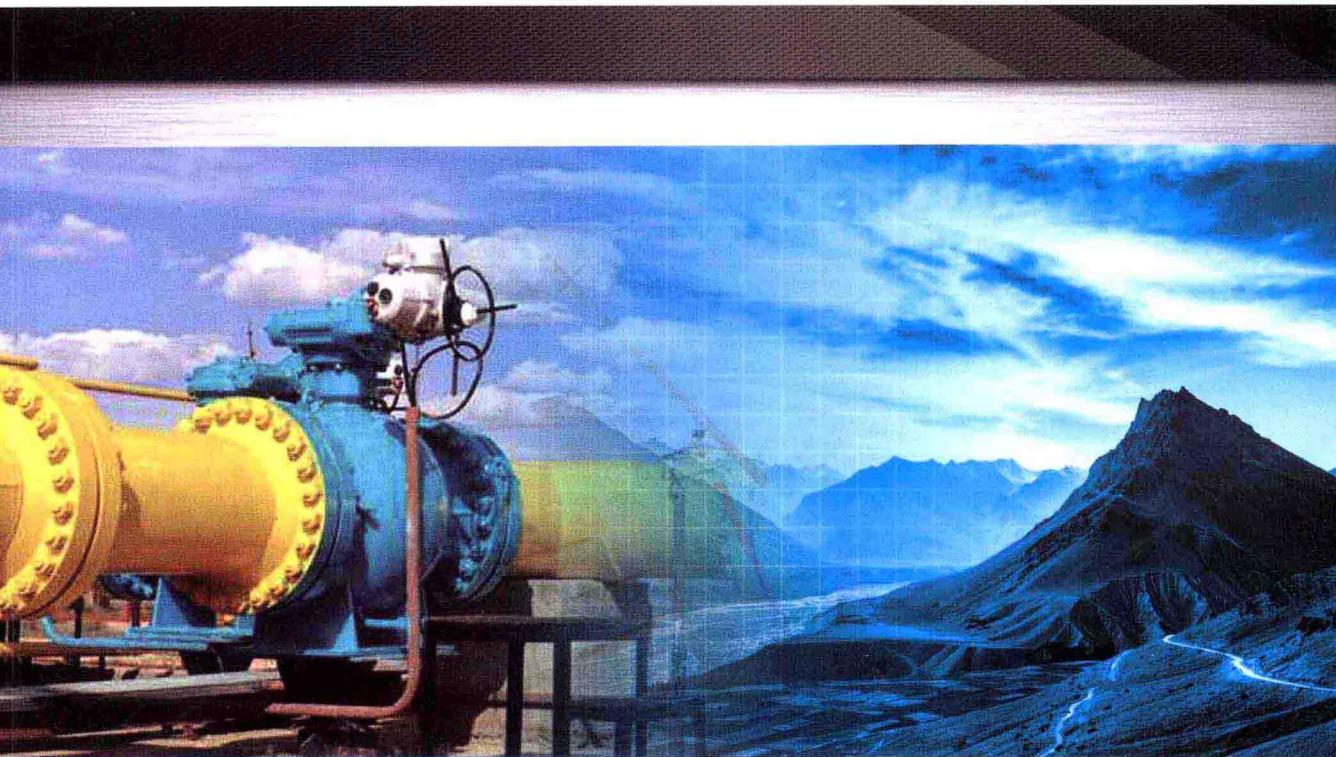


 北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目

管道风险评价技术



苗金明  编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目

管道风险评价技术

苗金明 编著



机械工业出版社

本书在介绍风险管理知识的基础上,以最新颁布施行的相关国家标准、行业标准为依据,充分吸收管道风险评价技术发展的最新成果,从长输油、管道风险评价的经典方法——KENT 评分法入手,介绍了针对我国输油管道、输气管道、城市燃气管道实际情况的风险评价方法,全书共 6 章,主要内容包括:绪论(风险评价基本知识)、管道风险评价技术概述、管道风险评价 KENT 评分法、PRDC 输油管道风险评价法、输气管道风险评价法和城市地下燃气管道风险评价。

本书概念准确、清晰,知识体系完整,内容丰富,实用性强,与我国实际情况密切联系。本书可供管线管理人员、管道的设计施工人员和地下管线检测人员使用,可作为从事地下管道安全评价和检测服务单位技术人员的教材和工具书,也可供管道运营企业安全管理人员和大专院校安全工程等专业师生学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

管道风险评价技术/苗金明编著. —北京:机械工业出版社,
2013. 7

北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目
ISBN 978-7-111-42899-2

I. ①管… II. ①苗… III. ①输油管道-风险评价-
高等职业教育-教材②输气管道-风险评价-高等职业教
育-教材③城市燃气-输气管道-风险评价-高等职业教
育-教材 IV. ①TE973②U173. 92③TU996. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 131226 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:罗莉 责任编辑:罗莉 吕潇

版式设计:常天培 责任校对:潘蕊

封面设计:赵颖喆 责任印制:李洋

北京华正印刷有限公司印刷

2013 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15.25 印张·376 千字

0 001—2 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-42899-2

定价:45.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

作为交通运输业的五大运输业务之一，管道运输安全、稳定，运价较低，近年来迅速发展，现已成为世界范围油气运输的首选工具。管道运输在国民经济运输中的比重，是衡量一个国家文明和发达程度的重要标志。虽然油气管道泄漏、爆裂、燃爆等危险事件发生概率较低，但潜在危险还是客观存在的。与此同时，随着燃气在城镇得到广泛普及，城市燃气管道事故也越来越多，造成了人员伤亡和财产损失，给城市公共安全带来严重威胁。有危险就有风险，安全风险评价技术正是为降低事故风险而引入的一种新型管理技术。在近 30 年的开发研究与应用实践中，管道风险评价技术在许多国家取得了明显的经济效益和社会效益。

