

# 医院人力资源信息化管理体系的构建研究

文◆聊城市第四人民医院 刘帆

## 引言

医院是满足大众医疗需求且提供医疗服务的专业化机构，涉及诸多工作内容。医院内部各单位以及各环节流程均会产生大量的信息数据，尤其是进入信息化时代后，信息数据量激增，给人力资源管理部门带来了极大的工作压力。若不能落实好人力资源管理工作，就会影响到医院的医疗服务水平。随着我国新医疗改革的不断深入，传统的人力资源管理模式已经无法适应新时代医院可持续发展的需求。因此，医院必须与时俱进，将先进的技术手段引入到人力资源管理当中，立足于医院的实际管理需求，构建科学、可行的人力资源信息化管理体系，以此更好地满足医院针对高水平的人力资源需求。

## 1 医院人力资源信息化管理的意义

### 1.1 减轻人员的工作压力

不同于其他单位和机构，医院承担着保障患者生命健康的重要责任，因此该机构的日常管理要求更为严格，给管理人员带来了极大的工作压力。尤其是在人力资源管理岗位，往往需要投入诸多的精力和时间管理医院工作人员。同时，近年来人们越来越重视自身的健康问题，社会各界对医院的医疗服务质量也提出了更高的要求，加上医疗行业在整个社会经济市场中面临着更大的竞争压力。对此，医院必须不断提升自身的服务质量与服务效率，充分发挥现代化信息技术的优势作用，构建人力资源信息化管理体系，既能够有效减轻人力资源管理人员的工作压力和负荷，还能够更好地满足人们的医疗服务需求<sup>[1]</sup>。

### 1.2 提升医院的管理效益

在信息化管理体系的支持下，医院管理人员应全面掌握工作中所需要的各种信息数据，再将这些数据完整地保存到数据库中，以方便后续随时随地调取所需的信息数据，提高获取信息的效率，便于医院管理人员对信息数据库进行应用管理，深入剖析医院管理中存在的问题和不足，从而提出更加科学、有效的管理决策<sup>[2]</sup>。同时，管理人员利用信息技术实现对医院内部全体人员的高效管理，改变了以往利用纸张呈现数据信息的管理方式，有利于信息数据的存储，从长远看，不仅能够节省

医院的管理成本，还能为医院创造更多的利益。

### 1.3 提高信息数据的正确率

在以往人力资源管理模式下，主要依赖人工完成信息数据的采集、录入工作，出现了由于人员疏忽大意而导致数据信息保存不当或遗漏关键信息等问题，严重影响到医院人力资源管理质量，也不能发挥出医院行政管理的优势价值。同时，随着科技的不断发展和信息技术在各个领域的普及应用，社会对医院的医疗服务质量提出了更高的要求，医院的工作量随之日益增加。构建人力资源信息化管理体系，信息技术取代了很多需要人工完成的工作，有效解决了信息数据保存错误、关键信息遗漏等问题，实现对信息数据各个运用环节的规范化管理，促使管理工作更加严谨和细致，切实提升医院的服务质量<sup>[3]</sup>。

## 2 医院人力资源信息化管理体系的构建难点

### 2.1 对信息技术的应用不够重视

通过将信息化技术应用到医院人力资源管理中，促进人

【作者简介】刘帆（1988—），男，山东阳谷人，本科，工程师，研究方向：医院人力资源管理与信息化。

力资源利用价值的全面发挥。但是就实际应用情况来看，很多医院在推进信息化管理体系建设工作时，并没有制定配套的政策与措施，导致信息化在人力资源管理中依然处于被动地位，不能发挥出应有的价值作用。有的医院在开展人力资源管理工作时，忽视对信息数据分析的运用，导致管理人员缺乏使用信息技术的意识，致使人力资源管理缺少先进技术的支撑。有的医院虽然已经将信息化技术运用到具体的人力资源管理中，但是因为需要对医院内部员工的工作类型、工资福利等多方面情况进行全面分析与研究，导致医院难以落实以人为本的理念，影响了员工的基本权利，制约了人力资源信息化管理体系的构建和运用。

## 2.2 顶层设计方案不够科学

对于医院而言，人力资源信息化管理体系构建存在高度的复杂性，若要确保整个人力资源的优势价值得到充分利用，就必须确保顶层设计方案的科学性与可行性。但是就实践情况而言，很多医院对顶层设计都不够重视，不能有效地体现出信息化技术所具备的各种优势价值，导致医院管理层缺乏高层次的信息化技术运用能力，难以有效推进人力资源信息化管理工作。同时，有的医院在制定顶层设计方案时，没有充分考虑资金、人才等多方面的影响因素，也没有为信息化技术的应用配置足够的基础设施，严重制约了人力资源信息化管理体系的构建，不利于提高医院的信息化管理水平<sup>[4]</sup>。

## 2.3 系统数据库构建不够合理

高水平的系统数据库建设是促进医院人力资源管理工作的

量、高效率开展的有力支撑。然而，一些医院在构建人力资源信息化管理体系时，很少关注到已有系统中各种信息数据的组成，也没有对数据信息进行恰当的编辑与增删。若没有对使用者的各种操作行为进行科学规划，必然无法挖掘出系统数据库的真正价值，无法体现出信息数据之间的互联互通功能，也无法清晰地反映出系统的需求，难以协助医院提升人力资源管理效果。

## 2.4 信息安全意识不强

在人力资源信息化管理体系下，医院的各方面信息主要以电子文件的形式进行存储。医院的人力资源信息涉及到员工的个人隐私，包括员工的薪酬待遇、身份信息以及家庭关系信息等，一旦信息在存储和传递过程中出现泄露问题或是系统存储节点被黑客、不法分子攻击，将会给医院的社会形象带来不良影响，甚至会由于侵犯公民个人形象而导致医院陷入刑事纠纷。

## 2.5 信息管理模块调整不科学

在开展医院人力资源信息化管理工作时，应结合各个科室的实际情况对信息管理模块进行恰当调整，以保证医院人力资源管理模式符合新医改的要求，充分发挥信息化技术在医院人力资源管理中的作用价值。然而，一些医院在构建人力资源信息化管理体系时，忽视对各个科室实际业务需要的调查，也没有细致地汇总各个科室部门的真实需求，不能利用信息化技术实现对医院现有人力资源的优化配置，无法明确信息模块的突出作用，阻碍了信息化管理体系的创新发展。

# 3 医院人力资源信息化管理体系的构建

## 3.1 转变管理理念，提高信息化技术的应用质量

在具体实践中，医院应立足自身的实际管理发展需求，明确信息化技术在人力资源管理中的具体应用策略，尤其是总结出在医疗服务创新方面的运用，保证信息化技术在医院人力资源管理中的独特价值得到全面体现。在构建人力资源信息化管理体系时，应注重信息化技术的应用效果，通过深入研究医院人力资源管理中涉及到的各个要素，以此为依据制定相应的规章制度，保证信息化管理体系能够有效引导和规范医院员工行为。针对人力资源管理方案的创新，合理运用各种制度要素，尤其是对影响医院人力资源管理的各方面因素进行全面分析，保证在优化医院人力资源管理模式的情况下，进一步调整和革新医院的大数据信息分析与处理方式，提高信息化技术在医院人力资源管理中的应用质量<sup>[5]</sup>。

## 3.2 制定科学的信息化顶层设计方案

为了保证人力资源信息化管理体系构建的有效性与合理性，医院必须制定信息化顶层设计方案。从医院管理层对顶层设计制定的作用看，其制定的一系列政策与制度规范是引导医院中各个科室部门与各个环节工作实施的重要依据。所以在构建信息化管理体系时，医院管理层必须提高对人力资源管理的重视程度，及时更新和调整人力资源管理部门的政策和制度规范，深度融合顶层设计和具体管理需求，充分发挥信息化顶层方案的引领价值。对于人力资源管理部门来说，应持续提升自身的业务能力和综合素质，密切关注市场动向，明确人力相关

信息，树立较强的创新意识，学习当下最新、最先进的人力资源管理模式和方式方法，借鉴他人优秀的管理经验。同时，人力资源管理应充分意识到人力资源信息化管理体系构建的优势价值以及未来发展的困境，协助医院管理层认识到信息技术模式取代传统人力资源管理方式的重要意义，以促进相关政策和制度的完善。

### 3.3 打造合理的系统数据库

系统数据库在人力资源信息化管理体系中占据重要地位。通过打造一个完善、合理的系统数据库，制定一套完整、科学的数据结构标准，精准把握所有数据信息地收集、存储、使用等各个环节，解决传统人力资源管理模式下的人工操作、手工管理等方面的不足和缺陷，推动医院人力资源管理工作的合理化、规范性发展。在具体实践中，医院应针对人力资源信息化的具体需求，在软硬件设备设施配置方面投入足够的财力，及时更新和更换应用软件，做好硬件系统的保障工作。同时，医院应配备符合相关标准的信息化管理系统。其中，针对人力资源信息化管理系统的设置，应依据医院的具体情况与人力资源管理的实际需求，选择高质量且安全性高的服务器系统，配备备用服务器，以备不时之需<sup>[6]</sup>。为保证人力资源信息化管理系统始终处于安全、稳定的运行状态，医院在执行常规操作时，应做好相关软件和硬件设备的保养与维护工作，降低设备故障风险。

### 3.4 加强信息数据安全防护

信息数据安全防护是人力资源信息化管理体系构建的重要保障，医院必须高度重视信息数据安全防护工作，以免发生数据泄露或是丢失等问题。由于医院人力资源信息化管理系统存储了大量的数据信息，加上系统本身存在较强的开放性，极易受到多种客观因素的影响。因此，在运用信息化管理系统时，必须落实好信息数据安全防护工作，在构建人力资源信息化管理体系时，打造完善、科学的信息数据安全防护体系，如安装杀毒软件和防火墙、制定完善的网络监控机制等，实现对系统的全方位防护，强化对外部环境的防护。同时，医院应加强对管理人员的信息数据安全教育培训，充分认识到信息数据安全防护对于自身与整个医院发展的重要性，规范其系统操作行为；加强对医院内部员工的信息数据保密培训与交流，促使其能够严格遵循相关制度和规范。

### 3.5 提高信息管理模块的调整效果

医院在推进人力资源信息化管理工作时，应注重各个科室部门的人力资源配置，提升信息化的灵活性，进一步完善和优化信息管理模块，保证各科室部门人员岗位的合理配置，提升人力资源管理效果。同时，结合医院信息化的具体需求，对各部门信息地增减和调整进行精准分析。尤其是对于信息化系统扩充所需的相关支持加以总结归纳，正确获取各个科室部门的数据信息，以此为依据进一步调整和改进行信息管理模块，保证人力资源信息化的成功实施。以某医院为例，遵循“科学合理”“务实高效”的原则，对现有的医院业务工作进行深入分析和整理，将人力资源信息化管理划分成6个模块，包括人力规划、人员管理、合同管理、考勤管理、招聘管理和报表平台管理，提高人力资源管理的工作效率，实现对人员信息档案的高效整理。便于医院管理层实时

了解医院的人才储备情况，依据医院的整体规划与业务要求制定人才招聘方案。便于医院管理层了解医院员工的年龄、学历与职称等方面的结构信息，制定出更加合理的人才配置方案。

## 结语

对于现代医院而言，通过将信息化技术引入到人力资源管理中，构建科学、有效的信息化管理体系，有利于减轻人力资源管理部门的工作压力，提高管理工作质量和效果，为医院的高质量发展提供有力支撑。基于此，在具体实践中，医院应充分认识到信息化技术的独特价值，立足于自身发展规划和业务需求，积极构建人力资源信息化管理体系，切实提高自身的管理水平。<sup>[8]</sup>

## 引用

- [1] 蒙路阳. 公立医院人力资源管理信息化建设研究[J]. 现代商贸工业, 2023, 44(1): 112-114.
- [2] 刘源. 探讨医院人力资源的信息化管理及建设措施[J]. 中国民商, 2023(7): 182-184.
- [3] 宋扬, 刘鑫, 刘波. 医院人力资源管理信息化建设研究[J]. 中国卫生产业, 2023, 20(8): 230-233.
- [4] 汪洋. 浅析信息化建设在医院人力资源管理中的应用[J]. 经济师, 2022(11): 254-255+257.
- [5] 张波, 刘小鹏. 公立医院人力资源管理信息系统建设的实践与思考[J]. 管理学家, 2024(2): 88-90.
- [6] 谢艳清, 范志通, 吕雅杰, 等. 浅谈现代化医院人力资源信息管理系统的建设与思考[J]. 现代医院, 2023, 23(4): 626-628.

# 基于智慧矿山的无感打卡系统研究与应用

文◆陕西陕煤陕北矿业有限公司 刘坤

## 引言

随着智慧矿山和智慧园区的不断发展,人脸识别技术在考勤管理中的应用越来越广泛,在考勤管理中扮演着越来越重要的角色。取代了刷卡签到的传统方式,提高了大多数地区的签到效率和精准度。传统打卡方式通常需要人工操作,如刷卡、签到或使用指纹等方式。然而,这种方式受人员的诚实性、主动性等因素影响,存在欺骗性或被绕过的风险。传统打卡方式的时效性和实时性较差,特别是在大型矿山中,需要花费较长时间收集、整理和处理打卡数据,导致实时监控和管理变得困难。此外,传统打卡方式容易受到人为因素和环境因素影响,如磁卡损坏、签到单遗失等,导致数据准确性下降。

作为一种高效便捷的出勤方式,无感人脸识别出勤、大数据的出现以及算法的发展让深度学习技术有了长足的进步,主流的人像识别已经取得了丰硕的成果。Facebook 提出的 DeepFace<sup>[1]</sup> 是基于人脸 3D 建模的人像卷积神经网络应用,香港中文大学汤晓鸥团队提出的 DeepID<sup>[2]</sup> 系列,将图像进行分割,对每一块进行

单独特征提取,最后将多个人脸区域特征拼接得到图像的总特征。

利用高精度传感器和自动化设备,通过网络连接和云端技术,智慧矿山对打卡数据进行实时采集、传输和存储,使管理人员在任何时间都能对工作情况了如指掌,并及时作出调整和决策。减缓了人工操作的依赖性,有效防止风险发生,保障了数据的安全性和可靠性。通过图像感应器上报的打卡数据,利用软件系统进行人像分析,直观展现矿区人员打卡情况,实现自动化上层操作策略或为管理人员提供决策依据。为实现“无感打卡”<sup>[3]</sup>的区域化智能决策和自动化协同作业提供了极大的便利,创造了无感打卡系统,整合了多系统信息,提高了工作效率,提高了管理的便捷性和安全性,促进了采掘业的发展。

## 1 系统整体框架

基于智慧矿山的无感打卡系统框架如图 1 所示,根据通用性原则,分为软件部分和硬件部分,根据园区实际需求进一步拓展,建立与互联网及相关应用的连接和数据共享,根据需求和场景灵活设置终端应用。

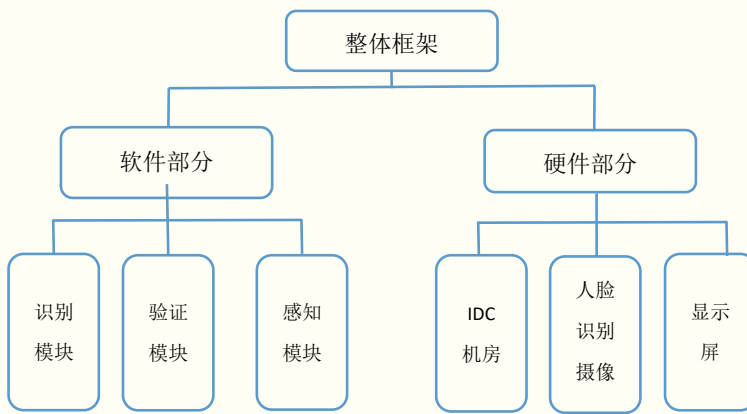


图 1 无感打卡系统框架

基于智慧矿山的无感打卡系统的设计实现,从软件和硬件两个角度进行考虑。在软件方面,设计合理的系统架构、数据存储与管理方案、算法设计和优化以及用户界面设计。在硬件方面,部署定位设备、传感器、摄像头和通信设备等硬件设施。通过软硬件的协同工作,实现矿山

【作者简介】刘坤(1985—),男,陕西府谷人,本科,工程师,从事矿山智能化工作。

工作人员的无感打卡功能，提高矿山管理的效率和安全性<sup>[4]</sup>。

## 2 系统模块设计

### 2.1 软件部分

人脸识别算法以提取和比对人脸图像特征为核心，目标是从人脸图像中提取特征向量，该向量标识个体，包括人脸的形状、纹理、颜色等信息。对个体的识别和验证通过将特征与数据库中已知的人脸特征进行数量比对实现，主要功能模块设计如下。

#### 2.1.1 感知模块

该模块基于智慧矿区摄像机识别和人脸识别技术，实现自动打卡、大容量人脸库、陌生人识别和预警以及人员属性识别等功能，提高了员工打卡体验度，减少了服务器资源消耗，增强了系统的安全性和管理能力。为了实现对矿区内人员的实时感知，选择合适的传感器，并布置在关键位置。首先，利用红外线感应器、超声波感应器等技术，实现对进出人员的检测，做到“心中有数”。其次，通过视频监控摄像头配合作识别算法，对矿区内的人员行为进行实时监测。最后，使用温度传感器、湿度传感器等检测室内环境变化的环境传感器，通过采集传感器的数据，结合智能化的算法进行处理，实时感知矿区内人员的存在，确保准确性和实时性。

#### 2.1.2 识别模块

由于实际矿区场景环境复杂，图像采集受低照度、尺度多变和衣物遮挡等因素影响，应对人脸部影像进行预处理，以提升人脸辨识精准度。

首先，使用 Haar Cascade 算法和 CNN 网络对从摄像头捕获的图像进行定位和裁剪，以获取人脸区域。预处理后的图像使用关键点检测方法，将人脸区域进行旋转、缩放和平移，使人脸的眼睛、鼻子和嘴巴对齐到标准位置。其次，使用 Eigenfaces 方法<sup>[5]</sup>提取出对齐后的人脸图像中具有鉴别能力的特征向量。为进一步精准识别矿区内人员身份，采用人像识别技术和深度学习算法相结合的方法。一是采用 Deep Learning 算法进行模型训练大量采集者面影影像资料。在实时识别过程中，通过摄像头获取人脸图像，并将其与事先训练好的模型进行比对，识别出人员的身份信息。最后，为了提高识别准确性，引入活体检测技术，以区分真实人脸和照片等欺骗手段，实现对矿区内人员身份的精准识别。

#### 2.1.3 验证模块

在设计基于人脸识别的无感打卡系统时，验证人脸是否为系统中的注册用户至关重要，应对数据库中已知的人脸特征进行提取向量比对。由于矿区复杂的场景环境和工作人员着装、遮挡、光线等方面的差异，使真实场景下的模特泛化性、鲁棒性大打折扣。为解决上述问题，针对矿区人员穿戴问题，提出了基于外观不变的通道注意力特征提取网络 (CANET)，提高了模型对人员外观变化的适应性，在矿区场景下实现了对人员身份的准确识别 (Community)。抽取面部关键部位的特征参数，如眼、鼻、口部位以及尺寸等，通过主成分分析 (PCA) 进行降维处理，产生具有区分性的特征向量。将提取到的特征向量与数据库中已知的人脸特征进行比对应后得出结论。

为了确保打卡的准确性和安全性，系统加入人像的重识别功能。针对矿区人员统一工作服的困难，提出了以权重约束为基础，保证模型得到更好区分度和高性能的样本损失函数 (Trihardwloss)。针对光线和遮挡问题，Colorj 和随机擦除 (REA) 两种数据增强策略在实际场景中改善了模型的泛化性和坚固性。根据特征匹配的结果判断是否为合法用户。如果配型成功，就会记录打卡时间，产生相应的数据记录。为了防止作弊行为，利用活体检测功能抵御照片、视频等代打卡作弊手段。活体检测技术<sup>[6]</sup>可以通过分析人脸图像中的微小运动，如眨眼、张嘴等生理信号，判断是否为真实的活体人脸。只有当活体检测结果为真时，才允许进行打卡操作，确保系统的可靠性和安全性。

### 2.2 硬件部分

#### 2.2.1 人脸识别摄像头

人脸识别摄像头是用来采集人员脸部特征和识别的设备，它利用高清摄像头自动捕捉并识别进出人员信息，实现自动上下班打卡，自动进出统计。人脸识别摄像头设置在采集区门口或其他需要出勤的地方，无需与设备直接接触就可以获取人脸图像，无需手机、打卡机等设备就可以实现轻松打卡，无需专门配合采集设备，被采集者在无感知的情况下实现人脸图像的获取，被采集者不易察觉。人脸识别摄像头识别准确率达 99% 以上，安全性和可靠性更高。

信号采集由高精度图像传感器和控制器 (Controller) 两部分组成。图像传感器负责捕捉人脸图像，并将其转换为数字信号上

传至数据处理中心。控制器负责控制图像传感器的工作状态，并根据数据处理端下达的命令对采集到的数据进行处理并反馈。为实现灵活部署，图像传感器应根据需求进行选择 and 配置。选择高分辨率的传感器有利于提高图像质量，也可使用具有特定功能（如红外成像）的传感器满足特殊需求。此外，根据矿区实际环境调整传感器的曝光时间、增益等参数，有利于采集图像画质达到最佳化。

### 2.2.2 IDC 机房

IDC 机房是记录出勤打卡数据、工作人员照片保存与管理的设备。服务器采用本地化部署方式，无感考勤数据存在于企业内部，不在云端，因此更加安全可靠。服务器采用最新的 RAID 安全备份技术，增加了数据的安全性。Server 提供排班管理、假期管理、流程设定、出勤资料查询、自定报表、规则决策树、自定义 workflow、配置报表等行动打卡功能以及低码开发技术。

云端伺服器群组部署资料处理层，对收集到的人像资料进行实时处理与分析。通过先前构建的感知、识别、验证等算法模块，对人像数据进行识别、比对和统计等操作，实现无感打卡功能。将采集到的人像数据进行预处理，包括图像增强、去噪、特征提取等操作，以提高后续处理的准确性和效率。通过与已有的人脸数据库进行比对，判断当前人像是否存在于数据库中，从而实现无感打卡的功能<sup>[7]</sup>。

除了无感打卡功能外，在 IDC 中部署的数据处理层还可以

根据客户应用端的需求，对数据进行处理和分析。例如，根据人像数据生成相关数据、表格、图示、视频等应用，以便客户应用端能够更直观地展示和理解数据。同时，这些应用请求也可以发送到总控制室，实现整体呈现，方便控制人员及时下达相关操作指令。因此，依托智慧矿山 IDC 机房，实现本地应用的实时、灵活部署，避免了数据传输的延迟和网络不稳定等问题，提高了数据处理的速度和可靠性。

### 2.2.3 显示屏

显示屏是显示人员考勤信息的设备，通过连接人脸识别摄像头和服务器，将识别的头像、姓名、工号等信息显示在大屏上，即可完成人员考勤签到。显示屏还可以将打卡记录推送至公司管理大屏或员工绑定的微信公众号上，不仅可以提醒员工打卡情况，还支持多人无感同时签到，有效解决打卡排队拥挤和效率低的问题，有利于提升企业形象，方便员工打卡。

## 结语

本文介绍了基于智慧矿山的无感打卡系统方案设计，具体方案落地和部署应结合矿区的实际情况和需求灵活调整。若环境恶劣，如高温、高湿和灰尘等，都会影响系统的正常运行。此外，光照条件、面部表情、衣服异物遮挡等因素，也会对面脸识别的准确性造成影响。为保证系统稳定可靠，应采取相应的保护措施。在后续研究中，应对人脸识别算法进行不断的改进和实验，提高其鲁棒性和稳定性。最终实现提高矿区管理效率、增加安全便捷性、智慧园区开发利用和无感打卡制度的实施。■

## 引用

- [1] Taigman Y, Yang M, Ranzato M A, et al. Deepface: Closing the Gap to Human-level Performance in Face Verification[C]// Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2014: 1701-1708.
- [2] Sun Y, Wang X, Tang X. Deep Learning Face Representation by Joint Identification-Verification[J]. arXiv preprint arXiv:1406.4773, 2014.
- [3] 王国法, 王虹, 任怀伟, 等. 智慧煤矿 2025 情景目标和发展路径[J]. 煤炭学报, 2018, 43(2): 295-305.
- [4] 张瑞新, 毛善君, 赵红泽, 等. 智慧露天矿山建设基本框架及体系设计[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(10): 1-23.
- [5] 张中伟, 陈浩. 基于边缘计算的人脸识别模型研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2023, 18(4): 363-371.
- [6] 刘文斌. 特征支路优化的多模态活体检测系统设计与实现[D]. 厦门: 厦门大学, 2021.
- [7] 胡欣. 广电融合网在全矿区可视化应急指挥通信中的应用探讨[J]. 无线互联科技, 2018, 15(23): 1-3.

# 基于 AI 模式构建机场信息 系统测试专属智能代理的探索

文◆中国民航信息网络股份有限公司 谢丽丽 孙丽颖  
成都民航西南凯亚有限责任公司 李明之 杨权川 祝航 林婷

## 引言

测试工具在提高数据准备、环境搭建和测试执行的效率方面发挥着至关重要的作用，已经成为测试人员不可或缺的得力助手。然而，随着工具类型和数量不断增长，工具使用成本成为亟待解决的问题。本文以机场信息系统测试组自研工具、测试资产为例，探讨基于 AI 模式构建测试工具、测试资产智能代理的可行性。

## 1 探索背景

在测试过程中，测试工具扮演的角色至关重要，对于确保产品质量和提升测试效率具有不可替代的作用。然而，测试工具需要的学习和使用成本也不可忽略。随着业务的发展，测试工具的种类、版本和数量逐渐增长，传统的测试工具整合平台已经无法满足当前测试工具的使用和普及需求。

测试人员在测试过程中，积累了大量具有高复用性的文档，统称为测试资产。随着人工智能技术的不断进步，构建一个专属的测试资产体系库，以更系统、更统一的方式管理测试过程文档以及过程资产。通过智能化分类、索引和搜索功能，该体系库有利于提高测试资产的管理效率和可重用性，有利于提升测试工作的效率和质量。

## 2 现状及问题

### 2.1 测试工具现状及问题

目前，机场信息系统测试工具虽然具备了整合平台，但是随着测试工具的不断增多，整合平台上的入口日益复杂。每个工具都具备自己的使用规则和强制要求，导致测试人员对工具使用欲望逐渐降低。因此，应深入思考这一问题，简化操作流程，统一使用风格，增强测试人员使用测试工具的灵活性。

### 2.2 测试资产现状及问题

当前阶段，测试人员在工作过程中了解相关规则或业务时，应翻阅

操作手册或搜索 Confluence 上的记录，不仅效率低下，还因文档的多样化存储方式常常需要下载多个文档并进行人工搜索，导致达不到预期结果。

目前，测试资产无法得到有效利用以及共享，亟需一种智能、便捷的方式作整合与处理。因此，采用对话的方式，使智能代理精准回答信息需求，替代现阶段高人力与时间成本的信息获取方式。

## 3 技术方案

### 3.1 测试工具智能代理

#### 3.1.1 测试工具智能代理的概念

随着 Chat GPT 发布，AI 在业务处理中显现出了巨大潜力。通过统一提问的入口，可以向强大的后台知识体系库提出任何问题，并迅速获得最佳答案。这种模式以其便捷性和智能化特点，为业务处理带来了前所未有的变革。

区别于传统的测试工具使用方法，设计一个类似 Chat GPT 的统一需求入口，并在后台集成测试工具进行响应，简化了测试工具的使用过程，提高了工作效

率，并为用户提供更智能、更便捷的服务。

### 3.1.2 技术实现方式

本技术方案由 Question 处理模块、Prompts 处理模块、Preprocess 处理模块和 Tools 集成模块组成，测试工具智能代理图如图 1 所示。

(1) Question 处理模块。采用自然语言识别技术 (NLP)，对用户问题进行文本预处理、关键词提取、情感分析，提取出用户的需求关键字。

(2) Prompts 处理模块。负责将来自 Question 预处理模块的关键字进行数据库匹配，提取出与工具业务相关的提示词，并进行重新组合，精确获取用户使用某个工具的信息需求。

(3) Preprocess 处理模块。对提示词进行匹配计算，获得最匹配的工具信息。

(4) Tools 集成模块。允许各类工具通过注册流程集成到模块中，提供统一的工具接入标准。根据计算的工具信息，调用对应的工具，返回结果或者响应执行工具对应的操作。

### 3.1.3 优缺点分析

优点为用户通过统一入口，利用关键字驱动工具的结构化处理方式，简化了信息检索和工具使用过程，提高了整体的工作效率。缺点为每个工具的关键字及其对应的匹配规则都在数据库中预先设置，这种设置方式带来了局限性，故提问者应具备一定的专业知识，且提问准确，才能得到有效的匹配和响应。采取的改进措施为除了预设的工具匹配规则外，持续的用户行为分析也是关键。因此，应收集用户的行为数据并不断学习，完善工具匹配机制，精准满足用户需求。

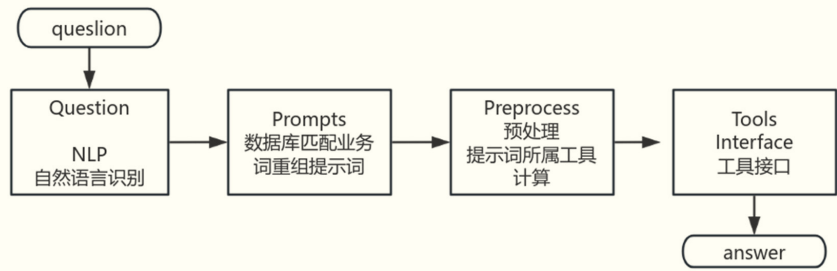


图 1 测试工具智能代理图

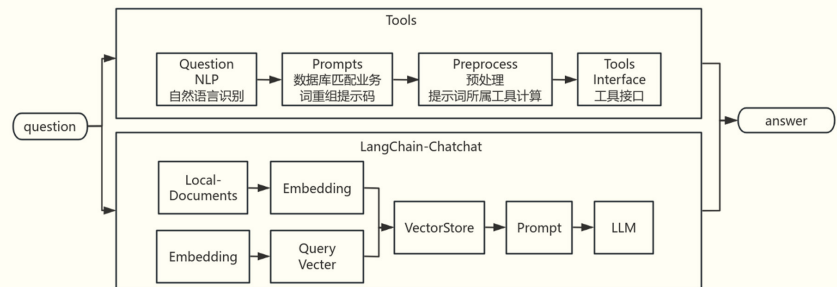


图 2 机场信息系统测试专属智能代理图

## 3.2 智能代理的扩展

### 3.2.1 扩展期望

期望构建一个专属测试的智能代理，通过统一的交互方式响应需求。同时，智能代理还应具备自我学习和持续更新的能力，不断完善知识库，精准满足需求，进一步提高测试工作的效率和质量。

### 3.2.2 测试专属智能代理的解决方案

构建智能代理未来将采用 3 种方式，即自定义开发、借助于第三方开源框架（如 LangChain-Chatchat）和 OpenAI 定制化。

打造测试专属智能代理应采取如下方式。测试工具的业务规则复杂且多变，故采用“3 技术方案的 3.1 部分”来自定义开发实现。测试资产、业务文档的智能代理，则选择第三方开源框架实现。支持把各类文档、文本加载到向量数据库中，当用户采用语义搜索时，会在向量数据库中找到最合适的片段返回。例如，机场信息系统测试专属智能代理图如图 2 所示。

## 结语

该智能代理具备离线私有化的优势，有效解决了测试工具数量庞大、种类繁多以及使用规则固化等问题。它能够全面整合测试资产、操作手册和各类规范，提供智能检索功能，简化了测试文档的管理和检索过程，避免了存放杂乱和检索困难等问题。不仅有助于统一管理和规范测试流程，还有助于形成一套完整的知识体系，为团队提供宝贵的经验财富。通过这样的体系库，能够更好地积累和传承测试经验，为未来的测试工作提供强大的支撑。■

# 电力监控系统

## 网络负载均衡控制方法研究代理的探索

文◆国网江苏省电力有限公司苏州供电分公司 熊泳璇

### 引言

随着智能电网建设的不断推进，电力监控系统得到了广泛应用，并为电力系统的安全、稳定、高效运行提供了重要保障。但是智能电网环境下电力监控系统网络负载异常、不均衡的问题一直困扰着系统的发展，因此，对电力监控系统网络负载进行均衡控制成为当前亟待解决的问题。本文以网络负载均衡控制为研究对象，在对现有网络负载均衡控制方法进行研究的基础上，提出了一种网络负载均衡控制方法。负载均衡的控制方法主要是对流媒体服务器采集设备所收到的业务请求类型是否达到门限值，进而选择运行参数与业务请求类型具有一定适配度的流媒体服务器进行处理，不仅提升了负载均衡的效率和准确性，还能有效降低系统因自身性能不足所产生的高负载问题。

## 1 电力监控系统网络负载均衡概述

### 1.1 负载均衡的概念

为了提升相关设备的性能，降低请求频率，电力系统采用负载均衡的方式将其均匀分配到不同流媒体服务器中，以便更好地提升系统和设备的拓展性和应用性能。负载均衡器通常位于应用程序前端，接受并分配传入的请求，通过使用算法来确定分配请求的最佳方式，负载均衡器可以防止任何一个资源过载或失效而导致应用程序的性能下降或停止响应。负载均衡的实现方式有多种，基于 DNS 的负载均衡可以通过 DNS 解析将来自客户端的请求分发到不同的服务器上；基于网络层的负载均衡则采用网络层的负载均衡设备将请求分发到多个服务器上；基于应用层的负载均衡会在每个请求到达之前对请求的内容进行检测，并使用一定的逻辑算法将请求转发到最合适的服务器上<sup>[1]</sup>。

