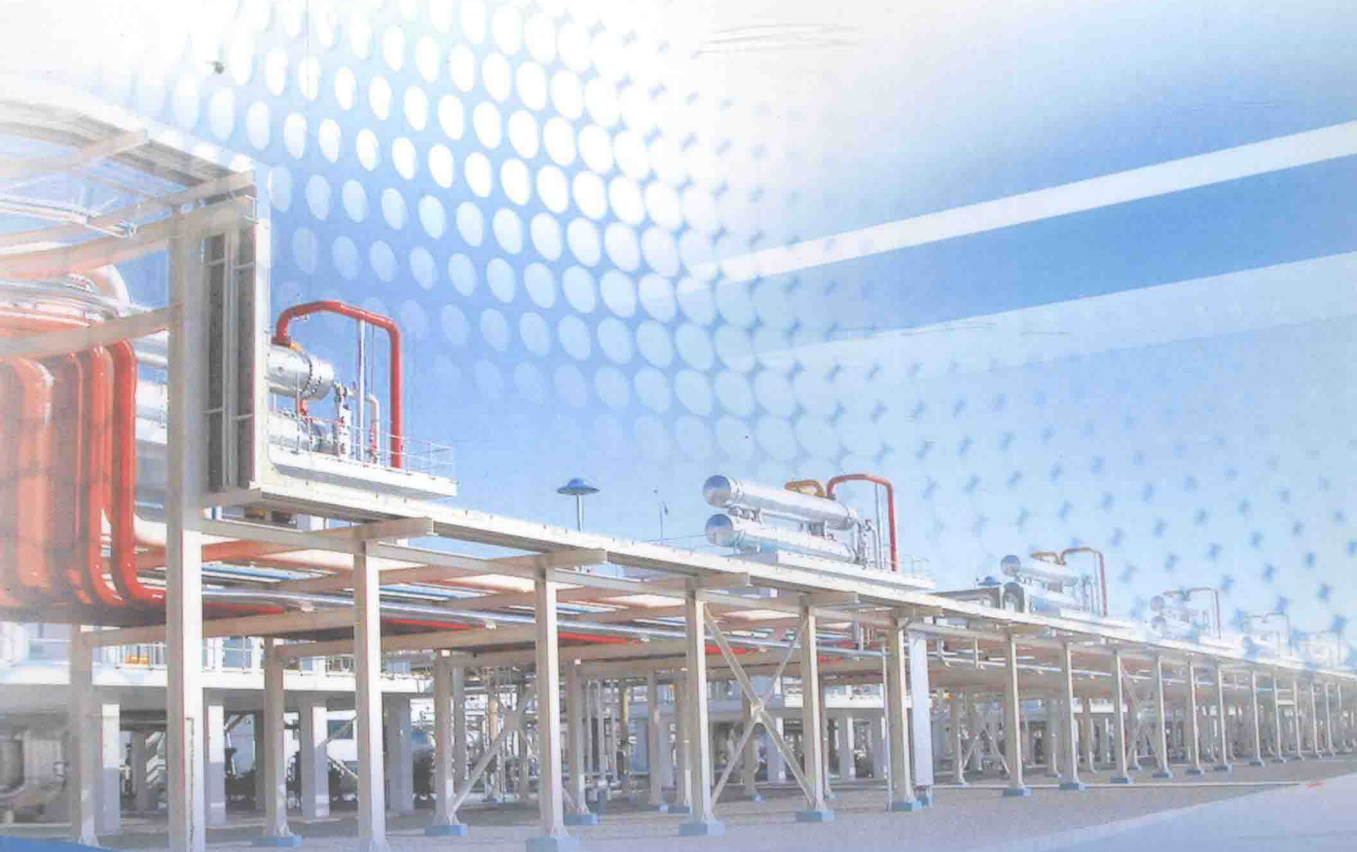




高等院校石油天然气类规划教材

# 油气储运安全技术与管理

陈利琼 © 主编



石油工业出版社  
Petroleum Industry Press

高等院校石油天然气类规划教材

# 油气储运安全技术与管理

陈利琼 主编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书在系统安全技术基础知识以及系统安全分析与评价技术的基础上,根据油气储运的专业范畴,分别介绍了油气站场、油库、管道安全分析与管理技术,并综合介绍了油气储运中电气安全管理技术和油气储运 HSE 管理。

本书可作为油气储运专业本科生和研究生的教材,也可作为相关从业人员和专业技术人员的培训与学习参考资料。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

油气储运安全技术与管理/陈利琼主编.

