

24Model 的系统特性研究

傅 贵^{1,2}, 索 晓^{1,2}, 王春雪³

(1. 中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 北京 100083; 2. 中国矿业大学(北京)煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 北京 100083; 3. 首都经济贸易大学安全与环境工程学院, 北京 100070)

摘 要 为了能通过事故致因模型 24Model 进行更全面的事故分析和预防工作, 笔者梳理了危险源和事故的关系, 阐述了 24Model 的系统特性. 研究认为危险源是事故发生的来源, 等同于事故致因. 24Model 是具有整体性, 关联性, 层次性, 动态性的系统性事故致因模型. 利用 24Model 对“东方之星”号客轮翻沉事故进行了分析, 以实例验证了 24Model 的整体性, 关联性, 层次性和动态性.

关键词 24Model; 事故致因模型; 系统思考; 危险源

Study on the systematic characteristics of 24Model

FU Gui^{1,2}, SUO Xiao^{1,2}, WANG Chunxue³

(1. School of Resources & Safety Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 2. State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 3. School of Safety & Environmental Engineering, Capital University of Economics & Business, Beijing 100070, China)

Abstract In order to carry out more comprehensive accident analysis and prevention work via accident causation model 24Model, the authors analyze the relationship between hazards and accidents. Then the system characteristics of 24Model is expounded. The study shows that the hazards are the sources of the accident which equates to the accident causations. 24Model is a systematic accident causation model which involves features of integrity, relevance, hierarchy and dynamic. The characteristics of integrity, relevance, hierarchy and dynamic of 24Model are illustrated with an example which is the capsized accident of the “Eastern Star” ferry analyzed via 24Model.

Keywords 24Model; accident causation model; system thinking; hazards

1 引言

事故致因模型能揭示事故发生原因, 描述事故发生的路径^[1], 并为人机交互, 管理规程等的改进提供可靠的数据支持^[2], 系统是事后事故分析 (post hoc accident analysis), 危险源辨识 (hazard analysis), 风险分析 (risk assessment) 等过程的重要技术工具^[3]. 24Model^[4-6] 在 Heinrich 的多米诺模型 (Domino model)^[7] 和 Reason 的瑞士奶酪模型 (Swiss cheese model)^[8] 为理论上提出的现代事故致因模型. 其基本假设为任何事故都至少发生在一个社会组织 (单位) 中, 即假设任何事故都是组织事故. 出于实用性和充分效率性 (efficiency-thoroughness trade-off, ETTO)^[9] 的考量, 24Model 沿用了多米诺模型和瑞士奶酪模型的模块化特点, 改进了前两个模型模块定义不充分的缺陷^[2], 方便从业人员进行标准化事故分析和危险识别, 避免因知识水平不足而造成的分析结果的缺陷或差异. 24Model 认为危险源包含了人因, 物因, 组织因素和组织外

收稿日期: 2017-05-08

作者简介: 傅贵 (1961-), 男, 汉, 吉林九台人, 教授, 博士, 研究方向: 行为安全, 安全管理, E-mail: fugui66@126.com; 通信作者: 索晓 (1990-), 男, 汉, 湖北荆州人, 博士研究生, 研究方向: 安全管理, E-mail: bruce88163@126.com; 王春雪 (1991-), 女, 汉, 北京人, 博士研究生, 研究方向: 安全管理, 安全风险评价, E-mail: rebekahwangcx@163.com.

基金项目: 国家自然科学基金 (51534008)

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (51534008)

中文引用格式: 傅贵, 索晓, 王春雪. 24Model 的系统特性研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(1): 263-272.

英文引用格式: Fu G, Suo X, Wang C X. Study on the systematic characteristics of 24Model [J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2018, 38(1): 263-272.

部因素。另外, 24Model 将事故的原因分为 2 个层面即个人层面和组织层面; 4 个阶段即一次性行为和物态, 习惯性行为, 运行行为, 指导行为; 引入安全管理体系这一模块, 严格区分了个人行为和组织整体行为, 即个人行为的发出者包括了高管理者, 中层管理者, 基层管理者和一线员工, 组织整体行为仅仅包含安全文化(理念、态度)和安全管理体系(文件), 这样区分确切地将组织文化, 结构, 制度等与人的行为区分开来, 更清晰的反映组织和个人的关系, 避免在实际事故分析与统计中出现组织因素和个人行为区分不清的困惑, 方便进行多起事故(multiple accidents)的统计分析。

24Model 被广泛应用在多领域事故分析和安管管理中。如在煤矿事故分析方面, 文献 [10] 从不安全动作层面对煤矿水灾事故的发生进行了研究, 找到了导致煤矿重特大水灾事故的 309 个不安全动作, 进一步将这些不安全动作分为 13 大类, 并找出了直接导致重特大水灾事故发生的 68 个不安全动作。文献 [11] 对导致煤矿瓦斯爆炸的共性不安全动作(动作的发出者可能来自各层级员工)进行了研究, 找出无风微风作业, 进入禁入区作业等 8 大类 14 项共性不安全动作。文献 [12] 对中美煤矿瓦斯爆炸事故发生时间, 发生地点, 点火原因进行了对比。在对消防事故分析中, 康茹等对 2003 至 2014 年火灾引起建筑物坍塌至消防员伤亡的事故进行了分析, 详细分析了导致此类事故的动作, 物态, 知识, 意识, 习惯, 安全管理体系, 安全文化等因素^[13]。化工事故分析中, 文献 [14] 对天津港 8·12 特大火灾爆炸事故的不安全动作原因和组织原因进行了详细的研究。海事事故分析中, 文献 [15] 对韩国岁月号沉船事故的不安全动作, 安全管理体系, 安全文化三方面原因进行了研究。在企业安全管理中, 文献 [16] 探讨了 24Model 在煤矿安全管理中的应用, 利用 24Model 对事故原因进行细致分析, 并制定针对性的对策, 进行日常安全管理。文献 [17] 基于 24Model 建立了城市轨道交通系统安全化管理模式, 细致地研究了适合中国国情的城市轨道交通系统安全化管理模式的安全管理体系和安全文化建设方法。许世民等基于 24Model 建筑企业实际管理经验提出了“一岗多责, 监管分离”的全员协同安全管理模式, 并基于 24 Model 建立了企业安全文化建设水平评价指标体系, 并将其与国家安全文化建设示范企业评价标准进行比较^[18]。

