1所述的飞机电磁环境安全裕度评估规程方法,其特征在於:确定在设备安装位置呈现的机身屏蔽效能采用现场实测确定,对有无飞机两种情况,在机外不同位置、方位的天线以安全等值电平辐照,以机内受关注位置处接收传感器收到的最小信号电平差为测量该受关注位置的机身屏蔽参数。

7. 如权利要求1所述的飞机电磁环境安全裕度评估规程方法,其特征在於:确定在设备安装位置呈现的机身屏蔽效能采用仿真计算确定。

8. 如权利要求1所述的飞机电磁环境安全裕度评估规程方法,其特征在於:确定在设备安装位置呈现的机身屏蔽效能采用经验分析确定。

9. 如权利要求1所述的飞机电磁环境安全裕度评估规程方法,其特征在於:确定各设备安装位置实际电磁场电平为将飞机外部电磁环境电平减去飞机机身屏蔽效能。

10. 如权利要求1所述的飞机电磁环境安全裕度评估规程方法,其特征在於:确定各设备实际电磁兼容性设计控制电平需要从电磁敏感度电平和电磁干扰电平两方面来考虑,由设备的EMC试验报告提供;对于EMC达标合格设备,其电磁干扰电平取自GJB151A中传导和辐射的电磁发射限值,而电磁敏感度电平以设备实测值为准。

11. 如权利要求1所述的飞机电磁环境安全裕度评估规程方法,其特征在於:符合性评估从设备的对外接口,包括机箱和互联线的辐射和传导两方面,分别把按前述步骤获得的各设备数据,代入以下公式即得到其传导、辐射安全裕度符合性情况:

$$\text{电磁干扰电平} \leq \text{预期电磁环境电平} - 3\text{dB}$$

$$\text{电磁敏感度电平} \geq \text{预期电磁环境电平} + M_{\text{要求}}$$

安全裕度 $M_{\text{实际}} = \text{电磁敏感度电平} - \text{预期电磁环境电平}$

如果安全裕度 $M_{\text{实际}}$ 大于规定的值 $M_{\text{要求}}$ ,则表明被评估设备/系统满足要求。

## 飞机电磁环境安全裕度评估规程方法

### 【技术领域】

[0001] 本发明涉及应用于飞机的电磁兼容性试验,特别是指飞机电磁环境安全裕度评估规程方法。

### 【背景技术】

[0002] 在飞机研制阶段尤其是定型之前,需要就飞机对实际使用遭遇的外部电磁环境的适应性,以及飞机对此具备的安全裕度进行评估。它包括机载设备、系统、全机各层面的确认和验证工作,既需要有一套全面细致的工作程序周密规划指导,也依赖相应的完整技术文档、数据计算分析、试验实测结果的支撑。

[0003] 航空器适航取证文件、相关技术标准中一般只规定了电磁环境安全裕度的要求,即在什么电磁环境条件下飞机应如何表现,具体就是在恶劣电磁环境(用每米若干伏特电场强度来度量)下保持怎样功能和性能,而没有给出可操作的验证规程。因此按电磁兼容领域常规的做法,就是按定义要求直接对飞机进行高场强辐射照射HIRF试验。

[0004] 但是飞机电磁环境安全裕度试验涉及的高能量辐射电平量值远超出目前工业界实际试验能力水平,即用传统试验方法难以满足这些规定,业内迫切需要寻求并研究出一些较简易可行的替代方法。

### 【发明内容】

[0005] 本发明的目的在于提供几种飞机电磁环境安全裕度评估规程方法,用以解决现有方式试验成本与产品研发成本过高的问题。

[0006] 为实现本发明目的,本发明提出一种飞机电磁环境安全裕度评估规程方法包含适用于飞机外部电磁环境安全裕度评估的机身屏蔽法,该方法包括如下步骤:

[0007] (1)确认受评估系统;

[0008] (2)确定飞机外部电磁环境电平;

[0009] (3)确定在设备安装位置呈现的机身屏蔽效能;

[0010] (4)确定各设备安装位置实际电磁场电平;

[0011] (5)确定各设备电磁兼容性设计控制电平;

[0012] (6)符合性评估。

[0013] 依据上述主要特征,其中根据设备出现EMC问题时对飞机可能造成的后果和危害程度,对飞机遂行使命任务的影响程度、设备的功能特性、硬件的不一致性以及有关的不确定性因素,建立各设备重要性等级和对应安全裕度要求。

[0014] 依据上述主要特征,确定飞机外部电磁环境电平EMEL外可直接采用用户给出的数据或适航认证的要求,一般多引用一些相关平台级电磁兼容标准中的规定,也有给出特定应用场景的具体量化指标。

[0015] 依据上述主要特征,确定飞机外部电磁环境电平EMEL外可采用分析实测法确定,即通过分析飞机使用过程中可能遭遇的各种电磁环境,参考、类比以往的工程经验,选取其

中电磁环境最严酷的典型场景,进行现场测量统计。

[0016] 依据上述主要特征,确定飞机外部电磁环境电平EMEL外可采用仿真计算确定,即对电磁环境最严酷的典型场景进行尽可能逼真、详细地建模。凡是对电磁环境有可比拟贡献的辐射源都要考虑,在确定它们的发射功率、频率范围、信号波形、天线方向性、传播距离、极化方向等参试基础上,用电磁波无损空间传播距离公式、通信方程数值计算各场源的贡献,并进行矢量叠加而合成出总电磁环境。

[0017] 依据上述主要特征,确定在设备安装位置呈现的机身屏蔽效能可采用现场实测确定,对有无飞机两种情况,在机外不同位置、方位的天线以安全等值电平辐照,以机内受关注位置处(座舱、设备舱等)接收传感器收到的最小信号电平差为测量该地点的机身屏蔽参数。

[0018] 依据上述主要特征,确定在设备安装位置呈现的机身屏蔽效能可采用仿真计算确定,如使用电磁场仿真计算软件包,如EM3D、CST、FECO等,对飞机内外结构尺寸、材质,尤其是安装关注设备的舱内结构尺寸、材质,进行尽可能逼真、详细的建模,再选用合适的时域、频域数值算法进行解算。

