

中频感应炉故障分析及改善

马国龙

安泰天龙钨钼科技有限公司, 北京 100094

通信作者, E-mail: maguolong@atmcn.com

摘要 : 中频电源利用晶闸管将平常电网的三相 50 赫兹工频电能转换成几百赫兹或几千赫兹以上的单相交流电能, 它是一种高效的频率转换装置。利用这种装置作为感应加热的电源, 它控制方便、效率高易于实现自动化和在线生产、非接触加热等特点, 被广泛应用于粉末冶金烧结和有色金属的冶炼行业。

关键词 : 中频电源; 晶闸管; 感应加热; 自动化

Fault analysis and improvement of intermediate frequency induction furnace

Ma guolong

Antai Tianlong Tungsten and Molybdenum Technology Co., Ltd., Beijing 100094

Correspondence author, E-mail: maguolong@atmcn.com

Abstract : medium frequency power supply uses thyristor to convert the three-phase 50Hz power frequency energy of ordinary power grid into single-phase AC energy of hundreds of Hz or more than thousands of Hz. It is an efficient frequency conversion device. Using this device as the power supply of induction heating, it has the characteristics of convenient control, high efficiency, easy realization of automation, on-line production and non-contact heating. It is widely used in powder metallurgy sintering and non-ferrous metal smelting industry.

Key words : medium frequency power supply; thyristor; induction heating; automation

背景

在当今的工业制造领域, 中频感应炉以其高效率、低耗能和卓越的运行性能广受青睐, 被广泛应用于金属的熔化、锻造和热处理等过程。作为现代化金属加工行业的核心装置, 中频感应炉的稳定运行对保障生产效率和产品质量起着至关重要的作用。然而, 在日常的生产活动中, 由于设备自身的复杂性以及操作、维护等多种因素的影响, 中频感应炉不可避免地会出现各种故障问题, 这些问题不仅导致生产效率的下降, 还可能带来安全隐患, 给企业造成严重的经济损失。结合本公司情况, 本公司现今已有 30 余台中频感应炉, 带动企业产能不断提升, 然而故障维修也频频制约着感应炉的效率和企业的发展。基于此, 本文从中频感应炉的原理出发, 对其各个故障进行了深入分析, 并提出相应的改善措施, 以期对中频感应炉的稳定运行与管理维护提供参考和指导。

一、中频感应烧结炉原理

(一) 工作原理

通常在电气设备中, 为了避免涡流产生发热现象, 在变压器铁芯制成片状(硅钢片)片间绝缘。但在感应加热中恰恰利用涡流进行加热的。图 1 中, 线圈 A 中流过频率 f 的交流电流 i_1 , 就会产生相同频率的交流磁通 ϕ , 交变的磁通 ϕ 又在 B 中产生感应电动势 e_2 , 引起电流 i_2 , i_2 (涡流) 使工件 B 加热, 这种加热方式称为感应加热。

(二) 电气原理

三相中频交流电通过由 6 只 KP 普通晶闸管元件组成的三相桥式全控整流电路整流为直流电, 经过电抗器平波之后, 再经 KK 快速晶闸管组成的单相逆变器, 把直流电逆变成为具有一定频率的单相中频电, 输出到感应加热装置与中频电容器组成的并联谐振负载电路, 实现对感应加热装置内的坯料加热。并且装有相序

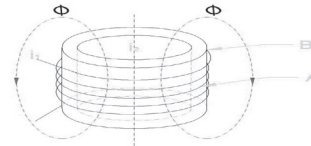


图 1. 电磁感应加热原理

指示电路及显示, 该电路内有直流电压表、直流电流表、中频电压表、中频功率表以及控制板(其中包括: 整流、逆变、保护)。其中包括过流保护、过压保护、欠压保护以及水压保护。图 2 所示

