

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510116750.6

[51] Int. Cl.

B23K 26/00 (2006.01)

B23K 26/06 (2006.01)

B23K 26/08 (2006.01)

B23K 26/42 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009 年 2 月 18 日

[11] 授权公告号 CN 100462180C

[22] 申请日 2005.10.28

[21] 申请号 200510116750.6

[73] 专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100080 北京市海淀区北四环西路 15
号

[72] 发明人 王红才 杨明江 彭林华

[56] 参考文献

US4377736 1983.3.22

CN2853262Y 2007.1.3

CN1125441C 2003.10.22

US4734729 1988.3.29

US6404590B1 2002.6.11

CN1357427A 2002.7.10

审查员 黄振山

[74] 专利代理机构 北京泛华伟业知识产权代理有

限公司

代理人 高存秀

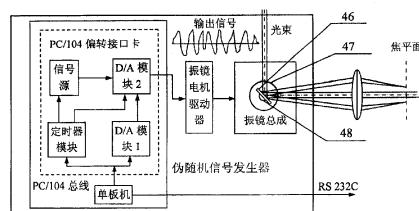
权利要求书 2 页 说明书 11 页 附图 8 页

[54] 发明名称

无规则偏转毛化点的辊类表面毛化激光加工
系统及方法

[57] 摘要

无规则偏转分布毛化点的辊类表面毛化激光加工系统，它涉及一种用于辊类表面毛化的激光加工设备，特别涉及一种具有能加工无规则毛化点的辊类表面毛化的激光加工设备。本发明包括带动辊类工件旋转的机床设备、沿着辊类工件轴向移动的激光加工装置，以及伪随机偏转装置，所述的伪随机偏转装置由伪随机信号发生器、接收伪随机信号发生器信号的振镜电机驱动器和随振镜电机驱动器输出信号动作的振镜总成组成；振镜总成由振镜电机、反射激光加工光束的反射镜构成，反射镜与振镜电机的轴相连接。本发明可以改善上述已有的激光毛化加工设备中，由于毛化点分布都有一定的规则，导致的毛化板的各向同性和外观质量等方面不足。



1. 无规则偏转毛化点的辊类表面毛化激光加工系统，它包括带动辊类工件旋转的机床设备、沿着辊类工件轴向移动的激光加工装置，其特征在于：它还包含有伪随机偏转装置，所述的伪随机偏转装置由伪随机信号发生器、接收伪随机信号发生器信号的振镜电机驱动器和随振镜电机驱动器输出信号动作的振镜总成组成；

所述的伪随机信号发生器由提供 PC 全部功能的单板机、与单板机的扩展总线相连接的偏转接口卡组成，偏转接口卡由用于产生单步定时脉冲的定时器模块、内部存有一组按正弦波变化的数字量的信号源、按半周期定时向 D/A 模块 2 输出基准电压的 D/A 模块 1 和按定时器模块产生的单步定时脉冲向振镜电机驱动器输出模拟电压的 D/A 模块 2 构成；单板机通过 PC/104 总线与 D/A 模块 1 和定时器的输入端相连接；单板机上连有 RS232C 接口。

所述的振镜总成由振镜电机、反射激光束的反射镜构成，反射镜与振镜电机的轴相连接。

2. 如权利要求 1 所述的无规则偏转毛化点的辊类表面毛化激光加工系统，其特征在于：所述的振镜总成的振镜电机的轴端连接有联轴节，反射镜与联轴节固定连接。

3. 如权利要求 2 所述的无规则偏转毛化点的辊类表面毛化激光加工系统，其特征在于：反射镜与联轴节通过螺钉连接或粘接。

4. 如权利要求 1 所述的无规则偏转毛化点的辊类表面毛化激光加工系统，其特征在于：所述的伪随机偏转装置输出的按伪随机变化的模拟电压信号的幅值最大最小值通过 RS232C 接口设定。

5. 权利要求 1 所述的无规则偏转毛化点的辊类表面毛化激光加工系统，其特征在于：所述的伪随机偏转装置输出的按伪随机变化的模

拟电压信号的频率最大最小值通过 RS232C 接口设定。

6. 无规则偏转毛化点的辊类表面毛化激光加工方法，它是使辊类工件沿自身的轴线旋转，使激光束沿辊类工件的轴向匀速运动，并定时向辊类工件的表面发射激光束，在辊类工件的表面形成毛化点，其特征在于：每次向辊类工件表面发射的激光束产生随机偏转，使辊类工件表面产生无规则分布的毛化点。

7. 如权利要求 6 所述的无规则偏转毛化点的辊类表面毛化激光加工方法，其特征在于：所述的发射至辊类工件表面的随机偏转的激光束是通过伪随机偏转装置中的伪随机信号发生器程序实现的，该程序分主程序和中断服务程序两部分，主程序先参数初始化，即：将外存中的最大、最小幅值和最大、最小频率等设定参数调入内存，给定时器模块初始化；之后送参数，即：给定时器模块送控制参数；然后等待查询到单步定时结束；之后调用伪随机函数修改单步定时参数；然后给定时器送新的控制参数；然后查询半周计数是否到，未到时返回到送参数，否则调用伪随机函数修改半周幅值参数，并返回到送参数，如此不断循环；中断服务程序通过 RS232C 接口将最大、最小幅值和最大、最小频率等设定参数送到外存和内存，之后主程序就按新的设定参数修改单步定时参数和半周幅值参数。

无规则偏转毛化点的辊类表面毛化激光加工系统及方法

技术领域

本发明涉及一种用于辊类表面毛化的激光加工设备及加工方法，特别涉及一种具有能加工无规则毛化点的辊类表面毛化的激光加工设备及加工方法。

背景技术

YAG 激光毛化设备是中国科学院力学研究所在九十年代研究开发的冷轧辊激光加工设备，如：中国专利号：ZL 92113223.9，名称：“高重频调制多脉冲 YAG 激光刻花系统及加工方法”；中国专利号：ZL 94220848.X，名称：“用于轧辊表面毛化的激光加工设备”。图 1 是该设备的总体结构示意图。该设备采用高重复频率的大功率激光脉冲作用于轧辊表面，在辊面上产生无数一定形貌的强化微坑（毛化点）。该设备类似于普通车床。其工作过程是机床主轴电机驱动轧辊旋转，同时驱动移动架上的激光头平移，声光电源控制激光器发出固定频率的激光脉冲，从而在轧辊上打出一条等螺距的由毛化点构成的螺旋线。图 4 是利用这一方法打的冷轧辊表面的毛化点形貌图（左右代表轴向，上下代表圆周向，下同），称之为不可控分布毛化点形貌图，相应地称图 4 为不可控分布激光毛化设备总体结构示意图。由图中可看出，每一圈上的毛化点间距基本相等。这是由于激光脉冲频率固定，主轴转速基本恒定。由于控制激光器的声光电源的控制与主轴旋转的控制是相互独立的，没有实现同步控制，而主轴转速稳速精度有限，导致毛化点点距的误差。在整条螺旋线上这一误差是累加的，所以各圈之间的毛化点的分布没有规律，但有

