

doi: 10.7690/bgzdh.2024.02.012

基于操作规程和人机界面的人为差错辨识方法

蒋英杰, 胡春宇, 梁永治

(中国人民解放军 96753 部队, 济南 271100)

摘要: 为提高武器装备的操作安全性, 提出一种人为差错辨识方法。介绍人为差错辨识的基本概念和现有方法, 指出现有方法存在的不足, 提出基于操作规程和人机界面的人为差错辨识方法; 通过分析操作规程建立人为差错模式的包络, 通过分析人机界面基本特征筛选出有效的人为差错模式。结果表明: 该方法可提高人为差错辨识结果的有效性, 为人为差错管理提供指导。

关键词: 人为差错辨识; 操作规程; 人机界面; 人因可靠性分析

中图分类号: TP301 **文献标志码:** A

Human Error Identification Method Based on Operation Rules and Man-machine Interface

Jiang Yingjie, Hu Chunyu, Liang Yongzhi

(No. 96753 Unit of PLA, Ji'nan 271100, China)

Abstract: In order to improve the operational safety of weapon equipment, a human error identification method is proposed. This paper introduces the basic concepts and existing methods of human error identification, points out the shortcomings of the existing methods, and proposes a human error identification method based on operating procedures and human-computer interface. The envelope of human error modes is established by analyzing the operating procedures, and the effective human error modes are selected by analyzing the basic characteristics of human-computer interface. The results show that the method can improve the effectiveness of human error identification results and provide guidance for human error management.

Keywords: human error identification; operation rules; human-machine interface; human reliability analysis

0 引言

随着军事科技的进步, 尤其是人工智能和自动控制技术的发展, 武器装备的自动化程度越来越高, 但这并不意味着武器装备不需要人的参与即可完成作战任务。即便是无人战车、无人飞机、无人舰艇等智能化程度较高的武器装备, 其后台的操作仍然是由人完成的。人是决定战争胜负的关键因素这一定律没有发生根本改变。

一般来说, 在有人参与的场合, 人为差错就难以避免。为提高武器装备的操作安全性, 保证先进的武器装备发挥最大作战效能, 加强人为差错管理非常重要。通过人为差错管理, 一方面可减少人为差错发生的可能性, 提高装备可用率; 另一方面可降低人为差错造成的后果, 减少装备财产损失^[1-2]。在人为差错管理中, 人为差错的辨识是一项基础性工作, 辨识结果的有效性直接影响人为差错管理的针对性^[3-4]。笔者对人为差错辨识展开分析, 以期能够改进方法, 为人为差错管理提供有价值的信息和

参考。

1 人为差错辨识的概念和方法评述

在人机交互过程中, 人为差错的发生具有必然性, 但具体可能发生什么样的人为差错模式则需通过一定的方法或手段来确定。人为差错辨识就是通过一定的方法或途径预测出目标任务场景下可能发生的人为差错模式的过程。具体来说, 人为差错辨识是一个预测过程, 即是一种“事先”“防患于未然”的工作, 其工作对象是目标任务场景, 完成结果是具体的人为差错模式, 所使用的方法被称为人为差错辨识方法, 目的是为人为差错管理提供具体的管理对象, 其流程如图 1 所示。

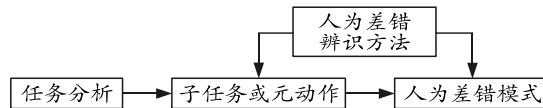


图 1 人为差错辨识流程

在人为差错辨识流程中, 任务分析和人为差错辨识方法是 2 项基本工作。任务分析主要完成任务

收稿日期: 2023-10-18; 修回日期: 2023-11-15

第一作者: 蒋英杰(1981—), 男, 山东人, 博士。

定义和任务分解。其中：任务定义就是限定分析范围，具体包括人员、机器、环境、辅助条件、组织气氛等方面的定义和描述；任务分解就是将任务进行拆分细化至可展开辨识工作颗粒度的子任务或元动作。

人为差错辨识方法是从子任务或元动作中分析得到人为差错模式过程中所运用的手段或途径，是人为差错辨识工作的关键，也是人因可靠性分析领域关注的焦点之一。THERP^[5]和 CREAM^[6]方法都采用事件树的方法对人为差错进行辨识，其基本思路是针对每一个元动作构建事件树，然后通过事件树判断该元动作是否可能出现差错。文献[7]提出了 TAFEI 方法，该方法运用状态转移的观点来判断人为差错，将可能存在但不被允许的状态转移过程认定为人为差错。文献[8]提出了基于操作流程图的人为差错辨识方法，该方法将操作动作图示化，分析过程与事件树类似。

