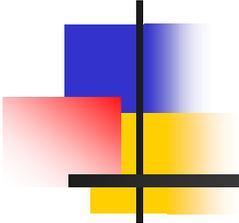


湖南省研究生暑期学校
核电站安全与人因工程系列课程（2）



核电站人因失误与预防

张 力 教 授

南华大学人因研究所
2010年7月

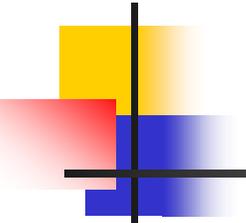
目 录

- 
- 一、人因失误的严重性 
 - 二、人因失误的基本理论
 - 三、人因失误、事故产生原因
 - 四、系统数字化对人因的影响
 - 五、人因失误分析与预防

一、人因失误的严重性

(1) 人对系统风险的影响逐步上升

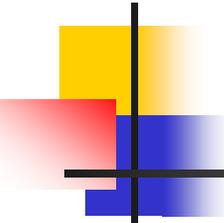
- n 设备、软件的可靠性水平 ↑ (逐步上升)
- n 人误的概率 → (总体维持稳定)
- n 人由操作者 → 监控者 (逐步退出一线操作)
- n 系统的设计、制造、维修、运行、事故干预均需要人的参与。



(2) 重大案例

- n 三哩岛核电站事故

- n 切尔诺贝利核电站



(3) 系统风险注意焦点之一转向人因失误

人机系统	70%—90%
核电站	国际55%-85%
	国内70%

人因失误成为对系统安全性影响最大的因素之一

报告目录

- 一、人因失误的严重性
- 二、人因失误的基本理论 
- 三、人因失误/事故产生原因
- 四、系统数字化对人因的影响
- 五、人因失误分析与预防

二、人因失误的基本理论

(1) 人误分析的重要基本概念

n 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。

人因错误，人的失误，人误

- ü 从后果而言：人误就是超出系统可接受的界限范围的人的任何行为。
- ü 从行为而言：能够或有可能引发不期望事件的所有人的行为。
- ü 从原因而言：由于不恰当的计划或未充分执行计划任务，未能完成预期任务的人员行为。

n 人因可靠性 (human reliability)

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

n 人因事件 (human failure event)

由人因失误引发的（系统失效）事件。

n 人误率 (Human Error Probability: HEP)

∅ 离散的任务:

$HEP = \text{人误的发生数} / \text{该人误可能发生的机会总数}$

∅ 连续的任务:

$HEP = \text{人误的发生数} / \text{任务全部时间}$

n 人-系统交互作用 (Human-System Interactions, HSIs)

- ü 描述人与系统之间的所有可能的界面关系，包括运行、维修、管理等环节。
- ü 在复杂人-机系统中，人在异常工况下的响应行为是由大量的不同的人-系统交互作用组成的，它们对于事故的进程起着至关重要的作用。一方面，人能够作为事件、事故的引发者和扩大者；另一方面，人也能够成为事故的缓解者。
- ü 核电厂主控室的HSIs是指运行班组、操纵员对于症状信号的响应。症状信号包括报警器、参数显示器等，人员响应包括控制操作、通讯交流和规程选择等。

n 人的行为类型

ü 技能型行为 (Skill-based behavior)

依赖于人员的实践水平和完成该项任务的经验，是个体对外界刺激或需求的一种条件反射式、下意识的反应。

ü 规则型行为 (Rule-based behavior)

人的行为由一组规则或协议所控制、所支配；与S型行为的主要区别：对实践的了解或掌握的程度。

ü 知识型行为 (Knowledge-based behavior)

当遇到新鲜情景，没有现成可用的规程，操作人员必须依靠自己的知识和经验进行分析诊断及处理。

n 人的行为形成因子(PSFs)

Performance Shaping Factors

o Swain ,CR-1278

任何影响人的行为的因素，包括：

ü 外部PSFs，个人因素之外的

ü 内部PSFs，人员自身的

ü 应激水平

PSFs(Swain和Guttman ,CR-1278)

外部PSFs		应激	内部PSFs
情景因子	任务中和工作资源中的因子	心理压力	个体特征
设计特征 环境质量 温度, 空气湿度, 空气质量, 放射性暴露, 光线, 噪音, 震动, 清洁 工作时间 工作间歇 具体工作资源的有效性 工作方式 组织结构(例如权威, 责任, 交流的渠道) 轮班领导、工人、管理者和 权威人士的行为 工资结构(认知, 工资)	认知的需要 自动系统的需要(速度, 能量支 出, 精确度) 操作和显示间的关系 修正的需要 说明 决策 复杂度(信息的负担) 任务狭隘的特性 任务重复和频次 任务的关键环节 短期和长期记忆 计算 反馈(关于行为结果的知识) 动态的或循序性的行为 组织结构和交流	事件的突发性 压力的持续性 任务的速度 任务量 高灾难性风险 威胁(对失误的担心, 丢失工作) 正常的持续性 警觉的持续性 工作动机的冲突 增强疏忽的事物 副面感知器缺乏 干扰(噪音, 使眩目的事物, 动 机, 闪烁的事物, 色调) 不一致的标签	先前培训, 经验 暂时的练习状态和 能力 情感状态 动机和态度 压力(精神上或身 体上) 必要技能的知识 性别的不同 身体条件 源于家庭和组织的 态度 组织动态的过程
工作和任务的说明	人-机因子 界面(工作资源的设计, 测试器 具, 维修设备, 工作的辅助设备 , 工具, 零件)	生理上的压力	
必须的程序(书写的, 没有 书写的) 书写的或口头的交流 警告和危险显示 工作方法 电厂政策		压力的持久性 疲劳 痛或不舒服 饿或渴 极端的温度 射线 极端的压力条件 氧气不足 震动 有限的运动 体力运动缺乏 打断生理节奏	

n 张力，1991

对人的认识、判断、行动过程产生（不利）影响的物理的、精神的（或外部的、内部的）因素，包括如下五个方面：

ü 人-机界面

ü 人的内因

ü 作业特性

ü 组织管理

ü 外部原因

人机界面方面：

- ⊙ 视觉显示装置提供的信息不易读取
- ⊙ 听觉显示装置提供的信息不易听取
- ⊙ 作业时必要的信息不能及时获得
- ⊙ 大量的信息被同时给予
- ⊙ 作业结果反馈特性不良（不让知道或很迟才知道）
- ⊙ 控制杆、开关、按钮等手动操作器不易操作（操作特性不良）
- ⊙ 不适当的控制显示比
- ⊙ 工具及器具不适合于作业场所
- ⊙ 操作手册、操作规程等不兼备
- ⊙ 产生误操作时不能立即简单地、方便地中断

人的内因方面:

- 拘泥于以前的方法、经验，难于适应新的状况
- 不能正确判断含于作业中的危险性
- 对于所进行的作业经验不足
- 对各作业的训练及教育不足
- 虽有各种作业的经验，但对装置的原理、结构无充分的知识
- 对操作、程序整体的流向及目的不清楚
- 作业者的精神、身体健康状况差欠缺积极、努力完成作业的态度
- 作业者年龄过大
- 作业者协调性差
- 作业者不冷静、沉着，性格急躁
- 作业者具有“毫不拘束，悠然自得”的性格
- 作业者具有“大胆，易轻率做出决定”的性格
- 作业时身体疲乏
- 非常重视结果，过度害怕失败

作业特性方面:

