



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 43941.1—2024

## 星地数据传输中高速调制解调器 技术要求和测试方法 第1部分：调制器

Technical requirements and test methods for intermediate/high-speed  
modulator/demodulator in satellite-to-earth data transmission—  
Part 1: Modulator

2024-04-25 发布

2024-08-01 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 .....	III
引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 缩略语 .....	2
5 功能组成 .....	2
5.1 星上调制器 .....	2
5.2 地面调制器/模拟调制器 .....	3
6 性能 .....	3
6.1 输出频率 .....	3
6.2 输出电平 .....	3
6.3 输出信号质量 .....	3
6.4 调制 .....	4
6.5 帧数据处理 .....	5
6.6 编码 .....	5
6.7 可变编码调制(VCM) .....	6
6.8 调制编码组合、数据操作流程 .....	6
6.9 数据源 .....	6
6.10 噪声产生 .....	6
7 接口 .....	6
7.1 数据接口 .....	6
7.2 信号输出接口 .....	6
7.3 频率源输入接口 .....	7
8 测试方法 .....	7
8.1 测试条件 .....	7
8.2 测试框图 .....	8
8.3 测试项目 .....	8
8.4 性能测试 .....	9
附录 A (规范性) 不同调制方式的星座映射 .....	14
附录 B (规范性) 差分编码定义 .....	18
附录 C (规范性) 加扰结构 .....	19
附录 D (规范性) 调制编码组合 .....	21
附录 E (规范性) 数据操作流程 .....	22
参考文献 .....	25



## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 43941《星地数据传输中高速调制解调器技术要求和测试方法》的第 1 部分，GB/T 43941 已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：调制器；
- 第 2 部分：解调器。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国宇航技术及其应用标准化技术委员会(SAC/TC 425)提出并归口。

本文件起草单位：中国电子科技集团公司第十研究所、中国航天标准化研究所、国家卫星海洋应用中心、西安空间无线电技术研究所、深圳市魔方卫星科技有限公司、南京控维通信科技有限公司。

本文件主要起草人：张波、方科、刘田、王宇舟、徐常志、吴奎桥、卢欧欣、倪燕、吕倩、周玉霞、郑磊、朱胜利、刘明、陈俊、罗丽娟、董李梅、保玲、赖海光。

## 引 言

星地数据传输中高速调制器和解调器是卫星、空间站、探测器等航天器与地面间实现无线数据传输的关键设备,广泛用于对地观测、载人航天、中继卫星、商业航天等星地数据传输系统。其中,中高速调制器可实时产生不同类型的中高速数传信号,中高速解调器可实时接收不同类型的中高速数传信号。

GB/T 43941《星地数据传输中高速调制解调器技术要求和测试方法》拟由两个部分构成。

——第1部分:调制器。目的在于规定星地数据传输中高速调制器的功能组成、性能要求、接口要求和测试方法。

——第2部分:解调器。目的在于规定星地数据传输中高速解调器的功能组成、性能要求、接口要求和测试方法。

上述两部分共同构成了星地数据传输中高速调制解调器技术要求和测试方法标准体系。



# 星地数据传输中高速调制解调器 技术要求和测试方法 第 1 部分：调制器

## 1 范围

本文件规定了星地数据传输中高速调制器的功能组成、性能要求、接口要求和测试方法。

本文件适用于卫星、空间站、探测器等航天器与地面间数据传输速率在 5 Mb/s~4 800 Mb/s 之间的中高速调制器(以下简称“调制器”)的设计和测试。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 39348—2020 空间数据与信息传输系统 遥测同步与信道编码

GB/T 42041 航天术语 空间数据与信息传输

GY/T 338—2020 数字电视卫星传输信道编码和调制规范

## 3 术语和定义

GB/T 42041 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**中高速 intermediate/high-speed**

星地数据传输在 5 Mb/s~4 800 Mb/s 之间的速率。

### 3.2

**调制器 modulator**

部署于航天器或地面站,将数字信号调制为中频/射频模拟信号的电子装置。

### 3.3

**解调器 demodulator**

部署于航天器或地面站,将中频/射频模拟信号还原为数字信号的电子装置。

### 3.4

**符号速率 symbol rate**

单位时间内产生或传输的符号个数。

### 3.5

**比特速率 bit rate**

单位时间内产生或传输的比特数。

注:比特数指完成编码及添加帧同步字后的 IQ 两路比特总数。

### 3.6

**数据组帧 data framing**

对传输数据添加帧同步字的过程。

#### 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

- APSK:幅度相移键控(Amplitude Phase Shift Keying)
- BPSK:二相相移键控(Binary Phase Shift Keying)
- CCM:固定编码调制(Constant Coding and Modulation)
- CRC:循环冗余校验(Cyclic Redundancy Check)
- DNRZ:差分非归零码(Differential Non Return to Zero)
- EVM:矢量幅度误差(Error Vector Magnitude)
- LDPC:低密度极奇偶校验(Low Density Parity Check)
- MSB:最高有效位(Most Significant Bit)
- NRZ-L:非归零电平码(Non Return to Zero Level)
- NRZ-M:非归零传号码(Non Return to Zero Mark)
- NRZ-S:非归零空号码(Non Return to Zero Space)
- OQPSK:偏置四相相移键控(Offset Quadrature Phase Shift Keying)
- PCM:脉冲编码调制(Pulse Code Modulation)
- PN:伪噪声(Pseudo Noise)
- PSK:相移键控(Phase Shift Keying)
- QAM:正交幅度调制(Quadrature Amplitude Modulation)
- QPSK:四相相移键控(Quadrature Phase Shift Keying)
- RS:里德-所罗门(Reed-Solomon)
- VCM:可变编码调制(Variable Coding and Modulation)

#### 5 功能组成

##### 5.1 星上调制器

星上调制器主要包含数据产生、帧数据处理及编码、基带调制、上变频等功能,各功能组成图如图 1 所示。具体说明如下:

- a) 数据产生:接入外部数据或产生内部数据;
- b) 帧数据处理及编码:实现加扰、编码、添加帧同步字等处理;
- c) 基带调制:实现星座映射、成型滤波等基带处理;
- d) 上变频:对基带信号上变频,生成射频调制信号。

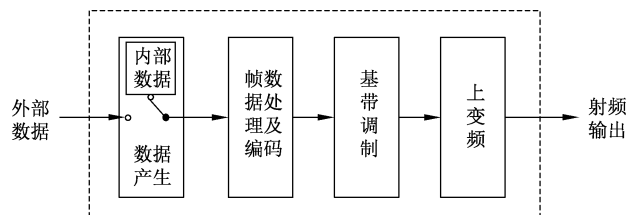


图 1 星上调制器功能组成图

## 5.2 地面调制器/模拟调制器

地面调制器/模拟调制器主要包含数据产生、帧数据处理及编码、基带调制、上变频、噪声产生、监视控制等功能,各功能组成图如图 2 所示。具体说明如下:

- a) 数据产生:接入外部数据或产生内部数据;
- b) 帧数据处理及编码:实现加扰、编码、添加帧同步字等处理;
- c) 基带调制:实现星座映射、成型滤波等基带处理;
- d) 上变频:对基带信号上变频,生成中频调制信号,模拟调制器还包括多普勒动态模拟;
- e) 噪声产生:仅模拟调制器包含此功能,用于产生高斯白噪声;
- f) 监视控制:实现参数设置、状态显示、日志记录等处理。

