



工业装置

郭振龙 等编

安全卫生

预评价方法



化学工业出版社

工业装置安全卫生预评价方法

郭振龙 等编

化学工业出版社

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

工业装置安全卫生预评价方法/郭振龙等编. —北京: 化学工业出版社, 1999.8
ISBN 7-5025-2593-9

I. 工… II. 郭… III. ①工业生产设备-安全-评价②工业生产设备-卫生-评价 IV. X913

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 45017 号

工业装置安全卫生预评价方法

郭振龙 王德昌 朱兆华 许惠泉 编

责任编辑: 叶 露

责任校对: 陶燕华

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

北京市彩桥印刷厂装订

*

开本 787 × 1092 毫米 1/16 印张 7½ 字数 161 千字

1999 年 8 月第 1 版 1999 年 8 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—3500

ISBN 7-5025-2593-9/Z·131

定 价: 15.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

本书顾问

闪淳昌	国家经贸委安全生产局	局长
任树奎	国家经贸委安全生产局	副局长
杨 富	国家经贸委安全生产局	副局长
翟 齐	中国石化集团公司安全与环保监督局	局长
沈松泉	江苏省劳动厅	副厅长
沈长云	中国舰船研究院	总工程师
谢文壁	中国石化集团公司安全与环保监督局	副局长
孟庆鹏	中国石化集团公司安全与环保监督局	副局长
刘保平	南京市劳动局	副局长
郭定松	南京化学工业集团公司	副总经理
曾贇宁	南京化学工业集团公司	副总经理

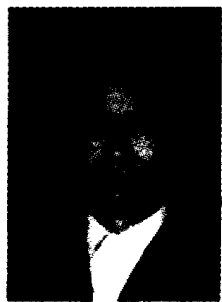
本书主审

崔克清

本书作者

郭振龙 王德昌 朱兆华 许惠泉

作者简介



郭振龙 研究员，1938年3月出生于江苏无锡。1961年7月毕业于华东化工学院，在中国舰船研究院从事舰船新材料的研究开发工作。1978年到南京船舶雷达研究所从事技安、环保工作，工作期间被聘任为中国船舶工业总公司安全生产顾问、南京劳动保护科学技术学会理事。主要著作有《劳动保护与安全逻辑》、《劳动安全心理学》、《建筑工人安全读本》等。

人安全读本》等。

依靠劳动保护
科技进步 提高
企业本质安全程
度。

沈北承

一九九九年
五月五日

序

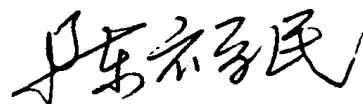
安全、健康地进行生产劳动、科学研究及试验开发是人们的基本需要之一，亦是人类文明进步的必然趋势。

长期以来，人类在与灾难、事故和职业危害的斗争中，取得了极为丰富的经验及深刻的教训，与此同时也获得了许多成功。特别是对建设项目、工业装置进行劳动安全卫生的预评价，突出“安全第一”，体现“预防为主”，无疑是一种十分有益的工作。国内外无数事例也雄辩地证明了它的实用性、先进性、经济性和有效性。预评价能发现给定系统潜在的危险、危害因素及其严重的后果，以便及时运用安全对策，采取有效措施，在初步设计阶段对其进行控制和消除，不致在建成投产后对职工的生命和健康造成危害，甚至形成灾难。

近几十年来，由于社会、政治、军事、经济、技术及各行各业生产的需要，国外对预评价方法连续地进行了研究开发，许多方法在国内得到了推广应用。我国在运用国外评价方法的同时，根据我国国情，也初步创立了自己的某些评价方法。

1996年10月17日中华人民共和国劳动部颁布了第3号令《建设项目（工程）劳动安全卫生监察规定》，规定了6类建设项目（工程）必须进行劳动安全卫生预评价；继而在1998年2月5日颁布了第10号令《建设项目（工程）劳动安全卫生预评价管理办法》及第11号令《建设项目（工程）劳动安全卫生预评价单位资格认可与管理规则》，以确保建设项目（工程）符合国家规定的劳动安全卫生标准，保障劳动者在生产过程中的安全与健康。

