

引用格式: 胡瑾秋, 陈传刚, 吴明远, 等. 油气行业作业人员不安全行为智能预警方法探讨[J]. 世界石油工业, 2024, 31(2): 83-90.
HU J Q, CHEN C G, WU M Y, et al. Discussion on intelligent early warning methods for unsafe behaviors of operators in oil and gas industry[J]. World Petroleum Industry, 2024, 31(2): 83-90.

油气行业作业人员不安全行为智能预警方法探讨

胡瑾秋^{1, 2}, 陈传刚^{1, 2}, 吴明远^{1, 2}, 胡洋柏^{1, 2}

(1. 中国石油大学(北京)安全与海洋工程学院, 北京 102249;
2. 油气生产安全与应急技术应急管理部重点实验室, 北京 102249)

摘要: 油气行业涉及领域广, 从业人员在作业过程中通常面临复杂的生产工艺、恶劣的工作环境及高强度的工作状态等, 油气行业事故发生率常年居高不下, 其中人为失误等事故原因所占比例超过70%。实现油气行业作业人员不安全行为的智能预警, 对于减少油气行业事故的发生具有重要意义。油气行业作业人员的不安全行为主要包括错误行为与安全隐患行为。针对作业人员的不安全行为识别和预警, 目前主要采用人员检查、事后分析及视频监控等方法, 但是上述方法分别存在无法实时识别作业人员的错误行为, 无法识别和预警作业人员的安全隐患行为等。视线追踪技术是通过捕捉作业人员的注视点与注视时间的变化过程, 从而判断作业人员当前工作状态的一项技术。该技术具有反应灵敏、准确度高、无死角与可穿戴等特点, 在医疗健康、交通安全、心理学等领域均已有很好的应用。利用视线追踪技术在人员状态监测等方面的优势, 将其引入到油气行业作业人员不安全行为的识别或预警方法研究, 用以探讨在该领域实现作业人员不安全行为智能预警的可行性。

关键词: 油气行业; 作业人员; 不安全行为; 视线追踪; 智能预警

中图分类号: TE687

文献标识码: A

文章编号: 1006-0030(2024)02-0083-008 **DOI:** 10.20114/j.issn.1006-0030.20230621001

Discussion on intelligent early warning methods for unsafe behaviors of operators in oil and gas industry

HU Jinqu^{1, 2}, CHEN Chuangang^{1, 2}, WU Mingyuan^{1, 2}, HU Yangbai^{1, 2}

(1. College of Safety and Ocean Engineering, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China;
2. Key Laboratory of Oil and Gas Safety and Emergency Technology, Ministry of Emergency Management, Beijing 102249, China)

Abstract: The oil and gas industry involves a wide range of fields, and employees usually face complex production processes, harsh working environments, or high-intensity working conditions during operation. The unsafe behavior and poor working conditions of operators lead to a high incidence of accidents in the oil and gas industry. According to the investigation, human error accounts for more than 70% of industrial accidents. Therefore, preventing unsafe human behavior is the most critical way to reduce drilling accidents. Based on the characteristics of oil and gas industry operations and the movement of operators, this paper divides the unsafe behavior of operators into wrong behavior and safety hazards behavior. At present, the identification and early warning methods for unsafe behavior of operators mainly include personnel inspection, post-event analysis and video surveillance. However, the above warning methods have the shortcomings of not being able to identify or early warning in real-time and not being able to identify or warn warning of the potential safety hazards of the operators. Eye tracking technology is a technology to judge the current working state of the operator by capturing the change process of a person's fixation point and fixation time. It has the characteristics of sensitive response, high accuracy, no dead angle and wearable, and has good application in medical health, traffic safety, psychology and other fields. Therefore, this paper introduces the advantages of eye-tracking technology in personnel status monitoring in the early warning of unsafe behavior of operators in the oil and gas industry and discusses the feasibility of intelligent early warning in this field.

Keywords: oil and gas industry; operator; unsafe behavior; eye tracking technology; intelligent early warning

收稿日期: 2023-10-21

修回日期: 2023-11-21

基金项目: 国家重点研发计划“复杂油气智能钻井理论与方法—钻井工程地面安全监测与智能分析”(2019YFA0708304);
国家自然科学基金面上项目“信息安全威胁下油气智慧管道系统失效新型致灾机理与早期预警”(52074323)

第一作者: 胡瑾秋(1983—), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 从事油气及新能源生产储运系统新兴风险控制理论、预警与应急研究。E-mail: hujq@cup.edu.cn