[0019] 依据上述主要特征,确定在设备安装位置呈现的机身屏蔽效能可采用经验分析确定,即根据工程经验估计,无开口的全金属舱室的屏蔽性能最好,一般有40dB以上的屏蔽;有穿孔的金属舱室的屏蔽性能次之;有窗、门的金属或非全金属舱室的屏蔽性能最差,一般只有10dB以下的屏蔽,在谐振频率甚至反而增强,通用机身屏蔽选择原则是:

[0020] 0dB屏蔽对应无任何屏蔽措施场景,如非导电复合材料结构区域、无屏蔽开放区域、结构电搭接无保障区域等;

[0021] 6dB屏蔽对应很少屏蔽措施场景,如仅少量屏蔽的非导电复合材料机身的驾驶舱、机翼前后沿、起落架舱等;

[0022] 12dB屏蔽对应有些屏蔽措施场景,如金属飞机的带穿舱接头从而非全封闭电子设备舱、驾驶舱、无EMI扼流槽门窗/仪表板附近区域,这些区域中诸如液压管、线缆束、金属导线槽等载流导体并非都很好电搭接至所穿过的穿舱接头上。

[0023] 20dB屏蔽对应中等屏蔽措施场景,如载流导体电搭接良好、线缆束贴近金属结构走线的上述区域;

[0024] 32dB屏蔽对应很好屏蔽措施场景,如良好全屏蔽金属舱内。

[0025] 依据上述主要特征,确定各设备安装位置实际电磁场电平EMEL内为将飞机外部电磁环境电平EMEL外减去飞机机身屏蔽效能。

[0026] 依据上述主要特征,确定各设备实际电磁兼容性设计控制电平需要从电磁敏感度电平Electromagnetic Susceptibility Level—EMSL控制和电磁干扰电平Electromagnetic Interference Level—EMIL控制两方面来考虑,一般由设备的EMC试验报告提供;对于EMC达标合格设备,其电磁干扰电平也可取自GJB151A中传导和辐射的电磁发射限值,而电磁敏感度电平以设备实测值为准。

[0027] 依据上述主要特征,符合性评估从设备的对外接口,包括机箱和互联线的辐射和传导两方面,分别把按前述步骤获得的各设备数据,代入以下公式即得到其传导、辐射安全裕度符合性情况:

[0028] 电磁干扰电平EMIL控制 $\leq$ 预期与“实际电磁环境电平EMEL内-3dB”比较

- [0029] 电磁敏感度电平EMSL控制 $\geq$ 预期与“实际电磁环境电平EMEL内+M”比较
- [0030] 如果
- [0031] 电磁干扰电平EMIL控制 $\leq$ 实际电磁环境电平EMEL内-3dB
- [0032] 电磁敏感度电平EMSL控制 $\geq$ 实际电磁环境电平EMEL内+M
- [0033] 这时安全裕度M=电磁敏感度电平EMSL控制-预期实际电磁环境电平EMEL内的值大于规定的值,则表明被评估设备/系统满足要求。
- [0034] 与现有技术相比较,本发明通过上述的方法,实现了飞机电磁环境安全裕度评估,本方法操作性强,具有很好的实用指导性,能显著提高工程上进行此类评估的工作效率、降低费用,有助于我国正在起步推行的民用飞机的飞机级适航取、认证工作的开展。

### 【附图说明】

- [0035] 图1为本发明总的流程示意图。
- [0036] 图2为实施本发明的第一实施例的流程示意图。
- [0037] 图3为实施本发明的第二实施例的流程示意图。
- [0038] 图4为实施本发明的第三实施例的流程示意图。
- [0039] 图5为实施本发明的第四实施例的流程示意图。

### 【具体实施方式】

[0040] 请参阅图1所示,本发明揭示一种飞机电磁环境安全裕度评估规程方法,是基于外部电磁环境EME应力对EUT产生的等价电磁效应和/或EUT功能性能的等价响应的若干变通等价试验方法,主要包括如下步骤:(1)确认受评估系统;(2)确定飞机外部电磁环境电平;(3)选用合适的方法确定外部电磁环境与内部关注点处电磁环境的传递函数;(4)依传递函数确定关注点实际电磁场电平;(5)确定各设备电磁兼容性设计控制电平;(6)符合性评估。本发明通过上述的方法,对飞机电磁环境安全裕度评估工作具有规范化作用,操作性强,具有很好的实用指导性,能显著提高工程上进行此类评估的工作效率、降低费用。至于上述方法中各步骤的具体内容,可以以下的四个实施例中的具体描述。

[0041] 安全裕度Margin指敏感门限与环境中实际干扰电平之差,常用dB表示。飞机的电磁环境安全裕度是机载最敏感设备/系统的敏感门限与环境实际干扰电平之差,过于笼统。工程上更关注各个机载设备/系统的具体电磁环境安全裕度,它们一般互不相同,所以飞机的电磁环境安全裕度实际是各个机载设备/系统的电磁环境安全裕度中的最小值。

[0042] 1.飞机外部电磁环境安全裕度评估(机身屏效法)

[0043] 这是一种间接评估方法。外部电磁环境Electromagnetic Environment Level—EMEL外指飞机可能处于的全机外部电磁环境电平的最大包络,基本可以认为飞机蒙皮上处处相等为同一量值。飞机外部电磁环境安全裕度评估主要包括以下6个步骤:

- [0044] 1)确认受评估系统;
- [0045] 2)确定飞机外部电磁环境电平;
- [0046] 3)确定在设备安装位置呈现的机身屏蔽效能;
- [0047] 4)确定各设备安装位置实际电磁场电平;
- [0048] 5)确定各设备电磁兼容性设计控制电平;

[0049] 6)符合性评估。

[0050] 评估流程图如附图2所示,各步骤详细叙述见具体实施例1。

[0051] 2.飞机外部电磁环境安全裕度评估(高电平表面电流注入法)

[0052] 用大电流注入法替代HIRF辐照进行实际测试、验证。直接对机身蒙皮注入的大电流,生成飞机外部电磁环境安全裕度评估所需机内电磁环境,使受试件处于与机外高电平辐照场等价的电磁应力之下,从而产生同样的响应。

