

常见机构的功能和机构的选型设计

任何复杂机构系统都是由基本机构组合而成。这些基本机构可经过串联、并联、叠加连接和封闭连接,组成各种各样的机械;也可以是相互间不连接的单独工作的基本机构,但之间的运动必须满足运动协调条件,完成各种各样的动作。所以研究基本机构及其组成,选择合适的机构类型是机构创新设计的重要内容之一。

3.1 机构的组成

3.1.1

机构的组成要素

构件和运动副是组成机构的两个基本要素,而机构则是具有固定构件的运动链。要想了解机构的组成,首先要掌握构件、运动副和运动链的基本概念。

1. 构件

从制造、加工的角度看,任何机械都是由若干单独加工制造的单元体——零件组装而成。例如图 3-1 所示的内燃机连杆,就是由单独加工的连杆体 1、连杆头 2、轴瓦 3、螺杆 4、螺母 5、轴套 6 等零件装配而成的。

但是从机械实现预期运动和功能的角度来看,并不是每个零件都独立起作用。每一个独立影响机械功能并能独立运动的单元体称为构件。构件可以是单一的零件,如曲轴,构件也可以是由若干个零件刚性地连接在一起的一个运动整体,如图 3-1 所示的连杆就是由许多不产生相对运动的零件刚性连接而成的一个构件,它们是一个不可分割的运动单元。因此,构件是运动的单元,而零件是制造的单元。从运动的观点来看,任何机器都是由若干个构件组合而成的。



2. 运动副

1) 运动副的概念

当由构件组成机构时,需要以一定的方式把各个构件彼此连接起来,而且每个构件必须与另一个构件相连接,而且彼此连接的两个构件之间应该能产生某种相对运动。我们把这种由两构件直接接触而组成的可动连接称为运动副。如图 3-2 所示的轴与轴承间的连接,图 3-3 所示的凸轮与滚子间的接触都构成了运动副。

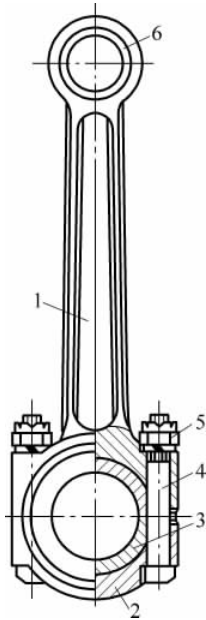


图 3-1 内燃机连杆机构

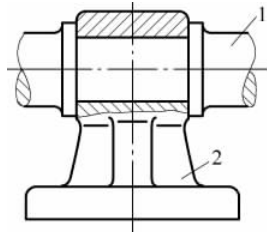


图 3-2 轴与轴承形成的运动副

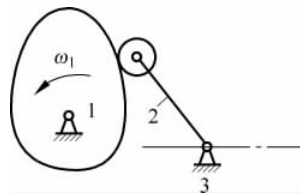


图 3-3 凸轮与滚子形成的运动副

构成运动副的两个构件间的接触不外乎点、线、面 3 种形式,两个构件上参与接触而构成运动副的点、线、面部分称为运动副元素。

构件所具有的独立运动的数目(或是确定构件位置所需要的独立参变量的数目)称为构件的自由度。一个构件在未与其他构件连接前,在空间可产生 6 个独立运动,也就是说具有 6 个自由度。

两个构件直接接触构成运动副后,构件的某些独立运动将受到限制,自由度随之减少,构件之间只能产生某些相对运动。运动副对构件的独立运动所加的限制称为约束。运动副每引入 1 个约束,构件便失去 1 个自由度。两个构件间形成的运动副引入了多少个约束,限制了构件的哪些独立运动,则取决于运动副的类型。

2) 运动副分类

按接触形式分类。面与面接触的运动副(如图 3-2 中轴与轴承所形成的运动副)在承受载荷方面与点、线相接触的运动副(如图 3-3 中凸轮与滚子所形成的运动副)相比,其接触部分的压强较低,故面接触的运动副称为低副,而点、线接触的运动副称为高副,高副比低副易磨损。

