

高等学校教学用书



机械原理习题集

И. И. 阿尔托包列夫斯基

Влч. А. 齐诺维耶夫 著

В. В. 爱杰尔斯坦

孙 家 鑫 译

本書系根据苏联国立科学技术理論書籍出版社 (Государственное издательство технико-теоретической литературы) 1955 年出版的阿尔托包列夫斯基 (И. И. Артоболевский), 齐諾維耶夫 (Вяч. А. Зинovieв) 与爱杰尔斯坦 (Б. В. Эдельштейн) 所著的“机械原理習題集” (Сборник задач по теории механизмов и машин) 修正第三版譯出。原書經苏联高等教育部批准作为高等工業学校的教学参考書。

原書 1951 年版中譯本書名“机构与机械原理習題集”系由前龙門联合書局出版, 現經原譯者修訂, 改用今名。

机 械 原 理 習 題 集

И. И. 阿齐托包列甫斯基, Вяч. А. 齐諾維耶夫, Б. В. 爱杰尔斯坦著

孙家鼐譯

高等教育出版社出版 北京琉璃廠 170 号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第 051 号)

京华印書局印刷 新华書店总經售

統一書号 15010·605 開本 850×1168 $1/32$ 印張 7 $1^{10}/16$ 字數 222,000 印数 0001—3,800

1953 年 10 月龍門聯合書局初版

1958 年 3 月新 1 版 1958 年 3 月北京第 1 次印刷 定價 (10) 羊 1.20

目 录

序	v
---------	---

第一部分 机构结构与机构运动学

第一篇 机构的结构分析与分类	1
§ 1. 运动副	1
§ 2. 机构运动简图的构成	6
§ 3. 平面机构的分类	11
第二篇 机构的运动分析	34
§ 4. 机构各构件位置的确定	34
§ 5. 机构各构件上各点所画轨迹的作图	41
§ 6. 速度图解及加速度图解的作图	44
§ 7. 机构的位置、速度与加速度的解析确定	65
§ 8. 速度与加速度瞬时中心的位置及瞬心线的作图	72
§ 9. 齿轮机构传动比的确定	80
第三篇 机构的运动设计	95
§ 10. 瞬心线机构的设计	95
§ 11. 凸轮机构的设计	100
§ 12. 齿轮机构的设计	109
§ 13. 低副机构的设计	117

第二部分 机械动力学

第一篇 机构的力的计算	120
§ 14. 机构中惯性力的确定	120
§ 15. 当不计摩擦时运动副中压力的确定	131
§ 16. 运动副中的摩擦	143
第二篇 机械动力学	157
§ 17. 力的转换与质量的转换	157
§ 18. 在外加力的作用下机械组合的运动	167
§ 19. 机械组合中飞轮质量的确定	178

§ 20. 机构机械效率的确定	193
§ 21. 机构在机座上的平衡与迴轉質量的平衡	198
答案	211
附录 漸开綫函数数值表	242
書中所用符号的說明	244

第一部分 机构结构与机构运动学

第一篇 机构的结构分析与分类

§ 1. 运动副

1°. 组成一整个刚性系统的零件组称为构件。不动的构件称为机架。运动给定的构件称为原动构件。运动由原动构件的运动所确定的构件称为从动构件。

2°. 两个构件的可动联接称为运动副。两构件的彼此接触部分称为运动副的元素。

3°. 运动副的级决定于加于其构件间的相对运动的约束条件的数目。当统计加于运动副诸构件上的约束时，必须注意不要将加于运动副两构件上的公共约束与由于运动副元素所决定的约束相重复。

4°. 物体 2 相对于和物体 1 相联系的坐标系的相对运动可考虑为沿着轴线 Ox , Oy 与 Oz 的三个移动和相对于这些轴线的三个转动(图 1)。如果这些运动中的一个或

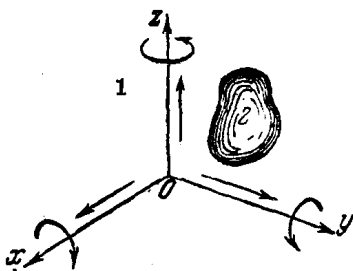


图 1.

