

doi: 10.7690/bgzdh.2024.01.014

# 一种层次化的人为差错分类方法

蒋英杰, 乔鹏贺, 周奉要

(中国人民解放军 96753 部队, 济南 271100)

**摘要:** 针对人为差错在差错描述的全面性、一致性以及方法本身的有效性等方面的不足, 提出一种层次化的人为差错分类新方法。将当前的各种人为差错分类方法分为 3 类, 分析各种方法的特点和缺陷。提出从宏观到微观分层次的分析思想, 将人为差错分为 4 个层次, 针对每个层次构建详细的分类框架; 运用该方法对航空维修中的人为差错进行示例分析, 演示方法的使用流程。分析结果表明: 该方法是一种有效的人为差错分类方法, 可用于指导各种任务场景的人为差错辨识。

**关键词:** 人因可靠性分析; 人为差错分类; 差错模式; 执行差错; 忽略差错

**中图分类号:** TP301 **文献标志码:** A

## A Hierarchical Human Error Classification Method

Jiang Yingjie, Qiao Penghe, Zhou Fengyao

(No. 96753 Unit of PLA, Jinan 271100, China)

**Abstract:** A new hierarchical human error classification method is proposed to overcome the shortcomings of human error in the aspects of comprehensiveness and consistency of error description and the effectiveness of the method itself. The current human error classification methods are divided into three categories, and the characteristics and defects of each method are analyzed. Human errors are divided into four levels, and a detailed classification framework is constructed for each level. Human errors in aviation maintenance are analyzed by this method, and the application process of the method is demonstrated. The analysis results show that the method is an effective human error classification method and can be used to guide the human error identification in various task scenarios.

**Keywords:** human reliability analysis; human error classification; error mode; execution error; ignore error

### 0 引言

随着人为差错导致事故比例的不断上升, 核工业、航空航天等对安全性要求较高的工业领域开始普遍重视对人为差错的研究和管理<sup>[1-3]</sup>。经过几十年的发展, 人为差错的研究取得了丰硕的成果, 产生了许多人因可靠性分析方法<sup>[4-6]</sup>。人因可靠性分析(human reliability analysis, HRA)已经逐渐发展成为一个独立的学科, 研究内容包括: 人为差错辨识、人为差错成因分析、人为差错概率计算以及人为差错规避措施设计。其中人为差错辨识是人因可靠性分析的基础性工作。通过差错辨识, 分析人员可以尽可能多地确定所有可能出现的人为差错模式, 这对于进一步分析人为差错的成因, 研究差错机理以及制定相应的差错规避措施都具有重要的意义。当前, 人为差错辨识很大程度上依赖于分析人员的知识和经验, 辨识结果的全面性和一致性很难得到保证; 因此, 笔者构建一种人为差错分类方法, 并使之能够有效指导人为差错辨识。

### 1 人为差错分类方法概述

目前, 人因可靠性分析领域的研究人员出于不同的研究需要, 分别构建了不同的人为差错分类方法。总的来说, 这些分类方法主要可以分成基于任务的、基于行为的和基于认知的 3 类。

#### 1.1 基于任务的分类法

基于任务分类法的基本思想是将整个任务分成不同的任务类型, 然后针对不同的任务类型分析可能发生的人为差错, 其典型代表是 Meister 分类法。

Meister 分类法是 Meister 于 1962 年提出的<sup>[7]</sup>, 该方法将人为差错分为设计差错、操作差错、装配差错、检查差错、安装差错和维修差错, 具体如表 1 所示。

#### 1.2 基于行为的分类法

基于行为的分类法关注人的行为特征, 从行为的外在表现或行为模式出发, 对可能出现的人为差

收稿日期: 2023-09-15; 修回日期: 2023-10-25

第一作者: 蒋英杰(1981—), 男, 山东人, 博士。

错进行分类，代表性的方法是执行差错/忽略和 Rasmussen 分类法。

表 1 Meister 人为差错分类法

差错类型	差错模式
设计差错	设计的产品不足以完成所需要的功能；设计没有考虑产品的可靠性、安全性等综合性能指标；设计的产品缺乏舒适性和可操作性
操作差错	没有执行所要求的动作；错误地执行了所要求的动作；执行了没有要求的动作
装配差错	错误地使用零部件；忘记装配一些零件……
检查差错	没有将有缺陷的产品筛选出来；筛选出了没有缺陷的产品
安装差错	安装错误；没有完全安装
维修差错	执行了错误的维修动作；维修了没有出现问题的部件

