

实现复杂的预定连杆曲线的凸轮修正法

范 朝 来

摘要: 本文论述了一种在进行精密机械和轻工机械的机构综合设计时, 如何实现复杂的预定连杆曲线的新型设计方法——即凸轮修正连杆曲线法。

一、前 言

在进行实现已知预定的运动轨迹(即实现预定的连杆曲线)的机构综合设计时, 若要求实现的已知运动轨迹不太复杂, 则用一般的解析法或图解法即可求出一组比较理想的带连杆“ P ”点的平面连杆机构, 使这连杆点“ P ”所绘出的连杆曲线不必进行修正, 即可正好达到或基本接近所要实现的预定的已知运动轨迹。但如若要求实现的已知运动轨迹比较复杂, 则用一般解析法或图解法, 尽管费了九牛二虎之力才求解出一组带连杆点“ P ”的连杆机构, 可惜这连杆点 P 的实际连杆曲线也只能与预定的已知运动轨迹相近似。有的甚至能作到有若干个(如有五~六个均匀分布的点)与预定的运动轨迹相重合, 也就不那么容易了。这样就无法满足精密机械的设计精度要求, 这时, 若采用本文所论述的“凸轮修正连杆曲线法”, 对上述的那些已求解出的近似连杆曲线进行修正, 则这些修正后的连杆曲线, 在理论上可以做到(在一定精度范围内)与所要求实现的较复杂的已知预定的运动轨迹完全一致。因此, 本“凸轮修正连杆曲线法”不但在理论上而且在实用性方面都有较大的意义, 如曾在半自动连杆切菜机的刀口运动轨迹的修正上, 效果很好。

二、关于连杆曲线的凸轮修正法的实质

设四连杆机构 $ABCD$ 的连杆点“ P ”的实际连杆曲线为 $P_1 \sim P_{12}$, 见图1, 与要求实现的预定的连杆曲线除 $P_2 \sim P_4$ 和 $P_6 \sim P_{12}$ 这些点一致之外, 在 $P_{12} \sim P_2$ 之间和 $P_4 \sim P_6$ 之间的曲线与要求的预定轨迹(图中虚线表示的那些部分)不重合。如用本连杆曲线的凸轮修正法, 则可保证全部曲线都一致。该凸轮修正法的实质就是将原四连杆机构 $ABCD$ 的固定杆 \overline{AD} 的固定铰轴交点 D , 改为用凸轮的滚轮 M 的转动轴心 D 来代替, 见图2, 然后在滚轮 M 的下面加一个平面盘状凸轮 N , 该凸轮的轴心 E 选在以曲柄转轴铰支点 A 为圆心, 以原固定杆长 \overline{AD} 为摆动半径的圆弧 \widehat{S} 上。为了这凸轮 N 与曲柄 \overline{AB} 同步转动, 则在这两个转动零件之间加上一对速比为1:1的转动装置(如链轮 Z_A 和 Z_B , 及链条 K)。为使这 \overline{AD} 杆上的凸轮滚轮 M 总压在凸轮 N 的廓线上, 则可在摆杆 \overline{AD} 上加一压簧 W 。这样当输入主动曲柄 \overline{AB} 转动时(当然凸轮 N 通过链条和链轮装置也同步转动)则连杆 \overline{BC} 平面上的连杆点“ P ”就绘出了新合成的连杆曲线, 该曲线将得到了凸轮 N 的凸轮廓线的修正, 只要这凸轮廓线保证足够的精度, 则一定可以做到这修正后的连曲线与所要求实现的已知预定的运动轨迹一致。上述就是在平面连杆机构的机构综合中, 实现较复杂的预定“连杆曲线”的凸轮廓线修正法的实质。

三、关于用凸轮廓线修正连杆曲线的具体机构综合设计方法 (几何作图法) 的研究

图 3 中的 Z_A 、 Z_B 、 K 、 N 、 M 、 D 、 W 等符号意义与前述图 2 上的相同, 分别代表链轮、链条、平板凸轮廓线、滚轮、滚轮中心、压簧等。

