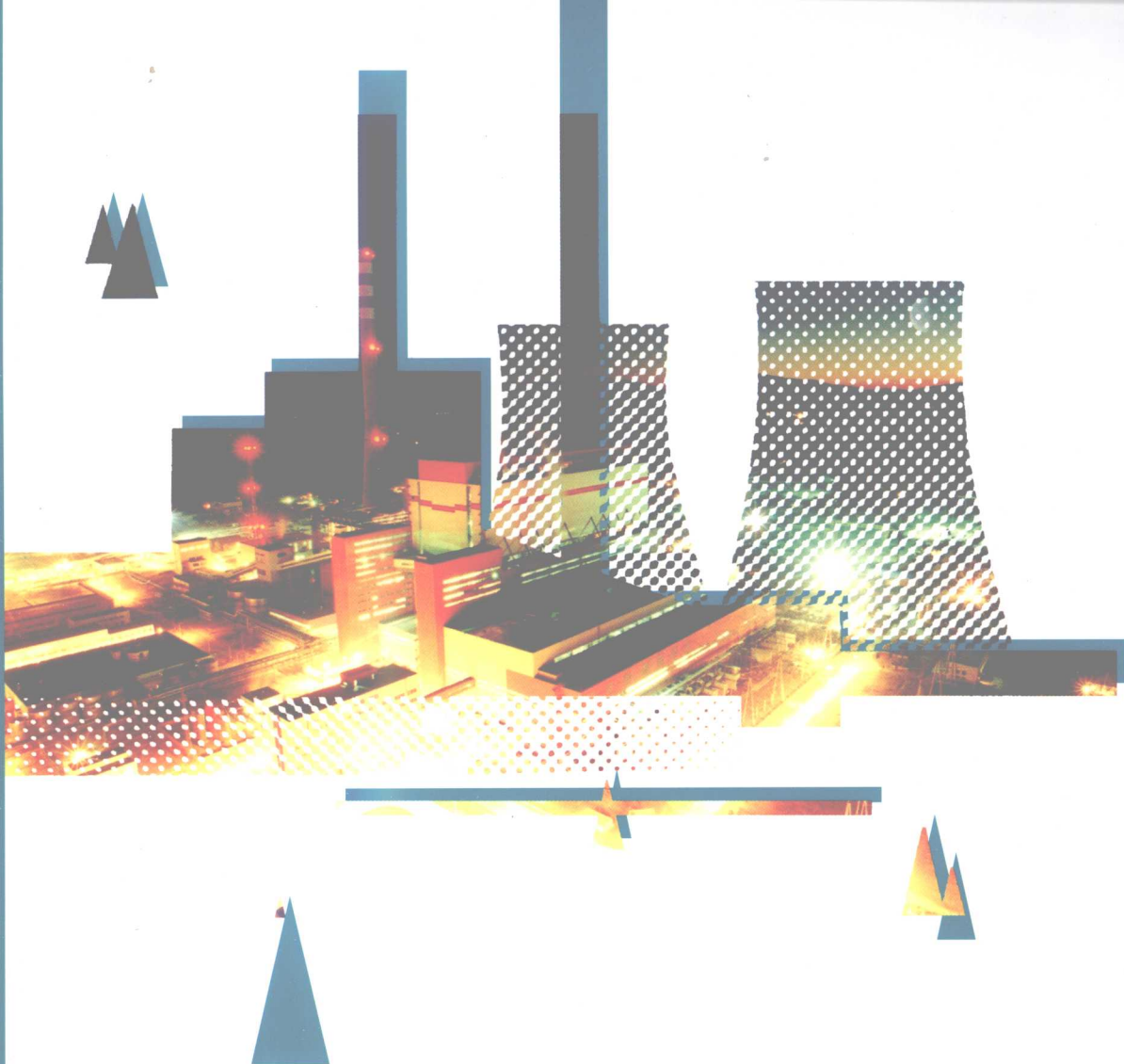


地方电厂岗位运行培训教材



张本贤 刘北革 主编

燃料运行



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



地方电厂岗位运行培训教材

燃 料 运 行

张本贤 刘北革 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

近 10 多年来,全国有一大批地方电厂、企业自备电厂和热电厂的 6~100MW 火力发电机组相继投产,运行岗位新职工和生产人员迅速增加。为了搞好运行生产人员岗位技术培训和技能鉴定,按照部颁《国家职业技能鉴定规范·电力行业》、《电力工人技术等级标准》和《火力发电厂运行岗位规范》以及运行规程的要求,突出岗位重点、注重操作技能、便于考核培训等,组织专家对 1995 年出版的第一版内容进行了全面修订和出版了《地方电厂岗位运行培训教材》(第二版),分为锅炉运行、汽轮机运行、电气运行、热工控制与运行、电厂化学和燃料运行 6 册。

