



21世纪高职高专技能型紧缺人才培养规划教材

机械工程设计基础

(上册)

■ 总主编 史蒙
上册主编 潘庆丰

煤炭工业出版社

21 世纪高职高专技能型紧缺人才培养规划教材

机械工程设计基础

(上册)

总 主 编 史 蒙

上册主编 潘庆丰

上册副主编 霍桂珍

煤炭工业出版社

·北京·

内 容 提 要

本教材为适应职业教育的新变化,删减和提炼了理论基础知识,将以往工程力学和机械设计基础两门课的内容有机地协调统一为机械工程设计基础一门课。内容分上、下两册编排,上册以机械工程的静力学、动力学和运动学基础知识为主,中间渗透连杆、凸轮、齿轮机构及间歇运动机构的介绍;下册为机械设计基础知识,具体包括机械零件设计概论和轴承、带传动、蜗杆传动、联轴器和离合器的介绍,以及联接件、轴和齿轮传动的设计计算。

本教材适合高职、中职机械类专业或开设机械类课程的其他专业教学之用,也可作为技能培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程设计基础.上册/史蒙总主编;潘庆丰分册主编. —北京:煤炭工业出版社,2007

21世纪高职高专技能型紧缺人才培养规划教材

ISBN 978-7-5020-2987-6

I. 机… II. ①史…②潘… III. 机械设计-高等学校:技术学校-教材 IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第149032号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居35号 100029)

网址: www.cciph.com.cn
北京羽实印刷有限公司印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm×960mm¹/₁₆ 印张 27
字数 540千字 印数 1—3,000
2007年3月第1版 2007年3月第1次印刷
社内编号 5786 定价 48.00元
(上、下册)

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

前 言

随着高职教育的不断发展和培养目标的进一步明确,各院校对专业教学内容及教材都作了大幅度调整:加强了实践教学,削减了相应的理论教学时数。这使得机械类(近机类)专业的工程力学、机械设计基础两门课,按原有教材体系难以系统完成教学任务。为解决理论教学时数少、教学内容多的矛盾,我们特组织具有多年教学和生产实践经验的一线教师,把“工程力学”、“机械设计基础”两门课有机地结合在一起,编写了本教材。本教材可供机械类和近机械类专业,教学时数为110~130学时的高职高专、中专,甚至职业技校教学之用。与同类教材相比,本教材有如下特点:

1. 内容深浅适宜,结构清晰 本教材以高职教育理论知识“必需、够用”为原则,打破原有的教材体系,按照专业要求删减和提炼理论知识,找出能衔接的点和最佳融合方式。将工程力学和机械设计基础两门课有机地协调统一成为机械工程设计基础一门课程,形成了新的教学体系。在整合过程中避免了把这两门课程简单拼凑、组合,不留痕迹地使两门课程相互渗透、恰当对接,解决了当前职业教育理论教学时数不足与教学所需内容较多的矛盾。

2. 突出实用性 在教学内容的叙述上,从高职教育(兼顾中职、技校)的特点出发,既考虑基础理论的连续性,又注重高职教育的实用性。结合高职学生的实际基础和接受能力,摒弃了一些公式的理论推导过程,直接阐述公式的物理意义。同时通过知识排序上的变化使教学内容在数量上、结构上减少了冗余重复,使力学理论针对机械设计中的具体问题加以应用,更加体现了教学内容的实用性。

3. 注意贯彻标准和规范 本教材所涉及量和单位一律采用国际单位制和最新国家标准,严格使用规范名词术语。

本教材共17章,分上、下两册,由史蒙担任总主编;上、下册主编分别

由潘庆丰、李敏担任，上册副主编为霍桂珍，下册副主编为王岩、杨琳。具体分工如下：辽宁工程技术大学职业技术学院史蒙（第1、3、9、13章）、潘庆丰（第0、2、7章）、杨琳（第10、17章）；哈尔滨职业技术学院李敏（第12、14章）；辽宁机电职业技术学院王岩（第15、16章）；吉林省辽源职业技术学院王玉洁（第11章）；哈尔滨轻工业学校霍桂珍（第5、6章）、史丽萍（第4、8章）。全书由史蒙负责统稿。

