

文章编号 1004-924X(2004)06-0587-05

# 工业用数控激光切管机研制

谢冀江,李 维,李雨田

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033)

**摘要:**介绍了一种新型金属管材激光切割设备。该机采用激光头轴向移动,由电动卡盘带动工件旋转的方法合成切割轨迹,实现了分段式切割,对不同直径的工件无需更换卡块,并采用辅助空气冷却的切割方法实现了低氧压切割,耗氧量比传统设备节省了 2/3。该设备最大单程切割长度 1 000 mm,切割表面粗糙度  $6.3 \mu\text{m}$ ,孔位精度为  $\pm 0.1 \text{ mm/m}$ ,辅助氧气压力 0.15 MPa。

**关键词:**激光切割;管材;电动卡盘;空气冷却

中图分类号:TN249 文献标识码:A

## Numerical control laser pipe cutting machine for industrial use

XIE Ji-jiang, LI Wei, LI Yu-tian

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract:** Laser processing equipment for metal tube-cutting is introduced. the cutting track is formed by the laser head moving along axis combined with the workpiece turning droven by an electric chuck circumvolve, thus the subsection cutting for the workpiece with different radius could be easily realized without changing the chuck. Low oxygen pressure cutting by air cooling can reduce the consumed oxygen by 2/3 oxygen compared with traditional ones. Its maximum single cutting length is 1 000 mm, the cutted surface roughness  $R_a 6.3 \mu\text{m}$ , position accuracy  $\pm 0.1 \text{ mm/m}$ , and oxygen pressure 0.15 MPa.

**Key words:** laser cutting; pipe; electric chuck; air cooling

## 1 引言

自 70 年代第 1 台工业用国产  $\text{CO}_2$  激光切割机问世以来,我国激光切割技术的研究和应用取得了丰硕的成果。至今已有数百台(套)工业激光切割设备在我国的汽车、石油、电子、通用机械等行业的生产线上运行,约占激光加工产业的

40%<sup>[1-6]</sup>,但这些设备主要还限于金属(或非金属)板材的加工。近年来,为满足工业市场的需求,各种用于管材和其他三维工件切割的激光加工设备产品也相继问世,以美、德、日为代表的工业发达国家已有上千台五轴联动高档激光加工设备用于实际工业生产,特别是在汽车制造行业得到广泛应用;国内此类设备尚属研发阶段,而相应的工艺与技术研究亦愈来愈受到有关专家的重

收稿日期:2004-06-22;修订日期:2004-11-18.

基金项目:吉林省地方重大攻关项目(No. 20000104)

视<sup>[7-11]</sup>。中科院长春光机与物理所结合石油开采行业的实际需求首先在国内开始了激光管材切割设备的研制工作,所开发的产品,已在胜利油田、辽河油田等多家公司的“弹架管”生产中得到应用。

## 2 基本结构和工作原理

与平板激光切割一样,管材的激光切割也是通过激光束与工件的相对运动实现的。在该机设计中采取的是管材轴向旋转( $X$ 轴),激光头水平( $Y$ 轴)移动的方式合成运动轨迹,即激光束单向飞行的运动方式。同时激光头( $Z$ 轴)随动进行焦点跟踪,通过数控系统控制,对工件进行分段的往复式加工。可根据工件的加工要求设定工艺参数。

