

BD

中国第二代卫星导航系统重大专项标准

BD 310019—2022

北斗卫星导航系统星基增强 服务性能评估方法

Assessment method for BDSBAS service performance



2022-12-30 发布

2023-01-30 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	1
4 缩略语	2
5 北斗星基增强系统服务性能评估项目及评估条件	3
5.1 评估项目	3
5.2 评估条件	3
6 BDSBAS 电文播发完整性评估	4
6.1 电文同步头正确性评估	4
6.2 BDSBAS 电文播发连续性评估	5
6.3 电文超时统计	6
6.4 评估要求	9
7 差分空间信号性能评估	9
7.1 差分空间信号精度评估	9
7.2 UDRE/DFRE 包络性能评估	12
7.3 格网电离层改正精度评估	14
7.4 GIVE 包络性能评估	15
8 系统服务性能评估	16
8.1 定位精度评估	16
8.2 完好性评估	18
8.3 连续性评估	19
8.4 可用性评估	21
8.5 覆盖性评估	22
附录 A（规范性） 载波相位平滑伪距方法	23
附录 B（规范性） ENU 坐标系下导航解算方法	24
附录 C（规范性） 观测误差统计模型	25
附录 D（规范性） 保护级计算方法	27
附录 E（资料性） 定位精度附加统计量	29
附录 F（资料性） BDSBAS 用于导航的性能需求	30
参考文献	31

前 言

本文件由中国卫星导航系统管理办公室提出。

本文件由全国北斗卫星导航标准化技术委员会（SAC/TC 544）归口。

本文件起草单位：北京卫星导航中心。

本文件主要起草人：郭 睿、常志巧、刘 利、蔡洪亮、辛 洁、周 巍、李晓杰、陈 雷、黄双临、孟轶男、时 鑫、邵佳妮、高 扬、田翌君、刘 帅。

北斗卫星导航系统星基增强服务性能评估方法

1 范围

本文件规定了北斗星基增强系统服务性能评估项目、评估要求和评估方法。
本文件适用于对BDSBAS服务性能的系统级测试与监测评估。

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 39267 北斗卫星导航术语

RTCA/DO-229D—2013 全球定位系统/星基增强系统机载设备最低运行性能标准（Minimum Operational Performance Standard for Global Positioning System/ Satellite-Based Augmentation System Airborne Equipment）

ICAO Anx.10 Vol.I—2018 国际民用航空公约附件 10 航空电信 第 I 卷：无线电导航设备，国际标准与建议措施（Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation Aeronautical Telecommunications Volume I: Radio Navigation Aids, International Standards and Recommended Practices）

AN 7/62.1.4-21/41—2021 国家级信件“对附件 10 第 I 卷的修订提案”

3 术语和定义

GB/T 39267界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

定位精度 positioning accuracy

观测位置值与真实位置值之差的统计值。

3.2

完好性 integrity

对导航系统提供信息正确性的可信任度。它包括当系统不该用作导航时，系统向用户发出及时报警的能力。

3.3

告警时间 time-to-alert; TTA

从导航系统开始出现故障到设备发出警报所经过的最大允许时间。

3.4

告警限值 alert limit; AL

特定应用所容许的最大用户定位误差，分为垂直告警限值（Vertical Alert Limit, VAL）和水平告警限值（Horizontal Alert Limit, HAL）。

3.5

危险误导信息 **hazardously misleading information; HMI**

满足接收机输出的位置误差超过了当前应用中的特定限值,且持续时间超过可容许的告警时间两个条件的信息。

3.6

完好性风险 **integrity risk; IR**

出现未被探测到的危险误导信息的概率。

3.7

连续性 **continuity**

导航系统在规定的时间内,完成规定的功能而不发生中断的概率。

3.8

可用性 **availability**

能为用户提供可用的导航服务的时间百分比。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

APV: 有垂向引导的进近 (Approach with Vertical Guidance)

BDCS: 北斗坐标系 (BeiDou Coordinate System)

BDS: 北斗卫星导航系统 (BeiDou Navigation Satellite System)

BDSBAS: 北斗星基增强系统 (BeiDou Satellite Based Augmentation System)

DFMC: 双频多星座 (Dual Frequency Multi-Constellation)

DFRE: 双频测距误差 (Dual Frequency Range Error)

DFREI: 双频测距误差索引 (Dual Frequency Range Error Indicator)

GEO: 地球静止轨道 (Geostationary Earth Orbit)

GIVE: 格网电离层垂直误差 (Grid Ionospheric Vertical Error)

GNSS: 全球卫星导航系统 (Global Navigation Satellite System)

HAL: 水平告警限值 (Horizontal Alert Limit)

HPE: 水平定位误差 (Horizontal Positioning Error)

HPL: 水平保护级 (Horizontal Protection Level)

ICAO: 国际民航组织 (International Civil Aviation Organization)

ICD: 接口控制文件 (Interface Control Document)

LNAV: 水平导航 (Lateral Navigation)

LNAV/VNAV: 水平导航/垂直导航 (Lateral Navigation/Vertical Navigation)

LP: 无垂直方向引导的导航性能 (Localizer Performance without Vertical Guidance)

LPV: 有垂直方向引导的导航性能 (Localizer Performance with Vertical Guidance)

NPA: 非精密进近 (Non-Precision Approach)

PA: 精密进近 (Precision Approach)

PDOP: 位置精度因子 (Position Dilution of Precision)

PL: 保护级 (Protection Level)

SARPs: 标准和建议措施 (Standards And Recommended Practices)

SBAS: 星基增强系统 (Satellite Based Augmentation System)

UDRE: 用户差分测距误差 (User Differential Range Error)

UDREI: 用户差分测距误差索引 (User Differential Range Error Indicator)

UTC: 协调世界时 (Universal Time Coordinated)

VAL: 垂直告警限值 (Vertical Alert Limit)

VPA: 垂直定位精度 (Vertical Positioning Accuracy)

VPE: 垂直定位误差 (Vertical Positioning Error)

VPL: 垂直保护级 (Vertical Protection Level)

WAAS: 美国广域增强系统 (Wide Area Augmentation System)

WGS-84: 1984世界大地坐标系 (World Geodetic System 84)

5 北斗星基增强系统服务性能评估项目及评估条件

5.1 评估项目

本文件从增强电文播发完整性、差分空间信号性能及系统服务性能3个层面对北斗星基增强系统服务性能进行递进评估, 具体评估项目见表1。

表 1 评估项目一览表

序号	评估类别	评估项目		评估方法
1	BDSBAS 电文播发完整性	电文同步头正确性	单频服务	6.1.1
			双频服务	6.1.2
		BDSBAS 电文播发连续性	单频服务	6.2.1
			双频服务	6.2.2
		电文超时统计	单频服务	6.3.1
			双频服务	6.3.2
2	差分空间信号性能	差分空间信号精度	单频服务	7.1.1
			双频服务	7.1.2
		UDRE/DFRE 包络性能	单频服务	7.2.1
			双频服务	7.2.2
		格网电离层改正精度	单频服务	7.3
		GIVE 包络性能	单频服务	7.4
3	系统服务性能	定位精度	单频/双频服务	8.1
		完好性	单频/双频服务	8.2
		连续性	单频/双频服务	8.4
		可用性	单频/双频服务	8.3
		覆盖性	单频/双频服务	8.5

5.2 评估条件

北斗星基增强系统服务性能评估的评估条件如下:

- a) 在进行 BDSBAS 单频服务性能评估时，需要确保 BDSBAS-B1C 信号的载波频率、信号杂散、信号落地功率、调制方式、载波相位噪声、信号频谱、载波频率稳定性、码/载波一致性等与 ICAO SARPs 的要求一致。
- b) 在进行 BDSBAS 双频服务性能评估时，需要确保 BDSBAS-B2a 信号的载波频率、信号杂散、信号落地功率、调制方式、载波相位噪声、信号频谱、载波频率稳定性、码/载波一致性等与 ICAO DFMC SBAS SARPs 的要求一致。
- c) 评估应基于 ICAO Anx.10 Vol.I—2018 附件 10 中要求的无故障接收机，即该接收机无影响完好性、可用性和连续性性能的故障，应当满足但不限于以下基本条件：
 - 1) 设计应满足 BDSBAS 航空接收机相关标准，包括延迟锁相环鉴别器相关间距、信号带宽、相关峰确认、卫星跟踪能力等；
 - 2) 能够接收到高度角大于 5°的所有可视被增强卫星及 SBAS 卫星的基本导航信号及 BDSBAS 增强信号，接收机的噪声基本服从正态分布；
 - 3) 接收机距易产生多路径的地物（如高大建筑物、树木、水体、海滩和易积水地带等）的距离不小于 200m；
 - 4) 接收机距电磁干扰区（如微波站、无线电发射台、高压线穿越地带等）的距离应大于 200m；
 - 5) 参与评估的接收机应不参与 BDSBAS 电文信息生成；
 - 6) 应采用不少于 3 台接收机进行测试，通过接收机间横向比较，排除接收机端异常。

BDSBAS 主要用户为航空用户，系统建设服务性能对标《国际民用航空公约》一类垂直引导进近（APV-I）指标和一类精密进近（CAT-I）指标。其他行业用户在使用 BDSBAS 信号时，应根据具体行业特点进行服务性能评估，可采用与本文件不同的评估条件和要求。

