



世纪高等教育土木工程系列规划教材

# 理论力学

王志伟 马明江 主编  
程 靳 主审

Tumnu Gongcheng Xilie Guihua Jiaoc



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

031  
130

21 世纪高等教育土木工程系列规划教材

# 理 论 力 学

主 编 王志伟 马明江  
副主编 孔宪宾 杨国义  
参 编 沈化荣 刘志钦 李 森  
梁坤京 刘 群 苏春艳  
主 审 程 新

江苏工业学院图书馆  
藏书章



机械工业出版社

本书分 I、II 两部分,共 18 章。第 I 部分为理论力学的基本内容,包括静力学、运动学、动力学三部分。静力学包括静力学基础和物体的受力分析、平面汇交力系与平面力偶系、平面任意力学、空间力系、摩擦;运动学包括点的运动学、刚体的基本运动、点的合成运动、刚体的平面运动;动力学包括质点动力学的基本方程、动量定理、动量矩定理、动能定理、达朗贝尔原理(动静法)、虚位移原理。第 II 部分为提高部分,包括碰撞、动力学普遍方程、机械振动基础。

本书在编写过程中既贯彻了教育部《高等工业学校理论力学教学基本要求》,又结合以培养应用型人才为主的普通高等学校的需求,融入了编者的教学经验,内容构架合理,难易适度,符合学生的认知规律,适合教师和学生教、学双方的需求。在编写方法上,本书增加了对学生的学习指导和创新训练的内容,以提高学习效率、增强学生的开拓意识和创新能力。

本书可作为普通高等工科院校的土建类专业(如土木工程、给排水工程等)的教材,也可供相关工程技术人员参考。

本书另配有 CAI 教学课件,向授课教师免费提供,需要者请参见书末的信息反馈表。

## 图书在版编目(CIP)数据

理论力学/王志伟,马明江主编. —北京:机械工业出版社,2006.6

(21 世纪高等教育土木工程系列规划教材)

ISBN 7-111-19039-4

I. 理... II. ①王... ②马... III. 理论力学—高等学校—教材  
IV. 031

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 040934 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:马军平 版式设计:霍永明 责任校对:申春香

封面设计:张静 责任印制:杨曦

北京蓝海印刷有限公司印刷

2006 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 14.125 印张 · 546 千字

定价:32.00 元

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) 68326294

编辑热线电话(010) 88379720

封面无防伪标均为盗版

# 序

随着 21 世纪国家建设对专业人才的需求，我国工程专门人才培养模式正在向宽口径方向转变，现行的土木工程专业包括建筑工程、交通土建工程、矿井建设、城镇建设等 8 个专业的内容。经过几年的教学改革和教学实践，组织编写一套能真正体现专业大融合、大土木的教材的时机已日臻成熟。

迄今为止，我国高等教育已为经济战线培养了数百万专门人才，为经济的发展作出了巨大贡献。但据 IMD1998 年的调查，我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标世界排名在第 36 位，与我国科技人员总数排名第一的现状形成了极大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员，特别是工程应用型技术人才供给不足。

科学在于探索客观世界中存在的客观规律，它强调分析，强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学理论和技术手段去改造客观世界的客观活动，所以它强调综合，强调实用性，强调方案的优选。这就要求我们对工程应用型人才和科学研究型人才的培养实施不同的方案，采用不同的教学模式，使用不同的教材。

机械工业出版社为适应高素质、强能力的工程应用型人才的需要而组织编写了本套系列教材，目的在于改革传统的高等工程教育教材，结合大土木的专业建设需要，富有特色，有利于应用型人才的培养。本套系列教材的编写原则是：

- 1) 加强基础，确保后劲。在内容安排上，保证学生有较厚实的基础，满足本科教学的基本要求，使学生日后发展具有较强的后劲。
- 2) 突出特色，强化应用。本套系列教材的内容、结构遵循“知识新、结构新、重应用”的方针。教材内容的要求概括为“精”、“新”、

“广”、“用”。“精”指在融会贯通“大土木”教学内容的基础上，挑选出最基本的内容、方法及典型应用实例；“新”指在将本学科前沿的新技术、新成果、新应用、新标准、新规范纳入教学内容；“广”指在保证本学科教学基本要求前提下，引入与相邻及交叉学科的有关基础知识；“用”指注重基础理论与工程实践的融会贯通，特别是注重对工程实例的分析能力的培养。