本书是《地方电厂岗位运行培训教材》(燃料运行),主要内容有:第一篇燃料设备基础知识,介绍力学知识和燃料设备受力分析、润滑知识、燃料及燃烧、液压传动、机械基础知识、内燃机基础知识;第二篇燃料计量与管理,介绍燃料计量、燃料管理、采样设备;第三篇燃料设备及运行技术,介绍卸煤设备、煤场设备、斗轮堆取料机、带式输送设备、筛碎设备、给配煤设备、除铁设备、除尘设备、燃煤系统程控等。

本书适用于全国地方电厂、企业自备电厂和热电厂的 6~100MW 火力发电机组、具有高中及以上文化程度的燃料设备运行的生产人员、工人、技术人员、管理干部以及有关燃料运行专业师生等的岗位技能和技能鉴定的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

燃料运行/张本贤,刘北苹主编. —北京:中国电力出版社, 2009

地方电厂岗位运行培训教材

ISBN 978-7-5083-8824-3

I. 燃... II. ①张... ②刘... III. 火电厂-电厂燃料系统-运行-技术培训-教材 IV. TM621.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 071123 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 9 月第一版 2009 年 9 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 27.75 印张 748 千字

印数 0001—3000 册 定价 49.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

电力工业部水电开发与农村电气化司 关于推荐《地方电厂岗位运行培训教材》 一 书 的 通 知

(办农电 [1993] 155 号)

各省、市、自治区电力局（农电局）：

近些年来，一大批小型供热发电机组相继投产，运行岗位新人员迅速增加。尽快提高运行人员技术素质，是确保地方电厂和电网安全经济运行的当务之急。

为了搞好运行人员技术培训，按部颁《国家职业技能鉴定规范·电力行业》、《电力工人技术等级标准》（火力发电部分）和《火力发电厂运行岗位规范》的要求，我司委托辽宁省电力工业局，组织有较深造诣和现场经验丰富的技术人员，经过3年多的时间，编写出一套《地方电厂岗位运行培训教材》，分锅炉、汽轮机、电气、热工、化学、燃料等六个专业分册。本教材在收集近年来许多电厂运行资料的基础上，结合地方电厂运行人员的实际水平，在理论上由浅入深，在实际上注重可操作性，是小型火力发电厂运行人员岗位培训和技能鉴定的理想教材。本教材将配有初、中、高三个技术等级的考核题库，可作为认定和晋升技术等级的考核依据。

1993年6月2日



前言

火力发电技术的发展方向是高参数、大容量、高效率 and 自动化为主流的。当解决了材料的瓶颈后,600MW 超临界(超超临界)参数机组、1000MW 超超临界参数机组即开始陆续建设和投入商业运行。尽管如此,兼有供热任务的热电企业仍然有大量的中小机组在网运行,为了能增强竞争能力,这些机组也要不断地进行技术改造,这其中就包括燃料设备的改造和实行输煤集控。结合现代的火力发电厂将水处理、除灰、脱硫等辅助系统也放在主控室内,就带来了“大集控”的新理念。

随着“大集控”方式的推广,相对增大了燃料系统控制界面与设备的距离,这对燃料设备的可靠性提出了更高的要求,也更进一步要求燃料设备的运行和检修人员具备更高的专业素质。

电力体制改革加快了火力发电企业技术改造的步伐。一大批老电厂开始实施以技术改造为核心的改、扩建工程,同时进行的燃料设备的改造和更新使得燃料设备的运行控制更加复杂。

燃料(煤)系统的主要任务是卸煤、储煤、输煤、配煤、碎煤和清除煤中杂质,保证及时供给一定质量和数量的原煤,并始终保持生产工作环境的清洁。这对燃料设备的运行技术管理和设备的可靠性的要求必然更高。由于这些设备在不停地磨损、碰撞,需要不断地维修和更换,也说明火力发电厂整个输煤过程是个薄弱环节。如何保证燃料设备运行的可靠性、减少燃料运行和维护人员的劳动强度,从而提高发电企业的经济效益,将成为企业现代化的标志。

为了搞好运行人员技术培训和技能鉴定,参照部颁《国家职业技能鉴定规范·电力行业》、《电力工人技术等级标准》(火力发电部分)和《火力发电厂运行岗位规范》的要求,1993年受电力工业部水电开发和农村电气化司委托,辽宁省电力工业局组织大连电力学校和一些地方电厂具有丰富现场运行经验和教学经验的工程技术人员和教师,经过三年多的时间,于1995年4月编写并由中国电力出版社出版了本套《地方电厂岗位运行培训教材(第一版)》,本次是对第一版进行全面修订,并增设热工和燃料运行两个专业,共将本套教材分为锅炉运行、汽轮机运行、电气运行、热工控制与运行、电厂化学和燃料运行六个分册。

