



中华人民共和国核行业标准

EJ/T 797—93

人因工程原则在核电厂 系统、设备和设施中的应用

1993-12-13发布

1994-05-01实施

中国核工业总公司 发布

中华人民共和国核行业标准

人因工程原则在核电厂
系统、设备和设施中的应用

EJ/T 797—93

1 主题内容与适用范围

本标准核电厂应用人因工程提供原则指导。

本标准适用于核电厂内应用人因工程的有重要人因接口的系统、设备和设施。

2 引用标准

EJ/T 798 核电厂控制室人机特性评价

3 术语

3.1 人因工程 human factors engineering

一门科学和技术结合的综合学科，它主要研究人-机器-环境系统中人的心理、生理、效率、安全、健康等因素，使人的工作达到最优化。

3.2 人机接口 man-machine interface

人从系统或过程中获得信息或是对系统或过程进行控制的装置。

3.3 人因接口 human interface

人员和设备、设施、软件或文件之间的接口。其中人员行为对实现系统特性起决定性作用。

4 人因工程计划

在设计、运行、试验和维修过程中必须考虑人因工程原则，宜应用一个协调计划执行人因工程。执行计划过程中可能需要多种专业的配合，如人因工程、仪表和控制、核工程、运行、试验等。制定人因工程计划需要进行下述工作：

- a. 确定各种人因工程研究报告和其他有关文件的关系；
- b. 进行人因工程审评；
- c. 研究当前的设计实践以确定人因工程的各种关系；
- d. 确定人因工程考虑与设计、运行、试验和维修考虑的折衷关系。

应将人因工程考虑为与设计、设计修改和设计评估有关的不断进行的工作。由于人因工程的应用会影响电厂设计、运行、试验和维修的各个方面，因此应尽早应用人因工程，还应该进行跟踪审查以便确认人因工程决策的有效性。

5 人因工程的基本考虑

要有效地执行人因工程，应考虑以下问题：

- a. 任务；
- b. 环境；
- c. 设备；
- d. 人员；
- e. 运行；
- f. 文件。

5.1 任务

5.1.1 功能分配

功能分配与设计决策有关，设计决策要决定一项给定作业、任务、功能或职责自动进行或手动执行的程度。决策依据：

- a. 人员相对机器而言，在可靠性、速度、准确度、反应的强度和灵活性等方面的能力和局限性；
- b. 费用；
- c. 成功、及时地执行任务对成功、安全运行的重要性。

从功能全部自动化，人员仅是观察、监督机器特性到全部以人为为主的手动控制，功能分配可能在很大范围内变动。在最细一级的功能分配中，还包括要确定任务小组中各人的特殊作用和责任。

5.1.2 任务负荷

应考虑任一给定任务或一组任务要求人员（个人或班组）付出的注意力、负荷量和能力范围，并应考虑后者影响行为的程度。应拟定人员在总体中的职责以便给出适当的负荷。

在极端情况下，当人在超负荷或欠负荷时，人员行为就会受到损害。超负荷的形式可能是要求人员同时跟踪、注意太多的因素（负荷应力），或者要求以超出人员能力的速率去响应（速度应力）。在欠负荷情况下，所有的不尽力、不警觉、不兴奋都将导致厌烦和注意力不集中，从而使人员行为质量降级。

任务负荷应考虑向人员提供数据的速率和格式，也就是，给定任务的设计和要求应考虑体力、承受能力、活动范围、付出力或力矩的能力等人体生理极限。

5.1.3 精确度要求

设计的作业、任务和功能应与人的准确性和精确性相适应，应考虑人的操纵能力（如灵活性）和感官（如视觉、听觉）的鉴别能力等。既应考虑一次性的绝对精度，还应考虑多次重复或持续用力时允许的变化量。