数控激光管材切割设备主要由切割机床、数控系统、激光器、激光电源、水冷系统等单元组成,

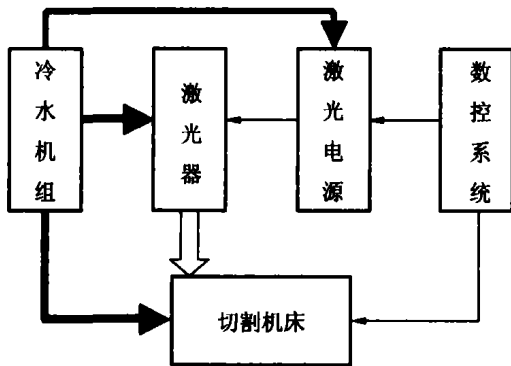


图 1 设备组成框图  
Fig. 1 System diagram

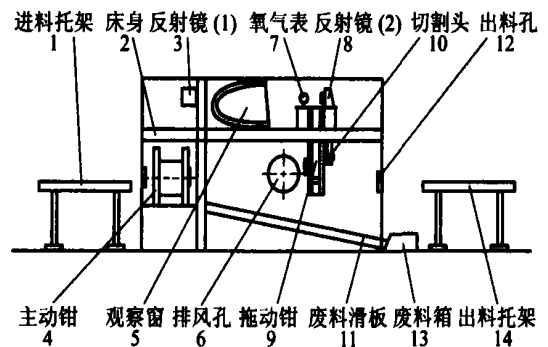


图 2 机床结构示意图  
Fig. 2 Machine structure diagram

如图 1 所示。其中切割机床是设备的核心。图 2 为机床基本结构。

图 2 中主动钳(4)和扶正器(置于拖动钳座上)构成了管材的旋转机构,拖动钳等构成了管材的拖动机构,反射镜(3)和反射镜(8)及切割头中的聚焦透镜构成了导光系统。激光束经床身后侧与激光器相连的导光筒射入,并经导光系统聚焦于工件(管材)表面。为防止切割过程中烟雾和粉尘对光学元件的污染,光学系统采用了全封闭式结构,烟雾及粉尘经排烟孔吸出,切割下的废料经滑板滑入废料箱中,可从观察窗观察即时工作状态。

该切管机的工作过程如图 3 所示。在上述的切割过程中,首先进行管头切割,然后以管头切口为基准进行切割,可有效的保证切孔的位移精度。采用分段反复移动的切割方式,既实现了对长管的切割,又减少了机床的尺寸,相应的缩短了光程,也使导光系统得以简化。

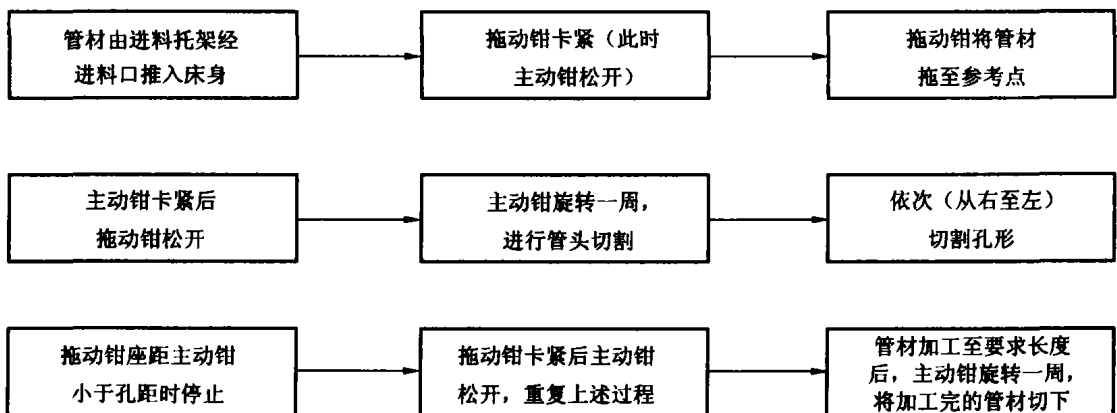


图 3 数控激光切管机工作流程框图  
Fig. 3 Working flow chart of NC laser cutting machine for pipe

### 3 机床关键机构的特点

#### 3.1 主动钳

采用电动卡盘的设计方案,通过数控系统控制特制的大孔径电动卡盘,对管材进行“卡紧”和“松开”,在保证定位精度的同时,实现了对不同管径工件的操作。消除了气动卡盘由于更换卡块造成的不便,可方便地调节卡紧力,同时消除了气动卡盘卡紧和松开时产生的震动对切割质量的影响,更适合于多种型号管材加工的实际生产要求。

#### 3.2 切割头

切割头是激光切割系统的核心部件,它设计的合理与否直接影响激光切割的质量。国外激光切割机的切割头多采用电容式非接触传感器控制方式,这种传感器价格昂贵,且国内尚未有定型产品。为此,此设计采用了价格低廉的国产差动变压器位移传感器的控制方式。为了使这种接触式位移传感器适合于管材切割,切割头采用了图 4 所示的结构。

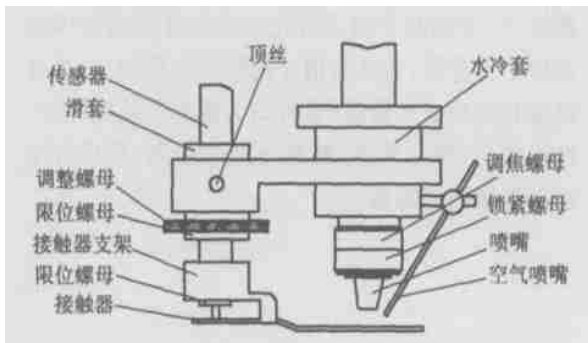


图 4 切割头结构示意图  
Fig. 4 Cutting head structure diagram

#### 3.3 空气冷却装置

值得一提的是,在此设备的切割头上采用了专门设计的辅助风冷装置。由于管材切割(特别是对于小管径的管材)时,熔渣附着于管的内壁,切割产生的大部份热量被工件吸收,切割密度较大时,往往会造成管材过热,严重影响切口质量,甚至无法切割。为此设计中采取了辅助侧向吹风冷却的方法(如图 4 所示),通过压缩空气的强制冷却,有效地解决了实际生产中遇到的这一难题,实现了密集图形的高质量切割。国外的同类设备中为了解决“过热”的问题,采用的是加大氧气压力的方法(7~8 Mpa)。而该机只需 1.2 Mpa 的

