

高等学校教学用书

机械原理

季諾維也夫著



机械工业出版社

高等学校教学用书



机械原理

張驥、赵元健、彭荣济合译

本書經苏联高等教育部高等工業学校总管理局
审定为高等工業学校非机械制造專業的教学参考書



机械工業出版社

1957

出版者的話

本書系根据苏联 Машгиз 1955 年出版的、季諾維也夫 (Вл. А. Зиновьев) 著: [机械原理] (Теория механизмов и машин) 一書譯出。原書經苏联高等教育部高等工業学校总管理局审定为高等工業学校非机械制造專業的教学参考書。

原書系按照苏联高等工業学校非机械制造專業的机械原理教学大綱所編写的一本簡明教程。

本書由北京工業学院張驥、赵元健、彭荣济三人集体譯校。

苏联 Вл. А. Зиновьев 著 'Теория механизмов и машин'
(Машгиз 1955 年第一版)

* * *

NO. 1400

1957 年 3 月第一版 1957 年 3 月第一版第一次印刷
850×1168 $\frac{1}{32}$ 字数 144 千字 印張 5 $\frac{3}{4}$ 00,001—13,500 册
机械工業出版社(北京东交民巷 27 号)出版
机械工業出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 号 定价(10) 0.90 元

目 次

緒論	5
第一章 平面機構的結構分析	7
1 運動副	7
2 運動副的分類	8
3 運動副的簡略画法	9
4 運動鏈	10
5 運動略圖	10
6 平面運動鏈的自由度	12
7 機構	17
8 機構的分類	17
9 用低副代替高副	21
10 最常用的幾種機構的類型	22
第二章 平面機構的運動分析	28
11 初步知識	28
12 機構位置的確定	28
13 速度圖	30
14 加速度圖	39
15 運動圖	48
16 確定速度和加速度的解析法	51
第三章 傳遞迴轉運動的平面機構	55
17 概述	55
18 摩擦傳動	57
19 齒輪傳動	59
一 概述	59
二 複式齒輪傳動	62
三 嚙合原理	64
四 齒輪的製造	74
五 斜齒齒輪與人字齒輪	78
20 用撓性體來傳遞迴轉運動。皮帶傳動	81
第四章 傳遞迴轉運動的空間機構	87
21 摩擦傳動	87
22 齒輪傳動	89

23 蝸輪傳動	91
24 皮帶傳動	94
第五章 凸輪機構	96
25 凸輪機構的設計	96
26 凸輪機構的運動分析	104
第六章 平面機構的動態靜力學計算	106
27 初步知識	106
28 慣性力的確定	107
29 運動副中壓力的確定	114
一 帶有三個迴轉副的組	115
二 帶有兩個迴轉副及一個邊端的直移副的組	119
三 曲柄的動態靜力學計算	121
第七章 運動副中的摩擦	126
30 摩擦的種類	126
31 非潤滑物體的滑動摩擦	126
一 摩擦力的方向和大小。摩擦係數	126
二 摩擦角和摩擦錐	128
三 水平平面上的摩擦	129
四 斜面的摩擦	130
五 楔形滑塊的摩擦	132
六 螺旋的摩擦	133
七 迴轉副中的摩擦	139
八 止推軸頭的摩擦	140
32 潤滑物體的滑動摩擦	141
33 撓性體的摩擦	143
34 滾動摩擦	145
第八章 機械的運動和功	157
35 效率	157
一 斜面的效率	158
二 鉸鏈機構的效率	162
36 機械的運動方程式	164
37 力的轉化	166
38 質量的轉化	171
39 轉化點和轉化構件的運動方程式	173
40 機械運轉的調節	174
中俄名詞對照表	182
修正意見	184

緒 論

人类为了各种目的而建造的各种設備，可分为两大类：凡是除了在力的作用下，因变形而产生的不大的运动以外，其各部分彼此不能作相对运动的設備皆屬於第一类；凡設備在完成其任务时，其各部分彼此有相对运动者則屬於第二类。第一类的設備是：具有各种用途的建筑物——房屋、桥樑、液体或气体的容器等等。

