

目 录

0 绪论	(1)
0.1 概述.....	(1)
0.1.1 安全人机工程学.....	(1)
0.1.2 安全人机工程学研究的主要内容.....	(2)
0.2 事故发生的机理.....	(2)
0.2.1 事故的本质是能量逸散的结果.....	(2)
0.2.2 常见的机械事故及其原因.....	(3)
0.2.3 事故发生的动态过程及分析事故原因的基本方法.....	(4)
0.3 安全技术.....	(5)
0.3.1 安全检测.....	(5)
0.3.2 安全试验.....	(5)
0.3.3 安全装置.....	(5)
0.3.4 安全技术规程.....	(5)
0.4 实现人机系统安全的基本途径.....	(6)
0.4.1 预防事故发生.....	(6)
0.4.2 控制事故损伤程度.....	(6)
1 人机系统	(7)
1.1 人机信息及能量交换系统模型.....	(7)
1.2 人机系统.....	(7)
1.3 人机功能分配.....	(8)
1.3.1 人在人机系统中的主要功能.....	(8)
1.3.2 人机特性的比较.....	(8)
1.3.3 人机功能分配原则.....	(10)
1.4 人机系统的类型.....	(11)
1.5 信息及人的信息传递.....	(10)
1.6 人机系统的数学模型.....	(11)
1.6.1 人机系统数学模型的概念.....	(11)
1.6.2 闭环控制系统.....	(12)
1.6.3 人机系统模型的特性.....	(14)
1.6.4 人的传递函数.....	(15)
1.6.5 人机系统传递函数的解析法.....	(16)
2 机械的可靠性设计与维修性设计	(21)
2.1 概述.....	(21)
2.1.1 可靠性及其重要性.....	(21)
2.1.2 可靠性技术.....	(21)
2.1.3 影响人机系统可靠性的因素.....	(21)

2.1.4	可靠性设计	(21)
2.2	可靠性定义及其度量指标	(22)
2.2.1	可靠性	(22)
2.2.2	可靠性度量指标	(22)
2.2.3	可靠性特征量之间的关系	(25)
2.3	机械产品的故障分布类型	(25)
2.3.1	指数分布	(26)
2.3.2	正态分布	(27)
2.3.3	威布尔分布	(28)
2.4	系统或产品的可靠性预计	(29)
2.4.1	串联系统的可靠性预计	(30)
2.4.2	并联系统的可靠性预计	(31)
2.4.3	串-并联系统的可靠性预计	(31)
2.5	机械设备结构可靠性设计要点	(32)
2.5.1	确定零件合理的安全系数	(32)
2.5.2	贮备设计(冗余设计)	(34)
2.5.3	耐环境设计	(34)
2.5.4	简单化和标准化设计	(34)
2.5.5	提高结合部的可靠性	(35)
2.5.6	结构安全设计	(35)
2.5.7	设置齐全的安全装置	(35)
2.5.8	人机界面设计	(35)
2.6	维修性设计	(36)
2.6.1	维修及维修性	(36)
2.6.2	产品结构的维修性设计	(36)
2.6.3	可靠性设计与维修性设计的关系	(38)
3	人的生理心理因素	(41)
3.1	人的生理因素	(41)
3.1.1	人的感觉与感觉器官	(41)
3.1.2	人体的特性参数	(49)
3.1.3	大脑的觉醒水平与生理节奏	(61)
3.1.4	疲劳	(63)
3.2	人的心理因素	(65)
3.2.1	人的心理特征	(66)
3.2.2	个性心理特征的运用	(70)
4	人的可靠性	(72)
4.1	人的可靠性分析	(72)
4.1.1	人的不稳定因素	(72)
4.1.2	人的不安全行为	(72)

4.2	人的失误及其防止措施	(73)
4.2.1	人的失误及其分析	(73)
4.2.2	防止人失误的措施	(74)
4.3	导致事故的生理因素和心理状态	(75)
4.3.1	导致事故的生理因素	(75)
4.3.2	导致事故的心理状态	(75)
4.4	人的操作可靠度计算	(78)
4.4.1	简单人机系统的可靠度计算	(78)
4.4.2	二人监控人机系统的可靠度	(88)
4.4.3	多人表决的冗余人机系统可靠度	(89)
4.4.4	控制器监控的冗余人机系统可靠度	(89)
4.4.5	自动控制冗余人机系统可靠度	(89)
4.4.6	确定单项作业可靠度的方法	(89)
5	机械设备基本结构及其潜在危险	(91)
5.1	机械设备的基本结构及其分类	(91)
5.1.1	机械设备的基本结构	(91)
5.1.2	机械设备的分类	(91)
5.2	典型机械的基本结构及工作原理	(93)
5.2.1	加工机械	(93)
5.2.2	冲压机械	(94)
5.2.3	桥式起重机	(96)
5.2.4	木工平刨床	(96)
5.3	机械设备的危险与有害因素及其危害	(97)
5.3.1	机械的危险与有害因素及其伤害	(97)
5.3.2	非机械的危险与有害因素及其伤害	(98)
6	机械产品失效及失效树分析	(102)
6.1	概述	(102)
6.1.1	机械产品的失效及其特点	(102)
6.1.2	机械产品的失效原因	(102)
6.1.3	机械零件的失效形式及其分类	(104)
6.1.4	失效分析	(106)
6.2	典型失效形式分析	(108)
6.2.1	变形失效	(108)
6.2.2	断裂失效	(109)
6.2.3	表面损伤	(114)
6.3	失效树分析	(116)
6.3.1	概述	(116)
6.3.2	失效树符号及其含义	(117)
6.3.3	失效树的建立	(117)

