Website: ycyk.brit.com.cn

# 一种通用型箭载数据采集传输设备的设计与实现

杨文涛,汪复发,王天圣,崔冠宇,刘洪涛 (北京遥测技术研究所北京100076)

摘要:本文结合国内外运载型号的发展趋势,梳理现役火箭遥测系统的应用需求,实现了一种基于VPX(新一代高速 串行总线标准)总线架构的通用型箭载数据采集传输设备设计方案,对其关键技术如结构标准化技术、总线通用化技术、 模块化技术等进行了重点分析。该方案对箭上设备的系统架构状态进行统一,大幅度提升设备的性能、集成度和通用性, 满足型号未来应用需求,在航天领域具有广阔的发展前景。本文最后给出了该通用型箭载数据采集传输设备相比现役产品 的优势。

关键词:数据采集传输;VPX;通用化;集成化
中图分类号:V443;TP274.+2
文献标志码:A
文章编号:2095-1000(2023)02-0081-06
DOI: 10.12347/j.ycyk.20221010001
引用格式:杨文涛,汪复发,王天圣,等.一种通用型箭载数据采集传输设备的设计与实现[J].遥测遥控,2023,44(2): 81-86.

# The design and implementation of a general data acquisition and transmission equipment

YANG Wentao, WANG Fufa, WANG Tiansheng, CUI Guanyu, LIU Hongtao (Beijing Research Institute of Telemetry, Beijing 100076, China)

Abstract: This paper combines the development trend of launch vehicles at home and abroad, sorts out the application requirements of the current rocket telemetry system and puts forward a design scheme of the general rocket borne data acquisition and transmission equipment based on VPX bus architecture. The key technologies such as structure standardization technology, bus generalization technology and modularization technology are emphatically analyzed. The scheme unifies the system architecture state of the equipment on the rocket, greatly improves the performance, integration and versatility of the equipment, meets the needs of future model application, and has broad development prospects in the aerospace filed. At last, the advantages of the general rocket borne data acquisition and transmission equipment compared with the existing products are given.

Keywords: Data acquisition and transmission; VPX; Universalization; Integration

Citation: YANG Wentao, WANG Fufa, WANG Tiansheng, et al. The design and implementation of a general data acquisition and transmission equipment[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2023, 44(2): 81–86.

# 引 言

数据采集传输设备用于对全箭无线及有线遥测参数的采集汇总,能全面了解运载火箭在试验和飞行过程中的有关状态、性能、故障,为进一步提高飞行的可靠性和安全性,逐步完善火箭的设计,提供了有效的参考依据<sup>[1]</sup>。数据采集传输设备工作原理如图1所示。

近年来,随着航天技术的飞速发展,大型运载火箭测量系统日益复杂,运载火箭遥测码率的

需求逐步从2 Mbps、5 Mbps提高到10 Mbps,某 型号甚至提出了50 Mbps的数据采集传输要求<sup>[2]</sup>。 采集传输参数由传统的振动、温度、热流、压力 等缓变参数逐步向冲击、噪声等高频参数,以及 高清图像、视频信息等大容量高速数据转变<sup>[3]</sup>。

在总体用户定制化运载火箭数据采集传输设备的技术模式下,由于总体测量要求及设计思路的不同,数据采集传输设备的种类与日俱增,不同配套厂家研制的设备形态各异<sup>[4]</sup>。综合国内外的技术发展趋势和运载火箭数据采集传输设备的发



图 1 数据采集传输设备工作原理 Fig.1 Operating principle of data acquisition and transmission equipment

展需求,在满足总体测量要求的前提下,兼顾和 统一现役型号数据采集传输设备,研制一种体系 结构灵活、传输速率高、具备自诊断能力、结构 标准化的通用型箭载数据采集传输设备成为遥测 技术发展的必然趋势。

