



普通高等教育“十二五”规划教材

# 油气储运安全管理概论

周 宁 刘暉亚 主编

中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

## 内 容 提 要

本书详细介绍了安全管理的基础知识、石油天然气性质、油气储运生产过程的主要危害、油库安全管理、油库设备安全管理、长输管道安全管理、加油站和加气站安全管理、油气储运火作业安全管理、HSE 管理体系相关知识等内容。

本书可作为高等院校油气储运工程专业本科生的教材,也可作为油气储运行业专业技术人员、管理人员的培训教材和参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

油气储运安全管理概论 / 周宁, 刘晔亚主编. —北京:  
中国石化出版社, 2012. 6  
普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978 - 7 - 5114 - 1567 - 7

I. ①油… II. ①周… ②刘… III. ①石油与天然气储运 -  
安全管理 - 高等学校 - 教材 IV. ①TE8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 108334 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: [press@sinopec.com](mailto:press@sinopec.com)

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

\*

787 × 1092 毫米 16 开本 19.5 印张 493 千字  
2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷  
定价:44.00 元

# 前 言

近年来，油气储运生产安全问题越来越受到重视，安全技术装备和安全管理水平有了长足的发展。各种安全技术装备、安全管理方法在油气储运作业中得到了应用和检验，涉及油气储运安全管理的各种法规也在逐步建立和健全，油气储运生产安全管理水平有了较大的提高。

油气储运顾名思义就是油和气的储存与运输。在石油工业内部，它是连接产、运、销各环节的纽带，包括矿场油气集输及处理、油气的长距离运输、各转运枢纽的储存和装卸、终点分配油库(或配气站、加油站)的营销、炼油厂和石化厂的油气储运等。油气储运安全管理涉及石油工业产、运、销各个环节油气储存和运输的安全管理与技术问题。本书主要从安全管理基础知识、石油天然气的性质、油气储运生产过程的主要危害、油库安全管理、油库设备安全管理、长输管道安全管理、加油站和加气站安全管理、油气储运动火作业安全管理、HSE 管理体系等方面进行了探讨总结。

本书共分为九章，由周宁、刘晔亚主编，参加编写人员有周昊、潘东、徐士会。本书编写过程中参阅了大量国内外的书刊及标准规范，主要参考文献列于书后，在此对这些作者表示感谢。本书编写还得到国家“十二五”科技支撑计划项目资助，在此一并致谢。

由于油气储运安全涉及的面很广，油气储运安全相关技术和安全管理发展很快，加之作者水平有限，书中难免有不足之处，热忱欢迎各位专家、读者指正，以便再版时能更正谬误。

# 目 录

<b>第一章 安全管理基础知识</b> .....	( 1 )
第一节 安全与系统安全 .....	( 1 )
第二节 系统安全分析 .....	( 6 )
第三节 系统危险性评价 .....	( 22 )
第四节 系统危险控制 .....	( 30 )
第五节 事故管理 .....	( 35 )
第六节 安全法规与安全管理体系 .....	( 44 )
<b>第二章 油气基础知识</b> .....	( 49 )
第一节 石油、天然气的性质 .....	( 49 )
第二节 石油、天然气的易燃性 .....	( 55 )
第三节 石油、天然气的易爆性 .....	( 74 )
<b>第三章 油气储运生产过程主要危害</b> .....	( 77 )
第一节 泄漏事故 .....	( 77 )
第二节 火灾事故 .....	( 89 )
第三节 爆炸事故 .....	( 94 )
第四节 职业卫生危害 .....	( 111 )
<b>第四章 油库安全管理</b> .....	( 121 )
第一节 油库安全管理概论 .....	( 121 )
第二节 油库常用设施及设备 .....	( 128 )
第三节 油库作业过程的安全管理 .....	( 154 )
<b>第五章 油库设备安全管理</b> .....	( 158 )
第一节 油库设备安全管理概述 .....	( 158 )
第二节 储油设备的安全管理 .....	( 159 )
第三节 输油管路的安全管理 .....	( 180 )
第四节 泵房设备设施的安全管理 .....	( 193 )
第五节 油库装卸油设施的安全管理 .....	( 204 )
第六节 油库加温设备的安全管理 .....	( 206 )
第七节 电气设备的安全管理 .....	( 220 )
第八节 洞库通风设备的安全管理 .....	( 234 )
<b>第六章 长输管道安全管理</b> .....	( 238 )
第一节 长输管道的分类及组成 .....	( 238 )
第二节 长输管道危险性分析 .....	( 243 )
第三节 长输管道泄漏检测与防治技术 .....	( 253 )
第四节 长输管道的安全管理和监察 .....	( 261 )