一定的规则，呈波浪形分布。

又如：中国专利号：ZL 00128273.5，名称：“具有可控分布毛化点的辊类表面毛化激光加工系统”；中国专利号：ZL 00264774.5，名称：“用于辊类表面毛化的具有可控分布毛化点的激光加工装置”。图2是该设备的总体结构示意图。图5、图6是利用这一方法打的冷轧辊表面的毛化点形貌图，该设备通过在主轴同轴方向装一高精度高分辨率的增量编码器，并用一台工控机控制声光电源和移动架实现辊面毛化点的可控分布。

实验表明，毛化点的分布对毛化板的性能影响很大。具有不可控分布毛化点的毛化板，它的各个部位及其各个方向的性能有较大差异，也即毛化板的各向同性不好；具有可控分布毛化点的毛化板，与不可控分布毛化点的毛化板相比，解决了毛化板的毛化点分布的均匀度问题，在各对应的同一单位面积内毛化点的分布相同，其各向同性有较大改善。它的各对应部位的同方向的性能是一致的，但各对应部位的不同方向的性能仍有较大差异，各不对应部位及其各个方向的性能差异较大。

以上两种毛化板的毛化点分布都有一定的规则，使毛化板各个方向的外观不一致，有方向性，而实际中往往需要外观无方向性的激光毛化板。但是现有的设备和加工方法还不能在辊类表面加工无规则分布的毛化点。

发明内容

为解决现有技术存在的问题，本发明提供一种无规则偏转毛化点的辊类表面毛化激光加工系统及加工方法，它可以改善上述已有的激光毛化加工设备中，由于毛化点分布都有一定的规则，导致的毛化板的各向同性和外观质量等方面的不足。

本发明的无规则偏转毛化点的辊类表面毛化激光加工系统，它包括带动辊类工件旋转的机床设备、沿着辊类工件轴向移动的激光加工装置，以及伪随机偏转装置，所述的伪随机偏转装置由伪随机信号发生器、接收伪随机信号发生器信号的振镜电机驱动器和随振镜电机驱动器输出信号动作的振镜总成组成。

伪随机信号发生器由提供 PC 全部功能的单板机、与单板机的扩展总线相连接的偏转接口卡组成，偏转接口卡由用于产生单步定时脉冲的定时器模块、内部存有一组按正弦波变化的数字量的信号源、按半周期定时向 D/A 模块 2 输出基准电压的 D/A 模块 1 和按定时器模块产生的单步定时脉冲向振镜电机驱动器输出模拟电压的 D/A 模块 2 构成；单板机通过 PC/104 总线与 D/A 模块 1 和定时器模块的输入端相连接；单板机上连有 RS232C 接口。

振镜总成由振镜电机、反射激光加工光速的反射镜构成，反射镜与振镜电机的轴相连接。

本发明的无规则偏转毛化点的辊类表面毛化激光加工方法，它是使辊类工件沿自身的轴线旋转，使激光束沿辊类工件的轴向匀速运动，并定时向辊类工件的表面发射激光输出信号，在辊类工件的表面形成毛化点，每次向辊类工件表面发射的激光输出信号产生随机偏转，使辊类工件表面产生无规则分布的毛化点。

本发明与现有技术设备相比具有以下优点：

- 1、本发明生产的激光毛化板具有更好的各向同性；
- 2、本发明生产的激光毛化板具有更好的外观质量。

附图说明

图 1 是不可控分布 YAG 激光毛化设备总体结构示意图。

图 2 是可控分布 YAG 激光毛化设备总体结构示意图。

图 3 是增量编码器与主轴联接示意图。

图 4 不可控分布毛化点形貌图。

图 5 是矩形分布毛化点形貌图。

图 6 是菱形分布毛化点形貌图。

图 7 是伪随机偏转装置结构示意图。

图 8 是伪随机信号发生器程序流程图。

图 9 是振镜总成结构示意图。

图 10 是矩形无规则分布毛化点示意图。

图 11 是菱形无规则分布毛化点示意图。

图 12 是可控无规则分布 YAG 激光毛化设备控制部分方框图。

图 13 是机床移动架上层光路示意图。

图面说明： 1 - 待加工辊； 2 - 光路防护罩； 3 - 气路； 4 - 激光器； 5 - 机床床头； 6 - 监视器； 7, 22 - 机床导轨； 8 - 机床移动架； 9 - 激光头； 10 - 光杠； 11 - 机床床尾； 14 - 二维移动架； 15 - 声光电源； 16 - 顶尖座； 17 - 纵向伺服电机； 18 - 滚珠丝杠； 19 - 激光电源； 20 - 控制柜； 21 - 工控机； 23 - 增量编码器； 24 - 弹性片联轴节； 25 - 增量编码器安装套； 26 - 机床主轴变速箱； 27 - 机床主轴套； 28 - 机床主轴； 29 - 横向移动调节机构； 30 - 聚焦透镜； 31 - 扩束镜； 32 - 反射镜 A； 33 - 反射镜 B； 34 - 反射镜 C； 35 - 反射镜 D； 36 - 摄像装置； 37 - 同轴照明灯； 38 - 光路切换装置； 39 - B 路激光器； 40 - B 路声光盒； 41 - A 路激光器； 42 - A 路声光盒； 43, 44, 45 - 光路防护套； 46 - 反射镜 E； 47

- 振镜电机； 48 - 联轴节； 49 - 振镜总成； 50 - 入射口； 51 - 出射口。

具体实施方式

以下结合附图对本发明进行详细的说明：

为了实现激光毛化无规则分布，本实施例提出的方案是如图 2、图 3、图 7、图 12 所示。辊类表面无规则毛化点的毛化加工采用伪随机偏转装置和随机延时装置实现。也即在可控分布激光毛化设备中增加控制量按伪随机信号变化的装置，使毛化点呈无规则分布。故该设备也称为可控无规则分布毛化点的辊类表面毛化激光加工系统。

