



高职高专“十一五”规划教材

i

安全技术系列

安全人机工程

ANQUAN RENJI GONGCHENG

刘景良 杨立全 朱虹 编



化学工业出版社

本教材按照高职高专教学特点与需要进行编写,对安全人机工程基本理论做了系统而简明的介绍,对安全人机工程实用知识进行了较为详细的阐述。内容包括概述、安全人机系统中人的特性、人的作业特性、作业环境、作业岗位与空间设计、信息界面设计以及安全人机系统的设计与分析评价等。

本书适用于高职高专院校安全类专业以及其他相关专业的学生作为教材使用,也可供政府安全生产主管部门、安全中介机构以及企事业单位从事安全技术管理的人员作为培训教材或参考书使用。

安全人机工程

刘景良 杨立全 朱虹 编

图书在版编目(CIP)数据

安全人机工程/刘景良,杨立全,朱虹编.—北京:
化学工业出版社,2009.4
高职高专“十一五”规划教材——安全技术系列
ISBN 978-7-122-04850-9

I. 安… II. ①刘…②杨…③朱… III. 安全工
程-人-机系统-高等学校:技术学院-教材 IV. X912.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第025468号

责任编辑: 竇 臻 张双进
责任校对: 蒋 宇

文字编辑: 冯国庆
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张10 字数231千字 2009年4月北京第1版第1次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 19.00 元

版权所有 违者必究

化工安全技术专业教学指导委员会

主任委员 金万祥

副主任委员 (按姓名笔画排列)

杨永杰 张 荣 郭 正 康青春

委 员 (按姓名笔画排列)

王德堂 申屠江平 刘景良 杨永杰

何际泽 冷士良 张 荣 张瑞明

金万祥 郭 正 康青春 蔡庄红

薛叙明

秘 书 长 冷士良

安全技术类教材编审委员会

主任委员 金万祥

副主任委员 (按姓名笔画排列)

杨永杰 张 荣 郭 正 康青春

委 员 (按姓名笔画排列)

王德堂 卢 莎 叶明生 申屠江平

刘景良 孙玉叶 杨永杰 何际泽

何重玺 冷士良 张 荣 张良军

张晓东 张瑞明 金万祥 周福富

胡晓琨 俞章毅 贾立军 夏洪永

夏登友 郭 正 康青春 傅梅绮

蔡庄红 薛叙明

秘 书 长 冷士良

前 言

本书按照高职高专教学特点与需要进行编写,对安全人机工程中涉及的基本理论做了系统而简明的介绍,对安全人机工程实用知识进行了较为详细的阐述。

本书主要内容包括安全人机工程学概述、安全人机系统中人的特性、安全人机系统中人的作业特性、安全人机系统中的作业环境、安全人机系统中人的作业岗位与空间设计、安全人机系统中信息界面设计、安全人机系统的设计与分析评价等内容。为便于读者学习,加深对本书内容的理解、掌握及应用,在每章开始列出了学习目标,在每章后提供了习题及思考题。

本书适用于高职高专院校安全类专业以及其他相关专业的学生作为教材使用,也可供政府安全生产主管部门、安全中介机构以及企事业单位从事安全技术管理的人员作为培训教材或参考书使用。

本书共分七章,天津职业大学刘景良编写第一、三、六章,山西工程职业技术学院杨立全编写第二、七章,天津职业大学朱虹编写第四、五章,全书由刘景良统稿。

本书编写过程中参考和引用了许多国内外专家、学者的研究成果和宝贵资料(详见本书的参考文献),本书编者在此表示最诚挚的谢意!

