

一种金刚石钻头智能烧结机的研制与应用

许华松¹, 吴来杰², 熊得斌¹

(1. 武汉金地探矿机械有限公司, 湖北 武汉 430081; 2. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074)

摘要:针对我国传统的金刚石钻头烧结机自动化程度低,难以灵活应对不同种类配方的金刚石钻头热压烧结工艺、温度、压力等要求的现状,研制了一种新型金刚石钻头智能烧结机。该智能烧结机集光、电、液于一体,以单片机为控制系统的核心器件,利用模糊PID控制原理,实时监测、控制烧结温度和工作压力,实现了预存工艺自动运行,控制效果满足钻头烧结工艺要求。对金刚石钻头热压烧结机的工作原理、温度及压力参数对成品钻头质量的影响进行了分析,并介绍了与热压机配套的控制系统设计。

关键词:烧结机;金刚石钻头;PID模糊理论;智能控制

中图分类号:P634.3;TP23 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)06-0039-05

Development and Application of an Intelligent Hot-pressing Sintering Machine for Diamond Bit/XU Hua-song¹, WU Lai-jie², XIONG De-bin¹ (1. Wuhan Gold Exploration Machinery Co., Ltd., Wuhan Hubei 430081, China; 2. China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: Because of the low automation level of traditional diamond drill sintering machine in China, it is difficult to flexibly deal with the requirements of diamond bits of different formula in hot pressing process, temperature and pressure. A new hot-pressing intelligent sintering machine for diamond bit is developed. It integrates optical, electricity and hydraulic pressure, taking the microcontroller as the core device of the control system and using fuzzy PID control theory to monitor and control the sintering temperature and pressure in real time to achieve prestoring process automatic operation, the control effect meets the need of bit sintering process. The paper analyzes the influence of the working principle, temperature and pressure parameters of this hot-pressing sintering machine on the quality of finished bits and introduces its control system design matched with hot press.

Key words: sintering machine; diamond bit; PID fuzzy theory; intelligent control

金刚石钻头热压烧结机主要用于钻头烧结过程中,完成对胎体粉末进行加热加压、保温保压、降温卸压等工序。其加热原理为采用中频感应加热,将一定配方的胎体粉末放入压坯中,再将其置于中频电源产生的交变感应磁场中。交变磁场在胎体中产生电涡流,将电能转化为热能进行加热。为了使粉末胎体变为具有符合要求的组织性能,待温度上升到一定阶段,再进行加压。使其成为具有高强度的合金制品。根据热压烧结的工艺要求,在加热加压过程中,热压机要完成多段升温加压、保温保压、降温卸压过程。然而我国传统的金刚石钻头热压烧结机往往靠工人手工操作,工人的操作水平及经验对产品质量影响非常大,产品次品率也较高^[1]。由于金刚石钻头热压烧结工艺复杂,在一次烧结过程要完成多项工序,操作稍有偏差极易造成欠烧、过烧等

现象。本文提出的智能烧结机对提高产品质量、市场竞争力以及节能降耗等具有重要的作用^[2]。

1 智能烧结机的功能及参数

1.1 智能烧结机的主要功能

金刚石钻头热压烧结机主要用于钻头烧结过程中,对胎体粉末进行加热加压、保温保压、降温卸压等工序。不同种类配方的金刚石钻头热压烧结工艺也不同,在工序各阶段温度、压力要求不同。所以,对温度、压力控制性能是衡量金刚石钻头热压烧结机质量的重要指标。

钻头热压烧结机以单片机为控制系统的核心器件,利用模糊PID控制原理,实时监测、控制烧结温度和工作压力,实现了预存工艺自动运行;采用彩色液晶屏作为人机交互窗口,界面友好,能够实时显示

收稿日期:2016-02-23; 修回日期:2016-03-23

作者简介:许华松,男,汉族,1968年生,所长,高级工程师,硕士,从事地质找矿机具的研制工作,湖北省武汉市青山区吉林街1号,317639728@qq.com。

运行过程中温度、压力曲线,直观反映烧结过程的运行状态,人机交互过程采用填表式操作,手动设定烧结工艺参数,并且对各种异常状况进行报警处理。

1.2 智能烧结机的主要参数

智能烧结机设备主要技术参数:额定压力 250、400 kN;额定油压 12.5 MPa;活塞行程 150 mm;温度测量范围 400 ~ 1200 °C;温控精度 ± 2 °C;额定功率 100 kW;存储工艺参数 80 组;中频电源参数 0.8 ~ 2.5 kHz;中频变压器 100 kVA(可调)。

