

全国高等农业院校试用教材

理 论 力 学

华 中 农 学 院
北京农业机械化学院 主编

农 业 机 械 化 专 业 用

农 业 出 版 社

全国高等农业院校试用教材

理 论 力 学

华 中 农 学 院 主 编
北京农业机械化学院

农业机械化专业用

农 业 出 版 社

主编	华中农学院	余其渊	
	北京农业机械化学院	戴锦轩	许本文
编者	华中农学院	徐一龙	
	华南农学院	龚茂汲	蔡仕任
	北京农业机械化学院	姜衍礼	刘鹏郎 龙运佳
	东北农学院	叶仲文	乔永芬
	西北农学院	杨林青	
	洛阳农机学院	叶达钧	
	广西农学院	谭 群	
	福建农学院	余代发	
	湖南农学院	唐盛球	
主审	西北农学院	张自恺	
	洛阳农机学院	汤根涛	

全国高等农业院校试用教材

理 论 力 学

华 中 农 学 院 主 编
北京农业机械化学院

农业出版社出版(北京朝内大街130号)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 27.5印张 583千字
1980年8月第1版 1980年8月北京第1次印刷
印数 1—8500册

统一书号 13144·196 定价 2.55元

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 静 力 学

第一章 物体的受力分析	5
§ 1-1 力的概念	5
§ 1-2 力的性质	6
§ 1-3 约束与约束反力	11
§ 1-4 实际结构抽象为力学简图	14
§ 1-5 分离体和受力图	15
第二章 平面汇交力系	18
§ 2-1 平面汇交力系合成的几何法和平衡的几何条件	19
§ 2-2 平面汇交力系合成的解析法和平衡的解析条件	24
第三章 力对点之矩和平面力偶	29
§ 3-1 力对点之矩	30
§ 3-2 力偶	34
§ 3-3 平面力偶系的合成和平衡	36
§ 3-4 力线平移定理	37
第四章 平面一般力系	38
§ 4-1 平面一般力系的简化	39
§ 4-2 平面一般力系简化结果的讨论	41
§ 4-3 平面一般力系的平衡方程式	44
§ 4-4 物体系统的平衡	50
§ 4-5 平面静定桁架的内力分析	55
§ 4-6 平面一般力系的图解法	59
第五章 摩擦	65
§ 5-1 滑动摩擦	65
§ 5-2 考虑摩擦时物体平衡问题的解法举例	69
§ 5-3 滚动摩擦	72
第六章 空间一般力系	74
§ 6-1 空间汇交力系	75
§ 6-2 空间力偶系	78
§ 6-3 力对轴之矩	80
§ 6-4 力对点之矩与力对通过该点的轴之矩间的关系	82

§ 6-5 空间一般力系的简化	83
§ 6-6 空间一般力系的平衡条件和平衡方程式	86
第七章 平行力系中心和重心	93
§ 7-1 平行力系中心	93
§ 7-2 重心	95
§ 7-3 复合形状物体的重心	100

第二篇 运动学

第八章 点的运动	105
§ 8-1 矢量法	106
§ 8-2 直角坐标法	108
§ 8-3 自然法	118
第九章 刚体的基本运动	125
§ 9-1 刚体的平动	126
§ 9-2 刚体绕定轴转动	128
§ 9-3 用矢积表示点的速度和加速度	136
第十章 点的复合运动	138
§ 10-1 点的复合运动的基本概念	138
§ 10-2 速度合成定理	141
§ 10-3 牵连运动为平动时的加速度合成定理	147
§ 10-4 牵连运动为转动时的加速度合成定理	152
第十一章 刚体的平面运动	159
§ 11-1 平面运动分解为平动和转动	159
§ 11-2 基点法求平面运动图形上各点的速度	162
§ 11-3 瞬心法求平面运动图形上各点的速度	167
§ 11-4 基点法求平面运动图形上各点的加速度	172
§ 11-5 刚体绕平行轴转动的合成	177

第三篇 动力学

第十二章 动力学基本定律和质点运动微分方程	185
§ 12-1 动力学基本定律	185
§ 12-2 质点运动微分方程	187
§ 12-3 质点动力学第一类问题	189
§ 12-4 质点动力学第二类问题	190
第十三章 动量定理	197
§ 13-1 概述	197

