

回转式贴标机贴标部件 的运动分析及凸轮设计原理

陈金元

(机械工程系)

摘要 本文以 KRONES 公司某型号贴标机为例,通过对贴标部件的贴标工艺及运动分析,探讨了控制标板运动的平面槽凸轮的设计原理和方法。

关键词 贴标机;凸轮

0 概 述

西德 KRONES 公司生产的回转式贴标机具有功能齐全、生产效率高、贴标质量好、操

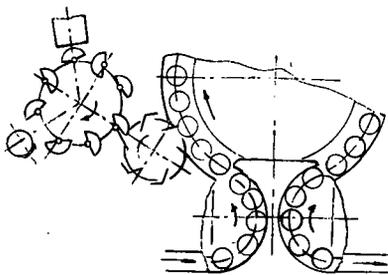


图 1 回转式贴标机工作示意图

作使用方便等特点,近十多年来,我国先后引进了不少这种设备。图 1 为该公司某型号贴标机工作示意图。来自输送线的瓶子,经拨瓶轮进入贴标工作台,同时,来自贴标部件的标签,经夹鼓将标签贴到瓶上。视需要,可贴单贴、双贴或三

贴。贴标后的瓶子,经拨瓶轮又输出到输送线上。该设备的关键为贴标部件如图 2 所示。它

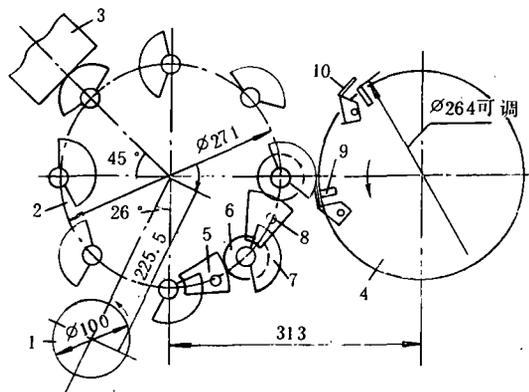


图 2 贴标部件工作原理图

- 1. 上胶辊轮 ($z=23$)
- 2. 标板转盘 ($z=120$)
- 3. 标盒
- 4. 夹标转鼓 ($z=90$)
- 5. 扇齿轮 ($z=64$)
- 6. 齿轮 ($z=18$)
- 7. 标板
- 8. 滚轮与销轴
- 9. 砧板
- 10. 夹钳

收稿日期: 1991-11-11

胶辊、夹鼓转动;另一方面,通过安装在下面的固定平面槽凸轮,带动滑套在标板轴上的扇齿轮摆动,进而使与标板轴固联的小齿轮摆动,从而使标板在回转的同时,绕自身轴摆动,以完成标板上胶、取标、夹标转位功能。显然,该部件的核心又为平面槽凸轮。

有关该部件的设计,尤其是平面槽凸轮的设计原理,资料甚少。而我国早期引进的设备已进入维修换件阶段,所以,揭示该设计原理与方法,将对生产实际和发展我国贴标机械都有着积极的现实意义和指导作用。

鉴于上述原因,本文试图通过对 KRONES 公司某型号贴标机贴标部件的工艺作运动分析,探讨其设计原理,尤其是平面槽凸轮设计。

1 贴标工艺及运动分析

1.1 上胶工位

从工艺分析,上胶工位应满足如下要求:

- a. 保证不同规格标签的标板表面均能涂上胶水;
- b. 标板上的胶水要薄而均匀;
- c. 标板不应与胶辊撞击、挤压以提高胶辊使用寿命。

从理论上讲,在上胶过程中,标板应处于与胶辊相切,即标板的圆心应在与胶辊同心的圆弧 $p-p$ 上如图 3 所示。这样便能有效地满足上述要求。其次,标板的运动应以 O_1, O_2 为对称中心线,以确保整个标板均匀上胶。

