

Stephenson III 型六杆间歇机构近似函数综合自适应方法

董惠敏*, 王德伦

(大连理工大学 机械工程学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 提出了平面机构连杆曲线局部自适应拟合方法, 定义了连杆曲线具有三次鞍点意义的局部自适应圆、局部自适应直线, 把六杆间歇机构近似函数综合转化为平面曲线局部自适应拟合问题, 建立了 Stephenson III 型六杆间歇机构近似函数综合的数学模型, 给出了可同时保证输出函数间歇与非间歇部分精度要求的优化求解方法, 算例表明该优化过程是可行的。

关键词: 六杆间歇机构; 自适应拟合; 函数综合

中图分类号: TH122.1 **文献标志码:** A

0 引言

在间歇机构中输入构件的匀速运动被转化为输出构件的周期性间歇运动. 在工业生产中间歇机构的应用范围非常广泛, 尤其是在自动控制领域. 其中六杆间歇机构更是有着诸多优于凸轮等间歇机构的独特优点, 例如低廉的制造与维修费用、高速的运动特性等. 因此, 六杆间歇机构近似运动综合成为近年来这一领域的主流研究方向. Sandgren^[1]将约束优化方法引入到能实现一次间歇及多次间歇的滑块六杆机构函数综合中, 其目标函数是杆长 l_5 不变, 优化参数为机构的所有尺度参数. 而文献[2]针对 Stephenson III 型全铰链六杆机构定量给出了产生两次间歇的机构条件、输出函数间歇部分低于 5 次的近似多项式表达式以及机构各尺度参数的可行域, 在一定意义上将近似函数综合转化为精确综合. 上述方法的不足之处是设计变量多, 且有很强的针对性. 随着计算机技术的快速发展及普及, 基于轨迹曲率理论的图谱法在六杆间歇机构设计中越来越受到重视. 基于轨迹曲率理论, Kota 等^[3,4]提出了大量的经验法则, 对能够产生直线、圆弧及对称连杆曲线的平面四杆机构进行了系统的分析和分类. 文献[5]又在此基础上将专家系统引入机构设计中, 开发

了名为 MINN-DWELL 的设计系统. 1991 年, Kota^[6]进一步以对置活塞斯特灵发动机为例提出了间歇机构的一般设计方法, 以期能够以单输入实现多间歇输出. 利用轨迹曲率理论开发的软件包还有 Iyer^[7]的 RECDWELL, 其中增强了人机交互的功能. 在 Beier^[8]的“箭猪”技术的启发下, 依据公理: 任一曲率中心恒定的连续曲线其曲率半径为常数, 提出了一种寻找连杆曲线上圆弧段或直线段的方法, 节约了计算时间. 曹清林等^[9]对对称连杆曲线图谱进行了细致的研究, 并应用到实现从动件两次停歇的六杆间歇机构的设计中. 于红英等^[10]利用“直线扫描法”和“切线包容法”对基础四杆机构及输出二级杆组分别进行综合, 建立了连杆曲线中具有圆弧段的四杆机构数据库, 实现了全铰链六杆间歇机构的设计. 近年来概念设计的异军突起也使许多学者将目光转到了计算机辅助间歇机构概念设计的方法和系统的研究上^[11,12], 试图减少初始选择时的盲目性, 提高设计效率. 以上方法均在不同程度上推动了六杆间歇机构的发展, 不完善之处或为优化变量过多, 或为忽略非间歇部分的精度要求, 或为设计过程反复过多, 或受限于连杆曲线图谱的容量及精度, 这些都制约了六杆间歇机构在实际中的推广和应用.

收稿日期: 2010-04-04; 修回日期: 2012-05-04.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50475145, 50975038).

作者简介: 董惠敏* (1958-), 女, 教授, E-mail: donghm@dlut.edu.cn.

