

# 实践探索

## Practical Exploration

近年来，我国信息化事业不断发展，在“全面提高信息化水平，推动信息化和工业化深度融合，加快经济社会各领域信息化”等战略方针的指引下，做出了大量的实践与探索，延伸到了社会、经济、政治、文化、军事等各个领域。移动互联网、云计算、大数据等技术的不断发展和普及，为信息化实践的推进提供了有力支持。此外，智慧城市与数字强国的建设需求也推动了信息化的探索进程，符合时代的要求与趋势。

信息化对经济发展的作用一直是较为重要的课题，在电子政务、电子商务、企业数字化转型、大数据分析应用等各个领域均取得了重大成果。同时，信息化实践探索的工作一直秉承着突破性与创新性齐头并进的态势向前发展。未来将继续以信息化实践与探索为基石，不断推动国民经济和社会信息化事业发展，加快释放信息化发展的巨大潜能，以信息化驱动现代化，全面建成社会主义现代化强国。

## 实践探索

Practical Exploration

# 面向卡车无人驾驶需求的露天矿山 5G 网络规划与优化\*

文◆辽宁首钢硼铁有限责任公司 冯威  
丹东东方测控技术股份有限公司 樵永锋 张伟 赵孝泉 王伟 王焜

## 引言

随着科技的飞速发展，5G 网络已成为当今社会的核心技术之一，其在各个行业中的应用潜力巨大。特别是在露天矿山这种复杂环境中，5G 网络的高速度、低延迟和大连接数特性为卡车无人驾驶技术的实现提供了可能。露天矿山的运营对于高效、安全和环保的要求日益提高，传统的通信手段在这种场景下难以满足需求。因此，面向卡车无人驾驶需求的露天矿山 5G 网络规划与优化显得尤为重要。

## 1 项目概况

A 集团东露天矿的 5G 专网运营平台为响应智能化示范煤矿建设号召，开放 5G 专网自服务平台的云服务能力，向网络用户提供云化部署模式，满足企业云管理需求，进一步推动了煤矿行业的智能化发展<sup>[1]</sup>。该平台采用 5G 独立组网（SA）和移动边缘计算（MEC）相结合的架构，通过网络模拟设计，精确规划宏站位

置，以最少的建设成本实现矿区的全面覆盖，消除网络盲区。5G 专网运营平台具备资源管理、告警管理、性能管理和运维管理等功能，并通过开放接口和云服务能力，支持上层应用的灵活部署和扩展。为满足客户对数据安全和监管的需求，提供私有化部署选项，将专网能力和系统部署在客户侧，实现“监管控”一体运维。

## 2 露天矿山 5G 网络规划

### 2.1 网络拓扑设计

核心网设计采用冗余设计原则，设置主备核心网元，实现负载均衡和故障切换。传输网设计利用高速光纤环网构建传输网络，确保数据传输的低时延和高可靠性。露天矿山 5G 网络拓扑设计如表 1 所示。

5G 基站布局在装载区域、运输道路、排土区域等关键位置部署 5G

表 1 露天矿山 5G 网络拓扑设计

项目	设计原则 / 技术	数据参数
核心网设计	采用冗余设计原则，设置主备核心网元，实现负载均衡和故障切换。	主备核心网元数量：2 套 故障切换时间：< 50ms 最大负载均衡能力：10Gbps
传输网设计	利用高速光纤环网构建传输网络，确保数据传输的低时延和高可靠性。	光纤类型：单模光纤 传输速率：100Gbps 环网保护方式：MSP（多业务保护）
5G 基站布局	在装载区域、运输道路、排土区域等关键位置部署 5G 基站，形成连续覆盖。	基站数量：50 个 基站间距：500m 覆盖半径：1~2km 频谱带宽：100MHz 下行峰值速率：10Gbps 上行峰值速率：1Gbps

\*【基金项目】辽宁省揭榜挂帅科技攻关项目（2021JH1/10400011）

【作者简介】冯威（1988—），男，辽宁本溪人，本科，助理工程师，研究方向：采矿工程。

【通讯作者】张伟（1980—），男，黑龙江密山人，本科，正高级工程师，研究方向：工业在线监测分析及工业自动化。

基站，形成连续覆盖，确保无人驾驶卡车在矿山任何位置都能获得稳定的 5G 信号。

### 2.2 网络参数配置

频谱分配根据矿山具体需求和可用频谱资源，为无人驾驶业务分配专用频段，避免对其他业务的干扰。时隙配置优化时隙结构，以满足无人驾驶业务对低时延的要求。根据矿山的业务需求和可用频谱资源，为无人驾驶业务分配专用频段，确保数据传输的稳定性和避免对其他业务的干扰。频段选择应考虑矿山的地理位置、现有通信系统的频谱占用情况以及国际电信联盟（ITU）或当地频谱管理机构的规定。

信道带宽是影响 5G 网络传输速率和容量的关键因素。根据无人驾驶业务的数据传输需求和预期的网络性能，可以计算所需的信道带宽，公式如下。

$$B = \frac{R}{\log\left(1 + \frac{S}{N}\right)} \quad (1)$$

式（1）中， $B$  为信道带宽（Hz）， $R$  为目标传输速率（bps）， $S$  为信号功率（W）， $N$  为噪声功率（W），通过该公式能够估算在给定噪比（SNR）条件下，实现目标传输速率所需的信道带宽。

为满足无人驾驶业务对低时延的要求，优化了 5G 网络的时隙长度。在给定帧结构和信道带宽的条件下，时隙数量与数据传输速率存在一定的关系。一般来说，增加时隙数量可以提高数据传输的灵活性，但也会增加额外的开销和处理时间。因此，应根据具体需求和网络性能要求，进行合理的时隙数量配置<sup>[2]</sup>。

在 5G 网络中端到端时延是一个重要的性能指标。对于无人驾驶业务，应确保网络时延低于一定的阈值以保证行驶安全。时延预算可以表示为以下公式。

$$D = D_p + D_i + D_p + D_q \quad (2)$$

表 2 露天矿山 5G 网络参数配置

参数	数值	技术说明
基站数量	50	矿山范围内部署的 5G 基站数量
频谱频段	3.5GHz	分配给无人驾驶业务的专用频段
信道带宽	100MHz	每个基站的信道带宽
时隙长度	0.5ms	优化后的时隙长度，以满足低时延要求
MIMO 配置	4×4	采用 4×4 多输入多输出（MIMO）技术
最大吞吐量	10Gbps	网络的最大数据传输速率
端到端时延	10ms	保证无人驾驶业务的低时延要求
传输功率	200W	基站的传输功率
调制方式	QAM-64	采用 64-QAM 调制方式提高传输速率
编码方式	LDPC	使用低密度奇偶校验码（LDPC）进行信道编码
网络架构	C-RAN	采用集中式无线接入网络（C-RAN）架构，实现资源共享和灵活扩展
前传 / 回传网络	光纤传输	使用高速光纤网络进行前传和回传，确保数据传输的高可靠性和低时延
核心网设计	冗余设计	设置主备核心网元，实现负载均衡和故障切换，确保网络的高可用性

式（2）中， $D$  为总时延， $D_p$  为处理时延， $D_i$  为传输时延， $D_p$  为传播时延， $D_q$  为排队时延。

减少数据传输的时隙间隔，降低端到端时延。MIMO 技术应用采用多输入多输出技术，提高 5G 网络的吞吐量和传输效率，确保无人驾驶卡车能够实时上传大量传感器数据。协议栈设计以及资源管理策略等手段，可以降低各项时延成分，满足无人驾驶业务的低时延要求，最终得出露天矿山 5G 网络参数配置（见表 2）。

### 2.3 网络覆盖优化

针对露天矿山的复杂地形和建筑物遮挡问题，采用定向天线、波束赋形等技术手段，增强特定区域的信号覆盖。运用智能干扰管理算法，动态调整基站发射功率和频率资源，降低网络内部的同频干扰，提升信号质量。基站可以根据接收到的信号质量和干扰水平，动态调整其发射功率。

$$P_{tx} = \min\left(P_{max}, \frac{SINR_{target}}{G_{total}}\right) \quad (3)$$

式（3）中， $P_{tx}$  为基站的发射功率， $P_{max}$  为基站的最大发射功率， $SINR_{target}$  为目标信干噪比， $G_{total}$  为路径损耗、阴影衰落、天线增益等在内的总增益。通过合理的频率复用和分配策略，可以降低相邻卡车之间的同频干扰。优化 5G 网络的切换算法和移动性管理机制，确保无人驾驶卡车在高速移动过程中能够保持稳定的网络连接。

为了确保无人驾驶卡车在高速移动过程中能够保持稳定的网络连接，应进一步优化 5G 网络的切换算法和移动性管理机制，包括以下几个方面。

第一，在无人驾驶卡车高速行驶的过程中，由于移动速度较

快，频繁地切换基站会对网络连接的稳定性产生影响。因此，应优化切换算法，减少切换次数，提高切换成功率，确保网络连接的稳定性。

第二，在无人驾驶卡车行驶过程中，由于车辆的位置和速度不断变化，网络覆盖范围也会随之变化。因此，应优化移动性管理机制，根据车辆的位置和速度动态调整网络覆盖范围，确保网络连接的连续性和稳定性。

第三，在无人驾驶卡车行驶过程中，多个车辆会同时连接到同一个基站，导致网络负载过大。因此，应实现负载均衡和流量控制机制，根据车辆的数量和网络负载情况动态调整基站的工作状态，确保网络的稳定性和高效性。网络连接网络覆盖范围及负载情况如表 3 所示。

从表 3 中可以看出，随着车辆速度的增加，切换次数和网络负载也随之增加，而网络覆盖范围和切换成功率则相应减少。

综上所述，优化 5G 网络的切换算法和移动性管理机制是确保无人驾驶卡车在高速移动过程中保持稳定网络连接的关键。应在这些方面进行深入研究和技术创新，为无人驾驶卡车的广泛应用提供可靠的网络支持。

### 3 项目实践结果

#### 3.1 试验设计

在采场西帮地表区域从南向北布设 5 座 5G 基站，确保试验区 4km<sup>2</sup> 范围内的 5G 网络全覆盖，满足无人驾驶的网络通信要求。投入 1 台液压反铲配 6 台无人驾驶线控卡车。挖掘机斗容为 6m<sup>3</sup>，卡车载重为 35t。选择采场南帮 +536m 水平作为试验区域，

表 3 网络连接网络覆盖范围及负载情况

序号	车辆速度 (km/h)	切换次数	切换成功率	网络覆盖范围 (m)	网络负载 (Mbps)
1	60	5	90%	500	20
2	80	8	85%	450	30
3	100	12	80%	400	40
4	120	15	75%	350	50
5	140	20	70%	300	60

排土场设在 +596 m 水平，运距约 3.5km，爬升高度 60m。道路设计为隔离的双向双车道，全线覆盖电信的 5G 网络。划定无人驾驶封闭作业区域，确保提供安全可靠、固定单一的作业环境。无人驾驶装载点与卸载点往返 1 次行程约 7km，平均时速设计为 35km/h，单趟平均时间预计为 25min。通过技术优化提升，设定单车单日平均拉运趟数由 8 趟提升至 24 趟的目标。

#### 3.2 试验结果分析

最终，成功搭建矿山无人驾驶场景，实现单编组无人驾驶车队的连续稳定运行。单车单日平均拉运趟数由 8 趟提升至 24 趟，显示出技术优化的优秀成果。同时，无人卡车平均时速由 30km/h 提升至 35km/h，符合设计预期。通过实现双班运行，极大提高了运行效率。在标准运距和提升高度作业条件下，无人驾驶试验运行效率达到了人工平均的 90% 以上。“5G+” 卡车无人驾驶试验至今已安全测试 257 天，总里程达到 17.35 万公里。在测试期间，共拉运土方 51.95 万 m<sup>3</sup>，显示出系统的高稳定性和可靠性。在监控与调度方面，成功搭建无人驾驶云端调度指挥平台，实现对无人驾驶运行数据、车辆视频、挖机视频的实时监控。无人驾驶的高精度矢量地图能够清晰呈现出矿山的整体结构和各个作业区域，使管理人员能够更加全面地了解矿山的生产状况。而矿上的 CAD 现状图则能够详细地展示出矿山的各种设施和设备的分布情况，为无人驾驶车辆的运行提供了更加精确的导航和定位服务<sup>[3]</sup>。

### 结语

面向卡车无人驾驶需求的露天矿山 5G 网络规划与优化具有重要意义。通过不断完善和优化 5G 网络覆盖、提升数据传输和处理能力、加强网络安全防护等方面的工作，将推动露天矿山无人驾驶技术向更高水平发展，为矿山行业的智能化转型注入新的动力。同时，也将为其他类似复杂环境下的无人驾驶应用提供有益的参考和借鉴。<sup>[8]</sup>

#### 引用

- [1] 高德旭.露天矿山无人驾驶网络通信技术探究[J].露天采矿技术,2023,38(2): 98-102.
- [2] 盛国庆,殷亮子.浅析露天矿山无人驾驶矿卡的维护与管理[J].工程机械与维修,2022(5):21-23.
- [3] 杨雄.基于5G+无人驾驶铲运机远程出矿技术及应用[J].采矿技术,2023,23(3): 155-159.

# 红外热成像联合运动感应 控制在经穴锻炼系统中的应用\*

文◆浙江商业职业技术学院 龚 祯

## 引言

我国人口老龄化已经步入快速发展期，中国老龄人口的比重正在增加，随之而来的社会问题亟待解决。面临的最突出的问题就是老年人的健康状况。老年人群容易患上各种慢性病，医疗资源不足，医疗费用高昂。我国超过 1.8 亿老年人患有慢性疾病，老龄人口的健康问题大部分呈现出得病概率较高、发病时间较早、患病伴随时间较长等问题，幸福老龄化、积极应对老龄化已经明确上升为国家战略。

中医目前是我国重要的医疗卫生资源，在当前“积极老龄化”思想的背景下，中医更须秉承精华、因势而新，为“积极老龄化”添砖加瓦。大量临床实践证明，经络按摩锻炼在人体养生保健方面，尤其是在老年人群中，表现出积极的临床效果。通过中医辨证论治法指导经络穴位刺激可以调整机体脏腑功能，促进新陈代谢，修复局部肌肉，恢复骨骼和神经功能等。但目前老年人群按摩保健锻炼往往依赖医生，医疗资源紧张。同时，由于老年人群个体体型、体质、人体反应感知差异和自我认知力的限制，在自主穴位按摩锻炼过程中无法精准取穴，无法保证按摩保健锻炼的稳定性和持续性。目前围绕按摩保健锻炼的研究也多只注重进行效果探讨，缺乏对技术手段的革新。

## 1 基于红外热成像联合运动感应控制技术的发展趋势

红外热成像技术可以直观反映物体的热分布并形成图像，通过观察人体表面的温度场以揣测分析机体内在状况和变化，目前已广泛用于中医辨证诊断、经络腧穴探索、体质辨识研究等领域中，为中医整体观提供了可量化、可视化数据支持。红外热成像技术还可从穴位的温度特性出发，揭示穴位的特异性，为医生或患者提供客观高效的自动穴位定位方法。很多重要的生理和病理信息在人体穴位的红外辐射中呈现，并且在临床中常见的多种疾病经穴红外辐射都存在特异性改变的现象<sup>[1]</sup>。

动作感应控制技术以人为中心，由机器通过某些特殊方式对用户的

动作进行辨识、解析，并按照预定感测模式，对相应动作在机器端作出反馈。动作感应控制在医学领域中目前主要应用于医疗康复、保健、医学影像学 and 心理学，尤其在医疗保健领域发展十分迅猛<sup>[2]</sup>。动作感应控制能营造沉浸式体感交互环境，将抽象的中医保健理论以简单形象的模型来展示，通过经络穴位的数字化与可视化，即刻实时反馈出锻炼治疗过程的生理数据，为老年人群的自主锻炼保健提供实现的可能。

本文将依据中医经络腧穴理论，将中医经络按摩保健锻炼法与红外热成像和动作感应控制保健手段深度融合，深入探讨其作用机理；开发动作感应控制经络按摩自主保健锻炼系统，提升老年人群免疫机能，改善老年人群健康生存质量。随着新技术模型的完成，研究将为动作感应控制经络按摩自主保健锻炼系统的应用研究奠定良好的医学基础，为老年人群养生自主保健提供一种崭新的思路，促进中医康复技术的革新。

\*【基金项目】2023 年度浙江省高等学校国内访问工程师“校企合作项目”立项课题“基于红外热成像联合运动感应控制技术的经穴锻炼系统研发”（FG2023084）

【作者简介】龚祯（1987—），女，浙江慈溪人，硕士，副教授，研究方向：电子商务与人工智能。

## 2 中医与运动感应控制经穴锻炼模型的互助互建

在中医经络领域的基础上，将红外热成像技术与动作感应控制技术创新地结合起来，形成人体经穴锻炼新模型，进一步推动中医康复领域的创新。从中医指导经络穴位功能的背景入手，创新经穴锻炼模型的主要路径<sup>[9]</sup>。

### 2.1 经穴自主锻炼创新模型的关键技术及创新点

本文结合红外热成像、动作感应控制技术进行经络按摩康复手段的优化与革新，致力于提升老年人群的生存质量，并实现新技术的临床应用，具有重要的现实意义。创新模型充分利用红外热成像与动作感应控制技术手段，综合揭示人体运动执行系统功能再造、神经功能重塑、人机交互控制与交互感知的基本科学规律。针对不同使用者的体质特征进行客观评估与选穴，采集整理使用者体质特征的红外热像图，结合灰度投影法与穴位分布的先验知识自动定位自主保健穴位。构建动作感应控制自主保健锻炼模型，分析动作感应控制交互操作的力量大小、运动参数和保健的影响，以数字化的形式将穴位的准确定位以及按压穴位时的角度和深度等测量结果进行呈现。开发动作感应控制经络按摩养生自主保健锻炼系统。利用并集成高性能的计算机软硬件以及各类医疗传感器，设计沉浸式体感交互环境，利用混合建模的方法对素材进行三维建模并组合以及性能优化，自定义事件与感应器 API 控制操作信息的输入输出，实现经络保健运动人机交互方式。

经穴自主锻炼系统证明了动

作感应控制经络按摩锻炼具有改善老年人群生存质量的作用，揭示了其通过红外热成像联合动作感应控制技术实现个性化精准理疗的途径，阐明了其软硬件主动锻炼方案的实现机制，为中医临床针对老年人群感应控制经络自主锻炼按摩疗法的应用提供新的思路和方法。通过采集研究使用者红外热像图，揭示了老年人群个体的体质特征与经络穴位配伍关系，从影像学视角进一步阐明老年人群按摩养生保健锻炼手段的必要性和可行性，属于原创性研究。从创新改革角度出发，研究建立了“经穴养生体质特征辨证分型与保健穴位数据库”，数据库不仅包含老年人群体质特征分类描述等结构化数据，还包含养生保健经络定位图等非结构化数据，精确完整的信息结构为动作感应控制经络按摩保健锻炼提供数字化支持。此外，创设了沉浸式体感交互环境，为老年人群设计了可视化运动保健感知模型，实时捕捉经穴保健过程中的肢体形变、肌电运动信号、局部体温等身体信息，实现准确的经络自主保健指导，为老年群体经穴按摩养生保健锻炼提供了新工具和新思路。

### 2.2 中医与经穴自主锻炼创新模型的协作配置目标

本经穴自主锻炼创新模型的研究方法内容相对较为复杂，据此，中医与经穴自主锻炼创新模型的协作配置方案实施步骤具体如下。第一，选择 108 名老年人作为研究对象，结合红外热像图分析老年人群不同个体中医体质证型与辨识，自主保健需求的经络、腧穴和特定穴运用规律。提出腧穴功效研究设计方法；阐明常用腧穴的主要功效与效应机制，制定老年人群体质辨证分型与临床保健腧穴配伍优化建议方案。第二，充分利用红外热成像与动作感应控制技术手段，综合揭示人体运动执行系统功能再造、神经功能重塑、人机交互控制与交互感知的基本科学规律。构建动作感应控制经穴自主按摩锻炼模型，分析动作感应控制交互操作的力量大小、运动参数和功效的影响。运用疼痛测量仪毛刷测量痛觉过敏以及迟钝的方法，从压力感受器的角度分析穴位感受器穴位处阈值在经穴治疗前后的变化。第三，开发动作感应控制经穴自主按摩锻炼系统。实验对照动作感应控制经穴锻炼疗法治疗与常规按摩锻炼疗法治疗模式，进行动态比较检验老年人群按摩锻炼成效，并进行结局评价和改进。据此，中医与动作感应控制经络按摩自主保健锻炼系统的协作配置技术路线图如图 1 所示。

## 3 运动感应控制技术协作配置经穴自主锻炼创新模型发展的有效机制

解决基于经穴主动按摩锻炼方案缺乏客观数据支撑的问题。老年人群普遍存在生理功能下降或体质虚弱的问题，容易形成老年慢性疾病。不同时期的中医体质证型是老年人群所处一定阶段的慢性病病因、病位、病性、病势等病理过程的高度概括，也是经穴主动按摩锻炼方案的选穴依据。本机制拟应用红外热成像技术分析老年人群慢性病肢体部位的代谢与血流变化，通过观察体表温度变化来预测分析机体内在生理病理，通过可视化数据论证中医理论的真实性，为中医辨证施治提供量化依据，为中医体质证型辨识提供数据支持。从而判定数字化经穴自主按摩锻炼方案的适用性、有效性以及可行性。

解决老年人群由于慢性病导致的部分肢体肌肉、神经的改变导致老

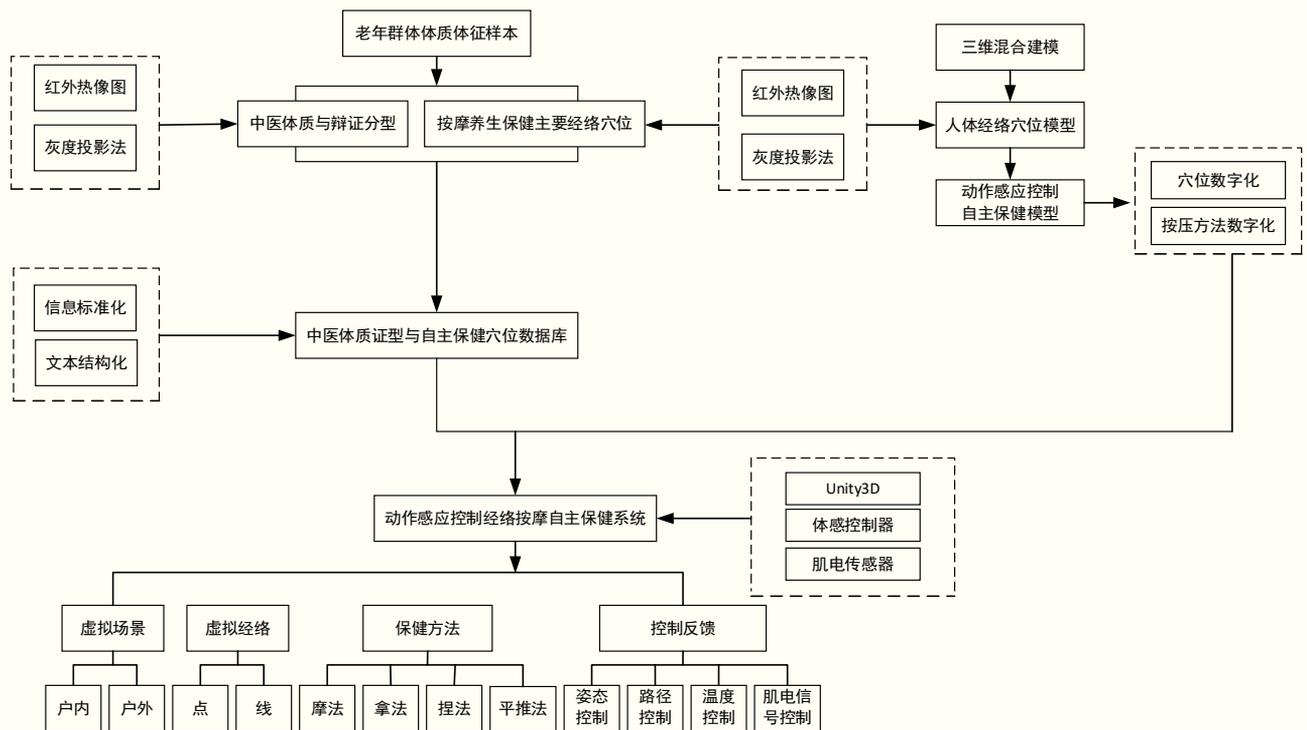


图1 协作配置技术路线图

老年人自主按摩时选穴定位困难问题。老年人群在机体功能下降后容易引起老年慢性病，老年慢性病将会引起肢体肌肉神经受损，从而引起肢体部分炎症反应和异常的血运状况，导致患侧的表层温度分布异常。本模型拟对患者红外热图像进行预处理，包括采用改进的中值滤波算法进行图像去噪和差值图像技术进行对比度增强，并采用全局阈值法对肢体区域和穴位进行分割，然后结合温度特异性检测和边缘检测算法，通过肢体生理结构导致的温度的差异性和随着温度变化形成的图像边缘自动定位肢体主要器官穴位的水平和垂直位置坐标轴，利用穴位与主要器官位置坐标轴的相对距离自动定位穴位按摩锻炼所需的主要穴位。

解决基于动作感应控制技术的经穴自主按摩锻炼手势精准识别问题。穴位自主按摩锻炼手势识别主要提取自主按摩锻炼过程中手指的按摩位置坐标从而得到手部所有关节的坐标，确定指尖最优按摩锻炼路径。本模型系统拟采用 Google MediaPipe Holistic SDK 获取手指指尖信息，实时采集真实穴位按摩锻炼手势，获取完成手势运动序列，数据处理单位为帧，去除无效帧，保留有效帧。并将特征数据导入卷积神经网络模型 (Convolutional Neural Network, CNN) 与预定义的姿态动作库进行匹配，识别老年人群的经穴自主按摩锻炼姿态，通过动作感应控制经穴按摩主动锻炼系统的虚拟环境自然交互，实时指导纠正老年人群按摩锻炼动作。

### 结语

我国将进入深度人口老龄化阶段，为了进一步落实健康老龄化、积极应对人口老龄化，针对老年群体的中医按摩养生自主保健依从性需求日益增大。本研究致力于开发的动作感应控制经络按摩养生保健锻炼法是结合传统中医经络学、动作感应控制技术与体感控制设备的一种新型

物理按摩保健锻炼法。此系统用于老年群体日常养生保健穴位按摩锻炼，系统投入落实发展后将在合作医院或社区卫生院进行系统推广。同时，此系统可有效减少老年慢性病的发生率，提高老年群体按摩养生保健锻炼的自我管理水平，让老年群体获得更高的生存质量，促进中医康复自主锻炼技术的创新与发展。<sup>[8]</sup>

### 引用

- [1] 陈龙畅,马晗,王永吉,等.红外热成像技术在中医基础与临床应用的研究[J].中国中医药图书情报杂志, 2022,46(3):72-77.
- [2] 张培宇,朱忆宁,周天钧,等.体感交互技术在医疗护理领域中的应用现状[J].护理研究,2021,35(5):874-877.
- [3] 周晓玲,周娅妮,唐农,等.基于红外热成像技术探讨人体阴阳本体结构[J].时珍国医国药,2020,31(2): 468-471.

# 基于云计算的计算机网络安全评估设计

文◆恩施职业技术学院 胡建敏

## 引言

随着计算机网络技术的快速发展,人们逐渐提高了对信息化服务能力的关注,各部门只有完善网络安全防御系统,才能满足用户的工作、生活等方面的需求。基于此,本文结合实际思考,首先分析了云计算技术的优势,然后阐述了基于云计算的计算机网络安全评估方法,最后提出了基于云计算的计算机网络安全评估设计方案。

## 1 云计算技术的优势

### 1.1 安全性

操作者将云计算应用于计算机网络中,可以强化计算机网络的安全性能。例如,访问管理、身份验证、数据加密等,可以确保云供应商能够提高网络环境中的数据灵敏度,实现安全处理并进行存储,依靠加密的 MySQL 数据库,防止数据丢失,强化移动计算机的灵敏度,增加其中的敏感数据,防止计算机受到恶意程序攻击,保障计算机的整体安全性。

### 1.2 可扩展性

云计算可以满足用户在不同场景、不同时段,对资源的动态需求,其运用扩展资源的方式,

防止系统发生超预算的情况。用户仅需凭借软件设备,就可完成数据内容的快速部署,并结合自身的需要,将新业务以及已有的业务进行有效拓展。利用云计算技术,完成动态内容的拓展并增加其他服务器的应用,从而保证其所需执行的任务能够在规定时间范围内完成。同时,结合虚拟化资源的动态拓展情况,强化计算机云计算的操作能力。

### 1.3 虚拟化

将虚拟化技术应用于计算机内,展现出虚拟化云计算高效、方便、可扩展以及灵活的优势。用户在操作时不需要考虑硬件实体,仅通过云服务供应商所提供的账号,进入云控制台或购买配置服务,即可实现虚拟化。同时,虚拟化技术可以帮助用户在任何位置都能获取终端服务,方便用户掌握数据内容的具体运行位置,让其利用 PDA 或笔记本电脑等设备,依靠网络强化各种服务能力。用户此时在获取数据资源时,既打破了空间、时间等诸多方面的禁锢,又可以凭借云计算随意在系统中移动,调节 PC 并控制资源,使云服务商能够以用户为中心,为其提供服务。

### 1.4 弹性伸缩

云计算具有弹性伸缩的优势,其可以结合用户的需求,实现对资源的扩展和缩减。用户不需要提前配置物理机或订购物理机,仅需依托云计算的拓展服务,增加基础设施在此过程中的支持,保证用户的业务需求得到满足,从而灵活地调节资源配额,满足用户在不同场景中的需求。

## 2 基于云计算的计算机网络安全评估方法

基于云计算实现对计算机网络安全评估,应通过以下操作模式完成。

### 2.1 威胁建模

应以威胁建模为主,执行安全评估操作,分析系统并进行建模,了解其中隐藏的漏洞和潜在的风险,夯实网络评估工作基础。同时,从结合系统的角度出发,探索其整体架构,了解系统在不同环节及其内部组建的情况,以识别威胁,减少计算机网络内的安全风险。

### 2.2 扫描漏洞

应提高漏洞扫描工具的利用率,实现对系统情况的全面评估,主动了解漏洞和弱点存在的位置,以降低对计算机网络安全所带来的影响。

【作者简介】胡建敏(1980—),女,土家族,湖北利川人,本科,讲师,研究方向:计算机网络。

另外，从系统中的应用层、网络层以及操作层的角度出发，执行漏洞扫描工作，确保系统正常运行。

### 2.3 评估安全策略及风险

根据系统的运行状态，优先执行安全策略评估操作。借助自身经验，判断系统是否具备充足的安全保障；基于系统出发，执行访问和控制工作，以简化安全策略评估流程；运用加密、认证等方式，提高用户在系统中的安全性。同时，在实行风险评估操作时，应基于系统的基本情况，了解内部潜在的威胁和风险，及时制定应对方案，以保障系统的可用性、数据的安全性以及系统的可靠性，最终达到提高系统安全性的目的。

### 2.4 安全测试

安全测试是云计算系统运行期间的最后一步，运用全面安全测试的方式，有效验证系统的可靠性和安全性。运用白盒测试、黑盒测试等方式，了解系统中出现的安全隐患，做到全面验证，确保计算机网络的安全运行。

## 3 基于云计算的计算机网络安全评估设计方案

### 3.1 系统架构设计

结合用户的需求，依托服务器、浏览器以及其他的架构模式，实现对计算机网络安全评估系统的设计，使工作人员能够凭借系统，保护用户信息，保证用户在网络环境中的安全性。同时，应运用数据加密、签名认证等方式，让系统展现出高效的数据传输和存储能力，满足系统架构的设计要求。凭借云端接口，实现与系统的对接，让在线数据自行上传和下载，保证系统能够在数据池内展现出自身的独立性，让系统能够给到存储空间一定的位置，使云计算服务更加集中于节点集群当中。通过云控制服务中心，实现对不同区域内数据内容的统一管理，保证数据池的整体安全性。此外，还应注重以下两种环境的搭建，实现对计算机网络安全评估的设计。

第一，设计软件环境。通过配置程序的应用，实现对数据库、编程语言、操作系统、浏览器以及多模块内容的开发。在夯实好系统设计功能后，营造出相对良好的网络环境，调整系统架构，满足计算机网络软件环境的设计要求<sup>[1]</sup>。

第二，设计硬件环境。运用数据库、配置应用、客户端等服务器，设置硬盘、CPU 以及内存等性能指标，为后续硬件环境的运行做好铺垫，进而满足系统架构的设计要求<sup>[2]</sup>。

如此，用户在登入系统前期，应掌握硬件环境和软件环境的状态，优先完成账户注册工作，方可登入系统。若注册信息与实际信息一致，则可通过 HTTPS 协议。而操作人员根据用户所输入的信息，实现对其管理，使顺利进入系统的用户能够在云端读取数据信息并将重点数据进行加密，以保证文件信息的安全性，同时使整个过程能够完全保密，确保计算机网络系统的安全运维。

### 3.2 拓扑结构设计

基于云计算了解计算机网络安全内存在的拓扑结构情况。通过中心

节点的设置，有效提升系统中心节点的可伸缩能力，加强对不同节点的管控能力，使不同节点都能完整动态地分配工作。运用对不同节点状态的了解，执行精准管控操作，在确保节点管控工作实施效率的同时，使数据池之间相互连接，保证数据传输工作的顺利开展。同时，及时接收用户的请求，利用客户端发出相应指令，使云端与客户端完成点对点通信。

### 3.3 重点模块设计

#### 3.3.1 节点管控模块设计

结合系统情况，创设节点管理模型，融入云计算服务，保证系统的整体安全性。首先，为防止恶意程序、黑客的入侵，应采用攻击测试的方式，第一时间掌握系统内存在的云服务器漏洞和安全风险。利用测试结果，及时修复系统，防止系统中安全隐患增加。其次，应运用节点资源预测、统计以及分配的方式，使不同节点能够在网络渠道内处于最佳状态，若用户此时向系统发出请求，节点可自行分配，而初始节点则应实行初始化操作，保证各个节点能够分配到对应的位置，保持良好的运行状态。最后，若客户已经接收到请求，可运用云服务控制中心，及时掌握节点管理模型的情况，有效识别空闲节点，运用回收的方式，释放系统中的空间，拓展节点信息的应用渠道，使其更加安全。

#### 3.3.2 身份认证模块设计

在设计身份认证模块时，应合理应用网络数据，通过椭圆曲线保证存储系统的安全性。首先，列出加密序列，根据用户的网络数据访问情况，设置代理私钥，在有效防止恶意程序入侵的

同时，用户利用密码验证身份，减少外界干扰带来的影响。其次，用户在访问计算机网络时，运用身份认证的方式，快速匹配系统设置的用户信息，使用户信息真实有效，加快计算机网络的安全运行效率。

### 3.3.3 数据加密模块设计

数据加密模块作为系统中的第二道安全防线，在设计过程中应基于网络存储安全模型进行考虑，运用模型辅助的方式，提高网络数据内容的利用率，使数据存储与传输的安全系数有效提升。因此，只需设置加密模块与数据签名，就可以实现数据内容的快速传递，完成对数据内容的验证以及解密。

例如，数据接收方或数据传送方，首先通过椭圆数据参数，执行在网络渠道内的还原处理工作，用户根据要求进入安全通道，将所需处理的内容进行整理，还原私钥，使得到的结果能够传输到传输方的手中，完成数据信息的一次传递。其次，用户运用数据签名，使散列的数据内容被高效处理。系统在数据传输过程中形成私钥，生成对应的签名信息，在签名内容和密文内容一致后，方可让接收方获取所需信息，不仅可以实现对数据内容的加密处理，还可以帮助数据接收方尽快获得所需的内容。再次，用户通过身份验证的方式，实现对云服务器数据内容的获取。最后，用户运用私钥完成文件的解密操作，或者通过公钥验证的方法，加强对数据信息的解密并凭借云存储安全模型，得到所需的数据内容。

### 3.3.4 数据存储模块设计

为保证计算机网络渠道内的数据信息能够安全存储，在数据存储模块设计时应重视管理端模块、文档服务器模块以及备份服务器模块，合理设计，满足数据信息的存储要求。

(1) 管理端模块设计。根据计算机的运行状态，实现对系统内容的分析以及判断，确认文档中的内容是否合格，保证文档信息安全存储。

(2) 文档服务器模块。应了解本模块的使用情况，根据用户发送的请求，执行对应操作。在提高系统响应速度的同时，管理人员应依靠管理端，完成用户相关模块的创设，使操作者可以根据服务器系统中的内容，将用户的信息进行初始化处理，直至用户再次登入系统，才能生成用户的访问记录。操作人员运用删、增、查看和修改的方式，保证文档服务模块的高效运行。

(3) 备份服务器模块。操作者为保证数据信息的准确应用，通过对服务器模块的备份处理，降低恶意程序或非法用户篡改信息的可能性。将需要备份的内容，上传到云端，使文档服务器与原服务器保持一致，用户文档数据与用户数据库能够同步运行，最终实现对用户信息的保护，避免系统受到攻击和入侵影响。

### 3.4 测试分析

为验证计算机网络的安全性，采用安全性测试的方式，执行5次试验，设置10个数据包，识别误差为0%，掌握风险数据进入系统的风险点。

例如，在5次安全测试中，将云计算融入计算机网络后，当数据包数量为10、风险数据包数量为7时，风险数据包识别数量也为7。当数据包数量为10、风险数据包数量是5时，风险数据包识别数量也为5。由此类推，可得出结论，为降低计算机网络中的安全影响，可通过云计算技术的应用，减少系统中的安全隐患，使风险数据包识别数量与风险数据包的数量保持一致，使数据流入不会对系统带来干扰。同时，若实行性能测试，工作人员可以利用椭圆曲线系统、DES系统、云计算系统的对比，确认不同用户数据数量下的系统变化情况，有利于提高数据信息的安全性。

## 结语

云供应商为保证计算机网络的安全性，应提升系统的运行性能和安全性，将云计算技术应用于计算机网络安全评估系统当中，保证系统的整体安全性。同时，工作人员应明确云计算技术的应用优势，选择合适的网络安全评估方法，实行系统架构设计、拓扑结构设计、重点模块设计以及测试分析，确保数据传输的安全性和稳定性。<sup>[1]</sup>

## 引用

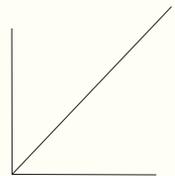
- [1] 李明秀.云计算视域下计算机网络安全存储系统设计策略[J].信息系统工程, 2023(10):28-30.
- [2] 崔英敏.基于云计算的计算机网络安全存储系统设计与实现[J].电脑编程技巧与维护,2023(7):170-172.