6.3.4	典型系统的失效树	(119)
6.3.5	失效树分析	(121)
7	安全装置	(130)
7.1	机械设备安全装置的作用及其分类	(130)
7.1.1	安全装置的作用	(130)
7.1.2	安全装置的分类	(130)
7.1.3	电气及液压主要控制元器件及其工作原理	(132)
7.2	典型安全防护装置	(138)
7.2.1	隔离防护安全装置	(138)
7.2.2	联锁防护安全装置	(141)
7.2.3	超限保险安全装置	(149)
7.2.4	制动装置	(154)
7.2.5	报警装置	(157)
7.2.6	防触电安全装置	(159)
7.3	安全监测与控制系统	(160)
7.3.1	监测与控制系统及其组成	(160)
7.3.2	监测设备的选择及诊断实例	(162)
7.4	安全装置设计原则	(163)
7.4.1	安全装置的组成	(163)
7.4.2	安全装置的设计原则	(164)
8	机械设备的安全操作	(165)
8.1	概述	(165)
8.1.1	安全操作及其作用	(165)
8.1.2	操作前的安全检查	(165)
8.2	典型机械的安全操作	(166)
8.2.1	车床的安全操作	(166)
8.2.2	磨床的安全操作	(167)
8.2.3	机床工作中意外危险的防护	(168)
8.2.4	冲压设备安全操作	(168)
8.3	生产过程机械化、自动化及其安全技术	(173)
8.3.1	机械化、自动化基本概念及典型自动化机械	(173)
8.3.2	机械化、自动化操作中的不安全因素	(177)
8.3.3	对机器人的安全要求	(178)
8.3.4	工业机器人监控人员作业中应遵守的安全事项	(178)
8.3.5	自动化生产线及工段的安全要求	(178)
9	机械设备维修安全技术	(182)
9.1	维修中的不安全因素	(182)
9.1.1	维修的基本概念	(182)
9.1.2	维修内容及方法	(182)

9.1.3	维修中的不安全因素	(183)
9.2	维修中的安全技术	(184)
9.2.1	建立完善的安全维修标准	(184)
9.2.2	检修作业中的安全技术	(184)
9.2.3	试运转中的安全技术	(185)
9.3	易燃易爆及有毒设备维修安全技术	(187)
9.3.1	易燃易爆及有毒设备维修中的伤害	(187)
9.3.2	检修前的准备工作	(187)
9.3.3	维修作业中的安全事项	(188)
10	显示器设计	(190)
10.1	显示器分类及功能	(190)
10.1.1	显示器分类	(190)
10.1.2	显示功能及显示性能的要求	(190)
10.1.3	显示器的设计原则	(191)
10.2	视觉显示方式的选择	(191)
10.2.1	概述	(191)
10.2.2	定量显示方式选择	(192)
10.2.3	定性显示方式选择	(193)
10.2.4	振动对认读能力的影响	(196)
10.3	刻度盘指针式显示器的设计	(197)
10.3.1	指针式显示形式的选择	(197)
10.3.2	刻度盘及指针设计	(198)
10.3.3	仪表照明设计	(200)
10.4	数字显示器设计	(200)
10.4.1	字体和符号设计	(200)
10.4.2	机械式数字显示器设计	(201)
10.4.3	电子数字显示器设计	(201)
10.5	听觉传示设计	(202)
10.5.1	音响及报警装置	(202)
10.5.2	语言传示装置	(203)
11	操纵控制器设计	(206)
11.1	控制器的作用及分类	(206)
11.1.1	控制器在人机系统中的作用	(206)
11.1.2	控制器的分类与选择	(207)
11.2	控制器设计因素	(208)
11.2.1	设计要求	(208)
11.2.2	设计中的人机因素	(209)
11.3	典型控制器设计	(213)
11.3.1	手操纵小型控制器设计	(213)

11.3.2	方向盘的设计	(214)
11.3.3	操纵杆设计	(216)
11.3.4	脚和腿操纵的控制器设计	(218)
12	显示器与控制器的组合设计	(223)
12.1	显示装置与控制装置设计的原则	(223)
12.2	仪表显示装置的布局设计	(224)
12.2.1	显示器位置与反应速度的关系	(224)
12.2.2	刻度盘指针式仪表群的布局	(225)
12.3	控制装置布局设计	(227)
12.3.1	控制器的位置设计	(227)
12.3.2	控制器的间隔设计	(227)
12.3.3	防止误操作设计	(228)
12.4	显示装置与控制装置的协调设计	(228)
12.4.1	使显示器与控制器的空间及逻辑位置一致	(229)
12.4.2	使显示器与控制器运动一致	(230)
12.4.3	使显示器与控制器的概念一致	(231)
12.4.4	控制-显示移动量比率设计	(231)
12.4.5	避免操作对显示的干扰	(232)
13	作业空间设计	(234)
13.1	作业空间概念	(234)
13.2	不同作业姿势下的活动范围	(234)
13.2.1	立姿活动空间	(234)
13.2.2	坐姿活动空间	(235)
13.2.3	单腿跪姿活动空间	(236)
13.2.4	仰卧姿活动空间	(236)
13.2.5	各种作业姿势的最小作业空间	(236)
13.3	最佳作业空间的选择	(239)
14	作业环境设计	(239)
14.1	作业环境	(239)
14.2	热环境	(239)
14.2.1	影响热环境的因素	(239)
14.2.2	人体的热平衡	(240)
14.2.3	热环境对人体的影响	(240)
14.2.4	环境温度的安全标准	(241)
14.2.5	环境温度的防护措施	(242)
14.3	照明设计	(242)
14.3.1	照明对生产作业的影响	(242)
14.3.2	照度标准	(244)
14.3.3	照明设计	(246)

