

文章编号:1672-058X(2011)01-0070-05

单铰运动链的型综合——拓扑胚图的构建

冯俊

(重庆工商大学 机械工程学院,重庆 400067)

摘要:运动链构型综合是机械创新设计的重要途径之一,提出了一种基于拓扑理论的运动链型综合方法,通过机构的自由度、构件数与运动副数的关系,确定杆型组合,再利用结构树法构建机构拓扑胚图,从而为下一步拓扑图的有序构建打下基础。

关键词:单铰运动链;型综合;杆型组合;结构树法;拓扑胚图构建

中图分类号:TH112

文献标志码:A

拓扑图(图 1)是所有运动链构型综合的基础。现有的拓扑图法都是首先由多元素杆(三元素杆以上)构成拓扑胚图,确定该运动链的基本回路结构,然后在各支路上插入二元素杆形成多种相应的运动链拓扑图。这些方法的一个共同问题是因其拓扑胚图生成的随意性,往往不能得到所有可能结构的拓扑胚图,而仅在某一种生成的胚图上进行插点,这就将导致大量同构运动链的产生,增加了判定同构的复杂性,且拓扑图的生成缺乏严密的规则,不易实现穷举。

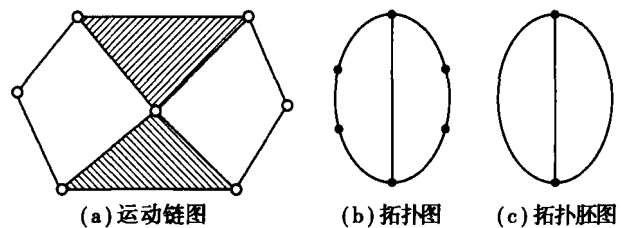


图 1 运动链图、拓扑图、拓扑胚图

单铰运动链是由各种类型的杆用运动副(铰链)联接而成。杆的类型通常是以其所具有运动副的数量来定义,常用的有二、三、四、五元素杆,分别以 n_m ($m=2,3,4,\dots$) 表示。在拓扑图中以对应的 2-5 度点来表示,因此在 m 度点的周围应有 m 条边与其他的点相联接。讨论杆型组合方式是指运动链中具有几种杆型以及各种杆型的数量,通常多杆运动链的杆型组合方式不止一种。

1 运动链杆型组合方式的确定

运动链构型综合的基本参数一个是根据机械功能分析首先确定的机构自由度 F 。一个机构或装置的自由度 F 表示了它的功用,自由度为 +1, +2 的装置即常用机构,它可将输入运动转变为特定的输出运动。而自由度为 0 和 -1 的结构一般是静定的桁架,是不能用作机构原型的,但通过约束与力的替代后(指一对内力与一个二元素杆之间的替代),发现这样的运动链可以用作静定或超静定的内力封闭自适应装置方案创新设计的原型。

运动链的另一个基本参数为杆件数 N ,一般可由执行构件即输出杆的个数和运动要求来确定。随着输出杆的个数增加和运动形式的复杂化,运动链中的杆数也将增加。通常是确定总杆件数 N 后再综合出所有可能的杆型组合。

在这两个基本参数确定之后,通过机构的结构公式,求出满足要求以单铰联接的各种杆型数及其组合

收稿日期:2010-08-18;修回日期:2010-09-18.

作者简介:冯俊(1971-),男,重庆人,硕士,副教授,从事机械设计研究.

方案。根据平面运动链自由度计算公式:

$$F = 3(N - 1) - 2p \quad (p \text{ 为运动链中的单铰运动副数}) \quad (1)$$

可推导出运动副公式:

$$p = 3(N - 1)/2 - F/2 \quad (2)$$

同时

$$p = \frac{\left(\sum_{m=2}^5 mn_m\right)}{2} \quad (n_m \text{ 为 } m \text{ 元素杆数量}) \quad (3)$$

