

RANQI GUANDAO GONG



燃气热力行业职业技能岗位培训用书

燃气管道工

丁崇功 主编



化学工业出版社

燃气热力行业职业技能岗位培训用书

燃 气 管 道 工

丁崇功 主编



化学工业出版社

010-64218888 (传真) 010-64218888

· 北 京 ·

。與西貢心中書館抄本，題同量題題題，計本英四。

本书全面、系统地介绍了燃气管道工的知识要求(应知)和操作要求(应会),内容包括:基础知识、识图、管工常识、燃气特性、常用管材、管道附属设备、仪表、管道连接、燃气管道的敷设、燃气管道的腐蚀与防护、燃气管道的吹扫、试验与验收、燃气管道的运行与维修等。

本书是为从事天然气、人工煤气、液化石油气以及其他可燃气体管道工程的高级、中级、初级管道工编写的“职业技能等级考试与鉴定”培训用书。本书介绍的内容适用于长距离输气管线、城镇燃气输配管网和室内燃气管道的施工安装、运行维护、维修、抢修和事故处理等作业。也可作为中等专业学校和技工学校热能专业及城市燃气工程专业师生的教学参考书。

工 业 出 版 社

主 编 丁 崇 功

图书在版编目(CIP)数据

燃气管道工/丁崇功主编. —北京:化学工业出版社,
2007.12

燃气热力行业职业技能岗位培训用书

ISBN 978-7-122-01670-6

I. 燃… II. 丁… III. 燃料气-管道运输-技术培训-教材 IV. TU996.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 192317 号

责任编辑:董琳

文字编辑:张绪瑞

责任校对:战河红

装帧设计:关飞

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 刷:北京云浩印刷有限责任公司

装 订:三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张20¼ 字数641千字 2008年1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:48.00 元

版权所有 违者必究

编者的话

燃气化和热化是城市的基础设施，是现代化城市的重要标志。自从改革开放以来，随着社会进步和人民生活水平的不断提高，我国城市燃气、热力事业获得了前所未有的高速发展，取得了显著的社会效益、经济效益和环境效益。

随着燃气、热力事业的发展，燃气、热力行业职工队伍愈来愈庞大，而且主要是新职工，他们的专业技术水平和实际操作能力一般都不是很高；即使是老职工，也存在知识和技术更新的问题。因此，要大力加强燃气、热力行业职工的培训教育工作，不断提高他们的业务素质，以满足燃气、热力行业职工开展职业技能岗位鉴定工作的需要。

燃气是易燃、易爆、有毒的物质，在制造、储存、运输、经营和使用过程中，稍有不慎，则很容易发生火灾、爆炸和中毒事故，那就会给人民生命和国家财产造成不可弥补的损失；热力设备和管道在使用过程中也时刻存在爆炸的危险，因此，燃气、热力设备属于特种设备，燃气、热力行业属于特种行业。从事燃气、热力行业的职工，必须具备良好的职业道德和熟练的技术业务素质。为达到此目的，对燃气、热力行业的职工应先培训考试，取得资格证书后再上岗，这就需要有一套既系统地阐述燃气、热力行业各工种基础理论、专业知识和操作技能，又符合教学规律的培训用书。

本套系列培训用书是根据2002年4月建设部颁发的燃气行业27个工种的《职业技能岗位标准》、《职业技能岗位鉴定规范》、《职业技能鉴定试题库》的基本内容和要求编写，将性质相近、基础理论基本相同、专业联系比较紧密的工种合编成一册，这样既减少了培训用书的总册数，又减少了各册相互重复的内容，同时便于相近工种之间的学习和渗透。液化石油气、天然气、工业锅炉和供热等工种是目前国内燃气、热力行业中量大、面广的工种，也是最急需进行职业技能岗位鉴定的工种。

