

CNIC-01705
SINRE-0105

高通量工程试验堆主控室的
人因工程应用
THE APPLICATION OF HUMAN ENGINEERING
IN CONTROL ROOM OF HFETR
(In Chinese)

中国核情报中心
China Nuclear Information Centre

CNIC-01705
SINRE-0105

高通量工程试验堆主控室的人因工程应用

杨树春 山松林

(中国核动力研究设计院, 成都, 610005)

摘 要

简要说明了高通量工程试验堆(HFETR)的人—机体系;介绍了应用人因工程的原理改善 HFETR 主控室工作环境,提高设备、仪器的性能和操作的可靠性;论述了 HFETR 人因失误的减少与人因工程的关系。提出了进一步加强人因工程的应用,可以提高主控室人—机系统的交互作用效果,并能够为反应堆更加安全、可靠地运行提供条件保证。

关键词: 高通量工程试验堆 人—机体系 人因工程

The Application of Human Engineering in Control Room of HFETR

(In Chinese)

YANG Shuchun SHAN Songlin

(Nuclear Power Institute of China, Chengdu, 610005)

ABSTRACT

The human-machine system for improving the working environment in the control room of HFETR is described. The reliability of the equipment, instruments and operation by human engineering is increased. The relations between human engineering and lowering human failure in HFETR are also discussed. It is concluded that the further application of human engineering can increase interaction of the human and machine in the control room and provide assurances for the safe and reliable operation of reactor.

Keywords: HFETR, Human-machine system, Human engineering

引言

据 1990 年美国“特许事故报告”披露:美国核管会从 69 个民用核设施统计出各类事件 3000 多起,均为工作程序超过技术规范而引起。其中有 753 起由工作不细致引起,有 2174 起是没有及时维修机器设备引起的,在这些事件中,各种原因引起的人因失误份额为 42%。由此看来,核设施的安全运行是由人、机、管理文件共同决定的。仅仅强调人的作用或机的效果是片面的,应当认真研究“人”与“机”和各种管理文件的交互作用的结果来指导核设施的安全运行。

HFETR 建造于 20 世纪 70 年代,鉴于当时的技术条件限制,人因工程的应用按现在的技术标准衡量,已显得相对陈旧。根据 HFETR 各类故障统计并参考国内外人因工程应用的研究成果,对主控室某些设备、仪器进行了技术改造或替代,以改善和加强人一机交互作用。