本实施例的总体结构示意图同图 2 所示相同，设备由机床床头，机床床身和控制柜三部分组成，具有与机床主轴转速无级可调的两维数控车床相似的结构形式。机床床头 5 包括变频器（型号为 iHF-7.5K）、机床主轴驱动变频电机（型号为 YVP-132M）、机床主轴变速箱 26（减速比为 7.5）、机床主轴 28 及主轴套 27、高精度高分辨率的增量编码器 23（型号为 ZPJ-500A-25000，每转等分 10 万线）及安装套、卡盘和润滑系统等。变频器安装在机床床头 5 的底部，它与主轴驱动变频电机电连接；主轴变频电机经机床主轴变速箱与机床主轴相连；机床主轴一侧固定卡盘，卡盘用于装卡辊；另一侧固定主轴套 27，主轴套 27（带轴头）与机床主轴 28 用螺纹连接，主轴套 27 经弹性片联轴节 24 与增量编码器 23 轴相连（保证增量编码器装在机床主轴 28 同轴方向）；增量编码器 23 端面固定增量编码器安装套 25 并经安装套与机床主轴变速箱 26 相连。润滑系统包括润滑泵、油箱及油管等，润滑系统用于润滑机床主轴变速箱。工控机 21 内的 D/A 接口卡给变频器发信号，变频器驱动机床主轴电机连同辊旋转，且转速无级可调。主轴电机连同辊旋转时增量编码器输出反映辊旋转位

置的脉冲信号，脉冲信号传给工控机 21 内的可控分布接口卡，经计算机处理后控制无规则延时装置和纵向伺服驱动器。无规则延时装置控制声光电源 19。纵向伺服驱动器驱动纵向伺服电机 17，经滚珠丝杠 18 带动机床移动架 14 在机床导轨 22 上左右移动。

床身包括机床导轨 22、机床移动架 14、纵向伺服电机 17、滚珠丝杠 18 和顶尖座 16 等。所述的伺服电机 17（使用型号为 MDMA152A1A）与滚珠丝杠 18 直联，伺服电机 17 驱动滚珠丝杠 18 通过丝母带动移动架 14 与导轨滑动配合，并在导轨 22 上左右移动，且速度无级可调。移动架 14 分上下两部分，下半部分装有一路或两路声光电源 15 及激光电源 19，上半部分装有 A 路激光器 41 及 A 路声光盒 42、B 路激光器 39 及 B 路声光盒 40、光路切换装置 38、振镜总成 49、激光扩束镜 31、光束反射镜 32、33、34 与 35、摄像装置 36、同轴照明灯 37、横向移动调节机构 29、激光头 30 和光路防护套 43、44 与 45。

图 13 是机床移动架上层光路示意图。光路切换装置 38 由低速同步电机、丝杠、导轨、滑座及滑座上的全反镜构成，低速同步电机与丝杠直连，丝杠、导轨和滑座构成一传动副。光路切换装置 38 的作用是转折光路，使 B 路激光器 39 发出的激光光束进入振镜总成 49，然后进入激光扩束镜 31。激光扩束镜 31 包括发散镜和聚焦镜，由多片镜子组成，它除了具有与一般的 YAG 激光加工设备中的扩束镜相同的对激光束扩束准直作用外，还能消除光学像差，减少激光束的弥散性。光束反射镜 32 是光束分色镜，光束分色镜的作用是对 $1.06\mu m$ 的 YAG 激光进行全反射转折而对波长 $0.4 \sim 0.8\mu m$ 的可见光进行一半反射一半透射或按比例分光。光束

反射镜 33 与 34 是全反射镜，全反射镜用于转折光束的传输方向。光束反射镜 35 是光束分色镜，光束分色镜的作用是对波长 $0.4 \sim 0.8\mu\text{m}$ 的可见光进行一半反射一半透射或按比例分光。同轴照明灯 37 发出的光束是平行光束，不要准直，其作用是给 CCD 成像提供辅助光源。横向移动调节机构 29 由横向伺服电机（型号为 MSMA042A1A）、滚珠丝杠、导轨及滑座组成，滚珠丝杠、导轨和滑座构成一传动副，它与装在滑座上的位移传感器、横向伺服驱动器及位置 PID 调节器构成间距自动跟踪器，跟踪间距可由工控机 21 内的 D/A 接口卡设定。聚焦透镜 30 包括激光聚焦镜、保护镜、辅助气体喷射装置，保护镜安装在聚焦镜之前，它的作用是隔断激光聚焦镜与激光在辊面上的作用点的通道，使激光聚焦镜免受污染。辅助气体喷射装置是一种双气路结构。在激光毛化过程中，轧辊表面的金属在激光的作用下产生溶化与部分汽化，为了使轧辊及轧制的金属板达到一定的粗糙度，必须使轧辊表面不仅形成凹坑而且在凹坑的周围还应有凸台的存在，这种凸台就是由溶化的金属流出凹坑凝固所形成。为此，辅助气体喷射装置的气路之一设计成与光轴成一个夹角，变化范围为 $30^\circ \sim 75^\circ$ ，将激光作用点处的熔融金属吹向一侧。辅助气体喷射装置的另一气路是与会聚激光束同轴的，气流引入处在保护镜之前，从该气路喷嘴射出的气流用于阻隔激光与金属作用的粉尘及飞溅物以保护保护镜不被污染。激光聚焦镜除了具有一般的 YAG 激光加工设备中的将激光束聚焦于工件表面的作用外，另一作用是作为 CCD 成像的前置物镜，它与摄像装置 36 的物镜统一构成 CCD 成像物镜系统，其优点是横向移动调节机构 29 移动时不影响 CCD 成像的清晰度。摄像装置 36 包括物镜、

目镜和 CCD 摄像头，目镜用于将经物镜处理的辊表面的形貌成像于 CCD 像元上。整个成像系统实际上是一个显微镜装置。A 路激光器 41 内装有 A 路声光盒 42，B 路激光器 39 内装有 B 路声光盒 40。光路防护套用于光路防尘，它有三种结构。光路防护套 45 是固定长度的金属套筒，其作用是用于光束反射镜 32、33、34 及 35、摄像装置 36 与同轴照明灯 37 之间的光路连接；光路防护套 44 是可微调的波纹状的金属筒或塑料筒，其作用是用于 A 路激光器 41、B 路激光器 39、光路切换装置 38、激光扩束镜 31 和光束反射镜 32 之间的光路连接；光路防护套 43 由两段或两段以上的固定长度的金属套筒组成，其作用是用于光束反射镜 32 与聚焦透镜 30 之间的光路连接，其特点是防护套的长度可随横向移动调节机构 29 的前后移动而变化。激光电源用于给激光器供电并能保证供电电流恒定，声光电源通过给声光盒发出超声波信号控制激光器发出的光脉冲。