本书在介绍风险管理知识的基础上，以最新颁布施行的相关国家标准、行业标准为依据，充分吸收管道风险评价技术发展的最新成果，从长输油气管道风险评价的经典方法——KENT 评分法入手，介绍了针对我国输油管道、输气管道、城市燃气管道实际情况的风险评价方法，全书共 6 章，主要内容包括：绪论（风险评价基本知识）、管道风险评价技术概述、管道风险评价 KENT 评分法、PRDC 输油管道风险评价法、输气管道风险评价法和城市地下燃气管道风险评价。本书的主要目的是介绍管道风险评价的基本内容、方法、思路和通用模型，为大专院校学生或刚接触管道风险评价的相关单位工作人员提供一本普及性读物或教材，因此涉及前沿课题研究的内容一笔带过。

本书概念准确、清晰，知识体系完整，与我国实际情况密切联系，简明易读。希望本书能够给读者的学习和工作带来帮助。本书可供管线管理人员、管道的设计施工人员和地下管线检测人员使用，可作为从事地下管道安全评价和检测服务单位技术人员的教材和工具书，也可供管道运营企业安全管理人员和大专院校安全工程等专业师生学习和参考。

本书为北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目，北京劳动保障职业学院院长李继延、副院长冯琦琳、安全工程系主任张梅对本书的编写提出了许多宝贵的意见和建议，在此一并表示感谢。同时，还要真诚感谢本书所列参考文献的所有作者，他们坚实而卓有成效的工作为本书的完成奠定了基础并提供了重要资料来源。