文献[13]针对平面四杆机构提出了基于简单曲线运动不变量性质的自适应近似综合方法,较好地解决了平面四杆机构综合中目标函数混乱、算法收敛性得不到保证等问题.本文基于该方法,将Ⅱ级基本杆组的两个外副分别与四杆机构中的连杆和机架相连形成六杆机构,即 Stephenson Ⅲ型六杆间歇机构,根据间歇机构的构成特点,将简单曲线的自适应拟合方法进行适当修改,提出具有三次鞍点意义的近似局部圆点和近似局部滑点的概念,建立可同时保证输出函数间歇部分与非间歇部分精度要求的数学模型和求解方法,并通过算例验证该方法的可行性.

1 连杆曲线的描述

常见六杆间歇机构由一个基础平面四杆机构加上一个Ⅱ级杆组构成,如图1所示.为了实现间歇运动的要求,连杆点E随四杆机构运动时所产生的轨迹局部为圆弧或直线,而输出构件可以是连架杆或滑块.也就是说,基础四杆机构连杆点E的轨迹在给定输入杆转角范围内依据输出杆件类型不同为圆弧或直线是输出杆件实现停歇的条件.

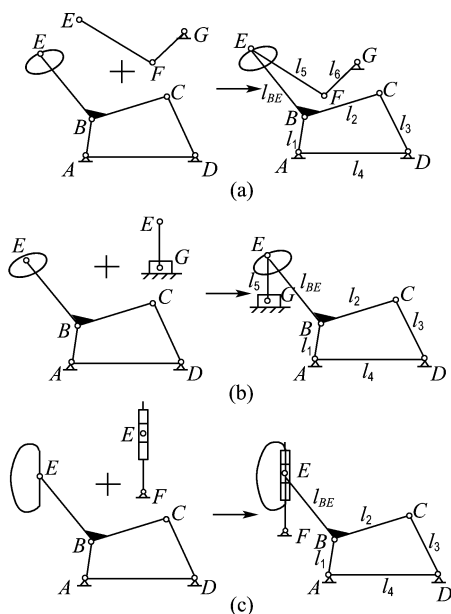


图1 Stephenson Ⅲ型六杆间歇机构的构成

Fig.1 Constructions of Stephenson Ⅲ six-bar dwell linkages

根据平面四杆机构的几何特性,如图2所示,很容易得到连杆平面任一点 $E(l_{BE}, \beta)$ 在图示坐标系 $O_i x_i y_i$ 中的运动轨迹:

$$\begin{cases} x_E = l_1 \cos \varphi + l_{BE} \cdot \cos (\gamma + \beta) \\ y_E = l_1 \sin \varphi + l_{BE} \cdot \sin (\gamma + \beta) \end{cases} \quad (1)$$

显然点E的轨迹是 φ 的非线性函数,如果将 φ 离散化(不妨以 1° 为间隔),则得到连杆点E的离散轨迹点集 $E_i(x_{E_i}, y_{E_i})$,即基础平面四杆机构连杆平面上的任意点的轨迹都可表示为关于输入转角的非线性函数,轨迹曲线的特征取决于该点在连杆平面的位置.

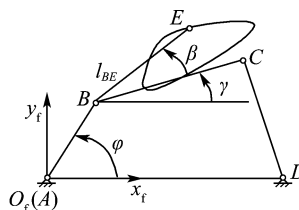


图2 平面四杆机构的连杆曲线

Fig.2 Coupler curve of planar four-bar linkages

2 连杆曲线局部自适应拟合方法

Stephenson Ⅲ型六杆间歇机构函数综合的第一步是在基础四杆机构的连杆平面上寻找轨迹部分为圆弧或直线的连杆点E,对于近似综合则要求连杆点E的轨迹局部为近似圆弧或近似直线.以文献[13]中提出的寻找运动刚体上近似特征点的自适应综合方法为基础,本文提出了适应六杆间歇机构综合的平面简单曲线的局部自适应拟合方法.