§ 13-2 动量定理	198
§ 13-3 质心运动定理	205
第十四章 动量矩定理	208
§ 14-1 质点动量矩定理	208
§ 14-2 质点系动量矩定理	211
§ 14-3 刚体定轴转动微分方程	215
§ 14-4 转动惯量	218
第十五章 动能定理	223
§ 15-1 功和功率	223
§ 15-2 动能	229
§ 15-3 动能定理	231
§ 15-4 势力场、势能、机械能守恒定律	239
第十六章 达朗伯原理	243
§ 16-1 惯性力的概念	243
§ 16-2 达朗伯原理	245
§ 16-3 惯性力系的简化	249
§ 16-4 动静法的应用举例	254
*§ 16-5 刚体定轴转动时的轴承动反力	258
*§ 16-6 刚体的惯性积与惯性主轴	260
§ 16-7 静平衡和动平衡的概念	261
第十七章 虚位移原理	263
§ 17-1 约束与约束方程	263
§ 17-2 虚位移	265
§ 17-3 理想约束	266
§ 17-4 虚位移原理	267
§ 17-5 动力学普遍方程	274
第十八章 振动	277
§ 18-1 概述	277
§ 18-2 质点的自由振动	279
§ 18-3 计算固有频率的能量法	284
§ 18-4 阻尼对自由振动的影响——衰减振动	286
§ 18-5 质点的受迫振动	290
§ 18-6 有阻尼的受迫振动	295
§ 18-7 减振与隔振	298
*第十九章 碰撞	301
§ 19-1 碰撞特征	301

绪 论

农业是国民经济的基础。只有建立了强大的、现代化的农业，才能给工业、国防和科学技术的现代化以及整个国民经济的高速发展提供可靠的、深厚的基础。

农业的根本出路在于机械化。要实现农业的机械化，不仅需要大量新型的、高效的、配套的农业机械来武装农业，而且需要造就一支宏大的、又红又专的农机科技队伍。理论力学就是农机科技工作者所必须掌握的最重要的基础理论知识之一。

科学是以客观的物质世界为研究对象的，而客观世界中的一切物质总是在不停地运动着。要研究物质，就必须研究它的运动。物质的运动是多种多样的，有简单的，有复杂的。这些形态繁多的各种运动形式都可归纳为机械的、物理的、化学的、生物的以及社会的五种基本形式。其中，机械运动是最简单，同时也是最基本的一种。所谓**机械运动就是指物体在空间的位置随时间的变化**，它是人们在日常生活、生产和科研实践中最经常、最普遍地接触到的一种物质运动形式。

理论力学是研究物体机械运动的一般规律的科学。它包括静力学、运动学和动力学三个部分。静力学研究物体平衡的规律，研究平衡时物体间相互作用力之间的关系；运动学只研究物体机械运动的几何性质而不涉及力的作用；动力学则研究机械运动更普遍的情况，即研究物体的运动及其所受作用力之间的关系。这三部分各有其相对的独立性而又互相联系，成为一门完整的科学。

理论力学所研究的内容属于古典力学的范畴。它只适用于速度远小于光速的宏观物体的运动，而不适用于接近光速的物体和基本粒子的运动。后者属于相对论力学和量子力学的范畴。然而，在现代一般工程实际中所遇到的力学问题，用古典力学来解决，已足够精确，而且古典力学的应用也较方便，所以它仍具有很大的实用价值，并且还在不断发展。

为什么必须学好理论力学呢？我们知道，任何一台农业机械，要想进行有效的工作，都必需作机械运动。拖拉机的行驶，旋耕犁的工作，水泵的运转等，都包括了大量的机械运动。在这些机械运动中，农机里的许多构件不断地改变着相互间的位置，并在彼此之间进行着不断的力的作用和传递。显然，要想正确地使用、操纵和维修这些农业机械，不掌握它们的运动规律是不行的，这就必须借助于理论力学的知识。至于要想完善地、成功地设计、制造、研究和改进这些农业机械，那就更需要对理论力学融汇贯通了。

学好理论力学，透彻地掌握了物体机械运动的基本规律，就不仅能直接运用这些知识去分析和解决生产实践与科学研究中的有关实际问题，而且还为学习后继课程准备了必不

可少的基础知识。此外，理论力学作为一门基础理论科学，对它的研究，将有助于培养我们科学思维的方法和分析问题、解决问题的能力，同时还有助于树立辩证唯物主义世界观。

理论力学是一门基础理论科学，毫无疑义，理论总是来源于实践的。但是科学不能只满足于对事物表面现象的观察和收集，还必须深入事物的本质，找出其内在的联系和规律，这就需要进行理论分析，即用头脑对实践中所获得的第一性的感性材料去粗取精，去伪存真，由此及彼，由表及里的加工过程，使之上升为概念和理论，产生从感性认识到理性认识的质的飞跃。这是科学研究的一般方法。

