

BD

中国第二代卫星导航系统重大专项标准

BD 430076—2022

北斗星基增强系统空间信号接口规范 双频增强服务信号 BDSBAS-B2a

Interface specification for signal in space of BeiDou satellite-based augmentation system —Dual-frequency augmentation service signal BDSBAS-B2a



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
引言.....	IV
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 星座及时空基准.....	4
4.1 空间星座.....	4
4.2 坐标系统.....	4
4.3 时间系统.....	4
5 信号射频特性.....	4
5.1 载波频率.....	4
5.2 信号杂散.....	4
5.3 调制方式.....	4
5.4 载波相位噪声.....	4
5.5 信号频谱.....	5
5.6 多普勒频移.....	5
5.7 载波频率稳定度.....	5
5.8 极化方式.....	5
5.9 码/载波频率一致性.....	5
5.10 信号落地功率.....	5
5.11 调制损耗.....	5
5.12 最大码相位偏差.....	5
5.13 信号编码.....	5
6 增强电文.....	6
6.1 电文概述.....	6
6.2 电文编排.....	7
6.3 电文定义.....	9
6.4 电文有效期.....	27

6.5 电文解算.....	27
参考文献.....	32
图 1 1/2 卷积编码.....	6
图 2 曼彻斯特编码.....	6
图 3 BDSBAS-B2a 电文格式.....	7
图 4 BDSBAS-B2a 电文匹配关系.....	8
表 1 BDSBAS-B2a 信号编码.....	5
表 2 BDSBAS-B2a 电文类型.....	8
表 3 电文类型 31 数据域格式.....	10
表 4 电文类型 32 数据域格式.....	12
表 5 电文类型 34 数据域格式.....	14
表 6 DFRECI 定义.....	15
表 7 电文类型 35 数据域格式.....	16
表 8 电文类型 36 数据域格式.....	16
表 9 电文类型 37 数据域格式.....	18
表 10 时间参考源标识定义.....	20
表 11 电文类型 39 数据域格式.....	21
表 12 电文类型 40 数据域格式.....	22
表 13 SBAS 服务提供商标识.....	23
表 14 电文类型 42 数据域格式.....	24
表 15 UTC 标识.....	25
表 16 电文类型 47 数据域格式.....	26
表 17 电文内容更新间隔及有效时长.....	27
表 18 GEO 卫星轨道参数.....	30

前 言

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（SAC/TC 544）归口。

本标准起草单位：中国电子科技集团公司第二十研究所、中国卫星导航工程中心、民航局空管局技术中心。

本标准主要起草人：丁 群、邵 搏、高为广、李 欣、张 键、李 宇、吴显兵、刘 成、卢 鋈、熊 帅、杨甜甜、陈 颖、程 松、罗 娜、耿永超、王 威、宿晨庚。

引 言

北斗星基增强系统（BDSBAS）是北斗卫星导航系统（BDS）的重要组成部分，分别通过 BDSBAS-B1C 和 BDSBAS-B2a 增强信号，向中国及周边地区用户提供符合国际民航组织（ICAO）标准要求的单频增强服务和双频多星座增强服务。

本文件定义了 BDSBAS 双频增强服务信号 BDSBAS-B2a 空间信号接口的相关内容。

本文件与 ICAO AN 7/62.1.4-21/41 修订提案中的要求保持一致。

北斗星基增强系统空间信号接口规范

双频增强服务信号 BDSBAS-B2a

1 范围

本文件规定了北斗星基增强系统双频增强服务信号 BDSBAS-B2a 的信号射频特性、电文结构和解算方法等。

本文件适用于使用 BDSBAS-B2a 信号的接收机的研制、指标检验，以及 BDSBAS-B2a 增强服务性能评估等工作。

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 39267-2020 北斗卫星导航术语

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

GB/T 39267-2020 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

北斗卫星导航系统 BeiDou navigation satellite system; BDS

中国研制建设和管理的为用户提供实时三维位置、速度和时间等信息的全球卫星导航系统。

注：提供的服务包括基本导航服务、短报文通信服务、星基增强服务、国际搜救服务和精密单点定位服务等。

[来源：GB/T 39267—2020，2.1.11]

3.1.2

北斗时 BDS time; BDT

北斗卫星导航系统建立和保持的时间基准，采用国际单位制秒的无闰秒连续时间。BDT 的起始历元是 UTC 2006 年 1 月 1 日的 00:00:00，通过 UTC(NTSC)与 UTC 建立联系。

注：BDT 使用周计数和周内秒表示。

[来源：GB/T 39267—2020，2.2.16]

3.1.3

北斗坐标系 BeiDou coordinate system; BDCS

北斗卫星导航系统(BDS)采用的大地坐标系。BDCS 的定义符合国际地球自转服务(IERS)规范,采用 2000 中国大地坐标系(CGCS2000)的参考椭球参数,对准于最新的国际地球参考框架(ITRF)。

[来源: GB/T 39267—2020, 2.2.6]

3.1.4

GPS 时 GPS time; GPST

全球定位系统建立和保持的时间基准,采用国际单位制秒的无闰秒连续时间。GPST 的起始历元为 UTC 1980 年 1 月 6 日的 00:00:00,溯源到 UTC (USNO)。GPST 使用周计数和周内秒表示。

注: GPST 使用周计数和周内秒表示。

[来源: GB/T 39267—2020, 2.2.17]

3.1.5

WGS-84 大地坐标系 world geodetic system -84

GPS 采用的大地坐标系统。其坐标系的原点位于地球质心,Z 轴指向(国际时间局)BIH1984.0 定义的协议地球极(CTP)方向,X 轴指向 BIH1984.0 的零度子午面和 CTP 赤道的交点,Y 轴满足右手法则。

[来源: GB/T 39267—2020, 2.2.7]

3.1.6

二进制相移键控 binary phase-shift keying; BPSK

用二进制基带信号对载波进行二相调制。即二进制符号 0 对应于载波 0° 相位,符号 1 对应于载波 180° 相位的一种相移键控技术。

[来源: GB/T 39267—2020, 2.3.31]

3.1.7

全球卫星导航系统 global navigation satellite system; GNSS

能在全球范围内提供导航服务的卫星导航系统的通称。

[来源: GB/T 39267—2020, 2.1.9]

3.1.8

协调世界时 coordinated universal time; UTC

由国际计量局(BIPM)和国际地球自转服务机构(IERS)保持的时间尺度。它的速率与 TAI 速率完全一致,但在时刻上与 TAI 相差若干整秒,与世界时之差保持在 0.9s 之内。

注: UTC 尺度是通过插入或者去掉整秒(正跳秒或负跳秒)来调整的,以确保它和世界时之差保持在 0.9 s 之内。

[来源: GB/T 39267—2020, 2.2.13]

3.1.9

星基增强系统 satellite-based augmentation system; SBAS

利用卫星播发差分修正、完好性信息及其他信息的 GNSS 增强系统。

[来源: GB/T 39267—2020, 2.1.17]

3.1.10

星基增强系统网络时 SBAS network time; SNT

星基增强系统建立和保持的时间基准，采用国际单位制秒的无闰秒连续时间。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

