

BD

中国第二代卫星导航系统重大专项标准

BD 450028-2021

北斗伪卫星信号接口规范

Specification for BeiDou pseudolite signal



2021-05-25 发布

2021-06-01 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 | 2 |
| 4 信号特性 | 2 |
| 4.1 信号结构 | 2 |
| 4.2 载波频率 | 3 |
| 4.3 调制方式 | 3 |
| 4.4 极化方式 | 3 |
| 4.5 用户接收信号电平 | 3 |
| 4.6 信号复用方式 | 3 |
| 4.7 信号工作带宽 | 3 |
| 4.8 相关损耗 | 3 |
| 4.9 载波相位噪声 | 3 |
| 4.10 带内杂散 | 3 |
| 5 测距码特性 | 3 |
| 5.1 伪卫星 B1I 频点测距码 | 3 |
| 5.2 伪卫星 L1 频点测距码 | 4 |
| 6 导航电文 | 6 |
| 6.1 伪卫星 B1I 频点导航电文 | 6 |
| 6.2 伪卫星 L1 频点导航电文 | 8 |

前 言

本标准按照 BD 130002-2017 和 BD 130003-2017 给出的规则起草。

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五十四研究所、卫星导航系统与装备技术国家重点实验室、和芯星通科技（北京）有限公司、东南大学、香港理工大学。

本标准主要起草人：蔚保国、甘兴利、张 衡、黄 璐、盛传贞、范广伟、祝瑞辉、李雅宁、李 爽、梁晓虎、程建强、翁多杰、吴红甲、潘树国。

北斗伪卫星信号接口规范

1 范围

本标准规定了北斗伪卫星信号接口定义、空间信号特性、测距码和导航电文等技术规范。
本标准适用于北斗伪卫星设备、用户接收机和芯片的研制。

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。凡是标注日期的引用文件，仅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。

GB/T 39267 北斗卫星导航术语

IS-GPS-200K Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

GB/T 39267界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1.1

北斗伪卫星 BeiDou Pseudolite

北斗伪卫星是一种播发与GNSS信号兼容的导航增强设备，通过播发B1I、L1两个频点导航定位信号，商品化GNSS接收机或芯片在不改变硬件模块的条件下，只需升级软件即可实现伪卫星信号的接收和定位。

3.1.2

北斗伪卫星坐标系统 BeiDou Pseudolite Coordinate System

北斗伪卫星系统采用北斗坐标系（BeiDou Coordinate System，简称BDCS），与北斗卫星导航系统坐标体系一致。

3.1.3

北斗伪卫星时间系统 BeiDou Pseudolite Time System

北斗伪卫星系统的时间基准为B1I频点信号采用北斗时，L1频点信号采用GPS时。

3.1.4

脉冲调制的二进制相移键控 Qulse Modulation- Binary Phase Shift Keying

脉冲调制的二进制相移键控（Qulse Modulation- Binary Phase Shift Keying，简称PM-BPSK），即在BPSK调制基础上，对扩展码的每个码片增加脉冲调制控制开关，控制每个脉冲占空比因数按所需从1%到100%生成周期的脉冲调制序列。

3.2 缩略语

- BDS: 北斗卫星导航系统 (BeiDou Navigation Satellite System)
- BDT: 北斗时 (BeiDou Navigation Satellite System Time)
- BPSK: 二进制相移键控 (Binary Phase Shift Keying)
- CDMA: 码分多址 (Code Division Multiple Access)
- ECEF: 地心地固坐标系 (Earth-Centered Earth-Fixed)
- GPS: 全球定位系统 (Global Positioning System)
- MSB: 最高有效位 (Most Significant Bit)
- PRN: 伪随机噪声码 (Pseudo Random Noise Code)
- PM-BPSK: 脉冲调制的二进制相移键控 (Pulse Modulation- Binary Phase Shift Keying)
- QPSK: 正交相移键控 (Quadrature Phase Shift Keying)
- RHCP: 右旋圆极化 (Right-Handed Circularly Polarized)
- SOW: 周内秒计数 (Seconds of Week)
- UTC: 协调世界时 (Universal Time Coordinated)
- WN: 整周计数 (Week Number)