0 引言

目前,油气行业针对作业人员不安全行为风险管控均是片面地朝向采用自动化、智能化程度更高的设备设施,以及加强安全管理、加大安全培训力度等方向发展。但是,由于当前技术水平的限制,作业人员在油气行业中的作用仍然无法被机器完全替代。此外,作业人员在作业过程中的生理与心理活动状态复杂多变^[1],其不安全行为是造成油气行业生产事故频发的最重要因素,占比超过70%^[2]。因此,实现对油气行业作业人员不安全行为的智能预警,是提高该行业安全性的关键。

针对作业人员不安全行为的预警方法,当前所采用的方案主要分为2类:(1)采用人工检查或事后调查分析,该方法的缺点是无法实现对作业人员不安全行为的实时识别和预警;(2)采用视频监控对作业人员的不安全行为进行数据采集,然后利用人工智能算法进行识别。该方法只能对作业人员已发出的错误行为进行识别,难以对作业人员因当前精神状态、生理状态与疲劳程度等因素导致作业错误尚未发生前的安全隐患行为进行识别和预警。

视线追踪技术是一种利用眼动数据传感器对作业人员眼睛的注视位置、扫视路径与注视停留时间等信息进行记录,用来了解作业人员注意力分布情况的技术。利用视线追踪技术,不仅能够对作业人员的错误行为实现实时识别和预警,对作业人员自身和环境等因素所导致的安全隐患行为也有良好的预警作用。本文将视线追踪技术引入到油气行业作业人员不安全行为的智能预警研究方面,用以解决人工巡视方法无法实时识别和预警,视频监控方法无法对安全隐患行为进行预警,以及视频监控所存在的监控死角等问题。

1 作业人员不安全行为模式

在工业生产过程中,人因因素受到广泛关注。正确引导人因因素能够增加生产效率,但人的不安全行为则会导致事故的发生,造成经济损失甚至人员伤亡。目前,国内外专家学者对工业生产中的人为失误进行了相关研究,对已经形成的错误行为进行了定义与分类,但对尚未发生的风险行为还缺乏相应的解读。这种风险行为可表述为当前行为尚未

发生,但是接下来有可能会发生的错误行为的继续将会造成严重后果。结合现有作业人员的不安全行为分类方法与油气行业的事故特点,将油气行业作业人员的不安全行为分为错误行为和安全隐患行为2类(见表1)。

表1 油气行业作业人员不安全行为分类
Tab.1 Classification of unsafe behaviors of operators in oil and gas industry

类型	说明
错误行为	行为已经发生,并造成了一定后果,属于既遂行为
安全隐患行为	行为尚未发生,但接下来可能发生,属于未遂行为

2 作业人员不安全行为风险管控

2.1 不安全行为识别方法

2.1.1 人员检查法

人员检查法是油气行业中最常用的作业人员不安全行为识别方法,该方法主要采用安全检查表、定期巡查,以及作业人员互相监督等。人员检查法在一定程度上能够减少作业人员的不安全行为,但缺乏持续性和实时性,无法实时准确地判定作业人员的安全隐患行为。

2.1.2 事后调查分析法

对已发生的安全事故进行调查和分析,识别并解决潜在的安全风险,是预防事故不再发生的关键环节。事后调查分析法主要包括:(1)综合事故分析法。常用的综合事故分析法有事故树(FTA)、事件树(ETA)、贝叶斯网络(BN)以及层次分析法(AHP)等,主要是对导致事故发生各种因素进行综合评价,但对单一因素的分析不够详细,容易忽略重要致因因素。(2)人为失误分析法。常用的专门针对人为失误的事后调查分析法主要有人员可靠性分析(HRA)、认知可靠性与错误分析方法(CREAM)、人的失误预测技术(THERP)等。目前,人为失误分析法已被广泛应用于核电、海洋平台及油气钻探等对可靠性要求较高的领域。虽然人为失误分析法能够对导致事故发生的人因因素进行详细分析,但无法实现对作业人员不安全行为的实时监管与识别。

2.1.3 视频监控法

随着计算机技术与人工智能技术的发展,利用视频监控对作业人员的作业行为进行监管,逐渐成为主流,通过视频监控如何实时识别作业人员的不安全行为成为亟待解决的问题。持续的视频监控会产生大量的图像与数据,依靠人工辨识难以对作业人员不安全行为进行全天候实时监管。针对这一问题,一种视频监控结合图像识别的方法逐渐被应用于作业人员不安全行为监管。基于视频监控,结合图像识别技术,

可以较为准确地识别作业人员的错误动作和行为,在一定程度上解决了作业人员不安全行为的实时识别问题。但是,视频监控尚无法识别连续性作业的错误类型,也无法识别动作发出后是否完成了相应操作,以及无法识别作业人员的不熟练作业等安全隐患。此外,由于作业现场视频监控摄像头安装数量的限制,容易产生遮挡与监控死角,这会对作业人员不安全行为的实时识别产生较大影响。基于视频监控法的作业人员不安全行为识别研究现状及存在问题见表2。