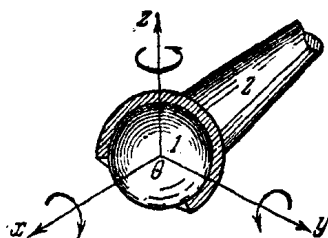


图 2.

几个运动限于运动副元素的几何形状而成为不可能，这就是说，对于这些构件的相对运动加上了对应数目的约束条件，而这些条件的数目就相当于运动副的级数。如果对运动副的两构件加上公共约束条件，则其数量须加到对其构件相对运动所加的约束条件数上去，也即运动副的级数应适当提高。图 2 所示为球铰链。显然，构件 2 对于构件 1 (或相反)的沿着轴线 Ox , Oy 与 Oz 的相对移动被限制，但相对于这些轴线的转动未被限制，因此该副应属于第三级(根据三个已限制运动的数目)。

现在假定两构件 1 与 2 作平行于平面 zOy 的平面平行运动。这时相对于轴线 Oy

与 Oz 的转动又被(附加地)限制,因此这时运动副的级数为第五级(三个由于运动副元

素构造决定的约束再加上两个由于加在运动副两构件上的公共约束的约束)。

圖 3 所示为圆柱副。在该联结中沿轴线 Oy 与 Oz 的移动以及相对于轴线 Oy 与 Oz 的转动是不可能的,也即该副应属于第四级。

如果组成该副的两构件作平行于平面 xOz 的平面平行运动,则对于轴线 Ox 的转动受到了附加的限制而不可能,所以该副应属于第五级(得到所谓直移副)。

如果该副中构件参与平行于平面 yOz 的平面平行运动,则现在附加限制的为沿轴线 Ox 的移动,该副应属于第五级(得到周转副或铰链)。

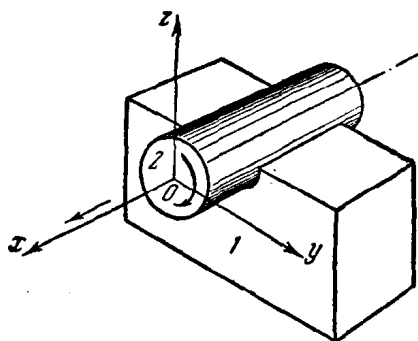
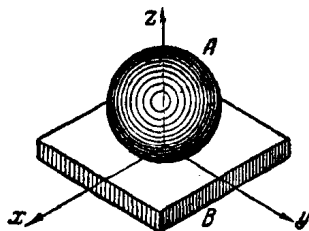


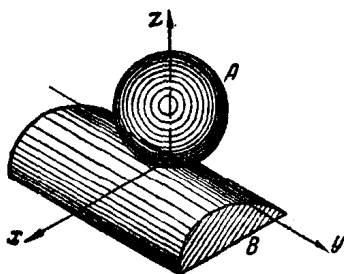
圖 8.

習 題 1-20

1-2. 确定由构件 A 与 B 所组成的运动副的级,并指出在一构件对另一构件的六个可能运动中(三个移动与三个转动)何者为不可能,何者为可能。



1 題。

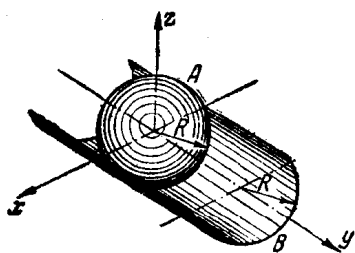


2 題。

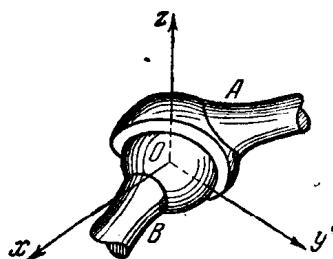
3-8. 确定由构件 A 与 B 所组成的运动副的级。并指出在一构件对另一构件的六个可能运动中(三个移动与三个转动)何者为不可能,何者为可能。

