



湖南省研究生暑期学校
核电站安全与人因工程系列课程（1）

人因分析面临的问题及最新进展

张 力 教授

南华大学人因研究所
2010年7月



目 录

- 一、人因对系统安全的作用与影响
- 二、人因分析面临的问题
- 三、人因分析研究的发展趋势及最新进展
- 四、HRA的发展、方法与研究现状

一、人因对系统安全的作用与影响

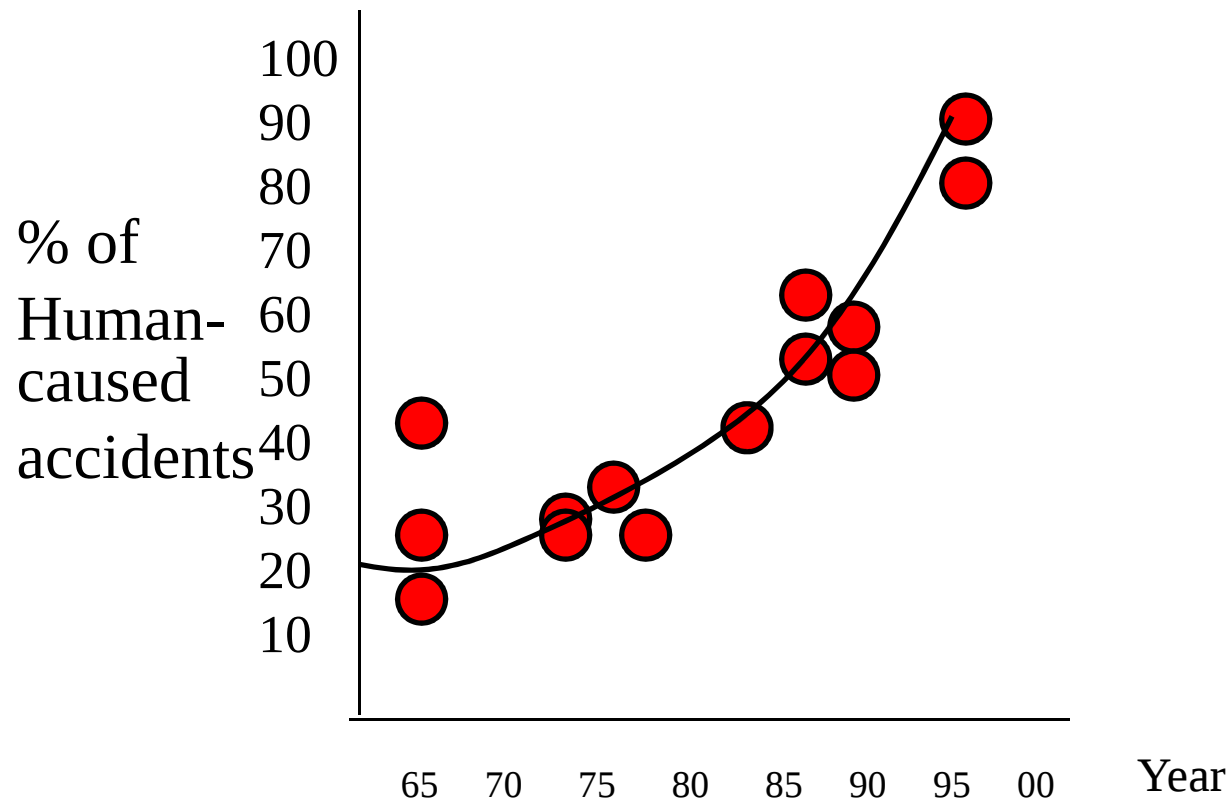
1.1 人因事故的危害性和严重性

各行业中人因事故所占比例

行业名称	人因事故的比例	资料来源
航空	70%—80%	中国安全科学学报，2002，12（5）
道路交通	57%完全由人因引起，90%包含人因的贡献	Human Error in Road Accidents.Green M., John W.Senders
石油化工	60%以上	日本，1991
核电	60%以上	Hollnagel E.CREAM.2-3.Elsevier Science Ltd.1998
矿山	85%	中国，1996
钢铁冶金	90%	中国，1996

Technology Impacts

Percentage of Large Scale System accidents that have been identified as “human caused” (data from Hollnagel-1993)





人因事故：

■ 人机系统：

70%—90%

■ 核电站(21世纪初)：

国际 55%—85%

国内 70%

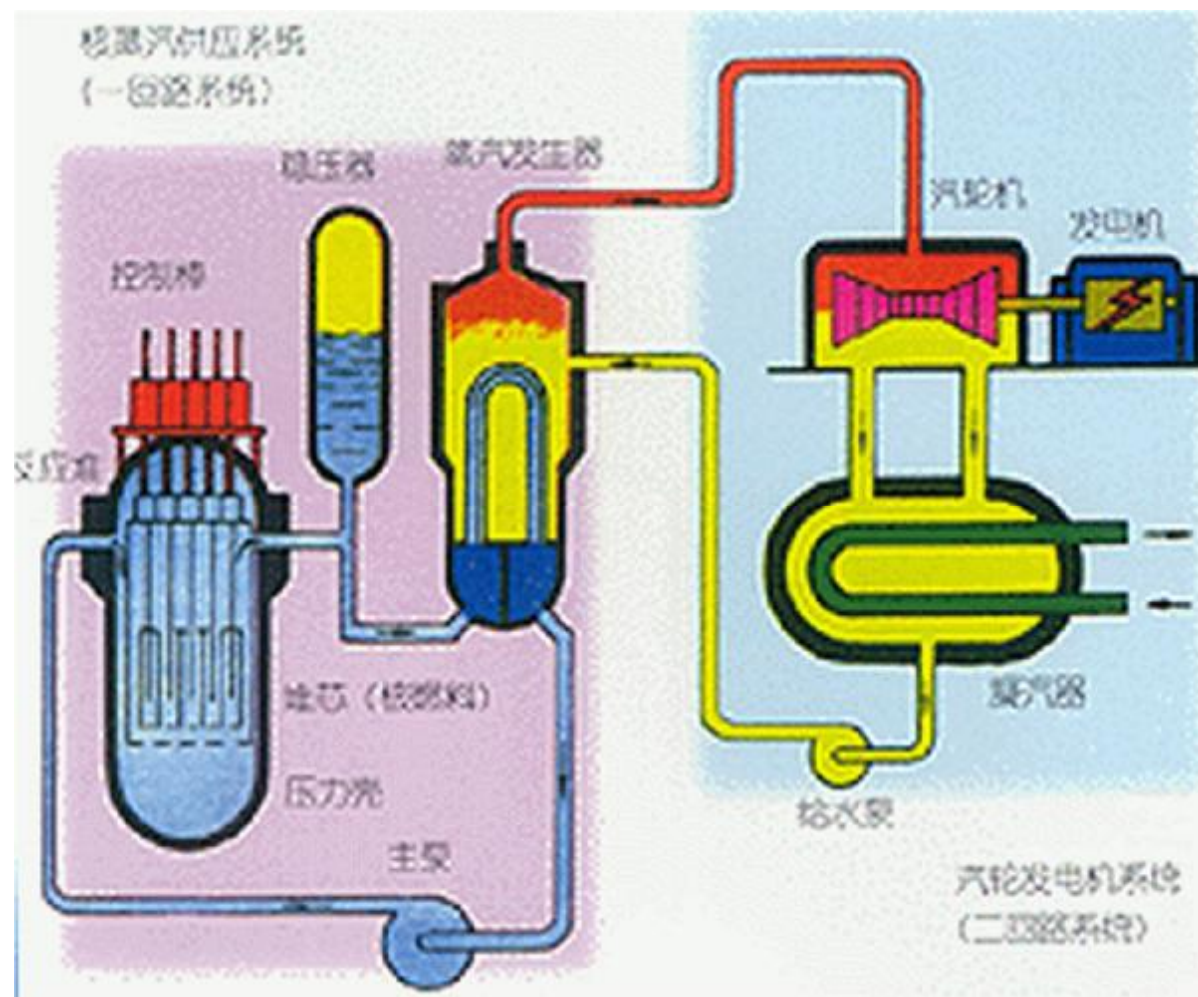


■ 近年来公众熟知的一些重大人因事故

时间	事 件 名 称
1979/3/28	美国三哩岛核电站事故
1986/1/28	美国挑战者号航天飞机失事
1986/4/26	前苏联切尔诺贝利核电站事故
1988	前苏联Phobos!号火星探测卫星失事
1993/8/5	深圳危险品仓库大爆炸
1994/12/8	克拉玛依剧院大火灾
1999/9/30	日本茨城县东海村的JCO核原料加工厂临界事故
1999/11/10	美国火星气象卫星坠毁
2000/8/12	俄罗斯“库尔斯克”号核潜艇沉没事件
2001/3/8	美军核潜艇“格林维尔”号撞沉日本渔船“爱媛”号事件
2001/7/5	俄罗斯一架图154客机在伊尔库茨克机场突然坠毁事件
2002/7/1	俄罗斯一架图154飞机和一架波音757飞机在德国瑞士边境附近的康士坦茨湖上空约35400英尺高度相撞事件



