
应 用 机 构 学

上 册

华东纺织工学院
机械原理与零件教研组
一九八一年十二月

序

我国在实现社会主义四个现代化的进程中，国民经济各个生产部门必然朝着机械化和自动化的方向发展，这是机械设计人员面临的一项艰巨任务。

设计一台新机器时，完整的过程要包括运动设计、动力设计、强度设计及结构设计等，其中首先是机构的运动设计，这项工作将直接影响到机器的构造、性能及其使用效果。机构运动分析是其运动设计的基础，这两部分内容相互渗透，密切相关。机构学讨论的主要问题就是机构的运动分析和运动设计。

机构学是一门理论密切联系实际学科。作者多年来从事这方面的教学工作，比较注重收集和研究生产实践中涌现出来的机构学问题协助有关部门解决机构分析和综合的课题；在此基础上总结了一些便于应用和推广的设计计算方法。这些将组成本书的基本内容。此外，书中还运用国内同志的有关论著及适当引进国外学者发表成果，并尽可能适应我国纺织机械工业的实际状况。

机构学的研究方法有图解法与解析法之分，两者各有优点。图解法适用于精度低的机构设计或为精度高的设计计算提供初始近似值。随着电子计算机引进机构学这门学科，机构分析和综合的方法正在不断革新。按作者近几年的工作体会，原先用图解法十分繁琐的课题，如连杆机构的运动分析，凸轮廓线的设计等，运用电子计算机已为简易可行即使过去用图解法难以解决的复杂机构的分析与综合，运用电子计算机也可获得满意的结果。本书将以解析法为主，书中提供的方法及由此导出的公式，尽量便于在电子计算机上求解，也适当照顾到应用一般电子计算机运算。

本书列举的大量例题，主要取材于纺织机器，其次是轻工业机器及其它机器。每个机构都是为了完成某种生产动作，包含着一定的工艺性。但是，机构学不是单纯研究纺纱机中的机构或者织布机中的机构，而是着重探讨这些机构共同的分析 and 设计方法。本书正是按此原则编排的，在举例时尽量撇开触及具体专业的名词和术语，以使更多

读者从中吸取所需的材料。

本书第一至第七章及附录由华大年撰写，第八章由张代昌撰写。
者限于水平，书中缺点和错误难免，望有关同志和读者指正。

目 录

序	1
第一章 平面机构的组成原理	1 - 1
§ 1 - 1 机构运动简图	1 - 1
§ 1 - 2 平面机构的自由度	1 - 4
§ 1 - 3 局部自由度和虚约束	1 - 5
§ 1 - 4 低副代高副法	1 - 8
§ 1 - 5 低副的几何性质	1 - 13
§ 1 - 6 平面连杆机构按基本杆组的分类 方法	1 - 15
第二章 平面连杆机构的运动分析	2 - 1
§ 2 - 1 平面四杆机构的运动分析	2 - 1
§ 2 - 2 II级平面多杆机构的运动分析	2 - 10
§ 2 - 3 高级平面连杆机构的运动分析	2 - 31
第三章 平面连杆机构的设计	3 - 1
§ 3 - 1 按从动件的急回特性设计平面连 杆机构	3 - 1
§ 3 - 2 按从动摇杆的大摆角设计平面连 杆机构	3 - 15
§ 3 - 3 按连杆的位置设计平面连杆机构	3 - 19
§ 3 - 4 按主、从动杆的相对位置设计平 面连杆机构	3 - 29

§ 3 - 5	按从动杆近似停顿的要求设计平面连杆机构 (一)——利用平面四杆机构的极限位置	3 - 42
§ 3 - 6	按从动杆近似停顿的要求设计平面连杆机构 (二)——利用连杆曲线	3 - 56
§ 3 - 7	按给定轨迹设计平面连杆机构	3 - 68
§ 3 - 8	实现直线导向的平面连杆机构的设计	3 - 70
§ 3 - 9	按从动件近似等速运动的要求设计平面连杆机构	3 - 83
§ 3 - 10	高级平面连杆机构的应用	3 - 102
第四章	空间连杆机构	4 - 1
§ 4 - 1	空间连杆机构的特点	4 - 1
§ 4 - 2	空间连杆机构中的运动副	4 - 1
§ 4 - 3	空间连杆机构的自由度	4 - 3
§ 4 - 4	空间连杆机构的运动分析	4 - 5
§ 4 - 5	空间四杆机构的设计	4 - 21
参考文献 (上册)		4 - 39

第一章 平面机构的组成原理

机构运动简图是机构学研究的对象。从实际机器中抽象出机构运动简图，判别其中可能存在的局部自由度和虚约束，计算该机构的自由度，以及熟悉运动副间的转换与其不同表示方法等，是我们从事机构分析和综合所必须掌握的基本知识。本章将环绕机构运动简图来讨论这些问题。

平面机构按基本杆组分类的方法，对研究平面多杆机构有指导作用，本章也将作扼要阐述。

§ 1-1 机构运动简图

设计一个机构首先必须实现生产工艺所要求的动作，即满足在运动方面的要求。因而，我们就需要研究机构中的哪些几何尺寸直接与其运动有关。

由理论力学知，当一个构件作平面运动时，我们可以在代表该构件的平面图形内选取一条直线，则该直线的运动可表达这个构件的运动。因此，在图 1-1 a 所示的喷气织机打纬机构中，曲柄 1 和连杆

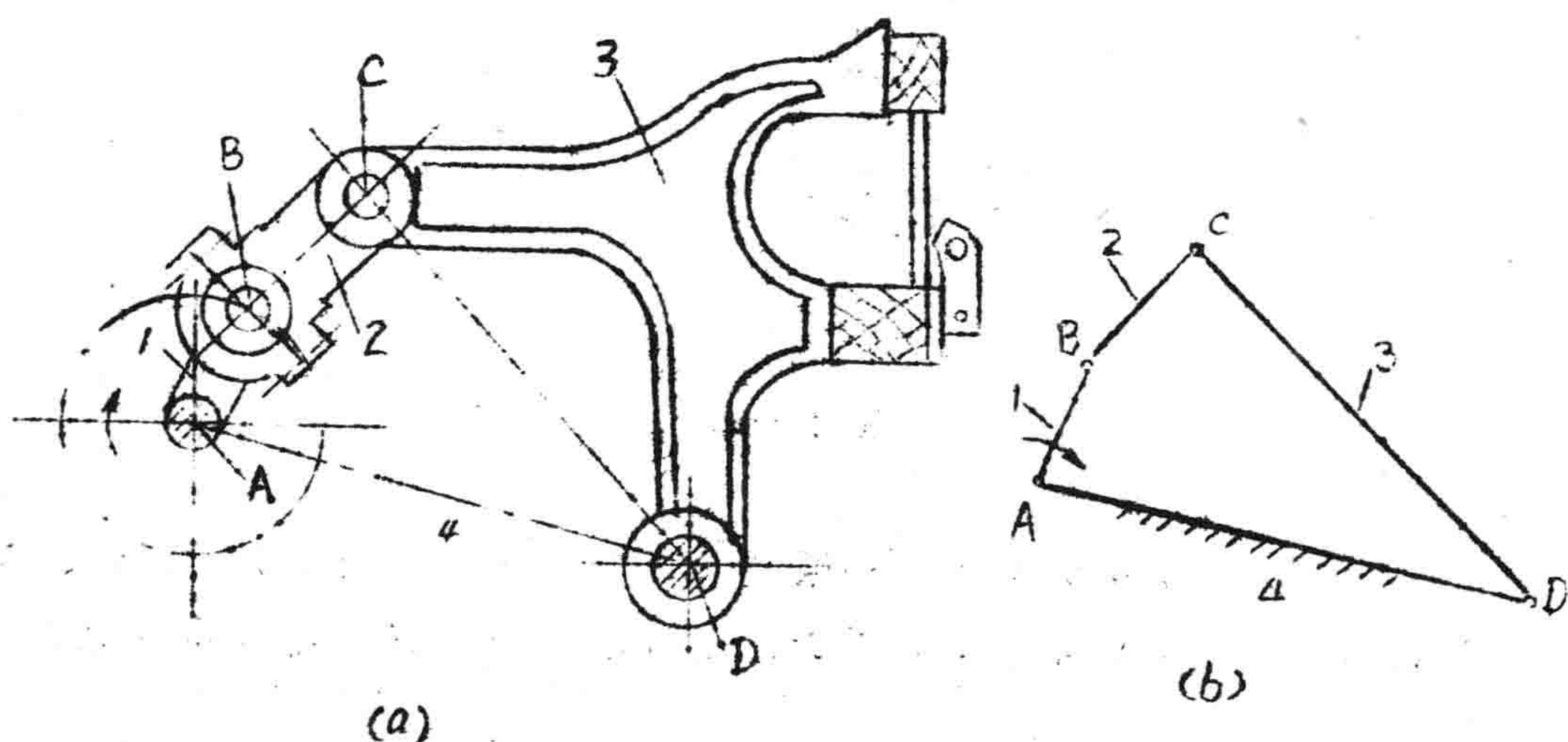


图 1-1

2 的运动可分别用 AB 和 BC 的运动表示, 而摇杆 3 的运动则取决于 CD 的运动。众所周知, 已知曲柄 1 的运动, 应用运动分析的方法可求得连杆 2 和摇杆 3 的运动, 并进一步可得到连杆或摇杆上任一点的运动。由此可知, 确定这个机构运动的各构件尺寸是 AB (构件 1)、 BC (构件 2)、 CD (构件 3) 和 DA (机架 4), 用这些尺寸表示各构件所画成的简图, 即为其机构运动简图 (图 1-10)。