# 雷视融合水流速监测方法研究

文◆中安特联（无锡）科技有限公司 黄亚楠

## 引言

水流速作为水文监测中的重要指标特征，单一的传感器测试手段如毫米波雷达、转子流速仪、视觉图像等，容易受到天气环境、水环境、安装方式等条件干扰，测量精度难以保障。本研究利用毫米波雷达和视频图像相融合的手段（以下简称雷视融合），通过边缘计算网关抽取明渠视频流，利用时空影像测速法测量水流速，同时读取雷达测速数据，采用自适应加权融合算法将雷视数据融合计算并输出计算结果。经实验验证，利用雷视融合水流速测量算法可以有效降低单一传感器的测量干扰，提升测量的稳定性和准确性，为流速监测奠定更好的基础。



## 1 概述

近年来，我国极端天气事件频发，洪水、干旱、咸潮交叠并发，防御形势极其复杂。水文监测效率直接关系到危险情况预警，通过实时监测水位、水速、流量等数据，能够及时掌握河流水位变化趋势，利用数学模型和计算机技术，结合历史洪水数据，能够在早期对发生的洪涝灾害进行评估和预警，以便相关部门和居民能够及时采取应对措施。水文监测主要包括水位、流速、流量、雨量、浊度、水质等水文要素，其中，水流速作为水文监测中的重要指标特征，通过流速面积法原理，结合过水面积计算水流量，相关部门根据河道的流速流量提前做出应对措施，防范洪涝灾害事故的发生。

现有水流速测量方法主要包括转子式流速计、超声波时差法、ADCP多普勒流速剖面仪、毫米波雷达以及新兴的视觉图像测速等方法<sup>[1-2]</sup>。不同的测量设备由于不同的安装方式、安装环境、天气环境等因素，测量精度也会有相应的误差。现有技术都是通过单一手段测量水流速，容易受到天气环境、水环境、安装方式等条件干扰，测量精度难以保障；有些重点区域也会部署有多种传感器，但是多种传感器之间并没有做融合，只是根据测量结果做人工最终的判断。现有的测速点位，在部署毫米波雷达的同时，大部分也同步部署了视频监控，但是视频监控仅仅作为人工核查，视频并不具备测速能力。

多传感器融合技术是将多个不同或相同传感器接收的数据进行融合，以提高最终测量结果的准确性和可靠性<sup>[3]</sup>，多传感器可以是不同类

型的传感器如激光雷达、毫米波雷达、加速度传感器、视频图像等，也可以是相同类型传感器，如一个房间内在多个位置部署相同的温湿度传感器。多传感器融合技术目前在自动驾驶、安防入侵、智能交通等领域已经有广泛应用<sup>[4-6]</sup>，但是目前在水文测量领域应用较少。

本研究针对流速检测中单一流速监测的不足，基于毫米波雷达测速原理和视频图像测速原理，结合两种测量方差进行动态自适应加权融合，得到更加准确稳定的测量结果。对于已经部署了毫米波雷达和监控摄像头的点位，可以利用原有监控摄像头视频图像数据，部署边缘计算网关，抽取原有视频数据，计算水流速，并和毫米波雷达测量数据做动态融合，提升最终测量精确度，有效

【作者简介】黄亚楠（1991—），男，江苏无锡人，硕士研究生，工程师，研究方向：物联网终端产品技术研究。

降低测量偏差，具有重要的工程意义。

## 2 雷达和视频测量水流速原理

### 2.1 雷达测量水流速原理

毫米波雷达测速主要根据多普勒原理<sup>[7]</sup>（见图1），当雷达发射固定频率的电磁波，如遇到活动目标，回波的频率与发射波的频率出现频率差。雷达和水流方向夹角为 $\alpha$ ，发射频率 $f_0$ ，接收频率 $f_r$ ，频率差为 $\Delta f$ ，真空中电磁波传播速度 $V_{波}$ 是固定常数，测量水流速为 $V$ 。

$$\Delta f = f_r - f_0 = 2f_0 \frac{V}{V_{波}} \cos \alpha$$

$$V = \frac{\Delta f V_{波}}{2f_0 \cos \alpha}$$

### 2.2 视频测水流速原理

视频测流法通常可分为大尺度粒子图像测速法（Large-Scale Particle Image Velocimetry, LSPIV）和时空影像测速法（Space-Time Image Velocimetry, STIV）两类<sup>[8]</sup>。STIV算法相对于LSPIV算法计算效率更高，且分辨率可以达到像素水平<sup>[9]</sup>，因此采用STIV算法。

AI边缘网关抽取视频图像帧，并在视频图像平行于水流速方向画一条测速线（见图2）；提取测速线上的像素点的灰度值，对 $N$ 个图像帧的测速线像素点进行拼接（见图3）；拼接后像素点灰度形成夹角 $\beta$ （见图3）。

假设取视频流时间为 $t$ （s），视频帧率为 $fps$ （帧/s）， $t$ 秒内共有帧数为 $m$ ， $t$ 秒内移动像素数为 $n$ ， $m=t \cdot fps$ ， $n=m \cdot \cot \beta$ ，像素和真实距离比为 $k$ （像素/m），水流速为 $V$ ， $V=k \cdot fps \cdot \tan \beta$ 。

### 3 雷视融合算法

视频测得的水流速为 $V$ ，毫

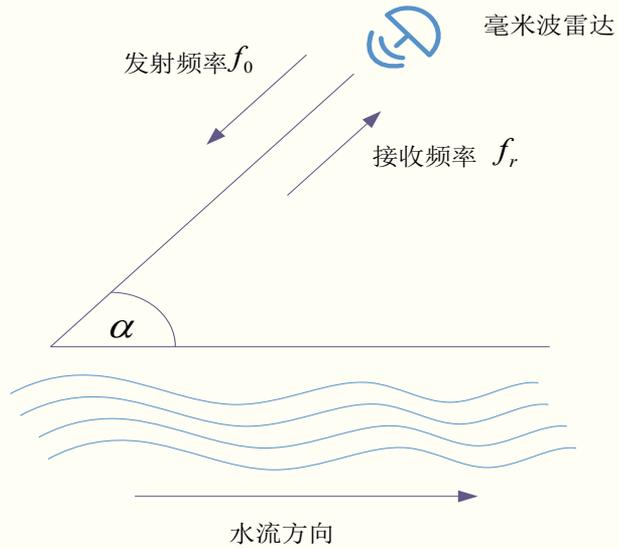


图1 雷达测速原理



图2 取测速

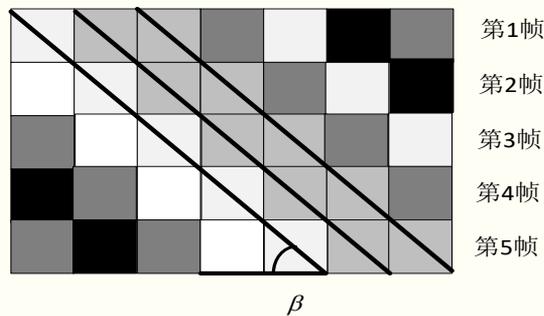


图3 测速线拼接

米波雷达测得的水流速为 $C$ ，融合后输出水流速为 $K$ 。边缘计算网关每隔 $t$ 秒从毫米波雷达取一次测量数据，共取 $n$ 个数据，有序列 $C_n$ ；边缘计算网关每隔 $t$ 秒抽取一次视频流，并做测速计算，共取 $n$ 个数据，有序列 $V_n$ 。序列 $V_n$ 的平均值为 $\hat{V}$ ，方差为 $\delta^2$ 。

$$\hat{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} V_i \tag{1}$$

$$\delta^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} (V_i - \hat{V})^2 \tag{2}$$

序列 $C_n$ 的平均值为 $\hat{C}$ ，方差为 $\sigma^2$ 。

$$\hat{C} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} C_i \quad (3)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} (C_i - \hat{C})^2 \quad (4)$$

融合计算后的水流速为  $K$ ，其中  $p$  为视频测水流速加权权重， $q$  为毫米波雷达测水流速加权权重。当其中某一个传感器受到干扰产生大幅度测量偏差时，波动变大，方差变大，则其加权权重随之就会减小，加权权重会根据测量值动态变化。具体计算公式如式 (5) 所示。

$$\begin{aligned} p + q &= 1 \\ p &= \frac{\sigma^2}{\delta^2 + \sigma^2} \\ q &= \frac{\delta^2}{\delta^2 + \sigma^2} \\ K &= p \cdot V + q \cdot C \end{aligned} \quad (5)$$

#### 4 实验分析

##### 4.1 系统搭建

系统整体包括摄像头、毫米波雷达和边缘计算网关 3 个部分 (见



图 4 雷视融合测速系统

图 4)。(1) 边缘计算网关通过 RS485 接口读取毫米波雷达测速结果  $C$ 。(2) 边缘计算网关通过 RJ45 接口抽取摄像头视频，根据图像算法计算出水流速  $V$ 。(3) 边缘计算网关通过动态融合算法，将  $C$  和  $V$  数据融合，输出水流速  $K$ 。

##### 4.2 算法配置及数据分析

(1) 边缘计算网关每隔  $m$  秒向摄像头抽取一次视频数据，并进行计算水流速  $V$ ，共取  $n$  次，分别为  $V_{t-n} \dots V_{t-2}, V_{t-1}$ ，当前  $t$  时刻测得数据为  $V_t$ 。

(2) 边缘计算网关每隔  $m$  秒向毫米波雷达读一次测量数据  $C$ ，共读取  $n$  次，分别为  $C_{t-n} \dots C_{t-2}, C_{t-1}$ ，当前  $t$  时刻测得数据为  $C_t$ 。

(3) 计算序列  $Vn[V_{t-n} \dots V_{t-2}, V_{t-1}, V_t]$  方差，计算序列  $Cn[C_{t-n} \dots C_{t-2}, C_{t-1}, C_t]$  方差  $\sigma^2$ ，根据方差计算出权重  $p$  和  $q$ 。

(4) 根据权重计算出当前  $t$  时刻的流速  $K_t = p \cdot V_t + q \cdot C_t$  算法部署时配置  $m=300, n=10$ 。

$t$  时刻前数据如表 1 所示，

表 1  $t$  时刻前数据

时刻	$t-10$	$t-9$	$t-8$	$t-7$	$t-6$	$t-5$	$t-4$	$t-3$	$t-2$	$t-1$
$V$	3.123	3.212	3.215	3.234	3.101	3.229	3.165	3.377	3.21	3.243
$C$	3.201	3.112	3.219	3.133	3.267	3.317	3.136	3.208	3.244	3.189

表 2  $t$  时刻后数据

时刻	$t$	$t+1$	$t+2$	$t+3$	$t+4$	$t+5$	$t+6$	$t+7$	$t+8$	$t+9$
$V$	3.131	3.200	3.228	3.212	3.199	3.201	3.112	3.199	3.300	3.266
$C$	3.211	3.223	3.167	2.000	3.234	4.000	3.169	3.312	3.145	3.216
$\delta^2$	0.005714936	0.005011484	0.005039529	0.005038634	0.004995435	0.00375056	0.004732275	0.004551944	0.002524089	0.002883346
$\sigma^2$	0.003698655	0.003732255	0.002980255	0.135962073	0.137565218	0.209612455	0.207411291	0.209315291	0.209296964	0.208966055
$p$	0.392905837	0.426848811	0.371612841	0.964265183	0.964959231	0.982421695	0.977693053	0.97871603	0.988083862	0.986389641
$q$	0.607094163	0.573151189	0.628387159	0.035734817	0.035040769	0.017578305	0.022306947	0.02128397	0.011916138	0.013610359
$K$	3.180	3.213	3.190	3.169	3.200	3.215	3.113	3.201	3.298	3.265

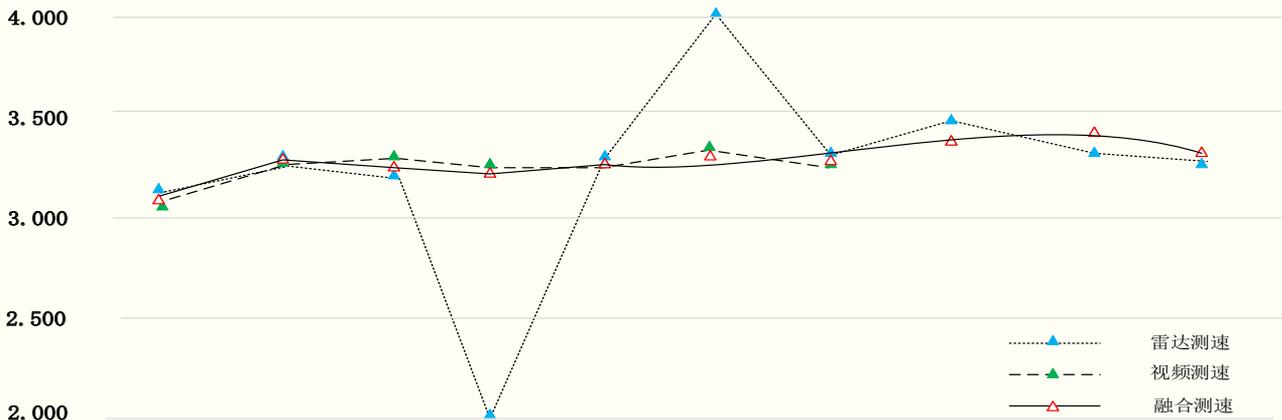


图 5 融合折线图

作为初始方差计算数据。

抽取的  $t$  时刻后的 10 个数据如表 2 所示，其中在“ $t+3$ ”和“ $t+5$ ”时刻人工干扰雷达测量数据，模拟环境干扰，人工加入扰动后，雷达融合权重明显降低。

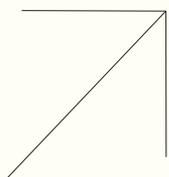
融合折线图如图 5 所示，实线折线为雷视融合结果，短虚线折线为雷达测试结果，长虚线折线为视频图像测试结果，如图折线所示，当雷达数据突然受到干扰大幅变化时，融合测量结果依然保持平稳，融合数据更加接近真实水流速。

### 结语

本文采用自适应加权融合算法，融合视频图像测速和雷达测速，通过实验数据分析可以发现，雷视融合测量水流速可以有效降低单一传感器受到环境影响产生的测量偏差，提升实际测量的准确性和稳定性。在实际工程中，可以利用原有的摄像头和雷达测速仪，降低部署难度和成本，提升稳定性和准确性。

### 引用

- [1] 徐立中,张振,严锡君,等.非接触式明渠水流监测技术的发展现状[J].水利信息化,2013(3):37-44+50.
- [2] 吴志勇,徐梁,唐运忆,等.水文站流量在线监测方法研究进展[J].水资源保护,2020,36(4):1-7.
- [3] 刘严岩.多传感器数据融合中几个关键技术的研究[D].合肥:中国科学技术大学,2006.
- [4] 苏越.基于多传感器数据融合技术的一体化安防系统[D].西安:西安科技大学,2021.
- [5] 初宏伟,张颖.自动驾驶汽车状态估计的矩阵加权自适应扩展卡尔曼滤波方法[J].汽车技术,2022,(5):50-55.
- [6] 陈澄,孔繁星,贾小溪,等.多传感器融合智能温度检测研究[J].吉林化工学院学报,2023,40(11):45-49.
- [7] 周冬生,宗军,蒋东进,等.雷达流速仪测量精度关键技术研究[J].水文,2018,38(5):67-70.
- [8] 黄剑,张振,罗晶玉,等.图像识别技术在河流不同水文情势监测中的应用[C]//中国水利学会,黄河水利委员会.中国水利学会2020学术年会论文集第五分册.江西省吉安市水文局;河海大学计算机与信息学院,2020:11.
- [9] 赵浩源,陈华,刘维高,等.基于河流表面时空图像识别的测流方法[J].水资源研究,2020,9(1):11.



# 铁路 5G-R 互联互通测试体系分析

文 ◆ 中铁第五勘察设计院集团有限公司 李宗洋

## 引言

本文深入分析铁路 5G-R 互联互通测试体系，旨在阐述该测试体系的构建与实施方法。首先，介绍铁路 5G-R 技术及其在铁路通信中的应用，突出其相较于传统技术的先进性以及关键性能指标。其次，描述测试体系的架构与测试流程设计，并具体阐释测试环境搭建、测试用例与场景设计、测试执行和数据采集过程。通过这些技术性分析，提供了一套完整的测试体系实施框架，旨在提升铁路 5G-R 技术的应用效率和互操作性。

## 1 铁路 5G-R 互联互通测试体系概述

### 1.1 铁路 5G-R 技术简介

5G-R 技术即为铁路定制的 5G 通信技术，是在标准 5G 通信技术基础上针对铁路运输环境和特定需求进行的优化和定制。5G-R 技术具有高带宽、低延迟、高可靠性和高密度连接等特点，能够满足铁路通信中各类应用需求，包括列车控制系统、紧急通信、车站内部服务等。5G-R 的关键技术特性具有以下 3 个方面。第一，增强移动宽带（eMBB）。支持高速数据传输，为乘客提供高速互联网接入，同时为列车上的多个应用提供数据支持。第二，超可靠低延迟通信（URLLC）。保证信号控制的即时性和可靠性，对于安全性至关重要，尤其是在自动驾驶列车系统中。第三，大规模机器类通信（mMTC）。允许铁路系统中大量的传感器和设备进行通信，适用于监控和维护等场景。

5G-R 技术在铁路通信中的应用如下。第一，列车控制和信号系统。5G-R 为列车控制系统提供了可靠和低延迟的通信能力。第二，视频监控。铁路运输安全依赖于全面的视频监控系统。5G-R 技术支持高定义视频流的实时传输，为铁路站点、车厢和重要基础设施提供 24/7 的监

控服务。第三，紧急通信。在紧急情况下，5G-R 能够提供优先和快速的通信通道，确保了关键信息的即时传递，保障乘客和员工的安全。第四，车载 WiFi 服务。利用 5G-R 的高带宽特性，铁路运营商可以为乘客提供高速的车载 WiFi 服务，改善乘车体验。第五，资产监控和维护。通过 5G-R 网络连接的多种传感器可以对铁路资产状况进行实时监控，预测性维护替代传统的周期性检查。第六，无人驾驶列车。5G-R 技术的低延迟和高可靠性特性为无人驾驶列车的实现提供了技术基础。实时数据处理和远程控制能力使自动驾驶成为可能。

铁路 5G-R 技术的关键性能指标（KPIs）如表 1 所示。从表 1 中可以看到，铁路 5G-R 技术应用后，相较于传统铁路通信技术，各项性能指标均得到极大提升，可进一步提高铁路系统的综合运行效率。

### 1.2 测试体系结构和测试流程

（1）测试体系的组成。铁路 5G-R 互联互通测试体系主要包括以下 5 个方面。1）测试管理平台。负责测试案例设计、测试计划制定、测试数据收集以及结果分析和报告。2）5G-R 无线

表 1 铁路 5G-R 技术的关键性能指标

性能指标	传统铁路通信技术	铁路 5G-R 技术	优化目标
峰值数据速率	300 Mbps	1 Gbps	提升至少 3 倍
网络延迟	10 ms	1 ms	减少 10 倍以上
服务可用性	99.9%	99.999%	提高 0.099%
移动性	250 km/h	500 km/h	提高速度上限，保证连接稳定

【作者简介】李宗洋（1989—），男，河北廊坊人，本科，研究方向：铁路通信信息。

通信系统。包括基站 (gNodeB)、核心网 (5GC)、无线传输设备、终端设备等。3) 互操作性测试设备。专门设计的硬件和软件工具, 用来模拟网络中的不同节点, 包括仿真器和协议分析器。4) 性能和安全测试模块。用于评估 5G-R 网络在高速移动环境下的数据吞吐量、端到端延迟、连接稳定性以及加密机制的有效性。5) 环境模拟器。模拟不同的铁路运行环境, 如隧道、桥梁、高速移动等。

(2) 测试流程的设计和 implementation 步骤。1) 需求分析。确定测试的目标和需求, 包括性能指标和互操作性要求。2) 测试案例设计。根据需求分析的结果, 设计详尽的测试案例, 包括不同的操作场景、边界条件和异常情况。3) 测试环境搭建。配置测试设备, 设置测试网络, 确保测试环境符合实际铁路运营环境。4) 测试实施。按照测试计划执行测试案例, 采用自动化脚本提高效率和准确性。5) 数据收集与分析。收集测试过程中产生的各项指标数据, 进行统计分析, 并与预设的性能基准进行对比。实施步骤如下。

#### (1) 环境准备

1) 设置 5G-R 网络, 配置模拟的铁路运行环境, 对应的代码如下。

```
class TestEnvironment:
    def __init__(self):
        self.gNodeB = setup_gNodeB()
        self.coreNetwork = setup_5GC()
        self.emulator = setup_emulator()
        self.testDevice = setup_test_device()
```

2) 配置基站参数, 对应代码如下。

```
def setup_gNodeB(self):
```

3) 配置核心网络参数, 对应代码如下。

```
def setup_5GC(self):
```

4) 配置环境模拟器参数, 对应代码如下。

```
def setup_emulator(self):
```

5) 配置测试终端设备, 对应代码如下。

```
def setup_test_device(self):
```

(2) 测试执行。启动测试, 记录从发送端到接收端的时间戳, 以“执行延迟测试”为例, 对应的代码如下。

```
def test_e2e_latency(env):
    send_timestamp = env.testDevice.send_data()
    recv_timestamp = env.emulator.receive_data()
    latency = recv_timestamp - send_timestamp
    return latency
```

(3) 数据分析。分析延迟数据, 判断是否符合预期的性能指标。假设预设的延迟性能指标是 10ms (EXPECTED\_LATENCY=10), 对应的代码如下。

```
def analyze_latency(latency_data):
    average_latency = sum(latency_data) / len(latency_data)
    return average_latency
```

判断是否符合性能指标的设定。其一, 如果测试通过, 意味着平均延迟符合预期。其二, 如果测试未通过, 意味着平均延迟超出预期。需要注意, 上述代码提供了一个高度抽象的概念模型, 实际的测试脚本和分析工具会更加复杂, 应考虑同步问题、测试精度、异常处理等多项因素。实际的测试平台还会使用专业的测试框架和高级统计分析软件来实现这些功能。

## 2 铁路 5G-R 互联互通测试方法和实施

### 2.1 搭建测试环境

(1) 硬件环境要求。搭建铁路 5G-R 互联互通测试环境的硬件基础是确保模拟真实铁路运营场景的前提条件。1) 5G-R 基站 (gNodeB)。部署多个 5G-R 兼容的基站, 以支持高速移动下的无缝覆盖, 同时应具备铁路专用频段的工作能力。2) 核心网 (5GC) 设备。建立 5G 核心网设备, 用以处理数据路由、用户身份验证以及服务质量 (QoS) 控制。3) 传输网络。包括高速光纤链路和微波传输设备, 确保数据高速、低延迟传输。4) 终端设备。包括 5G-R 兼容的车载通信终端、调度指挥终端等, 必须支持铁路运营中的特定通信协议。5) 测试仪器。信号分析仪、网络分析仪和模拟测试设备等, 用于捕获和分析 5G-R 信号的质量和性能。6) 环境模拟器。高速移动模拟器和铁路场景模拟器, 用于模拟列车在不同地理环境下的运行条件。

(2) 软件环境与仿真工具的配置。软件环境的配置需要实现对硬件设备的有效控制和仿真以及确保可以进行准确的数据分析。1) 操作系统和驱动程序。所有测试硬件必须安装兼容的操作系统和驱动程序, 以确保硬件设备的正常运作和互联互通。2) 测试管理软件。用于设定测

试参数、控制测试流程、收集测试结果和生成报告。高级的测试管理软件可以自动化这些过程，提高测试效率和准确性。3) 仿真软件。仿真软件用于模拟 5G-R 网络中的不同实体，如用户设备 (UE)、核心网元素、服务等。还能够模拟网络状态的变化，如信号衰减、干扰和不同的流量负载。4) 网络协议分析工具。这些高级工具用于捕捉和分析网络协议交换的信息，验证通信协议的实现是否符合标准以及识别潜在的互操作性问题。5) 数据分析与可视化工具。用于处理收集到的大量测试数据，进行统计分析和生成易于理解的图形和报告，以帮助技术人员评估系统性能和发现问题。

## 2.2 测试用例与测试场景设计

(1) 基于铁路运营场景的测试用例设计。在铁路 5G-R 互联互通测试中，用例设计应当紧密围绕实际铁路运营场景，确保测试结果的实用性和有效性。以下为针对不同铁路运营场景的测试用例设计要点。1) 起停控制。模拟列车的启动、加速、运行以及停止过程，测试 5G-R 连接是否稳定，是否能够适应列车速度变化导致的信号切换。2) 紧急通信。设计用例验证列车在紧急情况下（如紧急刹车、设备故障报警等）的通信优先级处理和信息传递的准确性。3) 定位与同步。测试 5G-R 网络在连续定位、时间同步等方面的性能，以确保列车调度与轨道资源分配的准确性。4) 数据传输与处理。验证实时传输大量监控视频、传感器数据等能力以及后端系统对数据的处理速度和准确性。5) 智能调度。模拟智能调度系统下，列车的自动化驾驶、路线优化等功能的通信需求，测试网络的响应速度和数据吞吐量。

(2) 不同通信场景下的测试案例。铁路通信场景复杂多变，测试案例应覆盖不同的通信环境，以验证 5G-R 网络的适应性和稳定性。1) 隧道通信测试。隧道内信号衰减和反射特殊，应设计测试案例以验证 5G-R 在隧道环境下的信号覆盖和数据传输质量。2) 高速运行测试。在高速行驶场景下，测试 5G-R 网络的手 Over 性能和服务中断时间，确保在高速状态下依然能保持高质量通信。3) 复杂地形测试。山区、桥梁等地形对信号有特殊影响，测试案例应涵盖这些特殊地形，以评估 5G-R 网络的适应性。4) 极端天气测试。在雨、雪、雾等极端天气条件下，测试 5G-R 通信的可靠性，以确保在恶劣天气也能保持正常运营。5) 跨区域漫游测试。设计用例测试列车从一个 5G-R 网络覆盖区域进入另一个区域时，网络的漫游能力和服务连续性。

## 2.3 测试执行与数据采集

(1) 自动化测试流程的实现。自动化测试流程是提高测试效率和准确性的关键，在铁路 5G-R 测试中，自动化测试执行包括以下步骤。第一，测试脚本编写。根据设计的测试用例，编写自动化测试脚本，包括预定操作、事件触发和性能指标检测。第二，测试环境准备。自动化工具配置必要的硬件和软件环境，包括网络状态、仿真器参数和终端设备设置。第三，执行测试。自动化测试工具按照脚本执行测试，模拟各种操作和场景，同时监控网络性能和事件日志。第四，异常处理。在测试运行过程中，自动化系统应能够识别异常和错误，并进行基本的故障排

除或记录详细信息以供后续分析。通过自动化测试流程，确保大量重复性测试的一致性，减少人为错误，同时提高测试周期的效率。

(2) 数据采集方法与数据处理技术。数据采集是测试过程中的重要环节，直接关系到测试结果的准确性和分析的深度。第一，数据采集方法。利用测试仪器和软件工具实时捕获网络性能参数，如吞吐量、延迟、丢包率等。同时，记录网络事件、系统日志以及用户体验数据。第二，数据同步。确保来自不同来源和仪器的数据具有时间同步性，对于后续的数据关联分析至关重要。第三，初步数据过滤。自动化工具在数据采集过程中应对数据进行初步过滤，剔除明显的无关数据，减少数据处理的负担。

## 结语

本文分析了铁路 5G-R 互联互通测试体系，从测试体系概述到具体的测试执行，为铁路通信行业提供了详实的技术实施指南。通过对测试环境的严格设定、针对性的用例设计以及精确的数据采集与分析，确立了一种可靠的测试方法论。此外，故障模拟与问题定位的技术探讨，进一步提高了测试体系的适应性和实用性。总体而言，该测试体系不仅提升了铁路 5G-R 技术的互操作能力，还为铁路通信系统的安全稳定运行提供了坚实保障。未来，随着技术的不断进步与应用的不断深化，铁路 5G-R 互联互通测试体系将继续发挥其至关重要的作用，推动铁路通信技术向更高层次发展。■

# 建构主义中先验经验在学习中的促进作用

## ——基于 JASP 的数据可视化研究

文◆广西大学 刘凌光

### 引言

当前在建构主义学习理论领域的研究多集中于理论探讨，对于实证性研究的报道相对匮乏。本研究旨在实践中收集数据，并利用 JASP 软件实现数据的可视化分析，以探讨学习者的先验经验在学习新知识中的作用。研究结果表明，学习者的先验经验显著影响学习效果，当新知识与既有经验相似时，学习效果更佳；当二者差异较大时，学习效果不尽如人意。

### 1 建构主义学习理论

建构主义学习理论是一种教育学习理论，它认为知识不是被动接受，而是学习者通过其认知活动主动建构。这一理论起源于 20 世纪初，受到认知心理学、哲学、社会学等多学科的影响，特别是皮亚杰和维果茨基的理论对其发展影响深远。皮亚杰的认知发展理论提出，儿童通过与环境的互动，通过同化和顺应过程来建构知识。维果茨基的社会文化理论则强调了社会互动在认知发展中的作用，提出了“近端发展区”的概念，指出学习者可以在更有经验的人的帮助下完成某些他们独立时无

法完成的任务，即通过社会互动来促进认知的发展。其中，建构主义学习理论的核心观点包括学习是一个主动建构的过程，学习不是简单地吸收信息，而是主动地构建自己的知识体系。每个人的知识结构具有独特性，因为它是基于个人过去的经验和当前理解的基础上构建形成。知识的建构与学习者所处的情境和文化背景紧密相关，学习不是脱离实际情境的抽象过程，学习是一个社会过程，学习者通过与他人交流和合作来建构知识，社会互动是学习过程的重要组成部分。知识建构需要学习者的反思，学习者需要对自己的理解进行反思和调整，以促进更深层次的理解和知识的内化<sup>[1]</sup>。

### 2 研究现状

建构主义学习理论认为，学习是通过自身经验和现有知识主动建构新知识的过程，强调学习者的主动参与和社会性建构。这一理论在教育实践中广泛应用，并随着数字技术的发展不断演变。刘兆熙（2022）探讨了后疫情时代下建构主义在国际中文教育中的应用<sup>[2]</sup>。游戏化学习是建构主义实践中的热门领域，通过将游戏元素融入学习过程增加动机和参与度，郭振国（2021）详细介绍了这一模式的发展<sup>[3]</sup>。在建构主义环境中，教师角色转变为指导者、促进者和合作伙伴，研究重点在于设计和引导学习活动以及评估学习过程和成果（如孙瑞，孟瑞森，文萱，2015）<sup>[4]</sup>。建构主义强调个性化学习，研究者探索如何利用技术满足个别学习者的需求，如自适应学习系统和 AI 辅助学习（王春梅，王曙燕，邢锐锋，2023）<sup>[5]</sup>。李海峰和王炜（2023）提出的人机协同深度探究性学习模型显著提升了学生的学习绩效和批判性思维能力<sup>[6]</sup>。尽管建构主义在理论方面有大量研究，但在实践应用以及先验经验对新知识学习的积极影响方面仍需进一步探索。基于此，本实验将探究在学习者学习的实践过程中，学习者的先验经验是否会对新知识的学习产生影响以及这种影响是积极的方面还是消极的方面。

### 3 研究方法

#### 3.1 被试

本研究关注 20 名男性广西大学学生，他们不仅有相同的学术背景，

【作者简介】刘凌光（1998—），男，安徽淮南人，硕士，研究方向：对外汉语教学。

还都是有经验的 MOBA 手游玩家。为了探讨不同游戏经验对新手游学习的影响，基于 JASP 的数据可视化研究，将这些学生随机分为实验组和对照组。实验组学生转向 FPS 手游，以评估他们在适应不同游戏类型时的学习曲线和技能迁移能力；对照组学生则继续与他们已有经验相同的 MOBA 手游。

在实验初始阶段，对所有参与者进行了一次游戏成绩测试，以评估他们的技术水平，确保两组在起点上的公平性，并采用了独立样本 *T* 检验。初试成绩 *t* 检验表如表 1 所示，结果显示，两组在游戏技能上的表现无显著差异， $t(18)=-1.105$ ，*p* 值大于 0.05，表明实验过程中观察到的学习效果差异不会由起始技能水平差异引起。通过这种方法，探索了不同游戏类型经验对新游戏技能学习的潜在影响以及技能迁移现象。

表 1 初试成绩 *t* 检验表

独立样本 <i>T</i> 检验						
独立样本 <i>T</i> 检验						
	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	Cohen's <i>d</i>	SE Cohen's <i>d</i>	
总成绩	-1.105	18	0.284	-0.494	0.461	
注 .Student's t-test						
描述统计						
分组描述统计						
	分组	<i>N</i>	均值	标准差	SE	变异系数
总成绩	实验组	10	84.700	3.713	1.174	0.044
	对照组	10	86.500	3.567	1.128	0.041

### 3.2 实验过程

本研究设计了一个为期 30 天的实验方案。实验组被分配至 MOBA 手游，参与者从零开始，初始成绩为 0 分，满分为 100 分。实验期间严格控制变量，不允许外部干扰。对照组进行 FPS 手游，同样从新手关卡起步，成绩从 0 分开始，满分为 100 分，实验流程中也不受其他因素干扰。

为了标准化实验条件，两组参与者每天固定在晚间八点至九点进行

表 2 第 15 天成绩 *t* 检验表

独立样本 <i>T</i> 检验						
独立样本 <i>T</i> 检验						
	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>P</i>	Cohen's <i>d</i>	SE Cohen's <i>d</i>	
总成绩	18	<.001	3.650	0.931	8.162	
注 .Student's t-test.						
描述统计						
分组描述统计						
	分组	<i>N</i>	均值	标准差	SE	变异系数
总成绩	实验组	10	62.600	5.358	1.694	0.086
	对照组	10	44.900	4.280	1.354	0.095

练习，以模拟日常游戏习惯，并提供标准化的数据收集时间框架。在第 15 天，将进行中途测试，评估半程成绩，分析学习进度和技能提升情况。最终，在第 30 天进行全面成绩测试，统计和评估参与者的总体表现。

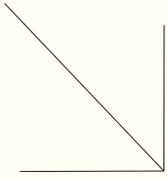
## 4 实验结果

### 4.1 第 15 天的游戏成绩分析 (见表 2)

分析所得数据揭示了两组之间存在显著性差异 ( $t(18)=8.162$ ,  $p < 0.001$ )，根据这种差异的显现进行初步推断，在控制其他变量不变的前提下，参与者在新游戏学习过程中的先验经验起到了决定性的作用。此项发现强调了先验经验对于游戏学习能力的重要性，在未来的研究中应深入探讨先验经验因素如何影响学习过程和成果。

### 4.2 第 30 天游戏成绩分析 (见表 3)

根据所提供的数据，得到一个统计上极其显著的 *t* 值 ( $t(18)=14.429$ )，同时 *p* 值远小于 0.001 的阈值，这一结果强烈显示两组间在成绩上存在显著差异。同时，对比第 30 天与第 15 天的成绩差异，观察到 *t* 值有所增加，表明在统计学上，第 30 天的成绩与第 15 天相比，其差异性有所上升。较大的 *t* 值通常意味着两个样本均值之间的差异更为显著，因此，可以推断得出，在经过更长时间的间隔后，即在第 30 天时，样本成绩的变化更为显著，其差异性超过了在第 15 天时的水平。这一结果指向了成绩变化随时间的发展趋势，或者反映了先验经验这一持续的影响因素在作用。



## 5 结论

### 5.1 数据结果

经过 30 天的设计与实验，综合分析结果得出结论。先前积累的经验在学习新技能过程中发挥了重要且积极的作用。这一发现不仅支持了建构主义学习理论的实效性，还展示了其实际应用价值。在实验中，共招募 20 名志愿者参与实验组，他们在接触新的电子游戏过程中，能够将之前在 MOBA 类游戏经验转化为掌握新游戏操作技巧的能力。实验组成员通过对 MOBA 游戏的深入理解和持续练习，在实验结束时整体表现显著超越了主要由无相关游戏经验个体组成的对照组。对照组成员普遍反映，在学习全新类型的 FPS 游戏时，缺乏相关经验使过程更加艰难。这些反馈信息进一步支持了提出的假设，即在学习新技能过程中，有效利用已有知识和技能对提升学习效率至关重要。此外，研究结果显示，个体在学习新知识或技能时，能否将既有经验与新情境结合是影响学习成效的关键变量。这对教育实践和技能培养领域具有重要启示。因此，在设计教学方案和培训课程时，应考虑学习者的前置知识和经验背景，以促进新知识的吸收和技能的掌握。

### 5.2 本实验的现实局限性

本研究探讨了先验经验在新

表 3 第 30 天成绩 *t* 检验表

独立样本 <i>T</i> 检验						
独立样本 <i>T</i> 检验						
总成绩	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	Cohen's <i>d</i>	SE Cohen's <i>d</i>	
	14.429	18	<.001	6.453	1.511	
注 .Student's t-test.						
描述统计						
分组描述统计						
	分组	<i>N</i>	均值	标准差	SE	变异系数
总成绩	实验组	10	84.800	2.700	0.854	0.032
	对照组	10	66.900	2.846	0.900	0.043

型游戏学习环境中的作用。然而，这一领域研究不足，特别是能否普遍适用于其他学习领域或实际教学实践。此外，本实验未深入探讨新知识与已有经验一致时是否加速或抑制学习。这些问题对理解学习过程至关重要，但仍不明确。

研究样本仅限于广西大学学生，会导致结论的局限性，难以反映所有人群的学习特性，样本代表性不足，影响结果普适性，有效数据数量受限也会影响结果的可靠性和有效性。

数据收集和分析受参与者主观因素影响，如动机、情绪状态和个人背景，这些因素难以完全排除且会影响实验表现。建构主义学习理论强调学习是一个涉及认知、情感和社会互动的复杂过程，这些过程通常内隐，难以直接观察和量化。因此，本研究未能精确捕捉这些复杂的内部变化和动态过程。为了全面评估建构主义学习理论的效果，应开展更长期的纵向研究，但本实验时间跨度仅为 30 天，在时间维度上存在不足。

最后，本实验的研究技术和方法不足以全面捕捉建构主义学习理论中的所有维度，尤其是在复杂的真实世界环境中的应用。未来的研究还应开发更精细的工具和方法，以便更准确地评估和理解建构主义学习的多方面效果。<sup>[5]</sup>

## 引用

- [1] 孔宪遂.试论建构主义理论对教学的启示[J].清华大学教育研究,2002(S1):128-133.
- [2] 刘兆熙.线上国际中文教学模式的探索与实践——基于建构主义学习理论视角[J].国际中文教育(中英文),2022,7(2):67-75.
- [3] 郭振国.游戏化学习的理论发展[J].求学,2021(28):25-26.
- [4] 孙瑞,孟瑞森,文莹.“翻转课堂”教学模式在对外汉语教学中的应用[J].语言教学与研究,2015(3):34-39.
- [5] 王春梅,王曙燕,邢锐锋.AI时代高校计算机类专业赋能教育新模式的研究[J].当代教育实践与教学研究,2020(13):89-90.
- [6] 李海峰,王伟.人机协同深度探究性教学模式——以基于ChatGPT和QQ开发的人机协同探究性学习系统为例[J].开放教育研究,2023,29(6):69-81.