压水堆原理示意图

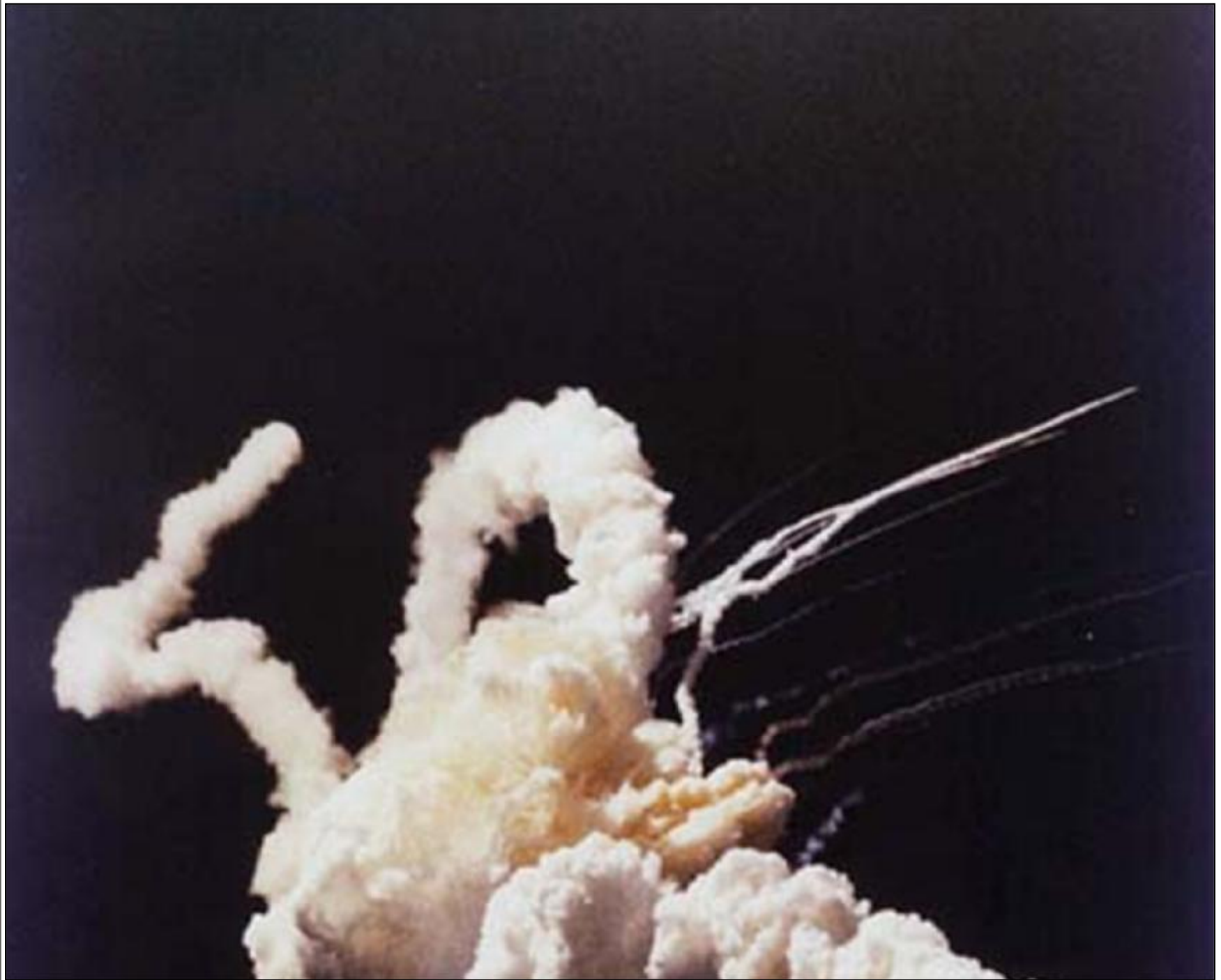
















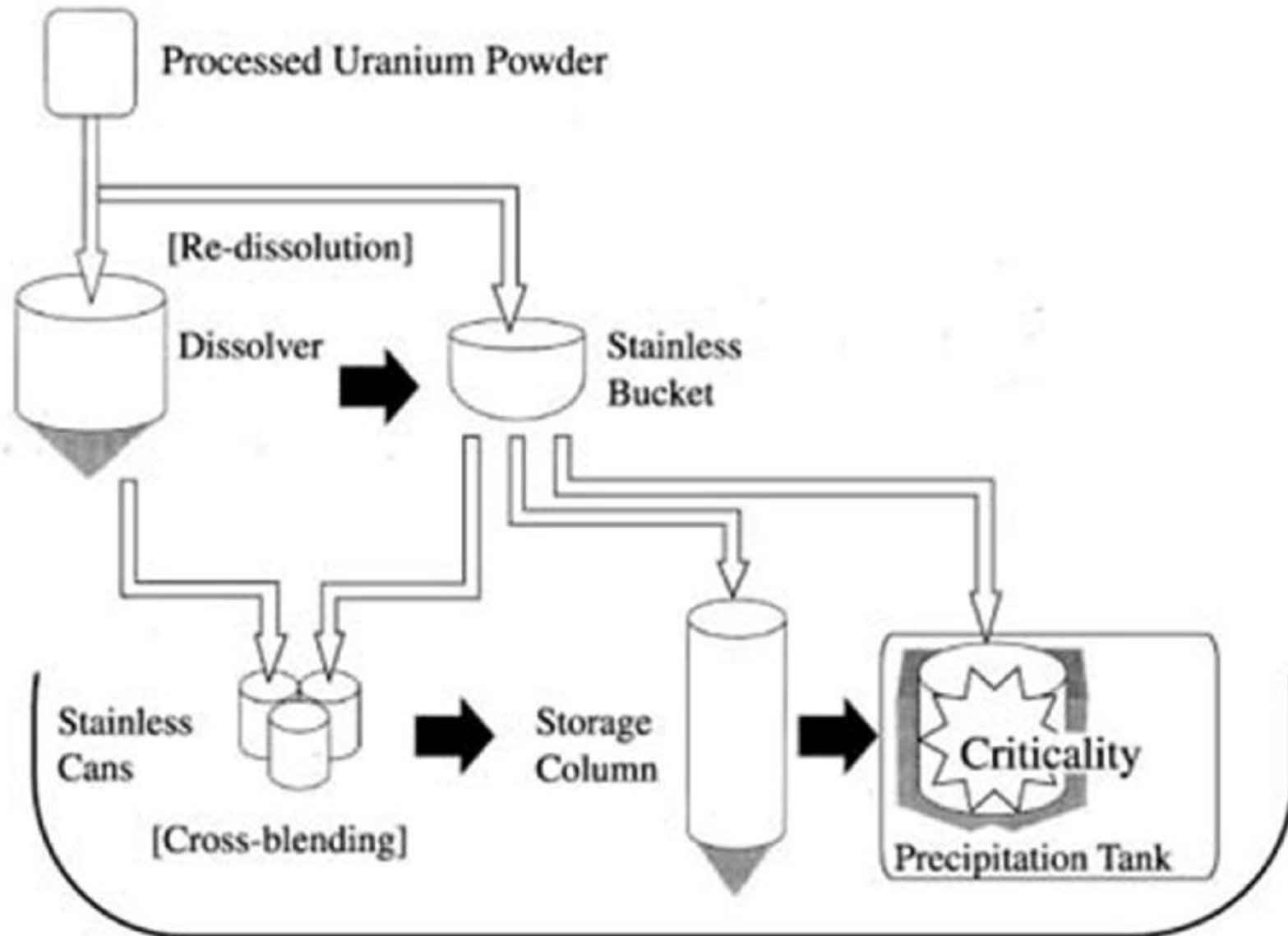








Transition to Catastrophe







1.2 大规模复杂人一机系统安全问题产生根源

- 系统自身的技术水平;
- 人与技术系统、环境的协调程度;