控制柜 20 包括工控机 21（型号为 AWS-825P）、纵向伺服驱动器（型号为 MSDA153A1A）、横向伺服驱动器（型号为 MSDA043A1A）、冷却系统和其他继电控制电路等。图 14 是可控无规则分布激光毛化设备控制部分方框图。工控机内 AT 总线上装有一块可控分布接口卡、两块电隔离双路 D/A 接口卡（型号为 PCL-728）。主轴电机连同辊旋转时增量编码器输出反映辊旋转位置的脉冲信号，脉冲信号传给工控机 21 内的可控分布接口卡，经计算机处理后控制伪随机延时装置和纵向伺服驱动器。伪随机延时装置控制声光电源 19。纵向伺服驱动器驱动纵向伺服电机 17，经滚珠丝杠 18 带动机床移动架 14 在机床导轨 22 上左右移动。工控机 21 内的一块 D/A 接口卡发两路信号给激光器电源 15，控制 A 路激光器 41

和 B 路激光器 39。工控机 21 内的另一块 D/A 接口卡发一路信号给变频器，变频器驱动机床主轴电机连同辊旋转，且转速无级可调；D/A 接口卡发另一路信号给位置 PID 调节器。激光与辊面间距自动跟踪器由工控机 21、位置 PID 调节器、电感式非接触位移传感器（使用型号为 ST-1 型）、横向伺服驱动器及伺服电机、滚珠丝杠传动副等构成，它是一个闭环控制系统，工控机 21 设定间距大小，位移传感器检测实际间距，伺服驱动器工作在速度控制方式。工控机 21 通过一路 RS232C 与伪随机延时装置内的单板机（型号为 PCM-3346F-00A2）相连，用于设定随机延时的最大、最小值。工控机 21 通过另一路 RS232C 与伪随机偏转装置中的伪随机信号发生器内的单板机（型号为 PCM-3346F-00A2）相连，用于设定随机偏转频率的最大、最小值及偏转幅值的最大、最小值。冷却系统由水箱、水泵及温控器构成，它的作用是用于激光器的冷却。

本发明的伪随机偏转装置的示意图如图 7 所示。该装置由伪随机信号发生器、振镜电机驱动器和振镜总成组成。伪随机信号发生器内含单板机和 PC/104 偏转接口卡。单板机（采用 PC/104 模块）提供了完整 PC 的全部功能。PC/104 偏转接口卡由定时器模块、信号源、D/A 模块 1 和 D/A 模块 2 组成。定时器模块用于产生单步定时脉冲，其值由单板机设定；信号源内存有一组按正弦波变化的数字量，按定时器模块产生的单步定时脉冲向 D/A 模块 2 输出按正弦波变化的数字量；D/A 模块 1 按半周定时向 D/A 模块 2 输出基准电压，其值由单板机设定；D/A 模块 2 按定时器模块产生的单步定时脉冲向振镜电机驱动器输出模拟电压，其值由信号源输出数字量和 D/A 模块 2 输出基准电压确定。PC/104 偏转接口卡安

装在单板机的 PC/104 扩展总线上。

伪随机偏转装置的外部信号有两路：输出信号和 RS232C 接口。输出信号是一模拟电压信号，其幅值和（或）频率在某一范围内按伪随机信号变化，最大、最小值可通过 RS232C 接口设定。如果 D/A 模块 2 输出的单步定时按伪随机信号变化，输出模拟电压的频率就会按伪随机信号变化；如果 D/A 模块 1 输出的基准电压每半周按伪随机信号变化，输出模拟电压的幅值就会按伪随机信号变化。

图 8 是伪随机信号发生器程序流程图。程序分主程序和中断服务程序两部分。主程序先“参数初始化”（将外存中的最大、最小幅值和最大、最小频率等设定参数调入内存，给定时器模块初始化），之后“送参数”（给定时器模块送控制参数），然后等待查询到单步定时结束，之后调用伪随机函数修改单步定时参数，然后给定时器送新的控制参数，然后查询半周计数是否到，未到时返回到“送参数”，否则调用伪随机函数修改半周幅值参数，并返回到“送参数”，如此不断循环。中断服务程序通过 RS232C 接口将最大、最小幅值和最大、最小频率等设定参数送到外存和内存，之后主程序就按新的设定参数修改单步定时参数和半周幅值参数。

振镜电机驱动器按伪随机信号发生器输出的伪随机信号驱动振镜总成中的振镜电机，使之按伪随机信号偏转。

图 9 是振镜总成结构示意图（去掉盖板后的侧视图）。振镜总成主要包括振镜电机和反射镜，振镜电机的轴上装有一联轴节，反射镜通过螺钉固定或胶粘的方式与联轴节相联。当需改变光束的出入方向时，需另加反射镜。

伪随机偏转装置插入现有辊类表面毛化激光加工设备的外光路中，位于聚焦镜之前。可参考图 13——机床机动架上层光路结构示意图。

当振镜电机上的反射镜随振镜电机按伪随机信号偏转时，毛化点就会在聚焦镜的焦平面附近的一条线段上变化，形成一维无规则分布。当振镜总成包括两组相互垂直的振镜电机及反射镜时，毛化点就会在聚焦镜的焦平面附近形成二维无规则分布。

伪随机偏转装置能使毛化点在圆周向和/或轴向形成一维或二维无规则分布。

图 10 是矩形无规则分布毛化点示意图。其中左图为圆周向和轴向无规则分布幅值为零时的情况；中图为圆周向无规则分布幅值不为零，轴向无规则分布幅值为零时的情况；右图为圆周向和轴向无规则分布幅值都不为零时的情况。

图 11 是菱形无规则分布毛化点示意图。其中左图为圆周向和轴向无规则分布幅值为零时的情况；中图为圆周向无规则分布幅值不为零，轴向无规则分布幅值为零时的情况；右图为圆周向和轴向无规则分布幅值都不为零时的情况。

本发明不限制激光波长。伪随机延时装置可用于用电脉冲控制光脉冲的各类用于激光毛化的激光器，如声光控制连续 YAG 激光器、射频二氧化碳激光器；伪随机偏转装置可用于各类用于激光毛化的激光器，如 YAG 激光器、二氧化碳激光器。

