

基于用户画像的电力员工安全素养评估系统设计与实现

叶峰豪¹ 张楠² 喻召杰²

1 广东电网有限责任公司东莞供电局, 广东东莞, 523129;

2 南网数字运营软件科技(广东)有限公司, 广东深圳, 518000;

摘要: 针对电力企业安全生产中人为因素导致事故频发的问题, 本文设计了一种基于用户画像的员工安全素养评估系统。通过整合人资、工作管理、安全学习及培训考试等多源数据, 构建了包含 18 项标签的用户画像体系, 并建立涵盖安全知识、能力、意识及工作资历的四维安全素养评估指标体系。采用 CRITIC 法客观计算指标权重, 实现量化评分与等级划分。系统通过数据采集、清洗、动态评估及可视化展示(如雷达图、趋势分析), 为员工提供个人素养诊断, 为管理者提供部门整体分析工具。实际应用表明, 该系统能有效消除主观偏差, 实现安全素养的精准评估与动态监测, 为电力企业安全管理提供了数据支撑和决策依据。

关键词: 电力员工; 安全素养; 用户画像; 系统设计与实现

DOI: 10.69979/3060-8767.26.02.001

引言

安全生产一直以来都受国家和企业的高度重视, 国家和企业不断颁布和修订相关安全法律法规, 规范安全生产的相关问题, 强化企业主体安全监管责任, 强调建设本质安全型企业。电力企业作为社会公众型企业, 为社会经济运行提供基础保障, 其安全生产关

系到千家万户、关系到国计民生^[1]。随着本质安全理论在电力企业的实践和研究, 人因要素逐渐成为造成安全事故的主要因素之一, 而人员的安全素养是反映人因安全的重要指标之一^[2-4]。员工安全素养评估是企业安全文化建设的重要组成部分, 是安全工作的内容之一, 是电力企业安全生产的前提, 提高经济效益的基础^[5,6]。因此, 对电力员工安全素养评估研究很有必要。

国内外相关学者对安全素养评估开展了大量研究。而安全素养指标的构建和提取是研究安全素养评估的关键, 因此大部分研究都先围绕评估指标构建出发^[7]。吴声声和宋守信等人^[8]结合冰山模型建立了电力企业员工的胜任力模型, 模型中包含如安全知识、安全制度规章、安全操作技能等 12 个指标。张景钢与谭允祯^[9]将企业职工的安全素质描述为一个多层次、多因素的复杂系统, 该系统可以划分为业务素质、安全教育、安全意识和身体素质四个维度, 并涵盖文化程度、身体状况、责任感、安全规章了解程度等十个指标。Tiju 等人^[10]对电力公司员工安全的影响因素进行研究, 研究表明个人因素、安全气候因素和工人的健康状况与安全事故显著相

关, 年龄、岗位和教育经验显著影响电力员工的安全行为, 安全参与、安全知识、安全培训可以减少安全事故的发生。Esteban-Lloret 等^[11]对数百起安全事故进行分析后, 指出绝大多数的电力事故都是由于员工操作不严谨、安全意识欠缺而引起的, 因此员工的安全素养与员工的安全能力和安全意识有很大关系。Shi Juan^[12]在评估电力员工不安全行为中指出, 员工的安全意识、身体健康、安全知识和情绪管理能力很大程度上影响不安全行为的发生。但目前研究构建的评估指标体系中往往存在较多主观指标, 需要人为进行打分, 或指标需要填写相关量表进行测量, 造成指标数据获取困难、评估周期过长、评估结果存在主观性等问题; 其次, 评估系统往往仅输出单一评估结果, 缺乏数据之间的关联分析, 难以为安全管理提供深入洞察法分析。