# 基于信创云桌面的铁路信息系统可信方案研究\*

文◆中国铁路北京局集团有限公司 刘硕山 臧 钊

## 引言

随着信息技术的飞速发展，铁路信息系统在提升运输效率、保障行车安全、提升服务质量等方面起到了至关重要的作用。对铁路信息系统而言，采用云桌面能够提高数据处理能力，保证信息的安全与连续性，降低系统运维成本。

当前已经有很多云桌面系统在铁路信息系统建设中应用的报道，如视频监控终端、智慧指挥中心、高铁列控集成测试系统等<sup>[1-5]</sup>，这些报道说明了云桌面技术对推动铁路通信以及信息领域的现代化和智能化发展发挥重要作用。在其他领域，云桌面也有很多实际应用案例，如自然资源管理、民航气象终端、林业和草原管理、基层银行、行政服务中心等<sup>[6-10]</sup>，验证了其在各个领域实际工作环境中的效用。

在学术领域，有非常多的学者开始研究云桌面技术在实际应用中的技术创新，以满足更多的应用需求，如安全性、流畅性等方面的优化需求。为了提高云桌面的安全性，石琦研究了云桌面网络准入控制技术<sup>[11]</sup>，李昶研究了云桌面的资源受控保护系统<sup>[12]</sup>，金晓刚等人研究了云桌面的安全性设计方案<sup>[13]</sup>。为了提高云桌面的访问流畅性，浪潮通信技术有限公司提出了一种动态调整信创云桌面 GPU 的方法<sup>[14]</sup>，高金金等人提出了一种基于云端融合和虚拟广播域的云桌面屏幕广播方法<sup>[15]</sup>，郑弘迪提出了云桌面屏幕更新数据的端到端传输机制<sup>[16]</sup>。这些学术成果，从不同角度为云桌面提供了优化的方案，应用前景广阔。

综上所述，云桌面技术已经在近几年内有了长足的进展，并且在很多应用领域实施和应用，其中包含铁路信息系统建设领域。但铁路信息系统建设领域非常广泛，目前缺少综合性的云桌面系统的建设方案，尤其是能满足当前国内信息系统产品的全面国产化需求的方案。

## 1 研究背景

当前，铁路信息系统 IT 终端数量庞大，分布点众多，终端运维管理需要花费大量人力和物力。首先，铁路站段机关和现场车间班组的网络监控、日常办公、教育培训等需要大量 PC 终端，按专业和办公用途分属不同部门维护和管理。其次，全网提升网络信息安全同样是目前最大

的工作重点。随着信息技术的不断更新和发展，铁路办公信息化、自动化的应用爆炸式增长，传统网管运维采用专用信息服务器或 PC 终端的模式，已经不能满足不断变化的网络管理需求。最后，国家对事业单位的信息系统建设提出了全面国产化需求。过去中国 IT 底层标准、架构、产品、生态大多数都由国外 IT 商业公司制定，由此存在诸多的底层技术、信息安全、数据保存方式被限制的风险，而当前中国要逐步建立基于自己的 IT 底层架构和标准，这就是信创产业的由来。基于自有 IT 底层架构和标准建立起来的 IT 产业生态便是信创产业的主要内涵，为此有很多国内 IT 企业开始推出自有知识产权产品，也就是信创产品。在这个背景下，中国铁路集团的现有非国产化信息系统需要更新，后续的信息系统建设也必须使用信创产品，因此，基于信创产品的信息系统建设方案在未来几年内都是热门需求。

## 2 关键技术

云桌面技术，也被称为虚拟桌面基础设施（VDI），是一种虚

\*【基金项目】中国铁路北京局集团有限公司科技研究开发计划项目（2023AX01）

【作者简介】刘硕山（1974—），男，河北唐山人，硕士，高工/处长，研究方向：科信管理、运输管理。

拟化解决方案，它允许用户通过互联网远程访问桌面环境。与传统的基于 PC 的桌面环境不同，云桌面将操作系统、应用程序和数据从本地计算机移到托管在云中的服务器。用户可以通过任何支持远程桌面协议的设备（如个人电脑、笔记本电脑、平板电脑或智能手机）访问云桌面。基本技术原理是将服务器端显存所存储的数据，经过某种高效压缩算法，传输到客户端，由客户端解压，并能够在屏幕上恢复重现，而客户端键盘鼠标重定向到服务端作为键鼠输入。云桌面技术的主要特点主要有 5 个方面。

(1) 集中管理。企业可以集中管理用户的桌面环境，方便进行更新、补丁和安全措施的部署。(2) 安全性。由于数据存储在中心服务器而不是本地设备上，因此减少了数据丢失或被盗的风险。(3) 灵活性和可访问性。用户可以在任何设备上通过互联网连接访问自己的桌面环境，支持灵活的工作安排和远程工作。(4) 成本效益。通过减少硬件成本、维护成本和能源消耗，云桌面能够降低企业的总拥有成本。(5) 快速部署和可扩展性。快速为新员工设置桌面环境，并根据实际需求进行扩展或缩减资源。

### 3 建设需求

基于云桌面技术的铁路信息系统建设需求可从以下维度进行考虑。

(1) 数据中心和网络基础设施。对数据中心的安全性、稳定性和扩展性有较高的要求，应满足多站点、多地域的覆盖。应具备高性能的网络连接，保证数据传输的低延迟和高带宽，尤其在

铁路运行关键应用中。(2) 系统集成和标准化。应集成铁路行业各种应用系统，如票务系统、调度系统和监控系统等，确保这些系统能够在云桌面环境中顺畅运行，因此应设计一定的标准化流程，保证在铁路信息系统全局范围内顺利推广。(3) 安全性和合规性。铁路系统的数据敏感性决定了应为云桌面部署强化安全措施，应满足国家关于铁路信息安全的所有法规要求以及行业标准，如系统备份、灾难恢复和应急响应计划的制定和实施。(4) 性能和可用性。应保证云桌面服务的高可用性和容错能力，确保铁路运营过程中的信息系统随时可用。对于关键的应用性能有严格要求，能够实现资源的弹性分配以保证响应速度。(5) 增效减耗。云桌面构建了一套高度可用的桌面架构，借助自动备份和集中式运维管理，提高集团公司对终端硬件的管理效率，使传统 PC 端发生故障到故障优化的时间由几小时缩短至几分钟，提升用户办公效率。同时，用户的数据和应用均存储在数据中心，即使发生设备丢失或故障问题，用户仍可以通过其他设备登录个人账户，并迅速恢复中断的工作。得益于云桌面的模块化部署、派生和更新技术，运维人员可轻松、快速地创建多个桌面，并在数分钟之内将应用程序和配置文件推送至上千个虚拟桌面，减轻了运维人员日常维护的工作量。(6) 全域办公。打造“全域通”无缝切换办公的创新理念。针对铁路系统经常异地办公的情况，通过“云桌面+云电脑”的方式，实现“工作在云上，随身不伴身”，可在任意地点登录个人账户，使用和查看个人资料，随意调出自己未完成的任务。基于此，为后续研究通过移动端实现云办公打下良好基础。

## 4 技术方案

### 4.1 系统组成

本方案中提出的云桌面系统组成图如图 1 所示。

各层功能分别如下。(1) 终端层。支持各类终端，包括台式机、笔记本、瘦客户机、手机、PAD、软终端、云终端等，终端操作系统包括但不限于 Windows、统信/麒麟等信创操作系统、Android、IOS 系统、MAC 等。(2) 接入层。云桌面接入层，使用现有 VPN 网关或云接入网关，实现用户安全接入以及云桌面资源提供服务器的负载均衡。(3) 桌面管理层。桌面会话管理软件层，负责整个云桌面系统的调度，如新云桌面注册以及将云桌面请求指向可用的系统。用户通过与控制进行交互进行身份认证，最终获得授权使用的桌面。(4) 虚拟化管理层。桌面虚拟化资源调度软件层实现 IT 基础资源云化，负责计算资源池、存储资源池、网络资源池的统一管理、按需分配部署、资源动态调度，支持资源池整合以及资源的分配调度。(5) 系统层。操作系统虚拟化平台，提供操作系统、KVM 虚拟化能力。(6) 硬件层。硬件架构包括存储资源、计算资源和网络资源。网络连接应支持移动接入，出于对安全性的考虑，应对移动接入网络进行专门设计。本方案给出的移动接入部署图如图 2 所示。

总体划分为 4 个区域，即物联网接入区、外部服务网区、隔离防护区和内部服务网区。通过物联网专网技术保证移动终端接入业务平台的安全性，通过外部服务网进行准入控制和协议阻断，通过隔离防护区进

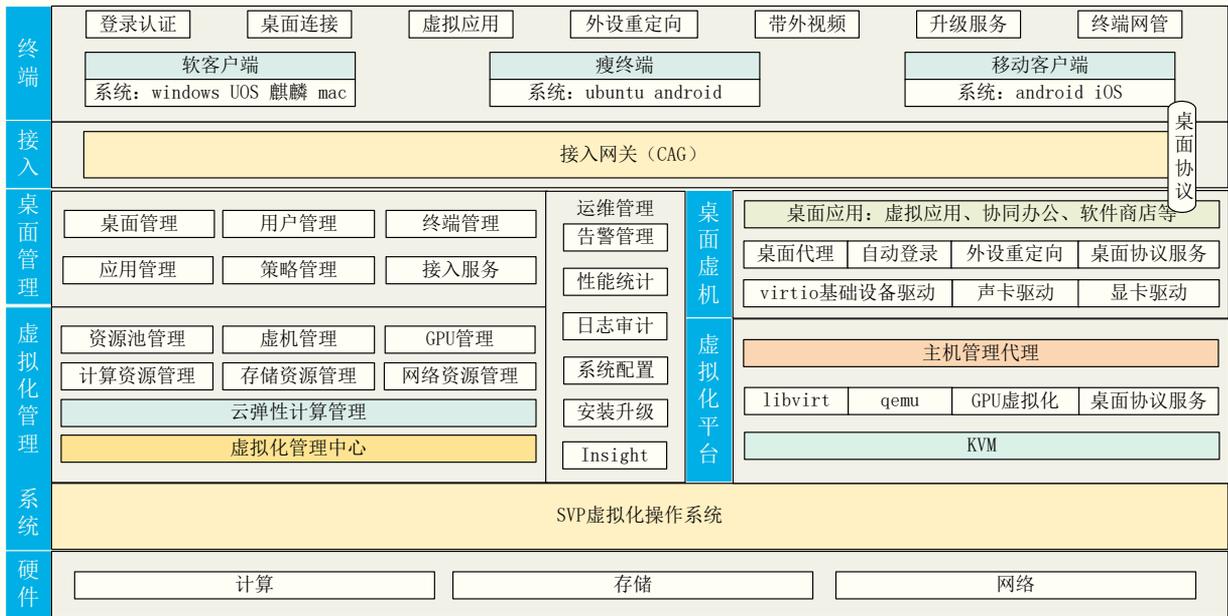


图1 系统组成图

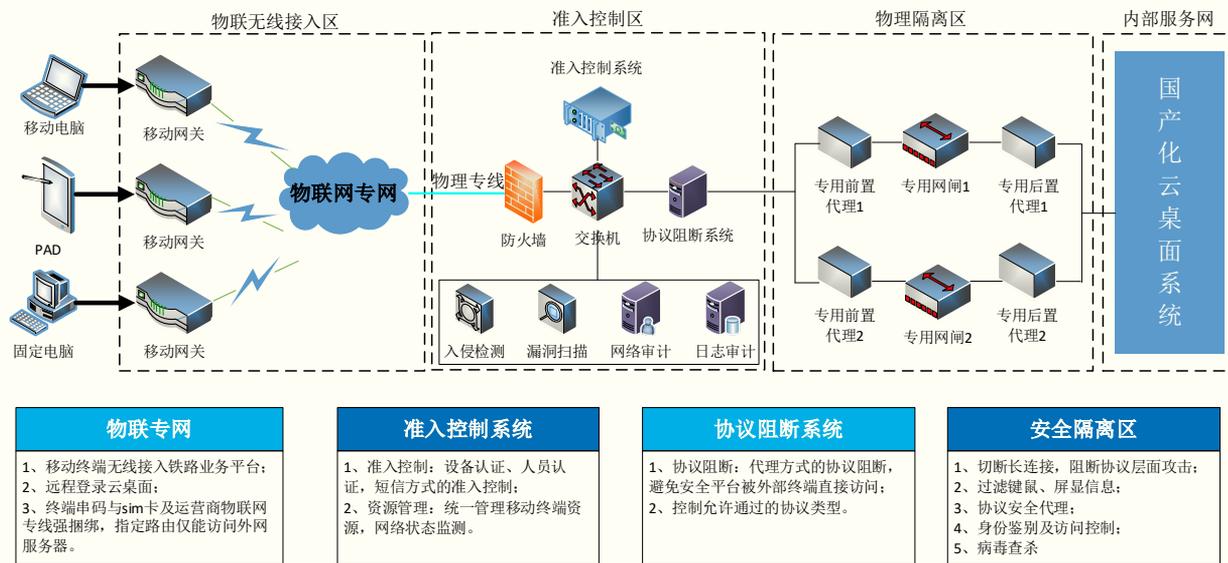


图2 移动接入部署图

行协议阻断、原始数据摆渡、流量控制、病毒防护、访问控制等，通过内部服务网区的虚拟化云桌面平台进行资源共享，共同构建出一套完善的移动接入安全解决方案。

(7) 运维管理功能。对桌面管理层和虚拟化管理层实现有效管控，提供云终端的运维管理子系统，包括云终端系统刷机、软件更新、设备控制终端监控和安全管控等功能。提供云桌面的运维管理子系统，包括资源池管理、云桌面管理、软件商店管理、告警管理、性能统计管理、日志管理、系统配置、安装升级等功能。提供智能感知运维系统，智能感知用户体验和系统运行状态，实现高效运维、资源可视化、系统运行情况智能预测、运营决策支持、硬件故障自动检测自动告警、用户感知智能预测、故障定位、平台健康度趋势和分析、为经营决策提供数据支撑、用户感知、智能运维、用户质差分析和干预。

## 4.2 技术实现

(1) 国产化技术。充分利用党政领域的国产化经验，按照“自主可控、自主安全、适配通用”的研究理念，基于主流国产化产品和技术，对集团现有应用系统在国产化云桌面环境进行适配应用，包括信创操作系统、数据库、中间件、国产化服务器、瘦终端等，打造全栈式国产化软硬件云桌面平台。(2) 云桌面传输协议。云桌面客户端跟终端建立

通信链路，虚拟桌面的数据流和控制消息都通过主机中转。云桌面传输协议应融合各种传输协议关键技术栈，确保优异的网络自适应能力以及极低网络带宽需求，实现云桌面文本和图像的流畅传输。(3) 虚拟化技术。云桌面的实现建立在虚拟化技术上，包括计算资源虚拟化、存储资源虚拟化、网络资源虚拟化。(4) 重定向技术。重定向技术是云桌面能够支持外部设备接入的关键技术，应支持 USB 存储设备、USB key、扫描仪设备、身份证扫描仪等外设进行重定向；支持串并口设备（如打印机）的重定向；支持语音设备、摄像头等音视频设备的重定向；支持双摄像头高拍仪、TWAIN 协议高拍仪重定向。(5) GPU 技术。在需要使用显卡的场景如视频监控、2D 设计、3D 设计等场景需要用到 GPU 技术，其中包括 GPU 虚拟化、GPU 透传和 GPU 共享。(6) 安全隔离与信息交换技术。安全性是铁路信息系统建设的重中之重，本方案在外部服务网和内部服务网之间部署了安全隔离交换平台，该区域内部署安全隔离交换链路，在移动终端和内网虚拟云主机之间，形成逻辑强隔离防护机制。隔离链路为“2+1”结构，“2”表示连接铁路外服网的前置代理服务器、连接铁路内服网的后置代理服务器（以下简称“前/后置”），“1”表示前/后置之间负责隔离交换的双向网闸。采用双向网闸传输，利用双向网闸解决两网之间的信息交换，切断协议连接，剥离协议封装，还原应用层数据，实现边界的安全隔离和数据的安全交换，确保比防火墙更加安全的边界逻辑强隔

离。采用前后置代理模式，前后置代理系统分摊双向网闸处理性能瓶颈压力，确保单向链路的可靠性和可用性，实现文件采集推送、数据库采集推送、应用协议对接、身份认证、安全过滤和检查、监控与审计等功能。本方案推荐的安全架构设计如图 3 所示。

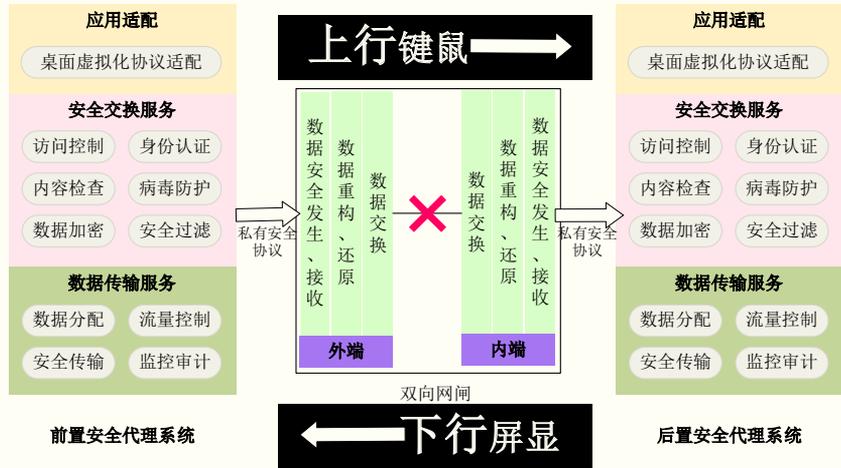


图 3 安全架构设计

### 4.3 技术关键

(1) 服务器、瘦终端等使用全国产化硬件，采用虚拟化技术。(2) 云桌面传输协议。主要集中在 VMWare 的 PCoIP 协议、Citrix 的 ICA/HDX 协议、Microsoft 的 RDP 协议和 RedHat 的 SPICE 协议，不具备自主可控的特点。本次使用自主可控的 RAP 远程桌面接入协议，在低码高清和低时延上特色明显，性能指标在业界居前，在带宽要求上平均 250Kbps，最低在 120Kbps 可正常办公。(3) 操作系统支持文件系统加密，默认支持指纹、指静脉、虹膜等多种生物特征识别。(4) 通过网络远程访问计算机桌面和应用程序，实现远程办公。(5) 标准防护。依据《GB/T22239-2019 信息安全技术网络安全等级保护基本要求》中“一个中心三重防护”的原则建设。(6) 合规防护。内网业务系统与外部对接系统之间形成物理级安全隔离。(7) 高安全系统架构。通信网络传输通道采用物联网专网技术“Mpls 隧道 + 物理专线”，网络边界采用“双主机 + 隔离硬件”的硬件架构，使用安全隔离网闸构建一个在网络边界处抵御已知和未知攻击行为的高安全屏障。(8) 准入控制。采用资源盘点、设备认证、身份认证的多重准入控制机制，从网络安全防范的源头入手采取控制措施，提高信息网络的可用性和安全性。(9) 极强的网络适应性。安全隔离网闸支持透明代理、代理以及路由 3 种模式，适应用户各种网络环境，支持与主、备交换机负载冗余互联。

## 5 系统测试

### 5.1 产品选型推荐

本方案介绍的铁路信息系统建设方案需要一个实际的产品选型方可具体实施，本节介绍中国铁路某局集团有限公司中实施的系统选型，作为可用的信创产品的推荐。

(1) 硬件性能。服务器规格为国产 CPU（16Core,2.5GHz,135W）\*2，192G 内存，2.4T\*10 硬盘；瘦客户端采用 CPU\* ARM 四核 2.0GHz，内

存 2GB DDR4, 存储 8GB eMMC, 网卡 10/100M/1000M 自适应网卡。(2) 软件选型。操作系统为国产操作系统, 云桌面系统为国产云桌面系统, 集群软件为国产集群软件, 云服务器操作系统为国产操作系统。

## 5.2 测试内容

信息系统上线前应进行全面测试, 对于铁路信息系统, 应进行的云桌面功能测试包括且不限于以下方面。

(1) 性能测试。吞吐量、并发用户数(压力测试)、响应时间、错误率。(2) 兼容性测试。云桌面环境下的字库缺失、显示适配、浏览器兼容性、打印机等外设兼容。(3) 适配性测试。各应用系统在云桌面上的适配以及解决方案。(4) 安全测试。登录与权限、超时限制、加密与解密限制、外设控制、病毒防护。(5) 互联网接入测试。通过中铁信安网闸接入互联网, 测试云终端网络功能、性能、安全能力。

## 结语

通过深入分析和广泛测试, 本研究成功提出并验证了一种基于信创产品的云桌面铁路信息系统建设方案。该方案不仅响应了国家对于信息系统全面国产化的号召, 还展现了云桌面技术在铁路信息系统建设中的可行性与高效性。通过对信创云桌面技术架构以及关键技术的实施, 本文验证了一个能够满足铁路信息系统多样化需求的安全、高效的解决方案。该方案实现了虚拟桌面环境的集中管理, 增强了数据安全, 提高了灵活性与可访问性, 同时具有成本效益, 且易于部署和扩展。

在实现与测试阶段, 选用全国产化的硬件与软件产品, 构建了兼容强、性能稳定的信息系统平台。经过一系列严格的测试, 包括功能测试、性能测试、兼容性测试、适配性测试、安全测试以及压力测试, 证明了该方案在实际铁路信息系统中的有效性和可靠性, 初步验证在一台满配置国产化服务器(CPU(16Core,2.5GHz,135W)\*2、192G内存、2.4T\*10硬盘)、单用户配置为4G内存、500G硬盘的情形下, 满足40个用户的正常并发使用。特别是在性能与安全方面的优异表现, 确保了铁路信息系统的稳定运行和安全性。

在未来信息系统设计与实施过程中, 本研究提出的方案可作为铁路信息系统基于云桌面技术发展的重要参考。推广和优化信创云桌面铁路信息系统建设方案, 不仅将有助于提升铁路系统的信息化水平, 还将推进中国铁路在智能化、自动化方面的发展, 同时促进国内信息产业的自主创新和发展。通过持续改进和更新, 该云桌面系统有望在未来支持更多高性能、高安全性的铁路信息服务, 为铁路乘客和运营商提供更为优质的体验和服务。■

## 引用

- [1] 郑移权.桌面云技术在铁路行业中的应用[J].铁道通信信号,2020,56(12):77-80.
- [2] 毛若羽.徐州东站房综合视频监控终端整合方案研讨[J].铁道通信信号,2021,57(11):51-53+56.
- [3] 黎巍,曾朝峰.探索铁路轮渡一体化智慧指挥中心建设新模式[J].海峡科技与产业,2022,35(2):73-76.

[4] 张军政,张浩,郝建,等.基于云平台的高铁列控集成测试系统设计与应用[J].铁道标准设计,2021,65(12):136-140+145.

[5] 董明.分析云桌面技术的智能化应用[J].百科论坛电子杂志,2021(18):740.

[6] 周杰,毕雯珍,杜鸣良,等.信创桌面云在自然资源管理中的应用[J].浙江国土资源,2023(10):35-36.

[7] 张宏伟,吕春光,刘竹涛.民航气象终端业务的一体化管理模式研究[J].计算机技术与发展,2023,33(10):209-215.

[8] 李鑫,滕飞.内蒙古自治区林业和草原局桌面虚拟化系统建设意义[J].内蒙古林业调查设计,2023,46(1):85-86+98.

[9] 林炜,周俐娜.基层央行信息化项目绩效评价的探讨——以基层行云桌面信息化项目为例[J].金融科技时代,2020(3):35-40+46.

[10] 张成娟.“桌面云”在海东市行政服务中心信息化建设中的应用[D].兰州:兰州大学,2019.

[11] 石琦.桌面云网络准入控制技术研究[J].信息技术与信息化,2023(6):166-169.

[12] 李昶.基于桌面云的资源受控保护系统设计与实现[D].北京:北京交通大学,2018.

[13] 金晓刚,刘鸿博.桌面云及安全性设计[J].信息安全与通信保密,2013(9):73-75+78.

[14] 浪潮通信技术有限公司.一种动态调整信创云桌面GPU的实现方法:CN202310310960.7[P].2023-07-07.

[15] 高金金,路芳瑞.基于云端融合和虚拟广播域的云桌面屏幕广播方法[J].软件,2022,43(6):55-58.

[16] 郑弘迪.桌面即服务中屏幕更新数据的端到端传输机制研究[D].成都:四川大学,2021.

# 远程控制技术条件下 劫机方式的可能变化及防范建议

文◆南京航空航天大学金城学院 航空运输与工程学院 刘羿良

## 引言

现代飞机，无论是大型客机、货机、军用飞机，还是结构简单、宛如风筝大小的无人机，均大量使用了计算机控制技术，使飞行变得更加安全、精准和舒适。然而，随着网络和远程控制技术的发展和普及，催生了电脑“黑客（Hacker）”，他们精通计算机编程和各类操作系统，能够破译飞行控制系统密码，远程操控飞机。在不稳定因素不断加剧的国际形势下，利用远程控制技术实施的高科技劫机风险日益增加（为便于研究，本文将以往的劫机事件称为普通劫机，将使用网络技术远程控制他人航空器的行为称为高科技劫机）。

高科技劫机除了具有普通劫机的方式多样性、过程隐蔽性和危害严重性三大特征外，还具有非接触式、武器化和不可逆转性等新的特征。高科技劫机的方式相比于普通劫机更多样，处置更困难。劫机对象也不仅局限于民航客机，还包括无人机等其他飞行器。从全方位保障航空安全的角度看，相关部门和工作人员应高度重视高科技劫机，加强防

范、多方联动、标本兼治、防患于未然。

## 1 普通劫机

### 1.1 劫机的定义

各国对劫机的定义虽有所不同，但主要依据是国际民航组织与成员国之间缔结的《东京公约》《海牙公约》和《蒙特利尔公约》，基本认同劫机（Aircraft hijacking）是以暴力或其他足以影响飞行安全的手段妨碍正常飞行或迫使飞机改变航向，严重威胁飞行安全的犯罪行为<sup>[1]</sup>。

### 1.2 劫机的特征

分析大量的劫机事件后，发现普通劫机具有以下三大特征。

第一，方式多样性。早期劫机多为个人携带刀具、枪弹登机后伺机要挟空勤人员，随后出现了团伙作案的情况。“911事件”便是有组织的团伙劫持多架飞机的恐怖活动。劫机目的也各不相同，冷战时期劫机事件政治色彩浓厚，70年代初期则多为经济目的，80年代后恐怖活动逐渐露出苗头。

第二，过程隐秘性。劫机者通常有充足的准备时间。例如，“911事件”的劫机者提前半年抵达美国，租住在比较偏远的城郊公寓，以普通人的身份生活，改了英文名字，开立了银行账户，申领汽车驾照，并在驾驶中遵守交通规则。一旦时机成熟，劫机者会迅速行动，令人措手不及。在“911事件”中，当地时间7点59分，美国航空公司第11次航班起飞。12分钟后，两名劫机者突然起身释放刺激性喷雾气体，用小刀劫持空乘，控制驾驶舱。26分钟后，劫机者与乘客语音对话，错按了塔台按钮，才引起波士顿航管中心的注意。46分钟后，飞机撞向了世贸大厦一号楼。

第三，危害严重性。航空安全网（Aviation Safety Network）记录了1919年以来全球民航系统飞行事故信息。截至2022年4月8日，已有1.1万余条原因明确的飞行事故信息，可归为十二大类113个具体原因。其中，劫机原因导致的事故最多（见表1）<sup>[2]</sup>，往往造成重大人员伤亡。例如，“911事件”直接造成了2996人死亡。劫机事件处置极为困难，一是担心伤及乘客性命，二是飞机空间狭小、燃料有限，处置危机的空间和时间不足。

【作者简介】刘羿良（1990—），男，湖南凤凰人，硕士研究生，讲师，从事飞行技术和民航管理等研究工作。

表1 民航事故分类及“安全状态”类事故的具体原因

事故类型	数量 (件)	占比 (%)	具体原因	数量 (件)	占比 (%)
安全状态	2874	25.5	劫机	1089	37.9
			射击	744	25.9
			地对空射击	429	14.9
			地面上被毁坏	304	10.6
			空对空射击	193	6.7
			炸弹破坏	91	3.2
			乘客自杀	24	0.8
飞机机身	2396	21.2			
相互碰撞	2024	17.9			
着陆起飞	1129	10.0			
天气原因	684	6.1			
飞行员失误	642	5.7			
未知原因	447	4.0			
火灾引发	328	2.9			
货物引发	259	2.3			
外部因素	198	1.8			
空管导航	163	1.4			
维修原因	133	1.2			
合计	11277	100.0		2874	100.0

数据来源：根据陈华罗等人相关文章数据整理

## 2 高科技劫机

### 2.1 劫机可能死灰复燃

1931年2月21日，秘鲁反政府组织成员劫持一架三发飞机，制造了世界上第一起劫机事件。20世纪40~50年代主要是东欧人劫机逃往西方。60年代末出现劫机高潮，1969~1971年间发生了240起劫机事件。80年代后，由于种族冲突、大国干涉等原因，导致政治色彩的劫机事件增多，再次出现高峰。1980~1985年间发生了182起劫机事件<sup>[3]</sup>。2001年9月11日，发生了震惊世界的“911事件”。

“911事件”是劫机的转折点。该事件发生后，国际社会形成了联合反恐的高压态势，迅速建立健全了相关法规制度，完善了安检安保和技术防范措施，从而有效遏制了劫机事件的高发态势<sup>[4]</sup>。多年来，全球范围内再未发生过劫机事件。然而，常规的安全措施对于依赖网络技术进行远程控制的高科技劫机的防范作用相对有限，高科技劫机成为新的航空安全威胁。

### 2.2 高科技劫机的特征

高科技劫机除了具有普通劫机的三大特征外，还具有以下3个新特征。

第一，非接触式。普通劫机的劫机者需要进入飞机才能控制飞机；高科技劫机则主要利用网络技术对飞机进行非接触式的远程控制（见表2）。

第二，武器化。普通劫机的劫机者身处飞机上，一般不会引爆飞机；高科技劫机则通过远程控制飞机，可以毫无忌惮地以飞机为武器攻击特定目标。劫持无人机攻击对方目标相对简便，但无人机飞行距离短、速度慢，因此不排除劫持民航等大型飞机作为攻击武器的可能性，特别是考虑到商业客机存在一定的安全漏洞<sup>[5]</sup>。

第三，不可逆性。普通劫机表达的是个人或小团体的利益诉求，有谈判或心理疏导的机会和时间；而高科技劫机一旦发生，由于找不到谈判对象，没有斡旋时间，几乎没有逆转的可能性。

## 3 高科技劫机的可能性

### 3.1 国际不稳定因素的触发机制

当前国际形势极其复杂，不稳定和不确定因素不断加剧。北约东扩和俄乌冲突加剧了北约与俄罗斯之间的对抗，巴以冲突导致国际社会进一步撕裂。这是二战以来最严峻的国际形势，国际冲突的复杂性已经难以用传统的

表2 高科技劫机与普通劫机的区别

	普通劫机	高科技劫机
劫机方式	劫机者携带管制器械或化学危险品等违禁品，规避安检登机；暴力胁迫空勤人员就范，或使用有毒气体造成空勤人员丧失意识、行为失常	劫机者利用网络技术对飞机进行远程控制，飞行员难以察觉或无法干预纠正
劫持对象	民航客机	无人机、民航客机或其他飞行器

战争与和平二分法描述，政治战、经济战、军事战、信息战、外交战等多种形式的“混合战争”随处可见<sup>[6]</sup>。远程控制对方飞行器以达到某些目的的可能性显著增加。

### 3.2 远程操纵的技术条件完备

在现代社会中，互联网化和开放化给人们带来了便捷的同时，也增加了信息安全风险，诸多领域面临着网络渗透和攻击的挑战。2018年，全球发生的网络攻击事件超过200万起<sup>[7]</sup>。曾任以色列国家信息安全局局长、国家网络安全委员会主任的埃雷兹·科雷尔披露，由于飞行软件错误导致波音737MAX接连坠毁后，有人提出了“黑”进民航客机电脑系统，远程控制客机，以避免类似事故的发生<sup>[8]</sup>。

### 3.3 航空系统和飞行器存在漏洞

航空系统缺乏独立的网络平台 and 飞行操纵系统。大多数国家民航信息传输依赖于网络运营商提供的平台，难以杜绝“黑客”的攻击<sup>[9]</sup>。同时，航空公司的商务信息系统通常使用大型主机应

用系统USAS<sup>[10]</sup>。民航对乘客开放空中互联网接入功能后，黑客完全可以通过乘客的电脑系统侵入客机操作系统。

无人机小巧轻便，自身防范措施相对简单。通过研究无人机的信号，分析其调频规律和无线协议格式，攻击者可以伪造地面控制器劫持正在空中飞行的无人机。例如，2022年，在欧洲黑客大会上展示了针对无人机的劫持攻击技术<sup>[11]</sup>。

## 4 高科技劫机的防范建议

### 4.1 正确认识，科学防范

到目前为止，虽然尚未发生过民航界认定的高科技劫机事件，但是人们对高科技劫机的认识不足，甚至缺乏基本意识，因此需要做到以下几点。

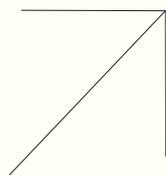
第一，强化意识，提高警惕。在当今社会的工作和生活中，网络不可或缺，网络攻击和远程操控屡见不鲜，成为民航安全的全新挑战和严重威胁。因此，必须强化防范意识，做好防范工作。

第二，健全体系，科技赋能。加强领导，健全机构，完善机制，创新管控。构建主体明确、权责清晰、运转高效的高科技劫机防范工作体系，组建专业队伍，制定应急预案，加强日常监控。聚焦科技智慧赋能，依托互联网、大数据、人工智能、区块链等技术，及时发现和掌控可疑的网站、App等信息，提高监测和防范的智慧化水平，增强对犯罪苗头的发现能力，并提高精准监测和有效打击犯罪行为的工作效能。

### 4.2 多方联动、全面合作

高科技劫机是远程控制行为，需要多方合作，才能起到全面封控的作用。

第一，国际合作，立法保障。国际民航组织与国际刑警组织在联合打击跨国犯罪活动中发挥着重要作用，但国际间反劫机联合行动仍处于松散的合作状态。应在联合国框架下建立多国参与的统一机构，构建联合协调机制，共同打击劫机犯罪行为。面对新形势、新情况，应强化国



际间打击劫机犯罪行为合作机制的法制化建设,为加强国际间惩治劫机犯罪的法律衔接,促进多边数据共享、联合行动提供法律支撑,并达成防范高科技劫机公约。

第二,空地结合,各司其职。普通劫机的处置重点在飞机上,机长、机组人员和乘客都是反劫机的主角。然而,由于高科技劫机空中处置技术有限,难度很大,应充分发挥地面信息、技术和资源优势,空地结合,迅速控制事态变化。一旦发现高科技劫机苗头,地面指挥人员应迅速确定和判断危机的性质、问题所在、发展方向和可能的结果,并根据应急预案做出决策,果断切断网络系统或关闭自动驾驶等电子系统。同时,机长应沉着冷静,保持与地面指挥部门沟通,指挥机组成员手动操纵飞行,使飞机平安降落。

#### 4.3 标本兼治,防患于未然

高科技劫机具有不可逆转性,因此首要任务是防患于未然,力争将高科技劫机犯罪苗头扼杀在萌芽状态,从根本上阻断高科技劫机渠道。

第一,强化技术防范,实现智能化监控。在加强人防、物防的基础上,强化技术防范,实现对高科技劫机网络监控的智能化。针对网络攻击,国内外开展了大量的防范技术研究。例如,中国星网网络创新研究院研制的反制网络攻击装置和系统,能够对网络攻击进行检测、防护和情报协同<sup>[12]</sup>。同时,一种安装在飞机系统中的防劫机装置已经在军用飞机上试验成功,即便是劫机者控制了地面飞行管制中心,该系统仍能够自动接管飞行,安全降落<sup>[13]</sup>。飞行网络中的GPS欺骗是一种易发起的攻击方式。国外研究人员提出多种对策解决飞行网络中的GPS欺骗攻击<sup>[14]</sup>,可以借助强大的技术防范力量主动出击,搜索恶意软件,分析异常数据,追踪远程连接域名和服务器,确认劫机者位置,应用“诱饵”软件诱惑对方执行程序,对犯罪行为提前预判,并精准打击。

第二,系统隔离,让“黑客”无从下手。飞行操纵系统是控制大型客机安全飞行的关键,对飞行至关重要,应重点排查。此外,还应检查进口设备和其他关键软件、机组与乘客使用的电脑系统、飞机与机场塔台之间的ADS-B通信等是否完全隔离,评估被外界侵入控制的可能性,坚决封堵安全漏洞。为满足飞行员频繁访问机上网络和数据的需求,民用飞机实现了从公共网络域到飞行控制网络域,甚至机载电子设备的连接。这些服务将民用飞机机载电子系统从一个孤立的信息孤岛转变为一个开放的网络空间,更易受到来自公共网络的外部威胁。为了防范这些威胁,应出台相关法规或规范,如RTCA DO-326规范,减少外部网络威胁对飞行安全的影响<sup>[15]</sup>。从根本上阻断飞行操纵系统被远程控制的办法较多,重点是自主研发替代的飞行操纵系统,并推动国产大飞机早日进入民航市场。■

#### 引用

- [1] 蔡妍珊.论劫持航空器罪[D].广州:暨南大学,2015.  
 [2] 陈华罗,卢红宇.乘飞机安全吗?我们用两万多条数据进行了验证[N].新京报,2022-05-13.  
 [3] 王超群.国际国内劫机问题的全球治理研究-个人、国家、体系分析视角[J].青

年与社会(下),2014(9):326-328.