4 信号特性

4.1 信号结构

伪卫星信号均由“测距码+导航电文”正交调制在载波上构成。信号生成公式如下式1所示

$$S^j(t) = A_I C_I^j(t) D_I^j(t) \cos(2\pi f + \varphi_I^j) + A_Q C_Q^j(t) D_Q^j(t) \sin(2\pi f + \varphi_Q^j) \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- S——调制后的伪卫星信号;
- 上角标j——表示伪卫星编号;
- A_I ——I路信号幅值;
- A_Q ——Q路信号幅值;
- C_I ——I路信号测距码;
- C_Q ——Q路信号测距码;
- D_I ——I路信号电文;
- D_Q ——Q路信号电文;
- f ——信号载波频率;
- φ_I ——I路信号载波初相;
- φ_Q ——Q路信号载波初相。

4.2 载波频率

北斗伪卫星 B1I 频点标称载波频率为 1561.098MHz，L1 频点标称载波频率为 1575.42MHz。

4.3 调制方式

伪卫星调制方式支持 BPSK 调制、PM-BPSK 调制两种方式。

4.4 极化方式

伪卫星信号极化方式采用 RHCP。

4.5 用户接收信号电平

北斗伪卫星信号用户室内接收最小电平为-128.5dBm，用户室外接收最小电平为-133dBm

4.6 信号复用方式

信号复用方式均为码分多址（CDMA）

4.7 信号工作带宽

北斗伪卫星 B1I 频点信号工作带宽为 4.092MHz，L1 频点信号工作带宽为 2.046MHz。

4.8 相关损耗

伪卫星相关损耗不超过 0.6 dB；

4.9 载波相位噪声

载波相位噪声如下：

| | |
|--------------|---------------------|
| ——-60 dBc/Hz | @ $f_0 \pm 10$ Hz |
| ——-75 dBc/Hz | @ $f_0 \pm 100$ Hz |
| ——-80 dBc/Hz | @ $f_0 \pm 1$ kHz |
| ——-85 dBc/Hz | @ $f_0 \pm 10$ kHz |
| ——-95 dBc/Hz | @ $f_0 \pm 100$ kHz |

4.10 带内杂散

伪卫星发射的杂散信号不超过-40dBc。

5 测距码特性

5.1 伪卫星 B1I 频点测距码

5.1.1 测距码产生

B1I 频点的测距码码速率为 2.046 Mcps，码长为 2046。

B1I 频点 I 支路测距码由两个线性序列 G1 和 G2 模二和产生平衡 Gold 码后截短 1 chip 生成。G1 和 G2 序列分别由两个 11 级线性移位寄存器生成，其生成多项式如下式 2 所示：

$$G1(X)=1+X+X^7+X^8+X^9+X^{10}+X^{11} \dots\dots\dots (2)$$

$$G2(X)=1+X+X^2+X^3+X^4+X^5+X^8+X^9+X^{11}$$

G1 和G2的初始相位为:

G1 序列初始相位: 01010101010

G2 序列初始相位: 01010101010

B1I 频点测距码发生器下图1所示。

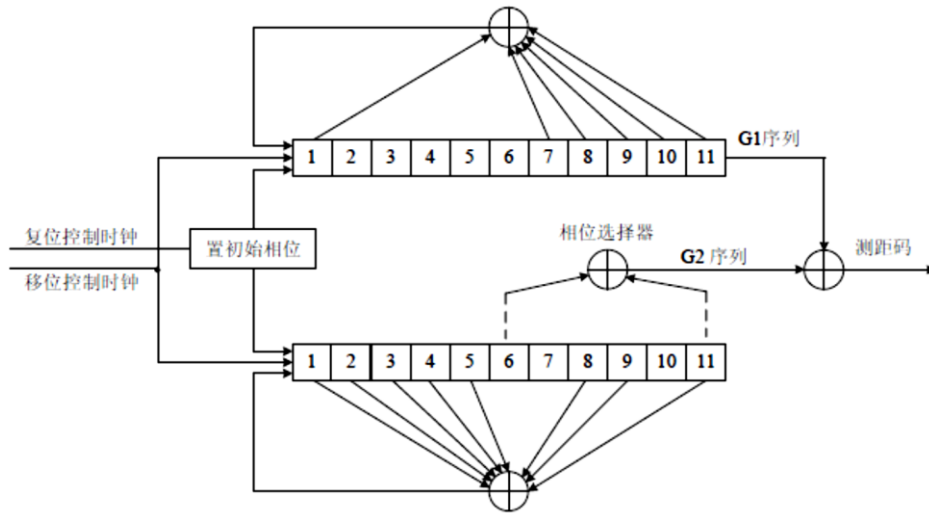


图 1 B1I 频点测距码发生器

5.1.2 测距码分配

通过对产生G2序列的移位寄存器不同抽头的模二和可以实现G2序列相位的不同偏移，与G1序列模二和后可生成不同卫星的测距码。伪卫星测距码伪卫星号分配为：173-184。G2序列相位抽头分配对应如下表1所示。

表 1 G2 抽头系数

| 伪卫星号 | 抽头1 | 抽头2 | 抽头3 | 抽头4 | 抽头5 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 173 | 2 | 5 | 7 | 10 | 11 |
| 174 | 2 | 6 | 7 | 10 | 11 |
| 175 | 3 | 4 | 5 | 10 | 11 |
| 176 | 3 | 4 | 6 | 10 | 11 |
| 177 | 3 | 4 | 8 | 10 | 11 |
| 178 | 3 | 4 | 9 | 10 | 11 |
| 179 | 3 | 5 | 9 | 10 | 11 |
| 180 | 3 | 6 | 7 | 10 | 11 |
| 181 | 3 | 6 | 9 | 10 | 11 |
| 182 | 4 | 5 | 6 | 10 | 11 |
| 183 | 4 | 6 | 9 | 10 | 11 |
| 184 | 6 | 7 | 8 | 10 | 11 |

5.2 伪卫星 L1 频点测距码

5.2.1 测距码产生

L1 频点的测距码码速率为 1.023 Mcps，码长为 1023。

L1 频点 I 支路测距码由两个线性序列 G1 和 G2i 模二和产生平衡 Gold 码。G2i 序列由 G2 序列延迟整数的码片个数而构成，G1 和 G2 序列分别由两个 10 级线性移位寄存器生成，其生成多项式如式 3 所示：

$$\begin{aligned} G1 &= X^{10} + X^3 + 1 \\ G2 &= X^{10} + X^9 + X^8 + X^6 + X^3 + X^2 + 1 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3)$$