- 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)
- BDT: 北斗时 (BDS Time)
- BPSK: 二进制相移键控 (Binary Phase Shift Keying)
- CRC: 循环冗余校验 (Cyclic Redundancy Check)
- DFMC: 双频多星座 (Dual-Frequency Multi-Constellation)
- DFRE: 双频距离误差 (Dual Frequency Range Error)
- DFREI: 双频距离误差索引 (Dual Frequency Range Error Indicator)
- DFRECI: 双频距离误差变化索引 (Dual Frequency Range Error Change Indicator)
- ECEF: 地心地固 (Earth Centered Earth Fixed)
- FEC: 前向纠错 (Forward Error Correction)
- GEO: 地球静止轨道 (GEostationary Orbit)
- GNSS: 全球卫星导航系统 (Global Navigation Satellite System)
- GPS: 全球定位系统 (Global Positioning System)
- GPST: GPS 时 (GPS Time)
- HEO: 高椭圆轨道 (Highly Elliptical Orbit)
- ICAO: 国际民航组织 (International Civil Aviation Organization)
- IOD: 数据龄期 (Issue Of Data)
- IODG: GEO 数据龄期 (Issue Of Data GEO)
- IODM: 掩码数据龄期 (Issue Of Data Mask)
- IODN: 导航数据龄期 (Issue Of Data Navigation)
- IERS: 国际地球自转服务 (International Earth Rotation Service)
- IGSO: 倾斜地球同步轨道 (Inclined GeoSynchronous Orbit)
- LNAV: 侧向导航 (Lateral Navigation)
- LNAV/VNAV: 侧向导航/垂向导航 (Lateral Navigation/Vertical Navigation)
- LP: 没有垂向引导的航标性能 (Localizer Performance without vertical guidance)
- LPV: 具备垂向引导的航标性能 (Localizer Performance with Vertical guidance)
- MEO: 中圆地球轨道 (Medium Earth Orbit)
- MSB: 最高有效位 (Most Significant Bit)
- NTSC: 中国科学院国家授时中心 (National Time Service Center)

PRN: 伪随机噪声 (Pseudo Random Noise)

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

SIS: 空间信号 (Signal-In-Space)

SNT: 星基增强系统网络时 (SBAS Network Time)

TOW: 周内秒 (Time Of Week)

UTC: 协调世界时 (Coordinated Universal Time)

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

WN: 周计数 (Week Number)

4 星座及时空基准

4.1 空间星座

BDSBAS 的空间星座由 3 颗播发增强服务信号的 BDS GEO 卫星构成, 分别定点于东经 80° 、 110.5° 和 140° ; 对应的 GPS L5 伪随机噪声 (PRN) 码分别为 144、143 和 130。

4.2 坐标系统

BDSBAS 的坐标基准为 BDCS。

注: BDCS 与 WGS-84 之间偏差不大于 3 cm。

4.3 时间系统

BDSBAS 双频增强服务的网络时间系统 (SNTDFMC) 与 BDT 保持同步, 与 BDT 之间的偏差不大于 50 ns。

5 信号射频特性

5.1 载波频率

BDSBAS-B2a 信号的载波频率为 1176.45 MHz。

5.2 信号杂散

BDSBAS-B2a 信号杂散功率应比信道上未调制的载波功率至少低 40 dB。

5.3 调制方式

增强信息符号以 500 符号每秒 (sps) 的速率通过模 2 和的方式叠加到 10230 比特的 PRN 码上, 采用二进制相移键控 (BPSK) 以 10.23 兆码片每秒 (Mcps) 的速率调制到载波上。

5.4 载波相位噪声

未调制的 BDSBAS-B2a 信号载波相位噪声谱密度应使 10 Hz 单边噪声带宽锁相环的跟踪精度 (均方根) 优于 0.1 rad。

5.5 信号频谱

BDSBAS-B2a 3dB 带宽在 20 MHz 至 24 MHz 范围内，并包含至少 95% 的信号功率。

5.6 多普勒频移

针对 BDS GEO 卫星覆盖范围内的任意固定参考点，BDS GEO 卫星的多普勒频移不大于 40 m/s（在 1176.45 MHz 频点不大于 156 Hz）。

5.7 载波频率稳定度

在卫星传输天线的输出端，10 秒内的 BDSBAS-B2a 载波频率短期稳定性（阿伦方差的平方根） $\leq 6.7 \times 10^{-11}$ 。

5.8 极化方式

BDSBAS-B2a 信号的极化方式为右旋圆极化（RHCP），卫星天线轴向 $\pm 9.1^\circ$ 夹角范围内椭圆率不大于 2 dB。

5.9 码/载波频率一致性

在 BDSBAS-B2a 频点上，码与载波之差的变化率 ≤ 0.5 m/s。

5.10 信号落地功率

对于 BDS GEO 卫星，在观测高度角 5° 以上无遮挡的地面区域，当天线与 BDSBAS-B2a 信号传播方向正交时，3 dBi 增益的线性极化接收天线输出的信号功率不小于 -158 dBW，0 dBic 右旋圆极化（RHCP）接收天线输出的信号功率不大于 -150.5 dBW。

5.11 调制损耗

由 BDS GEO 卫星载荷的调制和滤波导致的相关损耗不大于 1 dB。

5.12 最大码相位偏差

相对于 SNT_{DFMC} ，BDSBAS-B2a 信号的最大码相位偏差在 $[-2^{-10}$ s, 2^{-10} s] 范围之内。

5.13 信号编码

BDSBAS-B2a 信号编码相关的 PRN 号、XB 前向码和初始 XB 码状态参数见表 1。

表 1 BDSBAS-B2a 信号编码

PRN 码	XB 前向码（码片）	初始 XB 码状态（二进制）
	I 支路	I 支路
130	1224	1111111101100
143	3745	0101100111100
144	4723	0010010111101

6 增强电文

6.1 电文概述

6.1.1 电文编码

6.1.1.1 前向纠错编码

电文数据的播发速率为 250 比特每秒 (bps)，利用前向纠错 (FEC) 码进行编码，该 FEC 的实现方式为 1/2 卷积编码，输出数据的速率为 500 sps，如图 1 所示。

