



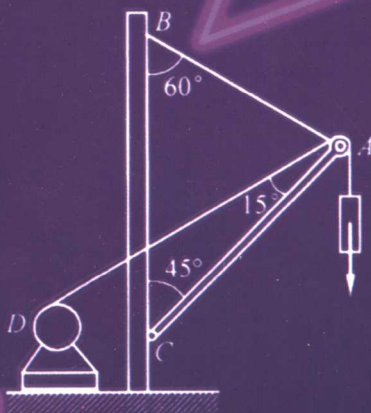
附结构设计软件


高职高专规划教材

工程力学 简明教程(土建类)

张美元 编著

GONGCHENG LIXUE
JIANMING JIAOCHENG



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高职高专规划教材

工程力学简明教程

(土建类)

张美元 编著



机械工业出版社

本书由正文和附录组成，其中正文共分十二章。其主要内容包括：绪论、工程力学基础、力系的合成与平衡、杆件的内力与内力图、杆件的应力与强度计算、杆件的变形计算与刚度校核、压杆稳定、结构计算简图和几何组成分析、静定结构的内力和位移计算、超静定结构的传统解法、《平面直杆结构内力与位移计算》软件的应用、影响线，以及截面几何性质等。

本书可作为高职院校的水利水电、工业与民用建筑、给排水、道路桥涵等土建类专业和与土建类相关专业的工程力学教材，也可作为各土建类工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学简明教程/张美元编著. —北京: 机械工业出版社, 2005.1

高职高专规划教材

ISBN 7-111-15885-7

I. 工… II. 张… III. 工程力学-高等学校: 技术学校-教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 137799 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑: 宋学敏 版式设计: 张世琴 责任校对: 吴美英

封面设计: 张静 责任印制: 施红

北京忠信诚胶印厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年2月第1版·第1次印刷

1000mm×1400mm B5·10.5印张·407千字

定价: 31.00元 (含1CD)

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据高职高专水利水电工程和工业与民用建筑工程等专业的专业教学计划及工程力学教学大纲的基本要求，结合我国高职教育特点和对高等职业技术人才的培养目标要求而编写的。

为体现高等职业技术教育的特点，按照培养符合我国国情的高等级实用型工程技术人才的基本要求，本书采取淡化理论的系统性，强调专业技术基础知识的实际性，是将传统的工程力学教材内容精减、整合、归类后编写而成。本书内容简练、叙述通俗，例题典型且贴近工程实际。对于理论知识，着重强调其结论和应用。一般公式不推导，注重从实用出发，培养学生分析和解决实际问题的能力。每章末附有习题。为帮助学生更好地学习和掌握本书内容，还配套编写了《工程力学简明教程学习指导》一书。

湖北水利水电职业技术学院徐宏广同志对教程中习题的编辑整理及绘图工作给予了大力协助，在此表示感谢。

由于时间紧，任务重，加之编者水平所限，书中难免错漏和欠妥之处，诚请各位同行和广大读者批评指正。

本书中加“*”部分为选学内容。

编者

主要符号表

- A ——平面(截面)面积
 b ——截面宽度
 C ——支座位移,截面形心位置,物体的重心或形心位置
 d ——直径,力臂、力偶臂长度
 e ——偏心距
 E ——弹性模量
 F ——广义集中力
 F_K ——临界荷载
 \bar{F} ——广义单位力
 $\bar{F}_N, \bar{F}_Q, \bar{M}$ —— \bar{F} 作用下结构的轴力、剪力和弯矩
 F_R ——力系的合力,接触面全约束力,支座约束力
 F_T ——柔性体约束力(拉力)
 F_N ——光滑面约束力(接触面法向约束力)、轴力(截面上的法向内力)
 F_{Rx}, F_{Ry} ——支座约束力在 x, y 方向的分量
 F_f ——滑动摩擦力
 F_Q ——剪力(截面上的切向内力)
 F_e ——挤压力
 F_{cr} ——压杆的临界力
 f ——梁的挠度,静摩擦因数
 $[f]$ ——许用挠度
 G ——切变模量
 h ——截面高度,物体厚度
 I_p ——极惯性矩
 I_{xy} ——惯性积
 I_y, I_z ——截面对中性轴 y, z 的主惯性矩
 K ——安全因数
 l ——杆件长度(纵向尺寸)
 M_R ——合力偶矩
 m ——广义外力偶矩,一个剪切构件中的剪切面个数
 M ——弯矩(弯曲构件横截面上的内力偶矩)
 n ——转速(r/min),物件(连接件)个数
 O ——坐标原点,转动中心(矩心)、力系的简化中心位置,虚铰位置

