

ICS 33.120.40

CCS M 732

团体标准

T/SSMT 1-2020

T/SSNA 1-2020

GNSS 测量型天线和参考站天线性能 要求及测试方法

Performance requirements and test methods for GNSS geodetic
antenna and reference station antenna

2020-11-02 发布

2020-11-02 实施

上海市计量测试学会

上海卫星导航定位产业技术创新战略联盟

发布

目 次

前言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和缩略语	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语	3
4 性能要求	4
4.1 总则	4
4.2 物理特性	4
4.3 电气接口	4
4.4 供电要求	4
4.5 带宽	4
4.6 天线极化与轴比	4
4.7 电压驻波比	4
4.8 天线方向图与增益	4
4.9 20° 仰角不圆度	5
4.10 滚降系数	5
4.11 极化增益前后比	5
4.12 相位中心偏差	5
4.13 多径效应值	5
4.14 1dB 压缩点输出功率	5
4.15 噪声系数	5
4.16 有源增益	5
4.17 带内平坦度	5
4.18 带外抑制	5
4.19 环境适应性	5
5 性能测试方法	6
5.1 测试条件	6
5.2 测试环境	7
5.3 测试设备	7
5.4 测试项目	8
5.5 测试方法	9
附录 A (资料性) 常用四大卫星导航系统频率对照表	18
附录 B (资料性) 天线辐射参数的多探头球面近场测试法	19
B.1 概述	19
B.2 测试场地环境条件	19
B.3 测试设备	19
B.4 测试框图	19
B.5 测试步骤	20

B.6 数据处理与提取.....	20
附录 C (资料性) 天线测量中使用的球面坐标系	22
附录 D (规范性) 多径效应值测试数据处理方法	23

全国团体标准信息平台

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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专利的责任。

本文件由上海海积信息科技股份有限公司提出。

本文件由上海市计量测试学会归口。

本文件起草单位：上海海积信息科技股份有限公司、上海卫星导航定位产业技术创新战略联盟、上海市计量测试技术研究院、上海华测导航技术有限公司、上海北斗卫星导航平台有限公司。

本文件主要起草人：王冠君、朱良、李炳槐、刘欢、谢亚运、吴兴军、李德强、殷年吉、桑昱、蔡青、董莲、胡立志、胥婕、于淼、王杰俊、梁霄、吴中伟、王民。

本文件为上海市计量测试学会团体标准，由上海市计量测试学会和上海卫星导航定位产业技术创新战略联盟共同发布，推荐有关方面参考采用。

GNSS 测量型天线和参考站天线性能要求及测试方法

1 范围

本文件规定了GNSS测量型天线和参考站天线的性能要求及测试方法。

本文件适用于GNSS测量型天线和参考站天线的设计、生产、测试和使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 2423.1-2008 电子电工产品实验环境 第2部分：试验方法 试验A：低温
- GB/T 2423.2-2008 电子电工产品实验环境 第2部分：试验方法 试验B：高温
- GB/T 2423.3-2006 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验
- GB/T 2423.5-1995 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ea和导则：冲击
- GB/T 2423.8-1995 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ed：自由落体
- GB/T 2423.10-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）
- GB/T 2423.18-2012 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Kb：盐雾，交变（氯化钠溶液）
- GB/T 2423.38-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验R：水试验方法和导则
- GB/T 12267-1990 船用导航设备通用要求和试验方法
- GB/T 17626.2-2006 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.5-2008 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
- GB/T 18214.1-2000 全球导航卫星系统第1部分：全球定位系统接收设备性能标准测试方法和要求的测试结果
- GB 50826-2012 电磁波暗室工程技术规范
- JJF 1118-2004 全球定位系统（GPS）接收机（测地型和导航型）校准规范
- JJF 1347-2012 全球定位系统（GPS）接收机（测地型）型式评价大纲
- SJ/T 11431-2010 GPS接收机天线性能及测试方法
- SJ 2534.10-1986 功率增益和方向性的测量
- BD 110001-2015 北斗卫星导航术语
- BD 420003-2015 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）测量型天线性能要求及测试方法

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

BD 420003-2015 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

天线 antenna

无线发射和接收系统中,用以辐射或接收电磁波的装置,是一种导行波与自由空间波之间的转换器件或换能器。

3.1.2

带宽 bandwidth

天线指定的性能参数符合规定的频率范围,包括输入阻抗带宽、增益带宽、轴比带宽等。

3.1.3

轴比 axial ratio

椭圆极化波的长轴与短轴之比,常用分贝(dB)表示,圆极化轴比为1(0dB)。

3.1.4

天线仰角 antenna elevation angle

天线与水平面的夹角,定义垂直方向为仰角90°,水平方向为仰角0°。

3.1.5

不圆度 pattern roundness

在任一仰角的水平面方向图中,其增益最大值或最小值电平值与平均值的偏差。

注:平均值是指水平面方向图中最大间隔不超过5°方位上电平值(dB)的算术平均值。

3.1.6

极化增益前后比 front-to-rear ratio

天线法向极化增益与背向±30°内的极化增益最大值之差,表征天线对后瓣抑制的能力。

3.1.7

多路径效应 multi-path effect

电波传播信道中的多路径传输现象所引起的干涉延时效应。

3.1.8

多径效应值 multi-path effect value

多径效应引致的伪距测量误差值。

3.1.9

1dB压缩点输入/输出功率 1dB compression point

随着输入功率的增大,器件进入非线性工作区,输出功率的增加值相比于线性增益低1dB时的输入/输出功率。

3.1.10

电压驻波比 voltage standing wave ratio (VSWR)

天线馈线上沿线电压相邻的最大值与最小值之比,用以衡量阻抗失配的程度,表述天线反射信号的强度。

3.1.11

噪声系数 noise figure

在标准信号源激励下输出信噪比与信号源信噪比之比,用来表述一个器件对系统的噪声贡献。

3.1.12

有源增益 active gain

整个有源电路部分的输出功率与输入功率比值的对数,用来表示有源电路的功率放大程度,用分贝(dB)表示。

注：天线有源电路包括滤波器、低噪声放大器等器件，主要功能是对天线接收到的信号进行放大、滤波。

3.1.13

带内平坦度 pass band flatness

在通带范围内，有源增益的最大值与最小值之差的一半，用分贝（dB）表示。

3.1.14

带外抑制 out band rejection

定义有源电路通带边缘与频率中心的衰落差值，用来表征有源电路对通带以外信号的抑制程度。

3.1.15

测量型天线 geodetic antenna

应用于高精度测量的天线。分为内置型和外置型两种，装配在接收机整机内部的天线称为内置天线，装配在接收机整机外部且自带密闭天线罩和射频连接口的天线称为外置天线。

3.1.16

参考站天线 reference station antenna

应用于参考站、具备稳定的相位中心、具有抗多径能力的高精度天线。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BDS——BeiDou Navigation Satellite System，北斗卫星导航系统；

