

高等学校规划教材
GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

安全系统工程

谢振华 主编

 冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

高等学校规划教材

安全系统工程

谢振华 主编

北 京
冶金工业出版社
2010

内 容 提 要

本书详细阐述了安全系统工程的基础理论及其应用。主要包括:系统安全工程的基本概念和发展现状,系统安全基本原理,系统安全分析,事故树分析,系统安全评价,系统安全预测,安全决策,安全系统工程应用实例。本书列举了大量实例,章末附有习题和思考题,便于读者掌握所学内容。

本书为高等学校安全工程专业的教材,也可供从事安全生产的管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

安全系统工程 / 谢振华主编. —北京:冶金工业出版社,2010.8

高等学校规划教材

ISBN 978-7-5024-5132-5

I. ①安… II. ①谢… III. ①安全工程:系统工程—高等学校—教材 IV. ①X913.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 118244 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 杨 敏 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 侯 珺 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5132-5

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2010 年 8 月第 1 版,2010 年 8 月第 1 次印刷

787 mm × 1092 mm 1/16;12.25 印张;321 千字;182 页

26.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

安全发展是我国社会主义现代化建设的总体战略。确保安全生产是落实科学发展观,实现科学、持续、有效和协调发展的必然要求和重要保证。安全系统工程这门学科经过几十年的发展,在消除危险、防止事故、避免损失等方面取得了很大成效,因而在国内外工业企业中得到了广泛应用。

本书为高校安全工程专业的教材,是在参考同类教材的基础上,为适应新的教学改革需要而编写的。本书共分8章,第1章绪论,阐述了安全系统工程产生、发展、基本概念和应用情况;第2章系统安全基本原理,介绍了事故的基本概念及发生原因,系统安全与能量、可靠性和信息处理的关系;第3章、第4章介绍了几种常用的系统安全分析方法,如安全检查表、预先危险性分析、故障类型和影响分析、事件树分析、因果分析图法、危险和可操作性研究、事故树分析;第5章介绍了安全评价的概念和几种定性、定量安全评价方法;第6章、第7章介绍了系统安全预测、安全决策的基本概念、安全预测和决策的常用方法;第8章介绍了安全系统工程在矿山、建筑施工、危险化学品企业、冶金企业和交通运输中的应用实例。本书结构合理,内容精练,紧密结合安全生产,适用于不同行业安全工程的教学。

本书由谢振华主编,代静、张伟、李倩参与了有关章节的编写。本书由金龙哲教授审阅,并参考了有关文献的内容,在此谨向金教授和文献作者表示谢意!

由于编者水平有限,书中不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2010年3月

目 录

1 绪论	1
1.1 安全系统工程的生产	1
1.2 安全系统工程的定义	2
1.2.1 安全	2
1.2.2 系统	2
1.2.3 工程	3
1.2.4 系统工程	3
1.2.5 安全系统工程	4
1.3 安全系统工程的发展过程	4
1.4 安全系统工程的内容	5
1.4.1 系统安全原理	5
1.4.2 系统安全分析	5
1.4.3 系统安全评价	5
1.4.4 安全措施	5
1.4.5 安全预测和决策	6
1.5 安全系统工程的优点和在我国的运用	6
1.5.1 安全系统工程的优点	6
1.5.2 安全系统工程在我国的应用	6
习题和思考题	7
2 系统安全基本原理	8
2.1 事故的基本概念及分类	8
2.1.1 事故的基本概念	8
2.1.2 事故的特征	8
2.1.3 事故的分类	9
2.2 事故发生的原因	11
2.2.1 按类别划分事故原因	11
2.2.2 按性质划分事故原因	13
2.3 系统安全与能量	14
2.3.1 事故是能量异常传递的结果	14
2.3.2 时空域能量耦合原理	15
2.3.3 防止能量异常传递的措施	15
2.4 系统安全与可靠性	16
2.4.1 可靠性的基本概念	16