本套系列培训用书共分6册，各册的书名和特别适用的工种（建设部规定的工种名称）如下：

1. 液化石油气站操作工

（特别适用于液化石油气罐区运行工、液化石油气灌瓶工）

2. 液化石油气站设备检修工

（特别适用于液化石油气机械修理工、液化石油气钢瓶检修工）

3. 工业锅炉司炉工

（特别适用于热力司炉工）

4. 供热工

（特别适用于热力运行工）

5. 燃气输配工

（特别适用于燃气输送工、燃气调压工）

6. 燃气管道工

（特别适用于燃气管道工）

我深信，这套系列培训用书的出版，将对我国燃气、热力行业职工技能的提高产生积极的作用，为燃气、热力事业的发展做出一定的贡献。

丁崇功

前言

燃气是属于“节能、减排”的优质燃料，备受广大用户青睐。自从改革开放以来，随着我国科学技术进步和人民生活水平的不断提高，燃气事业得到了飞速的发展，截止到20世纪末，我国使用燃气的人口已经超过一亿。21世纪，我国燃气工业发展的总目标是：“开拓气源，提高质量，扩大城市气化率，推广输配、应用新技术，提高服务质量，强化管理，确保安全稳定供应。”在气源方面，优先发展天然气，大、中城市将逐步实现天然气化；大力提高液化石油气的供应技术，液化石油气将主要面向小城市、城镇和广大农村；努力提高人工煤气的质量和研究新的制气技术，既可满足当前工业生产和居民生活的需要，又可为未来的能源提供技术储备。众所周知，燃气是一种易燃、易爆、有毒的物质，在制造、输配、储存、灌装、经营和使用过程中极易发生事故。近年来，随着燃气在工业生产和居民生活方面的广泛应用，发生爆炸和火灾事故屡见不鲜。当然，事故的原因是多方面的，但其中最主要的原因还是由于燃气行业职工队伍的技术业务素质与事业的飞速发展不相适应。为了进一步提高燃气行业职工队伍素质，满足燃气行业开展职业技能岗位培训和鉴定工作的需要，国家建设部于2002年4月颁发了燃气行业管道工等27个职业技能岗位的岗位标准、鉴定规范和鉴定题库。

本书是根据27个职业技能岗位中的“燃气管道工”的《职业技能岗位标准、鉴定规范、鉴定题库》的要求，为从事天然气、人工煤气、液化石油气以及其他可燃气体管道工程的高级、中级、初级管道工编写的职业技能等级考试与鉴定培训教材，教材覆盖了“岗位鉴定规范”和“题库”的全部应知、应会内容。为了保持教材的科学性、系统性、完整性和避免不必要的重复，本书不采用将高级工、中级工和初级工分开撰写的手法，而是将每章的复习思考题按高级工、中级工和初级工分别编写，以便于分层次培训和自学。复习思考题全部来自“题库”，其答案寓正文之中；“题库”中的计算题分别编排在各有关章节，作为计算例题，并与书中内容衔接、吻合。复习思考题和计算例题的内容，即为各章的教学重点。

本书引用了燃气行业的国家最新规程、规范和标准，反映了该行业国内外的新成就和新技术。在编者的指导思想上注重理论与实践相结合，更立足于实践，力求使本书成为一本具有初步理论基础和较高实用价值的教材。本书内容包括：基础知识、识图、管工常识、燃气特性、常用管材、管道附属设备、仪表、管道连接、燃气管道的敷设、燃气管道的腐蚀与防护、燃气管道的吹扫、试验与验收、燃气管道的运行与维修等。

全书共分10章，由刘岗（第1章），丁华嵘（第2章、第3章），丁崇功（第4章～第10章）编写。

丁崇功任主编并统稿全书。

本书的编写，得到了陕西省燃气热力办公室何清堂主任、李直副主任、刘志义总工程师的大力支持和帮助，谨致诚挚的谢意。

本书编写过程中，参阅了有关教授、专家、学者的论著，并引用了其中许多资料（数据、图、表等），在此表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，书中疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

2007年10月于西安

目 录

第1章 基础知识	1
1.1 常用资料	1
1.2 静力学	7
1.3 材料力学	9
1.4 流体力学基础	17
1.5 热工基础	24
1.6 螺纹	28
1.7 钢的热处理	31
复习思考题	34
第2章 识图	36
2.1 投影法概述	36
2.2 投影与视图	39
2.3 剖视图	53
2.4 轴测图	57
2.5 立体表面展开图	62
2.6 燃气管道施工图的识读	65
复习思考题	68
第3章 管工常识	70
3.1 常用量具及工具	70
3.2 管工基本操作	73
3.3 表面粗糙度	88
3.4 极限与配合	91
复习思考题	95
第4章 燃气特性	97
4.1 燃气的分类和组成	97
4.2 燃气的基本性质	100
4.3 城市燃气的质量要求	118
复习思考题	123
第5章 常用管材、管道附属设备、仪表	128
5.1 管材的标准化	128
5.2 燃气管道	130
5.3 管道附属设备	139
5.4 测量仪表	158
复习思考题	168
第6章 管道连接	172
6.1 螺纹连接	172
6.2 承插连接	175
6.3 焊接连接	180
6.4 法兰连接	194
6.5 电熔连接、热熔连接和粘接连接	198
复习思考题	200

第7章 燃气管道的敷设	205
7.1 燃气管道的分类	205
7.2 地下燃气管道的敷设	216
7.3 架空燃气管道的敷设	230
7.4 燃气管道穿越河流的施工	232
7.5 燃气管道的带气接线	241
复习思考题	244
第8章 燃气管道的腐蚀与防护	252
8.1 钢燃气管道的腐蚀	252
8.2 钢管的表面清理	254
8.3 架空敷设钢燃气管道的防腐	256
8.4 埋地燃气管道的绝缘层防腐	257
8.5 埋地燃气管道的电保护	277
复习思考题	289
第9章 燃气管道的吹扫、试验与验收	291
9.1 燃气管道的吹扫	291
9.2 燃气管道的压力试验	295
9.3 聚乙烯燃气管道吹扫与压力试验的特殊问题	299
9.4 燃气管道工程施工验收	300
复习思考题	301
第10章 燃气管道的运行与维修	304
10.1 天然气长输管道的运行与维修	304
10.2 城镇燃气输配管道的运行与维修	308
复习思考题	312
附录I 单一气体在标准状态下的物理、热力学性质	314
附录II 部分复习思考题答案	315
参考文献	318

