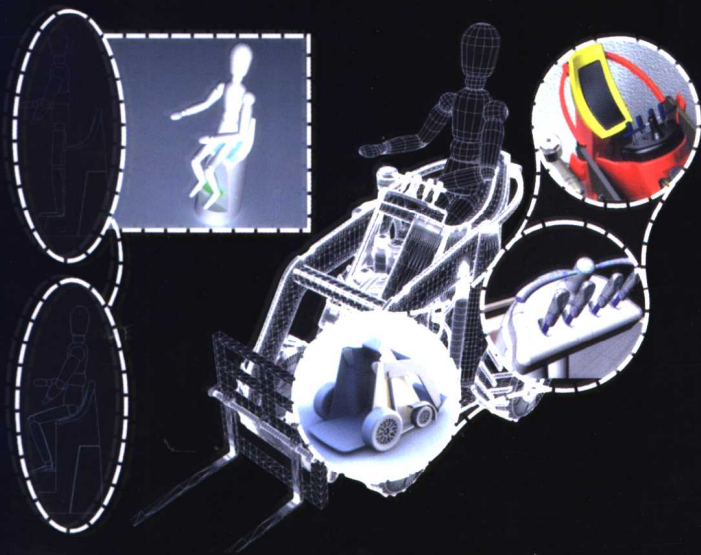


高等学校教材



产品设计中的 人机工程学

王继成 编著

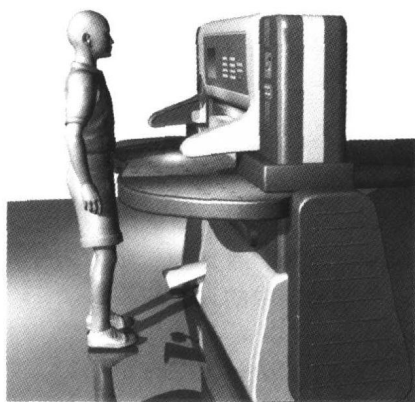


化学工业出版社
教材出版中心

高等学校教材

产品设计中的人机工程学

王继成 编著



化学工业出版社
教材出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

产品设计中的人机工程学/王继成编著. —北京: 化学工业出版社, 2004. 6

高等学校教材

ISBN 7-5025-5786-5

I. 产… II. 王… III. 工程学-应用-产品-设计-高等学校-教材 IV. TB472

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 052504 号

高等学校教材

产品设计中的人机工程学

王继成 编著

责任编辑: 张建茹

责任校对: 郑捷

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

[http:// www. cip. com. cn](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 18 $\frac{3}{4}$ 彩插 6 字数 438 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5786-5/G · 1556

定 价: 42.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

工业设计专业教材编写委员会

主任：程能林

副主任：黄毓瑜 徐人平 李亦文

委员（排名不分先后）：

程能林	黄毓瑜	徐人平	李亦文
孙苏榕	陈慎任	王继成	张宪荣
谢大康	钱志峰	张 锡	曾 勇
刘 林	高 丰	桑 涛	刘世创
李 理	曲延瑞	张玉江	任立生
刘向东	张宝荣		

序

化学是研究物质的变化和规律的一门学科。设计是研究形态或样式的变化和规律的一门学科。一个是研究物质，包括从采掘和利用天然物质到人工创造和合成的化学物质；一个是研究非物质，包括功能和形态的生成，变化及其感受。有物质才有非物质，有物才有形，有形就有状，物作用于人的肉体，形作用于人的心灵。前者解决生存问题，实现人的生存价值；后者解决享受问题，实现人的享受价值。一句话，随着时代的进步，为人类不断创造一个和谐、美好的生活方式。

其实，人人都是设计师，人们都在自觉或不自觉地运用设计，在创造或改进周边的一切事与物，并作出判断和决定。设计是解决人与自然，人与社会，人与自身之间的种种矛盾，达到更高的探索、追求和创造。通过设计带给人们生活的意义和快乐。尤其在当今价值共存、多样化的时代下，设计可以使“形”获得更多的自由度，使物从“硬件”转变成与生活者心息相通的“软件”，这就是“从人的需要出发，又回归于人”的设计哲理。有人说设计就是梦，梦才是设计的原动力。人类的未来就是梦的未来。通过设计可以使人的梦想成真，可以实现以地球、生命、历史、人类的智慧为依据的对未来的想像。