2.4.2 可靠性的计算	17
2.4.3 系统可靠性模型	19
2.4.4 提高系统可靠性的措施	21
2.5 系统安全与信息处理	21
2.5.1 信息的基本概念	21
2.5.2 人体的信息处理系统	22
2.5.3 利用信息加强安全管理	25
2.5.4 信息、能量、物质等因素与事故的关系	25
2.6 系统安全措施	26
2.6.1 安全技术措施	26
2.6.2 安全教育措施	27
2.6.3 安全管理措施	27
习题和思考题	28
3 系统安全分析	29
3.1 系统安全分析概述	29
3.1.1 系统安全分析的定义	29
3.1.2 系统安全分析的目的	29
3.1.3 系统安全分析的内容	29
3.1.4 系统安全分析方法	29
3.2 安全检查表	30
3.2.1 安全检查表的定义	30
3.2.2 安全检查表与传统安全检查的区别	30
3.2.3 安全检查表的种类	30
3.2.4 安全检查表的优点	31
3.2.5 安全检查表的编制	31
3.2.6 安全检查表应用举例	32
3.3 预先危险性分析	33
3.3.1 预先危险性分析的定义和目的	33
3.3.2 预先危险性分析的步骤	33
3.3.3 预先危险性分析的格式	34
3.3.4 预先危险性分析举例	34
3.4 故障类型和影响分析	36
3.4.1 故障类型和影响分析概述	36
3.4.2 FMEA 的基本原理	36
3.4.3 FMEA 的分析步骤	40
3.4.4 故障类型影响和致命度分析	41
3.4.5 FMEA 举例	42
3.4.6 FMEA 的优缺点	44

3.5 事件树分析	44
3.5.1 事件树分析的原理	44
3.5.2 事件树分析方法及其应用	46
3.5.3 事件树分析的作用	47
3.6 因果分析图法	47
3.6.1 因果分析图法的概念	47
3.6.2 因果分析图法的步骤	48
3.6.3 应用实例	48
3.7 危险和可操作性研究	49
3.7.1 危险和可操作性研究的定义及发展	49
3.7.2 危险和可操作性研究的特点	49
3.7.3 危险和可操作性研究的关键词及分析术语	49
3.7.4 危险和可操作性研究的分析步骤	51
3.7.5 危险和可操作性研究应用实例	51
习题和思考题	53
4 事故树分析	54
4.1 事故树分析概述	54
4.1.1 事故树分析的发展过程	54
4.1.2 事故树的概念	54
4.1.3 事故树分析的优点和应用	54
4.2 事故树分析的步骤	55
4.3 事故树符号及其意义	56
4.3.1 事件符号	56
4.3.2 逻辑门符号	57
4.3.3 转移符号	58
4.4 事故树的编制	58
4.5 利用布尔代数化简事故树	59
4.5.1 布尔代数	59
4.5.2 事件概率及其计算	60
4.5.3 事故树化简	60
4.6 最小割集及其求法	62
4.6.1 最小割集的定义	62
4.6.2 最小割集的求法	63
4.7 最小径集及其求法	64
4.8 最小割集和最小径集在事故树分析中的作用	65
4.9 结构重要度分析	66
4.9.1 事故树的结构函数	66
4.9.2 结构重要度分析	67

4.10 基本事件的发生概率	68
4.10.1 机械设备的故障概率	68
4.10.2 人为失误概率	70
4.11 顶上事件发生概率的计算	72
4.11.1 最小割集法	72
4.11.2 最小径集法	74
4.11.3 近似算法	75
4.12 概率重要度和临界重要度分析	76
4.12.1 概率重要度分析	76
4.12.2 临界重要度分析	77
4.13 事故树分析的应用实例	78
4.13.1 求事故树的最小径集	79
4.13.2 排列各基本事件的结构重要顺序	79
4.13.3 顶上事件发生概率的计算	79
4.13.4 求概率重要系数	80
4.13.5 求临界重要系数	80
习题和思考题	81
5 系统安全评价	83
5.1 系统安全评价概述	83
5.1.1 安全评价的定义	83
5.1.2 安全评价的发展过程	83
5.1.3 安全评价的意义	84
5.1.4 安全评价的分类	84
5.1.5 安全评价的程序	85
5.1.6 安全评价方法的分类	86
5.2 定性安全评价	86
5.2.1 定性安全评价的目的	86
5.2.2 逐项赋值评价法	87
5.2.3 作业条件的危险性评价	88
5.3 定量安全评价	91
5.3.1 概率风险评价法	91
5.3.2 危险指数评价法	94
5.4 综合安全评价方法	96
5.4.1 一般综合评价法	96
5.4.2 层次分析法	97
5.4.3 模糊综合评价法	100
5.4.4 安全投资效益评价	105
习题和思考题	108

