

文章编号:1000-582X(2005)08-0004-04

基于行星结构集的行星齿轮传动自调结构设计*

谭坤,黄茂林

(重庆大学机械工程学院,重庆 400030)

摘要:行星齿轮传动自调设计是能消除机构中各种误差对机构工作性能的影响的设计方法,一直备受机构设计者的关注.为了寻求简单、规律性强以及能全面使机构实现自调的设计方法,文章借鉴了平面连杆机构自调结构组的策略与方法,提出了行星结构集的概念与划分原则,并对其进行了约束与自由度分析,设计出无过约束的自调结构集.在此基础上,通过在结构集外部搭接合适的运动联接,设计出结构集内能实现自调、结构集外能实现自适应的行星传动全面自调机构.该设计方法大幅度简化了行星传动自调设计,为机构自调设计提供了一种有理论根据、简单、切实可行、并能全面实现自调的设计方法.从而全面消除机构各种误差对机构工作性能的影响.

关键词:行星结构集;过约束;自由度;自调

中图分类号:TH112

文献标识码:A

在行星齿轮传动中,广泛存在过约束.由于各部件存在不可避免的制造和装配等误差,使得实际传动中行星齿轮齿间载荷分布不均,并造成齿长方向的偏载,影响了传动的平稳性与顺畅性,也会造成机构效率的降低和寿命的减短.因此,为了减小或消除形位误差对机构工作性能的影响、提高机构传动质量和降低制造成本,就需要设计出的行星齿轮传动机构具有自调能力.

作者在分析“行星结构集”构成的根据,提出以结构集为核心,通过分析结构集中的自由度、约束情况,利用行星结构集搭接合适的运动联接,设计出自调的行星齿轮传动机构.

1 结构集的形成

1.1 “行星结构集”概念的提出

采用回路自由度分析法探讨行星齿轮传动机构的自调性,使得有可能分别的确定机构中所有自由度与过约束数目,以及它们所处的位置^[1].这一方法在机构回路数不多的情况是很适用的,例如单列2K-H行星轮系就有6个回路尚能较容易分析,但是一旦列数增加,回路数会多达十几个,使机构的自由度分析与无

过约束设计变得困难与复杂.因此寻求最大限度减少回路数的分析与设计方法,为解决这一问题的关键.通过借鉴低副机构自调结构组的策略与方法^[2],在行星传动自调性设计中引入“行星结构集”的概念,在分析与设计时把行星结构集作为一个整体进行自调研究.

1.2 误差的影响分析及结构集的划分准则

影响行星齿轮传动工作性能的直接因素是齿轮传动中不可避免的零件或构件的形位误差所引起各运动副位置参数及啮合状况的附加变化,从而造成运动副中附加作用力,破坏理想的受力状态.行星齿轮传动中的输入输出构件(也就是与机架联接的构件)为2个中心轮和行星架,也是主要的传力构件.它们与机架所构成的运动副或联接能否自动适应由于形位误差所引起的附加位移,进行自动调整,则是自调行星齿轮传动机构设计的一个重要问题.为了研究这些运动副及联接的自调结构,讨论各种误差分别对它们所造成的附加位移的影响程度,以及位移的方位与数量(也就是自由度),就成为一个很重要的问题.

为此,分析图1所示机构,假定中心轮1的轴线不加约束,使其处于“浮动”状态.由于行星架的轴线圆

* 收稿日期:2005-04-23

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50075087)

作者简介:谭坤(1977-),男,重庆黔江人,重庆大学硕士研究生,研究方向:智能机械设计.

心角误差(即行星轮孔轴的分度误差),所引起行星轮额外的切向移动对中心轮 1 轴线位置的影响分析来说明. 现假定行星架不动,而行星轮 2' 的中心以速度 V_T 沿切线方向移动. 齿圈 3、行星轮 2''、2''' 认为是不动的. 通过高副底代,构成为如图所示的连杆机构系统. 这时中心轮 1 将同 3 个连杆 $N'_1N'_2$ 、 $N''_1N''_2$ 和 $N'''_1N'''_2$ 联接. 按连杆机构的运动分析方法,可知行星轮的瞬心为 其与齿圈 3 的啮合节点 p_{23} . 又因为 N'_1 点的速度与 N_0