CORS——Continuously Operating Reference Station，连续运行参考站；

GLONASS——Global Navigation Satellite System，格洛纳斯卫星导航系统；

GNSS——Global Navigation Satellite System，全球卫星导航系统；

GPS——Global Positioning System，全球定位系统；

LHCP——Left Hand Circular Polarization，左旋圆极化；

LNA——Low Noise Amplifier，低噪声放大器；

PCO——Phase Center Offset，相位中心偏差；

PCV——Phase Center Variation，相位中心变化；

RHCP——Right Hand Circular Polarization，右旋圆极化；

RTK——Real-time Kinematic，实时动态差分；

VSWR ——Voltage Standing Wave Ratio，电压驻波比。

4 性能要求

4.1 总则

天线至少应能接收BDS播发的公开服务信号。根据天线的实际应用需求，也可以同时接收其他的卫星导航信号。

4.2 物理特性

天线应外观良好，表面光洁，金属零件表面应有防锈防腐蚀涂层。天线应具有指北定向标识，天线应有铭牌或标签等标识。外置天线铭牌或标签应标注天线型号、外观尺寸、相位中心高度、工作电压等基本信息。外置天线底部中心应具有5/8"×11牙（英制）（大径15.875mm，螺距2.309mm）的螺纹安装孔，孔深宜不小于22mm。

尺寸和重量要求如下：

a) 测量型天线：

- 内置测量天线：尺寸宜小于 $\Phi 160\text{mm} \times 26\text{mm}$ ，重量宜不大于 250g；
- 外置测量天线：尺寸宜小于 $\Phi 200\text{mm} \times 70\text{mm}$ ，重量宜不大于 500g。

b) 参考站天线：尺寸宜小于 $\Phi 380\text{mm} \times 320\text{mm}$ ，重量宜不大于 8500g。

4.3 电气接口

应在天线产品规范中标明天线阻抗及天线输出接口类型。

天线的阻抗推荐为 50Ω ，输出接口形式分为内置测量天线、外置测量天线、参考站天线三种。

a) 测量型天线：

- 内置测量天线：输出接口推荐采用 MCX 型、MMCX 型、SMA 型、SMB 型；
- 外置测量天线：输出接口推荐采用 TNC 型、N 型。

b) 参考站天线：输出接口推荐采用 TNC 型、N 型。

4.4 供电要求

有源天线的工作电压应在 (3.3-12) VDC 范围内。天线功耗应尽量小，野外应用的天线工作电流应小于 100mA。

4.5 带宽

天线带宽应涵盖天线所接收信号的工作频段，各系统工作频段参见附录 A。

4.6 天线极化与轴比

在各接收频点范围内，天线极化特性为右旋圆极化，法向轴比应不大于 2dB，仰角 20° 轴比应不大于 4dB。

4.7 电压驻波比

在各接收频点范围内，对 50Ω 传输线天线电压驻波比应不超过 2.0。

4.8 天线方向图与增益

测量型天线和参考站天线的增益分别应满足：

a) 测量型天线：在各接收频点范围内，法向增益应不小于 4.5dBi，仰角 20° 方向增益不小于 -5dBi；

b) 参考站天线：在各接收频点范围内，法向增益应不小于 5.0dBi，仰角 20° 方向增益不小于 -5dBi。

4.9 20° 仰角不圆度

在各接收频点范围内， 20° 仰角不圆度应不大于 1.5dB。

4.10 滚降系数

测量型天线和参考站天线的滚降系数应满足：

a) 测量型天线：在各接收频点范围内，滚降系数不小于 9dB；

b) 参考站天线：在各接收频点范围内，滚降系数不小于 11dB。

4.11 极化增益前后比

测量型天线和参考站天线的极化增益前后比应满足：

- a) 测量型天线：在各接收频点范围内，极化增益前后比不小于20dB；
- b) 参考站天线：在各接收频点范围内，极化增益前后比不小于25dB。

4.12 相位中心偏差

测量型天线和参考站天线的相位中心偏差应满足：

- a) 测量型天线：相位中心偏差不能大于2mm；
- b) 参考站天线：相位中心偏差不能大于1.5mm。

4.13 多径效应值

测量型天线的多径效应值应不大于0.5m，参考站天线的多径效应值不大于0.4m。

4.14 1dB 压缩点输出功率

1dB压缩点输出功率应不小于0dBm。

4.15 噪声系数

在各接收频点范围内，噪声系数应小于2dB。

4.16 有源增益

测量型天线高增益推荐采用（40±2）dB，低增益推荐采用（28±2）dB。

参考站天线高增益推荐采用（60±2）dB，低增益推荐采用（45±2）dB。

注：有源增益可根据实际应用定制。

4.17 带内平坦度

在各接收频点范围内，平坦度应不超过1dB。

4.18 带外抑制

接收信号边频±100MHz处，带外抑制应大于30dB。

4.19 环境适应性

4.19.1 静电防护

天线应能承受一定的静电冲击，天线在接触放电4kV，空气放电8kV各5次的情况下不致损坏。

4.19.2 工作温度及存储温度

天线在-40℃~+85℃温度范围内，应能正常工作。天线在-55℃~+85℃温度范围内存储，应不致损坏。

4.19.3 湿热

天线在温度为（40±2）℃、相对湿度为（93±3）%环境中，应能正常工作。

4.19.4 防水

外置天线应具备防水能力，在深度为1m的清洁自来水中浸泡0.5h后，应能正常工作。

4.19.5 盐雾

外置天线应具备抗盐雾腐蚀能力，在15℃~35℃温度下，5%氯化钠溶液喷雾2h，喷雾间隔存放时间为22h，循环3次的情况下应能正常使用。

4.19.6 振动

外置天线分别在三个互相垂直轴上经受频率为（1~30）Hz，单振幅为0.75mm的振动试验50min后，应能保持结构完好，工作正常；分别在三个互相垂直轴上经受频率为（30~55）Hz，单振幅为0.25mm的振动试验25min后，应能保持结构完好，工作正常。

4.19.7 冲击

外置天线在经受加速度为50m/s² 持续时间为30ms的冲击试验18次（三个相互垂直方向的每一方向连续施加三次冲击）后，应能保持结构完好，工作正常。

4.19.8 跌落

外置天线在1m高度自由跌落2次后，应能保持结构完好，工作正常。

4.19.9 浪涌

天线应具备防雷击能力，能承受一定的浪涌冲击，测量型天线的试验等级为2kV，参考站天线的试验等级为4kV，浪涌冲击后天线应能保持正常工作。

4.19.10 其他特性

对于其他不同应用环境的特殊要求，应符合有关规范规定。

5 性能测试方法

5.1 测试条件

大气条件：除另有规定外，测试应在标准大气条件下进行：

- a) 温度：15℃~35℃；
- b) 相对湿度：45%~75%；
- c) 气压：86kPa~106kPa。

电气条件：除另有规定外，应在通用的输入供电且接地性能良好的条件下进行测试。

5.2 测试环境

天线测试环境包括常规测试环境、内场测试环境和外场测试环境：

- a) 常规测试环境：
 - 1) 符合 5.1 中规定条件下的室内环境；
 - 2) 主要测试天线有源部分增益、噪声、带外抑制等指标。
- b) 内场测试环境：
 - 1) 全电波暗室，按照 GB 50826-2012 的要求执行；
 - 2) 主要测试天线无源部分辐射特性指标。
- c) 外场测试环境：
 - 1) 符合章条号 5.1 测试条件；