6 系统安全预测	109
6.1 安全预测概述	109
6.1.1 安全预测的定义	109
6.1.2 安全预测的分类	109
6.1.3 安全预测的步骤	110
6.2 德尔菲预测法	111
6.2.1 德尔菲预测法的基本程序	111
6.2.2 专家意见的统计处理	113
6.3 回归分析法预测	116
6.3.1 回归分析法概述	116
6.3.2 一元线性回归法	117
6.3.3 一元非线性回归法	119
6.4 马尔柯夫链预测法	121
6.4.1 马尔柯夫链概述	121
6.4.2 状态转移概率矩阵及其性质	121
6.4.3 安全预测	121
6.5 灰色系统预测法	123
6.5.1 灰色系统预测建模方法	123
6.5.2 预测模型的后验差检验	124
6.5.3 灰色系统预测举例	124
习题和思考题	126
7 安全决策	127
7.1 安全决策概述	127
7.1.1 安全决策的定义	127
7.1.2 决策的类型	127
7.1.3 安全决策的种类	128
7.1.4 决策的要素	128
7.1.5 安全决策的基本程序	130
7.2 安全决策方法	131
7.2.1 ABC 分析法	131
7.2.2 评分法	133
7.2.3 重要度系统评分法	135
7.2.4 决策树法	136
7.2.5 技术经济评价法	138
7.3 安全决策支持系统	140
7.3.1 安全决策支持系统概述	140
7.3.2 决策支持系统的功能及结构	141

7.3.3 群体决策支持系统	143
7.3.4 智能决策支持系统	144
7.3.5 安全专家系统	146
习题和思考题	147
8 安全系统工程应用实例	148
8.1 安全系统工程在矿山中的应用	148
8.1.1 矿山安全现状及主要事故类型	148
8.1.2 事故树分析法在斜井跑车事故分析中的应用	148
8.1.3 模糊综合评价在尾矿库安全评价中的应用	151
8.1.4 安全检查表在小煤矿安全评价中的应用	153
8.2 安全系统工程在建筑施工中的应用	155
8.2.1 建筑施工安全现状及主要事故类型	155
8.2.2 事故树分析法在高空吊架坠落伤亡事故中的应用	156
8.2.3 模糊综合评价法在建筑工程施工安全事故中的应用	158
8.2.4 作业条件危险性评价方法在脚手架施工现场的应用	160
8.3 安全系统工程在危险化学品企业中的应用	162
8.3.1 危险化学品企业安全现状及主要事故类型	162
8.3.2 道化学火灾、爆炸指数评价法在氯乙烯储罐区安全评价中的应用	163
8.3.3 事故树分析及风险预测在液氨泄漏事故中的应用	166
8.4 安全系统工程在冶金企业中的应用	169
8.4.1 冶金企业安全现状及主要事故类型	169
8.4.2 安全系统工程在煤气事故中的应用	169
8.4.3 事故树分析法在转炉喷溅事故中的应用	171
8.4.4 预先危险性分析在小型轧钢企业危险源安全预评价中的应用	173
8.5 安全系统工程在交通运输中的应用	176
8.5.1 交通运输安全现状及主要事故类型	176
8.5.2 安全系统工程在翻车事故和碰撞事故中的应用	177
8.5.3 马尔柯夫预测模型在铁路交通事故预测方面的应用	179
参考文献	182