化学工业出版社《工业设计》教材编写委员会成立于2002年10月。一开始就得到各有关院校的热情支持和积极参与。大家一致认为，设计教育的作用是让学“懂”设计，而不只是“会”设计。这次确定的选题，许多都是自己多年设计教学实践的经验、总结和升华，是非常难能可贵的。经过编委会的讨论、交流、结合国内现有设计教材的现状，近期准备出版以下工业设计专业的教材或参考书：

- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| 《产品模型制作》(福州大学谢大康)； | 《工业设计概论》(中英双语)(北京航空航天大学黄毓瑜)； |
| 《产品设计原理》(深圳大学李亦文)； | 《产品设计图学基础》(中国地质大学李理)； |
| 《设计色彩学》(上海大学张宪荣、张萱)； | 《设计中的人机分析与应用》(东华大学王继成)； |
| 《基础设计》(福州大学谢大康,湖北美术学院刘向东)； | 《设计形态语义学》(上海理工大学陈慎任)； |
| 《设计符号学》(上海大学张宪荣)； | 《设计材料与加工工艺》(南京理工大学张锡)。 |
| 《网络化工业设计》(北京航空航天大学黄毓瑜)； | |

以上工业设计专业教材及参考书的出版力求反映教材的时代性、科学性与实用性，同时扩大了设计教材的品种及提高了教材的质量。最后，我代表编委会感谢化学工业出版社的大力支持和帮助，使这套系列教材能尽快地与广大读者见面。

《工业设计》教材编写委员会

主任 程能林

2003年7月5日

前 言

工业设计是现代社会工业产品竞争力的核心要素，是实现高、新技术产业化的重要手段，是科技创新不可或缺的另一翼。它不仅指产品外观的美化，更包括对人的因素、环境生态、技术前景、社会变革等高层次的理解，并因此被著名科学家杨振宁誉为“21世纪最有前途的科学”。

工业设计的主体是产品设计。它的目标是通过增强产品的宜人性和更好的形式对功能的适应，通过对消费者心理的敏锐知识，通过产品外形，色彩和结构上的美学感染力来加强产品对用户的吸引力，使产品成为用户竭力向往得到的东西。事实表明：在市场经济背景下，产品如无工业设计辅助就难以转化为商品；难以形成能被世界市场接受并能与国际著名品牌相抗衡的本地品牌。在不同产品领域内，都有相应的国际著名品牌受到国际市场的青睐，引领着各自产品领域的世界潮流。名牌产品能立足市场而经久不衰的主要原因是重视了工业设计，适应和把握了市场的变化与发展。及时迎合或超前指导了人们需求的变化与发展。成功的品牌产品本身也因此必然能够相对正确地折射出市场与人们需求的变化与发展。优秀的品牌产品还能体现现代工业设计的发展趋势。

工业设计的核心是“以人为中心”。在进入21世纪，面临经济全球化的今天，企业的产品将面临更广泛、更严厉、多层次的消费者审视。在一个高度竞争的市场上，用户的需求与喜好将在产品开发过程中得到更大关注，工业设计的内容、方法和手段也将发生相应的变化。

今天，由于科技的进步使企业间在产品质量上的差距日趋接近，而使设计，使诸如实用外观专利等成为重要的知识产权。产品不仅要满足功能要求、美学要求，更要满足使用者的安全，舒适，有利健康和操作的得心应手，以及与环境保护的一致。因此，如何寻找人—机—环境间的最佳匹配关系，探索工业产品以人为中心的设计理念、设计手段与方法，成为实现产品品质赶超国际水准的关键。成为现代工业设计必须关注的重要课题。

人机工程学是实现以人为中心的设计思想的重要理论基础，是衡量当代产品设计水平的最重要指标。随着科学技术的发展，以人为中心的理念已成为设计产品系统的主要目标，人机工程学也因此成为设计学科领域中的主要研究方向，成为工业设计的主要理论基础和设计理念。正是基于这一认识，作者编写了这本教材。