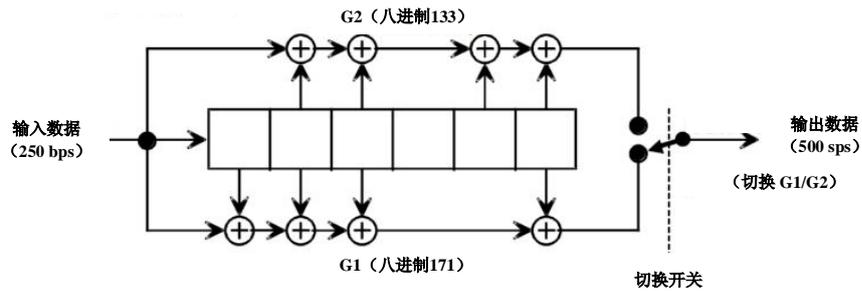


图 1 1/2 卷积编码

6.1.1.2 曼彻斯特编码

FEC 输出数据采用曼彻斯特编码，如图 2 所示。

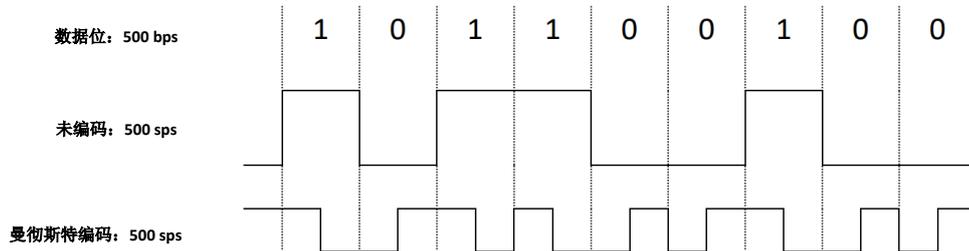


图 2 曼彻斯特编码

6.1.2 电文播发时间

BDSBAS-B2a 电文第一比特的第一个符号位的播发时间（在卫星天线相位中心处）与 BDT 的整秒开始时间同步。

6.1.3 卫星掩码

卫星掩码用来指示卫星号与卫星增强信息之间的对应关系，每一个掩码唯一对应一个可被增强的卫星。

6.1.4 可增强卫星数量

BDSBAS-B2a 最多能够播发 92 颗卫星的增强信息。

6.1.5 数据龄期

每类增强信息都有对应的 IOD，用于标明相应增强信息的龄期。

6.2 电文编排

6.2.1 电文格式

BDSBAS-B2a 电文格式如图 3 所示。



图 3 BDSBAS-B2a 电文格式

BDSBAS-B2a 电文帧长度为 250 比特，播发时间为 1 秒。其中，最高 4 比特为导引信息，6 比特为电文类型标识，最低 24 比特为循环冗余校验位（CRC），其余 216 比特为数据域。

6.2.2 导引信息

导引信息分布在 6 个连续的增强电文中，每个电文中 4 比特，共计 24 比特。这 6 个连续的 4 比特导引信息的组成顺序为 0101、1100、0110、1001、0011、1010。24 比特导引信息与 SNTDFMC 时间模 6 秒时刻保持同步。

6.2.3 电文类型

BDSBAS-B2a 电文类型见表 2。

表 2 BDSBAS-B2a 电文类型

电文类型	电文内容
0	BDSBAS-B2a 测试
31	卫星掩码
32	卫星时钟/轨道误差改正数与协方差矩阵
34、35、36	完好性信息 (DFREI 和 DFRECI)
37	降效参数与 DFREI 映射表
39、40	BDSBAS 卫星星历与协方差矩阵
42	BDSBAS 系统时与 UTC 间的偏差
47	BDSBAS 卫星历书
62	BDSBAS-B2a 内部测试信息
63	BDSBAS-B2a 空信息

BDSBAS-B2a 频点播发的各电文类型通过数据龄期 (IOD) 进行匹配, 匹配关系如图 4 所示。导航数据龄期 (IODN) 用于将电文类型 32 与 GNSS 导航电文进行匹配; GEO 数据龄期 (IODG) 用于电文类型 39 与电文类型 40 之间的匹配, 以及电文类型 32 与电文类型 39/40 的匹配; 掩码数据龄期 (IODM) 用于电文类型 31 与电文类型 34、35、36 之间的匹配。

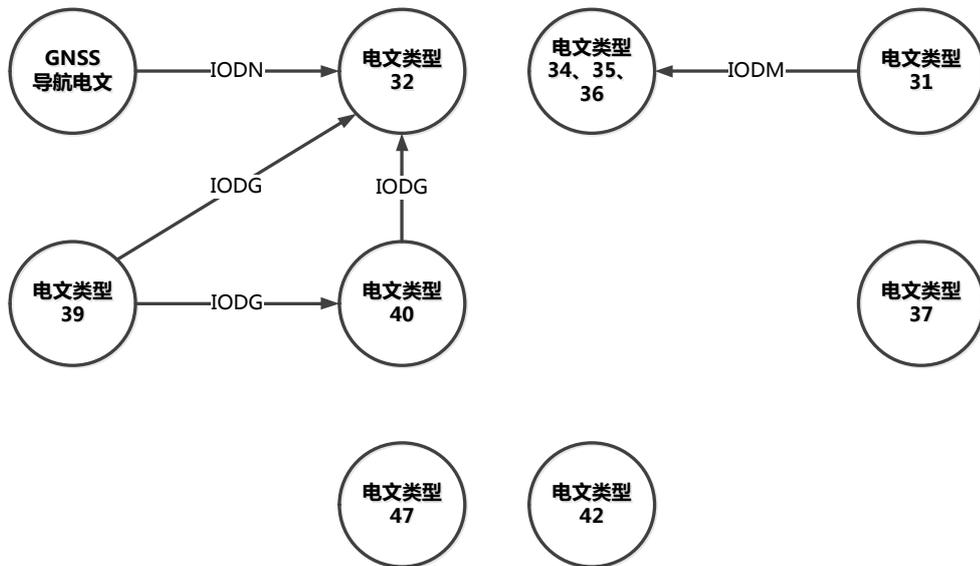


图 4 BDSBAS-B2a 电文匹配关系

6.2.4 循环冗余校验位

在所有信道比特误码率不大于 0.5 的条件下, 24 比特 CRC 信息能够实现对于突发和随机误码的检测, 其漏检概率不大于 $2^{-24} \times 5.9610^{-8}$ 。24 比特 CRC 信息 $(p_1, p_2, \dots, p_{24})$ 利用电文的第 1 比特至第 226 比特信息 $(m_1, m_2, \dots, m_{226})$ 生成, 通过公式 (1) 可获得 24 比特 CRC 序列构成码, 也称为 CRC-24Q。

$$g(X) = \sum_{i=0}^{24} g_i X^i \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$g(X)$ ——24 比特 CRC 序列构成码;

g_i ——第 i 个多项式系数, 当 $i=0, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 14, 17, 18, 23, 24$ 时取 1, 否则取 0。

第 1 比特至第 226 比特信息 (m_1, m_2, \dots, m_{226}) 序列的多项式见公式 (2)。

$$m(X) = m_k + m_{k-1}X + m_{k-2}X^2 + \dots + m_1X^{k-1} \dots\dots\dots(2)$$

式中:

$m(X)$ ——226 比特序列多项式;

$m_1, \dots, m_{k-2}, m_{k-1}, m_k$ ——多项式系数;

k ——常数, 取值为 226。

利用 $g(X)$ 除以 $m(X) \cdot X^{24}$, 得到余数 $R(X)$ 。CRC 信息 p_i ($i=1$ 至 24) 为 $R(X)$ 中 X^{24-i} 的系数。

6.3 电文定义

6.3.1 电文类型 0

电文类型 0 为系统测试电文, 在 BDSBAS 系统测试时播发, 至少每 6 秒播发 1 次。电文类型 0 用于告知用户, BDSBAS-B2a 播发的增强信息不应用于生命安全服务, 用户在收到电文类型 0 后应至少停止使用该信号用于生命安全服务 1min。

6.3.2 电文类型 31

6.3.2.1 电文格式

电文类型 31 主要用于播发卫星掩码信息, 216 比特数据域的格式见表 3。

表 3 电文类型 31 数据域格式

数据段	名称	长度	比例因子	有效范围		单位	描述
				最小	最大		
GPS 卫星掩码	卫星掩码 1	1	1	0	1	无量纲	GPS 卫星 1 的掩码

	卫星掩码 32	1	1	0	1	无量纲	GPS 卫星 32 的掩码
	卫星掩码 33	1	1	0	1	无量纲	预留

GLONASS 卫星掩码	卫星掩码 37	1	1	0	1	无量纲	预留
	卫星掩码 38	1	1	0	1	无量纲	GLONASS 卫星 1 的掩码

	卫星掩码 69	1	1	0	1	无量纲	GLONASS 卫星 32 的掩码
	卫星掩码 70	1	1	0	1	无量纲	预留
Galileo 卫星掩码
	卫星掩码 74	1	1	0	1	无量纲	预留
	卫星掩码 75	1	1	0	1	无量纲	Galileo 卫星 1 的掩码