第1章 基础知识

1.1 常用资料

1.1.1 常用计量单位及换算

我国实行法定计量单位已经有 20 多年,在各种技术标准、工程图纸和设计文件中,一般都不再使用工程计量单位和英制单位,但在管道工程中,还常常采用英制单位或工程计量单位。特别是在我国加入 WTO 以来,经济贸易日益发展的情况下,对工程计量单位和英制单位还应予以足够的重视,因为许多国家和地区仍使用英制单位和工程计量单位。

1.1.1.1 长度单位

法定计量单位(即米制)中,长度的单位基本单位是米,用符号 m 表示。米以下的单位依次是分米(1m=10dm)、厘米(1dm=10cm)、毫米(1cm=10mm)、微米(1mm=1000μm),习惯上把分米称为公分,厘米称为公分,毫米称为公厘,千米(1km=1000m)称为公里。

长度单位的换算见表 1-1。

表 1-1 长度单位换算

单 位	m	in	ft	km	mile	nmile
米	1	39.37	3.281	10 ⁻³	6.21×10 ⁻⁴	5.40×10 ⁻⁴
英寸	0.0254	1	0.0833	0.254×10 ⁻⁴	1.578×10 ⁻⁵	1.371×10 ⁻⁵
英尺	0.3048	12	1	0.3048×10 ⁻³	1.894×10 ⁻⁴	1.646×10 ⁻⁴
公里	1000	3.937×10 ⁴	3281	1	0.621	0.540
英里	1609	63360	5280	1.609	1	0.869
海里	1852	72913	6076	1.852	1.151	1

1.1.1.2 面积单位

法定计量单位(即米制)中,面积的基本单位是平方米,用符号 m² 表示,平方米以下单位依次是平方分米(dm²)、平方厘米(cm²)、平方毫米(mm²)。平方千米也称平方公里。它们之间的关系为:

$$1\text{km}^2=1\times10^6\text{m}^2$$

$$1\text{m}^2=100\text{dm}^2$$

$$1\text{dm}^2=100\text{cm}^2$$

$$1\text{cm}^2=100\text{mm}^2$$

面积单位的换算见表 1-2。

表 1-2 面积单位换算

单 位	m ²	in ²	ft ²	市亩	km ²	ha
米 ²	1	1550	10.76	1.5×10 ⁻³	10 ⁻⁶	10 ⁻⁴
英寸 ²	6.452×10 ⁻⁴	1	6.944×10 ⁻³	9.677×10 ⁻⁷	0.645×10 ⁻⁹	6.452×10 ⁻⁸
英尺 ²	0.0929	144	1	1.394×10 ⁻⁴	9.29×10 ⁻⁸	9.29×10 ⁻⁶
市亩	666.7	1.033×10 ⁶	7.176×10 ³	1	6.667×10 ⁻⁴	6.667×10 ⁻²
公里 ²	10 ⁶	1.55×10 ⁹	1.076×10 ⁷	1500	1	10 ²
公顷	10 ⁴	1.55×10 ⁷	1.076×10 ⁵	15	10 ⁻²	1

1.1.1.3 体积单位

法定计量单位（即米制）中，体积的基本单位是立方米，用符号 m^3 表示。立方米以下的单位依次是升（L 或 l）、毫升（mL），它们之间的关系为：

$$1\text{m}^3=1000\text{L}$$

$$1\text{L}=1000\text{mL}$$

体积单位的换算见表 1-3。

表 1-3 体积单位换算

单 位	m^3	$\text{dm}^3(\text{L})$	in^3	ft^3	UK gal	US gal
米 ³	1	1000	61024	35.31	220	264
分米 ³ (升)	0.001	1	61.024	0.03531	0.220	0.264
英寸 ³	0.1639×10^{-4}	1.639×10^{-2}	1	5.787×10^{-4}	3.605×10^{-3}	4.329×10^{-3}
英尺 ³	0.02832	28.32	1728	1	6.229	7.481
英加仑	4.546×10^{-3}	4.546	277.42	0.1605	1	1.201
美加仑	3.785×10^{-3}	3.785	231	0.1337	0.8327	1

