

多边形轮廓P3G的计算及加工

■ 艾默生过程管理（天津）阀门有限公司（301700） 吴文奎 翟晓红 祁荣先

摘要：多边形轮廓P3G能够最大限度地传递转矩，并且不需要破坏连接部分的表面，能够避免应力集中，同时保持良好对中。随着机床和刀具的发展，以及机加工能力的提高，能够完成高质量的多边形轮廓P3G加工。

目前比较常用的轴与毂连接形式为键连接，如单键、双键及花键等。当轴与毂的联接不用键（或花键）时，通称为无键联接。把安装轮毂的那一段轴作成表面光滑的非圆形剖面柱体或非圆形剖面的锥体（见图1），并在轮毂上制成相应的孔。这种轴与毂孔相配合而构成的联接，常称为型面联接，它属于无键联接的一种。非圆形剖面柱体的型面联接只能传递转矩，非圆形剖面锥体的型面联接不但能传递转矩，还能传递单向轴向力。采用型面联接传递转矩时，装拆方便，能保证良好的对中性；联接面上没有键槽及尖角，从而减少了应力集中，故可以传递较大的转矩。但加工比较复杂，特别是为了保证配合精度，最后工序大部分要在专用机床上进行磨削加工，而且被联接件上的挤压应力较高，故目前应用还不广泛。国外部分液压凿岩机上，阀门内部件联接以及金属加工刀具的联接常常采用这种联接。本文重点介绍德国标准DIN32711规定设计的三边形轮廓P3G（见图2）。

1. 三边形轮廓P3G的特性

三边形轮廓P3G用于轴和毂的连接，能够承载转矩，柱体三边形轮廓P3G不能够承载轴向力，锥体三边形轮廓P3G能够承载单向轴向力；具有自定心特性；连接面上没有应力集中源，

减少了应力集中，故可传递较大的转矩；缺点是对轴与毂的加工精度要求较高。

2. 坐标计算

由德国标准DIN32711可知，三边形轮廓P3G上的坐标点（x，y）的计算公式如下：

$$\begin{cases} X = \left(\frac{D_i}{2} + e\right) \cos \alpha - e \cos n\alpha \times \cos \alpha - ne \sin n\alpha \times \sin \alpha \\ Y = \left(\frac{D_i}{2} + e\right) \sin \alpha - e \cos n\alpha \times \sin \alpha - ne \sin n\alpha \times \cos \alpha \end{cases}$$

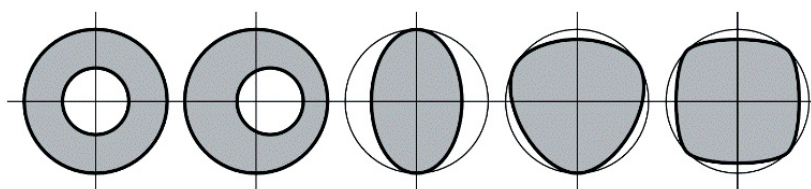


图 1

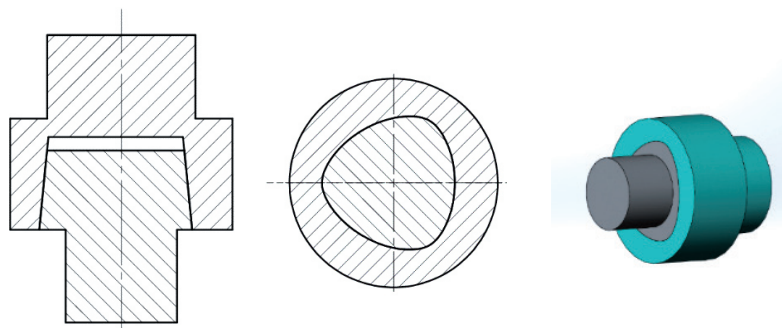


图 2

式中, D_i 为内切圆直径, D_a 为外接圆直径, α 为坐标点 (x, y) 的极角, n 为多边形数量, 如图3所示。在三边形轮廓P3G中, $n=3$, e 为轮廓偏移量, 是标准值, 与多边形磨削机床的设置参数有关, e 值决定了多边形的形状。如果 e 值为0, 多边形即为圆。