[0053] 是替代试验评估,优点之一是一次整机试验就同时完成对所有机载设备的EMC安全裕度评估。其最有效使用频率范围10kHz~1st飞机谐振频率(一般为飞机最大线度150~30米对应的电磁波半波长,1~5MHz),可扩展至400MHz,再高频率使稳定性变差。评估主要包括以下5个步骤:

[0054] 1)确认受评估系统;

[0055] 2)确定飞机外部电磁环境电平;

[0056] 3)建立与设备相关的回流构架;

[0057] 4)注入电流定标

[0058] a)低电平扫描辐照;

[0059] b)等价低电平表面电流注入。

[0060] 5)高电平表面电流注入法符合性验证测试。

[0061] 评估流程图如图3所示,鉴于篇幅不再详细举例。

[0062] 3.飞机外部电磁环境安全裕度评估(低电平耦合法)

[0063] 属替代方法,按适用频段分LLSCI、LLSC和LLSF三种。LLSCI适用于10KHz~飞机1st谐振频率,LLSC适用于电缆起主要耦合作用的500kHz~400MHz,LLSF适用于机箱和电缆都有影响的100MHz~40GHz。在100~400MHz频段内后两种方法重叠使用的原因是,主要电磁耦合机制与场源特性、场源/目标结构材料、场源与目标间距、媒质诸多因素密切相关。通常小飞机上电缆感应电流起主要耦合作用,大飞机上空间电场起主要耦合作用。所以在此频段内一般两种方法都用,以免遗漏较严酷的电磁环境场景。低电平耦合以实测方式建立关注的机载设备上电磁效应与飞机外部电磁环境之间的传递函数关系,即LLSCI、LLSC把设备互连电缆上感应电流与归一化飞机外部电磁环境联系起来,LLSF把设备安装处场强与归一化飞机外部电磁环境联系起来。再据此传递函数线性外推得评估要求的飞机外部电磁环境下应该对设备施加的飞机内部电磁应力,从而进行替代间接试验验证。评估主要包括以下5个步骤:

[0064] 1)确认受评估系统;

[0065] 2)确定飞机外部电磁环境电平;

[0066] 3)对飞机低电平扫描(注入电流、辐照)求机内受试件互连电缆上感应电流或安装处空间电磁场的传递函数;

[0067] 4)线性外推出与飞机外部电磁环境电平对应的互连电缆上感应电流或安装处空间电磁场量值;

[0068] 5)以该高电平进行电缆电流注入或辐照,及符合性评估。

[0069] 评估流程图如附图4所示,鉴于篇幅不再详细举例。

[0070] 4.飞机内部电磁环境自兼容安全裕度评估

[0071] 内部电磁环境Electromagnetic Environment Level—EMEL内指飞机本机全部机载电气电子系统、设备通电工作所形成的全机电磁环境电平的最大包络,其自兼容安全裕度评估主要包括以下4个步骤:

[0072] (1)确认受评估系统;

[0073] (2)确定各设备安装位置实际(或预期)电磁环境电平;

[0074] (3)确定各设备实际电磁兼容性设计控制电平;

[0075] (4)符合性评估

[0076] 评估流程图如附图5所示,各步骤详细叙述见具体实施例4。

[0077] 为对上述的方法更为清楚的了解,以下以具体的实例对上述的方法分别进行说明。

[0078] 例1.飞机外部电磁环境安全裕度评估(机身屏蔽法)

[0079] 1)确认受评估系统

[0080] 考虑各飞行阶段的所有飞机、系统、设备的各种工作模式,由此明确飞机内部可能的最极端电磁环境。同时根据设备出现EMC问题时对飞机可能造成的后果和危害程度,对飞机遂行使命任务的影响程度,设备的功能特性、硬件的不一致性以及有关的不确定性因素,建立各设备重要性等级和对应安全裕度要求,通常安全级为12dB,任务级为6dB,普通级为0dB;。一般中、高度空域电磁环境较好,地面或低空电磁环境较严酷,机场附近、军舰停机甲板的电磁环境更严酷。

[0081] 2)确定飞机外部电磁环境电平EMEL外

[0082] EMEL外是进行外部电磁环境兼容安全裕度评估的基准。可用以下几种方法确定。

[0083] 用户要求:直接采用用户给出的数据或适航认证的要求,一般多引用一些相关平台级电磁兼容标准中的规定,也有给出特定应用场景的具体量化指标。

[0084] 分析实测:分析飞机使用过程中可能遭遇的各种电磁环境,参考、类比以往的工程经验,选取其中电磁环境最严酷的典型场景,进行现场测量统计。

[0085] 仿真计算:对电磁环境最严酷的典型场景进行尽可能逼真、详细地建模。凡是对电磁环境有可比拟贡献的辐射源都要考虑,在确定它们的发射功率、频率范围、信号波形、天线方向性、传播距离、极化方向等参试基础上,用电磁波无损空间传播距离公式、通信方程数值计算各场源的贡献,并进行矢量叠加而合成出总电磁环境。

[0086] 3)确定在设备安装位置呈现的机身屏蔽效能FSE

[0087] 工程上整体机身屏蔽效能显得过于粗略,而受关注设备安装位置处呈现出的机身屏蔽效能更具实用价值。所以这里定义有无飞机时,机内某处传感器接收信号电平比值为该点呈现的机身屏蔽。用以下几种方法确定。

[0088] 现场实测:对有无飞机两种情况,在机外不同位置、方位的天线以安全等值电平辐照,以机内受关注位置处(座舱、设备舱等)接收传感器收到的最小信号电平差为测量该地点的机身屏蔽参数。

[0089] 仿真计算:使用电磁场仿真计算软件包,如EM3D、CST、FECO等,对飞机内外结构尺寸、材质,尤其是安装关注设备的舱内结构尺寸、材质,进行尽可能逼真、详细的建模,再选用合适的时域、频域数值算法进行解算。