北京:石油工业出版社,2012.8

(高等院校石油天然气类规划教材)

ISBN 978-7-5021-9182-5

I. 油…

II. 陈…

III. 石油与天然气储运-安全管理-高等学校-教材

IV. TE8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 168792 号

---

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: <http://pip.cnpc.com.cn>

编辑部:(010) 64523612 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

---

2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:18.5

字数:445 千字

---


定价:32.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

# 《油气储运安全技术与管理》 编写人员

- 主编：** 陈利琼 西南石油大学
- 主审：** 黄 坤 西南石油大学  
穆 剑 中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司  
王林元 西南石油大学
- 编者：**（以姓氏拼音为序）
- 何光渝 西安石油大学  
刘爱华 武汉理工大学  
马剑林 中国石油西南管道分公司  
石永春 徐州空军学院  
宋生奎 徐州空军学院  
田 野 武汉理工大学  
吴晓南 西南石油大学  
袁成清 武汉理工大学  
张 鹏 西南石油大学



# 目录

<b>第1章 绪论</b> .....	1
1.1 油气储运安全技术研究对象及内容 .....	1
1.2 油气储运安全技术研究的意义 .....	1
1.3 系统安全评价的基本模式及概念 .....	3
思考题.....	7
参考文献.....	8
<b>第2章 系统安全技术基础知识</b> .....	9
2.1 危险源分类 .....	9
2.2 危险源辨识与控制理论.....	12
2.3 事故基本理论.....	19
思考题 .....	30
参考文献 .....	30
<b>第3章 系统安全分析与评价方法</b> .....	31
3.1 系统安全分析方法.....	31
3.2 系统安全评价方法.....	60
思考题 .....	77
参考文献 .....	77
<b>第4章 油气站场的安全管理</b> .....	78
4.1 概述 .....	78
4.2 油气集输站场安全管理.....	81
4.3 输油站场安全管理.....	88
4.4 输气站场安全管理.....	98
4.5 压缩天然气站场安全管理 .....	107
4.6 液化天然气站场安全管理 .....	117
思考题.....	126
参考文献.....	127
<b>第5章 油库安全分析与管理</b> .....	128
5.1 油库安全影响因素分析 .....	128
5.2 油库火灾和爆炸危险场所、危险等级划分 .....	131
5.3 油库油气源控制技术 .....	139
5.4 油库静电火源及其控制 .....	152
5.5 油库防止雷电危害 .....	163

# 第 1 章 绪论

## 1.1 油气储运安全技术研究对象及内容

油气储运安全技术是为了识别、控制、消除油气储运工程中潜在的各种不安全因素，针对油气储运工程设计、生产作业环境、设备设施、工艺流程以及作业人员等采取的一系列技术措施。该技术是储运安全生产的重要组成部分，可为油气储运系统安全运营及管理提供技术保障。

油气储运安全技术是一门综合性的学科，其研究内容涉及对储运行业的人、物、环境等诸多对象采取的安全技术措施；设计、施工、验收、操作、维修以及经营管理等诸多环节中的安全技术问题，包括安全设计、设备和设施的安全技术管理、检修安全技术、防静电技术、防雷技术、环境保护、劳动保护、灭火技术、事故预测与分析技术等。

## 1.2 油气储运安全技术研究的意义

油气储运工程生产介质是原油、成品油、天然气及其相关产品，具有以下危险特性：

### 1. 易燃性

根据《石油天然气工程设计防火规范》(GB 50183—2004)的分类标准(表 1.1 和表 1.2)，对石油及石油产品，根据其闪点不同有甲类、乙类及丙类之分。其中，天然气属甲类；原油、汽油等闪点低于 28℃ 的油品为甲类，最容易挥发，在其周围极易形成爆炸性混合气体，遇明火即会引起爆燃或着火；喷气燃灯用煤油和 35 号轻柴油等为乙类，较易引起着火或爆炸，其闪点高于 28℃ 而低于 60℃；闪点高于 60℃ 的油品如柴油等为丙类，不容易挥发，在正常环境条件下，其周围一般不会形成爆炸性混合气体，故不易着火或爆炸。

表 1.1 可燃液体、气体火灾危险性分类  
(GB 50183—2004)

类 别	特 征
甲	闪点<28℃ 爆炸下限<10% (体积分数) 的气体
乙	闪点为 28~60℃ 的液体 爆炸下限≥10% (体积分数) 的气体
丙	闪点≥60℃

表 1.2 液化烃和可燃液体火灾危险性分类  
(GB 50160—2008)

类 别		特 征
甲		闪点<28℃
乙	A	闪点为 28~45℃
	B	闪点为 28~60℃
丙	A	闪点为 60~120℃
	B	闪点>120℃

由于石油及天然气都属于可燃性物质，并且石油及其产品具有易挥发的特点，石油蒸气、天然气常常在作业场所或储存区弥漫、扩散或在低洼处聚积，使其在空气中只要有较小的点燃能量就会燃烧，具有较大的火灾危险性。

### 2. 易爆性

石油及石油产品挥发蒸气、天然气与空气组成混合气体，其浓度处于一定范围内时，遇火即会发生爆炸。爆炸浓度极限范围越宽，爆炸下限浓度值越低，该物质爆炸危险性就越大。

石油及石油产品、天然气的爆炸范围较宽，爆炸下限浓度值较低，爆炸危险性较大。因此，要重视石油及石油产品、天然气产品的泄漏和爆炸性蒸气的产生与积聚，以防止爆炸事故的发生。