且

$$n_2 + n_3 + n_4 + n_5 = N \quad (4)$$

联立式(2)、(3)、(4)可得:

$$n_3 + n_4 + 3n_5 = N - (F + 3) \quad (5)$$

在自由度 F 及杆数 N 已知的前提下,由式(4)、(5)联立,即可以得到所有构件的类配组合方案。以 $F = -1$ 的十杆运动链为例,根据上述公式可以得出运动链的运动副数 $p = 14$,独立回路数 $L = 5 (L = p - N + 1)$,其组合方案有 10 种。具体为: $n_2 = 2, n_3 = 8, n_4 = 0, n_5 = 0$; $n_2 = 3, n_3 = 6, n_4 = 1, n_5 = 0$; $n_2 = 4, n_3 = 4, n_4 = 2, n_5 = 0$; $n_2 = 5, n_3 = 2, n_4 = 3, n_5 = 0$; $n_2 = 6, n_3 = 0, n_4 = 4, n_5 = 0$; $n_2 = 4, n_3 = 5, n_4 = 0, n_5 = 1$; $n_2 = 5, n_3 = 3, n_4 = 1, n_5 = 1$; $n_2 = 6, n_3 = 1, n_4 = 2, n_5 = 1$; $n_2 = 6, n_3 = 2, n_4 = 0, n_5 = 2$; $n_2 = 7, n_3 = 0, n_4 = 1, n_5 = 2$ 。

2 结构树法构建拓扑胚图

构建拓扑胚图是运动链构型综合的基础,现提出一种分步有序地构建拓扑胚图的方法——结构树法。现以 $F = -1$ 的十杆运动链中, $n_2 = 6, n_3 = 2, n_4 = 0, n_5 = 2$ 的组合方式为例讨论其构建方法与步骤。

因拓扑胚图应形成封闭的图形,所以对于多元素杆数量大于 2 的情况下,采取最基本的封闭形——三角形来分组,并按照拓扑胚图中多度点之间的联接要求进行逐次分步联接,有序地得到所有可能的拓扑胚图,方法得到的胚图呈现树状分布故可将此方法称为结构树法。具体步骤如下:

第 1 步,把每一个三元素杆和五元素杆分别用带圆圈的 3 和 5 代替(图 2),将它们分成两组,第一组由一个五元素杆和两个三元素杆组成,这样可以形成最基本的封闭形——三角形,另一组由一个五元素杆组成。在这里它们就是拓扑胚图中的顶点。然后,用直线把四圆圈联接起来,其中数字为 3 的圆圈要保证联 3 条直线,而数字为 5 的圆圈则必须引出 5 条线,这些直线就是胚图中的边,最终形成封闭的图形。

第 2 步,按照要求尽可能地用最多的方法联接第 1 组。从图 2 中可以看出,在圆圈之间第一条直线联接的方式只有两种,即 53(联接圆圈 3 和 5)和 33(联接圆圈 3 和 3),这就形成了箭头所指的两个分支。而先联接 53 的那种方式在联接第 2 条直线时又可以分成 3 种,同样先联接 33 的那种方式也可以有 3 种方案。然后,再按如此联接方法继续此联接过程,一直到第 1 组只剩下 5 条可联接的直线,第 2 步结束。在联接过程中,采取从左到右,从上到下进行分步有序的联接,一旦发现下方的联接方式在上方已经出现就终止。

第 3 步,用尽可能多的方式把第 2 组(带 5 的圆)与第 1 组联接起来。这时,一定要注意有一些方案可以用一种方案通过旋转或镜像部分或全部的圆而得到,这些方案一定与原方案是相同的,即是同构的胚图,应该不予考虑。通过分析可知只有 6 种方案是独立的,这样就得到了图 2 中 A ~ F 6 种连接方式,也即运动链的拓扑胚图。

由于图 2 中方案 A 得到的运动链不能形成封闭回路,而方案 F 却分成了两条运动链,不是封闭的图形,所以都不能用。从而得到 $n_2 = 6, n_3 = 2, n_4 = 0, n_5 = 2$ 组合方式的运动链的拓扑胚图为 B、C、D、E 4 种。

以图 2 例子中多元素杆仅为 4 个,则只需将多元素杆分为两组,在讨论其联接方式相对比较容易。当多元素杆较多时,仍按 3 个多度点分为一组的方式,则可能形成多个分组,例如: $n_2 = 2, n_3 = 8, n_4 = 0, n_5 = 0$ 组合方式,三元素杆有 8 个,则按 3,3,2 的方式可分为 3 个组(图 3)。在讨论各组的联接关系之前,应先分析每个小组内多元素杆产生全联接的各种可能形式,并将小组内多元素杆产生全联接后,整个小组仍需向外