表2 基于视频监控法的作业人员不安全行为识别研究现状及存在问题

Tab.2 Research status and existing problems in identifying unsafe behaviors of operators based on video surveillance method

研究方向	研究现状	存在问题
错误行为识别	① 对作业人员是否佩戴安全帽、跌倒、未保持安全距离等行为进行识别,如YOLO V5和SENet-SSD算法研究等 ② 对作业人员进行动作识别,如图卷积+FCNS骨骼分类研究等 ③ 捕捉作业人员的动作并进行识别,例如Fast-RCNN框架研究等	① 无法对作业人员的动态变化作业行为进行类型识别 ② 对精细化操作平台的动作识别效果不好,无法判定是否进行了相应的操作,如点按按钮等 ③ 无法对作业人员连续作业的动作错误、顺序错误等行为进行类型识别,无法识别动作发出后是否完成了相应操作,如拧阀门等
安全隐患行为识别	① 对驾驶员的疲劳驾驶行为进行识别,如Fast-RCNN、YOLO V3算法研究等 ② 对电力作业人员的睁闭眼速度、眨眼频率和眼睑开合程度进行检测并识别疲劳状态,如Fine-Grained算法研究等	① 无法对作业人员的不熟练作业行为进行监测和识别 ② 在数据采集准确性上不如佩戴在眼睛上的眼动数据传感器准确,并且无法对作业人员的不熟练作业行为进行监测和识别

2.2 不安全行为预警方法

当前常用的作业人员不安全行为预警方法主要是基于安全管理的手段与方案,通常无法实现实时预警功能。研究表明,少数方法虽然能够实现实时预警功能,但预警的对象通常是作业人员的操作

失误风险与环境条件等,尚未实现对作业人员的心理状态、生理状态与作业注意力集中程度等安全隐患行为进行实时预警,而这些尚未实现预警的安全隐患行为正是导致油气行业作业事故发生率居高不下的重要因素(见表3)。

表3 作业人员不安全行为的识别和预警方法研究现状及存在问题

Tab.3 Research status and existing problems on identification and early warning methods of unsafe behaviors of operators

研究方向	研究现状	存在问题
错误行为识别和预警	① 现场HSE人员检查 ② 图像识别技术研究,如CNN图像识别与R-FCN红外图像识别等;人体姿态识别研究,如骨骼识别等 ③ 异常区域特征提取方法研究,如FCN-MRF与Mask-RCNN等方法	① 人员检查方法对作业人员不安全行为的识别和预警不具有实时性 ② 无法辨别作业人员的注意力集中程度、作业熟练程度和作业完成程度等 ③ 无法对作业人员的动作错误、作业顺序错误等行为进行早期预警。
安全隐患行为识别和预警	① 利用传感器建立作业人员定位、机械管理和危险区监控的安全预警平台研究,如BIM-RFID传感器集成技术等 ② 利用连续驾驶时间、心率监控器与物联网相结合的方法实现疲劳监测功能,并实现疲劳预警	① 无法识别和预警作业人员的作业状态和作业行为等 ② 无法监测和预警作业人员的操作熟练程度、注意力集中程度等

通过对作业人员不安全行为识别和预警方法的研究现状分析可知,若将现有方法应用到油气行业作业人员不安全行为的识别和预警中,存在以下不足:(1)人员检查法和事后调查分析法无法实现对油气行业作业人员不安全行为的实时监测、识别和预警;(2)视频监控与图像识别技术相结合的方法容易存在物理遮挡和监控死角,难以实现对油气行业作业人员不安全行为的全天候监测与识别;(3)图像识别仅能对作业人员已经产生的动作进行识别,尚无法实现对油气行业作业人员安全隐患行为的准确识别;(4)当前针对作业人员不安全行为预警方法的应用主要集中在对操作失误风险与环境条件的预警,尚无法对油气行业复杂作业的不同失误类型和安全隐患行为等实现预警。

3 视线追踪技术概念与感知

视线追踪技术是利用基于暗瞳或亮瞳原理的传感器,对人的瞳孔轮廓进行实时捕捉、场景映射与处理的技术。研究表明,当外界刺激发生时,瞳孔的变化与位置移动状况可反映当前状态下人的心理、关注度与认知度等状况^[3]。采用眼动数据传感器对作业人员的眼动数据进行记录,能够准确反映作业人员在作业过程中的兴趣点和注意力转移情况^[4]。该技术目前已应用于视觉系统、心理学、医疗健康、消费与营销行为研究、教育教学、人机交互、驾驶安全及航空安全等多种领域。

