

# KGPS 中频电源常见故障与处理方法<sup>\*</sup>

夏志全 肖海明 闻 臻

(武汉钢铁(集团)公司研究院,湖北 武汉 430080)

**摘 要:**KGPS 中频电源是一种将工频电流变为中频电流的装置,由整流、滤波、逆变三大部分组成。应用现场的常见故障有整流电路故障、逆变电路故障和保护电路故障三类。文章对整流电路和逆变电路的工作原理进行阐述,分析故障产生的原因,并给出常见故障的解决方法及日常操作和维护注意事项。

**关键词:**KGPS 中频电源;电路故障;整流电路;逆变电路

DOI: 10.3969/j.issn.1672-9846.2016.01.017

中图分类号: TN86

文献标志码: A

文章编号: 1672-9846(2016)01-0073-05

KGPS 中频电源是可控硅中频电源装置的简称,该装置利用可控硅的开关特性可将 50Hz 的工频交流电转变为中频(频率在 300Hz 到 20KHz 之间)电源。如图 1 所示,输入电源为三相工频交流电,首先经过整流装置整流将交流电变成直流电,然后再通过滤波和逆变装置将直流电变为可调节的中频交流电,最后在负载感应圈中产生密度很高的磁力线,并通过切割盛放在感应圈里的金属材料产生涡流。<sup>[1]</sup>这种涡流可以将放入感应圈中的圆柱体金属工件加热直至熔化,操作人员只需要调节频率大小和设定好控制板上的相关参数就能控制工件加热的速度。通过该种加热方法的工件在加热和熔化的过程中不会产生有害气体、强光等污染环境因素。<sup>[2]</sup>

采用 KGPS 中频电源的加热装置具有体积小、重量轻、效率高、加工质量优及环境污染少等优点,正是由于 KGPS 中频电源的这些优点,使得该装置在感应熔炼,感应加热和感应淬火等领域中具有广泛的应用。

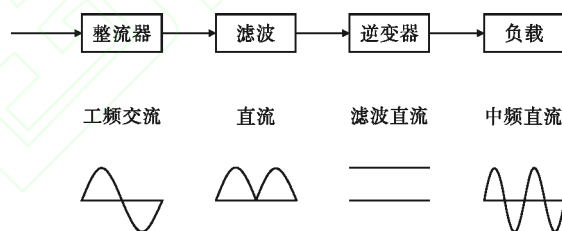


图 1 KGPS 中频电源工作示意图

## 1 工作原理

### 1.1 三相桥式全控整流电路的工作原理

如图 2 所示,三相桥式全控整流电路总由 6 个桥臂组成,每个桥臂上有一个普通型的可控硅,即 SCR。将一个周期分为六个时刻,即  $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$ 、 $t_5$ 、 $t_6$ ,其中每两个时刻的时间间隔为  $60^\circ$  电角度。控制电路在每一个时刻与三相电压配合分别向六个晶闸管发出触发脉冲,使整流电路在任一时刻只有 2 个桥臂能够同时工作,经过整流的三相线电压在一个完整的周期内加载在负载上形成直流电压  $U_d$ 。我们从图 2 可以清晰地看出 6 个桥臂的工作顺序。以  $t_1-t_2$  时刻段为例,在该时

<sup>\*</sup>收稿日期:2015-07-12

**作者简介:**夏志全(1985-),男,湖北武汉人,武汉钢铁(集团)公司研究院工程师,主要从事电气自动化,机电一体化方面的研究。

肖海明(1983-),男,江苏无锡人,武汉钢铁(集团)公司研究院工程师,主要从事设备管理工作。

闻 臻(1982-),男,江苏南京人,武汉钢铁(集团)公司研究院工程师,主要从事设备及公共设施管理工作。

刻段内, 只有可控硅 SCR1 和 SCR6 工作, 即图中用黑色标出的可控硅, 此时输出电压为  $V_{AB}$ 。到  $t_2 - t_3$  时刻段可控硅 SCR2 因受到控制板输出的脉冲触发信号而导通, 而此时 SCR6 因受到 BC 反向电压关闭, 电流经 SCR2 流过, 此时刻段只有 SCR1 和 SCR2 工作, 输出电压为  $V_{AC}$ 。同理, 其它四个时刻段分别为 SCR2 和 SCR3, SCR3 和 SCR4, SCR4 和 SCR5, SCR5 和 SCR6 同时工作, 对应加到负载上的电压分别为  $V_{BC}$ 、 $V_{BA}$ 、 $V_{CA}$  和

