

李学荣 编著

四连杆机构 综合概论

第三册

气液动连杆机构设计

机械工业出版社

序 言

在《四连杆机构综合概论》这样一部企图勾画全学科（机构运动学综合，简称机构综合）大要的拙著中，本分册是在产业部门的许多同志时时督促之下完成的。以气液动连杆机构作为“机构运动学综合”的应用范例，以展示这门学科的作用与重要性，比较具有说服力，使人无可置疑。作者愿以本书贡献给我国的机构学界，希望有助于连杆机构研究的发展，为工农业生产机械化、自动化，为我国四个现代化作出本学科应有的贡献。

机构运动学分析，特别是运用运动几何学的观点去分析，是近几十年来作为应用运动学出现的，它的进展很快，并在机构学中开创了新的局面^[56]。增新了机械原理的内容；并作出了许多伸延^{⊖[54,55,57,58,59,60,69,70,27]}。

机构运动学综合，就是按照预期的运动规律确定机构的类型与尺度，这是近廿年来机构学飞跃发展的一个重要内容，它关系到机构创始意念性的设计，特别是在自动机、自动线、自动化的机械执行机构、机器人等等的领域里，起到了卓越的作用。在先进工业国家中，已作为某些专业的一门必修课程“自动机构设计”^[9,26,39,57,58,59,60]。

在经典的机械原理著作中，机构的运动分析与综合一般限于讨论位移、轨迹、速度、加速度等等传统的内容；随着

⊖ 方括号内表示参考文献的标码，全书同。参考文献目录附于书末。

科学技术的发展和研究工作者的努力,提出了不少新的机构运动分析与综合的内容,如传动比、传动角、死点位置、转移距、力的确定等等^①。其中传动比、死点位置、传动角等在国内的一些著作中已经有了论述,但要按照这些指标去作机构综合,在文献中还较少提及。至于转移距这一概念,在国内文献中还未引用。在英美文献中也刚刚露头^[76]。极力法则完全是一个新的分析机构静力的方法;这种方法可以绕过烦琐的作图过程,直接确定出外力与平衡力的关系。在经典的机械原理书籍中,研究机构运动学综合时,都是先暂不考虑外力及其平衡;随着气液动机构的涌现与推广,必须在运动学综合阶段就应考虑力^②的因素,而不能等到作零件设计时,再校核运动综合是否合适。极力法的运用,省去了由速度、加速度到力的重重计算与作图(速度图与加速度图),而作为一个设计条件直接参与设计中去。极力法的发明,对于连杆机构、特别是气液动连杆机构的综合,提供了有效的方法,从而给与设计工作者很大的便利。随着机构分析提出的新内容,在机构综合方法上也增加了各种综合曲线和特殊极点位置分布的应用,如海因(K.Hain)发展起来的点位还原法和洛萨(P.Lohse)发展起来的极位曲线理论(Po-lortkurventheorie)^[27],以及其它新的方法^[61,62,63,64]。

另外,随着气液动连杆机构广泛的应用,原来不甚引人注目的课题,如按对角相应角移量关系^③作机构综合等等,亦引起学者的重视。

① 新的运动特性的内容不仅是这些;在这里,仅就本册要涉及到的内容略提一提。

② 为运动综合合适与否而考虑的“力的因素”,并非要免去零件设计的力的计算。

③ 此处仅作为一例,类似的课题很多。

在本册中，对于这些较新的内容，有些作了重点介绍（如转移距、极力法、点位还原法、按对角相应角移量设计机构等等），有些还不能有所反映（如Lohse的极位曲线综合法等等）。

关于欧拉—萨瓦利（Euler-savary）定理、Bobillier方法、Ball点以及无限接近位移时的环点曲线与轴点曲线（或称枢点曲线）等等基本理论（这些都是经典的理论，在近代文献中时常引用），将写入“连杆曲线及复演轨迹”分册中。

本分册所以较“连杆曲线及复演轨迹”分册先行问世，主要是工程实践中的急需，另一方面我们试图用最简单的机构综合方法去解决生产实际问题。这样，对于机构综合究竟有没有用，如何联系实际去应用等这些急待解答的疑问，可以稍为澄清一下。