关于用其凸轮廓线修正连杆曲线的机构综合设计问题的关键就是设计其凸轮。其中又以

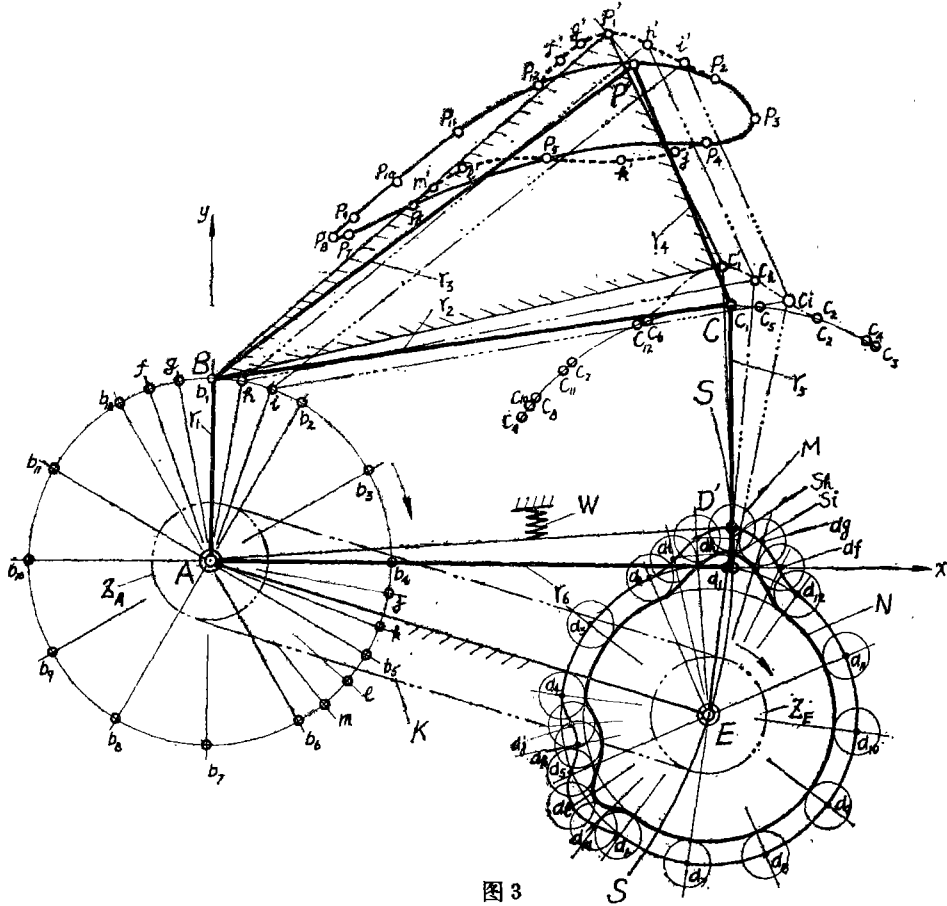


图 3

求解凸轮廓线为主。本凸轮是属摆动推杆滚子平板式凸轮的设计, 求凸轮廓线的方法可用分析算法, 也可用几何作图法。而本文主要研究的是后一种几何作图法。其解法以下例来说明。

1. 已知条件: 设给定的已知运动轨迹为 $P_1' h' i' P_2 P_3 P_4 j' k' P_5 l' m' P_6 P_7 P_8 P_9 P_{10} P_{11} P_{12} f' g'$ (见图 3 的上部曲线), 该曲线简称为“ $P_1' \sim g'$ ”曲线。

2. 求解: 要求设计出一套四连杆组合机构, 并用凸轮修正法使该机构的连杆点“ P ”的运动轨迹, 正好符合那给定的“ $P_1' \sim g'$ ”曲线。

3. 解答: 按机构综合设计过程的先后顺序, 分下列 5 步论述。

(1) 设计带连杆点“ P ”的基本四杆机构 $ABCD$

首先用常规的各种求解四杆机构连杆曲线的方法 (如解析法, 各种作图法, 连杆曲线图谱法等等), 求解出一套带连杆点“ P ”的基本四杆机构 $ABCD$, 使这“ P ”点的连杆曲线“ $P_1 \sim P_{12}$ ”尽可能地与已给定的已知轨迹曲线“ $P_1' \sim g'$ ”相接近, 最好有若干点能均匀

分布地相重叠。为论述方便本例图3所求出的带连杆点“P”的四杆机构ABCD的连杆曲线与给定的轨迹大部分是重合的,只有($P_{12} \sim P_1 \sim P_2$)段、($P_4 \sim P_5$)段、($P_5 \sim P_6$)段不重合。为区别起见,用虚线来表示这些相对应的不重合的已知给定的曲线段,如($P_{12} f' g' P_1' h' i' P_2$)段……等。用凸轮修正法的目的正是让“P”点的实际合成轨迹经沿这些已给定的用虚线来表示的已知轨迹。由于根据已给定的曲线轨迹来设计凸轮的相应廓线的求解方法原理都一样,所以本例在下面论述求解凸轮廓线的作图设计过程时,只详尽论述让“P”点经由虚线段 $P_{12} f' g' P_1' h' i' P_2$ 时,求解相应的修正凸轮廓线的几何作图法,其余各段因可以此类推,故不赘述。