由于编者水平有限，经验不足，仓促成书，书中一定有不少缺点和错误，恳切希望读者批评指正，提出指导建议及修改意见。

作 者

目 录

前言

第1章 绪论 1

1.1 风险评价基本概念 1

1.1.1 熵的作用 1

1.1.2 风险与危险 2

1.1.3 风险评价 4

1.1.4 风险管理 4

1.2 风险评价原理和模型 5

1.2.1 风险评价原理 5

1.2.2 风险评价模型简介 10

1.3 风险评价方法概述 11

1.3.1 风险评价方法分类 12

1.3.2 常用风险评价方法介绍 13

1.3.3 风险评价方法的比较 17

1.3.4 风险评价方法的选择 19

复习思考题 22

第2章 管道风险评价技术概述 23

2.1 管道风险评价相关概念与术语 23

2.1.1 管道风险评价 23

2.1.2 管道风险管理 26

2.1.3 基于风险的管道检测 26

2.1.4 管道完整性管理 27

2.1.5 管道运营服务的质量控制与 风险管理 28

2.1.6 管道风险评价中的常用术语 30

2.2 管道风险评价的方法模型与 实施过程 33

2.2.1 管道系统风险量化计算模型 33

2.2.2 管道风险评价技术方法 35

2.2.3 主观风险评价法 37

2.2.4 管道适用性评价技术 39

2.2.5 管道安全管理技术比较 41

2.2.6 风险评价中数据的测量与汇集 42

2.2.7 管道风险评价过程 43

2.3 在役油气管道风险管理 技术发展趋势 45

2.3.1 国外技术的发展历史和现状 45

2.3.2 国内技术的发展现状 46

2.3.3 相关标准情况 47

2.3.4 油气管道安全管理和风险评价 技术的发展趋势 48

复习思考题 48

第3章 管道风险评价 KENT 评分法 49

3.1 KENT 评分法风险评价模型 49

3.1.1 建立管道风险管理方法的 基本步骤 49

3.1.2 KENT 风险评价模型的基本 假设及说明 49

3.1.3 KENT 评分法风险评价模型 50

3.1.4 非可变因素与可变因素 54

3.1.5 管线分段 55

3.2 第三方损害指数 57

3.2.1 第三方风险 57

3.2.2 第三方损害 58

3.3 腐蚀指数 65

3.3.1 腐蚀风险 65

3.3.2 大气腐蚀 67

3.3.3 管道内腐蚀 72

3.3.4 埋地金属腐蚀（外腐蚀） 73

3.4 设计指数 85

3.4.1 设计风险 85

3.4.2 设计指数 85

3.5 误操作指数 91

3.5.1 误操作风险 91

3.5.2 设计 92

3.5.3 施工 96

3.5.4 运行（操作） 98

3.5.5 维护 102

3.6 泄漏影响系数 103

3.6.1 泄漏影响系数模型 103

3.6.2 产品危害（介质危害） 104

3.6.3 扩散系数 108

3.6.4 泄漏影响系数计算 112

3.7 相对风险数的计算与分析 112

3.8 管道风险评价举例	113	5.4.2 设计影响评价指标评分方法	176
复习思考题	117	5.5 误操作影响评价指标体系	178
第4章 PRDC 输油管道风险评价法 ..	119	5.5.1 误操作影响评价指标体系说明 ..	178
4.1 PRDC 输油管道风险评价模型	119	5.5.2 误操作影响评价指标评分方法 ..	178
4.1.1 失效可能性	119	5.6 天然气泄漏后果影响评价指标体系 ..	182
4.1.2 失效后果	119	5.6.1 天然气泄漏后果影响评价	
4.1.3 风险参数	119	指标体系说明	182
4.2 可能性评分	124	5.6.2 泄漏后果影响评价	
4.2.1 外腐蚀威胁 (EC)	124	指标评分方法	182
4.2.2 内腐蚀威胁 (IC)	128	5.7 输气管道风险评价步骤	184
4.2.3 高 pH 值应力腐蚀 (SCC)	132	5.7.1 资料收集和现场调查	184
4.2.4 制管缺陷 (MAN)	135	5.7.2 管道分段与数据采集	188
4.2.5 机械损伤 (MD)	137	5.7.3 风险评价与评价报告	189
4.2.6 施工缺陷 (CON)	139	5.8 输气管道风险等级	195
4.2.7 地质灾害 (GEO)	140	复习思考题	196
4.2.8 地震危害 (SEIS)	155	第6章 城市地下燃气管道风险评价 ..	197
4.3 后果评分	156	6.1 城市燃气管道风险评价	
4.3.1 概述	156	模型与方案概述	197
4.3.2 人身安全	156	6.1.1 城市燃气管道风险评价的	
4.3.3 环境影响	158	意义和工作目标	197
4.3.4 经济损失因素	158	6.1.2 KENT 评分法的局限与	
4.3.5 总的后果	161	适用范围	198
4.4 风险等级	161	6.1.3 城市燃气管道风险	
4.4.1 相对风险等级	161	评价模型与方案	199
4.4.2 评价结果表示	162	6.1.4 城市燃气管道风险评价检测单元	
复习思考题	163	(管段) 的划分及检测周期	202
第5章 输气管道风险评价法	164	6.2 城市燃气管道风险评价中的	
5.1 评价方法概述	164	腐蚀评价	202
5.1.1 目的与任务	164	6.2.1 城市燃气管道腐蚀主要	
5.1.2 风险因素的类别和确定	164	影响因素分析	203
5.1.3 风险评价指标的评分与相对		6.2.2 防腐层状况检测	204
风险值的计算	165	6.2.3 城镇燃气地下钢管土壤腐蚀	
5.1.4 输气管道风险评价结果报告	166	检测与评价	208
5.2 第三方损害影响评价指标体系	166	6.2.4 管地电位测试与阴极	
5.2.1 第三方损害影响评价		保护效果判断	214
指标体系说明	166	6.2.5 城市地下管道杂散电流	
5.2.2 第三方损害影响评价		腐蚀分析	220
指标评分方法	167	6.3 城市燃气管道风险评价中的	
5.3 腐蚀影响评价指标体系	170	外力破损评价	222
5.3.1 腐蚀影响评价指标体系说明	170	6.3.1 外力破损影响因素的	
5.3.2 腐蚀影响评价指标的评分方法 ..	170	分析与整合	222
5.4 设计影响评价指标体系	176	6.3.2 变量分级并编制数据采集表	222
5.4.1 设计影响评价指标体系说明	176	6.3.3 建立外力破损评估模型的	

方法介绍	223	6.5.3 等级评估	229
6.4 城市燃气管道风险评价中的		6.6 城市燃气管道运行风险综合评价	230
运行裕量评价	226	6.6.1 事故发生可能性综合评价	230
6.4.1 运行裕量影响因素分析	226	6.6.2 事故后果严重度评价	231
6.4.2 模型选择及参数确定	227	6.6.3 城市燃气管道风险等级	
6.5 城市燃气管道风险评价中的		综合判定	232
管理力度评价	228	复习思考题	235
6.5.1 管理力度及其影响因素分析	228	参考文献	237
6.5.2 评估单元和建模工作内容	228		

第1章 绪 论

1.1 风险评价基本概念

1.1.1 熵的作用

墨菲的著名定律之一阐述了这样一个原理：“任何事物如果听其自然的话、总是向更坏的方向发展。”这一诙谐预言在某种程度上对应于热力学第二定律，该定律涉及熵。

1850年，热力学奠基人之一，德国物理学家克劳修斯（Rudolph Clausius）创造了“熵”的概念，用“熵”来表示任何一种能量在空间中分布的均匀程度。热力学定律描述“在宇宙与任何一个假设孤立的绝热系统里，熵总是在不断地增大。”能量分布得越均匀，熵就越大。系统中能量完全均匀地分布时，系统的熵就达到最大值。

【例1-1】让一个热物体同一个小冷物体相接触，热物体将冷却，冷物体将变热，直到两个物体达到相同的温度为止。比如，开水+冰→温水。在一个系统中，如果听任它自然发展，那么，能量差总是倾向于消除的。

【例1-2】若把两个水库连接起来，并且其中一个水库的水平面高于另一个水库，那么，万有引力就会使高水面水库的水面降低，低水面的水库水面升高，直到两个水库的水面等高。

能量密度的差异倾向于变成均等是自然界中的一个普遍规律。换句话说，“熵将随着时间而增大”。能量从密度较高的地方向密度较低的地方流动。一般情况下，系统中的元素呈“混乱”或“无序”状态。而在外界的力量作用下，这些元素呈规则排列状态。用“熵”的概念可以描述某一种状态自发变化的方向，把混乱的状态对应于“高熵”，而有规则排列的状态称为“低熵”。

【例1-3】橡皮筋拉紧和放松时，分子结构的状态是不一样的。放松的时候它的分子结构像一团乱麻交织在一起，拉长的时候，那些如同链状的分子就会沿着拉伸的方向比较整齐地排列起来。

可以看到两种状态：一种是自然，或者自发的状态，在这种状态下结构呈“混乱”或“无序”状；而另一种是在外界的拉力下规则地排列起来的状态。

这种“无序”的状态还可以从分子的扩散中观察到。

【例1-4】用一个密封的箱子，中间放一个隔板。在隔板的左边空间注入烟。我们把隔板去掉，左边的烟就会自然（自发）地向右边扩散，最后均匀地占满整个箱体。这种状态称为“无序”。

熵增定律：当外力去除之后，物质世界的状态总是自发地转变成无序，系统中排列整齐的元素就会自然地向着紊乱的状态转变，从“低熵”变到“高熵”。

“熵”是衡量一个系统无序状态的定量尺度（量度）。物质世界的状态总是自发地转变

成无序，从“低熵”变到“高熵”。从上述例子得知，当外力去除之后，整齐排列的分子就会自然地向着混乱的状态转变，箱子左边的烟一定会自发地向右边扩散。这就是著名的“熵增定律”的作用。实际应用表明：若要抵消熵的影响，必须向系统中施加能量；若不增加能量，系统只能变得越发无序。