鉴于以上一些想法，故将本册的副标题列为“气液动连杆机构设计”。

在本册中，除引入运动特性的某些新概念以外，在综合例题示范方面，引入多杆机构的综合方法。这样，不仅是为了扩大眼界与强调这些机构的实际应用，而且也为了说明四连杆机构综合方法对于多杆机构综合的指导意义。

为了研究多杆机构的综合，不得不对多杆机构的联接方法、复合与分解的重要性、多杆机构的系统学等作一定的描述。读者通过这些章节的描述，可能得到比较鲜明的认识，就是说，机构综合学，每提出一种新的概念，均出自实践上的需要，决非无的放矢。

在阅读本书过程中，最好适时地回顾、温习一下有关章节，可以获得较深的印象。这样，在处理实际问题时，可能思路较为宽广。

由于著者水平、经历的限制，在本书中不可能讲述气液联动连杆机构中所有的问题，只能摘其大要：描述气液联动连杆机构的基本类型，阐明其要点，注重简单问题解法的基本功与复杂问题的求解思路。读者如能由浅入深、由此及彼、举一反三，求寻其异题同理，则在掌握基本功的条件下，遇到具体问题，就能按照命题的指标（位移、力矩、角移量等等）有一条思路，可以独立地去着手解决。

本书既负有略述连杆机构综合要点的使命，又有结合工业应用、理论指导实践之任务；因此，本分册的侧重是既需阐明原理，又要指明其运用，在原理讨论的基础上说明设计方法，在介绍示例时回顾所阐明的理论。

作者在编写时，考虑到设计人员、现场维修人员对连杆机构和气、液联动连杆机构的设计方法比较生疏，在国内文献中也不易找到这些问题的解法。为此，特别强调求解此类问题时所需用到的有关预备知识（如转移距、极力法等等）。但在作机构的运动综合时，有时需要综合运用几方面的知识才能解决一个实际问题，有时还需要掌握某些基本理论和方法（如布尔梅斯特理论中的焦点曲线求解法或点位还原法）才能作图。为了让读者在学习本册之后，对解决实际问题不致发生困难，所以在本书的第八章中特别地介绍点位还原法。这样，对于未掌握布尔梅斯特方法（详见本书第二册）的同志，仍然可以着手工作。另外，在阅读本分册时，并不一定要先学第一、第二册，甚至也可以不从头读起，而是根据实际工作中发现的问题，学习有关部分的内容，以便尽快地解决问题，免得浪费时间与精力。但在连杆机构设计中，有时命题的条件非常严峻，要同时满足多重指标，求解这种命题，往往是比较困难的，遇到这种情况，解题思路就

是一个特别重要的关键。作者希望从事这类工作的同志，应该熟练地掌握基本概念、理论和方法，以便明确了“解题思路”之后，便能无困难地进行解题。

本册的编写目的，就是试图帮助读者解决上述问题，因而读者对象主要是工程技术人员。在叙述上，有较多的必要的交叉，有些理论不作烦琐的论证，但必要时作了注释。对于习惯于阅读教科书的大学生，对本册内容的处理，可能会感到许多不便。对于熟悉机械原理内容的专业工作者，可能会感到某些耳熟能详的理论，无庸赘述。针对自修的读者，指明了参考文献，提出了纲要，以便自学时深入钻研，不致迷途。

关于运动几何学方面的预备知识，在此作一个简要说明。

累罗学派以几何解法见长，自然与各门几何学的理论，有密切的关系。在国内，已有机工业出版社出版的《平面机构综合理论的几何工具》一书，这本书中几乎包罗了所需用到的几何工具。由于这本书的数学起点稍高，例题多偏于理论，其描述方法是代数几何方法，直观性差。反之，近年有E. A. Dijkman著的《机构的运动几何学》（《Motion geometry of mechanisms》1976）一书，眉目清楚，将运动概念与几何概念结合在一起，确实在获得运动几何的理论基础上能对机构综合有清晰的理解，例题直观性较强，但此书并不能作为初学者入门性的读物。至于几何学方面的书，国内已出版不少，作者建议如能先阅读李俨编译《近世几何学初编》〔66〕然后再阅读前述“平面机构综合理论的几何工具”，则是一种易于入门的掌握几何工具的学习办法。另外，切特维鲁欣著：《射影几何》〔28〕一书，可以给予人们较深