随着大数据等技术的发展, 用户画像技术展现出广阔的应用前景^[13]。该技术通过整合用户不同维度的相关信息数据生成一系列标签, 可以更加客观具象的表示用户, 从而能够有针对性的为用户提供相关服务。用户画像技术目前已被广泛应用于电子商务^[14]、图书馆^[15]、健康医疗^[16]等领域。在企业人员管理方面, 闫泓序等人^[17]基于用户画像技术构建了员工离职预测模型, 最终得到了三种类型的离职员工画像, 以此驱动人力资源管理业务。杨柳等人^[18]利用员工标签化信息和绩效等数据构建员工画像, 并基于随机森林实现人岗匹配评估。魏孔鹏等人^[19]通过采集学生各种行为数据, 通过构建用户画像

模型实现对学生综合素质的评估。然而，用户画像技术在电力企业人员安全管理，特别是电力员工安全素养评估领域的应用研究鲜见相关公开文献。

针对安全素养评估指标研究的不足和用户画像在电力企业人员安全管理方面应用的缺乏等问题，本文通过采集员工多维度客观行为数据，构建了一套客观、全面、智能的员工用户画像标签体系，并基于该用户画像标签设计与实现了电力员工安全素养评估系统，便于管理者直观了解员工安全素养状况，有效支撑电力企业安全管理决策。

1 电力员工用户画像构建

用户画像是对目标群体的抽象化表示，通过搜集用户的人口统计特征、行为数据等多维度信息进行统计分析，挖掘用户的特征并抽象出一个标签化的用户模型^[20]。通过为电力员工构建用户画像，可以全方位多维度的展

示员工各方面能力和素养，而企业管理者和领导可以直观快速的了解员工各个方面情况，及时发现存在安全缺陷的员工，可以从源头避免安全事故发生。

1.1 画像数据采集及处理

为了建立全面科学的电力员工用户画像，首先根据相关文献、企业相关安全文化管理文件^[21-24]和实际业务系统情况综合确定标签数据，在标签选取时需满足客观性、科学性、可操作、可量化等原则。本文的员工数据来源主要包括：人资系统、工作管理系统、安全学习活动系统、考试培训系统，标签数据均为客观数字化的标签，可以直接从业务系统中获取得到。标签涵盖员工的知识、技能、意识、工作表现等多个方面，可以较为全面的反映员工的安全素养，各数据的基本情况如表 1 所示。

表 1 用户画像数据基本情况

数据来源	标签数据
人资系统	性别、年龄、工龄、专业、学历、岗位、部门
工作管理系统	工作开票次数、知识类违章次数、技能类违章次数
安全学习活动系统	安全咨询学习时长、安全咨询学习篇数、安全活动参与次数
考试培训系统	安规考试成绩、理论培训学时、理论培训考核情况、实操培训学时、实操培训考核情况

由于各标签数据需要从各个不同的业务系统采集，原始数据会不可避免地出现数据冗余、缺失和标准不统一等问题，因此在采集数据后还需要对数据进行数据清理和数据集成等操作^[25]。本文采用了 Python 语言编写数据处理程序，运用正则表达式、数据转换函数等技术对来自不同来源的数据进行清洗，去除重复、错误和无效的数据，并进行格式统一和标准化处理。具体来说，在采集数据后，首先检查数据的完整性，确保用户画像各个重要字段 100%全覆盖，若出现缺失，则剔除记录或联系业务部门进行补全；由于数据由多个数据源采集得到，数据可能存在重复且数据格式不同，还需对数据

进行标准化和去重操作，如培训时长各个系统统计单位不统一，最终将数据单位统一为小时；此外，还需对各统计标签数据合理性进行验证，如考试分数不在 0~100 之间，违章次数过多等，若出现错误，则排查是否统计或数据源出错。通过对数据的系统化清洗，可确保后续构建的员工用户画像标签真实可靠，便于后续评估模型的构建。

1.2 用户画像构建

结合电力企业员工特点以及相关系统数据调研，最终构建共包含 4 种标签类型的 18 个具体标签的用户画像标签体系，具体标签和标签值如表 2 所示。

表 2 用户画像标签体系

标签类型	标签名称	标签值	含义及重要性
基本信息标签	性别	男/女	反映员工的静态属性，是员工用户画像的基本标签
	年龄	X 岁	
	工龄	X 年	
	专业	变电/配电/输电等	
	部门	XXX	
	学历	硕士及以上/本科/大专/高中	
	职称	初级/中级/高级/无	

