程控无油超高真空排气台的研制

米 伦[1], 李晓勇[2], 王 远[1], 李 建[2]
(1. 中国工程物理研究院 电子工程研究所,四川 绵阳 621900;
2. 北京利方达真空技术有限责任公司, 北京 100029)

摘 要:由外冷式吸附泵作为前级泵、溅射离子泵作为主抽真空泵构成无油超高真空系统,采用计算机控制技术,以真空度为工艺进程判据, 对器件进行烘烤排气,实现电真空器件的真空排气工艺的自动控制。介绍了无油超高真空系统、控制系统、烘箱与热功率以及软件的设计。排气台为多工位结构,具有气体质谱分析和充气功能;空载时极限真空度优于 8×10^{-7}Pa;烘箱烘烤温度为 25 ~ 600 ℃,连续可调,恒温精度优于 ±1%;分析质量数为 1 ~ 80。程控排气台设计合理,操作简便,计算机控制技术精细了工艺过程控制量,排除了人为因素,其性能稳定可靠,可满足使用要求。

关键词:无油超高真空系统;真空度;程控工艺
中图分类号:TP273;TB751 文献标识码:A 文章编号:1006 - 7086(2005)03 - 0170 - 05

THE RESEARCH ON OIL FREE PROGRAMMED CONTROL EQUIPMENT FOR EXHAUSTING HIGH VACUUM

MI Lun[1], LI Xiao-yong[2], WANG Yuan[1], LI Jian[2]
(1. Institute of Electronic Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China;
2. Beijing LeyFond Vacuum Technology Co., Ltd. Beijing 100029, China)

Abstract: The adsorption pump is the former pump, The iron pump is the main part of the oil free vacuum system. The vacuum degree is judged as criterion by computer automatically to heated the apparatus. Oil free high vacuum system, control system, heat system, it's power and the control program have been introduced. The system can analyze the gas spectrum and charge gas. The vacuum limit reach 8×10^{-7} Pa. The heat temperature is from room temperature to 600 ℃. The constant temperature overmatch ±1%. The analyze mass number is from 1 to 80. The system design reasonably operate simply. Due to the computer control, precise control actor have been used. The artificial factor have been removed.

Key words: oil free high vacuum system; vacuum degree; programmed control

1 引 言

随着高能加速器、热核反应、半导体研究、空间探索、表面研究等现代科学技术的迅猛发展,真空的应用领域也得到快速拓展, 真空技术由低真空向高真空、超高真空及有油系统向无油系统快速发展,同时,对相关的控制、测量、分析等技术提出了自动化、数字化、智能化的要求。

在真空器件的研究和制造过程中,真空器件的排气是将零、部件组装成密封器件后,接上真空排气台进行烘烤和排气, 并分别对相关元件按照一定的工艺规程进行处理, 使之获得并长期保持工作所需的良好真

收稿日期:2005-01-06.
作者简介:米伦(1955 -),男,重庆市人,高级工程师,从事电真空技术工作。

空环境[1]。真空排气具有很强的工艺性，因而，其排气台除应具有很强的抽气能力外，还应满足工艺规程中的控制、测量、分析等功能要求，其中工艺处理能力应具有很好的一致性、稳定性和可靠性。为满足一种电真空器件的制造要求，选用吸附泵、溅射离子泵构成无油超高真空系统，对采用计算机控制器件的烘烤、排气及元件的工艺处理过程的无油超高真空排气台进行了方案设计[2]，由北京利方达真空技术有限责任公司开发研制。

2 主要性能和技术指标

无油超高真空系统，空载时极限真空度优于 8×10^{-7}Pa，烘烤温度为 25～500 ℃、连续可调，恒温精度优于 ±1%。程序控制排气工艺，并具备以下功能：

(1)快捷键操作人机对话，键入时间，控制参数等。(2)程序控制设备工艺流程界面。(3)根据预定工艺，自动控制升温、保温，内消除气、电离管除气，激活，烘箱升降等操作，实时记录真空度、温度、过程参数及报警。(4)真空度、温度数值数字化显示。(5)在整个排气过程中，一旦出现故障，有声光报警，并保留状态。系统为多工位结构，也可分别进行排气，质谱分析质量范围 1～80。

