

北斗卫星导航系统

地基增强服务接口控制文件

(1.0版)



中国卫星导航系统管理办公室

二〇二〇年七月

目 录

1	声明	1
2	文件范畴	2
3	北斗地基增强系统概述	3
3.1	坐标系统	3
3.2	时间系统	3
4	增强数据产品播发方式	4
5	数据产品的信息格式	5
5.1	广域增强数据产品	5
5.1.1	基本描述	5
5.1.2	电文内容及组成	5
5.1.3	电文基本帧结构	11
5.1.4	数据说明	12
5.1.5	数据字段	12
5.1.6	解算算法	15
5.2	区域增强数据产品格式	15
5.3	后处理高精度数据产品格式	16
6	缩略语	17
	附录 广域差分用户终端解算方法	19
1	卫星轨道改正	19
2	卫星钟差改正	21
3	电离层延迟改正	22
3.1	球谐模型	22
3.2	球面调和余弦系数模型	24
3.3	网格模型	25
4	卫星码偏差改正	30

图目录

图 5-1	数据产品编排示意图	5
图 5-2	北斗组合轨道钟差改正电文内容编排示意图	11
图 5-3	电离层球谐电文编排示意图	11
图 5-4	电离层网格电文编排示意图	11
图 5-5	北斗码偏差电文拼接示意图	12
图 A-1	穿刺点位置关系	28

表目录

表 3-1	北斗地基增强系统提供的服务说明	3
表 5-1	电文编排内容表	5
表 5-2	广域增强数据产品电文信息	6
表 5-3	北斗组合轨道钟差电文的电文头	7
表 5-4	北斗组合轨道钟差电文的数据内容	7
表 5-5	GPS 组合轨道钟差电文的电文头	7
表 5-6	GPS 组合轨道钟差电文的数据内容	8
表 5-7	电离层球谐模型电文的电文头	8
表 5-8	电离层球谐模型电文的数据内容	9
表 5-9	电离层网格模型电文的电文头	9
表 5-10	电离层网格模型电文的数据内容	9
表 5-11	BDS 码偏差电文（1302）的电文头	9
表 5-12	BDS 码偏差电文（1302）的卫星数据内容	10
表 5-13	BDS 码偏差电文（1302）的码数据内容	10
表 5-14	GPS 码偏差电文（1059）的电文头	10
表 5-15	GPS 码偏差电文（1059）的卫星数据内容	10
表 5-16	GPS 码偏差电文（1059）的码数据内容	10

表 5-17	数据类型表	12
表 5-18	数据字段定义表	12
表 5-19	区域增强数据产品电文信息	16
表 A-1	编号为 1~160 的网格点定义	25
表 A-2	编号为 161~320 的网格点定义	26
表 A-3	GIVEI 定义表	27

1 声明

中国卫星导航系统管理办公室负责北斗卫星导航系统接口控制文件（以下简称 ICD）的编制、修订、发布和维护等工作，并保留本文件的最终解释权。

2 文件范畴

北斗地基增强系统提供的地基增强服务是北斗卫星导航系统对外提供的服务之一。本文件定义了北斗地基增强系统提供公开服务的相关信息。

3 北斗地基增强系统概述

北斗地基增强系统由北斗增强站、通信网络系统、数据处理系统及播发系统等组成，为用户提供广域增强数据产品、区域增强数据产品、后处理高精度数据产品服务，如表 3-1 所示。

表 3-1 北斗地基增强系统提供的服务说明

服务类型	广域增强服务			区域增强服务	后处理服务
支持系统	BDS			BDS/GPS/GLONASS	
服务说明	单频伪距增强服务	单频载波相位增强服务	双频载波相位增强服务	网络 RTK 服务	后处理毫米级相对基线测量服务

3.1 坐标系统

北斗系统采用北斗坐标系（BDCS）。北斗坐标系的定义符合国际地球自转服务组织（IERS）规范，与 2000 中国大地坐标系（CGCS2000）定义一致（具有完全相同的参考椭球参数）。

3.2 时间系统

北斗系统的时间基准为北斗时（BDT）。BDT 采用国际单位制（SI）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）00 时 00 分 00 秒。BDT 通过 UTC（NTSC）与国际 UTC 建立联系，BDT 与国际 UTC 的偏差保持在 50 纳秒以内（模 1 秒）。

4 增强数据产品播发方式

北斗地基增强系统提供增强数据产品，加载在移动通信等信号中播发。移动通信的信号特征见相关文件和标准。

5 数据产品的信息格式

5.1 广域增强数据产品

5.1.1 基本描述

北斗地基增强系统提供的广域增强数据产品由多条电文组成，参照 RTCM3.2 的数据编排格式进行编排。每条电文分别进行编排（电文内容长度不超过 1023 字节），编排格式见图 5-1。

前导码 (8比特)	保留位 (6比特)	电文内容长度 (10比特)	电文内容 (≤1023字节)	校验位 (24比特)
--------------	--------------	------------------	-------------------	---------------

图 5-1 数据产品编排示意图

电文由前导码、保留位、电文长度、可变长度的电文内容和循环冗余校验（CRC）位组成，电文编排的内容见表 5-1。

表 5-1 电文编排内容表

名称	长度	备注
前导码	8 比特	固定比特“11010011”
保留位	6 比特	保留字段“000000”
电文内容长度	10 比特	值由电文内容长度确定
电文*	≤1023 字节	含电文头和数据区的数据内容，长度可变，范围 0~1023 字节
循环冗余 校验位	24 比特	采用 CRC-24Q 校验算法

*电文按比特位进行编排，编排时，若电文的有效比特数不为 8 的整数倍（即电文内容长度非整字节），为保证差分电文最后一个字节的完整性，在最后的字节处补“0”至整字节；电文长度应按不小于实际电文字节数的最小整数计算，如 55.125 字节按照 56 字节计算。

5.1.2 电文内容及组成

北斗地基增强系统提供的广域增强数据产品包含北斗组合轨道钟差改正电文、GPS 组合轨道钟差改正电文、电离层球谐模型电文、电离层网格电文、北斗卫星码间偏差电文、GPS 卫星码间偏差电文等电文，各电文编号及长度见表 5-2。

表 5-2 广域增强数据产品电文信息

电文编号	电文类型	电文长度（字节）
1303	北斗组合轨道钟差改正电文	$8.5+25.625*N_s$
1060	GPS 组合轨道钟差改正电文	$8.5+25.625*N_s$
1330	电离层球谐模型电文	$9.5+2.25*N_i$
1331	电离层网格电文	$41.75+1.625*N_t$
1302	BDS 码偏差电文	$8.375+1.375*N_s+2.375*\Sigma NCB$
1059	GPS 码偏差电文	$8.375+1.375*N_s+2.375*\Sigma NCB$