考试培训行为标签	安规成绩	X 分	记录员工参与培训和考试的动态数据；直接反映员工的学习能力、知识掌握程度和职业发展潜力
	理论培训学时	X 时/月	
	理论培训考核成绩	X 分	
	实操培训学时	X 时/月	
	实操培训考核成绩	X 分	
安全学习行为标签	安全咨询学习时长	X 小时/月	记录员工自主学习行为，反映员工的安全意识，推动企业的安全文化建设
	安全咨询学习篇数	X 篇/月	
	安全活动参与次数	X 次/月	
工作行为标签	工作次数	X 次/月	记录员工在实际工作中的表现，反映员工的综合能力
	知识类违章次数	X 次/月	
	技能类违章次数	X 次/月	

其中，性别、年龄、专业等员工基本信息标签可以从人资系统中直接获取，而安规成绩、安全咨询学习时长、工作次数等行为标签需要从原始数据中统计员工最近一个月的各项行为数据。

2 安全素养评估模型构建

安全素养评估模型的构建是实现电力员工精准化安全管理的关键环节。本章基于前文构建的用户画像标签体系建立“指标筛选-权重计算-结果评估”的三阶段评估模型框架。该模型将员工的静态属性和动态行为数据相结合，并充分考虑了不同专业或部门之间的差异性，保证了评估的客观性和科学性，为后续系统实现奠定了理论基础。

2.1 评估指标构建及量化

为了多维度多层次客观地对员工安全素养进行评估，本文基于构建的用户画像标签体系选取部分影响员工安全素养的标签并按照目标层、准则层、指标层的结构构建评估指标体系，目标层即为最终的评价内容—电网作业人员的安全素养，准则层分为四大维度：安全知识 B1、安全能力 B2、安全意识 B3、工作资历与经验 B4，指标层指标为用户画像标签体系中的部分标签，如图 1 所示。

安全知识是指可以通过学习等手段获得和掌握的用于预防、应对各种风险事故的知识^[26]，能有效减少事故灾害的发生，确保生命和财产的安全^[27]。主要依据员工每月参与安规考试的平均成绩 C1、理论培训时长 C2、理论培训成绩 C3、知识类违章次数 C4 四项指标来评估员工安全知识的表现。

安全能力则是指员工从事某一岗位应该掌握的完成工作的能力，能确保员工安全正确的完成工作任务^[28]。主要从员工的实操培训时长 C5、实操培训成绩 C6 以及

技能类违章次数 C7 进行评估。

安全意识是指人在思想上对安全生产的认知和态度，安全意识的高低也决定了员工面对突发状况能否采取正确措施的能力，是安全素养中必不可少的一个层面^[29]。安全意识主要参考员工安全咨询的阅读篇数 C8 安全咨询学习时长 C9 以及安全活动的参与度 C10。

工作资历与经验是指员工经过长时间工作积攒的经验和能力，资历和经验越丰富的员工，其安全素养也越高^[30]。主要评估指标包括员工的月度参与工作次数 C11、工龄 C12、职称 C13、学历 C14。



图 1 电力员工安全素养评估指标体系

其中安规考试成绩 C1、理论培训成绩 C3、实操培训成绩 C6 等指标可以直接得到 0-100 分的量化结果，但理论培训学时 C2、知识类违章次数 C4、职称 C13、学历 C14 等指标取值范围并不统一，需要采用最大最小归一化或类别赋分对指标进行量化。