本书较系统地介绍了国内外有关劳动安全卫生预评价方法及其相关知识，突出针对性、实用性、科学性，是开展劳动安全卫生预评价工作的一本实用参考书。



一九九九年一月二十八日

前 言

安全和危险，健康和职业危害都是一对矛盾，而危险和危害普遍存在于各行各业的科研和生产之中，控制和消除这些危险、危害，求得安全与健康是人类生存和发展的一个基本条件，也是人们从事一切社会经济活动的主题。因此，人们在与事故和职业危害的斗争中，不断地总结经验教训，并有所建树和取得成效。对建设项目和装置的安全卫生预评价就是一种建树，这项工作意义重大而且富有成效。在建设项目、工业装置的初步设计阶段，对其危险、危害性及其程度进行预评价，并采取有效对策与措施，将危险、危害控制在最低限度或能够接受的水平，确实体现了“安全第一”，实现了“预防为主”这一原则。几十年来，国内外正、反两方面的经验和教训，有力地证明了进行劳动安全卫生预评价的优越性。

随着可靠性技术、安全系统工程的发展，国外对建设项目和装置的预评价工作越来越重视，纷纷从事研究开发和进行预评价工作。我国从 80 年代开始进行这方面的工作，1996 年劳动部颁布了第 3 号令《建设项目（工程）劳动安全卫生监察规定》，规定了 6 类建设项目（工程）必须进行劳动安全卫生预评价。

为了满足广大安全技术及工业卫生工作者对这方面的迫切需要，编者通过 10 年来进行预评价工作的经验积累，在搜集了国内外有关预评价的典型方法基础上编写成书以参考。本书在编写过程中得到了朱志林、冯世元先生的指导和帮助，并得到中国船舶工业总公司生产经营局、中国舰船研究院、江苏省劳动厅、南京市劳动局、南京船舶雷达研究所、中国石化集团南京化学工业集团公司、南京化工大学、南京市劳动安全卫生检测检验站、南京长江油运公司等单位的大力支持，在此表示衷心的感谢。由于编者水平所限，错误之处在所难免，敬请各界人士不吝赐教。

编 者

1999 年 1 月

内 容 提 要

本书根据编写人员十多年进行劳动安全卫生预评价的评价工作经验,搜集了国内外有关预评价的方法和实例编写的。书中较系统地阐述了进行劳动安全卫生预评价的方法、步骤及其重要性,重点介绍了国内外应用较多的 ICI 蒙德法、层次分析法、模糊数学综合评判法、类比法、格雷厄姆法、机械工厂固有危险性评价法和安全系统工程的有关方法,并比较分析了各种方法的优缺点和应用范围。

本书可供劳动保护工作人员、工程项目设计人员、劳动安全卫生预评价人员作为参考书,也可作为高等学校安全工程专业教师及高年级学生的教学参考书。

目 录

第1章 绪论	1
第2章 建设项目的劳动安全卫生预评价概述	4
2.1 劳动安全卫生预评价的重要性	4
2.2 劳动安全卫生预评价概念	4
2.3 劳动安全卫生预评价的基本原理	4
2.3.1 相关原理	4
2.3.2 类推原理	6
2.3.3 概率推断原理	6
2.3.4 惯性原理	6
2.3.5 量变到质变原理	6
2.4 预评价的目的、方法、要素、标准及程序	6
2.4.1 预评价的目的	6
2.4.2 预评价的方法及其分类	7
2.4.3 评价要素	7
2.4.4 评价标准	7
2.4.5 评价程序	9
第3章 建立评价模型	11
3.1 模型简述	11
3.2 模型示例	11
3.2.1 轮廓模型	11
3.2.2 经济评价法中的盈亏分析	12
3.2.3 层次分析法中的结构模型示例	13
3.2.4 方框图	14
3.2.5 模拟	14
3.3 评价模型的特点	15
第4章 ICI蒙德法	17
4.1 方法的由来	17
4.2 方法介绍	18
4.2.1 评价要点	18
4.2.2 火灾、爆炸、毒性指标计算	18
4.2.3 蒙德火灾、爆炸、毒性指标法主要内容	18
4.2.4 补偿评价	36
4.3 方法评述	45
第5章 层次分析法	46
5.1 方法的由来	46