#### 1 数据采集传输设备方案

#### 1.1 数据传输

遥测系统中,传感器作为航天器的感官和神 经,遍布航天器的各个关键部位<sup>[5]</sup>。为保证测量参 数采集的精度,远置采编器和中间装置就近对传 感器参数进行采集和信号装换,转换为同步RS422 数字量数据发送至中心程序器。中心程序器汇总 箭上所有遥测数据编帧后形成实时PCM(Pulse Code Modulation,脉冲编码调制)数据。实时PCM 数据发送至延时存储器完成部分PCM流数据的延 时,延时存储器将延时后的PCM数据发送至中心 程序器,汇总后形成最终的遥测PCM数据流,遥 测PCM数据流发送S频段数字发射机进行TPC (Turbo Product Code,Turbo乘积码)编码,预调滤 波,数字调制上变频到S频段后输出给功放单元。 功放单元将信号放大到要求的输出功率送给天线 发送到地面测控站。

#### 1.2 设备构架

运载火箭数据采集传输设备主要由远置采编器、中间装置、延时存储器、中心程序器、S 波段数字发射机、功放单元等设备组成<sup>66</sup>。设备内部架构如图2所示,采用串屉式的模块化设计方案,设备内部各模块通过印制板间连接器连接,采用自定义的总线完成控制、地址和数据信号的交互以及供电。电源模块主要完成系统电源到设备内部二次电源的转换,给设备内部其他模块供电。采集模块1到采集模块n主要完成模拟量、数字量、



图2 采集传输设备架构图

Fig.2 Architecture diagram of data acquisition and transmission equipment

指令信号的接收。控制模块通过内部总线完成对 采集模块的控制并对采集的数据汇总编帧。

随着测量需求的不断增长,遥测采集传输设备数量、种类急剧增多,系统电缆网络复杂程度呈指数上升趋势,减少设备的种类和数量,提升系统可靠性,以及精简系统配套单机数量势在必行。本文提出了一种基于VPX标准架构的通用型箭载数据采集传输设备的设计与实现技术,论述了通用型箭载数据采集传输设备的设计与实现技术,论述了通用型箭载数据采集传输设备的设计与实现技术的解决措施,从根本上解决了箭载数据采集传输设备关键技术的解决 措施,从根本上解决了箭载数据采集传输设备种类多、体系结构不灵活、结构不标准的问题,最后给出了该数据采集传输设备与现役产品的比较结果。

# 2 通用型箭载数据采集传输设备的关键 技术

#### 2.1 结构标准化技术

VPX架构具有模块化、通用化、高可靠等特 点,在机械结构和导热抗震方面具有优势<sup>III</sup>。通用 化数据采集传输设备基于 VPX架构 VITA标准 3U 设备标准设计,结构如图 3 所示。该设计规定了 VPX架构设备的安装尺寸、安装方式、机械接口 等,形成标准化产品,支撑各型号的选用。

设备采用4个安装支耳可直接安装固定在运载 火箭的安装结构上,配橡胶减振器,并设计有保 证机箱与箭体良好导通的接地电缆。



Fig.3 Standardized case and modules

2.1.1 机箱设计

VPX机箱采用铝合金2A12一体加工成型,由前、后、左、右四个侧板组成箱体,左、右侧板上设计插槽,带VPX插头的子板通过插槽插入箱

体,与下方母板的VPX 接插件插合,通过母板完成电性能的连通。在保证结构强度情况下通过减 重槽和加强筋方式来减轻重量,箱体减重 33.6%, 底板和上盖板减重 12.5%,经试验验证,减重后产 品满足型号冲击和振动试验要求。

机箱的前盖板与各功能模块接插件之间垫一 层压缩量较大的密封垫,机箱前、后盖板与箱体 之间安装导电密封条,以满足机箱散热、防水、 电磁兼容性设计要求。

2.1.2 模块设计

VPX模块采用"前出线、前插拔"模式,功 能模块采用3U"竖插"形式,相比目前型号使用 的"侧出线"和"后出线"方式,产品体积减小 了26%。模块两侧安装有锁紧条,锁紧条是一种 楔形组合结构,通过拧锁紧条上方的固定螺钉, 可以通过楔形结构将锁紧条的滑块顶起<sup>[8]</sup>。利用此 结构形式,将锁紧条安装在各单模块结构上,插 入箱体后,通过从上方拧锁紧条螺钉,锁紧条的 滑块向左移动保证了锁紧条滑块和单模块右侧安 装面与箱体的紧密连接,保证了单模块良好散热 和与机箱固定,经力学试验验证,锁紧条保证了 产品在冲击振动时子板插头与插座的可靠连接。

