

# 基于 ISD/SAT 的设备维修管理技能训练系统设计

刘 昭<sup>1,2</sup>, 连光耀<sup>3</sup>, 刘 彬<sup>1</sup>, 崔志强<sup>1</sup>, 张 宇<sup>1,3</sup>, 程中华<sup>1</sup>

(1. 陆军工程大学石家庄校区, 石家庄 050200; 2. 陆军步兵学院石家庄校区, 石家庄 050000;  
3. 中国人民解放军 32181 部队, 西安 710032)

**摘要:** 针对维修管理技能训练系统与训练需求不匹配的问题, 应用 ISD/SAT 模型对维修管理技能训练系统进行了设计; 在系统建设过程中, 应用 ISD/SAT 模型, 对培训需求进行了分析, 对训练内容、系统结构、业务流程和技术体系进行了设计, 对系统和评估模块实施了开发; 经实验测试, 部分使用训练系统的两个实验组及完全使用训练系统的一个实验组, 平均成绩分别比原始组高出了 0.63%, 1.34%, 5.64%, 表明使用 ISD/SAT 方法设计的训练系统可以提升训练效果。

**关键词:** ISD 模型; SAT 模型; 设备维修; 管理技能; 训练系统设计

## ISD/SAT-based Equipment Maintenance Management Skill Training System

LIU Zhao<sup>1,2</sup>, LIAN Guangyao<sup>3</sup>, LIU Bin<sup>1</sup>, CUI Zhiqiang<sup>1</sup>, ZHANG Yu<sup>1,3</sup>, CHENG Zhonghua<sup>1</sup>

(1. Shijiazhuang Campus of Army University of Engineering, Shijiazhuang 050200, China;  
2. Shijiazhuang Campus of Army Infantry Academy, Shijiazhuang 050000, China;  
3. Unit 32181 of The Chinese People's Liberation Army, Xi'an 710032, China)

**Abstract:** Aimed at the problem of mismatch between the maintenance management skills training system and the training needs, this paper applies the instructional system design and system approach to training (ISD/SAT) model to design a maintenance management skill training system. During the system construction process, the ISD/SAT model was applied to analyze the training needs, design the training content, system structure, business process and technology system, and develop the system and evaluation module. After experimental testing, the average performances of which two experimental groups partially or the one experimental group fully utilizes the training system are higher than that of the original group by 0.63%, 1.34% and 5.64%, respectively, which indicates that the training system designed by using the ISD/SAT method can improve the training effect.

**Keywords:** ISD model; SAT model; equipment maintenance; management skill; training system design

## 0 引言

数字化时代, 随着设备的精细程度提高, 维修工作的复杂程度显著提升<sup>[1]</sup>。设备维修管理技能, 是企业人员在设备维修管理活动中的一种实践技能, 内容包括情况分析、保障筹划、保障器材调度、保障方案制定等<sup>[2]</sup>。设备维修管理技能的训练, 可以提高受训人员维修与管理技能水平<sup>[3]</sup>, 对提升维修部门在短时间、复杂环境下维修作业的工作效率有重要意义。

目前, 训练系统对于维修管理技能训练的重要性日益凸显。现代智能化、信息化技术提升了训练系统的自动化水平<sup>[4]</sup>, 改变了传统的训练模式和方法, 可以更好地模拟真实场景, 为受训人员提供更多的实践机会, 使训练更加高效<sup>[5]</sup>; 依托训练系统实施训练, 是提升维修管理技能水

平采取的普遍手段之一<sup>[6]</sup>。

设计是训练系统开发的前提。现行的管理技能训练系统设计, 存在以下问题: 1) 内容设计与实际需求有一定差距<sup>[7]</sup>; 2) 开支测算不够精确, 效费比不高<sup>[8]</sup>; 3) 缺乏明确指引, 缺乏规范性和可靠性<sup>[9]</sup>。

在技能培训领域, 教学系统设计 (ISD, instructional system design) 和系统培训法 (SAT, system approach to training) 提供了一套较为完整的实施方法<sup>[10]</sup>。ISD 是一种指导教育设计的方法论, 注重设计前的需求分析<sup>[11]</sup>。具体包括分析 (Analyze)、设计 (Design)、开发 (Develop)、实施 (Implement) 和评估 (Evaluate) 共 5 个阶段, 也被称为 ADDIE 模型<sup>[12]</sup>。ISD 模型通过循环地评估和反馈来优化培训过程, 以保证计划与需求的一致性。ISD 更侧重理论

收稿日期: 2024-03-18; 修回日期: 2024-04-30。

基金项目: 综合研究项目基金 (20212C031169)。

作者简介: 刘 昭 (1992-), 男, 硕士研究生。

引用格式: 刘 昭, 连光耀, 刘 彬, 等. 基于 ISD/SAT 的设备维修管理技能训练系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(10): 154-162, 168.

和通用技能的培训<sup>[13]</sup>。SAT 是一种应用于航空和核能等高度规范化行业的训练方法<sup>[14]</sup>。为保证训练内容直接对应工作中的实际场景，SAT 侧重工作中具体任务的分析与工作标准制定<sup>[15]</sup>。ISD 和 SAT 虽各有侧重，但都以系统工程理论为指导，ISD/SAT 联用的方法已被应用在飞行员训练系统<sup>[16]</sup>、武器训练系统<sup>[17]</sup>、网络教育系统<sup>[18]</sup>等系统的开发。

本文尝试使用 ISD/SAT 对设备维修管理技能训练系统进行设计，为训练管理和开发人员提供借鉴和参考。

1 ISD/SAT 模型

ISD 方法常用以对单科目专业训练的分析规划，SAT 方法常用以对共同训练的组织。ISD/SAT 基础模型由 3 个维度组成：基础功能、内部实施过程、外部改进过程，这 3 者既有其独立过程，又有相互关联的部分。其基本关系如图 1 所示。