1.3 智能烧结机的组成

该金刚石钻头智能热压烧结机主要设备由烧结机、中频发电源、计算机控制柜构成。其烧结机装有温度传感器、压力传感器、油压表、液压装置、烧结装置;中频电源柜体上有实时参数表;控制柜主机装有温控软件及操作控制系统,计算机操作控制系统由单片机和温控芯片组成,单片机设置和储备所有的工艺参数。智能烧结机的基本布置如图 1 所示。

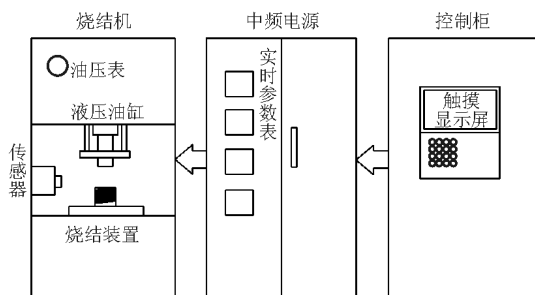


图 1 智能烧结机的基本布置图

2 热压烧结机控制系统的设计

2.1 控制系统总体结构

本系统主机装有红外测温仪和温控软件,计算机操作控制系统由单片机和温控芯片组成。单片机设置和储备所有的工艺参数,控制整个工作过程,并连接比例阀驱动块,执行压力程序,控制液压机压力系统;温控芯片连接红外测温仪和中频发生器的可控硅触发模块,检测控制温度,反馈信息。单片机和温控芯片不断传输交换数据,按照设定工艺参数,控制压力、温度与时间,保证准确执行生产工艺^[3]。应用 89C55 单片机及组态软件,设计热压烧结机电气控制系统。模拟量为温度和压力,利用扩展 E²PROM 可存储多组工艺曲线,每组曲线可预设多段不同温度压力值,控制精度不大于 ± 5 °C。压力控制精度为满量程的 $\pm 1\% \sim 3\%$ 。控制系统组成框图如图 2 所示。

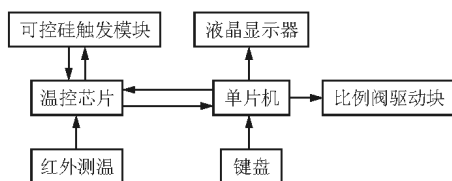


图 2 控制系统组成框图

2.2 烧结过程温度的检测与调节

2.2.1 温度检测

烧结过程中,烧结体的温度不断升高,模具表面辐射光波的强度和波长也随之改变。光纤探头采集模具表面辐射的红外波密度,经光导纤维到达光电转换单元。经过光电转化成为电信号,再经缓冲放大、线性化处理得到与被测温度信号成线性关系的标准电信号,在经过 AD 转换输入单片机端口。

红外测温仪测得温度信号以 4 ~ 20 mA 电流信号输出,设定输出为 0 ~ 10 V 电压信号。此转化电路设定两级电压输出,一级放大器采用差动输入方式,经过反向放大后得到 -10 ~ 2 V 电压信号。二级放大增益选取 1.25,经反向放大后得到 0 ~ 10 V 与红外传感器电流信号成线性关系的标准电压信号。

2.2.2 温度控制

为了实现热压烧结过程中的温度控制,通过调节中频电源的工作电流来实现,即在烧结过程中实时检测钻头的烧结温度,根据设定的温度曲线,依据 PID 控制算法,不断调节中频电源的电流控制信号。本系统中采用的中频电源型号为 ZP-100 型,工作电压为三相 380 V 供电,功率 100 kVA,采用 PWM 调功方式,输入控制信号为 4 ~ 20 mA。

2.3 烧结过程压力的检测与调节

2.3.1 压力检测

在电源电压为 12 V 时,所选用压力传感器(AK-1)满量程输出信号为 11.649 mV,此微弱电压信号长线传送过程中,极易受到干扰,从而污染测量信号。在某些情况下,噪声信号甚至大于有效信号本身。因此,必须进行前置放大处理,将其转化为电流信号进行传输,常用标注输出电流为 4 ~ 20 mA,再能将其送入 A/D 转化电路^[4]。信号前置处理电路位于压力传感器的输出接口处,接测量电桥。放大部分采用含有 2 个运算放大器单元的芯片 OPA2277,与分压电阻构成一个仪表放大器。此部分的主要作用是将测量电桥输出的差动信号做放大