由于本书所涉及的知识面广泛,加之编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2009年1月

目 录

第一章 概述	1
第一节 安全人机工程学的形成与发展	1
一、人机工程学的定义	1
二、安全人机工程学的内涵	1
第二节 安全人机工程学的研究内容与研究方法	2
一、安全人机工程学的研究内容	2
二、安全人机工程学的研究方法	2
第三节 人机关系与人机系统概述	3
一、人机关系	3
二、人机系统	4
三、人机功能分配	6
习题及思考题	7
第二章 安全人机系统中人的特性	8
第一节 人体形态测量	8
一、人体测量的基本知识	8
二、人体生理学参数及测量	10
三、人体测量数据及应用	12
第二节 人的生理特征及反应时间	17
一、人的生理特征	18
二、人的反应时间	24
第三节 人的心理特性	25
一、人的心理	26
二、心理特性与安全	26
习题及思考题	32
第三章 安全人机系统中人的作业特性	33
第一节 作业过程中人体的能量代谢	33
一、能量代谢	33
二、作业时的氧消耗	35
第二节 劳动强度及其分级	36
一、劳动强度	36
二、体力劳动强度分级	37

20	第三节 作业疲劳及其预防	39
20	一、疲劳及其产生机理	39
20	二、疲劳的主要特征	39
20	三、疲劳的分类	41
20	四、引起疲劳的原因	41
20	五、预防疲劳的措施	42
20	习题及思考题	44
20	三
20	第四章 安全人机系统中的作业环境	45
00	第一节 微气候	46
00	一、微气候因素	46
11	二、微气候环境对人体及工作的影响	47
11	三、微气候环境的主观感觉及评价	49
22	四、改善微气候环境的措施	53
22	第二节 环境照明	55
22	一、光的物理度量	55
22	二、环境照明对人体及工作的影响	56
22	三、作业场所的环境照明	60
22	四、作业场所的环境照明设计	62
22	第三节 色彩调节	66
22	一、色彩的基本特性	66
22	二、色彩对人体及工作的影响	67
22	三、色彩调节及应用	69
22	第四节 环境噪声	71
22	一、环境噪声对人体及工作的影响	71
22	二、控制环境噪声的措施	73
22	习题及思考题	76
22	三
22	第五章 安全人机系统中人的作业岗位与空间设计	78
22	第一节 作业岗位	78
22	一、作业岗位的分类	78
22	二、典型作业岗位	79
22	三、作业岗位设计要求和原则	80
22	第二节 作业空间分析	80
22	一、作业空间类型	80
22	二、作业空间设计总则	81
22	三、典型作业岗位的空间设计	82
22	四、安全作业空间的设计	91
22	习题及思考题	91

第六章 安全人机系统中信息界面设计	93
第一节 人机界面及其机具系统	93
一、人机界面简述	93
二、人机界面的机具系统及其主要内容简述	93
第二节 显示器设计	94
一、显示器的类型与特点	94
二、视觉显示器的功能	97
三、显示器的选择	97
四、显示器设计	98
第三节 操纵控制器设计	109
一、操纵控制器的类型及选择	109
二、控制系统的影响因素	111
三、操纵控制器的设计	116
习题及思考题	122
第七章 安全人机系统的设计与评价	124
第一节 人机系统的设计	124
一、人机系统设计的重要性	124
二、人机系统设计的评价分析	125
第二节 人机系统的可靠性与维修性	128
一、可靠性定义及其度量指标	129
二、人机系统可靠度及系统效能可靠度	132
三、人的可靠性及机械的可靠性	134
四、维修性设计	140
第三节 人机系统的安全性分析	143
一、人机系统的安全评价分析	143
二、设计错误和操作错误分析	146
习题及思考题	151
参考文献	152

第一章 概述

学习目标

1. 掌握人机工程学的定义。
2. 熟悉安全人机工程学的研究内容，了解安全人机工程学的研究方法。
3. 了解人机关系及人机系统的基本知识。
4. 熟悉实现人机关系最佳匹配的途径，掌握人机功能分配的一般原则。

第一节 安全人机工程学的形成与发展

一、人机工程学的定义

人机工程学是一门新兴的综合性的边缘学科，它起源于欧洲，形成于美国。

人机工程学学科在美国称作“Human Engineering”，西欧多称其为“Ergonomics”，即我国常见的“工效学”、“人类工效学”、“人机工程学”、“人机学”等，其中“人机工程学”和“工效学”两词在我国已被广泛接受。本教材采用人机工程学这一名称。