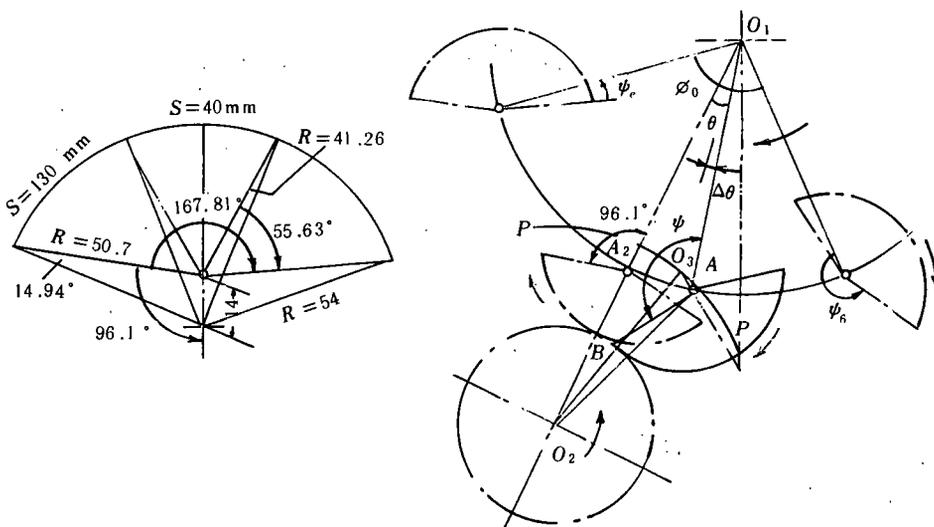


图 3 贴标工艺及运动分析

根据上述,该段凸轮应为降程,使标板在顺时针回转的同时,作顺时针摆动。运动规律应保证满足标板与胶辊相切的位置要求,且取对称的形式。

1.2 取标工位

从取标工艺分析,对该工位提出如下要求:

- a. 确保不同规格的标签能正确地粘贴在标板上;
- b. 取标可靠且只取一张标签。

要满足上述要求,除在标盒上应采取相应的措施,对标纸、胶水提出一定要求外,标板应在标纸上作均匀滚动且整个运动应以 O_1D 为对称中心如图 4 所示。其次,标板在标签面上的绝对速度方向应有利于取标。

为此,该段凸轮应为升程,使标板作反时针摆动。标板开始接触标签后,应作匀速摆动运动且该运动段以 O_1D 为对称中心线。

1.3 夹标转位工位

该工位应满足如下要求:

- a. 保证规格不同的标签均能可靠地夹标转位;
- b. 标签转位到夹鼓上要平滑,不能拱曲太大;
- c. 标签不能擦伤;
- d. 要考虑夹鼓夹钳的凸轮设计。

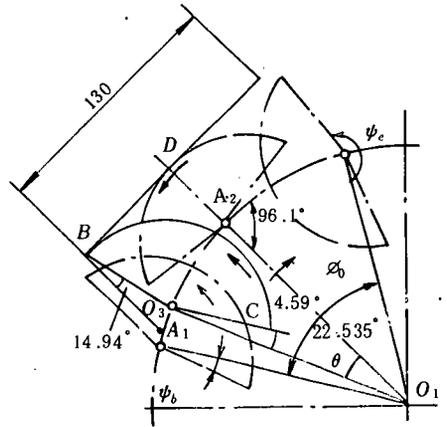


图 4 取标工艺及分析

由此,凸轮转位运动段设计应注意:运动段应为降程,使标板顺时针摆动;开始夹标转位,标板宜作匀速摆动运动;最小标板沿夹钳的切向速度应大于夹钳的切向速度,以保证在一定转角内,标签端部能进入夹钳内以便夹标,但速差又不宜太大,否则标签拱曲严重;标板与夹鼓砧板最窄处应留有 1—2mm 间隙,以防擦伤标签如图 5 所示。