### 1.2 电力监控系统网络负载均衡的意义

电力监控系统网络负载均衡主要是通过一系列技术手段，确保电力监控系统的网络流量、数据处理任务等均匀分配到各个服务器或设备上，从而优化系统性能、提高系统的可靠性和可扩展性。数据采集和分

析作为实现电力监控系统网络负载均衡的基础，通过传感器技术可以实时采集电力系统中各个节点的负载数据，对这些数据进行分析后可以了解电力监控系统负载的大小、分布以及变化趋势等，为制定负载均衡策略提供重要依据。同时，负载均衡算法可以根据电力监控系统的节点性能、网络状况和任务需求自动对负载分配进行调整。例如，轮询算法依次将请求分配到各个节点上，而比率算法则可以根据节点的处理能力来分配请求<sup>[2]</sup>。

## 2 负载均衡控制方法改进策略

### 2.1 方法流程

首先，在第一客户端发出业

【作者简介】熊泳璇（1988—），男，江西宜春人，本科，工程师，研究方向：电力系统及其自动化。

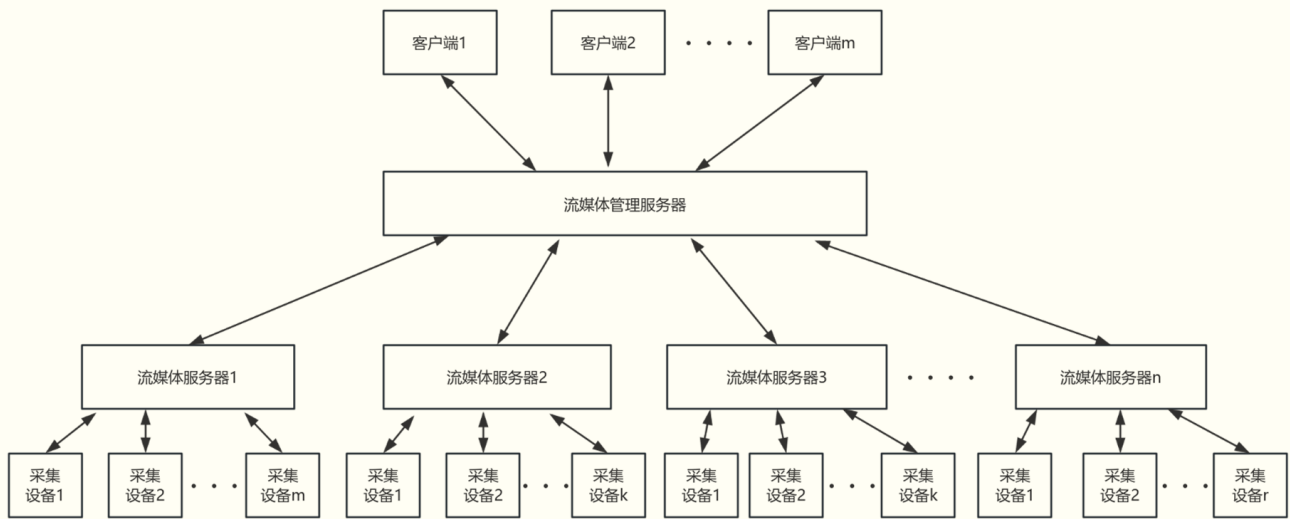


图1 负载均衡控制方法架构

务请求后，流媒体服务器通过自身的第一采集设备对相关请求进行接收处理，根据业务请求的具体内容判断其所属的业务类型。其次，流媒体管理服务器对监测结果进行分析与处理，以确定与第一采集设备相连的第一流媒体服务器是否将运行参数调整至规定范围内，确定第一采集设备是否将被请求频率控制在第一门限值内。最后，流媒体管理服务器选择一个目标服务器，该服务器的运行参数应与其所属的业务类型具备一定的适配性，将第一采集设备连接至该服务器后将各项业务请求分配其中进行处理，负载均衡控制方法架构如图1所示。

### 2.2 应用分析

负载均衡控制方法在流媒体

服务器集群应用过程中，应根据不同服务器的业务特点和类型进行不同程度上的完善。当业务类型为数码业务、转码业务或码流转发业务时，根据不同流媒体服务器的运行状态以及参数对网络宽带、采集设备、内存空闲率和CPU空闲率等相应的大小顺序进行排列，并在前N1个流媒体服务器中选择其中的一个服务器作为目标服务器。

当不同流媒体服务器的业务类型与运行参数和运行状态的适配度一致时，可以按照服务器与采集设备之间的网络带宽空闲率的大小顺序对其进行排列，并在前N2个流媒体服务器中选择其中的一个服务器作为目标服务器。

当大部分业务请求被流媒体管理服务器分配到目标服务器后仍然可以被流媒体服务器所监测到，并且根据其运行参数与设定阈值之间的差异性判断是否与采集设备进行连接。在第二客户端发出新业务请求被接收后应进行第二次参数判断才能知晓其能否满足最新业务请求，如果满足则可以将业务请求对第一流媒体服务器进行分配，不满足则对目标流媒体服务器进行分配。

### 结语

对于电力监控系统网络而言，码流转发和业务转码都能够让负载分配更加均衡，且采用排序不同流媒体服务器以及判断门限值等方式可以对各流媒体服务器的负载情况进行24h监测，并第一时间找出负载较高的服务器，通过降低采集设备被请求频率的方式对负载进行分配，进而提升整个电力监控系统的各项性能。<sup>[1]</sup>

### 引用

[1] 李晓静.基于云计算的舰船通信网络动态负载均衡控制方法[J].舰船科学技术,2024,46(6):177-180.  
 [2] 宋继勋,周春雷,沈子奇,等.基于TCN-GRU的Handle标识解析系统负载均衡算法[J].福建师范大学学报(自然科学版),2024,40(2):64-73.

# 微项目教学赋能信息科技新课堂\*

文◆厦门五缘实验学校 张艳清

## 引言

随着信息化时代的到来,信息科技变得愈发重要,培养学生的信息科技核心素养成为信息时代对人才培养的新需求,也成为学生进入社会必备的基本素养。新的教育背景下,学生的学习环境和知识需求都发生了变化,信息课堂的教育模式、教学方式的改革创新也势在必行<sup>[1]</sup>。项目式教学是国内教育界广泛关注的教学方式,《义务教育信息科技课程标准》指出以真实问题或项目驱动,引导学生建构知识,提升问题解决能力<sup>[2]</sup>。由于项目式学习跨度大、耗时长、评价难等缺点,在常规的小学信息科技课堂中实施较为困难,因此提出将项目式教学微型化,以微项目教学模式为小学信息科技课堂框架,让学生经历提出问题、原理运用、计算思维和数字化工具应用过程,提升学生的信息技术核心素养。本文从微项目教学的背景、内涵、教学设计等方面,阐述小学信息科技微项目教学的实践过程,并通过实际案例分析,验证其对培养小学生信息科技学科核心素养的有效性。

## 1 信息科技微项目教学的内涵

微项目教学是基于项目教学的基本原理,教师根据教学目标和教学内容,将传统的项目教学微型化,在课上为学生提供10~20min的探究性项目任务,采用教师引导、学生探究的方式完成学习目标的教学方法或教学模式。

信息科技核心素养是指学生在信息科技课程学习过程中要培养的核心素养,包括信息意识、计算思维、数字化学习与创新和信息社会责任,以促进学生数字素养与技能的提升<sup>[3]</sup>。

信息科技课堂微项目教学设计以学生为中心,通过构建一系列目标明确、指向信息科技核心素养的探究活动组织教学。通过问题、实践、探索和创新促进学生深度学习,以提升学生的核心素养。信息科技课堂微项目教学设计具有以下优点。

(1) 强化学生的信息意识。微项目教学鼓励学生关注生活中的信息科

技应用,增强学生对信息科技的敏感度和关注度,培养学生的信息意识。

(2) 提升学生的计算思维。微项目教学通过让学生参与实际的问题项目,培养学生对问题的抽象、分解、建模和算法设计能力,提高学生的高阶思维和解决问题能力。

(3) 提升学生的数字化学习与创新能力。在微项目教学中,学生运用信息科技知识获取、处理、评价和解决实际问题,鼓励学生动手实践,尝试创新性的解决方案,有助于培养学生的创新和实践能力。

(4) 培养学生的信息社会责任。微项目教学通常以小组合作的形式进行,需要相互协作、共

\*【基金项目】本文系教育部福建师大基础教育课程研究中心2023年开放课题“基于学科核心素养的小学信息科技微项目学习设计研究”(批准号:KCA2023310)研究成果

【作者简介】张艳清(1980—),女,福建福州人,本科,高级教师,研究方向:信息科技教学。

享信息和资源，有助于培养学生的团队合作能力。通过解决生活中的实际问题，增强学生的信息社会责任感。

## 2 信息科技微项目教学的设计方法

教师进行微项目教学设计时，首先要确保教与学习都紧密围绕学科核心素养，以学定教，把真实情境、问题情境融入微项目，引导学生在微项目学习过程中利用资源和工具进行探究，在微项目实施过程中内化知识，拓展能力，发展核心素养。信息科技微项目教学设计可以从以下4个方面进行构思（见图1）。

（1）设计“微内容”。分析信息科技新课标和教材内容，厘清本课的核心知识、能力、素养，确定微项目的教学内容。

（2）设计“微问题”。巧设微项目的驱动问题，驱动问题的切口要小，并且贴近学生的学习生活，适合学生探究和解决。

（3）设计“微展评”。确定成果的形式和评价方式，评价应关注“学生做了什么”，聚焦学生的微展评核心素养和核心目标达成。

（4）设计“微探究”。将微探究拆解成任务链，促使学生循序渐进地探究。探究任务设计既要符合学生的认知水平，又要具有适当的挑战性，适合学生在较短时间内完成。

## 3 信息科技微项目教学设计案例

以图形化编程《AI体感投篮》一课为例，阐述微项目教学设计。本课选自闽教版六年级下册第一单元《人工智能基础：体验人机互动》，主要学习视频侦



图1 微项目教学设计方法

表1《AI体感投篮》微项目教学设计要点

课题	闽教版信息技术六年级下册《AI体感投篮》
微内容	视频检测指令
微问题	如何制作AI体感投篮游戏？
微展评	展示：体感投篮游戏作品 评价：班级优化大师、评价表（作品、个人）
微探究	填写项目规划记录单——探究视频测试指令——编写程序

测指令。学生通过探究指令的作用、编写程序，实现利用摄像头侦测人体动作，达到人机交互的效果。根据微项目教学的设计方法，确定设计要点（见表1）。

微项目教学的流程包括入项、探究、出项三大部分。本课以该流程为框架，将教学过程设计为以下4个环节。

（1）环节一：提问题，定项目。

1）播放一段师生对话视频，师提问：观看视频，你能提出什么问题？

2）师生交流：做一个让身体动起来的健康的游戏，同学们有什么想法？

3）师揭示课题：一起制作AI体感投篮游戏。

本环节设计意图：通过师生对话引出问题，学生结合之前所学和生活经验，联想到制作体感投篮游戏，明确本课的微项目主题，增强学生的信息意识，激发学习兴趣。

（2）环节二：明原理，做规划。

1）请学生上台体验体感投篮游戏，并交流感受。师提问：舞台画面和上一节课的投篮游戏和操作方式的不同之处。

2）小组讨论：体感游戏实现人机交互的方式。

3）小结：体感游戏通过人体动作操控，程序让摄像头获取人体动作变化，并将动作变化的量值传递给程序，再通过程序指令做出反馈。在硬件上需要摄像头的支持，在软件上需要程序的支持。

4）教师指导：要编写一个程序，首先要理清解决问题的步骤，也就是算法。可以先用自然语言描述游戏规则，再从游戏规则里提炼出流程图，最后转化成程序语言。

5）小组讨论并填写项目规划记录表。思考：AI体感投篮游戏的规则、舞台角色、角色的工作流程，并将讨论的结果填写在项目规划记录表中。

6）展示学生规划记录表，师生交流。

本环节设计意图：从现象到本质，让学生体会到体感游戏中程序的重要性。回顾算法大概念，加深学生对这一概念的理解。以项目规划表为探究学习的支架，通过小组合作完成程序流程图，为后续完成作品做

好规划，培养学生的计算思维。

### (3) 环节三：勤探究，做作品。

1) 引导学生阅读导学案，并完成里面的探究任务，通过师生交流，突破本课技术难点。

2) 布置探究任务，基础任务：编写程序，实现 AI 体感投篮基础版效果。提高任务：在完成基础版后，完成规划表中的创意设计部分。

### 3) 反馈学生编程过程中存在的问题，继续优化代码。

本环节设计意图：学生动手实践，明确侦测指令的作用和使用方法，编写体感投篮游戏做好技术支持，提升学生的数字化学习与创新能力。

### (4) 环节四：展成果，会评价。

1) 展成果：展示学生体感投篮游戏作品，说一说哪些方面还可以优化？

2) 会评价：小组间相互浏览作品，填写小组评价表，完成自评与互评部分。

3) 能拓展：AI 体感游戏不仅可以用来休闲放松，还应用到了不同的领域：帮助病人在玩乐中完成肢体康复，作为自闭症干预训练工具，让特殊儿童在科学的干预教育方式中达到“玩与干预”相结合的目的。

本环节设计意图：展示学生的作品，请学生自评、互评，充分交流，达到学习他人作品优点，改善自身的作品的目的。了解 AI 体感游戏在身体康复等方面的应用，增强学生的信息社会责任感。

## 4 信息科技微项目教学模式实践反思

经过一年多的初步实践已充分证明，在信息科技学科开展微项目学习完全可行，能有效培养学生的数字素养与技能，提升信息科技课堂的教学效率。在本课的教学实践中，对微项目教学模式的应用有以下 3 点反思。

### 4.1 选择适切主题，确保项目质量

选择适切的主题是确保项目成功的关键。选择与信息科技相关的、学生感兴趣的实际问题，提高他们的学习动机和参与度，以确保项目能够顺利进行并达到预期目标。在本课中，以学生身边的问题为情境导入，因老师长期批改作业，肩颈酸疼，学生要为老师编制体感游戏作为微项目主题，贴合学生的学习与生活。

### 4.2 提供学习资源，助力项目开展

学习资源不仅有助于学生对项目情境的深入探究，也便于核心知识的构建迁移，给问题的解决提供思路。学习资源包括教材、在线平台、工具和设备等，根据学情和教学内容提供合适的资源，以确保学生能经历多样化、个性化的实践，顺利完成微项目。在本课教学过程中，提供了项目规划表、样例程序、微视频等学习资源帮助学生进行学习和探究，降低了难度，让学生跳一跳就能摘到桃子。

### 4.3 建立评价体系，增强项目效果

制定明确的评价标准和反馈机制，对学生的微项目成果进行全面评

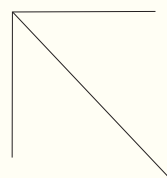
估，包括过程、成果和素养等方面，将评价作为一个连续、动态的过程，与教学相互渗透。在本课教学过程中，采用了班级优化大师、评价表和口头评价等评价方式，对学生的学习过程和学习结果进行评价，以便及时了解学生的研究进程、出现的问题以及成果质量。

## 结语

信息科技微项目教学是一种旨在培养学生学科核心素养，注重实践、探究和合作的教学模式。不仅是一种新的教学组织形式，还是教与学范式的迭代升级，并赋能信息科技课堂，构建课堂新样态。<sup>[5]</sup>

## 引用

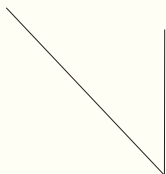
- [1] 中华人民共和国教育部.义务教育信息科技课程标准(2022年版)[M].北京:北京师范大学出版社,2022.
- [2] 夏雪梅.项目化学习设计:学习素养视角下的国际与本土实践[M].北京:教育科学出版社,2018.
- [3] 邹周亮.核心素养背景下初中信息技术教学策略探究[J].读写算,2019(9):122.



# 基于 DSP F28335 和 CCS 的捷联惯导实时解算

文 ◆ 中国海警局东海分局  
山东省军区烟台第三离职干部休养所

张 阳 李文斌  
孙振岚



## 引言

惯性导航系统是一种不依赖于外部信息、也不向外部辐射能量的自主式导航系统。捷联式惯性导航系统则是将惯性器件直接固连在运载载体上，惯性器件可以感应运载体的加速度和姿态等信息，且不受任何外部因素的影响，实现自主式导航<sup>[1-2]</sup>。对比传统的平台式惯导系统，捷联式惯性导航系统具有高度数字化的特点，通过计算机实现其导航平台的功能，数字平台替代物理平台，不仅降低了系统的体积，还减少了成本支出。DSP（Digital Signal Processor）开发板即数字信号处理器，拥有能够实现数字信号处理技术的芯片，具有处理功耗低、精度高和实时性强



【作者简介】张阳（1998—），男，安徽淮南人，本科，助理工程师，研究方向：通信技术。

【通讯作者】李文斌（1975—），男，福建惠安人，高级工程师，硕士研究生，研究方向：通信技术。

等特点，广泛应用于各种嵌入式系统中<sup>[3]</sup>。利用捷联惯性测量组件（加速度计和陀螺仪）输出的数据信息，基于 DSP F28335 开发板和 CCS 开发环境，实现对运载体的位置、速度和姿态等导航信息的实时解算。为了完成捷联惯导解算，应先实现捷联惯性测量组件与 DSP F28335 开发板的串行通信，然后完成对嵌入式捷联惯导解算程序设计与实现。本文设计分析了捷联惯导嵌入式系统和串口通信，实现了导航数据实时解算输出，并通过了静态实验验证，实现了惯性测量组件与 DSP 的串行通信、嵌入式惯导解算程序设计与实现。通过对比惯导本身结算的数据，本文设计的嵌入式惯性导航结算系统运行稳定、解算可靠。

## 1 DSP F28335 和 CCS 简介

DSP F28335 是美国德州仪器公司推出的一种微处理器，具有 150MHz 的高速处理能力，具备 32 位浮点处理单元，在数字信号处理领域表现优异，广泛应用于工业控制、汽车电子、太阳能逆变器、数码电源控制和其他高性能实时信号处理中<sup>[4]</sup>。

CCS (Code Composer Studio, CCS 集成代码开发环境) 是专门用于 DSP 芯片的集成软件开发平台，采用了类似 Windows 的界面，集成了编辑、编译、连接、软件仿真以及硬件调试等功能。不仅提供了配置、建立、调试、跟踪和分析程序的工具，还便于实现嵌入式信号处理程序的编制和测试，加速程序开发进程，提高设计工作效率。

## 2 嵌入式系统

嵌入式系统以应用为中心，以计算机技术为基础，具有软硬件可裁剪的特点，适用于对功能、可靠性、成本、体积、功耗等有严格要求的专用计算机系统。系统由硬件和软件组成，独立运作，并根据具体的应用任务，以功耗、成本、体积、可靠性、处理能力等为指标进行选择。

嵌入式系统开发流程以及姿态参考的系统架构与桌面系统对比，嵌入式系统在系统的内存占用、功率消耗、体积和成本等方面有诸多限制，同时在可靠性、实时性等方面有着更高的要求。嵌入式系统的核心是应用软件和系统软件，由于存储空间有限，软件代码编写时需要考虑内容的紧凑性、可靠性，且对实时性有严格要求。随着嵌入式系统的广

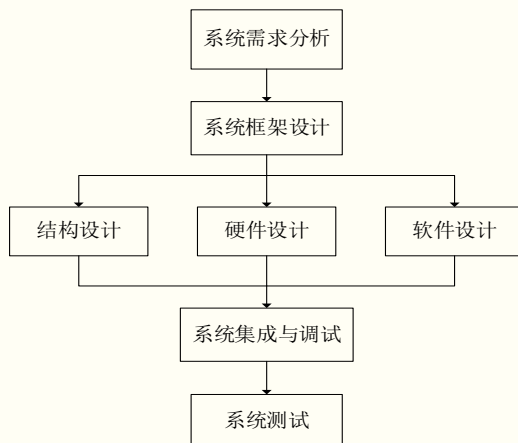


图 1 嵌入式开发流程

泛应用，系统功能越来越复杂，系统开发重心也越来越集中于软件开发。

典型的嵌入式系统在软件部分的功能实现与开发费用在整个系统中占据较大比重。嵌入式开发流程如图 1 所示，一般分为 5 个阶段，一是系统需求分析，二是系统构架设计，三是结构设计、硬件设计和软件设计，四是系统集成与调试，五是系统测试。

## 3 串口通信

串口通信是指串口按位发送和接收字节的通信方式。串行通信接口 (SCI) 模块分为 SCI-A、SCI-B、SCI-C 3 个串行通信接口模块，可任意使用其中一个或两个。SCI 是两线的异步串行端口，分为 RXD 与 TXD。当两个 CPU 通信时，CPU1 发送端口与 CPU2 的接收端口相连，CPU1 的接收端口与 CPU2 的发送端口相连，传送时逐位传送。

### 3.1 DSP F28335 串口工作模式

#### 3.1.1 空闲线工作机制

首先，发送起始位，单独的区间 (Address) 发送地址，有一个延迟周期可大于 10bit。其次，传送数据，有一个 10bit 的空闲周期，当最后一个数据发送完成后，标志当前数据块发送的整个过程完毕，第二个数据块发送前需要延时 10bit，再进行发送。

#### 3.1.2 地址位机制

每帧中都有区别数据与地址的信号，为“1”时表示地址，为“0”时表示数据，每个数据之间的延时非常小，或者不需要延时。与空闲线模式对比，空闲线模式有自己静态的地址位空间，可发送大量数据，发送数据大于 10

帧时具有明显的优势，而小于 10 帧时，则效率不高。地址位模式没有独立的地址位空间，用“0”与“1”区别地址和数据，当数据小于 10 帧时数据传送效率比较高。

串行通信包括 1 个起始位，1 ~ 8 个编程的数据位，1 个可选择的奇偶检验位，还有 1 个或 2 个停止位。每一个 bit 的数据发送周期为 8 个 SCICLK，采样周期一般为 3 次，保证每次有结果。当接收到起始位为连续的 4 个低电平后，系统认为收到启动信号。

### 3.1.3 SCI 模块

SCI 模块支持 CPU 与其它异步外设之间的使用标准非归零码 (NRZ) 格式的数字通信。SCI 接收器和发射器具有双缓冲功能，并且它们都有独立的使能和中

断位，两个器件可独立或者同时运行在全双工模式。为了确保数据完整性，SCI 在中断检测、奇偶校验、超载和组帧错误方面，对接收到的数据进行检查。通过 16 位波特率选择寄存器，可将比特率设定为超过 65000 个不同的速度。

### 3.2 串口通信设计

通过宏定义，初始化对应的 GPIO。完成 SCI 工作方式及参数设置，包括数据格式、波特率、使能发送、接收功能等。SCI 发送字节函数，使用 SCI 进行数据收发。SCI 发送数据前，先查询发送完成标志，如果发送完成则可以继续发送下面的数据，否则一直等待<sup>[5]</sup>。SCI 接收字节函数时，有发送就会有接收数据。SCI 在接收数据之前，应先判断接收完成标志，然后再开始接收下面的数据。

本文使用 DSP F28335 模块，其接收与发送都具有一个 16 等级深度的 FIFO (First In First Out, 先进先出)，旨在实现实时捷联惯导信息采集解算，并支持多个数据接收，即使用 FIFO 功能。串口通信主要分为 4 个步骤。

- (1) GPIO 初始化。
- (2) 初始化串口 IO 口。
- (3) 初始化串口寄存器，设置波特率。
- (4) 初始化 FIFO。

串口通信在串口助手工具下，实现了数据收发功能，串口助手对数据的收发如图 2 所示。

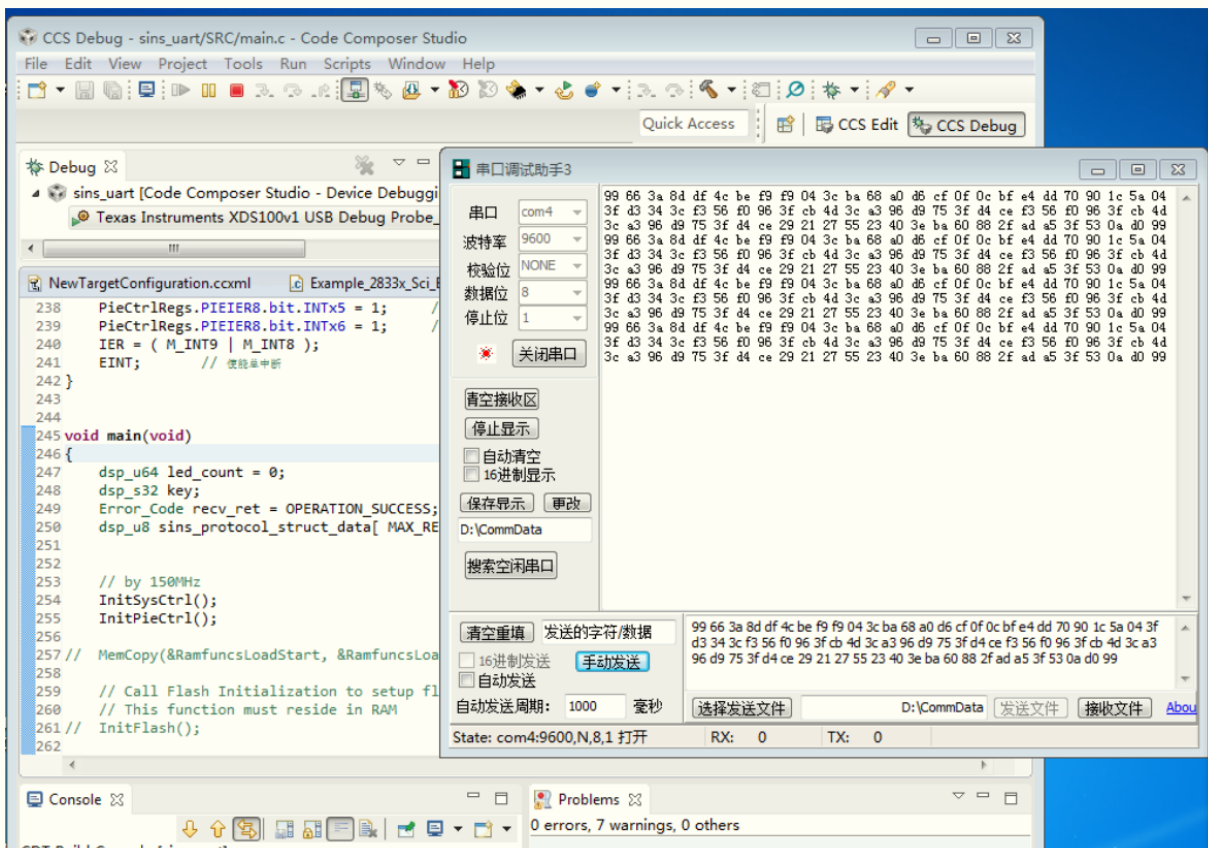


图 2 串口助手对数据的收发

#### 4 静态实验验证

为了研究捷联惯导在不同工作状态下的实时解算，进行静态实验，以验证在静态条件下的解算性能，验证能否实现捷联惯导原始数据的实时采集、解算和输出。本文实验数据采集和解算的频率为 100Hz，导航信息输出的频率为 10Hz，目的在于通过不同工作状态下的实验对本文设计的嵌入式惯导系统进行对比分析。

设计静态实验，应根据实验设计连接实验器件（见图 3）。使用的捷联惯性导航系统为北京自动化控制设备研究所研制的 FOSC 型捷联惯

导系统，选用北京自动化控制设备研究所研制的 FOSC 型光纤陀螺 IMU 组件，在实验室环境下采集光纤陀螺惯导原始数据，INS 陀螺仪零偏约为  $0.02^{\circ}/h$ ，输出频率为 200Hz。实验惯导位于北纬  $30.58^{\circ}$ ，东经  $114.24^{\circ}$ ，初始横滚角、俯仰角、航向角分别为  $-4.783^{\circ}$ ， $-13.54^{\circ}$ ， $51.825^{\circ}$ ，初始北向速度和东向速度均为  $0m/s$ ，实验时长约 3.5h，每五分钟记录一个数据。

将捷联惯导通电，惯导本身解算的导航信息实时显示在笔记本界面上，将惯导的初始对准值输入程序中，经过调试、编译，通过仿真器在 DSP F28335 开发板中运行，惯导的原始数据经开发板解算后，将导航信息显示在

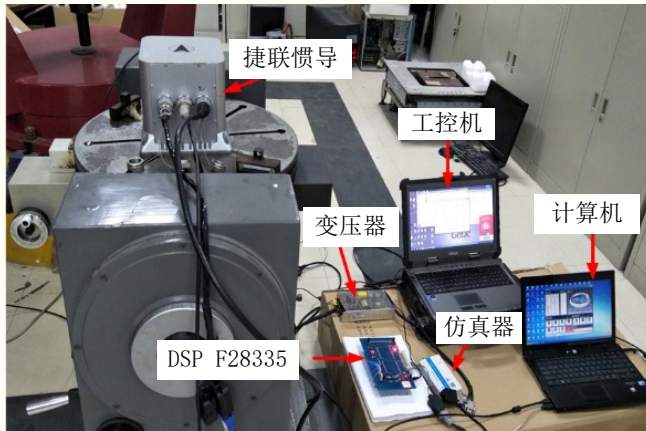


图 3 实验器材连接

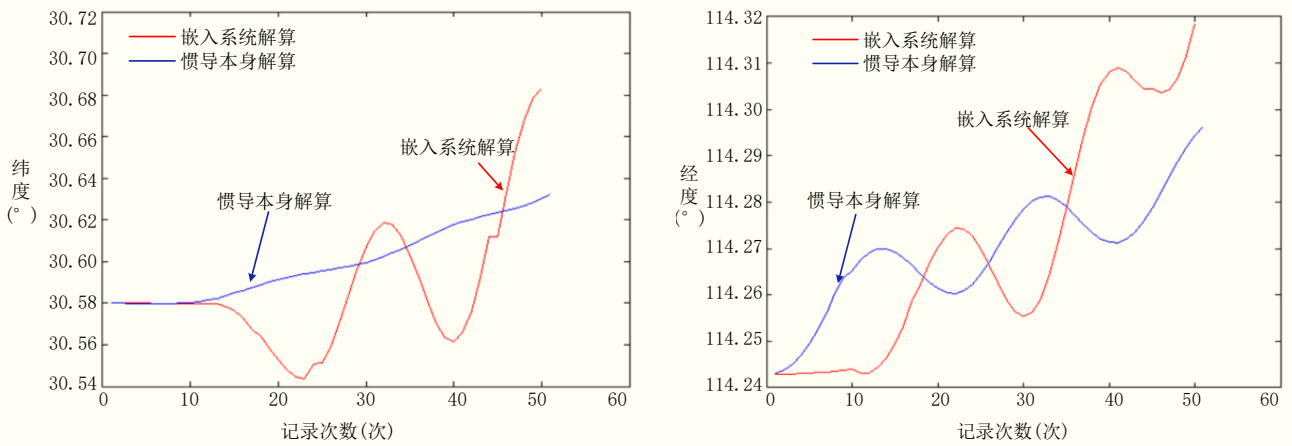


图 4 位置解算曲线

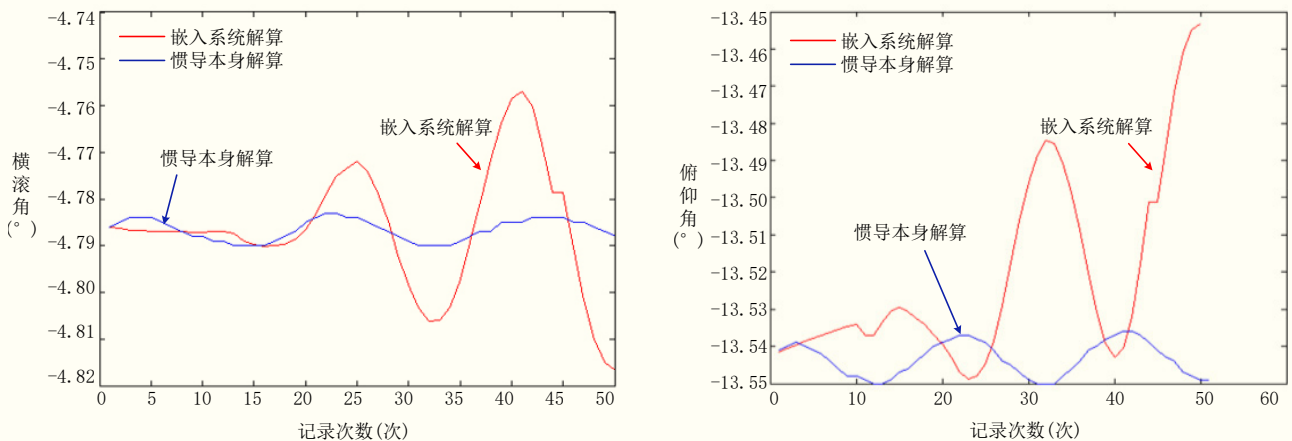


图 5 姿态角解算

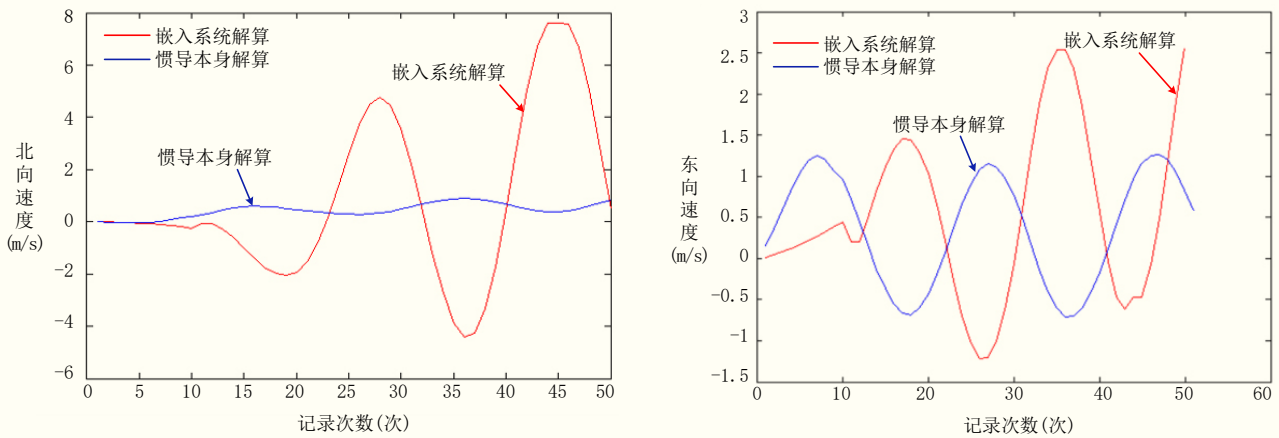


图 6 速度解算曲线

表 1 经过 3.5h 嵌入式捷联惯导系统解算与惯导本身解算误差峰值

参数	位置参数		速度参数			姿态参数	
	纬度误差 (°)	经度误差 (°)	东速误差 (m/s)	北速误差 (m/s)	横滚角误差 (°)	俯仰角误差 (°)	航向角误差 (°)
最大差值	0.05	0.08	7.5	1.5	0.025	0.052	0.3

工控机的界面上。假如在初始对准过程中，初始值发散比较明显，必须重启惯导进行重新初始对准（初始对准时间为 300s），选取初始对准状态比较好的一组进行实验。

同时，保存惯导本身解算的信息与基于 DSP F28335 开发板研究设计的嵌入式导航解算系统的解算数据，画出曲线进行对比分析（红色曲线为本文设计的嵌入式捷联惯导系统解算数据，蓝色曲线为惯导本身解算的数据）（见图 4、5、6）。

在 3.5h 的实验时长内，工业产品解算出的纬度、经度、横滚角、俯仰角、航向角最大误差分别为 0.05°，0.08°，0.023°，0.055°，0.4°，本文构建的嵌入式解算系统得到的纬度、经度、横滚角、俯仰角、航向角误差峰值分别为 0.1°，0.03°，0.025°，0.052°，0.3°，考虑到实测数据实验中使用的惯性测量组件陀螺零偏稳定性指标为 0.02°/h，经度误差在理论误差允许的范围之内。工业产品解算出的北向速

度、东向速度最大误差分别为 7m/s 和 2.5m/s，系统北向速度、东向速度误差峰值分别为 7.5m/s 和 1.5m/s，误差较工业产品的解算结果相对较大。从误差特性上看，系统的北向速度、东向速度解算结果有明显的周期性，振荡周期符合惯性导航系统舒勒周期的基本特性。因此，可以得出结论，解算结果基本正确，能够反映惯性导航系统的误差特性<sup>[6]</sup>。

### 结语

根据多次实验的分析结果，嵌入式惯性导航解算系统运行稳定可靠，解算结果正确。静态实验验证了基于 DSP F28335 开发板研究设计的嵌入式导航解算系统的可用性，实时解算的位置、姿态、速度信息均与惯导本身解算得出的结果近似。从对误差数据处理的结果可以看出，各项误差值均在可接受的范围之内，表明捷联惯导的嵌入式设计与实现具有实用价值。同时，实验过程中存在不足，导致数据分析过程中未进行误差补偿，数据输出频率不高（仅为 100Hz），解算过程采用积分的形式过于粗糙，在以后的实验中应考虑多方面因素，以期得到更理想的结果。

### 引用

- [1] 秦永元. 惯性导航[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [2] 陈永冰, 钟斌. 惯性导航原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [3] 苏奎峰, 吕强. TMS320X28 XXX原理与开发[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.3.
- [4] 刘陵顺, 高艳丽. TMS320F28335 DSP原理与开发编程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
- [5] 余晖冬, 陈鑫, 王书磊. 基于DSP28335的捷联惯导通信模块设计[J]. 电脑与电信, 2021(4): 62-65.
- [6] 李久顺. 捷联惯导系统误差抑制及补偿方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2018.