2.1 局部自适应圆拟合

图3所示为一基础四杆机构任意连杆点离散轨迹点集 E_i ,现要求其上曲线段 $E_{k_1} E_{k_2}$ 的自适应拟合圆,根据文献[13]提出的自适应圆拟合方法,优化模型为

$$\begin{aligned} & \min_z \max_{k_1 \leq k \leq k_2} f_k(\mathbf{z}) \\ & f_k(\mathbf{z}) = |((x_{E_k} - x_0)^2 + (y_{E_k} - y_0)^2)^{1/2} - r| \quad (2) \\ & \mathbf{z} = (x_0 \quad y_0 \quad r)^T, \mathbf{z} \in \mathbf{R}_c \end{aligned}$$

需要指出的是被拟合曲线段的长度取决于间歇角 $\Delta\varphi$ 的大小, k_1 和 k_2 决定了被拟合曲线段在曲线 Γ 上的位置,不同曲线段的拟合圆不同,误差

也不同,这里给出如下定义.

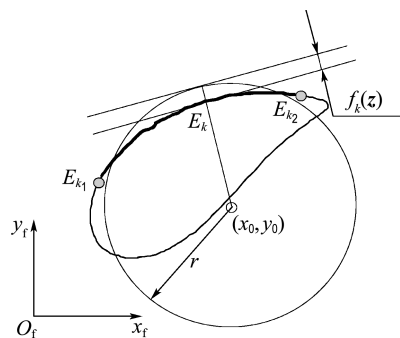


图3 连杆曲线的局部自适应拟合圆

Fig. 3 Local adaptive fitting circle of coupler curve

定义1 依据被拟合轨迹点集 E_i 的性质及给定间歇角 $\Delta\varphi$ 并按最大法向拟合误差最小为原则得到的所有曲线段的拟合误差最小的拟合圆,称为 E 点轨迹的局部自适应圆.

因为任意曲线段自适应圆都具有与文献[13]中自适应圆同样的极小性和可比性,因此局部自适应圆具有同样的性质.

基础平面四杆机构的连杆平面上任一点的轨迹都对应各自的局部自适应圆,仅仅是最大误差的大小不同,因而有:

定义2 对于基础四杆机构,当连杆平面上一点在其邻域内相对其他任意点而言,在一定间歇角范围 $\Delta\varphi$ 内,该点在固定平面上轨迹的局部自适应圆的最大法向拟合误差获得极小值,称该点为运动平面上的自适应局部近似圆点,简称局部近似圆点.

由上述定义可以看出基础四杆机构连杆平面上各点的轨迹所对应的局部自适应圆的最大拟合误差是该点坐标的函数,而局部近似圆点的轨迹较其邻域内点的轨迹局部近似于圆的程度最好,也具有局部最优意义,因此在某种程度上讲近似局部圆点具有三次鞍点意义.基础四杆机构连杆平面上各点的轨迹所对应的局部自适应圆的最大拟合误差是连杆点的位置坐标的非线性函数,必然存在极小值,因此,由上述性质可得如下定理.

定理1 对于给定的非退化的基础四杆机构,连杆平面上一定存在局部近似圆点.

若要综合图1(a)、(b)所示的六杆间歇机构,

则点 E 就是基础四杆机构连杆平面上的一个局部近似圆点,对应的局部自适应圆的圆心和半径分别表示实现停歇时铰链点 F 所在位置 (x_{F_0}, y_{F_0}) 及杆 EF 的长度 l_5 .

2.2 局部自适应直线拟合

衡量基础四杆机构任意连杆点离散轨迹点集 E_i 在一定输入角范围 $\Delta\varphi$ 内与直线的接近程度,需要进行局部直线拟合,采用类似局部圆弧拟合的定义,有:

定义3 依据被拟合轨迹点集 E_i 的性质及给定间歇角 $\Delta\varphi$ 并按最大法向拟合误差最小为原则得到的所有曲线段的拟合误差最小的拟合直线,称为 E 点轨迹的局部自适应直线.