G1 和 G2 的初始相位为：

G1 序列初始相位：1111111111。

G2 序列初始相位：1111111111。

L1 频点测距码发生器如下图 2 所示。

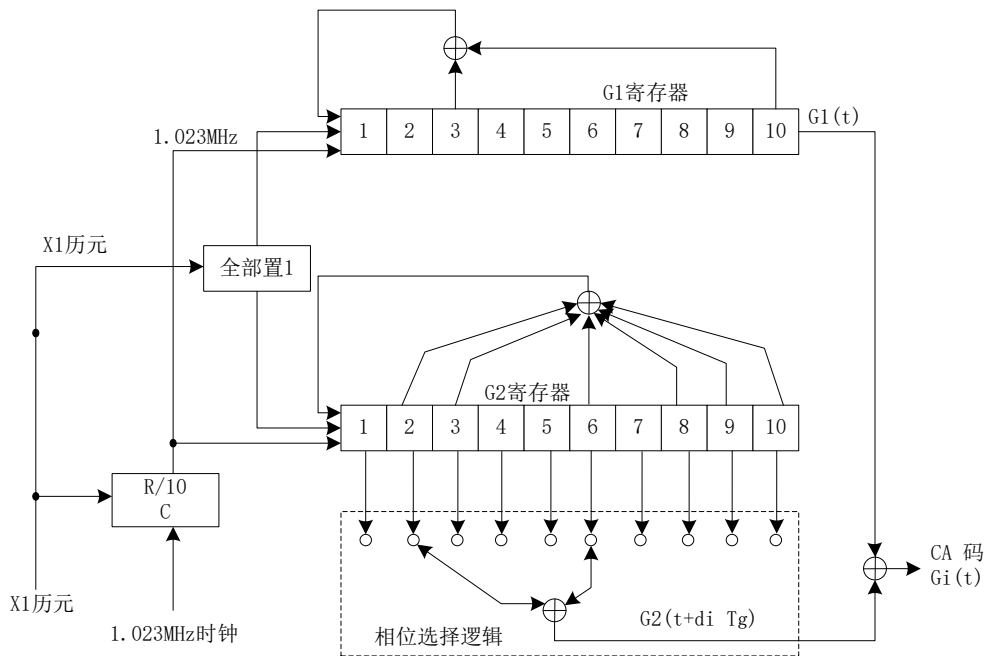


图 2 L1 扩频码发生器

5.2.2 测距码分配

通过对产生G2序列的移位寄存器不同抽头的模二和可以实现G2序列相位的不同偏移，与G1序列模二和后可生成不同卫星的测距码。伪卫星测距码伪卫星号分配为：173-184。G2序列相位延迟分配对应如表2下。

表 2 伪卫星 L1 频点测距码 G2 配置

| 伪卫星号 | G2延迟码片数 | G2抽头设置（八进制） |
|------|---------|-------------|
| 173 | 150 | 1362 |
| 174 | 395 | 1654 |
| 175 | 345 | 0510 |
| 176 | 846 | 0242 |
| 177 | 798 | 1142 |
| 178 | 992 | 1017 |
| 179 | 357 | 1070 |
| 180 | 995 | 0501 |

表 2 (续)

| 伪卫星号 | G2延迟码片数 | G2抽头设置(八进制) |
|------|---------|-------------|
| 181 | 877 | 0455 |
| 182 | 112 | 1566 |
| 183 | 144 | 0215 |
| 184 | 476 | 1003 |

6 导航电文

6.1 伪卫星 B1I 频点导航电文

6.1.1 电文速率和类型

6.1.1.1 电文信息数据

导航电文由伪卫星通过B1I信道以50比特/秒的速度进行传送。

6.1.1.2 电文信息类型

电文信息类型为导航数据，包含伪卫星位置、周、周内秒、设备时延等。参数数据结构与北斗卫星导航系统空间信号接口控制文件相同，参数内容除表3定义的其余内容不限，可以与北斗卫星导航系统空间信号接口控制文件参数一致，也可以根据自己场景定义参数。

表 3 伪卫星电文

| 序号 | 名称 | 参数长度 | 比例因子 | 单位 |
|----|--------|------|-----------|----|
| 1 | 坐标X | 36* | 10^{-3} | m |
| 2 | 坐标Y | 36* | 10^{-3} | m |
| 3 | 坐标Z | 36* | 10^{-3} | m |
| 4 | SOW周内秒 | 20 | 1 | s |
| 5 | WN | 13 | 1 | - |
| 6 | FraID | 3 | 1 | - |
| 7 | 设备时延 | 10 | 1 | ns |

* 为 2 进制补码，最高有效位 (MSB) 是符号位 (+ 或 -)。

6.1.2 电文帧结构

B1I频点导航电文由主帧和子帧组成。每个主帧为1500比特，历时3秒，每个主帧由5个子帧组成，每个子帧为300比特，历时0.6秒，每个子帧由10个字组成，每个字为30比特，历时0.06秒。

每个字由导航电文数据及校验码两部分组成。每个子帧第1个字的前15比特信息不进行纠错编码，后11比特信息采用BCH(15,11,1)方式进行纠错，信息位共有26比特；其它9个字均采用BCH(15,11,1)加交织方式进行纠错编码，信息位共有22比特。

6.1.3 电文结构安排

北斗伪卫星B1I频点导航信息分为基本导航信息、必填导航信息和选填导航信息。其中，帧同步码(简称帧头)、周内秒、周为基本导航信息，伪卫星坐标信息、设备时延为必填信息，其余为选填信息。必填信息在子帧1中已做定义并在下图3给出，其余子帧补充内容均为选填信息。