在研究力学现象时，将会发现这些现象是错综复杂、千头万绪的。但通过仔细观察与分析，便发现这些现象中起决定作用的，只是少数的因素，而大量的其他因素则是偶然的或起次要作用的。因此，在分析力学现象时必须抓住对该现象起决定作用的主要因素，而抛弃那些次要的因素。这样一来，复杂的力学现象就被概括为一种理想化、典型化了的东西，即力学模型。这种力学模型较真实现象简单，但能更真实，更清楚地显现事物的本质。以抽象模型代替实际的力学问题，是理论力学研究中的一个极为重要的方法。

例如，研究悬挂在弹簧末端的物体振动时，物体的质量起着决定性的作用，而它的大小、形状、材质、颜色、光泽等则不起什么作用。因此，研究这种运动时，只保留它的质量而抛弃其他因素，重物就被简化为一个只有质量的“点”，即所谓“质点”了。再如，任何构件，不论选用哪种材料制成，在受到外力作用时，总是要产生一定变形的。但是，在分析内燃机曲轴的旋转运动时，我们将曲轴的变形忽略，把它看成一个不会变形的物体，即刚体。这是因为这些变形对于曲轴旋转时的位移量来说是微不足道的，把它略去，只有助于排除观察主要研究对象的干扰。反之，在材料力学中，这种微小的变形，却成了主要研究对象，因而不能忽略。这就说明，在研究不同的物理现象时，同一实际对象，应以不同的模型来代替。上面提到的质点和刚体都是理论力学中的基本力学模型，如何发现和抓住主要因素，如何选择恰当的模型，这是我们在本课程学习中所必须掌握的。其实，这种方法对于许多其它科学也是一样。

理论力学最基本的研究方法是：把实践中获得的材料抽象化，归纳、综合并概括为几条简单的、基本的、普遍的原理或定律；然后，从这些基本定律出发，用数学工具演绎出某些具体的定理和结论，揭示出机械运动中各个变化的物理量(如位移、速度、力等)之间的具体的、定量的关系及其变化规律，并以适当的数学解析形式准确地表示出来；最后，再将这些定理、结论和公式重新运用到实践中去，以解决实际问题并验证理论。在这里，数学演绎是这种方法的主要特征，数学既是推理的工具，也是计算的工具，因而它的作用是十分重要的。

实践是检验真理的唯一标准。理论力学中抽象、归纳和演绎出来的结果，当然必须通过实践加以验证、充实、修正和完善。然后，随着实践的发展和新的感性材料的获得，又

将开始认识过程的再循环，从而使认识更深入。由此可见，理论力学的研究方法是符合马克思主义认识论的原理的，是科学的、正确的方法。

理论力学的研究方法，我们现在只作了极简略的介绍，要能透彻领悟它的精髓并得心应手地运用它，还有待学习过程中艰苦的努力。我们在学习中，决不可只注意孤立地、片面地记住和理解一个个力学概念，一条条力学定律，而应当全面深入地分析，找出贯穿于全课程中的科学研究方法，不断总结，反复思索，经常实践。这样，理论力学知识宝库的大门就会为你敞开，入门既不难，深造也是办得到的。

第一篇 静力学

静力学是研究物体在力作用下的平衡条件的科学。而平衡条件的研究是建立在力的基本性质及力系简化结果的基础上的，因此静力学的任务可以归结为以下三项：

1. 研究力的基本性质；
2. 研究力系的简化；
3. 研究力系的平衡条件。

当一个物体受到许多个力的作用，如这些力的作用效果互相抵消，则物体相对于地面作**匀速直线运动或静止**，这种状态称为平衡。如这些力的作用效果不能互相抵消，则物体的运动状态必然会改变，这时，物体就处于不平衡状态。如果物体虽处于不平衡状态，但它的运动状态改变较缓慢，这时也可当作平衡状态来处理。

物体的机械运动状态只有平衡与不平衡两种。不管研究哪一种运动状态，我们都必须首先研究力的基本性质及力系的简化。

所谓力系的简化，就是将作用在物体上的一个复杂力系用一个最简单的和它等效的力系来代替。这个最简单的和它等效的力系的作用效果就是力系的总的作用效果，它确定了物体的运动状态的改变量。例如正在田间工作的农具，它受到牵引力、土壤阻力、重力等等的作用，这些力分别作用在农具的各处，每个力都影响农具的运动，要了解农具的运动规律，就必须了解这些力的总的作用效果，这就需要将这此力组成的力系加以简化，然后才能进一步确定农具的运动规律。由于平衡是运动的特殊情况，因此研究力系的简化还可以导出力系的平衡条件。所以，不论研究物体的那一种运动状态，平衡或不平衡，都必须从力系的简化开始。