如图4所示,同局部自适应圆一样,求解局部自适应直线的过程也是一个鞍点规划问题,数学模型为

$$\begin{aligned} \min_z \max_{j_1 \leq j \leq j_2} f_j(z) \\ f_j(z) = |y_{E_j} - kx_{E_j} - b| / (1 + k^2)^{1/2} \quad (3) \\ z = (k \ b)^T; z \in \mathbf{R}_2 \end{aligned}$$

局部自适应拟合直线的方向和位置决定于所拟合的离散曲线段的性质,同样具有极小性和可比性,从而得到与局部近似圆点类似的局部近似滑点的定义.

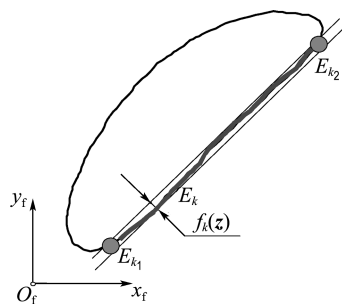


图4 连杆曲线的局部自适应拟合直线

Fig. 4 Local adaptive fitting line of coupler curve

定义4 对于基础四杆机构,当连杆平面上一点在其邻域内相对其他任意点而言,在一定间歇角范围 $\Delta\varphi$ 内,该点在固定平面上轨迹的局部自适应直线的最大法向拟合误差取得极小值,称该点为运动平面上的局部自适应近似滑点,简称局部近似滑点.

局部近似滑点的求解方法与局部近似圆点相同,且其存在性同局部近似圆点一样,因而有:

定理 2 对于给定的非退化的基础四杆机构,连杆平面上一定存在局部近似滑点.

图 1(c)所示六杆间歇机构的连杆点 E 就是基础四杆机构连杆平面上的一个局部近似滑点,对应的局部自适应直线是机构实现间歇时输出杆所停歇的位置.

3 II 级杆组的综合

有了基础四杆机构并按间歇角范围确定了连杆平面局部特征点 E 之后,间歇机构综合的另一个关键问题就是依据非间歇输出部分等要求对 II 级杆组进行综合,下面将针对不同形式的输出 II 级杆组的综合进行讨论.

3.1 RRR 杆组综合

如图 1(a)所示的六杆间歇机构是最常见也是研究最多的一种类型,此时输出件为摇杆.在已求得基础四杆机构连杆平面局部近似圆点的基础上,II 级杆组的优化取决于机架点 G 的确定,而根据给定的非间歇部分的传动函数,在已知其他结构参数的前提下可以构造如下目标函数:

$$f_j^{\text{II}}(\mathbf{z}) = \max |\psi_j^{\text{II}} - \bar{\psi}_j^{\text{II}}| \quad (4)$$

式中: ψ_j^{II} 为连架杆 GF 的输出角; $\bar{\psi}_j^{\text{II}}$ 为预期的输出角; 优化参数 $\mathbf{z} = (x_G \ y_G)^T$.

以下为输出角 ψ_j^{II} 的求解模型.

设 G 的坐标为 (x_G, y_G) , 根据杆长不变原理,运动过程中有

$$l_6 = \sqrt{(x_G - x_{F_0})^2 + (y_G - y_{F_0})^2} \quad (5)$$

及

$$\begin{cases} (x_F - x_E)^2 + (y_F - y_E)^2 = l_5^2 \\ (x_F - x_G)^2 + (y_F - y_G)^2 = l_6^2 \end{cases} \quad (6)$$

将式(5)、(6)联立,解方程组得

$$\begin{cases} x_F = x_E + pa_1 - qa_2 \\ y_F = y_E + pa_2 - qa_1 \end{cases} \quad (7)$$