主要符号表

- P ——传输功率
 q ——广义分布力
 R (或 r)——半径
 S_y, S_z ——截面对 y, z 轴的静面矩(面积矩)
 T ——扭矩(扭转构件横截面上的内力偶矩)
 t ——温度,板的厚度
 W ——物体的自重
 W_y, W_z ——对中性轴 y, z 的抗弯截面系数
 X ——广义的多余未知力
 α ——角度,材料的线膨胀系数,圆管(筒)的内径与外径之比
 γ ——角度,切应变,材料的堆密度
 Δ ——广义位移,微小间距
 Δ_H, Δ_V ——水平线位移、竖向线位移
 δ ——单位力作用下的位移,伸长率
 ϵ ——纵向线应变
 ϵ' ——横向线应变
 $[\theta]$ ——许用转角
 θ ——角度,单位长度扭转角
 μ ——泊松比,压杆的长度系数,力矩分配系数
 ρ ——极半径或惯性半径
 σ ——正应力(法向应力)
 $[\sigma]$ ——许用正应力
 σ_b ——抗压强度
 σ_e ——挤压应力
 σ_s ——屈服点
 σ_{cr} ——临界应力
 τ ——切应力(切向应力)
 $[\tau]$ ——许用切应力
 τ_b ——抗剪强度,抗扭强度
 φ ——角度,扭转角,角位移,截面法线倾斜角
 ω ——弯矩图面积

目 录

前言

主要符号表

第一章 绪论	1
第一节 工程力学的研究对象和主要任务	1
第二节 变形固体的基本假设	2
第三节 杆件变形的基本形式	3
第二章 工程力学基础	5
第一节 力的概念	5
第二节 静力学公理	8
第三节 力在坐标轴上的投影	11
第四节 力对点之矩	12
第五节 力偶	15
第六节 约束与约束力	16
第七节 受力图	18
习 题	21
第三章 力系的合成与平衡	24
第一节 概述	24
第二节 平面汇交力系的合成与平衡	25
第三节 平面力偶系的合成与平衡	31
第四节 平面一般力系的合成与平衡	33
第五节 考虑滑动摩擦时物体的平衡问题	46
第六节 空间力系简介*	50
习 题	54
第四章 杆件的内力与内力图	61
第一节 概述	61
第二节 轴向拉压杆的内力与内力图	64

第三节	圆轴扭转时的内力与内力图	68
第四节	平面弯曲梁的内力与内力图	69
习 题	.....	86
第五章	杆件的应力与强度计算	92
第一节	概述	92
第二节	轴向拉伸和压缩时材料的力学性能	95
第三节	轴向拉压杆的应力与强度计算	101
第四节	联接件的实用计算	108
第五节	圆轴扭转时的应力与强度计算	111
第六节	平面弯曲梁的应力与强度计算	114
第七节	提高梁弯曲正应力强度的主要措施	125
第八节	组合变形杆件的强度计算	127
第九节	应力状态与强度理论简介*	131
习 题	.....	140
第六章	杆件的变形计算与刚度校核	147
第一节	概述	147
第二节	轴向拉压杆的变形计算	150
第三节	圆形截面扭转轴的变形计算和刚度校核	153
第四节	梁的变形计算和刚度校核	154
第五节	杆件变形的测量*	172
第六节	弹性结构的互等定理	174
习 题	.....	175
第七章	压杆稳定	179
第一节	概述	179
第二节	压杆的临界力和临界应力	180
第三节	压杆的稳定计算	184
习 题	.....	189
第八章	结构计算简图与几何组成分析	191
第一节	结构计算简图	191
第二节	平面体系的几何组成分析	196
习 题	.....	207