处理。

另外,可利用其内部精密电压源输出 +5 V 标准电压对测量电桥及整个前置放大电路供电。充分利用此芯片的功能,极大地简化了电路。由于 XTR106 的非线性度为 0.01%,温漂 $0.25 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$,失调电压为 $50 \mu\text{V}$ 。因此电流转化精度非常高,能够为下级处理电路提供精确的电流信号。前置处理电路中的所有元件均选用表面贴片封装,有利于减小体积,降低功耗,能够可靠地工作。

2.3.2 压力控制

如前所述,图 3 中由于直接检测压力存在不便,所以烧结过程中压力检测是通过检测主机进给油缸中油压确定的(无活塞杆油腔)。所以,烧结过程中压力控制是通过调节进给油缸中油压实现的。在金刚石钻头热压烧结机烧结过程中,是通过溢流阀改变油路工作压力,达到压力控制的目的。本控制系统采用全自动控压系统,所以油压控制回路中,增设了一个电液比例溢流阀(KP)与手动溢流阀(HP)并联。压力控制系统采用了电液比例溢流阀和手动控制溢流阀双通道控制。当采用手动操作时,只需将电液溢流阀(KP)通路中的截止阀(HL)关断,即可切断此回路。此时,系统由手动溢流阀(HP)控制油路压力。当采用计算机控制模式时,只需手动溢流阀完全关闭,此时由电液比例溢流阀调节油压。电液比例压力控制本质是控制通过比例电磁阀线圈中的电流大小。具体实现方法是,控制信号由单片机系统输出,一般为 0 ~ 10 V 电压信号。此电压信号通过放大后,控制阀门中线圈的电流。线圈中的电流决定了铁芯顶力的大小,电流变化使阀芯受力发生变化,产生移位,改变了溢流口的大小,从而实现压力调节^[5]。

2.4 单片机模糊 PID 控制程序实现

控制系统采用模糊 PID 控制原理,实现对温度、压力的控制。本节 PID 程序以压力控制为例^[6]。相关 PID 参数的确定要经过具体对象通过大量实验确定^[7]。程序控制流程图见图 4。

2.5 控制柜设计

“热压烧结机电控柜”由主控电路、I/O 电路、显示电路、键盘电路及电源电路 5 大模块组成。主控电路由 CPU、存储器及外围器件组成,负责工作过程控制、PID 运算、压力比例调节运算、显示控制及 I/O 控制。I/O 电路负责温度和压力信号的 A/D、