- 2) 天空视野开阔且水平面上方 10°以上没有明显遮挡物，测试点无强电磁场干扰和多径反射；
- 3) 远离开阔平静水面；
- 4) 拥有可旋转强制对中基座，且强对中杆自传的同轴度在 0.2mm 内；
- 5) 主要测试天线载噪比、相位中心、抗多径效应值等指标。

5.3 测试设备

测试设备应检定合格并在有效期内。常用测试设备见表1。

表 1 常用测试设备

序号	测试设备	设备要求
1	游标卡尺	分辨率: $\leq 0.01\text{mm}$ 精度: $\leq 0.02\text{mm}$
2	电子秤	量程: $\geq 10\text{kg}$ 精度: $\leq 1\text{g}$
3	矢量网络分析仪	分辨率: 1Hz 频率精度: $\pm 1 \times 10^{-5}$ 动态范围: 130dB 频率范围: 9kHz~3GHz (需涵盖所测频段) 输出功率: -55dBm~+10dBm
4	数字万用表	连续性: 电阻 $< 50\Omega$ 时内置蜂鸣器响 电阻 $> 300\Omega$ 时内置蜂鸣器失效
5	噪声系数分析仪	频率分辨率: 10kHz 动态范围: -60dBm~+16dBm 频率范围: 10MHz~3GHz 点频准确度: 优于 $\pm 200\text{kHz}$ 频谱纯度: 谐波 $< -30\text{dBc}$, 非谐波 $< -30\text{dBc}$ 电平控制输出功率范围: -22.9dBm~+10dBm
6	直流稳压电源	电压范围: 0V~30V 电流范围: 0A~3A 三位半数显
7	GNSS 接收机	静态测量: ——水平 $2.5\text{mm} + 10^{-6} \times \text{基线长度}$ ——垂直 $5\text{mm} + 10^{-6} \times \text{基线长度}$ 初始化时间: $< 10\text{s}$ 初始化可靠性: $> 99.9\%$
8	幅相接收机	灵敏度: -110dBm ~ -80dBm 动态范围: $> 50\text{dB}$ 精度: $< \pm 0.05\text{dB}/10\text{dB}$
9	信号源	频率准确度: $\pm 0.3\% \sim \pm 0.43\%$ 频谱纯度: 谐波 $< -20\text{dBc}$, 非谐波 $< -50\text{dBc}$ 输出功率: 0dBm ~ 30dBm
10	高低温环境试验箱	内型尺寸: $\geq 500\text{mmL} \times 500\text{mmW} \times 500\text{mmH}$ 温度范围: $-50^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$

		温度均匀度: $\leq \pm 2^{\circ}\text{C}$ 温度波动度: $\leq \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 温度偏差: $\leq \pm 2^{\circ}\text{C}$ 降温速度: $0.7 \sim 1.2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温速度: $1 \sim 3^{\circ}\text{C}/\text{min}$
11	振动台	最大负载: $\geq 40\text{Kg}$ 调频范围: $1 \sim 500\text{Hz}$ 扫频范围: $1 \sim 500\text{Hz}$ 振幅: $0 \sim 5\text{mm}$ 振动方向: 垂直、水平、前后 振动波形: 正弦波 (半波/全波) 精密度: 0.1Hz 台面尺寸: $\geq 500\text{mmL} \times 500\text{mmW}$

5.4 测试项目

不同类型的天线测试的项目见表2。

表2 测试项目列表

序号	测试项目		天线类型			性能要求 章条号	测试方法 章条号	测试环境
			测量型天线		参考站 天线			
			内置	外置				
1	整机	物理特性	●	●	●	4.2	5.5.2	常规测试环境
2		电气接口	●	●	●	4.3	5.5.3	常规测试环境
3		供电要求	●	●	●	4.4	5.5.4	常规测试环境
4		天线极化与轴比	●	●	●	4.6	5.5.6	内场测试环境
5		电压驻波比	●	●	●	4.7	5.5.7	内场测试环境
6		相位中心偏差	●	●	●	4.12	5.5.9	外场测试环境
7		多经效应值	●	●	●	4.13	5.5.10	外场测试环境
8	无源天线	带宽	●	●	●	4.5	5.5.5	内场测试环境
9		天线方向图与增益	●	●	●	4.8	5.5.8	内场测试环境
10		20°仰角不圆度	●	●	●	4.9	5.5.8.3	内场测试环境
11		滚降系数	●	●	●	4.10	5.5.8.4	内场测试环境
12		极化增益前后比	●	●	●	4.11	5.5.8.5	内场测试环境
13	低噪声放大器部分	1dB 压缩点输出功率	●	●	●	4.14	5.5.11	常规测试环境
14		噪声系数	●	●	●	4.15	5.5.12	常规测试环境
15		有源增益	●	●	●	4.16	5.5.13	常规测试环境
16		带内平坦度	●	●	●	4.17	5.5.14	常规测试环境
17		带外抑制	●	●	●	4.18	5.5.15	常规测试环境
18	环境适应性	静电防护	●	●	●	4.19.1	5.5.16.1	常规测试环境
19		工作温度	●	●	●	4.19.2	5.5.16.2 5.5.16.3	常规测试环境

20		湿热	—	●	●	4.19.3	5.5.16.4	常规测试环境
21		防水	—	●	●	4.19.4	5.5.16.5	常规测试环境
22		盐雾	—	●	●	4.19.5	5.5.16.6	常规测试环境
23		振动	—	●	●	4.19.7	5.5.16.7	常规测试环境
24		冲击	—	●	●	4.19.8	5.5.16.8	常规测试环境
25		跌落	—	●	●	4.19.9	5.5.16.9	常规测试环境
26		浪涌	●	●	●	4.19.10	5.5.16.10	常规测试环境
注：“●”表示应执行的测试项目，“—”表示可不执行的测试项目。								

5.5 测试方法

5.5.1 总则

以室内远场测试法为基础，规定天线性能指标的测试方法。而对于天线方向图和增益等部分的测试，除了采用室内远场测试法外，还可采用多探头球面测试法，具体可参见附录B。

待测天线的工作坐标系一般采用球坐标系，用于天线测量的球坐标系可参见附录C。各项目指标测试环境可参见表2。

微波暗室测试系统指经过标准天线校标的微波暗室测试系统。

5.5.2 物理特性

测试设备：游标卡尺、电子秤。

测试方法和步骤：

- a) 用游标卡尺检验产品外形尺寸；
- b) 用电子秤称产品重量；
- c) 对天线铭牌或标签进行目测检查，铭牌或标签应完好，信息完整。指北定向标志清晰；
- d) 对天线外观进行目测检查，不应有凹痕、划伤、裂缝、变形等缺陷，金属零件不应有锈蚀。