关于人机工程学的定义：国际人机工程学会（International Ergonomics Association，简称 IEA）认为人机工程学是研究人在某种工作环境中的解剖学、生理学和心理学等方面的因素，研究人和机器及环境的相互作用，研究在工作、生活和休息时怎样统一考虑工作效率、健康、安全和舒适等问题的学科。《中国企业管理百科全书》中对人机工程学所下的定义为人机工程学是研究人和机器、环境的相互作用及其合理结合，使设计的机器和环境系统适合人的生理、心理特点，达到在生产中提高效率、安全、健康和舒适的目的。简而言之，人机工程学的研究对象是人、机、环境的相互关系，研究的目的是如何达到安全、健康、舒适和工作效率的最优化。

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，在生产和生活中人与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。

二、安全人机工程学的内涵

安全人机工程学作为人机工程学的的一个分支，是运用人机工程学的原理及工程技术理论来研究和揭示人机系统中的安全问题，立足于对在作业过程中的保护，确保安全生产

和生活的一门学科。

安全人机工程学以系统论、控制论和信息论为理论基础,从人的生理、心理、生物力学等方面去研究在发挥机器、设备高效率的同时,如何使其与人达到和谐匹配,确保人的安全和健康的问题。

随着科学技术的飞速发展,工业生产设备的自动化、复杂化程度越来越高,作业过程中的危险、有害因素也越来越多,对本质安全化的追求促进了安全人机工程学发展。

第二节 安全人机工程学的研究内容与研究方法

一、安全人机工程学的研究内容

1. 人的安全特性的研究

人的安全特性的研究主要包括人的工作能力、人的基本素质测试与评价、人的生理和心理特性、人体生物力学、人的失误(即人的操作可靠性)等研究内容。

2. 机的安全特性研究

机器、设备、工具等一般都是由动力、传动、工作和操纵等子系统组成,所以对机器的安全性研究主要从机器特性、动力学模型、防错设计、安全防护设计以及维修性设计等方面进行研究。

3. 人机关系的研究

人机关系的研究主要从静态人机安全关系、动态人机安全关系、多媒体技术以及人机系统可靠性等方面研究。静态研究,主要有作业区域的合理布局和设计、作业方法及作业负荷的研究;动态研究,有人机功能的合理分配、人机界面的安全设计、人工智能研究;多媒体技术,主要研究对机器安全运转的监测监控;人机系统可靠性等方面研究,主要是分析人机系统的可靠性,建立人机系统可靠性设计原则,据此设计出经济、合理以及可靠性高的人机系统。

二、安全人机工程学的研究方法

安全人机工程学的研究方法主要分为以下几种。

1. 实测法

这是借助于器具、设备进行实测和监控的方法。如通过对人体的几何特征测量,可用于操纵设备的优化设计;通过对人的体能极限的测量,可合理地布置工作量和确定合理的工作时间等。

2. 实验法

当实测法受限时,可采用实验模拟法。如环境对人的影响、机械设备的应力实验等可采用实验模拟。近几年研究较多的虚拟现实(Virtual Reality)技术也可用于对人机系统的安全模拟研究。

3. 分析法

分析法是在实测法和实验法的基础上对人机系统的安全性进行定性和定量分析。定性分析就是分析人机系统的危险、有害因素,判断系统的状态;定量分析是通过数学模型分析计算,给出系统的安全程度,与可接受的安全水平相比较,查找未到达安全水平的危

险、有害因素及其危害的数量值，以便采取措施加以调整。

第三节 人机关系与人机系统概述

一、人机关系

(一) 人机关系

所谓人机关系，是指人在作业过程中与作业工具和作业对象所发生的联系。

影响人机关系的因素是多方面的，以手动为主的作业形式，其人机关系要求工具得心应手，操作者有一定的体力和较高的技能，以达到机宜人 and 人适机；而对于机械化作业，要求人机共动，密切协调，对机宜人 and 人适机的要求更苛刻。

从手工作业到自动化生产，人机关系大致有如下变化：

- ① 人的体力消耗减轻，心理负担加重；
- ② 人将远离机器，管理方式多为间接管理；
- ③ 信息时空的密集化，要求人的作业速度更快、作业准确性更高；
- ④ 系统越来越复杂，对人的要求越来越高，小的失误能造成严重的后果。

