

管道风险管理手册

(第二版)

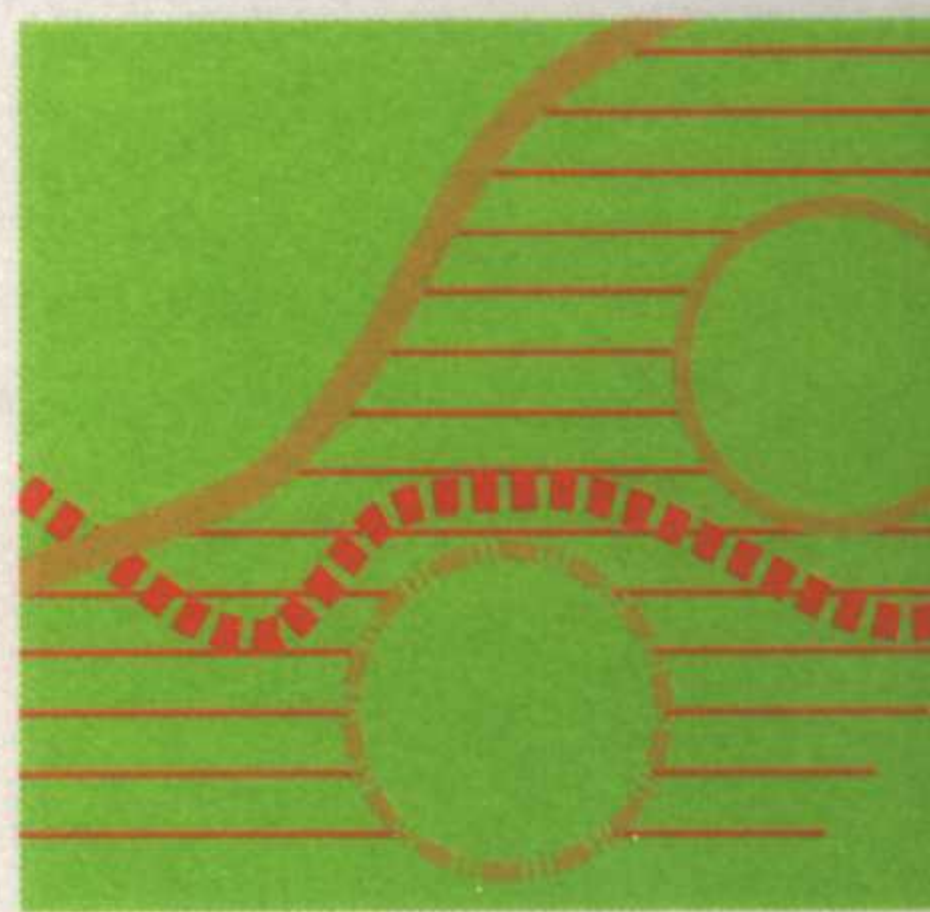
Pipeline Risk Management Manual
(*Second Edition*)

[英] W. Kent Muhlbauer 著

杨嘉瑜 张德彦 李钦华 吴俊 译

孙建斌 杨嘉瑜 校审

陈允中 校订



中国石化出版社

责任编辑 滕 云
封面设计 王国红
责任校对 张小宏

ISBN 7-80164-603-7



9 787801 646033 >

ISBN 7-80164-603-7/TH·017

定 价：60.00元

管道风险管理手册

(第二版)

【英】W. Kent Muhlbauer 著

杨嘉瑜 张德彦 李钦华 吴俊 译

孙建斌 杨嘉瑜 校审

陈允中 校订

中国石化出版社

著作权合同登记 图字:01-2002-0362 号

Pipeline Risk Management Manual 2nd Edition by W. Kent Muhlbauer Butterworth-Heinemann, a division of Reed Educational & Professional Publishing Ltd.