第九章 静定结构的内力和位移计算	210
第一节 概述	210
第二节 静定多跨梁的内力计算	212
第三节 静定平面刚架的内力计算	215
第四节 静定平面桁架的内力计算	218
第五节 三铰拱的内力计算	223
第六节 静定结构的位移计算	226
习 题	232
第十章 超静定结构的传统解法	238
第一节 概述	238
第二节 力法	241
第三节 位移法*	255
第四节 力矩分配法*	261
习 题	268
第十一章 《平面直杆结构内力与位移计算》软件的应用	273
第一节 概述	273
第二节 《结构计算》的控制变量与相关信息	274
第三节 原始数据的输入和计算结果的利用	281
第四节 《结构计算》步骤与算例	282
习 题	289
第十二章 影响线*	291
第一节 概述	291
第二节 静力法作静定单跨梁的影响线	291
第三节 机动法作梁的影响线	295
第四节 影响线的应用	296
第五节 简支梁的弯矩包络图和绝对最大弯矩	302
习 题	303
附录	306
附录 A 截面的几何性质	306
A.1 物体的重心和形心	306
A.2 截面的面积矩	310

目 录

A.3 截面的惯性矩.....	311
A.4 组合截面的惯性矩.....	312
附录 B 普通热轧型钢规格及截面特性表	314
参考文献	325

第一章 绪 论

第一节 工程力学的研究对象和主要任务

工程力学是土木工程专业十分重要的技术基础课之一。学习工程力学，一是为进一步学习与之相关的专业课程打下必要的理论基础，二是为将来从事工程设计和结构计算提供基本的理论知识和计算方法。

在土木工程各种建筑物（如桥、涵、闸、坝、房屋等）中承受荷载且起骨架作用的部分，称为结构。例如如图 1-1 中所示斜拉桥，其纵向结构是承受桥面压力并以弯曲变形为主的梁结构，横向结构则是对梁起支撑作用的刚架结构。



图 1-1

工程结构中的任何一个基本部件都称为构件。土木工程结构中的板、梁、柱

（墩）等均是构件。工程结构构件的基本类型有三种（见图 1-2）：杆件（长度远大于横向尺寸，见图 1-2a、b、c），板和壳（厚度远小于长和宽，见图 1-2d、e），块体（三个方向的尺寸相差不大，见图 1-2f）。

工程力学研究的主要对象是杆件和平面杆件结构。

工程结构要承受各种力的作用。作用于结构或构件上的外力通常可分为两种：一种是主动作用于结构或构件上并企图使其产生运动或有运动趋势的力，称为主动力。例如物体的自重，风、雪、水的压力，或其他物体对受力物体施加的力。工程中将作用于结构上的主动力称为荷载。另一种是支撑结构或对物体运动起限制作用的其他物体对结构或物体所作用的力。工程力学中将结构的支撑物或限制物体运动的其他物体（或装置）称为约束，并将约束对结构或对被约束物体所作用的力，称为约束力。例如图 1-1 所示的斜拉桥，若将桥墩作为支撑物，则作用于此梁上的主动力主要有梁的自重和车轮对梁的压力，约束力主要是桥墩的

支撑力及钢索的拉力。

结构中的每个构件在外力作用下都会产生内力和变形，当这种内力和变形达到或超过某一限度（即构件或结构的承载能力）时，构件及结构就会丧失工作能力甚至破坏。在工程力学中，结构或构件的承载能力具体体现在结构或构件的刚度、强度、稳定性三个方面。**强度**主要反映结构或构件抵抗破坏的能力，**刚度**则反映结构或构件抵抗变形的能力，**稳定性**是指轴向受压杆件保持其原有直线平衡状态的能力。

