

平面机构自由度新算法的参数选取原则

李 蔚

(浙江科技学院 理学院,杭州 310023)

摘 要: 要实现平面机构的确定运动,就必须保证机构的自由度数大于零且机构自由度数等于机构的原动件数,因此准确求出平面机构的自由度数至关重要。通过对平面机构在局部自由度、虚约束、多环等一些特殊情形下的自由度求解分析,证明了欧阳富等人提出的平面机构自由度数求解公式的正确性和实用性,并确定了其参数在实际计算中的选取原则。

关键词: 平面机构;自由度;参数;选取原则

中图分类号: TH112

文献标识码: A

文章编号: 1671-8798(2009)04-0336-03

Choosing principles for parameters in new calculating formula of freedom degree for plane mechanism

LI Wei

(School of Science, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: To achieve the determination of plane mechanism movement, it is necessary to ensure that the number of degrees of freedom of mechanism is greater than zero and equivalent to the original moving parts number. Thus calculating accurately the degree of freedom for planar mechanism is crucial. By solving degree of freedom for planar mechanism such as partial degree of freedom, redundant constraint and multi-loop, the correctness and the practicality of a new calculating formula of degree of freedom for plane mechanism presented by Ouyang Fu are verified, and choosing principles for parameters are established.

Key words: plane mechanism; degree of freedom; parameter; choosing principle

要实现平面机构的确定运动,就必须保证机构的自由度数大于零且机构自由度数等于机构的原动件数,为此准确求出平面机构的自由度数至关重要。而平面机构自由度的判断看似简单却容易因构件的复杂及运动副的多样性而出错。过去在分析和判断平面机构自由度时,往往采用传统平面机构自由度

计算公式^[1-2],但在实际计算中有两点不足:一是受到运动副的限制,要考虑复合铰链、虚约束等,特别是虚约束的判断很难,文献[3]专门讨论了这几种特殊情形下的自由度计算;二是对自由度计算不能借用典型的已知自由度的运动链,稍有变化的类似机构都需要重新计算杆件及运动副的数目。为了简化

收稿日期: 2009-07-14

基金项目: 浙江省教育厅科研计划项目(Y200803804)

作者简介: 李 蔚(1978—),女,湖南南县人,讲师,博士,主要从事机械设计中的数值计算方法理论及应用研究。

分析与计算,欧阳富等人^[4-5]利用平面机构任意封闭图形具有 3 个约束数的理论得到了新的平面机构自由度求解公式:

$$W = P_2 - 3N \tag{1}$$

式(1)中: W 为平面机构的自由度数; P_2 为平面机构与结构配合运动副自由度的总数(平面高副运动副自由度是 2,平面低副运动副自由度是 1); N 为平面机构的封闭环数。

平面机构由构件和运动副组成环路,其形式为单环和多环^[6-7]。机构的基本组成形式是环路,近来,一些学者以环路为研究单元提出一系列其他的求解平面机构自由度的公式^[8]。新自由度计算公式(1)中的参数 N 正是体现了利用平面机构环单元的思想,由此可见该公式的合理性。同时,公式(1)更直观地表达了机构自由度的实质,即:机构自由度是机构中所有运动副提供给机构的自由度总和与机构由于封闭而给机构本身带来约束总和的差。所以确定封闭环数 N 是关键。

一般情况下,公式(1)都能简单准确地算出机构自由度。但是,对于局部自由度、虚约束以及多环机构等特殊情形,公式(1)在计算机构的自由度时,封闭环数 N 的确定在现有的文献[4-5]中没有得到解决。笔者在参阅其他相关文章时也未见对上述问题作更深入的分析。