5.1.3.1 任务反馈

应考虑任务反馈对精度的影响，应尽量提供变量的直接测量作任务反馈。

当对行为有精度要求时，应提供行为合适性的有意义和即时的反馈，应考虑反馈响应延迟、反馈信息的格式和精度等因素对行为的影响。

5.1.3.2 差错容限

应考虑人员行为的差错容限和差错后果，设计应允许系统从差错中恢复。如果差错后果是不可接受的，则应尽量提供联锁以减少差错的可能性。

5.1.4 培训

应从影响设备使用和执行规程的角度考虑培训，应注意：

- a. 向操纵员提供设计惯例（如色标、图形代码以及标准化了的运动方向等）作为他们培训的一部分，提供的目的仅是便于操纵员操作；
- b. 硬件和文件只有受过适当训练的操纵员才能有效地利用和维护。

5.2 环境考虑

5.2.1 温度、气流和湿度

应考虑适于人员工作的环境温度、气流和湿度的限值。限值应随工作性质而变化。当环境条件超过限值时，可能出现人员行为质量降级，这可能由以下因素引起：

- a. 不舒适引起注意力不集中；
- b. 附加衣服的限制；
- c. 具体生理影响。

这三种因素互相影响，应进行统一研究。

应在综合考虑电厂设备的环境条件和电厂人员舒适要求基础上，确定环境的温度、气流和湿度要求。

5.2.2 照明和音响

5.2.2.1 应考虑最适合特定人员工作的环境照明水平。因为若照明不满足任务要求时，特别是不能看清正在进行的任务细节时，就不能安全、可靠地完成任务。同样，当环境照明超过任务要求时，也可能因眩光而看不清细节。

应注意到，一般不会在总的环境照明水平上出问题，往往是局部照明变化引起的反差或眩光问题。

5.2.2.2 当环境中使用几种颜色时，应考虑颜色相互作用对人员行为的影响。

5.2.2.3 应考虑适合人员工作的环境噪声水平，因为周围环境噪声的总水平及谱的成分可能通过直接的生理影响或者因妨碍通信影响人员行为。

5.2.3 工作场所的大小、几何形状和布置

在考虑与要完成的任务及执行任务的人数有关的问题时，应考虑到工作场所的大小、几何形状和布置可能影响人员行为。

应考虑足够的空间和合适的几何形状以适合预计在工作场所的人数、允许的正常走动（包括穿上特殊的笨重衣服）和预计的运输装置。

工作站的配置应使得人员能看清显示器和控制器，便于操作，以及在需要时能与其他人员通信。

5.2.4 核辐射和其它环境危害

应考虑与威胁健康的试剂、毒素、物质和能量有关的环境问题，应从最早的设计阶段起就在工作场所设计、功能分配、人员任务设计等方面致力于使人员不暴露在上述环境中。当

可能暴露时,应考虑可能的危害影响和各种防御措施,如防毒面具、防护物和暴露控制等。

5.3 设备考虑

5.3.1 可操作性

对系统中的显示器、控制器等设备的可操作性在人因工程方面应特别注意:

a. 对必须使用和响应显示器的人员来说,显示器应是可用的,它包括:能见度、可读性或清晰度、存取信息的能力、显示吸引注意的能力、显示格式的含义(即不解释能读懂的能力)和输出的读出精度等;

b. 应检查所有的控制器,应考虑所需的操作力或操作力矩、精度要求、响应时间、操作方便等;

c. 同时应考虑控制器、显示器相对于操纵员的具体位置,使之便于操作。

5.3.2 应用

设备的人因工程评价还应考虑设备的实际应用。

对某一给定设备,从人因工程观点,对某种应用可能是优秀的设计,但对另一种应用却是不可接受的。例如,对某些应用,高精度读数要求数字读出,但是对检验状态的读数、迅速比较几个独立读数、观察趋势信息或迅速变化的数据等应用,数字读出可能不合适。一个给定显示是否合适是由需要显示的信息类型(如精度、定量还是定性、历史的还是趋势性的或仅是合、断的两态信息等)和操纵员必须怎样使用这些信息所决定。同样,控制器的人因工程评价应考虑预计用途、用哪个部位(手、足或手指)操作、连续输出或间断输出、要求的反馈、时间、频率和力度等。

