

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.04.012

基于单片机控制的便携式电火花打孔机的设计*

蒋志强, 陈虎城*, 龙向前, 来智浩, 朱奋永, 唐宇阳
(桂林电子科技大学 机电工程学院, 广西 桂林 541004)

摘要:针对现有的便携式电火花打孔机质量太大、加工效率低等问题,在分析总结了现有的便携式电火花打孔机研究现状的基础上,提出了一种滑块静止而导轨运动的执行机构设计方案。基于单片机,研究了直接利用 RC 比较电路以简化放电回路的方法,使用了千分表座作为便携式电火花打孔机的底座以调整打孔面,制作出的便携式电火花打孔机重量减轻至 10 kg 以内,测得材料去除率达到了 $15 \text{ mm}^3/\text{min}$ 以上,且打孔面易于调整。设计结果表明:所优化的执行机构、放电回路、打孔面调整装置减轻了便携式电火花打孔机的重量,提高了加工效率,且工作稳定。

关键词:单片机;电火花加工;便携式打孔机

中图分类号:TH-39;TG669

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)04-0402-05

Portable EDM punching machine based on single chip microcomputer control

JIANG Zhi-qiang, CHEN Hu-cheng, LONG Xiang-qian,
LAI Zhi-hao, ZHU Fen-yong, TANG Yu-yang
(School of Mechanical & Electronic Engineering, Guilin University of
Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Aiming at weight and efficiency problems of portable EDM drilling machine, the research status of EDM drilling machine were analyzed and summarized, a design plan that keep the slider stay to let guideway movement was put forward. The way that single chip micro-computer directly take the advantages of RC comparison circuit to simplify discharge circuit was studied, micrometer pedestal was used as a base of portable EDM drilling machine to adjust the perforated surface. The weight of portable EDM drilling was made reduce to less than 10 kg, tested data showed the material removal rate up to $15 \text{ mm}^3/\text{min}$, and perforated surface easy to adjust. The results indicate that the optimized actuator, discharge circuit and perforated surface adjustment device reduce the weight of portable EDM drilling machine, improve working efficiency, the work is stable.

Key words: single chip microcomputer; electrical discharge machining(EDM); punching machine

0 引 言

电火花加工是一种特种加工方法,在我国已得到

广泛的应用^[1]。电火花加工方法是当前机械加工的重要方法之一,并有着其他加工方法无可替代的优点^[2]。

收稿日期:2018-09-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51665009);广西高等教育本科教学改革工程重点项目(2016JGZ123);国家级大学生创新项目(201710595028)

作者简介:蒋志强(1997-),男,湖南衡阳人,主要从事特种加工方面的研究。E-mail:2511924763@qq.com

通信联系人:陈虎城,男,博士研究生,讲师。E-mail:qwtiger459@163.com

由于超硬材料加工、大型机床维护成本高,复杂形状零部件表面打孔—特别是狭小空间内的加工困难等问题,传统打孔方法无法实现或极为困难,便携式电火花加工设备便应运而生^[3-6]。林启明^[1]、俞晓^[7]、刘向前^[8]、丁向阳^[9]、刘晋春^[10]、WANG Xue-tao^[11]等人,对便携式电火花打孔机进行了各自的研制,并形成了相应的产品,但整体设计思路仍拘泥于大型机床的微小化,对桌面式实验教学考虑不够。

针对便携式电火花打孔机执行机构轻便和易于灵活安装的需求特点,本文将进行优化设计。

1 系统结构与电路设计

1.1 系统总体架构与设计思路

系统要求便携且功能简单,在保证控制可靠性、稳定性下,采用 ATmega16 单片机进行控制。便携式电火花打孔机的机械结构部分和电路控制部分如下:

(1) 机械结构部分。包括机架、运动执行机构(滚动直线导轨以及滑动丝杆)、电极夹头、工作液系统和电气安装支架;

