

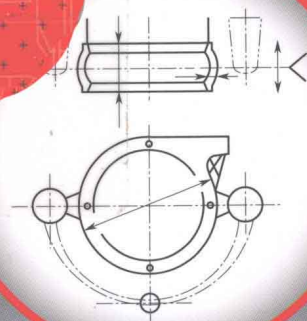


ZHUTIE GANYING DIANLU
SHENGCHAN WENDA

铸铁感应电炉

生产问答

童军 章舟 编著



化学工业出版社

铸铁感应电炉

生产问答

童军 章舟 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

铸铁感应电炉生产问答/童军, 章舟编著. —北京:
化学工业出版社, 2012. 5

ISBN 978-7-122-13755-5

I. 铸… II. ①童…②章… III. 铸铁-感应-电炉
炼铁-问题解答 IV. TF593-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 039324 号

责任编辑: 刘丽宏

文字编辑: 向 东

责任校对: 吴 静

装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

710mm×1000mm 1/16 印张 11½ 字数 214 千字 2012 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

前 言

熔炼是铸造生产的第一道工序，直接影响着铸件的质量和性能。近年来中频感应电炉以其熔炼效率高、元素烧损少、控制金属液成分及温度方便准确、操作维护简便等优点，在冶金和铸造行业日益得到了广泛的应用。为了适应当前铸铁感应电炉生产的需要，我们编写了这本书。

本书根据铸造用感应电炉的基本原理与相关内容，从生产实践角度提炼出各类型铸铁感应电炉熔炼的知识和技术问题并作简明解答。包括感应电炉的电源设备、炉衬材料和烘炉工艺、感应炉冶炼设备调试与应用中遇到的问题和故障排除方法，以及结合铸件生产实例，说明灰铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁、可锻铸铁、冷硬铸铁、耐热铸铁和铬系铸铁等各类铸铁及其零部件感应电炉熔炼铸造的生产技术和要点。书中全面介绍了铸铁感应炉熔炼的相关知识和操作经验，其中故障实例是编著者多年从事中频电源设计和维修以及感应炉生产实践所积累的经验。适合于从事感应电炉熔炼的一线技术人员学习参考，也可供冶金、金属材料专业的师生参考。

全书由童军、章舟编写，其中第一章～第三章由西安科技大学童军编写，第四章、第五章由章舟编写。在本书编写过程中，得到了铸造相关专业杂志以及专家的大力支持，在此深表谢意。

由于编著者水平所限，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编著者

目 录

第一章 铸铁生产应用感应电炉的实践与发展	1
第一节 铸铁生产对感应电炉的应用	1
1. 中频感应电炉应用情况如何?	1
2. 电炉容量和功率如何确定?	2
3. 电源类型如何选择?	3
4. 中频电源与电炉如何配置?	4
5. 电炉熔化率与生产率有什么关系?	5
6. 中频感应电炉节能方面存在哪些问题?	6
7. 中频感应电炉各部分损耗有哪些?	7
8. 中频感应电炉生产节能措施有哪些?	7
9. 感应电炉炉衬如何打结?	13
10. 提高感应电炉炉龄的途径有哪些?	16
11. 使用感应电炉电源易发生哪些故障, 如何排除?	19
第二节 铸铁感应电炉熔炼及铸造新工艺	20
12. 感应电炉熔炼用哪些原辅材料?	20
13. 感应电炉铁液有何特性, 如何改善铁液的不良特性?	20
14. 工频无芯感应电炉熔炼铁液有何特性及出现故障如何排除?	23
15. 感应电炉熔炼铸铁应注意哪些事项?	31
16. 感应电炉熔炼使用增碳剂时应注意哪些问题?	33
17. 感应电炉熔炼炸炉与沸炉的区别是什么?	40
18. 感应电炉当前能熔炼哪些铸铁?	42
第二章 灰铸铁感应电炉生产	45
第一节 灰铸铁基本知识	45
1. 何为铸铁? 它有何特性, 如何分类?	45
2. 铁碳合金中, 什么是铁素体、奥氏体、渗碳体、珠光体、莱氏体、索氏体、屈氏体、马氏体、贝氏体?	45
3. 什么叫过冷度? 与哪些因素有关?	47
4. 铁碳状态图有何实用意义? 如何使铸造时的金属晶粒细化?	47
5. 什么叫铸铁的石墨化? 影响石墨化的因素有哪些?	48