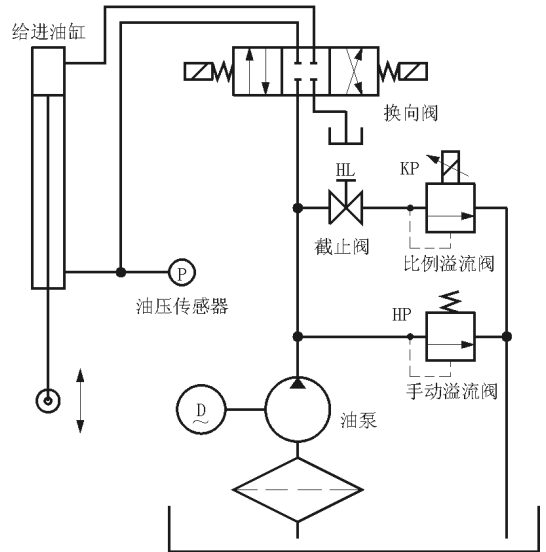


图 3 热压烧结机压力控制系统示意图

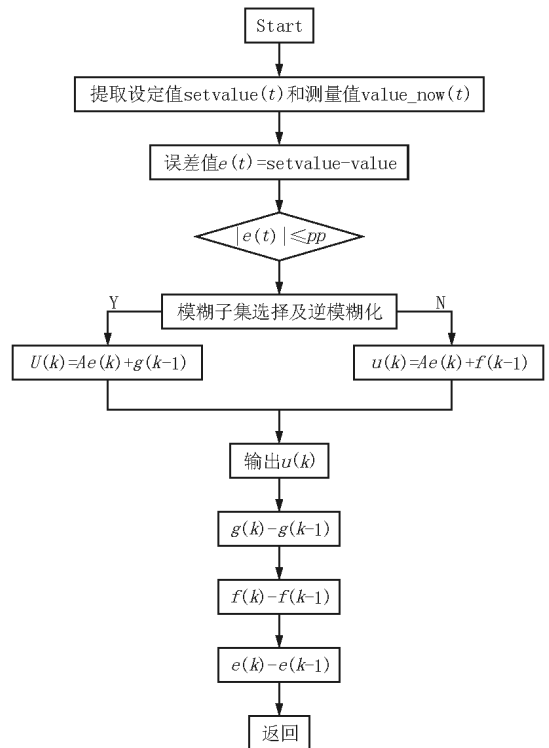


图 4 压力控制 PID 算法流程图

D/A 转换和所有信号的隔离。显示电路负责液晶显示器的驱动与扫描。键盘电路及面板按键提供人工参数输入界面,并配置工作过程常用按钮和应急按钮等。控制柜设置单独的电源电路为主控、I/O 及显示提供电源,采用与设备的功率输出部分不同相的方式接入电网,减少大功率设备起停对控制柜的干扰。系统组成如图 5 所示。

本系统的 CPU 拟选用高性能、高可靠、低功耗

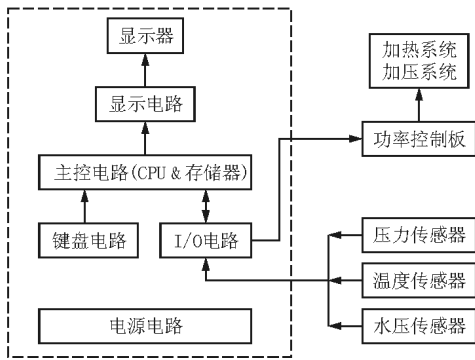


图5 电控柜总体方案

头要采取对应的冷却、卸压过程^[8]。

3.2 智能控制系统的应用与试验

本次烧结试验采用的新型金刚石钻头热压烧结机配备了本文设计的控制系统。控制系统内部已存入压力、温度控制相关PID参数,如无特殊要求,在进行烧结之前无需人工设置。下面为PID参数调节过程。

预设一段金刚石钻头烧结压力控制曲线(图6),开机进行烧结。通过分析运行结果确认其PID参数。



图6 设定理想压力控制曲线

比例系数 K_p 直接决定控制作用的强弱,加大 K_p 可以减少系统的稳态误差,提高系统的动态响应速度。但是比例系数设定不当会产生严重的震荡。图7为比例系数过大,系统产生超调震荡的画面。积分 K_i 系数影响系统上升时间,若积分系数过小,系统响应过程变长,越变过渡减缓(见图8)。微分环节影响系统响应特性如图9所示。

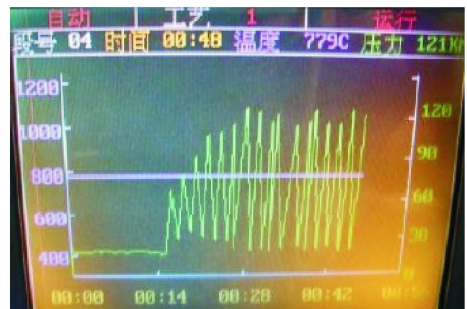


图7 比例系数过大,产生超调震荡

在对PID参数进行合理设置后,系统对设定理想信号响应良好,测试结果如图10。

表1为某金刚石钻头烧结工艺参数要求。

在烧结过程中,液晶显示屏会实时显示设定温度、压力曲线以及实时监测到的温度压力曲线(如图11所示)。

的工业级单片机,可以完全满足设备的实时运算能力及显示器刷新速度的要求,该型单片机还内置有大容量的存储器和丰富的外围接口电路,只需要很少的外围扩展即可实现整个系统要求。将主控电路和显示驱动电路设计成可直接接口8 in黑白液晶显示器、8 in彩色STN液晶显示器和10.4 in彩色液晶显示器,即同一控制电路更换为不同尺寸的显示屏就可以组合成不同的机型,减少将来的维护量和产品模块的种类。另外,在系统的PID调节算法中,应加入抗干扰数字滤波、PID参数自整定功能。