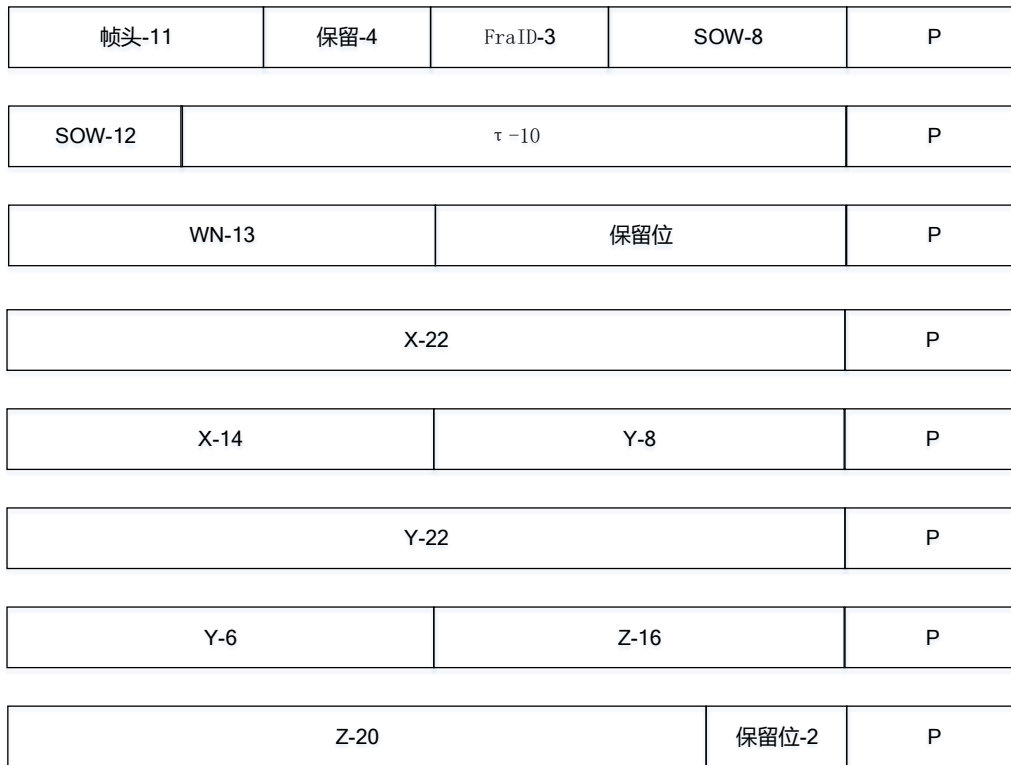


图 3 电文页结构

6.1.4 导航电文内容与算法

6.1.4.1 帧同步码

每一子帧的第1-11比特为帧同步码，其值为“11100010010”，第1比特上升沿为秒前沿，用于时标同步。

6.1.4.2 子帧计数 (FraID)

每一子帧的第1个字 16-18 比特为子帧计数 (FraID)，共3比特，具体见表4定义。

表 4 子帧计数编码定义

| | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 编号 | 001 | 010 | 011 | 100 | 101 | 110 | 111 |
| 子帧序列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 保留 | 保留 |

6.1.4.3 周内秒计数 (SOW)

每一子帧的第1个字19-26比特和第二个字31-42比特为周内秒计数 (SOW)，共20比特，每周日北斗时0点0分0秒从零开始计数。周内秒计数所对应的秒时刻是指本子帧同步头的第一个脉冲上升沿所对应的时刻。

6.1.4.4 整周计数 (WN)

整周计数 (WN) 共13比特，为北斗时的整周计数，其值范围为0-8191，以北斗时2006年1月1日0点0分0秒为起点，从零开始计数。

6.1.4.5 设备时延 (Δt)

$$\Delta t = 10 * \frac{\tau}{1024} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

τ——电文中设备时延值。

6.1.4.6 坐标计算

其中，X、Y、Z分别为电文中对应的X、Y、Z值，x，y，z为得到的ECEF坐标系坐标。

$$\begin{aligned} x &= X / 1000 \\ y &= Y / 1000 \dots\dots\dots (5) \\ z &= Z / 1000 \end{aligned}$$

