



汽车先进技术译丛

日本汽车技术协会·汽车技术经典书系

第8分册

汽车人机工程学 技术

[日] 柳濑徹夫 主编
范营营 译



汽车先进技术译丛

日本汽车技术协会·汽车技术经典书系

汽车人机工程学技术

[日] 柳濑徹夫 主编
范营营 译

机械工业出版社

Translation from Japanese language edition: 自動車の人間工学技術, 自動車技術会編集

Copyright © Originally published in Japan in 1996 by Asakura Publishing Company, Ltd.

Chinese translation rights arranged with Asakura Publishing Company, Ltd. through TOHAN CORPORATION, TOKYO.

All Rights Reserved.

版权所有, 侵权必究。

This title is published in China by China Machine Press with license from Asakura Publishing Company, Ltd. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书中文简体版由 Asakura Publishing Company, Ltd. 授权机械工业出版社在中国境内(不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区)出版与发行。未经许可之出口, 视为违反著作权法, 将受法律之制裁。

北京市版权局著作权合同登记 图字: 01-2015-0542 号。

图书在版编目(CIP)数据

汽车人机工程学技术 / (日) 柳濂徹夫主编; 范营译. —北京: 机械工业出版社, 2018. 11

(汽车先进技术译丛. 日本汽车技术协会·汽车技术经典书系)

ISBN 978-7-111-61317-6

I. ①汽… II. ①柳… ②范… III. ①汽车工程-工效学 IV. ①U461

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 249941 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 孙 鹏 李 军 责任编辑: 孙 鹏

责任校对: 潘 蕊 封面设计: 鞠 杨

责任印制: 常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2019 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 9.5 印张 · 229 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-61317-6

定价: 60.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网: www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

本书描述了汽车与人体特性、汽车人机工程评价与测量技术、基于人机工程的新技术和对汽车人机工程基础技术的未来展望。本书在传统的汽车人机技术发展趋势的基础上，融入了感性工程、高龄人群、人机界面等全新视角，努力向人们呈现汽车人机工程的未来蓝图。其研究与实验方法贴近工程实际，非常值得国内技术人员阅读借鉴。

序

本丛书是日本汽车技术协会主编的汽车技术经典书系，书系共 12 册。本系列丛书旨在阐述汽车相关的焦点技术及其将来的发展趋势，由活跃在第一线的研究人员和技术人员编写。

日本汽车技术协会的主要责任是向读者提供最新技术课题所需要的必要信息，为此我们策划了本系列丛书的出版发行。本系列丛书的各分册中，相对于包罗万象的全面涉及，编者更倾向于有所取舍地选择相关内容，并在此主导思想下由各位执笔者自由地发表其主张和见解。因此，本系列丛书传递的将是汽车工程学、技术最前沿的热点话题。

本系列丛书的主题思想是无一遗漏地包含基础且普遍的事项，与本协会的“汽车工学手册”属于对立的两个极端，“汽车工学手册”每十年左右修订一次，以包含当代最新技术为指导思想不断地进行更新，而本系列丛书则侧重于这十年当中的技术进展。再者，本系列丛书的发行正值日本汽车技术协会创立 50 年之际，具有划时代的意义，将会为今后的汽车工学、技术，以及工业的发展发挥积极的作用。

在本系列丛书发行之际，我代表日本汽车技术协会向所有为本系列丛书提供协助的相关人员，以及各位执笔者所做出的努力和贡献表示衷心的感谢。

社团法人 日本汽车技术协会
汽车技术经典书系出版委员会
委员长 池上 询

前 言

汽车是与人和社会高度融合且相互影响的具有多元属性的商品。汽车人机工程则是从人的角度看待这种商品，并思考如何开发更加以人为本、易用于人的技术。

人机工程的应用将不断深化，进而推动诸如人机工程数据库整备、CAD 领域数据应用等能够应对具体的产品制造技术以及人机工程技术本身的发展，不断寻求新突破。

从所处时期、资源、环境、安全以及老龄化社会等诸多方面来看，种种因素都要求汽车本身发生改变。汽车的使用者同样也会受到上述这些因素的影响，因此在老龄化社会发展过程中，会越来越期待无障碍式的开发制造；或是越来越关注如何才能个人生活中更加愉快、更加便利地使用汽车；亦或是比起高性能、多功能，越来越重视驾驶难易度和使用方便性等。

汽车人机工程是一门使汽车更加易用于人的技术，在飞速发展的时代，人机工程也在逐步改变。比如融入人的感官所体验到的舒适性、愉悦性以及美观的感性工程观点；增加基于高龄人群或有障碍人群的无障碍交通的观点；在引进 ITS 等新的显示、操作系统的同时导入超越以往的人性化界面；采用仿真试验与建立基于仿真数据的驾驶人模型的技术等。归纳总结上述变化，创造出以人为本、易用于人的全新的汽车人机工程，现在才仅仅是万里长征的第一步。