上述方法都具有一定程度的工程适用性，但尚存在缺陷和不足：1) 事件树、状态转移、操作流程图 3 种方法都没有对人为差错模式进行分类，其结果仅仅是“正确/错误”“是/否”等 2 种状态，没有

对人为差错模式进行细致分解，导致辨识结果颗粒度不足，降低了工程适用性；2) 3 种方法都聚焦于操作动作是否产生错误而忽视了人机界面的具体特点，导致辨识过程缺乏实体支撑，降低了辨识过程的针对性和辨识结果的有效性；3) 3 种方法都需要专家知识作为支撑，对用户要求较高，降低了辨识方法的工程适用性，不便于推广和使用。可见，改进当前的人为差错辨识方法是必要的。

2 人为差错辨识方法

鉴于现有人为差错辨识方法都存在不同程度的缺陷和不足，笔者在现有成果的基础上构建基于操作规程和人机界面的人为差错辨识方法，具体包括基于操作规程的人为差错模式包络和基于人机界面的人为差错模式筛查 2 个步骤。

2.1 基于操作规程的人为差错模式包络

操作规程是进行武器装备操作的基本依据和遵循。对于现役武器装备来说，操作规程都是完备的、易获取的；因此，依托操作规程展开人为差错辨识工作具有现实可行性。操作规程的基本形式如表 1 所示。

表 1 启动柴油发电机组规程

口令	号手	设备	操作动作	指示灯变化	备注
启动 机组	供电 号手	机组 控制屏	将控制屏直流“通/断”扳动至“通”	“直流通”灯亮,控制器显示 屏亮	环境温度低于 0℃ 时有此操作; 怠速 运转 1 min 后 进行 后续操作
			将“预热/启动”开关扳动至“预热”位置并维持, 预热灯灭, 后松开“预热/启动”开关	预热灯亮	
			将“预热/启动”开关扳动至“启动”位置并维持, 柴油机点火后, 松开“启动”开关	“预热/启动”开关自动回位柴油机 怠速运转	
额速	供电 号手	机组 控制屏	将“怠速/额速”开关扳动置“额速”位置	“绝缘指示”3 个指示灯亮, 柴油机 由怠速升至额速运转	
供电	供电号手	机组控制屏	将“供电/断电”开关扳动置“供电”位置		

从上表可知，操作规程对操作项目、操作人员、操作设备、操作动作和操作现象等都进行了较为详细的描述，这为人为差错的辨识工作提供了明确的分析对象。尤其是操作规程对操作动作的描述比较详尽，明确了执行对象(如“预热/启动”开关)、执行动作(如旋转)以及完成状态(如“预热”位置)，可直接使用人为差错模式框架来包络人为差错模式。这里对文献[3]中人为差错模式框架进行调整补充，得到人为差错模式框架具体如表 2 所示。

通过对照人为差错模式框架，即可完成对操作规程中操作动作的人为差错模式包络，步骤如下：

Step 1: 从操作规程中剥离出执行对象、执行

动作和完成状态。

Step 2: 对照人为差错模式框架，以“自问自答”方式，查找出所有可能出现的人为差错模式。所谓“自问自答”，是指将表 2 中的人为差错模式设计成问题形式(如“执行了部分动作”可以设计成“是否存在执行了部分动作的可能?”)，分析人员以问题为引导，通过回答问题完成对人为差错模式的查找。

Step 3: 将查找出的人为差错模式进行汇总，以备筛查。

需要指出的是，上述过程严格依赖操作规程。这就要求操作规程的体例必须规范、细致，执行对象、执行动作和完成状态在操作规程中必须有明确的表述。

表 2 人为差错模式框架

人为差错的基本类型	人为差错模式
执行不全面	执行了部分动作
执行不准确	动作执行太早; 动作持续时间太长; 动作持续时间太短; 动作力量过大; 动作力量过小; 动作幅度过大; 动作幅度过小
执行不准确	动作类型不匹配; 动作执行太快; 动作执行太慢; 动作方向错误; 完成的状态错误
执行不及时	动作执行太迟; 动作没有执行