按相对运动的形式分类。构成运动副的两构件之间的相对运动若为平面运动则称为平

面运动副,若为空间运动则称为空间运动副。两构件之间只做相对转动的运动副称为转动副或回转副,两构件之间只做相对移动的运动副称为移动副。

按照运动副引入的约束数分类。引入1个约束的运动副称为1级副、引入2个约束的运动副称为2级副,类推,还有3级、4级、5级副。

按照接触部分的几何形状分类。根据组成运动副的两构件在接触部分的几何形状,可分为圆柱副、平面与平面副、球面副、螺旋副、球面与平面副、球面与圆柱副、圆柱与平面副等。

综合以上各种分类方法,在表3-1中列出了各种运动副所属类型、代号及表示符号。

表 3-1 运动副的类型及表示符号

名称	代号	运动副类型	图	基本符号	自由度	引入约束	
						转动	移动
球与平面副		空间1级高副			5	0	1
圆柱与平面副		空间2级高副			4	1	1
球与圆柱副		空间1级高副			4	0	2
球面副	S	空间3级低副			3	0	3
平面与平面副	E	空间3级低副			3	2	1
球销副	S	空间4级低副			2	1	3

续表

名称	代号	运动副类型	图	基本符号	自由度	引入约束	
						转动	移动
圆柱副	C	空间 4 级低副			2	2	2
平面高副		平面 4 级高副			2	2	2
螺旋副	H	空间 5 级低副			1	2 或 3	3 或 2
移动副	P	平面 5 级低副			1	3	2
转动副	R	平面 5 级低副			1	2	3

3. 运动链

两个以上构件通过运动副的连接而构成的系统称为运动链。

如果组成运动链的各构件构成了首末封闭的系统(如图 3-4(a)和(b)所示),则称其为闭式运动链,简称闭链。如果组成运动链的构件未构成首末封闭的系统(如图 3-4(c)所示),则称其为开式运动链,简称开链。

