



## 北斗卫星导航系统数据分析与应用专题·论文

## 北斗基本导航电文定义与使用方法

刘利\*, 时鑫, 栗靖, 赵金贤, 郭睿, 吴晓莉, 何峰

北京卫星导航中心, 北京 100094

\*联系人, E-mail: lliu@shao.ac.cn

收稿日期: 2015-03-30; 接受日期: 2015-04-24; 网络出版日期: 2015-05-29

自然科学基金资助项目(批准号: 41174027)和国家高技术研究发展计划(编号: 2013AA122402)资助项目

**摘要** 导航卫星发播的导航电文信息是用户导航定位的空间基准和时间基准. 本文主要讨论了北斗卫星导航系统发展现状, 介绍了北斗卫星导航系统发播信号特征与信息内容以及北斗系统时空基准与 GPS(Global Positioning System)差异, 在此基础上, 详细给出了北斗基本导航电文中的卫星钟差与 TGD(Time Group Delay)参数、卫星星历参数、电离层延迟模型参数的定义与使用方法, 并结合实际应用, 给出了用户使用北斗导航电文时需要特别注意的一些问题.

**关键词** 北斗卫星导航系统, 导航电文, 卫星钟差, 卫星星历, 电离层延迟模型

**PACS:** 91.10.Fc, 91.10.Sp, 06.30.Ft, 94.20.Cf

**doi:** 10.1360/SSPMA2015-00124

## 1 引言

北斗卫星导航系统建设按照“先区域、后全球”的总体思路分步实施, 采取“三步走”的发展战略. 第一步, 2000 年初步建成北斗卫星导航试验系统; 第二步, 2012 年北斗卫星导航区域系统将为中国及周边地区提供服务; 第三步, 2020 年全面建成北斗卫星导航系统<sup>[1]</sup>.

北斗卫星导航区域系统已于 2012 年 12 月正式开通运行, 开始为中国及周边地区用户提供导航定位、授时与短报文通信服务. 北斗卫星导航(区域)系统空间星座由 14 颗组网卫星组成, 其中包括 5 颗地球静止轨道(GEO-Geostationary Orbit)卫星分别定点于 58.75°E, 80°E, 110.5°E, 40°E 和 160°E, 9 颗非地球静止轨

道(Non-GEO)包括 4 颗中圆地球轨道(MEO-Middle Earth Orbit)卫星和 5 颗倾斜地球同步轨道(IGSO-Inclined GeoSynchronous Orbit)卫星<sup>[1]</sup>.

按照总体规划, 北斗卫星导航系统提供开放服务和授权服务两种全球服务. 北斗卫星导航(区域)系统开放服务的主要性能为<sup>[2,3]</sup>

- (1) 定位精度: 平面 10 m、高程 10 m;
- (2) 授时精度: 单向 50 ns;
- (3) 测速精度: 0.2 m/s.

同时, 北斗卫星导航系统还提供广域差分 and 短报文通信两种区域服务<sup>[2,3]</sup>. 其中, 短报文通信服务能力为 120 个汉字/次.

自 2003 年北斗卫星导航试验系统正式提供服务以来, 已经在交通运输、海洋渔业、水文监测、气象

**引用格式:** 刘利, 时鑫, 栗靖, 等. 北斗基本导航电文定义与使用方法. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2015, 45: 079509

Liu L, Shi X, Li J, et al. The definition and using method of the COMPASS basic navigation message (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2015, 45: 079509, doi: 10.1360/SSPMA2015-00124

测报、森林防火、通信时统、电力调度、救灾减灾和国家安全等诸多领域得到广泛应用,产生显著的社会效益和经济效益<sup>[2]</sup>.特别是随着北斗卫星导航区域系统的建成以及接口控制文件的陆续公布,北斗系统的应用正在呈现“井喷式”发展态势.众所周知,用户导航定位的基本原理是接收 4 颗以上的导航卫星信号,在导航卫星空间位置和时间已知的情况下,就能计算出用户的三维位置和用户钟差.导航卫星已知的空间位置和时间信息就是通过导航卫星发播的导航电文来具体实现的,对导航电文信息的深入理解和正确使用,是用户实现更高精度导航定位的基础.因此,本文主要针对北斗卫星导航区域系统发播的基本导航信息的定义与使用问题进行探讨,以期为用户更好地应用北斗系统提供借鉴和参考.