14.4	色彩环境	(247)
14.4.1	色彩与色觉	(247)
14.4.2	色彩对人的影响	(248)
14.4.3	色彩设计	(250)
14.5	噪声与振动对作业的影响	(251)
14.5.1	噪声及其度量	(251)
14.5.2	噪声对人体的影响	(252)
14.5.3	噪声对信息传递和工效的影响	(252)
14.5.4	噪声标准及控制	(253)
14.5.5	振动及其对人的影响	(255)
14.5.6	振动的评价标准	(256)
14.6	有毒环境	(257)
14.6.1	有毒气体和蒸气	(257)
14.6.2	工业粉尘和烟雾	(258)
14.6.3	有毒环境的卫生标准	(259)
14.6.4	有毒环境的防治途径	(260)
14.7	电磁辐射	(261)
14.7.1	射频辐射作业环境	(261)
14.7.2	红外辐射作业环境	(262)
14.7.3	紫外辐射作业环境	(262)
14.7.4	激光作业环境	(262)

0 绪 论

0.1 概 述

0.1.1 安全人机工程学

1 安全工程学

安全工程学是研究防止生产过程中人为灾害发生的过程、原因以及预防、清除灾害发生的措施,使生产纳入正常轨道的一门独立学科。该学科研究的范围很广,除了研究生产中的灾害,还研究由于生产造成的环境公害以及人们日常生活中的灾害。

生产中的安全问题,按学科分主要包括化工安全、机械安全、电气安全和建筑安全等。

可见,安全工程学是一门研究面广,多学科相互渗透的新兴学科。

2 人机工程学

关于人机工程学在国外或国内有种种不同提法,如人类工效学、人类工程学、人体工程学和工效学等。从研究目的、内容及范围,称人机工程学更合适些。人机工程学是运用生理学、心理学、人体测量、生物力学及其它有关学科的知识,运用系统工程的方法,研究人与机器和环境相互作用,相互依赖的关系,进行总体分析,优化组合,达到提高人机系统可靠性、高效、经济、适宜环境的一门综合性边缘学科。它属于系统工程学的一个分支,系统论、控制论和信息论是它的基本指导思路。

3 安全人机工程学

安全人机工程学的研究对象是人-机-环境系统,所以首先应弄清系统及人机系统等概念。所谓系统是指由相互作用、相互依赖的若干组成部分结合而成的具有特定功能的有机整体。作为系统有以下几个特性:

- (1)整体性 系统中的每个单元要素的性质和行为都将影响到系统整体的性质。
- (2)相关性 系统中各单元要素之间是有机联系、彼此作用的。
- (3)目的性 系统都有既定的目的要求,都有为实现既定目的而具备的功能。
- (4)环境适应性 任何系统都处于一定的物质环境之中,它必须适应这个环境的变化。

在现代工业生产和生活中,所有机器都是由人设计和制造的,用来满足人类的某种需要,而机器又是由人类操纵、调整、检查、使用和维修的,因此,在生产和生活中人和机器就紧紧地联系在一起,构成一个不可分割的整体。即在现代社会中,人离不开机器的服务,机器更离不开人的管理。人机系统是指人与机器构成的系统,其中“机”可以是人之外的万物,本教材主要指的是机械设备或设施。在人机系统中,人与机器总是相互作用、相互配合,又相互制约,不过,人在其中始终起主导作用,任何系统都离不开所在的工作环境,所以通常所说的人机系统实际上是指由人、机器和环境所组成的人-机-环境系统,如图 0.1 所示。

安全人机工程学是人机工程学的的一个分支,是专门研究工业生产过程中人和机器的安全问题,即从安全的观点出发,运用人机工程学、机械工程学、可靠性等理论,为设计制造出安全

可靠的机器提供安全技术资料,并对机器结构设计、信息显示及控制设计提出基本安全要求和设计准则。

0.1.2 安全人机工程学研究的主要内容

由以上分析可知,安全人机工程学所研究的人-机-环境及其它所涉及的诸多因素中中心环节是研究人与机器的关系。为使所设计的机器既能完成机器既定的功能,且安全可靠,又能适应人的生理和心理特性,还能适应所处环境的影响。本课程研究的主要内容包括如下几方面:

(1)分析机械设备及设施在生产过程中的不安全因素,并进行针对性的可靠性设计和维修性设计、安全装置设计、安全启动和安全操作设计及安全维修设计等。

(2)研究人的生理和心理特性,分析研究人和机器各自的功能特点,进行合理的功能分配以构成不同类型的最佳人机系统。

(3)研究人与机器相互接触、相互联系的人机界面中信息传递的安全问题,即人通过控制和操纵元件使机器启动、运转,又从显示器接受机器运行状态的反馈信息,经过人的思维和决策,再通过控制、操纵元件将决策指令传递给机器,使之维持正常运转。在人机之间信息传递过程中,既应符合机器的运动规律,又应适合人的生理心理特性,否则,会因信息传递失误而引起事故。

