



中华人民共和国通信行业标准

YD/T 2872-2015

卫星通信地球站设备 可搬运便携天线和伺服系统测试方法

Satellite earth station
test methods of portable antenna and serving system

2015-07-14 发布

2015-10-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 工作频段	1
5 测试条件	1
5.1 测试场地	1
5.2 测试天线	2
5.3 测试仪表	2
5.4 测试环境	2
5.5 测试频率	2
6 基本电参数	2
6.1 天线增益	2
6.2 天线旁瓣特性、天线交叉极化隔离度	7
6.3 电压驻波比	13
6.4 馈源插入损耗	14
6.5 天线噪声温度	15
6.6 收发端口隔离度	16
7 机械参数和功能	16
7.1 天线转动范围	16
7.2 对星精度	18
8 环境试验	19
8.1 低温试验	19
8.2 高温试验	19
8.3 恒定湿热试验	19
附录 A (规范性附录) 测试仪器指标要求	20
参考文献	22

前 言

本标准是卫星地球站设备天线和伺服系统系列标准之一，该系列标准的名称及结构如下：

- a) 《卫星通信地球站设备 车载（移动中使用）天线和伺服系统测试方法》；
- b) 《卫星通信地球站设备 车载（静止中使用）天线和伺服系统测试方法》；
- c) 《卫星通信地球站设备 可搬运便携天线和伺服系统测试方法》；

随着技术的发展，还将制订后续的相关标准。

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国通信标准化协会提出并归口。

本标准起草单位：中国信息通信研究院、中国卫通集团有限公司、中国移动通信集团设计院有限公司、南京中网卫星通信股份有限公司、北京爱科迪通信技术股份有限公司。

本标准主要起草人：李莉莉、郭 良、薛 程、陆绥熙、秦 岩、黄耀明、贾玉仙、郝建强、寇松江、陈立松。

卫星通信地球站设备

可搬运便携天线和伺服系统测试方法

1 范围

本标准规定了卫星通信地球站设备可搬运便携天线和伺服系统的术语定义、电性能、机械特性、环境条件和测试方法。

本标准适用于工作频段为C、Ku以及Ka的可搬运便携天线和伺服系统。同类型其他频段、规格的天线和伺服系统也可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 9410 移动通信天线通用技术规范

3 术语和定义

GB/T 9410 确立的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

交叉极化比 Cross Polar Ratio

给定方向上主极化分量与正交极化分量功率之比。

3.2

端口隔离度 Isolation

多端口天线的一个端口上的入射功率与该入射功率在其他端口上可得到的功率之比。

4 工作频段

应遵守设备标称频率范围和国家无线电管理部门的相关规定。

5 测试条件

5.1 测试场地

5.1.1 星标测试场地

当选择卫星信标或星上大载波作为测试信源时，被测卫星通信地球站应设置在对星指向方向偏差±30°之内无干扰源的电磁环境中。被测卫星通信地球站天线对星指向无阻挡，其地球站天线指向仰角应高于天际线角10°以上。

5.1.2 地标测试场地

当选择地面信标塔作为测试信源时，采用地面轴向测试场地，被测卫星通信地球站应设置在信标指向方向偏差±30°之内无干扰源的电磁环境中。被测卫星通信地球站天线对地标信源视距无阻挡，其地球站天线指向仰角应高于天际线角10°以上。

待测天线和发射天线之间测试距离应按照公式（1）计算：

$$L \geq \frac{2(D^2 + d^2)}{\lambda} \quad (1)$$

式中:

L — 发射天线与待测天线距离 (m);

D — 待测天线等效口径 (m);

d — 测试源信标发射天线等效口径 (m);

λ — 测试频率波长 (m)。

5.2 测试天线

待测天线与发射天线具有相同的极化方式。

5.3 测试仪表

测试用信号发生器、接收机等测试设备和仪表应具有良好的稳定性、可靠性、动态范围和测试精度,以保证测试数据的正确性。测试用仪表计量合格证应在校验周期内。

5.4 测试环境

除特殊规定外,所有测试均应在下列条件下进行:

— 温度: $+15^{\circ}\text{C} \sim +35^{\circ}\text{C}$ 。

— 相对湿度: $45\% \sim 75\%$ 。

— 室外环境:

- 风力小于 3 级。
- 晴空环境。

5.5 测试频率

在标称工作频段内至少选取高、中、低三个频率进行测试。

6 基本电参数

6.1 天线增益

6.1.1 天线接收增益

6.1.1.1 信标塔法

6.1.1.1.1 测试原理

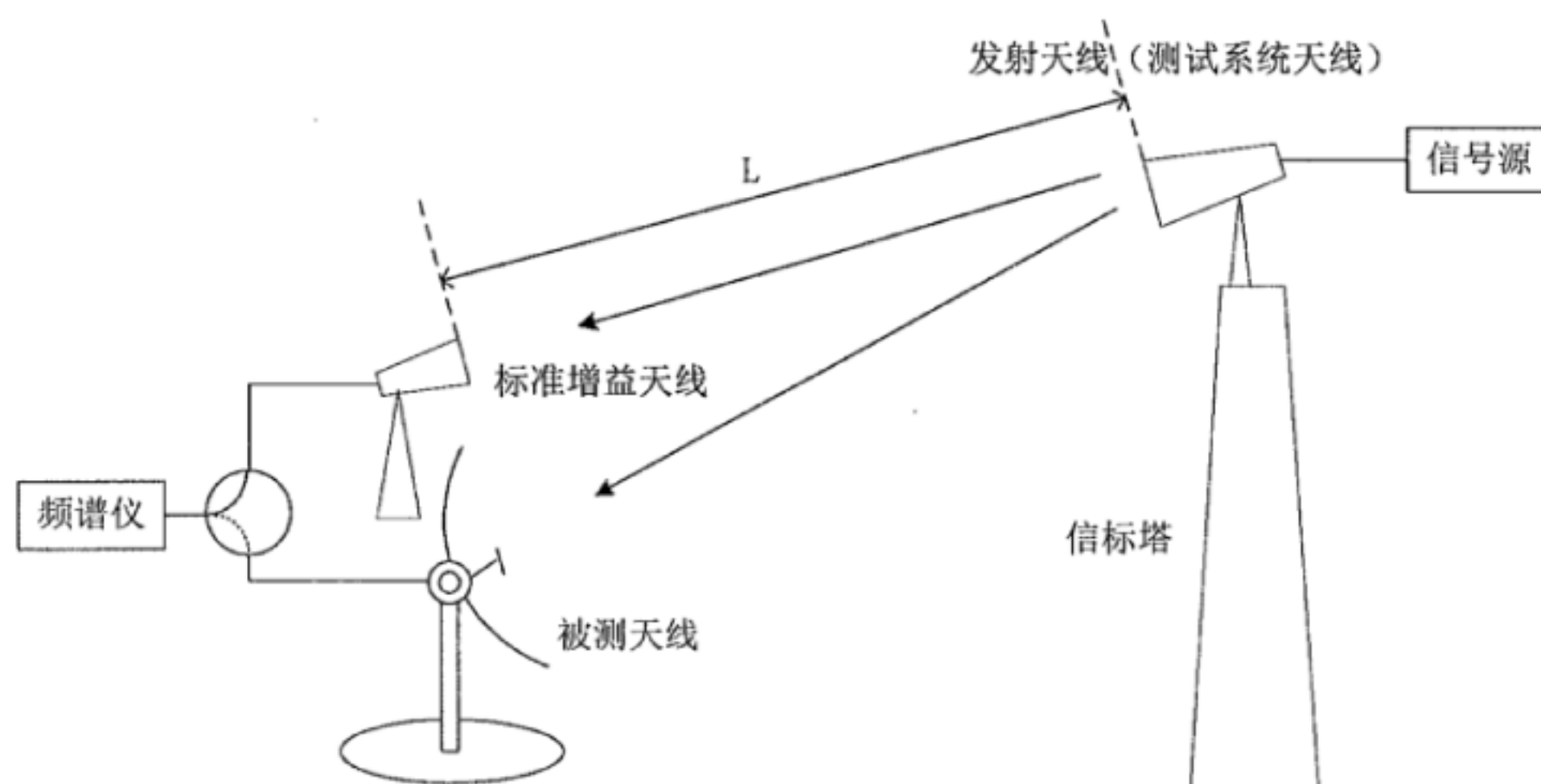


图1 用标准增益天线比较法测试天线接收增益的原理

6.1.1.1.2 测试步骤

- a) 当采用标准增益天线比较法时，按 5.1.2 条要求选择地标测试场地；
- b) 将标准增益测试天线放置在距离待测天线和标准增益天线大于由公式 (1) 得出的 L 轴向距离的信标塔的位置上；
- c) 地标塔架设的塔高应使待测天线对准地标塔测试天线波束中心时的指向仰角不小于 10° ，以抑制地面反射对天线电性能测量的影响；
- d) 按照图 1 所示连接好整个测试系统，加电预热，使仪器设备工作正常，关闭天线自动跟踪系统；
- e) 将塔标测试天线接至微波信号源上作为测试待测天线接收增益的发射信源；
- f) 由微波信号源发射一个频率为卫星下行工作频段中的未调制载波信号，信号源的输出电平调整在确保测试系统的动态范围要求时的最大功率电平（如 0dBm）；
- g) 将塔标发射天线设置为水平极化，调整待测天线极化与发射天线极化的匹配；
- h) 将频谱仪连接至待测天线，转动待测天线的方位和俯仰，使待测天线主轴波束方向与轴向测试天线（简称发射天线）主轴波束方向成一轴线对准，调整频谱仪频段范围与发射信源保持一致，接收的信号最大，记录频谱仪此时测量的信号功率电平为 P_x (dBm)；
- i) 在待测天线旁边将标准天线安放在一可匀速运动的升降装置上，保持标准天线和待测天线口面在同一水平面内，这样可以保证标准天线和待测天线与信标发射天线之间的距离相等，减少由测量距离引起的测试误差；
- j) 将待测天线的信号传输电缆接到标准天线上，把标准天线升到待测天线口面中心的位置，并调整标准天线与源天线对准，且极化匹配，记录频谱仪此时测量的信号功率电平为 P_s (dBm)；
- k) 由已知的标准天线增益 G_s 、测量的 P_s 和 P_x ，计算待测天线的水平极化接收增益 $G = G_s + (P_x - P_s)$ ；
- l) 改换为垂直极化，重复步骤 c) ~g)。从而完成待测天线的垂直极化的天线接收增益测量。

