

基于 XTCE 标准的遥测参数装订与核对研究

韩金龙, 陈少山, 张楠, 王宇亮, 符明明, 韦康
(中国西昌卫星发射中心 文昌 571300)

摘要: 面对我国现代航天高密度发射的需求, 精准高效的遥测参数装订与核对尤为重要。本文基于 XTCE 标准定义的遥测参数格式, 构建了 XTCE 标准对遥测参数数据底座, 实现遥测参数的统一标准、统一管理和统一平台。阐述了 XTCE 标准的结构、火箭遥测数据库的生成和数据底座的构造。实现了对大型火箭遥测参数的自动装订, 大幅提高了工作效率。

关键词: 高码速率; 遥测信息; XTCE 标准; 数据底座; 信息管理系统

中图分类号: V557+.3; TP274 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-1000(2023)06-0051-06

DOI: 10.12347/j.ycyk.20230330001

引用格式: 韩金龙, 陈少山, 张楠, 等. 基于 XTCE 标准的遥测参数装订与核对研究[J]. 遥测遥控, 2023, 44(6): 51-56.

Study on telemetry parameter loading and checking based on XTCE

HAN Jinlong, CHEN Shaoshan, ZHANG Nan, WANG Yuliang, FU Mingming, WEI Kang
(Xichang Satellite Launch Center, Wenchang, 571300)

Abstract: In order to meet the needs of high-density launch of modern aerospace, accurate and efficient remote test parameters are increasingly important. Based on the remote test parameter format defined by the XTCE standard, this article builds an XTCE standard for the remote test parameter data base to achieve unified standards, management and platforms for remote test parameters. The structure of the XTCE standard, the generation of the rocket remote test database, and the structure of the data base are all discussed. The automatic binding of large rocket remote test parameters has been achieved, which greatly improves work efficiency.

Keywords: High code rate; Telemetry information; XTCE; Data base; Information management systems

Citation: HAN Jinlong, CHEN Shaoshan, ZHANG Nan, et al. Study on telemetry parameter loading and checking based on XTCE [J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2023, 44(6): 51-56.

引 言

航天发射以科技含量高、风险大著称, 当前我国航天运载火箭型号多、生命周期长, 遥测系统面临着遥测数据量大、信息传递费时费力等困难。在火箭研制、生产、测试发射的生命周期内, 遥测信息的传递方式包括了纸质文件、文本文件、数据库、表格文件等多种方式。从历次任务数据判读的结果来看, 遥测参数数据库的装订和核对存在较多的错误, 数据格式不同、标校时间差异经常会造成参数装订错误和疏漏。在火箭生命周期内各系统间复制和维持数据库也有风险且代价巨大。

随着火箭遥测数据码速率越来越大, 数据装

订和核对的工作量成倍增加。以发射的某大型低温液体火箭为例, 测量系统遥测数据一级码率约 10 Mbps, 二级码率约 5 Mbps, 数据量相比于常规三级火箭增长数倍, 遥测参数有约 1 000 个, 参研单位和设备提供方超过 30 家, 控制和动力参数超过 1 200 个, 1553B 总线数据高达数千个, 产品证明书超过 1 000 本, 另外还有大量电子版传递到发射场的分度表。单次任务, 发射场参数核对耗费约 224 小时/人次, 工作量极大, 参数核对制约了测量系统设备恢复阶段的工作进度, 长时间的重复劳动还带来较大的输入错误和遗漏风险。同时, 由于提供的参数格式各异, 传感器校验时间不同, 参数更新时间也不同, 在参数核对过程中, 还存在装订输入错误的风险。为满足现代航天高密度

发射的需求, 开展基于 XTCE 标准遥测参数装订与核对研究非常必要。

为了提高遥测信息装订准确率和传递效率, 有效地避免遥测参数装订过程中带来的各种风险。本文基于 XTCE 标准, 引入标准化遥测信息描述和传递模型, 建立数字化数据结构的遥测遥控信息数据库, 构造遥测参数数据底座, 实现数据自动化装订和核对。新的遥测数据传输媒介具有统一的数据格式, 不仅包括数据解算公式, 还包含设备厂家、生产日期、校验时间、有效期等信息, 将遥测遥控数据重新组织和连接, 转换为统一数据结构的“信息”, 从而实现其在各系统之间的快速和有效传输。