刻的基本概念。美中不足的是，这些参考书中的定理名称，与累罗学派学者(如R.Kraus、K.Hain、Meyer Zur Capellen、R.Beyer、J.Volmer、P.Lohse和W.Lichtenheldt等人)的论文与专著中所使用的，往往很不一致[⊖]。因为他们在引用定理时，不仅是某个定理本身，还运用这些定理的推论、系、逆定理，而名词仍保留定理的本名，所以，读者在阅读这些几何定理时，要详尽地掌握上述内容，才可在阅读专著时不留遗憾。

至于运动学的基础问题，要想顺利地阅读近代文献，须补上平面刚体运动学的相对运动这一课。有些内容在大学教程中已经列入(如西安交大编译的《理论力学》)。其重点为加速度、回转圆、Memke定理、欧拉-萨瓦利定理、Hartman和Bobillier作图法(Bobillier定理)等等；这些内容可见参考文献^[29,70,24]。此外，在И.И阿尔托包列夫斯基著《机械原理》(高等教育出版社1956年第一版)中，对一些定理也作了必要的阐明。

以上给读者介绍了有关机构学中的几何工具与运动学基础的一些必备知识。过去，对这些基本概念和定理，往往被忽略，以致阅读文献时，发生不应有的困难。

所幸，在本册中所涉及的定理不多，一般阅读时不致发生多少困难。如果运用某个定理，不加推导，则也正由于上述原因。

考虑到读者对象，自然在内容安排与叙述方法上就不可避免地产生一定的局限性。为了使读者通过本书的描述，能

⊖ 还有一种原因，就是各国学者，多以自己本国的人发明的定理为荣，故而同一定理，就有不同的名字出现。

够提高某些设计能力，所以在讨论问题时，力图把最简单气液动连杆机构的设计方法交待清楚，把多杆机构的分解方法与设计思路作一些说明，以助读者在遇到实际问题时，摆脱茫无头绪的困境。本书如能达到这一目的，就算起到抛砖引玉的作用。

就作者管见所及，国内外目前尚无系统地介绍气液动连杆机构之著作。本书成稿于1976年至1977年初，时退休家居。书中所列各项设计指标，设计的步骤、章节的编排，颇多出自之自撰，行文中的议论亦多，是否恰当，敬请读者批评指正。

李 学 荣

1979年4月20日

目 次

序言

第七章 气液动连杆机构设计 1

§ 7.1 气液动连杆机构总说 1

7.1-1 气液动连杆机构的发展(1)——7.1-2 气液动连杆机构的特点(10)

§ 7.2 气液动连杆机构的基本型式 11

7.2-1 最简单的气液动连杆机构(11)——7.2-2 摆动缸式

气液动四杆机构(典型最简气液动连杆机构)(13)——

7.2-3 固定缸式气液动四杆机构(非典型最简气液动连杆机构)(18)

§ 7.3 复合气液动连杆机构 25

7.3-1 复合气液动连杆机构(25)——7.3-2 机构的串联与
并联(26)——7.3-3 机构的叠联(29)