VPX 插头插座插合后,插合力较大,为方便 将各模块从箱体里取出,模块需要采用助拔的方 式拔出机箱。为确保每个模块有足够空间安装独 立接插件,采用外置助拔器取代传统的内置助拔 器方式,外置助拔器需要在功能模块上留有直径 4.5 mm的助拔孔。接插件周围设计有密封槽,保 证模块密封效果。各功能模块的前盖板上加工有 散热凸台,贴装散热胶垫,保证对应元器件的贴 壁,用于将模块热量快速导入机箱,避免热量堆 积和局部温升。

#### 2.2 通用化总线技术

VPX 总线是基于高速串行总线的新一代总线标准,是目前国际上兼容性最好的军用嵌入式规范<sup>[9]</sup>。VPX 连接器相对于传统的针式连接器,采用的是硅晶片式结构,具有连接紧密,插入损耗小、数据带宽高和误码率低等优点,并且硅晶片都带有 ESD (Electro Static Discharge,静电释放)接地层和触点层,能有效防止操作期间的静电影响<sup>[10]</sup>。

通用化总线技术基于VPX总线架构的背板设计,规定了背板的功能、组成、接口、协议等, 通过采用通用化总线设计,形成标准化背板定义, 具备任意功能模块"即插即用"能力,如图4所 示,采用符合 VITA 标准的 3U VPX 总线背板。背 板通过P0,P1和P2三个连接器,实现供电、I2C、 模块地址、数据总线、控制总线、同步时钟、 MLVDS (Multipoint Low Voltage Differential Signal, 多点低电压差分信号) 总线和以太网总线的 信号交互,满足不同型号的应用需求,适用于数 据采集传输设备。

2.2.1 P0连接器

P0连接器为公用连接器,用于二次电源供电、

地址维护和BIT使用。

① 二次电源:用于电源模块将系统输入的28 V 电源,转换为内部其它板卡使用的+5 V、±15 V电 源,同时输出一路隔离的3.3V用于自检测。

② I2C: 设备内部采用独立的 I2C 总线完成设 备的自测试、自诊断,其中控制模块作为I2C总线 的主节点,其他模块作为从节点,完成整机自检 信息的汇集。

③ 模块地址: VPX 子板插入插槽后, 读取对 应插槽的地址号,通信时作为模块号使用。



#### 2.2.2 P1连接器

P1连接器采用单端连接器,连接器最多可用 160个单端信号<sup>[11]</sup>。P1连接器用于控制模块读取其 他模块采集的数据,采用命令/响应式总线方式, 控制模块发送命令,其他模块根据命令返回执行 结果,控制模块根据返回的执行结果去对应模块 连续读取执行结果中指定长度的数据,最大传输 数据量可达160 Mbps。

初始化阶段,控制模块从FLASH中读出各模 块的配置参数, 经内部总线向各模块输出配置信 息,然后回读配置信息进行校验,通过后进入工 作阶段。

工作阶段,控制模块根据预先规划并存储在 FLASH的轮询优先级表中,按优先级从高到低, 依次向各模块查询是否有传输需求,采用优先级 的传输方式,能确保优先级高的数据及时传输。 各模块返回待传输指令或数据的长度,控制模块 根据返回的长度信息决定下一条指令是读取数据 还是查询下一个地址,完成一次数据读取后,对 下一个模块数据进行查询。