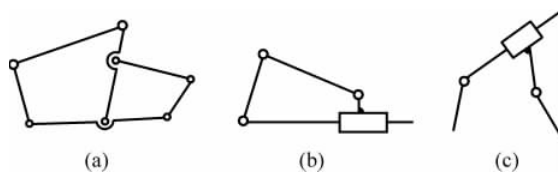


图 3-4 运动链

传动的机械中以闭式运动链为多,随着生产线中机械手和机器人的应用日渐普遍,机械中开式运动链也逐渐增多。

此外,根据运动链中各构件间的相对运动为平面运动还是空间运动,也可以把运动链分为平面运动链和空间运动链两类,如图 3-5 和图 3-6 所示。

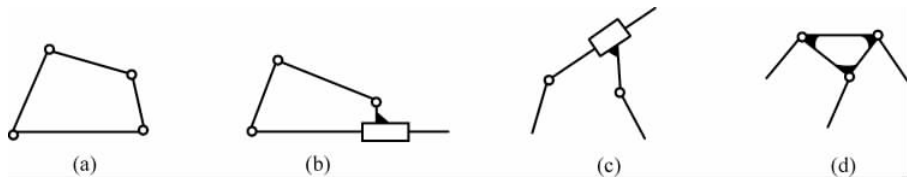


图 3-5 平面运动链

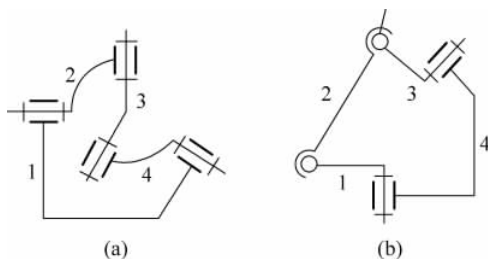


图 3-6 空间运动链

4. 机构

在运动链中,将某一构件加以固定,而让另一个(或几个)构件按给定运动规律相对于该固定构件做运动,若运动链中其余各构件都能得到确定的相对运动,则此运动链称为机构。

机构中固定不动的构件称为机架,按照给定运动规律独立运动的构件称为原动件(或主动件),而其余活动构件称为从动件。

组成机构的各构件的相对运动均在同一平面内或在相互平行的平面内,则此机构称为平面机构;机构各构件的相对运动不在同一平面内或平行平面内,则此机构称为空间机构。

3.1.2

机构的组成原理与原则

任何机构中都包含原动件、机架和从动件系统三部分。机构具有确定运动的条件是机构自由度大于 0 且机构的自由度等于机构的原动件数目。由于机架的自由度为零,每个原动件的自由度为 1,而机构的自由度等于原动件数,所以,从动件系统的自由度必然为零。

1. 机构的组成原理

机构具有确定运动的条件是机构的自由度等于机构的原动件数目。因此,将机构的原动件和机架从原机构拆除后,剩余的杆件系统的自由度必然为零。而自由度为零的杆件系



统有时还可以分解为不能再进行拆分的自由度为零的基本杆组。杆组中的构件与运动副的数目必须满足下面公式：

$$3n - 2P_L = 0$$

式中, n 为杆组中的构件数目, P_L 为杆组中的运动副(低副)数目。

显然 $n=2, P_L=3$ 以及 $n=4, P_L=6$ 满足上式, 即: 具有 2 个构件和 3 个运动副的杆组以及 4 个构件和 6 个运动副的杆组是最常见的基本杆组, 分别称为 II 级杆组和 III 级杆组。

把若干个自由度为零的基本杆组依次连接到原动件和机架上可以组成新机构。或者说, 任何机构都是通过把基本杆组依次连接到原动件和机架上得到的, 这就是机构的组成原理。在满足相同工作要求的前提下, 机构的结构越简单、杆组的级别越低、构件数和运动副的数目越少越好。

2. II 级杆组的类型

当内接副为转动副(用 R 表示)时, 两个外接副可同时为转动副, 也可以一个为转动副, 另一个为移动副(用 P 表示), 或者两个外接副同时为移动副, 图 3-7 为 II 级杆组分类图。其中中间的大写字母表示内接副, 以下相同。由于 PRR 与 RRP 具有相同性质, 可将它们合为一类杆组处理。图 3-7(b) 所示两个杆组结构相同, 右侧杆组更为常用; 图 3-7(c) 所示两个杆组结构相同, 右侧杆组更为常用。