<b>第七章 加油站和加气站安全管理</b>	(266)
第一节 加油站的危险性	(266)
第二节 加油站的设置	(269)
第三节 加油站安全管理	(274)
第四节 加气站的危险性	(279)
第五节 加气站的设置	(282)
第六节 加气站设备安全管理	(286)
<b>第八章 油气储运动火作业安全管理</b>	(289)
第一节 工业动火及动火级别	(289)
第二节 油气管线动火的特点与作业方法	(291)
第三节 油罐动火方法及安全措施	(294)
第四节 其他储运设施的动火作业	(295)
<b>第九章 HSE 管理体系概述</b>	(297)
第一节 HSE 管理体系基础	(297)
第二节 HSE 管理体系的构建	(299)
第三节 岗位作业指导书的编制	(301)
第四节 HSE 管理体系示例	(303)
<b>参考文献</b>	(306)

# 第一章 安全管理基础知识

## 第一节 安全与系统安全

### 一、安全与危险

#### 1. 安全(Safety)

安全是指在生产活动过程中，能将人员伤亡或财产损失控制在可接受水平之下的状态。安全具有下述含义：

(1) 我们所研究的是生产领域的安全问题，既不涉及军事或社会意义的安全与保安，也不涉及与疾病有关的安全；

(2) 安全不是瞬间的结果，而是对于某种过程状态的描述；

(3) 安全是相对的，绝对安全是不存在的；

(4) 构成安全问题的矛盾双方是安全与危险，而不是安全与事故，因此，衡量一个生产系统是否安全，不应仅仅依靠事故指标；

(5) 不同的时代，不同的生产领域，可接受的损失水平是不同的，因而衡量系统是否安全的标准也是不同的。

#### 2. 危险(Danger)

危险是指在生产活动过程中，人员或财产遭受损失的可能性超出了可接受范围的一种状态。危险包含了各种隐患，包含尚未为人所认识的以及虽为人们所认识但尚未为人所控制的各种潜在危险，同时，危险还包含了安全与不安全一对矛盾斗争过程中某些瞬间突变所表现出来的事故结果。

#### 3. 风险(Risk)或危险性(Danger Property)

风险是描述系统危险程度的客观量，又称危险性。通常人们用风险可能导致的事故概率和事故后果两方面评价系统的风险或系统的危险性。“风险”一词在不同场合，含义有所不同。例如，在保险业务上，风险是指保险标的(人或物)遭受损害的可能性及其可能的损害程度；在经济领域中，风险则不仅包含损失的可能性，也包含获益的希望，又称为危机(危险和机会)。

#### 4. 安全性(Safety Property)

安全性是指系统安全的程度，是衡量系统安全程度的客观量。与安全性对立的观念是风险(危险性)。假定系统的安全性为  $S$ ，危险性为  $R$ ，则有  $S=1-R$ 。显然， $R$  越小， $S$  越大；反之亦然。若在一定程度上消减了危险因素，就等于创造了安全。安全、危险、安全性、危险性的相互关系见图 1-1。

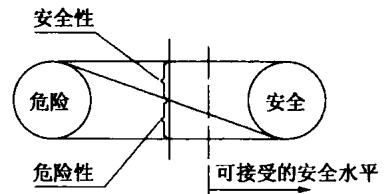


图 1-1 安全与危险

## 5. 事故(Accident)

事故是指在生产活动过程中，由于人们受到科学知识和技术力量的限制，或者由于认识上的局限，当前还不能防止，或能防止但未有效控制而发生的违背人们意愿的事件序列。

事故后果(Consequence)是因事故造成的迫使系统暂时或较长期的中断运行，人员伤亡或者财产损失的事件的总和。

人们应从防止事故发生和控制事故的严重后果两方面来认识和预防事故。在日常生产、生活中，人们往往对事故的后果，特别是引起严重人员伤亡或财物损失的事故后果印象深刻，关注具有严重后果的事故；相反地，对后果非常轻微的事故麻木、忽略，甚至不认为是事故。这不但不利于对事故的预防，也不利于对事故后果的控制，对安全工作是极其有害的。

## 6. 隐患(Accident Potential)

隐患是潜藏的祸患。在生产活动过程中，隐患是指由于人们受到科学知识和技术力量的限制，或者由于认识上的局限，未能有效控制的有可能引起事故的行为或状态。从系统安全的角度看，人们所说的隐患包括一切可能对人-机-环境系统带来损害的不安全因素。

## 7. 安全科学(Safety Science)

安全科学是研究人与机器和环境之间的相互作用，保障人类生产和生活安全的科学，或者说是研究事故发生、发展规律及其预防的理论体系。安全科学的研究对象是人类生产和生活中的不安全因素，或者说是各种技术危害。如工业事故、交通事故、职业危害等。