3 热压烧结的应用

3.1 金刚石钻头烧结理论

经过考证和试验,笔者认为应采取快升温烧结法。因为钻头能否烧透其决定因素在于其胎体配方和保温阶段的正确操作。升温过程中,压力选取不宜过大,一般采取全压的1/2~1/3,或更小。因为此时加压过大容易损坏磨具,造成钻头报废。保温、保压过程的相关参数是根据金刚石钻头的口径、壁厚确定的。保温过程决定了钻头是否能够烧透,对钻头的使用效果起决定性作用。这个过程必须在恰当的时间内完成。这也是造成保温时间一般情况下要长于吸收溶解热所需时间的原因之一,一般情况下保温时间要长于溶解吸收热时间3 min左右。在保温期间压力亦保持不变,待烧结体充分吸收溶解热后开始加全压。

金刚石钻头热压烧结机在降温卸压过程中,温度压力的控制由胎体粉末中各组元膨胀收缩系数确定。应该合理确定降温、卸压阶段相关参数,因为不同组元之间膨胀收缩系数不同。当钻头基体冷却进入固相阶段,由于内外降温速度各有差异,此时钻头本身会产生内应力。因此不同胎体粉末及基体的钻



图 8 积分系数过小,过渡过程变长

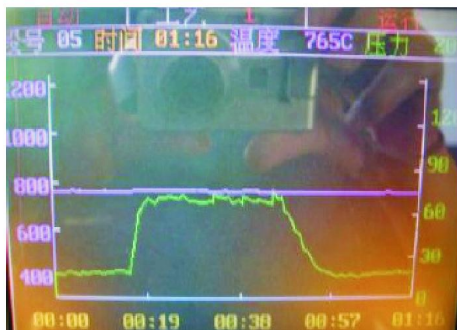


图 9 微分环节不良致使压力波动

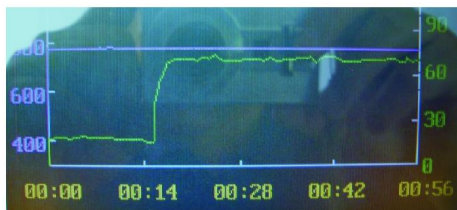


图 10 较理想压力控制曲线

表 1 某金刚石钻头烧结工艺参数

段号	时间/ s	温度/ ℃	压力/ kN	段号	时间/ s	温度/ ℃	压力/ kN
00	0	600	0	04	270	870	35
01	3	650	5	05	80	718	15
02	5	760	15	06	2	450	0
03	38	800	35	07	0	0	0



图 11 烧结过程工艺曲线

图 11 中上面较暗的线为预先设置的温度曲线,上面较亮的为实际监测到的温度曲线。起始段偏低是因为钻头胎体冷态时温度上升比较慢的原因,不影响后续的烧结;中间部分有台阶状毛刺是因为工件表面的氧化皮突然脱落,使红外测温仪测出了工件的实际温度,有氧化皮覆盖测试时温度略微偏低^[9]。

屏幕下部为设置的压力曲线和实际的压力曲线。在实际压力曲线起始部分有一小段台阶,这是因为比例压力阀有一段控制死区造成的。图 12 为烧结好的金刚石钻头。



图 12 完成烧结的金刚石钻头

3.3 智能烧结机的应用效果

采用智能烧结机的目的在于提高生产效率,提高钻头产品的良品率。通过对普通烧结机和智能烧结机各自烧结 2150 只地质钻头进行质量统计,其良品率结果见表 2。

表 2 质量统计对比

项目	普通烧结机	智能烧结机
烧结钻头数	2150 只	2150 只
裂模报废	37 只,占 1.7%	20 只,占 0.9%
欠烧报废	138 只,占 6.4%	13 只,占 0.6%
过烧报废	25 只,占 1.2%	5 只,占 0.2%
良品率	90.7%	98.3%

从钻头烧结后的质量对比可以看出,钻头的良品率从 90.7% 上升到了 98.3%。报废品率大大下降,有效地降低了生产成本,而良品率的提升则表明产品质量和生产稳定性得到了大幅提高。

根据某厂生产记录显示,月生产钻头 4000 只,需 4 名工人 25 个班的工作;而在使用智能烧结机后完成同样产量钻头只需要 3 名工人 20 个班完成。生产效率得到了较大的提高。

(下转第 48 页)

范围 80 ~ 110 r/min, 试验中发生一次掉钻事故, 下入浮鞋进行打捞, 处理事故的过程中, 发生卡钻现象, 钻机进行强力起拔, 起拔力最大达到 860 kN。一开、二开阶段和下套管过程中, 钻机由大柴油机驱动。进入三开阶段, 井眼变小, 钻机由独立小柴油机驱动, 钻进效率较大柴油机驱动时稍微降低。钻机的钻进能力, 起下钻功能, 下套管能力, 钻压调节控制等在试验中得到了较为全面的验证。