5.2 层次分析法概述	47
5.2.1 概述	47
5.2.2 层次分析模型的构造方法	47
5.2.3 层次分析法中的排序	48
5.2.4 层次分析法的判断矩阵和标度	49
5.2.5 判断矩阵的一致性及其检验	52
5.2.6 层次分析法的计算问题	54
5.2.7 层次分析法小结	54
5.3 层次分析法的优缺点	55
5.4 层次分析法应用示例	55
5.4.1 确立系统分析思想导向	55
5.4.2 构造层次分析模型	56
5.4.3 确定指标的权	59
5.4.4 建立数学模型	60
第6章 模糊数学综合评判法	65
6.1 方法的由来	65
6.2 模糊综合评判法	65
6.2.1 建立数学模型进行计算	65
6.2.2 模糊综合评判步骤	69
6.3 方法的优缺点	69
6.4 方法示例	70
6.4.1 评价对象和单元的确定	70
6.4.2 评价因素	70
6.4.3 各因素隶属度的确定	70
6.4.4 各因素权重值的确定	72
6.4.5 各生产单元安全卫生程度的评价计算	73
6.4.6 安全卫生程度的综合评价	74
6.4.7 结论	74
第7章 类比法	76
7.1 方法的由来	76
7.2 方法介绍	76
7.2.1 类比法	76
7.2.2 类比法的特征	76
7.2.3 提高类比法结论可靠性的方法	76
7.3 方法的优缺点	76
7.4 方法应用及示例	77
7.4.1 应用于安全评价	77
7.4.2 应用于预测学	77
7.4.3 衍生发展的方法	78
第8章 作业条件及机械工厂固有危险性的评价	79

8.1 作业条件危险性评价法	79
8.1.1 方法的由来	79
8.1.2 方法介绍	79
8.1.3 方法的优缺点	81
8.1.4 应用示例	81
8.2 机械工厂固有危险性评价	81
8.2.1 方法的由来	81
8.2.2 方法介绍	82
8.2.3 方法的优缺点	83
8.2.4 应用示例	83
第9章 安全系统工程分析法	84
9.1 安全检查表法	84
9.1.1 方法的由来	84
9.1.2 方法介绍	84
9.1.3 方法的优缺点	85
9.1.4 应用示例	86
9.2 事故树分析法	86
9.2.1 方法的由来	86
9.2.2 方法介绍	86
9.2.3 方法的优缺点	87
9.2.4 应用示例	87
9.3 事件树分析	89
9.3.1 方法的由来	89
9.3.2 方法介绍	90
9.3.3 方法特点及适用性	90
9.3.4 应用示例	91
9.4 预先危险性分析	91
9.4.1 概述	91
9.4.2 危险性等级	91
9.4.3 预先危险性分析的步骤	91
9.4.4 预先危险性分析表	92
9.5 故障模式和后果分析法	92
9.5.1 概述	92
9.5.2 方法实施的步骤	92
9.6 如果……怎么办 (What…if)	94
9.6.1 方法要点	95
9.6.2 分析方法程序	95
第10章 人行为可靠性的定性、定量分析	96
10.1 人员可靠性的定量评价	96
10.1.1 人为失误	96

10.1.2	人员可靠性的定量评价	96
10.1.3	人员可靠性定量评价最常用的方法	97
10.1.4	实例分析	101
10.2	人体生物节律的测定	102
10.2.1	生物节律的研究和发展	102
10.2.2	人体生物三节律	103
10.2.3	人体三节律的计算	104
10.2.4	人体三节律的应用	104
10.3	生活事件积分法	104
10.3.1	方法的由来	104
10.3.2	生活事件积分法	104
10.3.3	应用示例	105
参考文献		106