1.1.2 常用几何形体

1.1.2.1 平面图形

(1) 三角形 图 1-1 所示为任意三角形。

三角形的面积 F ，等于底边 b 乘以高 h 再除以 2，即

$$F = \frac{bh}{2} \quad (1-1)$$

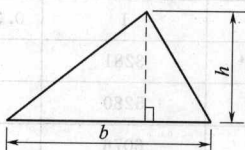


图 1-1 三角形

(2) 平行四边形 图 1-2 所示为平行四边形。

平行四边形的面积 F ，等于边长 b 乘以高 h ，即

$$F = bh \quad (1-2)$$

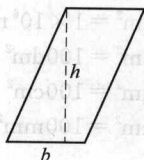


图 1-2 平行四边形

(3) 矩形 图 1-3 所示为矩形。

矩形的面积 F ，等于长边 a 与短边 b 的乘积，即

$$F = ab \quad (1-3)$$

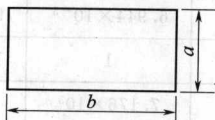


图 1-3 矩形

(4) 正方形 图 1-4 所示为正方形。

正方形的面积 F ，等于边长 a 的平方，即

$$F = a^2 \quad (1-4)$$

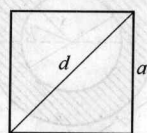


图 1-4 正方形

(5) 梯形 图 1-5 所示为梯形。

梯形的面积 F ，等于上底边长 a 加下底边长 b ，除以 2，再乘以高 h ，即

$$F = \frac{a+b}{2}h \quad (1-5)$$

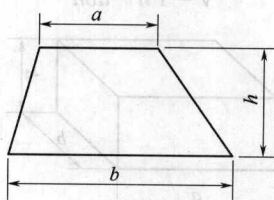


图 1-5 梯形

(6) 正多边形 图 1-6 所示为正多边形。

正多边形的面积 F ，等于边长 a 乘以边心距 k ，除以 2，再乘以边数 n ，即

$$F = \frac{ak}{2}n \quad (1-6)$$

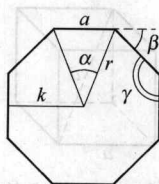


图 1-6 正多边形

(7) 圆形 图 1-7 所示为圆形。

圆形的面积 F ，等于半径 r 的平方乘以 π 或直径 d 的平方与 π 的乘积，再除以 4，即

$$F = \pi r^2 \quad (1-7)$$

或

$$F = \frac{\pi d^2}{4} \quad (1-8)$$

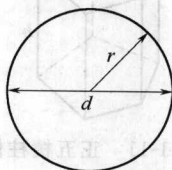


图 1-7 圆形

(8) 圆环 图 1-8 所示为圆环。

圆环的面积 F ，等于外圆半径 R 平方与内圆半径 r 平方之差再乘以 π ，或外圆直径 D 平方与内圆直径 d 平方差与 π 的乘积，再除以 4，即

$$F = \pi(R^2 - r^2) \quad (1-9)$$

或

$$F = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \quad (1-10)$$

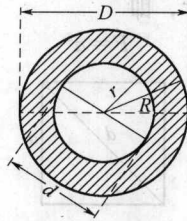


图 1-8 圆环

1.1.2.2 多面体

(1) 长方体 图 1-9 所示为长方体。

(2-1) 长方体的体积 V ，等于底面积 F 乘以高 h ，即

$$V = Fh = abh \quad (1-11)$$

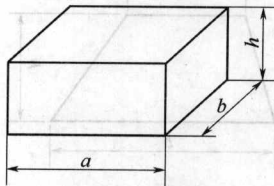


图 1-9 长方体

(2) 立方体 图 1-10 所示为立方体。

立方体的体积 V ，等于边长 a 的三次方，即

$$V = a^3 \quad (1-12)$$

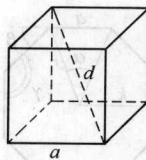


图 1-10 立方体

(3) 正棱柱体 图 1-11 所示为正五棱柱体。

正棱柱体的体积 V ，等于底面面积 F 乘以高 h ，即

$$V = Fh \quad (1-13)$$

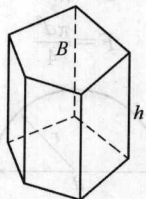


图 1-11 正五棱柱体

(4) 正棱锥体 图 1-12 所示为正六棱锥体。

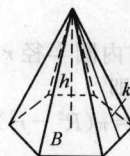


图 1-12 正六棱锥体

正棱锥体的体积 V ，等于底面积 F 与高 h 的乘积，再除以 3，即

$$V = \frac{Fh}{3} \quad (1-14)$$

(5) 正圆柱体 图 1-13 所示为正圆柱体。

正圆柱体的体积 V ，等于底面积 F 乘以高 h ，即

$$V = Fh = \pi r^2 h = \frac{\pi d^2}{4} h \quad (1-15)$$

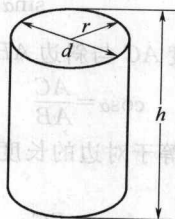


图 1-13 正圆柱体

(6) 正圆锥体 图 1-14 所示为正圆锥体。

正圆锥体的体积 V ，等于底面积 F 与高 h 的乘积，再除以 3，即

$$V = \frac{1}{3} Fh = \frac{1}{3} \pi R^2 h \quad (1-16)$$

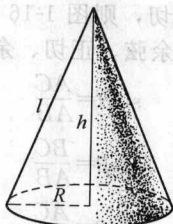


图 1-14 正圆锥体

(7) 球体 图 1-15 所示为球体。

球体的体积 V ，等于 4 倍的 π 与半径 R 三次方之积再除以 3，或 π 与直径 D 三次方之积，再除以 6，即

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 \quad (1-17)$$

或

$$V = \frac{1}{6} \pi D^3 \quad (1-18)$$

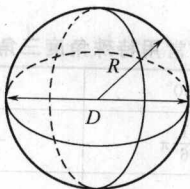


图 1-15 球体

1.1.3 常用三角函数

度量一角时，除了常用的度“°”单位外，往往也使用弧度单位。长度等于圆半径的弧所对应的圆心角为 1 弧度，因此圆周角等于 2π 弧度。

众所周知，圆周角等于 360° 。两种度量单位的换算公式如下

$$1 \text{ 弧度} = \frac{180^\circ}{\pi} = 57^\circ 17' 45''$$

$$1^\circ = \frac{\pi}{180} = 0.017453 \text{ 弧度}$$

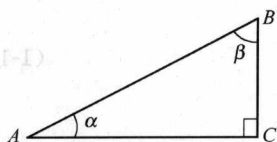


图 1-16 直角
三角形

一角 α 的三角函数可以利用一个单位圆 (半径 $R=1$) 来定义, 也可由一个直角三角形 (对于锐角) 来定义。图 1-16 所示的直角三角形 ABC 中, $\angle C$ 是直角, $\angle A$ 、 $\angle B$ 是锐角。