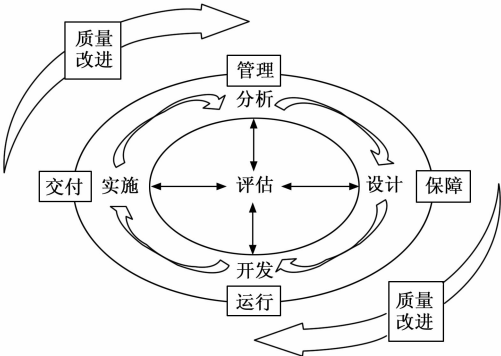


图 1 ISD/SAT 模型

内部实施流程，即图 2 内圈部分，是内部开发进程维度。按照开发的时间进程，可以分为分析、设计、开发、实施 4 个阶段。

基础功能，即图 2 中圈部分，是开发活动的管理控制维度。可以理解为训练开发管理人员团队的基本职能，按照基本职能，可以将控制训练的基本职能分为管理、保障、运行和交付。

外部改进过程，即图 2 外圈部分，为训练系统主体功能实现后的评估和改进的维度。可以分为内部质量改进和输

出质量改进。ISD/SAT 工作模型具体内容如表 1 所示。

2 应用实例——设备维修管理技能训练系统

管理技能训练有较强的专业性，依托训练系统可以有效提升训练的效果<sup>[19]</sup>。下面即是参照 ISD/SAT 主体框架，针对设备维修管理技能训练的实际，对训练系统进行的设计，流程如图 2 所示。

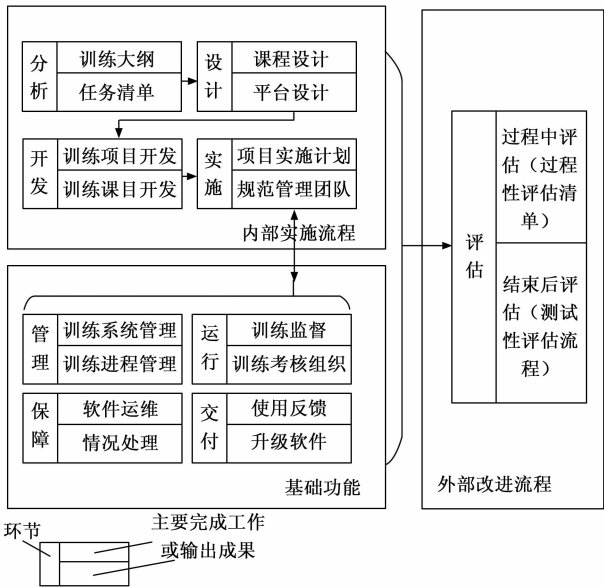


图 2 设备维修管理技能训练系统设计流程框架

2.1 训练需求分析

需求分析是 ISD/SAT 的首要步骤，旨在全面了解人员的培训需求。对设备维修与管理技能训练进行需求分析，首先通过定制问卷收集了 75 名维修技术人员的培训需求，并通过现场观察 10 名技术人员的日常工作流程，记录了在故障诊断、机械维修、电子维修和软件更新等方面的技能表现。基于以上数据，运用差距分析模型识别出关键技能缺口，并据此针对维修管理人员、维修技术员两个工作岗位，分别设置了 6 项工作任务与职责，5 个具体的教学目标，如表 2 所示。

表 1 ISD/SAT 工作模型

模块	对象	含义	模块	主要工作
内部实施过程	训练内容、方法等的设计	内部开发进程维度，体现为开发流程	分析	对整体设计进行分析，识别出哪些部分的内容复杂度高，需要依托教学系统或方法，并对其需求进行详细的定义。
			设计	基于分析阶段的结果，设计出满足需求的教学系统或教学方法。
			开发	根据设计阶段的方案，开发出具体的教学资源，如课程学习资料、学习支持软件和工具等。
			实施	把开发出的教学资源应用于实际的教学中，并对实施过程进行全面的监控和管理。
基础功能	开发过程的管理	训练控制维度，体现为开发团队的基本职能	管理	控制和指导整个系统的开发与运作。
			保障	硬件和软件的维护和升级，性能和安全的监控。
			运行	处理日常的事务，如文档管理、数据记录保存。
			交付	负责培训系统的制作、分发、部署和推广等。
外部改进过程	系统的改进	评估和改进过程	内部质量改进	在保持输出受训人员水平不变的基础上，调整训练条件，降低投入。
			输出质量改进	调整训练条件，提升受训者培养水平。

表 2 设备维修管理人员的岗位训练需求分析清单

工作岗位	工作任务及职责	教学目标
维修管理人员	情况分析:综合评估维修任务的复杂性和紧迫性; 保障筹划:规划必需的资源和时间表; 器材调度:合理分配维修设备和物资; 方案制定:设计维修作业计划和流程; 管理协调:在维修过程中协调不同团队的工作; 性能评估:完成维修后对设备性能进行评估和确认。	熟练掌握维修技术和流程; 能够高效管理时间和资源; 能够应对复杂环境下的快速决策; 具备良好的团队协作和沟通能力; 能够进行维修后设备性能的准确评估。
维修技术员	实施维修作业:按照保障方案执行具体维修任务; 故障诊断:对设备进行故障分析和定位; 维修记录:详细记录维修过程和结果,为后续分析提供数据支持; 设备调试:确保维修后的设备达到预期性能; 器材管理:负责维修所需器材的管理和维护; 客户沟通:与客户交流维修进展和结果。	掌握相关设备的维修知识和技能; 能够使用智能化、信息化技术进行故障诊断; 有记录和报告编写能力; 能够对维修后的设备进行准确调试; 具备良好的物资管理能力; 能够有效沟通,提供优质客户服务。

2.2 训练系统设计

2.2.1 训练内容设计

训练内容设计是训练系统开发的基础。依据 ISD/SAT 原则,训练内容设计首先完成训练资源的盘点。随着技术的发展,设备维修管理工作过程中会产生大量非结构化、半结构化和结构化内容资源,如故障分析报告、故障案例、操作手册、产品标准、专利报告等等,为实现内容设计,需要对内容资源进行梳理。针对这一问题,建立设备维修管理技能知识图谱,技术流程如图 3 所示。鉴于设备维修与管理领域专业性较强,在构建本体时使用半自动构建的方式,首先由领域专家参与,在实例创建完成后,使用自然语言处理技术输入本体知识<sup>[20]</sup>。