(2) 电路控制部分。包括 RC 电压比较电路、步进电机控制电路、按键输入电路、LED 显示电路、电极限位位置感应电路、单片机外围电路。

根据整机的机械与电路设计,进行机械加工与装配和电路控制系统搭建,通过实物样机测试达到的设备性能参数,确定是否满足设计需求。

1.2 机械结构设计

电火花打孔机部分结构示意图如图 1 所示。

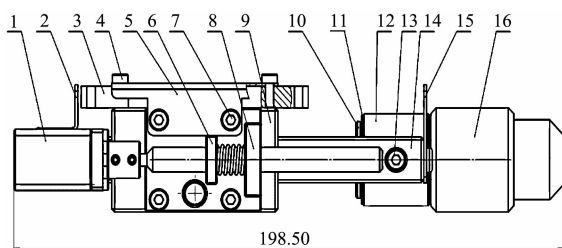


图 1 电火花打孔机机械部分结构示意图

1 - 步进机电; 2 - 下极限板金; 3 - 极限开关; 4 - 极限开关固定螺丝; 5 - 极限开关固定座; 6 - 副螺母; 7 - 极限开关固定螺钉; 8 - 主螺母; 9 - 滑块; 10 - 主轴拉杆; 11 - 绝缘垫; 12 - 绝缘套; 13 - 主轴固定螺钉; 14 - 直线导轨; 15 - 上极限板金; 16 - 钻夹

由于本机行程小,构件尺寸较大,本研究采用滑块静止导轨运动的运动方式;又因为丝杆旋转体积小,机构简单,本研究选择采用螺母固定,丝杆与电机运动的方式。步进电机与丝杆之间通过联轴器相连;丝杆与滚动直线导轨通过螺纹相连。此外,因为滑轨运动,本研究将钻夹头安装在导轨上,并做好导轨与钻夹的绝缘处理。

行程开关在这种构件大行程小的状态下,选择采用将其安装在滑块上,并采用限位片在导轨两端的方式实现限位。所以主螺母、消间隙螺母、弹簧、机架固定轴和机械限位开关全部要固定在滑块上,电机、丝杆、联轴器、极限片全部固定在导轨上。

工作时,本研究将滚动直线导轨与关节型表座进行连接,通过表座实现空间任意角度的固定,利于打孔面的调整,只要有工作液浸泡则可工作。

1.3 电路控制部分设计

当电极与工件的距离大于基准距离时,电压比较电路的电路控制部分给出信号使步进电机旋转,向下进给;当电极与工件的距离小于基准距离时,电压比较电路不发出信号,电机停转,从而实现自动向下进给的功能。

1.3.1 RC 电路计算

本机利用 RC 电路充电电压升高,击穿介质产生高温腐蚀金属材料的原理进行打孔。

RC 脉冲放电过程如图 2 所示。

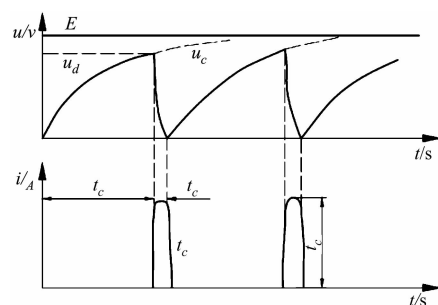


图 2 RC 脉冲放电过程

电压比较小时,击穿电压低,电容器释放能量很少,产生的温度较低,能量多集中在介质上,此时的放电频率很高,表面粗糙度良好,打孔效果很好,但是工作液因为节流作用压力非常大,刚度需求很高,且电源效率不高。当电压提升时,放电频率下降,电源效率提高,工作液压力下降,此时电源效率比较高;电压再加大时,频率低,而且工件的电解作用很大,电路效率降低了。所以电压需要在 0 ~ 60 V 之间选择一个合适

的值。

进行电火花加工时,工具电极和工件分别接 RC 电源的两极,并浸入水中。控制工具电极向工件进给,当两电极间的间隙达到一定距离时,两电极上施加的电压将水击穿,产生火花放电。在放电的微细通道中瞬间集中大量的热能,温度剧增,工作液压力也有急剧变化,从而使这一“接触”点工作表面局部微量的金属材料立刻熔化、气化,并爆炸式地飞溅到工作液中,迅速冷凝,形成固体的金属微粒,被工作液带走。这时在工件表面上便留下一个微小的凹坑痕迹,放电短暂停歇,两电极间水恢复绝缘状态。