在图 1-2 a 所示的包装机变速机构中, 当偏心轮 1 绕 A 转动, 即相当于其几何中心 B 绕 A 回转。套在轮 1 上的连杆 2 内孔的几何中心也为 B , 它在该连杆上的位置是不变的。由此可知, 该偏心轮就相当于曲柄, 以 AB 表示, 又连杆 2 和摇杆 3 的运动尺寸分别为 BC 和 CD 。所以, 这种偏心轮摇杆机构实质上为曲柄摇杆机构, 通常在曲柄 AB 尺寸较小时采用, 图 1-2 b 为该机构的运动简图。

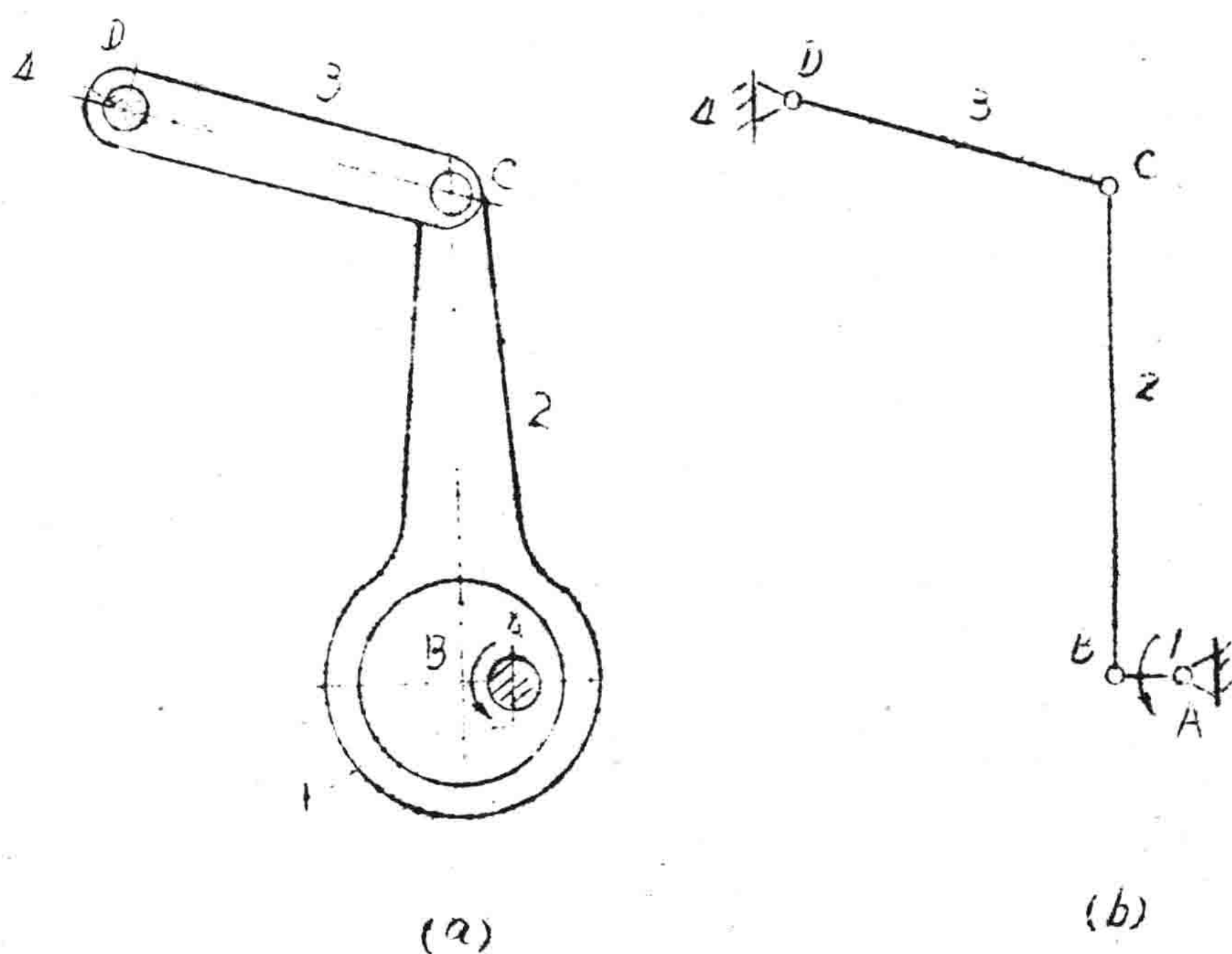


图 1-2

如图 1-3 a 所示的偏心泵机构, 偏心轮 1 以曲柄 AB 表示。连杆 2 与摆块 3 作相对移动的同时, 使后者绕其几何中心 C 作摇摆运动。

在此机构中，曲柄 1 和摆块 3 分别和机架 4 组成转动副。而连杆 2 与曲柄 1、摆块 3 分别组成转动副和移动副。该机构可称为曲柄摆块机构，图 1-3 (a) 为其机构运动简图。