3 程控无油超高真空排气台的组成

由无油超高真空系统、控制系统、烘箱液压升降机构、质谱仪、充气系统以及机架结构等组成程控无油超高真空排气台，分为控制柜和主机结构 2 部分，用 10 m 电缆连接，其示意图如图 1 所示。

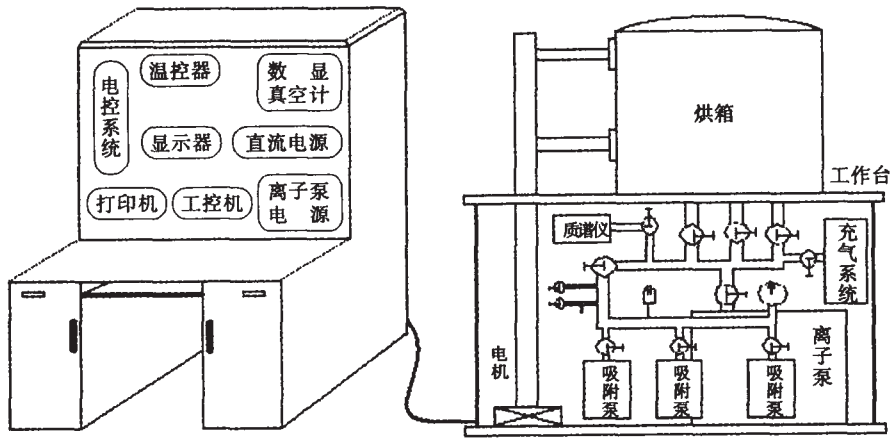


图 1 程控无油超高真空排气台示意图

将装配焊接成密封体并检漏后的器件，接上无油超高真空排气台，便可进行烘烤、真空排气、工艺处理、气压调节和残余气体分析等工作。

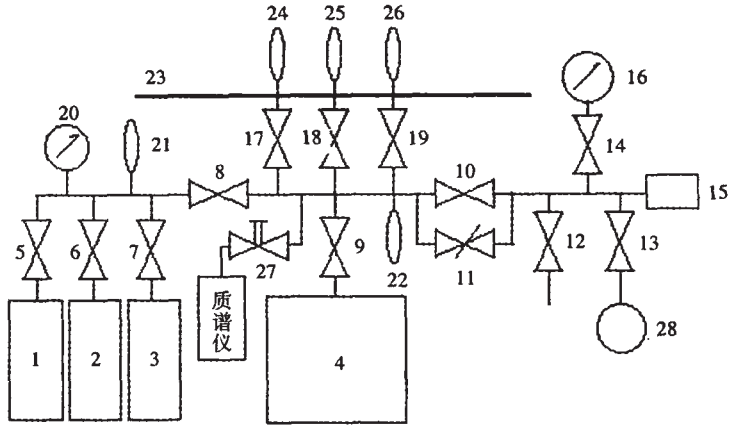
3.1 真空系统

用外冷式吸附泵作为前级泵，以溅射离子泵作为主抽真空泵，由真空管道、阀门、热偶计以及压力表等组成无油超高真空系统，其系统结构示意图如图 2 所示。

由热偶真空计监测低真空端的真空度，真空压力表用于粗真空及对系统充气过程的监测，通过微调阀进行气压调节，主真空室安装有电离规进行超高真空及高真空排气过程的测量，真空系统安装有自烘烤加热装置。

3.2 控制系统

由电气控制、温度控制、计算机、吸气剂、加热电源以及声光报警器等部分组成程控真空排气控制系统，并设计有自动/手动 2 种操作模式，其原理示意图如图 3 所示。在执行手动功能时，通过人工操作设备的开关和旋钮执行工艺规程，进行抽真空、升温、保温、元件除气、烘箱升降以及数据记录等。



1、2、3. 外冷式吸附泵；4. 离子泵；5、6、7. 胶圈角阀；8. 全金属角阀(CF－35)；9. 全金属角阀(CF－50)；10、12、13、14. 全金属角阀(CF－16)；11. 精密微调阀(CF－16)；15. 薄膜真空计；16. 真空压力表；17、18、19. 全金属角阀(CF－35)；20. 真空压力表；21. 热偶计；22. 电离真空计；23. 工作台；24、25、26. 器件接口；27. 手动阀；28. 贮气罐。

