

浮动平底推杆等宽凸轮机构第Ⅱ类机构综合问题*

常勇^{1,2} 林荣富¹ 李延平¹

(1.集美大学机械工程学院,厦门361021;2.集美大学工程训练中心,厦门361021)

摘要:以浮动平底推杆等宽凸轮机构为研究对象,通过引入往程、返程、向径标定线和等宽映射区间套等概念,阐述了往程/返程运动角、远近休止角的内在规律性关系,运动学尺寸、行程幅值和初位参数间的内在特征关系,输出摇杆返程角位移规律的求解,主副平底容许选择区段和凸轮基圆半径取值域确定,凸轮基圆半径、压力角和宽度的变化规律等,揭示了等宽凸轮机构的设计蕴含着诸多的异质性内涵。还对等宽凸轮机构、共轭凸轮机构进行了比较,得到了两种形锁合机构相同点、差异点。最后给出等宽凸轮机构的一个综合算例。

关键词:等宽凸轮机构 浮动平底推杆 向径标定线 等宽映射区间套 机构最优解

中图分类号:TH112.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1298(2014)04-0310-06

引言

通过引入固定/浮动坐标系、支撑函数法和提出瞬时一维直线区域和瞬时区间套等概念,解决了浮动平底推杆力锁合机构的第Ⅱ类综合问题^[1]。随后,基于能耗、承载和高速等方面优越性,通过引入往程/返程、F型机构/P型机构等概念和划分主/副机构,解决了形锁合共轭凸轮机构的第Ⅱ类综合问题^[2]。

通常认为,随着力锁合、形锁合共轭凸轮机构的研究解决,等宽凸轮机构的综合问题应是迎刃而解。然而,研究表明:等宽机构的综合问题,非为前两者的简单组合叠加,而是蕴含着诸多复杂、特殊的异质性内涵。

本文对等宽凸轮机构的第Ⅱ类综合问题作深入系统讨论。

1 等宽凸轮机构及其第Ⅱ类综合问题的准确表述

如图1所示,等宽凸轮机构由含有一个凸轮和主副平底 f 、 f' 的从动连杆构件系统组成。机构工作时, f 、 f' 始终位于凸轮轴心 O_1 点的右、左两侧。

将共轭凸轮机构、等宽凸轮机构简称以共轭机构、等宽机构。比较共轭、等宽两种形锁合机构:

相同点为皆有主副平底 f 、 f' ,异同点为前者有主副两枚凸轮,后者仅一个凸轮。

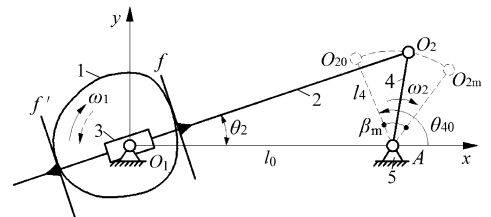


图1 作平面运动平底从动件等宽凸轮机构简图

Fig.1 Constant-breadth cam mechanism with a planar motion flat faced follower

1. 凸轮 2. 带平底连杆 3. 摇块 4. 摇杆 5. 机架

等宽机构中,唯一的凸轮承担双重的任务,与 f 构成主凸轮机构为F型机构,与 f' 构成副凸轮机构为P型机构。

一个运动周期中,凸轮主轮廓段往程推 f (副轮廓段锁合 f')、返程推 f' (副轮廓段锁合 f)带动机构运动,起到共轭机构中主、副凸轮协同起到的作用。

具体地,分为凸轮沿顺时针、逆时针转动两种情形,如图1所示。

第Ⅱ类机构综合问题的准确描述:已知机架长度 l_0 、摇杆长度 l_4 、行程角 β_m 、初位角 θ_{40} 和往程角位移 $\beta = \beta(\theta_1)$,往程运动角 Φ_0 ,推程、回程许用压力角 $[\alpha]$ 和 $[\alpha]'$,凸轮转角 θ_1 ,凸轮、摇块和机架于 O_1 点处复铰,主副平底线 f 、 f' 满足条件: $f \perp O_1O_2$ 、 $f' \perp O_1O_2$ 。求解:往程、返程皆满足许用压力角与凸轮轮廓外凸条件 $(\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]' \cup \rho > 0)$ 和等宽条件的机构全解集—主、副平底线容许选取区段、宽度 D ,以及凸轮基圆半径 r_0 许用取值范围,机构最优

收稿日期:2013-04-24 修回日期:2013-06-13

*国家自然科学基金资助项目(51175224)和福建省自然科学基金资助项目(2010J01302、2006J0169)