随着科技进步,系统设备(硬件和软件)可靠性不断提高,运行环境得到大的改善,系统整体安全程度不断得到提高,系统的事故率也呈下降趋势,但系统事故中人因失误所占的比例反而呈上升趋势,技术的进步并没有使人因失误的相对数量得到减少。

- 1) 人仍是系统的中心和主宰者
- 2) 人固有的内在弱点
- 3) 复杂社会技术系统的特征及对人因的影响



1) 人仍是系统的中心和主宰者

人的作用的不可替代性。

尽管系统的自动化程度提高了，但归根结底还要由人来控制操作，要人来设计、制造、组织、维修、训练，要人来决策，即使所谓的智能系统也仅只是局部替代最终决策的前期动作，因而，人在系统中的作用不是削弱了，而是更加重要和突出了。

系统自动化程度的提高带来了人因失误的迁移。

由运行中操作型的直接人误转变为对自动化系统设计、维护、测试、检测、管理等间接人误。

系统智能化程度的提高导致失误类型由疏忽等较低层次的认知失误向诊断、判断、决策等较高层次的认知失误类型转变。



2) 人的内在弱点：两大方面

■ 机体生理界

体力界限、反应速度界限、精度界限、生物节律界限和对外部环境变化的容许界限等。

人作为一种现实的机体不可能随心所欲、完美无缺。



主体的意识界限

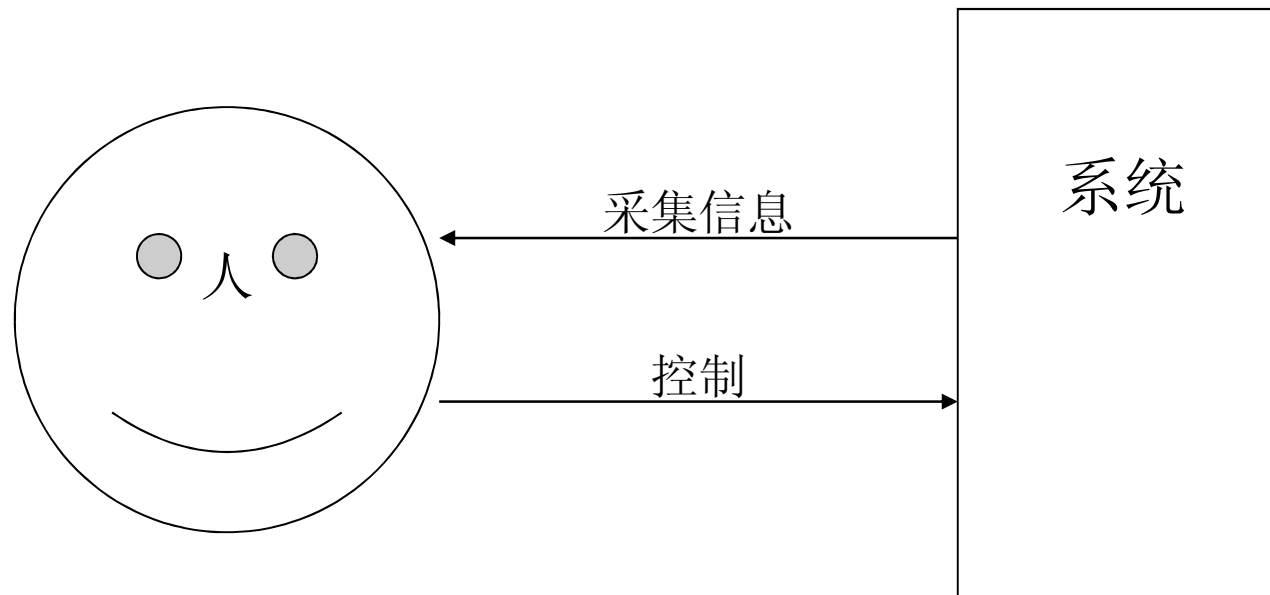
主体内部意识和动机、期望，实践基础上的感知，在环境条件下的情感，对感知的提炼和把握规律性的能力，以及对自我行为的规划能力等。

人作为一种现实的反映意识体，它与机体的生理界限和客观事物的真实性具有相当程度的镶嵌性和背离性，认识上的弱点总是客观的。

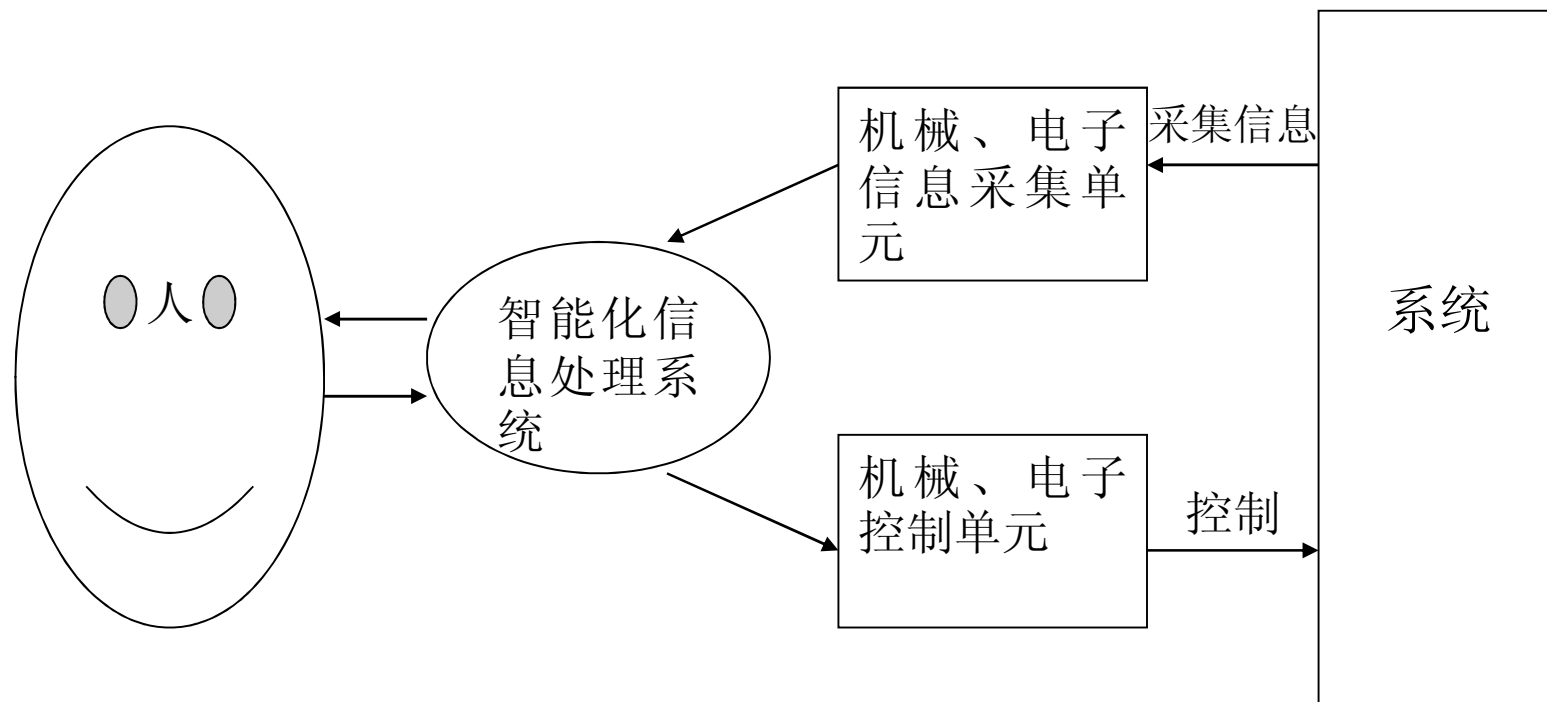


人生理、心理、社会、精神等特性的并存，导致了人的复杂性、灵活性、适应性和可塑性，也决定了人在不同条件下行为的难以控制性、不确定性和随机性，并且其失误机理的复杂性远远超过了机械、电子设备，使得对人因失误的辨识和预防比硬件要困难的多。

3) 复杂社会技术系统的特征及对人因的影响



早期手工作业系统中人与系统的关系



现代自动化系统中人与系统的关系

p 复杂社会技术系统的特征 (Reason, 1990)