## 2 北斗系统发播信号特征与时空基准

### 2.1 北斗系统发播信号特征与信息内容<sup>[3]</sup>

北斗卫星导航区域系统发播信号特征如表 1 所示.

北斗卫星导航系统发播信息主要包括如下几方面.

(1) 载波.北斗卫星导航系统分三个频点.每个频点均调制数据码、普通测距码和精密测距码.

(2) 测距码.北斗卫星导航系统的测距码分为普通测距码和精密测距码两种.

(3) 数据码.北斗卫星导航系统的数据码分为 D1 导航电文和 D2 导航电文. D1 导航电文速率为 50 bps, 内容包含基本导航信息(本卫星基本导航信息、全部卫星历书信息、与其他系统时间同步信息); D2 导航电文速率为 500 bps, 内容包含基本导航信息和增强服务信息(北斗系统的差分及完好性信息和格网点电离层信息).

表 1 北斗卫星导航系统发播信号特征

Table 1 The signal characteristics of Compass system

| 信号    | 中心频点<br>(MHz) | 码速率<br>(cps) | 带宽<br>(MHz) | 调制<br>方式 | 服务<br>类型 |
|-------|---------------|--------------|-------------|----------|----------|
| B1(I) | 1561.098      | 2.046        | 4.092       | QPSK     | 开放       |
| B1(Q) | 1561.098      | 2.046        | 4.092       | QPSK     | 授权       |
| B2(I) | 1207.14       | 2.046        | 24          | QPSK     | 开放       |
| B2(Q) | 1207.14       | 10.23        | 24          | QPSK     | 授权       |
| B3    | 1268.52       | 10.23        | 24          | QPSK     | 授权       |

MEO/IGSO 卫星 B1I 发播 D1 码, GEO 卫星 B1I 发播 D2 码.

北斗卫星导航系统导航电文帧结构分为 D1 码帧结构和 D2 码帧结构. D1 导航电文由超帧、主帧和子帧组成. 每个超帧为 36000 bit, 历时 12 min, 每个超帧由 24 个主帧组成(24 个页面); 每个主帧为 1500 bit, 历时 30 s, 每个主帧由 5 个子帧组成; 每个子帧为 300 bit, 历时 6 s, 每个子帧由 10 个字组成; 每个字为 30 bit, 历时 0.6 s. 其中, 子帧 1-3 用来发播本星基本导航信息, 子帧 4-5 发播全部卫星历书以及其他系统时间同步信息, 由 24 个页面分时发送. D1 导航电文主帧结构及信息内容如图 1 所示.

D2 导航电文由超帧、主帧和子帧组成. 每个超帧为 180000 bit, 历时 6 min, 每个超帧由 120 个主帧组成, 每个主帧为 1500 bit, 历时 3 s, 每个主帧由 5 个子帧组成, 每个子帧为 300 bit, 历时 0.6 s, 每个子帧由 10 个字组成, 每个字为 30 bit, 历时 0.06 s. 子帧 1 播发基本导航信息, 由 10 个页面分时发送, 子帧 2-4 信息由 6 个页面分时发送, 子帧 5 中信息由 120 个页面分时发送. D2 导航电文主帧结构及信息内容如下图 2 所示.

### 2.2 北斗系统时空基准及与 GPS 差异

(1) 时间基准.

北斗卫星导航系统的时间基准为北斗时, 简称 BDT(BeiDou Time). BDT 采用国际单位制秒为基本单位连续累计, 不闰秒, 起始历元为 2006 年 1 月 1 日协调世界时(UTC-Coordinated Universal Time)00 h00 min00 s, 采用周和周内秒计数. BDT 与 UTC 的偏差保持在 100 ns 以内(模 1 s). BDT 与 UTC 之间的闰秒信息在导航电文中播报<sup>[1]</sup>.

由于 GPS 时间起点为 1980 年 1 月 6 日 UTC 00 h

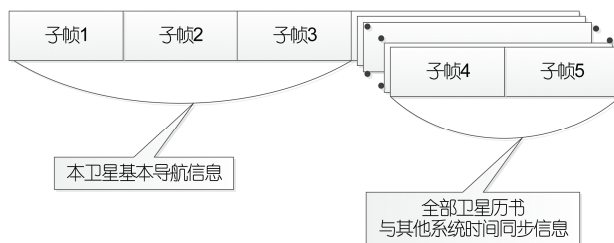


图 1 D1 导航电文主帧结构及信息内容

Figure 1 Main frame structure and information content of D1 navigation message.