本文通过对平面机构在局部自由度、虚约束、多环等一些特殊情形下的自由度求解分析,证明公式(1)的正确性和实用性,并确定其参数在实际计算中的选取原则。

1 对封闭单环机构 N 的确定

如图 1 所示,曲柄滑块机构^[1]的封闭环是:机架 4 通过移动副与滑块 3 相连,滑块 3 通过转动副与构件 2 相连(提供一个自由度),构件 2 通过转动副与构件 1 相连,构件 1 通过转动副与机架 1 相连。故,曲柄滑块机构只含有一个封闭环,即 $N=1$ 。

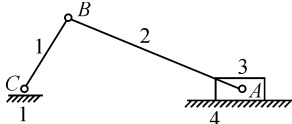


图 1 曲柄滑块机构
Fig.1 Slider-crank mechanism

滑块 3 与机架 4 是通过一个移动副相连,为 1 个自由度;滑块 3 与构件 2 是通过一个转动副相连,为 1 个自由度;构件 2 与构件 1 是通过转动副相连,为 1 个自由度;构件 1 与机架 1 通过转动副相连,为

1 个自由度,故 $P_2=4$ 。
将以上所得代入公式(1)得:

$$W = P_2 - 3N = 4 - 3 \times 1 = 1$$

2 含有局部自由度的机构中 N 的确定

如图 2(a),滚子推杆凸轮机构。对于此类型机构,可以在不影响其他构件运动的前提下,假想地将引起局部自由度的构件去除后得到新的机构。故而将图中划虚线圈的部分构件除去,得到如图 2(b)的机构,使构件 1 与构件 3 直接以平面高副相连接;据此得到运动副自由度总数 $P_2=4$,封闭环由构件 1, 3, 4 构成,环数 $N=1$ 。

从而 $W = P_2 - 3N = 4 - 3 \times 1 = 1$
所以,机构自由度是 1。

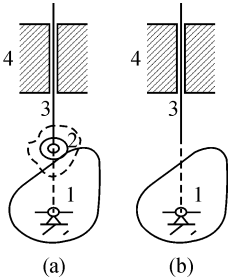


图 2 滚子推杆凸轮机构
Fig.2 Roller-putter cam mechanism

3 含有虚约束的机构中 N 的确定

如图 3(a),含虚约束的平行四杆机构^[2]与含有局部自由度的机构处理相似,可以在不影响其他构件运动的前提下,假想地将引起虚约束的构件去除得到新的机构。故而将图中划虚线圈的部分构件除去,得到如图 3(b)的机构,据此得到运动副自由度总数 $P_2=4$,封闭环数 $N=1$ 。

故得 $W = P_2 - 3N = 4 - 3 \times 1 = 1$
所以,所求机构自由度是 1。

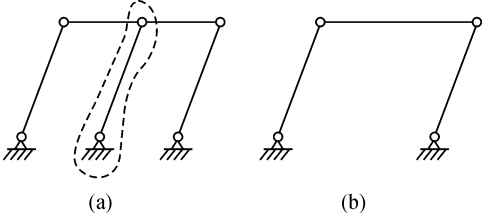


图 3 含虚约束平行四杆机构
Fig.3 Parallel four-bar linkage with redundant constraint

4 含有多个环路时 N 的确定

4.1 一般多环路机构

对于此类型机构封闭环数 N 就是机构中单环

路的数目,而不能含重复环路数。例如,图 4 所示的直线机构。

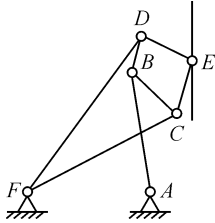


图 4 直线机构

Fig.4 Straight-line mechanism

所谓独立的单环路,是指它至少含有一个不在其他单环中出现的新构件。而所谓的重复环路,是指它含的所有构件都出现在其他的环路中。如图 4 所示的直线机构^[2],可视为由 ABDF A, ABCFA, BCEDB 3 个独立的单环机构组成,而不能按 ABDF A, ABCFA, BCEDB, FCEDF 4 个单环路来计算。因为如果机构视为由 ABDF A, ABCFA, BCEDB 3 个作单独环路,按重复环路的定义,那么 FCEDF 就应该是重复环路,故不能计算在 N 内。因此,直线机构自由度 $W = P_2 - 3N = 10 - 3 \times 3 = 10 - 9 = 1$ 。

