



中华人民共和国国家标准

GB/T 39414.4—2020

北斗卫星导航系统空间信号接口规范 第4部分：公开服务信号 B3I

Interface specification for signal in space of BeiDou navigation satellite system—
Part 4: Open service signal B3I

2020-11-19 发布

2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	I
引言	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	1
4 北斗系统概述	2
4.1 空间星座	2
4.2 坐标系统	2
4.3 时间系统	3
5 信号规范	3
5.1 信号结构	3
5.2 信号特性	3
5.3 测距码特性	4
6 导航电文	7
6.1 导航电文概述	7
6.2 D1 导航电文	11
6.3 D2 导航电文	30
7 符合性验证方法	57
7.1 概述	57
7.2 信号特性验证方法	58
7.3 测距码特性验证方法	58
7.4 导航电文结构验证方法	58
7.5 导航电文参数算法验证方法	58

前 言

GB/T 39414《北斗卫星导航系统空间信号接口规范》分为 4 个部分：

——第 1 部分：公开服务信号 B1C；

——第 2 部分：公开服务信号 B2a；

——第 3 部分：公开服务信号 B1I；

——第 4 部分：公开服务信号 B3I。

本部分为 GB/T 39414 的第 4 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分由中央军委装备发展部提出。

本部分由全国北斗卫星导航标准化技术委员会(SAC/TC 544)归口。

本部分起草单位：中国卫星导航工程中心、中国航天标准化研究所、北京卫星导航中心、中国航天科技集团公司第五研究院、中国科学院微小卫星创新研究院、中国航天电子技术研究院。

本部分主要起草人：宿晨庚、阮航、高为广、卢璠、吴海玲、王维嘉、高扬、刘旭楠、康登榜、曹坤梅、麻智超、董海青、戴永珊。



引 言

北斗卫星导航系统分为北斗一号、北斗二号和北斗三号三个建设发展阶段。北斗卫星导航系统现已发布的公开服务信号包括 B1I、B2I、B3I、B1C 和 B2a。其中, B1I、B3I 信号在北斗二号和北斗三号的中圆地球轨道(MEO)卫星、倾斜地球同步轨道(IGSO)卫星和地球静止轨道(GEO)卫星上播发, 提供公开服务; B2I 信号在北斗二号所有卫星上播发, 提供公开服务, 在北斗三号卫星上将被 B2a 信号取代; B1C、B2a 信号在北斗三号中圆地球轨道(MEO)卫星和倾斜地球同步轨道(IGSO)卫星上播发, 提供公开服务。

GB/T 39414 的本部分主要定义了北斗系统空间星座和用户终端之间公开服务信号 B3I 的相关内容, 包括空间信号射频特性、测距码、导航电文结构、导航电文参数和用户算法等, 可作为北斗卫星导航产品设计、研制及应用的重要依据。



北斗卫星导航系统空间信号接口规范

第4部分：公开服务信号 B3I

1 范围

GB/T 39414 的本部分规定了北斗卫星导航系统(以下简称北斗系统)空间星座和用户终端之间公开服务信号 B3I 的信号特性及导航电文结构。

本部分适用于使用 B3I 信号的卫星导航产品的研制、生产和检验。

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(包括所有修改单)适用于本文件。

GB/T 39267 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 界定的术语和定义适用于本文件。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AODC:时钟数据龄期(Age of Data,Clock)

AODE:星历数据龄期(Age of Data,Ephemeris)

BDCS:北斗坐标系(BeiDou Coordinate System)

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

BPSK:二进制相移键控(Binary Phase Shift Keying)

CDMA:码分多址(Code Division Multiple Access)

CGCS2000:2000 中国大地坐标系(China Geodetic Coordinate System 2000)

GEO:地球静止轨道(Geostationary Earth Orbit)

GIVE:格网点电离层垂直延迟改正数误差(Grid point Ionospheric Vertical delay Error)

GIVEI:格网点电离层垂直延迟改正数误差指数(Grid point Ionospheric Vertical delay Error Index)

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)

IERS:国际地球自转参考系服务(International Earth Rotation and Reference Systems Service)

IGP:电离层格网点(Ionospheric Grid Point)

IGSO:倾斜地球同步轨道(Inclined GeoSynchronous Orbit)

IPP:电离层穿刺点(Ionospheric Pierce Point)

IRM:IERS 参考子午面(IERS Reference Meridian)

IRP: IERS 参考极 (IERS Reference Pole)
LSB: 最低有效位 (Least Significant Bit)
MEO: 中圆地球轨道 (Medium Earth Orbit)
MSB: 最高有效位 (Most Significant Bit)
NTSC: 国家授时中心 (National Time Service Center)
RHCP: 右旋圆极化 (Right-Hand Circular Polarization)
RURA: 区域用户距离精度 (Regional User Range Accuracy)
RURAI: 区域用户距离精度指数 (Regional User Range Accuracy Index)
SOW: 周内秒计数 (Seconds of Week)
UDRE: 用户差分距离误差 (User Differential Range Error)
UDREI: 用户差分距离误差指数 (User Differential Range Error Index)
URA: 用户距离精度 (User Range Accuracy)
URAI: 用户距离精度指数 (User Range Accuracy Index)
WN: 整周计数 (Week Number)

4 北斗系统概述

4.1 空间星座

北斗全球系统标称空间星座由 3 颗 GEO 卫星、3 颗 IGSO 卫星和 24 颗 MEO 卫星组成,并视情部署在轨备份卫星。GEO 卫星轨道高度 35 786 km,分别定点于东经 80°、110.5°和 140°;IGSO 卫星轨道高度 35 786 km,轨道倾角 55°;MEO 卫星轨道高度 21 528 km,轨道倾角 55°。

4.2 坐标系

北斗系统采用北斗坐标系 (BDCS)。北斗坐标系的定义符合 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),具体定义如下:

- a) 原点、轴向及尺度定义
 - 原点位于地球质心;
 - Z 轴指向 IERS 定义的参考极 (IRP) 方向;
 - X 轴为 IERS 定义的参考子午面 (IRM) 与通过原点且同 Z 轴正交的赤道面的交线;
 - Y 轴与 Z、X 轴构成右手直角坐标系;
 - 长度单位是国际单位制 (SI) 米。
- b) 参考椭球定义

BDCS 参考椭球的几何中心与地球质心重合,参考椭球的旋转轴与 Z 轴重合。BDCS 参考椭球定义的基本常数见表 1。

表 1 BDCS 参考椭球定义的基本常数

序号	参数	定义
1	长半轴	$a=6\,378\,137.0\text{ m}$
2	地心引力常数 (包含大气层)	$\mu=3.986\,004\,418\times 10^{14}\text{ m}^3/\text{s}^2$
3	扁率	$f=1/298.257\,222\,101$
4	地球自转角速度	$\dot{\Omega}_e=7.292\,115\,0\times 10^{-5}\text{ rad/s}$

4.3 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 ns 以内(模 1 s)。BDT 与 UTC 之间的闰秒信息在导航电文中播报。

5 信号规范

5.1 信号结构

B3I 信号由“测距码+导航电文”调制在载波上构成,其信号表达式见公式(1):

$$S_{B3I}^j(t) = A_{B3I} C_{B3I}^j(t) D_{B3I}^j(t) \cos(2\pi f_3 t + \varphi_{B3I}^j) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- j —— 卫星编号;
- A_{B3I} —— B3I 信号振幅;
- C_{B3I} —— B3I 信号测距码;
- D_{B3I} —— B3I 信号数据码;
- f_3 —— B3I 信号载波频率;
- φ_{B3I} —— B3I 信号载波初相。

5.2 信号特性

5.2.1 载波频率

同一颗卫星发射的导航信号的载波频率在卫星上由共同的基准时钟源产生。B3I 信号的载波频率为 1 268.520 MHz。

5.2.2 调制方式

B3I 信号采用二进制相移键控(BPSK)调制。

5.2.3 极化方式

卫星发射信号为右旋圆极化(RHCP)。

5.2.4 载波相位噪声

未调制载波的相位噪声谱密度应满足单边噪声带宽为 10 Hz 的三阶锁相环的载波跟踪精度达到 0.1 rad(RMS)。

5.2.5 用户接收信号电平

当卫星仰角大于 5°,在地球表面附近的接收机右旋圆极化天线为 0 dBi 增益时,卫星发射的 B3I 信号到达接收机天线输出端的最小功率电平为 -163 dBW。

5.2.6 信号复用方式

信号复用方式为码分多址(CDMA)。

5.2.7 信号带宽

B3I 信号带宽为 20.46 MHz(以 B3I 信号载波频率为中心)。

5.2.8 杂散

卫星发射的杂散信号不超过 -50 dBc。

5.2.9 信号相关性

B1I、B2I 和 B3I 信号的测距码相位差随机抖动小于 $1\text{ ns}(1\sigma)$ 。

B3I 信号载波与其载波上所调制的测距码间起始相位差随机抖动小于 $3^\circ(1\sigma)$ (相对于载波)。

5.2.10 星上设备时延

星上设备时延是指卫星信号从星载频率源到卫星发射天线相位中心的传输时延。B3I 信号的设备时延为基准设备时延,含在导航电文的钟差参数 a_0 中,不确定度小于 $0.5\text{ ns}(1\sigma)$ 。

5.3 测距码特性

B3I 信号测距码(以下简称 C_{B3I} 码)的码速率为 10.23 Mcps,码长为 10230。

C_{B3I} 码由两个线性序列 G1 和 G2 截短、模二加生成 Gold 码后再截短产生。G1 和 G2 序列均由 13 级线性移位寄存器生成,周期为 8191 码片,其生成多项式见公式(2)和公式(3):

$$G1(X) = X^{13} + X^4 + X^3 + X + 1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$G2(X) = X^{13} + X^{12} + X^{10} + X^9 + X^7 + X^6 + X^5 + X + 1 \quad \dots\dots\dots (3)$$

C_{B3I} 码发生器如图 1 所示。

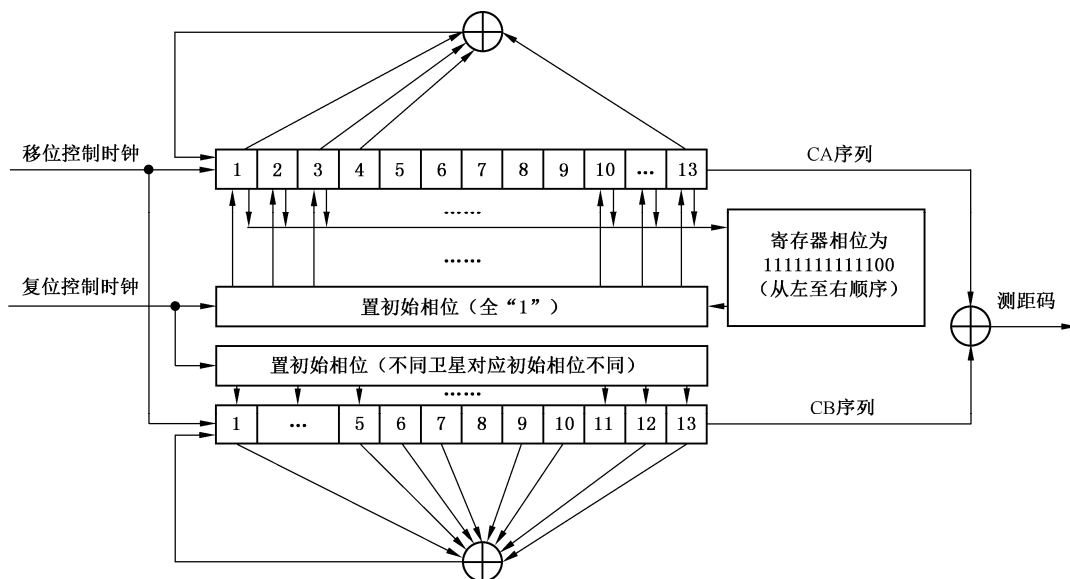


图 1 C_{B3I} 码发生器示意图

将 G1 产生的码序列截短 1 码片,使其变成周期为 8190 码片的 CA 序列;G2 产生周期为 8191 码片的 CB 序列。CA 序列与 CB 序列模二加,产生周期为 10230 码片的 C_{B3I} 码。

G1 序列在每个测距码周期(1 ms)起始时刻或 G1 序列寄存器相位为“1111111111100”时置初始相位, G2 序列在每个测距码周期(1 ms)起始时刻置初始相位。G1 序列的初始相位为“111111111111”。

G2 序列的初始相位由“111111111111”经过不同的移位次数形成,不同初始相位对应不同卫星。 C_{B31} 码的 G2 序列相位分配见表 2。

表 2 C_{B31} 码的 G2 序列相位分配

编号	卫星类型	测距码编号 ^a	G2 序列初相值 ^b	G2 序列初始相位 ^c
1	GEO 卫星	1	4	101011111111
2	GEO 卫星	2	11	1111000101011
3	GEO 卫星	3	13	1011110001010
4	GEO 卫星	4	22	1111111111011
5	GEO 卫星	5	30	1100100011111
6	MEO/IGSO 卫星	6	36	1001001100100
7	MEO/IGSO 卫星	7	44	1111111010010
8	MEO/IGSO 卫星	8	48	1110111111101
9	MEO/IGSO 卫星	9	88	1010000000010
10	MEO/IGSO 卫星	10	104	0010000011011
11	MEO/IGSO 卫星	11	116	1110101110000
12	MEO/IGSO 卫星	12	129	0010110011110
13	MEO/IGSO 卫星	13	376	0110010010101
14	MEO/IGSO 卫星	14	418	0111000100110
15	MEO/IGSO 卫星	15	458	1000110001001
16	MEO/IGSO 卫星	16	682	1110001111100
17	MEO/IGSO 卫星	17	696	0010011000101
18	MEO/IGSO 卫星	18	707	0000011101100
19	MEO/IGSO 卫星	19	1078	1000101010111
20	MEO/IGSO 卫星	20	2069	0001011011110
21	MEO/IGSO 卫星	21	2248	0010000101101
22	MEO/IGSO 卫星	22	2574	0010110001010
23	MEO/IGSO 卫星	23	2596	0001011001111
24	MEO/IGSO 卫星	24	2731	0011001100010
25	MEO/IGSO 卫星	25	4294	0011101001000
26	MEO/IGSO 卫星	26	4436	0100100101001
27	MEO/IGSO 卫星	27	4647	1011011010011
28	MEO/IGSO 卫星	28	4978	1010111100010
29	MEO/IGSO 卫星	29	4986	0001011110101
30	MEO/IGSO 卫星	30	1	0111111111111
31	MEO/IGSO 卫星	31	5209	0110110001111
32	MEO/IGSO 卫星	32	5539	1010110001001

表 2 (续)

编号	卫星类型	测距码编号 ^a	G2 序列初相值 ^b	G2 序列初始相位 ^c
33	MEO/IGSO 卫星	33	6061	1001010101011
34	MEO/IGSO 卫星	34	6488	1100110100101
35	MEO/IGSO 卫星	35	7130	1101001011101
36	MEO/IGSO 卫星	36	7165	1111101110100
37	MEO/IGSO 卫星	37	7403	0010101100111
38	MEO/IGSO 卫星	38	5879	1110100010000
39	MEO/IGSO 卫星	39	1681	1101110010000
40	MEO/IGSO 卫星	40	5080	1101011001110
41	MEO/IGSO 卫星	41	5938	1000000110100
42	MEO/IGSO 卫星	42	3983	0101111011001
43	MEO/IGSO 卫星	43	6208	0110110111100
44	MEO/IGSO 卫星	44	7223	1101001110001
45	MEO/IGSO 卫星	45	2996	0011100100010
46	MEO/IGSO 卫星	46	1814	0101011000101
47	MEO/IGSO 卫星	47	6906	1001111100110
48	MEO/IGSO 卫星	48	6144	1111101001000
49	MEO/IGSO 卫星	49	4713	0000101001001
50	MEO/IGSO 卫星	50	7406	1000010101100
51	MEO/IGSO 卫星	51	7264	1111001001100
52	MEO/IGSO 卫星	52	1766	0100110001111
53	MEO/IGSO 卫星	53	5347	0000000011000
54	MEO/IGSO 卫星	54	3515	1000000000100
55	MEO/IGSO 卫星	55	7951	0011010100110
56	MEO/IGSO 卫星	56	7054	1011001000110
57	MEO/IGSO 卫星	57	3884	0111001111000
58	MEO/IGSO 卫星	58	6067	0010111001010
59	GEO 卫星	59	4230	1100111110110
60	GEO 卫星	60	3803	1001001000101
61	GEO 卫星	61	869	0111000100000
62	GEO 卫星	62	3683	0011001000010
63	GEO 卫星	63	1205	0010001001110
^a 卫星将优先使用 1~37 号测距码,以实现对已有接收机的后向兼容。 ^b 初相值表示从全“1”状态至当前初始相位所需移位次数。 ^c 初始相位序列按从左至右顺序。				

6 导航电文

6.1 导航电文概述

6.1.1 导航电文划分

根据速率和结构不同,导航电文分为 D1 导航电文和 D2 导航电文。D1 导航电文速率为 50 bps,并调制有速率为 1 kbps 的二次编码,内容包含基本导航信息;D2 导航电文速率为 500 bps,内容包含基本导航信息和广域差分信息(北斗系统的差分及完好性信息和格网点电离层信息)。

MEO/IGSO 卫星播发的 B3I 信号采用 D1 导航电文,GEO 卫星播发的 B3I 信号采用 D2 导航电文。

6.1.2 导航电文信息类别及播发特点

导航电文中基本导航信息和广域差分信息的类别及播发特点见表 3。

表 3 D1、D2 导航电文信息类别及播发特点

电文信息类别		比特数	播发特点	
帧同步码(Pre)		11	每子帧重复一次	基本导航信息,所有卫星都播发
子帧计数(FraID)		3		
周内秒计数(SOW)		20		
本卫星基本导航信息	整周计数(WN)	13	D1:在子帧 1、2、3 中播发,30 s 重复周期。 D2:在子帧 1 页面 1~10 的前 5 个字中播发,30 s 重复周期。 更新周期:1 h	
	用户距离精度指数(URAI)	4		
	卫星自主健康标识(SatH1)	1		
	星上设备时延(T_{GD1}, T_{GD2})	20		
	时钟数据龄期(AODC)	5		
	钟差参数(t_{oc}, a_0, a_1, a_2)	74		
	星历数据龄期(AODE)	5		
	星历参数($t_{oe}, \sqrt{A}, e, \omega, \Delta n, M_0, \Omega_0, \dot{\Omega}, i_0, IDOT, C_{uc}, C_{us}, C_{rc}, C_{rs}, C_{ic}, C_{is}$)	371		
电离层模型参数($\alpha_n, \beta_n, n=0\sim3$)	64			
页面编号(Pnum)		7	D1:在第 4 和第 5 子帧中播发。 D2:在第 5 子帧中播发。	
历书信息	历书信息扩展标识(AmEpID)	2	D1:在子帧 4 页面 1~24、子帧 5 页面 1~6 中播发。 D2:在子帧 5 页面 37~60、95~100 中播发	

表 3 (续)

电文信息类别		比特数	播发特点	
历书信息	历书参数 ($t_{\text{os}}, \sqrt{A}, e, \omega, M_0, \Omega_0, \dot{\Omega}, \delta_i, a_0, a_1, \text{AmID}$)	178	D1: 在子帧 4 页面 1~24、子帧 5 页面 1~6 中播发 1~30 号卫星; 在子帧 5 页面 11~23 中分时播发 31~63 号卫星, 需结合 AmEpID 和 AmID 识别。 D2: 在子帧 5 页面 37~60、95~100 中播发 1~30 号卫星; 在子帧 5 页面 103~115 中分时播发 31~63 号卫星, 需结合 AmEpID 和 AmID 识别。 更新周期: 小于 7 d	基本导航信息, 所有卫星都播发
	历书周计数(WN_a)	8	D1: 在子帧 5 页面 8 中播发。 D2: 在子帧 5 页面 36 中播发。 更新周期: 小于 7 d	
	卫星健康信息 ($\text{Hea}_i, i=1\sim 43$)	9×43	D1: 在子帧 5 页面 7~8 中播发 1~30 号卫星健康信息; 在子帧 5 页面 24 中分时播发 31~63 号卫星健康信息, 需结合 AmEpID 和 AmID 识别。 D2: 在子帧 5 页面 35~36 中播发 1~30 号卫星健康信息; 在子帧 5 页面 116 中分时播发 31~63 号卫星健康信息, 需结合 AmEpID 和 AmID 识别。 更新周期: 小于 7 d	
与其他系统时间同步信息	与 UTC 时间同步参数($A_{0\text{UTC}}, A_{1\text{UTC}}, \Delta t_{\text{LS}}, \Delta t_{\text{LSF}}, \text{WN}_{\text{LSF}}, \text{DN}$)	88	D1: 在子帧 5 页面 9~10 中播发。D2: 在子帧 5 页面 101~102 中播发。 更新周期: 小于 7 d	
	与 GPS 时间同步参数 ($A_{0\text{GPS}}, A_{1\text{GPS}}$)	30		
	与 Galileo 时间同步参数 ($A_{0\text{Gal}}, A_{1\text{Gal}}$)	30		
	与 GLONASS 时间同步参数 ($A_{0\text{GLO}}, A_{1\text{GLO}}$)	30		
基本导航信息页面编号(Pnum1)		4	D2: 在子帧 1 全部 10 个页面中播发	完好性、差分信息、格网点电离层信息只由 GEO 卫星播发
完好性及差分信息页面编号(Pnum2)		4	D2: 在子帧 2 全部 6 个页面中播发	
完好性及差分信息健康标识(SatH2)		2	D2: 在子帧 2 全部 6 个页面中播发。 更新周期: 3 s	
北斗系统完好性及差分信息扩展标识(BDEpID)		2	D2: 在子帧 4 全部 6 个页面中播发	
北斗系统完好性及差分信息卫星标识($\text{BDID}_i, i=1\sim 63$)		1×63	D2: 在子帧 2 全部 6 个页面播发 1~30 号卫星; 在子帧 4 全部 6 个页面播发 31~63 号卫星。 更新周期: 3 s	
区域用户距离精度指数 ($\text{RURAI}_i, i=1\sim 24$)		4×24	D2: 在子帧 2、子帧 3 和子帧 4 全部 6 个页面播发。 更新周期: 18 s	