Pipeline Risk Management Manual 2nd Edition by W. Kent Muhlbauer © W. Kent Muhlbauer-2001

中文版权(2005)为中国石化出版社所有。版权所有,不得翻印。

图书在版编目(CIP)数据

管道风险管理手册/(英)肯特米尔鲍尔(Kent Muhlbauer, W.)著;
杨嘉瑜译.
—北京:中国石化出版社,2004
ISBN 7-80164-603-7

I. 管… II. ①肯… ②杨… III. 石油管道-管道
工程-风险管理-手册 IV. TE973-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 069549 号

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.cn

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 17.25 印张 436 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

定价:60.00 元

致 谢

作者对建立风险评价技术和改进风险评价程序的实践者深表谢意。

前 言

一条长输管道建成并投入使用后，就会存在非常规危害的风险。一般来说，这种风险是可以容忍的，因为管道输送毕竟利大于弊。

本书的题目表明，管道风险能够得到控制。为了控制管道风险，我们必须全面了解管道风险的含义。

管道事故是无法精确预测的，但是，我们可以通过识别导致管道发生事故的重要危害因素，并对这些相关因素以及他们之间的相互作用进行分析，就可以深入判断出现事故的可能性。

风险评价并不需要按照概率理论进行精确计算。虽然这种计算是以概率为基础的，但在少数情况下，这种评价结果是不可信的。通常，把这种不准确的原因归于计算量不够。而实际上是由于在此类分析过程中使用了大量的假设条件，造成这种非常大的不准确性。

本书建立这种风险模型所采用的方法与严格的科学计算过程是有区别的。在许多情况下，某些风险是根据与实际证据一样多的直觉，而作者认为，这种方法强化了风险管理过程。

在下面的章节中将会看到，可以将历史数据、工作经验和常识组合成灵活的风险管理工具，本文“工具”是最终目的。过去曾研究并已归档的最成熟的分析方法也只是一种满足知识分子好奇心的方法。一种容易理解、易于修改的风险评价系统能够成为日常设计、经营和运行决策的重要组成部分。

本书中描述了导致风险增加的原因和降低风险的方法，通过这些描述，可以使非管道专业的人员了解许多有关管道设计、操作和维护的知识。希望这些知识能够有助于管道经营者、立法者、保险人和其他人员之间的沟通。

W. Kent Muhlbauer

第二版前言

本书第二版用一些相对容易的方法改进了风险管理过程。廉价、可操作性较强的补充程序和训练贯穿于整个风险分析。这些方法比较实用，但是最终还是要将他们综合起来并做评分。

本书中的风险评价方法不仅仅是一个公司或几个公司的想法和经验，他是对众多公司、科研单位和政府管理部门实践方法的总结。新的用户可以发现本书的这种评价模型中有很多方法可以根据需要直接应用，还会发现某些方法需要进行一定的修改，以满足某些特殊情况的需要。这个模型的一个主要特点就是适用范围广，有可能成为最有用的工具。

如果使用纯统计概念，管道事故方面的数据信息对于全面的风险评价是不够的。采用这种不大严格的数据记录看起来利大于弊。因为获取管道事故数据必须付出昂贵的代价，即只有在管道发生事故时才能获得。我们可以从事故中获得数据，结合最新的信息改进我们的模型。项目权重必须能反映该项目在风险过程中所起作用的重要性。这种重要的项目将对评分有重大影响。

引 言

本书第一版中的基本风险评价方法在第二版中没有明显的变化，用第二版中管道风险评价方法的人可以将评价结果直接与第一版的评价结果进行对比。但是，在第二版中，作者建议用户考虑的一些附加因素在第一版中是没有的。这些附加因素被设计成模块添加在原有的核心风险评价中，以根据需要扩大评价范围。在这种情况下，核心评价方法保持不变，同时，风险评价方法的某些部分还可以不断改进。

第二版的第一篇是基本风险评价模型，与第一版中的基本风险评价模型有一些小的变化。这些变化的目的是增加可读性，并进一步突出重点。同时，对一些印刷错误进行了校正。另外，根据技术和方法的变化相应的进行一些修正。