以上利用 24Model 的研究中, 模型的各个模块都被分解开来进行研究, 例如仅仅从不安全动作原因进行分析, 或是基于大量事故案例统计导致事故发生的动作, 单独研究导致事故发生的某一类因素, 建立针对这一类因素的干预措施, 以达到预防事故, 尽管个别研究中对不安全动作, 不安全物态, 知识, 意识, 习惯, 心理, 生理, 安全管理体系, 安全文化因素进行了全面的分析, 但未对事故致因之间的相互影响关系进行研究, 这是典型的还原论思维^[19]。在应对复杂的社会技术系统时, 还原论的方法进行事故分析与预防并不全面, 24Model 在应用中应借助系统论的思维^[20], 以更全面的视角去分析事故, 预防事故。接下来, 本文将对事故致因模型 24Model 的系统特性进行论述, 首先对事故和危险源这两个基本概念进行定义。

本研究其他部分安排如下: 第 2 节对危险源和事故的关系进行了梳理。第 3 节对事故致因模型 24 Model 的系统特性进行了阐述。第 4 节基于 24Model 分析了“东方之星”号客轮翻沉事故, 细致分析了导致事故发生的所有危险源。最后在第 5 节给出了结论。

2 事故与危险源

安全是系统的涌现性, 确定安全性必须从整个系统的角度出发^[21], 事故致因模型作为安全学科研究的基础^[1]也同样需要从系统的角度去阐述事故的发生机理。这里给出两个重要的相关概念, 分别是事故和危险源。

事故: 事故是组织规定的, 人们不期望发生的, 造成生命或健康损害, 或财产损失, 或环境破坏的事件。“组织规定的”能更真实反映一些组织将险兆事件当事故的做法, 同时也是给组织以规定“事故”的自主权。

危险源: 事故发生的来源, 等同于事故致因。从系统的角度看, 系统是一组相互连接的实体, 事故的发生是系统整体向高风险态迁移的结果^[21], 那么系统中所有的元素的失效以及元素不良交互都是导致事故发生的来源, 即危险源, 其包含了人因, 物因, 组织, 组织外部因素以及因素之间的交互, Hollnagel 提出的成败等价原理(The equivalence of failures and successes principle)^[22], 表达了相同的观点, 即保持系统的安全运行和导致系统事故的因素都有相同的原点。在实务运转中的标准相也持相同的观点, 如 ILO-OSH 2001^[23], AS/NZS 4804: 2001^[24], BSI OHSAS 18001: 2007^[25], AQ/T1093-2011^[26], ANSI/AIHA/ASSE/Z10-2012^[27],

MIL-STD-882E^[28], ISO/DIS 45001^[29] 中便要求危险源的辨识需要全面考虑人的因素, 物的因素, 组织因素, 组织外部因素. 所以事故与危险源的关系可以用图 1 表示, 危险源包含了系统的所有元素以及元素交互, 将系统包含的所有危险源作为全集, 事故是从中取子集的元素导致发生的. 对危险源做出以上认识, 有利于在日常安全管理中建立一个全面的危险源辨识思维, 认识到事故是来源于系统内各部件之间的不良交互, 而不仅仅只是关注不安全的物质和能量.

24Model 作为事故致因模型认为危险源是事故发生的来源, 应包含人的因素, 物的因素, 组织因素和组织外部因素. 这是 24Model 建立的基础.

3 24Model 的系统特性

系统是在确定的边界内相互影响的具有因果关系的因素^[30], 系统内的因素相互关联, 当系统向高风险状态发生偏移的时候, 事故就发生了^[21]. 由于系统元素之间复杂的, 非线性的交互, 某一部分的改进并不能杜绝事故的发生, 在进行事故预防时, 既要分析清楚系统内因素的缺欠, 也要分析清楚这些因素的交互关系, 脱离简单的链式事故致因模型的思维, 从还原论的研究思路中解放出来, 将系统作为一个整体来考虑各元素的功能和元素之间的交互. 24Model 将导致事故发生的因素进行分类, 目的是在便于实践操作, 降低学习成本. 模型中的连接线是一个大体的事故发生方向, 并不表示实际的各类因素之间交互的影响路径, 针对具事故分析时, 路径需要按照影响关系进行确定. 24Model 意在为实际操作者提供一个清晰的模块化系统安全管理工具, 在日常安全管理中, 基于 24Model 进行危险源的辨识和风险评估以及风险控制. 24Model 如图 2 所示, 各危险源模块的具体释义见文献 [4-6].