表 3（续）

电文信息类别		比特数	播发特点		
北斗系统差分及差分完好性信息	等效钟差改正数 ($\Delta t_i, i=1\sim 24$)	13×24	D2:在子帧 2、子帧 3 和子帧 4 全部 6 个页面播发。 更新周期:18 s	完好性、差分信息、格网点电离层信息只由 GEO 卫星播发	
	用户差分距离误差指数 (UDREI _i , $i=1\sim 24$)	4×24	D2:在子帧 2、子帧 4 全部 6 个页面播发。 更新周期:3 s		
格网点电离层信息	格网点电离层垂直延迟(dτ)	9×320	D2:在子帧 5 页面 1~13,61~73 中播发。 更新周期:6 min		
	格网点电离层垂直延迟改正数误差指数(GIVEI)	4×320			

6.1.3 导航电文数据码纠错编码方式

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,其生成方式见图 2。

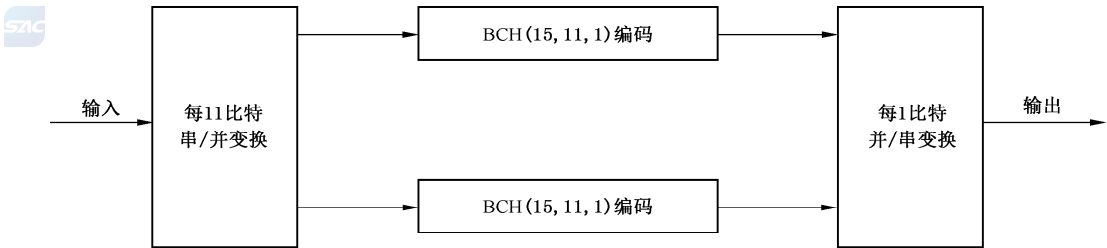


图 2 导航电文纠错编码示意图

BCH(15,11,1)编码框图如图 3 所示。其中,4 级移位寄存器的初始状态为全 0,门 1 开,门 2 关,输入 11 比特信息组 X ,然后开始移位,信息组一路经或门输出,另一路进入 $g(X)$ 除法电路,经 11 次移位后 11 比特信息组全部送入电路,此时移位寄存器内保留的即为校验位,最后门 1 关,门 2 开,再经过 4 次移位,将移位寄存器的校验位全部输出,与原先的 11 比特信息组成一个长为 15 比特 BCH 码。门 1 开,门 2 关,送入下一个信息组重复上述过程。

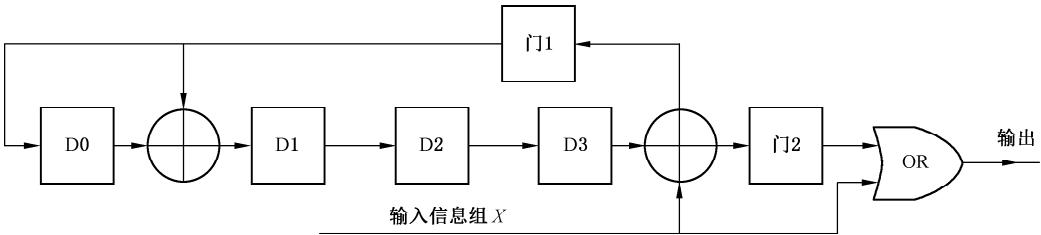


图 3 BCH(15,11,1)编码框图

接收机接收到数据码信息后按每 1 比特顺序进行串/并变换,进行 BCH(15,11,1)纠错译码,对交织部分按 11 比特顺序进行并/串变换,组成 22 比特信息码,其生成方式见图 4。

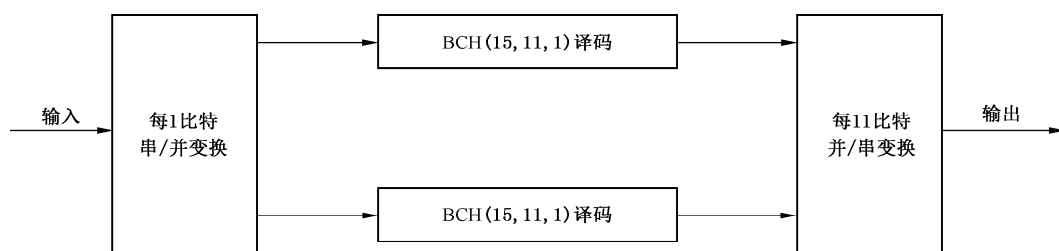


图 4 导航电文纠错译码示意图

BCH(15,11,1)译码框图见图 5,其中,初始时移位寄存器清零,BCH 码组逐位输入到除法电路和 15 级纠错缓存器中,当 BCH 码的 15 位全部输入后,纠错信号 ROM 表利用除法电路的 4 级移位寄存器的状态 D3、D2、D1、D0 查表,得到 15 位纠错信号与 15 级纠错缓存器里的值模二加,最后输出纠错后的信息码组。纠错信号的 ROM 表见表 4。

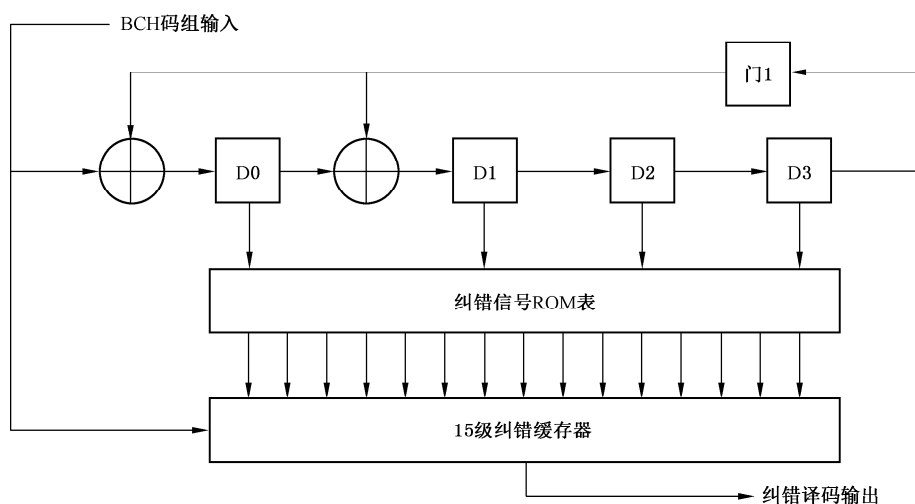


图 5 BCH(15,11,1)译码框图

表 4 纠错信号的 ROM 表

D3D2D1D0	15 位纠错信号
0000	0000000000000000
0001	0000000000000001
0010	0000000000000010
0011	0000000000010000
0100	0000000000001000
0101	0000001000000000
0110	0000000001000000
0111	0000100000000000

表 4（续）

D3D2D1D0	15 位纠错信号
1000	0000000000001000
1001	1000000000000000
1010	0000010000000000
1011	0000000100000000
1100	0000000010000000
1101	0100000000000000
1110	0001000000000000
1111	0010000000000000

每两组 BCH(15,11,1)码按比特交错方式组成 30 比特码长的交织码,30 比特码长的交织码编码结构为:

X_1^1	X_2^1	X_1^2	X_2^2	...	X_1^{11}	X_2^{11}	P_1^1	P_2^1	P_1^2	P_2^2	P_1^3	P_2^3	P_1^4	P_2^4
---------	---------	---------	---------	-----	------------	------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

其中: X_i^j 为信息位, i 表示第 i 组 BCH 码,其值为 1 或 2; j 表示第 i 组 BCH 码中的第 j 个信息位,其值为 1~11; P_i^m 为校验位, i 表示第 i 组 BCH 码,其值为 1 或 2; m 表示第 i 组 BCH 码中的第 m 个校验位,其值为 1~4。

6.2 D1 导航电文

6.2.1 D1 导航电文上调制的二次编码

D1 导航电文上调制的二次编码是指在速率为 50 bps 的 D1 导航电文上调制一个 Neumann-Hoffman 码(以下简称 NH 码)。该 NH 码周期为 1 个导航信息位的宽度,NH 码 1 比特宽度则与扩频码周期相同。如图 6 所示,D1 导航电文中一个信息位宽度为 20 ms,扩频码周期为 1 ms,因此采用 20 比特的 NH 码(0 0 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0),码速率为 1 kbps,码宽为 1 ms,以模二加形式与扩频码和导航信息码同步调制。

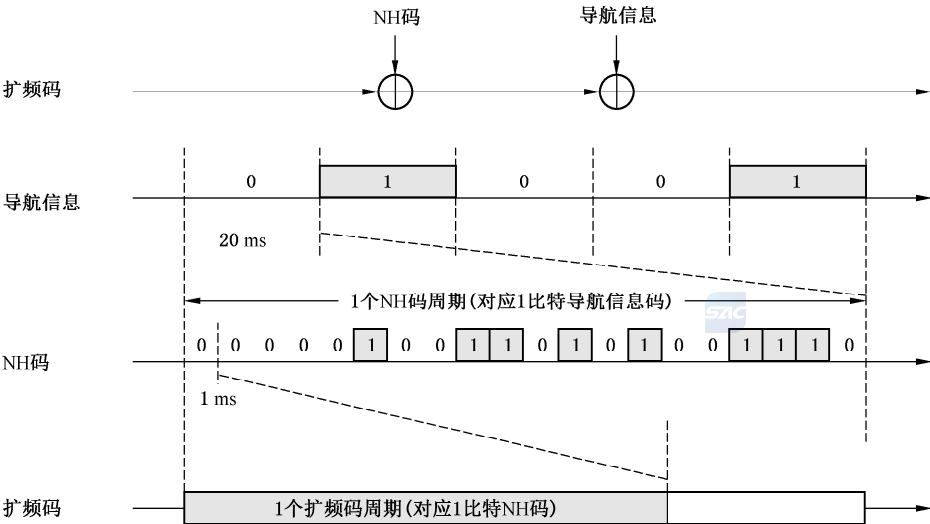


图 6 二次编码示意图

6.2.2 D1 导航电文帧结构

D1 导航电文由超帧、主帧和子帧组成。每个超帧为 36 000 比特,历时 12 min,每个超帧由 24 个主帧组成(24 个页面);每个主帧为 1 500 比特,历时 30 s,每个主帧由 5 个子帧组成;每个子帧为 300 比特,历时 6 s,每个子帧由 10 个字组成;每个字为 30 比特,历时 0.6 s。

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;其他 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(见 6.1.3)。

D1 导航电文帧结构如图 7 所示。

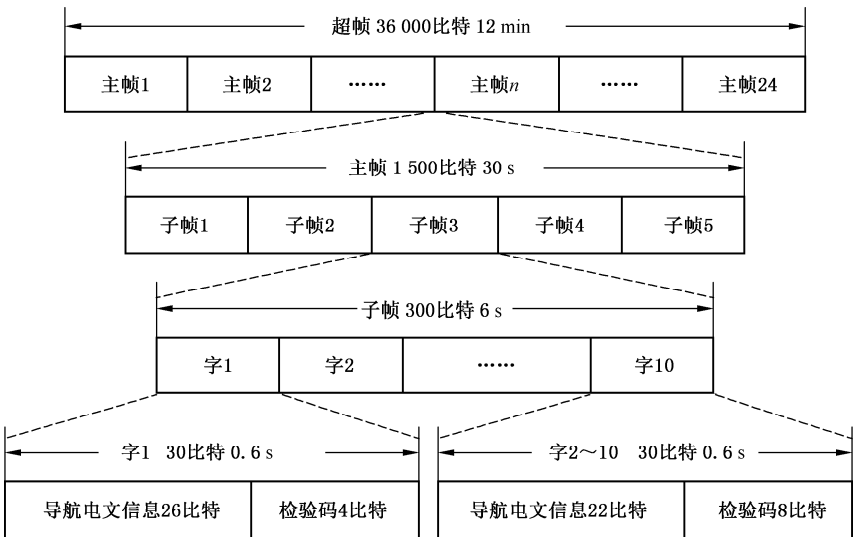


图 7 D1 导航电文帧结构

6.2.3 D1 导航电文详细结构编排

D1 导航电文包含有基本导航信息,包括:本卫星基本导航信息(包括周内秒计数、整周计数、用户距离精度指数、卫星自主健康标识、电离层延迟模型改正参数、卫星星历参数及数据龄期、卫星钟差参数及数据龄期、星上设备时延)、全部卫星历书信息及与其他系统时间同步信息(UTC、其他卫星导航系统)。

D1 导航电文主帧结构及信息内容如图 8 所示。子帧 1~子帧 3 播发基本导航信息;子帧 4 和子帧 5 分为 24 个页面,播发全部卫星历书信息及与其他系统时间同步信息。

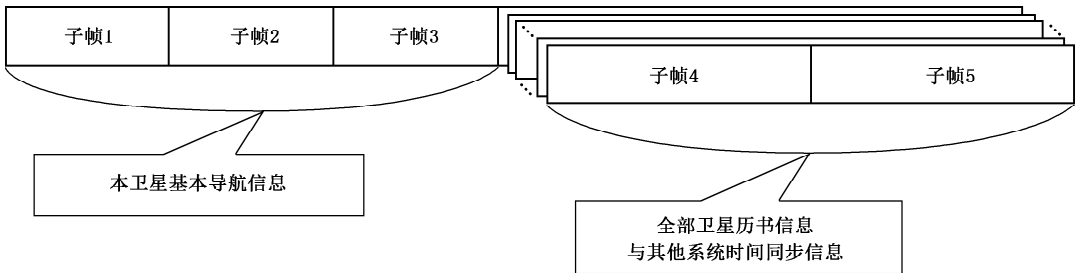
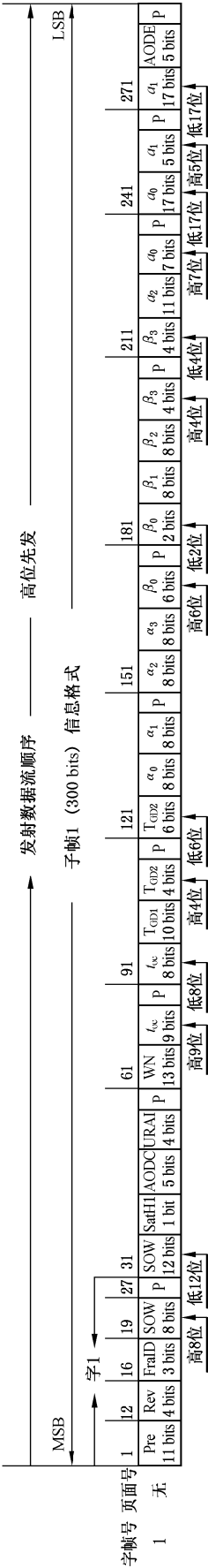


图 8 D1 导航电文主帧结构与信息内容

D1 导航电文各子帧格式的编排见图 9~图 18。其中,子帧 5 页面 11~24 扩展播发历书信息。



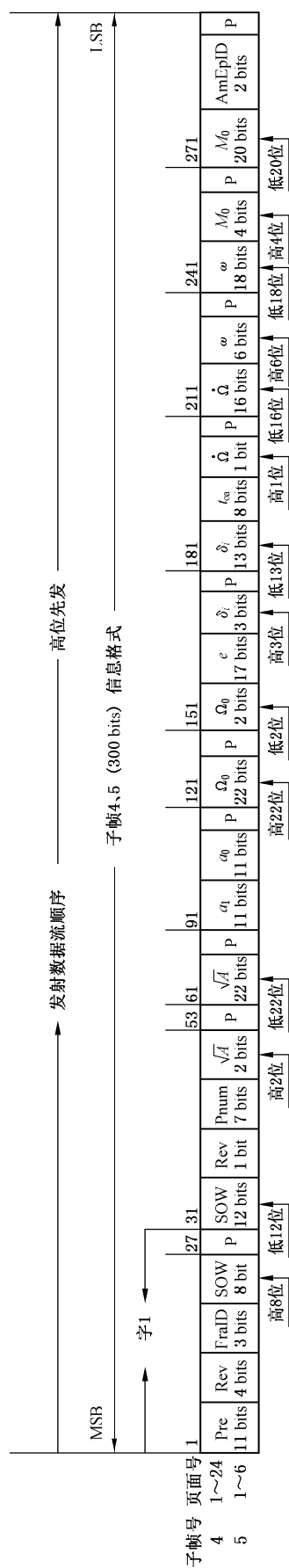


图12 D1 导航电子文档 4 页面 1~24 和子帧 5 页面 1~6 信息格式编排

注: AmEpID 为 D1 导航电文中的历书信息扩展标识, 具体使用方法参见 6.2.4.14。

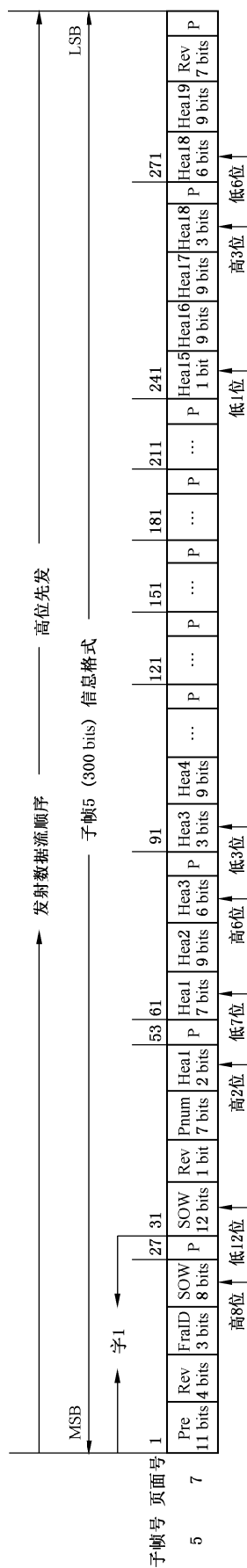


图 13 D1 导航电子文档 5 页面 7 信息格式编排

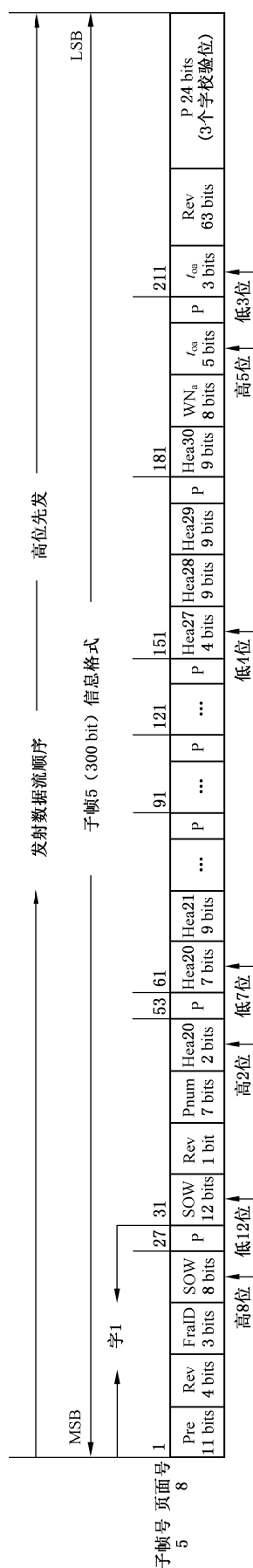


图 14 D1 导航电子文档 5 页面 8 信息格式编排

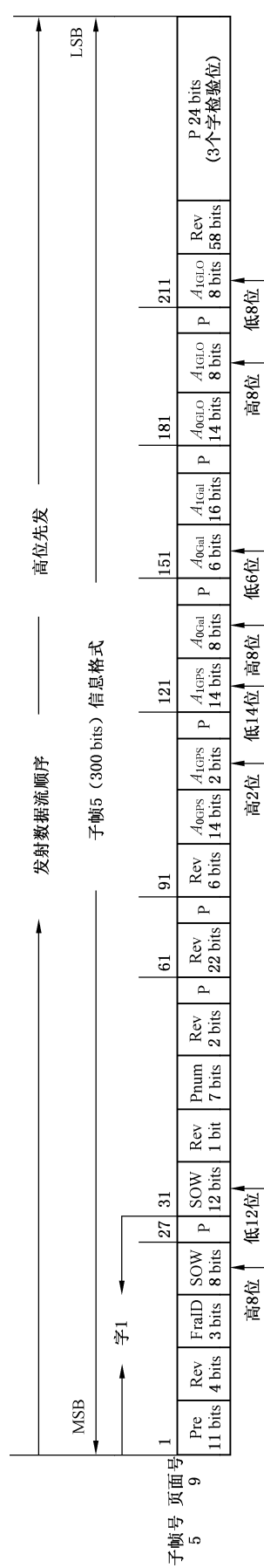


图 15 D1 导航电子文档 5 页面 9 信息格式编排

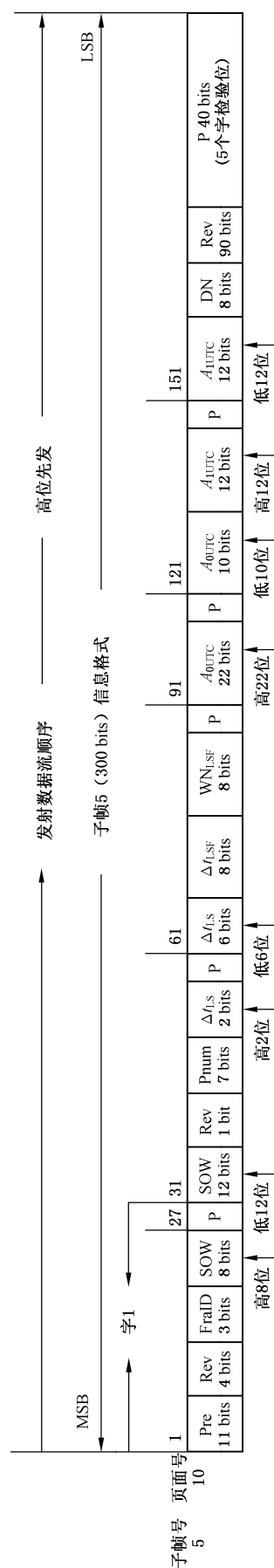


图 16 D1 导航电子文档 5 页面 10 信息格式编排

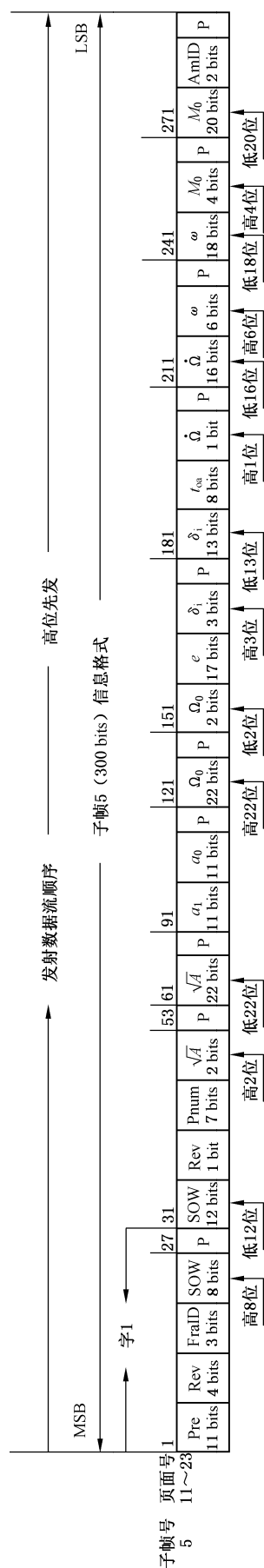


图 17 D1 导航电文帧 5 页面 11~23 信息格式编排

注:当 AmEpID 为“11”时,子帧 5 页面 11~23 用于扩展播发卫星历书;否则,子帧 5 页面 11~23 为预留页面,即从第 51 位开始的信息位为保留位。

