



基于 HAZOP 的重大工艺安全事故预警

----第二届中国国际化工过程安全研讨会暨第三届 CCPS 中国过程安全大会

李奇 技术总监
康安保工艺安全

备注：本文原来题目为“基于 HAZOP 的屏障动态安全管理”，为了更好的反映本文的本意在此特地修改为“基于 HAZOP 的重大工艺安全事故预警”

基于 HAZOP 的重大工艺安全事故预警

摘要: 近年来,我国危化品生产企业重大事故不断发生,如何对危化品生产企业的重大事故进行预防和管理是企业面临的一个难题?本文从工艺安全的角度,通过对 HAZOP 分析方法简介、HAZOP 分析的结果、和 HAZOP 分析对生产运行装置安全管理的局限性等介绍,引入了基于 HAZOP 的屏障“动态”管理系统,通过该系统,可以对每一层屏障按照“完全失效”、“部分失效”和“状态良好”三种进行评估,从而实现根据生产运行的情况对每一个屏障的状态进行了动态的监控,同时,对于企业的管理人员来说,可以通过该系统对公司中能够导致重大事故的危险进行“动态”的管理,了解每一层屏障的状态和企业整体的安全运行情况。

关键词: 过程安全; 重大事故; 屏障分析; 危险化学品

Abstract: In the recent years, there were many major accidents happened in our hazardous chemicals company. So, it is one challenge for our chemical company how to prevent major accidents. This paper is that the major hazards are analyzed from physical barrier, process barrier and people barrier using barrier theory on the view of process safety management based on HAZOP analysis and its limitation for operational plant, and each barrier is evaluated and classified of “fully failure”, “part failure” and “very good” three categories, and dynamically illustrated in the system according to company operation on site. So, the management leaders can dynamically monitor the hazards which cause major process accidents, know about each safety barrier status and whole company safety situation.

Keywords: process safety; major accident; barrier analysis; hazardous chemicals

近年来,我国过程工业生产装置的重大工艺安全事故不断发生,如 2013 年中国石化黄岛输油管道爆炸事故、2015 年福建漳州的 PX 爆炸事故、2015 年日照 LPG 爆炸事故等。尽管我们国家要求“两重点和一重大”的企业实施工艺危害与可操作性(HAZard and OPerability analysis, HAZOP),但是如何在

HAZOP 分析的基础上，进一步提高我国危化企业在役装置的工艺安全管理，控制重大工艺安全事故的发生？

1、工艺安全简介

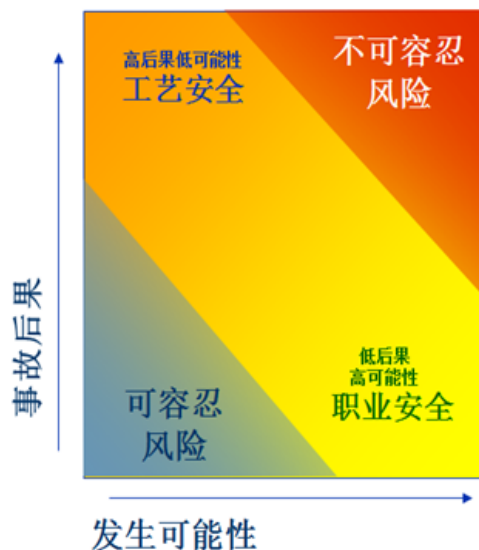


图 1 工艺安全与职业安全的区别

工艺安全是相对于职业安全来说的，它们都是工厂总体安全的重要组成部分，但两者又有区别，图 1 所示：职业安全事故往往是伤害一个人或几个人；而工艺安全事故的后果通常会严重得多，它不仅仅是伤害几个人而已，有可能严重损坏工艺系统本身、造成大量人员伤亡、使整个公司倒闭、甚至给周围公众或环境带来灾难性的后果，博帕尔事故就是一个典型的例子。工艺安全事故往往都是发生在装置的生产阶段，因此，对于生产运行企业来说，加强对工艺危害的重点管理对于控制企业重大安全事故的发生是非常重要的！