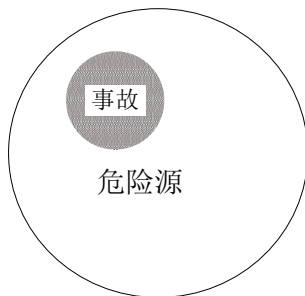


图 1 事故与危险源的关系

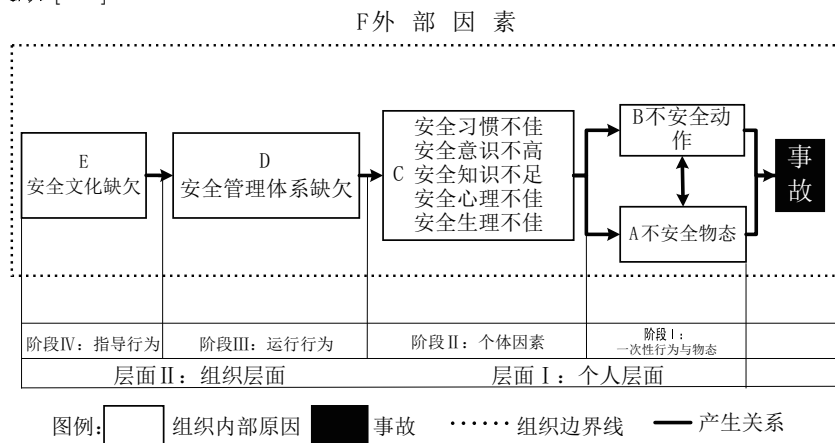


图 2 24Model^[4-6]

3.1 24Model 的组成模块与整体性

第 2 节已阐述了 24Model 对危险源这一概念的认识. 模型中对危险源的涵盖内容进行了进一步细分. 即认为人的因素包括不安全动作 (动作的发出者包括了高管理者, 中层管理者, 基层管理者和一线员工, 涵盖系统中全部的个人) 和个体因素 (安全知识不足, 安全意识不高, 安全习惯不佳, 安全心理不佳, 安全生理不佳); 不安全物态包括不安全物质, 能量和物质的状态; 组织因素包括安全管理体系缺欠和安全文化缺欠; 组织外部因素包括指组织的上级组织, 组织外的政府部门, 组织外的供应商及其产品和服务, 组织成员的家庭, 遗传, 成长环境及自然因素, 市场竞争, 社会政治, 经济, 法律, 文化等对组织内事故发生有影响的因素, 反映在图 2 中即 A, B, C, D, E, F 所示的模块. 传统的事故致因模型, 如 Heinrich 的多米诺模型 (Domino model)^[7] 和 Reason 的瑞士奶酪模型 (Swiss cheese model, SCM)^[8] 将事故描述为在特定的时间顺序中发生的一连串离散事件, 关注的重点是一个或多个部件失效, 认为保证部件的可靠性就能保证系统的安全, 实践中, 可靠性并不能和安全性划等号. 如火星极地登陆者号事故^[31], 着陆架和机载软件的功能都得到可靠执行, 但由于出现交互错误, 导致飞船坠毁. 传统事故致因模型的线性思维, 无法描述复杂社会技术系统中系统部件之间的动态和非线性交互. 因为安全是系统的涌现性, 是系统中全部组件交互后的结果, 24Model 分类出 A 不安全物态, B 不安全动作, C 个体因素, D 安全管理体系缺欠, E 安全文化缺欠, F 外部因素这 6 个模块, 给系统一个全面的描述, 各个模块良好的交互才能保证系统的安全性, 即 24Model 中全部模块的整体行为表现决定系

统的安全与否. 在事故分析中需要充分考虑事故的所有危险源, 并解析各个危险源之间的交互关系, 对系统的安全进行整体的分析.

3.2 24Model 各组成模块的关联性

24Model 给出了一个分析框架, 在具体事故分析中对 A 不安全物态, B 不安全动作, C 个体因素, D 安全管理体系缺欠, E 安全文化缺欠, F 外部因素这 6 个模块依次进行分析, 然后对所得事故原因的相互影响路径进行分析, 建立各个模块的关联性. 图 3 展示了以不安全动作 1 为例的事故原因影响路径, 图中所示的路径是全部可能路径, 具体案例中具体分析, 做出判断取舍.

3.3 24Model 的层次性

层次性是系统的基本特性, 其描述系统内不同层次之间的关系. 24Model 认为事故发生在一个组织内, 所以对组织内因素和组织外部因素做了区分, 组织在运行过程中对外部因素进行响应然后做出应对, 这是第一个层次, 即组织外部和组织内部. 24Model 中组织内部的层次表现在模型所描述的 2 个层次, 4 个阶段. 2 个层面是个人层面和组织层面. 4 个阶段, 分别是个人层面分解为一次性行为与物态和个体因素; 组织层面分解为安全管理体系和安全文化. 模型在安全管理体系中也有一个控制层级. 安全管理体系必须包含的方针, 策划, 实施和运行, 检查, 管理评审五项内容中, 在实施和运行阶段组织需进行组织结构和职责的设立, 这是组织安全管理运行的结构性保证. 图 4 是一个典型的专职型安全管理组织结构 [1].

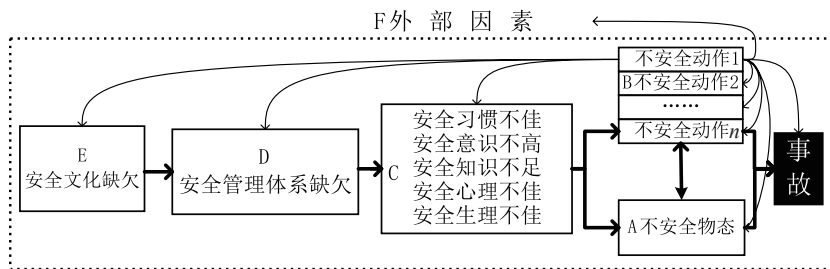


图 3 事故原因的影响路径 (以不安全动作 1 为例)