图 2 无油超高真空系统示意图

在执行自动功能时，由工控机对器件的烘烤排气工艺过程实时控制。程控排气工艺的原则是以获取较高真空度为目的，以真空度为工艺进程判据。工控机通过串行口与数字真空计联接，以获取真空度值，并以其中较低真空度值为工艺进程的判断依据[3]。当真空度在允许范围内时，工控机控制温控仪使烘箱保持升温；当真空度低于下限真空度时，工控机控制烘箱停止升温，等真空度回升到允许值后再继续升温。采用铂电阻作为温度传感器，由温控仪测量、控制烘箱内温度值并显示，经串行口与工控机联接。吸气剂的除气电流由工控机根据预定的电流变化要求，送出数字值，经 D/A 转换后输出，并根据真空度值的变化进行其增减。

4 主要设计及调试

排气台由真空系统和电气控制两大部分组成，应根据使用要求的功能和技术指标进行设计。选用真空元件达到全无油超高真空系统极限指标，采用计算机控制技术及功能电路，实现烘烤排气工艺过程自动控制，并通过抗干扰设计，保证性能的稳定性和可靠性。限于篇幅，有的部分只介绍了设计思路和结果。

4.1 真空系统的有效抽速

在电真空器件的排气过程中，器件内零、部件材料的出气量是影响真空度的最主要气源。器件内各种材料的吸气量、放气率是各不相同的，因而，电真空器件的排气是一个动态过程，各种材料的放气量与烘烤温度及烘烤时间是紧密相关的。

真空器件内的总气体量由下式计算

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \qquad (1)$$

式中 Q_1 为真空器件被抽过程中产生的气体量(Pa·L/s)；Q_2 为吸气剂产生的气体量(Pa·L/s)；Q_3 为总漏气量(Pa·L/s)。

根据被抽真空器件的工作压力 $p = 4 \times 10^{-5}$ Pa，器件内的总气体量

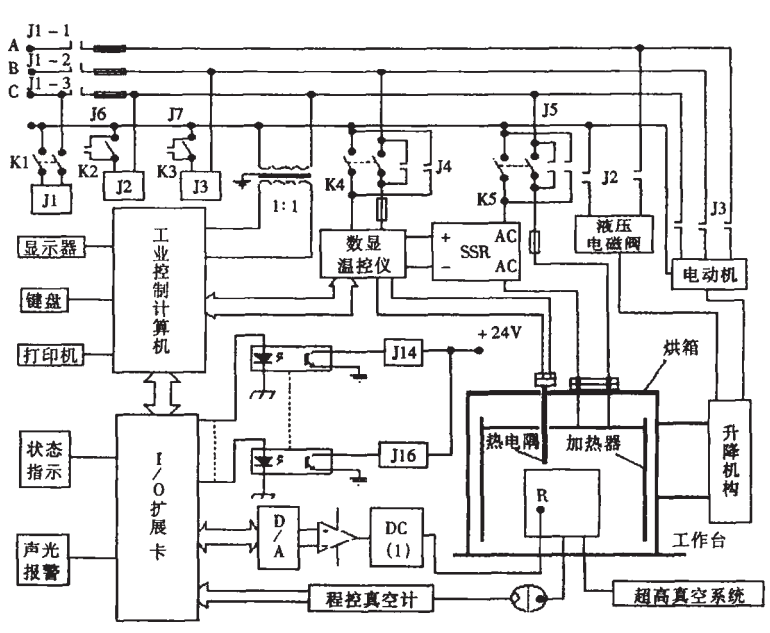


图 3 程控真空排气示意图

$Q = 0.16$ Pa·L/s，主泵的有效抽速 S 由下式计算

$$S = Q / p \tag{2}$$

经计算 $S = 400$ L/s，结合实际使用效果，选择溅射离子泵的抽速为 600 L/s。

4.2 软件设计

在进行程控软件设计时，为便于程序的编制和调试，将排气工艺进程划分为若干个相对独立的子过程（如升温、保温、除气、烘箱升降以及数据记录等）。

根据系统硬件的特点，在软件设计中采用模块化[4]。主要的模块有：显示模块、键盘识别模块、打印模块、数制转换模块、参数恢复模块、温度读入模块、真空度读入模块、钟中断模块、各进程模块等。模块之间相对独立，供主程序调用，这样不仅简化了工艺，而且降低了编程的难度。各子程序间采用松耦合，彼此间关系不大。软件主要功能有：开机自检、参数输入、排气过程、打印、压力显示、温度读数、参数保存和恢复等。为提高程序运行的可靠性，在优化程序设计的同时，还采取了程序加固和出错处理等措施。