#### 2.2.3 P2连接器

P2连接器采用全差分连接器,连接器最多可

用32对差分信号,包含2组MLVDS接口和6组千 兆以太网信号。用于设备软件远程升级、指令传 输和组网通信。

① MLVDS:采用如图5的时序进行通信,主 要完成指令传输和模块程序远程升级。控制模块 为主MLVDS,其他模块为从MLVDS,主MLVDS 时钟在总线上一致有效,从模块发出的时钟和数 据分时有效,在上电过程和不发送数据时总线上 保持高阻状态。

② 以太网:接口形式为1000BASE-T,用于控制模块与网络交换模块和调制模块的高速数据 交换。



#### 2.3 模块化技术

由于总体测量要求及设计思路的不同,使得 不同用户需求的数据采集传输设备功能、性能存 在差异。针对不同用户研制不同的数据采集传输 设备,对用户个体需求无疑是最优的。但是,采 用这种研制模式必导致重复投资和研制,造成巨 大的资源浪费<sup>[12]</sup>。因此根据数据采集传输设备的需 求和设备功能的整合,对各种功能进行类型的归 并和组合,在此基础上进行统一平台设计,可以 实现根据不同任务和系统需求,通过软件加载和 重构进行相同功能硬件资源的重组。利用先进的 模块化设计思想,对硬件进行通用化设计,设计 出满足用户需求的通用型设备。

采用模块化思路,将运载火箭数据采集传输 设备中的图像采集装置集成化为图像模块,延时 存储器集成化为存储模块,将数字发射机集成化 为调制模块,功放单元集成化为功放模块。

模块化的设计思路将设备转换为模块,提高 了设备的集成性,大幅度减少设备品种与数量, 简化了设备间的连接电缆,提高了系统的可靠性。 通用型数据采集传输设备采用模块化的配置方式, 根据任务需求自由组合,通过模块的组合即可满 足用户不同的应用需求。通用型数据采集传输设 备模块化的研制成功,可以极大地节约人力物力 资源,缩短产品的研制周期,同时提高产品的可 靠性和成熟度。

### 3 性能指标

某现役运载火箭型号测量系统分为二级遥测 和三级遥测,二级遥测和三级遥测设备组成一致, 均由9台远置采编器、1台延时存储器、1台中心 程序器、1台S波段数字发射机和1台功放单元组 成。综合考虑,将S波段数字发射机集成化为调制 模块,延时存储器集成化为存储模块,中心程序器 中相同功能模块集成为一个功能模块。最终将中心 程序器、延时存储器、S频段数字发射机三台设备 集成为一台数据综合器,采用VPX背板替代原来设 备间的连接电缆,如图6所示,保留各单机原有功 能,采用模块化设计,实现了重量减轻31.1%,体 积减小32.6%,该数据综合器为国内首次应用于运 载火箭的VPX架构通用型数据采集传输设备。





#### 4 结束语

针对箭载数据采集传输设备种类多、体系结 构不灵活、结构不标准的问题,本文提出了基于 VPX 构架的通用型数据采集设备。将传统遥测设 备按功能集成化为标准 VPX 模块,采用通用化的 VPX 背板,替代复杂的电缆网络,采用标准化的 VPX 机箱和模块结构,打破不同厂家设备无法集 成的技术壁垒,通过更换 VPX 模块来满足不同运 载火箭总体测量要求,具有很高的通用性,最终 实现我国运载火箭遥测设备更新换代跨越式发展。

#### 参考文献

- 董光亮,张国亭,韩秋龙.运载火箭测控系统技术与发展[J].飞行器测控学报,2014,33(2):93-98.
   DONG Guangliang, ZHANG Quoting, HAN Qiulong. Evolution of launch vehicle TT&C system technology[J]. Journal of Spacecraft TT&C Technology, 2014, 33(2): 93-98.
- [2] 林敏,张佳宁,徐林丰,等."长征五号"火箭大容量调频 遥测系统研制[J]. 深空探测学报(中英文), 2021, 8(4): 372-379.

LIN Min, ZHANG Jianing, XU Linfeng, et al. Development of large capacity FM telemetry system for Long March 5 launch vehicle[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2021, 8(4): 372-379.

