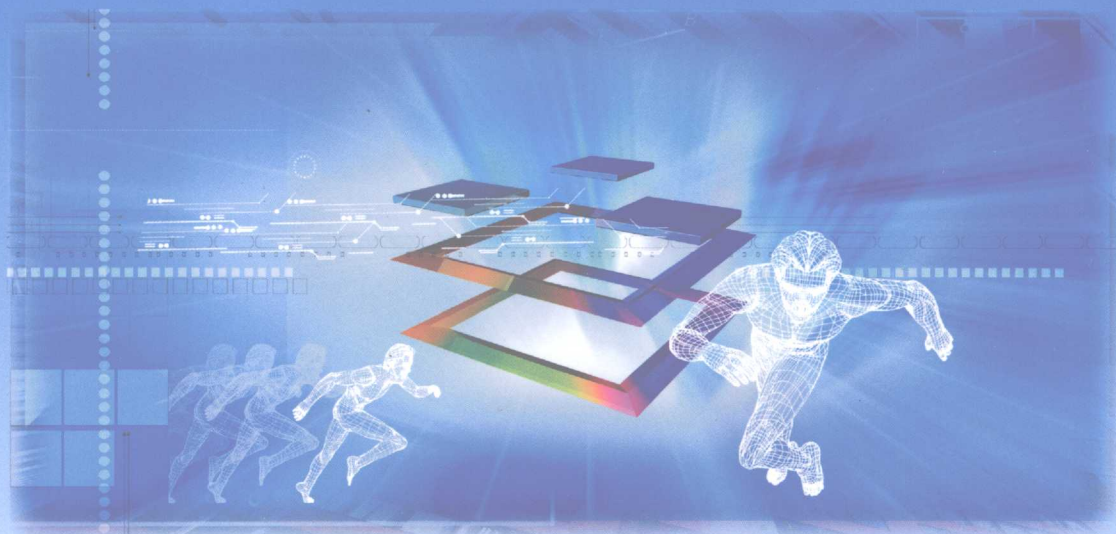



HUST 土木、建筑、环境学科平台课程系列教材

工程安全与防灾减灾

赵挺生 葛 莉



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

 土木、建筑、环境学科平台课程系列教材

工程安全与防灾减灾

赵挺生 葛 莉

华中科技大学出版社
中国·武汉

建筑业是仅次于煤炭行业的高风险性行业。本书针对土木工程学科安全技术理论薄弱的状况,以安全科学、管理科学、工程项目管理等方面知识为基础,结合现代建设工程施工技术,介绍了国内外建设工程安全管理制度的变迁和管理方法,安全事故致因理论和事故管理方法,现代职业健康安全标准化管理体系,安全生产危险因素控制的现场安全检查、企业安全评价方法,以及我国建设工程安全监理的依据、程序和內容,最后介绍了几例典型事故案例。本书可作为土木工程领域大学本科生的教材,也可供从事建设工程安全管理研究和现场管理人员工作中参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程安全与防灾减灾/赵挺生 葛 莉. —武汉:华中科技大学出版社,2008年8月
ISBN 978-7-5609-4638-2