注：Ns 为北斗/GPS 卫星数量，Ni=（球谐阶数+1）*（球谐次数+1），最大不超过 128，Nt 为电离层网格点个数，NCB 为码偏序号， ΣNCB 表示 GNSS 系统各卫星的码偏差数量之和。

各电文内容如下：

（1）北斗组合轨道钟差改正电文：将卫星钟差改正和轨道改正组合成一条电文，保证轨道和钟差改正数据的时间一致性。电文包含电文头和数据内容两部分，电文头详细情况见表 5-3，数据内容详细情况见表 5-4。

（2）GPS 组合轨道钟差改正电文：将卫星的钟差改正和轨道改正合成一条电文，保证轨道和钟差改正数据的时间一致性。电文包含电文头和数据内容两部分，电文头详细情况见表 5-5，数据内容详细情况见表 5-6。

（3）电离层球谐模型电文：电离层球谐模型不依赖于卫星导航系统，该电文可用于计算电离层延迟信息，电文头详细情况见表 5-7，数据内容详细情况见表 5-8。

（4）电离层网格模型不依赖于卫星导航系统，BDS、GPS 的网格模型完全一致，电文类型也一致，每个网格点电离层信息包括网格点垂直延迟（ $d\tau$ ）和误差指数（GIVEI），共占用 13 比特。电离层网格模型电文包含电文头和数据内容两部分，电文头详细情况见表 5-9，数据内容详细情况见表 5-10。

（5）BDS 码偏差电文：BDS 码偏差电文包含每颗 BDS 卫星信号的码偏差改正数。BDS 码偏差电文包含电文头和数据区。电文头见表 5-11，数据内容见表 5-12 和表 5-13。

（6）GPS 码偏差电文：GPS 码偏差电文包含每颗 GPS 卫星信号的码偏差改正数。GPS 码偏差电文包含电文头和数据区。电文头见表 5-14，数据内容见表 5-15 和表 5-16。

表 5-3 北斗组合轨道钟差电文的电文头

数据字段	数据字段号	数据类型	比特数	备注
电文编号	DF002	uint12	12	电文编号 1303
北斗历元时刻	DF649	int20	20	-
SSR 更新间隔	DF391	bit(4)	4	-
多电文标识	DF388	bit(1)	1	-
卫星参考基准	DF375	bit(1)	1	-
IOD SSR	DF413	uint4	4	-
SSR 提供者 ID	DF414	uint16	16	-
SSR 解算方案 ID	DF415	uint4	4	-
卫星数量	DF387	uint6	6	-
合计	-	-	68	-

表 5-4 北斗组合轨道钟差电文的数据内容

数据字段	数据字段号	数据类型	比特数	备注
北斗卫星号	DF488	uint6	6	-
北斗 IODE	DF541	uint8	8	-
轨道面径向改正值	DF365	int22	22	-
轨道面切向改正值	DF366	int20	20	-
轨道面法向改正值	DF367	int20	20	-
轨道面径向改正值变化率	DF368	int21	21	-
轨道面切向改正值变化率	DF369	int19	19	-
轨道面法向改正值变化率	DF370	int19	19	-
钟差改正系数 C0	DF376	int22	22	-
钟差改正系数 C1	DF377	int21	21	-
钟差改正系数 C2	DF378	int27	27	-
合计	-	-	205	-

表 5-5 GPS 组合轨道钟差电文的电文头

数据字段	数据字段号	数据类型	比特数	备注
电文编号	DF002	uint12	12	电文编号 1060
GPS 历元时刻	DF385	uint20	20	-
SSR 更新间隔	DF391	bit(4)	4	-
多电文标识	DF388	bit(1)	1	-
卫星参考基准	DF375	bit(1)	1	-
IOD SSR	DF413	uint4	4	-
SSR 提供者 ID	DF414	uint16	16	-
SSR 解算方案 ID	DF415	uint4	4	-
卫星数量	DF387	uint6	6	-
合计	-	-	68	-

表 5-6 GPS 组合轨道钟差电文的数据内容

数据字段	数据字段号	数据类型	比特数	备注
GPS 卫星号	DF068	uint6	6	-
GPS IODE	DF071	uint8	8	-
轨道面径向改正值	DF365	int22	22	-
轨道面切向改正值	DF366	int20	20	-
轨道面法向改正值	DF367	int20	20	-
轨道面径向改正值变化率	DF368	int21	21	-
轨道面切向改正值变化率	DF369	int19	19	-
轨道面法向改正值变化率	DF370	int19	19	-
钟差改正系数 C0	DF376	int22	22	-
钟差改正系数 C1	DF377	int21	21	-
钟差改正系数 C2	DF378	int27	27	-
合计	-	-	205	-

表 5-7 电离层球谐模型电文的电文头

数据字段	数据字段号	数据类型	比特数	备注
电文编号	DF002	uint12	12	电文编号 1330
历元时刻	DF385	uint20	20	周内秒
SSR 更新间隔	DF391	bit(4)	4	-
多电文标识	DF388	bit(1)	1	-
IOD SSR	DF413	uint4	4	-
SSR 提供者 ID	DF414	uint16	16	-
SSR 解算方案 ID	DF415	uint4	4	-
电离层高度	DF601	uint7	7	比例系数为 10000
球谐阶数	DF602	uint4	4	-
球谐次数	DF603	uint4	4	-
合计	-	-	76	-

注：表中的球谐阶数不小于球谐次数。

电离层球谐模型电文的数据内容包含球谐系数 C 和球谐系数 S。对球谐系数 C 和 S 的编码顺序按照公式 (5-1) 矩阵 (从上到下, 从左到右) 的顺序进行编码:

$$\begin{bmatrix}
 c_{00} \\
 s_{11} & c_{10} & c_{11} \\
 s_{22} & s_{21} & c_{20} & c_{21} & c_{22} \\
 \dots\dots \\
 s_{n,n} & \dots & s_{n,1} & c_{n,0} & c_{n,1} & \dots & c_{n,n}
 \end{bmatrix} \quad (5-1)$$

式中:

c_{ij} 、 s_{ij} ——第 i 阶 j 次所对应的余弦、正弦系数；

n ——球谐模型电文头的球谐阶数。

注：矩阵中默认球谐阶数（设为 n ）与球谐次数（设为 m ）相同；若 $n > m$ ，则从第 m 行开始，每一行均为 $2m+1$ 系数，即系数变成为： $S_{k,m}, S_{k,m-1}, \dots, S_{k,1}, C_{k,0}, C_{k,1}, \dots, C_{k,m}$ ，其中 $m \leq k \leq n$ 。

表 5-8 电离层球谐模型电文的数据内容

数据字段	数据字段号	数据类型	比特数	备注
球谐系数 C	DF604	int18	18	-
球谐系数 S	DF605	int18	18	-
合计	-	-	36	-