本教材在编写过程中得到了吉林工业职业技术学院、辽宁机电职业技术学院、大连水产职业技术学院有关专家的热情帮助，在此表示衷心感谢。

打破原有教材体系、探索适用于高职教育新的教学体系是一个不断完善的过程，因水平所限其中难免存在不足和疏漏，恳请使用本教材的教学单位和读者提出宝贵的意见和建议，以便不断改进。

编 者

2007年1月

目 录

上 册

0 绪论	1
0.1 机器的组成及特征	1
0.2 本课程的内容、性质和任务	2
0.3 机械设计的基本要求	3
0.4 机械设计的内容与步骤	3
思考题	4
1 平面机构的静力学基础	5
1.1 静力学基本概念及公理	5
1.2 约束与约束反力	11
1.3 受力分析与受力图	15
1.4 力在直角坐标轴上的投影及平面力系的简化	18
1.5 平面力系的平衡条件及其应用	24
1.6 空间力系平衡问题的平面解法·重心	32
思考题	40
习题	43
2 平面机构的结构分析和静力分析	52
2.1 运动副和机构的组成	52
2.2 平面机构的运动简图	54
2.3 平面机构的自由度	57
2.4 平面机构的静力分析	61
思考题	68
习题	69

3 平面机构的运动分析	74
3.1 刚体的基本运动.....	74
3.2 刚体的平面运动.....	82
3.3 平面机构运动分析的方法.....	88
思考题	91
习题	92
4 平面连杆机构	96
4.1 平面四杆机构的基本形式及其应用.....	96
4.2 平面四杆机构的基本特性	103
4.3 平面四杆机构的设计	109
思考题.....	113
习题.....	113
5 凸轮机构	116
5.1 凸轮机构的类型及其应用	116
5.2 常用从动件的运动规律	118
5.3 盘形凸轮的设计方法	121
5.4 凸轮机构基本尺寸的确定	125
思考题.....	129
习题.....	129
6 齿轮传动	131
6.1 齿轮传动的类型及特点	131
6.2 渐开线齿廓的啮合特点	131
6.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的参数及几何尺寸	135
6.4 渐开线直齿圆柱齿轮传动概述	140
6.5 渐开线斜齿圆柱齿轮传动概述	146
6.6 直齿圆锥齿轮简介	150
思考题.....	151
习题.....	152

7 齿轮系	154
7.1 定轴轮系传动比的计算	154
7.2 行星轮系传动比的计算	156
7.3 组合轮系传动比的计算	160
习题	161
8 间歇运动机构	164
8.1 棘轮机构	164
8.2 槽轮机构	167
8.3 不完全齿轮机构和凸轮式间歇机构简介	169
思考题	170
习题	170
9 动力学基础和机械的平衡	171
9.1 动力学基本定律	171
9.2 刚体基本运动微分方程	172
9.3 动静法	176
9.4 机械的平衡	186
思考题	193
习题	194

下 册

10 机械零件设计概述	197
10.1 机械零件变形的基本形式	197
10.2 机械零件的内力	198
10.3 机械零件的应力与应变	199
10.4 机械零件的失效和设计准则	201
思考题	203
11 联接件的设计计算	204
11.1 螺纹联接基本知识	204
11.2 轴向拉压时的内力、应力及变形	213

