

Application of intelligent operation and maintenance technology of building fire control facilities in aerospace buildings

Pei Mao Hanli Zheng

China Aerospace Construction Group Co., Ltd., Beijing, 00071, China

Abstract

With the advancement of aerospace engineering, the scale and functionality of aerospace buildings have become increasingly complex, imposing higher demands on the reliability and operational efficiency of fire protection systems. This paper explores the application of intelligent operation and maintenance (O&O) technology in aerospace architecture, analyzes the unique characteristics of fire safety systems in these facilities and the limitations of traditional maintenance methods, and elaborates on the technical framework and key technologies including IoT, big data, and artificial intelligence. Practical case studies demonstrate the effectiveness of these technologies, while future development trends are outlined. Intelligent O&O technology can significantly enhance the reliability and operational efficiency of fire protection systems in aerospace buildings, ensuring robust fire safety compliance.

Keywords

space architecture; fire control facilities; intelligent operation and maintenance; Internet of Things; big data

建筑消防设施智能化运维技术在航天建筑中的应用

毛培 郑晗犁

中国航天建设集团有限公司，中国·北京 100071

摘要

随着航天事业的发展，航天建筑的规模和功能日益复杂，对消防设施的可靠性和运维效率提出了更高要求。本文探讨了建筑消防设施智能化运维技术在航天建筑中的应用，分析了航天建筑消防特点及传统运维的不足，阐述了智能化运维技术架构及关键技术，包括物联网、大数据、人工智能等，并结合实际案例说明其应用效果，最后对未来发展趋势进行了展望。智能化运维技术能有效提升航天建筑消防设施的可靠性和运维效率，保障航天建筑的消防安全。

关键词

航天建筑；消防设施；智能化运维；物联网；大数据

1 引言

航天建筑是航天科研、生产和试验的关键场所，其内部按照使用功能或安装有许多精密的仪器、珍贵的科研器材，部分建筑内使用或存储航空燃料等易燃易爆品。航天建筑具有价值高、风险大、功能复杂特性。如果发生火灾等事故，不仅会给人员生命带来无法估计的伤害，还会给我国的航天事业带来巨大的影响。所以，保证航天建筑的防火安全具有十分重要的意义。建筑消防设施是防火的重要保证，它的正常运转与有效维护，对预防与扑救火灾具有重要意义。

2 航天建筑消防特点及传统运维的不足

2.1 航天建筑消防特点

2.1.1 建筑结构与功能复杂性

航天建筑涉及航天器总装车间、发射控制中心、航天研发实验室等不同类型，其建筑形态具有特殊性，空间布局复杂，内部功能分区细化等特点。比如，空间大、结构复杂的航天器总装车间多为装配和调试场所；而发射与控制中心，由于其对电子设备的工作环境有着苛刻的要求，所以设置了许多精密的控制室。由于建筑与功能的复杂性，导致了火灾过程中烟气与火的传播路径难以准确把握，增加了消防救援的难度。

2.1.2 消防安全性要求极高

航天建筑中的科学研究活动，不仅涉及众多高科技设备，还包含着大量的科学研究资料与危险性较大的航天燃料

【作者简介】毛培（1979—），男，中国陕西宝鸡人，本科，工程师，从事安全咨询、评估和评价研究。

等等。一旦发生火灾，不但造成重大的经济损失，更有可能摧毁数年来的研究成果，严重时还会对我国的航天战略部署产生重大的影响。比如，在试验过程中，火箭发动机试验台周围贮存着大量的高能推进剂，如果发生火灾，其爆炸强度及火灾传播速度都会大大超过一般建筑物，对周围的设施及人身安全造成巨大的危害。所以，航天建筑的消防安全需求比一般的建筑物要高得多^[1]。

2.1.3 消防设施种类多且技术先进

为了适应航天建筑对防火安全的要求，必须配置多种类型、技术先进的消防设施。除传统的火灾自动报警系统、消火栓系统、自动喷水灭火系统之外，气体灭火系统（例如七氟丙烷灭火系统用于电子设备机房的防护）、细水雾灭火系统（适合水渍损失严重的地区）和专用的航天特种燃料的灭火设备。同时，该系统通常与空间内其它自动化系统（环境控制、设备监测等）紧密结合，构成了一个复杂的、一体化的消防控制系统。

2.2 传统消防设施运维存在的问题

2.2.1 人工巡检效率低且准确性有限

传统的航天建筑消防设备运行维护以人工方式进行。巡查员要按规定的线路，一个一个的检查每一个消防设施，其中有检查仪器的外观是否完好，仪器读数是否正常，是否有手动试验的功能。但空间建筑规模大，消防设施分布广、类型多，人工巡视工作量大，极易造成巡检人员疲劳，造成漏检、误检等问题。比如，在大型空间飞行器总装车间，对火灾设施进行一次全方位的巡视，往往要花上几个小时甚至更久的时间。

