

石金涛 顾琴轩 韩 蒙 编著

安 全

人机工程



上海交通大学出版社

本书由上海发展汽车工业教育基金会资助

安全人机工程

石金涛 顾琴轩 韩 蒙 编著

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书以图文并茂的形式,系统地论述了安全人机工程这一综合性的软科学。全书共四篇 14 章:第一篇安全人机工程原理,从总体上介绍了安全人机工程的基本原理;第二篇生理、心理学原理在安全人机工程中的应用;第三篇系统原理在安全人机工程中的应用和第四篇人一机系统的安全分析与评价。后三篇则是对安全人机工程展开具体的论述。本书在突出安全人机工程的边缘科学性质的同时,也突出了安全人机工程的应用性和可操作性。本书既适合大专院校工业管理、工业工程、人力资源管理等相关专业的学员使用,也可供工程设计人员、工业管理者、工业工程、人力资源管理等实际工作人员以及从事有关理论研究和教学的人员阅读与参考。

安全人机工程

上海交通大学出版社出版、发行

上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030

全国新华书店经销

东方出版中心海峰印务公司·印刷

开本:850×1168(毫米)1/32 印张:7.875 字数:201000

版次:1997 年 12 月 第 1 版 印次:1998 年 2 月 第 1 次

印数:1-1200

ISBN7-313-01968-8/C·033

定价:12.00 元

前 言

安全人机工程是一门综合性的、多学科交叉的边缘科学,其内容涉及心理学、生理学、环境工程学、系统科学、管理科学等多门学科的知识。而作为一门相对独立的学科,安全人机工程的发展渊源基本上起自“人机工程”或称“人类工效学”的学科。也可以说,它是人类工效学在安全领域中的一个重要的分支。

人类工效学是在第二次世界大战期间产生并在 50 年代获得迅猛发展的。在我国,这门学科的兴起和发展始于 80 年代。80 年代末,人类工效学分化出许多重要的分支,有相应的学术委员会或群众性的学术团体,并且经常开展学术活动。中国人类工效学会的安全与环境保护、管理工效学、安全人机工程等分支的学术活动相当频繁。这些活动不仅大大促进了该学科的发展,而且为实际部门解决了很多难题,作出了许多贡献。尤须指出的是,安全人机工程的研究和发展对于工业生产部门预防事故的发生、减少事故的损失、完善系统的可靠性设计等有着重要的现实意义。因此,无论对于从事工程技术的实际工作者,还是对于进行基础研究或教学理论工作者来说,将劳动卫生学、生理学与心理学、预防医学、系统科学、环境工程学等多方面的知识融合提炼,从而获得有关以人机安全为主导的较系统的知识,并在实践中加以运用和发展,同时又注意吸收国外的先进理论与技术方法,使其成为一门独立性强的有厚实的理论基础、较成熟的研究方法和实验手段、较强实际应用价值的学科,这已成为同仁的共识。我们怀着为发展和完善安全人机工程学科的宗旨,在参考了国内外主要论著与文献的基础上,结合教学中的心得体会,编写了本教材。本书编写的具体分工是:第一篇一、二、三、四章由石金涛编写;第二篇五、六、七、八章由顾琴轩编写;第三篇九、十、十一章由韩蒙与石金涛合写;第四篇十二、十

三、十四章由韩蒙与顾琴轩合写。全书由顾琴轩统稿。由于编写者的水平有限,不足之处在所难免,恳切希望读者批评指正。

本书在编写过程中,参考引用了国内外许多著作和文献资料,在此,特向有关著作作者致以诚挚的谢意。同时,对为本书作序的上海市经委赵国通总工程师深表谢意。

编 著 者

1997年10月

序

安全,往往与可靠、完整、没有危险、没有故障等概念相关联。实际上,这些概念与安全既有联系又有区别。而与安全联系得最紧密的莫过于“人”与“机”(广义的“机”包括环境)这两个因素。机的安全,往往与“工程学”等联系在一起;而人的安全,则非常复杂,与生理学、心理学、管理学等多种学科密切相关。如果把人机合在一起作为一个有机系统来考察和研究,就更不是靠一两门学科所能研究清楚的。事实上,安全人机工程作为人类工效学的一门重要分支,其涉及的领域包括生理学、心理学、管理学、系统学、工程学、卫生学等多种学科。它是应时代之“运”而生,是在当今科学技术高度发展、工业生产突飞猛进的背景下为解决人机“安全”问题而产生的一门新兴边缘学科。