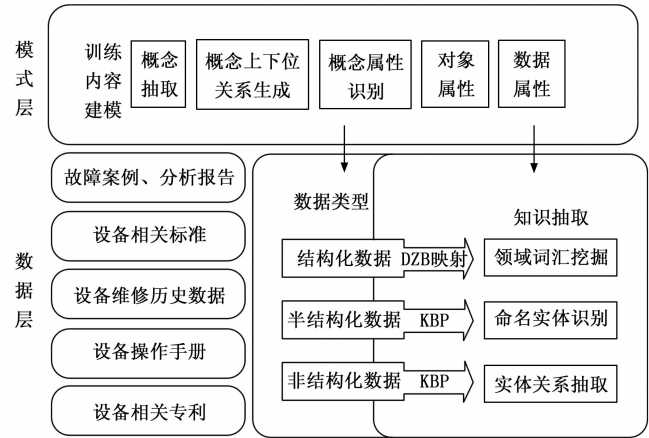


图 3 设备维修管理技能训练内容知识图谱建模流程框架

本体构建使用“七步法”进行分析,步骤为:1) 确定领域本体的范围;2) 考虑现有本体的复用性;3) 梳理重要概念;4) 确定本体类层次结构;5) 定义类的属性;6) 创建实例;7) 描述实例特征。通过对设备维修管理工作的系统梳理,确定本体划分为“人员类”“活动类”“维修系统”“设备系统”“管理系统”5 个类别。“人员类”是设备维修管理工作开展所涉及的人员;“活动类”是设备维修管理工

作开展所涉及的活动;“维修系统”是维修工作涉及的维修工作流程和理论知识;“设备系统”是设备基本信息;“管理系统”是设备维修管理以及安全监管等内容。

2.2.2 训练系统结构设计

训练系统结构设计上,为支持各种教学策略,ISD/SAT 要求兼顾灵活性和可扩展性。设备维修管理技能训练系统总体上由训练平台和管控平台两大部分构成,如图 4 所示。

设备维修管理技能训练平台为参训人员的主要操作平台,平台部署多套作业席供参训人员进行技能理论训练和系统实操训练。在训练平台外设置一套管控席,该席位用于部署设备维修管理技能训练系统中的训练管控平台,用于参训人员进行训练实施过程中的项目下发和训练控制,以及训练考核阶段的考核,同时管控席位上还部署一套实装软件的协理作业席,用于对训练平台中部署的作业席下达训练课目案例,完成实装软件上的技能训练和业务训练。在作业席上,部署设备维修管理技能训练平台,完成其上的基础理论知识训练与部分系统实操训练,详细信息如表 3 所示。

表 3 席位—功能模块—功能配置清单

席位	软件	功能说明
管控席	训练管控平台	1) 训练准备阶段:基础数据准备,业务数据准备; 2) 训练实施阶段:设置训练项目,训练进程控制,采集训练过程数据和结果数据; 3) 训练考核阶段:训练考核。
	实装软件协理席	训练实施阶段:下发训练项目和训练内容。
作业席	实装软件作业席	训练实施阶段:接收训练项目和训练内容,完成设备维修管理技能和能力(业务)训练。
	设备维修管理技能训练平台	训练实施阶段:接收训练课目案例和训练内容,完成装备保障理论训练与部分系统实操训练,接收并响应训练进程控制命令。