5.3.3 维修

设备的人因工程评价应考虑与设备维修人员的接口,包括:

- a. 设备是否便于装配和拆卸;
- b. 维修工具的适用和易用性;
- c. 部件互换性;
- d. 防止不正确装配所必需的措施;
- e. 培训水平和维修技术水平。

5.3.4 可达性

设备的设计和安装应综合考虑可达性要求,应使其在运行和维修时易于接近和操作。

当要求接近时,应根据任务要求(如预计的使用频度、专用工具、就地环境条件、时间限制等)确定优先次序。

某些情况下,例如控制器的不小心驱动可能产生较大的电厂瞬态时,应适当考虑减弱设备的可达性,例如加防护栏、罩板或考虑双手操作或两步操作。

5.3.5 可试验性

为了便于验证运行正确性和便于维修,在可行的范围内设备应是可试验的,试验结果应是明确的。

设计时应考虑试验设备的要求,应为执行任务的试验人员提供足够的空间。

5.3.6 可信任度

应考虑设备的可信任度，特别要考虑设备的可信任度如何影响人员的操作。接口设备应尽可能可靠以确保操纵员信心。

在瞬态情况下，一般的初始反应是假设指示器失灵，因此设备设计时应考虑下述问题：

- a. 如何确定哪个设备失灵；
- b. 设备失灵时，操纵员恰当的响应。

为解决上述问题，可采用冗余、多样性、备用设备或正确指示失灵设备等措施。

5.3.7 标准化惯例和术语

人机接口设备应尽量标准化，以便最大限度地减少出错可能，便于培训和运行。

5.3.7.1 应当建立设计惯例并应始终遵守。有些惯例涉及与尺寸、形状、颜色、方位等特性有关的编码或含义，有些可能与部件的相对位置有关，例如“A”在“B”的上方或左方，显示在有关控制的上方等，有些可能与控制或显示器指针的方向有关。

5.3.7.2 已知有公认惯例的地方，必须确定预计用户的现有惯例，并保证这些惯例与公认惯例和期望一致。

公认惯例是指根据应用历史预先制订的常规，这些惯例可能随不同的文化、工业而变化，是仅对某一群人而言的。

5.3.7.3 应在所有的文件、标签和图纸中，使用设备的标准化专用语和缩写。

5.4 人员考虑

5.4.1 生理限制

应考虑人体限制，如手、足和关节的力量和运动范围，对温度及其他环境应力的承受能力和其他在生理疲劳和生理损伤方面的限制。

5.4.2 人体测量学

工作场所的布置应适合相关人员的人体尺寸，如可达距离、座位高度、视线和物理空间等。应确定使用人员与维修人员的相对密度。

人因工程设计过程中，应使用适用的人体测量学数据源（数据随年龄、性别和种族的不同而变化）。

5.4.3 感官限制

应考虑人体感官的感觉能力及其限制，显示信号必须超过能感觉的最低阈值，但不能过于超过承受水平，不能使感觉饱和。应考虑最低分辨水平以便分清不同信号、鉴别不同颜色，从而能引起注意或能监视到它们。

5.4.4 记忆

应考虑人员长期和短期记忆的性质和限制，这对设计显示格式、制定指令和制订规程有重要意义。

为了帮助人员回忆和运用其知识，应当考虑在接口设计中采用助忆设备或助忆功能。

5.4.5 决策

应考虑人员进行决策和执行决策的能力和限制，应使系统组成部分和接口设计便于决策。应考虑当要求人们过快地反应（速度应力）或承受过多的不同刺激（负荷应力）时，人员决策行为的准确性就会下降。