11.3	材料拉压时的力学性能	220
11.4	杆件拉压时的强度计算	223
11.5	普通螺栓联接的设计计算	227
11.6	剪切和挤压	232
11.7	受横向载荷联接件的设计计算	237
	思考题	243
	习题	244
12	轴的设计计算	248
12.1	轴的分类和材料	248
12.2	轴的结构设计	250
12.3	传动轴的强度计算基础及其设计计算	256
12.4	弯曲变形的内力	263
12.5	弯曲变形的内力图	268
12.6	弯曲正应力及固定心轴的设计计算	273
12.7	交变应力及疲劳破坏	279
12.8	转轴强度计算基础及设计计算	281
	思考题	291
	习题	292
13	轴承	299
13.1	滑动轴承概述	299
13.2	滚动轴承类型、特性及代号	304
13.3	滚动轴承类型的选择	311
13.4	滚动轴承的失效形式和计算准则	312
13.5	滚动轴承的寿命计算	313
13.6	滚动轴承的组合设计	322
	思考题	328
	习题	329
14	带传动	331
14.1	带传动的类型及特点	331
14.2	V带、带轮的结构和尺寸	332
14.3	带传动的工作能力分析	337

14.4	V带传动设计	340
14.5	带传动的张紧、安装与维护	348
	思考题	350
	习题	351
15	齿轮传动的设计计算	352
15.1	齿轮的失效形式与设计准则	352
15.2	齿轮传动的精度等级及常用材料	354
15.3	渐开线标准直齿圆柱齿轮传动的设计计算	360
15.4	渐开线标准斜齿圆柱齿轮的强度计算	366
15.5	齿轮的结构	370
15.6	齿轮传动的润滑与维护	372
	思考题	373
	习题	374
16	蜗杆传动	375
16.1	蜗杆传动的特点、参数和尺寸	375
16.2	蜗杆传动的失效形式、设计准则和常用材料	380
16.3	蜗杆传动受力分析及强度计算	381
16.4	蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	383
16.5	蜗杆和蜗轮的结构	385
16.6	蜗杆传动的安装与维护	386
	思考题	387
	习题	387
17	联轴器和离合器	389
17.1	联轴器	389
17.2	离合器	393
	思考题	395
附录	型钢规格表	396

0 绪 论

0.1 机器的组成及特征

人们在日常生活和生产中，广泛使用着各种各样的机器。如图 0-1 所示为单缸内燃机，它由气缸 1、曲轴 2、连杆 3、活塞 4、进气阀 5、排气阀 6、推杆 7、凸轮 8 和齿轮 9、10 组成。当燃气推动活塞 4 作往复移动时，通过连杆 3 带动曲轴 2 转动，把燃烧的热能转变为曲轴转动的机械能。

图 0-2 所示为颚式破碎机，它由电动机 1、带轮 2、V 带 3、带轮 4、偏心轴 5、动颚板 6、肘板 7、定颚板 8 及机架等组成。电动机带动带传动，使偏心轴转动，进而促使动颚板产生平面运动，与定颚板一起实现压碎物料的功能。

机器是人们根据某种使用要求而设计的一种执行机械运动的装置，可用来变换或传递能量、物料和信息。虽然其种类繁多，结构形式和用途各不相同，但都有共同的三个特征：①都是一种人为的实物组合。②各实物之间具有确定的相对运动。③能实现能量转换或完成有用的机械功。同时具备这三个特征的称为机器，仅具备前两个特征的称为机构，机器是由机构组成的，如图 0-1 所示的单缸内燃机，可视为由三种基本机构组成的：①连杆机构 由活塞 4、连杆 3、曲轴 2 和气缸 1 构成，作用是将活塞的往复移动转换为曲轴的回转运动；②齿轮机构 由齿轮 9、10 组成；③凸轮机构 由凸轮 8、推杆 7 组成。依靠齿轮机构和凸轮机构的协调动作确保内燃机的进、排气阀按工作要求有规则地启闭。

