

六辊二维滚圆机的自动控制系统 DXF 文件解析算法研究

焦 洋¹ 周欣忆¹ 袁 艾¹ 王 欣¹
JIAO Yang ZHOU Xinyi YUAN Ai WANG Xin

摘 要

滚圆机作为一种先进的金属型材成型设备,需完成精确的弧形管材加工工艺。为提高加工效率及加工精度,需开发一种 DXF 文件数据解析算法。基于 DXF 文件数据组成格式,调用 dxflib 开源库,开发了六辊二维滚圆机的自动控制系统 DXF 文件解析算法。在机床加工能力范围内,对二维平面图形(包含直线,圆弧,椭圆弧多轨迹连接图形)的 DXF 文件进行数据解析,获得所需图元信息。采用 SolidWorks 机械图纸验证该算法解析 DXF 文件图元信息的准确性,得到解析结果绝对误差不大于 0.1,相对误差不大于 5%,符合六辊二维滚圆机的自动控制系统 DXF 文件解析算法研究的设计要求。

关键词

滚圆机; DXF 文件; 数据解析算法; dxflib

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.11.025

0 引言

近年来,随着制造业自动化的快速发展,金属型材滚圆加工成型技术需求日益增高^[1]。滚圆机作为金属型材加工的重要设备,所加工的型材应用于建筑、航空、汽车制造等多个领域。然而随着滚圆机机床加工需求量增大,加工图形自主性增强,加工精度要求增高,传统手动输入参数控制加工的方式不再能满足要求。因此,面对这一趋势,设计开发一个使用方便、数据解析快速准确的滚圆机自动控制系统 DXF 文件数据解析算法来提高滚圆机加工效率是十分重要的。

本研究旨在深入了解 DXF 文件数据信息构成形式的基础上,通过调用 dxflib 开源库,进行滚圆机加工 DXF 文件解析算法的开发与实现。进行多次实验,算法解析结果与 SolidWorks 机械图纸对照验证,优化完善算法。基于六辊二维滚圆机生产所需数据精度,绝对误差应不大于 0.1,相对误差应不大于 5%。为滚圆机的加工提供准确的加工数据文件,帮助其提高产能,提高精度,降低成本,推动滚圆机自动化发展。

1 国内外研究现状

国内研究现状:随着国内制造业升级和技术进步,滚圆加工的数据算法研究正逐渐深化。许多高校和科研机构已将 CAD/CAM 技术应用于产品设计和制造中的各项活动^[2],通过 CAD 软件生成工件模型,并转化为适合滚床使用的数控程序。关于 DXF 文件数据解析算法的研究主要致力于开发高

效、准确的算法,进行读取框架设计以解析 DXF 文件中的几何图形、文本、层次结构等数据信息^[3]。

国外研究现状:当前,新一轮科技革命和产业变革正在重构全球创新版图、重塑全球经济结构^[4]。国外在滚圆加工自动控制方面相对较早发展,技术更为成熟。在基于 CAD 软件的大量广泛应用下,研究基于机器学习和人工智能的 DXF 文件解析方法,试图通过模式识别和自动分析来提高解析的效率和精度。研究聚焦于如何处理 DXF 文件中的复杂结构和图元数据,以提升解析效率和准确性^[5]。

2 DXF 文件数据解析算法的需求分析

2.1 滚圆加工图形多样化需求

随着制造业发展,经滚圆加工的金属弧形型材应用广泛,加工图形多样性提高。不同于传统规则图形加工标准,手动输入参数,控制设备进行滚圆加工的方式无法满足于特殊不规则图形的加工需求。需开发一种解析 DXF 文件,生成加工信息的算法,用于加工特殊图形,并提高加工效率。

2.2 滚圆加工精度需求

随着滚圆加工的金属弧形型材应用情境增多,滚圆机加工精度要求增高^[6]。传统依据加工实况,手动输入参数调节机床加工的方式具有较大误差,存在人为因素影响大,准确性低,加工一致性不足的问题^[7]。需开发解析 DXF 文件算法,可通过计算机解析直接提取图元数据信息,用于代入实际机床数控系统生成精确加工文件,满足加工精度要求。本文所研究的基于六辊二维滚圆机生产所需数据精度要求:绝对误差应不大于 0.1,相对误差应不大于 5%。