通过上述三个工位的分析,为平面槽凸轮设计提供了必要的依据。

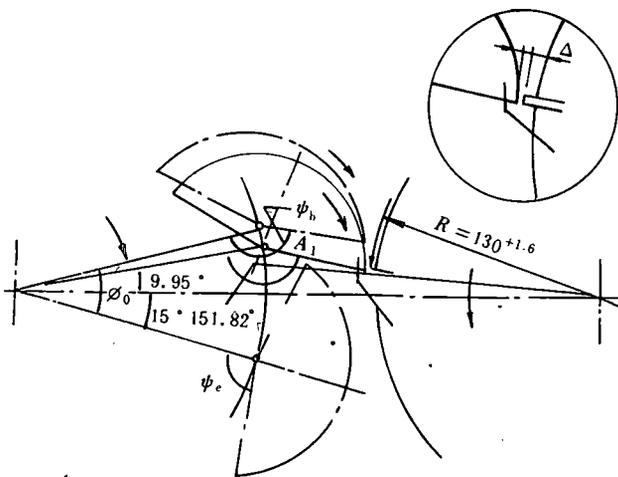


图 5 夹标转位工艺及分析

2. 平面槽凸轮设计原理

2.1 总体分析

图 2 提供了某型号贴标部件的基本设计参数。共有 8 个标板,6 个夹钳,转盘与夹鼓的转动比为 3/4,适用标签宽度为 40—130mm。相应的标板几何参数如图 3 左图所示。夹鼓直径为 264mm,可根据标板尺寸进行调节,夹钳位置亦可作圆周方向调整。

上面分析的三个工位凸轮运动段的要求,对每个运动段始末标板的位置提出了明确的要求,然而,上工位末标板的位置与下工位始标板的位置并不相同。为此,在相邻工位间应有

一个过度运动段,使上下工位末始标板位置衔接起来。为了使凸轮有一参考圆,故还应设置一停顿运动段。这样,整个凸轮共有七个运动段。

考虑到本平面槽凸轮对位置精度要求高,在结构上采用滚轮形封闭结构,以消除间隙对运动的影响。滚轮到摆轴的半径为 $L=50\text{mm}$ 。这样,这种凸轮结构实际上可简化为摆动滚轮从动件盘形凸轮的结构形式来研究。具体如下。

2.2 上胶段凸轮曲线设计

根据标板与胶轮相切要求,可算出最大标板(130mm)开始与胶轮相切到对称位置 O_1O_2 时各点的转角 θ 及相切时的标板位置角 ψ 。开始相切位置求法如下(见图 3),因为 O_3BO_2 在一直线,故 $\angle O_2BA=165.06^\circ$, 求出 O_2A , 进而在 $\triangle O_2O_1A$ 中求出 $\theta=14.2^\circ$ 及 $\angle O_2AO_1$ 。这样位置角 $\angle O_1AB=\angle O_2AO_1-\angle O_2AB$ 。其余相切位置可反过来计算。当 O_1A 转过 $\Delta\theta$ 后,在新的 $\triangle O_2AO_1$ 中,先求出 O_2A , 进而求出 $\angle O_2AO_1$ 和 $\angle O_2AO_3$, 两角之差得到 $\angle O_3AO_1$ 。新的相切位置角 $\angle O_1AB=\angle O_3AO_1+96.1^\circ$ 。计算结果列于表 1。

表 1 满足相切要求时标板转角与位置的关系

θ	O_2A	$\angle O_2AO_1$	$\angle O_3AO_1$	位置角 $\angle O_1AB$
14.2°	99.834	146.356°	42.843°	138.94°
12°	97.136	151.141°	35.321°	131.42°
9°	94.087	157.98°	25.838°	121.94°
6°	91.841	165.129°	16.942°	113.04°
3°	90.464	172.504°	8.39°	104.49°
0°	90	180°	0°	96.1°