6 BDSBAS 电文播发完整性评估

6.1 电文同步头正确性评估

6.1.1 单频服务

单频服务电文同步头正确性评估按照以下步骤进行：

- a) 对 BDSBAS-B1C 增强电文进行持续接收；
- b) 提取每一条电文的前 8 比特同步头二进制信息，同时记录电文观测时刻 t （GPST，周内秒）；
- c) 若步骤 b) 中的二进制序列与‘01010011’、‘10011010’、‘11000110’都不匹配，则出现未定义同步头异常，需统计未定义同步头发生次数和对应时刻，转到步骤 a) 继续进行下一条增强电文处理；
- d) 将 t 进行模 3 运算，获得得数 n ；
- e) 当 n 等于 0 时，若步骤 b) 中的二进制序列与‘01010011’匹配，则转到步骤 a) 继续进行下一条增强电文处理；若不匹配，则表明出现电文同步头时序错误，统计同步头时序错误发生次数和对应时刻；
- f) 当 n 等于 1 时，若步骤 b) 中的二进制序列与‘10011010’匹配，则转到步骤 a) 继续进行下一条增强电文处理；若不匹配，则表明出现电文同步头时序错误，统计同步头时序错误发生次数和对应时刻；

- g) 当 n 等于 2 时, 若步骤 b) 中的二进制序列与‘11000110’匹配, 则转到步骤 a) 继续进行下一条增强电文处理; 若不匹配, 则表明出现电文同步头时序错误, 统计同步头时序错误发生次数和对应时刻;
- h) 遍历所有 BDSBAS 卫星, 重复步骤 a) ~g), 完成所有 BDSBAS 卫星单频服务电文同步头正确性评估。

6.1.2 双频服务

双频服务电文同步头正确性评估按照以下步骤进行:

- a) 对 BDSBAS-B2a 增强电文进行持续接收;
- b) 提取每一条电文的前 4 比特同步头二进制信息, 同时记录电文观测时刻 t (BDT, 周内秒);
- c) 若步骤 b) 中的二进制序列与‘0101’、‘1100’、‘0110’、‘1001’、‘0011’、‘1010’都不匹配, 则出现未定义同步头异常, 需统计未定义同步头发生次数和对应时刻, 转到步骤 a) 继续进行下一条增强电文处理;
- d) 将 t 进行模 6 运算, 获得得数 n ;
- e) 当 n 等于 0 时, 若步骤 b) 中的二进制序列与‘0101’匹配, 则转到步骤 a) 继续进行下一条增强电文处理; 若不匹配, 则表明出现电文同步头时序错误, 统计同步头时序错误发生次数和对应时刻;
- f) 当 n 等于 1 时, 若步骤 b) 中的二进制序列与‘1100’匹配, 则转到步骤 a) 继续进行下一条增强电文处理; 若不匹配, 则表明出现电文同步头时序错误, 统计同步头时序错误发生次数和对应时刻;
- g) 当 n 等于 2 时, 若步骤 b) 中的二进制序列与‘0110’匹配, 则转到步骤 a) 继续进行下一条增强电文处理; 若不匹配, 则表明出现电文同步头时序错误, 统计同步头时序错误发生次数和对应时刻;
- h) 当 n 等于 3 时, 若步骤 b) 中的二进制序列与‘1001’匹配, 则转到步骤 a) 继续进行下一条增强电文处理; 若不匹配, 则表明出现电文同步头时序错误, 统计同步头时序错误发生次数和对应时刻;
- i) 当 n 等于 4 时, 若步骤 b) 中的二进制序列与‘0011’匹配, 则转到步骤 a) 继续进行下一条增强电文处理; 若不匹配, 则表明出现电文同步头时序错误, 统计同步头时序错误发生次数和对应时刻;
- j) 当 n 等于 5 时, 若步骤 b) 中的二进制序列与‘1010’匹配, 则转到步骤 a) 继续进行下一条增强电文处理; 若不匹配, 则表明出现电文同步头时序错误, 统计同步头时序错误发生次数和对应时刻;
- k) 遍历所有 BDSBAS 卫星, 重复步骤 a) ~j), 完成所有 BDSBAS 卫星双频服务电文同步头正确性评估。

6.2 BDSBAS 电文播发连续性评估

6.2.1 单频服务

单频服务电文播发连续性评估按照以下步骤进行:

- a) 对 BDSBAS-B1C 增强电文进行持续接收;

- b) 记录每一条电文的电文观测时刻 t_1 (周内秒);
- c) 记录下一条电文的电文观测时刻 t_2 (周内秒);
- d) 计算 t_2-t_1 , 获得得数 n , 若 n 大于 1, 则表明出现电文中断;
- e) 记录中断时刻 $(t_1+1) s$ 及中断持续时间 $(n-1) s$;
- f) 遍历所有 BDSBAS 卫星, 重复步骤 a) ~e), 完成所有 BDSBAS 卫星单频服务电文播发连续性评估。

6.2.2 双频服务

双频服务电文播发连续性评估按照以下步骤进行:

- a) 对 BDSBAS-B2a 增强电文进行持续接收;
- b) 记录每一条电文的电文观测时刻 t_1 (周内秒);
- c) 记录下一条电文的电文观测时刻 t_2 (周内秒);
- d) 计算 t_2-t_1 , 获得得数 n , 若 n 大于 1, 则出现电文中断;
- e) 记录中断时刻 $(t_1+1) s$ 及中断持续时间 $(n-1) s$;
- f) 遍历所有 BDSBAS 卫星, 重复步骤 a) ~e), 完成所有 BDSBAS 卫星双频服务电文播发连续性评估。

6.3 电文超时统计

6.3.1 单频服务

单频服务的电文类型、电文内容及最大更新间隔和超时间隔见表 2, 测试按照电文类型和 SBAS 卫星分类统计。单频服务电文超时统计按照以下步骤进行:

- a) 解析测试接收机接收的 BDSBAS 卫星 i 的 BDSBAS-B1C 原始电文中的电文类型, 记录电文观测时刻。
- b) 当电文类型 x 为 1、2、3、4、7、9、10、17 时, 超时接收的电文次数统计方法见公式 (1), 最大超时间隔见公式 (2)。

$$n_{x,i} = \sum_{t=t_{start}}^{t_{end}} \{Bool(t)\} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$n_{x,i}$ —— BDSBAS 卫星 i 播发的电文类型 x 超时更新的电文个数;

t_{start} —— 数据起始时刻 (周内秒);

t_{end} —— 数据结束时刻 (周内秒);

$Bool(t)$ —— 布尔函数, 表示在测试时刻 t , BDSBAS 卫星 i 播发的电文类型 x 是否被超时接收。若本次电文观测时刻和上次电文观测时刻之差大于表 2 中定义最大更新时间取值 1, 否则取值 0。

$$\Delta t_{x,i} = \max_{t=t_{start}}^{t_{end}} (t - t_{last}) \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$\Delta t_{x,i}$ —— BDSBAS 卫星 i 播发的电文类型 x 最大更新时间间隔, 单位为秒 (s);

t_{start} ——数据起始时刻（周内秒）；

t_{end} ——数据结束时刻（周内秒）；

t_{last} ——上次电文类型为 x 的电文观测时刻（周内秒）；

t ——本次电文类型为 x 的电文观测时刻（周内秒）。

c) 当电文类型 x 为 24、25、28 时，需对被增强星座的每颗卫星进行统计，超时接收的电文次数统计方法见公式（3），最大超时间隔见公式（4）。

$$n_{x,i}^j = \sum_{t=t_{\text{start}}}^{t_{\text{end}}} \{\text{Bool}(t)\} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$n_{x,i}^j$ ——BDSBAS 卫星 i 播发的被增强卫星 j 的电文类型 x 超时更新的电文个数；

$\text{Bool}(t)$ ——布尔函数，在测试时刻 t ，BDSBAS 卫星 i 播发的被增强卫星 j 的电文类型 x 是否被超时接收。若本次电文观测时刻和上次电文观测时刻之差大于表 2 中定义最大更新时间取值 1，否则取值 0。

$$\Delta t_{x,i}^j = \max_{t=t_{\text{start}}}^{t_{\text{end}}} (t - t_{\text{last}}) \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$\Delta t_{x,i}^j$ ——BDSBAS 卫星 i 播发的被增强卫星 j 的电文类型 x 最大更新时间间隔，单位为秒（s）。

d) 当电文类型 x 为 18 时，需对每个电离层带编号进行统计，超时接收的电文次数统计方法见公式（5），最大超时间隔见公式（6）。

$$n_{x,i}^k = \sum_{t=t_{\text{start}}}^{t_{\text{end}}} \{\text{Bool}(t)\} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$n_{x,i}^k$ ——BDSBAS 卫星 i 播发的电离层带编号 k 的电文类型 18 超时更新的电文个数；

$\text{Bool}(t)$ ——布尔函数，在测试时刻 t ，BDSBAS 卫星 i 播发的电离层带编号 k 的电文类型 18 是否被超时接收。若本次电文观测时刻和上次电文观测时刻之差大于表 2 中定义最大更新时间取值 1，否则取值 0。

$$\Delta t_{x,i}^k = \max_{t=t_{\text{start}}}^{t_{\text{end}}} (t - t_{\text{last}}) \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$\Delta t_{x,i}^k$ ——BDSBAS 卫星 i 播发的电离层带编号 k 的电文类型 18 最大更新时间间隔，单位为秒（s）。

e) 当电文类型 x 为 26 时，需对每个电离层带/段编号进行统计，超时接收的电文次数统计方法见公式（7），最大超时间隔见公式（8）。

$$n_{x,i}^{k,l} = \sum_{t=t_{\text{start}}}^{t_{\text{end}}} \{\text{Bool}(t)\} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$n_{x,i}^{k,l}$ ——BDSBAS 卫星 i 播发的电离层带编号 k 、段编号 l 的电文类型 26 超时更新的电文个数；