I.工… II.①赵… ②葛… III.建筑工程-安全生产-高等学校-教材 IV.TU714

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 086530 号

工程安全与防灾减灾

赵挺生 葛 莉

策划编辑:徐正达

责任编辑:梅欣君

责任校对:张 琳

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:华中科技大学印刷厂

封面设计:潘 群

责任监印:周治超

开本:710mm×1000mm 1/16

印张:13.75

字数:270 000

版次:2008年8月第1版

印次:2008年8月第1次印刷

定价:19.80元

ISBN 978-7-5609-4638-2/TU·355

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

前 言

据统计,近年来我国每年发生各类事故 100 万起以上,死亡 13 万人以上。其中,一次死亡 10~29 人的特大事故平均 3 天一起;一次死亡 30 人以上的特别重大事故平均 30 天一起。建筑业作为仅次于煤矿的第二大事故行业,从业人员近 4 000 万人,其中,房屋建筑与市政工程年均发生事故 1 260 起,死亡 1 318 人,三级以上重大事故年均 40 起,死亡 170 人。如 2003 年 10 月 7 日,广东省江门市新会区益华广场中庭在施工过程中坍塌,造成 16 人死亡,5 人重伤;2005 年 9 月 5 日,北京市西城区西西工程 4 号地项目工地,在浇注混凝土时模板支撑系统坍塌,造成 8 人死亡,21 人受伤;2005 年 12 月 14 日,石家庄桥东污水处理厂污泥消化池在施工过程中坍塌,造成 6 人死亡。建筑安全事故不仅造成重大经济损失和人身伤亡,而且,影响伤亡职工家属的生存,危及和谐社会建设。

各类事故的频发,受到社会各界、政府的广泛关注。自《建筑法》、《安全生产法》、《建设工程安全生产管理条例》等一系列法律、规章制度颁布实施以来,安全生产形势有了明显好转。事故是人的不安全行为、物的不安全状态与管理不善所造成的,因此,为实现生产和生活安全,就必须保持人的安全性、物的安全性状态的持续性。实现这一目标,需要有法律、法规的完善,全社会成员的安全生产科学知识、安全意识、安全风险识别、应对技能的提高,只有这样,才能建立安全生产的长效机制。为此,本书按建筑生命全过程的安全管理与控制理论方法,本着建筑工程施工伤害事故是可以预防、减少的,通过有效管理可以实现零伤害的目标进行编写。从建筑安全生产的形势,了解建筑事故发生演变规律,把握建筑安全事故的发生发展趋势;从建设工程安全生产法律制度,认识建筑安全生产管理中相关主体、人员应负的责任;从建设工程事故的规律性,认识某一事故的偶发性与事故发生的统计必然性;从事故致因原理与事故管理,认

识人的本质安全性对安全生产的影响,认识人-机-环境-管理在事故发生过程中的相互作用,认识不仅安全事故可以有效控制,而且事故造成的后果可以通过事故发生后的预防管理减低事故损失;从职业安全健康管理,了解建筑安全生产的系统管理思想;从建筑安全生产危险性评价,了解建筑工程安全生产危险因素的识别、分析和评价方法;从事故案例学习中进一步认识安全管理的重要意义。

本书由赵挺生、葛莉编著,应玲丽绘制了文中图表并进行案例整理。编写过程中引用了很多兄弟单位的科研成果和文献,得到很多同行专家的支持,在此深表谢意。本书是专门为建设工程相关专业本科生编写的教材,也可供有关建筑安全方面的专业研究人员参考。

本书的内容和观点如有不妥之处,敬请同行专家和读者批评指正。

编 者

2007年11月于华中科技大学

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 安全与安全科学技术	(1)
1.1.1 安全科学的发展	(1)
1.1.2 安全科学研究方法	(4)
1.1.3 安全科学发展趋势	(5)
1.2 安全科学促进技术科学发展	(7)
1.3 建筑安全管理的基本内涵	(10)
1.3.1 建筑安全管理相关概念	(10)
1.3.2 建筑安全管理的特点	(11)
1.3.3 建筑安全管理的具体内容	(13)
1.4 国内外安全生产状况与管理	(15)
1.4.1 加拿大	(15)
1.4.2 英国	(16)
1.4.3 日本	(23)
1.4.4 美国	(27)
1.4.5 中国	(30)
思考题	(32)
第 2 章 建设工程安全生产法律制度与法规概述	(33)
2.1 我国安全生产法律制度的发展历程	(33)
2.2 安全生产管理体制	(35)
2.3 建筑安全管理的组织机构体系	(37)
2.4 《中华人民共和国安全生产法》概要	(39)
2.4.1 实施前的状况	(39)
2.4.2 《安全生产法》的目的、意义	(40)
2.4.3 我国安全生产的基本法律制度	(41)
2.5 《建设工程安全生产管理条例》概要	(46)
2.5.1 建设工程安全生产基本制度	(47)
2.5.2 建设工程主体单位安全生产管理的主要责任和义务	(48)
2.5.3 建设工程相关单位安全生产的主要责任和义务	(52)
2.6 《安全生产许可证条例》概要	(53)