[0090] 经验分析:根据工程经验估计,无开口的全金属舱室的屏蔽性能最好,一般有40dB



以上的屏蔽;有穿孔的金属舱室的屏蔽性能次之;有窗、门的金属或非全金属舱室的屏蔽性能最差,一般只有10dB以下的屏蔽,在谐振频率甚至反而增强。通用机身屏蔽选择原则是:

[0091] 0dB屏蔽对应无任何屏蔽措施场景,如非导电复合材料结构区域、无屏蔽开放区域、结构电搭接无保障区域等;

[0092] 6dB屏蔽对应很少屏蔽措施场景,如仅少量屏蔽的非导电复合材料机身的驾驶舱、机翼前后沿、起落架舱等;

[0093] 12dB屏蔽对应有些屏蔽措施场景,如金属飞机的带穿舱接头从而非全封闭电子设备舱、驾驶舱、无EMI扼流槽门窗/仪表板附近区域,这些区域中诸如液压管、线缆束、金属导线槽等载流导体并非都很好电搭接至所穿过的穿舱接头上。

[0094] 20dB屏蔽对应中等屏蔽措施场景,如载流导体电搭接良好、电缆束贴近金属结构走线的上述区域;

[0095] 32dB屏蔽对应很好屏蔽措施场景,如良好全屏蔽金属舱内。

[0096] 4)确定各设备安装位置实际电磁场电平

[0097] 把飞机外部电磁环境电平EMEL外减去飞机机身屏蔽效能FSE,就得到各设备安装位置实际电磁场电平EMEL内。

[0098]  $EMEL_{内} = EMEL_{外} - FSE$

[0099] 5)确定各设备电磁兼容性设计控制电平

[0100] 所谓飞机的EMC安全裕度太笼统,不同重要性等级的设备有不同安全裕度的要求,同一等级安全裕度要求的设备也会有不同的实际安全裕度。所以飞机的EMC安全裕度最终将具体落实到每一台设备上。每台设备的电磁兼容性设计控制电平,需要从电磁敏感度电平Electromagnetic Susceptibility Level—EMSL控制和电磁干扰电平Electromagnetic Interference Level—EMIL控制两方面来考虑。一般可由设备的EMC试验报告提供。对于EMC达标合格设备,其EMIL控制如保守些可取自GJB151A中传导和辐射的电磁发射限值,而EMSL控制则仍应以设备实测值为准。

[0101] 6)符合性评估

[0102] 从设备的对外接口——机箱和互联线从而辐射和传导两方面着手,分别把按前面几节方法获得的各设备数据,代入以下公式即得到其传导、辐射安全裕度符合性情况。

[0103] 电磁干扰电平EMIL控制 $\leq$ 预期与“实际电磁环境电平EMEL内-3dB”比较

[0104] 电磁敏感度电平EMSL控制 $\geq$ 预期与“实际电磁环境电平EMEL内+M<sub>要求</sub>”比较

[0105] 如果

[0106] 电磁干扰电平EMIL控制 $\leq$ 实际电磁环境电平EMEL内-3dB

[0107] 电磁敏感度电平EMSL控制 $\geq$ 实际电磁环境电平EMEL内+M<sub>要求</sub>

[0108] 这时安全裕度M=电磁敏感度电平EMSL控制-预期实际电磁环境电平EMEL内的值大于规定的值M<sub>要求</sub>,则表明被评估设备/系统满足要求。

[0109] 这里不仅考虑从安全裕度定义的电磁敏感电平来进行评估,还增加了对电磁发射电平的评估,给内部电磁环境电平EMEL内增加一些保险系数。

[0110] 例2.飞机外部电磁环境安全裕度评估(高电平表面电流注入法)

[0111] 试验流程为:配置合适的受试件接地方式和接地点位置(与实际装机状态一致或便于试验进行),先进行低电平辐照,用电缆卡钳测量设备互连电缆中的感应电流,再对飞

机机身合适点注入低电平电流,调整其大小,使监测到关注设备的互连电缆上感应电流与该测量值相同,由此得到辐照场强与注入电流之间的传输函数。利用高低电平之间的线性关系外推标准要求的高电平辐照场下的飞机蒙皮上感应电流,这即应直接注入电流值。最后保持飞机的电流注入点、接地方式和接地点位置不变,对飞机蒙皮注入该大电流。归纳步骤如下:

[0112] 1)以低电平 $E_{外low}$ 电磁场辐照飞机;

[0113] 2)检测关注设备所有互连电缆的感应电流,用电流钳卡在距机箱50mm处待测电缆上,测量其中感应电流 $I_{辐照low}$ ;

[0114] 3)对飞机机身合适点(常用注入/流出点对:机头-垂尾端、机头-左/右平尾端、机头-左/右机翼端、机翼端-机翼端、重点部位两边等)注入低电平电流,调整其大小,使监测到关注设备的互连电缆的感应电流 $I_{注入low}$ 与1)~2)的 $I_{辐照low}$ 相同,记录此注入电流 $I_{注low}$ ;

[0115] 4)重复以上步骤1)~3)对试验全频段扫描测量;

[0116] 5)测量数据对单位外部辐照场归一化 $I_{注low}/E_{外low}$ ;

[0117] 6)将归一化测量数据对要求的飞机外部电磁场电平 $EMEL_{外}$ 进行线性外推

[0118]  $I_{注high} = EMEL_{外} \times I_{注low}/E_{外low}$

[0119] 7)对飞机机身注入步骤6)得到的大电流 $I_{注high}$ ,实现电流注入对高电平辐照的替代。继续监测关注设备的互连电缆上感应电流,若也保持线性比例关系,则同时确认了电磁环境的等价性。

[0120] 例3.飞机外部电磁环境安全裕度评估(低电平耦合法)

[0121] 仅以低电平电流扫描法LLSC为例进行说明。试验流程为:配置合适的受试件接地方式和接地点位置(与实际装机状态一致或便于试验进行),先进行低电平辐照,用电缆卡钳测量互连电缆中的感应电流,得到辐照场强与互连电缆上感应电流之间的传输函数。利用高低电平之间的线性关系外推标准要求的高电平辐照场下互连电缆中感应电流,即感应注入电流值。最后保持受试件的接地方式和接地点位置不变,经电缆卡钳将对应量值电流感应注入传导到互连电缆中。归纳步骤如下:

[0122] 1)以预设低电平 $E_{外low}$ 电磁场辐照受试件;

[0123] 2)将检测电流钳卡在距机箱50mm处所有互连电缆上,测量其中感应电流 $I_{low}$ ;

[0124] 3)重复以上步骤1)~2)对试验全频段扫描测量;

[0125] 4)测量数据对单位外部辐照场归一化 $I_{low}/E_{外low}$ ;

[0126] 5)将归一化测量数据对规范要求的高电平场强进行线性外推

[0127]  $I_{high} = E_{外high} \times I_{low}/E_{外low}$

[0128] 对受试互连电缆通过电流卡钳感应注入步骤5)得到的高电平能量,实现电流注入对高电平辐照的替代,完成试验。

[0129] 例4.飞机内部电磁环境自兼容安全裕度评估

[0130] 1)确认受评估系统

[0131] 考虑各飞行阶段的所有飞机、系统、设备的各种工作模式,由此明确飞机内部可能的最极端电磁环境。同时根据设备出现EMC问题时对飞机可能造成的后果和危害程度,对飞机遂行使命任务的影响程度,设备的功能特性、硬件的不一致性以及有关的不确定性因素,

建立各设备重要性等级和对应安全裕度要求,通常安全级为12dB,任务级为6dB,普通级为0dB;

[0132] 2)确定各设备安装位置实际(或预期)电磁环境电平EMEL内

[0133] EMEL内是飞机自兼容安全裕度评估的基准,可用以下几种方法确定。

[0134] 现场实测:使全部机载电子/电气设备满负荷工作并切换不同工作模式,主要考察大功率、重负载设备可能的最强发射、最快电平变化率、最快功耗/负载切换速率等极限工作状态。频率 $f \geq 100\text{MHz}$ 时,选取机头/机身/机尾各设备舱、驾驶舱、客舱、货舱等区域设备机箱附近空间为环境电平采样测量点,用三轴场探头+接收机测量关注点的扫描频谱;频率 $f \leq 400\text{MHz}$ 时,选取机头/机身/机尾各设备舱、驾驶舱、客舱、货舱等区域设备所有连接器端互连电缆为环境电平采样测量点,用电流探头+接收机测量关注点的扫描频谱;以扫描频谱的最大包络为预期电磁环境电平EMEL内。

[0135] 分析估计:系统/设备级电磁兼容试验标准GJB151A/152A已经充分考虑到机载设备安装试验过程中可能遇到的电磁环境,直接取标准中传导敏感度CS、辐射敏感度RS的试验极限电平为预期电磁环境电平EMEL内;或以标准中传导敏感度CS、辐射敏感度RS的试验极限电平为基础值,视安装区域情况和附近具体设备,根据以往的实际经验,增加或减小若干量值进行合理调整。

[0136] 经验类比:选用类似飞机设备场景的已有数据,或适当修正。

[0137] 仿真计算:使用大型电磁场仿真计算软件包,如EM3D、CST、FECO等,对机身内部结构尺寸、材质,机舱内敷设互连电缆的尺寸、走向、材质,机载设备的安装位置、尺寸、材质,设备的电性能等评估对象、环境、边界条件进行尽可能逼真、详细的建模。再选用合适的时域、频域数值算法进行解算得出结果。简化计算时可先考虑带天线的收发信机,由发射机辐射功率、接收机接收灵敏度、收发天线方向图及间距、收发频率和带宽,计算收发基波、谐波之间可能存在的相互干扰影响;再考虑发射机对其它设备,根据发射机发射功率、发射天线方向图、发射天线至关注设备安装位置、机身屏蔽效能,利用通信距离方程计算出发射信号对关注设备的影响。

[0138] 3)确定各设备实际电磁兼容性设计控制电平

[0139] 所谓飞机的EMC安全裕度太笼统,不同重要性等级的设备有不同安全裕度的要求,同一等级安全裕度要求的设备也会有不同的实际安全裕度。所以飞机的EMC安全裕度最终将具体落实到每一台设备上。每台设备的电磁兼容性设计控制电平,需要从电磁敏感度电平Electromagnetic Susceptibility Level—EMSL控制和电磁干扰电平Electromagnetic Interference Level—EMIL控制两方面来考虑。一般可由设备的EMC试验报告提供。对于EMC达标合格设备,其EMIL控制如保守些可取自GJB151A中传导和辐射的电磁发射限值,而EMSL控制则仍应以设备实测值为准。

[0140] 4)符合性评估

[0141] 从设备的对外接口——机箱和互联线从而辐射和传导两方面着手,分别把按前面几节方法获得的各设备数据,代入以下公式即得到其传导、辐射安全裕度符合性情况。

[0142] 电磁干扰电平EMIL控制 $\leq$ 预期与“实际电磁环境电平EMEL内-3dB”比较

[0143] 电磁敏感度电平EMSL控制 $\geq$ 预期与“实际电磁环境电平EMEL内+M”比较

[0144] 如果

[0145] 电磁干扰电平EMIL控制 $\leq$ 实际电磁环境电平EMEL内 $-3\text{dB}$

[0146] 电磁敏感度电平EMSL控制 $\geq$ 实际电磁环境电平EMEL内 $+M_{\text{要求}}$

[0147] 这时安全裕度 $M = \text{电磁敏感度电平EMSL控制} - \text{预期实际电磁环境电平EMEL内的值}$ 大于规定的值 $M_{\text{要求}}$ ,则表明被评估设备/系统满足要求。

[0148] 这里不仅考虑从安全裕度定义的电磁敏感电平来进行评估,还增加了对电磁发射电平的评估,给内部电磁环境电平EMEL内增加一些保险系数。

[0149] 可以理解的是,对本领域普通技术人员来说,可以根据本发明的技术方案及其发明构思加以等同替换或改变,而所有这些改变或替换都应属于本发明所附的权利要求的保护范围。