正弦用 $\sin$ 表示, $\angle A$ 的正弦 $\sin\alpha$ 等于其对边长度 BC 和斜边长度 AB 之比值, 是一个没有单位的数值。由图 1-16 可见, $\angle A$ 的对边长度为 BC , 邻边长度为 AC , 斜边长度为 AB , 则 $\angle A$ 的正弦为

$$\sin\alpha = \frac{BC}{AB}$$

同理, $\angle A$ 的余弦 $\cos\alpha$ 等于邻边长度 AC 与斜边 AB 之比值, 即

$$\cos\alpha = \frac{AC}{AB}$$

$\angle A$ 的正切 $\tan\alpha$ (也可表示为 $\text{tg}\alpha$) 等于对边的长度 BC 与邻边长度 AC 之比值, 是一个没有单位的数值, 即

$$\tan\alpha = \frac{BC}{AC}$$

$\angle A$ 的余切 $\cot\alpha$ (也可表示为 $\text{ctg}\alpha$) 等于邻边的长度 AC 与对边长度 BC 之比值, 也为没有单位的数值, 即

$$\cot\alpha = \frac{AC}{BC}$$

如果求 $\angle B$ 的正弦、余弦、正切、余切, 则图 1-16 中 AC 为对边, BC 为邻边, AB 仍为斜边, 计算方法和 $\angle A$ 一样, $\angle B$ 的正弦、余弦、正切、余切分别为

$$\sin\beta = \frac{AC}{AB}$$

$$\cos\beta = \frac{BC}{AB}$$

$$\tan\beta = \frac{AC}{BC}$$

$$\cot\beta = \frac{BC}{AC}$$

因为
所以
同理

$$\begin{aligned}\beta &= 90^\circ - \alpha \\ \sin\beta &= \sin(90^\circ - \alpha) = \cos\alpha \\ \cos\beta &= \cos(90^\circ - \alpha) = \sin\alpha \\ \tan\beta &= \tan(90^\circ - \alpha) = \cot\alpha \\ \cot\beta &= \cot(90^\circ - \alpha) = \tan\alpha\end{aligned}$$

常用特殊角度三角函数值见表 1-4。

表 1-4 常用特殊角度三角函数值

α	0°	30°	45°	60°	90°
三角函数	0	$\frac{1}{6}\pi$	$\frac{1}{4}\pi$	$\frac{1}{3}\pi$	$\frac{1}{2}\pi$
正弦 $\sin\alpha$	0	$\frac{1}{2}(0.5)$	$\frac{\sqrt{2}}{2}(0.707)$	$\frac{\sqrt{3}}{2}(0.866)$	1
余弦 $\cos\alpha$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}(0.866)$	$\frac{\sqrt{2}}{2}(0.707)$	$\frac{1}{2}(0.5)$	0
正切 $\tan\alpha$	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}(0.577)$	1	$\sqrt{3}(1.732)$	∞
余切 $\cot\alpha$	∞	$\sqrt{3}(1.732)$	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}(0.577)$	0

1.2 静力学

静力学是研究物体受力及平衡规律的科学。所谓物体的平衡,是指物体相对某一惯性参考系保持静止或匀速直线平移的运动状态。静力学研究的基本对象是刚体。所谓刚体,是指在受力作用下,其内部任意两点之间的距离永远保持不变的物体。实际上,在受力状态下不变形的物体是不存在的。但当物体的变形很小,在所研究的问题中将其忽略不计,并不会对问题的性质带来本质的影响时,就可近似看作刚体。

1.2.1 力

力是物体之间的相互机械作用,这种作用使物体的运动状态发生变化或使物体变形。前者称为力的外效应或运动效应,后者称为力的内效应或变形效应。一般来讲,这两种效应是同时存在的。

按照相互作用的范围来区分,力可以分为集中力与分布力两类。集中力是作用于物体某一点上的力;分布力则是作用于物体某一线、面或体上的力。事实上,集中力是一个抽象出来的概念,任何两物体之间的相互作用不可能局限于无面积大小的一个点上,只不过当这种使用面积与物体尺寸比较很小时,可以近似认为作用在一个点上。另外,对刚体而言,一些分布力的作用效果可以用一个与之等效的集中力来代替,以使问题得到简化,如重力可用一等效集中力作用于刚体重心上。尽管集中是抽象的结果,但它却是最重要、最普遍的一种力,大多数力的作用可以用集中力来描述。

