



机械原理

考研指导

张志强 孙江宏 王雪雁 等编著

概括总结基础知识
详细剖析重点难点
全面精解典型例题
精心选择实战习题



清华大学出版社

机械原理考研指导

张志强 孙江宏 王雪雁 等编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

机械原理是高等院校机械类专业开设的专业基础课程,它是所有相关后续专业课程和毕业设计等的重要基础,同时也是全国高校机械类专业硕士研究生入学考试课程。为了帮助广大的考研学生进行系统复习,根据国家教育部(原国家教委)颁布的高等工科院校《机械原理课程教学基本要求》以及教学实践的积累,编写了本书。

为了满足不同水平院校的考生要求,经过反复讨论,并征求了大量一线教师的意见,将一些通用原则和方法的指导放在首位,并结合大量有关实例进行了讲解。最后还给出了两套模拟试题,部分高等院校的考研试题,以及习题和模拟试题的答案。

本书力求科学性、先进性、指导性,既能促进高等工科类院校学生的机械原理学习,又不脱离大多数一般院校的实际,提供切实可行的参考实例。

本书可供机械类研究生报考人员以及高等院校、相关专业的师生使用,亦可供有关工程技术人员参考。

版权所有,翻印必究。 举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理考研指导/张志强,孙江宏,王雪雁等编著. —北京:清华大学出版社,2004.10

ISBN 7-302-09172-2

I.机… II.①张…②孙…③王… III.机构学—研究生—入学考试—自学参考资料 IV.TH111

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第078097号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 客 户 服 务:010-62776969

组稿编辑:章忆文

文稿编辑:许瑛琪

封面设计:陈刘源

印 刷 者:北京嘉实印刷有限公司

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印 张:20 字 数:480千字

版 次:2004年10月第1版 2004年10月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-09172-2/TH·131

印 数:1~4500

定 价:28.00元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103或(010)62795704

前 言

机械原理是高等院校机械类专业开设的技术基础课程，它是所有相关后续专业课程和毕业设计等的重要基础，同时也是全国高校机械类专业硕士研究生入学考试课程。目前，我国高等工科类院校超过 400 所，机械类专业在校生占全国高校在校生总数的 20%。为了帮助广大的考研学生学习和提高，特别是进行系统复习，我们根据国家教育部(原国家教委)颁布的高等工科院校《机械原理课程教学基本要求》及教学实践的积累，编写了本书。

由于高校众多，水平不同，要在有限的篇幅内完成对各类机械专业课程有针对性的指导是相当困难的。为了解决这方面的问题，我们经过反复讨论，并征求了大量一线教师的意见，将一些通用原则和方法的指导放在首位，并结合大量相关实例进行了讲解。

本书共分 12 章。前 10 章主要是按照高等教育出版社出版的《机械原理》一书的体系结构进行分类，第 11 章提供了两套模拟试题，第 12 章精选了部分高等院校的考研试题，并在最后提供了习题和模拟试题的答案。

每章内容包括：

- (1) 基础知识 对有关的知识进行概括性总结，考虑到考研学生是有一定基础的，所以偏重基础知识的提高。
- (2) 重点和难点 首先分析了本章学习的一些重点内容，包括概念、理论、机构分析与设计方法的总结性说明和指导，并对难点作了较深入的说明。
- (3) 例题精解 选编的例题大多来自于研究生入学考试题、本科生考试题及国内外有关机械原理教材、习题集和学习指导书等，另外采用了高等教育出版社出版的机械原理题库中的一些比较好的习题。例题基本上是按照教师的实践经验选取的，力求反映《机械原理》的基本要求，加深对基本内容的理解。
- (4) 习题。

在选择习题的过程中，我们考虑到了当前的考研形势。从最近几年看，基本上各校所出的考题都有难度相对下降的趋势，这主要是由于扩大招生的缘故。而且，机械原理考题的具体类型不是非常多，所以我们主要对典型题型和一些有代表性的例题进行了总结，并选择了一些高等工科院校最新的试题。目的在于使学生或考生了解和掌握不同类型题目的解题方法和技巧，以便扩大解题思路，培养分析和解决实际问题的能力。

本书力求科学性、先进性、指导性，既能促进高等工科类院校学生的机械原理学习，又不脱离大多数一般院校的实际，提供切实可行的参考实例。读者对象是机械原理硕士研究生报考人员及本科、专科学生，也可供教师及有关工程技术人员参考。