其中

$$a_1 = x_G - x_E, a_2 = y_G - y_E \quad (8)$$

$$p = \frac{a_3 + l_5^2 - l_6^2}{2a_3}, \quad q = M\sqrt{\frac{l_5^2}{a_3} - p^2}, \quad (9)$$

$$a_3 = a_1^2 + a_2^2$$

根据 (x_{F_0}, y_{F_0}) 所决定的初始位置,式(9)中 M 取 +1 或 -1. 若 $y_F \geq y_G$, 则

$$\psi_j^{\text{II}} = \arccos \frac{x_F - x_G}{\sqrt{(x_F - x_G)^2 + (y_F - y_G)^2}} \quad (10a)$$

若 $y_F < y_G$, 则有

$$\psi_j^{\text{II}} = 2\pi - \arccos \frac{x_F - x_G}{\sqrt{(x_F - x_G)^2 + (y_F - y_G)^2}} \quad (10b)$$

3.2 RRP 杆组综合

同图 1(a)、(c)所示机构不同,图 1(b)所示的机构将转角输入转化为位移输出. 根据预期输出函数的间歇特性,取连杆平面的局部近似圆点为连杆点 E,此时 II 级杆组(滑块)的综合取决于滑道的倾角 θ ,同样,利用预期函数的非间歇部分可以构造目标函数

$$f_j^{\text{II}}(\theta) = \max |s_j^{\text{II}} - \bar{s}_j^{\text{II}}| \quad (11)$$

式中: s_j^{II} 为滑块 F 的输出位移; $\bar{s}_j^{\text{II}}$ 为预期的输出位移. 对于滑块 F 的位移 s_j^{II} , 可以仿照 3.1 节求解.

设优化参数滑道倾斜角是 θ , 按照杆长不变原理,有

$$\begin{cases} (x_F - x_E)^2 + (y_F - y_E)^2 = l_5^2 \\ y_F = (x_F - x_{F_0})\tan \theta + y_{F_0} \end{cases} \quad (12)$$

解方程组得

$$\begin{cases} x_F = (-b + M\sqrt{b^2 - 4ac})/2a \\ y_F = (x_F - x_{F_0})\tan \theta + y_{F_0} \end{cases} \quad (13)$$

式中

$$\begin{aligned} a &= 1 + \tan^2 \theta \\ b &= 2d\tan \theta - 2x_E \\ c &= x_E^2 + d^2 - l_5^2 \end{aligned} \quad (14)$$

其中 $d = y_{F_0} - x_{F_0}\tan \theta - y_E$.

同样, M 取 +1 或 -1 取决于 (x_{F_0}, y_{F_0}) 所决定的初始位置.

设点 F_0 为滑块位移的标定点, 则

$$s_j^{\text{II}} = (x_{F_j} - x_{F_0})\cos \theta + (y_{F_j} - y_{F_0})\sin \theta \quad (15)$$

3.3 RPR 杆组综合

图 1(c)所示为含导杆的六杆机构,其输出为连架杆的转角,取基础四杆机构连杆平面的局部滑点为连杆点 E,相应的局部自适应直线为停歇

阶段连架杆 FE 所在的直线位置, 而铰链点 F 的位置则取决于预期输出函数非间歇部分的性质, 同 3.1 节, 利用预期非间歇部分的输出函数构造目标函数

$$f_j^{\text{II}}(x_F) = \max |\psi_j^{\text{II}} - \bar{\psi}_j^{\text{II}}| \quad (16)$$

式中: ψ_j^{II} 、 $\bar{\psi}_j^{\text{II}}$ 的意义同式(4)。

同样, 根据机构的几何特性可以构造连架杆 FE 输出函数 ψ_j^{II} 的求解模型。

设铰链点 F 的坐标为 (x_F, y_F) , 由于 x_F 、 y_F 满足条件

$$y_F = kx_F + b \quad (17)$$

其中 k 、 b 为点 E 轨迹局部自适应直线的直线参数。若 $y_E \geq kx_F + b$, 则

$$\psi_j^{\text{II}} = \arccos \frac{x_E - x_F}{\sqrt{(x_E - x_F)^2 + (x_E - kx_F - b)^2}} \quad (18a)$$

