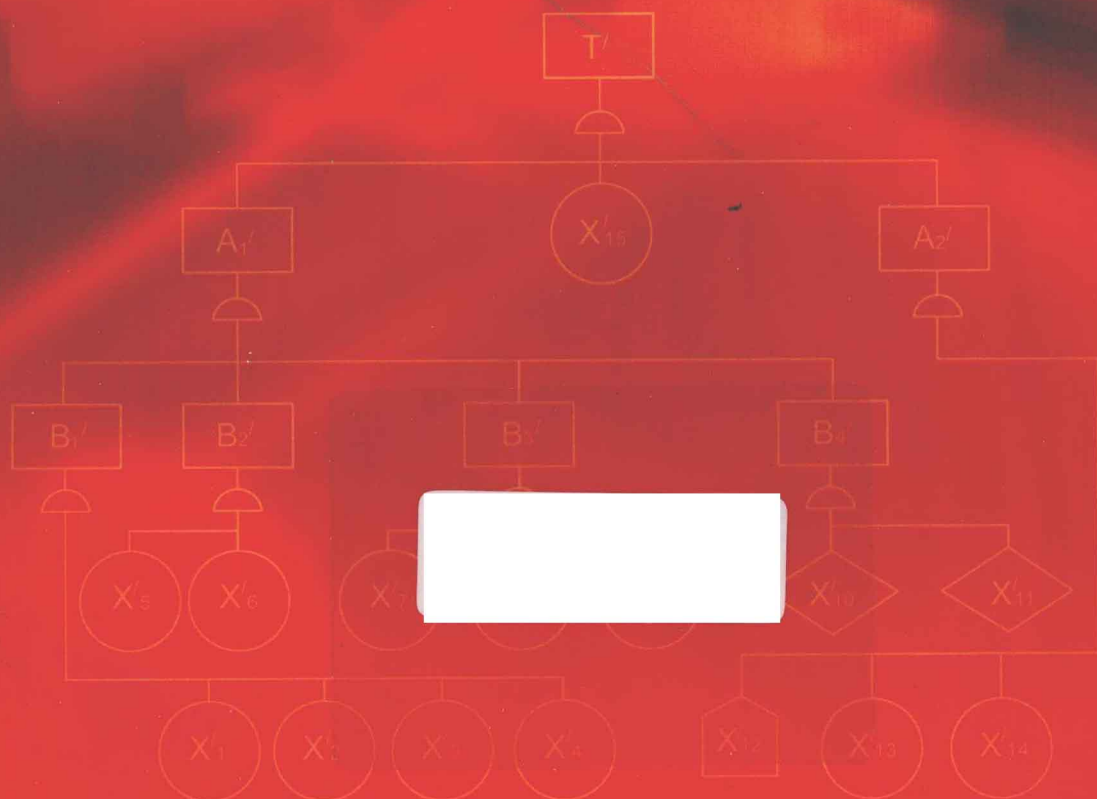


安全评价实用技术丛书

ANQUAN PINGJIA SHIYONG JISHU CONGSHU

常用安全评价方法及其应用

主 编 佟瑞鹏



中国劳动社会保障出版社

安全评价实用技术丛书

常用安全评价方法及其应用

主 编 佟瑞鹏

副主编 李桂君 于春雨

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

常用安全评价方法及其应用/佟瑞鹏主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2010
安全评价实用技术丛书

ISBN 978-7-5045-8678-0

I. ①常… II. ①佟… III. ①安全-评价-基本知识 IV. ①X913

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 221576 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

北京市艺辉印刷有限公司印刷装订 新华书店经销
787 毫米×1092 毫米 16 开本 16 印张 368 千字

2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷

定价: 40.00 元

读者服务部电话: 010-64929211/64921644/84643933

发行部电话: 010-64961894

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

如有印装差错, 请与本社联系调换: 010-80497374

内 容 提 要

本书为“安全评价实用技术丛书”之一，重点介绍安全评价工作中的常用安全评价方法以及评价单元的划分和评价方法的选择原则等内容，全书共有5章内容，并附有相关附录供参考查询。

本书主要内容包括安全评价方法概述、定性安全评价方法、定量安全评价方法、新型安全评价方法以及评价单元的划分和评价方法的选择。

本书既具有科学性、知识性，又具有实用性与知识普及性，可供各行业企业从业人员学习、了解安全评价相关知识使用，也可作为安全生产及其相关专业日常安全培训教育用书，还可作为从事安全评价工作的从业人员的日常学习手册。

