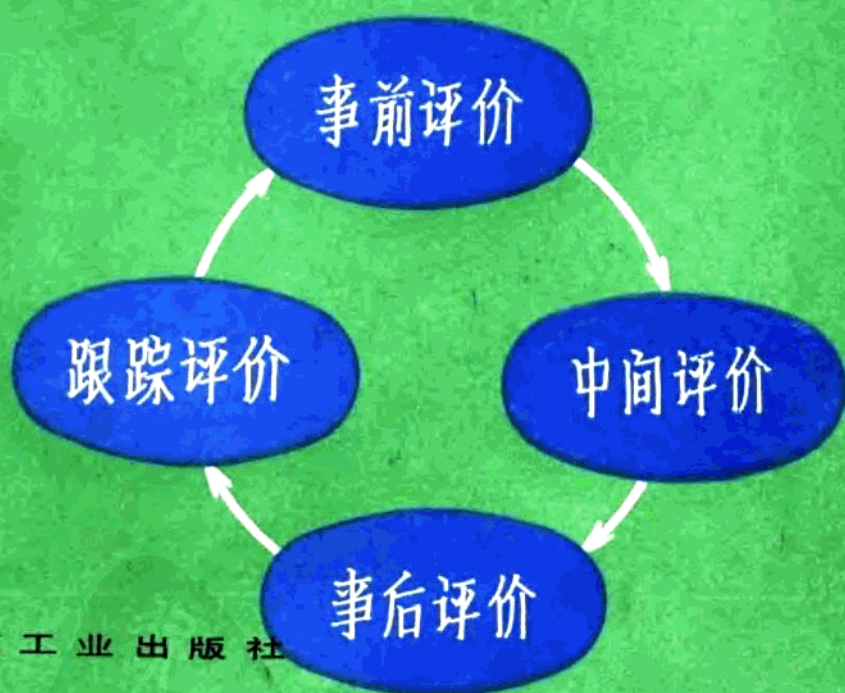


工业安全评价 理论和方法

董立斋 巩长春 编著



机械工业出版社

安全评价是预测预防事故的高级阶段，为工业安全“零”活动的技术手段。它在我国正在迅速推广，并且日益得到重视。

本书系统地论述了工业安全评价的基本原理：评价软件包：新项目安全性评审；安全管理有效性评价；行为安全性评价；生产设备安全可靠性评价；作业环境和环境质量评价；化学物质物理化学危险性评价。本书还对评价结果验证；数据库与评价；编写安全评价报告书和应用案例详加阐述。

本书概念清楚、方法应用、浅显易懂、资料丰富、可供机械、化工、冶金、轻工、保险业等各方面的安全评价所应用，是从是安技工作者的必备学习参考书，也可作为大中专院校安全等有关专业师生教学、科研参考书。

工业安全评价理论和方法

董立斋 巩长春 编者

*

责任编辑：周性贤 版式设计：胡金瑛

封面设计：田淑文 责任校对：王惠英

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·机械工业出版社经售

*

开本787×1092¹/₁₆·印张13¹/₂·字数 325 千字

1988年10月北京第一版·1988年10月北京第一次印刷

印数 00,001—15,000 ·定价：4.00元

*

ISBN 7-111-01251-8/TB·56

序 言

安全系统工程的出现只有25年历史,10年前才引进我国,最近三、四年才引起各方重视,为一些企业管理者所掌握。

1984年上海市机电工业管理局受机械工业部华东六省一市安全协作组委托在浙江普陀山举办两期“安全系统工程”培训班。后又上海市机电系统对一千多名安技干部轮训。在办培训班前编写《安全系统管理基础讲义》一书时,就深深地感到安全评价这一章分量的单薄。果然办班时,学员普遍认为安全评价的讲授不够“解渴”。

1986年日本京都大学教授、全日安全工程学会副会长井上威恭博士来沪讲学,他把安全评价的重要性提到一个相当的高度,认为安全评价是预测预防事故的高级阶段,是安全“零”活动的重要技术手段。1986年下半年机械工业部又召开制定机械工厂安全性评价标准研讨会。由于以上的种种原因,我们撰写了一本有关工业安全性评价的专著,为安全性评价在我国的发展尽微薄之力。也想填补安全评价理论和方法之不足。

因为一般文献都把安全评价混称为危险评价,而且不成系统,所以,在撰写本书时,我们集中力量解决了三个问题:首先,对评价体系进行了细致的分析研究,建立一个接近工业实际的安全评价体系。其次,研究了所有的安全评价方法,寻求其最有普遍性的东西,经过提炼结晶,并比较了预测评价原理,形成安全评价的基本原理,即相关原理、类推和概率推断评价原理与惯性原理,为安全评价奠定了理论基础。最后是尽力蒐集各种评价方法把它分成三大类,较集中的加以阐述,即价值工程评价法;由系统工程评价法而发展起来的指数评价法和定量评价法。终于形成本书现在这个格局,以飨读者。

这里应该指出,本书论述的锅炉压力容器、核电、化工的设备安全评定,必须要有相当专门理论知识和丰富工作经验的人才能胜任,但是这些并不妨碍对它的研究,相反可使我们开阔眼界,获得借鉴之处。

本书由韩军主审,在编写过程中还得到陈天翼、钱虹、陈竞辉等同志热情帮助,在此表示衷心感谢。

鉴于工业安全涉及知识非常广泛,又限于我们的水平,书中不妥和错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编著者