# 美化天线技术及其在移动通信中的应用

文 ◆ 武汉虹信技术服务有限责任公司 张跃伟

## 引言

随着国民经济的不断发展，人们对各种事物都提出了美的想法和建议。天线作为发射和接收电磁波的重要无线电设备，也被提出美化要求。美化天线一词频繁出现，并被有效应用到移动通信中。在对天线进行美化时，必须要确保通信质量，保障无线网络建设顺利进行<sup>[1]</sup>。基于此，本文就美化天线的产生背景、基本概念、设计原则、关键技术等展开分析讨论，以此得出美化天线的应用建议，在建议中探索美化天线在移动通信中的具体应用，并针对美化天线技术的未来发展方向进行进一步分析。

## 1 美化天线技术的概念及相关分类

### 1.1 美化天线产生背景

天线是一种变换器，能够将信号从“导行波”转换成“电磁波”，或者是将“电磁波”转换成“导行波”。天线对信号的稳定性和持续性要求较高，是一种可见的、常见的通信设备。随着信息时代来临，各种通信设备出现，方便了人们生活，但也为人们生活带来一定困扰。其中最为显著的困扰是人们对无线电磁环境的抵触情绪，在选址设立天线时会发生一些协调矛盾，不利于社会安定。在这样的应用与需求背景下，美化天线应运而生。美化天线存在的首要价值是可以有效消除人们对外露基站天线产生的无线电磁辐射的抵触情绪；其次可避免因天线设置区域居民反对新基站建设而产生情绪被迫搬迁旧基站的问题发生；最后可以达到美化城市视觉环境的目的。美化天线是时代发展的必然追求，是与信息技术发展同步形成美感的必然体现，因此美化天线在移动通信中的应用价值较高。

### 1.2 美化天线基本概念

美化天线是一种新型的通信覆盖结构，主要是将天线与其所在的承载物结构进行整体或者局部的伪装或者美化，所以美化天线也被称为伪装天线。美化天线是在不增大传播损耗的基础情况下，以各种有效手段对天线的外表进行合理伪装、修饰等，以此达到美化的目的，不仅可以美化人们的视觉环境，还可以减少人们对无线电磁环境的抵触。同时，

有利于延长天线的使用年限，进一步保障通信质量。

### 1.3 美化天线具体分类

美化天线的具体分类如表1所示，应依据具体情况具体分类，实现美化天线的针对性应用，实现更显著的应用效果。

### 1.4 美化天线设计原则

在设计美化天线时应遵循以下原则。首先，美化天线必须体

表1 美化天线的具体分类

依据外罩类型分类	一体化美化天线 分离式美化天线
依据尺寸分类	大型
	中型
	小型
依据应用环境分类	室内
	室外
依据应用场所分类	基站美化天线
	小区隐蔽美化天线
	景区伪装美化天线
依据应用数量分类	个性化美化天线
	量化美化天线
依据电磁波方向图波瓣图分类	美化全向天线
	美化定向天线
依据增益分类	高增益美化天线
	中增益美化天线
	低增益美化天线
依据美化天线应用网络系统分类	800MHz
	900MHz
	1800MHz
	2100MHz
	2500MHz
	单频段美化天线

【作者简介】张跃伟（1981—），男，山东日照人，本科，中级工程师，研究方向：基站天线研发。

现天线的基础辐射性能。其次，美化天线必须具备隐蔽性、伪装性和美化效果。第三，美化天线的承载物必须便于安装和运输，体现便利性特征。第四，保证美化天线的产品安全，保障产品性能。

### 1.5 美化天线关键技术

作为移动通信技术研究中的重点部分，美化天线的关键技术经历了多次研究开发与创新，现可用的常规天线关键技术有天线的赋形技术、上旁瓣抑制技术以及分集接收技术等。同时，分集接收技术也有一些常见的典型技术，如空间分集、极化分集、场分量分集以及时间分集等。其中，空间分集以及极化分集的应用最为广泛。以空间分集为例，进一步分析美化天线技术。空间分集是目前无线通信中被使用最为频繁的分集形式之一，其优点是分集增益高。空间分集需要多幅接收天线来实现，处于收发信机和电磁波之间，在二者之间进行信息的有效传递，优化网络质量。

## 2 美化天线的应用建议

### 2.1 预估小区覆盖半径和美化天线倾角

在应用美化天线时，应针对小区覆盖半径以及美化天线的倾角进行预估，确定天线的具体辐射范围，保障信号的稳定性与持续性。在确定美化天线所在小区的覆盖范围时，应综合考虑以下因素。第一，考虑美化天线的天线高度，由天线高度确定辐射小区范围的半径。第二，考虑美化天线的方位角，确定接收信号的强弱程度。第三，考虑美化天线的垂直和水平波瓣宽度，达到提高小区信号覆盖质量的目的，在网络优化过程中，常使用这一

种手段。同时，应确定美化天线的增益以及其他参数，并针对小区所在地理环境的应用条件进行具体区分。对于地处郊区的小区，在确定美化天线的倾角时，应确定下倾角的角度比天线垂直半功率角的一半还要小一些。此时，如果得出的下倾角的角度大于规定要求，那么应使用简单的几何计算方法重新对下倾角的大小进行预估。

### 2.2 选择美化天线安装位置

在选择美化天线的安装位置时，必须综合考量各种因素。不仅要考虑信号的强弱以及传输质量和速率相关因素，还要考虑视觉环境美观因素。第一，在建筑物群的侧面或者背面选点，规避正面，增加美观性。第二，在选择安装位置时应考虑附近建筑墙体的信号隔离作用，选择墙体与墙体之间的空隙之处，或者选择较为空旷的区域，有助于信号的有效传输，进而达到最为理想的信号覆盖目的<sup>[2]</sup>。

### 2.3 美化天线安全高度

美化天线的高度与其信号覆盖范围有直接关系。在使用专业测量仪器对信号的覆盖范围进行测量时，应考虑两方因素，一方面因素是天线在直线传输时延伸到的距离，另一方面因素是确定在最远距离位置点的信号强度能否被仪器捕捉。在计算美化天线安装高度时应依据计算公式获得具体的高度数值，公式如下。

$$D=2R(H+h) \quad (1)$$

在式(1)中， $D$ 表示天线在一定高度时发出的直射波最远可以到达的距离； $R$ 表示地球的半径； $H$ 表示基站天线的中心点高度； $h$ 表示距离信号测量的手机或者测量仪器的天线高度。在利用式(1)计算美化天线信号发出后直射波的具体距离时， $H$ 和 $h$ 的高度值非常关键，其中 $H$ 的高度是核心。基于以上浅显分析，在选择美化天线的具体高度时，应先确定信号的具体覆盖范围，然后确定覆盖范围的最远点，最后排除覆盖外区域的信号干扰因素。

## 3 美化天线在移动通信中的应用

### 3.1 宏基站室外的应用

美化天线在移动通信中的应用非常广泛。例如，在宏基站室外应用，受电参数限定，在确定美化天线的外罩尺寸时，应严格按照标准要求进行，常用的类型主要为房屋型、广告牌型、街道广告站台型以及圆柱形等。

### 3.2 小区覆盖的应用

随着城市化建设速度加快，各种现代化主题的小区进入人们视线，为确保天线设置与小区整体风格相符，在选择美化天线时应勇于创新。首先，小区中常见的路灯美化天线。路灯是小区内常见的公共设施，主要分布在居民小区的各个区域，作为室内分布基站使用，此时的美化天线外观不固定，应依据环境风格具体打造。首先，某些小区在美化天线的上方安装各种造型灯，每到夜间灯光亮起，既美化环境，又起到不被居民反感的效果。其次，草坪牌的美化天线。草坪牌的美化天线存在于小区内部，覆盖区域为公共区域。通常情况下，草坪牌的天线容易被人忽视，常常以真正的告示牌形式出现。作为生活在小区中的居民，若不

是专业的相关领域工作人员，很难发现处在草坪中间的草坪牌是美化天线应用。再次，空调天线在居民小区中较常见。主要安装在中高层，外形与常见的空调外挂机的外观相差无几。此外，水塔天线经常出现在居民楼的楼顶。水塔只是伪装，其内里是常见的宏基站天线。最后，仿生树美化天线多出现在公园或者是一些大型景区中，仿照实际植物实现美化天线效果。

### 3.3 室内分布的应用

美化天线经常被应用在室内，如高档写字楼、酒店等。由于建筑物结构特点以及其他因素导致信号微弱，传统的天线外露方式虽然可以解决信号弱的问题，但天线设置方式难以被广大业主认可，业主更关注整个办公区域或者生活区域的完美性和舒适性。同时，若采取天线暗装方式则会出现信号衰减问题。此时，美化天线被提出应用到室内环境中，通过在室内较为适合信号传输的位置伪装天线，可以达到美化环境目的。例如，吸顶天线既不会让人特别关注天线，又可以保障网络质量。目前，针对室内可用的美化天线类型多样，如壁画型、烟感型以及吸顶灯型等。

## 4 美化天线技术的发展方向分析

随着信息技术的不断创新发展，移动通信将迎来新的发展突破阶段，伴随城市景观需求与人们健康意识的整体性提升，美化天线将迎来新的发展机遇。在应用美化天线时，必须满足4个统一条件。第一，城市景观与通信需求必须和谐统一。第二，结构设计与安全维护必须和谐统一。第三，外罩材质与射频性能必须和谐统一。第四，取得的美化效果必须与建设成本和諧统一<sup>[3]</sup>。具体可从以下方面探析出美化天线的具体发展方向。

第一，小型化。美化天线的应用越来越广泛，各个应用领域对美化天线的外观、大小以及性能等提出更多要求。其中，在保证美化效果、确定覆盖范围的基础上，应将美化天线的外罩向小型化方向发展。

第二，有源无源一体化。美化天线最为关键的是选址问题，若能将天线、功率放大器以及美化天线的外罩融为一体，应用一根光电复合电缆实现基站近端与远端的联系，那么基站的建设难度会大大降低。

第三，造型多样化。随着人们审美的不断变化，现有的美化天线将难以满足业主需求，于是各种造型的美化天线应时而出，更美观、更多样、更具创新性。

第四，实用性。虽然美化天线的目的是美观，但其存在的根本价值是应用，所以美化时应考虑应用性和实用性，使美化天线真正融入到生产生活中。

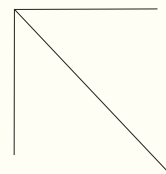
第五，信息化。在信息化时代，美化天线必将朝着信息化方向发展，建立更加完善的美化天线数据库，为美化天线建设提供更多助力，对美化天线设计起到积极促进和指导意义。

## 结语

美化天线是为了满足绿色环保理念以及城市美化而提出，同时，5G通信时代对天线的相关要求进一步增多，美化天线项目落实更加急迫。在应用美化天线时应注意遵循以下建议。一是预估算小区覆盖半径和美化天线倾角，二是选择美化天线安装位置，三是确定美化天线安全高度。目前，美化天线在移动通信中的应用主要体现在宏基站室外、小区覆盖以及室内分布三大方面，经具体阐述分析，得出实践应用效果。最后，美化天线技术未来的发展方向清晰明朗，其将向着信息化、实用化、一体化、小型化等方向发展。<sup>[8]</sup>

## 引用

- [1] 移动通信2021年总目次[J].移动通信,2022(06).
- [2] 李威.天线在移动通信网络中的应用[J].电信建设,2004(5):1-11.
- [3] 杨涛.关于5G移动通信技术在智慧交通中的应用研究[J].中国新通信,2023(1):18-24.



# 功率对 TC4 钛合金表面激光熔覆改性的影响\*

文◆陇东学院 智能制造学院 司玉杰

## 引言

钛合金具有比强度高、生物兼容性好且耐腐蚀性能强等优点<sup>[1,2]</sup>，但是表面硬度和耐磨性欠佳是限制钛合金大量应用的主要问题<sup>[3,4]</sup>。改善钛合金表面性能对扩大钛合金的应用范围具有非常重要的意义。

Kamat 等<sup>[5,6]</sup>通过激光气体氮化提高钛合金表面硬度和耐磨性，提高了氮化层机械性能，但是氮化层非常容易产生裂纹，工艺可控性较差。柴琛等<sup>[7]</sup>研究钛表面微弧氧化膜层的磨损行为，发现钛表面微弧氧化膜比基体耐磨性明显提高，但是膜层厚度只有  $5\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$ ，无法应用于重载工况。冷崇燕等<sup>[8]</sup>将 Ta 离子

注入 Ti-6Al-4V 合金，发现钛合金表面摩擦系数明显降低，但是工艺效率较低。以上方法均存在不足之处。

钛合金表面激光熔覆技术可以克服以上方法的不足，是目前研究的热点。Weng 等采用激光熔覆技术在 Ti-6Al-4V 基体上熔覆“Co42+B4C”粉末，研究发现降低激光能量，熔覆层 TiC 树枝晶和 TiB 粒子明显细化，熔覆层硬度和耐磨性提高。Sun 等研究激光功率、扫描速度和送粉率对熔覆层成型的影响，发现送粉率是决定熔覆层宽度和深度的主要因素。Li 等研究发现钛合金表面激光熔覆层晶粒尺寸随激光扫描速度的增加而降低。

基于此，采用光纤激光在 TC4 钛合金表面熔覆 TiN 和 Ti 混合粉末，研究激光功率对熔覆层化学成分、显微组织和显微硬度的影响。检测熔覆层化学成分，拍摄熔覆层横截面形貌和显微组织，测量熔覆层横截面显微硬度。实验表明，激光功率越高，熔覆层 N 含量越低，熔覆层 Ti<sub>2</sub>N 相含量越少。熔覆层中部显微组织为粗大的树枝晶，底部显微组织为细小的针状组织。增大激光功率，熔覆层显微组织有变大的趋势。较大激光功率导致熔覆层显微硬度降低，熔覆层厚度增加。激光功率直接决定激光熔覆过程的热输入，进而决定熔覆工艺和熔覆层性能，目前激光功率对钛合金表面激光熔覆的影响尚不明确。本文主要研究不同激光功率对熔覆层的影响。

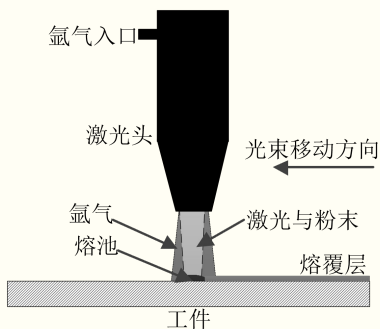


图1 试验系统示意图

## 1 试验方法与材料

试验系统示意图如图1所示，试验选用高功率光纤激光器，激光波长  $1.064\mu\text{m}$ ，激光光斑直径为  $3\text{mm}$ 。熔覆粉末为 TiN 和 Ti 混合粉末，TiN 与 Ti 的质量比为 1:2，熔覆粉末与激光束同轴送给，本研究采用氩气保护熔覆区域。

试验基体为 TC4 钛合金板材，试验前将 TC4 板材切割成  $60\text{mm} \times 60\text{mm} \times 8\text{mm}$ 。试验中激光扫描速度为  $600\text{mm}/\text{min}$ ，氩气流量为  $10\text{L}/\text{min}$ ，激光功率分别为  $2.0\text{kW}$ 、 $2.5\text{kW}$ 、 $3.0\text{kW}$  和  $3.5\text{kW}$ 。

\*【基金项目】庆阳市科技计划项目“轻质农业机械材料 Ti-6Al-4V 表面激光改性研究”（QY-STK-2022B-151）；陇东学院科研项目“高能束复熔法改性工艺方法研究及设备研制”（HXZK2317）；陇东学院博士基金“钛合金表面改性研究”（XYBYZK2301）；陇东学院科研项目“金属表面稀释气体合金化机理研究及系统开发”（HXZK2316）。

【作者简介】司玉杰（1991—），男，甘肃庆阳人，本科，从事金属表面改性方面的基础研究工作。

采用 X 射线光电子能谱仪 (EDS) 检测熔覆层横截面化学成分, 采用场发射扫描电镜拍摄熔覆层横截面显微组织, 采用显微硬度计测量熔覆层横截面显微硬度, 沿着熔覆层深度方向每隔 0.1mm 测量显微硬度值。

## 2 试验结果以及讨论

### 2.1 熔覆层化学成分与相组成

熔覆层表面照片如图 2 所示, 图中熔覆方向自右往左。由于初始熔覆阶段送粉不够稳定, 故图 2 中 AA 线右侧熔覆层薄而宽, 后续稳定送粉导致 AA 线左侧熔覆层厚而窄。从图 2 中可见, 随着激光功率增加, 熔覆层宽度略微增加。

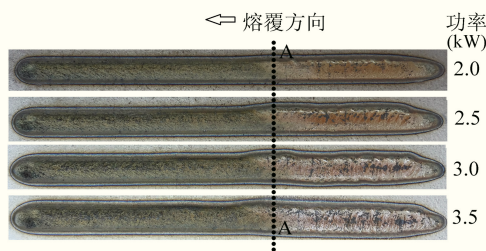


图 2 熔覆层表面照片

采用 EDS 检测熔覆层化学成分, 检测点距离熔覆层表面 500 $\mu\text{m}$ , 激光功率分别为 2.0kW 和 3.5kW 的熔覆层化学成分如表 1 所示。Ti 元素和 N 元素是熔覆层主要成分, 另外还有少量 Al 和 V 元素。激光功率为 3.5kW 的熔覆层 Ti、Al 和 V 元素含量高于激光功率为 2.0kW 的熔覆层, 激光功率为 3.5kW 的熔覆层 N 元素含量低于激光功率为 2.0kW 的熔覆层, 这是由于激光功率越大, 热输入越高, 熔池体积越大, 更多 TC4 基体被熔化, TC4 基体对熔覆层有稀释作用。

表 1 中激光功率分别为 2.0kW 和 3.5kW 的熔覆层 N 含量分别为 19.55%

表 1 熔覆层化学成分 (at%)

激光功率	Ti	N	Al	V
2.0kW	80.23	19.55	0.14	0.08
3.5kW	83.19	16.50	0.20	0.11

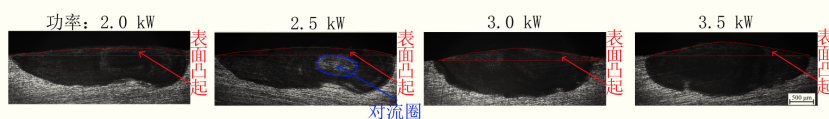
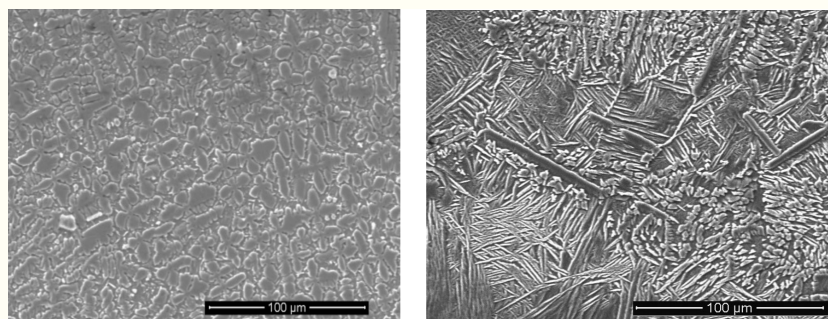


图 3 熔覆层横截面形貌



(a) 熔覆层中部

(b) 熔覆层底部

图 4 熔覆层横截面显微组织

和 16.50%。结合 Ti-N 相图和熔覆层化学成分, 发现两组实验的熔覆层都是由 ( $\alpha\text{Ti}$ ) 和  $\text{Ti}_2\text{N}$  相组成, 但是由于 N 的质量分数有差异, 所以熔覆层中两相含量不同。激光功率越高, 熔覆层氮含量越低, 根据杠杆定律, 熔覆层中 ( $\alpha\text{Ti}$ ) 含量越多,  $\text{Ti}_2\text{N}$  相含量越少。以上分析表明, 激光功率越高, 熔覆层 N 含量越低, N 在密排六方 Ti 晶格中形成的固溶体 ( $\alpha\text{Ti}$ ) 相越多。

### 2.2 熔覆层横截面形貌与显微组织

熔覆层横截面形貌如图 3 所示, 随激光功率增大熔覆层厚度增加, 并且熔覆层宽度略微减小。当激光功率为 3.0kW 和 3.5kW 时, 熔覆层呈规则椭圆形, 当激光功率为 2.0kW 和 2.5kW 时, 熔覆层呈不规则椭圆形, 这是由于激光功率较大时, 熔池存在时间更长, 熔池对流更充分, 更多激光能量通过对流形传输到熔池底部, 导致熔池底部更光滑, 凝固形成规则椭圆形熔覆层。激光功率较小时, 熔池对流不充分, 形成不规则椭圆形熔覆层。当激光功率为 2.5kW 时, 熔覆层中有对流圈存在, 证明以上分析正确。图 3 中熔覆表面有明显凸起趋势, 并且激光功率越大熔覆层表面凸起越明显。

拍摄熔覆层横截面显微照片, 激光功率为 3.0kW 的熔覆层横截面显微组织如图 4 所示。图 4 (a) 为熔覆层中部显微照片, 熔覆层中分布着不均匀的树枝晶, 晶粒非常粗大, 以一次枝晶为主, 有少量二次直径。由于熔覆层中部温度高, 温度梯度小, 降温速度慢, 且 N 元素含量高, 所以长出粗大的树枝晶。图

4 (b) 是熔覆层底部显微组织照片, 在熔覆层底部逐渐由粗大的树枝晶过渡成针状组织。针状组织比熔池中部树枝晶细小, 多数针状组织垂直于基体分布, 有少量针状组织平行于基体。在熔池底部, 由于散热速度非常快, 温度梯度非常大, 所以成分过冷更明显, 从而形成了细小的针状组织。本试验中其他熔覆层行为组织类似于图 4, 证明激光功率对熔覆层显微组织形貌影响较小。

### 2.3 熔覆层显微硬度

测量熔覆层横截面显微硬度, 熔覆层横截面显微硬度如图 5 所示。从图 5 中可以看出, TC4 基体显微硬度约 360HV, 熔覆层的显微硬度大约为 750HV ~ 980HV, 熔覆层比基体显微硬度有较明显提高。图 5 中可见, 激光功率越高, 熔覆层显微硬度越小, 这是由于较大激光功率导致更多 TC4 基体熔化, 对熔覆层稀释作用更明显, 所以较大激光功率的熔覆层显微硬度更小。另外, 激光功率越大, 熔覆层厚度越大, 这是由于较大激光功率导致熔池深度增大, 所以熔覆层深度更大。图 5 中熔覆层显微硬度基本均匀, 没有表现出明显梯度, 熔覆层与基体过渡区域显微硬度迅速降低, 这是由于激光能量呈现高斯分布, 熔池表面存在较大温度梯度和表面张力梯度, 熔池中形成强烈的马兰戈尼对流, 强烈搅拌作用导致熔池中化学成分和相均匀化, 故熔覆层中硬度表现出均匀化的特点。

分析表明, 较大激光功率导致熔覆层显微硬度更小, 层深更大。实际应用中, 推荐选择较大激光功率, 提高熔覆粉末中 TiN 的含量, 这样可以得到厚度大、

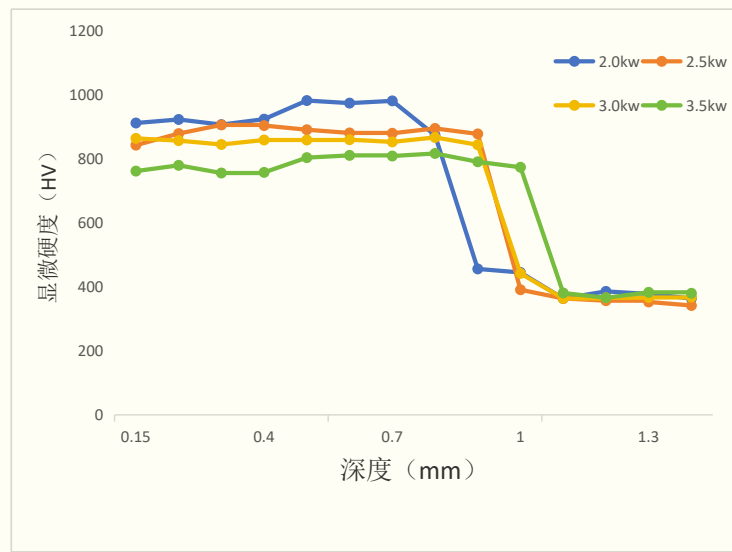


图 5 熔覆层横截面显微硬度

硬度高并且硬度均匀的熔覆层。

### 结语

- (1) 激光功率越高, 熔覆层 N 含量越低, 并且 Ti<sub>2</sub>N 相含量越少。
- (2) 激光功率较大时, 熔覆层呈规则椭圆形, 激光功率较小时, 熔覆层呈不规则椭圆形。熔覆层中部显微组织为粗大的树枝晶, 熔覆层底部显微组织为细小的针状组织。
- (3) 较大激光功率导致熔覆层显微硬度更小, 熔覆层厚度更大。

### 引用

- [1] 吴迪鹏,武永,陈明和,等.TC31钛合金板材高温流变行为及组织演变研究[J].稀有金属材料与工程,2019,48(12):3901-3910.
- [2] 王浩军,张颖云,伍亚辉,等.TC4钛合金薄板双侧激光角焊搭接变形研究[J].热加工工艺,2020(9):144-146.
- [3] TAKESUE S,KIKUCHI S,AKEBONO H,et al.Effect of Pre-treatment with Fine Particle Peening on Surface Properties and Wear Resistance of Gas Blow Induction Heating Nitrided Titanium Alloy[J].Surface and Coatings Technology,2019(359):476-484.
- [4] 李周波,赵勇,高盟召,等.热处理工艺对钛合金油管组织与性能的影响[J].钢铁钒钛,2021,42(1):50-54.
- [5] Kamat A M,Copley S M,Segall A E.Effect of Processing Parameters on Microstructure During Laser-sustained Plasma (LSP) Nitriding of Commercially-pure Titanium[J].Acta Materialia,2016(107):72-82.
- [6] Kamat A M,Copley S M,Segall A E,et al.Laser-sustained Plasma (LSP) Nitriding of Titanium:A review[J].Coatings,2019,9(5):283.
- [7] 柴琛,汪华月,陈兆祥,等.不同摩擦工况下钛微弧氧化膜层的摩擦磨损行为研究[J].表面技术,2021,50(7):266-275,309.
- [8] 冷崇燕,张旭,周荣,等.Ta离子注入Ti6Al4V合金耐磨性研究[J].稀有金属材料与工程,2008(3):556-560.

