

BD

中国第二代卫星导航系统重大专项标准

BD 420022—2019

北斗/全球卫星导航系统（GNSS） 测量型接收机观测数据质量评估方法

Observation data quality assessment methods for
BDS/GNSS geodetic receiver



2019-11-07 发布

2019-12-01 实施

中国卫星导航系统管理办公室 批准

目 次

前言	II
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	3
4 评估项目	3
5 评估流程	4
5.1 单项指标	4
5.2 综合指标	4
6 评估方法	4
6.1 观测数据完整率	4
6.2 周跳比	5
6.2.1 基本步骤	5
6.2.2 粗差探测	5
6.2.3 周跳探测	7
6.2.4 接收机钟跳探测	8
6.3 多路径误差	8
6.4 电离层延迟变化率	8
6.5 伪距噪声	9
6.6 载波相位噪声	10
6.7 载噪比	10
6.8 数据质量综合评估	11
附录 A（资料性附录） GNSS 卫星信号载波频率	13
附录 B（资料性附录） 计算多路径误差和电离层延迟变化率时的双频组合	14

前 言

为适应我国卫星导航发展对标准的需要，由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。

本标准的附录A、附录B为资料性附录。

本标准由中国卫星导航系统管理办公室提出。

本标准由中国北斗卫星导航标准化技术委员会（SAC/TC 544）归口。

本标准起草单位：战略支援部队信息工程大学、中国卫星导航工程中心、卫星导航系统与装备技术国家重点实验室、中国航天标准化研究所。

本标准主要起草人：李建文、焦文海、刘 莹、魏 勇、常克武、伍蔡伦、郭亮亮、盛传贞、王维嘉、陈 晨、谢 松。

北斗/全球卫星导航系统（GNSS） 测量型接收机观测数据质量评估方法

1 范围

本标准规定了北斗/全球卫星导航系统单频、双频或多频测量型接收机观测数据的质量评估项目、流程和方法。

本标准适用于北斗/全球卫星导航系统测量型接收机（以下简称“接收机”）测量作业、观测环境、测量性能指标检测等观测数据的质量评估与分析。

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。

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

GNSS测量型接收机 geodetic GNSS receiver

又称GNSS测地型接收机。能够提供伪距、载波相位等原始观测数据，用于高精度定位的GNSS终端设备。

[BD 110001-2015，定义4.5.3]

3.1.2

高度角 elevation

又称仰角，指在用户本地水平坐标系中用户与导航卫星连线方向与水平面的夹角。

[BD 110001-2015，定义4.3.38]

3.1.3

观测数据完整率 observation data integrity rate

接收机观测到卫星的实际历元数据量与理论历元数据量的比值。

3.1.4

粗差 outlier

泛指离群的误差。在相同观测条件下作一系列的观测，其绝对值超过限差的测量偏差。

3.1.5

接收机钟跳 **receiver clock jump**

接收机厂商为保持接收机内部时钟与GNSS时同步精度在一定范围之内，控制接收机钟差不超过某一阈值而插入的时钟跳跃。

3.1.6

周跳 **cycle slip**

在卫星导航接收机进行载波相位测量中，载波周期计数值的不连续现象。

[BD 110001-2015，定义4.3.5]

3.1.7

周跳比 **observations per slip**

在某时间段内，接收机观测数据的实际历元数据量与发生周跳历元数据量的比值，反映了周跳发生的平均观测历元数。

3.1.8

整周模糊度 **integer ambiguity**

GNSS卫星信号从发射点到接收点之间的距离所对应的载波整周期个数。该数据值无法直接测量得到，也称为整周未知数。

[BD 110001-2015，定义4.3.4]

3.1.9

多路径误差 **multipath error**

由非直达导航信号引入的测距误差。

[BD 110001-2015，定义4.3.23]

3.1.10

电离层延迟 **ionospheric delay**

导航信号通过电离层时，相对于信号在真空传播而言，产生的传输时延，通常以米为单位。

[BD 110001-2015，定义4.2.17]