执行差错/忽略是 Swain 于 1983 年提出的人为差错分类方法<sup>[8]</sup>，这种分类方法从人的行为表现出发，描述了 2 大类不同的差错。其中，执行差错表示“针对某个任务，采取了某个动作，但这个动作就是错误的”，包含 2 种含义：1) 当任务要求是不执行任何动作时，如果采取了动作就属于执行差错；2) 当任务要求是执行相关动作时，如果采取了与要求不符的动作也属于执行差错。忽略表示“在应该执行相关动作的情况下，没有采取任何动作”。

Rasmussen 分类法是由 Rasmussen 于 1983 年提出的<sup>[9]</sup>。该方法以人的行为模式为出发点人为差错进行分类，将人的行为模式划分为技能型行为、规则型行为和知识型行为 3 种；并进一步将人为差错分为技能型差错、规则型差错和知识型差错。其中：技能型差错表示人在接收信息之后下意识地做出反应时出现的差错，导致这种差错的主要原因是人员的培训水平和完成该任务的经验；规则型错误表示人依照规则执行动作时出现的差错，导致这种差错的主要原因是人员对规则的理解程度；知识型差错表示人对情景环境进行分析、诊断和决策时出现的差错，导致这种差错的主要原因是人员的领域知识水平。

### 1.3 基于认知的分类法

基于认知的分类法关注人的认知特征，其典型代表为：错误/过失/遗漏和 CREAM 分类法。

错误/过失/遗漏是 Reason 于 1990 年提出的<sup>[10]</sup>，这种分类方法从人的认知结果——“意图”的角度出发，描述了 3 种不同形式的差错。其中，错误表示“意图是错误的，执行的动作也是错误的”；过失表示“意图是正确的，但执行了错误的动作”；遗漏表示“意图是正确的，但没有执行应该执行的动作。”这种分类的基本框架如图 1 所示。

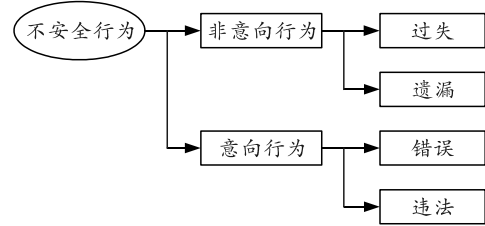


图 1 错误/过失/遗漏分类框架

Hollnagel 在 1998 年提出了 CREAM 方法<sup>[11]</sup>，该方法考虑了人的认知过程，建立了具有 4 个认知功能的认知模型：观察-解释-计划-执行，分别给出每个认知功能所对应的差错模式，具体如表 2 所示。

表 2 CREAM 方法中的人为差错分类

认知功能	差错模式
观察	观察目标错误；辨识错误；没有进行观察
解释	诊断失败；决策失误；解释延迟
计划	优先级错误；计划不恰当
执行	动作方式错误；动作时间错误；动作目标错误；动作顺序错误；动作存在疏忽

### 1.4 人为差错分类方法评述

通过上述分析可以看出，人因可靠性分析领域对人为差错分类的研究较为深入，已经形成多种人为差错分类方法。这些方法对于指导人为差错辨识，推动人因可靠性分析其他工作的开展起到了重要作用。由于出发点不同，各种分类方法在全面性、一致性和有效性等方面都存在明显差异。主要表现在：

1) 全面性：Meister 分类法和 CREAM 方法没有完备的人为差错分类框架，其差错模式的表述依赖于方法设计者的知识和经验，很难涵盖所有的差错模式。Rasmussen 分类法、执行差错/忽略和差错/过失/遗漏都构建了完备的人为差错分类框架，保证了差错模式描述的全面性，但又过于宏观。

2) 一致性：通过上述对各种分类方法的分析可以看出，各种分类方法对差错模式的描述都形成了独立的术语规范，对于同样的差错模式，使用了不同的表述，如对于应该执行而没有执行的情形，执行差错/忽略使用了“忽略”，错误/失误/遗漏使用了“遗漏”。

3) 有效性：Meister 分类法对宏观任务中人为差错模式描述比较细致，CREAM 分类法对微观认知功能中的人为差错模式的描述比较细致，它们都可以有效地指导人为差错的辨识。Rasmussen 分类法、执行差错/忽略和错误/过失/遗漏的差错分类比较粗糙，只提供了差错大类，在细致程度上满足不了差错辨识的要求。