3) 抓住重点，合理配套。以土木工程教育的专业基础课、专业课为重点，做好实践教材的同步建设，做好与之配套的电子课件的建设。

我们相信，本套系列教材的出版，必将对我国土木工程专业教学质量的提高和应用型人才的培养产生积极作用，为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

江見鯨

# 前 言

本书是依据教育部《高等工业学校理论力学教学基本要求》，为满足以培养应用型人才为主的普通高等院校中土建类专业（本科）编写。

与一般的学术著作不同，作为一本教材，按着新的教学理念，它承担着更大的责任。首先，要按大学本科的要求，讲透相关知识，保持必要的理论性、系统性、完整性及创新性；其次，要使其内容易于理解、接受，以提高学生的学习效率，在规定的教学时间内，较好地掌握大纲要求的内容；其三，它还应该在培养学生分析问题、解决问题、创新能力上有所作为。这也就是本书编者要努力追求的目标。但是对理论力学这样的经典学科，其内容丰富，理论性强，与实践联系密切，要达到上述目标并非轻言之事。它要求编者精熟教材内容，统领、组织好多方面的素材，切实把握住读者的认知规律，设计一个好的构架，以精辟透彻的语言、紧凑的篇幅，总结本学科的主要成果。为此，本书编者在编写过程中，以教育部颁布的“理论力学基本要求”为依据尽力融合、汲取多方的教学经验，妥善处理好程序思维与创新思维的关系，在课程体系的构架上，在内容的取舍上，在对基本概念、基本理论、基本方法的阐述和重点、难点的处理上，在联系工程实际以及对例题、思考题、习题的选编上都作了某些新的尝试。

本书分 I、II 两部分。第一部分为理论力学的基本内容，包括静力学、运动学、动力学。静力学包括静力学基础和物体的受力分析、平面汇交力系和平面力偶系、平面任意力学空间力系和摩擦；运动学包括点的运动学、刚体的基本运动、点的合成运动和刚体的平面运动；动力学包括质点动力学的基本方程、动量定理、动量矩定理和动能定理。第二部分为提高部分，可满足对理论力学内容要求较多的专业的

需求, 也可为学有余力的同学提供深入学习的内容, 包括碰撞、动力学普遍方程和机械振动理论。本书由哈尔滨工业大学的程靳教授主审, 就本书内容的取舍和编排提出了许多宝贵意见和指导, 为本书增色不少, 在此深表谢意。

本书的 CAI 教学课件, 向授课教师免费提供, 需要者请参见书末信息反馈表中的联系方法。

由于编者水平有限, 书中缺陷和不妥之处在所难免, 敬请广大教师和读者批评指正。

**编 者**

# 目 录

序  
前言

## I 基本部分

### 静 力 学

引言 .....	3
<b>第 1 章 静力学基础和物体的受力分析 .....</b>	<b>4</b>
1.1 静力学公理 .....	4
1.2 约束与约束力 .....	8
1.3 物体的受力分析和受力图 .....	14
小结 .....	18
思考题 .....	18
习题 .....	19
<b>第 2 章 平面汇交力系与平面力偶系 .....</b>	<b>22</b>
2.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法 .....	22
2.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法 .....	25
2.3 平面内力对点的矩的概念及计算 .....	30
2.4 平面力偶理论 .....	31
小结 .....	36
思考题 .....	36
习题 .....	37
<b>第 3 章 平面任意力系 .....</b>	<b>39</b>
3.1 平面任意力系向作用面内一点简化 .....	39
3.2 平面任意力系的平衡条件和平衡方程 .....	41
3.3 物体系的平衡·静定和超静定问题的概念 .....	45
3.4 平面简单桁架的内力计算 .....	53
小结 .....	57
思考题 .....	57
习题 .....	58
<b>第 4 章 空间力系 .....</b>	<b>62</b>
4.1 空间汇交力系 .....	62



4.2 空间力对点的矩和力对轴的矩 .....	65
4.3 空间力偶 .....	69
4.4 空间任意力系向一点简化·主矢和主矩 .....	72
4.5 空间任意力系的平衡 .....	78
4.6 重心 .....	82
小结 .....	88
思考题 .....	89
习题 .....	89
<b>第5章 摩擦</b> .....	<b>94</b>
5.1 滑动摩擦 .....	94
5.2 摩擦角和自锁现象 .....	96
5.3 考虑摩擦时物体的平衡问题 .....	98
5.4 滚动摩阻的概念 .....	103
5.5 摩擦在工程中的应用 .....	107
小结 .....	111
思考题 .....	111
习题 .....	112