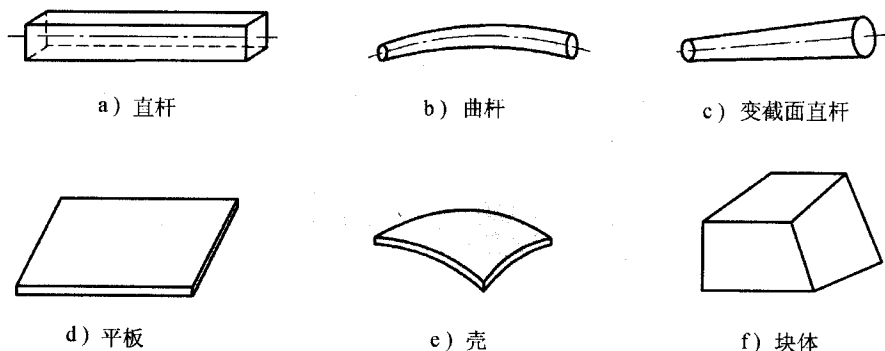


图 1-2

工程力学的任务，是研究和解决杆件和杆件结构的强度、刚度和稳定性问题，力求解决工程中杆件和杆件结构安全与经济的矛盾。但本课程只能提供解决这些问题的基本理论知识和方法。要使问题得到真正解决，还需要掌握相关的专业理论知识并具有一定实践经验。

第二节 变形固体的基本假设

如前所述，工程力学主要研究和解决工程结构或构件的强度、刚度和稳定性问题。构件和由构件组成的结构在外力（或温度变化等其他因素）作用下都会产生变形。工程力学中将这种构件称为**变形固体**。

实际工程中，工程结构或构件所使用的材料是多种多样的，各种材料的物质结构和物理性能也各不相同。研究结构和构件时，忽略那些对所研究问题影响很小的次要因素，不仅便于问题的研究，而且也不会影响工程计算的精度。为此，对工程构件及其所使用的材料提出以下三个基本假设：

1. 均匀、连续性假设

(1) 均匀性假设 假设构件中固体分子或晶粒排列整齐、分布均匀且无杂

质。符合这一假设的材料称为均质材料。工程中将金属或合金材料、混凝土、砖、石、橡胶、塑料等常用的建筑材料，都视为均质材料。

(2) 连续性假设 假设构件中的固体分子或晶粒排列紧密而无间隙。从宏观上讲，是指构件中没有任何的裂隙或破损。

2. 各向同性假设

假设构件各个方向的物理力学性质相同。在实际工程中，除木材、竹材，以及一些复合材料属于各向异性材料外，钢、铁、铜、铝、合金材料、混凝土、砖、石、工程塑料等大多数建筑材料，都被视为各向同性材料。即认为，由这些各向同性材料所构成的构件，其各个方向上承受外力和抵抗变形的能力都相同。

3. 小变形假设

假设构件的变形量与构件的原始尺寸相比十分微小。对于建筑工程所要求的必须处于弹性变形范围的工程构件或结构而言，这种假设是与实际相符合的。

在工程力学中所研究的构件和所使用的材料均被认为符合以上假设。

第三节 杆件变形的基本形式

尽管实际工程结构及构件的受力情况和变形状态多种多样，但就其基本变形而言，无外乎以下四种形式。

1. 轴向拉伸和压缩

当杆件受到与杆轴线重合的拉力作用时，会产生伸长变形（如图 1-3a）；当杆件受到与杆轴线重合的压力作用时，会产生缩短变形（如图 1-3b）。

2. 剪切与挤压

当杆件受到一对大小相等、方向相反、作用线平行但相距很近的外力作用时，会使这两力作用线之间的截面产生相对错动（如图 1-3c），这种变形形式称为剪切。

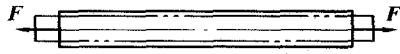
3. 扭转

当杆件受到一对大小相等、转向相反、作用面平行的外力偶作用时，会使此二力偶作用面间的横截面产生绕杆轴线的相对转动（如图 1-3d），这种变形形式称为扭转。

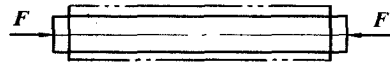
4. 弯曲

当杆件受到一对等值、反向、且作用于杆件的纵向对称平面内的力偶作用，或受到与杆轴线垂直的集中力或分布力作用时，杆件的轴线及与该轴线平行的任意一根纤维都会发生弯曲（如图 1-3e），这种变形形式称为弯曲变形。

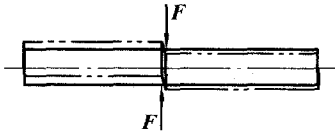
以上四种变形形式被称为基本变形。任意两种或几种基本变形组合而形成的变形称为组合变形，例如弯压（拉）组合变形、弯扭组合变形、斜弯曲、偏心压缩等。



