



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102299425 B

(45) 授权公告日 2014. 01. 15

(21) 申请号 201110159278. X

(22) 申请日 2011. 06. 14

(73) 专利权人 西安空间无线电技术研究所
地址 710100 陕西省西安市长安区西街 150 号

(72) 发明人 张蕾 杨恪 万小平 宋文超
王耀霆 吕庆立

(74) 专利代理机构 中国航天科技专利中心
11009

代理人 杨虹

(51) Int. Cl.

H01Q 23/00 (2006. 01)

H01Q 13/02 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101227019 A, 2008. 07. 23,

CN 101694903 A, 2010. 04. 14,

US 2004222867 A1, 2004. 11. 11, 全文.

A. M. Boifot. simple and broadband orthomode transducer. 《Microwaves, Antennas and Propagation, IEE Proceedings》. 1990, 第 137 卷 (第 6 期),

审查员 郭艳芳

权利要求书1页 说明书5页 附图3页

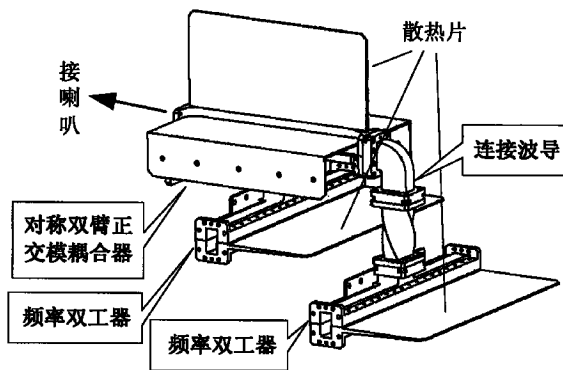
(54) 发明名称

一种 Ku 频段大功率低 PIM 宽带极化频率双工馈电组件

(57) 摘要

一种 Ku 频段大功率低 PIM 宽带极化频率双工馈电组件, 由对称双臂正交模耦合器和两个频率双工器组成, 所述对称双臂正交模耦合器包括内部结构和外壳, 所述内部结构包括公共方波导、对称双臂耦合通路和纵向直通路, 形成公共端口、对称双臂合成端口和纵向直通端口, 所述公共方波导的两个侧面对称开辟两个同尺寸的矩形耦合窗口, 在矩形耦合窗口的短边中点处插入与矩形耦合窗口长边平行且等长的感性柱, 在公共方波导内居中插入与两侧矩形耦合窗口垂直连接的赋形膜片。本发明采用对称双臂正交模耦合器和两个频率双工器连接的结构完成信号的极化双工和频率双工, 解决了 Ku 频段天线系统极化复用和频率复用这两个传统技术难题; 本发明的对称双臂正交模耦合器, 采用特殊的赋形曲线膜片和感性柱, 使本发明实现宽带匹配、避免非对称性高次模, 又具有紧凑的结构形式。

CN 102299425 B



1. 一种 Ku 频段大功率低 PIM 宽带极化频率双工馈电组件,其特征在于:由对称双臂正交模耦合器和两个频率双工器组成,所述对称双臂正交模耦合器包括内部结构和外壳,所述内部结构包括公共方波导、对称双臂耦合通路和纵向直通路,形成公共端口、对称双臂合成端口和纵向直通端口,所述公共方波导的两个侧面对称开辟两个同尺寸的矩形耦合窗口,矩形耦合窗口长边中线与公共方波导侧面短边的中线重合,两个矩形耦合窗口分别连接对称双臂耦合通路的两个对称双臂的一支,矩形耦合窗口与对称双臂的夹角为 45° ,在矩形耦合窗口的短边中点处插入与矩形耦合窗口长边平行且等长的感性柱,在公共方波导内居中插入与两侧矩形耦合窗口垂直连接的赋形膜片,赋形膜片的厚度方向与矩形耦合窗口长边平行,所述赋形膜片上部的线形截取自指数函数曲线的一段,两侧线形对称一致,下部为矩形,矩形的宽度与公共方波导的边长一致,上部指数函数曲线与下部矩形的交点落在两侧矩形耦合窗口的远离公共端口的长边上,公共方波导连接方矩过渡段和 E 面 90° 弯波导形成纵向直通端口,对称双臂耦合通路连接插入三角形膜片的 Y 型接头形成对称双臂合成端口,纵向直通端口和对称双臂合成端口各连接一个频率双工器。

