

ETSI 卫星测控标准与商业卫星测控体制研究

闫建华, 李小梅, 张 涛
(北京遥测技术研究所 北京 100094)

摘要: 在研究欧洲电信标准化协会 (ETSI) 卫星测控系列标准的基础上, 针对我国商业卫星测控的现状与特点, 对国内商业卫星的测控体制进行初步的探讨和研究, 包括调制体制、测量方式、数据帧结构及典型应用场景分析等方面。

关键词: ETSI 标准; 商业航天; 卫星测控

中图分类号: TN927+.2 **文献标识码:** A **文章编号:** CN11-1780(2020)06-0020-10

Research on ETSI TCR standards and TT&C system of commercial satellite

YAN Jianhua, LI Xiaomei, ZHANG Tao
(Beijing Research Institute of Telemetry, Beijing 100094, China)

Abstract: In the recent years, many companies have come up with ambitious commercial satellite launch plans. However, at the current stage, tracking telemetry and command (TT&C) of these satellites relies heavily on China's TT&C network. The service supplied by China's TT&C network for commercial satellite is limited and very expensive. Therefore, a commercial satellite network is urgently to be developed. This paper researches on the European Telecommunication Standards Institute (ETSI) Telemetry Command and Ranging (TCR) standards, and discusses on the TT&C network of commercial satellites, including modulation, ranging, data framing, analysis of typical scenarios, etc.

Key words: ETSI standards; Commercial space; TT&C

引 言

近年来, 国内外商业航天发展如火如荼, 涌现出了一大批商业航天公司, 给世界航天产业注入了新的发展活力。目前, 国内商业航天还处于起步阶段, 特别是作为航天工程重要组成部分的卫星、火箭等航天器测控领域, 鲜有公司涉猎。卫星应用方的测控需求, 目前主要有两个解决途径: 一是依赖于国家航天测控网, 二是一些在轨卫星数量不多的卫星公司以自己建站的方式完成自有卫星的测控。国家航天测控网能为商业卫星提供的测控服务十分有限, 且价格昂贵; 自己建站同样成本高昂, 且覆盖范围小, 效率很低, 特别是当卫星数量上升后, 卫星公司无力承担所有站点和人员的投入成本。基于此, 国内已有公司专门从事航天器测控服务, 如天链测控技术有限公司, 据报道, 其已建成六个国内地面测控站, 一个海外地面测控站, 并在同步建设多个海外地面站及海上船载站^[1]。可以预见, 未来将会有更多的公司开展卫星测控业务, 亟需一套我国自主知识产权的商业卫星测控体制。本文在研究欧洲电信标准化协会 (ETSI) 发布的一系列测控标准的基础上, 对国内商业卫星的测控体制进行初步的探讨。

ETSI 对通信卫星的遥测、遥控、测量 (TCR) 的标准化制定始于本世纪初, 并于 2001 年 9 月发布了技术报告《ETSI TR 101 956 v1.1.1》^[2]。这一报告主要是对应用于地球同步轨道通信卫星的遥测、遥控、测量 (TCR) 的扩频技术分析, 给出了卫星不同操作场景下的 TCR 解决方案。2002 年 6 月, ETSI 发布了第一个标准《ETSI EN 301 926 v1.2.1》^[3], 这一标准同样是针对地球同步轨道通信卫星的, 主要是对卫星遥测、遥控、测量的调制方式与射频信号制定了标准。经过十多年的发展, ETSI 于 2015 年

5月启动了对标准的修订,并于2017年10月发布了标准修订版《ETSI EN 301 926 v1.3.1》^[4]。修订版v1.3.1与v1.2.1主要区别见表1。2018年12月,ETSI发布了标准修订版的补充说明《ETSI TR 103 956 v1.1.1》^[5],主要描述了频率规划、应用场景、扩频调制、PM/FM调制以及编码和交织等内容的修改情况,将CCSDS关于同步和信道编码的标准^[6,7]合并进来。本文主要对修订版标准及其补充说明进行了研究。

表1 标准修订版v1.3.1与v1.2.1主要区别
Table 1 The main differences between v1.3.1 and v1.2.1

	ETSI EN 301 926 v1.2.1	ETSI EN 301 926 v1.3.1
频率规划	C频段: 上行: 5850MHz; 6725MHz; 下行: 3400MHz; 4200MHz; Ku频段: 上行: 12750MHz; 14800MHz; 17300MHz; 18100MHz; 下行: 10700MHz; 12750MHz。	C频段: 上行: 5725MHz~7025MHz 下行: 3400MHz~4200MHz 4500MHz~4800MHz Ku频段: 上行: 12750MHz to 13250MHz, 13750MHz to 14800MHz, 17300MHz to 18400MHz; 下行: 10700MHz to 12750MHz, 13400MHz to 13650MHz; 商用Ka频段: 上行: 27500MHz to 30000MHz, 下行: 17700MHz to 20200MHz; 建议步进 100kHz。
应用场景 扩频调制	地球同步轨道卫星(GEO)的遥测、遥控和测距	新增LEOP轨道和其他非地球同步轨道卫星 扩展为嘛序列族; 新增MTC3模式; IQ功率比由10:1扩展为10:1~1:1 新增对带外抑制和杂散的要求。
编码	卷积编码(7, 1/2)	上行: 新增BCH(63, 56)、 卷积(7, 1/2)+BCH(63, 56)级联、LDPC 下行: 新增卷积(7, 1/2)、RS、Turbo、 LDPC、卷积+RS级联

