

BD

中国第二代卫星导航系统重大专项标准

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

**Performance requirements and test methods for
BeiDou/Global Navigation Satellite Systems (GNSS) geodetic antenna**



2015-10-19 发布

2015-11-01 实施

中国卫星导航系统管理办公室 批准

目 次

前言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义、缩略语.....	1
3.1 术语和定义.....	1
3.2 缩略语.....	4
4 性能要求.....	4
4.1 总则.....	4
4.2 物理特性.....	4
4.3 天线输出.....	5
4.4 供电特性.....	5
4.5 带宽.....	5
4.6 电压驻波比.....	5
4.7 极化特性和轴比.....	5
4.8 天线方向图与增益.....	5
4.9 极化增益前后比.....	5
4.10 滚降系数.....	6
4.11 20°仰角不圆度.....	6
4.12 相位中心一致性.....	6
4.13 多径效应值.....	6
4.14 噪声系数.....	6
4.15 带外抑制.....	6
4.16 带内平坦度.....	6
4.17 1dB 压缩点输出功率.....	6
4.18 环境适应性.....	6
4.19 其他特性.....	7
5 测试条件.....	7
5.1 测试的标准大气条件.....	7
5.2 测试环境.....	7
5.3 测试设备.....	7
6 测试项目.....	9
7 测试方法.....	10
7.1 总则.....	10
7.2 物理特性.....	10
7.3 天线输出.....	10
7.4 供电特性.....	10
7.5 带宽.....	11
7.6 电压驻波比.....	11
7.7 极化特性和轴比.....	12
7.8 天线方向图与增益.....	13

BD 420003-2015

7.9	相位中心偏差	15
7.10	多径效应值	15
7.11	噪声系数	16
7.12	带外抑制	16
7.13	带内平坦度	17
7.14	1dB 压缩点输出功率	17
7.15	环境适应性	18
附录 A (资料性附录)	四大卫星系统频段对应表	21
附录 B (资料性附录)	天线测量中使用的球面坐标系	22
附录 C (资料性附录)	天线辐射参数的多探头球面近场测试法	23
附录 D (资料性附录)	多径效应值测试数据处理方法	26

前 言

为适应我国卫星导航发展对标准的需要,全国北斗卫星导航标准化技术委员会组织制定北斗专项标准,推荐有关方面参考采用。

本标准由中国卫星导航系统管理办公室提出。

本标准由全国北斗卫星导航标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:深圳市华信天线技术有限公司、中国卫星导航工程中心、国家光电测距仪检测中心、中国航天标准化研究所。

本标准主要起草人:王春华、吴海玲、王海波、贾延波、吴文平、黄毅、翟清斌、张锐、李作虎、任永超、王晓辉、泉浩芳、张新颜。

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

1 范围

本标准规定了支持北斗卫星导航系统的 GNSS 测量型天线的性能要求及测试方法。

本标准适用于支持北斗卫星系统的 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（包括所有的修订版）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 电子电工产品实验环境 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 2423.10-2008 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 2423.8-1995 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Ed：自由跌落

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 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 50826-2012 电磁波暗室工程技术规范

BD 110001-2015 北斗卫星导航术语

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

BD 110001-2015 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

天线 antenna

无线发射或接收系统中，用以辐射或接收电磁波的装置。

3.1.2

天线极化 antenna polarization

描述天线辐射电磁波矢量空间指向的参数，包括圆极化和线极化。

3.1.3

轴比 axial ratio

椭圆极化波的长轴和短轴之比。

3.1.4

带宽 bandwidth

天线指定的性能参数符合规定的频率范围。

3.1.5

天线方向图 antenna radiation pattern

表征天线产生的电磁场特征量的空间分布图。常用特征量有功率密度、辐射强度、方向性系数、相位、极化和场强。当不特别指明时，方向图指功率方向图。

3.1.6

滚降系数 roll-off factor

法向极化增益与水平方向极化增益之差。

3.1.7

极化增益前后比 front-to-rear ratio

天线法向极化增益与背向 $\pm 30^\circ$ 内的极化增益最大值之差。

3.1.8

天线增益 antenna gain

天线在给定方向的辐射强度与在输入功率相同的情况下全向天线的辐射强度之比，通常以分贝表示。

注 1：如方向未给定，则指给定天线最大辐射强度的方向。

注 2：如天线无损耗，则给定方向上天线的绝对增益在数值上和它的方向性系数相同。

3.1.9

不圆度 pattern roundness

在水平面方向图中，其增益最大值或最小值与平均值的偏差。

3.1.10

输入阻抗 input impedance

在天线输入端点呈现的阻抗，即天线馈电点处的电压与电流之比。

3.1.11

1dB 压缩点输入/输出功率 1dB compression point

器件在非线性区工作时，随着输入功率的增大，输出功率的增加值相比于线性增益低 1dB 时的输入/输出功率值。

3.1.12

噪声系数 noise figure

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

3.1.13

天线参考点 antenna reference point (ARP)

天线上指定的一个点位，一般为天线底部安装面与中心轴线的交点，通常由制造厂家说明。

3.1.14

相位中心偏差 phase center offset (PCO)