1 绪 论

1.1 安全系统工程的生产

安全是人类生存和发展的基本需求之一。人们在利用自然资源进行生产劳动的过程中,不仅创造出有利于人类的物质财富,而且会遇到和必须克服在生产过程中出现的不安全因素。因此,安全问题是随着生产的产生而产生,随着生产的发展而发展的,是人类永恒探索的课题。

在石器时代,人们从狩猎和农业实践中认识到生产工具和自然现象对人类的危害,发明了一些简单的防护措施,如头盔、手套等。其后由青铜器到铁器时代,防护器械和防护技术则出现了质的飞跃。我国历史上记载有防中毒、防瓦斯、防冒顶等安全防护技术,如隋代巢方著的《诸病源候论》中,记述了防止中毒的措施。明代宋应星编著的《天工开物》一书中,较详细地介绍了处理矿内瓦斯和顶板的防护措施。防火技术是人类最早的安全技术之一。我国人民在与火灾的长期斗争中积累了丰富的经验。早在公元前 700 年,周朝人所著的《周易》一书中就有“水火相忌”、“水在火上既济”的记载,说明了用水灭火的道理。古希腊和罗马帝国时期,设立了以维持社会治安和救火为主要使命的禁卫军和值班团。

随着生产的发展和技术的进步,人们对安全技术的要求也越来越高。特别是 18 世纪工业革命以来,由于使用了蒸汽机,生产得到了发展,但是产生蒸汽的锅炉却不断发生爆炸事故,每年锅炉爆炸造成成千上万人的死亡。为了防止锅炉爆炸,人们对锅炉的结构、所用材料、工作压力和炉内除垢问题进行研究,取得了一系列成果。美国于 1880 年成立了机械工程师学会(ASME),并于 1925 年制定了受压力容器标准。

19 世纪末到 20 世纪初,工业生产规模不断扩大,但由于对安全工作的忽视,伤亡事故的严重程度也在增加,煤矿、水运、堤坝、土建、化工等工程经常出现一次伤亡数百人甚至上千人的重大事故。生产条件的恶化、工伤事故和职业病的日益严重,引起了社会的不安和人们的广泛关注。为了加强管理,各国政府纷纷制定安全法令,用法律来促使企业重视安全生产。国际劳动局(ILO)于 1919 年成立,负责组织国际范围内预防事故的情报交流和制定工业安全卫生法规。安全技术逐步形成一个综合性学科。

第二次世界大战后,工业技术水平和发展规模又有了很大提高,原子能、航空航天等尖端工业的诞生,石油、化工和冶金等工业的发展,导致伤亡事故加剧,环境污染也日趋严重。这种工业技术的进步所带来的对人类的威胁和损害,引起人们对安全更为广泛的重视。为了保障劳动者的人身安全,避免财产损失,人们在长期的生产实践中,创造和总结了许多预防事故的方法。

从安全生产的发展来看,安全工作方法可分为“问题出发型”和“问题发现型”两大类。

“问题出发型”方法是在事故发生后吸取经验教训,进行事故预防的方法。例如从事故后果查找原因,采取措施防止事故重复发生。人们通常所采取的各种组织和技术措施,如制定法律法规和标准、设置安全机构、进行监督检查和宣传教育,以及防火防爆措施、安全防护设备、个人防护用品等,都属此类。这就是通常所说的传统安全工作方法。

“问题发现型”方法是从系统内部出发,研究系统各构成要素之间存在的联系,分析可能发生事故的危险性及其发生途径,通过重新设计或变更操作来减少或消除系统的危险性,把发生事故的可能性降低到最低程度。这就是采用安全系统工程控制事故的方法,即安全系统

工程工作方法。

传统安全工作方法虽然为防止伤亡事故的发生做出了重大贡献,但也存在很大的缺陷。它事后处理的特点使得人们对事故难以做到防患于未然,从而导致安全工作落后于生产的发展,也就是说事故预防工作总跟不上技术的进步。传统安全工作方法的缺点主要表现在以下几个方面:

(1) 安全属性问题不明确。安全工作是依附生产而存在的,是为生产服务的。但是由于安全工作所产生的经济效益是间接的,看不见、摸不着的,所以生产中如果不发生事故,则往往不能引起人们的重视,看不到安全工作的作用和重要性,只有在发生事故产生负效益后才感觉到安全工作必不可少。这种状况造成“安全第一,预防为主”只是一句空话,难以贯彻落实到实际工作中。

(2) 分析问题不深入。传统安全工作方法凭经验和感知处理生产中出现的安全问题多,由表及里地深入分析,发现潜在的事故隐患少,难于彻底改善企业的安全面貌。而且由于工业技术的不断进步和发展,人们对技术中许多潜在性的危险因素认识不清,意识不到发生事故的严重后果。

(3) 缺乏系统性。解决安全问题时总是片段和零碎地进行,以致形成头痛医头、脚痛医脚,到处修补漏洞的被动局面。

(4) 难于定量。定性的即“安全”或“不安全”的概念多,定量的概念少。如生产的安全性有多大,事故发生的概率有多大,事故的严重程度有多大,究竟做到什么程度才算是安全、才能控制事故,对这些问题,传统安全工作方法都难以做出实质性定量的回答。

总之,传统安全工作方法是凭经验,孤立、被动的工作方法,不能适应安全生产的发展。人们特别是安全工作者希望找到一个能够预测事故发生的可能性,掌握事故发生规律,做出定性和定量评价的安全工作方法,以便在系统的设计、施工、运行、管理中对发生事故的危险性加以辨识,并且能够根据对危险性的评价结果,提出相应的安全措施,达到安全生产的目的。安全系统工程就是为了达到这一目标而产生和发展起来的。

1.2 安全系统工程的定义

1.2.1 安全

这里指生产过程中的安全(safety),即生产安全,包括人身安全和设备安全。安全泛指没有危险、不受威胁和不出事故的状态。安全可理解为不致对人的身体造成伤害、精神构成威胁或使财物导致损失的状态。安全也指人的身心免受外界因素危害的存在状态(即健康状况)及其保障条件。安全是相对于危险而言的,世界上没有绝对的安全。美国安全工程师学会(ASSE)编写的《安全专业术语词典》认为,安全就是“导致损伤的危险度是能够容许的,较为不受损害的威胁和损害概率低的通用术语”。

1.2.2 系统

系统(system)一词广泛应用于生产和生活的各个领域。对它有多种解释,国际标准化组织技术委员会称系统为能完成一组特定功能的,由人、机器以及各种方法构成的有机集合体。钱学森描述系统的概念时说,极其复杂的研究对象称为系统,即由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机整体,而且这个系统本身又是它所从属的更大系统的组成部分。总之,可将系统理解为由人、设备等相互作用、相互依赖的两个或两个以上要素所组成的具有一

定结构和独立功能的有机整体。

一般来说,系统具有四个属性:

(1) 整体性。系统由至少两个或两个以上的要素(元件或子系统)所组成。组成系统的各个元素虽然具有不同的性能,但它们是根据整体要求按照一定方式构成的一个具有特定功能的集合体,因而系统不是各要素性能的简单相加。组成系统的各个要素并不都很完善,但它们可以综合、统一成为具有良好功能的系统。反之,即使每个元素是良好的,而构成整体后并不具备某种良好的功能,也不能称之为完善的系统。

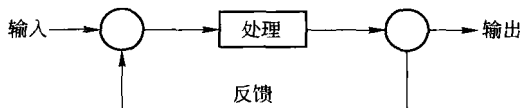
(2) 相关性。系统内部要素之间是有机联系和相互制约的,而且这种依赖关系具有一定的规律性。例如,一台计算机就是由主板、电源、CPU、硬盘、键盘、显示器等硬件通过特定的关系,有机地结合在一起所形成的一个系统。

(3) 目的性。任一系统,不论其大小,都具有特定的功能,没有目标的系统是不存在的。特别是人类创造的系统,总是为了实现某一目的而设计、制造出来的。

(4) 环境适应性。任一系统都存在于一定的环境之中,因此它必然要与周围环境发生物质、能量和信息的交换,以适应外部环境的变化。在研究系统的时候,环境往往起着重要的作用,必须予以重视。适者生存就是这个道理。