本书是在多年培训授课的基础上,由课程的主要开发者张本贤老师和刘北苹老师联合辽宁发电厂的张立波、李建伟和祝伟三位现场工程技术人员,针对火力发电厂各种卸

煤、储煤和输煤方式，从技术实用性出发，力求全面介绍有关的技术内容，包括设备结构、工作原理、润滑方式、系统连接、运行维护和故障排除、设备检修等，此书可作为各类火力发电企业燃料设备运行和检修的专业培训教材，也可作为各类职业学校相关专业的教学参考书及自学教材。

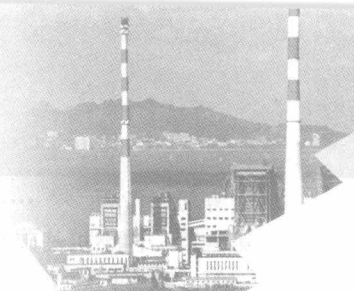
本书由张本贤和刘北革共同主编并共同编写第一章～第十一章，张盛勇编写第十二章，张立波编写第十三章，赵灵芝编写第十四章，李建伟编写第十五章，祝伟编写第十六章，王权编写第十七章，全书由张本贤统稿。

本书在编写过程中，笔者曾经多次到辽宁发电厂（50MW 机组）、大连热电集团公司香海热电厂、大连泰山热电有限公司、华能大连电厂等企业调研和考察学习，得到了这些企业领导和相关人员的大力支持和帮助，在此表示深深的谢意！

由于编者水平和经历有限，书中难免存在不妥之处，希望读者批评指正。

编 者

2009 年 4 月



目录

前言

第一篇 燃料设备基础知识

第一章 力学知识	1
第一节 力的概念	1
第二节 燃料设备的受力分析	7
复习思考题	10
第二章 润滑知识	11
第一节 概述	11
第二节 燃料设备的摩擦与磨损	13
第三节 燃料设备的润滑	15
第四节 常用机械零部件的润滑	18
第五节 润滑剂	19
复习思考题	22
第三章 燃料及燃烧	23
第一节 燃料概述	23
第二节 煤的特性	24
第三节 燃料的燃烧	26
第四节 煤的发热量	27
第五节 煤质和煤种对输煤系统和设备的影响	28
第六节 煤质和煤种对燃煤锅炉的影响	29
复习思考题	30
第四章 液压传动	31
第一节 液压传动的工作原理	31
第二节 液压系统	32
第三节 常用液压元件	34
复习思考题	50
第五章 机械基础知识	52
第一节 连接	52
第二节 传动	57
第三节 轴承与轴	66
第四节 联轴器	72
第五节 减速器与变速箱	75

复习思考题	79
第六章 内燃机基础知识	80
第一节 内燃机概述	80
第二节 内燃机工作原理	81
第三节 内燃机的主要性能指标	84
第四节 内燃机的主要零部件	86
第五节 内燃机增压技术	94
第六节 工程机械的特点	98
复习思考题	100

第二篇 燃料计量与管理

第七章 燃料计量	101
第一节 计量基础知识	101
第二节 电子轨道衡	104
第三节 电子皮带秤	110
第四节 循环链码装置	117
第五节 电子汽车衡	120
第六节 核子秤	122
第七节 其他燃煤计量装置	124
第八节 燃油计量与验收	127
复习思考题	130
第八章 燃料管理	131
第一节 概述	131
第二节 燃料入厂计量管理	131
第三节 燃煤计量验收	132
第四节 燃煤的耗用与储备	134
复习思考题	139
第九章 采样设备	140
第一节 入厂煤采样装置	140
第二节 入炉煤采制样装置	144
第三节 煤质在线监测仪	146
复习思考题	148

第三篇 燃料设备及运行技术

第十章 卸煤设备	149
第一节 概述	149
第二节 翻车机	151
第三节 底开车卸煤	168
第四节 螺旋卸煤机	173
第五节 链斗卸煤机	177
第六节 汽车卸煤机	184

第七节	原煤卸船机	188
	复习思考题	192
第十一章	煤场设备	193
第一节	斗轮堆取料机	193
第二节	装卸桥	234
第三节	推煤机	242
第四节	储煤斗和储煤罐	256
	复习思考题	260
第十二章	带式输送设备	261
第一节	带式输送机概述	261
第二节	带式输送机的主要零部件	264
第三节	带式输送机的保护装置	280
第四节	带式输送机的主要参数	284
第五节	带式输送机的运行维护及常见故障处理	296
第六节	带式输送机的检修与维护	303
第七节	其他类型输送机	309
第八节	输煤栈桥	318
第九节	落煤装置	320
	复习思考题	324
第十三章	筛碎设备	325
第一节	筛分概述	325
第二节	筛煤设备	328
第三节	锤击式碎煤机	336
第四节	反击式碎煤机	339
第五节	环锤式碎煤机	341
第六节	木屑分离器	348
	复习思考题	350
第十四章	给配煤设备	351
第一节	叶轮式给煤机	351
第二节	皮带式给煤机	358
第三节	往复式给煤机	361
第四节	振动给煤机	362
第五节	环式给煤机	366
第六节	犁煤器	370
第七节	其他给配煤设备	373
	复习思考题	376
第十五章	除铁设备	377
第一节	概述	377
第二节	电磁除铁器	378
第三节	金属探测器	385
	复习思考题	386