1 国内外研究现状

国际上对航天器的遥测遥控信息交换, 包括 NASA、ESA 等已陆续引入了 XTCE(XML Telemetry and Command Exchange, XML 遥测和命令交换) 标准^[1-4]。制定 XTCE 标准的国际航天机构和公司包括 NASA GSFC、Harris、Raytheon、Lockheed Martin、ESA、Boeing、USAF SMC、SciSYS、CSC 和 GST 等。XTCE 最初由 Object Management Group 提出, 是一套描述了一种空间遥控和遥测数据信息模型, 利用 XML 语言来描述遥测指令的数据规范, 且给出了遥测和遥控元数据的逻辑存储结构, 具有通用性和健壮性。该标准提供了遥控遥测数据格式的统一标准, 在数据交换中, 省去了大量的格式转换功能, 减少了重复定义数据格式的工作量。目前, 欧洲 ESA、法国 CNES、美国 NASA 以及 EADS、Harris Corp 等公司陆续在研制的卫星系统中应用了 CCSDS-XTCE 标准, 具体项目包括美国 JWST 太空望远镜和 LDCM 任务^[5,6], 如图 1 所示。我国与法国合作的 SVOM 项目中, 在地面系统间传输数据也使用 XTCE 描述文件作为中间格式。

XTCE 体系结构呈树状分级结构, 又被称为 XTCE Schema。其以空间系统为根节点, 符合卫星工程系统数据信息库的特点, 用 XML 语言进行描述, 具有良好的语法和语义延展性, 当前主要应用在卫星系统中。

XTCE 标准规定了一个卫星工程系统内某一空间系统的名称描述, 包含头结构、应用数据内容和格式、指令数据内容和格式以及服务集四个方



图 1 美国 JWST 太空望远镜

Fig. 1 American JWST spacecraft overview

面内容, 在欧洲的卫星系统中得到了广泛应用^[7,8], 如图 2 所示。

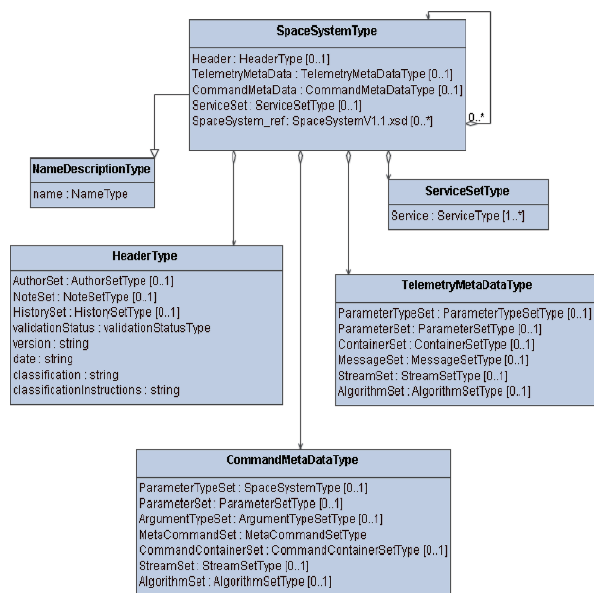


图 2 欧洲 Landsat 卫星 XTCE 体系遥测信息结构

Fig. 2 Telemetry XTCE model of European Landsat satellite

XTCE 结构标准在国内导航卫星系统中也有应用, 主要应用在某微小卫星工程中心的载荷系统中^[9], 但针对火箭系统遥测信息传递标准的研究尚无公开资料。我国航天发射场还采用人工方式进行遥测信息的装订和核对。

当前, 我国卫星遥测数据处理仍然以文本约定格式为主, 仅有部分小卫星项目和系统采用了基于扩展语言 XML 的卫星遥测数据处理方法。这种方法利用 XML 语言对卫星的遥测数据结构进行定义和描述, 采用动态化、层次化数据定义体系