表 5-9 电离层网格模型电文的电文头

数据字段	数据字段号	数据类型	比特数	备注
电文编号	DF002	uint12	12	1331
电离层数据版本号 (IODI)	DF600	uint2	2	-
网格点掩码 (IGP Mask)	DF606	bit(320)	320	-
合计	-	-	334	-

表 5-10 电离层网格模型电文的数据内容

数据字段	数据字段号	数据类型	比特数	备注
垂直延迟改正 ($d\tau$)	DF607	bit(9)	9	-
误差指数 (GIVEI)	DF608	bit(4)	4	-
合计	-	-	13	-

表 5-11 BDS 码偏差电文 (1302) 的电文头

数据字段	数据字段号	数据类型	比特数	备注
电文编号	DF002	uint12	12	1302
BDS 历元时间 1s	DF649	uint20	20	-
SSR 更新间隔	DF391	bit(4)	4	-
多电文标识	DF388	bit(1)	1	-
IOD SSR	DF413	uint4	4	-
SSR 提供者 ID	DF414	uint16	16	-
SSR 解算 ID	DF415	uint4	4	-
卫星数量	DF387	uint6	6	-
合计	-	-	67	-

表 5-12 BDS 码偏差电文（1302）的卫星数据内容

数据字段	数据字段号	数据类型	比特数	备注
BDS 卫星号	DF488	uint6	6	-
码偏差数量	DF379	uint5	5	-
合计	-	-	11	-

表 5-13 BDS 码偏差电文（1302）的码数据内容

数据字段	数据字段号	数据类型	比特数	备注
BDS 信号及跟踪模式指示	DF648	uint5	5	-
码偏差	DF383	uint14	14	-
合计	-	-	19	-

表 5-14 GPS 码偏差电文（1059）的电文头

数据字段	数据字段号	数据类型	比特数	备注
电文编号	DF002	uint12	12	1059
GPS 历元时间 1s	DF385	uint20	20	-
SSR 更新间隔	DF391	bit(4)	4	-
电文标识	DF388	bit(1)	1	-
IOD SSR	DF413	uint4	4	-
SSR 提供者 ID	DF414	uint16	16	-
SSR 解算 ID	DF415	uint4	4	-
卫星数量	DF387	uint6	6	-
合计	-	-	67	-

表 5-15 GPS 码偏差电文（1059）的卫星数据内容

数据字段	数据字段号	数据类型	比特数	备注
GPS 卫星 ID	DF068	uint6	6	-
码偏差数量	DF379	uint5	5	-
合计	-	-	11	-

表 5-16 GPS 码偏差电文（1059）的码数据内容

数据字段	数据字段号	数据类型	比特数	备注
GPS 信号和跟踪模式指示	DF380	uint5	5	-
码偏差	DF383	int14	14	-
合计	-	-	19	-

5.1.3 电文基本帧结构

电文一般由电文头和数据区组成，如北斗组合轨道钟差电文（电文编号 1303）。电文的电文头在前，数据区在后，进行编排。若电文的数据区包含多个相同结构的数据，则各数据按照先后顺序依次编排。

