

基于本质安全的工业事故风险管理方法研究

吴宗之

(中国安全生产科学研究院, 北京 100029)

[摘要] 从风险管理角度对生产过程中的安全防护方法进行了分类和论述, 提出了基于本质安全思想的工业事故综合风险管理方法与程序, 其核心内容是在常规的危险辨识和风险评价基础上, 优先应用本质安全原理来减少、消除危险, 综合采用无源安全措施、有源安全措施或多层安全防护措施与功能安全标准, 将风险降低至可接受水平; 提出了本质安全应与清洁生产、绿色化学、循环经济同等纳入优先发展的技术和政策等建议。

[关键词] 本质安全; 风险管理; 事故预防; 安全设计

[中图分类号] X93 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742 (2007) 05-0046-04

安全需求是人类生存和发展的基本需求之一。在我国工业化快速发展过程中, 生产事故的风险问题或称安全生产问题已成为全社会普遍关注的重要问题之一。近年来, 生产安全事故导致的环境污染、生态破坏和社会公共安全事件日益增多。2001年至2005年发生的突发环境事故中, 由生产安全事故引发的占总数的50%以上^[1]。2006年7月公布的全国化工石化项目环境风险排查结果显示, 总投资超过 1×10^{12} 元的7 555个项目中, 81%布设在江河水域、人口密集区等环境敏感区域, 45%为重大危险源^[2]。生产活动中的安全是相对的, 风险是永存的, 事故伤害是可以预防的^[3]。本质安全风险思想自20世纪70年代中期提出以来, 引起了安全科学界的高度重视, 已有一系列关于本质安全设计、管理、评价和应用研究的案例和文献^[4]。笔者仅从生产事故风险防范方面, 论述基于本质安全的管理方法与程序。文中风险是指“特定危险性事件发生的可能性与其造成的人身伤害和损失的严重度的结合”; 安全是指“免除了不可接受的伤害风险的状态”; 危险是“可造成人身伤害或损失的固有的潜能”, 或者说, 危险是对人、环境或财

产造成危害的一种固有的物理或化学特性。

1 风险管理战略方法分类

从事故风险管理战略角度看, 生产过程安全防护方法或风险管理方法可分为以下几类^[5~8]:

1.1 本质安全方法

从根源上减少或消除危险, 而不是通过附加的安全防护措施来控制危险。通过采用没有危险或危险性小的材料和工艺条件, 将风险减小到忽略不计的安全水平, 生产过程对人、环境或财产没有危害威胁, 不需要附加或程序安全措施。本质安全方法通过设备、工艺、系统、工厂的设计或改进来减少或消除危险。安全功能已融入生产过程、工厂或系统的基本功能或属性。

英国化工安全专家 A. K. Trevor 等人提出了一系列本质安全原理和设计方法^[7]。表1列举了常用的本质安全原理和关键词。

1.2 无源及有源安全防护方法

生产过程或设备设计时自身就具有安全防护的功能, 不需要有源安全装置, 称无源安全防护方法。

[收稿日期] 2006-10-31; 修回日期 2007-03-21

[作者简介] 吴宗之 (1963-), 安徽宿松县人, 中国安全生产科学研究院研究员, 博士生导师, 研究方向为风险评价、重大危险源监控、事故应急安全管理

有源安全防护法是指采用附加的安全装置，如控制器、安全连锁系统，紧急停车系统等，通过检测可能的危险状况，从而采取纠正措施。须启动附加安全防护系统或装置才能发挥作用，这类措施依赖于及时的危险检测，并须定期测试和维护。

表 1 本质安全原理

Table 1 Principles of inherent safety

关键词	解释
最小化	减少危险物质的数量
替代	使用安全的物质或工艺
稀释或缓和	在安全的条件下操作，例如常温、常压和液态
损坏最小化	改进设计和操作使损失最小化，例如装置隔离等
简化	简化工艺、设备、任务或操作
容错	使工艺、设备具有容错功能
避免碰撞效应	设备、设施有充足的间隔布局，或使用开放式结构设计
避免组装错误	使用特定的阀门或管线系统避免人为失误
状况清楚	避免复杂设备和信息过载
容易控制	减少手动装置和附加的控制装置