# ChatGPT 对新时代青少年的 异化隐忧及其应对策略

文 ◆ 四川农业大学马克思主义学院 王宇霖

## 引言

近年来，生成式 AI 对话机器 ChatGPT 同我国青少年的学习和生活交相汇融。因产品的资本布控、算法局限以及青少年缺乏 AI 素养等多方面原因，在主客体信息交换的过程中 ChatGPT 会对青少年产生多形式的异化影响，使“为己之物”的人类智能对象化工具化为“束己之物”的异己对抗力量。因此，探究新时代下 ChatGPT 对青少年的多重异化形式，对藏匿在异化现象背后的深层次原因进行剖析，并提出可行的应对策略，有助于引导新时代青少年树立正确 AI 观，合理运用 ChatGPT，化解 ChatGPT 对新时代青少年的异化隐忧。

## 1 ChatGPT 对新时代青少年异化的表现形式

“异化”一词源自拉丁文 Alienatio，是一个哲学概念，指的是主体在发展过程中，被由自身活动所产生出的“外在于人”“独立于人”的力量反过来统治自己。ChatGPT 作为人的“对象性活动”的产物，其生成的内容会冲击青少年的价值取向、创新思维与知识储备，使青少年逐渐陷入信念动摇、创造力缺失、知识体系混乱的泥潭，最终导致一开始旨在提高人们的学习和工作效率的智能工具变为与人类自身相分离、相对立的负面力量。

### 1.1 价值观念异化隐忧：西方价值观渗透

以虚拟对话为产品特色的 ChatGPT 抓住了青少年依赖数字网络、倾向虚拟表达、缺乏情感陪伴的特点，以丰富的语言情景为其提供“作业代写”“情感交流”等服务，满足了他们的现实需求与情感慰藉，模糊了真实与虚拟的边界，使青少年放松警惕，这时天然带有价值偏见与政治倾向的 ChatGPT 就会悄悄露出输出价值、歪曲认知的意识形态邪恶爪牙，运用断章取义、刻意抹黑、恶意裁剪等手段，生成看似合理的数据与文字，造成历史虚无主义、新自由主义、普世价值论等错误思潮的传播，在反复渲染和强化下把西方价值观念悄悄融进青少年认知框架，渗入内心深处，扎根思想意识，使其在无意识中接受 ChatGPT 的推荐内容，动摇信仰信

念，进而作出错误的价值判断与选择。

### 1.2 创新思维异化隐忧：精神崇拜与行为依赖

在应试教育大背景下，ChatGPT 强大的回答问题功能受到众多学生崇拜，学生群体使用 ChatGPT 进行专业绘画、数学计算、论文生成等，以完成学校所布置的各项任务。然而，频繁地使用工具代替思考会让青少年对 ChatGPT 产生精神与行为依赖，逐渐沦为“答案搬运工”。一方面，青少年会习惯于滞留在生成的直接答案，而不对问题本身进行深入追问，养成思维懒惰，失去创新动力。另一方面，青少年若不加分辨“CtrlC + CtrlV”技术生成内容，不参与知识的直接产生过程，只吸收漂浮于表层的片面信息，则会形成异化的新型知识获取形式，失去思考活性。长此以往，青少年会任由技术奴役。

### 1.3 知识建构异化隐忧：被虚假错误内容误导

“一问一答”的 ChatGPT 常常成为青少年默认的“百科全书”，但对于青少年提出的问题，其

生成的回答大部分是在复述资源库的已有答案，或是基于数字计算得出的虚拟推理结果，但这些信息既没有凝结人类的实践智慧，又没有超越人类既有的知识储备，甚至没有经过真伪辨别和信息核对。“看似万能的 ChatGPT 也会出现胡编乱造、篡改历史、计算能力差且具有政治倾向和价值观偏见等问题。”<sup>[1]</sup>在未经核对和校验的情况下，不明真相的人们很容易被 AI 生成的虚假信息所误导，甚至添枝接叶地转述给他人，而心智尚未成熟、知识体系尚未定型的青少年们如果不能以批判的眼光辨识机器偏见与失真信息，而是一味将 ChatGPT 的答复视为“真理”，那么将在无形中受错误信息的误导，损害自身的知识体系，进而形成固化的错误思维模式，造成恶性循环，长此以往，必然偏离正确的认知轨道，影响个人终身的知识构建，甚至在日后的实践工作中诱发一系列问题。

## 2 ChatGPT 对新时代青少年异化的生成机理

ChatGPT 对青少年产生的不同异化形式分别根植于不同的生成机理，通过探究生成式人工智能对青少年异化的内在成因，可以进一步多维度地揭示 ChatGPT 的本质特征、工作原理以及损害青少年认知体系与思维模式的过程，以便于进一步从不同层面采取相应措施。

### 2.1 资本布控：嵌入意识形态偏见

马克思认为“社会—不管其形式如何—是什么呢？是人们交互活动的产物”<sup>[2]</sup>。生成式人工

智能并不是一种价值中立、脱离人类交往关系的自在客体，而是一种与人类的交互行为处于相互交织的共生整体。“从技术与政治的关系来看，技术从来就不是独立和自主的存在”<sup>[3]</sup>。ChatGPT 作为一种创新性的技术存在物，背后的语料库以英文为主，由西方社会有影响力的机构、团体和社交平台主导，是“资本逻辑”“内容生产”“价值输出”的有机结合，因此不可避免地暗含西方价值体系，生来置身于意识形态竞争之中，其自诩“中立技术”无非是为自身的隐形意识形态功能穿上了科技化、合法化的“马甲”，使意识形态输出变得更加隐秘而已。ChatGPT 所输出的内容往往受到其所接受训练的数据的影响，若这些数据中存在着意识形态渗透，那么 ChatGPT 会作出带有西方倾向和政治偏见的偏激回答，对社会主义主流意识形态安全造成极大威胁，进而成为技术霸权国单方面输出意识形态的数字武器。

### 2.2 精神崇拜：钝化主体思考能力

从马克思对资本主义的深刻剖析中可以看出，资本主义社会中人们对商品、货币和资本都曾产生过崇拜。如今以 ChatGPT 为代表的生成式人工智能引领了全球人工智能的热潮，其表现出的如神明一般的强大力量成为人们新的崇拜对象。以 ChatGPT 为代表的新型人工智能的知识学习能力与内容输出速度远超人类，加之新闻报道、舆论媒体、同龄人群等对 ChatGPT 的多元能力与使用体验的感叹，把 ChatGPT 推上了至高无上的“神”化地位，“神”化 ChatGPT 的力量实际上是对其工具本质的彼岸化、抽象化、神秘化。然而，ChatGPT 始终不具备人的思维的主观性、能动性与创造性，只会使人们大量的工作不再需要独立思考，进而钝化主体独立思考能力，逐渐把技术工具凌驾在主体之上，让本是 ChatGPT 创造者的人类被其奴役。社会对 ChatGPT 的“神”化让对未知事物具有无限好奇心的青少年更容易对其产生“唯命是从”的极端力量崇拜，并且不断向 ChatGPT 追问知识、答案。但是，过多地依赖数字工具输出知识，会使急于求成的快餐式学习方式广泛传播，最终对青少年的创新思维产生严重影响。

### 2.3 技术局限：生成虚假误导内容

马克思曾在《关于费尔巴哈的提纲》中指出，“人应该在实践中证明自己思维的真理性，即自己思维的现实性和力量，自己思维的此岸性”<sup>[4]</sup>。作为人类意识的对象化产物，ChatGPT 不具备人类特有的实践性，无法判断所提供的信息正确与否，因而常常会对主体的问题作出篡改事实、胡编乱造的虚假错误回答。一方面，ChatGPT 的数据库没有时刻与互联网相连，无法做到与实时数据完全相符，且即使数据库的数据全部真实，也会生成符合数学模型运算和逻辑推理却是错误或虚假的信息，并对其进行看似合理的论证，正如一些学者批判 ChatGPT 不过是“一本正经地胡说八道”。另一方面，类 GPT 产品往往高度依赖英文数据库，无法充分理解汉语内涵，不懂得许多在中国传统文化中被视为常识的东西，从而作出望文生义的荒诞回答，倘若青少年没有对其提供的信息保持警惕，对其进行进一步的核实和验证，而是一味全盘接受，那么会被片面、错误的信息误导而产生认知偏差。

### 3 新时代对 ChatGPT 异化的应对策略

当前，国内部分高校因担心大学生沉迷 ChatGPT 的强大功能，将其大量应用于完成课程作业，明令禁止学生使用 ChatGPT。然而，“一刀切”式简单粗暴的禁止手段显然并不是最优解，对 ChatGPT 技术的管制需要统筹客体、主体双重维度，通过技术优化、加强监管、理性辨识等方法，在发挥 ChatGPT 技术效用的同时规避对青少年带来的潜在风险。

#### 3.1 客体之维：补齐生成式人工智能短板，增强意识形态风险防范主动权

##### (1) 走独立自主技术之路，打造中国版 ChatGPT。

ChatGPT 归根结底从西方资本逻辑出发进行模型设计，敌对势力可以轻而易举利用 ChatGPT 的技术霸权产生新的话语霸权以输出意识形态。中国若既要享受新技术带来的科技动力又不受制于人，就必须全力自主研发类 GPT 产品。虽国内已有文心一言、豆包等 ChatGPT 同源产品，但其在语言理解、内容输出等方面与 ChatGPT 仍有一定差距。因此，中国应当坚定不移地走独立自主的科技研发道路，不断深化对 AI 前沿技术的研究，优化数字化基础设施，增加对 ChatGPT 同源技术研发的经费支持，加速推广国内的类 ChatGPT 产品应用，在保证技术自主性的同时培育中国在生成式人工智能领域的竞争优势。

##### (2) 严格把关训练数据，提高输出内容的真实性。

生成式人工智能产品的模型质量和产出成果高度依赖于训练数据的情况，应提高输出内容的准确性。一是选择高质量的语料库进行训练，确保数据库的时效性、真实性。在保证语料库质量的前提下，扩充中文语料库，并在模型研发中针对中文语言特点和需求开展优化，提高中文语言模型的表现力。二是根据不同的语境，通过多角度、多维度的数据采集方式和训练方法，提升机器对约定俗成的民间常识、网络热梗、专业术语的理解能力，最大程度保证语义理解的准确性以及输出结果的合理性。

##### (3) 坚持正确的价值导向，把社会主义核心价值观与 ChatGPT 类产品相融合。

在社会主义制度下，ChatGPT 同源技术可以成为促进人自由全面发展的力量，应充分发挥主流意识形态对类 ChatGPT 产品的引领作用，为其设置正确的价值原则，将人民需求、公共价值、人类幸福、共同富裕等主流价值目标渗透在语言模型中，把道德观、责任感内嵌到 ChatGPT 技术的内容生产中，引导青少年求真、向善、尚美，充分发挥 ChatGPT 产品在培育知识、增进道德、温润心灵等方面的功能，真正实现生成式人工智能“科技向善”“为民造福”的生产初衷。

#### 3.2 主体之维：加强社会引导与监管，提高个人素养

##### (1) 坚持教育引导，加强制度规范。

社会方面加强思想引导，开展对青少年人工智能伦理教育。高校应在现有的课程设置中，加入专门的人工智能伦理相关单元章节，通过理论解析、实践演练、课堂互动等方式，系统化地为青少年讲述人工智能的相关知识，使青少年端正对待 AI 的态度，明确使用 ChatGPT 提高学习效率的方法，帮助青少年逐步树立以自主深思为基本，以科技工具为

辅助的创新意识和良好习惯；完善法律体系，加大对 ChatGPT 大模型的监管。政府应划定法律红线，通过上层建筑的强制力量对利用 ChatGPT 进行违法犯罪的活动进行有力打击，对西方错误思潮与有害信息进行排查与彻底铲除，为我国对标 ChatGPT 产品的发展和应用提供制度保障。

##### (2) 提高数字素养，培育创新思维。

新时代青少年应加强 ChatGPT 理论学习，自觉提高信息素养与错误价值观的敏感度，用批判性的眼光甄别 ChatGPT 生成的虚假信息与意识形态偏见，主动形成防范意识形态风险的责任感；利用 AI 机器主动培育问题意识，激发创新精神，在正确引导与合理使用下让 ChatGPT 担任“个人顾问”，利用其上下文交互理解语境的特色功能，学会提问，学会追问，锻炼话语组织能力，提高对提出问题语义表述的准确性，并通过分析 ChatGPT 输出信息的过程对自身的知识储备进行查漏补缺。<sup>[8]</sup>

#### 引用

- [1] 方师师,唐巧盈.聪明反被聪明误:ChatGPT错误内容生成的类型学分析[J].新闻与写作,2023(4):31-42.
- [2] 马克思恩格斯选集[M].第二版,中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局编译.北京:北京人民出版社,1999.
- [3] 李昂,汪洋.ChatGPT的政治倾向初探:表现、成因及意识形态风险[J].实事求是,2023(4):30-38.
- [4] 马克思恩格斯选集(第1卷)[M].北京:人民出版社,1995.

# 博弈论在巴基斯坦—国际工程项目 谈判中的应用研究

文 ◆ 海南省社会治理创新和人才培养研究基地 王园婷  
中国土木工程集团有限公司 殷光祥

## 引言

本文的真实案例位于中国巴基斯坦拉合尔市区，位于中巴经济走廊带上。习近平总书记在2015年4月访问巴基斯坦时曾指出，“中巴是风雨同舟、患难与共的好朋友、好伙伴、好邻居、好兄弟”，明确中国巴基斯坦经济走廊的目标是通过建设基础设施和发展能源项目，加强中巴两国的经济联系。在交通基础设施方面，中国巴基斯坦经济走廊计划修建公路、铁路、机场和管道，以改善巴基斯坦的交通运输能

力，提高物流效率<sup>[1]</sup>。本文结合博弈论探讨一例中巴基建项目中出现的两方博弈和博弈策略的应用，意图将博弈论思维在巴基斯坦国际工程谈判中的应用做出真实案例分析，为后续国际工程类似的谈判提供借鉴。

## 1 中巴经济走廊交通基建对两国的益处

中巴经济走廊对中国的益处可以总结为以下几点。

(1) 中巴经济走廊使中国能够通过巴基斯坦的陆路通道进入阿拉伯海、波斯湾和印度洋地区。有利于保障中国包括能源安全在内的战略利益<sup>[2]</sup>。(2) 经济走廊通过改善交通和基础设施连接，促进了中国与巴基斯坦以及周边国家的贸易和投资合作<sup>[3]</sup>。(3) 在人文交流和外交合作上获得拓展。

中巴经济走廊对巴基斯坦的益处可以总结为以下几点。

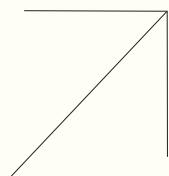
(1) 基础设施改善和扩建提高了巴基斯坦的交通运输能力、物流效率和通信连接力。(2) 促进了经济增长，国民获取了更多的就业机会，在减少贫困和改善民生方面提供了重要支持<sup>[4]</sup>。(3) 促进了巴基斯坦与中国的贸易和投资的交流。

虽然中巴经济走廊的建设对两国益处巨大，但是在很多基础设施建设项目实施中，当地建筑单位和巴基斯坦政府相关部门有着错综复杂的关系<sup>[5]</sup>。为了顺利推进项目，博弈论的策略思维能够有效帮助中方加快项目落地和推进工程实施进度。

## 2 博弈论、博弈困境和博弈策略

### 2.1 博弈论的定义和发展

英国学者兰·费雪在他的著作《博弈论与生活》中将博弈论定义为赛局理论，指出这里的“赛局”并不是比赛，而是“我们每日与人互动的策略”。博弈是一门数学分支学科，研究各种决策制定者在特定情况下的最佳决策策略。它的研究对象是决策者之间的互动行为，即博弈。



【作者简介】王园婷（1982—），女，四川成都人，博士研究生，研究方向：翻译、语料库语言学。

追根溯源，博弈论的发展涉及到很多人，不是由一个人发明。然而，博弈论的理论基础最早可以追溯到 17 世纪荷兰的数学家和法学家布莱克韦尔（Christiaan Huygens）所写的《关于两人零和游戏的研究》（*De ludo scacchorum*）一书。20 世纪 40 年代，约翰·冯·诺伊曼（John von Neumann）和奥斯卡·摩根斯特恩（Oskar Morgenstern）合作完成了《博弈论与经济行为》（*Theory of Games and Economic Behavior*）一书。同时代的著名数学家约翰·纳什提出“纳什均衡”概念和“非合作博弈论”，将博弈论科学的应用在解决实际问题中。

## 2.2 博弈困境与博弈策略

兰·费雪指出，对博弈论研究者来说，七大困境对社会危害最严重，它们分别是囚徒困境、公地悲剧、搭便车、懦夫博弈、志愿者困境、两性战争和猎鹿问题。本文只对囚徒困境和猎鹿问题进行探讨。

### 2.2.1 囚徒困境和纳什均衡

囚徒困境（Prisoner's Dilemma）是一个经典的博弈论概念，用于描述在合作与背叛之间做出决策时出现的困境。囚徒困境的故事设定为两名涉嫌共同犯罪的囚徒被分别关押在不同的牢房，警方给每个囚徒提供了一个选择——认罪或者拒绝认罪。接下来，对每个囚徒来说有以下 3 种选择带来的结果。（1）如果两名囚徒都选择拒绝认罪，那么他们都将面临轻微指控，各自被判处一年监禁。（2）如果一名囚徒选择认罪，而另一名囚徒拒绝认罪，那么认罪者得到免罪或者较轻的判决，而拒绝者将面临重罪。（3）如果两名囚徒都选择认罪，即彼此出卖对方，那么他们都将面临中等判决。博弈论研究者画出了一个矩阵图显示各种选项会造成的刑期（见表 1），两个囚徒分别命名为囚徒 A 和 B，左边为囚徒 A 的刑期，右边为囚徒 B 的刑期。

从表 1 中得知，囚徒困境的关键在于每个囚徒在做出决策时必须考虑对方的选择，但无法与对方沟通。个人最优策略是选择认罪，因为无论对方选择认罪或拒绝认罪，认罪者都能获得更好的结果。如果两个囚徒都采取最优策略，那么最终结果都不利于双方。

在单次囚徒困境中，理性的选择往往是背叛，但在重复博弈中，策略选择变得复杂。由阿纳托尔·拉波波特（Anatol Rapoport）在 1970 年提出“一报还一报策略”，罗伯特·阿克塞尔罗德（Robert Axelrod）以该策略为基础编辑程序，在计算机模拟竞赛中大获成功，其核心思想是第一轮合作，在之后的每一轮中模仿对方在上一轮的选择。即若对方合作，则自己合作；若对方背叛，则自己背叛。通过大量的计算机模拟和实际案例研究（如贸易、环境保护、军事冲突等领域），“一报还一报策略”被证明在多种复杂环境中都具有良好的稳定性和有效性，促使了在经济、政治学和社会学中的广泛应用。

### 2.2.2 猎鹿问题及其计算机编程验证的策略结果

著名数学家、哲学家布莱恩·斯科姆斯（Brian Skyrms）对猎鹿问题进行阐释和研究，在他的著作《进化的社会契约》（*Evolution of the Social Contract*）中详细阐述了猎鹿问题。他将猎鹿问题作为博弈论的案例，研究了合作和非合作策略在群体中的演化。通过计算机编程模拟，可以直观看到在这个问题里背叛和不同的合作概率以及导致的结果。首

表 1 囚徒困境矩阵图

A 认罪	4,4	0,10
A 不认罪	10,0	2,2
	B 认罪	B 不认罪

先，定义猎鹿问题的收益矩阵如下代码。

```
import numpy as np
# 定义收益矩阵
# 利用 2x2 矩阵表示两名玩家的收益
# 玩家 1 选择：鹿（0），兔子（1）
# 玩家 2 选择：鹿（0），兔子（1）
payoff_matrix = np.array([
    [(3, 3), (0, 2)], # 玩家 1 选择鹿时，玩家 2 选择鹿和兔子的收益
    [(2, 0), (1, 1)] # 玩家 1 选择兔子时，玩家 2 选择鹿和兔子的收益
```

其次，假设每个玩家以一定的概率选择“合作”或“背叛”，如下代码。

```
class Player:
    def __init__(self, cooperate_prob):
        self.cooperate_prob = cooperate_prob

    def choose(self):
        # 根据合作概率选择动作：0 代表选择鹿，1 代表选择兔子
        return 0 if np.random.rand() < self.cooperate_prob else 1
```

最后，运行多次博弈，统计各次博弈的结果，以分析不同策略组合的效果，计算机模拟结果发现，猎鹿问题与囚徒困境完全相反，囚徒困境中的纳什均衡是“背叛—背叛”，而猎鹿问题是“合作—合作”，才能获取最大收益。

表3 中巴机场主跑道问题博弈矩阵（左边数据为中资收益，右边为巴方）

		巴方企业	
		不合作	合作
中资企业	不合作	0,0	10,8.5
	合作	5,5	8.5,8.5

### 3 博弈论思维应用于拉合尔机场主跑道升级改造项目建设问题

2022年，巴基斯坦民航局（PCAA）发布拉合尔国际机场主跑道升级改造项目招标公告，按照要求，外国企业参与当地政府发包项目必须与当地企业组成联营体联合投标<sup>[6]</sup>。因此，一家中资建设单位按照招标要求选择了两家当地企业组成了三方联合体参加投标。符合“猎鹿问题”的沟通策略精神，投标之前的三方合作协议极大地加强了彼此的信任。

#### 3.1 项目中的两方博弈与博弈论路径图解

联合体在项目开工后遇到了诸多问题，包括中巴管理理念不同、当地合作方资源调配不足等问题，导致项目工期滞后。中资提议由中资全部承担主跑道刚性混凝土道面施工，由于涉及到联合体协议中施工份额调整，故受到其他两家当地企业的反对，此时，三方联合体变成了两方博

弈，即中资企业和两本土企业之间的博弈。

从博弈路径来看，与巴方企业选择合作是最优解。但是在经济学上有一个损失厌恶（Loss aversion）心理机制，简单来说就是不管损失多少，但凡一方觉得自己有所损失，就会产生抵触情绪，所以巴方企业会第一时间跳出来反对。

#### 3.2 应用博弈策略达成全局最优解

中资企业和巴方企业都面临是否采取“一报还一报策略”，因此形成了中巴机场主跑道问题博弈矩阵（见表3）。

从表3中得知，双方在这场博弈里形成了一个纳什均衡，最佳策略是达成纳什均衡。因此，中资让出部分其他工程的份额，此外中资企业请业主单位（PCAA）做中间调解人。中间调解人介入能够帮助博弈双方恢复理智思考，最后达成合作。2022年底，项目主体工程顺利竣工，并开始商业运营。

### 结语

中国在百年国策“一带一路”的建设和实施中，国际性多方合作的博弈问题从未间断。本文使用中巴合作基建项目中的一个机场改造项目为案例，简要阐释了博弈论的两大困局和应对决策策略在多方博弈中的运用。在博弈论的思想里，不同参与者之间存在着相互依赖和相互影响的关系，博弈论可以帮助分析和优化决策策略。本文展示的案例中，在项目招标前，中资企业采用博弈论的结盟思维，找准适合合作的巴方伙伴。由于国际工程必然会存在设计、施工和管理相关的理念冲突，本案例中运用多方博弈的决策路径思维，计算各方不同态度的收益，决策路径思维提供了合作博弈的模型，参与者使用合作博弈模型制定有效的协作机制，分配资源、责任和收益，以实现整体利益的最大化。此外，博弈论的谈判策略也被中资企业运用于项目实施阶段与巴方伙伴寻求合作的谈判过程中。例如，博弈理论中的合作与争斗策略，中资企业通过合作/不合作收益矩阵推动参与者更好地理解对手的行为和利益，并制定相应的策略，最后达成合作共赢的局面。■

### 引用

[1] 刘伟, 聂蕊. 巴基斯坦国家经济安全对中巴经贸合作的影响——基于“中巴经济走廊”建设背景[J]. 价格月刊, 2023(5): 40-49.

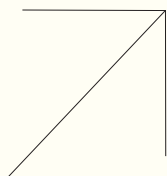
[2] 蒿琨. “一带一路”与南亚沿线枢纽国家发展战略对接思考[J]. 印度洋经济体研究, 2022(4): 139-155+160.

[3] 宋周莺, 祝巧玲. “一带一路”背景下的中国与巴基斯坦的贸易关系演进及其影响因素[J]. 地理科学进展, 2020, 39(11): 1785-1797.

[4] 郭燕, 董瑞昶, 汪力斌, 等. 巴基斯坦减贫政策回顾及中巴减贫合作展望[J]. 世界农业, 2020(12): 84-86.

[5] 李东坤, 尹忠明. 双边政治关系视角下巴基斯坦制度风险与中国在巴直接投资的关系研究[J]. 宁夏社会科学, 2018(1): 152-155.

[6] 李辉富. 略论巴基斯坦公路项目贷款风险及防范[J]. 南亚研究季刊, 2010(3): 62-65.



# 病案无纸化系统改造的难点与对策

文◆厦门市仙岳医院 厦门医学院附属仙岳医院 福建省精神医学中心 福建省精神疾病临床医学研究中心 翁跃鑫

## 引言

随着信息技术的快速发展，病案无纸化已成为医疗行业的发展趋势。然而，精神专科医院在实现病案无纸化过程中面临着一些特殊的难点和挑战。本文针对精神专科医院病案无纸化系统改造的难点进行研究，分析纸质病案管理和病案无纸化面临的问题，并提出相应的对策。通过对历史纸质病案无纸化、单机设备纸质报告无纸化、病历类文档无纸化、治疗过程无纸化、无纸化过程中的项目管理难点、医技报告漏传、病案数据的可用性等方面的探讨，为精神专科医院实现病案无纸化提供参考和建议。

## 1 纸质病案管理的弊端

纸质病案管理存在以下难点。医生应将病案打印并提交给病案室，这个过程耗费大量时间和纸张资源。病案室应对大量的纸质病案进行管理，包括分类、整理、存储等，同样耗费大量的人力和物力资源。在纸质病案管理中，如果需要回退或借阅某份病案，那么会进行繁琐的手续，包括填写申请单、审核、记录等，增加了管理的复杂性和时间成本。纸质病案容易受到湿度、温度、虫害等因素的影响，容易受损或丢失，导致病案信息的丢失和不完整。纸质病案需要大量的存储空间，占用了医院宝贵的空间资源。在纸质病案管理中，查找和管理特定的病案会耗费大量的时间和精力，容易出现病案遗漏或混乱的情况。一旦纸质病案中的数据丢失或被错误处理，将会导致医疗信息的不准确和丢失<sup>[1]</sup>。

## 2 病案无纸化的难点与对策

### 2.1 历史纸质病案无纸化

医院使用多个房间存储现存的纸质病案材料，不但占用空间，而且不易管理。为了处理这些纸质病案文档，应采取如下方法。首先，委托第三方厂商，将现有的纸质病历通过扫描设备转换为电子文档。将扫描得到的电子文档与患者信息进行关联，确保每份病历都能准确对应到相应的患者。其次，为其他系统提供访问接口，使其能够通过接口调阅电子病历。方便医生、护士和其他医疗人员在需要时查看患者的病历信

息。最后，将扫描完成的纸质病案材料委托第三方托管在专业的档案管理仓库中，为医院节省保存纸质档案的空间<sup>[2,3]</sup>。

### 2.2 单机设备纸质报告无纸化

单机医技设备的无纸化比较困难，因为许多传统的单机医技设备并不具备联网能力，无法直接与数据中心进行数据交互。单机医技设备的数据格式和结构通常特定于设备或厂商，不符合标准的数据交换格式。导致在将数据传输到数据中心时需要进行数据转换和解析，增加了技术难度和复杂性。为了解决此问题，开发单机设备报告解析程序，抓取报告中的患者基本信息、就诊号、检查结果等关键字段，形成结构化数据传送到数据中心，并利用虚拟打印机将报告打印成PDF形式传送到文档中心<sup>[4]</sup>。

### 2.3 线下纸质文档无纸化

为了解决临床涉及的所有纸质文档无纸化问题，根据临床业务流程梳理了涉及的所有纸质材料，主要分为病历类文档和治疗类文档。

#### 2.3.1 病历类文档无纸化

以厦门市仙岳医院为例，该院为精神专科医院，住院以及门

【作者简介】翁跃鑫（1984—），男，福建龙海人，硕士研究生，高级工程师，研究方向：医院信息系统建设。

诊拥有大量告知书需要患者或家属签字确认,包括入院须知、限制活动范围知情同意书、噎食防范告知书、出走防范告知书等<sup>[5]</sup>;住院护士需要填写精神科监护报告、行为观察和治疗单、抗精神病药物监测、睡眠记录单等。这些文档都需要进行无纸化,涉及的工作量巨大<sup>[6,7]</sup>。

病历类的文档主要依托电子病历系统实现无纸化,应为每一种文档设计电子模板,集成在电子病历系统中,分发给各业务科室使用。为了解决住院患者签名问题,配置了平板电脑,既可以用来签名,又可以进行移动查房、移动护理等。此外,在门诊处利用签字板实现患者签名,并与CA系统联动,对各类签字进行数字化签名认证,确保各类文档的有效性。

### 2.3.2 治疗过程无纸化

在无纸化过程中存在多项治疗依然使用手工纸质记录的现状。以厦门市仙岳医院为例,为了解决这类问题,针对每项治疗,实现了定制化的治疗系统。

以MECT治疗为例,无纸化之前,该院的MECT治疗记录大部分为纸质记录,医护人员需要在治疗过程中同步记录纸质治疗信息,并在医生站、护理、医技等系统来回切换,影响了MECT治疗师、麻醉师和MECT护士在治疗过程中的同步配合。

为了解决此问题,该院实现了治疗的全流程无纸化管理。包括治疗风险预警、治疗师和麻醉师治疗前评估、治疗前后交接、三方安全核查、MECT麻醉管理、治疗疗程管理等20个安全环节,涵盖1500多个数据元,真正实现了MECT治疗的全生命周期无纸化管理。治疗涉及的所有数据

均传送到数据中心和文档中心,供全院各个科室调阅使用。

治疗系统实时记录治疗时间、体重、诊断、治疗经过、治疗参数、不良反应等信息。系统展示患者历次治疗过程和参数以及完整病历,为治疗师的参数设置提供参考。医护人员不需要再手工纸质记录,并且各角色人员的操作都在各自独立的系统中完成,不需要在各个不同的系统间切换,提高了治疗效率。

### 2.4 无纸化过程中的项目管理难点

无纸化过程中的项目管理涉及多个开发商协调、多个系统改造和数据接口不一致等问题,主要面临以下4个方面的难点。

(1) 多个开发商协调管理的难点。多个开发商之间的协调管理面临沟通与协作困难、开发进度不一致、质量保障标准不同、开发人员难以统一管理等多个难点。需要项目管理团队建立有效的沟通机制和合作模式,确保项目能够按时完成。

(2) 多个系统同时改造的难点。无纸化项目涉及多个系统和平台集成,包括电子病历系统、HIS系统、检查检验系统、心电系统等。不同系统之间的数据交换和流程整合面临技术难题,应确保系统之间的无缝连接和数据一致性。

(3) 变更管理困难。因为涉及团队数量众多,系统耦合度较高,牵一发而动全身,平台的需求变更会导致其他系统的需求变更,出现需求变更、风险和问题。确保项目团队和利益相关方之间的有效沟通和信息共享,是一个重要的项目管理难点。

(4) 数据安全与隐私问题。在无纸化过程中,大量敏感数据将以电子形式存储和传输,带来了数据安全和隐私保护方面的挑战。除了确保数据加密、访问控制、完整性保护等安全措施外,对第三方人员的保密管理也是一个重要难点。

为了解决上述问题,该院采取如下措施,取得了较好的效果。

(1) 针对多家开发商的协调问题,设立了专门的项目管理办公室,负责协调和管理各个开发商的工作。制定明确的项目计划和时间表,确保各方按时交付工作成果。定期召开项目会议,进行进度跟踪和问题解决,保持各方沟通和合作顺畅。

(2) 针对多个系统同时改造的难点,为每个系统的改造设置了单独的项目小组,不同的系统由不同系统的开发人员和管理员组成,共同制定和实施改造计划。改造涉及LIS、PACS、HIS以及心电等多个系统,为了实现数据格式的标准化与规范化,由数据中心厂商制定统一的数据标准和规范,供各个系统调用。通过各个开发商之间的协商和合作,确保各系统之间的数据接口兼容和一致。

(3) 需求变更和风险管理。在无纸化项目中,需求变更和风险管理是常见的问题。为了避免变更影响项目进度,应制定明确的变更控制和风险管理流程,确保变更和风险的影响被合理评估和管理。

(4) 数据安全与隐私问题。除了使用技术手段对敏感数据进行脱敏、加密、访问权限控制外,还与第三方公司以及人员签订了保密协议。实行内外网隔离,所有数据只能在内网访问,关闭U盘等外部存储介质访问权限。

## 2.5 医技报告漏传问题

在系统试运行过程中存在较多的医技报告漏传问题，包括检查、检验、心电等医技报告。为了解决该问题，应采取如下措施。

(1) 引入报告漏传检测机制。通过实践可知，医生虽然开具了医嘱，但是报告却没有上传，导致病历无法归档。因此，应在病历系统设置报告漏传检测功能，病历系统自动检查医嘱与报告是否一致，是否存在缺漏情况。病历在提交的时候，系统能够自动做出预警提示医护人员。医护人员也可以手动检查报告的完整性，及时进行补传。

(2) 报告补传机制。对于传输失败或漏传的报告，前端的报告上传系统进行自动补传，多次补传失败后，系统会提醒运维人员进行处理。在集成平台侧留存上传日志，运维人员可以定期分析日志，总结接口调用失败的原因，及时进行处理。

(3) 设置报告补传运维团队。联合医生、护士、医技检查人员以及信息系统维护人员，组成报告补传运维团队。医务人员发现漏传的报告，及时通知系统维护人员，由系统维护人员对漏传的报告进行及时补传。

通过以上解决方案，有效避免医技报告的漏传问题，确保报告能够及时、准确地传输到数据中心。

## 2.6 病案数据的可用性

病案无纸化后，数据的可用性变得十分重要，所有临床操作均在系统中完成。如果数据不能共享或者数据出现丢失，医生、护士、药剂师和实验室技术人员等临床人员将无法共享和更新患者的病历信息，无法实现工作协同。另外，病案无纸化后，患者的个人健康信息以电子形式存储和传输。为了保护患者的隐私和防止数据泄露，应采取加密、权限控制等措施保障数据的安全性。

为了解决上述问题，应采取以下措施<sup>[8]</sup>。

(1) 集群设置。对数据中心和文档中心的服务采用集群设置，避免单点故障引起的数据不可用。通过集群设置，确保在某个节点故障时，其他节点可以接管服务，保证数据的连续性和可用性。

(2) 医疗云存储。服务器存储在医疗云上，依托医疗云可以实现对数据中心和文档中心的全量备份、异地备份等措施。即使发生服务器故障或数据中心故障，也可以通过医疗云上的备份数据进行恢复，确保数据的可用性。

(3) 本地备份和灾难恢复计划。为了防止出现医疗云长时间不可用的问题，应将数据备份到本地，并制定完善的灾难恢复计划。包括备份数据的定期恢复测试和故障切换方案，以确保在服务器故障时能够及时恢复数据，保障数据的可用性。

(4) 监控系统。对涉及病案数据的服务器建立运维监控系统，及时监测服务器的运行状态和性能指标。当出现故障或异常情况时，监控系统会发出警报，运维人员应及时采取应对措施，确保数据的可用性。

(5) 定期维护。定期对服务器进行维护和更新，确保硬件和软件的正常运行。及时修复系统漏洞和安全隐患，提高服务器的稳定性和安全性，保障数据的可用性。

通过以上措施，有效保障病案无纸化后数据的可用性，确保数据能

够随时可访问和使用。

## 结语

本文对精神专科医院病案无纸化的难点进行了全面分析，并提出了相应的对策。通过对历史纸质病案无纸化、单机设备纸质报告无纸化、病历类文档无纸化、治疗过程无纸化、无纸化过程中的项目管理难点、医技报告漏传、病案数据的可用性的探讨，为精神专科医院实现病案无纸化提供了参考和建议。未来，应进一步研究和探索，以推动精神专科医院病案无纸化的进程。<sup>[9]</sup>

## 引用

- [1] 李建梅.电子病历无纸化管理的优势与难点分析[J].信息与电脑(理论版),2016(22):60-62.
- [2] 钟洁.医院病案无纸化管理的优势与问题研究[J].中国卫生标准管理,2021,12(9):19-21.
- [3] 彭建明,王蓓.医院实施无纸化病案的实践与思考[J].中国医院,2021,25(8):95-96.
- [4] 张斌,杨俊杰.虚拟打印技术在医疗工作中的应用[J].中国医疗设备,2017,32(12):138-140.
- [5] 俞静,姜胜耀.知情同意书无纸化系统的设计与实现[J].中国数字医学,2023,18(9):33-38.
- [6] 余元龙,苏韶生,程敏婷,等.电子病历无纸化归档存储研究与应用[J].医学信息学杂志,2010,31(11):27-30.
- [7] 王博,刘丕楠.电子病历临床应用中存在的问题与对策[J].中国医院管理,2013,33(1):71-72.
- [8] 李婧杰,马利亚,刘峰.信息技术在医院病案无纸化管理中的应用实践[J].电子技术,2022,51(3):126-127.