本书中提出了管道风险管理的系统方法，其目的是将这套管道风险管理方法作为那些从事管道评价人士的一本指南。

在引言中给出了所有的风险评价项目表以及建议的分数，该表可以作为一个检查表用于检查实际的管道风险，以及随后的数据保存或录入计算机程序。

第一章介绍了风险评价方法，风险评价的其他形式和一些风险评价的概念。另外，还讨论了与风险管理有关的质量和成本管理的概念。解释了本书提出的风险评价分类的原因。

第二章给出了风险管理过程的基础知识，包含了模型的基本假设和评价过程，说明了管道分段和相关活动分类。

第三章~第六章详细介绍了影响管道风险评价的管道活动和环境特征，每一章都列出了一个引发管道事故历史原因的指数，这些章节中给出了在风险评价中每一个项目的基本含义，以及对每项的建议评分。

第七章详细描述了泄漏影响系数，它是风险方程式的结果部分。要结合处理的产品、人口密度和其他因素来评价管道事故的潜在后果。

第二篇是为了满足工业上对这一技术的要求进一步具体化的描述。由于这种扩展增加了模型的复杂程度，因此，在增加风险评价成本之前，必须清楚获益的大小。

并对具体过程进行了论述，第八章到第十五章详细论述了可选择模块及对广泛与管道风险相关的问题一些特殊的考虑，包括：泄漏经历、损坏模式、人为破坏风险、工作压力、停输成本、环境伤害风险，以及为近海管道和输配系统编制的基本模型。

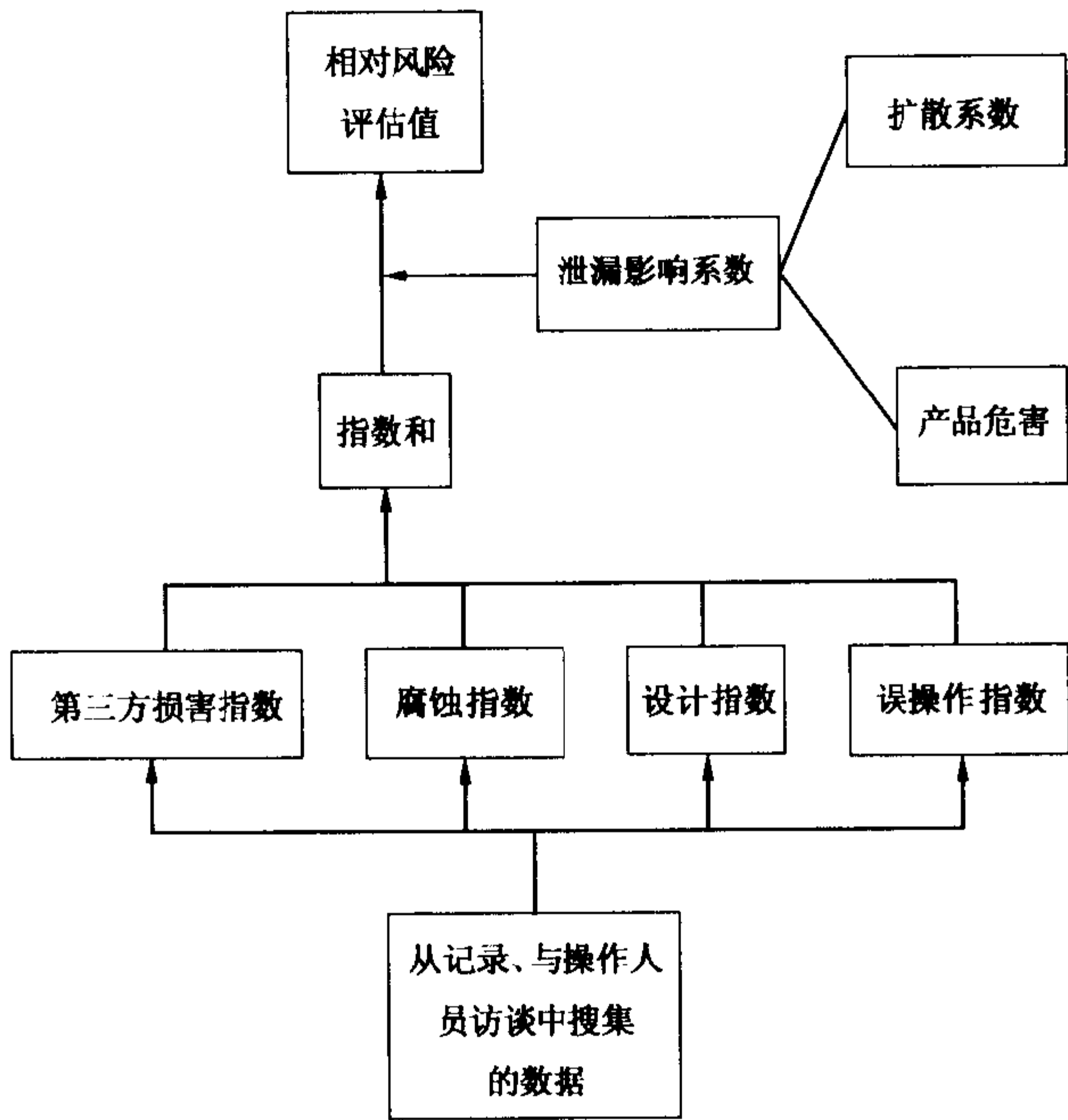
第三篇给出了在风险评价数据有效的情况下应该做什么的方法和指南。有关测量数据的精确解释不能过分强调，许多简单的统计和作图工具能够使数据更集中。第十五章介绍数据的分析与处理。成本和管道风险之间的关系对于风险管理来说是一个必要因素，第十六章介绍了这部分内容。

