

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.03.054

浮动平底推杆共轭凸轮机构的第II类机构综合问题研究*

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:通过植入“行程、返程”和“F型机构/P型机构”等关键性概念,并将共轭凸轮机构划分为主凸轮机构、副凸轮机构,进行分割独立性研究,提出副凸轮机构(即P型机构)的“瞬时一维直线区域”生成的基本原理图和 $v_{c1}-\theta_1$ 、 $v_{c2}-\theta_1$ 和 $u_k-\theta_1$ 曲线,特别是揭示出其与主凸轮机构(即F型机构)的差异性内涵,解决了浮动平底推杆P型机构和共轭凸轮机构的第II类机构综合问题。

关键词:共轭凸轮机构 浮动平底推杆 机构综合

中图分类号:TH112.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1298(2014)03-0333-08

引言

文献[1]中,通过引入“固定/浮动坐标系”和“支撑函数法”,特别是提出“瞬时一维直线区域”和投影得到“瞬区间套”,较为圆满地解决了浮动平底推杆力锁合凸轮机构的第II类机构综合问题。

较力锁合机构,共轭机构因无锁合弹簧,降低了驱动功、凸轮从动件间法向作用力和接触应力等,故在工作寿命、承载能力等诸方面具有优越性,特别在高速场合,优越性更加明显^[2-4]。文献[5-7]较完美地解决了作平面复杂运动滚子从动件凸轮机构的最小尺寸问题;文献[8-12]分别以压力角为评价指标,对平面凸轮机构进行了尺寸综合。

本文通过引入“行程/返程”^[13]、“F型机构/P型机构”^[14]等关键性概念和划分主/副凸轮机构,展开分割独立性研究,提出副凸轮机构——P型机构的“瞬时一维直线区域”生成的基本原理图和 $v_{c1}-\theta_1$ 、 $v_{c2}-\theta_1$ 和 $u_k-\theta_1$ 等曲线,揭示出与主凸轮机构——F型机构的差异性内涵,解决浮动平底从动件P型机构和共轭凸轮机构的第II类机构综合问题。

1 共轭凸轮机构第II类机构综合问题的准确描述

图1所示机构是高速印刷机机构的派生演化型。共轭凸轮机构由主、副两个凸轮机构组成。机构运动过程中,主、副平底 f 、 f' 始终位于凸轮轴心

O_1 点的两侧。

行程时,主凸轮1驱动主平底 f 带动整个机构运动,副凸轮1'、副平底 f' 保持接触起锁合作用。返程时,则相反。

“行程/返程”的概念,详见第2节。

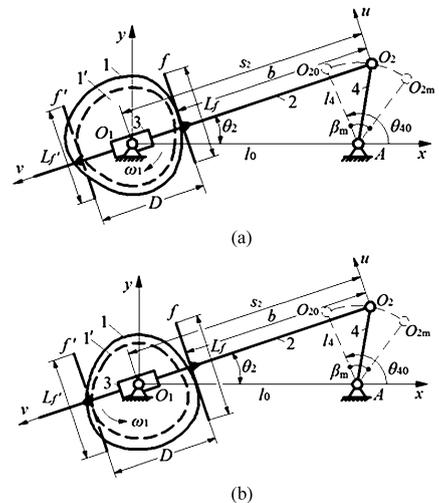


图1 浮动平底推杆共轭凸轮机构

Fig.1 Conjugate cam mechanism with a planar motion flat faced follower

(a) 凸轮顺时针转动 (b) 凸轮逆时针转动

第II类机构综合问题的准确描述:

已知:机架和摇杆长度 l_0 、 l_4 ,摇杆初位角 θ_{40} 、行程角 β_m ,摇杆行程、返程角位移规律 $\beta = \beta(\theta_1)$ 和 $\beta_r = \beta_r(\theta_1)$,行程、返程运动角 Φ_0 和 Φ'_0 ,第一、第二休止角 Φ_s 和 Φ'_s ,推程、回程许用压力角 $[\alpha]$ 和 $[\alpha]'$ 等。求解:与主、副凸轮机构对应的主、副平底容许

收稿日期:2013-01-04 修回日期:2013-01-29

*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、机构的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、RE/RP/RT/CAE研究,E-mail:ypli@jmu.edu.cn

选取区域,主、副凸轮基圆半径 r_0 、 r'_0 的许用取值范围,等等。

通过研究分析,得到重要结论:

主、副平底 f 、 f' 的容许选取区域和主、副凸轮基圆半径 r_0 、 r'_0 的许用取值范围,根据主凸轮机构的往程、返程和副凸轮机构的返程、往程,须分别满足 $[\alpha]$ 、 $[\alpha]'$ 条件,以及主、副凸轮轮廓全部外凸条件加以确定。

2 满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]' \cup \rho > 0$ 条件机构解的存在性/存在性态