2.2.3 系统业务流程设计

ISD/SAT 模型要求在系统业务流程设计上要求紧密结

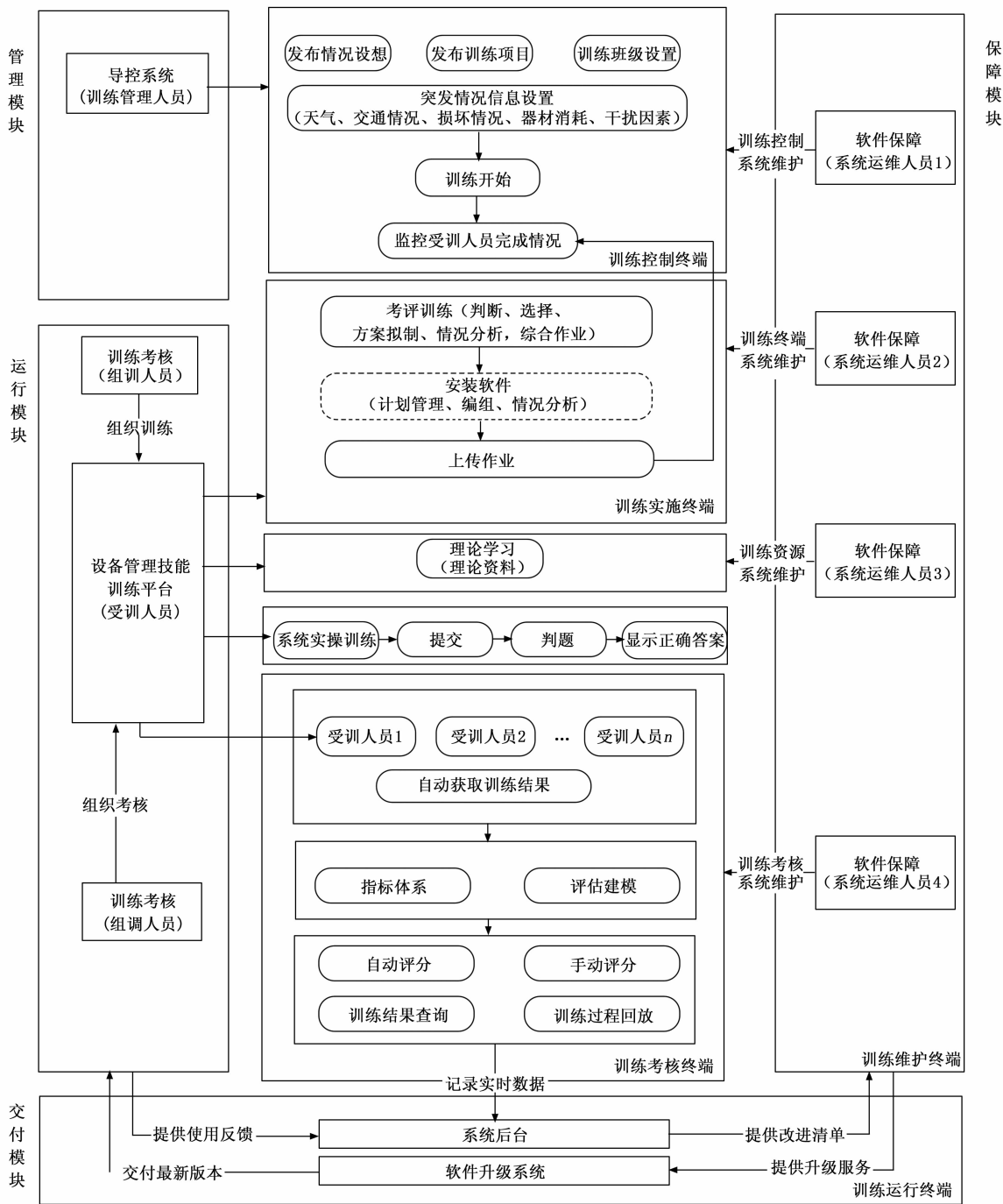


图 4 训练系统横向技术体系结构图

合教学模式的特点。为贴合设备维修管理技能训练的教学模式，系统分为训练准备、训练实施和训练考核 3 个阶段。

1) 训练准备。训练准备为训练提供前提条件支撑，一方面是基础数据的准备，另一方面是业务数据的准备。基础数据主要包括：与训练相关的字典、模型、作业等数据；业务数据包括：人员数据、修理编组数据、模型字典数据、作业字典数据、编组课目数据、突发情况数据以及与实装软件间数据交互的准备数据。

2) 训练实施。训练实施由系统中的训练导控平台进行

组织和实施，由组训人员根据训练课目和训练内容，组织受训人员通过平台进行装备保障设备维修管理技能训练，训练导控平台具备下发训练项目、训练课目案例和训练内容的功能，同时对训练的流程进行控制，收集训练结果数据，采集训练过程信息，支持考核阶段的过程回放。

3) 训练考核。训练考核是对设备维修管理技能训练效果的考核与评估，在训练实施过程中加入数据采集功能，开发实装软件数据采集接口，采集训练过程数据和训练结果数据，由组训人员对受训人员的训练效果进行自动和手

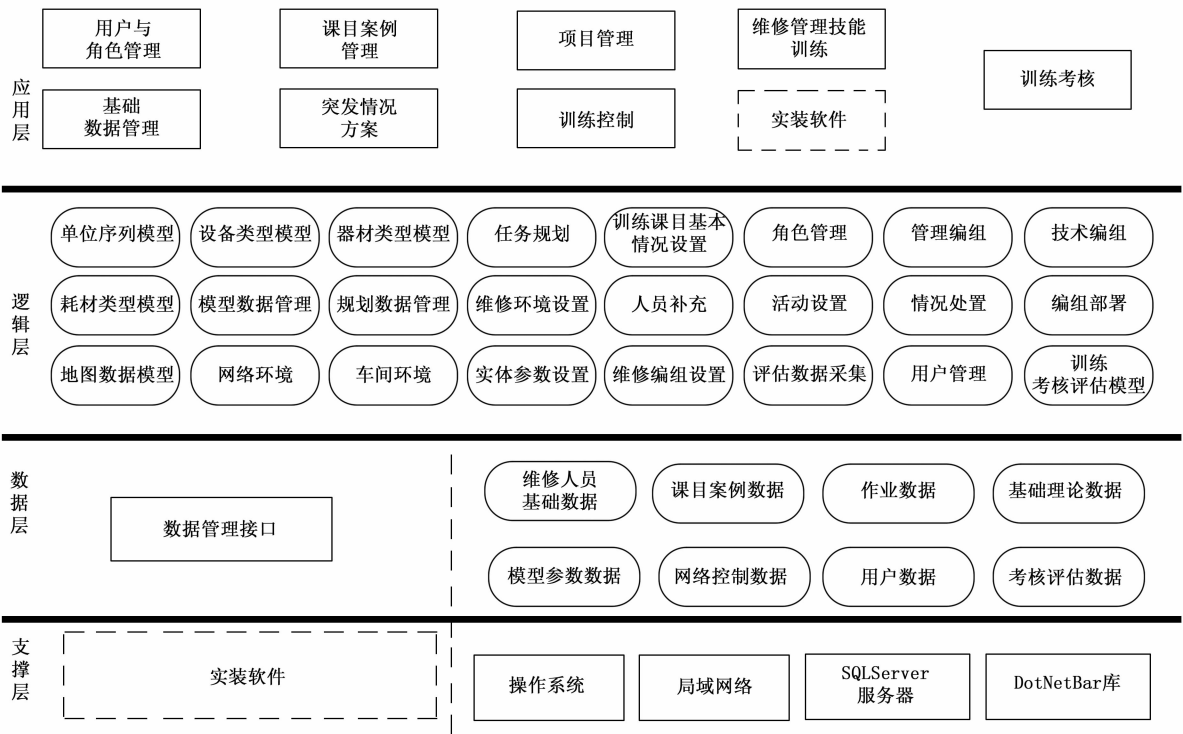


图 5 训练系统纵向技术体系结构图

动两种方式考核和评估。

2.2.4 技术体系结构设计

系统技术体系是从技术实现的角度，对设备维修管理技能训练系统建设中所涉及的相关技术进行系统性的描述，并从中确定关键技术点和各平台的主要功能模块。

从训练组织实施的角度看，主要包括训练准备、训练实施和训练考核 3 个阶段。依照 ISD/SAT 规范，为对齐训练管理人员在管理、保障、运行、交付 4 个模块的职责，在系统模块设计上做了区分。各训练阶段包括的具体软件系统及主要功能模块如图 4 所示。

系统纵向技术构成如图 5 所示，主要包括 4 个层面：应用层、逻辑层、数据层、支撑层。其中，应用层直接面向装备保障受训人员，负责完成全业务、全过程的设备维修模拟训练；逻辑层是应用系统的组成部件，具体描述训练相关的各个业务逻辑关系，核心是与设备维修管理业务相关的业务处理；数据层负责存储和设备维修管理训练前、训练中和训练后相关的训练数据；支撑层处于最底层，包括安装软件、网络、操作系统和各类服务器等，是系统运行的基础设施支撑环境。

2.3 训练系统开发与实施

ISD/SAT 注重使用技术工具对训练开发提供支持。训练内容开发与实施上，确定本体结构后，构建训练内容本体模型。在构建工具选择上，鉴于支持中文关系现实、开源、基于 API 拓展等功能，使用斯坦福大学开发的 Protégé 平台<sup>[21]</sup>。按照 Protégé 类层次的添加方法，将设备维修管理技能的类层次结构建立起来，图 6 是 Protégé 下为设备系统