## 2 一种新的人为差错分类方法

综上所述，当前的人为差错分类方法在差错模式描述的全面性、使用术语的一致性和方法的有效性等方面都存在不同程度的缺陷；因此，构建一种能够满足这 3 方面要求的新的人为差错分类方法非常必要。通过评述可以发现，Meister 分类法从宏观上把握了各种任务类型；执行差错/忽略虽然在差错模式的描述上比较粗糙，但提供了一个完备的人为差错模式分类框架；CREAM 分类法区分了微观认知功能中的差错模式；而 Rasmussen 分类法对认知过程所涉及的认知功能进行了有效规范。综合各个方法的优点，将新的人为差错方法构建成由宏观到微观的 4 个层次：1) 任务差错；2) 行为模式差错；3) 认知功能差错；4) 认知差错模式。

### 2.1 任务差错

Meister 分类法对任务类型的划分已经比较充分，为尽力满足全面性的要求，需要进一步考虑使用、监督和管理 3 种任务类型。

1) 设计差错：设计人员在产品设计的过程中造成的差错；

2) 制造差错：操作人员在产品制造的过程中造成的差错；

3) 装配差错：装配人员在产品装配的过程中造成的差错；

4) 检查差错：检查人员在检查产品的过程中造成的差错；

5) 安装差错：安装人员在产品安装的过程中造成的差错；

6) 使用差错：操作人员在产品使用的过程中造成的差错；

7) 维修差错：维修人员在产品维修的过程中造成的差错；

8) 监督差错：监督人员在监控设备或人员时造成的差错；

9) 管理差错：管理人员在对人员、设备或工具进行管理的过程中造成的差错。

需要指出的是，在这 9 种任务类型之外，不排除有其他任务类型的存在，这里只是尽可能满足全面性的要求。另外，这 9 种任务类型的定义只是采用了一般性的术语，在不同的任务场景中，可能会有更具体、更专业的称谓，如医疗中的诊断差错可以划归为检查差错，治疗差错可以划归为维修差错。

### 2.2 行为模式差错

Rasmussen 将人的行为模式分为技能型 (skill-based)、规则型 (rule-based) 和知识型 (knowledge-based)<sup>[9]</sup> 3 类。

1) 技能型的行为是指当操作人员面对非常熟悉的任务时，所采取的一种近似本能反应的行为，它依赖于人员的实践水平和完成该项任务的经验。

2) 规则型的行为是指操作人员按照规程或者协议的要求来执行任务时，所采取的行为，它与技能型行为的主要不同点来自对实践的了解或掌握程度。

3) 知识型的行为是指当事故症候不清楚、目标状态出现矛盾或者出现新鲜情景环境时，操作人员必须依靠自己的认知经验进行分析诊断和制定对策。

套用 Rasmussen 分类法，将行为模式差错分为技能型差错、规则型差错和知识型差错。每种差错的定义保持不变，具体可参照 1.2 节中的内容。

### 2.3 认知功能差错

目前，各种人因可靠性分析方法对人认知过程中所涉及的认知功能尚没有形成共识，如 ATHEANA 方法将认知功能分为监控/探测、环境感知、计划和实现<sup>[12]</sup>；CREAM 方法将认知功能分为观察、解释、计划和执行<sup>[11]</sup>；SPAR-H 方法将认知功能分为诊断和执行<sup>[13]</sup>。考虑到不同的行为模式对应不同的认知功能，选择使用 Reason 于 1990 年提出的通用认知模型，具体结构如图 2 所示<sup>[10]</sup>。

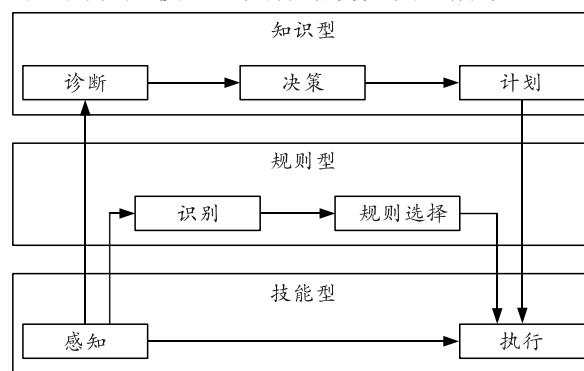


图 2 通用认知模型

上图可明确地区分出 3 种行为模式所对应的认知功能。对涉及的 7 个认知功能定义如下：

1) 观察：通过感觉器官从各种警报、显示器等视听设备获取各种任务场景信息。

2) 识别：完成对所获取信息的分析和理解，并通过思维过程完成对任务的认定。

3) 规则选择：针对所认定的任务，选择对应的处置规则。

4) 诊断：完成对所获取信息的分析、理解，辨别出可能面临的问题，并构建出可能需要的备选策略。

5) 决策：完成对问题的求解，涉及任务目标和相应策略的选择。

6) 计划：对所选择策略在时间、空间和实施对象上形成意念性安排。

7) 执行：操作人员在已有规则或策略的指导下，执行相关动作。

需要说明的是，将执行功能作为认知过程的一部分，其意义与 CREAM 方法和 SPAR-H 方法中的“执行”相同，是广义的认知过程，既包含了人的心理活动部分又包含了身体动作部分。

