

# 化工装置工艺危险分析方法

荣冰莹<sup>1</sup> 张楠<sup>2</sup> 韩晓臻<sup>1</sup>

(1. 烟台化工设计院有限公司 山东烟台 264001; 2 山东黄金高级技工学校 山东烟台 264003)

**摘要:** 化工装置的工艺过程是一种复杂的、连续的、多因素参与的动态过程,在整个生产过程中存在着多种危险性因素,如易燃、易爆、有毒有害物质和高温高压、强腐蚀等。在化工装置设计和实际生产过程中,工艺参数的变化会引起产品的性质变化,导致生产过程不稳定,发生事故的可能性增加。因此,在化工装置设计和运行中对工艺系统进行危险分析,以保证化工装置运行安全是十分必要的。

采用工艺危险分析方法,可以了解工艺过程中可能发生事故或其后果程度,从而采取相应措施加以避免。常用的工艺危险分析方法有安全检查表法、预先危险性分析法、故障树分析法和逻辑推理分析法。

**关键词:** 化工装置; 工艺危险; 分析方法

## 1. 安全检查表法

安全检查表是根据某一特定的生产过程、生产工艺或生产设备,把可能存在的危险危害因素、危害后果等内容按一定的逻辑顺序和格式编制成表。安全检查表是一种直观的、简便易行的检查方法,被广泛地应用于化工装置设计、设备选型、现场生产和安全管理等方面。

化工装置工艺系统的危险分析,可以使用安全检查表来完成。安全检查表包括:设备、管道及阀门等附件;工艺参数(包括温度、压力、流量等);物料和产品;电气设备及工具;操作与维修等。

在编制安全检查表时,要结合化工装置的实际情况,要考虑以下几个问题:

1) 工艺过程或生产过程中存在哪些危险因素? 这些危险因素是如何发生和发展的?

2) 可能造成的危害有哪些? 这些危害在工艺过程中是如何被发现的? 在设计、选择设备时应予以考虑。

3) 如果发生事故,会造成什么样的后果? 对人员伤害程度如何?

4) 如果采取了安全措施,会不会有什么新问题出现?

5) 为了防止事故发生,是否应当对这些危险因素进行控制和管理?

6) 有无预防措施可以防止这些危险因素的再次发生? 这些措施是否已经被采用并有效地发挥作用?

7) 上述分析与以往同类事故发生原因是否相同或类似,与以往同类事故有何不同之处(包括事故发生原因),哪些相同或类似之处可以借鉴?

8) 由于上述分析,应当采取什么措施才能避免或减少这些危险因素再次发生?

9) 以上分析所得出的结论是否有足够的说服力,足以使设计、选型、使用等部门采取必要的安全措施以防止事故发生,或在必要时改变设计、使用等部门所采取的安全措施以防止事故发生。如果分析后发现所采取的安全措施不能使上述危险因素减少,则应对该系统进行重新评估,以确定是否需要进一步采取安全措施。

根据检查表检查出的危险因素,在工艺设计、设备选型、操作与维修等方面采取相应的安全措施,以防止事故发生或减少事故后果。采用安全检查表时,应注意以下几点:

1) 必须认真分析所有危险因素是否已被辨识出来,以便采取有效的控制和管理措施。

2) 为了使检查表更具有针对性和可操作性,可以将安全检查表按危险因素进行分类。例如,某公司对火灾爆炸危险性较大的原料储存场所进行危险因素分析时,将危险因素分为易燃材料、可燃气体、可燃性粉尘、可燃性液体和可燃性气体6类,分别列出了相应的危险因素。此外,还列出了与原料储存场所相关的主要设备及其位置;危险源辨识及控制措施;易燃材料储存场所内操作人员应具备的能力及必要的设备和个人防护用品;泄漏物料处置措施;火灾爆炸事故应急预案等内容。

3) 对于化工装置的工艺过程或生产工艺参数,应结合具体情况来分析。例如,在某公司对原料储存场所进行危险因素分析时,根据所料和产品的危险性分类,列出了与原料储存场所相关的主要设备及其位置。

4) 检查表应在整个生产过程中不断进行补充和完善。例如,对于某公司对原料储存场所进行危险因素分析时,应补充新的危险因素和新的控制措施。

## 2. 预先危险性分析法

预先危险性分析(preliminary hazard analysis, PHA)是一种危险

源辨识的方法,也是一种系统安全分析方法,它是利用已有的系统或设备资料,分析事故发生的原因或可能性及其严重程度,以便采取对策措施而进行的安全评价。PHA分析主要包括三个步骤:①危险源辨识:通过对化工装置运行、生产过程中发生过事故、以及有关部门提供的各种事故统计资料和历史记录等资料进行综合分析,找出可能引起事故发生的危险因素;②危险源分析:根据系统所处的环境、设备特征、物料特性等因素,采用定性或定量的方法分析危险源在装置运行或生产过程中可能造成事故发生的可能性及其严重程度;③提出对策措施。