2.2.2 故障发现与处理不及时

在传统的运行管理方式下，消防设备的故障往往是由巡检人员及时发现，或在设备出现重大故障并发出警报时才能发现。由于消防管线的内部腐蚀和线路内的隐性短路等隐蔽的故障，人工巡检难以发现。此外，一旦出现问题，必须由巡查员层层上报，并由专门的维护人员赶赴现场检修，这一过程往往耗费大量时间，且在不能及时抢修的情况下，消防设备可能会出现故障或局部故障，从而使火灾风险大大增加。例如，某航天研发实验室的火灾自动报警系统中的一个烟雾探测器出现故障，但由于未及时发现，在一次小型电气火灾初期未能及时发出报警信号，险些造成更大损失^[2]。

2.2.3 缺乏有效的设施运行状态监测与评估

传统的运维管理模式很难实时、全面地监测消防设施的工作状态，不能精确把握设备的性能变化规律。巡检人员仅能获得某个时间点上的设备状态信息，而不能获得设备在各种工作状态下的动态操作数据。目前，我国消防安全管理水平普遍偏低，且缺乏有效的管理手段，导致了火灾事故的发生和发展。这不但会加大维护费用，而且由于设备的故障，也会造成火灾安全的隐患。比如，在传统的工作方式下，消防泵作为消防给水系统的核心部件，不能对其流量、压力、

电机电流等进行实时监测，很难对其工作状态进行准确的判断，从而导致其在火灾过程中故障，从而降低了灭火效果。

3 建筑消防设施智能化运维技术架构

3.1 感知层

感知层负责对消防设备的各种操作及环境信息进行收集，是智能维护与维护的关键。在航天建筑中，许多防火设备都是通过在火灾现场安装大量的传感器来完成的。比如，将压力传感器、流量传感器和振动传感器安装在消防水泵上，对泵的出口压力、流量和振动进行实时监控，以此来确定泵的运行状态，有没有汽蚀、叶轮磨损等问题。将温度、烟雾、瓦斯等传感器集成到探测器中，不但可以精确地检测到火灾时的温度、烟气浓度及有害气体组成的变化，还可以监控探测器自身的工作状况，例如是否有灰尘遮挡，电池电量是否足够等。

3.2 传输层

传输层主要是将感知层获取的数据安全快速地传送给数据处理中心。在航天建筑的智能维护管理系统中，一般都是通过各种通信技术进行组合构成的。对距离较近、数据传输量较大的传感器节点，比如同一楼层或同一区域内的消防设备，可以通过以太网络的方式与之相连。但是，有些传感器的分布比较分散，布线也比较困难，例如，在厂房的高处或者偏僻的地方，就需要使用无线网络、蓝牙、LoRa 等无线通信技术。在这些应用中，无线网络适合小范围、高速率数据传输的场合；蓝牙技术可以在小范围、小功率的设备中进行数据传输，比如某些便携式火灾探测装置和移动电话应用程序等；LoRa 具有远距离、低功耗、大容量等优点，可在大面积区域进行无线通信，特别适用于航天建筑等边远地区的灭火设备的数据传输。

3.3 数据层

数据层是智能维护与管理系统的部分，其功能是存储、管理、分析来自传输层的数据。在航天建筑消防设施的智能运维管理中，利用分布式文件系统（HDFS）、NoSQL 数据库（如 MongoDB）等大数据存储技术，实现对消防设备运行状态及相关环境数据的有效存储。HDFS 可以在多个结点上分布式地存储数据，并且容错能力强，易于扩充，适用于大规模结构化或无结构化数据的存储；同时，MongoDB 还具备了灵活的数据模式，以及良好的查询效率，可以较好地解决消防设备在运行中所产生的各类复杂的数据。通过采用数据清洗和预处理等方法，对数据进行去噪、去重、格式转换等处理，改善数据品质，为下一步的数据处理奠定坚实的数据基础。然后，利用大数据分析与机器学习等方法，对消防设施运维数据进行深度挖掘与分析。

3.4 应用层

应用层提供了直观、便捷的操作接口，并提供了大量的功能性服务，从而达到了对消防设备进行智能维护和管理

的目的。在航天建筑中，应用层主要由消防设备监测平台、故障诊断预警系统、维护管理系统和应急指挥系统组成。通过可视化的接口，可以将消防设施的运行状况、地理位置分布和工作参数等信息显示出来，使用者可以在任何时候通过计算机、平板、手机等终端设备，随时了解消防设施的运行状况。