4 结论

通过生产试验, 验证了钻机的功能, 钻机在转场搬迁、起下钻加接钻具、钻压控制、钻进参数调整以及操控方面的性能表现良好。试验过程中, 体现出了 SDC-2500 型全液压车载钻机的优点, 也反映出了一些不足, 有待进一步改进完善。

(1) SDC-2500 型全液压车载钻机集成化程度高, 运移性好, 搬安作业便捷。

(2) 钻机配置双动力驱动系统, 提升了钻机的能力储备, 降低了能源消耗。

(3) 液压系统采用 LS 负荷敏感液压控制, 钻机转速能进行无级调节, 精确控制钻压, 减少工人劳动强度。

(4) 应用 PLC 电控系统, 实现了大型钻探装备

的远程操控, 提高了特殊环境下钻机操作的安全性和可靠性。

(5) 钻机孔口配置独立夹持器、液压卸扣钳和多种卸扣工具组合, 提高了辅助工作效率。

(6) 液压传动本身的特点决定了钻机处理事故时瞬间解卡的能力较差。

参考文献:

- [1] 冯起赠, 宋志彬, 和国磊. SDC-1000 型车装全液压钻机在煤层气施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(S1): 64-67.
- [2] 冯起赠, 秦如雷, 许本冲, 等. 全液压车装钻机在集束式潜孔锤反井施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(6): 23-26.
- [3] 景俊华. 负载敏感系统的原理及其应用[J]. 流体传动与控制, 2010, (5): 21-24.
- [4] 陈朝东, 张莉. PLC 在钻机控制系统中的应用[J]. 计算机自动测量与控制, 2001, 9(2): 43-44.
- [5] 庞少青, 李国东. 全液压力头钻机存在的问题分析及改进建议[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(2): 64-66.
- [6] 李文秀, 孟义泉, 董向宇, 等. YDX-1 型轻便岩心钻机的研制与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(2): 8-14.
- [7] 陶照园. PLC 在露天浅孔钻机控制系统中的应用[J]. 采矿技术, 2006, 6(4): 50-52.
- [8] 魏晓东, 赵军, 刘清友, 等. 煤层气钻机与井控装备现状及发展方向[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(5): 96-100.

(上接第 43 页)

同时由于钻头性能稳定一致, 大幅提高了钻头使用的寿命和钻进时效, 在多地勘查使用中均收到了良好的使用反馈, 产生了较大的经济效益。

4 结语

新型金刚石钻头智能烧结机, 集成光、电、液压于一体, 控制烧结温度和工作压力, 实现了预存工艺的自动运行, 替代传统人工操作完成钻头烧结。

(1) 有效提升了金刚石钻头的烧结良品率, 降低了生产成本。

(2) 较大地提高了生产效率, 降低了人力投入。

(3) 最大限度地减少了人为因素对钻头烧结工艺的影响, 使得钻头性能达到或超过了国内现有同类型产品的水平, 得到了钻探勘查用户的良好反馈, 取得了较大的经济效益。

参考文献:

- [1] 陈洪刚. 真空热压孕镶金刚石钻头烧结工艺研究[J]. 金刚石及制品, 1998, (41): 9-11.
- [2] 李明, 杨承, 杨成梧. 热压机控制系统 PID 改进[J]. 控制工程, 2006, (6): 45-47.
- [3] 杨叔子, 等. 机械工程控制基础[M]. 湖北武汉: 华中科技大学出版社, 2005.
- [4] 刘豹. 现代控制理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [5] 许建, 肖维荣. 液压位置伺服系统的模糊 PID 控制[J]. 伺服控制, 2009, (12): 55-57.
- [6] 诸静. 模糊控制理论与系统原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [7] Timothy J. 模糊逻辑及其工程应用[M]. 钱同惠, 沈其聪等译. 北京: 电子工业出版社, 2001: 252-261.
- [8] 孙毓超, 宋月清, 等. 金刚石工具制造理论与实践[M]. 河南郑州: 郑州大学出版社, 2005: 2-8.
- [9] 胡郁乐, 张恒春, 吴来杰, 等. 智能化中频感应金刚石钻头烧结设备的研制[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2011, (6): 51-53.