



卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材

现代机械设计基础

张洪丽 王建胜 薛云娜 主编



科学出版社

卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材

现代机械设计基础

主 编 张洪丽 王建胜 薛云娜

副主编 任升峰 薛凯峰 刘爱华 周淑霞

科学出版社

北 京

版权所有 侵权必究

举报电话：010-64034315；010-64010630（传真）

内 容 简 介

本书是编写团队根据近年来相关课程教学改革的实践经验，并参照教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会制定的“机械设计基础课程教学基本要求”组织编写的。内容编排上，注重理论与实际应用相结合，注重学生能力的培养与职业素质的养成。全书共 14 章，内容包括：绪论，平面机构运动简图和自由度，平面连杆机构，凸轮机构，间歇运动机构，带传动和链传动，齿轮传动，蜗杆传动，轮系，轴，轴承，联轴器、离合器和制动器，螺纹连接，键和销。每章后均附有习题以供选用，书后还配有相应的习题参考答案，以便学生参考学习。另外，本书还可为任课教师提供电子课件，以便教学使用。

本书结构清晰、图例丰富、综合性强，可作为普通高等工科院校近机类和非机类专业的基础课教材使用，也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代机械设计基础 / 张洪丽, 王建胜, 薛丽娜主编. —北京: 科学出版社, 2015.2
卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材
ISBN 978-7-03-042030-7

I. ①现… II. ①张… ②王… ③薛… III. ①机械设计—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 225432 号

责任编辑：邓 静 / 责任校对：郭瑞芝

责任印制：霍 兵 / 封面设计：迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 2 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2015 年 2 月第一次印刷 印张：19 彩插：1

字数：468 000

定价：39.00 元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

版权所有，违者必究！未经本社许可，数字图书馆不得使用

《卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材》

组织委员会

主任：芮延年 胡华强

委员：（以姓名首字母为序）

陈 炜 冯志华 郭兰中 花国然 匡 敏 刘春节 刘 忠
秦永法 石怀荣 唐文献 王广勋 王树臣 谢志余 郁汉琪
曾亿山 张秋菊 朱 伟 周 海 左晓明

编写委员会

顾问：闻邦椿（院士）

主任：芮延年 陈 炜 张秋菊

副主任：（以姓名首字母为序）

郭兰中 刘会霞 刘 忠 秦永法 唐文献 谢志余 曾亿山
朱瑞富 左晓明

委员：（以姓名首字母为序）

戴立玲 封士彩 高征兵 龚俊杰 顾 锋 顾 荣 管图华
何高清 侯永涛 华同曙 化春键 黄 娟 刘道标 刘 新
刘征宇 马伟民 毛卫平 倪俊芳 平雪良 齐文春 钱 钧
盛小明 宋昌才 孙 进 唐火红 田玉冬 王德山 王汉成
王建胜 卫瑞元 吴朝阳 解乃军 薛云娜 杨 莉 姚辉学
袁 浩 张 洪 张洪丽 张建梅 张兴国 仲高艳 周建华
朱益民 竺志大

秘 书：邓 静

总 序

“卓越工程师教育培养计划”是贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》和《国家中长期人才发展规划纲要（2010—2020年）》的重大改革项目，也是促进我国由工程教育大国迈向工程教育强国的重大举措。旨在培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才，为国家走新型工业化发展道路、建设创新型国家和人才强国战略服务，对促进高等教育面向社会需求培养人才，全面提高工程教育、人才培养质量具有十分重要的示范和引导作用。

科学出版社以教育部“卓越工程师教育培养计划”为准则，以面向工业、面向世界、面向未来，培养造就具有工程创新能力强、适应经济社会发展需要的卓越工程技术人才为培养目标，组织有关专家、学者、教授编写了本套《卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材》。

本系列教材力求体现的最大特点是，在每本教材的编写过程中，根据授课内容，引入许多相关工程实践案例，这些工程实践案例具有知识性、典型性、启发性、真实性等特点，它可以弥补传统教材森严乏味的局限性，充分调动学生学习的积极性和创造性，引导学生拓宽视野、重视工程实践、培养解决实际问题的能力。通过编者精心收集组织的实际工程案例让学生明白为什么学习、学成能做什么，从而激发学生学习的内在动力和热情，使学生感到学有所用。