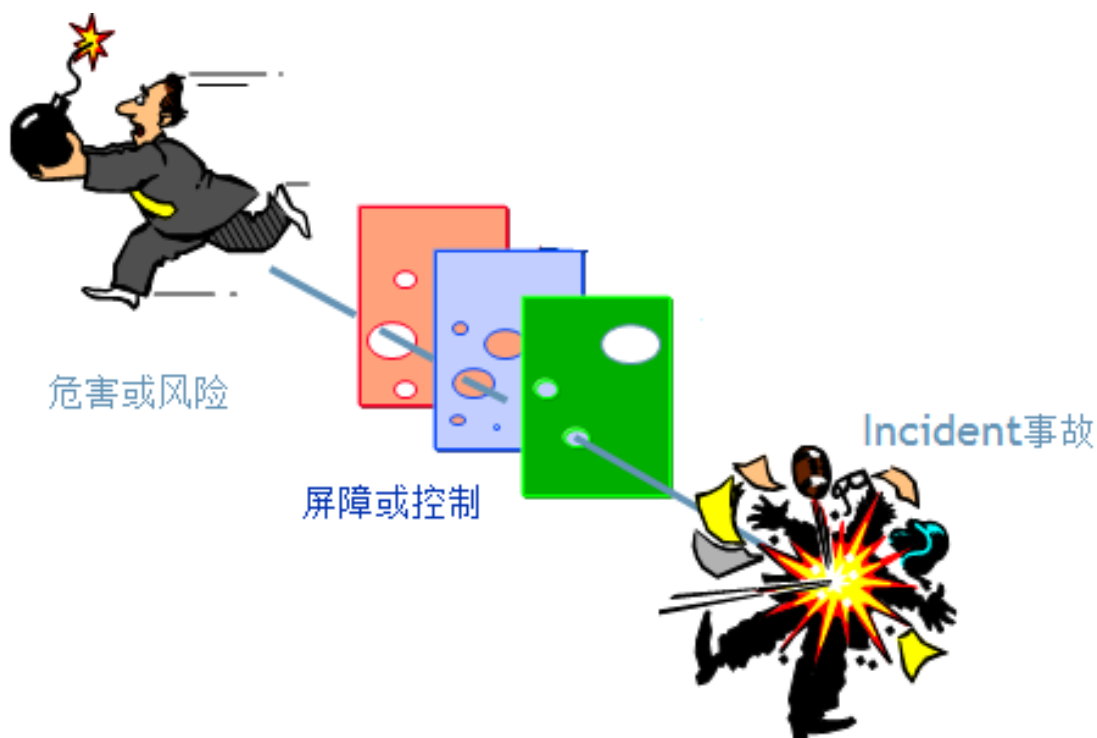


图 2 瑞士奶酪模型图

结合图 2，“雷”代表企业潜在的危险源，“事故”指的是火灾、爆炸造成的人员伤亡。我们常说“无知者无畏”和“有的放矢”，正是因为无知导致了很多事故的发生，那么我们如何在安全管理中做到“有的放矢”呢？对于企业安全生产运行来说，首先需要确定自己企业的“雷”存在何处，只有把“雷”排查出来，就可以使我们的安全工作做到“有的放矢”。

2、HAZOP 分析

2.1 HAZOP 分析简介

HAZOP 是进行工艺危害分析和辨识的重要方法之一。HAZOP 分析是一种用于辨识工艺缺陷、工艺过程危险及操作性问题的定性分析方法。HAZOP 方法是通过使用一组引导词（比如流量偏高/偏低、压力偏高/偏低等），对生产工艺或操作进行结构化和系统化的审查，来全面和系统地辨识工艺装置设计和运行中可能存在导致安全或操作问题的缺陷，并评估所采取的安全措施是否足够和适当，如果不足或缺，则进一步提出应采取的安全措施或建议。HAZOP 方法是对生产工艺系统危险性与可操作性的严格检查。