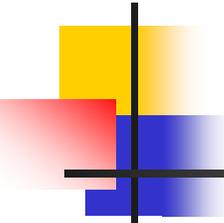
- 在极难发生的事态中，其对应措施平时极少训练
- 必须争分夺秒完成的作业
- 前期的操作及状态的记录不完全
- 具体的程序、作业基准、作业目的没有明确给出
- 指示、命令是间接得到，而不能直接传到
- 不能对作业过程进行客观的检验
- 确认作业过程的方法仅有一种，而不能用别的方法复核
- 未来情况难以预测
- 要求作业超越作业者经验及理解力判断
- 没有确认作业进展状况及程序的方法
- 需要持续注意的作业
- 要求身体作出不合理的动作及姿势
- 高速手动控制作业
- 防护器具成为作业的累赘

组织和管理方面：

- 存在赞扬、怂恿胆敢采用危险干法（方法）的风气
- 对差错不重视，容忍
- 任务、责任划分不清楚
- 未建立有效的表彰、奖励激励机制
- 凝聚力不强，缺乏奋发向上的风气
- 生产安全规章制度不完善或不切合实际
- 作业计划不周（进度安排不合理，生产任务不平衡）
- 信息传递网络勾通不良
- 对于单调的作业，没有给予调整情绪的机会
- 长时期都仅仅只让干单调的作业
- 作业中插入了别的事情，工作流程被中断
- 人手不足或人员过多
- 存在难以直接传递指示、命令的人

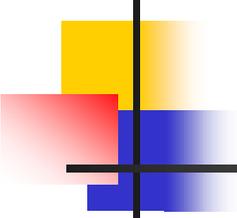
外部原因方面:

- ∅ 作业场所的温度、湿度不当
- ∅ 作业场噪音、振动大
- ∅ 作业场过暗
- ∅ 作业场太狭小
- ∅ 作业刚开始没一会儿
- ∅ 作业中期时分
- ∅ 作业时间快结束
- ∅ 深夜或凌晨的作业



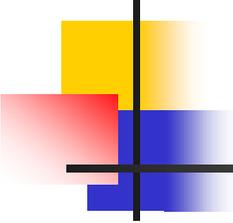
人的行为特性

- n 生理，心理，社会，文化，多因素并存，变化多样性和复杂性；
- n 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；
- n 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；
- n 人具有学习的能力，能够通过不断地学习从而改进其工作绩效，而机器一般无法做到这一点；
- n 在执行任务过程中适应环境和进行学习是人的重要行为特征，但学习的效果又受到多种因素的影响，如动机、态度等；
- n 能够处理非程序化事件。



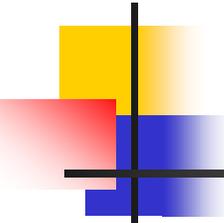
人的内在弱点

- n 存在误解、错觉
- n 易产生疲劳 ←—— 体力界限
- n 欠缺机体的恒常性 ←—— 存在不稳定性、转移性；精度界限
- n 存在速度界限 ←—— 有0.2秒的反应延迟时间
- n 具有对环境的容许界限



人的内在弱点（续）

- n 易被感情左右
- n 具有生物节律
- n 存在意识水平波动性
- n 存在信息处理能力界限 ←—— 信息传递容量的界限
- n 知觉能力与规划能力有限

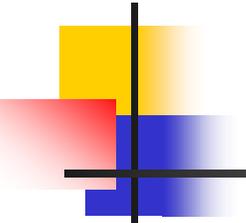


人的内在弱点可概括为两大方面

n 机体生理界限

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。

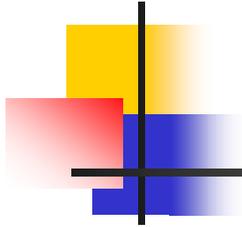
人作为一种现实的机体不可能随心所欲、完美无缺。



n 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。

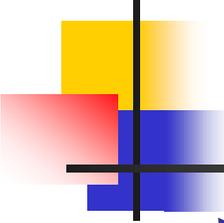
人作为一种现实的反映意识体，它与机体的生理界限和客观事物的真实性具有相当程度的镶嵌性和背离性，认识上的弱点总是客观的。



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。

紧急状态下人的行为

	输入	信息处理	输出
行为特征	<ul style="list-style-type: none"> ①注意力集中于一点 ②无视，遗忘正常信息 ③信息获取能力低下 ④歪曲感知到的信息 ⑤知觉能力麻痹 ⑥知觉对象偏移 	<ul style="list-style-type: none"> ①信息综合能力质量减退 ②提取信息能力低下 ③与记忆信息对照能力低下 ④判断内容检查能力低下 ⑤时间裕度过小评价 	<ul style="list-style-type: none"> ①实施习惯动作 ②操作定位不良 ③操作连续性、灵活性低下 ④不能协同作业 ⑤多余、过激操作 ⑥无目的操作 ⑦操作无反馈 ⑧不能操作



人的认知行为模型

n 刺激-调制-响应 (S-O-R) 模型

它将人的认知响应过程分为三大部分：

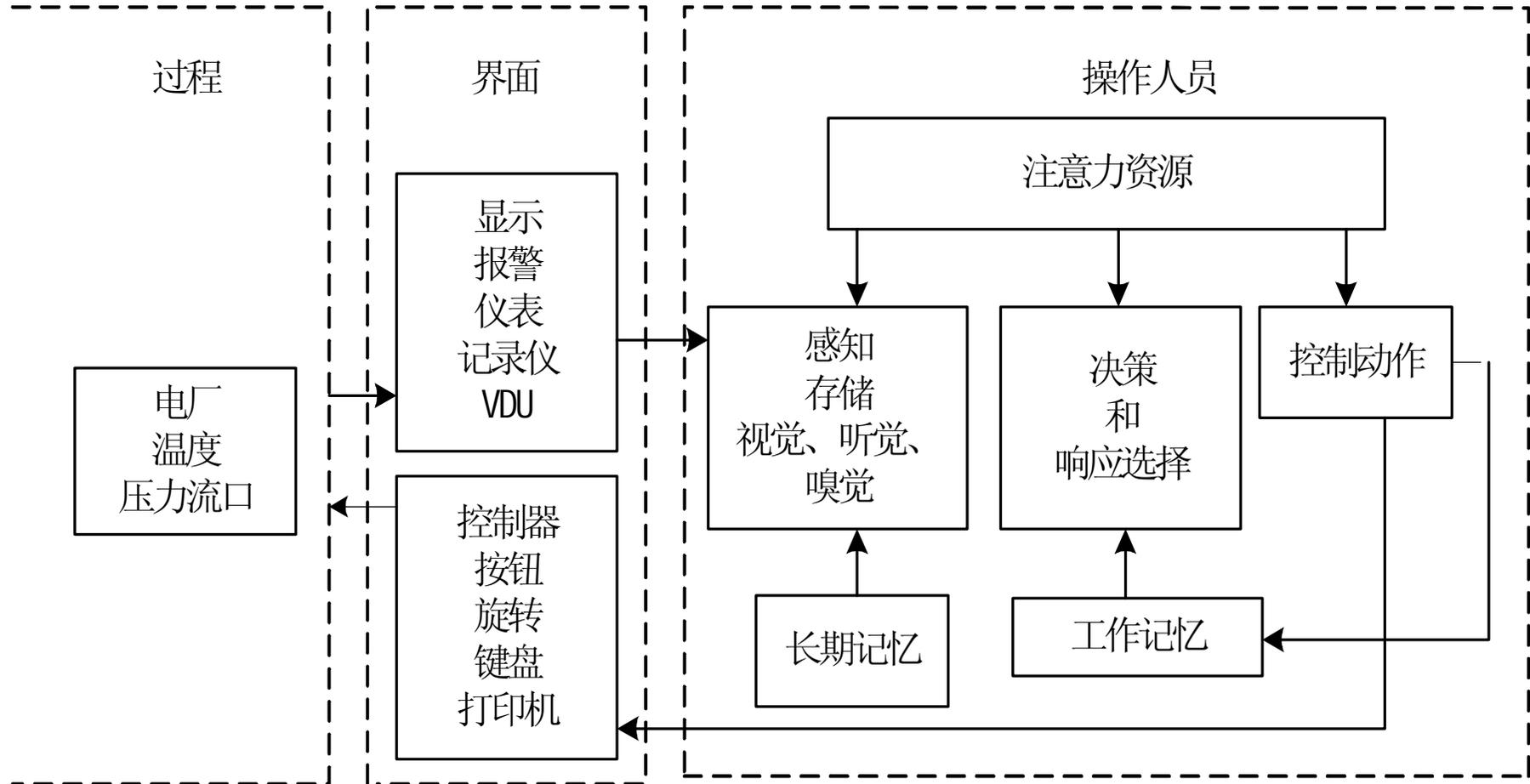
- ü 通过感知系统接收外界输入的刺激信号 (Stimulation)
- ü 解释和决策 (Organization) ；
- ü 向外界输出动作或其它响应行为 (Response)