### 3. 毒性

石油及石油产品挥发出的油气对人体有一定的毒害作用，其中汽油蒸气的毒害最严重，主要是不饱和烃和芳香烃造成的。汽油为麻醉性毒物，对皮肤、粘膜有刺激性，大量吸入汽油蒸气可引起麻醉症状，兴奋、酒醉样并伴有恶心、呕吐等；如吸入大量高浓度的汽油蒸气，则会很快出现昏迷症状；长期吸入汽油蒸气可出现头晕、头痛、失眠、乏力、记忆力减退、易兴奋现象，有的还会出现癔病样发作，也称“汽油性癔症”。皮肤长期接触汽油，会出现干燥、皸裂、角化性皮炎等。

### 4. 热膨胀性

石油及石油产品、天然气的体积随着温度的升高而膨胀，特别是天然气随温度升高膨胀特别明显。油品的热胀冷缩作用往往会损坏储存容器，造成介质泄漏。天然气储存容器在低温下还可能引起外压失稳。另外，在着火场附近，油品受到火焰辐射高热时，如不及时冷却，可能会因膨胀爆裂助长火势，扩大灾害范围。

### 5. 静电积聚性

石油及石油产品的电阻率一般大于  $10^{12} \Omega \cdot m$ ，当其沿管道流动与管壁摩擦，在运输过程中与罐壁发生冲击，在撞车、装罐或泵送时，都会产生静电，且不易消除；压缩气体与液化气体从管口或破损处高速喷出时，由于强烈的摩擦作用，也会产生静电。静电放电则可能引起燃烧、爆炸事故。

### 6. 易沸腾突溢性

含有水分的石油着火燃烧时，可能会产生沸腾突溢，向容器外喷溅，在空中形成火柱，

扩大灾情。石油燃烧形成沸腾突溢受热辐射、热液及水蒸气等因素的影响，因此应严格控制储运油品的含水量。

#### 7. 挥发性

油品蒸气压越大，其挥发性就越大，表明该物质挥发较容易达到燃烧或爆炸所需的蒸气浓度。轻质油品具有较大的蒸气压，因此其火灾、爆炸危险性也较大。另外，蒸气压大的物质对温度变化更为敏感，温度升高，蒸气压迅速增大，因此，盛装该类油品的容器也较易发生胀裂。

#### 8. 易扩散、流淌性

除高粘、高蜡、高凝原油外，石油及石油产品的粘度一般均较小，泄漏后易流淌、扩散。随着流淌面积的扩大，油品蒸发速度加快，油蒸气与空气混合后，遇点火源极易发生火灾、爆炸事故。

可见，在油气储运系统生产过程中发生事故的可能性大，事故后果严重，安全管理至关重要。油气储运安全技术与管理研究的目的，是在认真贯彻执行国家有关的方针、政策、法律、法规及标准的前提下，分析研究油气储运工程设计、建设及生产过程中存在的各种不安全因素，采取有效的技术措施控制和消除各种潜在不安全因素，防止事故的发生，以保证国家财产安全和职工的人身安全。因此，在油气储运安全技术的研究中必须坚持“安全第一，预防为主”。

安全第一，就是要求在经营决策、设计施工、计划措施安排、组织指挥、生产作业以及在科技成果的应用、技术改造、新建项目、改建项目、扩建项目等一系列活动中，应当把安全作为首要前提，具体包括落实安全生产的各项措施，保证生产长期、安全地进行，保证职工的安全与健康等内容。

预防为主，就是运用安全科学的基本原理，掌握事故发生和发展的基本规律，对各种事故及其潜在的危險性进行科学预测，采取有效的预防措施，防患于未然，防止事故的发生和扩大，最大限度地减少事故造成的损失。

## 1.3 系统安全评价的基本模式及概念

### 1.3.1 系统安全技术

系统安全表示的是系统的一种最佳安全状态，即在系统运营周期内应用系统安全管理及系统安全工程原理，鉴别系统危险源并使危险降至最小，从而使系统达到最佳安全程度。系统安全分析是利用系统工程方法对系统中可能存在的危险源及其可能产生的后果进行综合分析、评价和预测，并提出相应的安全对策措施，以保证系统安全生产。

系统安全分析是保证系统安全的重要手段，是系统安全评价的基础。系统安全分析对人—机—环境系统中的危险因素，如不安全的环境条件、操作及设备故障等进行分析，其目的就是系统安全角度出发，对已有系统或拟建的新系统进行定性和定量的理论分析及实验研究，掌握系统的组成及任务功能，熟悉系统与环境的相互关系及其变化趋势，进而查明系统危险源，以便在整个系统寿命期内保证系统安全。