前 言

安全评价技术是安全系统工程的重要组成部分。自 20 世纪 60 年代初起源于美国之后，经过多年的实践与发展，安全评价已经成为现代企业风险管理的一项重要内容。所谓安全评价技术是指利用安全系统工程原理和方法来识别、评价系统工程存在的风险的过程，这一过程包括危险、有害因素识别及危险和危害程度评价两部分。20 世纪 80 年代，安全评价作为先进的安全管理理念从国外引入我国，经历了技术探索、试运用和逐步规范发展三个阶段，现已成为安全生产许可工作中重要的一个环节。我国《安全生产法》、《危险化学品安全管理条例》、《安全生产许可证条例》等法律法规明确安全评价对事故预防的作用，确定了安全评价工作的法律地位，使安全评价成为企业一项法定的工作。

伴随着安全评价技术的发展，安全评价机构蓬勃兴起，从业队伍逐步成长壮大起来，安全评价技术人员成为安全生产工作中的一支重要的技术力量，吸引了越来越多的科技学者、专业技术人员投身于安全评价工作中来，成为推动安全生产工作健康发展的一支不可或缺的力量。2007 年 11 月 22 日，安全评价师被正式批准为我国新的社会职业。2008 年 2 月 29 日，国家劳动和社会保障部正式颁布了《国家职业标准·安全评价师》（试行），标志着安全评价师国家职业资格制度开始实施，安全评价工作步入法制化进程。

为了适应广大从事安全评价工作的从业人员的学习要求，系统地介绍安全评价知识和先进的技术方法，从而进一步掌握矿山、化工、危险化学品和烟花爆竹等高危行业企业的安全评价技术方法，我们组织编写了“安全评价实用技术丛书”。本套丛书具有以下特点：

1. 先进性。本套丛书是在最新的法律法规的指导下，注重安全评价技术新技术、新方法的讲授，前瞻性地介绍安全评价技术在我国的发展趋势。每分册均有相关的法律法规供参考查阅。

2. 系统性。丛书分基础知识、理论知识、法律法规应用知识和高危企业安全评价技术，兼顾即将从事和正在从事安全评价工作的从业人员，从基础理论入手，逐步培养安全评价实际操作能力，通过系统学习将受益匪浅。

3. 实用性。本套丛书各分册针对读者的不同需求，如基础知识和理论分册使读者能够全面了解安全评价技术及其发展的来龙去脉，了解安全评价方法和采取的技术手段的前因后

果，安全评价方法的具体内容与它们在实际工作中的应用；行业分册旨在让读者系统地学习安全评价在高危行业中的应用，从实际操作与案例入手，让读者掌握该行业企业安全评价工作的方法，培养实际操作能力。

本套丛书邀请了相关高等学校、科研院所长期从事安全评价科研与实际工作的专家、学者，以及安全评价机构长期从事相关行业企业安全评价工作的从业人员，共同组成了编写委员会，以理论与实际紧密结合的方式，增加了可读性与可用性，旨在成为即将从事或正在从事安全评价工作的科研人员、高校师生和从业人员的学习资料、工作指导与实践指南。

参加本丛书组织和编写工作的人员有：佟瑞鹏、马英楠、陈大伟、赵一姝、范小花、杨勇、陈金玉、王岩、韩海荣、李桂君、于春雨、梁欣涛、任丽军、佟永兴、李继征、韩雪萍、熊艳、刘洵、柳文杰、杜博、刘凯、孙超、王璐明、程春花、蒋永清、周志良、焦宇、严琳、段淼、闻洪春。

丛书编写过程中，大量参考了相关专家学者的著作和资料，在此向他们表示感谢。由于时间和水平有限，难免存在错误或不足之处，敬请广大读者给予批评指正。

编委会

2010年4月

目 录

1. 安全评价方法概述	(1)
1.1 安全评价方法的分类	(1)
1.2 常用的安全评价方法	(3)
2. 定性安全评价方法	(8)
2.1 安全检查表分析法	(8)
2.2 专家评议法	(14)
2.3 故障类型影响分析法	(17)
2.4 作业条件危险性评价法	(27)
2.5 MES 评价法	(33)
2.6 MLS 评价法	(40)
2.7 预先危险性分析法	(43)
2.8 危险与可操作性研究	(49)
2.9 因果分析图法 (鱼刺图法)	(61)
2.10 故障假设分析法	(63)
2.11 人员可靠性分析法	(72)
3. 定量安全评价方法	(76)
3.1 事件树分析法	(76)
3.2 故障树分析法	(82)
3.3 原因—后果分析法	(95)
3.4 风险矩阵分析法	(98)
3.5 管理失效和风险树分析法	(103)
3.6 道化学火灾、爆炸指数评价法	(116)
3.7 蒙德火灾、爆炸、毒性指数评价法	(146)
3.8 日本化工企业六阶段评价法	(157)