(二) 人是人机关系中的主体

人类社会的发展进程中，不断创造出各种各样的工具或机器来代替人的作业。但是，不管机器如何代替人的体力作业，计算机如何代替人的部分脑力作业，任何机器的设计、制造、使用、控制、维修和管理最终还是要靠人。实践证明，无论机器本身的效率多高，如果不能适应人的生理和心理特性，也不能发挥应有的功效。在任何人机系统中，人永远发挥着主体的作用。

如何发挥人的最大功能和挖掘人的最大潜力以及获得最高的生产效率，是人机工程的主要目标之一。在安全人机系统中，人的安全永远是第一位的。

(三) 人机关系的最佳匹配

1. 机宜人

供人使用的机械，应尽量满足人的生理、心理特征，符合人的审美观和价值观，尤其要满足人的安全需要，让人能最大限度地发挥机械的功能。机械的发展日新月异，而人的生理特性变化不大，因此设计机械时，必须明确操作机械的是人，人是人机关系的主体，而不是机械的奴隶，以便使设计更趋人性化，从而提高机械设备的本质安全化程度。

2. 人适机

机械的功能、结构不可能完全适宜人的所有特性，如某些飞机驾驶舱的空间设计就不适宜高大体型的人；流水线上的单调操作，不适宜性格外向的人；复杂机械的操作不适宜文化水平低的人等。为了安全和高效的作业，就必须对人进行人适机的选拔和培养。

3. 人机关系的最佳匹配

机宜人 and 人适机都是受一定条件限制的，为做到人机关系的最佳匹配，应从以下几方面着手：

- ① 研究系统以及各种机器、设备、工具、设施等的设计所应遵循的工效学原则与标准；
- ② 研究人和机器的合理分工及相互适应的问题；

- ③ 研究人与被控对象之间的信息交换过程；
- ④ 根据人的身心特征，提出对机器、技术、作业环境、作业时间的要求。

二、人机系统

由人和机两部分要素按一定的关系组合而成的集合体称为人机系统。

在人机系统中，人和机的关系总是相互作用、相互配合与相互制约和发展的，但起主导作用的始终是人。

各种人机系统，从最简单的人和工具的结合，到人和机器的复杂结合，虽然形式有所差别，但都存在信息传递、信息处理、控制和反馈等基本结构。根据系统中人和机器所处的地位、作用和出发点不同，人机系统的类型也不同，现分述如下。

(一) 按有无反馈控制作用分类

1. 闭环人机系统

闭环人机系统就是反馈控制人机系统。它有一个封闭的回路结构，如图 1-1 所示。

闭环人机系统其主要特征是：系统的输出对控制作用有直接的影响，即系统过去行动的结果回过来控制未来的行动。

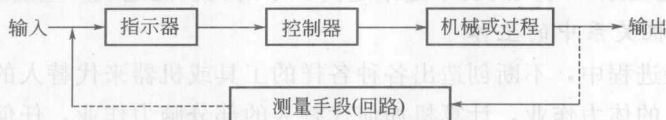


图 1-1 闭环人机系统

2. 开环人机系统

如图 1-2 所示为开环人机系统。它的特征是系统的输出对控制作用没有影响。虽然它也能提供反馈信息，但此信息无法用于进一步的控制操作。



图 1-2 开环人机系统

(二) 按人机系统自动化程度分类

1. 人工操作系统

如图 1-3 所示为人工操作系统。在该系统中，人提供系统所需的动力，控制着整个生产过程。而人所使用的工具或辅助器械，都不具备动力的作用，而只是增加人的力量的效果。



图 1-3 人工操作系统

2. 半自动化系统

如图 1-4 所示为半自动化系统。在该系统中，人是生产过程的控制者，操作着动力设备，也可能为系统提供少量的动力，并对系统作某些调整。人在生产过程中感知信息、处理信息，然后借助于手柄、按钮等控制器来控制生产过程。在闭环的半自动化系统中，反馈信息经过人处理，又成为作进一步操作的依据。根据我国目前生产力发展的水平，半自动化人机系统是采用较多的一种类型。