电文头和数据分别由若干数据字段组成，每个数据字段根据定义的先后顺序依次编排，组成电文头和数据，编排过程按比特对齐。

北斗组合轨道钟差改正电文、球谐电离层电文、电离层网格电文、北斗码偏差电文内容的拼接示意图见图 5-2、图 5-3、图 5-4、图 5-5。

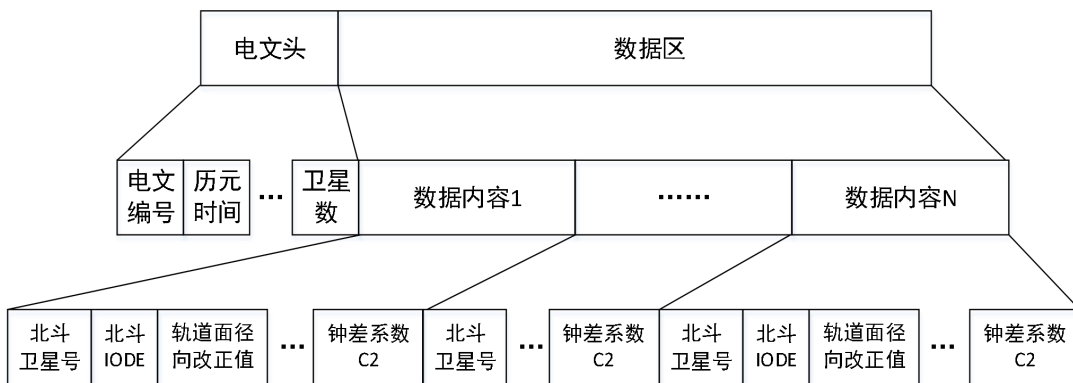


图 5-2 北斗组合轨道钟差改正电文内容编排示意图

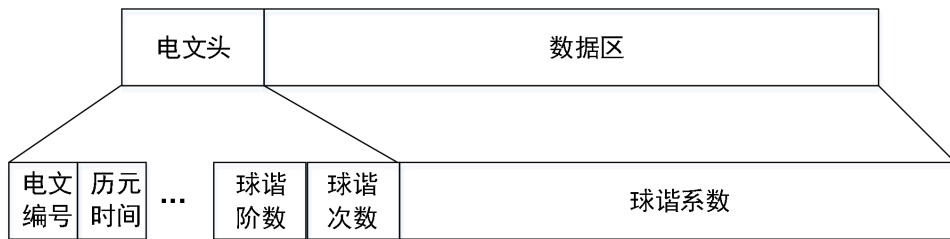


图 5-3 电离层球谐电文编排示意图

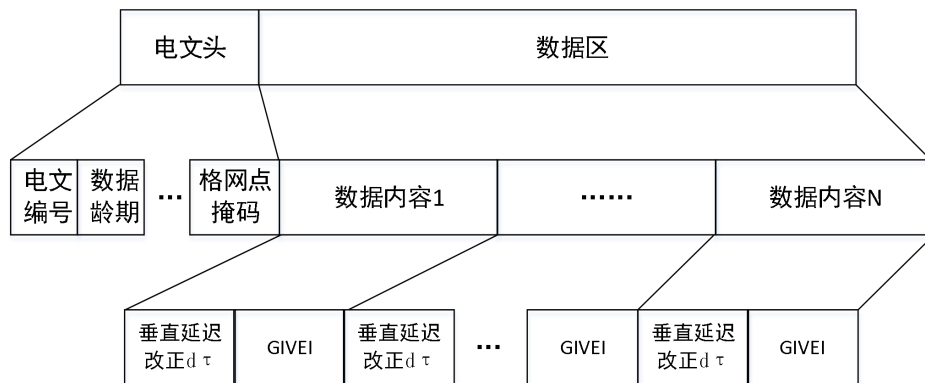


图 5-4 电离层网格电文编排示意图

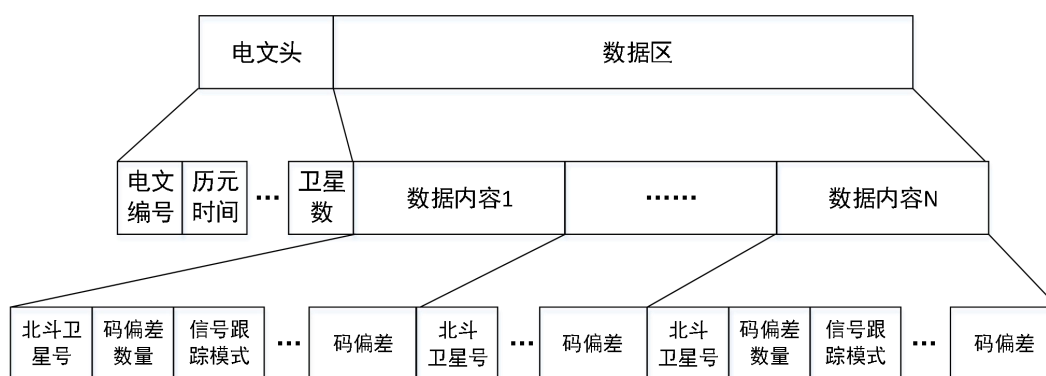


图 5-5 北斗码偏差电文拼接示意图

5.1.4 数据说明

本标准所涉及的数据类型见表 5-17。

表 5-17 数据类型表

数据类型	描述	范围	备注
bit(N)	N 位二进制比特	每比特为 0 或 1	-
intN	N 比特的有符号整数，采用二进制补码	$\pm(2^{N-1}-1)$	-2^{N-1} 表示数据无效，N=8~38
uintN	N 比特的无符号整数	$0\sim 2^N-1$	N=2~36

注：±X 表示范围为 -X~+X；正数的最高有效位（MSB）为 0，负数为 1，其余位为数值，其中-0 未使用。

5.1.5 数据字段

数据字段为各电文中可能使用的数据。广域增强数据产品各数据字段的定义见表 5-18。

表 5-18 数据字段定义表

字段号	字段名称	取值范围	比例因子	数据类型	备注
DF002	电文编号	0~4095	-	uint12	不同电文的标志。
DF068	GPS 卫星号	1~32	1	uint6	表示 GPS 卫星号。
DF071	GPS IODE	-	1	uint8	广播星历的数据龄期用于差分改正的计算。
DF365	轨道面径向改正值	$\pm 209.7151\text{m}$	$1*10^{-4}\text{m}$	int22	广播星历径向轨道修正。
DF366	轨道面切向改正值	$\pm 209.7148\text{m}$	$4*10^{-4}\text{m}$	int20	广播星历切向轨道修正。
DF367	轨道面法向改正值	$\pm 209.7148\text{m}$	$4*10^{-4}\text{m}$	int20	广播星历法向轨道修正。

字段号	字段名称	取值范围	比例因子	数据类型	备注
DF368	轨道面径向改正值变化率	$\pm 1.048575\text{m/s}$	0.001mm/s	int21	广播星历径向轨道改正值的变化率。
DF369	轨道面切向改正值变化率	$\pm 1.048572\text{m/s}$	0.004mm/s	int19	广播星历切向轨道改正值的变化率。
DF370	轨道面法向改正值变化率	$\pm 1.048572\text{m/s}$	0.04mm/s	int19	广播星历法向轨道改正值的变化率。
DF375	卫星参考基准	0~1	N/A	bit(1)	轨道改正采用的卫星参考基准。0 为国际地球参考框架基准 (ITRF); 1 为区域性的
DF376	钟差 C_0 改正系数	$\pm 209.7151\text{m}$	0.1mm	int22	广播卫星时钟校正多项式系数。参考时刻 t_0 是历元时刻 (DF385, DF549) 加上 $\frac{1}{2}\text{SSR}$ 更新间隔。参考时刻 t_0 对应 SSR 更新间隔 “0” 是历元时刻。
DF377	钟差 C_1 改正系数	$\pm 1.048575\text{m/s}$	0.001mm/s	int21	广播卫星时钟校正多项式系数。参考时刻 t_0 参见 DF376 中的说明。
DF378	钟差 C_2 改正系数	$\pm 1.34217726\text{m/s}^2$	0.00002mm/s^2	int27	广播卫星时钟校正多项式系数。参考时刻 t_0 参见 DF376 中的说明。
DF380	GPS 信号及跟踪模式指示	0~31	1	uint5	GPS 信号和跟踪模式的指示说明: 0 为 L1 C/A; 1 为 L1 P; 2 为 L1 Z 跟踪技术 (AS 模式开启); 3 为保留; 4 为保留; 5 为 L2 C/A; 6 为 L2 L1(C/A)+(P2-P1); 7 为 L2 L2C(M); 8 为 L2 L2C(L); 9 为 L2 L2C(M+L); 10 为 L2 P; 11 为 L2 Z 跟踪; 12 为保留; 13 为保留; 14 为 L5 I; 15 为 L5 Q; > 15 为保留。
DF385	GPS 历元时刻	0~604799s	1s	uint20	从当前 GPS 周开始的整秒数。
DF387	卫星数量	0~63	1	uint6	电文中包含的卫星总数。
DF388	多电文标识	0~1	1	bit(1)	相同历元时刻下, 同种电文分多条传输的标志: 0 为非多电文序列或最后一条信息序列; 1 为后续还要传输其他系列电文。

字段号	字段名称	取值范围	比例因子	数据类型	备注
DF391	SSR 更新间隔	0~15	1	bit(4)	0 为 1s; 1 为 2s; 2 为 5s; 3 为 10s; 4 为 15s; 5 为 30s; 6 为 60s; 7 为 120s; 8 为 240s; 9 为 300s; 10 为 600s; 11 为 900s; 12 为 1800s; 13 为 3600s; 14 为 7200s; 15 为 10800s。 为确保多模系统的同步操作, 所有 GNSS 的 SSR 更新间隔, 所有 SSR 参数起始于 GPS 时间 00:00:00。
DF413	IOD SSR	0~15	1	uint4	SSR 数据龄期变化表明 SSR 生成配置的变化, 它可能与流动站操作有关。
DF414	SSR 提供者 ID	0~65535	1	uint16	SSR 提供者 ID 是由 RTCM 提供, 用于识别 SSR 服务请求, 提供者 ID 是全球唯一的, 提供者应该联系 “rtcm.org”。
DF415	SSR 解算 ID	0~15	1	uint4	SSR 解算 ID 表明了一个 SSR 提供者提供的不同 SSR 服务。
DF541	北斗 IODE BDS IODE	0~255	1	uint8	为了保证与广播星历的正确且唯一的匹配, 北斗差分改正电文采用自定义的 IODE 生成算法, (广播星历的 IODE 计算) 算法如下: $IODE (t_{oc} / 720) \text{ Mod } 240$ 。
DF549	北斗历元时刻	0~604799s	1s	uint20	从当前北斗周开始的整秒数。
DF600	电离层数据版本号 (IODI)	0~3	1	uint2	用户需要确保在提供垂直延迟给模型之前, 使用的网格带的 IODI 与相关电文中的 IODI 保持一致。
DF601	电离层高度	0~128×104m	104m	uint7	DF 601 表示电离层高度, 其默认值为 450000m。
DF602	球谐阶数	0~15	1	uint4	最高次数为 15。
DF603	球谐次数	0~15	1	uint4	最高阶数为 15。
DF604	球谐系数 C	0~2048	2-6	int18	解码的时候球谐系数 C 除以 64。
DF605	球谐系数 S	0~2048	2-6	int18	解码的时候球谐系数除以 64。
DF606	网格点掩码	-	-	bit(320)	DF606 给出所观察的电离层网格点情况。每个网格点对应一个比特位, MSB 相当于 ID=1