2.7	国家突发公共事件应急机制	(54)
2.7.1	《总体预案》编制的意义和目的	(55)
2.7.2	突发公共事件的分类分级	(55)
2.7.3	红、橙、黄、蓝4级事件预警标识及其规定	(55)
2.8	《生产安全事故报告和调查处理条例》概要	(59)
2.8.1	《报告和处理条例》的总体思路	(59)
2.8.2	《报告和处理条例》的主要内容	(59)
	思考题	(62)
第3章	事故致因原理与事故管理	(63)
3.1	海因里希事故法则	(63)
3.2	建设工程事故主要类型	(64)
3.2.1	事故类别分析	(64)
3.2.2	主要事故类型	(68)
3.3	事故致因原理	(69)
3.3.1	连续事件理论	(69)
3.3.2	能量理论	(75)
3.3.3	轨迹交叉理论	(77)
3.3.4	人-机-环境理论	(77)
3.3.5	人本安全事故致因理论	(83)
3.3.6	事故致因理论的相互联系	(87)
3.4	事故管理	(88)
3.4.1	事故预防	(88)
3.4.2	事故管理的原则	(90)
3.4.3	事故管理的资料和依据	(91)
3.4.4	事故管理的程序	(92)
3.4.5	事故后管理	(93)
3.4.6	事故责任的处理	(97)
	思考题	(98)
第4章	职业健康安全管理体系	(99)
4.1	职业健康安全管理体系简介	(99)
4.2	职业健康安全管理体系概述	(100)
4.3	职业健康安全管理体系内容介绍	(102)
4.3.1	我国职业健康安全管理体系标准体系的发展历程	(102)
4.3.2	建立健全职业健康安全管理体系的好处	(102)
4.3.3	职业健康安全管理体系的运行模式	(103)

4.3.4	三个管理体系比较	(105)
4.3.5	职业健康安全管理体系的结构与核心要素	(106)
4.4	职业健康与安全管理工具	(108)
4.4.1	主次图	(108)
4.4.2	控制图	(109)
4.4.3	因果分析图	(110)
4.5	企业职业健康安全管理体系的建立、实施与认证	(113)
4.5.1	企业职业健康安全管理体系的建立	(113)
4.5.2	企业职业健康安全管理体系的实施与认证	(113)
4.6	项目职业健康安全管理	(114)
4.6.1	识别并评价危险源及风险	(115)
4.6.2	项目职业健康安全技术措施计划的编制	(115)
4.6.3	安全生产保证体系	(115)
4.6.4	项目职业健康安全技术措施计划的实施	(118)
	思考题	(119)
第5章	建筑安全生产危险性评价	(120)
5.1	建设工程安全生产危险因素识别	(120)
5.2	建设工程危险因素分析评价	(128)
5.3	危险源控制措施	(130)
5.4	政府主管部门的安全管理与建筑工程施工安全检查	(131)
5.4.1	政府主管部门的安全管理	(131)
5.4.2	建筑工程施工安全检查	(132)
5.5	施工企业的安全评价与检查	(136)
5.5.1	施工企业的安全检查	(136)
5.5.2	现场安全检查	(139)
5.5.3	施工企业的安全评价	(140)
5.5.4	安全生产条件单项评价	(142)
5.5.5	安全生产业绩单项评价	(145)
5.5.6	安全生产能力综合评价	(146)
5.5.7	第三方参与的安全检查与评价	(147)
	思考题	(148)
第6章	工程建设安全监理	(149)
6.1	概述	(149)
6.2	法律依据	(149)
6.3	安全监理的程序	(150)