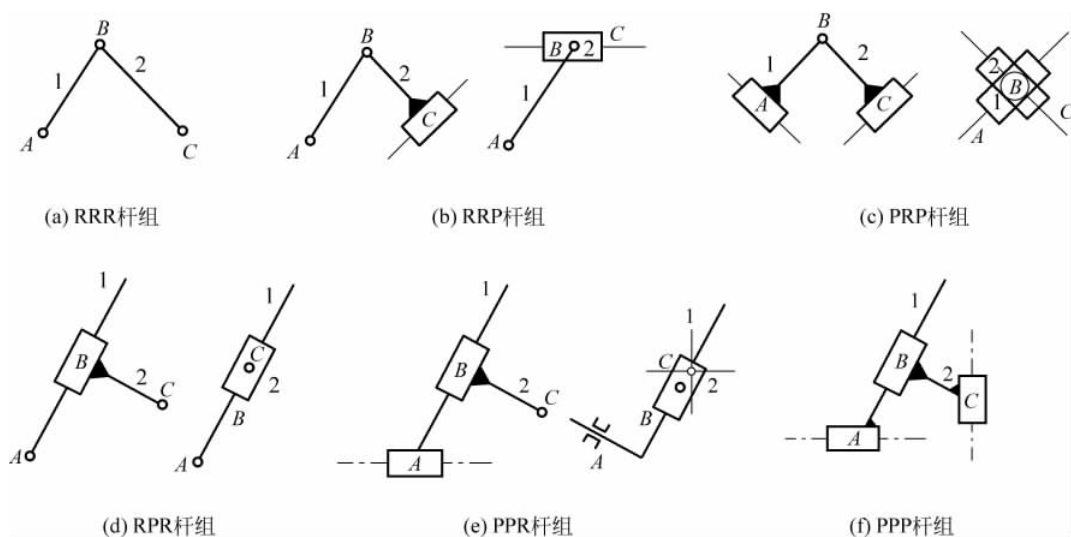


图 3-7 II 级杆组的分类

当内接副为移动副时, 两个外接副可同时为转动副; 也可以一个为转动副, 另一个为移动副; 或者两个外接副同时为移动副。这时也可分为 3 个 II 级杆组, 可用 RPR、PPR、PPP 表示。由于 PPR 与 RPP 具有相同性质, 可将它们合为一类杆组处理。图 3-7(d) 所示杆组为 RPR 类型, 右侧杆组更为常用; 图 3-7(e) 所示两个 PPR 杆组结构相同, 右侧杆组更为常用; 图 3-7(f) 所示 PPP 杆组少见应用。II 级杆组总共有 6 种不同的形式。常用的有 5 种。