9-16. 确定由构件 A 与 B 所组成的运动副的级。并指出在一

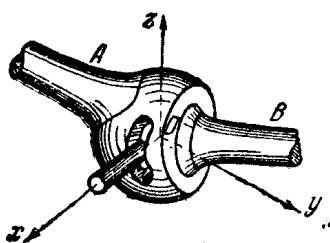
構件对另一構件的六个可能运动中(三个移动与三个轉动)何者为不可能,何者为可能。



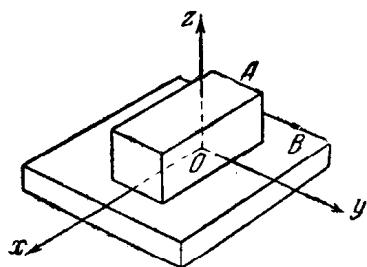
3 題。



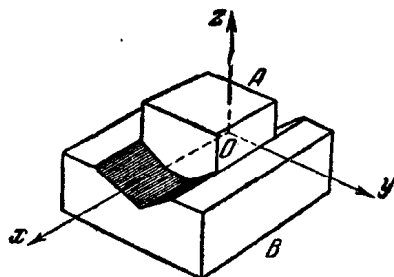
4 題。



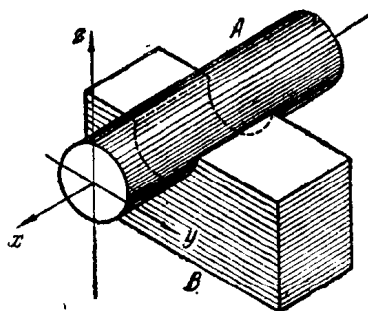
5 題。



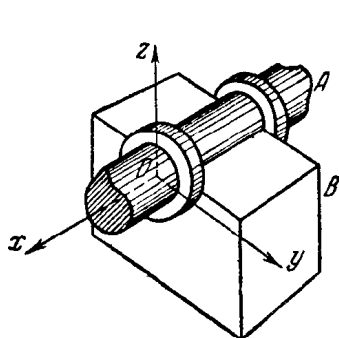
6 題。



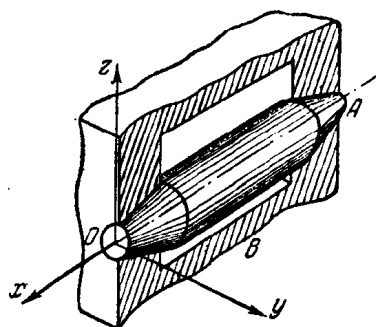
7 題。



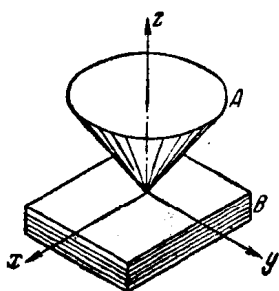
8 題。



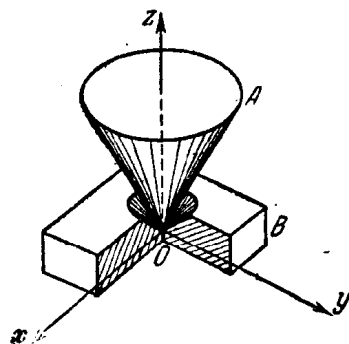
9 題。



10 題。

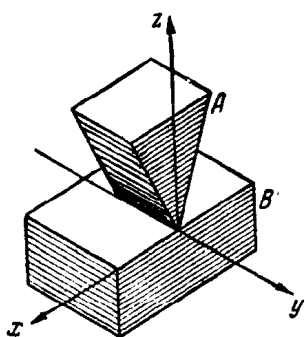


11 題。

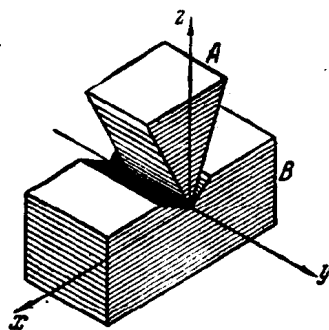


12 題。

在 12 題中錐尖 A 不應與構件 B 上的錐形窪尖不相接觸。



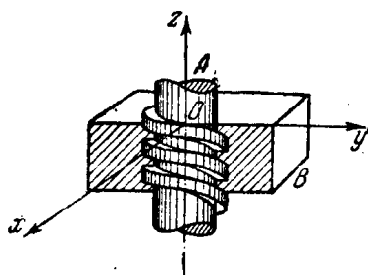
13 題。



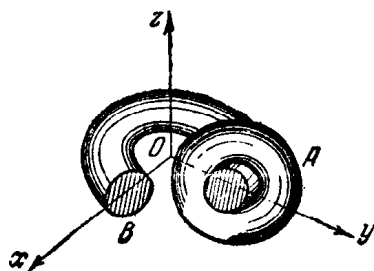
14 題。

在 14 題中棱形体 A 的棱邊不應與構件 B 上的斜槽棱邊不相

接触。