- | 系统更加自动化
- | 系统更加复杂和危险
- | 系统具有更多的防御装置
- | 系统更加不透明



■ 系统更加自动化

操作人员的工作由过去以“操作”为主变为监视—决策—控制。人因失误发生的可能性、尤其是后果及影响变得更大了。



系统更加复杂和危险

大量地使用计算机使得系统间相互作用更加复杂、耦合更加紧密，同时使得大量的潜在危险集中在较少几个人身上（如中央控制人员）。



■ 系统具有更多的防御装置

为了防止技术失效和人误对系统运行安全的威胁，普遍采用了多重、多样专设安全装置。这些装置大大提高了系统的安全性。但另一方面，对这些安全装置的依赖性又降低了操作人员对系统危险性的警觉性。同时，这些安全装置仍可能由于人误而失效——如切尔诺贝利核电站事故（实验过程中关闭安全保护装置），因而它们也就是系统最大的薄弱环节。



系统更加不透明

系统的高度复杂性、耦合性和大量的防御装置增加了系统内部行为的模糊性，管理人员、维护人员、操作人员经常不知道系统内正在发生什么，也不理解系统可以做什么。



预防与减少人因事故（事件）的策略和手段基于对系统中的人因作出准确分析与预测。



1.3 相关概念

- 人因可靠性:

人对于系统的可靠性所必须完成的活动的成功概率。

人的可靠性、人员可靠性

- 人因失误(human error)

人未能精确地、恰当地、充分地、可接受地完成所规定的绩效标准范围内的任务。

人员失误, 人员错误, 人的失误或人误

- 人因可靠性分析 (HRA: Human Reliability Analysis)

以人因工程、系统分析、认知科学、概率统计、行为科学等学科为理论基础, 以对人的可靠性进行定性与定量分析和评价为中心内容, 以分析、预测、减少与预防人的失误为研究目标。



人因分析

广义：

分析人在系统中的功能、作用和影响。

狭义：

特指人对系统可靠性的影响，包括传统的人因可靠性分析（HRA）、人-机界面分析、人的特性分析等。



二、人因分析面临的问题

2.1 人因分析的难度

- | 人的特性：生理，心理，社会，文化，变化多样性和复杂性
- | 不仅需研究行为者本身，还需研究行为者与系统中其他元素的关系
- | 人与人之间的个体差异，致使研究结果具有不确定性，或难以有准确性
- | 对控制人行为、特别是认知行为的大脑机能，至今尚未完全弄清楚
- | 人因失误的突发性和无序性，使得其数据收集和掌握规律很困难，所以人因数据库建设多年进展缓慢
- | 人员失误构成潜在的失效，致使大量人因信息丢失



2.2 对人因的再认识

- | 人适机 → 机宜人 → 人机匹配 → 以人为中心；
- | 从个体到“系统中、组织中的人”，人的社会属性和精神属性，组织管理对人员可靠性的作用；
- | 组织也可能犯错误，组织错误归根到底也是一种人因错误，且对复杂系统而言，组织错误是对其安全性最大的潜在威胁；
- | 典型的组织错误包括管理制度缺陷、不充分的培训、管理者的错误决策等；
- | 由于个体失误和组织失误的并存，人因失误只能通过不断加强管理、改善管理来减少或弱化它的影响。



2.3 环境与人行行为的关系

- 环境是围绕主体，并对主体行为产生影响的外界事物。
- 人通过各种感觉通道从环境中获得关于行为意义的信息，并运用这一信息，建立支配某种心理过程的动机和决定行为的方式，进而通过行为的实施来适应与改造环境。
- 在相对稳定的条件下，人力图适应环境，以降低自身的损耗，同时又力图改造环境，以满足自身更高的需求
- 人类自然属性与社会属性的并存，使得在一定界限内，人与环境保持着一种相互协调、相互适应的动态平衡。



2.4 人因可靠性分析（HRA）方法

2.4.1 HRA应达到的三个基本目标

- 辨识什么失误可能发生
- 确定这些失误发生概率
- 如何减少失误及减轻其影响

- 完整的HRA应包含的项目

- ü 任务分析：描述运行人员应当做什么

- ü 失误分析：确定什么可能会出错

- ü 表现形式：表达事件逻辑和量化结构

- ü 量化：推算失误的可能性

- ü 失误减少：减少人误对风险的影响

- ü 质量保证和资料编制：有效性，信息资源

2.4.2 HRA方法的有效性、可用性和可靠性

有效性

有效性：HRA方法能够客观、真实、准确地测量系统框架中的确可能发生的人因失效事件。在数学意义上，

有效性：有效方法能够被测量对象测量参数与参数。被测量对象之间的关系



可用性

可用性刻画该方法意欲测量的参数与所测的变量之间的关系

可靠性

可靠性：测量的一致性，其数学意义是刻画在不同时间或被不同用户所测得变量之间的关系

有效性、可用性、可靠性的涵义

有效性	完备性：覆盖所有类型的人员行为；可分析所有类型的人 误；可分析影响行为的所有因素；满足不同精度要求 完整性：定性分析，定量评价 准确性：对人机交互行动准确建模，真实反映现实，包括 任务、人-机界面、人员水平、相关性、规程等 灵敏性：输入量微小变化能引起输出量变化
可用性	数据可用性：有丰富的、多种可供选择的数据，包括本系 统的原始数据（经验数据）、模拟机数据、实验 数据、专家判断等 程序化：技术规范化、标准化 适用性：适用范围广 易用性：培训成本低
可靠性	一致性：不同的用户或同一用户在不同时间对一项给定的 任务分析所得结论一致 数据可信性：基本数据可信可用 可证明性：所有的假设、模型和数据可证明或可测试 可比较性：分析评价的结论与其它（合格的）方法评价结论 一致



2.4.3 受限于S-O-R模式

- 基于S-O-R（刺激-机体-反应）模式:预测“R”，注意力集中“S”；
- 作业者被作为“反应器”，而不是“行为者”；
- 改进S-O-R模式：更多的注意放在“O”，建立以人为中心的模型，强调作业者的特征和所处环境，特别是强调作业者所遵从的规则和其文化、态度、目标。



2.4.4 人因事件的动态性

- 人与系统相互作用的动态性
- 酝酿、形成及发生的迭代性、交互性

人因事件一般不是在时间的某一特定点就完成了它的酝酿、形成及发生，而是迭代的、交互的过程失效。然而现有的HRA方法几乎不能处理人因事件的动态性。



2.4.5 实用性欠缺

- HRA多为简化模型，距真实系统差距大；
- 可供模型使用的数据极为缺乏，常不得不由专家判断代替。



2.4.6 模型间的接口问题

- 模型的专用性：模型特定适用范围；
- 人的行为的多样性导致多个模型组合使用，模型间接口的合理性受到质疑，

如： **THERP+HCR**接口：时间分割



2.5 人误机理问题

- 认知行为特性
- 行为模型
- 失误类型
- 失误内部机制
- 失误源
- 失误形态
- 失误背景
- 失误结构
- 失误观测
- 控制管理



2.6 人因分析的客观性与一致性问题

- 源于实际的HRA数据缺乏且可用性差
- PSFs（人员行为形成因子）的分析与量化：非结构化，极度依赖使用者的判断



2.7 人因分析数据的可用性

人因数据库：

- 人员可靠性分析手册
- 美国的NUCLARR
- 英国的CORE-DATA
- 日本的IHF和HFC库
- 法国电力公司（EDF）M310



尚待解决的问题：

- 数据的可靠性；
- 数据的普适性，不同领域的认知结构和信息处理机制的差异；
- 他国数据的可引用性；



2.8 人因分析中的文化因素

- | 科学素养
- | 道德水准
- | 心理素质
- | 工作态度
- | 思维习惯和工作作风
- | 安全文化



2.9 组织管理层的人因分析

┃ 组织管理层人因分析的必要性

┃ 不足方面：

- ü 适用技术缺乏

- ü 定性分析多，定量分析少

- ü 考虑常规的组织结构、管理过程的多，

- ü 涉及管理决策层次少

三、人因分析研究的发展趋势及最新进展

人因分析研究方法的特点：

- 涉及大量不同的技术

- 定性定量相结合

前者反映出人因分析的应用复杂性及理论不成熟性，而后者为人因分析的研究对象所确定。



3.1 人因分析基础研究

- | 人的行为（失误）机理研究
- | 定量模型和结构化的定性-定量模型
- | 人因数据库



3.2 人-机系统设计指导

- 人-机功能分配、人-机交互关系、操作人员监督功能
- 人因分析的理论、方法及技术工程化、标准化
- 转化方式的可行性、有效性和可用性



3.3 安全评价与事故防范

- | 安全评价
- | 人因事故分析



四、HRA的发展、方法与研究现状

4.1HRA发展历程与研究主流

- ✧ HRA最早工作是20世纪50年代美国Sandia国家试验室（SNL）：采用硬件可靠性分析方法，估计人员失误对军队系统及装备可靠性的定量影响；
- ✧ 1964年8月，在美国新墨西哥大学举行第一次HRA国际学术会议，美国人因学会会刊HUMAN FACTORS出版专辑；
- ✧ HRA学科正式确立；
- ✧ HRA发展历程的两个阶段