本书由张志强、孙江宏主编。参加本书编写工作的有王雪雁、高宏、吕学威、马尉等。另外，本书的编写得到了北京机械工业学院机械工程系的大力支持，在此表示深深的感谢。

由于作者水平有限,编写时间较短,书中欠妥之处在所难免,希望读者和同仁能够及时指出,并通过 E-Mail 地址 sunjianghong@263.net 联系,共同促进本书质量的提高。读者对于未提供答案的各大院校考研试题,也可以通过该地址联系解答内容。

作者

2004年8月于北京

目 录

第 1 章 平面机构的结构分析	1
1.1 基础知识	1
1.1.1 机构的组成	1
1.1.2 机构运动简图及其绘制	1
1.1.3 机构的自由度计算	2
1.1.4 平面机构的组成原理及结构分析	3
1.2 重点和难点	3
1.2.1 本章重点	3
1.2.2 本章难点	3
1.3 例题精解	4
1.4 习题	10
第 2 章 平面机构的运动分析	14
2.1 基础知识	14
2.1.1 速度瞬心法	14
2.1.2 矢量方程图解法	14
2.1.3 图解法对平面机构进行运动分析	16
2.1.4 用解析法作平面机构的运动分析	17
2.2 重点与难点	17
2.2.1 本章重点	17
2.2.2 本章难点	17
2.3 例题精解	17
2.4 习题	27
第 3 章 平面连杆机构及其设计	31
3.1 基础知识	31
3.1.1 平面四杆机构的基本形式及演化形式	31
3.1.2 有关四杆机构的一些基本知识	31
3.1.3 平面四杆机构的设计	33
3.2 重点与难点	34
3.2.1 本章重点	34
3.2.2 本章难点	34
3.3 例题精解	35

3.4 习题	47
第 4 章 机械中的摩擦和机械效率	51
4.1 基础知识	51
4.1.1 作用在机械上的力	51
4.1.2 机械中的摩擦和运动副总反力	51
4.1.3 机械的效率	53
4.1.4 机械的自锁	54
4.2 重点和难点	56
4.2.1 本章重点	56
4.2.2 本章难点	56
4.3 例题精解	56
4.4 习题	66
第 5 章 凸轮机构及其设计	71
5.1 基础知识	71
5.1.1 凸轮机构的分类	71
5.1.2 推杆运动规律及其特性	71
5.1.3 凸轮轮廓曲线的设计	71
5.1.4 凸轮机构基本尺寸的确定	73
5.2 重点与难点	74
5.2.1 本章重点	74
5.2.2 本章难点	74
5.3 例题精解	75
5.4 习题	85
第 6 章 齿轮机构及其设计	92
6.1 基础知识	92
6.1.1 齿轮的齿廓曲线	92
6.1.2 渐开线标准齿轮	93
6.1.3 渐开线齿轮的变位修正	95
6.1.4 斜齿圆柱齿轮传动	97
6.1.5 蜗杆传动	98
6.1.6 圆锥齿轮传动	98
6.1.7 齿轮传动的传动比及从动轮的转向	99
6.2 重点与难点	100
6.2.1 本章重点	100
6.2.2 本章难点	100
6.3 例题精解	101
6.4 习题	111

第7章 轮系	116
7.1 基础知识.....	116
7.1.1 轮系的分类.....	116
7.1.2 轮系传动比的计算.....	116
7.1.3 行星轮系各轮齿数的确定.....	118
7.2 重点与难点.....	119
7.2.1 本章重点.....	119
7.2.2 本章难点.....	119
7.3 例题精解.....	119
7.4 习题.....	130
第8章 机械的运转及其速度波动的调节	136
8.1 基础知识.....	136
8.1.1 本章主要内容.....	136
8.1.2 机械运转过程及运动状态.....	136
8.1.3 作用在机械上的驱动力及生产阻力.....	136
8.1.4 机械的运动方程式.....	137
8.1.5 机械运转的速度波动及其调节方法.....	138
8.2 重点与难点.....	139
8.2.1 本章重点.....	139
8.2.2 本章难点.....	140
8.3 例题精解.....	140
8.4 习题.....	147
第9章 机械的平衡	152
9.1 基础知识.....	152
9.1.1 机械平衡的目的及平衡问题.....	152
9.1.2 刚性转子的静平衡.....	152
9.1.3 刚性转子的动平衡.....	152
9.1.4 转子的平衡计算及平衡实验.....	153
9.2 重点与难点.....	154
9.2.1 本章重点.....	154
9.2.2 本章难点.....	154
9.3 例题精解.....	154
9.4 习题.....	159
第10章 其他常用机构	162
10.1 基础知识.....	162
10.1.1 棘轮机构.....	162