3. Ⅲ级杆组的类型

Ⅲ级杆组的类型很多,三个内接副均为转动副时,对应四种杆组类型,参见图 3-8。

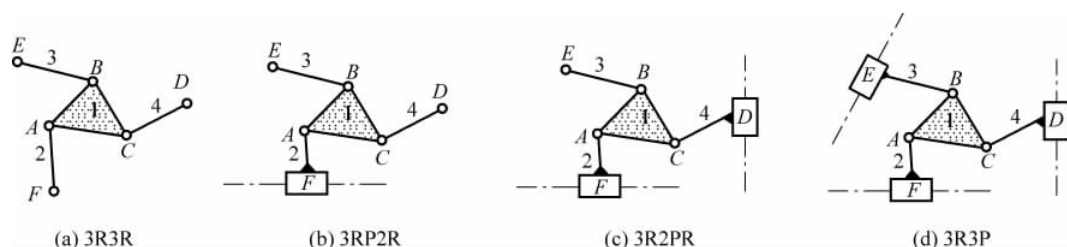


图 3-8 3R 类Ⅲ级杆组

其中,图 3-8(a)~(c)应用较多,3R3R 类型的Ⅲ级杆组应用最广泛(前面 3R 表示内接副,后面的 3R 表示外接副)。

三个内接副中有两个转动副和一个移动副时,对应四种杆组类型,参见图 3-9。

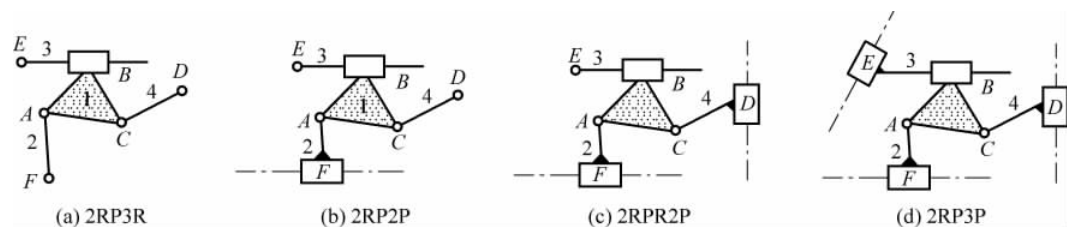


图 3-9 2RP 类Ⅲ级杆组

在 2RP 类(指三个内接副)Ⅲ级杆组中,图 3-9(c)、(d)应用较少。

三个内接副中有一个转动副和两个移动副时,对应四种杆组类型,参见图 3-10。

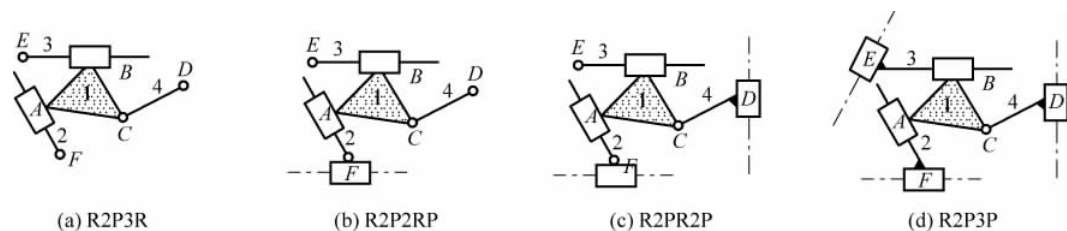


图 3-10 R2P 类Ⅲ级杆组

在 R2P 类(指三个内接副)Ⅲ级杆组中,图 3-10(a)所示的 R2P3R 有广泛的应用。

三个内接副均为移动副时,对应四种杆组类型,参见图 3-11。为方便起见,前三个大写字母表示三个内接副,后三个大写字母表示外接副,也可以用图示简化表示方法。

其中,3P3R 有所应用,其余杆组少见应用。

由Ⅲ级杆组组成的机构,在工程中应用不多,但由于Ⅲ级机构有其独特的运动学和动力学特性,同时也随着Ⅲ级机构的综合方法、运动分析和受力分析方法的完善,人们正在重新认识Ⅲ级机构的应用。

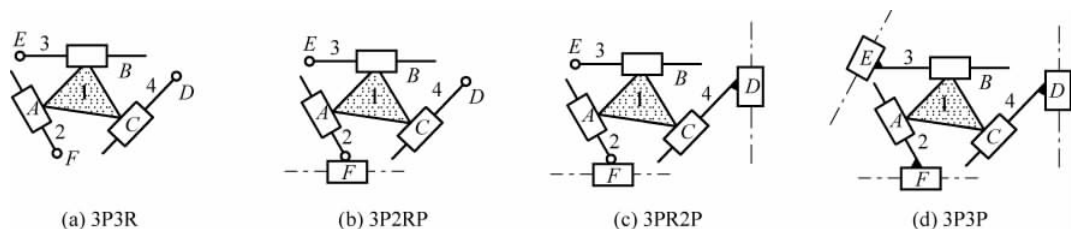


图 3-11 3P 类Ⅲ级杆组

4. 机构组成原理与机构创新示例

把基本杆组依次连接到原动件和机架上,可以组成新机构。或者说,任何机构都是通过把基本杆组依次连接到原动件和机架上组成的,这就是机构的组成原理。机构组成原理为创新设计一系列的新机构提供了明确的途径。

机构组成原理也可以拓展到多自由度的机构组成分析,把基本杆组直接连接到原动件上,也能得到多自由度的新机构。如把 RRR 型Ⅱ级杆组直接连接到两个原动件上,可得到两自由度的五杆机构。

利用机构组成原理进行机构创新设计的途径是:把前述的各种Ⅱ级杆组和Ⅲ级杆组连接到原动件和机构上,可以组成基本机构;再把各种Ⅱ级杆组和Ⅲ级杆组连接到基本机构的从动件上,可以组成复杂的机构系统。以此类推,可以组成各种各样的、能实现不同功能目标的新机构。可见,利用机构的组成原理进行机构创新设计,概念清楚、方法简单、可操作性好,但真正要满足功能要求,还必须进行尺度综合。所以,这种方法还是处于机构运动方案的创新设计范畴。

工程中常见的原动机大都为电动机,也就是说,机构中的原动件以做定轴转动为主,在以下设计示例中以做定轴转动的原动件为主。由Ⅲ级杆组组成的Ⅲ级机构在工程中应用相对较少,这里仅介绍由Ⅱ级杆组组成的Ⅱ级机构。

Ⅱ级杆组有 6 种类型,仅以常见的Ⅱ级杆组为例说明。

(1) 连接 RRR 杆组。图 3-12(a)为原动件和 RRR 型Ⅱ级杆,图 3-12(b)为铰链四杆机构 ABCD。在图 3-12(c)中,Ⅱ级杆组中的外接副的 E 点连接到连架杆上,具体位置可通过机构尺度综合来确定;图 3-12(d)中,Ⅱ级杆组中的外接副连接到连杆上的 E 点和机架上,具体位置也要通过机构综合来确定。