本书运用人机工程学的基本原理，较全面地分析了产品设计中的人的因素，并将其融入到产品开发的整个过程中。人的因素作为一项可以被用来在人的领域中创造产品而使之为人们更好服务的技术而被添加到产品设计中，它关注产品的使用者（有时称为最终使用者），它主要目标是确保产品易于使用、学习、生产和安全。在产品设计中，通过人的因素的研究可获得基本的设计数据，并具体应用于解决实际的设计问题。这将有助于改善产品的使用性与质量。提高产品成功的几率，并大大减少用户对生产企业可能的法律诉讼。

科学技术的进步给大多数人的生活、工作、学习带来了极大的方便，但对许多老年人和残疾人来说有时却成为一种障碍。许多产品他们无法使用或不能方便地使用。然而老年人和残疾人要求独立生活和平等参与社会的愿望日益强烈。因此能否为尽可能多的人（包括健康的老年人和能够自食其力的残疾人）提供使用性良好的工业产品和设施，为现代人提供平等的使用机会；将成为企业通过产品接近消费者，向社会显示产品品质，获得国际竞争力的重要手段。是现代国家最重视的设计理念和文明程度的重要标志。为此，发达国家提出了共用性设计的理念。

目前仅中国国内，老年人和残疾人的人口已超过了两亿。如何使现代设施和用品满足包括上述群体在内的用户使用，已成为不容忽视的人机工程学与工业设计的课题。

本书以较大篇幅介绍了共用性设计的概念和内容。分析了不同类型功能障碍者的特征与不便，归纳了实现共用性设计及其产品系统的途径与方法。随着世界人口老龄化和残疾人日益增多，共用性设计必将成为产品、环境、通信等领域设计的发展方向。

本书最后具体介绍了 ISO 13407 的主要内容与要求。随着人机工程学在工业中应用的日益广泛，人机工程学的标准化问题变得越来越重要。国际标准化组织于 1975 年设立了人机工程学技术委员会，负责制定人机工程学方面的标准。各地区和各国也都根据自己的具体情况制定了相应的标准和规范，如 CE 标准是目前欧洲、美国、日本已经开始实施的人机工程学方面的标准，它是产品进入这些地区的重要评价指标。正在酝酿推广的以人为中心的设计过程的国际标准：ISO 13407 将在更大范围内执行人机工程学的要求。

ISO 13407 为产品设计提供了具体、可操作性的有效方法和原则，具有极高的实用价值。同时对政府建立相关的产品开发政策，设计人员建立正确的产品开发思想，提高产品的档次和在市场上的竞争力，形成社会对工业设计价值和人性化主体价值的认同有重大意义。

在本书的编写过程中，作者得到了东华大学工业设计硕士研究生杨智勇、毕湘军、马婷婷、牛小夺、黄坤、王惠的鼎力相助，谨此表示衷心的感谢！

最后，期待同行、专家和广大读者的批评与指正。

王继成

2004 年 5 月 8 日

内 容 提 要

本书着重介绍了人机工程学在产品设计中的应用与最新发展,介绍了在产品设计中具体实现以人为中心设计理念的设计手段与方法。

以人为中心是现代设计的基本出发点。本书运用人机工程学的基本原理,全面分析了产品设计中的人的因素,并将人的因素的研究融入到产品开发的全过程中。结合实例,具体介绍了通过人的因素的研究与测试,获得基本设计数据的过程与方法,并具体应用于解决实际的设计问题。本书同时还介绍了无障碍设计、老年人设计和共用性设计等新的设计理念;介绍了最新发展的 ISO 13407(以人为中心的设计过程的标准化)的基本内容与要求。