(1) 第一阶段：20世纪60年代到80年代中后期

- 主要工作：人的失误理论与分类研究，人的可靠性数据的收集和整理，发展以专家判断为基础的人失误概率的统计分析与预测方法。
- 代表： **THERP (Technique for Human Error Rate Prediction)**
- 特征：以人的输出行为为着眼点，不探究行为的内在历程。对人的处理方式类似于对机器的处理。称为静态的基于专家判断与统计分析相结合的第一代HRA方法。

(2) 第二阶段：20世纪90年代至今

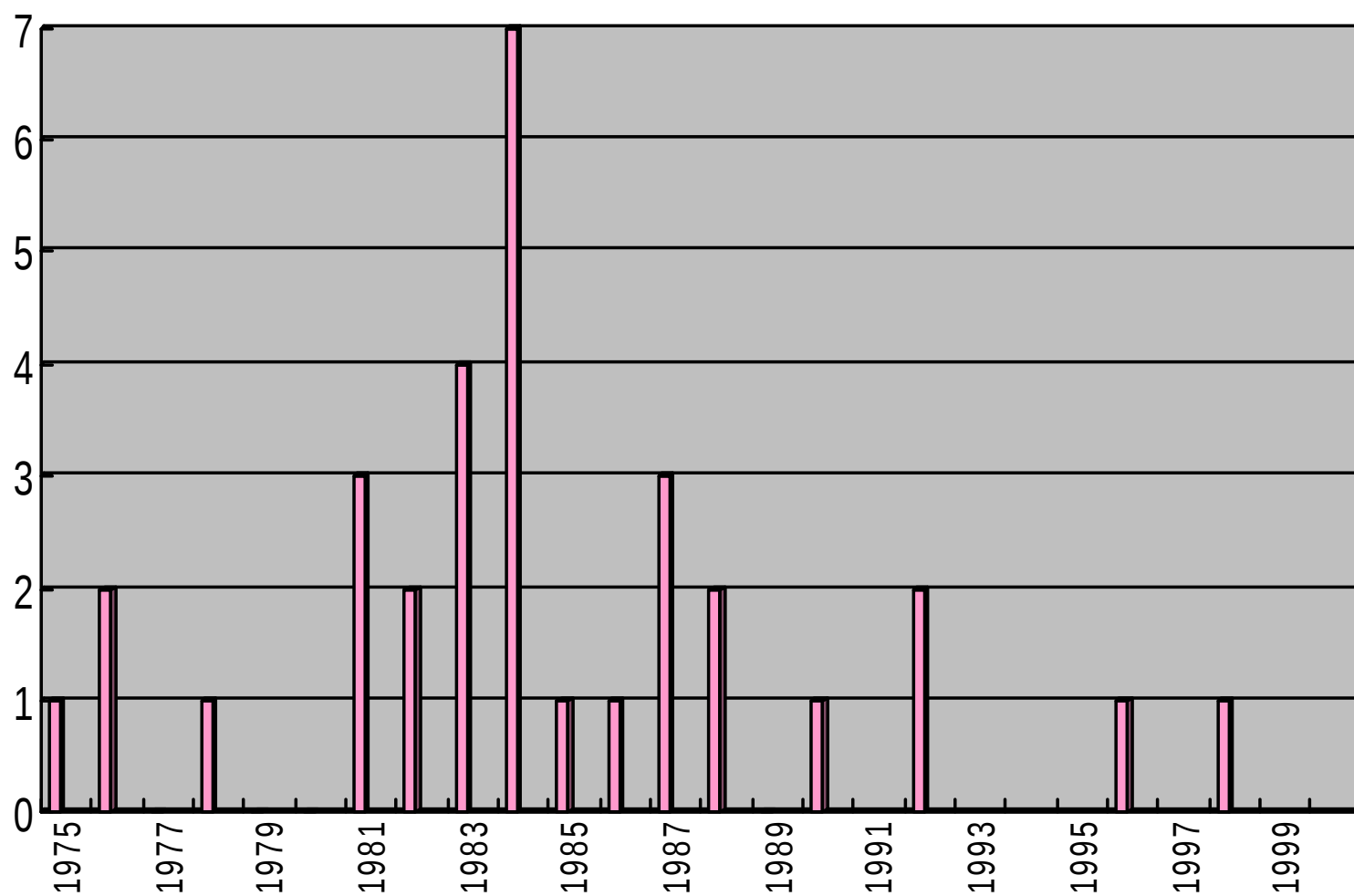
- 1979年美国三哩岛核电厂事故后，结合认知心理学、以人的认知可靠性模型为研究热点---研究动态过程中的人的可靠性。
- 第二代HRA方法，又称为动态的人的可靠性分析模型。正在发展，尚未正式用于工程实践。



(3) 主要HRA方法

- ✧ 人误率预计技术(THREP), 1983
- ✧ 人的认知可靠性模型(HCR), 1984
- ✧ 成功似然指数法(SLIM), 1984
- ✧ 操作员动作树(OAT), 1982
- ✧ 事故引发与进展分析(AIPA), 1975
- ✧ 成对比较法(PC), 1984
- ✧ 人因可靠性社会技术评估法(STAHR), 1985
- ✧ 系统化的人员行为可靠性分析程序
(SHARP), 1984

- 
- ✧ 混淆矩阵法(CM), 1981
 - ✧ 维修个人行为模拟模型(MAPPS), 1984
 - ✧ 多序贯失效模型(MSFM), 1985
 - ✧ 人误评价与减少方法(HEART), 1988
 - ✧ 估计人决策失误方法(Intent), 1992
 - ✧ 认知事件树系统(COGENT), 1992
 - ✧ 人误分析技术(ATHEANA), 1996
 - ✧ 认知可靠性与失误分析方法(CREAM), 1998



HRA方法年代分布



(4) 当前国际上HRA研究三个主流方向

- | 继续探讨能合理表征大规模复杂人一机系统中人的行为特征和规律、系统特征及人机关系的人的行为模型和人机关系一行为模型。
- | 对原主流方法进行改造与完善，包括模型、技术、数据等。
- | HRA的工程应用研究，由核能、航天航空扩大到石油化工、矿山冶金、交通通讯、海洋工程等领域。



4.2 主要HRA方法简介

(1) 人的失误率预测技术 (THERP)