从运动的观点看，机构与机器并无差别。但从研究的角度来看，尽管机器的种类很多，而机构的种类却有限。一般将机构从机器中单列出来，着重研究它们的结构组成、运

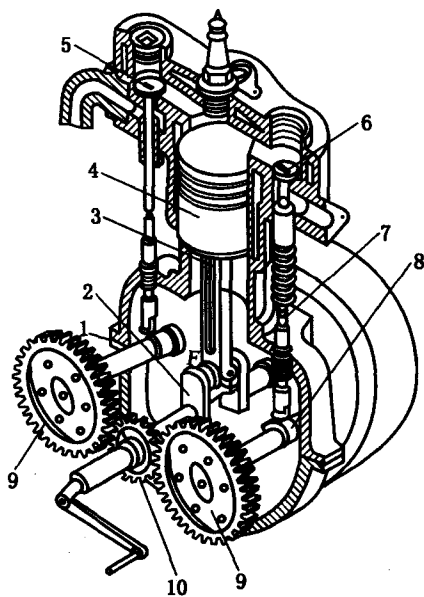


图 0-1 单缸内燃机

- 1—气缸；2—曲轴；3—连杆；4—活塞；
5—进气阀；6—排气阀；7—推杆；8—凸轮；
9、10—齿轮

动、动力性能及尺寸设计等问题，而对机器则还涉及变换或传递能量、物料和信息等方面的问题，这是机构与机器的根本区别。机器和机构统称为机械。

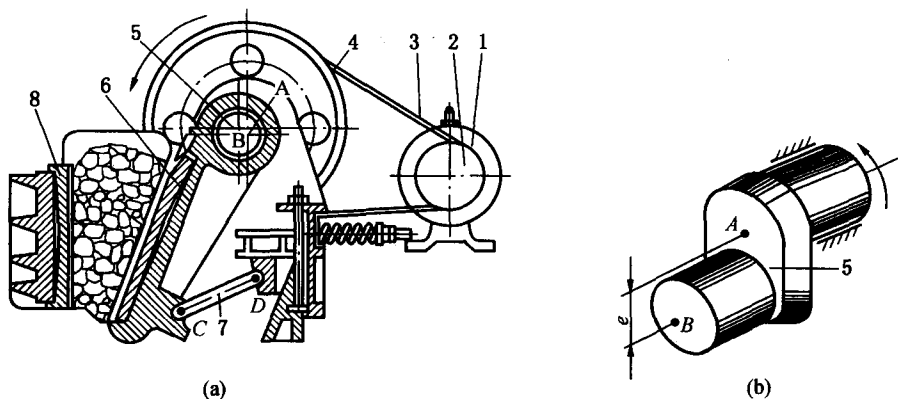


图 0-2 颞式破碎机

1—电动机；2—带轮；3—V带；4—带轮；5—偏心轴；6—动颞板；7—肘板；8—定颞板

机构和机器中独立运动的单元称为构件，如图 0-1 中的活塞、连杆、曲轴部件（包括曲轴、齿轮等）、凸轮轴（包括凸轮、齿轮）、推杆。机械中不可拆的制造单元称为零件。构件可以是单一的零件，也可以是多个零件的刚性组合体。

零件可分为两类：一类是通用零件，即在各种机器中都经常使用的零件，如螺栓、螺母、齿轮、凸轮等；另一类是专用零件，仅在特定类型机器中使用的零件，如活塞、曲轴等。

0.2 本课程的内容、性质和任务

本课程是以机构和机器为对象，研究常用机构、通用零部件的工作原理、运动和动力性能、基本设计理论和计算方法。主要包括以下内容：

(1) 平面机构静力学基础，主要研究刚体在力系作用下的平衡问题。

(2) 运动学、动力学基础，主要从几何角度研究刚体的运动规律及运动状态的变化与作用力之间的关系。

(3) 常用机构的工作原理，运动、动力分析及设计计算。

(4) 构件基本变形的强度、刚度计算，通用零、部件的失效形式及设计计算。

本课程是介于基础课和专业课之间的一门技术基础课。

通过本课程的学习，使学生掌握刚体机械运动的基本规律，对构件的强度、刚度问题具有明确的基本概念和必要的基础知识及一定的计算能力；使学生具有分析和设计常用机构和零、部件的能力，学会运用手册、标准规范等设计资料，为学好专业课，培养高级应

用型人才打下重要的基础。

0.3 机械设计的基本要求

机械设计包括以下两种设计：①应用新技术、新方法开发创造新机械；②在原有机械的基础上重新设计或作局部改造，从而改变原有机械的性能。机械设计质量的高低直接关系到机械产品的性能、价格及经济效益。