全书共分十三章,大部分章节后均附有具体案例分析与研究,内容新颖,有特色。

本书可作为工业设计专业及机械设计等其他设计类专业的本科或研究生教材和教学参考书,也可供工业设计人员和相关工程技术人员参考。

目 录

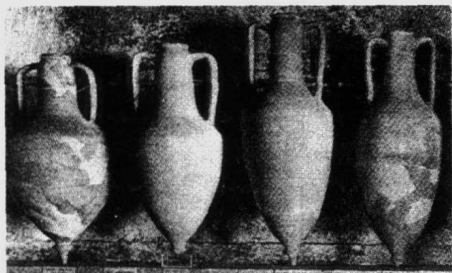
第 1 章 人机工程学综述	1
1.1 人机工程学的概念	1
1.2 人机工程学的组成	2
1.3 人机工程学的起源	3
1.4 人机工程学的发展	9
1.5 人机工程学与产品设计	11
1.6 人/机系统	12
第 2 章 人的因素和设计的进展：纵览	18
2.1 一件优秀设计产品的特性	20
2.2 人机工程学和产品设计的融合	20
2.3 人机工程学在设计中应用的益处：商业案例	21
2.4 纵览设计和发展过程	23
2.5 设计周期中的变动	25
第 3 章 产品策划及设计前期的其他工作	28
3.1 市场调研	28
3.2 确立设计目标和市场需求	31
3.3 功能分析	32
3.4 产品操作需求	33
3.5 设计约束因素	33
3.6 产品需求文档	36
3.7 实例分析与研究：柜式空调器的设计目标	37
第 4 章 设计活动	42
4.1 设计分析和说明	42
4.2 人机工程学数据和设计原则在设计问题中的运用	48
4.3 测试与设计提炼	50
4.4 实例分析与研究：移液管的人机工程设计和性能评估	53
第 5 章 人的因素的研究与测试	62
5.1 人的因素研究和测试的比较	62

5.2	相关问题的研究和测试	66
5.3	可行性实验室	77
5.4	实例分析与研究：钢瓶手推车把手的人的因素研究与测试	78
第6章	心理学、生物力学和人体测量学因素	90
6.1	人的体能特点	90
6.2	生物力学因素	92
6.3	应用人体测量学数据	95
第7章	适合人体姿势的设计	104
7.1	作业区域的基本要求	104
7.2	作业姿势的记录与评估	108
7.3	为手的设计	112
7.4	实例分析与研究：计算机显示屏高度对人颈部姿势的影响	118
第8章	显示与显示器	124
8.1	人/机相互作用的信息分析	124
8.2	信息显示设计	125
8.3	视觉显示	127
8.4	听觉显示	145
8.5	实例分析与研究：LCD的反射和偏光对视距的影响	149
第9章	可视信息设计	156
9.1	文字标记	157
9.2	电子显示器的字母与数字	158
9.3	显示式样	162
9.4	图形符号	162
9.5	用户手册	168
9.6	编码	171
9.7	实例分析与研究：提示正确提举姿势的图形符号	174
第10章	控制与控制器	181
10.1	影响控制器选择与设计的因素	182
10.2	常用控制器特征	183
10.3	常用控制器类型	186
10.4	设计要点	197

第 11 章 产品形态的人机工程学设计	207
11.1 手持式产品的设计参数和设计指导	207
11.2 便携式产品和可携带式产品的设计参数和设计指导	211
11.3 固定使用的产品的设计数据和设计原则	216
11.4 为残疾用户提供方便的设计原则	218
11.5 实例分析与研究——手工工具的设计	219
第 12 章 产品共用性设计理念与方法	231
12.1 产品共用性设计理念	231
12.2 产品共用性设计内容与方法	235
12.3 共用性设计原则和优先次序	237
12.4 老年人、儿童和残疾人的基本特性	246
12.5 共用性设计的实现	259
12.6 实例分析与研究：老年人家中作业面高度的评估	261
第 13 章 以人为中心设计过程的标准化	272
13.1 以人为中心设计过程的意义	272
13.2 以人为中心的设计原则	273
13.3 确定以人为中心的设计计划	275
13.4 以人为中心的设计过程	275
13.5 其他相关以人为中心的国际标准	283
参考文献	285