§ 7.4 气液动四杆机构的扩充 35

§ 7.5 机构的系统学 39

§ 7.6 气液动连杆机构设计工作的特点 44

§ 7.7 气液动连杆机构设计基础 48

7.7-1 摆动缸式气液动四杆机构的运动特性(48)——7.7-2

机构的死点位置(53)——7.7-3 曲柄导杆机构的死点位置

与相应角移量(59)——7.7-4 机构的传动角(65)——7.7-5

气液动四杆机构的传动角(70)——7.7-6 机构的传动比

(76)——7.7-7 极点与转动方向及标定极(81)——7.7-8

转动缸式气液动机构的共线轴(89)——7.7-9 利用传动比

求六杆机构的力矩比(91)——7.7-10 按传动比设计机构

(96)——7.7-11 转移距(99)——7.7-12 固定缸式气液

动六杆机构的转移距(107)——7.7-13 摆动缸式气液动六

杆机构的转移距(112)——7.7-14 双活塞工作缸六杆机构

	的转移距(117)——7·7-15 机构静力的确定(119)——	
	7·7-16 气液动四杆机构静力的确定(121)——7·7-17 气	
	液动多杆机构负荷点的配置型式(124)——7·7-18 气液动	
	多杆机构平衡的活塞力的确定(127)——7·7-19 应用示例	
	(平衡力确定)(137)——7·7-20 机构静力分析的极	
	力法(146)——7·7-21 应用示例(极力法和极线法)	
	(176)——7·7-22 简化的极力法(181)	
§ 7·8	带直移副的四连杆机构的连杆曲线.....	191
§ 7·9	气液动连杆机构和带直移副机构的设计.....	202
	7·9-1 气液动连杆机构的设计问题(202)——7·9-2按两位	
	置设计简单的气液动机构(204)——7·9-3 按相应角移量	
	设计气液动四杆机构(214)——7·9-4 按相等的相应角	
	移量设计气液动四杆机构(217)——7·9-5 按两对及两	
	对以上的相应角移量与直移量设计固定缸式气液动四	
	杆机构(曲柄连杆机构)(218)——7·9-6 按三对相应	
	角移量与直移量设计转动缸式气液动四杆机构(224)——	
	7·9-7 利用点位还原法按三对相应角移量与位移量设	
	计固定缸式气液动四杆机构(225)——7·9-8上节机构的	
	特例——交叉导轨直移机构的设计(229)——7·9-9利用	
	点位还原法按三对相应角移量与直移量设计转动缸式气	
	液动四杆机构(231)——7·9-10 按机构死点位置设计曲	
	柄滑块机构(234)——7·9-11 按机构死点位置并考虑传	
	动角设计曲柄滑块机构(237)——7·9-12 按最佳传动角	
	设计偏心式曲柄滑块机构(气液动机构)(244)——7·9-13	
	按给定的两个瞬时传动比设计四杆机构(265)——7·9-	
	14 按给定的三个瞬时传动比设计四杆机构(268)——	
	7·9-15 按传动比的极限值设计曲柄导杆机构(转动缸	
	式气液动四杆机构)(272)——7·9-16 按转移距设计气	
	液动四杆机构(277)——7·9-17 按活塞的直移量及从动	
	杆角移量设计起重机构(283)——7·9-18 按活塞接近等	
	负荷、曲柄接近等力矩设计气液动机构(292)——7·9-19	
	利用气液动机构复演预期轨迹(302)	

§ 7·10	复合气液动连杆机构的设计	314
7·10-1	复合气液动连杆机构的设计(314)——7·10-2	
	气液动的直线导轨机构(324)——7·10-3 气液动机构	
	描绘平面曲线(343)——7·10-4 液压自动倾卸汽车的	
	倾卸机构 (345)——7·10-5大角移的多杆机构的设计	
	(旋臂装卸机构的设计) (349)	
第八章	点位还原法	394
§ 8·1	点位还原法	394
§ 8·2	利用点位还原法作一对相应角移量的机构设计	400
§ 8·3	作三个有限接近位置的位移时, 利用点位	
	还原法求解的特点	406
§ 8·4	利用点位还原法设计简单的气液动连杆机构	408
§ 8·5	利用点位还原法设计模拟函数装置	410
8·5-1	利用点位还原法设计模拟函数装置(410)——	
8·5-2	利用点位还原法并结合传动比设计模拟函数计算	
	装置(426)	
§ 8·6	利用点位还原法复演平面曲线	442
8·6-1	利用点位还原法复演平面曲线(442)——8·6-2	
	利用双重点位还原法复演平面曲线(445)——8·6-3 利	
	用三重点位还原法复演平面曲线(449)	
参考文献		(451)