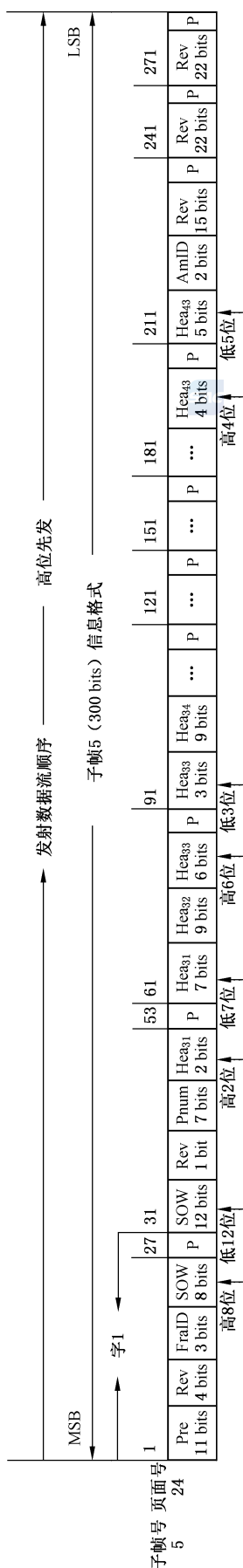


图 18 D1 导航电子文档 5 页面 24 信息格式编排

注：当 AmEpID 为“11”时，子帧 5 页面 24 用于扩展播发卫星健康信息；否则，子帧 5 页面 24 为预留页面，即从第 51 位开始的信息位为保留位。

6.2.4 D1 导航电文内容和算法

6.2.4.1 帧同步码(Pre)

每一子帧的第 1~11 比特为帧同步码(Pre),由 11 比特修改巴克码组成,其值为“11100010010”,第 1 比特上升沿为秒前沿,用于时标同步。

6.2.4.2 子帧计数(FraID)

每一子帧的第 16~18 比特为子帧计数(FraID),共 3 比特,具体定义见表 5。

表 5 子帧计数编码定义

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

6.2.4.3 周内秒计数(SOW)

每一子帧的第 19~26 比特和第 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。

6.2.4.4 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 0~8 191,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。

6.2.4.5 用户距离精度指数(URAI)

用户距离精度(URA)用来描述卫星空间信号精度,单位是米(m),以用户距离精度指数(URAI)表征,URAI 为 4 比特,范围从 0~15,与 URA 之间的关系见表 6。



表 6 URAI 值与 URA 范围对应关系

编码	URAI 值	URA 范围($m, 1\sigma$)
0000	0	$0.00 < URA \leq 2.40$
0001	1	$2.40 < URA \leq 3.40$
0010	2	$3.40 < URA \leq 4.85$
0011	3	$4.85 < URA \leq 6.85$
0100	4	$6.85 < URA \leq 9.65$
0101	5	$9.65 < URA \leq 13.65$
0110	6	$13.65 < URA \leq 24.00$
0111	7	$24.00 < URA \leq 48.00$
1000	8	$48.00 < URA \leq 96.00$
1001	9	$96.00 < URA \leq 192.00$

表 6 (续)

编码	URAI 值	URA 范围($m, 1\sigma$)
1010	10	$192.00 < \text{URA} \leq 384.00$
1011	11	$384.00 < \text{URA} \leq 768.00$
1100	12	$768.00 < \text{URA} \leq 1\,536.00$
1101	13	$1\,536.00 < \text{URA} \leq 3\,072.00$
1110	14	$3\,072.00 < \text{URA} \leq 6\,144.00$
1111	15	$\text{URA} > 6\,144.00$

用户收到任意一个 URAI(用 N 表示),可根据公式计算出相应的 URA 值(用 X 表示),其计算式如下:

当 $0 \leq N < 6$ 时, $X = 2^{N/2+1}$;

当 $6 \leq N < 15$ 时, $X = 2^{N-2}$;

当 $N = 15$ 时,表示卫星轨道机动或者没有精度预报。

如 $N = 1, 3, 5$ 时, X 经四舍五入后分别为 2.8、5.7、11.3。

6.2.4.6 卫星自主健康标识(SatH1)

卫星自主健康标识(SatH1)共 1 比特,其中“0”表示卫星可用,“1”表示卫星不可用。

6.2.4.7 电离层延迟改正模型参数(α_n, β_n)

电离层延迟改正预报模型包括 8 个参数,均为 2 进制补码,共 64 比特。具体参数见表 7。

表 7 电离层延迟改正模型参数

参数	比特数	比例因子(LSB)	单位
α_0	8 ^a	2^{-30}	s
α_1	8 ^a	2^{-27}	s/ π
α_2	8 ^a	2^{-24}	s/ π^2
α_3	8 ^a	2^{-24}	s/ π^3
β_0	8 ^a	2^{11}	s
β_1	8 ^a	2^{14}	s/ π
β_2	8 ^a	2^{16}	s/ π^2
β_3	8 ^a	2^{16}	s/ π^3

^a 为 2 进制补码,最高有效位(MSB)是符号位(+或-)。

用户利用 8 参数和 Klobuchar 模型可计算 B1I 信号的电离层垂直延迟改正 $I'_z(t)$,单位为秒(s),具体见公式(4):

$$I'_z(t) = \begin{cases} 5 \times 10^{-9} + A_2 \cos \left[\frac{2\pi(t - 50\,400)}{A_4} \right], & |t - 50\,400| < A_4/4 \\ 5 \times 10^{-9}, & |t - 50\,400| \geq A_4/4 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

t ——接收机至卫星连线与电离层交点(穿刺点 M)处的地方时(取值范围为 0~86 400),单位为秒(s)。其计算见公式(5):

$$t = (t_E + \lambda_M \times 43\,200/\pi) [\text{模 } 86\,400] \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

t_E ——用户测量时刻的 BDT,取周内秒计数部分;

λ_M ——电离层穿刺点的地理经度,单位为弧度(rad)。

A_2 ——白天电离层延迟余弦曲线的幅度,用 α_n 系数求得,见公式(6):

$$A_2 = \begin{cases} \sum_{n=0}^3 \alpha_n |\varphi_M/\pi|^n, & A_2 \geq 0 \\ 0, & A_2 < 0 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (6)$$

A_4 ——余弦曲线的周期,单位为秒(s),用 β_n 系数求得,见公式(7):

$$A_4 = \begin{cases} 172\,800, & A_4 \geq 172\,800 \\ \sum_{n=0}^3 \beta_n |\varphi_M/\pi|^n, & 172\,800 > A_4 \geq 72\,000 \\ 72\,000, & A_4 < 72\,000 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式(6)和式(7)中的 φ_M 是电离层穿刺点的地理纬度,单位为弧度(rad)。

电离层穿刺点的地理纬度 φ_M 、地理经度 λ_M 计算见公式(8)和公式(9):

$$\varphi_M = \arcsin(\sin\varphi_u \cdot \cos\psi + \cos\varphi_u \cdot \sin\psi \cdot \cos A) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\lambda_M = \lambda_u + \arcsin\left(\frac{\sin\psi \cdot \sin A}{\cos\varphi_M}\right) \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

φ_u ——用户地理纬度,单位为弧度(rad);

λ_u ——用户地理经度,单位为弧度(rad);

A ——卫星方位角,单位为弧度(rad);

ψ ——用户和穿刺点的地心张角,单位为弧度(rad),其计算见公式(10):

$$\psi = \frac{\pi}{2} - E - \arcsin\left(\frac{R}{R+h} \cdot \cos E\right) \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

R ——地球半径,取值 6 378 km;

E ——卫星高度角,单位为弧度(rad);

h ——电离层单层高度,取值 375 km。

通过公式 $I_{B1I}(t) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{R}{R+h} \cdot \cos E\right)^2}} \cdot I'_z(t)$, 可将 $I'_z(t)$ 转化为 B1I 信号传播路径上的电离

层延迟 $I_{B1I}(t)$, 单位为秒(s)。

对于 B3I 信号,其传播路径上的电离层延迟 $I_{B3I}(t)$ 需在 $I_{B1I}(t)$ 的基础上乘以一个与频率有关的因子 $k_{1.3}(f)$, 其值见公式(11):

$$k_{1.3}(f) = \frac{f_1^2}{f_3^2} = \left(\frac{1\,561.098}{1\,268.520}\right)^2 \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

f_1 ——B1I 信号的标称载波频率;

f_3 ——B3I 信号的标称载波频率,单位为兆赫兹(MHz)。

对于 B1I 和 B3I 双频用户,采用 B1I/B3I 双频消电离层组合伪距公式来修正电离层延迟效应,具体计算方法见公式(12):

$$PR = \frac{PR_{B3I} - k_{1,3}(f) \cdot PR_{B1I}}{1 - k_{1,3}(f)} + \frac{C \cdot k_{1,3}(f) \cdot T_{GD1}}{1 - k_{1,3}(f)} \dots\dots\dots (12)$$

式中:

PR —— 经过电离层修正后的伪距;

PR_{B1I} —— B1I 信号的观测伪距(经卫星钟差修正但未经 T_{GD1} 修正);

PR_{B3I} —— B3I 信号的观测伪距;

T_{GD1} —— B1I 信号的星上设备时延;

C —— 光速,值为 $2.997\ 924\ 58 \times 10^8$ m/s。

6.2.4.8 时钟数据龄期(AODC)

时钟数据龄期(AODC)共 5 比特,是钟差参数的外推时间间隔,即本时段钟差参数参考时刻与计算钟差参数所作测量的最后观测时刻之差,在 BDT 整点更新,具体定义见表 8。

表 8 时钟数据龄期值定义

AODC 值	定义
<25	单位为 1 h,其值为卫星钟差参数数据龄期的小时数
25	表示卫星钟差参数数据龄期为 2 d
26	表示卫星钟差参数数据龄期为 3 d
27	表示卫星钟差参数数据龄期为 4 d
28	表示卫星钟差参数数据龄期为 5 d
29	表示卫星钟差参数数据龄期为 6 d
30	表示卫星钟差参数数据龄期为 7 d
31	表示卫星钟差参数数据龄期大于 7 d

6.2.4.9 钟差参数(t_{oc}, a_0, a_1, a_2)

钟差参数包括 t_{oc}, a_0, a_1 和 a_2 ,共占用 74 比特。 t_{oc} 是本时段钟差参数参考时间,单位为秒(s),有效范围是 0~604 792。其他 3 个参数为 2 进制补码。

正常情况下,钟差参数的更新周期为 1 h,且在 BDT 整点更新, t_{oc} 值取整点时刻。 t_{oc} 值在周内单调递增,当任意一钟差参数变化时, t_{oc} 也将变化。

因异常原因发生新的导航电文注入时,钟差参数可能在非整点时刻更新,此时 t_{oc} 值会发生变化而不再取整点时刻。当 t_{oc} 值已经不是整点时刻(即最近有过一次非整点更新)时,如果钟差参数再次发生非整点更新,那么 t_{oc} 值也会再次发生变化,确保 t_{oc} 值与更新之前的播发值不同。

无论是正常更新还是非整点更新,钟差参数的更新始终从某一超帧的起始时刻开始。钟差参数的定义见表 9。

表 9 钟差参数定义

参数	比特数	比例因子(LSB)	有效范围	单位
t_{oc}	17	2^3	604 792	s
a_0	24 ^a	2^{-33}	—	s
a_1	22 ^a	2^{-50}	—	s/s
a_2	11 ^a	2^{-66}	—	s/s ²
^a 为 2 进制补码,最高有效位(MSB)是符号位(+或-)。				

用户可通过公式(13)计算出信号发射时刻的北斗时:

$$t = t_{sv} - \Delta t_{sv} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

t ——信号发射时刻的北斗时,单位为秒(s);

t_{sv} ——信号发射时刻的卫星测距码相位时间,单位为秒(s);

Δt_{sv} ——卫星测距码相位时间偏移,单位为秒(s),由公式(14)给出:

$$\Delta t_{sv} = a_0 + a_1(t - t_{oc}) + a_2(t - t_{oc})^2 + \Delta t_r \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中, t 可忽略精度,用 t_{sv} 替代。

Δt_r 是相对论校正项,单位为秒(s),其值见公式(15):

$$\Delta t_r = F \cdot e \cdot \sqrt{A} \cdot \sin E_k \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

e ——卫星轨道偏心率,由本卫星星历参数得到;

\sqrt{A} ——卫星轨道长半轴的开方,由本卫星星历参数得到;

E_k ——卫星轨道偏近点角,由本卫星星历参数计算得到;

$F = -2 \mu^{1/2} / C^2$ 。

$\mu = 3.986\ 004\ 418 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$ ——地心引力常数;

$C = 2.997\ 924\ 58 \times 10^8 \text{ m/s}$ ——光速。

6.2.4.10 星上设备时延(T_{GD1} , T_{GD2})

星上设备时延(T_{GD1} , T_{GD2})各 10 比特,为 2 进制补码,最高位为符号位,“0”表示为正、“1”表示为负,比例因子 0.1,单位为纳秒(ns)。

对使用 B1I 信号的单频用户,需使用公式(16)进行修正:

$$(\Delta t_{sv})_{B1I} = \Delta t_{sv} - T_{GD1} \quad \dots\dots\dots (16)$$

对使用 B2I 信号的单频用户,需使用公式(17)进行修正:

$$(\Delta t_{sv})_{B2I} = \Delta t_{sv} - T_{GD2} \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中:

Δt_{sv} ——卫星测距码相位时间偏移,具体计算方法见 6.2.4.9。

对于使用 B3I 信号的单频用户,由于 B3I 信号的设备时延已含在导航电文的钟差参数 a_0 中,无需再修正星上设备时延。

6.2.4.11 星历数据龄期(AODE)

星历数据龄期(AODE)共 5 比特,是星历参数的外推时间间隔,即本时段星历参数参考时刻与计算星历参数所作测量的最后观测时刻之差,在 BDT 整点更新,具体定义见表 10。

表 10 数据龄期值定义

AODE 值	定义
<25	单位为 1 h,其值为星历数据龄期的小时数
25	表示星历数据龄期为 2 d
26	表示星历数据龄期为 3 d
27	表示星历数据龄期为 4 d
28	表示星历数据龄期为 5 d
29	表示星历数据龄期为 6 d
30	表示星历数据龄期为 7 d
31	表示星历数据龄期大于 7 d

6.2.4.12 星历参数($t_{oe}, \sqrt{A}, e, \omega, \Delta n, M_0, \Omega_0, \dot{\Omega}, i_0, IDOT, C_{uc}, C_{us}, C_{rc}, C_{rs}, C_{ic}, C_{is}$)

星历参数描述了在一定拟合间隔下得出的卫星轨道。它包括 15 个轨道参数、1 个星历参考时间。

正常情况下,星历参数的更新周期为 1 h,且在 BDT 整点更新, t_{oe} 值取整点时刻。 t_{oe} 值在周内单调递增,当任意一星历参数变化时, t_{oe} 也将变化。若 t_{oe} 变化, t_{oe} 也会变化。

因异常原因发生新的导航电文注入时,星历参数可能在非整点时刻更新,此时 t_{oe} 值会发生变化而不再取整点时刻。当 t_{oe} 值已经不是整点时刻(即最近有过一次非整点更新)时,如果星历参数再次发生非整点更新,那么 t_{oe} 值也会再次发生变化,确保 t_{oe} 值与更新之前的播发值不同。

无论是正常更新还是非整点更新,星历参数的更新始终从某一超帧的起始时刻开始。星历参数定义及说明见表 11。

表 11 星历参数定义及说明

参数	定义	比特数	比例因子(LSB)	有效范围	单位
t_{oe}	星历参考时间	17	23	604 792	s
\sqrt{A}	长半轴的平方根	32	2^{-19}	8 192	$m^{1/2}$
e	偏心率	32	2^{-33}	0.5	—
ω	近地点幅角	32 ^a	2^{-31}	± 1	π
Δn	卫星平均运动速率与计算值之差	16 ^a	2^{-43}	$\pm 3.73 \times 10^{-9}$	π/s
M_0	参考时间的平近点角	32 ^a	2^{-31}	± 1	π
Ω_0	按参考时间计算的升交点经度	32 ^a	2^{-31}	± 1	π
$\dot{\Omega}$	升交点赤经变化率	24 ^a	2^{-43}	$\pm 9.54 \times 10^{-7}$	π/s
i_0	参考时间的轨道倾角	32 ^a	2^{-31}	± 1	π
IDOT	轨道倾角变化率	14 ^a	2^{-43}	$\pm 9.31 \times 10^{-10}$	π/s
C_{uc}	纬度幅角的余弦调和改正项的振幅	18 ^a	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 ^a	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	18 ^a	2^{-6}	$\pm 2\ 048$	m
C_{rs}	轨道半径的正弦调和改正项的振幅	18 ^a	2^{-6}	$\pm 2\ 048$	m

表 11 (续)

参数	定义	比特数	比例因子(LSB)	有效范围	单位
C_{ic}	轨道倾角的余弦调和改正项的振幅	18 ^a	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 ^a	2^{-31}	$\pm 6.10 \times 10^{-5}$	rad
^a 为 2 进制补码,最高有效位(MSB)是符号位(+或-)。					