为解决油气行业因作业人员不安全行为导致的事故频发问题,中国石油大学(北京)基于视线追踪技术分别搭建了头戴式、桌面式和虚拟仿真式视线追踪数据采集平台,各类平台分别有多种适用场景。(1)头戴式视线追踪数据采集平台。该平台具有可穿戴的特性,适用于真实作业场景下的现场作业人员视线追踪数据采集,也适用于实验室场景以及教育培训评估等。为满足项目开发、实验和培训的需求,研究人员利用头戴式视线追踪数据采集平台搭建了司钻作业台、防喷器控制台、油气管道、炼化装置与海洋平台等实验室仿真平台。(2)桌面式视线追踪数据采集平台。该平台适用于工艺操作员和安全监督人员等在屏幕前作业的人员视线追踪数据采集,也可应用于模拟油气行业生产、储运或应急救援等系统的教育培训。为满足该类需求,研

究人员利用桌面式视线追踪数据采集平台搭建了油罐火灾救援和乙醇生产工艺操作等培训系统平台。(3)虚拟仿真式视线追踪数据采集平台。油气行业具有高风险性,在产品未成熟之前,很多作业场景无法直接进行视线追踪数据采集。为解决高风险作业数据采集困难的问题,研究人员搭建了虚拟仿真式视线追踪数据采集平台。该平台能够在虚拟场景内实时记录、处理和传输可反映作业人员作业行为的视线追踪数据。目前,中国石油大学(北京)已经搭建了油田作业、化工厂作业、煤气柜事故、实验室安全、管廊泄漏、管廊火灾和管廊水灾等虚拟仿真式场景,用于实验研究与产品开发等。

4 基于视线追踪的智能识别与预警方法研究现状

4.1 表征作业人员行为的眼动参数筛选方法

20世纪60年代,Yarbus^[5]发现当场景刺激和任务等发生变化时,眼睛的运动模式会出现规律性的变化。基于这一理论,科研人员分别采用少量不同类型的眼动参数对作业人员的特定状态进行表征。但由于作业人员的行为是受多方面因素共同影响的结果,利用单一或少量眼动参数进行表征的准确性相对较低。针对这一问题,国内外专家学者开展了多眼动参数表征方法研究。基于多眼动参数的表征方法,需要预先筛选出合适的眼动参数。目前,眼动参数的筛选方法主要分为定性选择法和定性选择结合定量分析法2种。将现有眼动参数筛选方法应用到油气行业作业人员不安全行为的表征上,存在2点不足:(1)定性选择法。该方法能够根据研究对象的不同,选取与研究对象有关联关系的眼动参数。但是,该方法只能应用在研究较为成熟行业的作业人员行为或状态表征上,若应用在研究油气行业中一些新的作业领域,容易导致筛选结果的全面性不足。(2)定性选择结合定量分析法。该方法能够筛选出与作业人员的情绪、疲劳程度与作业负荷等单因素研究对象相匹配的眼动参数,但是应用在作业人员不安全行为这种包含错误行为、疲劳作业与不熟练作业等多因素耦合的眼动参数表征中,通常表征不够准确。

为解决油气行业中钻井作业人员不安全行为眼动参数筛选上存在的问题,中国石油大学(北京)

采用眼动参数相关性分析、规律分析以及敏感性分析方法,实现了眼动参数的筛选。与传统方法相比,中国石油大学(北京)所采用的方法不仅能够有效实现眼动数据的筛选,还能够在不影响钻井作业人员的基础上,实现作业人员不安全行为的实时监管^[6]。

4.2 基于结构化眼动数据的作业人员安全隐患行为识别

在人为因素的分析中,作业疲劳和操作不熟练等安全隐患行为通常被认为是导致人员伤亡和事故发生的重要人为因素,被紧密联系起来。实现对作业人员安全隐患行为的智能识别,能够有效减少油气行业事故的发生。

视线追踪技术能够有效记录作业人员在作业过程中的注视分布、扫视分布与瞳孔变化情况数据,这些被记录下来的数据即为结构化眼动数据。目前,基于结构化眼动数据对特定研究对象进行识别的方法,主要有逻辑回归(LR)、决策树(DT)、支持向量机(SVM)、K-近邻(KNN)与贝叶斯网络(BN)等传统机器学习算法。从识别结果可知,传统机器学习算法对人员行为的识别准确率相对较低。基于油气行业作业的高风险、高劳动强度以及作业关联性强等特性,油气行业作业人员的安全隐患行为识别对准确率提出了更高要求。此外,结构化眼动数据采集具有采集频率高、存储数据量大以及数据维度高等特点,因此基于传统机器学习算法的识别方案无法满足油气行业作业人员安全隐患行为的识别要求。