附录中给出了必要的公式和有用的产品信息以供评价者使用。

本书给出的例子有助于读者理解风险评分系统。附录 E 还给出了一个完整的范例，该范例描述了风险评价者对一条假设的管道进行风险评价的全过程。

风险评价计算数值概述

(基础风险评价)



风险评价的基本模型

相对风险比率 = (指数和) / (泄漏影响系数)

= [(第三方指数) + (腐蚀指数) + (设计指数) + (误操作指数)] / (泄漏影响系数)

第三方指数

A. 覆盖层最小深度	0 ~ 20 分	20%
B. 活动程度	0 ~ 20 分	20%
C. 地面设施	0 ~ 10 分	10%
D. 直呼系统	0 ~ 15 分	15%
E. 公共教育	0 ~ 15 分	15%
F. 管道用地标志	0 ~ 5 分	5%
G. 巡线频率	0 ~ 15 分	15%
	100 分	100%

腐蚀指数

腐蚀指数 = (大气腐蚀)	20%
+ (管道内腐蚀)	20%
+ (埋地金属腐蚀)	60%
	100%

A. 大气腐蚀

(1) 设施	0 ~ 5 分	
(2) 大气类型	0 ~ 10 分	
(3) 包覆层/检测	0 ~ 5 分	
	0 ~ 20 分	20%

B. 管道内腐蚀

(1) 产品腐蚀	0 ~ 10 分	
(2) 管道内防护	0 ~ 10 分	
	0 ~ 20 分	20%

C. 埋地金属腐蚀

(1) 阴极保护	0 ~ 8 分	
(2) 包覆层状况	0 ~ 10 分	
(3) 土壤腐蚀	0 ~ 4 分	
(4) 系统运行年限	0 ~ 3 分	
(5) 其他金属	0 ~ 4 分	
(6) 交流感应电流	0 ~ 4 分	
(7) 机械腐蚀	0 ~ 5 分	
(8) 管 - 地电位测试桩	0 ~ 6 分	
(9) 密间隔检测	0 ~ 8 分	
(10) 管道内检测器	0 ~ 8 分	
	0 ~ 60 分	60%

设计指数

A. 管道安全系数	0 ~ 20 分	
B. 系统安全系数	0 ~ 20 分	
C. 疲劳	0 ~ 15 分	
D. 水击潜在危害	0 ~ 10 分	
E. 系统水压试验	0 ~ 25 分	
F. 土壤移动	0 ~ 10 分	
	0 ~ 100 分	100%