天线平均相位中心与天线参考点之间的偏差。

3.1.15

相位中心变化 phase center variation (PCV)

天线某一方向的实际相位中心与理想相位中心（波前）的吻合度，又称为相位中心离散度。

3.1.16

电压驻波比 voltage standing wave ratio (VSWR)

用来衡量阻抗失配的程度，表述天线反射信号的强度，其定义为沿线电压相邻的最大值与最小值之比。

3.1.17

多径效应 multi-path effect

电波传播信道中的多径传输现象所引起的干涉延时效应。

3.1.18

测量型天线 geodetic antenna

应用于高精度测量的天线。

3.1.19

参考站天线 reference station antenna

应用于参考站，具有抗多径能力的高精度天线。

3.1.20

内置天线 internal antenna

装配在接收机整机内的天线。

3.1.21

外置天线 external antenna

装配在接收机整机外，自带外罩和射频接口的天线。

3.1.22

有源天线 active antenna

包含无源天线和低噪声放大器的天线组件，需外加电源才能工作。

3.1.23

无源天线 passive antenna

不含低噪声放大器（LNA）电路、无需外加电源就能工作的天线组件。

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, 格洛拉斯卫星导航系统;

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。

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涂层。天线标签、代号应完好，天线应有指北定向标志。外置天线中心应该有5/8"×11（英制）的螺纹安装孔，孔深大于22mm。尺寸和重量分别要求如下：

a) 测量型天线

——外置天线：尺寸宜小于 $\Phi 200\text{mm} \times 70\text{mm}$ ，重量宜不大于 500g；

——内置天线：尺寸宜小于 $\Phi 160\text{mm} \times 26\text{mm}$ ，重量宜不大于 250g。

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 天线输出

应在产品规范中标明天线的阻抗和输出接口类型。

天线的阻抗推荐为 50Ω ，接头形式分内置测量型天线、外置测量型天线和参考站天线三种：

a) 测量型天线：

——内置天线：输出接口推荐采用 MCX 型、MMCX 型、SMB 型；

——外置天线：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 供电特性

有源天线功耗应尽量小。天线的工作电压应在 (3.3~12) VDC 范围内，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，各系统工作频段对应表参见附录 A。

4.6 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。

4.7 极化特性和轴比

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

4.8 天线方向图与增益

天线方向图应近似半球状，均匀分布。

测量型天线和参考站天线的增益应满足：

a) 测量型天线：在各接收频点范围内，法向增益不小于 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，法向增益不小于 5.0dBi，仰角 20° 方向增益不小于 -5dBi。

4.9 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：天线涵盖的各频点内，极化增益前后比不小于 20 dB；

b) 参考站天线：天线涵盖的各频点内，极化增益前后比不小于 25dB。

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：天线涵盖的各频点内，滚降系数不小于 9dB；
- b) 参考站天线：天线涵盖的各频点内，滚降系数不小于 11dB。

4.11 20°仰角不圆度

天线涵盖的各频点内，20°仰角不圆度应不大于 1.5dB。

4.12 相位中心一致性

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：相位中心偏差不能超过 2mm；
- b) 参考站天线：相位中心偏差不能超过 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应不大于 0.4m。

4.14 噪声系数

天线涵盖的各频点内，噪声系数应小于 2.5dB。

4.15 带外抑制

接收信号边频 $\pm 100\text{MHz}$ 处，带外抑制应大于 30dB。

4.16 带内平坦度

天线涵盖的各频点内，平坦度值应不超过 1.5dB。

4.17 1dB 压缩点输出功率

1dB 压缩点输出功率应不小于 0dBm。

4.18 环境适应性

4.18.1 防静电

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

4.18.2 工作温度

天线在温度为 -40°C 时，应能正常工作。

天线在温度为 $+85^{\circ}\text{C}$ 时，应能正常工作。

4.18.3 湿热

天线在温度为 $(40\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 $(93\pm 3)\%$ 环境中，应能正常工作。

4.18.4 防水

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

4.18.5 盐雾

外置天线应具备抗盐雾腐蚀能力，在喷雾时间 2h，喷雾间隔存放时间 22h，循环 3 次的情况下应能正常工作。

4.18.6 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。

4.18.7 冲击

外置天线在经受加速度为 50m/s^2 ，持续时间为 18ms 的冲击试验 18 次后，应能保持结构完好，工作正常。

4.18.8 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。

4.18.9 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工作正常。

4.19 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 测试条件

5.1 测试的标准大气条件

除另有规定外，测试应在标准大气条件下进行：

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

5.2 测试环境

天线测试环境有常规测试环境、内场测试环境和外场测试环境。

常规测试环境：标准大气条件下的室内环境。

内场测试环境：全电波暗室，按照 GB 50826-2012 的要求执行。

外场测试环境：天空视野开阔，在水平面上方 20°以上没有明显遮挡物，测试点无强电磁场干扰和多径反射。拥有可旋转强制对中基座，且强制对中杆自转的同心度在 0.2mm 内。