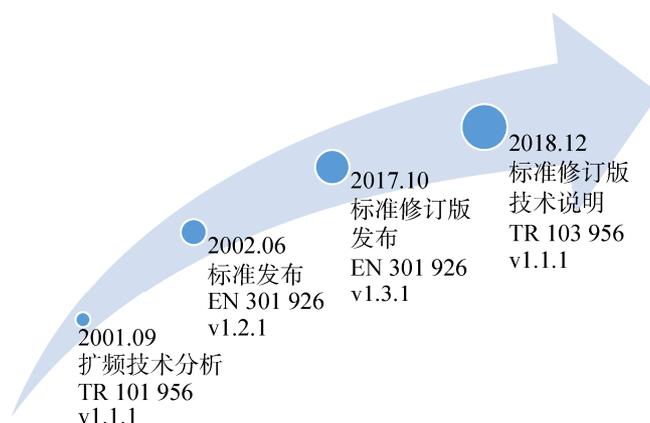


图1 ETSI通信卫星TCR标准化发展

Fig. 1 The development of ETSI standardization of TCR system of communication satellites

1 ETSI 修订版标准及其补充说明的研究

2017 年 10 月发布的修订版标准《ETSI EN 301 926 v1.3.1》是由 ETSI 委员会针对卫星地球站和系统 (SES) 拟制并发布的。此标准适用于地球同步静止轨道 (GSO) 和非地球同步静止轨道 (NGSO) 通信卫星的遥测、遥控和测距, 对标准体制和扩频体制各方面提出了要求, 并对不同的应用场景给出了配置建议。

表 2 不同体制功能配置

Table 2 Modulation modes and potential configurations

功能 \ 体制	标准体制 (兼容以前的系统)	扩频体制
遥测	MTM1: PCM-BPSK-PM	MTM2: PCM-SRRC-OQPSK (相干模式) MTM3: PCM-SRRC-OQPSK (非相干模式)
遥控	MTC1: PCM-BPSK-PM、 PCM-BPSK-FM、PCM(SP-L)-PM	MTC2: PCM-SRRC-UQPSK MTC3: PCM-SRRC-UQPSK
测距	标准测距: MTM1+MTC1	扩频测距: MTC2/3+MTM2 混合测距: MTC2/3+MTM1