这三大部分的支持功能为记忆。

实质上，它依然相似于人的“黑匣子”理论，在实际应用

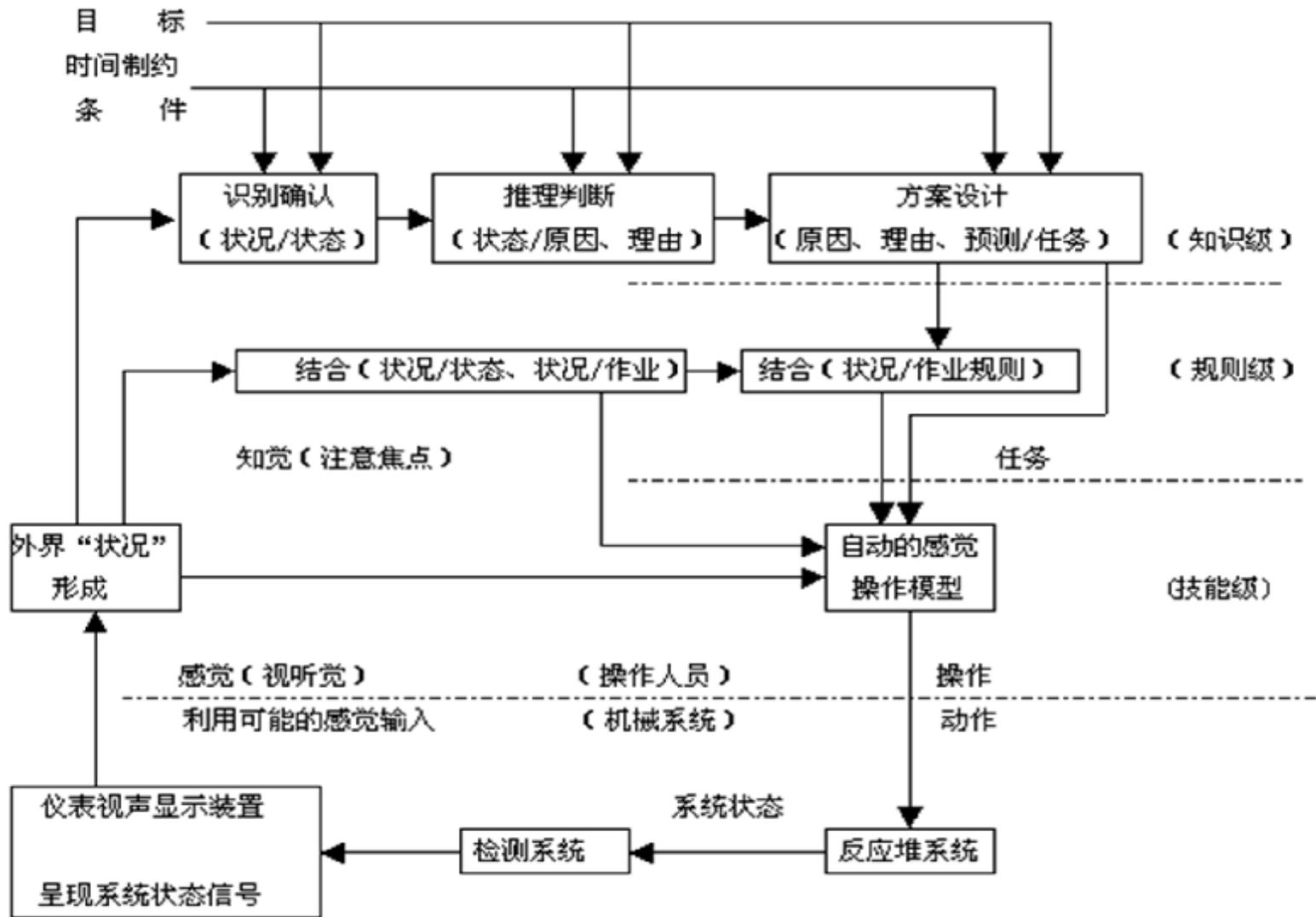
中重点仍放在具有可观察性的输入信号与输出行为上。

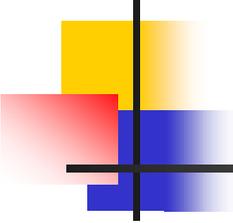
n 信息处理模型：感知、判断、行动



Wickens应用于人—机界面的人的信息处理模型

n 核电厂操纵员认知行为模型



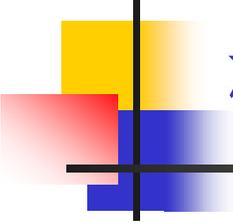


人因失误产生机理

人的认知行为过程：

感知——解释——计划——执行

- n 对系统状态的感知失误
- n 信息的比较、推理、归纳决策的失误
- n 执行操作任务的失误



核电站系统人因失误产生机制

基于认知行为意图，人因失误分为

偏离--意图正确但行动时失误