1.3 程序安全防护方法

采用管理方法如作业程序、安全检查，应急响应的措施。这类措施需要通过监测初始的不正常事件，执行程序或通过操作人员启动设备才能阻止事故的发生和发展。

1.4 个体防护方法及多层防护措施

在上述安全防护措施都不能将生产过程和作业场所的风险降至可接受水平的情况下，必须采用个体防护装备，以保护操作人员的健康和安全。个体防护方法也可认为是有源安全防护方法的一类。

在大型复杂生产系统中，风险管理要综合应用上述多类措施，才能将风险降至可接受水平。常用的多层安全防护方法以基本工艺安全技术为中心，将各种本质安全、无源、有源和程序安全防护措施综合应用于生产系统，其主要内容包括：**a.** 工艺安全设计；**b.** 控制与检测：工艺参数报警与操作人员监督等基础安全控制措施；**c.** 防止：安全连锁与紧急关闭系统，操作人员监督与人工干预和纠正措施；**d.** 减缓：物理防护措施，泄放装置、泄漏溢出堤等防护系统；**e.** 厂内应急响应措施；**f.** 社区（厂外）应急响应措施。

1.5 功能安全方法

基于对安全相关系统整个生命周期风险分析

（安全完整性分级）和功能安全要求分配的安全技术和管理方法。安全相关系统是指执行必要的安全功能，以使被保护对象处于安全状态的系统，包括安全控制系统与安全防护系统，由上述无源安全、有源安全、程序安全系统和管理标准等组成。功能安全方法的特点是将安全相关系统的安全性转化为系统各要素、部件的风险控制指标，并用安全完整性级别（SIL）来衡量一个特定过程的安全性。

从风险管理战略上考虑，首先应尽可能地消除或避免危险，在不能消除或避免危险的情况下，再考虑用防止、控制、减缓等原理减少危害后果、减少危险发生的可能性。安全防护方法的优先顺序是本质安全、无源安全、有源安全、多层防护、个体防护、功能安全、程序安全措施。根据纵深防御的观点，风险管理的原理与安全防护方法的优先顺序可用图 1 表示。

一般来说，本质安全和无源安全防护措施不需人的操作和附加安全装置的启动，主要依赖于材料的物理、化学特性，工艺和设备的安全特性，比其他安全措施更稳定可靠。若能实现本质安全的工艺设计，就不需要多层保护系统或功能安全系统。

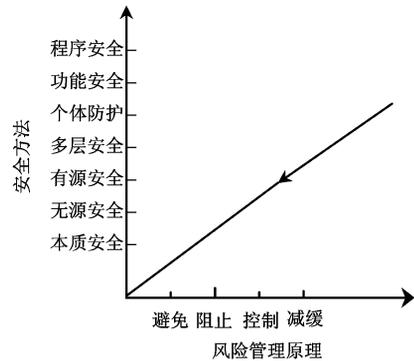


图 1 纵深防御优先顺序框图

Fig.1 Priority of prevention methods in depth

2 基于本质安全的风险管理方法

本质安全是从源头上消除或减少危险，而不是通过附加措施来控制危险。本质安全强调一种先进的风险管理理念和方法，针对特定的生产过程，应用本质安全方法，可以减少或消除系统中某一类或几类危险，一般情况下不能同时减少或消除所有的危险。因此，基于本质安全的风险管理方法是基于本质安全思想的、综合的风险管理方法。P. R. Amyotte 等提出了粉尘防爆的本质安全系统方法^[5]，