第十六章	除尘设备	387
第一节	输煤系统除尘概述	387
第二节	袋式除尘器	390
第三节	旋风除尘器	396
第四节	湿式除尘器	397
第五节	高压静电除尘器	403
第六节	喷水除尘	409
第七节	除尘系统其他设备	415
	复习思考题	418
第十七章	燃煤系统程控	420
第一节	输煤系统的程序控制	420
第二节	输煤程控的现场总线技术	424
第三节	PLC 在输煤程控系统中的应用	427
第四节	工业电视监控系统	429
	复习思考题	430
	参考文献	431

第一篇

燃料设备基础知识

第一章 力学知识

第一节 力的概念

一、力的概念与静力学公理

1. 力的概念

力的概念是人们在长期生活和生产实践中逐步形成的。力是物体与物体之间相互的机械作用。使物体的机械运动发生变化，称为力的外效应；使物体产生变形，称为力的内效应。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，常用一个带箭头的线段来表示。在国际单位制中，力的单位为牛顿（N）或千牛顿（kN）。

2. 静力学公理

公理 1：力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力，可以合成一个合力。合力的作用点仍在该点，合力的大小和方向由这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线确定，见图 1-1（a）。其矢量表达式为

$$F_R = F_1 + F_2 \quad (1-1)$$

根据公理 1 求合力时，通常只需画出半个平行四边形就可以了。如图 1-1（b）、（c）所示，这样力的平行四边形法则就演变为力的三角形法则。

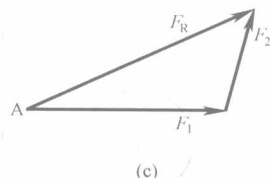
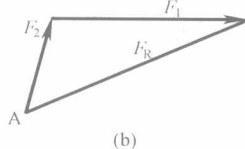
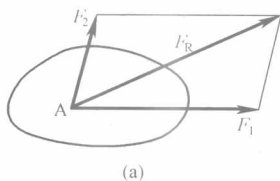


图 1-1 力的合成

公理 2：二力平衡公理

刚体仅受两个力作用而平衡的充分必要条件是：两个力大小相等，方向相反，并作用在同一直线上。

公理 3：加减平衡力系公理

在作用于刚体上的已知力系上，加上或减去任一平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效果。加减平衡力系公理主要用来简化力系。

推论 1: 力的可传性原理

作用于刚体上的力, 可以沿其作用线移至刚体内任意一点, 而不改变该力对物体的作用效果。力对刚体的效应与力的作用点在其作用线上的位置无关。因此, 作用于刚体上的力的三要素是: 力的大小、方向、作用线。

推论 2: 三力平衡汇交定理

若刚体受到同平面内三个互不平行的力的作用而平衡时, 则该三个力的作用线必汇交于一点。

公理 4: 作用和反作用定律

作用力和反作用力总是大小相等, 方向相反, 作用线相同, 但同时分别作用在两个相互作用的物体上。

这个公理表明, 力总是成对出现的, 只要有作用力就必有反作用力, 而且同时存在, 又同时消失。

公理 5: 刚化原理

变形体在某一力系作用下处于平衡, 如将此变形体刚化为刚体, 其平衡状态保持不变。

这个公理提供了把变形体抽象为刚体模型的条件。

二、约束与约束反力

在工程实际中, 构件总是以一定的形式与周围其他构件相互连接, 即物体的运动要受到周围其他物体的限制, 如转轴要受到轴承的限制, 梁要受到立柱的限制。这种对物体的某些位移起限制作用的周围其他物体称为约束, 如轴承就是转轴的约束。约束限制了物体的某些运动, 这种对物体的作用力称为约束力。工程实际中, 将物体所受的力分为两类: 一类是能使物体产生运动或运动趋势的力, 称为主动力, 主动力有时也叫载荷; 另一类是约束反力, 它是由主动力引起的, 是一种被动力。

1. 柔性约束 (柔索)

柔性约束由绳索、胶带或链条等柔性物体构成, 只能受拉, 不能受压。只能限制沿约束的轴线伸长方向。柔性约束对物体的约束反力是: 作用在接触点, 方向沿着物体的中心线背离物体, 通常用 F_T 表示, 见图 1-2。