6.1.1.2 卫星源法

6.1.1.2.1 卫星链路载波测试法

6.1.1.2.1.1 测试原理

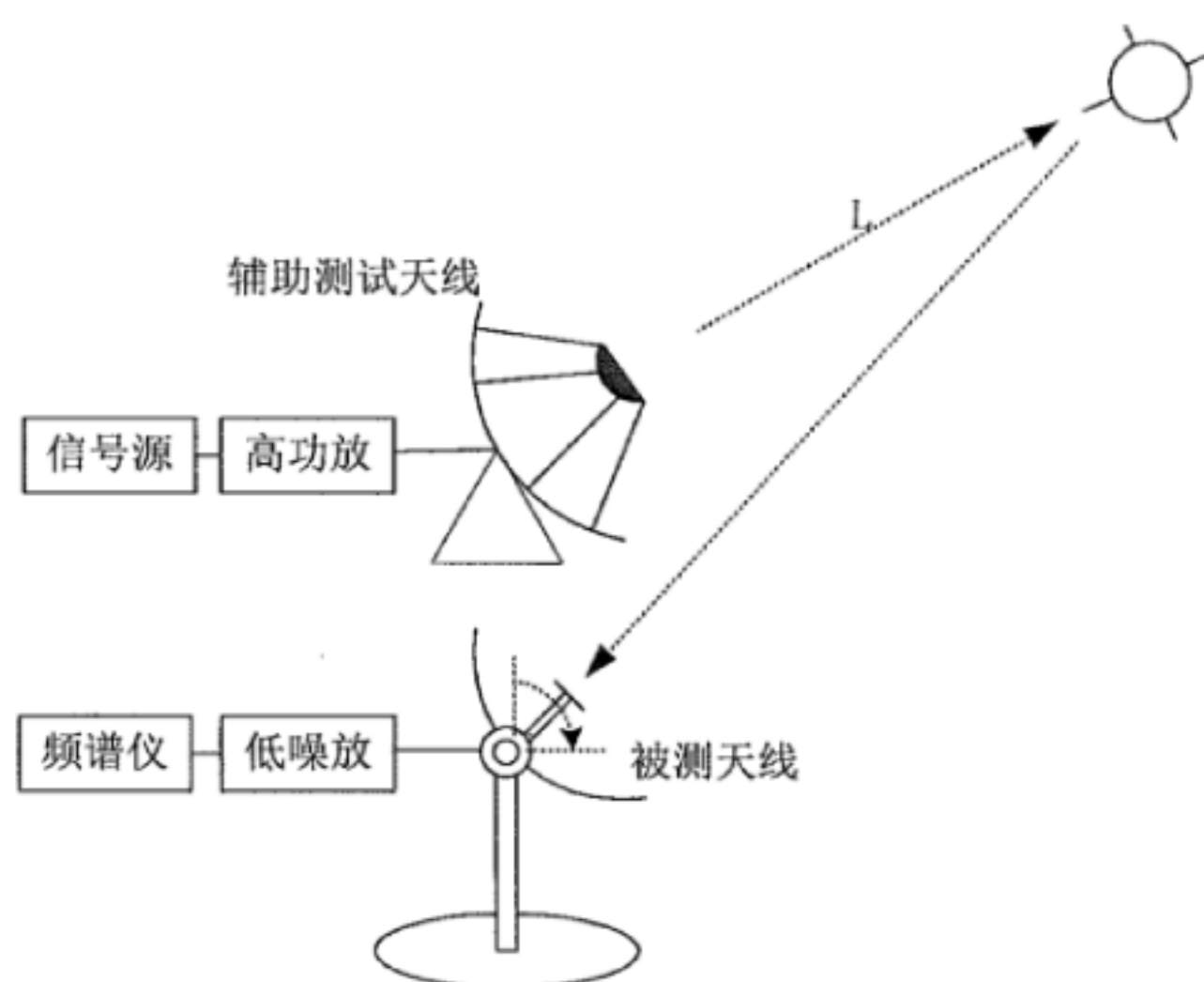


图2 用卫星链路载波测试法测量天线接收增益的原理

6.1.1.2.1.2 测试步骤

a) 根据 5.1.1 条要求选择星标测试场地；按照图 2 所示连接好整个测试系统，加电预热，使仪器设备工作正常。

b) 调整监测站测试天线与卫星接收极化匹配，启动监测站跟踪系统使其天线波束中心对准卫星，发射特定频点的测试未调制载波信号。

c) 将与待测地球站相接的频谱仪设置在特定测试载波的频率范围内，启动待测天线自动跟踪系统，使待测天线对准卫星波束中心，此时频谱仪接收到的测试载波电平为最大，记录频谱仪此时测量的信号功率电平为 P_x (dBm)。

d) 固定待测天线的俯仰角调整待测天线的方位，从偏离卫星天线波束中心 $-11^\circ \sim +11^\circ$ 匀速转动，同时依据天线转动速度和测试的角度范围设置频谱仪的扫描时间，记录频谱仪接收的天线正负 11° 方位波束方向函数曲线图。

e) 将待测天线重新对准卫星，固定待测天线的方位角，调整待测天线的俯仰角从偏离卫星天线波束中心 $-11^\circ \sim +11^\circ$ 匀速转动，同时依据天线俯仰转动速度和测试的角度范围设置频谱仪的扫描时间，记录频谱仪接收的天线正负 11° 俯仰波束方向函数曲线图。

f) 分别将方位和仰角波束方向图的 3dB 和 10dB 下降点的波束宽度代入以下公式中：

$$G = 10 \log \left(\frac{G_3 + G_{10}}{2} \right) - L_{\text{loss}} - R_{\text{loss}} \quad \text{dBi} \quad (2)$$

$$G_3 = \frac{31000}{AZ_3 EL_3} \quad (3)$$

$$G_{10} = \frac{91000}{AZ_{10} EL_{10}} \quad (4)$$

$$R_{\text{loss}} = 686 \left(\frac{\varepsilon}{\lambda} \right)^2 \quad (5)$$

式中： G —待测天线增益 (dBi)；

AZ_3 —天线方位方向图的半功率波束宽度 ($^\circ$)；

EL_3 —天线仰角方向图的半功率波束宽度 ($^\circ$)；

AZ_{10} —天线方位方向图的 10dB 波束宽度 ($^\circ$)；

EL_{10} —天线仰角方向图的 10dB 波束宽度 ($^\circ$)；

R_{loss} —天线表面公差引起的增益损失 (dB)；

L_{loss} —天线馈源网络的插入损耗 (dB)；

λ —工作波长；

ε —天线表面公差。

g) 计算 G_3 和 G_{10} 的大小，并由发射面公差计算由表面公差引起的天线增益损失。

h) 利用公式 (5) 计算天线增益。

6.1.1.2.2 卫星信标测试法

6.1.1.2.2.1 测试原理

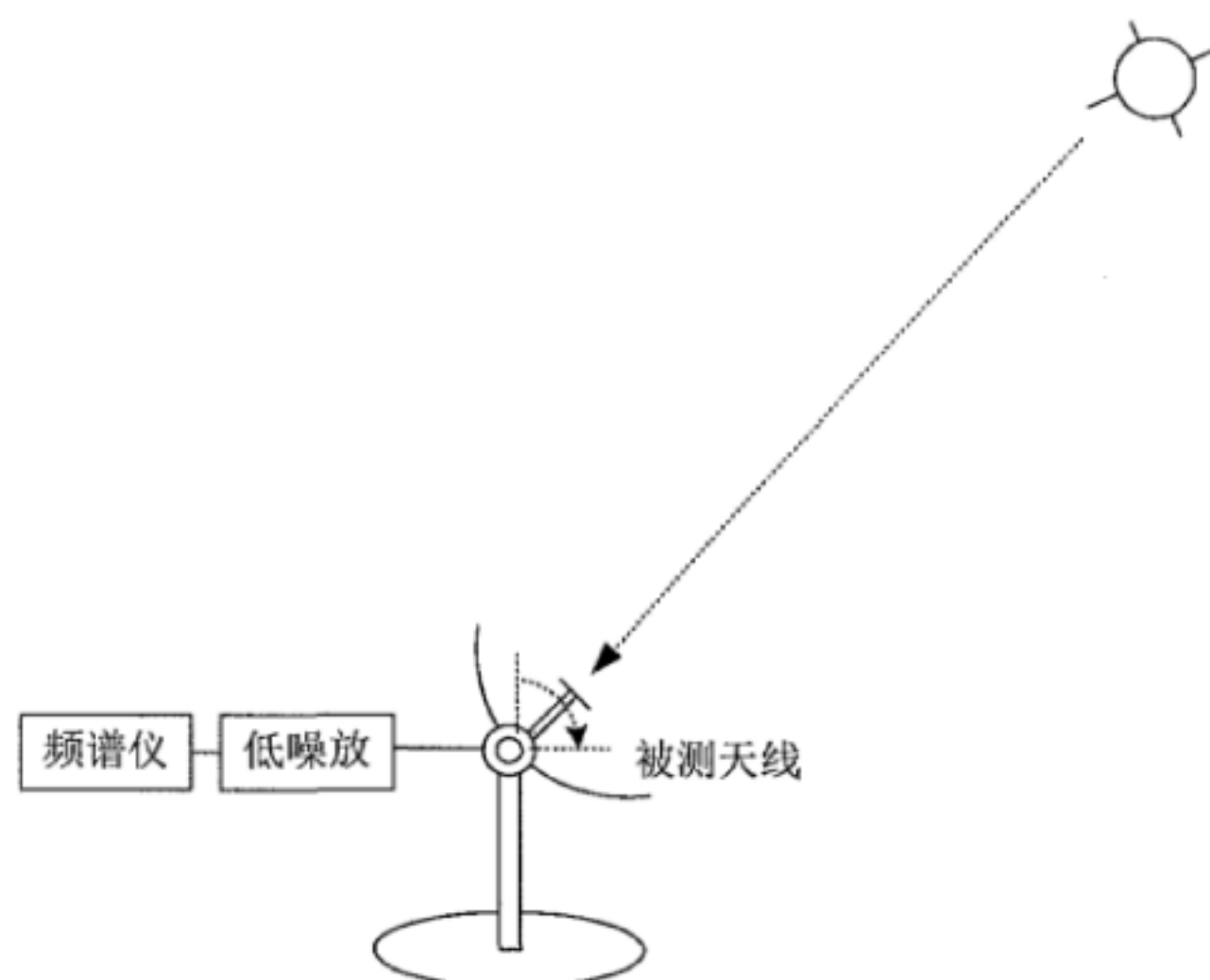


图3 用卫星信标测试法测量天线接收增益的原理

6.1.1.2.2.2 测试步骤

a) 根据 5.1.1 条要求选择星标测试场地；按照图 3 所示连接好整个测试系统，加电预热，使仪器设备工作正常；

b) 将与待测地球站相接的频谱仪设置在卫星信标频率点上，启动待测天线自动跟踪系统，使待测天线对准卫星波束中心，此时频谱仪接收到的测试载波电平或卫星信标电平为最大，记录频谱仪此时测量的信号功率电平为 P_x (dBm)；

c) 重复 6.1.1.2.1.2 中 d) ~h)。

6.1.2 天线发射增益

6.1.2.1 信标塔法

6.1.2.1.1 测试原理

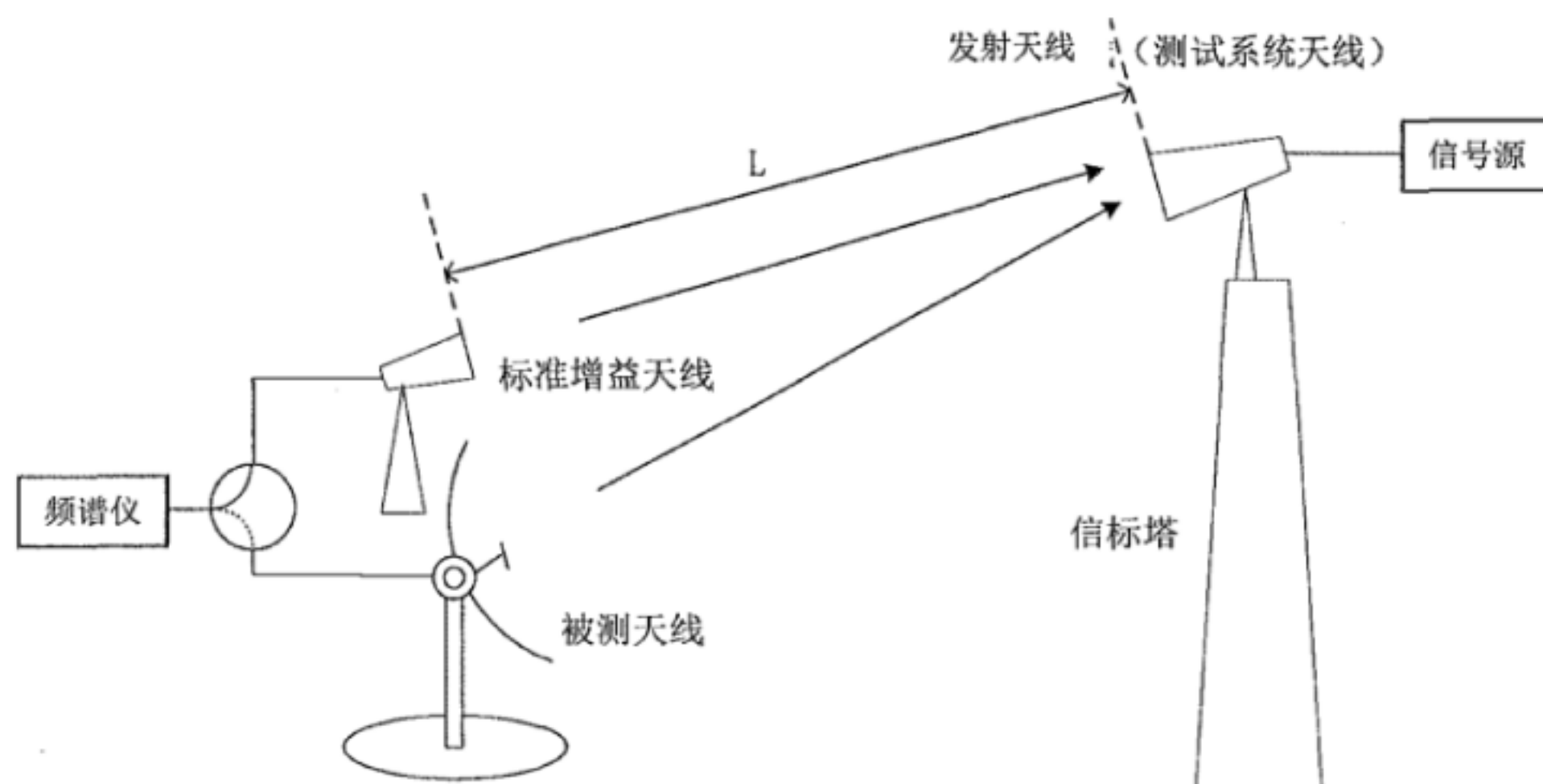


图4 用标准增益天线比较法测试天线发射增益的原理

6.1.2.1.2 测试步骤

a) 当采用标准增益天线比较法时，按 5.1.2 条要求选择地标测试场地；

b) 将标准增益测试天线放置在距离待测天线和标准增益天线大于由公式 (1) 得出的 L 轴向距离的信标塔的位置上;

c) 地标塔架设的塔高应使待测天线对准地标塔测试天线波束中心时的指向仰角不小于 10° , 以抑制地面反射对天线电性能测量的影响;