预留	卫星掩码 110	1	1	0	1	无量纲	Galileo 卫星 32 的掩码
	卫星掩码 111	1	1	0	1	无量纲	预留

SBAS 卫星掩码	卫星掩码 112	1	1	0	1	无量纲	—

	卫星掩码 119	1	1	0	1	无量纲	—
BDS 卫星掩码	卫星掩码 120	1	1	0	1	无量纲	SBAS GEO 卫星 1 的掩码

	卫星掩码 158	1	1	0	1	无量纲	SBAS GEO 卫星 39 的掩码
预留	卫星掩码 159	1	1	0	1	无量纲	BDS 卫星 1 的掩码

	卫星掩码 195	1	1	0	1	无量纲	BDS 卫星 37 的掩码
备用	卫星掩码 196	1	1	0	1	无量纲	—

	卫星掩码 207	1	1	0	1	无量纲	—
IOD	卫星掩码 208	1	1	0	1	无量纲	—

IOD	卫星掩码 214	1	1	0	1	无量纲	—
	IODM	2	1	0	3	无量纲	—

6.3.2.2 电文说明

对每一个 GNSS 星座，BDSBAS 系统最多能够同时增强该星座 37 颗卫星，超出 37 颗则不能被增强。每个星座各自确定这 37 个卫星掩码的分配，GPS 按照 PRN 号、Galileo 按照卫星标识、GLONASS 按照通道号、BDS 按照测距码编号进行分配。电文中卫星掩码对应的比特位如果为 1，则表明该卫星被 BDSBAS 增强；如果为 0，则表明该卫星未被 BDSBAS 增强。预留和备用的 GNSS 掩码对应的比特位设置为 0。

当 214 比特的卫星掩码信息发生变化时，需要将 IODM 加 1（模 4），否则 IODM 不变。如果用户收到新的 IODM（电文类型 31），且未收到与之相匹配的电文类型 34、35 和 36，则用户继续使用旧的 IODM 及相应的电文类型 34、35 和 36，直到收到与新 IODM 相匹配的电文类型 34、35 和 36。

6.3.3 电文类型 32

6.3.3.1 电文格式

电文类型 32 用于播发卫星时钟/轨道误差改正数与协方差矩阵信息，216 比特数据域的格式见表 4。

表 4 电文类型 32 数据域格式

数据段	名称	长度	比例因子	有效范围		单位	描述
				最小	最大		
卫星信息	卫星掩码	9	1	0	511	无量纲	参考电文类型 31 (实际的有效范围 1~214)
	IODN	10	1	0	1023	无量纲	导航电文数据期龄
改正数信息	δx	11	0.0625	-64	63.9375	m	BDCS 坐标系 X 轴上的改正数信息
	δy	11	0.0625	-64	63.9375	m	BDCS 坐标系 Y 轴上的改正数信息
	δz	11	0.0625	-64	63.9375	m	BDCS 坐标系 Z 轴上的改正数信息
	δB	12	0.03125	-64	63.96875	m	时钟改正数信息
	Δx 变化率	8	2^{-11}	-0.0625	0.06201172	m/s	BDCS 坐标系 X 轴上的改正数变化率信息
	δy 变化率	8	2^{-11}	-0.0625	0.06201172	m/s	BDCS 坐标系 Y 轴上的改正数变化率信息
	δz 变化率	8	2^{-11}	-0.0625	0.06201172	m/s	BDCS 坐标系 Z 轴上的改正数变化率信息
	δB 变化率	9	2^{-12}	-0.0625	0.06225586	m/s	时钟改正数变化率信息
	参考时刻 t_D	13	16	0	86384	s	改正数信息参考时刻
协方差矩阵信息	S_c	3	1	0	7	无量纲	比例因子
	$E_{1,1}$	9	1	0	511	无量纲	—
	$E_{2,2}$	9	1	0	511	无量纲	—
	$E_{3,3}$	9	1	0	511	无量纲	—
	$E_{4,4}$	9	1	0	511	无量纲	—
	$E_{1,2}$	10	1	-512	511	无量纲	—
	$E_{1,3}$	10	1	-512	511	无量纲	—
	$E_{1,4}$	10	1	-512	511	无量纲	—
	$E_{2,3}$	10	1	-512	511	无量纲	—
$E_{2,4}$	10	1	-512	511	无量纲	—	
	$E_{3,4}$	10	1	-512	511	无量纲	—
完好性信息	DFREI	4	1	0	15	无量纲	—
δR_{CORR}	δR_{CORR}	3	1/8	1/8	1	无量纲	—

6.3.3.2 电文说明

电文类型 32 包含了卫星掩码信息，可以直接确定所对应的卫星，使用时不需要与电文类型 31 进行匹配，但需要通过 IODN 与对应卫星的导航电文进行匹配，对应关系如下：

- a) GPS: L1 LNAV 电文中的 IODC 参数；
- b) GLONASS: L1OC 电文类型 10、31、32 中的 tb 参数；
- c) Galileo: F/NAV 电文中的 IODnav 参数；
- d) BDS: B-CNAV2 电文中的 IODC 参数；
- e) SBAS: 电文类型 39 和电文类型 40 中的 IODG 参数。

DFREI 的范围为 0 至 15, 15 表示该颗卫星不可用, 0 至 14 所对应的需要根据电文 37 播发的 DFREI 映射表进行推算。 δR_{CORR} 为计算降效参数 R_{CORR} 的比例因子。

6.3.4 电文类型 34

6.3.4.1 电文格式

电文类型 34 用于播发卫星的 DFRECI 信息和 DFREI 信息，216 比特数据域的格式见表 5。

表 5 电文类型 34 数据域格式

数据段	名称	长度	比例因子	有效范围		单位	描述
				最小	最大		
DFRECI	DFRECI 1	2	1	0	3	无量纲	电文类型 31 中第 1 个卫星掩码为 1 的卫星对应的 DFRECI

	DFRECI 92	2	1	0	3	无量纲	电文类型 31 中第 92 个卫星掩码为 1 的卫星对应的 DFRECI
DFREI	DFREI 1	4	1	0	15	无量纲	第 1 个 DFRECI=1 对应卫星的 DFREI

	DFREI 7	4	1	0	15	无量纲	第 7 个 DFRECI=1 对应卫星的 DFREI
预留	预留	2	—	—	—	无量纲	—
IOD	IODM	2	1	0	3	无量纲	—

6.3.4.2 电文说明

电文类型 34 需要通过 IODM 与电文类型 31 进行匹配，92 个 DFRECI 所对应的卫星的顺序为电文类型 31 中卫星掩码信息为 1 的顺序。每个 DFRECI 信息为 2 比特，其数值定义见表 6。后 28 比特的 DFREI 信息对应的是前面 92 个 DFRECI 信息中为 1 的卫星的 DFREI 值。

表 6 DFRECI 定义

DFRECI	定义
0	DFREI 与之前相同 (DFREI: 0~14)
1	DFREI 与之前不同, 新数值在电文 34 后部的 DFREI 数据区域存储
2	在之前 DFREI 的基础上加 1
3	该颗卫星在增强模式下不可用