5.5.3 电气接口

测试设备：游标卡尺、数字万用表。

测试方法和步骤：

- a) 用游标卡尺检验接头的尺寸，检查接头型号及类型是否符合要求；
- b) 用数字万用表检验接头是否短路。

5.5.4 供电要求

测试设备：直流稳压电源。

测试方法和步骤：

- a) 按照图1所示把待测天线连接到直流电源；
- b) 打开直流电源，旋转电压旋钮，将电压输出值缓慢地从3.3V变化到12V；
- c) 记录电源电压在3.3V、及4V到12V每一整数电压值取一个电流值，共10个电流值，所有的电流值都应满足4.4要求。

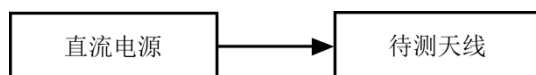


图1 供电要求测试框图

5.5.5 带宽

测试设备：矢量网络分析仪。

测试方法和步骤：

- a) 按所需频段校准矢量网络分析仪；
- b) 按照图2连接矢量网络分析仪和待测天线；
- c) 记录输入驻波不大于2.0的频率范围，满足4.5要求。

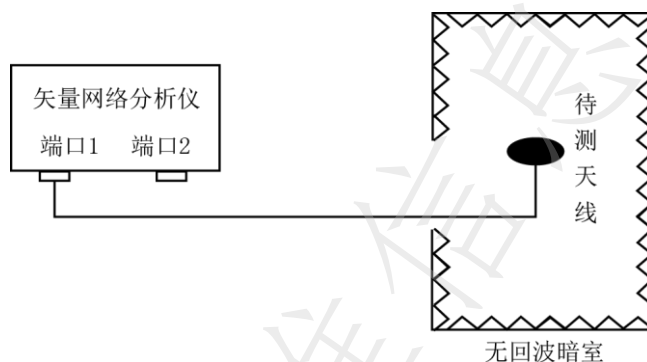


图2 天线电压驻波比测试框图

5.5.6 天线极化与轴比

测试设备：

- a) 矢量网络分析仪；
- b) 增益相同的左旋圆极化、右旋圆极化发射天线各一个；
- c) 线极化发射天线。

极化特性判定：

按照图3所示，分别将已知的两个增益相同，轴比不大于3dB的左旋和右旋圆极化天线作为发射天线，对比待测天线接收到的信号强度，接收信号更强的，源天线旋向即为待测天线的极化旋向。

轴比的测试方法和步骤：

- a) 按照图3所示，将待测天线对准发射天线固定，发射天线接矢量网络分析仪端口1，待测天线接矢量网络分析仪端口2；
- b) 将矢量网络分析仪频率设置为测试频点；
- c) 发射天线绕水平轴线旋转360°，采集接收信号各电平值，记录接收信号电平最大值 G_{max1} 与最小值 G_{min1} ；
- d) 将待测天线绕垂直轴旋转70°，然后将发射天线绕水平轴旋转360°，采集接收信号各电平值，记录接收信号电平最大值 G_{max2} 与最小值 G_{min2} ；
- e) 数据处理： G_{max1} 与 G_{min1} 之差即为待测天线法向轴比，应满足4.6要求。 G_{max2} 与 G_{min2} 之差即为待测天线的20°仰角轴比，应满足4.6要求。

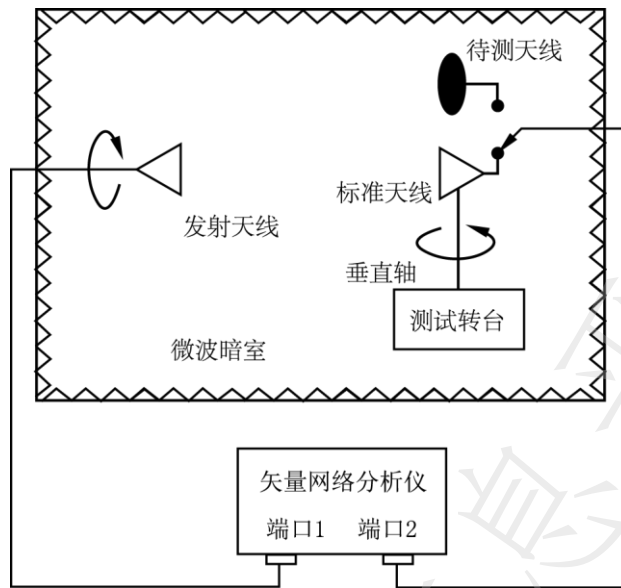


图3 天线信号带宽和方向图测试框图

5.5.7 电压驻波比

测试设备：矢量网络分析仪、直流稳压电源、隔直馈电器。

测试方法和步骤：

- a) 按所需频段校准矢量网络分析仪；
- b) 按图4连接矢量网络分析仪和待测天线；
- d) 记录频段内最大输出驻波比即为待测天线整机输出驻波比，应满足4.7要求。

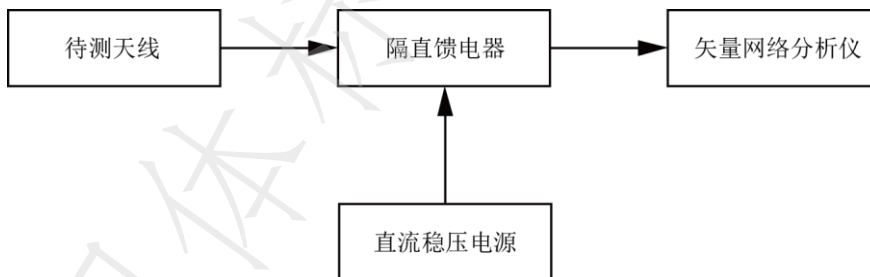


图4 电压驻波比测试框图

5.5.8 天线方向图与增益

5.5.8.1 通则

测试设备：

- a) 矢量网络分析仪；
- b) 标准参考天线；
- c) 线极化发射天线。

测试方法和步骤：

- a) 按照图3所示，将标准参考天线对准发射天线固定，使其极化方式与发射天线的极化方式平行，发射天线接矢量网络分析仪端口1，标准参考天线接矢量网络分析仪端口2；
- b) 将矢量网络分析仪设置为测试频段；
- c) 将标准参考天线绕垂直轴旋转360°，记录各角度上的电平，0°电平记作 R_0 (dB)；