(4)人机系统在完成一定作业功能时总是在一定环境中进行,而且受环境条件的影响和限制。所以本课程的另一个任务是研究如何消除或减少振动、噪声、温度、湿度、毒气等环境因素的不良影响。

在人机系统中人始终起着核心和主导作用,机器起着安全可靠的保证作用。解决安全问题的根本方向是实现生产过程的机械化和自动化,让工业机器人代替人的部分危险操作,从根本上将人从危险作业和危险环境中彻底解脱出来,实现安全生产。

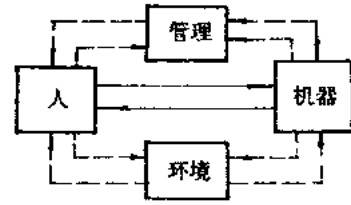


图 0.1 人机系统框图

0.2 事故发生的机理

事故是指个人或集体在时间的进程中,为了实现某一个目标采取行动的时候,由于危险行为或危险因素,突然发生了与人的意志相反的情况,迫使这种行为暂时或永久停止的事件。事故发生后,可能会造成财产损失或人身伤亡。

在事故发生之前一定存在危险行为或危险因素,原则上讲,只要人们认识并制止了危险行为的发生或控制了危险因素向事故转化的条件,事故是可以避免的。但是,由于人们对事物认识的局限性,当危险因素还未被人们认识之前,就无从采取预防措施,也就不能控制危险因素向事故转化的条件,所以,事故又是不可避免的。这就需要人们不断地研究事故发生的因素及事故发生的机理。

0.2.1 事故的本质是能量逸散的结果

人机系统运行的实质是物质流动、信息流动和能量流动。物质流动指生产中原材料的投入,经过半成品到成品的输出;信息流动指生产指令、技术要求、质量指标等信息的发出、分析与反馈;能量流动指系统所需能量的输入、转换与消耗。能量是系统运行的动力。

能量有多种形式,如机械能、电能、热能、化学能、原子能及生物能等等。生产过程就是系统

能量转换或做功的过程。例如机械加工作业是将电能转换为机械能做功；工业锅炉是将煤的化学能转换为热能输出；原子能电站就是把原子能转换为电能输出。

从物理学的观点看，系统的能量总是要平衡的。理想的系统能量应该等于系统做功的能量。但是，由于摩擦、消耗、扩散、散失等形式的能量损失是必然的，这是人们预料之中的损失，称为正常损耗。因此系统正常运行的能量平衡公式为：

$$\text{输入能} \overset{\text{正常}}{=} \text{做功能} + \text{正常损耗能}$$

当系统运行状态出现了异常，进而导致事故的发生，发生了人们预料之外的，违反行为者意愿的能量散失，称为能量逸散。这时系统的能量平衡公式为：

$$\text{输入能} \overset{\text{非正常}}{=} \text{做功能} + \text{正常损耗能} + \text{逸散能}$$

当逸散能出现并作用到设备上，就是设备事故；当直接或间接作用到人体上就是人员伤害事故。因此，能否控制事故的关键是能否控制逸散能的产生，即事故的实质是能量逸散的结果。

能量的逸散可能直接发生，也可能经几次转换后发生。例如，触电事故就是电能直接逸散。而爆炸事故可能是机械能流动中受到摩擦阻力转换成热能，即产生异常发热或火花等热能，这种热能就成为引起燃爆的火源，当该热源逸散时就会引燃可燃性气体而导致爆炸事故。能量逸散造成伤害的程度取决于人接触逸散能的大小、接触时间的长短和频率的高低，以及逸散能产生的力的集中程度等。

由能量逸出而引起的事故，发生频率最高的是机械能逸散事故，电能逸散事故也颇为常见。热能、化学能乃至原子能的逸散，虽然频率很低，但是，一旦逸散发生，往往会造成多人伤亡及财产损失惨重的重大事故。因此，必须给予充分重视。

0.2.2 常见的机械事故及其原因

1 常见的机械事故

(1) 咬入和挤压 这种伤害主要来自旋转机械的旋转零部件，即两旋转件之间，旋转件与固定件之间将人体某一部分咬入或挤压。这种伤害是造成机械事故的主要原因，其发生的频率最高，约占机械伤害事故的 47.7%。

(2) 碰撞和撞击 这种伤害主要来自直线运动的零部件和飞来物或坠落物。例如，作往复直线运动的工作台或滑枕等执行件撞击人体；人在行走时碰到静止的物体。这两种情况的伤害程度主要取决于运动物体动量的大小。飞来物有高速旋转的工具、工件及碎片等，一旦击准人就是致命性伤害。其伤害程度取决于飞来物动能的大小。坠落物伤人主要发生在起重作业中起吊物的坠落伤人、高层建筑物的坠落伤人或人从高层建筑上坠落跌伤等。其伤害程度取决于坠落物势能的大小。

(3) 接触伤害 接触伤害主要是指人体某一部分接触到运动或静止机械的尖角、棱角、锐边、粗糙表面等发生的划伤或割伤的机械伤害和接触到过冷过热及绝缘不良的导体而发生冻伤、烫伤及触电等伤害事故。

2 事故原因

事故是系统能量逸散的结果，那么，能量为什么会逸散呢？主要是因为机械设备的不可靠性与不安全性（即设备的不安全状态）和人的不安全行为。前者是导致事故发生的潜在危险，是事故发生的物质基础，后者是导致事故触发的媒介。此外还有管理因素和环境因素等原因。下面着重分析设备的不安全状态和人的不安全行为。

