

doi: 10.7690/bgzdh.2025.02.013

# C 频段正交模耦合器的设计

张明轩

(零八一电子集团四川力源电子有限公司, 四川 广元 628017)

**摘要:** 针对结构形式相对复杂、设计较为繁琐、调试困难等问题, 研制一款 C 频段通信系统适用的正交模式耦合器 (ortho-mode transducer, OMT)。借助正交波导间的隔离特性并通过选取合适的波导口径大小, 提高 5.4~5.7 GHz 频段内的收发隔离度。制作原理样机并进行测试, 结果表明: 在 5.4~5.7 GHz 频段内, 直通端口的驻波比小于 1.10, 耦合端口的驻波比小于等于 1.15, 收发隔离度小于 -57.5 dB, 证明该设计有效且满足 C 频段天馈设备的要求。

**关键词:** OMT; C 频段; 隔离度

**中图分类号:** TN914 **文献标志码:** A

## Design of Ortho-mode Transducer in C-band

Zhang Mingxuan

(No. 081 Electronic Group Sichuan Liyuan Electronic Co., Ltd., Guangyuan 628017, China)

**Abstract:** An ortho-mode transducer (OMT) suitable for C-band communication system is developed to solve the problems of complex structure, complicated design and difficult debugging. The transmitter-receiver isolation in the 5.4 to 5.7 GHz frequency band is improved by using the quarantine characteristics between orthogonal waveguides and selecting the appropriate waveguide aperture size. The prototype is made and tested, and the results show that the VSWR of the straight-through port is less than 1.10, the VSWR of the coupling port is less than or equal to 1.15, and the transmit-receive isolation is less than -57.5 dB in the 5.4 to 5.7 GHz band, which proves that the design is effective and meets the requirements of C-band antenna and feeder equipment.

**Keywords:** OMT; C-band; isolation

### 0 引言

随着科技的快速进步, 频谱资源愈发紧张, 多种因素促使卫星通信逐步向着多极化、多频段、集成化等方向发展。卫星通信系统中反射面天线的设计和布局也经常需要面对一副天线工作在多个频段的复杂局面; 因此, 位于馈源后端的正交模耦合器 (OMT) 的作用日益凸显, 其不仅能够实现信号分频、变极化等目的, 而且还对整个馈源系统的辐射性能产生影响, 是反射面天馈系统的核心部件之一。

正交模耦合器在物理层面是一种典型的三端口微波器件, 通常有一个公共端口 (圆形或者方形), 内部传输 2 个正交的主模信号 ( $TE_{10}$  模式、 $TE_{01}$  模式)。2 个信号经过 OMT 后分别被传输给直通端口、耦合端口。由于端口间极化正交性, 使得直通端口-耦合端口间隔离度较高。

关于 OMT 的实现结构, 相关学者已作了大量研究, 如十字转门、内插隔板及斜面过渡等结构类型<sup>[1-4]</sup>, 但结构形式都相对复杂、设计上较为繁琐, 亦或调试困难。

针对上述问题, 笔者研制了一款适用于 C 频段、波导宽边耦合及圆杆匹配的非对称结构正交模耦合器。该器件可应用于卫星通信系统, 具有结构紧凑、易于加工及性能指标优异等特点。

### 1 工作原理

图 1 展示了该器件的工作原理, 当器件处于发射状态时,  $TE_{10}$  主模信号由器件的直通端口馈入, 经由多级阶梯阻抗匹配段逐渐过渡到公共端口, 低损耗输出。因为直通端口和耦合端口之间的极化正交性, 所以  $TE_{10}$  模式无法通过谐振窗进入耦合端口。

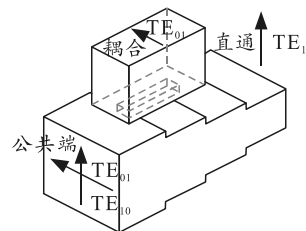


图 1 正交模耦合器工作原理

当器件处于接收状态时, 从空间返回的  $TE_{01}$  模信号经由公共端口低损耗馈入, 由于波导窄边长

收稿日期: 2024-07-10; 修回日期: 2024-08-21

第一作者: 张明轩 (1992—), 男, 甘肃人, 硕士。

度逐渐减小，导致其截止频率逐渐上升，信号被阶梯阻抗段所反射，因而不能抵达直接端口，只能经由谐振窗传输到耦合端口，这样就实现了 TE<sub>10</sub> 模和 TE<sub>01</sub> 模 2 种信号在器件上的分离。