误操作指数

A. 设计	
(1) 危险识别	0 ~ 4 分
(2) 达到 MAOP 的可能性	0 ~ 12 分
(3) 安全系统	0 ~ 10 分

(4) 材料选择	0 ~ 2 分	
(5) 检查	0 ~ 2 分	
	0 ~ 30 分	30%
B. 施工		
(1) 检验	0 ~ 10 分	
(2) 材料	0 ~ 2 分	
(3) 连接	0 ~ 2 分	
(4) 回填	0 ~ 2 分	
(5) 搬运	0 ~ 2 分	
(6) 包覆层	0 ~ 2 分	
	0 ~ 20 分	20%
C. 运行		
(1) 工艺规程	0 ~ 7 分	
(2) SCADA/通信	0 ~ 5 分	
(3) 毒品检查	0 ~ 2 分	
(4) 安全计划	0 ~ 2 分	
(5) 检查	0 ~ 2 分	
(6) 培训	0 ~ 10 分	
(7) 机械失误防护措施	0 ~ 7 分	
	0 ~ 35 分	35%
D. 维护		
(1) 文件编制	0 ~ 2 分	
(2) 计划	0 ~ 3 分	
(3) 维护规程	0 ~ 10 分	
	0 ~ 15 分	15%
误操作指数	0 ~ 100 分	100%
指数总和	0 ~ 400 分	

泄漏影响系数

A. 产品危害(急剧危害 + 长期危害)	0 ~ 22 分
(1) 急剧危害	
a. N_f	0 ~ 4
b. N_r	0 ~ 4
c. N_h	0 ~ 4
总计($N_f + N_r + N_h$)	0 ~ 12
(2) 长期危害 RQ	0 ~ 10
B. 扩散系数(泄漏分) ÷ (人口分)	0 ~ 6
(1) 液体或气体泄漏	0 ~ 6
(2) 人口密度	0 ~ 4
泄漏影响系数 = (产品危害)/(扩散系数)	

相对风险分值 = (指数和)/(泄漏影响系数) = 0 ~ 2000 分

目 录

风险评价计算数值概述

第一篇 风险评价的基本模型	(1)
第一章 风险和质量：理论及应用	(1)
第二章 风险评价过程	(14)
第三章 第三方损害指数	(19)
第四章 腐蚀指数	(34)
第五章 设计指数	(65)
第六章 误操作指数	(80)
第七章 泄漏影响系数	(98)
第二篇 定制风险评价基本模型	(123)
第八章 基本风险模型评分的调整	(126)
第九章 蓄意破坏模块	(132)
第十章 工作压力与人为失误模块	(145)
第十一章 服务中断风险	(150)
第十二章 环境风险评价	(171)
第十三章 输配系统	(179)
第十四章 近海管道系统	(199)
第三篇 风险管理	(217)
第十五章 数据分析	(217)
第十六章 成本风险关系	(230)
附录 A 典型管输产品	(234)
附录 B 泄漏率的确定	(235)
附录 C 管壁厚度确定	(238)
附录 D 水击压力计算	(242)
附录 E 管道风险评价范例	(244)
术语汇编	(250)
参考文献	(253)
英汉词语对照	(257)
英制单位与国际单位制单位换算表	

第一篇 风险评价的基本模型

第一章 风险和质量：理论及应用

1 风险系统

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。该定律涉及到熵。简单地说，熵是衡量一个系统无序状态的尺度。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。”[24]。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。按这逻辑，这是一个具有普遍意义的概念。它解释了书桌或汽车房变得越来越乱直到进行打扫(即施加能量)之原因。气体的扩散与混合是一不可逆过程；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：自然界的力量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：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，由于发生泄漏造成管道输送物质泄放到大气中及地面上，或是由于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，都是考察我们社会各个组成部分的一种行之有效的方法。假如我们采用几乎有点偏激的观点——各种力量连续不断地作用于我们系统直至摧毁，我们将变得更加警醒，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——以保护管线使其免受损害。

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、阴极保护及第三章~第六章论述的其他活动。而大部分活动皆由政府委托代理执行运作。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。这一活动评分表将会得到持续不断地修正与改进。