(1) 力的三要素 力对物体的作用效果与三种因素有关:力的大小、力的方向和作用点。这三个因素称为力的三要素。因此,力是矢量,且是定位矢量。所以,可以用一个定位的有向线段来表示力,如图 1-17 所示。线段长度代表力的大小(一般定性表示即可),线段的方向和指向代表力的方向,线段的起点(或终点)代表力的作用点。线段所在的直线称为力的作用线。力的法定计量单位为牛顿(N)或千牛顿(kN)。

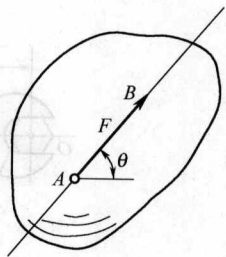


图 1-17 力

(2) 二力的合成 作用于物体同一点的两个力,可以用一个作用于该点的等效的力来替代,这就是力的合成。

① 力的平行四边形法则 作用于物体同一点的两个力可以合成一个合力,此合力仍作用于这一点,其力矢由此二力为邻边的平行四边形的对角线来决定,如图 1-18 所示。 F_1 、 F_2 为作用于物体 O 点的两个力,以这两个力为邻边做出平行四边形 OABC,则对角线 OB 就是 F_1 、 F_2 的合力 R。

② 力的三角形法则 取平行四边形的一半作为二力合成法则,称为力的三角形法则,如图 1-19 所示。作 $O'C'$ 平行于 OC 且等于 OC,过点 C' 作 $C'B'$ 平行于 CB 且等于 CB,连接 $O'B'$,则 $O'B'$ 即为所求的合力 R。

③ 二力平衡 作用于同一刚体上的两个力平衡的充分与必要条件是:此二力大小相等、方向相反、作用线相同,简称为等值、反向、共线,如图 1-20 所示。

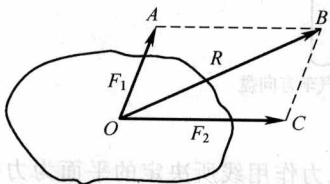


图 1-18 力的平行四边形法则

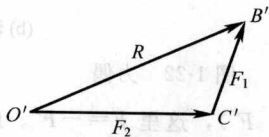


图 1-19 力的三角形法则

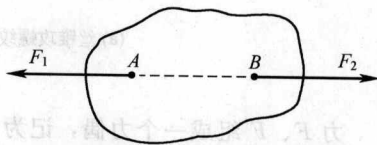


图 1-20 二力平衡

必须注意,二力平衡条件只对刚体平衡来说才是充分必要条件。对于非刚体,二力平衡条件是不充分的。例如起重绳索,当其两端受等值、反向、共线的拉力作用时可以平衡,但当受等值、反向、共线的两个压力作用时,就不能平衡了。

④ 作用力与反作用力 两个物体间的作用力与反作用力总是大小相等、方向相反、作用线

相同, 分别作用在相互作用的两物体上。

应特别注意二力平衡法则与作用力、反作用力法则的区别, 前者是作用在同一刚体上的两个力的平衡条件, 后者是指两个物体间的相互作用关系, 作用力与反作用力是分别作用在两个不同物体上的, 不可混为一谈。

1.2.2 力矩与力偶

(1) 力矩 工程实际中, 存在大量绕固定点或固定轴转动的问题, 如汽车变速机构的操纵杆绕球形铰链转动; 用扳手拧螺栓, 螺栓绕自身的中心线转动等。当力作用在这些物体上时, 物体可产生绕某点或某轴的转动效应。为了度量力对物体作用的转动效应, 人们在实践中建立了力对点之矩、力对轴之矩的概念。力对点之矩、力对轴之矩统称为力矩。图 1-21 所示为用扳手拧螺栓时力对点之矩。图中 F 表示力的大小、方向和作用点, h 表示从矩心 O 到力 F 作用线的垂直距离, 称为力臂。力和力臂是使物体产生转动的必要条件。

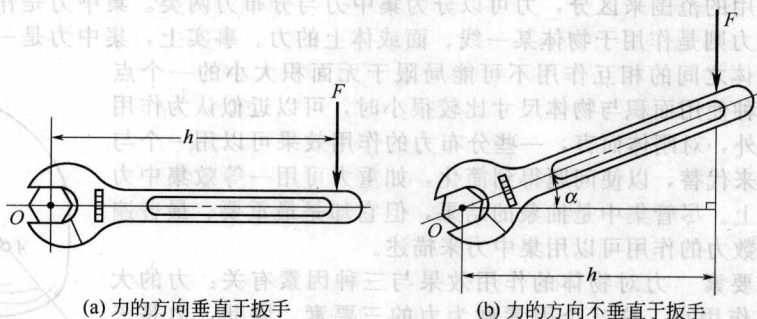


图 1-21 力矩

显然, 如果力 F 的方向不同, 对螺栓产生的转动方向也不同, 通常规定: 当物体绕矩心逆时针方向转动时, 力矩为正值; 顺时针方向转动时, 力矩为负值。力矩以符号 $m_o(F)$ 表示, 单位为牛·米 ($\text{N}\cdot\text{m}$) 或千牛·米 ($\text{kN}\cdot\text{m}$), 力矩的大小等于力与力臂的乘积, 即