# 二、系统安全与系统安全工程

## 1. 系统安全(System Safety)

系统安全是人们为解决复杂系统的安全性问题而开发、研究出来的安全理论、方法体系。所谓系统安全，是在系统寿命期间内应用系统安全工程和管理方法，辨识系统中的危险源，评价系统的危险性，并采取控制措施使其危险性最小，从而使系统在规定的性能、时间和成本范围内达到最佳的安全程度。

系统安全的主要观点包括：

### (1) 没有绝对的安全

任何事物中都包含有不安全的因素，具有一定的危险性。“安全的”工厂，生产过程并不意味着已经杜绝了事故和事故损失，只不过相对地事故发生率较低，事故损失较少而已。系统安全所追求的目标也就不是“事故为零”那样极端理想的情况，而是达到“最佳的安全程度”，达到一种实际可能的、相对的安全目标。

### (2) 安全工作贯穿于系统的整个寿命期间

该项原则充分体现了系统安全的重要特征：安全工作不仅仅是在系统运行阶段进行，而是贯穿于整个系统寿命期间。即，在新系统的构思、可行性论证、设计、建造、试运转、运转、维修直到废弃的各个阶段都要辨识、评价、控制系统中的危险源。

### (3) 系统危险源是事故发生的根本原因

系统安全认为，系统中存在的危险源是事故发生的根本原因。按定义，危险源是可能导致事故的潜在的不安全因素。系统安全的基本内容就是辨识系统中的危险源，采取措施消除和控制系统中的危险源，使系统安全。

## 2. 系统安全工程(System Safety Engineering)

系统安全工程是运用科学和工程技术手段辨识、消除或控制系统中的危险源，实现系统

安全。系统安全工程包括系统危险源辨识、危险性评价、危险源控制等基本内容。

### (1) 危险源辨识(Hazard Identification)

危险源辨识是发现、识别系统中危险源的工作。它是危险源控制的基础。

系统安全分析方法是危险源辨识的主要方法。系统安全分析方法可以用于辨识已有事故记录的危險源，也可用于辨识没有事故经验的系统的危險源。系统越复杂，越需要利用系统安全分析方法来辨识危险源。

### (2) 危险性评价(Risk Assessment)

危险性评价是评价危险源导致事故、造成人员伤害或财产损失的危險程度的工作。

系统中往往有许多危险源，危险性评价应全面分析系统中存在的各种危险源，对其进行综合评价。同时，由于任何系统都存在一定的危险源控制措施，危险性评价还要分析这些控制措施的效果。

当危险性评价结果认为系统危险性低于“允许的限度”时可以被忽略，否则要采取控制措施。

### (3) 危险源控制(Hazard Control)

危险源控制是利用工程技术和管理手段消除、控制危险源，防止危险源导致事故、造成人员伤害和财物损失的工作。

按一般意义上的理解，应该在危险源辨识的基础上进行危险源评价，根据危险源危险性评价的结果采取危险源控制措施。实际工作中，这三项工作并非严格地按这样的程序分阶段独立进行，而是相互交叉、相互重叠进行的(见图 1-2)。

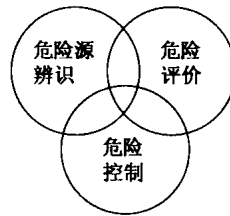


图 1-2 系统安全工程的基本内容

## 三、石化生产系统安全

石化生产系统是以原油、原油炼制后的产品、油田伴生气或天然气为原料，采取特定工艺，生产燃料性油品、润滑性油品、化工原料、化工中间体和化工产品的工业生产过程系统。石化工业是我国的支柱产业。石化产品渗透到国民经济各个领域，给人们的生产生活带来巨大影响。

### 1. 石化生产系统的危险性

化工和石油化工与矿山、建筑行业是现代生产过程中三个危险最集中、危险性最高的行业。与其他行业相比，石化生产系统具有如下特征：

#### (1) 生产物资的多危险性

石化生产从原料到产品，包括各种半成品、中间体、溶剂、添加剂、催化剂等，绝大多数属于易燃易爆、有毒有害和强腐蚀性的物质，具有发生各类火灾、爆炸、泄漏、损伤、毒害事故的可能。

#### (2) 生产工艺的连续性和长周期性

石化生产工艺多、过程复杂，各工厂、车间、工序之间原料、产品互为上下游、互相制



约，必须按比例严密配合、连续长周期作业。这种连续和长周期性在逻辑上形成串联系统，而串联系统中任何子系统、元素发生故障都会导致系统的故障。因此，石化生产系统是相对脆弱的系统。

