

CT球管生产工艺的高温高真空炉的研发与应用

舒立杰 李成亮 郟程飞

北京北方华创真空技术有限公司 北京 100015

摘要: 在CT球管生产工艺中,真空热处理是重要的工艺环节。为了实现CT球管核心部件的国产化生产,研发高温高真空炉,以国产冷泵作为核心高真空泵,并配有载气分压气路控制系统。并且开发了冷泵手动/自动控制程序,与设备控制程序相结合,实现设备稳定运行和生产。

关键词: CT球管;真空高温工艺;低温泵;低温泵控制程序模块化

CT球管作为CT机(全称:X射线计算机断层扫描成像系统)的X射线产生装置,是CT设备的重要组成部分。在“十二五”和“十三五”期间,国家大力扶持研发国产CT核心部件,特别是将CT球管置于研发核心的首位^{[1][2]}。CT球管的本质是一个高度真空的阴极射线二极管,球管内的真空度越高,则它的精确度、稳定性、寿命也就越高^[3]。在生产工艺过程中,真空获得成为了CT球管生产的一个关键环节。

目前,国产高真空泵(例如分子泵)的极限真空度和抽速指标,与国外先进分子泵相比较还存在一定差距,所以国内CT球管生产设备多数都会采用进口分子泵作为高真空泵。为了摆脱进口关键部件限制,实现国产替代,并且满足大抽速要求,我公司研发设计了使用国产低温泵作为高真空泵的高温真空炉,可满足CT球管生产工艺,为CT球管的国产化奠定了基础。

1 高温高真空炉的机械结构

设备采用卧式结构,通过开启前炉门,实现装卸料,采用内加热方式。设备整体结构如图1所示。设备主要由炉体、加热器和保温屏、真空系统、快冷系统和气路系统、水路系统等组成。

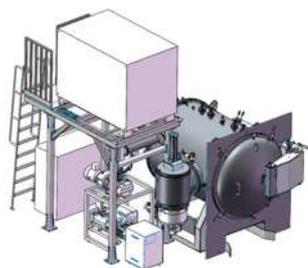


图1 高温高真空炉

1.1 加热器和保温屏

热区由多层经过优化的金属屏、隔热瓷件、金属框架组合而成,在高温状态下长时间工作时热区结构稳定不变形,并且可以有效阻止热量直接传到炉壁造成的热损耗及损害。加热器在真空环境下直接辐射温区内的生产工件,实现加热升温、保温。加热器采用环型带状加热器,为宽扁带型式(宽度达到80mm),对温区辐射时更加均匀。根据保温屏的温度梯度递减计算和成本考虑,国内设备的保温屏普遍采

用内层钼材质、外层不锈钢材质保温屏的混搭方式^[4]。本设备采用全钼材质的另一个因素是钼材质在1500℃以下具有较差的蒸散性(钼熔点为2620℃),有效避免了生产过程中析出其它杂质元素,污染CT球管产品。

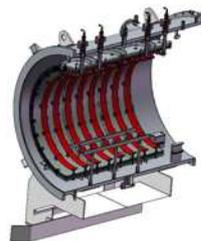


图2 加热器结构示意图

1.2 真空系统

设备配置了机械泵+罗茨泵+低温泵的三级真空泵组^[5]。低温泵作为核心高真空泵,采用国产纳毛品牌DU500型低温泵,其二级冷头温度可低至10-20K,极限真空达到 1×10^{-7} Pa,对氢气抽速高达16000L/s,具有再生效率高、工况稳定的特点。此外,真空规远离低温泵口安装,真空测量更加接近真实值。真空系统分为低真空系统和高真空系统两个阶段。真空测量由真空计多通道显示,真空规管具有抗氧化性强、不易污染的功能。真空获得可通过手动控制和自动控制来实现。真空系统运行时具备互锁功能,确保设备安全稳定。

1.3 快冷系统和气路控制

气路控制系统分为快冷气路系统和分压气路系统,气路结构示意图见图3。

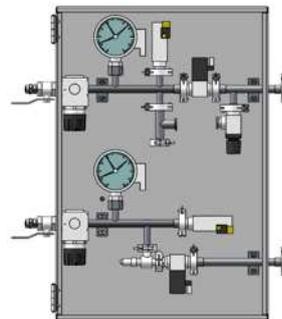


图3 气路结构示意图

快冷气路系统用于在快冷阶段向炉内充入高纯氦气,快冷风机启动后,使气流沿内部风道高速流动,与热交换器和内

炉壁充分交换热量,再通过冷却水将热量带走,实现炉内温度快速下降。配合设备内的内循环快速冷却系统,实现快速降温冷却,缩短工艺时间。冷系统风量大大冷却气体循环快,热交换器换热面积大效率高,可保证被处理工件的工艺要求。热交换器采用铜制翅片式结构,热交换效率极高,可有效降低流经气体的温度,可保证被处理工件所需工艺气体的要求。分压气路用于在某个升温阶段向炉内充入固定压力的高纯氦气,有效抑制工件表面金属蒸散,有利于CT球管的工艺生产。通过薄膜压力计测量炉内分压压力,并且在气路上配置气体质量流量计,控制进气流量,保证分压工艺的压力稳定性。