# 基于 DEA 模型的 ICT 产业 PPP 项目效率研究\*

文 ◆ 潍坊学院经济管理学院 吴玉轩

## 引言

本文通过建立两阶段 DEA 模型对 1990 ~ 2021 年 64 个国家的 ICT 产业 PPP 项目的效率进行了测度, 结果表明: (1) 除少数国家外, 大部分国家的 PPP 项目缺乏效率。(2) 从区域层面来看, 南亚 ICT 产业的 PPP 项目有效, 撒哈拉以南非洲地区、与南亚地区处于纯技术效率前沿面上, PPP 项目有效。(3) 从收入层面来看, 低收入国家与中低收入国家的 ICT 产业 PPP 项目有效, 而中高收入国家 PPP 项目纯技术有效。

## 1 文献综述

ICT (Information Communication Technology, 信息通信技术) 作为数字经济的重要技术支撑, 随着技术的演进与发展, 其所具备的渗透性、协同性与替代性等“技术—经济”特征, 使其成为衡量数字经济规模的重要理论依据<sup>[1]</sup>。对于 ICT 产业公共基础设施的供给, 通常是由政府进行投资建设与运营。然而, 在不完全契约的条件下, 相对于私人部门, 政府在工程质量提升与成本

削减方面面临着驱动力不足的问题<sup>[2]</sup>, 因此, 应进一步明确公共部门供给的边界, 即在什么情况下公共产品需要由政府提供、什么情况下由私人部门提供更有效率。

PPP (Public Private Partnership, 公私合营) 模式作为一种撬动私人资本参与公共基础设施投资与运营的市场化机制, 可以追溯到欧洲公路收费计划时期, 是对传统的公共服务供给方式的有效替代, 现已经成为各国普遍采用的公共产品供给方式, 是解决基础设施建设融资缺口问题的有效途径<sup>[3]</sup>。PPP 模式有利于激发私人资本的活力与创造力, 是对传统的以政府主导的公共产品供给方式的重要补充。

当前, 国内外学者对 PPP 的研究主要集中在 PPP 模式的经济效应研究上。具体来看, 主要集中在 PPP 项目成败的影响因素研究、PPP 项目的规模效应研究以及 PPP 项目的经济增长效应研究等方面。

(1) PPP 项目成败的影响因素研究。魏晓云和韩立岩<sup>[4]</sup>基于博弈论模型研究了绿色 PPP 项目的最优合约问题, 研究表明, 绿色 PPP 项目搭配高收益项目能够通过增加企业利润、提高企业参与环境治理的积极性应对环境风险, 优于传统的政府补贴模式。罗煜等<sup>[5]</sup>基于“一带一路”沿线国家 PPP 项目的实证研究表明, 被投资国的制度质量对私人部门的风险分担程度的影响具有异质性。其中, 政府的腐败控制、效率以及法治水平的提升有助于促进私人部门承担更多的风险, 而私人部门风险承担增加会使 PPP 项目面临更大的失败风险。赵静<sup>[6]</sup>利用东盟国家 PPP 项目的数据, 基于 Logit 模型的实证研究表明, PPP 项目的成败与投资总额以及项目类别呈负向关系, 而多边金融机构的加入与否、国家开放程度与 PPP 项目的成败呈正向关系。

(2) PPP 项目的规模效应研究。张兵和司琪琪<sup>[7]</sup>针对教育领域 PPP 项目的空间计量分析结果表明, 政府信誉、政府能力以及产业结构等 7 个要素是影响 PPP 项目投资规模差异的主要因素。郝博等<sup>[8]</sup>基于 DEA 模型对 44 家参与 PPP 项目的上市公司的融资效率进行了评价, 研究显示, 债券、股权、内源等 3 种融资方式下企业参与 PPP 项目存在规模收益递增, 但融资效率路径存在异质性。

\*【基金项目】山东省自然科学基金青年基金项目“私人资本与公私合营项目的宏观机制研究”(ZR2021QG068)。

【作者简介】吴玉轩 (1990—), 男, 山东潍坊人, 博士, 教师, 研究方向: 数字经济与数字通信技术、世界经济。

(3) PPP项目的经济增长效应研究。韦彩霞和刘倩<sup>[9]</sup>基于A股数据的实证分析认为企业参与PPP项目通过降低企业非效率投资的程度,进而提高了企业的全要素生产率。陈思霞和张东连<sup>[10]</sup>基于DID方法的研究认为,产业新城PPP项目能有效推动县域经济增长,而相容的联合性激励是主要的作用机制。梅建明和邵鹏程<sup>[11]</sup>采用城市面板数据的实证研究表明,PPP模式的应用能有效促进地区经济增长质量,而这种经济增长质量效应的提升主要通过缓解地方财政压力与地区市场化水平的提升实现。

此外,王筱筱等<sup>[12]</sup>基于一般均衡模型研究了政府补贴与国有参股对PPP企业外部融资影响的问题,詹雷和王波<sup>[13]</sup>通过事件研究法研究了上市公司参与PPP项目的股价反应问题。

现阶段对于PPP的研究呈现出如下的特点:(1)多集中于微观层面的研究,对宏观(整体)层面的实证研究相对较少。(2)多集中于经济效应的研究,对于效率测度的研究较少。本文将基于PPI(Private Participation in Infrastructure,私人参与基础设施)数据库,对全球ICT产业PPP项目的效率进行测度,并从多个维度对PPP项目的效率进行比较。

## 2 数据来源与模型设定

### 2.1 数据来源与变量描述

根据PPI数据库的统计,截至2021年,PPP项目遍布全球128个国家,共有10769个PPP项目,涉及能源、交通、信息通信技术、水处理以及城市固体废物等产业。考虑到数据在时间维度(1990~2021年)上的连续性,并满足DEA(Data Envelope Analysis,数据包络分析)模型的分析条件,本文选择1990~2021年64个国家ICT产业的536个PPP项目作为研究对象,并通过DEA模型测度其效率,变量描述性统计如表1所示。

具体而言,这64个国家分别为阿尔巴尼亚、安哥拉、阿根廷、拜尔罗思、伯利兹、巴西、保加利亚、布基纳法索、柬埔寨、喀麦隆、佛得角、乍得、中国、哥伦比亚、刚果、古巴、科特迪瓦、吉布提、埃及、萨尔瓦多、斐济、加蓬、格鲁吉亚、加纳、印度、印度尼西亚、伊朗、哈萨克斯坦、肯尼亚、吉尔吉斯斯坦、老挝、马其顿、马达加斯加、马拉维、马尔代夫、马里、墨西哥、蒙古国、黑山、缅甸、尼泊尔、尼加

表1 变量描述性统计

变量	变量含义	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
investment	投资额(百万美元)	144	355.5431	877.1053	0.2	6550
private_investment	私人投资额(百万美元)	132	262.7203	607.6067	0.2	3602.5
capacity	项目产出(网络连接数)	144	3129.037	11969.94	0.1	117500

数据来源:表格数据根据PPI数据库数据计算得到。在计算时仅保留了项目状态为Active(活跃)的项目,剔除了Cancelled(取消)、Distressed(陷入困境)的项目,最终从536个ICT项目中保留144个PPP项目样本作为最终的研究样本。

拉瓜、尼日尔、尼日利亚、巴基斯坦、秘鲁、菲律宾、俄罗斯、萨摩亚、塞尔维亚、塞舌尔、索马里、南非、叙利亚、坦桑尼亚、泰国、突尼斯、土耳其、乌克兰、瓦努阿图、委内瑞拉、越南、巴勒斯坦、也门。

### 2.2 DEA模型

DEA模型由Charnes、Cooper和Rhodes<sup>[14]</sup>于1978年提出,是一种基于决策单元间相对比较的非参数技术效率分析方法,并给出了DEA理论的最初模型化方法,将他们提出的这一模型称之为CCR模型。

CCR模型认为生产技术的规模收益不变,但是在生产过程中,许多生产过程并没有处于最优的生产规模状态,也就是说处于规模收益可变的状况,因此CCR模型得出的是包含规模效率的技术效率水平。Banker等<sup>[15]</sup>提出了用来估计规模效率的DEA模型,该模型基于规模收益可变的假定,得到的技术效率排除了规模因素对于效率的影响,这一模型一般被称为BCC模型。

对于 $m$ 种投入、 $n$ 种产出、 $q$ 个决策单元的投入导向型BCC模型,第 $l$ 个决策单元的模型可以表示如下。

$$\begin{aligned} \min \theta \\ s.t. \sum_{j=1}^q \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{il} \\ \sum_{j=1}^q \lambda_j y_{pj} \geq y_{pl} \\ \sum_{j=1}^q \lambda_j = \square \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

其中, $\theta$ 为效率值, $i=1,2,\dots,m$ ;  $p=1,2,\dots,n$ ;  $j=1,2,\dots,q$ 。

## 3 模型结果

本文采用BCC模型,同时设

定为两阶段 DEA，通过 DEAP2.1 软件得到效率计算结果，国家层面的 PPP 效率度量如表 2 所示。

从表 2 看，第 2 列综合技术效率为 CRS 模型的技术效率值；第 3 列纯技术效率为 VRS 模型得到的技术效率，因为剔除了规模效率，因而又称之为纯技术效率；第 4 列为规模效率，一般而言，规模效率 = 综合技术效率 / 纯技术效率。

从 DEA 模型效率计算结果来看，在 64 个国家中，就综合技术效率与纯技术效率而言，除萨尔瓦多、尼泊尔、委内瑞拉 3 个国家处于效率前沿外，其余国家的 ICT 产业 PPP 项目的效率均不在效率前沿的位置，反映出就“投入—产出”而言，大多数 ICT 产业 PPP 项目面临效率不足的问题。同时，大多数国家 PPP 项目的收益递减，也就是同样比例的投入增加无法获得同样的产出增加，面临产出不足的窘境。接下来，本文从区域、收入类别等维度对 PPP 项目的效率进行度量。

从区域层面看，PPI 数据库按照世界银行的划分办法，将全球分为六大区域，分别为撒哈拉以南非洲地区、东亚与太平洋地区、欧洲与中亚地区、拉丁美洲与加勒比海地区、中东与北非地区、南亚。区域层面的 PPP 效率度量如表 3 所示，根据表 3 的测算结果，无论是从综合技术效率还是纯技术效率上看，南亚均处于效率前沿面上，故可以认为南亚 ICT 产业的 PPP 项目有效。考虑到规模效率，撒哈拉以南非洲地区和南亚地区均处于纯技术效率前沿面上，而其他区域的 PPP 项目均面临效率不足问题。值得注意的是，非洲地区和欧洲与中

表 2 国家层面的 PPP 效率度量

国家	综合技术效率	纯技术效率	规模效率值	规模收益
阿尔巴尼亚	0	0.016	0.023	递减
安哥拉	0	0.031	0.016	递减
阿根廷	0	0.047	0.005	递减
白俄罗斯	0.001	0.063	0.009	递减
伯利兹	0.039	0.088	0.447	递减
巴西	0	0.094	0.003	递减
保加利亚	0.001	0.11	0.011	递减
布基纳法索	0.002	0.127	0.012	递减
柬埔寨	0.006	0.142	0.042	递减
喀麦隆	0.007	0.157	0.047	递减
佛得角	0.039	0.18	0.217	递减
乍得	0.004	0.193	0.023	递减
中国	0	0.203	0.001	递减
哥伦比亚	0.002	0.22	0.009	递减
刚果	0.034	0.245	0.137	递减
古巴	0.006	0.254	0.023	递减
科特迪瓦	0.003	0.272	0.011	递减
吉布提	0.15	0.346	0.433	递减
埃及	0.002	0.298	0.008	递减
萨尔瓦多	1	1	1	不变

数据来源：通过 DEAP 2.1 软件计算，限于本文篇幅，仅展示了前 20 个国家的效率测算结果。

表 3 区域层面的 PPP 效率度量

区域	综合技术效率	纯技术效率	规模效率	规模收益
撒哈拉以南非洲	0.263	1	0.263	递增
东亚与太平洋	0.18	0.333	0.539	递减
欧洲与中亚	0.541	0.604	0.896	递增
拉丁美洲与加勒比海	0.243	0.667	0.364	递减
中东与北非	0.523	0.833	0.628	递减
南亚	1	1	1	不变
均值	0.458	0.74	0.615	

数据来源：根据 PPI 数据库数据计算得到，下同。

亚地区的 PPP 项目处于规模收益递增的阶段，意味着投入增加的产出红利依然存在。

收入层面的 PPP 效率度量如表 4 所示，表 4 测算了不同收入类型国家 PPP 项目的效率值。具体而言，低收入国家（国民收入低于 1135

表4 收入层面的 PPP 效率度量

收入类型	综合技术效率	纯技术效率	规模效率	规模收益
低收入	1	1	1	不变
中低收入	1	1	1	不变
中高收入	0.905	1	0.905	递减
均值	0.968	1	0.968	

美元)与中低收入国家(国民收入介于1136~4465美元)的ICT产业PPP效率均处于前沿面上,而中高收入(国民收入介于4466~13845美元)国家ICT产业PPP效率的纯技术效率值处于效率前沿面上。因此,对于中低收入国家而言,PPP项目有效,而对于中高收入国家而言,考虑ICT产业PPP的效率时,需要剔除规模效率因素。

## 结语

本文通过建立两阶段DEA模型对64个国家的ICT产业PPP项目的效率进行了测度,效率计算结果表明:(1)除少数国家外,大部分国家的PPP项目缺乏效率。(2)从区域层面来看,南亚ICT产业的PPP项目有效,如果考虑规模效率,撒哈拉以南非洲地区和南亚地区处于纯技术效率前沿面上,这两个地区PPP项目有效。(3)从收入层面来看,低收入国家与中低收入国家的ICT产业PPP项目有效,而中高收入国家PPP项目是纯技术有效。<sup>[5]</sup>

## 引用

- [1] 蔡跃洲,牛新星.中国数字经济增加值规模测算及结构分析[J].中国社会科学,2021(11):4-30+204.
- [2] Hart O,Shleifer A,Vishny R W.The Proper Scope of Government: Theory and an Application to Prisons[J].The Quarterly Journal of Economics,1997,112(4):1127-1161.
- [3] 赵景华,陈新明.“一带一路”沿线国家PPP投资现状、经验及对我国的借鉴启示[J].国际贸易,2017(9):57-60+65.
- [4] 魏晓云,韩立岩.绿色PPP项目组合的最优契约:经济与环境效应的福利视角[J].金融研究,2022(3):60-78.
- [5] 罗煜,王芳,陈熙.制度质量和国际金融机构如何影响PPP项目的成效——基于“一带一路”46国经验数据的研究[J].金融研究,2017(4):61-77.
- [6] 赵静.制度质量、多边金融机构支持对PPP项目成效的影响研究——基于东盟国家PPP项目数据的实证研究[J].国际贸易问题,2020(5):161-174.
- [7] 张兵,司琪琪.基于空间计量模型的PPP项目投资动因回归分析——以教育领域PPP项目为例[J].项目管理技术,2023,21(2):31-36.
- [8] 郝博,张蔚文,陈峰.上市公司参与PPP项目的融资效率研究——基于DEA模型的实证分析[J].工业技术经济,2023,42(5):132-142.
- [9] 韦彩霞,刘倩.企业参与PPP项目对全要素生产率提升的影响——基于微观

层面的经验分析[J].商业经济研究,2023(18):158-162.

[10] 陈思霞,张冬连.产业新城PPP项目与县域经济增长[J].财贸经济,2021,42(4):37-52.

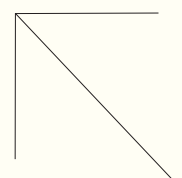
[11] 梅建明,邵鹏程.PPP模式的经济增长质量效应研究——来自微观层面的证据[J].南方经济,2022(9):1-17.

[12] 王筱筱,李时宇,袁诚.政府补贴和国有参股对参与PPP企业外部融资的影响[J].金融研究,2022(3):96-114.

[13] 詹雷,王波.上市公司参与PPP的股价反应及其异质性——来自中国沪深两市的经验证据[J].财政研究,2020(8):101-117.

[14] Charnes A,Cooper W W,Rhodes E.Measuring the Efficiency of Decision Making Units[J].European Journal of Operational Research,1978,2(6):429-444.

[15] Banker R D,Charnes A,Cooper W W.Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis[J].Management science,1984,30(9):1078-1092.



# 计算机信息安全问题及解决对策

文◆广州番禺职业技术学院 王双庆

## 引言

信息安全的保护方法多种多样,通过合理构造防火墙或者信息加密等有效措施,有利于保证系统的正常运行,确保系统的信息安全。

## 1 通信计算机信息安全定义

通信计算机信息安全是指以多种电磁波的形式,在计算机信息系统中对资料进行整理和统计的过程。通信计算机信息安全本质是保证系统资料的正确性和稳定性,防止被窃取和篡改等。通信计算机信息安全隐患不仅损害个人利益,还为政府部门、企业单位等机构带来重大损失,甚至破坏国家安全和秩序。

## 2 计算机信息安全主要问题

### 2.1 传统安全工具遗漏系统后门的安全防范

传统的安全分析方法往往忽视了系统中存在的安全漏洞,致使防火墙无法有效防范网络攻击。以ASP源代码为例,在IIS服务器4.0之前,ASP源代码已出现,这是设计者在设计IIS服务器时为用户留了一个后门,任何人都能从因特网上获取ASP源代码,

从而对系统进行攻击。因为攻击方式与普通网络访问的过程非常类似,所以防火墙难以发现攻击行为,为通信计算机信息安全造成隐患。

### 2.2 非法入侵行为

犯罪分子为了窃取用户的秘密信息,非法入侵用户的计算机系统,修改和破坏系统,严重威胁了计算机信息安全,影响了系统的正常运行。例如,在企业系统中,目前大部分企业实行了信息化,企业的生产和经营数据已完成系统上传,一旦发生企业系统遭受恶意攻击事件,那么企业的核心数据就会被泄露、修改和破坏,对企业的生产运营造成不利影响<sup>[1]</sup>。

### 2.3 通信计算机技术方面存在的漏洞

(1) 计算机系统弱点问题。计算机系统弱点是较为普遍的一种现象,即计算机系统本身的设计存在缺陷。虽然漏洞问题没有对信息安全产生直接影响,但在系统运行时会受到木马或黑客攻击,导致信息泄露。重则使整个电脑系统瘫痪,轻则使用户遭受重大损失。

(2) 计算机在运行中缺乏容错和灾难恢复的能力。当出现故障或受到外界损害时,系统无法进行自我调整与自我修复,造成信息损失。

(3) 网络风险。网络风险是一种高度随机行为,当计算机和其他节点进行数据交互的时候,木马病毒“趁虚而入”入侵系统,导致用户信息的损失。

### 2.4 缺乏系统的安全应对措施

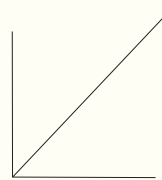
(1) 虽然计算机网络安全问题得到了充分关注,但针对这一问题的对策却十分有限。许多措施仅是一种警告和宣传,没有真正实现落地执行。

(2) 管理机制不健全。由于相应的制度与规范不健全,运营商在软硬件开发过程中未全面考虑用户的使用安全问题,只注重经济效益,在没有安全保障的前提下,仍允许电子产品或服务投入使用,给用户的信息安全带来了潜在的风险。

(3) 缺乏相应的技术支持。计算机信息安全问题应对策略地制定,具有较强的专业性和技术性。然而,国内缺乏这一领域的人才,因此造成了计算机网络的安全保障缺少相应的人员支持<sup>[2]</sup>。

### 2.5 计算机信息安全管理专业人员专业能力较差

由于信息技术的快速发展，网络环境越来越复杂，管理工作的难度也越来越大，因此必须配备专业能力强、技术水平高的技术团队。然而，大部分企业的网络信息管理部门人员水平有限，专业知识不扎实，专业技术不过关，且企业对于专业人才培养的不重视，导致计算机信息安全管理工作开展困难，为计算机信息安全提出了更严峻的挑战。



## 3 计算机信息安全问题应对措施

### 3.1 加强网络秩序建立

要想大幅度提高信息系统的安全水平，就必须保证其具有有序性。首先，相关部门根据网络发展和运行过程中的实际状况，制订有针对性的管理机制，并对现行制度的缺陷进行全方位改进，充分发挥制度体系的约束和规范功能，监督网络使用者正常、有序的上网行为。其次，安全健康网络环境，不仅需要管理者充分发挥职责，还需要所有的网络使用者参与进来，只有增强网络使用者的安全意识和自我约束能力，才能使信息安全得到有效保障，同时进一步提高管理工作的质量和效率。最后，建立健全审查与奖惩机制，在增加审核次数和强度的基础上，对违反法律法规的行为作出有效的惩戒措施，对遵守网络秩序的行为给予奖励，激发公众的积极性和主动性，共同维护网络安全。

### 3.2 优化计算机访问控制技术

工作人员应定期开展系统升级工作，建立健全访问控制机制，保证系统的正常运转。加大对用户访问信息的审核力度，增加接入请求阻截机制，将非法入侵行为扼杀于萌芽状态。当系统收到用户的访问请求时，必须对其进行充分审查，以防止不正当的手段对系统进行访问。此外，网络系统访问机制应定期优化，提高网络系统对访问请求的辨别能力，及时拦截违规访问和不明访问等行为，为网络系统中的各项信息提供安全保障。

### 3.3 提高计算机远程网络通信的速率

一方面，企业应购置先进的计算机通信技术设备，引入先进的计算机软件，定期对计算机软硬件系统进行优化升级，提升网络信息通信的

效率与稳定性，有效处理信息在传输中产生的信息畸变、信息延时等问题。另一方面，全方位升级改造通信生产企业经营模式，为计算机远程网络通信服务业提供优质的软硬件设施，确保网络信息通信的速率与质量。企业应构建一套更科学、更完善的计算机远程网络通信服务链条，完善计算机通信技术中的缺点，有效提升信息传输的稳定性与可靠性<sup>[3]</sup>。

### 3.4 数据加密管理

(1) 通信密码。利用 SSL/TLS 等保密通信协议以及加密信道，对数据进行加密保护。SSL/TLS 采用公开密钥加密与对称加密相结合的方法进行保密通信。用户端与伺服器“握手”时，密码运

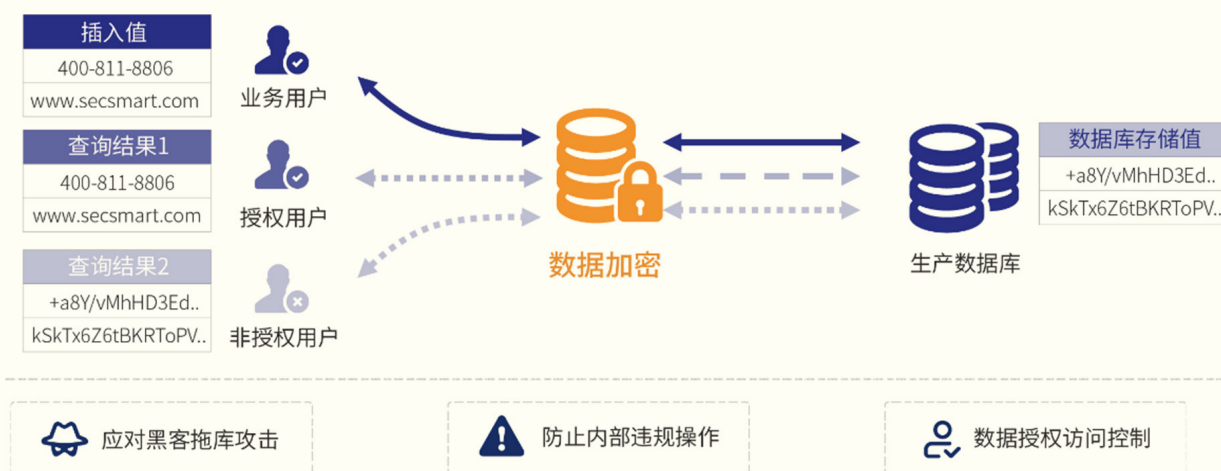
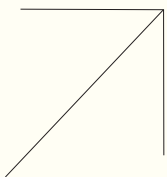


图 1 数据加密逻辑图

算法则与金钥资讯会被交换。服务器将公开密钥发给客户，然后客户再用这个公开密钥对其进行加密，只有服务器才能将其解密，保证了通信的保密性。在“握手”结束之后，SSL/TLS 就会创建一个加密信道，利用对称密码算法对全部的数据进行加密。即使资料信息被监听，攻击者也不能了解资料的具体内容。此外，SSL/TLS 还提供了一种基于 MAC 的数据完整性检验机制，见图 1。

(2) 认证和授权。认证和授权机制是保障计算机信息安全的重要手段，它可以有效对用户进行认证，并对其进行授权。ACL 是一种通用的认证和授权机制，根据使用者的识别与使用权限等级定义存取权限。设定 ACL 将敏感资料仅由被授权的使用者存取，采用公开密钥加密的方式，将用户的标识和公共密钥相结合，通过认证的方式验证用户身份。双重认证需要附加的认证要素，如移动电话认证、指纹认证或者硬件认证，以增强系统的安全性，降低被窃听的风险。



### 3.5 强化反病毒能力

电脑信息的安全水平在很大程度上依赖于系统的防病毒功能，为了确保信息安全，在计算机系统和程序中安装防火墙。首先，要想提高防火墙的防病毒能力，软件工程师必须理解和熟悉当前各类病毒的特征、攻击规律和入侵原理等，进一步开发出具有针对性的防御杀毒程序，并定期对防火墙进行改进和优化<sup>[4]</sup>。其次，由于病毒本身具有复制和伪装的特点，因此，软件工程师在构建防火墙时，应加强对动态监视、伪装识别等功能的关注。最后，由于互联网技术的飞速发展，病毒的种类越来越多，给计算机信息系统带来的威胁也越来越大，这就要求网络安全管理者应时刻保持高度的警觉，增强对病毒及其隐患的敏感度，将病毒带来的损失降到最低。

### 3.6 加大对计算机信息安全管理人员的培养力度

科技人才是保障网络信息系统安全的重要力量，因此，应提高计算机信息安全管理部門工作人员的专业素养，建设一支强有力的人才队伍。首先，解决计算机网络人才教育滞后的问题，在经费、师资等方面加大投入，并与先进的教学方式相结合，以市场需求为培养对象，以学生为中心，进行教学工作，从而更好地提升教学效果，使本专业的学生得到全面发展，打造出一批优质的人才资源。其次，企业在招聘人才的过程中，要提高选拔标准，不仅要重视求职者的学历，还要对求职者的实践经验、应用能力、技术水平、理论知识等方面全面考察，并定期对员工进行能力和知识的培训。

## 结语

在我国目前的信息化建设和应用中，信息安全已经成为一个非常重要的问题。通信电脑是信息技术应用之载体，其资讯储存量较大，确保信息的安全性显得尤为重要。当前，在计算机应用中，因其相应的机制存在问题，造成了计算机应用中的网络安全得不到保证。所以，在使用电脑时，应持续增强使用者的信息安全意识，从保护自己的信息安全着手，通过科技的更新和完善提升电脑的安全性。■

## 引用

- [1] 马怡璇,李浩升,黄强,等.基于模糊理论的信息安全风险评系统[J].电子设计工程,2023(4):123-127.
- [2] 杨忠铭.计算机信息安全及其防火墙技术应用[J].数字通信世界,2023(1):126-128.
- [3] 任高明.计算机信息系统维护与网络安全漏洞处理方法[J].信息记录材料,2020(7):183-184.
- [4] 王懿嘉.计算机信息系统维护与网络安全漏洞处理策略分析[J].无线互联科技,2020(10):20-21.