4.3 抗干扰设计

程控排气台工作在各种电器频繁启动/停止、高温、高电压的环境中，因此，对系统的干扰来源于外部环境和内部结构。为保证系统的性能和工作的可靠性，优化接地（大地和工作接地）方法，采用光电、电磁、变压器等隔离技术[5]，提高系统的抗干扰能力，其示意图如图 4 所示。

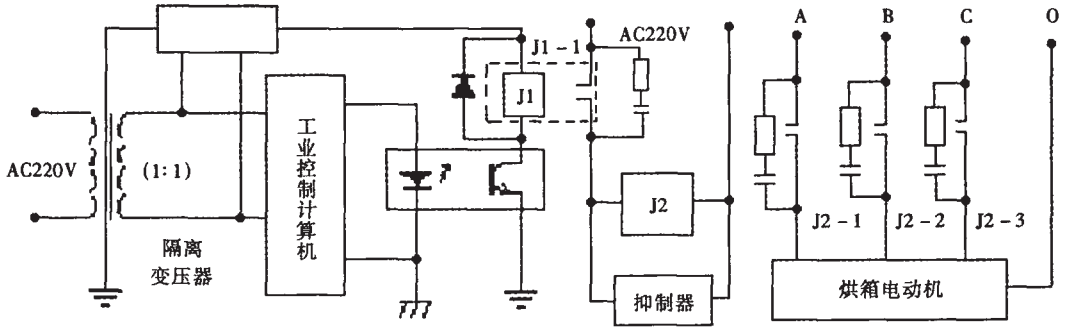


图 4 系统抗干扰示意图

为提高系统的抗干扰能力和工作的可靠性，在制定合理的、科学的排气工艺的同时，首先是优化系统配置，选用适合于工业生产环境、抗干扰能力强的设备仪器，如工控机、温控器和直流电源等；其次是设置合理的控制量，以避免程序进入死循环，如升温速率、除气电流速率及真空度的下限值等。

用带屏蔽的隔离变压器（1:1）来抑制交流电源的高频噪声，并且屏蔽层应可靠接地。采用光电隔离，实现 STD 总线与被测工业设备或数字仪器之间完全的电隔离，并消除公共地线和电源的干扰。同时，对继电器线圈和触点采取相应的“瞬态抑制电路”和触点消弧电路，消除线圈产生反电势和触点电弧对系统的影响。

在软件设计时，对输入单片机的温度、真空度等数字量用软件进行逻辑运算和处理，以达到数字滤波的目的，应用软件陷井和指令冗余技术对程序进行加固。

控制系统除采用以上抗干扰技术外，还设计了声光报警和手动操作模式，当在工艺控制进程中，温度、压力、打印等发生故障时声光报警；在故障无法排除时，系统还可以采用手动操作完成工艺控制进程，以确保真空器件顺利完成排气。

4.4 调 试

将制造好的真空管道、阀门、吸附泵、溅射离子泵、热偶计以及压力表等，组成无油超高真空系统后进行检漏、烘烤、抽真空，以达到超高真空系统指标；同时，对电气系统、计算机控制系统、温控系统、烘箱升降机构、真空测量、充气系统等分别进行功能、可靠性和稳定性试验。将调试好的各分系统组成整机后进行整机性能考核，通过手动方式人工操作设备的开关和旋钮，执行真空排气工艺规程；将工作方式置于“自动”方式，计算机对真空排气工艺过程进行实时控制。程控工艺流程界面图如图 5 所示，质谱分析图如图 6 所示。