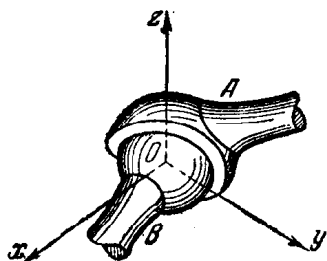


15 题。

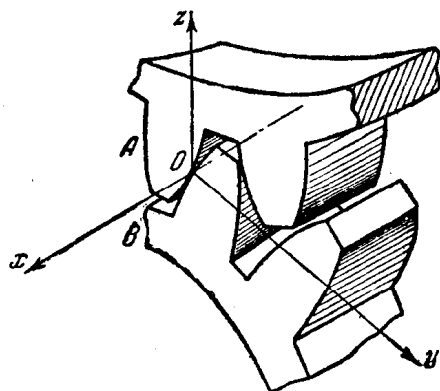


16 题。

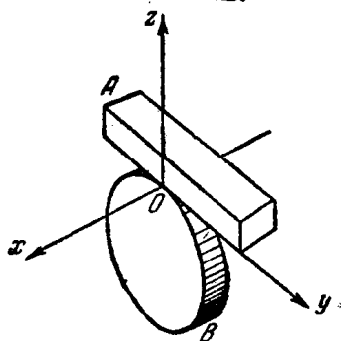
17-20. 如果规定各构件只能在平行于平面 yOz 的平面中运动, 确定由构件 A 与 B 所组成的运动副的级。



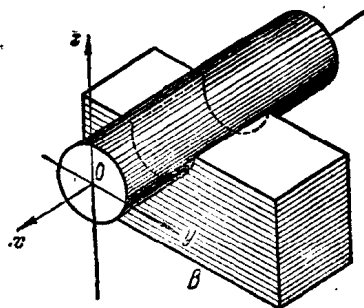
17 题。



18 题。



19 题。



20 题。

§ 2. 機構運動簡圖的構成

1°. 一系列彼此可動地联接在一起的構件形成運動鏈。在運動鏈中如果有一個構件只參與一個運動副，則該運動鏈稱為開斷運動鏈。如果在運動鏈中所有構件都至少參與兩個運動副，則該鏈稱為封閉運動鏈。機構即為封閉運動鏈。

封閉運動鏈中如一個構件形成機架並且各從動構件的運動完全決定於各原動構件的給定運動，這樣的封閉運動鏈稱為機構。

必要的原動構件的數目決定於運動鏈能動度(自由度)的數值。

2°. 當構成空間機構的簡圖時須根據如圖 4 所示的空間運動副的表示方法。在運動副簡圖中箭頭表示各構件的可能相對運動；構件本身用直線段表示，而用字母 l 與 k 表示構件號碼：

1. 第五級迴轉副(圖 4, a)。

2. 第五級直移副(圖 4, b)。

3. 第五級螺旋副(圖 4, c)。

4. 第四級圓柱副(圖 4, d)。

5. 第三級球面副(圖 4, e)。

平面機構中的運動副可根據圖 5 那樣來表示。

6. 第五級迴轉副(鉸鏈)(低副)(圖 5, a)。

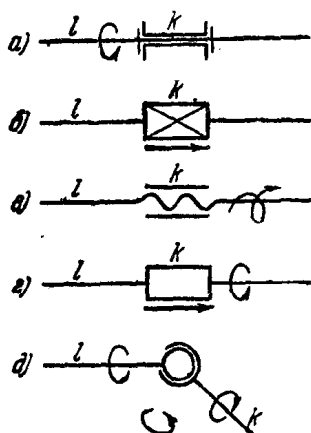


圖 4.