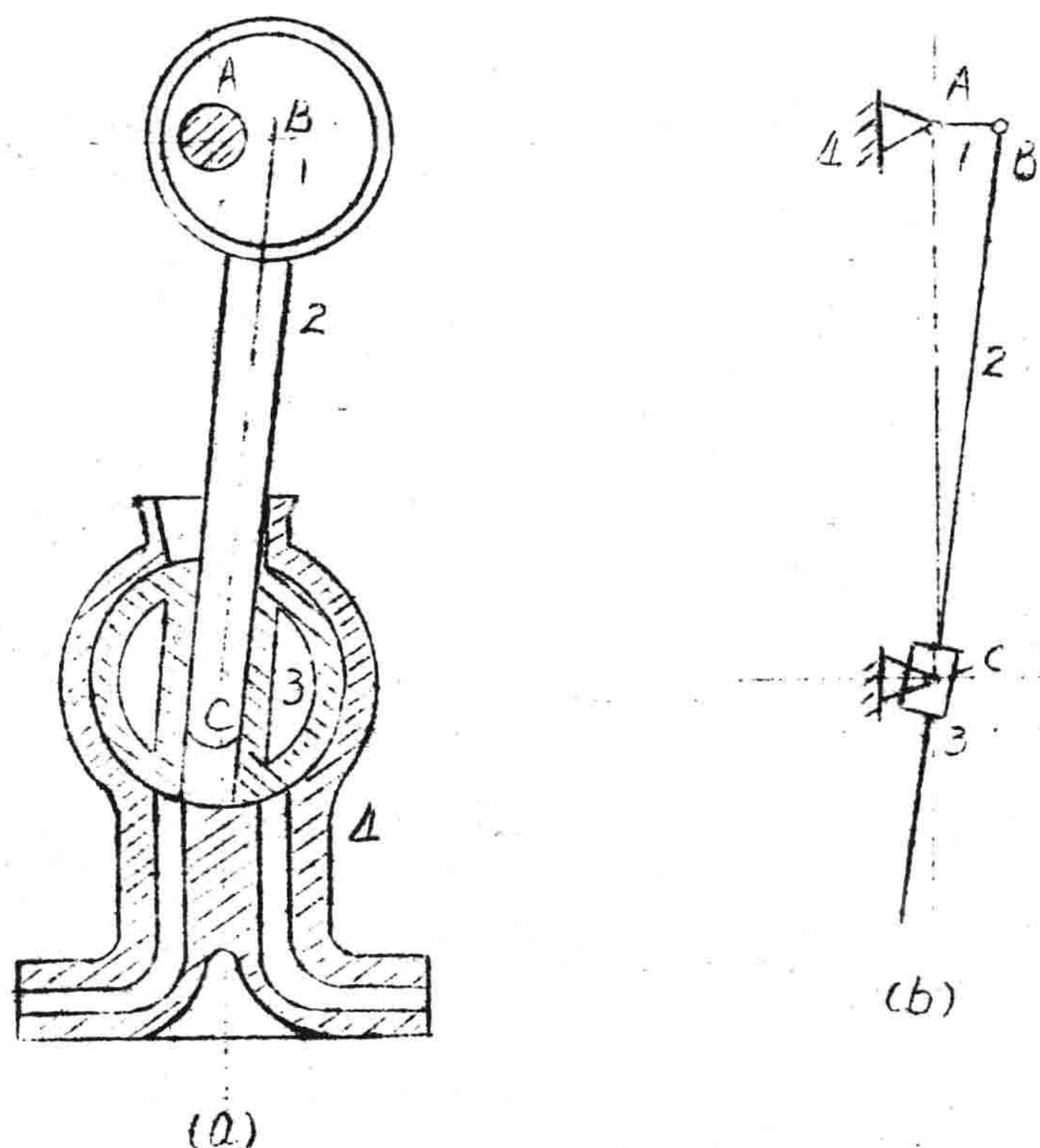
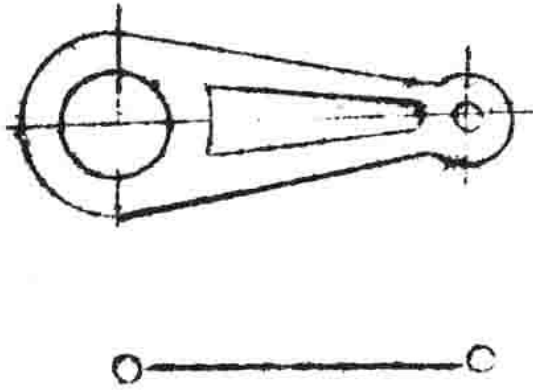
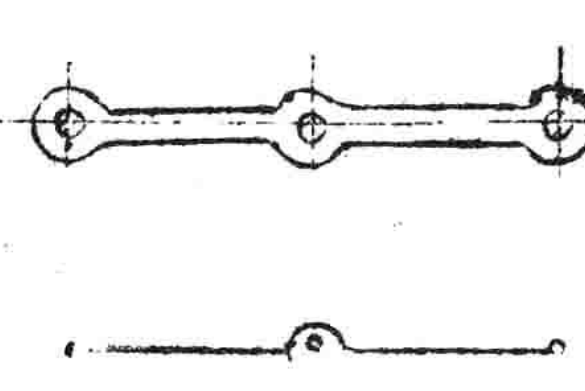
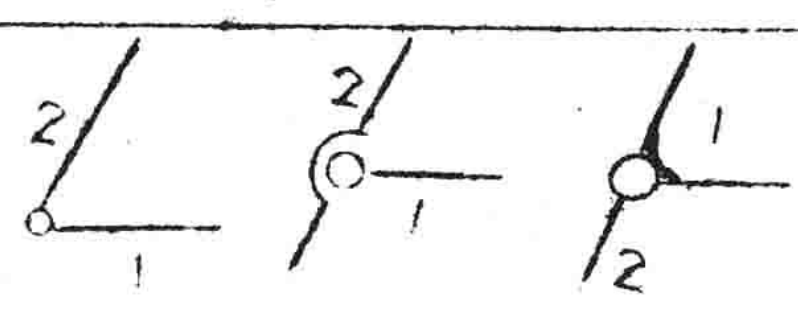
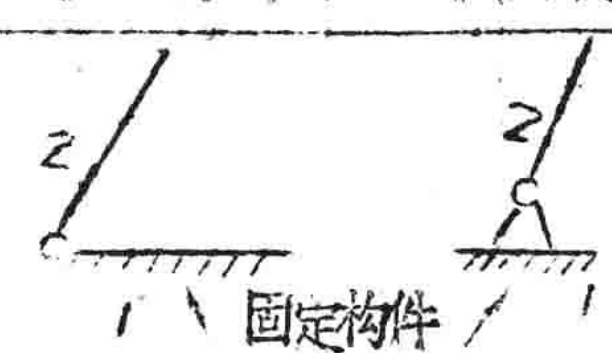
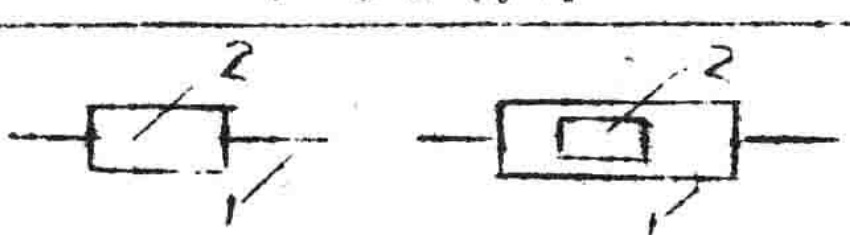
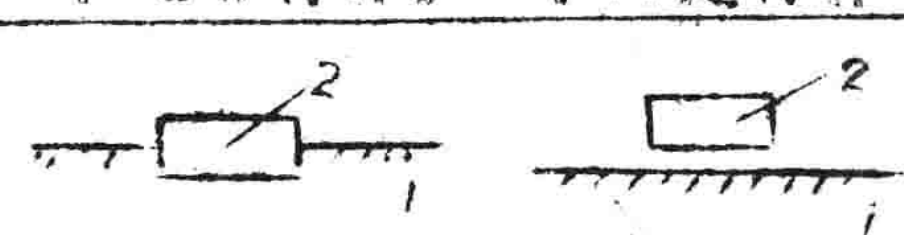


图 1-3

从上述数例可看出，由于机构运动简图撇开了与运动无关的尺寸和线条，能形象化而又简单地表示机构的运动特性，所以它是机构运动分析和运动设计的对象。由实际机构画其运动简图是机械设计人员的一项基本技能。此时，首先应搞清楚该机构中有哪几个运动构件？哪一个为机架？哪一个（或几个）是主动件？相邻两构件采用何种运动副联接？等等。然后，选定适当的比例尺确定机架上转动副中心（或移动副方位线），如图 1-1、图 1-2 中的点 A 和 D，图 1-3 中的点 A 和 C。最后，选择主动件的某个位置，根据测绘所得的各构件尺寸作出该机构的运动简图。

在机构运动简图中，构件、转动副和移动副的表示方法可参考表 1-1。

表 1-1 构件、转动副和移动副的表示方法

	一个构件上有二个铰接点		一个构件上有三个铰接点	
				
转动副	二个运动构件		一个运动构件，一个固定构件	
				
移动副	二个运动构件		一个运动构件，一个固定构件	
				

§ 1-2 平面机构的自由度

机构的自由度为它所具有的独立运动的数目。一般，平面机构的自由度可按式计算：

$$W = 3n - 2P_l - P_h \quad \dots\dots\dots (1-1)$$

式中， W —— 平面机构的自由度数；

n —— 该机构中的运动构件数；

P_l —— 该机构中的低副（转动副、移动副）数；

P_h —— 该机构中的高副数。

在图 1-1 所示机构中, $n=3$, $P_l=4$, $P_h=0$, 代入式 (1-1) 算得 $W=3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$ 。图 1-2 和图 1-3 所示的机构也是如此。这些机构和大多数机构一样, 具有一个自由度, 只要控制其中一个独立运动的参数, 该机构的运动便完全确定了。通常, 主动件与机架组成转动副或移动副, 仅有一个独立运动的参数。在这种情况下, 要使一个自由度的机构具有确定的运动, 只要指定一个主动件; 由此可推出, 要使自由度为 W 的机构具有确定的运动, 必须指定 W 个主动件。这就是机构具有确定运动的条件。

§ 1-3 局部自由度和虚约束

在应用式 (1-1) 计算平面机构的自由度时应将局部自由度和虚约束除去不计, 才能得到正确的答案。

一、局部自由度

机构中某构件所具有的与其它构件运动无关的自由度称为局部自由度。如图 1-4 a 所示的滚子直动件平面凸轮机构, 其中滚子 4 绕其几何中心 A 自由转动并不影响主动凸轮 1 和从动件 2 的运动, 故为局部自由度。在计算该机构的自由度时应除去不计。这就相当于将滚子 4 固结在从动件 2 上, 得如图 1-4 b 所示的机构其自由度为:

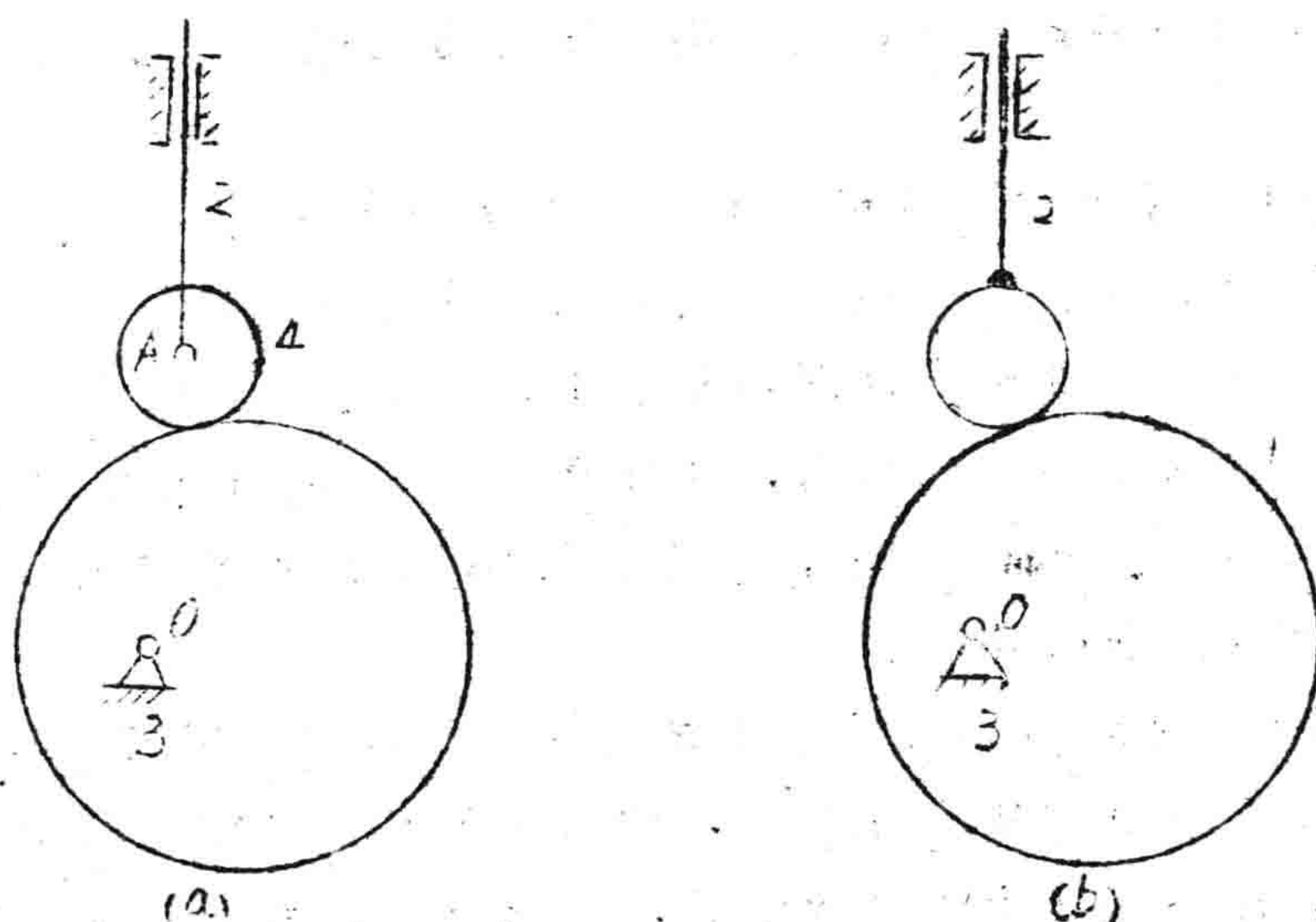


图 1-4

$$W = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1$$

如图 1-5 所示装置，若不把局部自由度除去，就会得出这样的计算结果：

$$W = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1$$

鉴于大多数机构的自由度为 1，可能误认为该装置具有一个自由度。其实不然，构件 5 沿其滑槽 6 移动不影响其它构件的运动而为局部自由度。今将构件 5 与构件 4 固结，再计算该装置的自由度：

$$W = 3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$$

读者可思考：欲将上述装置转变成具有一个自由度的机构，可作如何改进？

二、虚约束

机构中某运动副或某些运动副如构件的组合所形成的约束与其它约束重复而不再起作用，则这类约束称为虚约束。它常发生在下列情况：

(一) K 个构件可组成 (K-1) 个同轴线的转动副 (或同方位的移动副)，多余的转动副 (或移动副) 存在虚约束。

如在图 1-6 所示的周转轮系中，轮 1、5、转臂 4 和机架 6 四个构件组成同轴线的转动副，如计及转动副 R_{14} (表示构件 1 和 4 组成的转动副)、 R_{46} 和 R_{56} ，则转动副 R_{15} 的约束已与上面重复为虚约束，在计算时应将其删去。