对数据进行描述,相比传统的文本格式数据结构,该方法使得遥测数据具有了自描述性,数据结构和数据本身都可以动态定义,并可以根据需要进行修改。

2 基于 XTCE 标准的遥测参数装订方案

XTCE 标准主要应用在航天器系统中,下面以欧洲航天器系统中的应用为例对 XTCE 的体系结构进行阐述。构造 XTCE 数据模型时,首先,Space System 以分级的形式表示出了航天器的系统结构,然后用 XTCE 描述包括分系统、子载荷以及单机设备级的子结构。XTCE 标准定义了遥测、遥控元数据的模型,Space System 数据模型构建完后,将载荷或分系统的真实数据按照 XTCE 标准填入数据框架中,就形成了 XTCE 标准的遥测遥控数据库。最后为了完成遥测遥控数据的解析和传递,需要设计针对各级用户的遥测数据处理软件。

2.1 Space System

构造 XTCE 数据模型的第一步是构建航天器或子系统的数据框架结构,在顶层定义航天器数据结构。针对每个分系统或子载荷,须在整体数据框架之下进行相应的工程状态参数设定来表示数据信息所对应的工程周期。Space System 以分级的形式表示出了航天器的系统构架,在顶层架构之下,利用 XTCE 标准对航天器各分系统、单机以及分系统内部的子结构都可以进行相应的工程描述^[10,11],如图 3 所示。

XTCE 数据模型通过将不同包中特有的字段定义为条件字段的方式,统一了所有的包结构。固定字段以单边矩形符号表示,可以设置参数格式、类型、名称等。条件字段以双边矩形符号表示,在这些字段的属性当中需要设置字段的的存在条件,这些存在条件一般以该字段前面出现的字段中某些属性值进行判断,决定了数据域中包的结构信息,即对应于 XTCE 文件中参数封装(Container)的信息。

2.2 遥测遥控数据

XTCE 标准定义了航天器数据传输标准的多个方面,第一级标准包括遥测、遥控元数据以及服务元素等概念。在下一级分别定义了遥测、遥控元数据模型组成元素,遥测元数据组成^[12]如图 4 所示。

定义遥测遥控数据时,需要根据所采用的测

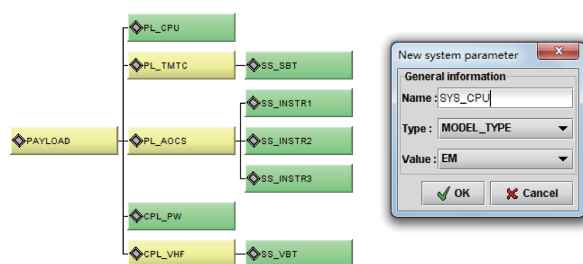


图 3 XTCE 模型—Space system 树形结构

Fig. 3 XTCE model—Space system tree structure

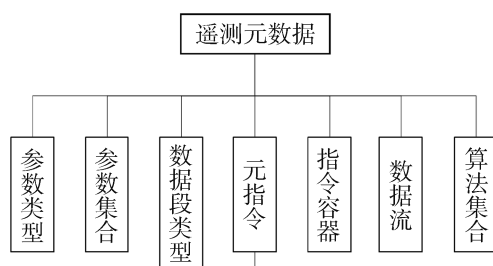


图 4 XTCE 遥测元数据模型

Fig.4 Telemetry metadata model based on XTCE

控数据标准,先确定好数据包或数据帧的结构,按照各字段的要求依次对数据长度、类型及编码等进行细化。比如定义分包遥测数据,可以使用自上而下的设计方法,第一步设计好数据框架,定义一个包结构,第二步列出包头、校验数据域、包数据域等主要框架,第三步细化各部分内容,具体内容包括包头类型、包版本号、控制顺序和应用过程识别符等,最后根据载荷或分系统的命令和数据信息将实际数据“搭建”到数据框架中。

遥测数据的设计包括参数类型(Parameter type set)的定义,参数集(Parameter set)的定义以及参数封装(Container)的设置。参数类型定义了卫星数据的格式、类型和取值范围等内容,参数类型可以根据各参数的特性进行定制。参数集说明了 XTCE 文件包含的遥测参数及其对应的参数类型。参数封装说明了遥测参数在数据包中的结构关系和排列顺序^[13-15]。