3.1.11

电离层延迟变化率 **derivative of the ionospheric delay**

单位时间内电离层延迟的变化量，通常以米每秒为单位。

3.1.12

伪距噪声 **pseudorange noise**

伪距测量随机误差，泛指导航信号产生端、传播路径、接收端产生或引入的各种随机误差对伪距测量的综合影响值。

3.1.13

载波相位噪声 **carrier phase noise**

载波相位测量随机误差，泛指导航信号产生端、传播路径、接收端产生或引入的各种随机误差对载波相位测量的综合影响值。

3.1.14

载噪比 **Carrier-to-Noise Ratio (CNR)**

载波信号功率与噪声功率谱密度之比，单位为dBHz。由 $(C/N) \times B$ 计算，其中B为系统带宽。

3.1.15

无几何距离组合 **Geometry Free**

在同一历元下双频载波相位观测量的距离差值，主要包含了电离层和整周模糊度的贡献。

3.1.16

宽巷相位减窄巷伪距组合 **Melbourne-Wubben**

在同一历元下宽巷相位减窄巷伪距的组合观测量，主要包含了整周模糊度和观测噪声的贡献。

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；

GALILEO——Galileo Navigation Satellite System，伽利略卫星导航系统；

GF——Geometry Free，无几何距离组合；

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；

MW——Melbourne-Wubben，宽巷相位减窄巷伪距组合；

RMS——Root Mean Square，均方根。

4 评估项目

接收机观测数据的质量评估项目见表1。

表 1 评估项目一览表

序号	评估项目		评估流程	评估方法
1	单项指标	观测数据完整率	5.1	6.1
		周跳比		6.2
		多路径误差		6.3
		电离层延迟变化率		6.4
		伪距噪声		6.5
		载波相位噪声		6.6
		载噪比		6.7
2	综合指标	数据质量综合评估	5.2	6.8

5 评估流程

5.1 单项指标

接收机观测数据各单项评估指标的质量评估流程为：

- a) 明确质量评估的单项指标，各GNSS卫星信号的载波频率参见附录A；
- b) 读取观测数据，按照各指标的评估方法分别计算各单项评估值；
- c) 输出单项指标评估结果。

5.2 综合指标

接收机观测数据质量综合评估流程为：

- a) 基于表1给出的各单项指标及评估流程分别计算出各单项评估值；
- b) 按照6.8中数据质量综合评估方法和步骤计算综合评估值；
- c) 输出数据质量综合评估值。

6 评估方法

6.1 观测数据完整率

按公式(1)、公式(2)计算单频点观测数据完整率和单系统观测数据完整率。

$$DI_f = \left(\sum_{j=1}^n A^j / \sum_{j=1}^n B^j \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$DI_s = \left(\sum_{j=1}^n C^j / \sum_{j=1}^n D^j \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中：

DI_f ——单频点观测数据完整率，%；

n ——在观测时间段内，观测的卫星总数；

A^j ——在观测时间段内，第 j 颗卫星在某频点的实际观测历元总数；

B^j ——在观测时间段内，第 j 颗卫星在某频点的理论历元总数；

DI_s ——单系统观测数据完整率，%；

C^j ——在观测时间段内，第 j 颗卫星所有频点均有有效观测数据的历元数；

D^j ——在观测时间段内，第 j 颗卫星的理论历元总数。

6.2 周跳比

6.2.1 基本步骤

周跳比计算的主要步骤如下：

- 读取观测数据，统计该观测数据的实际历元数据量；
- 联合粗差探测方法、周跳探测方法和接收机钟跳探测方法，确定周跳发生的历元并统计发生周跳历元数据量；
- 根据周跳比的定义计算评估值。