第 1 章

人机工程学综述



- 人机工程学的概念
- 人机工程学的组成
- 人机工程学的起源
- 人机工程学的发展
- 人机工程学与产品设计
- 人/机系统

人机工程学作为一门新兴的科学,是在 20 世纪 50 年代前后才发展起来的。然而,今天它已成为一切工程技术人员必不可少的工具,成为实现工业设计目标的重要手段。

人机工程学在美国被称为 Human Factor Engineering (直译为“人因工程学”)。而在英国,则被称为 Ergonomics。这是由两个希腊单词: ergo (表示工作) 和 nomos (表示法则或习惯) 组成的新词。因此, ergo-nomos 的含义是:把机械产品设计成十分符合人类的工作或动作的法则或习惯。这一名称(即 ergonomics)已被国际标准化组织正式采纳。

1.1 人机工程学的概念

2000 年 8 月,国际人机工程学学会(International Ergonomics Association)对本学科所下的定义为:人机工程学是研究人与系统中其他因素之间的相互作用,以及应用相关理论、原理、数据和方法来设计以达到优化人类和系统效能的学科。人机工程学专家旨在设计和优化任务、工作、产品、环境和系统,使之满足人们的需要、能力和限度。

人机工程学将人类的需求和能力置于设计技术体系的核心位置,为产品、系统和环境的设计提供了与人类相关的科学数据。追求实现人类和技术完美和谐融合的目标。

现代高度发展的技术已把人置于这样一种地位,在这里,任何控制或判断上的差错都将产生十分严重的后果。例如,从技术角度来看,观测手表以判断商店是否还在营业的过程与在飞机上观察高度仪以判断飞机高度的过程几乎没有任何区别,但由于误读而产生的后果在本质上却相距甚远。类似地,空中的交通控制、外科手术或原子能反应堆的操

作、预警雷达系统的控制都不允许在操作、控制上产生半点差错。即使一般的工业产品，人们也要求它不仅能够满足功能要求，还必须符合美观、使用方便、操作灵活、舒适和安全的要求。

以人为中心的设计已成为现代迅速发展的技术的一个基本点。可以说在现代，设计的主要困难已不在于产品本身，而在于是否能够找出人与产品之间最适宜的相互联系的途径与手段，在于是否能够全面考虑到操作者在人/机系统中的功能作用特点和产品结构与“人的因素”相吻合的程度。因此，如何把产品设计得更适合于人使用的问题越来越受到重视，人机工程学正是在这样的背景下产生的。

要使产品和功能符合人类特性，使产品既容易操作，又正确可靠。不易使人疲劳，就必须收集有关人类特性临界值的数据。这就使生理学、医学、解剖学和心理学都与工程设计发生了密切的联系，并参与共同确定人在作业活动中的极限。这些经过生物学角度进行调整的规则在工程领域中的渗入就是人机工程学的本质。因此，关于人机工程学的定义也可以简单地描述为：“研究与劳动环境和设备设计有关的人的因素的科学”。

显而易见，人机工程学是一门综合的自然科学。人机工程学专家和其他领域的专家，如工程师、工业设计师、计算机专家、工程医学和人类资源专家通力合作，最终目标是实现把人们对人类特性的知识转化成解决人类工作和休闲时的具体问题。在许多情况下，人类可调整姿势以适应不舒适的环境，但是这种调整通常是低效率、易出错、需要承受难以忍受的压力、甚至付出身体和精神方面的代价。人机工程学的研究与应用可以彻底改变这种状况。人机工程学几乎包含与人相关的一切事物。如果设计得当，运动、休闲、健康、安全都将体现人机工程学的基本原理。

虽然不能期望人机工程学能因此解决所有的问题，但是，只要接受人机工程学的技术与准则，就可以帮助设计者减少明显的差错与危险。

1.2 人机工程学的组成

人机工程学是处理人与工作环境之间的关系。研究人类的基本学科包括解剖学、生理学、心理学。人机工程学运用这些科学主要目的在于：更充分地发挥人类的能力和维持人类的健康与安宁。具体地说，就是确保作业任务在所有方面均适合于人，且工作环境不能超出人的能力和局限性。

基础解剖学的贡献在于它改善了人与使用工具之间的身体适应性，从手工工具到飞机驾驶室的设计，要想取得良好的身体适应性产品的设计无疑必须考虑人的形体尺寸的不同；人类学提供了人体各种姿势的数据；生物力学则考虑肢体和肌肉的动作，确保工作时的正确姿势，并避