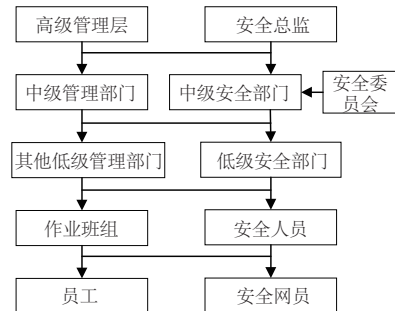


图 4 典型的专职型安全管理组织结构

特别指出的是 24Model 中个人层面的不安全动作的发出者包括了高层管理者, 中层管理者, 基层管理者和一线员工; 组织层面的组织整体行为仅仅包含安全文化 (理念, 态度) 和安全管理体系 (文件) 不包含人的行为. 这样区分的目的是将组织文化, 结构, 制度等与人的行为区分开来, 更清晰地反映组织和个人的关系, 在实际事故分析与统计中, 人的行为发生后, 不便于区分其到底是组织因素还是个人行为, 24Model 做上述区分后, 在事故分析后, 希望能清晰反映组织中个人行为和非个人行为的缺陷, 便于进行预防和改进的开展. 以上的区分可以方便对大量事故的统计, 建立清晰的个人和组织因素的对比数据库.

在具体的事故的分析中各层之间的因素相互影响最终导致了事故的发生, 这些影响路径, 随着系统的变化而千变万化, 具体事故中进行具体分析. 所以, 在预防事故时, 需要发现各层中的缺欠, 采取全面的预防措施, 从系统整体出发遏制事故的发生.

3.4 24Model 的动态性

当组织正常运行时, 24Model 中各层的模块作为保证组织正常运转的实体, 当某一模块发生变化时, 组织中其他模块会进行相应的调整变化. 例如, 煤矿企业的运行中, 随着采掘的深入, 工作面的地质条件, 瓦斯浓度都在随时变化, 要确保安全的开采, 就需要有一套应对物态变化的制度去要求作业人员采取对应的措施, 并且作业人员掌握的知识足够处理遇到的物态变化情况, 接着保证这套制度能被良好执行又需要组织形成对应的安全文化使得人人都遵守规章制度. 一旦各模块的元素中出现未能弥补的缺欠, 因素逐级或越级地相互影响, 因果关联最终便会导致事故的发生.

在利用 24Model 进行日常安全管理工作时, 在发现模块内容中有缺欠时, 需要及时采取控制措施, 将缺欠控制在可接受的风险程度以内, 保证系统的良好运行.

作为一个力求便于实务运转的安全管理工具, 24Model 对危险源进行了分类, 为操作者提供危险源辨识的框架. 模型的建立结构是以组织和个人两个层面进行的逻辑排列, 在分析事故时, 为操作者提供了事故分

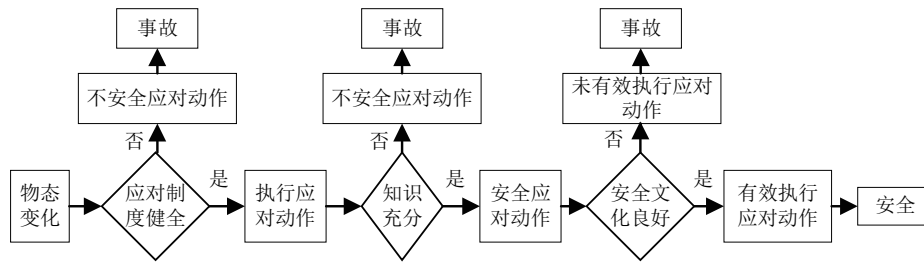


图 5 动态运转的简单示例

析的框架, 结合不同行业, 模型各模块的内容可以进行进一步的细分, 形成具有行业针对性的事故因素分类系统. 最终基于 24Model 可以形成危险源辨识的因素类目表以及高度结构化的事故统计数据, 这些结果对组织日常的安全管理工作进行支持并对组织的人因, 物因, 组织因素的持续改进提供支持, 最终达到预防事故的目的.

4 基于 24Model 的案例分析

24Model 作为具有系统特性的事故致因模型能对导致事故发生危险源进行全面系统的分析并能找出这些危险源的因果连锁关系. 利用 24Model 对“东方之星”号客轮翻沉事故进行案例分析. 以下事故分析基于“东方之星”号客轮翻沉事件调查报告^[32].

A 不安全物态

A1 飚线天气系统

该系统伴有下击暴流, 龙卷风, 短时强降雨等局地性, 突发性强对流天气, 客轮倾覆水域遭受强风雨袭击.

A2 9 点至 10 点之间, 睡眠时段, 不利于逃生

A3 主甲板以上旅客房间没有舷侧通道

A4 船舶机舱门等相关设施未按规定设置风雨密装置且床铺未固定

A5 船舶船体稳性衡准数小

A6 船舶迅速偏转, 风舷角加大

A7 GPS 信号丢失而没人及时发现

B 不安全动作

B1 船长在恶劣天气环境下未能及时做出抛锚停船的决定, 而选择继续前进时, 当船长决定抛锚时, 船体已遭遇下击暴流. 周围船舶都及时选择了抛锚停航, 最终安然无恙

B2 船长及船员未能及时发现轮船后退态势

B3 船长及当班大副在紧急状况下未向外发出求救信息并向全船发出警报组织弃船及疏散旅客等措施 (特别紧急未进行警报)

B4 公司管理层在 97 年改建轮船时请设计人员将舷侧通道取消

B5 公司管理层未发现船舶机舱门等相关设施未按规定设置风雨密装置及床铺未固定的问题

B6 公司管理层削减维护费用

B7 三次改造使得船体稳性衡准数越来越小, 尽管数值仍大于 1, 但船体的稳定性越来越差, 具体变化 K 值见表 1.