氧气压力即可。大大降低了设备的运行成本。

#### 3.4 导光系统

导光系统由全反镜 1(光隔离器),圆偏振反射镜 2 和聚焦透镜 3 组成(如图 5 所示)。其中反射镜 1 具有防止工件 4 或光路中的其他元件的反射光返射到激光器,造成激光器损坏的作用,圆偏振反射镜 2 与聚焦透镜 3 共同组成了沿机床导轨运动的光学镜组。因机床采用多段往复移动切割方式,单程切割长度为 1 000 mm,即最大光程差为 1 000 mm,因而无需进行光束准直。

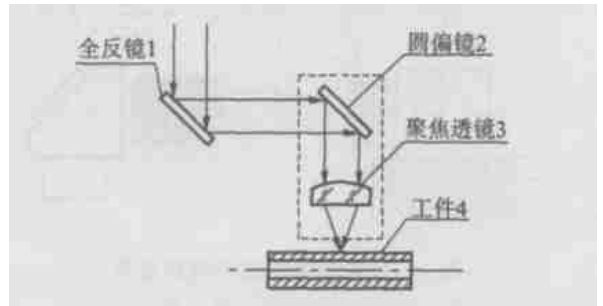


图 5 光学系统示意图

Fig. 5 Optics system diagram

#### 3.5 机床的安全防护和系统保护

激光加工设备的安全防护性能是否先进和有效是评价该类设备质量水平的一个重要指标。因而,在设备的设计中对机床光学系统的防护采取了简便而实用的措施,既大大提高了该设备的安全防护性能,亦完善了系统的保护功能,可有效延长设备的使用寿命。国外同类设备中对光学系统的保护采用的是在反射镜座 1 和 2 的端口分别装一 ZnSe 窗口(如图 6 所示),以防止烟雾和粉尘对光学系统的污染。但镜 1 镜 2 间的激光束仍暴露于外,存在对人身伤害的危险。而且,恶劣的工作环境也将使昂贵的 ZnSe 窗口难以维持长寿。我们则采用图 7 所示的方法,获得了十分满意的结果。这种结构即可保护光学系统的清洁,又起到了防护激光对人身意外伤害的作用且成本低廉。其中,防尘罩 1 起防尘作用,套筒 2 起导向和支撑作用。套筒由金属材料制成,拆装方便。

### 4 实际应用举例

#### 4.1 工艺参数

- (1) 激光功率:350~420 W
- (2) 切割速度:3 000 mm/min
- (3) 氧气压力:0.12 MPa

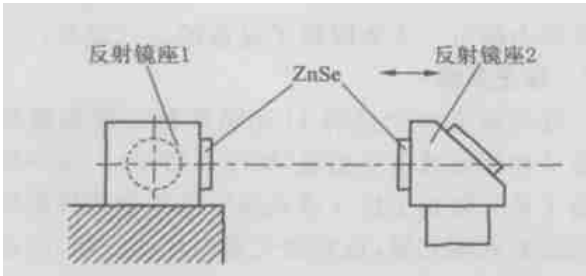


图 6 国外设备光学系统的保护方法

Fig. 6 Protection of optics system in foreign equipment

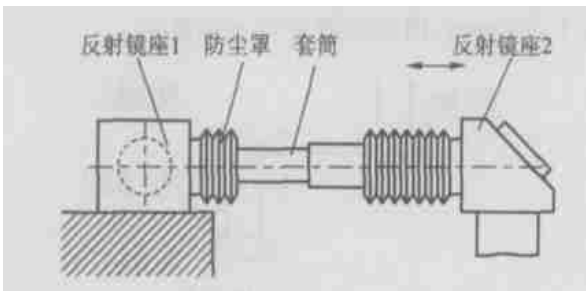


图 7 设备光学系统的保护装置

Fig. 7 Protective device of optics system

- (4) 冷却气体压力: 0.25 Mpa
- (5) 切割工件管径: 70 mm
- (6) 切管壁厚: 2 mm
- (7) 切管长度: 5 m

#### 4.2 切割效果

- (1) 切口粗糙度:  $Ra < 6.3 \mu\text{m}$

- (2) 孔位精度:  $\pm 0.1 \text{ mm/m}$

- (3) 切口宽度: 0.15 ~ 0.20 mm

- (4) 切口无毛刺, 不需再打磨。(激光切割的工件成品见图 8)