类添加本体类数据属性的过程。



图 6 Protégé 下为设备系统类添加本体类数据属性

在完成本体构建后，为实现训练内容的输入和知识图谱的可视化，对比了 Neo4j、OrientDB、TITAN、FlockDB、AllegroGraph 和 Obsidian<sup>[22]</sup> 这几种图谱可视化工具<sup>[23]</sup>。Obsidian使用的文件格式是 Markdown，支持知识的双向链接，有利于受训者进行个性化的知识建模，并且便于内容分享，符合 ISD/SAT 模型对训练内容开发的互动原则。因此，选择了 Obsidian 实现训练内容输入和图谱可视化，Obsidian 创建的设备保障与维修知识图谱如图 7 所示。

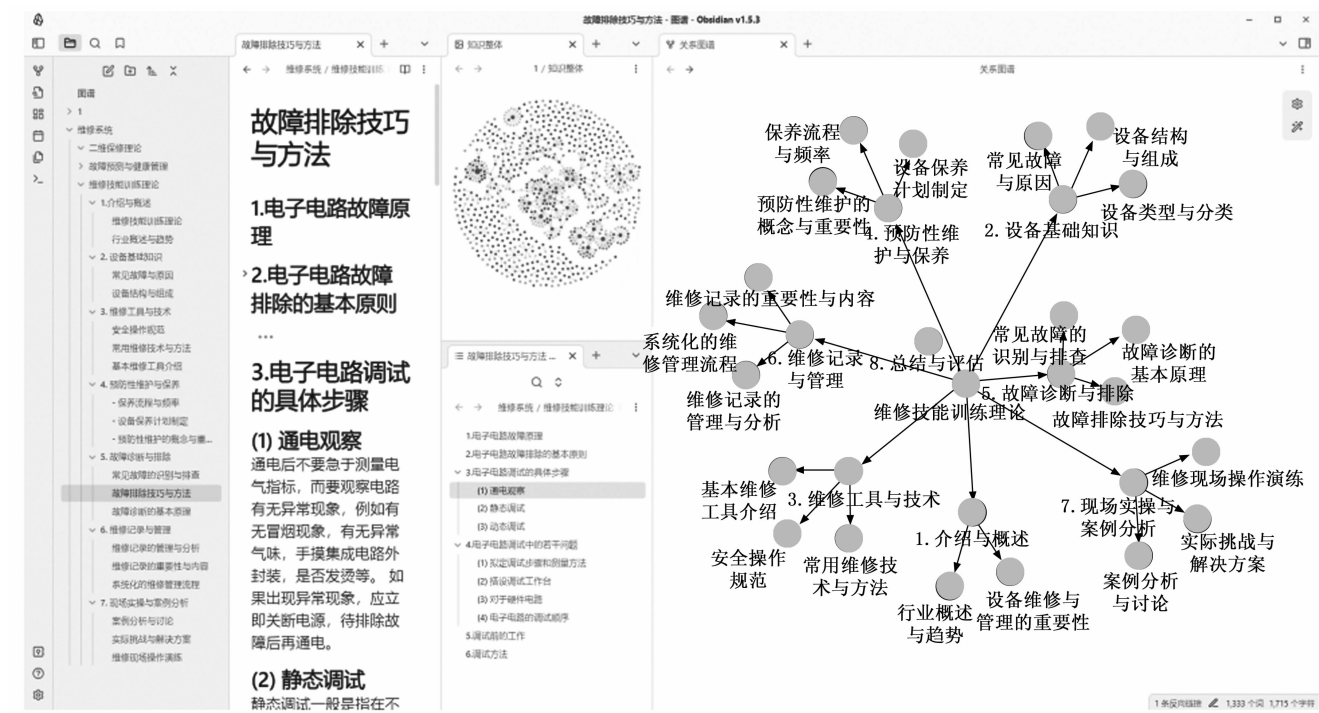


图 7 Obsidian 创建的设备保障与维修知识图谱

训练系统功能开发。系统开发环境为 SQL Server 数据库，运行环境为 Windows+Virtual studio，采用 C# 语言开发 C/S 模式版可直接运行的 winform 程序。训练系统各模块如图 8 所示。

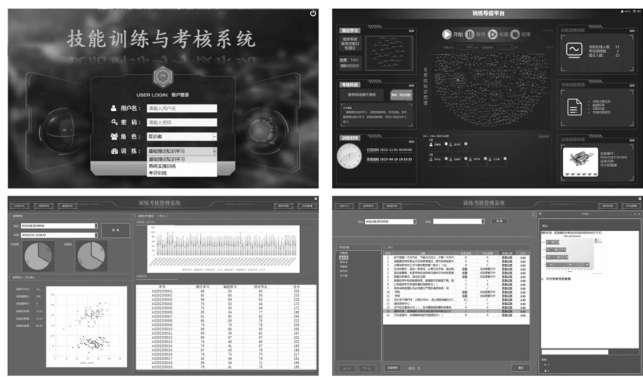


图 8 设备维修管理技能训练系统界面

2.4 评估与改进

设备维修管理技能训练系统严格遵循 ISD/SAT 模型的指导原则，将评估与改进贯穿于系统的整个研制周期。

训练评估，可分为训练结果、训练系统评估两种类型。训练结果评估，对象是受训者，衡量的训练后的水平；训练系统评估，对象是训练系统，衡量的是训练系统设计中训练内容、时长，配比等训练设计效益的高低，是改进的主要手段。整个评估改进过程是一个动态调整和优化的循环，确保训练系统能够更好地适应训练需求。主体流程如图 9 所示。