本系列教材除了主教材之外，还配套有多媒体课件，以后还将逐步完善建设配套的学习指导书、教师参考书，最终形成立体化教学资源网，方便教师教学，同时有助于学生更好的学习。

我们相信《卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材》的出版，将对我国普通高等教育的发展起到创新探索的推动作用，对机械工程人才的培养以及机械工业的发展产生积极有效的促进作用。

中国科学院院士、东北大学教授 闻邦椿

2014年5月10日

前 言

2010 年,教育部启动了“卓越工程师教育培养计划”,许多大学在多个学科进行了卓越计划的规划和实施。“卓越工程师教育培养计划”的主要目标是,面向工业界、面向世界、面向未来,培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量工程技术人才;为建设创新型国家、实现工业化和现代化奠定坚实的人力资源优势,增强我国的核心竞争力和综合国力。《现代机械设计基础》正是在这个大环境下根据教育部有关机械设计基础课程教学基本要求以及教育部“卓越工程师教育培养计划”的要求,结合近几年对本课程的教学改革实践经验编写的。

“机械设计基础”是高等院校近机械类及非机械类专业骨干技术基础课之一。2013 年 5 月,科学出版社主办、苏州大学机电学院承办了“卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材编写会”二次会议,根据参加《机械设计基础》教材编写小组的多所高等学校教师在专业建设和课程教学改革实践的基础上,认真讨论了拟定的《现代机械设计基础》编写大纲并达成共识,经过通力合作,精心编写了本书。

本书采用《卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材》的编写理念和模式,旨在弥补传统教材的局限性,充分调动学生学习的积极性和创造性,激发学生学习的内在动机和热情,使学生感到学有所用,从而提高学生的工程应用能力和实践创新能力。

在本书的编写过程中,编者从培养学生实践能力出发,对本书的体系和内容进行了适当的重新组合。以“案例导入”→“基本理论”→“经典方法”→“典型应用”为每章主线,以“提出问题”、“分析问题”、“解决问题”为要务进行编写,主要具有以下特点:

(1) 加强绪论部分的作用,使绪论真正起到提领全书的作用,在绪论中用一张工程实例大图统领全书的知识结构。

(2) 每章开始都是从日常生活的实际案例引出,使学生从感官上认识即将学习的内容,通过实践问题的提出,激发学生思考问题的积极性与主动性。

(3) 采用正文引导案例的方式,每章都设置了贴近日常生活和工程实际的案例,有利于激发学生学习的兴趣,引导其将理论内容用于机械设计实践。

(4) 在关键知识点设置了“小思考”或“小提示”,加深相关知识的印象与实际应用。

(5) 每章的最后一节均为综合性与应用性很强的工程应用案例,用工程案例综合本章的知识点,利于学生对所学理论知识的深入理解与巩固,使学生能够学会运用理论知识解决实际问题,以达到让学生“会运用”的最终目的。

本书共分为 14 章,参加本书编写工作的有山东交通学院张洪丽(绪论、第 3 章、第 7 章)、济南大学任升峰(第 1 章、第 2 章、第 4 章)、苏州大学王建胜(第 5 章)、山东轻工业学院薛云娜(第 6 章 1-7 节、第 12 章、第 13 章)、山东交通学院周淑霞(第 6 章 8-13 节)、山东交通学院刘爱华(第 8 章、第 9 章)、临沂大学薛凯峰(第 10 章、第 11 章)。张洪丽负责全书的统稿。全书由张洪丽、王建胜、薛云娜担任主编,任升峰、薛凯峰、刘爱华、周淑霞担任副主编。

在本书的编写过程中,相关院校的领导和老师们给出了许多宝贵的意见和建议,为本书的编写给予了很大帮助;科学出版社的编审人员也为本书质量的提高和出版花费了大量心血,在此一并致以衷心的感谢。

限于作者水平有限,书中难免有欠妥之处,敬请广大读者批评指正!