2.2 基于人机界面的人为差错模式筛查

通过 2.1 节可以得到当前操作动作的人为差错模式包络, 但由于基于操作规程的人为差错模式包络方法没有考虑人机界面的具体实际, 所得结果并非全部有效。人机界面是操作人员与机器的对接面, 是操作人员的操作对象, 其影响作用必须考虑。

随着人机交互工程技术的发展, 人机界面的友好性越来越高, 防差错设计也越来越完善, 既改善了操作人员的体验, 又降低了人为差错发生的概率。由于操作人员执行动作都是在人机界面上完成的, 而人机界面自身的诸多特征在操作规程中并未体现; 因此, 基于操作规程的人为差错模式包络所得结果中有些是不可能发生的, 应进行筛查。

基于人机界面的人为差错模式筛查就是通过对具体的人机界面特点, 对获得的人为差错模式包络进行检查、筛选, 剔除不可能出现的人为差错模式, 最终得到更有效性的人为差错模式, 以此提高人为差错管理的效率和针对性。具体步骤如下:

Step1: 建立人为差错模式包络与人机界面的对应关系。

Step2: 对照人机界面, 以“自问自答”的方式, 对人为差错模式逐一进行筛查。问题可以设计成“该种人为差错模式在当前人机界面中可能发生吗?”

表 3 柴油发电机组供电过程的执行对象、执行动作和完成状态

序号	规程描述	执行对象	执行动作	完成状态
1	将“通/断”开关扳动至“通”	“通/断”开关	扳动	“通”
2	将“预热/启动”开关扳动至“预热”位置并维持	“预热/启动”开关	扳动	“预热”
3	“预热”灯灭后, 松开“预热/启动”开关	“预热/启动”开关	松开	——
4	将“预热/启动”开关扳动至“启动”位置并维持	“预热/启动”开关	扳动	“启动”
5	柴油机点火后, 松开“预热/启动”开关	“预热/启动”开关	松开	——
6	将“怠速/额定”开关扳动至“额定”位置	“怠速/额定”开关	扳动	“额定”
7	将“供电/断电”开关扳动至“供电”位置	“供电/断电”开关	扳动	“供电”

针对上表中的每一个操作步骤, 对照人为差错模式框架表 2, 进行“自问自答”式查找。本示例中的执行对象都是开关, 而开关有不同的状态; 因此, 在“自问自答”的过程中应包含“完成状态错误”人为差错模式。另外, 对于需要维持的动作,

筛查过程需要考虑人机界面的防差错设计和操作对象的具体特点。

Step3: 汇总通过筛查的人为差错模式, 作为人为差错管理的目标对象。

通过人为差错模式包络和人为差错模式筛查 2 个步骤, 就可以完成人为差错的辨识工作。其中, 人为差错模式包络保证了辨识结果的颗粒度和完备性, 人为差错模式筛查提高了辨识结果的有效性。该方法的使用条件是具备操作规程和人机界面, 不需要分析人员具备较深的专家知识。

3 示例分析

柴油发电机组是武器装备中常用的供电设备。以某型柴油发电机组供电过程为例, 演示基于操作规程和人机界面的人为差错辨识方法的使用过程。某型柴油发电机组的操作规程如表 1 所示, 供电控制界面如图 2 所示。

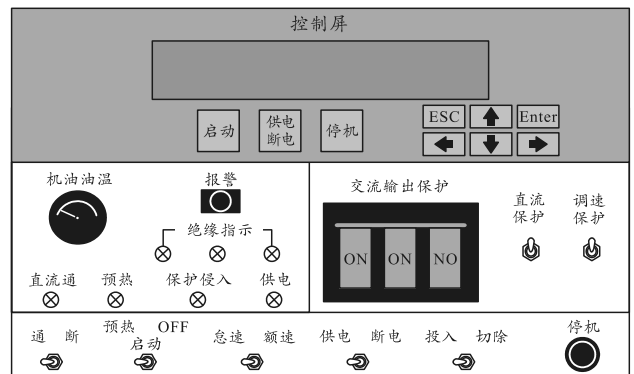


图 2 某型柴油发电机组供电控制界面

3.1 人为差错模式包络

对照操作规程表 1, 分析得到柴油发电机组供电过程涉及的执行对象、执行动作和完成状态, 如表 3 所示。

需要包含“动作持续时间太长”“动作持续时间太短”; 对于有先后关系制约的动作, 需要包含“动作执行太早”“动作执行太迟”; 对于有可能出现遗忘的动作, 需要包含“动作没有执行”。通过“自问自答”得到人为差错模式包络, 如表 4 所示。