d) 按照图 4 所示连接好整个测试系统, 加电预热, 使仪器设备工作正常, 关闭天线自动跟踪系统;

e) 将塔标测试天线接至频谱仪上作为测试待测天线接收增益的接收机;

f) 由微波信号源发射一个频率为卫星上行工作频段中的未调制载波信号, 信号源的输出电平调整在确保测试系统的动态范围要求时的最大功率电平 (如 0dBm);

g) 将塔标接收天线设置为水平极化, 调整待测天线极化与接收天线极化的匹配;

h) 将信号源连接至待测天线, 转动待测天线的方位和俯仰, 使待测天线主轴波束方向与轴向测试天线 (简称接收天线) 主轴波束方向成一轴线对准, 调整频谱仪的频段范围与发射信源保持一致, 接收的信号最大, 记录频谱仪此时测量的信号功率电平为 P_x (dBm);

i) 在待测天线旁边将标准天线安放在一可匀速运动的升降装置上, 保持标准天线和待测天线口面在同一水平面内, 这样可以保证标准天线和待测天线与信标接收天线之间的距离相等, 减少由测量距离引起的测试误差;

j) 将待测天线的信号传输电缆接到标准天线上, 把标准天线升到待测天线口面中心的位置, 并调整标准天线与接收天线对准, 且极化匹配, 记录频谱仪此时测量的信号功率电平为 P_s (dBm);

k) 由已知的标准天线增益 G_s 、测量的 P_s 和 P_x , 计算待测天线的水平极化发射增益 $G = G_s + (P_x - P_s)$;

l) 改换为垂直极化, 重复步骤 c) ~g)。从而完成待测天线的垂直极化的天线发射增益测量。

6.1.2.2 卫星源法

6.1.2.2.1 卫星链路载波测试法

6.1.2.2.1.1 测试原理

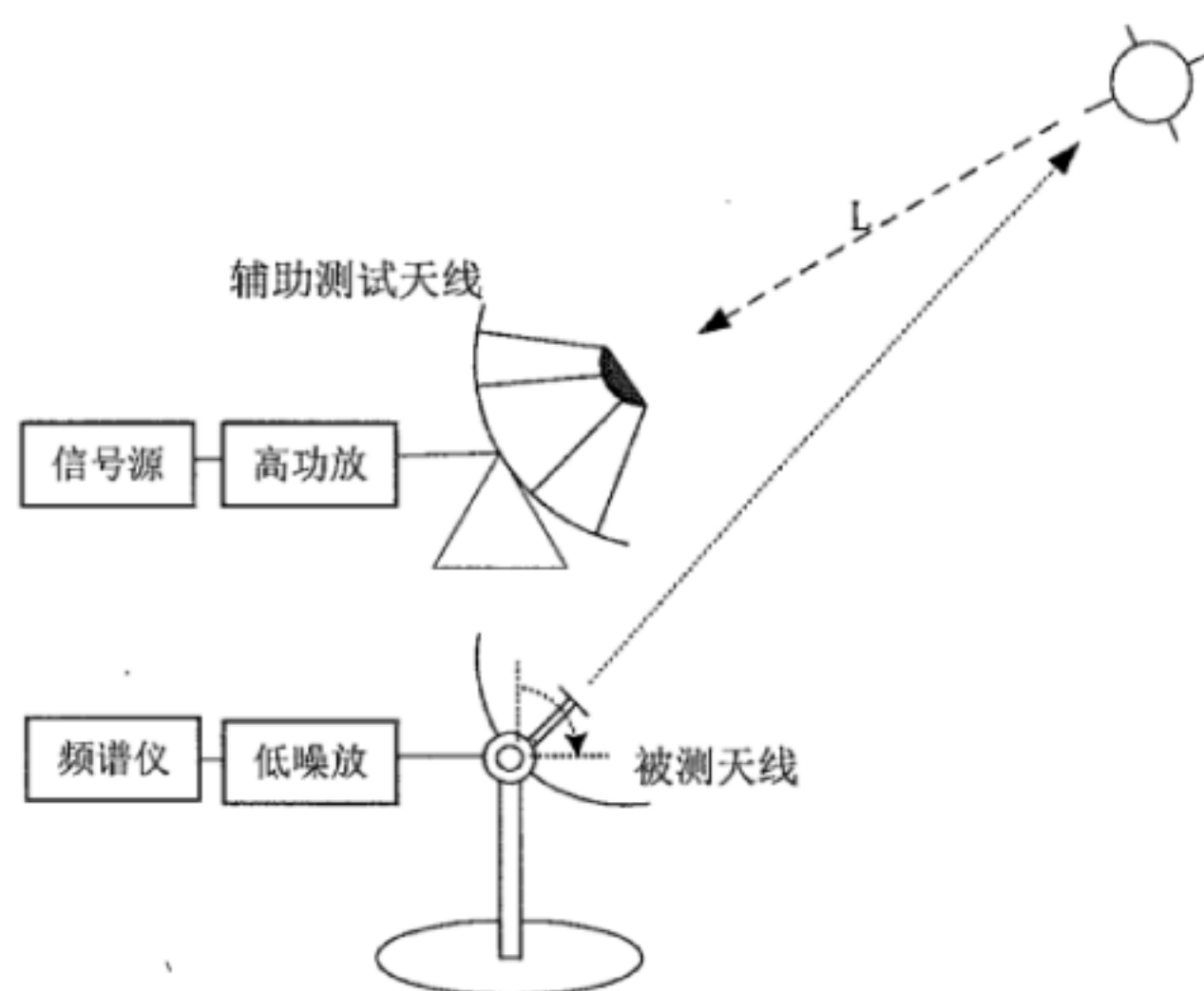


图5 用卫星链路载波测试法测量天线发射增益的原理

6.1.2.2.1.2 测试步骤

a) 根据 5.1.1 条要求选择星标测试场地; 按照图 5 所示连接好整个测试系统, 加电预热, 使仪器设备工作正常;

b) 调整待测天线与卫星接收频段为同一极化, 且极化匹配, 指向卫星并发射特定频点的测试未调制载波信号;

c) 调整测试辅助天线极化角与卫星接收发射频段极化匹配, 指向卫星并接收其卫星转发工作频段中相对应的测试未调制载波信号;

d) 转动待测天线的方位和俯仰指向信号转发卫星, 使待测天线主轴波束方向对准卫星转发天线波束中心, 在监测站端记录频谱仪此时测量的信号功率电平为 P_x (dBm);

e) 固定待测天线的俯仰角调整待测天线的方位, 从偏离卫星天线波束中心 $-11^\circ \sim +11^\circ$ 匀速转动, 同时依据天线转动速度和测试的角度范围设置频谱仪的扫描时间, 记录频谱仪接收的天线正负 11° 方位波束方向函数曲线;

f) 将待测天线重新对准卫星, 固定待测天线的方位角, 调整待测天线的俯仰角从偏离卫星天线波束中心 $-11^\circ \sim +11^\circ$ 匀速转动, 同时依据天线俯仰的转动速度和测试的角度范围设置频谱仪的扫描时间, 记录频谱仪接收的天线 $\pm 11^\circ$ 俯仰波束方向函数曲线;

g) 按照 6.1.1.2.1.2 中 f) ~h) 完成待测天线的发射增益测量。

6.2 天线旁瓣特性、天线交叉极化隔离度

6.2.1 天线接收旁瓣特性、天线交叉极化隔离度

6.2.1.1 信标塔法

6.2.1.1.1 测试原理

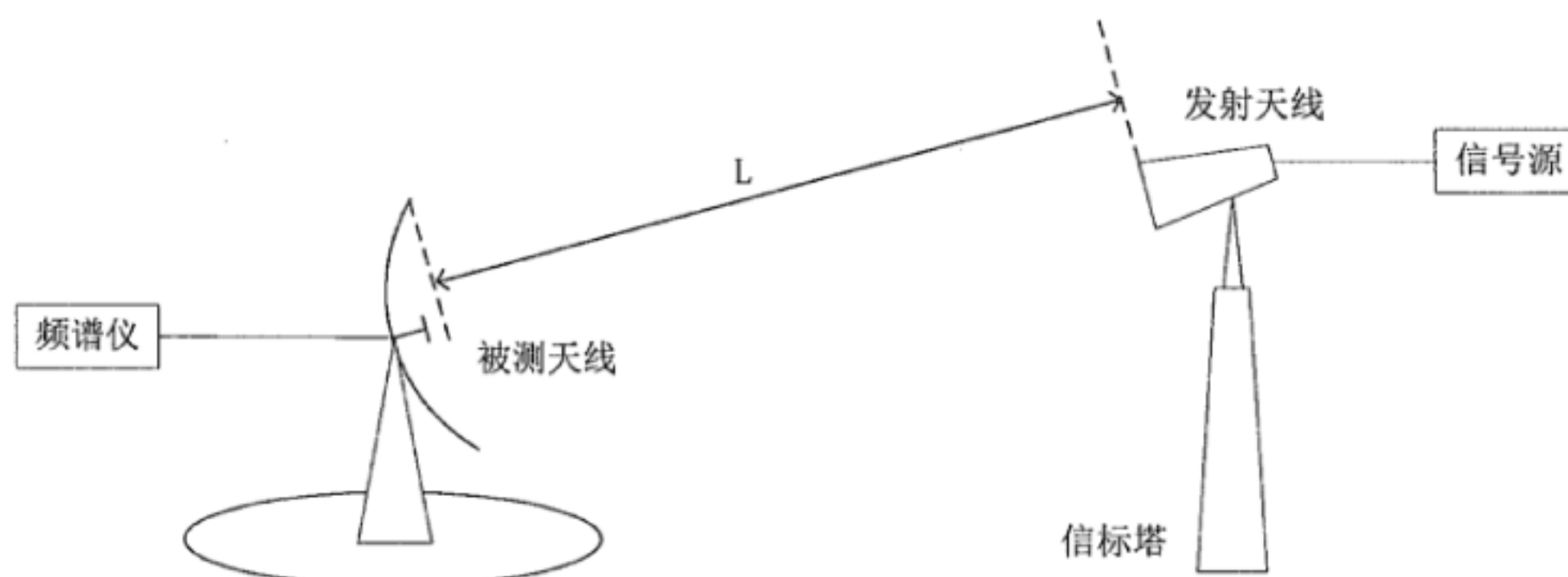


图6 用信标塔法测试天线接收旁瓣特性和天线交叉极化隔离度的原理

6.2.1.1.2 测试步骤

- 按 5.1.2 条要求选择地标测试场地。
- 按照图 6 所示连接好整个测试系统, 加电预热, 使仪器设备工作正常。
- 保证待测天线的仰角不小于 10° , 以抑制地面反射对天线电性能测量的影响。
- 按照测试计划确定的频率、极化。由微波信号源发射一未调制载波信号, 信号源的输出电平通常为信号源的最大功率输出, 以提高整个测试系统的动态范围。
- 关闭天线自动跟踪系统。
- 调整待测天线极化与发射天线为水平极化, 转动待测天线的方位和俯仰。使待测天线波束中心与发射波束中心天线对准, 频谱仪接收的信号最大, 此时的方位角和俯仰角视为 0° 。
- 固定待测天线仰角不变, 待测天线在测试水平转台上作方位 $(-\theta, \theta)$ 旋转 (方位角度范围可根据方位天线旁瓣特定要求选取 (即第一旁瓣、3dB 波束宽度、10dB 波束宽度、远波束方向图)。把接收

到的电平作为角度的函数记录下来，得到天线水平面水平极化方向图 $F(\theta)$ ，记录天线水平面半功率波束宽度 θ_1 。

h) 保持待测天线于同极化最大接收电平位置，将发射天线极化旋转 90° ，并微调极化使待测天线在该位置接收电平最小。

i) 重复 f)、g) 测试步骤，得天线水平面交叉极化方向图 $f(\theta)$ ，通过对 $F(\theta)$ 和 $f(\theta)$ 的处理，得到天线旁瓣特性、轴向交叉极化隔离度和 1dB 点交叉极化隔离度。

其计算方法如下：

天线旁瓣特性为 $F(\theta)$ ；

轴向交叉极化隔离度 $XPI_0 = F(0) - f(0)$ ；

1dB 交叉极化隔离度 $XPI_{1dB} = \min(F(\theta) - f(\theta))$ ，其中 θ 取值范围为水平极化方向图的 1dB 带宽内。

j) 调整待测天线极化与发射天线为垂直极化，重复 e)~g) 测试过程，可以得到天线水平面垂直极化的天线旁瓣特性、轴向交叉极化隔离度和 1dB 点交叉极化隔离度。

k) 再次调整待测天线极化与发射天线为水平极化，转动待测天线的方位和俯仰。使待测天线波束中心与发射波束中心天线对准，频谱仪接收的信号最大，此时的方位角和俯仰角视为 0° 。

l) 固定待测天线方位角不变，调整待测天线作方位 $(-\varphi, \varphi)$ 旋转（俯仰角角度范围可根据方位天线旁瓣特定要求选取（即第一旁瓣、3dB 波束宽度、10dB 波束宽度、远波束方向图）。把接收到的电平作为角度的函数记录下来，得到天线垂直面水平极化方向图 $F(\varphi)$ ，记录天线垂直面半功率波束宽度 φ_1 。

m) 保持待测天线于同极化最大接收电平位置，将发射天线极化旋转 90° ，并微调极化使待测天线在该位置接收电平最小。

n) 重复 k)、l) 测试步骤，得天线垂直面交叉极化方向图 $f(\varphi)$ ，通过对 $F(\varphi)$ 和 $f(\varphi)$ 的处理，得到天线旁瓣特性、轴向交叉极化隔离度和 1dB 点交叉极化隔离度。