尽管热力学定律已有很明确的科学描述，但要用哲学家的话来定义系统，则意味着车、房子、经济、文明或是任何一切变成混乱无序的东西。按照这个逻辑，这是一个具有普遍意义的概念。它解释了书桌或房间变得越来越乱，直到进行打扫（即施加能量）的原因。气体的扩散与混合是一个不可逆过程；无人维护的建筑物最终将倒塌；缺乏日常维护保养的机器（高度有序装置）亦将发生故障。

另一种描述则是：自然界的力试图使人们创造的东西处于无序状态。锈蚀就是一个例子：金属总是试图回复到原来的矿物质状态。

由此，我们可断定：在管线维护方面，除非我们一直做些适当的工作，否则管线总要发生故障。通过密闭管道进行的高压输送要经过高度有序有组织的生产计划安排。倘若现况确实力图增加无序，外力将连续不断地打破这一有序有组织的过程。依照这一思路，发生泄漏造成管道输送物质释放到大气中及地面上，或是设备及其部件的老化等造成其恢复到加工前状态，则显示了事情的无序和更加自然的状态。

这理论无论是否能被科学方法证明，都是考察社会各个组成部分的一种行之有效的方法。假如我们偏激地认为，各种力量连续不断地作用于系统直至摧毁，人们将变得更加警醒，进而采取措施以抵消其作用：即向系统施加能量以削弱熵的影响。在管道生产运行中，这种能量就是维护、检查及巡线等——以保护管线免受损害。

管道产业经过多年生产经验积累后，专家们业已建起能迅速防范威胁管道安全的防护体系。诸如：巡线、阀门维护、阴极保护及其他活动。在判别危害方面，若认为这活动方式不是行之有效的，最终将会改变或取消。

1.1.2 风险与危险

何谓风险？风险是危险的同义词吗？

1. 风险

对于“风险”，目前仍有着多种论述，如：风险是在给定情况下存在的可能结果间的差异；风险是一种与损失相联系的潜在损失；风险是指潜在损失的变化范围与幅度；风险是指引起损失产生的不确定性，等等。风险总是用在这样的一些场合，即未来将要发生的结果是不确定的，但不确定并不等于风险。不确定这一术语描述的是一种心理状态，它是存在于客观事物与人们认识之间的一种差距，反映了人们由于难以预测未来活动和事件的后果而产生的怀疑态度。

根据中外学者的观点，风险可定义为损失的不确定性、人为活动消极后果发生的可能性。风险同人们有目的的行为、活动有关，当人们从事各种活动与期望发生不利的偏差时，人们就会认为该项活动有风险。客观条件的不确定性是风险的重要成因，这种不确定性既包括主观对客观事物运行规律认识的不完全确定，也包括事物本身存在的客观不确定。

管道风险既包括风险发生的不确定性（或概率），也包括风险导致的后果的严重程度。

风险是指客观存在的，在特定情况下、特定期间内，某一事件导致的最终损失的不确定

性。风险具有三个特性：客观性、损失性、不确定性。

可采用数学的方式对风险进行定量描述。风险是对人们从事生产或社会活动时可能发生的有害后果的定量描述，即风险是在一定时期产生有害事件的概率与有害事件后果的函数：

$$R = f(p, q) \quad (1-1)$$

式中 R ——风险；

p ——出现该风险的概率；

q ——风险损失的严重程度。

上式反映的是风险量的基本原理，具有一定的通用性。多数情况下以离散形式来定量表示风险的发生概率及其损失。

$$R = \sum p_i \cdot q_i \quad (1-2)$$

与风险量有关的另一个概念是等风险量曲线，就是由风险量相同的风险事件所形成的曲线，如图 1-1 所示。不同等风险量曲线所表示的风险量大小与风险坐标原点的距离成正比，即距原点越近，风险量越小；反之，则风险量越大。

由于概率值难以取得，因此常用频率代替概率，这时风险量可表示为

$$\text{风险量} = \frac{\text{事故次数}}{\text{时间}} \times \frac{\text{事故损失}}{\text{事故次数}} = \frac{\text{事故损失}}{\text{时间}} \quad (1-3)$$

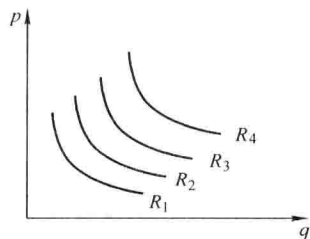


图 1-1 等风险量曲线

在式 (1-3) 中，时间可以是系统的运行周期，也可以是一年或几年；事故损失可以表示为死亡人数、损失工作日数或经济损失等；风险量是二者之商，可以定量表示为百万工时死亡事故率、百万工时总事故率等，对于财产损失可以表示为千人经济损失率等。

人们在考察风险时，始终关联三个维度，即风险与人们有目的的活动有关；风险同行动方案的选择有关；风险与世界的未来变化有关。风险的本质/要素是指构成风险特征，影响风险的产生、存在和发展的因素，可归结为三个因素：风险因素、风险事故和风险损失。它们构成了风险存在与否的基本条件。

2. 危险

根据系统安全工程的观点，危险是指系统中存在导致发生不期望后果的可能性超过了人们的承受程度。从危险的概念可以看出，危险是人们对事物的具体认识，必须指明具体对象，如危险环境、危险条件、危险状态、危险物质、危险场所、危险人员、危险因素等。

危险可以被理解为人们对客观事物（系统）存在的某种风险的主观认识和判断结果，其代表了客观事物（系统）存在的某种风险的量值达到了人们难以承受的程度时，人们对其所表现出的具体状态的一种心理感受。可见，我们所说的危险实际上就是指被人们所认识到的、客观上存在的一个或一组具有某种潜在的造成损害或失败的可能性。易燃性和毒性都是具有危险特性的范例。