作者简介:常勇,教授,主要从事凸轮与连杆机构学、机构起源与进化理论研究,E-mail:changyong@jmu.edu.cn

通讯作者:李延平,教授,主要从事机构学和RE/RP/RT/CAE研究,E-mail:ypli@jmu.edu.cn

解等。其中 α 为行程、回程瞬时压力角, ρ 为凸轮曲率半径。

2 等宽机构的问题

2.1 Φ_0 、 Φ_s 、 Φ'_0 和 Φ'_s 的内在规律性关系

如图 2 所示, $C'_0O_1C_0O_{20}A$ 、 $C'_mO_1C_mO_{2m}A$ 分别为机构行程、回程起始瞬时位置。 C_g 、 C'_g 为行程终止瞬时主、副平底 f 、 f' 与凸轮主、副轮廓段的相切(接触)位置。显见, $C_0 \sim C_g$ 为行程、回程的凸轮主轮廓段, $C'_0 \sim C'_g$ 为行程、回程的凸轮副轮廓段, $C_g \sim C'_0$ 为远、近休程的凸轮主轮廓段, $C'_g \sim C_0$ 为远、近休程的凸轮副轮廓段。

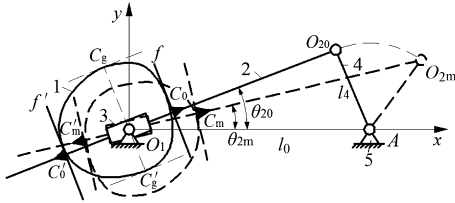


图 2 $\Phi_0 \sim \Phi'_s$ 间的内在规律性关系

Fig. 2 Intrinsic regularity relationship of $\Phi_0 \sim \Phi'_s$

记行程、回程运动角和远、近休止角为 Φ_0 、 Φ'_0 、 Φ_s 和 Φ'_s 。研究发现, $C_g \sim C'_0$ 和 $C'_g \sim C_0$ 分别为具有最大、最小向径的凸轮圆弧轮廓段, 故有

$$\Phi_s = \angle C_g O_1 C'_0 \quad (1)$$

$$\Phi'_s = \angle C'_g O_1 C_0 \quad (2)$$

再因 $\angle C'_0 O_1 C_0 = \angle C_g O_1 C'_0$ (对顶角) (3)

故有 $\Phi'_s = \Phi_s \quad (4)$

$$\begin{aligned} \Phi_0 + \Phi_s &= \angle C_0 O_1 C'_m = 180^\circ \pm \angle C'_0 O_1 C'_m = \\ &= 180^\circ \pm \angle O_{20} O_1 O_{2m} = 180^\circ \pm (\theta_{20} - \theta_{2m}) \end{aligned} \quad (5)$$

对摇杆的角位移规律, 可自由、任意选取的凸轮转角范围为 $\theta_1 \in [0, \Phi_0 + \Phi_s]$, 而余下的凸轮转角范围为 $\theta_1 \in [\Phi_0 + \Phi_s, 360^\circ]$ 。

摇杆的角位移规律已丧失自由任意选取性, 而须据“等宽”约束条件确定。

因为 $\Phi_0 + \Phi'_0 + \Phi_s + \Phi'_s = 360^\circ$, 故有

$$\Phi'_0 + \Phi'_s = 180^\circ \pm (\theta_{2m} - \theta_{20}) \quad (6)$$

据式(4), 用式(5)减式(6)得

$$\Phi_0 - \Phi'_0 = \pm 2(\theta_{20} - \theta_{2m}) \quad (7)$$

式(5)和(6)、(7)中, “+”、“-”分别对应凸轮沿顺时针、逆时针转动的情况。

2.2 运动学尺寸、行程幅值和初位参数间的内在特征关系

如图 3 所示, $C'_0O_1C_0O_{20}A$ 、 $C'_mO_1C_mO_{2m}A$ 为行程、回程起始瞬时位置。

记 f 、 f' 的浮动坐标为 v 、 v' , 通常因 f 、 f' 居 O_2 点左侧即浮动数轴^[3] O_2v 正向, 故 v 、 v' 一般可视为 f 、 f'

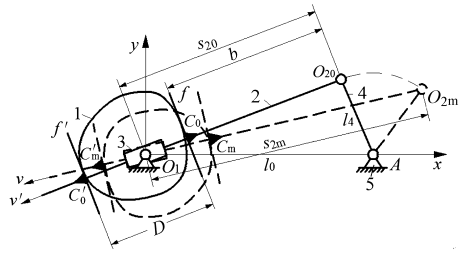


图 3 运动学尺寸、行程幅值和初位参数间的内在特征关系

Fig. 3 Characteristic relationship of kinematic sizes, amplitude of rise travel, and initial parameters

至 O_2 点距离 $l_{C_0O_2}$ 、 $l_{C'_0O_2}$, 则凸轮最小、最大向径

$$\begin{aligned} r_{\min}(r_0) &= l_{O_1C_0} = s_{20} - l_{C_0O_2} = s_{20} - v = \\ l_{O_1C'_m} &= l_{C'_mO_{2m}} - s_{2m} = v' - s_{2m} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} r_{\max} &= l_{O_1C_m} = s_{2m} - l_{C_mO_{2m}} = s_{2m} - v = \\ l_{O_1C'_0} &= l_{C'_0O_{20}} - s_{20} = v' - s_{20} \end{aligned} \quad (9)$$