在机械原理中，只研究第二类的設備。在这类的許多設備中，可指出下列在現代工程中已获得广泛应用並起很大作用的各主要型式：

- 1) 原动机，其用途是將各种形式的能轉化为机械能，如：蒸汽机、蒸汽渦輪及水渦輪、內燃机、电动机等等；
- 2) 將机械能轉化为电能的發电机；
- 3) 完成各种类型工作的工具机，例如：金屬加工和木材加工机床、农業机械、紡紗机和織布机、縫紉机、化学器械的机械攪拌器、离心机等等；
- 4) 供运移固体、液体及气体物品用的运输机；
- 5) 具有不同用途的仪器、鐘表及計算机等等。

机械的工作是直接用它的工作机关来完成的。例如，在金屬加工或木材加工机床中，工作机关是从被加工的材料上切去切層的刀具；在縫紉机中是針；在起重机中是悬挂被举貨載用的吊鉤等等。

机械在产生有用功的同时，必須消耗驅动机械的力所作的功，因此，接受外力作工的机关是任何机械所必备的机关之一。在活塞式發动机（蒸汽机或內燃机）中，活塞是这样的机关；在車床中是皮帶輪；在自行車中是脚踏板等等。

關於作工机关和接受外力作工机关的形狀和尺寸問題，關於

6
最合理的运动型式問題，以及關於作用在这些机关上的力的問題，皆在动力及工艺方面的專門課程中解决而不在机械原理中解决。

在机械原理中，所解决的是有关設計和研究某些設備的一些問題，这些設備是由一些可动部分組成的並且联接着接受外力作工机关和工作机关的。

在解决功和运动的傳遞問題时，並不需要知道机械所有各部分的結構形狀和尺寸，而只要知道它的所謂运动略圖（机械的骨骼）就足够了。运动略圖的作法及其分析，是在〔机械原理〕課程中敘述。

研究了运动略圖以后，初步地选定机械各部分的形狀和尺寸，然后再进行动力学的研究，以期求得使初步計算更为精确的必要数据。机械动力学的分析方法，也在机械原理中敘述。

因此，机械原理是与动力及工艺方面的課程（用这些課程所講述的方法，可确定作工机关及接受外力作工机关的形狀和尺寸）相銜接，並且是以理論力学的知識为基础。机械原理是敘述确定机械各部分結構形狀和尺寸的方法的科学課程之一。

第一章 平面機構的結構分析

1 運動副

運動是機械區別於建築物的特征之一，建築物在執行其任務時是不運動的。

人手所使用的工具，例如：針、斧、錘、起子等等在完成任務時也作運動。機械與能做各種各樣運動的工具之不同處，在於機械各部分的運動是確定的。裁縫手中的針或鐵匠手中的錘，能做各種各樣的運動，但縫紉機上的針或蒸汽錘，却是作確定的運動。

唯有用其他物體來限制某一物體能動性的方法，才能使這一物體作確定形式的運動。例如：不受任何限制的一個圓柱形的桿，能做各種各樣的運動，但是，若將此桿放在一個空心的圓柱內（如圖 1 所示），則桿 1 相對於空心的圓柱 2，只能圍繞兩個圓柱的公共軸線 $x-x$ 作迴轉運動及在它們的公共軸線 $x-x$ 方向作移動。如果就是這個被插入空心圓柱內的圓柱形桿，但增添兩個頂在空心圓柱端面的凸肩（圖 2），則桿 1 相對於空心圓柱 2，只能圍繞兩個圓柱的公共軸線 $x-x$ 作迴轉運動。如果用稜柱形的桿代替圓柱形的桿，並將其放在空心的稜形柱內（圖 3），則桿 1 相對於空心的稜形柱 2，只能沿軸線 $x-x$ 方向作直線運動。

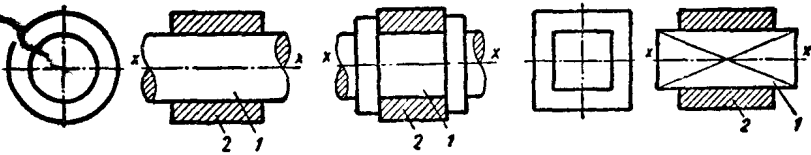


圖 1

圖 2

圖 3

因為，任何物體的運動確定性只能用其他物體限制其能動性的方法來得到。所以，當研究機械某一部分的運動時，必須把這

一部分和在或多或少程度上限制其能动性的另一部分一起来研究。当我们所研究的机械的那一部分的运动不是受一部分而是受两个或几个部分限制时，则注意到与其相接触的机械的所有其他部分加给此部分能动性的限制以后，我们就得到关于我们所研究那部分的可能运动的全部概念。换句话说，当从运动学方面来认识机械时，如不是单独地考虑每一部分而是注意彼此相互限制运动的那些部分所组成的副（即注意所谓运动副）时，我们就能够得到关于机械所有部分可能运动的全部概念。