3. 危险与风险的不同

风险不是危险的同义词。区分出危险与风险的不同点是十分重要的：我们能够化解风险，却无法改变危险。因为风险由有害事件发生概率与有害事件后果共同决定，而危险是指客观存在的造成危害后果的可能性。

【例 1-5】当某人穿过繁忙的街道时，将要面临的危险是显而易见的。一般说来，置身

于车辆交织的街道，有可能被其中的一辆或几辆车撞到而造成重大人身伤亡事故，这是完全能预见到的。

危险来自于运动车辆的撞击，而风险却依赖于人们如何穿越街道。他极有可能认识到，穿越道路时若走人行道，或在司机关照不到的地方多加小心，那么，风险就会降低。而危险则是不可改变的：他可能仍会被车撞，但若依靠谨慎的行为，则可降低其伤亡的风险。倘若坐着装甲车穿越道路，其风险将更进一步地下降，因为他已经降低了危害的后果。

我们所定义的风险不是一个静态值，可能会经常地发生变化。外界条件通常也是变换的。随着这些条件的变化，就有可能发生事件，风险将随事件发生的可能性及其后果而变化。又由于条件也将随着时间发生变化，时间就成了风险的间接要素。当进行风险评估时，我们实际上如同拍下风险进程的即时照。

1.1.3 风险评价

风险评价，也称为危险评价或安全评价，往往因出于不同的目的和要求，其定义有多种。

定义一：对系统存在的危险性进行定性或定量分析，依据已有的专业经验，建立评价标准和准则，对系统发生危险性的可能性及其后果严重程度进行系统分析，根据评价结果确定风险级别，划分为若干等级，根据不同级别采取不同的控制措施。

定义二：评价风险大小以及确定风险是否可容许的全过程（GB/T 28001—2011《职业健康安全管理体系 要求》）的定义。

定义三：指针对不同类别风险运用恰当的手段（如数学模型）评估风险可能带来的损失。

定义四：以实现工程和安全为目的，应用安全系统工程的原则和方法，对工程和安全系统中存在的危险及有害因素等进行识别与分析，判断工程和安全系统发生事故和职业危害的可能性及其严重程度，提出安全对策及建议，制定防范措施和管理决策的过程。

不管出于何种目的和要求给风险评价下定义，这些定义究其本质都是相同的。归纳起来，那就是一个完整的风险评价需要回答以下3个问题：

- 1) 什么情况可能出事故？
- 2) 它可能会怎样？
- 3) 后果是什么？

1.1.4 风险管理

风险管理就是一个识别、确定和度量风险，并制定、选择和实施风险处理方案的过程。风险管理应是一个系统的、完整的过程，一般也是一个循环过程。风险管理过程包括风险识别、风险评价、风险对策决策、实施决策、检查五方面内容。

从经济学的视角出发，风险管理可以理解为在降低风险的收益与成本之间进行权衡并决定采取何种措施的过程。理想的风险管理是一连串排好优先次序的过程，使当中的可以引致最大损失及最可能发生的事情优先处理、而相对风险较低的事情则压后处理。现实情况里，优化的过程往往很难决定，因为风险和发生的可能性通常并不一致，所以要权衡两者的比重，以便作出最合适的决定。风险管理还要面对有效资源运用的难题，这牵涉到机会成本

(Opportunity Cost) 的因素。把资源用于风险管理,可能使能运用于有回报活动的资源减少;而理想的风险管理,是希望能够花最少的资源去尽可能化解最大的危机。

对于现代企业来说,风险管理就是通过风险的识别、预测和衡量、选择有效的手段,以尽可能降低成本,有计划地处理风险,以获得企业安全生产的经济保障。这就要求企业在生产经营过程中,应对可能发生的风险进行识别,预测各种风险发生后对资源及生产经营造成的消极影响,使生产能够持续进行。可见,风险的识别、风险的预测(风险评价)和风险的处理(风险控制)是企业风险管理的主要步骤。

严格来说,风险评价是风险管理中的一个环节和步骤。但有时,人们使用的风险评价一词包含了风险管理的全过程。因此,各种资料中使用的风险评价存在着广义和狭义之分。广义的风险评价涵盖了风险管理的全过程,而狭义的风险评价是指风险管理中的一个环节和步骤。

1.2 风险评价原理和模型

在进行风险评价时,虽然评价的领域、对象、方法、手段种类繁多,而且被评价系统的特性、属性、特征条件千变万化,各不相同,但风险评价思维方式却是类似的。由此,可归纳出风险评价的四个基本原理,即相关原理、类推原理、惯性原理和量变到质变原理。

1.2.1 风险评价原理

1. 相关原理

一个系统的属性、特性与事故危害存在着因果的相关性,这是系统因果评价方法的理论基础。

(1) 系统的基本特征

风险评价把研究的所有对象都视为系统。系统是指为实现一定的目标,由许多个彼此有机联系的要素组成的整体。系统有大有小,千差万别,但所有的系统都具有以下特征。

1) 目的性:任何系统都具有目的性,要实现一定的目标(功能)。

2) 集合性:每一个系统都是由若干个(两个以上)元素组成的整体,或是由若干个层次的要素(子系统、单元、元素集)集合组成的整体。

3) 相关性:一个系统内部各要素(或元素)之间存在着相互影响、相互作用、相互依赖的有机联系,通过综合协调,实现系统的整体功能。在相关关系中,二元关系是基本关系,其他复杂的相关关系是在二元关系的基础上发展起来的。