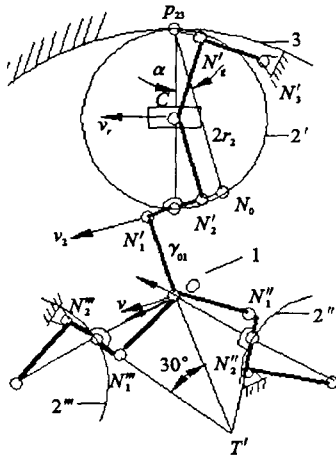


图 1 行星轮轴孔偏差对机构工作性能影响点的速度相等. 所以有:

$$\frac{v_2}{v_T} = \frac{p_{23}N_0}{p_{23}C'} = \frac{2r_2 \cos \alpha}{r_2} = 2 \cos \alpha. \quad (1)$$

中心轮 1 的瞬心是连杆 $N''_1N''_2$ 与 $N'''_1N'''_2$ 的交点 T' , 由图可知:

$$OT' = \frac{ON''_1}{\sin 30^\circ} = 2r_{o1}. \quad (2)$$

因为

$$\frac{v}{v_2} = \frac{OT'}{N'T'} = \frac{2r_{o1}}{3r_{o1}} = \frac{2}{3}. \quad (3)$$

把(3)代入(1)有:

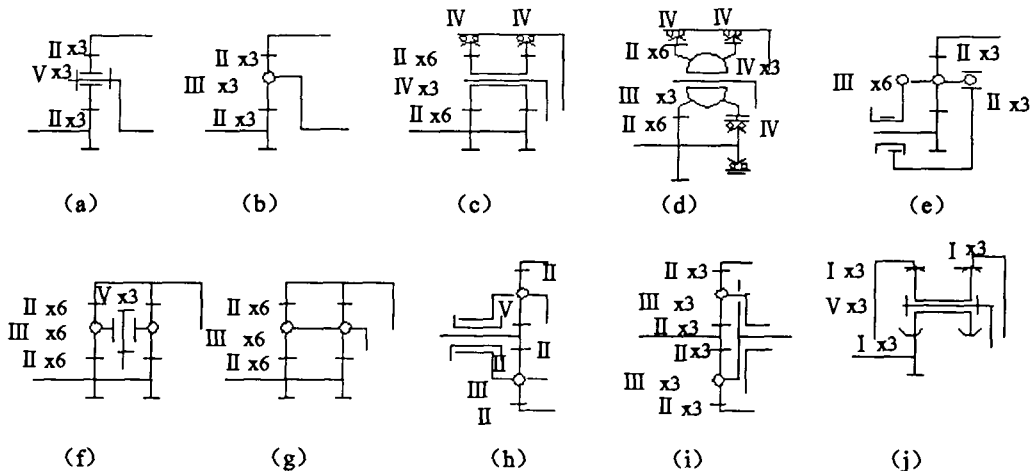


图 2 常用 10 种结构集简图

$$v = \frac{4}{3}v_T \cos \alpha. \quad (4)$$

两端同乘以得到微位移方程:

$$v \Delta t = \frac{4}{3}v_T \Delta t \cos \alpha. \quad (5)$$

$v \Delta t$ 为太阳轮 1 的位移, $v_T \Delta t$ 为行星轮 2' 中心的切向位移. 令 $v \Delta t = E_e$; $v_T \Delta t = e$, 有:

$$E_e = \frac{4}{3}e \cos \alpha. \quad (6)$$

由上分析可以知道,由于误差的存在,导致中心轮轴线将产生的 E_e 强制位移. 实际上在机构运转时若中心轮自由浮动,则中心轮轴线将以半径为 E_e 作偏心运动,其角速度为行星轮的角速度. 当其它中心轮、行星架和行星轮出现偏心等误差时的情况分析见文献 [3],从各种分析可以清楚看到,浮动构件都会发生漂移. 这就说明,如果该假设的浮动构件与机架所构成的联接或运动副不能提供相应的运动自由度,就必定造成构件强制弹性变形,运动副中的附加载荷同时使齿轮间的啮合状况发生变化,造成轮间的载荷的不均衡,使传动性能变坏.