# 基于神经网络的波动方程行波法求解方法

文◆重庆理工大学机械工程学院 熊星宇

## 引言

行波法是一种波动方程的常见解法，基本思想是将波动方程转化为沿  $X$  轴两个方向传播的两个函数。鉴于人工神经网络可以建立输入、输出关系进行函数预测，本文提出一种基于神经网络的求行波函数的方法。利用波动方程的初始位移和速度条件生成数据集，根据行波法展开的格式构造人工神经网络预测模型。训练完成后的神经网络具有和函数一样的功能，在波动数值模拟中可以作为波动方程的数值解。经验证，该方法计算规模小，处理速度快，精度较高。

## 1 行波法简介

一维波动方程是一个偏微分方程，通常用于描述弦、声波和电磁波等波动现象<sup>[1]</sup>。首先，一维波动方程是一个线性方程，意味着波动现象可以叠加和分解成多个简单的波动模式。其次，波动方程是一个二阶偏微分方程，包含了时间和空间两个变量，描述了波动的演化过程。最后，它具有解析功能，可以通过数学方法求解出波的行为<sup>[2-4]</sup>。一维波动方程在物理学、工程学和应用数学等领域中有着广泛应用。在物理学中，它被用于描述弦、声波和电磁波等波动现象的传播和干涉。在工程学中，它被应用于建筑结构的振动分析、声学工程和光学器件设计等方面。在应用数学中，一维波动方程的研究为数学物理学和偏微分方程的发展奠定了重要的基础<sup>[5]</sup>。

一维波动方程的研究起源可以追溯到 17 世纪。当时，物理学家如达朗贝尔和欧拉开始研究弦的振动现象，并提出了一维波动方程的初步形式。随着时间的推移，通过实验和理论推导，一维波动方程的表达形式和解析方法已经非常完善。

一维波动方程的形式给出如下。

$$u_{tt} = c^2 u_{xx} \quad (1)$$

式 (1) 中， $u(x,t)$  表示波在  $x$  位置和  $t$  时刻的强度， $c$  表示波速。达朗贝尔给出了波动方程的一般解，公式如下。

$$u = f(x-ct) + g(x+ct) \quad (2)$$

式 (2) 中， $f(x,t)$  和  $g(x,t)$  为任意两个可微分的单变量函数，分别

对应于右传播波和左传播波。通常，结合定解条件可以从式 (2) 导出特解。假设有如下的无界波动问题。

$$\begin{cases} u_{tt} = c^2 u_{xx} \\ u|_{t=0} = \varphi(x), u_t|_{t=0} = \psi(x) \end{cases} \quad (3)$$

从式 (2) 和式 (3) 可以给出以下方程。

$$\begin{cases} f(x) + g(x) = \varphi(x) \\ cf'(x) - cg'(x) = \psi(x) \end{cases} \quad (4)$$

根据达朗贝尔公式给出的对应初始位移速度初始条件的波动方程解如下。

$$u = \frac{1}{2} [\varphi(x+ct) + \varphi(x-ct)] + \frac{1}{2c} \int_{x-ct}^{x+ct} \psi(z) dz \quad (5)$$

式 (5) 中， $\varphi(x+ct)$  和  $\varphi(x-ct)$  分别表示了波速为  $c$ 、向  $x$  轴负方向的左行波、向  $x$  轴正方向的右行波。积分项表示了初始速度对波动的影响。本文将通过机器学习方法给出两个训练完成的神经网络，用于替代式 (2) 的两个函数，实现波动方程的求解。

## 2 神经网络模型

神经网络 (Artificial Neural Networks, ANNs) 是一种模拟生物神经系统的计算模型。自从

20 世纪 40 年代提出以来，人工神经网络已经历了多个演进阶段，如今已在各个领域得到广泛应用<sup>[6-7]</sup>。人工神经网络具备并行分布式处理能力，可以同时处理多个输入数据并产生相应的输出，在处理大规模数据和复杂问题时具有显著的优势<sup>[8]</sup>。此外，人工神经网络具备自适应性和学习能力。通过反复调整神经元之间的连接权重，神经网络可以从输入数据中提取出关键特征，并逐渐优化模型的性能，使神经网络能够处理各种复杂的非线性问题，并具备一定的泛化能力<sup>[9-10]</sup>。

鉴于人工神经网络的以上优点，将函数自变量和函数值组成数据集训练人工神经网络，使用人工神经网络表达各种复杂函数。首先，构造表示式(2)中左行波函数  $f$  与右行波函数  $g$  的人工神经网络。其次，以两个神经网络为基础，搭建按照满足式(4)关系的要求组装成新的神经网络模型，搭建以初始条件的范围横坐标为输入，以初始条件为输出的神经网络模型。使用具有多层隐藏层的神经网络，通过堆叠多个隐藏层提取更高级别的特征表示。理论上，针对具有不同初始条件的波动方程算例构造数据集，通过调整神经网络的规模和参数，使神经网络满足各种行波函数，解决各种一维波动问题。

构造两个结构相同但参数不同的神经网络链，分别用于表示函数  $f$  与  $g$ 。该神经网络链采用三层神经网络层结构，输入数组维度与输出数组维度均为 1。每个神经网络层具有 16 个节点，采用双曲正切函数作为激活函数。

基于代表函数  $f$  与  $g$  的已构造的神经网络链，应构造表示函

数  $f'$  与  $g'$  的神经网络。通过微分计算公式定义  $f'$  与  $g'$ ，即定义一个极小值  $\Delta = 1E-5$ ，计算公式如下。

$$f' = \frac{f(x+\Delta) - f(x)}{\Delta} \tag{6}$$

$$g' = \frac{g(x+\Delta) - g(x)}{\Delta}$$

表示函数  $f(x)$  的神经网络示意图如图 1 所示，在图 1 所示神经网络链前增加函数层对输入添加极小值  $\Delta$ ，构成新的神经网络链。将代表  $f(x+\Delta)$  及  $f(x)$  的神经网络链接到同一输入口，在末尾添加神经网络层做差和除以极小值  $\Delta$ ，构造的神经网络模型用于表示  $f'$ 。函数  $g'$  同理，

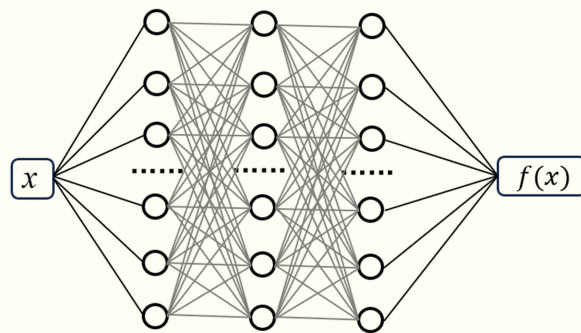


图 1 表示函数  $f(x)$  的神经网络示意图

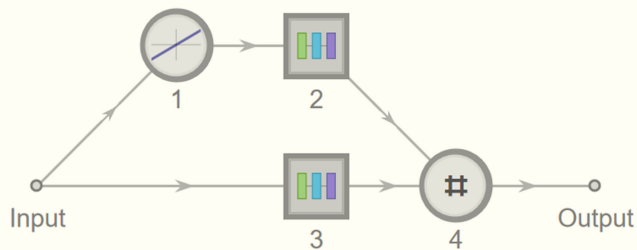


图 2 表示函数  $f'(x)$  的神经网络

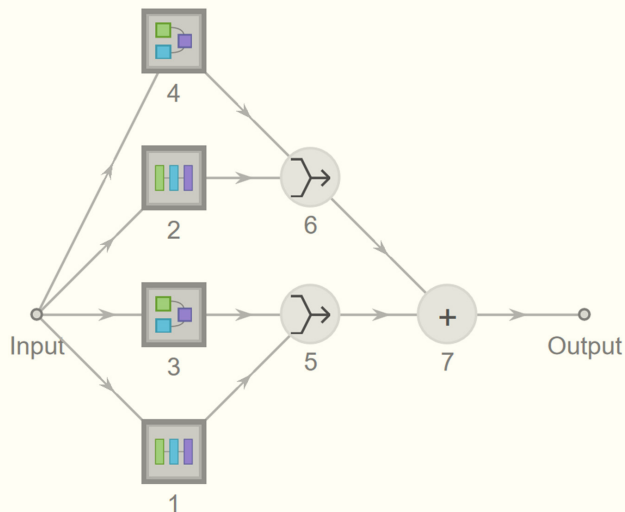


图 3 拟合初始条件的人工神经网络

表示函数  $f'(x)$  的神经网络如图 2 所示，图中神经网络层 1 表示为输入增加极小值  $\Delta$ ，层 2、3 表示代表函数  $f$  的神经网络链，层 4 表示将两个输入做差并除以极小值  $\Delta$  的神经网络层。

在神经网络中，再添加一层无偏置的节点数为 1 的线性层，将该层学习率设置为 0，预设其中的权重表示参数  $c$ 。将链和模型组合，以使整个神经网络满足式 (4) 给出的输入输出关系。将两个神经网络链的输出相加对应输出端的位移初始条件，将图 2 所示的函数  $f'$  和  $g'$  的神经网络做差对应速度初始条件。这样一来，通过初始条件的坐标  $X$  及对应的输出  $\varphi(x)$  和  $\psi(x)$ ，就可以训练出与函数  $f$  与  $g$  具有近似功能的神经网络。在输出层使用的损失函数采用均方根误差，拟合初始条件的人工神经网络如图 3 所示。图 3 中层 1、2 分别表示代表函数  $f$  和  $g$  的神经网络链，层 3、4 分别表示代表函数  $f'$  和  $-g'$  的神经网络，层 5、6 表示将输入前后连接到一个向量，层 7 表示将输入相加后输出。

### 3 数值算例验证

针对式 (7) 所示的波动方程，使用具有式 (8) 所示的初始位移和速度的初始条件作为算例

$$u_{xx}=u_{tt} \tag{7}$$

$$\varphi = \begin{cases} e^{-x^2}, & |x| \leq 10 \\ 0, & |x| > 10 \end{cases} \tag{8}$$

$$\psi = 0$$

使用式 (8) 所示的初始条件构造数据集。初始条件函数具有紧支撑的特点，构造数据集应至少包括全部的坐标范围。需要注意的是，若初始条件位移和速度在边界临近处变化较快，应将紧支撑区域外的数值为 0 的部分计算域纳入数据集，否则会导致神经网络链在紧支撑的坐标范围外错误的预测函数值。样本输入是坐标  $X$ ，输出分别对应  $\varphi(x)$  和  $\psi(x)=0$ ，即输入数据样本长度为 1，输出数据规模样本长度为 2。此过程中取  $\Delta x=0.001$ ，数据集规模为  $2E+04$ ，训练最大回合设置为 2000，学习率设置为 0.001，在数据集中抽取 30% 作为训练中的验证集，若 Loss 在 20 回合内没有明显下降则停止训练。最终，得到了表示初始条件的整个神经网络模型以及两个训练完成的神经网络链，它们分别代表函数  $f$  与  $g$ 。整体神经网络模型训练完成后，得到初始条件的对比结果 (见图 4)。

无需知道具体的神经网络链内部参数，将其组装为式 (2) 所示的

格式，用来展示算例波动随时间的变化情况。同时，使用有限差分法给出了式 (5) 所代表的参考解。算例 1 各时刻波形对比如图 4.b 和图 4.c 所示，橙色虚线表示差分方法计算的参考解，黑色虚线表示人工神经网络得出的函数解。在  $t=0$  到  $t=9$  的计算时间内，波形吻合情况良好。

此外，在上述算例基础上添加了初始速度，如式 (9) 所示。

$$\varphi = \begin{cases} e^{-x^2} \cdot |x| \leq 10 \\ 0, & |x| > 10 \end{cases} \tag{9}$$

$$\psi = \begin{cases} 0.1e^{-x^2}, & |x| \leq 10 \\ 0, & |x| > 10 \end{cases}$$

为取得更好的训练效果，适当增加了图 1 所示神经网络链中层数量增加至 5 个，每一层的节点数量增加至 64 个，数据集的坐标范围取值提高为  $[-20,20]$ 。其余设置相同的情况下，完成神经网络训练。使用差分方法计算出了波动方程在  $t \in [0,10]$  和  $x \in [-20,20]$  范围内的解。训练的初始速度对比如图 5 所示，给出了神经网络方法计算出的初始速度与实际初始条件的对比，算例 2 各时刻波形对比如图 6 所示，给出了各时刻通过两种方法计算出的波形，其中  $t=0$  展示了神经网络使用初始条件数据集的训练效果。观察到训练的神经网络模型无法很好的拟合初始速度函数曲线，即所求的左行波与右

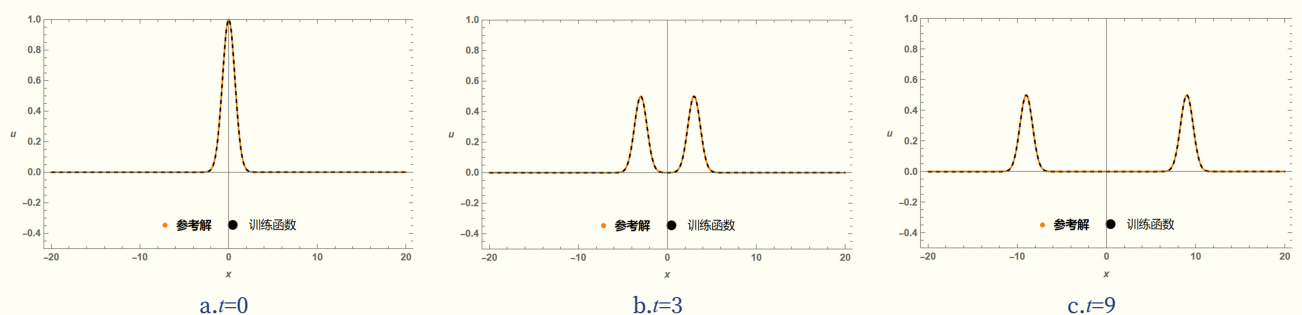


图 4 算例 1 各时刻波形对比

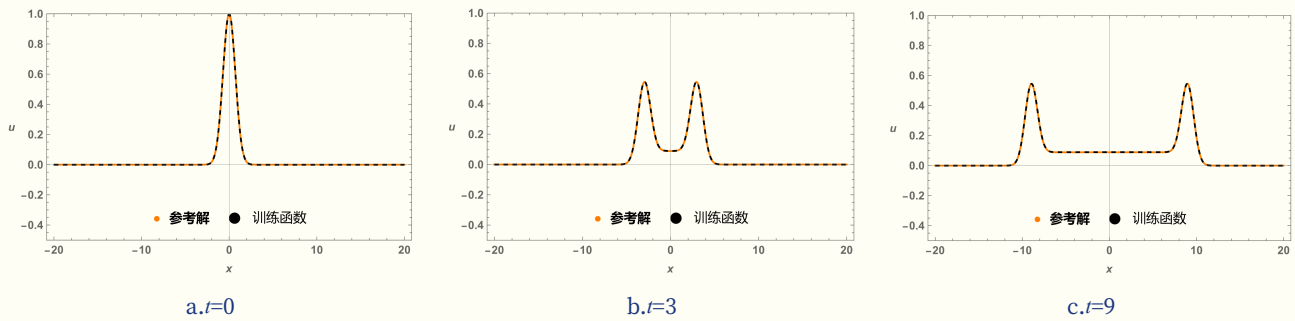


图6 算例2 各时刻波形对比

行波函数的零时刻时间一阶偏导拟合程度不佳。但是在图6所示的波形对比图中，可以看出波形在计算时刻内拟合较好。

### 结语

参照波动方程的行波法求解办法，为求出分解为左行波与右行波形式的波动方程，本文提出了一种基于神经网络的求解行波函数方法。以深度学习的神经网络链表示未知的左行波和右行波函数，按照满足初始条件格式搭建完整的神经网络。使用初始条件构造数据集，经数据集训练后的神经网络可以等效行波函数预测出结果，给出对应时间和位置的波动数值，即给出波动方程的解。经数值算例验证，使用此方

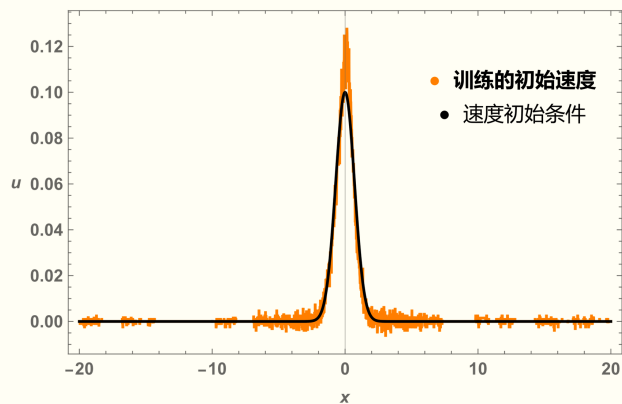
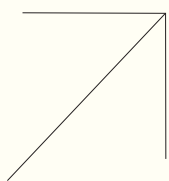


图5 训练的初始速度对比

法解出的波形与差分方法的解在各时刻均吻合较好。该方法在完成神经网络模型建立后，可以快速解析具有各种初始条件的波动方程。<sup>[8]</sup>

### 引用

- [1] Joseph B.Keller,李家春.线性波传播理论的发展和前景[J].力学进展,1980(4):101-118.
- [2] 廖振鹏.近场波动问题的有限元解法[J].地震工程与工程振动,1984,4(2):1-14.
- [3] C.埃蒙,吕仲林.波动方程与模型[J].石油地球物理勘探,1979(5):48-71.
- [4] 阎超,于剑,徐晶磊,等.CFD模拟方法的发展成就与展望[J].力学进展,2011,41(5):562-589.
- [5] 李红敬,文祯中.自然科学概论[M].南京:南京大学出版社,2019.
- [6] 焦李成,杨淑媛,刘芳,等.神经网络七十年:回顾与展望[J].计算机学报,2016,39(8):1697-1716.
- [7] 刘建伟,刘媛,罗雄麟.深度学习研究进展[J].计算机应用研究,2014,31(7):1921-1930+1942.
- [8] 马秀麟,郭彤,鲍建樟,等.信息处理与数据科学[M].北京:北京师范大学出版社,2021.
- [9] 自动化技术、计算机技术[J].中国无线电电子学文摘,2011,27(6):163-242.
- [10] 丁丁,刘文哲,盛常冲,等.神经网络架构搜索研究进展与展望[J].国防科技大学学报,2023,45(6):100-131.



# TF-Net：一种优化泰勒公式模块的 图像去噪算研究\*

文◆北京科技大学天津学院 张洪峰 孙沛叶 刘俊培 孙墨林 刘云豪

## 引言

在图像去雾任务中，由于注意力机制的二次计算复杂度，Transformer 网络的应用受到了限制。为应对这个挑战，本文提出了一种新颖的 Transformer 变体，采用泰勒扩展来近似注意力机制，实现了线性轻量级的复杂度。为进一步提高模型性能，本文引入多尺度注意力细化模块，用于校正泰勒扩展引入的误差。此外，本文对提出的变形器进行了优化，引入多分支架构和多尺度嵌入方法。多分支架构通过不同尺度的重叠变形卷积嵌入特征，多尺度补丁嵌入的设计基于不同大小的感受野、多层次语义信息、灵活的感受野形状大小的理念。本文的模型被称为由泰勒公式扩展的多分支变形器（TF-Net），在补丁嵌入阶段更灵活地嵌入从粗到细的特征，以最小的计算成本捕捉长距离像素之间的相互作用。通过多个去雾基准测试，TF-Net 在较轻的计算负担下实现了最先进的性能，解决了注意力机制模块的计算复杂度问题，有效提高了图像去雾任务的性能。

## 1 研究背景

单幅图像去雾是一项图像修复任务，旨在从受雾霾影响的图像中估算出无雾霾图像。从基于卷积神经网络 (Convolutional Neural Networks, CNN)<sup>[1]</sup> 的方法开始，这项任务在去雾方面取得了巨大胜利，深度去雾网络的性能得到了显著提高，但 Transformer 的感受野仍受到限制。

为应对这些挑战，提出了一种创新方法 TF-Net。首先，针对 Transformer 计算复杂度的问题，引入小空间窗口内的自注意机制，适应像素级的去雾任务，减少计算量，提高模型效率。其次，对视觉 Transformer 进行改进，引入灵活的尺度变换器，以适应不同尺度的变化。

模型经过创新性的改进，使其更适用于图像去雾任务，并且仍然保持了 Transformer 在计算机视觉任务中的通用性。TF-Net 是一种改进的方法，相较于 SOTA 方法，在 SOTS-Indoor 数据集上进行训练。在 TF-

Net 中，圆圈的大小与模型参数的数量成正比。TF-Net 在整个特征图上跨越空间维度应用自注意力机制，并且保持线性的计算复杂度。通过对 Softmax 函数进行泰勒展开计算自注意力的权重，应用矩阵乘法的关联法则，将自注意力的计算复杂度降到最低。这种策略具有以下优点。（1）保留了 Transformer 模型对数据间长距离依赖关系的建模能力，避免了因窗口分割而导致的感受野减小的问题。（2）TF-Net 提供了更强的值近似，与传统的 Transformer 模型相似。（3）TF-Net 使得 Transformer 模型关注像素级的交互而不是信道级的交互，能更精细地处理特征。

为了解决泰勒展开公式中忽略余数形式带来的误差问题，提出了多尺度注意力细化 (Multi-Scale Attention Refinement, MSAR) 模块<sup>[2]</sup>。该模块利用图像内部的局部相关性，通过对查询和关键字的局部信息进行卷积操作，生成带有缩放因子的特征图。特征图的通道数量与多头自注意

\*【基金项目】天津市教委科研计划项目“一种光伏板综合维护检测车研制”（项目批准号 2023KJ251）

【作者简介】张洪峰（1986—），男，山东潍坊人，硕士研究生，讲师，研究方向：先进制造技术研究与自动控制。

力 (Multi-headed Self-attention, MSA) 的头数相等, 因此每个头都有对应的缩放因子。

本文提出了一种名为 TF-Net 的“编码器—解码器”骨干网络, 基于多尺度补丁嵌入和泰勒公式多分支“编码器—解码器”结构。多尺度补丁嵌入模块具有不同大小的感受野、多层次的语义信息和灵活的感受野形状。考虑到每个标记的生成都应遵循局部相关性先验, 故对可变形卷积的偏移量进行了截断。为了降低计算复杂度和参数数量, 采用了深度可分离方法。将不同尺度的标记输入 TF-Net 中, 并进行融合, 多尺度补丁嵌入模块能够生成不同尺度和维度的标记, 而多分支结构能够同时处理这些标记, 从而捕捉到更强大的特征。TF-Net 网络结构图如图 1 所示, (a)TF-Net 是基于多尺度补丁嵌入的多分支分层设计组成的模型, (b)多尺度补丁嵌入技术能够将粗到细的补丁嵌入到模型

中, (c)TF-Net 具有线性计算复杂度, 能够高效计算, (d)MSAR 模块能够对泰勒扩展中的误差进行补偿。

### 2 去雾方法

关于自我关注的高效设计, 变形器的计算复杂度对计算资源的要求较高。因此, 一些研究采用基于滑动窗口的自我关注, 这种设计限制了 Transformer 对数据中长距离依赖关系建模的能力。

采用不使用卷积核函数的策略, 直接对 Softmax 函数进行泰勒展开, 确保了对 Softmax 函数和数值的准确近似, 并降低计算复杂度, 使模型在处理长距离像素之间的依赖关系时更加高效。

在高级视觉领域中, 金字塔结构是一种常见且简单的方法。IFormer 通过截取结构融合高频和低频信息; CrossViT 和 MPViT 采用多分支处理多尺度的图像块, 以获得多尺度的感知范围。在低级视觉领域, MSP-Former 利用多尺度投影帮助 Transformer 模型表示复杂的退化环境, Gige 通过多分支处理不同尺寸的特征图。但这些方法很少进一步探索多尺度补丁和多分支架构, 且卷积核的采样点数量固定。相比之下, 多尺度可变形卷积不仅具有灵活的采样点。

### 3 TF-Net 方法

本文的目标是建立一个基于 Transformer 的高效、轻量级去雾网络。为降低计算复杂度, 使用 Softmax-attention 的泰勒扩展满足关联法则, 并采用 U-net 结构。为了补偿泰勒扩展误差的影响, 提出了一个 MSAR 模块, 首先描述 TF-Net 整体架构, 然后介绍 3 个核心模块, 即多尺度补丁嵌入、泰勒扩展自注意力机制和 MSAR 模块。

给定一幅模糊图像  $I$ , 其大小为  $3 \times h \times w$ , 使用卷积操作进行浅层特

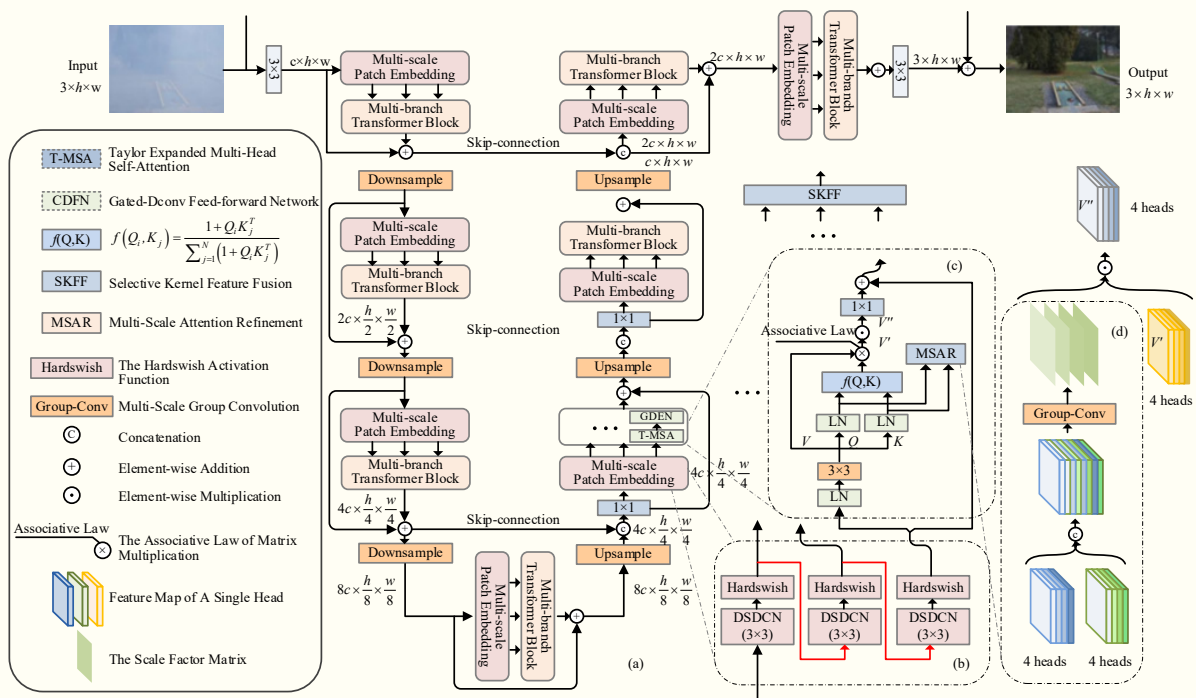


图 1 TF-Net 网络结构图

征提取，得到  $F$ ，其大小为  $c \times h \times w$ 。采用“四级编码器—解码器”网络进行深度特征提取，每个阶段都包含一个残差块，其中包含多尺度补丁嵌入和多分支变换器。使用多尺度补丁嵌入技术生成多尺度标记，并将其输入多个变换器分支中，每个变换器分支都包含多个变换器编码器。在多分支 Transformer 块的末尾应用 SKFF 模块，对不同分支生成的特征进行融合。由于泰勒变换器具有卓越的性能和多分支设计，压缩通道和变换器块的数量。在每个阶段，使用像素取消洗牌和像素洗牌操作对特征进行下采样和上采样。使用跳跃连接聚合编码器和解码器的信息，并通过  $1 \times 1$  卷积层进行降维，为了恢复精细的结构和纹理细节，在“编码器—解码器”结构之后使用一个残差块。最后，使用  $3 \times 3$  卷积层减少通道，并输出残差图像  $R \in R \times h \times w$ 。为进一步压缩计算量和参数，在图像处理层应用深度可分离卷积。DSDCN 网络结构示意图如图 2 所示，偏移由  $K \times K$  深度卷积和点卷积生成，输出由  $K \times K$  深度可变形卷积和点卷积生成。这意味着在生成偏移量时，使用了一个  $K \times K$  的深度卷积和一个点卷积，而在生成输出时，使用了一个  $K \times K$  的深度可变形卷积和一个点卷积。

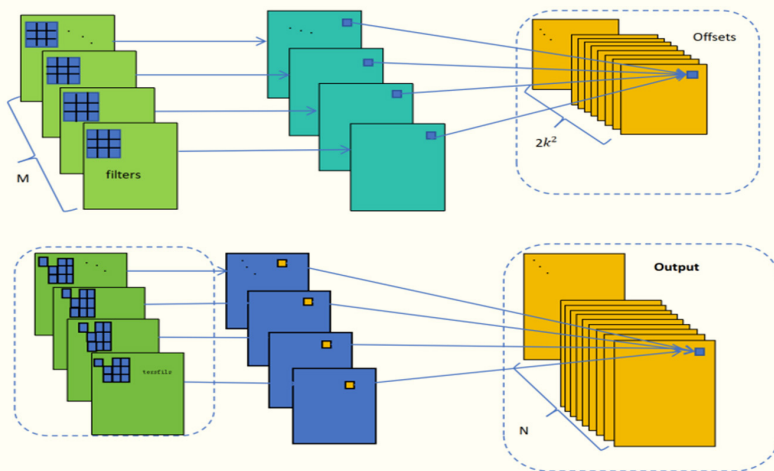


图 2 DSDCN 网络结构示意图

### 3.1 多尺度补丁嵌入模块

本文提出了一种创新的多尺度补丁嵌入方法，采用堆叠扩展接收场的操作，堆叠多个具有小核的可变形卷积层，不仅增加了网络的深度，提供了多层次的语义信息，还有助于减少参数和计算负担。为了激活可变形卷积层的输出，在所有可变形卷积层后面使用了 Hardswish 激活函数。采用新的多尺度补丁嵌入方法，更好地捕捉不同尺度和层次的视觉特征，提高对视觉元素多样性的建模能力。与深度可分离卷积的策略类似，提出了深度可分离和可变形卷积 (Deep-Separable and Deformable Convolutions, DSDCN)，将可变形卷积 (DCN) 的各个部分分解为深度卷积和点卷积，标准 DCN 和 DSDCN 对于  $h \times w$  图像的计算代价如下。

$$\Omega(\text{DCN})=2MK^4 hw+MNK^2 hw+4MK^2 hw \quad (1)$$

$$\Omega(\text{DSDCN})=8MK^2 hw+MN hw \quad (2)$$

其中， $M$  和  $N$  分别为输入和输出通道数， $K$  为卷积核大小。DCN 和 DSDCN 的参数如下。

$$P(\text{DCN})=2MK^4+MNK^2 \quad (3)$$

$$P(\text{DSDCN})=4MK^2+MN \quad (4)$$

与 DCN 相比，DSDCN 显著降低了计算复杂度和参数数量。考虑到图像的局部相关性以及斑块嵌入可以捕捉到特征图的基本元素，因此视觉元素应更加关注局部区域。通过截断偏移量控制补丁嵌入层的感受野范围，在实践中选择的偏移量为  $[-3, 3]$ 。根据视觉对象的形状，通过学习选择感受野的大小，其上限为  $9 \times 9$ ，相当于  $\text{BF}=4$  的扩张卷积，下限为  $1 \times 1$ 。当并行设置多尺度补丁嵌入时，不同分支的感受野大小依次为  $x \in [1, 9]$ ,  $y \in [x, x+8]$ ,  $z \in [y, y+8]$ 。

### 3.2 泰勒扩展自注意力机制

假设 Queries ( $Q$ ), Keys ( $K$ ), Values ( $V$ ) 是一个  $h \times w$  的特征向量序列，维数为  $D$ ，其中  $h$  和  $w$  分别是图像的高度和宽度。变换器 Transformer 的计算公式如下。

$$V' = \text{Soft max} \left( \frac{Q^T K}{\sqrt{D}} \right) V^T \quad (5)$$

由于  $Q \in Rhw \times D$ ,  $K \in Rhw \times D$ ,  $V \in Rhw \times D$ , Softmax 自我关注的计算复杂度为  $O$ ，导致了昂贵的计算成本。要将自我关注的计算复杂度从  $O(h^2w^2)$  降至  $O(hw)$ ，首先将式 (5) 的广义注意力方程改写为如下形式。

$$V'_i = \frac{\sum_{j=1}^N f(Q_i, K_j) V_j}{\sum_{j=1}^N f(Q_i, K_j)} \quad (6)$$

其中，下标为  $i$  的矩阵是矩阵第  $i$  行的向量， $f$  表示任何相似性函数。设  $f(Q_i, K_j) = \left| \exp \left( \frac{Q_i^T K_j}{\sqrt{D}} \right) \right|$  时，式 (6) 退化式为 (5)。如果本文应用泰勒公式对  $\exp \left( \frac{Q_i^T K_j}{\sqrt{D}} \right)$  在 0 处进行一阶泰勒展开，可将式 (6) 改写为

$$V'_i = \frac{\sum_{j=1}^N (1+Q_i^T K_j + o(Q_i^T K_j)) V_j}{\sum_{j=1}^N (1+Q_i^T K_j + o(Q_i^T K_j))} \quad (7)$$

此外，本文从向量  $\tilde{Q}_i, \tilde{K}_i$  的归一化中生成  $\tilde{Q}_i$  and  $\tilde{K}_i$  以近似  $\exp\left(\frac{Q_i^T K_j}{\sqrt{D}}\right)$ 。当  $\tilde{Q}_i$  and  $\tilde{K}_i$  的规范小于 1 时，使注意力图的值全部为正，在实践中得知规范归一化为 0.5 时效果最好。因此，有一个近似值，其一阶泰勒展开在定义域  $[-0.25, 0.25]$ ，忽略 Peano 的余项形式，得到自注意力的泰勒展开表达式如下。

$$V'_i = \frac{\sum_{j=1}^N (1 + \tilde{Q}_i^T \tilde{K}_j) V_j^T}{\sum_{j=1}^N (1 + \tilde{Q}_i^T \tilde{K}_j)} \quad (8)$$

本文激活函数图如图 3 所示。

最后，对式 (8) 应用矩阵乘法关联律，如下所示。

$$V'_i = \text{Taylor-Attention}(Q_i, K_i, V_i) = \frac{\sum_{j=1}^N V_j^T + \tilde{Q}_i^T \sum_{j=1}^N \tilde{K}_j V_j^T}{N + \tilde{Q}_i^T \sum_{j=1}^N \tilde{K}_j} \quad (9)$$

与 MDTA 类似，对  $Q, K, V$  采用深度卷积生成的方法，以强调局部上下文。使用多头结构，即从层级的顶部到底部，头部的数量逐渐增加。标准多头注意力机制和 T-MSA 模块对于一个  $h \times w$  的补丁图像的计算复杂度如下。

$$\Omega(\text{MSA}) = 4hwD^2 + 2h^2w^2D \quad (10)$$

$$\Omega(\text{T-MSA}) = 18hwD + 7hwD^2 \quad (11)$$

通常情况下， $h \times w$  远大于  $D$ ，因此 T-MSA 提供了更多测试高分辨率图像的可能性，并确保其结果接近 MSA。

### 3.3 MSAR 模块

在 T-MSA 中对 Softmax 进行一阶泰勒展开时，没有考虑到 Peano 的提醒形式，导致近似误差的存在。对于泰勒展开的  $n$  阶余项  $\frac{(\tilde{Q}_i \tilde{K}_j)^n}{n!}$  ( $n \geq 2$ )，无法利用矩阵乘法组合规律使 T-MSA 的计算复杂度线性化。然而，余项与  $Q$  和  $K$  矩阵相关，考虑到图像具有局部相关性，学

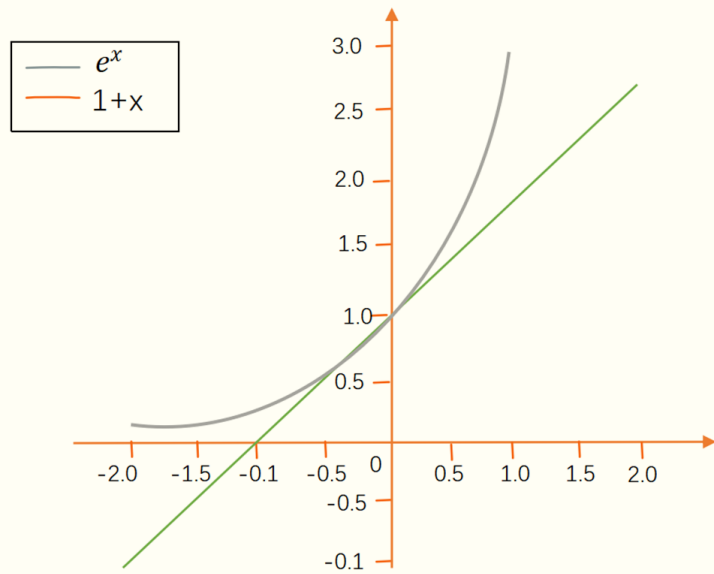


图 3 本文激活函数图

习  $Q$  和  $K$  矩阵的局部信息修正不准确的输出  $V'$ 。此外，Conv-attention 模块允许泰勒展开更好地处理高频信息，对于多头注意力机制  $Q_m \in \mathbb{R}^{\text{head} \times \frac{D}{\text{head}} \times N}$  和  $K_m \in \mathbb{R}^{\text{head} \times \frac{D}{\text{head}} \times N}$ ，将它们重塑为  $\hat{Q}_m \in \mathbb{R}^{\text{head} \times \frac{D}{\text{head}} \times H \times W}$  和  $\hat{K}_m \in \mathbb{R}^{\text{head} \times \frac{D}{\text{head}} \times H \times W}$ 。其中，头表示头的数量，将  $\hat{Q}_m$  和  $\hat{K}_m$  沿通道维度串联，生成张量  $T \in \mathbb{R}^{\text{head} \times \frac{2D}{\text{head}} \times H \times W}$ ，然后通过多尺度分组卷积层生成门控张量  $G \in \mathbb{R}^{\text{head} \times 1 \times H \times W}$  如下。

$$G = \text{Sigmoid}(\text{Concat}(T_1 W_1^G, \dots, T_{\text{head}} W_{\text{head}}^G)) \quad (12)$$