4) 阶层性:在大多数系统中,存在着多个阶层,通过彼此作用,相互影响和制约,形成一个系统整体。

5) 整体性:系统的要素集、相关关系集、各阶层构成了系统的整体。

6) 适应性:系统对外部环境的变化有着一定的适应性。

系统的整体目标(功能)的实现是组成系统的子系统、单元综合作用的结果。不仅系统与子系统、子系统与单元之间有着密切的关系,而且各子系统之间、各单元之间、各元素之间,也都存在着密切的关系。所以,在评价过程中,只有找出这种相关关系,并建立相关模型,才能正确地对系统的风险或安全作出评价。

(2) 系统的结构

系统的结构可用下列公式表达：

$$E = \max f(X, R, C) \quad (1-4)$$

式中 E ——最优结合效果；

X ——系统组成的要素集，即组成系统的所有元素；

R ——系统组成要素的相关关系，即系统各元素之间的所有相关关系；

C ——系统组成的要素及其相关关系在各阶层上可能的分布形式；

f —— X 、 R 、 C 的结合效果函数。

通过对系统的要素集 X 、关系集 R 和层次分布形式 C 的分析，可阐明系统整体的性质。欲使系统目标达到最佳程度，只有使上述三者达到最优组合，才能产生最优的结合效果 E 。

对系统进行风险评价，就是要寻求 X 、 R 和 C 的最合理的结合形式，即具有最优结合效果 E 的系统结构形式，在对应的系统目标集和环境约束因素集的条件下，给出最安全的系统结合方式。例如，一个系统一般是由若干生产装置、物料、人员（ X 集）集合组成的，其工艺过程是在人、机、物料、作业环境相结合的过程（人控制的物理、化学过程）中进行的（ R 集），生产设备的可靠性、人的行为的安全性、安全管理的有效性等因素层次上存在各种分布关系（ C 集）。风险评价的目的就是寻求系统要达到最佳生产（运行）状态时的最可靠、最安全、最卫生的有机结合方式。

因此，在评价之前要研究与系统安全有关的组成要素、各要素之间的相关关系以及它们在系统各层次的分布情况。例如，要调查、研究构成的所有要素（人、机、物料、环境等），明确它们之间存在的相互影响、相互作用，相互制约的关系和这些关系在系统的不同层次中的不同表现形式等。

(3) 因果关系

有因才有果，有果必有因，这是事物发展变化的规律。事物的原因和结果之间存在着密切的函数关系。通过研究、分析各个项目（工程）或系统之间的依存关系和影响程度，可以探求其变化的特征和规律，预测其未来的发展变化趋势。

事故和导致事故发生的各种原因（危险因素）之间存在着相关关系，表现为依存关系和因果关系。危险因素是原因，事故是结果，事故的发生是许多因素综合作用的结果。分析各因素的特征、变化规律、影响事故发生和事故后果的程度以及从原因到结果的途径，揭示其内在联系和相关程度，才能在评价中得出正确的分析结论，采取恰当的对策。

【例 1-6】可燃气体泄漏爆炸事故是可燃气体泄漏、泄漏的可燃气体与空气混合达到爆炸极限以及存在引燃能源三个因素共同作用的结果；而这三个因素又是设计失误、设备故障、安全装置失效、操作失误、环境不良、管理不当等一系列因素造成的；爆炸后果的严重程度又和可燃气体的性质（闪点、燃点、扩散性、燃烧速度、燃烧热值等）、可燃性气体的爆炸量、空间密闭程度及空间内设备的布置等有着密切的关系，在评价中需要分析这些因素的因果关系和相互影响程度，并定量地加以评述。

事故的因果关系是：事故的发生有其原因因素，而且事故往往不是由单一原因因素造成的，而是由若干个原因因素结合在一起，当符合事故发生的充分与必要条件时，事故就必然会立即爆发，多一个原因因素不需要，少一个原因因素事故就不会发生，而每一个原因因素又由若干个二次原因因素构成，依此类推，还有三次原因因素、四次原因因素等。

消除一次原因因素、二次原因因素、三次原因因素, $\dots$, n 次原因因素, 破坏发生事故的充分与必要条件, 事故就不会产生, 这就是采取技术、管理、教育等方面的安全对策的理论依据。

事故及其发生的原因层次分析如图 1-2 所示。

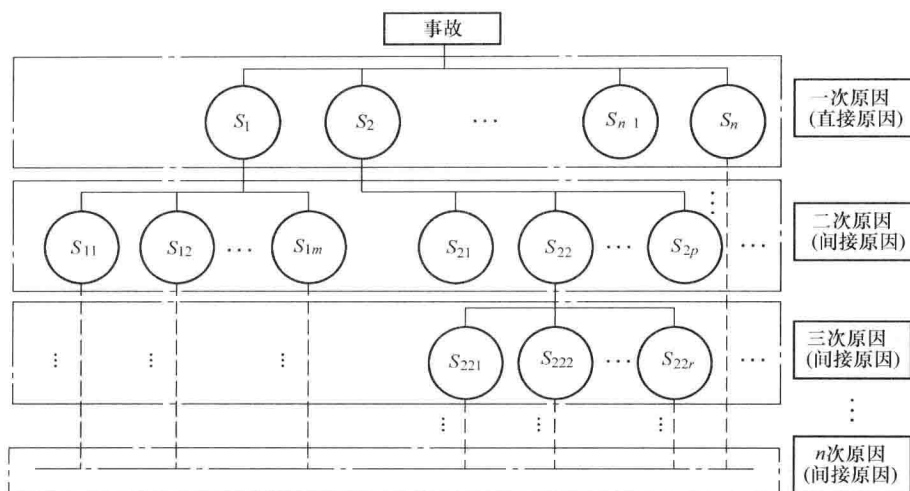


图 1-2 事故及其发生的原因层次分析

在项目（工程）或系统中，找出事故发展过程中的相互关系，借鉴同类情况的数据、典型案例等，建立起接近真实情况的数学模型，会使评价取得较好的效果，而且数据模型越接近真实情况，效果越好，评价也就越准确。