6.4	安全监理的依据、任务及具体工作	(151)
6.5	安全监理的内容	(152)
6.6	安全监理方法与措施	(155)
	思考题	(156)
第7章	安全事故案例分析	(157)
7.1	坍塌事故	(157)
7.2	高处坠落事故	(162)
7.3	机械伤害事故	(165)
7.4	物体打击事故	(167)
7.5	触电事故	(170)
7.6	火灾及其他事故	(172)
	思考题	(174)
附录	(175)
附录 A	建设工程安全生产管理条例	(175)
附录 B	建筑施工安全检查标准(JGJ59—99)	(184)
参考文献	(212)

第 1 章 概 述

1.1 安全与安全科学技术

1.1.1 安全科学的发展

直观地讲,安全即免受伤害,而人员或财产遭受损失的可能性称为危险。安全科学技术是指技术应用过程中的可能危险的产生、控制以及消除的系统理论、方法与技术。它是随着人类生产、生活活动的发展而发展起来的,目的是应对自然灾害、人为灾难给人类所带来的物质损失以及人身伤害。如,早期人类搭建楼宇,修筑宫殿,采用冬季洒水制冰的方法搬用物料,不仅减轻了人类的劳动强度,同时减少了伤害事件的发生;古代生产、狩猎工具也是逐步发展完善的;古代战争中使用的盾,即是保护自身安全的实用兵器。公元 989 年,北宋建筑学家喻皓主持建造了杭州梵天寺塔和汴凉开宝寺灵威木塔,木塔高 11 层,建造中在每一层塔体周围设置一圈帷幕加以遮挡,起安全网作用,从而保证建造者的安全。1637 年,宋应星在《天工开物》一书中详尽记载了处理矿内瓦斯和顶板的安全技术,指出“初见煤端时毒气灼人,有将巨竹凿去中节,尖锐其末,插入炭中,其毒烟从竹中透出”;采煤时“其上支板,以防亚崩耳。凡煤炭取空而后,以土填实其井”。这一时期,人们对安全的认识是盲目的,出于保护自身不被伤害的生物本能,逐渐摸索出了实用方法。从某种意义上讲,这是现代建造与矿业安全工程的雏形。

到了工业革命时期(蒸汽机时代,17 世纪到 20 世纪初),蒸汽机的发明给人类发展提供了新的动力,机器的大量应用,使人类从繁重的体力劳动中解脱出来,劳动生产率空前提高。但是,劳动者在自己创造的机器面前,致死、致伤、致病、致残的事故频繁发生,这促使人们重视安全工作。针对机器存在的不安全因素,人们相继发明了各种防护装置、保险措施、信号系统以及预防性机械强度检验方法等。同时,许多国家制定了一些有关劳动安全方面的法律和改善劳动条件的相关规定。如美国麻省于 1867 年通过了工厂检查员的法律,法国北部联邦于 1869 年制定了工作灾害防止法案等。法律的约束使资本家不得不拿出一定资金来改善工人的劳动条件,同时也需要一些工程技术人员、专家和学者研究生产过程中的安全和卫生问题。许多国家先后出现了防止生产事故和职业病的保险基金等组织,并资助建立无利润的科研机构。如德国于 1863 年建立的威斯特伐利亚采矿联合保险基金会,1887 年建立公用工程施工事故共同保险基金会和事故共同保险基金联合会等,1871 年德国政府建立研究

噪声与振动、防火与防爆、职业危害防护理论与组织等内容的科研机构,1890年荷兰国防部支持建立了以研究爆炸预防技术与测量仪器,以及参加国际爆炸危险物质鉴定为宗旨的荷兰应用科学研究工业技术实验室。这一时期形成了现代工厂安全工程的雏形,可以称为工厂安全科学技术的诞生期。