其中， $T_{\text{head}} \in \mathbb{R}^{\frac{D}{\text{head}} \times H \times W}$  为  $T$  的 head-th head， $W_{\text{head}}^G$  为不同核的卷积。由于网络的不同层次具有不同数量的头，需要为不同数量的头选择相应的多尺度分组卷积。采用 T-MSA 方法和 MSAR 模块，计算出改进后的 T-MSA 模块。

$$\hat{X} = X + \text{Cat}(H_1 \odot G_1, \dots, H_{\text{head}} \odot G_{\text{head}}) W^P \quad (13)$$

$$H_i = \text{Taylor-Attention}(QW_i^Q, KW_i^K, VW_i^V)$$

其中， $X$  和  $\hat{X}$  表示输入和输出特征图。投影是参数矩阵  $\hat{W}^P \in \mathbb{R}^{D \times D}$ 、 $W_i^Q \in \mathbb{R}^{D \times \frac{D}{\text{head}}}$ 、 $W_i^K \in \mathbb{R}^{D \times \frac{D}{\text{head}}}$  和  $W_i^V \in \mathbb{R}^{D \times \frac{D}{\text{head}}}$ 。

## 4 实验设计

### 4.1 实验细节

在 TF-Net 的实现过程中，提供了一种 TF-Net 架构，为了增加数据的多样性，使用随机裁剪和随机翻转的数据增强技术。初始学习率设置为  $2e-4$ ，并通过余弦退火法逐渐降低至  $1e-6$ ，仅选择使用 L1 损失作为损失函数。

本文对数据集进行了评估，包括合成数据集 (RESIDE) 和真实世界数据集 (O-HAZE、Dense-Haze)。在 RESIDE 数据集中，使用了 ITS 子集和 OTS 子集进行评估，ITS 子集包含了 13990 对室内图像，OTS 子集包含

表 1 各种方法对去马赛克基准的定量比较

Methods	SOTS-Indoor		SOTS-Outdoor		O-HAZE		Dense-Haze		Overhead	
	PSNR ↑	SSIM ↑	PSNR ↑	SSIM ↑	PSNR ↑	SSIM ↑	PSNR ↑	SSIM ↑	#Param	MACs
DCP	16.63	0.819	19.14	0.816	16.79	0.654	12.73	0.443	-	0.6G
DehazeNet	19.83	0.822	24.76	0.928	17.58	0.771	13.85	0.431	0.02M	0.6G
GFN	22.31	0.881	21.56	0.845	18.17	0/672	-	-	0.51M	14.9G
GDN	32.17	0.985	30.87	0.983	18.93	0.673	14.97	0.537	0.97M	21.5G
PFDN	32.69	0.977	-	-	-	-	-	-	11.28M	51.5G
MSBDN	33.68	0.986	33.49	0.983	24.37	0.750	15.14	0.556	31.36M	41.54G
FFA-Net	36.40	0.990	33.58	0.985	22.13	0.771	15.71	0.550	4.47M	287.8G
AECR-Net	37.18	0.991	-	-	-	-	15.81	0.467	2.62M	52.2G/216.0G
MAXIM-2S	38.12	0.992	34.20	0.986	-	-	-	-	14.11M	156.4G
SGID-PFF	38.53	0.992	30.21	0.976	20.97	0.742	12.50	0.518	13.88M	141.1G
Restormer	38.89	0.992	-	-	23.59	0.769	15.79	0.549	26.11M	60.4G
Dehamer	36.64	0.989	35.19	0.987	25.12	0.778	16.43	0.561	132.60M	38.6G
Ours(-B)	40.72	0.993	37.43	0/990	25.06	0.789	16.67	0.561	2.69M	88.2G
Ours(-L)	42.65	0.995	38.10	0.992	25.32	0.783	16.45	0.567	7.44M	

注：“-”表示没有结果。最佳和次佳结果分别以粗体和下划线标出。

了 313950 对室外图像，并使用 SOTS 子集对模型进行评估。真实世界数据集包括 O-HAZE 和 Dense-Haze，分别包含了 45 对和 55 对图像，将每个数据集的最后 5 幅图像作为测试集，其余的图像作为训练集。



图 4 合成雾霾图像的视觉对比

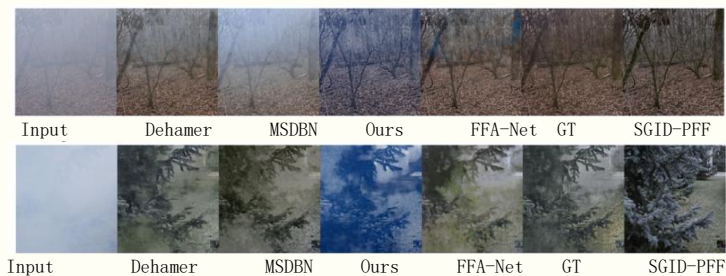


图 5 真实雾霾图像的视觉对比

4.2 SOTS-Indoor 数据对比  
 各种方法对去马赛克基准的定量比较如表 1 所示。将 TF-Net 和 SOTA 方法在合成数据集上的性能进行了对比，基本模型 TF-Net 在 SOTS-Indoor 数据集上取得了 40.71dB 的峰值信噪比 (PSNR) 和 0.994 的结构相似性指数 (SSIM)。与之前的最先进方法 SGID-PFF 相比，模型的 PSNR 提高了 2.19dB，参数数量仅为 SGID-PFF 的 10%，计算成本仅为 SGID-PFF 的 14%。模型 TF-Net 比 SGID-PFF 提高了 4.12dB，复杂度仅为 SGID-PFF 的一半左右，在 SOTS-Outdoor 上，比 Dehamer 方法高出 291dB。此外，比较了 TF-Net 和其他 SOTA 去雾方法的视觉效果，得出合成雾霾图像的视觉对比如图 4 所示。TF-Net 生成的图像在阴影和高频区域呈现出更自然的效果，还能有效去除雾霾，恢复阴影部分的细节，并且与地面实际情况更为相符，尤其是在高频区域。

真实雾霾图像的视觉对比如图5所示，第一行图像来自 O-HAZE 数据集，第二行来自 Dense-Haze 数据集。本文的 MB-TaylorFormer 模型能够生成色彩逼真、无人工痕迹的无雾霾图像。

### 4.3 Real Hazy 数据对比

对真实数据集 O-HAZE 和 Dense Haze 进一步评估，比较 TF-Net 和 SOTA 方法的性能，得出定量比较结果，并得出以下结论。

(1) 在 O-HAZE 和 Dense-Haze 数据集上，TF-Net 的 PSNR 值分别比之前的方法高出了 0.20dB 和 0.04dB。

(2) 通常情况下，当在小尺寸数据集上进行训练时，视觉变换器的非凸损失会导致性能不佳。

相较于其他基于 CNN 的模型，TF-Net 在小尺寸数据集上仍然取得了最佳的 PSNR 和 SSIM 分数。同时，将 TF-Net 与之前的方法进行了对比，FFA-Net 生成的图像存在颗粒感和细节损失，SGID-PFF 生成的图像存在色彩失真，Dehamer 生成的图像存在伪影和纹理损失。相比之下，本文生成的无雾图像更加清晰。

多尺度斑块嵌入和多分支结构的消融研究如表 2 所示，“-S”表示两个串联的卷积层，“-P”表示两个并联的卷积层，核大小同为 3。

### 4.4 消融实验

使用从 SOTS-Indoor 数据集中裁剪的 256×256 像素的图像块对所有的 MB-TaylorFormer 模型进行训练，训练历时设置为 500 个 Epoch。基于 MB-TaylorFormer-B 的基础，对框架中不同模块的有效性进行分析，使用 MB-TaylorFormer-L 探索分支维度、通道维度和深度对模型性能的影响。

表 2 多尺度斑块嵌入和多分支结构的消融研究

Branch	Type of Conv	PSNR	SSIM	#Params	MACs
Single	Conv	38.28	0.992	2.656M	33.64G
Double	Conv-P	38.43	0.992	2.653M	37.90G
	Dilated Conv-P	38.78	0.992	2.653M	37.90G
	Conv-S	39.05	0.993	2.653M	37.90G
	DSDCN-S	40.72	0.993	2.678M	38.52G

表 3 近似误差分析 (Softmax-attention 的近似误差越小，性能越好)

Methods	PSNR	SSIM	#Params	MACs
Swin	36.60	0.989	2.518M	36.39G
Swin+T-MSA-2nd	36.51	0.989	2.518M	36.39G
Swin+T-MSA-1st	36.38	0.988	2.518M	36.39G

表 2 中，进行了关于补丁嵌入和不同分支数量的差异研究。具体来说，以基于单尺度标准卷积的单分支模型作为基准，并对其进行以下修改。(1) 在单尺度模型和多分支 (Conv-P) 模型上进行补丁嵌入的设计。(2) 使用平行扩张卷积层 (DF=1,2) 嵌入补丁 (Dilated Conv-P)。(3) 使用标准卷积替代扩张卷积嵌入补丁，并采用串联两个卷积层的方法 (Conv-S)。(4) 使用 DSDCN 替代标准卷积 (DSDCN-S)。

实验结果表明，性能从优到劣依次为 DSDCN-S, Conv-S, Dilated Conv-S, ConvP 和 Conv。表明多尺度补丁嵌入技术可以灵活地嵌入补丁，并用另一个线性自我注意模块取代了模型中的 T-MSA 模块。

鉴于二阶 T-MSA (T-MSA-2nd) 不适用于关联律，会导致计算负担大，TF-Net 对 Swin 进行了一阶和二阶泰勒展开。近似误差分析 (Softmax-attention 的近似误差越小，性能越好) 如表 3 所示，T-MSA 能有效逼近 Softmax-attention，且 T-MSA-2nd 的性能非常接近 Softmax-attention。但 T-MSA-2nd 和 Softmax-attention 的计算复杂度随着图像分辨率的增加而呈二次方增加，在实际应用中难以对远距离像素关系进行建模。因此，最终选择了 T-MSA-1st 方法。

## 结语

本文介绍了一种名为 TF-Net 的多分支线性化变换器网络，包括多尺度斑块嵌入能有效嵌入各种视觉标记。使用矩阵乘法关联定律进行泰勒扩展，降低了计算复杂度。此外，通过门控注意力校正自我注意力的输出，使 TF-Net 同时执行远程关注和局部校正。经过在多个数据集上的实验，TF-Net 的有效性、轻便性和通用性得到了证明，在去雾任务中取得了显著的成绩。

## 引用

[1] Li, Z.,Liu,F.,Yang,W.,et al.A Survey of Convolutional Neural Networks: Analysis,Applications,and Prospects[J].IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems,2021.

[2] Sinha,A.,&Dolz,J.Multi-scale Self-guided Attention for Medical Image Segmentation[J].IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics,2020, 25(1):121-130.

# 浅谈软件测试用例管理方法

文 ◆ 航空工业第一飞机设计研究院 张 静

## 引言

在软件的整个生命周期中，软件测试是一个重要环节，软件测试用例是软件测试的基础，也是测试工作的指导，所以做好软件测试用例管理尤为重要。本文从软件测试用例管理、用例设计、用例执行、用例任务管理、用例维护和人员以及权限管理等方面进行详细阐述，提升测试用例设计、使用、共享、追溯以及管理的效率，缩短测试周期，降低测试成本。

## 1 测试用例管理

测试用例管理包括目录创建、测试用例创建、引用、复制、导入、导出和统计等功能。

### 1.1 目录和测试用例创建

测试用例基于某个产品的某个功能进行设计。结合软件开发的流程，产品经过多次迭代版本的开发、测试才能进行发布，测试用例会在

表 1 测试用例层级管理目录

树型结构层级关系	级别
产品名称 1	第一级
大版本 1	第二级
基线库	第三级
功能 1	第四级
子功能 1	第五级
01 测试用例 1	第六级
02 测试用例 2	
.....	
子功能 2	
.....	
子功能 N	
小版本 1	第三级
.....	
小版本 2	
.....	
小版本 N	
大版本 2	
.....	
大版本 N	
产品名称 2	
.....	

不同的迭代版本中重复执行。因此，测试用例按照表 1 所示的层级进行管理。

第一级目录为产品名称，一个公司或者单位可能开发多个产品，因此可能存在多个一级目录。第二级目录为大版本，即对外发布版本。第三级目录为基线库和小版本，基线库目录下的用例为该大版本发布后最新的用例，该目录中的用例在测试过程中实时更新测试用例内容和测试结果；小版本中的测试用例为大版本迭代过程中的版本，测试执行也是基于小版本进行，测试过程中若发现测试用例存在问题可进行修改，修改的用例自动回合到基线库中。第四、五级目录为产品的功能以及子功能，对功能继续详细划分。第六级目录为测试用例。

其中，第一级到第四级，若单位有版本配置管理部分，可配置后在此处自动显示，保证数据来源唯一；若没有版本配置管理部分，系统名称目录下支持创建目录或者用例，同一级目录名称不允许重复。

### 1.2 测试用例引用

支持不同产品和同一产品不同大版本、不同小版本、同一大版

【作者简介】张静（1988—），女，陕西蒲城人，硕士，工程师，从事航电任务系统验证研究工作。

本基线库到小版本之间测试用例的引用，测试用例引用只引用用例内容，不引用用例的测试结果，引用后的用例编号不发生变化。

不同产品和同一产品不同大版本、不同小版本间引用的用例单独存储，也就是引用后用例变成一个单独的个体，与原用例不存在关联关系。同一大版本基线库到小版本之间测试用例的引用，小版本中的测试用例内容发生变化，基线库中用例随之变化，保证基线库中的用例为当前大版本下最新的测试用例。其他小版本可继续在基线库中引用最新的测试用例。

测试用例引用功能在测试执行过程中，方便测试管理人员管理测试用例，使不同版本间测试用例清晰，同时，保证各版本以及发布版本用例的可追溯性。

### 1.3 复制

支持对用例或者目录进行复制，复制后的用例编号根据一定的规则发生变化。该场景在用例设计过程中，用例内容大部分相同、少部分内容不同时，可进行用例的复制，复制后对用例不同之处进行修改即可，大大提升测试用例设计人员编写测试用例的效率。

### 1.4 导入

Excel 清晰分级、快速填充序列和复制等功能在编写测试用例时，为测试用例设计人员提供极大的方便。为将 Excel 中测试用例存储在测试用例管理系统中，测试用例管理应支持按照 Excel 格式进行用例导入，以及全量、增量和修改导入。要求用例编号作为唯一的标识，已执行过的测试记录不能修改，当前执行结果可清空。导入的模板应该预置在测试用例管理中，与导出功能的

文件格式和标题内容保持一致。

### 1.5 导出

测试用例支持导出 Excel 和 Word 两种格式，Excel 格式便于批量修改测试用例后进行导入，Word 格式便于试验大纲编制使用。Word 格式导出时可选择带执行结果和不带执行结果导出，不带执行结果导出时，测试结果列将为空。

### 1.6 统计

支持右键按照用例目录中的文件夹进行执行情况统计，同时支持表格显示统计结果，包括各子文件夹中以及总的用例个数、已执行个数、执行通过个数、执行不通过个数和阻塞个数等，方便测试管理人员进行任务跟踪和统计。

### 1.7 删除

支持用例单个或者批量删除，目录删除后，目录下的所有测试用例均被删除。

## 2 测试用例设计

测试用例至少应该包括以下元素，即用例编号、系统/功能名称、用例属性、用例级别、是否可自动化、用例描述、前置条件、测试步骤及系统响应、测试结果、设计者、执行者、执行时间和附图等，具体内容如下。

(1) 用例编号。在某一产品中为唯一标识，按照一定规律进行编号，如产品名称、大版本名称、系统/功能名称、子功能名称、序号。用例编号用于测试用例的回合、修改、导入等功能，通过测试用例编号进行用例的唯一标识和操作。(2) 系统/功能名称。指该用例所属的系统或者功能名称，用于对用例进行分类，方便后续进行搜索、统计等管理，建议前期将系统/功能名称预置到测试用例系统中或者 Excel 的下拉列表中，供测试用例设计人员进行选择。(3) 用例属性。指该测试用例属于具体类型的测试用例，如功能测试、性能测试、安全测试、接口测试、可靠性测试等，建议前期将用例属性预置到测试用例管理系统中或者 Excel 的下拉列表中，供测试用例设计人员进行选择。(4) 用例级别。至少包括 3 个级别，分别代表测试用例待测试的重要和紧急程度，第一级别用例也可称为冒泡用例，代表交付版本的最基本功能。版本交付给测试人员后，首先，进行第一级别用例测试，若第一级别用例测试通过，版本可进行全面测试，否则，版本打回，待最基本功能修复正常后重新交付给测试人员。其次，第二级别用例是指除冒泡用例之外的基本功能用例，该级别用例在版本发布前，必须进行全量测试。最后，第三级别用例异常用例，也就是针对测试功能中的异常场景测试的用例，该级别用例正常情况下只测试一次即可<sup>[1]</sup>。(5) 是否可自动化。用于标识测试用例是否可通过自动化进行验证，建议有两个选项，即“是”或者“否”，“是”表示该测试用例可通过自动化进行测试，“否”表示该测试用例只能通过手工进行测试。(6) 用例描述。描述用例主要测试的内容以及预期结果，要求简单明了，能一目了然地识别测试内容和期望结果。(7) 前置条件。测试前的准备条件或需要满足的条件。(8) 测试步骤及系统响应。测试步骤体是测试过程中需要执行的步骤或者操作，要求尽可能

描述详细，保证测试人员可执行性；系统响应是指每一步操作系统应该如何响应，如应该显示一个怎样的画面。(9) 测试结果。测试结果表示测试用例的测试情况，包括通过、不通过和阻塞。测试的结果与系统响应一致时，测试结果为通过；测试的结果与系统响应不一致时，测试结果为不通过；还有一部分测试用例可能由于其他系统原因或者其他功能存在问题导致该用例无法测试，这部分测试用例的测试结果为阻塞。分析测试用例结论时，可通过测试用例的结果统计该版本不通过用例的数量，便于测试管理人员制定下一个版本测试策略或者做出关于版本是否可发布上网的结论。(10) 设计者。设计测试用例人员，如果是在系统中进行用例的设计，那么可直接使用登录账户自动填写。(11) 执行者。执行测试用例人员，标注测试用例结果时，可直接使用登录账户自动化填写。(12) 执行时间。本次测试用例执行时间，在标注执行结果时自动填写。(13) 附图。在系统响应中，有些预期结果无法准确描述，需要利用图示进行说明，故此测试用例管理系统需要支持上传图片。

### 3 测试用例执行

#### 3.1 测试用例手工执行

测试用例执行包括单个执行和批量执行两种方式。

(1) 单个执行。选择树型结构中的用例，右键可标注用例结果为通过、不通过和阻塞。(2) 批量执行。选择树型结构中的目录，右键可标注该目录下所有用例的结果。

#### 3.2 测试用例自动化执行

支持使用不同插件进行测试用例自动化开发以及测试结果的自动标注。自动化标注的测试用例结果建议增加标识，表示该执行结果通过自动化执行。

#### 3.3 执行日志记录

每个版本中，记录测试用例执行日志，包括测试时间（精确到秒）、执行方式（手动执行、自动化执行）、执行结果和执行人，有助于用例后续追溯使用或者统计使用。

### 4 测试用例任务管理

任务管理需要支持任务创建、任务信息显示、用例执行以及执行结果统计。(1) 任务创建。支持右键基于试验版本信息测试任务的创建，输入任务名称，选择责任人，选择该版本下的用例，且同一用例不能重复分配。(2) 任务信息显示。树型结构中显示该任务下的用例信息，右侧显示任务详细信息或者用例详细信息。(3) 用例执行。支持可按照任务方式进行自动化用例执行和手工用例执行。(4) 执行结果统计。以任务为基准，统计结果内容包括各任务下的用例个数、已执行个数、执行通过个数、执行不通过个数、阻塞个数、未执行个数和执行进展（已执行个数 / 用例个数）。

### 5 测试用例维护

软件迭代过程中，测试用例需要不断刷新和维护。针对小的变更，

在版本交付过程中，应对测试用例进行维护修改；针对需求变更或者新增，应及时增加和删除测试用例；版本发布后，根据用户反馈的缺陷，应及时分析并补充测试用例。因此，测试用例维护是比较重要的过程，应及时删除过时、冗余的用例，刷新需变更的用例，及时补充新需求用例<sup>[2]</sup>。

### 6 测试人员及权限管理

(1) 测试人员管理。支持用户的登录、创建、修改和删除，默认有一个管理员账户；支持用户与权限的关联，用例只能按照指定操作的权限进行操作或者显示。(2) 权限管理。支持权限创建、修改和删除，各功能应具有自己的权限项，针对不同人员，通过分配相应的权限对用例的操作进行控制<sup>[3]</sup>。

### 结语

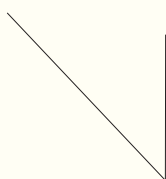
测试用例是测试人员最基本的操作依据，测试用例合理的管理，对软件测试的质量和测试人员的工作效率会有较大的提升。本文结合软件开发和测试的工作经验，详细分析了测试用例管理应具备的功能，将这些功能完全应用到软件测试过程中，使整个验证过程更清晰，管理效率更高，追溯性更强。■

#### 引用

- [1] 史海峰.基于生命周期的测试用例管理方案[J].电脑编程技巧与维护, 2014,314(20):45-47.
- [2] 梁哲恒,唐磊.浅析软件测试用例管理[J].电子世界,2012,409(19):111-112.
- [3] 陈涛.软件测试用例管理方法初探[J].电子技术与软件工程,2015,55(5):74.

# 探讨智能化变电站运维检修管理措施

文◆国网上海市南供电公司 蒋斌 刘子潇



## 引言

目前，我国在电力需求方面呈现不断上升的态势，为适应不断增加的电力供应需求，国家电网公司加紧步伐建立智能电网系统。智能化变电站作为电力系统的关键组件，集成前沿的自动化和信息技术手段，拥有远程监测、智能诊断和自动化控制的多重功能，增强了电网操作的效率并保障其运行安全。同时，智能变电站在运行维护和检修管理上也面临着许多新的考验和挑战，采取新举措提高智能变电站在运维检修管理方面的水平，成为现阶段亟须解决的关键问题。

## 1 远程运维与自动化控制

在智能变电站维护和检修管理领域，远程操作与自动控制被看作是至关重要的进步方向。远程监控技术通过融合视频监控与远程桌面等多方面的技术手段，对当前场地的设备进行实时观察以及管理工作。远程故障诊断方法根据当前现场的运行现状，应用专家系统的策略确定故障种类，并据此制定相应的解决方案。远程操控技术采纳遥控和遥调等多样化的技术方法，实现对现场设备的远程管理和操控功能。远程故障诊断技术利用从远程获取的资料诊断和解读故障，为远程运营指导提供方向。伴随计算机科技、通讯技术以及工业管理技术的不断进步，自动化控制系统在变电站得到了广泛应用，增加了变电站综合自动化系统的复杂性。在设计自动化控制流程的过程中，应建立控制策略、优化控制流程、应用控制算法以及全面评估控制成果。本文重点从3个维度即控制策略设计、流程优化以及控制成果评价，探析变电站自动化控制科技的进一步方向<sup>[1]</sup>。在制定控制策略的过程中，必须充分考虑设备的工作特性和运行维护、检修的真实要求。改进控制流程是以控制系统性能需求为基准，以满足系统性能指数为优化目标，对系统的功能架构和它们之间的互动关系进行适当简化并寻找合适的解决方案。为提升控制系统的稳定性和响应迅速性，运用模拟和优化等多种手段进一步改进控制流程。为成功开发控制算法，应将控制的具体策略和流程转化为具体的算法。为全面评价控制措施的有效性，应选择使用实时监控技术以及对数据进行深度解析。

## 2 智能化决策支持系统

在整个系统中，数据模型是基础但难以实现的部分，且设计质量直接关系到智能决策的准确性。智能化决策支持系统的主要职责是在数据层中进行数据收集、存储和管理活动；模型层的主要任务是设计和构建各种不同的决策模型，如用于故障检测和维护方面的决策模型等；算法层主要承担执行多种决策策略，其中包含但不仅限于优化和逻辑推理算

【作者简介】蒋斌（1986—），男，上海人，本科，初级工程师，研究方向：电力系统及电力自动化。

法；应用层主要负责确保决策过程中必要的接口和用户界面支持<sup>[2]</sup>。决策技术算法是智能决策支持系统的核心组成部分，主要归纳为两大类型，即启发式和非启发式算法。常见的决策策略主要涉及优化算法、逻辑推导算法和机器学习算法。优化算法能够有效处理基础的线性或非线性规划难题，其中的推理技巧主要涵盖模糊逻辑法和人工神经网络法等。

### 3 信息安全管理

从安全风险管理的视角，设计一个全面的信息安全风险管理体系，并分享具体的应用实例。在开展信息安全风险分析时，应全面考虑资产识别、潜在的危机识别、脆弱性研究以及风险评估等各个重要方面。依据风险水平设定各个安全级别，并采纳特定的防范方案以确保系统能够稳定安全运作。在信息安全管理领域，各种安全保护策略和工具扮演着不可或缺的关键角色。对于不同的设备或者应用场景，应实施差异化的安全保护方案。常见的保护策略覆盖从物理安全、网络安全到系统与数据安全等众多领域。在为安全设备做出分类后，使用多种手段建立以风险为基础的防护策略框架。在构建安全防护方案时，必须全面、针对性地制定防护措施并进行实践验证。

### 结语

智能变电站的运行、保养和维护是持续演变的过程，应积极引入先进的技术和创新思维，适应电力系统日益增长和变革的需求。本文深度剖

析智能变电站的运营、维护和检修管理工作，同时提出具体的管理方案和建议，以期对电力行业智能化发展作出实质性贡献。<sup>[3]</sup>

### 引用

[1] 杨向东. 探究智能变电站运行维护管理措施[J]. 电子乐园, 2019(3): 237.

[2] 朱子太. 智能化变电站运维检修管理模式的研究[J]. 石河子科技, 2023(5): 31-32.



# 基于头部姿态与运动的 注意力检测与反馈系统的设计与实现

文◆新疆和田学院 数学与信息学院 吾部力喀斯木·吾布力艾散 穆巴热科·斯迪克

## 引言

本文实现了基于头部姿态的注意力检测与反馈系统的设计与开发。学习者使用该系统可以实现学习行为和注意力检测与干涉。该系统通过检测学习者头部姿态和运动，判断学习者的学习行为和注意力，并实时通过振动提醒注意力不佳的学习者。该系统能够给教育工作者和学习者提供学习大数据，为教育教学活动和课后复习提供参考依据。

## 1 背景技术、理论基础和基于头部姿态和运动的注意力测评模型的构建

近年来，物联网，云计算和大数据等技术发展非常迅速，已经深深融入人们的日常生活。如共享单车、自助售货机、自助洗车机、智慧家居、智慧校园等，改变了出行、生活、学习的方式。物联网可穿戴设备作为物联网应用的一部分，深受人们喜爱。如智能手表、智能手环、儿童智能手表、智能眼镜、AR/VR眼镜、眼动仪等可穿戴设备层出不穷<sup>[1]</sup>。物联网可穿戴设备在教

育教学方面被广泛应用。例如，BraiCoFocus1 是一款头戴式注意力检测装备，根据用户的脑电波检测学生注意力；智能坐垫是一款根据学生坐姿检测学生注意力的教育装备，它把学生坐姿分为前倾、后仰、左倾、右倾等多个类型，再根据注意力与坐姿匹配表，判断学生的注意力<sup>[2]</sup>。

本产品是一款根据学生面部朝向和头部运动情况判断学生学习行为和注意力，并干涉注意力不集中学生的学习行为的工具。该研究以具身认知理论为基础理论展开研究，具身认知理论指生理体验与心理状态之间存在强烈的联系<sup>[3]</sup>。根据具身认知理论可知不仅是因为开心所以微笑，而是因为微笑所以更加开心。相同地，在上课过程中，学生不是因为注意力集中所以面部朝向黑板和老师，而是因为面部朝向黑板和老师，所以注意力集中。根据该论断，长时间保持学生头部朝向黑板和老师对提高学生注意力至关重要。本研究中建立基于头部姿态的注意力测评模型，将学生头部姿态和运动进行量化，得出学生的学习行为和注意力水平。通过对实际班级进行观察，得出不同的学习行为相对应的学生头部角度、头部运动规律和频率，再结合整个班级学生的情况得出基于头部姿态和运动的注意力测评模型，如表 1 所示。

表 1 基于头部姿态和运动的注意力测评模型

对应头部姿态描述	学习行为	注意力水平
偏转角在 $-45^{\circ}$ 和 $45^{\circ}$ 之间，俯仰角 $-6^{\circ}$ 到 $29^{\circ}$ 。 旋转角 $0^{\circ}$ 左右（不考虑这个角度）	正面对黑板	注意力集中
俯仰角 $-50^{\circ}$ 到 $-6^{\circ}$ ，旋转角 $0^{\circ}$ 到 $15^{\circ}$	低头记笔记	注意力集中
偏转角 30 秒内不同方向上超过 $30^{\circ}$ 的运动超过 4 次，俯仰角 30 秒内不同方向上超过 $20^{\circ}$ 的运动超过 4 次算左顾右盼	左顾右盼	注意力不集中
偏转角绝对值大于 $65^{\circ}$ 且持续时间超过 5 秒钟	转头看窗外	注意力不集中
班级三分之一的学生头部偏转角超过 $\pm 75^{\circ}$	小组讨论	注意力集中
头部姿态长时间保持不动，时间超过 3 分钟	发呆	注意力不集中
头部姿态俯仰角小于 $-50^{\circ}$ 时间超过 5 分钟	睡觉	注意力不集中

【作者简介】吾部力喀斯木·吾布力艾散（1995—），男，新疆和田人，硕士，助教，研究方向：智能教育装备。

## 2 注意力检测与反馈下位机的设计开发

该产品由上位机和下位机组成，下位机名称叫注意力检测与反馈头环，上位机叫教师端控制和分析查看系统。下位机头环由主板、角度传感器、Zigbee 无线传输模块和振动马达组成。学习者在上课过程中把头环戴在头上，头环每隔一秒钟检测学习者的头部角度，把检测到的角度数据通过无线模块发送到上位机上。上位机分析从多个头环收集到的头部姿态数据，判断学生的上课行为，把上课行为分为正面对黑板、低头记笔记、左顾右盼、转头看窗外、小组讨论、发呆、睡觉共 7 个类型和注意力集中和非集中两大类，并给注意力处在非集中状态的学生所佩戴的头环发出振动指令从而提醒学习者集中注意力。

经过实验，比较 Stm32，8051，Stc 和 Arduino 等芯片和开发板，最终选择 Arduino uno R3 作为注意力头环主控板。Arduino 是一款价格低、便捷灵活、方便上手和支持第三方硬件、外设和类库的开源电子原型平台。利用 GY61P 姿态传感器的 IIC 通信接口连接到 Arduino uno R3 开发板的 SCL 和 SDA，Zigbee2530 模块通过串口与 Arduino 主控板连接。主控板每 500 毫秒读取一次姿态传感器数据，通过串口利用 Zigbee 无线传输模块发送数据到教师服务电脑。主控板再从教师服务电脑接受指令提醒注意力不集中的学生。由于一个上位机需要广播控制多台下位机，下位机需要有自己的编号，可通过软件设置。

## 3 注意力检测与反馈系统上位机的设计开发

### 3.1 注意力检测与反馈系统上位机的设计

该产品有下位机和上位机两部分组成。下位机是硬件部分，用来检测头部姿态和提示学习者。上位机是人机交互界面，基于 B/S 模式。开发完下位机（头环）后开发基于 B/S 模式的上位机。该软件功能包括学习者头戴头环的角度传感器的校准、下位机的控制和相关学习行为数据的接收、处理、显示、分析、保存等。下面具体介绍其功能。

(1) 下位机的角度传感器选用 Mpu6050 传感器。使用一段时间后，该传感器读取的角度数据可能会出现偏移，每隔一段时间需要校准传感器。

(2) 下位机数量多，一个上位机控制多个下位机。上位机通过广播的方式呼叫下位机，按顺序读取检测值，故在使用前需要设置下位机的被呼叫地址（或者名称）。上位机提供了设置下位机地址的窗口，当在上位机中显示学生的学习状态与注意力，在数据库中保存信息数据时，需要用到学生姓名。所以当设置下位机被呼叫地址时，在系统里设置用户名、学校、年级、班级、年龄、座位位置、课程名称、上课时间等信息。