针对上述问题,以梯度提升决策树(GBDT)、随机森林(RF)、极端梯度提升(XGBoost)与轻量级梯度提升机(LightGBM)等为代表的集成学习算法,提供了对作业人员进行安全隐患行为识别的新研究方向。集成学习算法在识别准确率上具有较大优势,由于算法模型具有众多的超参数,其超参数的优化能力是决定识别模型运行效率与准确性的关键。目前,常用的超参数优化方法包括网格搜索和随机搜索。网格搜索利用超参数穷举方式,在理论上一定能够取得全局最优解,但鉴于模型的超参数众多,取值范围较广,导致该方法的计算效率较为低下。随机搜索的搜索效率虽然较高,但由于随机搜索采样的不确定性,导致其容易陷入局部最优解。

将现有基于结构化眼动数据的算法模型应用

到油气行业作业人员安全隐患行为的识别中,存在2点不足:(1)传统机器学习算法对油气行业作业人员作业行为的识别准确率较低,对采集频率高、存储数据量大和数据维度高的结构化眼动数据适用性不足,不能满足油气行业作业人员安全隐患行为的识别要求;(2)集成学习模型虽然对油气行业作业人员安全隐患行为的识别准确性较好,但存在超参数优化困难等问题。

为解决油气行业作业人员安全隐患行为识别准确性不足的问题,中国石油大学(北京)基于结构化眼动数据和灭火救援指挥3D计算机模拟训练平台,对油罐灭火救援人员的典型失误模式特征进行了提取^[7]。然后,利用作业人员在工艺流程控制过程中的不同失误模式的结构化眼动数据,实现对作业人员失误状态的准确识别^[8]。为解决油气行业钻井作业人员安全隐患行为识别模型准确性不足与超参数优化困难的问题,中国石油大学(北京)基于TPE-LightGBM模型,提出了一种基于眼动数据的钻井作业人员安全隐患行为识别方法。研究表明,视线追踪技术能够实现钻井作业人员安全隐患行为的实时在线监测,所采用的敏感区划分方法、眼动特征与TPE-LightGBM模型能够有效提高安全隐患行为识别的准确率(实验室条件下,模型的识别准确率为100%)。基于TPE-LightGBM模型的钻井作业人员安全隐患行为识别流程见图1。

4.3 基于眼动热点图的作业人员错误行为识别

在人为因素的分析中,操作错误、操作遗漏和操作顺序混乱等常见错误行为在作业现场、操作培训 and 安全教育等方面受到广泛关注,也是巡查和教育培训的重点。对作业人员在作业过程中的行为进行记录,当事故发生后可实现事故的快速调查分析,并可为后续的安全培训提供支持。

眼动热点图是被试人员在作业时其注视分布状况与作业场景之间特定的函数关系形成的一种可视化辐射强度分布图像,其呈现效果由各像素点所分配的注视时长与相对位置决定。眼动热点图具有客观、定性与定量相结合的特点,能够直观地展现作业人员视线的集中区域与范围。利用眼动数据传感器对作业人员在作业过程中的视线分布数据进行记录与可视化处理,可直观地了解场景内各区域的注视点分布、注视停留时间和注视点聚集等情况。采用定性分析的方式对眼动热点图进行解读和

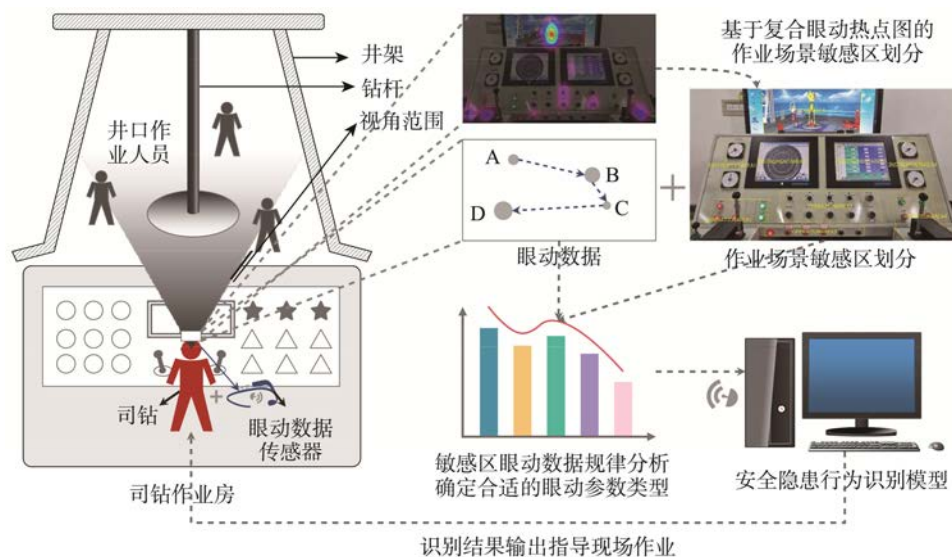


图1 基于TPE-LightGBM模型的钻井作业人员安全隐患行为识别流程

Fig.1 Identification process of safety hazard behavior of drilling operators based on TPE-LightGBM model