$$m_o(F) = \pm Fh \quad (1-19)$$

当力的大小等于零或力的作用线通过矩心时, 力矩等于零。

(2) 力偶 大小相等、方向相反、作用线平行但不重合的两个力称为力偶, 如图 1-22 所示的钳工用丝锥攻螺纹、汽车司机转动方向盘等。

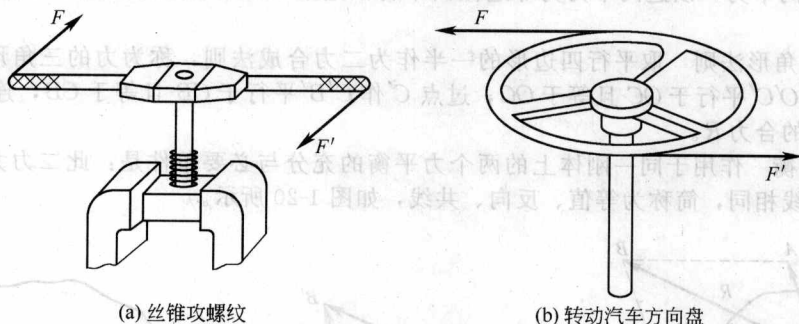


图 1-22 力偶

力 F 、 F' 组成一个力偶, 记为 (F, F') , 这里 $F = -F'$ 。此二力作用线所决定的平面为力偶的作用面, 两作用线的垂直距离 d 称为力偶臂。虽然力偶中每个力具有一般力的性质, 但是作为整体考虑时, 则表现出与单个力不同的特殊性质。由于力偶的两个力等值、反向、平行、不共线, 它们不是一对平衡力, 也无合力。所以, 力偶本身既不平衡, 也不能与一个力等效。力偶对刚体的作用, 只有转动效应, 没有平移效应。力偶对物体作用效果的大小, 与力 F 和力偶臂 d 成正比, 二者的乘积 Fd 称为力偶矩, 以符号 m 表示, 单位为牛·米 ($\text{N}\cdot\text{m}$) 或千牛·米 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)。即

$$m = \pm Fd$$

(1-20)

与力矩相同, 由于力偶可使物体有不同的转向, 用力偶的正、负号来表示, 逆时针转向为正值, 顺时针转向为负值。

1.2.3 力系

三个或三个以上的力作用在同一物体上, 称为力系。如果力的作用线都在同一平面, 且相交于一点, 此力系称为平面汇交力系。这种力系是各种力系中最基本且较为简单的力系, 在安装工程中经常会遇到平面汇交力系。图 1-23 所示吊装钢管时作用在起重吊钩的力系, 即属于平面汇交力系。

物体在力系作用下处于平衡状态, 这样的力系称为平衡力系。

当刚体受不平行的三个力作用而平衡时, 此三力的作用线必共面, 且汇交于一点, 称为三力平衡汇交定理。

平面汇交力系可以简化成一个与力系等效的合力, 根据简化的结果可导出力系的平衡条件, 进而推出力系的平衡方程。平面汇交力系简化 (即求合力) 的方法有以下两种。

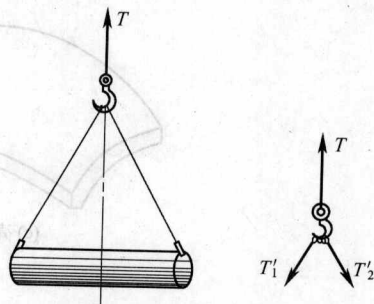


图 1-23 平面汇交力系

(1) 力平行四边形 设汇交于 A 点的力系由 n 个力 $F_1, F_2, \dots, F_n$ 组成, 如图 1-24(a) 所示。根据力平行四边形法则, 将各力依次两两组合, 即 $F_1 + F_2 = F_{R1}$, $F_{R1} + F_3 = F_{R2}$, $\dots$, $F_{R(n-2)} + F_n = F_R$, F_R 为最后合成结果, 即合力。

(2) 力多边形 图 1-24(b) 所示为力多边形法则。作 ab 平行于汇交力系中的 F_1 , 且等于 F_1 , 作 bc 平行于 F_2 , 且等于 F_2 , 作 cd 平行于 F_3 , 且等于 F_3 , $\dots$, 作 mn 平行于 F_n , 且等于 F_n , 力多边形 $abcd \dots mn$ 的封闭边 an 即为合力 F_R 。