当电文类型 31 中卫星掩码为 1 的数量大于 53 时, 播发电文类型 34。如果需要更新 DFREI 的卫星数量大于 7 时, 需要播发电文类型 35 和 36。

6.3.5 电文类型 35

6.3.5.1 电文格式

电文类型 35 用于播发 DFREI 信息, 216 比特数据域的格式见表 7。

表 7 电文类型 35 数据域格式

数据段	名称	长度	比例因子	有效范围		单位	描述
				最小	最大		
DFREI	DFREI 1	4	1	0	15	无量纲	电文类型 31 中第 1 个卫星掩码为 1 的卫星对应的 DFREI

	DFREI 53	4	1	0	15	无量纲	电文类型 31 中第 53 个卫星掩码为 1 的卫星对应的 DFREI
预留	预留	2	—	—	—	无量纲	—
IOD	IODM	2	1	0	3	无量纲	—

表 8 电文类型 36 数据域格式

数据段	名称	长度	比例因子	有效范围		单位	描述
				最小	最大		
DFREI	DFREI 54	4	1	0	15	无量纲	电文类型 31 中第 54 个卫星掩码为 1 的卫星对应的 DFREI

	DFREI 92	4	1	0	15	无量纲	电文类型 31 中第 92 个卫星掩码为 1 的卫星对应的 DFREI
备用	备用	56	—	—	—	无量纲	—
预留	预留	2	—	—	—	无量纲	—
IOD	IODM	2	1	0	3	无量纲	—

6.3.5.2 电文说明

电文类型 35 利用数据域中的 212 比特最多可播发 53 颗卫星的 DFREI 信息，53 颗卫星按照电文类型 31 中卫星掩码信息为 1 的顺序进行排列。当电文类型 31 中卫星掩码为 1 的数量不超过 53 时，只播发电文类型 35，不播发电文类型 34 和电文类型 36。

6.3.6 电文类型 36

6.3.6.1 电文格式

电文类型 36 用于播发 DFREI 信息，216 比特数据域的格式见表 8。

6.3.6.2 电文说明

电文类型 36 利用数据域中的 156 比特最多可播发 39 颗卫星的 DFREI 信息。39 颗卫星是电文类型 31 中卫星掩码信息为 1 所对应的第 54 至 92 颗卫星。

6.3.7 电文类型 37

6.3.7.1 电文格式

电文类型 37 用于播发各 GNSS 系统的降效参数 (OBAD) 和 DFREI 映射表，216 比特数据域的格式见表 9。

表 9 电文类型 37 数据域格式

数据段	名称	长度	比例因子	有效范围		单位	描述
				最小	最大		
通用 OBAD 信息	(I _{INVALID})MT32	6	6	30	408	s	电文类型 32 的有效间隔
	(I _{INVALID})MT39/40	6	6	30	408	s	电文类型 39、40 的有效间隔
	C _{ER}	6	0.5	0	31.5	m	从航路到非精密进近应用模式下的降效参数
	C _{COVARIANCE}	7	0.1	0	12.7	无量纲	协方差矩阵的降效参数
GPS OBAD 信息	I _{CORR}	5	6	30	216	s	C _{CORR} 的有效间隔
	C _{CORR}	8	0.01	0	2.55	m	精密进近应用模式下的降效参数
	R _{CORR}	8	0.2	0	51	mm/s	一阶降效参数
GLONASS OBAD 信息	I _{CORR}	5	6	30	216	s	C _{CORR} 的有效间隔
	C _{CORR}	8	0.01	0	2.55	m	精密进近应用模式下的降效参数
	R _{CORR}	8	0.2	0	51	mm/s	一阶降效参数
Galileo OBAD 信息	I _{CORR}	5	6	30	216	s	C _{CORR} 的有效间隔
	C _{CORR}	8	0.01	0	2.55	m	精密进近应用模式下的降效参数
	R _{CORR}	8	0.2	0	51	mm/s	一阶降效参数
BDS OBAD 信息	I _{CORR}	5	6	30	216	s	C _{CORR} 的有效间隔
	C _{CORR}	8	0.01	0	2.55	m	精密进近应用模式下的降效参数
	R _{CORR}	8	0.2	0	51	mm/s	一阶降效参数
SBAS OBAD 信息	I _{CORR}	5	6	30	216	s	C _{CORR} 的有效间隔
	C _{CORR}	8	0.01	0	2.55	m	精密进近应用模式下的降效参数
	R _{CORR}	8	0.2	0	51	mm/s	一阶降效参数
预留 OBAD 信息	I _{CORR}	5	6	30	216	s	C _{CORR} 的有效间隔
	C _{CORR}	8	0.01	0	2.55	m	精密进近应用模式下的降效参数
	R _{CORR}	8	0.2	0	51	mm/s	一阶降效参数
DFREI 映射表	σ_{DFRE} : DFREI=0	4	0.0625	0.125	1.0625	m	DFREI=0 时对应的 σ_{DFRE} 值
	σ_{DFRE} : DFREI=1	4	0.125	0.25	2.125	m	DFREI=1 时对应的 σ_{DFRE} 值
	σ_{DFRE} : DFREI=2	4	0.125	0.375	2.25	m	DFREI=2 时对应的 σ_{DFRE} 值
	σ_{DFRE} : DFREI=3	4	0.125	0.5	2.375	m	DFREI=3 时对应的 σ_{DFRE} 值
	σ_{DFRE} : DFREI=4	4	0.125	0.625	2.5	m	DFREI=4 时对应的 σ_{DFRE} 值
	σ_{DFRE} : DFREI=5	4	0.25	0.75	4.5	m	DFREI=5 时对应的 σ_{DFRE} 值
	σ_{DFRE} : DFREI=6	4	0.25	1	4.75	m	DFREI=6 时对应的 σ_{DFRE} 值
σ_{DFRE} : DFREI=7	4	0.25	1.25	5.0	m	DFREI=7 时对应的 σ_{DFRE} 值	

表9（续）

数据段	名称	长度	比例因子	有效范围		单位	描述
				最小	最大		
DFREI 映射表	σ_{DFRE} : DFREI=8	4	0.25	1.5	5.25	m	DFREI=8 时对应的 σ_{DFRE} 值
	σ_{DFRE} : DFREI=9	4	0.25	1.75	5.5	m	DFREI=9 时对应的 σ_{DFRE} 值
	σ_{DFRE} : DFREI=10	4	0.5	2	9.5	m	DFREI=10 时对应的 σ_{DFRE} 值
	σ_{DFRE} : DFREI=11	4	0.5	2.5	10.0	m	DFREI=11 时对应的 σ_{DFRE} 值
	σ_{DFRE} : DFREI=12	4	1	3	18.0	m	DFREI=12 时对应的 σ_{DFRE} 值
	σ_{DFRE} : DFREI=13	4	3	4	49.0	m	DFREI=13 时对应的 σ_{DFRE} 值
	σ_{DFRE} : DFREI=14	4	6	10	100.0	m	DFREI=14 时对应的 σ_{DFRE} 值
时间参考源信息	时间参考源标识	3	1	0	7	无量纲	—
OBAD	D_{OBAD}	1	1	0	15	无量纲	降效增益参数
预留	预留	1	—	—	—	无量纲	—

6.3.7.2 电文说明

如果用户没有收到电文类型 37, 则利用 DFREI 有效范围的最大值。电文类型 37 还包含了 $(I_{\text{VALID}})_{\text{MT32}}$ 和 $(I_{\text{VALID}})_{\text{MT39/40}}$ 两个参数, 分别对应精密进近 (PA) 应用模式下电文类型 32、电文类型 39/电文类型 40 的有效间隔; 对于航路、终端区和 LNAV 应用模式, 需要乘以 1.5 再使用。