10.1.2 槽轮机构	162
10.1.3 万向铰链机构	164
10.1.4 螺旋机构	164
10.1.5 组合机构	165
10.2 重点与难点	165
10.3 例题精解	165
10.4 习题	170
第 11 章 研究生入学考试模拟题	173
模拟试题(一)	173
模拟试题(二)	177
第 12 章 部分高校硕士研究生入学试题精选	181
东北大学	181
哈尔滨工业大学	183
西南交通大学	190
华中科技大学	193
武汉理工大学	195
北京航空航天大学	198
西安交通大学	203
北方交通大学	205
北京理工大学	207
合肥工业大学	211
西北工业大学	214
天津大学	221
西安理工大学	226
中国农业大学	230
清华大学	234
东南大学	236
华南理工大学	239
北京科技大学	248
浙江大学	252
附录 A 各章习题参考答案	256
附录 B 研究生入学考试模拟题答案	304
参考文献	310

第1章 平面机构的结构分析

1.1 基础知识

1.1.1 机构的组成

构件是机构中独立运动的单元体，是组成机构的基本要素。而零件是制造的单元体。实际的构件可以是一个零件也可以是由若干个零件固联在一起的一个独立运动的整体。构件在图形表达上是最简单的线条或几何图形来表示的，但从运动学的角度来看，构件又可视作任意大的平面刚体。

运动副是由两构件直接接触而组成的相对可动的链接，也是组成机构的又一基本要素。运动副的基本特征：①具有一定的接触形式，并把两构件参与接触的表面称为运动副元素；②能产生一定形式的相对运动。因此，运动副可按其接触形式分为高副(即点或线接触的运动副)和低副(即面接触的运动副)。又可按所能产生相对运动的形式分为转动副、移动副、螺旋副及球面副等。两构件构成运动副应至少要引入一个约束，也至少要保留一个自由度。构成运动副的两构件之间的相对运动为平面运动的运动副统称为平面运动副，两构件之间的相对运动为空间运动的运动副统称为空间运动副。

运动链是两个或两个以上构件通过运动副连接而构成的相对可动的系统。运动链可以是首末封闭的闭链，也可以为未封闭的开链，其又有平面运动链和空间运动链之分。

机构从其功能来理解是一种用来传递运动和力的可动装置。从机器的特征来看，机构是具有确定相对运动规律的构件组合体。从机构组成来看，机构是具有固定构件的运动链。机构中的固定构件称为机架，按给定的已知运动规律独立运动的构件称为原动件，而其余活动构件称为从动件。从动件的运动规律决定于原动件的运动规律和机构的结构。

1.1.2 机构运动简图及其绘制

机构的运动仅与机构中的运动副的机构情况(转动副、移动副及高副等)和机构的运动尺寸(由各运动副的相对位置确定的尺寸)有关，而与机构的外形尺寸等因素无关。因此，根据机构的运动尺寸，按一定的比例尺定出各运动副的位置，再用规定的运动副的代表符号及常用机构的代表符号和简单的线条或几何图形将机构的运动情况表示出来，这种简单的图形称为机构运动简图。机构运动简图不仅表示机构的组成和运动情况，而且可以被用来进行机构的运动分析和力分析。

绘制机构运动简图的方法及步骤：

- (1) 通过观察和分析机械的运动情况和实际组成，先搞清机械原动部分和执行部分，

然后循着运动传递的路线分析,查明组成机构的构件数目和各构件之间组成的运动副的类别、数目及各运动副的相对位置。

- (2) 恰当地选择投影面。选择时应以能简单、清楚地把机构的运动情况表示出来为原则。一般选机构中的多数构件的运动平面为投影面。
- (3) 选取适当的比例尺。根据机构的运动尺寸,先确定出各运动副的位置(即转动副的中心位置、移动副的导路方位及高副的接触点的位置等),并画上相应的运动副符号,然后用简单线条或几何图形连接起来,最后要标出构件号数字及运动副的代号字母,以及标出原动件的转向箭头,便给出了机构运动简图。