主、副平底 f 、 f' 间的宽度

$$\begin{aligned} D &= l_{CC'} = l_{O_1C_0} + l_{O_1C'_0} = l_{O_1C'_m} + l_{O_1C_m} = \\ r_{\max} + r_{\min} &= (s_{20} + s_{2m}) - 2v = 2v' - (s_{20} + s_{2m}) \end{aligned} \quad (10)$$

式中, s_{20} 、 s_{2m} 据文献[1]中式(1)计算。

最大、最小向径之差

$$\begin{aligned} r_{\max} - r_{\min} &= (s_{2m} - v) - (s_{20} - v) = \\ (v' - s_{20}) - (v' - s_{2m}) &= s_{2m} - s_{20} \end{aligned} \quad (11)$$

可知, 最大、最小向径差是定(常)值。

副平底 f' 到 O_2 点间的距离为

$$v' = l_{C'_0O_2} = D + v = s_{20} + s_{2m} - v \quad (12)$$

据式(8)~(12), 得到: 主平底 f 的 v (也即 $l_{C_0O_2}$) 值一旦选定, 最小最大向径 r_{\min} 、 r_{\max} 、宽度 L 和副平底 f' 到点 O_2 距离 $l_{C'_0O_2}$ 随之确定, 皆为定(常)值。

2.3 摇杆 4 的回程角位移规律

如图 4 所示, $C'O_1CO_2A$ 为机构行程任一瞬时位置。记与此“瞬时”对应的凸轮角位移 θ_1 、连杆长度 $s_2 = s_2(\theta_1)$ 、摇杆角位移 $\beta = \beta(\theta_1)$ 和凸轮轮廓向径 $r_{O_1C}(\theta_1) = r(\theta_1)$ 。

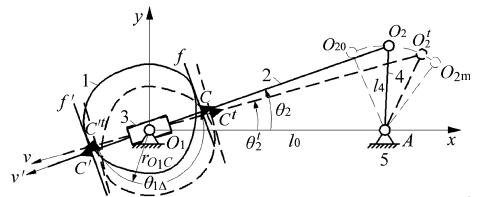


图 4 摇杆 4 回程角位移规律的求解

Fig. 4 Solution of displacement function of rocker

假想将上述凸轮轮廓向径 $r_{O_1C}(\theta_1)$ 标定在凸轮(体)上, 相应得到一条凸轮轮廓向径 r_{O_1C} 的向径标定线 O_1C 。凸轮连续转动、当恰好转动至上述标定线的一端端点 C 与副平底 f' 相切性接触, 即如图 4 所示的回程位置 $C'O_1C'O_2A$ 时, 有

$$l_{C_1O_1} = l_{CO_1} = s_2(\theta_1) - l_{CO_2} = s_2(\theta_1) - v \quad (13)$$

$$\begin{aligned} l_{O_1O_2} &= l_{C_1O_2} - l_{C_1O_1} = l_{C_2O_2} - l_{C_1O_1} = l_{C_2O_2} - l_{CO_1} = \\ s_{20} + s_{2m} - v - (s_2(\theta_1) - v) &= s_{20} + s_{2m} - s_2(\theta_1) \end{aligned} \quad (14)$$

据余弦定理

$$\begin{aligned} \theta_2 &= \arccos[(l_0^2 + l_{O_1O_2}^2 - l_4^2)/(2l_0l_{O_1O_2})] = \\ \arccos[(l_0^2 + s_2^2 - l_4^2)/(2l_0s_2)] \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \theta_2' &= \arccos[(l_0^2 + l_{O_1O_2}'^2 - l_4^2)/(2l_0l_{O_1O_2}')] = \\ \arccos\{[l_0^2 + (s_{20} + s_{2m} - s_2)^2 - l_4^2]/ \\ [2l_0(s_{20} + s_{2m} - s_2)]\} \end{aligned} \quad (16)$$

式中, l_0 、 l_4 、 s_{20} 和 s_{2m} 为定值,故 θ_2 、 θ_2' 皆为 θ_1 的一元函数。

该时间间隔内,凸轮转过的角度

$$\theta_{1\Delta} = 180^\circ \pm (\theta_2 - \theta_2') \quad (17)$$

此时,对应的凸轮角位移

$$\theta_1^* = \theta_1 + \theta_{1\Delta} = \theta_1 + 180^\circ \pm (\theta_2 - \theta_2') \quad (18)$$

于是,摇杆4的返程角位移规律

$$\begin{aligned} \beta_r &= \beta_r(\theta_1^*) = \beta_r(\theta_1) = \\ \angle O_2'AO_1 - \angle O_{20}AO_1 &= \\ \arccos\{[l_0^2 + l_4^2 - (s_{20} + s_{2m} - s_2)^2]/ \\ (2l_0l_4)\} - (180^\circ - \theta_{40}) \end{aligned} \quad (19)$$