用户机根据接收到的星历参数可以计算卫星在 BDCS 坐标系中的坐标。算法见表 12。

表 12 星历参数用户算法


计算公式	描述
$\mu = 3.986\ 004\ 418 \times 10^{14}\ \text{m}^3/\text{s}^2$	BDCS 坐标系下的地心引力常数
$\dot{\Omega}_e = 7.292\ 115\ 0 \times 10^{-5}\ \text{rad/s}$	BDCS 坐标系下的地球自转角速度
$\pi = 3.141\ 592\ 653\ 589\ 8$	圆周率
$A = (\sqrt{A})^2$	计算长半轴
 $n_0 = \sqrt{\frac{\mu}{A^3}}$	计算卫星平均角速度
$t_k = t - t_{oe}^a$	计算观测历元到参考历元的时间差
$n = n_0 + \Delta n$	改正平均角速度
$M_k = M_0 + nt_k$	计算平近点角
$M_k = E_k - e \sin E_k$	迭代计算偏近点角
$\begin{cases} \sin \nu_k = \frac{\sqrt{1-e^2} \sin E_k}{1-e \cos E_k} \\ \cos \nu_k = \frac{\cos E_k - e}{1-e \cos E_k} \end{cases}$	计算真近点角
$\varphi_k = \nu_k + \omega$	计算纬度幅角
$\begin{cases} \delta u_k = C_{us} \sin(2\varphi_k) + C_{uc} \cos(2\varphi_k) \\ \delta r_k = C_{rs} \sin(2\varphi_k) + C_{rc} \cos(2\varphi_k) \\ \delta i_k = C_{is} \sin(2\varphi_k) + C_{ic} \cos(2\varphi_k) \end{cases}$	纬度幅角改正项 径向改正项 轨道倾角改正项
$u_k = \varphi_k + \delta u_k$	计算改正后的纬度幅角
$r_k = A(1 - e \cos E_k) + \delta r_k$	计算改正后的径向
$i_k = i_0 + \text{IDOT} \cdot t_k + \delta i_k$	计算改正后的轨道倾角
$\begin{cases} x_k = r_k \cos u_k \\ y_k = r_k \sin u_k \end{cases}$	计算卫星在轨道平面内的坐标
$\begin{cases} \Omega_k = \Omega_0 + (\dot{\Omega} - \dot{\Omega}_e) t_k - \dot{\Omega}_e t_{oe} \\ \begin{cases} X_k = x_k \cos \Omega_k - y_k \cos i_k \sin \Omega_k \\ Y_k = x_k \sin \Omega_k + y_k \cos i_k \cos \Omega_k \\ Z_k = y_k \sin i_k \end{cases} \end{cases}$	计算历元升交点经度(地固系) 计算 MEO/IGSO 卫星在 BDCS 坐标系中的坐标

表 12 (续)

计算公式	描述
$\Omega_k = \Omega_0 + \dot{\Omega} t_k - \dot{\Omega}_e t_{oe}$ $\begin{cases} X_{GK} = x_k \cos \Omega_k - y_k \cos i_k \sin \Omega_k \\ Y_{GK} = x_k \sin \Omega_k + y_k \cos i_k \cos \Omega_k \\ Z_{GK} = y_k \sin i_k \end{cases}$ $\begin{bmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{bmatrix} = R_Z(\dot{\Omega}_e t_k) R_X(-5^\circ) \begin{bmatrix} X_{GK} \\ Y_{GK} \\ Z_{GK} \end{bmatrix}$ <p>其中:</p> $R_x(\phi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & +\cos\phi & +\sin\phi \\ 0 & -\sin\phi & +\cos\phi \end{pmatrix};$ $R_z(\phi) = \begin{pmatrix} +\cos\phi & +\sin\phi & 0 \\ -\sin\phi & +\cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	<p>计算历元升交点经度(惯性系)</p> <p>计算 GEO 卫星在自定义坐标系中的坐标</p> <p>计算 GEO 卫星在 BDCS 坐标系中的坐标</p>
<p>^a t 是信号发射时刻的北斗时。t_k 是 t 和 t_{oe} 之间的总时间差,应考虑周变换的开始或结束,即:如果 t_k 大于 302 400,将 t_k 减去 604 800;如果 t_k 小于 -302 400,则将 t_k 加上 604 800。</p>	

6.2.4.13 页面编号(Pnum)

子帧 4 和子帧 5 的第 44~50 比特为页面编号(Pnum),用于标识子帧的页面编号,共 7 比特。子帧 4 和子帧 5 的信息都分 24 个页面分时播发,其中子帧 4 的第 1~24 页面编排卫星号为 1~24 的历书信息,子帧 5 的第 1~6 页面编排卫星号为 25~30 的历书信息,页面编号与卫星编号一一对应。此外,子帧 5 的第 11~23 页面可通过分时播发方式,播发卫星号为 31~43、44~56、57~63 的历书信息。

6.2.4.14 历书信息扩展标识(AmEpID)

历书信息扩展标识(AmEpID)为 2 比特,用于标识子帧 5 的页面 11~24 是否扩展播发 31~63 号卫星历书和卫星健康信息。当 AmEpID 为“11”时,表示子帧 5 的页面 11~23 可扩展播发 31~63 号卫星历书,子帧 5 的页面 24 可扩展播发 31~63 号卫星健康信息;当 AmEpID 不为“11”时,表示子帧 5 的页面 11~24 为预留页面,不进行扩展播发。

6.2.4.15 历书参数($t_{oa}, \sqrt{A}, e, \omega, M_0, \Omega_0, \dot{\Omega}, \delta_i, a_0, a_1, AmID$)

历书参数更新周期小于 7 d。

历书参数定义、说明、用户算法见表 13~表 16。

表 13 历书参数定义

参数	定义
t_{oa}	历书参考时间
\sqrt{A}	长半轴的平方根

表 13（续）

参数	定义
e	偏心率
ω	近地点幅角
M_0	参考时间的平近点角
Ω_0	按参考时间计算的升交点经度
$\dot{\Omega}$	升交点赤经变化率
δ_i	参考时间的轨道参考倾角的改正量
a_0	卫星钟差
a_1	卫星钟速
AmID	分时播发识别标识

参数 AmID 为 2 比特,用于识别子帧 5 的页面 11~24 分时播发的卫星历书和卫星健康信息,其值在参数 AmEpID 为“11”时有效。

针对分时播发的卫星历书,用户应先使用 AmEpID 判断卫星历书是否扩展播发,再结合 AmID 识别相应的卫星历书。具体分时播发方式见表 14,参数说明见表 15,参数用户算法见表 16。

表 14 历书参数分时播发方式

AmEpID	AmID	页面编号 Pnum	历书对应的卫星编号
11	01	11~23	31~43
	10	11~23	44~56
	11	11~17	57~63
		18~23	保留
	00	11~23	保留

表 15 历书参数说明

参数	比特数	比例因子	有效范围	单位
t_{08}	8	2^{12}	602 112	s
\sqrt{A}	24	2^{-11}	8 192	m ^{1/2}
e	17	2^{-21}	0.062 5	—
ω	24 ^a	2^{-23}	±1	π
M_0	24 ^a	2^{-23}	±1	π
Ω_0	24 ^a	2^{-23}	±1	π
$\dot{\Omega}$	17 ^a	2^{-38}	—	π/s
δ_i	16 ^a	2^{-19}	—	π
a_0	11 ^a	2^{-20}	—	s
a_1	11 ^a	2^{-38}	—	s/s
^a 为 2 进制补码,最高有效位(MSB)是符号位(+或-)。				

表 16 历书参数用户算法

计算公式	描 述
$\mu = 3.986\ 004\ 418 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$	BDCS 坐标系下的地心引力常数
$\dot{\Omega}_e = 7.292\ 115\ 0 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$	BDCS 坐标系下的地球自转角速度
$A = (\sqrt{A})^2$	计算长半轴
$n_0 = \sqrt{\frac{\mu}{A^3}}$	计算卫星平均角速度
$t_k = t - t_{\text{on}}^{\text{a}}$	计算观测历元到参考历元的时间差
$M_k = M_0 + n_0 t_k$	计算平近点角
$M_k = E_k - e \sin E_k$	迭代计算偏近点角
$\begin{cases} \sin \nu_k = \frac{\sqrt{1-e^2} \sin E_k}{1-e \cos E_k} \\ \cos \nu_k = \frac{\cos E_k - e}{1-e \cos E_k} \end{cases}$	计算真近点角
$\varphi_k = \nu_k + \omega$	计算纬度幅角
$r_k = A(1 - e \cos E_k)$	计算径向
$\begin{cases} x_k = r_k \cos \varphi_k \\ y_k = r_k \sin \varphi_k \end{cases}$	计算卫星在轨道平面内的坐标
$\Omega_k = \Omega_0 + (\dot{\Omega} - \dot{\Omega}_e) t_k - \dot{\Omega}_e t_{\text{on}}$	改正升交点经度
$i = i_0 + \delta_i^{\text{b}}$	参考时间的轨道倾角
$\begin{cases} X_k = x_k \cos \Omega_k - y_k \cos i \sin \Omega_k \\ Y_k = x_k \sin \Omega_k + y_k \cos i \cos \Omega_k \\ Z_k = y_k \sin i \end{cases}$	计算 GEO/MEO/IGSO 卫星在 BDCS 坐标系中的坐标
^a t 是信号发射时刻的北斗时。 t_k 是 t 和 t_{on} 之间的总时间差,应考虑周变换的开始或结束,即:如果 t_k 大于 302 400,将 t_k 减去 604 800;如果 t_k 小于 -302 400,则将 t_k 加上 604 800。 ^b 对于 MEO/IGSO 卫星, $i_0 = 0.30\pi$; 对于 GEO 卫星, $i_0 = 0.00$ 。	

历书时间计算见公式(18):

$$t = t_{\text{sv}} - \Delta t_{\text{sv}} \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中:

- t ——信号发射时刻的北斗时,单位为秒(s);
 t_{sv} ——信号发射时刻的卫星测距码相位时间,单位为秒(s);
 Δt_{sv} ——卫星测距码相位时间偏移,单位为秒(s),由公式(19)给出:

$$\Delta t_{\text{sv}} = a_0 + a_1(t - t_{\text{on}}) \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中, t 可忽略精度,用 t_{sv} 替代;历书基准时间 t_{on} 是以历书周计数(WN_a)的起始时刻为基准的。

6.2.4.16 历书周计数(WN_a)

历书周计数(WN_a)为北斗时整周计数(WN)模 256,为 8 比特,取值范围为 0~255。

6.2.4.17 卫星健康信息(Hea_i, i = 1~43)

卫星健康信息为 9 比特,第 9 位为卫星钟健康信息,第 8 位为 B1I 信号健康状况,第 7 位为 B2I 信号健康状况,第 6 位为 B3I 信号健康状况,第 2 位为信息健康状况,其定义见表 17。

表 17 卫星健康信息定义

信息位	信息编码	健康状况标识
第 9 位 (MSB)	0	卫星钟可用
	1	^a
第 8 位	0	B1I 信号正常
	1	B1I 信号不正常 ^b
第 7 位	0	B2I 信号正常
	1	B2I 信号不正常 ^b
第 6 位	0	B3I 信号正常
	1	B3I 信号不正常 ^b
第 5~3 位	0	保留
	1	保留
第 2 位	0	导航信息可用
	1	导航信息不可用(龄期超限)
第 1 位 (LSB)	0	保留
	1	保留
^a 后 8 位均为“0”表示卫星钟不可用,后 8 位均为“1”表示卫星故障或永久关闭,后 8 位为其他值时,保留。		
^b 信号不正常指信号功率比额定值低 10 dB 及以上。		

Hea_i (i = 1~30)分别对应卫星编号为 1~30 的卫星健康信息。通过分时播发,Hea_i (i = 31~43)分别对应卫星编号为 31~43、44~56、57~63 的卫星健康信息。

用户应先使用 AmEpID 判断卫星健康信息是否扩展播发,当 AmEpID 为“11”时,再结合 AmID 识别分时播发的卫星健康信息。具体分时播发方式见表 18。

表 18 Hea_i (i = 31~43)分时播发方式

AmEpID	AmID	Hea _i	Hea _i 对应的卫星编号
11	01	i = 31~43	31~43
	10		44~56
	11	i = 31~37	57~63
		i = 38~43	保留
	00	i = 31~43	保留



6.2.4.18 与 UTC 时间同步参数(A_{0UTC} , A_{1UTC} , Δt_{LS} , WN_{LSF} , DN , Δt_{LSF})

此参数反映了北斗时(BDT)与协调世界时(UTC)之间的关系。各参数的说明见表 19。

表 19 与 UTC 时间同步参数说明

参数	比特数	比例因子	有效范围	单位
A_{0UTC}	32 ^a	2^{-30}	—	s
A_{1UTC}	24 ^a	2^{-50}	—	s/s
Δt_{LS}	8 ^a	1	—	s
WN_{LSF}	8	1	—	周
DN	8	1	6	d
Δt_{LSF}	8 ^a	1	—	s
^a 为 2 进制补码,最高有效位(MSB)是符号位(+或-)。				

A_{0UTC} :BDT 相对于 UTC 的钟差。

A_{1UTC} :BDT 相对于 UTC 的钟速。

Δt_{LS} :新的闰秒生效前 BDT 相对于 UTC 的累积闰秒改正数。

WN_{LSF} :新的闰秒生效的周计数,占 8 比特,为 DN 对应的整周计数模 256。 WN_{LSF} 在模 256 之前和 WN 之差的绝对值不超过 127。

DN:新的闰秒生效的周内日计数。

Δt_{LSF} :新的闰秒生效后 BDT 相对于 UTC 的累积闰秒改正数。

由 BDT 推算 UTC 的方法:系统向用户广播 UTC 参数及新的闰秒生效的周计数 WN_{LSF} 和新的闰秒生效的周内日计数 DN,使用户可以获得误差不大于 $1\mu s$ 的 UTC 时间。

考虑到闰秒生效时间和用户当前系统时间之间的关系,如果是当前,BDT 与 UTC 之间存在下面 3 种转换关系。

- a) 当指示闰秒生效的周计数 WN_{LSF} 和周内天计数 DN 还没到来时,而且用户当前时刻 t_E 处在 $DN+2/3$ 之前,则 UTC 与 BDT 之间的变换关系见公式(20),单位为秒(s):

$$t_{UTC} = (t_E - \Delta t_{UTC}) [\text{模 } 86\,400] \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中, Δt_{UTC} 计算见公式(21)单位为秒(s):

$$\Delta t_{UTC} = \Delta t_{LS} + A_{0UTC} + A_{1UTC} \times t_E \quad \dots\dots\dots (21)$$

式中:

t_E ——用户计算的 BDT,取周内秒计数部分。

- b) 若用户当前的系统时刻 t_E 处在指示闰秒生效的周计数 WN_{LSF} 和周内天计数 $DN+2/3$ 到 $DN+5/4$ 之间,则 UTC 与 BDT 之间的变换关系见公式(22),单位为秒(s):

$$t_{UTC} = W [\text{模 } (86\,400 + \Delta t_{LSF} - \Delta t_{LS})] \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中, W 计算见公式(23), Δt_{UTC} 计算见公式(21),单位为秒(s):

$$W = (t_E - \Delta t_{UTC} - 43\,200) [\text{模 } 86\,400] + 43\,200 \quad \dots\dots\dots (23)$$

- c) 当指示闰秒生效的周计数 WN_{LSF} 和周内天计数 DN 已经过去,且用户当前的系统时刻 t_E 处在 $DN+5/4$ 之后,则 UTC 与 BDT 之间的变换关系见公式(24),单位为秒(s):

$$t_{UTC} = (t_E - \Delta t_{UTC}) [\text{模 } 86\,400] \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中, Δt_{UTC} 计算见公式(25),单位为秒(s):

$$\Delta t_{\text{UTC}} = \Delta t_{\text{LSF}} + A_{0\text{UTC}} + A_{1\text{UTC}} \times t_{\text{E}} \quad \dots\dots\dots (25)$$

6.2.4.19 与 GPS 时间同步参数($A_{0\text{GPS}}$, $A_{1\text{GPS}}$)

BDT 与 GPS 系统时间之间的同步参数说明见表 20,电文中相应的内容暂未播发。

表 20 与 GPS 时间同步参数说明

参数	比特数	比例因子	单位
$A_{0\text{GPS}}$	14 ^a	0.1	ns
$A_{1\text{GPS}}$	16 ^a	0.1	ns/s
^a 为 2 进制补码,最高有效位(MSB)是符号位(+或-)。			

$A_{0\text{GPS}}$:BDT 相对于 GPS 系统时间的钟差。

$A_{1\text{GPS}}$:BDT 相对于 GPS 系统时间的钟速。

BDT 与 GPS 系统时间之间的换算见公式(26):

$$t_{\text{GPS}} = t_{\text{E}} - \Delta t_{\text{GPS}} \quad \dots\dots\dots (26)$$

其中, $\Delta t_{\text{GPS}} = A_{0\text{GPS}} + A_{1\text{GPS}} \times t_{\text{E}}$, t_{E} 指用户计算的 BDT,取周内秒计数部分。

6.2.4.20 与 Galileo 时间同步参数($A_{0\text{Gal}}$, $A_{1\text{Gal}}$)

BDT 与 Galileo 系统时间之间的同步参数说明见表 21,电文中相应的内容暂未播发。

表 21 与 Galileo 时间同步参数说明

参数	比特数	比例因子	单位
$A_{0\text{Gal}}$	14 ^a	0.1	ns
$A_{1\text{Gal}}$	16 ^a	0.1	ns/s
^a 为 2 进制补码,最高有效位(MSB)是符号位(+或-)。			

$A_{0\text{Gal}}$:BDT 相对于 Galileo 系统时间的钟差。

$A_{1\text{Gal}}$:BDT 相对于 Galileo 系统时间的钟速。

BDT 与 Galileo 系统时间之间的换算见公式(27):

$$t_{\text{Gal}} = t_{\text{E}} - \Delta t_{\text{Gal}} \quad \dots\dots\dots (27)$$

其中, $\Delta t_{\text{Gal}} = A_{0\text{Gal}} + A_{1\text{Gal}} \times t_{\text{E}}$, t_{E} 指用户计算的 BDT,取周内秒计数部分。

6.2.4.21 与 GLONASS 时间同步参数($A_{0\text{GLO}}$, $A_{1\text{GLO}}$)

BDT 与 GLONASS 系统时间之间的同步参数说明见表 22。电文相应的内容暂未播发。

表 22 与 GLONASS 时间同步参数说明

参数	比特数	比例因子	单位
$A_{0\text{GLO}}$	14 ^a	0.1	ns
$A_{1\text{GLO}}$	16 ^a	0.1	ns/s
^a 为 2 进制补码,最高有效位(MSB)是符号位(+或-)。			

$A_{0\text{GLO}}$:BDT 相对于 GLONASS 系统时间的钟差。

$A_{1\text{GLO}}$:BDT 相对于 GLONASS 系统时间的钟速。

BDT 与 GLONASS 系统时间之间的换算见公式(28):

$$t_{\text{GLO}} = t_{\text{E}} - \Delta t_{\text{GLO}} \quad \dots\dots\dots (28)$$

其中, $\Delta t_{\text{GLO}} = A_{0\text{GLO}} + A_{1\text{GLO}} \times t_{\text{E}}$, t_{E} 指用户计算的 BDT, 取周内秒计数部分。

6.3 D2 导航电文

6.3.1 D2 导航电文帧结构

D2 导航电文由超帧、主帧和子帧组成。每个超帧为 180 000 比特, 历时 6 min, 每个超帧由 120 个主帧组成, 每个主帧为 1 500 比特, 历时 3 s, 每个主帧由 5 个子帧组成, 每个子帧为 300 比特, 历时 0.6 s, 每个子帧由 10 个字组成, 每个字为 30 比特, 历时 0.06 s。

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; 其他 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。

详细帧结构如图 19 所示。

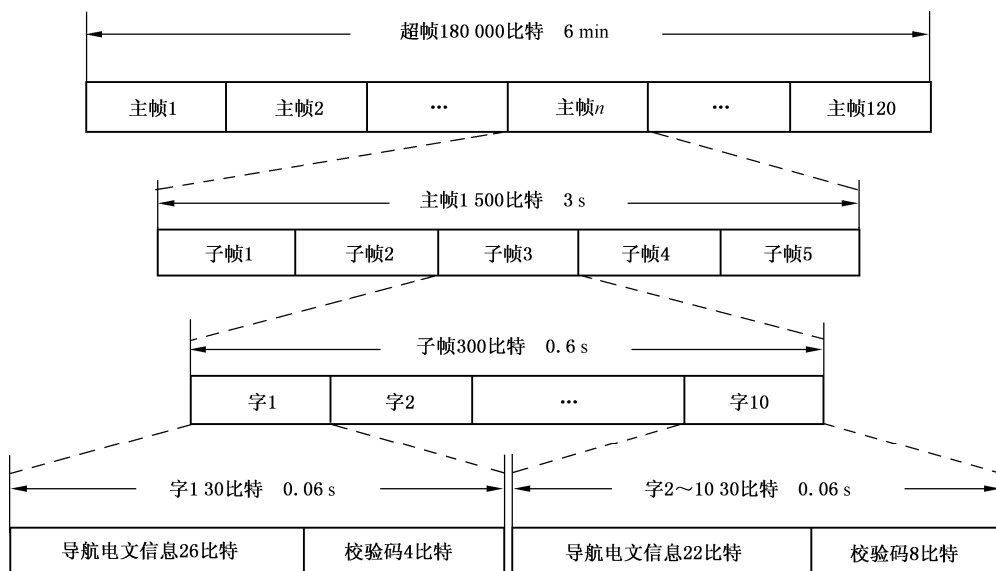


图 19 D2 导航电文帧结构

6.3.2 D2 导航电文详细结构编排

D2 导航电文包括: 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, 北斗系统完好性及差分信息, 格网点电离层信息。

主帧结构及信息内容如图 20 所示。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。

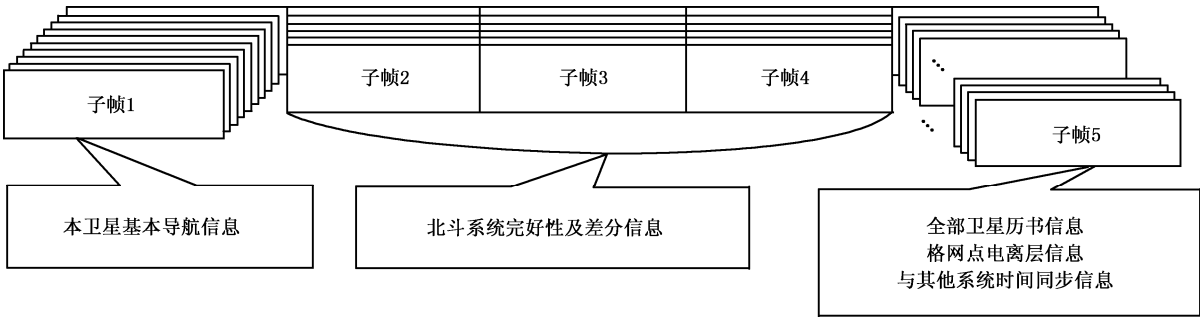


图 20 D2 导航电文信息内容

D2 导航电文各子帧格式编排如图 21～图 67 所示。其中,子帧 4 页面 1～6 扩展播发北斗系统完好性及差分信息,子帧 5 页面 103～116 扩展播发卫星历书信息;子帧 1 的页面 1～10 的低 150 比特信息、子帧 5 的页面 14～34、页面 74～94、页面 117～120 为预留信息。