免使用过大的力。

人类生理学的知识包括两方面的内容：一方面是劳动生理学研究人体作业所需能量并设计出人类可承受的工作频率和工作载荷的标准；另一方面是营养学考虑人在某些特殊工作条件下的营养需求，如在高温、嘈杂、振动的条件下的最佳需求选择。

心理学与人处理信息的过程和决策能力有关。简单来说，心理学就是帮助人对他们使用的工具有更好的认知性。与此相关的主题还包括理性过程、观察、长期和短期记忆、决策与行动。在当代高科技社会中，心理学对人机工程学尤其重要。心理学对人机工程学在人—计算机交互界面、人—机交互界面、工业过程的信息表达以及培训计划、人的任务和工作的设计研究中起了很大作用。

在当今信息社会，信息过量的情况已很普遍。如在高度自动化水平的生产流水线上，要同时处理监视、管理和维护以及如何合理分配流水线上每人的任务，常常会增长对人脑力方面的要求。如何提高人脑信息处理和决策能力就离不开心理学的帮助。

1.3 人机工程学的起源

人类工具的发展史就是不断实现方便使用目标的历史。一切人造工具，无论原始的石器还是今日的电子产品，人们制造它们并不断改进它们，都出于一个共同的观念与目标：就是为了让人们更好、更方便、更安全地使用工具从事各种活动与工作。尽管人机工程学直到20世纪20年代才出现，然而，有证据表明人机工程学原理实际上在2500年前就已经为人所知并确定了下来。可以发现，那些在现今的设计中所关注的人机工程学主题几乎都可以在下面的例子中找到它的萌芽。

人机工程一词来源于希腊语 $\epsilon\rho\gamma\omicron\nu$ (ergon) 意思是工作，以及 $\nu\acute{o}\mu\omicron\varsigma$ (nomos) 意思是物质生理惯例。尽管并无具体应用人机工程学这个名词，考古发现的不同领域人机工程学设计的例子证明了人类祖先对实用性和提高生活，改善工作条件的关注。在设计工具、工作场所或工作情况时考虑到了人的因素。种种征兆显示在古代已经拥有很好的关于人的因素的知识，并借此实现以人为中心的设计目标。

1.3.1 以人为中心设计理念的萌芽

Plato 戏剧中引用的一句格言：“人是所有东西的测量尺度。”形象表达了以人为中心的设计理念。有许多例子可以表明这种概念如何应用于实际情况。

用来测量长度的尺度单位的名称及大小都来源于人体。如 $\delta\alpha\kappa\tau\upsilon\lambda\omicron\varsigma$ (手指)， $\pi\alpha\lambda\alpha\mu\eta$ (手掌)， $\pi\eta\chi\upsilon\varsigma$ (前臂) 和 $\pi\acute{o}\delta\tau$ (脚)。使用这种测量系统，许多建筑的基本单元都与人体成比例。古希腊人的葬礼仪式提供了另一个例子，表明他们对以人为中心设计的关注。古希腊人相信在死

亡后灵魂会去另一个世界。为了使他们的死亡之旅及来世舒适一些，他们在坟墓里放上像器皿用具之类的个人物品。这些陪葬品的尺寸大小与死者的年龄和身材相匹配。

1.3.2 基于对人的因素良好知识的设计迹象

雕像和绘画表明了古希腊人有很好的人类学知识。他们利用人体各部分的相对比例关系作为设计的基本比例。例如：庙宇圆柱的高度是其柱脚直径的 8 倍。而 8:1 正是女性身高和脚长之间的比。

由于了解了人的视错觉特性，古希腊建筑师在设计建筑物时充分利用视错觉，以给观者特别的感受。例如：图 1-1 帕提亚神庙中巨大的柱子并非是笔直的，而故意设计成一定的弯曲弧度，却给人以精巧、挺拔的感觉。