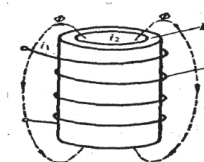




图2. 中频炉电源框图

二、中频感应烧结炉常见故障及处理方法

依据范围，中频感应烧结炉故障可以划分为控制器故障和主线路故障，主要涉及到谐振回路和冷却水和铜排等部分。依据故障类型，中频感应烧结炉常见故障可分为可控硅击穿、脉冲线虚接、电容击穿、感应线圈匝间短路、接地等故障。导致这种错误的因素也很多。在我公司中频感应烧结炉故障中，最常见的故障为感应线圈匝间短路及接地、水路堵塞及流量小、阻容吸收电阻断路等。以下将分析几种常见的故障表现、原因和对应的解决办法。

（一）设备无法启动

中频设备无法启动，启动时只有直流电流表有指示，直流电压、中频电压表均无指示。故障分析处理及改进：这是一种最常见的故障现象，造成的原因可能是：

1. 可控硅在反向关断

用万用表测定逆变KK快速晶闸管有无击穿，如果存在击穿，则接着检查逆变晶闸管相对应的阻容吸收回路有无异常。可控硅在反向关断时，由于逆变时产生的瞬间毛刺电压太高，导致了可控硅烧坏。切断电源后，使用万用表测定电阻阻值，检查其吸收容量是否符合要求。如图3中所示，阻容吸收电阻器作为一种发热元件，采用绕线式双螺旋反向缠绕的方法，出入线路共享一个出线孔用玻璃纤维管绝缘，这种情况在长期的高温下，会造成玻璃纤维管发生碳化，进出线短路瞬间引起断路，进一步造成阻容吸收起不到保护。

改进：图4中经过查阅资料将绕线无感电阻改为RIG型无感电阻，考虑RIG型无感电阻外形为空心管式，在安装时采用垂直方式易于散热。RIG型无感电阻，电阻温度系数好，能在300°的条件下保持电气性能稳定，安装后可避免此类故障发生。



图3. 改进前

图4. 改进后

2. 感应圈匝间短路或接地

感应圈匝间短路或接地，拔掉感应圈进出水管（水电阻低于绝缘阻值）用兆欧表测量绝缘阻值，由于感应圈使用过程中产生颤动以及保温砖部分（氧化铝砖、氧化锆砖）长时间在高温下（2300度）变酥形成颗粒，颗粒从上向下落，把感应圈下部挤压变形导致固定感应圈磁环损坏引起感应圈接地或匝间短路。这主要有两方面原因，一是感应器的铜管直接短路；二是感应圈的固定

胶木柱碳化，由于碳具有导电特性，故造成感应器匝间由炭化的胶木使其匝间直接连接造成感应圈匝间短路。图5所示

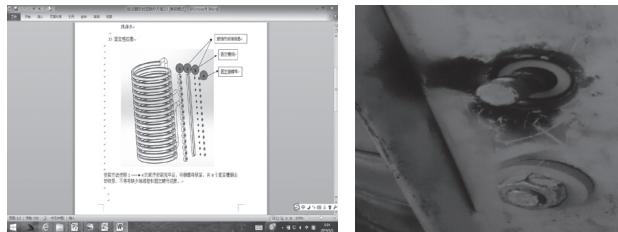


图5. 感应圈结构及故障现象

改进：

图6中采用高性能不定型耐火材料在炉子大修时，将耐火材料掺水搅拌把感应圈匝间塞紧塞满然后涂抹一层5—8mm，自然干燥24小时后用加热管缓慢加热，以利于水分充分挥发，保证线圈匝间整体绝缘性，并使其具备相应的强度。高性能不定型耐火材料具有支撑感应圈，防止在使用中变形。能防止感应圈匝间放电或接地产生过大的击穿电流烧坏晶闸管。

