

航天测量站数据池建设方法研究与数据应用

戴昱彤, 刘斌斌, 刘红岩

(西昌卫星发射中心, 四川 宜宾 644000)

摘要: 航天测控网通常由测控中心和测量站(船)组成, 测量站是航天测控网的基本组成部分; 在几十年的发展进程中, 航天测控领域积累了海量的数据; 对测量站来讲, 数据可主要分为测控数据、通信数据和设备状态数据 3 大类; 测控数据主要用于向上级报送, 通信数据主要用于通信状态监视, 设备状态数据主要用于设备状态的监测; 当前测量站数据存在着存储零散、不成体系、相对隔离的问题; 基于此提出了一种测量站数据池建设方法, 能够实现数据集中控制, 减少数据的冗余度, 提高数据一致性和可维护性, 提高数据的利用率; 最后从多个方面对数据的应用前景进行了展望; 测量站数据池的建设将使提升测控工作的自动化与智能化程度成为可能。

关键词: 航天测控; 测量站; 数据池; 数据应用; 智能化; 自动化

Research on Data Pool Construction Method for Aerospace Measuring Station and Data Application

DAI Yutong, LIU Binbin, LIU Hongyan

(Xichang Satellite Launch Center, Yibin 644000, China)

Abstract: Aerospace measurement and control networks are usually composed of measurement centers and measuring stations (ships). Measuring stations are the basic components of the network. In the development process of decades, a huge amount of data has been accumulated in the field of aerospace measurement and control. The data in measuring station can mainly be divided into three categories, i. e., measurement and control data, communication data, and equipment status data. Measurement and control data is mainly used to submit to the superior center. The communication data is used for communication status monitoring. Equipment status data is used for device condition monitoring. At present, the data of the measuring station has the problem of scattered storage, fragmentation, and relative isolation. A data pool construction method for the aerospace measuring station is proposed, which can achieve the centralized control of data, reduce data redundancy, improve data consistency and maintainability, and improve data utilization. Finally, the application prospects of data are prospected from many aspects. The construction of the data pool of the aerospace measuring station can make it possible to improve the automation and intelligence of measurement and control work.

Keywords: aerospace measurement and control; measuring station; data pool; application of data; intelligence; automation

0 引言

近年来, 我国的航天事业得到了飞速的发展。从 20 世纪 60 年代至今, 我国航天测控系统经历了从无到有, 从弱到强的发展历程, 逐步形成了一个布局合理、工作协调、适应性强的航天测控网^[1]。航天测控网通常由测控中心和测量站(船)组成^[2], 测量站是测控网的基本组成部分。在几十年的发展进程中, 航天测控领域积累了海量的数据。对测量站来讲, 数据可主要分为测控数据、通信数据和设备状态数据 3 大类。测控数据主要用于向上级报送, 通信数据主要用于通信状态监视, 设备状态数据主要用于设备状态的监测。

测控站设备主要包括跟踪测量系统(雷达系统、遥测系统、光学系统等)、时间统一系统、通信系统、气象系统、勤务保障系统等。时间统一系统自成体系, 备份手段多, 故障率极低。小型测量站通常不单独成立气象系统,

可依靠地方政府的气象部门获得气象数据。所以, 测量站可利用挖掘的数据主要集中在跟踪测量系统、通信系统和勤务保障系统中。我国的航天测量站通常配备各种不同类型的测控设备, 例如雷达、火箭遥测接收设备等; 通信设备主要包括卫通、路由器、防火墙、交换机以及时统等^[3]; 勤务保障设备主要包括油机、高低压配电、UPS、消防和空调等^[4-6]。

当前测量站的数据的存储和应用存在着诸多问题, 主要体现在以下几个方面:

1) 数据存储零散。数据大多以文件形式零散存放, 没有形成集中统一的存储方式, 数据冗余度高, 给后续的查询、检索、应用等工作带来困难;

2) 数据不成体系。数据没有形成系统的体系, 存储比较杂乱, 没能针对不同的航天测量任务类型对数据进行整理, 给后续的数据控制处理和維護工作带来困难;

收稿日期: 2021-12-21; 修回日期: 2022-01-14。

作者简介: 戴昱彤(1985-), 女, 重庆人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事航天测控与数据处理等方向的研究。

引用格式: 戴昱彤, 刘斌斌, 刘红岩. 航天测量站数据池建设方法研究与数据应用[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(6): 248-252.