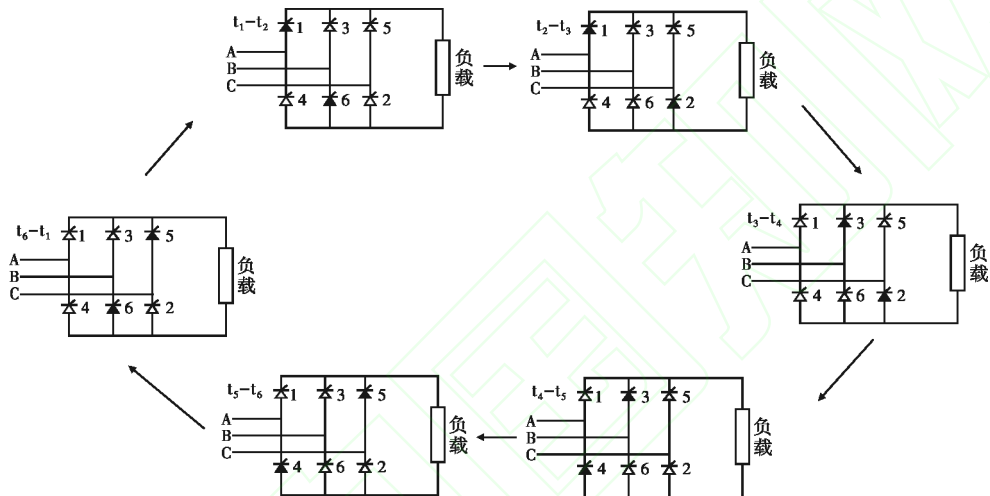


图 2 三相桥式全控整流电路的工作过程

### 1.2 单相桥式并联逆变电路的工作原理

图 3 是一个四个快速型可控硅组成的桥式线路, 线路由直流电抗器  $L_d$ 、感应炉  $L$ 、补偿电容  $C$  组成, 并且感应炉和补偿电容同时还组成一个并联谐振线路。感应炉的电感量  $L$  的计算公式如式 2, 式中  $D$  为线圈直径,  $l$  为线圈长度,  $N$  为线圈匝数。

$$L = 0.9 \times 10^{-3} \frac{\pi D^2 N^2}{l} \quad (2)$$

图 4 为逆变电路电流电压矢量图, 电流矢量图的各边与谐振电压  $U_a$  相乘就可以得到功率图, 因此逆变电路中电容所需的容量  $P_c$  计算公式为:

$$P_c = PL \sin \varphi_L + PL \cos \varphi_L \tan(\beta + \gamma/2) \quad (3)$$

公式 (3) 中  $PL \sin \varphi_L$  为负载的无功功率,  $PL \cos \varphi_L$  为负载的有功功率, 由公式 (3) 可以得出, 并联电容的容量  $P_c$  大于负载的无功功率, 而且多余的部分正好是负载有功功率乘以  $\tan(\beta + \gamma/2)$ ,  $(\beta + \gamma/2)$  时间段内对应的角度称之为超前角。根据以上的分析可以得出在逆变电路中与负载并联的电容  $C$  在电路中起到了三个作用:

$V_{CB}$ , 这样在一个完整的周期内就对一个三相工频交流电源进行了全波整流, 并且输出六次脉冲。<sup>[3]</sup> 电路滤波电感很大, 导致整流电流几乎是连续平直的。从公式 (1) 可以看出, 整流之后的直流电压  $U_d$  随着控制角  $\alpha$  在  $90^\circ - 0^\circ$  范围内变化时, 实现了  $0 - 513V$  之间的连续可调, 从而满足了电源功率调节的要求。

$$U_d = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{3}+\alpha}^{\frac{2}{3}\pi+\alpha} \sqrt{2} U_f \sin \omega t d(\omega t) = 1.35 U_f \cos \alpha \quad (1)$$