### (3)加工过程的封闭性

整个加工过程都被封闭在管、泵、釜、塔、罐中，其内部状况难以直接观察。整个生产情况都要根据由传感器、变送器输送到控制仪器仪表上的各种压力、流量、温度信号来反映，被控制对象和控制者之间增加了中间环节，影响了人们对系统事故规律的认识。

### (4)物耗、能耗的集中化和扩大化

近年来，石化生产一次加工能力不断提高，年加工能力在数百万吨的装置依次投产，生产中的能耗、物耗在不断集中化和扩大化。一旦发生事故，其后果的严重程度大大增加。

石化生产系统的上述特点，使其生产中事故发生的种类、事故发生的可能性、事故的规模及其后果的严重程度都在大大增加。目前就世界范围而言，化工和石油化工事故的危害已居于各种工业事故危害的首位。1984年12月19日，印度博帕尔农药厂甲基异氰酸酯泄漏造成20万人中毒，5万人双目受害，2500人死亡。1989年8月12日，我国青岛黄岛油库雷电导致爆炸，罐区燃烧104小时，烧掉原油3.6万吨，直接损失3540万元，死亡19人，伤68人。1993年8月5日，深圳安贸危险品公司清水河仓库因将危险化学品混储，造成自燃火灾和爆炸，燃烧81小时，死亡18人，重伤136人，炸毁建筑物39000平方米和大量化学物品，直接损失2.5亿元。1997年6月27日，北京东方化工厂轻柴油被错误卸到装满石脑油的罐中，造成严重泄漏，发生爆炸，死亡9人，伤37人，20余个装有化工物料的球罐被毁，直接损失近2亿元。2005年11月13日，吉林石化分公司双苯厂硝基苯精馏塔发生爆炸，造成8人死亡，60人受伤，直接经济损失6908万元，并引发松花江水污染事件，造成恶劣的国际影响。2010年7月16日18时许，位于辽宁省大连市大连保税区的大连国际储运有限公司原油罐区输油管道发生爆炸，造成原油大量泄漏并引起火灾，泄漏原油达1500吨，大面积海域、海滩被污染，造成巨大经济损失。这些特大事故一再证明，化工和石化工业生产系统安全工作任重而道远。

## 2. 石化生产系统安全基本理论

在诸多系统安全基本理论中，适合石化生产特点的是能量释放理论和两类危险源理论。

### (1)能量释放理论

能量释放理论认为事故是一种不正常的或不希望的能量释放，各种形式的能量构成伤害的直接原因。于是应该通过控制能量或控制能量载体来预防伤害事故。

石化生产过程是各种化学能或物理能相互转化的过程。在这个过程中，如果由于某种原因失去了对能量的控制，超越了人们设置的约束或限制，就会发生能量违背人的意愿的意外释放或逸出，使进行中的活动中止而发生事故。如果失去控制而意外释放的能量作用于人体，并且能量的作用超过人体的承受能力，则将造成人员伤害。如果意外释放的能量作用于设备、建筑物、物体等，并且能量的作用超过它们的抵抗能力，则将造成设备、建筑物、物体的损坏。

图1-3为由于能量意外释放而发生事故的连锁过程。这个连锁过程告诉我们，要防止管理失误、人的不安全行为和物的不安全状态，注意生产过程中能量的流动、转换，以及不同形式能量的相互作用，从减少能量和加强防护设施两方面防止发生能量的意外释放或逸出。