3) 数据相对隔离。不同设备之间的数据呈相对隔离状态,设备间数据的交叉应用少,数据利用率低。

测量站设备种类多,目前对于设备状态的维护管理多依靠人工,如果能够对各种数据进行系统梳理、精准分类、集中管理、有效利用,将大大提升工作效率与准确度。基于此,提出了一种测量站数据池建设方法,能够实现数据的集中控制,减少数据的冗余度,提高数据一致性和可维护性,提高数据的利用率。然后从多个方面并对数据的应用前景进行了展望。测量站数据池的建设将使提升测控工作的自动化与智能化程度成为可能。

1 测量站数据应用现状与挑战

1.1 测量站数据内容

通过对测量站设备类型的梳理与分析,可以得到如表1所示的测量站数据内容。

表1 测量站设备获取信息列表

设备类别	数据类目	数据内容
测控	目标跟踪数据	包括测距、测速、测角和遥测源码等指示跟踪目标位置的相关信息。
	测控设备状态信息	测控设备实时运行状态信息。包括设备运行状态、电压、电流、是否锁定等指示设备工作是否正常的信息。
通信	链路状态信息	通信链路状态信息 通信链路拓扑结构信息以及故障告警信息。
	通信设备状态信息	表征通信设备工作是否正常的指标数据等。
勤务保障	发电机组	输出电压、电流、频率、转速及水温、油位、油压等运行状态燃油阀开关等状态。
	UPS	输入输出电压、电流、频率、功率、蓄电池组的电压、后备时间、温度、整流器、逆变器、电池、旁路、负载等部件的状态 ^[7-8] 。
	高低压配电柜	配电柜的电压、电流、功率、电度等参数。
	环境监测设备	各重点机房的温湿度环境参数、烟感、水感监测等参数。

不同数据内容具有不同的数据特点:

目标跟踪数据特点:实时性强,针对不同的任务(火箭)类型、数据差异大,数据量大。针对此类数据,建立数据池需着重考量怎样进行数据筛选与清洗。根据不同任务(火箭)类型进行分类存储与利用。

链路状态数据特点:设备节点多,状态监视点多,实时性强。对链路状态数据的利用应多用图形化的形式进行展示,有告警应及时给出声音等提示并及时保存设备状态,以供岗位人员分析排查。

勤务保障类数据的特点有:参数类型繁杂,设备分布广。针对此类数据,应分门别类做好储存,以便事后查看。

一套设备中除输出的数据外,设备之间的信号等也具有指示设备或系统状态的功能,后续可对这些信号进行提取利用。除以上信息外,在任务准备过程中产生的诸多文档也应用于数据池建设,主要由任务过程中的质量管理体

系文件组成。其中可用到的数据有:一、归零报告;二、软件维护文档;三、评审报告中涉及设备状态调整的部分。另外,岗位人员对于主、备件的更换等维护记录,对电平未在文书明确的参数进行调整等操作也应进行数据标准化后入库管理。

1.2 现有数据的使用方法

目前,雷达、火箭遥测设备接收数据主要用于实时监测与上报。通信设备参数主要用于链路质量监测。对勤务保障设备的监测主要用于对相关设备状态的实时跟踪。目前,多数测量站已配备专门的针对勤务保障设备的监控系统,通过超过阈值告警等自动化手段,岗位人员可轻松感知设备状态并查阅历史记录。

针对雷达、火箭遥测接收设备数据的解算由所方软硬件完成,另外,根据定制软件系统(如指挥联调系统)监测数据流量、测量数值是否符合预期(如理论弹道)。针对每次火箭发射产生的关键数据进行了记录,鲜有实现对历史数据的实时应用以指导目前设备的状态研判与设备维护工作。

通信设备一般亦有专门的软件进行设备状态监控与指标测试。大多进行关键链路流量的监测、时延、丢包率等指标的实时显示,多数通信设备(含地面线路与卫星通信)已具备远程控制能力。