EJ/T 797—93

在确定功能要求时,应考虑不正确决策的风险,应对每种可能的选择进行评估。为了防止或尽量减少在不确定情况下进行决策,设计应该简化或突出重点。

5.4.6 经验与教育水平

任务要求应与执行人员的能力和知识水平一致,规程和文件应不超过使用人员的阅读和理解能力,设计应反映人员的资格、技术专长和培训水平,应综合考虑上述各方面。若机器与系统各部分的设计对运行人员的要求很低,则系统就复杂,就需要经过高级培训的维修人员。

5.4.7 人的适应能力

人具有广泛的适应能力,甚至在一个不完善的设计情况下,经过一段时间或经过训练,有时也可以充分地适应,从而补偿了设计缺陷。当根据过去的经验与实践评估现有设计和图纸以进行新设计时,应努力保证没有被人适应性掩盖的设计缺陷,因为在正常条件下,人的适应性可能补偿设计缺陷,但在紧张状态,人可能丧失适应能力,从而不能控制事态发展或补偿固有的设计缺陷。

5.4.8 使用人员的认可

系统设计时,应考虑使用人员的认可与否会严重影响系统性能,当使用人员接受设计时,他们就可能适应和弥补设计缺陷,但如果由于某些原因,使用者认为系统是不可接受的,他们就不打算去弥补设计缺陷,从而不能正确使用系统,使系统性能降级。

影响认可的因素可能与具体设计的特性无关,但可能与声誉、经济性、已察觉的安全性或不愿变化等原因有关。

5.5 运行考虑

5.5.1 运行安全

核电厂的运行安全涉及许多重要事项,如维持反应堆冷却剂装量,防止放射性释放和保证停堆时排出衰变热等。在所有重要事项中最要注意的是运行不出错。

应对运行方式及活动进行结构分析,以便通过能改善人员行为和减少人员出错的人机接口改进运行安全。

5.5.2 长期连续运行

良好的工作空间设计、良好的环境设计以及良好的人机接口能减少值班运行引起的应力(过强的应力常造成出错),良好的工作空间设计应同时考虑休息和活动需要的空间。

5.5.3 值班循环

运行值班是周期性循环的,以减轻人员社交和体力矛盾。倒班会影响人员的生理节奏,形成各种应力,应通过良好的工作空间设计和良好的环境设计来缓和应力问题。

5.5.4 值班交接

工作空间设计应考虑接班时能容纳两个值班组。应考虑正确的交班法以保证下个班组接收和了解电厂所有系统和设备的当前运行状态。

5.5.5 正常和应急运行

核电厂运行包括长期的功率运行、短期的启动、停堆运行以及更短期的不常有的异常和应急运行。为提高人员反应能力应用人因工程时,应考虑操纵员与执行应急运行频度(相对

EJ/T 797—93

正常运行而言)有关的实践和经验,应考虑在设计基准事件时所加的任务负荷的影响。

5.5.6 全厂运行

运行班组通常要操作大部分或全部电厂设备,为了减少混淆和出错可能,应尽量使电厂所有设备的人机接口标准化。

5.5.7 远程操作

电厂的设备和系统一般由远离设备的人机接口进行操作,接口对远距离操作至为重要,可通过各种技术,如功能分组、静态模拟、动态模拟、图象显示终端和良好标牌等提供有关指示,实现信息反馈,改善人机接口。

5.6 文件考虑

设计系统时,应当确定和准备所需文件及其内容,应保持文件反映现行状态。

5.6.1 电厂规程

电厂规程应该技术上正确,文字易于阅读理解,应说明规程的目的及预计的电厂响应。应根据任务分析和怎样完成任务的决定制订规程。任务分析应包括如下细节:预计的任务结果;任务的每一步是由哪个人完成的;为完成每一步任务所要求的控制和显示是可实现的、对完成这些任务是合适的。

应当恰当地表述电厂规程,确定最适宜的格式(如流程图、方块图等)和显示介质(如文字页、图象显示等)以及特定的信息显示细节。应考虑语种选择、用户的阅读能力、印刷(字体及大小、颜色以及规程和其他应用文件的相容性,如命名法)等。