2.3 XTCE 数据文件的合成

设计好 XTCE 体系结构后,一个完整的 XTCE 模型包括遥测和遥控数据模型两部分。为了解析 XTCE 模型中的数据信息,将其转换为符合 XTCE 体系结构的 XTCE 数据文件,须针对不同的数据模型开发相关解析软件,解析后的 XTCE 文件会包含全部的卫星数据格式信息。火箭系统和卫星系统差异较大,但是二者的遥测数据结构和组成类

似, 设计基于火箭系统的 XTCE 体系结构、遥测遥控数据结构和数据解析软件系统, 将三部分对应的 XML 代码组合即得到相应的火箭系统 XTCE 文件。

3 XTCE 标准火箭遥测数据底座构建与信息传递

3.1 火箭遥测数据库生成

火箭的研制单位众多, 各分系统都形成了自己的遥测数据文件格式。如果想形成按照 XTCE 标准构建的遥测数据库, 首先需要总体设计单位在最高层级使用 XTCE 描述《测量系统遥测飞行试验大纲》和《遥测参数事后数据处理要求》, 各分系统在其基础上描述本系统内遥测参数。总体设计单位与分系统间使用 XTCE 交换产品信息, 其各自的 XTCE 信息集成在一起, 形成火箭遥测数据库 (Rocket Database, RDB)。遥测数据库可以为各用户提供详细信息, 也可以为各遥测数据处理软件所使用。

总体单位与总装厂、发射场、测控系统之间信息交换可以直接是 XTCE 格式的完整数据文件, 也可以是 XTCE 格式的大纲、产品证明书等, 如图 5 所示。无论何种方式, 都保证了统一、高效的格式交换, 避免当前纸媒核对的繁琐工作, 提升了遥测信息传递的效率。由于 XTCE 语言的定义, 还可以消除自然语言中一些语义模糊的问题。

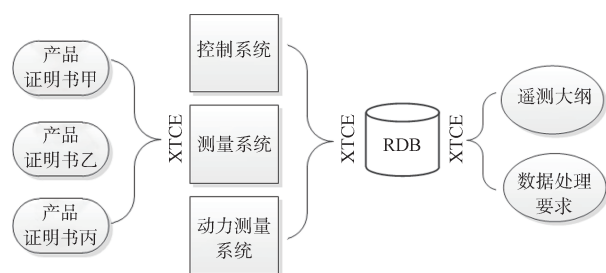


图 5 XTCE 在火箭系统的应用示例

Fig. 5 Application of XTCE in rocket system

3.2 XTCE 标准火箭遥测数据底座构造

数据底座的建立是为了将各系统、厂家的遥测数据汇聚起来, 对数据进行重新组织和连接, 使数据具有的统一的 XTCE 结构, 将各系统、厂家各种格式数据 (包括 Excel、Word、PDF、jpg、CAD、SHP、GDB、系统、档案 (纸质/扫描)) 解析入库转换为“信息”, 数据的交换变为信息的传

递, 提高其在各部门、系统间传递的速度和效率。

XTCE 标准文件采用 XML 语言编写, 可以直接使用记事本编辑, 但在遥测数据库量大的情况下, 就有必要构造专门的 XTCE 标准遥测参数数据底座, 实现参数库的有效管理。比如, 当数据量超过 65 536 行时, Excel 将无法处理。某大型液体火箭遥测数据发送周期为 20 ms, 1 小时的数据将达到 18 万帧, 这就要求交换层具有较强的软件通用性。因此, 用户层需要在不影响功能完成流畅性的前提下尽量规范数据管理软件。

目前, 各系统遥测参数数据库使用要求不尽相同, 各系统软件在特定的功能上具有相对优势, 无法统一采用功能强大且兼容性高的软件, 必须保持现有软件的稳定性, 构建的数据底座首先必须可以将当前数据库中各系统满足 XTCE 标准要素的信息转换为 XTCE 标准文件, 然后在数据交换层将数据融合, 满足不同系统数据传递的规范, 如图 6 所示。

遥测数据处理软件分为三层, 分别为: 用户层 (接口)、应用层和交换层。

用户层: 主要完成与用户的交互, 用户按照指定地址和格式要求完成数据的上传和接收, 用户既包括火箭研制各系统和厂家, 也包括发射场保障人员和测控系统人员, 数据底座实现将用户数据解析为 XTCE 结构数据文件, 将数据转换为“信息”的功能。