在质量管理文书中明确的对于设备状态的修改、归零报告中涉及的设备及故障类型、时间等信息未与设备数据形成关联,目前仅保存于质管部门,不便于对实际工作形成指导作用。

综上,目前对于数据的使用存在以下几种情况:1)有用的信息未识别为数据;2)识别但未合理采集;3)采集但未存储应用;4)存储但未集中整理与分析;5)对数据进行了分析但未尽其用。

1.3 测量站数据应用的挑战

数据池的差序格局是先有数据后有模式,因此需要一种自底向上的方式以一种大数据融合的方法实现集成。大数据融合即建立数据间、信息间、知识片段间多维度、多粒度的关联关系,实现更多层面的知识交互^[9]。测量站的数据池建设面临以下挑战:

1) 针对业务需求的有用数据的识别。根据航天事业的发展,测量站的业务需求也在悄然发生变化,要提升业务科学化、智能化水平,需要将多种数据进行交叉应用。然而海量的数据与有限的精力又要求开发者需将识别工作与业务需求进行紧密结合。需要首先进行业务需求的细致分析,再进行数据的识别。

2) 割裂的多源异构数据。需处理的数据从来源角度看是多源异构的。而且,这些数据被物理地存放在不同的系统中。这些割裂的多源异构数据造成了各种数据孤岛,需要把这些割裂的数据以合适的方式整合到统一的系统中。目前测量站的数据库基本是针对少数集中主要业务进行专门的设计。数据库之间的信息利用不够充分,缺乏关联应用。

3) 数据规模与数据价值的矛盾。数据越来越丰富,提供了更多有价值的信息。但数据价值并不与规模成正比,

对已有的数据存储和处理方法提出了挑战,需要对融合的规模进行控制。设备联试时,每秒产生大量数据,而整个联试过程长达几小时。这就需要根据业务需求与现实条件挑选具有应用与查询意义的数据进行挑选保存。

4) 跨媒体、跨语言的关联。需要处理的数据有结构化数据、半结构化数据和非结构数据,这对数据关联的发现提出了挑战。尤其是图片、视频、音频数据与文本数据的关联。测量站数据池建设的一个重要任务就是将多模态数据进行关联应用。

5) 知识的隐含性。除了显式知识外,通常隐式知识、隐式关系比显式知识更重要。在测量站的数据中,这种有用的“隐式关系”通常是指岗位人员多年累积的“岗位经验”。比如各种方案中的流程,故障的快速定位等经验。

2 数据池建设方法

数据池建设一般应遵循以下原则:1) 先进性和实用性,采用当前先进而成熟的技术,在平台的选择上,要考虑到航天测控这个特殊领域对软硬件国产化等方面的要求;2) 一致性与完整性,所有数据将采用统一的编码和数据存储格式,建立规范完整实用的数据管理流程;3) 标准化与规范化,数据库的结构与字段定义符合测量站数据的使用、查看习惯,便于长期的使用;4) 开放性和可扩展性,充分考虑后续数据的持续增加,在数据库结构设计和方案制定时预留,多类型数据录入接口、数据之间的关系设计可兼容新数据^[10]。

2.1 数据池建设流程

通常,数据池建设离不开“两个流程、两个模型和 3 个标准”,两个流程内容为需求分析和系统建模,两个模型内容为数据和业务功能模型,3 个标准的内容为信息分类编码标准、数据元素标准和数据库模型标准^[11-12]。根据各类数据池建设经验,分析测量站数据特点,提出适用于测量站数据池的建设路线,如图 1 所示。