其计算方法如下：

天线旁瓣特性即为 $F(\varphi)$ ；

轴向交叉极化隔离度 $XPI_0 = F(0) - f(0)$ ；

1dB 交叉极化隔离度 $XPI_{1dB} = \min(F(\varphi) - f(\varphi))$ ，其中 φ 取值范围为水平极化方向图的 1dB 带宽内。

o) 调整待测天线极化与发射天线为垂直极化，重复 k)~n) 测试过程，可以得到天线垂直面垂直极化的天线旁瓣特性、轴向交叉极化隔离度和 1dB 点交叉极化隔离度。

6.2.1.2 卫星源法

6.2.1.2.1 卫星链路载波测试法

6.2.1.2.1.1 测试原理

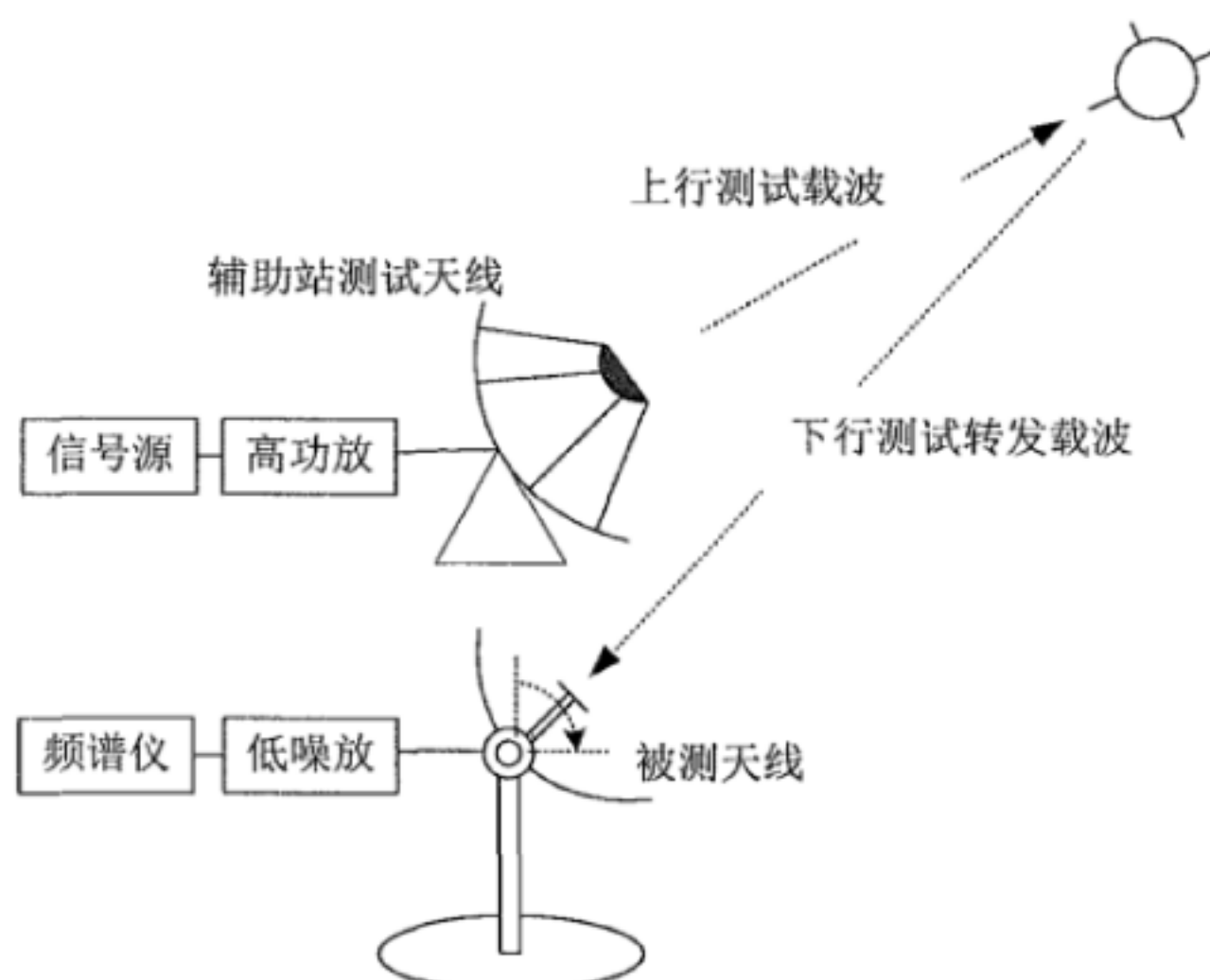


图7 用卫星链路载波测试法测试天线接收旁瓣特性和天线交叉极化隔离度的原理

6.2.1.2.1.2 测试步骤

- 按 5.1.1 条要求选择星标测试场地。
 - 按照图 7 所示连接好整个测试系统，加电预热，使仪器设备工作正常。
 - 调整监测站与卫星上行接收极化保持一致，向指向卫星发射特定频点的测试未调制载波信号。
 - 关闭待测天线自动跟踪系统；调整待测天线的方位和俯仰指向卫星，调整其极化与卫星下行极化保持一致，接收卫星下行转发测试载波频率。转动待测天线的方位和俯仰，使待测天线波束中心与发射波束中心天线对准，频谱仪接收的卫星转发的测试载波信号为最大，此时的方位角和俯仰角视为 0° 。
 - 保持俯仰角为 0° ，调整待测天线在方位角在偏离波束中心 $(-\theta, \theta)$ 范围内旋转，方位角度范围可根据天线旁瓣特定要求选取（即第一旁瓣、3dB 波束宽度、10dB 波束宽度、远波束方向图）。
 - 把接收到的电平作为角度的函数记录下来，得到并记录下天线接收波束方向图 $F(\theta)$ 的轨迹图，可计算天线旁瓣的大小和位置，确定是否满足天线包络图的要求。
 - 保持待测天线于同极化最大接收电平位置，将源天线极化旋转 90° ，并微调极化使待测天线在该位置接收电平最小。
 - 重复 e)、f) 测试步骤，得天线交叉极化方向图 $f(\theta)$ ，通过对 $F(\theta)$ 和 $f(\theta)$ 的处理，得到天线旁瓣特性、轴向交叉极化隔离度和 1dB 点交叉极化隔离度。
- 其计算方法如下：
- 天线旁瓣特性即为 $F(\theta)$ ；
- 轴向交叉极化隔离度 $XPI_0 = F(0) - f(0)$ ；
- 1dB 交叉极化隔离度 $XPI_{1dB} = \min(F(\theta) - f(\theta))$ ，其中 θ 取值范围为水平极化方向图的 1dB 带宽内。
- 调整待测天线的方位角回到卫星指向波束中心点，保持方位角为 0° ，调整待测天线在俯仰角在偏离波束中心 $(-\varphi, \varphi)$ 范围内旋转，俯仰角调整范围可根据天线旁瓣特定要求选取（即第一旁瓣、3dB 波束宽度、10dB 波束宽度，远波束方向图）。
 - 重复 f)、g)、h) 测试步骤，可以得到天线俯仰旁瓣特性、轴向交叉极化隔离度和 1dB 点交叉极化隔离度。

6.2.1.2.2 卫星信标测试法

6.2.1.2.2.1 测试原理

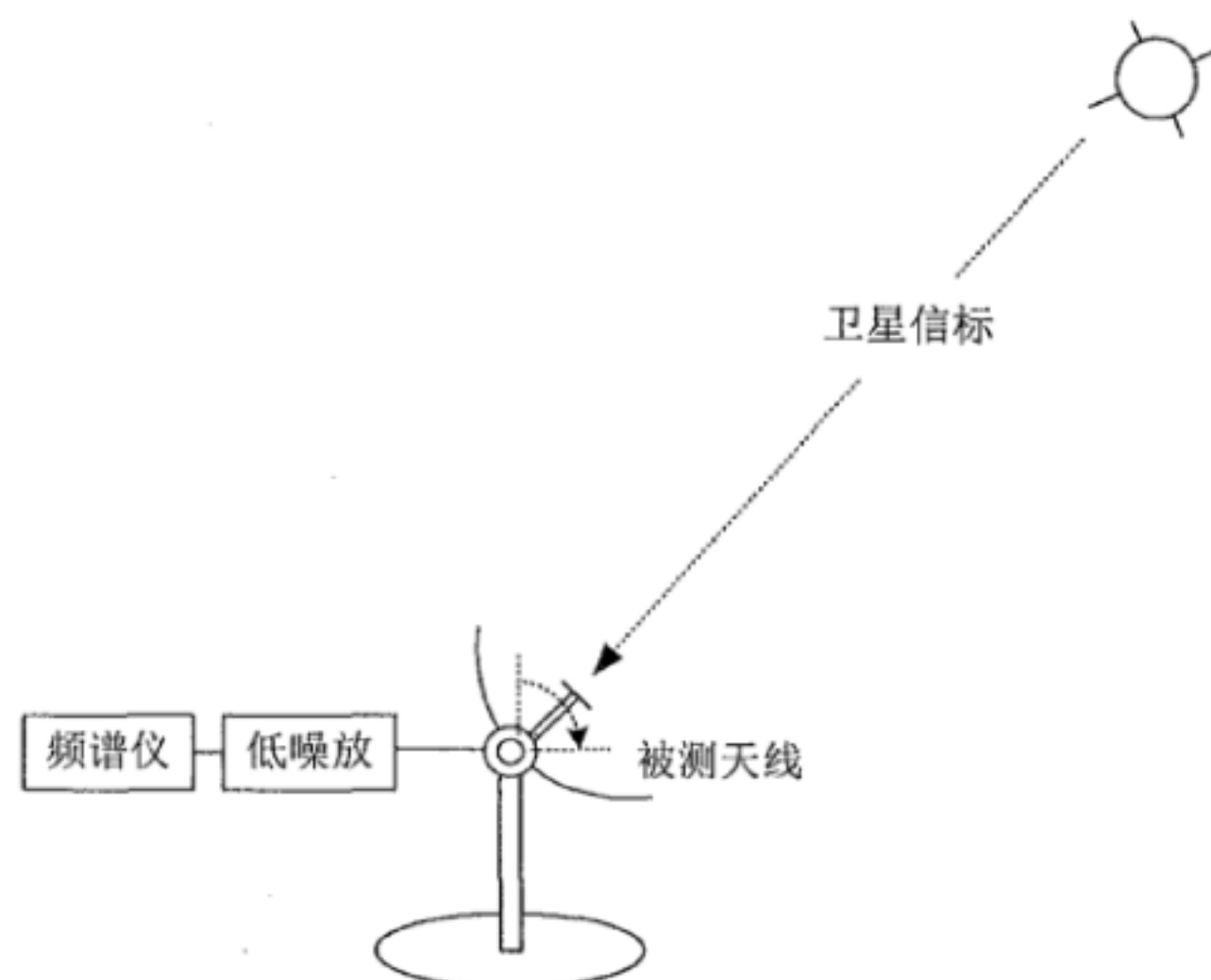


图8 用卫星信标测试法测试天线接收旁瓣特性和天线交叉极化隔离度的原理

6.2.1.2.2.2 测试步骤

- a) 按 5.1.1 条要求选择星标测试场地。
- b) 按照图 8 所示连接好整个测试系统，加电预热，使仪器设备工作正常。
- c) 关闭待测天线自动跟踪系统；调整待测天线的方位和俯仰指向卫星，调整其极化与卫星下行极化保持一致，接收卫星的信标频率。转动待测天线的方位和俯仰，使待测天线波束中心与发射波束中心天线对准，此时频谱仪接收的卫星信标信号为最大，此时的方位角和俯仰角视为 0° 。
- d) 保持俯仰角为 0° ，调整待测天线在方位角在偏离波束中心 $(-\theta, \theta)$ 范围内旋转，方位角度范围可根据天线旁瓣特定要求选取（即第一旁瓣、3dB 波束宽度、10dB 波束宽度、远波束方向图）。
- e) 把接收到的电平作为角度的函数记录下来，得到并记录下天线接收波束方向图 $F(\theta)$ 轨迹，可计算天线旁瓣的大小和位置，确定是否满足天线包络图的要求。
- f) 保持待测天线于同极化最大接收电平位置，将源天线极化旋转 90° ，并微调极化使待测天线在该位置接收电平最小。
- g) 重复 d)、e) 测试步骤，得天线交叉极化方向图 $f(\theta)$ ，通过对 $F(\theta)$ 和 $f(\theta)$ 的处理，得到天线旁瓣特性、轴向交叉极化隔离度和 1dB 点交叉极化隔离度。
其计算方法如下：
天线旁瓣特性即为 $F(\theta)$ ；
轴向交叉极化隔离度 $XPI_0 = F(0) - f(0)$ ；
1dB 交叉极化隔离度 $XPI_{1dB} = \min(F(\theta) - f(\theta))$ ，其中 θ 取值范围为水平极化方向图的 1dB 带宽内。
- h) 调整待测天线的方位角回到卫星指向波束中心点，保持方位角为 0° ，调整待测天线在俯仰角在偏离波束中心 $(-\varphi, \varphi)$ 范围内旋转，俯仰角调整范围可根据天线旁瓣特定要求选取（即第一旁瓣、3dB 波束宽度、10dB 波束宽度，远波束方向图）。