技能级

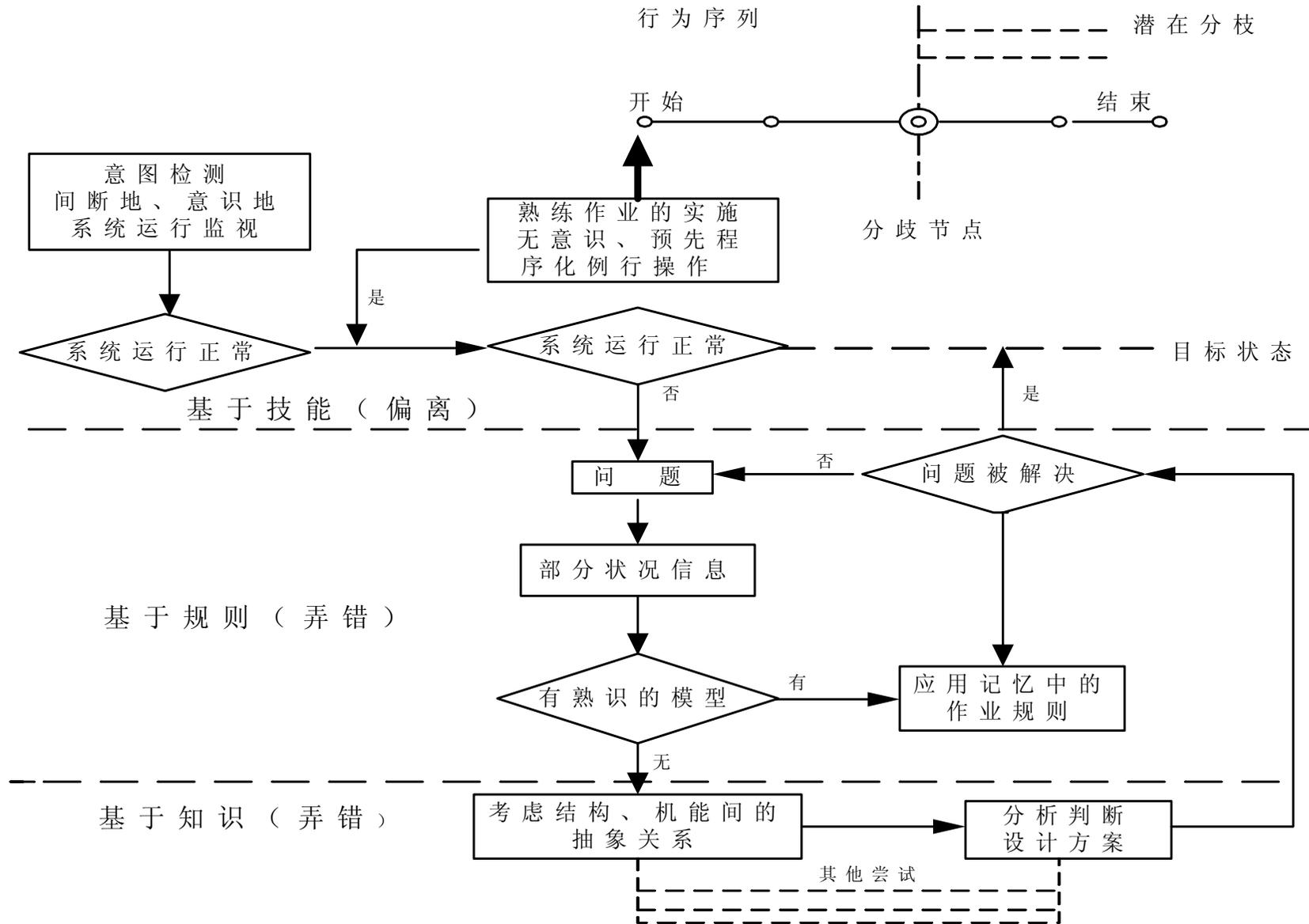
监视与控制

弄错--在行为意图形成阶段的失误

规则级和知识级

监视—确认—决策—控制

n 操作人员行为动态模型

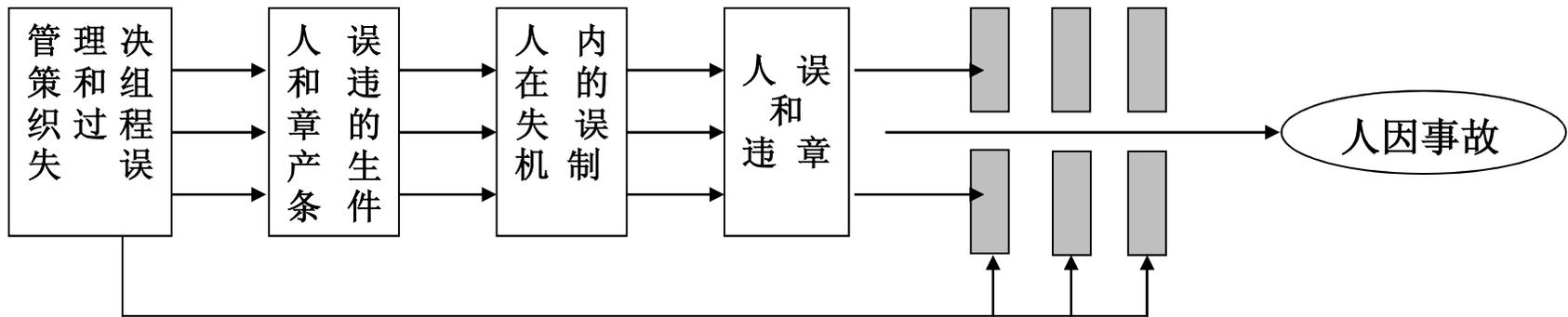


n 三种失误类型的特征

	技能级偏离	规则级弄错	知识级弄错
行为类型	常规行动	解决问题	解决问题
操作模式	按照熟知的例行方案无意识地自动处理	依据选配模型半自动处理	资源制约性的系列意识处理
注意焦点	现在的工作以外	与问题相关联的事项	与问题相关联的事项
失误形式	在行动中	在应用规则中错误强烈	多种多样
失误的自己检出	快速	困难 需他人帮助	困难 需他人帮助

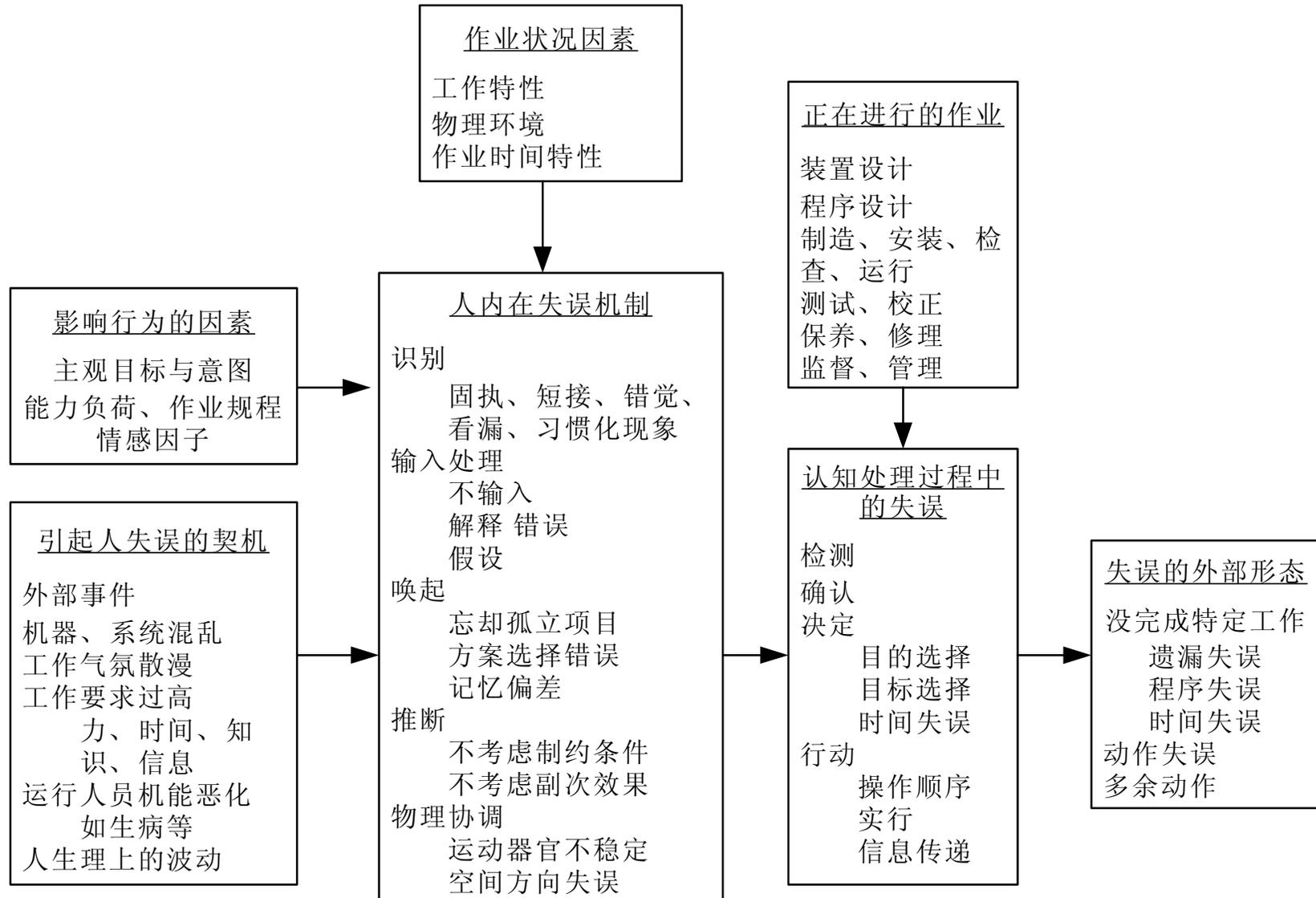
人因事故成因模型 (Reason)

