

机构运动分析图解法难点解析

刘道标

(盐城工学院机械系, 盐城 224003)

摘要 机械运动分析图解法是《机械原理》教学中的一个难点。根据作者多年的教学经验, 提出了在教学过程中应注意的问题, 并以具体实例说明了解决此类问题的方法和思路。

关键词 机构运动 分析 图解法

分类号 TH113

在《机械原理》课程中, 讲述平面机构的运动分析时, 介绍了图解法和解析法两种方法, 大纲规定两种方法可选其一。一般教学中以图解法为主, 因为图解法较直观、方便。但在教学中, 笔者发现有不少学生不能很好地理解图解法的基本原理, 因而学习中感到问题较多, 困难较大。在教学中如能注意以下几方面问题, 将有助于学生对教学内容的理解, 提高教学效果^[1~2]。

1 学习机构运动的分析要与《理论力学》中相对运动原理部分密切结合

理论力学的研究对象为一般的质点和刚体的运动, 机械原理研究的则是机构中构件上的点和构件本身的运动, 对构件一般可看成为刚体, 机械原理的有关平面机构的运动分析实质是理论力学中的运动学的基本原理在机械中的实际应用, 因而有关刚体的相对运动原理可用于机构的运动分析。教学中要注意引导学生复习《理论力学》中有关相对运动原理部分的内容, 阐明物体的运动与机构的运动的联系, 加深学生对机构运动分析的理解。在此基础上讲解机构的相对运动图解方法的基本原理, 并要求学生注意正确分析构件三种运动: 绝对运动、相对运动、牵连运动及如何选择动点、动系、定系。区分这些概念有助于判别绝对(相对、牵连)速度、绝对(相对、牵连)加速度的方向、大小, 作出正确的速度、加速度的矢量多边形。

2 理解并掌握几个合成定理的应用范围

机构的运动分析可归结为两类问题讲解: (1) 同一构件上两点间的速度(加速度)的关系, (2) 不同构件上瞬时重合点之间的速度(加速度)的关系。

速度合成定理用公式表示有: $\mathbf{V}_B = \mathbf{V}_A + \mathbf{V}_{BA}$

对上述两类问题速度合成定理的表达形式相似, 但含义却不同。在问题(1)中, B 、 A 分别是同一构件上不同的两点, 且 B 为动点、 A 为基点, \mathbf{V}_{BA} 为动点 B 绕基点 A 相对转动的速度; 在问题(2)中 B 、 A 则分别为不同构件上的两点, B 为动点, A 为另一构件上瞬时与动点 B 重合的点, \mathbf{V}_B 为动点 B 的绝对速度, \mathbf{V}_A 为动点 B 的牵连速度, 亦为瞬时重合点 A 的绝对速度, \mathbf{V}_{BA} 为动点 B 相对速度, 是动点 B 相对于动系的运动速度。

对加速度合成定理:

问题(1)的矢量表达式为: $\mathbf{a}_A = \mathbf{a}_B + \mathbf{a}_{BA}$

问题(2)的矢量表达式为: $\mathbf{a}_A = \mathbf{a}_B + \mathbf{a}_{BA} + \mathbf{a}_{BA}^k$

两者表达形式略有不同(下标 A 、 B 的含义同速度合成定理)。主要区别在于问题(1)研究的是同一构件上的两点即为平面一般运动刚体上的点, 其牵连运动为平动, 无科氏加速度; 问题(2)研究的是不同构件上的两点为点的复合运动, 存在科氏加速度(注意: 当点的复合运动中的牵连运动为平动时科氏加速度 $V_{BA}^k = 0$)。