2. 类推原理

“类推”又称“类比推理”。类比推理是人们经常使用的一种逻辑思维方法，常用来推出一种新知识。在人们认识世界和改造世界的活动中，类比推理有着非常重要的作用，在风险评价中同样也有着特殊的意义和重要作用。

类比推理是根据两个或两类对象之间存在的某些相同或相似的属性，从一个已知对象具有某个属性来推出另一个对象也具有此种属性的一种推理方法。

【例 1-7】 颤振曾是空气动力学中的一个难题，飞机的机翼在高速飞行中会产生颤振现象（一种有害的振动），飞行越快，机翼的颤振越强烈，甚至造成机翼折断，发生机毁人亡的空难悲剧。为了克服在高速飞行时飞机机翼产生的颤振问题，许多科学家和试验人员做过种种试验，花费了很大的精力和时间试图解决它，但最终都以失败告终。后来，研究人员在观察蜻蜓飞行时，从蜻蜓的翅膀上获得了灵感：蜻蜓之所以能够有效、灵活自如地控制翅膀的颤振，是因为在它的半透明翅膀的前缘有一块加厚的色素斑，这种色素斑称为“翅痣”，可使蜻蜓在快速飞行和转弯时不受颤振的困扰。这是这种昆虫长期进化的结果。如果将翅痣去掉，蜻蜓飞行时就变得荡来荡去。实验证明，蜻蜓翅痣的角组织使蜻蜓飞行时消除了颤振。于是，人们就模仿蜻蜓，在飞机机翼末端的前缘装上了类似的加厚区，颤振现象竟奇迹般地克服了，由此而产生的空难也就销声匿迹了。

类推推理的基本模式为

若 A、B 表示两个不同对象。A 有属性 $P_1, P_2, \dots, P_m, P_n$; B 有属性 $P_1, P_2, \dots, P_m$; 且 $n > m$, 则对象 B 亦具有属性 P_n 。对象 A 与 B 的类比推理可用如下公式 (1-5) 表示:

$$\frac{\begin{array}{l} \text{A 有属性 } P_1, P_2, \dots, P_m, P_n \\ \text{B 有属性 } P_1, P_2, \dots, P_m \end{array}}{\text{所以, B 也有属性 } P_n (n > m)} \quad (1-5)$$

类比推理的结论不是必然的, 所以, 在应用时要注意提高其结论的可靠性, 其方法有:

- 1) 要尽量多地列举两个或两类对象所共有或共缺的属性;
- 2) 两个类比对象所共有或共缺的属性越本质, 则推出的结论越可靠;
- 3) 两个类比对象共有或共缺的属性与类推的属性之间如果具有本质的和必然的联系, 则推出结论的可靠性就高。

类比推理常常被人们用来类比同类装置或类似装置的安全可靠性或事故风险情况, 然后采取相应的对策防患于未然, 实现安全生产。

类比推理不仅可以由一种现象推算出另一种现象, 还可以依据已掌握的实际统计资料, 采用科学的统计推算方法来推算, 得到基本符合实际所需的资料, 以弥补调查统计资料的不足, 供分析研究使用。

类推评价法的种类及其应用领域取决于被评价对象或事件与先导对象或事件之间联系的性质。若这种联系可用数字表示, 则称为定量类推; 如果这种关系只能定性处理, 则称为定性类推。常用的类推方法有以下几种。

(1) 平衡推算法

平衡推算法是指根据相互依存的平衡关系来推算所缺的有关指标的方法。

【例 1-8】利用海因里希关于死亡、重伤、轻伤和无伤害事故的比例为 1:29:300 的规律, 在已知重伤死亡数据的情况下, 可推算出轻伤和无伤害数据; 利用事故的直接经济损失与间接经济损失的比例为 1:4 的关系, 可从直接损失推算出间接损失和事故总经济损失; 利用爆炸破坏情况推算离爆炸中心一定距离处的冲击波超压 $(\Delta p, \text{MPa})$ 或爆炸坑 (漏斗) 的大小, 进而推算爆炸物的 TNT 当量。

(2) 代替推算法

代替推算法是指利用具有密切联系 (或相似) 的有关资料和数据来推算所需的资料和数据的方法。例如, 对新建装置的安全预评价, 可使用与其类似的已有装置的资料和数据对其进行评价。在安全评价中, 人们常常通过类比同类或类似装置的检测数据进行评价。

(3) 因素推算法

因素推算法是指根据指标之间的联系, 从已知因素的数据推算有关未知指标数据的方法。例如, 已知系统事故发生概率 P 和事故损失严重度 S , 就可利用风险率 R 与 P 、 S 的关系来求得风险率 R 。

(4) 抽样推算法

抽样推算法是指根据抽样或典型调查资料推算系统总体特征的方法。这种方法是数理统计分析中常用的方法, 是以部分样本代表整个样本空间来对总体进行统计分析的一种方法。

(5) 比例推算法

比例推算法是指根据社会经济现象的内在联系, 用某一时期、某一地区、某一部门或某

一单位的实际比例,推算另一类似时期、类似地区、类似部门或类似单位有关指标的方法。例如,控制图法的控制中心线是根据上一个统计期间的平均事故率来确定的。国外行业安全指标通常也都是根据前几年的年度事故平均数值来确定的。

(6) 概率推算法

概率是指某一事件发生的可能性大小。事故的发生是一种随机事件。任何随机事件,在一定条件下是否发生是没有规律的,但其发生概率是一客观存在的定值。因此,根据有限的实际统计资料,采用概率论和数理统计方法可求出随机事件出现各种状态的概率。用概率值来预测系统未来发生事故的可能性大小,以此来衡量系统危险性的大小和安全程度的高低。