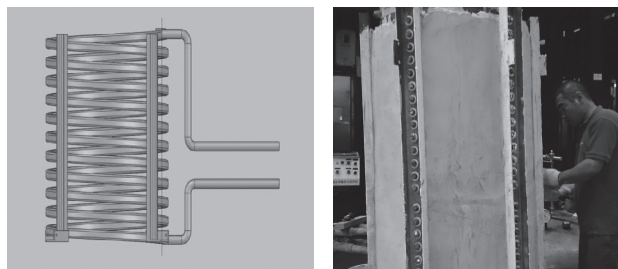


图6. 涂泥前、后感应圈外观

（二）启动较困难

中频感应炉启动后，相对于直流电压，中频电压高出其一倍，同时，直流电流也超过正常情况下的电流水平。

1. 逆变回路有一只可控硅损坏

如果逆变回路中某一个晶闸管被破坏时，设备虽然能偶尔正常启动，但在启动后仍会出现中频电压过高的故障情形，为此，应将已受损的晶闸管进行替换。

2. 中频信号取样回路有开路或极性错误现象

当发生其他故障时，中频电压信号开路在维修时会将电压信号极性接反，也会造成中频感应炉启动困难。

（三）三相全控整流桥故障

中频感应炉启动后，其直流电压仅可升高至400V，同时电抗器出现较大振动的同时，伴随着沉闷的声音。该故障主要有以下几种原因。

1. 整流晶闸管开路、击穿、软击穿或电参数性能下降

用示波器观测各个晶闸管的管压降波形，找到受损晶闸管并进行替换。当被破坏后的晶闸管管压降波形呈直线状，或者当电参数降低时，电压会出现上升，达到一定数值时，其波形也随之改变。如若出现这两种情况，则会使直流电流发生断路，引起电抗器振动，并发出沉闷的声音。

2. 缺少一组整流触发脉冲

当使用示波器对晶闸管的触发脉冲信号进行检测，对检出的无脉冲信号的电路采用反向推理法进行故障定位，并对受损元件

进行替换时，直流电压的输出波头将会有个波前缺失，从而导致电流故障，出现振动。

（四）可控硅元件被烧坏

中频感应炉启动后，在其功率上升到某一程度时，装置的过电流保护就会起作用，而在此过程中，晶闸管容易被烧毁。

对其发生的原因进行了深入的研究分析，认为其主要是因为逆变式晶闸管水冷套内出现了水断流或散热效果下降所引起的。虽然有时候水冷套的出水量和压力是足够的，但是往往会因水质的原因，导致水冷套的壁上结满了一层水垢状的东西，由于水垢的热传导性能非常不好，即使有充足的水流通过，但也会受到结垢的影响，从而使其散热能力大为下降。

对于这样的故障，正确做法是使功率控制在过流值下10min运行，然后用红外线测温仪测定晶闸管的核心部位的温度，如果太高证实逆变式晶闸管水冷套内出现了水断流或散热效果下降导致的晶闸管烧毁，此时，解决办法是要重新更换新的冷水套。如图7。



>图7. 水套腐蚀

（五）设备启动时无任何反应

中频感应炉启动时不仅没有响应，且控制线路板上的缺相指示灯亮。经分析原因如下：

1. 快速熔断器烧断

通常，快速熔断器通过熔断指示可以判断熔断是否能够正常运行，但是有些时候，由于设备长时间高功率大电流运转，使得快速熔断器升高；其次，当整流控制电路出现故障、整流负载或中频负载短路时，都会出现瞬时大电流冲击波击；此外，当产品本身存在质量问题时，都会导致熔断器烧毁。此时，需要切断电源，对整流电路进行检查，然后再用万用表进行测试，并更换快速熔断器。