3 正确理解几个速度(加速度)的概念并判断它们的大小及方向

在讲解速度(加速度)合成定理时,可从三种运动形式讲清相对(绝对、牵连)速度、相对(绝对、牵连)加速度的概念及它们之间的关系,并介绍角速度、角加速度的概念,同时建立速度与角速度、加速度与角加速度之间的联系,说明计算、判别速度(加速度)的大小、方向的方法。如已知构件的角速度为 ω ,角加速度为 α ,则该构件上任意两点 A 、 B (如 A 、 B 两点间的距离 l_{BA} 已知)的相对速度的大小为 $V_{BA} = \omega \cdot l_{BA}$,方向为垂直于 AB 且与 ω 的转向一致; B 点相对于 A 点的切向加速度的大小为 $a_{BA}^k = \alpha \cdot l_{BA}$,方向为垂直于 AB 且与 α 的转向一致,法向加速度的大小为 $a_{BA}^n = \omega^2 \cdot l_{BA}$,方向为从 B 指向 A 。

特别强调科氏加速度的出现条件及大小、方向的确定。对平面刚体的一般运动无科氏加速度;对于点的复合运动则存在科氏加速度,科氏加速度的矢量表达式为:

$$a_{BA}^k = 2\omega_2 \times V_{BA}$$

注意:当其牵连运动为平动时,由于 $\omega_2 = 0$ (ω_2 为作牵连运动的物体的角速度),因而实际科氏加速度 $a_{BA}^k = 0$ 。当牵连运动为转动时,科氏加速度 $a_{BA}^k \neq 0$,其大小、方向由 ω_2 及 V_{BA} 确定。对科氏加速度的方向可用右手定则两次确定,但两次右手定则的使用方法不同:首先用右手定则确定 ω_2 的方向,四指应弯曲,弯曲方向同 ω_2 的转向,大拇指的指向即为 ω_2 的矢量方向。其次,用右手定则确定科氏加速度的方向,四指与大拇指垂直,四指的方向与 ω_2 的方向一致, V_{BA} 的方向由手背穿入,手心穿出,此时大拇指的方向即为科氏加速度的方向。

4 使用机构运动图解法解题时的一些注意事项

首先要注意比例尺的选用。机构运动分析的图解包括作机构的位置图及速度、加速度矢量多边形,即用图形表示机构中各构件的位置及大小,机构中构件各部分的速度、加速度的大小、方向。因而,进行机构运动的图解时需选用一定的比例尺将一个物理量(如长度、速度加速度、力等)用一定长度的线段在图上表示出来。机构运动的图解有两类比例尺:用于绘制机构位置图的长度比例尺;用于绘制速度(加速度)矢量多边形的速度(加速度)比例尺。作图时注意区分。合理地选用比例

尺,可使作出的图形准确、清楚、美观。一般情况下比例尺尽可能取小些,使图形稍大,结果准确些。特别要强调由于机构位置图是作图依据,直接影响图解的精确性,故机构位置图一定要按选定的比例尺和已知的条件精确作出。

其次,在进行速度和加速度分析时,要准确判别速度(加速度)的方向,作图时要保证速度(加速度)方向的准确性,同时将已知速度加速度的大小按选用的比例尺准确地在图中表示出。对速度、加速度的标注务必与所列矢量式中的下标相一致或按某约定规律标注,以使所作矢量多边形清楚、明了。

另外,在图解中应熟练掌握速度影象法和加速度影象法的原理来求解构件上其它点的速度、加速度。但要引起注意的是影象法使用条件:即只能用于同一构件上各种速度、加速度运算,不能用于机构中不同构件上的点的运算。

5 图解法进行运动分析的步骤

(1)机构的运动分析:分析机构的各构件的运动情况,选定定系、动系、动点,进而分析构件的运动形式、问题类型。

(2)选取长度比例尺,作出机构位置图。

(3)速度分析:按问题类型选用相应的速度合成定理,列出矢量表达式,根据已知的速度大小、方向,选用合适的速度比例尺作出矢量多边形。由作出的封闭矢量多边形求出相应的速度的大小和方向。注意点:当一个矢量方程式剩下两个未知量时(大小或方向),即可作出封闭的多边形。