对于培训学时、安全活动参与次数、工作次数指标，虽然指标本身是一个量化值，但取值范围并不是 0-100，因此需要对指标进行归一化，将指标结果归一化至 0-100 内。通过式（1）将上述指标最大最小归一化至 0-100 区间内。

$$y = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \times 100 \quad (1)$$

式中，y 为量化后的指标值， x_i 为指标值， x_{\min} 为

同一部门员工内该指标的最低值或根据实际情况设置该指标的最低值, x_{\max} 为同一部门员工中该指标的最大值或依据实际情况设置该指标的最大值。

而对于职称、学历、违章次数等指标值是依据相关业务情况通过指定赋分表将定性指标转换为定量指标, 如表 3、表 4、表 5 所示。

表 3 职称赋分表

职称	高级	中级	初级	无
分值	100	90	80	70

表 4 学历赋分表

学历	硕士及以上	本科	大专	高中	高中以下
分值	100	90	80	70	60

表 5 违章次数赋分表

违章次数	0	1	2	3 次及以上
分值	100	80	60	0

2.2 指标权重计算

经过对数据的清洗和预处理后, 数据的质量和可靠性有一定的保障, 因此在确定指标权重时, 指标数据本身也具有参考价值, 若不同员工同一指标的数据波动性较大, 说明该指标具有很好的区分性, 因此该指标权重也应较大。本文采用了 CRITIC 法来确定各评估指标权重, CRITIC 法是从指标数据出发, 综合考虑了指标数据的变异性和冲突性^[31]。在计算前需要对各指标数据进行归一化处理, 变异系数计算公式如式 (2) 所示。

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^p (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{p-1}} \quad (2)$$

式中, p 表示指标样本数量, x_{ij} 表示第 j 个样本的第 i 个指标值, \bar{x}_i 表示第 i 个指标的平均值。冲突系数如式 (3) 所示。

$$\rho_{xy} = \frac{\sum_{j=1}^p (x_j - \bar{x})(y_j - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^p (x_j - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{j=1}^p (y_j - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

式中, x 、 y 表示两个不同的指标, \bar{x} 、 \bar{y} 表示对应指标的均值, ρ_{xy} 则表示指标 x 和指标 y 之间的相关系数, R_x 表示指标 x 的冲突系数。

最终可以得到 CRITIC 法计算指标权重公式如式 (4) 所示:

$$W_i = \frac{S_i \sum_{j=1}^p (1 - \rho_{ij})}{\sum_{i=1}^n S_i \sum_{j=1}^p (1 - \rho_{ij})} \quad (4)$$

指标层数据可以直接从用户画像标签体系中获得, 依据式 (4) 可以计算出指标层各指标的权重。之后依据式 (5) 可以计算出准则层各指标值, 再依据式 (4) 可以得到准则层各指标的权重。

$$y_j = \sum_{i=1}^n W_i x_i \quad (5)$$

式中, y_j 为准则层指标值, n 为该准则层指标对应指标层的指标数量, W_i 为指标层各指标权重, x_i 为指标层各指标值。

考虑到不同专业或部门在工作和培训方面存在差异, 指标数据会呈现较大的离散性, 会影响指标权重的合理分配。因此, 在实际应用中以专业或部门为单位单独计算各自的指标权重。表 6 为某专业依据专业相关员工的指标数据计算得到的指标权重。

表 6 评估指标客观权重

准则层	准则权重	指标层	指标权重
安全知识	0.3472	安规考试成绩	0.3528
		理论培训学时	0.1522
		理论培训考核成绩	0.3891
		知识类违章次数	0.1059
安全能力	0.2475	实操培训学时	0.1947
		实操培训考核成绩	0.5271
		技能类违章次数	0.2782
安全意识	0.1401	安全咨询学习时长	0.3729
		安全咨询学习篇数	0.4973
		安全活动参与度	0.1298
工作资历与经验	0.2652	工作次数	0.5345
		工龄	0.1604
		职称	0.1263
		学历	0.1788