文献[1]的“若干预先准备工作”,仍为本文重要理论基础。

2.1 节和 2.2 节旨在为 2.3 节研究奠定重要基础。

文中“ \cup ”表示“同时满足”。

摇杆 $O_{20}A \rightarrow O_{2m}A$ 行程,主凸轮驱动推杆运动;摇杆 $O_{2m}A \rightarrow O_{20}A$ 行程,副凸轮驱动推杆运动。故用推程、回程描述缺乏清晰明确性,特给出如下概念。

往程^[13]:输出件从位移零值位置到位移幅值位置对应的机构行程。即摇杆 4 自 $O_{20}A$ 到 $O_{2m}A$ 的行程。

返程^[13]:输出件从位移幅值位置到位移零值位置对应的机构行程。即摇杆 4 自 $O_{2m}A$ 到 $O_{20}A$ 的行程。

“往程、返程”概念与“推程、回程”概念的区别差异,文献[13]已阐明清楚,不再赘述。

F 型机构^[14]:往程时从动件(平底)远离凸轮轴心、返程时从动件(平底)趋近凸轮轴心的机构。

P 型机构^[14]:往程时从动件(平底)趋近凸轮轴心、返程时从动件(平底)远离凸轮轴心的机构。

$[\alpha]_p$ 、 $[\alpha]_{pr}$:主凸轮机构往程、返程许用压力角。

$[\alpha]_a$ 、 $[\alpha]_{ar}$:副凸轮机构往程、返程许用压力角。

2.1 满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]'$ 条件机构解的存在性/存在性态

2.1.1 凸轮顺时针转动

往程与主凸轮机构的推程、副凸轮机构的回程对应;返程与副凸轮机构的推程、主凸轮机构的回程对应。

记推程、回程许用压力角为 $[\alpha]$ 和 $[\alpha]'$,通常取 $[\alpha]$ 为 $30^\circ \sim 40^\circ$, $[\alpha]'$ 为 $70^\circ \sim 80^\circ$ 。

2.1.1.1 主凸轮机构(F 型机构)

(1) 往程

$$[\alpha]_p = [\alpha] = 30^\circ \sim 40^\circ。$$

根据文献[1]图 2a,往程中相对瞬心 P_{21} 始终位于连杆方位线 O_1O_2 上方。

根据文献[1]3.1.1 节,其式(9)~(13)通用。同文献[1],绘制往程 $v_{C1} - \theta_1$ 、 $v_{C2} - \theta_1$ 和 $u_k - \theta_1$ 曲线,如图 2 所示。

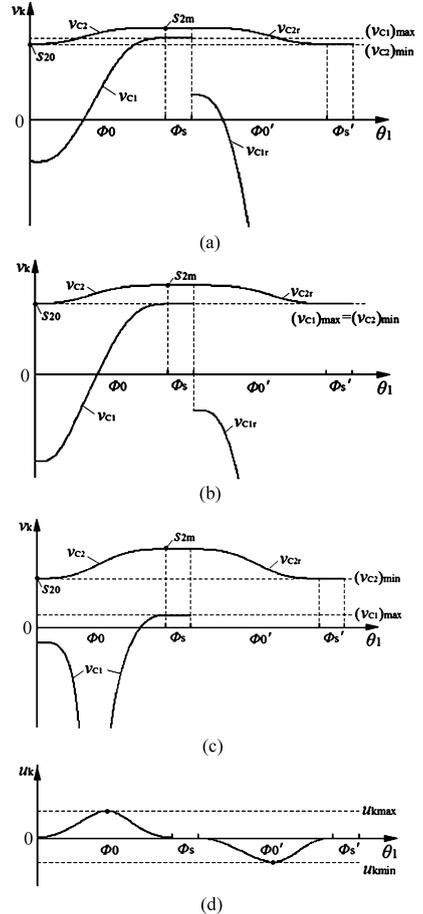


图 2 主凸轮 F 型机构 $v_{C1} - \theta_1$ 、 $v_{C2} - \theta_1$ 和 $u_k - \theta_1$ 曲线

Fig.2 Curves of $v_{C1} - \theta_1$, $v_{C2} - \theta_1$ and $u_k - \theta_1$ of main cam mechanism

(a) 不存在机构解 (b) 存在唯一机构解 (c) 存在无数机构解 (d) $u_k - \theta_1$ 曲线

解得“往程区间套”为 $[v_{C1max}, v_{C2min}]$ 。

$$v_{C2min} = s_{20} \tag{1}$$

再据文献[1]式(12),一维搜索解得往程 v_{C1max} 。

(2) 返程

$$[\alpha]_{pr} = [\alpha]' = 70^\circ \sim 80^\circ。$$

根据文献[1]图 2b,返程中相对瞬心 P_{21r} 始终位于连杆方位线 O_1O_2 下方。

引据文献[1]3.1.1 节,其式(9)~(13)通用。同文献[1],绘制返程 $v_{C1r} - \theta_1$ 、 $v_{C2r} - \theta_1$ 和 $u_{kr} - \theta_1$ 曲线,如图 2 所示。