受力系作用的物体处于平衡状态需要满足的条件称为力系的平衡条件。在设计平衡的机器的部件或建筑物的结构时，必须根据平衡条件计算出它们所受的力，以此作为设计的依据。因此，力系的平衡条件是静力设计的基础。由此可见，静力学是理论力学在工程实际中应用较广泛的一部分。

在静力学中，我们所研究的物体只限于刚体。所谓刚体就是不变形的物体。

第一章 物体的受力分析

只有正确地分析矛盾,才能正确地解决矛盾。我们将所研究的物体(构件、构件组、整机或其他等等)假想地从与它相联系的物体中分离出来,同时我们用相应的力来代替与它相联系的物体对它的作用,这就是该物体的受力分析。通过受力分析,我们可以很清楚地了解作用在该物体上的各种力,为以后分析该物体的运动状态变化(包括平衡状态)提供必要的基础。如果力分析错了必然导致计算结果的错误,所以,物体的受力分析是解决力学问题最关键的一步,必须予以充分的重视。

§ 1-1 力的概念

一、力的概念

力的概念是广大劳动人民在日常生活和长期的生产斗争实践中建立起来的。最初,人们对力的认识是由推、提、拉、扳等活动中感到肌肉紧张而得来的。例如,用手推动小车、提起重物、拉长弹簧和扳直钢条,肌肉就会感到紧张。这时,我们就说人对小车、重物、弹簧和钢条作用了力,使小车和重物改变了运动状态或使弹簧和钢条改变了形状。后来人们又通过实践,进一步认识到,不仅人对物体能产生力的作用,而且物体对物体也能产生力的作用。例如物体自由下落时越来越快,这是因为物体受到地球的吸引力;拖拉机牵引犁前进,是拖拉机的牵引力使犁的运动状态发生变化;气缸内静止的活塞开始运动,是燃烧气体的压力使活塞运动状态发生了变化;气锤锻压工件,是气锤的锻压力使工件的形状发生了变化。将以上的实例概括起来,加以抽象化,我们可以得出力的概念:力是物体与物体之间的相互机械作用,这种作用使物体的机械运动状态发生变化或者使物体产生变形。

由此可见,力对物体产生两方面的效应,一是使物体的运动状态发生改变(称为外效应),一是使物体产生变形(称为内效应)。理论力学主要是研究物体机械运动的一般规律,所以着重考虑力的外效应;而材料力学则着重研究力的内效应。

在研究力的外效应时,可以把物体的变形作为次要因素略去,即认为在力的作用下,物体的大小、形状仍然保持不变,或者说,物体内任意两点之间的距离保持不变。这种受力作用后不变形的物体,称为刚体。刚体是一种抽象的概念,是力学中研究力的外效应时,抽象化了的理想模型。把物体抽象成为刚体,不但不影响所研究的结果,而且还可以使问题的研究大大简化。

但是,不能认为在所有情况下,都可以把物体抽象成为刚体。当变形在所研究的问题

中起主导作用时,这种抽象就会导致错误。例如研究滚动摩擦时,变形是主要因素,如果再将物体抽象成为刚体,就无法解释滚动摩擦现象。

二、力的三要素

不同的力对物体的作用效果是不同的。力的作用效果究竟决定于那些因素呢?实践经验告诉我们:力对物体的作用效果是由力的大小、力的方向和力的作用点这三个因素来决定的。在这三个因素中,改变其中任何一个因素,则力对物体的作用效果就会发生改变。通常把力的大小、力的方向和力的作用点这三个因素,称为力的三要素。因此,力是一个带有方向性的量,即力是一个矢量。它可以用一根带箭头的直线段(即有方向的线段)来表示。线段的长度按一定的比例尺表示力的大小;箭头的指向表示力的方向;线段的起点表示力的作用点。这种表示方法称为力的图示法。每一个力矢都用一个符号表示,例如用黑体字 $\boldsymbol{F}$ 或矢量符号 $\vec{F}$ 表示。力的大小用字母 F 表示,以区别于矢量 $\boldsymbol{F}$ 或 $\vec{F}$ 。

力的大小可以用测力计来测量。在测力计铭牌规定的测力范围内,测力计的弹簧的变形与所测的力的大小成正比关系,因此可以用弹簧的变形来比较力的大小。现代技术常用电测的方法更精确地测量力的大小。