2.3 安全素养评估结果计算

确定各指标的权重后, 对获取的员工指标数据后, 依据式 (5) 可以计算得到该员工准则层各指标值, 再依据式 (6) 可以计算得到最终的安全素养评分值。

$$z = \sum_{i=1}^m \omega_i y_i \quad (6)$$

式中, z 为安全素养评分值, m 为准则层指标数量, ω_i 为准则层各指标权重, y_i 为准则层各指标值。

最终, 依据安全素养量化值确定对应的安全素养等

级,具体对应关系如表 7 所示。可以方便管理人员根据员工不同的安全素养等级针对性的实施不同的安全管理策略。

表 7 电力员工安全素养等级对应表

等级	优秀	良好	中等	一般	差
分值	90-100	80-90	70-80	60-70	60 以下

3 系统设计与实现

3.1 系统架构设计

基于用户画像的电力员工安全素养评估系统架构如图 2 所示,主要包括数据源层、数据处理层、数据应用层三层。

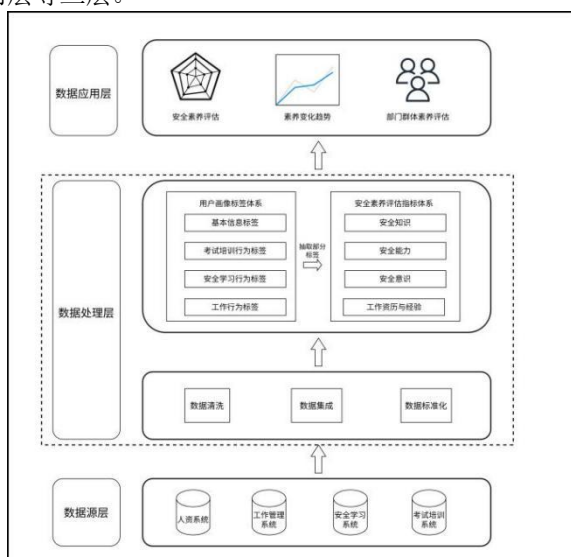


图 2 系统架构图

数据源层为各个业务系统的数据库,也是整个系统的数据来源,主要包括人力资源系统、工作管理系统、安全学习系统、考试培训系统。

数据处理层主要实现对原始数据的采集和处理,系统每日使用 DataX 数据同步技术从各业务系统中采集相关数据并导入达梦关系型数据库中,采集完数据后运用正则表达式、数据转换函数等技术对来自不同来源的数据进行清洗,去除重复、错误和无效的数据,并进行格式统一和标准化处理,经过统计聚合等操作可以得到各用户画像标签并构成用户画像标签体系。之后,抽取部分用户画像标签构建安全素养评估指标体系。

数据应用层主要实现对安全素养评估模型的构建以及安全素养结果的可视化展示,首先编写 Python 脚本基于前一层构建的评估指标体系实现对指标量化、权重计算以及安全素养评估,并将结果借助 FineBI 等可视化工具将数据转化为直观的图表和报告,进行可视化展

示,便于员工和管理者了解当前安全素养现状。

3.2 系统开发相关技术

本系统采用 B/S 架构进行设计与开发,用户可以直接通过 Web 浏览器访问服务端提供相关服务。系统后端选用 SpringBoot 框架进行开发,该框架提供了完善的依赖管理和自动配置能力。前端选用 Vue 框架实现,通过组件化开发构建响应式用户界面。数据库选择国产达梦关系型数据库,用于存储采集和处理后的结构化数据。系统部署在 Linux 系统上运行,采用 Nginx 作为前端 Web 服务器实现请求代理和负载均衡。用户可以通过浏览器直接访问系统并提供相应服务。

此外,为了保障系统和数据的可靠性和安全性,系统还通过使用 RocketMQ 消息队列确保数据传输的可靠性和实时性,以提供一致的数据使用标准。建立严格的数据访问控制机制,基于角色和用户对数据的访问和操作权限进行精细管理,确保数据的安全性和隐私性。建立数据质量监控机制,对数据的完整性、准确性、一致性进行定期检查和修复,并制定数据质量标准 and 规范,确保数据的可靠性。基于 xxl-job 建立定时调度任务,每日固定时间进行数据同步和数据更新,并确定不同数据的更新频率,对于基本信息等变化不大的数据,可以定期批量更新,而对于工作和学习等实时性要求较高的数据,采用实时或准实时更新。