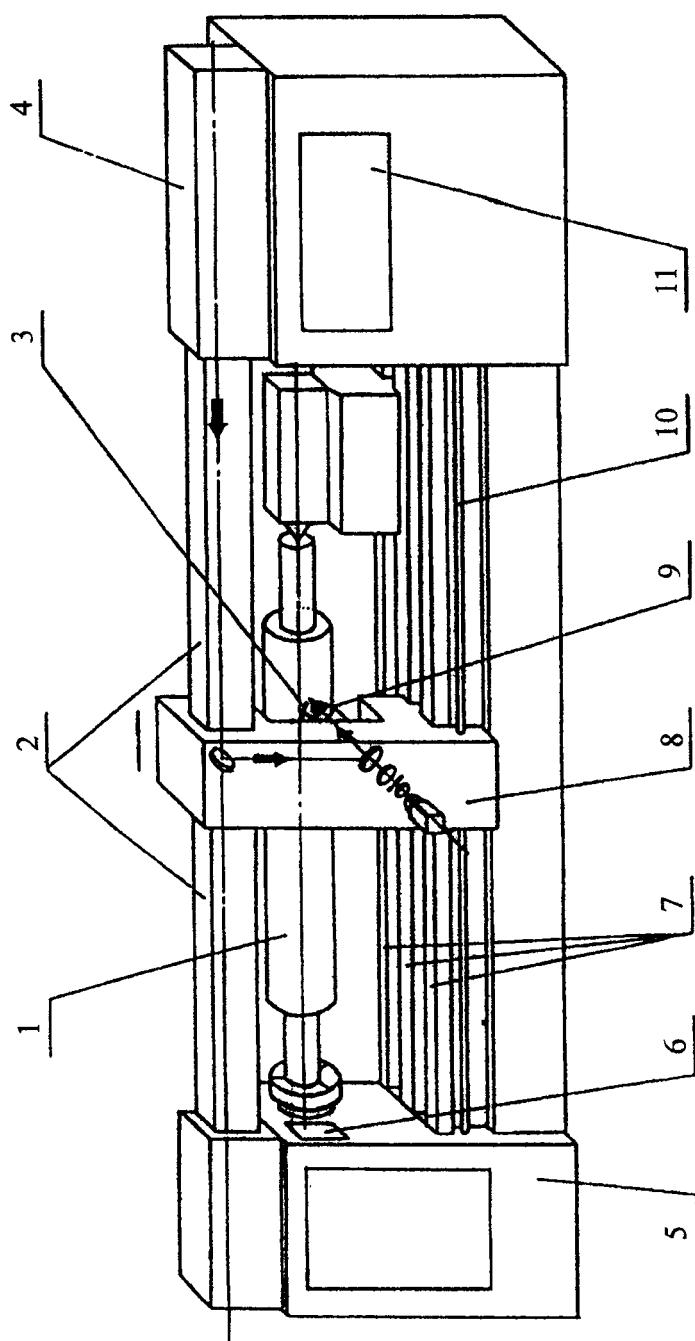


图 1

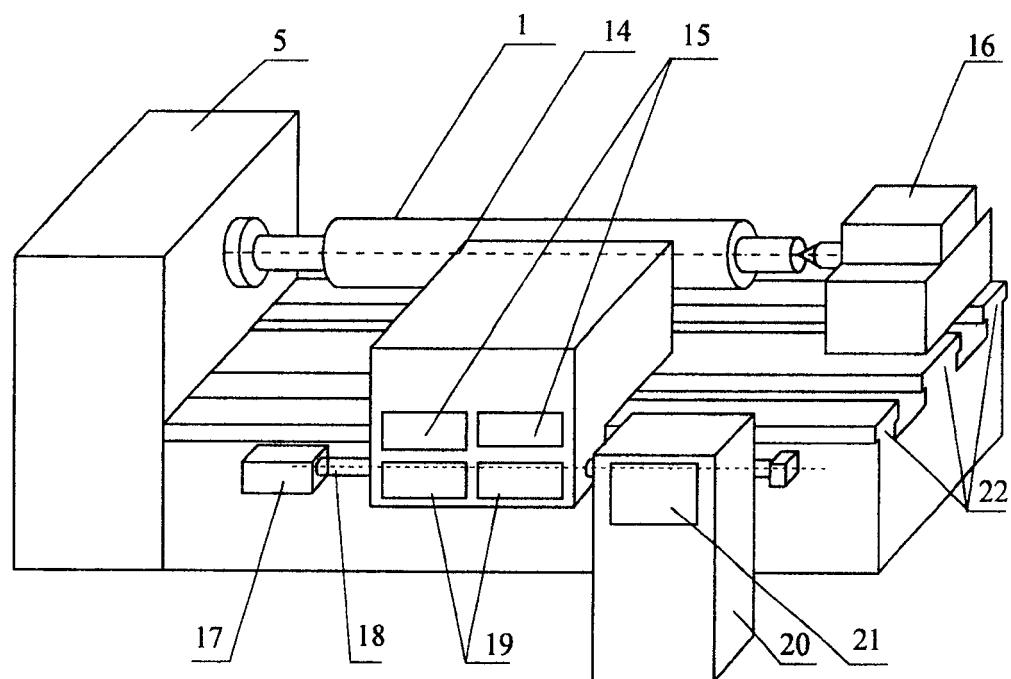


图 2

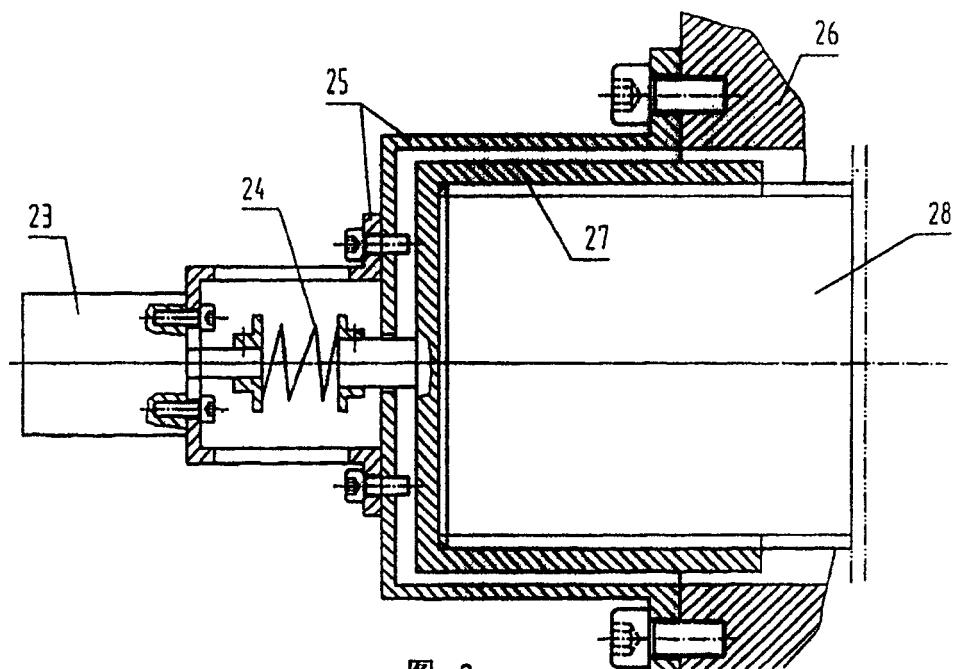


图 3