引 论.....	1	5.1.1 安全系统管理评价对象	46
概 论.....	4	5.1.2 重要度概念和权重法	46
2.1 安全评价的概念	4	5.2 安全技术管理工作评价	55
2.1.1 评价的一般概念	4	5.2.1 安技工作评价	55
2.1.2 安全评价的定义	4	5.2.2 现代安全管理人员的评定	57
2.2 安全评价的基本原理	5	5.3 安全生产效益评价法	57
2.2.1 相关原理	5	5.3.1 工伤事故与经济效益评价	58
2.2.2 类推和概率推断评价原理	8	5.3.2 安全投资与安全性评价	61
2.2.3 惯性原理	9	5.4 编制机械工厂安全性评价表	63
2.3 安全评价的目的、分类、法则	9	5.4.1 评价目标的确定	64
2.3.1 目的——实现本质安全化	9	5.4.2 评价标准的确定	64
2.3.2 分类	10	5.4.3 机械工厂安全性评价表格式	65
2.3.3 法则	12	6 行为的安全性评价	66
3 评价要素、标准和程序	14	6.1 行为和人的心理、生理等条件	
3.1 评价要素	14	的影响	66
3.1.1 目标和要素集	14	6.1.1 人体信息处理系统	66
3.1.2 危险性评价的基本要素	14	6.1.2 不安全行为产生的因素	67
3.1.3 单项评价要素	15	6.1.3 人体差错率	69
3.1.4 安全评价要素模型	16	6.2 行为判定技术	75
3.2 评价标准	17	6.2.1 行为抽样的基本原理	75
3.2.1 安全标准	17	6.2.2 用行为抽样分析不安全行	
3.2.2 系统安全性等级	17	为的步骤	76
3.2.3 系统安全性指标的选取原则	17	6.2.3 编制和使用不安全行为检查表	77
3.3 评价程序	23	6.2.4 观测方法	78
3.3.1 工艺流程危险度评价程序	24	6.3 行为安全评价	80
3.3.2 系统安全评价程序表	25	6.3.1 行为安全水平的衡量	80
4 新项目的安全性评审	28	6.3.2 安全目标控制图	81
4.1 工厂设计安全评审	28	7 生产设备的安全、可靠性评价	83
4.1.1 安全设计	28	7.1 生产设备设计阶段安全性评价	84
4.1.2 设计与安全评价	31	7.1.1 生产设备安全卫生设计总则	84
4.2 日本劳动省化工厂安全评审法	33	7.1.2 人机系统设计评价分析	85
4.3 开发项目的技术评审法	37	7.2 各类在役生产设备可靠性评价	88
4.3.1 技术评审的意义	37	7.2.1 机械设备安全技术标准	88
4.3.2 技术评价的方法	37	7.2.2 机械设备故障率	88
5 安全系统管理的有效性评价	45	7.2.3 压力容器可靠性评定	90
5.1 安全系统管理评价对象及其重		7.3 生产设备安全、可靠性评价分	
要度评分法	46	析方法	97

7.3.1 安全检查表	97	10.2.2 评价方法的简单实用性	168
7.3.2 预先危险性分析	97	10.2.3 评价方法的预测能力	168
7.3.3 故障类型影响和致命度分析	98	10.3 评分法验证	169
7.3.4 判断树(ETA)分析	100	10.3.1 比重评分法	169
7.3.5 事故树(FTA)分析	102	10.3.2 满分频率评价法	170
8 作业环境和环境质量评价	110	10.4 质问验证法	170
8.1 作业环境评价	110	10.5 不同评价方法互验	171
8.1.1 光环境评价	110	10.6 可靠性验证	171
8.1.2 热环境评价	111	10.6.1 调查对象验证	172
8.1.3 噪声环境评价	111	10.6.2 模拟试验验证	172
8.1.4 辐射环境评价	112	10.7 评价误差的统计分析与验证	172
8.1.5 气体环境评价	113	10.7.1 评价误差的统计量度	173
8.1.6 作业环境监测	114	10.7.2 预测的质量控制	174
8.2 环境质量评价	114	11 数据库与评价	176
8.2.1 评价参数和评价标准	114	11.1 数据库和事故档案管理	176
8.2.2 环境质量指数和分级	115	11.1.1 数据库	177
8.2.3 环境监测	117	11.1.2 电子计算机的组成	177
9 化学物质的物理化学危险性 评价	118	11.1.3 数据库的功能	177
9.1 物料的危险性评价	118	11.1.4 数据库进行建档管理	177
9.2 DOW、ICI危险度评价法	121	11.2 用电子计算机进行事故统计分 析评价	179
9.2.1 道化学公司(DOW)危险度 评价法	121	11.2.1 输入和输出	179
9.2.2 帝国化学公司(ICI)危险度 评价法	125	11.2.2 程序运行问答	180
9.2.3 火灾、爆炸、毒性评价技 术守则	130	11.3 事故树分析评价软件包	183
9.3 日本危险度评价法	156	11.3.1 FTA软件工作环境	183
9.3.1 疋田教授法	156	11.3.2 FTA软件的基本组成	183
9.3.2 劳动者危险度定量评价方式	157	11.3.3 程序设计方法	183
9.3.3 保险业火灾、爆炸评价法	159	11.3.4 计算举例	186
9.3.4 化工装置安全评价表	160	12 编写项目安全性评价报告	188
9.4 概率风险评价法	162	12.1 新项目安全和工业卫生专篇	188
9.4.1 放射性释放的概率和大小	163	12.1.1 上海市工程项目初步设 计劳动保护篇编写提纲	188
9.4.2 放射性释放的后果	165	12.1.2 天津市工程项目初步设计 中安全和工业卫生专篇	190
9.4.3 总的风险评价和WASH- 1400的主要结果	166	12.2 新项目环境影响报告书	191
9.4.4 安全目标	166	12.2.1 新项目环境影响报告书内 容提要	191
10 评价结果的验证	167	12.2.2 建设项目环境影响报告表	193
10.1 影响评价精确度的因素	167	12.3 技术性评价报告	193
10.2 对评价方法的验证准则	168	12.3.1 美国MITRE公司技术评价 书内容提要	193
10.2.1 评价方法的合理性	168	12.3.2 日本通产省技术评价书内容	