i) 重复 e)、f)、g) 测试步骤, 可以得到天线俯仰旁瓣特性、轴向交叉极化隔离度和 1dB 点交叉极化隔离度。

6.2.2 天线发射旁瓣特性、天线交叉极化隔离度

6.2.2.1 信标塔法

6.2.2.1.1 测试原理

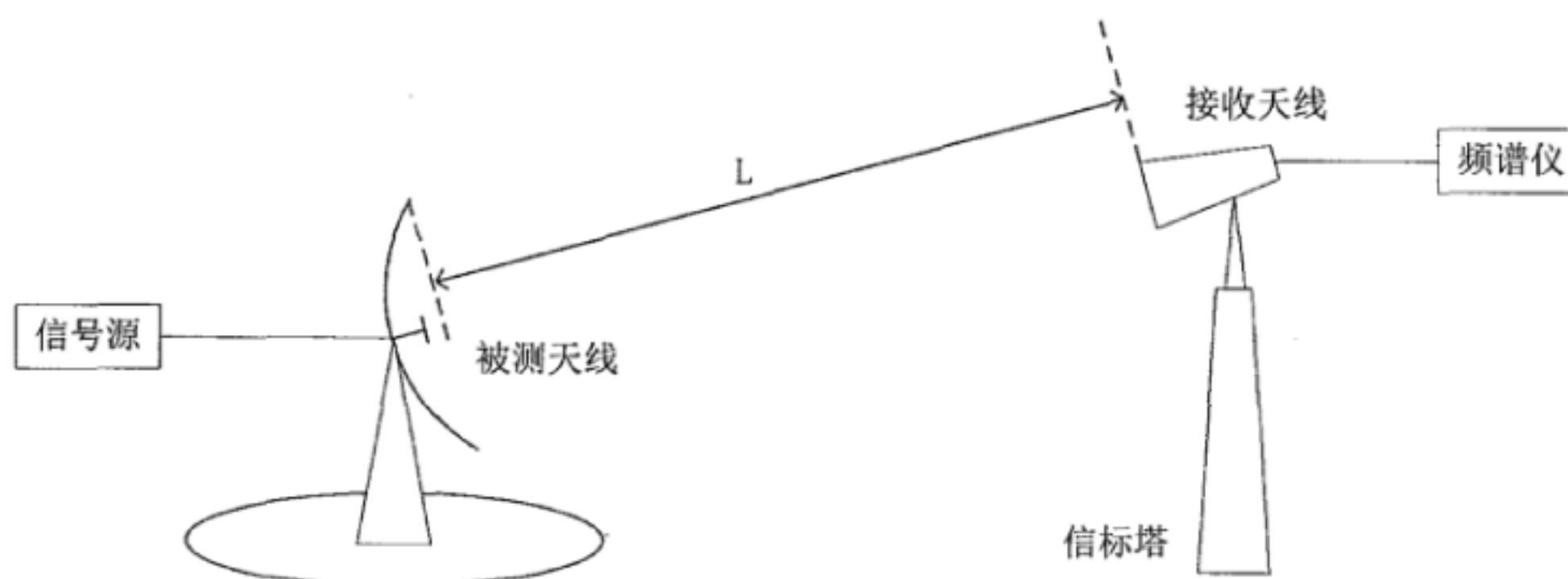


图9 用信标塔法测试天线发射旁瓣特性和天线交叉极化隔离度的原理

6.2.2.1.2 测试步骤

- 按 5.1.2 条要求选择地标测试场地。
- 按照图 9 所示连接好整个测试系统, 加电预热, 使仪器设备工作正常。
- 保证待测天线的仰角不小于 10° , 以抑制地面反射对天线电性能测量的影响。
- 按照测试计划确定的频率、极化。由微波信号源发射一未调制载波信号, 信号源的输出电平通常为信号源的最大功率输出, 以提高整个测试系统的动态范围。
- 关闭天线自动跟踪系统。
- 调整待测天线极化与发射天线为水平极化, 转动待测天线的方位和俯仰。使待测天线波束中心与接收波束中心天线对准, 频谱仪接收的信号最大, 此时的方位角和俯仰角视为 0° 。
- 固定待测天线仰角不变, 待测天线在测试水平转台上作方位 $(-\theta, \theta)$ 旋转 (方位角度范围可根据方位天线旁瓣特定要求选取 (即第一旁瓣、3dB 波束宽度、10dB 波束宽度、远波束方向图)。把接收到的电平作为角度的函数记录下来, 得到天线水平面水平极化方向图 $F(\theta)$, 记录天线水平面半功率波束宽度 θ_1 。
- 保持待测天线于同极化最大接收电平位置, 将接收天线极化旋转 90° , 并微调极化使待测天线在该位置接收电平最小。
- 重复 f)、g) 测试步骤, 得天线水平面交叉极化方向图 $f(\theta)$, 通过对 $F(\theta)$ 和 $f(\theta)$ 的处理, 得到天线旁瓣特性、轴向交叉极化隔离度和 1dB 点交叉极化隔离度。

其计算方法如下:

天线旁瓣特性即为 $F(\theta)$;

轴向交叉极化隔离度 $XPI_0 = F(0) - f(0)$;

1dB 交叉极化隔离度 $XPI_{1dB} = \min(F(\theta) - f(\theta))$, 其中 θ 取值范围为水平极化方向图的 1dB 带宽内。

j) 调整待测天线极化与接收天线为垂直极化, 重复 e) ~g) 测试过程, 可以得到天线水平面垂直极化的天线旁瓣特性、轴向交叉极化隔离度和 1dB 点交叉极化隔离度。

k) 再次调整待测天线极化与发射天线为水平极化, 转动待测天线的方位和俯仰。使待测天线波束中心与接收波束中心天线对准, 频谱仪接收的信号最大, 此时的方位角和俯仰角视为 0° 。

l) 固定待测天线方位角不变, 调整待测天线作方位 $(-\varphi, \varphi)$ 旋转 (俯仰角角度范围可根据方位天线旁瓣特定要求选取 (即第一旁瓣、3dB 波束宽度、10dB 波束宽度、远波束方向图)。把接收到的电平作为角度的函数记录下来, 得到天线垂直面水平极化方向图 $F(\varphi)$, 记录天线垂直面半功率波束宽度 φ_1 。

m) 保持待测天线于同极化最大接收电平位置, 将接收天线极化旋转 90° , 并微调极化使待测天线在该位置接收电平最小。

n) 重复 k)、l) 测试步骤, 得天线垂直面交叉极化方向图 $f(\varphi)$, 通过对 $F(\varphi)$ 和 $f(\varphi)$ 的处理, 得到天线旁瓣特性、轴向交叉极化隔离度和 1dB 点交叉极化隔离度。

其计算方法如下:

天线旁瓣特性即为 $F(\varphi)$;

轴向交叉极化隔离度 $XPI_0 = F(0) - f(0)$;

1dB 交叉极化隔离度 $XPI_{1dB} = \min(F(\varphi) - f(\varphi))$, 其中 φ 取值范围为水平极化方向图的 1dB 带宽内。

o) 调整待测天线极化与接收天线为垂直极化, 重复 k) ~ n) 测试过程, 可以得到天线垂直面垂直极化的天线旁瓣特性、轴向交叉极化隔离度和 1dB 点交叉极化隔离度。

6.2.2.2 卫星源法

6.2.2.2.1 卫星链路载波测试法

6.2.2.2.1.1 测试原理

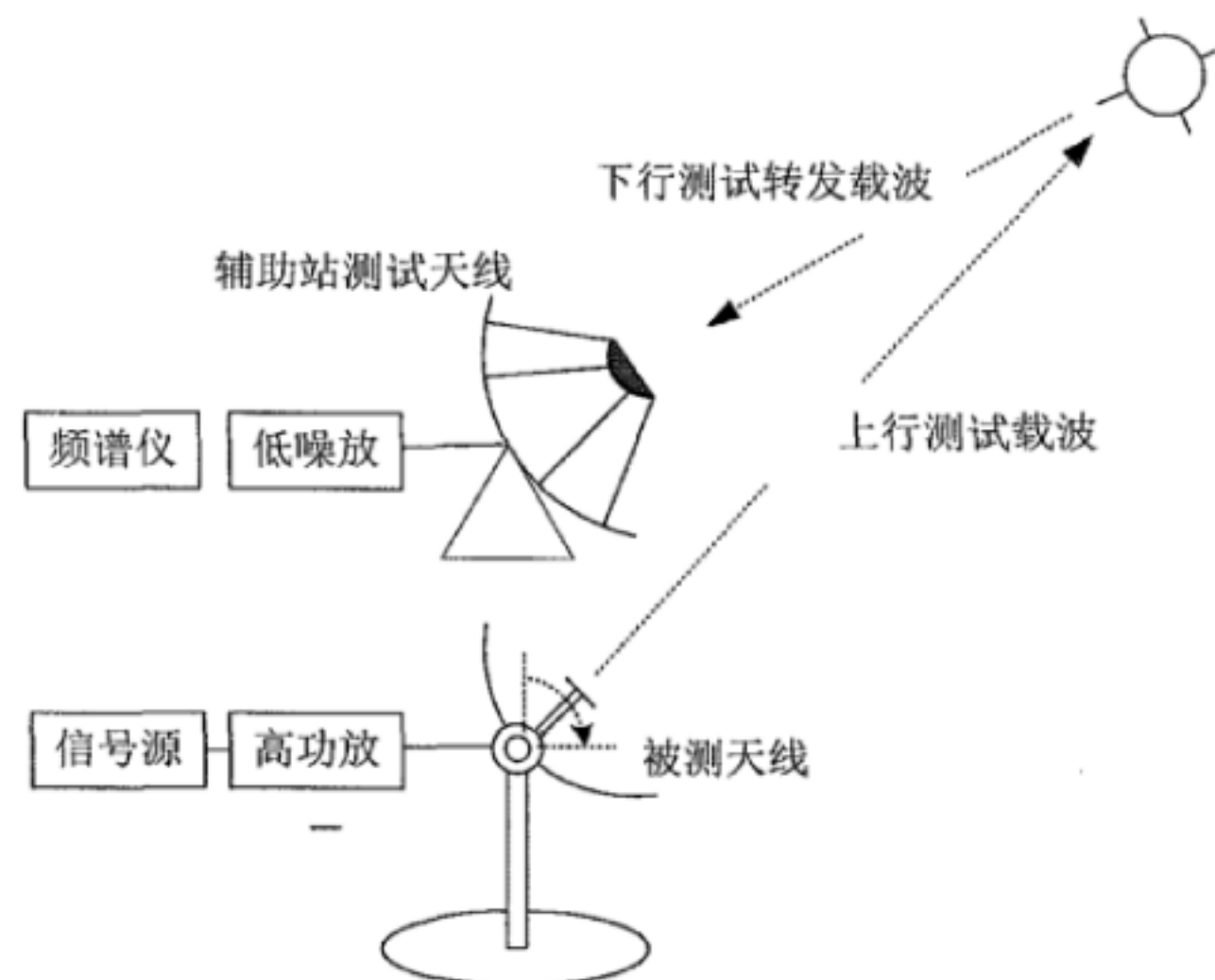


图10 用卫星链路载波测试法测试天线发射旁瓣特性和天线交叉极化隔离度的原理

6.2.2.2.1.2 测试步骤

- 按 5.1.1 条要求选择星标测试场地。
- 按照图 10 所示连接好整个测试系统, 加电预热, 使仪器设备工作正常。
- 调整监测站与卫星下行发射极化保持一致, 接收下行转发测试载波频率。
- 关闭待测天线自动跟踪系统; 调整待测天线的方位和俯仰指向卫星, 调整其极化与卫星上行极化保持一致, 向指向卫星发射特定频点的测试未调制载波信号。转动待测天线的方位和俯仰, 使待测天线