一种合乎逻辑的风险评估方法应遵循这些相同的管线的推理方法。对管道有影响的所有活动方式不管是有利或不利，都应予以考虑——即使是其特殊活动的有效性得不到重要统计数据的情况下。工业实践及管道经营者的直觉可以亦应该包含在风险评估的进程中。遗憾的

是，从实际应用来说，这种方法可能常常带有主观因素。只要把这种主观意识标准化，那么风险评估的准确性就能够得到保障。

但是，何谓风险？风险是危险的同义词吗？

我们所说的危险就是指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。

基于我们评价的目的，将风险定义为发生特定危害事件的可能性以及事件造成损失的大小。用管道输送危险品是有风险的，因为如果危险品发生泄漏，会导致产品损失的危害。发生管道泄漏事件一般被称之为管道事故。按照这一定义，当事故发生的可能性增加，或是事件后果的严重性增大时，风险将随之加大。其损失值通常用经济术语来表示。

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。

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相撞而造成重大人身伤亡事故，这是完全能预见到的。所以说，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。管线沿线的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。

如上所述，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？

通过解答这些问题，也就明确了风险的定义。

1.2 什么情况可能出事故？

在评定可能导致管线事故的起因之前，我们首先必须确定事故的模型。简言之，当管道系统的任何一部分使“有效量”的产品偶尔泄漏，则存在事故。“有效量”一词就是区别“事故”与有害性的泄漏。除非输送介质具有很强的毒性，否则，法兰附近以及管道设备的微量泄漏是无关紧要的(对我们这里所说的事故而言)。

绝大多数管线都是带压的，这就要求其管壁具有一定强度。假如管壁缺乏足够的强度，就会发生事故。因为腐蚀或是机械损伤造成的刮痕、凿痕等使得管壁变薄，降低管道强度；倘若承受的应力超越其设计能力(例如：过压、过度弯曲及过热等等)的话，亦将不可避免地发生事故。

必须全面综合地解答“什么情况可能出事故？”这个问题。任何一种可能的事故模型及其起因都必须加以识别与确定。在这个阶段不考虑事故发生的概率，即使是只有极小可能性的事故类型也必须包括在内。同时，也一定会发生一些涉及许多相关事件的复杂情况。当鉴别危险性时，其他一些安全事件之间意外的相互作用则常常被人们忽略。

用于鉴别危险性的一个有效的手段就是进行危险性及其可操作性研究(Haz Ops)。在这项技术里，一个专家小组通过一系列会议，对虚拟的危害进行分析。这项技术的长处在于所

作的风险评估是完全彻底的。请详见“Battelle Columbus”[5]。

本书采用指数化技术进行总体评估风险。“什么情况可能出事故？”这个问题已被列入到每个指数下的所有参数中。这些指数与管线事故的实际原因相符，同时每个指数里的各项都是影响事故发生的那些潜在的条件和活动。鉴别危险性的研究(与 Haz Ops 相类似)往往用来生成每个指数下的参数评分表。

1.3 它可能会怎样？

危险一旦鉴别，就可以计算导致事故发生的各种事件可能性。若几个事件必然引发事故时，那么通过综合这些独立事件的可能性就可获得事故发生的概率。对这些事件发生的可能性进行综合分析评价时，是采用连续发生性的，还是同时发生性的事件，取决于各事件间的相互作用关系。

这里，我们可以理想化地应用历史事件。然而，过去的历史数据通常并不是对所有可能存在的事件序列都具有借鉴意义。然而，如果数据有用，通常这是少有事件的数据——例如，运行多年仅发生一次事故。从一些较小的数据库来推测未来发生事故的可能性，可能导致明显的误差，也就意味着其精确性是不可靠的。稍后，将在“主观性风险评估”中加以论述。

使用历史数据可能面临的另一个问题是：其前提是建立在保持条件不变的情况下。例如，从历史资料看，由于腐蚀而造成多发泄漏时，经营者希望采取一些适当的措施减少泄漏。但只有在未采取任何弥补措施时，历史数据才能用于预测未来。尽管历史数据是一项重要的资料，但它不能单独地用来确定事故发生的可能性。