两个彼此限制运动的物体的可动联结，称为运动副。

构成副的各物体，称为构件。

由运动副的这个定义，可得出结论：运动副不能是由那些不相接触或虽接触但彼此不能运动的物体所组成。

运动副的一个构件，对另一个构件的自由之限制程度，仅与被称为运动副元件的构件的接触处之几何形状有关；做成这一构件所用的材料，以及这一构件不与另一构件接触的那部分的形状，都不能对另一构件的能动性给以限制。因此，在机械原理中，我们不考虑它们。

2 运动副的分类

运动副可以按照各种特征来分类。我们只限于按照诸构件接触的性質来分类。按照这个特征，应该分为低副和高副。

其构件成面接触的副称为低副，其构件成线接触或点接触的副称为高副。

表示在圖 1、2 和 3 上的副可作为低副的例子。高副的例子：构件沿着线接触——圆柱在平面上；沿着圆周接触——球在空心的圆柱内（空心圆柱的直径等于球的直径）；点接触——球在平面上。

低副较高副有很多优点：在低副中，当副中的反作用力相同、摩擦系数相同及其他条件相同时，构件在接触处的磨损，比高副中的要慢一些；但是，高副能够产生那种光用低副而难于实现的

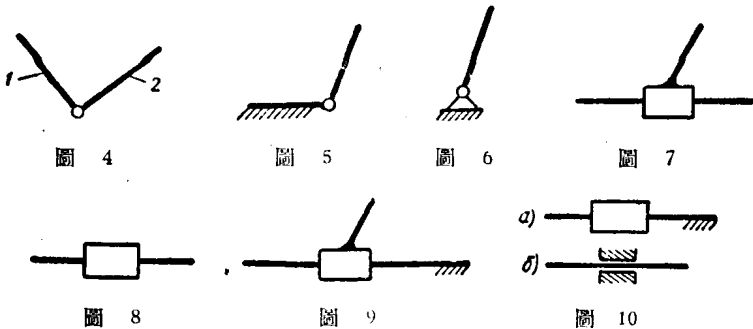
运动。

如果，低副的一个构件上所有各点都只能相对于另一构件作直线运动，则这种运动副称为直移副。例如，图 3 所示的运动副。如果同样地，低副的两个构件上所有各点都只能围绕两个构件接触表面的几何轴线转动，则这种运动副称为迴轉副。例如，图 2 所示的运动副。

3 运动副的简略画法

在图 4~12 中，表明了通常在运动略图上如何画出各种类型的运动副。

图 4 所示为一迴轉副，该副具有能自由地在一平面范围内一起移动的两个构件。连接构件 1 和构件 2 的小圆圈，是用来在略图上表示一个构件相对于另一个构件只可能围绕该副的几何轴线作迴轉运动。圆柱轴和在轴上迴轉的套筒乃是迴轉副的最简单的结构形式。各构件的结构形式可以是各种各样的。



在所有类型的运动副中构件的固定特性，在略图中是用在其下面画上阴影线来表示的。图 5 和图 6 所示为具有一个固定构件的迴轉副的简略画法。

图 7 和图 8 所示为具有两个自由构件的直移副的简略画法，而图 9 和图 10 a 及 b 所示为具有一个固定构件的直移副的简略画法。

圖 11 和圖 12 所示為具有兩個自由構件和具有一個固定構件的高副的簡略画法。諸曲綫輪廓簡略地表示出兩構件是沿着一條綫（該綫垂直於圖面）接觸或者接觸於一點。

使用運動副的簡略画法時，經常要注意到它是一點也不表示機構的結構形狀的。

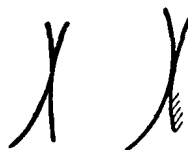


圖 11 圖 12

4 運動鏈

用運動副所連接的構件體系，稱為運動鏈。

根據構件上的各點所完成的運動的類型，運動鏈可區分為平面運動鏈和空間運動鏈。所有構件都在一些相互平行的平面上運動的運動鏈稱為平面運動鏈。所有構件上的各點，或者都沿着空間曲綫運動，或者都沿着一些不相平行的平面上的曲綫運動的運動鏈稱為空間運動鏈。