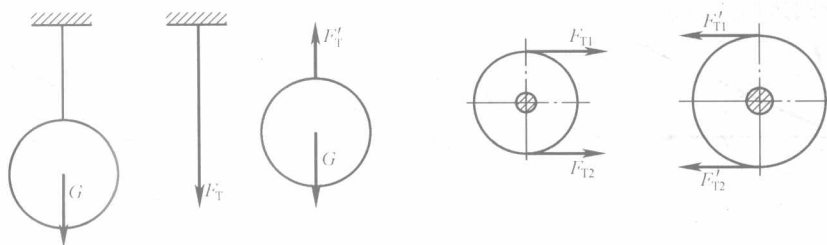


图 1-2 柔性约束

2. 刚性约束

当两物体接触面之间的摩擦力小到可以忽略不计时, 可将接触面视为理想光滑的约束。这时, 不论接触面是平面或曲面, 都不能限制物体沿接触面切线方向的运动, 而只能限制物体沿着接触面的公法线指向约束物体方向的运动。因此, 光滑接触面对物体的约束反力是: 通过接触点, 方向沿着接触面公法线方向, 并指向受力物体。这类约束反力也称法向反力。

3. 光滑圆柱形铰链约束

(1) 连接铰链。两构件用圆柱形销钉连接且均不固定，即构成连接铰链，其约束反力用两个正交的分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示，见图 1-3。

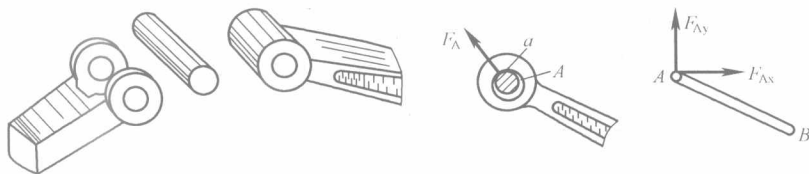


图 1-3 连接铰链

(2) 固定铰链支座。如果连接铰链中有一个构件与地基或机架相连，便构成固定铰链支座，其约束反力仍用两个正交的分力 F_{Ox} 和 F_{Oy} 表示，见图 1-4。

(3) 活动铰链支座。在铰链支座的底部安装一排滚轮，可使支座沿固定支承面移动，这种支座的约束性质与光滑面约束反力相同，其约束反力必垂直于支承面，且通过铰链中心，见图 1-5。

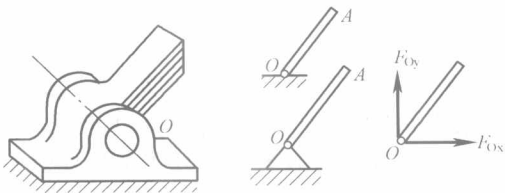


图 1-4 固定铰链支座

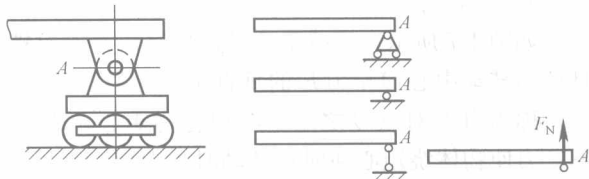


图 1-5 活动铰链支座

4. 固定端约束

固定端约束能限制物体沿任何方向的移动，也能限制物体在约束处的转动。所以，固定端的约束反力可用两个正交的分力和力偶表示。

5. 球铰链支座

球铰链是一种空间约束，它能限制物体沿空间任何方向移动，但物体可以绕其球心任意转动。球铰链的约束反力可用三个正交分力表示。

三、受力图

在工程实际中，需要对结构系统中的某一物体或部分物体进行力学计算。可根据已知条件及待求量选择一个或几个物体作为研究对象，对它进行受力分析。分析物体受哪些力的作用，并确定每个力的大小、方向和作用点。为了清楚地表示物体的受力情况，需要把所研究的物体（称为研究对象）从与它相联系的周围物体中分离出来，单独画出该物体的轮廓简图，使之成为分离体，在分离体上画上它所受的全部主动力和约束反力，就称为该物体的受力图。

画受力图是解平衡问题的关键，画受力图的一般步骤如下：

第一，据题意确定研究对象，并画出研究对象的分离体简图。

第二，在分离体上画出全部已知的主动力。

第三，在分离体上解除约束的地方画出相应的约束反力。

画图时要分清内力与外力，通常将系统外的物体对系统的作用力称为外力，而系统内物体间相互作用的力称为内力。由于物体系统内力的总和为零，因此取物体系统为研究对象画受力图时，只画外力，而不画内力。

例如, 质量为 G 的均质杆 AB , 其 B 端靠在光滑铅垂墙的顶角处, A 端放在光滑的水平面上, 在点 D 处用一水平绳索拉住, 则均质杆 AB 的受力图如图 1-6 所示。