字段号	字段名称	取值范围	比例因子	数据类型	备注
					的网格点，第二位相当于 ID=2 的网格点……，LSB 相当于 ID=320 的网格点。信息部分只传输有效网格点的数据信息，即第 n 个比特前有 m 个“1”时，该网格点的电离层信息位于第 m+1 个值。如果后续数据中有 ID=n 的电离层网格点数据，则相应位（第 n 位）应置 1，否则置 0，保留位置 0，所有置 1 的位数之和为有效网格点的总数 Nt。
DF607	垂直延迟改正 (dt)	0~63.875m	0.125m	bit(9)	表示电离层网格点的垂直延迟误差改正。
DF608	误差指数 (GIVEI)	0~15	-	bit(4)	用来描述网格点电离层延迟改正的精度，以格网电离层垂直误差指数 (GIVEI) 表征。
DF548	BDS 信号及跟踪模式指示	0~31	1	uint5	用于说明 BDS 信号及其跟踪模式的标志：0 为 B1I；1 为 B1Q；2 为 B1X；3 为保留；4 为保留；5 为 B2I；6 为 B2Q；7 为 B2X；8 为保留；9 为保留；10 为 B3I；11 为 B3Q；12 为 B3X；大于 13 为保留。

5.1.6 解算算法

广域增强数据产品解算算法可以参见附录。

5.2 区域增强数据产品格式

北斗地基增强系统提供的区域增强数据产品由多条电文组成，具体为 RTK 基准站 ARP 电文、GPS MSM4 电文、北斗 MSM4 电文、GLONASS MSM5 电文共 4 条电文。各电文编号及长度见表 5-19。

表 5-19 区域增强数据产品电文信息

电文编号	电文名称	电文字节数
1005	RTK 基准站 ARP 电文	19
1074	GPS MSM4	$169+N_s*(18+49*N_{sig})$
1085	GLONASS MSM5	$169+N_s*(36+64*N_{sig})$
1124	北斗 MSM4	$169+N_s*(18+49*N_{sig})$

注：Ns 为北斗/GPS/GLONASS 卫星数量，Nsig 表示传输的信号类型数

区域增强数据产品中的所有电文都与 RTCM3.2 中对应编号的电文相同，编排格式、电文格式、数据字段等内容详见 RTCM3.2。

5.3 后处理高精度数据产品格式

后处理高精度服务不直接向用户提供相应的数据产品，采用用户上传观测数据，服务平台进行数据处理后，再提供服务的方式。

6 缩略语

ARP	天线参考点 (Antenna Reference Point)
BDCS	北斗坐标系 (BeiDou Coordinate System)
BDS	北斗卫星导航系统 (BeiDou Navigation Satellite System)
BDT	北斗时 (BeiDou Navigation Satellite System Time)
CGCS2000	2000 中国大地坐标系 (China Geodetic Coordinate System 2000)
CRC	循环冗余校验 (Cyclic Redundancy Check)
DF	数据字段 (Data Field)
EOP	地球定向参数 (Earth Orientation Parameter)
ERP	地球自转参数 (Earth Rotation Parameter)
GAS	地基增强系统 (Ground-based Augmentation System)
GIVE	格网电离层垂直误差 (Grid Ionospheric Vertical Error)
GIVEI	格网电离层垂直误差指数 (Grid Ionospheric Vertical Error Index)
GNSS	全球卫星导航系统 (Global Navigation Satellite System)
GLONASS	格洛纳斯卫星导航系统 (Global Navigation Satellite System)
GPS	全球定位系统 (Global Positioning System)
ICD	接口控制文件 (Interface Control Document)
ID	信息编号 (Identification)
IERS	国际地球自转参考系服务 (International Earth Rotation and Reference System Service)
IOD	数据版本号 (Issue Of Data)
IODE	星历数据版本号 (Issue Of Data Ephemeris)
IODI	电离层数据版本号 (Issue of Data Ionosphere)
ITRF	国际地球参考框架 (International Terrestrial Reference Frame)
IONEX	电离层地图交换格式 (IONospheric Map EXchange Format)
ITRS	国际地球参考系统 (International Terrestrial Reference System)
MSB	最高位有效 (Most Significant Bit)
MSM	多信号电文 (Multiple Signal Messages)

NTSC	国家授时中心 (National Time Service Center)
PDOP	位置精度因子 (Position Dilution Of Precision)
RINEX	接收机自主数据交换格式 (Receiver INdependent EXchange format)
RMS	均方根 (Root Mean Square)
RTCM	海事无线电技术委员会 (Radio Technical Commission for Maritime Services)
RTK	实时动态 (Real Time Kinematic)
SSR	状态空间表示 (State Space Representation)
TOW	周内秒 (Time of Week)
UTC	协调世界时 (Universal Time Coordinated)

附录 广域差分用户终端解算方法

1 卫星轨道改正

轨道改正信息包括的参数为轨道改正向量 δO 在径向、切向和法向的分量。轨道改正值用于计算卫星位置改正向量 δX ，同时还应联合利用广播星历计算出的卫星位置向量 $X_{broadcast}$ ，见公式 (A-1)：

$$X_{orbit} = X_{broadcast} - \delta X \quad (A-1)$$

式中：

X_{orbit} ——SSR 轨道改正电文改正得到的卫星位置，单位为米 (m)

$X_{broadcast}$ ——广播星历计算得到的卫星位置 (其 IODE 与 SSR 轨道改正电文的 IO D 匹配)，单位为米 (m)

δX ——卫星位置改正向量，单位为米 (m)