到了20世纪初,随着工业的不断发展,人们除了注意对工业卫生和职业病的防治外,同时从设备与劳动者生理和心理因素两方面组织生产中的安全工作,由此产生了研究人与机器、环境关系的人机工程学。此后,随着工业技术的发展,工业生产过程、规模逐渐向集成化、连续化、大型化发展,安全事故的后果日益严重。鉴于现代化复杂系统的失效所造成的巨大灾难,世界各国对安全科学技术的研究与应用给予了很大重视。例如,为了核电厂的安全,各国制订了核电厂的设计、管理、国家级的应急计划,形成了一整套科学、可行的方案,为核安全提供了根本保障。1988年国际原子能机构出版《核电厂基本安全原则》一书,使全世界的核电厂安全管理及安全运行提高到了新的水平。树立安全是核电厂的生命的意识和观念,没有安全就没有核电厂的正常运转。由此,形成了基于复杂大系统安全的系统安全工程。

与此同时,世界各国加强了安全立法,并建立安全研究组织与研究机构,防止事故的发生。例如,据1977年初步统计,原联邦德国有36所安全研究机构,英国有44所,美国有31所,法国46所,荷兰13所等。同时,各国相继在高等院校开设安全工程、工业卫生工程、系统安全、防火技术等安全类专业,设立附属研究机构。如英国伯明翰市阿斯顿大学设立安全与卫生系,其研究计划涉及危害的概念、控制方法及其效果、确定并测定危险与安全程度、特殊危害测定、各种事故营救与急救方法、职业危害防护的理论与组织、职业事故的理论分析、预防事故的经济观点和职业病理学等。安全工程科学开始步入以安全为目标的系统工程时期,标志着安全系统科学的诞生。表1.1列出了安全科学技术发展的四个主要阶段及其特点。

表 1.1 安全科学技术发展的四个主要阶段及特点

阶段	时代	技术特征	认识论	方法论	安全科学的特点
I	工业革命前	农牧业及手工业	宿命论	无能为力	人类对于自然与人为的灾害与事故只能被动地承受
II	17世纪至20世纪初	蒸汽机时代	局部安全	亡羊补牢,事后型	建立在事故与灾难的经验上的局部安全意识
III	20世纪初至50年代	电气化时代	系统安全	综合对策及系统工程	建立了事故系统的综合认识,认识到人、机、环、管综合要素
IV	20世纪50年代以来	信息化时代	安全系统	本质安全化,预防型	从人与机器和环境的本质安全入手,建立安全的生产系统

安全科学技术是伴随人类社会发 展完善的,是以相互独立的实用技术的形式出现,随着电气化时代的到来,大的生产系统、技术系统的出现而发展并成熟的。安全科学的诞生,以1973年美国出版的《安全科学文摘》正式提出“安全科学”的概念为标志,从此,

安全科学进入了创立与发展时期。1981年原联邦德国安全专家库赫曼发表《安全科学导论》专著;1990年9月在德国科隆举行了第一次世界安全科学大会;1991年1月中国劳动保护学会创办《中国安全科学学报》;1991年5月出版14年之久的国际刊物《职业事故》杂志在荷兰宣布改名为《安全科学》,使安全进入了科学的殿堂。

与此同时,我国国家《学科分类与代码》(GB/T13745—92)将安全科学技术列为一二级学科。该学科由6个二级学科,29个三级学科组成,如表1.2所示,由此确立了高等院校三级学位教育。

表 1.2 我国安全科学技术学科分类及代码(GB/T13745—92)

一级学科		二级学科		三级学科	
代码	名称	代码	名称	代码	名称
620	安全科学技术	620.10	安全科学技术基础学科	620.1010	灾害物理学
				620.1020	灾害化学
				620.1030	灾害学
				620.1040	灾害毒理学
				620.1099	安全科学技术基础学科其他学科
		620.20	安全学	620.2010	安全系统学
				620.2020	安全心理学
				620.2030	安全模拟与安全仿真学
				620.2040	安全人机学
				620.2050	安全经济学
				620.2060	安全管理学
				620.2070	安全教育学
				620.2099	安全学其他学科
		620.30	安全工程	620.3010	消防工程
				620.3020	爆炸安全工程
				620.3030	安全设备工程
				620.3040	安全电气工程
				620.3050	部门安全工程
				620.3099	安全工程其他学科
		620.40	职业卫生工程	620.4010	防尘工程
				620.4020	防毒工程
				620.4030	生产噪声与振动控制
				620.4040	个体防护
				620.4099	职业卫生工程其他学科
		620.50	安全管理工程	620.5010	安全信息工程
				620.5020	风险评价与失效分析
				620.5030	工业灾害控制
				620.5040	安全检测与监控技术
				620.5099	安全管理工程其他学科
620.99	安全科学技术其他学科				