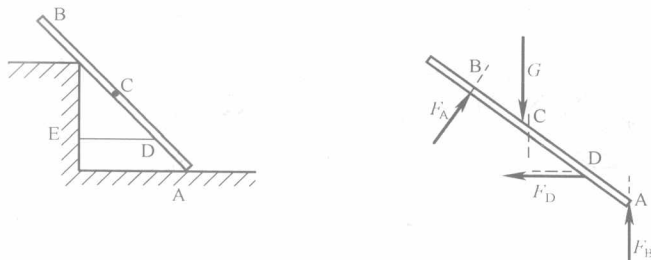


图 1-6 均质杆的受力图

各力的作用线汇交于一点的力系称为汇交力系。

四、力矩

实践表明, 力对刚体的作用效应, 不仅可以使刚体移动, 而且还可以使刚体转动。其中移动效应可用力矢来度量, 而转动效应可用力矩来度量。

1. 力对点之矩

如图 1-7 所示, 用扳手拧紧螺母时, 力 F 对螺母拧紧的转动效应不仅与力 F 的大小有关, 而且还与转动中心 O 至力 F 的垂直距离有关。可用两者的乘积 Fd 来度量力使物体绕点 O 的转动效应, 称为力 F 对点 O 之矩。点 O 称为矩心, d 称为力臂。力矩是一个代数量, 其正负号规定如下: 力使物体绕矩心逆时针转动时, 力矩取正号, 反之为负。

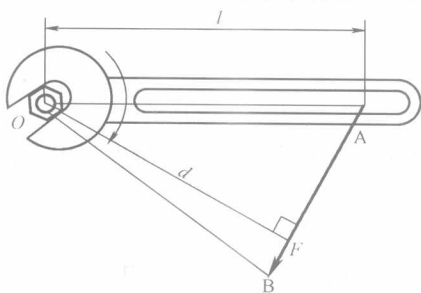


图 1-7 扳手之力矩

由力矩的定义及计算式可知: 力的作用线通过矩心时, 力臂值为零, 故力矩等于零。当力沿作用线滑动时, 力臂不变, 因而力对点的矩也不变。

力矩的单位是牛 [顿] 米 ($\text{N} \cdot \text{m}$)。

2. 合力矩定理

合力矩定理: 平面力系的合力对平面上任一点之矩, 等于各分力对同一点之矩的代数和。

3. 力对轴之矩

从空间角度来看, 扳手绕 O 点的转动, 实际上是绕过 O 点且垂直于扳手平面的轴线 OZ 轴的转动 (见图 1-7)。所以, 也可以说力 F 对 O 点之矩也是力 F 使刚体绕 OZ 轴转动效应的度量, 称力 F 对 OZ 轴之矩。

五、力偶

1. 力偶及力偶矩

由大小相等, 方向相反, 而作用线不重合的两个平行力组成的力系称为力偶, 记作 (F, F') 。力偶中两力所在的平面称为力偶作用面, 两力作用线间的垂直距离 d 称为力偶臂。

力偶矩为 $M = \pm Fd$ 。力偶矩是代数量, 一般规定使物体逆时针转动为正, 顺时针转动为负。力偶矩的单位是牛 [顿] 米 ($\text{N} \cdot \text{m}$), 如图 1-8 所示。

2. 力偶的性质

性质 1: 力偶既无合力, 也不能和一个力平衡, 力偶只能用力偶来平衡。

力偶是由两个力组成的特殊力系, 在任一轴上投影的代数和为零, 故力偶不能合成一个合

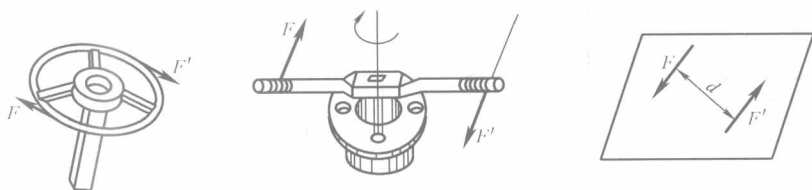


图 1-8 力偶及力偶矩

力, 或用一个力来等效替换。力和力偶是静力学的两个基本要素, 力偶对刚体只能产生转动效应, 而力对刚体可产生移动效应, 也可产生转动效应, 所以, 力偶也不能用一个力来平衡。

性质 2: 力偶对其作用面内任一点之矩恒为常数, 且等于力偶矩, 与矩心的位置无关。

这个性质说明力偶使刚体绕其作用面内任一点的转动效果是相同的。

性质 3: 力偶可在其作用面内任意转移, 而不改变它对刚体的作用效果。

性质 4: 只要保持力偶矩的大小和转向不变, 可以同时改变力偶中力的大小和力偶臂的长短, 而不改变其对刚体的作用效果。因此, 力偶可用力和力偶臂来表示, 即用带箭头的弧线表示, 箭头表示力偶的转向, M 表示力偶的大小, 如图 1-9 所示。

