



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108000731 B

(45)授权公告日 2019.07.05

(21)申请号 201711139053.1

(22)申请日 2017.11.16

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108000731 A

(43)申请公布日 2018.05.08

(73)专利权人 华侨大学
地址 362000 福建省泉州市丰泽区城东华
侨大学

(72)发明人 邵辉 王磊 胡海琪

(74)专利代理机构 泉州市文华专利代理有限公司
35205

代理人 张浠娟

(51)Int.Cl.

G06T 7/60(2017.01)

B28D 1/22(2006.01)

(56)对比文件

- CN 106881768 A,2017.06.23,
- CN 102540977 A,2012.07.04,
- CN 103862579 A,2014.06.18,
- CN 105929795 A,2016.09.07,
- CN 105563667 A,2016.05.11,
- CN 1993710 A,2007.07.04,
- CN 101367252 A,2009.02.18,
- CN 1317392 A,2001.10.17,
- JP 5476943 B2,2014.04.23,
- CN 1993710 A,2007.07.04,

审查员 禹业晓

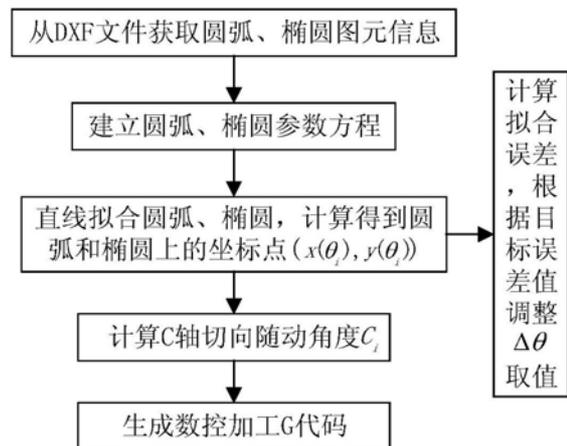
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种圆盘锯切割石材的圆弧和椭圆轮廓的方法

(57)摘要

本发明提供一种圆盘锯切割石材的圆弧和椭圆轮廓的方法,针对圆盘锯切割圆弧和椭圆的问题,根据圆弧和椭圆的参数方程,使用直线拟合法,用一系列小线段逼近圆弧和椭圆,以圆盘锯切割小线段的形式进行圆弧和椭圆轮廓切割,并对拟合误差进行计算分析;使用C#语言编程生成圆盘锯刀路G代码,可直接用于现有的桥式数控机床;在满足板材切割精度的条件下,定性的使用小径圆锯加工大径圆弧和小曲率椭圆。本发明优点是:计算简单、方便,不需要进行机床硬件改动和二次开发,降低成本。



1. 一种圆盘锯切割石材的圆弧和椭圆轮廓的方法,其特征在于,生成G代码供现有桥式数控机床直接进行石材的圆弧和椭圆轮廓的加工,包括:

步骤1、从DXF文件中获取圆弧、椭圆图元信息;具体如下:

从DXF文件中获取圆弧的圆心坐标 $O'(x_c, y_c)$ 、半径 R 、起点角度 θ_s 、终点角度 θ_e ,对于整圆 $\theta_s=0^\circ$ 、 $\theta_e=360^\circ$;

椭圆的中心点坐标 $O'(x_c, y_c)$ 、相对于中心点的长轴端点坐标 $L(x_L, y_L)$ 、短轴与长轴的比例 M 、起点角度 θ_s 、终点角度 θ_e ,对于闭合椭圆 $\theta_s=0^\circ$ 、 $\theta_e=360^\circ$;

步骤2、建立圆弧、椭圆的参数方程;具体如下:

根据步骤1中所得圆弧数据建立圆弧的参数方程

$$\begin{cases} x(\theta) = x_c + R \cos(\theta) \\ y(\theta) = y_c + R \sin(\theta) \end{cases} (\theta_s \leq \theta \leq \theta_e) \quad (1)$$