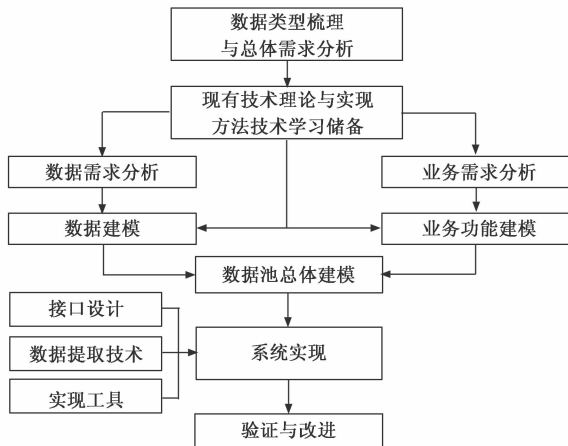


图 1 测量站数据池建设流程

由图 1 中可知,测量站数据池建设,首先要对目前测量站已产生数据及相关流程进行梳理,在此基础上进行总体需求分析。其次,为了使总体需求在目前的各项条件下

通过部分软硬件采购与先进技术的应用最终落地,需要对现有技术理论与实现方法进行学习,包括是否有选取国产化软硬件的要求等,选取合适的实现途径。再次,详细深入地进行自上而下的业务需求分析,结合对设备数据的详细梳理,细化针对每项业务需求的数据来源。最后,进行数据池总体建模与实现。在实现时为了进行多种扩展应用应在保证安全性的前提下留取数据提取接口,以保证数据池作用的充分发挥。数据池建成后,需要在实际工作中进行验证与改进。

2.2 业务需求分析

测量站的中心任务是圆满完成跟踪测量任务,万无一失、圆满成功的要求又需要保证设备状态始终保持正确的状态,或者出现问题能够及时发现并排除。故测量站业务需求主要有以下 4 个方面:

1) 测控数据的上传下达。这是测控站最基本也是最中心的任务。当前,测量站在数据的收发方面能够满足任务文书基本要求,各类数据也进行了分类存储,而未对设备数据进行精细化关联存储与运用。为对后续“自动化”、“智能化”应用更加“有用”,就应在“哪些数据应该存储”,“哪些数据应该以什么样的形式与频率存储”,“多种多类数据应该做怎样的数据模块划分”等方面进行多设备领域专家研讨后确定。

2) 设备状态的集中监视与告警。当前,对设备状态的监视主要依托所方在研制整套设备时所配备的监控软件。软件含有对设备参数的查询与设置功能,亦有针对单台设备的告警信息显示及日志记录等功能。测量站数据池的建设可利用此类软件,以获取设备状态、告警信息等。在此基础上,将一次任务的一种特定设备技术状态作为标识,记录设备的更多关键参数值,这些正常参数值便可成为此次任务的设备参数参照值,便于岗位人员及时发现设备性能波动甚至异常。

3) 测控数据的智能化判读。测控数据的智能化判读是通过当前测控数据与历史数据进行比较实现的。这种比较是基于留存有大量的任务实成数据而进行的。测量站设备配备后,由于其在役时间长(通常为 5 年以上),在失效前,设备性能会随着时间推移而缓慢变化,而大量历史数据的留存将使这种变化变得可捕捉。大多数设备的性能变化对于某次任务的影响难以直接测量,但能够找到某次类似、时间临近的任务状态下设备的参数数据,在实际工作中就足以实现比以往精细得多的判读。

4) 设备故障排除的辅助功能。测量站工作逐渐向“自动化”、“少人化”方向发展的过程中,研发设备故障辅助诊断系统是必然的趋势。要实现设备故障排除的辅助功能,一是要搜集必要的实时测控数据;二是需要搜集历史任务中的设备状态参数;三是要使用自动化仪器仪表控制技术进行信号参数的提取;四是需要利用成熟岗位人员的岗位经验将前三者进行整合与自动化实现。

2.3 数据需求分析

根据业务需求分析得到的 4 种业务,对数据来源进行

划分与分类入库。如图 2 所示, 针对 4 种业务, 梳理数据来源。5 种来源的数据经过筛选、清洗、标准化后进入数据库管理, 在进行后 3 种业务时, 同时要用到当前设备产生的数据与数据库中状态类似的历史数据。通过数据建模、经验植入、分析比较等方法的运用, 更好地服务于岗位工作。

测控、通信数据可依赖现有数据交互计算机获取, 只是在入库的格式与方式上需要多加考量。设备状态参数可从各设备监控系统获取^[13-14]。利用仪器控制技术, 获取测量仪器、设备中的信号指标、关键参数值。过程管理文件中的数据——通常为表征任务技术状态的设备指标、规程等——可通过人工录入或使用自动化工具进行获取。