提要	193	13·1·1 甲醇装置工艺流程	196
12·4 给定条件失效研究报告	194	13·1·2 甲醇生产火灾、爆炸指数计算	196
12·4·1 工厂设计安全评审资料	194	13·2 聚乙烯设备装置危险度评价例	206
12·4·2 给定条件失效研究	194	13·2·1 反应系统	206
13 工业安全性评价案例	196	13·2·2 定量评价	206
13·1 甲醇生产流程火灾、爆炸指数评价例	196	主要参考文献	207

1 引 论

自本世纪初开始了有组织的安全活动,到50年代已基本形成安全工程科学(安全技术、工业卫生、安全管理)的学术体系。几乎于此同时出现了系统工程、人机工程、可靠性工程三门科学。由于这些科学被引用到安全生产上,形成安全系统工程学、安全人机工程学、安全可靠性工程学,从而为现代安全管理奠定了基础,展示出其应用的价值和广阔的发展前景。

在安全工程科学的发展历史过程中,有三个转折点,或者说有三件值得一提的事:

第一,1906年美国U·S钢铁厂厂长格里,第一个提出“安全第一”的口号,表示了对安全与生产的关系的看法。这个口号至今仍为我们所强调,且定为工业安全的方针。在安全与生产这一对矛盾中,不仅存在统一性的一面,也存在对立性的一面。安全与生产的统一是我们工作的出发点。安全与生产的对立是统一基础上的矛盾对立。在安全与生产这对矛盾统一体中,安全与生产矛盾的转化就是安全与生产互相结合、互相促进。在一定条件下,搞好安全、保护好劳动者的安全健康,可以促进生产的发展,安全与生产是互相转化的。树立“安全第一”思想可以促使朝安全方向的转化。

另外,在生产领域里,安全不是孤立存在和发展的,而是相对于生产而存在和发展的,安全即寓于生产之中。这就容易使人们看不到安全的重要性,忽视安全生产,不仅是工厂的领导,即使工人本身也往往如此。因而有必要教育人们认清安全与生产的关系。认真解决危险与安全的矛盾,使危险转化为安全,使生产的发展为安全的发展创造必要的条件。

总之,在安全与生产发生矛盾时,强调“安全第一”是促进安全发展的动力。

第二,美国的工程师海因利希(H·W·Heinrich)在1959年发表《工业事故的预防》一书中,根据大量灾害统计资料,提出用概率来表示劳动灾害所造成的人身伤害程度。并提出事故原因说,认为事故是由于物的不安全状态和人的不安全行为造成的。

海因利希根据统计资料提出,当发生总计为330次树桩引起的跌倒事故时,其中300次没有造成伤害,29次为轻伤,仅有一次为骨折性重伤,即1:29:300法则。这就是说,当多次发生同一类型事故时,把受伤程度分为重伤、轻伤和无伤,并用概率来加以表示。

法则数字表明一个事实:伤害的大小为偶然性所支配,且具有一定的概率(若把跌倒事故换成触电事故或坠落事故,发生重伤或死亡的比例则应当更高)。

海因利希认为,伤害之发生系出于偶然,而发生事故并非偶然,是确有起因的。例如:事故与生产任务的多少、生产环境的好坏、生产季节的变化、生产人员的变动、操作技能的高低、以及技术装备的优劣等因素是成正比关系的。

海因利希法则和事故原因说,确定了伤害的概率和事故规律的概念,认为事故的发生是可以预测的,并且可以通过事先采取预防措施加以防止。为预防控制事故发生提供指导思想、实现安全生产,把人们从随机的、偶然的、不可测、不可知论中解放出来;把管理的重点转移到解决“事先预测型”问题上来,做到“预防为主”。无疑这是安全工程科学发展历史的一大转折点。

现代安全管理应以预防事故为中心,预先发现、鉴别、判明可能导致发生灾害事故的各

种危险因素，尤其是事故隐患，以便消除或控制这些危险。

预防事故的基本问题是分析可能发生什么样的事故，事故发生的可能性有多大，即用概率或危险量度表示。现代安全管理所研究的课题之一就是怎样使发生事故概率达到社会容许的水平。

第三，在安全工程科学发展的过程中第三个转折点是安全评价的出现。它把预测、预防事故推向新(高级)阶段。安全评价是从风险管理开始的。所谓风险管理，即用最少的费用，把企业经营活动中可能发生的各种风险限制到最低限度的一种管理体系。

风险管理是美国宾夕法尼亚大学，所罗门·许布博士1930年在美国管理协会发起的第一次保险问题会议上提出的。1940年，一些企业开始配备风险管理人员，负责解决由于忽视保险作用而发生的一些问题。

一切企业活动都存在着风险，它的主要内容是风险评价，或者说是安全评价。1964年美国道化学公司首创安全评价技术。它使用火灾爆炸指数作为衡量一个化工企业安全性评价的标准；道氏法从开创到现在只有20年，已修订五次。这个方法在工业界得到一定程度的应用。并引起广泛的研究探讨。1974年美国原子能委员会应用系统工程分析方法，提出了著名的《核电站风险评价报告》。由于安全评价技术的发展，安全评价已在现代企业管理中占优先地位。