根据步骤1中所得椭圆数据,计算出椭圆长半轴 $R_L = \sqrt{x_L^2 + y_L^2}$,和椭圆长轴倾斜角 $\alpha = \arctan\left(\frac{y_L}{x_L}\right)$,再由短轴与长轴的比例 $M = \frac{R_S}{R_L}$,计算出椭圆短半轴 $R_S = M \cdot R_L$,建立椭圆参数方程

$$\begin{cases} x(\theta) = x_c + R_L \cos(\theta) \cos \alpha - R_S \sin(\theta) \sin \alpha \\ y(\theta) = y_c + R_L \cos(\theta) \sin \alpha + R_S \sin(\theta) \cos \alpha \end{cases} \quad (2)$$

步骤3、直线拟合圆弧、椭圆,计算得到圆弧和椭圆上的点坐标;具体如下:

根据步骤2中圆弧和椭圆的参数方程,采用直线拟合法, θ_i 从 θ_s 开始到 θ_e 每隔 $\Delta\theta$ 取值,即 $\theta_i = \theta_s + i \cdot \Delta\theta$, $i=0,1,2,\dots$, i 为取值次数,计算得圆弧和椭圆上的点坐标 $(x(\theta_i), y(\theta_i))$,用一系列小线段连接所有点;

步骤4、计算C轴切向随动角度;具体如下:

使用圆盘锯加工曲线,需使圆盘锯的轴向与曲线上每一点的切线方向保持垂直,这就需要C轴旋转一定的角度,称之为C轴切向随动,用小线段拟合曲线之后,圆盘锯的轴向要与每一段小线段保持垂直,根据步骤3中的点坐标计算出加工每一段小线段时C轴切向随动角度 C_i ,计算公式为:

$$C_i = \begin{cases} 90^\circ + \frac{180}{\pi} \cdot \arctan \frac{y(\theta_{i+1}) - y(\theta_i)}{x(\theta_{i+1}) - x(\theta_i)} & (x(\theta_{i+1}) > x(\theta_i)) \\ 180^\circ & (x(\theta_{i+1}) = x(\theta_i), y(\theta_{i+1}) > y(\theta_i)) \\ 270^\circ + \frac{180}{\pi} \cdot \arctan \frac{y(\theta_{i+1}) - y(\theta_i)}{x(\theta_{i+1}) - x(\theta_i)} & (x(\theta_{i+1}) < x(\theta_i)) \\ 360^\circ & (x(\theta_{i+1}) = x(\theta_i), y(\theta_{i+1}) < y(\theta_i)) \end{cases} \quad (3)$$

步骤5、根据FANUC系统的G代码格式并使用C#语言编程,将步骤3中所得点坐标 $(x(\theta_i), y(\theta_i))$ 和步骤4中所得C轴的切向随动角度 C_i 用相应的代码重构,再加上进刀退刀数据和其他辅助代码,生成完整的数控程序G代码并加载;

步骤6、计算拟合误差,根据目标误差值调整 $\Delta \theta$ 取值;具体如下:

直线拟合圆弧和椭圆的拟合误差为弓高误差,由于椭圆在长轴端点处的曲率最大,可知在此处的弓高误差最大,故用此处的弓高误差作为椭圆拟合误差,圆弧拟合误差计算公式为:

$$e = |CD| = R \left(1 - \sqrt{1 - \sin \frac{\Delta \theta}{2}} \right) \quad (4)$$

椭圆拟合误差计算公式为:

$$e = |CD| = \frac{\left| (y(0) - y(\Delta \theta)) x(\frac{1}{2} \Delta \theta) + (x(\Delta \theta) - x(0)) y(\frac{1}{2} \Delta \theta) + x(0) y(\Delta \theta) - x(\Delta \theta) y(0) \right|}{\sqrt{(y(0) - y(\Delta \theta))^2 + (x(\Delta \theta) - x(0))^2}} \quad (5)$$