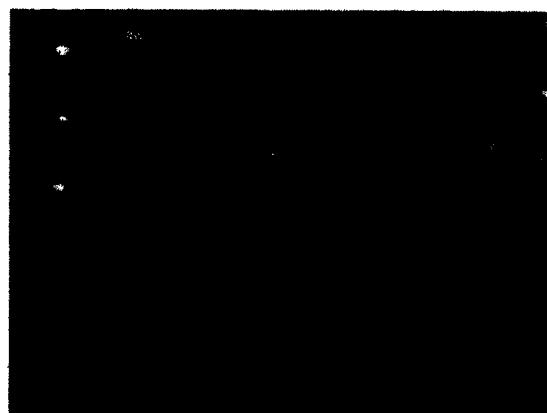


图 4

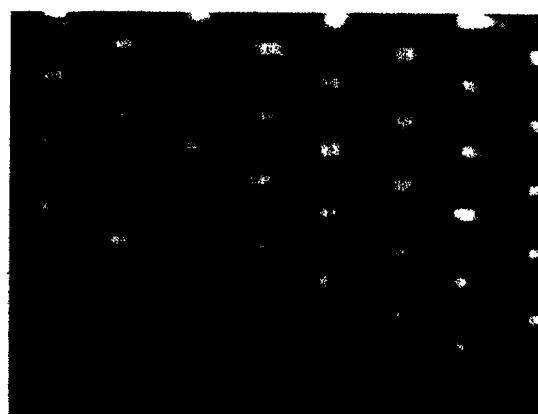


图 5



图 6

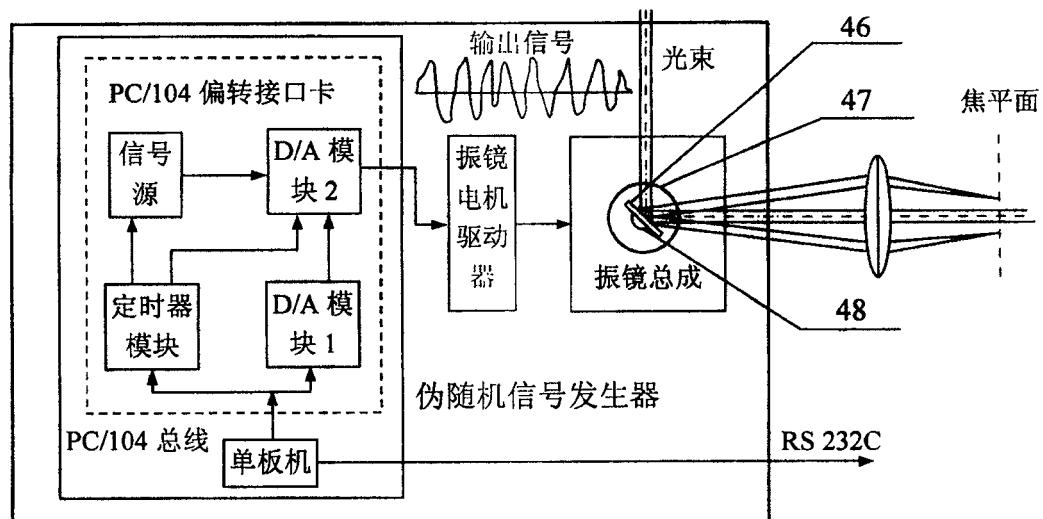
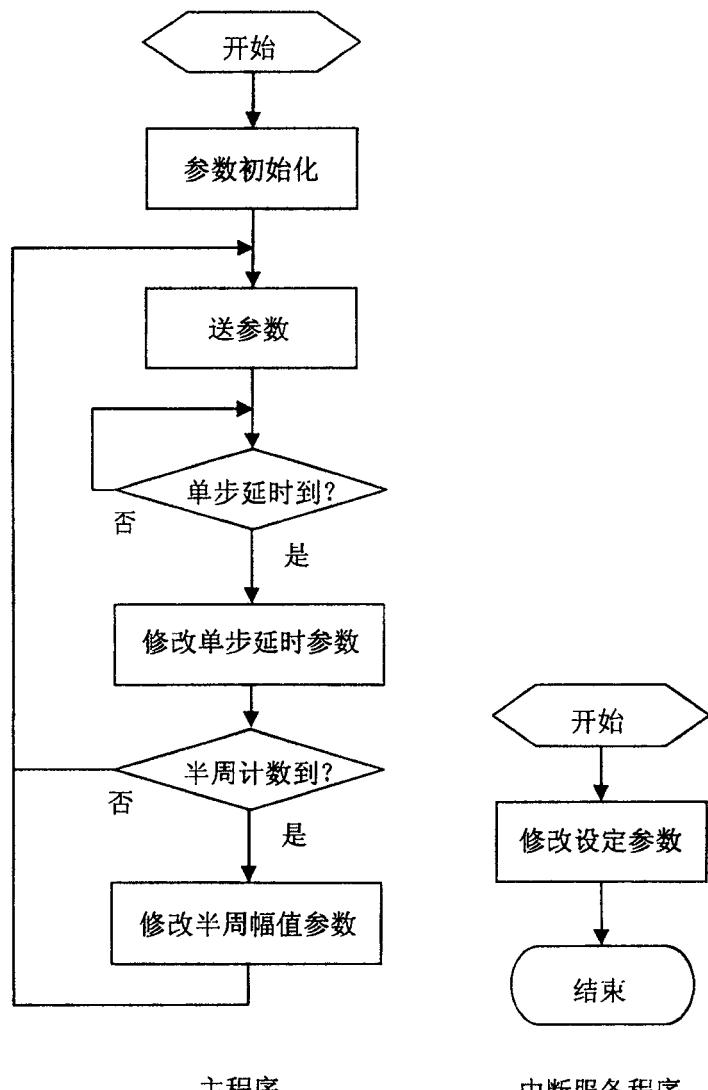