由式(15)~(19)可知, θ_2' 、 $\theta_{1\Delta}$ 、 θ_1^* 和 β_r 皆为凸轮转角 $\theta_1 \in [0, \Phi_0 + \Phi_s]$ 的一元函数;返程规律 $\beta_r = \beta_r(\theta_1^*) = \beta_r(\theta_1)$,与主、副平底位置的选取无关。

2.4 主、副平底容许选择区段和凸轮基圆半径取值域的确定

2.4.1 凸轮顺时针转动

(1) 满足往程、返程 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]' \cup \rho > 0$ 条件的 f 全程区间套的确定

据文献[1],若其式(33)和(59)同时成立,得满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]' \cup \rho > 0$ 条件的主平底 f 的全程区间套

$$v \in ((v_{C_1})_{\max}, (v_{\rho})_{\max}) = (v_{C_{1f}}, v_{C_{2f}}) \quad (20)$$

即文献[1]的式(60)。

(2) 满足往程、返程 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]' \cup \rho > 0$ 条件的 f' 全程区间套的确定

据文献[2],若其式(27)和(53)同时成立,得满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]' \cup \rho > 0$ 条件的副平底 f' 的全程区间套

$$v \in ((v_{\rho})_{\min}, (v_{C_1})_{\min}) = (v_{C_{1f'}}, v_{C_{2f'}}) \quad (21)$$

即文献[2]的式(54)。

式(20)和(21)中将 f 、 f' 的全程区间套分别记以 $[v_{C_{1f}}, v_{C_{2f}}]$ 和 $(v_{C_{1f'}}, v_{C_{2f'}})$,旨在简化表述。

(3) 满足等宽条件主、副平底全程区间套的确定

如图5所示,分别自点 C_{1f} 和 C_{2f} 沿 O_2v 正向、以宽度 D_1 、 D_2 截得 C_{2f}' 和 C_{1f}'' 两点,得到等宽映射区间套 I 为 $(v_{C_{1f}'}, v_{C_{2f}''})$ 。

据式(10),两端点坐标

$$\begin{aligned} v_{C_{1f}'} &= v_{C_{2f}} + D_2 = v_{C_{2f}} + (s_{20} + s_{2m}) - 2v_{C_{2f}} = \\ (s_{20} + s_{2m}) - v_{C_{2f}} \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} v_{C_{2f}''} &= v_{C_{1f}} + D_1 = v_{C_{1f}} + (s_{20} + s_{2m}) - 2v_{C_{1f}} = \\ (s_{20} + s_{2m}) - v_{C_{1f}} \end{aligned} \quad (23)$$

因 $v_{C_{1f}} < v_{C_{2f}}$,故 $v_{C_{2f}''} > v_{C_{1f}'}$ 。于是,据式(22)、(23)知:点 C_{1f} 的映射点 C_{2f}'' 一定在 C_{2f} 的映射点 C_{1f}' 的右侧。

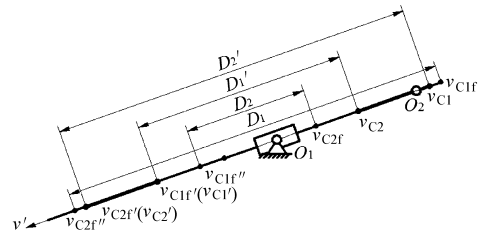


图5 主副平底 f 、 f' 全程区间套即容许选择区段的确定

Fig.5 Confirmation of selected interval of flat f and f'

两区间套 $(v_{C_{1f}'}, v_{C_{2f}''})$ 和 $(v_{C_{1f}'}, v_{C_{2f}'})$ 的交集为

$$(v_{C_1}, v_{C_2}) = (v_{C_{1f}'}, v_{C_{2f}''}) \cap (v_{C_{1f}'}, v_{C_{2f}'}) \quad (24)$$

亦即

$$v_{C_1} = \max\{v_{C_{1f}'}, v_{C_{1f}'}\} \quad (25)$$

$$v_{C_2} = \min\{v_{C_{1f}'}, v_{C_{1f}'}\} \quad (26)$$

交集区间套两端点,记以 C_1' 和 C_2' 。

以浮动坐标系中数轴 O_2v 正向为基准, C_1' 即 $C_{1f'}$ 、 C_{1f} 两者靠右侧的点, C_2' 即 $C_{2f'}$ 、 C_{2f} 两者靠左侧的点。

自点 C_1' 和 C_2' 沿 O_2v 负向、以宽度 D_1' 、 D_2' 截得 C_2 和 C_1 两点,得到等宽映射区间套 II 为 (v_{C_1}, v_{C_2}) 。

据式(10),两端点坐标为

$$\begin{aligned} v_{C_1} &= v_{C_2} - D_2' = v_{C_2} - [2v_{C_2} - (s_{20} + s_{2m})] = \\ (s_{20} + s_{2m}) - v_{C_2} \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} v_{C_2} &= v_{C_1} - D_1' = v_{C_1} + [2v_{C_1} - (s_{20} + s_{2m})] = \\ (s_{20} + s_{2m}) - v_{C_1} \end{aligned} \quad (28)$$