根据国务院一九七七年五月二十七日颁发的《中华人民共和国计量管理条例(试行)》规定,我国采用国际单位制(SI)。国际单位制规定力的单位是牛顿,其中文代号为“牛”,国际代号为“N”,长度单位为米,其中文代号为“米”,国际代号为“m”。

§ 1-2 力的性质

人们在日常生活和生产实践中,经过长期的经验积累和实践的验证,总结出力的性质,现归纳为以下几条。

一、力的平行四边形法则

平行四边形法则指出:作用在物体上同一点互成角度的两个力,它们的合力的大小和方向,可以用这两个力的有向线段作邻边所画的平行四边形的对角线来表示。合力通过两个分力的交点,对角线的长度表示合力的大小,对角线的方向就是合力的方向。这个结论,称为力的平行四边形法则。

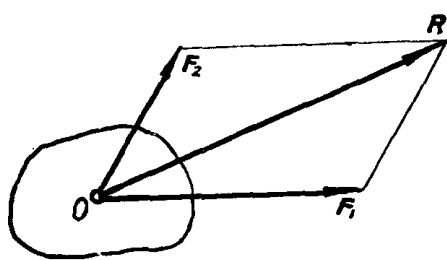


图 1-1

它的矢量表达式为

$$\boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2 = \boldsymbol{R}$$

图 1-1 表示两个相交力矢合成的平行四边形法则。

这一法则，为大量的实践所证实，是普遍适用的。它说明力的合成不能用“代数”的法则，把力的大小简单地相加，而必须按矢量运算法则，即平行四边形法则“几何”相加。

按比例尺作图，画出力的平行四边形后，合力的大小和方向就可以从图上直接量出来，这就是图解法。

如果不用图解法，合力的大小、方向可以利用几何关系算出来。在图 1-2 中，根据三角形的余弦及正弦定律，可以求得合力 R 的大小及它与 F_1 和 F_2 的夹角 α_1 、 α_2 。

$$R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos \alpha$$

$$\frac{R}{\sin \alpha} = \frac{F_1}{\sin \alpha_2} = \frac{F_2}{\sin \alpha_1}$$

上面讨论了两个相交力的合成，与合成相对立的是力的分解。一个力同样可以分解为两个分力。力的合成与力的分解相反又相成，是对立的统一。它们服从同一个法则——力的平行四边形法则。

例 1-1 在电线杆的两侧有时用钢丝绳把它固定在地上(图 1-3 a)。已知钢丝绳和地面的夹角 $\angle OAB = \angle OBA = 60^\circ$ ，每根钢丝绳的拉力 F_1 和 F_2 大小都是 300 N。求两根钢丝绳作用在电线杆上的合力 R 。

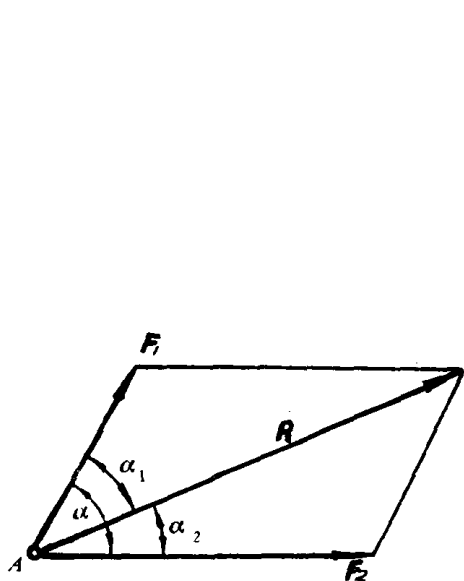
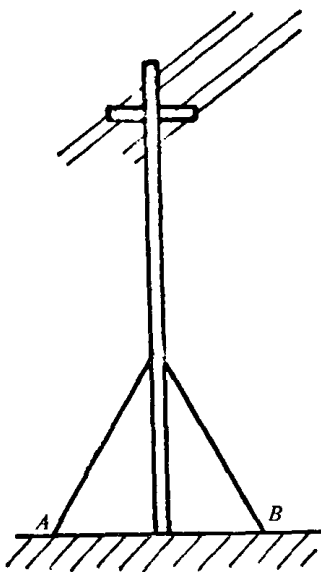
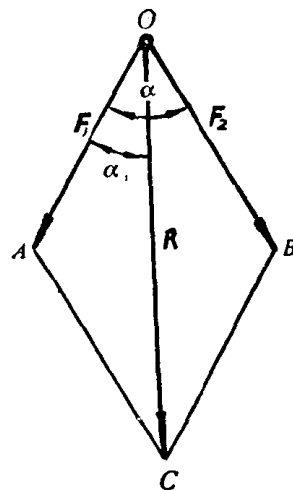