5.3 测试设备

无特殊说明的所有测试设备均应在国家二级及符合国家计量合格单位检定合格，并在有效期内使用。常用测试设备见表 1。

表1 测试设备

序号	测试设备	设备要求
1	卡尺	分辨率: $\leq 0.01\text{mm}$ 精度: $\leq 0.02\text{mm}$
2	电子秤	精度: $\leq 1\text{g}$
3	直流稳压电源	三位半数显 电压范围: $0\text{V} \sim 30\text{V}$ 电流范围: $0\text{A} \sim 3\text{A}$
4	噪声系数分析仪	频率分辨率: 10kHz 动态范围: $-60\text{dBm} \sim +16\text{dBm}$ 点频准确度: 优于 $\pm 200\text{kHz}$ 频谱纯度: 谐波及非谐波均小于 -30dBc 电平控制输出功率范畴: $+10\text{dBm} \sim -29.9\text{dBm}$
5	矢量网络分析仪	分辨率: 1Hz 精度: $\pm 5\text{ppm}$ 信号源输出功率: $-55\text{dBm} \sim 10\text{dBm}$ 动态范围: 130dB 测量带宽: $1\text{Hz} \sim 30\text{kHz}$
6	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: $0\text{dBm} \sim 30\text{dBm}$
7	幅相接收机	灵敏度: $-110\text{dBm} \sim -80\text{dBm}$ 动态范围: $> 50\text{dB}$ 精度: $< \pm 0.05\text{dB}/10\text{dB}$
8	GNSS 接收机	静态测量: ——水平 $2.5\text{mm}+1\text{ppm}$ ——垂直 $5\text{mm}+1\text{ppm}$ 初始化时间: $< 10\text{s}$ 初始化可靠性: $> 99.9\%$

6 测试项目

不同类型测量型天线的测试项目要求见表2。

表2 测量型天线测试项目要求

	测试项目	天线类型			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	整体 指标	物理特性	●	●	●	4.2	7.2	常规测试环境
2		天线输出	●	●	●	4.3	7.3	常规测试环境
3		供电特性	●	●	●	4.4	7.4	常规测试环境
4		电压驻波比	●	●	●	4.6	7.6	内场测试环境
5		极化特性和轴比	●	●	●	4.7	7.7	内场测试环境
6		相位中心一致性	●	●	●	4.12	7.9	外场测试环境
7		多径效应值	●	●	●	4.13	7.10	外场测试环境
8		极化增益前后比	●	●	●	4.9	7.8	内场测试环境
9		滚降系数	●	●	●	4.10	7.8	内场测试环境
10		20°仰角不圆度	●	●	●	4.11	7.8	内场测试环境
11	无源	带宽	●	●	●	4.5	7.5	内场测试环境
12	天线	天线方向图与增益	●	●	●	4.8	7.8	内场测试环境
13	低噪声 放大器 部分	噪声系数	●	●	●	4.14	7.11	常规测试环境
14		带外抑制	●	●	●	4.15	7.12	常规测试环境
15		带内平坦度	●	●	●	4.16	7.13	常规测试环境
16		1dB 压缩点输出功率	●	●	●	4.17	7.14	常规测试环境
17	环境 适应性	防静电	●	●	●	4.18.1	7.15.1	常规测试环境
18		工作温度	●	●	●	4.18.2	7.15.2 7.15.3	常规测试环境
19		湿热	—	●	●	4.18.3	7.15.4	常规测试环境
20		防水	—	●	●	4.18.4	7.15.5	常规测试环境
21		盐雾	—	●	●	4.18.5	7.15.6	常规测试环境
22		振动	●	●	●	4.18.6	7.15.7	常规测试环境
23		冲击	—	●	●	4.18.7	7.15.8	常规测试环境
24		跌落	—	●	●	4.18.8	7.15.9	常规测试环境
25		浪涌	—	●	●	4.18.9	7.15.10	常规测试环境

注：●表示“要求的”项目；—表示“不要求的”项目。

7 测试方法

7.1 总则

待测天线的辐射特性是在天线测试场进行测量的，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参见附录 B。

本章内容是以室内远场测试法为基础，规定了天线性能指标的测试方法。而对于天线方向图和增益的测试，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 C。

7.2 物理特性

7.2.1 测试环境及设备

测试环境：常规测试环境。

测试设备：卡尺、电子秤。

7.2.2 测试方法和步骤

天线物理特性的测试方法如下：

- a) 尺寸：用卡尺检验产品的外形尺寸；
- b) 重量：用电子秤称产品的重量；
- c) 标志和代号：对天线标志和代号进行目测检查，天线标签、代号应完好，指北定向标志清晰；
- d) 外观质量：对天线的外观质量进行目测检查，不应有凹痕、划伤、裂缝、变形等缺陷，金属零件不应有锈蚀。