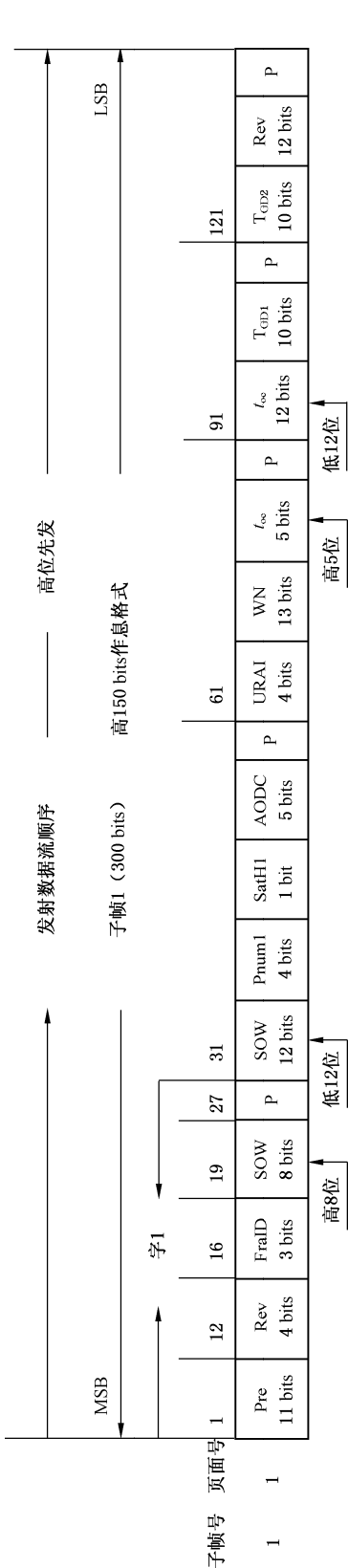


图 21 D2 导航电文子帧 1 高 150 比特页面 1 信息格式编排

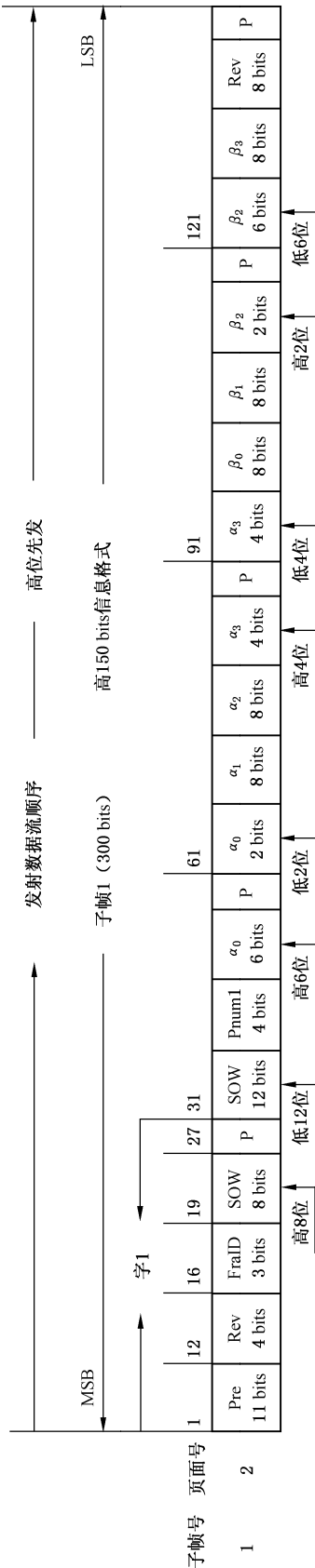
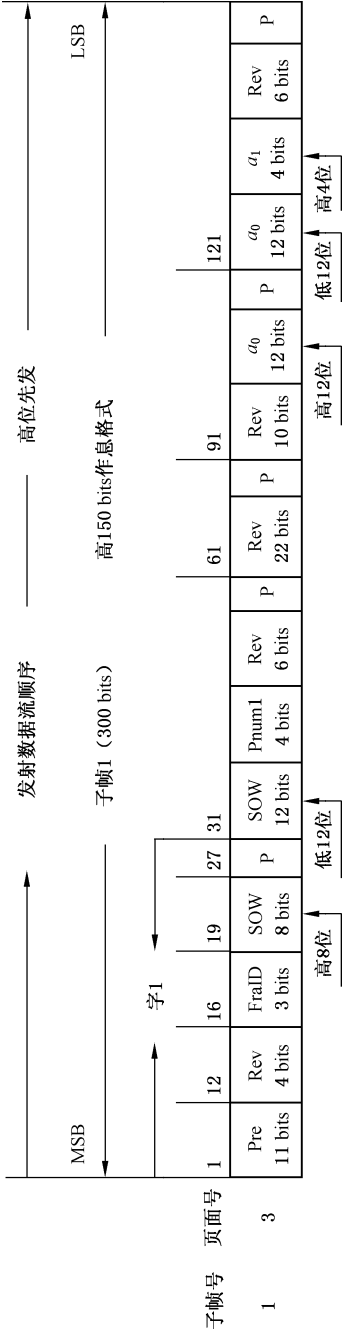