时间参考源标识定义见表 10, BDSBAS 的时间参考源标识为 3。

表 10 时间参考源标识定义

时间参考源标识	标识定义
0	GPS
1	GLONASS
2	Galileo
3	BDS
4	未来的 GNSS
5-7	预留

6.3.8 电文类型 39 和电文类型 40

6.3.8.1 电文格式

电文类型 39 和电文类型 40 主要用于播发 SBAS 卫星的星历和协方差矩阵信息, 216 比特数据域的格式分别见表 11 和表 12。

表 11 电文类型 39 数据域格式

数据段	名称	长度	比例因子	有效范围		单位	描述
				最小	最大		
卫星信息	SBAS 卫星掩码	6	1	0	63	无量纲	参考电文类型 31 中 SBAS 卫星轨位分配。 (实际的有效范围 1~39)
	IODG	2	1	0	3	无量纲	数据期龄
	SBAS 服务提供商标识	5	1	0	31	无量纲	—
开普勒轨道 参数 (第一 部分)	C_{UC}	19	$\pi \times 2^{-19} \times 10^{-4}$	$-\pi/2 \times 10^{-4}$	$\pi/2 \times 10^{-4} \times (1-2^{-18})$	rad	余弦分量
	C_{US}	19	$\pi \times 2^{-19} \times 10^{-4}$	$-\pi/2 \times 10^{-4}$	$\pi/2 \times 10^{-4} \times (1-2^{-18})$	rad	正弦分量
	Idot	22	$7\pi/6 \times 2^{-21} \times 10^{-6}$	$-7\pi/6 \times 10^{-6}$	$7\pi/6 \times 10^{-6} \times (1-2^{-21})$	rad/s	轨道倾角变化率
	ω	34	$\pi \times 2^{-33}$	$-\pi$	$\pi \times (1-2^{-33})$	rad	近地点角
	Ω_0	34	$\pi \times 2^{-33}$	$-\pi$	$\pi \times (1-2^{-33})$	rad	t_e 时刻的升交点赤经
	M_0	34	$\pi \times 2^{-33}$	$-\pi$	$\pi \times (1-2^{-33})$	rad	t_e 时刻的平近点角
时钟信息	a_{Gf0}	25	0.02	-292766.06	292766.06	m	时钟偏差
	a_{Gf1}	16	4×10^{-5}	-1.31072	1.31068	m/s	时钟偏差变化率

表 12 电文类型 40 数据域格式

数据段	名称	长度	比例因子	有效范围		单位	描述
				最小	最大		
卫星信息	IODG	2	1	0	3	无量纲	数据期龄
开普勒轨道参数(第二部分)	i	33	$\pi \times 2^{-33}$	0	$\pi \times (1-2^{-33})$	rad	t_e 时刻的轨道倾角
	e	30	2^{-30}	0	$1-2^{-30}$	无量纲	偏心率
	a	31	0.02	6370000	49319672.94	m	轨道半长轴
参考时刻	t_e	13	16	0	86384	s	—
协方差矩阵信息	比例因子	3	1	0	7	无量纲	—
	$E_{1,1}$	9	1	0	511	无量纲	—
	$E_{2,2}$	9	1	0	511	无量纲	—
	$E_{3,3}$	9	1	0	511	无量纲	—
	$E_{4,4}$	9	1	0	511	无量纲	—
	$E_{1,2}$	10	1	-512	511	无量纲	—
	$E_{1,3}$	10	1	-512	511	无量纲	—
	$E_{1,4}$	10	1	-512	511	无量纲	—
	$E_{2,3}$	10	1	-512	511	无量纲	—
	$E_{2,4}$	10	1	-512	511	无量纲	—
完好性信息	DFREI	4	1	0	15	无量纲	—
	δR_{CORR}	δR_{CORR}	3	1/8	1/8	无量纲	—
预留	预留	1	—	—	—	无量纲	—

6.3.8.2 电文说明

SBAS 卫星掩码有效范围为 1 至 39，增加 119 的偏移后，对应电文类型 31 中的 SBAS 卫星掩码。

电文类型 39 和电文类型 40 中均包含 2 比特的 IODG，该标识用于电文类型 39 和电文类型 40 配对，即确保电文类型 39 和电文类型 40 包含的是同一颗卫星在同一参考时刻的信息，每次更新时将 IODG 加 1(模 4)。如果通过电文类型 32 播发了 SBAS 卫星的改正数信息，则电文类型 32 中的 IODN 需要与 IODG 匹配。

SBAS 服务提供商标识定义见表 13。

表 13 SBAS 服务提供商标识

SBAS 标识	服务提供商
0	WAAS
1	EGNOS
2	MSAS
3	GAGAN
4	SDCM
5	BDSBAS
6	KASS
7	A-SBAS
8	SouthPAN
9-13	未分配
14-31	预留

6.3.9 电文类型 42

6.3.9.1 电文格式

电文类型 42 主要用于播发 SNT_{DFMC} 与 UTC 之间的偏差，216 比特数据域的格式见表 14。

表 14 电文类型 42 数据域格式

数据段	名称	长度	比例因子	有效范围		单位	描述
				最小	最大		
通用参数	A_{1SNT}	24	2^{-50}	$-2^{23} \times 2^{-50}$	$(2^{23}-1) \times 2^{-50}$	s/s	SNT 与 UTC 之间时钟偏差的变化率
	A_{0SNT}	35	2^{-33}	-2	2×2^{-33}	s	SNT 与 UTC 之间时钟偏差
	t_{0t}	8	3600	0	601200	s	周内秒
	WN_t	8	1	0	255	week	周计数
	Δt_{LS}	8	1	-128	127	s	当前或过去闰秒计数
	WN_{LSF}	8	1	0	255	week	闰秒的参考周计数
	DN	3	1	1	7	d	闰秒的参考天计数
	Δt_{LSF}	8	1	-128	127	s	当前或未来闰秒计数
	UTC 标识	4	1	0	15	无量纲	—
有效期参数	UTC 偏差状态	1	1	0	1	无量纲	SNT 与 UTC 偏差有效性状态
	TOW_{app}	8	3600	0	601200	s	周内秒
	WN_{app}	1	1	0	1	无量纲	相对 WN_t 的周计数差值
	VP	3	1	0	7	无量纲	有效期
预留	预留	97	—	—	—	无量纲	—

6.3.9.2 电文说明

电文类型 42 不应用于生命安全服务。UTC 标识定义见表 15。

表 15 UTC 标识

UTC 标识	保持 UTC 实例
0	日本东京情报通信研究机构 (National Institute of Information and Communications Technology, NICT)
1	国家标准与技术研究所 (National Institute of Standards and Technology, NIST)
2	美国海军天文台 (U. S. Naval Observatory, USNO)
3	国际测量局 (International Bureau of Weights and Measures, BIPM)
4	欧洲实验室 (European Laboratory)
5	中国科学院国家授时中心 (National Time Service Center Chinese Academy Of Sciences, NTSC)
6	预留
7	UTC 不可用
8-15	预留