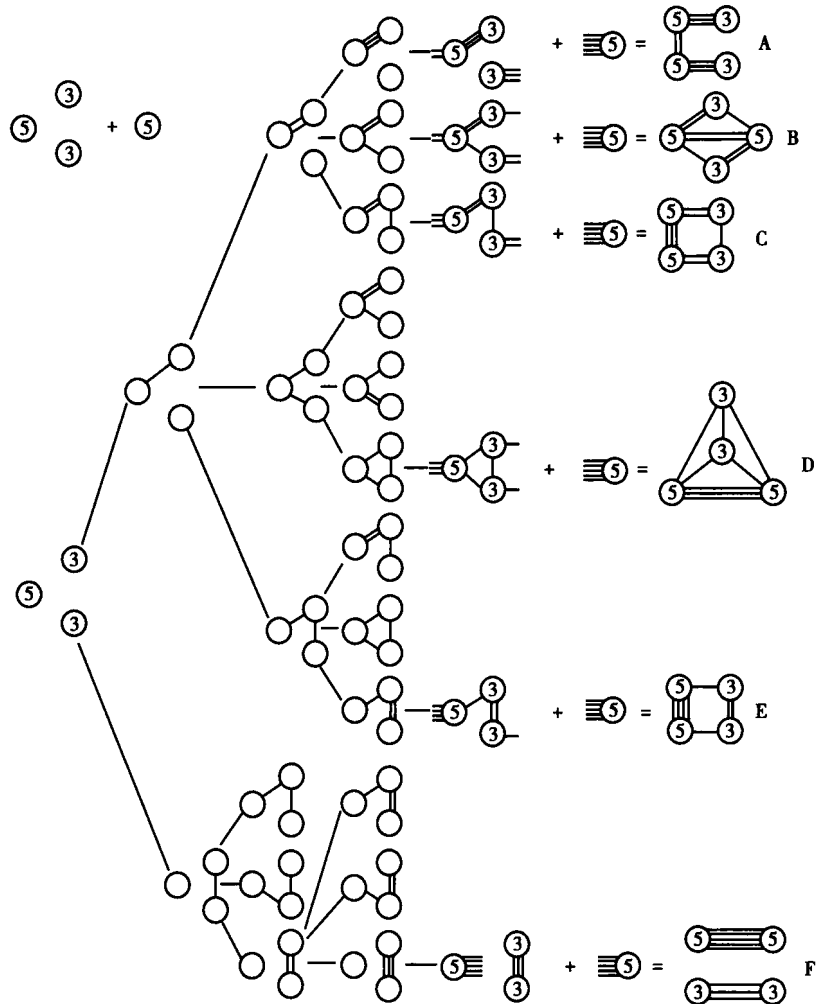


图 2 拓扑胚图构建框图

联接的直线(运动副)定义为小组的度,用 $[N]$ 表示。应特别注意的是为保证最终联结能形成封闭回路,每小组应至少要有两条直线联出。

例如图 3 中第 1、2、3 组的组内联接方式及各小组相应的度如图 4 所示:

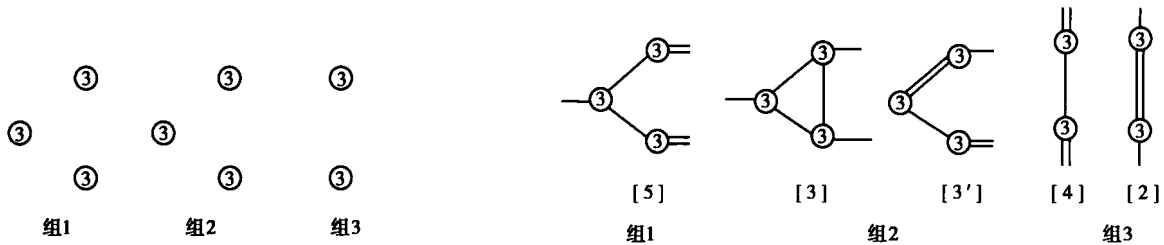


图 3 分组图

图 4 组内联接方式

分析完各小组组内联接方式后再讨论各组之间的联接关系,这时各小组的度则表示各小组需引出与其他小组相连的直线数。则这 3 组可能的联接配组数为 $C_3^1 \times C_3^1 \times C_2^1$ 总计为 18 种,并得到其具体联接方式为图 5 所示(a)-(r),其中(g)、(h)、(m)、(n)、(o)、(p)分别为(c)、(d)、(e)、(f)、(k)、(k)的同构应舍去,故实际的配组数为 12 种。

在确定了小组间配组方式后,就应进行实际拓扑胚图的构建。构建的一般步骤为:

首先将各小组按配组方案完成组内联接(图 4),明确各组的外联接数;再根据组外联接数进行组间的联接,此时应按一定的逻辑方式实现联接方式的穷举,并注意:因胚图在构建时可忽略图形形状及多元素杆相对位置关系,而只关心多元素杆间的联接关系,故在构建过程中只要出现一种方案通过旋转或镜像部分或