$\text{Bool}(t)$ ——布尔函数，在测试时刻 t ，BDSBAS 卫星 i 播发的电离层带编号 k 、段编号 l 的电文类型 26 是否被超时接收。若本次电文观测时刻和上次电文观测时刻之差大于表 2 中定义最大更新时间取值 1，否则取值 0。

$$\Delta t_{x,i}^{k,l} = \max_{t=t_{\text{start}}}^{t_{\text{end}}} (t - t_{\text{last}}) \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$\Delta t_{x,i}^{k,l}$ ——BDSBAS 卫星 i 播发的电离层带编号 k 、段编号 l 的电文类型 26 最大更新时间间隔，单位为秒 (s)。

f) 遍历所有 BDSBAS 卫星，重复步骤 a) ~e)，完成所有 BDSBAS 卫星单频服务电文播电文超时统计。

表 2 BDSBAS 单频服务各类信息更新频度与超时说明 单位为秒

电文类型	电文内容	最大更新时间隔	航路，终端区，LNAV 超 时时间	精密进近超时间
0	不可用于生命安全 服务	6	N/A	N/A
1	PRN 掩码	120	600	600
2-6, 24	完好性信息 (UDREI)	6	18	12
2-5, 24	快变误差修正参数	与信息类型 7 值相关 ^a	与信息类型 7 值相关 ^a	与信息类型 7 值相关 ^a
24, 25	长期误差修正参数	120	360	240
9	GEO 导航电文	120	360	240
7	快变修正降效参数	120	360	240
10	降效参数	120	360	240
18	电离层格网点掩码	300	1200	1200
26	电离层延迟修正	300	600	600
12	UTC 时间信息	300	86400	86400
17	GEO 历书	300	无超时	无超时
28	星钟-星历协方差 矩阵	120	360	240

^a 见 RTCA/DO-229D-2013 表 A-8

6.3.2 双频服务

双频服务的电文类型、电文内容及最大更新时间隔和超时间隔见表3。双频服务电文超时统计按照以下步骤进行：

- a) 解析测试接收机接收的 BDSBAS 卫星 i 的 BDSBAS-B2a 原始电文中的电文类型字段，记录电文观测时刻；
- b) 当电文类型 x 为 31、34、35、36、37、39、40、42、47 时，超时接收的电文次数统计方法见公式 (1)，最大超时间隔见公式 (2)；
- c) 当电文类型 x 为 32 时，需对被增强星座的每颗卫星进行统计，超时接收的电文次数统计方法见公式 (3)，最大超时间隔见公式 (4)；
- d) 遍历所有 BDSBAS 卫星，重复步骤 a) ~c)，完成所有 BDSBAS 卫星双频服务电文播电文超时统计。

表 3 BDSBAS 双频服务各类信息更新频度与超时说明

单位为秒

电文类型	电文内容	最大更新间隔	航路, 终端区, LNAV 超时时间	精密进近超时时间
0	不可用于生命安全服务	6	N/A	N/A
31	卫星掩码	120	600	600
34、35、36	完好性信息 (DFREI、DFRECI)	6	18	12
32	星钟、星历误差修正及协方差矩阵	0.5x (I _{Valid}) ^a ₃₂	1.5x (I _{Valid}) ₃₂	(I _{Valid}) ₃₂
39/40	SBAS 卫星星钟、星历及星历协方差矩阵	0.5x (I _{Valid}) ^b _{39/40}	1.5x (I _{Valid}) _{39/40}	(I _{Valid}) _{39/40}
37	降效参数与 DFREI 尺度表	120	360	360
47	BDSBAS 卫星历书	120	N/A	N/A
42	BDSBAS 系统与 UTC 间的偏差	240	86400	86400

^a (I_{Valid})₃₂ 定义见 AN 7/62.1.4-21/41-2021 Table B-100。
^b (I_{Valid})_{39/40} 定义见 AN 7/62.1.4-21/41-2021 Table B-100。

6.4 评估要求

BDSBAS 电文完整性评估应满足以下要求:

- 星基增强单频服务接收机能正确接收、存储和输出单频星基增强电文信息;
- 星基增强双频服务接收机能正确接收、存储和输出双频星基增强电文信息;
- 评估时段应大于等于 24 h;
- 采样间隔为 1 s。

7 差分空间信号性能评估

7.1 差分空间信号精度评估

7.1.1 单频服务模式下差分空间信号精度评估方法

单频服务模式下差分空间信号精度评估按照以下步骤进行:

- 在位置已知的测站上, 持续进行 GPS 观测, 持续接收 GPS 导航电文和 BDSBAS-B1C 增强电文;
- 利用载波相位观测量平滑 L1 C/A 和 L2 的伪距无电离层组合观测量, 方法见附录 A;
- 利用 GPS 导航电文计算 GPS 卫星轨道位置和钟差;
- 提取增强改正数信息: 从增强电文类型 1 中提取 PRN 掩码信息, 从电文类型 2-5 中提取快变改正数信息; 从电文类型 25 中提取慢变改正数信息;
- 利用 GPS L1 C/A 和 L2 的伪距无电离层组合观测值计算增强改正后的测距残差, 计算方法见公式 (9);

$$\Delta\rho_i = P_{\text{meas},i} - \rho_{\text{corrected},i} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$\Delta\rho_i$ ——被增强卫星 i 的伪距无电离层组合残差，单位为米（m）；

$P_{\text{meas},i}$ ——被增强卫星 i 的L1 C/A和L2伪距无电离层组合的相位平滑值（定义见公式（A.2）），单位为米（m）；

$\rho_{\text{corrected},i}$ ——被增强卫星 i 考虑各项误差改正后的观测量计算值，定义见公式（10），单位为米（m）。

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_{\text{corrected}} = \rho + c \cdot \Delta t_r - c \cdot \Delta t_{\text{sv},i} - \\ \delta a_{i,f0} - \delta a_{i,f1}(t - t_{i,\text{LT}}) - FC_i - RRC_i(t - t_{i,\text{Of}}) - TC_i + \Delta d_{\text{rel}} + \Delta d_{\text{scal}} \\ \rho = \sqrt{(x_{i,\text{corrected}} - x_r)^2 + (y_{i,\text{corrected}} - y_r)^2 + (z_{i,\text{corrected}} - z_r)^2} \end{array} \right. \dots\dots\dots (10)$$

式中：

ρ ——被增强卫星天线相位中心与接收机天线相位中心之间的空间几何距离，单位为米（m）；

c ——真空中光的传播速度（ 2.99792458×10^8 ），单位为米每秒（m/s）；

Δt_r ——接收机钟差（利用同一历元同一接收机的多颗卫星伪距残差 $\Delta\rho$ 取平均获取），单位为秒（s）；

$\Delta t_{\text{sv},i}$ ——被增强卫星无电离层组合钟差（需考虑卫星群延迟，计算方法见IS-GPS-200L 20.3.3.3.2），单位为秒（s）；

$\delta a_{i,f0}$ ——卫星钟差修正项，单位为米（m）；

$\delta a_{i,f1}$ ——卫星钟速修正项，单位为米每秒（m/s）；

t ——观测时刻（天内秒）；

$t_{i,\text{LT}}$ ——卫星慢变改正参考时刻（天内秒）；

FC_i ——卫星快变改正数，单位为米（m）；

RRC_i ——快变改正数变化率（定义见ICAO Anx.10 Vol.I-2018附录B3.5.5.4），单位为米每秒（m/s）；

$t_{i,\text{Of}}$ ——快变改正数的参考时间，定义为播发当前快变改正 FC_i 的信息类型的第一个bit上升沿的时刻（天内秒）；

TC_i ——对流层延迟改正（其值为负，计算方法见RTCA/DO-229D-2013附录A.4.2.4），单位为米（m）；

Δd_{rel} ——相对论效应改正，单位为米（m）；

Δd_{scal} ——地球自转改正，单位为米（m）；

$x_{i,\text{corrected}}$ ——经过慢变改正后的卫星坐标x分量（计算见公式（11）），单位为米（m）；

$y_{i,\text{corrected}}$ ——经过慢变改正后的卫星坐标y分量（计算见公式（11）），单位为米（m）；

$z_{i,\text{corrected}}$ ——经过慢变改正后的卫星坐标z分量（计算见公式（11）），单位为米（m）；

$$\begin{bmatrix} x_{i,corrected} \\ y_{i,corrected} \\ z_{i,corrected} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta x_i \\ \delta y_i \\ \delta z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta \dot{x}_i \\ \delta \dot{y}_i \\ \delta \dot{z}_i \end{bmatrix} (t - t_{i,LT}) \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$[x_i \ y_i \ z_i]^T$ ——根据被增强卫星 i 导航电文计算的卫星位置向量，单位为米（m）；

$[\delta x_i \ \delta y_i \ \delta z_i]^T$ ——被增强卫星 i 轨道慢变改正正常数项向量，单位为米（m）；

$[\delta \dot{x}_i \ \delta \dot{y}_i \ \delta \dot{z}_i]^T$ ——被增强卫星 i 轨道慢变改正变化率向量，单位为米（m）。

x_r ——接收机坐标x分量，单位为米（m）；

y_r ——接收机坐标y分量，单位为米（m）；

z_r ——接收机坐标z分量，单位为米（m）。

f) 将步骤 e) 中的残差分别进行 95%和 99.9%分位数统计，统计方法见公式（12）

$$\begin{cases} P(|\Delta\rho| \leq Z_{95}) = 95\% & \dots\dots\dots (12) \\ P(|\Delta\rho| \leq Z_{99.9}) = 99.9\% \end{cases}$$

式中：

Z_{95} ——95%分位数，单位为米（m）；

$Z_{99.9}$ ——99.9%分位数，单位为米（m）。

7.1.2 双频服务模式下差分空间信号精度评估

双频服务模式下差分空间信号精度评估按照以下步骤进行：

- a) 在位置已知的测站上，持续进行 GNSS 观测，持续接收 GNSS 导航电文和 BDSBAS-B2a 增强电文；
- b) 利用载波相位观测量平滑伪距无电离层组合观测量（BDS 为 B1C_pilot 和 B2a_pilot 组合；GPS 为 L1 C/A 和 L5-Q 组合；Galileo 为 E1-C 和 E5a-Q 组合；Glonass 为 L1OCd 和 L3OCd 组合），方法见附录 A；
- c) 利用 GNSS 导航电文计算 GNSS 卫星位置和钟差；
- d) 提取增强改正数信息：从增强电文类型 31 中提取 PRN 掩码信息，从电文类型 32 中提取卫星轨道改正数和钟差改正数信息；
- e) 利用伪距无电离层组合观测值计算增强改正后的测距残差，计算方法见公式（13）；

$$\Delta\rho_i = P_{\text{meas},i} - \rho_{\text{corrected},i} \dots\dots\dots (13)$$