标板在该凸轮降程某一位置时的位置角 ψ 可用下式表达:

$$\psi = \psi_b - \psi_0 y i_s \quad (1)$$

式中

ψ_b 为标板在降程始点时的位置角。

ψ_0 为该段凸轮降程。

i_s 扇齿与小齿轮的转动比 $i_s = 3.556$ 。

y 为归一化后的降程运动规律, $0 \leq y \leq 1$ 。

$y = f(x)$, x 为归一化的转角 $x = \varphi/\varphi_0$

φ_0 为降程段凸轮角, φ 为转盘转角。

由式(1)可知,要设计该段凸轮须事先确定 φ_0 , ψ_0 和 y , 而 $\psi_0 = \frac{\psi_b - \psi_c}{i_s}$, (ψ_c 为标板在降程终点时的位置角); y 要满足位置要求, 这使问题难以求解。为此, 应借助试凑法。参考有关资料^[4] 选择一组参数 φ_0 , ψ_b , ψ_c , 采用摆线运动规律, 分析其结果。经多次试凑, $\varphi_0 = 96^\circ$, $\psi_b = 202^\circ$, $\psi_c = -9.8^\circ$, $\psi_0 = 59.56^\circ$, 较为理想, 但运动规律须另求以满足位置要求。

现设降程运动规律为五次多项式:

$$y = C_0 + C_1x + C_2x^2 + C_3x^3 + C_4x^4 + C_5x^5 \quad (2)$$

通常对(2)式的处理为令 $y(0) = y'(0) = y''(0) = 0$, 则 $C_0 = C_1 = C_2 = 0$, 再令 $y(1) = 1$,

$y'(1) = y''(1) = 0$, 以求出 C_3, C_4, C_5 , 但按此方法处理, 仍不能满足标板位置要求。

为此采用如下方法求解式(2)。

令 $y(0) = y'(0) = y''(0) = 0$, 则 $C_0 = C_1 = C_2 = 0$, 代入(2)式得

$$y = C_3x^3 + C_4x^4 + C_5x^5 \quad (3)$$

式中

$$x = \varphi/\varphi_0,$$

三个未知数 C_3, C_4, C_5 可用表1中三个位置参数代入求解。考虑到本运动规律为对称型, 只需计算凸轮行程的一半即可, 另一半利用对称法求解。为样做的优点在于将行程终点三个边界条件省去用于中间位置控制, 而又不至于使多项式幂次过高, 另一方面又不影响行程终点的要求即 $y(1) = 1, y'(1) = y''(1) = 0$ 。

现求解如下:

从表1中选择三个位置如下:

表2 当 $\varphi_0 = 96^\circ, \psi_0 = 59.56^\circ, \psi_b = 202^\circ$

i	φ	$x_i = \varphi/\varphi_0$	ψ_i	y_i
1	36°	0.375	131.42°	0.333246
2	42°	0.4375	113.04°	0.420028
3	48°	0.5	96.1°	0.5

将表中 x_i 和 y_i 代入(3)式中, 求解得到

$$C_3 = 20.18219, C_4 = -50.77882, C_5 = 36.8289,$$

这样, 整个运动规律为:

当 $0 \leq x \leq 0.5$, 即 $0 \leq \varphi \leq 48^\circ$ 时

$$y = 20.18219x^3 - 50.77882x^4 + 36.8289x^5$$

$$y' = \frac{\omega}{\varphi_0} (60.54657x^2 - 203.11528x^3 + 184.1445x^4)$$

$$y'' = \frac{\omega^2}{\varphi_0^2} (121.09314x - 609.34584x^2 + 736.578x^3)$$

$$\psi = \psi_b - \psi_0 i_s y$$

$$\psi' = -\psi_0 i_s y'$$

$$\psi'' = -\psi_0 i_s y''$$

当 $0.5 < x \leq 1$, 即 $48^\circ < \varphi \leq 96^\circ$ 时

$$y = 1 - 20.18219(1-x)^3 + 50.77882(1-x)^4 - 36.8289(1-x)^5$$

$$y' = \frac{\omega}{\varphi_0} [60.54657(1-x)^2 - 203.11528(1-x)^3 + 184.1445(1-x)^4]$$

