

④ 289-292

装配顺序规划中的子装配体稳定性

张建标, 魏生民, 杨彭基

(西北工业大学 CAD/CAM 研究中心, 陕西 西安 710072)

TG95

TP391.73

摘要:介绍了子装配体内部运动自由度的概念及计算方法,给出了基于内部运动自由度的子装配体稳定性判别条件,且具有一定的通用性。经稳定性判别后可以大大缩小装配顺序规划中的方案数,可用于装配方案的选择及降低装配成本。

关键词:内部运动自由度;稳定性;割集法

装配顺序规划, 子装配体

中图分类号: TP391.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-274X(1999)04-0289-04

在装配顺序规划中,判别子装配体的稳定性具有十分重要的意义。这一方面可以缩小装配顺序生成的方案数,另一方面也是选择最佳装配顺序的一个重要标准,一个稳定性好的子装配体可以减少装配夹具的使用,降低装配成本。目前,对于子装配体的稳定性虽有一定的研究,但要么过于复杂不易实现,要么过于简单而没有通用性。本文根据相连零件间的局部运动自由度,利用割集法求出子装配体的内部运动自由度,进行稳定性判别,既简单又具有通用性。

1 子装配体表示

对于一个零件集 P ,能够成为一个子装配体,必须满足:

- (1) P 中的任一个零件与其余零件之间至少存在一个几何约束关系;
- (2) 至少存在一条装配顺序,使 P 中的所有零件在满足几何约束关系的条件下能够装配在一起;
- (3) P 是稳定的,装配后 P 要么自身能够维持稳定性,要么通过紧固设备具有稳定性。

一个装配体 P 可以用一零件联接图来表示 $G = G < N; E >$,其中, N 为结点集, N 中的每一个结点对应的 P 中的零件, E 为边集,每一条边对应 P 中零件间的一个联接关系。对于零件间的联接关系,一般可以分为两类:一类为松联接,即两零件间接触没有

力的作用,使它们紧固在一起,如平面接触、一般的孔轴匹配属于松联接;另一类为紧联接,即两零件间的接触具有一定的力使它们紧固在一起,如螺纹联接、轴孔间的紧配合、胶粘接等。在稳定性判别中为了处理方便,对这两种联接关系加以区分,在零件联接图中分别用 l (loose) 及 t (tight) 边表示,所以原零件联接图变为 $G = G < N; \{L, T\} >$, L, T 分别为 l 及 t 边的集合,每一条边 l 对应一个局部运动自由度,每一条边 t 对应局部运动自由度为零。

定义 1 局部运动自由度 $LFM(l; n_1 | n_2)$

设 $l_i = (n_1, n_2)$ 为两零件 n_1, n_2 之间的一个松联接关系,当固定零件 n_1 时,零件 n_2 所具有的运动自由度,定义为 $LFM(l; n_1 | n_2)$ 。

由定义,显然

$$LFM(l; n_1 | n_2) = -LFM(l; n_2 | n_1)$$

定义 2 图 G 的割集

设 S 是图 G 的一个边集,如果在连通图 G 中去掉 S 中的全部边后,使图 G 分离为两个成分且 S 的任一真子集无此性质,则边集 S 为图 G 的一个割集。通过求 G 的基本割集矩阵,再进行环和运算,可得图 G 的所有割集^[1]。

定义 3 图 G 的松边割集

对连通图 $G = G < N; \{L, T\} >$ 进行割集运算得 S , S 为边的集合,若 $\forall s \in S$, 有 $s \in L$, 则称此割集 S 为松边割集,即割集中的所有边均为松联接边。

定义 4 $A \& M$ 零件

收稿日期:1999-04-26

基金项目:国家“863”规划资助项目(9845006)

作者简介:张建标(1969-),男,江苏海门,西北工业大学博士,从事 CAD/CAM、计算机仿真、虚拟制造等研究。

在子装配体 P 中,拆卸时工具可接近且可操作的零件,称为 $A \& M$ 零件。

2 子装配体稳定性判别

2.1 求内部运动自由度

根据子装配体稳定性的定义^[4],稳定的子装配体不会在重力作用下自发解体或改变子装配体内部零件间的相对位置关系。对零件间的紧联接关系,有一定的紧固性,显然不会改变,因此只要考虑零件间的松联接关系。子装配体的自发解体或相对位置关系的改变可以抽象为子装配体分成两个子装配体的过程,可以用松边割集求出子装配体的所有可能分离情况,对每一种可能分离情况,求出分离自由度。所有可能分离自由度的和即为子装配体的内部运动自由度。

