

影响真空自耗电弧炉弧压控制系统的设计与实现

代文强

宝鸡钛业股份有限公司 陕西 宝鸡 721014

摘要: 本文探讨了影响真空自耗电弧炉弧压控制系统设计与实现的关键因素。文章分析了真空自耗电弧炉的工作原理与弧压控制的重要性,指出控制系统设计需考虑工艺需求、设备特性及稳定性要求。通过对比传统PID控制与无模型自适应控制等方法,论证了先进控制策略对提升系统性能的作用。同时,讨论了硬件选型、通信网络构建及软件算法设计对系统实现的影响。实践案例验证了优化设计的有效性,为弧压控制系统的设计与实现提供了参考。

关键词: 真空自耗电弧炉;弧压控制系统;无模型自适应控制;系统稳定性

引言

真空自耗电弧炉作为钛及钛合金铸锭提纯过程中的核心熔炼设备,其运行状况对材料生产质量和生产安全具有至关重要的影响。弧压控制系统作为真空自耗电弧炉的关键组成部分,其设计与实现直接关系到熔炼过程的稳定性和铸锭质量。因此,深入研究影响真空自耗电弧炉弧压控制系统设计与实现的因素,对于提高钛及钛合金产品的质量和生产效率具有重要意义。

1 真空自耗电弧炉的工作原理与弧压控制的重要性

1.1 真空自耗电弧炉的工作原理

真空自耗电弧炉是在真空或惰性气氛中,利用直流电弧的高温作用使金属电极迅速熔化,以液体金属熔滴形式滴入水冷坩埚并在其中再凝固。在这个过程中,发生一系列的物理化学反应,使金属得到精炼,最终得到钛及钛合金铸锭。其熔炼工艺过程可分为焊接、引弧、熔炼、热封顶四个阶段。在熔炼过程中,弧压是一个至关重要的参数,它直接影响到电弧的稳定性、熔炼速率以及铸锭的质量。

1.2 弧压控制的重要性

(1) 电弧稳定性:稳定的弧压能够确保电弧的持续稳定燃烧,避免电弧熄灭或不稳定燃烧导致的熔炼中断或质量下降。(2) 熔炼速率:弧压与熔炼速率密切相关,通过控制弧压可以间接控制熔炼速率,从而满足不同工艺要求。(3) 铸锭质量:稳定的弧压有助于减少熔炼过程中的杂质混入和气体溶解,提高铸锭的纯度和致密性。

2 影响弧压控制系统设计的因素

2.1 工艺需求

不同种类的钛及钛合金材料具有不同的熔点和熔炼特性,这要求弧压控制系统能够根据材料特性进行适应性调整。例如,高熔点材料需要更高的弧压来确保充分

熔化,而低熔点材料则需要避免过高的弧压导致过热和挥发。对于不同用途的钛及钛合金铸锭,其质量要求也有所不同^[1]。例如,用于航空航天钛合金铸锭需要极高的纯度和致密性,这就要求弧压控制系统能够精确控制熔炼过程,减少杂质混入和气体溶解。

2.2 设备特性

电极杆是真空自耗电弧炉中的关键部件,其材质、直径、长度等特性都会影响到弧压控制系统的设计。例如,电极杆的直径和长度会影响到电弧的电阻和电流密度,从而影响弧压的稳定性和熔炼速率。水冷坩埚是熔炼过程中金属熔滴的凝固场所,其材质、形状、冷却效果等特性也会影响到弧压控制系统的设计。例如,坩埚的冷却效果会影响到熔滴的凝固速度和铸锭的质量,从而要求弧压控制系统能够与坩埚冷却系统协同工作。

2.3 控制策略

PID控制是一种经典的控制方法,具有原理简单、易于实现等优点。然而,在真空自耗电弧炉的弧压控制中,由于熔炼过程持续时间长、受控对象内部模块间存在复杂且紧密的联系,PID控制往往难以达到理想的控制效果。特别是在系统存在较大滞后和时变参数变化时,PID控制的响应速度和控制精度都会受到较大影响。为了克服传统PID控制的局限性,近年来研究者们提出了多种先进控制策略,如无模型自适应控制、模糊控制、神经网络控制等。这些先进控制策略能够更好地适应非线性时变系统的特点,提高弧压控制系统的控制效果和抗干扰能力。例如,无模型自适应控制理论是一种针对非线性时变系统的控制方法,它不需要建立精确的数学模型,而是根据系统的输入输出数据进行在线调整和优化,从而实现对弧压的有效控制。

3 弧压控制系统的实现

弧压控制系统作为真空自耗电弧炉的核心组成部

分,其性能直接影响到电弧炉的稳定运行和产品质量。为了实现高效、精确的弧压控制,需要从硬件选型、通信网络构建以及软件算法设计等多个方面进行综合考虑和优化。

3.1 硬件选型

3.1.1 可编程控制器(PLC)