那不勒斯大学的一位教授在日本机械学会成立 80 周年时曾讲“安全是人们的一种心理状态”。可见,在人—机系统中,重要的是将人们的心理状态调适到一个水平,使人们确信这一系统对其的安全保证,这样才可能激发人们努力工作、积极进取。而这种保证除了靠管理、靠思想工作、靠政策之外,还要靠有效的事故防范技术措施,靠对事故分析、预测的科学方法。因此,对安全人机工程的研究,在现实中具有深远的意义。它能促使机械设备和生产系统的设计人员、工业管理人员在考虑安全问题时,把人的因素提到首位,从而有效地提高生产效率。目前在我国,安全人机工程还处于成长发展阶段,本书不吝篇幅,对安全人机工程的原理、方法、体系都作了比较切合实际的探讨,我以为其中不乏有新的尝试。

本书以教材之要求为编写目的,构思自然,分门别类,自成一体。我希望通过本书,能使各大专院校工业管理、工业工程、人力资源管理以及安全工程等相关专业的学员获得较系统的知识;同时

我也希望,从事有关实际工作的人员、理论研究人员和教师能从中受到教益;最后我还希望,本书编写者在以后的工作中再接再厉,为不断丰富和完善安全人机工程这一学科作出新的努力。

赵国通

1997年10月

目 录

第一篇 安全人机工程原理	1
第一章 人机工程和安全人机工程的基本涵义	2
第一节 人机工程的基本涵义.....	2
第二节 安全人机工程的定义及有关概念.....	5
第二章 作业场所和作业方法	11
第一节 作业区域的设计与改善	11
第二节 作业姿势与人体测量	13
第三节 动作分析	17
第四节 控制器及其设计改进原则	20
第三章 人的反应特征和作业环境	24
第一节 人的反应特征	24
第二节 环境及其对人的影响	26
第四章 操作者与组织管理者的安全行为	34
第一节 行为科学与安全行为的学说与原理	34
第二节 组织管理者的安全行为	37
第三节 安全管理者对行为科学理论的运用	38
第二篇 生理学、心理学原理在安全人机工程中的应用	42
第五章 劳动者基本的生理与心理活动	43
第一节 劳动者基本的生理活动	43
第二节 劳动者基本的心理活动	50
第六章 作业能力	59
第一节 作业能力是一个动态过程	59
第二节 影响作业能力的因素	61

第三节	提高作业能力的主要措施	65
第七章	作业疲劳	70
第一节	疲劳的定义和分类	70
第二节	疲劳的生理学和心理学研究	72
第三节	疲劳的预防与消除	83
第八章	安全心理	87
第一节	安全心理分析的意义	87
第二节	影响安全的主要心理因素	89
第三节	预防不良心理影响安全	96
第三篇	系统原理在安全人机工程中的应用	101
第九章	系统、系统工程与安全人机系统	102
第一节	系统和系统工程	102
第二节	安全人机系统工程	104
第十章	安全人机系统的事故模型的建立及系统模拟 技术	108
第一节	安全人机系统的事故模型与事故致因理论	108
第二节	系统理论的人因素模型	112
第三节	事故因果性模型	116
第四节	轨迹交叉论事故模型	122
第五节	系统中以人失误为主因的事故模型	125
第六节	系统中以管理失误为主因的事故模型	130
第七节	单纯性人机械事故模型	134
第八节	系统模拟技术	138
第十一章	系统可靠性分析原理	144
第一节	系统可靠性的一般概念	144
第二节	危险与风险分析原理	152
第三节	系统中人的伤亡事故统计分析原理	162