3. 平面力偶系的简化与平衡

在同一平面内由若干个力偶所组成的力偶系称为平面力偶系。平面力偶系的简化结果为一合力偶, 合力偶矩等于各分力偶矩的代数和。即

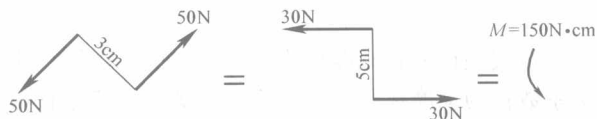


图 1-9 力偶的表示

$$M = M_1 + M_2 + \cdots + M_n = \sum M$$

平面力偶系的简化结果为一合力偶, 因此平面力偶系平衡的充要条件是合力偶矩等于零。即 $\sum M = 0$ 。

六、力的平移定理

作用于刚体上的力, 可以平行移动到该刚体上任意一点, 但必须附加一个力偶, 其力偶矩等于原来的力对平移点之矩。当力平行移动到作用线外任意位置且又要保持其作用效果不变时, 应根据力的平移定理附加相应的条件。

力的平移定理: 作用于刚体上的力, 可以平行移动到该刚体上任意一点, 但必须附加一个力偶, 其力偶矩等于原来的力对平移点之矩, 如图 1-10 所示。

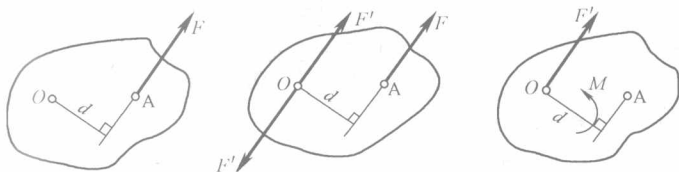


图 1-10 力的平移示意图

七、摩擦与自锁

1. 滑动摩擦

两个相互接触的物体, 当他们之间有相对滑动或相对滑动趋势时, 在接触面之间产生彼此阻碍运动的力。这种阻力称为滑动摩擦力。

如图 1-11 所示, 设所受重力为 G 的物块受水平力 F_T 的作用, 当力 F_T 由零逐渐增大时, 物

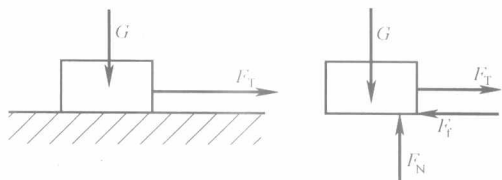


图 1-11 物体受摩擦力分析

块由静止变为滑动。下面分别讨论有相对滑动趋势、临界状态和已经相对滑动三种状态的滑动摩擦力。

(1) 静滑动摩擦力。当力 F_T 由零逐渐增加但不超过某数值 $F_{\max}$ 时，物块不会滑动，仍处于静止状态。由平衡条件可知，这时支承面对物块除作用一法向反力 F_N 外，还有一个阻碍物块滑动的

切向反力，即静滑动摩擦力，简称静摩擦力，用符号 F_f 表示。

(2) 最大静滑动摩擦力。当 F_T 继续增加而达到一定数值 $F_{\max}$ 时，物块处于将要滑动而未滑动的临界状态。这时只要力稍大一点，物块立即开始滑动。这说明当物块处于平衡的临界状态时，静摩擦力达到了最大值，称最大静滑动摩擦力，用 $F_{\max}$ 表示。如果 F_T 再继续增大，但静摩擦力不会再随之增加，物块将失去平衡而滑动，因此静摩擦力并不随主动力 F_T 的增大而无限增大。

(3) 动滑动摩擦力。当静滑动摩擦力达到最大值时，若 F_T 继续增加，物块开始滑动，此时物体接触面之间仍作用阻碍其相对滑动的阻力，即动滑动摩擦力，简称动摩擦力，用符号 F'_f 表示。

大量实验证明：动摩擦力 F'_f 的大小与两物块间的正压力成正比，此式称为动摩擦定律。其比例系数称为动摩擦因数。动摩擦因数也决定于接触物体的材料及接触面状况，且与接触点的相对滑动速度有关。

2. 摩擦角自锁

(1) 摩擦角。将支承面对物块的法向反力和切向反力合成，称为支承面的全反力。全反力与接触面法线的最大夹角，称为摩擦角。摩擦角的正切等于静摩擦因数。摩擦角与静摩擦因数一样，也是表示摩擦性质的物理量。

(2) 自锁。物块平衡时由于静摩擦力不可能超过最大值，因此全反力的作用线也不能超出摩擦角以外，即全反力必在摩擦角之内。作用于物体上的全部主动力的合力，不论其大小如何，只要其作用线与接触面法线的夹角小于或等于摩擦角，则物体保持静止，这种现象称为自锁。

(3) 考虑摩擦时的平衡问题。解决有摩擦时物体的平衡问题，在受力图上必须考虑摩擦力，摩擦力的方向与相对滑动趋势的方向相反。摩擦力是一个未知量。

3. 滚动摩擦简介

利用滚动代替滑动省力。如图 1-12 所示，运输重物时，若在重物底下垫滚轴，则要比将重物直接放在地面上推动省力。在工程实际中，车辆采用车轮，机器采用滚动轴承，也是为了减轻劳动强度，提高劳动效率。