$$y'' = -\frac{\omega^2}{\varphi_0^2} [121.09314(1-x) - 609.34584(1-x)^2 + 736.578(1-x)^3]$$

$$\psi = \psi_b - \psi_0 i_s y$$

$$\psi' = -\psi_0 i_s y'$$

$$\psi'' = -\psi_0^2 y''$$

其运动规律如图 6 所示。

由此运动规律计算所得的标板各位置如表 3 所示。后半行程与前半行程对称。

表 3 上胶工位标板转角与位置角关系

φ	x	y	ψ
0°	0	0	202°
33.8°	0.352	0.2998	138.5°
36°	0.375	0.333246	131.42°
42°	0.4375	0.420028	113.04°
48°	0.5	0.5	96.1°

由表可见,按此法求解的运动规律具有较高的位置精度,虽在 33.8°处有 0.44°误差,但反映到标板与胶辊中心距上仅有 0.1mm 误差,这是完全可以控制的,从而能较好地满足上胶工艺要求。

至于标板与胶辊相切时,两者切向速度差值,在此无须控制,因为它与位置控制是矛盾的。

2.3 取标段凸轮曲线设计

相对而言,该段凸轮曲线设计不象上胶段那样严格,因为标盒位置前后可调。

根据工艺要求,现假设最大标板与标签开始接触在 A_1 (标板半径与标盒侧面在一直线上),由图可求得:

$$A_1 B \sin 14.94^\circ + O_1 A_1 \sin \theta = 65$$

则

$$\theta = 22.535^\circ$$

$$O_1 D = A_1 B \cos 14.94^\circ + O_1 A_1 \cos 22.535^\circ = 174.14 \text{ mm}$$

而转盘及标板在对称位置时的实际尺寸为 175.5mm. 若按 174mm 安装标盒,则在对称位置,标板将压入标盒内 1.5mm. 这与西德专家提供的数据,即标板应压入标盒 1—2mm 是完全吻合的^[5]. 这将有助于取标. 由此计算得到 A_1 处标板的位置角 $\angle O_1 A_1 C = 4.59^\circ$.

要使标板在标签上匀速滚动,取标段凸轮运动规律应取匀速运动规律. 为了避免冲击,采用“摆线—匀速”组合运动规律如图 7 所示. 考虑到取标所占中心角较大,而该运动段所占中心角又不宜太大,故设该段凸轮角为 φ_0 ,摆线规律为 $1/3\varphi_0$,匀速占 $2/3\varphi_0$.

组合运动规律可根据在 B 点(图 7)摆线和匀速运动规律的位移,速度、加速度相等的边界条件来推导. 又因整个运动段是对称的,CD 部分运动规律可用 AB 部分来求得. 于是得到的“摆线—匀速”组合运动规律如下(推导从略):

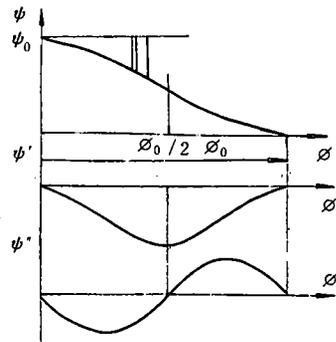


图 6 上胶工位凸轮段运动规律

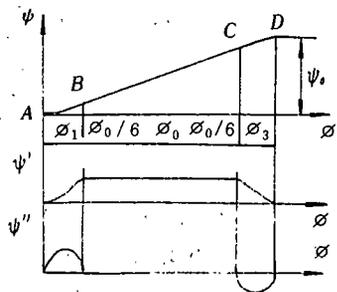


图 7 取标工位凸轮段运动规律

AB段 $0 \leq \varphi \leq \varphi_0/6$ (摆线)

$$y = \frac{1}{5} \left(\frac{3\varphi}{\varphi_0} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{6\pi\varphi}{\varphi_0} \right)$$