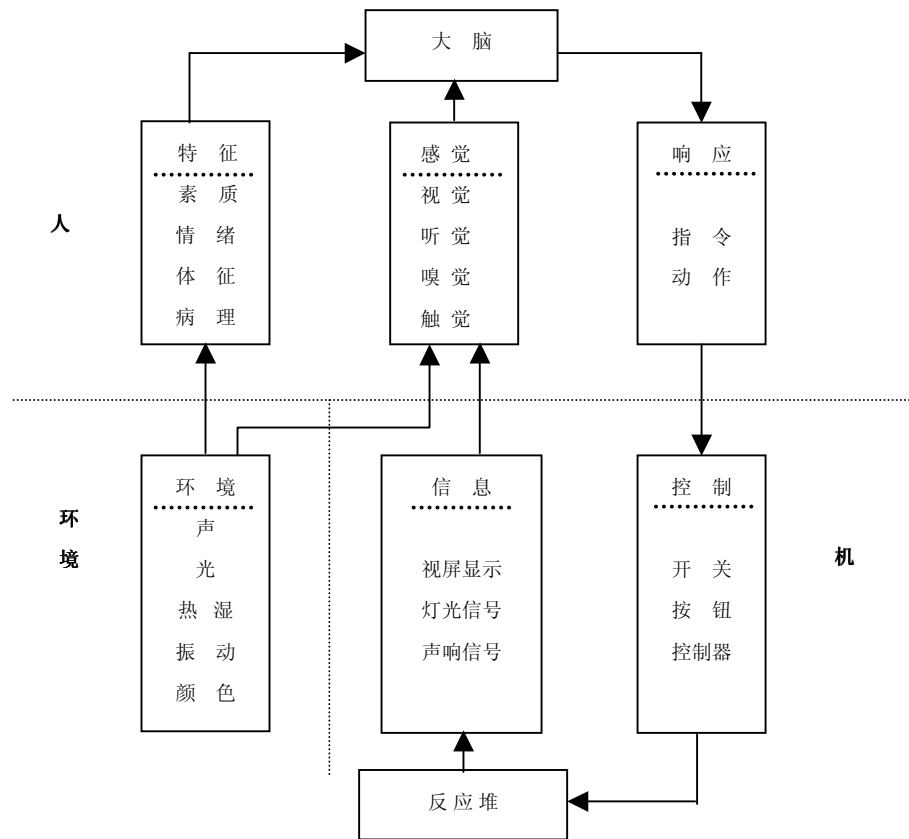


图 1 主控室人一机系统简图

1 主控室人一机系统中运行人员的作用

1.1 HFETR 主控室人一机体系

HFETR 的主控室集中了各类控制仪表、控制屏、显示器和操作按钮等,它们分区布置,有机地组合在一起,根据人的指令来监督和控制反应堆的运行安全。由于核反应堆是庞大的系统工程,不但设备多,而且相互之间的联系复杂,运行方面的信息处理比其它行业的层次多,涉及面大,是典型的人一机体系。因此,“人”如何在众多仪器、设

备组成的“机”中获取反映反应堆运行及安全状态的关键信息，以便使反应堆向预期的目标运行就尤其重要了。HFETR 主控室人一机体系示意图 1。

1.2 “人一机”体系的能力

用人因工程学的观点来设计核反应堆的主控室，能显著增加反应堆的运行安全性，提高工作效率和诊断故障的能力，减少人因失误。自美国三哩岛及前苏联切尔诺贝利核电厂发生事故后，人们已认识到产生事故的原因，除设计缺陷，设备失效等因素外，还涉及到人的因素。

表 1 “人一机”体系的能力比较

能力种类	人的特性	机器的特性
物理方面的能力	10 s 内输出 1.47 kW，5~6 min 内输出 0.36 kW，一天连续工作输出 0.2 匹马力（1 马力=735.49875 W） 能够像慢慢地开门和关门那样进行精细调整	能够输出极大的和极小的(能)功率。不能像人手那样进行精细调整
计算能力	计算速度慢,常常出差错, 但能巧妙地修正错误	计算速度快, 能够正确地进行计算, 但不会修正错误
记忆容量	能够实现大容量的、长期的记忆, 并能实现同时和几个对象联系	能够进行大容量短期的数据记忆和取出
反应时间	最小值为 200 ms	反应时间为微秒级, 这是一大优点
随机应变的能力	有随机应变的能力, 如在雷达上发现有許多飞机超过机场处理能力时, 能将较次要的飞机导航到其他航线去	无随机应变的能力
监控	难以监控偶然发生的事件	监控能力很强
操作内容	超精密重复操作易出差错可靠性低	能连续进行超精密的重复操作和按程序常规操作, 而且可靠性高
经验性	能够从经验中发现规律性的东西, 能够根据经验修正反应时间	不能利用经验数据
创造性	具有创造性, 能够对各种问题具有全新的, 完全不同的见解, 具有发现特殊原理或关键措施的能力	完全没有创造性能力
适应性	能够处理完全出乎意料的事件。例如当设备功能出现异常或周围环境异常时, 均能想出应付的办法	只能处理已知的事件
归纳性	能够从特定的症状推出一般的结论, 即具有归纳思维的能力。	只能理解特定的事物
感觉	人的感觉范围有限制。人眼的视网膜上视觉可感受 400~800 mμs 的可见光线, 能够识别物体的位置移动和色彩	能够在人类不能感觉的领域里工作。能够在视觉范围以外, 使用红外线和电磁波工作
环境条件	环境条件必须舒适。但对特定的环境能很快地适应	可耐受恶劣的环境。能在放射性、尘埃、有毒气体、噪声、黑暗、强风、大雨等恶劣条件下工作
疲劳	容易疲劳	不易疲劳, 可长期工作

通过对人一系统的能力、特性的研究，总结出即使“机”是精确、可靠的，但只能处理已知事件，而人能够处理完全出乎意料的突发事件，能从经验中发现规律性的东西并加以修正和总结，这都是“机”所不具备的。人一机体系的能力比较见表 1^[1,2]。

1.3 主控室运行人员作用

在 HFETR 主控室，运行人员由值班长、高级操纵员、操纵员及助理操纵员组成，主要任务是启动、停闭反应堆，根据运行、科学试验的需要进行功率转换以及重要设备的启动、停止，监督、控制所有运行参数始终保持在运行限值以内，保证反应堆在正常工况下的运行安全。

在异常情况下（包括应急状态），各级运行岗位都必须按照主控室发出的命令进行操作，采取有效措施正确处理异常或事故，使反应堆运行尽快恢复到正常运行限值内或安全停闭反应堆。