安全评价是根据危险性的尺度，再加上其他因素。对所研究的对象，如工厂、车间、工艺、装置、机器等系统逐个逐件、事前事后进行评价，从根本上消灭隐患，减少发生事故，特别是重大恶性事故。因此安全评价具有非常重要的现实意义。人类利用原子能发电，事故损失率远低于火力发电，这应归功于安全评价。忽视安全评价而贻祸子孙，后患无穷的例子是屡见不鲜的。日本、英、美等国60年代末，70年代初大型火灾爆炸事故不断发生，损失惨重。近年(1984年12月2日深夜)，印度博帕尔市的近郊发生一起中毒事故，有2500人中毒死亡、20余万人中毒受伤，其中大多数人双目失明致残，还有67万人受到残余毒气影响。根据专家调查的结果，仅从技术观点来说，无论其厂址选择方面存在缺陷，还是原料中间体的高毒性，采取本土生产，这距离供货的办法，实际上是采取了一条错误的技术路线，尤其是在生产管理上缺乏应有的安全性评价。

因为安全评价的现实意义，一些国家也肯于投资。美国原子能委员会1974年发表的核电站安全评价报告就花了300万美元，用了70人·年的工作量。目前建一座100万千瓦的核电站约需建设投资3000亿日元，安全性评价费用约为百分之一，即30亿日元。可见进行安全性评价虽然花一些费用，但与减少事故的收益比较起来，这是非常合算的。

各国都加强安全评价研究，从欧美来看，从事这方面的单位很多，如荷兰的应用科学研究所(TNO)、英国的原子能研究所安全与可靠性本部(SRD)、帝国化学公司(ICI)的威尔顿工厂(Wilton)和蒙德工厂(Mond)、保险公司的商联风险管理(CVRM)、保险协会(ITB)、美国有名的化学公司——联合公司(Allied)、道公司(DOW)、埃克森公司(EXXON)、工业风险保险联盟(IRI)及以评价顾问而享有盛名的伍德沃德克莱德顾问所(Woodward Clyde Consultants)。

据估计，美国各公司总共雇用了约三千名专业的风险管理人员。此外，美国、加拿大等国家还有约五十家“安全性评价咨询公司”专门进行评安全价业务，生意兴隆。

一些国家政府还立法规定，工程项目需进行安全评价。美国对重要工程项目的竣工安全

报告中，都要进行安全性评价。日本劳动省规定化工厂必须作综合的安全性评价。英国规定得更严格，新建企业没有进行安全性评价就不许开工。我国对新建企业规定了“三同时”评审。

保险业为了对企业的安全性作比较，十分需要安全性评价。国外的保险公司对企业的安全状况要求就十分高，安全性不好容易出事故的企业保险费就特别高，同类企业如果重视安全，防范设备齐全，保险费就低得多，这样就促进了企业重视安全。我国保险业正在蓬勃发展，应该说督促检查企业的安全状况是保险公司的责任。

综观上述，“安全第一，预防为主”为我们的既定方针，预测预防是实现安全管理现代化的必要手段，而安全评价则是预测预防的高级阶段，是现代安全管理的中心工作。我国应建立和健全安全评价机构，在安全领域中开展技术评估活动，促进安全生产。最后，安全问题是广泛、深邃的问题，其事故因素和变量之多，要同时考虑所有方面的影响是十分困难的，安全评价虽然可为我们提供解决问题的方法，然而本书介绍的只是集中了近些年来的研究成就，需要研究和实践的课题还是相当广泛的，这正是我们今后需要努力的。

2 概 论

2.1 安全评价的概念

2.1.1 评价的一般概念

一般所说的评价是指“按照明确目标测定对象的属性，并把它变成主观效用的行为，即明确价值的过程”而言的。在对系统进行评价时，要从明确评价目标开始，通过评价目标来规定评价对象，并对其功能、特性和效果等属性进行科学的测定，最后由测定者根据给定的评价标准和主观判断把测定结果变换成价值，作为决策的参考。

凡是比较复杂的系统其评价的目标和属性都是多种多样的。评价基本因素的系统价值观念，往往包括许多要素。因而在研究系统时，就要把各种问题之间的关系和各个构成因素的相互关系明确起来。尤其重要的是要在此基础上建立起来的价值观念，尽可能地加以定量评价。由此可见，所谓评价技术，就是用分析和定量的方法确立价值观念以及判断在各种评价阶段解决问题的策略所需的方法。

2.1.2 安全评价的定义

所谓安全评价，就是对系统存在的危险性进行定性和定量分析，得出系统发生危险的可能性及其程度的评价，以寻求最低事故率、最少的损失和最优的安全投资效益。

这个定义可以如下三点来解释：

(1) 对系统存在的危险性进行定性和定量的分析 这是安全评价的核心，它是系统评价过程中的一个中间环节，起承上启下的纽带作用。系统分析是以预测和防止事故为前提，全面系统地对评价对象的功能及潜在的危险性进行分析和测定，是必不可少的评价手段。

系统分析从对系统或事物的观察开始，经过思考、了解、判断、对系统的输入、输出及转换过程作出某种假设。并获得对问题的综合的和整体的认识，既不忽略内部各因素的相互关系，又能顾全外界因素变化所可能带来的影响。特别是通过信息，及时反映系统的作用状态，随时了解和掌握新情况的发展。