2. 根据权利要求 1 所述的一种 Ku 频段大功率低 PIM 宽带极化频率双工馈电组件,其特征在于:所述的频率双工器由 T 型接头和两个通道滤波器即发射通道滤波器和接收通道滤波器组成,发射通道滤波器和接收通道滤波器采用 H 面膜片形式,T 型接头的对称水平端两侧分别通过一段直波导连接发射通道滤波器和接收通道滤波器,T 型接头的垂直端形成公共端口,在 T 型接头的公共端口处有一对对称分布的 H 面膜片,在 T 型接头的水平端中心靠近接收通道滤波器的一侧有一调谐齿。

3. 根据权利要求 1 所述的一种 Ku 频段大功率低 PIM 宽带极化频率双工馈电组件,其特征在于:所述的对称双臂正交模耦合器从与侧壁矩形耦合窗口垂直的方向剖分为两部分,下部含完整的赋形膜片和纵向直通端口,上部的外壳上端面中部位置有与对称双臂耦合通路形成的平面垂直的散热片,两部分的内部结构为整体成型。

4. 根据权利要求 2 所述的一种 Ku 频段大功率低 PIM 宽带极化频率双工馈电组件,其特征在于:所述的频率双工器从滤波器的宽边对称剖分,上半含公共端口,下半的外壳一侧有与滤波器窄边平行的散热片,两半的内部膜片采用一体化加工。

一种 Ku 频段大功率低 PIM 宽带极化频率双工馈电组件

技术领域

[0001] 本发明涉及一种双线极化收发共用天线馈源,特别是涉及一种 Ku 频段大功率(公共端口合成功率达 1840W)低 PIM(要求在馈电组件与转发器输入端连接的端口处,高低温情况下的 7 阶 PIM 产物小于 -193dBc)宽带极化频率双工馈电组件,属于新型星载天线馈源系统技术领域。

背景技术

[0002] 卫星有效载荷天线分系统可以使实现电磁信号的接收和发射功能,传统的天线分系统设计采用天线收发分开方案,即一副接收天线和一副发射天线,这种方案的技术难度较小,馈源组件技术易于实现,无需考虑宽频带匹配问题,在使用频率范围内可以获得较高的性能。但其弊端也很明显,两副天线的体积和质量会使结构布局设计付出很高代价,增加卫星平台的承载压力。

[0003] 单天线、双馈源方案是天线收发分开方案的改进形式,这种方案采用一套反射器和两套馈源(接收馈源、发射馈源),馈源组件仍然考虑窄带使用要求,技术较简单,并将结构布局的压力转移至放射器,但是这会增加反射器赋形难度,并且如果两个馈源不在最优位置,会牺牲天线整体性能。

[0004] 新一代通信卫星的发展对有效载荷系统提出了更加严格要求,比如充分利用有限的频率资源、系统信道数量和信道功率容量不断增加,抗 PIM 能力不断提升等等,特别是在 Ku 频段,通常要求单幅天线收发共用,这无疑增加了系统的无源互调(PIM)风险,需要严格控制系统的线性程度,并且为了提高频率资源利用率,双线极化模式也被更多的利用。

[0005] 双线极化收发共用天线馈源组件中的设计难点是正交模耦合器组件,每一种极化信号的传输都涵盖接收和发射频段,因此信号的宽带匹配、高次模抑制以及端口隔离度都是需要重点考虑的问题,现有的一般采用对称四臂耦合正交模耦合器,虽然对称四臂耦合正交模耦合器可以在很宽的频带范围内实现较优的性能,但是其结构复杂,不适用于结构布局紧凑的要求。

发明内容

[0006] 本发明的技术解决问题是:克服现有技术的不足,提供一种解决了 Ku 频段天线系统频率复用和极化复用这两个传统技术难题的紧凑型宽带极化频率双工馈电组件,同时进一步满足了有效载荷系统所要求的高功率耐受能力和低 PIM 的严格要求。