解得“返程区间套” $[v_{C1rmax}, v_{C2rmin}]$ 。

$$v_{C2rmin} = s_{20} \tag{2}$$

再据文献[1]式(12),一维搜索解得返程

v_{C1rmax}

(3) 整程

综合上述,比较确定

$$(v_{C1})_{max} = \max \{ v_{C1max}, v_{C1rmax} \} \quad (3)$$

$$(v_{C2})_{min} = v_{C2min} = v_{C2rmin} = s_{20} \quad (4)$$

于是,得到满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]'$ 条件的 v 取值范围,即“整程区间套”

$$[(v_{C1})_{max}, (v_{C2})_{min}] = [(v_{C1})_{max}, s_{20}] \quad (5)$$

综上所述,得到文献[1]式(16)~(24)表述的 3 条重要结论,不再赘述。

2.1.1.2 副凸轮机构(P 型机构)

(1) 往程

$$[\alpha]_a = [\alpha]' = 70^\circ \sim 80^\circ.$$

如图 3a 所示,任一瞬时位置,在连杆平面 Σ_2 上,以 $P_{20}P_{21}$ 为弦,朝 O_2v 轴正向作优弧 $\{C_{ma}\}$ 、劣弧 $\{C_{mi}\}$,使满足

$$\angle P_{20}C_{major}P_{21} = 90^\circ - [\alpha]' \quad (6)$$

$$\angle P_{20}C_{minor}P_{21} = 90^\circ + [\alpha]' \quad (7)$$

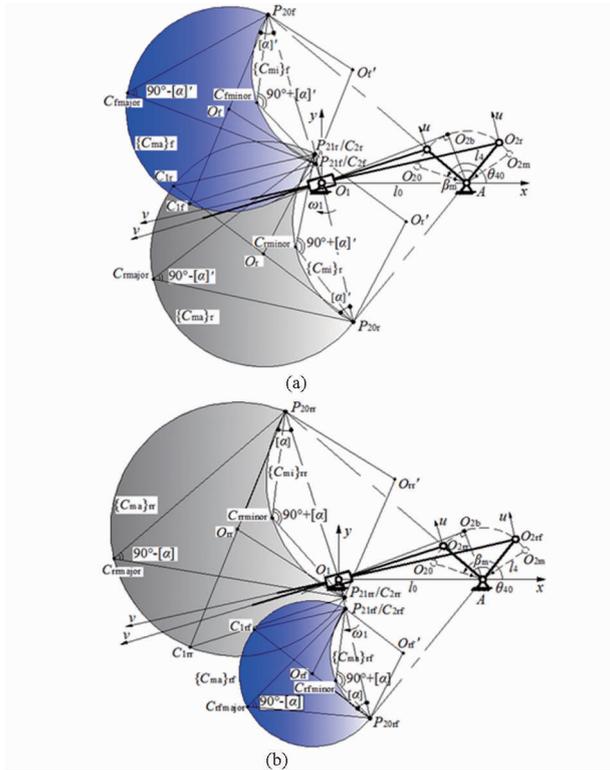


图 3 副凸轮 P 型机构的“瞬时一维直线区域”

Fig.3 Instantaneous one dimensional area of assistant cam (P type) mechanism

(a) 凸轮顺时针转动情形(往程) (b) 凸轮顺时针转动情形(返程)

再过 $P_{21}(C_2)$ 引 $P_{20}P_{21}$ 垂线,交 $\{C_{ma}\}$ 于 C_1 得 $C_1C_2 = C(u, v)$ 。该瞬时满足 $\alpha \leq [\alpha]'$ 条件的解全集:由 C_1C_2 即 $C(u, v)$ 构成的“瞬时一维直线区域”。

$C(u, v)$ 在“浮动系” O_2uv 中坐标

$$u_k = u_{C1}(\theta_1) = u_{C2}(\theta_1) = u_k(\theta_1) \quad (8)$$

$$v_k = v_k(\theta_1) \in [v_{C2}, v_{C1}] = [v_{C2}(\theta_1), v_{C1}(\theta_1)] \quad (9)$$

u_k, v_k 皆是 θ_1 的一元函数。式中

$$u_k = u_k(\theta_1) = \eta \zeta l_{21}(\theta_1) \quad (10)$$

$$v_{C1} = v_{C1}(\theta_1) = s_2(\theta_1) + l_{10}(\theta_1) \tan[\alpha]' \quad (11)$$

$$v_{C2} = v_{C2}(\theta_1) = s_2(\theta_1) \quad (12)$$

式中 η ——行程系数

ζ ——转向系数,取值规定详见文献[1]

将 $C(u, v)$ 向 u 轴、 v 轴投影, u 轴上得“一点” $u_k = u_{C1} = u_{C2}$, v 轴上得“瞬时区间套” $[v_{C2}, v_{C1}]$ (考虑图 3 清晰,未标出)。

选取 u_k, v_k 和 θ_1 为纵/横坐标,绘制 $v_{C2} - \theta_1$ 、 $v_{C1} - \theta_1$ 和 $u_k - \theta_1$ 曲线,如图 4 所示。