系统安全分析一般包括以下内容：

(1) 危险源辨识：调查和分析可能出现的、初始的、诱发的和直接引起事故的各种危险源及其相互关系。

(2) 系统辨识：调查和分析与系统有关的环境、设备、人员以及其他有关因素。

(3) 安全措施：调查和分析采用适当的设备、规程、工艺或材料避免、控制或根除某种特殊危险源的措施。

(4) 实施方法：调查和分析对可能出现的危险源的控制措施以及在系统中实施这些措施的最好方法。

(5) 后果预测：调查和分析对不能避免或根除的危险源失去或减少控制可能出现的后果。

(6) 安全防护措施：调查和分析一旦对危险源失去控制，为防止伤害和损害而应采取的安全防护措施。

### 1.3.2 风险评价

#### 1. 风险评价的定义

联合国人道主义事务部 (Department of humanitarian affairs) 1992 年给出风险的定义为：在一定区域或给定时间段内，由于特定灾害而引起的人们生命财产和经济活动的期望损失值。风险评价是根据建设项目可行性研究报告的内容，分析和预测项目可能存在的危险或有害因素的种类和程度，提出合理可行的安全对策及建议。风险评价是以实现系统安全为目的，应用安全系统工程的原则和方法，对系统中存在的危险因素和有害因素进行辨识和分析，评价系统发生危险的可能性和危害程度，为制定防范措施和管理决策提供科学依据。

#### 2. 风险评价的产生及其发展

风险评价技术起源于 20 世纪 30 年代的美国。随着保险业的发展，保险公司为客户承担各种风险，必然要收取一定费用，而收取费用的多少是由其所承担的风险大小决定的，因此就产生了一个衡量风险大小程度的问题，即当时美国保险协会所从事的风险评价。

对风险评价进行全面、系统的研究始于 20 世纪 60 年代。第二次世界大战后，随着工业化过程的大型化和复杂化，尤其是化学工业的发展，生产中的火灾、爆炸、毒气扩散等重大恶性事故不断发生。欧美等工业发达国家在第二次世界大战后兴建的大量油气长输管道开始进入老龄期，各种事故的频繁发生造成了巨大的经济损失和人员伤亡。因此，美国首先开始了管道风险评估分析技术的研究，即应用风险评估的基本原理对管道的各区段进行评价，以风险值的大小来评定管道各区段的安全性。1964 年美国道化学公司 (Dow Chemical Co.) 根据化工生产的特点，首先开发出“火灾、爆炸危险指数评价法”，用于对化工装置进行安全评价。“火灾、爆炸危险指数评价法”是以单元重要危险物质在标准状态下的火灾、爆炸或释放出危险性潜在能量大小为基础，同时考虑工艺过程的危险性，计算单元火灾爆炸指数，确定危险等级，以此为基础提出相应的安全对策措施，使危险降低到人们可以接受的程度。经过多次修订，“火灾、爆炸危险指数评价法”日趋科学、合理、切合实际，引起了各国的广泛关注，在世界工业界得到一定的应用，推动了风险评价的发展。1974 年，英国帝国化学公司蒙德工厂借鉴道化学公司风险评价方法的优点，引进了毒性概念并发展了某些补

偿系数，提出了“蒙德火灾爆炸毒性指标评价法”。其他如日本劳动省颁布的“化工厂安全评价六阶段评价法”及俄罗斯的“化工过程危险性评价法”等针对化工企业的评价方法至今仍在应用，并得到了不断的发展。

20世纪60年代中后期，随着航空、航天、核工业等高科技领域的发展，以概率风险(PRA)为代表的系统安全评价技术得到了迅速发展。英国在60年代中期建立了故障数据库并开展了以概率论为基础的风险评价工作；1975年美国正式发表了商用核电站轻水反应的风险评价报告(WASH-1400)；1976年，英国生产安全管理局(HSW)对工业设施进行了危险评价；1979年英国伦敦公司和德国可福公司对荷兰一个地区的工业设施进行了风险评价。此后，此类评价法已经在工业发达国家的许多项目中得到了广泛的应用，又出现了一系列以概率论为基础的安全分析评价方法，最常用的有可靠性分析、故障树分析、事件树分析、危险可操作性研究、初步危险分析等，并且开发了一系列的安全评价软件。在石油化工行业，美国PRCI(Pipeline Research Committee International)针对美国和欧洲的输气管道事故数据进行了分析，归纳总结出22种引起压力管道失效的基本因素。其中，只有一种因素的本质原因是“未知的”，即不能确定它的本质特性，对其余的21种失效因素按照与时间的关系分为3类。从20世纪70年代到90年代，美国在实践应用的基础上，逐步确定了管道风险评价的基本模型，提出了压力管道风险评估的评分系统。1992年W. Kent. Muhlbauer对美国20年来所开展的油气管道风险评价技术的研究成果进行了总结，编著了《管道风险管理手册》一书。书中详细叙述了管道风险评价的模型和方法，将引起管道失效的因素归结为第三方破坏、腐蚀、设计错误和操作不当四类。1996年《管道风险管理手册》再版时增加了约1/3的篇幅介绍在不同条件下管道风险评价的修正模型，并在风险管理部分补充了成本与风险关系的内容，使该书更具实际指导意义，成为油气管道风险评价的经典著作。