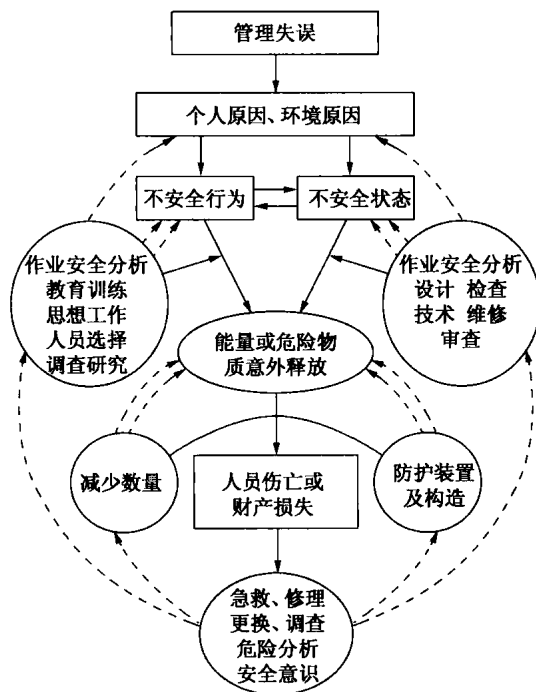


图 1-3 能量观点的事故因果连锁

## (2) 两类危险源理论

根据危险源在事故发生、发展中的作用，把危险源划分为两大类，即第一类危险源和第二类危险源。

①第一类危险源 根据能量意外释放论，把系统中存在的、可能发生意外释放的能量或危险物质称作第一类危险源。常见的第一类危险源如下：

- 产生、供给能量的装置、设备；
- 使人体或物体具有较高势能的装置、设备、场所；
- 能量载体；
- 一旦失控可能产生巨大能量的装置、设备、场所，如强烈放热反应的化工装置等；
- 一旦失控可能发生能量蓄积或突然释放的装置、设备、场所，如各种压力容器等；
- 危险物质，如各种有毒、有害、可燃烧爆炸的物质等；
- 生产、加工、储存危险物质的装置、设备、场所；
- 人体一旦与之接触将导致人体能量意外释放的物体。

②第二类危险源 为了让能量按照人们的意图在系统中流动、转换和做功，必须采取措施约束、限制能量。在许多因素的复杂作用下约束、限制能量的控制措施可能失效，能量屏蔽可能被破坏而发生事故。导致约束、限制能量措施失效或破坏的各种不安全因素称作第二类危险源。

第二类危险源，包括人、物、环境三个方面的问题。

在系统安全中涉及人的因素问题时，采用术语“人失误”。人失误是指人的行为的结果偏离了预定的标准，人的不安全行为可被看作是人失误的特例。人失误可能直接破坏对第一类危险源的控制，造成能量或危险物质的意外释放。

物的因素问题可以概括为物的故障。故障是指由于性能低下不能实现预定功能的现象，

物的不安全状态也可以看作是一种故障状态。物的故障可能直接使约束、限制能量或危险物质的措施失效而发生事故。

环境因素主要指系统运行的环境，包括温度、湿度、照明、粉尘、通风换气、噪声和振动等物理环境，以及企业和社会的安全文化等。

在事故的发生、发展过程中，两类危险源共同决定危险源的危险性。第一类危险源在事故时释放出的能量是导致人员伤害或财物损坏的能量主体，决定事故后果的严重程度；第二类危险源出现的难易决定事故发生的可能性的概率大小。

## 第二节 系统安全分析

### 一、系统安全分析概述

系统安全分析(System Safety Analysis)是从安全角度对系统进行的分析，它通过提示可能导致系统故障或事故的各种因素及其相互关联来查明系统中的危险源，以便采取措施消除或控制它们。

系统分析方法主要有如下几种：

- 安全检查表法(Safety Check List, SCL)
- 预先危害分析(Preliminary Hazard Analysis, PHA)
- 故障类型和影响分析(Failure Model and Effects Analysis, FMEA)
- 危险和可操作性研究(Hazard and Operability Analysis, HAZOP)
- 事件树分析(Event Tree Analysis, ETA)
- 事故树分析(Fault Tree Analysis, FTA)

此外，还有因果分析(Cause – Consequence Analysis, CCA)、What If(如果出现异常将会怎样?)分析、MORT(管理疏忽和危险树)分析等方法，可用于特定目的的系统安全分析。在系统寿命不同阶段的危险源辨识中，应选择相应的系统安全分析方法。表 1 - 1 为系统寿命期间内各阶段适用的系统安全分析方法的情况。

表 1 - 1 系统安全方法适用情况

分析方法	开发研制	方案设计	样机	详细设计	建造投产	日常运行	改造扩建	事故调查	拆除
检查表		√	√	√	√	√	√		√
预先危险分析	√	√	√	√			√		√
危险与可操作性研究			√	√		√	√		√
故障类型与影响分析			√	√		√	√		√
事件树分析			√	√		√	√	√	√
事故树分析			√	√		√	√	√	√
因果分析			√	√		√	√		√

## 二、安全检查表

安全检查表是一份进行安全检查和诊断的清单。它由一些有经验的、对工艺过程、检查设备和作业情况熟悉的人员，事先对检查对象共同进行详细分析、充分讨论、列出检查项目和检查要点并编制成表。为防止遗漏，在制定安全检查表时，通常要把检查对象分割为若干子系统，按子系统的特征逐个编制安全检查表。在系统安全设计或安全检查时，按照安全检查表确定的项目和要求，逐项落实安全措施，保证系统安全。