1. 常州大学机器人产业学院、中以科创学院 江苏常州 213164

2.3 生产效率需求

随着自动化技术的不断发展,其高速、低成本的特点优于传统制造。基于滚圆机加工情况,计算机对与 DXF 图纸的解析效率远高于人力,且成本低廉。在滚圆机床加工的实际应用中,一种 DXF 文件解析算法可有效推进其自动化发展,提高生产效率。

3 DXF 文件数据解析算法总体架构设计

本文对日常加工高频率使用的图形信息导入方式 DXF 文件进行研究。基于六辊二维滚圆机,完成滚圆机自动控制系统 DXF 文件数据解析的算法设计,对解析目标进行精确提取,冗余数据进行排除,使更快速高效地完成图形信息的采集,从而进行后续数据处理及加工控制。

DXF 数据接口流程图如图 1 所示,进行滚圆加工时,启动滚圆机自动控制系统,选择 DXF 文件导入图形,进入 DXF 解析模块。打开 DXF 文件,调用相应的接口程序来读取组代码和组值,对读取组数据进行分析,判断非结尾或错误的情况下,进行段名识别。基于六辊二维滚圆机加工数据需求,主要对 entities 段进行图元数据提取。存储提取数据用作后续数据处理。关闭文件,结束 DXF 数据解析程序。

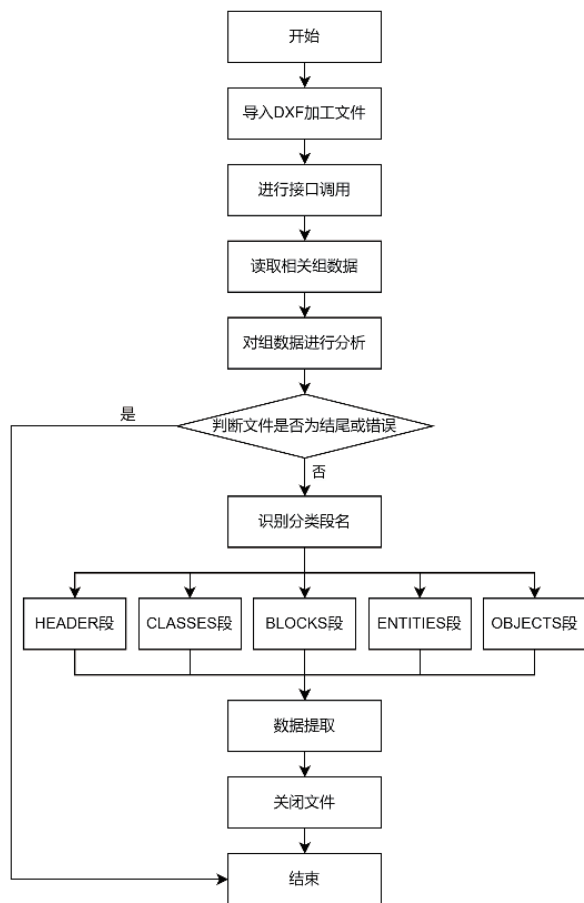


图 1 DXF 数据接口流程图

4 DXF 文件

单个 DXF 文件包含多个段,主要有: HEADER 段(包含图形基本信息)、CLASSES 段(包含由应用程序来定义的类型信息)、BLOCKS 段(包含图形中给一个块所参照的块定义以及图元信息)、ENTITIES 段(包含图形的相关数据具体信息)、OBJECTS 段(包含图形的非图形对象信息)。

DXF 文件其中的数据由多个二行组构成,每个组包含两行,第一行为组的代码(组代码指的是数据类型的代码),第二行为组值(组值指的是具体的数值)^[8]。二行组以此结合起来表示一个数据,包含值的含义和值的信息。