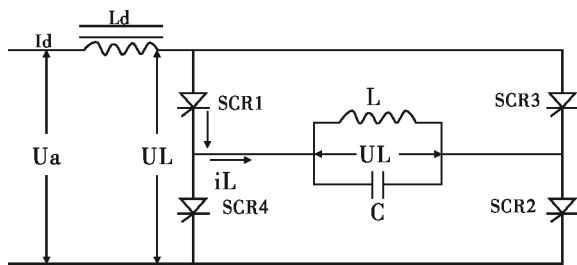


图 3 并联逆变电路

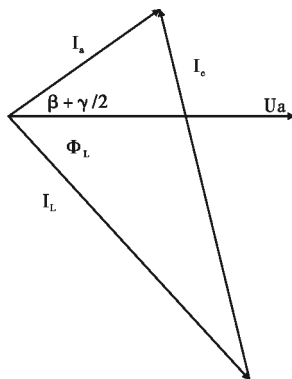


图 4 逆变电路电流电压矢量图

(1) 对高次谐波的电流起旁路作用, 并使得输入

电压波形为正弦波；(2)关断电路中的可控硅；(3)补偿电路中负载的无功功率。

图 5 示意了该电路一个完整循环的过程，整个过程划分为(a)、(b)、(c)、(d)四个时刻，图中涂黑的可控硅为导通状态。在图 5(a)中，SCR1 和 SCR2 导通处于导通状态，SCR3 和 SCR4 则处于关闭状态，此时电路中的直流电流  $I_d$  经电抗器  $L_d$ ，SCR1 和 SCR2 流向并联谐振回路，然后由于电路中的  $L_d$  值比较大，因此直流电流  $I_d$  因受到  $L_d$  的限制变化很小可以忽略不计而保持恒定，这个恒定电流用于激励回路中的并联谐振电路，产生谐振，谐振频率  $f$  的计算公式如公式(4)，式中  $L$  为感应炉电感量， $C$  为电容器容量谐振频率  $f$  通过中频电源控制板上的电阻微调器进行调整。

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \times 10^3 \tag{4}$$

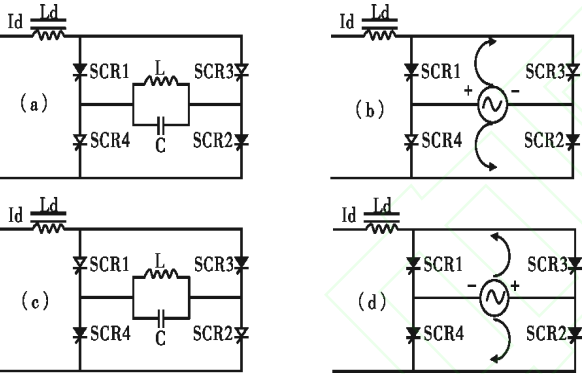


图 5 并联逆变电路的工作过程

电路中电容器两端的电压将按正弦波规律变化，中频电源控制板脉冲触发电路在电容器两端电压未过零之前的某一时刻发出触发信号触通 SCR3 和 SCR4，电路中的四个可控硅就会在此刻全部导通。正是由于 SCR3 和 SCR4 的导通，将会分担电容器两端加在 SCR1 和 SCR2 上的电压，这样就会造成 SCR1 和 SCR2 两端产生一个反向电压，然后 SCR1 和 SCR2 会迅速关断，流经 SCR1 和 SCR2 的直流电流  $I_d$  会经电抗器  $L_d$ ，SCR3 和 SCR4 从相反方向激励并联谐振电路，即电流“换”给了 SCR3 和 SCR4。控制板在电容器两端电压未过零之前的某一时刻再次发出信号触通 SCR1 和 SCR2，因此电路中再次形成 4 个可控硅全部导通的状态，此时流经 SCR3 和 SCR4 的直流电流再次“换”给了 SCR1 和 SCR2，至此，并联逆变电路一个完整的工作循环完成，<sup>[4]</sup>在此过程中