3.9	化工厂危险程度分级评价法	(165)
3.10	危险度评价法.....	(178)
3.11	易燃、易爆、有毒重大危险源评价法.....	(181)
4.	新型安全评价方法	(192)
4.1	层次分析法	(192)
4.2	模糊综合评价法	(200)
4.3	灰色关联度分析法	(212)
4.4	神经网络分析法	(217)
5.	评价单元的划分和评价方法的选择	(224)
5.1	评价单元的划分	(224)
5.2	常用安全评价方法比较	(226)
5.3	安全评价方法的选择	(230)
附录	道化学物质系数和特性表.....	(238)
参考文献		(247)

1. 安全评价方法概述

安全评价是以实现工程、系统安全为目的，应用安全系统工程原理和方法，对工程、系统中存在的危险、有害因素进行辨识与分析，判断工程、系统发生事故和职业危害的可能性及严重程度，从而为制定防范措施和管理决策提供科学依据。

为了保证生产和产品安全，需要对工程或系统进行各种类型的安全评价或评估。这些安全评价或评估的种类繁多，从大的方面来说，包括安全预评价、安全验收评价、安全现状综合评价和专项安全评价。根据不同的行业，安全评价的对象又各不相同，如针对生产过程、产品、企业生产系统、建设工程项目等的安全评价。根据《安全生产法》和国家安全生产监督管理局的有关规定，所有生产经营单位的新建、改建、扩建工程项目要进行安全预评价；对在役项目或工程、生产单元要进行安全现状综合评价；同时根据国家有关规定，还应进行某些专项安全评价，如职业安全健康评价、危险化学品安全评价等。其中，每种评价使用各种不同的安全评价方法，各种不同的安全评价方法在使用上和技术要求上存在较大的区别，故安全评价本身是一种技术要求极强的工作。

安全评价是通过科学的方法，查找出被评价主体（建设项目、工程、企业、设施、岗位、物品等）存在的危险、有害因素，通过评价判断出发生事故和职业危害的可能性及严重程度，提出合理可行的安全对策措施及建议。并且，以此为依据制定防范措施和做出管理决策，真正实现安全生产，使被评价主体处于安全、健康、和谐的环境之中。在安全评价的过程中，安全评价人员所采用的方法和手段则统称为安全评价方法。

1.1 安全评价方法的分类

安全评价方法有多种分类标准，常用的有按评价结果的量化程度分类、按评价的逻辑推理过程分类、按评价的目的分类、按评价的系统性质（评价对象）分类等多种分类方法，下面对这几种分类方法分别进行介绍。

（1）按评价结果的量化程度分类

按评价结果的量化程度，安全评价方法可分为定性安全评价法和定量安全评价法。

1) 定性安全评价法。定性安全评价法主要是借助于对事物的经验知识及其发展变化规律的了解，通过直观判断对生产系统的工艺、设备、设施、环境、人员和管理等方面的状况进行科学的定性分析、判断的一类方法。评价的结果是一些定性的指标，如是否达到了某项安全指标、事故类别和导致事故发生的因素等。依据评价结果，可从技术上、管理上对危险和有害因素提出对策措施加以控制，达到使系统处于安全状态的目的。目前，常用的定性安全评价法有安全检查法（Safety Review, SR）、安全检查表分析法（Safety Checklist Analy-

sis, SCA)、专家评议法、预先危险性分析法 (Preliminary Hazard Analysis, PHA)、作业条件危险性评价法 (LEC)、故障类型影响分析法 (Failure Mode Effects Analysis, FMEA)、故障假设分析法 (What... If, WI)、危险和可操作性研究 (Hazard and Operability Study, HAZOP) 以及人的可靠性分析法 (Human Reliability Analysis, HRA) 等。

定性安全评价法的特点是容易理解, 便于掌握, 评价过程简单。目前, 定性安全评价法在国内外企业安全管理工作中被广泛使用。但定性安全评价法往往依靠经验判断, 带有一定的局限性。

2) 定量安全评价法。定量安全评价法是运用基于大量的实验结果和充足的事故资料统计分析获得的指标或规律 (数学模型), 对生产系统的工艺、设备、设施、环境、人员和管理等方面的状况, 按有关标准应用科学的方法构造数学模型, 进行定量评价的一类方法。评价的结果是一些定量的指标, 如事故发生的概率、事故的伤害 (或破坏) 范围、定量的危险性、事故致因因素的关联度或重要度等。定量安全评价法主要有以下两种类型。