本文根据六辊二维滚圆机加工需求,对 DXF 图形文件绘制进行规范: DXF 图形文件绘制须有连续的轨迹信息,包含单或多条非重合轨迹组合连接,各轨迹为一个图元(可为直线段、圆、椭圆、圆弧或椭圆弧);基于六辊二维滚圆机加工设计条件,DXF 文件内图形为二维图形,相对 Z 轴数据参数均为 0。

5 dxfliib 开源库

DXF 文件作为一种被广泛使用的绘图文件格式,其包含了大量的信息数据,整体文件的内容十分复杂。dxfliib 库是一个开源的,基于 DXF 文件的读写库。运用 dxfliib 库可以对 DXF 文件内容进行读写操作,从而使得能简易地对 DXF 文件进行修改、理解等。dxfliib 库完全基于 C 或 C++ 标准库实现,不依赖与其它任何库^[9]。拥有可读性高、可移植性强、操作简单、简化文件读写的优点。帮助开发人员在开发与 DXF 图形文件的相关的系统时,可以方便地嵌入使用。

在滚圆机自动控制系统开发中,需对加工图纸,即 DXF 文件进行数据解析。运用开源的 dxfliib 库,对部分目标 DXF 信息进行获取。打开文件,将文件部分信息以结构体指针变量的形式来保存到内存。由 DL_CreationInterface 或 DL_CreationAdapter 派生,自定义函数来添加,存储实体数据等信息,再将自定义类的数据进行传递处理^[10]。由此获得的图元数据可用于数据加工,转换为机床加工所需要的参数文件。

6 ENTITIES 段图元解析

ENTITIES 段具体包含内容有:实体类型、位置信息、图层信息、颜色、线型、厚度、文本内容、插入点、3D 信息、附加信息。ENTITIES 段图元数据内容包含线段(LINE)、圆弧(ARC)、圆(CIRCLE)、多段线(LWPOLYLINE)、多边形(POLYLINE)、椭圆(ELLIPSE)、文本(TEXT)、面(3DFACE)、轴对齐矩形(RECTANGLE)、图片(IMAGE)、SPLINE 曲线(SPLINE)、点(POINT)、复合实体(INSERT)、3D 多段线(3DPOLY)、轮廓(TRACE)等数据。

基于六辊二维滚圆机加工限制要求及数据需求，滚圆机自动控制系统仅需对其中线段（LINE）、圆（CIRCLE）、圆弧（ARC）、椭圆（ELLIPSE）进行详细数据解析。如图2为ENTITIES段图元信息提取流程图。定位ENTITIES条目，按组检索数据，非ENDSEC（ENTITIES段结束标志），对检索结果进行图元类型判断，按相应规则进行数据提取、储存，以便使用后续计算，得到加工数据。

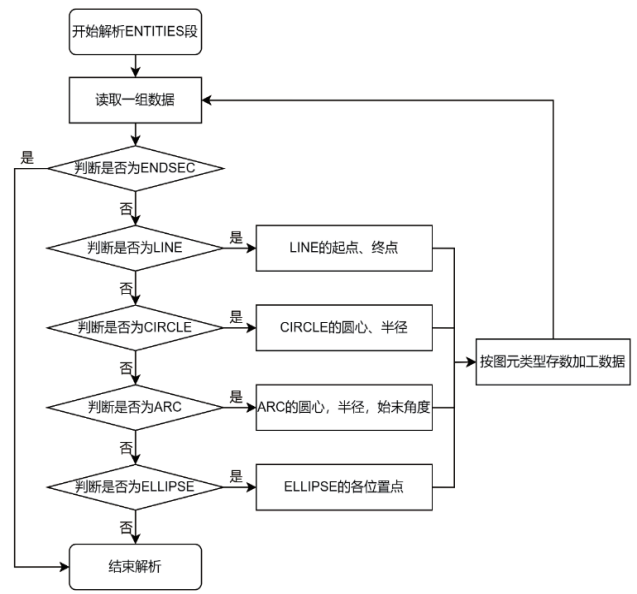


图2 ENTITIES段图元信息提取流程图

7 图元组代码及组值

7.1 线段的图元信息提取

基于六辊二维滚圆机对线段（LINE）进行信息提取，图元信息组码及组值如表1所示。由于滚圆机仅加工二维图形，则在编程时不对组码为30的起点Z值和31的端点Z值进行读取保存。最终得到线段（LINE）的二维起点、端点坐标数据信息，用于计算生成滚圆机加工数据文档。