式中：

$\Delta\rho_i$ ——伪距无电离层组合残差，单位为米（m）；

$P_{\text{meas},i}$ ——被增强卫星 i 的伪距无电离层组合相位平滑值，单位为米（m）；

$\rho_{corrected,i}$ ——被增强卫星 i 考虑各项误差改正后的观测量计算值，定义见公式（14），单位为米（m）。

$$\begin{cases} \rho_{corrected} = \rho + c \cdot \Delta t_r - c \cdot \Delta t_{sv,i} \\ -\delta B - \delta \dot{B}(t - t_D) - TC_i + \Delta d_{rel} + \Delta d_{scal} \\ \rho = \sqrt{(x_{i,corrected} - x_r)^2 + (y_{i,corrected} - y_r)^2 + (z_{i,corrected} - z_r)^2} \end{cases} \dots\dots\dots (14)$$

式中：

ρ ——被增强卫星天线相位中心与接收机天线相位中心之间的空间几何距离（计算见公式（10）、公式（11），公式（11）中 $t_{i,LT}$ 需替换为 t_D ，在计算卫星天线相位中心位置时，BDS采用B2a信号的导航电文；GPS采用L1 C/A信号的导航电文；Galileo采用E5a-I信号的导航电文；GLONASS采用L1 OC信号的导航电文），单位为米（m）；

$\Delta t_{SV,i}$ ——被增强卫星无电离层组合钟差（需考虑卫星群延迟，BDS计算方法见BDS-SIS-ICD-B2a 7.8.3，GPS见IS-GPS-200L 20.3.3.3.2，GLONASS见GLONASS CDMA ICD附录D，Galileo 见OS-SIS-ICD 5.1.4），单位为秒（s）；

δB ——钟差修正项，单位为米（m）；

$\delta \dot{B}$ ——钟速修正项，单位为米每秒（m/s）；

t_D ——修正量参考时刻（天内秒）。

7.1.3 评估要求

差分空间信号精度的评估应满足以下要求：

- a) 在 BDCS 坐标系下（与 WGS-84 之间的误差不超过 3cm），已知坐标精度优于 0.1m；
- b) 评估时段应大于等于 1 个星座回归周期；
- c) 采样间隔为 1s。

7.2 UDRE/DFRE 包络性能评估

7.2.1 UDRE 包络性能评估

UDRE包络性能评估按照以下步骤进行：

- a) 在位置已知的测站上，持续进行 GPS 观测，持续接收 GPS 导航电文和 BDSBAS-B1C 增强电文；
- b) 利用载波相位观测量平滑 L1 C/A 和 L2 的伪距无电离层组合观测量，方法见附录 A；
- c) 利用 GPS 导航电文计算 GPS 卫星轨道位置和钟差；
- d) 提取增强电文信息：从增强电文类型 1 中提取 PRN 掩码信息，从电文类型 2~5 中提取快变改正数信息和 UDREI 信息；从电文类型 25 中提取慢变改正数信息；
- e) 采用载波相位平滑伪距按公式（9）计算瞬时伪距残差 $\Delta\rho$ ；
- f) 根据 UDREI 数值，按照 RTCA/DO-229D-2013 表 A-6 中 UDREI 与精度的映射关系表获取 σ_{UDRE}^2 值，按照公式（15），消除多路径效应、测距噪声、对流层改正模型误差的影响，获取新的伪距残差包络门限；

$$U_{\text{new}} = 3.29 \times \sqrt{\sigma_{\text{UDRE}}^2 + \sigma_{i,\text{MP}}^2 + \sigma_{i,\text{noise}}^2 + \sigma_{i,\text{divg}}^2 + \sigma_{i,\text{trop}}^2} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中：

- U_{new} ——新的伪距残差包络门限，单位为米（m）；
 - σ_{UDRE}^2 ——快变改正数和慢变改正数组合方差，单位为平方米（m²）；
 - $\sigma_{i,\text{MP}}^2$ ——多路径效应方差，计算见公式（C.2），单位为平方米（m²）；
 - $\sigma_{i,\text{noise}}^2$ ——观测量噪声方差，单位为平方米（m²）；
 - $\sigma_{i,\text{divg}}^2$ ——载波相位平滑伪距发散引起的方差，单位为平方米（m²）；
 - $\sigma_{i,\text{trop}}^2$ ——改正对流层模型后残余误差方差，计算见公式（C.3），单位为平方米（m²）。
- $\sigma_{i,\text{noise}}^2$ 及 $\sigma_{i,\text{divg}}^2$ 按照DO-229D附录J.2.4 以两者之和的形式给出。

- g) 按公式（16）统计评估时段内 UDRE 包络伪距残差的百分比；
- h) 将 P_{bounding} 与 99.9% 比较，若 $P_{\text{bounding}} \geq 99.9\%$ ，则 UDRE 包络性能评估满足需求；
- i) 遍历所有接收机所有卫星，重复步骤 a) ~h)，完成 UDRE 包络性能评估。

$$P_{\text{bounding}} = \frac{\sum_{t=t_{\text{start}}, t=t+T}^{t_{\text{end}}} \{\text{Bool}(t)\}}{1 + (t_{\text{end}} - t_{\text{start}}) / T} \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中：

- P_{bounding} ——UDRE包络伪距残差的百分比；
- t_{start} ——数据起始（周内秒）；
- t_{end} ——数据结束时刻（周内秒）；
- T ——数据采样间隔，单位为秒（s）；
- $\text{Bool}(t)$ ——布尔函数，在测试时刻 t ，伪距残差小于 U_{new} 取值 1，否则取值 0。

7.2.2 DFRE 包络性能评估

DFRE包络性能评估按照以下步骤进行：

- a) 在位置已知的测站上，持续进行 GNSS 观测，持续接收 GNSS 导航电文和 BDSBAS-B2a 增强电文；
- b) 利用载波相位观测量平滑伪距无电离层组合观测量（BDS 为 B1C_pilot 和 B2a_pilot 组合；GPS 为 L1 C/A 和 L5-Q 组合；Galileo 为 E1-C 和 E5a-Q 组合；Glonass 为 L1OCd 和 L3OCd 组合），方法见附录 A；
- c) 利用 GNSS 导航电文计算 GNSS 卫星轨道和钟差；
- d) 提取增强电文信息：从增强电文类型 31 中提取 PRN 掩码信息，从电文类型 32 中提取卫星轨道改正数和钟差改正数信息，从电文类型 34、35、36 中提取 DFREI 信息，从信息类型 37 中提取 DFREI 与精度的映射关系表；
- e) 采用载波相位平滑伪距按公式（13）计算瞬时伪距残差 $\Delta\rho$ ；

- f) 根据 DFREI 与精度的映射关系表获取 σ_{DFC}^2 值, 按照公式 (17), 消除多路径效应、测距噪声、对流层改正模型误差的影响, 获取新的伪距残差包络门限。

$$D_{new} = 3.29 \times \sqrt{\sigma_{DFC}^2 + \sigma_{i,MP}^2 + \sigma_{i,noise}^2 + \sigma_{i,trop}^2} \dots\dots\dots (17)$$

式中:

- D_{new} ——新的伪距残差包络门限, 单位为米 (m);
- $\sigma_{i,DFC}^2$ ——卫星钟差和轨道改正后的组合方差, 单位为平方米 (m²);
- $\sigma_{i,MP}^2$ ——多路径效应方差, 计算见公式 (C.5), 单位为平方米 (m²);
- $\sigma_{i,noise}^2$ ——双频无电离层组合观测噪声方差, 经验值见表C.1, 单位为平方米 (m²);
- $\sigma_{i,trop}^2$ ——改正对流层模型后残余误差方差, 计算见公式 (C.3), 单位为平方米 (m²)。

- g) 按公式 (18), 统计评估时段内 DFRE 包络伪距残差的百分比;
- h) 将 $P_{bounding}$ 与 99.9%比较, 若 $P_{bounding} \geq 99.9\%$, 则 DFRE 包络性能评估满足需求;
- i) 遍历所有接收机所有卫星, 重复步骤 a) ~h), 完成 DFRE 包络性能评估。

$$P_{bounding} = \frac{\sum_{t=t_{start}}^{t_{end}} \{Bool(t)\}}{1 + (t_{end} - t_{start}) / T} \dots\dots\dots (18)$$

式中:

- $P_{bounding}$ ——DFRE包络伪距残差的百分比;
- $Bool(t)$ ——布尔函数, 在测试时刻 t , 伪距残差小于 D_{new} 取值1, 否则取值0。

7.2.3 评估要求

UDRE/DFRE 的包络性能评估应满足以下要求:

- a) 在 BDCS 坐标系下 (与 WGS-84 之间的误差不超过 3cm), 已知坐标精度优于 0.1m;
- b) 评估时段应大于等于 1 个星座回归周期;
- c) 采样间隔为 1s。

7.3 格网电离层改正精度评估

7.3.1 基本方法

格网电离层改正精度评估按照以下步骤进行:

- a) 在位置已知的测站上, 持续进行 GPS 观测, 持续接收 GPS 导航电文和 BDSBAS-B1C 增强电文;
- b) 利用 GPS 导航电文计算 GPS 卫星位置;
- c) 提取增强电文信息: 从增强电文类型 18 中提取电离层格网点掩码, 从电文类型 26 中提取电离层延迟修正信息;

- d) 利用 GPS L1 C/A 和 L2 的平滑后的伪距计算穿刺点处 L1 频点电离层延迟改正, 计算方法见公式 (19);

$$d_{\text{ion}} = \frac{(P_1 - P_2) - (1 - \gamma) \times (T_{\text{SGD}} + T_{\text{RGD}})}{(1 - \gamma)} \dots\dots\dots (19)$$