## 运 动 学

引言 .....	115
<b>第6章 点的运动学</b> .....	<b>118</b>
6.1 矢量法 .....	118
6.2 直角坐标法 .....	120
6.3 自然法 .....	126
6.4 点的速度和加速度在柱坐标和极坐标中的投影 .....	134
6.5 点的速度和加速度在球坐标中的投影 .....	136
小结 .....	137
思考题 .....	138
习题 .....	139
<b>第7章 刚体的基本运动</b> .....	<b>144</b>
7.1 刚体的平行移动 .....	144
7.2 刚体绕定轴的转动 .....	145
7.3 转动刚体内各点的速度和加速度 .....	150
7.4 轮系的传动比 .....	152
7.5 以矢量表示角速度和角加速度·以矢积表示点的速度和加速度 .....	155
小结 .....	158
思考题 .....	158
习题 .....	159

<b>第 8 章 点的合成运动</b> .....	161
8.1 几个基本概念 .....	161
8.2 点的速度合成定理 .....	163
8.3 点的加速度合成定理 .....	166
小结 .....	172
思考题 .....	173
习题 .....	175
<b>第 9 章 刚体的平面运动</b> .....	180
9.1 刚体平面运动的概念和运动分解 .....	180
9.2 求平面图形内各点速度的基点法 .....	187
9.3 求平面图形内各点速度的瞬心法 .....	191
9.4 用基点法求平面图形内各点的加速度 .....	195
9.5 运动学综合应用举例 .....	200
小结 .....	204
思考题 .....	206
习题 .....	207

## 动 力 学

引言 .....	211
<b>第 10 章 质点动力学的基本方程</b> .....	213
10.1 动力学的基本定律 .....	213
10.2 质点的运动微分方程 .....	216
小结 .....	224
思考题 .....	225
习题 .....	225
<b>第 11 章 动量定理</b> .....	228
11.1 动量与冲量 .....	229
11.2 动量定理 .....	233
11.3 质心运动定理 .....	242
小结 .....	250
思考题 .....	251
习题 .....	252
<b>第 12 章 动量矩定理</b> .....	256
12.1 刚体对轴的转动惯量 .....	256
12.2 质点和质点系的动量矩 .....	261
12.3 动量矩定理 .....	264
12.4 刚体绕定轴的转动微分方程 .....	267
12.5 质点系相对于质心的动量矩定理 .....	269

12.6 刚体的平面运动微分方程 .....	274
小结 .....	277
思考题 .....	279
习题 .....	280
<b>第 13 章 动能定理</b> .....	<b>285</b>
13.1 力的功 .....	285
13.2 质点和质点系的动能 .....	290
13.3 动能定理 .....	293
13.4 功率·功率方程·机械效率 .....	296
13.5 势力场·势能·机械能守恒定律 .....	300
13.6 动力学普遍定理的综合应用 .....	304
小结 .....	308
思考题 .....	310
习题 .....	312
<b>第 14 章 达朗贝尔原理 (动静法)</b> .....	<b>317</b>
14.1 惯性力·质点的达朗贝尔原理 .....	317
14.2 质点系的达朗贝尔原理 .....	321
14.3 刚体惯性力系的简化 .....	324
14.4 绕定轴转动刚体的轴承约束力 .....	329
小结 .....	331
思考题 .....	331
习题 .....	332
<b>第 15 章 虚位移原理</b> .....	<b>336</b>
15.1 约束及约束方程 .....	336
15.2 虚位移·虚功及理想约束 .....	338
15.3 自由度和广义坐标 .....	339
15.4 虚位移原理 .....	340
小结 .....	346
思考题 .....	346
习题 .....	347