对子装配体 P 的零件联接图 $G = G < N; \{L, T\} >$,它一定是个连通图,否则不符合子装配体的定义, P 是不稳定的。对连通图 G ,求得一松边割集 c_k , P 对 c_k 的分离自由度为

$$LFM_k(P|c_k) = \bigcap_{l_i \in c_k} LFM(l_i, n_{i1} | n_{i2}),$$

$$c_k = (P', P - P'), \forall n_{i1}, \forall n_{i2}, n_{i1} \in P', n_{i2} \in P - P',$$

要判别子装配体的稳定性,必须考虑所有的可能分离情况,即求联接图 G 的所有松边割集 $C = \{c_k\}$,这样子装配体 P 的内部运动自由度 IFM 为

$$IFM(P) = \bigcup_{c_k \in C} LFM_k(P|c_k).$$

由于对同一个割集,分离自由度因参考基准的不同,会得到完全相反的自由度方向,使得计算 IFM 时出错,故在求 IFM 时,任选一个零件作为参考基准,割集划分时,包含此零件的部分为参考基准,计算分离自由度。

综合考虑各种情况,得子装配体 P 的内部运动自由度 IFM 为:

(1) $IFM(P) = \Phi$,若 G 为连通图,且 $C = \Phi$ 。

(2) $IFM(P) = \bigcup_{c_k \in C} LFM_k(P|c_k)$,若 G 为连通图,且 $C \neq \Phi$ 。

(3) $IFM(P) = \{\pm x, \pm y, \pm z\}$,若 G 为非连通图。

2.2 稳定性判别条件

根据内部运动自由度 IFM ,可以判别子装配体 P 的稳定性。

(1) P 是自身稳定的子装配体,若 $IFM(P) = \Phi$ 或至多有一个方向的平移自由度且至多只有沿平移

方向的旋转自由度。

(2) P 是有紧固设备时稳定,若 $IFM(P)$ 具有不少于两个方向的平移自由度。① 每一个松边割集对应的分离自由度,若有多于一个方向的平移自由度,则松边割集把 P 分解成的两部分零件集,每一部分应至少有一个是子装配体 P 的 $A \& M$ 零件。② 每一个松边割集对应的分离自由度,若只有一个方向的平移自由度(或同时有沿平移方向的旋转自由度),则松边割集把 P 分解成的两部分零件集,每一部分应至少有一个是 P 的 $A \& M$ 零件。

(3) P 是不稳定的,除以上(1),(2)两种情况外。

图 1 给出了子装配体稳定性的例子,其中带阴影的结点为各子装配体的 $A \& M$ 零件。对图 1a,

$$l_1 = (P_1, P_2), l_2 = (P_1, P_3), l_3 = (P_2, P_3).$$

S_1 的割集为

$$c_1 = \{l_1, l_2\}, c_2 = \{l_1, l_3\}, c_3 = \{l_2, l_3\}.$$

$$LFM(l_2, P_1 | P_2) = \{+z\},$$

$$LFM(l_2, P_1 | P_3) = \{+z\},$$

$$LFM(l_3, P_2 | P_3) = \{\pm x, -z\}.$$

$$LFM_1(S_1 | c_1) = LFM(l_1, P_1 | P_2) \cap$$

$$LFM(l_2, P_1 | P_3) = \{+z\} \cap \{+z\} = \{+z\},$$

$$LFM_2(S_1 | c_2) = \Phi, LFM_3(S_1 | c_3) = \Phi, \text{ 所以}$$

$$IFM(S_1) = LFM_1(S_1 | c_1) \cup LFM_2(S_1 | c_2) \cup$$

$$LFM_3(S_1 | c_3) = \{+z\} \cup \Phi \cup \Phi = \{+z\}.$$

根据稳定性判别条件(1),则 S_1 是自身稳定的。

$$\text{对图 1b}, l_4 = (P_4, P_5), l_5 = (P_5, P_6),$$

$$l_6 = (P_4, P_6);$$

S_2 的割集为 $c_4 = \{l_4, l_6\}, c_5 = \{l_4, l_5\}, c_6 = \{l_5, l_6\}$;