1.1.2 安全科学研究方法

安全科学研究技术应用中可能产生危险的问题。它既不涉及军事或社会意义的安全或保安,也不研究与疾病有关的安全,这些领域的安全问题与应用技术无关,也不是由应用技术而引起。安全科学的最终目的是将应用技术所产生的任何损害后果控制在绝对最低的限度内,或者至少使其保持在可容许的限度内。其内容包括保障人的安全,避免财产损失,并保护环境,以系统为对象进行预测研究。

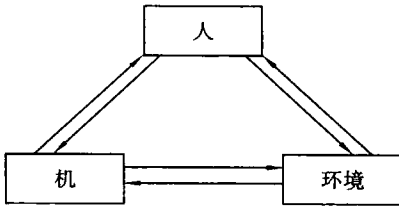


图 1.1 人-机-环境系统示意图

安全科学是集人-机-环境于一体的复杂系统(见图 1.1),事故是人-机-环境系统出现异常状况的结果,安全科学需要对这个系统中的“人”子系统、“机”子系统、“环境”子系统及其相互作用采用系统论模型进行分析研究。

在人-机-环境系统中,各个子系统在内容上具有相对独立性,子系统之间进行着信息、能量的相互交换,存在着相互作用和相互联系。按照考察的范围,这样的人-机-环境系统也可以分为局部(企业内部的人-机-环境系统,区域的人-机-环境系统和全球的人-机-环境系统,如图 1.2 所示。

局部范围是指在家庭、交通和生产过程中,人和技术装备直接接触,也即企业或公司内部的范围。安全科学技术研究的对象是单个的人-机-环境系统,危害控制的

在人-机-环境系统中,各个子系统在内容上具有相对独立性,子系统之间进行着信息、能量的相互交换,存在着相互作用和相互联系。按照考察的范围,这样的人-机-环境系统也可以分为局部(企业内部的人-机-环境系统,区域的人-机-环境系统和全球的人-机-环境系统,如图 1.2 所示。

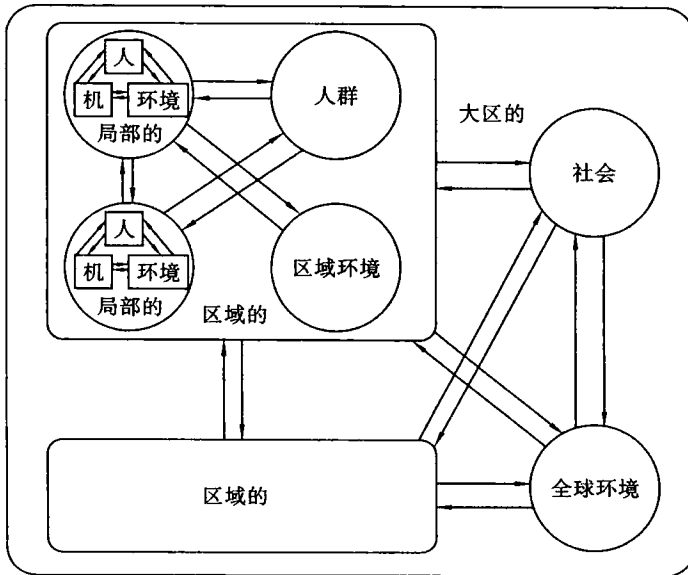


图 1.2 人-机-环境系统内局部的、区域的和全球的作用范围间的联系

手段包括由政府机构实施的许可程序,以及法律规定的有关装备(包括生产系统)的技术要求和安全措施。在局部的人-机-环境系统中的事故,可能源于局部环境或外部环境的干扰,也可能源于操作人的操作失误,或机器、生产系统的设计、制造、安装上的缺陷,以及人-机、人-环境或机-环境子系统的失调。