由误差计算公式(4)和(5)知,圆弧半径R和椭圆方程一定时, $\Delta \theta$ 取值越小则拟合误差e越小,根据目标误差的值调整 $\Delta \theta$ 取值。

一种圆盘锯切割石材的圆弧和椭圆轮廓的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种圆盘锯切割石材的圆弧和椭圆轮廓的方法,尤其是使用小径圆锯切割大径圆弧和小曲率椭圆的石材薄板的方法。

背景技术

[0002] 随着城市化的加快和人民生活水平的提高,城市基础设施建设、住宅建设、园林建设等,对石材产品的需求逐渐增加,如厨房和卫生间台面板、石桌等。这些产品的特点都是薄板且具有圆弧或曲线轮廓。能用于加工这类产品的刀具有圆盘锯、带锯、串珠锯等,而圆盘锯在石材切割加工中使用最为广泛且具有高效、低成本等优势。

[0003] 使用圆盘锯切割曲线轮廓国内已有了初步研究,Wu X F等在学术期刊《Key Engineering Materials》(2013,579-580:289-294)上发表的论文“Design and Implementation of the Circular Saw CNC Machining of the Stone Bridge Cutting Machine”中,采用PC+运动控制卡结构,调用GTS(固高运动控制卡)的GT BufGear0函数来实现圆弧切割,此功能只针对圆弧切割且需要对机床进行硬件改动,不足之处是加工范围窄、成本高;邹志光等在学术期刊《机电技术》(2014(6):44-46)上发表的论文“基于DXF文件的石材桥切机自动编程方法”中,引进美国的ServoWorks CNC软件开放式的数字运动控制技术,采用PC直接到伺服驱动器的结构,并进行二次开发后可以实现圆弧切割,此方法仍需对机床进行硬件改动,不足之处是开发周期长、成本高。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种圆盘锯切割石材的圆弧和椭圆轮廓的方法,以供现有桥式数控机床直接进行石材的圆弧和椭圆轮廓的加工,扩大加工范围,降低开发成本,无需机床硬件改动。

[0005] 本发明一种圆盘锯切割石材的圆弧和椭圆轮廓的方法,生成G代码供现有桥式数控机床直接进行石材的圆弧和椭圆轮廓的加工,包括:

[0006] 步骤1、从DXF文件中获取圆弧、椭圆图元信息;

[0007] 步骤2、建立圆弧、椭圆的参数方程;

[0008] 步骤3、直线拟合圆弧、椭圆,计算得到圆弧和椭圆上的点坐标;

[0009] 步骤4、计算C轴切向随动角度;

[0010] 步骤5、将步骤3中所得点坐标和步骤4中所得C轴的切向随动角度用相应的代码重构,再加上进刀退刀数据和其他辅助代码,生成完整的数控程序G代码并加载;

[0011] 步骤6、计算拟合误差,根据目标误差值调整 $\Delta\theta$ 取值。

[0012] 具体包括如下步骤:

[0013] 步骤1、从DXF文件中获取圆弧、椭圆图元信息

[0014] 从DXF文件中获取圆弧的圆心坐标 $O'(x_c, y_c)$ 、半径 R 、起点角度 θ_s 、终点角度 θ_E ,对于整圆 $\theta_s=0^\circ$ 、 $\theta_E=360^\circ$;

[0015] 椭圆的中心点坐标 $O'(x_c, y_c)$ 、相对于中心点的长轴端点坐标 $L(x_L, y_L)$ 、短轴与长轴的比例 M 、起点角度 θ_S 、终点角度 θ_E ，对于闭合椭圆 $\theta_S=0^\circ$ 、 $\theta_E=360^\circ$ ；

