

自洁型同向双螺杆几何设计及间隙修正原理探讨

郭奕崇

马玉林

(北京化工大学,北京 100029) (上海国仕幕墙工程有限公司,上海 200127)

摘要 从工程应用的角度论述自洁型同向双螺杆的几何设计原理,从两根螺杆最基本的相对运动关系和几何关系出发,推导出可用于工程设计的同向双螺杆元件外廓几何形状的数学表达式。讨论设计中所涉及间隙修正问题,并给出解决这一问题的数学方法。这些工作为后续的设计计算软件开发打下了良好的基础。

关键词 同向双螺杆 几何设计 间隙修正

自洁型同向双螺杆挤出机由于具有良好的混合性、灵活多变的适应性而广泛用于聚合物的共混、改性、填充、反应挤出等工艺流程中。在双螺杆挤出机开发中,挤压系统设计是关键工作之一,而螺杆元件的几何设计又是其核心。1978年 M. L. Booy 详细描述了自洁型同向双螺杆的横截面形状、螺杆几何性质和设计的运动学原理,从理论上解决了同向双螺杆的几何设计问题。然而将同向双螺杆的几何原理运用到工程设计中,还有许多工作要做。同向双螺杆转速的不断提高及直接挤出的逐步应用,也对螺杆设计水平提出了更高的要求。

和以往的理论研究不同,笔者从工程应用的角度论述了自洁型同向双螺杆的几何设计原理,并在此基础上提出了间隙修正的方法,这有利于将设计原理应用于设计与制造实践。

1 自洁型同向双螺杆的基本几何关系

自洁型同向双螺杆的外廓几何形状是由两根螺杆的相对运动关系和几何关系所决定的。自洁型双螺杆元件主要有螺纹元件和捏合块两种,其中螺纹元件因导程、头数不同而有各种规格;捏合块由若干捏合盘构成,也可以由于捏合盘头数、厚度、各盘间错列角的变化而得到不同的规格。它们可以在同一台挤出机上组合出各种螺杆,以满足不同的加工要求。尽管螺纹元件和捏合块在外形上有差异,但是它们的横截面形状应是一致的。工作时,两根螺杆同向旋转。从理论上讲,在任一时刻任一横截面上,它们都有且仅有一点互相接触。在接触点两根螺杆相向运动,表面互相划擦,以此清除螺杆表面粘滞的物料。

几何设计首先要确定元件的横截面形状。在横截面形状确定之前,两个元件的运动可粗略地看作在同一平面内,两个半径为 R 、中心距为 L_c 的圆盘以同样的角速度 ω 同向旋转,如图 1 所示。图 1 中圆