定性分析。即依靠人的观察分析能力，借助于经验和判断能力进行评价的方法。如果系统、子系统、元件并非特别重要，不会产生极为严重后果的事故，则可根据定性分析的结果进行定性的安全评价。

定量分析。从事系统分析时，不应是单凭主观臆断、经验和直觉。在许多复杂情况下，必须以相对可靠的数字资料为分析依据，保证结果的客观性。在评价时，又必须运用各种科学的计量方法。利用定量方法提供允许和可用的数据。借以制订可行的措施，并推断可能产生的效果，以期寻求对系统整体效益最大的策略。

凭借价值判断，必须对某些事物作某种程度的预测，或者使用过去发生的事实作样本，以推断未来可能出现的趋势或倾向。所以系统分析可能提供的资料，有许多是不确定的变数，不可能完全合乎事实。此外，方案的优劣应是定量和定性分析的结合、数据和经验的结合，因此，在进行评价时，仍需凭借价值判断、综合权衡，以判别由系统分析提供的各种不同策略可能

产生的效益的优劣，以便选择最优方案。

(2) 得出系统发生危险的可能性及其程度的评价 在上述分析的基础上，再考虑各种定性因素对比系统的危险程度，用标准来衡量。即从数量上说明分析对象安全性的程度，使人们得出能够进行比较的概念。

为了达到准确评价的目的，要有说明情况的可靠数据和资料。评价指标是指评价目的和要求，是方案期望达到的指标。它应当包括：

- 1) 事故可能造成的最大财产损失；
- 2) 事故最大可能造成的人员伤亡数；
- 3) 人员暴露于危险环境；
- 4) 事故发生可能性。

评价是一种目的行为，是测定目的成果的。目的应是可度量的，否则评价就失去了真正的意义。

(3) 寻求最低的事故率、最少的损失，最优的安全投资效益 这是安全评价的目的。也就是说，安全评价是以提高生产安全管理的效率和经济效益为目的的。这一目的包括两方面：确保安全生产；尽可能少受损失。欲达此目的必须优选措施方案，提高安全水平。

系统措施是在系统分析与安全评价的基础上，采取控制和消除危险的措施。

根据安全分析评价的结果，研究改进控制系统，从而控制危险，以保证系统安全。

采取教育、管理和技术的综合措施，进行统筹安排和检查测定，以有效地控制和消除危险、避免发生各类事故。

对已建立的系统形式、潜在危险程度及可能的事故损失进行验证，提出检查与测定方式，制定安全技术规程、以及规定危险性物料、装置及废弃物的处理措施。

提高安全水平，从生产意义上讲，它表示着生产的发展；从工作的意义上讲，它表示着管理水平的提高和管理的改进方向；从安全措施投资意义上讲，它可以反映提高投资效果；从整个客观经济上讲，它意味着提高经济效益。

2.2 安全评价的基本原理

安全评价的任务是寻求安全生产变化的规律和结果，并给予量的概念。安全评价的应用领域很多，研究对象的特性各异，方法手段种类繁多，但综观评价的思维方式，可以归纳出以下几个基本原理：

2.2.1 相关原理

系统结构的特征和事故的因果关系是相关原理的基础。

(1) 系统的基本特征 即系统中一切具有普遍性的东西。如集合性、相关性和阶层性是系统结构的主体骨架内涵特性，整体性是系统内部综合协调的表征，环境是外部协调的表征，这是系统的具体结构形式。明确了系统的目的和总目标以及分解的各个层次的分目标，构造出对应于系统总目标及其各个层次分目标的系统组成要素，这些要素的相互关系及其在系统阶层上的分布形式和整体的协调形式，也就从质和量上给出了系统的普遍性。

系统合理结构可用两个公式表达：

$$E^{**} = \max p(X, R, C) \quad (2-1)$$

$$\begin{aligned}
 p &\rightarrow G \\
 p &\rightarrow O \\
 S_{opt} &= \max \{s | E^{**}\} \quad (2-2)
 \end{aligned}$$

式中 X ——系统组成要素集;

R ——系统组成要素的相关关系集;

C ——系统要素及其相互关系在阶层上的可能分布形式;

p —— $X \cdot R \cdot C$ 的结合效果函数;

G ——表示这个函数是在对应于某个条件, 如 $p \rightarrow G$ 表示 p 函数在对应于系统目标集的条件下;

O —— $p \rightarrow O$ 表示 p 函数相应于环境因素约束集的条件下;

E^{**} —— p 函数在两个对应条件下所能得到的最优结合效果;

s ——系统结构的各个阶层。

从工业安全角度看式(2-2)表示具有最安全结合效果的系统结构中能给出最好安全输出的系统, 即 S_{opt} 。

显然, 对系统安全性评价就是寻求 $X \cdot R \cdot C$ 的最安全的结合形式, 即具有最优结合效果 E^{**} 的系统结构形式及在 E^{**} 条件下给出最好安全的输出系统 S_{opt} 。

系统必须有相应的组成部分, 即系统的要素集。构成系统的要素集:

$$X = \{X_i | X_i \in X, i = 1, 2, \dots, n\} \quad (2-3)$$

系统要素之间在空间结构、排列顺序、时间序列、数量比例, 力学或热力学、物理化学、信息传递, 以及操作程序、组织形式、管理方法等方面的关系就组成了一个系统的相关关系集:

$$R = \{R_{ij} | R_{ij} \in R, i, j = 1, 2, \dots, n\} \quad (2-4)$$

由于相关关系只能发生在具体的系统要素之间, 因此任何复杂的相关关系在要素不发生规定性变化的条件下, 都可变化成为两个要素之间的相关关系, 二元关系是相关关系集中的最基本的关系, 而其它更为复杂的关系则是二元关系的基础上发展的。在二元关系分析中, 首先要根据分目标的要求明确系统要素之间必须存在和不应存在这类关系。这时必须注意消除模棱两可的二元关系。这种相关关系可用二元关系分析表得到, 见表2-1。