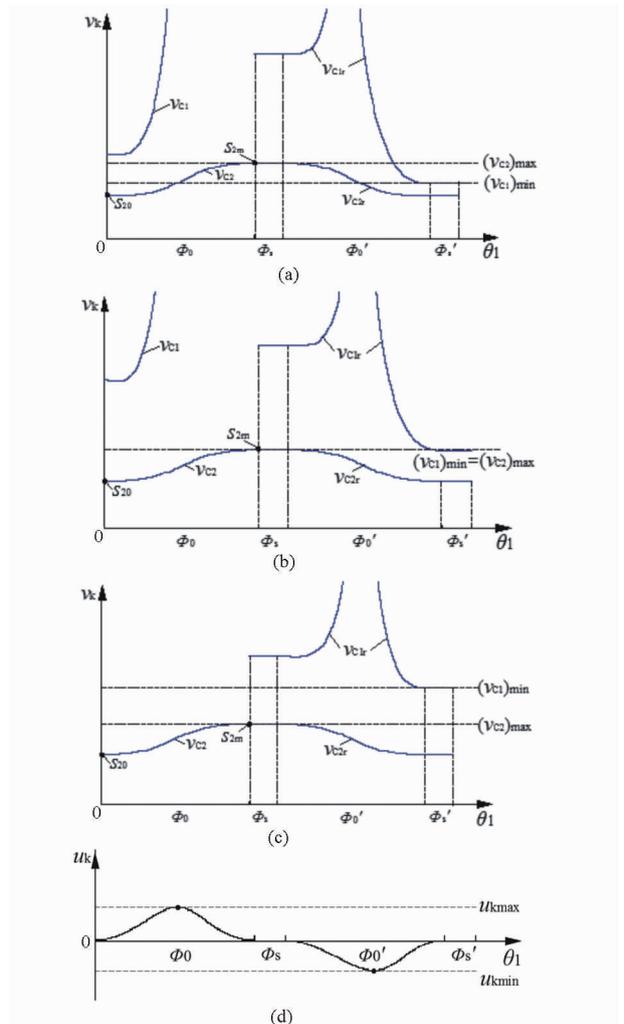


图 4 副凸轮 P 型机构 $v_{C1r} - \theta_1$ 、 $v_{C2r} - \theta_1$ 和 $u_{kr} - \theta_1$ 曲线

Fig.4 Curves of $v_{C1r} - \theta_1$, $v_{C2r} - \theta_1$ and $u_{kr} - \theta_1$ of assistant cam (P type) mechanism

(a) 不存在机构解 (b) 存在唯一机构解

(c) 存在无数机构解 (d) $u_k - \theta_1$ 曲线

往程存在无数个 $[v_{C2}, v_{C1}]$ 。基此,解得“往程区间套” $[v_{C2max}, v_{C1min}]$ 。

据式(12)知 $s_2(\theta_1)$ 单调递增变化,故

$$v_{C2max} = s_{2m} \quad (13)$$

据式(11),一维搜索解得往程 v_{C1min} 。

(2) 返程

$$[\alpha]_{ar} = [\alpha] = 30^\circ \sim 40^\circ。$$

如图3b所示,返程时相对瞬心 P_{21} ,始终位于连杆方位线 O_1O_2 下方。

与往程类似,得“瞬时一维直线区域” C_{2r}, C_{1r} 和“瞬时区间套” $[v_{C2r}, v_{C1r}]$ 。

式(6)~(12)通用。只不过式(6)、(7)、(11)中的 $[\alpha]'$ 更换为 $[\alpha]$; 式(10)中的 $\eta = -1$, 式(10)~(12)中的 $l_{21}(\theta_1)$ 、 $l_{10}(\theta_1)$ 和 $s_2(\theta_1)$ 更换为 $l_{21r}(\theta_1)$ 、 $l_{10r}(\theta_1)$ 和 $s_{2r}(\theta_1)$ 。

同理,绘制 $v_{C2r} - \theta_1$ 、 $v_{C1r} - \theta_1$ 和 $u_{Kr} - \theta_1$ 曲线,如图4所示。

解得“返程区间套” $[v_{C2rmax}, v_{C1rmin}]$ 。

$$v_{C2rmax} = s_{2m} \quad (14)$$

仍据式(11),一维搜索解得返程 v_{C1rmin} 。

(3) 整程

同理,综合上述,比较确定

$$(v_{C2})_{max} = v_{C2max} = v_{C2rmax} = s_{2m} \quad (15)$$

$$(v_{C1})_{min} = \min\{v_{C1min}, v_{C1rmin}\} \quad (16)$$

于是,得满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]'$ 条件的 v 取值范围,即“整程区间套”

$$[(v_{C2})_{max}, (v_{C1})_{min}] = [s_{2m}, (v_{C1})_{min}] \quad (17)$$

综上所述,得如下重要结论:

(1) 若 $(v_{C1})_{min} < (v_{C2})_{max}$ 即 $(v_{C1})_{min} < s_{2m}$, 则

$$v \in [(v_{C2})_{max}, (v_{C1})_{min}] = \Omega(\text{空集}) \quad (18)$$

满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]'$ 条件的机构解不存在,

如图4a所示。

(2) 若 $(v_{C1})_{min} = (v_{C2})_{max} = s_{2m}$, 则

$$v \in [(v_{C2})_{max}, (v_{C1})_{min}] = \Lambda(\text{独集}) \quad (19)$$

存在满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]'$ 条件的唯一机构解

$$v = (v_{C2})_{max} = (v_{C1})_{min} = s_{2m} \quad (20)$$

如图4b所示。

(3) 若 $(v_{C1})_{min} > (v_{C2})_{max}$ 即 $(v_{C1})_{min} > s_{2m}$, 则

$$v \in [(v_{C2})_{max}, (v_{C1})_{min}] = \Pi(\text{无穷集}) \quad (21)$$

存在满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]'$ 条件的无数机构解

$$v \in [(v_{C2})_{max}, (v_{C1})_{min}] \quad (22)$$

$$\text{即 } v \in [s_{2m}, (v_{C1})_{min}] \quad (23)$$

如图4c所示。

2.1.2 凸轮逆时针转动

思路方法与2.1.1节相同,从略。

2.2 满足 $\rho > 0$ 条件机构解存在性/存在性态

仍取用“支撑函数法”^[15],解决凸轮轮廓的“运动保真性”条件。具体说,即凸轮轮廓曲率半径大于零,即 $\rho > 0$ 。

2.2.1 凸轮顺时针转动

2.2.1.1 主凸轮机构(F型机构)

(1) 往程

对应文献[1]中“推程”,根据文献[1]中图5a,其式(39)~(42)通用。

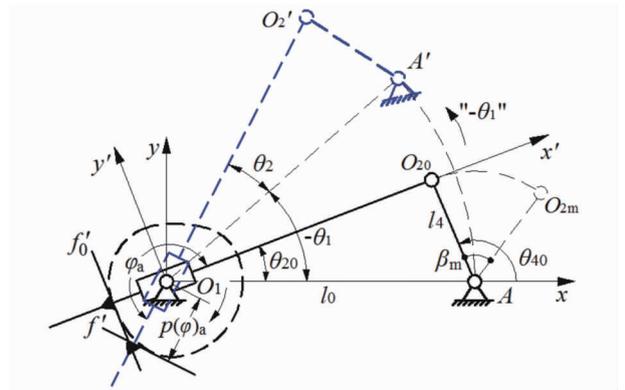


图5 副凸轮P型机构“支撑函数、方向角”的分析提取

Fig.5 Analysis of support function and direction angle of assistant cam (P type) mechanism-cam rotating clockwise

解得“往程区间套”

$$v \in (-\infty, v_{\rho max}) \quad (0 \leq \theta_1 \leq \Phi_0) \quad (24)$$

即满足凸轮往程轮廓外凸,“运动保真性”条件的机构解集。

(2) 返程

对应文献[1]中“回程”,根据文献[1]中图5a,其式(39)~(42)仍通用。

解得“返程区间套”

$$v \in (-\infty, v_{\rho max}) \quad (\Phi_{s1} \leq \theta_1 \leq \Phi_{s2}) \quad (25)$$

即满足凸轮返程轮廓外凸,“运动保真性”条件的机构解集。

式(25)中

$$\begin{cases} \Phi_{s1} = \Phi_0 + \Phi_s \\ \Phi_{s2} = \Phi_0 + \Phi_s + \Phi'_0 \end{cases} \quad (26)$$

(3) 整程

对应文献[1]中“整程”,根据文献[1]中图5a,其式(43)~(45)通用。

2.2.1.2 副凸轮机构(P型机构)

(1) 往程

如图5所示,绘出往程起始位置 $O_1O_{20}A$,此时平底线 f'_0 , 基此建立固定坐标系 $O_1x'y'$,再绘出绕凸轮轴心 O_1 反转(倒置)“ $-\theta_1$ ”后机构位置,认定 f' 为“支撑线”,凸轮轴心 O_1 到 f' 的垂直距离为“支撑函

数”。

支撑函数

$$p(\varphi)_a = v - [l_0^2 + l_4^2 + 2l_0l_4 \cos(\theta_{40} - \beta)]^{1/2} \quad (27)$$

方向角

$$\varphi_a = \zeta\theta_1 + \theta_2 - \theta_{20} + 180^\circ \quad (28)$$

$$p'(\varphi)_a = dp_a/d\varphi_a = (dp_a/d\beta)(d\beta/d\varphi_a) = -[AB'l_0l_4 \sin(\theta_{40} - \beta)]/(\zeta A^2 - B\beta') \quad (29)$$

其中 $A = [l_0^2 + l_4^2 + 2l_0l_4 \cos(\theta_{40} - \beta)]^{1/2} \quad (30)$

$$B = l_4[l_4 + l_0 \cos(\theta_{40} - \beta)] \quad (31)$$

同理, $p(\varphi)_p$ 对 φ_p 求二次导数

$$p''(\varphi)_a = (dp'_a/d\beta)(d\beta/d\varphi_a) = -l_0l_4(-D\beta'^3 - E\beta'^2 + F\beta''\beta')/(\zeta A^2 - B\beta')^3 \quad (32)$$