式中:

- d_{ion} ——倾斜路径上电离层延迟, 单位为米 (m);
 P_1 ——L1 C/A 伪距观测值, 单位为米 (m);
 P_2 ——L2 伪距观测值, 单位为米 (m);
 γ ——比例系数, 其值由 L1 中心频率 f_1 和 L2 中心频率 f_2 计算, 定义见公式 (20);

$$\gamma = (f_1 / f_2)^2 = (77 / 60)^2 \dots\dots\dots (20)$$

T_{SGD} ——GPS 卫星群延迟, 单位为米 (m);

T_{RGD} ——接收机群延迟, 单位为米 (m);

- e) 计算穿刺点电离层延迟残差, 计算方法见公式 (21);

$$\Delta d_{\text{ion}} = d_{\text{ion}} - F_{\text{pp}} \times \tau_{\text{vpp}} \dots\dots\dots (21)$$

式中:

F_{pp} ——倾斜因子, 计算见 RTCA/DO-229D-2013 附录 A.4.4.10.4;

τ_{vpp} ——穿刺点处内插的垂直延迟, 计算见 RTCA/DO-229D-2013 附录 A.4.4.10.3。

- f) 将步骤 e) 中的残差分别进行 95% 和 99.9% 分位数统计, 统计方法见公式 (22)

$$\begin{cases} P(|\Delta d_{\text{ion}}| \leq Z_{95}) = 95\% \\ P(|\Delta d_{\text{ion}}| \leq Z_{99.9}) = 99.9\% \end{cases} \dots\dots\dots (22)$$

式中:

Z_{95} ——95% 分位数, 单位为米 (m);

$Z_{99.9}$ ——99.9% 分位数, 单位为米 (m)。

7.3.2 评估要求

格网电离层改正精度的评估应满足以下要求:

- 在双频伪距组合获得的穿刺点垂直电离层延迟时, 需要已知接收机硬件延迟;
- 在 BDCS 坐标系下 (与 WGS-84 之间的误差不超过 3cm), 已知坐标精度优于 10 m;
- 评估时段应覆盖电离层不同活跃期, 大于等于 24h;
- 采样间隔为 1s。

7.4 GIVE 包络性能评估

7.4.1 基本方法

GIVE 包络性能评估按照以下步骤进行:

- 按照 7.3.1 a) ~e) 计算穿刺点电离层延迟残差;

- b) 从增强电文类型 26 中获取 GIVEI 信息，按照 RTCA/DO-229D-2013 表 A-17 中 GIVEI 与精度的映射关系表获取 σ_{GIVE}^2 ；
- c) 根据 σ_{GIVE}^2 内插计算穿刺点垂直延迟值对应的模型误差方差 σ_{UIVE}^2 ，计算见 RTCA/DO-229D-2013 附录 A.4.4.10.3；
- d) 根据 σ_{UIVE}^2 计算电离层穿刺点倾斜改正对应的误差方差 σ_{UIRE}^2 ，计算见公式 (23)

$$\sigma_{\text{UIRE}}^2 = F_{\text{pp}}^2 \times \sigma_{\text{UIVE}}^2 \dots\dots\dots (23)$$

- e) 按照公式 (24) 计算包络门限 D_{new} ；

$$D_{\text{new}} = 3.29 \times \sigma_{\text{UIRE}} \dots\dots\dots (24)$$

- f) 按公式 (25)，统计评估时段内 UIRE 包络穿刺点电离层延迟残差的百分比；

$$P_{\text{bounding}} = \frac{\sum_{t=t_{\text{start}}}^{t_{\text{end}}} \{\text{Bool}(t)\}}{1 + (t_{\text{end}} - t_{\text{start}}) / T} \dots\dots\dots (25)$$

式中：

- P_{bounding} ——UIRE包络电离层残差的百分比；
 - t_{start} ——数据起始时刻（周内秒）；
 - t_{end} ——数据结束时刻（周内秒）；
 - T ——数据采样间隔，单位为秒（s）；
 - $\text{Bool}(t)$ ——布尔函数，在测试时刻 t ，电离层残差小于 D_{new} 取值 1，否则取值 0。
- g) 将 P_{bounding} 与 99.9% 比较，若 $P_{\text{bounding}} \geq 99.9\%$ ，则 GIVE 包络性能评估满足需求；
 - h) 遍历所有接收机所有卫星，重复步骤 a) ~g)，完成 GIVE 包络性能评估。

7.4.2 评估要求

GIVE 包络性能评估应满足以下要求：

- a) 在双频伪距组合获得的穿刺点垂直电离层延迟时，需要已知接收机硬件延迟；
- b) 在 BDCS 坐标系下（与 WGS-84 之间的误差不超过 3cm），已知坐标精度优于 10 m；
- c) 评估时段应覆盖电离层不同活跃期，大于等于 24h；
- d) 采样间隔为 1s。

8 系统服务性能评估

8.1 定位精度评估

8.1.1 基本方法

定位精度采用以下步骤进行评估：

- a) 在位置已知的测站上，持续进行 GNSS 观测，持续接收被增强卫星导航电文和 BDSBAS 增强电；

- b) 利用载波相位观测量平滑伪距观测量，方法见附录 A；
- c) 若评估单频服务定位精度，按照公式 (26) 计算单频观测残差（接收机钟差不用扣除，在定位解算中作为未知数解算）：

$$\Delta L = P_{\text{CSC},i} + c \cdot \Delta t_{\text{sv},i} + \delta \alpha_{i,f0} + \delta \alpha_{i,f1}(t - t_{i,\text{LT}}) + FC_i + RRC_i(t - t_{i,\text{of}}) + TC_i + IC_i - \Delta d_{\text{rel}} - \Delta d_{\text{scal}} - \rho \dots \dots \dots (26)$$

式中：

ΔL ——L1 C/A相位平滑伪距残差，单位为米（m）；

$P_{\text{CSC},i}$ ——被增强卫星 i L1 C/A伪距载波相位平滑伪距值（方法见公式 (A.1)），单位为米（m）；

IC_i ——电离层延迟改正值（方法见ICAO Anx.10 Vol.I-2018附录B3.5.5.5.2），单位为米（m）；

- d) 若评估双频服务定位精度，按照公式 (27) 计算双频观测残差（接收机钟差不用扣除，在定位解算中作为未知数解算）：

$$\Delta L = P_{\text{CSC},i} + c \cdot \Delta t_{\text{sv},i} + \delta B + \delta \dot{B}(t - t_D) + TC_i - \Delta d_{\text{rel}} - \Delta d_{\text{scal}} - \rho \dots \dots \dots (27)$$

式中：

ΔL ——双频伪距无电离层组合残差（BDS为B1C_pilot和B2a_pilot组合；GPS为L1 C/A和L5-Q组合；Galileo为E1-C和E5a-Q组合；Glonass为L1OCd和L3OCd组合），单位为米（m）；

$P_{\text{CSC},i}$ ——双频伪距无电离层组合载波相位平滑伪距，单位为米（m）；

- e) 采用附录 B 中的加权最小二乘估计方法逐历元估计东、北、天三方向误差 $[\Delta E \quad \Delta N \quad \Delta U]$ ，得到水平定位误差（HPE）和垂直定位误差（VPE）见公式 (28)：

$$\begin{cases} HPE = \sqrt{\Delta E^2 + \Delta N^2} \\ VPE = \Delta U \end{cases} \dots \dots \dots (28)$$

- f) 单频服务和双频服务分别按照公式 (C.1) 和公式 (C.4) 计算观测量误差统计；
- g) 将观测量误差统计带入附录 D，逐历元计算水平保护级（HPL）和垂直保护级（VPL）；
- h) 对 HPL 小于 HAL 时刻的 HPE 和 VPL 小于 VAL 时刻的 VPE 进行长期统计，统计其分布的 95% 的分位数分别作为水平定位精度（HPA）和垂直定位精度（VPA），见公式 (29)：

$$\begin{cases} P(|HPE| \leq HPA) = 95\% \\ P(|VPE| \leq VPA) = 95\% \end{cases} \dots \dots \dots (29)$$

- i) 为了全方位评估定位精度，可增加最大误差统计及其他相关统计量，具体定义参见附录 E；
- j) 将步骤 h) 中的统计结果与 BDSBAS 用于导航的水平和定位精度性能需求进行比较，评估定位精度性能是否满足性能需求，BDSBAS 用于导航的性能需求参见附录 F 表 F.1。

精密进近和非精密进近两种模式具有不同的误差修正方法。精密进近模式下要求：使用所有增强改正；只使用有所有改正的卫星观测数据；不使用来自多颗 SBAS 卫星的混合改正；不使用 UDRE/DFRE 超过 15 米的 GEO 和增强星座卫星。非精密进近模式下要求：混合使用改正和未改正卫星观测量；混合使用不同 SBAS 卫星的改正信息；单频使用电离层格网或 Klobuchar 模型改正电离层延迟；使用 UDRE/DFRE 超过 15 米的 SBAS 和被增强卫星。

8.1.2 评估要求

定位精度的评估应满足以下要求：

- a) 区分非精密进近和精密进近，采用不同的误差修正方法，分类评估定位精度；
- b) 参与统计的历元 HPL 须小于 ICAO 定义的不同飞行阶段的 HAL；VPL 须小于 ICAO 定义的不同飞行阶段的 VAL；
- c) 在 BDCS 坐标系下（与 WGS-84 之间的误差不超过 3cm），已知坐标精度优于 0.1m；
- d) 评估时段应大于等于 1 个星座回归周期；
- e) 采样间隔为 1s。