随着现代数学方法和计算机技术的快速发展，以模糊数学为基础的风险评价方法如模糊故障树分析法、模糊概率法等得到了广泛应用。采用计算机专家系统、决策支持系统和人工智能神经网络技术对生产系统实行动态风险评价，为风险评价的发展开拓了广阔的应用前景。在英国、美国、意大利、德国等工业化国家，这些方法已在核工业、化工、环境等领域得到了广泛应用。风险评价作为一种产业已经出现。

我国于20世纪80年代初期开展风险评价的研究工作，并开始石油、化工、冶金、机电、航空、交通等行业中试行风险评价。1988年机械电子工业部颁布了机械工厂安全评价标准，该标准分为三部分，即安全评价的原则、程序和方法；机械工厂危险等级的划分；机械工厂安全性评价。机械工厂安全评价标准在机械行业100多家工厂得到了应用，取得了良好效果。1992年化学工业部制定了化工厂危险程度分级方法。1995年，劳动部、北京理工大学完成易燃、易爆、有毒重大危险源的安全评价技术。与此同时，一些科研院校和科研单位、企业也相继开展了风险评价的研究工作。北京交通大学、西南交通大学、苏州工学院、东北大学、武汉环境保护科学研究院等提出了一些有价值的风险评价理论和方法。特别是近几年我国发生多起重大火灾事故后，风险评价得到社会的高度重视。1994年和1995年分别在太原、成都召开了全国各行业安全研究的研讨会，风险评价在各个系统内广泛展开。

### 3. 风险评价的方法

风险评价方法可以分为定性方法、半定量方法和定量方法三类。

### 1) 定性方法

定性方法主要是根据工作经验和判断能力对生产系统的工艺、设备、环境、管理、人员等方面的安全状况进行定性分析与评价。安全检查表法、预先危险分析法、故障类型和影响分析法、危险可操作性研究法等都属于这类方法。定性方法的特点是理论简单、便于操作、评价过程和结果直观，具有系统、规范、清晰、实用性强、易于推广等优点，但由于含有相当高的经验成分，具有一定的局限性，而且对不同评价对象的评价结果之间没有可比性。应用较多的定性风险评价方法主要有风险评价指数法（RAC）、安全检查表法（SCL）、预先危险性分析（PHA）、故障类型和影响分析（FMEA）、危险可操作性研究（HAZOP）、如果……怎么办（What……if）、人的失误（HE）分析法等。

### 2) 半定量方法

半定量方法以系统中的危险物质和工艺为评价对象，将影响事故产生和事故后果的各种因素指标化，并采用一定的数学模型综合处理这些指标，从而评价系统的危险程度。美国道化学公司的“火灾、爆炸危险指数评价法”、英国帝国化学公司蒙德工厂的“蒙德火灾爆炸毒性指标评价法”、日本的“化工厂安全评价六阶段评价法”和我国工厂的“危险程度分级法”都属于这类方法。这类方法操作简单，应用广泛，但各指标间的层次关系和综合处理方法缺乏足够的数学依据，并且采用了主观意识和经验成分较重的评分方法来确定指标的取值，因此评价结果具有一定的局限性。

### 3) 定量方法

定量方法以系统的事故发生概率来评价其危险程度。概率风险评价（PRA）、故障树分析法（FTA）、事件树分析法（ETA）等都属于这类方法。定量方法有充足的理论依据，结果准确可靠，因此在航空、航天、核能等领域得到广泛的应用。1974年拉氏姆教授对民用核电站的风险评价、1977年英国坎威岛石油工业联合企业风险评价、1979年德国对19座大型核电站的风险评价、1979年荷兰雷几蒙德六项大型石油化工装置的风险评价等都使用了这种方法。定量方法要求数据准确、充分，能充分描述系统的不确定性，因此通常需要耗费大量的人力、物力。

定量分析方法主要有两种类型：一种是以系统可靠性、安全性为基础，先查明系统中的隐患并求出其损失率、有害因素的种类及其危害程度，然后再与国家规定的有关标准进行比较、量化。常用的方法有“事件树分析”、“事故树分析”、“模糊数学综合评价法”、“层次分析法”、“格雷厄姆—金尼法”、“机械工厂固有危险性评价方法”、“原因—结果分析法”等。另外一种定量分析方法是物质系数为基础，采取综合评价危险度分级方法。

## 1.3.3 可靠性评价

可靠性是指产品在规定时间和规定条件下完成规定功能的能力。其中，产品可以泛指任何系统、设备和元器件，其确切含义要根据具体的研究对象而定；规定条件一般是指产品使用时的环境条件和工作条件；规定时间是指规定的产品工作时间；规定功能是指规定的产品必须具备的功能及其技术指标。可靠性是一项重要的质量标志，同时也是影响产品质量的最活跃的因素，已成为工业企业和国防部门经济、军事效益的基础及竞争的焦点。提高产品的可靠性，成为当今提高产品质量的关键。可靠性评估即根据产品的可靠性结构、寿命模型、