6.2.2 粗差探测

采用MW组合观测量 L_{MW} 为检测量进行粗差探测，主要步骤如下：

- 按公式(3)、公式(4)、公式(5)构造MW组合观测量 L_{MW} 和递推公式；

$$L_{MW} = \frac{1}{f_{k_1} - f_{k_2}} (f_{k_1} \varphi_{k_1} - f_{k_2} \varphi_{k_2}) - \frac{1}{f_{k_1} - f_{k_2}} (f_{k_1} \rho_{k_1} + f_{k_2} \rho_{k_2}) \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\overline{L_{MW}(t_i)} = \frac{i-1}{i} \overline{L_{MW}(t_{i-1})} + \frac{1}{i} L_{MW}(t_i) \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\sigma^2(t_i) = \frac{i-1}{i} \sigma^2(t_{i-1}) + \frac{1}{i} (L_{MW}(t_i) - \overline{L_{MW}(t_{i-1})})^2 \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中：

f_{k_1} ——导航信号 k_1 载波的频率，单位MHz；

f_{k_2} ——导航信号 k_2 载波的频率，单位MHz；

φ_{k_1} —— k_1 频率载波相位观测量，单位m；

φ_{k_2} —— k_2 频率载波相位观测量，单位m；

ρ_{k_1} —— k_1 频率伪距观测量，单位m；

ρ_{k_2} —— k_2 频率伪距观测量，单位m；

$\overline{L_{MW}(t_i)}$ ——前 i 个历元MW组合观测值的均值，单位m；

$\overline{L_{MW}(t_{i-1})}$ ——前 $i-1$ 个历元MW组合观测值的均值，单位m；

$L_{MW}(t_i)$ ——第 i 个历元MW组合观测值，单位m；

$\sigma(t_i)$ ——前 i 个历元MW组合观测值的均方根误差，单位m；

$\sigma(t_{i-1})$ ——前 $i-1$ 个历元MW组合观测值的均方根误差，单位m。

b) 对于第 i 个历元MW组合观测值 $L_{MW}(t_i)$ ，若 $|L_{MW}(t_i) - \overline{L_{MW}(t_{i-1})}| \geq 4\sigma(t_{i-1})$ ，则为超限，历元 t_i 可能是周跳，也可能是粗差。

c) 为判断历元 t_i 是粗差还是发生了周跳，进一步分析 $i-1$ 、 i 、 $i+1$ 相邻3个历元之间的数据特征。由历元 t_{i-1} 的宽巷模糊度及方差按公式(6)、公式(7)计算历元 t_{i+1} 的宽巷模糊度及方差。

$$\overline{L_{MW}(t_{i+1})} = \frac{i}{i+1} \overline{L_{MW}(t_i)} + \frac{1}{i+1} L_{MW}(t_{i+1}) \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\sigma^2(t_{i+1}) = \frac{i}{i+1} \sigma^2(t_i) + \frac{1}{i+1} (L_{MW}(t_{i+1}) - \overline{L_{MW}(t_i)})^2 \quad \dots\dots\dots(7)$$

d) 若历元 t_{i+1} 的宽巷模糊度不超限，或者历元 t_i 和 t_{i+1} 的宽巷模糊度都超限且 $|L_{MW}(t_{i+1}) - L_{MW}(t_i)| > 1$ ，则判定历元 t_i 为粗差；若历元 t_i 和历元 t_{i+1} 的宽巷模糊度都超限且 $|L_{MW}(t_{i+1}) - L_{MW}(t_i)| \leq 1$ ，则认为历元 t_i 上有周跳。把前面 $i-1$ 个历元作为一弧段，记录其 $\overline{L_{MW}(t_{i-1})}$ 值和方差 $\sigma^2(t_{i-1})$ 用于后续处理，并从历元 t_i 开始划分为一个新的弧段。

6.2.3 周跳探测

采用MW组合观测量 L_{MW} 和GF组合观测量 L_{GF} 联合进行周跳检测。按照6.2.2节中提到的判定方法进行周跳的第一次探测，如果没有周跳，则利用GF组合观测量进行补充探测，其主要步骤为：

a) 按公式(8)、公式(9)构造GF组合观测量 L_{GF} 和伪距电离层残差组合 P_{GF} 。

$$L_{GF} = \varphi_{k_2} - \varphi_{k_1} \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中：

φ_{k_2} —— k_2 频率载波相位观测量，单位m；

φ_{k_1} —— k_1 频率载波相位观测量，单位m。

$$P_{GF} = \rho_{k_2} - \rho_{k_1} \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中：