区域范围的人-机-环境系统的特点在于社区和社会的基础结构、区域的环境应力状况以及气候条件等,它直接影响局部范围内的人-机-环境的性能;反过来,局部的人-机-环境系统的性能直接决定区域的人-机-环境的性能。安全科学技术需要对区域内已有的或处于规划阶段的生产技术系统、技术装备的性能以及他们对人-机-环境中各子系统的影响进行研究。通过采用先进的技术,对区域内生产技术系统和装备科学合理地规划,以避免危害。

在大区域范围内,一个国家要考虑所倡导或已应用的任何技术、目前的工艺技术水平、人机学状况、工作场所的安全以及环境保护等问题。大区域范围人-机-环境系统直接影响区域和局部范围内的人-机-环境系统的结构和性能,反过来,区域范围的人-机-环境系统性能直接决定大区域范围的人-机-环境系统的性能,进而决定大区域范围社会总的危害因素及大小。因此,大区域范围安全科学技术以及对对象应是科学技术发展规划,通过鼓励和促进先进生产技术、限制落后的生产技术,提高局部范围的人-机-环境系统的性能,进而改善大区域的安全技术状况。

对于全球范围而言,没有一个组织可以直接对各个国家的生产技术系统和装备性能进行干预,然而,由于全球自由贸易的发展,通过贸易壁垒来影响和促进世界各国、各生产企业对人-机-环境系统的关注,成为促进全球人-机-环境系统性能的重要手段。政府、企业在世界范围进行采购活动时,要求生产国、企业通过 ISO14000 环境体系管理标准、ISO9000 质量管理体系标准、OSHA18000 职业健康安全管理体系标准以及 SA8000 社会责任管理体系标准认证,来促使各个区域的人-机-环境系统性能的改善,进而改进全球的人-机-环境系统性能。

通常采用以下两类系统分析方法对人-机-环境系统的安全性进行研究。

(1) 经验的系统分析方法。通过统计或经验的手段,对已发生的事故进行分析,确定人-机-环境系统的危险度及其属性。

(2) 理论的系统分析方法。依据人-机-环境系统内不同因素间的相互作用,从理论上推断系统的危险度,包括可能事故的理论分析。

1.1.3 安全科学发展趋势

安全科学的根本目标是保护人的生命安全、健康和财产安全,而最重要的是保障人的生命安全和健康。这一目标的实现,需要国家、社会、企业的共同努力。

(1) 国家。国家在保障人的生命健康安全和财产安全方面的手段是用法律制度约束企业、劳动者的行为,保障企业具备安全生产的环境条件,员工具有安全生产的

基本技能。国家的约束是强制性的,违者将受到法律的惩罚。

(2) 社会。社会包括国际社会(如国际非政府组织、国际劳工组织等)、媒体以及社团协会等非政府机构。社会在保障人的生命健康安全 and 财产安全方面,起监督和宣传作用。监督和揭露那些违背安全生产法律制度的生产行为,宣传安全生产知识等。

(3) 企业。企业是安全生产的主体,为企业员工职业安全与健康提供经济、技术、设施与环境保障。企业法人作为企业资源控制人,其对安全生产的态度,决定企业生产安全状况,只有企业法人的积极参与,才能有效地保障企业安全生产的长治久安。员工是企业安全生产过程的直接参与者,遵章守纪,严格按安全生产操作技术规程作业,是员工的基本职责。只有良好的工作环境、安全卫生设施,以及员工的精细作业,才能保障企业的安全生产。