同时，该系统还可以对故障进行智能化的分析，给出维护意见及解决方法，极大地减少了故障的处理周期。维护管理制度是对消防设备维护计划的制定，维护任务的分配，维护记录的管理。该系统能够依据设备的工作状态和维护周期，自动产生维护方案，并向相关的维护人员进行维护工作，在维护结束后，将维护记录输入到系统中，从而达到对维护工作的信息化管理。

4 智能化运维关键技术

4.1 物联网技术在消防设施监测中的应用

物联网将各类消防设备接入到一个巨大的网络中，可以对各个消防设备进行全方位的监测与监控。在航天建筑中，将各种消防设施的传感器、控制器等设备，如消防自动报警系统、消火栓系统、自动喷水灭火系统、气体灭火系统等，都与物联网相连接。比如，在消防栓系统中，可以将智能监控设备安装到消火栓箱中，并通过物联网技术与监控中心相连，对消火栓的阀门状态、水压状态和是否被非法开启等进行实时的监控。一旦发现消防栓的阀门关闭或出现压力异常，该系统可即时将警报消息传送给有关人员，以便于对消防栓的检修与处置，保证消火栓系统在发生火灾时仍能正常工作^[3]。

4.2 大数据分析助力消防设施故障预测与健康管理

大数据分析是航天建筑消防设备智能维护的重要手段。采用数据挖掘、机器学习等方法，对消防设施的运行状态、维护记录、故障历史等进行采集与分析，构建火灾设施故障预警与健康管理系统。比如，通过长时间的监控与分析，对消防泵的启动次数、运行时间、流量、压力、电机电流等参数进行长时间的监控与分析，并利用时间序列分析、回归分析等方法，寻找各参量间的内在联系与变化规律。在水泵运行过程中，如果发现一些参数发生了不寻常的变化，或者超出了正常值，那么就可以对泵的运行状态进行预报，比如电机过热、叶轮磨损、轴承损坏等。

同时，通过对火灾现场监测数据的分析，实现对火灾现场火灾环境的监测，为火灾事故的预防与控制提供科学依据。对运行状态较好、故障风险小的设备，可适当延长维护时间，减少维护费用；对一些运行状态差、故障频繁的设备，

也要加大监控与维护的力度，以保证设备的安全性、可靠性。

4.3 人工智能技术实现消防设施智能决策与控制

随着人工智能技术的不断发展，航天建筑消防设备维护管理工作取得了突破性进展。在消防设施的决策和控制中，人工智能可以进行智能化的判定、自动化控制，从而提升消防设备在面对火灾等突发事件时的快速反应与处置能力。比如，在火灾自动预警系统中，采用人工智能的图像识别与深度学习等方法，对视频监控图像进行实时分析，不但可以对火灾的特征进行快速、准确的辨识，而且可以对火灾的规模、发展趋势等做出预测。与传统的火灾报警系统相比，该方法更加准确、可靠，可以降低误报率。

同时，当火灾发生时，通过对火灾地点、规模、人员分布等的分析，实现对火灾的最优控制。通过与消防设施的联动控制，使对应的灭火装置（如喷水灭火系统、气体灭火系统等）及疏散指示装置（如紧急照明、疏散指示标志等）的智能化开启，并针对实际情况进行动态调整，从而达到有效灭火、疏散的目的。另外，将人工智能技术运用到消防设备的日常巡视、维护等工作中，具有广阔的应用前景。采用智能机器人或者无人机，携带各种探测装置，根据预先设定的路径和步骤，巡视消防设施，采用人工智能的图像识别与数据分析技术，对设施外观是否完好、有无故障等进行自动检测，并将试验结果及时传送至监测中心。该方法不但可以有效地提高检测的效率与精度，而且可以减少人员的劳动强度与风险^[4]。

5 结语

在航天建筑的实际应用中，已经证明了智能运维管理的价值，构建智能感知和数据驱动的运行维护系统，实现对消防设施状态的实时监控、故障的精确预警和快速处理。在未来，随着人工智能和物联网技术的不断迭代，智能运维的智能化和协同性将会不断地提升，从而不断地优化火灾管理的效率和准确性。同时，加强专业人员培训、健全标准规范，促进相关技术与航天建设全寿命周期的深度匹配，为我国航天事业的安全发展提供更加可靠的消防保障。

参考文献

- [1] 吴天昊. 建筑消防设施管理缺位问题分析及对策[J]. 中国消防, 2023, (S1): 169-171.
- [2] 王占国. 高层建筑消防设施监督检查中的优化策略[J]. 水上安全, 2023, (10): 136-138.
- [3] 王寒月. 加强建筑消防监督管理研究[J]. 消防界(电子版), 2023, 9(16): 58-60.
- [4] 李树超. 建筑防火及消防设施快速智能化检查方法研究. 天津市, 应急管理部天津消防研究所, 2021-12-30.