图 7



主程序

中断服务程序

图 8

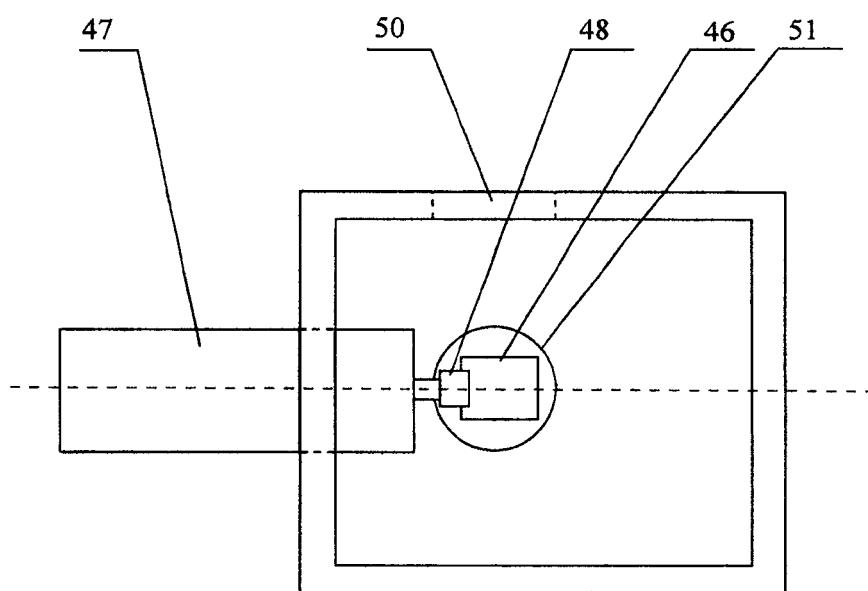


图 9

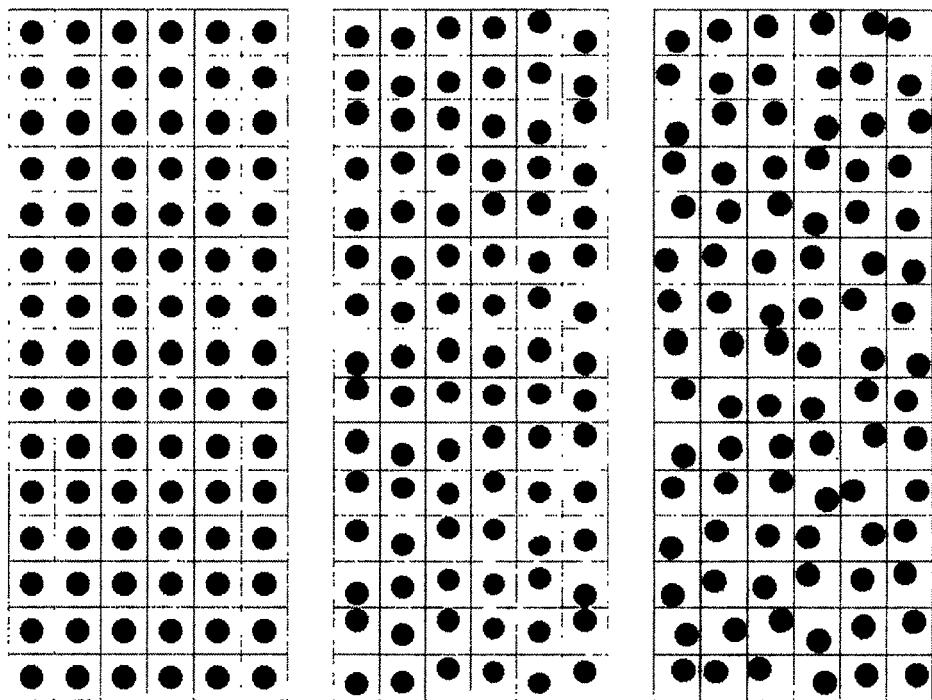


图 10