训练结果评估是训练系统评估的前提，有效的结果评

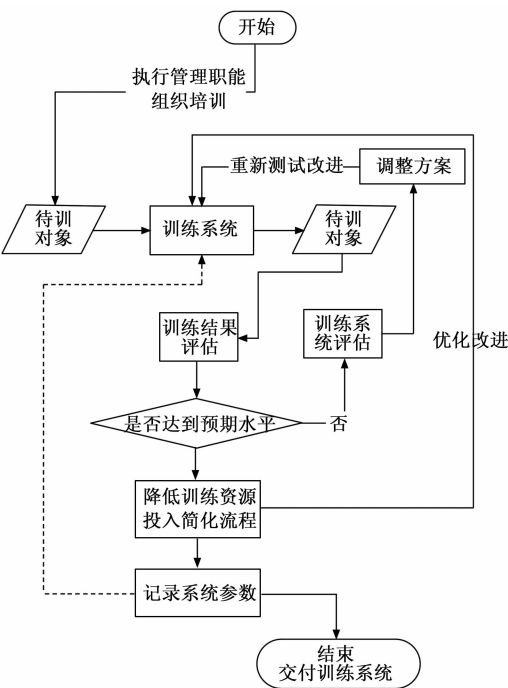


图 9 整体效果测试性评估改进基本流程

估方法，可以准确衡量受训者水平；当训练资源投入等条件一致时，单位时间内受训结果变化，可以衡量训练系统的效益。在评估阶段，建立了基于 BP 神经网络<sup>[24]</sup>的设备维修管理技能训练结果评估模型，利用麻雀搜索算法（SSA, sparrow search algorithm）<sup>[25]</sup>对 BP 神经网络进行全局优化，运用鸡群优化算法（CSO, chicken swarm optimization）<sup>[26]</sup>

对科目频次、科目时长、训练配比等训练方案要素进行寻优。基于 SSA-BP 的训练结果评估及基于 CSO 的方案寻优过程如图 10 所示。

在训练结果评估模块的测试上,收集的数据来源于 2022-2024 年度的设备维修管理培训人员。因培训模式改革和大纲调整等原因,统计区间内的班次训练安排存在差异。训练成绩是由相关专家课中和结业阶段评价而来,成绩经过模糊综合评价<sup>[27]</sup>、层次分析法进行处理,过程不作赘述。数据通过训练系统考核模块提取。整体数据在编码、清洗、筛选、特征选择后,部分数据通过指标体系进行了转换,最终共得到有效训练数据 521 组。数据集按 7:3 的比例随机分为训练集和测试集。实验环境位于 Windows 10 操作系统,计算机 CPU 为 Intel Xore Silver 4210R@ 2.40 GHz (×2) 64 GB, GPU 为 NADIA GeForce RTX 3090 24 GB。基于 MATLAB2023b 构建了神经网络和算法框架。BP 神经网络参数,输入层数为 12,输出层数为 1,隐藏层数为 2,第一层和第二层的节点分别为 14 和 8,SSA 算法的种群维度为 311。根据实验经验,学习率设为 0.1,最小训练误差设为 0.000 1。将 SSA 中的发现者个体设为种群中所有个体的 20%,警惕组的麻雀个体设为总种群的 10%,安全阈值 ST 设为 0.8。

评价指标使用 R 方和均方根误差 RMSE<sup>[28]</sup>。

R 方是回归算法拟合优度的一种度量,值介于 0 和 1 之间。R 方越接近 1,表示模型对数据的解释程度越高,拟合效果越好。R 方的计算如公式 (1) 所示:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \tag{1}$$

其中:  $y_i$  是第  $i$  个受训者成绩,  $\hat{y}_i$  是测评成绩,  $\bar{y}$  是所有成绩数量的平均值,  $n$  是输入样本数量。

RMSE 是历史成绩和测评成绩之差的平方和的平均值的平方根,用于成绩测评的准确性。RMSE 的计算如公式 (2) 所示:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \tag{2}$$

测试结果如图 11 所示。

经测试,训练集 R 方为 0.981 53, RMSE 为 0.885 28,测试集 R 方为 0.970 62, RMSE 为 1.149 2,精度在合理范围内,成绩评估模块性能符合要求。