波束中心与发射波束中心天线对准，频谱仪接收的卫星转发的测试载波信号为最大，此时的方位角和俯仰角视为 0° 。

e) 保持俯仰角为 0° ，调整待测天线在方位角在偏离波束中心 $(-\theta, \theta)$ 范围内旋转，方位角度范围可根据天线旁瓣特定要求选取（即第一旁瓣、3dB 波束宽度、10dB 波束宽度、远波束方向图）。

f) 把接收到的电平作为角度的函数记录下来，得到并记录下天线接收波束方向图 $F(\theta)$ 轨迹，可计算天线旁瓣的大小和位置，确定是否满足天线包络图的要求。

g) 保持待测天线于同极化最大接收电平位置，将接收天线极化旋转 90° ，并微调极化使监测站测试天线在该位置接收电平最小。

h) 重复 e)、f) 测试步骤，得天线交叉极化方向图 $f(\theta)$ ，通过对 $F(\theta)$ 和 $f(\theta)$ 的处理，得到天线旁瓣特性、轴向交叉极化隔离度和 1dB 点交叉极化隔离度。

其计算方法如下：

天线旁瓣特性即为 $F(\theta)$ ；

轴向交叉极化隔离度 $XPI_0 = F(0) - f(0)$ ；

1dB 交叉极化隔离度 $XPI_{1dB} = \min(F(\theta) - f(\theta))$ ，其中 θ 取值范围为水平极化方向图的 1dB 带宽内。

i) 调整待测天线的方位角回到卫星指向波束中心点，在俯仰角上进行与卫星波束中心点的偏离，其仰角调整范围可根据天线旁瓣特定要求选取（即第一旁瓣、3dB 波束宽度、10dB 波束宽度，远波束方向图）。

j) 重复 f)、g)、h) 测试步骤，可以得到天线俯仰旁瓣特性、轴向交叉极化隔离度和 1dB 点交叉极化隔离度。

6.3 电压驻波比

6.3.1 测试条件

待测天线应该安装在一个相对的没有反射，并且离测试设备和测试人员相当远的自由空间或无回波暗室。检验测试场地合格的方法如下：

当待测天线（含其支撑结构）在4个相隔 45° 的水平方向上至少移动半个波长，向上、向下各移动半个波长时，如驻波比的变化小于10%，则认为测试场是合格的。

6.3.2 测试原理

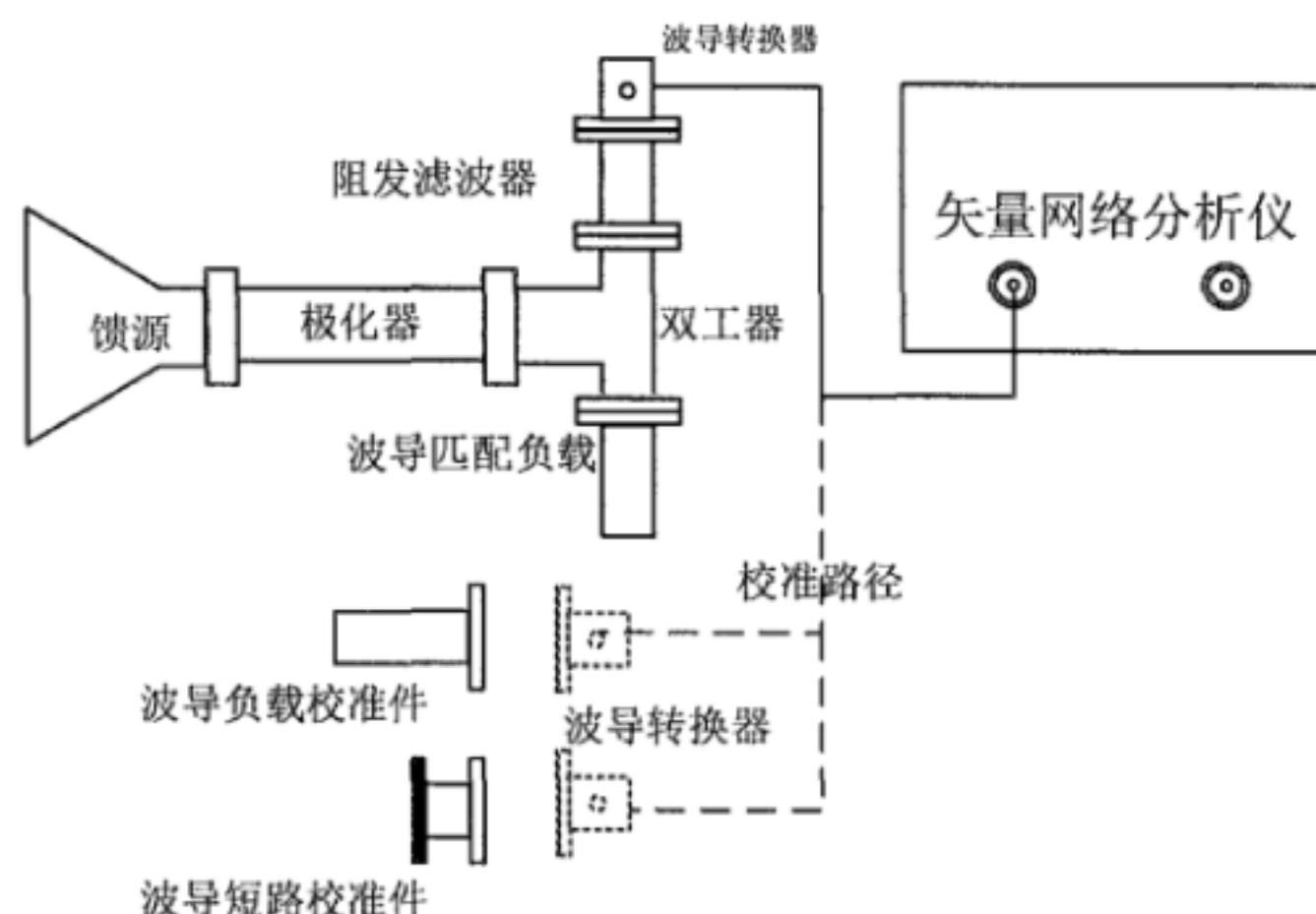


图11 电压驻波比的测试的原理

6.3.3 测试步骤

- 将待测天线安装在符合第 5 章的自由空间或模拟自由空间；
- 先将测试仪表通过波导连接测试线分别与波导校准件相连，进行短路、开路 and 负载的校准。
- 再将连接测试线接至天馈设备与低噪放相连接的接收波导端口，将接至发射机的输入波导端口接波导负载，用矢量网路分析仪在卫星下行工作频率范围内进行驻波比的测量；
- 将连接测试线调换至发射机的输入波导端口，将接收波导端口接波导负载，用矢量网路分析仪在卫星上行工作频率范围内进行驻波比的测量；
- 所测得的天馈驻波比在工作频带内各频点驻波比的最差值不得超出规定的指标要求。

6.4 馈源插入损耗

6.4.1 功率比对法

6.4.1.1 测试原理

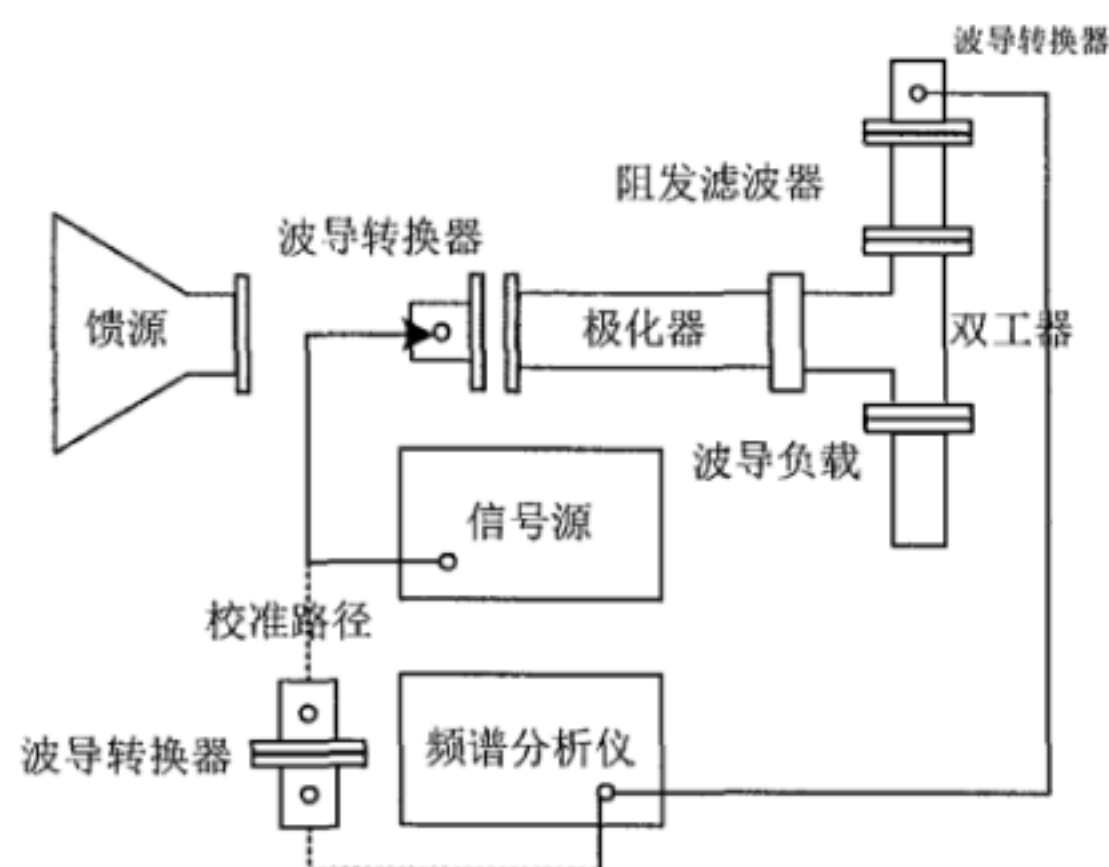


图12 馈源插入损耗功率比对法的测试原理

6.4.1.2 测试步骤

- 先将信号源通过同轴波导转换测试线与频谱仪相接，调整信号源的输出功率，并将其载波频率设置在实际工作频段内的特定频率点上；
- 采用频谱仪测试该频段的信号电平，即为 $P1$ (dBm)；
- 按图 12 所示，将信号源接至待测馈线的输入端，保持信号源的输出功率和频率不变；
- 采用频谱仪测试此状态下的信号电平，即为 $P2$ (dBm)；
- 将步骤 b) 和步骤 d) 所得功率数值代入公式，即得出馈线传输损耗：

$$A \text{ (dB)} = P1 \text{ (dBm)} - P2 \text{ (dBm)}$$
- 当考虑被测馈线在整个工作频段的插入损耗时，将信号源输出频率以 1MHz 为间隔在实际工作频段内进行扫描；
- 采用频谱仪测试该频段的信号工作电平曲线数值，即为 $P1(f)$ (dBm)；
- 将信号源接至待测馈线的输入端，保持输入信号不变；
- 频谱仪设置在工作频段范围内的信号保持显示状态，测试此状态下的信号工作电平曲线数值，即为 $P2(f)$ (dBm)；
- 将两次测试曲线所得的功率数值代入公式 $A \text{ (dB)} = P1 \text{ (dBm)} - P2 \text{ (dBm)}$ 即得出馈线传输损耗曲线数值。