1.1.3 机构的自由度计算

机构的自由度是机构具有确定运动时所需的独立运动参数的数目(也即为了使机构的位置得以确定,必须给定的独立的广义坐标的数目)。为了使机构能按照一定的要求进行运动变换和动力传递,机构必须具有确定的运动。机构运动确定的条件是机构原动件的数目应等于机构自由度的数目。否则机构的运动将不确定或没有运动的可能性。因此,在机构分析与综合时,必须考虑所绘制的机构是否满足机构具有确定运动的条件。只有在机构具有确定的运动时,才能对其进行结构分析、运动分析和受力分析等。

这里主要考虑平面机构自由度的计算。平面机构自由度的计算公式为

$$F = 3n - 2p_L - p_H \quad (1-1)$$

式中, n ——机构中活动构件的数目;

p_L ——机构中低副的数目;

p_H ——机构中高副的数目。

用式(1-1)计算机构自由度时,必须注意下列3种情况:

1. 正确计算运动副的数目

- $m(m \geq 3)$ 个构件同在一处以转动副联接时,则构成复合铰链,其转动副的数目应等于 $m-1$ 个。
- 两构件在多处接触而构成移动副,且各导路方向彼此平行或重合,则只能算一个移动副。
- 两构件在多处接触而构成转动副,且转动轴线重合,则只能算一个转动副。
- 两构件在多处接触而构成平面高副,且各接触点的公法线彼此重合,则只能算一个高副。
- 如果两构件在多处接触而形成平面高副,但各接触点处公法线方向并不彼此重合,而是相交或平行者,则应算作两个平面高副或相当于一个低副。其他情况因提供独立约束数大于等于3,故应视为固联。

2. 除去局部自由度

在一些机构中,某些构件所产生的不影响整个机构运动的局部运动的自由度称为局部自由度。在计算机构自由度时,可将产生局部运动的构件与其相连接的构件焊接在一起,

视为同一构件，以达到除去构件中的局部自由度的目的。

3. 除去虚约束

在机构中实际上起重复约束作用的约束称为虚约束。在计算机构自由度时，可将引入虚约束的运动副或运动链部分除去不计，以达到去除机构中虚约束的目的。由于虚约束出现在特定几何条件下，而且具体情况又较为复杂，故需要仔细分析，甚至需要通过几何证明来加以判断。因此，虚约束的判别是本章的难点。

总之，在计算机构的自由度时，首先要正确分析并明确指出机构中存在的复合铰链、局部自由度和虚约束，在排除了局部自由度及虚约束之后，再利用式(1-1)进行计算。最后还应检查计算得到的机构自由度数目是否与原动件的数目相等。

平面机构自由度的另一种计算方法是，先分析并明确指出机构中存在的复合铰链、局部自由度和虚约束，同时确定出局部自由度的数目 F' 和虚约束的数目 p' ，然后再直接根据原机构来计算其自由度。自由度计算公式为

$$F = 3n - (2p_L + p_H - p') - F' \quad (1-2)$$

式中 n 、 p_L 、 p_H 分别为未排除局部自由度及虚约束时机构的活动件数、低副数及高副数。

1.1.4 平面机构的组成原理及结构分析

自由度为零的运动链称为杆组。机构是由若干个杆组依次连接于原动件和机架上构成的，其方法称为机构的组成原理。高副低代是将机构运动简图中原有高副用低副取代。方法是：先找到组成高副两曲线在接触处的曲率中心，作为假想的低副构件的两铰链中心，再用直线将这两曲率中心连起来。这种替代不改变原机构的自由度、瞬时速度和瞬时加速度。

对于本章中平面机构的组成原理，结构分析以及平面机构的高副低代的内容，应着重掌握机构的组成分析、机构的级别判别及机构高副低代的方法。

1.2 重点和难点

1.2.1 本章重点

本章的重点是机构运动简图的绘制、机构自由度的计算和机构具有确定运动的条件，机构的组成原理及结构分析，以及机构组成中的构件、运动副、运动链及机构等概念。

1.2.2 本章难点

由于虚约束出现在特定几何条件下，而且具体情况又较为复杂，故本章难点是机构中虚约束的正确判别。机构中的虚约束常发生在下列情况：

- 轨迹重合。在机构中，如果用转动副连接的是两构件上运动轨迹相重合的点，则该连接将带入一个虚约束。
- 用双转动副杆连接两运动构件上距离恒定不变的两点。机构在运动过程中，若两构件上某两点之间的距离始终保持不变，如用双转动副杆将此两点相连，则将带入一个虚约束。
- 结构重复或对称。机构中某些不影响机构运动传递的重复部分或对称部分所带入的约束均为虚约束。