3 设备维修管理技能训练系统有效性验证

在设备维修管理技能培训中,训练进程按顺序依次为理论学习、技能练习、编组练习 3 个模块。本文设计的设备维修管理技能训练系统,在训练中依次在 3 个模块中使

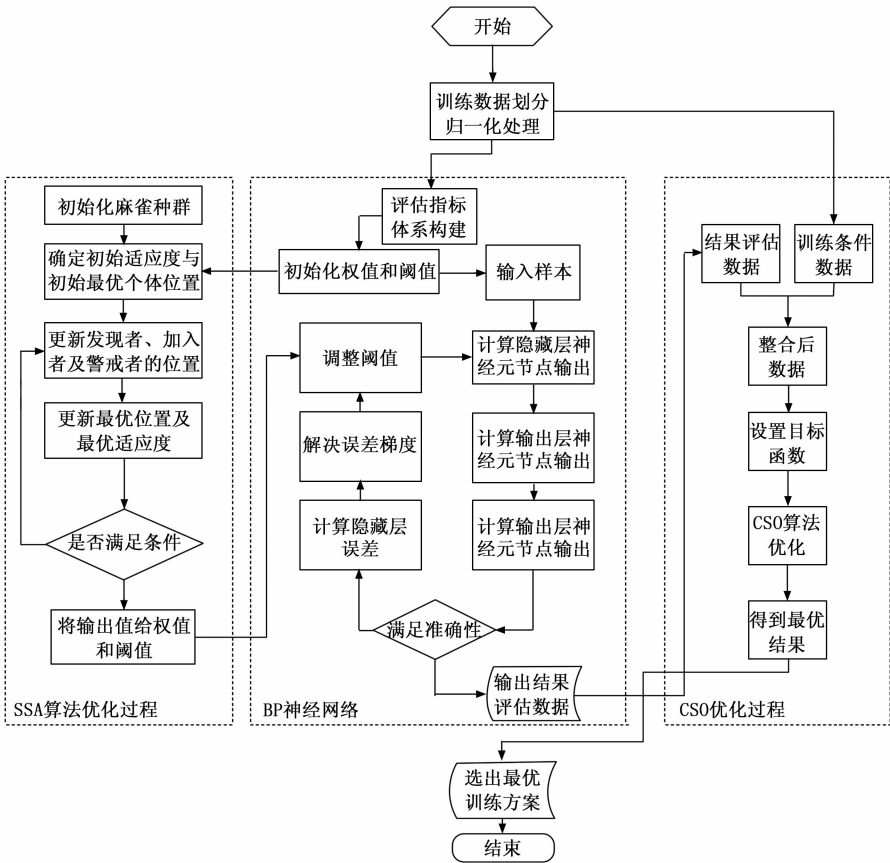


图 10 基于 SSA-BP 的训练结果评估及基于 CSO 的方案寻优过程

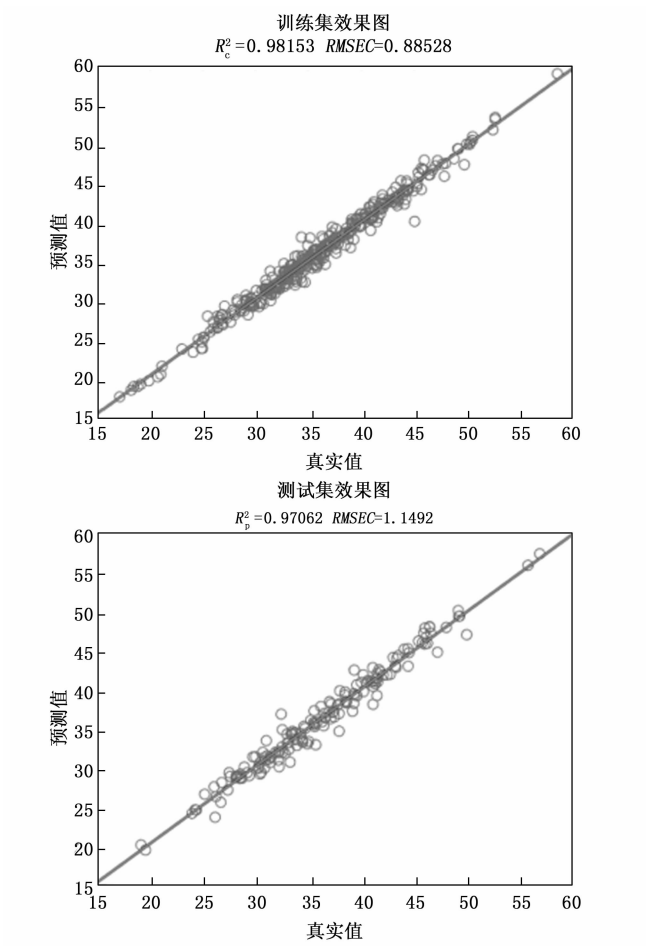


图 11 训练集测试集结果

用。理论学习模块，受训者依托系统进行相关课程自学，完成随堂测试；技能练习模块，受训者依托系统模拟进行相关技能练习；编组练习，受训者在局域网范围匹配其他同训人员组成小组，锻炼团队作业能力。

为验证训练系统相较于传统模式在培训效果上的提升，在系统开发完成后对系统的有效性进行了测试。共有 437 名参与测试的人员，分为 5 组，排除了未完成培训的人员；考试内容为理论测试、技能测试、编组考核 3 个模块，每个模块都为 100 分。

系统的训练模块中，M 代表理论学习，S 代表技能练习，G 代表编组练习。训练组别划分如下。1 组为对照组，使用传统模式；2 组仅使用系统的 M 模块；3 组使用 M 和 S 两个模块；4 组使用 M 和 G 两个模块；5 组 M、S 和 G 模块全部使用。组别划分具体见表 4，表中○表示使用传统模式，●表示使用本文设计训练系统。

表 4 测试组别划分

组别	1	2	3	4	5
理论学习模块(M)	○	●	●	●	●
技能练习模块(S)	○	○	●	○	●
编组练习模块(G)	○	○	○	●	●

各组在训练结束后，汇总各模块、成绩汇总如表 5 所示。对结果做以下分析。

表 5 测试结果

使用训练系统的模块	1 组 (无)	2 组 (M)	3 组 (M+S)	4 组 (M+G)	5 组 (M+S+G)
理论测试	71.012 5	63.187 5 ↓	67.437 5 ↓	67.637 5 ↓	69.762 5 ↓
技能测试	68.387 5	65.325	70.587 5 ↑	68.687 5	71.462 5 ↑
编组考核	63.1	61.75	65.75	68.9 ↑	72.7 ↑
总成绩	202.5	190.262 5	203.775	205.225	213.925

理论测试成绩分析：如表 5 和图 12 所示，平均成绩分布为：2 组 (M) < 3 组 (M+S) < 4 组 (M+G) < 5 组 (M+S+G) < 1 组 (无)。使用系统的 2 至 5 组成绩低于使用传统培训方式的 1 组，系统作用不良，这可能是训练系统不注重理论讲解，仅依靠受训者自学导致。

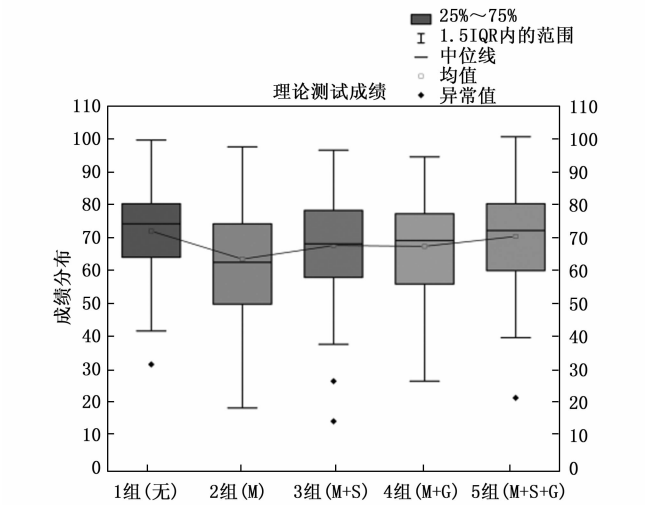


图 12 理论测试成绩对比

技能考核成绩分析：如表 5 和图 13 所示，在技能训练模块使用系统的 3 组 (M+S) 与 5 组 (M+S+G) 成绩高于未使用系统的 1 组 (无)、2 组 (M) 与 4 组 (M+G)，系统作用明显，说明系统在技能练习模块对训练起到了推动作用。

编组考核成绩分析：如表 5 和图 14 所示。在编组练习模块使用系统的 4 组 (M+G) 与 5 组 (M+S+G) 成绩高于未使用系统的 1 组 (无)、2 组 (M) 与 3 组 (M+S)，系统作用明显，说明系统在编组练习模块对训练起到了推动作用。考虑到训练的顺序性，3 组 (M+S) 的成绩高于 1 组 (无)、2 组 (M)，也能说明技能训练的有效性。