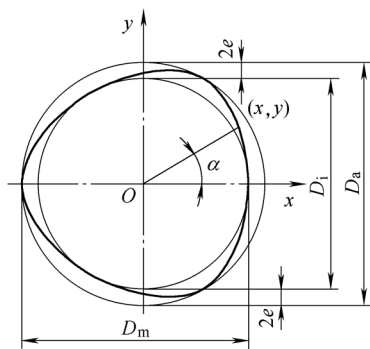


图 3

把 (x, y) 的坐标公式输入到Excel表格, 设定 α 值从0增长到 2π , 便可得到多边形P3G上的坐标点 (x, y) , 把坐标点 (x, y) 导入AutoCAD, 利用样条曲线连接, 即可在CAD上画出多边形P3G。

P3G的轴与毂的常用数据, 如附表所示。

3. 机械性能计算

轴扭转切应力:

$$\tau = T_t / W_p \leq \tau_{\text{perm}}, \text{ 其中}$$

$$W_p = \frac{2J_p}{D_m}$$

轴弯曲应力:

$$\sigma_b = M_b / W_x \leq \sigma_{b \text{ perm}}, \text{ 其中}$$

$$W_x = J_p / D_m$$

轴扭转位移:

$$v = \frac{180^\circ}{\pi} \times \frac{T_t l}{G J_p}, \text{ 其中}$$

P3G的轴与毂的常用数据表

序号	D_m /mm	D_m g6 /mm	D_m H7 /mm	D_a /mm	D_i /mm	e /mm	W_p /cm ³	W_x /cm ³	A /cm ²	$Mass$ / (kg·m ⁻¹)
P3-14	14	-0.006/-0.017	+0.018/0	14.88	13.12	0.44	0.45	0.25	1.51	1.19
P3-18	18	-0.006/-0.017	+0.018/0	19.12	16.88	0.56	0.96	0.53	2.50	1.98
P3-22	22	-0.007/-0.020	+0.021/0	23.40	20.60	0.70	1.75	0.96	3.74	2.95
P3-28	28	-0.007/-0.020	+0.021/0	29.80	26.20	0.90	3.60	1.97	6.05	4.78
P3-32	32	-0.009/-0.025	+0.025/0	34.24	29.76	1.12	5.30	2.91	7.88	6.23
P3-36	36	-0.009/-0.025	+0.025/0	38.50	33.50	1.25	6.90	3.80	9.97	7.88
P3-40	40	-0.009/-0.025	+0.025/0	42.80	37.20	1.40	10.45	5.69	12.31	9.72
P3-45	45	-0.009/-0.025	+0.025/0	48.20	41.80	1.60	14.79	8.08	15.57	12.30
P3-55	55	-0.010/-0.029	+0.030/0	59.00	51.00	2.00	27.00	14.71	23.24	18.36
P3-65	65	-0.010/-0.029	+0.030/0	69.90	60.10	2.45	44.20	24.20	32.39	25.59

$$J_p = \frac{\pi D_m^2}{4} \times \left(\frac{D_m^2}{8} - 3e^2 \right) - 6\pi e^4$$

毂接触应力:

$$p = \frac{T_t}{l \left(0.75\pi D_m e + \frac{D_m^2}{20} \right)}$$

毂的最小壁厚:

$$s = k \sqrt{\frac{T_t}{\sigma_{z \text{ perm}} l}}$$

毂的有效变形量:

$$Y_{\text{eff}} = \frac{T_t}{l} y_1$$

当弹性模量 $E=210\,000\text{N/mm}^2$

时, y_1 按照图4取值。

扭转力矩与P3G尺寸的关

系, 如图5所示, 曲线 I ~ III 分别为稳定载荷, 可变载荷和逆变载荷。

其中, e 是轮廓偏移量 (cm); l 是毂长度 (cm); P 为接触压力 (N/cm^2); Y_{eff} 为毂有效变形量 (μm); y_1 为毂变形特性系数 ($\mu\text{m/N}$); A 为截面积 (cm^2); D_m 为当量圆直径 (cm); G 为切变模量 ($\text{N}\cdot\text{cm}^2$); J_p 为极惯性矩 (cm^4); T_t 为扭转力矩 ($\text{N}\cdot\text{cm}$); W_p 为抗扭截面系数 (cm^3); W_x 为抗压截面系数 (cm^3); $\sigma_{z \text{ perm}}$ 为需用应力 (N/cm^2); τ 为扭转切应力 (N/cm^2); v 为扭转位移 ($^\circ \cdot \text{cm}^{-1}$); 当 $D_m \leq 35$ 时, $K=1.44$,