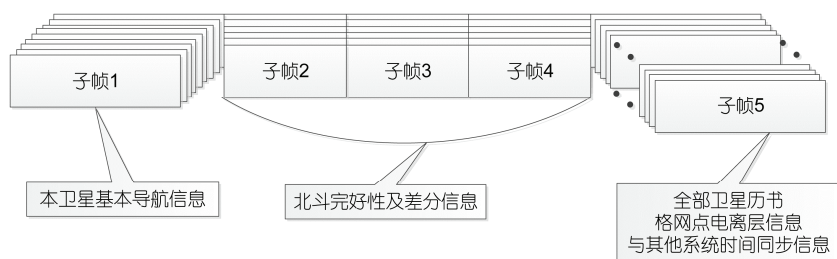


图 2 D2 导航电文主帧结构及信息内容

Figure 2 Main frame structure and information content of D2 navigation message.

00 min 00 s<sup>[5]</sup>, 因此, BDT 与 GPST(GPS Time)之间相差 14 s 的整数秒, 见式(1).

$$\text{BDT} = \text{GPST} - 14 \text{ s}. \quad (1)$$

BDT 与 GPST 之间的小数秒部分可以通过北斗卫星发播导航电文中的北斗时与其他时间系统偏差参数进行计算.

#### (2) 空间基准.

北斗卫星导航系统采用 2000 中国大地坐标系(CGCS2000-Chinese Geodetic Coordinate System 2000). CGCS2000 大地坐标系的定义如下<sup>[1]</sup>:

- 1) 原点位于地球质心;
- 2) Z 轴指向国际地球自转服务组织(IERS-International Earth Rotation Service)定义的参考极方向;
- 3) X 轴为 IERS 定义的参考子午面与通过原点且同 Z 轴正交的赤道面的交线;
- 4) Y 轴与 Z, X 轴构成右手直角坐标系.

CGCS2000 原点也用作 CGCS2000 椭球的几何中心, Z 轴用作该旋转椭球的旋转轴. CGCS2000 参考椭球定义的基本常数以及与 GPS WGS84(World Geodetic System 1984)坐标系的差异如表 2 所示.

由上面的定义可以看出, CGCS2000 与 WGS84 的坐标系定义基本相同, 但是部分基本常数两者存在差异. 对于扁率造成的差别, 地面上的用户最大差异小于 1 mm, 一般认为该差异是可以忽略的<sup>[4]</sup>. 但

是, 对于地球自转角速度的差异来说, 由于北斗系统在将卫星轨道坐标转换为轨道根数时采用的是 CGCS2000 坐标系参数, 与 GPS WGS84 坐标系参数不同, 如果用户在利用北斗星历参数计算空间卫星坐标时使用 WGS84 参数代替 CGCS2000 地球自转角速度, 则最大会引起米级误差.

## 3 北斗基本导航电文使用方法

北斗基本导航电文主要包括卫星钟差参数、星上设备时延差参数、电离层延迟模型改正参数、卫星星历参数、卫星历书以及与其他系统时间同步信息等.

### 3.1 卫星钟差与 TGD 参数

#### (1) 参数定义.

卫星钟差是指同一时刻卫星的钟面时与北斗时钟面时之差.

卫星钟差参数包括 IODC(Issue of Data Clock),  $t_{oc}$ ,  $a_0$ ,  $a_1$  和  $a_2$  五个参数.  $t_{oc}$  定义为本组卫星钟差参数对应的参考时刻;  $a_0$  定义为  $t_{oc}$  参考时刻的卫星钟差;  $a_1$  定义为以  $t_{oc}$  参考时刻为起点的卫星钟差变化速率;  $a_2$  定义为以  $t_{oc}$  参考时刻为起点的卫星钟差变化加速度; IODC 定义为本组卫星钟差参数的外推时间间隔, 用本组卫星钟差参数参考时刻  $t_{oc}$  与计算钟差参数所使用的最后一个观测数据时刻之差来表示.