### 1. 安全检查表的编程序

(1) 确定人员。要编制一个符合客观实际，能全面识别系统危险性的安全检查表，首先要建立一个编制小组，其成员包括熟悉系统的各方面人员；

(2) 熟悉系统。包括系统的结构、功能、工艺流程、操作条件、布置和已有的安全卫生设施；

(3) 收集资料。收集有关安全法律、法规、规程、标准、制度及本系统曾发生过的事故资料，作为编制安全检查表的依据；

(4) 判别危险源。按功能或结构将系统划分为子系统或单元，逐个分析潜在的危险因素；

(5) 列出安全检查表。针对危险因素有关规章制度、以往的事故教训以及本单位的检验，确定安全检查表的要点和内容，然后按照一定的要求列出表格。

### 2. 安全检查表的格式

安全检查表一般包括检查日期、检查人员、检查项目、检查内容和要求、检查结果、处理意见、整改措施等。

### 3. 实例

德国制定的手持灭火器安全检查表如表 1-2 所示。

表 1-2 手持灭火器安全检查表

需要遵循有关法规、规范和标准

- (1) 德国事故预防条例(UVV)的第 19 条；
- (2) 职业协会总联合会标准(HZ1/201) - “工厂持灭火器的配置”；
- (3) 职业协会总联合会标准(ZH/224) - “汽车库防火制度”第 48 条。

手持灭火器用于扑灭初始状态的火灾，必须保证随时备用状态，尽可能放在易发生火灾的地点，或放在工作地点及车间的出入口、过道旁，以便随时取用。通往灭火器的通道任何时候都应该畅通无阻。

手持灭火器的配置数量，通常根据火灾危险程度和厂房类型，以及厂房的面积大小来决定。其配置数量及安全检查项目如表 1-3、表 1-4 所示。

表 1-3 不同火灾危险程度灭火器的配备数量

火灾危险	最小配备灭火器个数(N级)	最大厂房面积/m <sup>2</sup>	扩大厂房面积需要增加的灭火器个数
火灾危险小(如机械车间等)	2	150	每扩大 400m <sup>2</sup> 增加 1 个
火灾危险中等(如仓库等)	2	100	每扩大 200m <sup>2</sup> 增加 1 个
火灾危险大(如木材加工等)	2	50	每扩大 200m <sup>2</sup> 增加 2 个

表 1-4 安全检查项目表

序号	安全检查项目	是否或注			
1	有足够数量的手持灭火器吗?				
2	灭火器放置地点能使任何人都看到吗? (易看到, 加标记且不宜放置太高)				
3	通向灭火器上都有检验标志吗? (按规定至少每两年由专业人员检验一次)				
4	每个灭火器上都有检验标志吗? (按规定至少每两年由专业人员检验一次)				
5	灭火器对所有扑灭的火灾适应吗? (湿式和泡沫灭火器对电气火灾不适应)				
6	操作人员都熟悉灭火器的操作规程吗?				
7	四氯化碳灭火器是否已经被其他灭火器所取代?				
8	在规定的的所有地点都配置了灭火器吗?				
9	灭火剂易冻的灭火器(如湿式灭火器)采取了防冻措施吗?				
10	用过的或已经损坏的灭火器都要更新过吗?				
11	每个都知道自己工作区域内灭火器所在的位置吗?				
12	汽车库必备的灭火器吗?				
检查对象	检查时间	检查人	被检查单位责任人	整改负责人	整改期限

### 三、预先危害分析

预先危害分析是在系统付诸实施之前, 根据经验和理论推断, 辨识可能出现的危险源, 提出预防、改正、补救等安全技术措施, 消除或控制事故的系统安全分析方法。

#### 1. 预先危害分析程序

##### (1) 准备工作

在进行分析之前要收集对象系统的资料和其他类似系统或使用类似设备、工艺物质的系统的资料。要弄清对象系统的功能、构造, 为实现其功能选用的工艺过程、使用的设备、物质、材料等。

##### (2) 审查

通过对方案设计、主要工艺和设备的安全审查, 辨识其中的主要危险源, 也包括审查设计规范 and 采取的消除危险源的措施。

一般地, 应按照预先编好的安全检查表进行审查, 其中审查内容主要有以下几方面:

①危险设备、场所、物质; ②有关安全的设备、物质间的交接面, 如物质的相互反应, 火灾、爆炸的发生及传播, 控制系统等; ③可能影响设备、物质的环境因素, 如地震、洪水、高(低)温、潮湿、振动等; ④运行、试验、维修、应急程序, 如人失误后果的严重性, 操作者的任务, 设备布置及通道情况, 人员防护等。⑤辅助设施, 如物质、产品储存, 试验设备, 人员训练, 动力供应等; ⑥有关安全的设备, 如安全防护设施、冗余设备、灭火系统、安全监控系统、个人防护设备等。

根据审查结果, 确定系统中的主要危险源, 研究其产生原因和可能导致的事故。根据导致事故原因的重要性和事故后果的严重程度, 把危险源进行粗略地分类。一般地, 可以把危险源划分为 4 级:

I 级: 安全的, 可以忽略;