3.3 系统实现

系统主要用户分为普通员工和部门领导两类。对于普通员工,其个人安全素养评估界面如图 3 所示,使用雷达图显示其安全素养各个维度的得分,并可以与自己过去月份的安全素养表现进行对比,可以直观反映安全素养各个方面的表现,便于员工及时发现自己的缺陷和不足。同时,在界面右边给出安全素养的总体得分、部门排名以及变化,便于激励员工保持或努力。



图 3 个人安全素养评估情况

系统会每日更新员工各画像标签数据,从而可以实现动态评估员工安全素养,便于员工和管理者即使发现不足,进行改进。此外,系统给出了员工近半年来的安全素养与学习情况的变化趋势,如图4所示。可以反映员工是否真正学习到了知识,提高自身安全素养。



图4 安全素养与学习情况变化趋势

而部门管理者更加关注整个部门整体的安全素养表现,其安全素养评估界面输出如图5中标注的红框所示,可以按照日期范围、部门、人员进行多条件数据查询统计。右下角部分,管理者可以直观看到部门整体安全素养各维度表现情况和变化趋势,了解部门优缺点,可以针对性的进行安全学习教育。

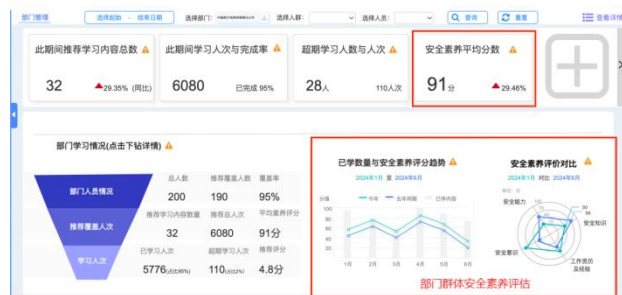


图5 部门整体安全素养评估界面

4 总结

针对安全素养评估指标存在较多主观指标以及用户画像在电力企业安全管理领域应用的缺乏,本文设计并实现了基于用户画像的电力企业员工安全素养评估系统,通过采集员工基本信息、工作、学习、考试等方面的客观行为数据,经过数据清洗和处理后构建电力员工用户画像标签体系。基于此标签体系构建了包含安全知识、安全能力、安全意识、工作资质和经验的四个安全素养评估维度,并使用CRITIC法计算各评估指标权重,可以计算得到安全素养各维度及最终的评估结果。并基于数据设计相关系统和可视化界面便于员工和管理人员直观了解安全素养现状,便于电力企业进行安全文化建设。

未来研究可以进一步丰富用户画像标签体系,如融

合员工可穿戴设备的生理传感等数据,可以更加准确实现对电力员工的安全素养评估。

参考文献

- [1] 蔡弘衍,程胜,易明,等. 基于本质安全的电力安全管理体系构建[J]. 劳动保护, 2024, (03): 93-5.
- [2] 严登宏,张敏,曾荣俊,等. 电力员工的不安全行为产生原因及防范对策[J]. 云南水力发电, 2023, 39(07): 258-60.
- [3] 姜浩楠. 基于SEM的电力施工人员不安全行为影响机制研究[J]. 中国设备工程, 2021, (05): 61-3.
- [4] 唐凯,田方圆,杨鹏飞,等. 场景化培训视角下的安全素质评价模式研究[J]. 西安科技大学学报, 2020, 40(05): 854-61.
- [5] 陈成,黄奎文,何邦权,等. 电力企业安全文化建设路径探究[J]. 电力安全技术, 2024, 26(06): 4-6.
- [6] 张玉宏,侯宇宁,周龙,等. 基于“互联网+”的电力员工安全技能素质提升方案[J]. 中国高新技术企业, 2017, (03): 163-5.
- [7] 张凤乾. 试述企业安全文化与员工安全素质的培养[J]. 决策探索(中), 2019, (08): 12-3.
- [8] 吴声声,宋守信,张若思. 电力企业员工安全责任力模型构建[J]. 生产力研究, 2011, (03): 152-4.
- [9] 张景钢,谭允祯. 企业职工安全素质模糊综合评价及应用[J]. 山东煤炭科技, 2006, (01): 47-8.
- [10] BABY T, MADHU G, RENJITH V R. Occupational electrical accidents: assessing the role of personal and safety climate factors[J]. Safety Science, 2021, 139: 105229.
- [11] ESTEBAN-LLORET N N, ARAGÓN-SÁNCHEZ A, CARRASCO-HERNÁNDEZ A. Determinants of employee training: impact on organizational legitimacy and organizational performance[J]. The International Journal of Human Resource Management, 2018, 29(6): 1208-29.
- [12] SHI J, CHANG D, KHATTAK H A. Assessment of power plant based on unsafe behavior of workers