图 1-2



(a)



(b)

图 1-3

解 从 O 点按比例尺画出两根有向线段 OA 和 OB (图 1-3 b)，分别代表拉力 F_1 和 F_2 ，它们之间的夹角 $\alpha = 60^\circ$ ，然后画出平行四边形 $OACB$ ，它的对角线就代表这两个拉力的合力。由图中量得 $R = 520 \text{ N}$ ，方向垂直向下，合力通过两根钢丝绳的交点。也可利用几何关系算得同样的结果

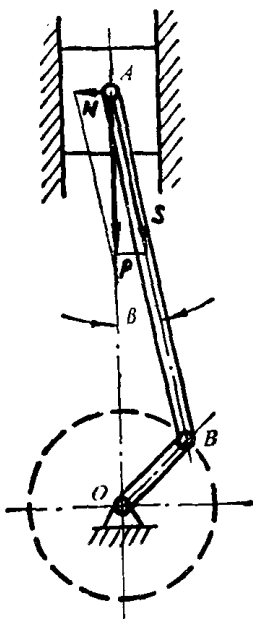


图 1-4

$$\begin{aligned}
 R &= \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha} \\
 &= \sqrt{300^2 + 300^2 + 2 \times 300 \times 300 \times \cos 60^\circ} \\
 &= \sqrt{270000} \\
 &= 520 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 &= \sin^{-1} \frac{F_2 \sin \alpha}{R} \\
 &= \sin^{-1} \frac{300 \sin 60^\circ}{520} \\
 &= \sin^{-1} \frac{300 \times 0.866}{520} \\
 &= \sin^{-1} 0.5 = 30^\circ
 \end{aligned}$$

例 1-2 曲柄连杆机构(图 1-4), 活塞顶部受到燃烧气体压力的作用, 推动活塞运动。已知气体压强 $p=750 \text{ N/cm}^2$, 活塞直径 $d=10.5 \text{ cm}$, $\beta=5^\circ$ 。求活塞对气缸壁的压力及活塞对连杆 AB 的压力。

解 首先求出气体对活塞的推力 P 。

$$\begin{aligned}
 P &= p \frac{\pi d^2}{4} \\
 &= 750 \times \frac{\pi \times 10.5^2}{4} = 65000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

然后按平行四边形法则, 将此推力 P 分解为两个分力, 即一个分力 N 通过 A 点垂直于气缸壁, 另一个分力 S 沿着连杆 AB 的方向, 因 N 与 P 互相垂直, 故有

$$\begin{aligned}
 N &= P \tan \alpha = 65000 \tan 5^\circ \\
 &= 65000 \times 0.0875 = 5690 \text{ N} \\
 S &= \frac{P}{\cos 5^\circ} = \frac{65000}{\cos 5^\circ} = \frac{65000}{0.996} = 65300 \text{ N}
 \end{aligned}$$

二、二力平衡条件

物体受两个力的作用而处于平衡的必要和充分条件是: 这两个力的大小相等, 方向相反, 并且作用在同一条直线上。显然, 只有这样, 它们的合力才会等于零。

工程上把只受两力作用而处于平衡状态的构件, 称为二力构件(二力杆)。如曲柄连杆机构中的连杆, 如果忽略其重量, 可以看作二力构件, 这就是为什么活塞对连杆的作用力方向必定沿着连杆方向的理由。

在一些问题中, 我们常能用二力平衡条件很简便地求得未知力的大小和方向。譬如物体浮在水面上不动, 根据二力平衡条件, 浮力一定和重力的大小相等, 方向相反, 并且沿同一条作用线; 又如降落伞铅垂匀速下降时, 根据二力平衡条件, 空气对降落伞的阻力和降落伞所受的重力一定大小相等, 方向相反, 沿同一条作用线。

根据以上力的两条基本性质（力的平行四边形法则和二力平衡条件）可以推导出力的另外两个结论：

1. 力的可传性 研究力对刚体的作用效果时，可以把力的作用点移到力的延长线上任一点，而它的作用效果不变。这就是力的可传性。力矢的延长线称为力的作用线。如图 1-5 中推车的力 F ，无论作用在 AB 线上那一点（ B 、 C 等），它推（拉）动车子的作用效应都是相同的。因此，在研究力对刚体的作用效应时，作用点不再是力的三要素之一，而力的作用线代替了力的作用点。