6. 灰口铸铁的铸造性能和物理性能各有何特点?	48
7. 影响灰口铸铁组织的主要因素有哪些?	49
8. 灰口铸铁中含合金(或杂质)元素有什么影响?	51
9. 灰口铸铁按基体组织分类有哪几种?	53
10. 影响铸铁冷却速度的因素是什么?	53
11. 影响灰口铸铁力学性能的主要因素有哪些?	53
12. 灰口铸铁如何进行热处理?	54
13. 什么叫孕育铸铁? 孕育处理后的组织和性能有哪些变化?	55
14. 灰铁如何进行孕育处理?	55
15. 铸铁中五大元素的含量与铸造缺陷有何关系?	57
第二节 灰铸铁感应电炉生产	57
16. 怎样在感应电炉中用废钢生产 HT250 铸件?	57
17. 感应电炉生产铸铁坩埚使用寿命怎样?	61
18. 中频电炉熔炼高强度铸铁时炉前应如何控制?	63
19. 怎样用中频电炉同炉生产不同牌号铸铁?	66
20. 如何用 D 型石墨铸铁生产空调压缩机缸体?	70
21. 感应电炉生产钢琴铸铁琴板如何提高声学性能?	72
22. 感应电炉熔炼灰铸铁件的氮气孔如何防止?	75
23. 大、中吨位中频电炉熔炼铸铁如何进行质量控制?	77
24. 感应电炉低合金铁素体灰铸铁阀体是如何生产的?	79
25. 铸铁件消失模铸造对铁液温度的要求是什么?	81
第三章 球墨铸铁感应电炉生产	85
1. 12t 大断面球铁(1.5MW 风电轮毂)铸件质量如何控制?	85
2. 铸态 QT850-3 球墨铸铁曲轴是如何生产的?	90
3. 如何对 276Q 微型汽车发动机曲轴进行铸造?	92
4. 球墨铸件铁活塞环铸件的生产工艺如何?	93
5. Q6108 球铁活塞环头的生产工艺如何?	96
6. QT600-3 滑管的铸造工艺如何?	97
7. 高韧性球磨铸铁轮毂的铸造工艺如何?	100
8. 高镍奥氏体铸铁的生产工艺特征是什么?	103
9. 镍奥氏体 QT600-2 冲盘的生产工艺如何?	107
10. ADI 球铁原件的生产工艺如何?	109
11. 奥贝球铁木斜楔消失模铸造生产工艺是什么?	125
12. 风镐缸体(ADI)铸件的生产工艺如何?	129

第四章 蠕墨铸铁感应电炉生产	132
1. 蠕墨铸铁感应电炉生产与质量如何控制?	132
2. 蠕虫状石墨铸铁的炉前温度控制及凝固规律如何?	136
第五章 抗磨耐热(蚀)铸铁感应电炉的生产	144
1. 铬系铸铁磨球的生产工艺如何?	144
2. 高铬抗磨白口铸铁磨光材料的生产工艺如何?	148
3. 高铬铸铁转子的生产工艺如何?	151
4. 高铬铸铁杂浆泵耐磨件的生产工艺如何?	153
5. 高韧性高铬铸铁衬板的应用如何?	157
6. 多元合金高铬铸铁算条的应用如何?	160
7. 铸造高铬铸铁复合锤头的生产工艺如何?	164
8. 冷硬铸铁凸轮轴的质量如何控制?	168
9. 耐热铸铁风帽的生产工艺如何?	170
参考文献	174