(2) 决定修正凸轮的基圆半径 \overline{DE} 和凸轮的转动轴心E。

本步的目的是将四杆机构ABCD的“固定杆” \overline{AD} 改作为绕A支铰点摆动的凸轮修正机构的“摆动滚子推杆” $\overline{AD'}$,故要求凸轮基圆中心和半径。

以A为圆心,以固定杆 \overline{AD} 为半径作圆弧 \widehat{SS} ,在 \widehat{SS} 弧上按经验(试凑法)暂取一点E作为凸轮的转动中心,则 \overline{DE} 长即为凸轮的基圆半径。关于这半径 \overline{DE} 的大小,主要取决于连杆曲线的修正量的值,并保证将来所求的凸轮廓曲线上的最大压力角 α^0 最小于许用压力 $[\alpha^0]$ 。如以后发现这第一次所取的 \overline{DE} 半径不合格,可第二次重取,直到满意为止。

(3) 设计链轮链条机构,让凸轮N与四杆机构ABCD的主动曲柄 \overline{AB} 同步同方向(顺时针)转动。根据载荷和轴的尺寸及空间位置选择合适尺寸的两个直径和齿数都相同的链轮 Z_A 和 Z_B ,分别固定在曲柄 \overline{AB} 和凸轮N上,然后加上链条K,这样这曲柄 \overline{AB} 即可带动凸轮N同步又同向地(顺时针方向)转动了。

(4) 用作图法求修正凸轮的理論轮廓曲线。本作图法共分下列三个步骤:

第①步,等分曲柄 \overline{AB} 的轨迹圆,确定分度起点和等分点的编号方向。

以A为圆心, \overline{AB} 长为半径绘出曲柄B点的运动圆轨迹。设 \overline{AB} 按顺时针方向转动。把与纵座标y重合的轨迹点 b_1 点为起点。从 b_1 开始按顺时针把圆周轨迹分成12等分,得 $b_1 b_2 \dots b_{12}$ 各等分点,编号方向按顺时针。

第②步,等分凸轮基圆,确定分度起点和分度编号方向。

由于四连杆机构ABCD的曲柄 \overline{AB} 在起始位置 Ab_1 时,其连杆点“P”在这时刻的相应连杆曲线的轨迹点 P_1 的位置,可能有两种情况,一种是 P_1 点正好在已给定的已知轨迹上(即重合),另一种情况正相反,不重合(如本例图3所示情况,这 P_1 点与给定的相应轨迹点 P_1' 相距一个 $\overline{P_1 P_1'}$ 距离)。如属前一种情况,则这凸轮基圆的分度起点 d_1 就是 \overline{ED} 起始位置的D点。如属后一种情况,(如图3的本例情况)则情况就复杂一些,这起点 d_1 的位置应按下列方法来求:

(a) 以曲柄 \overline{AB} 的起始点 b_1 为圆心,以连杆点“P”至B的距离 r_3 为半径作圆弧,交于已给定的轨迹曲线($f' g' p_1' h' i'$)的 P_1' 点。

(b) 以 P_1' 为圆心,以连杆点“P”到C的距离 r_2 为半径作圆弧与另一圆弧(该圆弧是以B为圆心,以连杆 \overline{BC} 的长 r_2 为半径所作的圆弧)相交 C_1' 点。

(c) 再以 C_1' 点为圆心,以摇杆 \overline{CD} 的长 r_3 为半径作圆弧与 \widehat{SS} 弧相交于 D' 点,(这 \widehat{SS} 弧是前已述过的,是以A为圆心,以 \overline{AD} 固定杆长 r_3 为半径所作的)连结E、 D' ,这 $\overline{ED'}$ 线即为相应的凸轮轮廓的起始零线。这起始线与凸轮基圆的交点 d_1 即为基圆的分度起点。当 d_1 起点求出后;接着从 d_1 开始,对应的也把凸轮基圆分为12等分,注意给这些等分点编号时,应按逆时针方向进行。如图3上的从 $d_1 d_2 \dots d_{12}$ 所示。

第③步, 求修正凸轮的理论轮廓曲线。

由于基本四杆机构 $ABCD$ 的连杆曲线与给定的轨迹曲线相比较时, 可能有两种情况, 一种是有的线段这两曲线段完全重合, 另一种情况是完全不重合。为此, 相应的这修正凸轮的廓线也有两种情况, 即前一种情况因两曲线重合则这些曲线不必修正, 如图3中的 $(P_2 \sim P_4)$ 段, $(P_6 \sim P_{12})$ 段即为重合的情况, 这时凸轮的理论廓线可设计成用凸轮基圆半径所作的等半径圆弧即可。其二是后一种情况, 即这两曲线不重合如图3中的连杆曲线 $(P_{12} \sim P_1 \sim P_2)$ 段, 与对应的给定的已知曲线 $(P_{12} f' g' P_1' h' i')$ 虚线段等。这时只能靠用凸轮廓线的不同形状来修正, 以保证实现虚线所示的预定轨迹曲线。关于在这种情况下求解凸轮廓线的作图步骤如下。以将 $(P_{12} \sim P_1 \sim P_2)$ 曲线段修正到 $(P_{12} f' g' P_1' h' i')$ 这给定已知曲线段为例来论述。