其中 $D = A^3 B \cos(\theta_{40} - \beta) - A^3 l_0 l_4 \sin^2(\theta_{40} - \beta) + AB l_0 l_4 \sin^2(\theta_{40} - \beta) \quad (33)$

$$E = \zeta A^3 [A^2 \cos(\theta_{40} - \beta) + l_0 l_4 \sin^2(\theta_{40} - \beta)] \quad (34)$$

$$F = \zeta A^5 \sin(\theta_{40} - \beta) \quad (35)$$

副凸轮轮廓曲率半径

$$\rho_a = \rho_a(\theta_1) = p(\varphi)_a + p''(\varphi)_a = v - A - l_0 l_4 (D\beta'^3 + E\beta'^2 - F\beta''\beta')/(\zeta A^2 - B\beta')^3 \quad (36)$$

不难理解, $\rho_a = \rho_a(\theta_1)$ 是 θ_1 的一元函数。根据文献[1]式(43)一维搜索出“=”成立时的 v_{pmin} , 则“回程区间套”

$$v \in (v_{pmin}, +\infty) \quad (0 \leq \theta_1 \leq \Phi_0) \quad (37)$$

即满足凸轮回程轮廓外凸, “运动保真性”条件的机构解集。

(2) 返程

同理, 解得“返程区间套”

$$v \in (v_{prmin}, +\infty) \quad (\Phi_{s1} \leq \theta_1 \leq \Phi_{s2}) \quad (38)$$

即满足凸轮返程轮廓外凸“运动保真性”条件的机构解集。

式(38)中 Φ_{s1} 、 Φ_{s2} 见式(26)。

因为 $r_0 = v - s_{2m} > 0$, 故 $v > s_{2m}$ ($s_{2m} = (v_{c2})_{max}$),

即有

$$\begin{cases} v_{pmin} > s_{2m} \\ v_{prmin} > s_{2m} \end{cases} \quad (39)$$

(3) 整程

综合前面上述, 比较确定

$$(v_p)_{min} = \max\{v_{pmin}, v_{prmin}\} \quad (40)$$

得到“整程区间套”

$$v \in ((v_p)_{min}, +\infty) \quad (0 \leq \theta_1 \leq 2\pi) \quad (41)$$

即满足副凸轮整程轮廓全部外凸, “运动保真性”条件的机构解集。

基于式(39), 有

$$(v_p)_{min} > s_{2m} \quad (42)$$

2.2.2 凸轮逆时针转动

与2.2.1节同理, 从略。

2.3 满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]' \cup \rho > 0$ 条件机构解的存在性/存在性态

2.3.1 凸轮顺时针转动

2.3.1.1 主凸轮机构(F型机构)

根据文献[1]3.3.1节, 其式(46)~(53)通用, 不再赘述。

2.3.1.2 副凸轮机构(P型机构)

(1) 平底方位线容许选择区域与凸轮基圆半径 r_0 许用取值范围的确定

同理, 综合2.1.1.2和2.2.1.2节中整程分析, 得到如下重要结论:

若式(18)或(19)成立, 据式(42)知, 满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]' \cup \rho > 0$ 条件的机构解不存在。

若式(21)成立, 且

$$(v_{c1})_{min} < (v_p)_{min} \quad (43)$$

满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]' \cup \rho > 0$ 机构解不存在。

$$(v_{c1})_{min} \geq (v_p)_{min} \quad (44)$$

存在满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]' \cup \rho > 0$ 无数机构解

$$v \in ((v_p)_{min}, (v_{c1})_{min}) \quad (45)$$

此时

$$r_0 \in (r_{0min}, r_{0max}] = ((v_p)_{min} - s_{2m}, (v_{c1})_{min} - s_{2m}] \quad (46)$$

如图6中的“涂色带域”。

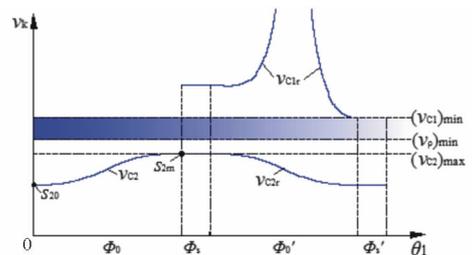


图6 副凸轮机构(P型)存在无数机构解的情形

Fig.6 Case of assistant cam (P type) existing countless mechanism solution

于是, 得到重要结论:

满足式(44)前提下, v 值越靠近 $(v_p)_{min}$, r_0 和 α 越小, 即凸轮尺寸、传动性能越优。

(2) 主、副平底长度和跨距的确定

无论回程、返程: 任一瞬时, 若记主凸轮1、主平底 f 的接触(切)点为 K , 副凸轮 $1'$ 与副平底 f' 的接触(切)点为 K' , 连接 K 与 K' , 必有结论成立: $KK' // O_1O_2$, KK' 过相对瞬心 P_{21} 或 P_{21r} , 或者说 P_{21} (P_{21r}) 在 KK' 上。