第一章

铸铁生产应用感应电炉的实践与发展

第一节 铸铁生产对感应电炉的应用

1. 中频感应电炉应用情况如何？

中频感应电炉具有成本低、控制方便、占地小、可与计算机控制管理系统连接等优势，中频感应电炉与工频无芯感应电炉的性能比较见表 1-1。

表 1-1 中频感应电炉与工频无芯感应电炉的性能比较（以铸铁为例）

比较指标	中频感应电炉	工频感应电炉	评 论
功率密度	600~1400kW/t	300kW/t	中频炉每吨炉容的配置功率密度允许值随频率变化,见表 1-2
熔化作业方法	批料熔化法	残液熔化法	批料熔化法和残液熔化法的比较,见表 1-3
对加入料块要求	要求小	要求高	见表 1-3
熔化单耗	500~550kW/t	540~580kW/t	中频炉的功率密度大,热损失小,其总效率高
功率调节范围	0~100% 无级调节	有级调节	工频炉的功率调节还涉及三相平衡的调节,较复杂
功率自动调节	可以	困难	
熔液的搅拌效应	可调	大且固定	中频炉的搅拌效应大小随频率变化而逆向变化
电源占用空间比率	约 40%	100%	
电源维修量	较小	较大	
故障诊断及保护功能	完全,强	部分有	
与计算机联网可能性	可以	困难	中频炉可由计算机熔化过程自动控制管理系统连接
总投资比率	约 90%	100%	

电炉的工作频率愈高,其允许功率密度值愈高,不同功率下电炉的功率密度允许值见表 1-2。目前,国外制造的中频感应熔化炉的功率密度通常配置为 600~800kW/t,小容量熔化炉的功率密度配置高达 1000kW/t。国内制造的中频感应熔化炉的功率密度通常配置到 600kW/t 以下,主要考虑炉衬的使用寿命和生产管理两个因素,因为在高功率密度下,工作的炉衬受到强烈的溶液搅拌效应的冲刷。

表 1-2 不同功率下电炉的功率密度允许值 (铸铁和钢)

频率/Hz	1000	500	250	125	50
电炉容量/t	0.2~1.5	0.6~6	1.1~18	2.5~60	8~100
功率密度/(kW/t)	1345	945	670	475	300

表 1-3 批料熔化法和残液熔化法的比较 (铸铁和钢)

比较项目	批料熔化法(中频炉)	残液熔化法(工频炉)	评 论
熔液倒空可能性	可以	不可以,需要存 1/5,下一炉次起熔用	中频炉中合金成分调整容易
冷炉起熔块	不需要	需要	残液熔化法增加了运行成本
加料要求	料块尺寸任意,允许潮湿和带油污	料块要有一定尺寸不能带油污和潮湿	中频炉对加料要求低
熔化时间	短	较长	中频炉的功率密度高
炉料的过热	一次过热,时间短	残液多次过热	冶金学角度上的过热
熔化单耗	较低	较高	中频炉的总效率较高
对炉衬的冲刷	一般	较大	高功率密度中频炉的炉衬受到较大的冲刷

从技术性能、作业性能、投资等方面比较,现代化铸造厂采用中频感应电炉作为熔化设备,是无可争议的。批料熔化法和残液熔化法的比较见表 1-3。

2. 电炉容量和功率如何确定?

电炉容量的确定应满足两个条件,一是满足最大铸件的浇注质量需要,二是与工艺对铁液的需要量相符。目前,中频电炉的熔化能力为每炉次的熔化时间在 1h 以内。

电炉功率大小依据生产率确定,一旦电炉容量和生产率确定后,电炉的功率就可以根据下式计算:

$$N = \frac{PK_1K_2}{p} \quad (\text{t/h})$$

式中 N ——电炉的生产率; t/h;

P ——电炉额定功率, kW;

K_1 ——电炉功率利用系数, 0.8~0.95;

K_2 ——作业功率利用系数, 0.7~0.85;

p ——电炉熔化单耗, $\text{kW} \cdot \text{h/t}$ 。

3. 电源类型如何选择?