(v_{C_1}, v_{C_2}) 、 $(v_{C_1'}, v_{C_2'})$ 分别是 $[v_{C_{1f}'}, v_{C_{2f}}]$ 、 $(v_{C_{1f}'}, v_{C_{2f}'})$ 的真子集,且两者区间套长度相等。于是,得到:

(1) 若 $(v_{C_1}, v_{C_2}) = \Omega$ (空集),则不存在机构解—无解。

(2) 若 $(v_{C_1}, v_{C_2}) = \delta$ (独集),则存在唯一机构解。

(3) 若 $(v_{C_1}, v_{C_2}) = \zeta$ (无穷集),则存在无穷多机构解。

解存在情况下,主副平底 f 、 f' 的全程区间套即容许选择区段 $v_f \in (v_{C_1}, v_{C_2})$ 、 $v_{f'} \in (v_{C_1'}, v_{C_2'})$ 。

凸轮基圆半径 r_0 的取值范围 $r_0 \in (s_{20} - v_{C_2}, s_{20} - v_{C_1})$ 或 $r_0 \in (v_{C_1} - s_{2m}, v_{C_2} - s_{2m})$ 。

凸轮基圆半径 r_0 的最小、最大值为

$$r_{0\min} = s_{20} - v_{C_2} = v_{C_1} - s_{2m} \quad (29)$$

$$r_{0\max} = s_{20} - v_{C_1} = v_{C_2} - s_{2m} \quad (30)$$

据式(10),可得主副平底 f, f' 间宽度 D 的取值范围 $D \in (s_{20} + s_{2m} - 2v_{C_2}, s_{20} + s_{2m} - 2v_{C_1})$ 或 $D \in (2v_{C_1} - s_{20} - s_{2m}, 2v_{C_2} - s_{20} - s_{2m})$ 。

宽度 D 的最小、最大值为

$$D_{\min} = (s_{20} + s_{2m}) - 2v_{C_2} = 2v_{C_1} - (s_{20} + s_{2m}) \quad (31)$$

$$D_{\max} = (s_{20} + s_{2m}) - 2v_{C_1} = 2v_{C_2} - (s_{20} + s_{2m}) \quad (32)$$

主副平底 f, f' 长度求解,文献[1]式(50)~(53)

通用,不再赘述。

2.4.2 凸轮逆时针转动

同理,从略。

2.5 凸轮基圆半径 r_0 、压力角 α 和宽度 D 的变化规律

如图 6 所示,构建取 v 为横坐标、 r_0 和 α 为纵坐标的 $r_0 - v$ 曲线和 $\alpha - v$ 曲线。

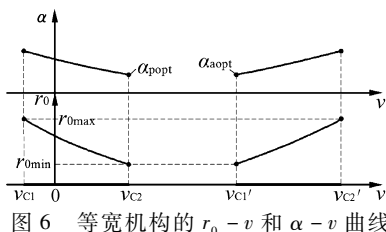


Fig. 6 $r_0 - v$ and $\alpha - v$ curves of constant-breadth cam

综上所述和文献[1-2],得到:

(1) 主凸轮机构

f 取值域 (v_{C_1}, v_{C_2}) 内, r_{0p}, α_p 皆呈单调递减变化。

$v_p = v_{C_2}$ 时, $r_{0p} = r_{0p\min} = r_{0\min}$ 和 $\alpha_p = \alpha_{p\min} = \alpha_{popt}$, 取得 r_{0p}, α_p 的最优解。

(2) 副凸轮机构

f' 取值域 $(v_{C_1'}, v_{C_2}')$ 内, r_{0a}, α_a 皆呈单调递增变化。

$v_a = v_{C_1}$ 时, $r_{0a} = r_{0a\min} = r_{0\min}$ 和 $\alpha_a = \alpha_{a\min} = \alpha_{aopt}$, 取得 r_{0a}, α_a 的最优解。 $v_p = v_{C_2}$ 时即 $v_a = v_{C_1'}$ 时 $r_{0p\min} = r_{0a\min}$, 统一记以 $r_{0\min}$; 一般 $\alpha_{p\min} = \alpha_{popt} \neq \alpha_{a\min} = \alpha_{aopt}$, 分别记以 $\alpha_{p\min} (\alpha_{a\min})$ 或 $\alpha_{popt} (\alpha_{aopt})$ (图 6)。

图 6 中含有 f 的浮动坐标 $v < 0$ 的情况 $(v_{C_1} \sim 0$ 区段)。这表明: f 居 O_2 点右侧即浮动数轴 O_2v 负向, 此时的凸轮基圆半径 r_0 较大。