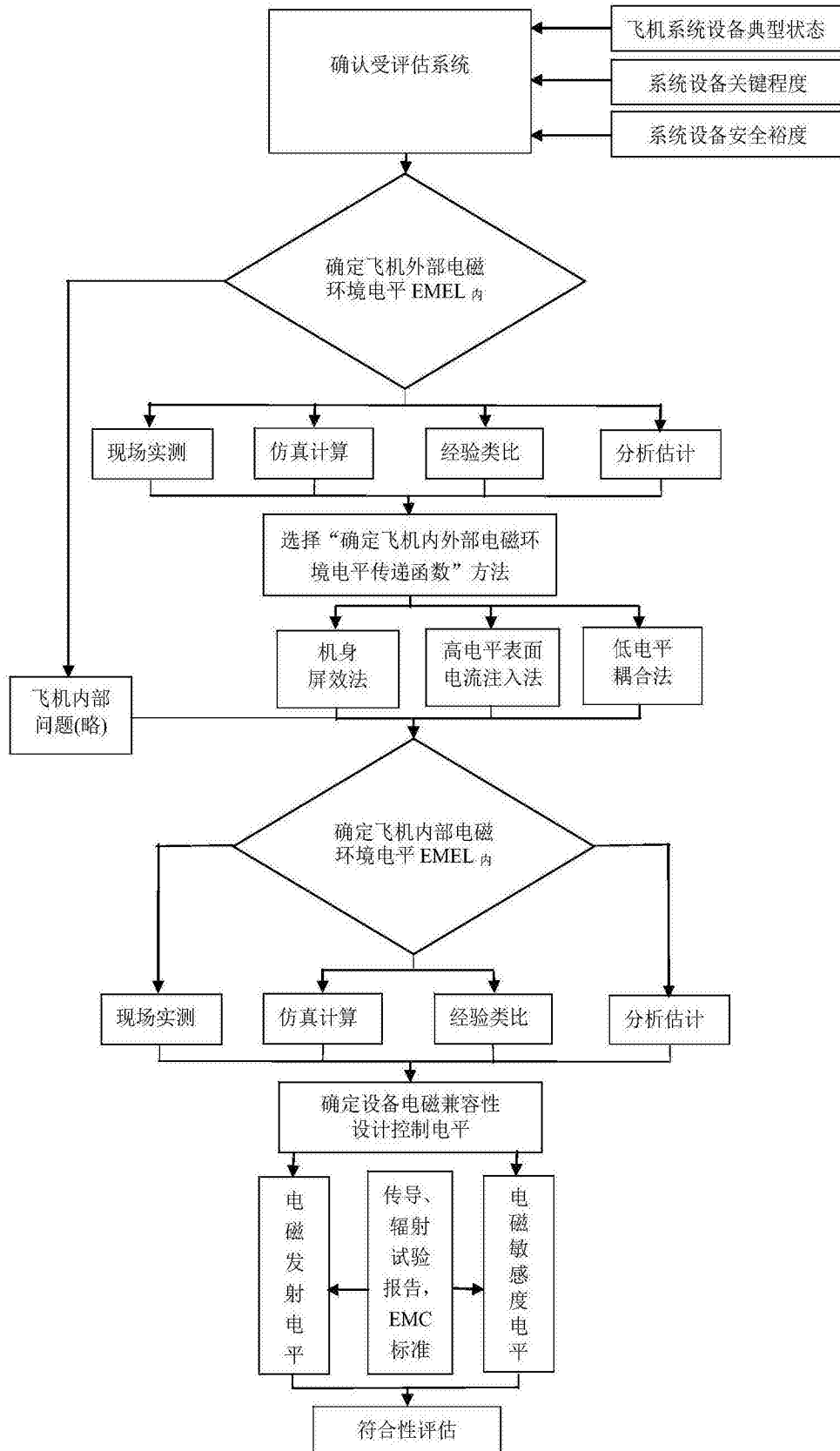


图1

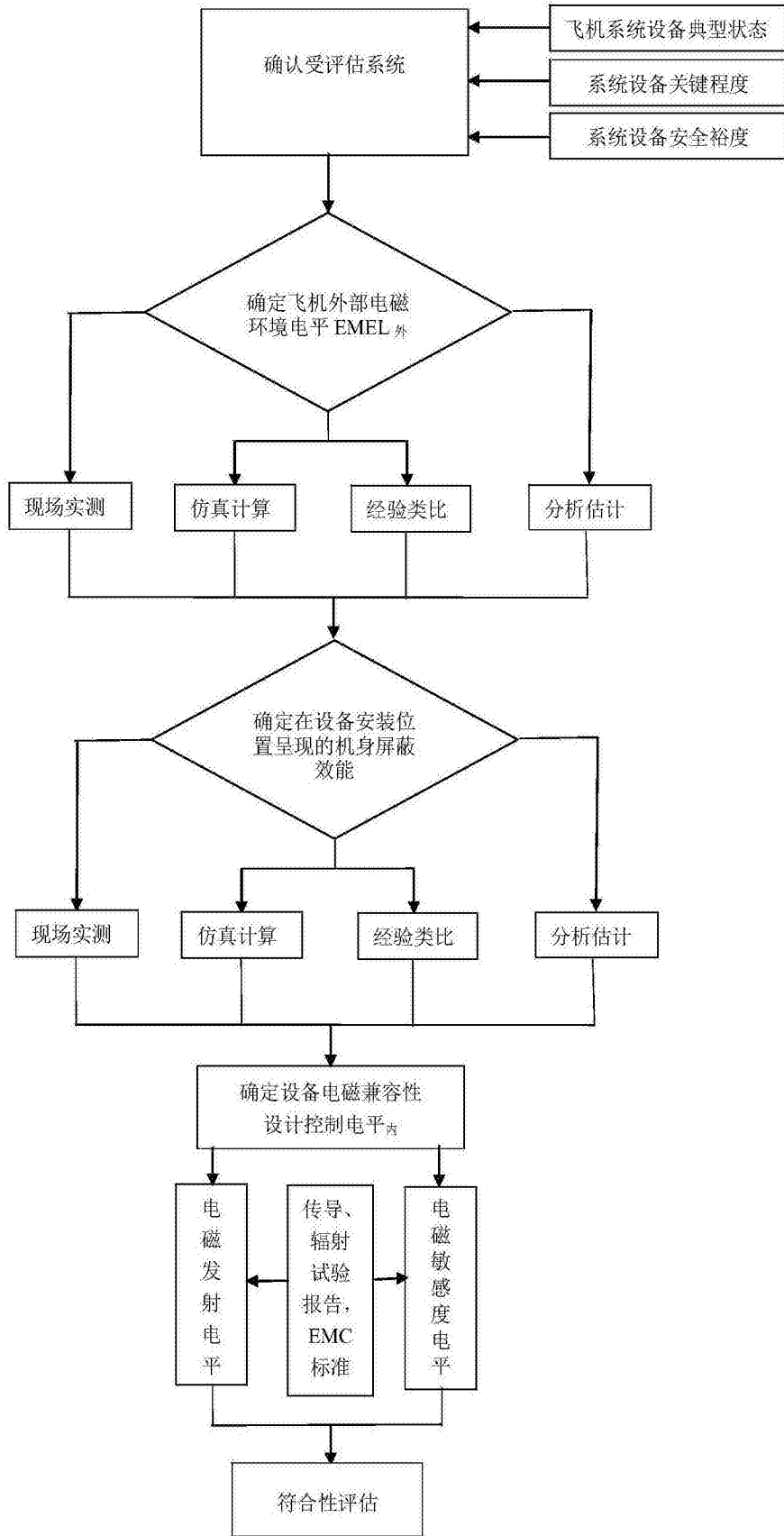