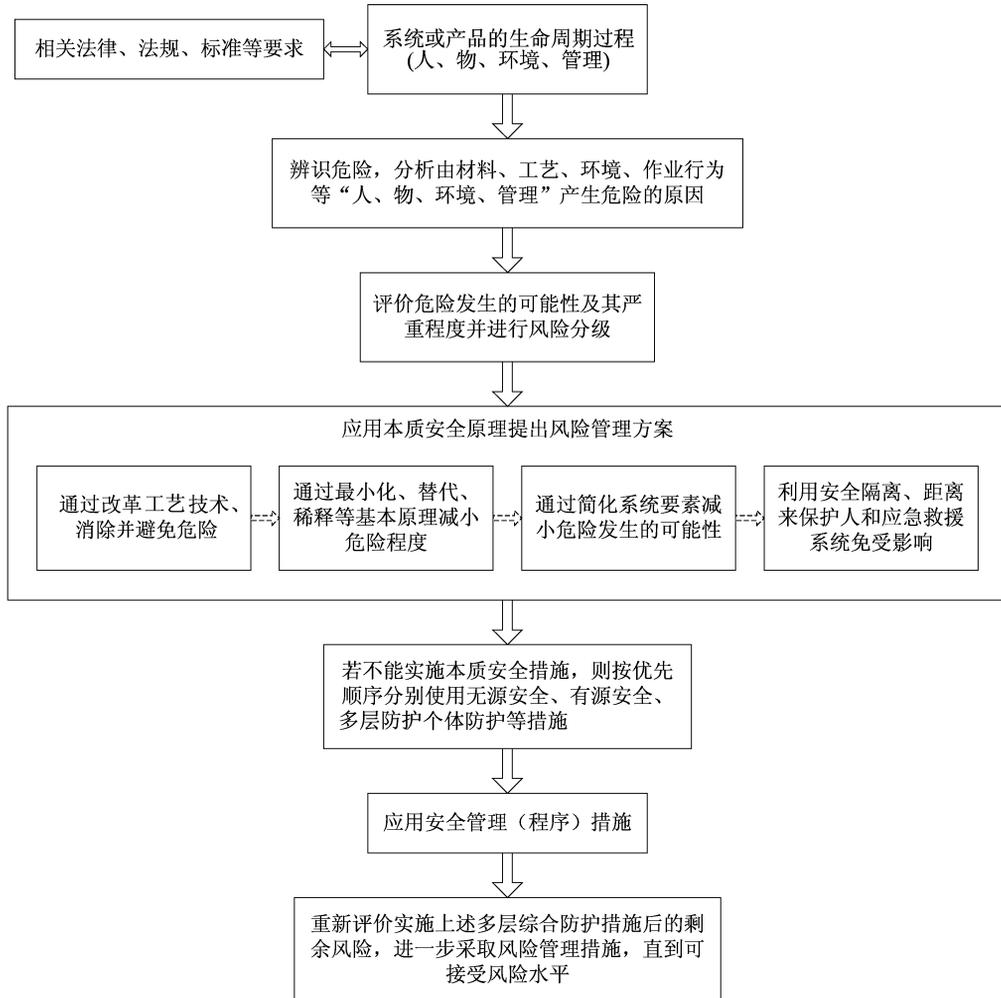


图2 基于本质安全的工业事故风险管理方法与程序框架图

Fig.2 Inherent safety-based industrial accident risk management method and procedures

笔者结合本质安全和功能安全思想提出的风险管理方法的基本内容与程序如图2所示, 包括下述几个方面:

1) 收集和分析相关安全法规、标准, 相关的过程、设备和设施的事故案例及应用本质安全方法的资料;

2) 在系统或产品的生命周期过程辨识危险, 将系统划分为若干个分析评价单元, 分析由材料、工艺条件、作业行为等方面产生危险的原因, 并列出现危险因素分类表。

3) 用定性、定量风险评价方法评价各单元发生事故的风险的严重度和可能性, 进行风险分级, 列出优先进行风险管理的顺序。

4) 应用本质安全原理提出风险管理方案。根据本质安全原理编制本质安全方法检查表, 按上述

辨识危险所提出的危险分类表和风险管理优先顺序, 对照本质安全检查表逐项分析实施本质安全措施的可性并提出实施方案。通过改革设计或工艺, 避免使用危险的材料和工艺, 用安全的材料和工艺替代危险材料与工艺; 若不能实施避免、消除危险和替代措施, 则考虑减少危险材料的用量或通过稀释、中和等措施减少危险能量或降低危险严重度; 采取简化工艺、设备、操作, 避免组装错误, 使设备状况清楚, 容许失误等措施, 减少事故发生的可能性; 在上述措施基础上, 考虑设备、设施布局, 采取安全隔离或安全距离措施, 使人和应急系统不受危险的影响。