7.3 天线输出

7.3.1 测试环境及设备

测试环境：常规测试环境。

测试设备：卡尺。

7.3.2 测试方法和步骤

用卡尺检验接头的尺寸，检查接头型号及类型是否符合要求。

7.4 供电特性

7.4.1 测试环境及设备

测试环境：常规测试环境。

测试设备：直流电源。

7.4.2 测试方法和步骤

测试方法和步骤如下：

- a) 按图 1 所示把天线连接到直流电源；
- b) 打开直流电源，将电压输出值从 3.3V 变化到 12V。

7.4.3 数据读取

记录电源的电流值，应满足 4.4 要求。

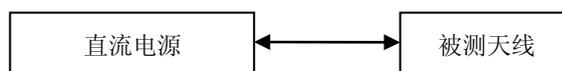


图1 供电特性测试框图

7.5 带宽

7.5.1 测试环境及设备

测试环境：内场测试环境。

测试设备：矢量网络分析仪。

7.5.2 测试方法和步骤

测试方法和步骤如下：

- 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。

7.5.3 数据读取

记录输入电压驻波比不大于 2.0 的频率范围，应满足 4.5 要求。

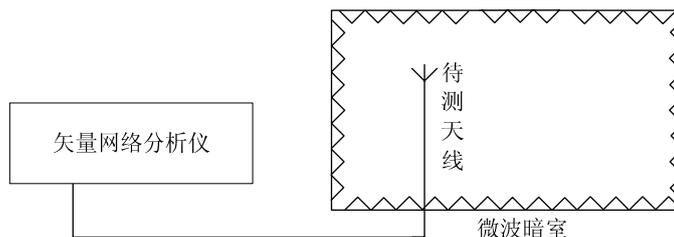


图2 天线信号频率范围、输入电压驻波比测试框图

7.6 电压驻波比

7.6.1 测试环境及设备

测试环境：内场测试环境。

测试设备包括：

- a) 矢量网络分析仪；
- b) 直流稳压电源；
- c) 馈电器。

7.6.2 测试方法和步骤

测试方法和步骤如下：

- a) 按所需频段校准矢量网络分析仪；
- b) 按照图 3 连接矢量网络分析仪和待测天线，测试天线整机的电压驻波比。

7.6.3 数据读取

记录频段内的输出驻波比最大值为天线整机的电压驻波比，应满足 4.6 要求。

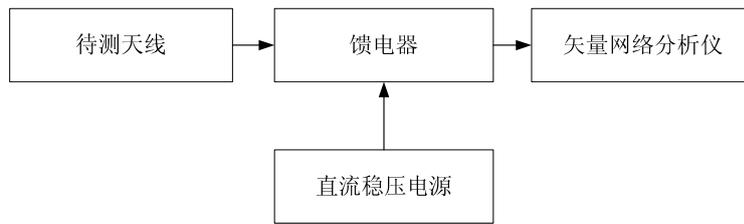


图3 电压驻波比测试框图

7.7 极化特性和轴比

7.7.1 测试环境及设备

测试环境：内场测试环境。

测试设备包括：

- a) 信号源；
- b) 幅相接收机；
- c) 线极化发射天线；
- d) 圆极化发射天线。

7.7.2 测试方法和步骤

7.7.2.1 极化特性判定

按照图4所示，分别将已知左旋向和右旋向的圆极化天线作为发射天线（两者增益相同，轴比不大于3dB），对比待测天线接收到的信号强度，接收信号强时，源天线旋向即为待测天线的极化旋向。

7.7.2.2 轴比测量

轴比的测量方法和步骤如下：

- a) 按照图 4 所示，将待测天线瞄准发射天线固定，发射天线接信号源，待测天线接幅相接收机；
- b) 将信号源和幅相接收机频率设置为测试频点；
- c) 发射天线绕水平轴线旋转 360° ，记录接收信号电平最大值 G_{\max} 与最小值 G_{\min} 。
- 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° ，记录接收信号电平最大值 H_{\max} 与最小值 H_{\min} 。

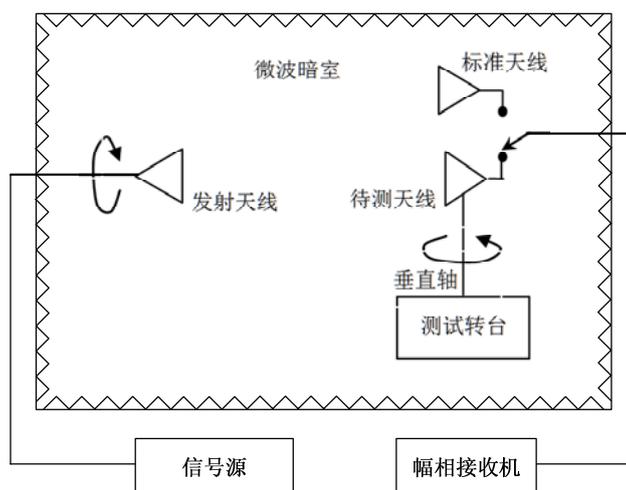


图4 天线轴比测试框图

7.7.3 数据读取

7.7.3.1 法向轴比

G_{\max} 与 G_{\min} 之差即为待测天线的法向轴比，应满足4.7要求。

7.7.3.2 20°仰角轴比

H_{\max} 与 H_{\min} 之差即为待测天线的20°仰角轴比，应满足4.7要求。

7.8 天线方向图与增益

7.8.1 测试环境及设备

测试环境：内场测试环境。

测试设备包括：

- 信号源；
- 幅相接收机；
- 线极化发射天线；
- 标准增益天线。

7.8.2 测试方法和步骤

测试方法和步骤如下：

- 待测天线对准发射天线固定，按照图4所示，发射天线接信号源，待测天线接幅相接收机；
- 将信号源和幅相接收机频率设置为测试频点；
- 将待测天线绕垂直轴旋转360°，记录不同角度上的电平，将0°电平记作 $Ah(\text{dB})$ ；
- 将发射天线绕水平轴旋转90°，将待测天线绕垂直轴旋转360°，记录不同角度上的电平，将0°电平记作 $Ae(\text{dBi})$ ；
- 将待测天线取下，换上标准增益天线，使它的极化与发射天线的极化方向平行，将标准增益天线绕垂直轴旋转360°，记录0°电平 $Se(\text{dB})$ ；