δX 的计算方法见公式 (A-2) ~ (A-5)

$$e_{along} = \frac{\dot{r}}{|\dot{r}|} \quad (A-2)$$

$$e_{cross} = \frac{r \times \dot{r}}{|r \times \dot{r}|} \quad (A-3)$$

$$e_{radial} = e_{along} \times e_{cross} \quad (A-4)$$

$$\delta X = \begin{bmatrix} e_{radial} & e_{along} & e_{cross} \end{bmatrix} \delta O \quad (A-5)$$

式中：

$r = X_{broadcast}$ ——广播星历计算的卫星位置矢量

$\dot{r} = \dot{X}_{broadcast}$ ——广播星历计算的卫星速度矢量

e_i ——方向单位矢量， $i = \{radial, along, cross\}$

δO ——轨道改正矢量

完整的轨道改正矢量 δO 需要利用单独的改正项和它们的速度项来计算得到，见公式 (A-6)：

$$\delta O = \begin{bmatrix} \delta O_{radial} \\ \delta O_{along} \\ \delta O_{cross} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta \dot{O}_{radial} \\ \delta \dot{O}_{along} \\ \delta \dot{O}_{cross} \end{bmatrix} (t - t_0) \quad (A-6)$$

式中：

t ——接收机当前时间数值，单位为秒（s）

t_0 ——从 SSR 轨道改正电文获取的参考时间数值，单位为秒（s）

$\delta O_i, \delta \dot{O}_i$ ——来自 SSR 轨道电文的轨道改正项， $i = \{\text{radial, along, cross}\}$

速度项的参考时间为历元时刻加上 SSR 更新时间间隔的一半计算而来。特殊情况下，SSR 更新时间间隔为“0”，此时使用历元时刻为参考时间。

2 卫星钟差改正

钟差改正电文包括的参数是相对于广播星历钟差的 δC 改正参数。此多项式表达描述了某一段时间内的钟差偏差。该改正的定义见公式 (A-7)：

$$t_{\text{satellite}} = t_{\text{broadcast}} - \frac{\delta C}{c} \quad (\text{A-7})$$

式中：

$t_{\text{satellite}}$ ——经过 SSR 钟差改正电文改正得到的卫星钟差数值，单位为秒 (s)

$t_{\text{broadcast}}$ ——广播星历计算得到的卫星钟差（其 IOD 与 SSR 轨道改正电文的 IOD 匹配）数值，单位为秒 (s)

δC ——从 SSR 钟差改正电文获得的钟差数值，单位为米 (m)

c ——光速，单位为米每秒 (m/s)。

δC 的计算方法见公式 (A-8)：

$$\delta C = C_0 + C_1(t - t_0) + C_2(t - t_0)^2 \quad (\text{A-8})$$

式中：

t ——接收机当前时间数值，单位为秒 (s)

t_0 ——从 SSR 钟差改正电文获取的参考时间数值，单位为秒 (s)

C_i ——从 SSR 钟差改正电文获取的多项式系数， $i = \{0,1,2\}$

多项式项的参考时间为历元时刻加上 SSR 更新时间间隔的一半计算而来。特殊情况下，SSR 更新时间间隔为“0”，此时使用历元时刻为参考时间。

注意还应考虑到相对于 $t_{\text{broadcast}}$ 的相对论改正，计算方法见公式 (A-9)：

$$\Delta t_T = -\frac{2r \cdot \dot{r}}{c^2} \quad (\text{A-9})$$

式中：

Δt_T ——相对论改正项

r 、 \dot{r} ——根据广播星历计算而来的矢量

卫星钟差由服务提供者使用的观测值推导的无电离层信号确定，且观测值会受到卫星硬件（码间偏差）延迟的影响。对于 SSR，用于生成卫星钟差的信号选择以及码间偏差的处理都取决于服务提供者。服务提供者应保证钟差和码间偏差参数的一致传播。流动站也应一致提供码间偏差和钟差改正。

3 电离层延迟改正

3.1 球谐模型

电离层球谐模型中， L_x 斜路径上的电离层延迟 $(T_{iono}(t))_{L_x}$ 的计算方法见公式 (A-10) 和 (A-11)：

$$(T_{iono}(t))_{L_x} = \gamma_{L_x} F(t) \sum_{n=0}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^M \tilde{P}_{nm}(\sin \phi_{pp}(t)) (\tilde{C}_{nm} \cos(m \cdot s) + \tilde{S}_{nm} \sin(m \cdot s)) \quad (\text{A-10})$$

其中：

$$\gamma_{L_x} = 40.3 \cdot 10^{16} / f_x^2 \quad (\text{A-11})$$

式中：

$(T_{iono}(t))_{L_x}$ ——斜路径上的电离层延迟数值，单位为米 (m)

f_x ——信号 L_x 对应的频率

$F(t)$ ——投影函数

n_{\max} ——球谐展开式最高阶数，即电离层球谐模型电文头中的球谐阶数；

M ——球谐展开式次数， $M = \min(n, m_{\max})$

m_{\max} ——电离层球谐模型电文头中的球谐最高次数

\tilde{P}_{nm} ——标准化后的 n 阶 m 次勒让德函数

$\phi_{pp}(t)$ ——电离层穿刺点纬度数值 (日固地磁坐标系)，单位为弧度 (rad)

\tilde{C}_{nm} ——电离层余弦函数系数

\tilde{S}_{nm} ——电离层正弦函数系数

s ——穿刺点的经度数值 (日固地磁坐标系)，单位为弧度 (rad)。

投影函数 $F(t)$ 的计算方法见公式 (A-12)：

$$F(t) = 1 / \sqrt{1 - \left(\frac{a \cos El(t)}{a + H_{iono}} \right)^2} \quad (\text{A-12})$$

式中：

$El(t)$ ——用户接收机和卫星之间的仰角，单位为弧度 (rad)

a ——ITRS 定义的地球赤道半径数值，单位为米 (m)

H_{iono} ——地球上电离层高度数值，单位为米 (m)，默认值为 450000 m

标准化后的勒让德函数 \tilde{P}_{nm} 的计算方法见公式 (A-13)：

$$\tilde{P}_{nm}(x) = MC(n, m) \cdot P_{nm}(x) \quad (\text{A-13})$$

式中:

$$P_{nm}(x) = (1 - x^2)^{\frac{m}{2}} \frac{1}{2^n} \sum_{k=0}^L \frac{(-1)^k}{(n-k)! (n-m-2k)!} \frac{(2n-2k)!}{(n-k)! (n-m-2k)!} x^{n-m-2k}$$

$$k \in N, L = \text{int}[(n-m)/2]$$

$$MC(n, m) = \sqrt{\frac{(n-m)!(2n+1)(2-\delta_{0m})}{(n+m)!}}$$

δ_{0m} ——Kronecker 型 δ 函数

n, m, x ——输入参数

地固系穿刺点到日固地磁系的转换关系见公式 (A-14) 和 (A-15):