本书虽未能详述全部与全新的汽车人机工程技术有关的发展趋势，但是在传统的汽车人机技术发展趋势的基础上，融入了感性工程、高龄人群、人机界面等全新视角，努力向人们呈现汽车人机工程的未来蓝图。

柳濂徹夫

编辑的话

本书是由日本汽车技术协会组织编写的“汽车技术经典书系”的第8分册《自動車の人間工学技術》翻译而来的。本丛书的特点是对汽车设计、测试、模拟、控制、生产等技术的细节描写深入而实用，所有作者均具备汽车开发一线的实际工作经验，尤其适合汽车设计、生产一线的工程师研读并应用于工程实践！本丛书虽然原版出版日期较早，但因为本丛书在编写时集聚了日本国内最优秀的专家，使本丛书具有极高的权威性，是日本汽车工程技术人员必读图书，故多次重印，目前仍然热销。非常希望这套丛书的引进出版能使读者从本丛书的阅读中受益！本丛书由曾在日本丰田公司工作的刘显臣先生推荐，也在此表示感谢！

日本汽车技术协会 汽车技术经典书系 出版委员会

| | | |
|------|------|--------------|
| 委员长 | 池上 询 | 京都大学工学部 |
| 副委员长 | 近森 顺 | 成蹊大学工学部 |
| 委员 | 安部正人 | 神奈川工科大学工学部 |
| | 井上惠太 | 丰田汽车 |
| | 大沢 洋 | 日野汽车 |
| | 冈 克己 | 本田技术研究所 |
| | 小林敏雄 | 东京大学生产技术研究所 |
| | 城井幸保 | 三菱汽车 |
| | 芹野洋一 | 丰田汽车 |
| | 高波克治 | 五十铃工程技术有限公司 |
| | 迁村钦司 | 新 ANSYS 有限公司 |
| | 農沢隆秀 | 马自达汽车 |
| | 林 直义 | 本田技术研究所 |
| | 原 田宏 | 防卫大学校 |
| | 东出隼机 | 日产柴油发动机有限公司 |
| | 间瀬俊明 | 日产汽车 |
| | 柳瀬徹夫 | 日产汽车 |
| | 山川新二 | 工学院大学工学部 |

主 编
参 编

柳 濑 徹 夫

日 产 汽 车

花 井 利 通

日 产 汽 车

田 中 兼 一

日 产 汽 车

木 村 贤 治

丰 田 汽 车

柳 濑 徹 夫

日 产 汽 车

神 藤 富 雄

日 产 汽 车

早 野 阳 子

日 产 汽 车

金 田 雅 之

日 产 汽 车

贵 志 阳 一

日 产 汽 车

吉 本 照 子

千 叶 大 学

黑 须 正 明

静 冈 大 学

神 谷 公 一

三 菱 汽 车

目 录

| | |
|-------------------------------------|--|
| 序 | |
| 前言 | |
| 编辑的话 | |
| 第1章 汽车与人体特性 1 | |
| 1.1 概述..... 1 | |
| 1.2 汽车与身体特性..... 1 | |
| 1.2.1 身体特征..... 2 | |
| 1.2.2 假人..... 3 | |
| 1.2.3 肌肉负荷..... 5 | |
| 1.3 汽车与感官特性..... 8 | |
| 1.3.1 视觉特性..... 9 | |
| 1.3.2 听觉特性..... 12 | |
| 1.3.3 振动感觉特性..... 14 | |
| 1.3.4 运动感觉特性..... 15 | |
| 1.4 汽车与认知特性..... 16 | |
| 1.4.1 人类的认知原理..... 18 | |
| 1.4.2 认知特性与易用设计..... 20 | |
| 1.4.3 认知科学与商品评价..... 21 | |
| 1.4.4 认知特性与汽车开发..... 23 | |
| 1.4.5 今后的人机界面..... 25 | |
| 第2章 评价与测量技术 28 | |
| 2.1 驾驶的难易度与上下车方便性..... 28 | |
| 2.1.1 概述..... 28 | |
| 2.1.2 视野与视认性..... 29 | |
| 2.1.3 操纵性..... 37 | |
| 2.1.4 上下车方便性..... 41 | |
| 2.2 室内与内饰的舒适性..... 44 | |
| 2.2.1 易用性的评价测量技术..... 44 | |
| 2.2.2 舒适性的评价测量技术..... 46 | |
| 2.2.3 娱乐性的评价测量技术..... 54 | |
| 2.2.4 室内与内饰舒适性评价技术的 未来..... 57 | |
| 2.3 感性测量与魅力追求..... 59 | |
| 2.3.1 概述..... 59 | |
| 2.3.2 感性评价的基础知识..... 60 | |
| 2.3.3 感性测量的应用案例..... 61 | |
| 2.3.4 汽车领域感性测量方法的现状与 课题..... 65 | |
| 第3章 基于人机工程的新技术 68 | |
| 3.1 降低负荷..... 68 | |
| 3.1.1 降低驾驶操作系统的负荷..... 68 | |
| 3.1.2 降低座椅的负荷..... 76 | |
| 3.1.3 降低人体内部负荷的技术..... 79 | |
| 3.2 视觉信息处理系统..... 81 | |
| 3.2.1 概述..... 81 | |
| 3.2.2 与视野有关的新装备..... 82 | |
| 3.2.3 与视认性有关的新装备..... 85 | |
| 3.2.4 与驾驶人辅助有关的新装备..... 88 | |
| 3.3 车内空气环境控制技术..... 95 | |
| 3.3.1 车内空气环境净化技术..... 95 | |
| 3.3.2 利用气味的清醒度控制技术..... 97 | |
| 3.4 驾驶人监控..... 98 | |
| 3.4.1 利用图像识别技术的驾驶人 监控..... 98 | |
| 3.4.2 基于生理信息的驾驶人监控..... 102 | |
| 3.4.3 关于驾驶操作与车辆动作的 监控..... 103 | |
| 第4章 基础技术的未来展望 105 | |
| 4.1 充实数据库..... 105 | |
| 4.1.1 概述..... 105 | |
| 4.1.2 人机工程数据库的必要性..... 105 | |
| 4.1.3 人机工程数据库的现状..... 106 | |
| 4.1.4 作为汽车技术基础的人机工程 数据库..... 109 | |
| 4.1.5 人机工程数据库的未来展望..... 112 | |
| 4.2 老龄化应对..... 113 | |
| 4.2.1 老龄化引起的交通环境变化..... 113 | |
| 4.2.2 老年人的身心功能..... 115 | |