系统的功能是接收信息、能量和物质,并根据时间序列产生信息、能量和物质。这就要求合理地管理和控制信息、能量和物质的流动,来保证系统的安全和在最优状态下工作。

系统虽然种类繁多,可大可小,但若对其结构进行仔细分析,就可以看出系统主要由三部分组成,即输入、处理和输出,如下图所示。任何系统都具有输出某产物的目的,而且一定是先有输入,再经处理,才能得到输出。处理是使输入变为输出的一种活动,通常由人和设备分别完成或联合承担。比如汽车制造厂生产汽车是由入口输入原材料,经过加工和作业,进行整体装配,这就相当于处理部分,装配好的汽车再由出口输出。这种以物质流动为主的系统称为生产系统。一项计划也可视为输入,经过执行,即处理阶段,最后得到了结果,就是输出。这种以信息流为主的系统称为管理系统。系统处理后的结果,不一定是理想的,这就需要验证和修正计划,改善执行环节来达到预期的目的。这在系统上称为反馈。



系统的功能结构示意图

1.2.3 工程

工程(engineering)是指服务于特定目的的各项工作的总体。例如安全工程、环境工程、土木工程等。这里所说的工程具有广泛的意义,不仅指与物质、能量等有关的工作,而且包括信息处理、人的行为、心理研究等各个方面。

1.2.4 系统工程

系统工程(system engineering)是指为了更好地达到系统目标,而对系统的构成要素、组织结构、信息流动和控制结构等进行分析与设计的技术。简而言之,即以系统为研究对象的工程。钱学森称系统工程为组织管理技术。

系统工程着眼于整体的状态和过程,而不拘泥于局部的、个别的部分。系统的最佳化并不要求系统的所有单元或子系统都具有最佳特性。系统工程不着眼于个别单元的性能是否优良,而是要求巧妙地利用单元间或子系统之间的相互配合和联系,来优化整个系统的性能,使其从整体上成为技术先进、经济合算、运行可靠的实际可行的系统。

1.2.5 安全系统工程

安全系统工程(safety system engineering)是采用系统工程的原理和方法,识别、分析和评价系统中的危险性,并根据其结果调整工艺、设备、操作、管理、生产周期和投资费用等因素,使系统所存在的危险因素能得到消除或控制,使事故的发生减少到最低程度,从而达到最佳安全状态。简单地讲,安全系统工程就是用系统工程的知识、方法和手段解决生产中的安全问题。它的最终目的是消除危险,防止灾害,避免损失,保证人身财产安全。

1.3 安全系统工程的发展过程

安全系统工程是现代科学技术发展的产物。它的发展是与军事工程、尖端技术的迫切需要紧密相连的。

1947年,美国航空科学院发表了一篇题为《安全工程》的论文,最早提出了系统安全概念。1957年,苏联发射了第一颗人造地球卫星,在全世界引起了很大反响。美国为了和苏联争夺空间优势,匆忙地进行导弹技术的开发,实行所谓研究、设计、施工齐头并进的方法。由于对系统的可靠性和安全性研究不足,在一年半的时间里,在导弹的地下贮藏库和发射基地连续发生了四次重大事故,每次都造成数百万美元的损失,最后不得不全部报废,从头做起。这一惨痛教训,使他们逐渐认识到系统安全的重要性。后来,美国空军以系统工程的方法研究导弹系统的可靠性和安全性,于1962年提出了“导弹火箭系统安全工程学”,继而制定了《武器系统安全标准》,为后来发射多弹头火箭的成功创造了条件。1966年美国国防部采用了空军的安全标准,制定了MIL-S-38130。1967年7月又发表了安全系统工程计划标准MIL-STD-882。在这个标准中,首次提出了安全系统工程的概念及设计、分析、综合等基本原则。