[0007] 本发明的技术方案是:一种 Ku 频段大功率低 PIM 宽带极化频率双工馈电组件,由对称双臂正交模耦合器和两个频率双工器组成,所述对称双臂正交模耦合器包括内部结构和外壳,所述内部结构包括公共方波导、对称双臂耦合通路和纵向直通路,形成公共端口、对称双臂合成端口和纵向直通端口,所述公共方波导的两个侧面对称开辟两个同尺寸的矩形耦合窗口,矩形耦合窗口长边中线与公共方波导侧面中线重合,两个矩形耦合窗口分别连接对称双臂耦合通路的两个对称双臂的一支,矩形耦合窗口与对称双臂的夹角为

45°，在矩形耦合窗口的短边中点处插入与矩形耦合窗口长边平行且等长的感性柱，在公共方波导内居中插入与两侧矩形耦合窗口垂直连接的赋形膜片，赋形膜的厚度方向与矩形耦合窗口长边平行，所述赋形膜片上部的线形截取自指数函数曲线的一段，两侧线形对称一致，下部为矩形，矩形的宽度与公共方波导的边长一致，上部指数函数曲线与下部矩形的交点落在两侧矩形耦合窗口的远离公共端口的长边上，公共方波导连接方矩过渡段和 E 面 90° 弯波导形成纵向直通端口，对称双臂耦合通路连接插入三角形膜片的 Y 型接头形成对称双臂合成端口，纵向直通端口和对称双臂合成端口各连接一个频率双工器。

[0008] 所述的频率双工器由 T 型接头和两个通道滤波器即发射通道滤波器和接收通道滤波器组成，发射通道滤波器和接收通道滤波器采用 H 面膜片形式，T 型接头的对称水平端两侧分别通过一段直波导连接发射通道滤波器和接收通道滤波器，T 型接头的垂直端形成公共端口，在 T 型接头的公共端口处有一对对称分布的 H 面膜片，在 T 型接头的水平端中心靠近接收通道滤波器的一侧有一调谐齿。

[0009] 所述的对称双臂正交模耦合器从与侧壁矩形耦合窗口垂直的方向剖分为两部分，下部含完整的赋形膜片和纵向直通端口，上部的外壳上端面中部位置有与对称双臂耦合通路形成的平面垂直的散热片，两部分的内部结构为整体成型。

[0010] 所述的频率双工器从滤波器的宽边对称剖分，上半含公共端口，下半的外壳一侧有与滤波器窄边平行的散热片，两半的内部膜片采用一体化加工。

[0011] 本发明与现有技术相比有益效果为：

[0012] (1) 本发明采用对称双臂正交模耦合器和两个频率双工器连接的结构完成信号的极化双工和频率双工，解决了 Ku 频段天线系统极化复用和频率复用这两个传统技术难题；

[0013] (2) 本发明的对称双臂正交模耦合器，采用特殊的赋形曲线膜片和感性柱，使本发明实现宽带匹配、避免非对称性高次模，又具有紧凑的结构形式；

[0014] (3) 本发明的频率双工器 T 型接头内部增加了调谐齿和膜片，实现频率双工器的宽带匹配；

[0015] (4) 本发明的对称双臂正交模耦合器和频率双工器采用一体化加工方式，减少法兰连接面，具备了抗 PIM 能力；

[0016] (5) 本发明对称双臂正交模耦合器和频率双工器设计了散热片，使本发明具有高功率耐受能力；

[0017] (6) 本发明在正交模耦合器的两个极化信号端口接入频率双工器后，就可以实现极化频率双工，这种馈源组件具有宽带匹配特性、较强的高次模抑制能力、较高的极化端口隔离和频率端口隔离，并且体积小、重量轻；

[0018] (7) 本发明适用于指标要求非常严格的星载应用环境，在空间和质量资源非常紧张的情势下有利于卫星平台的合理应用，具有很强的实用性和市场竞争力。

附图说明

[0019] 图 1 为本发明极化频率双复用馈电链路工作原理图

[0020] 图 2 为本发明整体结构示意图；

[0021] 图 3 为本发明对称双臂正交模耦合器整体结构示意图；

[0022] 图 4 为本发明对称双臂正交模耦合器整体电气示意图；

- [0023] 图 5 为本发明对称双臂正交模耦合器局部放大电气示意图；
- [0024] 图 6 为本发明频率双工器整体结构示意图；
- [0025] 图 7 为本发明频率双工器整体电气示意图。