8.2 完好性评估

8.2.1 完好性风险概率评估

8.2.1.1 基本方法

完好性风险概率采用以下步骤进行评估：

- a) 按照 8.1.1 定位精度评估的基本方法，在已知坐标的测站上，进行星基增强定位误差解算，获得水平定位误差 HPE 和垂直定位误差 VPE；
- b) 按照附录 D 的方法，计算水平保护级（HPL）和垂直保护级（VPL）；
- c) 基于定位误差、保护级和告警限值的关系判断是否出现 HMI 事件，HMI 事件次数按照公式（30）计算；

$$n_{\text{HMI}} = \sum_{i=1}^N \{\text{Bool}(i)\} \dots\dots\dots (30)$$

式中：

- n_{HMI} ——HMI 事件次数；
- i ——第 i 次采样；
- N ——测试总采样数；
- $\text{Bool}(i)$ ——布尔函数，表示第 i 次采样，是否出现 HMI 事件，当满足 $HPL < HAL < HPE$ 或 $VPL < VAL < VPE$ ，且持续时间超过告警时间时取值 1，否则取值 0。

- d) 计算完好性风险概率 P_{IR} ，见公式（31）；

$$P_{\text{IR}} = \frac{n_{\text{HMI}}}{N} \dots\dots\dots (31)$$

- e) 统计保护级未包络定位误差的次数，水平保护级未包络水平定位误差的次数参考公式（30），其中 $\text{Bool}(i)$ 满足 $HPL < HPE$ 时取值 1，否则取值 0；垂直保护级未包络水平定位误差的次数参考公式（30），其中 $\text{Bool}(i)$ 满足 $VPL < VPE$ 时取值 1，否则取值 0；
- f) 统计水平安全指数和垂直安全指数，水平安全指数统计在测试时段内水平误差 HPE 最大时刻， HPL 和 HPE 的比值；垂直安全指数统计在测试时段内垂直误差 HPE 最大时刻， VPL 和 VPE 的比值。
- g) 将步骤 d) 中的统计结果与 BDSBAS 用于导航的完好性风险概率性能需求进行比较，评估完好性风险概率是否满足性能需求，BDSBAS 用于导航的性能需求参见表 F.1。

8.2.1.2 评估要求

完好性风险概率评估应满足以下要求：

- a) 区分非精密进近和精密进近，采用不同误差修正方法、不同保护级计算模型、不同告警限值分类评估完好性风险；
- b) 不同飞行阶段完好性告警时间指标不同；
- c) 在 BDCS 坐标系下（与 WGS-84 之间的误差不超过 3cm），已知坐标精度优于 0.1m；
- d) 评估时段应大于等于 90 天；
- e) 采样间隔 1s。

8.2.2 完好性告警时间评估

8.2.2.1 基本方法

完好性告警时间采用以下步骤进行评估：

- A) 多个地面参考接收机同时接收被增强卫星的观测数据、导航电文以及 BDSBAS 卫星的增强电文，记录观测时刻；
- b) 地面参考站通过数据传输链路将观测数据和导航电文等及时发送至 BDSBAS 地面处理中心；
- c) 地面处理中心对同一观测时刻的数据进行预处理，记录异常数据或异常电文的观测时刻 T_0 ；
- d) BDSBAS 地面处理中心根据地面完好性算法生成完好性信息，并通过上行注入链路注入至 BDSBAS 卫星；
- e) 地面参考站接收机接收并解析星基增强电文，记录完好性电文类型 x （单频服务 $x=2-6、24$ ，双频服务 $x=34、35、36$ ）的解析后电文和解析完成时刻；
- f) 当完好性信息电文类型 x 连续播发 4 次，记录首次解析完成完好性电文类型 x 的时刻为 T_1 ；
- g) 按照公式（32）计算完好性告警时间；

$$TTA = T_1 - T_0 \dots\dots\dots (32)$$

式中：

- TTA ——告警时间，单位为秒（s）；
- T_1 ——接收机识别告警时刻（周内秒）；
- T_0 ——卫星故障时刻（周内秒）。

- h) 将步骤 g) 中的统计结果与 BDSBAS 用于导航的告警时间性能需求进行比较，评估告警时间是否满足性能需求，BDSBAS 用于导航的性能需求参见表 F.1。

8.2.2.2 评估要求

告警时间评估应满足以下要求：

- a) 接收机能正确接收、解析、存储和输出星基增强电文信息；
- b) 星基增强电文生成系统端和测试接收机时间同步误差不大于 1ms；
- c) 采样间隔不大于 1s。

8.3 连续性评估

8.3.1 基本方法

连续性采用以下步骤进行评估：

- a) 在已知坐标点上，持续进行 BDSBAS 增强电文接收；
- b) 按照附录 D 的方法，计算水平保护级（HPL）和垂直保护级（VPL）；
- c) 采用滑动窗口方法统计连续性事件次数：示意图见图 1，对于某个特定历元，如果系统在开始时可用，而且在接下来的滑动窗口长度 T_{op} 中至少有 1 秒系统变为不可用（例如信号丢失超过 4 秒或保护级超过告警门限），则为出现一次连续性事件。对于某个特定历元，如果系统在开始时刻不可用，即使在接下来的 T_{op} 中至少有 1 秒系统变为不可用，则认为未出现连续性事件；

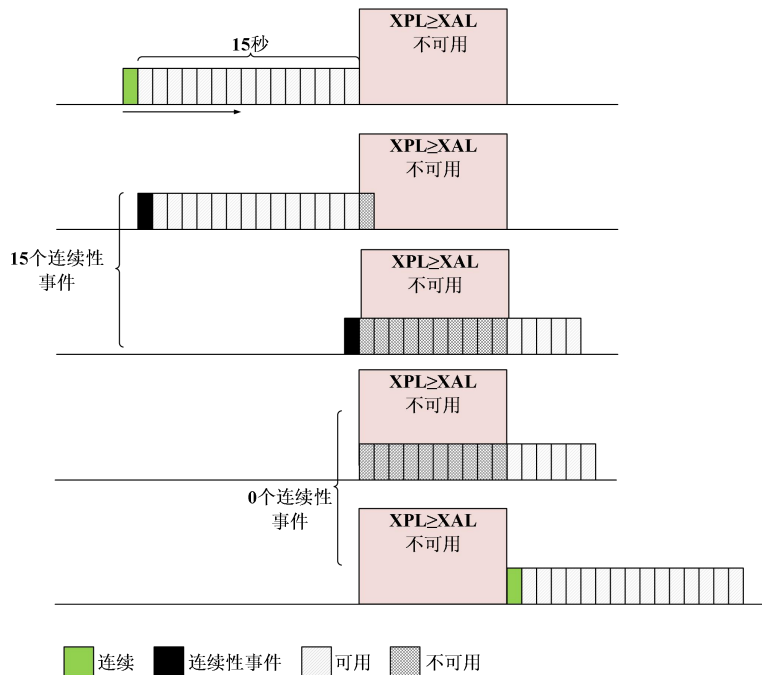


图 1 连续性事件次数统计示意图（设 T_{op} 为 15s）

- d) 最终统计一段时间内的连续性事件数量与可用样本总数之间的比值，作为连续性事件发生概率，见公式（33）；

$$P_{CR} = \frac{n_{Con}}{\sum_{t=t_{start}}^{t_{end}-T_{op}} \{Bool(t)\}} \dots\dots\dots (33)$$

式中：

- P_{CR} —— BDSBAS 连续性事件发生概率；
- n_{Con} —— BDSBAS 连续性事件发生次数；
- t_{start} —— 数据起始时刻（周内秒）；
- t_{end} —— 数据结束时刻（周内秒）；
- T —— 数据采样间隔，单位为秒（s）；
- T_{op} —— 滑动窗口的长度，单位为秒（s）；

Bool(*t*) ——布尔函数，取值见公式 (34)。

$$\begin{cases} \text{Bool}(t) = 1 & XPL < XAL \\ \text{Bool}(t) = 0 & XPL \geq XAL \end{cases} \dots\dots\dots (34)$$

式中：

XPL ——保护级，包括水平保护级 HPL 和垂直保护级 VPL；

XAL ——告警限值，包括水平告警限值 HAL 和垂直保护级 VAL。

e) 计算连续性统计量 P_{Con} ，见公式 (35)；

$$P_{\text{Con}} = 1 - P_{\text{CR}} \dots\dots\dots (35)$$

f) 将步骤 e) 中的统计结果 P_{Con} 与 BDSBAS 用于导航的连续性性能需求进行比较，评估连续性是否满足性能需求，BDSBAS 用于导航的性能需求参见表 F.1。

8.3.2 评估要求

连续性评估应满足以下要求：

- 区分非精密进近和精密进近，采用不同的误差修正方法、不同保护级计算模型分级评估连续性指标；
- 精密进近采用 15s 滑动窗口，非精密进近采用 1h 滑动窗口；
- 在 BDCS 坐标系下（与 WGS-84 之间的误差不超过 3cm），已知坐标精度优于 0.1m；
- 评估时段应大于等于 30 天；
- 采样间隔不大于 1s。

8.4 可用性评估

8.4.1 基本方法

可用性采用以下步骤进行评估：

- 在已知坐标的测站上，持续进行 GNSS 观测和 BDSBAS 增强电文接收；
- 按照 8.1.1 定位精度评估的基本方法，进行星基增强定位误差解算，获得水平定位误差 HPE 和垂直定位误差 VPE；
- 按照附录 D 的方法，计算水平保护级（HPL）和垂直保护级（VPL）；
- 基于定位误差、保护级和告警限值的关系判断服务是否可用，统计不可用次数，并计算可用性概率，见公式 (36)；

$$P_{\text{Ava}} = \frac{\sum_{t=t_{\text{start}}, t=t+T}^{t_{\text{end}}} \{\text{Bool}(t)\}}{1 + (t_{\text{end}} - t_{\text{start}}) / T} \dots\dots\dots (36)$$