图2

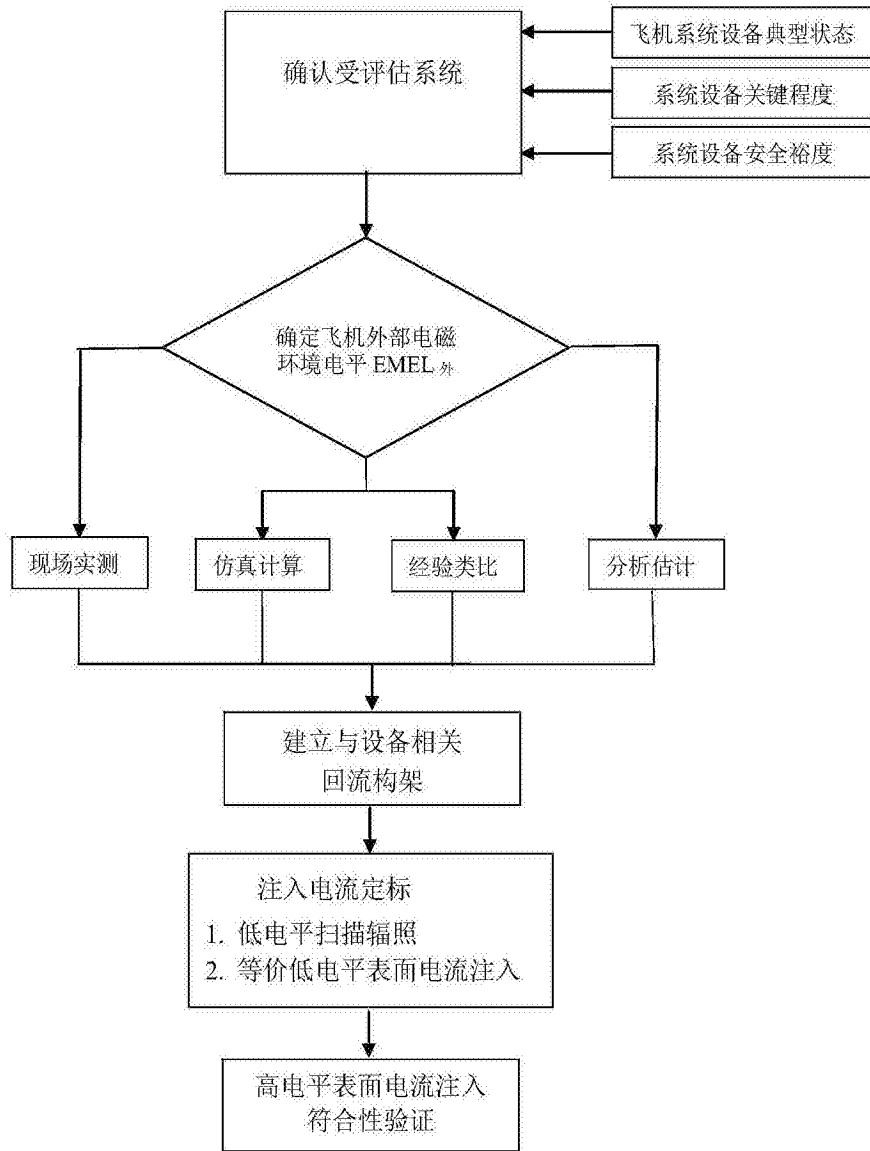


图3