表2-1 系统要素二元关系分析表

要素 \ 二元关系	要素	x_1	x_2	...	x_j	...	x_n
x_1		R_{11}	R_{12}	...	R_{1j}	...	R_{1n}
x_2		R_{21}	R_{22}	...	R_{2j}	...	R_{2n}
$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	...	$\vdots$
x_i		R_{i1}	R_{i2}	...	R_{ij}	...	R_{in}
$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	...	$\vdots$
x_n		R_{n1}	R_{n2}	...	R_{nj}	...	R_{nn}

$$\text{当 } R_{ij} = \begin{cases} 1 \text{ 时, 要素间存在着二元关系} \\ 0 \text{ 时, 要素间不存在二元关系} \end{cases}$$

通过分析表,可以明确必要存在的二元关系以及这些二元关系的内容。

当表中 $R_{ij}=1$ 时,说明二个要素存在着必要的相关关系;而当 $R_{ij}=0$ 时,则说明不存在相关关系。 $R_{ij}=1$ 部分的进一步明确,就可以说明二元关系的性质可能是安全的、环境的、技术的、经济的、操作者的、心理的等等。这些性质及其变化的分析,可以得出保持最优二元关系的尺度和范围,从而达到相关关系合理化分析的目的。

系统的阶层性和整体性。大多数的系统都是以多阶层形式存在的。如工厂中的分厂、车间、工段;机器的部件、零件。这些阶层发挥各自功能,结合完成共同目标。

系统的要素集、关系集以及阶层关系的分析,说明了整体的性质。为了衡量和分析评价系统的整体结合效果,必须建立评价指标体系。例如:一个生产技术系统是由若干台各种装置或设备(x 集)连接而成;一个工艺流程是在人、机、设备、工具、作业环境的结合,或者是人控化学物理过程下进行(R 集);生产设备的可靠性、行为的安全性、安全管理的有效性等等因素阶层上分布的关系(C 集)。根据系统的这些特性来综合考虑发生事故的可能性、并规定事故的伤亡率、财产的损失率、安全投资效益等等指标的最佳标准。

(2) 事物的因果关系 任何事物的变化都不是孤立的,都是在其它事物的发展变化相互影响过程中确定其轨迹。事物之间的相互影响常常表现为因果(原因与结果)关系。即有关因素的相互关系,因果关系的特点是:原因在前,结果在后,并且原因和结果之间常常具有类似函数关系的密切联系。例如,化学物质的火灾爆炸危险与物质的闪点燃点、爆炸极限密切相关,与沸点、状态也有关。深入分析事物的依存关系和影响程度是揭示它的变化特征和规律的有效途径,并可用来预测其未来状态。

1) 相关分析 相关是两种或两种以上客观现象之间的依存关系。有的依存关系存在于两种现象之间,有的存在于多种现象之间,在有依存关系的现象之间,将代表原因的变量作为自变量,代表结果的变量作为因变量,研究一个自变量和一个因变量的因果变动,比较简单。实际上事故发生的因素变动是复杂的。一个因变量的变动是由许多自变量综合作用所形成。例如:冲床冲手事故与安全防护装置失效,滑块下降失控、手在冲模内等均有密切的关系。对因变量与自变量依存关系密切程度的研究称为相关分析。

相关分析能透过错综复杂的现象,测定其相关程度,揭示其内在联系,由于安全不能通过实验方法进行分析,所以显得特别重要。

2) 因素与事故关系 由“因素”到“事故”,从原因到结果的途径是各异的。各因素间的关系及因素与事故的关系可以归纳为三种类型:

① 集中型各因素分别组合作用引起伤害事故,例如:易燃物品与火灾;车床旋转甩出工件伤人;起重物件坠落伤人。易燃物品,车床甩出工件、起重物坠落是原因,火灾、伤人是结果;

② 连锁型某因素为起源,产生下一个因素,进而又产生再下一个因素……,最后导致伤害事故,例如:事故起源于人的判断,如果已经变成了人体的行为,接着就会触及潜在的危险和故障,引起事故的发生,结果导致人身伤害。

③ 复合型集中型与连锁型的结合。

3) 相关原理的应用 利用事故发生过程中的相关性进行评价时,如果能找到一个或几个与评价对象密切相关的,可控的式,可以预先知道其变化情况的变量,利用历史数据建立起它们与评价对象之间的数学模型会收到较好的评价效果。

在利用事物发展过程中的相关性进行评价之前,首先需要确定两事物之间是否具有相关性。不具备相关性,或相关性太小,是难以建立相关模型的。在利用模型进行评价预测时,还需研究这种相关性在计划期内是否会发生较大的改变。因为事物间的相关程度在其它条件的作用下可能会发生变化,而使利用历史资料建立起的模型失效。

相关原理有助于指导评价者深入研究评价对象与相关事物的关系,有助于评价者评价对象所处的环境进行全面分析,相关原理是系统因果评价方法的理论基础。

2.2.2 类推和概率推断评价原理

(1) 类推评价原理 如果两个不同事件之间的相互联系规律是已知的,则可利用先导事件的发展规律来评价迟发事件的发展趋势,这就是所谓类推评价。

类推评价的前提条件就是寻找类似事件。假定,当发现两种事件有些基本相似时,就可以揭示两种事件的其他相似性,并认为两种事件是相似的。另外,当一种事件的出现经常伴随产生另一事件时,就认为这两种事件间存在着某些联系,亦即相似关系。相似关系表现出它的普遍性,例如:对安全管理而言,不管技术如何进步,管理如何先进,而安全原理、事故发生与预防原理却是基本不变的。换言之,反映了绝大多数事故发生机理的事故致因模型,将在长时间内表现出它的正确性和普遍性。