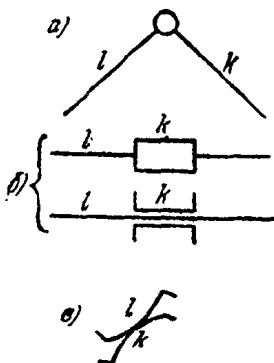


圖 5.

7. 第五级直移副(低副; 构件 l —导杆, 构件 k —滑块)(圖 5, б)。

8. 第四级副(高副)(圖 5, а)。

低级运动副为其元素彼此沿表面接触的运动副。

高级运动副为其元素沿线或点接触的运动副。

高副元素的轮廓曲线在简图中应准确地根据其形状表示出来。如果运动副中一个构件形成机架, 则该构件在简图中用蔭綫表示, 如圖 6 所示迴轉副中的构件 l 形成机架。构件 l 的固定可以如圖 6, а 表示也可如圖 6, б 表示。

必須注意高副不是必須属于第四級的。例如 14 題中所示的运动副, 在沿 Oy 軸綫沒有滑动的条件下就应属于第五級。

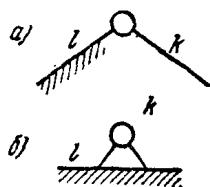


圖 6.

3°. 被用来决定运动链自由度(能动度)的結構公式决定于机构究竟属于那一族。

对于零族机构——即在其各构件上未加有对所有构件为公共约束条件的机构——須用索莫夫 (П. О. Сомов) 及馬雪謝夫 (А. П. Малышев) 公式:

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1, \quad (2.1)$$

式中 W —机构能动度, n —机构能动构件的数目, p_5 —五級副的数目, p_4 —四級副的数目, p_3 —三級副的数目, p_2 —二級副的数目, p_1 —一級副的数目。

对于第一族机构——即在其各构件上加上一个公共约束条件的机构,——須用下式

$$W = 5n - 4p_5 - 3p_4 - 2p_3 - p_2. \quad (2.2)$$

对于第二族机构——即在其各构件上加上两个公共约束条件的机构,——須根据下式

$$W = 4n - 3p_5 - 2p_4 - p_3. \quad (2.3)$$

为要确定第三族机构的自由度, 属于这一族机构的首先是最广泛应用的平面机构, 以及球面机构, 这时須用切貝謝夫 (П. Л. Чебышев) 結構公式

$$W = 3n - 2p_5 - p_4. \quad (2.4)$$

对于第四族机构——即在其所有构件上加上四个公共约束条件的机构,——須用多布罗伏里斯基 (В. В. Добровольский) 公式

$$W = 2n - p_5. \quad (2.5)$$

4°. 在構成机构簡圖时, 必須要

(1) 由机构所产生的运动的观点来确定机构的作用; 例如 21 題中机构的作用为將活塞的往复平移运动轉变为曲軸的迴轉运动;

(2) 統計机构的构件数;

(3) 統計运动副的数目;

(4) 确定在机构的所有构件上是否加有公共约束条件, 如果有公共约束条件则在

確定運動副的級時應該考慮進去，而且要根据這些條件的數目來選擇適當的結構公式並計算機構的能動度；

(5) 在畫簡圖時須先在圖中畫出屬於機架的運動副元素；

(6) 然後在圖中畫出原動構件，該機構的能動度數為多少則其原動構件數就為多少；

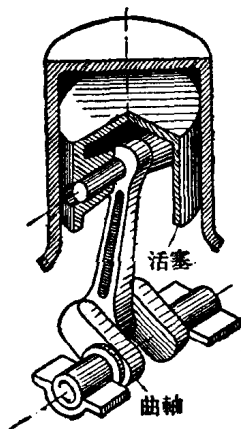
(7) 最後畫出由機構各從動構件組成的運動鏈（必須注意，該運動鏈的一部分構件與原動構件或諸原動構件形成運動副，而另一部分構件與機架形成運動副）。