ρ_{k_2} —— k_2 频率伪距观测量，单位m；

ρ_{k_1} —— k_1 频率伪距观测量，单位m。

b) 令 N 为观测历元总数， $x = 0, 1, 2, \dots, N$ 对应于连续观测历元的序列号；按照公式(10)对这些历元的数据进行拟合，求得各阶项参数 $a_q, a_{q-1}, \dots, a_1, a_0$ ，其中，当 $N/100 \geq 6$ 时多项式阶数 $q = 6$ ，反之为 $q = N/100 + 1$ ；确定参数值后，将 x 代入公式(10)，求得 P_{GF} 的理论值 Q_{GF} 。

$$P_{GF}(x) = a_q x^q + a_{q-1} x^{q-1} + \dots + a_1 x + a_0 \dots\dots\dots(10)$$

c) 如果满足公式(11), 则可判定历元 t_i 上有周跳, 并从历元 t_i 开始划分为一个新的弧段, 向后滑动下一历元。

$$\begin{cases} |(L_{GF}(t_i) - Q_{GF}(t_i)) - (L_{GF}(t_{i-1}) - Q_{GF}(t_{i-1}))| > 6(\lambda_{k_2} - \lambda_{k_1}) \\ |(L_{GF}(t_{i+1}) - Q_{GF}(t_{i+1})) - (L_{GF}(t_i) - Q_{GF}(t_i))| > (\lambda_{k_2} - \lambda_{k_1}) \end{cases} \dots\dots\dots(11)$$

式中:

$L_{GF}(t_i)$ ——历元 t_i 时的GF组合观测量值;

$Q_{GF}(t_i)$ ——历元 t_i 时拟合多项式的外推值;

λ_{k_2} ——导航信号 k_2 频率载波上的波长, 单位m;

λ_{k_1} ——导航信号 k_1 频率载波上的波长, 单位m。

6.2.4 接收机钟跳探测

接收机采集的观测数据进行钟跳的探测, 采用基于观测值域的钟跳探测方法。其主要步骤为:

a) 按照公式(12)构造钟跳探测量 ΔL :

$$\Delta L = |(\rho(t_{i+1}) - \rho(t_i)) - (\varphi(t_{i+1}) - \varphi(t_i))| \dots\dots\dots(12)$$

式中:

$\rho(t_i)$ ——接收机观测到卫星在历元 t_i 上的伪距观测量值, 单位m;

$\varphi(t_i)$ ——接收机观测到卫星在历元 t_i 上的载波相位观测量值, 单位m。

b) 为了消除周跳对钟跳探测的不利影响, 必须先进行周跳探测, 一旦发现周跳, 该卫星将不参与后续的钟跳探测。利用公式(12)计算钟跳探测量, 当 ΔL 满足公式(13)时认为该历元存在毫秒级钟跳, 当 ΔL 满足公式(14)时认为该历元存在微秒级钟跳。

$$(10^{-7} \cdot c - 3\xi) < \Delta L < (10^{-5} \cdot c + 3\xi) \dots\dots\dots(13)$$

$$\Delta L > (10^{-3} \cdot c - 3\xi) \dots\dots\dots(14)$$

式中:

c ——真空中的光速, 单位m/s;

ξ ——观测噪声经验值, 默认大小为4, 单位m。

c) 受残余粗差或周跳等影响, 利用公式(12)、公式(13)和公式(14)探测钟跳时, 可能会造成误判, 需要对做进一步的检验。在钟跳时刻, 所有卫星、所有频率的观测值将产生数值相近的跳跃, 从受影响的卫星数出发, 当满足公式(15)时, 认为该历元时刻存在钟跳。

$$n_s = n_{ms} + n_{\mu s} \dots\dots\dots(15)$$

式中:

n_s ——参与钟跳探测的有效卫星数;

n_{ms} ——发生毫秒级钟跳的卫星数；

$n_{\mu s}$ ——发生微秒级钟跳的卫星数。

6.3 多路径误差

计算伪距多路径误差，必须依赖双频观测数据。采用伪距观测方程和载波相位观测方程组合，消除对流层和电离层延迟影响，按公式(16)进行计算。当多频观测数据时，采用两导航信号频率相差较大的进行双频组合计算，参见附录B。