将认知功能差错定义为认知功能在工作过程中产生差错的情形。对应 7 个认知功能的认知功能差错分别为：观察差错、识别差错、规则选择差错、诊断差错、决策差错、计划差错、执行差错。

### 2.4 认知差错模式

认知差错模式是指各个认知功能可能出现的各种差错形式，是人为差错最底层的表现形式，也是人为差错辨识的最终目标。为更加有效地指导人为差错辨识，认知差错模式的分类应当尽可能地保证全面性和细致性。

执行差错/忽略和错误/失误/遗漏从差错模式的大类出发，构建了全面的差错分类法。但是，它们对差错模式的描述浮于表面，没有进一步挖掘出更为细致的认知差错模式；因此，对人为差错辨识的指导意义不大。CREAM 分类法对差错形式作了更深层次地描述，给出了每个认知功能所可能出现的各种差错模式。但是，该方法没有得到完整的分类框架支持，其分类结果无法保证全面性。为此，文献[14]将执行差错/忽略框架与认知模型相结合，建立了比较完备的人为差错分类框架，全面分析了认知过程可能产生的人为差错。笔者沿用这一思路，在文献[14]的基础上进一步细化 2 类差错。

对于忽略差错，细化为 2 种情形：完全遗忘和无响应。其中：“完全遗忘”是指操作人员在时间充裕的情况下，完全遗忘了应该执行的任务或动作；“无响应”是指时间紧迫，操作人员来不及做出响应。

对于执行差错，从时间、空间、实施对象和完成质量 4 方面进一步细化，具体包括：执行时间错误、执行顺序错误、实施对象错误和动作完成不符合要求。其中：“执行时间错误”包括执行动作的时

机错误；“执行顺序错误”是针对任务中包含多个动作，操作人员没有按照正确的顺序执行对应动作的情形；“实施对象错误”是指没有将动作施加到正确的对象上；“动作完成不符合要求”包括执行部分动作、动作执行错误和执行了多余的动作。

通过对执行差错/忽略的充分细化，可以得到如表 3 所示的人为差错模式分类框架。

表 3 人为差错模式分类框架

差错类别	差错模式
忽略差错	完全遗忘；无响应
执行时间错误	动作时机错误
执行顺序错误	动作顺序错误
实施对象错误	动作对象错误
动作完成不符合要求	执行部分动作；动作错误；动作多余

这样就建立了可以满足全面性要求的人为差错模式分类框架。针对通用认知模型中的 7 个广义认知功能分析，可以得到认知差错模式如表 4 所示。

表 4 认知差错模式分类

认知功能	差错模式类别	差错模式描述
观察	完全遗忘	忘记观察
	无响应	来不及观察
	时机错误	观察执行过迟
	动作对象错误	没有观察应该观察的对象
	执行部分动作	只观察了部分内容
识别	动作错误	观察到错误的内容
	无响应	来不及进行识别
	时机错误	识别过迟
	执行部分动作	只识别了部分场景
规则选择	动作错误	识别结果错误
	无响应	来不及进行规则选择
	时机错误	规则选择过迟
诊断	执行部分动作	规则选择不充分
	动作错误	选择了错误的规则
	无响应	来不及诊断
决策	动作时机错误	诊断过迟
	执行部分动作	诊断不充分
	动作错误	诊断结果错误
	无响应	来不及决策
计划	动作时机错误	决策过迟
	执行部分动作	决策不充分
	动作错误	决策错误
	无响应	来不及计划
执行	动作时机错误	计划过迟
	动作顺序错误	计划的顺序错误
	执行部分动作	计划不充分
	动作错误	计划的内容错误
	完全遗忘	忘记执行动作
执行	无响应	来不及执行动作
	动作时机错误	执行动作的时机过早或过迟
	动作顺序错误	执行动作的顺序错误
	动作对象错误	执行动作的对象错误
	执行部分动作	执行了部分动作
	动作错误	执行了错误的动作
	动作多余	执行了多余的动作