类推法是经常使用的一种安全评价方法,如从机器杂音推知故障;从某一国家的重大事故,推知国内相似系统的安全性。

由这一现象推算另一现象、由部分推断总体,按照事物的内部联系及相互关系,既可用于补充调查统计资料的不足,又可用于分析研究。有时因时间和条件的限制,不必要或不可能对一切事物都直接取得所需要的资料。此时,就需要根据已掌握的实际资料,估计推算所需要的资料。采用科学的估计推算方法,以实际统计资料为依据,通过估计推算所得到的资料可以基本符合实际,以补调查统计资料之不足,及供分析研究问题之需要。

类推法的种类及其应用领域取决于评价事件及先导模型之间的联系性质。如果这种联系可以用数字表示,则称为定量类推;如果联系性质只能定性处理,则称为定性类推。具体的类推方法有:

- 1) 平衡推算法 是指根据相互依存的平衡关系来推算所缺有关指标资料的方法。
- 2) 代替推算法 是指利用具有密切联系的有关资料来代替所缺少资料项目的方法。
- 3) 因素推算法 是指根据指标之间的因素联系,从已知因素的数值,推算有关的未知指标数方法。
- 4) 抽样和典型推算法 是指根据抽样调查或典型调查资料推算总体特征的方法。
- 5) 比例推算法 是指根据社会经济现象的内在联系,从某一时期、地区、部门和单位的实际比例推算另一类似时期、地区、部门和单位有关指标的方法。

(2) 概率推断原理 系统的不确定性分析和概率判断在推断评价中十分重要。由于复杂的不安全因素和多种变量呈随机变化的形式,随机变化的不确定性给预测评价工作带来了很大的困难。例如:某个车间下个月的安全生产状态可能很好、可能一般,也可能事故率上升,事前难以确定。影响的因素越多、关系越复杂,评价对象的未来状态就越难估计。

不确定性,即一个系统在变化过程中的状态是随时间进程而变化的,如果系统在任何时刻上的状态是随机性的,则变化过程就是一个随机过程。应用这种不确定性分析观点,能使评价较易进行,不确定性分析符合评价对象的现实情况,有助评价者客观和全面地研究评价

对象的特性。

评价对象的未来状态如何?实际上可以用概率来表示事件发生可能性的大小。在评价中,采用概率论和数理统计方法求出随机事件出现各种状态的概率,然后根据概率判断准则去推测评价对象的未来状态如何。

根据小概率事件判断准则,若某项评价结果小概率事件(一般认为,其发生的概率小于5%)则推断这结果不可能发生;反之,若其概率很大,则认为评价结论是成立的,可用的。在实际应用中,概率应伴随评价结果同时给出。如定量预测评价时,一般要对多种可能的结果分别给出其发生的概率。

2.2.3 惯性原理

可以说,没有一种事物的发展会与其过去的行为没有联系。过去的行为不仅影响到现时,还会影响到未来。这表明,任何事物的发展都带有一定的延续性。这个特点一般被称为惯性。

惯性表现为趋势外推,如从一个机械局的过去事故统计资料寻找出事故变化趋势并以趋势外延推测其未来状态。

惯性表现为惯性大小,惯性越大影响越大;惯性越小影响越小,如:直接生产者在生产现场,他的行为对操作设备的可靠性是影响事故的主要因素,运动的倾向表现出的惯性较大;如作为一个非直接生产者则对事故的影响较小,表现的惯性也就小。

惯性表现为延续性,如今天的安全投资是以昨天安全损失大小为依据,而通过投资后,未来的安全损失必然降低。

利用事物发展具有惯性这一特征进行评价是有条件的,一般是以系统的稳定性为前提。也就是说,只有在系统稳定时,事物之间的内在联系及基本特征才有可能延续下去。但是,由于生产环境非常复杂,系统的安全又易受各种偶然因素的影响,所以,绝对稳定的系统是不存在的。一般只是在认为系统处于相对稳定状态,或者评价对象处于相对稳定阶段的情况下,才应用惯性原理去进行评价。而且,即使在这种条件下,系统的发展也不会是历史的重复,而只是保持其基本的发展趋势。这样,在系统的发展保持大方向不变的同时,还有可能发生与过去不完全一致的现象,即发生偏离。因此,在应用惯性原理进行评价时,一方面要抓住惯性发展的主要环节,另一方面还要研究可能出现的偏离现象及偏离程度,并做出适当的修正,才能使评价结论更符合发展的实际结果。

上述三个基本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,人们以上述原理来指导分析评价,并加以综合应用。

在评价的基本原理基础上,人们创造了多种评价方法,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。然而,世界上没有一成不变的事物,评价对象的发展不可能是过去状态的简单延续,评价的事件也不会是自己的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,以求提高评价结果的准确程度。

2.3 安全评价的目的、分类、法则

2.3.1 目的——实现本质安全化

(1) 一般所说的安全评价目的是

1) 系统地从计划、设计、制造、运行等全过程中考虑安全技术和安全管理问题,找出生产过程中固有的或潜在的危险因素;

2) 对事故进行定性、定量、预测,求出系统安全的最优方案;