在構成平面機構的簡圖時圖紙平面應與其各構件的運動平面相重合。

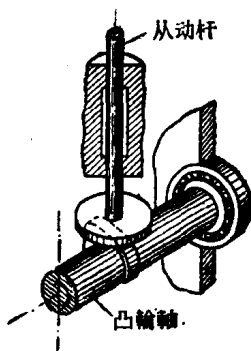
習 題 21—30

21. 畫出內燃機機構的運動簡圖，確定其中的構件數與運動副數，並確定各運動副的級，再寫出該機構的結構公式。

22. 畫出內燃機中配氣機構的運動簡圖，確定其中的構件數與運動副數，並確定各運動副的級，再寫出該機構的結構公式。



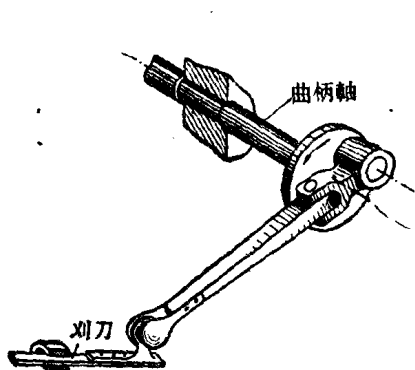
21 題。



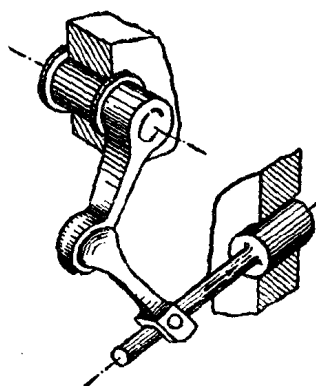
22 題。

23. 畫出刈草機中刈刀機構的運動簡圖，確定其中的構件數與運動副數，並確定各運動副的級，再寫出該機構的結構公式。

24. 畫出自動駕駛儀駕駛機構的運動簡圖，確定其中的構件數與運動副數，並確定各運動副的級，再寫出該機構的結構公式。



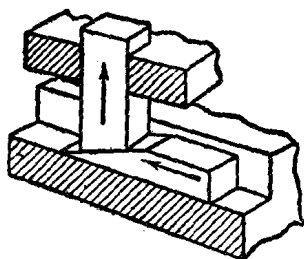
23 题。



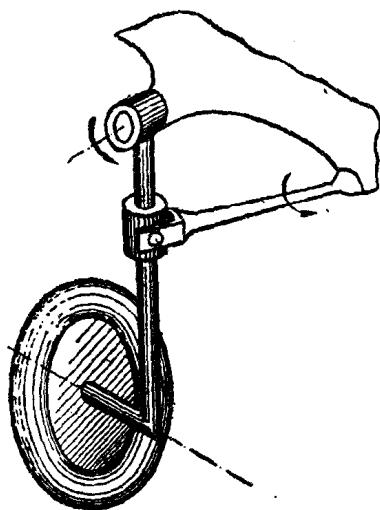
24 题。

25. 画出楔面机构的运动简图，确定其中的构件数与运动副数，并确定各运动副的级，再写出该机构的结构公式。

26. 画出飞机机身轮轴支架的升降机构的运动简图，确定其中的构件数与运动副数，并确定各运动副的级，再写出该机构的结构公式。