具体实施方式

[0026] 通过对比多种天线馈源方案,结合天线整体技术要求,本发明采用极化频率双复用的馈电形式,由对称双臂正交模耦合器和频率双工器等部件组成。如图 1 所示,当天线工作在接收状态时,喇叭接收到正交的双线极化信号被对称双臂正交模耦合器耦合分离到各自的极化端口,再经过分别接在各个极化端口的频率双工器接收通道传输给转发器;当天线工作在发射状态时,转发器输入给天线的两种极化的信号分别由频率双工器发射通道输入到各自连接的极化端口,再由对称双臂正交模耦合器合成并通过喇叭辐射出去。馈电链路中对称双臂正交模耦合器和频率双工器的结合就是实现极化和频率双复用的关键,称为极化频率双工馈电组件。

[0027] 本发明如图 2 所示,包括对称双臂正交模耦合器和两个频率双工器,对称双臂正交模耦合器的纵向直通端口和对称双臂合成端口各连接一个频率双工器。本发明各部分都具有宽带匹配、高功率耐受和抗 PIM 技术,以保证整个馈源的性能,以下结合附图具体说明本发明的设计。

[0028] 1、对称双臂正交模耦合器

[0029] 本发明如图 3 所示,对称双臂正交模耦合器包括内部结构和外壳,内部电气形式如图 4、5 所示,包括公共方波导、对称双臂耦合通路和纵向直通路,形成公共端口、对称双臂合成端口和纵向直通端口。对称双臂耦合通路由堆成分布的侧臂和 Y 型接头组成,纵向直通路由公共方波导、方矩过渡段和 E 面 90° 弯波导组成。在公共方波导的两个侧面对称开辟了同尺寸的矩形耦合窗口,窗口长边中线与方波导侧边中线重合,两个窗口分别连接对称双臂的一支,连接角度为 45° 。在矩形耦合窗口的短边中点处插入与矩形耦合窗口长边平行并且等长的感性柱;在公共方波导内居中插入与两侧矩形耦合窗口垂直连接的赋形膜片,赋形膜片厚度方向与矩形耦合窗口长边平行,赋形膜片上部的线形截取自指数函数曲线的一段,两侧线形对称一致,下部为矩形,矩形的宽度与公共波导的边长一致,上部指数函数曲线与下部矩形的交点落在两侧矩形耦合窗口的远离公共端口的长边上;公共方波导连接方矩过渡段和 E 面 90° 弯波导形成纵向直通端口,对称双臂耦合通路连接插入三角形膜片的 Y 型接头形成对称双臂合成端口。

[0030] 对称双臂正交模耦合器的电气设计关键在实现两个正交极化信号的宽带匹配以及抑制公共波导内激励起来的高次模分量。采用图 5 所示的对称双臂正交模耦合器时,正交主模信号 (TE₁₀ 模、TE₀₁ 模) 通过对称分支分离传输,激励起的非对称性高次模量级最小;赋形膜片和感性柱可以实现两种主模信号的宽带匹配。如图 4 所示,每个通路的双接头末端连接专门设计的合成器 (插入三角形膜片的 Y 型接头和方矩过渡段、E 面 90° 弯波导) 将主模信号合成,以最终完成信号的极化双工;对称双臂正交模耦合器内部的高功率考核点位于侧壁矩形耦合窗口,采用窄边波导形式的矩形耦合窗口可以保证足够的功率容量;波导部件的 PIM 水平与其法兰接触面的紧密程度、接触面材料、和接触面电流密度都有关系,因此低 PIM 设计主要是从结构设计和工艺设计方面考虑,例如采用一体化加工、减少