机械设计应满足以下基本要求：①实现预定功能 设计的机器应能够按照规定的技术要求，有效地实现预期的各项任务。②可靠性要求 机器在预定工作期限内应可靠地工作，即要求机器在使用中不发生破坏、不致过渡磨损或变形而导致失效等等。机器是由许多零、部件组成的，其可靠度取决于零部件的可靠度。机械系统的零、部件越多，其可靠度也就越低。因此，设计机器时应尽量减少零部件数目，提高机器的可靠度。③经济性要求 经济性是一个综合指标，应力求设计的机器成本低，生产效率高，能源和材料耗费少，维护和管理费用低等。④工作安全与操作方便的要求 操作人员应在安全、可靠的环境下工作，尽量减轻操作人员的劳动强度。对机器中易于造成危害工人安全的部分，应加装保险装置以消除由于误操作而引起的危险，避免人身及设备事故的发生。这是设计机器时要特别重视的要求。⑤其他特殊要求 有些机器还有一些特殊的要求，如飞机的构件有重量轻的要求，经常搬动的机器（如建筑起重机）有便于安装、拆卸和运输的要求，等等。

机器是由零件组成的，设计的机器是否满足要求，零件的质量是关键。设计机械零件的基本要求如下：①强度、刚度及寿命要求 强度是指零件抵抗破坏的能力，零件在工作时要求具有足够的强度，若强度不足将导致产生过大的塑性变形甚至断裂破坏，使机器停止工作甚至发生严重事故；刚度是指零件抵抗弹性变形的能力，零件的刚度不够，会因其弹性变形超过允许限度，而影响机器的正常工作；寿命是指零件正常工作的期限，寿命要求与强度、刚度等有一定的联系，有些零件在开始工作时虽能满足强度、刚度要求，但工作一定时期后，却可能由于疲劳、磨损等原因而丧失强度、刚度，以致报废。所以零件还要求具有一定的使用寿命。②结构工艺性要求 零件应具有良好的结构工艺性，即在一定的生产条件下能方便、经济地生产出零件，并便于装配成机器。③经济性要求 零件的经济性主要决定于零件的材料和加工成本。可采用廉价材料代替贵重材料，采用轻型结构以减少质量，节约材料，尽量采用标准化零、部件等。

0.4 机械设计的内容与步骤

机械设计是一项复杂、细致和科学性很强的工作。它包括机器、机构及机械零、部件的设计三大内容。机械设计的一般步骤如下：①拟订设计任务书 设计任务书就是要指明设计要求，包括确定设计对象的预期功能，有关技术指标和限制条件等。这是设计工作顺

利展开的必要前提和准备。②方案设计 在满足设计任务书中的具体设计要求的前提下，由设计人员构思出多种可行方案，并进行分析比较，从中优选出一种能满足要求、工作性能可靠、结构设计可行、成本低廉的方案。③技术设计 技术设计的目的是在既定设计方案的基础上，完成零、部件设计计算，给出正式的机器总装配图、部件装配图和零件工作图，最后整理编制技术文件。④制造及试验 经过加工、安装及调试制造出样机，对样机进行试运行，将试验中发现的问题反馈给设计人员，经过修改完善，最后通过鉴定。

思考题

- 0-1 机器与机构的主要区别是什么？
- 0-2 构件和零件有什么区别？通用零件和专用零件有什么区别？并用实例说明。
- 0-3 设计机器时应满足哪些基本要求？

1 平面机构的静力学基础

1.1 静力学基本概念及公理

静力学研究物体在外力作用下的平衡规律。它主要解决两方面的问题：一是力系的简化，即如何用一个简单力系等效代替一个复杂力系；二是力系的平衡条件及如何应用这些条件求解未知量。