北斗卫星导航系统包含两个 TGD 参数, 即  $T_{GD1}$ ,

表 2 CGCS2000 基本常数以及与 GPS WGS84 的差异

Table 2 Fundamental constants of CGCS2000 and the difference to GPS WGS84

|                                         | CGCS2000                     | WGS84                         | 差异 |
|-----------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----|
| 长半轴(m)                                  | 6378137.0                    | 6378137.0                     | 无  |
| 地球引力常数(m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup> ) | 3.986004418×10 <sup>14</sup> | 3.986005×10 <sup>14</sup>     | 有  |
| 扁率                                      | 1/298.257222101              | 1/298.257223563               | 有  |
| 地球自转角速度(rad/s)                          | 7.292115×10 <sup>-5</sup>    | 7.2921151467×10 <sup>-5</sup> | 有  |

$T_{GD2}$ , 分别定义为卫星 B1, B2 频点发射链路时延相对于 B3 频点发射链路时延之差, 见公式(2).

$$\begin{aligned} T_{GD1} &= \tau_{S1} - \tau_{S3}, \\ T_{GD2} &= \tau_{S2} - \tau_{S3}, \end{aligned} \quad (2)$$

式中  $\tau_{S1}$ ,  $\tau_{S2}$ ,  $\tau_{S3}$  分别为卫星 B1, B2, B3 频点发射链路的时延.

## (2) 参数使用方法.

用户根据导航电文播发的卫星钟差参数可以计算出卫星信号发送时刻的北斗时, 具体参数使用方法见公式(3)<sup>[1]</sup>.

$$t = t_{sv} - \Delta t_{sv}, \quad (3)$$

式中  $t$  为信号发射时刻的北斗时时间, 单位为 s;  $t_{sv}$  为信息发送时刻卫星测距码相位时间, 单位为 s;  $\Delta t_{sv}$  为卫星测距码相位时间偏差, 单位为 s.  $\Delta t_{sv}$  的计算公式为

$$\Delta t_{sv} = a_0 + a_1(t - t_{oc}) + a_2(t - t_{oc})^2 + \Delta t_r, \quad (4)$$

式中  $\Delta t_r$  为相对论校正项(单位: s), 其值为  $\Delta t_r = Fe(A)^{1/2} \sin E_k$ ;  $e$  为卫星轨道偏心率, 由本星历参数得到;  $(A)^{1/2}$  为卫星轨道长半轴的开方, 由本星历参数得到;  $E_k$  为卫星轨道偏近点角, 由本星历参数计算得到;  $F$  的计算公式为

$$F = -2\mu^{1/2}/c^2 = -4.442807633 \times 10^{-10} \text{ s/m}^{1/2}, \quad (5)$$

式中  $\mu$  为地球万有引力参数值, 即  $3.986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$ ;  $c$  为光速, 即  $2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

对于 B3 频点单频用户, 不需要进行 TGD 修正. 对于 B1, B2 频点单频用户, 还需要分别按照式(6)进行 TGD 修正:

$$(\Delta t_{sv})_{B1} = \Delta t_{sv} - T_{GD1}, \quad (\Delta t_{sv})_{B2} = \Delta t_{sv} - T_{GD2}. \quad (6)$$

## (3) 参数使用说明.

北斗系统卫星钟差参考点为卫星 B3 频点发射天线相位中心, 因此, 北斗系统 B3 频点单频用户不需要进行 TGD 参数修正, 而北斗其他单频用户或双频用户均需要进行 TGD 修正; 而 GPS 卫星钟差参考点为 L1/L2 无电离层组合观测量虚拟点, 卫星钟差参数中已经包含了双频组合出的 TGD, 因此, GPS 双频用户不需要进行 TGD 修正, 而单频用户需要进行 TGD 修正<sup>[5]</sup>.

北斗系统的卫星钟差和 TGD 参数必须一起使用, 不能单独使用其中一个.

卫星钟差参数龄期(IODC)超过 2 时, 用户可以降权使用该颗卫星的观测数据.

I 支路用户只能使用本支路发播的卫星钟差与

TGD 参数, 不能与其他支路数据混合使用.

## 3.2 卫星星历参数

### (1) 参数定义.

卫星星历参数是导航卫星发播的、用于用户计算卫星在一段时间内的空间运行轨迹的一组参数.

