



感应电炉熔炼与选型

■ 钱立

节能、快熔、低成本地得到优质铁液是感应电炉熔炼的目的。本文直白地列举了从选炉到熔炼的观点，启示于众。

1. 选什么样的感应电炉

(1) 中频感应电炉 0.1~60t的炉子，中频频率在150~2500Hz，炉子大则取低值。与工频感应电炉相比，中频感应电炉不用启炉块，对炉料适应性好，电磁搅拌力适度，功率密度大，额定电压高（见附表），熔化快而电耗低。

无芯感应电炉与有芯感应电炉相比，可冷启动，铁液品种容易更改，提温快，生产率高，好伺炉，好修炉。对于工频有芯感应电炉，仅在双联熔炼时作为保温炉或浇注炉使用。

(2) IGBT半桥串联逆变中频电源 与传统晶闸管全桥并联逆变中频电源相比，IGBT半桥串联逆变中频电源的负载适应性好，熔炼过程中自动变频以适应炉料参数变化，恒功率运行，全程最大功率供电，可以功率共享，抗干扰，谐波含量很少，功率因数>0.95，优点很多。其是双（多）供电电炉的唯一选择，电源功率利用率近100%。

发达国家绝大多数采用串联设备，虽然价格比并联设备贵，但性价比远高于并联设备。

(3) 磁轭钢壳 国家发改委2011年发文，规定“十二五”期间0.25t以上的电炉要淘汰无磁轭铝壳炉。铝壳炉稳定性差，寿命短，能耗多，噪声大。工信部在《铸造行业准入条件》中也规定不得使用铝壳炉。

(4) 炉体容量 应根据铸件年产量、日班次最大铸件重量及电源特性等确定。必须指出，从节约电耗角度考虑，选择较大容量较好。据测算，5t炉比2t炉的吨电耗低3%~4%。

串联电源和双供电是近二十年来感应电炉的两大主要进展。目前，国外先进电炉制造商的动向集中在以下三个方面：①进一步提高输出电压。②进一步提高元器件和系统的可靠性和安全性。③实现对用户电炉的实时监控，并根据生产中出现的故障，进行远程指导等。

2. 如何实现快熔节能

上述选项固然事关快熔节能，但非全部，以下各点也是重要的。

(1) 提高功率密度 功率密度大，则电效率高，熔化快，热效率高。功率密度的大小，要顾及总功率的大小和基础元器件质量是否经受得住。国内电炉厂大体可分为A、B、C三个层次，其中C是差的层次。如果拿A、B层次来讲，0.25t和0.5t的炉子的功率密度均在1000kW/t；1t、2t炉子功率密度在750~800kW/t，A与B相差50 kW/t；5t炉子功率密度在600~700kW/t，A与B相差100kW/t；10t以下的炉子，国内A层次与国外知名公司水平相当。但20t以上的炉子，就有差距了。以20t的炉子为例，国内A层次多为450~500kW/t，国外知名公司为600kW/t。

在谈到功率密度时，一定要考虑总功率和炉子容量。除了关系到基础元器件质量外，感应圈

某公司确定的功率密度、额定电压比较

项目	中频感应电炉			工频感应电炉		
容量/t	1	2	5	1	2	5
功率密度/kW·t ⁻¹	800	750	600	360	~300	260
额定电压/V	1400/2500	1400/2500	2300/2500	500	~800	1000

也不能忽视,因为功率大,感应圈所受的电磁力大,其变形的可能性就大。因此,有国外公司提出,为保护感应圈,每炉的熔炼时间不宜低于40~45min。因为熔炼时间短,意味着功率必然大。