图 22 D2 导航电文子帧 1 高 150 比特页面 2 信息格式编排



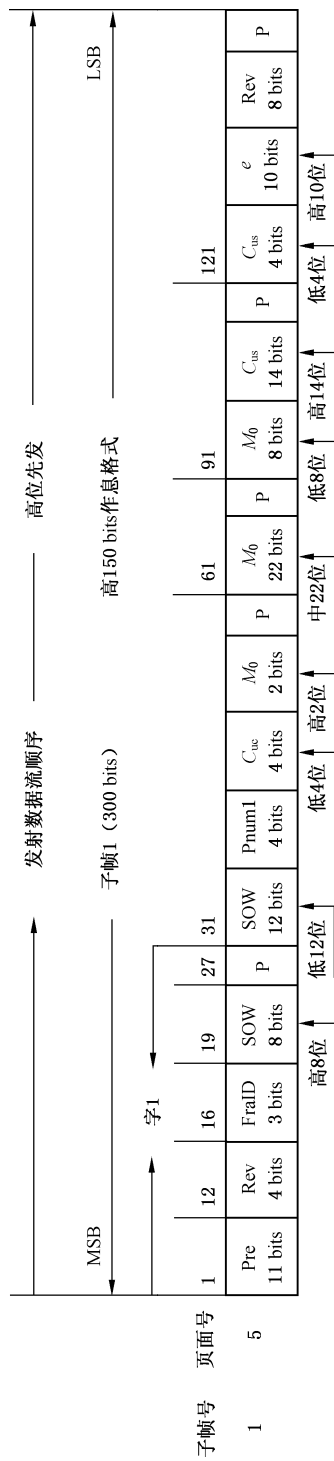


图 25 D2 导航电子帧 1 高 150 比特页面 5 信息格式编排

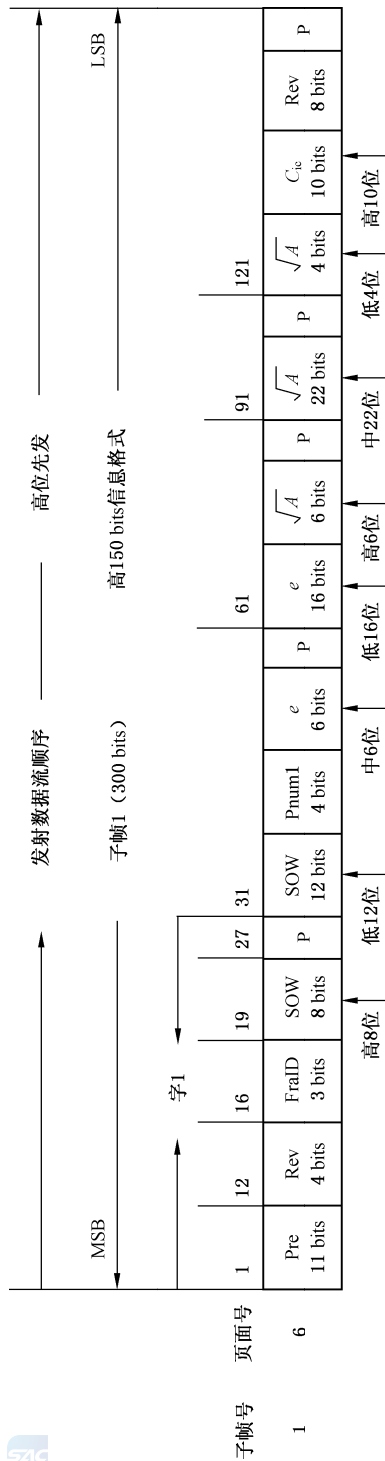


图 26 D2 导航电子帧 1 高 150 比特页面 6 信息格式编排

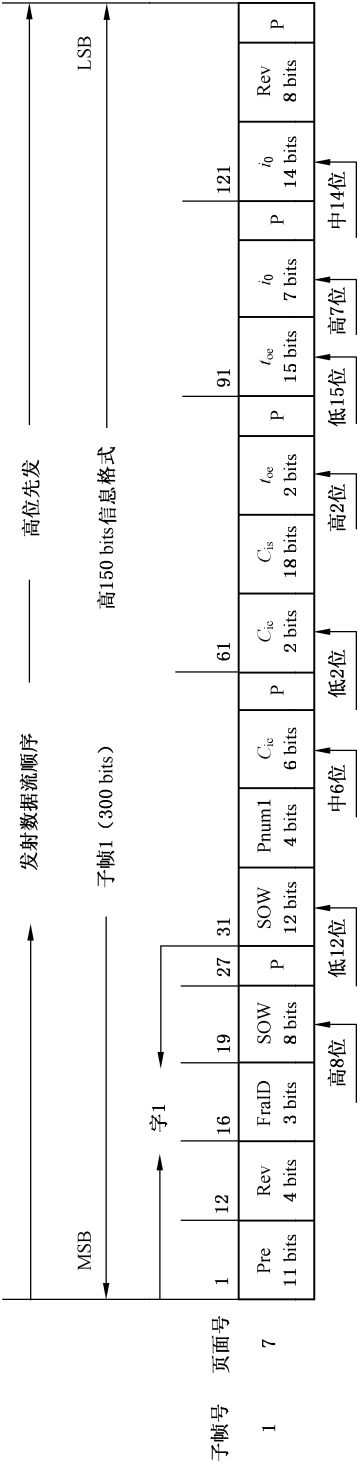


图 27 D2 导航电子帧 1 高 150 比特页面 7 信息格式编排

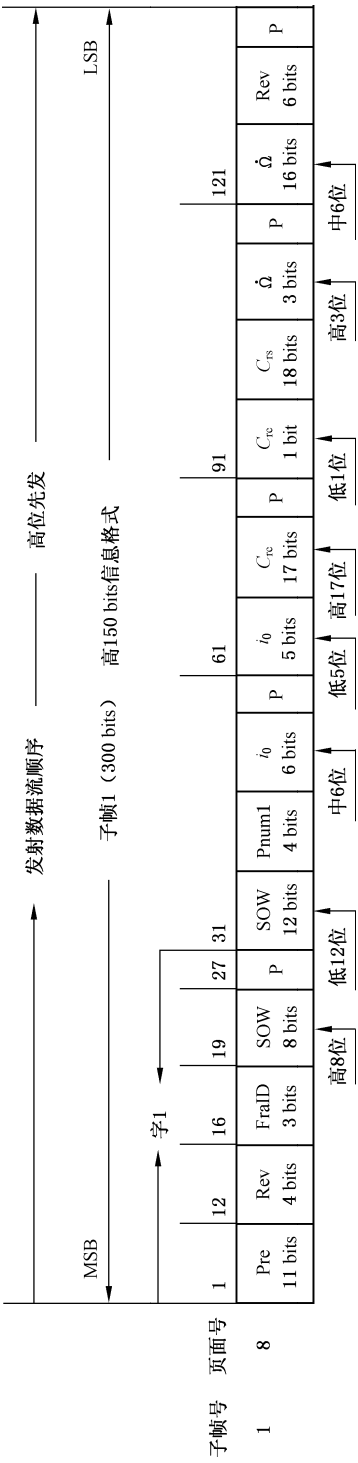


图 28 D2 导航电子帧 1 高 150 比特页面 8 信息格式编排

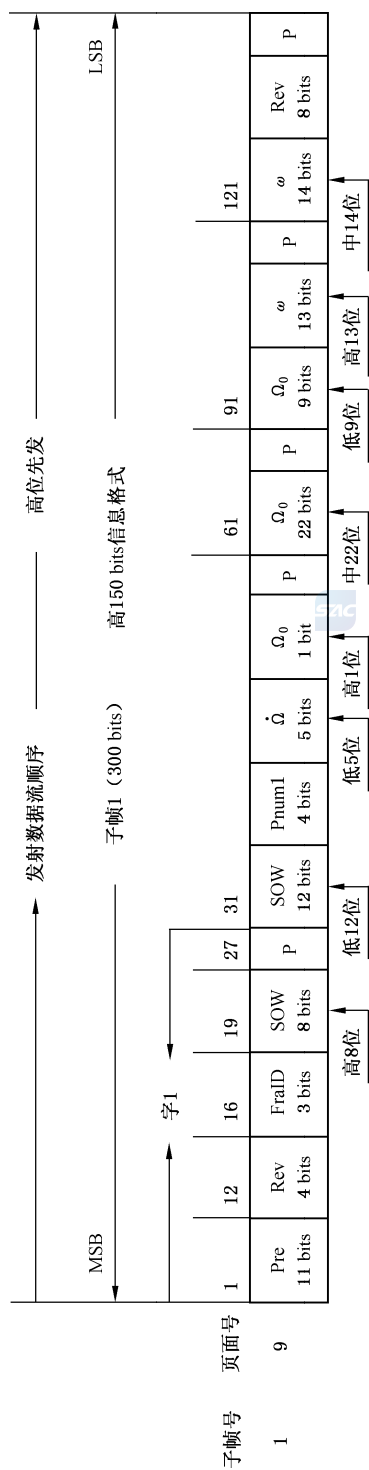


图 29 D2 导航电子文档 1 高 150 比特页面 9 信息格式编排

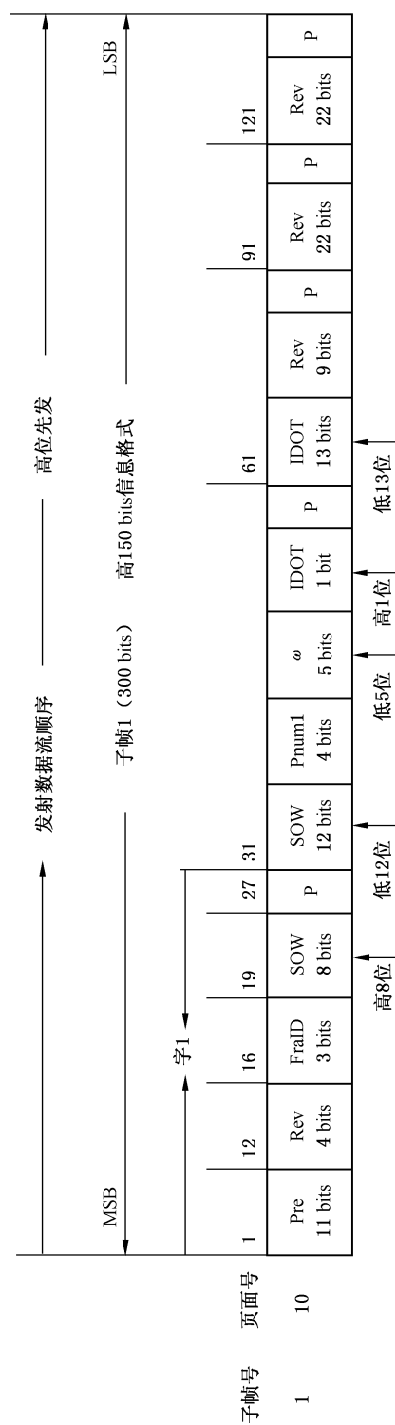


图 30 D2 导航电子文档 1 高 150 比特页面 10 信息格式编排

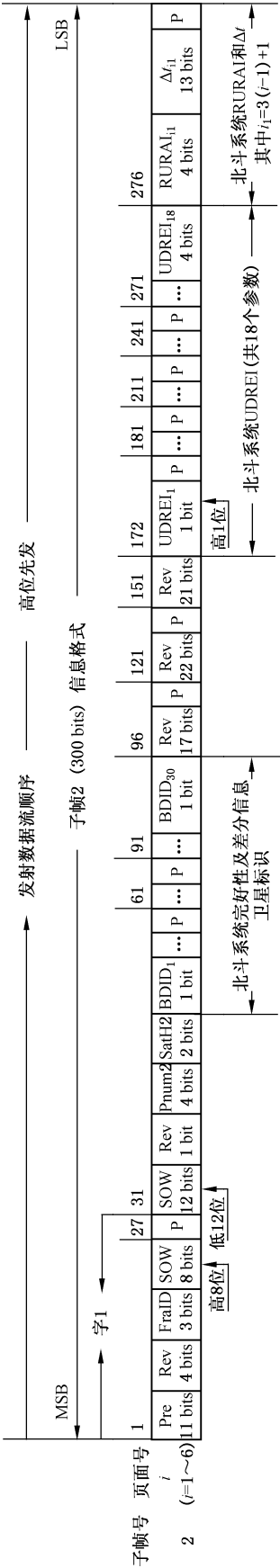


图 31 D2 导航电文子帧 2 信息格式编排

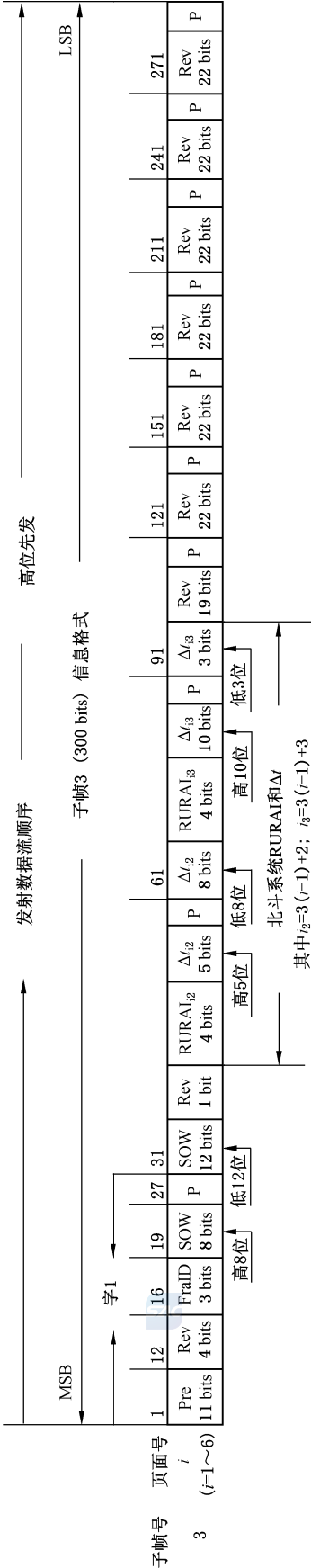


图 32 D2 导航电文子帧 3 信息格式编排

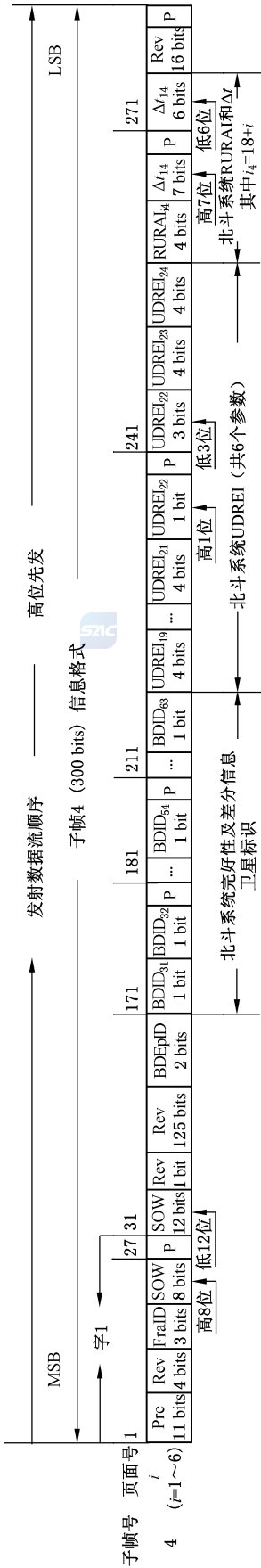


图 33 D2 导航电文子帧 4 信息格式编排

注：当 BDEpID 为“11”时，子帧 4 全部 6 个页面用于扩展播发北斗系统完好性及差分信息；否则，从第 171 位开始的信息位为保留位。

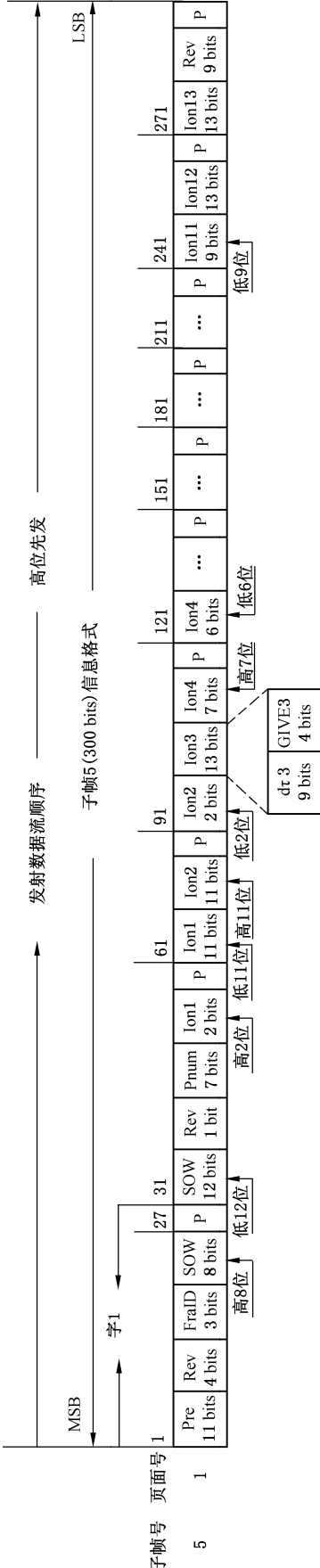


图 34 D2 导航电文子帧 5 页面 1 信息格式编排

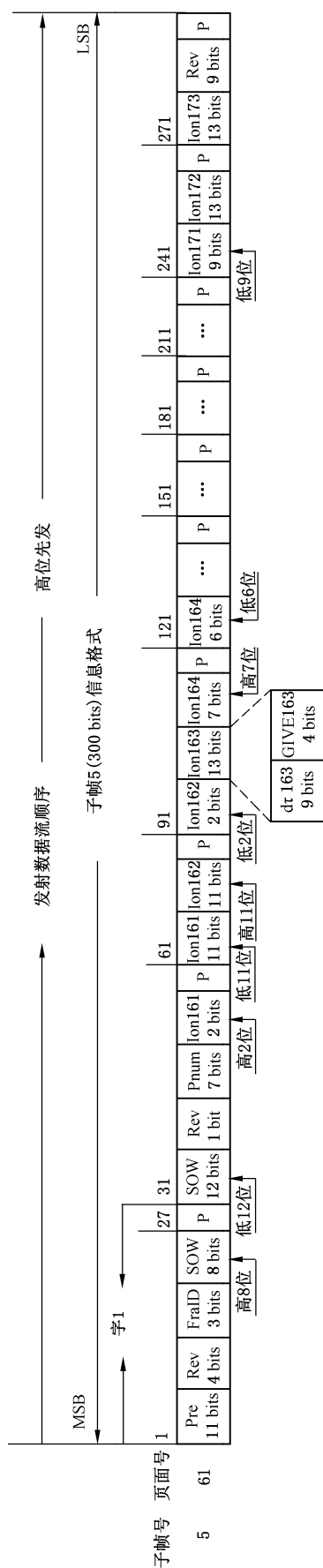


图 35 D2 导航电子文档 5 页面 61 信息格式编排

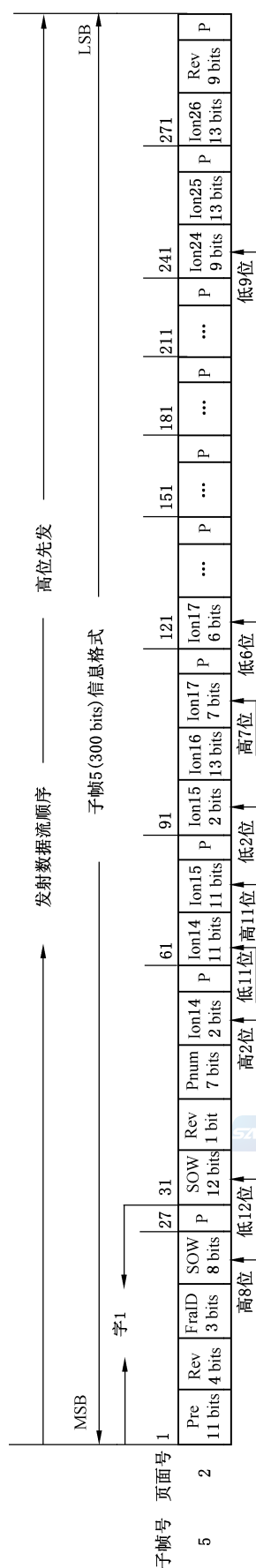


图 36 D2 导航电子文档 5 页面 2 信息格式编排

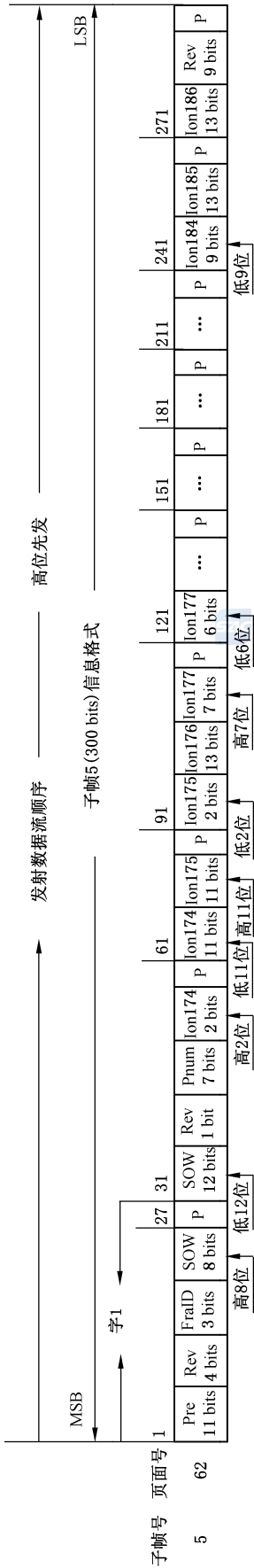


图 37 D2 导航电文子帧 5 页面 62 信息格式编排

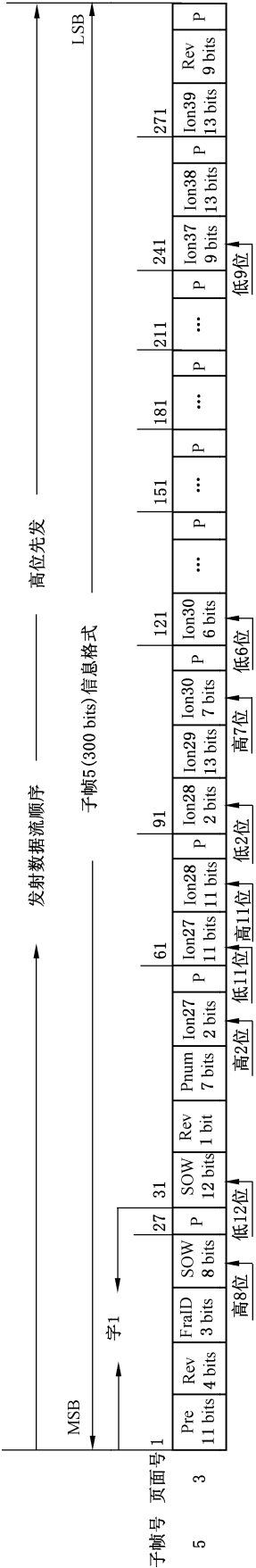


图 38 D2 导航电文子帧 5 页面 3 信息格式编排

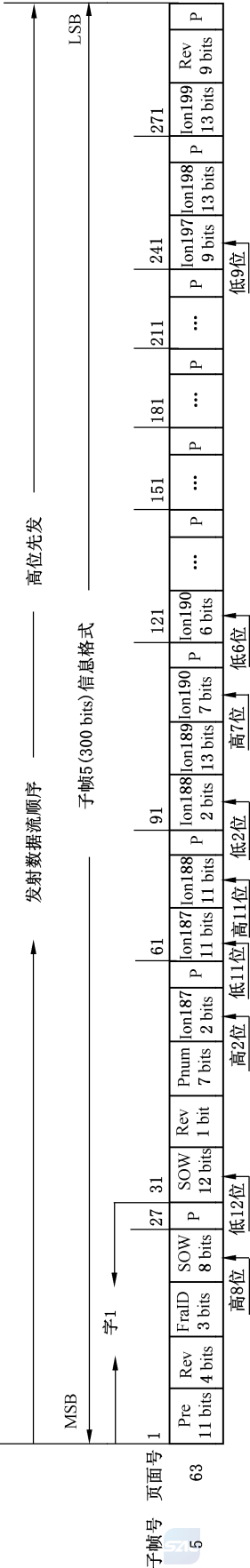


图 39 D2 导航电文子帧 5 页面 63 信息格式编排

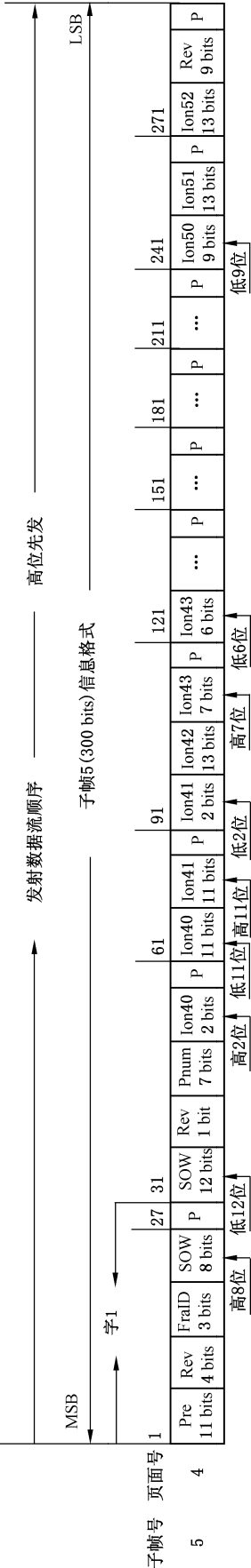


图 40 D2 导航电文子帧 5 页面 4 信息格式编排

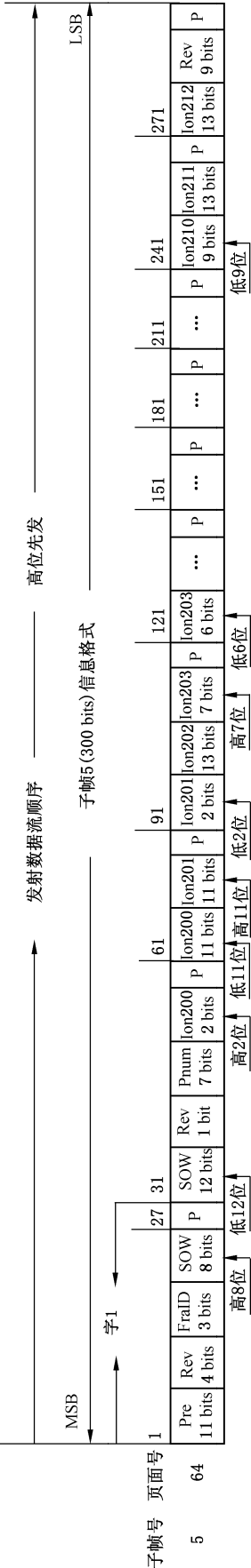


图 41 D2 导航电文子帧 5 页面 64 信息格式编排

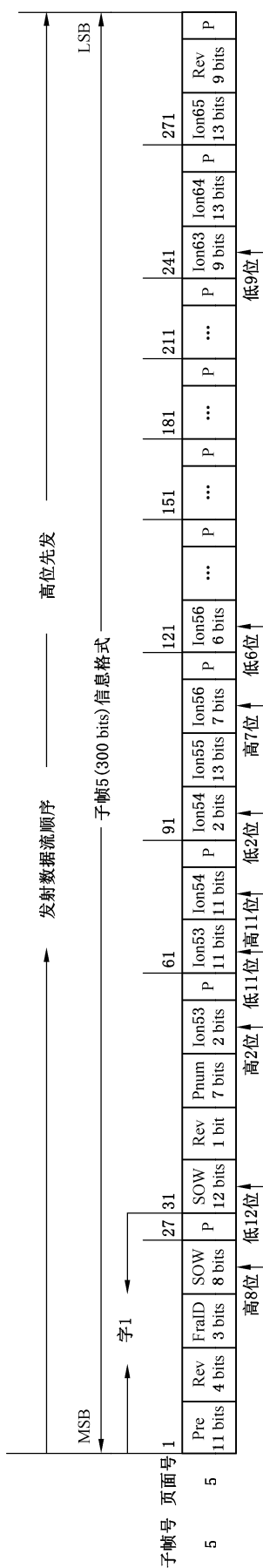


图 42 D2 导航电子文档 5 页面 5 信息格式编排

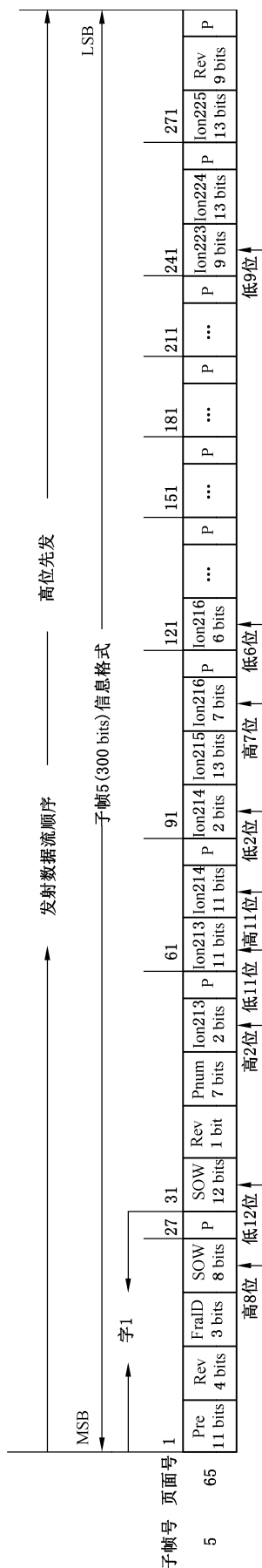


图 43 D2 导航电子文档 5 页面 65 信息格式编排

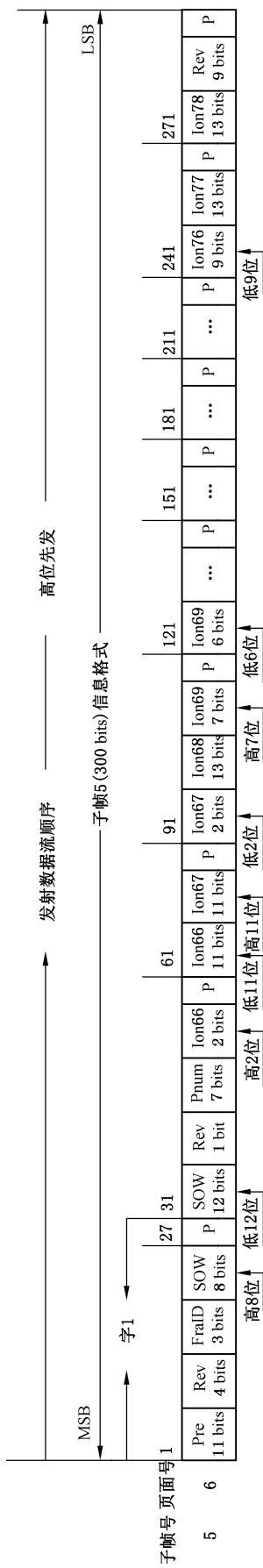


图 44 D2 导航电子文档 5 页面 6 信息格式编排

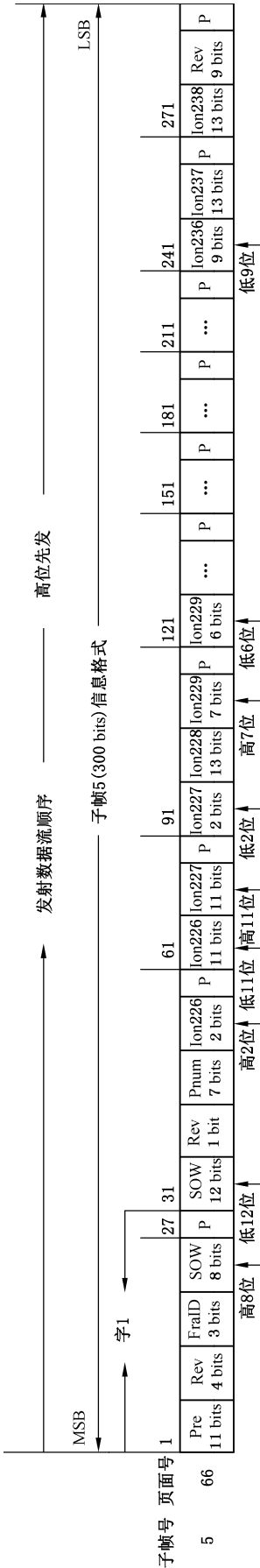