评价,其实施方法依赖于人工经验,无法实现对作业人员错误行为的实时识别。图像识别技术是当前油气行业人工智能领域的研究热点,利用图像识别技术能够实现管道泄漏检测、油藏成像和钻探监测等。眼动热点图是图像的一种,基于图像识别技术对眼动热点图进行图像识别是一种非常具有前景的研究思路。

将现有基于眼动热点图的作业人员错误行为识别方法应用到油气行业,存在2点不足:(1)基于人工经验对眼动热点图进行定性分析,无法实现对油气行业作业人员错误行为的实时识别;(2)基于图像识别算法对眼动热点图进行识别,能够实现对油气行业作业人员操作失误的识别,但可识别的错误行为种类较少,识别精度有待提高。

为解决油气行业作业人员错误行为的识别过于依赖人工,错误行为眼动热点图的识别准确率不足以及错误行为识别种类较少等问题,中国石油大学(北京)开展相关研究,先后取得基于眼动热点图的作业人员错误行为识别研究成果:(1)构建了具有融合特征的方向梯度直方图-灰度共生矩阵(HOG-GLCM),建立了基于支持向量机(SVM)的操作人员失误识别模型,该模型能够对正常作业和异常操作的人员眼动热点图进行识别,其准确率达到90%以上^[9];(2)基于IACE-MobileV3(E)模型,提出了一种基于眼动热点图的钻井作业人员错误行为(正常作业、动作错误、环节遗漏和顺序错

误)识别方法,该模型能够实现对错误行为的快速识别,识别准确率达98.21%。基于IACE-MobileV3(E)模型的钻井作业人员错误行为识别流程见图2。

4.4 基于视线追踪轨迹的作业人员不安全行为智能预警

视线追踪轨迹是眼动数据的一种表现形式,能够准确计量作业人员在作业过程中视线的停留位置、停留时间等重要信息,准确反映被试人员在作业过程中的动作行为。在人的不安全行为事故发生前,通常伴随疲劳、心理问题、操作不当和压力过大等不安全行为事故征兆,而上述事故征兆被证明可通过眼动数据准确反映出来。通过对作业人员的眼动数据进行实时记录,然后采用相适应的算法,实现对作业人员不安全行为事故早期预警。当前采用轨迹数据进行预警的研究主要集中在车辆与车辆碰撞、行人与车辆碰撞和飞行器预警等领域。与上述轨迹数据相比,视线追踪轨迹容易受到人员心理、生理、主观认知和环境因素等影响,2种轨迹数据类型存在显著性差异。

将现有基于视线追踪轨迹的作业人员不安全行为早期预警应用到油气行业,存在2点不足:(1)与机器设备相比,油气行业作业人员的行为具有高度主观性,其视线追踪轨迹受个人与环境因素的影响较大,将视线追踪轨迹应用到油气行业作业人员不安全行为的预警上具有较大难度。(2)车辆、行人和飞行器的轨迹具有大尺度、受道路或航道约束