历史事故可以给评价者对其正在评价的系统一些启发。图 1-1 就是呈现诸多事故发生率的一条著名曲线(“浴盆”曲线)。对于许多设备及装置来说，均有着一个很高的初始期事故发生率。这曲线的第一部分一般被称之为“初期失效阶段”。此外，事故是由工程建设初期阶段产生的缺陷所致。随着这些缺陷的消除，曲线的第二部分变得较为平坦，这是事故发生的一个恒定区域，反映出了随机事件在这区域均保持一个相当恒定的事故发生率。随着设备部件使用期的增长，由于设备几经磨损，使得事故发生率开始增大。一套完整的事故数据可以显示这样的曲线，告知评价者——系统处于什么阶段，同时还可预计可能发生什么。

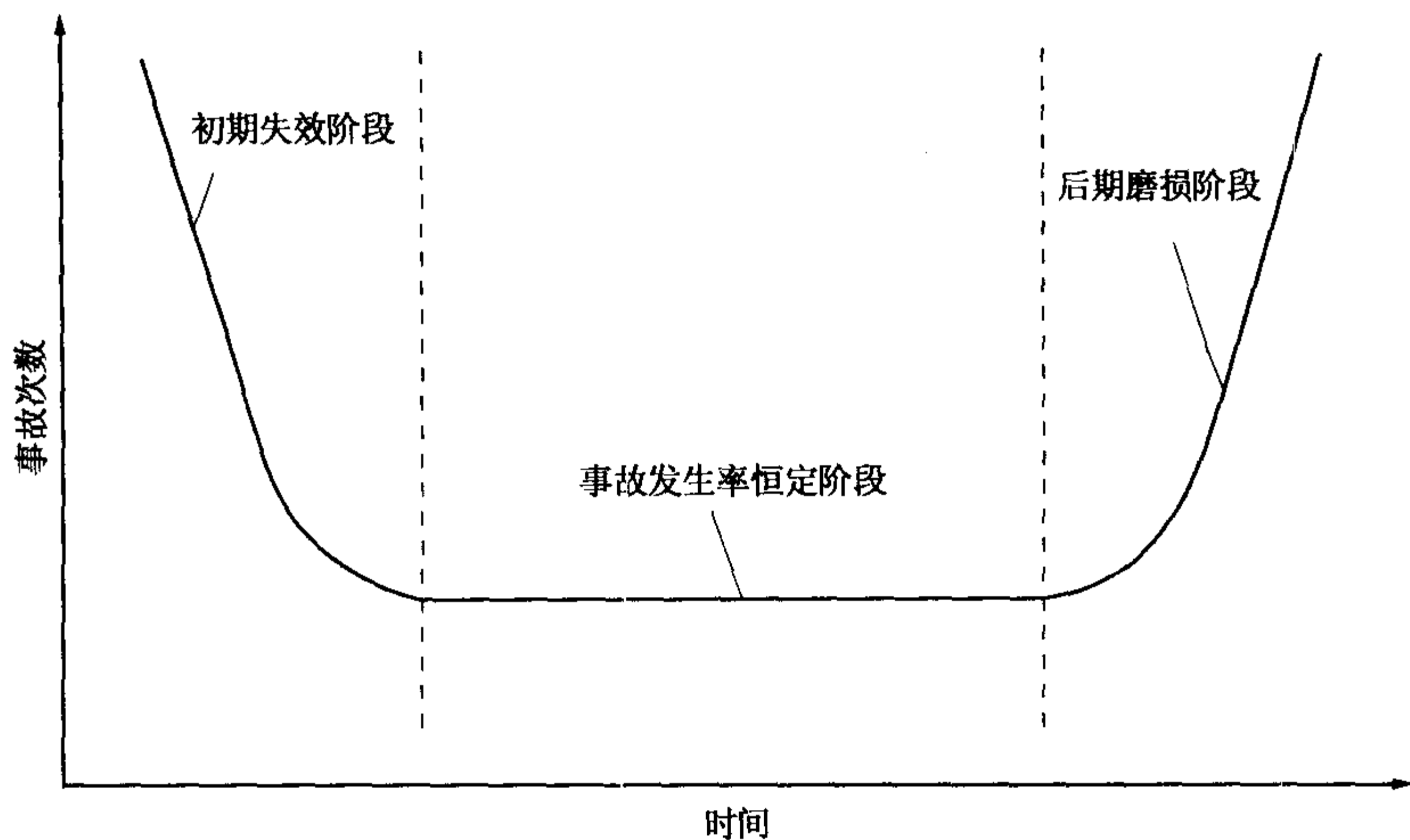


图 1-1 普通事故率曲线图(浴盆曲线)

在风险评价系统里，一般采用每项指数中相关各项的分值来表示事件发生的可能性。每一项的分值反映出该项相对于指标中其他各项数值之间的重要性。重要性建立在一般操作人员的经验上(其中包含：事故的历史数据、近期故障以及管道员工的知识)。无论在何种情况下，这种知识均应包括所有管道运行人员的经验，而不是一个管道公司的经验。

1.4 后果是什么？

任何风险评价所固有的性质就是对事件的影响因素作出判断。我们可先设置一特定事故可能造成损失的数值，那么这就是我们用于防范事故所能承受的花费。社会上用在安全及降低风险方面的投资是有限的。必须对投入到降低风险方面的资源进行利弊权衡。

大多数损失成分易于量化。针对主要的管道事故(管道输送产品的逸出，有可能引起爆炸和火灾。)，我们应对诸如：破损的建筑物、车辆及其他成本(停输成本、产品漏失成本以及清扫成本等)的损失可以进行定量分析。然而，倘若面对人的生命丧失，我们将该如何评价？在此方面已有许多论述。