[4] 杨保筠.国际反恐斗争任重而道远[J].新视野,2003(2):76-78.

[5] Randall,B.,Harris,M.,Jones,D.,et al.Civil Aviation as a Target for Terrorism:An Analysis of the Threat and Potential Countermeasures[J].International Journal of Aviation Management,2018(3):110-114.

[6] 陈翔.“混合战争”与俄乌冲突[J].外交评论,2023,40(2):104-126.

[7] 中新网,报告称2018年发生百万起网络袭击 损失逾450亿美元[N].环球网,2019-07-11.

[8] 马俊.在网安大会感受网络战“硝烟”[N].环球时报,2019-08-21.

[9] 储鹏.浅谈民航网络安全[J].科技创新导报,2018,15(15):131-132.

[10] 李巍伟,何宁,王宗强,等.基于开放平台的民航大型主机跟踪数据存储和查询[J].信息记录材料,2022,23(8):179-182.

[11] 绿盟科技.无人机系统安全问题和防护技术[N].安全牛,2023-02-03.

[12] 付俊,赵鹏,王智辉,等.网络攻击事件的处理方法,装置,系统和可读存储介质.CN202211213461.8[P] 2023-12-21.

[13] 邹广元.安装在飞机上的反劫持装置:CN88103336.7[P].CN1038434[2023-08-05].

[14] Altaweel,A.,Mukkath,H.,&Kamel,I.GPS Spoofing Attacks in FANETs:A Systematic Literature Review[A]IEEE Access,2023(11):55233-55280.

[15] Quanxin,C.,Linfang,Y.,Bin,C.,et al.Enhancing Network Security Strategies against External Threats to Civil Aircraft.[A] IEEE 2nd International Conference on Data Science and Systems,2016(1):110-115.

# 铁路通信信息技术的发展与应用

文 ◆ 中国铁建股份有限公司东北区域总部、中铁建北方投资建设有限公司 马腾飞

## 引言

本文旨在探讨铁路通信信息技术的发展历程及其在现代铁路系统中多样化的应用。首先，追溯铁路通信技术从最初的电报和无线电通信到当前的数字化和网络化通信手段的演变历程。其次，重点介绍当前铁路通信技术的进展，包括5G-R移动通信、卫星导航集成技术以及物联网的融合应用，这些技术正在重塑铁路行业的运作模式。最后，预测未来铁路通信的发展趋势。在技术应用部分，分析铁路通信技术在提升铁路运行控制和安全、优化乘客服务以及改进维护与管理方面的具体实践和效益。本文的讨论和分析为理解铁路通信信息技术的重要性及其在现代铁路系统中不可或缺的地位提供了深刻见解。

## 1 铁路通信信息技术的发展分析

### 1.1 铁路通信技术的历史回顾与演化

铁路通信技术的发展与演化

和铁路行业的扩张、信息技术的进步密切相关。

铁路通信技术的发展如表1所示。具体来说，1830s ~ 1900s，电报技术。在铁路通信初期，电报是连接远距离铁路站点的主要手段。通过电报技术，列车调度员能够快速传递信息，提高了调度效率并减少了列车间的事故。电报技术是铁路通信历史上的第一个里程碑<sup>[1]</sup>。1900s ~ 1950s，无线电通信。无线电通信的引入为列车控制和紧急通信提供了重要工具，标志着铁路通信从有线到无线的转变。无线电增强了移动通信能力，提高了列车运行的灵活性和安全性。1960s ~ 2000s，数字化通信。数字化通信的发展，尤其是全球移动通信系统——铁路（GSM-R）的实施，实现了对列车的实时监控和高速数据传输。该技术的应用提高了铁路通信的可靠性，为后续的技术发展奠定了基础。2000s ~ 现在，5G和物联网技术。随着物联网和5G技术的融合应用，铁路通信网络的带宽和数据处理能力得到了极大提升<sup>[2]</sup>。这些技术提供了更高速度的数据传输和更广泛的网络覆盖，使远程监控和预防性维护成为可能，并进一步增强了铁路系统的性能和可靠性。

### 1.2 当前铁路通信技术的最新进展

当前铁路通信技术的最新进展呈现出高速化、智能化和综合网络化的特征。首先，5G通信技术的引入是近期变革中的关键力量。5G技术以高带宽、低时延的特性，为铁路通信提供了前所未有的速度和可靠性，支持了大量数据的即时传输，使实时列车监控和远程控制成为可能。这对提升列车运行的安全性和时效性具有重要意义。其次，物联网（IoT）的应用正在改变着铁路通信的面貌。通过在铁轨、车辆、信号系统中安装感测器，铁路管理者能够实时收集关于其状态和性能的数据。对这些数据进行分析 and 利用，能有效预防故障，降低维护成本，同时通过分析乘客行为提供更加个性化的服务。再次，卫星导航技术和铁

表1 铁路通信技术的发展

时间段	技术里程碑	关键应用领域	影响 / 改进
1830s ~ 1900s	电报技术	列车调度、事故报告	提高了调度效率，减少了列车间的事故
1900s ~ 1950s	无线电通信	列车控制、紧急通信	增强了移动通信能力，提升了响应速度
1960s ~ 2000s	数字化通信（如 GSM-R）	实时列车监控、数据传输	提高了通信的可靠性和数据传输速度
2000s ~ 现在	5G、物联网技术	远程监控、预防性维护	极大提升了网络带宽，加强了设施监控能力

【作者简介】马腾飞（1991—），男，北京人，本科，研究方向：铁路通信信息。

路通信的集成为列车定位提供了更为准确的手段。结合地面基站，能够实现对列车精确位置的实时跟踪，进一步提升了铁路调度的准确性和效率。此外，云计算和大数据分析的融合应用正在加速铁路通信技术的智能化。运营商借助云平台的强大计算能力，对海量数据进行分析，优化铁路运行模式，提高能源效率，并预测客流，为乘客提供更加便捷的购票和出行体验。最后，在安全方面，加密技术和网络安全措施的加强为铁路通信提供了更加坚固的防线，确保数据传输的安全性和系统的稳定运行。

### 1.3 铁路通信技术的未来趋势

铁路通信技术的未来趋势主要围绕着更深层次的智能化、自动化以及数据驱动的决策支持系统。随着人工智能和机器学习技术的发展，铁路系统将能自动识别并响应各种运营情况，提升运维效率和安全水平。自动驾驶列车的研发和实施有望成为铁路通信技术发展的重点之一，这需要更高级别的通信系统来确保实时数据传输和处理。同时，随着大数据分析技术的不断成熟，铁路系统能够更有效地处理乘客流量和运输需求，实现更加动态和灵活的调度。实时数据分析将助力铁路运营商即时调整运营策略，优化资源分配，提供更加个性化的乘客服务。在网络架构方面，未来铁路通信将更多地依赖分布式网络和边缘计算技术，减少对中央服务器的依赖并缩短数据处理时间，使数据处理更加接近数据产生的源头，从而降低延迟，提高系统响应速度。

## 2 铁路通信信息技术的应用

### 2.1 铁路运行控制与安全

铁路通信信息技术在铁路运行控制与安全方面的应用具有多样性的特点，主要通过实现实时数据传输、处理与分析，确保列车运行的准时性、安全性和效率性。现阶段，铁路通信信息技术在铁路运行控制与安全保障方面的具体应用如下。

#### (1) 自动列车运行控制系统 (ATO)

自动列车运行控制系统 (ATO) 通过整合传感器、无线通信、数据处理等技术，实现列车运行的自动化控制。ATO 系统的控制算法采用“速度—位置”控制函数，其形式可以简化为以下公式。

$$v(t)=f(x(t), xdes, vdes) \quad (1)$$

式 (1) 中， $v(t)$  表示列车在时间  $t$  的速度， $x(t)$  表示列车的实时位置， $xdes$  和  $vdes$  分别是列车的目标位置和目标速度。ATO 系统根据这些参数调整牵引力和制动力，平滑和高效地控制列车。

#### (2) 通信基于列车控制系统 (CBTC)

通信基于列车控制系统 (CBTC) 利用无线数据通信系统实现列车精确位置监测与控制。CBTC 系统中的列车最小安全间隔 (Headway) 是其关键的技术参数，表达式如下。

$$H=S/V+Tr+Tb \quad (2)$$

式 (2) 中， $H$  是列车头间距， $S$  是列车的安全停车距离， $V$  是列车的运行速度， $Tr$  是反应时间， $Tb$  是制动时间。CBTC 通过实时更新这些参数，确保列车之间保持安全的距离。

#### (3) 正时控制系统 (PTC)

正时控制系统 (PTC) 集成了 GPS 定位、无线通信以及计算机系统预防列车碰撞、脱轨等安全问题。PTC 系统处理的关键数据包括列车位置、列车速度、线路信息 (限速、曲线半径、坡度等)。PTC 系统的核心是实时风险评估与拦截算法，可以简化为以下公式。

$$R=f(L,V,Vmax,O) \quad (3)$$

式 (3) 中， $R$  表示风险等级， $L$  表示列车位置， $V$  表示实时速度， $Vmax$  表示该区段的最大允许速度， $O$  表示其他运营参数，如信号状态、作业指令等。

#### (4) 列车完整性监测系统

列车完整性监测系统对于安全运行至关重要。现代系统采用无线射频识别 (RFID) 技术或车载摄像头，配合图像识别算法，实时监控车钩、车厢的连接状态。

#### (5) 网络安全系统

网络安全系统是铁路通信技术的重要方面，铁路通信网络采用多层安全措施。1) 数据加密。采用公钥基础设施 (PKI) 和对称加密算法确保数据安全。2) 入侵检测系统 (IDS)。监测网络活动，并使用机器学习算法分析异常模式。3) 访问控制。通过角色基础的访问控制 (RBAC) 限制对系统的访问。

铁路通信信息技术通过先进的控制系统、算法以及安全措施，实现了铁路的高效和安全运行。这些系统和技术的发展与实施需要不断研究，以适应复杂的铁路网络和变化的运输需求。

### 2.2 乘客服务质量与乘客体验

铁路通信信息技术对提高乘客服务质量和乘客体验具有显著

影响。具体来说，基于铁路通信信息技术可以构建相关系统，为铁路乘客提供各项优质服务。

#### (1) 实时列车定位和预测系统

对于列车到达时间的预测模型，可以使用如下公式。

$$T_{\text{预测}} = T_{\text{实时}} + (D_{\text{剩余}} / V_{\text{平均}}) \quad (4)$$

式(4)中， $T_{\text{预测}}$ 表示预测到达时间， $T_{\text{实时}}$ 表示当前时间， $D_{\text{剩余}}$ 表示列车到站剩余距离， $V_{\text{平均}}$ 表示基于历史数据的列车平均速度。

#### (2) 车厢拥挤度监测与信息传播

拥挤度的评估公式如下。

$$C = (N_{\text{当前}} / N_{\text{最大}}) \times 100\% \quad (5)$$

式(5)中， $C$ 表示拥挤百分比， $N_{\text{当前}}$ 表示车厢的当前人数， $N_{\text{最大}}$ 表示车厢的最大承载人数。

#### (3) 无线上网服务

无线网络服务(WiFi)的数据传输速率计算公式如下。

$$R = n \times W \times \log_2(1 + P / (N_0 + I)) \quad (6)$$

式(6)中， $R$ 表示数据传输速率， $n$ 表示使用的频道数量， $W$ 表示每个频道的带宽， $P$ 表示接收信号的功率， $N_0$ 表示噪声功率， $I$ 表示干扰功率。

#### (4) 个性化服务

个性化服务的推荐算法可以简化描述为以下公式。

$$S = f(U, H) \quad (7)$$

式(7)中， $S$ 是推荐的服务， $U$ 代表用户的偏好和历史行为数据， $H$ 代表历史旅行数据。

#### (5) 客户服务机器人

客户服务机器人的平均响应时间可以使用以下公式进行评估。

$$T_{\text{响应}} = (1/N) \times \sum T_i \quad (8)$$

式(8)中， $T_{\text{响应}}$ 表示平均响应时间， $N$ 表示收到的请求总数， $T_i$ 表示单个请求的响应时间。

上述服务的整合有助于铁路运营商通过通信信息技术改善服务质量，从而提供更准确的信息，改善乘客体验，并提供更个性化的服务。

### 2.3 铁路维护与管理优化方面的应用

铁路通信信息技术在铁路的维护和管理中扮演着核心角色，极大地提高了效率和安全性。

(1) 预测性维护。通过铁路系统中安装的传感器收集的数据，结合大数据分析和物联网技术，维护团队能够监控关键设施的健康状态。通过对比历史和实时数据，机器学习模型可以预测铁轨、列车和信号系统等设施的潜在故障，这意味着可以在问题发生前进行维修，避免意外停运，减少维护成本。

(2) 资产管理。现代化的资产管理系统能够追踪铁路网络中的每一项资产。通过使用地理信息系统(GIS)，铁路公司能够准确定位资产并有效规划维护工作。这些系统可以帮助铁路公司确定需要优先维护的资产以及有效分配资源和人员。

(3) 无人机和机器人检测。在铁路巡检中，无人机和机器人被用于访问人类难以到达的地方。无人机可以捕获高分辨率的视频，而机器人能在轨道上进行自主巡检。这些技术不仅提高了检测效率，还提高了工作人员的安全性，降低了检测成本。

(4) 通信基础设施升级。Q11先进的通信技术，如GSM-R和LTE-R，为铁路系统提供了更加可靠和快速的数据传输通道，保证从列车到控制中心，所有必要的信息都能实时传输，从而确保铁路操作的连贯性和安全性。

### 结语

随着铁路通信信息技术的不断进步，铁路系统在安全性、效率和乘客体验等方面取得了显著的提升。技术的发展让铁路运输成为支持现代社会快速发展的坚实后盾，同时也对铁路运营商提出了更高的技术和管理要求。未来铁路通信信息技术将继续以其革命性的创新推动铁路行业向更智能化、网络化的方向发展，对于解决日益复杂的运输挑战提供更有效的工具和手段。本文探讨描绘了一个全面而深入的铁路通信技术发展与应用的前景，为铁路行业的决策者和工程师提供了宝贵的信息和启示。随着科技的持续进步，铁路通信信息技术的未来发展必将开启新的篇章，为全球铁路运输业创造更多的可能。■

### 引用

- [1] 万方毅. BIM技术在铁路通信信息设计中的应用[J]. 数字技术与应用, 2021, 39(2): 45-47.
- [2] 钟青, 刘立海, 李一凡, 等. BIM技术在铁路通信信息设计中的应用[J]. 信息通信, 2020(1): 224-226.

# 自动化测试过程改进 在民航信息库存管理系统中的应用

文◆中国民航信息网络股份有限公司 肖晶晶 曾宏霞 吕晓华 陈钟玉 左琳

## 引言

随着民航业的蓬勃发展，民航信息系统日益复杂，功能日益丰富。为确保生产环境软件运行的稳定性，测试工作变得愈发重要。近年来，计算机行业新技术不断涌现，推动了民航信息系统的创新与升级。民航信息系统融合了民航业与计算机行业的技术特点，利用云化平台进行开发与测试，以满足更多需求、应对更复杂场景，并提升用户体验。在此过程中，自动化测试成为测试工作的关键一环。本文重点探讨民航信息系统库存管理功能在云化平台中自动化测试过程改进的最佳实践。

## 1 民航信息库存管理系统测试工作的重要性

### 1.1 测试工作的重要性

软件测试在确保软件质量、提升用户体验、降低开发成本以及维护企业声誉等方面具有关键作用。对于民航信息系统的库存管理功能而言，软件测试不可或缺。通过测试，及时发现并修复软件中的缺陷和错误，确保软件在实际应用中稳定可靠，满足用户需求。同时，也是对国家安全和人民福祉的重要贡献。

### 1.2 自动化测试在测试工作中的地位

自动化测试在测试工作中的地位日益凸显，在提高测试效率、保证测试质量以及降低测试成本等方面发挥着重要作用。自动化测试在测试工作中具有不可替代的地位。自动化测试为软件测试工作的成功提供了有力保障。对于民航信息系统的库存管理功能来说，通过不断精进自动化测试技术，不仅能够大幅提升软件的质量，还能够确保民航信息系统的库存管理功能在上线后稳定运行，为用户提供更加安全、可靠的服务。因此，对自动化测试工作的重视和投入是追求卓越、打造高品质软件的重要一环。

## 2 库存管理功能自动化测试过程改进

### 2.1 库存管理功能自动化测试改进原因

第一，随着云化平台在民航信息系统库存管理功能软件中的广泛应用，开发阶段已经全面迁移至云平台。为了保障测试的连贯性和高效

性，自动化测试工应进行相应的迁移和适配，以确保在云平台顺利执行测试任务。不仅有助于提升测试效率，还能够确保测试环境的稳定性和可靠性，从而保障民航信息系统的库存管理功能在云化平台的顺利运行。

第二，基于开发架构在云平台的应用微服务化趋势，自动化测试的设计理念和思路应该相应地进行调整。微服务架构将应用拆分成多个小的、独立的服务，每个服务都可以独立部署、扩展和升级。因此，自动化测试用例的设计也应与微服务架构相适配，以确保测试用例能够覆盖到每个微服务的功能点，并且在不同的微服务之间进行联动测试，有助于提高自动化测试的效率，降低人力成本和维护成本。同时，通过与开发框架的紧密联系和高度适配，自动化测试能够更加精准地发现问题，提高测试质量。

### 2.2 库存管理功能自动化测试改进过程

#### 2.2.1 库存管理功能自动化测试过程改进分析

民航信息系统的库存管理功能自动化测试工具迁移是关键改进点。由于不同工具之间的不

兼容性，原有的自动化测试用例无法直接复制粘贴到新平台，而是需要全部重新编写。尽管这一过程在初期带来了较大的工作量，人力和时间成本较高，但长远来看，其带来的优势非常显著。一旦完成自动化测试用例的迁移，民航信息系统的库存管理功能自动化测试工作将变得更加容易执行。首先，新的云平台工具能够更好地支持测试流程，确保测试活动的顺畅进行。同时，新的云平台测试工具的强大功能将使测试的通过率更高，减少了因工具限制而导致的测试失败情况。其次，迁移后的自动化测试工作效率将得到显著提升。云平台工具通常具备更高效的执行方式，能够更快速地完成测试任务。不仅减少了测试人员的工作负担，还加快了项目整体的开发和交付速度。这些改进后的优势离不开云平台强大功能的支持。再次，云平台提供了更强大的计算资源和存储能力，使自动化测试工作能够更加高效地进行。最后，云平台还提供了更丰富的服务和工具，使测试人员能够更好地利用这些资源来改进测试流程和提高测试质量。

另一方面，自动化测试理念、设计思路的转变。测试用例的设计主要侧重于多模块间的系统交互测试，即更偏向于整体系统测试，而独立的接口测试相对较少被考虑。这种设计思路在测试环境方面，特别依赖于与民航信息系统的库存管理软件存在交互的上下游系统环境。然而，这种依赖其他系统测试环境的方式存在显著的局限性。例如，上游软件测试系统的任何重启或数据变更都会对库存管理功能软件的自动化测试结果产生不一致性，进而导致自动化用例运行失败。需要明确的是，这些由于环境或数据变化导致的失败，并非源自开发代码本身的问题。这种情况不仅降低了自动化用例的回归测试通过率，还延长了分析自动化用例回归结果的时间。同时，为了排查和定位环境和数据的问题原因，也需要投入大量的人力成本。因此，随着自动化测试工具的迁移与升级，有必要对测试环境和测试设计思路进行同步改进与优化。

### 2.2.2 库存管理功能自动化测试改进具体实施过程

第一，重新设计自动化回归测试方案。用例改进过程中，部分用例完全参考旧的工具上的原有自动化用例设计思路，部分用例完全重新设计，将原来的用例按照测试覆盖点进行拆分，保证转移过程中测试点不缺失，简化测试步骤。

自动化测试用例改造过程如图 1 所示，改造后，接口自动化用例数占 90%，场景自动化用例数占 10%。简化的每一条测试用例执行时间大幅缩短，分析和修改用例的过程逐渐简化。既保证了多接口场景用例需要验证的测试点不缺失，又保证了自动化回归测试效率。

第二，测试环境方面的改进。减少交互系统软件测试环境依赖。过去民航信息系统的库存管理软件自动化测试是系统集成测试环境进行的自动化回归测试，依赖上下游系统，环境不稳定会导致用例不通过的数量变多。改造后，自动化测试所用环境为库存管理软件自己独立的环境，不依赖上下游，对所需要的下游数据进行 MOCK 测试，不会再因为其他系统的数据和环境导致自动化用例结果失败。

第三，自动化测试工具的迁移。云平台自动化测试工具存在以下优势。

- (1) 同步接口平台的接口定义解析入参出参结构。
- (2) 使用协议调用，与生产一致。

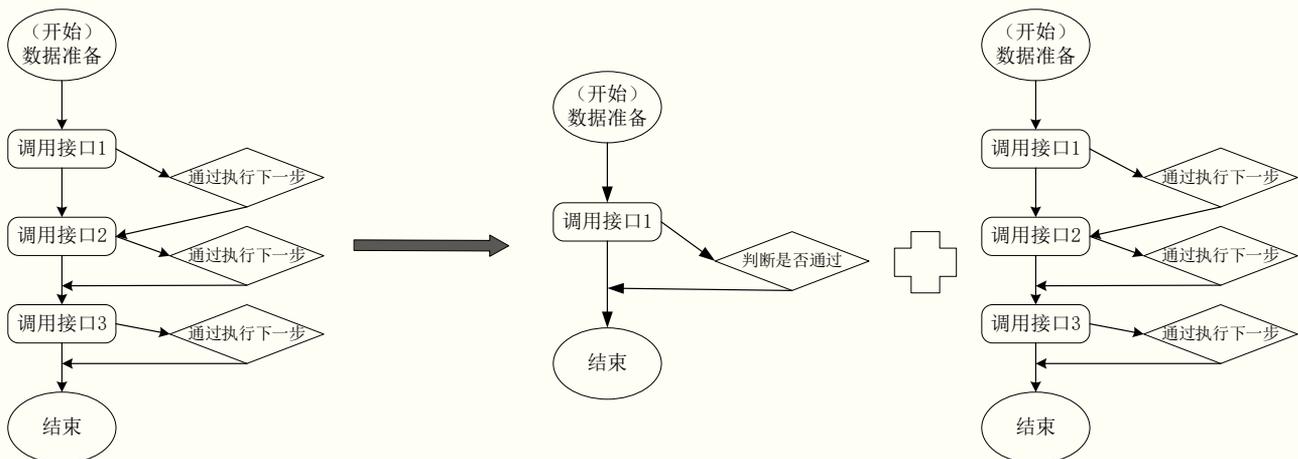


图 1 自动化测试用例改造过程

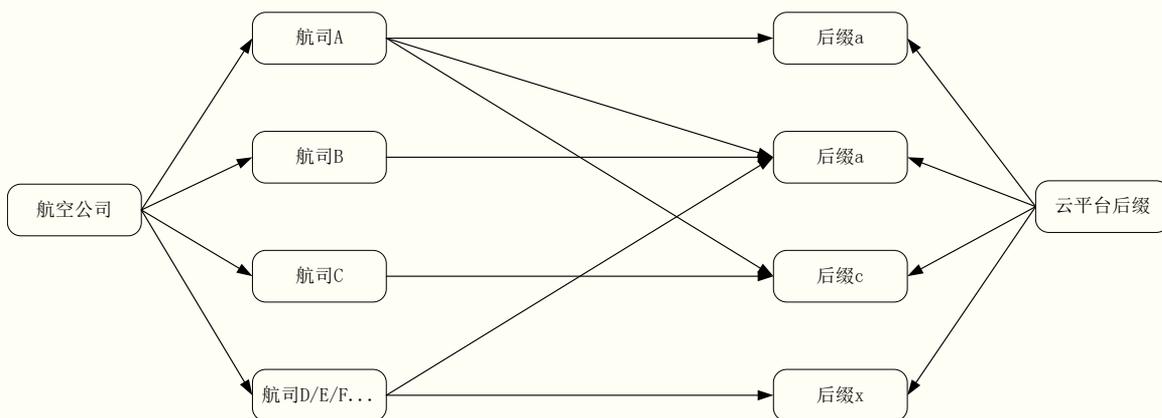


图2 自动化测试用例设计思路

(3) 支持多环境执行、开发和测试共用一套用例。

(4) 与流水线充分结合，在开发环节冒烟测试和内测环节接口自动化自动执行任务测试的用例并统计执行结果。

(5) 支持并行执行用例，执行效率更高。

改造前用例除了工具选择的问题还存在用例设计、测试环境、应用场景的问题。这些问题都是导致改造前自动化用例执行通过率不高的原因。改造前库存管理软件的自动化测试用例只有库存管理软件测试人员使用，改造后库存管理软件开发人员也可以用测试用例来提前验证所改代码。

第四，自动化测试设计思路的改进。针对民航信息系统的库存管理软件云化版本的应用程序，自动化设置多个参数，支持在库存管理软件的任何一个用户后缀的环境下进行分用户测试。自动化测试用例设计思路如图2所示。

图2中，用户和后缀可以随意组合。虽然图2中没有画出所有用户和后缀的组合情况，但是可以推导出，在平台上任何一个后缀环境下，可以随意切换成任意一个用户的数据来进行自动化测试回归。既具有灵活性特点，又可以减少用户相同需求的大部分用例重复编写工作。同时，针对不同用户的个性化需求，不会采用参数设置，而是把用户对应的个性化需求用例固定针对用户设置，但是用户的个性化需求较少。

### 3 实施效果

库存管理软件在每个版本更新时都会进行严格的自动化回归测试，以确保软件质量和稳定性。在这个过程中，自动化测试用例的执行时间、通过率、执行方式以及编写方式都对整体测试进度产生着重要影响。经过对自动化测试用例的改造和优化，取得了显著的成效。首先，回归测试的时间得到了大幅缩短，这意味着测试团队能够更高效地验证新版本的功能和性能。其次，测试通过率从原先的70%左右提升到了90%以上，显著提高了测试结果的可靠性，减少了因测试失败而导致的额外工作量和时间消耗。在实际测试执行中，由于自动化用例的改进，不再需要花费大量时间去分析那些由非程序变更引起的不通过用例，不仅节省了回归测试时间，还提高了整体测试进度。最后，测试团队能够专注于发现和解决真正的软件问题，从而确保库存管理功能软件的质量。

### 结语

随着民航信息系统的库存管理功能在云化平台中自动化测试的改进，不仅见证了库存管理模块软件质量的显著提升，还看到了这一成功模式在民航信息系统其他软件测试工作中的广泛推广与应用。这一变革不仅为民航信息系统的整体产品质量提供了更为坚实的保障，还为整个民航行业的信息技术发展注入了新的活力。在改进过程中，充分利用智能云平台的强大功能，与开发团队紧密合作，实现了测试工作的自动化、智能化和高效化。不仅使测试工作变得更加容易开展，还大幅提高了测试效率和准确性，从而确保了软件质量的稳步提升。更重要的是，通过与计算机行业新技术的紧密结合，自动化测试系统能够支持更多样化、更复杂的测试场景，满足了民航信息系统在不断发展中的多样化需求。不仅提升了用户体验，还为民航信息系统的持续优化和升级提供了有力的技术支持。

未来，将继续深化自动化测试在民航信息系统中的应用，不断探索和引入新的测试技术和方法，为民航信息系统的发展提供更加坚实的技术保障。■

# Python 程序设计

## 在线课程与移动交互环境的构建\*

文◆中国人民警察大学（广州） 赵宏飞

### 引言

随着科技的飞速发展和移动互联网的普及，教育领域正经历深刻变革。传统的教学模式逐渐被在线教育所补充。Python 作为一门易学且强大的编程语言，其在线教学需求日益增长。如何优化 Python 程序设计在线教学模式，更好地适应移动学习趋势，提升学生的学习体验和教学效果，成为教育者和实践者关注的焦点。

首先，阐述 Python 语言教育的现状，探讨当前 Python 在线课程的结构、内容和教学方法，分析其在适应移动学习环境方面所面临的挑战，如课程内容的更新速度、互动性、个性化以及学习资源的便捷性等。这些问题的解决不仅关乎编程教育的质量，还会影响教育公平性和学生的自主学习能力的培养。其次，回顾移动学习理论，分析移动设备改变学习者的学习习惯的方式以及移动交互特性为编程教育提供新的可能。讨论移动学习的优势，与 Python 教学相结合，增强学

生的学习动力和理解深度。再次，构建融合移动交互特性的 Python 在线课程的教学新策略，强调以学生为中心，利用移动平台的优势，通过项目驱动、情景模拟和协作学习等方法，实现编程学习的个性化和有效性。阐述教学模式的设计理念，预期通过定制化的移动应用程序，打破时空限制，让学生随时随地实践编程，提升 Python 在线课程的教学质量和学习成效。最后，深入探讨在线 Python 编程教育的现状与挑战和移动交互环境的潜在优势，为教育研究者和实践者提供了重新审视编程教学模式的视角，推动在线编程教育的创新与发展。

### 1 Python 程序设计在线课程的现状与挑战

#### 1.1 传统在线课程教学模式的局限性

第一，课程内容的更新速度往往滞后于技术的发展，使学生在学时接触的是相对过时的编程知识和实践方法。随着 Python 语言的不断更新迭代及其在各领域的广泛应用，如人工智能、数据分析等，保持课程内容的时效性至关重要，否则会导致学生所学知识与实际需求脱节。

第二，传统在线课程的互动性较弱。尽管视频教学和课件提供了一定的自我学习资源，但缺乏即时的反馈和互动交流，学生在遇到问题时难以得到及时地解答和指导，一定程度上影响了学习效果。传统在线课程通常以教师为中心，强调知识的单向传授，忽视学生的主动参与和实践环节，对于培养学生的创新思维和问题解决能力不够充分。

第三，传统在线课程在个性化教学方面存在不足。每个学生的学习风格、进度和兴趣点存在差异，传统课程往往是“一刀切”的教学内容，难以满足每个学生的个性化需求。因此，课程设计应更加灵活，能够根据学生的学习情况提供定制化的学习路径和资源，以激发学生的学习兴趣 and 动力。

第四，传统在线课程在学习资源的便捷性方面也存在问题。尽管网络资源丰富，但学生在查找和筛选相关资料时会耗费大量时间。一个整

\*【基金项目】全国高等院校计算机基础教育研究会 2023 年立项课题“Python 程序设计在线课程与移动交互学习环境构建”（AFCEC202301161）

【作者简介】赵宏飞（1984—），男，河南新乡人，本科，讲师，研究方向：计算机基础教育及自主无人系统。

合了高质量资源，且易于访问和使用的移动应用程序，能够极大提高学生的学习效率。

第五，传统在线 Python 课程的教学模式在内容更新、互动性、个性化和资源便捷性等方面存在局限性。为了适应移动学习趋势，提升学生的学习体验，教育工作者应寻求新的教学策略，充分利用移动设备的特性，打破局限，推动 Python 在线教育的创新与进步。

### 1.2 移动交互环境对课程学习<sup>[1]</sup>的影响

移动交互环境的引入为 Python 程序设计在线课程带来了革命性的变化，不仅提升了课程的灵活性和便捷性，还通过增强互动性和情境化学习，提高了学生的学习动力和理解深度。

第一，移动交互环境的灵活性满足了现代学习者随时随地学习的需求。通过智能手机和平板电脑，学生可以在通勤、休息、户外活动中进行学习，打破传统课堂的时空限制。这种灵活性使学习成为生活的一部分，而不是一个孤立的事件，有助于培养学生的自主学习习惯。

第二，移动设备的实时互动性增强了教学效果。通过移动应用程序，教师可实时监控学生的学习进度，提供个性化的反馈和指导。学生也可以通过应用程序提问、讨论、提交作业，实现与教师和同伴的即时互动。这种互动性增强了学习过程中的参与度，有助于更好地理解和应用所学知识。

第三，移动交互环境下的情景模拟为 Python 教学赋予了生动性和实践性。通过开发具有真实场景的编程任务，学生在模拟环境中应用 Python 解决实际问题，加深对语言特性和应用的理解。

第四，移动交互环境下，协作学习更加便捷。学生通过应用程序分享代码、参与项目，共同解决问题。这种协作培养学生的团队合作精神，有利于在交流和互助中提升编程技能、理解知识的多样性和深度。

第五，移动学习资源的整合和个性化推荐为学生提供更高效的学习途径。通过应用程序，学生可以访问精选的编程教程、视频和实践案例，内容根据学生的学习进度和兴趣进行推荐。使学习资源的选择更加个性化，有助于学生有针对性地提升技能。

第六，移动交互环境对 Python 程序设计在线课程影响深远。通过提供灵活的学习方式、增强互动性、促进情境化学习和协作，优化学习资源，有力地提升课程的吸引力和教学效果。充分发挥移动交互环境的优势，在课程设计、教学方法和评估体系上及时调整，以确保移动学习的高效性和可持续性。

## 2 基于 Python 的在线课程教学模式<sup>[2]</sup>改进

### 2.1 交互式编程学习工具的设计与应用

在 Python 程序设计在线课程的教学模式改进中，交互式编程学习工具的设计与应用是关键的一环。不仅能够弥补传统在线课程在互动性和个性化方面的不足，还能充分利用移动设备的便捷性，帮助学生有效学习和掌握编程知识。

首先，交互式编程学习工具的核心是提供即时反馈和互动性。例如，通过开发基于 Web 的编程环境，如 Replit 或 CodePen，让学生在浏览器中直接编写、运行和调试代码，无需安装额外软件，并提供实时错误检查和

代码提示，有助于学生在实践中快速学习和改正错误，提升编程技能。对于移动设备，可以开发类似的应用程序，如 SoloLearn 或 Khan Academy 的编程平台，让学生在移动设备上同样可以进行互动编程实践。

其次，情境化的编程任务是交互式学习工具的重要组成部分。通过构建贴近生活、与实际应用相结合的项目，学生可以将所学的 Python 知识应用到具体情境中，如创建简单的游戏、数据分析工具或网站。这种基于项目的学习 (Project-based Learning) 方法不仅增强了学习的趣味性，还帮助学生建立理论与实践的联系，提高问题解决能力。

再次，协作和分享功能也是交互式学习工具不可或缺的特性。通过在线编程协作平台，如 GitHub 或 GitLab，学生可以创建和管理代码库，与同伴共享代码、讨论问题，甚至共同完成项目。不仅可以培养学生的团队合作精神，还提供了学习他人代码、理解不同解决方案的机会，有助于提高他们的编程水平和创新思维。

此外，对于个性化学习，学习工具应能够根据学生的进度和理解程度，推荐适合的练习题和资源。通过算法分析学生的学习行为和成绩，生成个性化学习路径，确保每个学生都能在自己需要的地方得到强化。例如，使用机器学习技术分析学生的代码，识别他们的误解或困难，并推荐相应的教程或示例。

同时，评估体系的改革也是交互式学习工具设计的重要组成部分。除了传统的考试和作业，工具可以引入形式多样的评估方式，如编程挑战、项目评估和同

伴互评等，以更全面地评价学生的能力。实时反馈和自动评估功能，如 CodeSignal 或 LeetCode，能够让学生即时了解自己的表现，发现薄弱环节，从而进行有针对性地提高。

最后，交互式编程学习工具的设计与应用是改造 Python 在线课程教学模式的关键。通过提供即时反馈、增强互动性、情境化学习、协作分享和个性化学习路径，极大地提升学生的学习体验，促进 Python 编程技能的习得。随着移动交互环境的深入发展，这些工具将成为未来编程教育不可或缺的组成部分，助力在线编程教育的优化与创新。

## 2.2 Python 应用案例分析与实践

Python 语言的广泛应用为在线教学提供了丰富的实践资源。通过实例化教学，学生能够将理论知识与实际应用相结合，提升编程技能。下面通过分析几个具有代表性的 Python 应用案例，以展示其在移动交互环境中的教学实践。

数据分析是 Python 的一大优势领域，适用于各行各业的专业人员。课程中设计一个基于移动应用的案例，让学生使用 Python 及其数据分析库（如 Pandas 和 Matplotlib）处理实时获取的移动设备使用数据。例如，分析手机使用时长、App 访问频率等信息，挖掘用户行为模式，预测用户行为。通过这种方法，学生能学习到数据分析的基本技能，体验到移动设备数据的实时处理，增强真实场景中的问题解决能力。

Python 在机器学习和人工智能领域的应用是热门教学内容<sup>[3]</sup>。设计一个移动图像识别项目，利

用移动设备的摄像头功能，通过 OpenCV 库实现物体识别<sup>[4]</sup>。学生在学习 Python 编程的同时，可以了解机器学习的基本概念和算法，如卷积神经网络（CNN），并在实际操作中调整模型参数，提升识别性能。这种结合移动交互特性的实践，有助于学生深入理解机器学习的原理和应用。

Python 的 GUI 框架如 Tkinter 可以用于开发移动应用程序。课程中可以引导学生设计一个简易的移动日历应用，通过 Python 实现日期选择、事件添加和提醒功能。不仅能教授 GUI 编程，还能让学生体验到从概念到实现的全过程，增强他们对编程应用的理解。

移动游戏<sup>[5]</sup>开发是 Python 教学中一个富有吸引力的实践领域。通过课程，学生学习如何使用 Pygame 库开发简单的 2D 游戏，如扫雷或俄罗斯方块，并通过移动设备运行和调试。此举不仅能够锻炼学生的逻辑思维，激发他们的创造力，还能通过游戏化学习提升学习兴趣。

在实施这些案例时，教师可以提供详细的指导文档和代码模板，让学生在移动应用平台上逐步完成任务。随着项目的推进，学生不仅可以巩固 Python 语法，还能学习到项目管理、版本控制和协作等软技能。同时，通过在线讨论区，学生可以分享编程经验，解决问题，进一步增强互动性和合作学习。

通过这些 Python 应用案例分析与实践，移动交互环境中的教学不仅能够让学生掌握编程基础知识，还能让他们在实际操作中体会 Python 的实用性和强大功能，从而提高学习满意度和编程技能。随着移动设备的普及和移动交互环境的优化，这些案例将为 Python 在线课程提供更加生动、有趣的学习体验，推动编程教育的创新和进步。

## 结语

通过研究，深入分析了 Python 在线教育的现状与挑战以及移动交互环境为编程教育带来变革的方式。克服传统在线课程的局限性，加快内容更新速度，增强互动性，提供个性化资源，发挥移动学习的优势，提供灵活、即时与情境化学习。移动学习平台构建和教学资源的智能化整合，将是推动在线编程教育创新的关键。此外，教师角色完成了转变，从知识的传递者转变为学习的引导者，充分利用移动技术的优势，不断优化教学策略，以满足新时代学习者的需求，培养更多具备创新思维和实践能力的编程人才。<sup>[5]</sup>

## 引用

- [1] 刘佳.基于移动终端的网络音乐课程学习云平台设计与实践[J].自动化技术与应用,2020(7):148-150.
- [2] 闫丽.基于SPOC的混合式教学模式在Python语言程序设计课程教学中的应用研究[J].通化师范学院学报,2019(10):137-140.
- [3] 孙伟峰.C/C++程序设计多元协同实验教学平台构建[J].实验室研究与探索,2019(3):144-148+233.
- [4] 安康.移动物联网智能垃圾分类投放系统实验设计与实现[J].实验科学与技术,2023(6):19-26.
- [5] 陶健.智慧学习环境下的教育探究——以Python程序设计为例[J].现代商贸工业,2024(5):262-265.