为使“机”能够在各种运行工况下，特别是应急工况下仍然能够按照人依据各种规程和管理文件下达的“指令”进行正确的动作，对人的培训就显得尤其重要。

1.4 提高人员素质

在主控室的人—机系统中，人处于主导、主动地位，起着决定性的作用。因为即使“机”再精确，也只能处理已知事件。而人具有创造性并对事物发展趋势能够做出预估，人可以通过大量的工作实践，从中归纳、总结某些规律性的东西指导人们的再实践。所以，人具有较高的应变能力，这是“机”所不具备的。

技能分析表明，每个人都有自己的智能限制、体能限制、物理限制、生理限制及病理限制。为此，HFETR 从 1995 年起，按照“管理条例”^[3]、“执照制度”^[4]的要求，重新编制了培训计划，提高了培训标准。针对不同操纵人员的个体，安排了一系列不同科目的培训和现场模拟训练；设置在岗预习阶段，在此阶段，受训人有下达命令权、操作权，但上述权利必须是受训人的“监护人”无异议的前提下才能生效。设置在岗预习阶段，可帮助受训人顺利渡过“心理断奶期”。

对具有一定运行经验的运行人员，安排参加到国内、外反应堆考察，交流运行经验。对每个岗位当班人员的组成，根据各自特点，精心调配，使之达到最佳人员“匹配”，最大程度地缩小运行人员因心理紧张、身体疲劳引起的分析判断能力下降，使其在紧急情况下有较强的应变能力，能灵活、主动地处理各种突发事件。

1.5 充分发挥人的主导作用

为充分发挥主控室人一系统中人的主导作用，采取了下列措施：

- (1) 运用技能和素质分析的结论，对运行人员进行分类。
- (2) 对各类人员进行分门别类的针对性培训和训练。
- (3) 进行系列的运行经验总结、交流和反馈活动，运行人员充分掌握“机”的特性，加深对规程和管理文件的理解。
- (4) 通过分析已发生过的运行事件，改进“机”的性能，同时规范和完善管理文件的内容。
- (5) 制定各种相应的纠正措施，防止共因事件重复发生。

2 主控室人一机接口的改进

人因工程研究和可靠性分析表明, 主控室是反应堆安全运行的神经中枢和指挥中心, 也是人一机接口的中心。应给主控室操纵人员提供一个舒适的工作环境, 改善其空间、温度、湿度、噪声、采光等条件, 使运行人员长时间在主控室工作而不感到紧张、疲劳。

基于上述原则, HFETR 依据 GB 4083—83^[5], GB 4806—84^[6], HAF1000—1^[7], HAF.Y0011^[8]的要求, 参考美国核管会文件 NUREG—0800^[9]的规范, 根据国内外核电厂主控室的设计并兼顾 HFETR 的实际情况, 对 HFETR 主控室进行了以下几方面的改进。

2.1 改善工作环境

2.1.1 采用双层茶色玻璃窗, 浅蓝色吊顶、乳白色墙面、带暗纹的大理石地面、深灰色仪表屏嵌镀铬边框, 使 HFETR 主控室色调柔和、层次分明。既减少了太阳的直射光线及仪表的反射光线, 又减轻了运行人员长期工作的疲劳感觉。

2.1.2 采用新型室内照明灯具为内嵌式加吸光板或花玻璃, 尽量减少镇流器式日光灯的数量, 既满足了照明度的要求, 又降低了照明所引起的噪音。从而使运行人员能够在较安静和色调柔和的环境里, 观测各类仪表显示数据更准确。

2.1.3 将中央控制空调系统改为相互独立的空调, 既保证了工作环境的温度、湿度要求, 又减少了运行人员的配备, 同时又减小了环境噪声在 50 dB 以下(一般环境噪声标准为 30~60 dB)。

2.2 改进仪器、仪表性能

2.2.1 功率测量仪表的显示器由原设计的指针式改为指针式、数字式的双重显示, 有关资料证明, 此项改进使运行参数的显示精度提高至 10^{-2} , 读取速度提高 10^{-1} 。运行人员能更精确、迅速的确认反应堆当前的运行状态, 减少人因误差。

2.2.2 吸取运行历史上曾经发生过的教训, 在主控室技改中将核功率测量仪表、核功率调节仪表、核功率保护仪表的量程转换控制器上, 增加相应的量程指示灯, 加强了视觉效果, 增加了量程转换的校对功能, 提高了操作各核测仪器的可靠性。