在试验过程中, 对出现的功能、指标以及稳定性、可靠性等问题,分别进行调整、完善,使整机性能、技术指标、稳定性和可靠性满足使用要求。

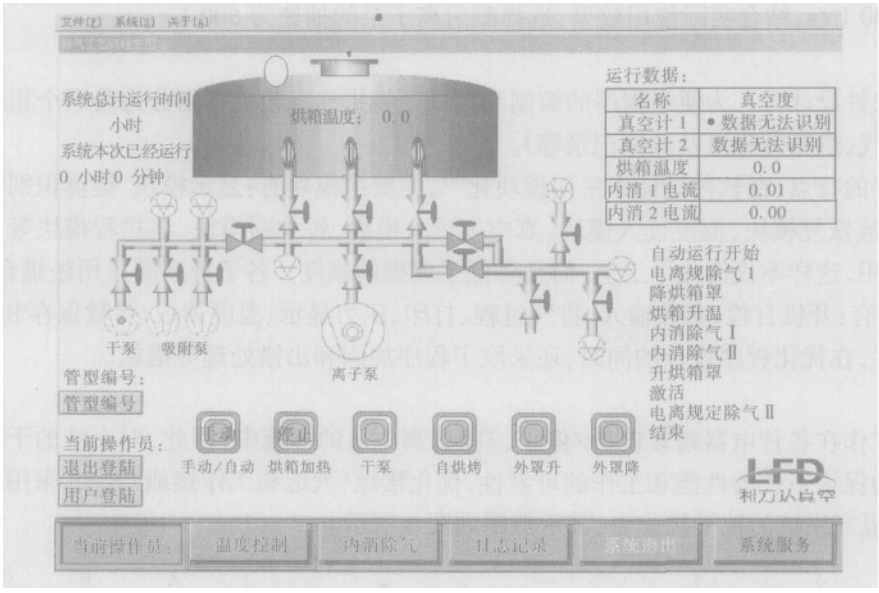


图 5 程控工艺流程界面图

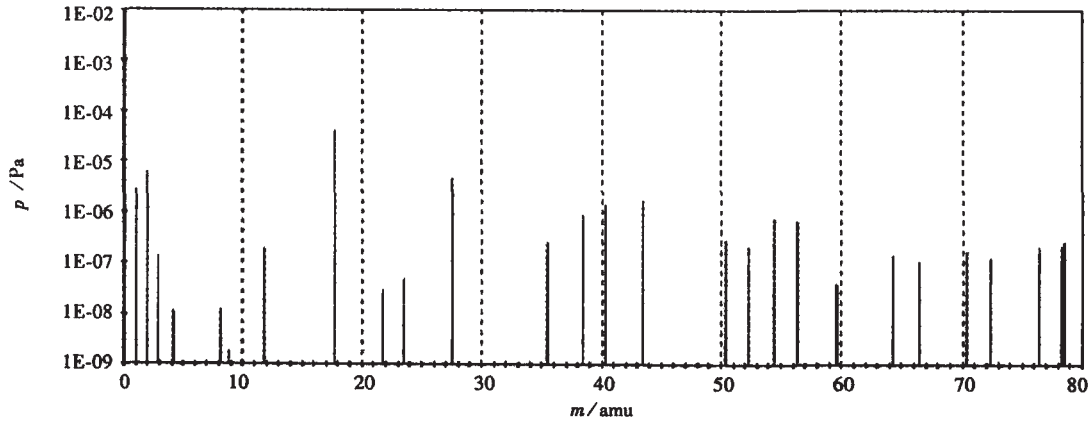


图 6 质谱分析图

5 结 论

由外冷式吸附泵作为前级泵, 溅射离子泵作为主抽真空泵构成无油超高真空系统。采用计算机控制技术程控真空排气工艺。排气台为多工位结构,具有气体质谱分析和充气功能。

程控无油超高真空排气台经过实际使用,可以满足多种真空器件的研究和生产的需要,设计合理,操作简便,其性能稳定可靠。

参考文献:

[1] 米伦,史愚砾, 石磊 . 电真空器件程控排气的研究[J]. 真空,2003, (2): 41 ~ 43.
[2] 米伦 . 程控无油超高真空排气台的设计方案[R]. 绵阳 :中国工程物理研究院电子工程研究所,2000.
[3] 达道安 . 真空设计手册[M]. 北京 :国防工业出版社, 1991.
[4] 冯树椿,徐六通 . 程序设计方法学[M]. 杭州 :浙江大学出版社,1988.
[5] 阎石 . 数字电子技术基础[M]. 北京 :高等教育出版社, 1983.