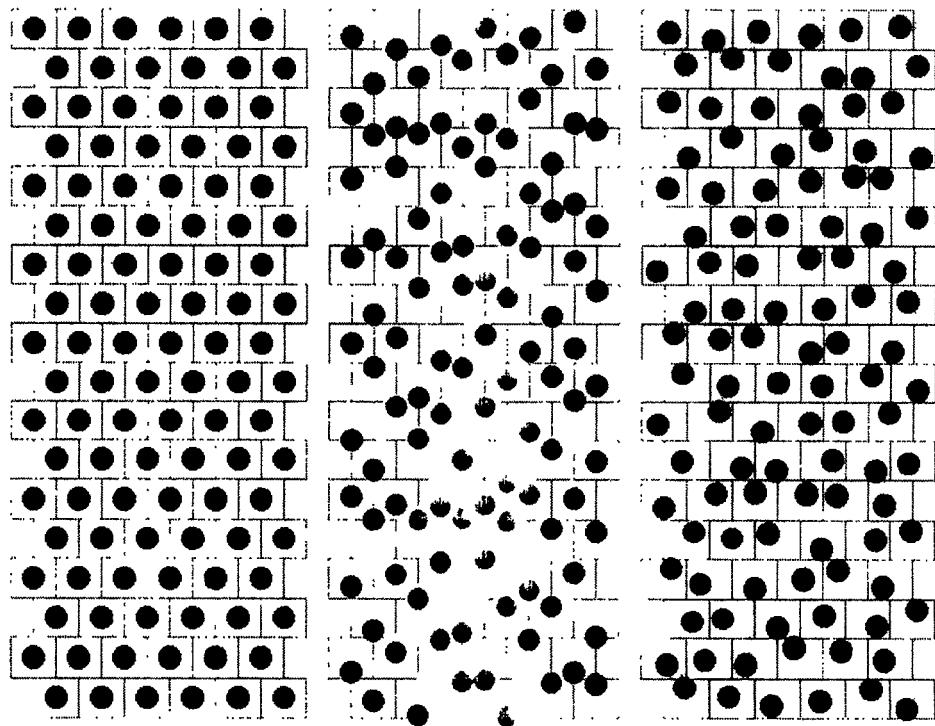


图 11

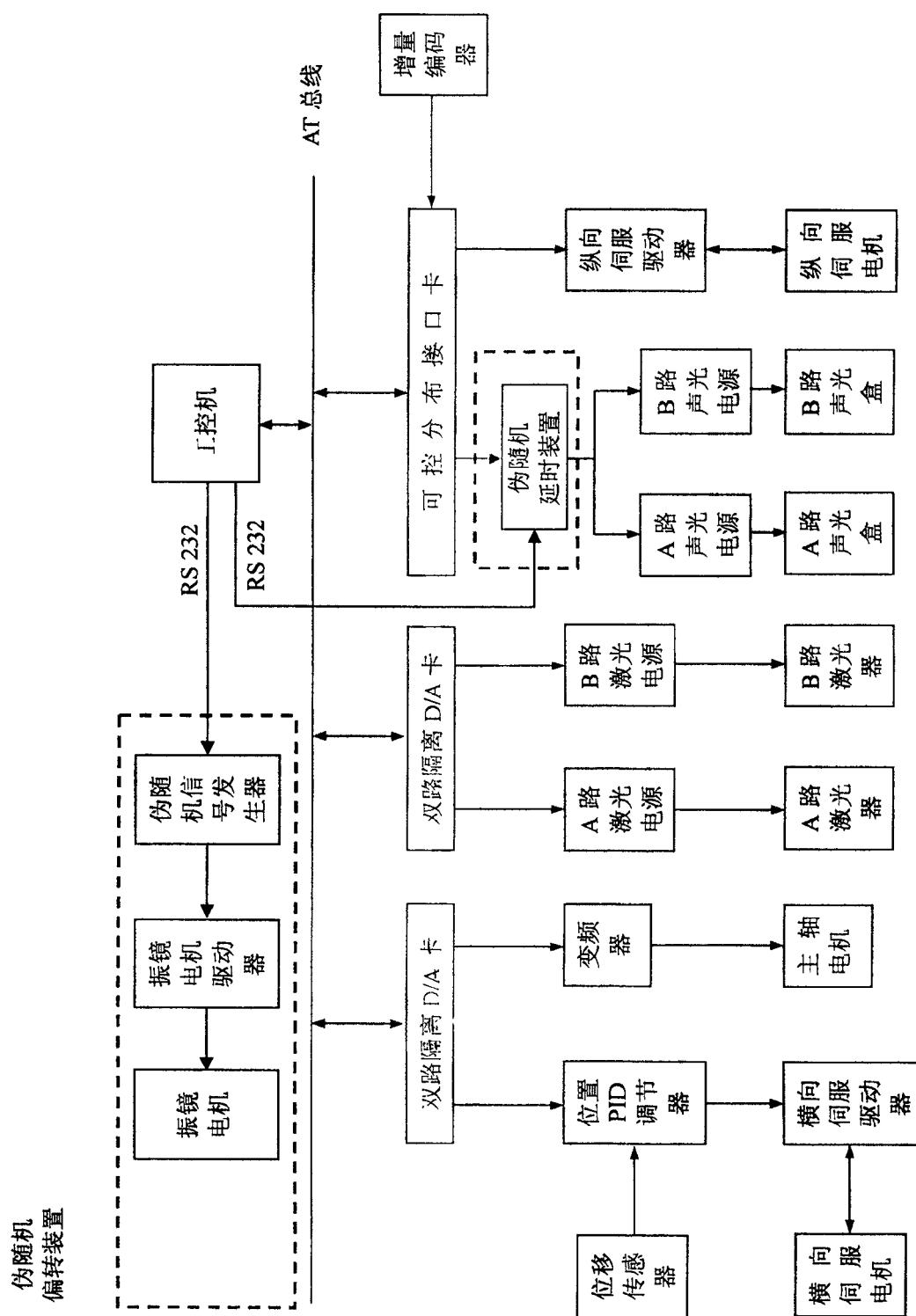


图 12

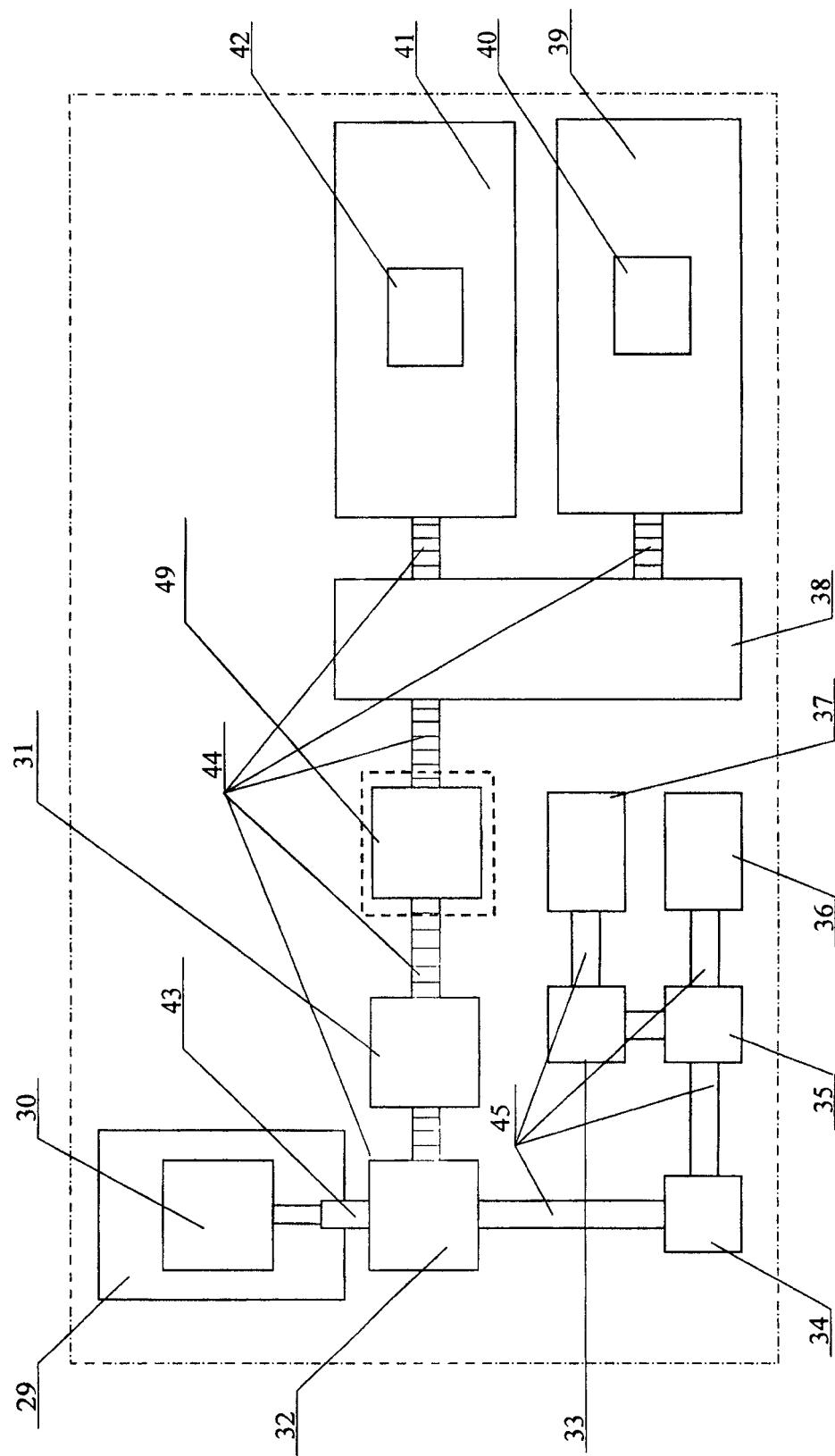


图 13