

# Study on Engineering Re-design of Emergency Operation Procedures to Prevent Human Error

Wei Zheng

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

## Abstract

To reduce human error risks during emergency operations and enhance operational reliability of the main control room after digital transformation, this study focuses on human factor reliability in digital interface redesign, conducting research on engineering redesign. First, it analyzes the core impacts of interface interaction design, cognitive adaptation of personnel, and environmental factors on human factor reliability verification, clarifying their mechanisms and cumulative effects in emergency scenarios. Then, it proposes refined verification strategies from four dimensions: indicator system construction, methodological innovation, process control, and result linkage, providing support for digital interface optimization. The study demonstrates that precise control of human factor reliability factors and implementation of end-to-end verification can effectively optimize interface-person-scenario compatibility, reduce operational errors, and provide theoretical foundations and practical approaches for emergency procedure implementation and engineering redesign.

## Keywords

Emergency operating procedures; Human error; Engineering redesign; Main control room; Digital interface

## 应急操作规程防人因失误的工程再设计研究

郑伟

大亚湾核电运营管理有限责任公司, 中国·广东深圳 518000

## 摘要

为了降低在应急操作的过程当中人因失误的发生概率,提升主控室在进行数字化改造之后的运行可靠程度,这篇文章把重点放在主控室数字化界面改造里面的人因可靠性问题上,开展工程再设计方面相关的研究。首先去分析界面交互设计情况、人员认知适配程度、环境方面因素对于人因可靠性验证的核心影响,弄清楚各个因素在应急场景之下的作用机制以及叠加效应;接着从指标体系构建工作、方法创新事情、流程管控环节、结果联动方面这四个维度,提出人因可靠性精细化的验证策略,给数字化界面的优化再设计提供支撑。研究显示,通过精确把控人因可靠性的影响因素,实施全流程精细化的验证,能够有效优化界面和人员、场景的适配情况,减少应急操作当中的人因失误,为应急操作规程的落地以及工程再设计提供理论依据和实践途径。

## 关键词

应急操作规程;人因失误;工程再设计;主控室;数字化界面

## 1 引言

在工业生产领域、能源供给领域、交通运输领域等关键的领域当中,主控室作为核心操作以及调度的枢纽,它的运行稳定状态直接决定整个系统的安全水平。应急操作规程是应对突发故障、避免事故扩大的重要保障,而人因失误作为应急操作当中事故频繁发生的主要原因,占各类安全事故成因的70%以上。随着数字化技术的广泛普及,主控室传统的模拟界面逐渐向数字化、智能化的界面转变,这一变革在提高操作效率的同时,也因为界面交互逻辑、信息呈现方

式的改变,给操作人员带来认知负担增加、操作习惯冲突等新的风险,对人因可靠性提出更高的要求。工程再设计作为防控人因失误的核心办法,通过优化设备、界面、流程等硬件和软件的环境,实现人和系统的精确适配。当前主控室数字化界面改造当中,部分项目由于忽略人因可靠性验证,导致界面存在信息多余、操作路径复杂、警示标识不清晰等问题,在应急场景之下容易引发操作人员错误判断、错误操作,加大事故风险。所以,开展应急操作规程防止人因失误的工程再设计研究,把重点放在数字化界面改造当中的人因可靠性验证上,明确影响因素、优化验证策略,对于提升主控室应急操作安全性、推动数字化改造提高质量和效率具有重要的理论和实践意义。这篇文章基于这一背景,系统地分析数字化界面改造中人因可靠性验证的核心影响因素,

【作者简介】郑伟(1983—),男,中国山东烟台人,本科,工程师,从事核电工程与技术研究。

构建精细化的验证策略，为工程再设计提供科学的支撑<sup>[1]</sup>。

## 2 主控室数字化界面改造中人因可靠性验证的核心影响因素

### 2.1 界面交互设计合理性对人因可靠性验证的基础影响

有一部分数字化界面存在着信息层级方面混乱、核心参数跟冗余信息相互混杂这样的问题。在应急状态之下，操作人员需要在短时间之内筛选出关键信息，很容易因为视觉疲劳、判断延迟而引发人为失误，从而导致在验证过程当中可靠性评分比较低。与此同时，操作路径是不是简洁也非常重要，如果界面操作步骤很烦琐、按钮布局不太合理，很容易出现误触、漏操作等方面的问题。尤其是在应急处置这种紧张的场景当中，操作人员的应激反应会让操作偏差加剧，从而影响人因可靠性验证结果的客观程度。除此之外，警示标识的辨识度、色彩搭配是不是合理也会对验证产生影响，比如警示色跟背景色对比度不够、标识符号不规范，会使得操作人员没办法及时捕捉到风险提示，降低应急操作的可靠程度。