PHA主要是运用预先危险性分析法对可能出现的危险因素进行系统全面地辨识和评估,并根据评估结果提出相应对策措施。PHA与系统危险性评价一样,其目的是为了提 高生产过程中发生事故概率的可预测性。其具体步骤为:①确定PHA分析范围;②确定各危险源及其严重程度;③分析危险源发生事故的可能性及影响;④提出对策措施。

在PHA分析过程中,可采用事故树、故障树、事故后果影响图等方法来进行危险源辨识。在对系统进行危险分析时,还可根据各危险源可能发生事故的后果,按照后果的严重程度、发生概率、对系统造成损害和损失程度等,将其划分为不同级别。根据PHA结果,确定采取不同对策措施所需的费用和时间。在实际工作中,可将PHA与故障树相结合,先通过故障树来确定发生事故可能出现的原因及后果影响图等方法来辨识系统中各危险因素可能导致事故发生的可能性及其严重程度。

### 3.故障树分析法

故障树分析法是通过建立系统的故障树,对系统存在的危险因素进行分析,从而确定危险程度。故障树是用树形图来表示系统中的各种故障,并按照系统的层次关系把它分成若干个小单元,每个小单元就是一个故障树。根据不同的分析目的,故障树又可以分成不同的类型。

当所分析系统有多个故障时,可用一条顶上事件发生的概率与所有可能的顶上事件发生概率之比表示其概率,再利用这个比值确定最大可能发生的顶事件。当所分析系统只有一个故障时,可用顶事件发生概率与最小割集之比表示其概率,再根据故障树求出各项上事件发生的概率,就可以得到系统中各个顶事件发生的概率。由于每个顶事件均为一个独立事件,所以它可以从系统中找到最小割集来作为系统失效模式。

使用故障树分析法时必须注意:要用最小割集对系统中各种可能发生的故障进行分析;要按照一定规则把顶事件转化为底事件。

#### 3.1 故障树的基本原理

故障树分析法是一种定性分析与定量分析相结合的技术,通过

故障树对系统中可能出现的各种故障模式进行定性分析与定量分析,找出最小割集,从而确定系统的主要失效模式。它的基本原理是:通过建立一个故障树模型,来表达系统中各种可能出现的故障模式和各个故障模式发生的概率,在这个基础上进行定性分析。在对系统中各种可能发生的故障模式进行定性分析时,只要运用一定规则就可以得到系统中各个顶事件发生的概率,然后利用最小割集来确定系统中各项事件发生的概率。在对系统进行定量分析时,则是先求出各个顶事件发生的概率,然后按照一定规则转化为底事件发生的概率,再用这些底事件发生概率与最小割集之比来表示其概率。

#### 3.2 故障树的常用形式

故障树的常用形式有单故障树、多故障树和组合故障树三种。其中单故障树是一种简单形式,它仅包含一种或几种故障。多故障树是由多个单一的故障组成,且每个单个的故障都不能独立地导致系统失效。组合故障树是由多个单一的故障组成,各单一的故障都有各自的相对独立的失效模式,而不存在相互影响。

单源单变量故障树图就是用最小割集表示系统中的一种或几种最小割集,然后采用一定规则确定各最小割集的顶事件,再以顶事件为中心进行逐级向下分析。单变量多变量系统则是由一组独立的源变量和一组独立的因变量组成,源变量与因变量之间用一条逻辑连接线连接起来,所以称之为单变量多变量系统。它可以按下列顺序进行分析:首先分析一个单独的源变量;其次分析一个单独的因变量;然后再分析两个或更多个单独的源变量和两个或更多个因变量;最后再进行各源、因等之间的逻辑关系分析。

#### 4.逻辑推理分析法

逻辑推理分析法是依据逻辑推理的方法进行危险分析的方法。其基本步骤如下:

(1)收集数据。收集与研究有关的数据,包括生产工艺流程、工艺参数、设备操作条件和物料特性等,对已收集到的数据进行分析,以获得有关危险或事故发生可能性的定量或定性信息。