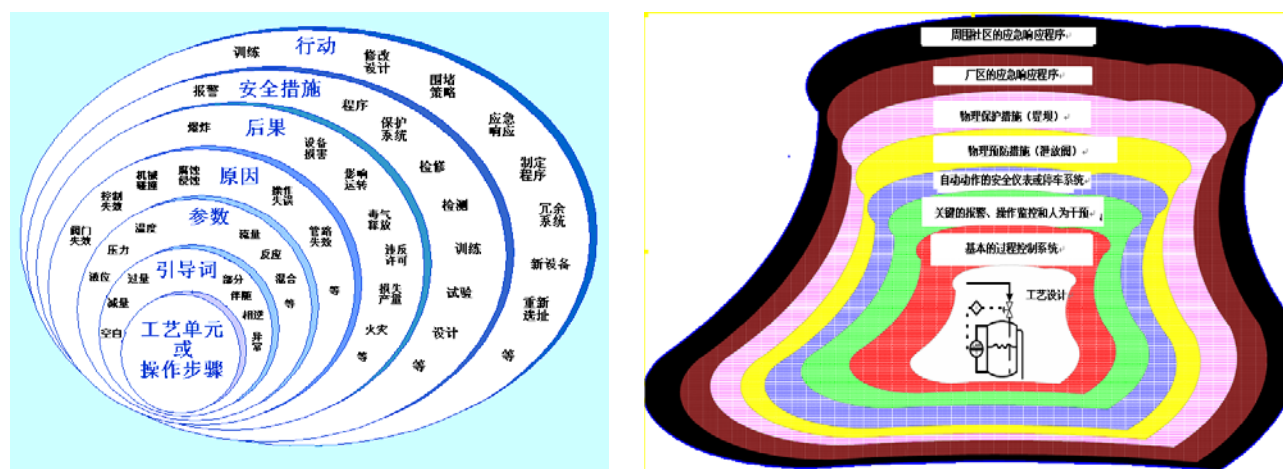


图 3 HAZOP 分析图

化工企业为防止事故的发生往往都设置了层层防护措施。一个典型化工企业安全防护层如下图所示，主要有：

- a) 具备固有工艺安全设计特性(工艺、动设备、静设备)；
- b) 基本过程控制系统(DCS, PLC)；
- c) 超限报警和操作人员人工介入；
- d) 安全仪表系统 (ESD, FSC) ；
- e) 主动物理防护措施 (安全阀、爆破片)；
- f) 被动物理防护 (围堰、隔离系统) ；
- g) 工厂和社会的应急响应程序。

2.2 HAZOP 分析结果

通过 HAZOP 分析，我们可以有效的识别出装置的每一个工艺危害对应的安全防护措施，从而评估这些防护措施是否合理、有效，如果防护措施不足，还可以提出建议措施。

表 1 HAZOP 分析结果表

DEVIATION 偏差	POSSIBLE CAUSES 可能原因	CONSEQUENCES 后果	SAFEGUARDS 现有措施	风险				REC # 编号	RECOMMENDATIONS 建议内容
				P	A	E	R		
无/过低流量	HV1151误操作关闭	压缩机入口压力低，产生负压损坏，损坏压缩机入口	PALL1152/1152	3A	3C	3A	3A	R8	建议考虑HV1151故障安全状态设置
	HV1153误操作关闭或故障关闭	第一反应区出口冷却中断，第二反应区入口引发温度高，导致乙烯分解（最高分解温度可达500℃以上，R-1400设计温度DT315℃）导致超温损坏	1. TAH1443 2. TAHH1443 (SP+20℃)	4D	4D	2C	2C	R9	LD100AC峰值温度是310℃，TAHH1443的连锁温度为SP+20℃, 建议核实R-1400的设计温度（根据图纸提供的数据R-1400的设计温度为315℃
	HV1154误操作关闭或故障关闭	第二反应区出口冷却中断，第三反应区入口引发温度高，导致乙烯分解（最高分解温度可达500℃以上，R-1400设计温度DT315℃）导致超温损坏	1. TAH1445 2. TAHH1445 (SP+20℃)	4D	4D	2C	2C		参见R9
	HV1152误操作关闭	二次机系统超压损坏	1. PAH1158 2. PAHH1158 3. XT1151 4. PSE1154	2D	3C	2C	2C	G10	建议装置中导淋阀末端增设管帽或丝堵
								R11	建议核实降低PAHH1158的连锁值

2.3 HAZOP 分析的局限

我们国家针对工艺安全正在推行 HAZOP 分析，尽管是针对工艺安全来说非常好的分析方法，但是这些方法对于在役运行的生产装置来说存在以下两方面的问题：

- 1) HAZOP 基于头脑风暴的方法来进行分析，特别依赖专家的经验，分析结果比较抽象，比较适合设计阶段的设计人员来使用，对于在役生产装置的操作人员来说比较枯燥、晦涩难懂。

2) 但是对于各种保护措施非常完善的装置，为什么当灾难性事故发生时这些防护措施常常失去了“保护伞”的作用呢？即使一套装置的保护措施多么完善，如果平时缺少工人来对这些保护装置进行合适、恰当的维护、维修和检验，再完善的控制措施也会随着时间的推移而会失效，也会发生事故。

3、基于 HAZOP 的屏障“动态”安全管理

3.1 基于 HAZOP 的屏障分析

工业界重大事故的发生表明了单纯工程技术的应用，无法有效杜绝意外事故的发生，有效的安全管理模式就必须依靠完整“技术+管理”的模式。基于 HAZOP 的屏障“动态”安全管理系统是针对生产企业运行阶段的工艺安全管理系统。它用于控制企业运行阶段控制重大工艺安全事故的方法，分为辨识、评估、控制和减缓四个部分，是企业生产运行过程中进行工艺安全管理的重要系统。系统根据风险管理中的二八原则，将 HAZOP 分析过程中识别出来的危险按风险的高、中、低进行归类，将每一个分公司或每一套生产装置中能够导致重大工艺安全事故的危险进行进一步的分析。