6.4.2 回波损耗法

6.4.2.1 测试原理

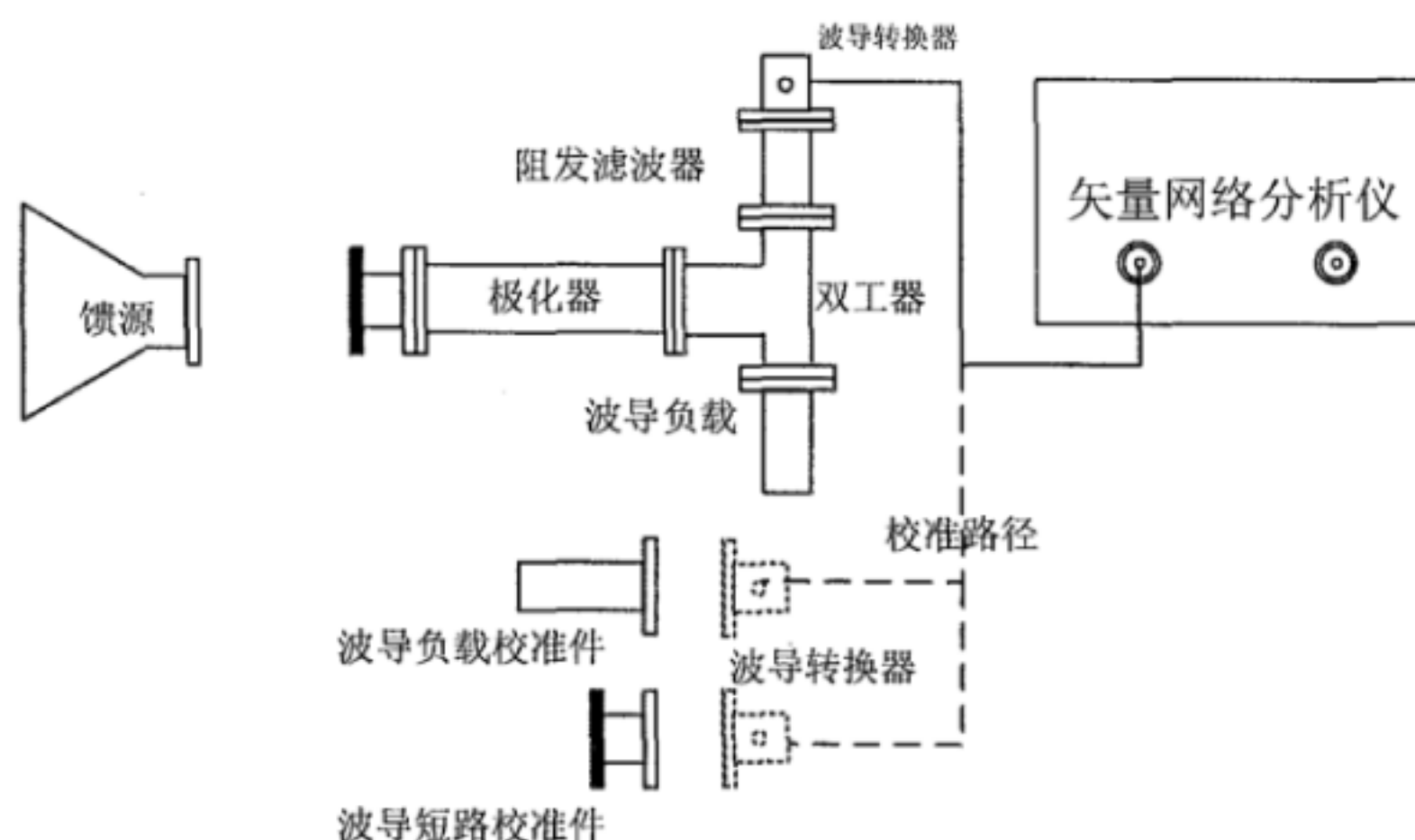


图13 馈线插入损耗回波损耗法的测试原理

6.4.2.2 测试步骤

a) 先将矢量网络分析仪采用波导校准件在所测工作范围内进行校准，并测试接短路校准件时的回波损耗 $RL1$ (dB)；

b) 按图 13 所示，再将矢量网络分析仪接至待测馈线的一端，另一端接至短路校准件，测试加被测馈线的回波损耗 $RL2$ (dB)；

c) 将上述两个步骤的回波损耗的相对电平的一半定为波导损耗，即为 A (dB) = $(RL1 - RL2) - 10\log(2)$ 。

6.5 天线噪声温度

6.5.1 测试原理

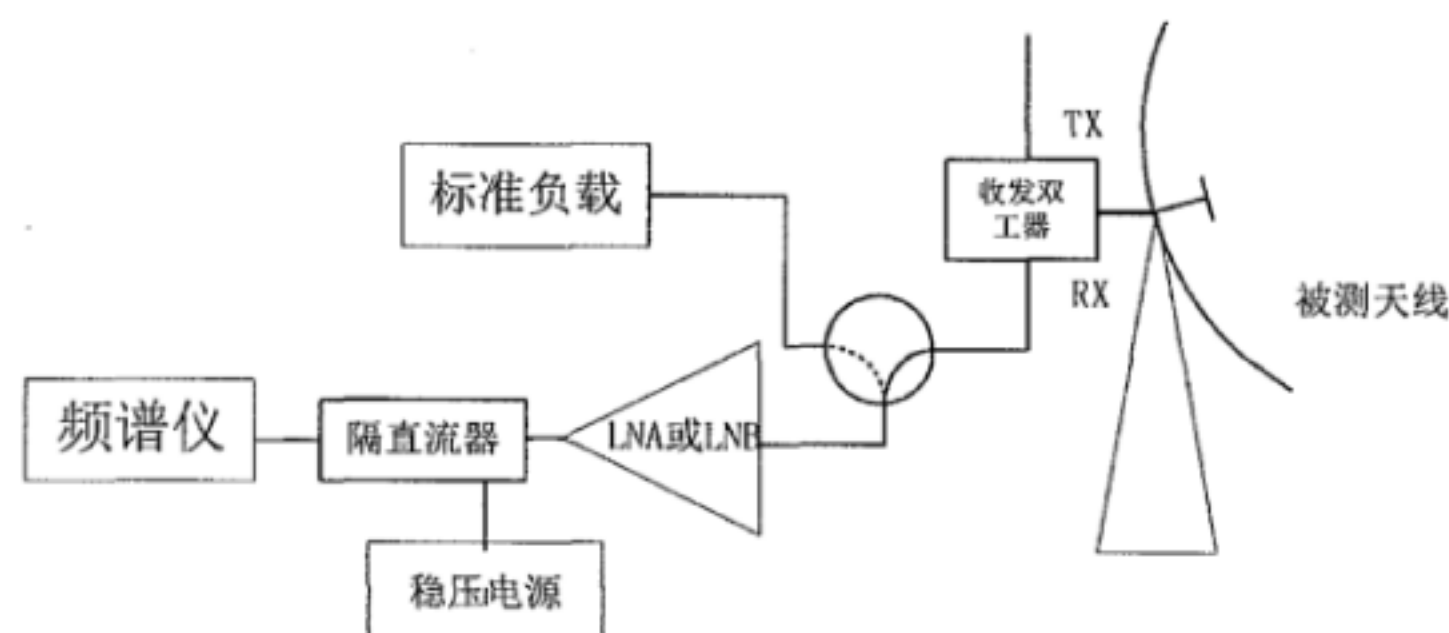


图14 天线噪声温度的测试原理

6.5.2 测试步骤

a) 按照图 14 所示连接好整个测试系统，加电预热，使仪器设备工作正常；

d) 频谱仪设置为待测的频率，待测天线设置为水平极化；

e) 对平板天线进行电调控制，使其天线方位和仰角远偏离卫星方向，对抛物面天线，将其仰角设置在高于 20° 左右，天线方位偏离卫星方向，（以接收不到卫星信号为准，避免卫星信号对测量结果产生影响），记录频谱仪的读数 P_1 (dBm)；

f) 将波导开关切换至标准负载，记录频谱仪的读数 P_2 (dBm)；

g) 计算测量的 Y 因子， $Y = P_1 - P_2$ (dB)；

h) 计算系统噪声温度 $T_{\text{SYS}} = 10 \log (T_{\text{LNA}} + T_0) - Y$, 其中 T_{LNA} 是低噪放的噪声温度, T_0 是常温的噪声温度, 即可获得水平极化状态下的系统噪声温度;

i) 将待测天线设置为垂直极化, 重复 c) ~f) 得到垂直极化状态下的系统噪声温度。

6.6 收发端口隔离度

6.6.1 测试原理

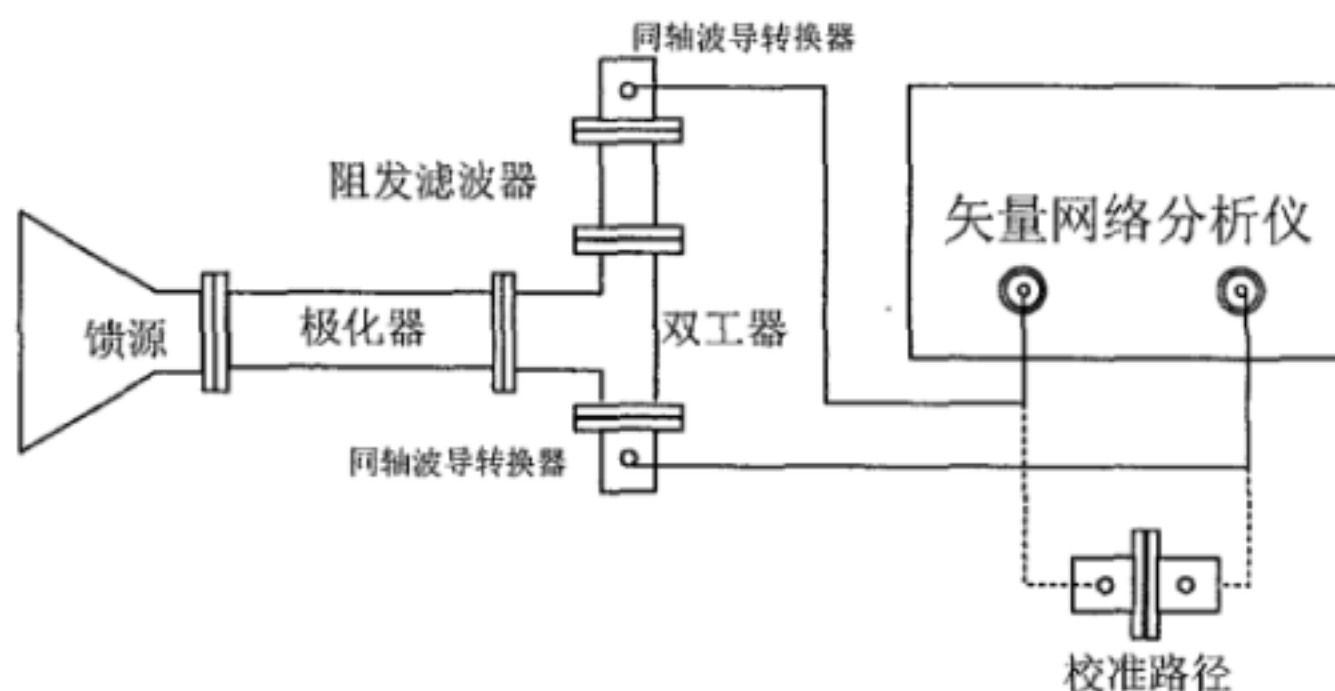


图15 收发端口隔离度的测试原理

6.6.2 测试步骤

a) 按图15所示连接测量系统, 将矢量网络分析仪的输出和输入端口的铜轴波导转换测试线相连接, 进行收发工作频段的校准;

b) 将矢量网络分析仪的Port1接至双工器的发射端口, Port2接至阻发滤波器的接收端口;

c) 启动矢量网络分析仪的S21和S12, 分别测试收发端口隔离度。

7 机械参数和功能

7.1 天线转动范围

7.1.1 方位角

7.1.1.1 三轴摇摆平台测试法

7.1.1.1.1 测试原理

测试原理如图16所示。

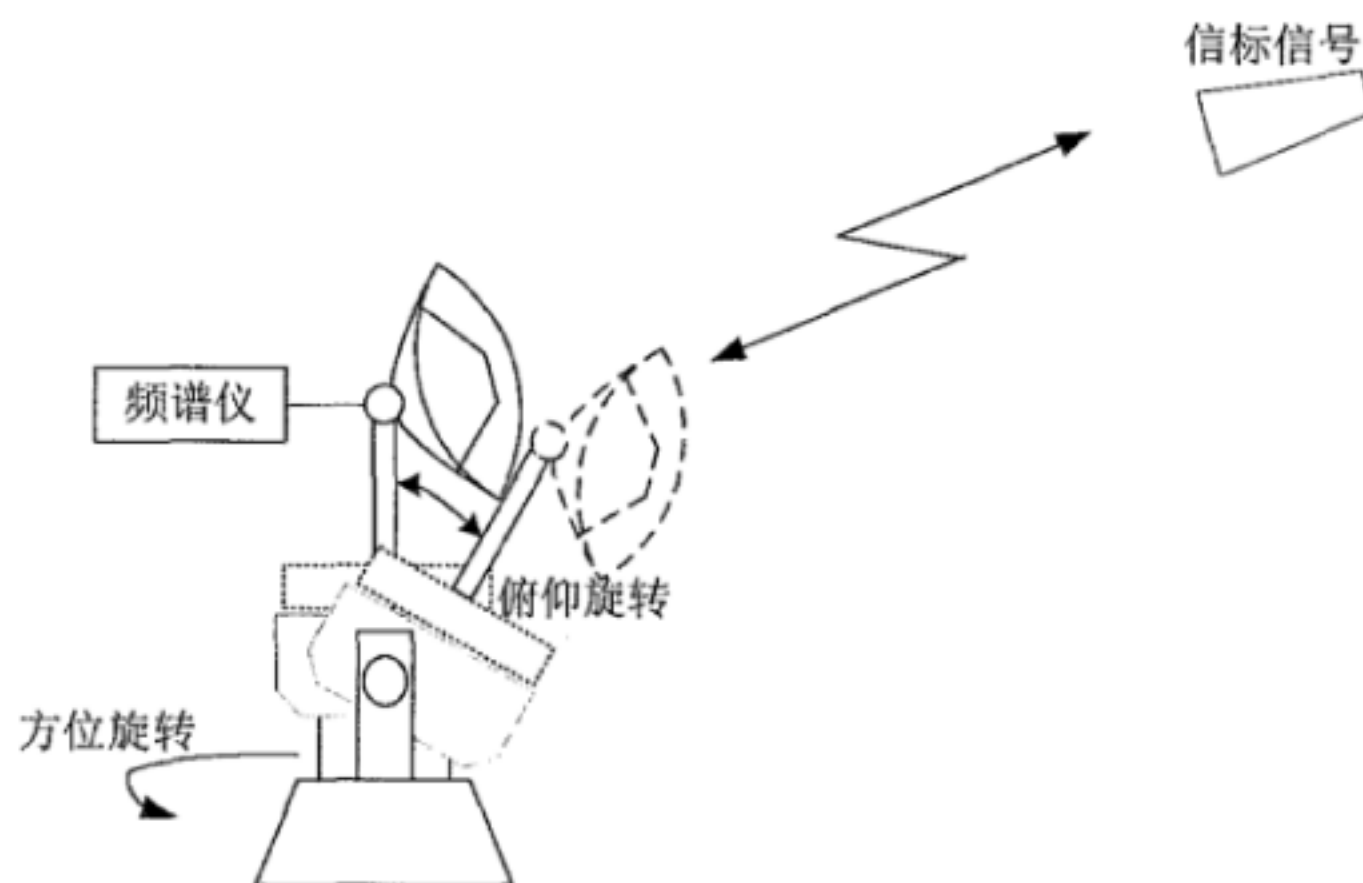


图16 三轴摇摆平台的测试原理

7.1.1.1.2 测试步骤

- a) 按图16搭建测试系统;
- b) 信标信号可以使用信标塔发射,也可以使用卫星信标;
- c) 调整待测天线,使待测天线处于最小方位角;
- d) 调整待测天线的俯仰角和极化角,并旋转三轴摇摆平台的方位角,使频谱仪观测到最大功率,记录此时三轴摇摆平台的方位角 α_1 ;
- e) 调整待测天线,使待测天线处于最大方位角;
- f) 调整待测天线的俯仰角和极化角,并旋转三轴摇摆平台的方位角,使频谱仪观测到最大功率,记录此时三轴摇摆平台的方位角 α_2 ;
- g) 待测天线的方位角调整范围为 $\alpha_2 - \alpha_1$ 。