第1章 绪 论

农业、人口、能源、安全和环境保护是当今世界所面临的5个急需解决的问题。在安全方面，火灾、爆炸、汽车肇事、飞机失事、船舶海事、火车相撞以及工伤事故、职业中毒和职业危害等给人民的生命、健康和国家的财产造成了巨大的损失。当前我国工农业生产、水利建设、交通运输业以及科学事业等蓬勃发展，解决好劳动安全卫生问题是保障国民经济顺利发展、保护劳动者在生产过程中的安全和健康、防止负面效应的头等大事。

安全生产的重要内容之一，就是对系统进行分析、评价，并采取各种对策、措施来控制、消除系统中的各种危险，预防事故及危害的发生，控制、治理各种有害因素，防止它们对作业者造成危害，从而实现系统的安全、卫生。

对于新建和改扩建的基本建设项目（工程）、技术改造项目（工程）和引进的建设项目（工程）（以下简称建设项目），根据《建设项目（工程）劳动安全卫生监察规定》要求：“建设项目中的劳动安全卫生设施必须符合国家规定的标准，必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入生产和使用”（以下简称“三同时”）。

为了贯彻“安全第一，预防为主”的方针，做好建设项目的“三同时”工作，《建设项目（工程）劳动安全卫生监察规定》规定：凡符合下列情况之一的6类建设项目，必须进行劳动安全卫生预评价：

- ①大中型和限额以上的建设项目；
- ②火灾危险性生产类别为甲类的建设项目；
- ③爆炸危险场所等级为特别危险场所和高度危险场所的建设项目；
- ④大量生产或使用Ⅰ级危害程度、Ⅱ级危害程度的职业性接触毒物的建设项目；
- ⑤大量生产或使用石棉粉料或游离二氧化硅粉料的建设项目；
- ⑥劳动行政部门确认的其他危险、危害因素大的建设项目。

根据上述规定，从事建设项目的劳动安全卫生预评价单位必须是独立法人，获取了建设项目劳动安全卫生预评价资格证书，并具备与资格证书和所从事的行业相适应的技术设备和专业人员。建设项目劳动安全卫生预评价是根据建设项目可行性研究报告内容，采取科学、先进、合理的定性、定量评价方法，分析和预测该建设项目中存在的危险、危害因素的种类，判明其危险、危害程度及可能产生的后果，提出合理可行的劳动安全卫生技术和管理对策，作为该建设项目初步设计中劳动安全卫生设计和建设项目劳动安全卫生管理、监察的主要依据。

建设项目劳动安全卫生预评价是建设项目在初步设计阶段对工程项目综合运用科学方法，以实现安全卫生生产为目的，事先对设计、工艺过程、装置或系统的结构、功能、特性、效果等进行定性、定量的评价，预测其危险性、危害性，危险、危害程度以及可能产生的后果，以便尽可能在设计、建造阶段减少或消除其危险、危害性。因此，它具有非常重要的意义。正、反两方面的无数事实充分证明了进行建设项目安全卫生预评价的必要性和重要性，否则将会造成非常严重的后果。如1984年12月2日深夜11时，印度博帕尔农药厂发生剧毒的甲基异氰酸酯的大量泄漏，造成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)、67万人受到残余毒气的影响和危害。这是由于该厂厂址选择错误,采取了高毒原料中间体远距离供货的错误技术路线,在生产管理上缺乏应有的安全性评价所酿成的恶果。又如,1963年10月10日,号称当时世界上行驶得最快、攻击力最强、价值4500万美元的美国“长尾鲨”号核潜艇在出海试航时,潜艇被巨大的压力截为两段,从304.8m沉入2133.6m的大西洋海底,129名官兵全部丧生。据海军专家推测,这一海难的直接原因是由于一根反应堆冷却管破裂,海水大量涌入所致,这次事故成为本世纪科技史上的十大悲剧之一。相反,进行了安全性评价则得益匪浅,最明显的例子是核电站,由于进行了安全性评价,其事故和损失远远低于火力发电。一般,在当前建造一座100万kW的核电站大约需要3000亿日元,而进行安全性评价所需费用仅为其1%。