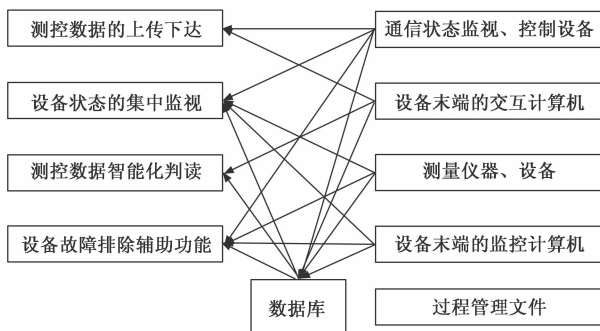


图 2 与业务需求对应的数据来源

2.4 测量站数据类型与入库方式

通过对测量站信息种类的分析可知, 测量站数据存在 3 种类型: 1) 数字类型; 2) 模拟类型; 3) 文本类型。针对不同的数据类型, 数据入库方式也有所差异。

数字类型数据包含测控设备解算出的目标位置、速度等信息, 大部分设备内部的监控指标, 表征链路通信状态的时延、丢包率等信息, 勤务保障系统中的已由传感器数字化后的信息等。数字类型数据在入库时可方便地“修剪”成固定格式直接入库。

模拟类型数据包含遥外测设备、卫通设备等自调制解调器之后的载波数据。数据可由频谱仪等设备进行数字化。利用仪器编程技术可以对此类数据进行数字化获取。模拟类型的数据在提取关键特征——如中心点频、载噪比、尖峰值等——并进行数字化后进行入库。

文本类型数据主要为任务过程质量管理文书。其中包含设备状态更改记录, 任务状态参数的详细记录, 关键参数指标测试记录, 故障归零报告等与任务相关的设备状态信息。这部分信息通常是最需要重点关注的部分。文本类型数据可进行需求分析后, 进行分类入库。例如软件维护内容、设备状态变更、主备件维护更换时间等信息可通过设置关键标签(查询用), 以简洁易懂的文本方式入库。针对故障类文本, 可将故障时间对应的设备状态参数进行标准化入库, 可将处置方法与故障设备关联后以文本方式入库。

3 数据运用展望

3.1 智能数据判读与决策辅助

存盘测量数据、设备指标数据、状态监控机中存在大

量的数据相关性可挖掘。对于测控领域来说, 相似任务状态(数据库中用指标筛选即可实现数据分类)的测控参数之间具有高相关性。这些数据可以用于对照检查, 可提示当前设备指标是否符合预期, 若不符合就需要重点关注。另一方面, 针对同一台设备, 进行输出与输入的关系探索, 在一定范围内可预测对于某个输入的输出值范围。大量关键数据的判读可进行关联并实现对指挥决策的辅助与支持。

3.2 多模态数据的相关性研究

针对不同的设备, 岗位人员根据经验能够通过多种途径判断设备状态。这些经验往往涉及多种模态, 比如设备(天线等机械设备)运转的声音频率、大小与设备是否正常运转紧密相关。通过远程的传感器布置与对声音的特征提取与分析, 可达到事半功倍的效果。雷达设备的波形特征提取与应用, 将使得该岗位人员具有更多的科学化手段感知设备状态。在状态监视与应急方案中的多种类型数据的提取与应用将缩短故障分析时间。

3.3 基于频谱分析的中、射频设备功能检测方法

中频、射频、天线设备是雷达、遥测、卫星通信等分系统中的重要组成部分。通过使用频谱仪等仪器对射频、中频设备中流动的模拟信号的特征提取, 可得知信号特性或设备的放大性能、频偏等指标是否合乎标准^[15-16]。而这些设备使用周期普遍较长, 可通过定期对各节点频谱特征的测量, 建立设备的健康档案库, 当有设备出现性能明显下降时便于向装备部门申请维修或更换, 实施设备失效前的预防性措施, 确保航天任务万无一失。