第七章 气液动连杆机构设计

§ 7.1 气液动连杆机构总说

7.1-1 气液动连杆机构的发展 近一、二十年来，气液

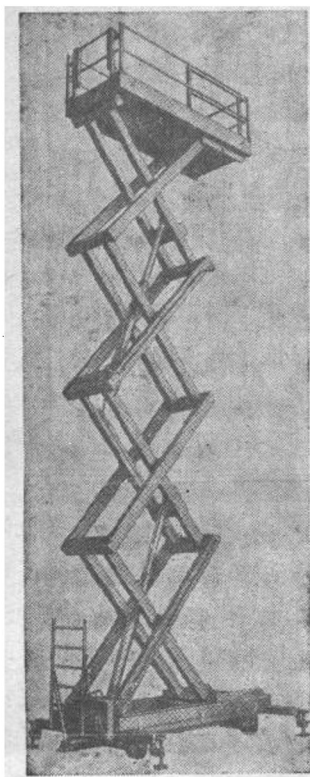


图 7.1-1 气液动云梯

动连杆机构在矿山、冶金、建筑、交通运输、轻工、国防等部门中，都有广泛的运用。考查它的发展原因，除这种机构具有制造容易、价格低廉、坚实耐用、便于维修保养等优点外，它还能产生工程中常见的各种运动，可以代替沉重的体力劳动；可以代替恶劣环境（如粉尘、噪声、潮湿、高温、污染等等）中的工作，并可避免工作者在劳动时处于危险境地（如矿山采掘）；尤其重要的是，它便于实现遥控，可以顺序完成一些比较复杂的动作，易于实现自动化或半自动化。

下面举一些简易而浅显的应用实例，可以见到这种机构广泛用途的一斑。

例如：液压控制云梯

(图7·1-1), 供建筑、维修[⊖]、消防等方面的应用, 升降自如, 高度可任意调整; 载重卡车的倾卸机构(图7·1-2), 能

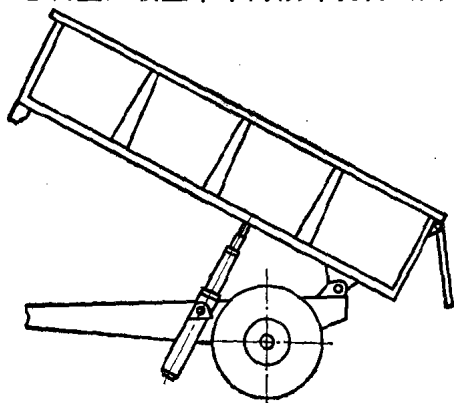


图 7·1-2 载重卡车倾卸机构

将车体从水平位置倾侧至所需角度, 自卸散装货物, 加速车辆的周转; 攫土机构(图7·1-3), 可以灵活地攫取土壤, 倒入搬载工具, 比人工铲土、挖土效率要高出若干倍; 液气动抓钩(图7·1-4), 为装卸机构化提供了高效率的索具; 飞机的起落架机构(图7·1-5), 可以在最小空间内叠放[⊖]; 凡此等等, 设想如不用气液动连杆机构, 而使用其它机构, 则要完成同样动作, 其结构一般要复杂得多。

在上面所举的应用示例中, 有些是单缸四杆机构(如图7·1-2), 有的是串联四连杆机构(如图7·1-1), 有的是多缸多杆的复合机构(如图7·1-3)。这是从工作缸数和杆数来分辨这些机构的。