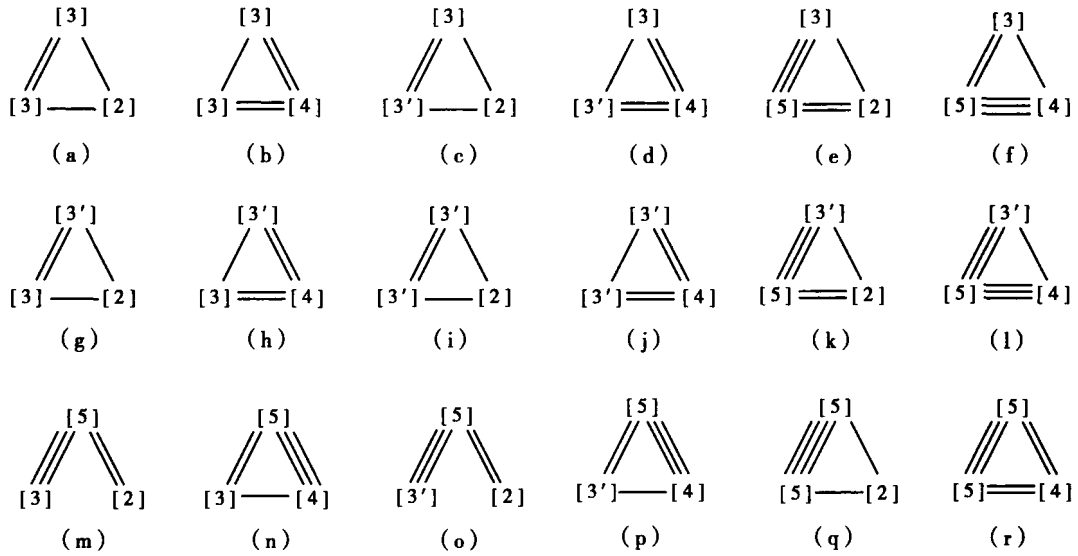


图 5 组间联接方式

全部的圆而得到另一种方案,这些方案一定是属于同构胚图,可予以排除。下面以图 5 中(f)的配组为例来具体分析拓扑胚图构建过程。

根据(f)配组方式各小组应以图 6 方式联接:

其中[a]与[b]有一条连线,由于图形对称的关系[a]、[b]之间只有一联接方式。[b]与[c]之间有 3 条连线,此时按逻辑关系分析应有 7 种联接方式(图 7)。