1.1 标准体制

标准体制上下行信号采用多副载波 PM/FM 调制方式, 采用侧音测距方式, 主要是为兼容上一版标准而保留的。其功能如图 2 所示。

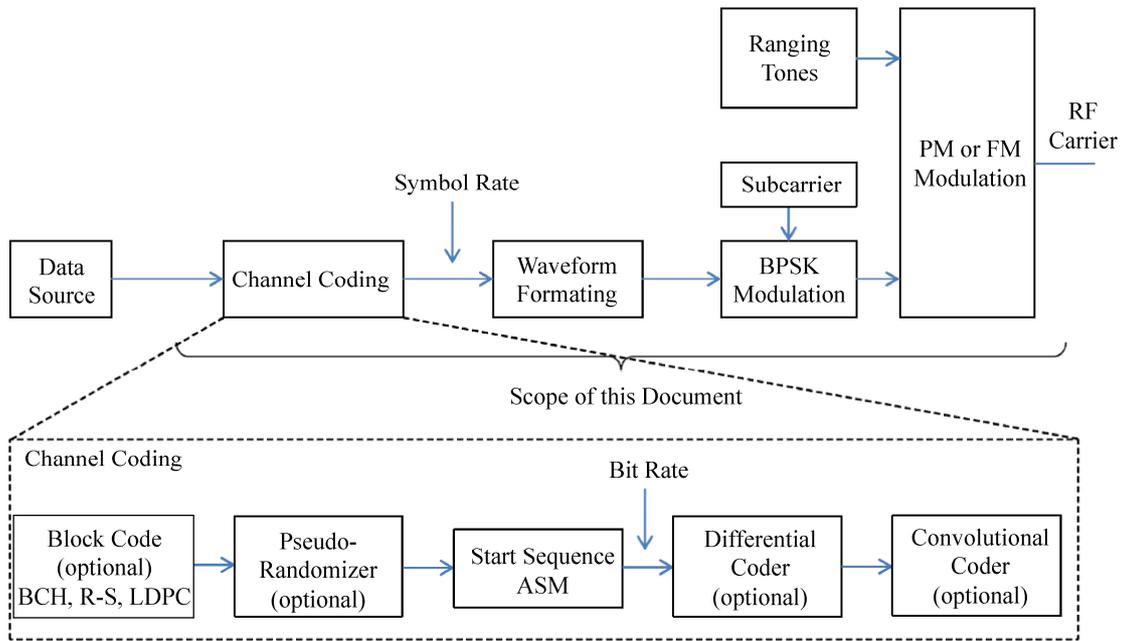


图 2 标准体制功能

Fig. 2 Functional stages of transmit chain for FM/PM modulation (MTC1/MTM1)

标准体制下对信号的要求如表 3 所示。

此外, 标准还对符号传输密度、调制线性度、残留载波、带外抑制等作了要求。

1.2 扩频体制

扩频体制采用直接序列扩频方式, 根据应用场景的不同, 上行链路分为 MTC2 和 MTC3 两种模式, 下行链路分为 MTM2 和 MTM3 两种模式。其中, MTC2 是 2002 年第一版标准中采用的上行链路模式; MTC3 是 2017 年第二版标准中新增加的模式, 可用于存在严重多址干扰的环境; MTM2 为上下行相干模式, 即下行长码是上行长码的接收转发, 两者同步; MTM3 为上下行非相干模式, 即下行长码为

应答机本地产生，与上行长码相互独立；正常情况下使用 MTM2 模式，在上下行链路不同步时使用 MTM3 模式。各模式的功能如图 3~图 5 所示。

表 3 标准体制信号主要参数要求

Table 3 Parameters of FM/PM modulation modes

调制模式	遥测	遥控	测距
调制模式	MTM1	MTC1	MTC1+MTM1
数据 PCM 码型和速率	NRZ-L/NRZ-M/SP-L: 1ksps~64ksps	NRZ-L/NRZ-M: 250sps~4000sps; SP-L: 8ksps~64ksps	-
副载波频率	2kHz~300kHz	8kHz 或 16kHz	2kHz~500kHz
FM 调制频偏	-	最高±400kHz	最高±400kHz
上行 PM 调制度	-	PCM-BPSK-PM:0.2~1.4 SP-L:0.2~1.0	0.2~1.4
下行 PM 调制度	0.1~1.5	-	0.01~1.5

备注：①遥测、遥控的码元和副载波是相干的，副载波频率是码元符合速率的整数倍(4~1024)。②遥控数据选择 SP-L 码时，调制方式为 PCM-PM。③遥控码速率为 4000sps 时，副载波频率为 16kHz；否则副载波频率为 8kHz。