目前, 已发现 5G 信号对于测控设备天线数据接收的干扰, 对于干扰的发现与处置主要依靠经验与操作频谱仪等检测设备^[17-19]。运用仪器控制与数据提取技术, 将频谱数据与特征提取入库, 将使得干扰监测等变得简单, 也将岗位工作从对人员经验的依赖中解脱出来。

3.4 航天测控任务自动化运行

自动运行技术是根据控制对象的工作流程建立自动运行模型和反馈机制, 利用计算机控制技术实现过程的自动控制和设备管理等相关任务^[20-22]。

测量站接收测控中心的测控计划和航天器瞬跟信息, 根据测控计划的要求时间节点自动生成工作流程, 并在自动化运行过程中进行故障诊断、异常处理, 同时向监控分系统提供测站长管任务自动化运行过程中设备自身状态, 自动化分析判断任务数据, 并生成工作报表。岗位人员工作效率将大大提高, 降低误操作风险, 实现任务过程的自动化、可视化、智能化。航天测控对于可靠性的高要求, 必定要求对设备状态的精准把握, 而这就是对信号数据与设备参数数据进行深入分析实现的。

3.5 数据的可选择性导出与开放式应用

测控、通信、设备状态、指标数据和任务过程文件内容入库后, 数据按照规定的格式进行存储, 除进行只要业务的支撑外, 数据库内数据可实现导出, 用于其它业务——比如用于模拟训练平台的输入、特定故障分析等, 也

为未来某特定方式的数据融合提供了接口,提取数据文件的格式可以 xml 文件等通用形式。

3.5.1 作为模拟训练平台的输入数据

当前的模拟训练平台为定制,只能纳入部分训练模式。将实际的设备参数进行提取并输入将提升模型的准确度。另外,海量设备数据将使得模拟训练系统的纯软件化变得可行。将大大降低模拟训练系统的采购资金,甚至可进行自主研发。

3.5.2 特定故障分析的数据提取

以故障树为模型的故障辅助诊断系统智能囊括部分故障的分析,对于一些特殊的故障,需要提取特定时段、特定限制条件的历史数据和故障时的数据进行分析比对。灵活的数据抽取方式将提升此类故障分析的科学化程度。

3.5.3 为未来数据融合提供接口

目前,已有针对当前不同遥、外测设备的数据融合技术实现^[23-26]。实现方法为进行统一数据格式约定后由中心计算机利用数据融合技术进行弹道计算等,此种方式的实现由上级统一规划。而设备型号与性能将不断更新,数据池中的数据能够以灵活的方式导出将使得未来的数据融合过程更加灵活,扩展性更好。

3.6 设备数字档案的建立与利用

数据库中含有大量设备产生的测量参数、监视软件中的状态参数、测量仪器产生的设备指标数据及质管文书中设备状态的改变记录。除了目前已实现的对设备状态的监视,建立设备数字档案可实现如下功能:1)对关键指标的存储与分析,实现对设备性能的感知;2)存储设备损耗相关信息,便于岗位人员进行预防性维护或采取相应措施。设备配备、送修、故障的时间、操作后性能变化及操作依据等信息需详细录入;3)设备状态更改日志的建立将有助于岗位工作交接,防止因交接不到位产生的技术状态把控不到位;4)经过对设备性能的长期跟踪,使得捕捉与设备现有性能的差异化值变得容易,设备故障更易识别。

3.7 指挥显示系统的个性化定制

通常,指挥显示系统主要显示测控数据与设备通断等信息。测量站数据池建设好后,可设置固定显示界面与可定制界面。每名指挥员擅长的领域或岗位职责有差异,可在定制界面将相关岗位指挥员所关心的信息加入,便于更深入的对其关注的设备或链路状态进行把控分析。

4 结束语

当前正处于航天技术的大发展期,航天强国的建设离不开对先进技术的运用。目前测量站的数据存在着存储零散、不成体系、相对隔离的问题。鉴于此,提出了适用于测量站的数据池建设流程,依托现有的硬软件条件,分析业务、数据需求,对数据进行了梳理与分类入库。数据池的建设将实现数据集中控制,减少数据的冗余度,提高数据一致性和可维护性,提高数据的利用率。将使得多种数据应用可行,而这些应用的实现,将使得测量站工作的自动化、智能化、科学化水平大大提升。