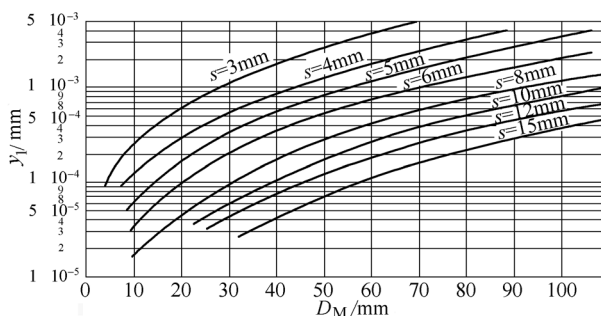


图 4

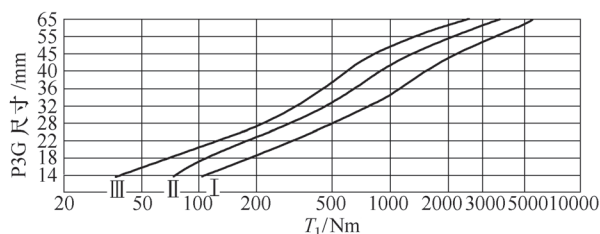


图 5

$D_m \geq 35$ 时, $K=1.2$ 。

4. 三边形轮廓P3G的加工

多边形P3G的轴可以用传统加工方式加工, 比如: 轮廓铣、仿型车或数控磨等。多边形P3G的孔可以通过成形拉刀、电火花加工等, 也可以通过特殊设计的磨床完成加工。下面重点介绍利用成形铣刀加工锥体三边形轮廓P3G。

参数如下: 外接圆直径 $D_a=75.69\text{mm}$; 内切圆直径 $D_i=64\text{mm}$; 当量圆直径 $D_m=69.85 \sim 69.88\text{mm}$; 轮廓偏移量 $e=2.916 \sim 2.921\text{mm}$; 锥度 $(D-d)/$

$L=0.1$; 公差等级, 孔H7, 轴g6。

根据计算公式, 利用Excel计算数据, 导入AutoCAD, 可以画出P3G的轮廓图将P3G.dwg文件导入编程软件Edgecam, 按照锥度定制成型铣刀。编制走刀路径, 生产nc程序, 将nc程序代码导入机床, 即可完成P3G的加工, 如图6所示。



图 6

5. 结语

通过使用Excel, 将计算数据导入CAD/CAM中, 能够顺利完成多边形轮廓P3G的加工。鉴于其联接形式的优点, 以及机加工能力的提高, 我相信P3G的连接形式会越来越广泛的应用在生产中。

参考文献:

- [1] Dufour J L, Fang X D, Wills D J, et al. Cutting tool system, cutting insert, and tool holder; US, US 8454279 B2 [P]. 2013.
- [2] Adolf F, Helmut T, Manfred P. Die Polygon-Normen DIN 32711 und DIN 32712: Upgrading oder Neunormung=The polygon norms DIN 32711 and 32712: Upgrading and new standardization [J]. VDI-Berichte.

MW (收稿日期: 20170325)

(上接第52页)

法兰盘上标识孔的方向相同或相反, Z轴垂直向外, Y轴符合右手法则。

(7) 工具坐标系 (Tool Coordinate System) 安装在末端法兰盘上的工具需要在其中心点 (TCP) 定义一个工具坐标系, 通过坐标系的转换, 可以操作机器人在工具坐标系下运动, 以方便操作。如果工具磨损或更换, 只需重新定义工具坐标系, 而不用更改程序。工具坐标系建立在腕坐标系下, 即两者之间的相对位置和姿态是确定的。

(8) 关节坐标系 (Joint Coordinate System) 用来描述机器人每个独立关节的运动, 关节类型可能不同 (如移动关节、转动关节等)。若将机器人末端移动到期望位置, 在关节坐标系下操作, 可以依次驱动各关节运动, 从而引导机器人末端到达指定的位置。

4. 结语

由于工业机器人品种众多, 每种工业机器人的坐标系也很多, 其命名、确定方式虽然有标准, 但是有的生产厂家又不按标

准执行, 各有各的叫法。在实际生产应用时就显得非常混乱麻烦。本文详细介绍了工业机器人坐标轴命名与常用坐标系的确定, 以期对使用者有所帮助。

参考文献:

- [1] John J. Craig, 负超. 机器人学导论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [2] 杨晓钧, 李兵. 工业机器人技术[M]. 黑龙江: 哈尔滨工业大学出版社, 2015.

MW (收稿日期: 20170310)