1.1.1 静力学基本概念

1) 力

力是物体间相互的机械作用，这种作用使物体运动状态和形状发生改变。实践表明，力对物体的作用效应取决于力的三要素，即力的大小、方向和作用点。力是矢量。在国际单位制中，力的单位是牛 [顿] (N) 或千牛 (kN)。

需要指出，力的作用点是力作用位置的抽象，实际上力的作用位置一般并不是一个点，而是作用在一定的接触面上。当作用面积很小时，可将其抽象为一个点，并将作用于物体上该点的力称为集中力。当作用面积比较大不能抽象为一个点时，则将作用于这个面积上的力称为面分布力。分布力的大小以单位面积上所受力的大小表示，称为载荷集度，一般用 q 表示。在工程实际中常遇到一种沿狭长面积分布的力，往往将其简化为沿长度分布的力，又称线分布力，如图 1-1 所示梁的自重。线分布力的大小以单位长度上所受力的大小表示，载荷集度 q 的单位为 N/m 。若线分布力是沿长度均匀分布的，则称为均布力或均布载荷，图 1-1 所示为均布载荷的表示方法。

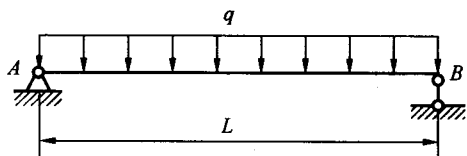


图 1-1

2) 刚体

所谓刚体就是在力作用下尺寸大小和形状都不改变的物体。实际上物体在力的作用下或多或少都会变形，如果物体产生的微小变形对所研究的问题不起主要作用，可略去不计，此时把物体视为刚体，这会使问题的研究大为简化。刚体是一个理想化的力学模型，静力学所研究的物体均视为刚体。

3) 力系

作用在同一物体上的若干力称为力系。若各力作用线在同一平面内则称为平面力系；

若各力作用线不在同一平面内则称为空间力系。

4) 平衡力系

如果物体在一力系作用下处于平衡状态, 则该力系称为平衡力系。

5) 等效力系

两个力系对同一刚体的作用效应相同, 则该两力系称为等效力系。

6) 合力

若一力和一力系等效, 则此力称为该力系的合力。

7) 力矩及其计算

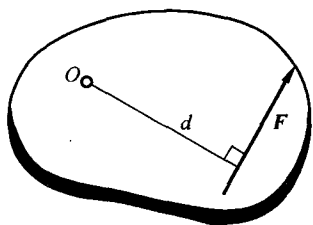


图 1-2

(1) 力矩的概念 力可以使物体移动也可以使物体转动。由经验可知, 力使物体转动的效应不仅与力的大小和方向有关, 还与力的作用点 (或作用线) 的位置有关。因此转动效应用另一物理量力矩来度量, 即把力 F 与转动中心 O 点到力作用线的距离 d (图 1-2) 的乘积冠以适当的正负号, 称为力 F 对 O 点之矩, 简称力矩。它是力 F 使物体绕 O 点转动效应的度量, 用 M_o 表示。其表达式为

$$M_o(F) = \pm Fd \quad (1-1)$$

O 点称为矩心, d 称为力臂。式中的正负号用来区别力 F 使物体绕 O 点转动的方向, 并规定力 F 使物体绕 O 点逆时针转动时为正, 反之则为负。力矩的单位为 $\text{N} \cdot \text{m}$ 或 $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

(2) 力矩的计算 直接法: 按照力矩的定义进行计算, 即

$$M_o(F) = \pm Fd$$

显然, 力对点之矩与矩心 O 的位置有关。一个力对不同的点取矩, 其力矩一般也不同。

间接法:

合力矩定理 平面力系的合力对某点 O 之矩等于各分力对同一点之矩的代数和, 即

$$M_o(F_R) = M_o(F_1) + M_o(F_2) + \cdots + M_o(F_n) = \sum M_o(F_i) \quad (1-2)$$