Technique for Human Error Rate Prediction

系统调研阶段

- ü 系统考察、调研
- ü 系统分析信息收集

定性分析阶段

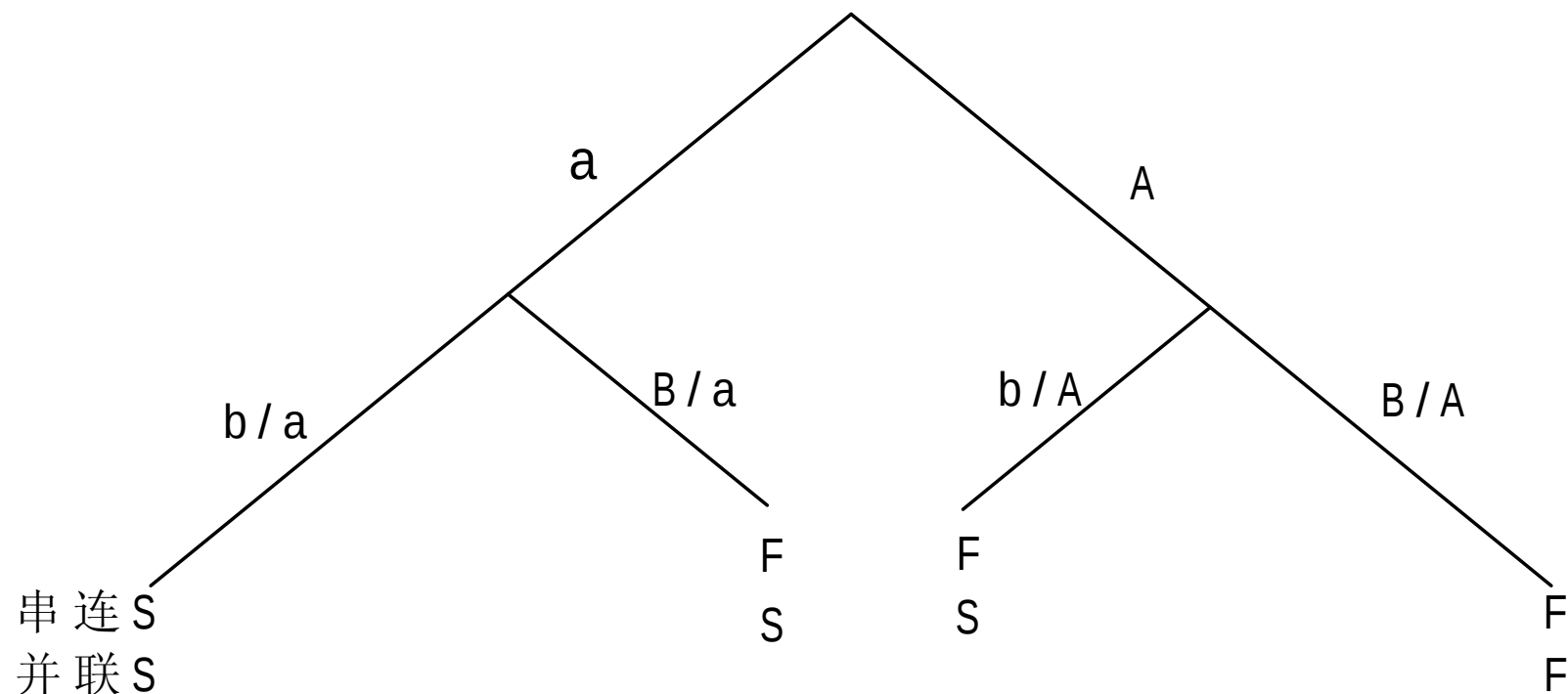
- ü 走访调查
- ü 任务分析
- ü 建立HRA事件树

定量分析阶段

- ü 基本HEP赋值
- ü 估算PSFs因子
- ü 考虑相关性及计算成功与失败概率
- ü 确定恢复动作的影响

结果应用阶段

- ü 结果并入PSA



串联和并联系统的HRA事件树

串联: $P(F) = a(B/a) + A(b/A) + A(B/A)$

并联: $P(F) = A(B/A)$



行为形成因子（PSFs）修正

$$\mathbf{HEP} = \mathbf{BHEP} \times \mathbf{PSF}_1 \times \mathbf{PSF}_2 \dots$$

相关性修正

$$1. CD, P(B / A) = 1$$

$$2. HD, P(B / A) = \frac{1 + P(B)}{2}$$

$$3. MD, P(B / A) = \frac{1 + 6P(B)}{7}$$

$$4. LD, P(B / A) = \frac{1 + 19P(B)}{20}$$

$$5. ZD, P(B / A) = P(B)$$



| THERP数据库

以核能工业为主体的人员操作失误概率

THERP表格共27个

THERP评析

| THERP的突出贡献:

- ü HRA事件树
- ü 基本HEP数据库
- ü 人因可靠性的一个重要概念——行为形成因子 (PSFs)
- ü 结构化的工程分析方法

| 缺陷:

- ü 诊断决策过程中的人误度量过于粗糙
- ü PSFs的敏感性不够
- ü 在情景模型和数据库的应用上缺乏统一性



(2) 人的认知可靠性模型 (HCR) (Human CognitiveReliabilityModel)

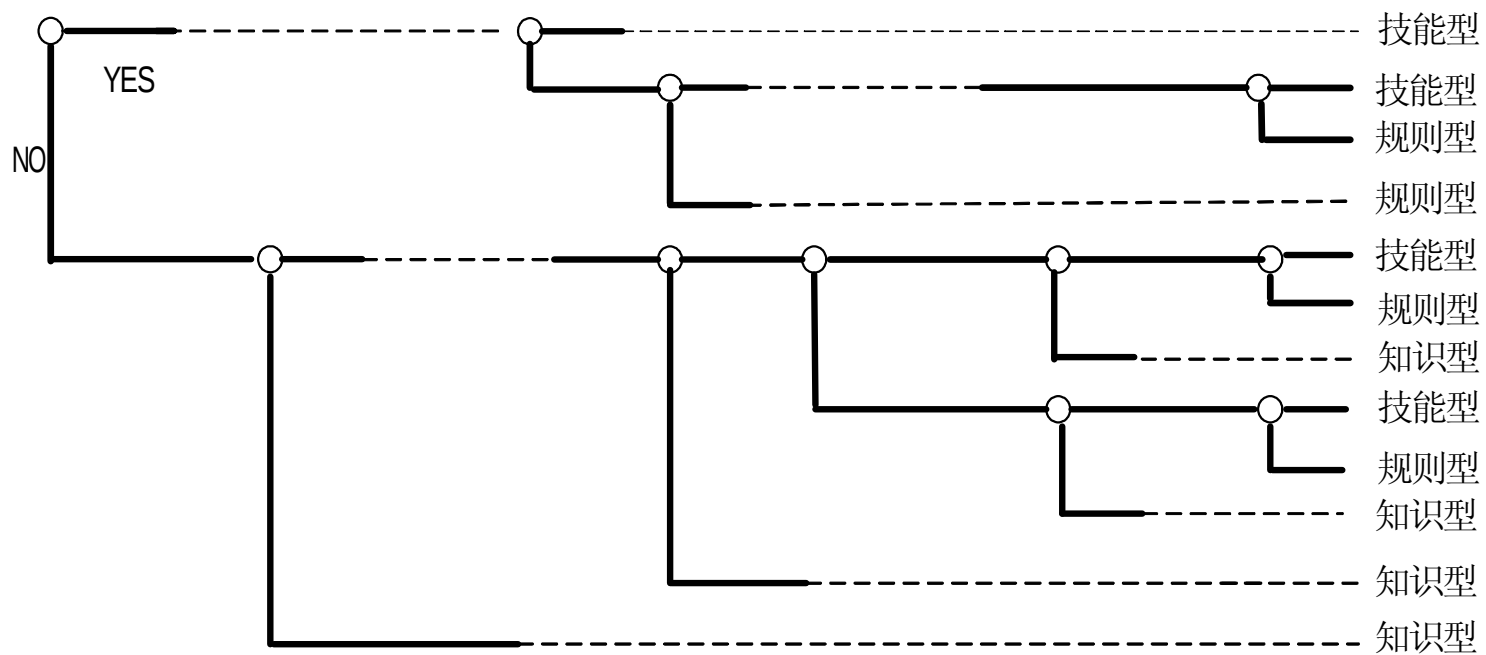
为评价运行班组未能在有限时间内完成诊断决策的概率而开发。

两个基本假设：

- 第一个基本假设

人一机界面上所有人员行为可划分为技能型、规则型及知识型三种类别。

常规操作	操作员清楚地理解过渡工况或操作内容	不需要规程	规程覆盖了情景	规程编制有缺陷	操作员理解规程	操作员对规程使用熟悉	人的行为类型
------	-------------------	-------	---------	---------	---------	------------	--------





第二个基本假设

每一种行为类别的失误概率仅与允许时间(t)和执行时间($T_{1/2}$)的比值有关, 服从三参数威布尔分布

$$p(t) = e^{-\left\{\frac{t/T_{1/2}-g}{h}\right\}^b}$$



HCR评析

| 主要贡献:

提供了一种用模拟机实验分析人的认知可靠性的有力工具。

| 缺陷:

较难明确划分技能型、规则型或知识型使用的PSFs较少，且灵敏度不够未提供一个完整的HEP。



(3) 操作员动作树 (OAT)

Operator Action Tree

- OAT与其它一些早期的HRA方法相比，明显的改进在于将人的响应行为划分为三个阶段—观察、诊断、响应动作。
- 不足的是OAT仅考虑了其中的第二阶段中的失误；没有考虑PSFs的作用。



(4) 事故引发与进展分析 (AIPA)