盘向顺时针方向旋转。显然,当 $L_c < 2R$ 时,两圆盘有部分重叠。此时两者的外廓形状要由它们在运动中的关系来决定。

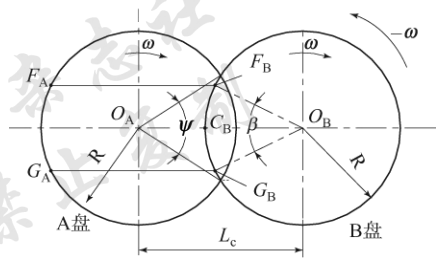


图 1 两个在同一平面中的圆盘

现把两个圆盘作为一个系统,假想给这个系统一个以 A 盘圆心 O_A 点为中心、角速度为 $-\omega$ 的附加旋转运动,则 A 盘静止不动, B 盘作平动。B 盘上任一点的运动轨迹都是以 L_c 为半径的一个圆。在 B 盘的圆周上选取两点 F_B 和 G_B , 使 $\angle F_B O_B C_B = \angle C_B O_B G_B$, 其中 O_B 是 B 盘的圆心, C_B 是 O_A 、 O_B 两点连线与 B 盘外圆的交点。在图示位置处, O_B 、 F_B 和 G_B 三点的速度方向都垂直向上,由此可知,该三点的运动轨迹分别以 O_A 和 A 盘圆周上 F_A 、 G_A 两点为圆心。从图 1 还可看出, $F_A F_B = G_A G_B = O_A O_B = L_c$ 。B 盘相对于 A 盘的平动过程中的两个特殊位置——位置 1 和位置 2 示于图 2(在这两个位置处, B 盘上各点分别在下标上加注“1”和“2”)。在位置 1, B 盘圆心 O_{B1} , 圆周上的点 F_{B1} 和 A 盘圆心 O_A 处于一条直线上;在位置 2, B 盘圆心 O_{B2} , 圆周上的点 G_{B2} 和 A 盘圆心 O_A 处于一条直线上。在位置 1 以前, F_{B1} 点划出了轨迹 T_1 , T_1 以点 F_A 为圆心, 中心距 L_c 为半径, 交圆 A 于 H 点;在位置 2 以后, G_{B2} 点划出了轨迹 T_2 , T_2 以点 G_A 为圆心, 中心距 L_c 为半径, 交圆 A 于 M 点。在位置 1、位置 2 之间, B 盘上的弧 $F_{B1} G_{B1}$

与 A 盘上的弧 JK(弧 JK 以 O_A 为圆心, $r = L_c - R$ 为半径)相互摩擦而过。这样, A 盘的外廓最终由四段圆弧 HJ 、 JK 、 KM 、 $MF_A G_A H$ 所组成, 其中 JK 和 $MF_A G_A H$ 的圆心都是 O_A , 半径分别为螺杆底径 $r = L_c - R$ 和 R , 所对圆心角分别为螺槽底角 β 和螺棱顶角 α 。 HJ 、 KM 的圆心分别为 F_A 、 G_A , 半径均为 L_c , 所对圆心角待确定。现定义 ψ 角:

$$\psi = \arccos \frac{L_c}{2 \cdot R} \tag{1}$$

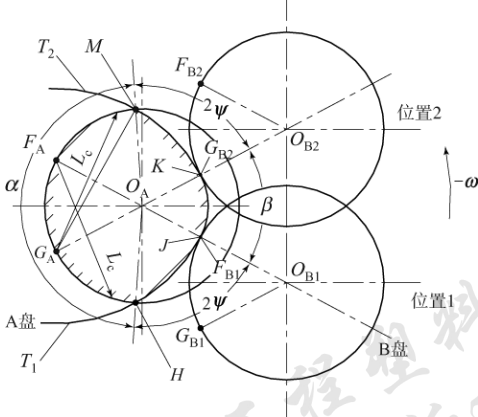


图 2 螺纹元件横截面形状形成原理图

而因为 $\angle M G_A K = \Psi$, 所以圆心角 $\angle M O_A K = \angle H O_A J = 2\Psi$ 。 2Ψ 是横截面中的螺槽侧角。从图 2 可得到

$$\alpha + \beta + 4\Psi = 2\pi \tag{2}$$

如果使 $\beta = \alpha$ 则 $2\alpha + 4\Psi = 2\pi$, 可得

$$\alpha + 2\Psi = \pi \tag{3}$$

式(3)是当双螺杆螺纹头数 $N = 1$ 时, 横截面内各弧段所对圆心角间的基本关系。实际上螺纹头数 N 可以不等于 1, 则式(3)应改为

$$N(\alpha + 2\Psi) = \pi \tag{4}$$

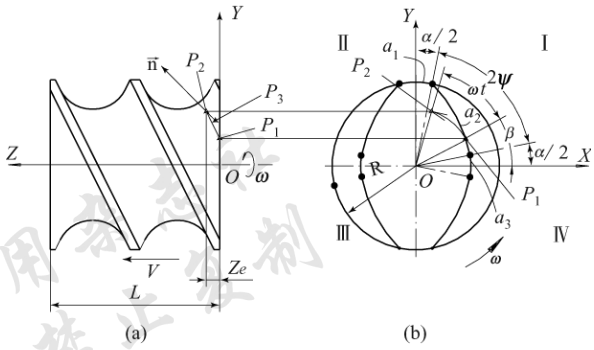
解出 α , 因为此时式(1) 仍成立, 故

$$\alpha = \frac{\pi}{N} - 2\Psi = \frac{\pi}{N} - 2\arccos \frac{L_c}{2R} \tag{5}$$