PLC作为弧压控制系统的“大脑”,负责接收传感器信号、执行控制算法并输出控制指令。因此,PLC的选型至关重要。在选型时,需要综合考虑PLC的处理速度、输入输出点数、通信能力以及扩展性等因素。西门子S7-300或S7-400系列PLC是业界公认的高性能控制器。它们不仅具有强大的处理能力,能够迅速响应各种控制指令,还拥有丰富的输入输出点数,可以满足复杂的控制需求^[2]。此外,西门子PLC的通信能力也非常出色,支持多种通信协议,便于与其他设备进行数据交换。更重要的是,西门子PLC提供了丰富的扩展模块,可以根据实际需求进行灵活配置,满足真空自耗电弧炉弧压控制系统的特殊需求。

3.1.2 传感器

传感器是弧压控制系统获取外部信息的重要途径。在弧压控制系统中,需要采集弧压、电流、真空度等关键参数信号。因此,传感器的选型同样至关重要。在选型时,需要考虑传感器的精度、响应速度、稳定性以及抗干扰能力等因素。例如,对于真空度的测量,可以选择皮拉尼电阻真空传感器。这种传感器具有测量范围广、精度高、响应速度快等优点,能够准确反映真空度的变化,为弧压控制系统提供重要的参考信号。同时,还需要选择具有高精度和快速响应的弧压和电流传感器,以确保系统能够实时获取准确的电弧状态信息。

3.1.3 直流调速器

直流调速器用于控制电极杆的升降速度,从而实现对接压的间接控制。在选型时,需要考虑调速器的调速范围、精度、稳定性以及响应速度等因素。数字直流调速器是近年来发展起来的一种新型调速器。它具有调速范围广、精度高、响应速度快等优点,能够满足真空自耗电弧炉弧压控制系统的需求。数字直流调速器通过数字信号进行控制,抗干扰能力强,能够确保电极杆的稳定升降,从而实现对弧压的精确控制。

3.2 通信网络构建

通信网络是弧压控制系统各个部件之间进行数据交换的重要通道。一个高效、稳定的通信网络能够确保系统各个部件之间的实时通信,提高系统的整体性能。

3.2.1 现场总线技术

现场总线技术是实现弧压控制系统各个部件之间通

信的关键技术。通过现场总线,PLC可以与传感器、直流调速器等现场设备进行实时数据交换,实现系统的集中监控和分散控制。Profibus-DP是一种广泛应用的现场总线技术。它具有传输速度快、稳定性高、扩展性好等优点^[3]。在真空自耗电弧炉弧压控制系统中,可以采用Profibus-DP现场总线将PLC与各个传感器和直流调速器连接起来,实现实时数据交换和集中监控。这样不仅可以提高系统的响应速度,还可以降低系统的布线复杂度和维护成本。

3.2.2 工业以太网

工业以太网是实现弧压控制系统与上位机之间通信的重要手段。通过工业以太网,上位机可以实时监控弧压控制系统的运行状态,并进行远程参数设置和故障诊断。工业以太网具有传输速度快、数据容量大、稳定性高等优点。在真空自耗电弧炉弧压控制系统中,可以利用工业以太网将PLC与上位机连接起来,实现远程监控和管理。上位机可以通过工业以太网实时获取弧压控制系统的运行状态和关键参数信息,并进行远程参数设置和故障诊断。同时,工业以太网还可以实现弧压控制系统与其他生产管理系统之间的数据交换和集成,提高生产效率和管理水平。

3.3 软件算法设计

软件算法是弧压控制系统的灵魂,它决定了系统的控制策略和性能。在软件算法设计过程中,需要根据选定的控制策略编写相应的控制算法程序,并设计上位机监控软件来实时监控系统的运行状态。

3.3.1 控制算法实现

控制算法是弧压控制系统的核心部分。根据选定的控制策略,需要在PLC中编写相应的控制算法程序。例如,如果采用无模型自适应控制策略,那么需要编写在线调整和优化算法程序,以实现对弧压的有效控制。无模型自适应控制策略是一种基于数据驱动的控制方法,它不需要建立精确的数学模型,而是通过在线调整和优化算法来适应系统的变化。这种控制策略具有鲁棒性强、适应性好等优点,非常适合用于真空自耗电弧炉弧压控制系统^[4]。在实际应用中,可以根据系统的实际运行情况,在线调整和优化控制算法参数,以实现对弧压的精确控制。

3.3.2 监控软件设计

上位机监控软件是用于实时监控弧压控制系统运行状态的重要工具。在设计时,需要考虑软件的界面友好性、实时性、稳定性以及可扩展性等因素。WinCC组态软件是一种强大的监控软件,它具有丰富的图形界面元