# 面向民航等级保护的 Web 自动化渗透测试研究

文◆中国民航信息网络股份有限公司 沈 娴 全 岫 陈会容 蔺 东 贾宇茗

## 引言

为革新传统航空系统技术，全面提升民用航空的管理水平与运营效率，在广泛应用大数据、物联网等先进技术手段的背景下，对民用航空的网络安全提出更高的要求。本文结合民航等级保护的标准实施与当前民航网络安全的严峻形势，应用 Web 渗透测试方法、Web 爬虫技术和漏洞知识库，从增强民用航空对网络安全隐患的感知角度出发，设计面向民航等级保护的 Web 自动化渗透测试系统，以供参考。

## 1 民航等级保护与 Web 自动化渗透测试

由中国民用航空局人事科教司提出的民航等级保护标准，对民航网络安全等级保护工作的目标、对象、流程、任务、分工等作出明确要求。民航等级保护标准中将二级以上的民用民航各级行政管理机构、直属单位、航空运输保障单位、民用航空运输机场、航空公司、空管部门的基础网络与核心业务系统均划分至民用航空网络和信息系统的范围。在此基础上，根据信息系统安全保护等级要求，应用安全管理、技术保障、安全防护等多种手段完成对网络和信息系统的保护。为增强民用航空网络安全防御能力，做好民用航空重要网络和信息系统的建设工作，全面提高其可靠性与安全性，应完成以下几项主要任务。

(1) 根据国家相关管理规范的标准要求，民航各企事业单位应对信息系统的范围进行识别，通过对系统的科学分析确定等级。(2) 收集并整理所有提出备案需求的信息系统等级保护报告与表格，应用完备的资料规范实施备案手续的办理。(3) 根据信息系统等级确定的最终结果全面掌握相应等级的保护要求，立足于民航网络安全等级保护全局，规划设计相应的安全防护措施。(4) 在民航等级保护的安全防御措施方案通过评审后，有序开展安全建设与实施工作，以网络安全等级保护具体需求为依据，确保选用的网络安全产品符合相应标准规定，提高网络安全工作开展的成效。(5) 选择符合条件的信息安全服务结构，对民航各企事业单位的信息系统完成安全评估与网络安全等级测评工作。(6) 结合网络风险评估与网络安全等级测评结果，按照报告内容整改系统的安全措施，加强信息系统安全保护措施的优化和完善，保证系统建设的安全防护效果。(7) 根据民航等级保护要求，在系统运行的全过程中开展多角度、全

方位的网络安全核查、处置、运维等相关工作。(8) 在系统终止阶段应对其中的残余信息进行妥善处理，有效控制民航信息资产的安全性<sup>[1]</sup>。

为验证网络安全防护措施是否按照预设要求保障设备设施正常运行，可应用针对 Web 应用程序的渗透测试对黑客攻击手段进行模拟，评估测试目标的安全性。在开展 Web 渗透测试的过程中，不仅可以及时发现安全漏洞和隐患，还能通过非破坏性的手段降低测试操作对系统正常运行造成的不利影响。根据相关规范标准，在开展渗透测试的工作中，应完成四个阶段。准备阶段，开展渗透测试的基础性工作。在获得相关部门书面授权后，可以围绕测试目标设计相应的测试技术方案，并确立监督管理计划，实现设备、人员的科学规划。探测阶段，明确相关信息系统常见的入侵方式。测试人员可结合外界攻击对信息系统的信息了解不够充分的现实情况，完成渗透测试模拟收集和分析信息的环节。当获取信息达到一定量后，分析系统的端口和服务，便于后续测试攻击的顺利开展。实施阶段，结合探测结果开展渗透测试，同

【作者简介】沈娴（1985—），女，江西九江人，硕士研究生，工程师，研究方向：民航软件、自动化测试。

时监测系统本身编制情况和系统内外运行的安全性。在更换接应前，提前为测试人员赋予互联网设备和系统的操作权限，确保整个渗透测试实施过程的有效性。报告阶段，编制渗透测试的检测结果，科学评估信息系统网络的安全性。根据这一阶段的开展成果，可以有效整改信息系统网络安全措施，及时修复系统安全漏洞，对民航等级保护产生一定的强化作用，充分发挥渗透测试的重要优势和作用。

## 2 Web 自动化渗透测试的要点

### 2.1 Web 渗透测试方法

在 Web 应用程序的安全防护中，认证机制起着至关重要的作用。然而，许多系统都存在一些常见的认证缺陷，这些缺陷如果不及时修复，就会成为黑客利用的突破口。弱密码策略是 Web 应用程序中的一大隐患。部分用户为了方便记忆，通常选择使用简单的密码，如“123456”或“password”等。而一些系统也没有强制要求用户设置复杂的密码，这就为攻击者提供了可乘之机。为了检测认证缺陷，渗透测试人员会使用常见的密码进行登录尝试，以验证系统的密码策略是否足够强大。暴力破解漏洞也是认证安全中的一大隐患。攻击者会利用自动化工具尝试各种可能的密码组合，以破解用户的账户。为了检测这种漏洞，渗透测试人员会使用暴力破解工具对系统进行攻击，以验证系统是否能够抵抗这种攻击。

除了认证缺陷外，会话管理不当也是一个常见的安全问题。如果会话令牌的安全性不足或有效期过长，攻击者就能够利用这

些令牌窃取用户的身份。为了检测这种漏洞，渗透测试人员会检查系统生成的会话令牌，确保其具有足够的复杂性和随机性，并尝试在令牌过期前进行长时间的会话保持测试。

此外，信息泄露同样是一个需要警惕的安全问题。如果应用程序在处理用户请求或记录日志时不谨慎，就会泄露敏感信息。这些信息包括数据库凭据、API 密钥、用户密码等。为了检测这种漏洞，渗透测试人员会仔细审查应用程序的响应和日志文件，以查找可能泄露的敏感信息。同时，他们还会检查应用程序的错误处理机制，确保错误消息不会泄露过多的信息。

### 2.2 Web 爬虫技术

最初，网络爬虫为搜索引擎而设计，用于构建和维护庞大的网页索引。目前，网络爬虫已成为搜索引擎中不可或缺的一部分，并在数据收集、市场研究、内容监控等领域发挥着重要作用。网络爬虫通过特定的策略遍历互联网上的网页，这些策略通常基于图的遍历算法。网络爬虫的主要目标是高效地访问和收集这些节点（即网页）上的信息。

深度优先策略是一种经典的图遍历算法，从一个起始节点（即种子链接）开始，沿着路径深入搜索图的分支，直到到达一个无法再深入的叶子节点（即没有超链接的 HTML 文档）。然后，它会回溯到上一个节点，并尝试其他未访问的分支。这种策略的优点是能够确保所有节点都被访问到，包括位于深层的节点。然而，缺点是会导致爬虫陷入某个分支而无法及时返回并探索其他分支，尤其是在网络结构复杂且存在大量链接的情况下。此外，由于需要不断回溯，深度优先策略会导致大量的重复工作和网络开销。

广度优先策略是一种分层遍历图的算法，首先访问起始节点（种子链接）的所有相邻节点（即与起始节点直接相连的其他网页），然后对每个相邻节点进行相同操作，访问其所有未被访问的相邻节点。这个过程会持续进行，直到所有节点都被访问到。由于广度优先策略先访问离起始节点较近的节点，因此其优点是能够在较短时间内覆盖较大的网络区域。然而，这种策略会消耗大量的网络资源，因为它会不加选择地访问所有相邻节点，包括与搜索主题不相关的节点。此外，由于需要维护一个较大的候选节点队列，广度优先策略会导致较高的内存开销<sup>[2]</sup>。

最佳优先策略是一种基于广度优先策略进行改进的算法。它并非简单地按照节点被发现的顺序进行访问，而是根据某种评估函数（也称为启发式函数）为每个节点分配一个权重（或优先级），并根据权重选择下一个要访问的节点。评估函数通常基于节点的某些特征（如与搜索主题的相关性、网页质量等）计算权重。最佳优先策略的优点是能够根据实际需要调整爬虫的行为，便于更快地找到与搜索主题相关的网页。然而，这种策略需要定义合适的评估函数和权重计算方法，需要一定的专业知识和经验。此外，由于需要根据权重选择节点进行访问，最佳优先策略会导致较高的计算开销和复杂性。

### 2.3 漏洞知识库

在 Web 应用的信息安全领域中，一系列关键技术共同构筑了坚实的防线，确保网站内容的安全性和稳定性。这些技术首先体现在 Web

应用指纹数据库的构建上，它如同一个巨大的数据库，储存了各类 Web 应用特有的标识信息，如参数名称、目录结构等。这些信息不仅能快速识别目标系统，还是版权保护的重要工具。基于 Fuzzing 技术的指纹识别流程，则如同一个智能侦探，通过生成大量的测试链接，自动获取目标系统的响应信息，从而精准识别目标系统所使用的 CMS 框架及其版本。该技术显著提高了工作效率，使得在海量信息中快速定位目标成为可能。

而源代码分析和目录结构识别等技术，则如同放大镜，能够深入剖析目标系统的内部结构，找到被忽略的安全隐患。通过仔细分析源代码和目录结构，能够发现潜藏的安全风险，并及时采取措施进行防范。此外，模糊指纹库和漏洞特征库的建立，为安全防护体系提供了强大的支持。这两个数据库分别储存了海量的模糊指纹信息和已知的漏洞信息，通过正则表达式进行特征匹配，能够自动化地执行漏洞扫描和评估工作。这种技术能够快速、准确地发现目标系统中的安全漏洞，为后续的漏洞修复和风险防范提供了有力保障。

### 3 面向民航等级保护的 Web 自动化渗透测试系统建设

#### 3.1 总体架构

在面向民航等级保护的 Web 自动化渗透测试系统建设中，运用模块化思想理论和模糊测试方法，设计了该系统的总体架构，其中包括针对目录穿越漏洞、网络爬行漏洞、目录猜想漏洞、XSS 漏洞和 SQL 漏洞等检测功能。在具体应用中，测试人员不仅可根据不同任务要求完成检测参数的设置，还能按照默认配置简化工作流程。在系统运行时，可以先完成 Web 网页结构抓取，随后对抓取到的网页进行系统漏洞检查。待系统运行完成后，自动形成可视化的网络系统安全报告<sup>[3]</sup>。

基于模糊测试思想和模块化设计理论的 Web 自动化渗透测试系统，以网络爬虫作为起点，先提取一个 Web 网站的在线页面信息，然后分析并处理提取到的信息内容。接着，向渗透测试模块提交信息分析和处理结果，并进行漏洞检测。最后，将检测结果存入数据库，并通过用户友好的界面以更加直观的方式呈现 Web 系统的漏洞情况，便于用户快速获取漏洞检测结果，从而全面提升系统的可靠性和安全性。

#### 3.2 功能模块

用户接口模块作为面向民航等级保护的 Web 自动化渗透测试系统中的关键组成部分，可为用户提供易于操作和直观展示的界面，主要用于实现人机交互功能。在设置该功能模块时，系统需要对访问用户的身份进行验证，仅对通过验证的用户开放访问权限。同时，对于不同用户的需求，系统还加强了用户权限管理，保证每位用户只能访问个人职责权限内的数据信息和系统功能，保证了系统安全。此外，用户接口功能模块还允许用户自动调整系统配置或更改设置，并将最终的测试结果以直观形式展示给用户，同时自动生成检测报告。

为自动提取目标网站上的页面信息，系统设置了网络爬虫模块，通过高效的异步编程与多线程技术完成目标网站链接整理、页面内容解析、关键信息提取，并在网站地图中呈现更有价值的信息。

此外，系统还设置了渗透测试模块，用于检测目标系统的弱点与安全漏洞；数据库模块用于存储和管理渗透测试的相关数据；安全评估模块用于准确评估目标系统的安全性。

#### 3.3 测试分析

利用 Docker 容器完成开发环境的系统部署，聚合运行环境、配置与代码，同时实现共享内存、应用程序隔离等目标。在该系统的功能测试中，首先完成了 Web 服务器的建立，然后以 Apache 作为中间件，以 MySQL 作为后端数据库，在 WWW 目录下放置了 DVWA 的源代码，并使其连接 MySQL 数据库。通过这种方式完成漏洞测试环境的搭建。经过测试，发现该系统具有较强的实用性。

### 结语

结合民航 Web 应用系统的特点，构建面向民航等级保护的 Web 自动化渗透测试系统，对各种安全漏洞展开针对性地探索，为加固系统安全体系、强化民航组织系统与数据的安全保护提供有力支持。■

#### 引用

- [1] 方星宇.基于民航等级保护的 Web 自动化渗透测试方法的研究与实现[J].信息与电脑(理论版),2023,35(15):209-211.
- [2] 王斌.渗透测试在网络安全等级保护测评中的应用[J].网络安全技术与应用,2023(7):18-20.
- [3] 白宇晨.针对民航空管流量系统的渗透测试及问题分析[J].网络安全技术与应用,2023(4):131-134.

# 自适应通用闭式卡具的研究

文◆国网浙江省电力有限公司嘉兴供电公司 李大伟 崔建琦 张华杰  
嘉兴恒创电力集团有限公司华创信息科技分公司 徐晨 杜斌

## 引言

随着输电线路技术的迅速发展，电力企业对于高强度、耐磨损、安全可靠的输电线路闭式卡具提出了更高的要求。目前，输电线路闭式卡具在安装和拆卸过程中出现不通用的问题，导致施工效率低下，影响电力工程的输电进度。为了解决这一问题，基于自适应通用闭式卡具的设计理念，利用先进的材料科学和机械设计技术，结合实际施工经验，开发出一种能够适应不同输电线路需求的闭式卡具。该卡具采用高强度材料制成，具有优良的耐磨性和抗腐蚀性，能够承受高电压、大电流的冲击，具有灵活的适应性，能够根据不同的输电线路结构进行调整，实现自适应安装。

在电力企业输电线路实际应用中，通过解决输电线路闭式卡具不通用的问题，提高施工效率、降低成本、提高安全性，不断优化和完善自适应式通用闭式卡具的设计和制造工艺技术的优点。同时，针对不同输电线路结构进行详细的研究和试验，确保其适应性和可靠性，提高电力

企业输电线路的施工效率，建立完善的维护保养制度，确保卡具的长期稳定运行。

## 1 自适应通用闭式卡具研究背景

当输电线路上的绝缘子出现零值或自爆时，运维人员应及时发现并更换失效的绝缘子，保持线路的安全稳定运行。在更换过程中，应采用闭式卡具，但需要注意不同厂家、不同型号的绝缘子钢帽卡口不同。目前所使用的卡具仅能用于同厂家同种型号的绝缘子更换，对于同厂家同型号但不同生产批次的绝缘子以及产品生产尺寸偏差导致的更换困难，检修人员无法进行绝缘子更换工作。由于存在多种不同吨位、不同型号、不同厂家的绝缘子，导致卡具型号繁多，备品备件数量增加，资金以及库房场地占用增加，作业人员负担增加，检修工作效率降低。因此，应进一步研究和开发适应不同厂家、不同型号、不同批次的绝缘子更换卡具，以提高检修工作的效率和安全性<sup>[1]</sup>。

## 2 项目概况

首先，在传统的闭式卡具结构的基础上，充分发挥传统闭式卡具结构简单、可靠，操作方便等优点，在更换夹套结构的改良技术下保障内外卡具结构统一<sup>[2]</sup>。绝缘子是输电线路的重要组成部分，直接影响线路的安全稳定运行，盘型玻璃/瓷质绝缘子由多片绝缘子组成绝缘子串，如220kV线路，一般由13片绝缘子组成一串，一串中良好绝缘子片数不得少于9片，应及时进行更换。输电运检中心现管辖35kV~1000kV线路长度4275km，绝缘子数量较庞大。以220kV线路为例，大约有72万片各种型号绝缘子。运维人员应及时处理失效的绝缘子，利用托瓶架、大刀卡、闭式卡等工具完成更换。由于绝缘子型号、厂家多种多样，目前使用的闭式卡具应根据不同型号的绝缘子定制，每一套卡具只能用于该厂家同批次同型号的绝缘子，给运维工作带来一定不便。

其次，自适应通用卡具是一种新型的线路缺陷处理工具，能够大幅缩短缺陷处理流程时间，提高处理效率，使线路快速恢复良好状态。据

【双创项目】嘉兴恒创电力集团省管产业科技（双创）项目资助（2023-KJZZ-HC-002）

【作者简介】李大伟（1983—），男，江苏宿迁人，本科，研究方向：电力系统及其自动化。

统计,若采购闭式卡具备品备件数量约为70套,单套价格按照平均7万元计算,本成果推广后,可适用于7t~21t各种型号绝缘子,可将备品备件数量减少至4套,单套价格按照8万元计算。

因此,应研究一种通用的闭式卡具,以适应不同厂家、不同型号的绝缘子,从而提高整体的运维效率<sup>[3]</sup>。

### 3 自适应通用闭式卡具研创内容及卡具技术要求

#### 3.1 研创思路及创新点

第一,设计一种自适应式通用卡具,可用于在一定范围内匹配不同型号的绝缘子。该卡具采用三爪结构,通过扳手转动前面的壳体,带动里面的三爪实现对刀具的夹紧,其夹持范围为1~13、3~16和5~25等规格,其中1~13和3~16规格比较常用。该卡具的结构为三爪、前后套、中心对称,具备精度高、夹持力强、夹持范围广等优点,其三大主要参数为精度、夹持力和夹持范围,通过调整三爪的角度和距离,可以实现对不同直径的绝缘子的精确夹持和固定。发挥手枪钻钻夹头的通用性特点,设计自适应式通用卡具,在不同直径的绝缘子上实现灵活应用,提高生产效率和产品质量。

第二,借鉴手枪钻钻夹头的功能,研制出一种通用卡具,适用于多种直径的钻头固定夹紧,同时卡紧玻璃/瓷质绝缘子。该卡具采用楔形机构的自锁力与滑槽滑块结构相结合,实现自适应功能,无需人工调节,可根据需更换的绝缘子自动卡紧到位。初步设计适用于210kN及以下绝缘子,涵盖目前220kV及以下所有线路的单片绝缘子更换工作,适配丝杆的设计保证其有效工作长度,为更换工作提供便利。

#### 3.2 研创内容及卡具技术要求

为了解决绝缘子钢帽尺寸不匹配的问题,应遵循研创内容及卡具技术要求<sup>[4]</sup>。借鉴手枪钻的钻夹头设计一种自适应式通用卡具,该卡具可在一定范围内匹配不同型号的绝缘子,利用楔形装置的自锁力和滑孔滑块结构实现闭式卡具变径功能,并进行相应的统计分析、确定通用卡具的变径范围和进行强度校核、零件制作等工作,通过第三方检测和模拟现场使用等方式,对通用卡具的功能、安全、稳定等方面进行检查评估,以确保性能的可靠性和安全性。

### 4 自适应通用闭式卡具总体结构设计方案

#### 4.1 总体结构方案

本设计为一款自适应通用闭式卡具,旨在满足多种工况下的夹持需求,具有通用性强、操作简便、适应范围广等特点。主体结构设计采用铝合金材料,设计成闭式卡具,以保证夹持精度和稳定性。采用多轴联动夹持机构,根据工件大小和形状自动调整,实现精确夹持。自适应锁紧机构通过液压或气压方式实现夹具与工件的紧密锁紧,确保夹持稳定性。移动机构设计移动滑台,以适应不同位置的工件。工程师根据以上结构设计方案,将绘制自适应式通用闭式卡具的三维图,包括各个部件的尺寸、形状和位置关系,并清晰标注各个部件名称、连接方式等信息制造工艺技术<sup>[5]</sup>。

#### 4.2 卡爪关键机构设计方案及型号的确定

首先,根据DL/T 463-2006《带电作业用绝缘子卡具》电力行业标准中对于绝缘子卡具型号的规定,自适应式通用闭式卡具的型号应确定为卡具卡爪夹持绝缘子钢帽内侧和绝缘子钢帽外侧,这种设计使卡具能够适应不同尺寸和形状的绝缘子,具有较高的稳定性和可靠性,适用于各种带电作业场合和重要部件卡具卡爪的结构设计方案。

其次,自适应通用闭式卡具关键机构是自适应卡爪机构,要求绝缘子钢帽内外侧夹紧采用同一卡具,关键是卡爪的设计。经过反复比较设计,最终同时满足绝缘子钢帽内外侧夹持目的。

#### 4.3 卡具力学分析

依据自适应通用闭式卡具结构分析,零件强度最薄弱处有3处,第一处是卡爪头部受压力和弯曲力;第二处是卡具体上开滑孔,卡具体受剪切力;第三处是卡具体的耳朵根部受弯曲力。具体受力分析如下。

(1) 自适应通用闭式卡具受力分析。绝缘子二端受拉力作用,为了更换中间绝缘子,卡具承受二端绝缘子的拉力,促进绝缘子二端受拉力作用。

(2) 自适应通用闭式卡具的卡爪受力分析,主要分析卡爪受压力。

1) 绝缘子钢帽内卡爪受力中, $F$ 是卡爪受到的压力, $Ff$ 是卡爪与卡具的摩擦力, $FN = F \sin \alpha$ , $Ff = FN \mu$ 。2) 绝缘子钢帽外卡爪受力中, $FN$ 是卡爪与卡具的正压力, $\alpha$ 是卡爪压力方向与卡爪摩擦面夹角(压力角)。

(3) 卡爪压力方向与卡爪摩

擦面压力角 ( $\alpha$ ) 的力学模型。卡爪压力方向与卡爪摩擦面压力角 ( $\alpha$ ) 的力学模型中, 绝缘子拉力 ( $F$ ) 通过钢帽作用在卡具的卡爪上。当卡爪受力时, 要求卡爪与卡具之间不允许移动, 确保卡爪不会脱开。当卡爪的拉力 ( $F$ ) 小于卡爪与卡具之间的摩擦力 ( $Ff$ ) 时, 卡爪就不会移动。卡爪与卡具之间的摩擦力大小与压力角 ( $\alpha$ ) 有一定的关系。当压力角 ( $\alpha$ ) 增大时, 摩擦力 ( $Ff$ ) 也相应增大, 这是因为压力角越大, 接触面上的法向压力对接触点两侧的切向摩擦力的合力就越大, 从而增大了摩擦力。因此, 在设计和使用卡具时, 应根据具体工况和要求选择合适的压力角 ( $\alpha$ ), 以确保卡爪不会脱开且不会产生过大的摩擦力导致卡具磨损, 卡爪压力方向与卡具摩擦面压力角 ( $\alpha$ ) 的力学模型对于确保卡爪的稳定性和防止脱开具有重要意义。

(4) 卡爪受弯曲力分析。当卡爪受到压力时, 卡爪会弯曲, 从而受到弯曲力, 卡爪受弯曲力是由于压力的作用。在绝缘子钢帽外卡和内卡爪中, 卡爪受到的压力会通过轴承等零件传递到卡爪上, 从而产生弯曲力。弯曲力的大小取决于压力的大小、力臂的长度以及卡爪的结构等因素。根据力学原理, 卡爪受到的弯曲力可以表示为  $F=M*L$ , 其中  $F$  为卡爪受到的弯曲力,  $M$  为卡爪受到的弯矩,  $L$  为力臂长度, 弯矩  $M$  是作用在物体上的一股力量, 它会使物体产生弯曲变形。绝缘子钢帽内卡爪受弯曲力分析如下, 绝缘子钢帽的内卡爪与外卡爪结构相似, 会受到压力和弯

曲力的作用。由于绝缘子钢帽的结构和材料等因素, 内卡爪所受到的弯曲力比外卡爪更大。在进行机械设计和制造时, 应考虑卡爪的结构和材料等因素, 以减小弯曲力的影响, 提高机械的稳定性和可靠性。

#### 4.4 自适应通用闭式卡具应力校核计算

卡具应力校核计算中, 自适应通用闭式卡具的卡爪强度校核非常关键。不同型号的绝缘子对卡爪的受力大小不同, 导致卡爪伸出长度不同, 进而产生不同的应力大小。另外, 绝缘子拉力越大, 卡爪受力越大, 绝缘子拉力与卡爪受应力成正比, 以确保卡具的强度和可靠性。

第一, 卡具抓卡 LXY3-210 绝缘子时, 卡爪受拉力最大; 卡具抓卡 LXY1-70 绝缘子时, 卡爪伸出最长, 受弯曲力最大。两种情况为卡爪受力极限状态。其中, 选用卡爪材料的依据是屈服强度  $329.2\text{N/mm}^2$ , 抗拉强度  $493.8\text{N/mm}^2$ 。

$$\begin{aligned} \text{其中, } F\tau_{\text{内}} &= LF\sin\alpha/31.29 = F\sin\alpha[(65-B/2)/\sin\alpha-10.28]/31.29 \\ &= F(65-B/2-10.28\sin45^\circ)/31.29 = F(1.845-0.016B) \end{aligned}$$

$$\text{即: } F\tau_{\text{内}} = F(1.845-0.016B)$$

$$\begin{aligned} \text{第二, } F\tau_{\text{外}} &= LF\sin\alpha/31.29 = F\sin\alpha[(65-C/2)/\sin\alpha-22]/31.29 \\ &= F(65-C/2-22\sin45^\circ)/31.29 = F(1.58-0.016C) \end{aligned}$$

$$\text{即 } F\tau_{\text{外}} = F(1.58-0.016C)$$

从外侧卡爪对卡具体剪切力数学模型图中找到, 在抓卡 LXY-120 绝缘子时, 卡爪对卡具体剪切力最大为  $F\tau_{\text{外}} = 7.05\text{kN}$ 。

得出结论: 卡爪对卡具体最大额定剪切力是在抓卡 LXY-120 绝缘子时,  $F\tau_{\text{max}} = 7.34\text{kN}$ 。

#### 结语

针对输电线路使用的绝缘子进行吨位、厂家、钢帽卡径统计, 确定钢帽卡径范围, 根据闭式卡具的功能范围以及不同吨位绝缘子占比, 确定通用卡具的通用范围, 初步确定在  $70\text{kN} \sim 210\text{kN}$  通用。工程师根据确定的钢帽卡径范围, 设计通用卡具的自适应结构, 并进行卡具结构分析、力学分析、应力校核计算和整体设计, 同时制作样品并进行测试, 以确保安全性和通用性。完成测试后, 对样品进行型式试验和第三方检测, 确保合格后进行模拟测试和现场实际使用, 根据使用情况评估通用卡具的安全性和通用性。同时, 制定自适应通用闭式卡具的技术标准和使用指导手册, 并进行成果推广转化, 确保该卡具在输电线路中得到广泛应用, 提高输电线路的安全性和稳定性。■

#### 引用

- [1] 常伟,何易桓.多功能闭式卡的研制及应用[J].电力与资源,2013(7X):78-79.
- [2] 付斌,杨莹,吴向东,等.运用在带电作业中的可调式绝缘子闭式卡[J].湖北电力,2014,38(2):38-39+43.
- [3] 李睿,尹维威,张玉峰,等.万能绝缘子卡具研制与应用[J].科技创新与生产力,2015(12):102-103.

# 机电专业实训数智化场景建设路径及应用

文◆黔南民族职业技术学院 万东操

## 引言

当前汽车行业正处于快速发展阶段，数字化技术的融入使汽车制造和维修领域发生了翻天覆地的变化。而在汽车专业教育中，实训教学一直发挥着重要作用，但传统的实训模式已无法满足日益增长的行业需求。因此，本文通过探讨如何利用数字化技术优化汽车专业实训教学，构建更符合时代要求的数智化教学场景，期望能更好地培养适应未来汽车行业发展的技术人才。

## 1 实训教学数智化概述

在新课程改革背景下，职业教育和高等教育开始关注教学实践环节，通过理论与实践联系，提高学生的实践创新能力。而实训教学作为实现这一目标的主要方法，会直接对人才培养质量产生影响。随着数字化技术在汽车制造、维修和服务领域的广泛应用，传统的实训教学模式，已经无法满足学生和行业的需求。实训教学数智化通过引入虚拟现实（VR）、增强现实（AR）技术辅助教学以及互联网技术等手段，创造更真实、高效的学习环境，使学生能够在模拟情境下解决真实场景中的问题<sup>[1]</sup>。

## 2 汽车专业实训教学数智化场景建设现状及差距

### 2.1 汽车专业实训教学数智化场景建设现状

#### 2.1.1 提升重视度

近年来，随着国家对应用型和技能型人才培养的重视程度不断提升，高职院校积极响应国家政策，加大了对汽车专业实训教学的投入。通过与行业内领先企业的紧密合作，建立了一系列校企合作实训项目，并共同搭建了实训基地，致力于为学生提供更加贴近实际工作需求的学习环境和机会。这些合作项目和实训基地不仅为学生提供了较为丰富的实践机会，还给学生搭建了与专业人士交流、学习的平台，促进了教学工作理论与实践的融合。通过这些努力，高职院校已经在汽车专业实训教学方面取得了显著的进展，为进一步推动实训教学数智化场景的建设打下了坚实的基础。

#### 2.1.2 更新设施设备

学校积极购置先进的实训设备，确保学生能够在现代化的实践操作环

境中学习。这些先进设备不仅可靠、安全，还能模拟真实的汽车工作场景，为学生提供了更加贴近实际工作的实践体验。通过这些设备的更新，学校不但提升了实训教学的质量，还给学生的职业技能培养奠定了坚实的基础<sup>[2]</sup>。设备的引入令学生能更好地理解 and 掌握汽车专业的理论知识，培养他们在实际工作中所需的操作技能，提高解决问题的能力。

#### 2.1.3 改革课程体系

在课程体系改革方面，高职院校积极探索将实训内容与专业课程体系有机融合，倡导“做中学”“学中做”的教学理念和模式，不仅将理论知识与实践技能相结合，还把实践性教学归入到课程体系的核心地位，旨在培养学生全面发展的能力。通过这种教学模式，学生在学习专业知识的时候，也能够直接参与到实践操作中，通过动手实践巩固，加深对知识的理解。不仅有助于提升学生的动手能力和技能水平，还能培养他们解决实际问题的能力和创新思维。此外，这种课程体系改革也有助于打破传统课堂教学的束缚，激发学生的学习兴趣 and 主动性，促进他们在实践中不断探索、实践和创新。

【作者简介】万东操（1973—），男，重庆人，硕士研究生，研究方向：计算机、智能制造。

## 2.2 汽车专业实训教学数智化场景建设存在的差距

### 2.2.1 实训与理论结合不够紧密

虽然近年来实训环节得到了高职院校的重视，但在理论教学与实训教学融合上仍然存在一定程度的不足，实际表现为“重理论轻实践”或“实践与理论脱节”。这种现状导致学生在实践中无法有效运用所学的理论知识，或者在理论学习中缺乏对实际操作的深入理解。造成这一情况出现的核心原因就是教学内容设计和教学方法缺乏考量，没有充分考虑如何将理论知识与实践操作相结合。另外，教学资源匮乏也是导致这一问题产生的重要原因。

### 2.2.2 实训过程记录不足

高职院校当前实训教学在记录方面存在的不足主要表现在实训内容和形式较为单一，仍然采用传统的线下教学模式。在这种模式下，学生的作品、成绩和作业没有形成电子记录，导致后期梳理和管理难度较大<sup>[3]</sup>。首先，由于缺乏适用的教学管理系统或工具，教师无法有效记录和管理学生的实训过程和成果。其次，传统线下教学模式导致学生的实训作品和成绩只能以纸质形式存在，容易造成资料遗失或混乱，进而增加了后期管理的难度。

### 2.2.3 实训与产业需求对接不够紧密

实训与产业需求对接不够紧密是指部分实训内容没有充分考虑行业和岗位的实际需求，导致学生所学技能与市场的需求之间存在一定程度的脱节。这一现象是由多种原因共同造成。首先，教学内容设计未贴近实际工作场景，或者教师与行业之间的信息沟通不畅。其次，随着行业

技术的快速更新和发展，一些传统的实训内容已经无法匹配当前的市场需求，需要在教育环节及时调整和更新。最后，学校缺乏对行业内部的实际情况的了解与合作机会，导致实训内容与实际工作岗位之间产生脱节。

### 2.2.4 实训评价体系不完善

在实训评价体系方面存在的不完善主要体现在对实训效果的考核和评价方式有待优化方面。现阶段对学生的实践能力和综合素质的全面评价机制并没有形成，一定程度上存在欠缺与不足。这一情况的出现主要是因为实训教学环节缺乏系统化、科学化的评价标准和方法。传统的实训评价过于关注简单的实训成绩或者学生表面性的操作技能考核忽视了对学生的综合能力和创新潜力的评价工作。

### 2.2.5 实训资源利用不充分

实训资源利用不充分的问题主要体现在针对建设的实训室和实训设备的利用不够完全方面。一方面，由于宣传力度不够，导致学生不能及时了解实训室资源，从而无法充分利用。学校在宣传实训资源方面投入不足，信息传递渠道较为单一，学生缺乏对实训资源的深入了解<sup>[4]</sup>。另一方面，管理机制不完善也是导致实训资源利用不充分的原因。因为学生无法提前了解实验室和设备的忙闲情况，也无法了解实训室管理老师的具体要求和管理规定，所以难以充分利用实训资源。

## 3 汽车专业实训教学数智化场景建设路径

### 3.1 实训安全管理建设

在汽车专业实训教学数智化场景建设路径中，实训安全管理的建设尤为重要。为了确保实训过程中的安全性，学校应注重实训安全管理的各个环节。首先是实训安全教育。通过学校构建统一的安全在线学习和考试平台，给学生提供更加全面系统的实训安全知识学习资源。通过自主学习、在线练习和自主考试等方式，学生可以全面掌握必要的安全操作知识和技能，同时具备自救自护的素养和能力。在考试合格后，学生能够获得各个实训室的准入资格，确保实训过程的安全性。其次是安全巡检。学校应定期对实训室内的设备、门窗、水电气等进行巡检和抽查<sup>[5]</sup>。

### 3.2 实训教学管理建设

在实训教学管理方面，高职院校应建立完善的教学资源管理系统，便于教师上传和发布学习资料，布置学习任务，并对学生的学习进度进行统计和跟踪。运用系统能够有效管理教学资源，确保学生能够及时获取自身所需要的学习资料，提高学习效率。同时，实训教学与评价也需要教师予以重视。以实训课程为中心，打造实训教学的课前、课中、课后全环节，实现课前备课与预习、实操过程评估、课后作业管理、随堂测验、课程评价等功能，最终全面评价学生的学习情况和实际操作能力。此外，实训巡课也是教学管理的核心方法。通过在线监控实时巡课，教学管理人员能够及时了解实训课程的教学质量与进度，确保教学过程的规范和有效性。另外，示教考评系统和技能竞赛系统的建设能够有效提升教学质量和学生竞争力。示教考评系统能够集教师示范、学生训练、学生考试、教师讲评、赛训过程录制为一体，实时呈现、及时传

达教师的示范动作，有效解决围观式教学问题，提升学生学习效果。而技能竞赛系统则能够从赛前、赛中、赛后3个阶段对竞赛全过程实现数字化管理，为竞赛的顺利进行提供便利，这一管理措施有助于激发学生的学习热情和竞争意识。

### 3.3 实训资源管理建设

在实训资源管理建设中，实训室管理作为重要组成部分，涵盖了多个方面的内容。首先是管理实训室的基础信息，包括实训室的名称、位置、面积等基本属性，以便对实训室进行准确地标识和定位。其次是实训室设备的管理，包括设备的基础信息的新增、编辑、删除、导入和导出等操作，确保实训室设备信息的及时更新和准确性。再次，实训耗材管理也是不可忽视的一环，需要从耗材的采购、入库、领用、出库、归还、调拨等一系列流程入手，保障实训教学所需物料能够及时供应和合理利用<sup>[6]</sup>。此外，开放实训室预约也能强化实训资源管理工作。实际工作开展过程中，需管理实训室的开放、预约、审批和使用等流程，并且统计实训室预约使用情况，合理安排实训室资源的利用。最后，建立完善的实训资源管理系统，有效提高实训室资源的利用效率，优化实训教学的组织和管理工作，为学生提供更好的实践学习环境和条件。

### 3.4 实训数据可视化系统建设

系统建设的核心目标是全面展现全校实训数据，为教学管理者提供全面、直观的数据分析和决策支持。系统将包含有关实训楼的3D建模，通过逼真的虚拟场景，展示实训楼的结构、布局和设备分布，使教学管理者能够清晰了解实训设施的整体情况。同时，系统还将统计和分析实训室的类型、实训设备的使用情况、实训课程的开设情况以及实训室预约情况等关键数据。通过数据可视化的方式，教学管理者可以直观地了解各项实训指标的变化趋势和数据分布情况，及时发现问题，并采取相应的管理措施。不仅能够提高实训教学管理的效率和精度，还能促进实训资源的合理配置和利用，推动实训教学质量的提升。因此，实训数据可视化系统的建设对于推动实训教学的数字化转型和智能化发展具有重要意义。

### 3.5 基础平台建设

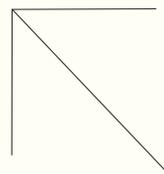
基础平台将涵盖一系列配套系统的基础信息，包括学期管理、部门管理、教师管理、学生管理、班级管理等信息。首先，学期管理模块需要负责管理学校各学期的开设情况、学期时间安排以及学期课程的相关信息，为教学计划和课程安排提供依据。其次，部门管理模块会对学校内部各个部门的基本信息和组织结构（如部门名称、负责人、联系方式等）进行管理与把控，便于实现部门之间的协同合作和信息共享。教师管理模块可以直接记录教师的个人信息、教学经历、资质证书等，给教师的教学安排和管理提供便利。学生管理模块应统计学生的基本信息、学籍信息、选课情况等，给学生的学习跟踪和管理提供支持。最后，班级管理模块主要管理各个班级的基本信息、班级成员名单、班级课程安排等，确保为班级的教学管理和组织活动提供依据。综上所述，建立完善的基础平台，有助于实现对各项教学管理信息的统一管理和便捷查询，为实训教学的顺利开展和持续改进提供有力支持。

## 结语

在汽车专业实训教学数智化场景建设中，应持续关注实训教学的创新与改进。加强实训环节投入、更新设施设备、改革课程体系、加强实训与理论相结合等策略，为实现汽车专业实训教学的全面提升和智能化发展提供助力。不仅能够更好地培养学生的实践能力和创新意识，还能更好地满足汽车行业对高素质人才的需求，推动汽车专业教育的可持续发展。

## 引用

- [1] 钟全能. 新能源汽车专业实训基地建设与实践教学研究[J]. 教育教学论坛, 2023(49):145-148.
- [2] 易娇. 基于CIPP模式的高职汽车专业虚拟仿真实训教学评价研究[J]. 时代汽车, 2023(24):43-45.
- [3] 唐珍珍. 高职院校汽车专业实训教学的问题与对策探析[J]. 专用汽车, 2023(11):125-127.
- [4] 余海涛. 高职汽车专业实训课教学创新措施探讨[J]. 汽车测试报告, 2023(20):119-121.
- [5] 吴晓金. 高职汽车维修专业实训教学改革研究[J]. 汽车测试报告, 2023(15):101-103.
- [6] 马永升. 基于职业能力培养的汽车专业教学探讨[J]. 中国教育技术装备, 2023(9):85-87.