在安全性评价技术中,“火灾、爆炸危险指数评价法”是较早使用的一个重要方法,是由美国道化学公司于1964年开发的,并先后修订了6次,1993年发表了第7版。30多年来,各国相继提出了各具特色的评价模式,它们均以生产设备为主体,逐一分析生产过程中所使用的各种物质的火灾和爆炸特征以及工艺过程中潜在的危险因素,从而为防止事故、保证安全生产提供了具体可靠的依据。

由于安全性评价能减少和防止事故的发生,许多国家都给予大量的投资。如美国原子能委员会1974年发表的核电站安全评价报告耗资300万美元,用了70人·年的工作量。据统计,美国各公司共雇用了3000名左右的风险专业管理人员。美国、英国、日本等国家都立法规定,工程项目必须进行安全评价。如英国政府规定,凡未进行安全性评价的新建企业不准开工;日本劳动省规定化工厂必须作综合的安全性评价;美国对重要的工程项目都要求进行安全性评价。为此,美国、加拿大等国家有50多家安全性评价咨询公司。

我国于1996年10月17日颁布的中华人民共和国劳动部第3号令中,关于上述6种建设项目进行劳动安全卫生预评价的程序如图1-1所示。

为了规范建设项目(工程)的劳动安全卫生预评价工作,中华人民共和国劳动部于1998年2月5日颁布了第10号令《建设项目(工程)劳动安全卫生预评价管理办法》、第11号令《建设项目(工程)劳动安全卫生预评价单位资格认可与管理规则》。

第10号令指出:

建设项目的劳动安全卫生预评价工作,应在工程可行性研究阶段进行,由建设单位自主选择本建设项目设计单位以外的、熟悉本行业和本建设项目技术特点的、有劳动安全卫生预评价资格的单位承担,并与之签订书面委托合同。

承担劳动安全卫生预评价工作的单位,应根据建设单位的委托,对建设项目存在的危险、危害因素的种类和程度,进行预评价,提出明确的防范措施。

建设项目劳动安全卫生预评价工作应在建设项目初步设计会审前完成,并通过劳动行政部门的审批。

预评价单位应编制建设项目劳动安全卫生预评价大纲和劳动安全卫生预评价报告书,并送劳动行政部门审批。

建设项目劳动安全卫生预评价大纲应包括以下主要内容:

- (1) 预评价的主要依据;
- (2) 建设项目概况;
- (3) 主要职业危险、危害因素;
- (4) 预评价范围、预评价单元;