$$LFM(l_4, P_4 | P_5) = \{\pm x, +z\},$$

$$LFM(l_5, P_5 | P_6) = \{\pm x, -z\},$$

$$LFM(l_6, P_4 | P_6) = \{\pm z\};$$

$$LFM_4(S_2 | c_4) = LFM(l_4, P_4 | P_5) \cap$$

$$LFM(l_6, P_4 | P_6) = \{+z\},$$

$$LFM_5(S_2 | c_5) =$$

$$LFM(l_4, P_4 | P_5) \cap LFM(l_5, P_5 | P_6) = \{\pm x\},$$

$$LFM_6(S_2 | c_6) = \Phi.$$

$$IFM(S_2) = LFM_4(S_2 | c_4) \cup LFM_5(S_2 | c_5) \cup$$

$$LFM_6(S_2 | c_6) = \{+z\} \cup \{\pm x\} \cup \Phi \{\pm x, +z\}$$
 因为对 c_5 割集,割集分成的零件集为 $\{P_5\}, \{P_4, P_6\}$ 都至少有一个 $A \& M$ 零件,根据稳定性判别条件(2), S_2 是带夹具稳定的。

对图 1c, $l_7 = (P_7, P_8), l_8 = (P_7, P_9)$; 对 S_3 的割

集, $c_7 = \{l_7\}, c_8 = \{l_8\}$ 。

$LFM(l_7, P_7 | c_7) = LFM(l_7, P_7 | P_8) = \{+z\}$,

$LFM_8(S_3 | c_8) = LFM(l_8, P_7 | P_9) = \{+z\}$ 。因为对 c_8 割集, 割集分成的零件为 $\{P_9\}, \{P_7, P_8\}$, 而 P_9 不是一个 A & M 零件, 根据稳定性判别条件(3), S_3 是不稳定的。

另外, 由稳定性定义可知, 单个零件都是稳定

的。

对于两个子装配体装配成一个更大的装配体, 除了满足几何可行性, 机械可行性外, 必须保证装配的两个子装配体都是稳定的, 而且尽可能使用稳定性相同的子装配体。考虑稳定性因素之后, 可以明显缩小可行装配顺序数, 减少装配时夹具的使用, 降低装配成本。