(a) 找出需要修正的连杆曲线的线段所对应的曲柄 \overline{AB} 圆弧轨迹线段以及所对应的凸轮基圆的圆弧线段。如 $(P_{12} \sim P_1 \sim P_2)$ 段为所需要修正的连杆曲线段, 所对应的曲柄 \overline{AB} 的圆弧轨迹是 $(b_{12} \sim b_1 \sim b_2)$ 弧段, 同时对应的凸轮基圆为 $(d_{12} \sim d_1 \sim d_2)$ 弧段等。为保证作图的精确度, 可把上述这些局部曲线段的分度间隔加密一些, 如在曲柄圆轨迹 $(b_1 \sim b_2)$ 弧之间的原等分间隔为 30° , 现在可分成 10° 的间隔, 其中加了 h, i 的等分点, 相应的在凸轮基圆弧 $(d_1 \sim d_2)$ 之间也增加了 10° 间隔的等分点 d_h, d_i 等。

(b) 以曲柄 \overline{AB} 轨迹圆上的 h 等分点为圆心, r_3 为半径, 作圆弧与给定曲线交于 h' 点。

(c) 以 h' 为圆心, 以 r_4 为半径, 作圆弧与另一个以 h 为圆心, 以 r_2 为半径所作圆弧交于 C_h 点。

(d) 以 C_h 为圆心, 以 r_5 为半径, 作圆弧与以 A 为圆心, 以 r_6 为半径的 \widehat{SS} 弧相交于 S_h 点。

(e) 以 E 为圆心, 以 $\overline{ES_h}$ 为半径作圆弧与凸轮的基圆上的相应的等分角射线 $\overline{Ed_h}$ 交于 d 点, 这 d_h 点, 即为所求的修正凸轮的理论轮廓上的对应点。

(f) 以同样的手段相应地可求出凸轮上的理论轮廓曲线点, 如 $d_f, d_g, d_1', d_h, d_i, d_j, d_k, d_l, d_m$ 等诸点, 这等分角线愈密, 则轮廓线上的所求的这些点就愈多, 则这凸轮理论轮廓线的精度就愈高。

(g) 用曲线板依次连结这些廓线点, 即可求得相应的所需修正的凸轮上的理论廓线。这些廓线与凸轮上的那些对应的不需要修正的等半径廓线一起完整地连结为一封闭曲线, 即为所求凸轮的完整的理论廓线。

(h) 进行凸轮的压力角 α^0 校核。

这凸轮廓线上的任何一点的压力角 α^0 , 都必须小于许用值 $[\alpha^0]$ 。若 α^0 角太大, 则需要加大凸轮的基圆半径 \overline{ED} 。于是一切又须从头作起。直到合格为止。

(5) 用作图法求解修正凸轮的实际轮廓曲线。

以上面所求出的凸理轮廓上的点为圆心, 以滚子半径为半径画许多圆, 然后作一条与这些圆相切的包络线, 这就是凸轮的可加工制造的实际轮廓曲线。到此, 凸轮的轮廓曲线求解工作基本结束。

四、结 论

在进行精密机械和轻工机械的机构综合设计时, 若要实现的预定的连杆曲线较复杂而且又有一定精度要求, 这时若要用本文中所论述的这一新方法即“连杆曲线凸轮修正法”, 则可

以简而易行地达到预定的目的。

参 考 文 献

- [1] 李学荣,《四连杆机构综合概论》(第二册),机械工业出版社,1956年一版。
- [2] 常见机构的原理及应用编写组,《常见机构的原理及应用》,机械工业出版社,1980年10月二版。
- [3] 范朝来,同心、同步等效杆系机构转化的广义机构综合法,《机械设计》,1984年,1期。
- [4] [美] 郎内斯,《四连杆机构分析图谱》,机械工业出版社,1960年一版。

To Realize Complicated Predeterminate Curve of Points on Coupler with Cam Revisory

Fan Chaolai

Abstract

This paper describes one kind of design method about how to realize complicated predeterminate curve of points on coupler with cam revisory, which may be used in synthesis of mechanisms in precision and light machinery.