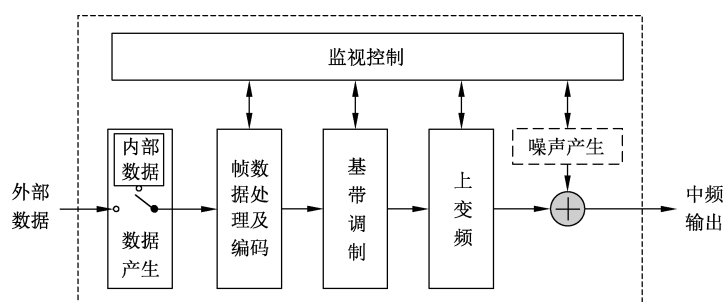


图 2 地面调制器/模拟调制器功能组成图

## 6 性能

### 6.1 输出频率

6.1.1 星上调制器输出信号频段可选用 S 频段、X 频段或 Ka 频段。

6.1.2 地面调制器/模拟调制器输出信号频率可选用 720 MHz、1.2 GHz、1.5 GHz、1.8 GHz 或 2.4 GHz。

### 6.2 输出电平

6.2.1 星上调制器/地面调制器输出信号电平:  $0 \text{ dBm} \pm 3 \text{ dB}$ ,可根据具体工程情况调整。

6.2.2 模拟调制器输出信号电平可设置,电平范围应满足  $-50 \text{ dBm} \sim 0 \text{ dBm}$ ,步进  $0.1 \text{ dB}$ 。

### 6.3 输出信号质量

输出信号质量应满足以下要求:

- a) 载波抑制度:  $\geq 30 \text{ dBc}$ ;
- b) 杂波抑制度:  $\geq 50 \text{ dBc}$ ;
- c) 谐波抑制度:  $\geq 40 \text{ dBc}$ ;
- d) 相位噪声: 优于表 1 中相关要求;
- e) EVM:  $\leq 10\%$ 。

表 1 输出信号相位噪声

调制器类型	频段	偏离中心频率	相位噪声 dBc/Hz
星上调制器	S 频段	100 Hz	-70
		1 kHz	-76
		10 kHz	-84
		100 kHz	-92
	X 频段	100 Hz	-60
		1 kHz	-70
		10 kHz	-80
		100 kHz	-90
	Ka 频段	100 Hz	-60
		1 kHz	-70
		10 kHz	-80
		100 kHz	-90
地面调制器/模拟调制器	—	100 Hz	-70
		1 kHz	-76
		10 kHz	-84
		100 kHz	-92

6.4 调制

6.4.1 调制方式

CCM 模式下,调制方式及星座映射从以下要求中选取:

- a) 调制方式: BPSK、QPSK、OQPSK、8PSK、16QAM、16APSK、32APSK、64APSK、64QAM;
- b) 星座映射: 不同调制方式下选用的星座映射应符合附录 A 的规定。

6.4.2 符号速率与比特速率

CCM 模式下符号速率应从 5 Msps~800 Msps 范围内选取。

注: sps——符号数每秒(symbol per second)。

对于 M 进制调制,比特速率应满足公式(1)要求:

$$R_b = R_s \times \log_2 M \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- $R_b$  —— 比特速率;
- $R_s$  —— 符号速率;
- $M$  —— 调制进制。

星上调制器/地面调制器比特速率推荐选用 10 Mb/s、75 Mb/s、150 Mb/s、300 Mb/s、450 Mb/s、600 Mb/s、800 Mb/s、900 Mb/s、1.5 Gb/s、2 Gb/s、2.5 Gb/s、3 Gb/s 或 3.5 Gb/s。

### 6.4.3 中心频率与符号速率

地面调制器/模拟调制器中心频率与符号速率对应关系如下：

- a) 符号速率最高为 300 Msps 时,中心频率推荐选用 720 MHz、1.2 GHz 或 1.5 GHz;
- b) 符号速率最高为 500 Msps 时,中心频率推荐选用 1.2 GHz 或 1.5 GHz;
- c) 符号速率最高为 800 Msps 时,中心频率推荐选用 1.8 GHz 或 2.4 GHz。

### 6.4.4 成型滤波

成型滤波满足以下规定：

- a) 成型滤波类型可选用升余弦、平方根升余弦或不成型,推荐选用平方根升余弦;
- b) 成型滤波滚降系数:0.10~1.00 可选,步进 0.05,推荐选用 1.00、0.50 或 0.35。

### 6.4.5 多普勒动态模拟

多普勒动态模拟满足以下规定：

- a) 多普勒频率范围:—900 kHz~900 kHz;
- b) 多普勒频率变化率:—25 kHz/s~25 kHz/s;
- c) 扫描方式:三角波、正弦波或文件导入。

### 6.4.6 PCM 码型

PCM 码型可选用 NRZ-L、NRZ-M、NRZ-S 三种类型。

### 6.4.7 差分编码

差分编码可选用  $\text{DNRZ}(I+Q)$ 、 $\text{DNRZ}(\bar{I}+Q)$ 、 $\text{DNRZ}(I+\bar{Q})$ 、 $\text{DNRZ}(\bar{I}+\bar{Q})$ 、 $\text{DNRZ}(Q+I)$ 、 $\text{DNRZ}(\bar{Q}+I)$ 、 $\text{DNRZ}(Q+\bar{I})$ 、 $\text{DNRZ}(\bar{Q}+\bar{I})$  八种类型,差分编码具体定义应符合附录 B 的规定。

## 6.5 帧数据处理

### 6.5.1 数据组帧

数据组帧满足以下规定：

- a) 帧同步字长度可选取 8 bit、16 bit、24 bit、32 bit、40 bit、48 bit、56 bit、64 bit 或 128 bit;
- b) 帧长应从 128 Byte~16 384 Byte 范围内选取,帧长与编码方式的关系应符合 GB/T 39348—2020 中第 12 章的要求。

### 6.5.2 CRC 校验

CRC 校验不包含帧同步字,具体格式应满足 GB/T 39348—2020 中 G.2.1 的要求。

### 6.5.3 加扰

加扰满足以下规定：

- a) 扰码多项式和初相可设置,最大长度 32 bit;
- b) 扰码结构可选用移位寄存器输出或反馈输出,扰码结构应符合附录 C 的规定。

## 6.6 编码

### 6.6.1 卷积编码

卷积编码应符合 GB/T 39348—2020 中 5.3、5.4 的要求,卷积编码码率推荐采用 1/2、3/4。

### 6.6.2 RS 编码

RS 编码应满足 GB/T 39348—2020 中 6.3、6.4 的要求。

### 6.6.3 级联编码

级联编码由 RS 编码与卷积编码组合而成,应符合 GB/T 39348—2020 中 7.3 的要求。

### 6.6.4 LDPC 编码

LDPC 编码方式应满足 GB/T 39348—2020 中 9.3、9.4 的要求,推荐采用(8160,7136)码。

### 6.7 可变编码调制(VCM)

VCM 应满足以下规定:

- a) 调制方式选择范围:QPSK、8PSK、16APSK、32APSK;
- b) 符号速率从 100 Msps~800 Msps 范围内选取;
- c) 信号格式符合 GY/T 338—2020 中 5.2 的要求。

### 6.8 调制编码组合、数据操作流程

调制编码组合按附录 D 规定的规则选用,数据操作流程按附录 E 的规定执行。

### 6.9 数据源

数据源满足以下规定:

- a) 数据源类型可选用内部数据源或外部数据源;
- b) 内部数据源可选用顺序数、固定数或 PN 码。

### 6.10 噪声产生

噪声产生满足以下要求:

- a) 噪声带宽应覆盖信号带宽;
- b) 噪声功率谱密度推荐范围:−135 dBm/Hz~−90 dBm/Hz;
- c) 噪声功率步进:≤0.5 dB。

## 7 接口

### 7.1 数据接口

数据接口满足以下要求:

- a) 传输电平可选用 ECL、TTL、LVTTTL 或 LVDS;
- b) 物理接口可选用 SMA、Y50XⅢ-1207ZJ10、DB-9 或 DB-25。

### 7.2 信号输出接口

信号输出接口满足以下要求:

- a) 阻抗:50 Ω;
- b) 驻波比:≤1.4;
- c) 物理接口可选用:SMA、TNC、N 型或 2.92 mm(K 型)。

### 7.3 频率源输入接口

频率源输入接口满足以下要求：

- a) 频率可选取 10 MHz 或 100 MHz；
- b) 幅度不低于 3 dBm；
- c) 阻抗为 50；
- d) 物理接口可选用 SMA、BNC、TNC 或 N 型。

## 8 测试方法

### 8.1 测试条件

#### 8.1.1 测试环境

除另有规定外，常温测试应在如下环境条件下进行：

- a) 环境温度：15 °C ~ 35 °C；
- b) 相对湿度：≤ 80 %。

#### 8.1.2 测试仪器及陪测设备

所有测试仪器应经过计量部门检定合格并在有效期内，其量程、精度满足测试要求，测试仪器及要求见表 2。所有陪测设备应经相关单位检验鉴定合格，其功能、性能满足测试要求，陪测设备及要求见表 3。

表 2 测试仪器及要求

序号	仪器名称	仪器性能指标要求
1	频谱仪	a) 频率分辨率：≤ 1 Hz； b) 输入信号电平范围：-110 dBm ~ 20 dBm； c) 显示平均噪声谱密度：≤ -140 dBm/Hz； d) 信号相位噪声测试：≤ -100 dBc/Hz； e) 绝对功率电平误差：± 0.2 dB
2	矢量网络分析仪	a) 解调分析带宽：不小于 1.6 GHz； b) 支持对 BPSK、QPSK、OQPSK、8PSK、16QAM、16APSK、32APSK、64APSK、64QAM 等格式的调制信号进行采样分析，具备 EVM 显示功能

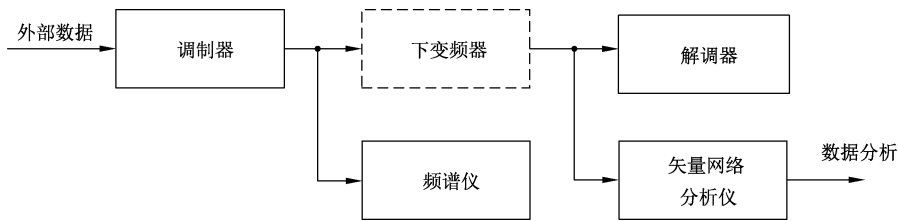
表 3 陪测设备及要求

序号	陪测设备名称	陪测设备性能指标要求
1	下变频器	a) 输入中心频率、输出中心频率：满足测试要求； b) 带外谐波：≥ 60 dBc； c) 杂散抑制：≥ 55 dBc
2	解调器	a) 中心频率：满足测试要求； b) 调制方式、符号速率、译码方式、解扰方式、码型：覆盖测试要求； c) 数据格式：覆盖测试要求； d) 具备 VCM 信号接收能力，VCM 信号模式覆盖测试要求

### 8.2 测试框图

调制器测试框图由调制器、下变频器、频谱仪、解调器和矢量网络分析仪组成,如图 3 所示:

- a) 调制器为被测设备;
- b) 下变频器用于把星上调制器输出的射频信号变频至解调器支持的中频信号;
- c) 频谱仪用于输出频率、信号电平、载波抑制度、杂波抑制度、谐波抑制度和相位噪声等测试;
- d) 解调器用于多普勒动态模拟、码型、编码、VCM、解调译码损耗等测试;
- e) 矢量网络分析仪用于 EVM、成型滤波等测试。



注: 下变频器仅用于调制器输出射频信号的测试场景。

图 3 调制器测试框图

### 8.3 测试项目

调制器测试项目见表 4。

表 4 测试项目

序号	测试项目		要求	测试方法
1	输出频率		6.1	8.4.1
2	输出电平		6.2	8.4.2
3	输出信号质量	载波抑制度	6.3 a)	8.4.3.1
4		杂波抑制度	6.3 b)	8.4.3.2
5		谐波抑制度	6.3 c)	8.4.3.3
6		相位噪声	6.3 d)	8.4.3.4
7		EVM	6.3 e)	8.4.3.5
8	调制	调制方式	6.4.1	8.4.4.1
9		符号速率与比特速率	6.4.2	8.4.4.2
10		成型滤波	6.4.4	8.4.4.3
11		多普勒动态模拟	6.4.5	8.4.4.4
12		PCM 码型	6.4.6	8.4.4.5
13		差分编码	6.4.7	8.4.4.6
14	帧数据处理	数据组帧	6.5.1	8.4.5.1
15		CRC 校验	6.5.2	8.4.5.2
16		加扰	6.5.3	8.4.5.3

表 4 测试项目 (续)

序号	测试项目	要求	测试方法
17	编码	卷积编码	8.4.6.1
18		RS 编码	8.4.6.2
19		级联编码	8.4.6.3
20		LDPC 编码	8.4.6.4
21	VCM	6.7	8.4.7
22	数据源	6.9	8.4.8
23	噪声产生	6.10	8.4.9

## 8.4 性能测试

### 8.4.1 输出频率测试

测试方法如下：

- 设置调制器输出频率,使调制器输出单载波；
- 使用频谱仪测量单载波频率,记录测量数据；
- 更改输出频率,重复步骤 a) 和步骤 b),直至覆盖专用技术文件规定的全部输出频率。

### 8.4.2 输出电平测试

#### 8.4.2.1 星上调制器/地面调制器

测试方法如下：

- 设置调制器输出频率,使调制器输出单载波；
- 使用频谱仪测量单载波功率,记录测量数据；
- 更改输出频率,重复步骤 a) 和步骤 b),直至覆盖专用技术文件规定的全部频率。

#### 8.4.2.2 模拟调制器

测试方法如下：

- 设置调制器输出频率和输出电平,使调制器输出单载波；
- 使用频谱仪测量单载波功率,记录测量数据；
- 输出电平设置值变化 0.1 dB,记录测量数据；
- 以 10 dB 为步进更改输出电平,重复步骤 a) 和步骤 b),直至覆盖专用技术文件规定的输出电平边界值和中间值；
- 更改输出频率,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的全部频率。

### 8.4.3 输出信号质量测试

#### 8.4.3.1 载波抑制度测试

测试方法如下：

- 设置调制器输出频率,使调制器输出单载波；
- 使用频谱仪测量单载波功率；

- c) 设置调制器输出调制信号,使用频谱仪测量载波频率处的信号功率;
- d) 计算单载波功率与信号功率间的相对值,记录该相对值;
- e) 更改输出频率,重复步骤 a)~步骤 d),直至覆盖专用技术文件规定的全部频率。

#### 8.4.3.2 杂波抑制制度测试

测试方法如下:

- a) 设置调制器的输出频率,使调制器输出单载波;
- b) 在信号带宽内,使用频谱仪测量单载波功率与带内最大杂波功率的相对值,记录该相对值;
- c) 更改输出频率,重复步骤 a)和步骤 b),直至覆盖专用技术文件规定的全部频率。

#### 8.4.3.3 谐波抑制制度测试

测试方法如下:

- a) 设置调制器输出频率,使调制器输出单载波;
- b) 使用频谱仪测量单载波功率与载波频点二次谐波功率的相对值,记录该相对值;
- c) 更改输出频率,重复步骤 a)和步骤 b),直至覆盖专用技术文件规定的全部频率。

#### 8.4.3.4 相位噪声测试

测试方法如下:

- a) 设置调制器输出频率,使调制器输出单载波;
- b) 使用频谱仪依次测量与单载波频率偏差为 100 Hz、1 kHz、10 kHz、100 kHz 处的相位噪声值;
- c) 更改输出频率,重复步骤 a)和步骤 b),直至覆盖专用技术文件规定的全部频率。

#### 8.4.3.5 EVM 测试

测试方法如下:

- a) 设置调制器调制方式和星座映射,使调制器输出最大符号速率的调制信号;
- b) 对应设置矢量网络分析仪,测量调制信号 EVM,记录测量数据;
- c) 更改调制方式及其对应的最大符号速率,重复步骤 a)和步骤 b),直至覆盖专用技术文件规定的全部调制方式。

### 8.4.4 调制测试

#### 8.4.4.1 调制方式测试

测试方法如下:

- a) 设置调制器调制方式和星座映射,使调制器输出调制信号;
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行解调和帧同步;
- c) 观察解调器载波同步、符号同步、帧同步锁定状态以及星座图;
- d) 更改调制方式及星座映射,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的全部调制方式及星座映射。

#### 8.4.4.2 符号速率及比特速率测试

测试方法如下:

- a) 设置调制器符号速率,使调制器输出调制信号;
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行解调;

- c) 观察解调器的载波同步和符号同步锁定状态；
- d) 更改符号速率,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有符号速率；
- e) 更改调制方式,重复步骤 a)~步骤 d),直至覆盖专用技术文件规定的全部调制方式。

#### 8.4.4.3 成型滤波测试

测试方法如下：

- a) 设置调制器成型滤波类型和滚降系数,使调制器输出调制信号；
- b) 通过频谱仪测量调制信号频谱带宽,记录测量带宽；
- c) 对应设置矢量网络分析仪,测量调制信号 EVM,记录测量 EVM；
- d) 更改成型滤波类型和滚降系数,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有滤波类型和滚降系数。

#### 8.4.4.4 多普勒动态模拟测试

测试方法如下：

- a) 设置调制器多普勒扫描范围、变化率和扫描类型,使调制器输出具有多普勒动态的调制信号；
- b) 通过解调器对调制信号进行解调,记录不同时刻的多普勒频率值；
- c) 根据不同时刻的多普勒频率值绘制多普勒频率扫描曲线,计算多普勒扫描范围、变化率；
- d) 更改多普勒扫描范围和变化率,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的边界值和中间值；
- e) 更改扫描类型,重复步骤 a)~步骤 d),直至覆盖专用技术文件规定的所有扫描类型。

#### 8.4.4.5 PCM 码型测试

测试方法如下：

- a) 设置调制器 PCM 码型,使调制器输出调制信号；
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行解调；
- c) 记录原始位流数据并对数据进行分析；
- d) 更改 PCM 码型类型,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有 PCM 码型。

#### 8.4.4.6 差分编码测试

测试方法如下：

- a) 设置调制器差分编码类型,使调制器输出调制信号；
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行解调；
- c) 记录原始位流数据并对数据进行分析；
- d) 更改差分编码类型,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有编码类型。

### 8.4.5 帧数据处理测试

#### 8.4.5.1 数据组帧测试

测试方法如下：

- a) 设置调制器帧同步字长度和帧长,使调制器输出调制信号；
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行解调；
- c) 观察解调器的载波同步、符号同步、帧同步锁定状态；
- d) 更改帧同步字长度和帧长,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有帧同步字长度和帧长。

#### 8.4.5.2 CRC 校验测试

测试方法如下：

- a) 设置调制器 CRC 校验参数,使调制器输出调制信号；
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行解调和帧同步；
- c) 对帧同步后的数据进行记录,并与标准 CRC 校验数据进行比对分析。

#### 8.4.5.3 加扰测试

测试方法如下：

- a) 设置调制器扰码多项式、扰码初相和扰码结构,使调制器输出调制信号；
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行解调和帧同步；
- c) 对帧同步后的加扰数据进行记录,并与标准加扰数据进行比对分析；
- d) 更改加扰参数,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有加扰类型。

#### 8.4.6 编码测试

##### 8.4.6.1 卷积编码测试

测试方法如下：

- a) 设置调制器卷积编码参数,使调制器输出调制信号；
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行解调；
- c) 记录原始位流数据,并与标准卷积编码数据进行比对分析；
- d) 更改卷积编码类型,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有卷积编码类型和对应的数据操作流程。

##### 8.4.6.2 RS 编码测试

测试方法如下：

- a) 设置调制器 RS 编码参数,使调制器输出调制信号；
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行解调和帧同步；
- c) 对帧同步后的编码数据进行记录,并与标准 RS 编码数据进行比对分析；
- d) 更改 RS 编码类型,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有 RS 编码类型和对应的数据操作流程。



##### 8.4.6.3 级联编码测试

测试方法如下：

- a) 设置调制器级联编码参数,使调制器输出调制信号；
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行解调；
- c) 记录原始位流数据,并与标准级联编码数据进行比对分析；
- d) 更改级联编码类型,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有级联编码类型和对应的数据操作流程。

##### 8.4.6.4 LDPC 编码测试

测试方法如下：

- a) 设置调制器 LDPC 编码参数,使调制器输出调制信号;
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行解调和帧同步;
- c) 对帧同步后的编码数据进行记录,并与标准 LDPC 编码数据进行比对分析;
- d) 更改 LDPC 编码类型,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有 LDPC 编码类型和对应的数据操作流程。

#### 8.4.7 VCM 测试

测试方法如下:

- a) 设置调制器 VCM 编码调制方式为固定模式,使调制器输出 VCM 调制信号;
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行解调和帧同步;
- c) 观察解调器载波同步、符号同步和帧同步锁定状态;
- d) 更改调制器 VCM 编码调制方式,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有编码调制方式;
- e) 设置调制器 VCM 编码调制方式为切换模式,模式切换范围覆盖专用技术文件规定的所有编码调制方式;
- f) 观察调制编码方式切换过程中解调器载波同步、符号同步和帧同步锁定状态;
- g) 更改符号速率,重复步骤 a)~步骤 f),直至覆盖专用技术文件规定的所有符号速率。

#### 8.4.8 数据源测试

测试方法如下:

- a) 设置调制器数据源类型,使调制器输出调制信号;
- b) 对应设置解调器,通过解调器对调制信号进行解调和帧同步;
- c) 记录解调器接收数据,并对数据内容进行分析;
- d) 更改数据源类型,重复步骤 a)~步骤 c),直至覆盖专用技术文件规定的所有数据源类型。

#### 8.4.9 噪声产生测试

测试方法如下:

- a) 设置调制器噪声功率谱密度,使调制器仅输出噪声;
- b) 通过频谱仪对噪声带宽进行测量,记录测量数据;
- c) 通过频谱仪对噪声功率谱密度和噪声功率进行测量,记录测量数据;
- d) 噪声功率谱密度设置值变化 0.5 dB,重复步骤 c);
- e) 更改噪声功率谱密度,重复步骤 c)和步骤 d),直至覆盖专用技术文件规定的噪声功率谱密度范围的边界值和中间值。