運動鏈可分為閉式的和開式的。如果其中每一個構件皆與其相鄰的構件用運動副連接着，這種運動鏈稱為閉式運動鏈；如果其中具有只參與一個運動副的構件，則稱為開式的或非閉式運動鏈。

5 運動略圖

研究任何正在設計的、或者現有的機構（發動機機構、機床機構等等）的運動時，是根據其運動略圖來進行的。當進行運動分析時，需要確定各運動部分上各點的位移、速度和加速度。在運動略圖上只應當表示出對所指目的是必需的那些部分。所以，在略圖上，應當像表示運動副中的構件那樣來表示所研究的設備上的所有各部分。

現在，我們舉例說明，應如何由機構的結構圖來畫出機構的運動略圖。

圖 13a 所示為一內燃機的結構圖，而圖 13b 為其運動略圖。

这种发动机的任务是把燃料(石油、火油、汽油、可燃气体等等)的化学能转变为机械能。当发动机工作时，活塞3(圖13a)在气缸1内作直移往复运动。

在結構圖中，沒有表示出許多並不影响机构运动的发动机零件。

軸4固定在活塞3上，称为連桿的零件8套在軸4上。連桿的另一端套在軸7上，軸7則被固定在称为曲柄的零件6上。零件6与在固定支承中迴轉的軸5

固定地连接着。当構成結構时，2、3、4、5、6、7总是作成一個整体並称为曲軸。在圖13a上，將它們單个地表示出来，只是为了使以后的敘述更清楚起見。

气缸1是发动机的固定部分，它与气缸盖2和活塞3相接触。气缸盖与气缸是固定连接，因此，它們不能組成运动副；由於工艺上的原因，气缸盖与气缸必須分开制造。活塞3能够相对

於气缸运动，所以，活塞和气缸就是运动副的两个構件；因为两个構件是面接触故这种运动副为低副。这种运动副还是直移副，因为活塞在气缸中不可能迴轉：如果，与活塞连接的軸4随同活塞一塊迴轉，則連桿和圖13上所示的发动机所有其他零件，包括帶有气缸的机座在內，都將随同軸4一塊迴轉。

活塞3是直移副的活动件，气缸1則是作为活动件的运动导轨的固定件。在运动略圖上，把气缸画成直綫，並在直綫上面上陰影綫以表示它是固定件；就像通常画直移副的活动件那样把活塞画成滑塊。

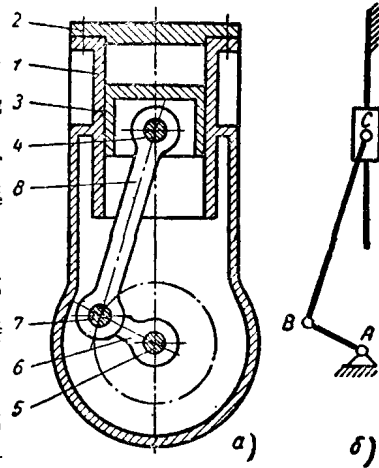


圖 13

軸 5 与零件 6 固結在一起，因而它們不能組成运动副而是連在一起成为一个活动件。圓柱軸 5 在固定的圓筒形支承（在圖 13a 中沒有画出）中迴轉，並且和这个支承組成迴轉副 A 。

实际上，並不是把軸安置在一个，而是安置在兩個或數个支承上，並且在这种情况下，所有支承都屬於一个固定件。

在結構圖上，垂直於圖面的軸 5 的几何軸綫与气缸和活塞的公共几何軸綫的延綫相交成直角。因此，在运动略圖上，迴轉副 A 的中心应当位於代表直移副的固定件的直綫的延綫上。

零件 6 与零件 8 也被連接成迴轉副。这个迴轉副在运动略圖上用字母 B 来表示。在結構圖上，零件 5 和零件 7 的兩個几何軸綫之間的距离是一定而不變的；在运动略圖上，表示副 A 和副 B 的兩個小圓圈的中心也应当按已定运动略圖比例尺所表示的距离来配置。这样一来，發動机的曲軸在运动略圖上就用構件 AB 来表示。