表1 线段（LINE）图元信息表

组码	说明
10	起点（在WCS中）；DXF：X值；APP：三维点
20,30	DXF：起点的Y值和Z值（在WCS中）
11	端点（在WCS中）；DXF：X值；APP：三维点
21,31	DXF：端点的Y值和Z值（在WCS中）

7.2 圆的图元信息提取

基于六辊二维滚圆机对圆（CIRCLE）进行信息提取，图元信息组码及组值如表2所示。由于滚圆机仅加工二维图形，则在编程时不对组码为30的中心点Z值进行读取保存。最终得到圆（CIRCLE）的二维中心点坐标、半径数据信息，用于计算生成滚圆机加工数据文档。

表2 圆（CIRCLE）图元信息表

组码	说明
10	中心点（在OCS中）；DXF：X值；APP：三维点
20,30	DXF：中心点的Y值和Z值（在OCS中）
40	半径

7.3 圆弧的图元信息提取

基于六辊二维滚圆机对圆弧（ARC）进行信息提取，图元信息组码及组值如表3所示。由于滚圆机仅加工二维图形，则在编程时不对组码为30的中心点Z值进行读取保存。最终得到圆弧（ARC）的二维中心点坐标、中心点坐标、圆弧半径、起点角度、端点角度数据信息，用于计算生成滚圆机加工数据文档。

表3 圆弧（ARC）图元信息表

组码	说明
10	起点（在OCS中）；DXF：X值；APP：三维点
20,30	DXF：中心点的Y值和Z值（在OCS中）
40	半径
50	起点角度
51	端点角度

7.4 椭圆的图元信息提取

基于六辊二维滚圆机对椭圆（ELLIPSE）进行信息提取，图元信息组码及组值如表4所示。由于滚圆机仅加工二维图形，则在编程时不对组码为30的中心点Z值，组码为31的相对于中心点的长轴端点的Z值进行读取保存。最终得到椭圆（ELLIPSE）的二维中心点坐标、相对于中心点的长轴端点坐标，短轴与长轴比例、起点角度、端点角度数据信息，用于计算生成滚圆机加工数据文档。

表4 椭圆（ELLIPSE）图元信息表

组码	说明
10	起点（在WCS中）；DXF：X值；APP：三维点
20,30	DX：中心点的Y值和Z值（在WCS中）
11	相对于中心的长轴端点（在WCS中）；DXF：X值；APP：三维点
21,31	DXF：相对于中心的长轴端点的Y值和Z值（在WCS中）
40	短轴与长轴的比例
41	起点参数（对于闭合椭圆，该值为0.0）
42	端点参数（对于闭合椭圆，该值为2 pi）

8 系统实现

以椭圆弧（ELLIPSE）、直线（LINE）组合图形DXF文件数据解析为例。基于六辊二维滚圆机加工限制，绘段二维加工图纸。如图3所示为椭圆弧（ELLIPSE）、直线（LINE）多轨迹组合图形，实线部分为所需解析的目标几何图形，包含四段椭圆弧（截取自长轴a=130 mm，短轴b=100 mm，与