逆变电路中负载上的电流电压波形如图 6 所示。

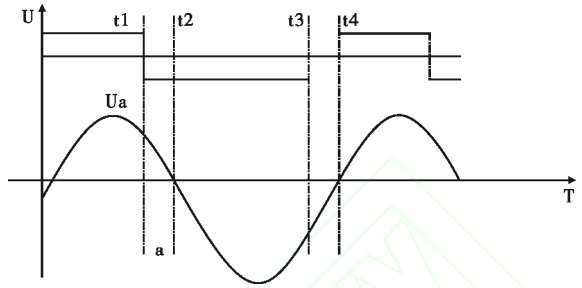


图 6 逆变电路负载上的电流电压波形

2 常见故障与处理措施

2.1 整流电路故障及处理措施

整流电路出现故障的概率较高，占有故障的 50%，常见的故障有以下 4 种：(1)设备在运行过程中直流电抗器有杂音，但是杂音较小，设备无法正常启动。出现此种现象是由于整流桥输出不平衡引起的，一般首先微控制电路板上的电位器，微调多次之后如果仍然存在此种现象，则需要使用示波器观察输入波形，对不正常的输出波头进行调整。(2)中频装置启动过后，中频声音低沉，并伴有较大的嗡嗡声。出现此种故障现象时大部分是由于整流桥中的某一只或者多只可控硅不导通造成的，可以借用示波器观察三相整流桥的输出波形。在输出波形全部正常情况下，则该故障现象则是由于脉冲触发电路中可控硅导线接触不良或者断线引起的。对于第二种故障，只需使用万用表的电阻档在可控硅控制电路板上测量触发脉冲输出端的正向电阻值，就可以根据所测量的电阻值判断是哪一路脉冲触发电路出现故障。正常情况下电阻值应该在  $20\Omega$  上下，偏差  $\pm 1\Omega$ ，如阻值太大就说明线路中接触不良或者断线，需对回路进一步检查。(3)电流突增，直流电压下降，中频电压比直流电压的比值远远大于正常值，正常值为 1.3—1.5，并且直流电抗器声音杂乱，不正常。处理措施：检查主电源三相电有无缺相；检查主电路中的快速熔断器有无烧毁；控制电源回路中保险有无烧坏；电力变压器的高压保险及电路中其他保险有无烧毁。(4)功率电位器不受控制，轻轻旋动即出现最大功率，或者是旋动几圈功率都没有反应。这种现象发生概率较低，在检查电位器接线无松动、无断线后，可使用万用表电阻档测量电位器阻值，缓慢旋转电位器以观察阻值有无变化。一般出现上述故障现象都是由于电位器内部

断线造成的。

## 2.2 逆变电路故障及处理措施

逆变电路故障占有故障的 35%,其常见故障有以下 4 种:

(1)中频功率无法提高,该种故障现象在逆变电路故障中极为常见,需尤其注意。处理措施:低功率下工作正常,但是一升高直流电压,装置就过流保护动作。此种故障现象是由于负载交流等效电阻偏小造成的,特别是炼钢炉在使用较长时间后,炉衬厚度减小,启动后往往是直流电压小,电流大,中频电压也小,换流比较困难,导致逆变失败,功率无法上升。所以炼钢的炉龄一定要严格控制,否则后期炼钢效率会明显降低。另外,感应线圈匝间绝缘不良,电压低时可以工作,中频电压高时极易造成匝间短路,交流等效电阻迅速减小,逆变失败。此种故障的处理办法是扒掉炉衬,更换感应圈的绝缘垫片,并使用摇表测量绝缘值,大于  $2\text{M}\Omega$  即可。

(2)中频电源在低功率下就发生故障,中频电压远远高于直流电压,中频声音低沉。处理措施:此种现象在中频电源的故障中也较为常见,尤其是在长时间没有更换逆变电路可控硅的中频装置中,更容易发生这样的故障。这种故障现象一般是由于逆变桥中的某一组或多组可控硅无法关断、老化造成的。逆变桥中的可控硅需要高频率的进行开关动作,功耗高,如果水冷套管的冷却效果不好,极易造成可控硅烧掉。所以从多年的维修经验来看,要避免此种故障的发生,一定要确保冷却水的质量,不易结垢,水质清澈不会造成管路堵塞,这样会大大提高可控硅的使用寿命,因为可控硅成本较高,不推荐轻易更换。