(1) 机械设备的不安全状态

① 机械设备先天性潜在危险。属于这一类的潜在危险涉及面很广,从设计到制造诸如零件材料缺陷及材料选择不当、基础设计不当、强度计算不准、结构设计不当、操纵控制机构设计不当、显示装置设置不当、无安全防护装置以及制造中的加工装配不当等等。

② 使用过程中由于磨损、老化降低了设备的可靠性而产生新的潜在危险因素,如裂纹、腐蚀等缺陷,但由于未被发现而“带病”运转。

(2) 人的不安全行为

人的不安全行为一般是指由于安全意识不强而做的违反安全操作规程的行为,如使机器超速运行、未经许可或未发出警告就开动机器、错误操作或误操作、使用有缺陷的机器、私自拆除安全装置或造成安全装置失效、未夹紧工件或刀具而启动机床、装卸或放置工夹量具不当、没有使用个人防护用品、人处于不适当的工作位置或接近危险部位、在机器运转中进行维修和调整或清扫等作业。以上任何一种不安全行为都可能触发能量逸出而导致事故发生。

这些不安全行为有的是由于安全意识差而做的有意的行为或错误的行为,有的则是由于人的大脑对信息处理不当而所做的无意行为,如误操作或误动作。人体的信息处理系统包括“感觉—判断—行为”等三个过程,即由感觉器官感知到机器的输出信息经大脑分析判断,然后指挥手或脚进行操作(即行为)。大脑的意识水平分为无意识和失神、意识模糊、常态松懈、常态清醒、超常态和过度紧张等五种状态。在不同状态下大脑对信息的判断结果是不同的,有正确与错误之差。人的操作行为也有难易之分。例如,有的操作仅凭知觉,不需经过大脑的信息处理就做出操作反应;有的是熟练性操作,如当很熟悉手柄或开关的位置时,不需要看也能操作;有的是常规性操作,即按预定的程序操作;还有随机操作和决策性操作,难度很大,需要操作者运用已有的知识、经验对信息进行动态处理。

只有当操作的难易程度与人的意识水平协调的情况下,才能避免误操作,否则,会引起信息处理混乱,导致不安全行为。

0.2.3 事故发生的动态过程及分析事故原因的基本方法

任何事故发生都是一个动态过程,即空间状态随时间变化的过程,所以,事故的形成和发展是时间的函数。控制时间就可以避免事故,减少人员伤亡和财产损失。不言而喻,没有时间因素的静止状态是永远也不会形成事故的;但是,对已出现事故苗头的危险因素任其发展蔓延,就可能导致严重事故。

在导致事故发生的设备的不安全状态和人的不安全行为中,一般情况下,只要排除其中之一,事故是可以避免的。即如果机器安全可靠,不存在潜在危险,即使人有误操作行为也不会引起事故;或者如果没有人的不安全行为,即使机器的潜在危险升华为事故灾害,可能引起设备事故的情况下,人们利用现代化监测诊断仪器预报险情,并采取相应措施,也可以避免设备或人身重大事故。

机器的不安全状态与人的不安全行为往往是互相关联的,且很多情况是机器的不安全状态导致了人的不安全行为。例如人在机器的危险部位(即不安全状态)作业,这种作业就是不安全行为。另一方面,人的不安全行为又会引起或扩大机器的不安全状态,如操作工私自拆除了安全装置而进行作业或违章作业,都属于由于人的不安全行为致使机器处于不安全状态。

此外,安全管理及环境条件的好坏可能使不安全状态和不安全行为有所减增。

概括以上所述,可以用图 0.2 表示人-机-环境系统的有关事故因素,而且该图为理解事故

发生原理及查找事故原因提供了一个基本思路。

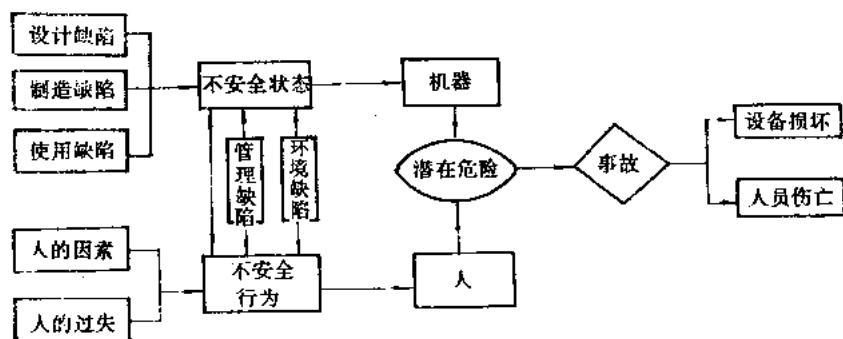


图 0.2 事故因果关系图

0.3 安全技术

所谓安全技术是指为保证人机系统安全生产而采用的预防灾害事故发生和控制受害程度扩大的一切技术措施。具体包括安全装置的设计和选择、安全检测、安全试验、安全技术规程。

0.3.1 安全检测

安全检测的目的是为及时了解和掌握机器的完好状况和运行状态,为设备维修和管理提供可靠的技术资料。安全检测方法目前主要有两类,一类是目前大部分工厂惯用的定期检测,即定期将机器拆开检测;另一类是利用现代化监测仪器仪表对机器进行不解体的在线监测,也称状态监测,根据监测参数的变化来判断机器的运行状态,这种监测方法可以及时发现事故隐患;并把它消灭在萌芽状态。