| | | | |
|------------------------|-----|-----------------------|-----|
| 4.2.3 应对老龄化的关键技术 | 121 | 4.3.4 可用性的评价技术 | 128 |
| 4.2.4 小结 | 122 | 4.3.5 操纵性能的预测模型 | 130 |
| 4.3 信息人机界面技术 | 123 | 4.3.6 汽车人机界面的未来 | 132 |
| 4.3.1 汽车的信息化 | 123 | 4.4 人体的模型化 | 132 |
| 4.3.2 什么是人机界面 | 124 | 4.4.1 心理模型化的要点 | 134 |
| 4.3.3 界面的可用性 | 127 | 4.4.2 心理模型案例 | 139 |

第 1 章 汽车与人体特性

1.1 概述

在汽车舒适性中最容易理解的就是用车时作为直接驾驶对象或工具与人机属性的适应性，比如是否好用、顺手等。汽车并不是静止不动的，行驶才是汽车的职责所在。通过使用汽车，制造与家人一起兜风的快乐回忆，这部分是非常重要的元素，也是汽车舒适性不可或缺的因素。还有，自己驾驶的车会不会给社会造成麻烦也是非常重要的因素。老实说，如果忽略掉这部分内容，而在静止状态下触摸汽车是无法谈及舒适性的。

舒适性目标大致可以分成如下四类：

① 汽车主要用于驾驶，因此包含减轻负荷、方便性、愉快性、不易疲劳、可视性好、便于理解等。

② 从感觉上的体验性来看，追求安静、宽敞。

③ 从主观上的适应性来看，可以是具有个性、有特点等，如具有跑车特点。

④ 从精神上的满足感来看，如满足、安稳等。

常见的具体性能有与驾驶直接相关的操纵性、视野视认性，还有导航地图显示以及是否容易理解的信息识别性、座椅舒适性、车门开关性，上下车方便性等。

考虑汽车舒适性设计时，常常被提及的问题就是人体特性是怎样的，与人体特性之间的适应性如何（表 1-1-1）。

换言之，第一是考虑人体功能，减轻负荷，操纵简单方便；第二是降低不快的刺激，感觉上的安稳舒适；第三是综合协调性能所带来的闲适与乐趣。这当中也包含符合整车概念及驾驶人个性的感性诉求。

在这里，将从人机工程的观点介绍身体特性、感官特性、认知特性等相对于车的人机特性，从可用性的角度说明灵活运用汽车和用户特性及人机特性的汽车设计，最后对今后人机特性的关注领域进行介绍。