6.1.5 BCH 编码

导航电文采取 BCH (15,11,1) 码加交织方式进行纠错。BCH 码长为15比特，信息位为11比特，纠错能力为1比特，其生成多项式为 $g(X) = X^4 + X + 1$ 。导航电文数据码按每11比特顺序分组，对需要交织的数据码先进行串/并变换，然后进行 BCH (15,11,1) 纠错编码，每两组BCH码，按1比特顺序进行并/串变换，组成30比特码长的交织码。具体如图4所示。

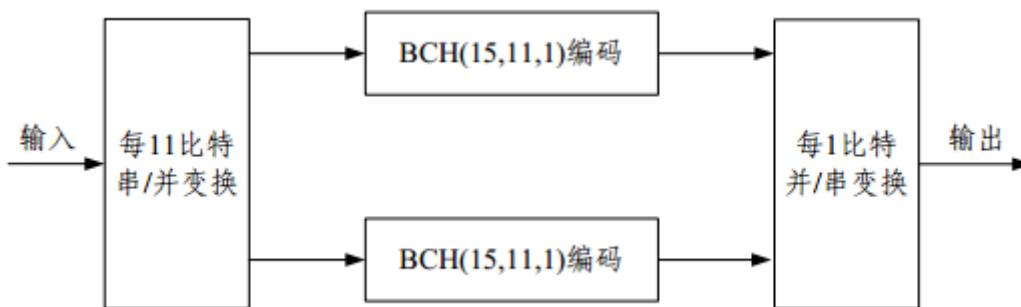


图 4 BCH 编码方式

6.2 伪卫星 L1 频点导航电文

6.2.1 电文速率和类型

6.2.1.1 电文信息数据

导航电文由伪卫星通过L1信道以50比特/秒的速度进行传送。

6.2.1.2 电文信息类型

电文信息类型为导航数据，包含伪卫星位置、周、周内秒、设备时延等。参数数据结构与 IS-GPS-200H文件相同，参数内容除表5定义的其余内容不限，可以与IS-GPS-200K文件参数一致，也可以根据自己场景定义参数。

表 5 伪卫星电文

| 序号 | 名称 | 参数长度 | 比例因子 | 单位 |
|----|--------|------|------------------|----|
| 1 | 坐标X | 36* | 10 ⁻³ | m |
| 2 | 坐标Y | 36* | 10 ⁻³ | m |
| 3 | 坐标Z | 36* | 10 ⁻³ | m |
| 4 | SOW周内秒 | 17 | 1 | s |
| 5 | WN | 10 | 1 | - |
| 6 | FraID | 3 | 1 | - |
| 7 | 设备时延 | 10 | 1 | ns |

* 为 2 进制补码，最高有效位 (MSB) 是符号位 (+ 或 -) 。

6.2.2 电文帧结构

L1频点导航电文由主帧和子帧组成。每个主帧为1500比特，历时3秒，每个主帧由5个子帧组成，每个子帧为300比特，历时 0.6 秒，每个子帧由10个字组成，每个字为30比特，历时0.06秒。每个字由导航电文数据及校验码两部分组成。前24比特为导航电文数据，后6位为纠错编码数据。

北斗伪卫星L1频点导航信息分为基本导航信息、必填导航信息和选填导航信息。其中，帧同步码（简称帧头）、周内秒、周为基本导航信息，伪卫星坐标信息、设备时延为必填信息，其余为选填信息。必填信息在子帧1中已做定义并在下图给出，其余子帧补充内容均为选填信息。具体如图5所示。

| | | | |
|------------------|------------|---------|--------------------|
| 帧头-8 10001011 | 遥测码-14 | 保留-2 | P-6 |
| SOW-17 | 保留位 | FraID-3 | 2比特-保证校验 末尾00 P |
| WN-10 | 保留位 | | P |
| 保留位 | τ -10 | X-12 | P |
| X-24 | | | P |
| Y-24 | | | P |
| Y-12 | Z-12 | | P |
| Z-24 | | | P |
| 保留位 | | | P |