(二) 沿周向配置多个行星轮的传动机构中存在着虚约束

如图 1-6 所示周转轮系，行星轮 2 与 3 对称配置于中心轮 1 和 5 之间，这样有利于该机构平衡，并减少其轮齿间的作用力。从运动

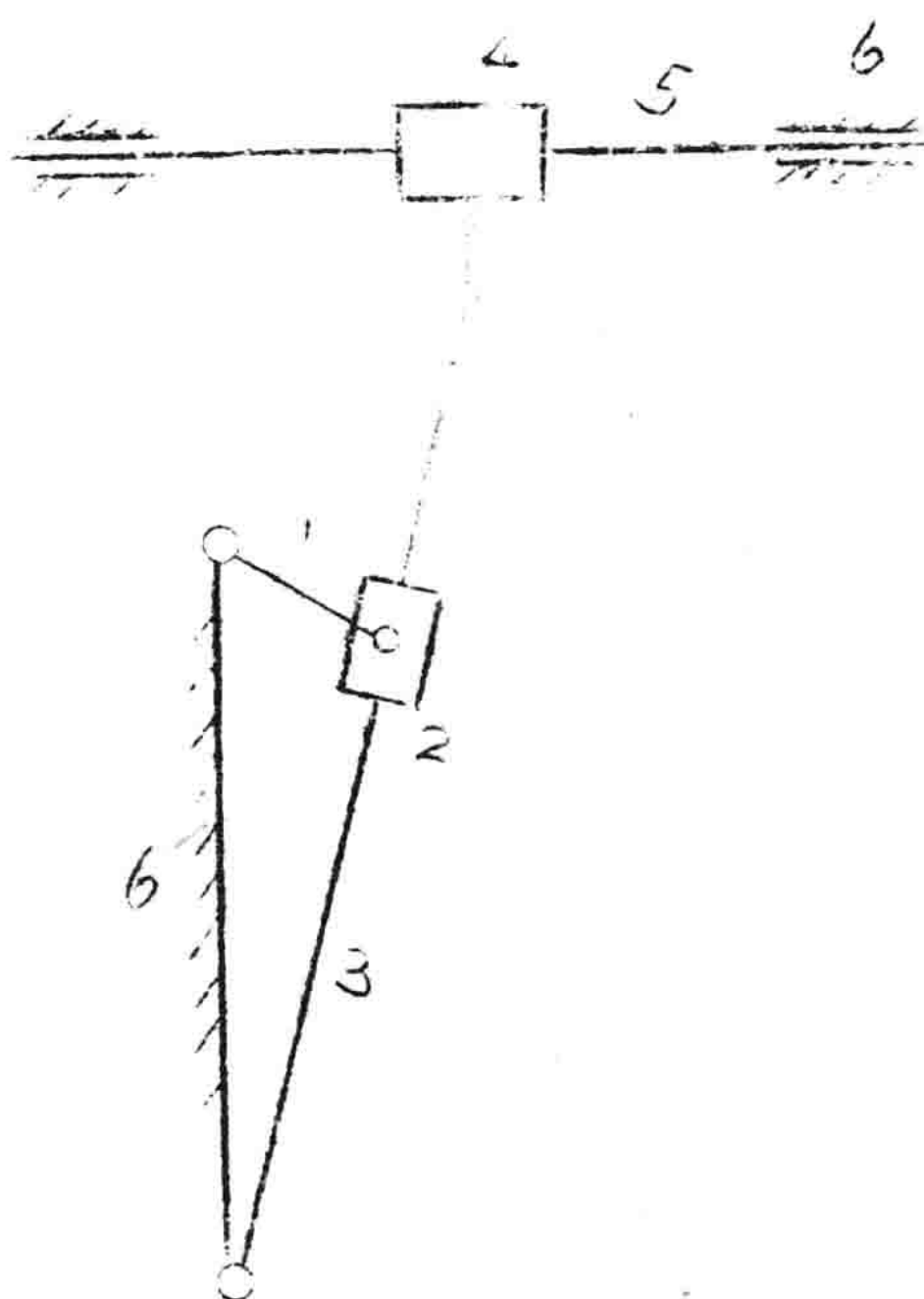


图 1-5

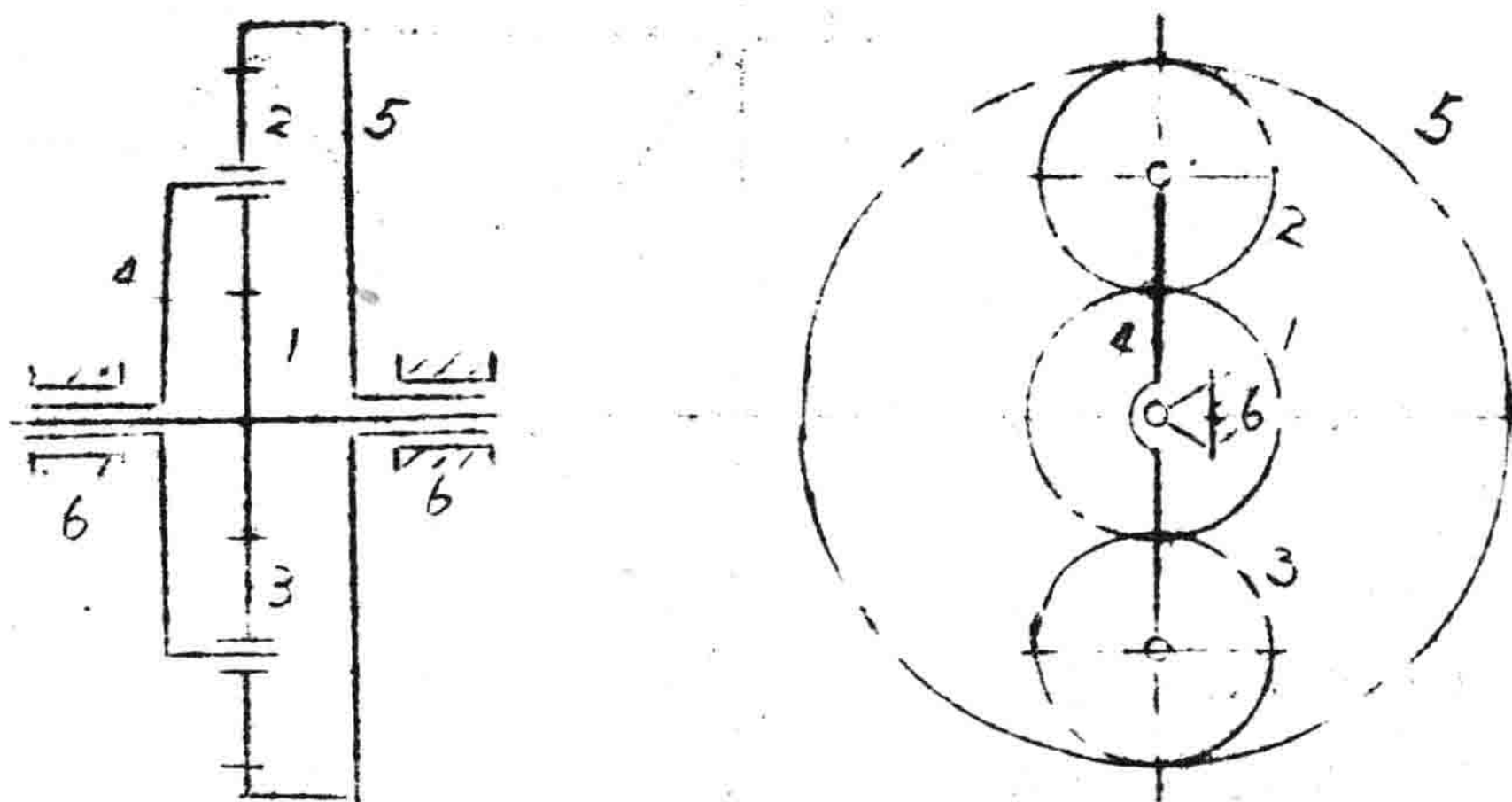


图 1-6

学的角度来看，在两个行星轮中仅有一个起作用，另一个行星轮及其上的一个低副和两个高副所形成的约束为虚约束。

在该周转轮系中删去上述两种虚约束后，按式（1-1）算得其自由度为：

$$W = 3 \times 4 - 2 \times 4 - 1 \times 2 = 2$$

（三）在某些具有特定几何条件的机构中存在虚约束。

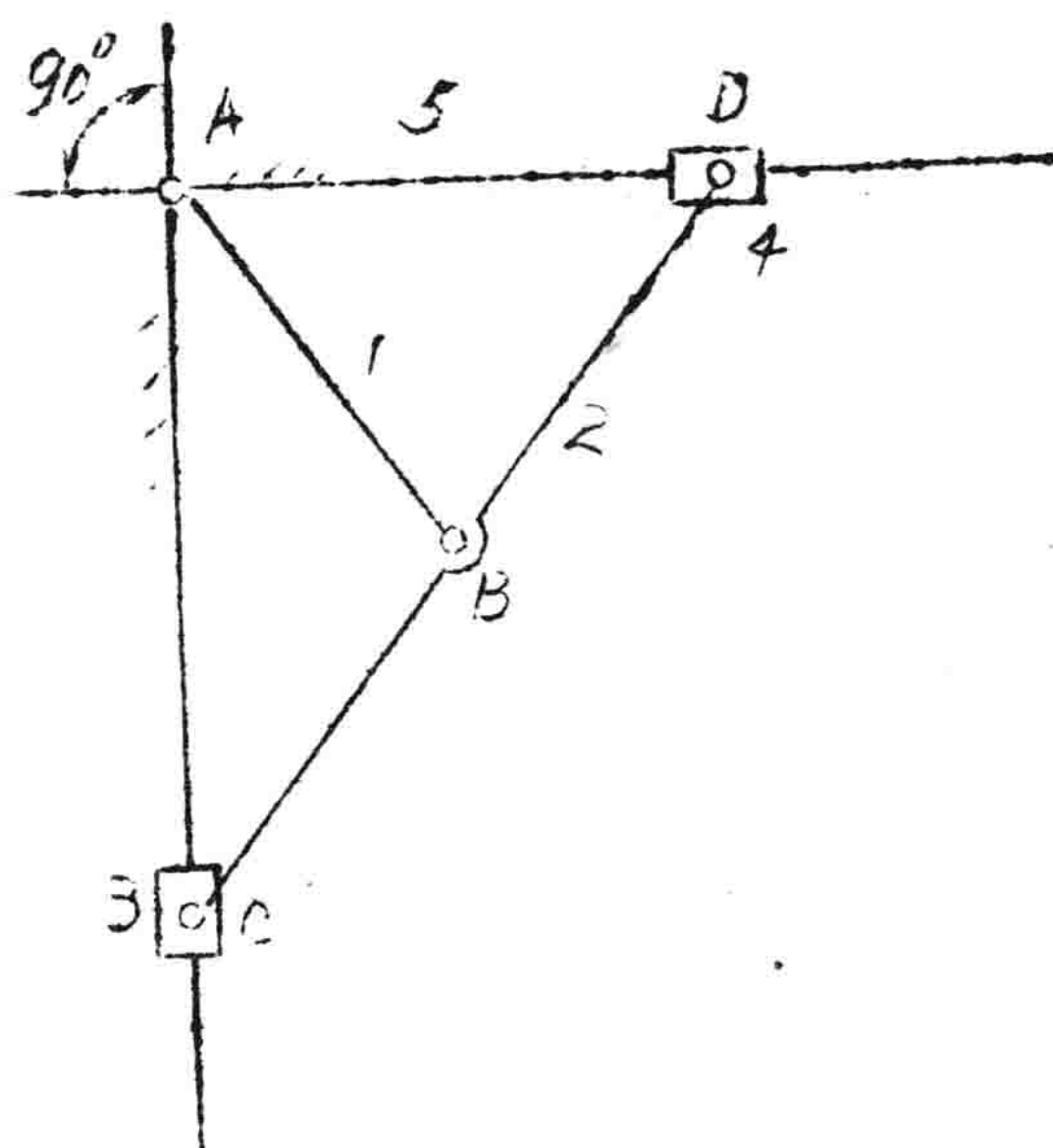
在图 1-7 所示的剑杆织机引纬机构中有这样的几何关系： $AC \perp AD$ ， $AB = BC = BD$ 。对于这类机构是否存在虚约束，可采用下列任一个方法来检验。

1. 拆副法

通常，可试拆机构中某一个转动副，观察该副在两构件上连接点（转动副中心）的轨迹是否重合？如重合，则该机构中存在一个虚约束。设在图 1-7 所示的机构中拆除转动副 D，此时滑块 4 上点 D 的轨迹为过点 A 垂直于 AC 的一条直线；又因 $AB = BC = BD$ ，故当该机构运动时 $\triangle ACD$ 可始终保持为直角三角形，即连杆 2 上点 D 的轨迹必与上述滑块 4 上该点的轨迹相同，说明其中有一个约束为虚约束。

2. 拆杆法

通常，可拆去机构中带有两个转动副的某构件。观察余下原两转动副中心间的距离是否为定值？如为定值，则该机构中存在一个虚约束。设在上述机构中拆去杆 AB 。当该机构余下部分运动时直角三角形 ACD 斜边 CD 的中点 B 至对顶点 A 间距离必等于斜边长度之半，也说明该机构中存在一个虚约束。



$$AB = BC = BD$$

图 1-7

§ 1-4 低副代替高副法

在图 1-8 a 所示的高副机构中，构件 1 与 3 在 H 处组成高副，其两元素分别为圆心 B 和 C 、半径 r_1 和 r_2 的圆。显然，当该机构运动时 B 、 C 两点间的距离始终保持不变。今附加构件 2 分别与构件 1、3 在 B 、 C 处铰接，而形成四连杆机构 $ABCD$ (图 1-8 b)，以此来代替前述高副机构，两者运动特性完全一样。