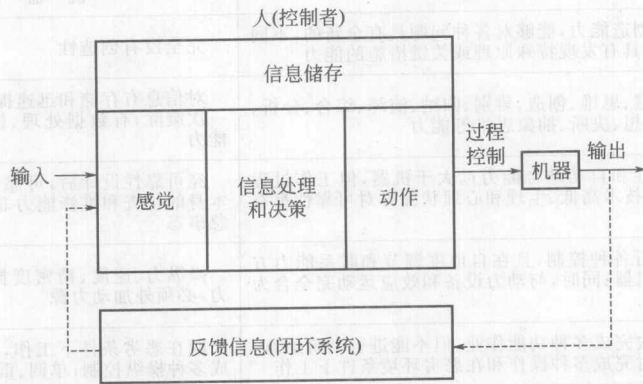


图 1-4 半自动化系统

3. 自动化系统

如图 1-5 所示为自动化系统。在此系统中，机器完全代替了人的体力劳动，生产过程的信息接受、存储、处理和执行等工作全部由机器来完成，人只是通过显示装置来监控生产过程。为了系统的安全，一般要求系统安装能预报和应急处置意外事件的装置。

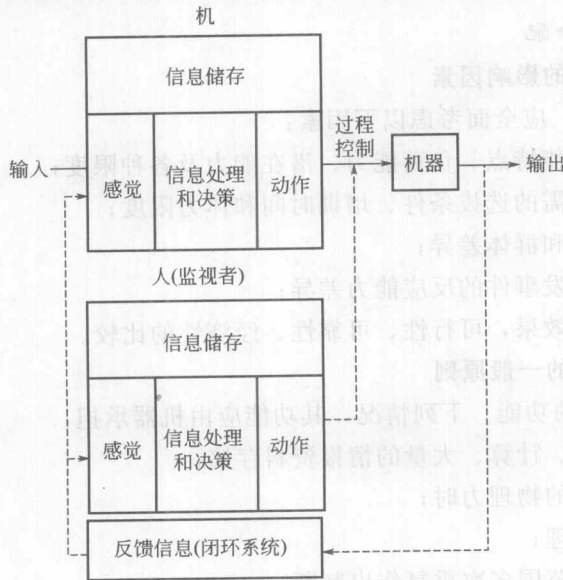


图 1-5 自动化系统

以上三种类型，都存在于生产过程中，人工操作系统偏重于解决操作人员作业方面的问题，自动化和半自动化系统偏重于解决机器的问题。

三、人机功能分配

(一) 人与机器功能特性的比较

人与机器各有自身的特点，人机系统是一个有机整体。两者功能特性的比较见表 1-1。

表 1-1 人与机器功能特性比较

比较内容	人的特征	机器的特征
创造性	具有创造能力，能够对各种问题具有全新的、不同的见解，具有发现特殊原理或关键措施的能力	完全没有创造性
信息处理	有智慧、思维、创造、辨别、归纳、演绎、综合、分析、记忆、联想、决断、抽象思维等能力	对信息有存储和迅速提取能力，能长期储存，也能一次废除；有数据处理、快速运算和部分逻辑思维能力
可靠性	可靠性和自动结合能力远大于机器，但工作过程中，人的技术高低、生理和心理状况等对可靠性都有影响	经可靠性设计后，可靠性高，且质量保持不变；但本身的检查和维修能力非常差，不能处理意外的紧急事态
控制能力	可进行各种控制，且在自由度调节和联系能力方面优于机器；同时，与动力设备和效应运动完全合为一体	操纵力、速度、精密度操作等方面都超过人的能力，必须外加动力源
工作效能	可依次完成多种功能作业，但不能进行高阶运算，不能同时完成多种操作和在恶劣环境条件下工作	能在恶劣条件下工作，可进行高阶运算和同时完成多种操纵控制；单调、重复的工作也不降低效率
感受能力	能识别物体的大小、形状、位置和颜色等特征，并对不同音色和某些化学物质也有一定的分辨能力	在接受超声、辐射、微波、电磁波、磁场等信号方面超过人的感受能力
学习能力	具有很强的学习能力，能阅读也能接受口头指令，灵活性强	无学习能力
归纳性	能够从特定的情况推出一般的结论，具有归纳思维能力	只能理解特定的事物
耐久性	容易产生疲劳，不能长时间地连续工作	耐久性高，能长时间连续工作，并超过人的能力