确定一个人生命的经济价值通常主要采用两种方法。必须指出的是——这只是“统计生命”，而非一个真正意义上的人的生命。在特定的情形下，社会总是愿意不惜一切代价去拯救人的生命，例如像救援陷入井下的矿工等等。统计生命只是反映了社会为了减少意外人身伤亡的统计风险而必须花费的数额。

第一种方法是人力资本方法，就是根据“一个人”对未来社会贡献的经济损失。第二种方法是支付的意愿，考虑“一个人”可能支付多少(折合成财产和中止工作)来获得减少意外伤亡的可能性。两种方法各有其利弊。不同的联邦政府机构和不同的研究结果规定人的不同价值：美国环保署目前通常将其定为一个人 150 万美元，这是已经确定的支付的极限值。要是用于救助“一个人”的成本不高于 150 万美元，那么，这个章程就被认为是合理的。此外，在这里需要强调的是：这只是统计生命的价值数据，而不能等同于任何一个真正意义上的人的价值。

一般，对于任何特殊的企图，都由社会来决定什么才是可接受的风险水平。例如，在高速公路上所能接受的交通事故死亡率，对于管道行业来讲，则通常是不可能接受的。社会及经济等诸多因素还影响人们对风险的承受能力。当然，这些已超出了本书的范围。可是，重要的是降低风险对于社会来说是有代价的。社会将会权衡在特殊情况下为防止付出另一种代价而改进安全的费用。我们是否每 10 年花一笔额外的钱用于支付 1 例交通事故？或喂养 1 个饥饿儿童，两天需要花销多少美元？各种类型的价值判断有助于确定什么是可接受的风险。

寻找降低管道风险的过程中，可能出现具有讽刺意味的现象——因为许多活动都受成本费用之驱动，所以以安全名义支出的费用可能实际上增加全局风险。例如，指定用于增进管道安全的某些资金，其成本的增加将促使更多的待运货物转而选择其他的输送方式。倘若那些输送方式的安全性远远低于管道输送，那么，社会风险实际上是增加了。

2 风险评价方法

Battelle Columbus[5]描述了 11 种化工行业通用的危险性评价程序。每种方法各有优劣，包含某一状况下评价的费用和适用的范围。如下所列：

- 检查表
- 安全复查表
- 相对分类排列