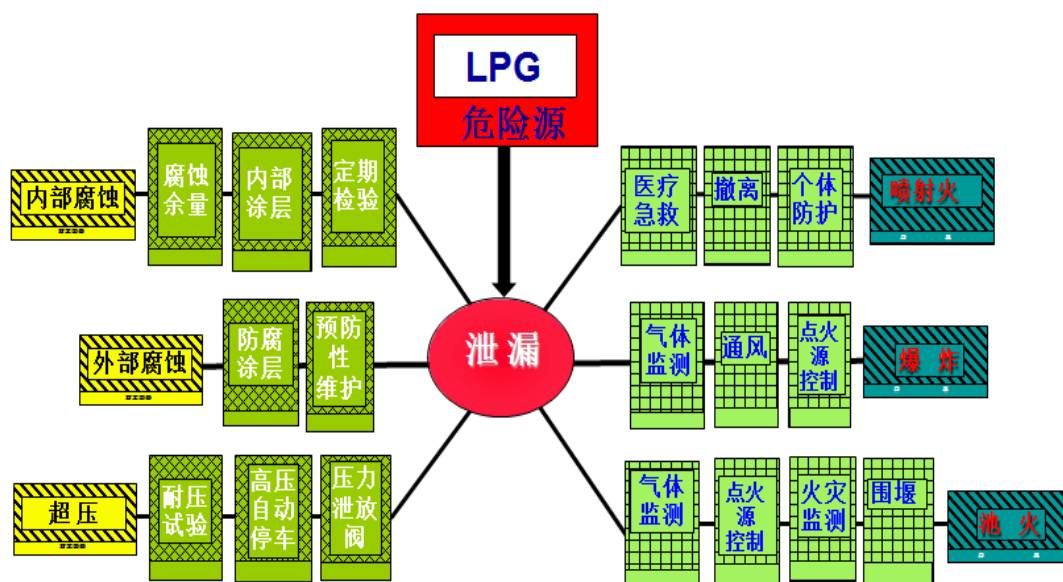


图 5 LPG 球罐的屏障分析

图 5 是 LPG 球罐屏障分析图。对于 LPG 储罐来说，导致发生泄漏的危害因素有内部腐蚀、外部腐蚀和高压等，泄漏之后可能产生的后果由喷射火、爆炸和池火。左边以故障树分析原理来构造，列举可能发展或导致特定顶上事件的危险源及有害因素；同时，思考对于每一危险源、相应的有害因素应该采取的控制措施或屏障。而图示右边依据事件树分析原理构造，同时列举恢复或补救措施及危害事件进一步发展导致后果。

3.2 基于 HAZOP 的屏障“监控”分析



图 6 基于 HAZOP 的屏障状态分类

针对每一个事故链中间都设置了各种屏障来防止事故的发生。如“超压”导致“泄漏”的过程中，系统中设有“耐压试验”、“高压自动停车”和“压力泄压阀”等三个屏障；从“泄漏”到“池火”的过程中，系统中设有“可燃气体监测”、“点火源控制”、“火灾监测”和“围堰”等安全屏障。对于每一个屏障，根据屏障的运行状态，划分为了三种，如图 6 和表 2 所示。

表 2 屏障状态分类表

红色	屏障处于完全失效的状态
黄色	屏障处于部分失效状态
绿色	屏障处于运行良好的状态

在基于 HAZOP 的屏障“动态”安全管理系统中，根据生产运行的情况对每一个屏障的状态进行了动态的显示。对于政府监管、集团公司总部的安全管理来说，可以通过该系统对企业或其下属的分公司中能够导致重大工艺安全事故的危险进行动态的监控，动态的了解企业每一层屏障的状态和企业整体的安全运行情况。

3.3 基于 HAZOP 的屏障“动态”管理

对于各种安全屏障数量足够多的危化品生产企业，为什么当灾难性事故发生时这些屏障常常失去了“保护伞”的作用呢？即使一个企业在设计阶段进行了系统的 HAZOP 分析，设置了足够数量的安全屏障，如果在平生的生产运行过程缺少工人来对这些保护屏障进行合适、恰当的维护、维修和检验，再完善的控制措施也会随着时间的推移而会失效，也会发生事故。在本系统中，企业根据日常生产过程中对每一个屏障的状态监控结果，安排企业的生产操作人员对“失效的屏障”或“部分失效的屏障”进行维护管理，如图 7，从而保证屏障运行恢复至“状态良好”的状态，防止重大事故的发生。