$$y' = \frac{3}{5} \frac{\omega}{\varphi_0} \left(1 - \cos \frac{6\pi\varphi}{\varphi_0} \right)$$

$$y'' = \frac{18\pi}{5} \frac{\omega^2}{\varphi_0^2} \sin \frac{6\pi\varphi}{\varphi_0}$$

$$\psi = \psi_0 + \psi_0 i_s y$$

$$\psi' = \psi_0 i_s y'$$

$$\psi'' = \psi_0 i_s y''$$

BC段 $\varphi_0/6 \leq \varphi \leq 5/6\varphi_0$ (匀速)

$$y = \frac{1}{5} \left(\frac{6\varphi}{\varphi_0} - \frac{1}{2} \right)$$

$$y' = \frac{6}{5} \frac{\omega}{\varphi_0}$$

$$y'' = 0$$

$$\psi = \psi_0 + \psi_0 i_s y$$

$$\psi' = \psi_0 i_s y'$$

$$\psi'' = 0$$

CD段 $5/6\varphi_0 \leq \varphi \leq \varphi_0$ (摆线)

$$y = \frac{1}{5} \left(2 + \frac{3\varphi}{\varphi_0} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{6\pi\varphi}{\varphi_0} \right)$$

$$y' = \frac{3}{5} \frac{\omega}{\varphi_0} \left(1 - \cos \frac{6\pi\varphi}{\varphi_0} \right)$$

$$y'' = \frac{18\pi}{5} \frac{\omega^2}{\varphi_0^2} \sin \frac{6\pi\varphi}{\varphi_0}$$

$$\psi = \psi_0 + \psi_0 i_s y$$

$$\psi' = \psi_0 i_s y'$$

$$\psi'' = \psi_0 i_s y''$$

关于该运动段的升程 ψ_0 可从图4关系中找到。当转盘转过 22.535° 时, 标板由位置角 4.59° 均匀地摆成 96.1° , 故收匀速运动规律找出

$$\frac{\psi_0}{2} - \frac{\psi_0}{5} \left[\frac{6 \left(\frac{\varphi_0}{2} - 22.525 \right)}{\varphi_0} - \frac{1}{2} \right] = \frac{96.1^\circ - 4.59^\circ}{i_s} = 25.734$$

$$135.21\psi_0 = 128.67\varphi_0$$

经多次比较, 选择 $\varphi_0 = 64^\circ$, $\psi_0 = 60.9^\circ$ 较好。标板在该运动段始末的位置角分别为 $\psi_0 = -12.18^\circ$, $\psi_e = 204.38^\circ$ 。

至于标板沿标签表面的绝对速度方向, 由于标板的摆动相切速度约为转盘牵连速度的1.5倍, 标板取标过程中三点的绝对速度方向如图8所示。显然, 这是有利于取标和分离标签的。

2.4 夹标转位段凸轮曲线设计

由于夹鼓直径及夹钳位置可调,这在一定程度上说明开始夹标的位置不是太严格的,只要保证最大和最小标签能在有效区域内完成夹标即可。现假设最大标板与夹鼓相切于 A_1 ,标板与夹鼓砧板最窄处留有 1—2mm 间隙,夹鼓最小直径为 $\varnothing 260\text{mm}$,则最大标板与夹鼓相切的参数见图 5 所示。标板与中心线夹角为 9.95° ,标板位置角为 151.82° 。

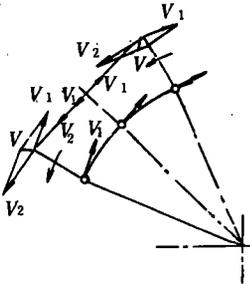


图 8 标板取标运动分析

至于该段凸轮的降程 ψ_0 ,由于很难确定最小标板究竟在何处与夹鼓接触实现夹标转位,故参考设备实际工作情况,由实测知,标板转至该运动段终点时,标板位置角为 96.1° 如图 5 所示。这样,只要合理选定该段凸轮的中心角 φ_0 ,使最小标板在合理区域内完成夹标转位动作。