① 以可靠性、安全性为基础, 先查明系统中存在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。常用的方法有故障树分析法 (Fault Tree Analysis, FTA)、事件树分析法 (Event Tree Analysis, ETA)、模糊综合评价法、层次分析法、作业条件危险性评价法 (LEC)、机械工厂固有危险性评价法、原因后果分析法 (Cause-Consequence Analysis, CCA) 等。

② 以物质系数为基础, 采用综合评价的危险度分级方法。常用的方法有美国道化学公司的火灾、爆炸指数评价法 (Dow Hazard Index)、英国帝国化学公司 (ICI) 的蒙德火灾、爆炸、毒性指数评价法 (Mond Index)、日本化工企业六阶段评价法以及单元危险指数快速排序法等。

按照定量结果类别的不同, 定量安全评价方法还可以分为概率风险评价法、伤害 (或破坏) 范围评价法和危险度评价法 (Hazard Index, HI)。

① 概率风险评价法。根据事故基本致因因素的发生概率, 应用数理统计中的概率分析方法, 求取事故基本致因因素的关联度 (或重要度) 或整个评价系统事故发生概率, 如故障类型影响分析法、故障树 (事故树) 分析法等。

② 伤害 (或破坏) 范围评价法。如事故后果计算模型。

③ 危险指数评价法。如道化学公司的火灾、爆炸指数评价法, 蒙德火灾、爆炸、毒性指数评价法, 易燃、易爆、有毒重大危险源评价法。

(2) 按评价的逻辑推理过程分类

按照安全评价的逻辑推理过程, 安全评价法可分为归纳推理评价法和演绎推理评价法。归纳推理评价法是从事事故原因推论结果的评价方法, 即从最基本的危险和有害因素开始, 逐渐分析出导致事故发生的直接因素, 最终分析出可能导致事故。演绎推理评价法是从事事故结果推论原因的评价方法, 即从事事故结果开始, 推论导致事故发生的直接因素, 再分析与直接因素相关的间接因素, 最终分析和查找出导致事故发生的最基本的危险和有害因素。

(3) 按评价的目的分类

按照安全评价的目的, 安全评价法可分为事故致因因素安全评价法、危险性分级安全评价法和事故后果安全评价法。事故致因因素安全评价法是采用逻辑推理的方法, 由事故推论

最基本的危险和有害因素或由最基本的危险和有害因素推论事故的评价方法,适用于识别系统的危险和有害因素及分析事故。该类方法一般属于定性安全评价法。危险性分级安全评价法是通过定性或定量分析给出系统危险性等级的安全评价方法,适用于系统的危险性分级。该类方法可以是定性安全评价法,也可以是定量安全评价法。事故后果安全评价法可以直接给出定量的事故后果,给出的事故后果可以是系统事故发生的概率、事故的伤害(或破坏)范围、事故的损失或定量的系统危险性等。

(4) 按评价的系统性质(评价对象)分类

按照评价的系统性质不同,安全评价方法可分为设备(设施或工艺)故障率评价法、人员失误率评价法、物质系数评价法、系统危险性评价法等。

由于安全评价不仅涉及自然科学,而且涉及管理学、逻辑学、心理学等社会科学的相关知识,并且安全评价指标及其权值的选取又与生产技术水平、安全管理水平、生产者和管理人员的素质以及社会和文化背景等因素密切相关,因此,每种评价方法都有一定的适用范围和限度。

1.2 常用的安全评价方法

(1) 安全检查法(Safety Review, SR)

安全检查法可以说是第一个安全评价方法,有时也称为工艺安全审查、设计审查或损失预防审查。它可以用于建设项目的任何阶段。对现有装置(在役装置)进行评价时,传统的安全检查主要包括巡视检查、正规日常检查等。

安全检查法的作用是辨识可能导致事故、引起伤害和重要财产损失或对公共环境产生重大影响的装置条件或操作规程。一般,安全检查人员主要包括与装置有关的人员,即操作人员、维修人员、工程师、管理人员、安全员等,具体根据工厂的组织情况而定。

安全检查的目的是提高整个装置的安全操作度,而不是干扰正常操作或对发现的问题进行处罚。完成安全检查后,评价人员对亟待改进的地方应提出具体的措施、建议。

(2) 安全检查表分析法(Safety Checklist Analysis, SCA)

为了查找工程、系统中各种设备、设施、物料、工件、操作、管理和组织措施中的危险和有害因素,事先把检查对象加以分解,将大系统分割成若干小的子系统,以提问或打分的形式,将检查项目列表逐项检查,避免遗漏,这种表称为安全检查表。