3) 促进实现安全管理系统化,形成教育训练、日常检查、操作维修等的完整体系;

4) 实现安全技术与安全管理的标准化和科学化。

基于安全评价对事故的科学分析,针对事故发生的主要原因,采取措施,从而可从根本上消除事故的再发生的主要条件,形成对该条件来说的“绝对”安全。因而可以看作这是安全评价的基本出发点和理想目的,实现本质安全化。

所谓本质安全化就是运用现代科学技术,尤其是安全科学技术的一切成就,使形成事故的某些主要条件从根本上消除,同时尽可能采取完善的防护措施,以增强人体在事故中的抵御能力。

(2) 实现本质安全化的几个要点:

1) 凡是需要人操作的设备、系统,在人的操作失误后,应能够自动保障人身和设备、系统的安全。如设计各种安全联锁装置、程序控制系统等,即使人操作失误、设备、系统也拒绝执行,确保安全。

2) 设备、系统应具备自我保护能力,即当故障发生时,能够自动切除故障部分,切入备用部分或安全地停止运转,并发出警报,以便操作人员及时发现与维修。

设计、安技人员,在从事任何一项设计、建设或检查时,都要时刻想到操作失误时怎么办?设备出现故障时怎么办?循此深入研究,创造或采用适合本身特点的自我保护,安全保障装置,作到防患于未然。

3) 运用逻辑推理方式,暴露危险本质和薄弱环节,防患于未然。

常用的逻辑推理方式是假设给定条件失效怎么办?假设发生事故会产生什么后果?准备一旦发生事故时,能够限制其蔓延、扩大,并预防对人造成的伤害。

4) 充分发挥人的能动作用,实现最佳组合和最佳状态。根据具体生产条件,或者采用本质安全措施,达到对某一危险因素来说的“绝对”安全;或者选用几个相对安全的措施,求取最大限度的安全,实现最佳的组合。对于最佳组合的安全措施,应当维护、试用,使之保持最佳状态。

2.3.2 分类

(1) 工业安全评价的分类,按各评价对象不同的阶段分,如图2-1

1) 事前评价 事前评价是系统计划的一个重点。因为通过评价和预测所获得的信息,可在事前评价阶段加以修正,系统安全性和投资效益等在很大程度上取决于这个阶段。

2) 中间评价 中间评价是在系统研制途中,用来判断是否有必要变更目标和为及时采取对策而进行管理的有效手段。

3) 事后评价 当系统开发完了投入使用时,便可对整个项目进行事后评价。评价的要点应抓住安全性的评价、技术的评价、经济的评价和社会的评价。事后评价是在定量地掌握已经达到目标的安全水平,同时确认

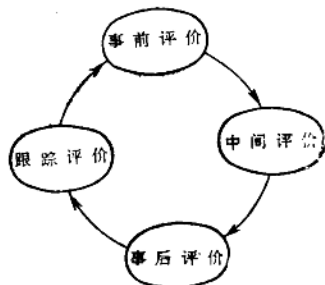


图2-1 评价的四个阶段

目标以外的安全效果的方法。

4) 跟踪评价 某个项目完成以后,在投入使用的过程中经过多年安全性调查和评价,它对以后的安全工作有什么贡献以及所波及的效果。这种评价也可以称之为“追加评价”。

(2) 工业安全管理内容分

1) 工厂设计的安全性评审 对新建工厂和应用新技术的不安全因素,通过评审,消灭在计划设计阶段。一些国家已将它用法律的形式固定了下来。

2) 安全管理的有效性评价 反映企业安全管理结构的效能,事故伤亡率、损失率、投资效益等。

3) 生产设备的安全性评价 对机器设备、装置、和部件的故障和人机系统设计,应用系统工程分析方法进行安全、可靠性评价的方法。

4) 行为的安全性评价 对人的不安全心理状态的发现和人体操作的可靠度通过行为测定评价其安全性。

5) 作业环境和环境质量评价 是指作业环境对人体健康危害的影响和工厂排放物对环境的影响。

6) 化学物质的物理化学危险性评价 评价化学物质在生产、运输、贮存中存在的物理化学危险性,或已发生的火灾、爆炸、中毒等安全问题。

(3) 按照研究角度的不同,安全评价可分为

1) 技术评价 是指新科学技术成就的应用所产生的正负效果。例如新装置、新产品对社会、经济影响等方面的评价。

2) 经济评价 指对企业的经济效益的评价。例如事故损失率、安全投资效益影响企业经济结构变化等方面的有关问题。

3) 社会评价 指对引起社会问题的评价。例如对社会发展、社会生活、社会生态环境等方面的影响和危害。

(4) 根据评价方法的特征可分为

1) 定性评价 即依靠人的观察分析能力,借助于经验和判断能力进行评价的方法。

2) 定量评价 即主要依靠历史统计数据,运用数学方法构造数学模型进行评价的方法。

3) 综合评价 综合评价是指两种以上方法的组合运用。这种综合常表现为定性方法和定量方法的综合,有时是两种以上定量评价方法的综合。由于各评价方法都有它的适用范围和缺点,综合评价兼有多种方法的长处,因而可以得到较为可靠和精确的评价结果。

(5) 按目前形成的流派分

1) 直观法 即定性评价方法,包括价值工程功能评价的方法。它用于安全管理的有效性评价。

2) 逻辑推理评价法 将系统工程学的可靠性、安全性分析方法运用于安全评价。它是安全评价中的主要流派。

3) 危险度定量评价法 以道化学公司的指数评价法为代表的流派。

评价方法虽然很多,但各种方法都有它的适用范围。适用性较广的方法只有十几种。评