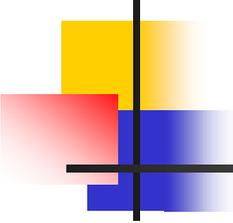
组织 工作场所 作业者 个体/团体 防御系统 输出
及作业特性



潜在失效路径

n 人因失误结构模型





人因失误的特点

- n 人因失误的重复性
- n 人引发的失效具有潜在性
- n 人的失误受情景环境驱使
- n 人的行为的固有可变性
- n 人因失误的可修复性
- n 人因失误的突发性和无序性

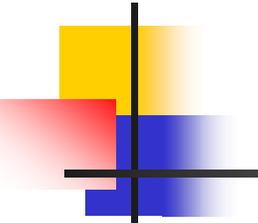
报告目录

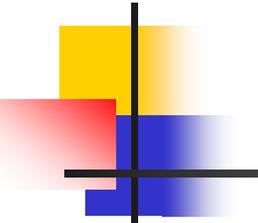
- 一、人因失误的严重性
- 二、人因失误的基本理论
- 三、人因失误、事故产生原因 ←
- 四、系统数字化对人因的影响
- 五、人因失误分析与预防

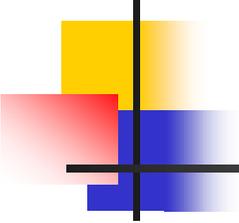
三、人因失误、事故产生原因

+ 诱发核电站人因失误的主要因素

- n 操作人员个体原因
- n 设计上原因
- n 作业上原因
- n 运行程序上原因
- n 教育培训上原因
- n 信息沟通方面原因
- n 组织管理因素

- 
- n **操作人员个体的原因**：疲劳、不适应、注意力分散、工作意欲低、记忆混乱、期望、固执、心理压力、生物节律影响、技术不熟练、推理判断能力低下、知识不足。
 - n **设计上的原因**：操作器/显示器的位置关系、组合匹配、编码与分辨率、操作与应答形式，信息的有效性、易读性、反馈信息的有效性。
 - n **作业上的原因**：时间的制约、对人机界面行动的制约、信息不足、超负荷的工作量，环境方面的压力（噪音、照明、温度等）。

- 
- n **运行程序上的原因**：错误规程、指令、不完备或矛盾的规程、含糊不清的指令。
 - n **教育培训上的原因**：安全教育不足、现场训练不足（操作训练、创造能力培养训练、危险预测训练等）、基础知识教育不足、专业知识、技能教育不足、应急规程不完备、缺乏应付事故的训练。
 - n **信息沟通方面的原因**：信息传递渠道不畅，信息传递不及时等。
 - n **组织管理因素**：管理混乱，不良的组织文化等。