通常情况下，反射面天线的馈源输入端大多采用圆波导结构，因此，为使传输线阻抗得到匹配并减少内腔结构上的不连续性，还需要把公共端口的方波导转换为圆波导。

笔者设计的正交模耦合器其直通端口、耦合端口工作频段均为 5.4~5.7 GHz。基于直通端口、耦合端口的极化正交特性，通过合理选取波导口径大小、多级阶梯过渡段的结构尺寸及匹配圆杆的位置和直径，能够显著提高正交模耦合器在 5.4~5.7 GHz 频段范围内收发端口之间的隔离度及驻波比指标。

## 2 设计思路

### 2.1 确定各个波导的口径尺寸

笔者研制的正交模耦合器，其公共端口采用的是圆波导结构，波导 TE<sub>11</sub> 主模的截止波长为： $\lambda_c = 3.41 * R$ ，其中  $R$  为圆波导半径，mm。

在工作频带内，圆波导的口径应尽可能地抑制高次模的产生及沿系统传输<sup>[3]</sup>，需满足关系： $300 / (3.41 * FL) \leq D / 2 \leq 300 / (1.64 * FH)$ 。式中：FL 为工作频率下限；FH 为工作频率上限，GHz； $D$  为圆波导直径，mm。经综合比较分析，最终选用的圆波导直径为  $\phi 38$  mm。

直通端口及耦合端口均选用标准的 WR187 标准波导(口径为：47.549 mm×22.149 mm)。

### 2.2 设计矩-圆过渡

图 2 展示的是正交模耦合器的直通端口的矩-圆过渡结构。该结构采用了 4 级过渡，其中第 1、2 和 3 级过渡为波导阶梯形式，阻抗变换符合切比雪夫多项式分布，经过 Ansoft HFSS 13.02 软件的数值优化，详细参数如表 1 所示。第 4 级过渡为方-圆渐变结构，长度为 150 mm。

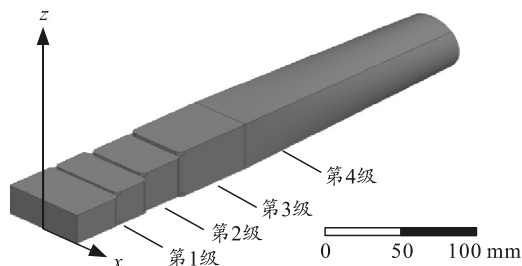


图 2 矩-圆过渡仿真建模

表 1 矩-圆过渡仿真建模主要参数

变量	第 1 级过渡	第 2 级过渡	第 3 级过渡
口径/mm	44×27.9	35.5×31.6	34×34
长度/mm	22.1	26.8	46.4
截面阻抗/ $\Omega$	372.1	635.8	762.4

经过 Ansoft HFSS 13.02 仿真软件的数值优化，得到了该过渡结构的最终仿真结果，如图 3 所示。在频段 5.4~5.7 GHz 内，矩-圆过渡的驻波比小于 1.10。

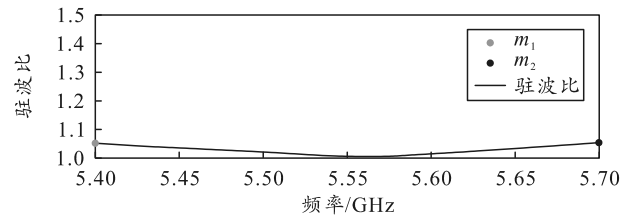


图 3 矩-圆过渡驻波比仿真结果

### 2.3 设计耦合端口谐振窗

图 4 展示了 OMT 的仿真建模结构，其耦合端口处的谐振窗尺寸为 27.4 mm×8.5 mm。在耦合端口的末端，连接了一段长度为 1/4 波长的过渡波导以实现阻抗匹配<sup>[5]</sup>，从而使其转变为 WR187 标准矩形波导口径。图 5 为 OMT 实体建模结构。

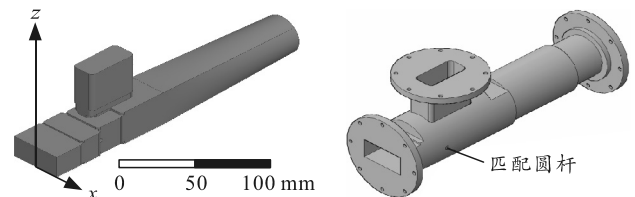
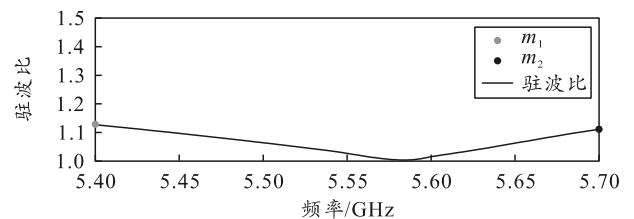
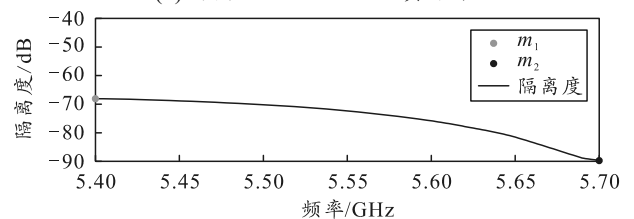