(2) 连接 RRP 型杆组。在原动件 AB 基础上,连接 RRP 杆组时的组合示例见图 3-13 所示。

Ⅱ级杆组 EF 中的 E 点连接到滑块上,具体位置可通过机构尺度综合来确定;Ⅱ级杆组中的 E 点也可连接到连杆上,具体位置也要通过机构综合来确定。

(3) 连接 RPR 型杆组。把 RPR 型杆组的一个外接副 B 连接到原动件上,另一个外接副连接到机架上,如图 3-14 所示,可产生往复摆动的运动方式。转动副 C 与机架的相对位置决定摆杆的转动角度。

在这个基本机构上,还可以不断连接Ⅱ级杆组,如连接 RRP 型Ⅱ级杆组,则得到 3-14 所示的典型的牛头刨机构。

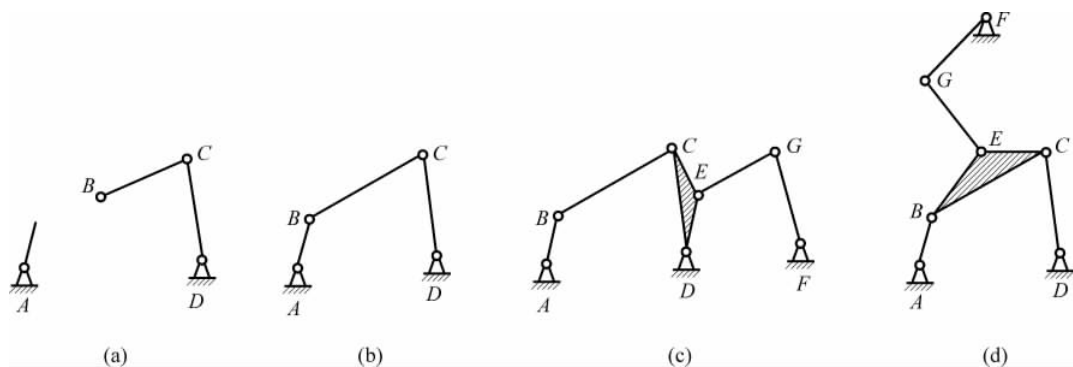


图 3-12 连接 RRR 杆组

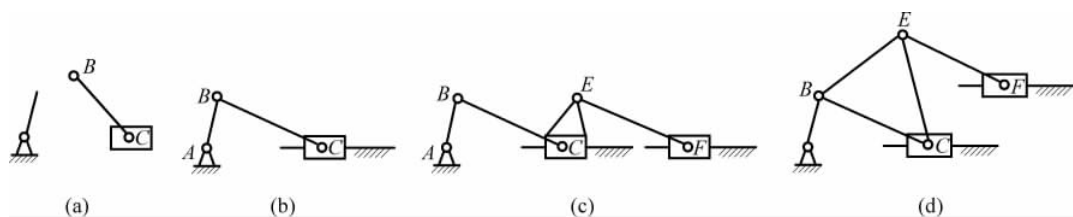


图 3-13 连接 RRP 杆组形式

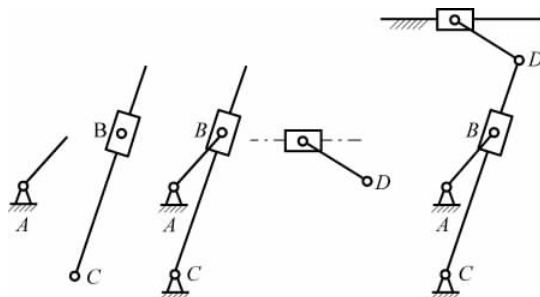


图 3-14 连接 RPR 和 RRP 杆组形式

(4) RRR 与 RRP 杆组的混合连接。图 3-15 所示机构为在铰链四杆机构的基础上连续 RRP 杆组和曲柄滑块机构的基础上连接 RRR 杆组的示意图。

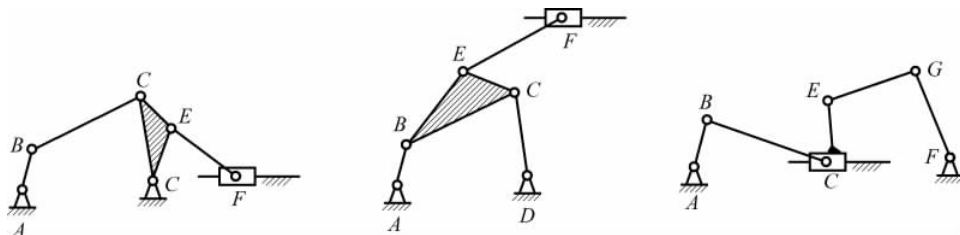


图 3-15 混合连接 II 级杆组

(5) 连接 RPP 型杆组。RPP 杆组也是组成机构的常用杆组，具体组合方式见图 3-16 所示机构。

把 RPP 杆组中的外接 R 副与原动件连接,可得到图 3-16(a)所示的正弦机构,把 RPP 杆组中的外接 P 副与原动件连接,可得到图 3-16(b)所示的正切机构。

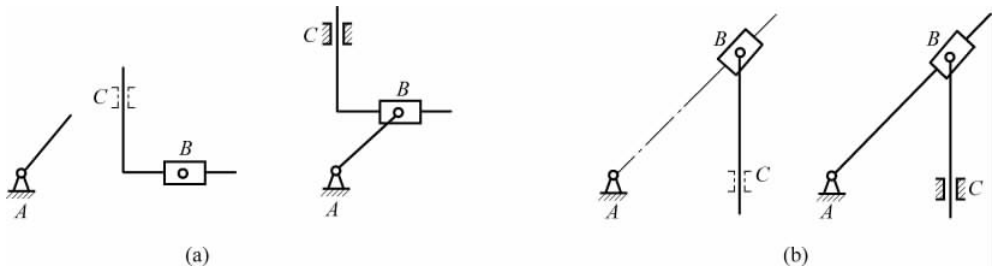