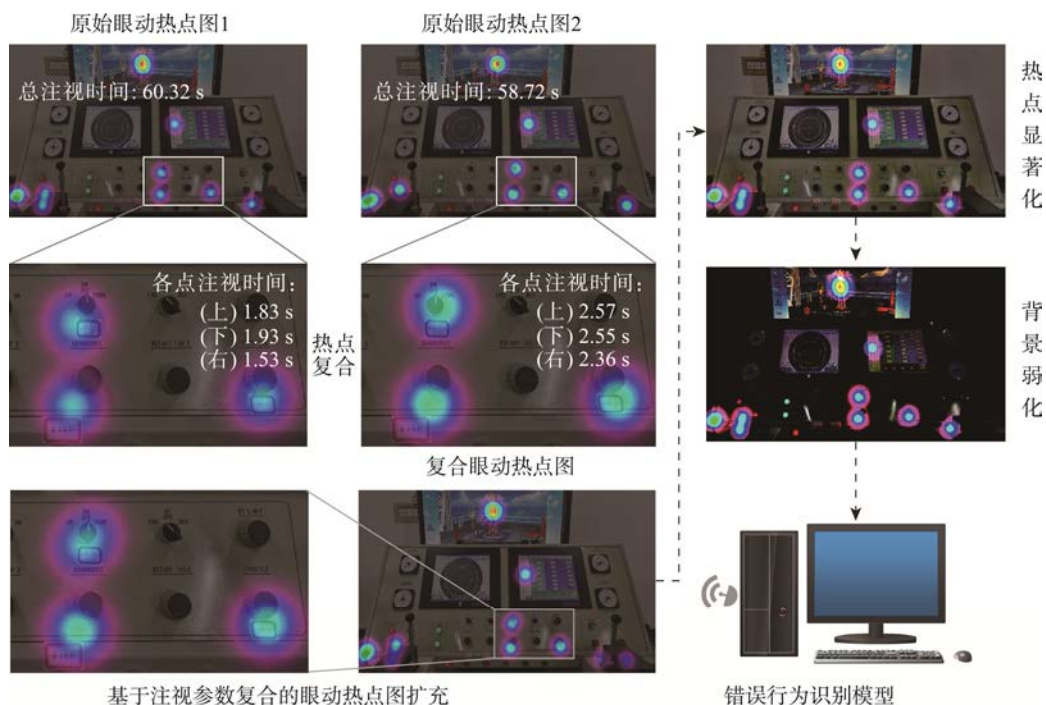


图2 基于IACE-MobileV3 (E) 模型的钻井作业人员错误行为识别流程

Fig.2 Identification process of error operation of drilling operators based on IACE-MobileV3(E) model

强等特点,而视线追踪轨迹则具有尺度小、持续时间短、数据跳跃程度大和转向规律性不强等特点。这决定了现有基于轨迹的事故预警方法无法应用到基于视线追踪轨迹的油气行业作业人员不安全行为的预警研究上。

为解决油气行业作业人员的视线追踪轨迹因受生理、心理与环境影响过大所导致的轨迹随机性强,以及当前轨迹预警方法无法应用到油气行业作

业人员的不安全行为预警上等问题,Chen等^[10]基于IETTSM-DLD模型,提出了一种基于视线追踪轨迹序列的钻井作业人员不安全行为预警方法,该模型能够实现对钻井作业人员作业异常状态的实时提醒,并能实现对不安全行为风险进行预警,平均预警准确率达到91.9%,平均提前预警时间为120.97 s。基于IETTSM-DLD模型的钻井作业人员不安全行为预警流程见图3。

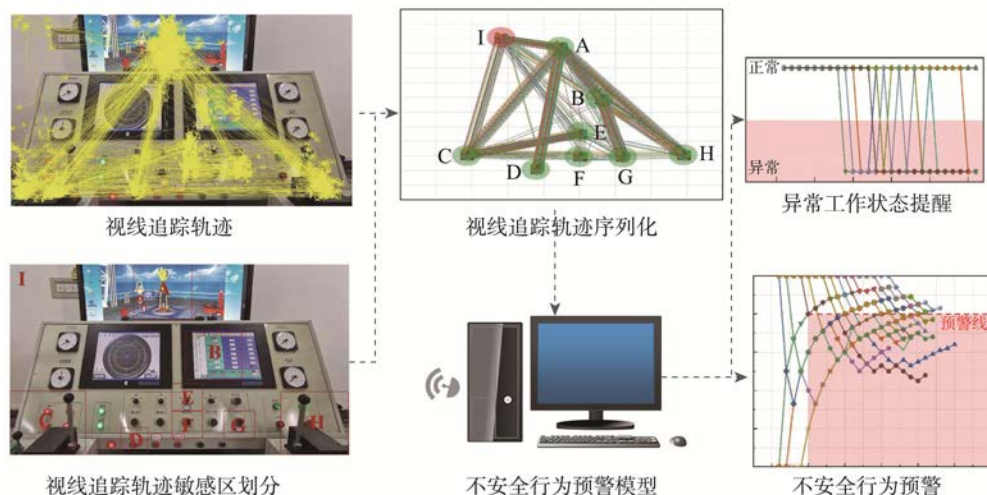


图3 基于IETTSM-DLD模型的钻井作业人员不安全行为预警流程

Fig.3 Early warning process of unsafe behaviors of drilling operators based on IETTSM-DLD model