# 基于机器视觉的飞机铆钉划痕与尺寸检测技术

文 ◆ 陕西飞机工业有限责任公司  
南京航空航天大学 机电学院 江苏航鼎智能装备有限公司  
江苏航鼎智能装备有限公司

杨春晖  
戴家隆  
张 森 孙龙辉

## 引言

铆钉是飞机装配必不可少且大量使用的紧固件，其质量和尺寸决定了铆钉连接的强度和质。飞机装配时选用无表面缺陷和尺寸正确的铆钉是保证铆接质量的关键。本文采用机器学习的方法来实现铆钉表面的划痕和轮廓尺寸检测，使用 Laplacian 算子对采集到的图像进行划痕检测，再通过面积和结构因子参数进行区域筛选，提取铆钉划痕。对经过优化处理的图像进行 ROI 区域提取，实现铆钉轮廓检测，并计算得到铆钉尺寸。本文使用的方法划痕检测准确，轮廓尺寸计算精度较高，能够满足使用要求。

## 1 研究背景

铆钉在飞机装配过程中应用广泛。据相关资料统计，装配一架大型飞机大约需要 150 万 ~ 200 万个铆钉和螺栓紧固件<sup>[1]</sup>。铆钉作为一种重要的飞机紧固件，其尺寸和质量决定了铆钉连接的强度和质，不合格的飞机铆钉会造成连接部位受力不均匀或者达不到紧固的标准，从而造成危险

事故的发生。为了保证飞机的安全飞行，飞机铆钉的检测对于保证飞机连接质量和精度具有重要意义<sup>[2]</sup>。

影响航空铆钉质量的因素中，除了涉及表面缺陷之外，还包括航空铆钉各部位尺寸等<sup>[3]</sup>。传统的铆钉检测主要是人工使用工具测量，但对工人要求较高，工作效率极低，并且人工检测受主观因素影响大，严重制约检测的效率和质。随着视觉传感技术、图像处理技术和计算机技术的快速发展，基于工业相机的视觉检测在智能制造生产中得到了广泛地应用和普及，并推动了铆钉自动检测技术的发展。与传统的检测和测量手段相比，基于机器视觉技术实现铆钉的自动化检测，具有非接触、高速度、高精度、自动化等特点<sup>[4]</sup>。

梁莹等<sup>[5]</sup>针对大型薄壁结构铆接点位自动化检测问题，提出了基于条纹投射三维测量的铆钉检测技术，实现了铆钉铆头尺寸特征高精度测量以及裂纹缺陷自动化识别。谢小辉<sup>[6]</sup>等提出了一种铆钉表面裂纹缺陷机器视觉检测方法，实现了铆钉端面 and 柱面的裂纹检测。邢雪亮<sup>[7]</sup>等通过阈值分割算法和分水岭算法进行图像分割，经过平滑、形态学、轮廓提取等处理，实现了航空铆钉头部直径尺寸的高精度测量。XIE 等<sup>[8]</sup>利用三维扫描仪实现了铆接点的自动化分析，使用商用三维激光扫描仪获取铆接的飞机蒙皮的三维数据，然后进行多重结构拟合来检测铆钉，但现有扫描设备测得点云质较差、噪声严重、轮廓缺失且点云密度各向异性，影响算法稳定性。庄志炜等<sup>[9]</sup>提出了一种基于机器人视觉的铆钉检测与输送技术，对多型号散堆铆钉的识别与定位、铆钉拾取、铆钉尺寸测量、铆钉输送等关键技术展开了系统的研究，但是对于铆钉的检测仅限于外轮廓尺寸测量，无法检测铆钉表面的凹坑、凸起、裂纹和飞边等缺陷。

为实现铆钉质的一体化自动化检测，本文提出了一种基于机器视觉技术的铆钉检测技术，可以实现铆钉轮廓尺寸的检测和表面质的检测，识别出不合格产品。该检测方法，可快速识别出表面缺陷与零件的尺寸，通过机械臂的协作，可实现自动化、便捷化检测，大大提高了检测效率。

【作者简介】杨春晖（1990—），男，陕西城固人，本科，工程师，从事飞机技术改造工作。

【通讯作者】戴家隆（1987—），男，江苏南京人，博士研究生，从事机器人运动规划工作。

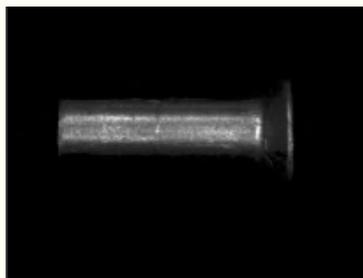


图1 有划痕的铆钉



图2 多种型号的铆钉

## 2 理论分析

### 2.1 特征分析

在使用击芯铆钉时需要对其进行多次击打，使其发生塑性变形，因此划痕对铆接质量有着重要潜在影响<sup>[10]</sup>。为避免使用带有划痕的铆钉，应对铆钉的划痕特征进行提取，铆钉的划痕特征多为不规则曲线，有划痕的铆钉如图1所示。

在实际铆接时，需要使用到多种型号的铆钉，选用正确的铆钉型号是确保铆接质量的关键。不同型号铆钉具有不同的长度和直径，应选择铆钉的长度和直径作为区别不同型号铆钉的特征。多种型号的铆钉如图2所示。

### 2.2 图像滤波方法

由于图像采集的设备受到电流、工作环境干扰以及图像信号在传输过程中也会产生噪声，会对采集到的图像产生影响，使图像变得模糊。因此去除图像中的噪声是图像处理中非常重要的一步。图像滤波是图像噪声去除的重要方式，可以去除图像中不必要或者多余的信息<sup>[11]</sup>，常用滤波方法如图3所示。

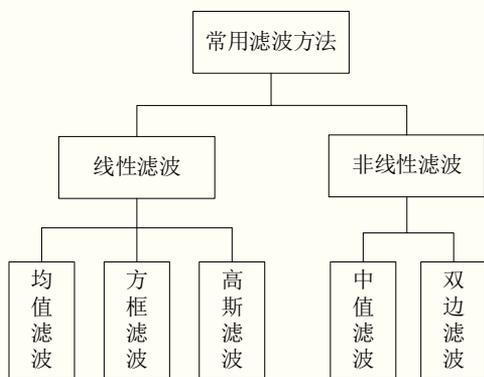


图3 常用滤波方法

为去除图像采集过程中产生的噪声以及图像背景中的噪声，本文采用双边滤波对图像进行处理。

双边滤波是一种综合考虑滤波器内图像空域信息和滤波器内图像像素灰度值相似性的滤波算法，可以在保留区域信息的基础上实现对噪声的去除和对局部边缘的平滑处理<sup>[12]</sup>。双边滤波对高频率的波动信号起到平滑作用，同时保留大幅值变化的信号波动，进而实现对保留图像中边缘信息的作用。双边滤波器是两个滤波器的结合，分别考虑空域信息和值域信息，使滤波器对边缘附近的像素进行滤波时，距离边缘较远的像素值不会对边缘上的像素值影响太多，进而保留边缘的清晰性。

双边滤波原理的数学表达式如(1)所示。

$$g(i, j) = \frac{\sum_{k,l} f(k, l) \omega(i, j, k, l)}{\sum_{k,l} \omega(i, j, k, l)} \quad (1)$$

式(1)中， $\omega(i, j, k, l)$ 为加权系数，其取值取决于空域滤波器和值域滤波器的乘积。空域滤波器的表示形式如式(2)所示，值域滤波器的表示形式如式(3)所示。

$$d(i, j, k, l) = e^{-\frac{(i-k)^2 + (j-l)^2}{2\sigma_d^2}} \quad (2)$$

$$r(i, j, k, l) = e^{-\frac{\|f(i, j) - f(k, l)\|^2}{2\sigma_r^2}} \quad (3)$$

两者相乘，得到如式(4)所示的双边滤波器。

$$\omega(i, j, k, l) = e^{-\frac{(i-k)^2 + (j-l)^2}{2\sigma_d^2} - \frac{\|f(i, j) - f(k, l)\|^2}{2\sigma_r^2}} \quad (4)$$

### 2.3 边缘检测算子

图像的边缘是指图像中像素灰度值突然发生变化的区域，如果把图像中每一点的像素值都描述为一个关于灰度值的函数，那么图像的边缘可以用函数的一阶导数来刻画。在像素突然变化的区域，该区域函数的导数值较大，在像素变化平缓的区域，该区域的导数值接近于零。图像边缘是图像中的重要信息，提取出图像中的边缘信息是分析铆钉表面划痕、计算表面轮廓尺寸的关键。常用的边缘检测算子有 Sobel 算子、Schar 算子、Laplacian 算子、Canny 算子等<sup>[13]</sup>。

Laplacian 算子是一种二阶数算子，具有各方向同性的特点，能够对任意方向的边缘进行提取，具有无方向性的优点<sup>[14]</sup>，因此使用 Laplacian 算子提取边缘不需要分别检测 X 方向的边缘和 Y 方向的边缘，只需要一次边缘检测。

Canny 算子是目前最优越的

边缘检测算子之一，该算子由 John Canny<sup>[15]</sup> 提出。Canny 算子能够有效解决去除噪声和精确定位这一对矛盾，Canny 利用数值计算方法对边缘检测算子进行分析，并得到了边缘检测算子性能优劣标准。(1) 低误判率，避免误判及漏掉边缘点。(2) 精度高，被检测的边缘点落在真正的边界上。(3) 单像素边缘，虚假边缘得到抑制，保证得到的边缘为 1 个像素。

在对铆钉划痕提取时采用 Laplacian 算子，对铆钉进行尺寸轮廓计算时采用 Canny 算子。同时，为了保证划痕的提取效果，采用更小的焦距和更浅的景深。不同算子边缘提取结果如图 4 所示，其中，图 4 (a) 为 Laplacian 算子边界提取结果，图 4 (b) 为 Canny 算子边界提取结果。



图 4 不同算子边缘提取结果

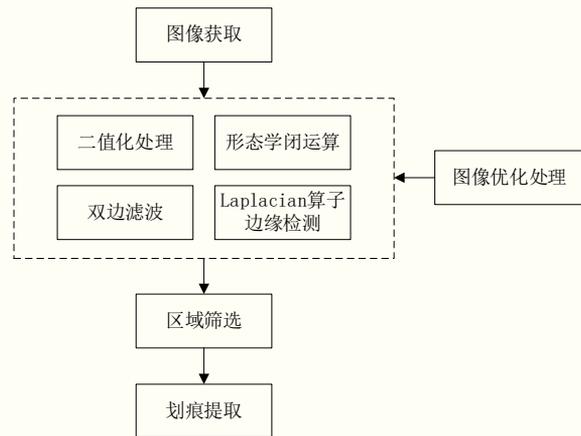


图 5 划痕检测流程

### 3 实验结果与分析

#### 3.1 划痕检测

##### 3.1.1 检测流程

对于采集到的铆钉图片，检测流程包括图像优化处理、区域筛选、划痕提取。其中，图像优化处理包括对图像进行二值化、形态学闭运算、双边滤波去噪以及使用 Laplacian 算子进行边缘检测等步骤。铆钉划痕检测流程如图 5 所示。

为从边缘区域中筛选出划痕，本文对铆钉划痕的特征参数进行处理。描述划痕缺陷的特征参数包括面积、周长、结构因子、圆形成度等<sup>[16]</sup>。经过 Laplacian 算子提取的边缘包含许多伪划痕，通过计算划痕区域面积进行粗筛选后，还需要根据结构因子对划痕进行精筛选。结构因子的计算公式如式 (5) 所示。

$$\begin{cases} a = \frac{L}{W} \\ b = \frac{LW}{S} \\ c = a - b \end{cases} \quad (5)$$

式 (5) 中， $L$ 、 $W$ 、 $S$  分别为划痕最小外接矩形的长度、宽度和面积，单位均为像素； $a$ 、 $b$ 、 $c$  分别为划痕最小外接矩形的长宽比、划痕区域的蓬松度和结构因子，区域越细长、蓬松度的值越大，结构因子的值越大。

利用结构参数对划痕区域筛选的具体过程如下。

- (1) 根据各划痕区域面积  $S$  设定阈值，对划痕进行粗筛选。
- (2) 根据划痕细长的特性，设定较大的阈值  $c$ ，对划痕进行精筛选。

##### 3.1.2 检测结果与分析

检测到的铆钉划痕如图 6 所示，其中图 6 (a) 为铆钉图像二值化处理结果，图 6 (b) 为铆钉划痕提取效果。通过对比可以看出，该方法能够有效检测出铆钉划痕是否存在。

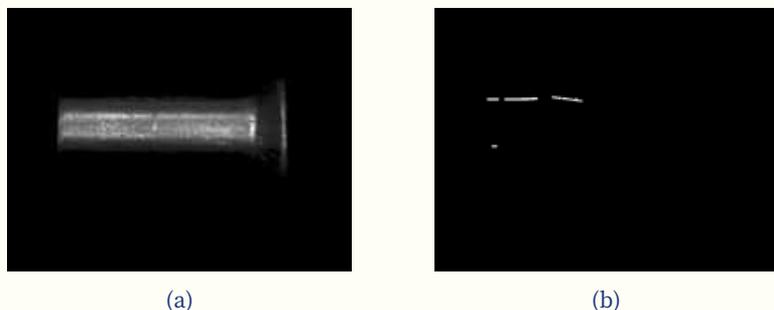


图 6 检测到的铆钉划痕

各取 3 种不同型号的铆钉 50 颗进行划痕检测，划痕检出率如表 1 所示。

表 1 划痕检出率

型号	划痕数量	检出数量	划痕检出率
1	21	19	90.47%
2	37	32	86.49%
3	9	8	88.89%

### 3.2 轮廓尺寸检测分析

#### 3.2.1 检测流程

对于采集到的图像，其检测流程包括图像优化处理、ROI 区域提取和直径长度计算，其中，图像优化处理包括二值化处理、双边滤波和 Canny 边缘算子检测。铆钉轮廓尺寸检测流程如图 7 所示。

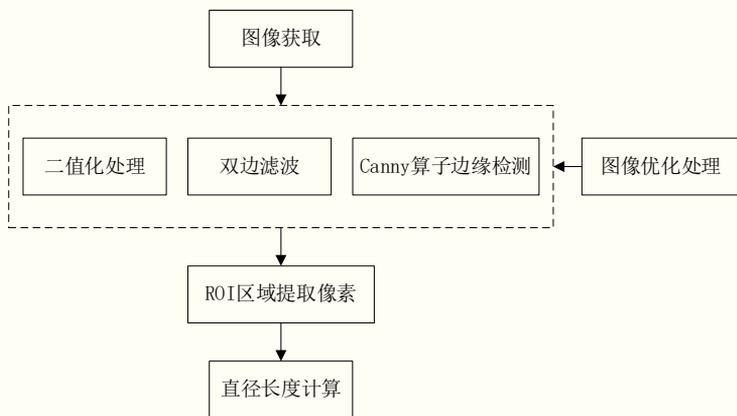


图 7 铆钉轮廓尺寸检测流程

对获取的待测铆钉图像进行优化处理，之后提取图像中的 ROI 区域，通过 ROI 区域内图像的处理，获得铆钉图像的像素尺寸。对于铆钉的总长和直径的测量，采取两种方法，对铆钉的图像分别进行不同的 ROI 区域提取，然后同步进行计算。针对目标铆钉的总长测量，计算出将 ROI 区域内的部分铆钉完全包含的最小矩形，其中矩形的长即为铆钉



图 8 (a) 铆钉总长检测示意图

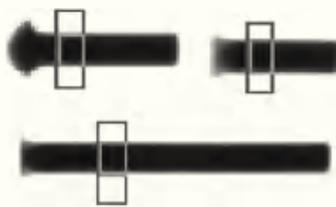


图 8 (b) 铆钉直径检测示意图

表 2 比例系数计算结果

铆钉编号	像素值	实际尺寸 (mm)	比例系数
1	119	30	0.2479
2	121		
3	121		
4	120		
5	123		
6	123		
7	120		

的总长。对于钉杆直径的测量，在 ROI 区域中计算出包含该铆钉的最小矩形，矩形的长即为铆钉的钉杆直径。

在进行检测前应预先测量多个铆钉的像素尺寸，根据铆钉的实际尺寸计算得到两者之间的比例关系。其中比例系数  $k$  的计算公式如式 (6) 所示。在进行铆钉尺寸检测时，依据预先获得的比例系数  $k$  和测量得到的铆钉尺寸像素值，即可计算得到铆钉的尺寸参数。

$$k=L_r/L_p \quad (6)$$

式 (6) 中， $L_r$  为铆钉实际尺寸，单位为毫米； $L_p$  为铆钉检测尺寸，单位为像素。

#### 3.2.2 尺寸检测结果与分析

比例系数计算结果如表 2 所示。获取比例系数后，得到的 3 种铆钉轮廓尺寸检测结果。图 8 (a) 中方框表示计算铆钉总长时检测到的包含该铆钉的最小矩形，该矩形的长即表示铆钉的总长。图 8 (b) 中较大方框表示提取出的 ROI 区域，较小方框即为 ROI 区域内包含铆钉的最大矩形，矩形的长即为钉杆直径。

将实验所用的 3 种铆钉计算尺寸与真实尺寸经过对比后，由表 3 可以看出，本文的铆钉尺寸检测方法其绝对误差均在理想范围内，相对误差均在 0.1% 以下，均满足检测要求。在 3 种不同型号铆钉各取 50 颗进行尺寸检测准确性验证，铆钉直径和总长的相对误差均在 0.1% 以下视为达到验证要求，尺寸检测准确性验证结果如表 4 所示。

### 结语

本文使用基于机器视觉的方法，针对铆钉划痕检测，通过

对划痕的特征信息进行提炼总结, 设定阈值, 利用特征信息进行多次筛选。在对图像进行预处理后, 对铆钉划痕的特征参数进行处理, 利用结构参数对划痕区域进行筛选, 实现了铆钉表面划痕缺陷的检测。对于铆钉尺寸检测, 依据铆钉的实际尺寸与像素尺寸之间的比例关系, 在通过计算 ROI 区域中的矩形框尺寸后, 得到了对应的铆钉尺寸参数, 实现了飞机铆钉轮廓尺寸检测, 避免了使用参照物进行尺寸换算时由于参照物的图像畸变而导致铆钉尺寸计算不准确的问题, 同时也提高了操作的便捷性并且具有较好的检测精度。

本文所提的铆钉尺寸检测和划痕检测方法, 有助于降低人工检测失误率, 提高工作效率, 便于机器人自动化钻铆技术应用。同时, 对于其他较小零件的表面划痕和轮廓尺寸检测, 提高自动化钻铆系统可靠性, 具有较高的实用价值。■

引用

[1] 王芳芳, 黑东盛, 赵嗣徽. 基于飞机结构装配的紧固件连接设计研究[J]. 科技资讯, 2019, 17(22): 65-66.  
 [2] 王富治. 视觉检测的几个关键问题研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2011.  
 [3] 郑大伟. 基于图像识别的飞机铆钉尺寸检测系统开发[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2016.  
 [4] 王波. 基于机器视觉的全自动高精度铆钉筛选系统[D]. 成都: 西南交通大学, 2018.  
 [5] 梁莹, 王云帆, 林时雨, 等. 基于条纹投射三维测量的铆钉自动化检测技术[J]. 上海航天(中英文), 2023, 40(2): 157-164.  
 [6] 谢小辉, 黄钊. 大型回转体铆钉裂

表 3 铆钉尺寸检测结果

尺寸参数	铆钉类别编号	检测结果(像素)	计算值(mm)	实际值(mm)	绝对误差(mm)	相对误差(%)
直径	1	12	2.9748	3.00	0.0252	0.84
	2	16	3.9664	4.00	0.0336	0.84
	3	20	4.9580	5.00	0.0420	0.84
总长	1	48	11.8992	12.00	0.1008	0.84
	2	120	29.7480	30.00	0.2520	0.84
	3	65	16.1135	16.00	0.1135	0.71

表 4 尺寸检测准确性验证结果

铆钉数量	铆钉类别	达标数量	准确率
50	1	48	96%
	2	49	98%
	3	49	98%

纹机器视觉在线自动检测[J]. 中国测试, 2021, 47(S1): 136-140.

[7] 邢雪亮, 甘文波, 蒋朝根. 基于机器视觉的航空铆钉尺寸检测技术[J]. 计量学报, 2020, 41(5): 518-523.

[8] XIE Q, LU D N, DU K P, et al. Aircraft Skin Rivet Detection Based on 3D Point Cloud Via Multiple Structures Fitting[J]. Computer-Aided Design, 2020, 120: 10285.

[9] 庄志炜. 基于机器人视觉的铆钉检测与输送技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2021.

[10] C. Krejci. LTD Bolt Injection System[J]. SAE International Journal of Aerospace, 2011, 4(2): 1435-1440.

[11] Jialiang Z, Chuheng C, Kai C, et al. Local Adaptive Image Filtering Based on Recursive Dilation Segmentation[J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2023, 23(13).

[12] Yang Y, Xu M, Chen C, et al. Removing Rain Streaks from Visual Image Using a Combination of Bilateral Filter and Generative Adversarial Network[J]. Applied Sciences, 2023, 13(11): 6387.

[13] Wang Q, Chen W, Peng H. An Intelligent Image Detection Method using Improved Canny Edge Detection Operator[J]. International Journal of Information Technology and Management, 2022, 21(4): 369-381.

[14] Control and Systems Engineering; National University of Defense Technology Details Findings in Control and Systems Engineering (Edge Agreement of Multi-agent System with Quantised Measurements Via the Directed Edge Laplacian)[J]. Journal of Engineering, 2016, 13(10): 1583-1589.

[15] J. Canny. A Computational Approach Edge Detection[C]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 18(6): 679-698.

[16] 田洪志, 王东兴, 林建钢, 等. 基于双阈值图像区域生长法的冲压件划痕检测[J]. 锻压技术, 2020, 45(6): 175-181.

# MES 制造执行系统在钢管行业中的设计与应用

文◆中国昆仑工程有限公司 徐强 杨铎 杨柳 赵德煜

## 引言

随着信息技术的快速发展，制造执行系统（MES）在钢管行业中扮演着越来越重要的角色。本文深入探讨了 MES 系统在钢管行业中的设计与应用，提供了系统在整个架构、技术架构、体系架构和详细功能设计等方面的研究方案与设计思路，同时提出了系统配置和系统安全性方面的解决思路和系统优化策略。

## 1 整体架构设计

### 1.1 功能架构设计

MES 系统总体架构由数据层、应用层和展现层 3 个层级组成<sup>[1]</sup>。其中，数据层包括基础数据管理和文件数据管理；应用层包括生产任务单管理、质量管理、岗位工作中心、库存管理、报表管理以及系统管理；展现层包括综合展示平台、数据大屏和移动应用。

### 1.2 技术架构方案

#### 1.2.1 软件方案

系统采用目前最流行的 Java 框架进行开发。系统后端采用视图层、服务层、数据访问（DAO）层 3 层结构设计。系统前端采用 Bootstrap 页面进行展示，采用 jQuery 进行逻辑处理。移动端采用 uni-app 平台，其可以实现一次编码，同时生成多个应用程序，大幅提高了系统开发效率。数据大屏采用 Vue 框架，可实现视图和数据之间的自动同步。数据库采用具有可靠性、扩展性、安全性和灵活性等特点的 MySQL 数据库。

#### 1.2.2 硬件方案

系统采用云化部署，云平台主要提供计算资源、存储资源和网络资源，系统使用资源主要占用计算资源和存储资源。系统部署开发系统、测试系统、生产系统 3 套环境，系统所需的硬件资源表如表 1 所示。

### 1.3 体系架构设计

#### 1.3.1 应用架构方案

从用户与系统的信息交互方面来说，系统分为用户层、交互层和前端应用层<sup>[2]</sup>。系统可支持不同类型用户通过个人电脑、移动设备等多种渠道对系统进行访问，实现互联互通。

用户层支持被授权的用户，以不同的身份登录系统，实现线上操

表 1 硬件资源表

序号	资源类型	用途	备注
1	负载均衡	负载均衡	可选
2	应用服务器	应用部署	
3	数据库	数据存储	
4	缓存服务器	数据缓存	
5	分布式存储	文件存储	

作与协同；交互层为用户提供了 PC 端、移动端等多种访问渠道与交互方式；前端应用层包含了系统所有的功能模块，这些功能模块组成了企业的实际业务服务，支撑前端业务应用。

#### 1.3.2 部署方案

系统采用私有化部署方案进行部署，使用前置 Nginx 服务器作为 Web 静态资源管理器的请求负载服务，Application 以及 Storage 使用集群方案进行集群化部署，保证服务的高可用性，数据库采用 MySQL 数据库的容灾备份和高可用方案。

## 2 系统功能设计

### 2.1 业务功能设计

系统功能包括生产任务单管理、质量管理、岗位工作中心、库存管理、报表管理、系统管理和移动端管理。业务功能设计如表 2 所示。

#### 2.1.1 生产任务单管理

用户在系统中对生产任务单

【作者简介】徐强（1987—），男，山东临朐人，硕士，工程师，研究方向：信息工程。

表 2 业务功能设计

功能级别一	功能级别二	功能点编号
MES	生产任务单管理	01-01
	质量管理	01-02
	岗位工作中心	01-03
	库存管理	01-04
	报表管理	01-05
	系统管理	01-06
	移动端管理	01-07

信息进行维护和下发，为加工车间的生产派工提供业务基础。同时通过上传该任务单的生产工艺卡和检验工艺卡信息，将工艺参数的上下限数据维护到系统中，从而对生产过程数据和质量检验数据的校验提供了数据基础。发货通知单管理则为成品入库后的发货提供了基础信息支撑。

### 2.1.2 质量管理

质量管理包含了原材料理化试验、开垛管理和钢管复取 3 个子功能<sup>[3]</sup>。质量管理人员对所有入场的原材料进行质量检验，质检人员将检验记录通过人工或检验仪器的自动数据采集录入到系统中，同时系统根据检验工艺卡中的工艺参数信息，对质量检验数据进行验证。

对于在制品的过程检验，系统通过探伤、水压、成品检验岗位来进行。系统通过与 PLC 设备进行数据交互，自动采集检验数据判断生产过程的检验结果是否合格。若合格则生产加工继续进行，若不合格则由质量管理人员发起退库流程，库存管理人员进行退库确认，再由成品检验人员发起逆流程，对不合格钢管进行处理。

在钢管加工完毕质检合格后，会进入成品库。在发运之前，库存管理人员根据订单情况对成品钢管进行开垛并填写发货通知单。

### 2.1.3 岗位工作中心

系统基于车间实际加工情况，设立了拆卷、刨边板探、成型焊接、飞剪、水压、切管、探伤、成品检验以及喷板交库岗位。岗位操作人员通过手工或设备的自动采集将加工过程数据录入到系统中，系统根据生产工艺卡参数和检验工艺卡，对录入的加工数据进行分析，对于不合格品可发起逆流程。

### 2.1.4 库存管理

用户可在系统中对原材料以及成品钢管进行出入库管理。原材料在完成入厂检验流程且合格后，即可进入原材料库，此时原材料可进行派工。原材料经过岗位加工完成后，进入成品库，库存管理人员在系统中记录库存当前存量、可开垛量以及出库量，对库存内钢管进行统一管理。

### 2.1.5 报表管理

根据实际业务需求，系统生成各类统计报表以供公司管理层使用，通过报表数据对各项生产数据进行深度分析，找出企业在生产管理中出现的问题。同时，企业管理层可根据报表中的数据和记录，做出科学合理的决策，从而提高企业的运营效率。

### 2.1.6 系统管理

系统管理包括组织管理、用户管理、权限管理、角色管理、字典管理、班组管理、班次管理、库区管理。包含组织结构以及用户创建、角色建立以及分配、系统字典管理、班组班次管理和库区的详细划分等。

### 2.1.7 移动端管理

系统支持在移动端的使用，特定用户如质检管理人员和库存管理人员可根据实际需求使用移动端来完成相应的业务操作。

## 2.2 应用功能设计

### 2.2.1 PC 端功能设计

为满足业务功能，系统针对不同的业务特点分别进行了不同的功能设计。其中一级功能菜单包括生产任务单管理、质量管理、岗位工作中心、库存管理、报表管理以及系统管理。生产任务单管理包括生产任务单编制、工艺参数维护和发货通知单管理；质量管理包括原材料试验数据管理、理化试验数据管理、开垛管理和钢管复取管理；岗位工作中心包括拆卷、刨边板探、成型焊接、飞剪、水压、切管、探伤、成品检验以及喷板交库岗位报工；库存管理包括原材料管理、任务单派料管理、钢管退库确认、钢管库存管理和钢管出库管理；报表管理包括各类统计报表的分析和导出；系统管理包括组织管理、用户管理、权限管理、角色管理、字典管理、班组管理、班次管理、库区管理。

### 2.2.2 移动端功能设计

系统移动端功能设计包括岗位记录填写和工艺卡查看。

## 3 基础架构配置设计

### 3.1 资源配置设计

系统部署在企业本地，用户对服务的稳定性、数据的安全性全面负责，用户根据企业自身的实际需求对资源进行管理，系统环境资源如表 3 所示。

表 3 系统环境资源

部署环境	资源类型	规格	数量	用途	备注
生产环境	负载均衡	VIP	1	负载均衡	可选
	虚拟计算资源	16C32G	≥ 1	分布式存储	
	虚拟计算资源	16C128G	≥ 1	数据库	
	虚拟计算资源	4C32GB	≥ 1	应用服务器	
	虚拟计算资源	4C32GB	1	缓存服务器	
测试环境	负载均衡	VIP	1	负载均衡	可选
	虚拟计算资源	16C128G	1	数据库	
	虚拟计算资源	4C32GB	1	应用服务器	
开发环境	虚拟计算资源	16C128G	1	数据库	
	虚拟计算资源	4C32GB	1	应用服务器	
灾备环境	虚拟计算资源	16C128G	1	数据库	
	虚拟计算资源	4C32GB	1	应用服务器	

### 3.2 数据库配置设计

MES 系统数据库选型根据以下原则进行选择<sup>[4]</sup>。(1) 稳定性。稳定可靠的数据库可以保证应用常年运行，而不会因为数据库的宕机而遭受损失。(2) 可扩展及灵活性。系统的数据量和单位时间的事务处理量逐渐增加，可根据实际需求进行扩展。(3) 安全性。保护数据库避免不合法地使用而造成的数据泄露、更改或破坏。(4) 丰富的开发工具。目前流行的数据库管理系统大都遵循统一的接口标准，所以其开发工具都可以面向多种数据库的应用开发。依照以上原则，系统采用 MySQL 数据库。

## 4 信息安全设计

### 4.1 服务器安全设计

系统在服务器安全方面应始终保持软件与操作系统的安全性修补程序处于最新状态。定期使用漏洞扫描工具扫描安全漏洞并更新软件与操作系统开发商发布的安全补丁。同时，为防止来自不明主机的攻击，服务器应维护一套 IP 白名单，仅允许指定的 IP 地址与服务器产生交互，按需开放访问端口并进行定期安全审核，检查日志中是否有异常活动。

### 4.2 应用安全设计

应用服务器应具备多台弹性计算服务可以使用负载均衡服务组成集群，消除单点故障，提升应用系统的可用性。弹性计算服务部署在宿主机上，当检测到弹性计算服务所在的宿主机发生故障时，系统会启动保护性迁移，把弹性计算服务迁移到正常的宿主机上自动恢复，保障应用的高可用性。

### 4.3 数据安全设计

(1) 结构化数据安全设计。关系型数据库通过数据库自身的实例隔离机制进行多用户安全隔离，用户仅有数据库实例权限，同时对数据库服务器进行安全加固。

(2) 非结构化数据安全设计。分布式存储服务使用基于 Access Key 的对称密钥机制进行身份验证，Access Key 由 Access Key ID 和 Access Key

Secret 组成，其中 ID 是公开的信息，用于标识用户身份；Secret 是秘密的信息，用于用户鉴别。

### 4.4 移动端安全设计

采用企业移动沙箱技术隔离个人数据，所有本地隐私数据都应进行加密存储。根据等保要求对移动端进行基本安全加固，包括通过源代码混淆、反编译防护、防调试保护、防篡改保护、高强度深度加密加壳、应用签名保护、完整性保护、数据加密保护等方式保护移动端的安全。

## 结语

企业通过对 MES 系统的使用，加强了对生产车间加工过程的管理。通过对车间现场各类生产数据进行实时采集和共享应用，实现了从原材料进厂到产品入库全过程的跟踪监控和有效管理，使生产过程透明化，生产指挥高效化，生产操作便捷化，提高了生产效率，降低了生产成本，保证了产品质量，为企业的精细化管理和打造数字化工厂奠定基础。

### 引用

- [1] 刘艳,宋雷雷,赵云峰.智能制造背景下精益生产制造执行系统的应用[J].城市轨道交通研究,2024,27(5):190-193.
- [2] 史慧杰,王立平,王冬.基于微服务的制造执行系统架构研究[J].现代制造工程,2024,(1):45-50.
- [3] 吴洪坤,任剑.生产执行系统在显示面板制造行业中的应用[J].电子工艺技术,2023,44(6):48-51.
- [4] 张鹤鹏,谢鹏志,杨威,等.航空典型产品数字化车间制造执行系统快速实施研究[J].制造业自动化,2023,45(8):1-6.