第四篇 人一机系统的安全分析与评价	178
第十二章 人一机系统的安全分析	179
第一节 人一机系统安全分析的概念、方法及类别	179
第二节 人一机系统安全分析的要素及原则	181
第十三章 人一机系统安全评价	184
第一节 人一机系统安全评价的内涵及评价过程	184
第二节 人一机系统安全的定性评价与定量评价	185
第十四章 人一机系统的安全分析方法	206
第一节 预备事故分析(PHA)	206
第二节 故障类型影响分析(FMEA)及其致命度分析 (FMECA)	208
第三节 事件树分析法(ETA)	220
第四节 故障树分析法(FTA)	226
第五节 管理失误和危险树分析法(MORT)	234
后记	241

第一篇 安全人机工程原理

安全人机工程是一门多学科交叉的软科学,是一门以其自身独特的基本原理为核心的应用性很强的综合性边缘科学。在具体展开探讨安全人机工程之前,我们将在本篇中较系统地阐述安全人机工程的基本原理。

第一章 人机工程和安全人机工程的基本涵义

第一节 人机工程的基本涵义

一、人机工程学的定义

人机工程学(Ergonomics)又称为“人类工效学”。著名的美国人机工程学和应用心理学家 A. 查帕尼斯(A. C. Chapanis)的定义是：“人机工程学是在机械设计中,考虑如何使人获得操作简便而又准确的一门学科。”有的学者认为：“人机工程学是在综合各门有关人的科学成果的基础上研究人的劳动活动的科学”。

任何一个生产和操作场所,总是包含着人和机器,以及围绕着机器和人的环境条件,这是一个统一的综合体(见图 1-1)。这个综

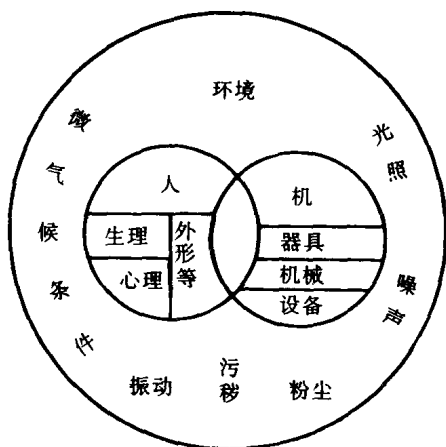


图 1-1 人—机—环境统一体

合体的相互关系,显然不是平等的关系,而是主从关系,即人(主动者)始终是有意识、有目的地操纵机器和控制环境的主体,而机器(被动者)始终是劳动工具,是在人的操纵下执行人意志的客体。人与机械的关系是否协调,要看机械本身是否具备适应人的生理与心里的特征而定。环境往往不能完全受人的控制,因此,对人总有一定的约束和影响。人是劳动的主体,主要是应用劳动生理学和管理心理学的理论对其进行研究;环境条件则是属于工业卫生学 and 环境保护学的研究对象。

因此,我们对“人机工程学”的定义可以简括为:它是一门研究人一机—环境系统中有关人的生理、心理及机器外形尺寸等特征的综合性边缘科学。其研究目的是使设计的机械、设备、环境更适合于人的各种特性,使人操作起来更为合理、效率更高、错误更少、体力消耗更小,以保证人能安全、健康、舒适地工作,从而提高这一系统的效能。

二、人机工程学的基本原理

管理是人类活动的特殊形式。作为企业管理的对象来说,主要有两方面:一是对人的管理;二是对“物”的管理。对人的管理,主要是处理好人与人的关系,将管理人与被管理人当作一个系统(人—人系统)来研究,研究人的思想、动力、素质与生理心理特点等,并且强调研究的方法,从而最大限度地调动人的积极性,最终达到提高工作(劳动)效率的目的。这是管理心理学者研究的主要内容;对“物”的管理,是指对劳动工具(包括机器)和劳动过程的管理。涉及“物”的管理的主要问题是人和机器的关系,即将人和机器当作一个系统(即人—机系统)来研究,强调机器的设计要适应人的心理和生理要求,使人和机器互相适应和协调,从而提高企业的劳动生产效率。人和机器虽然各是不同的研究对象,但它们之间是互相联系和相互制约的。前者是从一个企业的总体上去提高工效,后者可以说是从一个个局部系统上去提高工效。