- d) 将发射天线绕水平轴旋转90°，标准参考天线同样绕垂直轴旋转360°，记录各角度上的电平，0°电平记作 R_e (dB)；
- e) 将标准参考天线取下，换上待测天线，发射天线恢复原始状态；
- f) 将待测天线绕垂直轴旋转360°，记录各角度上的电平，将0°电平记作 A_h (dB)。
- g) 将发射天线绕水平轴旋转90°，待测天线同样绕垂直轴旋转360°，并记录每间隔5度的电平值，将0°电平记作 A_e (dB)；
- h) 按公式(1)、公式(2)分别求出待测天线极化增益 G_h (dBi)、 G_e (dBi)；按公式(3)求出待测天线的增益 G_c (dBi)。

$$G_h = G_r + (A_h - R_h) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- G_h —待测天线水平极化增益，单位为dBi；
- G_r —标准参考天线的增益，单位为dBi；
- A_h —待测天线水平极化接收电平，单位为dBi；
- R_h —标准参考天线水平极化接收电平，单位为dBi。

$$G_e = G_r + (A_e - R_e) \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- G_e —待测天线垂直极化增益，单位为dBi；
- G_r —标准参考天线的增益，单位为dBi；
- A_e —待测天线垂直极化接收电平，单位为dBi；
- R_e —标准参考天线垂直极化接收电平，单位为dBi。

$$G_c = 10 \times \log(10^{G_h/10} + 10^{G_e/10}) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

G_c —待测天线的圆极化增益。

- i) 数据读取：从方向图中可以读出不同仰角的增益，一般顶点($\theta=0^\circ$)增益最大。

5.5.8.2 顶点增益

当仰角90°($\theta=0^\circ$)时，读取增益值记为天线的顶点增益值，应满足4.8要求。

5.5.8.3 20°仰角增益

当仰角20°($\theta=70^\circ$)时，方位角 ϕ 从0°到360°变化，读取增益最小值，记为天线20°仰角增益值，应满足4.8要求。

5.5.8.4 20°仰角不圆度

当仰角20°时，方位角 ϕ 从0°到360°变化时，增益最大值与最小值之差的一半，记为20°仰角不圆度，应满足4.9要求。

5.5.8.5 滚降系数

由于各 ϕ 切面的不均匀性，取 ϕ 在0°、30°、60°、90°、120°、150°六个垂直面的滚降系数的最小值，应满足4.10要求。

5.5.8.6 极化增益前后比

由于各 ϕ 切面的不均匀性，取 ϕ 在0°、30°、60°、90°、120°、150°六个面的极化增益前后比的最小值，记为天线的极化增益前后比，应满足4.11要求。

5.5.9 相位中心偏差

测试设备：参考站GNSS天线1个；参考站型GNSS接收机2台。

测试方法和步骤：

- a) 使用超短基线，将参考天线及待测天线安装在强制对中观测基台上，整平，使天线的几何中心与对中杆的旋转中心重合，并将参考天线及待测天线同时指北，记为 0° 。用射频测试电缆连接待测天线和GNSS接收机，设置截止高度角 10° ，采样间隔5s，观测时间不少于1h；
- b) 固定参考天线保持不动，将与待测天线连接的GNSS接收机断电，并将待测天线顺时针旋转 90° ，GNSS接收机重新上电连接，参数设置同a)。进行第二时段测试，观测时间不少于1h；
- c) 重复测试步骤b)，将待测天线分别转到 180° 方向和 270° 方向，进行第三时段和第四时段的观测；
- d) 数据处理：使用静态基线解算软件分别求出各时段基线向量，取基线长度最大值与最小值之差的1/2作为天线相位中心偏差的结果，应满足4.12要求。

5.5.10 多径效应值

测试设备：参考站GNSS天线1个；参考站型GNSS接收机1台。

测试方法和步骤：

- a) 将待测天线安置在强制对中观测基座上，将待测天线与GNSS接收机连接；
- b) 设置截止高度角为 10° ，采样间隔5s，观测12h；
- c) 按照附录D中的多径效应值的测量数据处理方法计算多径效应值，应满足4.13要求。

5.5.11 1dB 压缩点输出功率

测试设备：矢量网络分析仪、直流稳压电源、隔直馈电器。

测试方法和步骤：

- a) 将矢量网络分析仪设置为传输模式，将中心频率设置为工作频率并打开功率扫描选项；
- b) 按照图5把待测有源电路、直流稳压电源、矢量网络分析仪连接起来，加电工作；
- c) 将矢量网络分析仪的扫描功率设置为 -50dBm ，观测矢量网络分析仪显示波形；
- d) 如波形为一条直线，表示该范围内LNA增益没有压缩，记录此时增益值 G_0 。逐渐增大扫描功率，直至直线末端出现下弯，记录增益下降1dB时的输出功率值 P_1 ；
- e) 如波形不是一条直线，表示该范围内LNA增益出现压缩，逐渐减小扫描功率直至波形为一条直线且直线随功率减小保持不变。记录此时增益值 G_0 。逐渐增大扫描功率，直至直线末端出现下弯，记录增益下降1dB时的输出功率值 P_1 ；
- f) 增益值 G_0 与输出功率值 P_1 之和即为LNA的1dB压缩点输出功率，应满足4.14要求。

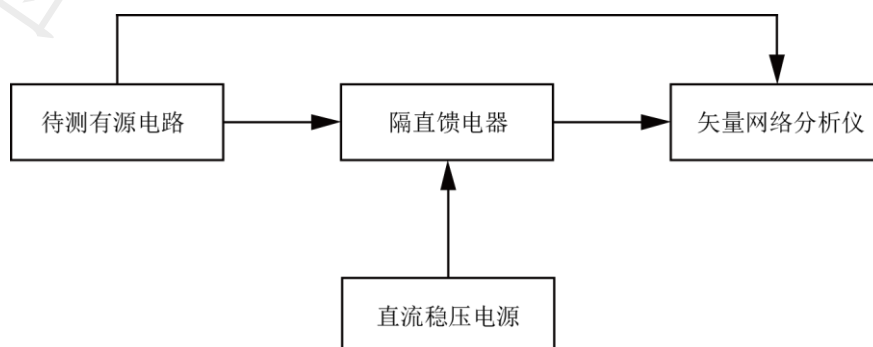


图5 1dB 压缩点输出功率测试框图

5.5.12 噪声系数

测试设备：噪声系数测试仪、噪声源、隔直馈电器、直流稳压电源。

测试方法和步骤：

- a) 将噪声源输入连接至噪声系数分析仪输出端口，并将输出连接至噪声系数分析仪输入端口，设置测试频段，校准噪声系数测试仪；
- b) 按照图6所示将噪声源与待测有源电路连接，上电工作。观测显示屏中测试数据；
- c) 记录频段内噪声系数的最大值，记为该频段噪声系数，应满足4.15要求。