- f) 将标准增益天线和发射天线均绕水平轴反向旋转 90°后，将标准增益天线绕垂直轴旋转 360°，记录 0°电平 $Sh(\text{dB})$;
- g) 按公式 (1)、公式 (2) 求出待测天线线极化增益 $Gh(\text{dBi})$ 、 $Ge(\text{dBi})$;
- h) 按公式 (3) 求出待测天线的增益 $Gc(\text{dBi})$ 。

$$Gh = Gs + (Ah - Sh) \dots \dots \dots (1)$$

式中:

- Gh ——待测天线垂直极化增益，单位为dBi;
- Gs ——标准天线增益，单位为dBi;
- Ah ——待测天线水平极化接收电平，单位为dBi;
- Sh ——标准天线水平极化接收电平，单位为dBi;

$$Ge = Gs + (Ae - Se) \dots \dots \dots (2)$$

式中:

- Ge ——待测天线水平极化增益，单位为dBi;
- Gs ——标准天线增益，单位为dBi;
- Ae ——待测天线垂直极化接收电平，单位为dBi;
- Se ——标准天线垂直极化接收电平，单位为dBi。

$$Gc = 10 \times \log(10^{Gh/10} + 10^{Ge/10}) \dots \dots \dots (3)$$

式中:

- Gc ——待测天线圆极化增益，单位为dBi;
- Gh ——待测天线垂直极化增益，单位为dBi;
- Ge ——待测天线水平极化增益，单位为dBi。

7.8.3 数据读取

7.8.3.1 增益

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。

7.8.3.2 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，应满足4.8要求。

7.8.3.3 20°仰角增益

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

7.8.3.4 极化增益前后比

由于各 φ 切面的不均匀性，取 φ 在 0° 、 45° 、 90° 、 135° 四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4.9要求。

7.8.3.5 滚降系数

取 φ 在 0° 、 45° 、 90° 、 135° 四个垂直面的滚降系数的最小值，应满足4.10要求。

7.8.3.6 20°仰角不圆度

当仰角 20° 时，方位角 φ 从 0° 到 360° 变化时，增益的最大值与最小值之差的一半，记为天线的 20° 仰角不圆度，应满足4.11要求。

7.9 相位中心偏差

7.9.1 测试环境及设备

测试环境：外场测试环境。

测量设备包括：

- a) 参考天线：参考站 GNSS 天线 1 个；
- b) GNSS 接收机：参考站型 GNSS 接收机 2 台；
- c) 射频电缆。

7.9.2 测试方法和步骤

测量方法及步骤如下：

- a) 将参考天线及待测天线安置在强制对中观测墩上，参考天线及待测天线同时指向北方向，用射频电缆连接待测天线和 GNSS 接收机，设置截止高度角 5° ，采样间隔 5s，观测不少于 1h；
- b) 固定参考天线保持不动，待测天线顺时针旋转 90° 进行第二时段观测，不少于 1h；
- c) 重复步骤 b)，将待测天线旋转到 180° 和 270° ，进行第三时段和第四时段观测。

7.9.3 测量数据处理方法

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作为天线相位中心一致性结果。

7.10 多径效应值

7.10.1 测试环境及设备

测试环境：外场测试环境。

- a) 参考天线：参考站 GNSS 天线 1 个；
- b) GNSS 接收机：参考站型 GNSS 接收机 1 台；
- c) 射频电缆。

7.10.2 测试方法和步骤

将待测天线安置在强制对中观测墩上，用射频电缆连接待测天线和 GNSS 接收机，设置截止高度角 15° ，采样间隔 5s，观测 12h。

7.10.3 测试数据处理方法

多径效应值的测量数据处理方法参见附录 D。

7.11 噪声系数

7.11.1 测试环境及设备

测试环境：常规测试环境。

测试设备包括：

- a) 噪声源；
- b) 噪声系数分析仪；
- c) 直流稳压电源；
- d) 馈电器。

7.11.2 测试方法和步骤

测试方法和步骤如下：

- 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，校准噪声系数分析仪；
- b) 按照图 5 所示，将噪声源与待测 LNA 连接，在噪声系数分析仪显示器中显示噪声系数测试结果。