[0016] 步骤2、建立圆弧、椭圆的参数方程

[0017] 根据步骤1中所得圆弧数据建立圆弧的参数方程

$$[0018] \quad \begin{cases} x(\theta) = x_c + R \cos(\theta) \\ y(\theta) = y_c + R \sin(\theta) \end{cases} \quad (\theta_S \leq \theta \leq \theta_E) \quad (1)$$

[0019] 根据步骤1中所得椭圆数据，计算出椭圆长半轴 $R_L = \sqrt{x_L^2 + y_L^2}$ ，和椭圆长轴倾斜

角 $\alpha = \arctan\left(\frac{y_L}{x_L}\right)$ ，再由短轴与长轴的比例 $M = \frac{R_S}{R_L}$ ，计算出椭圆短半轴 $R_S = M \cdot R_L$ ，建

立椭圆参数方程

$$[0020] \quad \begin{cases} x(\theta) = x_c + R_L \cos(\theta) \cos \alpha - R_S \sin(\theta) \sin \alpha \\ y(\theta) = y_c + R_L \cos(\theta) \sin \alpha + R_S \sin(\theta) \cos \alpha \end{cases} \quad (2)$$

[0021] 步骤3、直线拟合圆弧、椭圆，计算得到圆弧和椭圆上的点坐标

[0022] 根据步骤2中圆弧和椭圆的参数方程，采用直线拟合法， θ_i 从 θ_S 开始到 θ_E 每隔 $\Delta \theta$ 取值，即 $\theta_i = \theta_S + i \cdot \Delta \theta$ ， $i=0, 1, 2, \dots$ ， i 为取值次数，计算得圆弧和椭圆上的点坐标 $(x(\theta_i), y(\theta_i))$ ，用一系列小线段连接所有点；

[0023] 步骤4、计算C轴切向随动角度

[0024] 使用圆盘锯加工曲线，需使圆盘锯的轴向与曲线上每一点的切线方向保持垂直，这就需要C轴旋转一定的角度，称之为C轴切向随动，用小线段拟合曲线之后，圆盘锯的轴向要与每一段小线段保持垂直，根据步骤3中的点坐标计算出加工每一段小线段时C轴切向随动角度 C_i ，计算公式为：

$$[0025] \quad C_i = \begin{cases} 90^\circ + \frac{180}{\pi} \cdot \arctan \frac{y(\theta_{i+1}) - y(\theta_i)}{x(\theta_{i+1}) - x(\theta_i)} & (x(\theta_{i+1}) > x(\theta_i)) \\ 180^\circ & (x(\theta_{i+1}) = x(\theta_i), y(\theta_{i+1}) > y(\theta_i)) \\ 270^\circ + \frac{180}{\pi} \cdot \arctan \frac{y(\theta_{i+1}) - y(\theta_i)}{x(\theta_{i+1}) - x(\theta_i)} & (x(\theta_{i+1}) < x(\theta_i)) \\ 360^\circ & (x(\theta_{i+1}) = x(\theta_i), y(\theta_{i+1}) < y(\theta_i)) \end{cases} \quad (3)$$

[0026] 步骤5、生成数控程序G代码

[0027] 根据FANUC系统的G代码格式并使用C#语言编程，将步骤3中所得点坐标 $(x(\theta_i), y(\theta_i))$ 和步骤4中所得C轴的切向随动角度 C_i 用相应的代码重构，再加上进刀退刀数据和其他辅助代码，生成完整的数控程序G代码并加载；

[0028] 步骤6、计算拟合误差，根据目标误差值调整 $\Delta \theta$ 取值

[0029] 直线拟合圆弧和椭圆的拟合误差为弓高误差，由于椭圆在长轴端点处的曲率最大，可知在此处的弓高误差最大，故用此处的弓高误差作为椭圆拟合误差，圆弧拟合误差计算公式为：

$$[0030] \quad e = |CD| = R \left(1 - \sqrt{1 - \sin \frac{\Delta\theta}{2}} \right) \quad (4)$$