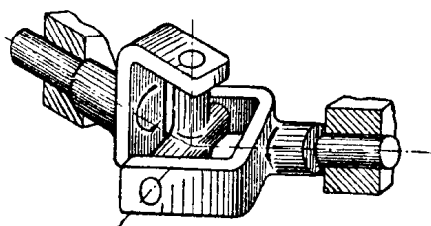
25 题。



26 题。

27. 画出万向联轴器机构的运动简图，确定其中的构件数与运动副数，并确定各运动副的级，再写出该机构的结构公式。

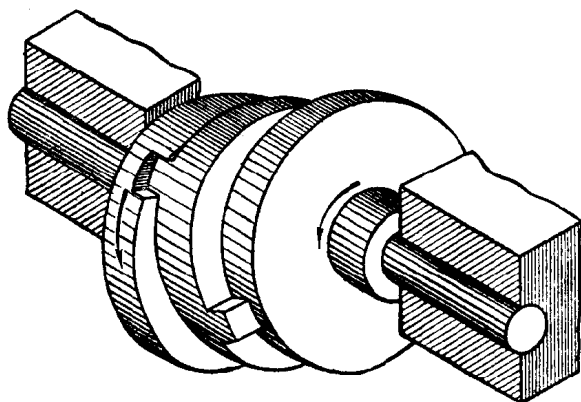
28. 画出将一轴的迴转传送为另一平行轴的迴转的联轴器机构的运动简图，确定其中的构件数与运动副数，并确定各运动副的



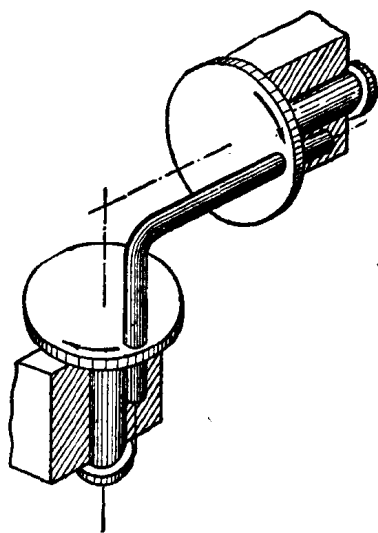
27 題。

級，再寫出該機構的結構公式。

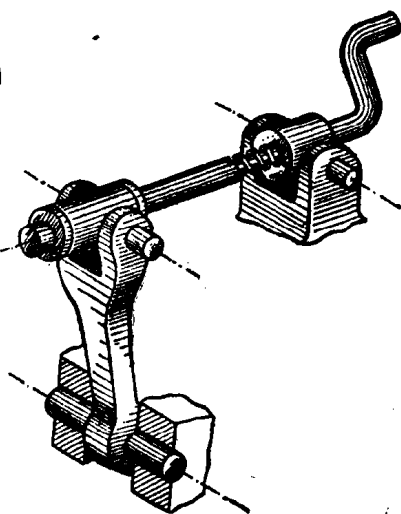
29. 畫出鑽床中的角杆傳動機構的運動簡圖，確定其中的構件數與運動副數，並確定各運動副的



28 題。



29 題。



30 題。

級，再写出該機構的結構公式。

30. 画出拖拉機犁的外輪安裝機構的運動簡圖，確定其中的構件數與運動副數，並確定各運動副的級，再写出該機構的結構公式。

§ 3. 平面機構的類分

1°. 在本書中採用阿爾托包列夫斯基 (И. И. Артоблевский) 根據阿蘇爾 (Л. В. Асуп) 教授的概念所建立的平面機構分類法。這個方法的分類特征為屬於同一級機構的運動分析方法及力的計算方法的統一。根據阿蘇爾的概念每個機構是由符合下述條件的一些運動鏈順序地連接到(疊加到)原動構件(或諸原動構件)上所形成。該條件就是其能動度為：