WANO数据统计及分析

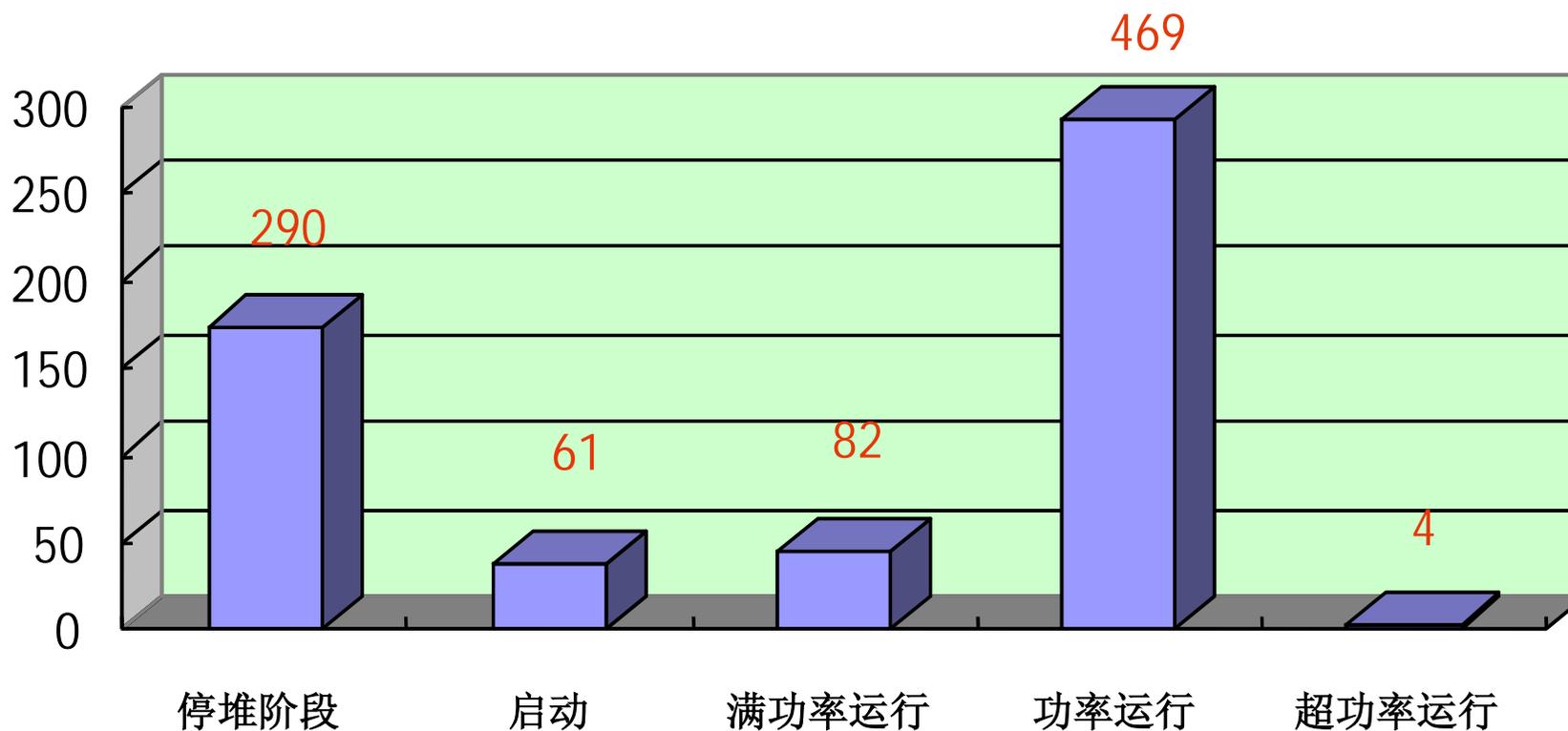
n 1993-2007年

n 1507份运行事件分析报告（EAR）

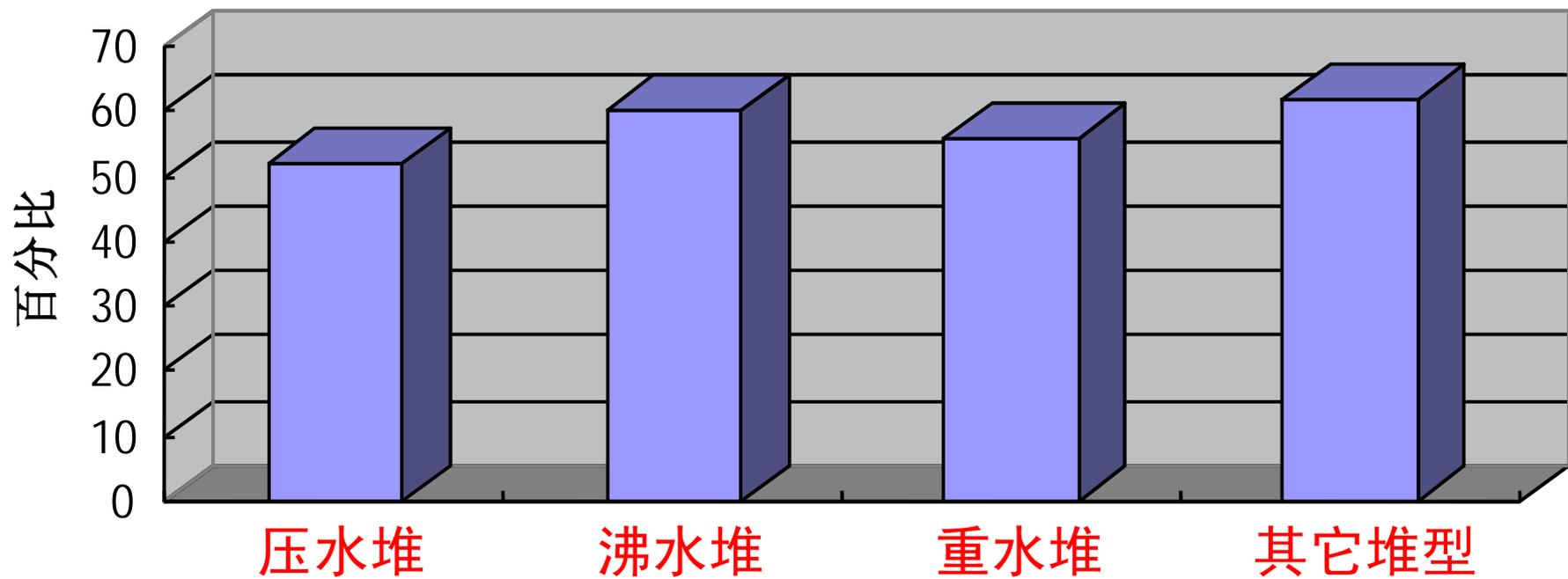
n 人因事件总数有906件

n 占EAR报告总数的60.1%

不同运行状态下人因事件分布

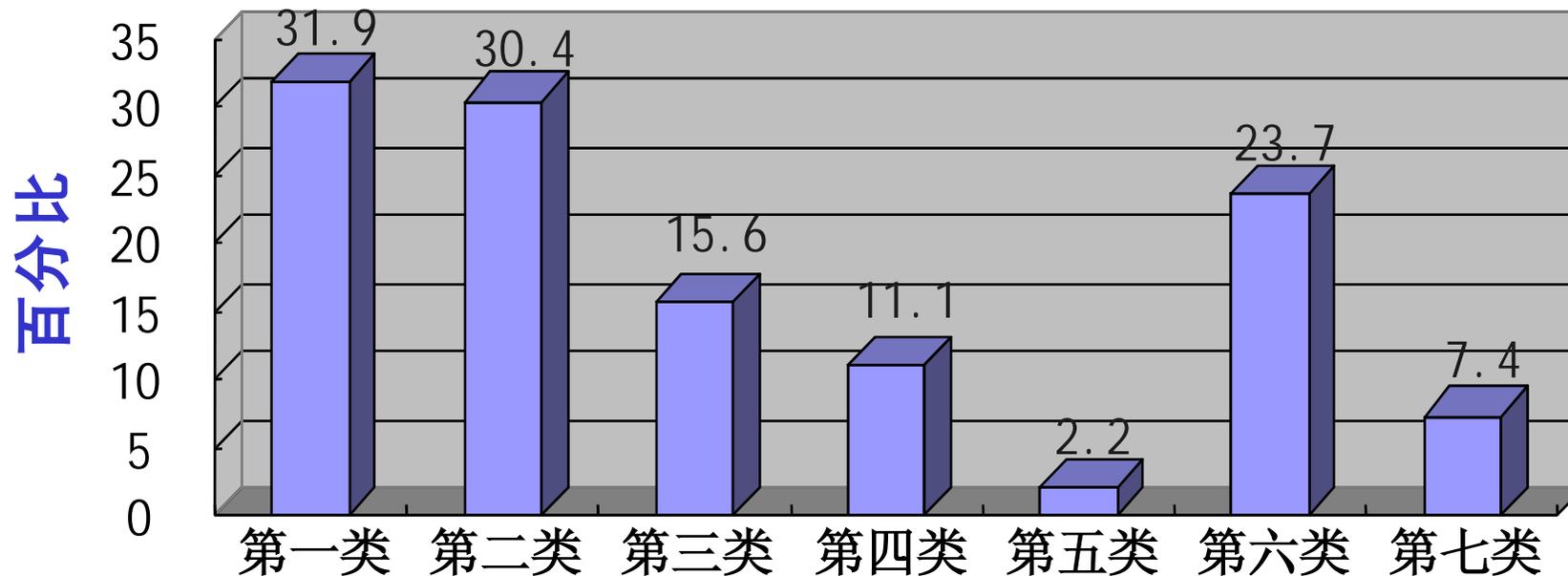


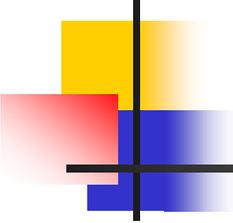
不同堆型的HE分布



各类人因事故百分比图（分类不独立）

①严重的电站瞬态；②安全系统故障或不当投运；③重要设备损坏；④过量照射或严重的人员伤害；⑤非预期或失控的放射性释放超电站内外规定限值；⑥设计、制造、建造、安装、运行、配置管理、人机接口、试验、维修、程序和培训等领域的缺陷；⑦其他影响电站安全或稳定运行的事件