表 1-1-1 对人体特性的适应性

| 适应人机特性 | | 典型性能示例 | 基础研究领域 |
|------------------|---------------------|---|--|
| 使用容易性 (useful) | 降低基于人体机能的驾驶负荷 | · 视野好 · 可轻松操纵 · 易于使用、便于理解的显示操纵系统 · 一定尺寸的座椅 · 乘坐舒适性，落座感觉 | 医学 生理学 生物力学 心理学 认知工程 人机工程 感官工程 魅力工程 |
| 舒适度 (comfort) | 降低因感官的适应性所产生的不舒服的刺激 | · 空调舒适性 · 音质 · 内饰质感 · 个性（内饰感觉） | |
| 闲适，快乐 (pleasant) | 提高感性诉求及魅力性能 | · 轻松行驶的性能 · 综合协调照明 · 室内交流（后排座椅的斜对角座椅） | |

1.2 汽车与身体特性

从交通工具和身体特性的角度追溯日本历史，在江户时代就出现了轿辇。之所以会出现这种交通工具，除了因为江户町辖区最大只到山手线以内，且道路情况恶劣，下雨后道路泥泞不堪，车轮会陷入泥泞中无法动弹以外，据说还与江户人的体形相关。

江户时代被称为是日本历史上体形最贫弱的时代。根据挖掘出来的大部分人体骨骼推断，当时成人男子的平均身高只有



156cm。普遍认为身高较高的第六代将军家宣才 162cm，平民因营养状况更差，所以也更瘦、更小，因此就出现了古代剧中常见的人坐在狭窄空间、由人抬着的轿辇。

经历过这样的时代以后，随着人类活动范围的不断扩大，道路等环境的不断完善，时至今日交通工具发展到了汽车，而人体尺寸也成了决定汽车基本布置的重要因素。

1.2.1 身体特征

图 1-2-1 ~ 图 1-2-3 表示的是各国身高

及体重的比较和随时间推移的变化，可以看出，为了调查海外市场等所销售地区的人体特征，收集最新的数据至关重要。日本近来非常重视人体尺寸，并进行了许多人体尺寸测量。

另外，根据不同情况，人们需要采取各种各样的姿势。在汽车设计中，不仅要考虑乘员布置、驾驶操纵，还应该注意避免因长期持续不适的姿势而导致疲劳，也需要考虑疲劳恢复或不易疲劳的舒服姿势等生理结构上的问题。

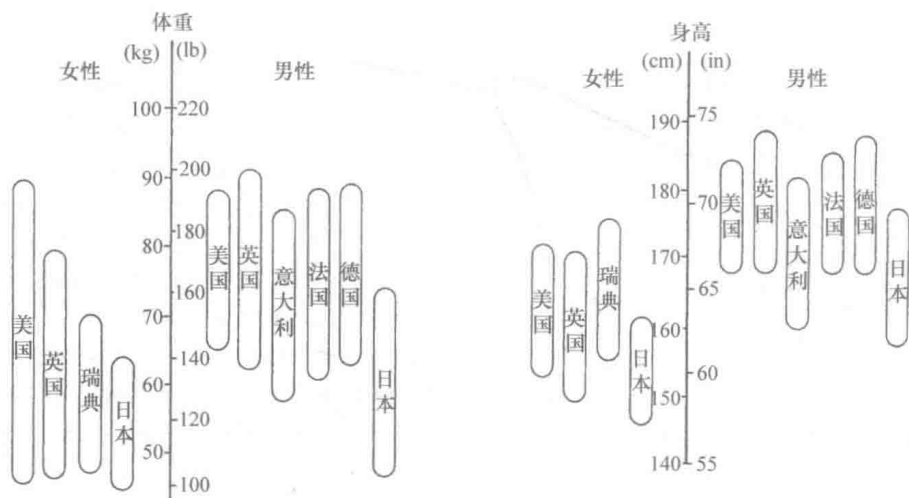


图 1-2-1 具有代表性的国家的身高和体重 (5 ~ 95 百分位值)

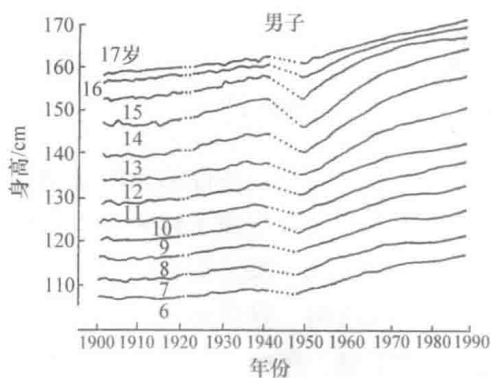


图 1-2-2 青少年身高随时间的变化 (男)

图 1-2-4 表示的是具有代表性的姿势类型。图 1-2-5 和图 1-2-6 表示的是不同姿势

下人体脊柱的弯曲变化和因姿势变化所导致的椎间盘内部压力的变化。如此这般，考虑人体特性所带来的姿势要求，进行人员布置设计变得越来越重要。

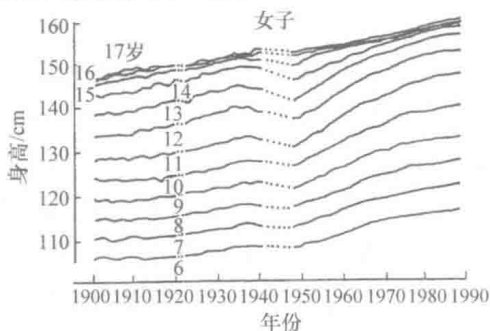


图 1-2-3 青少年身高随时间的变化 (女)