0.3.2 安全试验

对于新机器和经过大修后的机器,为保证安全运行,在投入正式运行之前,必须进行安全验收试验,即让机器在有关安全技术指标下试运行。例如起重机在试验载荷下进行静、动态起吊试验及稳定性试验;冲压设备进行离合器和制动器的启动、制动试验;压力容器的打压试验和气密试验等等。安全试验的目的是为了早期发现机器在设计、制造及大修中的缺陷,以便及时调整排除。试验本身属于研究、调试性的工作,所以试验过程中的危险性比正式运行中要大得多,事故频率也较高。所以,必须既要有高水平的试验技术,又要做周密的试验计划。

0.3.3 安全装置

安全装置是指在机器设计过程中就为安全生产而考虑的所有安全技术措施,包括为预防事故而设置的各种检测、控制、联锁、保险、防护、报警等需用的仪器、仪表及装置等。安全装置的作用是机器在运行中一旦出现危险因素,不管是机器的故障还是人的失误,它都能自动报警、自动停机或自动排除故障。

0.3.4 安全技术规程

安全技术规程既包括安全设计准则,又包括安全操作规程,其中有国家标准、部颁标准以及企业标准,有些是属于法律规范。这些标准或规范都是人们长期生产实践的经验总结,甚至是血的教训,是生产客观规律的反映。谁要违反了有关规程,就会受到事故伤害的严厉惩罚,这

是被无数事实所证明了的。

0.4 实现人机系统安全的基本途径

为保证人机系统安全,一般应从两方面采取措施,首先预防事故的发生,其次是将事故损伤控制到最小。

0.4.1 预防事故发生

由以上事故原因分析可知,首先是机器运行中存在着危险与有害因素,工人直接操作机器,经常处于危险区域工作,即机器的本质安全性差是造成事故的主要原因。为此,应从以下几方面入手,从根本上解决安全问题:

(1)消除危险与有害因素 这是一种积极而有效的措施,从根本上消除事故发生的条件。例如交通事故最易发生在交叉道口,而采用了立交桥或过街人行地道或天桥就从根本上消除了发生撞车事故的条件。再如,为预防燃爆事故的发生,在研制或选用材料时,若用不可燃材料代替可燃性材料,就从根本上消除了燃爆事故发生的条件等等。

(2)实现生产机械化和自动化 一般情况下,机械的可靠性高于人的可靠性,而且用机械手或机器人代替人直接操作机器,就将人从机器的危险点和危险环境中彻底解脱出来。

(3)提高机械的本质安全 这里是指所有机械,既包括手工操作机械,也包括自动化机械。它们都应有自动防范措施,达到即使操作失误,也不会导致事故发生,即使设备发生故障也能自动排除、切换或停止运行,或以光、声、色等信号发出警报,提醒工作人员采取措施。

0.4.2 控制事故损伤程度

控制事故损伤程度是指一旦机械出现故障或发生事故,通过防范措施,使人机损伤控制在最小范围内。

(1)设置屏障,将人体隔离在危险与有害区域外,如用防护罩、防护屏等。

(2)缩短人在危险与有害区停留的时间。这应从机械结构或生产工艺上采取措施,缩短工人在危险与有害区停留时间,以减少受害程度。例如冲压作业中,改进模区具体结构或操作工具以达到减少手在模区的停留时间。

(3)在机械上设置薄弱环节。在机械上设置薄弱环节的目的是以薄弱环节的最小损失来换取人机系统的安全,例如机械中的安全销、电路中的保险丝、压力容器中的防爆膜等。

(4)个人防护,即工作人员应穿戴必要的防护用品和器具。

(5)紧急措施,如紧急事故开关、避难或救护措施等。

作业与思考题

1. 如何理解安全人机工程学的含义?
2. 试阐明人机系统中人与机的分工原则。
3. 为什么说,忽视了人的特性,即使性能很好的设备也不能充分发挥其作用?
4. 试论述安全与工效的关系。
5. 安全人机工程学与安全工程及人机工程学有何联系与区别?
6. 安全人机工程学研究的任务是什么?

1 人机系统

1.1 人机信息及能量交换系统模型

在生活及生产活动中,人与机器相结合完成一项功能或生产任务,二者形成了一个不可分割的有机的整体,离开了人或机器任一部分,都无法实现生产的目的。这个由人和机器构成的系统称为人机系统。在这个系统中,机器是用来为人服务的,而机器又是由人设计、制造、安装、调整、检查,并且由人来操纵控制的。即使是高度自动化的机器,虽然在正常运行中不需要人进行一般操作,但是,机器的开动、监视,以及出现故障等特殊情况下还得由人来检修。所以,在现代社会中,人与机器结下不解之缘,人离不开机器的服务,机器更离不开人的管理。

任何活动都是在一定环境中进行的,而且环境对人机系统会产生一定的影响。所以,从系统的观点看,通常所说的人机系统一般是指人机环境系统。

人机系统的任何活动实质上是信息及能量的传递和交换。人机之间在进行信息及能量的传递和交换中,首先是人的感觉器官(眼、耳等)从显示装置上感受到机器及环境作用于人的信息,经大脑中枢神经的综合、分析、判断,作出决策,然后命令运动器官(手或脚)向机器的控制器发出控制信息,即操纵机器相应的执行机构(手柄或按钮等)完成各种相应的运动机能(移动或转动),且将控制的效果反映在显示器上,构成一个信息及能量传递的闭环系统。到此,人机系统完成了一次功能循环,如图 1.1 所示。