- [3] 石晓玲, 边文宾, 高阳, 等. 航天遥测系统集成式信号采 集装置设计[J]. 遥测遥控, 2020, 42(6): 63-68.
  SHI Xiaoling, BIAN Wenbin, GAO Yang, et al. Integrated data acquisition device designed for spacecraft telemetry system[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2020, 42(6): 63-68.
- [4] 朱亚明, 颜晓明, 姚迪, 等. 现役运载火箭遥测系统通用 化技术[J]. 上海航天(中英文), 2020, 37(S2): 188-192.
  ZHU Yaming, YAN Xiaoming, YAO Di, et al. Improved universal design of telemetry system for active launch vehicles[J]. Aerospace Shanghai(Chinese & English), 2020, 37(S2): 188-192.
- [5] 李艳华,李凉海,谌明,等.现代航天遥测技术[M].北 京:中国宇航出版社,2018.
- [6] 闫新峰,金文,耿健,等.小型空间飞行器集成化遥测系统设计与实现[J].测控技术,2020,39(7):73-77.
  YAN Xinfeng, JIN Wen, GENG Jian, et al. Integrated telemetry system for small space vehicle[J]. Measurement & Control Technology, 2020, 39(7):73-77.
- [7] 包利民,潘奇. VPX 总线技术及其实现[J]. 电子机械工

程, 2012, 28(2): 57-60.

BAO Limin, PAN Qi. VPX bus techniques and its implementation[J]. Electro-Mechanical Engineering, 2012, 28 (2): 57-60.

- [8] 王君峰, 王升, 代锋, 等. 基于 VPX 架构的高热耗星载数 据处理机结构设计[J]. 空间电子技术, 2021, 18(3): 43-48.
   WANG Junfeng, WANG Sheng, DAI Feng, et al. Structure design of high heat consumption spaceborne data processor based on VPX architecture[J]. Space electronic technology, 2021, 18(3): 43-48.
- [9] 胡倩,陈善志,刘建妥,等.基于VPX架构的遥测采集平 台设计[J]. 宇航计测技术, 2017, 37(4): 43-48.
  HU Qian, CHEN Shanzhi, LIU Jiantuo, et al. Telemetry acquisition platform design based on VPX standard[J]. Journal of Astronautic Metrology and Measurement, 2017, 37(4): 43-48.
- [10] 赵宏方,章思严,夏成竹,等.基于VPX总线架构的一体化综合测量系统实现[J]. 宇航总体技术, 2021, 5(4):
   14-21.

ZHAO Hongfang, ZHANG Siyan, XIA Chengzhu, et al. Realization of novel integrated telemetry system based on VPX bus architecture[J]. Astronautical Systems Engineering Technology, 2021, 5(4): 14-21.

- [11] VMEbus International Trade Association. American national standard for VPX baseline standard: ANSI/VITA 46.0[S]. American National Standards Institute, 2007.
- [12] 翟高伟,梁晨光,赵锦瑾,等.基于天链卫星的箭载Ka 频段中继用户终端设计与实现[J]. 宇航总体技术, 2020,4(4): 7-14.

ZHAI Gaowei, LIANG Chenguang, ZHAO Jinjin, et al. The design and implementation of general Ka-band terminal based on TDRSS[J]. Astronautical Systems Engineering Technology, 2020, 4(4): 7-14.

[作者简介]

杨文涛 1987年生,硕士,高级工程师,主 要研究方向为空用电子测控设备研制。

汪复发 1974年生,硕士,高级工程师,主 要研究方向为空用电子测控总体技术。

王天圣 1973年生,学士,高级工程师,主 要研究方向为空用电子测控设备研制。

崔冠宇 1981年生,硕士,高级工程师,主 要研究方向为空用电子测控设备研制。

刘洪涛 1978年生,硕士,高级工程师,主 要研究方向为空用电子测控设备研制。

(本文编辑: 傅 杰)