1965年,美国波音公司和华盛顿大学在西雅图召开安全系统工程专门学术讨论会议,以波音公司为中心对航空工业开展安全性、可靠性和设计的研究,在导弹和超音速飞机的安全性评价方面取得了很好的效果。但是,美国航空航天局对这种研究不够重视,以致造成1967年发生了三名阿波罗宇航员被烧死的事故。英国以原子能公司为中心,从20世纪60年代中期开始收集有关核电站故障的数据,对系统的安全性和可靠性问题采用了概率评价方法,后来进一步推动了定量评价的工作,并设立了系统可靠性服务所和可靠性数据库。

1972年,美国三里岛核电站发生了泄漏事故,引起了公众的恐慌和指责。美国原子能委员会组织了以麻省理工学院拉斯姆逊教授为首的14名专家,用了两年多的时间对核电站的危险性进行了研究和评价。1974年,美国原子能委员会发表了《拉斯姆逊报告》,称作《拉氏报告》,即WASH-1400。报告收集了核电站各部位历年发生的故障及其概率,采用了事件树和事故树的分析方法,进行了核电站的安全性评价。该报告的发表,对世界各国影响很大,促进了安全系统工程的发展。

20世纪80年代以来,安全系统工程在世界各国得到广泛重视,发展迅速,发展和完善了事故致因理论、系统安全分析方法、安全评价方法等。当前,安全系统工程在宇航、原子能、矿业、化工、建筑、冶金等各个行业得到广泛应用,为事故预防和减少事故损失,实现安全生产做出了重大贡献。

1.4 安全系统工程的内容

安全系统工程是一种综合性的技术方法,主要包括五个方面的内容。

1.4.1 系统安全原理

系统安全原理研究系统安全与能量、系统可靠性、信息处理等的关系,从人、物、环境、管理等方面研究事故的发生原因和发展过程,提出事故的致因理论。事故既具有偶然性,又具有必然性,而且具有潜在性、规律性和可预测性的特点。人的不安全行为和物的不安全状态是事故发生的主要原因。根据事故发生的规律,提出预防事故的有效措施。

1.4.2 系统安全分析

系统安全分析是安全系统工程的核心内容,是安全评价的基础。通过对系统进行深入、细致分析,充分了解和查明系统存在的危险性,估计事故发生的概率和可能产生伤害及损失的严重程度,为确定出哪种危险能够通过修改系统设计或改变控制系统运行程序来进行预防提供依据。所以,分析结果的正确与否,关系到整个安全工作的成败。

系统安全分析的方法有几十种,它们从各种不同的角度对系统的安全性进行分析。每一种系统安全分析方法都有其产生的历史背景和适用条件,各有优缺点。要完成一个准确的分析往往需要综合使用多种分析方法,有时还要相互比较,看哪些方法和实际情况更为吻合。因此,在使用时应首先了解、熟悉系统,并选用合适的、具有特色的分析方法。常用的系统安全分析方法主要有安全检查表、预先危险性分析、故障类型和影响分析、事件树分析、事故树分析和因果分析图法等。

1.4.3 系统安全评价

安全评价是对系统存在的危险性进行定性和定量分析,得出系统存在的危险点与发生危险的可能性及其程度,以得到被评价系统的安全状况。

安全评价可分为定性评价和定量评价。定性评价的结果用大概的度量信息表现,让人们能够知道系统中危险性的大致情况。但这比起用传统安全方法来,已经系统和准确多了。定量评价的结果则能用较为精确的量值表现,以较为直观的数量形式反映安全的状况。只有经过定量评价才能充分发挥安全系统工程的作用,决策者可以根据评价的结果选择技术路线,领导和监管部门可以根据评价结果督促企业改进安全状况。当安全评价的结果表明需要改进系统的安全状况时,就必须采取安全措施,减少危险因素及其发生概率,重新进行安全评价,直到达到安全要求。同时也应当评价投入资金的合理性,使安全投资发挥最大的安全效益。

常用的安全评价方法有安全检查表评价法、作业条件的危险性评价、火灾爆炸指数评价法、概率风险评价法、模糊综合评价法等。

1.4.4 安全措施

对一个系统进行安全分析和评价后,针对系统中的薄弱环节或潜在危险,提出调整修正的措施,以消除事故的发生或使发生的事故得到最大限度的控制。

安全措施主要包括安全技术措施、安全管理措施和安全教育措施三大类。通常采用的安全措施有法制手段、安全教育、安全防护装置、改善作业环境、改进工艺过程或修改设计、加强安全管理等。