[0031] 椭圆拟合误差计算公式为：

$$[0032] \quad e = |CD| = \frac{\left| \left(y(0) - y(\Delta\theta) \right) x\left(\frac{1}{2}\Delta\theta\right) + \left(x(\Delta\theta) - x(0) \right) y\left(\frac{1}{2}\Delta\theta\right) + x(0)y(\Delta\theta) - x(\Delta\theta)y(0) \right|}{\sqrt{\left(y(0) - y(\Delta\theta) \right)^2 + \left(x(\Delta\theta) - x(0) \right)^2}} \quad (5)$$

[0033] 由误差计算公式(4)和(5)知,圆弧半径R和椭圆方程一定时, $\Delta\theta$ 取值越小则拟合误差e越小,根据目标误差的值调整 $\Delta\theta$ 取值。

[0034] 本发明与现有方法相比,其优点是:

[0035] 1、根据圆弧和椭圆的参数方程,采用直线拟合法,用一系列小线段逼近圆弧和椭圆,计算简单、方便。

[0036] 2、生成的G代码可直接用于现有桥式数控机床,不必进行机床硬件改动和二次开发,降低成本。

附图说明

[0037] 图1是本发明的处理流程图;

[0038] 图2是本发明中直线拟合圆弧示意图;

[0039] 图3是本发明中直线拟合椭圆示意图;

[0040] 图4是本发明中C轴切向随动示意图;

[0041] 图5是本发明中圆弧拟合误差示意图;

[0042] 图6是本发明中椭圆拟合误差示意图。

[0043] 下面结合附图和具体实施例对本发明做进一步详细描述。

具体实施方式

[0044] 如图1所示,本发明一种圆盘锯切割石材的圆弧和椭圆轮廓的方法,以供现有桥式数控机床直接进行石材的圆弧和椭圆轮廓的加工,包括如下步骤:

[0045] 步骤1、从DXF文件中获取圆弧、椭圆图元信息

[0046] 从DXF文件中获取圆弧的圆心坐标 $O'(x_c, y_c)$ 、半径R、起点角度 θ_s 、终点角度 θ_E ,对于整圆 $\theta_s = 0^\circ$ 、 $\theta_E = 360^\circ$,如图2所示;

[0047] 椭圆的中心点坐标 $O'(x_c, y_c)$ 、相对于中心点的长轴端点坐标 $L(x_L, y_L)$ 、短轴与长轴的比例M、起点角度 θ_s 、终点角度 θ_E ,对于闭合椭圆 $\theta_s = 0^\circ$ 、 $\theta_E = 360^\circ$,如图3所示;

[0048] 步骤2、建立圆弧、椭圆的参数方程

[0049] 根据步骤1中所得圆弧数据建立圆弧的参数方程

$$[0050] \quad \begin{cases} x(\theta) = x_c + R \cos(\theta) \\ y(\theta) = y_c + R \sin(\theta) \end{cases} \quad (\theta_s \leq \theta \leq \theta_E) \quad (1)$$

[0051] 根据步骤1中所得椭圆数据,计算出椭圆长半轴 $R_L = \sqrt{x_L^2 + y_L^2}$,和椭圆长轴倾斜

角 $\alpha = \arctan\left(\frac{y_L}{x_L}\right)$, 再由短轴与长轴的比例 $M = \frac{R_S}{R_L}$, 计算出椭圆短半轴 $R_S = M \cdot R_L$, 建立椭圆参数方程

$$[0052] \quad \begin{cases} x(\theta) = x_C + R_L \cos(\theta) \cos \alpha - R_S \sin(\theta) \sin \alpha \\ y(\theta) = y_C + R_L \cos(\theta) \sin \alpha + R_S \sin(\theta) \cos \alpha \end{cases} \quad (2)$$