以上分析可知:行星轮系自调结构设计的主要问题,就是要使浮动构件能产生自适应的调整运动,使 3 个基本构件(两个中心轮及行星架)与外部联接结构(一般为机架,也可能是其他构件)具有相应的自调自由度. 因此,为了便于设计与分析,可以将利用其内部运动副联接的行星轮、行星架及中心轮视为一个整体,而将 3 个基本构件不加“约束”,当其构成系统时,再去设计相应的“联接”. 将这一集合称为“行星结构集”. 在分析时,仅从基本构件与外部联接的运动副开始到该“集”构成回路. 这样,大大减少了自调结构分析的回路数,简化了分析,同时也使自调行星传动机构设计具有更强的规律性. 常见结构集为图 2 所示.

2 基于结构集进行自调齿轮传动结构设计

2.1 结构集的构成及其自由度、约束的分析

上述仅从外部联接的浮动来说明了行星结构集的划分原则. 根据这方法设计出的基本构件的浮动仅能解决中心轮至行星轮之间的载荷均匀分配及“外部运动副”的自调问题. 实际上在行星结构集内部联接中, 特别是各齿轮啮合副及行星轮与行星架所构成的运动副之间, 同样存在大量的过约束, 它们同样会严重影响行星传动的工作性能. 为此, 还必须按行星结构集内的不同结构来分析, 尽量减少甚至消除其中的过约束, 以免将其带入整个轮系中. 因此, 行星结构集的结构, 必须按少或无过约束的要求构成.

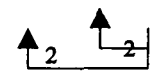
就齿轮的啮合传动而言, 行星传动若以行星架(系杆)为等效机架, 则中心轮与行星轮之间的啮合传动与相应的定轴轮系传动一样, 特别是从齿间载荷的作用及齿长方向的接触状况而言, 与定轴传动是完全一致的. 从定轴轮系传动的自调结构可知, 其目标就是实现齿轮间的良好接触, 特别是要解决齿长方向的偏载和均匀接触的问题, 其根本的有效措施就是设置中间轮^[4], 并使中间轮能根据受力状况实现自调运动. 而在行星齿轮传动机构内部, 行星轮就正好相当于中间齿轮. 因此, 行星结构集的内部结构就是按此原则来设计其自调结构. 凡是定轴传动所采用的自调结构, 都可以用于集内的自调结构. 按此原则, 即得到图 2 所示的 10 种常见的行星结构集. 不同的内部结构, 存在不同的过约束, 为了正确应用这些行星结构集来设计出自调行星传动系统, 还必须对这些结构集进行自由度与约束分析.

下面以最基本的单列内外啮合的行星结构集(见图 2b)为例进行分析. 结构集中过约束的分析方法主要是正确处理啮合 II 副的约束分配问题. 6 个 II 级副引入 12 个约束, 所有齿轮法向都位于 xoy 平面内(文章所有坐标见图 2), 但具有不同方位, 并且均匀分布. 因此, x 轴与 y 轴应处于同等地位, 即 II 级副的约束应平均分配给 x 轴与 y 轴. 因此有 $f'_x = f'_y = f''_x = f''_y = 3$. 集内其它类型的运动副引入约束的分配也可以用这种方法处理. 由划分回路原则知道^[1], 该集共有 4 个回路. 利用文献[1]所介绍的过约束分析方法得到集(b)的约束分析如表 1.

从表 1 的分析可以得知, 经过绕 z 轴多余自由度替代原本存在 x, y 轴移动的约束后, 该集不存在过约束($q=0$), 并且除了集内必须的一个自由度 f'_z 外, 其

余 8 个自由度均是为了与集外联接提供的自由度. 则知, 外部联接设计就要根据这些自由度与约束来选择联接, 这也就给设计者提供了依据和方便.

表 1 结构集(b)自由度、约束分析

	f'_x	f'_y	f'_z	f''_x	f''_y	f''_z
$p_{II} = 6$	-3	-3	-6	-3	-3	-6
$p_{III} = 3$	0	0	-3	-3	-3	0
$k = 4$	+4	+4	+4	+4	+4	+4
$6k - f$	+1	+1	-5	-2	-2	-2
替代						
$q - F$	-1	-1	-1	-2	-2	-2

其他的结构集过约束分析照结构集(b)的方法计算, 不过结构集中有双列结构的存在平面-非平面自由度替代. 这样其它结构集的约束分析可以依次求得, 如见表 2. 其中除了(a)、(c)外均不存在过约束.