1.4.5 安全预测和决策

安全预测是在分析、研究系统过去和现在安全资料的基础上,利用各种知识和科学方法,对系统未来的安全状况进行预测,预测系统的危险种类及危险程度,以便对事故进行预报和预防。常用的安全预测方法有德尔菲预测法、回归分析法预测、灰色系统预测法等。

安全决策是针对生产活动中需要解决的特定安全问题,根据安全法律法规、标准、规范等的要求,运用现代科学技术知识和安全科学的理论与方法,提出各种安全措施方案,经过分析、论证与评价,从中选择最优方案并予以实施的过程。

1.5 安全系统工程的优点和在我国的应用

1.5.1 安全系统工程的优点

安全系统工程是在传统安全工作的基础上发展起来的一门基础性和应用性都很强的技术学科,它具有很多优点:

(1) 通过分析可以了解系统的薄弱环节及危险性导致事故的条件。能从人、物、环境之间的关系中寻找出事故发生的真正原因和潜在原因,从分析的结果可以采取相应的措施,控制事故的发生。

(2) 通过评价和优化技术,可以找出最佳方法使系统的各要素之间达到最佳配合,用最少的投资获得最佳的安全效果,大幅度减少伤亡事故。

(3) 安全系统工程的方法,不仅适用于工程,也适用于安全管理,并且能用来指导产品设计、制造、使用、维修和检验等工作。

(4) 可以促进有关安全标准的制定和可靠性数据的收集。系统安全分析和安全评价需要各种标准和数据,如允许安全值、故障率以及安全设计标准、人机工程标准等。

(5) 可以迅速提高安全工作人员的水平。安全系统工程是一门实践性很强的学科,要真正搞好安全工作,必须熟悉生产,学会各种分析和评价方法,这对提高安全工作人员的素质有很大的好处。

(6) 安全系统工程方法的最大优点是预防和减少事故,这在实践中已得到了证明。

1.5.2 安全系统工程在我国的应用

20 世纪 80 年代以前,我国对安全工作给予了高度重视,取得了很大的成绩。但是,由于采取问题出发型的安全工作方法,虽然每年花费了大量的资金,但仍没有从根本上解决安全问题。

20 世纪 70 年代末期,钱学森教授提出了“系统工程是组织管理的科学”这一著名论断以后,我国安全研究和管理人员深感必须采用系统工程的方法对系统的危险性加以辨识、分析和评价,找出解决问题的措施,防患于未然,这样才能真正改变企业安全工作的被动局面。1982 年,我国首次组织了安全系统工程讨论会,研究了在我国发展安全系统工程的方向,并组织分工进行事故预先危险性分析、故障类型和影响分析、事件树分析和事故树分析等分析方法的研究,同时开展了安全检查表的推广应用工作。

目前,安全系统工程在煤炭、冶金、化工、交通、航空航天等部门得到了广泛应用,成立了中国安全生产协会、中国职业安全健康协会等学术机构,有多种含有安全系统工程内容的学术期刊,几十种安全系统工程的专著,有 100 多所高等院校设有安全工程专业,很多高校开设了安全系统

工程课程。安全检查表、预先危险性分析、事件树分析、事故树等安全分析方法,以及安全检查表评价、作业条件的危险性评价、火灾爆炸指数评价、概率风险评价等安全评价技术得到了普遍应用。计算机也应用于安全系统工程,可用于事故统计分析、事故树分析、安全预测、安全评价、安全专家系统、安全数据库的建立和安全管理信息系统等方面。

习题和思考题

- 1-1 安全系统工程的安全工作方法和传统的安全工作方法有何不同?
- 1-2 什么是系统,系统有什么基本特征?
- 1-3 什么是安全系统工程?
- 1-4 安全系统工程主要包括哪些内容?
- 1-5 简要说明安全系统工程的优点。