水平线倾斜 45° 角的完整椭圆, 将椭圆每一象限三等分, 取其中 30° 至 90° 的弧段), 4 条直线段, 首尾连接为封闭图形。

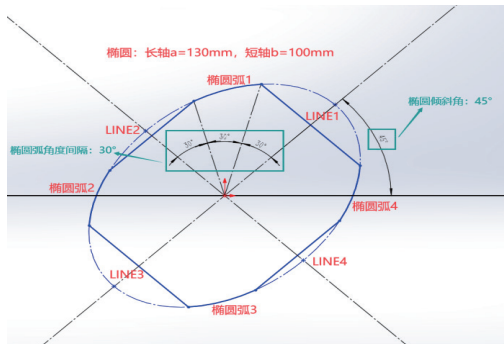


图3 待解析组合图形 SolidWorks 图纸

生成 DXF 文件, 如图 4 所示。在滚圆机自动控制系统中导入此文件, 打开 DXF 文件并对其中的二维几何图形进行数据解析。

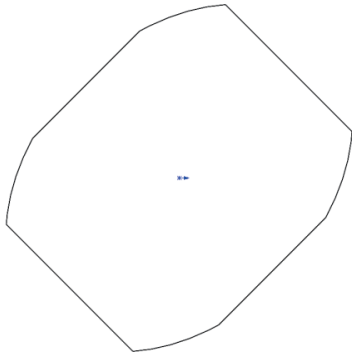


图4 待解析组合图形 DXF 图纸

对 DXF 文件进行解析, 定位 ENTITIES 段数据。如图 5 为解析文件获得的椭圆弧 (ELLIPSE) 的 ENTITIES 段图元信息。

```
0, ELLIPSE
5, 73
330, 1F
100, AcDbEntity
8, 0
6, Continuous
62, 7
100, AcDbEllipse
10, 0, 0
20, 0, 0
30, 0, 0
11, 91.92388155425101
21, 91.92388155425137
31, 0, 0
210, 0, 0
220, 0, 0
230, 1, 0
40, 0.7692307692
41, 0.6438564380247029
42, 1.152846639734323
0, ELLIPSE
5, 75
330, 1F
100, AcDbEntity
8, 0
6, Continuous
62, 7
100, AcDbEllipse
10, 0, 0
20, 0, 0
30, 0, 0
11, 91.92388155425101
21, 91.92388155425137
31, 0, 0
210, 0, 0
220, 0, 0
230, 1, 0
40, 0.7692307692
41, 3.78544909161451
42, 4.294439293324134
```

图5 椭圆弧 (ELLIPSE) 的 ENTITIES 段图元信息

如图 6 为线段 (LINE) 解析文件获得的 ENTITIES 段图元信息。

```
0, LINE
5, 77
330, 1F
100, AcDbEntity
8, 0
6, Continuous
62, 7
100, AcDbLine
10, -27.3133665466
20, 101.9348716775
30, 0, 0
11, -101.9348716775
21, 27.3133665466
31, 0, 0
0, LINE
5, 78
330, 1F
100, AcDbEntity
8, 0
6, Continuous
62, 7
100, AcDbLine
10, 31.0729980069
20, 115.9660073052
30, 0, 0
11, 115.9660073052
21, 31.0729980069
31, 0, 0
0, LINE
5, 79
330, 1F
100, AcDbEntity
8, 0
6, Continuous
62, 7
100, AcDbLine
10, -115.9660073052
20, -31.0729980069
30, 0, 0
11, -31.0729980069
21, -115.9660073052
31, 0, 0
0, LINE
5, 7A
330, 1F
100, AcDbEntity
8, 0
6, Continuous
62, 7
100, AcDbLine
10, 27.3133665466
20, -101.9348716775
30, 0, 0
11, 101.9348716775
21, -27.3133665466
31, 0, 0
```