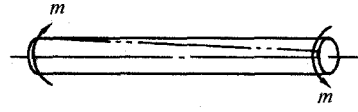
a) 轴向拉伸



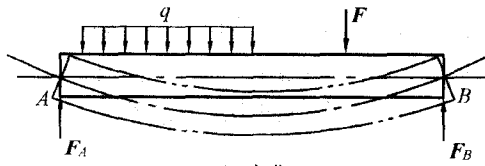
b) 轴向压缩



c) 剪切



d) 扭转



e) 弯曲

图 1-3

第二章 工程力学基础

工程力学基础是讲述对杆件及杆件结构进行强度、刚度和稳定性计算所必须的基本理论和基本概念。很好地理解和掌握这些基本理论和基本概念，对于后续各章的学习十分重要。

第一节 力的概念

一、力的定义

力是物体间相互的机械作用，这种作用产生的途径有两种：一种是通过物体间的直接接触而产生的，例如图 2-1a 所示重物 A ，当它与地面接触时，就对地面产生了压力 F'_N ，与此同时，地面给了重物 A 一个支承力 F_N ，如图 2-1b 所示。另一种是通过“场”产生的，例如，地球的引力场使物体产生重力，电场对电荷产生吸引力或排斥力等。

物体在力的作用下会产生运动和变形。这里所说的运动（包括物体的平动和转动）是力对物体作用的外效应，而变形则是力对物体作用的内效应。

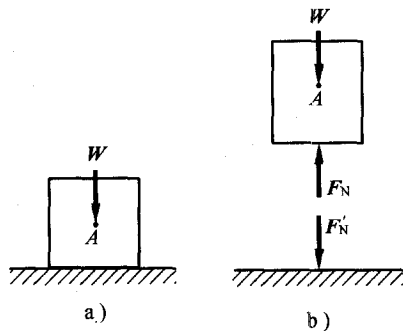


图 2-1

二、力的三要素及力的表示方法

力对物体的作用效应取决于力的大小、方向、作用位置。这个作用位置也就是两个物体间的接触面位置，当两物体间的接触面（作用面）相对于物体表面显得十分微小时，则可将这个接触面视为一个点。因此，力的大小、方向、作用点称为力的三要素。

由于力是具有大小和方向的量，故力是矢量。在文字表述中，用黑体的大写字母表示力矢量，例如 F 、 W 、 F_N 、 F'_N 等，用非黑体的大写字母表示力的大小，如 F 、 W 、 F_N 、 F'_N 分别表示力矢量 F 、 W 、 F_N 、 F'_N 的大小。在如图 2-2 所示物体的受力图上，则用一有向线段来表示力矢量 F ：线段 AB 的长度（ AB 两点间的距离）表示力 F 的大小；线段 AB 的起点 A 或终点 B 表示力 F 的作用点；线段 AB 与水平面（线）之间的夹角 α 表示力 F 的作用线方位，箭头表

示力 F 的指向。

由于力对物体的作用效应决定于力的三个要素，所以如图 2-3 中所示的两个相互平行的力 F_1 和 F_2 ，即使 $F_1 = F_2$ ，也会因 F_1 和 F_2 的作用点不同而使得 F_1 和 F_2 对物体的作用效应也不同，即 $F_1 \neq F_2$ 。

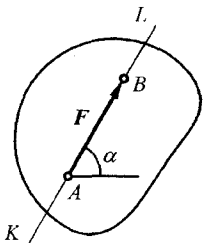


图 2-2

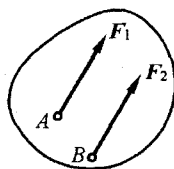


图 2-3

三、力的基本类型和单位

作用于物体上的力有两种基本类型。当物体间的接触面相对于物体表面显得很小时，可将其接触面视为一个点，作用于物体某点上的力，称为集中力，例如如图 2-4a 中重物 A 对物体 C 的作用力即为集中力，用 F (见图 2-4b) 表示，其单位为 N 或 kN。当力在物体上的作用位置不能视为一个点时，则此作用于物体上的力称为分布力，用 q 表示，其单位为 N/m^2 或 kN/m^2 。