2.2.3 荧光数码管显示器改为液晶数字显示器, 消除了耀眼的光线, 减轻了眼睛的疲劳程度。

2.2.4 指针式显示器及琴键式选择开关的过程控制仪表, 改为数字式智能化自动巡检的过程控制仪表, 使测量精度提高了 10^{-2} , 读取速度提高了 10^{-1} 。

2.3 关键部件设防

对操纵台上重要的旋钮和开关设置了防护罩, 防止了可能由人误造成的严重后果, 提高了运行人员操作可靠性。

2.4 改进信号系统

信号系统采用视觉—听觉双重信号设置, 视觉信号的颜色、亮度、制作材料经反复比较得以确定, 目的是既不能刺眼又能使运行人员足以准确辨认是什么参数。听觉信号的发音频率、响度根据各类参数要求予以区分, 避免与房间、设备、仪器等固有噪声发生谐振是主要的考虑因素。

视觉信号分为：红色、白色、黄色，采用闪烁形式指明报警状态，闪烁周期为 3~5 次每秒。听觉信号分为扬声器、峰鸣器、电铃，根据不同的发音频率，可区别不同的报警级别。信号屏布置结构见图 2。

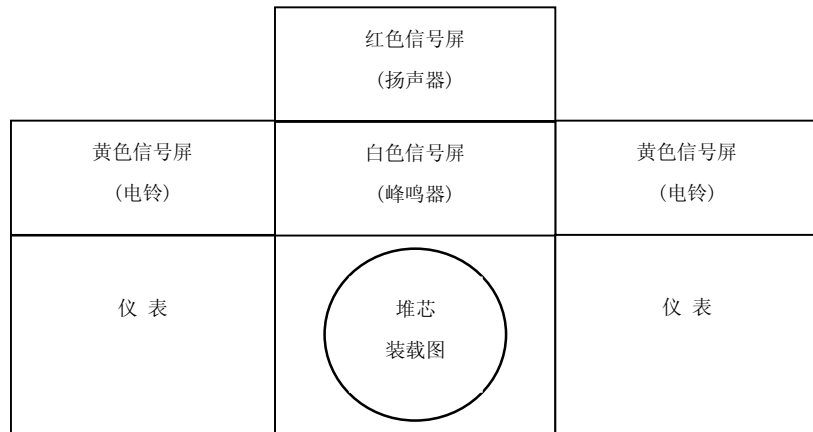


图 2 信号屏布置结构示意图

2.5 仪器设备分区

将主控室设备或开关按紧急性、重要性和一般性来分区设置，将反应堆启动、停闭按钮，核功率测量仪器、核功率保护仪器、控制棒状态等监控仪表，开关等设置在操纵台上，使操纵员能有效地在座操作。

改进后的主控室，由于装饰材料及其颜色选取得当，其空间给人以宽阔印象；各吸音材料的选取，降低了噪声；对门、窗及照明的结构改造，使其更符合人的行为习惯；将中央控制空调系统改为制冷量较大的分体式空调机。不仅保证了工作环境的温度、湿度要求，还减少了运行人员的配备和降低了环境噪声。

改进后的主控室符合人因工程学的要求，其效果见图 3。

2.6 安全参数显示系统的应用

三哩岛事故后，人因失误研究取得重大进展，美国核管会文件规定：“今后建造的反应堆必须配备安全参数显示系统”。为跟踪世界发展趋势，提高 HFETR 运行的安全性，按照 IEC960(1988)^[10]和美国核管会文件 NUREG-5^[11]的要求，根据我国的实际情况，中国核动力研究设计院开发研制了 HFETR 安全参数显示系统。