[0053] 步骤3、直线拟合圆弧、椭圆, 计算得到圆弧和椭圆上的点坐标

[0054] 根据步骤2中圆弧和椭圆的参数方程, 采用直线拟合法, θ_i 从 θ_S 开始到 θ_E 每隔 $\Delta \theta$ 取值, 即 $\theta_i = \theta_S + i \cdot \Delta \theta$, $i = 0, 1, 2, \dots$, i 为取值次数, 计算得圆弧和椭圆上的点坐标 $(x(\theta_i), y(\theta_i))$;

[0055] 步骤4、计算C轴切向随动角度

[0056] 使用圆盘锯加工曲线, 需使圆盘锯的轴向与曲线上每一点的切线方向保持垂直, 这就需要C轴旋转一定的角度, 本发明称之为C轴切向随动, 用小线段拟合曲线之后, 圆盘锯的轴向要与每一段小线段保持垂直, 如图4所示; 根据步骤3中的点坐标计算出加工每一段小线段时C轴切向随动角度 C_i , 计算公式为:

$$[0057] \quad C_i = \begin{cases} 90^\circ + \frac{180}{\pi} \cdot \arctan \frac{y(\theta_{i+1}) - y(\theta_i)}{x(\theta_{i+1}) - x(\theta_i)} & (x(\theta_{i+1}) > x(\theta_i)) \\ 180^\circ & (x(\theta_{i+1}) = x(\theta_i), y(\theta_{i+1}) > y(\theta_i)) \\ 270^\circ + \frac{180}{\pi} \cdot \arctan \frac{y(\theta_{i+1}) - y(\theta_i)}{x(\theta_{i+1}) - x(\theta_i)} & (x(\theta_{i+1}) < x(\theta_i)) \\ 360^\circ & (x(\theta_{i+1}) = x(\theta_i), y(\theta_{i+1}) < y(\theta_i)) \end{cases} \quad (3)$$

[0058] 步骤5、生成数控程序G代码

[0059] 根据FANUC系统的G代码格式并使用C#语言编程, 将步骤3中所得点坐标 $(x(\theta_i), y(\theta_i))$ 和步骤4中所得C轴的切向随动角度 C_i 用相应的代码重构, 再加上进刀退刀数据和其他辅助代码, 写出完整的数控程序G代码;

[0060] 步骤6、拟合误差计算, 根据目标误差的值调整 $\Delta \theta$ 取值

[0061] 直线拟合圆弧和椭圆的拟合误差为弓高误差, 由于椭圆在长轴端点处的曲率最大, 可知在此处的弓高误差最大, 故用此处的弓高误差作为椭圆拟合误差:

[0062] 图5中, $\Delta \theta$ 角对应于圆弧 \widehat{AB} , OD是 $\angle AOB$ 的角平分线, 线段AB拟合圆弧的误差为弓高误差 $|CD|$, 由几何关系, 误差计算公式为:

$$[0063] \quad e = |CD| = R \left(1 - \sqrt{1 - \sin \frac{\Delta \theta}{2}} \right) \quad (4)$$

[0064] 图6中, 第 i ($i = 0, 1, 2 \dots$) 个线段的起点为A $(x(\theta_i), y(\theta_i))$, 终点为B $(x(\theta_{i+1}), y(\theta_{i+1}))$, 则直线AB的方程为:

$$[0065] \quad (y(\theta_i) - y(\theta_{i+1}))x + (x(\theta_{i+1}) - x(\theta_i))y + x(\theta_i)y(\theta_{i+1}) - x(\theta_{i+1})y(\theta_i) = 0$$

[0066] 本发明用图5中的 $|CD|$ 来近似最大误差, 其中点C $(x(\theta_{i+1/2}), y(\theta_{i+1/2}))$ 是 $\angle AOB$ 的