如果从另一角度来辨认它们, 则这些机构不仅有固定杆的机构, 还有无固定杆的机构(如图7·1-4中的抓钩是一个

⊖ 如城市无轨电车架空电缆维修用的云梯。

⊖ 像长距离的大容量客机, 起落架需多层叠放。

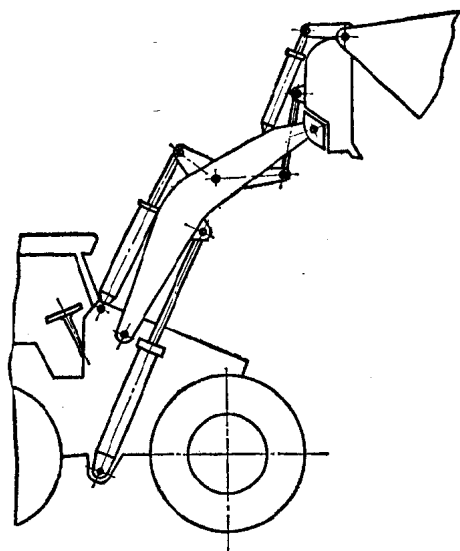


图 7-1-3 液压攪土机构

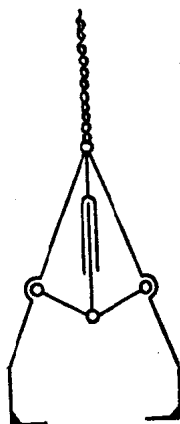


图 7-1-4 液气动抓钩

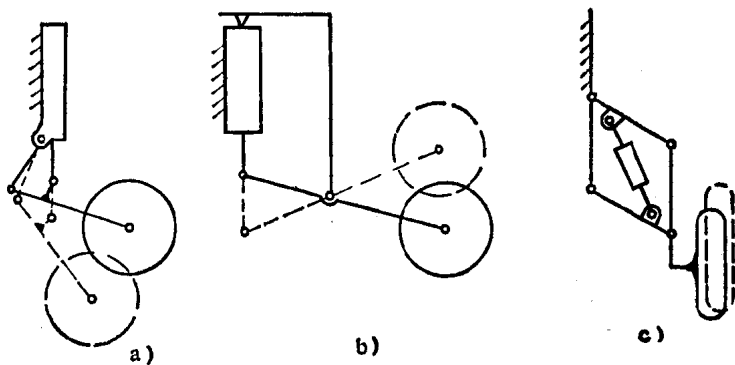


图 7-1-5 飞机起落架机构

悬浮式液压六杆机构)。像这种无固定杆的机构，我们还可以举出气动车辆减速器（图7-1-6），它的功用是制动车辆，供驼峰站场溜放车辆调节速度之用〔4、5〕，这个机构仅用一个

铰销固定在机架上，以便当车辆进入减速器后，在制动过程中，能适应车辆的蛇形运动。由此可见，气液动机构的应用，已从具有固定杆机构，伸展到悬浮机构——无固定杆机构。

飞机的起落架可以用四杆机构（图7·1-5 a、b）也可以

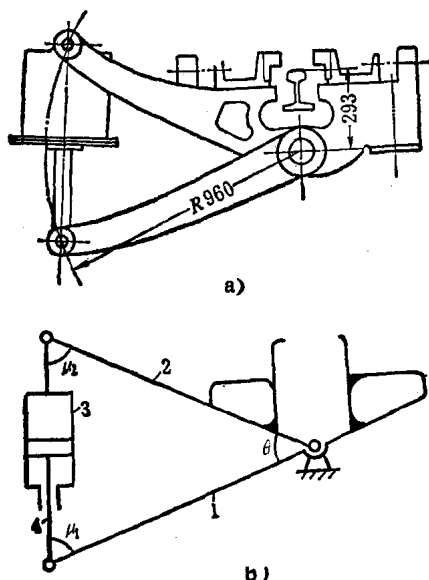


图 7·1-6 气动车辆减速器

用六杆或更多杆的机构构成（图7·1-7至7·1-9）。例如图7·1-5c)中的机构是一个六杆机构，工作缸及活塞杆跨接于上、下对边的杆上，通过活塞杆的伸缩运动，使机构相应对角的角移量增大或缩小，实现着陆轮的起升或下降。在这里，我们列出了六种不同型式的起落架机构，这说明同样实现着陆轮的提升及下降运动，可以有不同的设计方案。所以，一个连杆机构的设计命题，经常有多种多样的可能答案，它们的