# 基于 HMM 模型的 机电安装物料名称勾稽关系建立实现

文◆上海市安装工程集团有限公司 徐沈仁

## 引言

机电安装专业是建筑行业中的重要领域之一，建立施工预算材料名称和企业标准材料名称之间的准确关系对于项目管理和成本控制至关重要。然而，由于预算材料名称来源的多样性和企业标准材料名称命名规则的不一致性，建立起它们之间的关联一直是一个难点。为了解决这一问题，本文提出了一种基于马尔可夫模型的方法，旨在通过自学习的方式提高预算材料名称和标准材料名称之间关系建立的成功率。

## 1 研究背景与文献综述

### 1.1 机电安装材料命名的复杂性

机电安装工程涉及的材料种类众多且复杂，不同项目、地区甚至不同工程师对相同材料的命名可能各不相同。这种命名上的不一致性给项目成本估算和材料采购带来了显著挑战。为此，建立材料库并对所有材料建档和编号来解决这一问题。施工过程中，将各图纸中材料名字和材料库进行人工匹配。但目前这一过

程需依赖经验丰富的工程师人工搜索关键字从数据库中找到对应材料并进行匹配，效率不高且易出错。

### 1.2 中文分词技术的发展

中文分词技术是自然语言处理（NLP）领域的基础且关键的研究课题。尤其是隐马尔可夫模型（HMM），显著提高了分词性能。HMM 等统计模型通过学习大量语料库中的词语使用模式，能更准确地进行文本分词。

### 1.3 马尔可夫模型在材料名称关系建立中的应用

在机电安装材料领域，马尔可夫模型用于建立施工预算材料名称与企业标准材料名称之间的对应关系。通过分析历史数据中的命名习惯和模式，马尔可夫模型可以预测不同命名之间对应关系，从而辅助材料管理和决策过程。

### 1.4 研究意义

本研究旨在通过结合隐马尔可夫模型和马尔可夫模型的优势，开发出一种更加准确和自适应的方法。这种方法不仅有望提高中文分词的准确性，特别是在处理专业术语方面，还能有效建立施工预算材料名称与企业标准材料名称之间的对应关系，进而促进整个建筑行业的数字化转型。

## 2 理论基础

### 2.1 隐马尔可夫模型（HMM）的基本原理

隐马尔可夫模型（HMM）是一种统计框架，主要用于建模一个隐藏的马尔可夫链如何生成一系列可观测事件的过程。HMM 的核心假设是系统状态的“隐藏”属性，即状态本身不能直接观测，但其产生的结果具有可观测性。HMM 包括两个主要组成部分，即隐藏状态和观测序列。模型中的每个状态都有一定的概率造成特定的观测结果，状态之间的转换遵循概率模式。在中文分词的应用中，隐藏状态可以表示词的边界，观测序列则由输入的字符序列构成。

【课题】2023 年上海市会计协会科研立项课题项目（SHKJ2023YBLX01）

【作者简介】徐沈仁（1982—），男，江苏苏州人，本科，高级工程师，研究方向：建筑领域机电安装专业数字化。

## 2.2 马尔可夫模型的特点

马尔可夫模型是描述系统状态随时间变化的概率模型（见图1）。核心特点是“无记忆性”，即系统的未来状态只与当前状态有关，与过去状态无关。在简单的马尔可夫模型中，状态空间通常可观测，每个状态转移到下一个状态的过程遵循特定的概率分布。在材料名称关系建立的应用中，马尔可夫模型用于分析和预测不同材料名称之间的转换概率，以实现更准确的名称匹配。

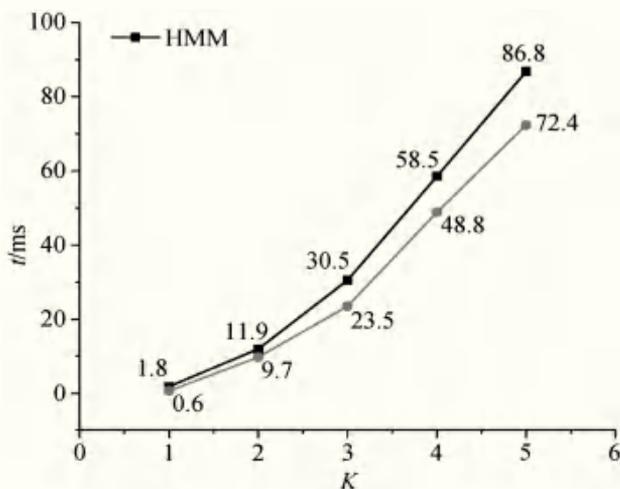


图1 马尔可夫模型概率模型

## 2.3 模型在中文分词中的应用

在中文分词中，HMM有效地处理了词边界不确定性的问题。传统的中文分词方法依赖词典和固定规则，但在面对新词和专业术语时往往不足。HMM通过学习大量标注语料，更灵活地识别新词和语言用法的变化。在这一过程中，每个字的角色（如词的开始、中间、结束或单独成词）被视为隐藏状态，字本身则构成观测序列。

## 2.4 综合应用的优势

将隐马尔可夫模型和马尔可夫模型综合应用于机电安装材料领域，可以充分发挥两者在序列数据处理方面的优势。本研究旨在开发一种既能高效处理中文分词中词边界问题，又能准确建立材料名称之间对应关系的综合方法<sup>[1]</sup>。这种方法的应用，有助于提高机电安装领域材料名称处理的准确性和效率。

## 3 模型训练与测试

模型在经过预处理和标注的大型语料库上进行训练，随后在独立测试集上进行验证，以评估其分词能力的准确性。

马尔可夫模型在材料名称匹配中的应用。针对机电安装材料名称的匹配问题，开发了一种基于马尔可夫模型的算法。该算法旨在有效匹配施工预算材料名称与行业标准材料名称。（1）数据预处理。收集大量施工预算材料名称和行业标准材料名称数据，进行必要的清洗和规范化处理。（2）构建状态转移矩阵。将不同的材料名称视为马尔可夫模型中的状态，通过分析历史数据建立状态转移矩阵，表示不同材料名称间的转换概率。（3）模型应用。对于给定的施工预算材料名称，使用马尔可夫

模型计算其转移到各个企业标准材料名称的概率，选择概率最高的标准名称作为匹配结果。（4）模型评估与优化。在实际项目数据上测试模型的匹配效果，根据反馈持续调整和优化模型参数。（5）综合应用与优化。在实际应用中，首先使用优化后的隐马尔可夫模型（HMM）处理项目文档，以准确识别和分割材料名称<sup>[2]</sup>。其次，利用马尔可夫模型对分割出的材料名称进行匹配和关联。这种综合方法不仅提高了材料名称处理的准确性，还通过自动化方式显著提升了工作效率。

在未来的工作中，将根据实际应用中遇到的新情况和问题，不断调整和优化算法，以确保其在不断变化的实际环境中保持高效和准确。

## 4 实验设计与数据收集

### 4.1 实验目的与设计

本研究的实验部分旨在验证基于隐马尔可夫模型（HMM）的中文分词算法以及基于马尔可夫模型的材料名称匹配算法的有效性。实验设计涵盖了两个主要阶段，即测试中文分词的准确性和评估材料名称匹配的效果。

### 4.2 实验流程

#### 4.2.1 中文分词实验

利用收集的标注语料训练HMM模型。在测试集上执行分词算法，收集分词结果，评估分词准确率，包括精确度、召回率和F1分数。

#### 4.2.2 材料名称匹配实验

使用马尔可夫模型处理经过分词处理的材料名称。在测试集上执行匹配算法，将预算材料名称与标准材料名称进行匹配。计

算匹配准确率，并分析匹配错误的原因。

#### 4.3 数据分析与评估

实验结果将通过多种统计方法进行分析，以确保评估的全面性和准确性。对于中文分词，将采用常规的自然语言处理评估指标；对于材料名称匹配，将重点分析匹配成功率和错误类型。此外，将对结果进行定性分析，探讨模型在特定类型文本或特定情况下的表现以及改进方向。

### 5 实验结果

#### 5.1 中文分词实验结果

(1) 性能指标。在测试数据集上，基于隐马尔可夫模型 (HMM) 的中文分词算法显示出良好的性能。具体来说，该算法达到了 92% 的精确度 (Precision)，90% 的召回率 (Recall) 以及 91% 的 F1 得分。这表明该算法能够有效识别并正确划分大部分词汇。

(2) 错误分析。分析错误分词的案例发现，大多数错误发生在新词识别和专业术语处理上。这些错误通常由于语料库中这些词汇的稀缺性或缺乏相关上下文信息导致。

#### 5.2 材料名称匹配实验结果

(1) 匹配成功率。在材料名称匹配方面，基于马尔可夫模型的算法在测试集上的整体匹配成功率达到了 85%。这一结果表明，该算法能够有效将施工预算材料名称与企业标准材料名称正确匹配。

(2) 错误类型。对匹配错误进行分析后发现，主要错误类型包括材料名称的微小变体未能识别、相似材料名称之间的混淆以及个别情况下的完全错误匹配。

这些错误源自数据集中的噪声、材料名称的多样性和复杂性以及算法的某些局限性。

### 6 讨论

#### 6.1 面对新词和术语的挑战

实验过程中暴露出的一大挑战是新词和专业术语的处理。虽然 HMM 在处理已知词汇时表现出色，但在面对新出现的术语或少见词汇时，准确率有所下降。未来，应更多关注动态词库的构建和更新以及考虑引入更为先进的语言模型，如基于深度学习的模型，以增强对新词的识别能力。

#### 6.2 材料名称匹配的复杂性

材料名称匹配的准确性直接影响到项目成本的估算和控制。针对实验中观察到的匹配错误，如相似材料名称的混淆，应更细致地处理材料名称的微小变体和相似性。解决方案包括采用更复杂的算法，如条件随机场 (CRF) 或基于图的匹配方法以及增加人工审核环节，以提高最终的匹配质量 (见图 2)。

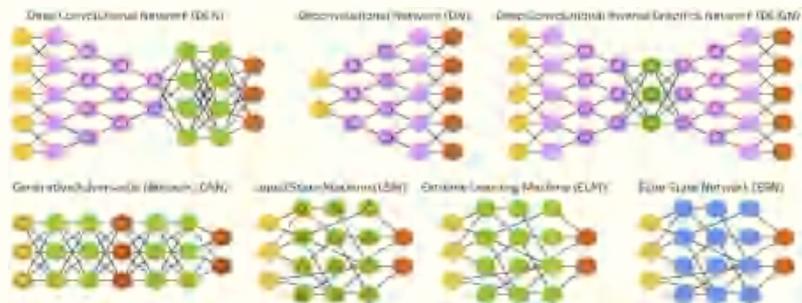


图 2 其他深度学习的模型

### 结语

本研究成功设计并实现了基于隐马尔可夫模型 (HMM) 的中文分词算法和基于马尔可夫模型的材料名称匹配算法。这些算法专门针对机电安装领域中的材料名称处理问题，旨在提高项目管理的效率和成本控制的准确性。

实验结果显示，改进的中文分词算法能够有效识别和处理技术文档中的专业术语，分词准确率显著提高。同时，材料名称匹配算法在将施工预算材料名称与企业标准材料名称对应方面也显示出较高的准确率<sup>[3]</sup>。这些成果表明，将这些算法应用于机电安装项目能够显著提升材料管理的效率和准确性。■

#### 引用

[1] 李贵山,王亚军.基于隐马尔可夫模型的中文分词研究[J].中文信息学报,2015,29(2):101-108.  
 [2] 张华,李刚.基于HMM的建筑材料自动识别方法研究[J].建筑科学,2017,33(4):45-50.  
 [3] 赵天宇,王晓光.机电工程材料采购与管理的信息化策略[J].现代工业,2020(11):156-158.

# 区块链技术驱动下的物联网安全探究

文◆青岛市招生考试院 许晶晶

## 引言

当前物联网技术存在弊端，即安全性不足的问题，不仅影响了用户的隐私安全，还在一定程度上限制了物联网技术的发展。区块链技术驱动之下，可以将相关的数据信息分布式记录，并且存储在物体节点中，有效提升物联网的安全性，有效保护用户个人隐私安全，对于物联网技术进一步发展大有裨益。因此，本文首先对区块链技术驱动下的物联网安全进行概述，其次介绍物联网中不同的安全问题，再次分析区块链技术驱动下的物联网中应用的特点，最后提出不同策略和路径，以期促进物联网安全性的全面提升。

## 1 区块链技术和物联网安全的概述

物联网技术通过各种有线或无线网络实现与互联网的结合，进而实现信息的实时传递。伴随着RFID技术逐步发展成熟<sup>[1]</sup>，以RFID设备和移动智能终端表现出一定的滞后性，其支持的互联网应用也开始表现出更多的安全问题。综合来看，物联网的安全问题和威胁主要来源于应用层、网络层和感知型。

区块链的概念在《2014—2016 全球比特币发展研究报告》中提出，

其本质是一个去中心化的数据库，区块链的优势之一就是对外公开，每位用户都可以看到区块链中的数据记录，近年来区块链技术下的物联网安全研究逐渐成为热点，并且在一定程度上提升了物联网的安全性<sup>[2]</sup>。

## 2 物联网发展过程中的安全问题

### 2.1 隐私保护问题

一直以来，物联网被人所诟病的主要问题就是隐私保护方面，主要原因在于传统物联网在用户隐私和信息安全传输方面存在较多不足。例如，标签被嵌入任何物品，用户在没有察觉的情况下个人隐私被暴露，对于个人



【作者简介】许晶晶（1984—），女，江苏宿迁人，本科，工程师，研究方向：信息技术、项目管理。

隐私安全极为不利。另外，物联网设备产生的数据往往被多个组织或平台共享和交叉分析，以提供更精准的服务。然而也带来了数据隐私的风险。例如，一家健康监测设备制造商会将用户的健康数据与医疗机构共享，如果数据不受到充分保护，那么会导致敏感信息泄露。同时，物联网设备的广泛应用使个人行为和活动被实时监测和记录。

### 2.2 认证与访问控制问题

在传统物联网应用过程中，认证与访问控制是物联网中重要的安全机制，用于确保只有经过授权的实体可以访问和操作物联网设备和数据。在物联网中，认证是确认用户或设备身份的过程。然而，一些认证问题会导致未经授权的访问和潜在的安全威胁。例如，使用弱密码或默认凭证进行认证，黑客可以轻易破解并访问设备。缺乏双因素认证机制也会增加认证的风险。例如，智能家居系统使用简单密码进行认证，黑客可以通过暴力破解或社交工程攻击获取系统的控制权。此外，访问控制是控制用户或设备对物联网设备和数据的访问权限的过程。在传统物联网中，访问控制问题包括不恰当地授权、权限过高或过低等<sup>[3]</sup>。例如，智能城市的监控摄像头系统存在访问控制问题，导致未授权的个人或组织访问和操控摄像头，侵犯居民的隐私权。同时，过高的权限会导致滥用和未经授权的数据访问，而过低的权限会限制合法用户的正常操作。

### 2.3 数据安全问题

在传统物联网中，数据安全问题是一个非常重要的议题。由于物联网设备通常涉及大量敏

感数据的收集、存储和传输，因此数据泄露和滥用的风险也随之增加。伴随着智能家居的兴起，导致目前市面上的物联网设备数量空前的“多”，由于物联网设备的数量庞大，管理和维护成本高昂，因此存在未经授权的访问和攻击。同时，物联网设备产生的数据可以被多个组织或平台共享和交叉分析，以提供更精准的服务<sup>[4]</sup>。如果数据不受到充分的保护，那么会被滥用，如用于广告推销或个人信息收集等。

## 3 区块链技术在物联网中应用的特点

### 3.1 去中心化

区块链技术的最大特点是去中心化，它可以有效解决传统物联网中集中式管理的问题。传统物联网中，设备和数据都由中心化的服务器进行管理和控制，这种模式容易受到攻击，而且难以保障数据的安全性和隐私性。而区块链技术可以通过分布式的节点来管理设备和数据，从而实现去中心化的管理，提高系统的安全性和可靠性。

### 3.2 数据隐私保护

在传统物联网中，设备产生的数据通常被集中存储在云端服务器，这样会暴露用户的隐私信息。而区块链技术可以通过加密算法和共识机制来确保数据的隐私性和安全性。每个节点都有一个完整的数据副本，只有经过授权的节点才能访问和修改数据，从而保证数据的隐私性和安全性。

### 3.3 智能合约

智能合约是区块链技术的核心应用之一，它可以帮助物联网设备自动执行合约规定，从而实现设备间的自动化交互。传统物联网中，设备之间的交互通常需要依赖中心化的服务器进行调度，这样会增加系统的复杂度和故障率。而区块链技术可以通过智能合约来实现设备之间的自动交互，从而提高系统的效率和稳定性<sup>[5]</sup>。

## 4 区块链技术驱动下的物联网安全

对于物联网安全来说，其面临的最大挑战其实就是目前物联网服务器/客户端模式的生态架构，这种滞后的架构模式目前已经无法适应日益强大的物联网生态环境。而区块链技术评价自身的去中心化等特点，可以有效改善物联网安全现状，并且降低物联网应用的成本，对于物联网安全发展具有重要的现实意义。具体的对策方面可以选择以下几方面。

### 4.1 物联网经济的安全保障

在设备身份认证方面，传统的中心化身份认证方式容易受到攻击和伪造，而区块链技术可以通过为每个设备分配唯一的身份标识，并将其记录在区块链上，从而实现设备身份的不可篡改和可验证性，防止未经授权的设备接入网络，提高整个物联网系统的安全性，对应的物联网经济安全也可以具有很好的保障，对于用户和物联网整体至关重要。在数据完整性验证方面，物联网中的数据完整性是一个关键问题。区块链技术可以通过将数据的哈希值存储在区块链上，实现数据的完整性验证。当数据被接收方接收后，通过比对哈希值来验证数据是否被篡改，确保数据的可信度和完整性。

## 4.2 物联网环境的弱中介化

区块链技术的引入可以在物联网环境中实现弱中介化，从而提供更高的安全性和保障。首先，在物联网环境中，数据的完整性至关重要。传统方式往往依赖于中心化的数据存储和验证机构，容易受到攻击和篡改。通过区块链技术，数据可以被分布式地存储在多个节点上，并使用加密哈希算法进行验证。任何对数据的篡改都会被其他节点检测到，从而保证数据的完整性。这样可以减少对中介机构的依赖，提高数据的安全性和可信度<sup>[6]</sup>。其次，在传统的物联网环境中，数据共享通常需要通过中心化的数据平台或中介机构进行。这种方式存在数据隐私和安全性的风险。通过区块链技术，数据能够以去中心化的方式存储和共享。设备可以直接将数据上传到区块链上，并授权其他设备或参与者访问。这种去中心化的数据共享方式可以减少中介机构的依赖，提高数据的安全性和隐私保护水平。

## 4.3 公共服务安全保障

区块链技术是一种去中心化的分布式账本技术，可以实现数据的安全存储和共享。在物联网环境中，区块链技术可以用来保证数据存储的隐私安全。

### (1) 医疗健康领域

在医疗健康领域，患者的个人健康信息需要进行安全存储和共享。传统方式往往依赖于中心化的医院或医疗机构，容易受到攻击。通过区块链技术，患者的个人健康信息可以被分布式地存储在多个节点上，并使用加密算法进行保护。只有授权的医生或医疗机构才能访问这些信息，从而保证患者的隐私安全。

### (2) 金融领域

在金融领域，客户的个人财务信息需要进行安全存储和共享。传统方式往往依赖于中心化的银行或金融机构，容易受到攻击。通过区块链技术，客户的个人财务信息可以被分布式地存储在多个节点上，并使用加密算法进行保护。只有授权的金融机构才能访问这些信息，从而保证客户的隐私安全。

### (3) 物流领域

在物流领域，货物的位置信息需要进行安全存储和共享。传统方式往往依赖于中心化的物流公司或运输机构，容易受到攻击或伪造。通过区块链技术，货物的位置信息可以被分布式地存储在多个节点上，并使用加密算法进行验证。只有授权的物流公司或参与者才能访问这些信息，从而保证货物的隐私安全。

## 4.4 保证数据存储的隐私安全

事实上，众多用户在使用物联网技术的过程中都具有很强的数据存储方面的需求。目前区块链技术驱动下的物联网，其去中心化、数据加密以及每个节点都存储数据的特点使其适用于存储和处理隐私数据，可以有效保障物联网安全。例如，政府单位、部门掌握着大量的数据，包含医疗、指纹、土地等，区块链技术驱动之下，通过数据加密技术可以对其进行安全保护。因为数据存储在区块链上，用户能够在不访问原始数据的情况下对数据进行访问，即便黑客入侵服务器，也不会得到用户

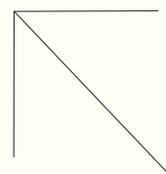
的信息，同时对于用户来说还具有保护保全的作用。

## 结语

物联网在现代社会大众生产生活中扮演着重要角色，发挥着至关重要的作用，然而，其长期以来存在的安全性问题一直所为人诟病，其中区块链技术驱动之下，有助于提升物联网安全性，为物联网的进一步发展和应用奠定良好基础，这也是新时期物联网安全性提升过程中的必经之路，同时还具有较大的挖掘空间。<sup>[8]</sup>

## 引用

- [1] 张磊,黄晔华,吕敬.基于区块链技术的物联网信息共享安全机制研究[J].数字通信世界,2023(6):35-37.
- [2] 陈云云.区块链技术驱动下的物联网安全研究综述[J].网络安全技术与应用,2020(12):34-36.
- [3] 田晓芸.区块链技术驱动下的物联网安全研究综述[J].信息通信,2019(12):41-42.
- [4] 邓传华,邵彦宁.区块链技术驱动下的物联网安全探究[J].数字技术与应用,2019,37(1):212-213.
- [5] 连和谬.区块链技术驱动下的物联网安全研究综述[J].数字技术与应用,2018,36(8):186+188.
- [6] 赵阔,邢永恒.区块链技术驱动下的物联网安全研究综述[J].网络安全安全,2017(5):1-6.



# 一种基于深度学习的微孔识别定位方法

文◆湖北中烟工业有限责任公司襄阳卷烟厂 杨明 张杰 程礼锐 汪祖风 夏自龙  
河南中心线电子科技有限公司 王岩

## 引言

烟支打孔是调整卷烟烟气和提高感官品质的重要方法，目前约40%左右的烟支产品采用接装纸打孔。卷烟打孔技术作为一种影响卷烟吸食体验和身体健康的重要工艺，打孔质量对烟支的物理指标、烟气成分和有害物质含量都有不同程度的影响，同时也明显影响了卷烟的口感和品质。例如，打孔过程中的错打、漏打、孔径不均匀或分布不均等因素会导致打孔数量变化，从而对消费者的吸食体验以及烟支产品整体质量产生较大影响。因此，烟支打孔的准确识别定位是保证烟支打孔形态准确检测和卷烟出厂前保证产品质量的关键。该方法主要采用一种基于深度学习算法的打孔识别定位方法，为快速实现打孔指标的精确检测提供了新的方法，为烟支打孔三维参数的计算奠定了基础。

## 1 研究背景

目前，已有的卷烟打孔检测方法主要依靠人工目测或者二维视觉图像法。其中，人工目测法主要依赖人工目测卷烟打孔的数

量<sup>[1]</sup>，该方法效率低下，容易产生视觉疲劳。二维视觉图像法采用线阵CCD相机的方式采集打孔点位透光的图像信息，通过识别光斑特征定位孔的位置并计算参数<sup>[2,3]</sup>。然而，二维视觉图像方法易受外界光因素的干扰，易出现漏采以及错采的情况，且光斑的形态与孔的实际形态存在差异，部分参数的测量数据无法真实反映孔的形态特征，因此，现有检测方法无法准确识别判断打孔参数。

机器视觉技术是一门涉及人工智能、计算机科学、图像处理、模式识别等多个领域的交叉学科<sup>[4-6]</sup>，深度学习具有快速、准确、无损的检测特点<sup>[7]</sup>，近年来在烟草加工领域得到广泛研究和应用。为快速识别烟支打孔，提出了一种基于深度学习算法的烟支打孔识别定位方法，利用激光扫描得到烟支打孔点云数据，使用三维深度学习模型<sup>[8]</sup>进行烟支打孔三维点云特征提取，完成对烟支打孔点云数据的初步识别分割，接着通过灰度化、对比度、轮廓检测等图像处理算法，以得到对应牌号烟支中每个打孔的准确坐标和要裁剪的区域，同时为此搭建一套符合其算法的实验设备。

## 2 实验设备搭建

图像采集系统如图1所示，其硬件系统主要由外观机架、三维激光轮廓扫描系统、伺服系统三大部分组成。点云图像采集使用基恩士公司官方提供的LJ-X Navigator软件，激光触发模式设置为编码器触发，以



图1 图像采集系统

【作者简介】杨明（1973—），湖北襄阳人，本科，工程师，研究方向：卷烟质量管理与分析检测。

【通讯作者】张杰（1992—），男，河南南阳人，硕士，助理工程师，研究方向：卷烟质量检测与分析。

保证在伺服电机转动的同时激光获取烟支打孔的轮廓信息，采集到的点云图通过双绞线传输至计算机。三维激光轮廓扫描系统获取激光扫描得到的烟支打孔点云图像，用点云处理算法对烟支点云数据进行预处理。点云预处理算法主要包括点云数据的裁剪、点云数据滤波、点云数据下采样等。

### 3 流程及方法

整体流程包括烟支点云数据采集、点云数据预处理、深度学习识别预测、生成灰度图、取反、对比度处理、边缘轮廓检测、识别定位并框选打孔、判断干扰数据、识别定位打孔并判断是否要执行剔除干扰操作，至此就完成了烟支打孔点云孔位的准确识别，算法整体流程图如图 2 所示。

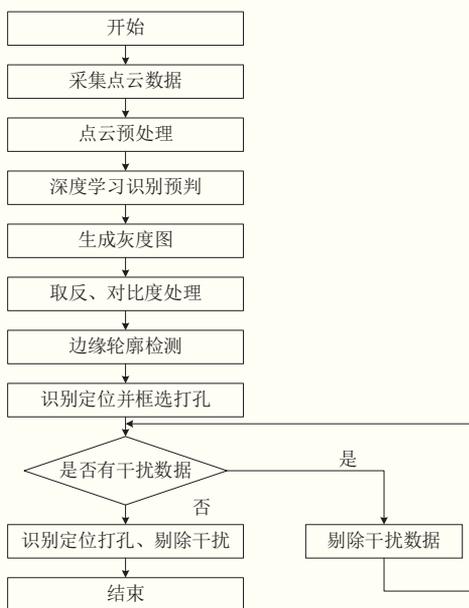


图 2 算法整体流程图

一种基于深度学习算法的烟支打孔识别定位方法研究，方法是烟支在旋转过程中通过激光扫描获取烟支滤嘴处的三维点云数据，原始点云

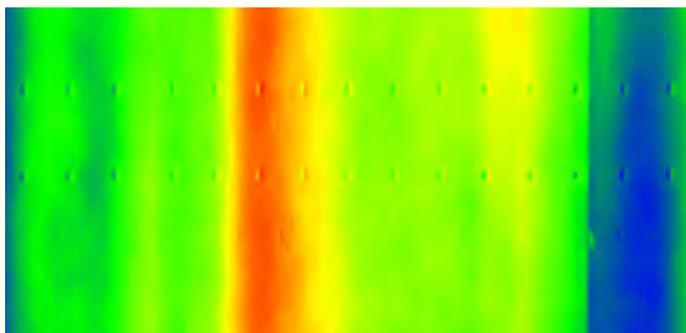


图 3 原始点云图

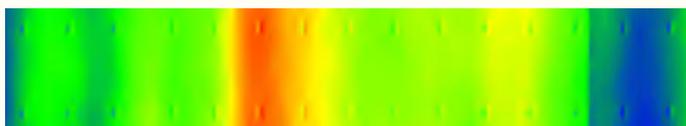


图 4 裁剪后的点云图

图如图 3 所示。

对于采集到的烟支打孔原始点云图像，打孔数据只占据了整个点云图的一小部分，其余都为无用的背景信息，过多的背景信息送入网络不仅会增加神经网络的训练和推理时间，还会引入过多的干扰元素影响模型的性能。因此，为了减少送入网络模型无效信息，需要对原始点云进行裁剪，只保留有打孔部分的点云图，裁剪后的点云图像如图 4 所示。

虽然裁剪后的每张三维点云图有数万个点，但是网络模型要完全处理这些点及其耗时，应保持打孔数据的原始特征信息。因此，应对滤波后的三维点云图像进行下采样，这种处理方式不仅可以减少网络模型的处理时间，还可以缓解背景数据与孔数据点云数量不平衡问题。该流程既可以减少模型输入的干扰和数据输入量，同时也维持了打孔形态数据的完整性。

对预处理后的烟支点云图像进行标记，得到对应的烟支点云标签图像，标记后的点云图如图 5 所示，经过神经网络处理后的图像数据保存成 TXT 格式，并将标记后的数据划分为训练集和验证集，为后续送入神经网络做准备。

卷积神经网络所处理的数据多为 RGB 形式的彩色图像，但在三维卷积神经网络中也可以以点云数据作为输入送到网络模型中进行训练学习，所以不论是二维卷积神经网络还是三维卷积神经网络，卷积层是不可或缺的特征提取工具，也是 CNN 最重要的组成部分，用来提取图像中的多层次特征。卷积层的处理主要模拟人类的视觉系统对图像中的

一小块局部特征进行提取和分析，通过卷积核与输入特征图的局部区域进行卷积运算来完成特征图的特征获取。卷积层如图 6 所示，后一个卷积层中每个神经元仅与前一层神经元中一个小矩形区域内的神经元相连接，若第一层为图像，则只与一个小矩形区域内的像素相连接，该结构使 CNN 的前一个卷积层专注于相对低级的特征，后一个卷积层整合前一个卷积层的特征，形成相对复杂的特征。这种层次结构与视觉皮层的处理方式极其类似，是 CNN 在图像识别领域中具有优势的原因。卷积示意图如图 7 所示。

通过卷积操作，完成对输入图像的降维和特征抽取，但特征图像的维数还是很高，其维数高不仅计算耗时，还会导致过拟合，为此引入了下采样技术，池化的做法是对图像的某一个区域用一个值代替，如最大值或平均值。如果采用最大值，叫做 Max 池化；如果采用均值，叫做均值池化。除了降低图像尺寸外，下采样带来的另外一个好处是平移、旋转不变性，因为输出值由图像的一片区域计算得到，对于平移和旋转并不敏感。

池化层的具体实现是在进行卷积操作之后对得到的特征图像进行分块，将图像划分成不相交的块。常见的池化操作有最大池化和平均池化，池化层是由  $n \times n$  大小的矩阵窗口滑动来进行计算的，类似于卷积层，只不过不是做互相关运算，而是求  $n \times n$  大小矩阵中的最大值和平均值等。池化层的主要作用有以下 3 点。一是挑选不受位置干扰的图像信息。二是对特征进行降维，提高

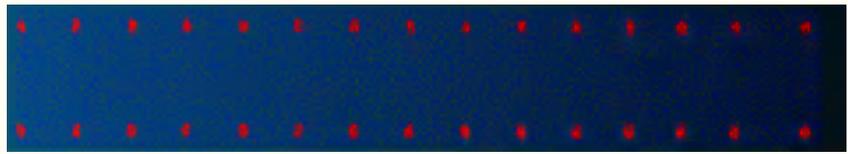


图 5 标记后的点云图

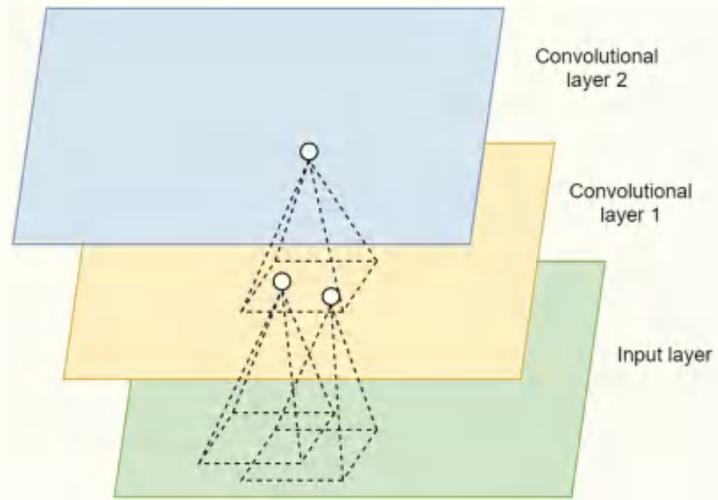


图 6 卷积层

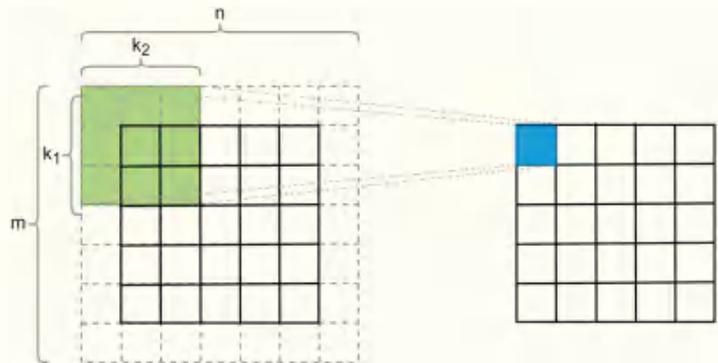


图 7 卷积示意图

后续特征的感受野，也就是让池化后的一个像素对应前面图片中的一个区域。三是因为池化层不会进行反向传播，而且池化层减少了特征图的变量个数，所以池化层可以减少计算量。最大池化和平均池化如图 8 所示。

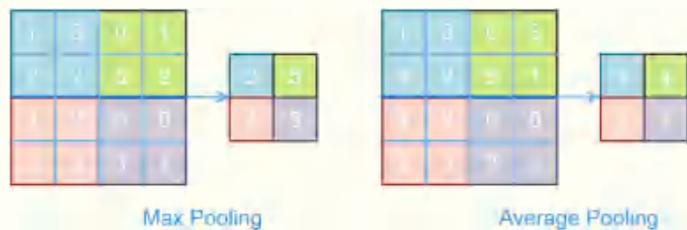


图 8 最大池化和平均池化

将烟支打孔点云数据集加入三维神经网络中进行训练和验证，虽然经过神经网络后已经完成了对烟支打孔点云的绝大部分识别，但是此时无法得到单个打孔数据，同时在识别得到的三维点云数据中，存在个

别异常干扰数据。为了去除异常干扰数据，首先，将得到的神经网络识别点云数据经过高度映射后，得到以高度值的大小表示灰度图，通过灰度化处理，能够避免失真，方便后续对高度映射后的灰度图进行分析处理，高度映射后的灰度图如图 9 所示，其中灰度图的亮度的明暗程度代表着高度的深浅变化，灰度图较暗的区域对应的高度值较小，灰度值较亮的区域对应的高度值较大。其次，对映射后的灰度图进行取反操作，方便后续孔位识别分割以及异常数据剔除，灰度取反效果图如图 10 所示，对灰度化后的图像进行对比度、图像增强和平均平滑处理操作。图像增强为将灰度图像转换为更适合于分析处理的形式，增加对比度的意义在于让灰度图中亮的地方更亮，暗的地方更暗，以至于更好地体现出烟支打孔的轮廓细节，具体操作方法为调节灰度图 HSV 颜色空间中的  $V$  值，因为  $V$  值是控制灰度图的明度通道，使  $V$  值小的更小、大的更大，其计算公式如式 (1) 所示。

$$V=255 \times (0.5-(0.5 \times \cos((V/255)/0.314))) \quad (1)$$



图 9 高度映射后的灰度图

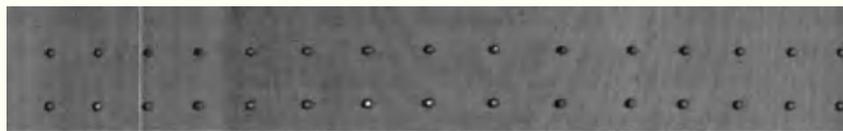


图 10 灰度取反效果图

对比度、图像增强、平均平滑处理效果图如图 11 所示，有选择地突出正视图像中的孔，改善图像质量，丰富图像信息，有利于加强图像识别效果，提高图像识别精度。例如，采用直方图均衡化和中值滤波对正视图像进行图像增强处理；平均平滑（即均值滤波）是对正视图像采用平均模板进行平均平滑的相关滤波处理，能够滤除正视图像中的噪点，抑制噪声，减少干扰，有利于提高图像识别精度；将预处理后的图像像素尺寸转换为实际的物理尺寸，方便后续步骤对灰度图上的孔的位置坐标和尺寸信息进行计算，有利于提高孔的识别和定位精度。



图 11 对比度、图像增强、平均平滑处理效果图

从灰度图像中分别提取各个孔以及干扰区域的轮廓边界，并对灰度图像依次采用 Canny 边缘检测算法<sup>[9]</sup>、膨胀算法、腐蚀算法和骨架提取算法进行处理，Canny 边缘检测、膨胀、腐蚀、骨架提取算法处理效果图如图 12 所示，以此获得灰度图像中的所有边界。



图 12 Canny 边缘检测、膨胀、腐蚀、骨架提取算法处理效果图

图 12 中，Canny 边缘检测算法的步骤如下。对灰度图像进行高斯平滑，以去除噪声，降低边缘检测错误率；计算灰度图像中每一个像素点的灰度梯度幅值和梯度方向，根据梯度方向找寻灰度图像中灰度强度变化最强的位置，获得灰度图像中的边缘；根据梯度方向对正视灰度图像中每一个像素点的灰度梯度幅值进行非极大抑制，以将灰度图像中的边缘变得清晰；采用双阈值算法检测和连接灰度图像中的边缘，得到灰度图像中的边界。

通过膨胀算法，使灰度图像中的边界与相邻边界连接，扩大 Canny 边缘检测后边界线宽度，以寻找灰度图像中边界的极大值区。通过腐蚀算法，寻找灰度图像中边界的极小值区，从而分割出正视灰度图像中的所有边界。通过膨胀算法和腐蚀算法能够消除噪声，排除正视灰度图像中的小型黑斑干扰点，以使烟支打孔灰度图像中的所有打孔边界更加清晰、精确。通过骨架提取算法，提取灰度图像中的所有边界的中心像素轮廓，中心像素轮廓为单层像素宽度的边界，从而精确地提取出灰度图像中各个孔以及干扰区域的所有边界，边界提取精度高。

得到灰度图像中各个孔以及干扰区域的所有边界后，接着通过判断提取各个孔以及干扰区域的拟合边界的形状特征，带有预测孔以及干扰区域识别图如图 13 所示，其中绿框所框选的为对应烟支打孔的最小外接矩形，其面积公式如式 (2) 所示。

$$Area_i = h_i \times w_i \quad (2)$$

式 (2) 中， $h_i$  为对应烟支打孔的最小外接矩形的高度值，

$w_i$  为对应烟支打孔的最小外接矩形的宽度值,  $i$  为对应烟支灰度图中的第  $i$  个孔。

为了保证裁剪识别点云的过程中对识别点云进行准确的裁剪, 需要对图 13 中以红框为中心的对应的烟支打孔的最小外接矩形的边界进行扩充, 以保证后续流程中对识别点云进行准确裁剪, 图 13 中红框所框选区域即为以对应烟支打孔最小外接矩形为中心对其边界进行扩充后的效果, 每个边界对其扩充 60 像素的宽度, 其面积公式如式 (3) 所示。

$$\text{Area\_Expand} = (h_i + 60) \times (w_i + 60) \quad (3)$$

式 (3) 中,  $h_i$  为对应烟支打孔的最小外接矩形的高度值,  $w_i$  为对应烟支打孔的最小外接矩形的宽度值,  $i$  为对应烟支灰度图中的第  $i$  个孔。

通过烟支打孔与干扰区域的明显形状特征差异来剔除异常数据, 并通过图像处理算法对烟支打孔与干扰区域进行像素计算, 以获得其对应的面积特征, 正常烟支打孔对应的轮廓面积较大, 而干扰区域对应的轮廓面积较小。形状特征可以为一个或多个, 也可以通过设置其他预设条件来进行干扰数据剔除以及打孔数据分割, 烟支打孔识别图如图 14 所示。

至此完成烟支打孔点云孔位的准确识别, 得到每个烟支中每个打孔的准确坐标和要裁剪的区域, 通过坐标转换把灰度图中的像素坐标转为要裁剪的点云坐标, 以保证准确裁剪烟支打孔点云数据, 为后续准确测量烟支打孔形态数据做准备。

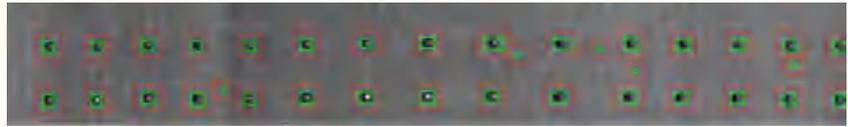


图 13 带有预测孔以及干扰区域识别图

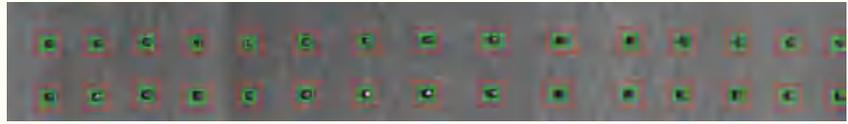


图 14 烟支打孔识别图

### 结语

本文提出的基于深度学习算法的烟支打孔识别定位方法具有准确率高、可用性强、快速性等特点, 可以解决多牌号烟支打孔的识别定位并框选、裁剪、提取对应单孔的点云数据。使用三维深度学习模型进行烟支打孔三维点云特征的提取, 完成对烟支打孔点云数据的初步识别分割, 接着通过灰度化处理、对比度、轮廓检测等图像处理算法, 得到对应牌号烟支中每个打孔的准确坐标和要裁剪的区域, 解决了人工识别易疲劳等问题。与相同方法不同实验搭建平台相比, 数据准确性、稳定性均得到有效提升, 证明此实验设备的搭建符合其算法的应用。经验证, 本方法能够快速有效地实现烟支打孔的识别定位。采用先进的机器视觉技术与基于多标签分类的深度学习网络智能识别方法, 能够做到快速、准确地检测, 在技术方面保证了其先进性。■

### 引用

- [1] 燕振振,姜锐,王永红,等.一种卷烟激光打孔人工自检装置:中国,CN201921587964.5[P].2020-06-09.
- [2] 杨利,熊竹隐,胡东东,等.烟支滤嘴激光打孔的在线检测方法及系统:中国,CN202211637893.1[P].2023-06-06.
- [3] 李华文,焦俊,赵宇,等.一种卷烟烟支端激光打孔在线检测装置:中国,CN202121604357.2[P].2022-03-29.
- [4] 邵延华,张铎,楚红雨,等.基于深度学习的YOLO目标检测综述[J].电子与信息学报,2022,44(10):3697-3708.
- [5] 刘继云,林曼琪,黄敏怡.机器视觉在质量控制中的应用[J].质量与市场,2023(12):7-9
- [6] LIN T Y,DOLLAR P,GIRSHICK R,et al.Feature Pyramid Networks for Object Detection[C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.Honolulu,HI:IEEE,2017:936-944.
- [7] 吴思东,袁建英,刘甲甲,等.机器视觉基础实验平台设计[J].科技风,2023(16):63-65.
- [8] QI C R,SU H,MO K,et al.PointNet:Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation[C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition,2017:77-85.
- [9] 吕彦诚.图像边缘检测及模式识别技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019.