在这个循环过程中,人机系统完成了人所希望的功能,达到人的预期目的。

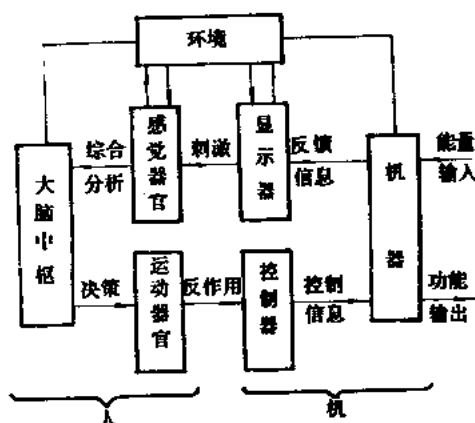


图 1.1 人机系统模型

1.2 人机系统

在人机系统中,人与机器为完成一定功能,各自发挥自己的作用,又必须相互联系,相互配合,二者之间有着相互依存、相互影响、又相互制约的关系,而且这些关系随系统自动化程度的变化而变化。

为了取得人机系统的最佳效果,对人和机分别提出“人适应于机”、“机适宜于人”的不同要求,即“人适机”与“机宜人”。所谓“机宜人”是指机器作为人从事生产和生活活动的工具,要求设计、制造出来的机器应尽量满足使用者的体格、生理、心理等条件的要求,做到显示的信息便于接受、判断,控制系统的尺寸、力度、位置、结构、形式等均应适合操作者的生理要求,工具、器

具及用品等的使用得心应手,人所处的作业空间安全舒适,达到有利于人的身心健康,有利于发挥劳动者的效能和效率。

人适机是指使人去适应机器的要求。机器的结构决定了其客观的运动规律,其操作环境也会因各种因素在时间和空间上受到某种限制,如经济上的可行性、技术上的可能性、机器本身性能要求的条件,以及使用机器时的外界环境条件(如高温、高压作业)等。为了适应机器的这些情况,就需要对人的因素予以限制,对人进行教育、训练,并且尽量发挥人的因素有一定可塑性这一特点。

在人机系统中,机宜人与人适机是相对的。机适宜于人是人的因素为条件的,而人的因素是比较复杂的,而且是变化的,有的是随时代的进步而变化,有的是因时、因地、因性别、因年龄等不同而变化;人的因素有的可量化,有的则难以准确量化。机器本身也在不断发展,自动化程度越来越高,控制系统智能化,所以机适宜于人的程度也在不断提高。而人适应于机的程度是有限的,因为尽管人的因素有一定的可塑性,但是毕竟有一定的限度。解决的办法是通过学习和训练,提高人的文化和技术素质,或采取必要的辅助措施(如使用劳保用品等)去适应机器的要求。

随着人机系统自动化、智能化水平的提高,人机之间的关系也随之变化,人与机器的关系由直接与机器接触共同参与生产过程,逐步转化为远离生产过程;人由直接感知机器的运行状态和直接控制机器,变为人只与监控系统对话,进行遥控。人在人机系统中的作用,随着自动化技术的发展,由从事体力劳动逐渐变为从事脑力劳动,但人始终起着主导作用,因为,即使完全自动化的现代机械系统,如工业机器人、智能机器人,它既不能离开人的设计和制造,也不能离开人的监督和控制,发生异常或故障还得靠人来修理,机更不可能具有人的丰富的精神世界。

1.3 人机功能分配

在人机系统中,人与机完成各自的功能,只有二者合理配合,协调一致,才能使人机系统达到最佳效果。为此,需要深入了解和研究人机各自的特征,进行比较,扬长避短,充分发挥各自的特长。

1.3.1 人在人机系统中的主要功能

人在人机系统中主要有三种功能:

1. 传感器

通过人体感觉器官的看、听、摸等感知外界环境的刺激信息,如物体、事件、机器、显示器、环境或工作过程等,将这些刺激信息作为输入传递给人的中枢神经。

2. 信息处理器

大脑对感知的信息进行检索、加工、判断、评价,然后做出决策。

3. 操纵器

将信息处理的结果作为指令,指挥人的行动,即人对外界的刺激作出反应,如操纵控制器、使用工具、处理材料等,最后达到人的预期目的,如机器被开动运转、零件被加工成形、机器的故障已被排除、缺陷零件已被修复或者更换等。