5.6.2 设备手册

在制订每一设备文件时(如说明书、手册、部件清单和其他文件),应考虑人因工程,包括:

- a. 文件的充分性和技术准确性(应详细说明设备的使用和维护);
- b. 文件格式(应便于使用);
- c. 理解文件所需要的阅读水平、技术推理和包括插图质量在内的文件清晰度等。

5.6.3 计算机软件

在软件研制、使用、维护中,以及人员必须与计算机接口的地方,或计算机输入、输出的控制和显示等方面应考虑人因工程。

5.6.4 技术规格书

系统、设施和部件技术规格书的功能要求中应包括人员行为要求。在初步技术规格书和研制规格书中就应当考虑对系统中人员使用的所有限制,从而可以在早期设计过程中考虑它们。

5.6.5 工程图纸

工程图纸的绘制应该应用人因工程原则,工程图纸应该反映所有用户的需要。

6 方法

应考虑在 EJ/T 798 中说明的下列技术和方法。

6.1 非观察法（书面评价法）

下述非观察法是可接受的：

- a. 人因调查表；
- b. 追溯性评价；
- c. 任务分析；
- d. 逻辑树。

6.2 观察法

下述观察法是可接受的：

- a. 演习或对话（动态任务分析）；
- b. 时间进程分析；
- c. 性能自动跟踪。

6.3 专家意见法

下述专家意见法是可接受的：

- a. 表格法（Delphi法）；
- b. 讨论法；
- c. 成对比较法；
- d. 比例估计法。

6.4 实验法

7 在设计、运行、试验和维修过程中执行人因工程

应根据对设计、运行和维修过程的整体的系统的研究，将人因工程应用于核电厂有重要人因接口的系统、设备和设施中。在这个过程中，最初的步骤将因新设计或修改设计而变化，但无论哪种情况，都应该将人考虑为所设计系统的一个重要部分。为了能成功地实现分配给运行人员或维修人员的功能，从而满足系统设计的总目标，应该在设计的初始阶段就采用人因工程，并贯彻在整个设计过程中。应审查影响人员行为的基本因素，并制订应用适当的人因工程评价方法的计划，以便说明哪些基本因素与它们的特定应用有关。为了满足人因工程的特定应用，所用的人因工程方法及其应用顺序是可以变化的。

7.1 计划

图1的流程说明了在设计、运行和维修过程中全面应用人因工程计划的典型过程。该流程图对新设计或修改现有设计有相应的明确的入口。制订这样一个计划的目的是在设计过程的早期就应用人因工程，这样能减少设计反复。对过程中应用人因工程流程图的说明在7.1.1~7.1.2中讨论。

7.1.1 新设计

新设计包括对新核电厂的系统、设备或设施的设计，或者对已有核电厂增加的新系统、新设备或新设施的设计。确定人因工程的评价深度应考虑设计的标准化、系统复杂性、人员出错的后果及对安全的影响等。人因工程应用于新系统设计应是计划过程的一个重要部分，通常它可能包括7.1.1.1~7.1.1.2.2的全部或某几步。