2. 主接触器或主断路器的触头烧坏或前级供电系统有缺相故障用万用表的交流电压档测量每一极的线电压，判断故障位置。

（六）可控硅元件频繁烧坏

晶闸管出现频繁烧坏，换上新的晶闸管后，仍会迅速烧坏。此类故障除了逆变晶闸管水冷套内断水或散热效果下降造成，还会因为中频电源柜冷却系统出现故障引起。可控硅、电抗器及电热电容（中频电容）在工作时发热量很大，需要对其冷却才能保证正常工作，通常采用水冷方式的中频设备虽然有设置水压保护电路，但基本上都是总进水的保护，若水路中某一路出现水堵，是无法保护的。公司循环水采用开环时集中供水，长时间使用水路主管道内壁锈蚀结垢和开环供水导致水质很差，经常会有锈蚀的固体颗粒堵塞电容、电抗器及晶闸管水套（由于水嘴通径为8—10mm）导致水流量减小，严重的直接堵死，当出现堵塞时若设备

在大功率运行时5分钟左右的时间可导致设备故障停机，由于公司设备很多车间操作人员很难及时发现。

针对此种故障，应从如下几个方面进行处理：

（1）将中频电源柜主进水阀门更换为同型号的双片式不锈钢大通径球阀，可增加主进水量。

（2）将Y型不锈钢过滤器加入球阀与分水器（狼牙棒）之间，在保证水流量的情况，当水进入直径2mm滤网的滤筒后，其杂质会被阻隔，由过滤网出口排出清洁的液体。当需要清洗时，只要把可拆卸的滤筒拿出来，经过处理后再放进去就可以了，所以在使用和保养上都是极其方便的。如图8所示。

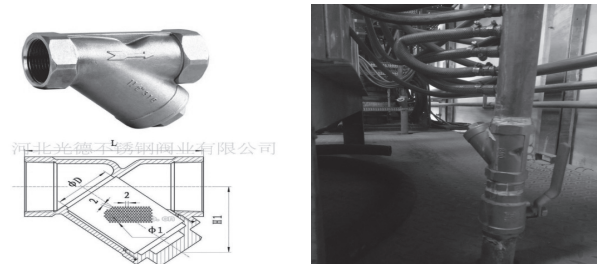


图8. 过滤器结构及安装实物图

三、综述

经过对中频感应炉在实际生产中出现的故障案例进行深入分析和探讨，通过采取相应措施来避免因感应圈接地及匝间短路、水路堵塞、阻容吸收电阻断路造成的故障停机。设备故障率（故障率 = 故障次数 / 开炉次数）从改进前的8%降到改进后的1%。总之，中频感应炉的这些故障虽然多种多样，但它们往往都与设备运行的环境、操作流程、维护监控等因素密切相关。对这些问题进行细致地分析和总结，不仅有助于企业及时解决现有的故障，还能够预防未来潜在的风险，显著提升中频感应炉的使用效率和生产安全性。展望未来，随着技术的不断进步和管理水平的提升，中频感应炉的性能与应用将不断优化和拓展，助力金属加工行业实现更远的飞跃。

参考文献：

- [1] 杨思君，朱伯年. 晶闸管中频电源基本知识 浙江科技技术出版社，出版时间 1989.
- [2] 李澎信，周淑玲. 串联谐振型逆变电源的节能设计理论. 机械工业出版社 ISBN 978-111-53531-7.
- [3] 潘天明. 工频和中频感应炉. 冶金工业出版社. ISBN: 9787502417154.
- [4] 付正博. 感应加热与节能 - 感应加热器的设计与应用. 机械工业出版社. ISBN: 9787111250289.
- [5] 王振东. 首钢科技, 1986, 10.
- [6] 陈世英. 不锈钢. 原子能出版社. 2004.
- [7] 贾泉新. 不锈钢焊接冶金学. 北京化学工业出版社. 2003.
- [8] 赵沛. 炉外精炼及铁水预处理使用手册. 北京冶金工业出版社. 2004.
- [9] 刘佑华. 金属材料研究, 1994, 20 (4).
- [10] 秦晋煌. 电工技术, 高等教育出版社, 2004, 1.
- [11] 李定宜. 现代高频感应加热电源工程设计与应用. 中国电力出版社. ISBN: 9787519824655.