II 级: 临界的, 有导致事故的可能性, 事故后果轻微, 应该注意控制;

Ⅲ级：危险的，可能导致事故、造成人员伤亡或财物损失，必须采取措施控制；

Ⅳ级：灾难的，可能导致事故、造成人员严重伤亡或财物巨大损失，必须设法消除。

针对不同级别的危险源，有重点地采取修改设计、增加安全措施来消除或控制它们，从而达到系统安全的目的。

### (3) 结果汇总

以表格的形式汇总分析结果。典型的结果汇总表包括主要的事故、产生原因、可能的后果、危险性级别、应采取的措施等栏目。

### 2. 实例

为硫化氢( $H_2S$ )输送到反应装置的设计方案进行预先危害分析。在设计初期分析者只知道在工艺过程中处理的物质是硫化氢，以及硫化氢有毒、可燃烧。于是，把硫化氢意外泄漏作为可能的事故，进行了预先危险分析(见表1-5)。

表 1-5 硫化氢输送系统预先危害分析

分析对象：硫化氢输送系统		分析者：		分析时间：	
事故	原因	后果	级别	建议的措施	
毒物泄漏	储罐破裂	大量泄漏导致人员伤亡	Ⅳ	· 采用泄漏报警系统 · 最小储存量 · 制定巡检规程 · 过剩硫化氢收集处理系统	
	反应过剩	泄漏可能导致人员伤亡	Ⅲ	· 安全监控(紧急停车)系统 · 制定规程保证收集处理系统先于装置运行	

## 四、故障类型和影响分析

故障类型和影响分析是以可能发生的不同类型的故障为起点，对系统的各组成部分、元素进行的系统安全分析。这种分析方法首先找出系统中各组成部分及元素可能发生的故障及其类型，查明各种类型故障对邻近部分或元素的影响以及最终对系统的影响，然后提出避免或减少这些影响的措施。最初的故障类型和影响分析(FMEA)只能做定性分析，后来在分析中包括了故障发生难易程度的评价或发生的概率。更进一步地，把它与危险度分析结合起来，构成故障类型和影响、危险度分析(Failure Modes, Effects and Criticality Analysis, FMECA)。这样，如果确定了每个元素故障发生概率，就可以确定设备、系统或装置的故障发生概率。从而定量地描述故障的影响。

### 1. 故障类型和影响分析程序

#### (1) 确定对象系统

①明确作为分析对象的系统、装置或设备。

②确定进行分析的物理的系统边界。划清对象系统、装置、设备与邻接系统、装置、设备的界线，圈定所属的元素、设备、元件。

③确定系统分析的边界。它包括两方面的问题：

明确分析时不需考虑的故障类型、运行结果、原因或防护装置等，如分析故障原因时不考虑飞机坠落到系统上、地震、龙卷风等；

明确初始运行条件或设备、元件状态等，如作为初始运行条件必须明确正常情况下阀门是开启还是关闭的。

④收集设备、元件的最新资料，包括其功能，与其他设备、元件间的功能关系等。

(2)分析系统元素的故障类型和产生原因

确定故障类型可以从以下两方面着手：

①如果分析对象是已有元素，则可以根据以往运行经验或试验情况确定元素的故障类型；

②如果分析对象是设计中的新元素，则可以参考其他类似元素的故障类型，或者对元素进行可靠性分析来确定元素的故障类型。

一般地，一个元素可能至少有4种可能的故障类型：

- 意外运行；
- 不能按时运行；
- 不能按时停止；
- 运行期间故障。

(3)研究故障类型的影响

通常从三个方面来研究元素故障类型的影响：

- ①该元素故障类型对相邻元素的影响。
- ②该元素故障类型对整个系统的影响。
- ③该元素故障类型对邻近系统的影响及对周围环境的影响。

(4)故障类型的影响分析表格

分析者可以根据分析的目的、要求设立必要的栏目，简捷明了地显示全部分析内容。

## 2. 实例

对起重机的两种主要故障(钢丝绳过卷和切断)进行的分析，如表1-6所示。

表1-6 起重机的故障类型和影响、危险度分析(部分)

项目	构成因素	故障模式	故障影响	危险严重度	故障发生概率	检查方法	校正措施和注意事项
防止过卷装置	电气零件	动作不可靠	误动作	大	$10^{-2}$	通电检查观察 观察	立即修理 警戒 立即修理
	机械部分	变形生锈	破损	中	$10^{-4}$		
	安装螺栓	松动	误报、失报	小	$10^{-3}$		
钢丝绳	绳	变形、扭结	切断	中	$10^{-4}$	观察 观察	立即更换 立即更换
	单根钢丝	15%切断	切断	大	$10^{-1}$		

注：危险的严重度：大(危险)      中(临界)      小(安全)