零件 8（連桿）在結構圖上与活塞 3 及零件 6 連接成迴轉副。在运动略圖上，連桿用構件 BC 表示。迴轉副 B 和迴轉副 C 的兩個中心之間的、按已定运动略圖比例尺所表示的距离，应当等於在結構圖上這兩個副的軸綫之間的距离。

表示在圖 13b 上的發動机的运动略圖，乃是具有一个固定件、兩個活动件、一个直移副和三个迴轉副的閉式运动鏈。

6 平面运动鏈的自由度

在平面範圍內，構件 AB （圖 14）的位置用三个参数确定。这三个参数是：構件上任何一点的兩個坐标和構件与任何一个坐标軸間的傾角。在平面上的自由構件，当改变三个参数时，可以利用三个自由度，而且，對於一个复杂的运动，不論是同时利用这三个自由度或者按照任一次序而依次地利用，其所达到的最后結果是完全相同的。

当作平面运动时，構件可依次地利用三个自由度，而用下述

方法由位置 AB 移动到另一个給定的位置 ab :

1. 平行於構件本身，沿着平行於 x 軸的方向移动，使 A 点与由 a 点所作的 x 軸的垂直綫相合；由於这样移动的结果，構件佔据了位置 A_1B_1 ；

2. 从位置 A_1B_1 ，同样地平行於構件本身，沿着平行於 y 軸的方向移动到 A_1 点与 a 点相合时为止；由於这样移动的结果，構件佔据了位置 aB_2 ；

3. 圍繞 a 点旋轉 B_2 点使与 b 点相合为止。

两个彼此不連接的構件作平面运动时，具有六个自由度，可以利用这六个自由度使这些構件由任何一个給定的位置移到另一个任意的給定位置。两个連接成运动副的構件在作絕对的平面运动时，也就是說其相对位置不改变时，只能夠利用像一个構件那样所具有的三个自由度。但是，連接成运动副后，这些構件並未失去相对移动的自由度：迴轉副的两个構件都还能够利用其中一个構件圍繞运动副中心迴轉的一个自由度，而直移副的两个構件都还能够利用其中一个構件相对於另一構件滑动的一个自由度。高副構件与低副構件不同，高副的两个構件作相对运动时都能够利用两个自由度——一个滑动时的自由度和另一个相对滚动时的自由度。

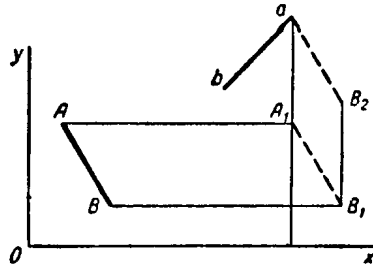


圖 14

因此，低副夺去了两个構件的两个自由度，或者換句話說，給两个構件加上了两个約束；而高副只加上了一個約束。

注意到这个情况以后，我們得到下面运动鏈的結構公式：

$$3n - 2p - k = W, \quad (1)$$

式中 n —— 活动件的个数，或者是除去已变为机架的一个机件以外所有構件的个数；

p ——低副的个数；

k ——高副的个数；

W ——自由度数或自由参数的个数。

当导出公式(1)的时候，已經假定每一个構件給运动鏈帶來三个自由度，而每一个低副又夺去了两个自由度。但是，可以設想有这样的运动鏈，它的所有構件都沒有迴轉的可能，也就是說，沒有改变其角度参数的可能。只含有直移副的运动鏈就是这种运动鏈。

構件参与这种运动鏈时，它並不給运动鏈帶來三个自由度而是帶來两个，而低副(在目前情况下，总是直移副)並不給运动鏈加上两个約束而只是加上一个約束。

因此，当确定只包含直移副的运动鏈的自由度时，应根据公式

$$W = 2n - p, \quad (2)$$

式中 W ——自由度数；

n ——活动件个数；

p ——直移副个数。

实际上，只包含直移副的运动鏈只有在極少数的情況下才应用。

运动鏈的活动性是用与自由参数的数目相等的自由度数来表示其特征的。当自由度数等於零时，所有構件就只能佔据一个一定的位置，它們不能从这个位置移动出来，这是由於沒有自由参数，也就是由於沒有使任何一个構件發生运动的可能性。在自由度为 W 的情况下，在其中一个或几个構件利用了所有的 W 个自由参数而运动以后，所有構件將达到其确定的相互位置。当那些按已知規律运动並且利用所有自由参数的部分構件連續运动时，其他各構件的运动就將完全被确定。