图6 线段 (LINE) 的 ENTITIES 段图元信息

遍历每一组数据, 进行判断存储, 提取后六辊二维滚圆机加工所需的椭圆弧 (ELLIPSE) 图元信息如图 7 所示。

```
椭圆1
X: 0.0
Y: 0.0
aX: 91.92388155425101
aY: 91.92388155425137
b_a: 0.7692307692
Start Angle: 0.6438564380247029
End Angle: 1.152846639734323
椭圆2
X: 0.0
Y: 0.0
aX: 91.92388155425101
aY: 91.92388155425137
b_a: 0.7692307692
Start Angle: 1.988746013855464
End Angle: 2.497736215565092
椭圆3
X: 0.0
Y: 0.0
aX: 91.92388155425101
aY: 91.92388155425137
b_a: 0.7692307692
Start Angle: 3.78544909161451
End Angle: 4.294439293324134
椭圆4
X: 0.0
Y: 0.0
aX: 91.92388155425101
aY: 91.92388155425137
b_a: 0.7692307692
Start Angle: 5.130338667445275
End Angle: 5.639328869154899
```

图7 加工所需的椭圆弧 (ELLIPSE) 图元信息

提取后六辊二维滚圆机加工所需的线段 (LINE) 图元信息如图 8 所示。

```
LINE (-27.313, 101.935, 0.000) (-101.935, 27.313, 0.000)
Attributes: Layer: 0, Color: 7 Width: BYLAYER Type: Continuous
LINE (31.073, 115.966, 0.000) (115.966, 31.073, 0.000)
Attributes: Layer: 0, Color: 7 Width: BYLAYER Type: Continuous
LINE (-115.966, -31.073, 0.000) (-31.073, -115.966, 0.000)
Attributes: Layer: 0, Color: 7 Width: BYLAYER Type: Continuous
LINE (27.313, -101.935, 0.000) (101.935, -27.313, 0.000)
Attributes: Layer: 0, Color: 7 Width: BYLAYER Type: Continuous
```

图8 加工所需的线段 (LINE) 图元信息

9 算法测试

采用 SolidWorks 机械图纸验证该算法解析 DXF 文件图元信息的准确性。分别利用 SolidWorks 绘制线段 (LINE)、圆 (CIRCLE)、圆弧 (ARC)、椭圆 (ELLIPSE), 获得实际图元信息数据并生成 DXF 文件用于算法实验。运行算法进行文件解析, 获得解析数据与实际数据对照。实验数据如表 5 所示。

表 5 算法解析准确性实验数据

测试名称	SolidWorks 实际数据	算法解析数据	测试结果
线段(LINE)	起点 (0.0, 0.0); 端点 (50.0, 0.0)。	起点 (0.0, 0.0) 端点 (50.0, 0.0)	符合预期
圆(CIRCLE)	中心点 (0.0, 0.0) 半径: 50.0 mm	中心点 (0.0, 0.0) 半径: 50.0 mm	符合预期
圆弧(ARC)	圆心 (0.0, 0.0) 半径 100.0 mm 起点角度: 30.0° 端点角度: 90.0°	圆心 (0.0, 0.0) 半径 100.0 mm 起点角度: 30.0° 端点角度: 90.0°	符合预期
椭圆 (ELLIPSE)	起点 (-91.923 881 554 3, -91.923 881 554 2) 相对于中心的长轴端点 (91.923 881 554 301 42, 91.923 881 554 200 97) 短轴与长轴的比例: 0.769 230 769 2 起点参数 (对于闭合椭圆, 该值为 0.0): 0.00 端点参数 (对于闭合椭圆, 该值为 2 pi): 3.40	起点 (-91.923 881 554 3, -91.923 881 554 2) 相对于中心的长轴端点 (91.923 881 554 301 42, 91.923 881 554 200 97) 短轴与长轴的比例: 0.7692307692 起点参数 (对于闭合椭圆, 该值为 0.0): 0.00 端点参数 (对于闭合椭圆, 该值为 2 pi): 3.47	端点解析数据绝对误差为 0.07, 其余数据符合预期

由表 5 可知, 该算法在解析线段 (LINE)、圆 (CIRCLE)、圆弧 (ARC) 时, 解析数据与 SolidWorks 实际数据一致, 绝对误差为 0, 相对误差为 0%; 在解析椭圆 (ELLIPSE) 时, 解析端点数据存在绝对误差 0.07, 相对误差 2%, 其余数据算法解析结果与 SolidWorks 实际数据一致。