$$\begin{cases} MP_{k_1} = \rho_{k_1} - \frac{f_{k_1}^2 + f_{k_2}^2}{f_{k_1}^2 - f_{k_2}^2} \varphi_{k_1} + \frac{2f_{k_2}^2}{f_{k_1}^2 - f_{k_2}^2} \varphi_{k_2} \\ MP_{k_2} = \rho_{k_2} - \frac{2f_{k_1}^2}{f_{k_1}^2 - f_{k_2}^2} \varphi_{k_1} + \frac{f_{k_1}^2 + f_{k_2}^2}{f_{k_1}^2 - f_{k_2}^2} \varphi_{k_2} \end{cases} \dots\dots\dots(16)$$

式中：

MP_{k_1} —— k_1 频率上包含多路径误差和整周模糊度信息的计算量；

ρ_{k_1} —— k_1 频率伪距观测量，单位m；

f_{k_1} ——导航信号 k_1 载波的频率，单位MHz；

f_{k_2} ——导航信号 k_2 载波的频率，单位MHz；

φ_{k_1} —— k_1 频率载波相位观测量，单位m；

φ_{k_2} —— k_2 频率载波相位观测量，单位m；

MP_{k_2} —— k_2 频率上包含多路径误差和整周模糊度信息的计算量；

ρ_{k_2} —— k_2 频率伪距观测量，单位m。

对于同一颗卫星在连续观测且无周跳的情况下组合的模糊度参数不会变化，在无周跳的多个历元间接公式(17)进行计算，得到多路径误差。

$$\overline{MP}_k = \sqrt{\frac{1}{N_{sw} - 1} \sum_{i=1}^{N_{sw}} (MP_k(t_i) - \frac{\sum_{i=1}^{N_{sw}} MP_k(t_i)}{N_{sw}})^2} \dots\dots\dots(17)$$

式中：

\overline{MP}_k ——接收机观测到卫星在 k 频率上多路径误差的评估值；

N_{sw} ——滑动窗口的历元个数，默认为50；

$MP_k(t_i)$ ——在历元 t_i 接收机观测到卫星在 k 频率上包含多路径误差和整周模糊度信息的计算量。

6.4 电离层延迟变化率

按照公式(18)、公式(19)分别计算电离层延迟和电离层延迟变化率。当多频观测数据时，采用两导航信号频率相差较大的进行双频组合计算，参见附录B。

$$\begin{cases} I_{k_1} = \frac{f_{k_2}^2}{f_{k_1}^2 - f_{k_2}^2} (\varphi_{k_1} - \varphi_{k_2}) \\ I_{k_2} = \frac{f_{k_1}^2}{f_{k_1}^2 - f_{k_2}^2} (\varphi_{k_1} - \varphi_{k_2}) \end{cases} \dots\dots\dots(18)$$

式中：

I_{k_1} ——接收观测到卫星在 k_1 频率上包含了电离层延迟、多路径和整周模糊度信息的计算量；

f_{k_2} ——导航信号 k_2 载波的频率，单位MHz；

f_{k_1} ——导航信号 k_1 载波的频率，单位MHz；

φ_{k_1} —— k_1 频率载波相位观测量，单位m；

φ_{k_2} —— k_2 频率载波相位观测量，单位m；

I_{k_2} ——接收观测到卫星在 k_2 频率上包含了电离层延迟、多路径和整周模糊度信息的计算量。

$$\begin{cases} IOD_{k_1} = \frac{I_{k_1}(t_i) - I_{k_1}(t_{i-1})}{t_i - t_{i-1}} \\ IOD_{k_2} = \frac{I_{k_2}(t_i) - I_{k_2}(t_{i-1})}{t_i - t_{i-1}} \end{cases} \dots\dots\dots(19)$$