图 7 为构建的 $D - v$ 曲线。据主、副凸轮机构取值域, 宽度 D 的取值域为 $D \in (D_{\min}, D_{\max})$ 。

$$\begin{cases} D_{\min} = v_{C_1} - v_{C_2} \\ D_{\max} = v_{C_2} - v_{C_1} \end{cases} \quad (33)$$

$v_p = v_{C_2}$ 即 $v_a = v_{C_1}$ 时, $D = D_{\min}$ 即取得宽度 D 的最

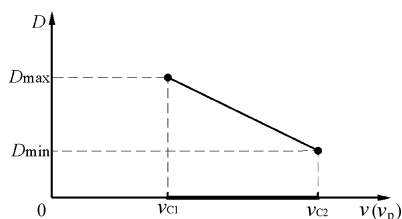


图 7 等宽机构的 $D - v$ 曲线

Fig. 7 $D - v$ curve of constant-breadth cam

优解。 v_a 对 v_p 已不独立, 故图 7 选取 v_p 为横坐标。

据上知, $r_0 - v, \alpha - v$ 和 $D - v$ 曲线可直观反映: r_0, α 和 D 等机构尺寸和性能参数, 与主副平底坐标 v_p, v_a 映射的重要规律。

3 等宽/共轭机构比较

(1) Φ_0, Φ_s, Φ'_0 和 Φ'_s 的取值

共轭机构: ① 其中 3 个 (如 Φ_0, Φ_s 和 Φ'_0) 可任选, 余下 1 个 (如 Φ'_s) 可据总和 360° 的条件确定。② 可选无、单或双休程, 且可 $\Phi_s = \Phi'_s$ 亦可 $\Phi_s \neq \Phi'_s$ 。

等宽机构: ① 其中 1 个 (如 Φ_0) 可任选, 余下 3 个 (如 Φ_s, Φ'_0 和 Φ'_s) 可据 2.1 节确定。② 可选无、双休程, 不可选单休程。选双休程时须满足 $\Phi_s = \Phi'_s$ 。详见本文算例。

(2) 运动学尺寸、行程幅值和初位参数间关系
共轭机构: 记主副凸轮最小、最大向径以 $r_{p\min}, r_{a\min}$ 和 $r_{p\max}, r_{a\max}$, 则有

$$r_{p\min} + r_{a\max} = r_{a\min} + r_{p\max} = D \quad (34)$$

$$r_{p\max} - r_{p\min} = r_{a\max} - r_{a\min} = s_{2m} - s_{20} \quad (35)$$

等宽机构

$$\begin{cases} r_{\min} + r_{\max} = D \\ r_{\max} - r_{\min} = s_{2m} - s_{20} \end{cases} \quad (36)$$

(3) 摇杆 4 的返程角位移规律

共轭机构: 相对行程独立, 可任选。

等宽机构: 相对行程不独立, 不可任选, 需据行程求解确定。

(4) 主、副平底容许选择区段和凸轮基圆半径取值域

共轭机构: 据 2.4.1 节, 可解得 (v_{C_1f}, v_{C_2f}) 和 $(v_{C_1f'}, v_{C_2f'})$ 。一般有 $v_{C_2f'} - v_{C_1f'} \neq v_{C_2f} - v_{C_1f}$, 即 f, f' 容许选择区段长度不等。详见文献[2]中图 6。

另外, 有 $(r_{a\min}, r_{a\max}) \neq (r_{p\min}, r_{p\max})$, 即 r_{0p}, r_{0a} 的取值域不等。

等宽机构: 通过 2.4.1 节, 再加等宽约束条件, 经两次等宽映射, 获得 (v_{C_1}, v_{C_2}) 和 $(v_{C_1'}, v_{C_2}')$ 。一定有 $v_{C_2'} - v_{C_1'} = v_{C_2} - v_{C_1}$, 即 f, f' 容许选择区段长度必相等。详见图 6。

(5) r_0 、 α 和 D 的变化规律

共轭、等宽两种机构, r_0 、 α 的变化规律相同。宽度 D 的变化规律为①共轭机构: (v_{c_1f}, v_{c_2f}) 内任一 v_p 值, 可与 (v_{c_1r}, v_{c_2r}) 内任一 v_a 值组合, 具有多个不同 D 。②等宽机构: (v_{c_1}, v_{c_2}) 内任一 v_p 值, 对应应有 (v_{c_1}, v_{c_2}) 内唯一 v_a 值, 具有唯一 D 。

4 综合示例

已知 $\theta_{40} = 140^\circ$, $l_0 = 140$ mm, $l_4 = 50$ mm, $\beta_m = 70^\circ$, $\Phi_0 = 150^\circ$, $[\alpha] = 40^\circ$, $[\alpha]' = 70^\circ$, 摇杆行程选用摆线运动规律, 凸轮顺时针转动, 试求: ①满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]' \cup \rho > 0$ 条件的机构全解集。

②机构最优解。

(1) 满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]' \cup \rho > 0$ 和等宽条件的机构解集