(二) 人机功能分配

1. 人机功能分配的影响因素

人机功能的分配，应全面考虑以下因素：

- ① 人和机器的性能特点、负荷能力、潜在能力及各种限度；
- ② 人适应机器所需的选拔条件、培训时间和体力限度；
- ③ 人的个体差异和群体差异；
- ④ 人和机器对突发事件的反应能力差异；
- ⑤ 机器代替人的效果，可行性、可靠性、经济性的比较。

2. 人机功能分配的一般原则

(1) 由机器承担的功能 下列情况，其功能应由机器承担：

- ① 重复性的操作、计算、大量的情报资料存储；
- ② 迅速施加很大的物理力时；
- ③ 大量的数据处理；
- ④ 根据某一特定范围多次重复作出判断；
- ⑤ 由于环境制约，对人有危险或易犯错误的作业；
- ⑥ 需要调整操作速度作业时；
- ⑦ 对操作设备要求精确地施加力的作用时；

- ⑧ 需要长时间地施加力时。
- (2) 由人承担的功能 下列情况的功能宜分配给人承担：
 - ① 由于各种干扰，需要判断信息时；
 - ② 在图形变化情况下，要求判断图形；
 - ③ 要求判断多种输入信息时；
 - ④ 对发生频率非常低的事态进行判断时；
 - ⑤ 处理需要归纳推理的问题时；
 - ⑥ 预测意外事件的发生时。

习题及思考题

1. 人机工程学的研究对象和研究目的是什么？
2. 安全人机工程学的研究内容有哪些？
3. 人机系统的类型有哪些？
4. 如何实现人机关系的最佳匹配？
5. 人机功能分配的一般原则有哪些？

第二章 安全人机系统中人的特性

学习目标

1. 了解人体形态测量的基本知识和一些常见的人体生理学参数。
2. 能够运用人体测量数据进行一般的安全工程设计。
3. 了解人体神经系统，掌握感觉、知觉系统及特征。
4. 掌握人的各种心理活动与安全的关系。
5. 具备根据人的反应时间特点，处理紧急安全事故的能力。
6. 具有根据人的生理、心理特征进行安全管理的能力。

第一节 人体形态测量

一、人体测量的基本知识

人体测量是一门新兴的学科，它是通过测量人体各部位尺寸来确定个体和群体之间在人体尺寸上的差别，用以研究人的形态特征，从而为各种安全设计、工业设计和工程设计提供人体测量数据。例如，各种操作装置都应设在人的肢体活动所能及的范围之内，其高度必须与人体相应部位的高度相适应，而且其布置应尽可能设在人操作方便、反应最灵活的范围之内，其目的就是提高设计对象的宜人性，让使用者能够安全、健康、舒适地工作，从而减少人体的疲劳和作业时的误操作，提高整个人机系统的安全性和效能。

1. 工业安全设计与人体尺度

为了使各种与人体尺度有关的设计对象能符合人的生理特点，让人在使用时处于舒适状态和适宜的环境之中，就必须在设计中充分考虑人体的各种尺度，要求设计者能了解一些人体测量学方面的基本知识，并能熟悉有关设计所必需的人体测量基本数据和使用条件。人机工程学范围内的人体形态测量数据主要有两类：人体构造上的尺寸是指静态尺寸；人体功能上的尺寸是指人在活动过程中的尺寸。包括人在工作姿势下或在某种操作活动状态下的测量尺寸。各种机械、设备、设施和工具等设计对象在适合于人的使用方面，首先涉及的问题是如何适合于人的形态和功能范围的限度。否则，就很可能造成操作上的困难和不能充分发挥人机系统效率，甚至造成安全事故。

2. 人体测量的基本术语

国标 GB 2975—83 规定了人机工程学使用的中国成年人和青少年的人体测量术语。该标准规定，只有在被测者姿势、测量基准面、测量方向、测点等符合以下要求，测量数据才是有效的。