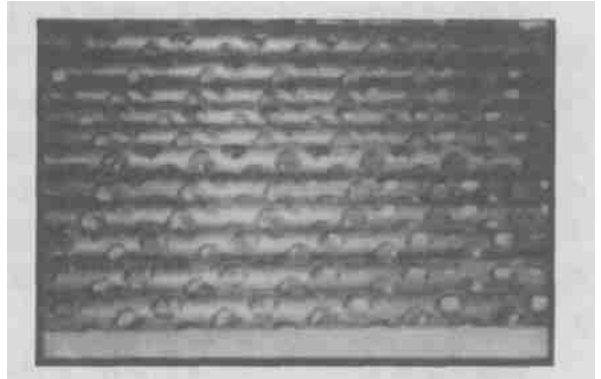


图 8 激光切割的工件成品

Fig. 8 Laser-cut workpiece

## 5 结 论

本项目研制的激光管材加工设备由于采用了独特的电动卡盘旋转机构, 差动式位移传感随动系统<sup>[12]</sup>, 全密封单向飞行光学系统及独创的风冷式加工工艺等, 使其与国外的同类产品相比, 具有制造和使用成本低廉(售价约为国外产品的1/3), 性能优异, 操作简单, 维修方便等特点, 更适合于我国市场的实际需求。

#### 参考文献:

- [1] TSOU KANTAS G, SALONITIS K. Overview of 3D laser materials processing concepts[J]. *SPIE*, 2002, 5131: 224-228.
- [2] 郑启光. 激光先进制造技术[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.  
ZHENG Q G. *Laser advanced manufacture*[M]. Wu han: Huazhong science press, 2002. (in Chinese)
- [3] 关振中. 激光加工工艺手册[M]北京: 中国计量出版社, 1997.  
GUAN ZH ZH. *Laser processing technic manual*[M]. Beiing: China Metric Press, 1992. (in Chinese)
- [4] 王家金. 激光加工技术[M]. 北京: 中国计量出版社, 1992.  
WANG J J. *Laser processing technology*[M]. Beiing: China Metric Press, 1992. (in Chinese)
- [5] 肖克. CO<sub>2</sub> 激光切割机在工业企业的应景前景[J]. 光机电信息, 2004, (1): 13-15.  
XIAO K. Applications of CO<sub>2</sub> laser cutting machines in industry[J]. *OME Information*, 2004, (1): 13-15. (in Chinese)
- [6] 唐元冀. 激光切割在工业上应用的现状[J]. 激光与光电子学进展, 2002, 39(1): 53-56.  
TANG Y J. Application of laser cutting to industry[J]. *Laser and Optoelectronics Pprogress*, 2002, 39(1): 53-56. (in Chinese)
- [7] 黄开金. 曲率半径和切速对小管径激光切缝宽度的影响[J]. 激光技术, 2000, 24(1): 51-54.  
HUANG K J. Effects of curvature radius and cutting speed on the top kerf width of laser cutting of thin pipe with a small diameter[J]. *Laser Technology*, 2000, 24(1): 51-54. (in Chinese)
- [8] 黄开金. 管材激光切割过程和条纹形成模型的研究[J]. 应用激光, 2001, 21(1): 31-34.

- HUANG K J. Investigation on the procedure of pipe laser cutting and the model of generation of striation on cut surface [J]. *Applied Laser*, 2001, 21(1): 31-34. (in Chinese)
- [9] 陈继民,左铁钊. 三维激光加工的加工轨迹生成[J]. *应用激光*, 2001, 21(1): 1-3.  
CHEN J M, ZUO T CH. Generation of 3-dimensional trace for 3D laser processing[J]. *Applied Laser*, 2001, 21(1): 1-3. (in Chinese)
- [10] 陈继民. 三维激光加工的轨迹规划的研究[J]. *应用激光*, 2001, 22(2): 220-222.  
CHEN J M. Path planning method for 3 dimensional laser processing[J]. *Applied Laser*, 2001, 22(2): 220-222. (in Chinese)
- [11] 黄开金. 激光切割 1Cr18Ni9Ti 不锈钢管材挂渣和飞渣的研究[J]. *应用激光*, 2001, 21(3): 159-163.  
HUANG K J. Investigation on the hanging dross and the flight slag of 1Cr18Ni9Ti stainless steel pipe laser cutting[J]. *Applied Laser*, 2001, 21(3): 159-163. (in Chinese)
- [12] 檀慧明,高兰兰,吕彦飞. 激光二级管泵浦 KTP 腔内和频激光器及噪声特性的分析[J]. *光学精密工程*, 2004, 12(5): 459-464.  
TAN H M, CAO L L, LU Y F. Noise characteristics of laser diode pumped solid-state laser by intracavity sum-frequency of KTP phase matching II[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2004, 12(5): 459-464. (in Chinese)

作者简介:谢冀江(1959-),男,江苏镇江人,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所副研究员,主要研究方向为工业用激光器和激光加工技术的研究工作。