据文献[1]中式(1), 将已知 $l_0 = 140$ mm、 $l_4 = 50$ mm、和 $\theta_{40} = 140^\circ$ 等代入, 算得 $\Phi'_0 = 148.2250^\circ$ 、 $\Phi_s = \Phi'_s = 30.8875^\circ$ 、 $s_{20} = 106.6554$ mm、 $s_{2m} = 163.9765$ mm、 $\theta_{20} = 17.5380^\circ$ 和 $\theta_{2m} = 16.6505^\circ$ 。

据文献[1], 知能满足其式(21)、(47)同时成立, 得满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]' \cup \rho > 0$ 条件的 $[v_{c_1f}, v_{c_2f}] = [-20.9514, 85.8544]$ 。

据文献[2], 已知条件亦满足其式(21)、(44)同时成立, 得满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]' \cup \rho > 0$ 条件的 $(v_{c_1r}, v_{c_2r}) = [221.1095, 290.8895]$ 。

据式(21)~(23), 得 $(v_{c_1r}, v_{c_2r}) = [184.7775, 291.5833]$, 据式(24)解得 $(v_{c_1}, v_{c_2}) = [221.1095, 290.8895]$, 此即 f' 的解空间, 亦是进一步优化的解空间。

据式(25)~(28), 得 $(v_{c_1}, v_{c_2}) = [-20.2576,$

49.5224], 此即 f 的解空间, 亦是进一步优化的解空间。

图5、图6皆是据上求解结果, 计算机自动生成得到的。

据式(29)、(30), 可解得 r_0 的取值范围: $r_0 \in [57.1330, 126.9130]$; 据式(41)~(44), 可解得 D 的取值范围: $D \in [171.5871, 311.1471]$ 。

属于 $(v_{c_1}, v_{c_2}) = \zeta$ (无穷集) 的情况; $(v_{c_1}, v_{c_2}) = [-20.2576, 49.5224]$ 和 $(v_{c_1}, v_{c_2}) = [221.1095, 290.8895]$, 即全解集。

(2) 机构最优解

$v_p = v_{c_2} = 49.5224$ mm、 $v_a = v_{c_1} = 221.1095$ mm 时, $r_{0\min} = 57.1330$ mm, $D_{\min} = 171.5871$ mm。 $\alpha_{p\min} = \alpha_{popt} = 27.44^\circ$, $\alpha_{a\min} = \alpha_{aopt} = 27.52^\circ$ 。可见, $\alpha_{p\min}$ (α_{popt})、 $\alpha_{a\min}$ (α_{aopt}) 值非常接近。

再据文献[1]中式(52)、(53), 解得 f 、 f' 长度 $l = 48.3713$ mm、 $l_r = 48.1571$ mm 和 $L = 96.5284 + (5 \sim 7)$ mm。

5 结论

(1) 以浮动平底推杆等宽凸轮机构为研究对象, 通过引入“行程、返程”、“向径标定线”和“等宽映射区间套”等概念, 给出了行程/返程运动角、远近休止角、运动学尺寸、行程幅值和初位参数间的内在特征关系, 给出了求解摇杆返程角位移规律的方法。

(2) 提出了主副平底容许选择区段、宽度和凸轮机圆半径取值域的确定方法。并对等宽凸轮机构、共轭凸轮机构进行了深入的比较研究。解决了浮动平底推杆等宽凸轮机构的第II类机构综合问题。

参 考 文 献

- 常勇, 林荣富, 李延平. 作平面运动平底从动件盘形凸轮机构的第II类机构综合问题[J]. 农业机械学报, 2013, 44(7): 286-292.
Chang Yong, Lin Rongfu, Li Yanping. Class II synthesis of disc cam mechanism with flat-faced follower in planar motion[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(7): 286-292. (in Chinese)
- 常勇, 林荣富, 李延平. 浮动平底推杆共轭凸轮机构的第II类机构综合问题[J]. 农业机械学报, 2014, 45(3): 331-338.
Chang Yong, Lin Rongfu, Li Yanping. Class II synthesis of conjugate cam mechanism with floating flat faced pushrod[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(3): 331-338. (in Chinese)
- 常勇, 杨富富. 作平面运动滚子从动件盘形凸轮机构的第II类机构综合问题[J]. 机械工程学报, 2010, 46(21): 37-41.
Chang Yong, Yang Fufu. Second mechanism synthesis task of disc cam mechanisms with roller follower moving in planar general motion[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(21): 37-41. (in Chinese)
- 常勇, 杨富富. 作平面运动滚子从动件形锁合凸轮机构的第II类机构综合问题[J]. 机械工程学报, 2012, 48(1): 39-46.
Chang Yong, Yang Fufu. Second mechanisms synthesis task of positive-drive disc cam mechanisms with roller follower moving in general planar motion[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(1): 39-46. (in Chinese)
- 常勇, 杨富富, 胡志超, 等. 作平面运动滚子从动件盘形凸轮机构的广义第II类机构综合问题[J]. 机械工程学报, 2012, 48(15): 47-57.
Chang Yong, Yang Fufu, Hu Zhichao, et al. Research on second mechanisms synthesis task of positive-driven disc cam mechanisms with roller follower moving in general planar motion[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(15): 47-57. (in Chinese)