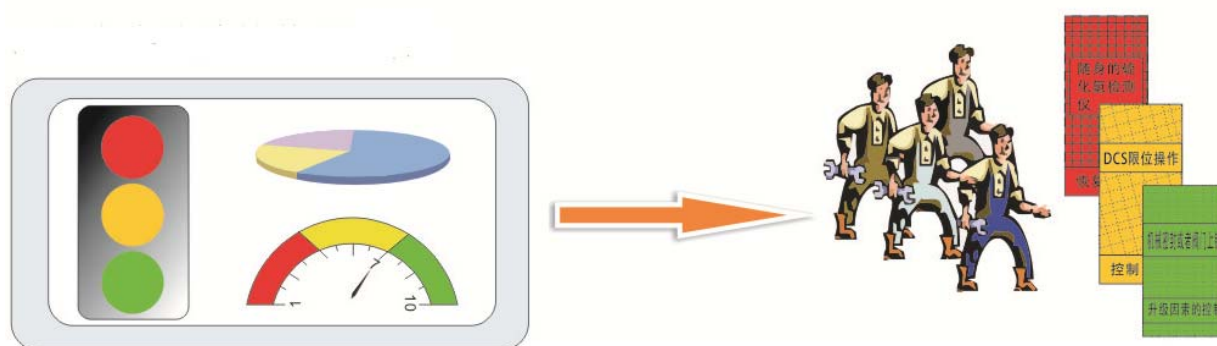
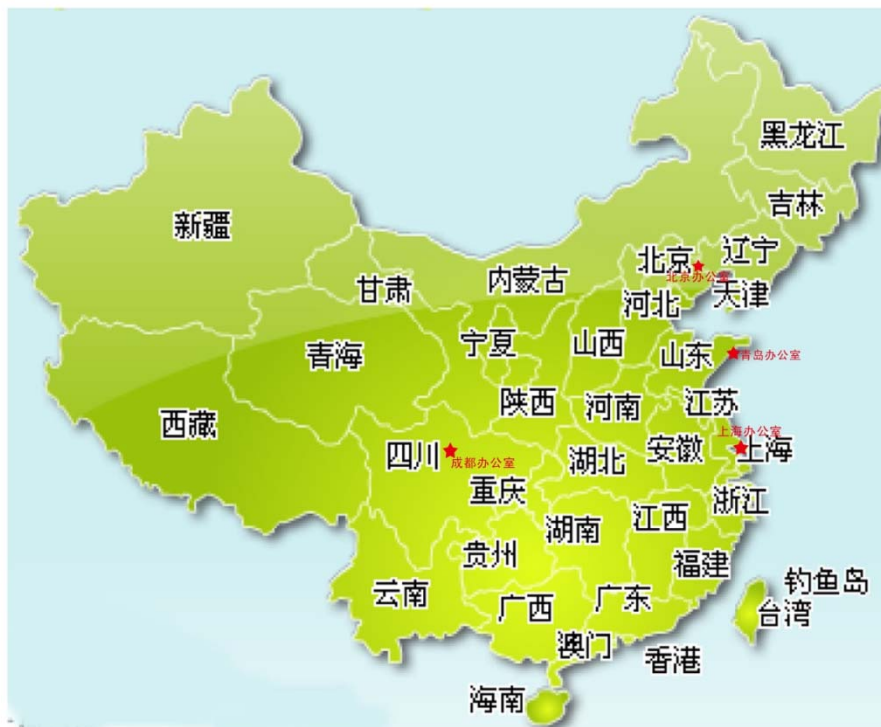


图7 基于HAZOP的屏障“动态”管理

4 小结

目前，我们国家对于“两重点一重大”企业要求进行HAZOP分析。对于在役的生产运行企业来说，在实施HAZOP分析的基础上进行屏障的评估和管理，不但能够随时了解企业生产装置整体的安全运行状态，而且还可以指导企业进行有效的安全管理，保证企业不发生重大工艺安全事故。

康安保化工安全咨询有限公司是专业从事工艺安全及风险管理的公司，主要致力于危险与可操作性分析（HAZOP）、安全完整性等级（SIL）评估、定量风险评估（QRA）、运行阶段工艺安全分析（OPS）、工艺安全审核和HSE量化审核等工艺风险管理和QHSE咨询服务。目前，康安保公司分别在北京、上海、青岛和成都设有办公室。



如您需要任何信息，欢迎您与康安保公司联系：

李奇

技术总监

康安保化工安全咨询有限公司

手机：18611947316

Q Q:121438347

Blog: blog.sina.com.cn/hsse

E-mail: Service@qdhse.com

www.qdhse.com