据上不难推知, 文献[1]3.3.1节式(50)~

(53)通用。

容易理解,主、副平底间跨距(见图1)

$$D = v_a - v_p \quad (47)$$

式中 v_p, v_a ——主、副平底的 v 坐标值

显然, D 是表征、衡量机构尺寸紧凑性的重要评价指标。

2.3.2 凸轮逆时针转动

研究思路方法与2.3.1节相同,从略。

3 F型机构/P型机构的对比研究和差异性内涵

对照、比较F型和P型机构,得到如下重要结论:

(1) 据文献[1]和本文图3,任一瞬时F型、P型机构的“盈月形”区域套分别落在 $P_{20}P_{21}$ 的右侧、左侧。

(2) 据文献[1]和本文图4,F型、P型机构的 $v_{c1} - \theta_1, v_{c1r} - \theta_1$ 曲线分别落在 $v_{c2} - \theta_1, v_{c2r} - \theta_1$ 曲线的下方、上方。

(3) 据文献[1]式(44)和本文式(41),F型、P型机构之满足 $\rho > 0$ 的机构解,分别为 $v = (v_p)_{\min}$ 水平直线的下半平面、上半平面。

(4) 据本文2.3.1.2节中内容(2),F型、P型机构主、副平底的工作长度/工作区段完全等同。

4 共轭凸轮机构的重要结论

关于共轭凸轮机构,取 v 为横坐标, r_0 和 α 为纵坐标绘制的 $r_0 - v$ 曲线和 $\alpha - v$ 曲线,如图7所示。

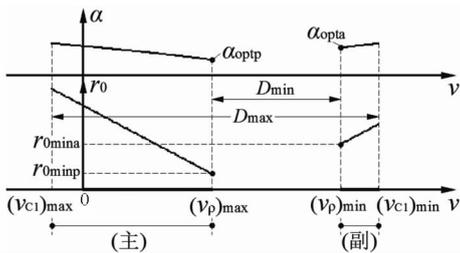


图7 共轭凸轮机构的 $r_0 - v$ 和 $\alpha - v$ 曲线

Fig.7 Curves of $r_0 - v$ and $\alpha - v$ of conjugate cam

综合本文和文献[1],得到重要结论:

(1) 主凸轮机构:在取值域 $[(v_{c1})_{\max}, (v_p)_{\max}]$ 内, r_0, α 皆呈单调递减变化。

当 $v = (v_p)_{\max}$ 时, $r_0 = r_{0\min}$ 和 $\alpha = \alpha_{\min} = \alpha_{\text{opt}}$; 对应主凸轮机构的最优解。

(2) 副凸轮机构:在取值域 $[(v_p)_{\min}, (v_{c1})_{\min}]$ 内, r_0, α 皆呈单调递增变化。

当 $v = (v_p)_{\min}$ 时, $r_0 = r_{0\min}$ 和 $\alpha = \alpha_{\min} = \alpha_{\text{opt}}$; 对应副凸轮机构的最优解。

(3) 共轭凸轮机构:主、副凸轮机构各自取值域内,跨距 D 的取值域为

$$D \in (D_{\min}, D_{\max}) \quad (48)$$

$$D_{\min} = (v_p)_{\min} - (v_p)_{\max} \quad (49)$$

$$D_{\max} = (v_{c1})_{\min} - (v_{c1})_{\max} \quad (50)$$

主平底 $v = (v_p)_{\max}$ 、副平底 $v = (v_p)_{\min}$ 时,对应共轭凸轮机构的最优解,此时跨距 D 取得最小值 D_{\min} 。显而易见, $r_0 - v$ 和 $\alpha - v$ 曲线直观反映出:凸轮基圆半径 r_0 、压力角 α 和跨距 D 等重要尺寸和性能参数与主、副平底 v 坐标值间联系、影响的重要规律。

5 机构综合示例

机构综合示例为德国高速印刷机机构^[5-6,13]的平底推杆型。

已知 $\theta_{40} = 140^\circ, l_0 = 140 \text{ mm}, l_4 = 50 \text{ mm}, \beta_m = 70^\circ, \Phi_0 = \Phi'_0 = 150^\circ, \Phi_s = \Phi'_s = 30^\circ, [\alpha] = 40^\circ, [\alpha]' = 70^\circ$, 摇杆推程/回程皆摆线运动规律,凸轮顺时针转动,试求:满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]' \cup \rho > 0$ 条件的主、副凸轮机构解集;机构最优解。

(1) 满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]' \cup \rho > 0$ 机构解集

据文献[1]式(1),将已知 $l_0 = 140 \text{ mm}, l_4 = 50 \text{ mm}, \theta_{40} = 140^\circ$ 和 $\beta_m = 70^\circ$ 等代入,算得 $s_{20} = 106.6554 \text{ mm}, s_{2m} = 163.9765 \text{ mm}$ 。