(4)加速度分析:与步骤 3 类似。

6 简例分析

(1)已知图示(图 1-a),曲柄导杆机构中原动件 2 的角速度 ω_2 ,试用图解法求该瞬时导杆 4 的角速度 ω_4 与角加速度 α_4 。

分析: B 点实际上是 B_2 、 B_3 、 B_4 三点的重合点, B_2 、 B_3 是构件 2 和构件 3 在 B 点的铰接点。因而:

$$V_{B_2} = V_{B_3}, \quad a_{B_2} = a_{B_3}$$

导杆 4 上 B_4 点在该瞬时与滑块 3 上 B_3 点重合,为此可借助点的复合运动原理列出下列速度、加速度矢量方程式:

$$V_{B_4} = V_{B_3} + V_{B_3B_4}$$

$$a_{B_1} = a_{B_3} + V_{B_4B_3} + V_{B_1B_3}^h$$

由上述方程式可作出相应的矢量多边形(图 1-b),加速度多边形(图 1-c),进而求得导杆 4 的角速度、角加速度。

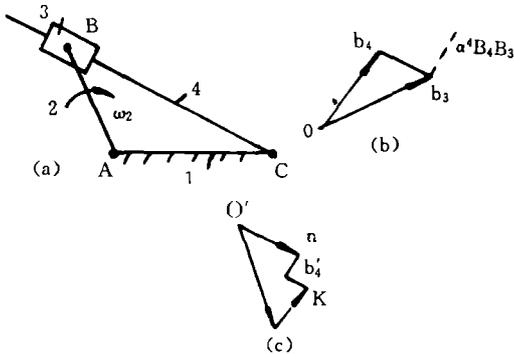


图 1 曲柄导杆机构示意图

(2)曲柄滑块机构如图示(2-a),已知构件 1 以匀角速度 ω_1 转动,曲柄长 l_{AB} ,连杆长 l_{BC} 。求图示位置时滑块 3 的速度、加速度。

分析:因构件 2 与构件 1 在 B 点铰接,因而构件 2 上 B_2 点的速度、加速度可求:

$$V_{B_2} = V_{B_1} \quad a_{B_2} = a_{B_1}$$

由构件 2 与滑块 3 在 C 处铰接,欲求滑块 3 的速度、加速度,只需求得瞬时 C_2 点的速度、加速度。

而 R_2, C_2 均为构件 2 上的点,由刚体平面一般运动原理可得速度、加速度矢量方程式:

$$V_{C_2} = V_{B_2} + V_{C_2B_2}$$

$$a_{C_2} = a_{B_2} + a_{C_2B_2}$$

作出相应的速度矢量多边形(图 2-b),加速度矢量多边形(图 2-c),求出未知量。

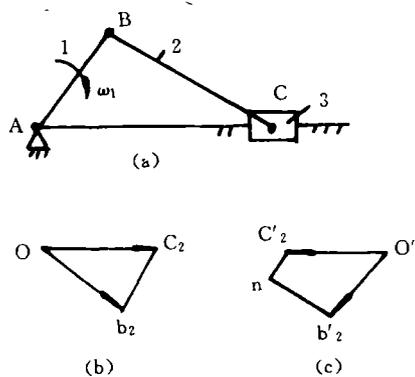


图 2 曲柄滑块机构示意图

由以上讨论可知,只要理清有关相对运动原理的基本概念、基本原理,正确分析机构的运动形式,分清机构中各构件之间的关系,合理使用速度(加速度)合成定理,就可很方便使用图解法解决机构的运动分析问题。

参 考 文 献

- 1 刘德仿. 机械力学与机构设计. 南京:东南大学出版社,1995
- 2 郑文伟. 机械原理. 北京:高等教育出版社,1997

The Resolution of Difficulty in Using Graphic Method to Analyse Mechanism Movement

Liu Daobiao

(Department of Mechanic Engineering of Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224003, PRC)

Abstract The graphic method in analysing mechanism movement is a difficulty of teaching in Machine Theory'. According to the author's experience in teaching for many years, this article brings out several problems that should be attention to in teaching, and using two simple examples shows the method and idea solving such problem.

Keywords Mechanism movement; Analysts; Graphic method