式中：

P_{Ava} ——可用性；

t_{start} ——数据起始时刻（周内秒）；

t_{end} ——数据结束时刻（周内秒）；

T ——数据采样间隔，单位为秒（s）；

Bool(*t*) ——布尔函数，在测试时刻 *t*，定位误差满足要求取值 1，否则取值 0，定位误差满足要求的条件见公式 (37)。

$$\begin{cases} \text{Bool}(t) = 1 & XPL < XAL \quad \text{且} \quad XPE < XAL \\ \text{Bool}(t) = 0 & XPL \geq XAL \quad \text{或} \quad XPE \geq XAL \end{cases} \dots\dots\dots (37)$$

- e) 将步骤 d) 中的统计结果 P_{Ava} 与 BDSBAS 用于导航的可用性性能需求进行比较，评估可用性是否满足性能需求，BDSBAS 用于导航的性能需求参见表 F.1。

8.4.2 评估要求

可用性评估应满足以下要求：

- a) 区分非精密进近和精密进近，采用不同告警限值、不同保护级计算模型分类评估可用性指标；
- b) 当保护级超过告警限值，服务不可用，直到 HPL 和 VPL 分别小于 HAL 和 VAL 且持续至少 15 分钟；
- c) 在 BDCS 坐标系下（与 WGS-84 之间的误差不超过 3cm），已知坐标精度优于 0.1m；
- d) 评估时段应大于等于 90 天；
- e) 采样间隔不大于 1s。

8.5 覆盖性评估

8.5.1 基本方法

覆盖性采用以下步骤进行评估：

- a) 利用 GNSS 导航电文计算 GNSS 卫星位置和钟差；
- b) 提取单颗 BDSBAS 卫星的增强电文信息；
- c) 在 BDSBAS 服务区域内，以一定的空间和时间分辨率，分别计算单频服务和双频服务模式下的 HPL 和 VPL；
- d) 分别统计单频服务和双频服务模式下评估时段内 HPL 小于 HAL 且 VPL 小于 VAL 的时间百分比。
- e) 将步骤 d) 获得的时间百分比在服务区二维地图内分别绘制生成单频和双频服务等值线覆盖图（95%、98%、99%、99.9%、100%）。
- f) 重复 a) ~e)，完成所有 BDSBAS 卫星的覆盖性测试。

8.5.2 评估要求

覆盖性评估应满足以下要求：

- a) 区分非精密进近和精密进近，采用不同告警限值、不同保护水平计算模型分类进行覆盖性评估；
- b) 精密进近模式下，网格分辨率不大于 1°×1°，采样间隔不大于 1s；
- c) 非精密进近模式下，网格分辨率不大于 5°×5°，采样间隔不大于 30s；
- d) 评估时段应大于等于 1 个星座回归周期；
- e) 评估应在 UDRE/DFRE 和 GIVE 包容性通过测试才能进行。

附录 A

(规范性)

载波相位平滑伪距方法

单频和双频相位平滑伪距定义见公式 (A.1) :

$$\begin{cases}
 P_{\text{CSC},k} = \alpha P_{\text{meas}} + (1 - \alpha) P_{\text{proj}} \\
 P_{\text{proj}} = (P_{\text{CSC},k-1} + \Delta\text{carrier_range}) \\
 P_{\text{meas}} = \begin{cases} P_{1,k} & \text{单频} \\ \frac{\gamma_{12}(P_{1,k}) - (P_{2,k})}{(\gamma_{12} - 1)} & \text{无电离层组合} \end{cases} \\
 \Delta\text{carrier_range} = \begin{cases} \varphi_{1,k} - \varphi_{1,k-1} & \text{单频} \\ \frac{\gamma_{12}(\varphi_{1,k} - \varphi_{1,k-1}) - (\varphi_{2,k} - \varphi_{2,k-1})}{(\gamma_{12} - 1)} & \text{无电离层组合} \end{cases}
 \end{cases} \dots\dots\dots (\text{A.1})$$

式中:

- $P_{\text{CSC},k}$ —— 历元 k 载波相位平滑伪距, 单位为米 (m);
- α —— 滤波权函数, 定义见公式 (A.2), 单位为米 (m);

$$\alpha = \frac{\text{interval}}{dt} \dots\dots\dots (\text{A.2})$$

- interval —— 采样间隔, 单位为秒 (s);
- dt —— 平滑时间常数(当平滑时间小于 100s 时取为平滑时间, 当平滑时间大于 100s 时取为 100s), 单位为秒 (s)。
- P_{meas} —— 伪距观测值, 单位为米 (m);
- P_{proj} —— 历元 $k - 1$ 载波相位平滑伪距及前后历元相位差距离外推的测距值, 单位为米 (m);
- $P_{\text{CSC},k-1}$ —— 历元 $k - 1$ 载波相位平滑伪距, 单位为米 (m);
- $\Delta\text{carrier_range}$ —— 载波相位前后历元变化值, 单位为米 (m);
- $P_{n,k}$ —— 频点 n 在历元 k 的原始伪距观测值, 单位为米 (m);
- γ_{12} —— f_1^2 / f_2^2 , 无量纲;
- $\varphi_{n,k}$ —— 历元 k 载波相位观测值, 单位为米 (m);
- $\varphi_{n,k-1}$ —— 历元 $k - 1$ 载波相位观测值, 单位为米 (m)。

附录 B

(规范性)

ENU 坐标系下导航解算方法

GNSS 观测方程可线性化见公式 (B.1) :

$$\begin{cases} \mathbf{y} = \mathbf{G} \times \mathbf{x} + \boldsymbol{\varepsilon} \\ \mathbf{G}_i = [-\cos El_i \sin Az_i \quad -\cos El_i \cos Az_i \quad -\sin El_i \quad 1] \end{cases} \dots\dots\dots (\text{B.1})$$

式中:

- \mathbf{y} ——N (观测个数) 维载波相位平滑伪距残差向量 (单个分量定义见 8.1.1 中 ΔL 的计算), 单位为米 (m);
- \mathbf{G} ——观测矩阵, 包含 N 行投影向量;
- \mathbf{x} ——4 维位置向量 (东、北、天方向误差及卫星钟差), 单位为米 (m);
- $\boldsymbol{\varepsilon}$ —— \mathbf{y} 的残余误差, 单位为米 (m);
- \mathbf{G}_i ——第 i 颗卫星的观测矩阵向量;
- El_i ——接收机观测 GNSS 卫星的高度角, 单位为弧度 (rad);
- Az_i ——接收机观测 GNSS 卫星的方位角, 单位为弧度 (rad)。

经过迭代, 加权最小二乘解见公式 (B.2) :

$$\begin{cases} \hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{G}^T \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{G})^{-1} \cdot \mathbf{G}^T \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{y} \equiv \mathbf{S} \cdot \mathbf{y} \\ \mathbf{S} = (\mathbf{G}^T \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{G})^{-1} \cdot \mathbf{G}^T \cdot \mathbf{W} \end{cases} \dots\dots\dots (\text{B.2})$$

\mathbf{W} ——权矩阵, 在基本导航解算方法中假定不同卫星的观测误差源相互独立, 权矩阵为对角矩阵。定义见公式 (B.3):

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & w_2 & \dots & 0 \\ \dots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & w_N \end{bmatrix}, w_i = 1/\sigma_i^2 \dots\dots\dots (\text{B.3})$$

σ_i^2 ——附录 C 中定义的观测量误差总的方差, 单位为平方米 (m²)。

为了便于分析单个观测量对未知参数的贡献, \mathbf{S} 还可写为公式 (B.4) 形式:

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} S_{\text{east},1} & S_{\text{east},2} & \dots & S_{\text{east},N} \\ S_{\text{north},1} & S_{\text{north},2} & \dots & S_{\text{north},N} \\ S_{\text{U},1} & S_{\text{U},2} & \ddots & S_{\text{U},N} \\ S_{\text{t},1} & S_{\text{t},2} & \dots & S_{\text{t},N} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (\text{B.4})$$

附 录 C
(规范性)
观测误差统计模型

C.1 单频服务模式下的观测量的方差

单频服务模式下的观测量的方差见公式 (C.1)：

$$\sigma_i^2 = \sigma_{i,\text{flt}}^2 + \sigma_{i,\text{UIRE}}^2 + \sigma_{i,\text{MP}}^2 + \sigma_{i,\text{noise}}^2 + \sigma_{i,\text{divg}}^2 + \sigma_{i,\text{trop}}^2 \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

- σ_i^2 ——第*i*颗卫星观测量的方差，单位为平方米 (m²)；
- $\sigma_{i,\text{flt}}^2$ ——第*i*颗卫星快变改正数和慢变改正数的组合中误差，计算见ICAO Anx.10 Vol.I-2018附录B 3.5.5.6.2，单位为平方米 (m²)；
- $\sigma_{i,\text{UIRE}}^2$ ——改正格网电离层延迟后残余电离层误差方差，计算见ICAO Anx.10 Vol.I-2018附录B 3.5.5.6.3，单位为平方米 (m²)；
- $\sigma_{i,\text{MP}}^2$ ——多路径效应方差，计算见公式 (C.2)，单位为平方米 (m²)；

$$\sigma_{i,\text{MP}} = 0.13 + 0.53 \exp(-El_{\text{deg}}[i]/10^\circ) \dots\dots\dots (C.2)$$

$El_{\text{deg}}[i]$ ——卫星高度角，单位为度 (°)。

- $\sigma_{i,\text{noise}}^2$ ——观测噪声方差，单位为平方米 (m²)；
- $\sigma_{i,\text{divg}}^2$ ——载波相位平滑伪距发散引起的方差，单位为平方米 (m²)；
- $\sigma_{i,\text{trop}}^2$ ——改正对流层模型后残余误差方差，计算见公式 (C.3)，单位为平方米 (m²)。

$$\sigma_{i,\text{trop}} = 0.12 \times \frac{1.001}{\sqrt{0.002001 + \sin^2(\theta_i)}} \dots\dots\dots (C.3)$$

θ_i ——第*i*颗卫星的高度角 (高度角大于4度)，单位为弧度 (rad)。

$\sigma_{i,\text{noise}}^2$ 及 $\sigma_{i,\text{divg}}^2$ 按照DO-229D附录J.2.4以两者之和的形式给出。