7.1.1.1 确定要求

应确定新系统、新设备或新设施的最高一级的设计目标。

7.1.1.2 系统分析

应该根据最高一级的设计目标，制定特定的目的以及包括人因工程在内的那些可度量的性能要求或准则。应该确定在随后的整个设计过程中的限制。

7.1.1.3 功能分析

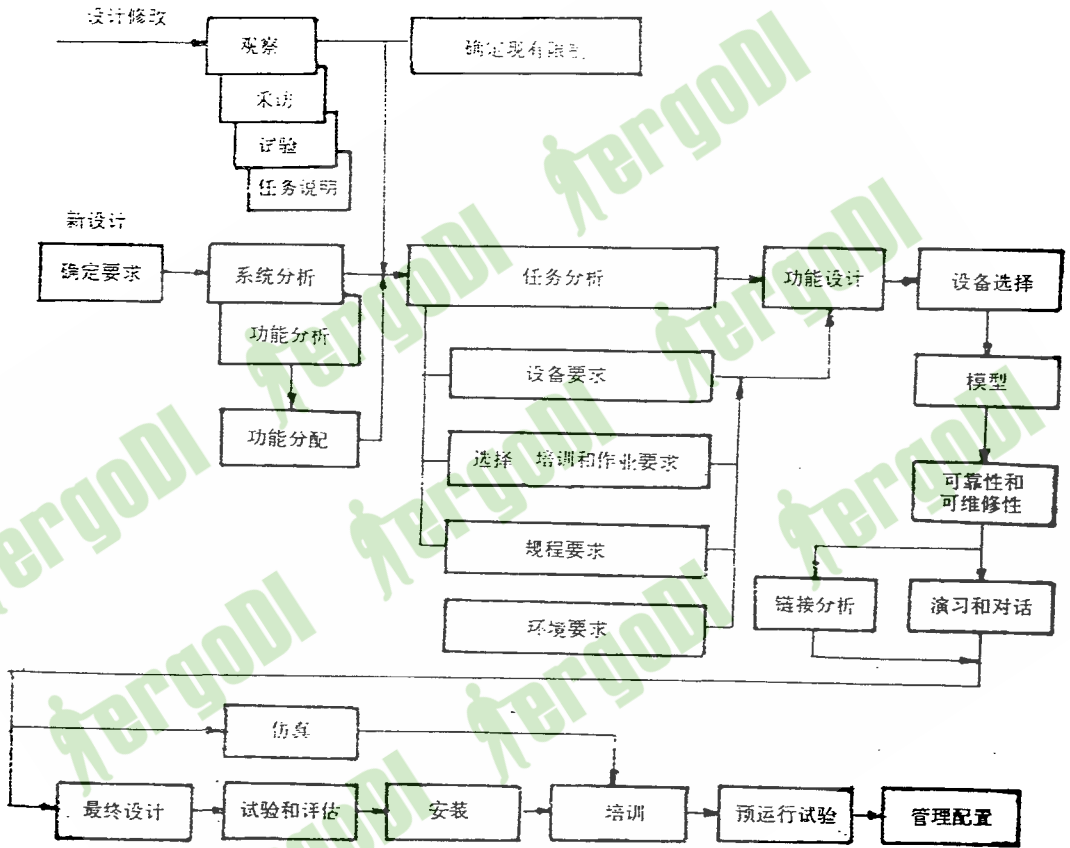


图1 HFE 在设计过程的典型应用

应该确定为满足系统设计目标所要求的功能。

7.1.1.4 功能分配

应该把功能分配到运行人员、维修人员、机器或者分配给人与机器的联合体。

7.1.1.5 任务分析

对每个功能，应该分析由实现功能的运行人员及维修人员所完成的任务活动。对已有设计来说，任务说明可适当取代任务分析。

7.1.1.6 设备要求

应该根据任务分析确定为实现每个任务所必需的控制、显示器以及通信设备的要求。

7.1.1.7 选择、培训和作业要求

应根据任务分析确定人员的行为要求和任务，从而确定人员选择和培训要求。对已有设计，可要求再培训。

7.1.1.8 规程要求

根据任务分析，应制订规程要求以便把运行人员、维修人员和设备构成一个整体来完成每项功能。对已有的设计，可能要求修改规程。

7.1.1.9 环境要求

应该考虑环境条件对运行人员和维修人员的影响，系统、设备和设施的设计应该适应运行人员和维修人员。对已有设计，如果需要，可要求对系统、设备或设施进行设计修改以适应运行人员和维修人员。

7.1.1.10 功能设计

根据任务分析和设备要求，应作出几种可满足要求的硬件和软件的功能设计，并进行分析折衷，选择一个较好的功能设计。若对已有设计进行修改，则可能受到当前某些约束和限制，若可能，应作出几种可供选择的功能设计，并且通过折衷，选择更好的设计。