7.1.1.2 水平转台测试法

7.1.1.2.1 测试原理

测试原理如图17所示。

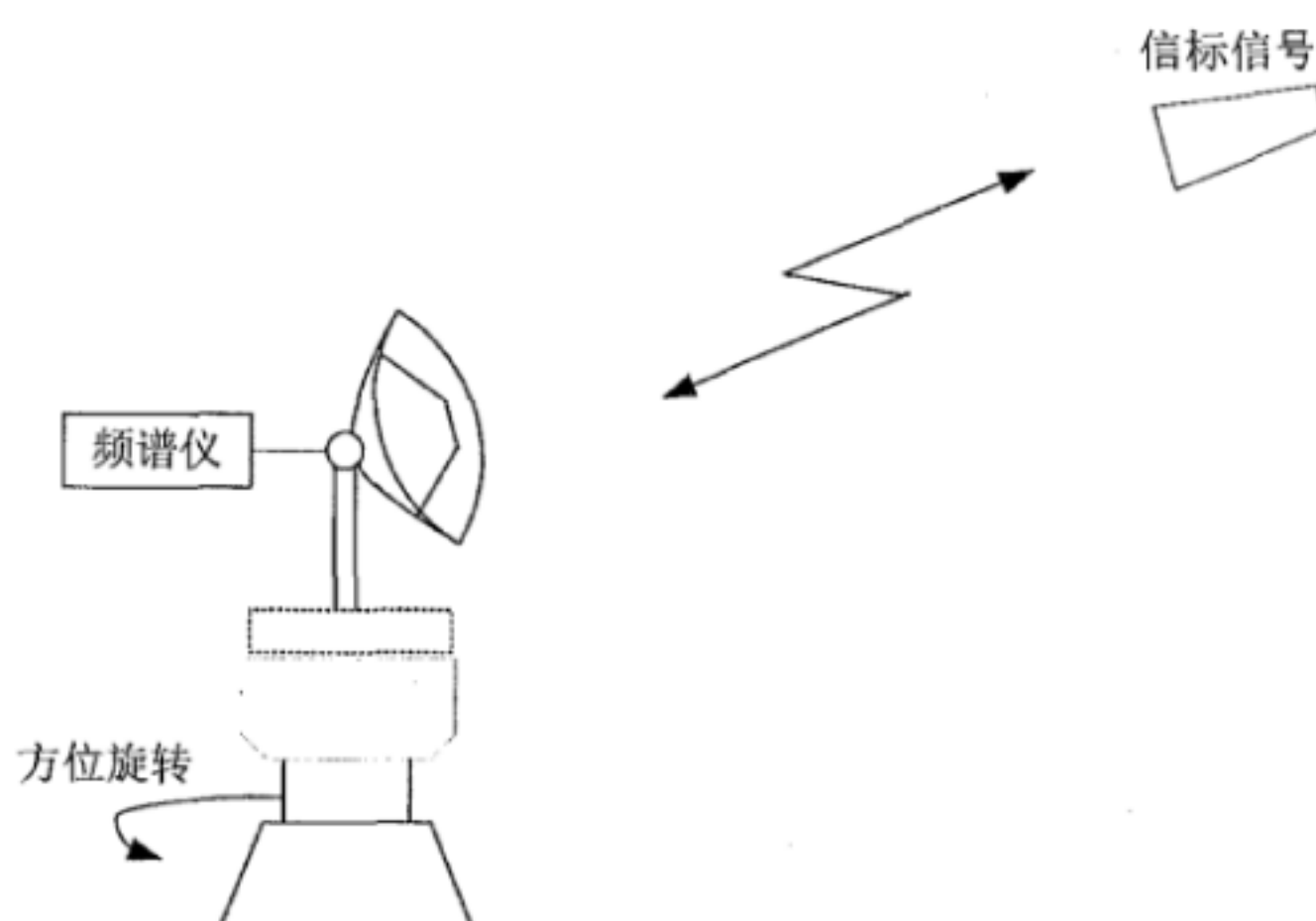


图17 水平旋转平台的测试原理

7.1.1.2.2 测试步骤

- a) 按图 17 搭建测试系统;
- b) 信标信号可以使用信标塔发射也可以使用卫星信标;
- c) 调整待测天线,使待测天线处于最小方位角;
- d) 调整待测天线的俯仰角和极化角,并旋转水平旋转平台的方位角,使频谱仪观测到最大功率,记录此时水平旋转平台的方位角 α_1 ;
- e) 调整待测天线,使待测天线处于最大方位角;
- f) 调整待测天线的俯仰角和极化角,并旋转水平旋转平台的方位角,使频谱仪观测到最大功率,记录此时水平旋转平台的方位角 α_2 ;
- g) 待测天线的方位角调整范围为 $\alpha_2 - \alpha_1$ 。

7.1.2 极化角

7.1.2.1 测试原理

见图16或图17。

7.1.2.2 测试步骤

- a) 按图 16 或图 17 搭建测试系统;
- b) 信标信号可以使用信标塔发射也可以使用卫星信标;
- c) 调整待测天线的极化角、俯仰角和方位角,使频谱仪观测到最大功率;
- d) 手动调整待测天线的极化转动,频谱仪在该过程中应能再次观测到最大功率。

7.1.3 俯仰角

7.1.3.1 三轴摇摆平台测试法

7.1.3.1.1 测试原理

见图16。

7.1.3.1.2 测试步骤

- a) 按图16搭建测试系统。
- b) 信标信号可以使用信标塔发射也可以使用卫星信标;
- c) 调整待测天线,使待测天线处于最小俯仰角;
- d) 调整待测天线的方向角和极化角,并旋转三轴摇摆平台的俯仰角,使频谱仪观测到最大功率,记录记录此时的俯仰角度 θ_1 ;
- e) 调整待测天线,使待测天线处于最大俯仰角;
- f) 调整待测天线的方向角和极化角,并旋转三轴摇摆平台的俯仰角,使频谱仪观测到最大功率,记录记录此时的俯仰角度 θ_2 ;
- g) 待测天线的俯仰角调整范围为 $\theta_2 - \theta_1$ 。

7.1.3.2 水平旋转平台测试法

7.1.3.2.1 测试原理

见图17。

7.1.3.2.2 测试步骤

- a) 按图17搭建测试系统;
- b) 调整待测天线的方位角为 0° (正前方),用三轴惯性测试设备测试航向角,旋转转台使航向角为 0° (正北方向);
- c) 将三轴惯性测试设备固定在天线口面上航向角和横滚角均为零度的位置;
- d) 调整待测天线,使待测天线处于最小俯仰角度,记录此时的俯仰角度 θ_1 ;
- e) 调整待测天线,使待测天线处于最大俯仰角度,记录此时的俯仰角度 θ_2 ;
- f) 待测天线的俯仰角调整范围为 $\theta_2 - \theta_1$ 。

7.2 对星精度

- a) 该项测试应在晴天和微风的情况下测试;
- b) 将待测天线置于轮式车上,通过监控终端或手动选择并确定需要对准的卫星;通过频谱仪观察所选卫星的信标频率,在待测天线完成对星动作,并且在频谱仪上观测到所选卫星的信标后,记录此时的方位角 α_1 和俯仰角 θ_1 ;
- c) 手动调整天线的方位角和俯仰角,直至信标功率达到最大值,记录此时的方位角 α_2 和俯仰角 θ_2 ;
 $|\alpha_1 - \alpha_2|$ 以及 $|\theta_1 - \theta_2|$ 应小于1/8半功率波束宽度或者 0.2° (取两者的较小值);

d) 多次测量, 统计方法取均值。

8 环境试验

8.1 低温试验

- a) 将待测天线装载在置于轮式车上放置环境试验室内;
- b) 根据不同类型地区的要求, 以 $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 速度降至规定的温度;
- c) 温度稳定后保持2h, 然后开启待测天线, 快速开出环境室, 并按照7.2条规定的方法进行测量;
- d) 恢复常温并稳定2h后, 再进行同样项目的指标恢复情况测试。

8.2 高温试验

- a) 将待测天线装载在置于轮式车上放置环境试验室内;
- b) 根据不同类型地区的要求, 以 $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 速度升至规定的温度;
- c) 温度稳定后保持2h, 然后开启待测天线, 快速开出环境室, 并按照7.2条规定的方法进行测量;
- d) 恢复常温并稳定2h后, 再进行同样项目的指标恢复情况测试。

8.3 恒定湿热试验

- a) 将待测天线装载在置于轮式车上放置环境试验室内;
- b) 根据不同类型地区的要求, 以 $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 速度升至规定的温度后, 再加湿至规定的湿度;
- c) 温度和湿度稳定后保持2h, 然后开启待测天线, 快速开出环境室, 并按照7.2条规定的方法进行测量;
- d) 恢复常温常湿并稳定2h后, 再进行同样项目的指标恢复情况测试。

附 录 A
(规范性附录)
测试仪器指标要求

A.1 频谱仪

- 频率范围：至少覆盖 3GHz~15GHz;
- 频率精度：不大于 1×10^{-8} ;
- 动态范围：不小于 80dB;
- 幅度精度：不大于 1dB;
- 本底噪声：不大于 -150dBm/Hz;
- 检波方式：均方根、平均、最大保持、最小保持;
- 分辨率带宽：10Hz 至 10MHz 可选，步长不大于 10Hz。

A.2 信号源

- 频率范围：至少覆盖 3GHz~15GHz;
- 频率精度：不大于 1×10^{-8} ;
- 幅度范围：至少覆盖 -120dBm~0dBm，步长不大于 1dB;
- 幅度精度：不大于 1dB。

A.3 矢量网络分析仪

- 频率范围：至少覆盖 3GHz~15GHz;
- 频率精度：不大于 1×10^{-8} ;
- 动态范围：不小于 80dB;
- 幅度精度：不大于 0.5dB。

A.4 三轴惯性测试设备

- 俯仰角测试范围： $-90^{\circ} \sim +90^{\circ}$;
- 横滚角测试范围： $-180^{\circ} \sim +180^{\circ}$;
- 航向角测试范围： $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$;
- 角度分辨率：不大于 0.05° ;
- 俯仰角测试精度：静态不大于 0.5° ，动态不大于 2° ;
- 横滚角测试精度：静态不大于 0.5° ，动态不大于 2° ;
- 航向角测试精度：静态不大于 1° ，动态不大于 2° ;
- 角度更新速率：不小于 100Hz。

A.5 三轴摇摆平台

- 俯仰角转动范围： $0^{\circ} \sim 75^{\circ}$;
- 方位角转动范围： $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$;
- 角度转动精度：不大于 0.5° 。

A.6 监测站

监测站的端口隔离度应大于 40dB。

参 考 文 献

YD/T 828.22 数字微波传输系统中所用设备的测试方法 第2部分：地面无线接力系统的测试
第2节：天线

YD/T 1059-2004 移动通信系统基站天线技术条件

中华人民共和国
通信行业标准
卫星通信地球站设备
可搬运便携天线和伺服系统测试方法
YD/T 2872-2015

*

人民邮电出版社出版发行
北京市丰台区成寿寺路 11 号邮电出版大厦
邮政编码: 100164
北京康利胶印厂印刷
版权所有 不得翻印

*

开本: 880×1230 1/16 2016 年 3 月第 1 版
印张: 1.75 2016 年 3 月北京第 1 次印刷
字数: 55 千字

15115 · 783

定价: 20 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010)81055492