人—机系统的范围很广,如人操纵机器、驾驶汽车、监督自动

化生产过程、雷达跟踪等。可以说,凡是有人操纵控制的系统都属于这种人—机系统的范围。甚至也可以说,一切的人工系统都是人一机系统,所不同的只不过是人参与整个系统的程度不同而已。

三、人和机器的基本特征及其分工

在人—机系统中,人是主体,机器是客体。机器是人设计的,是人的工具,为人服务,起主导作用的永远是人。

人具有一定的生理、心理和社会特征,并由此影响其从事工作的能力和形成一定的局限性。因此,在对人与机器特征机能作分析比较时,就应当研究人的能力和局限性的差别,从而找出大多数人所共有的特征,以求得具有普遍指导意义和使用价值的依据。

机器设备是按人的某种目的要求而进行设计的,它取代了人的一部分能力。但是,人和机器各具特点,如何使人与机器得到合理分工,取长补短,发挥各自的优势,相互配合,建立完善的人—机系统来共同完成许多人和机器都不能独立完成的工作,就须对人和机器的特征、机能进行分析研究,从而设计出高效能的人—机系统。

人与机器的分工大体是:快速、精密、笨重、危险、规律性、单调重复的工作以及具有放射性损害的工作等宜分配给机器去完成;机械系统的监督、维修和程序设计,以及情况多变和须对意外事件作出及时处理等柔性应变工作,应分给人去完成。人的信息接收、信息储存、信息处理和操作动作的输出四大功能与系统中的机器或设备功能分配得恰如其分,才能互相协调使系统发挥最佳的效能。而人的功能在系统中始终处于主导地位,但同时又受制于机器及环境条件。故而人机工程主要是研究人的功能,并使机械与环境条件适应人的功能。

第二节 安全人机工程的定义及有关概念

一、安全人机工程的定义与基本内容

安全人机工程作为人机工程(人类工效学)的一个分支,其定义可以概括为:它是研究人一机—环境系统中机械设备装置与环境条件的安全性、可靠性设计是否符合人的外形尺寸、生理心理等特性的一门综合性边缘科学;它突出系统中的人这一主体要素,把提高系统安全性能立足于“机适应于人”之上,而不是像传统方法中偏重于选拔与训练“适应于机的人”;其目的是要使具有正常熟练程度的人员能按照常规在系统中健康、安全、高效、舒适地进行操作活动,尽量避免发生判断、决策、操作动作的错误,从而最大程度地提高系统的效能。

安全人机工程与部件安全和安全系统工程既有联系又有区别。

部件安全(Component Safety)是安全工程学(Safety Engineering)历来重点研究的课题,这是由专门技术延伸与发展出来的“硬技术”,并由此而产生了诸如化工安全、电气安全、热工安全、材料安全等等专门技术学。主要的研究目标是寻求有关“部件”不超过受破坏的界限或某种临界值。而部件的安全界限究竟对组成部件的系统安全性发生什么影响,不一定能在安全工程学中研究清楚。因此严格地讲,孤立地研究部件安全只能说是局部的安全工程学。

系统安全(System Safety)考虑部件之间的相互关系、部件与人之间的相互关系以及通过一整套分析、评价、运算等手段来考虑系统不受到破坏(包括子系统)的研究课题,即安全系统工程的课题,但它把人、机作为子系统平等地加以考虑。“人机工程学”则考虑到作为系统安全中最重要的莫过于人的安全这一关键问题,由此提出了“安全人机工程学”的专用术语。