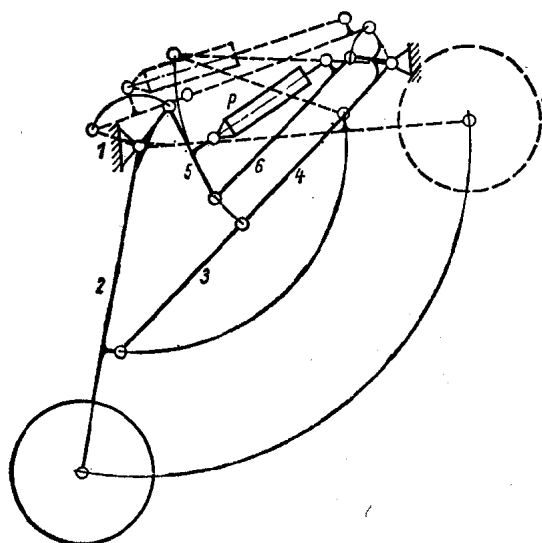


图 7.1-7

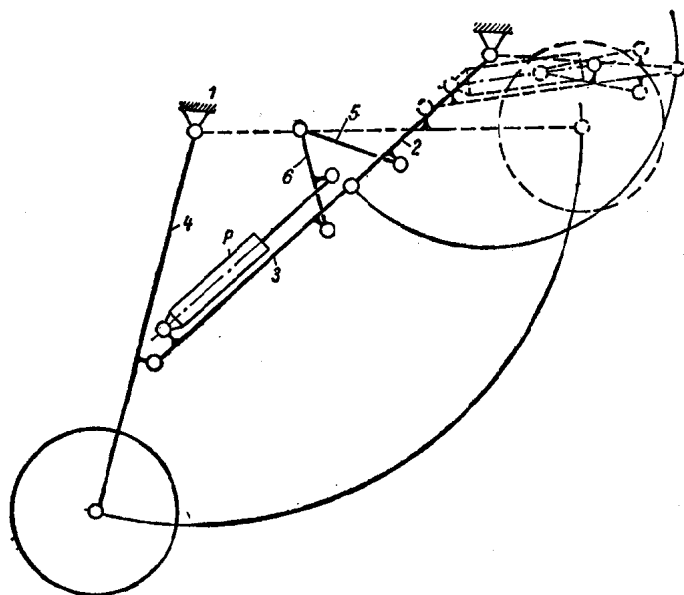


图 7.1-8

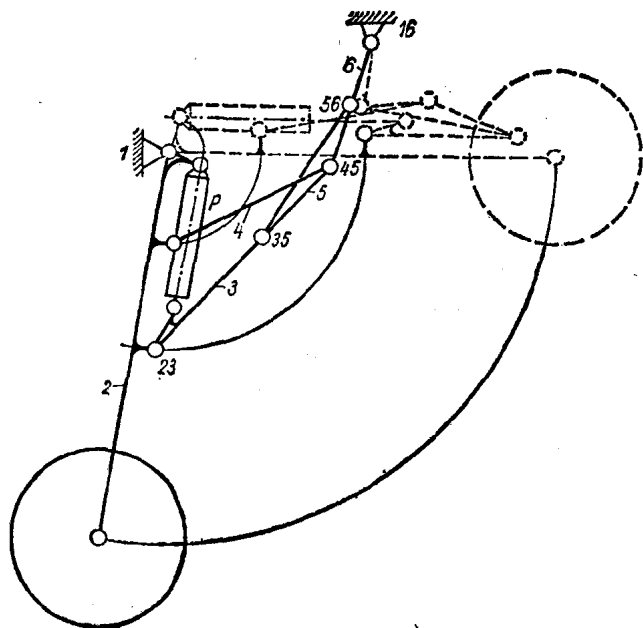


图 7-1-9 各种不同的起落架机构

主体动作虽然相同，但在具体指标和许多细节上有着很大的差异，要想从各种方案中比较取舍，也很费思量，这就需要我们认真地探讨气液动连杆机构的工作特点及其设计的基本理论。

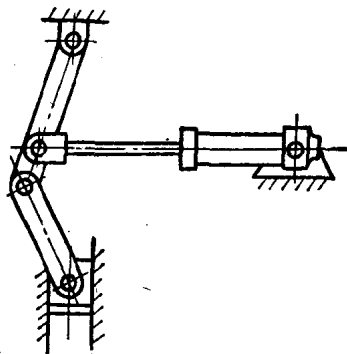


图7-1-10是冲压床的气液动六杆机构，这是许多工业部门、特别是轻工业部门应用最广的一种结构。它的主要设计要求，是力的传递效果要好。利用这种机构能制造出价格低