(3)功率在较低时中频电源可以工作,但是直流电压在低电流时很大,功率一升高装置过压保护动作。处理措施:逆变桥中的桥臂无法导通是造成引起故障的直接原因,逆变桥中两个串联的可控硅只要有一个无法导通就会导致桥臂无法导通。此种故障现象较为常见,现场检修时,一般都是带电作业,因此需要使用示波器和万用表进行检测。具体检查方法:①在带电情况下使用示波器观察桥臂可控硅的波形;②对于波形不正常的可控硅,进一步使用万用表电阻档测量可控硅控制极与阴极之间的阻值,此时必须断电;③从多年累积的维修经验来看,感应线圈与炉体之间短路

也会造成类似故障现象,因此需要使用示波器仔细观察各个桥臂上的波形加以区分。

(4)故障现象:中频电源在炉料  $1000^{\circ}\text{C}$  以下工作正常,但是超过  $1000^{\circ}\text{C}$  后过流保护经常动作。处理措施:此种故障现象一般是由以下两个原因造成的:①冷却循环水温度过高,尤其是夏天的环境温度本身较高,如果水冷不充分,水温过高将会改变可控硅的性能,导致关断时间加长,从而无法适应回路原有的频率变换引起逆变失败,装置过流保护动作;②可控硅的关断时间过长也会引起这种故障现象,低温时装置对可控硅的关断时间要求不高,温度升高后要求大幅度提高,易造成过流保护动作。对于此种故障的处理方法是:①确保冷却水的冷却效果,保证管路畅通;②在阻抗允许的情况下,可增加电路中电容的补偿量,并同时降低谐振频率;③如果不允许改变阻抗,则需要更换关断时间短,可靠性更高的可控硅,这种方法在现场检修中使用较多。

## 2.3 保护电路故障

保护电路发生故障的情况较少,只占 15%,但是如果发生故障,设备仍将无法正常工厂,常见故障有以下 2 种:

(1)中频电源逆变电路可控硅经常烧坏,即可控硅被击穿,用万用表测量阻值无穷大。处理措施:过流过压系统如果出现问题会导致逆变电路中的可控硅经常烧坏,因此出现这种故障现象需要使用万用表重点检查装置中的中频电压互感器和电流互感器这两个互感器的内部绕组是否短路。因为在装置中这些线的直径很小,非常容易因现场环境不良气体的腐蚀而造成断线。一旦断线就会导致装置的所有保护动作无法正常启动,所以这种情况是非常危险的,在现场检修中一定不能忽视,切勿盲目重复的更换可控硅。

(2)中频电源同一位置的可控硅经常烧坏,即在电路中的同一位置,刚更换的新的可控硅在刚运行或者运行较短时间就烧坏。处理措施:此种故障现象在运行多年的老装置或者水质较差的装置上经常出现,如果维修人员不做详细检查而是盲目更换可控硅,就会造成经常烧硅。具体处理措施:①检查与烧坏可控硅相关联的阻容保护电阻是否断线,电容是否存在漏油严重等现象,发现有问题的应立即更换;②检查与烧坏可控硅相关联位置的控制极接线是否牢固,使用万用表测量



脉冲变压器绝缘值是否正常；③可控硅水冷套管内部水垢太厚或者腐蚀严重会导致可控硅散热不良从而烧坏可控硅，因此需用定期用盐酸冲洗可控硅，但是又不宜频繁用盐酸冲洗，否则会将水冷套管内部腐蚀坏，冷却水在水冷套管内部不循环而是直接从出水口流出。此种故障最难察觉，因为从外部汇水排观察出水状况良好，但其实这是一种假象，所以要严格关注可控硅的使用寿命，在接近使用寿命时若出现此种故障就应该考虑更换新的可控硅了。