6.3.10 电文类型 47

6.3.10.1 电文格式

电文类型 47 主要用于播发 SBAS 卫星的历书信息，216 比特数据域的格式见表 16。

表 16 电文类型 47 数据域格式

数据段	名称	长度	比例因子	有效范围		单位	描述
				最小	最大		
第 1 颗 SBAS 卫星 相关信息	SBAS 卫星掩码	6	1	1	39	无量纲	参考电文类型 31 中 SBAS 卫星轨位分配（实际的有效范围 1~39）
	SBAS 服务提供商标识	5	1	0	31	无量纲	—
	所有权标识	1	—	—	—	无量纲	0 表示该颗卫星不属于当前 SBAS 系统； 1 表示该颗卫星属于当前 SBAS 系统
第 1 颗 SBAS 卫星 开普勒参数信息	a	16	650	6370000	48967750	m	半长轴
	e	8	2^{-8}	0	0.99609375	无量纲	偏心率
	I	13	$\pi \times 2^{-13}$	0	$\pi \times (1-2^{-13})$	rad	轨道倾角
	ω	14	$\pi \times 2^{-13}$	$-\pi$	$\pi \times (1-2^{-13})$	rad	平近地点角
	Ω_0	14	$\pi \times 2^{-13}$	$-\pi$	$\pi \times (1-2^{-13})$	rad	t_{0a} 时刻的升交点赤经
	Ω 变化率	8	1E-09	-1.28E-07	1.27E-07	rad/s	升交点赤经变化率
	M_0	15	$\pi \times 2^{-14}$	$-\pi$	$\pi \times (1-2^{-14})$	rad	t_{0a} 时刻的真近点角
t_a	6	1800	0	84600	s	—	
第 2 颗 SBAS 卫星 相关信息	SBAS 卫星掩码	6	1	1	39	无量纲	参考电文类型 31 中 SBAS 卫星轨位分配。（实际的有效范围 1~39）
	SBAS 服务提供商标识	5	1	0	31	无量纲	—
	所有权标识	1	—	—	—	无量纲	0 表示该颗卫星属于当前 SBAS 系统； 1 表示该颗卫星属于当前 SBAS 系统
第 2 颗 SBAS 卫星 开普勒参数信息	a	16	650	6370000	48967750	m	半长轴
	e	8	2^{-8}	0	0.99609375	无量纲	偏心率
	I	13	$\pi \times 2^{-13}$	0	$\pi \times (1-2^{-13})$	rad	轨道倾角
	ω	14	$\pi \times 2^{-13}$	$-\pi$	$\pi \times (1-2^{-13})$	rad	平近地点角
	Ω_0	14	$\pi \times 2^{-13}$	$-\pi$	$\pi \times (1-2^{-13})$	rad	t_{0a} 时刻的升交点赤经
	Ω 变化率	8	1E-09	-1.28E-07	1.27E-07	rad/s	升交点赤经变化率
	M_0	15	$\pi \times 2^{-14}$	$-\pi$	$\pi \times (1-2^{-14})$	rad	t_{0a} 时刻的真近点角
t_a	6	1800	0	84600	s	—	
周滚动计数	WNRO _{count}	4	1	0	15	无量纲	15 表示该参数不可用

6.3.10.2 电文说明

SBAS 卫星掩码和 SBAS 服务提供商标识与电文类型 39 中的定义一致。如果 SBAS 卫星播发本星的历史信息，则所有权标识为 1，否则为 0。

6.3.11 电文类型 62

电文类型 62 用于内部测试，可以播发 BDSBAS 卫星在 BDSBAS-B2a 频点的其他电文内容。

6.3.12 电文类型 63

电文类型 63 为空电文，数据域全为 0，主要用于填补播发空隙，如果当前整秒没有可播发的电文，则播发电文类型 63。

6.4 电文有效期

不同电文内容的更新间隔和有效期见表 17。

表 17 电文内容更新间隔及有效时长

电文内容	关联电文类型	最大更新间隔 s	航路、终端区、非精密进近情况下的电文有效期 s	精密进近情况下的电文有效期 s
BDSBAS-B2a 测试 卫星掩码	0	6	—	—
DFREI 或 DFRECI	31	120	600	600
	32	6	18	12
	34	6	18	12
	35	6	18	12
	36	6	18	12
40	6	18	12	
卫星时钟/轨道误差改正数与协方差矩阵	32	$0.5 \times (I_{\text{VALID}})_{\text{MT32}}$	$1.5 \times (I_{\text{VALID}})_{\text{MT32}}$	$(I_{\text{VALID}})_{\text{MT32}}$
BDSBAS 卫星星历与协方差矩阵	39、40	$0.5 \times (I_{\text{VALID}})_{\text{MT39/40}}$	$1.5 \times (I_{\text{VALID}})_{\text{MT39/40}}$	$(I_{\text{VALID}})_{\text{MT39/40}}$
降效参数	37	120	600	600
DFREI 映射表	37	120	600	600
时间参考源标识	37	120	600	600
SBAS 服务提供商标识	47	120	600	600
SNT 与 UTC 偏差	42	240	由电文类型 42 中的 WN_{app} 、 TOW_{app} 和 VP 参数决定	由电文类型 42 中的 WN_{app} 、 TOW_{app} 和 VP 参数决定

6.5 电文解算

6.5.1 改正数解算

6.5.1.1 星历改正数解算

利用电文类型 32 中得到的星历位置改正信息，按照公式 (3) 计算得到星历改正数。

$$\begin{bmatrix} \delta x(t) \\ \delta y(t) \\ \delta z(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta \dot{x} \\ \delta \dot{y} \\ \delta \dot{z} \end{bmatrix} \times (t - t_D) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$[\delta x(t) \ \delta y(t) \ \delta z(t)]^T$ ——时刻 t 的星历改正数，单位为米 (m)；

$[\delta x \ \delta y \ \delta z]^T$ ——参考时刻 t_D 的星历改正数信息，单位为米 (m)；

$[\delta \dot{x} \ \delta \dot{y} \ \delta \dot{z}]^T$ ——参考时刻 t_D 的星历改正数变化率信息，单位为米每秒 (m/s)。

6.5.1.2 时钟改正数解算

利用电文类型 32 中得到的时钟改正信息，按照公式 (4) 计算得到时钟改正数。

$$\delta \Delta t_{SV}(t) = \frac{\delta B + \delta \dot{B} \times (t - t_D)}{c} \dots\dots\dots(4)$$

式中：

$\delta \Delta t_{SV}(t)$ ——时刻 t 的时钟改正数，单位为秒 (s)；

δB ——参考时刻 t_D 的时钟改正数信息，单位为米 (m)；

$\delta \dot{B}$ ——参考时刻 t_D 的时钟改正数变化率信息，单位为米每秒 (m/s)；

C ——光速，299792458 m/s。

6.5.2 双频改正完好性参数解算

按照如下步骤进行双频改正完好性参数解算：

- a) 双频距离误差：利用电文类型 34、35、36 播发的双频距离误差索引 (DFREI) 信息，按照电文类型 37 播发的双频距离误差 (DFRE) 与 DFREI 映射表得到 DFRE 值 (σ_{DFRE})。
- b) DFRE 降效参数：利用电文类型 32 中的协方差矩阵信息 ($i=1$ 至 4, $j=1$ 至 4) 信息按照公式 (5) 计算上三角矩阵 R 。

$$R = SF \cdot E \dots\dots\dots(5)$$

其中：

$$SF = 2^{(s_c - 5)} \dots\dots\dots(6)$$

$$E = \begin{bmatrix} E_{1,1} & E_{1,2} & E_{1,3} & E_{1,4} \\ 0 & E_{2,2} & E_{2,3} & E_{2,4} \\ 0 & 0 & E_{3,3} & E_{3,4} \\ 0 & 0 & 0 & E_{4,4} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(7)$$