图 3-16 连接 R2P 型杆组

II 级杆组的形状变异类型很多,杆组连接法为机构创新设计提供了明确的方向。

5. 利用机构组合原理时应遵循的基本原则

机构组成原理简单、易学,但传统的机械原理教学过程中往往忽视了它的重要性。在利用这种方法进行机构运动方案的创新设计时,可遵循下列基本原则:

(1) II 级机构的综合方法、分析方法已经成熟,可优先考虑 II 级杆组进行机构的组合设计。

(2) 掌握 II 级杆组的 6 种基本形式,学会 II 级杆组的变异设计。

(3) II 级杆组的一个外接副连接活动构件,另一个外接副连接机架,可获得单自由度的机构。

(4) 根据机构输出运动的方式选择杆组类型。输出运动为转动或摆动时,可优先选择带有两个以上转动副的杆组,如 RRR、RPR、PRR 等杆组;输出运动为移动时,可优先选择带有移动副的杆组,如 RRP、PRP、RPP 等杆组,RPR 杆组也能实现移动到摆动的运动变换。

(5) 连接杆组法只能实现机构运动方案的创新设计,实现具体的机构功能要求还需进行机构的尺度综合。综合过程与杆组的连接位置的确定有时需要反复进行,才能得到满意的设计结果。

(6) 连接杆组法也适合齿轮、凸轮等其他机构的组合设计。

图 4-85 所示的行星轮系是一个连接 II 级杆组的齿轮机构,通过合理选择齿数 z_1 、 z_2 ,可生成任意行星曲线。其中的行星曲线为三段近似圆弧,连接一个 RRP 杆组后,可得到滑块三个停顿位置的输出运动。

(7) 基本杆组的外接副也可直接连接到原动件上,此时可获得多自由度的机构。

机构的组成原理为创新设计新机构提供了明确的方向,可操作性好,是机构创新设计的重要方法之一。只要掌握杆组的基本概念、分类、杆组的变异以及连接方法,再辅以创造性的思维,就为机构创新设计奠定了良好的基础。