3 日常操作和维护注意事项

要保证 KGPS 中频电源安全、高效、稳定的运行，合理的使用，正确的操作和日常的精心维护是必不可少的。

(1)经常使用专业的防静电刷清除配电柜内的积尘，为变频装置设立专用机房，配备空调可保证即使在高温的夏天设备也可正常工作。

(2)炉子作为电源的负载，炉况的好坏会直接影响到中频电源能否正常工作，因此必须重视炉子的清洁工作，每炼完一炉钢都要使用压缩空气对炉体进行吹扫，以防止绝缘降低发生故障，并且严格控制炉龄，每次打炉之前使用摇表测量炉体绝缘值能否大于 2MΩ。

(3)严格按照三大规程定期对电源点检巡检，

定期检查紧固各部的螺栓、螺母压接件，定期使用专用测量仪器对装置的额定电压、电流进行校验以防止中频电源的各项保护装置失灵。

(4)特别注意装置的水冷情况：①中频电源装置在配电柜外都会有汇水排，所以平时要多观察汇水排的水流情况，一发现水流量太小就要对响应管路进行吹扫，防止水流量不够冷却不到位装置进一步发热严重；②另外还需要观察各冷却水管与各部件的连接处，因为水质不可能绝对纯净，若某些部件水管连接处漏水极易造成短路故障，引起装置过流保护动作。

(感谢检修现场工作了五年的维检班师傅，同时还要感谢肖海明工程师对论文架构提出的指导性意见。)

参考文献：

[1]杨大伟,孙涛,肖宏,等. KGPS 中频电源常见故障及其防治[J].精密成形工程,2013(1):81—84.  
[2]王小恩,付德报,马玉龙. 中频感应炉的故障分析与处理[J].湖南有色金属,2010(4):54—56.  
[3]马春燕,李更新. 利用中频电源进行感应加热的温度控制系统[J].太原理工大学学报,2000(1):43—46.  
[4]李月朋. 智能中频感应加热电源的研制[D].山东科技大学,2006.

(上接第 62 页)

相应的权重，以过程考核为抓手，以能力考核为重点的多元化评价标准。课程考核改革了原有的“40%平时成绩+60%期末成绩=总评成绩”的评分标准，实施“20%平时成绩+50%项目实施成绩+30%期末考试成绩=总评成绩”的考核体系(如表 4)，注重实践技能考核和过程考核。

表 4 以能力考核为重点的多元考核标准

| 考核组成 | 平时成绩                            | 项目实施成绩   | 期末考试成绩  |
|------|---------------------------------|--|---|
| 总评   | 20%                             | 50%  | 30%   |
| 考核内容 | 1.课堂表现<br>2.考勤<br>3.提问<br>4.作业等 | 1.项目参与表现<br>2.项目技能考核<br>3.团队协作能力<br>4.任务书完成情况等 | 1.重点考核实践知识和能力<br>2.注重适任证书考点考核<br>3.注重业务综合技能考核 |

由于其课程专业性与实践性强，开展基于工作任务的项目化教学切合“船舶结构与设备”教学的要

求。通过两届学生的反馈，该课程的教学效果有了明显提升。在当前高职教育以“就业为导向”，实施基于工作任务的项目化教学，融“教、学、做”为一体，突出过程性学习绩效评价，强化学生能力的培养，有利于高等职业教育培养高端技术技能型人才。<sup>[5]</sup>

参考文献：

[1]叶明君.“船舶结构与设备”教学方法改革与思考[J].航海教育研究,2007(2):48—49.  
[2]何文胜.浅谈项目教学法对高职教师的能力要求[J].湖北函授大学学报,2011(4):26—27.  
[3]李子强,杜利娥.项目教学法在“船舶结构与设备”课程中的实践[J].浙江国际海运职业技术学院学报,2013(1):63—65.  
[4]李子强.FLASH 技术在“船舶结构与设备”课程教学中的应用[J].浙江国际海运职业技术学院学报,2013(1):35—37.  
[5]李庆武. 项目教学法在课程教学中的运用探讨[J].教育探索,2008(4):32—33.