作 者

2014 年 9 月

目 录

前言

绪论	1
0.1 机械的组成	2
0.1.1 机器和机构	2
0.1.2 零件、部件和构件	5
0.1.3 机器的分类、功能组成及发展	6
0.2 机械设计的任务、要求和一般程序	8
0.3 机械设计方法简介	10
0.3.1 传统机械设计方法	10
0.3.2 现代机械设计方法	10
0.4 本课程的性质、任务和学习内容	11
习题	12
扩展阅读：汽车的发展史	13
第 1 章 平面机构运动简图和自由度	14
1.1 平面机构的组成	15
1.2 平面机构运动简图	16
1.2.1 平面机构运动简图及其作用	16
1.2.2 平面机构运动简图的符号	17
1.2.3 平面机构运动简图的绘制	18
1.3 平面机构的自由度	19
1.3.1 平面机构自由度计算公式	19
1.3.2 计算平面机构自由度的注意事项	20
1.3.3 机构具有确定运动的条件	22
1.4 工程应用案例：惯性筛	23
习题	24
扩展阅读：多自由度的混沌摆	26
第 2 章 平面连杆机构	27
2.1 平面连杆机构的特点和应用	28
2.2 铰链四杆机构的基本形式及其演化	30
2.2.1 铰链四杆机构的基本类型	30
2.2.2 铰链四杆机构的演化	32
2.3 平面四杆机构的基本特性	35
2.3.1 铰链四杆机构存在曲柄的条件	35
2.3.2 急回特性	37
2.3.3 压力角和传动角	38

2.3.4 死点位置	39
2.4 平面四杆机构的设计	40
2.4.1 给定行程速比系数的设计问题	41
2.4.2 给定连杆位置的设计问题	41
2.4.3 给定两连架杆对应位置的设计问题	42
2.4.4 给定某点运动轨迹的设计问题	42
2.4.5 基于 MATLAB 的四杆机构优化设计	43
2.5 平面多杆机构简介	47
2.6 工程应用案例：多功能自动翻身床	49
习题	51
扩展阅读：连杆机构与现代社会动力之源	53
第 3 章 凸轮机构	54
3.1 凸轮的应用、分类和特点	55
3.1.1 凸轮机构的应用	55
3.1.2 凸轮机构的分类	56
3.1.3 凸轮机构的特点	57
3.2 常用从动件的运动规律	57
3.2.1 几个基本概念	57
3.2.2 常用运动规律	58
3.3 凸轮轮廓曲线设计图解法	61
3.3.1 “反转法”原理	61
3.3.2 直动从动件盘形凸轮轮廓曲线的设计	62
3.3.3 摆动从动件盘形凸轮轮廓曲线的设计	64
3.4 凸轮结构设计	65
3.4.1 压力角	65
3.4.2 凸轮基本尺寸的确定	66
3.4.3 凸轮的结构及其与轴的连接	68
3.5 工程应用案例：缝纫机	69
习题	71
扩展阅读：达芬奇与中国古代科技	72
第 4 章 间歇运动机构	73
4.1 棘轮机构	74
4.1.1 棘轮的工作原理和类型	74
4.1.2 棘爪的工作条件	75
4.1.3 棘轮和棘爪的几何尺寸	76
4.1.4 棘轮机构的应用	76
4.2 槽轮机构	77
4.2.1 槽轮机构的工作原理	77
4.2.2 槽轮机构的主要参数	78
4.2.3 槽轮机构的其他几何尺寸	79
4.3 不完全齿轮机构	80

4.4 工程应用案例：蜂窝煤压制机	81
习题	81
扩展阅读：电影放映机的历史	82
第5章 带传动和链传动	83
5.1 带传动类型、特点和应用	84
5.2 V带和带轮	86
5.2.1 V带的结构和规格	86
5.2.2 V带轮	88
5.3 带传动工作情况分析	91
5.3.1 带传动的主要参数	91
5.3.2 带传动受力分析	91
5.3.3 带的应力分析	93
5.3.4 带传动运动学特性	95
5.4 普通V带传动设计	96
5.4.1 单根普通V带的基本额定功率	96
5.4.2 带传动设计计算步骤和参数选择	98
5.5 带传动的张紧与维护	101
5.6 同步带传动简介	102
5.7 链传动的分类、特点和应用	103
5.8 滚子链和链轮	105
5.8.1 滚子链的结构和规格	105
5.8.2 滚子链的链轮	106
5.9 链传动工作情况分析	108
5.9.1 链传动的运动特性分析	108
5.9.2 链传动的受力分析	109
5.10 滚子链传动设计	109
5.10.1 链传动的主要失效形式	109
5.10.2 功率曲线图	110
5.10.3 链传动设计计算步骤和参数选择	111
5.11 链传动的使用和维护	113
5.12 工程应用案例：输送机	115
5.12.1 带传动设计	116
5.12.2 链传动设计	118
习题	120
扩展阅读：中国古代机械传动机构	121
第6章 齿轮传动	122
6.1 齿轮机构的特点和分类	123
6.2 渐开线齿廓	124
6.2.1 渐开线的性质	124
6.2.2 渐开线齿廓的啮合特性	125
6.3 齿轮各部分名称参数和渐开线标准直齿圆柱齿轮几何尺寸计算	127