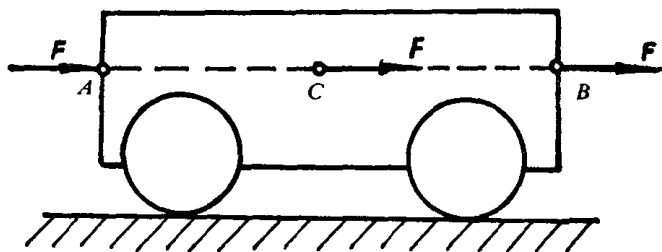


图 1-5

下面来证明力的可传性。

设刚体的 A 点上作用一个力 F 如图 1-6 a 。在力矢的作用线上任一点 B ，加上一对平衡力（ F_1 、 F_2 ）如图 1-6 b ，并使 $F_1 = F_2 = F$ ，则力 F 和力系（ F_1 、 F_2 、 F ）等效。再从图 1-6 b

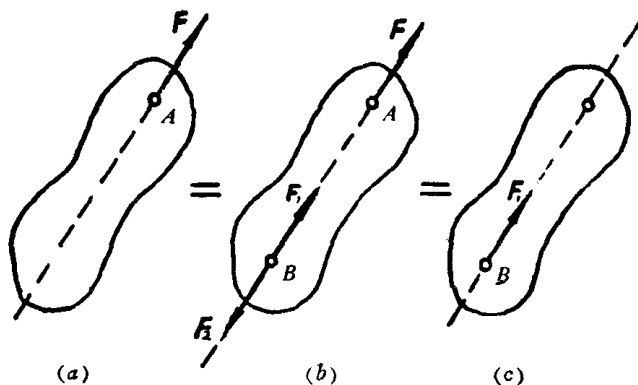


图 1-6

上取去一对平衡力（ F 、 F_2 ）如图 1-6 c ，余下的 F_1 就和 F 等效了。这就相当于把力 F 沿它的作用线移到了任意点 B 而不改变力对刚体的作用效果。

可以沿矢的作用线滑移而不改变矢的作用的矢量称为滑动矢。因此，对刚体而言，力是滑动矢。

2. 三力平衡汇交定理 若一个物体受三个力作用而处于平衡，且其中两个力作用线相交于一点，则第三个力必与前两力共面且相交于同一点。这就是三力平衡汇交定理（图

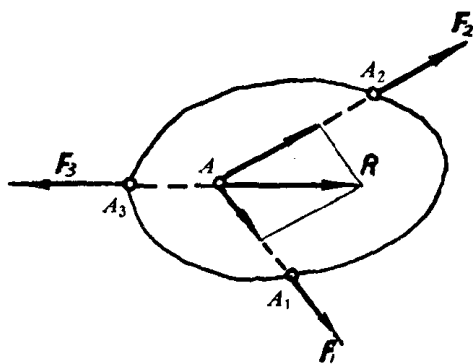


图 1-7

面内，而且通过 A 点。

1-7)。

证明如下：设在物体上 A_1 、 A_2 、 A_3 分别作用有相互平衡的三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 (图 1-7)，其中 F_1 和 F_2 的作用线交于 A 点，则 F_1 和 F_2 的合力 R 的作用线必须通过 A 点。由于 F_1 、 F_2 、 F_3 是相互平衡的，因此， F_1 与 F_2 的合力 R 必然与 F_3 相平衡。根据二力平衡定律可知， R 与 F_3 必定大小相等，方向相反，且作用在同一直线上，即 F_3 也在 F_1 、 F_2 所决定的平面内，而且通过 A 点。

三、作用与反作用定律

实践证明：两个物体之间的相互作用力即作用力与反作用力总是大小相等，方向相反，作用在同一条直线上。这个结论称为作用与反作用定律（或牛顿第三运动定律）。这条定律是力学中基本定律之一。我们在理解这条定律时，特别需要注意下列两点：

1. 作用力与反作用力分别作用在两个不同物体上。对其中任一个物体而言，仅受到一个作用力或者一个反作用力，而不是同时受到作用力和反作用力，所以它们不可能合成而互相抵消。