轮船于 1997 年进行改造扩建

轮船于 2008 年进行改造扩建

轮船于 2015 年, 重庆东方轮船公司在没有报审的情况下, 进行轮底舱的压载舱和清水舱变更, 且违规聘请不具备特种作业资质的人员对船舶进行改造施工

表 1 稳性衡准数变化表

年份	1994	1997	2008	2015
稳性衡准数 (K)	1.355	1.09	1.018	1.014

B8 公司安全监管部未设置专职船只 GPS 监控人员

C 个体因素

C1 船长及当班大副安全知识不足, 对恶劣天气及船本身抗风性认识不足

C2 船长及船员安全意识不高, 未能在危险环境下保持警觉及时发现轮船后退态势

C3 公司管理层安全知识不足

C31 未能认识到改建后轮船抗风性降低可能会遇到风险及为给紧急情况下的逃生带来的不便

C32 不知道风雨密装置及床铺固定对于船舶稳性的影响

C33 不知道 GPS 监管的重要性

C4 公司管理层安全习惯不佳, 公司管理层对船只长期疏于检查, 对员工的考核和培训不力

D 安全管理体系缺欠

D1 重庆东方轮船公司未制定应急处理文件

D2 重庆东方轮船公司对船员的船舶, 航行及应急知识培训制度存在漏洞, 考核弄虚作假, 违反了《中华人民共和国内河交通安全管理条例》第二章第九条

D3 重庆东方轮船公司管理体系未建立严格的 GPS 监管制度

E 安全文化缺欠

安全文化的 32 个元素表详见文献 [33]. 重庆东方轮船公司的公司安全文化缺少以下元素:

E1 安全的重要程度

E4 安全融入管理的程度

E6 安全生产主体责任的认识

E7 安全投入的认识

E8 安全法规作用的认识

E10 管理层负责程度的认识

E13 安全培训需求程度

E15 管理体系作用的认识

E32 应急能力

F 外部因素

F1 市场压力 (表 2 为重庆东方轮船公司 2013 年和 2014 年的经营状况表, 公司盈利能力差, 债务较高) 导致公司管理层削减维护开支, 并要求行程必须按时完成旅行计划.

表 2 重庆东方轮船公司事故前经营状况^[34]

	2013	2014		2013	2014
资产总额	7220 万元	8975 万元	所有者权益合计	-9626 万元	-9493 万元
营业总收入	2758 万元	3315 万元	利润总额	-395 万元	133 万元
营业总收入中主营业务收入	2519 万元	3128 万元	净利润	-395 万元	133 万元
纳税总额	29 万元	184 万元	负债总额	16846 万元	18468 万元

F2 管理机构众多, 关系复杂, 职能交叉. 对重庆东方轮船公司有监管责任的单位有包括长江航务管理局在内的垂直监管单位 (表 3) 和重庆市地方政府 (表 4).

表 3 交通部监管部门等级示意图 (垂直管理单位)

1	2	3	4
长江航务管理局	长江海事局	重庆海事局 岳阳海事局	万州海事处 -

长江航务管理局对重庆海事局及万州海事处监管不到位. 万州海事处作为一线执法单位对该公司安全管理体系运行情况审核把关不严, 未能发现公司最高管理层分管安全管理负责人不具备相应从业资质, GPS 监控系统形同虚设, 培训考核弄虚作假, 未能发现床铺长期不固定, 机舱门等相关设施未按规定设置风雨密关闭装置等问题.

表 4 重庆市监管部门等级示意图 (地方政府下属部门)

1	2	3	4
		重庆市地方海事局	
	重庆市交通委员会	重庆市航港管理局	万州区地方海事局万州区航港管理局万州区船舶检验局
重庆市委市政府	万州区区委政府	重庆市船舶检验局	
	重庆市国资委	万州区交通委员会	
		万州区国资委	-

长江海事局指挥中心对岳阳海事局指挥中心未认真履行职责的问题失察。

岳阳海事局未实时掌握船舶动态,“东方之星”轮失联以后,也未及时采取有效措施核实船舶状态。

万州区港口航务管理局作为地方政府序列的一线执法单位对运政管理和船舶检验工作管理不到位。对重庆东方轮船公司《水路运输许可证》审查把关不严,船舶检验科检验“东方之星”轮时,未能发现机舱门等相关设施未按规定设置风雨密闭装置等问题。

公司作为万州区国资委管理的国有独资企业,万州区国资委未能贯彻落实国家有关安全生产法律法规,未认真开展对重庆东方轮船公司安全监督检查,对该公司存在的培训考核弄虚作假,安全管理制度不健全等问题督促检查不到位。