1.3 例题精解

例 1-1 计算图 1.1 所示机构的自由度，并确定应给原动件的数目。

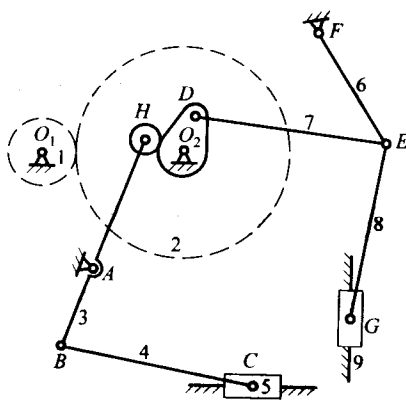


图 1.1

解:

E 处为复合铰链，滚子 H 的转动为局部自由度，应除去，
 $n=9$ ， $p_L=12$ ， $p_H=2$ ，

$F=3n-2p_L-p_H=3\times 9-2\times 12-2=1$ ，原动件数=1。

例 1-2 试计算图 1.2 所示的齿轮—连杆组合机构的自由度。

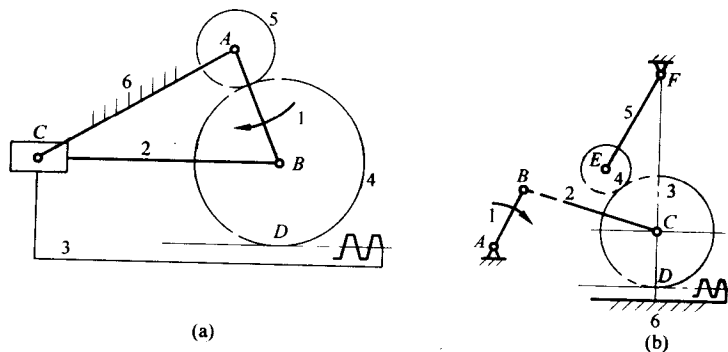


图 1.2

例 1-4 试审查图 1.4 所示简易冲床的设计方案简图是否合理？为什么？如不合理，请绘出正确的机构简图。

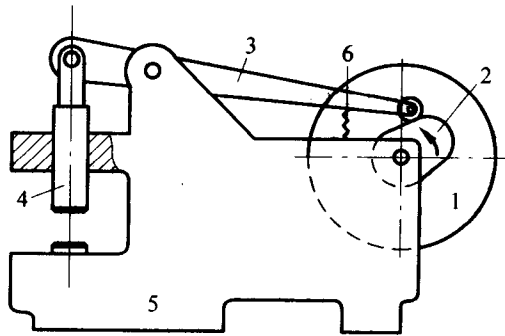


图 1.4

解题要点：

此设计方案简图是不合理的。因为按此设计方案图，其自由度为 0：

$$F = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 1 = 0$$

即运动链不能动，因而不是机构。

解：

可将机构简图修改为如图 1.5 所示机构。

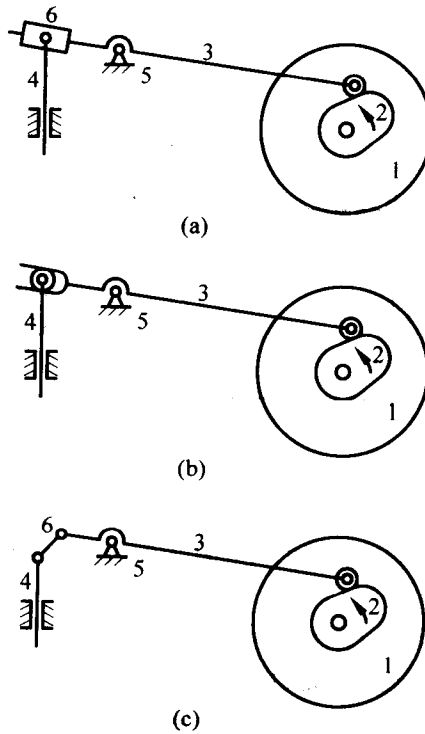


图 1.5

例 1-5 试求图 1.6 所示机构的自由度，并画出高副低代的机构简图。

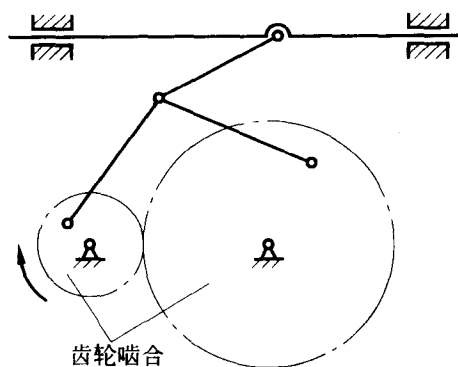


图 1.6

解:

(1) 自由度: $F = 3n - 2p_l - p_H = 3 \times 6 - 2 \times 8 - 1 = 1$