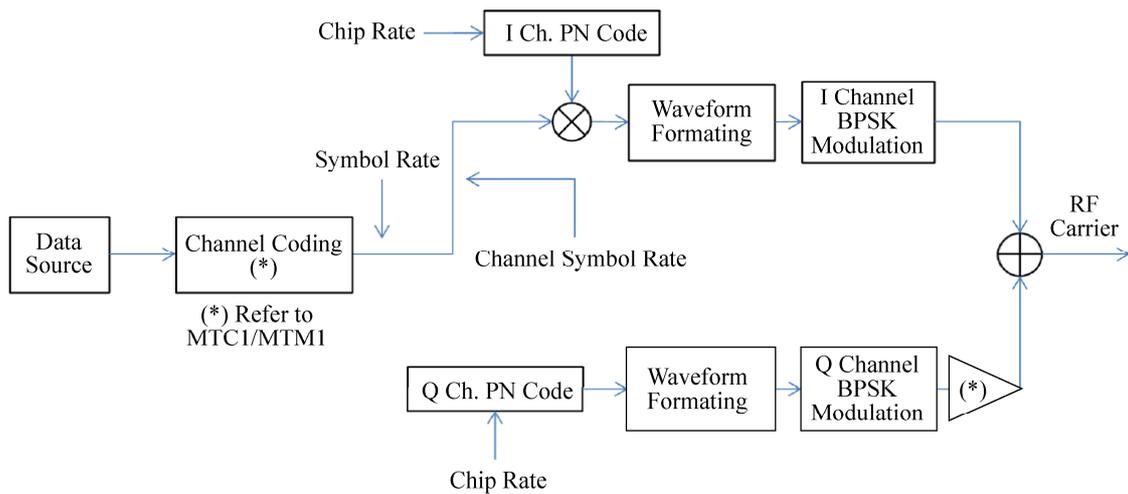


图 3 MTC2 体制功能

Fig. 3 Functional stages of transmit chain for spread spectrum modulation MTC2

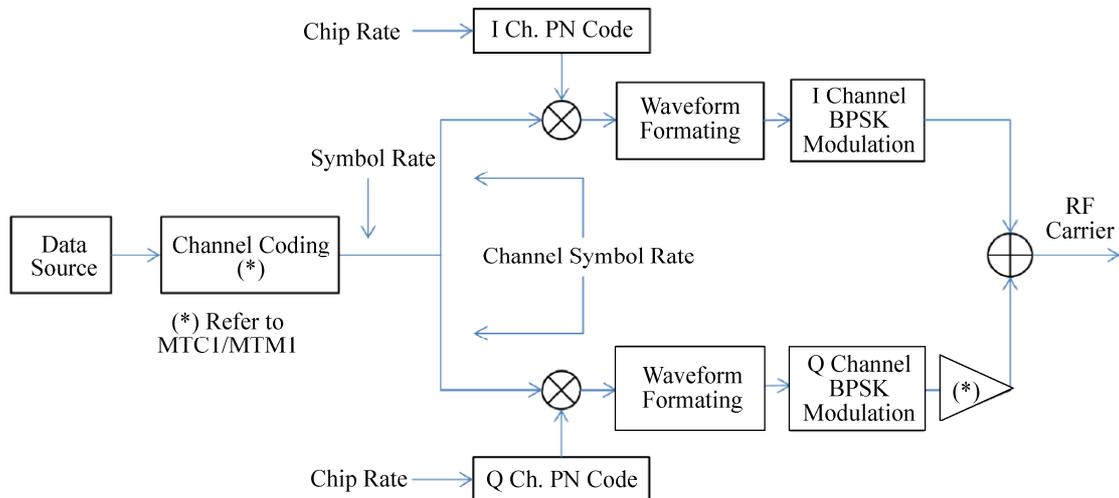


图 4 MTC3 模式功能

Fig. 4 Functional stages of transmission chain for spread spectrum modulation MTC3

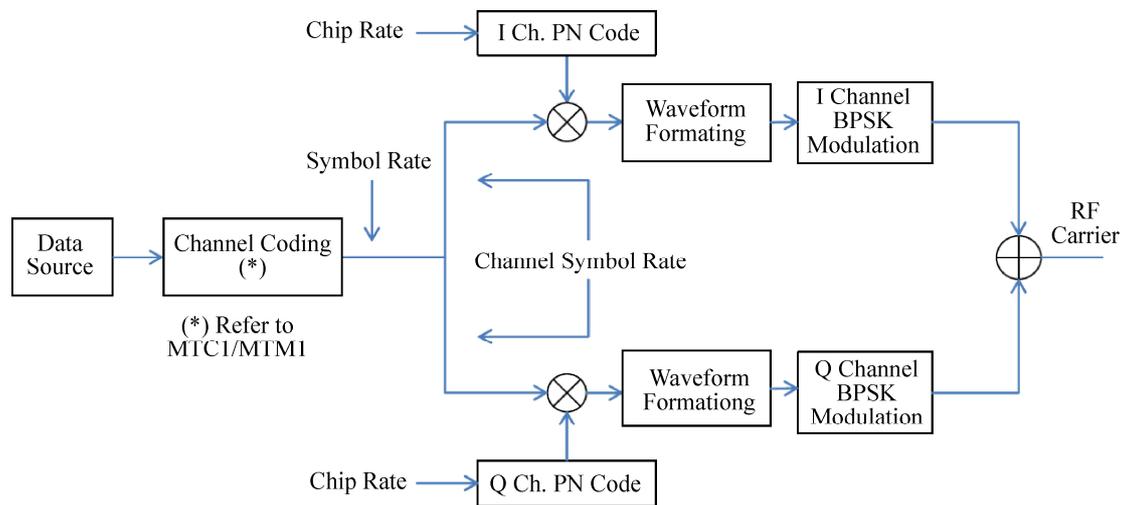


图 5 MTM2/MTM3 模式功能框图

Fig. 5 Functional stages of transmission chain for spread spectrum modulation MTM2/MTM3