6.3.1	齿轮各部分名称参数	127
6.3.2	渐开线标准直齿圆柱齿轮几何尺寸计算	127
6.4	渐开线标准齿轮啮合传动	128
6.4.1	正确啮合条件	128
6.4.2	正确安装条件	129
6.4.3	连续传动条件	130
6.5	渐开线齿轮的切齿原理	131
6.6	渐开线齿轮的根切、最少齿数和变位齿轮	133
6.6.1	根切与最少齿数	133
6.6.2	变位齿轮	134
6.7	齿轮的失效形式和设计准则	135
6.7.1	齿轮的失效形式	135
6.7.2	齿轮的设计准则	137
6.8	齿轮材料和精度等级	138
6.8.1	齿轮的材料及其选择	138
6.8.2	齿轮传动的精度等级	140
6.9	标准直齿圆柱齿轮传动设计计算	140
6.9.1	标准直齿圆柱齿轮轮齿的受力分析	140
6.9.2	标准直齿圆柱齿轮齿面接触疲劳强度计算	142
6.9.3	标准直齿圆柱齿轮齿根弯曲疲劳强度计算	143
6.9.4	标准直齿圆柱齿轮传动设计参数的选择	145
6.10	斜齿圆柱齿轮传动	145
6.10.1	斜齿轮齿廓的形成和特点	145
6.10.2	斜齿圆柱齿轮的主要参数	146
6.10.3	平行轴斜齿轮传动的重合度	147
6.10.4	平行轴斜齿轮传动的当量齿轮和当量齿数	147
6.10.5	斜齿圆柱齿轮传动设计计算	148
6.11	直齿锥齿轮传动	150
6.11.1	圆锥齿轮传动的特点和应用	150
6.11.2	直齿圆锥齿轮的背锥和当量齿数	151
6.11.3	直齿锥齿轮传动设计计算	152
6.12	齿轮的结构设计、润滑和效率	153
6.12.1	齿轮的结构设计	153
6.12.2	齿轮的润滑	155
6.12.3	齿轮的效率	156
6.13	工程应用案例：减速器	156
6.13.1	高速级齿轮传动设计	157
6.13.2	低速级齿轮传动设计	159
	习题	161
	扩展阅读：中国古代齿轮的历史	163

第 7 章 蜗杆传动	164
7.1 蜗杆传动的类型、特点和应用	165
7.2 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	167
7.2.1 圆柱蜗杆传动的主要参数	167
7.2.2 圆柱蜗杆的几何尺寸计算	169
7.3 蜗杆传动的失效形式、材料和结构	170
7.4 圆柱蜗杆传动的设计计算	172
7.4.1 圆柱蜗杆传动的受力分析	172
7.4.2 圆柱蜗杆传动的强度计算	173
7.5 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	175
7.6 工程应用案例：减速器	177
习题	180
扩展阅读：电梯的发展历史	181
第 8 章 轮系	182
8.1 轮系的类型	182
8.2 定轴轮系传动比计算	184
8.2.1 定轴轮系传动比大小的计算	184
8.2.2 首、末轮转向关系的确定	184
8.3 周转轮系传动比计算	186
8.3.1 周转轮系的组成	186
8.3.2 转化轮系及传动比计算	186
8.4 复合轮系传动比计算	189
8.5 轮系的作用	190
8.6 工程应用案例：龙门刨床工作台	192
习题	193
扩展阅读：手表的发展史	196
第 9 章 轴	197
9.1 轴的作用和分类	198
9.2 轴的常用材料	199
9.3 轴的结构设计	199
9.3.1 轴上零件的定位和固定	200
9.3.2 轴的各段直径和长度确定	201
9.3.3 改善轴的受力状况和结构工艺性	202
9.4 轴的强度计算	203
9.4.1 轴的扭转强度计算	203
9.4.2 轴的弯扭合成强度计算	204
9.5 轴的刚度计算	205
9.6 工程应用案例：矿用凿井绞车	205
习题	208
扩展阅读：轴的磨损和修复	210