(3) 危险指数法(Risk Rank, RR)

危险指数法是通过对比几种工艺现状及运行过程的固有属性进行比较计算,确定各种工艺危险特性的重要性,并根据评价结果确定进一步评价的对象的评价方法。

危险指数法可用在工程项目的各个阶段(可行性研究、设计、运行等),可在完成详细的设计方案之前,也可在制订现有装置危险性分析计划之前。当然,它也可用于在役装置,作为确定工艺及操作危险性的依据。目前,已有好几种危险指数法得到了广泛应用。

危险指数法使用起来可繁可简,形式多样,既可定性又可定量。例如,评价者可依据对作业现场危险度、事故概率、事故严重度的定量评估,对现场进行简单分级,通过对工艺特性赋予一定的数值组成数值图表,可用此表计算数值化的分级因子。常用危险指数法有危险度评价法,道化学火灾、爆炸危险指数评价法,蒙德火灾、爆炸、毒性指数评价法,日本化

工业企业六阶段评价法，其他危险指数评价法。下面简单介绍几种常用的危险指数法。

1) 日本化工企业六阶段评价法。日本劳动省提出的化工装置安全评价法又称化工企业六阶段评价法，是应用安全检查表、定量危险性评价、事故信息评价、故障树分析以及事件树分析等方法分成六个阶段，逐步深入，进行定性评价和定量评价的综合评价方法，是一种考虑较为周到的评价方法。

2) 道化学火灾、爆炸危险指数评价法。美国道化学公司提出了物质系数作为系统安全工程的评价方法。1966年，该公司又进一步提出了火灾、爆炸危险指数的概念，以表示火灾、爆炸的危险程度。1972年，他们又提出了以物质的闪点（或沸点）为基础，代表物质潜在能量的物质系数，结合物质的特定危险值、工艺过程及特殊工艺的危险值，计算出系统的火灾、爆炸危险指数，以评价该系统火灾、爆炸危险程度的评价方法，即道化学评价法第三版。之后他们又以第三版为蓝本，陆续推出了新的版本，1993年推出了最新的第七版。

3) 蒙德火灾、爆炸、毒性指数评价法。英国帝国化学公司（ICI）在对现有装置和设计中装置的危险性进行研究时，既肯定了道化学公司的道化学火灾、爆炸危险指数评价法，又在定量评价的基础上对第三版作了重要的改进和扩充，增加了毒性的概念和计算方法，并提出了一些补充系数。

(4) 预先危险性分析法 (Preliminary Hazard Analysis, PHA)

预先危险性分析法是一种起源于美国军用标准安全计划要求的方法，主要用于对危险物质和装置的主要区域等进行分析，包括设计、施工和生产前，首先对系统中存在的危险类别、出现条件、导致事故的后果进行分析，其目的是识别系统中的潜在危险，确定其危险等级，防止危险发展成事故。

预先危险性分析可以达到以下4个目的：

- 1) 大体识别与系统有关的主要危险。
- 2) 鉴别产生危险的原因。
- 3) 预测事故发生对人员和系统的影响。
- 4) 判别危险等级，并提出消除或控制危险的对策措施。

预先危险性分析法通常用于对潜在危险了解较少和无法凭经验判断的工艺项目的初期阶段，用于初步设计或工艺装置的研究和开发阶段，当分析一个庞大的现有装置或当环境无法使用更系统的方法时，常优先考虑PHA法。

(5) 故障假设分析法 (What...If, WI)

故障假设分析法是一种用于系统工艺过程或操作过程的创造性分析方法。使用该方法的人员应熟悉工艺，通过提问（故障假设）的方式来发现潜在的事故隐患（实际上是假想系统中发生严重事故，找出事故的潜在因素，及在最坏的条件下导致事故的可能性）。

与其他方法不同的是，该方法要求评价人员了解基本概念并能用于具体的问题中，有关故障假设分析法及其应用的资料很少，但是它在工程项目发展的各个阶段都可能经常采用。

故障假设分析法一般要求评价人员用“What...If”作为开头，对有关问题进行考虑。任何与工艺安全有关的问题，即使关联性不强，也可提出加以讨论。例如，如果提供的原料不对，如何处理？如果在开车时泵停止运转，怎么办？如果操作工打开阀B而不是阀A，怎么办？

通常，将所有的问题都记录下来，然后将问题分类，例如，按照电气安全、消防、人员安

全等分类，再分头进行讨论。对正在运行的现役装置，则与操作人员进行交谈，所提出的问题要考虑到所有与装置有关的不正常的生产条件，而不仅仅是设备故障或工艺参数的变化。

(6) 故障假设分析/安全检查表分析法 (What-If/Checklist Analysis, WI/CA)