应用层: 接收各用户或子系统按照 XTCE 标准定义的数据, 构建遥测遥控数据库。

交换层: 提供了标准的数据接口, 将 XTCE 标准遥测遥控数据库中的信息以 XTCE 文件格式按用户需求提交, 实现遥测遥控数据在各系统和用户间的传递。

3.3 遥测参数装订和信息传递

XTCE 标准遥测信息传递实施过程参与方包括火箭系统总体、各分系统和单机厂家、发射场、测控系统等, 采用 XTCE 标准定义遥测信息结构后, 信息在不同系统之间传递不需要频繁的纸媒核对, 参数装订和核对过程将简化为总体单位制定标准、单机负责人上传测试数据、发射场核对仪器批次和测试时间。

首先总体研制单位制定火箭系统遥测参数 XTCE 标准, 然后各分系统和单机厂家根据总体单

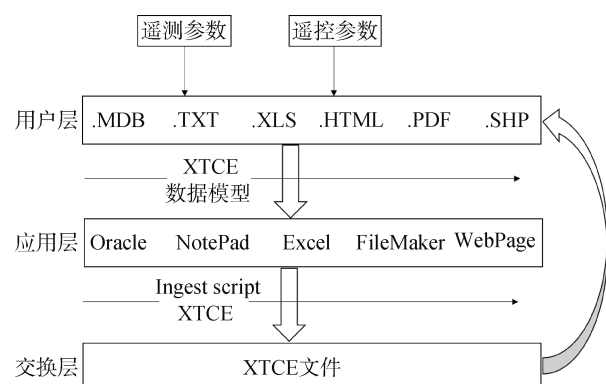


图 6 XTCE 标准遥测数据底座结构

Fig.6 XTCE standard telemetry data base structure

位制定的标准定义本系统遥测参数, 将各批次仪器测试结果上传至信息管理系统, 发射场不再核对具体的遥测参数信息, 但是需要核对传感器的批次、测试时间等信息, 测控系统不再核对信息。因为单机厂家制定本系统的 XTCE 标准遥测参数和当前纸媒印刷产品证明书属于相似过程, 遥测参数将由单机厂家直接装订入信息管理系统, 总体研制单位不再实施装订参数的过程, 只需对单机厂家的装订行为实施监督, 具体监督实施方法类似于网关, 对装订人员身份和信息格式进行审核。发射场最后核对传感器的批次、测试时间等信息, 确保参数装订过程没有疏漏。之后遥测信息在各系统之间的传递不再进行信息准确性的核对。

4 遥测参数自动装订优势

在某中型低温液体火箭发射任务中, 火箭系统研制人员在遥测参数装订阶段尝试采用电子版参数处理公式进行遥测参数的装订。装订的方法为: 首先选择参数表文件, 参数表中会确定对应的产品代号、传感器型号、分度表等信息; 然后选择分度表文件和传感器型号文件, 装订软件会根据各参数的对应关系, 自动搜索并匹配参数信息, 实现遥测参数的自动装订。

从效果来看, 该中型低温液体火箭发射任务采用自动装订后, 火箭出厂前参数装订工作仅需 1 小时即可完成。同时, 大大提高了装订精度。

该中型低温液体火箭发射任务的自动装订看起来更像是为降低参数装订工作量的权宜之计, 参数对应关系表、传感器公式、分度表均采用 TXT 文件记录, 没有格式约定, 仅仅记录了参数公式, 该参数文件是任务前工作人员对照每一本

产品证明书抄录所得。但是, 该中型低温液体火箭发射任务自动装订软件的使用表明, 发射场测试人员和研制团队均有参数装订自动化的使用需求。

5 结束语

当前发射场迫切需要改进针对高码速率火箭遥测信息的装订和核对方式, 如果采用 XTCE 标准格式定义遥测参数, 并构造基于 XTCE 标准的火箭遥测参数数据底座, 将对发射场参数装订和核对工作带来较大的帮助, 可以大幅缩短参数装订和核对的时间。采用自动装订和核对后, 将大幅降低参数装订和核对的错误率, 确保参数装订过程中人为输入错误和遗漏为零。大大提高了工作效率。