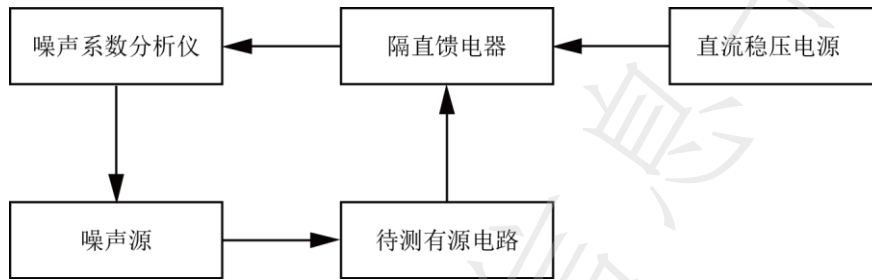


图6 噪声系数测试框图

5.5.13 有源增益

测试设备：同5.5.11。

测试方法和步骤：

- a) 扫描功率设置为-50dBm，按所需频段校准矢量网络分析仪；
- b) 按照图5把待测有源电路、直流稳压电源、矢量网络分析仪连接起来；
- c) 观测矢量网络分析仪上波形，记录带内增益值，应满足待测天线规格说明书上标注的值。

5.5.14 带内平坦度

测试设备：同5.5.11。

测试方法和步骤：

- a) 将矢量网络分析仪设置为传输模式，设置测试频率范围，扫描功率设置为-50dBm，校准矢量网络分析仪；
- b) 按图5将待测有源电路和矢量网络分析仪连接并上电工作；
- c) 开始测试，记录带内增益最大值与最小值；
- d) 按公式（4）计算带内平坦度，应满足4.17要求。

$$Ripple = (G_h - G_l) / 2 \dots \dots \dots (4)$$

式中：

Ripple—带内增益平坦度，又叫带内纹波，单位为分贝（dB）；

G_h—带内最大增益值，单位为分贝（dB）；

G_l—带内最小增益值，单位为分贝（dB）。

5.5.15 带外抑制

测试设备：同5.5.11。

测试方法和步骤：

a) 将矢量网络分析仪设置为传输模式，设置测试频率范围，扫描功率设置为-50dBm，校准矢量网络分析仪；

b) 按图5将待测有源电路和矢量网络分析仪连接并上电工作；

c) 记录整个通带中心频率 F_c 处的增益 G_c 和通带边频 $\pm 100\text{MHz}$ 处的增益 G_{b1} 、 G_{b2} ；

d) 按公式（5）计算带外抑制，应满足4.18要求。

$$\text{Reject} = G_c - G_b \dots \dots \dots (5)$$

式中：

Reject —带外抑制值，单位为分贝（dB）；

G_c —通带中心频率处的增益值，单位为分贝（dB）；

G_b —通带边频 $\pm 100\text{MHz}$ 处的增益值 G_{b1} 、 G_{b2} 中的较大值，单位为分贝（dB）。

5.5.16 环境适应性

5.5.16.1 静电防护

按GB/T17626.2-2006中的方法进行，具体如下：

a) 空气放电：8kV；

b) 接触放电：4kV；

c) 放电次数：各5次；

d) 最后检测：工作电流、电压驻波比应符合4.4和4.7要求。

5.5.16.2 低温工作

按GB/T 2423.1-2008中的试验方法进行，具体如下：

a) 试验温度：-40℃；

b) 温度下降时间：1h；

c) 温度保持时间：2h；

d) 温度恢复时间：1h；

e) 低温过程中检测工作电流、电压驻波比，恢复常温后检测工作电流、电压驻波比，均应分别满足4.4和4.7要求。

5.5.16.3 高温工作

按GB/T2423.2-2008中的试验方法进行，具体如下：

a) 试验温度：+85℃；

b) 温度下降时间：1h；

c) 温度保持时间：2h；

d) 温度恢复时间：1h；

e) 高温过程中检测工作电流、电压驻波比；恢复常温后检测工作电流、电压驻波比。均应分别满足4.4和4.7要求。

5.5.16.4 湿热

按GB/T2423.3-2006中的试验方法进行，具体如下：

a) 试验温度：(40±2)℃；

b) 相对湿度：(93±3)%；

c) 试验时间：23h；

d) 恢复时间：1h；

- f) 湿热过程中检测工作电流、电压驻波比；恢复后检测工作电流、电压驻波比。均应分别满足4.4和4.7要求。

5.5.16.5 防水

按GB/T2423.38-2008第7章规定的方法进行，具体如下：

- a) 浸水深度：1m；
- b) 浸水时间：30min；
- c) 恢复干燥后检测工作电流，电压驻波比，应满足4.4和4.7要求。

5.5.16.6 盐雾

按GB/T2423.18-2012中的试验方法进行，具体如下：

- a) 盐溶液百分比浓度：(5±1)%；
- b) 试验温度：15℃~35℃；
- c) 盐溶液PH值：6.5~7.2；
- d) 喷雾持续时间：2h；
- e) 喷雾间隔存放时间：22h；
- f) 存放环境：温度(40±2)℃，相对湿度(93±3)%；
- g) 循环次数：3次；
- h) 冲洗、干燥后检测外观、工作电流、电压驻波比，应分别满足4.2、4.4和4.7要求。

5.5.16.7 振动

按GB/T2423.10-2008中的试验方法进行，需进行两组不同试验条件的试验。最后检测外观、工作电流和电压驻波比，应分别符合4.2、4.4和4.7要求。具体如表3。

表3 振动试验条件

序号	振动频率 (Hz)	单振幅 (mm)	振动时间 (min)
1	1~30	0.75	50
2	30~55	0.25	25

5.5.16.8 冲击

按GB/T2423.5-1995中的试验条件进行，具体如下：

- a) 加速度：50m/s²；
- b) 冲击脉冲持续时间：30ms；
- c) 冲击次数：18次；
- d) 试验结束后检测产品外观、工作电流、电压驻波比，应分别满足4.2、4.4和4.7要求。

5.5.16.9 跌落

按GB/T 2423.8-1995中的试验条件进行，具体如下：

- a) 试验表面：混凝土或者钢制成的平滑、坚硬的刚性表面；
- b) 跌落高度：1m；
- c) 释放方式：自由落体；
- d) 跌落次数：2次；
- e) 最后检测产品外观、工作电流和电压驻波比，应分别满足4.2、4.4和4.7要求。

5.5.16.10 浪涌

按GB/T17626.5-2008中规定的方法进行，具体如下：

- a) 浪涌组合波发生器类型：1.2/50 μ s开路电压波形发生器，有效输出阻抗2 Ω 。
- b) 浪涌试验等级：测量型天线2kV，参考站天线4kV；
- c) 试验方法：做两组试验，一组直接对GNSS天线射频接口的芯线浪涌，另一组对GNSS天线射频接口的芯和外皮的地短接的浪涌，分别做连续5次冲击试验，两次时间间隔为1min；
- d) 最后检测工作电流、电压驻波比，应分别满足4.4和4.7要求。

附录 A

(资料性)