$$W = 3n - 2p_5 = 0. \quad (3.1)$$

這種運動鏈以後稱為阿蘇爾組。根據這些組的結構可將機構分為這一級或那一級。

上述分類法只有當遵守下列條件時才是可能的：

1. 原動構件的數目等於機構的自由度數。
2. 原動構件(或諸原動構件)與机架形成運動副(或諸運動副)。
3. 該機構中所有的運動副都屬於第五級。

如果機構中有第四級副時則必須用如圖 7 所示的由一個替代構件 k 及兩個第五級副組成的運動鏈來代替它。

在圖 7, *a* 中第四級運動副系由曲線 $\alpha\alpha$ 與 $\beta\beta$ 所形成；其接觸點用字母 A 表示。

在圖 7, *b* 中第四級運動副系由直線 $\alpha\alpha$ 與曲線 $\beta\beta$ 所形成；其接觸點用字母 A 表示。

在圖 7, *c* 中第四級運動副系由杆 1 的端點與曲線 $\beta\beta$ 的接觸所形成；其與曲線的接觸點用字母 A 表示。

在圖 7, *d* 中第四級運動副系由杆 1 的端點與直線 $\beta\beta$ 的接觸所形成；其接觸點用字母 A 表示。

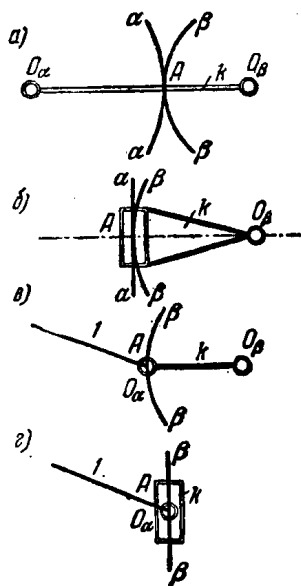


圖 7.

2°. “阿苏尔組”的能动度根据(3.1)式为:

$$W = 3n - 2p_s = 0.$$

以整数解此不定方程式找出有下列可能数值的構件数与运动副数可以形成“組”:

$$\begin{array}{c|c|c|c} n & 2 & 4 & 6 \\ p_s & 3 & 6 & 9 \end{array} \text{ 等} \quad (3.2)$$

根据阿苏尔的说法一个单独的与机架形成运动副的原动構件称为第一級機構;因此第一級組是没有的。

(3.2)式中的第一列数给出第二級組(圖8),系由彼此間用一个內运动副C相联的兩構件所形成,而該構件将参与兩個外运动副B及D。为了形成機構,外运动副B及D的元素应联接到具有确定运动的構件的运动副元素上去。如果这些元素都联接到机架上,則組將形成桁架,这可由(3.1)式直接看出。

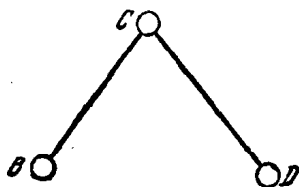


圖 8.

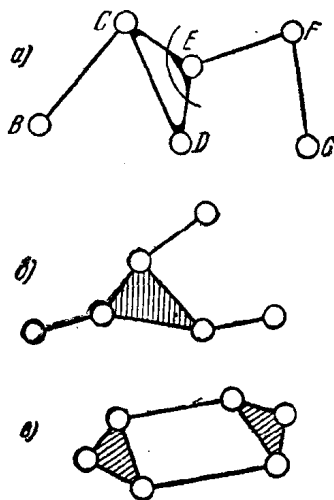


圖 9.

組的阶数决定于外运动副的数目,即第二級組(圖8)永远为第二阶組。形成組的运动副可以是迴轉副也可为直移副。根据有多少个(以及怎样的順序)直移运动副代替迴轉运动副,第二級組还可分为几种类型。类型数可有五个。

(3.2)式中的第二列数字为構件数等于4,而运动副数等于6,可用来形成三种方案的运动鏈(圖9)。圖9,a所示的方案并不形成新的組,而是有两个第二級組BCD及EFG。

对应于圖9,b的方案形成了第三阶(根据外运动副的数目)第三級(根据形成封閉圖形的內运动副的数目)組。圖9,c的方案形成了第二阶(根据外运动副的数目)第四級(根据形成封閉圖形的內运动副的数目)組。級数高于第二級的組不再分类型。

表1中所示为符合(3.2)式中所有三列数字的組的簡圖。

3°. 关于确定機構級別的問題可按下列步驟进行:

表 1.

級数	阶数	类型	簡 圖	構件数	第五級 运动副数
II	2	1		2	3
		2	或		
		3	或		
		4	或		
		5	或		
III	3	—		4	6
	4	—		6	9
IV	2	—		4	6
	3	—		6	9
V	3	—		6	9