由此可见, 汇交力系的合成结果为一合力, 合力的大小和方向由各力的矢量和确定, 作用线通过汇交点。

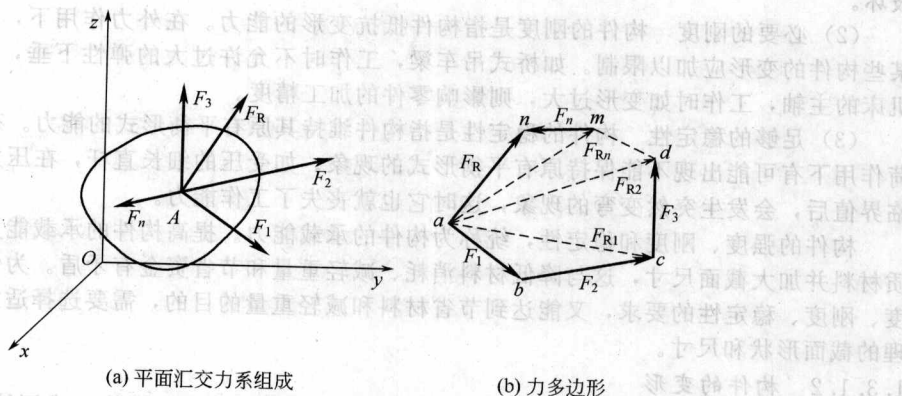


图 1-24 力系简化

1.3 材料力学

1.3.1 构件的分类及变形

各种机械或工程结构都是由许多零件或结构元件所组成的, 这些不可再拆卸的零件或结构元件统称为构件。

1.3.1.1 构件的分类

构件的几何形状是各种各样的, 大致可以归纳为四类, 即杆、板、壳和块体, 如图 1-25 所示。

凡是一个方向的尺寸 (长度) 远大于其他两个方向尺寸 (宽度和高度) 的构件称为杆。垂直

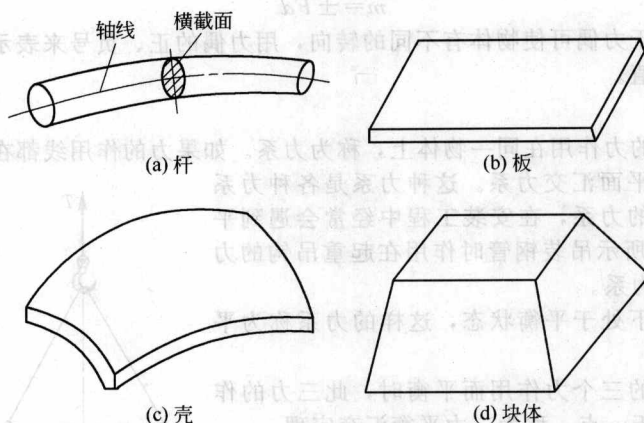


图 1-25 构件分类

于杆件长度方向的截面称为横截面，横截面中心的连线，称为杆的轴线。如果杆的轴线是直线，称为直杆；轴线是曲线，称为曲杆。各横截面尺寸不变的杆，称为等截面杆，否则为变截面杆。工程中常见的是等截面直杆。

如果构件一个方向尺寸（厚度）远小于其他两个方向的尺寸，就把平分这种构件厚度的面称为中面。中面为平面的称为板（或平板），中面为曲面的称为壳。

三个方向（长、宽和高）尺寸相差不多的构件，称为块体。

在正常工作中，每一构件都受到一定的外力，例如提升重物的钢丝绳承受重物的拉力，桥墩要承受桥梁及桥上物体的重力等。这些加在物体上的外力统称为载荷。为了保证机械或工程结构能正常工作，每一构件在载荷作用下都必须符合以下条件。

(1) 足够的强度 构件的强度是指构件抵抗破坏的能力。构件在一定外力作用下不允许遭到破坏。

(2) 必要的刚度 构件的刚度是指构件抵抗变形的能力。在外力作用下，构件要发生变形，某些构件的变形应加以限制。如桥式吊车梁，工作时不允许过大的弹性下垂，才能平稳地工作；机床的主轴，工作时如变形过大，则影响零件的加工精度。

(3) 足够的稳定性 构件的稳定性是指构件维持其原有平衡形式的能力。有些构件在特定载荷作用下有可能出现不能保持原有平衡形式的现象。如受压的细长直杆，在压力达到或超过某一临界值后，会发生突然变弯的现象，这时它也就丧失了工作能力。

构件的强度、刚度和稳定性，统称为构件的承载能力。提高构件的承载能力，往往需要用优质材料并加大截面尺寸，这与降低材料消耗、减轻重量和节省资金有矛盾。为使构件既能满足强度、刚度、稳定性的要求，又能达到节省材料和减轻重量的目的，需要选择适宜的材料，确定合理的截面形状和尺寸。

1.3.1.2 构件的变形

构件受外力作用后发生变形也是多种多样的，但最基本的是拉伸（或压缩）、剪切、扭转和弯曲四种。其他一些复杂的变形都是由以上四种变形组合而成的，故拉压、剪切、扭转和弯曲是杆件变形的四种基本形式。

(1) 轴向拉伸与压缩 在工程结构和机械中，发生轴向拉伸或压缩变形的构件是很常见的，例如拧紧的螺栓、油缸的活塞杆、桁架中杆件等均是承受拉伸或压缩的实例。这类杆件的受力简图如图 1-26 所示。

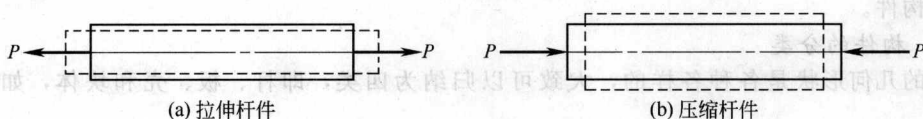


图 1-26 杆件的拉伸与压缩