对于主凸轮机构:据文献[1]式(24),解得 $v \in [(v_{c1})_{\max}, (v_{c2})_{\min}] = [-20.9514, 106.6554]$;再据文献[1]式(44),解得 $v \in (-\infty, (v_p)_{\max}] = (-\infty, 85.8544]$ 。

再据文献[1]式(48),得满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]' \cup \rho > 0$ 的机构解集: $v \in [v_{c1\max}, (v_p)_{\max}] = [-20.9514, 85.8544]$ 。此即主凸轮机构的解空间,也是进一步探讨优化问题的解空间。

得到凸轮基圆半径的取值域为: $r_0 \in [r_{0\min}, r_{0\max}] = [20.8010, 127.6068]$ 。

对于副凸轮机构:据式(21),解得 $v \in [(v_{c2})_{\max}, (v_{c1})_{\min}] = [163.9765, 247.3396]$;再据式(41),解得 $v \in ((v_p)_{\min}, +\infty) = (221.4171, +\infty)$ 。

再据式(45),得满足 $\alpha \leq [\alpha] \cup \alpha \leq [\alpha]' \cup \rho > 0$ 的机构解集: $v \in [(v_p)_{\min}, (v_{c1})_{\min}] = [221.4171, 247.3396]$ 。此即副凸轮机构的解空间,也是进一步探讨优化问题的解空间。

据式(46),得凸轮基圆半径的取值域为: $r_0 \in [r_{0\min}, r_{0\max}] = [57.4406, 83.3631]$ 。

图2c、图4c和图7皆是根据上述求解计算结果,通过计算机自动生成的。

(2) 机构最优解

当主平底 $v = v_p = (v_p)_{\max} = 85.8544 \text{ mm}$ 时, 解得主凸轮 $r_0 = r_{0\min} = 20.8010 \text{ mm}$ 和主凸轮机构 $\alpha = \alpha_{\min} = \alpha_{\text{opt}} = 18.93^\circ$ 。

当副平底 $v = v_a = (v_p)_{\min} = 221.4171 \text{ mm}$ 时, 解得副凸轮 $r_0 = r_{0\min} = 57.4406 \text{ mm}$ 和副凸轮机构 $\alpha = \alpha_{\min} = \alpha_{\text{opt}} = 34.46^\circ$ 。

据文献[1]中式(50)~(53)算得主、副平底长度 $l = 48.3713 \text{ mm}$, $l_r = 45.8369 \text{ mm}$, $L = 99.2082 \sim 101.2082 \text{ mm}$ 。

据式(47), 算得两平底间最小跨距 $D_{\min} = 135.5627 \text{ mm}$ 。

6 结论

(1) 植入“往程/返程”和“F型/P型机构”等概念, 提出P型机构的“瞬时一维直线区域”生成原理和 $v_{c1} - \theta_1$ 等曲线。

(2) 对F型机构、P型机构作了比较研究, 提出彼此差异性内涵, 深化了对共轭凸轮机构的理解认识。

(3) 构建 $r_0 - v$ 曲线和 $\alpha - v$ 曲线, 揭示出 r_0 、 α 和 D 等尺寸和性能参数, 与主、副平底 v 坐标间映射的重要规律。

(4) 对于浮动平底推杆共轭凸轮机构, 提出了一套系统、普适的设计思路和方法。

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)
- 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.
- 孔午光. 高速凸轮[M]. 北京: 高等教育出版社, 1986: 14-19.
- 王知行, 邓全. 机械原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- 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)
- 常勇, 杨富富. 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. Research on second mechanisms synthesis task of positive-drive disc cam mechanisms with roller follower moving in general planar motion[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(15): 47-57. (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)
- Schoenherr J. Synthesis of planar cam mechanisms with lowest dimensions[J]. Mechanism and Machine Theory, 1993, 28(3): 317-325.
- Navarro O, Wu C J, Angeles J. The size-minimization of planar cam mechanisms[J]. Mechanism and Machine Theory, 2001, 36(3): 371-386.
- DasGupta A, Ghosh A. On the determination of basic dimensions of a cam with a translating roller-follower[J]. ASME Journal of Mechanical Design, 2004, 126(1): 143-147.
- 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: 1017-1032.
- Ji Z, Manna Y A. Size minimization of disc cams with roller-followers under pressure angle constraint[J]. Proc IMechE, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2008, 222(12): 2475-2484.
- 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]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(1): 39-46. (in Chinese)
- 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)
- 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)

Class II Synthesis of Conjugate 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: By adopting the concepts of “rise and return travel” and “F/P type mechanism” and dividing the conjugate cam mechanism into main cam and assistant cam mechanism, which were studied respectively, the basic schematic diagram of instantaneous one dimensional linear area of the assistant cam (i. e. P type mechanism) and the curves of $v_{c1} - \theta_1$, $v_{c2} - \theta_1$ and $u_k - \theta_1$ were proposed. And the differences between the main cam (i. e. F type mechanism) and the assistant cam (i. e. P type mechanism) were presented. The class II synthesis of P type mechanism and conjugate cam mechanism with floating flat face pushrod was resolved.

Key words: Conjugate cam Floating pushrod Synthesis of mechanism