参考文献

- [1] CCSDS-660.0-G-1.1. XML Telemetry and Command Exchange[S]. Green Book, 2006.
- [2] CCSDS-660.0-B-1.1. XML Telemetry and Command Exchange[S]. Blue Book, 2007.
- [3] CCSDS 660.0 XML Telemetry and Command Exchange [S]. Draft Magenta Book, 2008.
- [4] Information report CCSDS 660.1-G-1 XML telemetric and command exchange(XTCE) -element description[S]. CCSDS, 2012.
- [5] STEVEN K, JONATHAN GAL-EDD, RONALD J, et al. XTCE and XML database evolution and lessons from JWST, landsat, and constellation[R]. SpaceOps 2008 Conference(Hosted and Organized by ESA and EUMETSAT in Association with AIAA). AIAA 2008-3454.
- [6] JONATHAN GAL-EDD J, RONALD J. JWST XML database: From the beginning to today[R]. IEEE Aerospace Conference 2006, IEEE/AIAA, Big Sky, MT, US, 2006.
- [7] 曲艺, 刘玉荣, 左江涛, 等. 基于 XTCE 标准的遥测数据处理软件架构研究[J]. 飞行器测控学报, 2012, 31(1): 60-64.
QU Yi, LIU Yurong, ZUO Jiangtao, et al. Study on the architecture of telemetry processing software based on XTCE[J]. Journal of Aircraft Measurement and Control, 2012, 31(1): 61-64.
- [8] 李瑞军, 范延芳. 基于 XTCE 改进模型的遥控指令生成系统设计[J]. 航天器工程, 2015, 24(6): 64-69.
LI Ruijun, FAN Yanfang. Design of command generation system based on improved XTCE model[J]. Spacecraft

- Engineering, 2015, 24(6): 64-69.
- [9] 刘洋, 李宗德, 丁雪静, 等. 基于 XTCE 的卫星遥测数据处理方法[J]. 遥测遥控, 2017, 38(2): 27-31.
LIU Yang, LI Zongde, DING Xuejing, et al. Satellite telemetry data processing method based on XTCE[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2017, 38(2): 27-31
- [10] 刘洋, 刘勇, 张永合, 等. 基于数据模型的卫星 XTCE 文件设计及应用[J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(6): 1643-1645.
LIU Yang, LIU Yong, ZHANG Yonghe, et al. Design and application of the XTCE satellite data exchange based on data model[J]. Computer Measurement and Control, 2012, 20(6): 1643-1645
- [11] 刘洋, 古启军, 刘勇. 导航卫星的 XTCE 数据交换格式设计[C]//第三届中国卫星导航学术年会电子文集-S06 北斗/GNSS 测试评估技术, 2012.
- [12] 王楠, 卢逸斌, 王卫楠, 等. 基于 XTCE 标准的通用型航天器系统数据处理方法研究[J]. 电子设计工程, 2015(9): 119-122.
WANG Nan, LU Yibin, WANG Weinan, et al. Study on universal spacecraft system data interpretation method based on XTCE[J]. Electronic Design Engineering, 2015, 23(9): 119-122
- [13] LIU Y, LI J Q, LI Z D. Application of PUS(Packet Utilization Standard) and XTCE(XML Telemetric and Command Exchange) in satellite telemetry data exchange design and description[C]//Informatics, Networking and intelligent Computing, 2015.
- [14] 王静, 王春梅, 智佳, 等. 面向有效载荷高速数据流的数据处理方法[J]. 计算机工程与设计, 2017, 38(4): 941-945.
WANG Jing, WANG Chunmei, ZHI Jia, et al. Technology of data processing for high speed data stream of payload[J]. Computer Engineering and Design, 2017, 38(4): 941-945.
- [15] 左江涛. 基于 XTCE 的实时遥测数据处理方法研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2011.

[作者简介]

- 韩金龙 1991 年生, 本科, 工程师。
陈少山 1987 年生, 博士, 工程师。
张楠 1982 年生, 硕士, 工程师。
王宇亮 1987 年生, 本科, 工程师。
符明明 1990 年生, 本科, 工程师。
韦康 1982 年生, 硕士, 工程师。

(本文编辑: 杨秀丽)