已知观测历元时刻的简化儒略日 mjd , 穿刺点地理经纬度 ϕ_{pp}, λ_{pp} ; 日固地磁经纬度 φ, s , $pole2 = -1.267$, $pole1 = 1.40$, $sunlon = \pi - (mjd - (\text{int})mjd) \times 2\pi$:

$$\begin{bmatrix} r_0 \\ r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = R_3(pole2)R_2\left(\frac{\pi}{2} - pole1\right)R_3(-pole2)rtmp \quad (\text{A-14})$$

$$\begin{bmatrix} sunr_0 \\ sunr_1 \\ sunr_2 \end{bmatrix} = R_3(pole2)R_2\left(\frac{\pi}{2} - pole1\right)R_3(-pole2)surtmp \quad (\text{A-15})$$

式中:

$$rtmp = [\cos\phi_{pp} \cos\lambda_{pp} \quad \cos\phi_{pp} \sin\lambda_{pp} \quad \sin\phi_{pp}]^T$$

$$surtmp = [\cos(sunlon) \quad \sin(sunlon) \quad 0]^T$$

$$R_3(pole2) = \begin{bmatrix} \cos(pole2) & \sin(pole2) & 0 \\ -\sin(pole2) & \cos(pole2) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_3(-pole2) = \begin{bmatrix} \cos(pole2) & \sin(pole2) & 0 \\ -\sin(-pole2) & \cos(-pole2) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_2\left(\frac{\pi}{2} - pole1\right) = \begin{bmatrix} \cos\left(\frac{\pi}{2} - pole1\right) & 0 & -\sin\left(\frac{\pi}{2} - pole1\right) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\left(\frac{\pi}{2} - pole1\right) & 0 & \cos\left(\frac{\pi}{2} - pole1\right) \end{bmatrix}$$

日固地磁坐标系下穿刺点经度和纬度计算见公式 (A-16) ~ 公式 (A-20):

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{r_2}{\sqrt{r_0^2 + r_1^2}} \quad (\text{A-16})$$

$$sumlon = \tan^{-1} \frac{r_1}{r_0} \quad (\text{A-17})$$

$$lons = \tan^{-1} \frac{sunr_1}{sunr_0} \quad (\text{A-18})$$

$$lon = smlon - lons \quad (\text{A-19})$$

$$s = \begin{cases} lon + 2\pi & lon < 0 \\ lon & lon \geq 0 \end{cases} \quad (\text{A-20})$$

式中:

r_0 、 r_1 、 r_2 、 $sunr_1$ 、 $sunr_2$ 由式 (A-14) 和 (A-15) 计算得到

φ ——日固地磁坐标系下穿刺点的纬度数值, 单位为弧度 (rad)

s ——日固地磁坐标系下穿刺点的经度数值, 单位为弧度 (rad)

3.2 球面调和余弦系数模型

单频用户计算伪距时, 可以根据电离层误差改正系数计算得到电离层延迟。

电离层延迟的计算需获取电离层穿刺点坐标。ITRS 坐标系下, 电离层穿刺点纬度 $\phi_{pp}(t)$ 的计算方法见公式 (A-21), 电离层穿刺点经度 $\lambda_{pp}(t)$ 的计算方法见公式 (A-22):

$$\phi_{pp}(t) = \sin^{-1} \{ \sin \phi_r \cos \psi_{pp}(t) + \cos \phi_r \sin \psi_{pp}(t) \cos Az(t) \} \quad (\text{A-21})$$

$$\lambda_{pp}(t) = \lambda_r + \tan^{-1} \left(\frac{\sin \psi_{pp}(t) \sin Az(t)}{\cos \psi_{pp}(t) \cos \phi_r - \sin \psi_{pp}(t) \cos Az(t) \sin \phi_r} \right) \quad (\text{A-22})$$

式中:

$\phi_{pp}(t)$ ——电离层穿刺点纬度数值, 单位为弧度 (rad)

ϕ_r ——ITRS 坐标系下用户接收机在坐标系中的纬度数值, 单位为弧度 (rad)

$\psi_{pp}(t)$ ——穿刺点-地心-用户接收机形成的角度数值, 单位为弧度 (rad)

Az ——用户接收机和卫星之间的方位角数值, 单位为弧度 (rad)

$\lambda_{pp}(t)$ ——电离层穿刺点经度数值, 单位为弧度 (rad)

λ_r ——ITRS 坐标系下用户接收机在坐标系中的经度数值, 单位为弧度 (rad)

$\psi_{pp}(t)$ 计算方法见公式 (A-23):

$$\psi_{pp}(t) = \frac{\pi}{2} - El(t) - \sin^{-1} \left(\frac{a}{a + H_{iono}} \cdot \cos El(t) \right) \quad (\text{A-23})$$

式中:

$El(t)$ ——用户接收机和卫星之间的仰角, 单位为弧度 (rad)

a ——ITRS 定义的地球赤道半径数值, 单位为米 (m)

H_{iono} ——地球上电离层高度数值，单位为米（m），默认值为 450000m

3.3 网格模型

(1) 网格点电离层信息

每个电离层网格点（IGP）信息包括网格点垂直延迟（ $d\tau$ ）和误差指数（GIVEI），共占用 13bit。

(2) 网格点编号

电离层网格覆盖范围为东经 $70^\circ \sim 145^\circ$ ，北纬 $7.5^\circ \sim 55^\circ$ ，按经纬度 $5 \times 2.5^\circ$ 进行划分，形成 320 个网格点。其中，编号为 1~160 的网格点的具体定义见表 A-1。

表 A-1 编号为 1~160 的网格点定义

纬度	经度															
	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
55	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
50	9	19	29	39	49	59	69	79	89	99	109	119	129	139	149	159
45	8	18	28	38	48	58	68	78	88	98	108	118	128	138	148	158
40	7	17	27	37	47	57	67	77	87	97	107	117	127	137	147	157
35	6	16	26	36	46	56	66	76	86	96	106	116	126	136	146	156
30	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155
25	4	14	24	34	44	54	64	74	84	94	104	114	124	134	144	154
20	3	13	23	33	43	53	63	73	83	93	103	113	123	133	143	153
15	2	12	22	32	42	52	62	72	82	92	102	112	122	132	142	152
10	1	11	21	31	41	51	61	71	81	91	101	111	121	131	141	151