F3 气象局与海事部门的信息共享机制不完善: 导致海事部门未对东方之星发出恶劣天气预警。

为了更清晰地展示事故发生过程和各个危险源之间的交互影响关系,绘制东方之星事故的发生路径如图 6 所示。

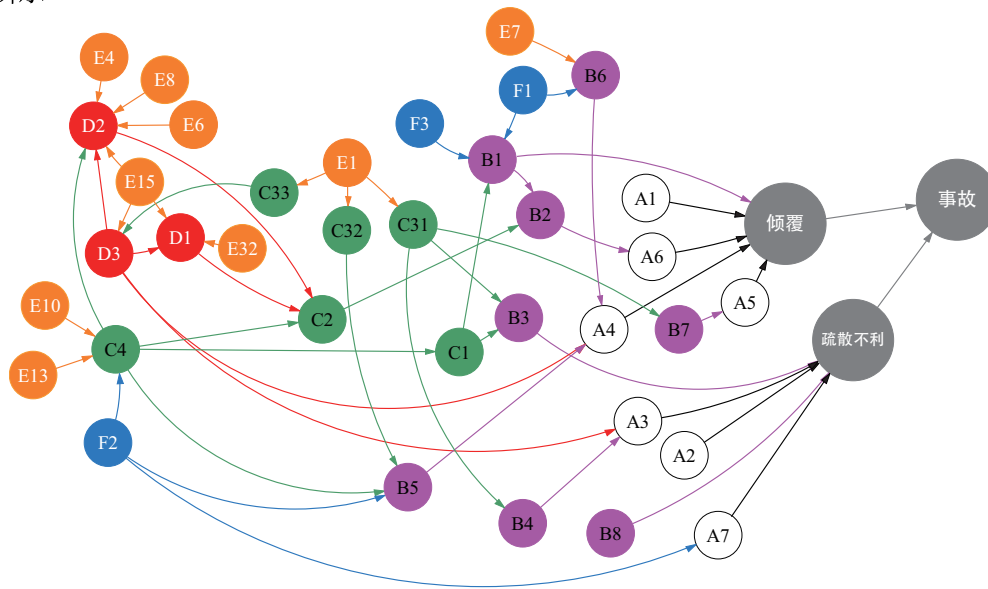


图 6 东方之星事故的发生路径

从 24Model 的个人层面来看,导致这起内陆航运事故发生的直接原因是客轮遭遇极端恶劣天气。客轮在遭遇飚线天气系统同时遭遇下击暴流,突发性的强对流天气使得船体稳性受到极大挑战。加之,船体本身状态不佳,经过三次改造之后东方之星轮无舷侧通道且稳性降低明显。船体在遭遇恶劣天气后未抛锚停航,最终倾覆。

船长的不安全动作产生有更深层次原因。按照以往的思路仅仅分析到船长的行为这一步,提出控制措施是远远不够的。整个航运企业是一个复杂的系统,船长作为客轮的驾驶者是其中的一个环节,船长选择继续航行的这一操作是来自所处情景的决定,那么更深层次的原因需要进一步挖掘。从组织外部因素来看,东方轮船公司受到来自市场的竞争压力,使得公司的经营状况不好,因此管理层对船长施加了执行航行任务的压力,进而导致了船长在恶劣天气条件下仍然选择继续航行以赶时间完成旅行计划以及削减维护开支。

从 24Model 的组织层面来分析,东方轮船公司的管理层日常管理和运转中存在许多漏洞,促使了客轮的不安全物态形成。东方轮船公司作为责任主体,保证为乘客提供运输服务的同时,需要确保乘客的生命财产

安全。公司因为经济效益考虑,分别在 1997 年,2008 年和 2015 年对船体进行了三次改造扩建,直接导致了客轮的稳性衡准数越来越小,这使得船体在这起事故中基本无法应对飚线天气系统而保持稳定;船体改造中舷侧通道取消,仅保留中间过道,加大了紧急情况下乘客逃生的难度;机舱门等相关设施未按规定设置风雨密装置,床铺未固定,使得船体倾覆加速,减少了乘客的逃生时间;航行时间为夜晚且在紧急状况下船长及当班大副未向外发出求救信息并未向全船发出警报组织弃船疏散,这更是为应急的实施抹上阴影。而这些不安全物态本应该在公司的日常安全管理中识别并进行改进与管控的。公司管理层应该保证船体的合理设计,充分考虑安全性能,建立紧急情况处理制度并做好相应的培训,使船员不盲目应对紧急情况。

东方轮船公司的安全管理体系和安全文化都存在缺陷。更进一步去分析东方轮船公司管理层的失误,是公司安全文化的不健全,安全管理体系的不足导致船只的不安全的物态未能得到正确的处理以及紧急情况下船长的不安全动作。船舶运输经营组织应该在企业效益和安全之中,围绕安全融入管理的程度,安全主要决定于安全意识,安全生产主体责任的认识,安全投入的认识,安全法规作用的认识,管理层负责程度的认识,安全培训需求程度,管理体系作用的认识,安全制度执行一致性,应急能力,这些安全文化元素提升企业安全文化。建立健全应急处理文件,船员的船舶,航行及应急知识培训制度,GPS 监管制度并以良好的企业安全文化为基础,进行有效的执行。

从 24Model 的组织外部因素分析,东方轮船公司受到的外部影响因素也是导致灾难发生的要因。以上分析的原因都是东方之星号所属公司的属地主体责任,组织外部因素中,还有监管部门的监管不力和气象部门的预警能力不足共同导致了这起严重事故的发生。监管部门有海事部门的垂直管理机构和地方政府的多个部门,但依然管理不善,多个监管部门并行存在,可能存在相互推诿责任的情况。建议针对航运企业精简监管部门,明晰监管责任并落实执行,做到对经营企业的有效监管。

东方之星事故发生的路径具有典型的系统特征,导致事故的危险源包含了人的因素,物的因素,组织因素和组织外部因素,这些危险源在系统中交互影响,最终导致轮船的倾覆。导致这起事故的直接原因是罕见而恶劣的天气和船长的不安全动作。应对事故直接原因的对策是对船只进行抛锚停船的处理。深层次的原因是企业的管理体系混乱,安全文化缺欠,企业经营状况不佳以及监管部门监管失当。应对的策略是使企业便需要企业树立良好的安全文化,进而制定完备的安全管理制度,在此基础上公司管理层和随船人员需要有效执行建立的规则制度,消除不安全的物态和不安全动作。对于监管部门而言,要明确监管责任,进行有效监管。整个事故的预防需要参考事故发生的路径进行系统的整改,如果仅仅从某一个或某几个危险源的整改入手,不能充分预防事故。比如公司内部建立起完善的安全管理体系和安全文化,而在管理层的执行上出现纰漏,会让不安全的物态和随船员工的不安全行为继续存在,一旦条件成熟,不安全物态和不安全动作会以影响路径导致事故的发生,这样便无法保证客轮航行安全的目标。在预防此类事故的思路不能局限于识别和改进某一个或某几个危险源,应该从系统层面进行整体的识别和控制,达到系统安全与功能执行良好的融合。