素和强大的监控功能。在真空自耗电弧炉弧压控制系统中,可以利用WinCC组态软件设计上位机监控界面,实时显示系统的运行状态和关键参数信息。同时,还可以设置报警功能,当系统出现异常时及时发出报警信息,提醒操作人员进行处理。此外,WinCC组态软件还支持与其他生产管理系统的集成,可以实现数据的共享和交换,提高生产效率和管理水平。

4 实践案例与分析

4.1 案例介绍

以宝钛集团某3吨真空自耗电弧炉的弧压控制系统改造项目为例。该项目针对原有控制系统存在的问题,如控制精度低、稳定性差、响应速度慢等,进行了全面的改造和升级。改造后的弧压控制系统采用无模型自适应控制策略,以西门子S7-300PLC为控制核心,结合数字直流调速器、上位机、工业总线等共同组成硬件基础。

4.2 改造效果分析

(1) 控制精度提高:改造后的弧压控制系统能够精确控制弧压稳定在设定值附近,波动范围明显减小。这有助于提高熔炼过程的稳定性和铸锭的质量。(2) 稳定性增强:由于采用了无模型自适应控制策略,改造后的弧压控制系统能够更好地适应熔炼过程中的时变参数变化和干扰因素,系统稳定性得到显著增强。(3) 响应速度加快:改造后的弧压控制系统具有更快的响应速度,能够迅速调整弧压以应对熔炼过程中的突发情况,如电极杆断裂、真空度下降等。(4) 生产效率提升:由于弧压控制系统的优化,熔炼过程的稳定性和效率得到提高,从而缩短了生产周期,提高了生产效率。

5 挑战与未来展望

5.1 挑战

一是控制算法复杂性:随着真空自耗电弧炉熔炼工艺的不断发展,对弧压控制系统的要求也越来越高。这要求控制算法不断创新和优化,以适应更加复杂的熔炼过程和更高的质量要求。然而,控制算法的复杂性也带来了实现难度和成本增加的问题。二是设备集成与兼容性:真空自耗电弧炉弧压控制系统需要与多种设备进行集成和协同工作,如传感器、直流调速器、上位机等。这要求系统具有良好的兼容性和可扩展性,以满足不同设备和工艺的需求。然而,在实际应用中,设备之间的集成和兼容性往往存在一些问题,如通信协议不匹配、数据格式不一致等。三是故障诊断与维护:弧压控制系

统作为真空自耗电弧炉的关键组成部分,其稳定性和可靠性至关重要。然而,在实际运行中,系统可能会出现各种故障和问题,如传感器故障、PLC故障、通信故障等。这要求系统具有完善的故障诊断和维护机制,以确保系统的正常运行和及时修复。

5.2 未来展望

随着人工智能技术的不断发展,未来真空自耗电弧炉弧压控制系统有望实现更加智能化的控制。例如,通过引入机器学习和深度学习算法,系统可以自动学习和优化控制参数,提高控制精度和稳定性。借助物联网和云计算技术,未来弧压控制系统有望实现远程监控和诊断。这将使得生产管理人员能够随时随地监控系统的运行状态,及时发现和解决问题,提高生产效率和管理水平。在环保和节能意识日益增强的今天,未来真空自耗电弧炉弧压控制系统将更加注重绿色节能技术的应用。例如,通过优化控制算法和设备选型,降低系统的能耗和排放,实现绿色生产。

结语

影响真空自耗电弧炉弧压控制系统的设计与实现的因素是多方面的,包括工艺需求、设备特性、控制策略等。通过合理的硬件选型、通信网络构建和软件算法设计,可以实现弧压控制系统的优化和升级。实践案例表明,优化后的弧压控制系统能够显著提高控制精度、稳定性和生产效率。然而,随着技术的不断发展和熔炼工艺的不断进步,弧压控制系统仍面临着诸多挑战。未来,智能化控制、远程监控与诊断以及绿色节能技术将成为弧压控制系统发展的重要方向。通过不断探索和创新,有理由相信,真空自耗电弧炉弧压控制系统的性能将得到进一步提升,为钛及钛合金产品的生产提供更加可靠和高效的保障。

参考文献

- [1]范晓晶.基于模糊PID真空自耗电弧炉控制系统的研究[D].西安建筑科技大学,2021.
- [2]李宏辉.真空自耗电弧炉控制系统改造设计与实现[D].西安电子科技大学,2019.
- [3]陈军,忽晓伟,张静.真空自耗电弧炉系统优化控制策略研究[J].自动化仪表,2020,41(04):46-50.
- [4]同朴超,孙栋,吴明,等.真空自耗电弧炉充氩系统的改进优化[J].有色设备,2022,36(02):60-63.