由式(5) 可见, 只要螺杆半径 R , 中心距 L_c , 螺纹头数 N 确定下来, 则 α 和 Ψ 角即为确定值(条件是 $\beta = \alpha$), 螺纹元件横截面内的几何形状就可以唯一地确定下来。以 $N = 2$ 为例, 在已知螺杆半径 R , 中心距 L_c 后, 其形状即如图 3b 所示, 该图形的上下、左右分别关于 X 和 Y 轴对称。

在确定横截面形状后, 为了得到完整的螺纹元件的几何形状, 首先要建立一个直角坐标系 $X - Y -$

$Z - O$, 如图 3 所示。在这个坐标系中, 假想螺纹元件横截面中的几何形状(见图 3b) 是一个厚度为零的盘, 并设其螺纹头数 $N = 2$ 。 把该盘置于 $X - O - Y$ 平面内, 使其形心与坐标原点 O 重合。令该盘在 $X - O - Y$ 平面内以 O 点为旋转中心, 以角速度 ω 作等速旋转, 同时沿 z 轴方向以速度 V 作等速平移。盘上每一个点都在 $X - Y - Z - O$ 坐标系中走过一条螺旋线。则在这一过程中该盘所占有空间的外廓面就是螺纹元件的理论轮廓表面, 如图 3a 所示。该元件的导程 L 是由 V 和 ω 的比值决定的。



a—理论轮廓表面; b—横截面几何形状

图 3 螺纹元件的形成

2 外廓曲线的数学表示

现要求出螺纹元件外廓曲面上任意一点 P_2 (x_2, y_2, z_2) 的数学表达式, 参见图 3。根据前文所述螺纹元件的形成过程, 该点可以看作是由横截面上的一点 $P_1(x_1, y_1)$ 经螺旋运动而得来的, 为此可以得到 $P_2(x_2, y_2, z_2)$ 点的参数方程:

$$x_2(\theta, \omega t) = x_1^2 + y_1^2 \cos(\theta + \omega t) \tag{6}$$

$$y_2(\theta, \omega t) = x_1^2 + y_1^2 \sin(\theta + \omega t) \tag{7}$$

$$z_2(\omega t) = \frac{L}{2\pi} \omega t \tag{8}$$

其中 θ 表示 P_1 点的位置, t 是参变量。式(6) ~ 式(8) 是从工程应用的角度推导出的便于双螺杆几何设计的数学表达式。从这组公式出发, 后续的间隙修正就比较方便。

3 间隙修正

两根螺杆间留有间隙, 是螺杆正常运转的基本条件, 为此在得到螺纹元件理论外廓曲面后还需作间隙修正。间隙修正的方法有多种, 笔者采用较为合理的法向修正方法, 该方法的原理见图 3。在修正前的螺纹元件表面上任取一点 $P_2(x_2, y_2, z_2)$, 作其法线 $\vec{n}$, 令法线正方向向外。从 P_2 点起沿 $\vec{n}$ 的负方向向元件实体内部求得与点 P_2 相距 Δ 的新的一个

点 $P_3(x_3, y_3, z_3)$ 。任取若干个 P_2 点并重复上述步骤,可得到若干个 P_3 点,则所有 P_3 的集合就构成了经过法向修正且修正量为 Δ 的螺纹元件轮廓表面。

从图 3b 可知,圆弧段 a_1 、 a_3 的圆心为 O 点,对它们所在的圆柱面作法向修正当无困难,以下仅对由圆弧段 a_2 所产生的曲面作法向修正的过程作一阐述。首先求 P_2 点处的法向量 $\vec{n}$:

$$\vec{n}(A, B, C) = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{x_2}{\theta} & \frac{y_2}{\theta} & \frac{z_2}{\theta} \\ \frac{x_2}{t} & \frac{y_2}{t} & \frac{z_2}{t} \end{vmatrix} \quad (9)$$