安全人机工程的基本内容是：人体的体形情况及人体测量方法；对视觉信息、听觉信息、触觉信息接收特性的研究及信号装置、开关按钮等器具的设计改进；对操作范围、动作及用力姿势等分析研究及改进机械工具、装置的布置方式；对信息存储及注意力的研究；对生理耐受限及心理活动阈值的研究及改善环境条件（照明、噪声、微气候、粉尘、振动等）的研究；对误操作发生原因分类的研究及相应的防范装置与措施的研究等等。研究安全人机工程也离不开对系统安全的研究，为此有必要学习一些有关系统安全的概念。

二、系统安全性的概念与衡量

（一）系统安全性的概念

系统安全的提出是本世纪 60 年代初的事。

1963 年，美国空军系统司令部（U · S · Air Force Systems Command）在军用标准 MIL-SPEC 制定中首先提出了“系统及有关的子系统与设备的安全系统工程：一般规格说明”（System safety engineering of systems and associated subsystems and equipment；general requirement for）。现在，系统安全已从开创期进入应用期。前些年，由于像三里岛核电站事故（美国）、切尔诺贝利核电站事故（前苏联）、博帕尔联合碳化物公司毒气泄漏事故（印度）等重大事件的发生，引起了世界各国高层领导对系统安全性与可靠性问题的关注。世界性的国际劳工组织（ILO）在第 71 届会议上（1985 年 6 月在日内瓦召开）通过了一项决议，规定要采取措施来预防由于危险品和工业生产过程中的不安全而引起的危险与事故。鉴于系统的安全性、可靠性问题与人的因素有关，这样，近年来安全工程学、可靠性工程学、可维修性工程学不仅把“硬件”（即元件或部件）的可靠性问题列为主要研究对象，而且进一步提出了以人为主要研究对象的“安全人机工程学”的新课题。

所谓安全，在希腊文中的意思就是“完整”，而在梵语中的意思是“没有受伤”或“完整”，在拉丁文中又有“卫生”（Salvus）之意。

安全,是指一种状态,即某一部件、某一子系统或系统保持完整的一种状态。安全性是指上述状态能够维持的能力。

危险也是一种状态,指某一部件、某一子系统或系统即将处于遭受破坏(不能保持完整)的状态。危险性是与安全性相对立的概念,即系统不能保持完整的程度。

没有绝对的安全,即安全状态之中总是潜伏着一定的危险因素。所以研究安全性,就是研究如何减少危险性。

事故是指安全状态遭到破坏时发生的某一个或若干个事件,这些事件是安全状态遭受破坏的直接原因。事故可能引起:①危险状态的发展使其某一个或若干个事件发生,导致系统(或子系统、部件)遭受破坏;②上述事件发生虽未引起破坏,但也足以使系统的运行发生永久性中断,造成与目标逆向运行的结果。

故障或错误:指发生部件(或人、系统)不能按预定目标实现其效用的某些事件。可靠性就是指系统或人、子系统、部件在规定时间内完成预定目标实现其效用的能力,一般用概率(可能程度)来度量。故障、错误的发生对系统可靠性有影响,但不一定对安全性有影响。

显然,安全性概念的内涵要比可靠性概念浅,但外延范围要广泛得多。一个安全性高的系统不一定可靠性高,但一个安全性差的系统,可靠性一定也是很差的。

所谓系统的安全性,是指特定的人—机—环境系统,在人的有效活动范围与活动时间内,考虑成本、系统效率、环境输出的产量质量等制约条件时,系统(或与其相关联的子系统、部件、人员)能够维持其免遭破坏及伤害的状态的能力大小。系统的安全性,实际上就是其“安全性能”。

在以前,一些文章把系统安全性定义为“系统的最佳安全状态”,这是不恰切的。理由何在?其一,用“安全状态”来定义“安全性”,逻辑上不够严密;其二,用“最佳”的说法不确切,所谓最佳,究竟是指什么?不考虑制约条件的简单定义是容易的,但在实施系统安全的办法时却不可能省略技术上的可行性和经济上的可行性等