# 基于指标分配与 组合赋值算法的训练评估方法研究

文◆91550 部队 41 分队 粘朋雷 李玉洁 陈春歌

## 引言

针对训练效果评估缺乏科学、客观的定量考核方法的问题，本文以吊车模拟训练为例，在建立训练指标体系确定训练指标的基础上，基于组合赋权算法，研究提出一套适用于评分系统的训练评估方法。该方法在建立训练指标体系确定训练指标的基础上，采用组合赋权算法对训练结果进行定量评估，既兼顾了主观赋权方法中的专家意见，又最大限度地利用了客观赋权方法的真实数据，从而提高操作手训练成绩评价的客观性。

训练效果评估是训练系统应该具备的重点功能之一，对操作手的训练进行评估打分需要从两方面进行研究。一是对需要训练的项目进行分析，按照操作的关键步骤进行分解，将这些关键步骤因素作为评估指标实现对操作手的评估<sup>[1-3]</sup>；二是根据每步操作对训练结果的影响分别确定各项指标的权重大小<sup>[4-6]</sup>。

## 1 指标选取

在对一次操作训练进行评估时，应充分分析此项操作的每一个步骤以及该步骤对操作结果的影响，从而得到操作训练的综合评估。选择哪些步骤的评估数值作为关键指标以及如何处理这些指标，成为确保评估科学合理的关键问题。

指标的选择直接影响评估的结果，因此应选择能够通过数值描述的指标，且这些指标能覆盖需要评估的训练全过程。从指标能否定量表述来看，可以根据操作步骤是否能通过具体数值进行确定，将其评估指标分为定量指标（如操作用时、操作精度等）和定性指标（如熟练度、紧张程度等）。

## 2 训练指标体系

对于吊车操作，由于要求操作手在短的时间内熟练且精准地完成工作，因此可将操作训练的评估模型大致分为时间类、精度控制类、误操作类、心理素质类等。在评估过程中，每一类指标都应根据控制的难易

程度设定相应的评分标准。以下是对吊车模拟训练指标选取以及评分标准的详细说明。

### 2.1 时间标准

吊车模拟训练中，所用时间越短，越能优于对手完成任务。结合模糊评判原则，根据吊车模拟训练操作时间，时间项依次得 100 分、80 分、60 分、40 分、0 分。

### 2.2 精度标准

吊车模拟训练时，根据实际物体放置点与目标点的距离确定操作精度。根据放置点距目标点的远近，精度项依次得 100 分、90 分、80 分、70 分、60 分、0 分。

### 2.3 科目误操作标准

按照误操作数量，误操作标准依次得 100 分、80 分、60 分、0 分。

### 2.4 常识误操作标准

按照有无常识误操作，误操作标准依次得 100 分、0 分。

### 2.5 心理标准

按照紧张程度，心理标准依次得 100 分、80 分、60 分、0 分。

## 3 基于组合赋值算法的训练评估

在对操作手的吊车模拟训练进行评分时，一个指标的权重越

【作者简介】粘朋雷（1986—），男，山东莱阳人，博士研究生，工程师，研究方向：装备试验训练鉴定。

大,说明该指标对训练的影响越大,在整个训练指标体系中的地位更关键。指标权重的确定决定着评估结果的合理性,同时影响着对操作手的评价和后续的训练重点。本节主要分析主观赋权方法和客观赋权方法的特点,并综合两种方法优点的组合赋权算法应用于吊车模拟训练评估中。

### 3.1 主观赋权法

主观赋权法是指由行业专家根据每个指标对训练结果的影响程度,确定每个指标所需赋值大小的方法。此方法根据专家前期获取的经验,确定训练中各个指标之间的相对重要程度,从而在训练评估时确保重要的指标得到更高的权重,使各指标权重维持在一个相对合理的范围内。主观赋权法的缺点在于,由于专家经验的差异性、对训练结果认识角度的不同以及对指标理解的不同,权重的赋值存在一定争议。

### 3.2 客观赋权法

客观赋权法是指通过对各训练指标进行统计,确定每个指标所需赋值大小的方法。此方法主要基于对各指标的统计分析,根据各指标的关联性,利用数学理论确定各指标的权重,避免决策者主观意愿的影响。客观赋权法的缺点在于忽略了训练实施人员对训练焦点的侧重,未达到训练的主要目的。

### 3.3 组合赋值算法

主观赋权法和客观赋权法有各自的优缺点,且两者能够互相弥补彼此的不足。为了使评估结果更加合理,既能够充分利用训练结果得到的客观数据,又能确保训练目的的达成,通常采用组合赋值法。

设  $S=\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  为训

练方案所组成的集合,  $F=\{f_1, f_2, \dots, f_n\}$  为各评估指标所组成的集合,  $W=\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$  为各指标权重所组成的向量集合,  $s_i$  中  $f_j$  的评价为  $x_{ij}$ ,  $i \in N, j \in M$ , 其中  $N=\{1, 2, \dots, n\}$ ,  $M=\{1, 2, \dots, m\}$ 。

假设在确定指标权重时,采用  $p$  种主观赋权方法,表达式如下。

$$u_k=\{u_{k1}, u_{k2}, \dots, u_{km}\}, k=1, 2, \dots, p \quad (1)$$

式(1)中,  $\sum_{j=1}^m u_{kj}=1, u_{kj} \geq 0 (j \in M)$ 。

在确定指标权重时,采用  $q-p$  种客观赋权方法,表达式如下。

$$v_k=\{v_{k1}, v_{k2}, \dots, v_{km}\}, k=p+1, p+2, \dots, q \quad (2)$$

式(2)中,  $\sum_{j=1}^m v_{kj}=1, v_{kj} \geq 0 (j \in M)$ 。

设  $w=\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$  为集成后的指标权重,  $\sum_{j=1}^m w_{kj}=1, w_{kj} \geq 0 (j \in M)$ , 则通过下式可得综合评价价值。

$$y_i=\sum_{j=1}^m w_j z_{ij}, i \in N \quad (3)$$

为综合利用客观信息,同时统筹训练的主要目的,利用最小二乘法分别求取组合赋值算法与主观赋权法和客观赋权法的偏差,表达式如下。

$$d_i^k=\sum_{j=1}^m [(w_j-u_{kj})z_{ij}]^2, i \in N, k=1, 2, \dots, p \quad (4)$$

式(4)中,  $d_i^k$  是指方案  $s_i$  中,利用第  $k$  种主观赋权法得到的综合评价价值与组合赋值法得到的综合评价价值的离差值。

$$h_i^k=\sum_{j=1}^m [(w_j-v_{kj})z_{ij}]^2, i \in N, k=p+1, p+2, \dots, q \quad (5)$$

式(5)中,  $h_i^k$  是指方案  $s_i$  中,利用第  $k$  种客观赋权法得到的综合评价价值与组合赋值法得到的综合评价价值的离差值。

为了组合赋值法得到的指标权重最合理,需要使目标函数最小,表达式如下。

$$\min[\mu \sum_{k=1}^p a_k (\sum_{i=1}^n d_i^k) + (1-\mu) \sum_{k=p+1}^q a_k (\sum_{i=1}^n h_i^k)] \quad (6)$$

式(6)中,  $\mu$  越接近于 0,则组合赋值法确定的权重越偏客观;若  $\mu$  越接近于 1,则组合赋值法确定的权重越偏主观。目标函数的最优解如下。

$$w_j = \left[ \mu \sum_{k=1}^p a_k u_{kj} + (1-\mu) \sum_{k=p+1}^q a_k v_{kj} \right] \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m w_i=1, w_i \geq 0 (i \in N)$$

### 3.4 训练权重算法实现

采用组合赋值算法给操作训练的各个指标权重赋值,其计算公式如下。

$$w_j=[\mu \sum_{k=1}^p a_k u_{kj} + (1-\mu) \sum_{k=p+1}^q a_k v_{kj}] \quad (8)$$

根据操作的训练目的,前  $p$  项的权重按照主观的层次分析法,根据专家对各训练项目的经验认识确定;后  $q-p$  项的权重按照客观的离差最大化法计算。此训练的离差最大化公式如下。

$$\omega_j = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{kj}|}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{kj}|}, j \in M \quad (9)$$

对于某次操作训练,  $n$  为操作手的总人数,  $m$  为此次训练中需要评估的指标数量。根据各操作手的操作情况和训练结果进行打分,得到各项训练成绩(见表 1)。

根据组合赋值算法,不同算法指标权重赋值如表 2 所示。

通过  $Y=\sum_{i=1}^m w_i y_i$  计算操作手的训练综合成绩,  $Y$  为操作手的最终成

表 1 操作手训练详细结果

编号	时间项	精度项	科目误操作项	常识误操作项	心理项
1	80	70	80	100	60
2	100	100	100	100	100
3	80	80	100	100	80
4	100	70	100	100	100
5	80	80	60	100	80
6	60	60	100	100	60
7	0	60	0	0	60
8	80	80	100	100	100

表 2 不同算法指标权重赋值

评估算法	时间项权重	精度项权重	科目误操作项权重	常识误操作项权重	心理项权重
离差最大化	26.75%	12.88%	25.84%	17.44%	17.09%
专家赋值	25%	30%	10%	15%	20%
组合赋值 $\mu=0.7$	25.53%	24.86%	14.75%	15.73%	19.13%
组合赋值 $\mu=0.5$	25.88%	21.44%	17.92%	16.22%	18.54%

绩,  $y_i$  为表 1 中对应的各训练项成绩,  $w_i$  为表 2 中各训练项的权重, 则最终训练成绩 (见表 3)。

表 3 不同算法成绩

编号	离差最大化	专家赋值	组合赋值 $\mu=0.7$	组合赋值 $\mu=0.5$
1	78.78	76	76.83	77.39
2	100	100	100	100
3	88.66	85	86.10	86.83
4	96.14	91	92.54	93.57
5	78.32	81	80.20	79.66
6	77.31	70	72.19	73.66
7	17.98	30	26.39	23.99
8	92.07	89	89.92	90.54

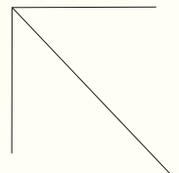
### 结语

本文通过建立训练指标体系确定训练指标, 采用组合赋值算法对训练结果进行定量评估。相较于传统的专家主观赋予权值的方法, 虽然最终成绩排名并未有明显的变化, 但由于综合了各操作手训练成绩的得分

差异, 随着  $\mu$  的变小, 排名成绩的层次差异更加明显。此外, 若将某一个操作手多次训练成绩进行评估, 则可以考核其个人的训练稳定性。<sup>[8]</sup>

### 引用

- [1] 薛昭, 杜晓明, 裴国旭, 等. 军事训练评估研究综述[J]. 飞航导弹, 2017(2): 55-56.
- [2] 聂朝永. 步兵团军事训练成绩评价及影响因素分析[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2015(5): 84.
- [3] 徐小峰, 刘巍, 张满超, 等. 军事训练评估研究综述[J]. 中国新通信, 2009, 21(13): 79-80.
- [4] 汪克夷, 栾金昶, 武慧硕, 等. 基于组合客观赋权法的科技评价研究[J]. 科技进步与对策, 2009, 26(6): 129-132.
- [5] 镇常青. 多目标决策中的权重调查确定方法[J]. 系统工程理论与实践, 2021(12): 16-24.
- [6] 查奇芬, 董洁, 陈祖功. 主客观组合赋权法在科技成果转化评价分析中的应用[J]. 统计与决策, 2009(16): 152-154.



# 动态舵叶条件下线谱起伏特性研究

文◆中国电子科技集团公司第五十四研究所 张地 张松 李旭 李晋 王少博 王大宇

## 引言

舰船辐射噪声按照产生机理可以分为螺旋桨噪声、机械噪声和水动力噪声，在 LOFAR (Low-Frequency Analysis and Recording) 图中体现为线谱和连续谱的叠加。一方面线谱能量通常比连续谱强，常被用于目标检测和测向；另一方面，由于线谱包含了航行器自身的物理特征，常被用于目标判别。低频端线谱主要由机械噪声、螺旋桨叶片周期切割流体产生的低频系列线谱噪声以及舰船壳体或某些部件受水流冲击产生共振而形成的线谱噪声组成<sup>[1-2]</sup>。

目标在航行过程中会与周围流体发生相互作用。对于实际问题，湍流场的计算往往只能依靠数值计算求得近似解。胡健等研究了桨叶涡流场对舵表面脉动压力的影响，发现位于梢涡流场区的舵叶表面脉动压力具有较强周期性<sup>[3]</sup>。由于航行器周围存在复杂且不断变化的流速场，会导致线谱信号频率受到多普勒效应的影响，使接收信号瞬时频率随时间发生变化。Zhang 等研究了不同来流方向对水下航行体及其舵叶流场的影响，并分析了流速对水下航行体辐射线谱频率起伏特

性的影响<sup>[4]</sup>。鉴于水下航行体舵叶通常会根据姿态控制系统指令周期摆动，本文将进一步研究周期摆动舵叶条件下，水下航行体辐射线谱频率起伏特性。为此，建立了水平舵叶片摆动计算流体力学模型和时变流场条件下多普勒频移累积模型，仿真研究了动态舵叶条件下辐射噪声线谱频率随时间起伏的变化特性。仿真结果表明，舵叶尖部声源辐射线谱频率随时间发生周期性起伏，起伏周期与舵叶摆动周期一致。由于流速在 0° 方向投影变化最剧烈，该方向声路径上接收信号线谱起伏的动态范围最大。对于频率为 100Hz 的线谱，线谱起伏的动态范围最大约为 0.5Hz。

## 1 数值计算模型

### 1.1 舵叶几何模型

舵叶几何形状如图 1 所示，水平舵叶总长 4.5m，图中虚线围成的圆为叶片最大厚度处内切圆，叶片最大厚度为该圆直径即 0.8m，叶片转动中心为该圆的圆心，舵角  $\chi$  为叶片长度方向与水平方向夹角。

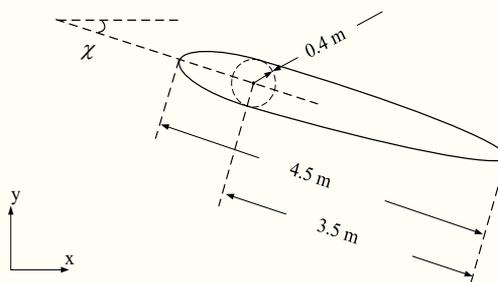


图 1 舵叶几何形状

### 1.2 流场数值计算方法

利用不可压缩流体雷诺平均 Navier-Stokes 方程描述由物体绕流产生的复杂流场，表达式如下。

$$\begin{cases} \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \\ \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \\ = \rho \varpi_i - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \eta \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \overline{u'_i u'_j} \right) \end{cases} \quad (1)$$

【作者简介】张地 (1994—)，男，河北冀州人，研究生，工程师，研究方向：水声信号处理。

式(1)中,  $u_i$  和  $u'_i$  分别为平均流速和扰动流速在二维平面  $x_i(i=1,2)$  方向上的投影, 这里定义  $x_1$  为  $x$  轴方向,  $x_2$  为  $y$  轴方向,  $\sigma_i$  为体积力在某方向上的投影,  $\bar{p}$  为时间平均压强,  $\eta$  为海水动力粘滞系数,  $-\rho\overline{u'_i u'_j}$  为雷诺应力张量。

为了方便不同舵叶偏角时流速输入边界条件的设定, 将流体仿真区域设置为一个直径为 50m 的圆, 圆心与舵叶旋转中心重合(见图2)。将计算流体区域边界分为两个半圆, 位于上游的半圆为速度输入边界, 位于下游的半圆为出流边界。舵叶边界为固定壁面边界。图2右下角展示了舵叶附近网格划分情况。为便于仿真舵叶转动, 设置了一个直径为 9m 的滑动网格边界。有限体积法将非线性偏微分方程转化为网格单元上的线性代数方程, 然后求解线性方程组得到流场中每一点的流速、压强等变量的值。

采用二阶迎风格式求解通量, 本地单元边界点的值通过上游网格控制点值的二阶 Taylor 展开计算所得, 即上游网格控制点的值与一个增量的和。对于压力和速度耦合问题, 采用半隐式方法加快求解收敛速度<sup>[5]</sup>。标准  $k-\omega$  模型包含低雷诺数影响、可压缩性影响和剪切流扩散, 因此适用于尾迹流动计算。剪切应力输运  $k-\omega$  模型综合了  $k-\omega$  模型在近壁区计算的优点和  $k-\omega$  模型在远场区域计算的优点, 因此选用 SST  $k-\omega$  模型作为流场数值计算的湍流模式理论。

### 1.3 流场中信号多普勒频移模型

对于水平舵叶片周围流场引起的接收声信号瞬时频率随时间变化的问题, 假定声源位于叶片尖部, 频率为 100Hz, 各条声路径自声源向各方向传播, 长度为 20m。以舵角  $\chi = 60^\circ$  为例, 给出不同声路径示意图(见图3)。

当声传播路径上流速不为 0 时, 流速会使声信号发生多普勒效应。当传播路径上流速场随时间起伏时, 声信号瞬时频率也会随时间发生起伏。由于流场空间分布不均匀, 为了简化计算, 假设声波在较短距离内沿直线传播, 且对于某一时刻发出的声波在传播过程中流场不随时间变化。在声传播路径上进行空间采样, 则接收信号在某时刻瞬时频率可以表示为在该时刻声传播路径上每一采样点多普勒频移效应的累积, 其表达式如下。

$$f_r = f_0 \prod_{i=1}^n \left( 1 + \frac{\Delta v_i}{c} \right) \quad (2)$$

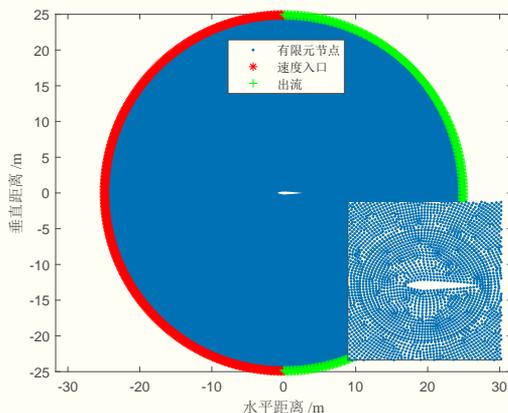


图2 数值计算网格划分与边界条件设定

式(2)中,  $f_0$  为声源频率,  $f_r$  为接收信号瞬时频率,  $c$  为静水声速,  $\Delta v_i$  为声传播路径上自声源起第  $i$  个采样点流速  $v_i$  与第  $i+1$  个采样点流速  $v_{i+1}$  的差值, 其表达式如下。

$$\Delta v_i = -v_{i+1} \quad (3)$$

式(3)中, 数值的正负分别代表速度方向是靠近或是远离接收点。特别地,  $\Delta v_1$  表示目标航速与第 2 个空间采样点流速在该方向投影的差。

仿真中水流从左至右流过静止的叶片, 对应实际中叶片是从右向左穿过水体, 因此需要对仿真输出流速进行坐标变换, 得到实际流速, 流速坐标变换公式如下。

$$\hat{v} = \hat{v}' + \Upsilon \cos \theta \quad (4)$$

式(4)中,  $\hat{v}$ 、 $\hat{v}'$  分别为实际流速和仿真输出流速在声传播路径上的投影,  $\Upsilon = -2.9 \text{ m/s}$  为航速, 负号表示航速指向  $x$  轴负方向。将坐标变换得到的不同时刻空间各点实际流速在声路径方向投影  $\hat{u}$  代入得到接收信号瞬时频率随时间变化情况。

## 2 仿真计算结果

假设舵叶每 10 分钟完成一个周期的摆动, 单侧摆动舵角为  $60^\circ$ , 则摆动角速度为  $\pi/450 \text{ rad/s}$ , 输入流速  $2.9 \text{ m/s}$ , 方向指向  $x$  轴

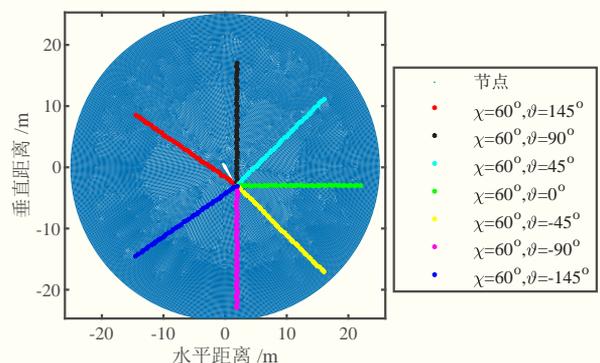


图3 不同方向声传播路径

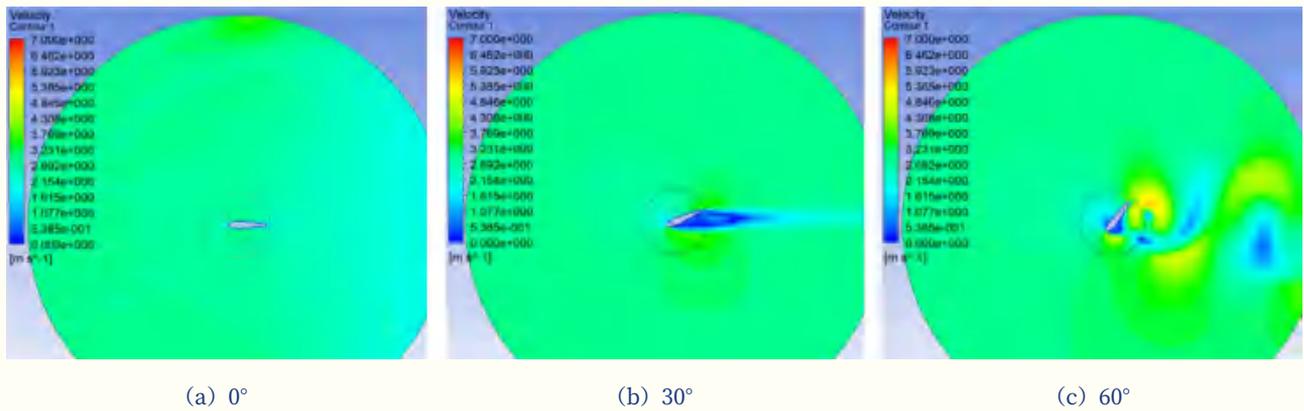


图 4 不同偏角水平舵叶片周围流场

正向，仿真周期摆动舵叶条件下，流速场随时间变化情况。

舵角为  $0^\circ$  时，水平舵叶片周围流速场几乎不随时间发生变化。随着舵角增大，叶片相对水流的横截面积增大，后端流速场随时间、空间发生明显变化。当舵角超过某一临界值后，流场发生剧烈变化并出现卡门涡街，在叶片上下交替出现旋转方向相反的旋涡脱落，在流速场中表现为叶片上下交替出现高流速区和低流速区，并向后扩散（见图 4（c））。

根据时变流速场多普勒频移累积模型，计算舵叶尖部单频噪声源辐射信号在不同路径上发生的频率变化情况（见图 5）。各路径瞬时频率均随时间周期起伏，起伏周期为 10 分钟。由于流速在各个方向投影不同，因此各条路径接收信号中心频率不同。 $0^\circ$  方向接收器径向远离声源的速度最大，因此瞬时频率变化最为剧烈，动态范围约为 0.5Hz。而  $-145^\circ$  方向声源径向靠近接收点，信号频率高于声源频率。由于该方向上流速变化小，瞬时频率变化范围也较小。

### 结语

本文建立了水平舵叶片摆动

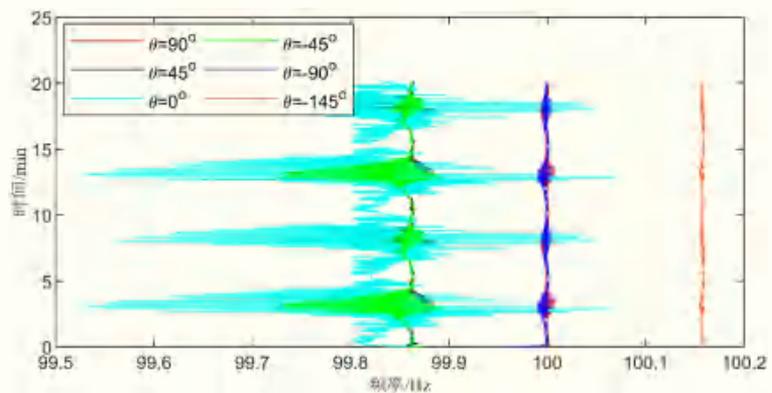


图 5 不同方向声路径线谱频率随时间变化情况

环境下周围流速场流体力学模型和多普勒频移空间累积模型。在匀速来流环境下，水平舵叶片摆动会引起周围流速场随时间不均匀变化，进而使辐射噪声线谱频率随时间发生起伏，起伏周期与舵叶摆动周期一致。对于频率为 100Hz 的线谱信号，频率起伏动态范围最大约 0.5Hz。后续研究中将开展水池试验，验证摆动叶片条件下声信号频率起伏特性。■

### 引用

[1] Arveson P T,Vendittis D J.Radiated Noise Characteristics of a Modern Cargo Ship[J].The Journal of the Acoustical Society of America,2000,107(1):118-129.

[2] 张效慈,司马灿,吴有生.潜艇舵低速颤振现象及其预报[J].船舶力学,2001,5(1):70-72.

[3] 胡健,张维鹏,汪春辉.桨叶涡流场中舵表面脉动压力的数值模拟[J].哈尔滨工程大学学报,2019,40(10):1690-1695.

[4] Zhang D, Zhou S, Qi Y, et al. Simulation Analysis of the Effects of the Flow around Underwater Moving Bodies on the Acoustic Signal,F 2021.7.14-17,2021[C].IEEE.

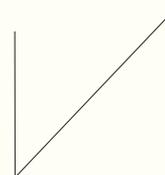
[5] 常欣.Flulent船舶流体力学仿真计算工程应用基础[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2011.

# 民航软件稳态研发过程的质量度量研究

文◆中国民航信息网络股份有限公司 张省娟 杨英 黄艳波 牛晓艳

## 引言

在新时期背景下，当前民航领域已经拥有系统化的民航软件，实现对整个民航业务的高效管理和运营服务。民航软件基于解决民航领域企业运营发展实际需求的目的而研发，保障民航软件的研发质量和应用效果是推动当前民航领域发展的重要依据和基础。本文以民航软件为主要研究对象，基于当前民航领域民航软件研发应用的实际需求，深入分析民航软件稳态研发过程的质量度量。通过更科学的系统评价体系保障民航软件的研发质量和应用效果，以期为民航领域的发展提供有价值的借鉴思路和经验。



## 1 民航软件研发应用需求

### 1.1 民航系统建设现状

结合民航领域的实际发展情况，民航软件主要是指民航领域基于自身业务发展需要，在应用计算机系统和技术原理的前提下，由民航企业研发的信息软件系统，用于开展民航业务。这些软件符合当前民航领域信息化发展的主要趋势。近年来，随着科学技术的不断发展，民航领域所应用的民航软件已经取得了显著的应用成果<sup>[1]</sup>。为充分发挥民航系统和软件的作用，当前我国民航信息化基建方面已经完成了空管以及商务通信网的有效布局，以技术改造的方式形成了基于 IP 的开放网络结构，满足多种应用环境下应用民航系统软件的需求。

在此基础上，一些民航企业运营发展期间应用的民航信息系统，在实际发展中也取得了显著的成效。例如，基于民航领域业务开展的实际需要，民航企业在推动空管系统、旅客订座系统、机场离港系统以及办公自动化等方面取得了较为显著的成果。现阶段，基于民航系统软件的航空客运 B2C 业务和移动终端应用的普及与推广，已经成为民航企业推动信息化建设发展的重要内容。

### 1.2 飞机运行管理要求

将民航软件应用于民航企业的运营发展中，首要目的是发挥信息技术和数字化技术的优势，建立飞机与地面信息管理中心之间的联系，实时监测飞机飞行过程中的轨道以及飞机自身运行状态等内容，从而实现对飞机飞行过程的有效管控，保障飞机飞行安全的同时，实现对机场所

有飞机航线以及飞行时间等方面的合理规划与安排<sup>[2]</sup>。因此，研发和设计民航软件时，应符合民航领域业务开展的实际需要，确保民航软件响应的时效性和准确性，在合理控制民航软件研发成本的基础上，保障民航软件的应用质量和效果。

### 1.3 飞机维修预测分析

从保障飞机飞行安全的角度出发，民航软件应用于飞机日常维护和检修工作中。它能够针对具体的问题结合监测获得的相关数据进行具体分析，在最短的时间内实现对相关异常和故障问题的有效管控，从而有效减轻因异常和故障问题对飞机飞行情况以及整个民航系统运行效果的影响<sup>[3]</sup>。基于机场以及飞机运行情况的实时监测和数据收集，可以针对实

【作者简介】张省娟（1988—），女，陕西西安人，本科，工程师，研究方向：民航软件测试、自动化测试。

际检测中发现的各类隐患问题，结合飞机的日常检修频率，规划设计出合理的飞机维修计划方案，为飞机的运行维护工作提供有效的参考。

## 2 民航软件稳态研发过程的质量度量分析

在新时期背景下，伴随信息技术、数字化技术水平的不断进步，以推动民航领域信息化建设发展为总体目标，从民航企业应用的民航软件角度入手，为保证民航软件研发应用的实际质量和应用效果，应在对民航软件的稳态研发过程中加强对质量和度量的管控<sup>[4]</sup>。基于此，在分析民航软件稳态研发过程时，引入以先进技术为基础的科学评价指标体系，将其作为评价软件应用功能研发效果的主要依据。主要从以下几方面入手，为后续民航企业民航软件的研发和优化提供参考。

### 2.1 民航软件稳态研发质量评价概况

结合当前我国民航领域民航企业应用的民航软件研发情况，以衡量和评价民航软件质量为总体目的，基于过程管理思想方法的原理，从民航软件的稳态研发过程入手，通过对民航软件研发过程的规范和优化调整，保障民航软件的应用质量。这一过程主要引入了度量模型的概念，构建符合民航软件实际应用情况的度量模型，结合健全完善的评价标准，对民航软件的质量进行更为科学的评价。这一度量模型能够更真实地反映软件运行的实际状态和效果，为后续对软件产品进行质量管理和研发优化提供依据。基于保障民航飞机飞行安全的目的，民航软件的研发必须强

调安全性和可靠性。现阶段，民航软件稳态分析过程通常涵盖需求、设计、编码、测试以及投产5个重要的环节。在每个环节，软件的相关功能和应用效果必须通过相应的评审标准，才能进入下一环节的评审。为保障民航软件稳态研发全过程的稳定性和可靠性，可以尝试将度量模型与评价指标体系相结合，从民航软件的稳态研发过程入手，利用质量度量方法验证民航软件的应用效果，进而将其作为后续评价民航软件应用效果的主要依据<sup>[5]</sup>。

### 2.2 过程质量度量表现形式

在民航软件的稳态研发过程质量度量中，构建符合民航实际业务开展情况的度量模型至关重要。该模型既反映机场现有飞机自身的飞行状态以及相关运行参数，又从机场整体的运行调度角度出发，为民航软件系统的运行提供相关参数。为确保构建的度量模型符合民航领域发展的实际情况，以往专家学者在研究过程中，探索了应用GQM范例度量模型、SADT方法作为描述软件过程的工具，旨在及时发现民航软件开发中的问题。在构建度量模型时，这些专家学者将度量要求与项目的总体目标紧密结合，从而实现对度量目标的细化。在此基础上，进一步将度量目标引入到软件建模过程中。通过在既有的度量模型的度量层上增加一个用于数据分析的数据项分层，以便将过程度量中产生的特定活动融入过程模型的构建中，使其以民航软件过程活动的形式呈现。

### 2.3 过程质量度量评价体系构建

结合当前民航软件在民航领域的发展应用情况，并依据前人的研究成果，选择某一具体的度量模型方法构建度量模型。在此过程中，重点从民航软件稳态研发过程和质量度量评价体系的视角出发，设计一套更符合民航软件应用需要的评价体系。

基于民航软件的实际应用情况，将针对民航软件稳态分析过程的度量模型分为过程阶段、指标分类以及质量特性分析3个部分。其中，过程阶段主要聚焦于民航软件稳态研发过程的5个具体阶段；获得针对过程阶段的模型分析数据后，根据第2层分类得到的指标，对各个过程阶段中民航软件相关功能的应用过程质量以及结果质量进行分类；依据第3层的质量特性分析，基于确定的具体质量度量指标，对民航软件的应用质量进行评价。

为保障评价体系在民航软件稳态研发过程中的应用效果，在实际研发过程中，必须确保各类控制工具应用的齐全性，并针对民航软件稳态研发过程每个阶段的产出物，利用更高级的民航软件配置管理工具进行相关数据和产出物的采集。在采集到民航软件的稳态研发过程数据后，直接将这些数据直接作为度量数据，基于制定的评价指标范围，对质量指标值进行计算，进而依据计算结果对民航软件的应用质量效果进行科学评价。

这一过程中，为保障评价体系应用的设计效果能够发挥先进技术的作用，应将信息化、算法、大数据分析等技术应用于民航软件的评价体系中，以智能化的技术方法代替人工，实现对具体评价指标得分情况的计算分析，从而有效保障评价结果的真实性和准确性。

### 2.4 过程质量度量评价体系运用

为保障过程质量度量评价体系的应用效果，关键在于设计评价指标

时，确保评价指标以及具体的评价标准范围能够符合民航软件的实际应用效果。因此，在设置评价指标内容时，应充分考虑民航软件稳态研发过程的具体阶段，并引入过程阶段打分法实现对整个稳态研发过程的量化评价。在这一过程中，应结合当前民航领域对民航软件研发设计的要求，明确各个具体阶段的质量指标值，并参考以往应用于民航软件评价的标准要求和评定等级，对每个具体的过程阶段进行合理打分。

### 2.5 应用效果评价

为验证本文提出的评价指标体系在民航软件稳态研发过程质量度量中的应用效果，选择某民航企业应用的民航软件进行分析。该民航软件的研发过程主要分为两个具体的建设项目。一期建设项目为传统业务开展思想下的民航软件功能；二期建设项目则为新时期背景下，为了促进民航软件功能研发优化而提出的建设项目。该民航软件以验证民航信息准确性和保证信息传递及时性为主要目的，在实际应用中，要求能够基于民航航班调度安排、旅客信息规划管理、离港安排等业务，为旅客提供相应的服务，为机组人员提供工作安排的依据。民航企业人员可以借助该民航软件，及时获取相关飞机以及航行工作的航行情报、旅客信息、航班信息、重要文件等信息，有效提高了民航机场工作的效率，并作为保障飞机飞行安全的工具，促进民航企业经济效益的提升。这一过程中，民航软件结合民航企业的民航信息调度和验证要求，具体涉及航班、班次、旅客、飞行目的地、时间、航行通告、气象形势等方面的资料信息。在明确民航软件功能设计的基本要求和目的后，开发人员结合该民航企业的实际运营情况和飞行员的日常工作，在原有民航软件系统的基础上，设计研发了功能更健全的民航软件系统。为了综合评价民航软件系统应用情况，确保民航软件的应用效果，应从稳态研发过程的角度，对该民航软件的应用情况进行分析，验证其实际应用效果。

结合当前我国民航领域民航软件系统的运行情况，在基于民航软件应用要求的基础上，利用本文分析的评价指标体系，获取民航软件在年度研发过程中各过程阶段的数据和得分情况，并据此对民航软件的质量指标值以及过程质量得分进行计算，明确得出某民航软件在需求阶段的得分为 70，设计阶段得分为 70，编码阶段得分为 56，测试阶段得分为 53，投产阶段得分为 70。将各个过程阶段的具体指标经过权重换算后汇总相加，得到该民航软件的总体质量得分为 91.85 分。将得分带到事先设定的评价等级中，不仅能够证实该民航软件可以有效保障一定的应用质量效果，还能明确该民航软件在后续的研发优化过程中，应加强对编码和测试阶段的重视。

基于这一评价分析的结果，可以确认该民航软件满足了民航企业运营发展和飞行员行前准备工作的要求。为了不断提高和推动民航企业发展，应在实际评价中重视编码和测试阶段评价结果，并在后续的研发过程中不断促进民航软件应用功能和效果的提升。

## 结语

民航软件在推动民航领域发展方面发挥着重要作用。为保障民航软件的研发应用效果，应在结合当前民航领域发展现状的基础上，明确民航软件研发应用的总体目标和要求。对于研发获得的民航软件产品，应进行质量和度量的科学评价，并引入更先进的评价方法和指标体系，确保真实反映民航软件的应用质量和效果，从而为民航领域的持续发展奠定良好的工具基础。<sup>[5]</sup>

## 引用

- [1] 吴岳洲,傅强,罗银辉.新工科背景下民航“软件测试”知识体系升级与教学[J].教育教学论坛,2023(12):18-21.
- [2] 袁媛,张杰.民航软件系统交付实施路径分析[J].空运商务,2023(3):59-64.
- [3] 张骐.运用线上教学软件提升英语听说能力的技巧——以民航英语教学为例[J].校园英语,2022(25):58-60.
- [4] 吴瑶清.基于DDS框架的民航客舱应用软件中间件开发[D].成都:电子科技大学,2022.
- [5] 高健媛,彭明田,李永进.基于STRIDE和民航威胁知识库的软件威胁建模[J].中国民航大学学报,2020,38(5):41-45.