接口数量、特殊法兰和线性材料等措施。

[0031] 对称双臂正交模耦合器采用的关键技术具体包括：

[0032] (1) 信号宽带匹配和高次模抑制

[0033] 如图 4、5 所示,首先根据主模信号的工作频率确定公共方波导的尺寸,使公共方波导腔内能够同时传输发射和接收两个频段信号;其次要考虑分支结构,采用对称双臂耦合通路,可以避免在分离两个正交的主模信号时产生非对称性高次模,抑制高次模量级;在公共方波导内部插入赋形膜片,赋形膜片两侧与矩形耦合窗的宽边相接,对称双臂和公共波导的夹角为 45° ,这使从对称双臂耦合传输的信号宽带匹配效果最佳;在矩形耦合窗口的短边中点处插入与长边平行的感性柱,可以调节纵向直通路的信号宽带匹配;用插入三角形膜片的 Y 型接头将对称双臂耦合通路的双接头合成,方矩过渡段和 E 面 90° 弯波导将纵向直通路的双接头合成。

[0034] (2) 高功率耐受

[0035] 在加工能力能够实现的前提下,感性柱的直径越小越好,这样可以增加耦合窗口处的微放电余量,提高功率耐受能力;同时根据结构热分析得出正交模耦合器的热场分布,在正交模耦合器上端面设计与其垂直的散热片,如图 3 所示,散热片厚度的渐变角度是根据热传导的方向性确定的,保证其工作在大功率状态时因波导欧姆损耗产生的热能很好的散去,防止产品表面温度过高。

[0036] (3) 抗 PIM 设计

[0037] 为了增加正交模耦合器的抗 PIM 能力,在进行结构设计时,采用图 3 所示的剖分方式,对称双臂正交模耦合器从与侧壁矩形耦合窗口垂直的方向剖分为两部分,下部含完整的赋形膜片和纵向直通端口,上部的外壳上端面中部位置有与对称双臂耦合通路形成的平面垂直的散热片,两部分的内部结构为整体成型,内部无焊接工艺,避免的接触面材料的非线性,这种剖分方式使得耦合器接口法兰数目减少,以降低波导结构不连续性;根据法兰面接触面积与压强的关系改变法兰接触面的形状,增强法兰面的连接紧密度。

[0038] 2、频率双工器

[0039] 频率双工器采用 T 型波导接头连接两个通道滤波器的形式,用于分离接收和发射频段的信号。如图 6、7 所示, T 型接头的对称水平端两侧分别通过一段直波导连接发射通道和接收通道滤波器, T 型接头的垂直端形成公共端口,在 T 型接头的公共端口处有一对对称分布的 H 面膜片,在 T 型接头的水平端中心靠近接收通道滤波器的一侧有一调谐齿。

[0040] 通道滤波器采用 H 面膜片(感性膜片)滤波器,这样可以满足大功率工作的要求。除了前述的低 PIM 设计方法外,双工器采用不可调谐形式以及宽边剖分加工方式都可以有效控制 PIM 水平。

[0041] 频率双工器采用的关键技术具体包括：

[0042] (1) 信号宽带匹配

[0043] 首先,通道滤波器应设计达到较优的通带回波损耗和阻带抑制制度;其次,两个通道滤波器与 T 形接头连接后,反射系数的相位发生了变化,这时需要在 T 形接头内部增加调谐齿和膜片,如图 7 所示,通过改变调谐齿和膜片的形状、位置,调整连接处的波导长度,来补偿反射系数相位的变化。由于这些调谐环节之间的相互影响较复杂,需要将它们的尺寸、位置设置成优化变量,将频率双工器的通带回波损耗和阻带抑制设置成优化目标,通过模式

匹配法进行优化,实现频率双工器的宽带匹配。

[0044] (2) 高功率耐受

[0045] 由于滤波器采用谐振腔形式,信号在谐振腔产生谐振,电流累加效应很大,因此采用图 7 所示的 H 面膜片滤波器,使得波导内电场传输的距离最大,以提高其微放电余量;同时根据频率双工器的热场分布,在热场传输最快的位置设计散热片,如图 6 所示,可以降低部件表面温度,保护其正常工作。

[0046] (3) 抗 PIM 设计

[0047] 频率双工器通过充分优化和容差分析,使得加工误差对电性能的影响达到最小,因此无任何可调环节,避免因不连续性引起的 PIM;采用宽边对称剖分(如图 6 所示位置),上半含公共端口,下半的外壳一侧有与滤波器窄边平行的散热片,两半的内部膜片采用一体化加工。剖分面电流密度最低,可以避免电场非线性引起的接触面电流激增;通道滤波器膜片采用一体化加工方式,无焊接工艺,避免因材料的非线性产生 PIM。