式中：

IOD_{k_1} ——卫星在 k_1 频率的电离层延迟变化率，单位m/s；

t_i ——第 i 个历元的观测时刻；

IOD_{k_2} ——卫星在 k_2 频率的电离层延迟变化率，单位m/s。

当电离层延迟变化率大于0.07m/s时，表示电离层延迟发生跳变。对所有卫星某个频点的电离层延迟跳变数求和，并作为各系统频点的电离层延迟跳变次数。

6.5 伪距噪声

伪距噪声计算的主要步骤如下：

a) 按照公式(20)对各频点各卫星伪距观测值分跟踪弧段计算历元间三次差；

$$\begin{cases} \Delta\rho(t_i) = \rho(t_i) - \rho(t_{i-1}) \\ \Delta\Delta\rho(t_i) = \Delta\rho(t_i) - \Delta\rho(t_{i-1}) \\ \Delta\Delta\Delta\rho(t_i) = \Delta\Delta\rho(t_i) - \Delta\Delta\rho(t_{i-1}) \end{cases} \dots\dots\dots(20)$$

式中：

$\Delta\rho(t_i)$ ——某频点相邻历元伪距观测量组差值（一次差值），单位m；

- $\rho(t_i)$ ——历元 t_i 接收机观测到卫星在某频点的伪距观测量，单位m；
- $\Delta\Delta\rho(t_i)$ ——某频点相邻历元伪距观测量一次差值的组差值（二次差值），单位m；
- $\Delta\Delta\Delta\rho(t_i)$ ——某频点相邻历元伪距观测量二次差值的组差值（三次差值），单位m。

b) 按照公式(21)求得伪距噪声 σ_ρ ；

$$\sigma_\rho = \sqrt{\frac{1}{8 \times (N_\rho - 1)} \sum_{i=1}^{N_\rho} (\Delta\Delta\Delta\rho(t_i))^2} \dots\dots\dots(21)$$

N_ρ ——接收机观测到卫星在某频点相邻历元测码伪距观测量的三次差值的个数。

c) 对所有卫星某个频点的伪距噪声取平均值，并作为各系统频点的伪距观测噪声，求各系统各频点的伪距噪声的平均值作为系统的伪距噪声。

6.6 载波相位噪声

载波相位噪声计算的主要步骤如下：

a) 剔除观测数据中含周跳历元的载波相位观测量，按照公式(22)对各频点各卫星载波相位观测量分跟踪弧段计算历元间三次差；

$$\begin{cases} \Delta\varphi(t_i) = \varphi(t_i) - \varphi(t_{i-1}) \\ \Delta\Delta\varphi(t_i) = \Delta\varphi(t_i) - \Delta\varphi(t_{i-1}) \\ \Delta\Delta\Delta\varphi(t_i) = \Delta\Delta\varphi(t_i) - \Delta\Delta\varphi(t_{i-1}) \end{cases} \dots\dots\dots(22)$$

式中：

- $\Delta\varphi(t_i)$ ——某频点相邻历元相载波相位观测量组差值（一次差值），单位周；
- $\varphi(t_i)$ ——历元 t_i 接收机观测到卫星在某频点的相载波相位观测量，单位周；
- $\Delta\Delta\varphi(t_i)$ ——某频点相邻历元载波相位观测量一次差值的组差值（二次差值），单位周；
- $\Delta\Delta\Delta\varphi(t_i)$ ——某频点相邻历元载波相位观测量二次差值的组差值（三次差值），单位周。

b) 按照公式(23)求得载波相位噪声 σ_φ 。

$$\sigma_\varphi = \sqrt{\frac{1}{8 \times (N_\varphi - 1)} \sum_{i=1}^{N_\varphi} (\Delta\Delta\Delta\varphi(t_i))^2} \dots\dots\dots(23)$$

N_φ ——接收机观测到卫星在某频点相邻历元测相载波相位观测量的三次差值的个数。

c) 对所有卫星某个频点的载波相位噪声取平均值，并作为各系统频点的载波相位噪声，求各系统各频点的载波相位噪声的平均值作为系统的载波相位噪声。

6.7 载噪比

按公式(24)计算载噪比指标的统计值。

$$\overline{CNR} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{N^j} \sum_{i=1}^{N^j} CNR^j(t_i) \right) \dots\dots\dots(24)$$