(1) 被测者姿势

- ① 立姿 指被测者挺胸直立，头部用眼、耳平面定位，眼睛平视前方，肩部放松，

上肢自然下垂，手伸直，手掌朝向体侧，手指轻放在大腿侧面，自然伸直，左、右足后跟并拢，前端分开大致呈 45° 夹角，体重均匀分布于两足。

② 坐姿 指被测者挺胸坐在被调节到腓骨头高度的平面上，头部用眼、耳平面定位，眼睛平视前方，左、右大腿大致平行，大腿与小腿大致成 90° ，足平放在地面上，手轻放在大腿上。

(2) 测量基准面 人体测量基准面是由三个互为垂直的轴（垂直轴、纵轴和横轴）来决定的。人体测量中确定的轴线和基准面如图 2-1 所示。

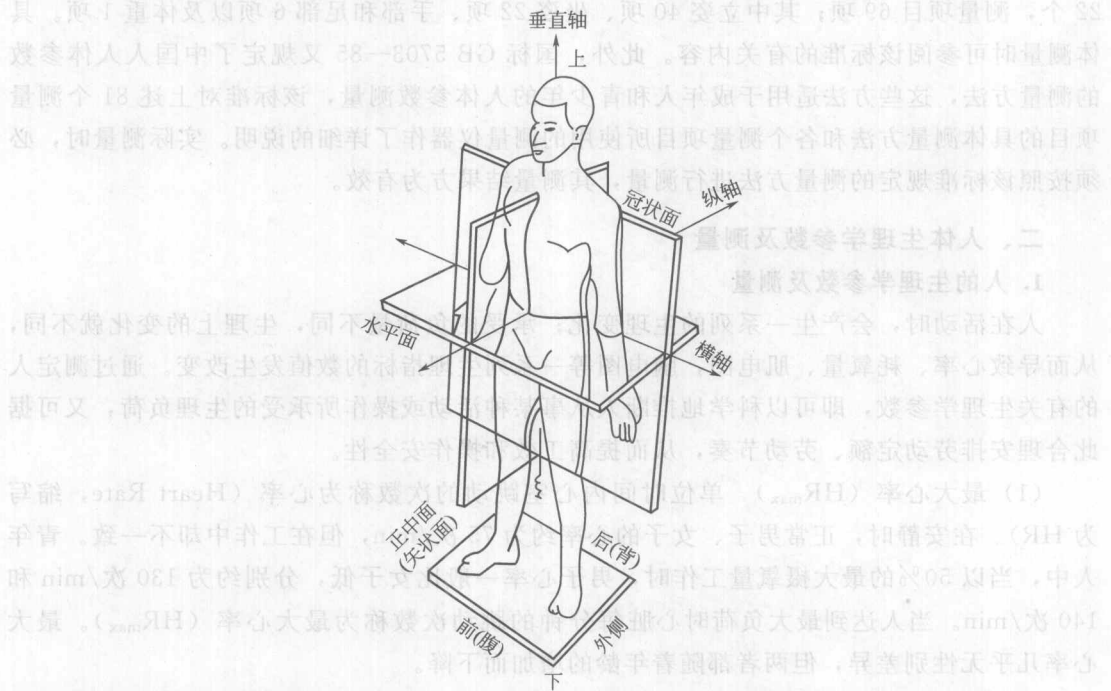


图 2-1 人体测量基准面和基准轴

① 矢状面 通过垂直轴和纵轴的平面及与其平行的所有平面都称为矢状面。

② 正中矢状面 在矢状面中，把通过人体正中线的矢状面称为正中矢状面，正中矢状面将人体分成左、右对称的两部分。

③ 冠状面 通过垂直轴和横轴的平面及与其平行的所有平面都称为冠状面。冠状面将人体分成前、后两部分。

④ 水平面 与矢状面及冠状面同时垂直的所有平面称为水平面。水平面将人体分成上、下两部分。

⑤ 眼耳平面 通过左、右耳屏点及左右眼眶下点的水平面称为眼耳平面。

(3) 测量方向

① 在人体上、下方向上，上方称为头侧端，下方称为足侧端。

② 在人体左、右方向上，将靠近正中矢状面的方向称为内侧，将远离正中矢状面的方向称为外侧。

③ 在四肢上，将靠近四肢附着部位称为近位，将远离四肢附着部位称为远位。