3. 惯性原理

任何事物在其发展过程中,从其过去到现在以及延伸至将来,都具有一定的延续性,这种延续性称为惯性。利用惯性可以研究事物或评价一个项目(工程)或系统的未来发展趋势。例如,从一个单位过去的安全生产状况、事故统计资料中找出安全生产及事故发展变化的趋势,就可以推测其未来的安全状态。

利用惯性原理进行评价时应注意以下两点。

(1) 惯性的大小

惯性越大,影响越大;反之,则影响越小。一个生产经营单位,如果疏于管理、违章作业、违章指挥、违反劳动纪律的现象严重,则事故就多,若任其发展则会越演越烈,而且有加速的态势,惯性会越来越大。对此,必须立即采取相应对策,破坏这种格局,亦即中止或改变这种不良惯性,才能防止事故的发生。

(2) 互相联系与影响

一个项目(工程)或系统的惯性是这个系统内的各个内部因素之间互相联系、互相影响、互相作用并按照一定的规律发展变化的一种状态趋势。因此,只有当系统稳定,受外部环境和内部因素的影响产生的变化较小时,其内在联系和基本特征才可能延续下去,该系统所表现的惯性发展结果才基本符合实际。但是,绝对稳定的系统是没有的,因为事物发展的惯性在外力作用时可使其加速或减速甚至改变方向,这样就需要对一个系统的评价进行修正,即在系统主要方面不变,而其他方面有所偏离时,应根据其偏离程度对所出现的偏离现象进行修正。

4. 量变到质变原理

任何一个事物在发展变化过程中都存在着从量变到质变的规律。同样,在一个项目(工程)或系统中,许多有关安全的因素也都存在着从量变到质变的规律。在评价一个项目(工程)或系统的安全时,也都离不开从量变到质变的原理。许多定量评价方法中,有关等级的划分,一般都应用了从量变到质变的原理。

【例 1-9】《道化学公司火灾、爆炸危险指数评价法》(第七版)中,关于按 F&EI(火灾、爆炸指数)划分的危险等级,从 1 至 ≥ 159 ,经过了 ≤ 60 、61 ~ 96、97 ~ 127、128 ~ 158、 ≥ 159 的量变到质变的不同变化层次,即分别为“最轻”级、“较轻”级、“中等”级、“很大”级、“非常大”级;而在评价结论中,“中等”级及以下的级别是“可以接受的”,而“很大”级、“非常大”级则是“不能接受的”。

【例 1-10】我国根据《噪声作业量级》(LD 1980—1995),将噪声按噪声值(dB(A))和接噪时间分别划分为 0 级、I 级、II 级、III 级和 IV 级;而且规定,噪声超过 115dB(A)

的作业, 不论接噪时间长短, 均属Ⅳ级。

【例 1-11】爆炸时产生的冲击波超压 Δp (MPa) 值达到 0.02 ~ 0.03 时, 人体“轻微损伤”; 达到 0.03 ~ 0.05 时, 人体“听觉器官损伤或骨折”; 达到 0.05 ~ 0.10 时, 人体“内脏严重损伤或死亡”; 大于 0.10 时, 则大部分人员死亡。

【例 1-12】时间就是生命, 心跳停止 4 ~ 6min 后, 由于大脑严重缺氧而使脑细胞受到严重损害, 甚至不能恢复, 需要立即进行心肺复苏: 心跳停止 4min 内复苏者有 50% 可能被救活; 4 ~ 6min 开始复苏者, 10% 可被救活; 超过 6min 复苏者, 存活率只有 4%; 10min 以后开始复苏者, 存活的可能性更小。

因此, 在进行风险评价时, 考虑各种危险、有害因素对人体的危害, 以及对采用的评价方法进行等级划分时, 均需要应用从量变到质变的原理。

上述四个评价原理是人们经过长期研究和实践总结出来的。在实际评价工作中, 人们综合应用这些基本原理指导风险评价, 并创造出各种评价方法, 进一步在各个领域中加以运用。

掌握评价的基本原理可以建立正确的思维程序, 对于评价人员开拓思路、合理选择和灵活运用评价方法都是十分必要的。由于世界上没有一成不变的事物, 评价对象的发展也不是过去状态的简单延续, 评价的事件也不会是类似事件的机械再现, 相似不等于相同, 因此, 在评价过程中, 还应对客观情况进行具体细致的分析, 以提高评价结果的准确性。

1.2.2 风险评价模型简介

1. 风险评价模型类型

在研究实际系统时, 为了便于试验、分析、评价和预测, 总是先设法对所研究的系统的结构形态或运动状态进行描述、模拟和抽象。它是对系统或过程的一种简化, 虽然不再包括原系统或过程的全部特征, 但能描述原系统或过程输入、中间过程和输出的本质性的特征, 并与原系统或过程所处的环境条件相似。

模型一般可分为以下三种类型。

(1) 形象模型

形象模型是系统实体的放大或缩小, 如建造舰船和飞机用的模型、作战计划用的沙盘、土木工程用的建筑模型等。

(2) 模拟模型

模拟模型是在一组可控制的条件下, 通过改变特定的参数来观察模型的响应, 预测系统在真实环境条件下的性能和运动规律。如: 在水池中对船模进行航行模拟试验; 飞机模型在风洞中模拟飞行过程; 在实验室条件下利用计算机模拟自动系统的工作过程等。

(3) 数学模型

数学模型也称符号模型, 它是用数学表达式来描述实际系统的结构及其变量间的相互关系的。

【例 1-13】化工装置利用 ICI 蒙德法进行单元评价时, 其火灾、爆炸、毒性指标由下式 (1-6) 来描述:

$$D = B \left(1 + \frac{M}{100} \right) \left(1 + \frac{P}{100} \right) \left(1 + \frac{S+Q+L}{100} + \frac{T}{400} \right) \quad (1-6)$$