试验数据、现场使用数据等对评价对象可靠性的性能指标给出估计的过程。

### 1.3.4 适应性评价

适应性是系统的重要属性。适应性评价是对系统是否适合于继续使用以及如何继续使用的一种定量评价，其核心技术是腐蚀速率、剩余强度评价和剩余寿命预测。Halliburton 公司对欠平衡钻井的适应性评价主要采用专家评分方式，即根据已经实施欠平衡钻井的经验，针对不同类型的油气藏，列出若干项判断指标，工程师利用油气藏基本参数对相应的指标评分，根据评分高低来确定能否实施欠平衡钻井。Weatherford 公司开发了适应性评价系统 SURE (Suitable Under-balanced Reservoir Evaluation)，主要在欠平衡钻井中用于筛选适宜的地质对象。

### 1.3.5 完整性评价

完整性评价是根据系统状态进行风险评估和危险源辨识，制定相应的控制对策，将系统的风险控制在合理范围内的过程，同时对可能使系统失效的主要模式进行检测检验，据此对系统的运行适宜性进行评估，最终达到减少和预防事故，保证系统安全、经济运行的目的。完整性评价以系统安全为目标，内容涉及设计和施工的原始数据，运行、检验和维修的动态数据，贯穿整个系统的运行周期，调动全部因素来改进系统的安全性，并通过信息反馈不断加以完善。完整性评价是一个持续不断的改进过程，是对所有影响系统完整性的因素进行综合的评价过程，主要包括：

(1) 建立系统信息数据库。

(2) 进行风险评估和安全评价，了解事故发生的可能性和事故后果，制定相应的预防和应急措施。

(3) 定期进行检测，采用对系统各组成要素的检测评价方法进行适应性评价。

(4) 制定完整性管理措施，保证系统处于适用状态。

(5) 健全相关程序文件，培训人员，不断提高管理水平。

20 世纪 70 年代，美国、德国、法国、日本等核电工业比较发达的国家开始进行现役管道完整性评价研究，成立了国际管道完整性研究工作组，取得了大量的研究成果，建立了一系列诸如管道剩余强度、剩余寿命、裂纹张开面积、介质腐蚀速率、泄漏速率等具体的计算方法和评价标准。完整性评价的研究重点包括管道失效评定方法，该方法主要包括数值计算法、基于断裂力学理论的评定方法和简易公式法。此外，基于事故统计的管道失效评定方法也发展很快。目前，传统的关于管道剩余强度和剩余寿命的评定方法采用了失效评估图 (FAD) 和基于失效概率的 Monte-Carlo 模拟技术，能够进行管道的综合分析并评价提升在役管道的安全性。

### 思考题

(1) 安全评价的方法有哪些？各有何优点、缺点？

(2) 国内外有关安全评价和管理研究的趋势如何？

## 参 考 文 献

- [1] 王洪德. 安全管理与安全评价. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [2] 匡永泰, 高维民. 石油化工安全评价技术. 北京: 中国石化出版社, 2005.
- [3] 杨艺, 刘建章, 付士根. 油库安全评价与应急救援技术. 北京: 中国石化出版社, 2009.
- [4] 罗云, 樊运晓, 马晓春. 风险分析与安全评价. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [5] 麦克斯温. 安全管理: 流程与实施. 北京: 电子工业出版社, 2008.



## 第 2 章 系统安全技术基础知识

### 2.1 危险源分类

危险源是指一个系统中具有潜在能量和物质释放危险且在一定的触发因素作用下可转化为事故的部位、区域、场所、空间、岗位、设备及其位置。也就是说，危险源是能量、危险物质集中的核心，是能量传出来或者爆发的地方。危险源存在于确定的系统中，对于不同的系统范围，危险源的区域也不同。例如，从全国范围来说，危险行业（如石油、化工等行业）或者具体的一个企业（如炼油厂）就是一个危险源；而从一个企业系统来说，可能某个车间、仓库就是危险源，一个车间系统中可能某台设备是危险源。因此，分析危险源应按系统的不同层次来进行。

根据上述对危险源的定义可知，危险源应由三个要素构成，即潜在危险性、存在条件和触发因素。危险源的潜在危险性是指一旦触发事故可能带来的危害程度或损失大小，或者说危险源可能释放的能量强度或危险物质量的大小。危险源的存在条件是指危险源所处的物理、化学状态和约束条件状态，例如物质的压力、温度、化学稳定性，盛装容器的坚固性，周围环境障碍物等情况。触发因素虽然不属于危险源的固有属性，但它是危险源转化为事故的外因，而且每一类型的危险源都有相应的敏感触发因素。例如，对于易燃易爆物质，热能是其敏感触发因素；对于压力容器，压力是其敏感触发因素。因此，一定的危险源总是与相应的触发因素相关联。在触发因素的作用下，危险源转化为危险状态，继而转化为事故。