如图 1-9 所示，组成高副的构件 1 和 3 的两元素 K_1 和 K_2 均为一般曲线，过两者切点 H 作公法线 NN ，在其上取点 B 和 C 各为 K_1 和 K_2 在点 H 的曲率中心，分别以这两点为圆心， BH 和 CH 为半径作圆弧 E_1 和 E_2 ，即分别为曲线 K_1 和 K_2 的密切圆弧。由数学知，曲线 K_1 和 K_2 各与其密切圆在点 H 处二阶相切。所以，用后者来替代前者

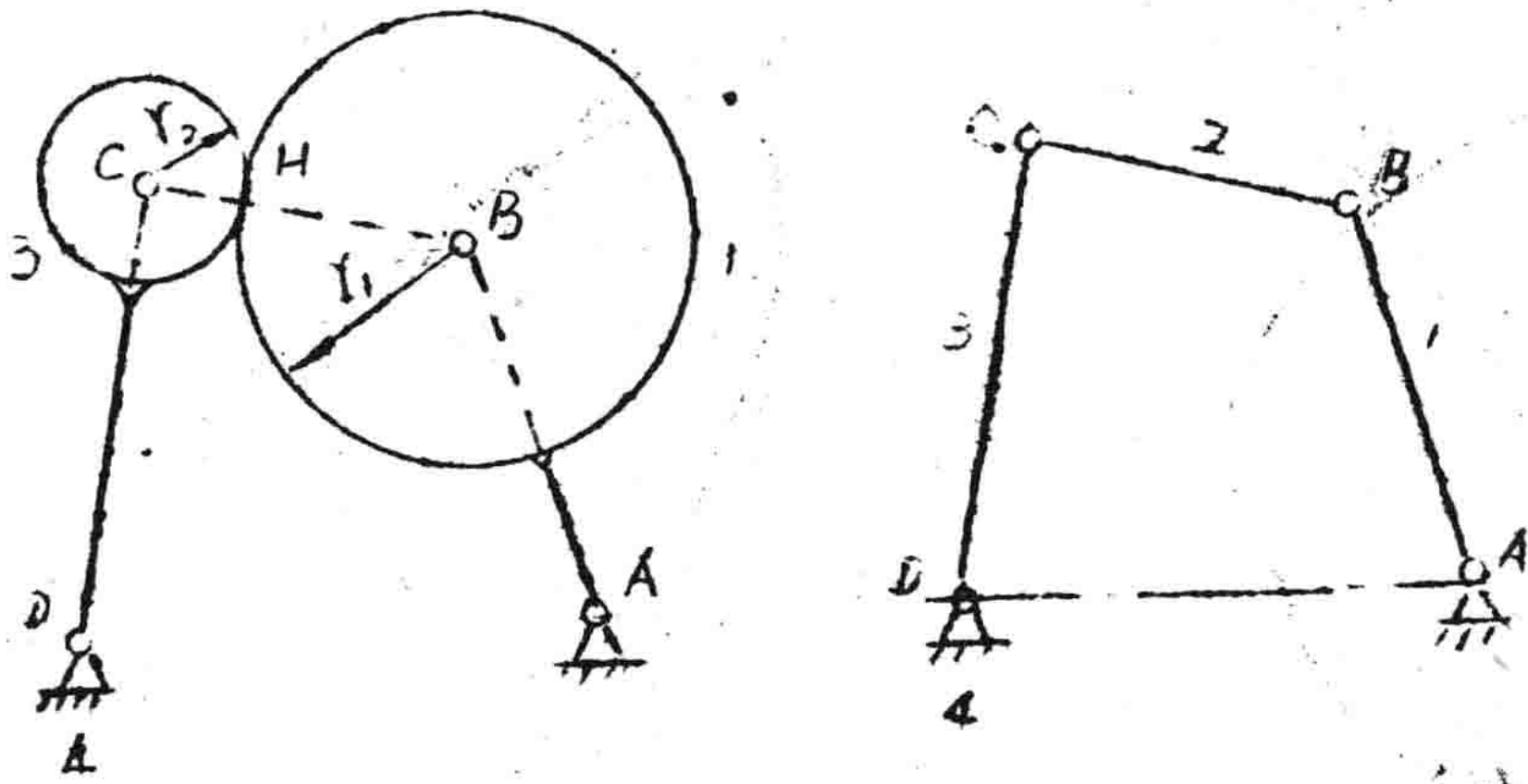


图 1-8

决不会改变由二阶相切的条件所制约的速度和加速度的特性；也就是说，两者速度分析和加速度分析的结果各各相同。运用前述高副低代的方法，该机构在图示位置可用铰接四杆机构 ABCD 代替。因该机构中高副两元素 K_1 和 K_2 的曲率时时在变化，故其在各个位置可有相应不同的替代机构。

在图 1-10 所示的尖端直动件平面凸轮机构中，组成高副的两元素，一为凸轮廓线 K_1 ，另一为点 C，过该点作法线 NN，在此直线上点 B 为 K_1 的曲率中心，而点 C 即相当于另一曲率中心，故该凸轮机构在图示位置可用曲柄滑块机构 ABC 代替。