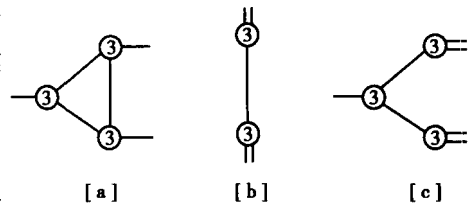


图 6 分组图

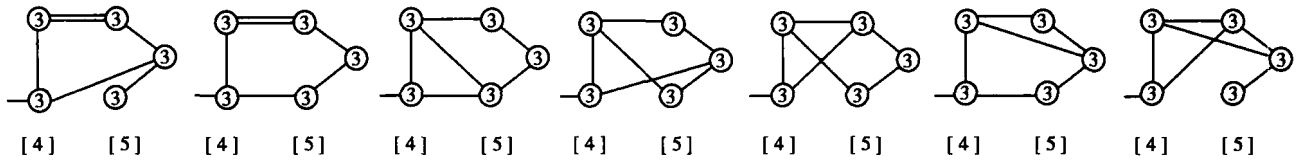


图 7 胚图构建步骤一

再结合[a]与[c]的联结方式得到 7 种拓扑胚图形式(图 8)。

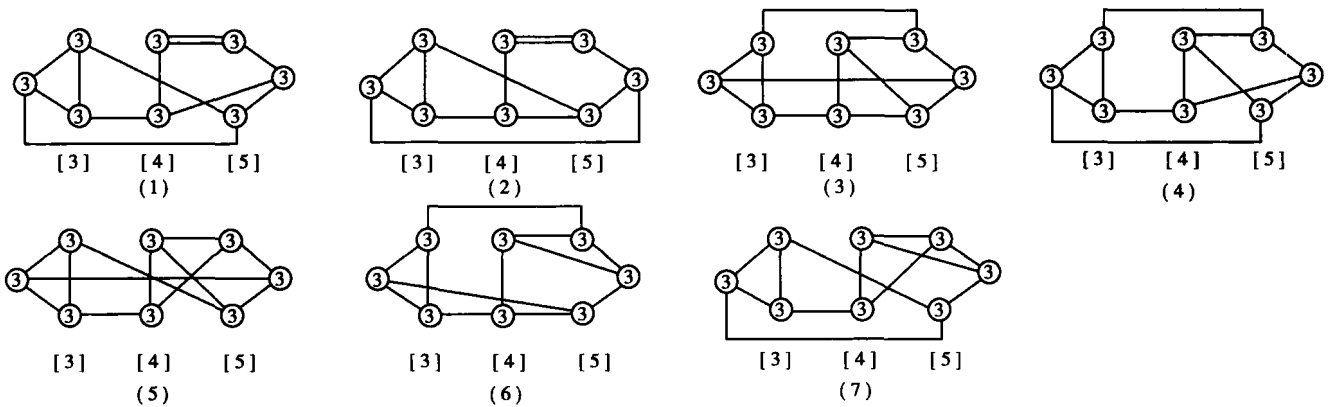


图 8 胚图构建步骤二

对图 8 胚图进行整理得拓扑胚图(图 9):

此时不难发现胚图图 9 中(3)、(5)、(6)为同构,故得到独立异构胚图为(1)、(2)、(3)、(4)、(7)5 种。值得注意的是胚图图 9(4),从其胚图分析似乎构件间会产生交叉干涉,但实际上可以通过“分层”来避免干涉。

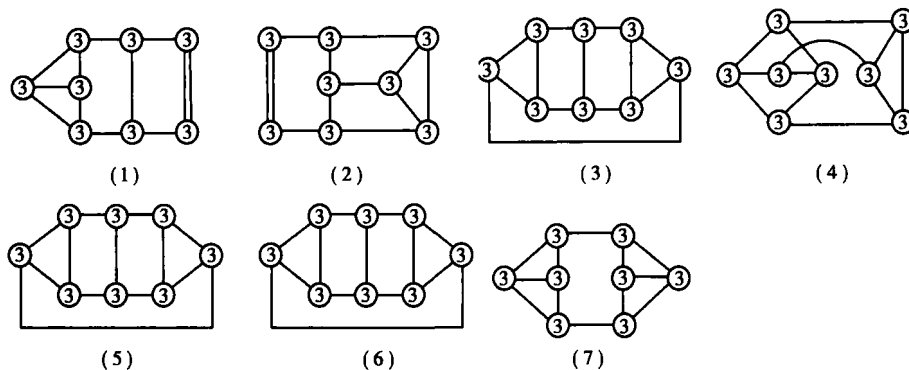


图 9 胚图形成

3 结 论

结构树法是构建运动链拓扑胚图的有效方法,其通过严密有序的步骤,能实现胚图的穷举,得到满足机械功能要求运动链拓扑胚图,从而为下一步支链的插入,拓扑图的构建打下基础。同时本方法在对拓扑胚图构型的过程中,可通过简明有效的方法排除大量同构和消极异构运动链。

参考文献:

- [1] 杨廷力. 机械系统基本理论[M]. 机械工业出版社,1996
- [2] 黄茂林,秦伟. 机械原理[M]. 重庆大学出版社,2002
- [3] JENSEN W,PREBEN W. Classical and modern mechanisms for engineers and inventors[M]. New York:M. Dekker,1991
- [4] JOHNSON R C. 陆国豪译. 机械设计综合[M]. 北京:机械工业出版社,1987
- [5] 王玉新. 机构创新设计方法学[M]. 天津:天津大学出版社,1996
- [6] 罗金良,黄茂林. 自适应运动链的构型综合及应用研究[J]. 机械设计与研究,2006,22(5):33-36
- [7] 张美麟. 机械创新设计[M]. 化学工业出版社,2005

Type Synthesis of Single Joint Kinematic Chain ——Construction of Topology Graph

FENG Jun

(School of Mechanical Engineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: Type synthesis of kinematic chain is the key technology of mechanical innovative design. This paper proposed a method for type synthesis of kinematic chain based on topology theory. According to the DOF of mechanisms, the number of links and the number of kinematic pairs, the combination of link type is determined, and the contracted graph to describe the mechanisms is constructed via sub-chain method so as to lay the basis for ordered construction of topology graph at next step.

Key words: single joint kinematic chain; type synthesis; combination of link type; sub-chain method; construction of topology graph

责任编辑:李翠薇
责任校对:田 静