卫星星历参数主要有两种表达形式: 一种是卫星状态矢量形式, 它主要包括卫星三维位置、速度、加速度 9 个参数和 1 个参考时间参数; 另一种是轨道根数形式, 它主要包括 15 个卫星轨道参数、1 个参考时间参数、1 个数据龄期参数共 17 个参数, 即

$$(t_{oe}, \sqrt{a}, e, i_0, \Omega_0, \omega, M_0, \Delta n, \dot{\Omega}, \dot{\text{idot}}, C_{rs}, C_{rc}, C_{us}, C_{uc}, C_{is}, C_{ic}, \text{IODE}).$$

其中,  $t_{oe}$  是参考时间参数,  $(\sqrt{a}, e, i_0, \Omega_0, \omega, M_0)$  描述的是参考时间对应的开普勒根数,  $(\Delta n, \dot{\Omega}, \dot{\text{idot}})$  描述的是长周期项改正数,  $(C_{rs}, C_{rc}, C_{us}, C_{uc}, C_{is}, C_{ic})$  描述的是短周期调和改正项振幅, IODE 是数据龄期参数, IODE(Issue of Data Ephemeris)定义为本组卫星星历参数的外推时间间隔, 用本组卫星星历参数参考时刻  $t_{oe}$  与卫星定轨计算所使用的最后一个观测数据时刻之差来表示, 如式(7)所示:

$$\text{IODE} = t_{oe} - t_L, \quad (7)$$

式中  $t_{oe}$  为卫星星历参数的参考时刻;  $t_L$  卫星定轨计算所使用的最后一个观测数据时刻.

北斗卫星导航系统采用的是轨道根数形式. 具体的卫星星历参数定义如表 3 所示.

### (2) 参数使用方法.

用户使用北斗卫星星历参数计算卫星在 CGCS2000 坐标系的精确位置时, 只要严格按照接口文件给出公式进行计算即可, 模型公式详见文献[1], 这里不再赘述.

### (3) 参数使用说明.

由于 GEO 卫星的静地特性, 北斗系统在利用卫星位置拟合计算 GEO 卫星星历参数时, 对轨道事先进行了旋转  $5^\circ$  处理, 因此, 用户在使用星历参数反算卫星位置时, 也需要进行  $5^\circ$  反旋转处理, 这与 IGSO/MEO 卫星的卫星星历参数使用算法存在差异.

利用卫星星历参数计算出的卫星轨道为卫星质心在 CGCS2000 坐标系中的位置.

$\Omega_0$  参数为卫星星历参考历元  $t_{oe}$  时刻升交点到北斗时本周 0 时的格林尼治子午线之间的经度, 不能

表 3 I 支路卫星星历参数定义与接口表达

Table 3 Definition and interface expression of satellite ephemeris parameters for Compass I channel navigation message

| 参数             | 定义                                   | bit 数      | 量化单位      | 有效范围                       | 单位        |
|----------------|--------------------------------------|------------|-----------|----------------------------|-----------|
| $t_{oe}$       | 卫星轨道参数参考时间                           | 17         | $2^3$     | 604792                     | s         |
| $\sqrt{A}$     | 轨道长半轴的平方根                            | 32         | $2^{-19}$ | 8192                       | $m^{1/2}$ |
| $E$            | 轨道偏心率                                | 32         | $2^{-33}$ | 0.5                        | 无         |
| $\omega$       | 轨道近地点幅角                              | $32^{*a)}$ | $2^{-31}$ | $\pm 1$                    | $\pi$     |
| $\Delta n$     | 卫星平均运动速率与计算值之差                       | $16^*$     | $2^{-43}$ | $\pm 3.73 \times 10^{-9}$  | $\pi/s$   |
| $M_0$          | 卫星星历参考时刻的平近点角                        | $32^*$     | $2^{-31}$ | $\pm 1$                    | $\pi$     |
| $\Omega_0$     | 卫星星历参考时刻的升交点相对于北斗时本周 0 时格林尼治子午线之间的经度 | $32^*$     | $2^{-31}$ | $\pm 1$                    | $\pi$     |
| $\dot{\Omega}$ | 升交点赤经变化率                             | $24^*$     | $2^{-43}$ | $\pm 9.54 \times 10^{-7}$  | $\pi/s$   |
| $i_0$          | 卫星星历参考时刻的轨道倾角                        | $32^*$     | $2^{-31}$ | $\pm 1$                    | $\pi$     |
| IDOT           | 卫星星历参考时刻的轨道倾角变化率                     | $14^*$     | $2^{-43}$ | $\pm 9.31 \times 10^{-10}$ | $\pi/s$   |
| $C_{uc}$       | 纬度幅角的余弦调和改正项的振幅                      | $18^*$     | $2^{-31}$ | $\pm 6.10 \times 10^{-5}$  | rad       |
| $C_{us}$       | 纬度幅角的正弦调和改正项的振幅                      | $18^*$     | $2^{-31}$ | $\pm 6.10 \times 10^{-5}$  | rad       |
| $C_{rc}$       | 轨道半径的余弦调和改正项的振幅                      | $17^*$     | $2^{-6}$  | $\pm 2048$                 | m         |
| $C_{rs}$       | 轨道半径的正弦调和改正项的振幅                      | $17^*$     | $2^{-6}$  | $\pm 2048$                 | m         |
| $C_{ic}$       | 轨道倾角的余弦调和改正项的振幅                      | $18^*$     | $2^{-31}$ | $\pm 6.10 \times 10^{-5}$  | rad       |
| $C_{is}$       | 轨道倾角的正弦调和改正项的振幅                      | $18^*$     | $2^{-31}$ | $\pm 6.10 \times 10^{-5}$  | rad       |