扩频体制主要参数要求如表 4 所示。

表 4 扩频体制信号主要参数要求

Table 4 Parameters of spread spectrum link modulation modes

	上行链路		下行链路	
	MTC2	MTC3	MTM2	MTM3
符号速率	0.1ksps~300ksps	0.1ksps~300ksps	0.1ksps~300ksps	0.1ksps~300ksps
I 路符合速率	=符号速率	=符号速率	=符号速率	=符号速率
Q 路符合速率	仅伪码	=I 路符号速率	=I 路符号速率	=I 路符号速率
码型	NRZ-L, NRZ-M	NRZ-L, NRZ-M	NRZ-L, NRZ-M	NRZ-L, NRZ-M
I 路伪码	Gold 码	捕获: Gold 码 跟踪: 截短 m 序列 或截短 Gold 码序列	截短 m 序列	Gold 码
I 路伪码长	$2^n-1, n=9\sim 12$	捕获: $2^n-1, n=9\sim 12$; 跟踪: $(2^n-1)\times 2^m,$ $n=9\sim 12, m=6\sim 12$	$(2^n-1)\times 2^m,$ $n=9\sim 12, m=6\sim 12$	$2^n-1, n=9\sim 12$
I 路码元参考	无	无	MTC2 模式下接收的 Q 路码元	无
Q 路伪码	截短 m 序列或 截短 Gold 码序列	截短 m 序列或 截短 Gold 码序列	截短 m 序列或 截短 Gold 码序列	Gold 码
Q 路伪码长	$(2^n-1)\times 2^m,$ $n=9\sim 12, m=6\sim 12$	$(2^n-1)\times 2^m,$ $n=9\sim 12, m=6\sim 12$	$(2^n-1)\times 2^m,$ $n=9\sim 12, m=6\sim 12$	$2^n-1, n=9\sim 12$
Q 路码元参考	I 路码元	I 路码元	MTM2 模式下关于 I 路 x+ 1/2 chips 延迟(x>20000)	关于 I 路 1/2 chip 延迟
扩频码速率	0.5~10Mcps	0.5~10Mcps	与接收码速率相等	0.5~10Mcps
调制方式	SRRC-UQPSK	捕获: SRRC-UQPSK 跟踪: SRRC-QPSK	SRRC-OQPSK	SRRC-OQPSK
I/Q 功率比	10:1~1:1	捕获: 10:1~1:1 跟踪: 1:1	1:1	1:1
测距	支持	支持	支持	不支持
编译码	BCH(63,56)、 1/2 卷积+BCH(63,56) 级联码、LDPC 码	BCH(63,56)、 1/2 卷积+BCH(63,56) 级联码、LDPC 码	1/2 卷积、RS 码、 Turbo 码、LDPC 码、 1/2 卷积+RS 级联码	1/2 卷积、RS 码、 Turbo 码、LDPC 码、 1/2 卷积+RS 级联码

备注: 编译码采用 CCSDS 231.0-B-x 和 CCSDS 131.0-B-x 标准中推荐的格式。

上行链路在使用 MTC2 模式时, 在捕获阶段, I 路使用短码 Q 路使用长码, 在此阶段不发有效数据; 一旦捕获完成载波锁定进入跟踪阶段, 数据便调制到 I 路。

上行链路在使用 MTC3 模式时, 在捕获阶段, I 路使用短码 Q 路使用长码, 在此阶段不发有效数据, I/Q 功率比为 10:1; 在跟踪阶段, I 路也使用长码, Q 路不变, I/Q 功率比为 1:1。

1.3 典型应用场景

在通信卫星整个生命周期中, 根据其面临的不同电磁环境, 可分为五个不同的阶段: 发射与早期轨道段 (LEOP)、轨道上升段、漂移轨道段 (指卫星从远地点进入同步轨道阶段)、在轨正常运行和在轨应急处理。针对每一阶段的特点, 配置不同的测控体制、频点等设置。在标准中, 给出了一个基本配置方案和四个可选配置方案。

1.3.1 基本配置方案

基本配置方案上下行均采用扩频体制, 星上配置一个收发信机或两个独立的接收机和发射机, 实现上行信号的接收解调与下行信号的调制发射。具体配置方案见表 5。

表 5 基本配置方案

	LEOP 开始阶段	LEOP、远地点	漂移轨道段	在轨正常运行	在轨应急处理
遥控		MTC2 或 MTC3		MTC2 或 MTC3	MTC2 或 MTC3
遥测		MTM2 或 MTM3		MTM2 或 MTM3	MTM2 或 MTM3
测距		与遥测、遥控相同		与遥测、遥控相同	与遥测、遥控相同

1.3.2 可选配置方案一

可选配置方案一上下行均采用扩频和调频/调相双模式。具体配置方案见表 6。

表 6 可选配置方案一

	LEOP 开始阶段	LEOP、远地点	漂移轨道段	在轨正常运行	在轨应急处理
遥控	扩频: MTC2 或 MTC3 PM/FM: MTC1			扩频: MTC2 或 MTC3	扩频: MTC2 或 MTC3 PM/FM: MTC1
遥测	扩频: MTC2 或 MTC3 PM: MTM1			扩频: MTM2 或 MTM3	扩频: MTC2 或 MTC3 PM/FM: MTC1
测距	扩频: 上行 MTC2 或 MTC3、 下行 MTM2 或 MTM3 (注 1) 上行调频/调相 MTC1、 下行调相 MTM1			与遥测、 遥控相同 (注 1)	扩频: 上行 MTC2 或 MTC3、 下行 MTM2 或 MTM3 (注 1) 上行调频/调相 MTC1、 下行调相 MTM1