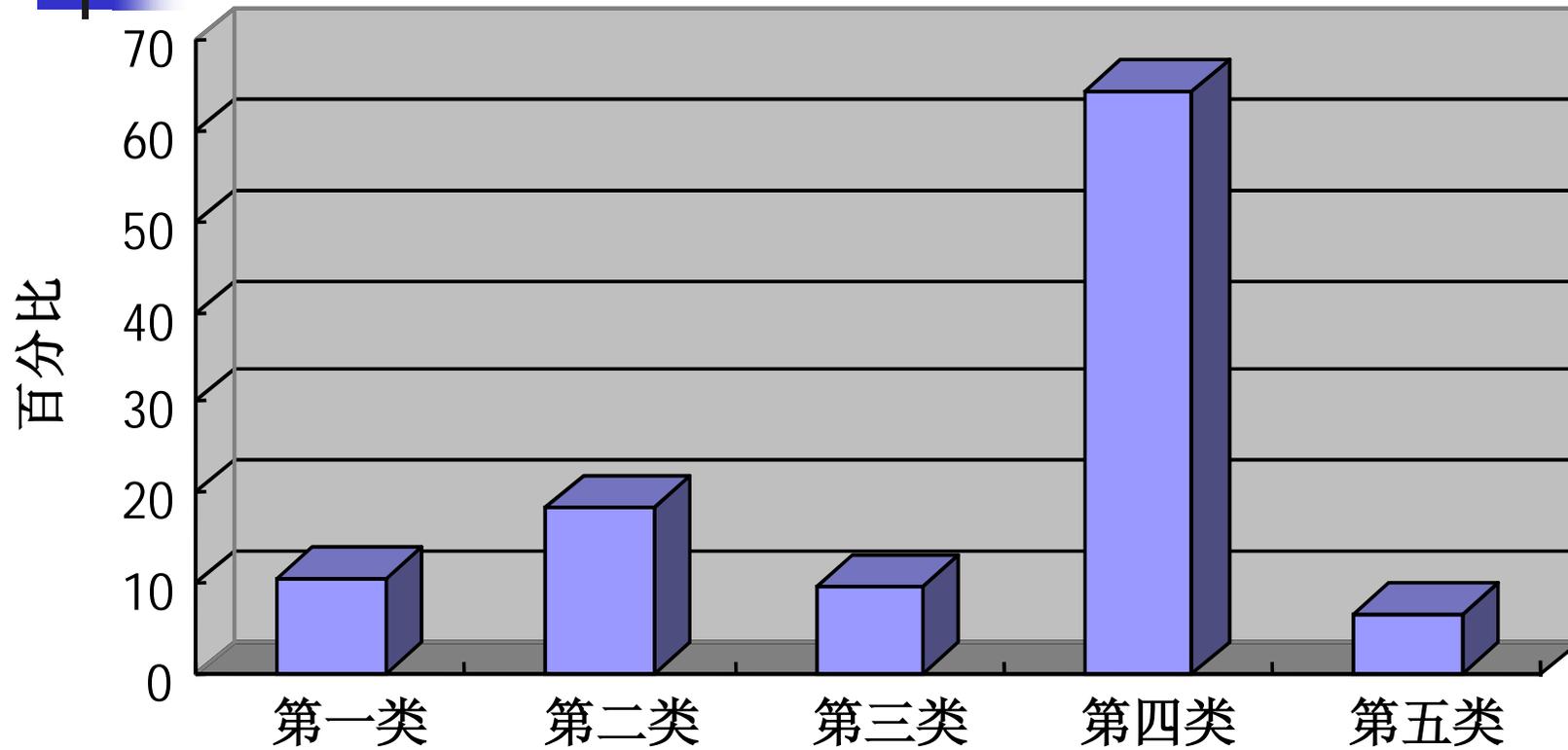




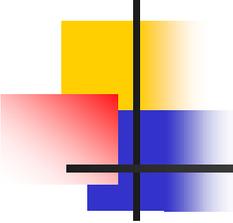
主要人因失误模式

- n 未发现报警或者事故征兆
- n 对事故征兆或事故判断失误
- n 人员之间交流不足、交流不当
- n 操作失误
- n 组织管理不当等

主要人因失误模式分布

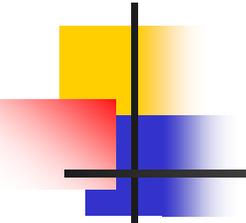


第一类10.4%，第二类18.5%，第三类9.6%，第四类64.4%，第五类6.7%

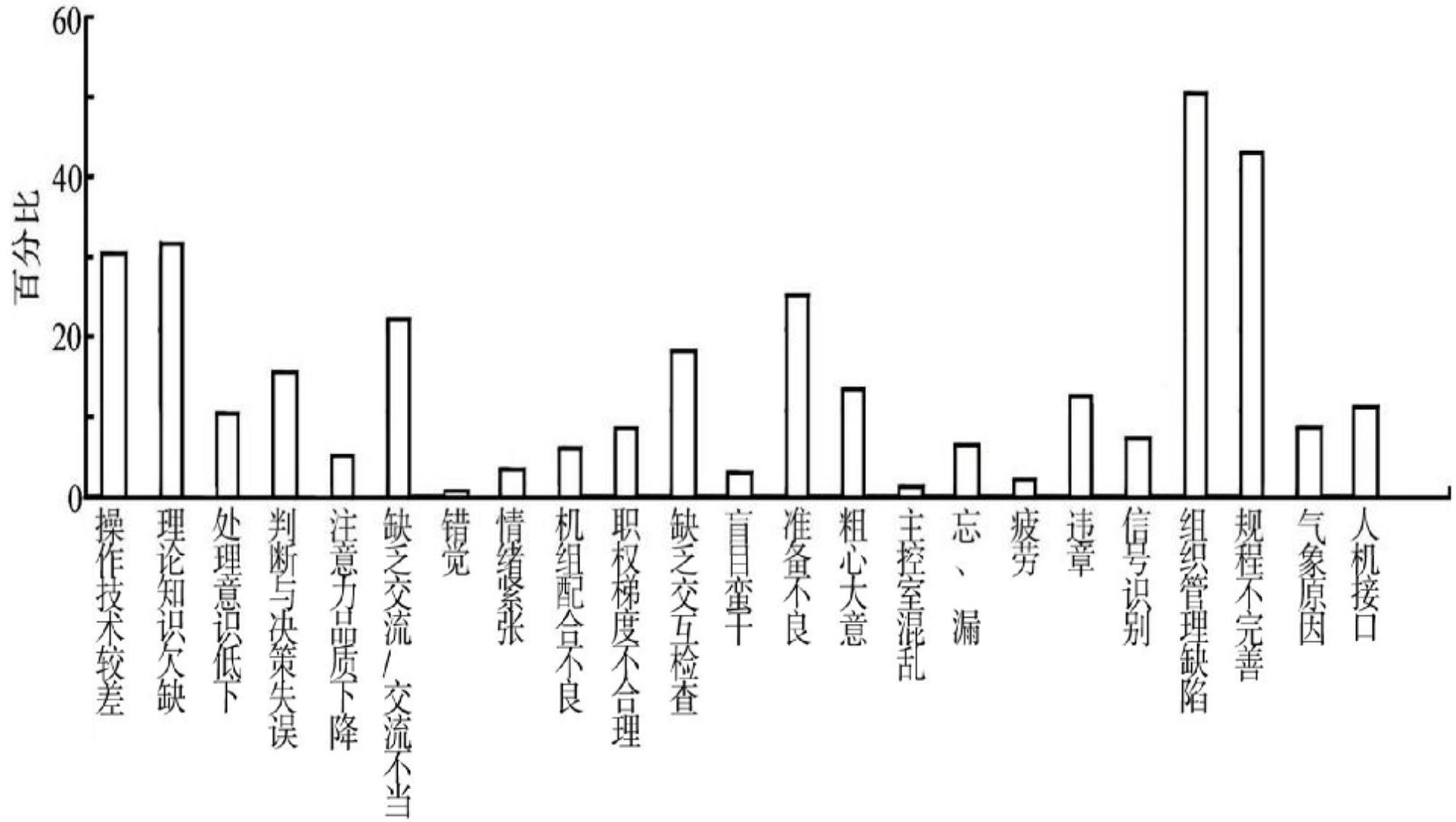


核电站人因事件的主要根原因 (分类不独立)

- n 组织管理缺陷有关的事件占50.4%;
- n 与规程原因有关的事件占43.1%;
- n 与理论知识欠缺有关的事件占31.9%;
- n 与基本操作较差有关的事件占30.45%;
- n 与准备不良有关的事件占25.2%;

- 
-
- n 与交流不足/不当有关的事件占22.2%;
 - n 与监督检查有关的事件占18.5%;
 - n 与判断和决策失误有关的事故占15.6%;
 - n 与粗心大意有关的事件占13.3%;
 - n 与违章有关的事件占12.6%