附录 A  
(规范性)  
不同调制方式的星座映射

A.1 QPSK 调制方式的星座映射

QPSK 调制方式的星座映射应从以下 2 种星座映射中选取,如图 A.1 所示,推荐选用顺时针。



图 A.1 QPSK 调制方式的星座映射

A.2 8PSK 调制方式的星座映射

8PSK 调制方式的星座映射应从以下 16 种星座映射中选取,如图 A.2 所示,推荐选用顺时针格雷 2。

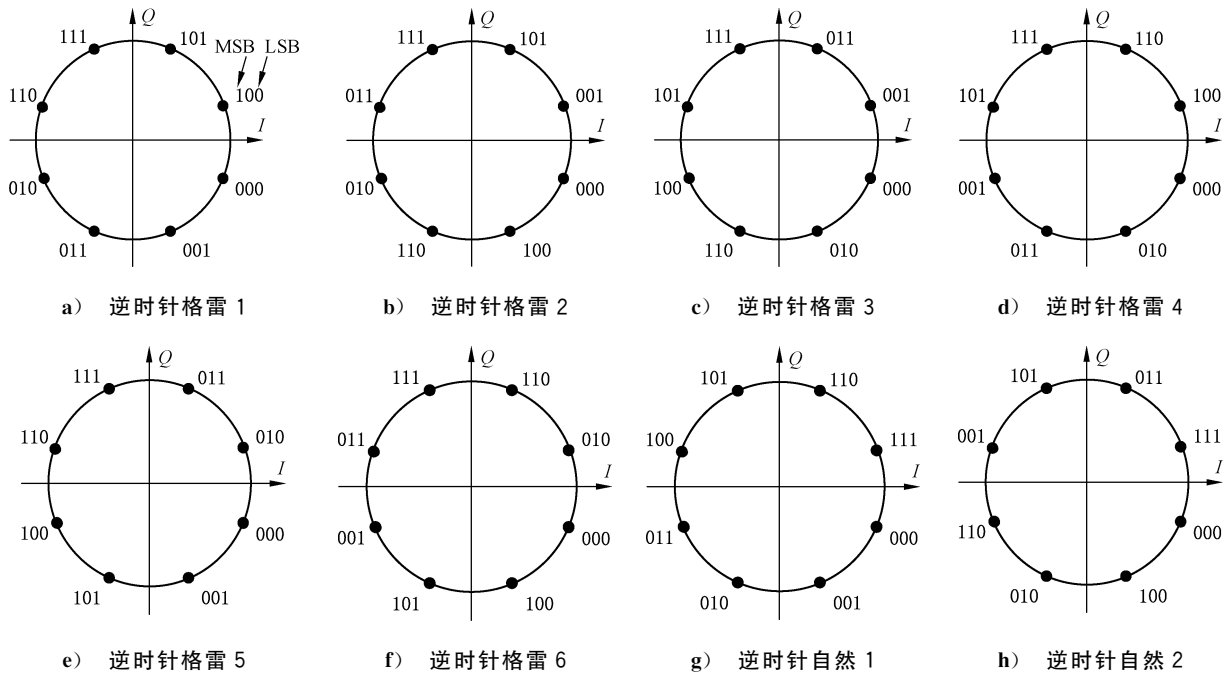


图 A.2 8PSK 调制方式的星座映射

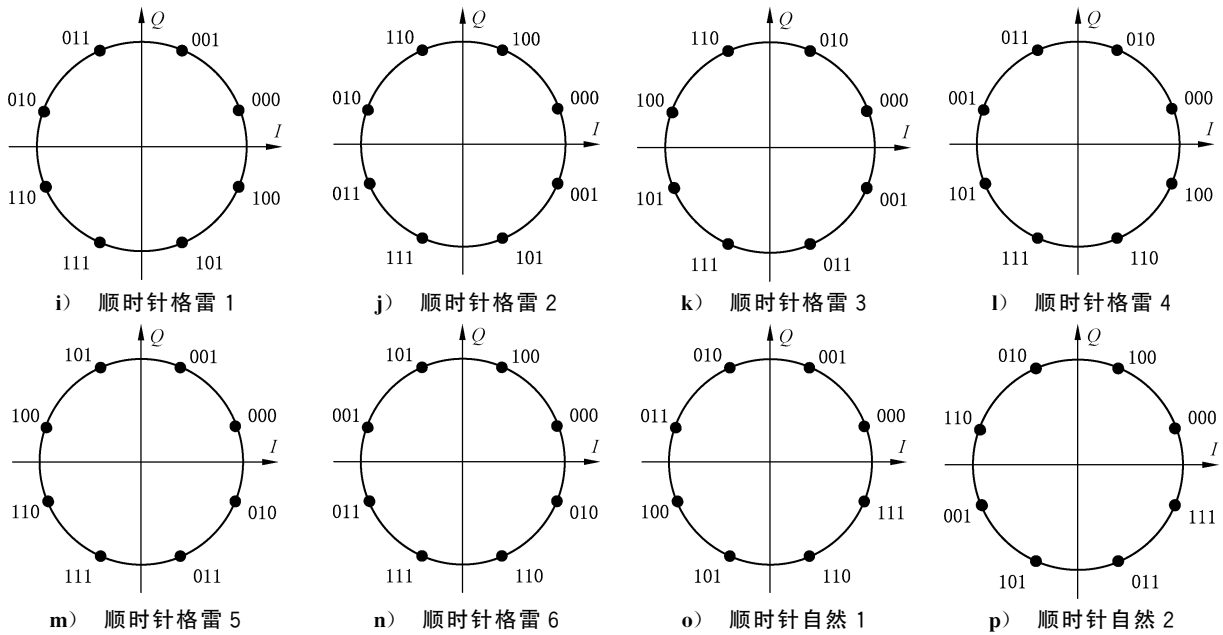


图 A.2 8PSK 调制方式的星座映射 (续)

A.3 16QAM 调制方式的星座映射

16QAM 调制方式的星座映射应从以下 3 种星座映射中选取,如图 A.3 所示,推荐选用映射 2。

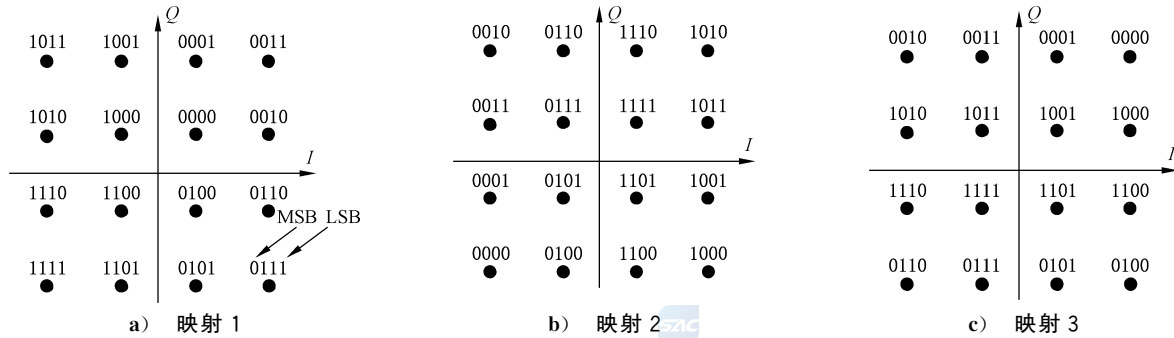


图 A.3 16QAM 调制方式的星座映射

A.4 16APSK 调制方式的星座映射

16APSK 调制方式的星座映射应从以下 2 种星座映射中选取,如图 A.4 所示,推荐选用映射 1。16APSK 半径比见 CCSDS 131.2-B-2 中 5.2.3.3.3 的相关内容。