紧接着,RC 充电,当电压又在两电极相对接近的另一点处击穿,产生火花放电,重复上述过程。这样,虽然每个脉冲放电蚀除的金属量极少,但因每秒有成千上万次脉冲放电作用,就能蚀除较多的金属,具有一定的生产率。

RC 电路中 R 电阻用于充电限流,在本机中,这个电阻还可以在机器短路时保护电源。本机使用 60 V, 10 A 电源,所以电阻应该大于 6 Ω。功率大于 600 W。由于实际工作复杂,部分实际参数难以精确确定,也很难用模型直接估算,整机做出以后,直接通过调整不同阻值,对比试验打孔效果取得相应数据。本次通过测试确定,电压在 40 V 时,效率比较高同时打孔质量可以保证,电容使用 47 μF,电阻使用 7 Ω 电阻。

1.3.2 电压比较电路的设计

电压比较器的功能:比较两个电压的大小(用输出电压的高或低电平,表示两个输入电压的大小关系)。当“+”输入端电压高于“-”输入端时,电压比较器输出为高电平;当“+”输入端电压低于“-”输入端时,电压比较器输出为低电平。可工作在线性工作区和非线性工作区。工作在线性工作区时特点是虚短,虚断;工作在线性工作区时特点是跳变,虚断;由于比较器的输出只有低电平和高电平两种状态,其中的集成运放常工作在线性区。

从电路结构上看,运放常处于开环状态。考虑到为了使比较器输出状态的转换更加快速,以提高响应速度,一般在电路中接入正反馈。该电路功能为将 60 V 电源电压分压得到一基准比较电压,将电极与工件之间的电压与此电压相比较,然后输出信号。基准电压调节范围约为 6 V - 50 V。

通过计算,电压比较电路的设计如图 3 所示。

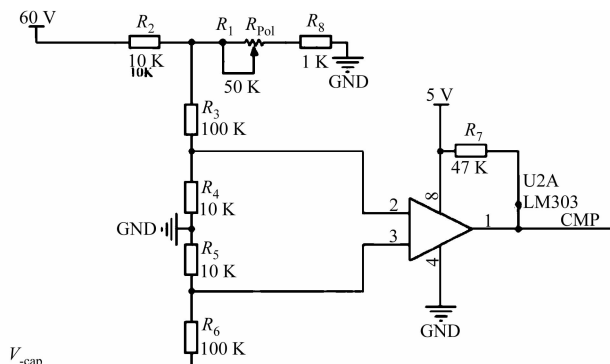


图 3 电压比较电路

1.3.3 步进电机控制电路

步进电机控制电路的设计 AVR 单片机输出能力极强,所以直接将 3 个 IO 口与步进电机信号口相连,电路图如图 4 所示。

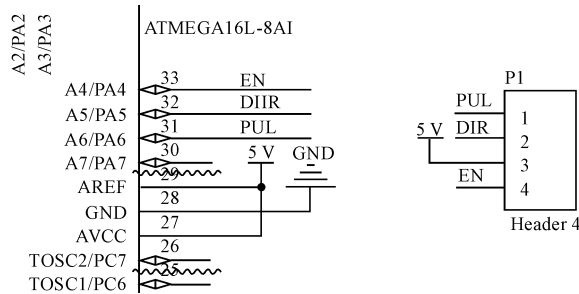


图 4 步进电机驱动器接口电路

1.3.4 按键输入电路

通常的按键分为独立式按键和矩阵式按键两种,独立式按键比较简单,并且与独立的输入线相连接。由于本机只有 3 个按键,占 IO 口非常少,直接使用独立式设计。将按键连接在 IO 口与 VCC,分别为 S1 向下、S2 向上、S3 工作 3 个按键。