各类根原因分布



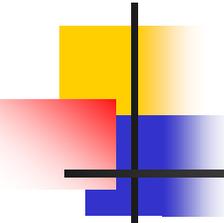
报告目录

- 一、人因失误的严重性
- 二、人因失误的基本理论
- 三、人因失误、事故产生原因
- 四、系统数字化对人因的影响
- 五、人因失误分析与预防



四、系统数字化对人因的影响

- n 数字化使系统控制集中化、自动化、精确化，代表工业系统的发展方向。
- n 使系统中的人-机界面（HMI s）、系统中人的作业模式和行为、甚至系统的组织结构和运行机制都发生了巨大的变化。
- n 带来了较基于模拟技术、传统的自动化系统新的、更复杂的、更深层次的人因问题。



系统数字化后的变化

- n 传统人-机界面发展为人-系统界面

- o 人-机接口多样化

- o 人-机接口高度集中

- n 人的作业模式和行为变化

- o 运行人员主要职责由参与控制过程转变为监视和处理紧急情况。

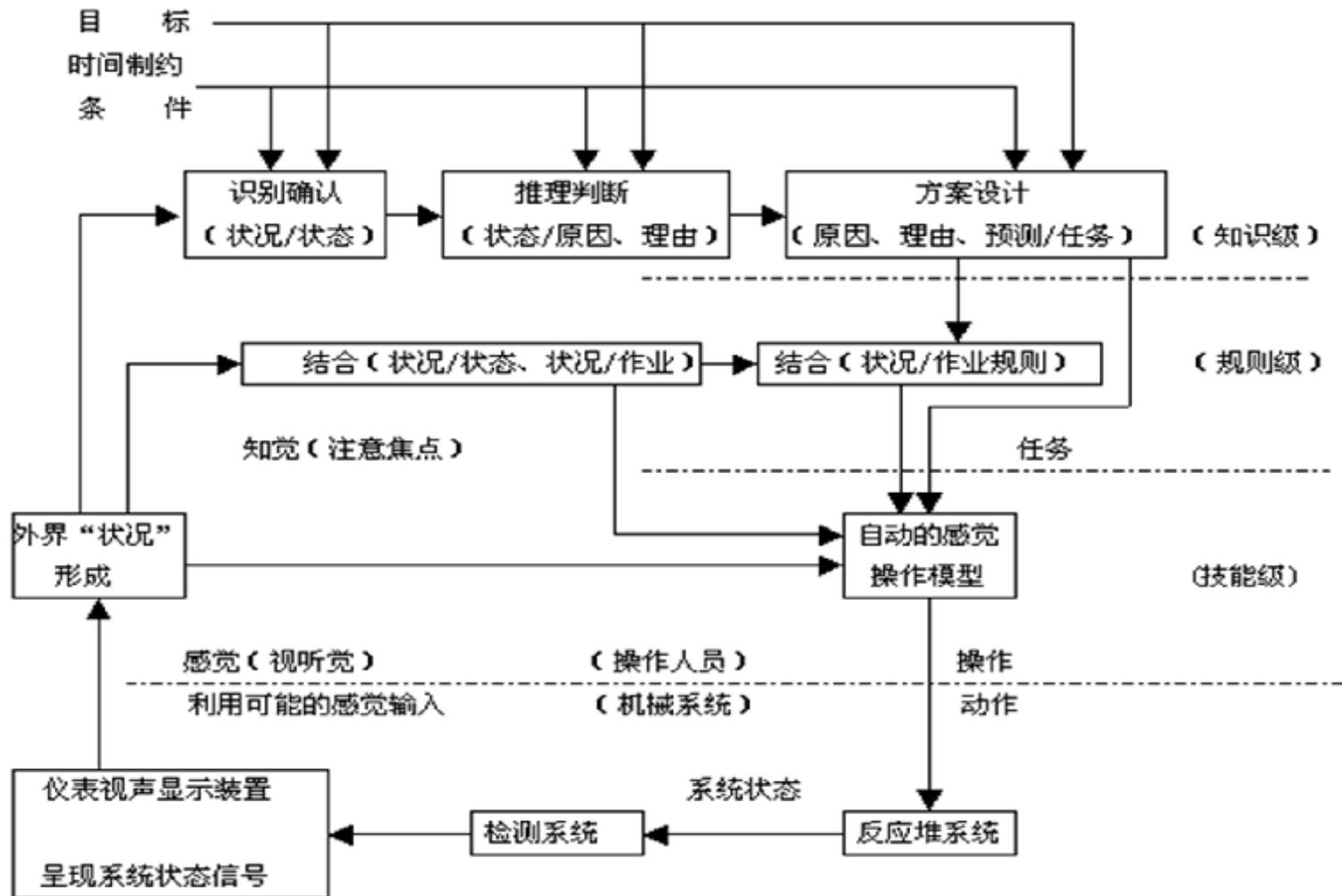
- o 人变为系统中被动和有限能力的信息加工中心，降低了人在系统中的能动作用。

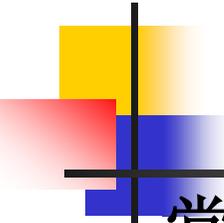
- n 组织结构、运行机制变化

- o 运行班组构成，成员间关系

- o 操纵员任务分配机制

常规反应堆系统操作人员认知行为模型





人-机界面的差异导致行为模式变化

n 常规主控室

- ∅ 监视—确认—决策—控制
- ∅ 模拟盘获取信息，控制台操作

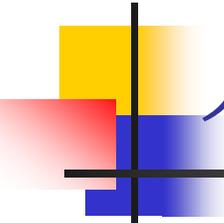
n 数字化主控室

- ∅ 运行人员需要完成的两类任务：

第一类任务 运行人员直接为监控系统运行而需完成的任务：监视/检测、状态评估、响应计划、响应执行。

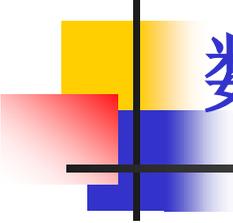
第二类任务 不直接监控系统运行的那些任务：界面管理任务，包括浏览与访问信息，数据搜索，页面配置与管理等。

- ∅ 两类任务有着不同的工作模式和认知行为模式。



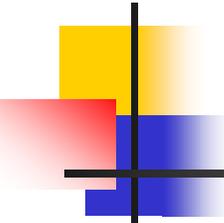
人-机界面的差异导致行为模式变化（续）

- n “监视”的内涵、质与量不同。
- n 新增界面管理任务，它们支持和保障完成第一类任务，同时与第一类任务也相互交互。增加了新的人因失误源，可能出现新的人误模式。
- n 在数字化人-机界面，操作人员基于技能型和规则型的行为减少，基于知识型的行为增加。



数字化人-机界面背景下人的失误机理

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



紧急情况下常规人-机界面操作人员 误判断与误操作数学模型

n 误判断模型:

$$r=0.3878/t+0.0060$$

r为误判断率，t为信息显示时间（表征紧急情况）

n 误操作模型:

$$R=0.019811/T^2-0.095176/T+0.174007$$

R为误操作率，T为信息间隔时间

在数字化人-机界面将有何变化？？

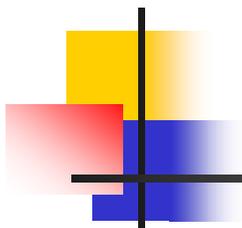
五、人因失误分析与预防

+ 人误分析技术

- n 根原因分析技术
- n HRA方法

+ 人误预防方法

- n 人一机—环境系统优化
 - ü 人的因素
 - ü 技术因素
 - ü 组织与管理因素
- n 绩效增进系统
- n 明星自检



谢谢各位！
请大家提问！