综上所述,从整体性来看,事故发生是整个客轮运输系统整体偏差的结果,包含了人的因素,物的因素,组织因素,组织外部因素。这些因素涵盖了客轮运输系统日常运作的方方面面。这表明,依照传统的事故致因模型,仅仅关注一个和多个部件失效是远远不够的。整个水路航运的安全运行需要确保系统的所有组件(危险源)正常的交互作用。从关联性来看,根据 24Model 的分析结果,绘制出事故的完整路径图,用以显示造成系统事故的危险源的交互关系,保证了事故分析结果的充分性。从层次性来看,24Model 能对组织外部和组织内部层次关系;个人层面和组织层;组织内部的安全管理组织结构进行分析。从动态性来看,单次事故分析是一个 24Model 应用的例子,一次分析相当于一次数据输入;随着日常安全管理工作的进行,大量事故分析后的数据录入可用于统计分析,通过 24Model 的统计分析结果为改进人机交互,操作规则和管理系统提供了可靠的支持,维持系统的动态改进过程。在预防此类事故的思路不能局限于识别和改进某一个或某几个危险源,应该从系统层面进行整体的识别和控制,达到系统安全与功能执行良好的融合。

5 结论

本文梳理了危险源和事故的关系,对 24Model 的系统特性进行了论述,主要结论如下:

- 1) 24Model 中各个模块都是危险源,且危险源等同于事故致因。将系统包含的所有危险源作为全集,事故

是从中取子集的元素导致发生的。

- 2) 24Model 是具有整体性, 关联性, 层次性, 动态性的系统性事故致因模型。其整体性表现在 24Model 由不安全动作, 个体因素, 不安全物态, 安全管理体系缺欠, 安全文化缺欠和组织外部因素 6 个模块组成, 24Model 通过以上 6 个模块对系统进行全面的描述, 并认为各个模块良好的交互才能保证系统的安全性。24Model 的关联性表现为能对所得事故原因的相互影响路径进行分析, 建立各个模块的关联性。24Model 的层次性体现三个方面。模型区分组织外部和组织内部, 组织内部对组织外部因素保持应对状态。模型将组织内部分为个人层面和组织层面 2 个层次; 一次性行为与物态, 个体因素, 安全管理体系, 安全文化 4 个阶段。组织内部的安全管理组织结构明确资源和信息流动的程序。24Model 的动态性表现为模型随着系统的变化而持续的指导危险源辨识, 事故分析和统计。基于 24Model 能形成危险源辨识的因素类目表以及高度结构化的事故统计数据, 为组织日常的安全管理工作进和组织的持续改进提供支持, 达到预防事故的目的。
- 3) 利用 24Model 对“东方之星”沉船事故进行案例分析, 验证了 24Model 的整体性, 关联性, 层次性和动态性。整体性来看, 分析表明事故发生是整个客轮运输系统整体偏差的结果, 包含了人的因素, 物的因素, 组织因素, 组织外部因素。关联性来看, 绘制出的事故的完整路径图展示了导致系统事故的危险源的交互关系。层次性来看, 24Model 能对组织外部和组织内部层次关系; 个人层面和组织层; 组织内部的安全管理组织结构进行充分分析。动态性来看, 利用 24Model 可进行大量事故的统计分析, 分析结果能为改进人机交互, 操作规则和管理系统提供了可靠的支持, 维持系统的动态改进过程。

参考文献

- [1] 傅贵. 安全管理学——事故预防的行为控制方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2013.
Fu G. Safety management — A behavior-based approach to accident prevention[M]. Beijing: Science Press, 2013.
- [2] Shappell S A, Wiegmann D A. A human error approach to aviation accident analysis: The human factors analysis and classification system[M]. Farnham: Ashgate Publishing, 2012.
- [3] Qureshi Z H. A review of accident modelling approaches for complex socio-technical systems[C]// Twelfth Australian Workshop on Safety Critical Systems and Software and Safety-Related Programmable Systems, 2007: 47–59.
- [4] 傅贵, 陆柏, 陈秀珍. 基于行为科学的组织安全管理方案模型 [J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(9): 21–27.
Fu G, Lu B, Chen X Z. Behavior based model for organizational safety management[J]. China Safety Science Journal, 2005, 15(9): 21–27.
- [5] 傅贵, 殷文韬, 董继业, 等. 行为安全“2-4”模型及其在煤矿安全管理中的应用 [J]. 煤炭学报, 2013, 38(7): 1123–1129.
Fu G, Yin W T, Dong J Y, et al. Behavior-based accident causation: The “2-4” model and its safety implications in coal mines[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(7): 1123–1129.
- [6] 傅贵, 樊运晓, 佟瑞鹏, 等. 通用事故原因分析方法 (第 4 版)[J]. 事故预防学报, 2016, 2(1): 7–12.
Fu G, Fan Y X, Tong R P, et al. A universal methodology for the causation analysis of accidents (4th ed)[J]. Journal of Accident Prevention, 2016, 2(1): 7–12.
- [7] Heinrich H W, Petersen D C, Roos N R. Industrial accident prevention: A safety management approach (5th ed)[M]. New York: McGraw-Hill Companies, 1980.
- [8] Reason J. Human error[M]. New York: Cambridge university press, 1990.
- [9] Hollnagel E. The ETTO principle: Efficiency-thoroughness trade-off: Why things that go right sometimes go wrong[M]. Farnham: Ashgate Publishing, 2009.
- [10] 傅贵, 杨春, 殷文韬. 煤矿水灾事故动作原因研究 [J]. 中国安全科学学报, 2014, 24(5): 56–61.
Fu G, Yang C, Yin W T. Research on act reasons for water flooding accident in coal mine[J]. China Safety Science Journal, 2014, 24(5): 56–61.
- [11] 郭凯. 煤矿瓦斯爆炸事故共性不安全动作分析 [J]. 中国煤炭, 2016, 42(9): 9–12.
Guo K. Research on the common unsafe action management of coal mine gas explosion accident[J]. China Coal, 2016, 42(9): 9–12.
- [12] Gao Y, Fu G, Nieto A. A comparative study of gas explosion occurrences and causes in China and the United States[J]. International Journal of Mining Reclamation & Environment, 2016, 30(4): 269–278.
- [13] 康茹, 傅贵, 高平, 等. 消防员伤亡案例的事故致因“2-4”模型解读 [J]. 消防科学与技术, 2016, 35(12): 1755–1758.
Kang R, Fu G, Gao P, et al. Interpretation of case of firefighters casualties with heaviour safety “2-4” model[J]. Fire Science and Technology, 2016, 35(12): 1755–1758.