### 2.2 操作人员认知特性与数字化界面的适配度对验证结果的干扰

从认知负荷这个角度来看，数字化界面的功能复杂程度要是超出了操作人员的认知承载范围，会导致其出现注意力分散、决策失误等方面的问题。举个例子，对于年龄比较大、习惯传统模拟界面的操作人员来说，数字化界面的多窗口切换、触控操作等功能有可能增加其认知负担，在验证过程当中表现出操作可靠性比较低；而年轻操作人员虽然对数字化设备接受程度比较高，但是有可能因为过度依赖自动化功能，出现操作熟练程度不足、应急处置能力比较弱的问题，同样也会影响验证结果。另外，操作人员的操作习惯也会对适配程度产生影响，如果数字化界面的操作逻辑跟传统界面差异非常大，并且没有经过系统培训，操作人员很容易沿用旧有的操作习惯，引发误操作。这种适配性不足所导致的验证结果偏差，不仅会影响对界面改造效果的准确评估，而且还有可能掩盖界面设计本身存在的缺陷，给后续工程再设计带来误导。

### 2.3 复杂运行场景下环境因素对人因可靠性验证的叠加效应

物理环境因素的影响最为直接，其中包括室内温度、湿度、光照条件、噪声水平等。例如，在应急处置过程当中，设备持续运转所产生的高分贝噪声，会干扰操作人员的沟通和判断；光照太强或者太弱会影响界面视觉清晰程度，增加信息识别的难度；温度不合适会导致操作人员身体疲劳，注意力下降。心理环境因素同样也不能忽视，应急场景之下的时间压力、事故后果的严重程度，会让操作人员产生焦虑、紧张等负面情绪，导致其决策能力下降、操作动作走样<sup>[2]</sup>。

此外，主控室的空间布局、设备摆放密度等也会对验证产生影响，如果操作空间狭小、设备布局混乱，会影响操作人员的动作灵活程度，在紧急情况之下很容易出现碰撞、操作受到阻碍等问题。

这些环境方面的因素并不是孤立存在的，而是和界面设计存在的缺陷、人员存在的认知不足这些情况相互叠加起来，产生恶性循环的情况，非常明显地降低人因可靠性做验证所得到结果的有效程度，甚至会使得验证得出的结论出现偏差情况。

## 3 主控室数字化界面改造的人因可靠性精细化验证策略

### 3.1 验证指标体系的精准化构建与优化

指标体系应当把操作的效率、操作的准确程度、认知所承受的负荷、应急响应具备的能力这四个核心层面涵盖进去。操作效率方面的指标可以选择关键操作完成花费的时间、操作步骤符合规定的比率等能够量化的指标，从而反映出界面交互设计对操作流程起到的优化效果如何；操作准确程度指标能够通过误操作的次数、参数设置产生的偏差比率等开展评估工作，直接体现出人因可靠性的水平高低；认知负荷指标可以把主观方面的评价和客观方面的数据结合在一起，就像操作人员的疲劳程度所得到的评分、心率变异的系数等，反映出界面设计和人员认知之间具备的适配情形；应急响应能力指标能够选取故障识别花费的时间、应急处置获得成功的概率等，有针对性地评估界面在突发的场景当中起到的支撑作用怎样。与此同时，要根据不同行业主控室实际的运行特点，对指标实施差异化的优化处理，比如电力主控室需要重点加强电网参数进行识别的准确程度指标，化工主控室需要突出危险物质泄漏之后应急处置的响应速度指标。除此之外，应该建立起指标权重进行动态调整的机制，把应急操作规程的优先顺序结合起来，对核心指标赋予更高的权重数值，保证验证结果能够符合实际运行方面的需求<sup>[3]</sup>。

### 3.2 验证方法的多元化创新与实施

定量验证方法能够运用模拟操作去做实验、生理信号进行监测等办法。模拟操作实验通过搭建和实际主控室一样的数字化界面模拟平台，设置正常运行、突发出现故障等不同的场景，组织操作人员开展实际操作的演练活动，把操作数据记录下来并且对照指标体系开展量化的评估工作。生理信号监测则依靠心率监测仪、眼动仪等设备，实时采集操作人员在验证过程中出现的生理数据，通过分析眼动所形成的轨迹、心率发生的变化等，客观地反映出其认知负荷以及应激状态如何，补充主观评价存在的局限性问题。定性验证方法能够采用专家进行评审、操作人员进行访谈等方式，专家团队把行业规范和工程方面的经验结合起来，对界面交互设计、操作逻辑具备的合理情形开展评估工作，提出优化