(2) 采用无氧无磷铜材 线圈、铜排和水冷线缆采用无氧无磷的铜材好,因其电阻比纯铜小。

(3) 有炉盖 尽量减少开盖率,带盖作业与敞口作业相比,液面热损耗功率可降低50%~60%。

(4) 机械化加料 料库与熔化平台衔接要合理,除了电磁配铁秤外,有条件的工厂最好采用加料机。

(5) 炉前配备智能热分析仪 可及时对铁液化学成分和凝固信息进行测报,并提示添补小料等附加操作。

(6) 准确配料 掌握炉料的化学成分,进行准确配料,免除化学成分超标而导致的调整工作,从而延长熔炼时间。

(7) 使用净料 禁止锈蚀料和含泥带砂料入炉,否则不但影响铁液质量,还增加熔渣耗热,延长熔炼时间。炉渣所吸收的热量是同等重量铁的7~10倍。

(8) 炉台操作要勤快 物品、用具各就各位,勤快操作,尽量缩短装料、熔化、取样和检测时间,提高功率利用率。

(9) 控制好终点温度 避免终点温度过高,否则不但多耗电能,还增加降温时间。炉内静止降温很慢,3t炉在无覆盖情况下,每分钟降温不会超过3℃。

(10) 铁液要倒空 不宜留液加料,否则不能充分利用感应电热,影响熔化效率。有关资料显示,留15%铁液,每吨铁液要多耗电8~12kW·h。

(11) 作业制度 尽量采取连续熔炼。

(12) 正确选用炉衬材料 正确选用炉衬材料和辅料,认真筑炉,认真烧结。生产中发现要及时修补,以延长炉龄。

在采取以上各种措施后,先进的指标可以达到:吨铁液电耗540~580kW·h;连续熔炼条件下,冷料至1500℃铁液出炉,每吨铁液的熔炼时间在40~54min。有些铸铁厂吨铁液电耗750kW·h,比上述指标高200kW·h。因此,通过技术改造,节电节支潜力巨大。

3. 熔炼工艺上应特别关注的几个问题

(1) 铁液过冷倾向大 感应电炉铁液过冷倾向大,致使铸铁石墨变异,甚至产生自由渗碳体,恶化加工性,出现缩松和渗漏等铸造缺陷。

强化石墨生核是克服过冷倾向大的主要对策。为此,要认真做好孕育处理:选用质量好的孕育剂,适当增加孕育量,采用后孕育等。炉内使用晶型石墨增碳剂和SiC,也是有效的方法。

此外,要正确控制过热温度。过热温度太高,会加大铁液过冷倾向。根据铸铁材质、铸件重量、炉料和增碳剂等情况,确定过热温度。过热温度一般在1480~1540℃。

(2) 忽视铁液的硫含量 感应电炉铁液硫含量低,对生产球

墨铸铁是有利的。有些一流的企业,还要对铁液做进一步的脱硫处理,将原铁液硫含量(质量分数)控制在0.020%以下。

对于灰铸铁,硫含量低是不利于孕育效果的。对此应使用增硫剂,将铁液硫含量提高至0.07%~0.10%。

(3) 对铁液质量缺乏全面的认识 与冲天炉铁液相比,感应电炉铁液干净,元素烧失少,化学成分较准确,因此人们容易产生麻痹思想。反映在实际生产中是不重视炉台操作,不重视铁液化学成分的准确性和稳定性,没有日常统计数据;对铁液中的H、O、N知之甚少,自然也谈不上对其进行掌控;对炉料和铸铁中的微量元素底数不清;清渣工作不彻底等。

全面提高铁液质量,应从管理和技术两方面加以解决。如,完善相关规章制度;加强人才培养;配备应有的检测仪器,认真做好各种数据的收集和数理统计;坚持质量分析活动;严格执行切合实际的奖惩条例等。

4. 结语

近年来,我国感应电炉熔炼应用发展迅速,已经积累了许多宝贵经验。下一步就是业界铸造工作者要集思广益,感应电炉制造商、铸件生产企业、科研院所多进行交流与合作,共同将感应电炉的应用推向纵深。

作者简介:钱立,河北工业大学,教授,出版十余部专著,完成研究课题二十余项,发表论文近200篇。

MW 20161020