根据资料^[1,4],现取 $\varphi_0 = 30^\circ$,仍选用“摆动—匀速”组合运动规律,摆线占 $1/3\varphi_0$,运动规律如前所述,但为降程。

现设标板在凸轮运动段初始位置角为 ψ_b ,转过 $\varphi_0/6$ 后到 A_1 ,其位置角为 151.82° ,代入运动规律得

$$\psi_b - \frac{\psi_0 i_s}{10} = 151.82^\circ \text{ (降程),}$$

而降程终点位置角为

$$\psi_b - \psi_0 i_s = 96.1^\circ,$$

这样求得参数为:

$$\psi_0 = 17.14^\circ, \psi_b = 158^\circ, \psi_e = 96.1^\circ$$

2.4.1 最小标板夹标转位校核 假设标板转过 $\varphi_0/2$,则此时最大标板位置角为 127.05° ,最小标板位置角为 182.68° ,夹鼓直径为 $\varnothing 268\text{mm}$,标板与砧板间有 2mm 间隙如图 9(a)所示。

现进一步假设夹钳夹标量为 6mm(见图 5 右上角),夹钳张开 5mm(其中 2mm 间隙,3mm 为夹钳在标签背面的间隙)。这样,最小标板端面要伸入夹钳内 6mm 约 0.1176 秒,相当于转盘转过 6.7° ,夹鼓转过 9° ,夹钳、标纸端面总的水平位置移量约为 $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = 3.4 + 1.6 = 5\text{mm}$,如图 9(b)所示。

由上分析可见,这是能保证最小标板夹标转位的,并且夹鼓有 9° 的转角,这对控制夹钳闭合的夹鼓凸轮而言也是可行的。

2.4.2 标纸拱曲问题 由于标板在切向的绝对速度比夹钳快,这将引起标签转位时的拱曲,但由于标板转至运动段终点时,标签尚未完全转到夹鼓上,而标板接着进入下一过渡运动段(将在下面提及),该过渡段为升程,使标板反时针摆动,从而使拱曲的标签又被拉直,保证了标签转位平整。

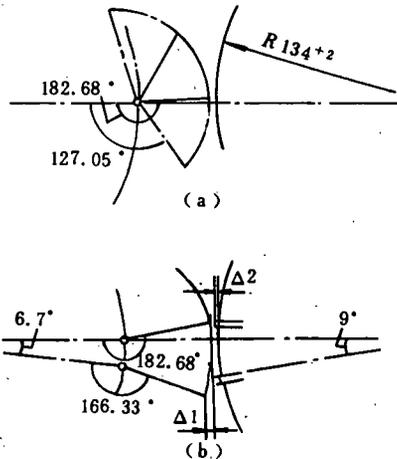


图 9 夹标转位分析

2.5 过渡段凸轮曲线设计

由于过渡段的作用是使上下工位末始标板位置角衔接起来,无更多约束条件,故取摆线运动规律。另外,增设一个停顿段,作为参考圆。这样,整个凸轮七个运动段的全部设计参数均已确定如图10所示。

3 凸轮的CAD

与凸轮设计有关的参数如下:

中心距 $D = 135.5\text{mm}$, 摆臂长 $L = 50\text{mm}$, 平面槽凸轮固定, 转盘顺时针转动。这相当于摆动滚轮从动件盘形凸轮机构中, 摆臂不转动, 凸轮作反时针转动, 摆臂设在凸轮轴心右侧, 这样便可利用现有程序 CAD·CAM·S 方便地计算出凸轮全部参数, 加工尺寸及其理论廓线和实际廓线^[6]。