角平分线与椭圆的交点, $|CD|$ 为点C到线段AB的距离。由于椭圆在长轴端点处的曲率最大, 可知在此处的弓高误差最大, 因此取 $\theta_s=0$ 、 $k=0$, 误差计算公式为:

$$[0067] \quad e=|CD| = \frac{\left| \left(y(0)-y(\Delta\theta) \right) x\left(\frac{1}{2}\Delta\theta\right) + \left(x(\Delta\theta)-x(0) \right) y\left(\frac{1}{2}\Delta\theta\right) + x(0)y(\Delta\theta) - x(\Delta\theta)y(0) \right|}{\sqrt{\left(y(0)-y(\Delta\theta) \right)^2 + \left(x(\Delta\theta)-x(0) \right)^2}} \quad (5)$$

[0068] 由误差计算公式(4)和(5)知, 圆弧半径R和椭圆方程一定时, $\Delta\theta$ 取值越小则拟合误差e越小, 可根据目标误差的值调整 $\Delta\theta$ 取值。

[0069] 下面对本发明做进一步说明:

[0070] 使用VeriCut软件搭建四轴机床, 控制系统文件使用“fan0m.ct1”文件, 加载步骤5中生成的数控程序(G代码); 仿真中圆盘锯的半径为150mm, 板材(毛坯)厚度为15mm, 圆的半径 $R=800\text{mm}$ 、 $\Delta\theta=0.05^\circ$, 由公式(4)计算得圆的拟合误差 $e=0.175\text{mm}$; 椭圆的中心点坐标 $O'(100, 100)$ 、长轴 $R_L=800\text{mm}$ 、短轴 $R_S=650\text{mm}$ 、倾斜角 $\alpha=135^\circ$ 、 $\Delta\theta=0.05^\circ$, 由参数方程(2)和公式(5)计算得椭圆的最大拟合误差 $e=0.243\text{mm}$; 若要拟合误差更小只需调整 $\Delta\theta$ 取更小的值。

[0071] 由仿真结果及误差计算可见, 利用生成的G代码, 使用小径圆盘锯可以切割出大径圆和小曲率椭圆轮廓, 并且切割过程中C轴能够跟随刀具的切向而转动; $\Delta\theta$ 取更小的值可以满足更高的的机床精度要求。

[0072] 以上所述, 仅是本发明较佳实施例而已, 并非对本发明的技术范围作任何限制, 故凡是依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何细微修改、等同变化与修饰, 均仍属于本发明技术方案的范围。