图 45 D2 导航电文子帧 5 页面 66 信息格式编排

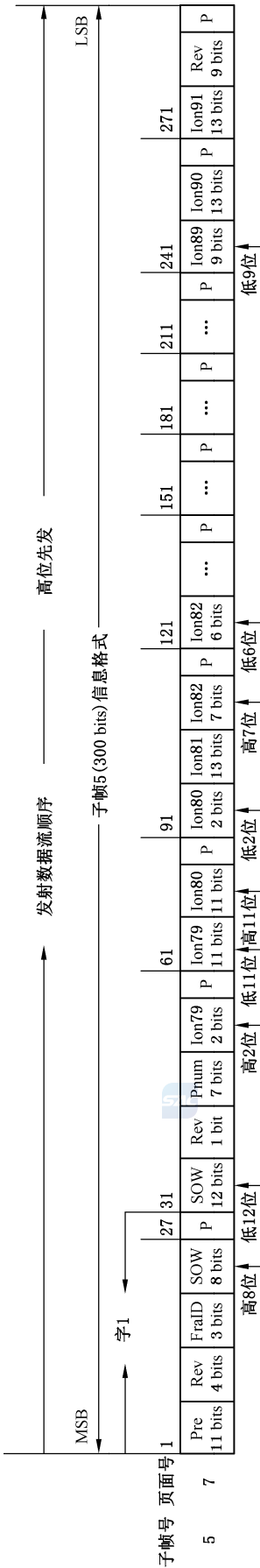


图 46 D2 导航电文子帧 5 页面 7 信息格式编排

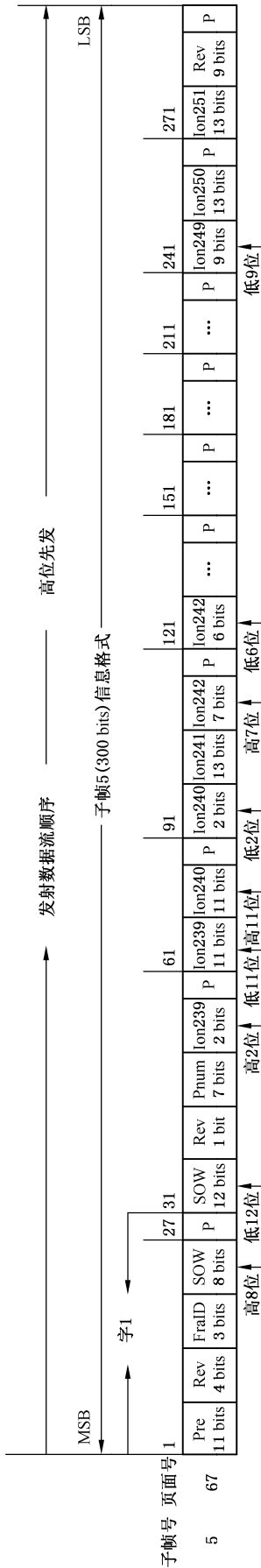


图 47 D2 导航电文子帧 5 页面 67 信息格式编排

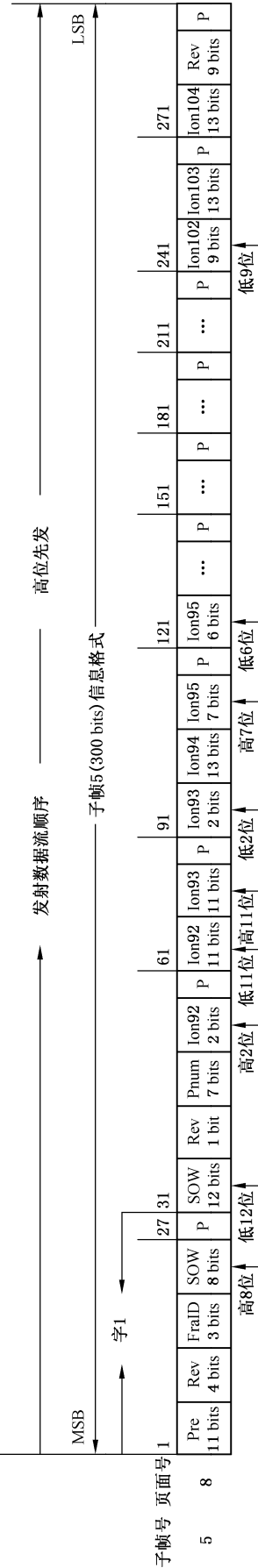


图 48 D2 导航电文子帧 5 页面 8 信息格式编排

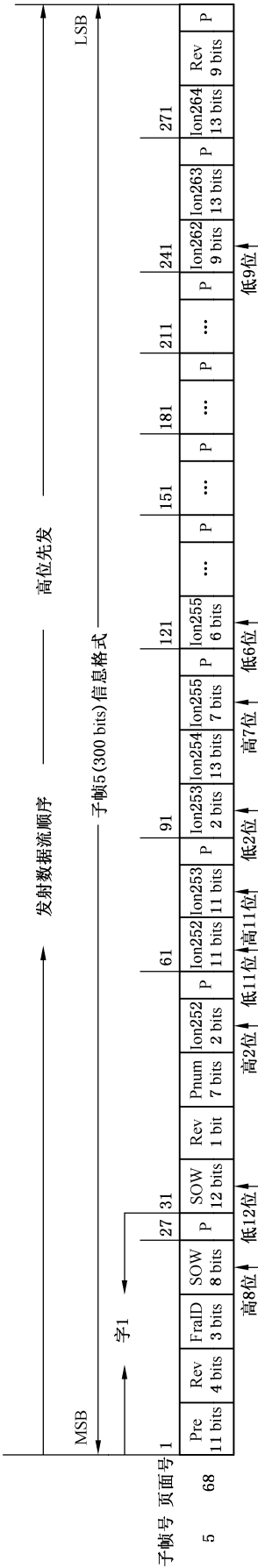


图 49 D2 导航电文子帧 5 页面 68 信息格式编排

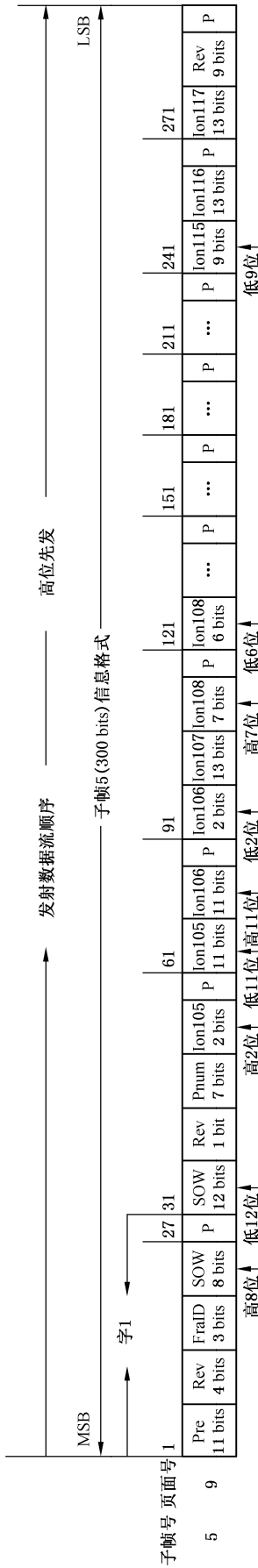


图 50 D2 导航电文子帧 5 页面 9 信息格式编排

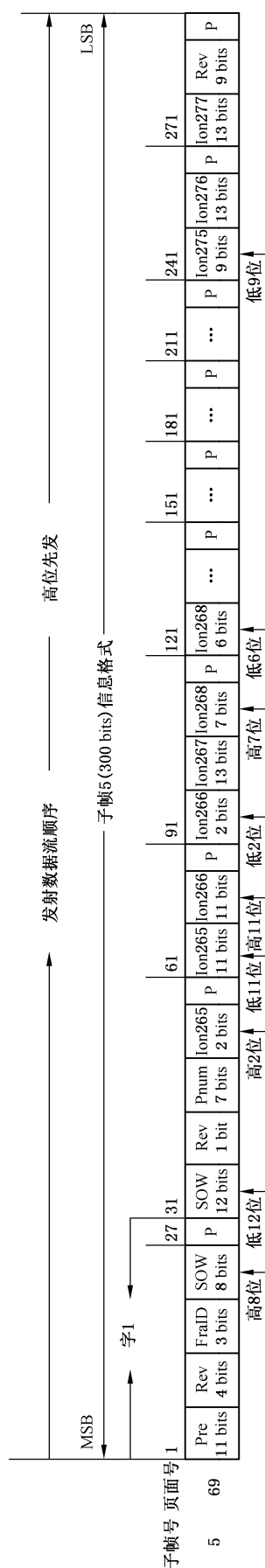


图 51 D2 导航电文帧 5 页面 69 信息格式编排

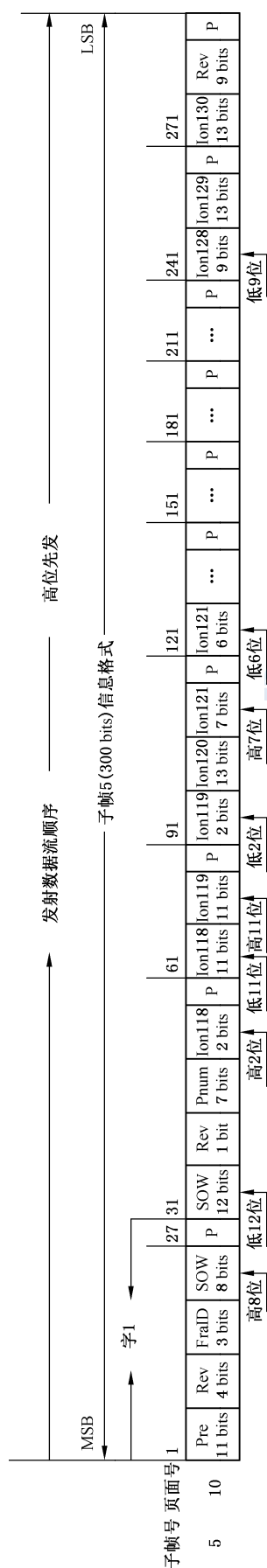


图52 D2 导航电文帧5页面10信息格式编排

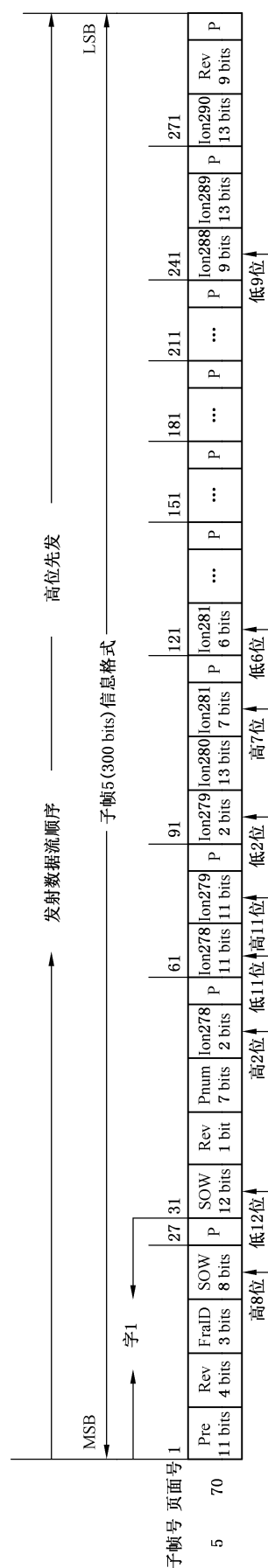


图 53 D2 导航电子文档 5 页面 70 信息格式编排

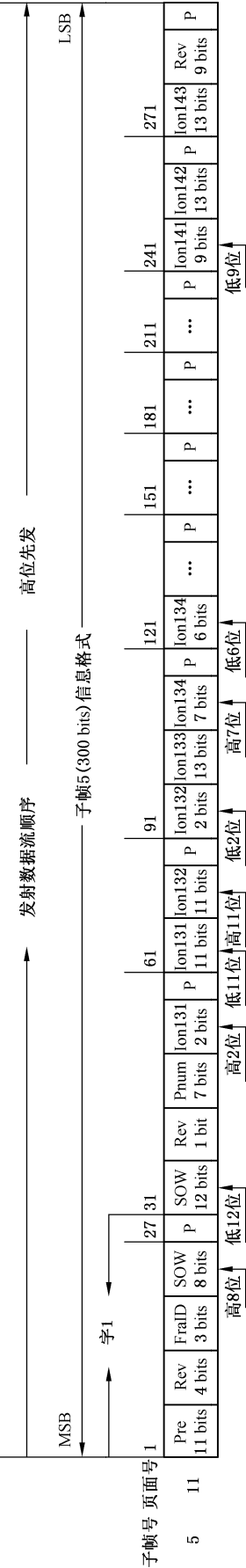


图 54 D2 导航电子帧 5 页面 11 信息格式编排

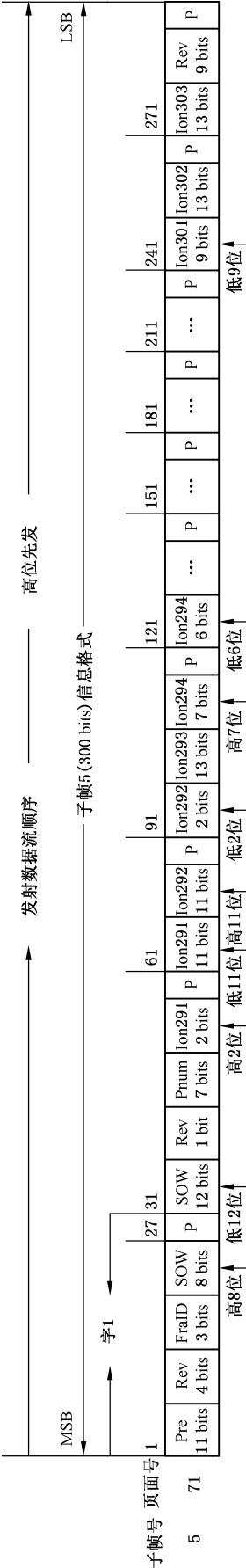


图 55 D2 导航电子帧 5 页面 71 信息格式编排

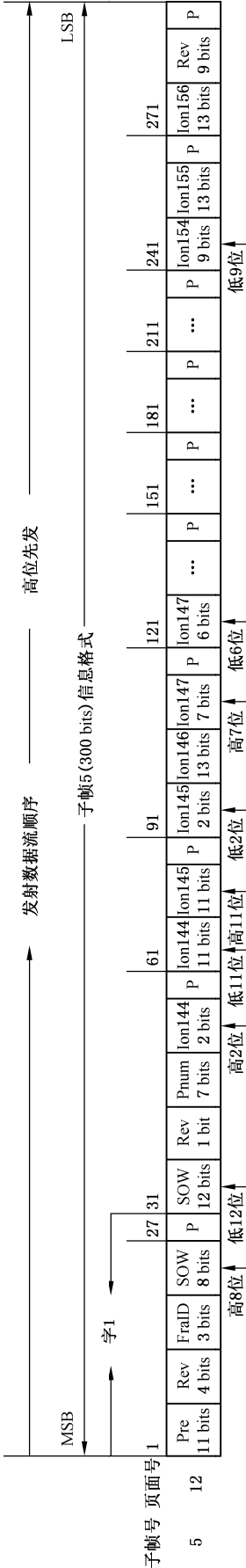


图 56 D2 导航电子帧 5 页面 12 信息格式编排

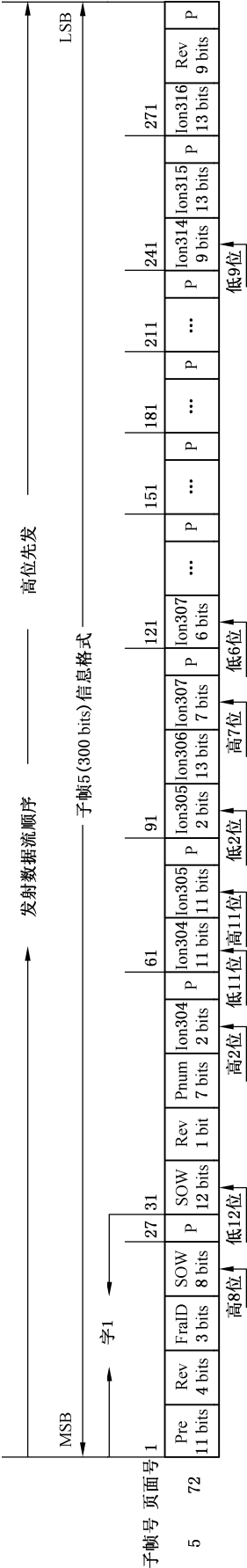


图 57 D2 导航电文子帧 5 页面 72 信息格式编排

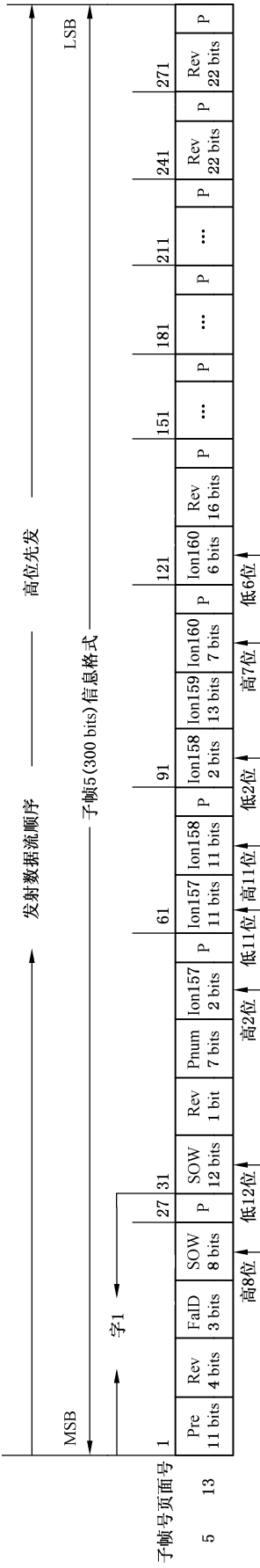


图 58 D2 导航电文子帧 5 页面 13 信息格式编排

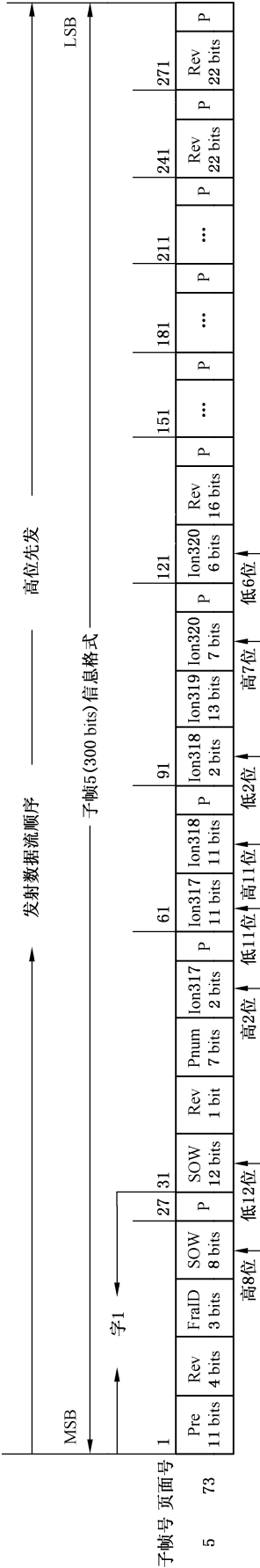


图 59 D2 导航电文子帧 5 页面 73 信息格式编排

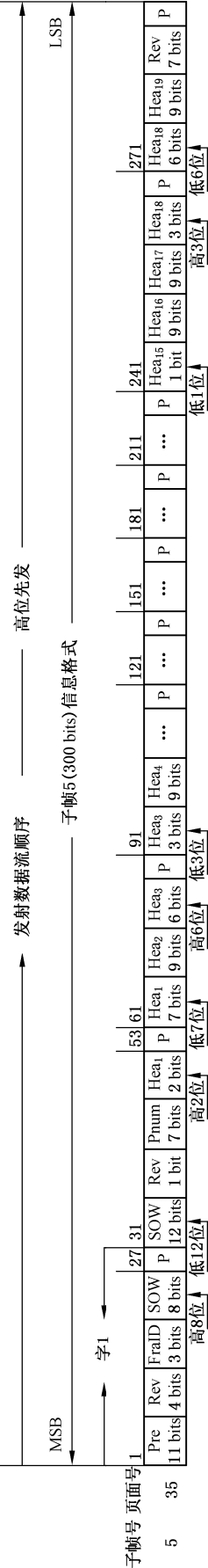


图 60 D2 导航电文子帧 5 页面 35 信息格式编排

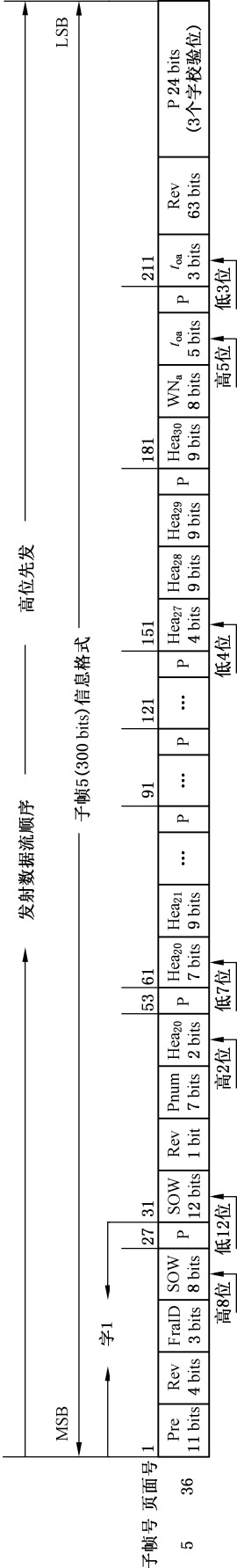


图 61 D2 导航电文子帧 5 页面 36 信息格式编排

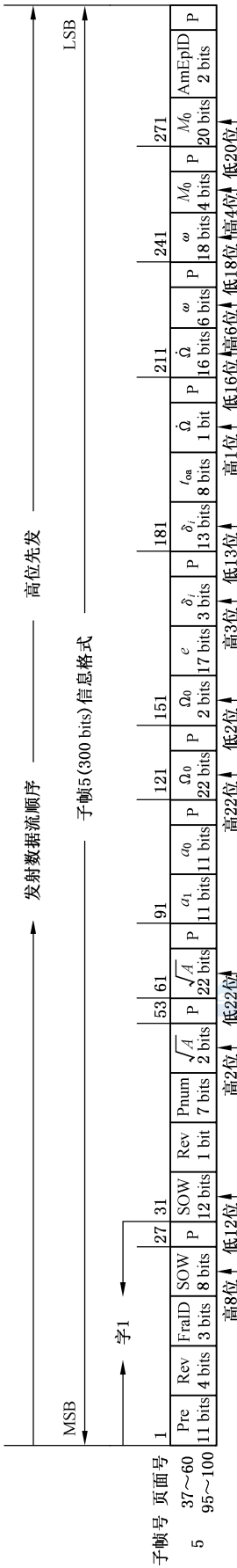


图 62 D2 导航电文子帧 5 页面 37~60、页面 95~100 信息格式编排

注：AmEpID 为 D2 导航电文中的历书信息扩展标识，具体使用方法参见 6.3.1。

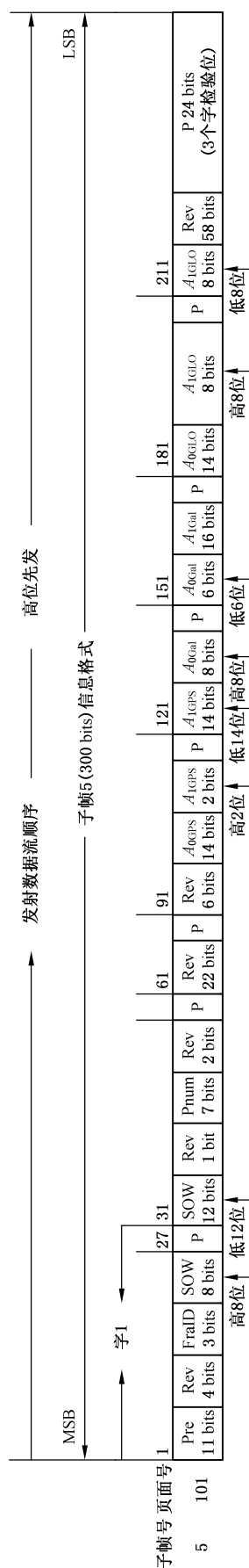


图 63 D2 导航电子文档 5 页面 101 信息格式编排

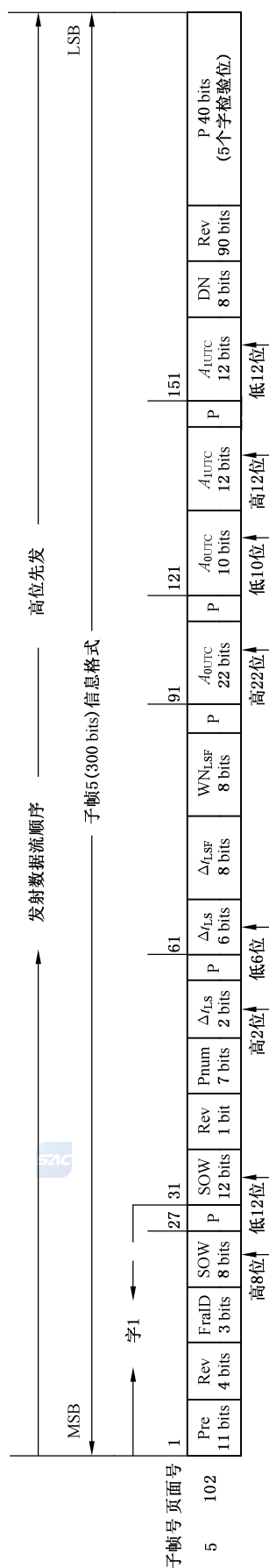


图 64 D2 导航电子帧 5 页面 102 信息格式编排

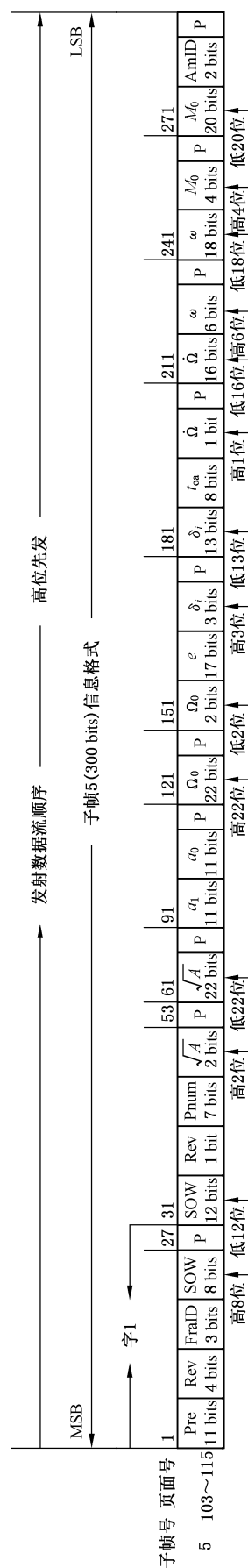


图 65 D2 导航电子文档 5 页 面 103~115 信息格式编排

注：当 AmEpID 为“11”时，子帧 5 页面 103~115 为扩展播发卫星历书；否则，子帧 5 页面 103~115 为预留页面，即从第 51 位开始的信息位为保留位。