## II 提高部分

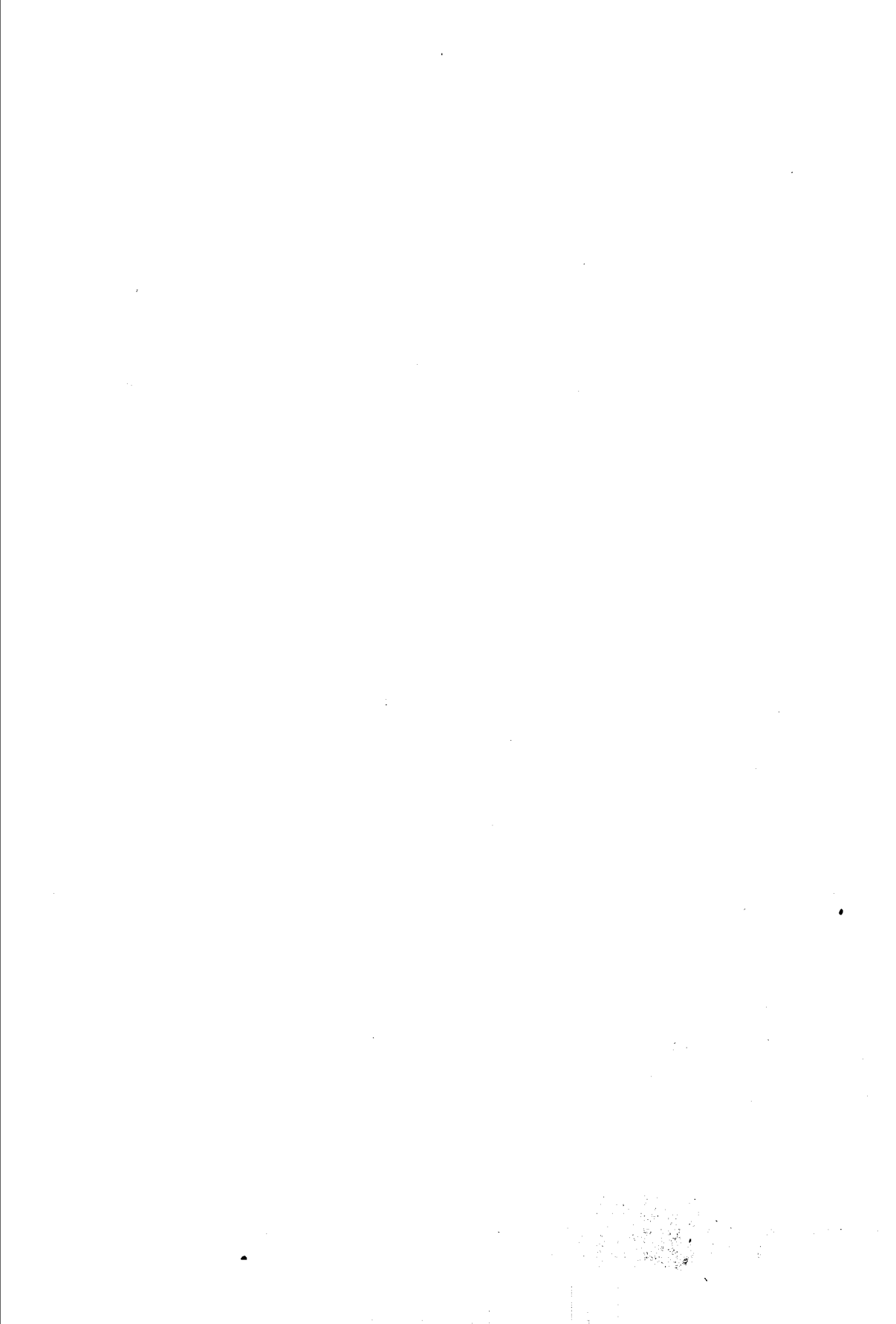
<b>第 16 章 碰撞</b> .....	<b>355</b>
16.1 碰撞的分类·碰撞问题的简化·恢复因数 .....	355
16.2 用于碰撞过程的基本定理 .....	357
16.3 两球的碰撞 .....	359
16.4 碰撞冲量对绕定轴转动刚体的作用·撞击中心 .....	363

小结 .....	366
思考题 .....	367
习题 .....	367
<b>第 17 章 动力学普遍方程 .....</b>	<b>371</b>
17.1 自由度和广义坐标 .....	371
17.2 动力学普遍方程 .....	373
小结 .....	376
思考题 .....	377
习题 .....	377
<b>第 18 章 机械振动基础 .....</b>	<b>380</b>
18.1 单自由度系统的自由振动 .....	380
18.2 单自由度系统的有阻尼自由振动 .....	387
18.3 单自由度系统的无阻尼受迫振动 .....	392
18.4 单自由度系统的有阻尼受迫振动 .....	398
18.5 隔振 .....	402
18.6 两个自由度系统的自由振动 .....	405
18.7 两个自由度系统的受迫振动 .....	412
小结 .....	415
思考题 .....	416
习题 .....	417
<b>部分习题答案 .....</b>	<b>424</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>437</b>