当研究运动鏈时，运动規律为已知的那些構件都称为主动件，其他的構件都称为从动件。不应把主动件与在外力作用下而运动

的那些構件混淆起来。这种構件与主动件不同，称为驱动件，主动件可以是驱动件，但也可以不是驱动件。

为了更好地明了以上所述，我們来分析几个例子。

圖 15 所示为一个具有一个固定件（机架） AC 和三个迴轉副 A 、 B 、 C 的三構件运动鏈。当 $n = 2$ ， $p = 3$ 和 $k = 0$ 时，根据公式 (1)，自由度数为

$$3 \times 2 - 2 \times 3 - 0 = 0。$$

由于，沒有自由参数，所以，这种运动鏈是不能动的，这个很明显。

在运动鏈（圖 15）

中，用高副代替低副 B 以后，就得到如圖 16 所示的运动鏈。高副使得構件有变化其相互位置的可能，因此，在保持在 B 点接触的情况下，其

中一个構件旋轉过某个角度是可能的，但是，当被旋轉的構件确定在一定的位罝以后，另外一个構件便不能旋轉：因为第一个構件將妨碍它沿一个方向迴轉；而沿相反方向迴轉时，便会与第一个構件脱离接触以致高副的作用消失，並且使运动鏈由閉式的变为开式的。可見，該运动鏈的自由度数等於 1，这也被公式 (1) 所証实：

$$3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1。$$

圖 17 所示为一具有三个活动件和四个迴轉副的运动鏈。根据公式 (1)，得到

$$3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1。$$

当構件 AB 旋轉了某个角度，結果所有構件就被确定在一定的位罝上。因为，如果不再改变 B 点的位罝时，其他任何一个構件是不可能运动的。当構件 CD 利用一个自由参数时，也得到相

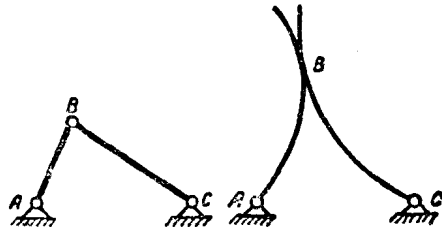


圖 15

圖 16

同的結果。由此得出結論，構件 BC 只能改變其一個端點的位置，而第二個端點就完全取決於第一個端點的位置。

可見，根據公式 (1) 所得的結果是正確的。

圖 18 所示為具有四個能動件和五個迴轉副的運動鏈。根據公式 (1)，我們得到

$$3 \times 4 - 2 \times 5 - 0 = 2。$$

當構件 AB 旋轉時，它利用了一個自由度，同時也決定了四邊形（想像的） $BCDE$ 的一邊 BE 的長度。當 B 和 E 點不動時，運動鏈 $BCDE$ 的構件只具有一個自由度，這點，在研究圖 17 所示的運動鏈時業已証明了。如果不去轉動構件 AB 而轉動構件 DE ，則將得到類似的結果。因此，圖 18 所示的運動鏈具有兩個自由度，這就証實了根據公式 (1) 所得的結果的正確性。

在這個運動鏈中，構件 AB 和 DE 中的每一個只可能利用一個自由參數，而構件 BC 和 CD 中的每一個，當轉移到另一個位置時，都是利用兩個自由參數。例如：當改變 B 點的位置時， BC 構件利用一個自由參數，因為 B 點沿半徑為 AB 的圓周上運動時只能自由地改變一個坐標；同樣當 B 點確定在一個新位置以後， C 點沿半徑為 BC 的圓周運動時，也只能自由地改變一個坐標。

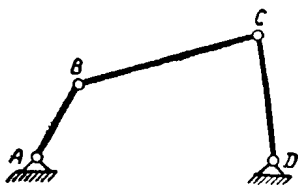


圖 17

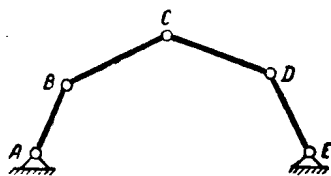


圖 18

因此，圖 18 所示的運動鏈中的所有構件，當具有兩個主動件 AB 和 DE 或具有一個主動件 BC 或 CD 時，都以確定的方式運動。

這樣一來，確定了平面運動鏈的自由度數以後，我們就可以