a) \*参数为 2 进制补码, 最高有效位是符号位

当作卫星星历参考历元的升交点赤经使用。

北斗卫星导航系统采用的是 CGCS2000 坐标系, 北斗用户应当严格按照 CGCS2000 坐标系参数使用, 不能与 GPS WGS84 坐标系参数混用。用户使用错误时, 最大将产生米级的误差。

卫星星历参数的参考时刻  $t_{oe}$  为整小时, 卫星星历参数仅在对应的  $t_{oe}$  参考时刻本小时和下一小时有效(有效时间共 2 小时), 用户在没有收到新的卫星星历参数时不能继续延用。

由于 GEO 卫星在北斗服务区域内一直可视, 而 IGSO 和 MEO 卫星存在区域不可视问题, 因此, 在 IGSO 和 MEO 卫星出境后再次入境卫星星历参数未能及时更新时, 利用卫星星历参数计算的卫星轨道位置精度可能会有所降低。

### 3.3 电离层延迟模型参数

#### (1) 参数定义.

电离层延迟模型参数是用来描述无线电信号穿过电离层引起的天顶方向时间延迟(超前)的一组参数。北斗卫星导航系统发播 8 参数和 14 参数两种电离层延迟模型参数, 北斗卫星 I 支路发播的为 8 参数模型。具体的参数定义与接口表达形式见表 4。

#### (2) 参数使用方法.

北斗系统 I 支路发播了与 GPS 类似的 8 参数电离层延迟模型, 具体计算模型见式(8)<sup>[1]</sup>:

表 4 I 支路电离层延迟模型 8 参数定义与接口表达

Table 4 Definition and interface expression of eight parameters ionosphere delay model for Compass I channel navigation message

| 参数         | 定义   | bit 数     | 量化单位      | 单位          | 有效范围                      |
|------------|------|-----------|-----------|-------------|---------------------------|
| $\alpha_0$ | 振幅参数 | $8^{*a)}$ | $2^{-30}$ | s           | $\pm 1.19 \times 10^{-7}$ |
| $\alpha_1$ | 振幅参数 | $8^*$     | $2^{-27}$ | $s/\pi$     | $\pm 9.53 \times 10^{-7}$ |
| $\alpha_2$ | 振幅参数 | $8^*$     | $2^{-24}$ | $s/(\pi)^2$ | $\pm 7.63 \times 10^{-6}$ |
| $\alpha_3$ | 振幅参数 | $8^*$     | $2^{-24}$ | $s/(\pi)^3$ | $\pm 7.63 \times 10^{-6}$ |
| $\beta_0$  | 周期参数 | $8^*$     | $2^{11}$  | s           | $\pm 2.62 \times 10^5$    |
| $\beta_1$  | 周期参数 | $8^*$     | $2^{14}$  | $s/\pi$     | $\pm 2.1 \times 10^6$     |
| $\beta_2$  | 周期参数 | $8^*$     | $2^{16}$  | $s/(\pi)^2$ | $\pm 8.4 \times 10^6$     |
| $\beta_3$  | 周期参数 | $8^*$     | $2^{17}$  | $s/(\pi)^3$ | $\pm 1.68 \times 10^6$    |

a) 标有上标\*的参数是 2 的补码, 最高有效位是符号位

$$I_z'(t) = \begin{cases} 5 \times 10^{-9} + A_2 \cos \left[ \frac{2\pi(t-50400)}{A_4} \right], & |t-50400| < \frac{A_4}{4}, \\ 5 \times 10^{-9}, & |t-50400| \geq \frac{A_4}{4}, \end{cases} \quad (8)$$