若 $y_E < kx_F + b$, 则

$$\psi_j^{\text{II}} = 2\pi - \arccos \frac{x_E - x_F}{\sqrt{(x_E - x_F)^2 + (x_E - kx_F - b)^2}} \quad (18b)$$

3.4 统一数学模型及求解方法

在上节中, II 级杆组输出函数的求解过程同样适用于间歇部分, 因此式(2)、(3)中的拟合误差很容易转化为函数误差。以上针对预期函数关系的停歇与非停歇部分, 分别讨论了连杆点 E 和 II 级杆组的综合, 在实际应用中往往要求对两部分同时考虑, 不妨令

$$F_1(\mathbf{X}) = \max |\psi_i^{\text{I}} - \bar{\psi}_i^{\text{I}}| \quad (19a)$$

$$F_2(\mathbf{X}) = \max |\psi_i^{\text{II}} - \bar{\psi}_i^{\text{II}}| \quad (19b)$$

其中 $F_1(\mathbf{X})$ 、 $F_2(\mathbf{X})$ 分别为间歇部分和非间歇部分的函数误差(对于图 1(a)、(c), 表示转角误差; 对于图 1(b), 表示位移误差)。

本文采用简单的线性加权法来构造新的评价函数:

$$F(\mathbf{X}) = \lambda F_1(\mathbf{X}) + (1 - \lambda) F_2(\mathbf{X}) \quad (20)$$

其中 λ 为加权系数, 一般要求 $\lambda \in [0, 1.0]$ 。式(20)描述的是一个单目标鞍点规划问题, 详细求解过程参见文献[13]。

4 算例与分析

应用上述所介绍的方法, 以工程界广泛应用

的 Matlab 软件为开发工具, 编制了一套实用方便的自动设计软件。为了说明该方法的有效性, 此处针对每种类型分别给出计算实例。

例 1 分别设计图 1(a)、(c) 所示六杆机构, 其输入角的范围为 $0^\circ \leq \varphi \leq 360^\circ$, 要求实现近似 120° 的一次停歇, 函数关系见表 1, 要求机构的许用传动角 $\mu_{\min} = 15^\circ$, 最大杆长比 $T_{\max} = 10$, 取 $\lambda = 0.8$ 。选定的基础四杆机构尺寸分别为 $l_1 = 100$ mm, $l_2 = 150$ mm, $l_3 = 220$ mm, $l_4 = 220$ mm。优化结果见表 2。

表 1 给定函数关系(例 1)

Tab. 1 Desired function relationship(Example 1)

$\varphi/^\circ$	$\psi/^\circ$	$\varphi/^\circ$	$\psi/^\circ$
0	0	180	40.0
20	2.68	200	40.0
40	10.0	220	40.0
60	20.0	240	40.0
80	30.0	260	37.3
100	37.3	280	30.0
120	40.0	300	20.0
140	40.0	320	10.0
160	40.0	340	2.68

表 2 优化结果(例 1)

Tab. 2 Optimum results (Example 1)

l_{BE}/mm	$\theta/^\circ$	x_G/mm	y_G/mm	$e_1/^\circ$	$e_2/^\circ$
RRR 236.039 1	203.033 3	269.840 5	223.149 3	0.227 4	7.266 7
RPR 272.015 7	350.137 0	347.606 4	-0.852 1	0.440 0	3.148 0

注: e_1 、 e_2 分别表示停歇段和非停歇段的最大结构误差

综合机构的输入输出函数(实际函数)关系与预期函数关系的对比如图 5 所示, 结果显示综合机构较好地实现了预期的函数关系。

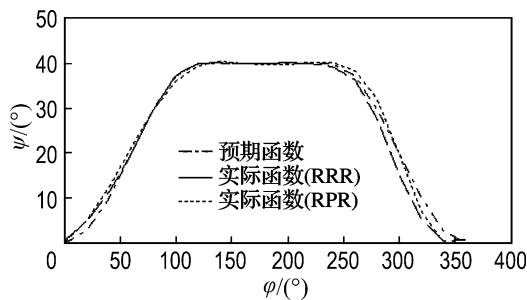


图 5 优化结果对比(例 1)