1.3.2 人机特性的比较

人体本身就是一部复杂的、特殊的机器。人与机器的特性包括许多内容,但就从人机系统

中信息及能量的接受、传递、转换过程来讲,我们可以归纳为以下四个方面来比较,即信息感受、信息处理和决策、操作反应、工作能力等,详见表 1.1。

表 1.1 人与机器的特性比较

能力种类	人的特性	机器的特性
信息感受	<ul style="list-style-type: none"> (1) 感觉范围有限 (2) 能感觉微小刺激,敏感性高,绝对域低 (3) 对刺激反应时间较长,最小值为 200ms (4) 能在高噪声环境下检出需要的信号 (5) 抗干扰性低,有主观倾向性 (6) 识别图形的能力强 (7) 能阅读和接受口头指令,灵活性很强 (8) 接受信息只能单通道 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 能在人不能感觉的领域里工作,在感觉范围外(红外线、超声波、电磁波等)工作 (2) 没有象人那样低的感觉阈限,敏感性比人低 (3) 反应时间可达微秒级 (4) 较难检出噪声掩盖下的信号 (5) 抗干扰性高,重复性好 (6) 识别图形的能力弱 (7) 学习能力较低,灵活性差 (8) 能够多通道同时接受信息
信息处理与决策	<ul style="list-style-type: none"> (1) 计算速度慢,易出差错 (2) 能实现大容量的,长期的记忆,并能实现同时和几个对象联系,但短时记忆相对很差 (3) 有随机应变的能力,可利用不同的方法达到相同的目的 (4) 有归纳思维的能力,但不易得到战略的最佳效果 (5) 有创造能力,对尚未接触的事物可诱发进入决策 (6) 能处理完全出乎预料之外的紧急事件,适应性很强,有一定的预测能力 (7) 难以监控偶然发生的事件 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 计算速度快,且准确,重复性好,但不会修正错误 (2) 能进行大容量短期的数据记忆和取出 (3) 无随机应变的能力,但对常规重复机能有很高的可靠性 (4) 只能理解特定的事物,但能用程序使事件得到最佳方案 (5) 没有自发的创造推理能力,只能做出是与否的简单决策 (6) 只能处理已知的事件,适应性弱,预测能力有很大的局限性 (7) 监控能力很强
操作能力	<ul style="list-style-type: none"> (1) 超精密重复操作差,可靠性较低 (2) 能够进行复杂的艺术性工作,有从经验中发现规律,利用经验改变操作的能力 (3) 易疲劳,对简单的重复动作厌烦,不能容忍长时间、大负荷的操作 (4) 输出功率有限,效率低,但能做精细调整 (5) 通用性强 (6) 要求环境舒适,但对特定的环境能很快适应 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 能连续进行超精密重复操作和按程序进行常规操作,可靠性较高 (2) 只能进行特定的工作,不能利用经验数据 (3) 不疲劳,可不厌其烦地重复简单或复杂动作,能胜任长时间、大负荷的操作 (4) 输出功率可大可小,效率高,但较难进行精细调整 (5) 缺乏通用性,有的只能专用 (6) 可在恶劣环境下工作,但不能随意改变工作条件
工作能力	<ul style="list-style-type: none"> (1) 短期内可在超负荷下坚持工作,但耐久性差,易疲劳 (2) 技术水平,熟练程度、生理状态、心理状态等的不稳定性均会影响可靠性 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 耐久性好,维护保养良好时,可长期使用 (2) 在保证设计质量、材料、加工质量等情况下,一般比人可靠

由表可见,人优于机器的能力主要有:信号检测、图象识别、灵活性、随机应变、归纳、推理、判断、创造性等;机器优于人的能力主要有:反应、操作速度快、精确性高、输出功率大、且耐久力强、重复性好、短期记忆、能同时完成多种操作、演绎推理、能在恶劣环境下工作等。

1.3.3 人机功能分配原则

根据人机特性的比较,为了充分发挥各自的优点,人机功能合理分配的原则应该是:笨重的、快速的、持久的、可靠性高的、精度高的、规律性的、单调的、高阶运算的、操作复杂的、环境条件差的工作,适合于机器来做;而研究、创造、决策、指令和程序的编排、检查、维修、故障处理、及应付不测等工作,适合于人来承担。

1.4 人机系统的类型

在现代化的生产中,人机系统主要有两类,一类为机械化、半机械化控制的人机系统,另一类为全自动化控制的人机系统。

机械化、半机械化控制的人机系统,人机共体,或机为主体,系统的动力源由机器提供,人在系统中主要充当生产过程的操作者与控制器,即控制器主要由人来操纵。在控制系统中设置

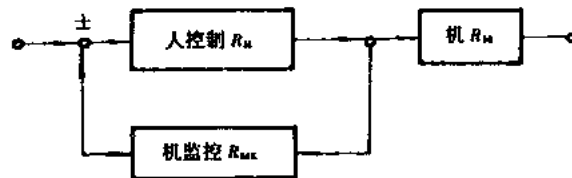


图 1.2 机械化、半机械化人机系统简图

监控装置,如果人操作失误,机器会拒绝执行或提出警告,其结构如图 1.2 所示。这是现代生产中应用最多的人机系统。系统的安全性主要取决于人机功能分配的合理性,机器的本质安全性及人为失误。

在全自动化控制的人机系统中,以机为主体,机器的正常运转完全依赖于闭环系统的机器自身的控制,人只是一个监视者和管理者,监视自动化机器的工作。只有在自动控制系统出现

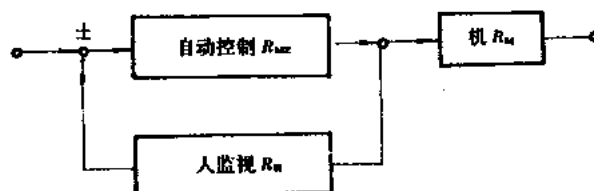


图 1.3 全自动化人机系统简图

差错时,人才进行干预,采取相应的措施。其结构框图如图 1.3 所示。系统的安全性主要取决于机器的本质安全性,机器的冗余系统失灵,以及人处于低负荷时应急反应变差等。

1.5 信息及人的信息传递

信息是对事物运动状态或存在方式不确定性的描述。信息是可以量度的,量度信息多少的量称为信息量。