常用四大卫星导航系统频率对照表

常用四大卫星导航系统所播发导航信号的对应频段如表A.1所示。

表A.1 常用四大卫星系统频段对应表

系统名称	频点
BDS	B1:(1561.098±2.046)MHz B2:(1207.14±2.046)MHz B3: (1268.52±10.23)MHz
GLONASS	L1:(1598~1612)MHz L2:(1242~1254)MHz
GPS	L1:(1575.42±1.023)MHz L2:(1227.60±10.23)MHz L5:(1176.45±12)MHz
GALILEO	E5a/E5b:(1164~1215)MHz E6:(1215~1300)MHz

附录 B
(资料性)
天线辐射参数的多探头球面近场测试法

B.1 概述

天线的辐射参数的测试也可以采用3D多探头球面近场测试方法进行测试。待测天线的工作坐标系一般采用球坐标系，用于天线测量的球坐标系可参见附录C。

B.2 测试场地环境条件

测试场地要求如下：

- a) 暗室静区尺寸应大于待测天线的最大尺寸；
- b) 暗室屏蔽隔离度要求大于90dB；
- c) 暗室静区反射率要求优于-45dB；
- d) 球面测试系统机械传动精度应优于0.1°。

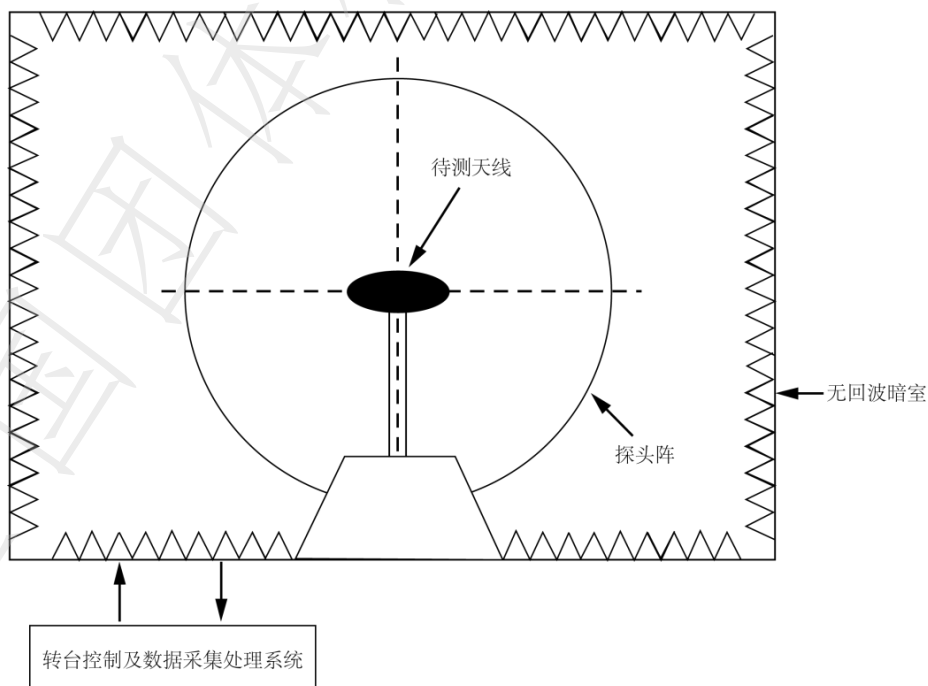
B.3 测试设备

为了保证天线辐射参数的全面性和准确性，测试场地应至少具备以下设备：

- a) 多探头球面测试系统1套；
- b) 标准天线1个；
- c) 无回波暗室1间；
- d) 测试工装1套；
- e) 系统配套软件1套。

B.4 测试框图

多探头球面近场测试法的测试框图如图B.1所示。



注：虚线十字中心为系统几何中心和相位中心

图 B.1 多探头球面近场测试法测试框图

B.5 测试步骤

具体测试方法和步骤如下：

- a) 调整测试系统环境温度，确保其在 $24^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 系统校准：
 - 1) 安装标准天线，使标准天线视在相位中心与系统几何中心重合，转台旋转 90° ；再次调整标准天线相位中心；
 - 2) 设定测试频点范围后开始测试；
 - 3) 计算增益校准数据，并将校准数据存于控制计算机。
- c) 天线测试：
 - 1) 将待测天线安装到测试工装上，用测试线缆连接完好，调整待测天线使其相位中心与探头阵圆环中心相重合；
 - 2) 设定测试频点范围后开始测试。测试过程中，系统配套软件自动完成待测天线幅度和相位数据的采集、存储和计算。

B.6 数据处理与提取

B.6.1 概述

采用多探头球面测试系统测试天线，通过一次测试即可获得天线球面上所有的辐射信息，包括天线的极化方式、增益、方向图等。因此，天线只需要经过一次测试即可。

B.6.2 天线增益

用系统配套软件从天线的增益三维辐射数据中导出各个频点的包含指定方向的增益方向图，在导出的增益方向图中读取需要的增益数据。

B.6.3 前后比

用系统配套软件从天线的主极化增益三维辐射数据中导出天线法线方向方位角 φ 等于 0° 、 30° 、 60° 、 90° 、 120° 和 150° 的方向图，在各个 φ 面方向图中分别找出法向主极化增益 $G_{\text{法}}$ 和背向 $\pm 30^{\circ}$ 内主极化增益最大值 $G_{\pm 30^{\circ}}$ 。

前后比 $= G_{\text{法}} / G_{\pm 30^{\circ}}$ ，每个频点6个切面极化增益前后比的最小值作为天线各测试频点的前后比。

B.6.4 轴比

用系统配套软件从天线的轴比三维辐射数据中导出各频点的包含指定方向的轴比方向图，在导出的轴比方向图中读取所需要的轴比数据。

B.6.5 20° 仰角极化增益不圆度

用系统配套软件从天线的主极化增益三维辐射数据中导出各频点仰角 20° 方向图，在方向图数据中分别找出最大值 G_{max} 和最小值 G_{min} 。 $(G_{\text{max}} - G_{\text{min}}) / 2$ 即为 20° 仰角极化增益不圆度。

B.6.6 滚降系数

用系统配套软件从天线的主极化增益三维辐射数据中导出各个频点天线法向的方向图和仰角 0° 切面方向图。在各个频点天线法线方向主极化增益方向图中取法向极化增益作为 $G_{\text{法}}$ ；在仰角 0° 方位角 360° （间隔 1° ）切面主极化增益方向图中取每个频点的水平方向极化增益最大值作为 $G_{\text{水平}}$ 。

计算各频点的滚降系数：滚降系数（dB）= $G_{\text{法}}-G_{\text{水平}}$ 。

全国团体标准信息平台

附录 C

(资料性)