式中

$$A_2 = \begin{cases} \sum_{n=0}^3 \alpha_n |\phi_M|^n, & A_2 \geq 0, \\ 0, & A_2 < 0, \end{cases} \quad (9)$$

$$A_4 = \begin{cases} 172800, & A_4 \geq 172800, \\ \sum_{n=0}^3 \beta_n |\phi_M|^n, & 172800 > A_4 \geq 72000, \\ 72000, & A_4 < 72000, \end{cases} \quad (10)$$

但是, 北斗系统的 8 参数电离层延迟模型与 GPS 采用的 Klobuchar 模型存在本质差别<sup>[1,5]</sup>, 这些差别主要有:

1) 坐标系不同: GPS Klobuchar 模型采用地磁坐标系, 北斗 8 参数模型采用的是地理坐标系;

2) 参数来源不同: GPS Klobuchar 模型参数为采用历史数据事先计算出的固定 370 组参数, 北斗 8 参数模型参数采用北斗系统实测数据解算得到;

3) 更新周期不同: GPS 系统根据年积日和太阳平均流量来选择模型参数, 一般按天更新, 而北斗系统采用 2 小时快速更新;

4) 电离层薄层参考高度不同: GPS 电离层薄层参考高度为 350 km, 而北斗为 375 km.

(3) 参数使用说明.

北斗用户在使用 8 参数模型计算电离层延迟时, 还特别需要注意以下问题:

1) 对于南半球用户, 需要将地理纬度取绝对值后带入公式计算.

2) 用户定位授时计算时, 为了保证电离层延迟修正的一致性, 各颗卫星必须采用同一组电离层延迟模型参数进行电离层延迟改正计算. 由于 IGSO/MEO 卫星存在区域不可视电文无法及时更新问题, 因此, 建议用户采用 GEO 卫星发播的电离层延迟模型参数.

3) 北斗电离层延迟模型参数参考频点为 B1, 即计算得到的电离层延迟量是对应于 B1 频点的延迟量, 对于 B2, B3 频点用户需要乘上有关的频率比例因子

$k(f)$ 进行换算.

### 3.4 卫星历书参数

(1) 参数定义.

卫星历书参数与卫星星历参数一样, 同样用来描述在一段拟合时间间隔内的卫星空间轨道位置. 与卫星星历参数相比, 卫星历书参数描述的轨道适用时间更长, 但精度相对较低, 主要用于用户快速搜星使用. 利用卫星历书参数计算出的卫星轨道时间空间基准和空间参考点与卫星星历参数相同.

卫星历书参数的定义与接口表达如表 5 所示.

(2) 参数使用方法.

用户根据接收到的卫星历书参数可以计算卫星在 CGS2000 坐标系中的位置, 只要严格按照接口文件给出公式进行计算即可, 模型公式详见文献[1], 这里不再赘述.

(3) 参数使用说明.

利用卫星历书参数计算出的卫星轨道为卫星质心在 CGCS2000 坐标系中的位置, 卫星历书参数精度  $\sim 100 \text{ m}^{-1} \text{ km}$  量级, 因此, 卫星历书参数只能用来大概确定卫星的位置.

与卫星星历参数的参考时间  $t_{oe}$  为整小时不同, 卫星历书参数参考时间  $t_{oa}$  的接口量化单位为  $2^{12}$ , 因此, 卫星历书参数参考时间  $t_{oa}$  为 4096 的整数倍.

GEO 卫星与 IGSO/MEO 卫星的历书使用算法中定义的  $i_0$  参考值不同, GEO 卫星的  $i_0$  参考值为 0.0, IGSO/MEO 卫星的  $i_0$  参考值为  $0.30\pi$ , 用户使用时需

表 5 I 支路卫星历书参数定义与接口表达

Table 5 Definition and interface expression of satellite almanac parameters for Compass I channel navigation message