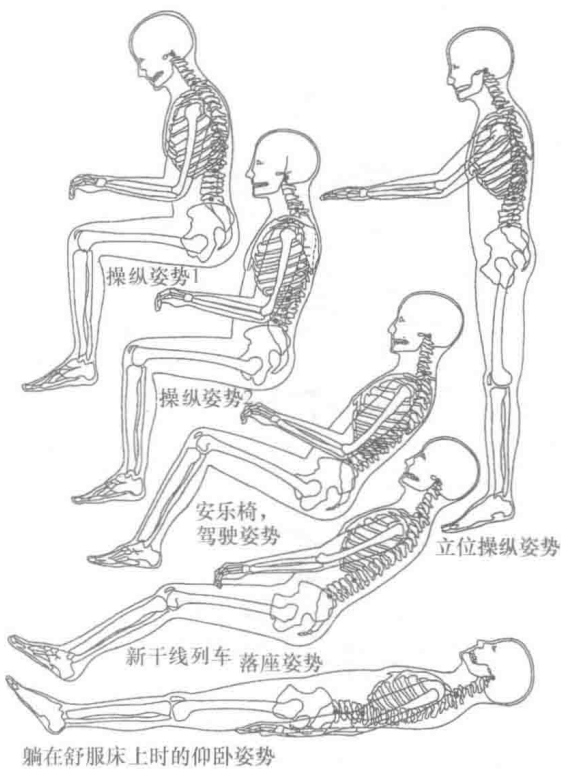


图 1-2-4 以脊柱为中心的具有代表性的姿势

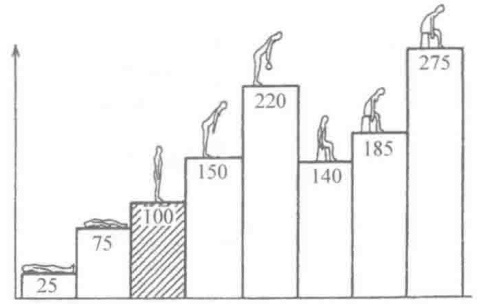


图 1-2-6 姿势变化引起的椎间盘内部压力变化

同时，如图 1-2-7 ~ 图 1-2-9 所示，进行乘员布置、装置操作设计还需要掌握人在座位上的活动范围。

另外，为了将整车目标范围设定得更广，需要将体形随年龄的变化控制在图 1-2-10、图 1-2-11 所示范围内。

1.2.2 假人

在人机工程领域进行各种试验和室内设计时，经常使用假人和一种叫作人体模型的人偶代替人体。这是基于上文提到的人体尺寸得到的，但是由于种类各异，因此在这里先做介绍。

a. 2D 人体模型

这是用平板表示人体侧面形状的最简单的人体模型，通常叫它 2DM。2DM 有多种分类，如 SAE - 2DM、JSAE - 2DM、2W - 2DM、C - 2DM 等。

用于汽车设计的有 SAE 和 JSAE (图 1-2-12)，根据美国 SAE (汽车工程师学会) 标准制作而成，由塑料材质的躯干部、大腿部、小腿脚部和后挡板五部分组成，分别可自由旋转，可根据观察角度调整成想要的姿势。

b. 3D 人体模型

这是用于立体测量人静态落座时，人体和汽车内周边之间关系等的人体替代工具，通常叫作 3DM。3DM 可分为 SAE - 3DM、JSAE - 3DM、2W - 3DM - AM、2W - 3DM - JM、SIP - 3DM 等类型。