7.11.3 数据读取

记录频段内噪声系数最大值，即为该频段噪声系数，应满足 4.14 要求。

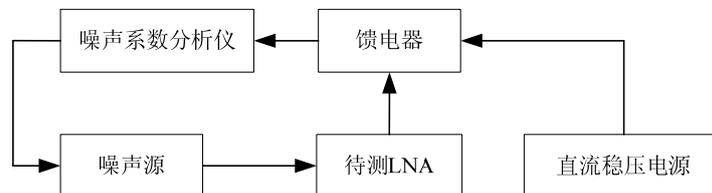


图5 放大器噪声系数测试框图

7.12 带外抑制

7.12.1 测试环境及设备

测试环境：常规测试环境。

测试设备包括：

- a) 网络分析仪；
- b) 直流稳压电源。

7.12.2 测试方法和步骤

测试方法和步骤如下：

- a) 将矢量网络分析仪设置为传输模式，设置测试频率范围，校准矢量网络分析仪；
- b) 按图 6 连接电路；
- c) 将中心频率 F_c 处的增益记为 G_c ，带外频率 F_b 与 F_c 之间增益的最大值记为 G_b ，按公式 (4)

计算带外抑制值：

$$Reject = G_c - G_b \dots \dots \dots (4)$$

式中：

$Reject$ ——LNA带外抑制，单位为分贝（dB）；

G_c ——LNA中心频率 F_c 处增益，单位为分贝（dB）；

G_b ——LNA F_b 与 F_c 之间增益的最大值，单位为分贝（dB）。

7.12.3 数据读取

取 F_b 在 $F_c+100\text{MHz}$ 与 $F_c-100\text{MHz}$ 较小的带外抑制值作为 LNA 带外抑制值，应满足 4.15 要求。

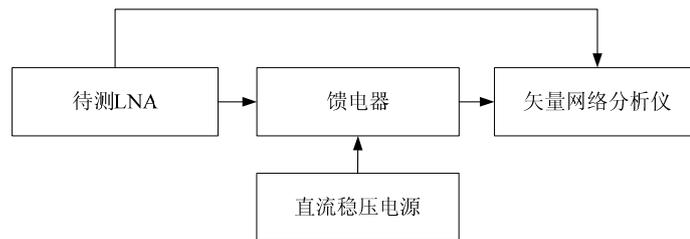


图6 低噪放带外抑制测试框图

7.13 带内平坦度

7.13.1 测试环境及设备

同7.12.1。

7.13.2 测试方法和步骤

测试方法和步骤如下：

- 将矢量网络分析仪设置为传输模式，设置测试频率范围，校准矢量网络分析仪；
- 按图 6 连接电路；
- 设置矢量网络分析仪的中心频率和带宽，校准矢量网络分析仪；
- 开始测试，记录带内增益最大值和最小值。

7.13.3 数据读取

按公式（5）计算带内平坦度。

$$Ripple = (G_h - G_l) / 2 \dots \dots \dots (5)$$

式中：

$Ripple$ ——LNA带内纹波，单位为分贝（dB）；

G_h ——LNA带内最大增益，单位为分贝（dB）；

G_l ——LNA带内最小增益，单位为分贝（dB）。

7.14 1dB 压缩点输出功率

7.14.1 测试环境及设备

测试环境：常规测试环境。

BD 420003-2015

测试设备包括:

- a) 矢量网络分析仪;
- b) 直流稳压电源。

7.14.2 测试方法和步骤

测试方法和步骤包括:

- 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 6 连接直流稳压电源和待测 LNA, 加电工作;
- c) 将矢量网络分析仪与待测 LNA 连接, 功率扫描下限设置为-50dBm, 此时矢量网络分析仪显示一条直线, 表示在此范围内增益没有出现压缩;
- d) 逐渐增大功率, 直至直线末端出现下弯, 记录下降 1dB 时的输出功率值。

7.14.3 数据读取

该输出功率值即为 1dB 压缩点输出功率, 应满足 4.17 要求。

7.15 环境适应性

7.15.1 防静电

按GB/T 17626.2-2006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, 应分别满足 4.4 和 4.6 的性能要求。

7.15.2 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) 温度稳定时间: 1h;
- c) 持续试验时间: 2h;
- d) 低温过程中检测: 工作电流、电压驻波比;
- e) 恢复时间: 1h;
- f) 恢复常温后检测: 电压驻波比、工作电流, 应分别满足 4.4 和 4.6 的性能要求。

7.15.3 高温工作

按GB/T 2423.2-2008中的试验方法进行, 具体如下:

- a) 试验温度: +85℃;
- b) 温度稳定时间: 1h;
- c) 持续试验时间: 2h;
- d) 高温过程中检测: 工作电流、电压驻波比;

- e) 恢复时间: 1h;
- f) 恢复常温后检测: 工作电流、电压驻波比, 应分别满足 4.4 和 4.6 的性能要求。

7.15.4 湿热

按GB/T 2423.3-2006中的试验方法进行, 具体如下:

- a) 试验条件: (40 ± 2) °C;
- b) 相对湿度: $(93\pm 3)\%$;
- c) 试验时间: 21h;
- d) 湿热过程中检测: 工作电流、电压驻波比。
- e) 恢复时间: 1h;
- f) 恢复后检测: 工作电流、电压驻波比, 应分别满足 4.4 和 4.6 的性能要求。