图 4 OMT 仿真建模结构 图 5 OMT 实体建模结构

利用 Ansoft HFSS 13.02 仿真软件对 OMT 进行数值优化，尤其是针对耦合端口的驻波比及直通端口-耦合端口之间的隔离度做了重点改进。结果如图 6 所示。



(a) 耦合端口驻波比仿真结果



(b) 直通端口-耦合端口隔离度仿真结果

图 6 OMT 仿真结果

再经整体综合优化，着重调节直通波导多级阶梯过渡段的结构尺寸及匹配圆杆的位置和直径，在频段 5.4~5.7 GHz 内，直通端口驻波比小于 1.10，耦合端口驻波比小于等于 1.15，直通-耦合端口之间的隔离度达到了-68 dB 以下。

### 3 加工及测试

根据上面的仿真结果，对 C 频段正交模耦合器进行了结构设计和机加工，如图 7 所示，整个 OMT 长度为 275 mm。



图 7 OMT 实物

使用 Ceyear 的矢量网络分析仪 3674L 对 OMT 实物进行测试，结果如图 8—10 所示。

图 8 展示了 OMT 端口隔离度的测试结果。在频段 5.4~5.7 GHz 内，隔离度低于-57.5 dB，表现出优秀的隔离性能。

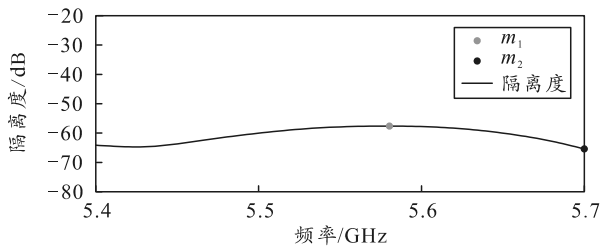


图 8 OMT 端口隔离度测试结果

图 9 展示了 OMT 直通端口驻波比测试结果。在频段 5.4~5.7 GHz 内，OMT 直通端口驻波比小于 1.10，表现出优秀的传输性能。

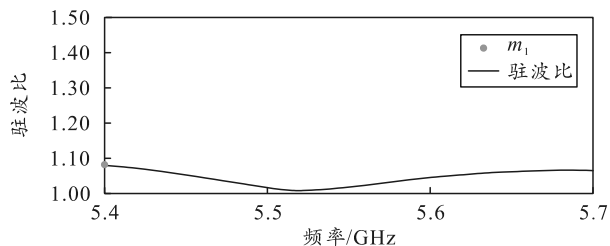


图 9 OMT 直通端口驻波比测试结果

图 10 展示了 OMT 耦合端口的驻波比测试结果。在频段 5.4~5.7 GHz 内，OMT 耦合端口驻波比小于等于 1.15，表现出优秀的传输性能。

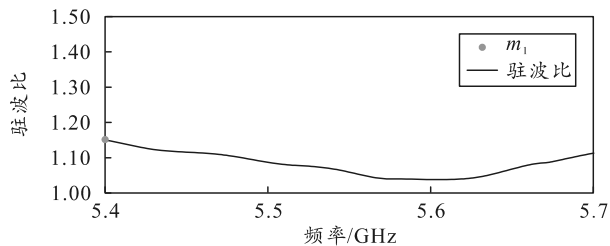


图 10 OMT 耦合端口驻波比测试结果

### 4 结语

笔者提出一种适用于 C 频段卫星通信系统的正交模耦合器，其结构紧凑、易于加工，在频段 5.4~5.7 GHz 内，直通端口驻波比低于 1.10，耦合端口驻波比不超过 1.15，隔离度低于-57.5 dB。该正交模耦合器综合电性能指标优异，在卫星通信中具有良好的应用前景。

### 参考文献：

- [1] 孙立杰, 谭联群, 王进. Ka 波段宽带正交模耦合器设计[J]. 现代雷达, 2017, 39(6): 54-57.
- [2] 王涛, 张文静. 宽带正交模耦合器的设计[J]. 无线电工程, 2013, 43(3): 40-43.
- [3] 卢绍鹏, 许智. 一种结构紧凑的 C 频段正交模耦合器设计[J]. 空间电子技术, 2015, 12(6): 87-94.
- [4] 谢瑞华, 沈宗珍, 刘波. 一种结构紧凑的正交模耦合器[J]. 空间电子技术, 1997, 1(3): 34-36.
- [5] 于祥, 吴昊旻. Ka 频段正交模耦合器设计[J]. 通信技术, 2021, 54(8): 2026-2029.