[0048] 本发明的测试试验结果如下:

[0049] 端口性能:通过电性能测试得到馈电组件的实际性能,收发宽频带内的驻波比 < 1.3 ,极化端口隔离度 $> 45\text{dB}$,频率端口隔离度 $> 45\text{dB}$ 。

[0050] 高功率耐受性能:馈电组件通过了一个极化通道输入脉冲功率为 2350W 的准鉴定级真空微放电试验;通过了全功率输入状态下的功率耐受试验,馈源表面温度低于 70°C ,满足鉴定试验要求;

[0051] 抗 PIM 能力:在两路 100W 发射信号输入下,当试验温度分别为低温 (-55°C)、室温、高温 ($+142^\circ\text{C}$) 时,在馈电组件与转发器输入端连接的端口测得的 7 阶 PIM 产物小于 -194dBc 。

[0052] 本发明未详细说明部分属本领域技术人员公知常识。

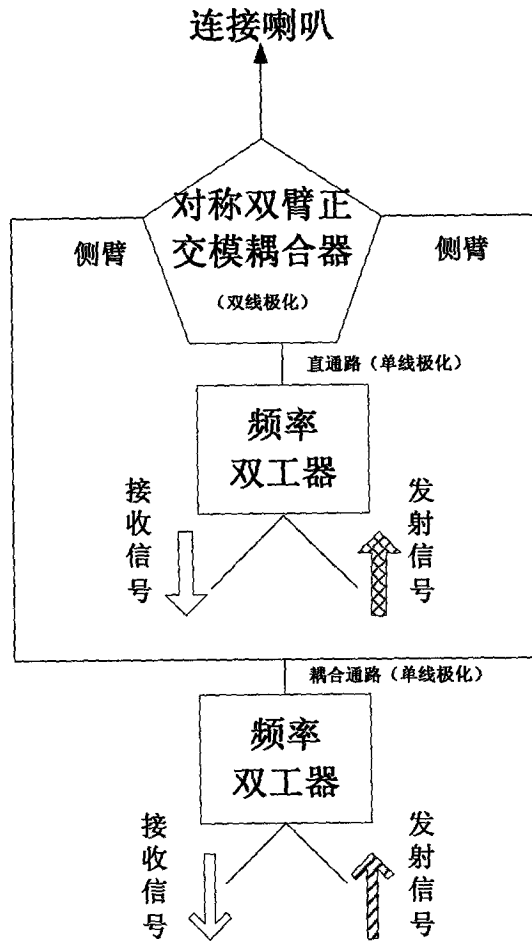


图 1

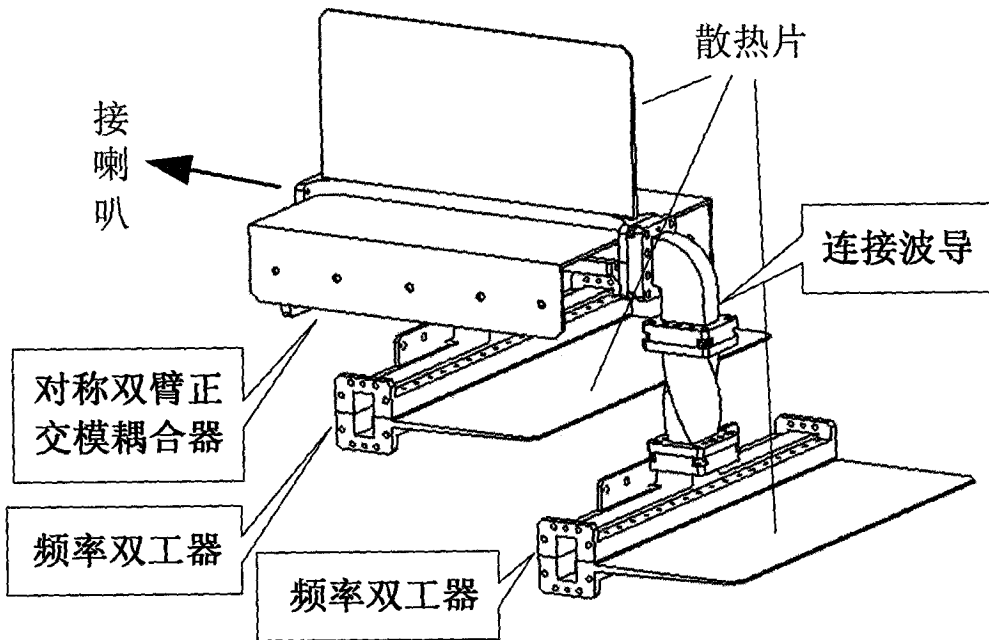


图 2