Accident Initiation and Progressing Analysis

- 20世纪70年代中期为评估大型高温气冷堆操纵人员的操作响应概率而发展起来的，其目的是确定操作者在反应时间内某一行为发生的概率
- 没有显式地建立人的行为模型
- 没有考虑行为形成因子 (PSFs) 影响
- 在PSA中很少被应用



(5) 成对比较法 (PC: Pair Comparison)

- 以专家判断来定量估计人误概率。不要求专家们直接作任何定量的分析，而只需他们去比较一系列含有HEPs要求的成对任务，决定哪个最容易产生失误及其相对等级，最后通过对数变换获得HEPs的评估。
- 其有效性主要依靠专家们的知识经验，标准数据难找，主观性较大。
- 对于单点的HEPs估计是一种较好的专家评判方法，但难于处理复杂任务的HEPs。

(6) 成功似然指数法 (SLIM)

Success Likelihood Index Methodology

基本思想是量化专家群体的选择偏好。认为人完成某项任务的可靠性依赖于当时PSFs的作用，因此只要能计算出这些PSFs对人行为的影响度即可计算出人员完成该任务可能失败的概率。PSFs的辨识、各PSF对人员完成任务的影响权重以及在各PSF影响下完成任务的相对可靠度均由专家评估确定。

- 表征PSFs对完成任务的影响度的数学量—成功似然指数

$$SLI_j = \sum_i W_i R_{ij}$$

- 完成任务的失败概率

$$\log HEP = aSLI + b$$

- 
- 就一个任务而言，它能以一个较高或整体的水平来量化人因可靠性
 - 只有在对影响人员响应的各种PSFs均已知的条件才能进行定量计算，否则只能靠估计
 - 在PSA中较少直接使用，但可用来帮助确认重要的PSFs



(7) 人因可靠性社会技术评估方法 (STAHR: Socio-Technical Approach to Assessing Human Reliability)

- 属专家判断方法
- 没有对人误行为作出显式的处理，而是使用影响图表达多层次PSFs与目标任务间的关系
- 含有浓厚的主观性，但可通过使用一组人数较多的专家来反映客观现实，因而对它的应用需要更多的时间和个人努力
- 未充分考虑不同的PSFs间的相关性
- 与PSA模型（事件树、故障树）相关不大



(8) 混淆矩阵 (CM: Confusion Matrix)

- | 专家判断方法
- | 主要用作定性分析相似征兆及其预期影响
- | 在一定程度上动态地反映了事故序列的发展



(9) 人误评估与减少技术 (HEART)

Human Error Assessment and Reduction Technique

- 应用较简便，适合用作设计过程中的风险评估工具
- 目前只能处理独立的任务，尚无处理连续性序列任务的模型



(10) 估计人决策失误方法 (INTENT)

Method for Estimating HEPs for Decision-based Errors

- 提出了20余种基本E0Is（意图失误）概率，并可用11种PSFs修订，弥补了原有HRA决策失误评价方法及数据缺乏的缺陷
- E0Is的多样性及PSFs的完备性尚不足
- 计算出的概率值与用其他方法计算出的概率值是否具有内在一致性尚未经过充分证明



(11) 人误分析技术 (ATHEANA)

A Technique for Human Error Analysis

- 既分析人误机理也分析由此机理产生可观察到的不安全动作的后果，为HRA提供了一种全新的思路和分析框架
- 应用困难：迫使失误情景（EFCs）的构成因素及其发生概率的确定



(12) 认知可靠性与失误分析方法 (CREAM)

Cognitive Reliability and Error Analysis Method

- 对HRA定性分析作了深刻变革，由失误模型多样化得到认知失误处理的新方法，引进复合状态信息处理模型改进了操作员行为模型
- 在分析开始阶段就考虑PSFs的定性定量影响，且把这种影响真正看作是行为的背景、原因，而不像THERP那样仅作为对HEP的一种修正
- 定量分析过于简化，基本数据不足
- 尚未见CREAM工程应用的正式报告



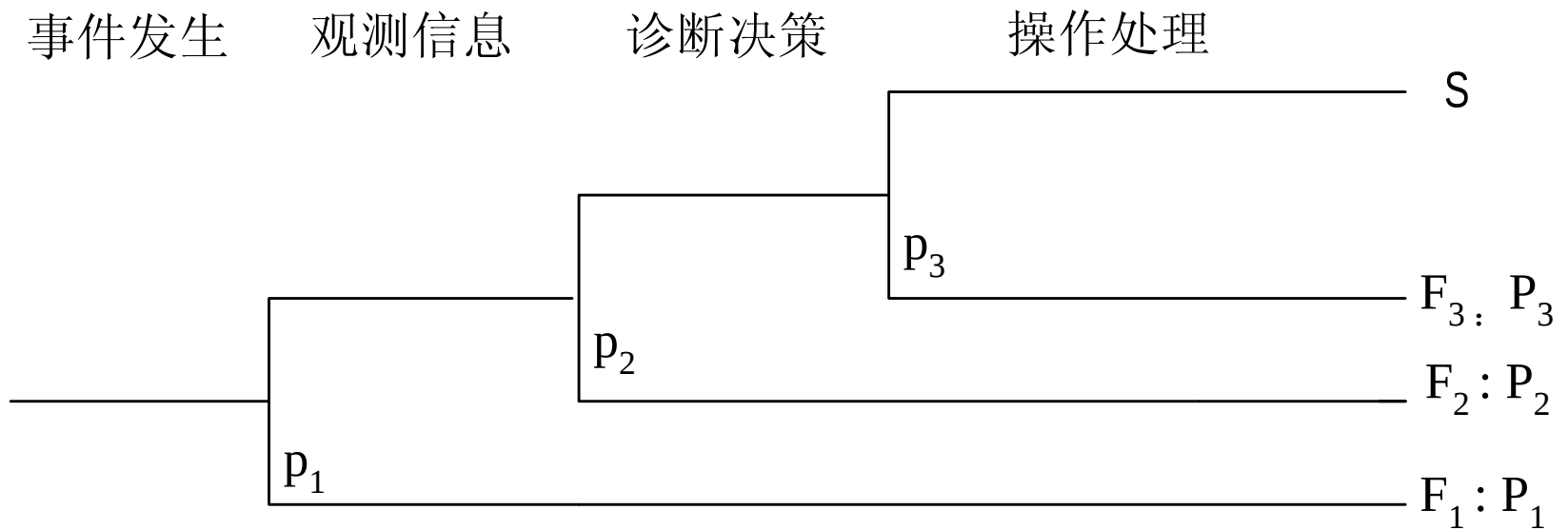
(13) THERP+HCR

- | **THERP:** 与时间无关的序列动作
- | **HCR:** 与时间密切相关的认知行为
- | **A、B类人误行为:** THERP
- | **C类人误行为历程:** 察觉、诊断、操作
- | 在大规模复杂人一机系统PSA中, 可以THERP+HCR作为HRA的主体分析模型

THERP+HCR分析模型

$$P = P(x) = \begin{cases} HEP_A \times \sum_{i=1}^{N_1} PSF_i \times W_i + C_A, & x < 0 \\ HEP_B \times \sum_{j=1}^{N_2} PSF_j \times W_j + C_B, & x = 0 \\ HEP_C \times \sum_{k=1}^{N_3} PSF_k \times W_k + e^{\left\{ \frac{t/T_{1/2} - g}{h} \right\}^b} + C_C, & x > 0 \end{cases}$$