7.1.1.11 设备选择

在选择执行功能设计的特定设备时，应采用人因工程有关硬件的考虑。

7.1.1.12 模型

根据设备选择和功能设计，应该利用系统、设备或设施的样机或模型（若以前未进行过研究），以便评价人因接口的相容性。根据测量结果再进行设计和设备选择。为了对已有设计进行修改，应考虑做一个模型和研究几种可供选择的设计修改。

7.1.1.13 可靠性和可维修性

为了在最终设计前提供适当的输入，应该评价可靠性和可维修性。

7.1.1.14 演习和对话

在任务分析中由文件规定的操作应该用模型来实现，并将各个步骤写成文件以便评估人因接口和完成功能的能力。

7.1.1.15 链接分析

与演习和对话并行进行的，还应该分析为执行任务所要求的运行人员和维修人员的活动、通信及相互影响，并形成文件。

7.1.1.16 最终设计

应最终完成系统、设备或设施的软件和硬件设计。

7.1.1.17 最终试验和评估

为了证明已满足所决定的全部人因工程准则和要求，并且也满足了功能要求，应进行包括运行人员和维修人员在内的整个系统的最终试验和评估。设计缺陷应予以纠正。

7.1.1.18 仿真

应能为人员培训提供有重要人因接口的、涉及复杂过程和相互影响过程的系统、设备或设施的动态仿真能力。

7.1.1.19 安装

应该完成现场安装。

7.1.1.20 培训

运行人员和维修人员应在仿真设备或在真实系统、设备或设施上接受培训。

7.1.1.21 预运行试验

应该对已安装完的设备进行功能试验以验证其是否满足了功能要求。对安装缺陷应予以纠正。

7.1.1.22 管理配置

应该保持对设计配置和程序（包括对以后在整个设计寿期中全部设计修改的人因工程评价）的文件化管理。

7.1.2 已有设计的修改

已有设计的修改包括对核电厂已有系统、设备或设施所作的再设计或修改。确定人因工程的评估深度应考虑到标准化、系统复杂性、人员出错的后果以及对安全的影响等。将人因工程准则应用于已有设计修改应是一个系统工程过程的重要部分。它一般包括一系列起始步骤，如收集已有设计功能的数据、功能分配以及设计限制方面的数据等。这些起始步骤可以包括 7.1.2.1~7.1.2.5 的全部或某几步。

7.1.2.1 观察研究

应当观察研究在现有设计中运行人员和维修人员的行为。

7.1.2.2 采访

应该采访运行人员和维修人员以确定他们要完成的任务以及他们用以完成任务的设备和规程。

7.1.2.3 试验

应该试验，并尽可能定量试验现有人机接口在实现运行、试验和维修功能时的能力。

7.1.2.4 任务说明

应该说明运行人员和维修人员为完成每一功能所必须执行的任务。

7.1.2.5 确定现有的限制

应该确定对设计修改所要施加的某些限制，它们是由于原有设计及外部限制（如时间、经费等）引起的。

就这一点而言，对一个已有设计的修改过程应遵照与从任务分析（7.1.1.5）开始的新设计相同的途径。

7.2 编制在设计、运行、试验和维修过程中的人因工程文件

为了提供一个人因工程用在设计、运行、试验和维修过程的可追查记录，应形成相应的文件并使文件反映现状。

7.3 运行经验审评

应该监督核电厂与人因有关的设计、运行、试验和维修性能，应审评诸如事件审批报告、维修和监督实验报告、反应堆事故停堆报告等文件，以便考虑人因工程要求的设计修改和规程修改。如果需要，应按7.1所述方式执行对设计、运行、试验和维修的修改。

附加说明：

本标准由全国核仪器仪表标准化技术委员会提出。

本标准由核工业第二研究设计院负责起草。

本标准主要起草人：华爱媛、奚绍黄。

本标准参照采用美国标准 IEEE std 1023-1986 《人因工程用于核电站系统、设备和设施》。