| 参数              | 定义                             | bit 数      | 量化单位      | 有效范围    | 单位               |
|-----------------|--------------------------------|------------|-----------|---------|------------------|
| $t_{oe}$        | 卫星历书参考时间                       | 8          | $2^{12}$  | 602112  | s                |
| $\sqrt{A}$      | 轨道长半轴的平方根                      | 24         | $2^{-11}$ | 8192    | $\text{m}^{1/2}$ |
| $E$             | 轨道偏心率                          | 17         | $2^{-21}$ | 0.0625  | 无                |
| $\omega$        | 轨道近地点幅角                        | $24^{*a)}$ | $2^{-23}$ | $\pm 1$ | $\pi$            |
| $M_0$           | 参考时间的平近点角                      | $24^*$     | $2^{-23}$ | $\pm 1$ | $\pi$            |
| $\Omega_0$      | 参考时间升交点到北斗时本周 0 时的格林尼治子午线之间的经度 | $24^*$     | $2^{-23}$ | $\pm 1$ | $\pi$            |
| $\dot{\Omega}$  | 参考时间的轨道参考倾角改正量                 | $17^*$     | $2^{-38}$ | —       | $\pi/\text{s}$   |
| $\delta_i^{b)}$ | 升交点经度变化率                       | $16^*$     | $2^{-19}$ | —       | $\pi$            |
| $a_0$           | 卫星钟差                           | $11^*$     | $2^{-20}$ | —       | s                |
| $A_1$           | 卫星钟速                           | $11^*$     | $2^{-38}$ | —       | s/s              |

a) 标有上标\*的参数是 2 的补码, 最高有效位是符号位;

b)  $\delta$  为相对于轨道倾角参考值的改正量, 对 GEO 卫星而言, 轨道倾角参考值为 0, 对 MEO/IGSO 卫星而言, 轨道倾角参考值为  $54^\circ$ .

区别对待.

当用户没有收到某颗卫星发播的卫星历书参数时, 可以使用其他卫星发播的卫星历书参数.

当用户没有收到所有卫星发播的卫星历书参数时, 可以继续使用上一次接收的卫星历书参数, 但是精度会有所降低, 一组卫星历书参数用户最长可以使用 14 天.

## 4 小结

本文较为全面地介绍了北斗卫星导航系统基本导航电文信息的定义与使用方法, 采用与 GPS 对比方法, 探讨了北斗系统导航电文特点, 并给出了用户实际应用中需要特别注意的问题. 随着北斗卫星导航系统应用的不断推广, 希望能为广大用户更好地使用北斗导航系统提供一些参考.

## 参考文献

- 1 China satellite navigation office. BeiDou Navigation Satellite System Signal in Space Interface Control Document Open Service Signal (Version 2.0), 2013 [中国卫星导航系统管理办公室. 北斗卫星导航系统空间信号接口控制文件公开服务信号(2.0 版), 2013]
- 2 China satellite navigation office. Report on the Development of BeiDou (COMPASS) Navigation Satellite System (V2.2) Released, 2013 [中国卫星导航系统管理办公室. 北斗卫星导航系统发展报告 2.2 版, 2013]
- 3 China satellite navigation office. The construction and development of BeiDou navigation satellite system. Technical Report, Munich Satellite Navigation Summit, 2010 [中国第二代卫星导航系统专项管理办公室. 北斗卫星导航系统建设与发展. 慕尼黑卫星导航峰会报告, 2010]
- 4 Wei Z Q. China geodetic coordinate system 2000 and its comparison with WGS84 (in Chinese). J Geodesy Geodyn, 2008, 5: 1-5 [魏子卿. 2000 中国大地坐标系及其与 WGS84 的比较. 大地测量与地球动力学, 2008, 5: 1-5]
- 5 Technical Director Global Positioning Systems Wing. Global Positioning System Wing Systems Engineering & Integration Interface Specification IS-GPS-200E Revision E, 2010

# The definition and using method of the COMPASS basic navigation message

LIU Li<sup>\*</sup>, SHI Xin, LI Jing, ZHAO JinXian, GUO Rui, WU XiaoLi & HE Feng

*Beijing Satellite Navigation Center, Beijing 100094, China*

The navigation messages broadcasted by the navigation satellites are the time and space benchmark for user navigation and positioning. The developing status of the COMPASS is discussed firstly in this paper. Then, the broadcast signal characteristics, information contents, and the differences of time and space benchmark between COMPASS and GPS are introduced. Afterward, the definition and method of the COMPASS basic navigation messages, including satellite clock offset parameters, TGD parameters, satellite ephemeris parameters, ionosphere delay model parameters, are given in details. At last, some special attention problems for using the COMPASS navigation messages are also provided with the practical application.

**COMPASS, navigation message, satellite clock offset, satellite ephemeris, ionosphere delay model**

**PACS:** 91.10.Fc, 91.10.Sp, 06.30.Ft, 94.20.Cf

**doi:** 10.1360/SSPMA2015-00124