2 高温高真空炉的电气控制系统

2.1 电气控制方案

电气控制系统以SIMATIC S7-1500型PLC为控制核心,配置温控器、真空计、压力传感器外围仪表和传感器等,电气控制方案如图4所示。

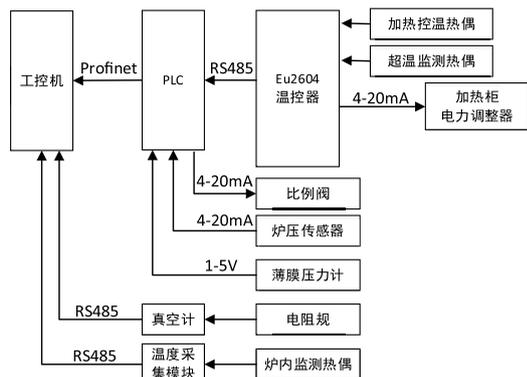


图4 电气控制方案示意图

电气硬件设备主要由控制柜、加热柜及外部配线组成。控制柜门上的触摸屏(HMI)上对设备进行日常操作,并显示设备工作状态、工艺参数编辑及故障报警等当触摸屏发生故障时,控制柜上配有操作按钮实现对设备的应急操作PLC控制程序是设备的控制核心,在初始程序架构设置多个子程序块,根据各个子程序块的不同功能分别采用LAD和SCL语言编写控制程序,重点开发工艺动作模块、通讯模块、温控模块、报警模块等,以及自动运行时子程序块的安全切换程序。设备对于超温、温度偏差大、缺水报警、真空度不足、气源压力不足等异常情况进行声光报警,并执行相应的保护措施。其中,针对超温和缺水故障出现时,首先给予一定的预警限时,若在预警限内未能排除故障,则立即执行保护措施。

设备控制系统具有以下主要特点:(1)紧急状态下,操作员可按下急停按钮停止设备动作,待故障得到解决,设备恢复工作。(2)所有导致声光报警的不正常状态和故障信息均在人机交互界面上面显示。(3)启动热处理周期前,操作员必须在预存工艺温控曲线程序中选择当炉的运行工艺温控曲线。(4)设备生产为全自动运行,不需要操作员介入,待工件冷却下来并从设备中取出时,此生产周期完成。

2.2 低温泵控制系统

国产低温泵的性能指标能够满足该设备真空获得的理论计算,但是并不具有启动、再生、停机等自动运行功能。我们以西门子SCL语言为基础,开发了低温泵自动/手动运行程序,低温泵控制程序流程如图5所示。

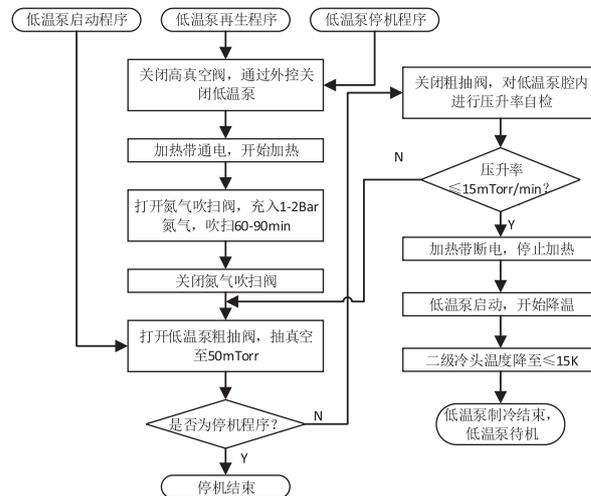


图5 低温泵控制程序流程示意图

低温泵运行控制程序作为一个独立的控制系统,手动/自动运行可以无缝切换。在低温泵的调试过程中,开发了与设备控制程序相结合的接口程序,实现设备整体稳定运行。

3 高温高真空炉的现场调试

现场调试时,实测温度均匀性为极差3.4℃(850℃时保温30分钟后9点测量,最高点851.7℃,最低点848.3摄氏度),完成加热器和保温屏的设计验证,达到客户使用要求。分压工艺调试时,由于客户工艺要求分压后仍需转为真空继续升温,腔体内的残留氦气不易抽走,现场更改程序使用预抽管路和缓抽管路同时抽气,迅速再转为低温泵对腔体抽高真空。经过现场试验证明该工艺动作对工件产品具有较好的保护性。

4 结束语

国内的CT球管生产工艺正在不断走向成熟和完善,该设备也可以应用在其他材料热处理领域。高温高真空炉实现了使用国产冷泵替代进口高真空泵,满足了客户对于真空工艺和分压工艺的生产需求。经过多次工件产品试生产和检测,产品均达到了期望技术指标要求。

参考文献:

[1]杭州先略投资咨询有限公司.2020年CT球管市场现状深度调研与发展前景分析报告[R].2020.
[2]石灵,张富志,王瑞海,王宇红.医用CT球管国内外现状及发展趋势[J].真空电子技术,2018,(2):61-68.
[3]冯丽媛,孙晖,周箭,等.CT球管三工位排气控制系统研究与设计[J].工业控制计算机,2020,(1):4-6.
[4]许国贤.真空电阻炉隔热屏的设计与热分析[D].武汉:武汉理工大学,2012.
[5]王天泉.电阻炉设计[M].北京:航空工业出版社,2000:175-190.