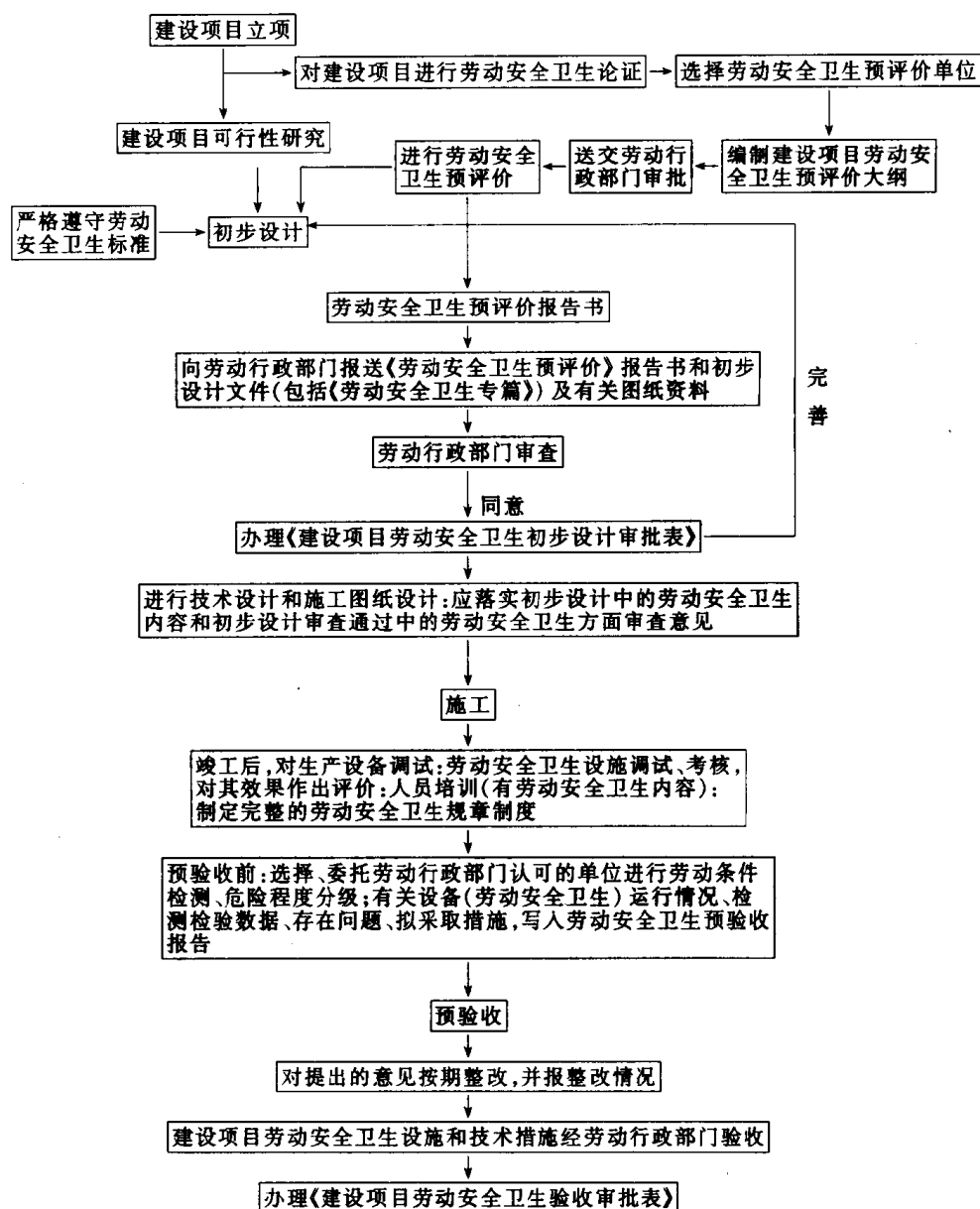


图 1-1 建设项目劳动安全卫生工作程序图

(5) 预评价方法;

(6) 劳动安全卫生对策措施;

(7) 预评价工作的进度安排。

建设项目劳动安全卫生预评价报告书应包括以下主要内容:

(1) 建设项目劳动安全卫生预评价的主要依据和建设项目概况;

(2) 建设项目的危险、危害因素及其定量或定性评价;

(3) 劳动安全卫生对策措施(包括建筑及场地布置方面的对策措施,工艺及设备方面的对策措施,劳动安全卫生工程设计方面的对策措施,劳动安全卫生管理方面的对策措施,事故应急方面的对策措施及其他综合性措施);

(4) 预评价结论和建议。

第2章 建设项目的劳动安全卫生预评价概述

2.1 劳动安全卫生预评价的重要性

当前,我国在工业、农业、矿业、水利、道路、交通运输事业、科学研究试验以及军工产品的研制、生产等方面,建设项目像雨后春笋般地出现,我们应该考虑这些建设项目如何达到最优化,消除建设项目中的不安全、不卫生因素,或将其控制在可以接受的程度。可以说,这是一种最为经济、极为有效的做法。因此,保障人们在生产、试验、研究过程中的安全和卫生,是十分迫切而又重要的。