经试验分析, 因 dxfliib 开源库对椭圆 (ELLIPSE) 进行解析时, 起点、端点参数所得角度经弧度制转换运算再与圆周率 π 相乘所得。由于弧度制转换运算和圆周率 π 存在约分取值问题, 导致所得最终解析数据存在一定误差。因而在实际应用中, 利用该算法解析椭圆 (ELLIPSE) 时, 需依据具体情况, 对解析数据进一步处理, 以达到实际数据精度要求。

由试验结果可得, 此算法可较准确地解析 DXF 文件, 获得完整图元数据。且依据六辊二维滚圆机生产所需数据精度, 解析结果满足上述绝对误差不大于 0.1, 相对误差不大于 5% 的标准。符合六辊二维滚圆机的自动控制系统 DXF 文件解析算法研究的设计要求。

10 结论

采用滚圆机自动控制系统 DXF 文件数据解析算法进行滚圆机床加工过程中的目标模型导入, 是提高滚圆机加工效率及精确程度, 降低生产成本的有效方法。本文在解析 DXF 文件数据格式的基础上, 主要深度解析了四种图元类型: 线段 (LINE)、圆 (CIRCLE)、圆弧 (ARC)、椭圆 (ELLIPSE) 的组码, 组值含义。利用 dxfliib 开源库, 对 DXF 文件的数据进行有效提取, 精炼数据。并采用 SolidWorks 机械图纸验证该算法解析 DXF 文件图元信息的准确性。将所得解析数据应

用到滚圆机自动控制系统中, 作为系统的 DXF 解析模块参与工作, 获取原始数据用于系统后期加工数据文件生成。

参考文献:

[1] 王海, 闫卓毓, 尹俊雅. 数字基础设施政策如何影响工业自动化? [J]. 浙江社会科学, 2024(5):20-34.

[2] 黄浩, 李雪林, 韩泽华, 等. CAD/CAM 在口腔修复中的应用现状 [J]. 昆明医科大学学报, 2024, 45(8): 161-165.

[3] 李锐. DXF 建筑工程图的读取、识别与三维重建 [D]. 天津: 天津大学, 2017.

[4] 欧阳劲松, 汪烁, 刘丹. 从国内外标准化实践看智能制造技术发展 [J]. 中国仪器仪表, 2024(6):22-30.

[5] 黎仕, 钱应平, 张东桥, 等. 考虑回弹的水平上调式三辊卷板机卷圆精度研究

[J]. 塑性工程学报, 2024, 31(2): 66-75.

[6] 黎仕, 钱应平, 张东桥, 等. 考虑回弹的水平上调式三辊卷板机卷圆精度研究 [J]. 塑性工程学报, 2024, 31(2):66-75.

[7] 龚彦峰, 程岩, 刘笑娣, 等. 基于 DXF 组码的盾构隧道管片结构自动出图研究 [J]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 2022, 41(5): 133-141+150.

[8] 范荣全, 郑晓波, 曾嵘, 等. 工程设计数字图纸 DXF 格式文件的篡改检测定位方法 [J]. 微型电脑应用, 2023, 39(10): 64-67.

[9] 郑欣桐. 基于 DXF 格式站场图的三维数据生成 [D]. 成都: 西南交通大学, 2021.

[10] 雷欢, 黄东运, 吴亮生, 等. 开放式数控 CAM 软件关键模块库的设计与开发 [J]. 自动化与信息工程, 2013, 34(3):7-12.

【作者简介】

焦洋 (1990—), 男, 安徽阜阳人, 硕士, 助教, 研究方向: 智能制造、工业信息化、人工智能、软件工程。

周欣忆 (2002—), 女, 山东济宁人, 本科生, 研究方向: 数据科学与大数据技术、软件工程、人工智能。

袁艾 (2003—), 女, 江苏扬州人, 本科生, 研究方向: 人工智能、软件工程。

王欣 (2003—), 女, 江苏淮安人, 本科生, 研究方向: 人工智能、软件工程、物联网。

(收稿日期: 2024-08-08)