1.3.3 人机工程设计建议

医学之父 Hippocrates（公元前 460～公元前 370）在他关于外科手术的文章中，对手术场所进行了具体的介绍和建议。他建议手术可以根据操作动作来决定站着或是坐着进行，但总要采取最舒适的姿势。Hippocrates 描述了这些动作姿势，并决定手术医生、病人及灯光源（包括自然光和人造光）的相对位置，以使手术更容易，也能避免闪光刺眼。在同篇文章中，他也提到手术用具应该放在靠近医生手术操作手边，但同时又不能妨碍操作动作。在另一篇文章中还提到手术用具应该具有怎样的形状、尺寸、重量及结构，以便使用更方便。在这些文章中可以发现工作场所和工具设计应用人机工程学原理的明确资料。

在古代，关于工作条件的规定较为少见。然而，在位于雅典附近，从公元前 1200 年就已使用的矿场中，就有关于为安全考虑的相关规定。如禁止移除坑道中的金属支撑杆；禁止为照明而使用易产生过量烟雾的煤油灯。违反这些规定的承包商会遭到严厉处罚，在这里可发现当时对保护劳动者生命的关注。这可能是历史上第一个关于职业健康和安全的規定。

1.3.4 使劳动负荷最小化的设计

大理石是当时庙宇等公共建筑中使用的主要建筑材料。这种大理石材很重。如帕提亚神庙的圆柱和横梁每根重达 10 吨以上。由于大部分重要的公共建筑都建在山顶。更大大提高了大理石块修砌的难度。从大理石块和采石场上发现的痕迹可以推测，当时采用了许多聪明的技术。

大部分大理石的琢刻工作都是在采石场就地完成的。这样有两个好处。首先，琢刻工作在平地上更容易进行，同时也增加了安全性。第

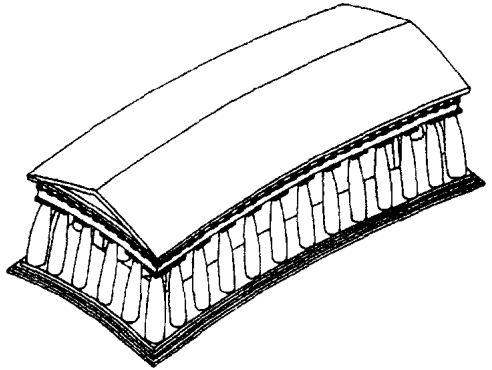


图 1-1 帕提亚神庙



图 1-2 负载马车的提升技术

二，运输的大理石块的重量可以减轻。使用由动物（例：骡马）或人力，拖车来运输大理石。在大理石块必须被提升到山顶时，如图 1-2 描绘了所利用的技术。当时并非使用骡马直接把车拖到顶部，而是在山顶部安装了一个大的定滑轮。系在满载的拖车上的牵引绳通过定滑轮改变方向，这样骡马只要沿斜坡往下拉，就可将满载的拖车拖到坡顶，大大减轻了骡马的工作负荷。

1.3.5 安全性设计

为防止在坡道上运输大理石的拖车和马车滑动，制作了特殊的制动装置。其中一种用于下坡道的拖车上。如图 1-3 所示，大理石块用绳固定在拖车上。控制牵引绳穿过固定在拖车上的滑轮，两端分别卷绕在相隔一定距离的两个固定木桩上，并由两名作业者分别控制。一头放松，一头收紧，以此控制拖车，使满载的拖车能以平稳的速度向下滑

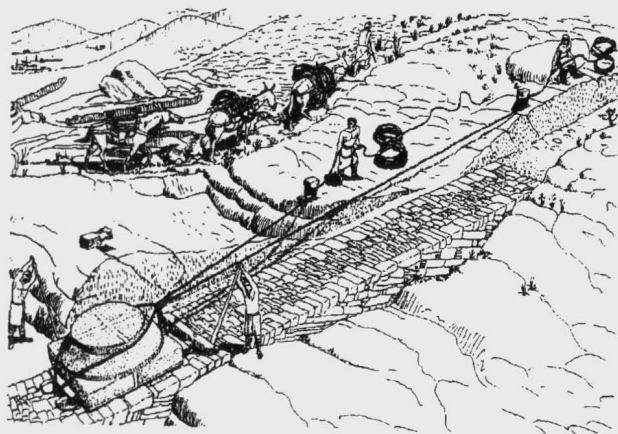


图 1-3 下坡移动的制动系统

动。如果石块很重，可由另外 2 名分别站在拖车前后的作业者持撬棒，帮助拖车移动。另一种制动器系统，用于上升的马车。如图 1-4 中的描绘。用杆相连的一对木制楔块，系在马车下侧，垫在尾轮后侧，以此阻止马车下滑。这个系统至今仍然被用作天然的停车制动器，例如当重型卡车停在斜坡上时的情况。