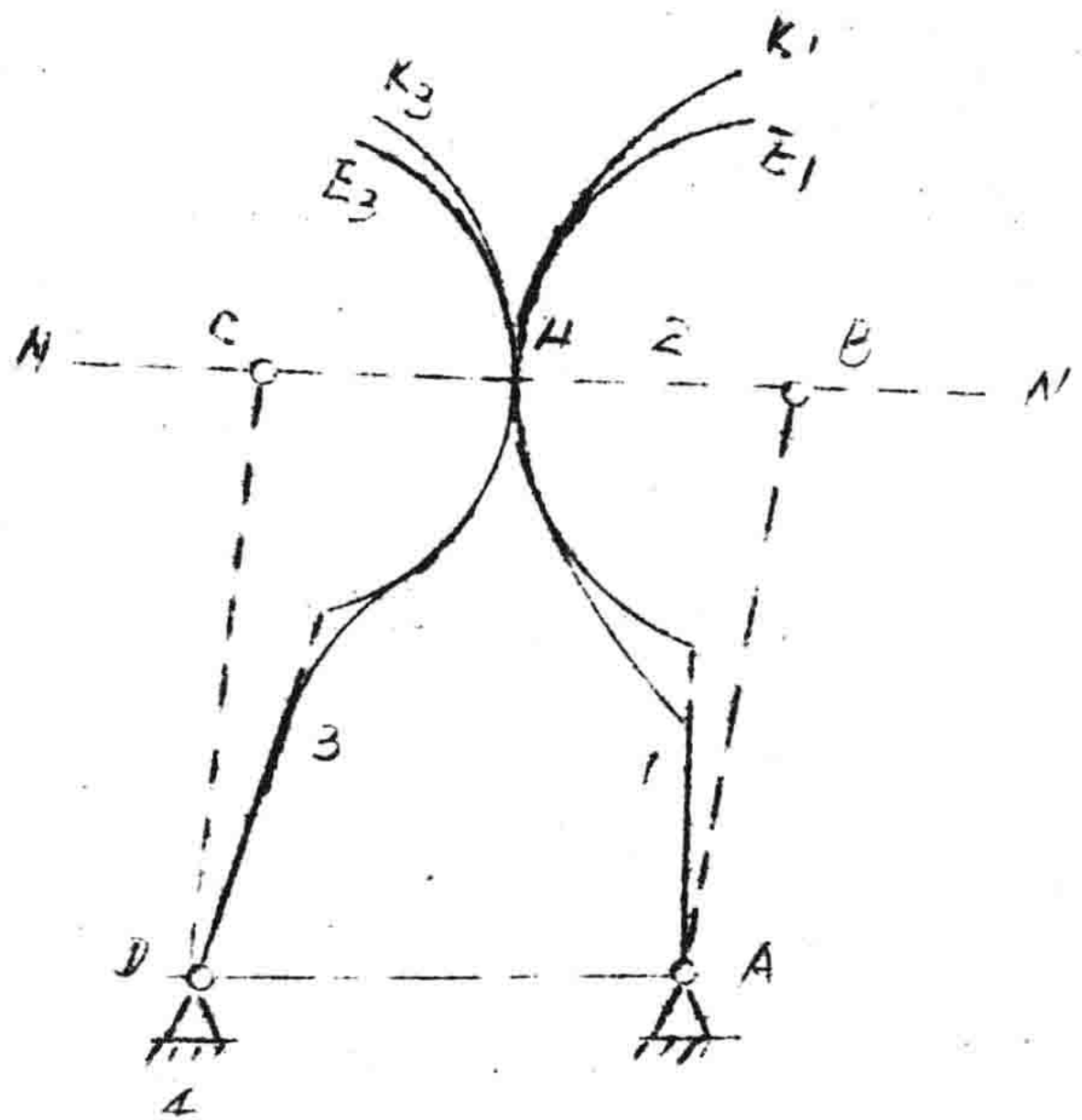


图 1-9

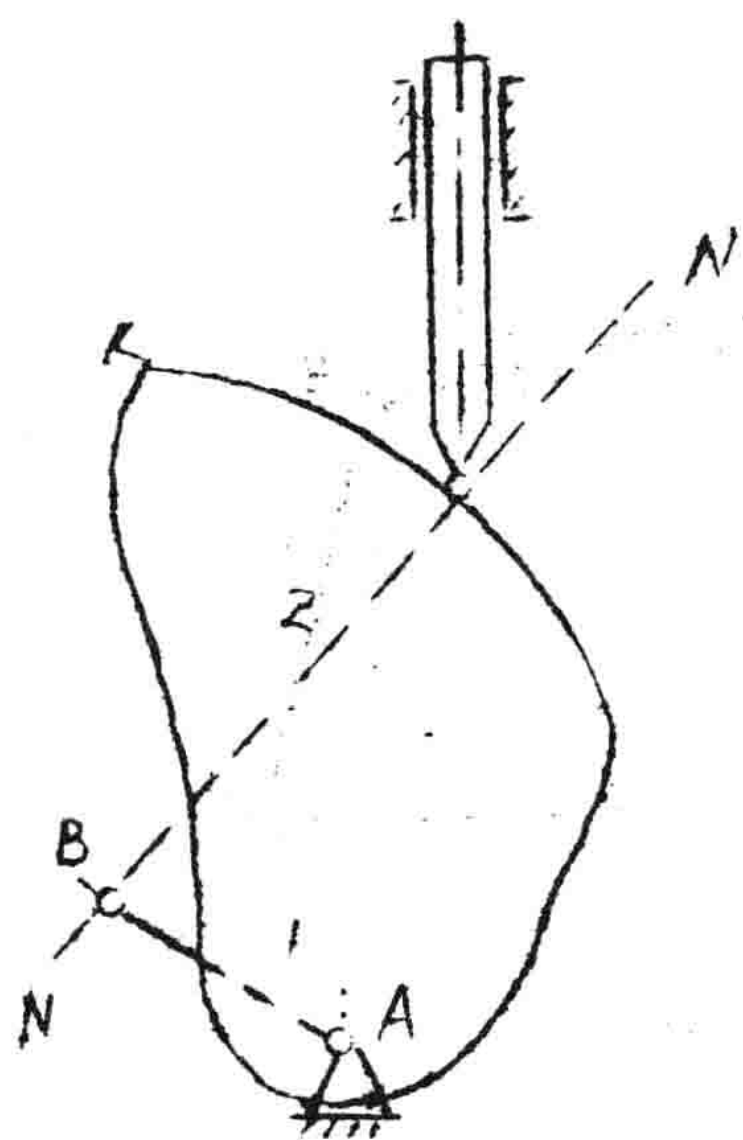


图 1-10

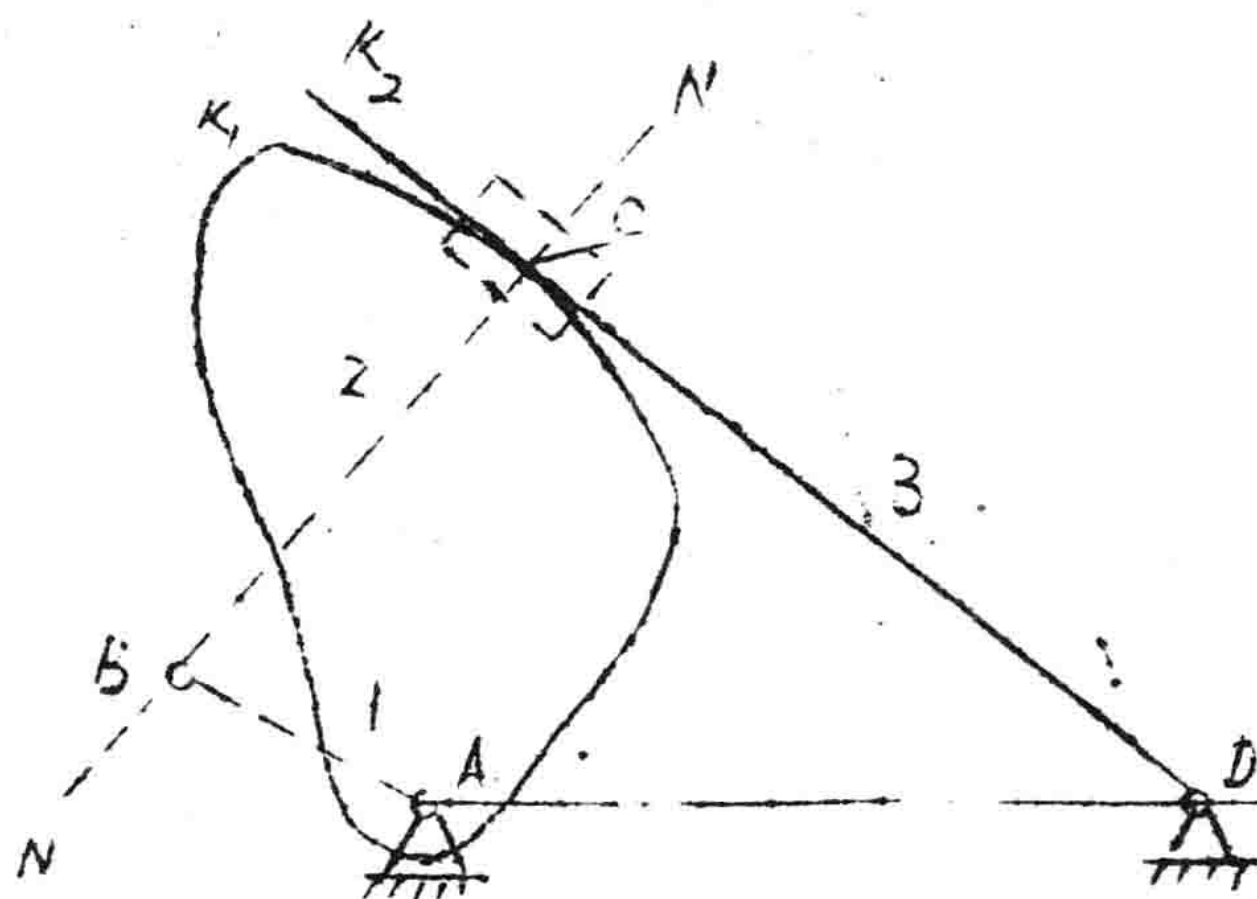
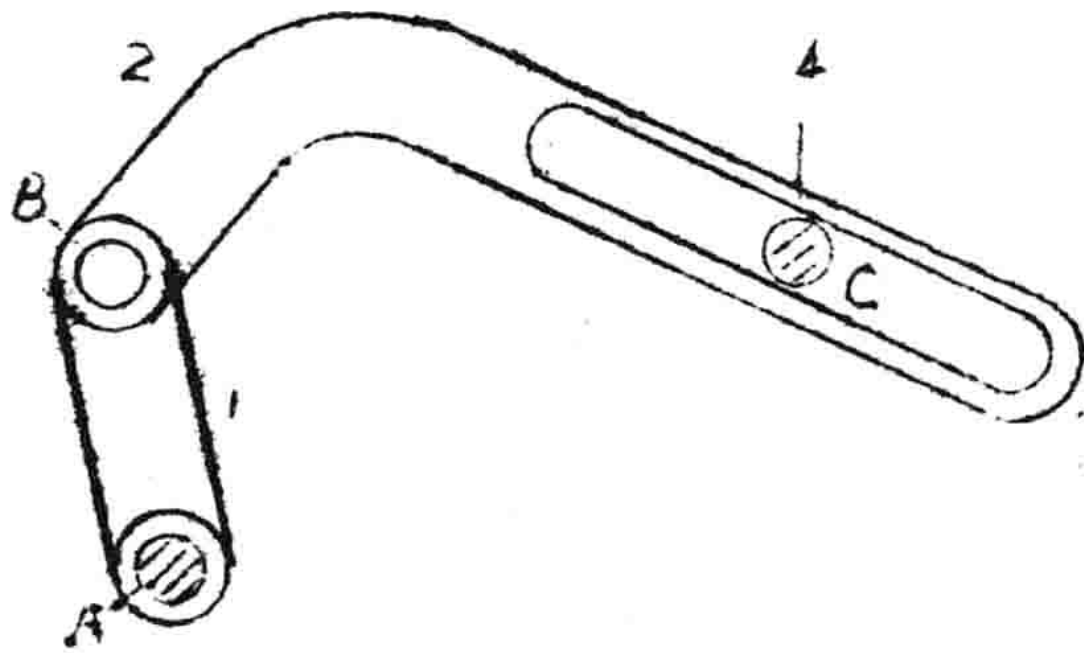