故障假设分析/安全检查表分析法是由具有创造性的故障假设分析法与安全检查表分析法组合而成的，它弥补了这两种方法单独使用时各自的不足。

例如，安全检查表分析法是一种以经验为主的方法，进行安全评价时，成功与否很大程度上取决于检查表编制人员的经验水平，如果检查表编制得不完整，评价人员就很难对危险状况作有效的分析。而故障假设分析法鼓励评价人员思考潜在的事故和后果，它弥补了检查表编制时可能存在的经验不足问题。同时，安全检查表分析法可使故障假设分析法更系统化。

故障假设分析/安全检查表分析法可用于工艺项目的任何阶段。与其他大多数评价方法相类似，这种方法同样需要由有丰富工艺经验的人员完成，常用于分析工艺中最普遍存在的危险。虽然它也能够用来评价所有层次的事故隐患，但故障假设分析/安全检查表分析法一般主要对过程的危险性初步分析，然后用其他方法进行更详细的评价。

(7) 危险与可操作性研究 (Hazard and Operability Study, HAZOP)

HAZOP 是一种定性的安全评价方法，基本过程是以引导词为引导，找出过程中工艺状态的变化（即偏差），然后分析出偏差的原因、后果及可采取的对策。

危险与可操作性研究技术是基于这样一种原理，即背景各异的专家们若在一起工作，就能够在创造性、系统性和风格上互相影响和启发，能够发现和鉴别更多的问题，要比他们独立工作并分别提供工作结果更为有效。虽然危险和可操作性研究技术起初是专门为评价新设计和新工艺而开发的，但是这一技术同样可以用于整个工程、系统项目生命周期的各个阶段。

危险与可操作性研究的本质，就是通过系列会议对工艺流程图 and 操作规程进行分析，由各种专业人员按照规定的方法对偏离设计的工艺条件进行危险与可操作性研究。英国帝国化学工业公司 (ICI) 最早确定要由一个多方面人员组成的小组执行危险与可操作性研究工作。虽然某一个人也可能单独使用危险与可操作性研究方法，但这绝不能称为危险与可操作性研究。所以，危险与可操作性研究技术与其他安全评价方法的明显不同之处是其他方法可由某人单独去做，而危险与可操作性研究则必须由一个多方面的、专业的、熟练的人员组成的小组来完成。

(8) 故障类型影响分析法 (Failure Mode Effects Analysis, FMEA)

故障类型影响分析法 (FMEA) 是系统安全工程的一种安全评价方法，根据系统可以划分为子系统、设备和元件的特点，按实际需要将系统进行分割，然后分析各自可能发生的故障类型及其产生的影响，以便采取相应的对策，提高系统的安全可靠性。

1) 故障。故障是指元件、子系统、系统在运行时，达不到设计规定的要求，因而完不成规定的任务或完成得不好。

2) 故障类型。系统、子系统或元件发生的每一种故障的形式称为故障类型。例如，一个阀门故障可以有 4 种故障类型，即内漏、外漏、打不开、关不严。

3) 故障等级。根据故障类型对系统或子系统影响的程度不同而划分的等级称为故障等级。

列出设备的所有故障类型对一个系统或装置的影响因素，对设备故障进行描述（开启、关闭、泄漏等），故障类型的影响由对设备故障有系统影响的因素确定。FMEA 可辨识直接导致事故或对事故有重要影响的单一故障模式。在 FMEA 中不直接确定人的影响因素，但像人为失误操作影响通常作为设备故障模式表示出来。一个 FMEA 不能有效地辨识引起事故的详尽的设备故障组合。

(9) 故障树分析法 (Fault Tree Analysis, FTA)

故障树 (Fault Tree) 是一种描述事故因果关系的有方向的“树”，故障树分析法是安全系统工程中的重要分析方法之一，它能对各种系统的危险性进行识别、评价，既适用于定性分析，又能进行定量分析，具有简明、形象化的特点，体现了以系统工程方法研究安全问题的系统性、准确性和预测性。FTA 作为安全分析评价和事故预测的一种先进的科学方法，已得到国内外的肯定和广泛采用。

FTA 不仅能分析出事故的直接原因，而且能深入揭示事故的潜在原因，因此在工程或设备的设计阶段、在事故查询或编制新的操作方法时，都可以使用 FTA 对其安全性作出评价。日本劳动省积极推广 FTA，并要求安全干部学会使用该种方法。