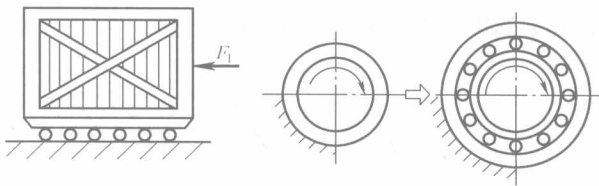


图 1-12 物体滚动示意图

如图 1-13 所示，在水平面上有一轮子受重力为 G ，半径为 r ，当轮子中心受一水平拉力 F_T 作用，若 F_T 力不大时，轮子仍保持静止，此时轮与地面接触处都发生变形。轮与地面接触处受力分布作用。将这些力向轮子的最低点 A 简化，得一力（将此力分解为沿接触面的切向分力 F_f 和法向分力 F_N ）和一力偶 M_f ，这一阻碍轮子滚动的约束力偶称为滚动摩擦力偶，滚动摩擦力偶的转向与轮子的滚动趋势相反。

与静滑动摩擦力的性质相似，滚动摩擦力偶矩随主动力的变化而变化，当主动力偶（ F_T 、

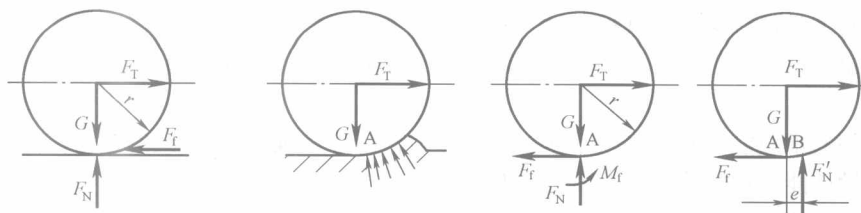


图 1-13 滚动摩擦示意

F_f) 的力偶矩增大到一定值时, 轮子处于将要滚动的临界平衡状态, 滚动摩擦力偶矩 M_f 达到最大值 M_{fmax} 。由此可见, 滚动摩擦力偶矩的大小在零到最大值之间。

实验证明, 最大滚动摩擦力偶矩 M_{fmax} 与支承面的正压力 F_N 成正比, 即

$$M_{fmax} = \delta F_N \quad (1-2)$$

这就是滚动摩擦定律。式中 δ 称为滚动摩擦系数, δ 是一个具有长度单位的系数, 单位一般为 mm。滚动摩擦系数由实验测定, 它与滚子和支承面的材料硬度、湿度等因数有关。

常用材料的滚动摩擦系数见表 1-1。

表 1-1

常用材料的滚动摩擦系数

材料名称	滚动摩擦系数 (mm)	材料名称	滚动摩擦系数 (mm)
铸铁与铸铁	0.05	淬火钢与淬火钢	0.01
木材与钢	0.3~0.4	轮胎与路面	2~10
木材与木材	0.5~0.8	软钢与软钢	0.05

第二节 燃料设备的受力分析

一、构件的承载能力

燃料设备很多是由构件构成, 如输煤栈桥、螺旋卸煤机、堆取料机等。为保证设备正常工作, 设备的构件应具有足够的能力承受载荷。因此, 构件应当满足以下要求:

(1) 强度要求: 即构件在外力作用下应具有足够的抵抗破坏的能力。强度要求就是指构件在规定的使用条件下不发生意外断裂或塑性变形。

(2) 刚度要求: 即构件在外力作用下应具有足够的抵抗变形的能力。在载荷作用下, 构件即使有足够的强度, 但若变形过大, 仍不能正常工作。例如, 主轴的变形过大, 将影响工作精度; 齿轮轴变形过大将造成齿轮和轴承的不均匀磨损, 引起噪声。刚度要求就是指构件在规定的使用条件下不发生较大的变形。

(3) 稳定性要求: 即构件在外力作用下能保持原有直线平衡状态的能力。承受压力作用的细长杆等应始终维持原有的直线平衡状态, 保证不被压弯。稳定性要求就是指构件在规定的使用条件下不产生丧失稳定性的破坏。

如果构件的横截面尺寸不足或形状不合理, 或材料选用不当, 不能满足上述要求, 将不能保证工程结构或机械的安全工作。相反, 如果不恰当地加大构件横截面尺寸或选用高强材料, 这虽满足了上述要求, 却增加了成本, 造成浪费。

在工程实际问题中, 一般来说, 构件都应具有足够的承载能力, 即足够的强度、刚度和稳定性, 但对具体的构件, 其要求又有所侧重。例如, 储罐主要保证强度, 主轴主要要求具有足够的