危险源是可能导致事故发生潜在不安全因素。实际上，生产过程中的危险源即不安全因素种类繁多，非常复杂，它们在导致事故发生、造成人员伤害和财产损失方面所起的作用很不相同，相应地，控制它们的原则、方法也不相同。根据危险源在事故发生和发展中的作用，可以把危险源划分为两大类，即第一类危险源和第二类危险源。

#### 2.1.1 第一类危险源分析

根据能量意外释放论，事故是能量或危险物质的意外释放，作用于人体的过量能量或干扰人体与外界能量交换的危险物质是造成人员伤害的直接原因。于是，把系统中存在的可能发生意外释放的能量或危险物质称为第一类危险源。

一般地，能量被解释为物体做功的本领。能量做功的本领是无形的，只有在做功时才显现出来。因此，实际工作中往往把产生能量的能量源或拥有能量的能量载体视为第一类危险源来处理，例如带电的导体、奔驰的车辆等。



## 1. 常见的第一类危险源

下面列出了可能导致各类伤亡事故的第一类危险源：

### 1) 产生、供给能量的装置、设备

产生、供给人们生产、生活活动能量的装置、设备是典型的能量源。例如变电所、供热锅炉等，它们运转时可以供给或产生很高的能量。

### 2) 使人体或物体具有较高势能的装置、设备和场所

使人体或物体具有较高势能的装置、设备、场所相当于能量源。例如起重、提升机械，高度差较大的场所等，能使人体或物体具有较高的势能。

### 3) 能量载体

能量载体指拥有能量的人或物。例如运动中的车辆、机械的运动部件、带电的导体等，它们本身具有较大能量。

### 4) 一旦失控可能产生巨大能量的装置、设备和场所

这里是指一些正常情况下按人们的意图进行能量的转换和做功，而在意外情况下可能产生巨大能量的装置、设备和场所，例如强烈放热反应的化工装置，充满爆炸性气体的空间等。

### 5) 一旦失控可能发生能量蓄积或突然释放的装置、设备和场所

这里是指正常情况下多余的能量被泄放而处于安全状态，一旦失控则发生能量的大量蓄积，其结果可能导致大量能量的意外释放的装置、设备和场所，例如各种压力容器、受压设备，容易发生静电蓄积的装置、场所等。

### 6) 危险物质

这里所说的危险物质是指除了干扰人体与外界能量交换的有害物质外，也包括具有化学能的危险物质。具有化学能的危险物质分为可燃烧爆炸危险物质和有毒有害危险物质两类。前者指能够引起火灾、爆炸的物质，按其物理化学性质分为可燃气体、可燃液体、易燃固体、可燃粉尘、易爆化合物、自燃性物质、忌水性物质和混合危险物质八类；后者指直接加害于人体，造成人员中毒、致病、致畸、致癌等的化学物质。

### 7) 生产、加工、储存危险物质的装置、设备和场所

这些装置、设备、场所在意外情况下可能引起其中的危险物质起火、爆炸或泄漏，例如炸药的生产、加工、储存设施，化工、石油化工生产装置等。

### 8) 人体一旦与之接触将导致人体能量意外释放的物体

对于物体的棱角、工件的毛刺、锋利的刃等，一旦运动的人体与之接触，人体的动能意外释放而遭受伤害。

## 2. 第一类危险源危害后果的影响因素

第一类危险源的危险性主要表现为导致事故而造成后果的严重程度。第一类危险源危险性的大小主要取决于以下几个方面：

### 1) 能量或危险物质的量

第一类危险源导致事故的后果严重程度主要取决于发生事故时意外释放的能量或危险物质的多少。一般地，第一类危险源拥有的能量或危险物质越多，则发生事故时可能意外释放的能量也就越多。当然，有时也会有例外的情况，有些第一类危险源拥有的能量或危险物质只能部分地意外释放。

## 2) 能量或危险物质意外释放的强度

能量或危险物质意外释放的强度是指事故发生时单位时间内释放的量。在意外释放能量或危险物质总量相同的情况下，释放强度越大，能量或危险物质对人员或物体的作用越强烈，造成的后果越严重。

## 3) 能量的种类和危险物质的危险性质

不同种类的能量造成人员伤害、财物破坏的机理不同，其后果也很不相同。危险物质的危险性主要取决于自身的物理、化学性质。燃烧爆炸性物质的物理、化学性质决定其导致火灾、爆炸事故的难易程度及事故后果的严重程度。工业毒物的危险性主要取决于其自身的毒性大小。

## 4) 意外释放的能量或危险物质的影响范围

事故发生时意外释放的能量或危险物质的影响范围越大，可能遭受其作用的人或物越多，事故造成的损失越大。例如，有毒有害气体泄漏时，可能影响到下风侧的很大范围。

### 2.1.2 第二类危险源分析

在生产、生活中，为了利用能量，让能量按照人们的意图在生产过程中流动、转换和做功，就必须采取屏蔽措施约束、限制能量，即必须控制危险源。约束、限制能量的屏蔽应该能够可靠地控制能量，防止能量意外地释放。然而实际生产过程中绝对可靠的屏蔽措施并不存在。在许多因素的复杂作用下，约束、限制能量的屏蔽措施可能失效，甚至可能被破坏而发生事故。导致约束、限制能量屏蔽措施失效或破坏的各种不安全因素称为第二类危险源，它包括人、物、环境三个方面的问题。