校正措施：立即停止作业      看准机会修理      注意

发生概率：非常容易发生的  $10^{-1}$ ；容易发生的  $10^{-2}$ ；偶尔发生的  $10^{-3}$ ；不太发生的  $10^{-4}$ ；几乎不发生的  $10^{-5}$ ；很难发生的  $10^{-6}$

## 3. 故障类型和影响、危险度分析

故障类型和影响、危险度分析包括两个方面的分析：

- 故障类型和影响分析；
- 危险度分析。

危险度分析的目的在于评价每种故障类型的危险度，据此确定校正措施。一般地，采用概率-严重度来评价故障类型的危险度。这里概率为故障类型出现的概率；严重度为故障后

果的严重度。

### 五、危险性与可操作性研究

危险性与可操作性研究运用系统审查方法全面地审查工艺过程，对各个部分进行系统的提问，发现可能的偏离设计意图的情况，分析其产生原因及其后果，并针对其产生原因采取恰当的控制措施。由于通常用系统温度、压力、流量等过程参数的偏差来判断偏离设计意图的情况，因此危险性与可操作性研究它特别适合于石化工业的系统安全分析。

危险性与可操作性研究需要由一组人而不是一人实行，这一点有别于其他系统安全分析方法。通常，分析小组成员应该包括相关各领域的专家，采用头脑风暴法(brain storming)来进行创造性的工作。

#### 1. 基本概念和术语

危险性和可操作性研究中，常用的术语如下：

- 意图。希望工艺的某一部分完成的功能，可以用多种方式表达，在很多情况下用流程图描述。
- 偏离。背离设计意图的情况，在分析中运用引导词以系统地审查工艺参数来发现偏离。
- 原因。引起偏离的原因，可能是物的故障、人失误、意外的工艺状态(如成分的变化)或外界破坏等。
- 后果。偏离设计意图所造成的后果(如有毒物质泄漏等)。
- 引导词。在辩识危险源的过程中引导、启发人的思维，对设计意图定性或定量的简单词语。表 1-7 为危险性与可操作性研究的引导词。

表 1-7 引导词

引导词	意义	注释
没有或不	对意图的完全否定	意图的任何部分没有达到，也没有其他事情发生
较多 较少	量的增加或减少	原有量 ± 增值，如流速、温度，或是对原有活动，如“加热”和“反应”的增减
也，又 部分	量的增加或减少	与某些附加活动一起，全部设计或操作意图达到 只是一些意图达到，一些未达到
反向	意图的逻辑反面	这最适用于流动，例如，流动或化学反应的反向。也可用于物质，如“中毒”代“解毒”
不同于 非	替代 完全替代	原意图一部分没有达到 完全另外的事情发生

· 工艺参数。有关工艺的物理或化学特性，它包括一般项目，如反应、混合、浓度、pH 值等，以及特殊项目，如温度、压力、相态、流量等。表 1-8 列出了对一般生产工艺进行危险性与可操作性研究时常用的工艺参数。

表 1-8 常用工艺参数

流量	时间	频率	混合
压力	成分	速度	添加
温度	pH 值	浓度	分离
液位	速度	电压	反应



表 1-9 为化工生产过程中一些工艺参数出现偏离的情况。

表 1-9 化工生产工艺部分偏离情况

偏离	塔	罐(容器)	管线	热交换器	泵
流量大			√		
流量小(无流量)			√		
液面高	√	√			
液面低	√	√			
接触面高		√			
接触面低		√			
压力高	√	√	√		
压力低	√	√	√		
温度高	√	√	√		
温度低	√	√	√		
浓度高	√	√			
浓度低	√	√			
流向相反(或错误)			√		
管子泄漏			√	√	
管子破裂			√	√	
泄漏	√	√	√	√	√
破裂	√	√	√	√	√

## 2. 分析程序

### (1) 准备工作

#### ① 确定分析的目的、对象和范围

首先必须明确进行危险性与可操作性研究的目的，确定研究的系统或装置，明确问题的边界、研究的深入程度等。

#### ② 成立研究小组

开展危险性和可操作性研究需要利用集体的智慧和经验。小组成员以 5~7 人为佳，小组成员应包括有关的各领域专家、对象系统的设计者等。

#### ③ 获得必要的资料

包括各种设计图纸、流程图、工厂平面图、等比例图和装配图，以及操作指令、设备控制顺序图、逻辑图和计算机程序，有时还需要工厂或设备的操作规程和说明书等。

#### ④ 制定研究计划

首先要估计研究工作需要的时间，根据经验估计每个工艺部分或操作步骤的分析花费的时间，再估计全部研究需花费的时间，然后安排会议和每次会议研究的内容。