I

---

基 本 部 分





## 第 1 章

# 静力学基础和物体的受力分析

物理学中已经阐明力的本质是物体间的相互机械作用，力可以使物体的运动状态发生变化，称为力的外效应；力同时可以使物体的形状发生变化，称为力的内效应。理论力学的任务是研究力对物体的外效应。力对物体的作用效应，既与力的大小有关，又与力的方向、力的作用点有关。力的大小、方向、作用点构成力的三要素。就数学而言，力是一个矢量，一般用  $F$  表示，它在图上可以用有向线段表示。同时作用在物体上的两个以上的一群力称为力系。对同一物体产生有相同效应的力系称为等效力系。如果一个力能与一个力系等效，则称此力为该力系的合力。

物理学中称一个处于相对静止或作匀速直线运动的物体为处于平衡状态。满足平衡条件的力系称为平衡力系。

在研究力对物体的外效应时，如果物体的变形很微小，可以将这种变形的影响略去不计，则可将物体视为不变形的物体。我们称受力后不变形的物体为刚体（科学抽象）（Rigid Body）。在理论力学中，我们把物体全部简化为刚体。因此，理论力学又称为刚体力学。

### 1.1 静力学公理

#### 1.1.1 二力平衡公理

**二力作用在同一刚体上，使刚体处于平衡状态的充要条件是：该二力必须等值、反向和共线。此力系称为平衡力系。**

图 1-1 所示两种情况均满足二力平衡公理。其中 a 图所示的二力有使杆拉伸的趋势，称为拉力；b 图所示二力有使杆压缩的趋势，称为压力。

图 1-2 所示两种情况均为一绳索受二等值、反向力作用。a 图所示二力显然为平衡力，而 b 图所示二力，由于此时绳索在压力下不能再视为刚体，所以不能



平衡。

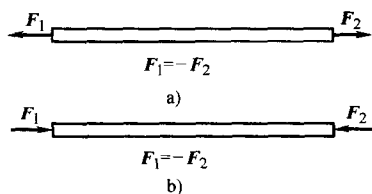


图 1-1

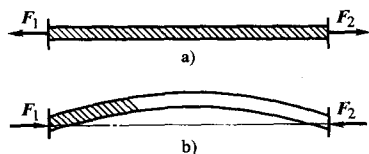


图 1-2

图 1-3 所示状况，虽然二力等值，反向又共线，但由于不是作用于同一刚体，因此不能平衡。



图 1-3

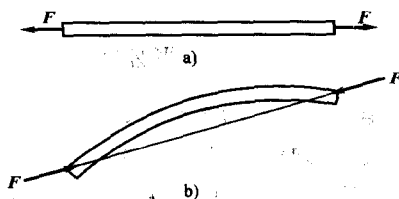


图 1-4

二力平衡是一切平衡力系的基础。建筑结构中受二力平衡的杆件很多，钢筋受拉平衡，柱子受轴向压力平衡都属于这一类。力学中将受到二力而平衡的杆件（直杆曲杆均可）称为二力杆，图 1-4 所示两种情况均为二力杆。对于只在两点上受力而平衡的杆件，应用二力平衡公理可以确定其未知力的方位。

### 1.1.2 加减平衡力系公理

作用于同一刚体的某力系上增加或减去任意平衡力系，并不改变原力系对该刚体的效应。这一公理表明，加减平衡力系后，新力系与原力系等效。

根据这个公理可以导出力沿作用线的可传性定理。图 1-5b 比图 1-5a 增加了一对等值共线的平衡力，因为  $F_1 = F_2 = F$ ，根据加减平衡力系公理，显然图 a 与图 b 二力系为等效力系，由于图 b 中  $F$  与  $F_2$  也是一对平衡力，将此平衡力减去即成图 c 所示力系，同理图 b 与图 c 力系等效，由此证明图 a 与图 c 力系等效，但此时力已由刚体的 A 点沿作用线移到了 B 点，而未改变原力系对它的作用效果。

根据力的可传性，力三要素中的作用点可改为作用线。因此，力矢量是滑移矢量。

力的可传性定理对刚体是必要而充分的，对变形体则只是必要的但不充分，例如图 1-2b 中的绳索。