rs through backpropagation neural network model [J]. Mobile Information Systems, 2022, 2022: 1-12.

[13] 王世奇, 刘智锋, 王继民. 学者画像研究综述 [J]. 图书情报工作, 2022, 66(20): 73-81.

[14] 师奥翔, 张洁. 基于改进RFM模型的电商用户价值分类的研究 [J]. 计算机技术与发展, 2022, 32(12): 123-8.

[15] 王晓玲. 基于青年群体用户画像的公共图书馆服务模式研究 [J]. 图书与情报, 2024, (05): 114-22.

[16] 张艳丰, 高靖超, 洪闯. 在线医疗社区健康焦虑用户关联数据挖掘与群体画像分类研究 [J]. 情报科学, 2024, 42(06): 121-31.

[17] 闫泓序, 余顺坤. 基于画像的员工离职预测模型研究 [J]. 中国管理科学, 2024, 32(09): 303-12.

[18] 杨柳, 史彩计, 周璇, 等. 基于员工画像与岗位特征模型的绩效结果评估系统设计与实现 [J]. 电脑知识与技术, 2024, 20(12): 63-6.

[19] 魏孔鹏, 谷洪彬, 李啸龙. 学生综合素质评价的用户画像构建研究 [J]. 计算机时代, 2020, (03): 96-8.

[20] 李锐. 用户画像研究述评 [J]. 科技与创新, 2021, (23): 4-9+12.

[21] 孙志春, 李巍, 张艳亮. 电力企业安全生产管理评价模型研究 [J]. 电力安全技术, 2021, 23(09): 5-9.

[22] 国家电网有限公司技术学院分公司. 电力企业员工安全基础知识 [M]. 中国水利水电出版社: 2021. 103.

[23] 吴倩, 朱帅, 时佳伶. 构建教育培训与评价体系增强电力企业员工职业素养 [J]. 中国电力教育, 2014, (31): 14-6.

[24] 廖书长. 基于安全生产风险管理体系的电力企业员工培训需求分析 [J]. 中国电力教育, 2021, (03): 22-4.

[25] 郑雪薇, 邓贵斌, 李冰楠, 等. 基于用户画像技术的师范生数字素养教学策略研究 [J]. 数字教育, 2024, 10(02): 33-9.

[26] LI W, ZHOU L, HAO J, et al. Dynamic simulation and control strategy exploration of the unsafe behavior of coal mine employees [J]. Resources Policy, 2023, 86: 104067.

[27] 崔彤, 田青, 朱俊, 等. 一线生产员工安全知识与应用研究 [J]. 航天工业管理, 2019, (04): 67-70.

[28] PATYK M, NOWAK-SENDEROWSKA D. Occupational risk assessment based on employees' knowledge and awareness of hazards in mining [J]. International Journal of Coal Science and Technology, 2022, 9(1).

[29] 杨东, 杨依轩, 徐瑞, 等. 电力员工安全意识、大五人格和不安全行为的关系研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(08): 129-37.

[30] 李国良, 姚子暘, 杨晓严, 等. 基于前因因素的建筑工人安全行为评价模型与应用 [J]. 安全与环境工程, 2024, 31(02): 62-70.

[31] 韩一鸣, 徐鹏飞, 官建锋, 等. 基于改进CRITIC-熵权法的电网发展经营综合评价体系研究 [J]. 机电信息, 2023, 18: 1-7+11.