Fig. 5 Desired and resulting function (Example 1)

例 2 综合图 1(b)所示的纽扣脖缠绕机,要求供线速度慢,刹线速度快,并在刹线前实现近似 40°的停歇,行程(s)80 mm,给定函数关系离散值见表 3. 取加权系数 $\lambda=0.8$,许用传动角 $\mu_{\min}=40^\circ$,最大杆长比 $T_{\max}=6$,基础四杆机构尺寸分别为 $l_1=50\text{ mm}$, $l_2=100\text{ mm}$, $l_3=100\text{ mm}$, $l_4=130\text{ mm}$. 综合结果见表 4(输出形式为 RRP),图 6 为综合机构的输入输出函数关系与预期函数关系的对比,结果显示综合机构较好地实现了预期的函数关系.

表 3 给定函数关系(例 2)

Tab. 3 Desired function relationship (Example 2)

$\varphi/(^\circ)$	s/mm	$\varphi/(^\circ)$	s/mm	$\varphi/(^\circ)$	s/mm
0	0	127	46.61	250	80.00
7	0.82	134	50.57	255	80.00
14	1.54	140	53.99	260	80.00
20	2.26	147	57.58	268	79.23
27	2.98	154	61.18	283	76.35
33	4.06	160	64.06	292	72.39
40	5.14	168	67.67	300	66.64
47	6.75	188	74.85	315	49.85
54	8.73	199	77.00	320	41.22
66	13.23	206	78.33	326	30.40
73	15.93	213	79.05	332	18.56
80	19.52	220	79.76	340	7.77
87	23.12	225	80.00	348	3.27
100	30.85	230	80.00	356	0.93
108	35.35	235	80.00		
114	39.00	240	80.00		

表 4 优化结果(例 2)

Tab. 4 Optimum results (Example 2)

l_{BE}/mm	$\beta/(^\circ)$	l_5/mm	$\theta/(^\circ)$	x_{F_0}/mm	y_{F_0}/mm	e_1/mm	e_2/mm
68.2	281.7	238.8	84.3	-73.9	126.7	0.321	6.297

注: e_1 、 e_2 分别表示停歇段和非停歇段的最大结构误差

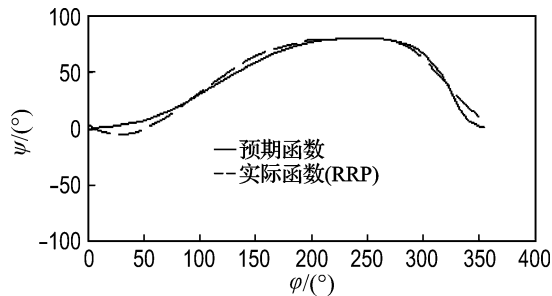


图 6 优化结果对比(例 2)

Fig. 6 Desired and resulting function (Example 2)

5 结 论

(1)给出了具有三次鞍点意义的近似局部圆点、近似局部滑点的新概念,准确表述了其近似性质具有局部最优意义,并阐明其存在性,为平面六杆间歇机构近似函数综合近似解的存在性及算法收敛性提供了理论基础.

(2)提出了简单曲线的局部自适应拟合方法,建立了局部近似圆点、局部近似滑点的误差评定统一模型与鞍点规划方法,使得不同类型的六杆间歇机构近似函数综合具有统一的数学模型与统一算法,可同时保证输出函数间歇与非间歇部分的精度要求.

参考文献:

[1] Sandgren E. Design of single- and multiple-dwell six-link mechanisms through design optimization [J]. **Mechanisms and Machine Theory**, 1985, **20**(6):483-490.

[2] Shimojima H, JI G L. Dimensional synthesis of dwell function generators [J]. **JSME International Journal: Bulletin of the JSME**, 1987, **30**(260):324-329.