表 2 常见 10 种结构集自由度、约束分析

集标号	构件数 n_g	回路数 k_g	f_g	$f_x + f_y + f'_z$	$f''_x + f''_y + f''_z$	替代数
(a)	5	4	-5	-1 -1 -1	+1 +1 -2	4
(b)	5	4	-9	-1 -1 -1	-2 -2 -2	4
(c)	7	10	-4	-1 -1 -1	+3 +3 -1	8
(d)	11	10	-6	-1 -1 -1	-1 -1 -1	8
(e)	9	7	-10	-1 -1 -2	-2 -2 -2	4
(f)	11	10	-9	-1 -1 -1	-2 -2 -2	7
(g)	8	10	-7	-1 -1 -1	-1 -1 -2	8
(h)	5	2	-11	-1 -1 -3	-2 -2 -2	2
(i)	9	9	-12	-1 -1 -1	-3 -3 -3	8
(j)	6	6	-12	-2 -2 -1	-2 -2 -3	5

2.2 利用行星结构集进行自调结构设计

用行星结构集来进行自调结构设计, 基本方法是根据设计要求, 给行星结构集外部直接加上相应的运动约束, 构成自由度为 1 或 2 的行星或差动轮系, 一般是加上 2—3 个 V 级副或中心轮之一与机架固接, 然后进行回路过约束分析, 看机构是否还存在过约束. 若存在就加上能够给机构提供合适自由度的联接. 下面通过以图(b)的结构集为核心进行自调结构设计为例来加以说明:

此行星传动机构首先把结构集(b)的外部 3 个构件加上两个支撑(运动副) A_c 和 C_c 及一个固定, 机构简图见图 3. 后用回路法^[3]分析. 见表 3:

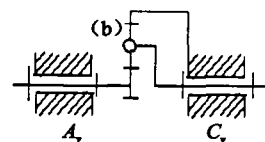


图 3 结构集(b)加上支撑与固定简图

表3 结构集(b)加上支撑后的自由度分析

	f_x	f_y	f'_x	f'_y	f''_x	f''_y
$p_v = 2$	0	0	-2	0	0	0
$f_g = -9$	-1	-1	-1	-2	-2	-2
$k = 2$	+2	+2	+2	+2	+2	+2
$6k - f$	+1	+1	-1	0	0	0

从表3中可以看出机构存在在一个 x 方向和 y 方向的过约束。这两个V级副过约束,会阻止某些构件形位误差所引的中心轮轴线位置参数的附加变化在 x 方向和 y 方向游动的可能,从而引起圆周力的分配不均,对机构工作产生影响。要使机构自调则需支承(运动副)与结构集之间加上一个联接。该联接向中心轮提供两个转动自由度 f''_x 和 f''_y ,机构简图见图4。加上特殊IV级副见图4中的 B_{IV} ,其过约束分析见表4:

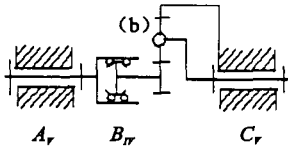


图4 基于结构集(b)的自调机构简图

由表4的分析可以看到,加上联接后,机构不存在过约束,并且能提供机构一个必要的自由度,得到一个无多余约束的自调机构。A(b)具有一个 f''_x 自由度,用于输出运动;B(b)提供两个转动自由度 f''_x 和 f''_y ,分别替代机构中 f'_y 和 f'_x 两个约束,消除机构线过约束,使得机构齿轮间载荷得到均衡。把结构集(b)视为一个整体进行机构回路分析,机构只存在回路 ABb 和回路 bC 两个路,大大减少回路分析数。

表4 结构集(b)加上联接后过约束分析

	f_x	f_y	f'_x	f'_y	f''_x	f''_y
$p_v = 2$	0	0	-2	0	0	0
$f_g = -9$	-1	-1	-1	-2	-2	-2
$k = 2$	+2	+2	+2	+2	+2	+2
$p_{IV} = 1$	0	0	0	-1	-1	0
$6k - f$	+1	+1	-1	-1	-1	0
替代						
$q - f$	0	0	-1	0	0	0

采用构件浮动的方法来实现自调机构,主要是依靠机构中基本构件的浮动,来调节零件或构件的形位误差所引起的相应运动副轴线位置参数的附加变化^[5],仅能解决中心轮至行星轮之间的载荷均匀分配