第 10 章 轴承	211
10.1 滚动轴承的结构、类型和代号	212
10.1.1 滚动轴承的结构	212
10.1.2 滚动轴承的类型和性能	212
10.1.3 滚动轴承的代号	215
10.2 滚动轴承的选择计算	216
10.2.1 主要失效形式	216
10.2.2 轴承寿命	217
10.2.3 角接触向心轴承轴向载荷的计算	219
10.3 滚动轴承的组合设计	220
10.3.1 轴承的固定	220
10.3.2 轴承组合的调整	221
10.4 滑动轴承结构和特点	223
10.5 滑动轴承常用材料	224
10.6 滑动轴承的润滑	225
10.7 非液体摩擦滑动轴承的计算	226
10.7.1 径向滑动轴承的计算	226
10.7.2 止推滑动轴承的计算	227
10.8 工程应用案例：带式输送机 and 纺织机	227
10.8.1 带式输送机	227
10.8.2 纺织机	228
习题	229
扩展阅读：宝石轴承	230
第 11 章 联轴器、离合器和制动器	231
11.1 联轴器	232
11.1.1 固定式刚性联轴器	232
11.1.2 可移式刚性联轴器	232
11.1.3 联轴器的选择	233
11.2 离合器	236
11.3 制动器	238
11.4 工程应用案例：卷扬机	241
习题	242
扩展阅读：宝马 xDrive 全时四驱系统	243
第 12 章 螺纹连接	245
12.1 螺纹的类型、参数和标注	246
12.1.1 螺纹的类型和应用	246
12.1.2 螺纹的参数	248
12.1.3 螺纹的标注	249
12.2 螺纹连接的基本类型和螺纹紧固件	250
12.2.1 螺纹连接的基本类型	250
12.2.2 螺纹紧固件	251

12.3	螺纹连接的预紧和防松	252
12.3.1	螺纹连接的预紧	252
12.3.2	螺纹连接的防松	254
12.4	螺栓的强度计算	256
12.4.1	螺栓的失效形式和设计准则	256
12.4.2	松螺栓连接	257
12.4.3	紧螺栓连接	257
12.4.4	单个螺栓的强度计算总结	260
12.4.5	螺纹连接件的材料	260
12.4.6	螺纹连接件的许用应力	261
12.5	螺栓连接的结构设计	262
12.5.1	螺栓组连接的结构	262
12.5.2	螺栓组连接的受力分析	263
12.6	提高螺纹连接强度的措施	268
12.7	工程应用案例：卷扬机和法兰结构	270
12.7.1	卷扬机	270
12.7.2	法兰结构	271
	习题	271
	扩展阅读：截止阀	274
第 13 章	键和销	275
13.1	键连接	276
13.1.1	平键连接	276
13.1.2	半圆键连接	278
13.1.3	楔键和切向键连接	279
13.1.4	平键连接的设计计算	279
13.2	花键连接	280
13.2.1	花键的分类和应用	281
13.2.2	花键连接的强度计算	282
13.3	销连接	282
13.4	工程应用案例：带式运输机	283
	习题	284
	扩展阅读：手动变速器换挡杆下的玄机	286
	习题参考答案	287
	参考文献	292

绪 论

现如今，我们的生活离不开各种机械，无数复杂的机械走进了寻常百姓的生活中，小到随身携带的腕式手表，大到上班用以代步的汽车，如图 0-1 所示，都离不开机械的默默工作。你是否思考过：究竟什么是机械？为了让我们的生活更加便利，机械按怎样的程序进行设计，又通过怎样的方式运转？作为 21 世纪的青年，想要更清晰地认识我们的世界，就应该了解和掌握一些机械设计基本知识。这需要学习哪些知识呢？通过本章的学习，你会找到答案。



(a) 手表



(b) 公共汽车

图 0-1 日常生活中的机械

本章知识要点

- (1) 机械、机器、机构、构件、零件和部件的概念与分类。
- (2) 传统设计方法和现代设计方概述。
- (3) 机器应满足的要求和设计程序。
- (4) 本书的内容、性质和任务。