Chinese)

- 6 常勇, 林荣富, 李延平. 浮动推杆盘形凸轮机构广义第Ⅱ类机构综合问题[J]. 农业机械学报, 2013, 44(4): 252-261.
Chang Yong, Lin Rongfu, Li Yanping. Class II synthesis of disc cam mechanism with floating push rod[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(4): 252-261. (in Chinese)
- 7 常勇, 李延平, 刘国祥. 按许用压力角设计最小尺寸作平面复杂运动滚子从动件平面凸轮机构的解析法[J]. 机械工程学报, 1991, 27(4): 37-41.
Chang Yong, Li Yanping, Liu Guoxiang. The analytics for designing minimum size disc cam mechanisms whose roller follower moving in general planar motion according to allowable pressure angle[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 1991, 27(4): 37-41. (in Chinese)
- 8 马喜川, 常勇, 李延平. 支撑函数在机构学中的若干重要应用[J]. 机械设计, 1996, 13(10): 24-26.
- 9 Schoenherr J. Synthesis of planar cam mechanics with lowest dimensions[J]. Mechanism and Machine Theory, 1993, 28(3): 317-325.
- 10 Navarro O, Wu C J, Angeles J. Size-minimization of planar cam mechanisms[J]. Mechanism and Machine Theory, 2001, 36(3): 371-386.
- 11 Carra S, Garziera R, Pellegrini M. Synthesis of cams with negative radius follower and evaluation of the pressure angle[J]. Mechanism and Machine Theory, 2004, 39(10): 1017-1032.
- 12 Ji Z, Manna Y A. Size minimization of disc cams with roller-followers under pressure angle constraint[J]. Proc. IMech E, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2008, 222(12): 2475-2484.
- 13 吕庸厚, 沈爱红. 组合机构设计与应用创新[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- 14 王知行, 邓宗全. 机械原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- 15 华大年, 唐之伟. 机构分析与设计[M]. 北京: 纺织工业出版社, 1985: 373-387.
- 16 孔午光. 高速凸轮[M]. 北京: 高等教育出版社, 1986: 14-19.
- 17 常勇, 徐继杨, 黎庆. 推导凸轮廓线外凸性判据和曲率半径的一种新方法[J]. 黑龙江商学院学报: 自然科学版, 1996, 12(2): 43-50.
Chang Yong, Xu Jiyang, Li Qing. A new method for deriving the external-convexity criterion and convature radius formula[J]. Journal of Heilongjiang Commercial College: Natural Sciences Edition, 1996, 12(2): 43-50. (in Chinese)
- 18 孙寿文, 常勇, 王峰林. 共轭凸轮机构两滚子间的最小跨距问题[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1994, 26(3): 109-113.
Sun Shouwen, Chang Yong, Wang Fenglin. The minimum spanning distance problem for translating follower conjugate cam mechanisms[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 1994, 26(3): 109-113. (in Chinese)
- 19 华大年. 按许用压力角设计最小尺寸的摆动从动杆平面凸轮机构的解析法[J]. 机械工程学报, 1982, 18(4): 74-79.
- 20 常勇, 吴从焮, 李延平. 关于《按许用压力角设计最小尺寸的摆动从动杆平面凸轮机构的解析法》一文的两点注记[J]. 黑龙江商学院学报: 自然科学版, 1989, 5(2): 49-54.
- 21 常勇, 吴从焮, 李延平. 关于《按许用压力角设计最小尺寸的摆动从动杆平面凸轮机构的解析法》一文的再注记[J]. 黑龙江商学院学报: 自然科学版, 1990, 6(4): 15-19.

Class II Synthesis of Constant-breadth Cam Mechanism with Floating Flat Faced Pushrod

Chang Yong^{1,2} Lin Rongfu¹ Li Yanping¹

(1. School of Mechanical Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China

2. Engineering Training Center, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: This paper took the constant-breadth cam mechanism with floating flat faced pushrod as research object. The concepts of rise and return travel, radius-making line, and width mapping interval set were introduced. The intrinsic regularity relationship of the angles of rise/return and farthest/nearest dwell angle, and the characteristic relationship of kinematic sizes, amplitude of rise travel, and the beginning parameters were discussed in detail. Then, the displacement function of the rocker was solved. The selected interval of the flat and the range of base circle radius, pressure angle, and width were presented. They reveal that the design of this mechanism contained a special, complex and profound content. The comparison of constant-breadth cam and conjugate cam were presented, which deepen the understanding of similarities and differences of the two kinds of shape lock mechanism. A mechanism synthesis example of this mechanism was displaced.

Key words: Constant-breadth cam mechanism Floating flat faced pushrod Radius-making line Width mapping interval Optimal solution