5) 对不能实施本质安全措施的危险源, 按功能安全标准要求和下述优先顺序, 选择采用无源安全措施, 有源安全措施, 多层安全防护措施和个体

防护措施。

6) 安全操作制度和维护程序等安全管理方法是最后一道防护手段, 尽管这类措施的失误或失效率高, 但仍是必不可少的一种风险控制和减缓措施。根据生产系统危险辨识、风险评价及本质安全和附加安全措施的综合应用情况, 制订各项安全操作、维护和管理程序或制度。

7) 评价实施上述综合风险管理措施后的风险, 将剩余风险值与可接受的风险标准比较。若有必要, 进一步采取各类风险管理的措施, 直到达到可接受的风险标准。

3 结论与建议

1) 本质安全是当今国际安全科学技术研究的前沿课题之一, 美、欧等工业化国家和地区已将其作为与绿色化学、清洁生产同等优先发展的技术, 并出台了促进本质安全技术研究和推广应用的相关法规和政策。本质安全方法比传统的通过附加安全控制和防护装置或系统来提高生产过程安全性的方法更具有科学性、先进性、经济性和有效性。

2) 笔者提出的基于本质安全的事故风险管理方法与程序是一种优先应用本质安全原理的风险综合管理方法, 可应用于生产系统或产品的全生命周期。项目、工程、设备、产品或系统的设计初期是应用此法的最佳阶段。本质安全方法也可应用于安全管理系统和事故调查分析。

3) 将本质安全思想和方法应用于城市规划、

项目选址和工厂设计的源头, 减少企业布局、生产设计中的风险。应将本质安全纳入与清洁生产、绿色化学、循环经济同等优先发展的技术和政策, 重点研究和开发经济适用的煤炭、化工、石化、烟花爆竹等高风险行业的本质安全技术和方法, 提高企业本质安全化水平。

参考文献

- [1] 国家安全生产监督管理局安全生产“十一五”规划 [N]. 中国安全生产报, 2006-08-29(3)
- [2] 刘毅. 让松花江污染不再重演 [N]. 人民日报, 2006-07-27 (16)
- [3] 吴宗之. 论安全文化与其若干要素的相互关系和作用 [A]. 安全文化与小康社会 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2003
- [4] 吴宗之, 任彦斌. 本质安全理论的若干问题研究 [A]. 第三届中国国际安全生产论坛论文集 [C]. 北京: 煤炭工业出版社, 2006
- [5] Amyotte P R, Khan F I, Dastidar A G. Reduce dust explosions the inherently safety way [EB/OL]. CEP, October 2003, <http://www.cepmagazine.org>
- [6] Bollinger R E, Crowl D A. Inherently safer chemical process: A life cycle approach. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 1996
- [7] Kletz T A. Process plants: A Handbook for Inherently Safety Design [M]. Taylor & Francis, 1998
- [8] IEC 61511-3. Functional Safety-Safety instrumented systems for the process industry sector, 2004

Study on Inherent Safety-based Industrial Accident Risk Management Method

Wu Zongzhi

(China Academy of Safety Science and Technology, Beijing 100029, China)

[Abstract] This paper, in view of risk management strategies, briefly classifies and analyzes the safety prevention methods used in industrial productions. The author presents the inherent safety-based synthetical risk management method and procedures, based on the traditional hazard identification and risk assessment, to apply firstly the principles of inherent safety to eliminate or reduce the hazards and to adopt passive safeguard, active safeguard, procedural safeguard, layers of protection and the standards of function safety to reduce the accident risk to the acceptable level. The author suggests that the inherent safety should be brought into the technologies and policies being developed in priority with clear production, green chemistry and circle economy.

[Key words] inherent safety; risk management; accident prevention; safety design