兴趣实践

观察日常生活中各种机器的组成和工作过程，例如，洗衣机、自行车、汽车等。

探索思考

- (1) 机器除了完成相应功能外，还需要一定的使用寿命，影响机器寿命的因素有哪些，如何提高机器工作的可靠性，延长其工作寿命？
- (2) 现如今，国内外依据的机械设计理论和方法基本一致，为什么生产出来的机器质量差距很大？例如，手表几乎已成为瑞士的某种象征，不仅为瑞士带来了无尽的商机，也为瑞士带来了荣誉；欧洲机床以其高精密度、高效率和高可靠性赢得了中国用户的普遍青睐。

预习准备

请预先复习前期学过的工程制图知识，尤其是剖视图、局部放大图和零件图。

0.1 机械的组成

人类很早就开始使用简单机械,使用各种机械就如同延长了人类的臂膀,增强了人类的工作能力。机械就是可以减轻或代替人们的劳动,提高生产率、产品质量和生活水平的工具装置,像筷子、扫帚和钳子等物品都可以称为机械,它们是简单机械。而复杂机械就是由两种或两种以上的简单机械构成的。通常把这些比较复杂的机械叫做机器。

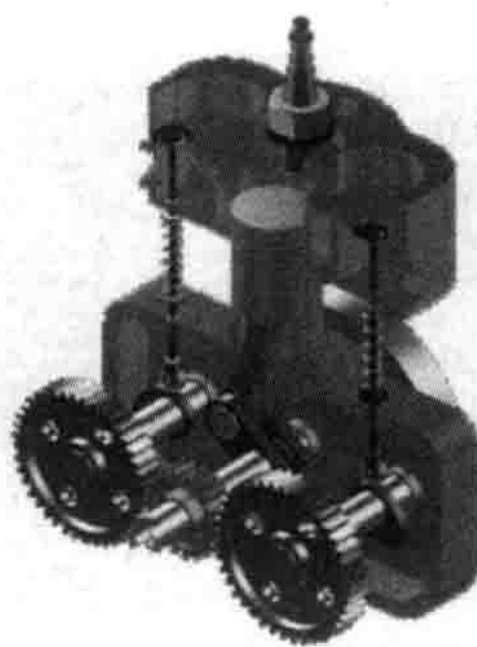
随着科学技术和工业生产的飞速发展,计算机技术、电子技术与机械技术有机结合,实现了机电一体化,促使机械产品向着高速、高效、多功能、精密、自动化和轻量化方向发展。机械产品的水平已成为衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志之一,机械工业肩负着为国民经济各个部门提供装备和促进技术改造的重任。

小思考 0-1

日常生活中,使用工具可以帮助我们方便快捷地完成各类工作,例如利用杠杆撬动石头、利用定滑轮升国旗等,请思考:这些工具可以称为机器吗?

0.1.1 机器和机构

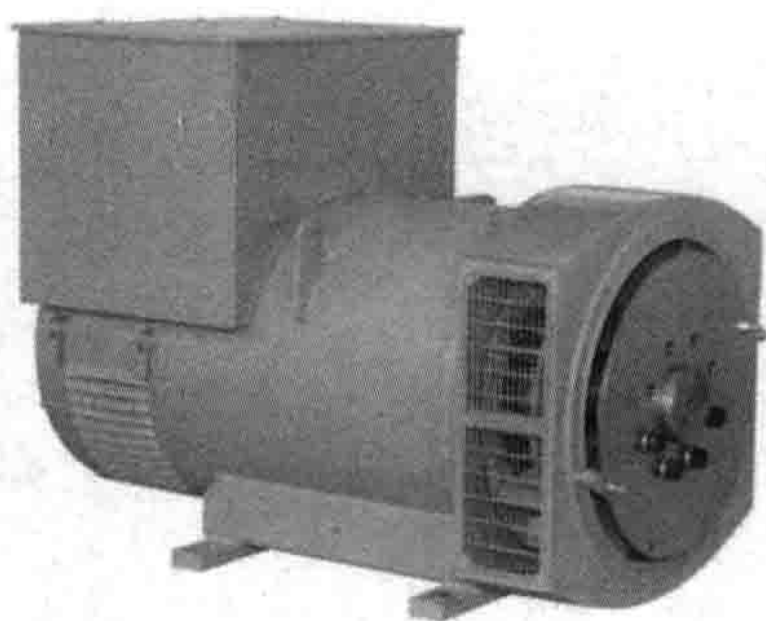
人们在生产和生活中,广泛地使用着各种类型的机器,常见的如内燃机、机床、发电机、火车、轮船、洗衣机等,如图 0-2 所示。什么是机器,其定义如何?下面根据图 0-3 所示的实例进行分析。