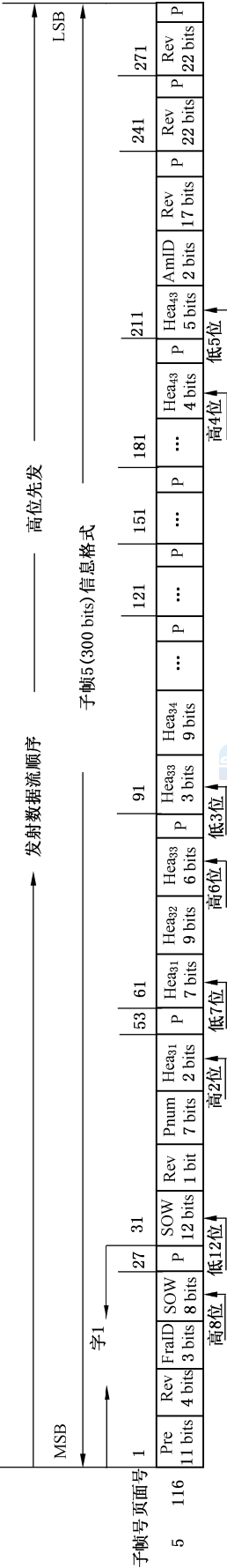


图 66 D2 导航电文子帧 5 页面 116 信息格式编排

注：当 AmEpID 为“11”时，子帧 5 页面 116 用于扩展播发卫星健康信息；否则，子帧 5 页面 116 为预留页面，即从第 51 位开始的信息位为保留位。

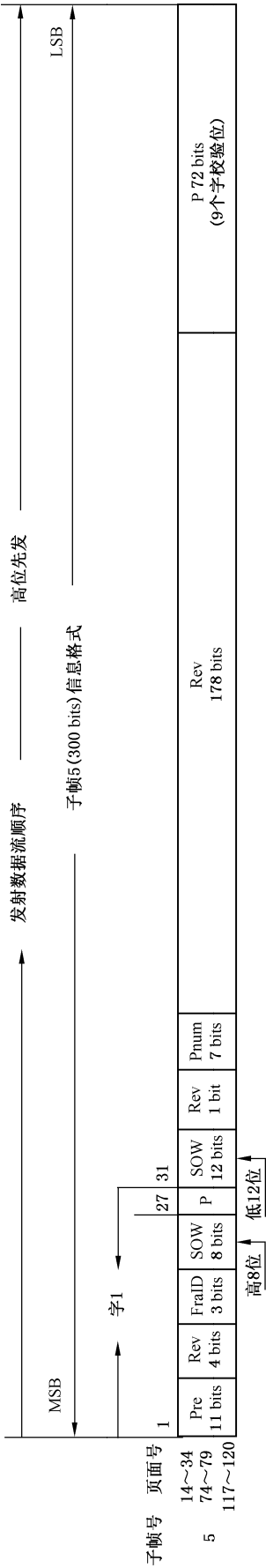


图 67 D2 导航电文子帧 5 预留页面 14~34、页面 74~94、页面 117~120 信息格式编排

6.3.3 D2 导航电文内容和算法

6.3.3.1 基本导航信息

D2 导航电文中包含所有基本导航信息,内容如下:

- a) 本卫星基本导航信息:
 - 帧同步码(Pre);
 - 子帧计数(FraID);
 - 周内秒计数(SOW);
 - 整周计数(WN);
 - 用户距离精度指数(URAI);
 - 卫星自主健康标识(SatH1);
 - 电离层延迟改正模型参数($\alpha_n, \beta_n, n=0\sim3$);
 - 星上设备时延(T_{GD1}, T_{GD2});
 - 时钟数据龄期(AODC);
 - 钟差参数(t_{oc}, a_0, a_1, a_2);
 - 星历数据龄期(AODE);
 - 星历参数($t_{oe}, \sqrt{A}, e, \omega, \Delta n, M_0, \Omega_0, \dot{\Omega}, i_0, IDOT, C_{uc}, C_{us}, C_{rc}, C_{rs}, C_{ic}, C_{is}$)。
- b) 页面编号(Pnum)。
- c) 历书信息:
 - 历书信息扩展标识(AmEpID);
 - 历书参数($t_{oa}, \sqrt{A}, e, \omega, M_0, \Omega_0, \Omega, \delta_i, a_0, a_1, AmID$);
 - 历书周计数(WNa);
 - 卫星健康信息($Hea_i, i=1\sim43$)。
- d) 与其他系统时间同步信息:
 - 与 UTC 时间同步参数($A_{0UTC}, A_{1UTC}, \Delta t_{LS}, WN_{LSF}, DN, \Delta t_{LSF}$);
 - 与 GPS 时间同步参数(A_{0GPS}, A_{1GPS});
 - 与 Galileo 时间同步参数(A_{0Gal}, A_{1Gal});
 - 与 GLONASS 时间同步参数(A_{0GLO}, A_{1GLO})。

除了页面编号(Pnum)、周内秒计数(SOW)、历书信息扩展标识(AmEpID)、分时播发识别标识(AmID)与 D1 导航电文中有区别外,其他基本导航信息与 D1 导航电文中含义相同。

在此只给出 D2 导航电文中 Pnum、SOW、AmEpID 和 AmID 的含义:

a) 页面编号(Pnum)

D2 导航电文中,子帧 5 信息分 120 个页面播发,由页面编号(Pnum)标识。

b) 周内秒计数(SOW)

D2 导航电文中,每一子帧的第 19~26 位和第 31~42 位为周内秒计数 SOW,共 20 比特,每周日北斗时 0 点 0 分 0 秒从零开始计数。

对于 D2 导航电文,周内秒计数所对应的秒时刻是指当前主帧中子帧 1 同步头的第一个脉冲上升沿所对应的时刻。

c) 历书信息扩展标识(AmEpID)

D2 导航电文中,历书信息扩展标识(AmEpID)为 2 比特,用于标识子帧 5 的页面 103~116 是否扩展播发 31~63 号卫星历书和卫星健康信息。当 AmEpID 为“11”时,表示子帧 5 的页面 103~115 可扩展播发

展播发 31~63 号卫星历书,子帧 5 的页面 116 可扩展播发 31~63 号卫星健康信息;当 AmEpID 不为“11”时,表示子帧 5 的页面 103~116 为预留页面,不进行扩展播发。

d) 分时播发识别标识(AmID)

D2 导航电文中,参数 AmID 为 2 比特,用于识别分时播发的卫星历书和卫星健康信息,其值在参数 AmEpID 为“11”时有效。用户应先使用 AmEpID 判断卫星历书和卫星健康信息是否扩展播发,再结合 AmID 识别相应的卫星历书和卫星健康信息。

D2 导航电文中,卫星历书的具体分时播发方式见表 23,卫星健康信息的分时播发方式与 D1 导航电文相同,见表 18。

表 23 历书参数分时播发方式

AmEpID	AmID	页面编号 Pnum	历书对应的卫星编号
11	01	103~115	31~43
	10	103~115	44~56
	11	103~109	57~63
		110~115	保留
	00	103~115	保留

6.3.3.2 基本导航信息页面编号(Pnum1)

子帧 1 第 43~46 比特为基本导航信息页面编号(Pnum1),共 4 比特,在子帧 1 的 1~10 页面中播发,用于标识本卫星基本导航信息的页面编号。

6.3.3.3 完好性及差分信息页面编号(Pnum2)

子帧 2 第 44~47 比特为完好性及差分信息页面编号(Pnum2),共 4 比特,在子帧 2 的 1~6 页面中播发,用于标识完好性及差分信息的页面编号。

6.3.3.4 完好性及差分信息健康标识(SatH2)

完好性及差分信息健康标识(SatH2)为 2 比特,高位标识卫星接收上行注入的区域用户距离精度(RURA)、用户差分距离误差(UDRE)及等效钟差改正数(Δt)信息校验是否正确,低位标识卫星接收上行注入的格网点电离层信息校验是否正确,具体含义见表 24。

表 24 完好性及差分信息健康标识含义

信息位	信息编码	SatH2 信息含义
高位 (MSB)	0	RURA、UDRE 及 Δt 信息校验正确
	1	RURA、UDRE 及 Δt 信息存在错误
低位 (LSB)	0	格网点电离层信息校验正确
	1	格网点电离层信息存在错误

6.3.3.5 北斗系统完好性及差分信息扩展标识(BDEpID)

北斗系统完好性及差分信息扩展标识(BDEpID)为 2 比特,用于标识 D2 导航电文子帧 4 全部 6 个

页面是否扩展播发北斗系统完好性及差分信息。

当 BDEpID 为“11”时,表示子帧 4 全部 6 个页面可扩展播发北斗系统完好性及差分信息卫星标识(BDID_{*i*},*i* = 31~63)、区域用户距离精度指数(RURAI)、等效钟差改正数(Δt)、用户差分距离误差指数(UDREI);当 BDEpID 不为“11”时,表示子帧 4 全部 6 个页面未播发北斗系统完好性及差分信息,相关信息位为保留位。

6.3.3.6 北斗系统完好性及差分信息卫星标识(BDID_{*i*})

北斗系统完好性及差分信息卫星标识(BDID_{*i*},*i* = 1~63)为 63 比特,用来标识系统是否播发该卫星的完好性及差分信息。每个比特位标识一颗卫星,当取值为“1”时,表示播发该卫星的完好性及差分信息,当取值为“0”时,表示没有播发该卫星的完好性及差分信息。

1~30 号卫星的完好性及差分信息卫星标识在子帧 2 中播发。31~63 号卫星的完好性及差分信息卫星标识在子帧 4 中扩展播发。

卫星完好性及差分信息的播发顺序为以完好性及差分信息卫星标识所对应的卫星编号从小到大排列。

6.3.3.7 北斗系统区域用户距离精度指数(RURAI)

北斗系统卫星信号完好性即区域用户距离精度(RURA),用来描述卫星伪距误差,单位是米(m),以区域用户距离精度指数(RURAI)表征。RURAI 占 4 比特,取值范围为 0~15,更新周期为 18s。每一个 RURAI 对应一颗卫星,B3I 信号上播发的 RURAI 代表 B3I 信号的完好性。RURAI 与 RURA 的对应关系见表 25。

表 25 RURAI 与 RURA 的对应关系

RURAI 编码	RURA(<i>m</i> , 99.9%)
0	0.75
1	1.0
2	1.25
3	1.75
4	2.25
5	3.0
6	3.75
7	4.5
8	5.25
9	6.0
10	7.5
11	15.0
12	50.0
13	150.0
14	300.0
15	>300.0

区域用户距离精度指数(RURAI)在子帧 2、子帧 3 和子帧 4 全部 6 个页面中播发。其中,子帧 4 的 6 个页面为扩展播发。

6.3.3.8 北斗系统差分及差分完好性信息

6.3.3.8.1 等效钟差改正数(Δt)

北斗系统差分信息以等效钟差改正数(Δt)表示,每颗卫星占 13 比特,比例因子为 0.1,单位为米(m),用 2 进制补码表示,最高位为符号位。更新周期为 18 s。

每一个等效钟差改正数(Δt)对应一颗卫星,B3I 信号上播发的 Δt 代表 B3I 信号的差分信息。当值为 -4 096 时,表示不可用。等效钟差改正数(Δt)用于对卫星钟差和星历的残余误差的进一步修正,用户将 Δt 加到对该卫星的观测伪距上,以改正上述残余误差对伪距测量的影响。

等效钟差改正数(Δt)在子帧 2、子帧 3 和子帧 4 全部 6 个页面中播发。其中,子帧 4 的 6 个页面为扩展播发。

6.3.3.8.2 用户差分距离误差指数(UDREI)

北斗系统差分完好性即用户差分距离误差(UDRE),用来描述等效钟差改正误差,单位是米(m),以用户差分距离误差指数(UDREI)表征。UDREI 占 4 比特,范围为 0~15,更新周期为 3 s。每一个 UDREI 对应一颗卫星,B3I 信号上播发的 UDREI 代表 B3I 信号的差分完好性。UDREI 与 UDRE 的对应关系见表 26。

表 26 UDREI 与 UDRE 的对应关系

UDREI 编码	UDRE(m, 99.9%)
0	1.0
1	1.5
2	2.0
3	3.0
4	4.0
5	5.0
6	6.0
7	8.0
8	10.0
9	15.0
10	20.0
11	50.0
12	100.0
13	150.0
14	未被监测
15	不可用

用户差分距离误差指数(UDREI)在子帧 2、子帧 4 全部 6 个页面中播发。其中,子帧 4 的 6 个页面为扩展播发。

6.3.3.9 格网点电离层信息(Ion)

6.3.3.9.1 格网点编号

每个格网点电离层信息(Ion)包括格网点垂直延迟($d\tau$)和误差指数(GIVEI),共占用 13 比特。信息排列及定义见表 27。

表 27 信息排列及定义

参数	$d\tau$	GIVEI
比特数	9	4

电离层格网覆盖范围为东经 $70^{\circ}\sim 145^{\circ}$,北纬 $7.5^{\circ}\sim 55^{\circ}$,按经纬度 $5\times 2.5^{\circ}$ 进行划分,形成 320 个格网点。其中,编号为 1~160 的格网点(IGP)的具体定义见表 28。页面 1~13 按表 28 的格网点号播发格网点电离层修正信息。

表 28 1~160 IGP 编号表

纬度($^{\circ}$)	经度($^{\circ}$)															
	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 编号小于或等于 160 时所对应的经纬度见公式(29)和公式(30):

$$L=70+\text{INT}((\text{IGP}-1)/10)\times 5\quad \cdots\cdots\cdots(29)$$
$$B=5+[\text{IGP}-\text{INT}((\text{IGP}-1)/10)\times 10]\times 5\quad \cdots\cdots\cdots(30)$$

其中,INT(*)表示向下取整。

编号为 161~320 的格网点(IGP)的具体定义见表 29。页面 60~73 按表 29 的格网点号播发格网点电离层修正信息。

表 29 161~320 IGP 编号表

纬度($^{\circ}$)	经度($^{\circ}$)															
	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

表 29 (续)

纬度(°)	经度(°)															
	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
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 IGP 号大于 160 时所对应的经纬度见公式(31)和公式(32)：

$$L = 70 + \text{INT}((\text{IGP} - 161)/10) \times 5 \quad \dots\dots\dots (31)$$

$$B = 2.5 + [\text{IGP} - 160 - \text{INT}((\text{IGP} - 161)/10) \times 10] \times 5 \quad \dots\dots\dots (32)$$

其中,INT(*)表示向下取整。

6.3.3.9.2 格网点电离层垂直延迟参数($d\tau$)

$d\tau_i$ 为第 i 格网点 B1I 信号的电离层垂直延迟,用距离表示,比例因子为 0.125,单位为米(m),范围为 0~63.625 m。当状态为“111111110”(= 63.750 m)时,表示 IGP 未被监测;当状态为“111111111”(= 63.875 m)时,表示“不可用”。

用户需将格网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,以修正观测伪距。电离层参考高度为 375 km。

6.3.3.9.3 格网点电离层垂直延迟改正数误差指数(GIVEI)

格网点电离层垂直延迟改正数误差(GIVE)用来描述格网点电离层延迟改正的精度,以格网点电离层垂直延迟改正数误差指数(GIVEI)表征。GIVEI 与 GIVE 的关系见表 30。

表 30 GIVEI 与 GIVE 的关系

GIVEI 编码	GIVE(m , 99.9%)
0	0.3
1	0.6
2	0.9
3	1.2
4	1.5
5	1.8
6	2.1

表 30 (续)

GIVEI 编码	GIVE(m , 99.9%)
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

6.3.3.9.4 用户端格网点电离层延迟修正算法建议

根据 $d\tau_i$ 值和 GIVEI, 用户可选用穿刺点周围相邻或相近的有效格网点数据, 自行设计模型, 内插观测卫星穿刺点处的电离层改正数。

图 68 给出了用户穿刺点与所在格网点的示意图, 其中 IPP 是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, 用地理经纬度 (φ_p, λ_p) 表示。周围 4 个格网点的位置分别用 $(\varphi_i, \lambda_i, i = 1 \sim 4)$ 表示, 格网点播发的垂直电离层延迟用 $VTEC_i (i = 1 \sim 4)$ 表示。穿刺点与四个格网点的距离权值分别用 $\omega_i (i = 1 \sim 4)$ 表示。

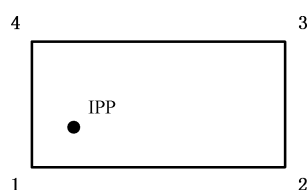


图 68 用户穿刺点与格网点示意图

用户穿刺点所在周围格网至少有 3 个格网点标识为有效时, 可根据这些有效格网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, 见公式(33):

$$\text{Ionodelay}_p = \frac{\sum_{i=1}^4 \omega_i \cdot VTEC_i}{\sum_{i=1}^4 \omega_i} \quad \dots\dots\dots (33)$$

定义 $x_p = \frac{\lambda_p - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}, y_p = \frac{\varphi_p - \varphi_1}{\varphi_4 - \varphi_1}$, 则权值分别见公式(34):

$$\omega_1 = (1 - x_p) \cdot (1 - y_p), \omega_2 = x_p \cdot (1 - y_p), \omega_3 = x_p \cdot y_p, \omega_4 = (1 - x_p) \cdot y_p \quad \dots\dots (34)$$

若该观测历元某一个格网标识为无效, 则其对应的权值为 0。

7 符合性验证方法

7.1 概述

针对北斗卫星导航系统空间信号接口相关内容的符合性验证主要是验证导航卫星、信号模型器等

导航信号生成设备产生的信号是否符合第5章~第8章的相关要求,本章给出了符合性验证的基本方法。

7.2 信号特性验证方法

7.2.1 测试设备与连接

测试设备包括频谱仪、导航接收机、导航信号质量分析设备等。

测试设备可通过有线连线或者无线连接方式接收卫星、模拟源发射的信号:有线连接方式下,将卫星、模拟源输出信号适当衰减后,通过信号线缆直接连接在频谱仪、导航接收机、导航信号质量分析设备射频入口端;在无线连接方式下,将接收天线的信号线缆连接在频谱仪、导航接收机、信号质量分析设备射频入口端。

7.2.2 测试与判别方法

利用频谱仪对载波相位噪声、杂散、极化方式、地面接收功率电平进行分析,获得结果并判别是否符合规范要求。

利用导航接收机和信号质量分析设备对信号结构、信号调制、电平映射、相关损耗、数据/码一致性、信号一致性进行分析,获得结果并判别是否符合规范要求。

7.3 测距码特性验证方法

7.3.1 测试设备与连接

同 7.2.1 信号特性验证方法设备与连接内容。

7.3.2 测试与判别方法

导航接收机能够捕获锁定所有指定的信号,则判定信号结构符合规范。

7.4 导航电文结构验证方法

7.4.1 测试设备与连接

同 7.2.1 信号特性验证方法设备与连接内容。

7.4.2 测试与判别方法

导航接收机能够进行信息比特的同步,解调出电文信息内容与预期一致,则判定电文结构符合规范。

7.5 导航电文参数算法验证方法

7.5.1 测试设备与连接

同 7.2.1 信号特性验证方法设备与连接内容。

7.5.2 测试与判别方法

导航接收机能够根据电文信息进行计算,解算结果与预期一致,则判定电文参数和算法符合规范。