按键电路如图 5 所示。

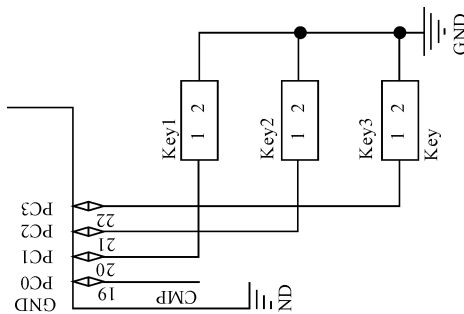


图 5 按键电路

1.3.5 电极极限位置感应电路

电极限位感应电路与按键输入电路相同,如图 5 所示。

机器有 6 个状态,分别为待机、工作状态、上升、下

降、上极限触发和下极限触发。输入分别为3个功能按键,3个输入口。

按键 S3 为 work,按下按键时,机器执行打孔功能,并进入工作状态。按键 S2 为 up,按下时会取消工作状态,并且上升,保持上升状态,松开时自动回到待机状态。按键 S1 为下降,按下时会取消工作状态,并且下降,保持下降状态,松开时自动回到待机状态。上极限触发时,机器进入上极限触发状态,此时只可转变到下降状态,当上极限触发信号消失时,机器自动复位到待机状态;下极限触发时,机器进入下极限触发状态,此时只可转变到上升状态,当下极限触发信号消失时,机器自动复位到待机状态。最后进行电压对比结果信号口,单片机由此确定是否需要进给。输出口分别为 LED 显示、步进电机控制。3个 LED 分别为:LED1,LED2,LED3。LED1 在工作状态点亮,LED2 在上升状态点亮,LED3 在下降状态点亮。

步进电机控制口分别为脉冲信号和方向信号,一路接步进电机驱动器脉冲信号口,一路接步进电机驱动器方向信号口。

整个电路控制系统的流程图如图6所示。

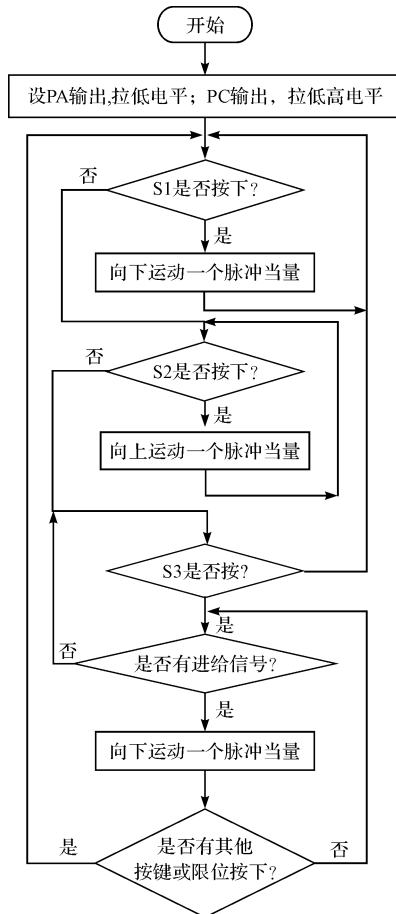


图6 电路控制系统的流程图

2 实验测试与结果

通过实验设置相关的参数,电火花打孔机实物图如图7所示。

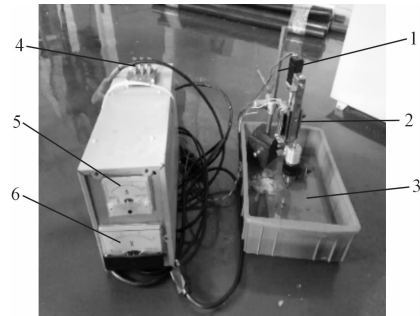


图7 便携式电火花打孔机整机图

- 1 - 表座;2 - 执行机;3 - 工作液;
- 4 - 按键与指示灯;5 - 电流显示表;
- 6 - 电压显示表

实验测试数据如表1所示。

表1 实验测试数据

组别	直径/mm	深度/mm	打穿时间/s	材料去除率/(mm ³ ·min ⁻¹)	深径比	电极	工作液
1	0.5	1	18	0.65	2	实心	浸泡
2	0.5	0.5	8	0.73	1	实心	浸泡
3	2	1	15	12.56	0.5	实心	强制冲液
4	2	10	168	11.21	2	实心	强制冲液
5	4	1	48	15.7	0.25	实心	强制冲液
6	4	4	208	14.49	1	实心	强制冲液
7	5	1	87	13.53	0.2	实心	浸泡
8	5	4	372	12.66	0.8	实心	浸泡
9	8	1	57		0.125	空心	浸泡
10	8	4	241		0.5	空心	浸泡
11	9	1	67		0.11	空心	浸泡