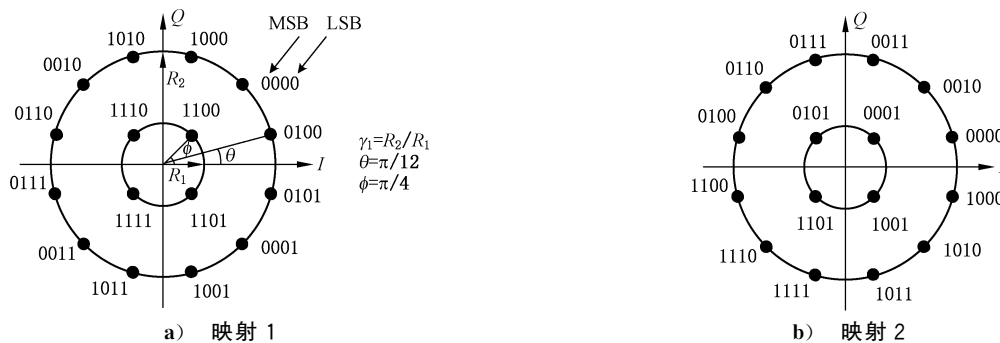


图 A.4 16APSK 调制方式的星座映射

A.5 32APSK 调制方式的星座映射

32APSK 调制方式的星座映射如图 A.5 所示。32APSK 半径比见 CCSDS 131.2-B-2 中 5.2.3.3.3 的相关内容。

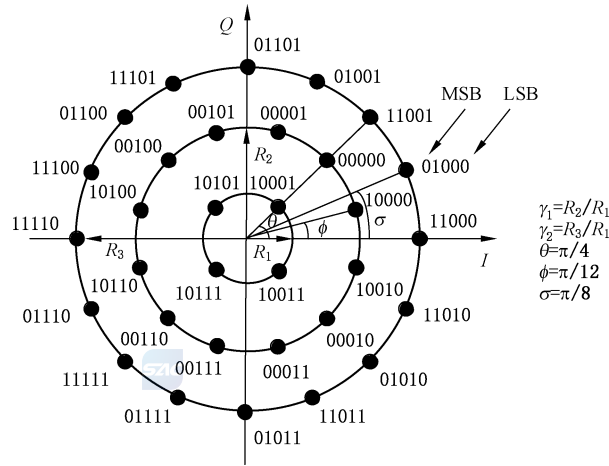


图 A.5 32APSK 调制方式的星座映射

A.6 64APSK 调制方式的星座映射

64APSK 调制方式的星座映射如图 A.6 所示。64APSK 半径比见 CCSDS 131.2-B-2 中 5.2.3.3.2 的相关内容。

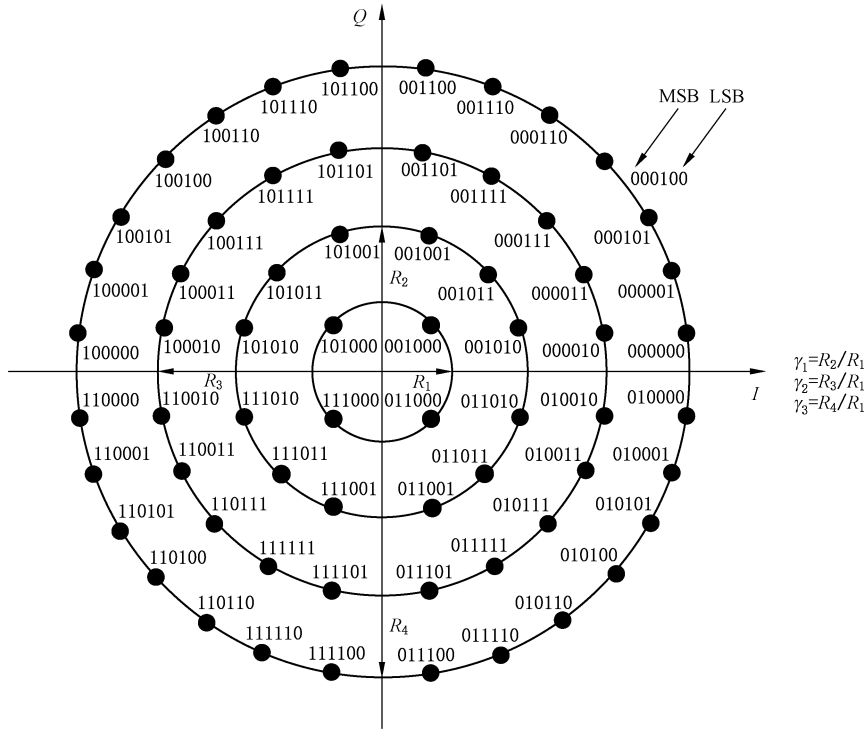


图 A.6 64APSK 调制方式的星座映射

## A.7 64QAM 调制方式的星座映射

64QAM 调制方式的星座映射如图 A.7 所示。

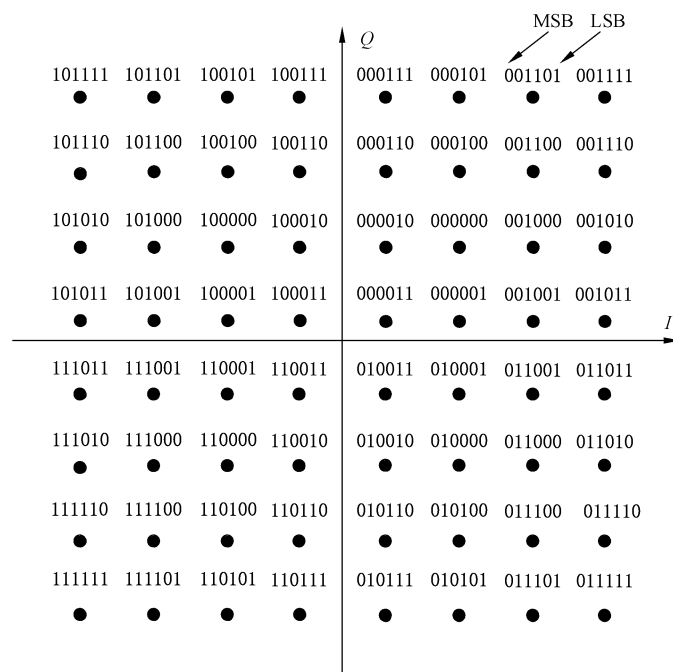


图 A.7 64QAM 调制方式的星座映射

**附 录 B**  
(规范性)  
**差分编码定义**

对于差分编码 DNRZ(I+Q),其 I 路和 Q 路的数学表达式见公式(B.1)和公式(B.2):

$$I_{out} = I_{in} Q_{in} I_{out-1} + \bar{I}_{in} Q_{in} \bar{Q}_{out-1} + \bar{I}_{in} \bar{Q}_{in} \bar{I}_{out-1} + I_{in} \bar{Q}_{in} Q_{out-1} \dots\dots\dots (B.1)$$

$$Q_{out} = I_{in} Q_{in} Q_{out-1} + \bar{I}_{in} Q_{in} I_{out-1} + \bar{I}_{in} \bar{Q}_{in} \bar{Q}_{out-1} + I_{in} \bar{Q}_{in} \bar{I}_{out-1} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

- $I_{in}$  ——当前时刻 I 路编码输入;
- $Q_{in}$  ——当前时刻 Q 路编码输入;
- $I_{out-1}$  ——上一时刻 I 路编码输出;
- $Q_{out-1}$  ——上一时刻 Q 路编码输出;
- $I_{out}$  ——当前时刻 I 路编码输出;
- $Q_{out}$  ——当前时刻 Q 路编码输出。

式中的  $I_{in}$  和  $Q_{in}$  分别替换为  $\bar{I}_{in} + Q_{in}$ 、 $I_{in} + \bar{Q}_{in}$ 、 $\bar{I}_{in} + \bar{Q}_{in}$ 、 $Q_{in} + I_{in}$ 、 $\bar{Q}_{in} + I_{in}$ 、 $Q_{in} + \bar{I}_{in}$ 、 $\bar{Q}_{in} + \bar{I}_{in}$ ,即可得到 DNRZ( $\bar{I}+Q$ )、DNRZ( $I+\bar{Q}$ )、DNRZ( $\bar{I}+\bar{Q}$ )、DNRZ( $Q+I$ )、DNRZ( $\bar{Q}+I$ )、DNRZ( $Q+\bar{I}$ )、DNRZ( $\bar{Q}+\bar{I}$ )等 7 种差分编码。