- [14] Fu G, Wang J, Yan M. Anatomy of Tianjin Port fire and explosion: Process and causes[J]. *Process Safety Progress*, 2016, 35(3): 216–220.
- [15] Zhang S, Wang J. Analysis of South Korea Sewol Sunken Ferry Accident based on behavioral safety[J]. *Journal of Coastal Research*, 2015, 73(SI): 611–613.
- [16] 王来全. 煤矿安全管理中行为安全“2-4”模型的应用[J]. *中国高新技术企业*, 2014(17): 118–119.
Wang L Q. Application of behavior-based accident causation “2-4” model in safety management of coal mines[J]. *China High Technology Enterprises*, 2014(17): 118–119.
- [17] 刘铭. 城市轨道交通新型安全管理模式研究[J]. *建设监理*, 2016(9): 46–52.
Liu M. Research on new safety management mode of urban rail transit[J]. *Construction Supervision*, 2016(9): 46–52.
- [18] 许士民, 于鹏飞, 安庆, 等. 建筑领域全员协同安全管理模式研究[J]. *建材与装饰*, 2015(45): 191–193.
Xu S M, Yu P F, An Q, et al. The research of synergistic security management of all staff in the construction sector[J]. *Building Materials and Decoration*, 2015(45): 191–193.
- [19] 刘明海. 还原论研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
Liu M H. Research on reductionism[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2008.
- [20] Qian X, Yu J, Dai R. A new discipline of science—the study of open complex giant system and its methodology[J]. *Journal of Systems Engineering & Electronics*, 1993, 4(2): 2–12.
- [21] Leveson N. *Engineering a safer world: Systems thinking applied to safety*[M]. Cambridge: MIT Press, 2011.
- [22] Hollnagel E. *FRAM, the functional resonance analysis method: Modelling complex socio-technical systems*[M]. Farnham: Ashgate Publishing, 2012.
- [23] ILO-OSH 2001. *ILO guidelines on occupational safety and health management systems*[S]. Geneva: International Labour Organization, 2001.
- [24] AS/NZS 4804: 2001. *Occupational health and safety management systems — General guidelines on principles, systems and supporting techniques*[S]. Sydney: Standards Australia, 2001.
- [25] OHSAS 18001: 2007. *Occupational health and safety management systems*[S]. London: British Standards, 2007.
- [26] AQ/T1093-2011. *煤矿安全风险预控管理体系规范* [S]. 北京: 国家安全生产监督管理总局, 2011.
AQ/T1093-2011. *Risk precontrol management system of safety in coal mine-specification*[S]. Beijing: State Administration of Work Safety, 2011.
- [27] ANSI/AIHA/ASSE/Z10-2012. *Occupational health & safety management systems*[S]. Fairfax Va: American Industrial Hygiene Association, 2012.
- [28] MIL-STD-882E. *System safety*[S]. Washington, DC: US Department of Defense, 2012.
- [29] ISO DIS 45001. *Occupational health and safety management systems*[S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2016.
- [30] Mattacks K. Seeing the forest for the trees: A manager’s guide to applying systems thinking[J]. *Leadership & Organization Development Journal*, 2003, 24(2): 111–112.
- [31] Albee A, Battel S, Brace R, et al. *Report on the loss of the Mars Polar Lander and Deep Space 2 missions*[R]. Pasadena: Jet Propulsion Laboratory, 2000.
- [32] 国务院“东方之星”号客轮翻沉事件调查组. “东方之星”号客轮翻沉事件调查报告[R]. 北京: 国务院“东方之星”号客轮翻沉事件调查组, 2015.
The State Council Investigation Team of the Capsizing Accident of “Eastern Star” Ferry. Investigation report on the capsizing accident of “Eastern Star” ferry[R]. Beijing: The State Council Investigation Team of the Capsizing Accident of “Eastern Star” Ferry, 2015.
- [33] 傅贵, 何冬云, 张苏, 等. 再论安全文化的定义及建设水平评估指标[J]. *中国安全科学学报*, 2013, 23(4): 140–145.
Fu G, He D Y, Zhang S, et al. Further discussions on definition of safety culture and its assessment indicators[J]. *China Safety Science Journal*, 2013, 23(4): 140–145.
- [34] 国家企业信用信息公示系统. 重庆东方轮船公司 [EB/OL]. [2017-4-27]. <http://www.gsxt.gov.cn/corp-query-homepage.html>.
The National Enterprise Credit Information Publicity System. Chongqing Orient Steamship Company[EB/OL]. [2017-4-27]. <http://www.gsxt.gov.cn/corp-query-homepage.html>.