天线测量中使用的球面坐标系

用于天线测量中使用的球面坐标系如图C.1所示。

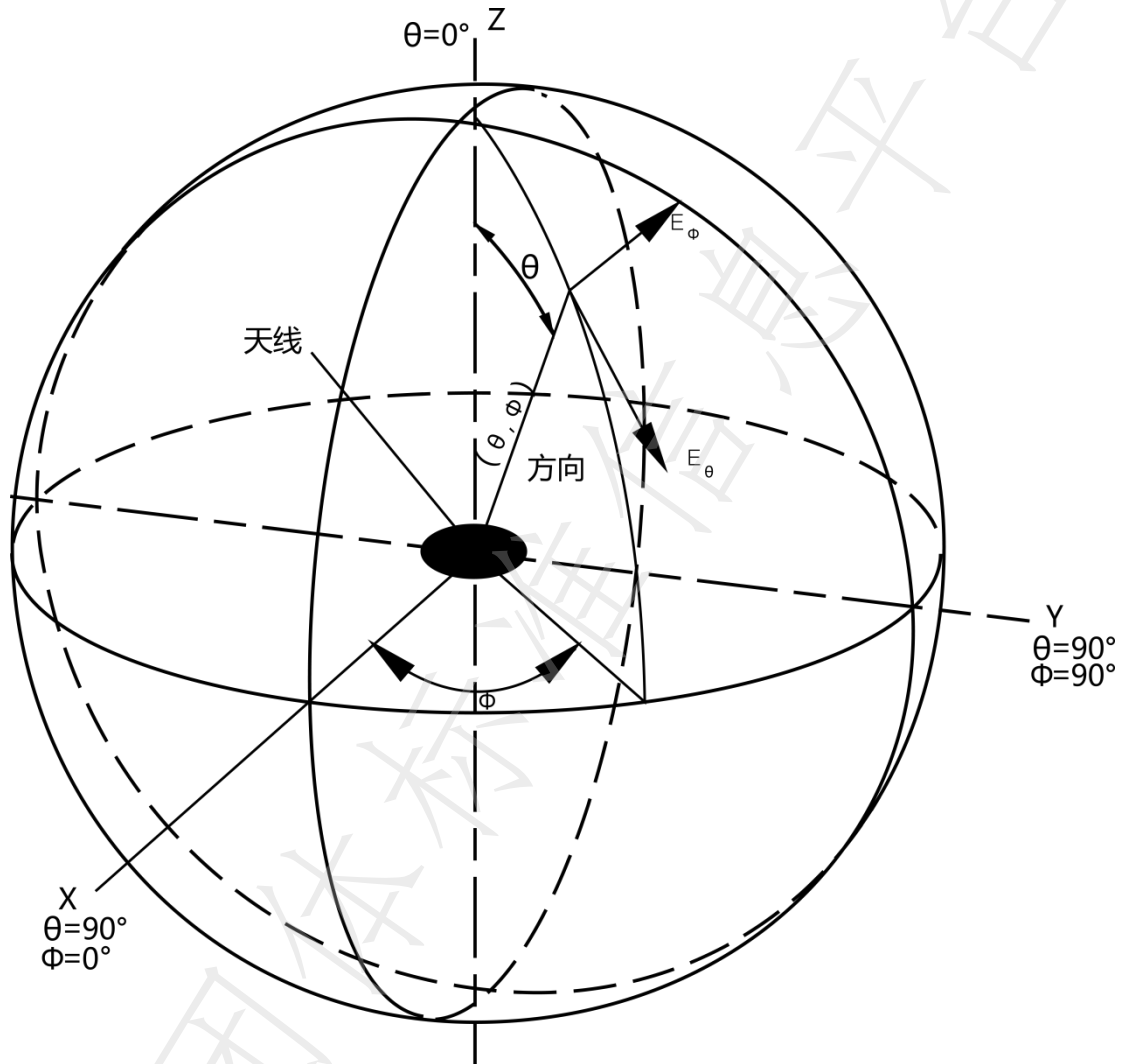


图 C.1 天线测量用的球面坐标系

附录 D

(规范性)

多径效应值测试数据处理方法

多径效应值是指多径效应引致的伪距测量误差值。利用软件可以计算多径衡量指标MP值，以北斗B1和B2频点为例，利用接收到的测距码伪距和载波相位观测数据，按公式(D.1)和公式(D.2)计算某颗卫星的第i历元多径MP1_i，MP2_i。

$$MP1_i = P_1 - (1 + \frac{2}{\alpha - 1})L_1 + (\frac{2}{\alpha - 1})L_2 = M_1 + B_1 - (1 + \frac{2}{\alpha - 1})m_1 + (\frac{2}{\alpha - 1})m_2 \dots\dots\dots (D.1)$$

$$MP2_i = P_2 - (\frac{2\alpha}{\alpha - 1})L_1 + (\frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1)L_2 = M_2 + B_2 - (\frac{2\alpha}{\alpha - 1})m_1 + (\frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1)m_2 \dots\dots\dots (D.2)$$

其中，

$$B_1 = -(1 + \frac{2}{\alpha - 1})n_1\lambda_1 + (\frac{2}{\alpha - 1})n_2\lambda_2$$

$$B_2 = -(\frac{2\alpha}{\alpha - 1})n_1\lambda_1 + (\frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1)n_2\lambda_2$$

$$\alpha = f_1^2 / f_2^2$$

式中：

P_1 ， P_2 为测距码伪距观测值；

L_1 ， L_2 为载波相位观测值；

M_1 ， M_2 为测距码伪距多径影响；

m_1 ， m_2 为载波相位多径影响；

λ_1 ， λ_2 为载波波长；

f_1 ， f_2 为载波频率；

n_1 ， n_2 为载波整周模糊度。

$MP1_i$ 、 $MP2_i$ 变化主要是 M_1 、 M_2 和 B_1 、 B_2 随时间变化导致的，当观测值没有周跳发生时， B_1 、 B_2 保持为常数，只有受到多径影响的 M_1 、 M_2 变化影响。因此对于n个观测值，可按公式(D.3)和(D.4)计算该时间序列最终的MP1和MP2。

$$MP1 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (MP1_i - \frac{\sum_{i=1}^n MP1_i}{n})^2} \dots\dots\dots (D.3)$$

$$MP2 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (MP2_i - \frac{\sum_{i=1}^n MP2_i}{n})^2} \dots\dots\dots (D.4)$$

当对于m (j=1, ..., m) 个时间序列, 每个序列有n (i=1, ..., n) 个观测值时, 可按公式 (D.5) 和公式 (D.6) 计算MP1、MP2。

$$MP1 = \sqrt{\frac{1}{\sum_{j=1}^m (n_j - 1)} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} \left(MP1_i - \frac{\sum_{i=1}^{n_j} MP1_i}{n_j} \right)^2} \dots\dots\dots (D.5)$$

$$MP2 = \sqrt{\frac{1}{\sum_{j=1}^m (n_j - 1)} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} \left(MP2_i - \frac{\sum_{i=1}^{n_j} MP2_i}{n_j} \right)^2} \dots\dots\dots (D.6)$$