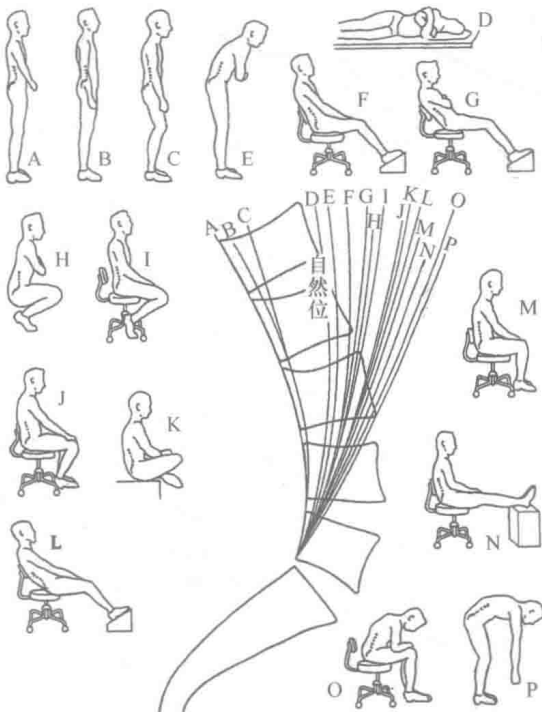
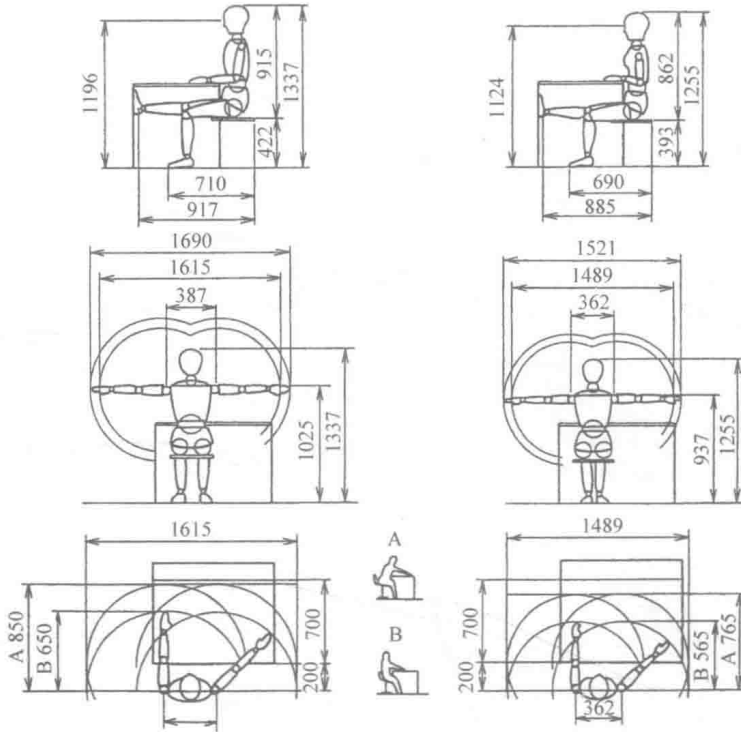


图 1-2-5 各种姿势下的脊柱弯曲变化



(各部位的尺寸根据20世纪70年代的动作和尺寸系统的比例计算)

图 1-2-7 成人男女的尺寸 (1984 年调查)