## 2.5 分类方法的使用

新的人为差错分类方法描述了由宏观到微观 4 个不同层面可能出现的差错模式，由于充分考虑了差错模式分类结果的全面性和有效性；因此，可有效地指导分析人员进行人为差错辨识。需要说明的是，前 3 个层次是对差错模式的 3 次筛选，最后的认知差错模式才是想要得到的，也是对人为差错辨识最具指导意义的结果。在进行人为差错辨识时，分析人员需按照这 4 个层面依次进行，其基本流程如图 3 所示。



图 3 新差错分类方法的使用流程

首先，分析人员对任务场景分析，并对照 2.1 节中的 9 种任务差错，确定当前任务场景所对应的任务差错类型。

然后，分析人员对任务特性以及操作人员的知识、经验和能力水平进行分析，并对照 2.2 节中的 3 种行为差错模式，确定操作人员在完成任务时所属的行为模式差错。

随后，分析人员通过对操作人员访谈等方式分析操作人员的认知过程，并对照 2.3 节中的通用认知模型，辨识出可能出现的认知功能差错。

最后，分析人员在与操作人员访谈的基础上分析差错结果，并对照表 4，辨识出可能出现的认知差错模式。

通过上述过程，分析人员就可以得到当前任务场景所对应的认知差错模式，为下一步分析差错成因、制定差错规避措施打下基础。

## 3 示例分析

航空维修一直都是航空安全保障的主体部分，航空维修差错也是威胁航空安全的重要因素，是导致空、地事故或者事故征候的直接原因之一。据统计资料显示，世界上 20%~30% 的空中停车、80% 的坠机事故、80% 的偏离跑道事故、50% 的航班延误以及 50% 的航班取消均与航空维修有关。由于维修工作主要是由人完成的；因此，研究航空维修中的人为差错具有重要意义。这里运用新的人为差错分类方法对一般性的航空维修人为差错进行分类。

1) 任务差错分析：对照任务差错类型，航空维修差错很显然属于维修差错。

2) 行为模式差错分析：一般性的航空维修都是按照提前制定的规程进行的，属于规则型差错。

3) 认知功能差错分析：在规则型的航空维修中，需要调用感知、识别、规则选择和执行等 4 个认知功能，而且都可能出现差错；因此，认知功能差错包括：感知差错、识别差错、规则选择差错和执行差错。

4) 认知差错模式分析：进一步对照表 4，可得一般性航空维修的认知差错模式如表 5 所示。

表 5 航空维修中的认知差错模式

认知功能	认知差错模式
观察	没有观察到应该观察到的故障特征，只观察了部分故障特征；观察到的故障特征不正确
识别	只识别了部分故障；识别的故障结果错误
规则选择	规则选择不充分；选择了错误的规则
执行	忘记维修；维修的顺序错误；维修的对象错误；只完成部分维修；维修错误

利用本文中提出的人为差错分类方法，经过 4 个步骤的分析，最终得到了一般性航空维修中人为差错的认知差错模式，为下一步分析认知差错模式的差错成因并制定有针对性的差错规避措施打下了基础。

## 4 结论

笔者构建一种新的人为差错分类方法，按照从宏观到微观的原则，将人为差错分为 4 个层次，对每个层次的差错类型作了较为详尽的分析。通过对航空维修中的人为差错进行示例分析，演示了该方法的使用流程。分析结果表明，该方法是一种有效的人为差错分类方法，可以为人为差错的辨识提供科学指导。

## 参考文献：

- [1] SHORROCK S T, KIRWAN B. Development and application of a human error identification tool for air traffic control[J]. Applied Ergonomics, 2002, 33(4): 319-336.
- [2] 苏畅, 张恒喜. 飞行作战效能评估中人的可靠性的引入方法[J]. 航空学报, 2006, 27(2): 262-266.
- [3] 邹衍华, 张力. 多机组核电厂动态人因可靠性分析: 现状与展望[J]. 核科学与工程, 2021, 41(5): 958-965.
- [4] 青涛, 刘朝鹏, 张力, 等. SPAR-H 方法在数字化核电厂人因可靠性分析中的应用研究[J]. 核动力工程, 2021, 42(3): 126-131.
- [5] KIRWAN B. A guide to practical human reliability assessment[M]. London: Taylor & Francis, 1994.
- [6] 浦同争, 何敏, 宗容, 等. 基于改进 CREAM 的无人机操作员人因可靠性分析[J]. 指挥与控制学报, 2019, 5(3): 236-242.