(2) 高副低代后的简图如图 1.7 所示。

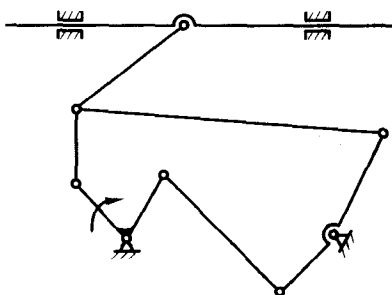


图 1.7

例 1-6 对如图 1.8 示机构进行高副低代，杆组分析，并说明是几级机构。

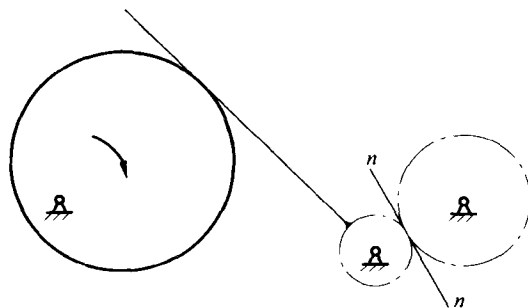


图 1.8

解:

(1) 高副低代，如图 1.9(a)所示。

(2) 杆组分析，如图 1.9(b)所示。

该机构为 II 级机构。

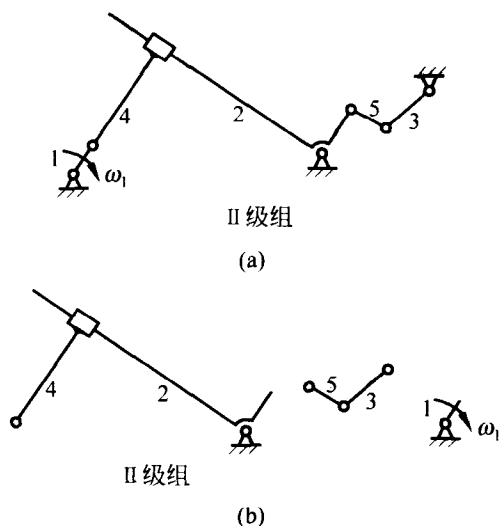


图 1.9

例 1-7 试对图 1.10 所示机构：

- (1) 计算机构自由度。
- (2) 进行高副低代。
- (3) 若取凸轮为原动件，此机构是几级机构？若滑块为原动件，说明此机构是几级机构，并划分杆组。

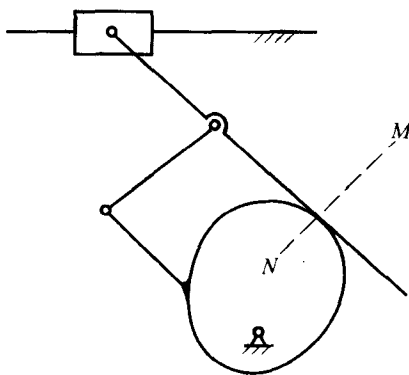


图 1.10

解：

(1) 自由度： $F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 1 = 1$

(2) 低代后的机构，如图 1.11(a)所示。

(3) 取凸轮为原动件是 III 级机构，如图 1.11(b)所示；取滑块为原动件是 II 级机构，如图 1.11(c)所示。

例 1-8 图 1.12 所示运动链能否具有确定运动并实现设计者意图？如不能，应如何修改？画出修改后的机构运动简图(改进方案应保持原设计意图，原动件与输出构件的相对位置不变，固定铰链位置和导路位置不变)。