7.15.5 防水

按GB/T 2423.38-2008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: 0.5h;
- c) 恢复干燥后检测: 工作电流、电压驻波比, 应分别满足 4.4 和 4.6 的性能要求。

7.15.6 盐雾

按 GB/T 2423.18-2012 中的试验方法进行, 具体如下:

- a) 盐溶液的质量百分比浓度: $(5\pm 1)\%$;
- b) 盐溶液 PH 值: 6.5~7.2;
- c) 喷雾持续时间: 2h;
- d) 喷雾间隔存放时间: 22h;
- e) 恢复时间: 1h;
- f) 循环次数: 3 次;
- g) 冲洗、干燥后检测: 外观检测、工作电流、电压驻波比, 应分别满足 4.2、4.4 和 4.6 的性能要求。

7.15.7 振动

按GB/T 2423.10-2008中的试验方法进行, 振动条件按表3进行设置, 最后检测外观、工作电流和电压驻波比, 应分别满足4.2、4.4和4.6的性能要求。

表3 振动试验条件

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

7.15.8 冲击

按GB/T 2423.5-1995 中的试验方法进行，具体如下：

- a) 加速度：50m/s²；
- b) 冲击脉冲持续时间：18ms；
- c) 冲击次数：18 次；
- d) 最后检测：外观检测、工作电流、电压驻波比，应分别满足 4.2、4.4 和 4.6 的性能要求。

7.15.9 跌落

按GB/T 2423.8-1995 中的试验方法进行，具体如下：

- a) 试验表面：混凝土制成的平滑、坚硬的刚性表面；
- b) 跌落高度：1m；
- c) 释放方法：自由跌落；
- d) 跌落次数：2 次；
- e) 最后检测：外观检测、工作电流、电压驻波比，应分别满足 4.2、4.4 和 4.6 的性能要求。

7.15.10 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 组合波发生器；
- b) 浪涌组合波发生器的试验等级：测量型天线为 2KV，基准站天线为 4kV；
- c) 浪涌组合波发生器有效输出阻抗：2 Ω ；
- d) 连接方式：发生器输出端接 GNSS 天线 N-F 口，将所有仪器的地和天馈的地可靠连接；
- e) 试验方法：做两组实验，一组为直接对 GNSS 天线 N-F 的芯浪涌，另一组为对 GNSS 天线 N-F 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 1 分钟；
- f) 最后检测：工作电流、电压驻波比，应分别满足 4.4 和 4.6 的性能要求。

附录 A

(资料性附录)

四大卫星系统频段对应表

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 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
GPS	L1: (1575.42±1.023) MHz L2: (1227.60± 10.23) MHz L5: (1176.45±12) MHz
GLONASS	L1: (1598-1612) MHz L2: (1242-1254) MHz
Galileo	E5a/E5b: (1164-1215) MHz E6: (1215-1300) MHz

附录 B

(资料性附录)

天线测量中使用的球面坐标系

用于天线测量的球面坐标系如图 B.1 所示。

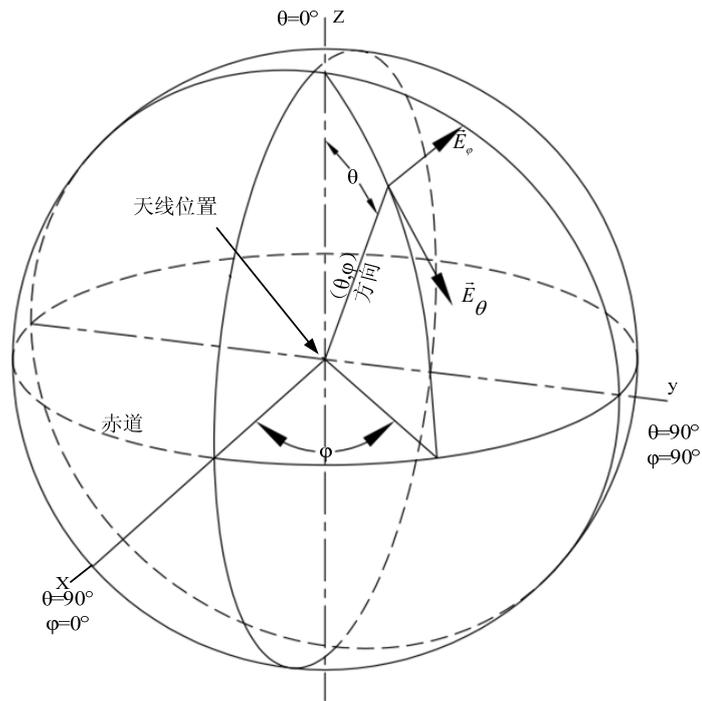


图 B.1 天线测量用的球面坐标系

附录 C

(资料性附录)