由此可得到 $P_3(x_3, y_3, z_3)$ 点的参数方程:

$$x_3(\theta, \omega) = \frac{A \cdot \Delta}{M} + x_2 \quad (10)$$

$$y_3(\theta, \omega) = \frac{B \cdot \Delta}{M} + y_2 \quad (11)$$

$$z_3(\theta, \omega) = \frac{C \cdot \Delta}{M} + z_2 \quad (12)$$

其中 $M = A^2 + B^2 + C^2$ 。

4 结语

建立了自洁型同向双螺杆的几何数学模型,这一模型简单实用,并考虑了设计中的间隙修正问题,为后续的设计计算软件开发打下了良好的基础。

参考文献

- 1 Booy M L. Geometry of full wiped twin-screw equipment. Polymer Engineering and Science, 1978, 18(12): 973
- 2 北京化工大学, 华南理工大学. 塑料机械设计(第2版). 北京: 中国轻工业出版社, 1995.
- 3 郭奕崇, 王克坚, 刘廷华, 等. 啮合型同向双螺杆挤出机设计中的几个问题. 中国塑料, 1993, 7(4): 60

EXPLORATION ON GEOMETRY DESIGN FOR CO-ROTATING TWIN SCREW AND PRINCIPLES OF CLEARANCE AMENDMENT

Guo Yichong

(Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Ma Yulin

(Shanghai Guoshij Curtain Wall Engineering Co. Ltd., Shanghai 200127, China)

ABSTRACT This paper briefly introduces the geometry design principles of self-wiped co-rotating twin screw in the sight of engineering application. Mathematical expresses for screw elements profiles which can be used for engineering design are derived based on essential relative movement and geometry relationship of the two screws. Clearance amendment issue is discussed and mathematical method for the amendment is proposed. These work provided a basis for the exploitation of design calculation software.

KEYWORDS co-rotating twin-screw, geometry design, clearance amendment

塑料工业继续强劲增长

尽管中国塑料工业在刚刚过去的 2004 年遭受原料大幅涨价的冲击,但发展依然强劲,塑料制品产量增长率达 12%,塑料树脂产量增长达 10.1%,塑料机械产量增长 10.62%。2005 年我国的塑料工业将继续保持这一增长势头。塑料工业的高速增长,除了市场需求旺盛的带动下,也表明我国塑料加工工业在加入世贸组织后积极参与市场竞争,并在激烈的国际化竞争中发展壮大,具备了更强的抗风险能力。去年国内外原料价格一直保持高位,使得中国塑料加工行业经济效益大幅下滑。在此严峻形势下,中国塑料加工行业应加大科技投入和技术创新力度,积极调整产品结构和产业结构,使产业结构向合理化方向发展。(张林)

广州将成高档塑管生产销售中心

世界上最大的塑管研制与生产商德国索恩堡科技公司日前正式入驻广州南沙经济开发区,其独资子公司广州索特塑管科技有限公司在南沙举行了生产基地的奠基典礼。该项目投资总额为 2000 万美元,预计 2005 年 8 月建成投产,

届时广州将成为世界最高水平的高档塑管生产销售中心。该项目首期工程建成投产后,年产值约 970 万美元。建成后的索特塑管公司将采用德国索恩堡的先进技术和科学管理,生产具有世界一流品质的塑料软管产品,主要用于真空吸尘器 and 商用地板养护工业的所有塑料和金属丝加强真空塑管产品。同时该公司还将提供种类众多的吹塑成型有波纹管产品,比如汽车油路气路软管、潜水泵软管、舱底软管,以及织机管道系统等众多领域。(刘群)

去年英国塑料制品增长 4%

英国市场研究公司 MBD 的最新研究报告表示,2004 年英国塑料制品市场比 2003 年增长 4%,达到 245 亿美元。据 MBD 称,2000 年至 2003 年间,英国的塑料制品市场一直处于增长状态,2004 年的市场份额比 2000 年增长了 17%。这主要是受英国建筑工业和塑料包装工业的拉动。MBD 预测,未来 5 年英国塑料制品市场只能增长 5% 左右,到 2009 年这一市场份额达到 255 亿美元。其中塑料建筑产品市场的增长速度最快,将增长 13%,达到 95 亿美元。(新源)