附录 C  
(规范性)  
加扰结构

C.1 移位寄存器输出的加扰

GB/T 39348—2020 中 11.4 规定的加扰结构为移位寄存器输出,如图 C.1 所示。加扰多项式为  $h(x) = x^8 + x^7 + x^5 + x^3 + 1$ 。

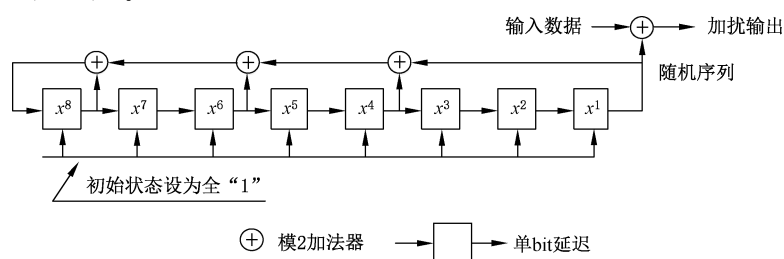


图 C.1 移位寄存器输出结构示意图

加扰多项式对应系数为 1 1010 1001(寄存器数据流向为从  $x^8 \sim x^1$ ,  $x^8$  为高位),如图 C.2 所示,因此加扰多项式表示为 0x1A9。

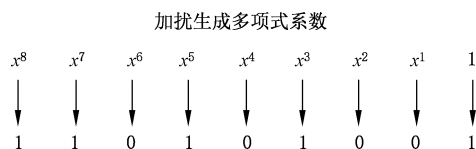


图 C.2 加扰多项式系数

寄存器初始状态为全 1,如图 C.3 所示,因此加扰初相表示为 0xFF。

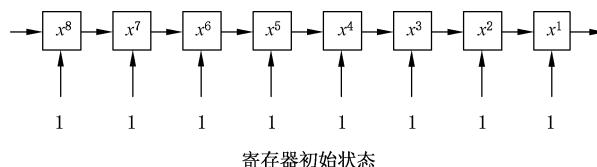


图 C.3 加扰初始状态

C.2 反馈输出的加扰

GY/T 338—2020 中 6.2.3 规定的加扰结构为反馈输出,如图 C.4 所示,加扰多项式为  $h(x) = 1 + x^{14} + x^{15}$ 。



图 C.4 反馈输出结构示意图

加扰多项式对应系数为 1000 0000 0000 0011(寄存器数据流向为从  $1 \sim x^{15}$ , 1 为高位), 如图 C.5 所示, 因此加扰多项式表示为  $0x8003$ 。

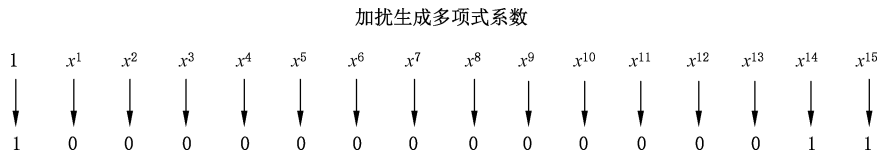


图 C.5 加扰多项式系数

寄存器初始状态为 100 1010 1000 0000, 如图 C.6 所示, 因此加扰初相表示为  $0x4A80$ 。

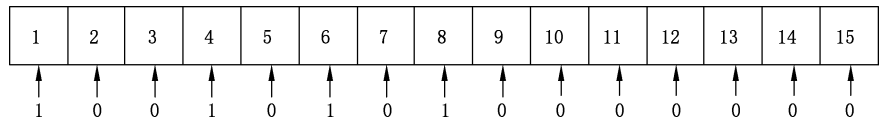


图 C.6 加扰初始状态



附 录 D  
(规范性)  
调制编码组合

调制编码组合见表 D.1。

表 D.1 调制编码组合

序号	调制方式	编码方式
1	BPSK	不编码
2		卷积 1/2、卷积 3/4
3		RS(255,223)、RS(255,239)
4		卷积 1/2、卷积 3/4+RS(255,223)、RS(255,239)
5		LDPC(8160,7136)
6	QPSK	不编码
7		卷积 1/2、卷积 3/4
8		RS(255,223)、RS(255,239)
9		卷积 1/2、卷积 3/4+RS(255,223)、RS(255,239)
10		LDPC(8160,7136)
11	OQPSK	不编码
12		卷积 1/2、卷积 3/4
13		RS(255,223)、RS(255,239)
14		卷积 1/2、卷积 3/4+RS(255,223)、RS(255,239)
15		LDPC(8160,7136)
16	8PSK	LDPC(8160,7136)
17	16QAM	LDPC(8160,7136)
18	16APSK	LDPC(8160,7136)
19	32APSK	LDPC(8160,7136)
20	64APSK	LDPC(8160,7136)
21	64QAM	LDPC(8160,7136)

**附 录 E**  
(规范性)  
**数据操作流程**

数据操作流程按以下操作执行。

- a) 数据操作流程 1: 主要包含 RS 编码(可选)、编码后加扰(可选)、数据组帧、码型变换(NRZ-L/M/S)和 BPSK 调制等处理过程, 见图 E.1。

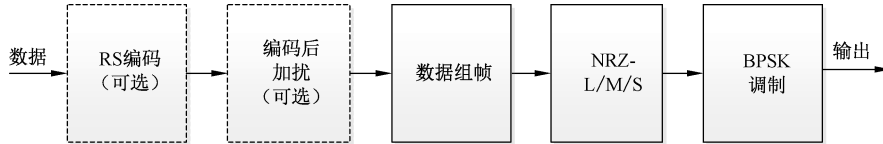


图 E.1 数据操作流程 1

- b) 数据操作流程 2: 主要包含 RS 编码(可选)、编码后加扰(可选)、数据组帧、码型变换(NRZ-L/M/S)、卷积编码和 BPSK 调制等处理过程, 见图 E.2。

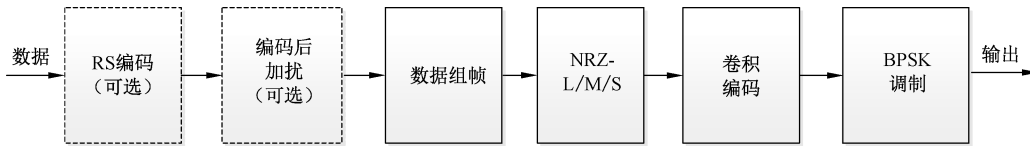
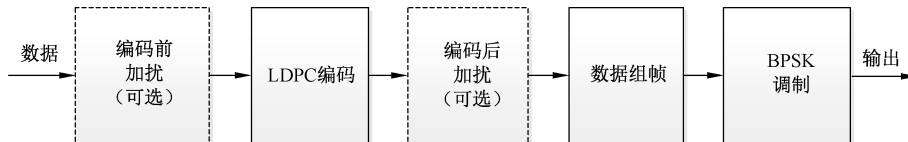


图 E.2 数据操作流程 2

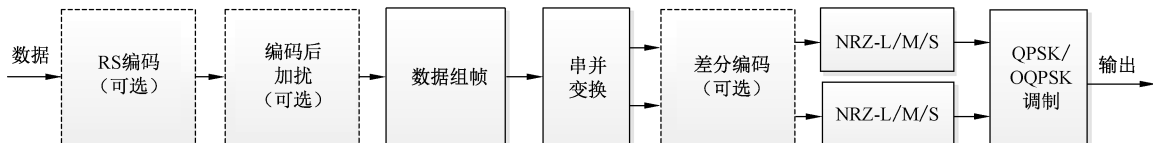
- c) 数据操作流程 3: 主要包含编码前加扰(可选)、LDPC 编码、编码后加扰(可选)、数据组帧和 BPSK 调制等处理过程, 见图 E.3。