注 1: 遥控和测距可同时完成。

1.3.3 可选配置方案二

可选配置方案二上行采用扩频和调频/调相双模式, 下行采用调相体制。具体配置方案见表 7。

表 7 可选配置方案二

	LEOP 开始阶段	LEOP、远地点	漂移轨道段	在轨正常运行	在轨应急处理
遥控		扩频: MTC2 PM/FM: MTC1		扩频: MTC2	扩频: MTC2 PM/FM: MTC1
遥测		PM: MTM1		PM: MTM1	PM: MTM1
测距		与遥测、遥控相同 (注 1)		与遥测、遥控相同	与遥测、遥控相同

注 1: 测距采用侧音测距或混合测距。

1.3.4 可选配置方案三

可选配置方案三在可选配置方案二的基础上,增加了一路下行扩频信号,用于测距。则测距采用扩频测距,而不是混合测距。具体配置方案见表 8。

表 8 可选配置方案三

Table 8 Configuration alternative 3

LEOP 开始阶段	LEOP、远地点	漂移轨道段	在轨正常运行	在轨应急处理
遥控	扩频: MTC2 PM/FM: MTC1		扩频: MTC2	扩频: MTC2 PM/FM: MTC1
遥测	PM: MTM1		PM: MTM1	PM: MTM1
测距	扩频: 上行 MTC2, 下行 MTM2 (注 1、注 2) 上行调频/调相 MTC1、 下行调相 MTM1		上行 MTC2, 下行 MTM2	扩频: 上行 MTC2, 下行 MTM2 上行调频/调相 MTC1、 下行调相 MTM1

注 1: 遥控和测距可同时完成;

注 2: 用于测量的下行 MTM2 信号中无遥测信息。

1.3.5 可选配置方案四

可选配置方案四用于星上有搭载载荷的情况,在基本配置方案的基础上,上下行采用不同频点收发多路信号。

上行采用扩频和调频/调相双模式,下行采用调相体制。此外,下行增加一路扩频信号,用于测距。具体配置方案见表 9。

表 9 可选配置方案四

Table 9 Configuration alternative 4

LEOP 开始阶段	LEOP、远地点	漂移轨道段	在轨正常运行	在轨应急处理
遥控	扩频: MTC2 或 MTC3		扩频: MTC2 或 MTC3 主载荷和搭载载荷 使用不同的频点	扩频: MTC2 或 MTC3 主载荷和搭载载荷 使用不同的频点
遥测	扩频: MTM2 或 MTM3		扩频: MTM2 或 MTC3 主载荷和搭载载荷 使用不同的频点	扩频: MTC2 或 MTM3 主载荷和搭载载荷 使用不同的频点
测距	与遥测、遥控相同, 搭载载荷无测距		与遥测、遥控相同, 搭载载荷无测距	与遥测、遥控相同, 搭载载荷无测距

注 1: 搭载载荷的遥测、遥控链路只有在在轨阶段才使用。

1.4 修订版标准补充说明《ETSI TR 103 956 v1.1.1》

2018 年发布的这一技术报告对标准中很多内容进行了技术说明或修订,包括频率规划、不同应用场景的操作、搭载载荷的管理、大星座应用、扩频调制、调频和调相调制、编码与交织,详见表 10。

2 对我国商业卫星测控体制的探讨

在对 ETSI 航天测控相关标准研究的基础上,结合我国商业卫星测控的现状与特点,总结我国航天测控网多年实践的经验与成果,对我国商业卫星测控体制进行初步探讨。

2.1 我国商业卫星测控的现状与特点

① 商业卫星数量激增

国内商业航天公司已陆续完成“吉林一号”、“高景一号”、“珠海一号”、“天府军融一号”、“灵巧”通信实验卫星等商业卫星的发射,用以完成科学实验或提供通信、遥感等服务,并规划了庞大的商业星座计划。近年来国内商业卫星发射计划见表 11。