HFETR 安全参数显示系统具有以下特点：

(1) 设计人员与运行人员相互结合成为一个有机体，共同完成设计，在设计中充分考虑人因工程的观点，因而先进性与实用性兼而有之。

(2) 操作简便，显示的信息易读、易懂，符合主控室运行人员工作的输入和输出要求。

(3) 不同的信息以不同的模式显示，基本覆盖各运行工况。

(4) 所用的符号、文字、图形、表格、单位与运行人员熟知的模式相符，具有良好的视认性。

(5) 按系统划分构成单元式画面，画面具有连贯性。

(6) 系统综合权衡，在人员操作和机器功能要求之间的约束条件中，求得最佳人、机任务分配。

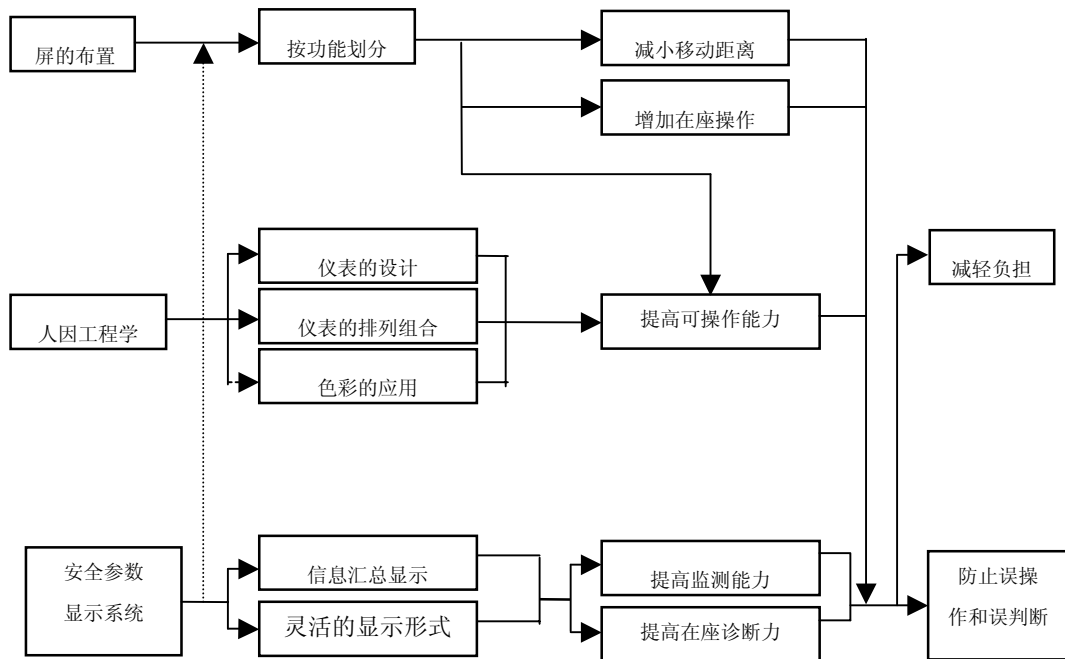


图 3 改进后的 HFETR 主控室效果示意图

当运行参数偏离时，能使运行人员及时警觉，及时调整。HFETR 安全参数显示系统可对 254 个测点进行不间断的实时监测、计算，以图形、文字、表格、色彩、音响等组合方式提供信息，使运行人员能迅速、直观、准确地掌握反应堆当前的运行工况。安全参数显示系统的应用，已成功地帮助运行人员处理各类异常近百起。

3 结语

HFETR 主控室改进后的设置，符合人因工程学的观点。提高了人一系统的总效能；从 HFETR 事件统计数据看，人因失误降低 19%^[12]。主控室的人因工程应用，加强了对反应堆的监控能力，提高了设备操作可靠性和操作人员的在座操作能力，增加了反应堆的安全性。做到了既有人积极防御，又有“机”的可靠性作保证，因而加强了对人因工程应用的研究，对提高 HFETR 的运行安全性和可靠性具有重大意义。

参 考 文 献

- 1 高木升(日本)著.何国伟译.可靠性技术—设计、制造、使用.北京:机械电子工业部出版,1990
- 2 周涌浩.人类工程学应用于中央控制室设计.核动力工程,1987,8(5):94
- 3 国家核安全局.HAF001-01-01.中华人民共和国民用核设施安全监督管理条例实施细则.附件1:核电操纵人员执照颁发和管理程序.1991
- 4 国防科学技术委员会.《研究堆操纵人员执照考核管理办法(试行)》.2000
- 5 中国核工业部.GB 4083-83.核反应堆保护系统安全准则,1983
- 6 中国核工业部.GB 4806-84.核反应堆仪器、仪表一般特性,1984
- 7 国家核安全局.HAF1000-1.研究堆设计安全规定
- 8 国家核安全局.HAF.Y0011.控制室设计审查导则.1993
- 9 美国核管会.NUREG-0800.标准审查大纲.1984
- 10 国际电气公司.IEC960 核电厂安全参数显示系统的功能设计准则.1988
- 11 美国核管会.NUREG-0835.安全参数显示系统的人因验收准则.1981
- 12 杨树春,段天元.反应堆运行中的人因失误研究.人类工效学,1999,5(4):33~37