在安全工作中涉及人的因素问题时，采用的术语有“不安全行为”和“人为失误”。不安全行为一般指明显违反安全操作规程的行为，这种行为往往直接导致事故发生。例如，不断开电源就带电修理电气线路而发生触电等。人为失误是指人的行为结果偏离了预定的标准。例如，错开开关使检修中的线路带电，误开阀门使有害气体泄放等。人的不安全行为、人为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；也可能造成物的不安全因素问题，物的不安全因素问题进而导致事故，例如超载起吊重物造成钢丝绳断裂，发生重物坠落事故。

物的不安全因素问题可以概括为物的不安全状态和物的故障（或失效）。物的不安全状态是指机械设备、物质等明显的不符合安全要求的状态，例如没有防护装置的传动齿轮、裸露的带电体等。在我国的安全管理实践中，往往把物的不安全状态称为“隐患”。物的故障（或失效）是指机械设备、零部件等由于性能低下而不能实现预定功能的现象。物的不安全状态和物的故障（或失效）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。例如，电线绝缘损坏发生漏电；管路破裂使其中的有毒有害介质泄漏等。有时一种物的故障可能导致另一种物的故障，最终造成能量或危险物质的意外释放。例如，压力容器的泄压装置故障，使容器内部介质压力上升，最终导致容器破裂。物的不安全因素问题有时会诱发人的因素问题，人的因素问题有时会造成物的因素问题，实际情况比较复杂。

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，以及企业和社会的软环境。不良的物理环境会引起物的不安全因素问题或人的因素问题。例如，潮湿的环境会加速金属腐蚀而降低结构或容器的强度；工作场所强烈的噪声会影响人的情绪、分散人的注意力而发生人为失误。企业的管理制度、人际关系或社会



环境影响人的心理，可能造成人的不安全行为或人为失误。

第二类危险源往往是一些围绕第一类危险源随机发生的现象，它们出现的情况决定事故发生的可能性。第二类危险源出现得越频繁，发生事故的可能性越大。

### 2.1.3 危险源与事故发生的关联性

一起事故的发生是两类危险源共同作用的结果。第一类危险源的存在是事故发生的前提，没有第一类危险源就谈不上能量或危险物质的意外释放，也就无所谓事故；如果没有第二类危险源破坏对第一类危险源的控制，也不会发生能量或危险物质的意外释放。第二类危险源的出现是第一类危险源导致事故的必要条件。

在事故的发生、发展过程中，两类危险源相互依存、相辅相成。第一类危险源在发生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。两类危险源共同决定危险源的危险性。

## 2.2 危险源辨识与控制理论

### 2.2.1 危险源辨识的方法

危险源辨识是要发现和识别系统中的危险源，尤其是重大危险源。这是一件非常重要的工作，它是危险源控制的基础，只有辨识了危险源之后，才能有的放矢地考虑如何采取措施控制危险源。

重大危险源是指按照《危险化学品重大危险源辨识》(GB 18218—2009) 辨识确定，生产、储存、使用或者搬运危险化学品的数量等于或者超过临界量的单元(包括场所和设施)。《危险化学品重大危险源监督管理暂行规定》已于 2011 年 7 月 22 日国家安全生产监督管理总局局长办公会议审议通过，并于 2011 年 12 月 1 日进行公布并开始施行。

由于危险源是“潜在的”不安全因素，比较隐蔽，所以危险源辨识是一件非常困难的工作。在系统比较复杂的场合，危险源辨识工作更加困难，需要利用专门的方法。

危险源辨识方法可以粗略地分为对照法和系统安全分析法两大类。

(1) 对照法：与有关的标准、规范、规程或经验相对照来辨识危险源。有关的标准、规范、规程以及常用的安全检查表，都是在大量实践经验的基础上编制而成的。因此，对照法是一种基于经验的方法，适用于有以往经验可供借鉴的情况。

20 世纪 60 年代以后，国外开始根据标准、规范、规程和安全检查表辨识危险源。例如，美国职业安全卫生局(OSHA) 等安全机构制定、发行了各种安全检查表，用于危险源辨识。安全检查表是集合以往事故经验形成的，其优点是简单易行，其缺点是重点不突出，难免挂一漏万。对照法在没有可供参考先例的新开发系统无法应用，因此它很少被单独使用。

(2) 系统安全分析法。系统安全分析法是从安全角度进行的系统分析，通过揭示系统中可能导致系统故障或事故的各种因素及其相互关联来辨识系统中的危险源。系统安全分析法经常被用来辨识可能带来严重事故后果的危险源，也可用于辨识没有事故经验的系统的危险