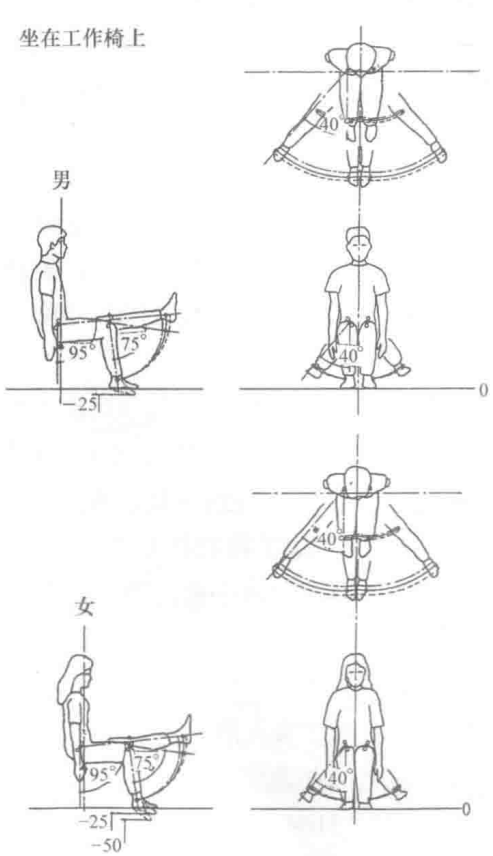


图 1-2-8 落座时下肢的活动范围

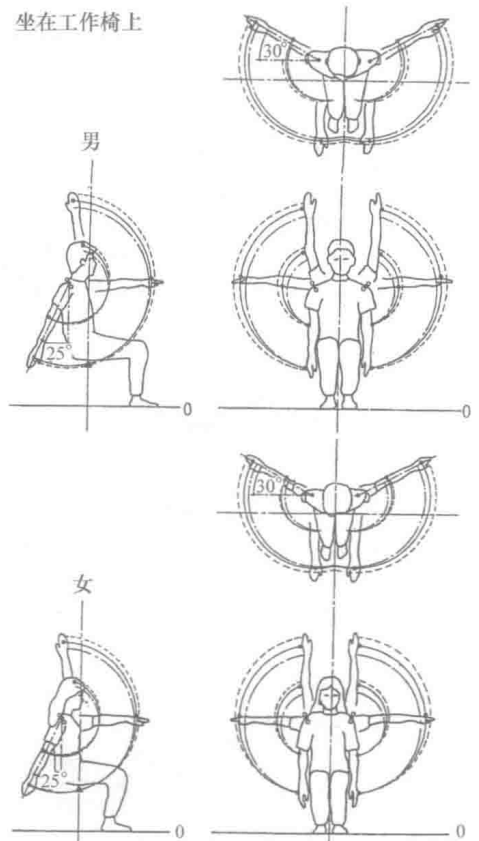


图 1-2-9 落座时上肢可活动的范围

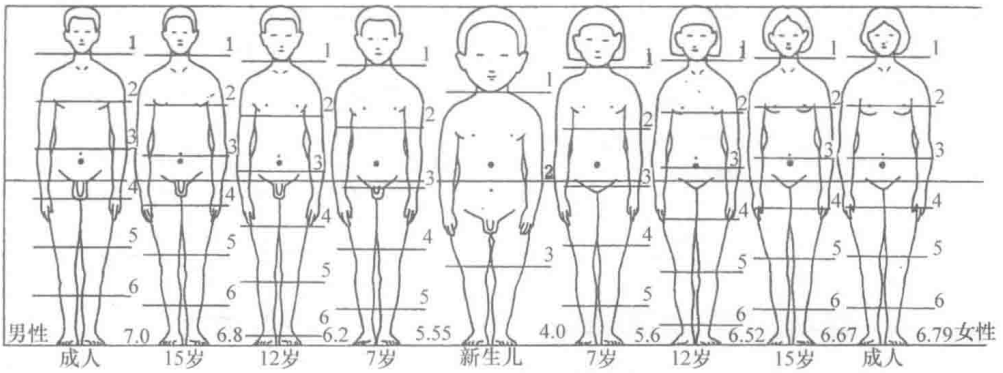


图 1-2-10 年龄与体形的变化

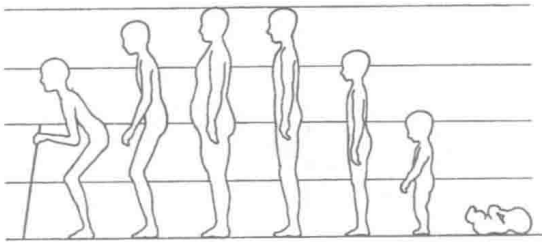


图 1-2-11 体形随年龄的变化

JSAE-3DM 也是模拟日本 50 百分位的成年男子身高、体重、各部位尺寸得到的标准立体模型，用于计算汽车乘员等静态和立体的人机系统关系。

c. 用于动态试验的人体模型

这是一种人体仿真模型，原本应该用人体进行试验，但是基于某种理由却必须采用其他物品代替人体。

最常见的就是用于碰撞解析试验的假人，骨架由铁制成，上面覆盖橡胶状物质相当于肌肉皮肤，当中还采用了能够测量位移和加速度的传感器。在欧美已制作完成并实现标准化，其中还分成几类。

1.2.3 肌肉负荷

对于姿势的保持或操纵动作，当然不能忽视肌肉的工作。当姿势舒展、放松时，肌肉和与之抗衡的肌肉之间相互保持着平衡，就不会成为负担。

人靠肌肉收缩发力，力量的大小因肌肉的长度及横截面积的不同而不同，普遍认为当肌肉收缩后的长度与其在体内的长度基本相当时可获得最大肌力。图 1-2-13 表示的就是男女肌力和年龄之间的关系，25 ~ 30 岁之间的肌肉发力是最大的。之后，肌肉发力会随年龄的增加而下降，50 ~ 60 岁之间只是最大肌力的 75% ~ 85%。另外，据研究女性的肌力是男性的 2/3 左右。