注 1: LDPC 编码不与差分编码或码型变换同时使用。

图 E.3 数据操作流程 3

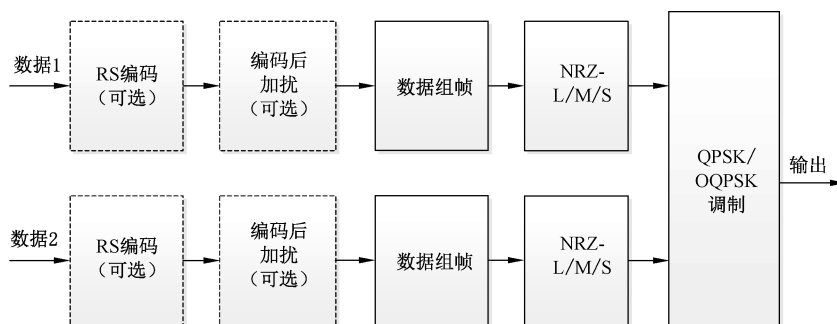
- d) 数据操作流程 4: 主要包含 RS 编码(可选)、编码后加扰(可选)、数据组帧、串并转换、差分编码(可选)、码型变换(NRZ-L/M/S)和 QPSK/OQPSK 调制等处理过程, 见图 E.4。



注 2: 差分编码只在 NRZ-L 码型下使用。

图 E.4 数据操作流程 4

- e) 数据操作流程 5: 主要包含 RS 编码(可选)、编码后加扰(可选)、数据组帧、码型变换(NRZ-L/M/S)和 QPSK/OQPSK 调制等处理过程, 见图 E.5。



注 3: IQ 支路一般情况下采用不同的帧同步字。

图 E.5 数据操作流程 5

f) 数据操作流程 6: 主要包含 RS 编码(可选)、编码后加扰(可选)、数据组帧、码型变换(NRZ-L/M/S)、卷积编码和 QPSK/OQPSK 调制等处理过程, 见图 E.6。

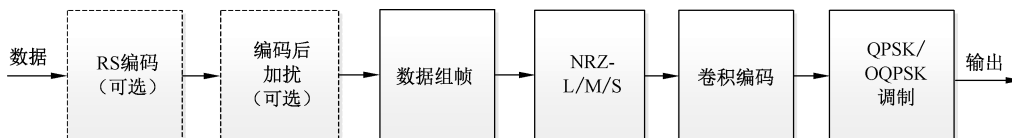
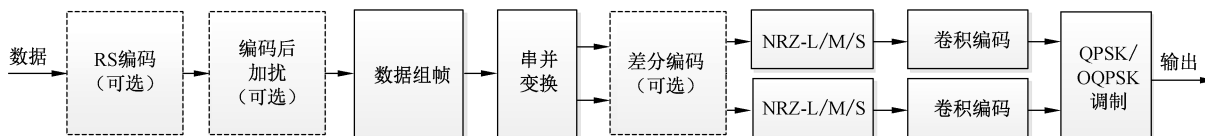


图 E.6 数据操作流程 6

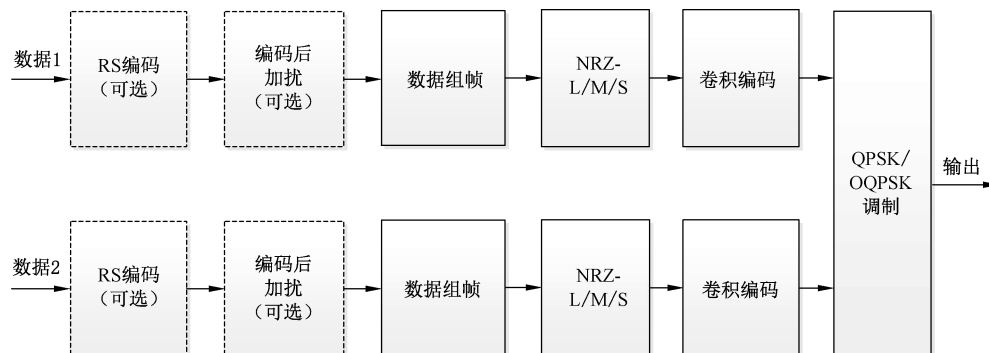
g) 数据操作流程 7: 主要包含 RS 编码(可选)、编码后加扰(可选)、数据组帧、串并转换、差分编码(可选)、码型变换(NRZ-L/M/S)、卷积编码分路和 QPSK/OQPSK 调制等处理过程, 见图 E.7。



注 4: 差分编码只在 NRZ-L 码型下使用。

图 E.7 数据操作流程 7

h) 数据操作流程 8: 主要包含 RS 编码(可选)、编码后加扰(可选)、数据组帧、码型变换(NRZ-L/M/S)、卷积编码分路和 QPSK/OQPSK 调制等处理过程, 见图 E.8。



注 5: IQ 支路一般情况下采用不同的帧同步字。

图 E.8 数据操作流程 8

i) 数据操作流程 9: 主要包含编码前加扰(可选)、LDPC 编码、编码后加扰(可选)、数据组帧和 QPSK/OQPSK 调制等处理过程, 见图 E.9。

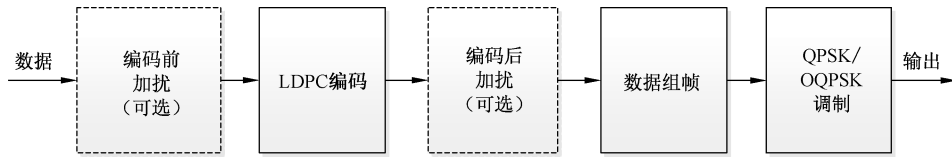
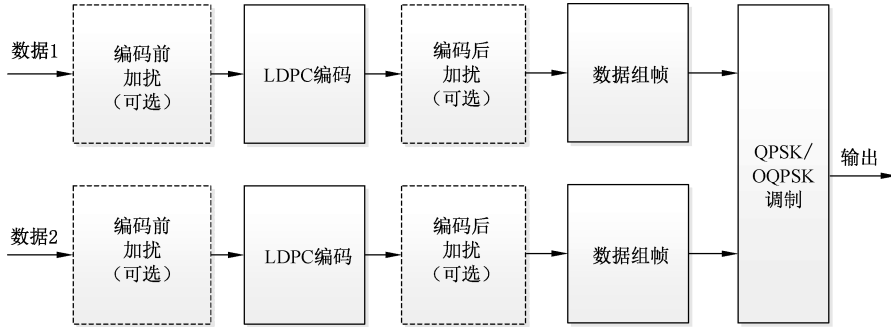


图 E.9 数据操作流程 9

j) 数据操作流程 10: 主要包含编码前加扰(可选)、LDPC 编码、编码后加扰(可选)、数据组帧和 QPSK/OQPSK 调制等处理过程, 见图 E.10。



注 6: IQ 两支路一般情况下采用不同的帧同步。

图 E.10 数据操作流程 10

k) 数据操作流程 11: 主要包含编码前加扰(可选)、LDPC 编码、编码后加扰(可选)、数据组帧和 8PSK/16QAM/16APSK/32APSK/64APSK/64QAM 调制等处理过程, 见图 E.11。



图 E.11 数据操作流程 11

参 考 文 献

- [1] CCSDS 131.2-B-2 Flexible advanced coding and modulation scheme for high rate telemetry applications
-