图 1-11

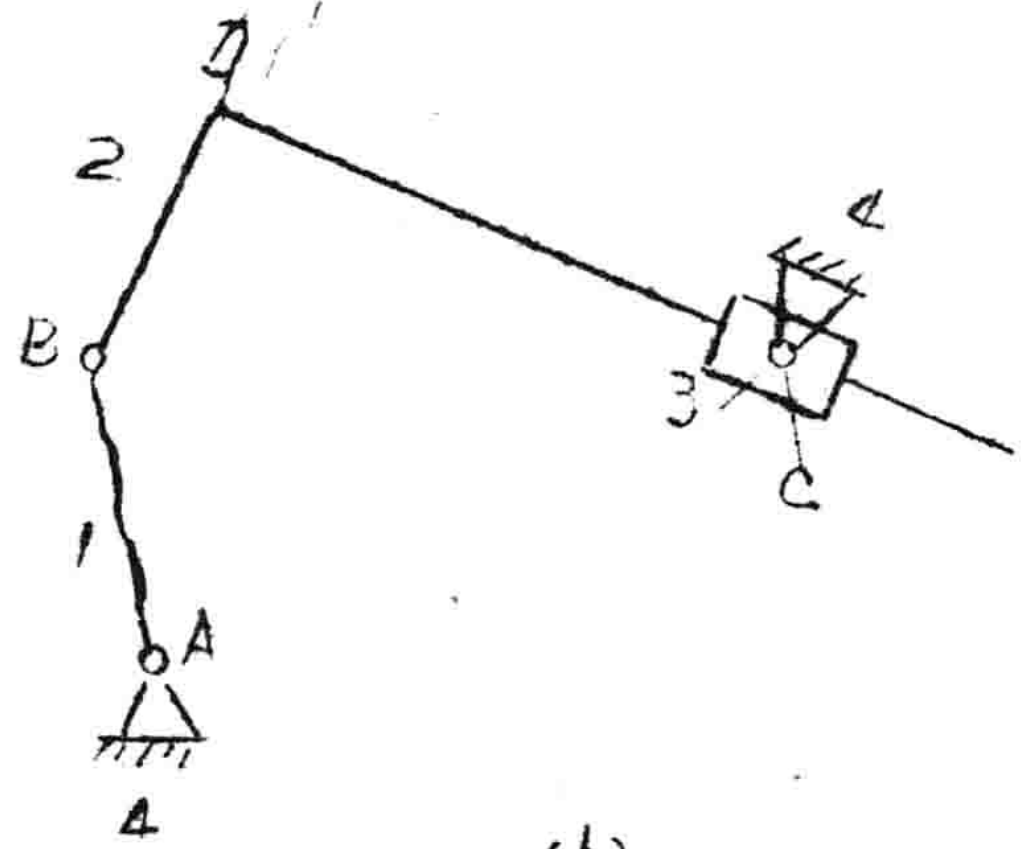
在图 1-11 所示的平底摆动从动件平面凸轮机构中，组成高副的两元素，一为凸轮廓线 K_1 ，另一为直线 K_2 ，过它们的切点 C 作公法线 NN' ， B 为曲线 K_1 在点 C 的曲率中心，而直线 K_2 的曲率中心——附加杆 2 与从动件 3 组成的转动副中心在无穷远处，实质上该转动副已产生“质的飞跃”而转变成移动副，其方位沿直线 K_2 ，故该凸轮机构可用导杆机构 $ABCD$ 来代替。

在图 1-12 a 所示的机构中，构件 2 与机架 4 组成高副的两元素分别为圆和直线，按上述，该高副机构可用图 1-12 b 所示的曲柄摆块机构来替代，两机构的运动特性相当。

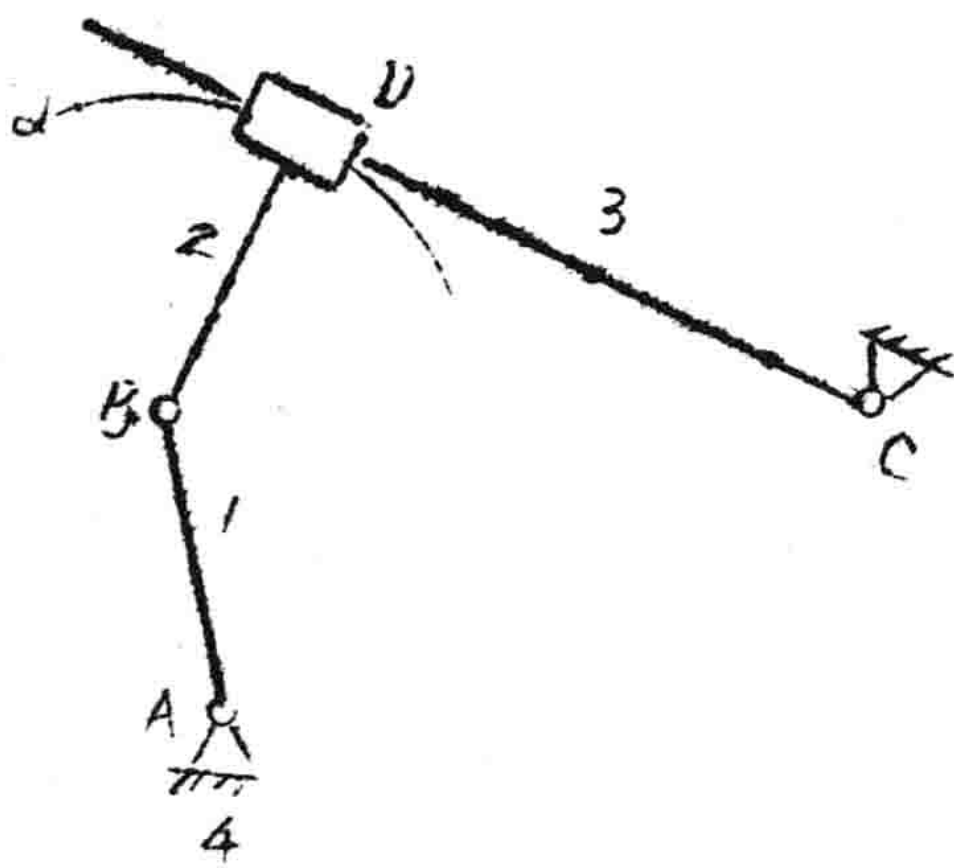
从上述讨论可看出，如果组成高副的两元素为圆点和直线，那么用相应的低副替代后所得的连杆机构与原机构在运动学上是完全等价的。所以，这种高副机构的运动分析和综合的方法与相应连杆机构的方法一样。反之，如果组成高副的元素并非为上述情况，那么用相应的低副替代后所得的连杆机构仅与原机构在瞬时具有同样速度和加速度的性质。



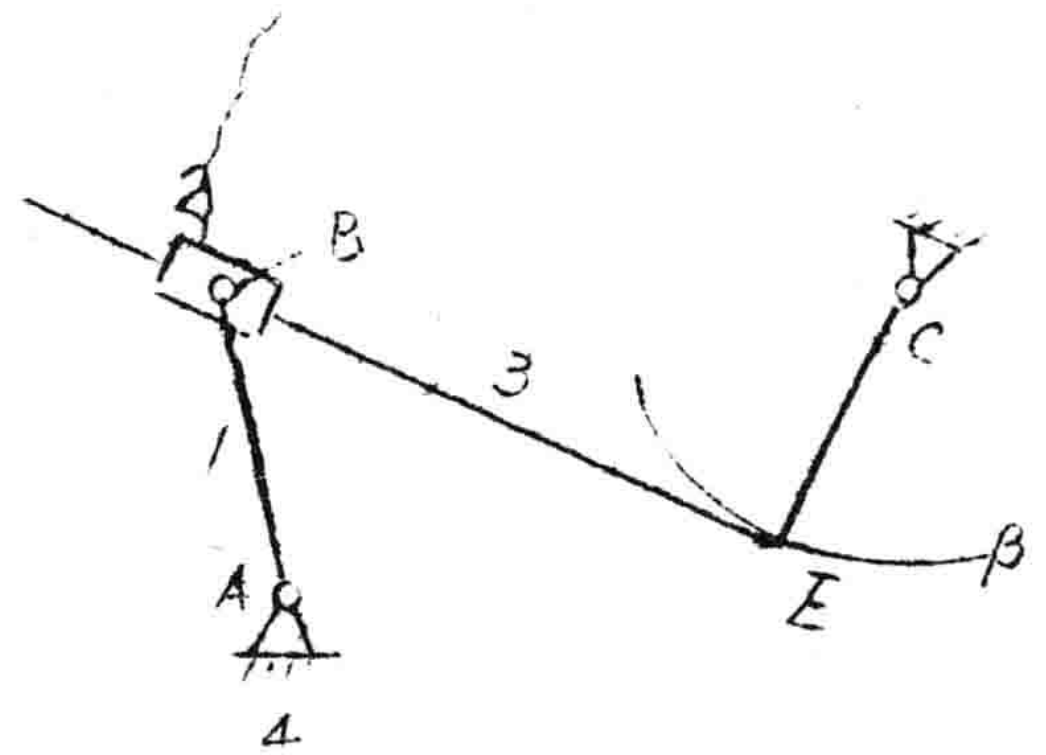
(a)



(b)



(c)



(d)

图 1-12