1.3.6 考虑方便安装的设计

在建筑中，为方便悬吊沉重的大理石构件，并能把它们起吊定位至精确到毫米的位置，在琢刻石块时，就已在石块上加工了辅助结构，以便于吊装和就位。而且不同形状的大理石构件有不同的结构，以和它的吊装方式与就位、连接形式相适应，如图 1-5。

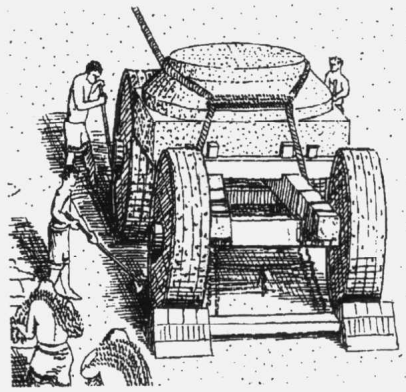


图 1-4 上坡移动的止退系统

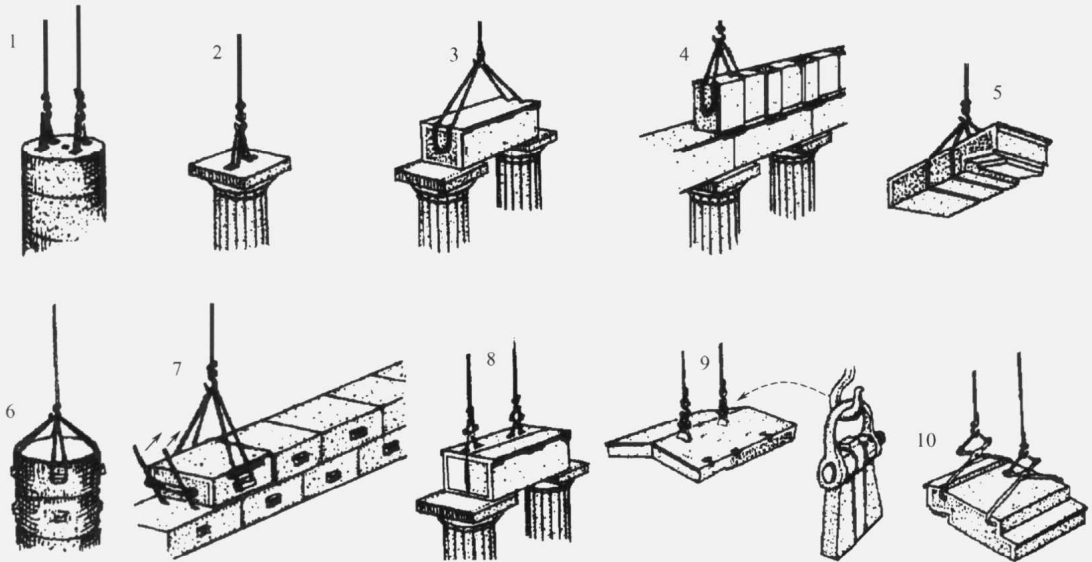


图 1-5 大理石块的悬吊和定位技术

1.3.7 适当的工具设计

任何产品因功能的需要和使用的方便，必须具备某些特定的结构形式。这一原则从文明一开始就影响了器具的制作，石头打制的工具也如此。如图 1-6，都是用来切割石料的工具，其中大部分和今天使用的几乎完全相同。从公元前 15~公元前 11 世纪，直至今今天，它们最初的形态和功能仍然没有多大改变。这表明通过实践演变，它们的形态已经被磨炼得十分完善了。

图 1-6 (b) 中的 9 手工扯钻特别体现了对人的关注。扯钻由两部分组成：钻杆与木制手柄。细长的钻杆顶部有一个带有环形凹槽的鼓状物，木制手柄插在鼓状物顶部的孔内，与鼓状物可有相对转动。使用时