表 10 修订版标准主要内容

	ETSI EN 301 926 v1.3.1	ETSI TR 103 956 v1.1.1
频率规划	C 频段: 上行: 5725MHz~7025MHz 下行: 3400MHz~4200MHz 4500MHz~4800MHz Ku 频段: 上行: 12750MHz to 13250MHz, 13750MHz to 14800MHz, 17300MHz to 18400MHz; 下行: 10700MHz to 12750MHz, 13400MHz to 13650MHz; 商用 Ka 频段: 上行: 27500MHz to 30000MHz, 下行: 17700MHz to 20200MHz; 建议步进 100kHz。	C 频段: 上行: 5850MHz~6725MHz 下行: 3400MHz~4200MHz Ku 频段: 上行: 12750MHz to 14800MHz, 17300MHz to 18100MHz; 下行: 10700MHz to 12750MHz; 商用 Ka 频段: 上行: 27500MHz to 30000MHz, 下行: 17700MHz to 20700MHz;
扩频调制	不同场景下的调制方式及使用的伪码 对码片成形、带外抑制和杂散的要求	扩展了伪码序列族 更新了 MTC3 模式 上行 I/Q 功率比扩展为 10:1~1:1, 下行 I/Q 功率比固定为 1:1 对带外抑制和杂散进行了补充说明 对 PLOPs 进行了补充说明
调频/调相 编码与交织	对 MTM1 和 MTC1 的调制作了规定	对上行副载波频率设置作了补充说明 作了补充说明。

表 11 近年来国内商业卫星发射计划

Table 11 Commercial satellite launch plans in China in recent years

单位	星座规模	星座类型
中国四维	高景一号 (“16+4+4+X” 颗)	遥感
长光卫星公司	吉林一号 (大于 60 颗)	遥感
欧比特公司	珠海一号 (“8+4+2” 颗)	遥感
航天科技	鸿雁星座 (约 300 颗)	通信
航天科工	虹云工程 (156 颗)	通信
信威公司	大于 40 颗	通信
中科院上海小卫星	大于 100 颗	导航增强
湖南天仪研究院	大于 30 颗	科学试验

② 地面测控力量薄弱

与商业卫星如火如荼的井喷式发展相比, 作为商业卫星关键组成的地面系统尤其是地面测控网的建设明显滞后。

目前, 国内所有的卫星测控只能依赖原总装的卫星测控网, 卫星测控网由西安卫星测控中心、多个固定和机动测控站、远洋航天测量船等组成, 功能配备齐全, 可完成高、中、低多种轨道不同类型卫星的测控和长期在轨管理, 在国家历次航天任务中发挥了重要作用。但是, 对于商业卫星而言, 直接使用现有的功能大而全、各项技术指标余量较大的卫星测控网将会大大增加整个商业卫星的运行成本, 并且, 随着各类商业卫星和星座数量的逐年激增, 现有卫星测控网的测控资源将无法满足商业卫星越来越强烈的测控需求, 此外, 受限于“军队全面停止一切有偿服务”等国家政策层面的约束, 现有卫星测控网恐将难以为规模庞大、种类繁多的商业卫星提供长期测控服务。

部分卫星研制单位和用户出于科研或卫星管理方面的需求也分别建设了少量地面站, 主要对部分

卫星进行管理和接收卫星下行数据。除航天测控网之外的地面站, 由卫星研制单位或用户研制建设, 缺乏统一规划, 技术标准不统一, 通常仅用于管理各自的卫星, 测运控能力有限, 利用率低。

③ 卫星运行轨道低, 需全天候测控

从商业航天公司公布的发射计划来看, 未来发射的卫星多为几十颗至上百颗卫星组成的星座, 测控目标数量多。商业卫星多为低轨卫星, 过境时间短、出入站频繁, 需全天候测控。

综上所述, 我国商业航天的发展亟待建成一个覆盖范围广、测控能力强的商业航天测控网, 而这一测控网的建设首先需要测控体制、数据接口等标准来指引。

2.2 我国商业卫星测控体制的探讨

结合我国商业卫星测控的现状与特点, 参考 ETSI 通信卫星测控的系列标准, 对我国商业卫星测控体制作一个初步的研究探讨。商业卫星测控体制建议参数详见表 12。

① 测控频段

优选 Ku/Ka 频段, 此频段最大优点是可用带宽宽, 在保证卫星高容量的情况下, 可提供高速上下行数据传输的能力。S 频段作为备选, 此频段的优点是技术成熟、地面测控设施齐备, 缺点是频带资源紧张, 可用作应急测控。

② 调制体制

优选扩频体制、数传体制, 同时兼容标准体制 PCM-PM/FM。扩频体制具有多目标同时测控的优点, 适用于卫星编队飞行的情况, 此外, 还具有抗干扰、组网简单灵活、系统容量大、成本低等一系列优点; 下行数传体制配合高效纠错码, 可具备很高信息传输速率, 用于遥感等对传信率要求高的场景。

③ 伪码

建议使用 GOLD 码, GOLD 码是自相关特性、互相关特性及实现复杂性等方面表现较平衡的一种码, 在 ETSI 去年发布的标准补充说明中还扩大了这一伪码族, 可见其优异的特性。使用长码扩频, 还可增加多址接入能力。