天线辐射参数的多探头球面近场测试法

C.1 概述

天线辐射参数的测试也可以采用多探头球面近场测试方法进行测试。

C.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°。

C.3 测试条件

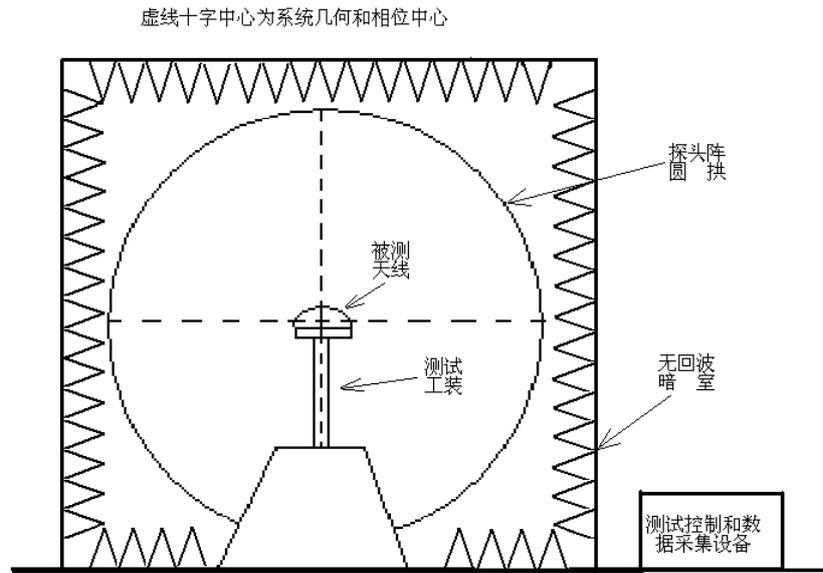
为了保证天线辐射参数的全面性和准确型，测试场地应至少具备表 C.1 中列出的测试条件。

表 C.1 测试场必备条件

设备名称（型号）	数量
多探头球面测试系统	1 套
标准天线	1 个
无回波暗室	1 间
测试工装	1 个
系统配套软件	1 套

C.4 测试框图

测试型天线辐射参数的多探头球面近场测试法的测试框图如图 C.1 所示。



C.5 测试步骤

测试步骤如下：

- a) 调整测试系统环境温度，使其在 (24 ± 2) °C 之内。
- b) 系统增益标定：
 - 1) 架设标准天线，使标准天线视在相位中心与系统几何中心一致，转台旋转 90° ，再次调整标准天线相位中心；
 - 2) 设定测试频点后开始测试；
 - 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) 将待测天线架设到测试工装上，通过调整天线使得天线相位中心与探头阵圆环中心相重合；
 - 2) 连接测试电缆，设置测试频点，开始测试，在测试过程中，系统配套软件应能够自动完成待测天线幅度和相位数据的采集、存储和计算。
- d) 数据处理

采用多探头球面系统测试天线，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，该标准中所描述的天线辐射指标通过一次测试即可获得，区别在于不同指标数据的提取方式不同。

C.6 数据提取方法

C.6.1 天线轴比

按照如下方法读取数据：

- a) 用数据导出软件从天线的轴比三维辐射数据中导出各个频点的包含指定方向的轴比方向图；
- b) 在导出的轴比方向图中读取需要的轴比数据。

C.6.2 天线增益

按照如下方法读取数据：

- a) 用数据导出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；
- b) 在导出的增益方向图中读取需要的增益数据。

C.6.3 前后比

按照如下方法读取数据：

- a) 用数据导出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° 、 45° 、 90° 和 135° 的方向图；
- b) 在各个方向图数据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 $G_{\pm 30}$ ；
- c) 前后比 = $G_{\text{法}} - G_{\pm 30}$ ；
- d) 取每个频点 4 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。

C.6.4 20° 仰角极化增益不圆度

按照如下方法读取数据：

- a) 用数据导出软件从天线的主极化增益三维辐射数据中导出各个频点仰角 20° 方向图；
- b) 在方向图数据中分别找出最大值 (G_{max}) 和最小值 (G_{min})；
- c) 20° 仰角极化增益不圆度为 $(G_{\text{max}} - G_{\text{min}})/2$ 。

C.6.5 滚降系数

按照如下方法读取数据：

- a) 用数据导出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；
- b) 在过天线法线方向主极化增益方向图中取每个频点法向极化增益作为 $G_{\text{法}}$ ，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 $G_{\text{水平}}$ ；
- c) 计算各频点的滚降系数：滚降系数 (dB) = $G_{\text{法}} - G_{\text{水平}}$ 。

附录 D

(资料性附录)

多径效应值测试数据处理方法

利用软件可以计算多径衡量指标 MP 值,以北斗系统B1和B2频点为例,利用接收到的伪距和载波相位观测数据,按公式(D.1)和公式(D.2)计算某颗卫星第 i 历元多径 $MPI_i, MP2_i$ 。

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

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

其中,

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

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

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

式中:

P_1, P_2 ——伪距观测值;

L_1, L_2 ——载波观测值;

M_1, M_2 ——伪距多径影响;

m_1, m_2 ——载波多径影响(可忽略);

λ_1, λ_2 ——载波波长;

f_1, f_2 ——载波频率;

n_1, n_2 ——载波整周模糊度。

MPI_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。因此对于 n 个观测值,可按公式(D.3)和公式(D.4)计算该时间序列的RMS统计结果,并将其作为该时间序列最终的 MPI 、 $MP2$ 。

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

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

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

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

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