的自调问题,并不能完全消除齿轮啮合副间存在的过约束,因而对齿轮啮合时齿长方向的载荷集中调节不明显,机构工作性能仍然受到很大影响^[6]。而采用结构集为核心的自调齿轮机构设计,是基于无过约束自调设计。该设计首先对结构集内的约束进行分析,保证集中无多余约束,使得齿轮啮合时齿长方向的载荷均衡,在加上外部联接后整个机构也没有过约束,从而实现机构真正意义的完全自调,使行星传动机构传动性能真正得到改善。

3 结论

1) 通过借鉴平面连杆机构自调结构组的策略与方法,在行星轮系自调性结构中引入“行星结构集”的概念,对简化自调行星齿轮传动机构的分析与设计是可行有效的。

2) 利用对行星齿轮传动中不可避免零件或构件的形位误差所引起设定“浮动构件”轴线位置参数的附加变化分析,从而知道行星结构集划分原则是将行星轮,行星架,中心轮内部联接的集合视为一个整体,而基本构件不加约束以构成行星结构集。

3) 利用结构集进行自调机构设计:分析行星结构集中的约束与自由度情况,首先对结构集进行约束与自由度分析,并消除或减少集内的过约束,得到结构集的约束与自由度状况;再根据设计要求,给行星结构集外部直接加上相应的运动联接,从而设计出无过约束的自调行星齿轮传动机构。

参考文献:

[1] 安培文,黄茂林. 平面闭链机构中过约束分析的研究与应用[J]. 机械设计,2002,(7):18-22.
 [2] 安培文. 平面机构过约束分析方法的综合应用[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2002,25(5):21-24.
 [3] 张国瑞,张展. 行星传动技术[M]. 上海:上海交通大学出版社,1989.
 [4] 李太福. 基于平面约束不确定性的机械系统稳健性设计研究[D]. 重庆:重庆大学机械学院,2004.
 [5] 邵晓荣. 齿轮制造及安装误差对行星齿轮均载系数的影响[J]. 东北重型机械学院学报,1994,18(4):306-309.
 [6] MAVROIDIS C, ROTH B. Analysis of Overconstrained Mechanisms[J]. Transactions of the A S M E, 1995, 117(3): 69-72.

Disassembly Process Planning of Products Based on Matrix Operation

RAN Zhen-ya¹, ZHAO Shu-en^{1,2}, LI Yu-ling², HAN Zhao-yun¹

(1. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. Department of Mechanical & Electronic Engineering, Shanxi University of Technology, Hanzhong 723003, China)

Abstract: Based on fuzzy Petri nets, a fuzzy reasoning Petri nets (FRPN) model is defined. And then, combining fuzzy Petri nets with matrix operation, an algorithm of formalized fuzzy reasoning process is proposed. Based on the fuzziness and uncertainty of the knowledge in the disassembly process of products, a decision making model in disassembly process is established. Furthermore, taking realistic disassembly as an example, an algorithm of decision-making in disassembly sequence is discussed. The result shows that the model of decision-making has strong parallel operation ability in the disassembly process sequence. It also can make intelligent decisions based on the product information originating from each disassembly step.

Key words: disassembly process planning; fuzzy reasoning algorithm; products recovery; Petri nets

(编辑 成孝义)

(上接第 7 页)

Design of Self-adjusting Planetary Gear Rotation Mechanism Based on Planetary Gear Structures Muster

TAN Kun, HUANG Mao-lin

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Self-adjusting planetary gear rational mechanism can eliminate the influence of various uncertain errors in mechanism. Therefore, its method of self-adjusting designing is attended by machine designer. For seeking a simple, regular, and widely realizing self-adjusting designing way, this article uses approach of the follow text to design no over-constraint and self-adjusting mechanism. First, the article advances the conception of planetary gear structure muster and its plotting basis, through using for reference the strategy and method of self-adjusting structure groups in planar linkage mechanism. Second, it designs the self-adjusting planetary gear structure muster, through analyzing the constraint and freedom of planetary gear structure muster. Third, it designs the self-adjusting mechanism, through adding aptitude rotational links outside of self-adjusting planetary gear structure muster. This mechanism can realizes the self-adjusting in the interior of muster and self-adapting in the exterior of muster. This designing plan possesses a series of excellence, such as, theoretical, simple, feasible, widely self-adjusting. Consequently, the mechanism can eliminate the working capability influence of various errors.

Key words: planetary gear structure muster; over-constraint; freedom; self-adjusting

(编辑 成孝义)