式中:

\overline{CNR} ——卫星观测载噪比指标统计值;

n ——观测卫星总数;

j ——观测卫星号;

N^j ——卫星 j 的观测历元总数;

i ——卫星 j 的观测历元序号;

$CNR^j(t_i)$ ——卫星 j 在历元 t_i 时的载噪比观测值, 单位dBHz。

6.8 数据质量综合评估

对接收机采集的观测数据进行综合质量评估, 利用数据完整率、周跳比、多路径误差、电离层延迟变化率、伪距噪声、载波相位噪声和载噪比等进行评估。其步骤为:

- a) 指标的同趋势化: 在综合指标体系中, 如当数据完整率越大、多路径数值越小、周跳比越大时, 观测数据质量越好, 故需将多路径指标按照取倒数的方法将其极小型的指标值转化为极大型。
- b) 指标的无量纲化: 综合评价的各指标值必须都是无量纲的数值, 按照公式(25)对同趋势化后的各指标值进行处理;

$$z_l^m = c + \frac{y_l^m - Min_l}{Max_l - Min_l} \times d \dots\dots\dots(25)$$

式中:

z_l^m ——指标无量纲化后第 l 项指标的第 m 个指标值;

c ——对数值作平移的平移量;

y_l^m ——同趋势化后第 l 项指标的第 m 个指标值;

Min_l ——第 l 项指标的最小值;

Max_l ——第 l 项指标的最大值;

d ——对数值进行放大或缩小的倍数。

- c) 指标权重系数的确定: 首先按公式(26)计算第 l 项指标的熵值 Ψ_l , 然后按公式(27)计算第 l 项指标的差异系数 Υ_l , 最后按公式(28)计算第 l 项指标的权重系数 w_l ;

$$\Psi_l = -\frac{1}{\ln(J)} \times \sum_{m=1}^J \left(\frac{z_l^m}{\sum_{m=1}^J z_l^m} \times \ln\left(\frac{z_l^m}{\sum_{m=1}^J z_l^m}\right) \right) \dots\dots\dots(26)$$

$$\Upsilon_l = 1 - \Psi_l \dots\dots\dots(27)$$

$$w_l = \frac{Y_l}{\sum_{l=1}^I Y_l} \dots\dots\dots(28)$$

式中：

J ——第 l 项指标的指标值个数；

I ——综合评估指标项的个数。

d) 按照公式(29)计算综合评估值 E ， E 越小则表明被评价对象综合数据质量最好；

$$E_m = \sum_{l=1}^I w_l (z_l^m - z_l^*)^2 \dots\dots\dots(29)$$

式中：

E_m ——第 m 个指标值对应被评价对象的综合数据质量评估值；

z_l^* ——第 l 项指标的最优值。

附 录 A
(资料性附录)
GNSS 卫星信号载波频率

表 A.1 为 GNSS 卫星信号的载波频率。

表 A.1 GNSS 卫星信号载波频率

系统	名称	频率 (MHz)
BDS	B1	1561.098
	B2	1207.14
	B3	1268.52
GPS	L1	1575.42
	L2	1227.60
	L5	1176.45
GLONASS	G1	$1602+k*9/16$ ($k=-7\dots+12$)
	G2	$1246+k*7/16$ ($k=-7\dots+12$)
	G3	1202.025
GALILEO	E1	1575.42
	E5a	1176.45
	E5b	1207.14
	E5(E5a+E5b)	1191.795
	E6	1278.75

附 录 B
(资料性附录)

计算多路径误差和电离层延迟变化率时的双频组合

表 B.1 为计算多路径误差和电离层延迟变化率时的双频组合。

表 B.1 计算多路径误差和电离层延迟变化率时的双频组合

系统	双频组合	
	载波名称 1	载波名称 2
BDS	B1	B2
	B1	B3
GPS	L1	L2
	L1	L5
GLONASS	G1	G2
	G1	G3
GALILEO	E1	E5a
	E1	E5b
	E1	E5(E5a+E5b)
	E1	E6