从 1978 年起，我国开始了 FTA 的研究和运用工作。实践证明，FTA 适合我国国情，应该在我国得到普遍推广。

(10) 事件树分析法 (Event Tree Analysis, ETA)

事件树分析法用来分析普通设备故障或工艺异常（称为初始事件）导致事故发生的可能性。事故是典型设备故障或工艺异常（称为初始事件）引发的结果。与故障树分析不同，事件树分析使用的是归纳法，而不是演绎法，是可提供事故后果的系统性方法，并能确定导致事故的后果事件与初始事件的关系。事件树分析法适用于分析产生不同后果的初始事件。事件树强调的是事故可能发生的初始原因以及初始事件对事件后果的影响，事件树的每一个分支都表示一个独立的事故序列，对一个初始事件而言，每一个独立的事故序列都清楚地界定了安全功能之间的关系。

(11) 人员可靠性分析法 (Human Reliability Analysis, HRA)

人员可靠的行为是人机系统成功的必要条件，人的行为受很多因素影响。这些行为成因要素 (Performance Shopping Factors, PSFs) 可以是人的内在属性，比如情绪、教养和经验；也可以是外在因素，比如环境、监督者的举动、工艺规程和硬件界面等。影响人员行为的行为成因要素数不胜数，尽管有些行为成因要素是不能控制的，但许多却是可以控制的，可以对一个过程或一项操作的成功或失败产生明显的影响。

评价人员可以把人为失误考虑进故障树之中，例如，故障假设分析/安全检查表分析法可以考虑这种情况——在异常状况下，操作人员可能将本应关闭的阀门打开了。典型的危险与可操作性研究 (HAZOP) 通常也把操作人员失误作为工艺失常（偏差）的原因考虑。尽管这些安全评价技术可以用来寻找常见的人为失误，但还是主要集中于引发事故的硬件方面。当工艺过程中手工操作很多时，或者当人机界面很复杂，难以用标准的安全评价技术评价人为失误时，就需要特定的方法去评估这些人为因素。

人为因素是研究机器设计、操作、作业环境以及它们与人的能力、局限和需求如何协调一致的学科。有许多不同的方法可供人为因素专家用来评估工作情况。一种常用的方法叫做

作业安全分析法 (Job Safety Analysis, JSA), 但该方法的重点是作业人员的个人安全。JSA 是一个良好的开端, 但就工艺安全分析而言, 人员可靠性分析法更为实用。人员可靠性分析法可用来识别和改进行为成因要素, 从而减少人为失误的机会。这种方法分析的是系统、工艺过程和操作人员的特性, 是识别失误的源头。

如果不与整个系统的分析相结合而单独使用人员可靠性分析法, 可能太突出人的行为而忽视了设备特性的影响。如果上述系统是一个已知易由人为失误引起事故的系统, 单独使用人员可靠性分析法就不合适。所以, 在大多数情况下, 建议将 HRA 与其他安全评价方法结合使用。一般来说, HRA 应该在其他评价方法 (如 HAZOP, FMEA, FTA) 之后使用, 识别出具体的、有严重后果的人为失误。

(12) 作业条件危险性评价法 (Job Risk Analysis, LEC)

美国安全生产领域专家 K·J·格雷厄姆和 G·F·金尼研究了人们在具有潜在危险的环境中作业的危险性, 以所评价的环境与某些参考环境的对比为基础, 将作业条件的危险性作为因变量 (D), 事故或危险事件发生的可能性 (L)、暴露于危险环境的频率 (E) 及危险严重程度 (C) 为自变量, 确定了它们之间的函数式。根据实际经验, 给出 3 个自变量各种不同情况的分数值, 采取对所评价的对象根据情况进行打分的办法, 根据公式计算出其危险性分数值, 再在按经验对危险性分数值进行划分的危险程度等级表 (图) 上查出其危险程度, 这是一种简单易行的评价作业条件危险性的方法。

2. 定性安全评价方法

2.1 安全检查表分析法

2.1.1 概述

根据有关安全规范、标准、制度及其他系统分析方法分析的结果，系统地对一个生产系统或设备进行科学的分析，找出各种不安全因素，依据检查项目把找出的不安全因素以问题清单的形式制成表，以便于实施检查 and 安全管理，这种表称为安全检查表（Safety Checklist, SCL）。所谓安全检查表分析法，就是编制安全检查表，并依据此表实施安全检查和诊断的系统安全分析方法。