2. 作用力与反作用力一定是同时存在或同时消失，没有作用力也就没有反作用力。

下面举几个例子说明作用力与反作用力的矢量关系。

例 1-3 拖拉机停在水平地面上的作用力与反作用力。

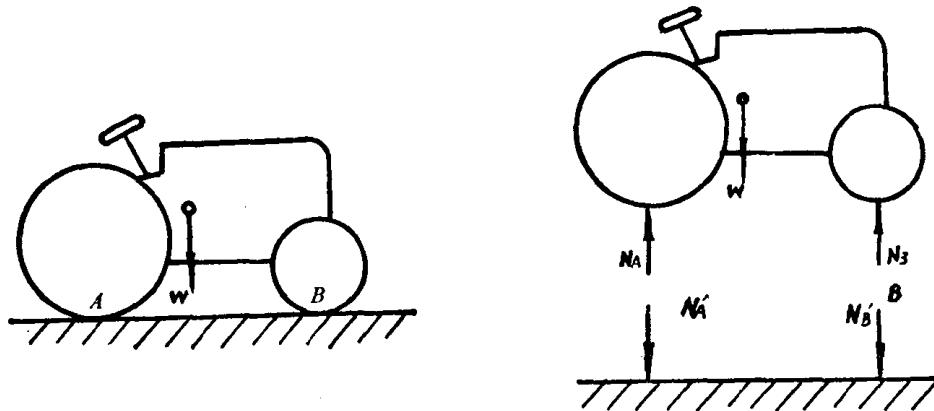
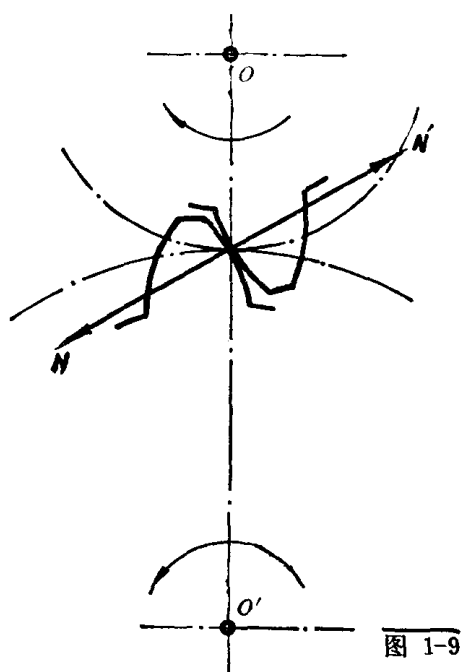


图 1-8

拖拉机停在地面上(图 1-8)，拖拉机通过轮子分别给地面的压力为 N'_A 和 N'_B ，方向竖直向下，作用在地面上。压力 N'_A 和 N'_B 的反作用力是地面给拖拉机轮子的支撑力 N_A 和 N_B 。 N_A 和 N'_A ， N_B 和 N'_B 的大小相等，方向相反，沿同一条作用线。

例 1-4 一对啮合齿轮的作用力与反作用力。



一对齿轮啮合时 (图 1-9), 主动齿轮通过齿面接触处给从动齿轮一个作用力 N , 而从动齿轮同时在该接触处给主动齿轮一个反作用力 N' 。 N 和 N' 的大小相等, 方向相反, 且作用在同一条直线上。

§ 1-3 约束与约束反力

一、约束的概念

每一个物体总是和它周围的其他物体互相联系和互相影响着, 而每一个物体的受力和运动变化也就是在这种互相联系和互相影响下发生的。这种互相联系和互相影响往往表现为一个物体对其他物体起着限制位移的作用。例如, 内燃机的活塞在气缸内的位移受到气缸的限制, 只能沿气缸筒滑动 (图 1-10 a)。轴的轴颈受到径向轴承的限制, 只能绕轴线 OO' 转动和沿轴线移动 (图 1-10 b)。悬吊重物时, 重物受到钢丝绳的限制不能下落 (图 1-11) 等等。我们把对被研究物体的位移起限制作用的周围物体称为约束。例如, 气缸筒是活塞的约束; 轴承是轴颈的约束; 钢丝绳是重物的约束……等。约束既然能阻碍物体的运动, 它们之间必然存在着力, 我们把约束作用在被研究物体 (即研究对象) 上的力称为约束反力。通常用符号 N 、 T 来表示。如图 1-9、图 1-10 b、图 1-11 b 所示。

约束反力以外的其他力, 有促使物体发生运动状态变化的作用, 这种力称为主动力。例如, 重力、气体压力、弹性力等。

在一般情况下, 主动力是已知的, 而约束反力则随主动力的变化而变化。因此, 约束反力的大小和方向应根据平衡条件来确定。但在某些情况下可以根据约束的性质直接确定约束反力的方向。我们分析约束, 主要就是分析约束反力, 它在受力分析中占有很重要的地位, 必须引起重视。下面我们举几种常见的约束, 根据它们的性质, 定出约束反力的方向。