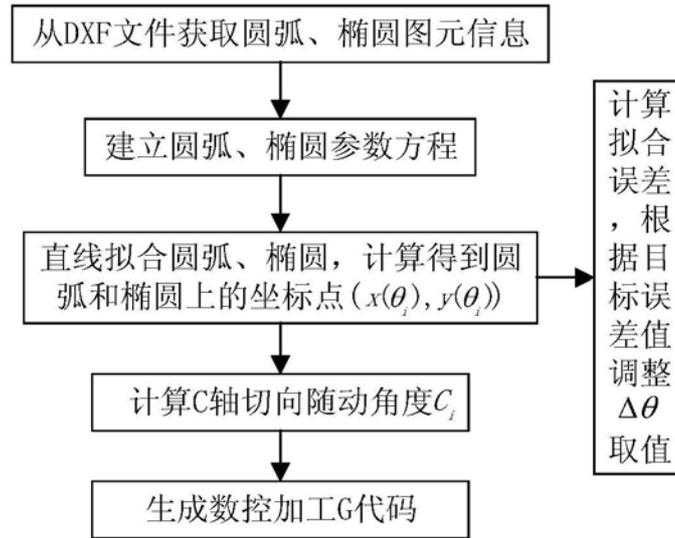


图1

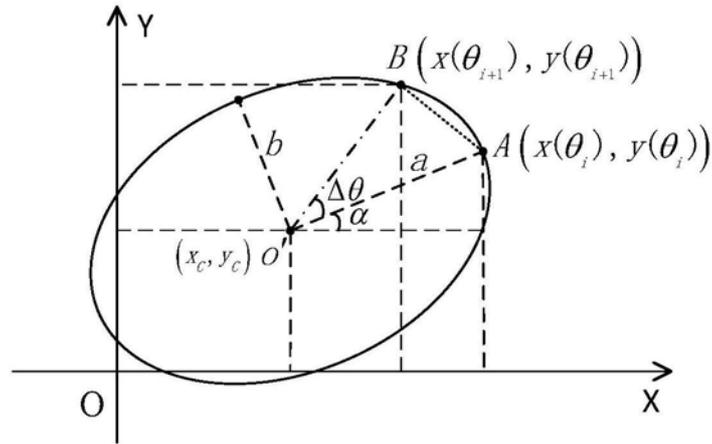


图2

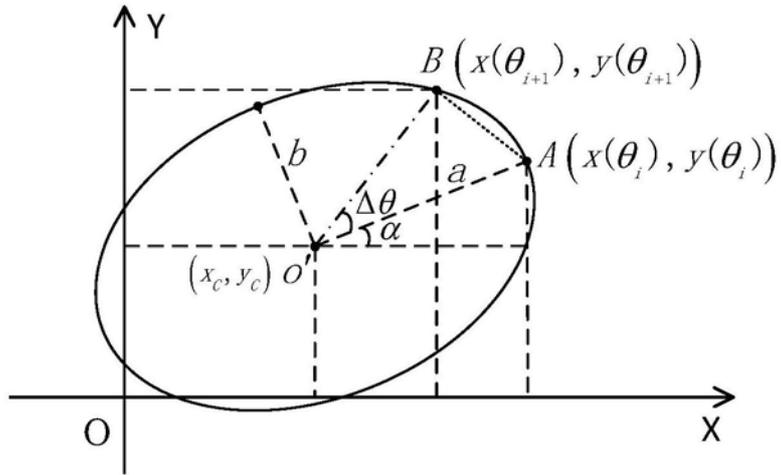


图3

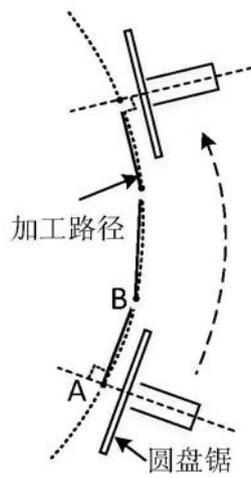


图4

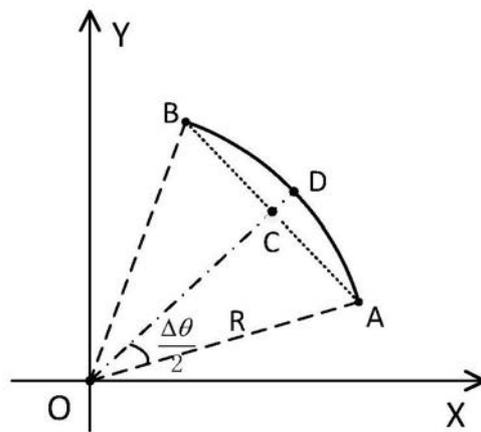


图5

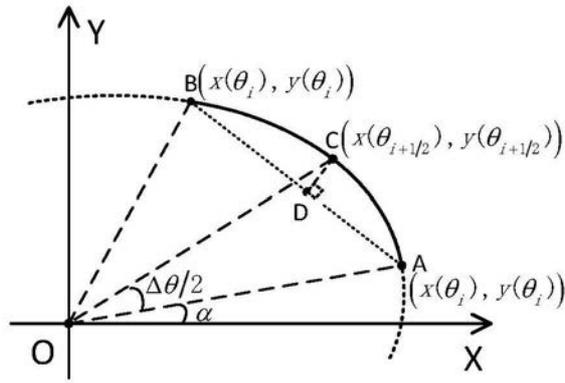


图6