图11为参考圆半径 $R = 142\text{mm}$, 滚轮半径 $r = 15\text{mm}$ 所得的凸轮廓线图。另一廓线省略未绘。

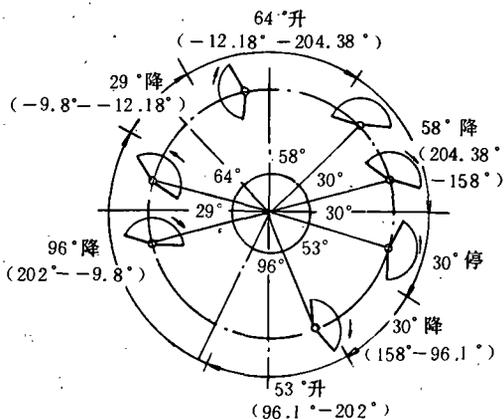


图10 平面槽凸轮设计参数

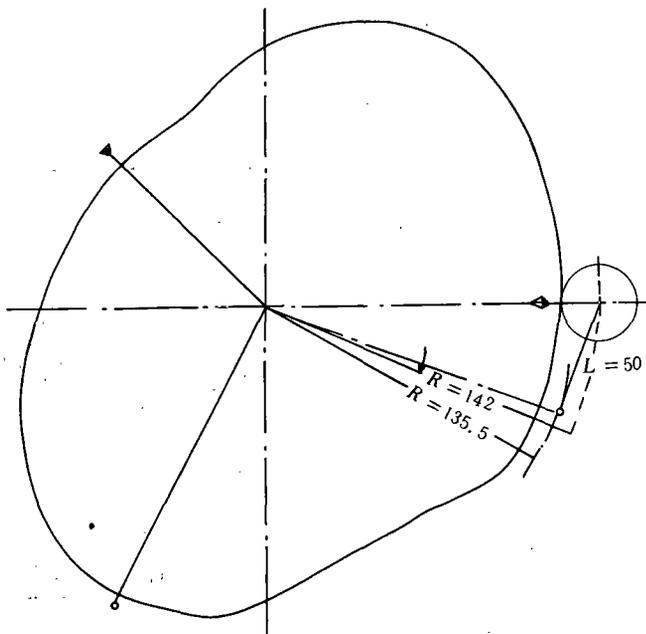


图11 平面槽凸轮廓线图

整个凸轮实际廓线最小曲率半径为 9.19mm , 最大压力角在 -40.78° 至 40.33° 之间。可见所选设计参数是比较合理的。

4 结 论

a. 通过贴标工艺分析,提出了对标板运动的要求,从而为平面槽凸轮设计提供了依据。本文结合实例所提出的平面槽凸轮设计的原理和方法,为自行设计这类贴标机贴标部件提供了理论依据。

b. 在掌握了该部件设计原理及方法后,对本文提供的设计参数并非不可改变的,甚至连标板的运动形式都有可能加以简化改进,以得到更简便的回转式贴标部件。

致 谢

进行本课题研究时,承蒙上海伟海包装机械厂领导和有关同志的热情支持和帮助,在此谨表谢意。

参 考 文 献

- 1 Kronseder H. Krones Manual of Labelling Technology, 1978 内部资料
- 2 华大年,唐之伟. 机构分析与设计. 纺工出版社, 1985
- 3 王用道译. 模型化凸轮系统动态综合分析与设计. 四川科技出版社, 1986
- 4 包装机械设计图册. 上海科技出版社
- 5 西德专家技术交流. Krones 贴标技术基本要点. 1989 内部资料
- 6 陈金元. 盘形凸轮机构几何尺寸的计算及计算机辅助设计. 无锡轻工业学院学报, 1986; (2)

An Analysis of Kinematics of Labelling Station of Rotary Labelling Machines and the Study of the Design Principle of form Closed Cam

Chen Jinyuan

(Dept. of Mech. Eng.)

Abstract This paper, taking one of the Crones labelling machines for example, studies the design principle and method of the form closed cam controlling movment of pallet turrets, based on the analysis of the labelling process and the kinematics of the pallet turrets.

key words labelling machine; cam