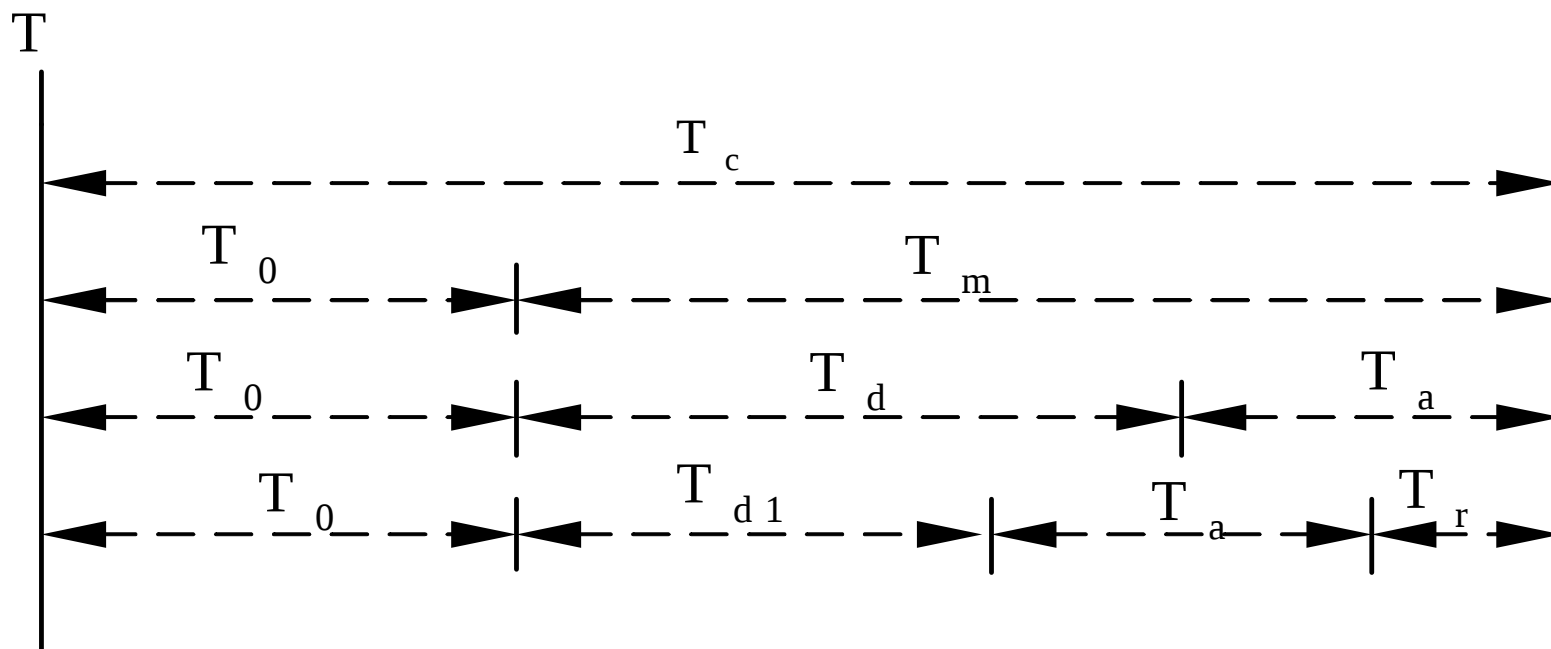
C类人误行为基本模式



$$P = P_1 + P_2 + P_3 = p_1 + (1 - p_1)p_2 + (1 - p_1)(1 - p_2)p_3$$

p_1 : THERP p_2 : HCR p_3 : THERP

C类人因事件时间分割函数



T_c : 最大允许时间；

T_0 : 异常事件觉察时间

T_m : 任务时间 $T_m = T_c - T_0$ ；

T_a : 操作时间

T_d : 诊断允许时间 $T_d = T_m - T_a$ ；

T_{d1} : 诊断实际所用时间

T_r : 冗余时间 $T_r = T_m - (T_{d1} + T_a)$



(14)HRA方法评析

1) 现行HRA存在的主要问题

p 功能不完备，过程不完整：

完整的HRA至少应具备以下基本功能：

- ü 任务分析：描述运行人员应当做什么
- ü 失误分析：确定什么可能会出错
- ü 表现形式：表达事件的逻辑和量化的结构
- ü 量化：推算失误的可能性
- ü 失误减少：减少人误对风险的影响
- ü 质量保证和资料编制：有效性，信息资源



p 数据可用性不良:

ü 人因数据采集极度困难, 致使HRA长期缺乏较充分的可用数据

ü 现有主要人因数据库:

- | 人员可靠性分析手册
- | NUCLARR
- | 英国CORE-DATA

ü 三方面问题:

- | 数据的可靠性: 专家判断和外推;
- | 数据的适用性: 针对某个专门领域建立;
- | 它国数据的可引用性;



p 缺乏客观性和一致性：

- ü 人具有生理、心理、社会、精神等方面特性，导致其行为具有多样性和较大的不确定性；
- ü 现行HRA方法不足以规则地、结构化地处理上述问题，很大程度上依赖于分析人员的主观理解、判断和经验；
- ü 具有不同学识背景、不同经历、不同层次的使用者对同一问题获得相距甚远的结论；



p 应用不规范:

HRA作为一门应用学科，主要目的是指导、应用于实践。从工程应用的角度，欲将理论、方法应用于实践，首先须将该理论、方法转化为相应的技术、程序，使其具有可操作性，才能保证应用的质量和合理性。其不规范性主要为：

- ü HRA方法选用标准不明确、不统一；

- ü 未建立符合质量保证要求的规范化的实施程序，以致于严重影响和冲击PSA质量和可信性。



2) 现行HRA方法综合评价

以满足PSA本质需求为基本原则，从有效性、可用性、可靠性、工程性四个方面，对12种HRA方法进行比较评价。结果表明：

在有效性、可用性、可靠性、工程性方面，THERP和HCR是相对较好的HRA方法，这与Swain、Kosmowski、Kirwan、Reer、Hollnagel等人的评价结果一致，与现实使用的广泛性也是一致的。

但是，THERP和HCR也都存有缺陷，并且这些缺陷已使得THERP和HCR不能满足当今PSA之需求。

12种HRA方法评价结果详表

	有效性				可用性				可靠性				工程性	
	完备性	完整性	准确性	灵敏性	数据可用	易用性	程序化	适用性	一致性	数据可信	可证明	可比性	相容性	可追溯性
THERP	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
HCR	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
OAT	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+
AIPI	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+
PC	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+
SLIM	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+
STahr	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-
CM	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-
HEART	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+
INTENT	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-	+	+
ATHEANA	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+
CREAM	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+

12种HRA方法综合评价结论

	有效性	可用性	可靠性	工程性
THERP	+	++	++	++
HCR	+	+	++	+
OAT	—	+	+	+
AIPI	—	—	—	+
PC	+	—	—	+
SLIM	+	+	—	+
STahr	+	—	—	—
CM	—	—	—	—
HEART	+	+	—	+
INTENT	—	—	—	+
ATHEAN	+	—	+	+
CREAM	+	—	+	+

4.3 HRA国内研究与应用状况

国内对HRA的研究始于20世纪90年代初期，主要研究学者与进展如下：

■ 清华大学黄祥瑞：

- ü 人的失误及人的可靠性分析研究（93年国家自然科学基金）
- ü 人的认知可靠性模型及应用（97年国家自然科学基金）
- ü 人的认知失误模型的理论及应用研究（02年国家自然科学基金）



■ 杨孟琢、赵炳全、方向

核电厂操纵员认知可靠性模型和模拟机实验研究，建立了基于模糊数学的操纵员事故响应时间可信性回归模型。

■ 张炯：核反应堆人误数据统计分析。

■ 王武宏：行为形成因子与人的差错关系模型。

■ 罗晓利：中国民航20年人因事故统计分析研究。

■ 庞志兵：高炮操作失误类型及原因。



I 主讲人研究概况：

(1) 主持的国家自然科学基金项目：

- ü 复杂人-机系统中人员可靠性研究(1995)
- ü 人因事故分析理论与方法研究(1998)
- ü 人误分析技术及应用研究(2002)
- ü 考虑组织与管理因素的人因可靠性分析方法及应用研究(2005)
- ü 复杂工业系统数字化对人因可靠性的影响(2008)

(2) 主持的国防军工技术项目：

- ü 核电站人员可靠性基础研究(1994)
- ü 反应堆系统人因事件分析与预防方法(2000)
- ü 人因可靠性技术(2002)
- ü 人误因素辨识与原因分析技术研究(2005)



(3) HRA应用项目:

ü 大亚湾核电站: 人因可靠性分析 (1998)

ü 岭澳核电站: 人因可靠性分析 (2000)

ü 秦山核电站: 人因可靠性分析 (2004)

模拟机实验PSR中人因安全因素评审

ü 秦山第三核电站: 人因可靠性分析 (2009)

ü 国家核安全局: 运行核电厂人因事件调查、
分析与评价技术支持 (2010)

(4) 获奖:

ü 国防科学技术奖二等奖4项、三等奖1项;

ü 中国核工业总公司、湖南省科技进步奖二、三等奖6项;

小 结

- | 人因分析对系统的可靠性、安全性有重要贡献；
- | 人因分析的理论、方法、技术尚不完备；
- | 人因分析学科富有生命力、正在蓬勃发展。



谢谢各位！
请大家提问！