机器打孔效果测试参数为:电压 40 V,电阻 7 Ω,电容 40 μF;工作液为自来水;电极均为黄铜圆形电极。在不同的深度、打孔直径、电极和工作液下,经过测试,得到的 11 项测试数据如表 1 所示。最小穿孔直径为 0.5 mm,最大穿孔直径达到 9 mm,材料去除率大于 15 mm³/min,最大深径比为 5。

实验表明:该电火花打孔机在 40 V 工作电压时,加工效率可达 14.5 mm³/min,可以对各种金属进行打孔;底座为千分表,可以实现对一些特殊位置进行打孔。

便携式电火花打孔机对 1.5 mm 厚白钢板(型号 Q225)穿孔效果图如图 8 所示。

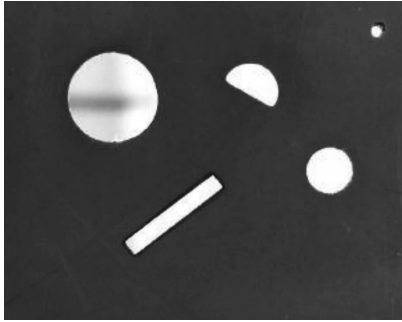


图 8 便携式电火花打孔机穿孔效果图

3 结束语

针对目前便携式电火花打孔机的现状,本文分别对执行机构、打孔面调整装置和放电回路等进行了优化,并制造出了基于单片机控制的电火花打孔机。

测试结果表明:

(1) 该打孔机采用滑块静止导轨运动的运动模式,便携、工作稳定、执行效果好;

(2) 关节型千分表座作为打孔面调整装置,与安装滚动直线导轨上的执行机构直接相连,可实现空间任意角度的固定,有利于特殊位置打孔;

(3) 直接通过 RC 比较电路,简化了放电回路,可很好实现自动进给功能,材料去除率较高,可进一步降低生产成本;

(4) 设备尺寸小,实际工作电压只需 40 V,更便携、安全,可置于桌面直接用于教学演示。

参考文献 (References):

- [1] 林启明. 新型便携式电火花穿孔机研制[J]. 机电工程技术, 2011, 40(8): 93-95, 203
- [2] 张 昆. 电火花加工技术在航天领域的典型应用及发展需求[C]. 特种加工技术智能化与精密化—第 17 届全国特种加工学术会议, 北京: 中国机械工程学会, 2017.
- [3] 颜国正, 赵国光, 余承业. 便携式电火花穿孔机性能研究[J]. 航空制造技术, 1996(3): 32-34.
- [4] 第十三届中国国际模展评定评述专家组. 第十三届中国国际模具技术和设备展览会现代模具制造技术及设备评述[J]. 模具工业, 2010, 36(11): 1-10.
- [5] 刘向前, 刘永乐. 便携式电火花机在风电制动钳通油孔加工中的应用[J]. 金属加工: 冷加工, 2014(7): 71-72.
- [6] 王 彤, 张广志. 电火花间隙放电状态检测方法综述[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2012, 17(3): 100-104.
- [7] 俞 晓. 便携式电火花取断丝锥机[P]. 中国: CN 302527161 S, 2013.
- [8] 刘向前, 张少波, 丁向阳. Portable electric spark machine guiding device[P]. 中国: CN 203526739 U, 2014.
- [9] 丁向阳, 张少波. Portable type spark-erosion drilling machine[P]. 中国: CN 103878459 A, 2014.
- [10] 刘晋春, 韦东波, 自鹏翰, 等. 便携式、多功能、模块化、小型数控电火花加工机床系列的开发研制[J]. 电加工与模具, 2015(6): 55-58.
- [11] WANG Xue-tao. Design of portable EDM machine tool [C]. International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling, New York: IEEE, 2015.
- [12] 邹 纯, 祝锡晶, 崔学良, 等. 工件超声振动对不同放电间隙电火花加工的影响[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(1): 222

[编辑: 周昱晨]

本文引用格式:

蒋志强, 陈虎城, 龙向前, 等. 基于单片机控制的便携式电火花打孔机的设计[J]. 机电工程, 2019, 36(4): 402-406.

JIANGZhi-qiang, CHENHu-cheng, LONGXiang-qian, et al. Portable EDM punching machine based on single chip microcomputer control[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2019, 36(4): 402-406.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>