在计算力对某点之矩时, 若力臂不便于计算, 可利用合力矩定理将力分解, 通过求各分力的力矩来得到合力的力矩, 这种算法即为间接法。

例 1-1 如图 1-3 所示的圆柱齿轮, 受到法向力 F_n 的作用。设 $F_n = 700 \text{ N}$, 齿轮的节圆半径 $r' = 80 \text{ mm}$, 压力角 $\alpha = 20^\circ$ 。求力 F_n 对齿轮轴心 O 之矩。

解 (1) 直接法 由图 1-3a 可见, 力臂 $d = r' \cos \alpha$ 。由式 (1-1) 可得

$$M_o(F_n) = F_n d = F_n r' \cos \alpha = 700 \times 0.08 \cos 20^\circ \text{ N} \cdot \text{m} = 52.62 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(2) 间接法 先将 F_n 沿圆周的切向及法向进行分解, 得圆周力 F_t 和径向力 F_r , 由图 1-3b 可知

$$F_t = F_n \cos \alpha \quad F_r = F_n \sin \alpha$$

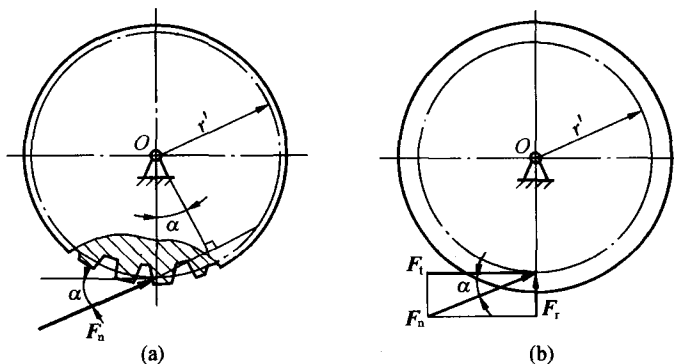


图 1-3

依合力矩定理

$$M_o(F_n) = M_o(F_t) + M_o(F_r) = F_n r' \cos\alpha + 0 = 700 \times \cos 20^\circ \times 0.08 \text{ N} \cdot \text{m} = 52.62 \text{ N} \cdot \text{m}$$

8) 力偶及其性质

(1) 力偶的概念 作用在同一物体上的一对等值、反向、不共线的平行力称为力偶，如图 1-4 所示，记作 (F, F') 。力偶的两力作用线间的距离 d 称为力偶臂，力偶所在的平面称为力偶的作用面。显然，这两个力不满足二力平衡条件。因此，在力偶的作用下刚体不能保持平衡，而只能转动。如图 1-5 所示的拧转水龙头，转动方向盘及丝锥攻丝等情况，都是力偶使物体产生转动效应的实例。

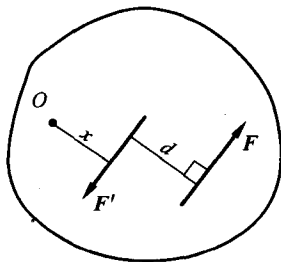


图 1-4

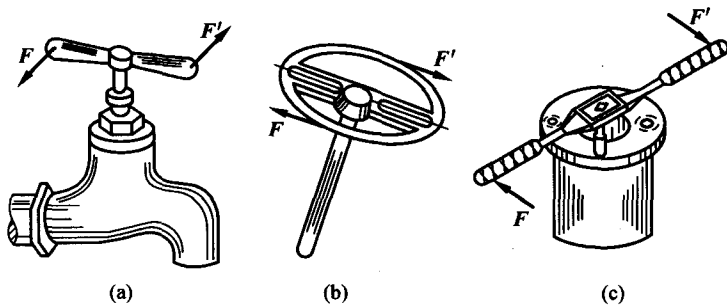


图 1-5

力偶使物体转动的作用效果，可由组成力偶的两力对某一点之矩的代数和度量。在力偶的作用面内任取一点 O 为矩心（图 1-4），设 O 点与力 F 的距离为 x ，力偶臂为 d ，则力偶的两个力对 O 点之矩的和为

$$M_o(F) + M_o(F') = -F'x + F(d+x) = Fd$$