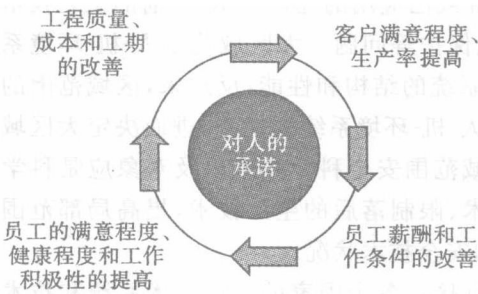


图 1.3 以人为本的良性循环

随着社会的进步,企业的价值观念开始发生转变,从专注于物本(利润)到以人为本,把考虑生产过程中人的职业安全、健康与人和人类社会的未来发展相结合。

如英国政府 1998 年提出了建筑业改革与发展战略模型(Egan,1998),如图 1.3 所示。这个模型明确了 5 个变革动力,提出了 4 项改革措施和 7 项目标,因此又叫做 5-4-7 战略模型,如表 1.3 所示。

表 1.3 英国建筑业 5-4-7 战略模型

变革的 5 个动力	改进生产过程的 4 个方面		需要实现的 7 个目标	
领导	产品 开发	合伙制 供应链	建设成本	-10%
以客户为中心			施工时间	-10%
生产队伍一体化			可预见性	+20%
质量驱动的工作日程	项目 实施	构件 生产	缺陷	-20%
对人的承诺和尊重			事故	-20%
			生产率	+10%
			产值与利润	+10%

战略模型中的重要内容是对人的承诺和尊重,也即以人为本。为此,英国建筑业建立了一整套帮助公司经理们达到目标的方法,并建立了如下的一整套评价指标体系:员工之间的平等与个性的多样性,工作环境,健康,安全,职业培训与终身学习,员工的满意程度。



图 1.5 塔科马桥风致共振破坏

晓的索桥自感应振动的机理被弄明白了,由此促进了索桥技术的飞跃发展。现在世界各地已建成的成千上万座索桥,如日本的明石海峡大桥等,成为现代化城市的一道亮丽风景,桥的跨度已超过百米,可以承受风速高达 80 m/s 的飓风。

案例 2 喷气式客机德哈维兰-彗星式飞机事故

喷气式客机德哈维兰-彗星式飞机问世时名噪一时,1952 年开始商业飞行。但仅过了两年,即 1954 年,就有两架在飞行途中相继爆炸。媒体对此给予了高度关注,并作了纪实性报道。彗星式飞机是由英国政府主导,从 1942 年着手开发的客机,英国政府把英国航空业的腾飞寄托在它身上,着力于喷气式客机开发和研究的德哈维兰公司正式参与了这项开发。这种飞机速度可达 800 km/h,具有高速、低振动、低噪声等优点,得到英国 BOAC 航空公司的正式使用。到 1953 年,即发生事故的前一年,共有 47 架彗星式喷气客机飞行在世界各地的蓝天上。

1954 年 1 月,这种喷气式客机在意大利中部埃尔巴岛的海上发生了首次事故。同年 4 月发生了第二次事故,这次是在意大利南部的斯特朗玻璃岛海上发生坠落事故。此后,彗星式客机的飞行被全面停止。当时的英国首相丘吉尔指示:“就是把英格兰银行的金库掏空,也要彻底搞清事故的原因。”这个有关英国政府声誉的调查正式开始了。

事故的原因在于当时尚未知晓的金属疲劳的机理。在高空,机体内外压力之差非常大,飞机的机体所承受的负荷远远超过地面。德哈维兰公司考虑到了这个压力差,也作了疲劳试验,结论为没有问题,然而,试验中还进行了耐压试验,机体受压抑制了疲劳裂纹的扩展,试验得出了飞机寿命相当于实际寿命 10 倍以上的错误结论。

现在,只要是承受动力荷载的结构、机械、设施都要模拟运行条件,进行疲劳试验,以此保证不会因疲劳而破坏。美国波音公司的成功,正是受益于彗星式喷气客机失败的教训,及时把高空中的金属疲劳技术用于飞机的设计,从而席卷了此后的飞机市场。

案例 3 美国“解放号”万吨运输船事故

在第二次世界大战期间,美国制造了大量被称为“解放号”的万吨运输船,共建造了 4 700 艘。制造这些船采用了高效的焊接技术。但在这些船使用后的 1941—1946