[3] Kota S, Erdman A G, Riley D R. Development of knowledge base for designing linkage-type dwell mechanisms: Part 1 — Theory [J]. **Journal of Mechanisms Transmissions and Automation in Design. Transactions of the ASME**, 1987, **109**(3):308-315.

[4] Kota S, Erdman A G, Riley D R. Development of knowledge base for designing linkage-type dwell mechanisms: Part 2 — Application [J]. **Journal of Mechanisms Transmissions and Automation in Design. Transactions of the ASME**, 1987, **109**(3):316-321.

[5] Kota S, Erdman A G, Riley D R. Minn-dwell — computer aided design and analysis of linkage-type dwell mechanisms [J]. **Mechanisms and Machine Theory**, 1988, **23**(6):423-433.

[6] Kota S. Generic models for designing dwell mechanisms: A novel kinematic design of stirling engines as an example [J]. **Journal of Mechanical Design, Transaction of the ASME**, 1991, **113**(4):446-450.

- [7] Iyer V A. RECDWELL—computer aided design of six-link planar dwell mechanisms [J]. **Mechanisms and Machine Theory**, 1996, **31**(8):1185-1194.
- [8] Beier K P. **The Porcupine Technique: Principles, Applications and Algorithms** [M]. Michigan: Department of Naval Architecture and Marine Engineering, University of Michigan, 1987.
- [9] 曹清林, 沈世德, 陈建平. 对称连杆曲线实现从动件两次停歇的研究 [J]. 机械设计, 1997, **14**(5):13-16. CAO Qing-lin, SHEN Shi-de, CHEN Jian-pin. A study on the realization of double dwells of follower caused by the curve of symmetric connecting rod [J]. **Machine Design**, 1997, **14**(5):13-16. (in Chinese)
- [10] 于红英, 王知行, 李建生. 铰链六杆间歇机构综合的数值方法 [J]. 机械设计, 2002, **19**(6):28-32. YU Hong-ying, WANG Zhi-xing, LI Jian-sheng. A numerical synthesis method of six bar intermittent linkages with full hinges [J]. **Machine Design**, 2002, **19**(6):28-32. (in Chinese)
- [11] 谢进, 丁剑飞, 陈永. DWELL-EXPERT: 计算机辅助间歇运动连杆机构概念设计系统 [J]. 机械科学与技术, 2000, **19**(4):524-526. XIE Jin, DING Jian-fei, CHEN Yong. DWELL-EXPERT: Computer aided conceptual design system of dwell mechanisms [J]. **Mechanical Science and Technology**, 2000, **19**(4):524-526. (in Chinese)
- [12] Rosen D, Riley D, Erdman A. A knowledge based dwell mechanism assistant designer [J]. **Journal of Mechanical Design, Transaction of the ASME**, 1991, **113**(3):205-212.
- [13] 王德伦, 王淑芬, 李涛. 平面四杆机构近似运动综合的自适应方法 [J]. 机械工程学报, 2001, **37**(12):21-26. WANG De-lun, WANG Shu-fen, LI Tao. New approach for mechanisms synthesis by adaptive saddle-fitting [J]. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**, 2001, **37**(12):21-26. (in Chinese)

An adaptive approach of approximate function generation for Stephenson III six-bar dwell linkage

DONG Hui-min*, WANG De-lun

(School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: A local adaptive fitting method for planar linkages' coupler curve is presented, and the segment adaptive circle and segment adaptive straight line for coupler curve with three times saddle point significance are defined. Thus, the approximate function generation of six-bar dwell linkage is converted into the local adaptive plane curve fitting. A mathematical model of the approximate functional synthesis of Stephenson III six-bar dwell linkage is established. An optimal method is proposed for solving the six-bar dwell linkage satisfying desired accuracy, in which the dwell and undwell segment are simultaneously taken into consideration. Example results show that the optimal computation is feasible.

Key words: six-bar dwell linkage; adaptive fitting; function generation