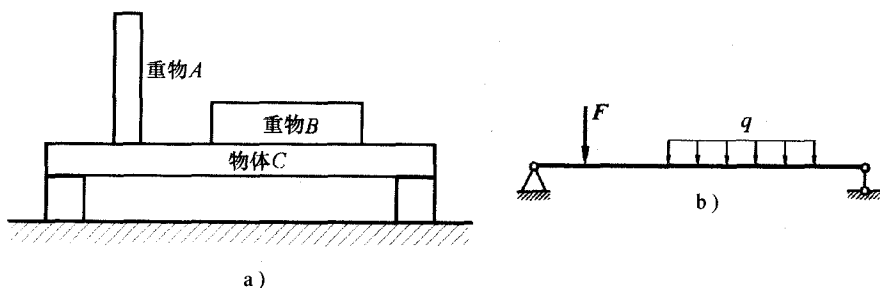


图 2-4

在工程中常需计算单位宽度上的分布力对物体的作用效应，这种单位宽度上的分布力称为线分布力，如图 2-4a 中重物 B 对物体 C 的作用力，可简化为如图 2-4b 所示的分布力 q ，其单位为 N/m 或 kN/m 。

四、力系、合力与分力

作用于同一物体或物体系上的一组力称为力系。例如，图 2-5a 所示物体上所作用的两个共点力是一个力系；图 2-6 所示物体上受若干个力的作用，这若干

个力也是一个力系。

如果某力对物体的作用效应与一个力系相同，则该力即为与其等效之力系的合力，即力系的合力就是力系的等效力。如图 2-5a 所示 F_1 和 F_2 力系，可由力的平行四边形法则求出它的合力 F_R ，则 F_R 也是该力系的等效力。力系中的各力都是该力系合力的分力，如图 2-5b 中 F_1 和 F_2 是 F_R 的分力；如果图 2-6 所示力系有合力 F_R ，则 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_i 和 F_n 都是 F_R 的分力。力系合力是力系中各力的矢量和，即

$$F_R = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n = \Sigma F \quad (2-1)$$

式 (2-1) 表明了力系合力与分力之间的关系。

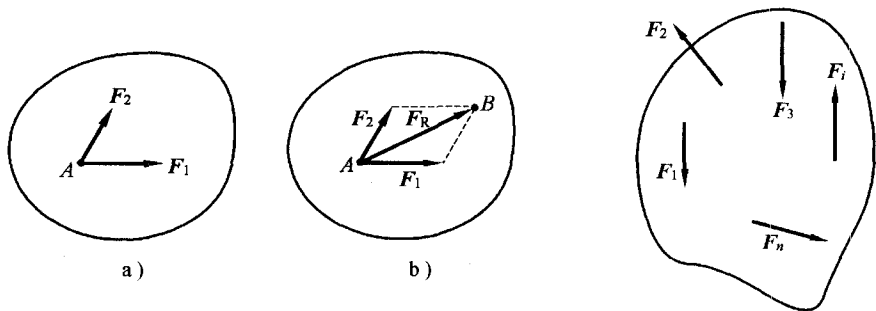


图 2-5

图 2-6

在中学物理中，已经学过用力的平行四边形法则将两个共点力合成为一个仍作用于该点的合力，当然也能用平行四边形法则将一个力分解为两个分力。但要使分力得到惟一解，就必须符合以下条件：

- 1) 已知两分力的大小，求其方向。
- 2) 已知两分力的方向，求其大小，如图 2-7a。

图 2-7a。

- 3) 已知一分力的大小和方向，求另一分力的大小和方向，如图 2-7b。

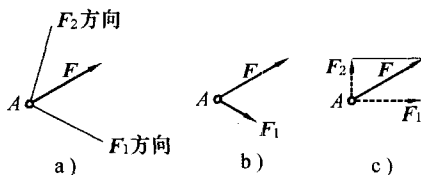


图 2-7

正交分解（两个分力的作用线相互垂直）是对力进行分解的常用方法，如图 2-7c。

五、平衡力系与力系的平衡条件

物体处于静止或作匀速直线运动的状态，称为平衡状态。作用于物体并使物体处于平衡状态的力系，称为平衡力系。作用在处于平衡状态物体上的力系必定是平衡力系。

力系的平衡条件，是指作用在处于平衡状态物体上的力系所应满足的条件。