表 12 商业卫星测控体制建议参数

Table 12 Recommended parameters for commercial satellite TCR system

	上行	下行
频率	Ku 频段: 12750MHz~14800MHz, 17300MHz~18100MHz; Ka 频段: 27500MHz~30000MHz S 频段: (备选) 2025MHz~2100MHz	Ku 频段: 10700MHz~12750MHz; Ka 频段: 17700MHz~20700MHz; S 频段: (备选) 2200MHz~2300MHz
调制体制	优选扩频体制: PCM-SRRC-UQPSK 同时兼容标准体制: PCM-PM/FM	优选扩频体制: PCM-SRRC-UQPSK、 数传体制: PCM-SRRC-QPSK、PCM-8PSK 同时兼容标准体制: PCM-PM/FM
伪码	码型: 短码为 Gold 码截短码 长码为 m 序列截短码 码速率: $1.023 \times n$ Mchp/s ($n=1,2,3...10$)	码型: 短码为 Gold 码截短码 长码为 m 序列截短码 码速率: $1.023 \times n$ Mchp/s ($n=1,2,3...10$)
码型	NRZ-L/M/S	
信息速率	扩频体制: 1kbps~64kbps	扩频体制: 1kbps~64kbps 数传体制: 20kbps~10mbps
编译码	BCH (63,56)、 1/2 卷积+BCH (63,56) 级联码、LDPC 码	1/2 卷积、RS 码、Turbo 码、LDPC 码、 1/2 卷积+RS 级联码
测量	扩频体制相干测量	扩频体制相干测量
角跟踪	程控/数引/单脉冲体制自跟踪	程控/数引/单脉冲体制自跟踪

④遥测、遥控

建议采用基于 AOS 帧结构多功能一体化设计, 支持遥测、遥控、测距、测速及业务功能的融合, 针对低码率和高码率设计, 可按需灵活配置, 以适应不同的卫星应用场景。

⑤测距、测速

与调制体制保持一致, 优选相干扩频模式测距。保留标准侧音测距功能。

⑥角跟踪

跟踪接收机建议使用单脉冲体制, 可满足 Ka 频段的指向精度。

此外, 针对商业航天卫星数量多、轨道周期短、全天候测控的特点, 地面测控站应具备自动化无人值守测控、测控功能/体制快速切换等能力。

3 结束语

本文首先对欧洲 ETSI 系列标准进行了分析和总结, 然后结合国内商业航天测控的特点, 对我国商业航天测控体制进行了探讨研究, 对测控频段、调制体制、遥测、遥控、测量等内容给出了初步的建议。

参考文献

- [1] 银昕. 天链测控: 已能同时服务 20 颗在轨卫星[J]. 中国经济周刊, 2018, 12: 46-47.
- [2] ETSI. Satellite Earth Stations and Systems (SES); technical analysis of spread spectrum solutions for Telemetry Command and Ranging (TCR) of geostationary communications satellites: ETSI TR 101 956 V1.1.1[S]. 2001.
- [3] ETSI. Satellite Earth Stations and Systems (SES); radio frequency and modulation standard for Telemetry, Command and Ranging (TCR) of geostationary communications satellites: ETSI EN 301 926 V1.2.1[S]. 2002.
- [4] ETSI. Satellite Earth Stations and Systems (SES); radio frequency and modulation standard for Telemetry, Command and Ranging (TCR) of communications satellites: ETSI EN 301 926 V1.3.1[S]. 2017.
- [5] ETSI. Satellite Earth Stations and Systems (SES); technical analysis for the radio frequency, modulation and coding for Telemetry Command and Ranging (TCR) of communications satellites: ETSI TR 103 956 V1.1.1[S]. 2018.
- [6] CCSDS. TC synchronization and channel coding: CCSDS 231.0-B-2[S]. 2010.
- [7] CCSDS. TM synchronization and channel coding: CCSDS 131.0-B-2[S]. 2011.
- [8] 徐爱民, 张国亭. 对我国商业航天测控管理有关问题的初步探讨[J]. 飞行器测控学报, 2017, 36(3): 157-163.
XU Aimin, ZHANG Guoting. Discussions on TT&C management of commercial space in China[J]. Journal of Spacecraft TT&C Technology, 2017, 36(3): 157-163.
- [9] 沈淮. 中国商业航天基础、创新、定位与模式之辩[J]. 卫星与网络, 2019(4): 4-6.
- [10] 杨少鲜, 李宏伟. 2019 年中国商业航天发展形势展望[J]. 卫星应用, 2019(4): 48-53.
- [11] 李博, 赵琪. 2018 年国外通信卫星发展综述[J]. 国际太空, 2019, 2: 34-41.
- [12] 原民辉, 刘悦. 世界商业航天发展态势分析[J]. 国际太空, 2018, 10: 11-15.

[作者简介]

闫建华 1987 年生, 硕士, 工程师, 主要研究方向为航天测控、数字信号处理。

李小梅 1980 年生, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为航天测控、数字信号处理。

张涛 1984 年生, 硕士, 工程师, 主要研究方向为航天测控、数字信号处理。