4.2 对于复杂的多环路

对于这些复杂的多环路机构而言,不仅要求封闭环数 N 中的环路全部是单独环路,而且要求 N 按最大计算。也就是,单环路数最大原则。

如图 5,齿轮-连杆组合机构^[2,9]。

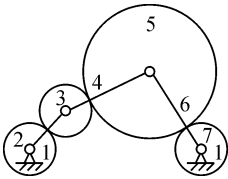


图 5 齿轮-连杆组合机构

Fig.5 Gear-linkage mechanism

在图 5 中,1 是机架,2 是齿轮与连杆焊在一起的构件,4 是连接齿轮 3 和齿轮 5 的连杆,6 是连接齿轮 5 和齿轮 7 的连杆。

按单环路的定义可得到 2 个单环路。

单环路一:机架 1 通过转动副与构件 2 相连,构件 2 通过平面高副与构件 3 相连,构件 3 通过平面高副与构件 5 相连,构件 5 通过平面高副与构件 7 相连,构件 7 通过转动副与机架 1 相连。

单环路二:机架 1 通过转动副与构件 2 相连,构件 2 通过转动副与构件 4 相连,构件 4 通过转动副与构件 6 相连,构件 6 通过转动副与机架 1 相连。

事实上,通过分析发现 2,3 构件通过平面高副和转动副构成了一个单环回路。同理可知 3,4,5 构件构成一个单环回路,5,6,7 构件构成一个单环回路,最后是 1,2,4,6 构件构成一个单环回路,共是 4 个单环回路。

因此,该机构的自由度是:

$$W = P_2 - 3N = 13 - 3 \times 4 = 13 - 12 = 1$$

图 5 齿轮-连杆组合机构亦可以视为 2,3 构成单环回路;3,4,5 构成单环回路;5,6,7 构成单环回路;1,2,3,5,7 构成单环回路。同样可以得到 4 个单环回路。

环路最多原则正是机构由于自身封闭而给机构本身带来约束这一实质的具体体现。

5 结 语

通过对新的平面机构自由度计算公式分析发现,平面机构由构件和运动副组成环路,其形式为单环和多环,而新的平面机构自由度公式正是以机构的单环路数作为主要参数,从而揭示了在平面机构中由构件与运动副组成的不同环路与自由度的关系。同时用局部自由度、虚约束、多环等一些特殊机构的自由度求解实例,证明了新公式的正确性和实用性,并给出了其参数在实际计算中的选取方法。

参考文献:

[1] 曹惟庆.机械原理[M].北京:高等教育出版社,1983.
[2] 孙桓,陈作模.机械原理[M].北京:高等教育出版社,1999.
[3] 王永胜,车莉萍.浅析平面机构自由度数的求法[J].潍坊教育学院学报,2008,21(3):96-97.
[4] 欧阳富,张士成,刘彦华,等.关于重新建立平面、球面机构与结构自由度计算新公式的研究[J].机械工程学报,2002,38(11):49-52.
[5] 狄德旭,欧阳富,刘彦华.空间机构自由度计算公式的重新建立[J].机械设计与研究,2003,19(2):22-29.
[6] 陈绪宽,龚素芳,罗平.平面机构的环路组成原理与其自由度求解研究[J].机械设计,2001,18(11):34-36.
[7] 陈绪宽,龚素芳,罗平.平面机构的环路分类法及各类机构自由度统一求解的研究[J].机械设计,2003(3):41-43.
[8] 杨恩霞,李天成,南艳杰.平面机构自由度判断的一种新方法及其应用[J].应用科技,2007,34(7):61-64.
[9] 葛文杰.机械原理常见题型解析及模拟题[M].西安:西北工业大学出版社,1999.