利用矩阵 R ，按照公式 (8) 计算协方差矩阵 C 。

$$C = R^T \cdot R \dots\dots\dots(8)$$

按照公式 (9) 计算投影到用户上的 DFRE 降效参数。

$$\delta_{DFRE} = \sqrt{I^T \cdot C \cdot I} + C_{covariance} \cdot SF \dots\dots\dots(9)$$

式中：

I ——卫星到用户的 4 维方向矢量（前三维是单位方向矢量，第四维是 1）；

$C_{covariance}$ ——协方差矩阵的降效参数（电文类型 37 播发）。

c) 双频改正完好性参数：按照公式（10）计算双频改正完好性参数 σ_{DFC}^2 。

$$\sigma_{DFC}^2 = \begin{cases} (\sigma_{DFRE} \times \delta_{DFRE})^2 + \varepsilon_{CORR}^2 + \varepsilon_{ER}^2 & D_{OBAD} = 0 \\ (\sigma_{DFRE} + \varepsilon_{CORR} + \varepsilon_{ER})^2 \times \delta_{DFRE}^2 & D_{OBAD} = 1 \end{cases} \dots\dots\dots(10)$$

其中：

$$\varepsilon_{CORR} = \left\lfloor \frac{t - t_{CORR}}{I_{CORR}} \right\rfloor \times C_{CORR} + (t - t_{CORR}) \times \frac{(R_{CORR})_{SV}}{1000} \dots\dots\dots(11)$$

$$(R_{CORR})_{SV} = \begin{cases} R_{CORR} \times \delta R_{CORR} & t - t_{CORR} \leq I_{CORR} \\ R_{CORR} & t - t_{CORR} > I_{CORR} \end{cases} \dots\dots\dots(12)$$

$$\varepsilon_{ER} = \begin{cases} 0 & \text{改正数未超时} \\ C_{ER} & \text{改正数超时} \end{cases} \dots\dots\dots(13)$$

式中：

D_{OBAD} ——降效增益参数（电文类型 37 播发）；

t_{CORR} ——参考时间（电文类型 32 或电文类型 39/40）；

R_{CORR} ——阶降效参数（电文类型 37 播发）；

I_{CORR} ——有效间隔（电文类型 37 播发）；

δR_{CORR} —— R_{CORR} 降效参数（电文类型 32 或电文类型 40 播发）；

$[x]$ ——向下取整；

C_{ER} ——从航路到非精密进近应用模式下的降效参数（电文类型 37 播发）。

6.5.3 GEO 卫星位置解算

GEO 卫星轨道参数由电文类型 39 和 40 播发，相关轨道参数见表 18。

表 18 GEO 卫星轨道参数

序号	轨道参数	轨道参数含义
1	t_{oe}	星历参考时间
2	a	卫星轨道长半轴 a
3	e	轨道偏心率
4	i	t_{oe} 时刻的轨道倾角
5	Ω_0	t_{oe} 时刻的轨道升交点赤经
6	ω	轨道近地点角距
7	M_0	t_{oe} 时刻的平近点角
8	\dot{I}	轨道倾角对时间的变化率
9	C_{uc}	升交点角距余弦调和校正振幅
10	C_{us}	升交点角距正弦调和校正振幅

按照如下步骤计算 GEO 卫星位置：

a) 平均角速度计算：按照公式（14）计算平均角速度 n_0 。

$$n_0 = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}} \dots\dots\dots(14)$$

式中：

a ——卫星轨道半长轴，单位为米（m）；

μ ——地球引力场常数， $3.986005 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$ 。

b) 时间间隔计算：按照公式（15）计算时间间隔 Δt 。

$$\Delta t = t - t_{oe} \dots\dots\dots(15)$$

式中：

t ——当前 SNT 时，单位为秒（s）；

t_{oe} ——星历参考时刻，单位为秒（s）。

如果 Δt 大于 43200 s，则减去 86400 s；如果 Δt 小于 -43200 s，则加上 86400 s。

c) 真近地点角计算：通过公式（16）计算 t 时刻的平近点角 M_t 。

$$M_t = M_0 + n_0 \times \Delta t \dots\dots\dots(16)$$

平近点角 M_t 与偏近点角 E_t 的关系由公式（17）开普勒方程给出。

$$M_t = E_t - e \times \sin E_t \dots\dots\dots(17)$$

运用迭代法，将 E_t 的初始值设为 M_t ，一般迭代 10 次以内即可得到精确的 E_t 值。

按照公式（18）计算 $(-\pi, \pi]$ 范围内的真近地角 v_t 值。

$$v_t = 2 \times \text{atan}\left(\sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \tan\left(\frac{E_t}{2}\right)\right) \dots\dots\dots(18)$$

d) 卫星矢径长度计算：按照公式（19）计算 t 时刻的卫星矢径长度 r_t 。

$$r_t = a \times (1 - e \times \cos E_t) \dots\dots\dots(19)$$

e) 升交点角距计算：按照公式（20）计算 t 时刻的升交点角距 Φ_t 。

$$\Phi_t = v_t + \omega \dots\dots\dots(20)$$

f) 平面直角坐标系中坐标计算：将星历中给出的参数 C_{uc} 、 C_{us} 以及之前计算出的升交点角距 Φ_t 带入公式（21）计算摄动校正项 δu_t 。

$$\delta u_t = C_{us} \sin(2\Phi_t) + C_{uc} \cos(2\Phi_t) \dots\dots\dots(21)$$

按照公式（22）计算摄动校正后的升交点角距 u_t 。

$$u_t = \Phi_t + \delta u_t \dots\dots\dots(22)$$

按照公式（23），将极坐标系下的 (r_t, u_t) 转换为平面直角坐标系中的坐标 (x'_t, y'_t) 。

$$\begin{cases} x'_t = r_t \cos u_t \\ y'_t = r_t \sin u_t \end{cases} \dots\dots\dots(23)$$

g) BDCS 坐标系中坐标计算：按照公式（24）计算 t 时刻的升交点赤经 Ω_t 。

$$\Omega_t = \Omega_0 - \dot{\Omega}_e \times \Delta t \dots\dots\dots(24)$$

式中：

$\dot{\Omega}_e$ ——地球自转角速度， $7.2921151467 \times 10^{-5}$ rad/s。

按照公式（25）计算 t 时刻的轨道倾角 i_t 。

$$i_t = i + (\dot{i} \times \Delta t) \dots\dots\dots(25)$$

按照公式（26）计算卫星在 BDCS 坐标系中的坐标 (x_t, y_t, z_t) 。

$$\begin{cases} x_t = x'_t \cos \Omega_t - y'_t \cos i_t \sin \Omega_t \\ y_t = x'_t \sin \Omega_t + y'_t \cos i_t \cos \Omega_t \\ z_t = y'_t \sin i_t \end{cases} \dots\dots\dots(26)$$

参 考 文 献

[1] 国际民用航空组织. 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”. 蒙特利尔, 2021.

[2] Council of EUROCAE. ED-259 Minimum Operational Performance Standard for Galileo/Global Positioning System/Satellite-Based Augmentation System Airborne Equipment. France: EUROCAE, 2019.