(a) 内燃机



(b) 数控机床



(c) 发电机



(d) 火车

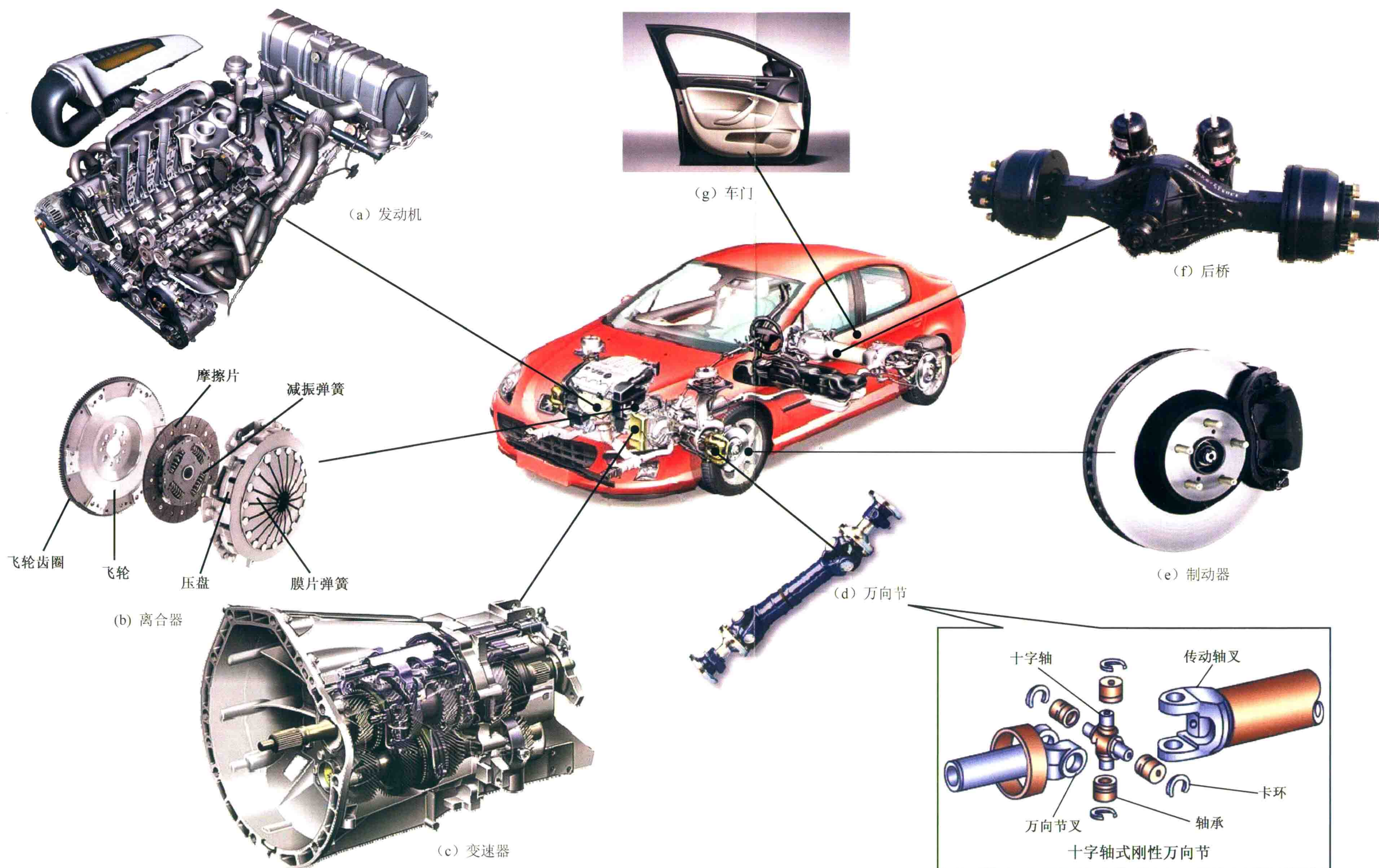


(e) 轮船



(f) 洗衣机

图 0-2 常见的各类机器



实体结构图
图 0-3 汽车总成