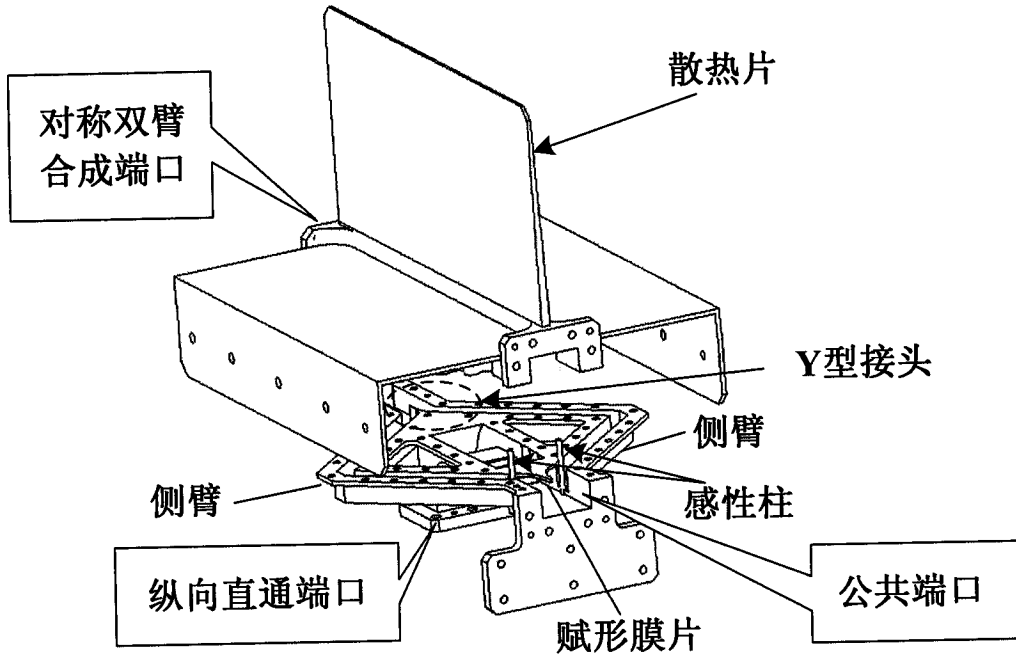


图 3

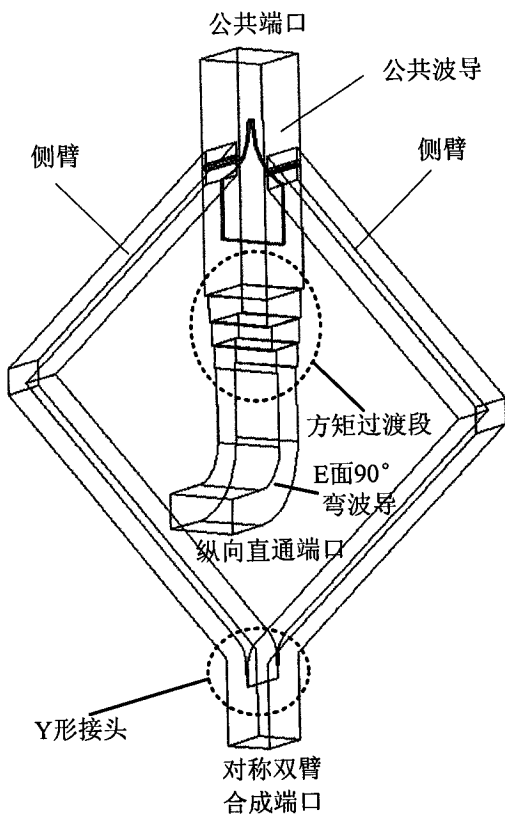


图 4

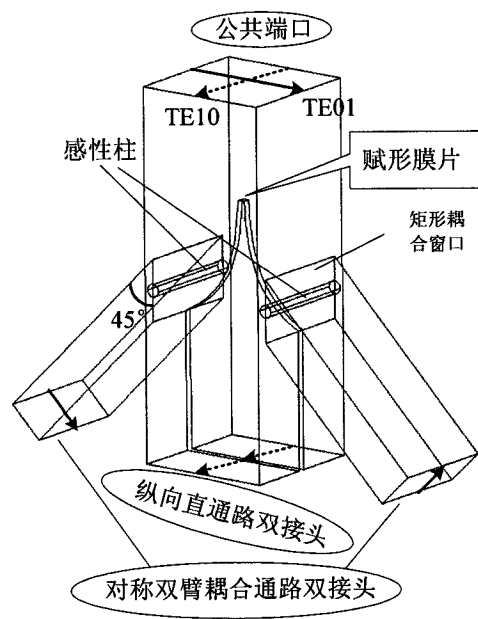


图 5

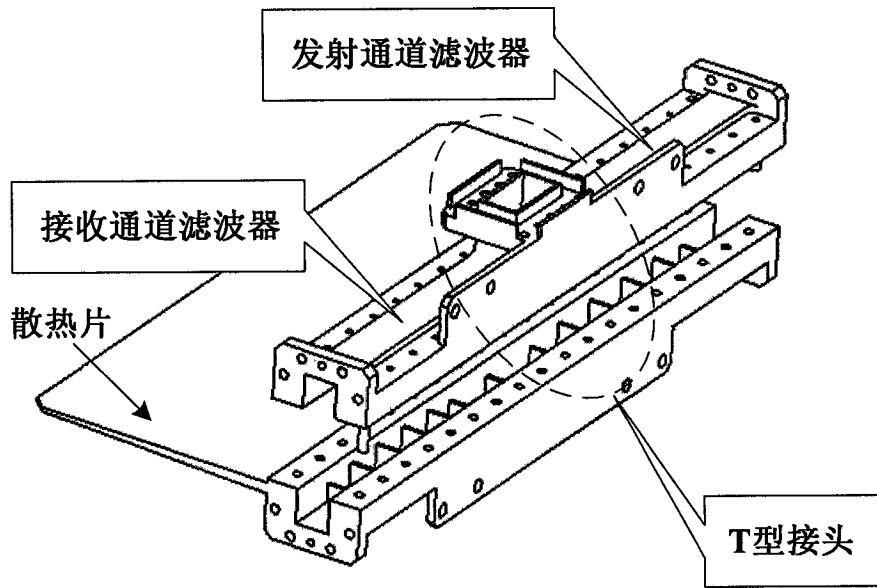


图 6

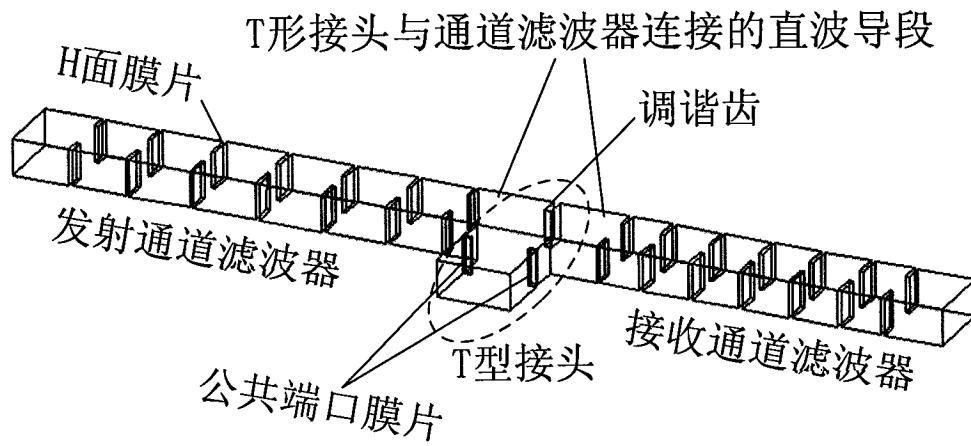


图 7