(2)确定安全水平。根据有关数据,确定各危险或事故发生可能性的 大小及其可能导致的后果,从而确定危险水平。

(3)制定措施。根据分析结果,针对实际情况和有关安全规定,制定具体可行的措施并加以实施。

(4)检验效果。对制定的措施进行检验和评价,以验证其有效性和可靠性。

(5)改进措施。根据实际情况,提出改进建议或预防措施,以提高设备的安全性和生产效率。

#### 4.1 工艺危害分析法

工艺危害分析法是将生产工艺中的危险和有害因素识别出来,并对其可能造成的事故进行定量描述。

4.1.1 系统辨识,主要是指分析与系统有关的危险因素,如原料、产品、工具及其他设备和设施等。

4.1.2 识别危险源,包括原料、产品、装置、设备、工具及其他设备和设施等。

4.1.3 危险等级划分,根据辨识的危险源,对各危险源进行等级划分。

4.1.4 提出相应的安全措施建议,将各种安全措施按其重要性加以排序,从中选取最重要的安全措施。

4.1.5 确定各危险源的定量标准或安全水平,根据标准或安全水平进行评价,从而得出各危险源可能导致的事故及其发生概率。

4.1.6 确定发生事故的可能性和严重程度等级以及相应的后果等级,为采取相应措施提供依据。

4.1.7 根据评价结果和后果等级制定相应的对策措施。

4.1.8 对制定的对策措施进行有效性检验和适应性检验。

4.1.9 提出改进建议,包括防止事故再次发生和提出预防事故再发生所采取的技术手段和管理措施等。

#### 4.2 故障模式影响与危害性分析(FMECA)

故障模式影响与危害性分析(FMECA)是将系统可能发生的故障,以可能发生的故障模式为对象,通过分析提出预防性措施的一种风险评价方法。其基本思想是,针对可能发生的故障,根据已知的故障信息,分析其产生后果的影响范围和严重程度,并进行评价,以确定系统、部件、设备或操作程序是否存在潜在的故障模式,是否需要采取有效措施加以控制和预防。

FMECA可以应用于各种类型系统中,如机械系统、动力系统、热加工系统等。在危险分析中应用FMECA可降低生产成本、提高生产效率、改善产品质量以及防止和减少事故发生。FMECA的内容包括:识别系统或部件中潜在的故障模式;确定故障模式造成后果的影响范围和严重程度;分析潜在故障模式产生后果的原因;提出预防性措施;对采取预防性措施后的结果进行评价。

#### 5.其他方法

5.1 逻辑推理分析法是一种对系统进行逻辑分析的方法,它根据已知的信息和知识,将系统中各事件之间的因果关系用一定的逻辑关系来表示,然后依据一定的推理法则,去确定系统可能出现的危险状态,进而确定系统发生事故的可能性和危险性大小。逻辑推理分析法一般用于研究事故发生时各事故之间的因果关系,以确定事故发生的原因和条件。这种方法在实际应用中常被用来进行系统设计、计算危险度以及编制安全检查表。

5.2 故障树分析法是一种对系统进行故障分析的方法,它把可能发生或已发生的事故按其原因和后果分为几个基本部分,然后将

每一部分用树状结构表示出来。通过分析树的结构和逻辑关系,就可以确定系统中可能出现的故障模式和可能发生事故的范围。故障树分析法是一种比较常用也比较容易理解的分析方法。

5.3 安全检查表分析法是对化工装置进行安全检查时所采用的一种方法,它是根据实际工作中存在着较大危险因素而设计出来的安全检查表格。其主要内容是对整个装置中存在着各种危险因素进行全面细致地检查。这种方法不仅可以用于分析化工装置中存在着哪些危险因素,而且还可以对装置设计或施工过程中可能出现的事故进行预测,从而避免事故发生。

5.4 安全评价法是一种评价化工装置安全性、可靠性以及经济性等性能指标的方法。安全评价法主要有系统安全性评价和系统可靠性评价两大类。系统安全性评价是从整体上分析和评价系统是否安全,具有全面性和综合性等特点;系统可靠性评价则是从局部到整体地分析和评价系统是否能达到预定性能目标,具有精确性和可操作性等特点。

#### 6.结束语

在化工装置生产过程中,危险分析的目的在于查找潜在的危险,采取安全措施以避免或减轻事故发生。对化工装置进行工艺危险分析,是预防事故的有效手段。工艺危险分析方法有很多,本文只介绍了其中的几种。对于新装置的设计,应先进行初步危险分析,以了解其潜在危险因素,并进行安全设计,使其达到安全生产要求。对已建成的化工装置,应根据其工艺过程、设备特点和所用材料的性质,在进行初步危险分析基础上,采用预先危险性分析法、故障树分析法和逻辑推理分析法等进行危险程度评估。对于已建成的化工装置应进行详细危险分析。应根据危险程度评估结果采取相应措施,以确保化工装置的安全运行。在进行工艺危险分析时,应特别注意分析过程中涉及到的各种因素及其相互关系。同时,应该结合具体情况合理选用多种方法,以提高工艺危险分析结果的可靠性和有效性。

#### 参考文献

- [1]毛运秋,李占元,赵东峰等.煤化工装置放空气综合回收利用技术分析[J].山东化工,2020,49(21):243-244.
- [2]高宝宝,刘刚,王宁.煤化工酸性气脱硫技术的对比分析[J].智能城市,2020,6(11):125-126.
- [3]毛向禹,任岩.煤制天然气项目空分装置规模等级及配套数量的确定[J].化肥设计,2017(2):24-26.
- [4]李跃.浅议过程模拟优化在化工工艺设计中的应用[J].现代盐化工,2020,47(04):59-60.