图 5 电文页结构

6.2.3 导航电文内容与算法

6.2.3.1 帧同步码

每一子帧的第1-8比特为帧同步码，其值为“10001011”，第1比特上升沿为秒前沿，用于时标同步。

6.2.3.2 子帧计数（FraID）

每一子帧的第20-22比特为子帧计数（FraID），共3比特，具体定义如表6所示。

表 6 子帧计数编码定义

| | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 编号 | 001 | 010 | 011 | 100 | 101 | 110 | 111 |
| 子帧序列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 保留 | 保留 |

6.2.3.3 周内秒计数（SOW）

每一子帧的第2个字1-17比特为周内秒计数（SOW），共17比特，每周日GPS时0点0分0秒从零开始计数。周内秒计数乘以6所对应的秒时刻是指下一子帧同步头的第一个脉冲上升沿所对应的时刻。

6.2.3.4 整周计数（WN）

整周计数（WN）共10比特，为GPS时的整周计数，其值范围为0-1023，以GPS时1980年1月5日午夜，即1980年1月6日零点开始。

6.2.3.5 设备时延（Δt）

$$\Delta t = 10 * \frac{\tau}{1024} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

τ——电文中设备时延值。

6.2.3.6 坐标计算

$$\begin{aligned} x &= X / 1000 \\ y &= Y / 1000 \dots\dots\dots (7) \\ z &= Z / 1000 \end{aligned}$$

式中：X、Y、Z分别为电文中对应的X、Y、Z值，x，y，z为得到的ECEF坐标系坐标。

6.2.4 奇偶校验

奇偶校验与GPS L1频点电文定义方式相同，具体如下所示。

$$\begin{aligned} D_1 &= d_1 \oplus D_{30}^* \\ D_2 &= d_2 \oplus D_{30}^* \\ D_3 &= d_3 \oplus D_{30}^* \\ \bullet &\quad \bullet \\ \bullet &\quad \bullet \\ \bullet &\quad \bullet \\ D_{24} &= d_{24} \oplus D_{30}^* \\ D_{25} &= D_{29}^* \oplus d_1 \oplus d_2 \oplus d_3 \oplus d_5 \oplus d_6 \oplus d_{10} \oplus d_{11} \oplus d_{12} \oplus d_{13} \oplus d_{14} \oplus d_{17} \oplus d_{18} \oplus d_{20} \oplus d_{23} \\ D_{26} &= D_{30}^* \oplus d_2 \oplus d_3 \oplus d_4 \oplus d_6 \oplus d_7 \oplus d_{11} \oplus d_{12} \oplus d_{13} \oplus d_{14} \oplus d_{15} \oplus d_{18} \oplus d_{19} \oplus d_{21} \oplus d_{24} \\ D_{27} &= D_{29}^* \oplus d_1 \oplus d_3 \oplus d_4 \oplus d_5 \oplus d_7 \oplus d_8 \oplus d_{12} \oplus d_{13} \oplus d_{14} \oplus d_{15} \oplus d_{16} \oplus d_{19} \oplus d_{20} \oplus d_{22} \\ D_{28} &= D_{30}^* \oplus d_2 \oplus d_4 \oplus d_5 \oplus d_6 \oplus d_8 \oplus d_9 \oplus d_{13} \oplus d_{14} \oplus d_{15} \oplus d_{16} \oplus d_{17} \oplus d_{20} \oplus d_{21} \oplus d_{23} \\ D_{29} &= D_{30}^* \oplus d_1 \oplus d_3 \oplus d_5 \oplus d_6 \oplus d_7 \oplus d_9 \oplus d_{10} \oplus d_{14} \oplus d_{15} \oplus d_{16} \oplus d_{17} \oplus d_{18} \oplus d_{21} \oplus d_{22} \oplus d_{24} \\ D_{30} &= D_{29}^* \oplus d_3 \oplus d_5 \oplus d_6 \oplus d_8 \oplus d_9 \oplus d_{10} \oplus d_{11} \oplus d_{13} \oplus d_{15} \oplus d_{19} \oplus d_{22} \oplus d_{23} \oplus d_{24} \end{aligned}$$

其中：

- d₁, d₂, …, d₂₄ 为电文数据比特；
- D₂₅、D₂₆, …, D₃₀ 为校验后的校验比特数
- D₁、D₁, …, D₃₀ 为伪卫星发送的电文比特；
- ⊕ 为模 2 加。