总成绩分析：如表 5 和图 15 所示。使用部分模块的 3 组 (M+S)、4 组 (M+G) 成绩高于使用传统模式的 1 组，平均成绩分别提升 0.63%、1.34%，也验证了系统在技能练习、编组练习两个模块设计的有效性。2 组 (M) 成绩低



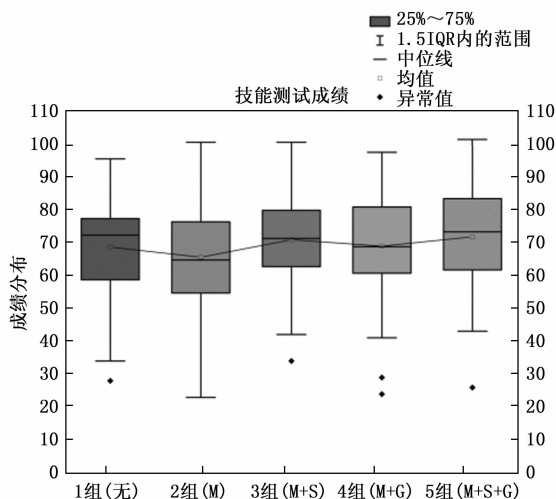


图 13 技能考核成绩对比

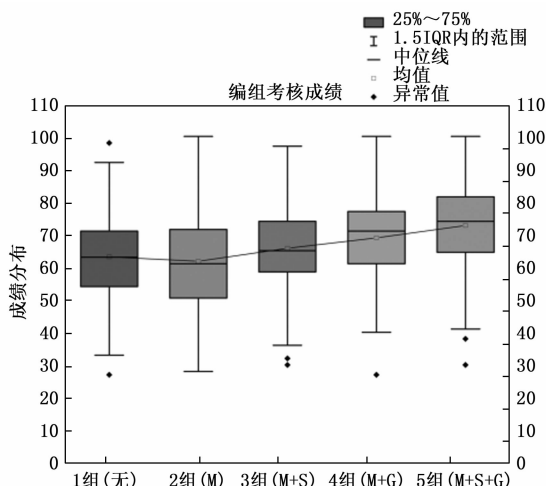


图 14 编组考核成绩对比

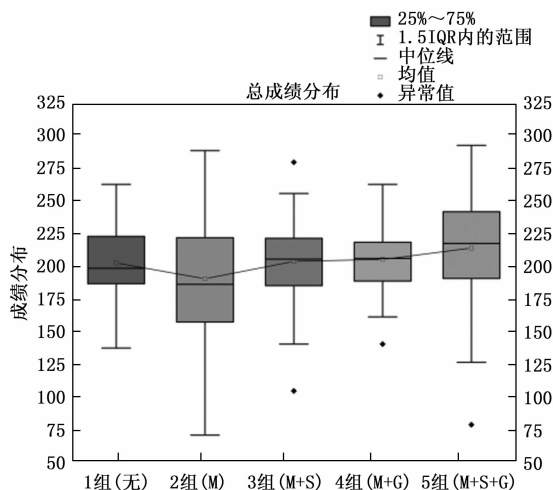


图 15 总成绩对比

于 1 组(无), 说明依托系统自学, 需配套使用系统后两个模块才能起到较好效果。

在总成绩上, 完整使用系统的 5 组 (M+S+G) 成绩为 213.925, 显著高于使用传统模式的 1 组 (成绩为 202.5), 平均提升 5.64%, 验证了在训练系统在训练效果上的提升。

#### 4 结束语

本文应用了 ISD/SAT 模型, 在设备维修管理技能训练系统设计构建过程中, 对培训需求进行了分析, 对训练内容、系统结构、业务流程和技术体系进行了设计, 对系统和评估模块实施了开发, 最后通过对照实验验证了训练系统在训练效果上的提升, 为训练系统的设计提供了借鉴, 为设备维修管理人员的培训提供了参考。

#### 参考文献:

- [1] 曹明, 王鹏, 左洪福, 等. 民用航空发动机故障诊断与健康健康管理现状、挑战与机遇 II: 地面综合诊断、寿命管理和智能维护维修决策 [J]. 航空学报, 2022, 43 (9): 42-81.
- [2] 曹栋. 多机组复杂堆型核电维修人员培训体系优化与实践 [J]. 企业管理, 2017 (s1): 52-53.
- [3] 韩伟, 田洁东. 车辆机械维修策略及管理 [J]. 设备管理与维修, 2019 (12): 24-26.
- [4] 樊智勇, 李国鑫, 刘涛. 飞机虚拟维修训练系统可信度评估方法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2023, 31 (9): 317-323.
- [5] 赵雪, 何其昌. 面向增强现实引导的设备维修工艺知识管理方法 [J]. 机械设计与研究, 2021, 37 (4): 140-145.
- [6] 臧钊. 基于 BIM+GIS 的京张高速铁路空地一体“数字孪生”智能化运维技术研究 [J]. 铁道运输与经济, 2022, 44 (9): 139-145.
- [7] 宣诚, 俞彩燕. HRP 应用于医疗设备维修维护信息化管理实践探索 [J]. 中国医院, 2021, 25 (9): 89-90.
- [8] 闫洪胜, 左洪福, 孙见忠. 考虑预测与健康管理的民机维修成本效益仿真评估方法 [J]. 南京航空航天大学学报, 2020, 52 (6): 912-922.
- [9] 岳地久, 何晶, 程丽彬, 等. 新体制下导航装备维修保障效能评估研究 [J]. 火力与指挥控制, 2021, 46 (3): 72-78.
- [10] 黄洪浪. 美军军事训练/教学系统开发模型综述及特点分析 [J]. 教练机, 2011 (3): 9-16.
- [11] UZUNBOYLU H, KOSUCU E. An evaluation on instructional systems design [J]. International Journal of Learning and Teaching, 2020, 12 (1): 30-41.
- [12] SHERNOFF E S, VON SCHALSCHA K, GABBARD J L, et al. Evaluating the usability and instructional design quality of interactive virtual training for teachers (IVT-T) [J]. Educational Technology Research and Development, 2020, 68 (6): 3235-3262.
- [13] LI J. A recommendation model for college english digital teaching resources using collaborative filtering and few-shot learning technology [J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022: 1-10.

(下转第 168 页)