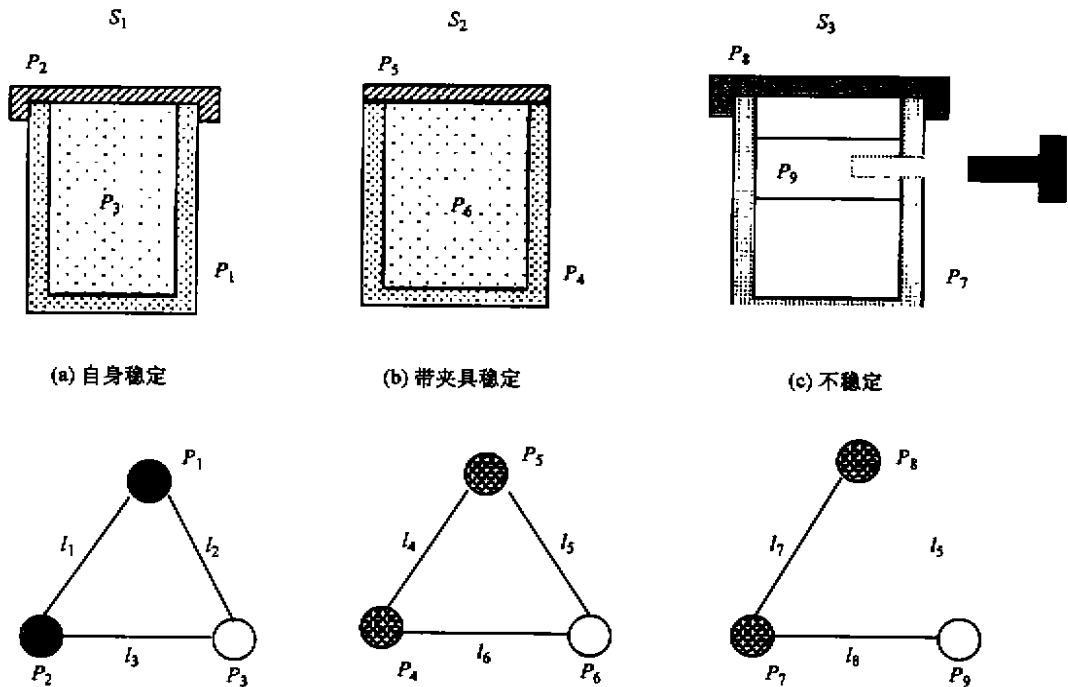


图 1 子装配体的稳定性分析

Fig. 1 Stability analysis of subassembly

3 举 例

图 2 所示的一个装配例子^[2], 其零件联接图如

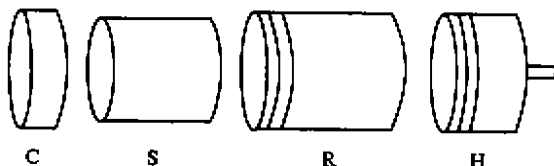


图 2 产品装配图

Fig. 2 Product drawing for assembly

图 3 所示。C 与 R, R 与 H 之间为螺纹联接, C 与 S, S 与 H 之间为面接触, S 与 R 之间为柱面接触。

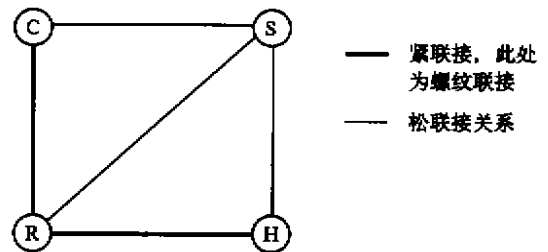


图 3 图 2 中的零件联接图

Fig. 3 Connection graph for parts in fig. 2

若不考虑稳定性,经几何可行性判别后,产生的装配顺序数为 8 条^[2]。经稳定性判别后,产生的装配顺序数为 2 条,减少了可行装配顺序的搜索空间,有利于最佳装配顺序方案的选择,而且每一个子装配体都是自身稳定的,不需装配夹具,降低了装配成本。经

稳定性判别后,生成的装配顺序表示为:

$$\begin{aligned} & \{\{C\},\{S\},\{R\},\{H\}\} \rightarrow \{\{C,R\},\{S\},\{H\}\} \\ & \rightarrow \{\{C,R,S\},\{H\}\} \rightarrow \{\{C,S,R,H\}\}, \\ & \{\{C\},\{S\},\{R\},\{H\}\} \rightarrow \{\{C\},\{S\},\{R,H\}\} \\ & \rightarrow \{\{C\},\{S,R,H\}\} \rightarrow \{\{C,S,R,H\}\}. \end{aligned}$$

参考文献:

- [1] 舒贤林,徐志才.图论基础及其应用[M].北京:北京邮电学院出版社,1988.
[2] Homen de Mello L S, Sanderson A C. Representations of mechanical assembly sequences[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1991, 17(2): 211-227.

(编辑 曹大刚)

Research on subassembly stability in assembly sequences planning

ZHANG Jian-biao, WEI Sheng-min, YANG Peng-ji

(Research Center of CAD/CAM, Northwestem Polytechnical Univesity, Xi'an 710072, China)

Abstract: The concept is first introduced on the internal freedom of motion of subassembly and computing method was introduced then the condition of subassembly stability is given based on internal freedom of motion. It is very universal and it can greatly decrease the number of feasibly assembly sequences through stable condition. It is very useful to select the best assembly sequence and reduce the cost of assembly.

Key words: internal freedom of motion; stability; cut-set

· 学术动态 ·

我校 39 项科研成果获奖

经过专家们的认真评选、充分论证,1999 年度陕西省教育委员会人文、社会科学研究优秀成果和科技进步奖评选揭晓,我校 39 项科研成果获得奖励。在获奖的 39 项科研成果中,人文社会科学优秀成果奖 23 项,其中一等奖 6 项,二等奖 10 项,三等奖 7 项。科技进步奖 16 项,其中一等奖 5 项,二等奖 8 项,三等奖 3 项。

中东研究所彭树智的《伊斯兰教与中东现代化进程》,学报编辑部姚远的新著《中国大学科技期刊史》,以及经济管理学院白永秀教授等 6 项成果获人文社会科学优秀成果一等奖;计算机科学系周明全教授主持的“三维医学图像可视化分析平台”、宋纪蓉教授主持的“新型含能材料的研究及应用”等 5 项成果获科技进步一等奖。从获奖成果来看,其中大多数成果具有选题新、切合社会现实发展、应用推广性强等特点。此次评选的省教委人文社会科学优秀成果奖共 92 项,科技进步奖 124 项,我校 39 项成果获奖,其获奖率和获奖数均居全省高校首位。

(薛 鲍)