C.2 双频服务模式下的观测量的方差

双频服务模式下的观测量的方差见公式 (C.4)。

$$\sigma_i^2 = \sigma_{i,\text{DFC}}^2 + \sigma_{i,\text{noise}}^2 + \sigma_{i,\text{MP}}^2 + \sigma_{i,\text{trop}}^2 + \sigma_{i,\text{iono}}^2 \dots\dots\dots (C.4)$$

式中：

- σ_i^2 ——第*i*颗卫星观测量的方差，单位为平方米 (m²)；
- $\sigma_{i,\text{DFC}}^2$ ——卫星钟差和轨道改正后的组合方差，计算见 AN 7/62.1.4-21/41-2021 附录 B 中 3.5.12.4.1，单位为平方米 (m²)；
- $\sigma_{i,\text{noise}}^2$ ——双频无电离层组合观测噪声方差，经验值见表 C.1，单位为平方米 (m²)；
- $\sigma_{i,\text{MP}}^2$ ——双频无电离层组合观测多路径方差，计算见公式 (C.5)，单位为平方米 (m²)；

$$\sigma_{i,MP} = 0.34 + 0.4 \exp(-El_{deg}[i]/14^\circ) \dots\dots\dots (C.5)$$

$\sigma_{i,MP}$ ——双频无电离层组合观测多路径误差中误差，单位为米（m）；

$El_{deg}[i]$ ——卫星高度角，单位为度（°）。

$\sigma_{i,trop}^2$ ——改正对流层模型后残余误差方差，计算见公式（C.3），单位为平方米（m²）；

$\sigma_{i,iono}^2$ ——无电离层组合残余电离层误差方差，计算见公式（C.6），单位为平方米（m²）。

$$\sigma_{i,iono} = \frac{40.0}{261.0 + (El_{deg}[i])^2} + 0.018 \dots\dots\dots (C.6)$$

式中：

$\sigma_{i,iono}$ ——无电离层组合残余电离层误差不确定度，单位为米（m）；

$El_{deg}[i]$ ——卫星高度角，单位为度（°）。

表 C.1 被增强星座卫星无电离层组合观测噪声 单位为米

参数	GPS	GLONASS	Galileo	BDS
最小功率	0.4	0.65	0.4	0.4
最大功率	0.3	0.3	0.3	0.3

附 录 D
(规范性)
保护级计算方法

水平和垂直保护级按照公式 (D.1) 计算。

$$\left\{ \begin{array}{l} HPL_{\text{SBAS}} = \begin{cases} K_{\text{H,NPA}} \cdot d_{\text{major}} & \text{从航路阶段到LNAV} \\ K_{\text{H,PA}} \cdot d_{\text{major}} & \text{LNAV/VNAV, LP, LPV进近} \end{cases} \dots\dots\dots (D.1) \\ \\ VPL_{\text{SBAS}} = K_{\text{V}} d_{\text{U}} \end{array} \right.$$

式中:

HPL_{SBAS} ——水平保护级, 单位为米 (m);

$K_{\text{H,NPA}}$ ——NPA 模式下, HPL 计算系数, 取值见公式 (D.2);

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{\text{H,NPA}} = 6.18 & \text{从航路阶段到LNAV} \\ K_{\text{H,PA}} = 6.0 & \text{LNAV/VNAV, LP, LPV} \dots\dots\dots (D.2) \\ K_{\text{V}} = 5.33 \end{array} \right.$$

$K_{\text{H,PA}}$ ——PA 模式下, HPL 计算系数, 取值见公式 (D.3);

d_{major} ——误差椭圆半长轴, 其定义见公式 (D.3), 单位为米 (m);

$$d_{\text{major}} \equiv \sqrt{\frac{d_{\text{east}}^2 + d_{\text{north}}^2}{2} + \sqrt{\left(\frac{d_{\text{east}}^2 - d_{\text{north}}^2}{2}\right)^2 + d_{\text{EN}}^2}} \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

d_{east} ——东方向中误差, 定义见公式 (D.4), 单位为米 (m);

d_{north} ——北方向中误差, 定义见公式 (D.4), 单位为米 (m);

d_{EN}^2 ——东、北方向误差协方差, 定义见公式 (D.4), 单位为平方米 (m²)。

$$\left\{ \begin{array}{l} d_{\text{east}}^2 = \sum_{i=1}^N s_{\text{east},i}^2 \sigma_i^2 \\ d_{\text{north}}^2 = \sum_{i=1}^N s_{\text{north},i}^2 \sigma_i^2 \\ d_{\text{EN}} = \sum_{i=1}^N s_{\text{east},i} s_{\text{north},i} \sigma_i^2 \\ d_{\text{U}}^2 = \sum_{i=1}^N s_{\text{U},i}^2 \sigma_i^2 \end{array} \right. \dots\dots\dots (D.4)$$

式中:

$s_{\text{east},i}$ ——第 i 颗卫星东方向位置误差对伪距误差的偏导数, 定义见附录 B, 单位为米 (m);

$s_{\text{north},i}$ ——第 i 颗卫星北方向位置误差对伪距误差的偏导数, 定义见附录 B, 单位为米 (m);

$s_{\text{U},i}$ ——第 i 颗卫星垂直方向位置误差对伪距误差的偏导数, 定义见附录 B, 单位为米 (m);

BD 310019—2022

σ_i^2 ——观测量误差总的方差，定义见附录 C，单位为平方米 (m^2)。

K_v ——VPL 计算系数，取值见公式 (D.2)；

d_U ——垂直方向中误差，计算见公式 (D.4)，单位为米 (m)。

附 录 E
(资料性)
定位精度附加统计量

星基增强定位精度附加统计量定义如下：

- a) $HPA_{99.9}$: 水平定位精度 (99.9%置信度)；
- b) $VPA_{99.9}$: 垂直定位精度 (99.9%置信度)；
- c) HPE_{MAX} : 在测试时段内, 满足 HPL 小于 HAL 的最大水平定位误差 HPE ；
- d) HPE/HPL : 水平最大误差 HPE_{MAX} 发生时刻, HPE 和 HPL 的比值；
- e) $(HPE/HPL)_{MAX}$: 在测试时段内, 满足 HPL 小于 HAL 条件, HPE 和 HPL 的最大比值；
- f) VPE_{MAX} : 在测试时段内, 满足 VPL 小于 VAL 的最大水平定位误差 VPE ；
- g) VPE/VPL : 垂直最大误差 HPE_{MAX} 发生时刻, VPE 和 VPL 的比值；
- h) $(VPE/VPL)_{MAX}$: 在测试时段内, 满足 VPL 小于 VAL 条件, VPE 和 VPL 的最大比值。

附录 F

(资料性)

BDSBAS 用于导航的性能需求

BDSBAS 用于导航的性能需求与国际民航组织定义一致，见表 F.1。

表 F.1 ICAO 用于导航的性能要求

阶段	水平精度 (95%)	垂直精度 (95%)	完好性				连续性	可用性
			完好性 风险	水平告 警限值	垂直告警限值	告警 时间		
航路	3.7km (2.0 NM)	N/A	$10^{-7}/h$	7.4km (4 NM)	N/A	5min	$1-10^{-4}/h \sim 1-10^{-8}/h$	0.99-0.99999
终端	0.74km (0.4 NM)	N/A	$10^{-7}/h$	1.85k m (1 NM)	N/A	15s	$1-10^{-4}/h \sim 1-10^{-8}/h$	0.99-0.99999
NPA	220m (H) (720 ft)	N/A	$10^{-7}/h$	556m (0.3 NM)	N/A	10s	$1-10^{-4}/h \sim 1-10^{-8}/h$	0.99-0.99999
APV-I	16.0m (52 ft)	20m (66 ft)	$2 \times 10^{-7}/$ 进近	40m (130 ft)	50m (164 ft)	10s	$1-8 \times 10^{-6}/15s$	0.99-0.99999
APV-II	16.0m (52 ft)	8m (V) (26 ft)	$2 \times 10^{-7}/$ 进近	40m (130 ft)	20m (66 ft)	6s	$1-8 \times 10^{-6}/15s$	0.99-0.99999
CAT I	16m (H) (52ft)	6.0m~4.0m (V) (20ft~13ft)	$2 \times 10^{-7}/$ 进近	40m (130 ft)	35.0m~10.0m (115 ft~33ft)	6s	$1-8 \times 10^{-6}/15s$	0.99-0.99999

参 考 文 献

- [1] 北斗卫星导航系统空间信号接口控制文件星基增强服务信号 BDSBAS-B1C (1.0 版), 中国卫星导航系统管理办公室, 2020.07
- [2] 北斗卫星导航系统空间信号接口控制文件公开服务信号 B2a (1.0 版), 中国卫星导航系统管理办公室, 2017.12-27
- [3] IS-GPS-200L (2020) NAVSTAR GPS Space Segment/Navigation User Segment Interfaces. Interface Control Working Group (ICWG), 2020.08-03
- [4] Global Navigation Satellite System GLONASS Interface Control Document General Description of Code Division Multiple Access Signal System (Edition 1.0). Russian Space Systems, 2016
- [5] European GNSS (Galileo) open service signal-in-space interface control document (Issue 1.3). European union, 2016
- [6] RTCA/DO-229D Minimum Operational Performance Standard for Global Positioning System/Satellite-Based Augmentation System Airborne Equipment. Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA), 2013
- [7] Global Positioning System Wide Area Augmentation System (WAAS) Performance Standard. Federal Aviation Administration (FAA), 2008
- [8] Wide Area Augmentation System Performance Analysis Report#68. Federal Aviation Administration (FAA), 2019
- [9] Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation, Aeronautical Telecommunications, Volume I: Radio Navigation Aids. International Civil Aviation Organization (ICAO), 2018
- [10] AN 7/62.1.4-21/41 号国家级信件“对附件 10 第 I 卷的修订提案”, 国际民用航空组织, 2021
-