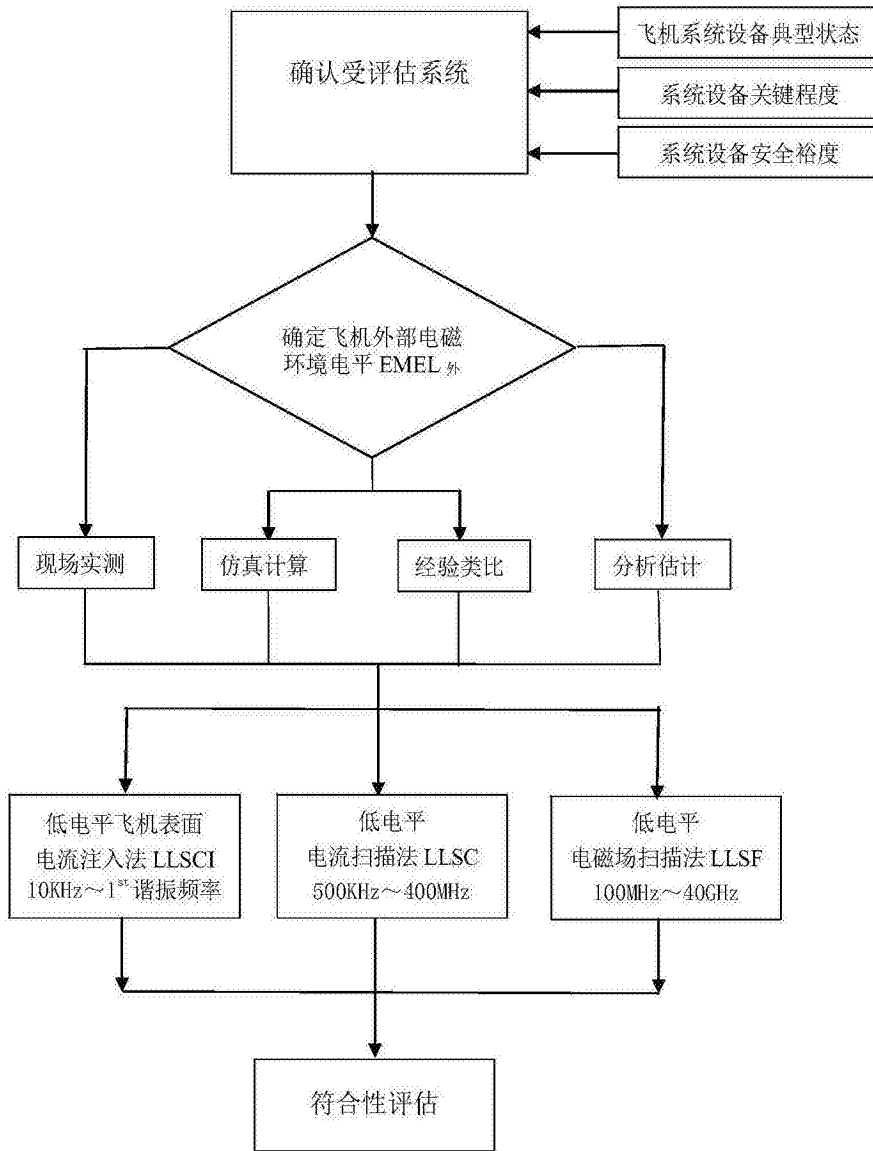


图4



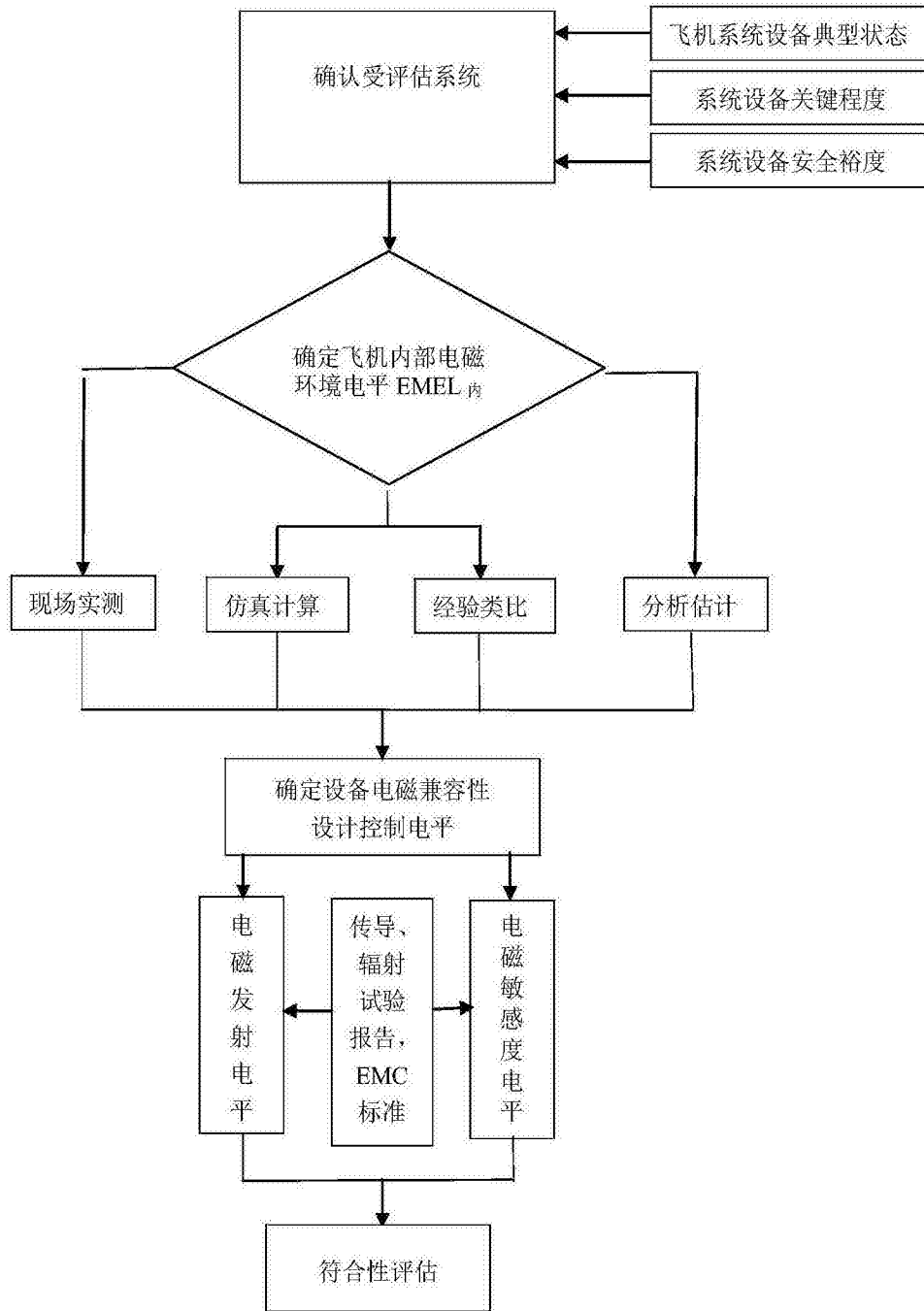


图5