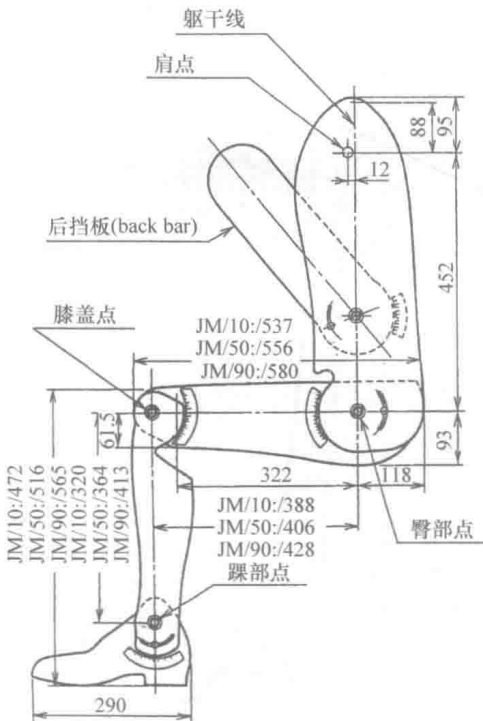


图 1-2-12 JSAE-2DM 型人体模型

SAE-3DM 遵循 SAE 法规，模拟 50 百分位的成年男子的体重及身高制作而成。

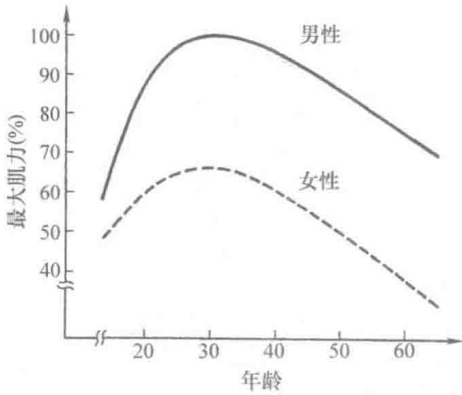


图 1-2-13 男女肌力与年龄的关系

图 1-2-14 所示为踏板布置和最大踏力之间的关系，坐在座位上踏力的膝关节角度是 $140^{\circ} \sim 160^{\circ}$ ，踏板和座椅的上下高度差越小发力越大。图 1-2-15 所示为操纵变速杆时的手力。

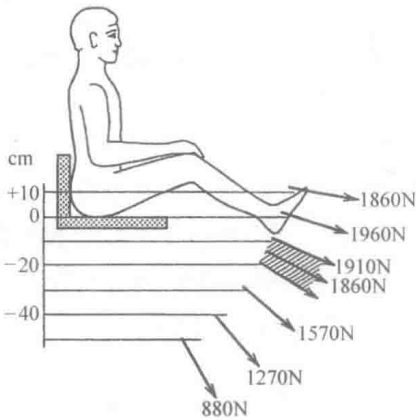


图 1-2-14 踏板布置与最大踏力

图 1-2-16 表示的是在动作姿势和肌肉疲劳方面，每个动作形态的持续时间和最大肌力比 (MVC) 的关系，即使在相同的负荷强度下，也能看出出现疲劳的差异，需要注意上肢相关动作的持续时间不能太长。

通过肌电图可以测量局部肌肉的负荷强度，图 1-2-17 表示的是手腕的角度和前臂伸肌的肌电位。通常操作时的角度处于②~③的水平，在紧握状态下仍是②~③的水平。手腕向上方伸展的角度越大，疲劳就会越早出现。图 1-2-18 表示的是上肢上举的角度和①前臂伸肌、②右僧帽肌、③左僧帽

肌的工作电位。肘部向外翻转的程度越大，僧帽肌的工作电位也越大，当时部与肩部高度相同时，最大肌力比可到 30% ~ 45%。

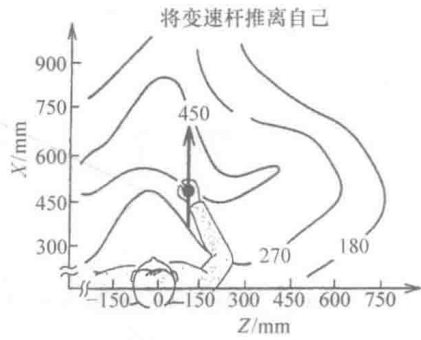
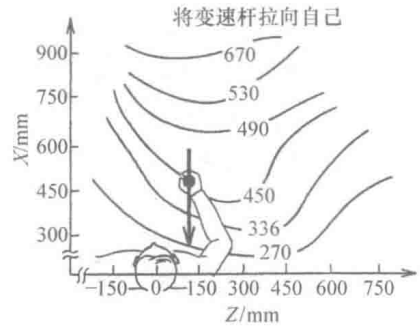


图 1-2-15 操纵变速杆时的手力

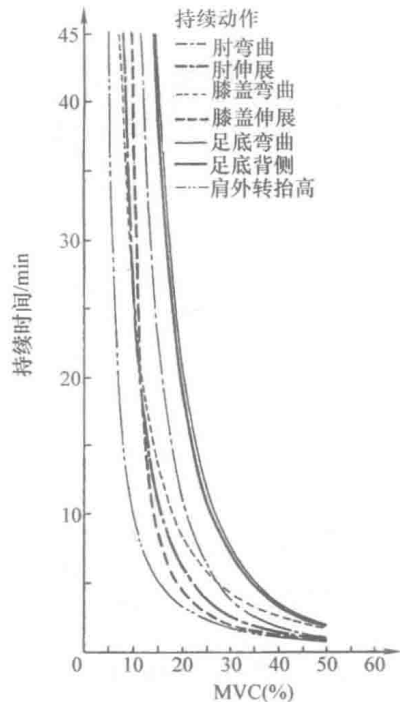


图 1-2-16 各疲劳形态的持续时间和 MVC 的关系