2.2 劳动安全卫生预评价概念

建设项目的劳动安全卫生预评价是指该项目在初步设计阶段,对该项目系统存在的危险性、危害性进行定性、定量分析,得出系统发生危险、危害的可能性及其程度的评价,以寻求最低事故率、最低职业危害、最少的损失和最优的安全卫生投资效益。

①定性分析是根据评价人员的经验及建设项目的具体情况,依靠人的观察、分析、判断能力进行评价的方法。若系统、子系统、工艺过程、装置不特别重要,不会产生安全卫生方面的严重后果,则可根据定性分析的结果进行分析评价。

定量分析是运用各种科学方法,以可靠的数字资料为依据进行客观的科学计量。

凭借价值判断,使用过去或同类事物发生的事实作为样本,对建设项目的系统、子系统、工艺过程、装置的危险性、危害性及其程度进行预测,推断未来可能出现的趋势或倾向。

结合经验和数据进行定性、定量分析,凭借价值判断综合权衡来判别、分析提出的各种方案的优劣,选择最优化方案。

②根据标准,运用科学方法得出建设项目的系统、子系统、工艺过程、装置发生危险、危害的可能性及其程度。

③寻求最低的事故率、最低的职业危害、达到标准所能容忍的最低损失,实现最优的安全卫生投资效益。

④提出切实可行的有效的安全卫生技术、教育、管理对策措施,控制和消除危险、危害因素。

2.3 劳动安全卫生预评价的基本原理

在进行劳动安全卫生预评价时,虽然评价系统的特性、属性、事件的随机性千变万化,各不相同,且评价的领域、方法、手段也种类繁多,但其思维方式均遵循以下几个基本原理。

2.3.1 相关原理

2.3.1.1 系统的基本特征

一个系统,其结构的特征、属性与事故和职业危害存在着因果的相关性。

系统的结构形式存在着与外部环境协调的表征和系统内部综合协调的整体性表征, 以及如集合性、相关性和阶层性等系统结构的主体骨架内涵特性。

一个合理的系统结构可用如下式子表达。

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

$$P \rightarrow G$$

$$P \rightarrow O$$

$$S_{\text{opt}} = \max \{ S | E^{**} \} \quad (2-2)$$

式中 E^{**} —— P 函数在两个对应条件下所能得到的最优结合效果;

P —— X, R, C 的结合效果函数;

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;

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

O —— 表示这个函数是在对应于某个条件下, 如 $P \rightarrow O$ 表示 P 函数相应于环境因素约束集的条件下;

S —— 系统结构的各个阶层;

S_{opt} —— 具有最安全、职业危害最低结合效果的系统结构中能给出最优输出的系统。

劳动安全卫生预评价就是寻求 X, R, C 的最安全、职业危害最低的结合形式, 即具有最优结合效果 E^{**} 的系统结构形式, 以便在 E^{**} 条件下给出最优的输出系统 S_{opt} 。

系统的要素集为

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

系统的相关关系集 R , 由要素之间的空间结构、排列顺序、时间序列、数量关系、气象地质、水文条件、环境因素、工艺参数、物理化学指标、信息传递、操作工艺及程序、组织形式、管理方法等组成:

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

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基础上发展起来的。

在大多数的系统中存在着多阶层性; 而系统的要素集、相关关系集和多阶层性则构成了该系统的整体性。

2.3.1.2 因果关系

有因才有果, 这是任何事物发展变化的一种规律。事物的原因和结果之间存在着函数一样的密切关系。若研究、分析各个事物之间的依存关系和影响程度就可以探求其变化的特征和规律, 并可以预测其未来状态的发展变化趋势。

事故的因果关系是: 事故的发生有其原因因素, 而且往往不是由单一原因因素造成的, 而是由若干个原因因素耦合在一起, 当出现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。而每一个原因因素又由若干个二次原因因素构成, 依次类推三次原因因素, ……。

在进行劳动安全卫生预评价时, 要分析研究两种事物或多种事物的相关依存关系, 表示为