(3) 下位机只会检测用户的头部姿态原始数据，数据被上位机接收后会被处理成角度，角度数据再根据注意力模型转换成学习行为和注意力水平，再可视化地展示在浏览器上。

(4) 数据分析是该系统中的一个比较大的模块。不仅可以对单个学习者的学习行为数据和学习注意力数据进行分析，也可以对整个班级的学习行为数据和注意力水平数据进行分析。通过对整个班级或者学校的

注意力水平的分析，可以得出班级或者整体注意力水平较低和较高的时间段，探索注意力水平与知识点、教师位置、时间段、年龄等多个因素的关系。

(5) 上位机还具备干涉学生注意力的功能，通过下位机的振动模块振动实现。当检测到学生注意力不集中，上位机需要给下位机发送振动指令，通过振动提醒学生。上位机不仅需要能够自动让头环振动，还需要提供手动让头环振动的功能。

### 3.2 注意力检测与反馈系统上位机的实现

根据上一节中对上位机的分析，实现上位机相对应的功能。该系统包括前端和后端部分。前端采用 Vue3 技术开发，后端采用 Django dnf 框架开发，重要的组件用到了 Web serial api 组件和 Apache ECharts 等组件。该系统用户分为 4 个角色，分别是学生、教师、教学管理员和超级管理员。学生角色只能看到自己的历史学习行为和注意力水平等信息，没有其他权限。教师角色的功能比较强大，其界面功能包括控制在线设备给其发送指令、匹配电脑与头盔、新增用户、在线设备数据的收集展示和存储等功能。除此之外，教师可以查看自己课程的每个学生的学习行为和注意力水平数据，以及自己任教的课程的所有数据经过分析后的可视化展示结果。教学管理员拥有所有学生历次学习行为和注意力水平信息的查看功能和整个学校的所有数据经过分析后的可视化展示结果。超级管理员拥有用户账号信息管理、菜单权限的管理等功能。

### 3.3 数据库的设计与实现

学生上课时的学习行为和注

意力数据可以为教师上课决策提供参考，也可以为学习者的复习功课提供依据。这些数据要保存在数据库中，采用 MySQL 数据库，在数据库中建立用户表、角色表、菜单表、用户决策表、决策菜单表、学习行为表和注意力水平表等。

#### 4 基于头部姿态的注意力检测与反馈系统的测试

##### 4.1 测试方法

该系统的测试分为两个部分，分别是功能性测试和可用性测试。首先，功能性测试主要检测系统各个模块是否正常运行、页面之间的链接是否正常、上位机和下位机通信是否准确、下位机能否准确接受上位机的指令并做出正确的响应。同时，功能性测试还包括角度传感器测量角度是否准确，能否正确校准等。功能性测试具体通过黑盒测试和白盒测试完成。其次，可用性测试。通过可用性测试检测该系统能否正确判断学习者的学习行为和注意力水平，并对注意力不佳学生进行干涉。可用性测试通过视频编码的形式进行。在实地课堂中，让 4 个被测者在上课时头戴注意力检测与反馈头环，同时用摄像机记录 4 个被测者上课的全过程。课后对视频进行慢放和编码，手动对学习者的学习行为和注意力水平进行测评，再把得出的结果与基于头部姿态的注意力检测与反馈系统得出的学习行为和注意力水平数据相比较验证本文中开发的设备的准确性。

##### 4.2 测试过程、结果和结论

首先，使用黑盒测试进行功能性测试。打开上位机，使用学

生、教师、教学管理员和超级管理员 4 个角色的账号登录上位机查看菜单和权限分配是否正确。分别点击所有链接，检查链接之间的跳转是否正常。启动下位机，在上位机中输入波特率，选择相应串口。把下位机平放在桌子上，上位机发送校准指令。在上位机中输入学生名和下位机被呼叫地址，点击开始上课按钮，使上位机和下位机进入工作状态。模拟学习者的头部运动，分别做出正面对黑板、低头记笔记、左顾右盼、转头看窗外、小组讨论、发呆和睡觉 7 个学习行为，查看上位机能否正确判断并通过振动对不良学习行为做出正确干涉。打开上位机可视化界面，对学生学习行为和注意力进行实时展示。进入数据库，查看数据是否正确被记录。经过 5 分钟的模拟测试，点击下课按钮。打开上位机可视化界面，查看对这 5 分钟课程总的数据分析和可视化展示。经过检测发现各个模块功能正常，最后，使用白盒测试检测代码中的逻辑等。

下面进行可用性测试。选取“Java 程序设计”课程，选择坐在教师中间位置的 4 名学生做被试者。4 名被试者头戴下位机开始上课。用笔记本电脑打开上位机软件点击开始上课按钮，开始测试。同时，在教室黑板前面正中央的位置放置三脚架和摄像机，对学生上课过程中的学习行为做记录。上课时间持续了 45 分钟，视频拍摄 50 分钟。45 分钟的上课过程中注意力检测与反馈系统上位机总共接收到了 10800 条数据。其中，9984 人次的正面对黑板，565 人次的低头记笔记，65 人次的转头看窗外，145 人次的小组讨论，19 人次的左顾右盼和 21 人次的未定义状态。下一步是对视频进行编码，首先，找到转头看窗外、小组讨论、左顾右盼 3 种学习行为相对应的视频片段对他们进行分析编码。其次，对剩下的正面对黑板、低头记笔记两种学习行为相对应的视频片段进行分析编码。在对前 3 个状态下的视频片段进行编码过程中标记出了 65 人次的转头看窗外，145 人次的小组讨论和 19 人次的左顾右盼。根据该数据可以得到该系统对学习者的转头看窗外，小组讨论和左顾右盼 3 种学习行为做出正确判断。对正面对黑板、低头记笔记两种学习行为相对应的视频片段进行慢放观察，观察这些视频片段中有没有疑似转头看窗外、小组讨论、左顾右盼等学习行为。经过观察对比和分析，发现这些视频片段中的学习行为都属于正面对黑板和低头记笔记两类，基于头部姿态的注意力检测与反馈系统对正面对黑板和低头记笔记两类学习行为判断正确。再经过分析发现，转头看窗外和左顾右盼两种学习行为并没有连续发生，这是因为该系统通过振动提醒功能对注意力不集中行为做出了干涉。经过以上测试，可以确定该系统功能可靠稳定，对学生学习行为和注意力能够做出正确判断，可用性较高，有进一步推广和研究的价值。<sup>[8]</sup>

#### 引用

- [1] 刘冰,安素平.现代教育技术应用[M].厦门:厦门大学出版社,2017.
- [2] 袁丽丽.学龄期儿童智能坐垫设计与开发[D].上海:华东师范大学,2017.
- [3] 叶浩生.具身认知:认知心理学的新取向[J].心理科学进展,2010,18(5):705-710.

# 系统优化探井建井作业的方法

文◆陕西延长石油（集团）有限责任公司延长气田采气二厂 秦亚敏 高宇行  
陕西延长石油（集团）有限责任公司天然气研究院 赵正阳

## 引言

随着陕北气田天然气开发进入新的发展阶段，规划部署在“十四五”末建成150亿方大气田的产能目标。因此，在未来一段时间内，进一步探明新增地质储量以及大力开发现有资源将是下阶段勘探开发的首要任务。本文基于勘探开发过程中探井建井作业系统，提出一种适用于延长气田定边区域的系统优化探井建井作业方法。从效率、安全性和可持续性角度出发，将人、机、环境和管理方式作为系统优化作业方法的必要手段，达成以下目标，即提高探井建井作业效率以及缩短作业周期；排除隐患，最大限度地减少事故和安全风险，确保员工和环境的安全性；降低对环境的负面影响，遵守相关法规和标准；提供可持续的作业框架，使施工作业能够长期稳定运行。

## 1 探井作业优化方法

### 1.1 地质勘探方法

#### 1.1.1 高分辨率地球物理方法的使用

高分辨率的地震勘探和电磁勘探<sup>[1]</sup>等方法能够提供更精细的地质信息，从而有效降低勘探误差。地球物理勘探涉及多种方法，包括地震勘探、电磁法、重力法等。为了提高勘探的安全性，应根据具体地质条件选择最适用的地球物理方法<sup>[2]</sup>。例如，在高地应用地震勘探，而在地下水较为丰富的地区更适合采用电磁法。通过这些勘探方法，能够更准确地定位潜在的油气储层，并为后续探井作业提供准确的地质背景。

#### 1.1.2 先进的地质勘探技术

结合先进的地质勘探技术，如三维地震成像和电磁测量，能够进一步提高地质勘探的效率和准确性。不仅能够识别地下结构，还可以区分不同类型的地质体，为油气储层的准确定位提供更详细的信息<sup>[3]</sup>。在实施这些技术时，需要注意的是其对设备和人员的技术要求，确保在操作过程中安全可控。

### 1.2 井孔钻探优化方法

#### 1.2.1 高效钻井设备的应用

选择高效、可靠的钻井设备对于确保井孔钻探的安全性至关重要。

使用性能卓越的设备能够提高操作效率，减少勘探周期，降低人为错误的发生概率。依靠自动化和遥控技术能够最小化人员直接参与的需求，降低事故发生率。

#### 1.2.2 实时监控系统和紧急停井系统的应用

引入实时监控系统对井孔钻探的关键参数（井孔状态、钻头性能、井内压力等）进行实时监测，有助于及时发现潜在问题，降低事故的发生概率。同时，紧急停井系统的实施能够在发现异常情况时迅速停止钻探操作，防止事故进一步扩大。

#### 1.2.3 高质量钻头和钻井液的应用

选择高质量的钻头和钻井液有助于降低钻探过程中的风险。耐磨性强的钻头可以减少因摩擦导致的钻头损坏，提高操作的稳定性。同时，使用合适的钻井液可以防止井孔坍塌，确保井孔的稳定性，减少地层对环境和井孔设备的影响。

#### 1.2.4 定期检查和维护设备

定期进行设备检查和维护是确保井孔钻探安全性的重要步骤。检查设备的机械部件、电气系统以及润滑系统，及时发现并修复潜在问题，确保设备正常运行。

【作者简介】秦亚敏（1986—），男，陕西榆林人，本科，工程师，研究方向：石油工程。

### 1.2.5 安全培训和标准操作规程

为操作人员提供全面、系统的安全培训，熟悉设备操作和紧急情况处理，并制定详尽的标准操作规程，确保操作人员严格遵守操作流程，最大限度地减少人为错误。

## 1.3 数据分析优化方法

### 1.3.1 使用先进数据分析工具

选择先进的数据分析软件和算法是确保数据分析准确性的基础。这些工具能够高效、快速地批量处理地质和地球物理数据，提高对油气储层的解释质量。

### 1.4.2 应用机器学习和人工智能技术

引入机器学习和人工智能技术，通过分析历史数据和地质特征，提高对潜在油气储层预测的准确性。在应用技术时，需要确保数据的质量和准确性以及算法的透明度和可解释性。机器学习模型可以通过自动识别模式和趋势，达到改善数据解释的效果。

### 1.4.3 数据验证和校正程序

为了确保分析结果的可靠性，实施数据验证和校正程序至关重要。涉及对采集的数据进行实时验证和校正，以纠正偏差和误差。在这一环节的修正下，有助于提升数据使用的可信度。

## 2 建井作业优化方法

### 2.1 井位选择优化方法<sup>[4]</sup>

#### 2.1.1 地质、地球物理和地球化学调查的整合

为了优化井位选择的安全性，应对地质、地球物理和地球化学进行全面调查。通过整合调查数据，获得地下地质构造、油气藏分布和岩性等关键信息。综合分析多源关键信息准确评估潜在地质风险，为井位选择提供可靠的依据。

### 2.1.2 风险评估工具的使用

引入先进的风险评估工具，对井位周围的地质和环境风险进行全面评估。能够对潜在的地质风险进行量化，包括地层不稳定性、地下水位变化等因素。通过详细的风险评估，可以在井位选择前制定有效的风险管理计划，减少不确定性，提高决策的可靠性。

### 2.1.3 地理信息系统（GIS）应用<sup>[5]</sup>

利用先进的地理信息系统（Geographic Information System, GIS），将各种地质和地球物理数据进行集成和空间分析。GIS可以提供地理可视化，帮助决策者更好地了解地质环境的复杂性。通过GIS的应用，综合考虑地质特征、环境条件和基础设施等因素，在地理空间上精确定位井位。

## 2.2 井孔设计优化方法

### 2.2.1 制定安全设计标准

确保井孔设计符合最高安全标准是提高整个建井作业安全性的首要任务。及时更新现有安全设计标准，在满足国际和行业规范的同时，根据特定地质条件和环境特征进行调整。包括井孔直径、套管设计、井深等方面的详细规范，确保井孔在复杂地层中的稳定性和安全性。

### 2.2.2 应用先进模拟软件

利用先进的模拟软件，对不同井孔设计方案进行全面模拟和评估。通过模拟分析，了解不同设计参数对井孔稳定性和安全性的影响，识别潜在的问题和挑战。为施工人员提供实时的、可视化的信息，使其在实际施工前做出更明智的决策。

### 2.2.3 风险评估与预防措施

在井孔设计的过程中，引入先进的风险评估工具，对地质和工程风险进行全面分析。通过识别潜在的地层不稳定性、地下水压力变化等风险因素，制定相应的预防和应对措施，如优化套管设计、调整井孔参数以及选择更适应地质条件的建井技术。

### 2.2.4 环境友好型井孔设计

除了安全性，技术人员应注重环境友好型井孔设计。采用水平定向钻探、合理的废弃物管理等先进技术，降低土壤扰动，减少水资源消耗，减轻建井活动对生态系统的潜在影响，努力实现建井作业与环境相协调。

## 2.3 井壁套管优化方法

### 2.3.1 遵循设计标准

根据地层特征、井深、井孔直径等因素，选择适当的井壁套管规格和材质。遵循国际和行业标准，确保井壁套管符合预期的地质和工程要求，提高整体的井壁稳定性。

### 2.3.2 压力测试和质量检查的实施

在井壁套管安装前，进行压力测试是确保套管耐压性的关键步骤。应实施严格的压力测试程序，以验证井壁套管的强度和耐压性。同时，定期进行质量检查，排除可能存在的缺陷，确保井壁套管的完整性和可靠性。

### 2.3.3 环境适应性的考虑

考虑到不同地质环境的多样性，注重井壁套管的环境适应性。根据

地层特征和环境条件的变化，灵活调整井壁套管的设计和安装方案，包括选择具有较好的抗腐蚀性能的材料，应对地质压力和化学腐蚀。

### 2.3.4 自动化技术的应用

引入自动化技术，准确控制套管的安装深度和角度，减少人为因素对操作的影响，有效提高井壁套管安装的精度和效率，提高作业的一致性，降低操作风险。

### 2.3.5 高温高压环境下的适用性

对于高温高压环境下的井壁套管安装，关注材料的选择和耐热性能。引入具有优异的高温高压性能的井壁套管材料，适应复杂地质条件，确保套管在极端环境下的稳定性和安全性。

## 2.4 完井阶段优化方法

### 2.4.1 完善的完井计划

制定详细、完善的完井计划是确保完井阶段安全性的首要任务。该计划应包含井内设备的安装、压裂作业、注水或注气等相关操作步骤以及每个步骤的安全措施。通过合理规划和明确计划，减少操作风险，确保每个步骤的安全性。

### 2.4.2 设备检查和测试的程序

在完井前进行全面的设备检查和测试是确保完井安全性的重要环节，其中包括井内设备检查、阀门和管道测试等。引入高效的设备检测工具，提高设备故障的发现率，确保所有设备在完井过程中正常运行。

### 2.4.3 安全培训与实战演练

为完井阶段的操作人员提供必要的安全培训是确保作业安全性的关键。培训内容涵盖设备操作、紧急情况处理、危险品防范等。此外，组织实战演练，使操作人员能够在模拟的紧急情况下迅速、有效地应对，提高其应对突发事件的能力。

### 2.4.4 完井液的环保选择

在完井液的选择上，注重环保性能，选择对环境影响较小的完井液<sup>[6]</sup>。选择环保型的完井液，不仅能够保护生态环境，还有助于降低运营成本和环境合规性风险。气井完井液的技术要求如表 1 所示。

### 2.4.5 数据监测与分析

建立完善的数据监测与分析系统，对完井过程中产生的数据进行实时监测与分析。识别潜在问题，优化操作流程，并及时调整完井计划。通过数据的监测与分析，提高对井内状态的实时把控，确保完井过程的安全性。

## 结语

本文一方面强调了在建井探井作业中应用安全系统工程学原则的必要性。地质勘探、井孔设计、钻井过程、井壁套管安装以及完井阶段等环节的综合考虑，有助于最大程度地降低潜在的地质和工程风险，确保作业的安全性。另一方面详细探讨了在建井作业中的安全性优化措施，包括井位选择、钻井过程、井壁套管的安全性优化。通过综合运用现代技术和方法，不仅可以提高勘探的准确性，还能降低作业风险，确保探

表 1 气井完井液的技术要求

性能参数	技术指标
毒性	无毒
氯离子含量 / (mg/L)	≤ 1000
岩芯渗透恢复率 / %	≥ 80
腐蚀速率 / (g · m <sup>-2</sup> · h <sup>-1</sup> )	≤ 0.1
滤失量 / mL	≤ 20
相对膨胀率 / %	≤ 20
抗温 / °C	≤ 160
pH 值	6 ~ 9
密度 / (g/cm <sup>3</sup> )	1.0 ~ 1.8
表观粘度 / mPa · s	≤ 20

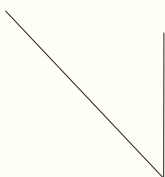
井作业在高效和安全的条件下进行。同时，提出了持续改进的重要性，从监测与评估、持续培训和教育、技术创新与研发、风险管理与危机应对以及持续改进文化等多个层面，推动作业流程的不断完善。通过建立学习型组织和持续改进的文化，探井建井作业团队能够更好地适应行业变革，不断提升整体水平。<sup>[8]</sup>

## 引用

[1] 刘云鹤,殷长春,蔡晶,等.电磁勘探中各向异性研究现状和展望[J].地球物理学报,2018,61(8):3468-3487.  
 [2] 姜修道,朱光明,孙渊.地球物理方法在中国油气资源战略选区中应用的可能性:以藏北羌塘盆地为例[J].地质通报,2006(增刊2):1196-1200.  
 [3] 陈镛.石油开发过程中地质勘探技术的创新[J].中国石油和化工标准与质量, 2017,37(16):177-178.  
 [4] 张东海.井位优选技术[J].钻采工艺,1995(1):1-3.  
 [5] 胡祚.地理信息系统(GIS)发展史及前景展望[D].北京:中国地质大学,2011:34.  
 [6] 薛森.完井液用缓蚀剂研究进展[J].化工管理,2023(20):110-113.

# 露天矿山矿产资源开发利用与生态复绿三维可视化系统的设计与实现

文 ◆ 湖北省地质局第一地质大队 吴 健 孟俊俊 黄光辉



## 引言

近年来，在“自动化、数字化、智能化”深度融合的大形势下<sup>[1]</sup>，我国能源资源行业一直致力于推动矿山的数字化、智慧化发展。随着绿色矿山、智慧矿山建设的急切需求，新兴技术兴起和政策的助力推动<sup>[2-4]</sup>，GIS与实景三维等技术在露天矿山设计、生产、生态复绿、监管等方面发挥重要作用。随着科技的进步，数据的范围日益扩大，其结构也日益



【作者简介】吴健（1983—），男，湖北襄阳人，硕士研究生，高级工程师，研究方向：工程测量、航测遥感、地图编制和地理信息系统应用。

复杂，传统的二维图已无法满足现实需求。因此，三维可视化技术应运而生，它将实体与虚拟完美结合，利用多媒体、网络技术创造出逼真的3D虚拟现实，使数据的表现形式更加生动形象<sup>[5]</sup>。为了满足矿山矿产资源开发利用与生态复绿方案设计通俗与直观的可视化需求，开发了露天矿山矿产资源开发利用与生态复绿三维可视化系统，生动地虚拟矿山开发利用各阶段以及生态复绿等应用场景，为矿业权的申报和规划决策提供有力的辅助，也为矿山的可持续发展和生态环境保护提供了强大的技术支撑。

## 1 系统构建

### 1.1 系统设计思路

通过精心采集、处理和加工矿山及其主要设施设备、周边环境等多源异构数据，构建矿山相关三维模型，运用3D GIS、倾斜摄影、纹理映射等先进技术，基于开源游戏引擎构建多种三维矿山场景并添加有关功能。基于数据库管理二维属性数据，通过分析和处理二维数据，并与三维场景融合叠加进行可视化展示，同时对一些属性数据通过UI的形式进行可视化表达。对矿山现状、基础建设、生态复绿等过程的整个生命周期进行三维可视化效果呈现，充分展现出矿山矿产资源开发利用与生态复绿设计方案的独特之处，提供更深入、全面的体验。

### 1.2 总体架构

系统基于C/S架构，主要是数据的深度集成和直观可视化，整个系统分为数据层、应用层和业务层三大主要模块。数据层主要是对数据的采集、分析与处理，通过制定好的规则将数据进行融合处理。应用层主要是将数据以直观简洁的方式进行可视化表达，并在此基础上实现地图操作的基本功能。业务层是在应用层的基础上，对各阶段矿山场景进行管理，在三维空间数据底板的基础上，实现矿山开发利用与生态复绿规划生命周期展示、人视分析等各项与方案展示相关的内容，助力全方位了解与评估设计方案。

#### 1.2.1 数据层

数据层扮演着系统需求分析、设计以及数据存储系统之间相互交互的基础角色，主要由矿山DOM、DEM、各种矢量数据（包括从行业主管部门收集的各类专题要素）、实景三维数据、三维建筑模型数据等组成。数据层为系统提供数据模型，并将数据传送给前端功能业务层，以进行界面化渲染、展示和分析。

#### 1.2.2 应用层

应用层是基于开源游戏引擎打造的C/S端系统，实现矿山场景高度渲染展示功能以及二次开发功能。主要包括三维场景漫游、人视分析、高空游览、矿山生命周期直观展示功能。

#### 1.2.3 业务层

业务层指系统根据实际业务需求，设计结合实际使用习惯以及需求的多种展示功能，包括矿山规划生命周期的三维数据更新与展示、各种视角的导览方式等，确保能够从多个角度、多个阶段全面、深入地了解矿山的整体情况。

## 2 系统实现

### 2.1 数据处理

#### 2.1.1 三维模型制作

模型数据主要包括倾斜三维模型、工业场地基建要素三维模型和矿山终了与生态复绿效果设计三维模型。基于矿山开采设计图与生态修复设计图等图件文本资料，对采矿平台以及周边进行三维模型的制作与集成，对矿山开采的现状、基础设施建设以及生态复绿效果场景进行数据精确修整。

(1) 倾斜摄影数据处理。根据场景需求，对现状无人机倾斜摄影数据进行处理，处理成可编辑的三维数据模型，可适配矿山整个生命周期，并搭建矿山现状的三维基础场景。

(2) 工业场地基建要素三维模型建模。根据工业场地布置图等规划图纸，对道路、溜井、平硐胶带、卸矿平台、破碎站、堆料区、办公生活区建筑、配电房、空压机房、维修间等进行手工三维建模，模拟矿山基础设施与设备建设后基本情况。

(3) 矿山终了与生态复绿效果设计三维建模。依据矿山现状模型，对倾斜模型和手工模型进行整合与修改，使矿山开采平台三维模型和整体三维倾斜模型能够瞬间完美衔接融合。矿山终了模型主要展示矿山开采后的矿坑效果以及山体情况。依据生态复绿设计方案，精心设计构建矿山生态复绿效果三维模型，对涉及的地形、土壤、植被等模型进行建模，模拟矿山生态复绿整体情况，并结合修改的倾斜模型，将生态复绿效果模型和倾斜摄影模型相融合，检查整体矿山三维模型是否符合土地复垦质量要求，

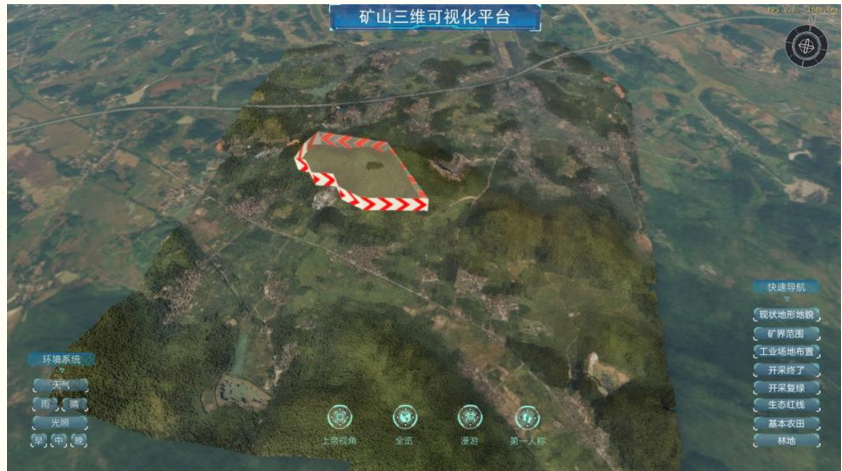
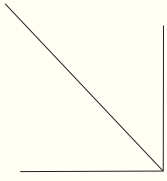


图 1 系统效果图

全方位展示矿山生态复绿情况。

### 2.1.2 搭建场景和优化模型效果

将倾斜三维模型、工业场地基建要素三维模型、矿山终了模型、矿山生态复绿模型进行集成优化，在矿山三维展示平台中进行可视化展示。使用专业的渲染引擎对三维模型场景进行渲染，完成颜色融合、消除遮挡面、雾化等过程，提升模型搭载后的整体流畅度以及可视化效果。

### 2.1.3 搭建展示平台

基于游戏引擎开发制作三维可视化平台，利用倾斜摄影数据搭建三维可视化场景，在此基础上融入矿山各手工三维模型。搭建矿山现状、基础设施设备建设、终了和生态复绿效果，实现开采全生命周期效果展示。平台具有基本交互功能、人视分析、高空浏览、路径展示等功能，能把控产品整体美工效果、互动操作流畅性、光照系统等。系统效果图如图 1 所示。

## 2.2 系统功能

### 2.2.1 人视分析

以第一人称形式在矿区高速公路上行走，并模拟车行视角效果，沉浸式感受矿山对“五边三化”环境的影响，并可快速切换

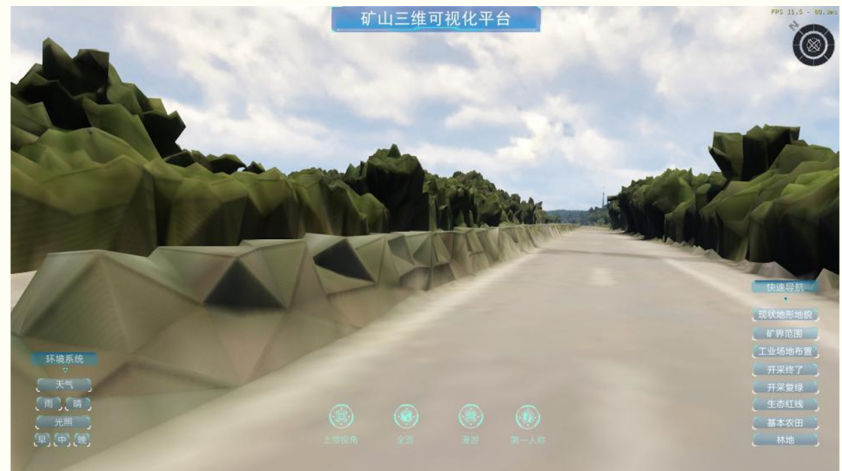


图 2 第一人称视角

到指定地点进行人视视角模拟，观察矿区与山体之间的可视情况。第一人称视角如图 2 所示。

### 2.2.2 高空游览

支持快速切换到第三人称视角，从空中整体鸟瞰观察矿山整体情况，在高空鸟瞰中可切换展示不同阶段矿山的情况。快速切换到指定位置，从高空观察指定位置的情况，并展示不同阶段矿山指定位置的情况。

### 2.2.3 固定路径视频

支持固定路径自动视频播放。根据定制化的展示需求，设置自动漫游矿山展示视频，以自动播放视频的形式对矿山进行自动化三维展示。

### 2.2.4 矿山生命周期展示

通过按钮 UI 的形式触发展示在不同阶段矿山的三维模型，切换展示在不同阶段矿山的效果场景模拟。矿山生命周期内不同阶段效果场景展示如图 3 所示。

## 3 应用效果

当前在黄石地区多家露天矿山采矿权申报过程中，监管部门对《矿产资源开发利用与生态复绿方案》评审提出了更多的检核、审核和评审

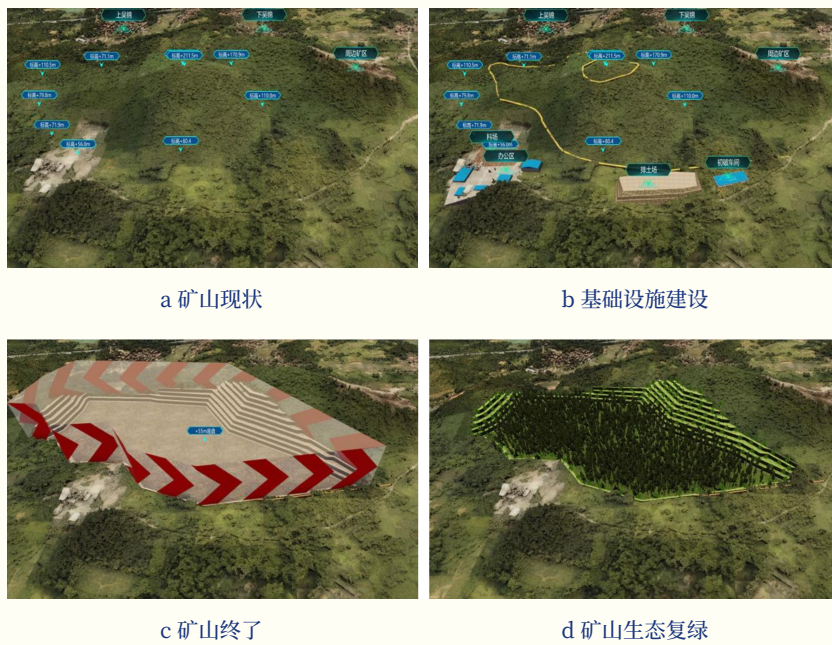


图3 矿山生命周期效果场景展示

要求。结合监管部门、矿业权人和方案设计单位的需求进行分析与设计,综合运用3DGIS技术、三维建模和虚拟仿真技术,实现矿山整体、主要设施设备、环境等多源数据的采集、分析与集成,快速、直观、多角度、全生命周期对矿山开发以及生态复绿各个阶段的三维可视化展示,供众多监管部门从职责出发进行沉浸式多角度有效的专业分析与审查,有效辅助主管部门和地方规委会等监管部门对拟开采矿山规划的可行性、科学性以及环保性等多方面进行新颖、直观与快捷的评判,获得了较高评价与肯定,取得了较高的经济效益和社会效益,并形成了地方示范效应,成为后续露天矿山绿色矿山创建《矿产资源开发利用与生态复绿方案》的标准展示表达方式。系统对地质灾害治理、矿山生态修复、矿山储量动态监管等类似项目的设计或成果的丰富展示表达具有较强的借鉴意义,近几年在黄石地区进行了推广与普及应用,取得了较好的效果。系统涉及地质、GIS、航测与遥感、计算机、国土空间规划等多个专业,对技术人员的专业能力、专业交叉整合能力、政策领悟力与执行力等提出了较高的要求,在设计与实现过程中磨合锤炼出一支特色专业高效的团队。

## 结语

露天矿山矿产资源开发利用与生态复绿三维可视化系统基于3DGIS、三维建模和虚拟仿真技术,以数据层、应用层、业务层为系统架构,采集、修复和制作矿山相关三维模型,将倾斜数据、人工建模数据、栅格数据、矢量数据等进行集成和优化,并构建不同阶段三维效果场景,最终搭建展示平台。同时,设计并加入制作场景漫游、人视分析、高空游览、开采生命周期展示等多样化功能,实现多源异构数据的重构、关联与集成,直观且快速地展示矿山矿产资源开发利用与生态复绿方案,为

矿山数字化、智能化建设提供数据底座,为各类数据共享与协同提供支撑<sup>[6]</sup>。数据和系统将在后续绿色矿山、智慧矿山生产建设与监管中进一步优化升级,进一步探索与研究在井下矿山中的应用与推广,围绕生态环境修复、矿政与矿业监管等方面创新更多应用。<sup>[8]</sup>

## 引用

- [1] 曾祥峰.智慧矿山资源技术系统构建的关键技术[J].矿业工程,2022,20(4):57-59.
- [2] 王金娜,焦学军,宋会传,等.基于CESIUM的露天矿山实景三维智能监管技术研究[J].地理空间信息,2021,19(8):93-96+6.
- [3] 陶兰花,马静,李娜娜,等.基于PCI GXL与INPHO软件在GF-7影像生产中的应用[J].地理空间信息,2021,19(8):90-92+96+5-6.
- [4] 佟德凯.我国煤矿综合机械化开采技术现状与思考[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(12):228-229.
- [5] 李阳,周琛鸿,李绪萍.智慧矿山系统的发展与应用[J].能源与节能,2023(2):181-183.
- [6] 徐刚强,刘艳红,李文新.面向全生命周期的矿山地测数字化平台设计[J].采矿技术,2022,22(4):216-219.