当 $IGP \leq 160$ ，相应的经度和纬度见（A-24）：

$$L = 70 + INT((IGP - 1)/10) \times 5$$

$$B = 5 + (IGP - INT((IGP - 1)/10) \times 10) \times 5 \quad (A-24)$$

式中：

L ——经度数值，单位为度（°）

$INT(*)$ ——向下取整

IGP ——网格点编号

B ——纬度数值，单位为度（°）

编号为 161~320 的网格点的具体定义见表 A-2。

表 A-2 编号为 161~320 的网格点定义

纬度	经度															
	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
52.5	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320
47.5	169	179	189	199	209	219	229	239	249	259	269	279	289	299	309	319
42.5	168	178	188	198	208	218	228	238	248	258	268	278	288	298	308	318
37.5	167	177	187	197	207	217	227	237	247	257	267	277	287	297	307	317
32.5	166	176	186	196	206	216	226	236	246	256	266	276	286	296	306	316
27.5	165	175	185	195	205	215	225	235	245	255	265	275	285	295	305	315
22.5	164	174	184	194	204	214	224	234	244	254	264	274	284	294	304	314
17.5	163	173	183	193	203	213	223	233	243	253	263	273	283	293	303	313
12.5	162	172	182	192	202	212	222	232	242	252	262	272	282	292	302	312
7.5	161	171	181	191	201	211	221	231	241	251	261	271	281	291	301	311

当网格点编号大于 160 时，所对应的经纬度计算见公式 (A-25)：

$$L = 70 + INT((IGP - 161) / 10) \times 5$$

$$B = 2.5 + (IGP - 160 - INT((IGP - 161) / 10) \times 10) \times 5 \quad (A-25)$$

式中：

L ——经度数值，单位为度 (°)

$INT(*)$ ——向下取整

IGP ——网格点编号

B ——纬度数值，单位为度 (°)

(3) 电离层数据版本号

电离层数据版本号 (IODI) 为 2bit，有效表示范围为 0~3，当网格点掩码改变时 IODI 才相应变化。用户应保证在提供垂直延迟给模型之前，使用的格网带的 IODI 与相关电文中的 IODI 保持一致。

(4) 电离层垂直延迟参数

d_{ri} 为第 i 网格点信号的电离层垂直延迟，用距离表示，比例因子为 0.125，单位为 m，范围为 (0~63.625) m。当状态为 “11111110” (= 63.750m) 时，表示网格点未被监测；当状态为 “11111111” (= 63.875m) 时，表示不可用。

用户需将网格点电离层改正数内插得到观测卫星穿刺点处的电离层改正数，以改正观测伪距。电离层参考高度为 450000m。

(5) 电离层垂直延迟改正误差指数

格网电离层垂直误差（GIVE）用来描述网格点电离层延迟改正的精度，以格网电离层垂直误差指数（GIVEI）表征。格网电离层垂直误差指数（GIVEI）由 4bit 组成，见表 A-3。

表 A-3 GIVEI 定义表

GIVEI	GIVE (m)
0	0.3
1	0.6
2	0.9
3	1.2
4	1.5
5	1.8
6	2.1
7	2.4
8	2.7
9	3.0
10	3.6
11	4.5
12	6.0
13	9.0
14	15.0
15	45.0

(6) 用户端网格点电离层延迟修正算法建议

根据 dti 值和 GIVEI，用户可选用穿刺点周围相邻或相近的有效网格点数据，自行设计模型，内插观测卫星穿刺点处的电离层改正数。

用户穿刺点所在周围网格至少有 3 个网格点标识为有效时，可根据这些有效网格点上播发的垂直电离层延迟采用双线性内插法计算穿刺点处的电离层延迟。指导性拟合算法见公式 (A-26)：

$$Ionodelay_p = \frac{\sum_{i=1}^4 \omega_i \times VTEC_i}{\sum_{i=1}^4 \omega_i} \quad (\text{A-26})$$

式中：

$Ionodelay_p$ ——用户穿刺点的垂直电离层延迟数值，单位为米（m）

$\omega_i(i=1\sim 4)$ ——穿刺点与四个网格点的距离权值

$VTEC_i(i=1\sim 4)$ ——用户穿刺点周围的网格点垂直电离层延迟数值，单位为米（m）

ω_i 的计算方法见公式（A-27）～（A-32）：

$$\omega_1 = (1 - x_p) \times (1 - y_p) \quad (\text{A-27})$$

$$\omega_2 = x_p \times (1 - y_p) \quad (\text{A-28})$$

$$\omega_3 = x_p y_p \quad (\text{A-29})$$

$$\omega_4 = (1 - x_p) \times y_p \quad (\text{A-30})$$

其中：

$$x_p = \frac{\lambda_p - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (\text{A-31})$$

$$y_p = \frac{\phi_p - \phi_1}{\phi_4 - \phi_1} \quad (\text{A-32})$$

式中：

(φ_p, λ_p) ——用户接收机与某一颗卫星连线对应电离层穿刺点所在的地理位置的经纬度数值，单位为度（°）

$(\varphi_i, \lambda_i, i=1\sim 4)$ ——用户穿刺点周围的4个网格点的位置

用户穿刺点与周围4个网格点的位置关系见图A-1：

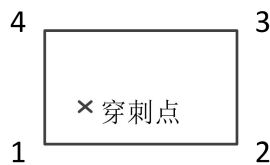


图 A-1 穿刺点位置关系

利用计算得到的用户穿刺点的垂直电离层延迟 $Ionodelay_p$ 可以计算得到 L_x 斜路径上的电离层延迟 $(T_{iono}(t))_{L_x}$ ，见公式（A-33）：

$$(T_{iono}(t))_{L_x} = \gamma_{L_x} \times F(t) \times Ionodelay_p \quad (\text{A-33})$$

式中：

$(T_{iono}(t))_{L_x}$ ——斜路径上的电离层延迟数值，单位为米（m）

γ_{L_x} —— L_x 频率与 L1 频率比例的平方值

$F(t)$ ——投影函数

其中，投影函数 $F(t)$ 的计算方法见公式 (A-34)：

$$F(t) = 1 / \sqrt{1 - \left(\frac{a \cos El(t)}{a + H_{iono}} \right)^2} \quad (\text{A-34})$$

式中：

$El(t)$ ——用户接收机和卫星之间的仰角，单位为弧度 (rad)

a ——ITRS 定义的地球赤道半径数值，单位为米 (m)

H_{iono} ——地球上方电离层高度数值，单位为米 (m)，默认值为 450000 m

4 卫星码偏差改正

由于卫星信号跟踪模式不同，各观测值都受到一个与信号跟踪模式相关的偏差。为了实现高精度定位性能，处理各频率各类信号时，应首先改正该偏差，其改正方法见公式（A-35）：

$$\tilde{l}_{sig} = l_{sig} + bias_{sig} \quad (\text{A-35})$$

式中：

\tilde{l}_{sig} —— sig 信号改正后的伪距观测值，单位为米（m）；

l_{sig} ——接收机直接捕获的观测值，单位为米（m）；

$bias_{sig}$ ——对应该信号的码偏差值，单位为米（m）。

用户根据字段 DF548 和 DF380 获取不同伪距观测值码偏差改正信息，且电文 1032 和 1059 中的码偏差应与相应的伪距观测值相加。