参考文献:

- [1] 于志坚. 我国航天测控系统的现状与发展 [J]. 中国工程科学, 2006, 8 (10): 42-46.
- [2] 黄福铭, 郝和年. 航天器飞行控制与仿真 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- [3] 张小军, 韩丽, 宿可鸣. IP 网络设备典型故障分析及其对策 [J]. 飞行器测控学报, 2016, 35 (1): 70-75.
- [4] 党琦, 李卫平, 郭栋, 等. 航天测控站运营系统设计 [J]. 飞行器测控学报, 2017, 36 (3): 234-240.
- [5] 张文, 黎昌金. 电视发射机房蓄电池远程在线监测管理系统 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (11): 2929-2931.
- [6] 王婧. 动力环境监控系统在客运专线信息机房的应用 [J]. 信息通信, 2015, 146 (2): 177-178.
- [7] 张文, 黎昌金. 电视发射机房 UPS 蓄电池远程在线监测管理系统 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (11): 2929-2931.
- [8] 余耀. 温州广电智能机房动力环境的构建 [J]. 中国有线电视, 2015 (2): 199-201.
- [9] 孟小峰, 杜娟娟. 大数据融合研究: 问题与挑战 [J]. 计算机研究与发展, 2016, 53 (2): 231-246.
- [10] 蒙利, 辛胜, 杨其波. 基于陕西省地质调查数据库融合理论方法 [J]. 陕西地质, 2019, 2 (37): 90-97.
- [11] 王坦. 面向铸造业的信息资源规划应用研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2015.
- [12] 黄魁. 基于信息资源规划的云南省国土资源“一张图”核心数据库研究与设计 [D]. 昆明: 云南大学, 2014.
- [13] 李卫平, 唐硕, 白大明. 测控设备远程集中监控架构设计与实现 [J]. 飞行器测控学报, 2012, 31 (6): 52-56.
- [14] 党琦, 李卫平, 白大明, 等. 用理论构建航天测控设备集中监视系统 [J]. 飞行器测控学报, 2015, 34 (5): 459-468.
- [15] 周丽萍, 陈海波. 卫星系统频谱分析方法研究及应用 [J]. 航天器环境工程, 2009, 26 (5): 485-488.
- [16] 江洁, 陈劫, 钟鸣. 一种卫星数传通信频谱异常分析 [J]. 通信技术, 2015, 48 (7): 784-789.
- [17] 杨跃华. 5G 干扰 C 波段卫星信号接收的成因及应对措施研究 [J]. 广播与电视技术, 2019 (6): 134-136.
- [18] 陈锋. 5G 信号干扰卫星 C 波段信号的排查及应对措施 [J]. 网络信息工程, 2020 (8): 75-76.
- [19] 潘孝宝, 路仁杰. 5G 信号对广电 C 波段卫星电视接收的干扰以及应对方法 [J]. 系统网络, 2020 (4): 73-78.
- [20] 刘军, 王轶, 马明. 典型测控系统自动化运行的设计与实现 [J]. 电讯技术, 2006, 5: 197-199.
- [21] 高京龙. 航天测控站无人值守技术分析 [J]. 无线电工程, 2011, 12: 38-41.
- [22] 马玉凤, 卢栋, 张海奇. 航天测控站自动化运行技术研究 [J]. 甘肃科技, 2014, 30 (19): 44-46, 26.
- [23] 邵长林, 叶正茂, 潘建平. 天基与地基测量数据融合技术在靶场的应用 [J]. 飞行器测控学报, 2004, 24 (3): 38-42.
- [24] 刘夫体. GPS 与测速雷达测量数据融合处理方法 [J]. 导弹试验技术, 2007, 21 (1): 66-67.
- [25] 苏思, 姜礼平, 邹明. 基于最小二乘支持向量机的测控数据融合 [J]. 火力与指挥控制, 2011, 36 (3): 98-114.
- [26] 张志芬. 航天器多信源测控数据融合及应用研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2008.