表 4 柴油发电机组供电过程人为差错模式包络

序号	规程描述	人为差错模式
1	将“通/断”开关扳动至“通”	完成状态错误 动作没有执行
2	将“预热/启动”开关扳动至“预热”位置并维持	动作持续时间太长 动作持续时间太短 完成状态错误 动作没有执行
3	“预热”灯灭后，松开“预热/启动”开关	动作执行太早 动作执行太迟 动作没有执行
4	将“预热/启动”开关扳动至“启动”位置并维持	动作持续时间太长 动作持续时间太短 完成状态错误 动作没有执行
5	柴油机点火后，松开“预热/启动”开关	动作执行太早 动作执行太迟 动作没有执行
6	将“怠速/额速”开关扳动至“额速”位置	完成状态错误 动作没有执行
7	将“供电/断电”开关扳动至“供电”位置	完成状态错误 动作没有执行

3.2 人为差错模式筛查

将表 4 与图 2 对应，得到对应关系如表 5 所示。

表 5 人为差错模式包络与柴油发电机组供电控制界面对象关系

序号	人为差错模式	界面对象
1	完成状态错误 动作没有执行	“通/断”开关
2	动作持续时间太长 动作持续时间太短 完成状态错误 动作没有执行	“预热/启动”开关
3	动作执行太早 动作执行太迟 动作没有执行	“预热/启动”开关
4	动作持续时间太长 动作持续时间太短 完成状态错误 动作没有执行	“预热/启动”开关
5	动作执行太早 动作执行太迟 动作没有执行	“预热/启动”开关
6	完成状态错误 动作没有执行	“怠速/额速”开关
7	完成状态错误 动作没有执行	“供电/断电”开关

对照图 2，以“自问自答”方式，对表 4 中的人为差错模式包络逐一进行筛查。从图 2 可知，本示例中的操作对象都位于控制界面的最下面一排。其中，“通/断”“怠速/额速”“供电/断电”都为乒乓开关，只有非此即彼 2 种状态，只要初始状态正确，不存在操作错误可能，即“完成状态错误”不可能出现。另外，“通/断”“预热/启动”“怠速/额速”“供电/断电”在操作界面布局中是顺序关系与

操作规程中的操作顺序一致，因此不应存在“动作没有执行”可能。通过上述筛查过程，得到人为差错模式如表 6 所示。

表 6 筛查后人为差错模式

序号	规程描述	人为差错模式
1	将“通/断”开关扳动至“通”	—
2	将“预热/启动”开关扳动至“预热”位置并维持	动作持续时间太长 动作持续时间太短
3	“预热”灯灭后，松开“预热/启动”开关	动作执行太早 动作执行太迟
4	将“预热/启动”开关扳动至“启动”位置并维持	动作持续时间太长 动作持续时间太短
5	柴油机点火后，松开“预热/启动”开关	动作执行太早 动作执行太迟
6	将“怠速/额速”开关扳动至“额速”位置	—
7	将“供电/断电”开关扳动至“供电”位置	—

3.3 对比分析

在本示例中，通过基于操作规程的人为差错模式包络得到 20 种人为差错模式，通过基于人机界面的人为差错模式筛选，最终得到 8 种人为差错模式，共剔除 12 种不可能出现的人为差错模式，剔除率为 60%。可以看出，本文中的方法有效利用了操作规程中操作动作的明确性和人机界面的具体特点，可在保证辨识结果完备性的基础上，有效提高辨识结果的有效性。

在方法的使用过程中，分析人员需要的条件包括操作规程和人机界面，属于易获取资源；需要的技能包括对规程的解读能力和对操作对象（开关、按钮等）的操作常识，属于基本技能或易培训技能。该方法使用门槛较低，便于在各类人机交互场景中推广和使用。

4 结论

武器装备操作使用过程中的人为差错严重影响装备安全和装备作战效能。为加强人为差错管理，减少人为差错的发生概率及其产生的后果，进行人为差错辨识是一项必要工作。笔者对人为差错辨识方法展开分析，提出基于操作规程和人机界面的人为差错辨识方法。该方法有效利用了操作规程和人机界面的特点，可在保证辨识结果完备性的基础上，有效提高辨识结果的有效性。另外，该方法在使用过程中不需要专家知识支持，可在一定程度上弥补之前人为差错辨识方法存在的不足，为武器装备人为差错管理提供有益的指导。