改进的建议；通过和操作人员一对一的访谈交流，了解其在实际操作过程中存在的痛点问题、困难情形，收集对界面设计形成的主观方面的反馈内容，为验证结果的解读工作提供补充依据。除此之外，可以引入数字化仿真这一技术，构建三维主控室仿真模型，模拟极端应急场景之下界面运行的状态，预测有可能存在的人因风险状况，实现从“事后开展验证”到“事前进行预判”的转变过程，提升验证具备的前瞻性质。

### 3.3 验证过程的全流程管控与数据溯源

在开展验证的准备阶段的时候，需要对参与验证的人员开展系统方面的培训，要明确应急操作的规程、验证的流程以及指标方面的要求，从而减少因为人员操作不规范而引发出来的误差；与此同时，要对模拟的平台、监测的设备进行全面的校准，以此确保设备运行能够稳定、数据采集可以精准。在验证实施的阶段，需要严格依照预先设定的场景与流程来开展实验，要安排专门的人员去记录操作过程中的各种各样的数据，包含操作行为的数据、生理的数据、环境的参数等，并且同步记录异常的情况以及处理的过程。在验证结束之后，需要建立数据分类归档的机制，对采集到的原始数据、分析的报告、专家的意见等进行系统化地存储，从而实现数据能够被追溯、能够被复核。除此之外，应该建立验证质量审核的机制，由第三方专业的团队对验证的流程、数据处理的方法、结果分析的过程进行审核，排查潜在的风险，确保证据结果具备公信力。针对应急场景之下的验证，需要重点去强化场景设置的真实程度与随机程度，避免操作人员提前去预判场景，确保证据结果能够反映出实际应急操作当中的人因可靠水平。

### 3.4 验证结果与界面改造优化的协同联动

针对验证过程当中发现的界面设计的缺陷，需要进行分类并制定优化的方案。对于信息呈现不合理的问题，应该简化信息的层级，突出核心的参数，优化色彩的搭配与警示标识的设计，提升信息识别的效率；对于操作路径烦琐的问题，需要精简操作的步骤，优化按钮的布局，贴合操作人员的操作习惯，降低误操作的风险；对于与人员认知适配度不足的问题，可以通过优化界面交互的逻辑、增加个性化设置

的功能，来适配不同认知水平的操作人员。同时，需要把优化之后的界面再次纳入人因可靠性验证的体系，评估优化的效果，如果没有达到预先设定的指标，需要持续调整优化的方案，一直到满足应急操作规程的人因可靠性要求为止<sup>[4]</sup>。除此之外，应该建立验证结果的共享机制，把界面改造当中的人因可靠性数据与应急操作规程的修订结合起来，优化操作的流程与培训的内容，从界面设计与人员能力这两个维度来防控人因失误。

## 4 结语

对应急操作规程进行防人因失误的工程再设计，核心之处在于实现人与数字化系统的精准适配，而主控室数字化界面改造的人因可靠性验证是关键的支持环节。本文通过分析数字化界面改造中的人因可靠性验证的核心影响因素，发现界面交互设计的合理程度、人员认知的适配程度、环境的因素这三者相互产生作用，一起影响验证结果的准确程度，在应急场景之下其叠加的效应更加显著。为了提升验证的科学程度与有效程度，构建了包含指标体系构建、方法创新、流程管控、结果联动的精细化验证策略，通过精准化的指标体系来明确验证的方向，以多元化的方法保障验证的全面程度，全流程的管控确保数据的真实程度，协同联动的机制实现验证结果的落地应用。研究表明，精细化人因可靠性验证能够有效识别数字化界面改造中的潜在人因风险，为工程再设计提供精准依据，通过优化界面交互设计、提升人与系统适配性，可显著降低应急操作中的人因失误发生率。

## 参考文献

- [1] 肖孝镗. 电力工程设计人因失误分析与防范措施[J]. 科技传播, 2013, 5(12): 46-45.
- [2] 冯帅. 防人因失误工具在核电运行中的应用探讨[J]. 产业与科技论坛, 2022, 21(14): 245-246.
- [3] 龙强. 浅析核电厂运行人员防人因失误管理[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2022, (33): 1-3.
- [4] 马国强, 吴彦农, 张浩, 等. 对某核电厂主给水丧失手动停堆后操纵员人因失误的根本原因分析[J]. 核科学与工程, 2020, 40(06): 980-985.