5 发展趋势

在多种针对作业人员不安全行为的识别和预警技术中,视线追踪技术在作业人员状态监测、不安全行为识别和预警上具有独特优势,视线追踪数据传感器可实时采集眼动数据,借助人工智能算法的优势,可实现对作业人员不安全行为的早期预警。目前,该技术在油气行业作业人员的不安全行为管控的研究与应用相对较少,该领域尚属待开发研究的“蓝海”。加大基于视线追踪技术的油气行业作业人员不安全行为的应用研究,实现作业人员错误行为和安全隐患行为的识别和预警,能够为减少油气行业人因事故的发生提供一条可行性方案。

综合当前视线追踪技术在作业人员不安全行为智能识别和预警研究领域存在的问题,预计未来的研究方向:(1)当前眼动数据的应用大多还停留在人工解读阶段,实现眼动数据的智能化应用是未来发展的重点。(2)针对结构化眼动数据的应用相对较多,但眼动热点图与视线追踪轨迹图的应用则相对较少,有必要挖掘不同眼动数据的优势并加以应用与研究。(3)视线追踪技术的应用还停留在实验室研究阶段,实现该技术的工程应用是亟待解决的问题。(4)当前视线追踪技术的应用领域较窄,鉴于该技术对作业人员状态监测上的优势,有必要在不同领域进行推广与研究。

6 结论

(1) 油气行业作业具有事故风险性高、事故后果严重等特点。其中,作业人员的不安全行为是导致油气行业事故发生率常年居高不下的最重要原因。

(2) 目前,油气行业作业人员不安全行为风险管控方法主要存在3方面不足:①人员检查法和事后调查分析法无法实现对作业人员不安全行为的实时监测、识别和预警。②视频监控与图像识别技术相结合的方法容易存在监控死角和遮挡,尚无法实现对作业人员连续性作业的错误类型识别,无法识别作业人员动作发出后是否完成了相应操作,以及无法对作业人员由于不熟练作业等导致的安全隐患行为进行识别。③当前作业人员不安全行为预警方法尚未实现对多类型错误行为和安全隐患行为的准确预警。

(3) 利用眼动数据传感器对油气行业作业人

员进行眼动数据采集,可以得到结构化眼动数据、眼动热点图和视线追踪轨迹图3种眼动数据。基于人工智能算法与数据分析理论等,对油气行业作业人员的不安全行为进行智能识别和预警,可以实现作业人员不安全行为的早发现、早提醒与早解决,对有效减少因作业人员不安全行为所导致的油气行业生产事故具有重要意义。

参考文献:

- [1] GONG F, MA Y, ZHENG P, et al. A deep model method for recognizing activities of workers on offshore drilling platform by multistage convolutional pose machine[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2020, 64: 104043.
- [2] KODAPPULLY M, SRINIVASAN B, SRINIVASAN R. Towards predicting human error: Eye gaze analysis for identification of cognitive steps performed by control room operators[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2016, 42: 35-46.
- [3] 马春晖. 视线追踪在轮椅控制系统中的应用[D]. 长春: 吉林大学, 2019.
MA C H. Application of gaze-tracking in the wheelchair control system[D]. Changchun: Jilin University, 2019.
- [4] KLAIB A F, ALSREHIN N O, MELHEM W Y, et al. Eye tracking algorithms, techniques, tools, and applications with an emphasis on machine learning and internet of things technologies[J]. Expert Systems with Applications, 2021, 166: 114037.
- [5] TATLER B W, WADE N J, KWAN H, et al. Yabus, eye movements, and vision[J]. i-Perception, 2010, 1(1): 7-27.
- [6] CHEN C, HU J, LIU H. Screening method of eye movement parameters for unsafe behavior of drilling operators[C]// The 32nd European Conference on Safety and Reliability, 2022.
- [7] 胡瑾秋, 胡静桦, 张曦月. 基于视线追踪的三维模拟灭火救援培训效果评估[J]. 安全, 2019, 40(7): 58-62.
HU J Q, HU J H, ZHANG X Y. Evaluation of training effect of 3D simulation fire fighting and rescue based on line of sight tracking[J]. Safety & Security, 2019, 40(7): 58-62.
- [8] 胡瑾秋, 张来斌, 胡静桦. 基于视线追踪技术的工艺操作人员人为失误识别研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2019, 15(5): 142-147.
HU J Q, ZHANG L B, HU J H. Study on human error recognition of process operators based on eye tracking technology[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2019, 15(5): 142-147.
- [9] 胡静桦. 基于视线追踪技术的油气生产工艺操作行为失误智能识别研究[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2020.
HU J H. Research on the human error recognition of oil and gas production process operators based on eye tracking[D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2020.
- [10] CHEN C G, HU J Q, ZHANG L B, et al. Early warning method of unsafe behavior accidents for offshore drilling operators based on eye-tracking trajectory[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2023, 177: 1506-1522.

(编辑: 王环 王克楠)