安全检查表分析法出现于 20 世纪 20 年代，是一种最基础、应用最广泛的风险评价方法。安全检查表分析的核心是安全检查表的编制和实施。安全检查表必须包括系统或子系统的全部主要检查点，不能忽略主要的、潜在的危险因素，而且还应从检查点中发现与之相关的其他因素。总之，安全检查表应列明所有可能导致事故发生的不安全因素和岗位的全部职责，其内容主要包括分类、序号、检查内容、回答、处理意见、检查人、检查时间、检查地点、备注等。

通常，检查结果用“是（√，表示符合要求）”或“否（×，表示还存在问题，有待进一步改进）”来回答检查点的提问。另外，也可用其他简单参数进行回答。有改进措施栏的应填上整改措施。

2.1.2 格式及分类

(1) 安全检查表的格式

- 1) 序号，统一编号。
- 2) 项目名称，如子系统、车间、工段、设备等。
- 3) 检查内容，可用直接陈述句，也可用疑问句。
- 4) 检查标准，如标准要求、指标参数的允许范围。
- 5) 检查方法，如查记录、现场检查（包括使用必要的检测技术与手段）。
- 6) 应得分，或列出项目的相对重要程度，或注明必要项目。
- 7) 检查结果，实得分或“是/否”的回答。
- 8) 备注，可注明建议改进措施或情况反馈等事项。
- 9) 检查人与检查时间等。

(2) 安全检查表的分类

安全检查表是为检查某一系统的安全状况而事先编制的问题清单。安全检查表的分类

方法有许多种, 可根据安全检查的需要、目的、被检查的对象分类, 如按基本类型分类, 按检查内容分类; 也可按使用场合分类, 如项目工程设计审查用的安全检查表, 项目工程竣工验收用的安全检查表, 企业综合安全管理状况检查表, 企业主要危险设备、设施的安全检查表, 不同专业类型的安全检查表, 面向车间、工段、岗位不同层次的安全检查表等。

1) 安全检查表按基本类型分为 3 种。

①定性检查表。定性检查表是列出检查点逐项检查, 检查结果以“是”或“否”表示, 检查结果不能量化。

②半定量检查表。半定量检查表是给每个检查点赋以分值, 检查结果以总分表示, 有了量的概念。这样, 不同的检查对象也可以相互比较, 但缺点是对检查点的准确赋值比较困难, 而且个别十分突出的危险不能充分地表现出来。

③否决型检查表。否决型检查表是对一些特别重要的检查点作出标记, 这些检查点如不满足要求, 检查结果视为不合格, 即具有一票否决的作用, 这样可以做到重点突出。

由于安全检查的目的、对象不同, 检查的内容也有所区别, 因此应根据需要编制不同的安全检查表。

2) 安全检查表按使用场合分为 5 种。

①审查设计用安全检查表。新建、改建和扩建的厂矿企业和工程项目, 都必须与相应的安全卫生设施同时设计、同时施工和同时投产, 即利用“三同时”原则全面、系统地审查工程的设计、施工和投产等各项工作的安全状况。安全检查表中除了已列入的检查项目外, 还要列入设计应遵循的原则、标准和必要数据。审查设计用的安全检查表主要应包括厂址选择、平面布置、工艺过程、装置的布置、建筑物与构筑物、安全装置与设备、操作的安全性、危险物品的储存和消防设施等方面。

②厂级安全检查表。供全厂安全检查时使用, 也可供安技、防火部门进行日常巡回检查时使用。应突出重点部位的危险因素源点及影响大的不安全状态和不安全行为等, 其内容主要包括厂区内各种产品的工艺和装置的危险部位、主要安全装置与设施、危险物品的储存与使用、消防通道与设施、操作管理和遵章守纪情况等。

③车间安全检查表。用于车间进行定期检查和预防性检查的检查表, 重点放在人身、设备、运输、加工等的不安全行为和不安全状态方面。其内容包括工艺安全、设备布置、安全通道、通风照明、安全标志、尘毒和有害气体的浓度、消防措施及操作管理等。

④工段及岗位安全检查表。用于工段和岗位进行自检、互检和安全教育的检查表, 重点放在因违规操作而引起的多发性事故上。其内容应根据岗位的操作工艺和设备的防灾控制要点确定, 要求检查内容具体、易行。

⑤专业性安全检查表。主要用于专业性的安全检查或特种设备的安全检验, 由专业机构或职能部门编制和使用, 用于定期的专业检查或季节性检查, 如电气装置、压力容器、特殊装置与设备等的安全检查表。常用专业性安全检查表有防火防爆、防尘防毒、防冻防凝、防暑降温、压力容器、工业气瓶、配电装置、起重设备、机动车辆、电气焊等的安全检查表。