中频电源有两类: 并联逆变电路的中频电源和串联逆变电路的中频电源。

在铸造行业中, 习惯对配置可控硅 (SCR) 全桥并联逆变中频电源的中频感应电炉俗称为中频炉, 其逆变部分电路见图 1-1。对配置 IGBT (绝缘栅双极型晶体管) 或 SCR 半桥串联逆变中频电源的中频感应电炉俗称变频炉, 其逆变部分电路, 见图 1-2。

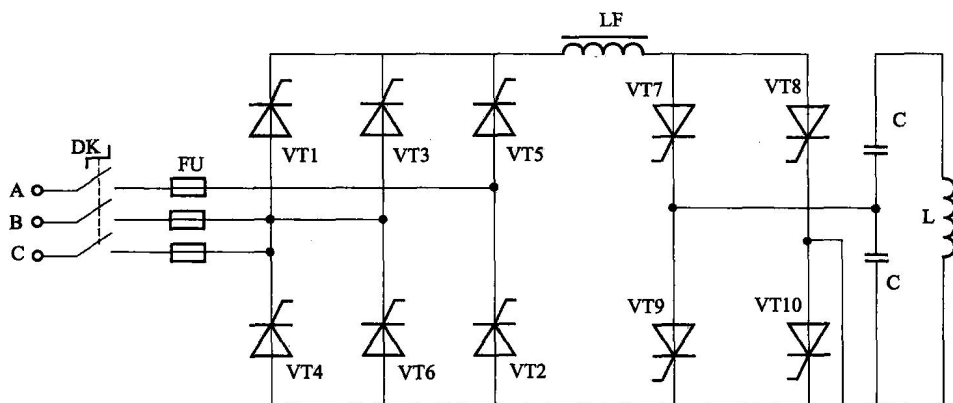


图 1-1 SCR 全桥并联逆变器原理图

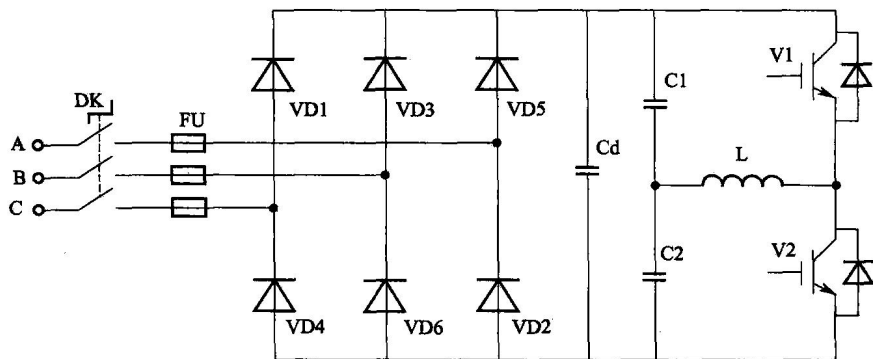


图 1-2 SCR 半桥串联逆变器原理图

两种中频电源的性能比较及适用范围见表 1-4 和表 1-5。

表 1-4 两种中频电源的主要性能比较

比较项目	SCR 全桥并联逆变中频电源(PS 系列电源)	IGBT 半桥串联逆变中频电源(CS 系列电源)
产品规格范围	100~6000kW	50~3300kW
电网侧功率因数	额定功率时接近于 1, 功率减小时功率因数降低	始终接近 1

续表

比较项目	SCR 全桥并联逆变中频电源(PS 系列电源)	IGBT 半桥串联逆变中频电源(CS 系列电源)
变换效率	中功率时相同,大功率时略低	中功率时相同,大功率时略高
负载适用范围	一般	宽广
恒功率输出能力	冷料启动阶段输出功率较低;改进逆变控制后可接近恒功率运行,但控制技术复杂	整个熔化过程中始终可以保持恒功率运行,控制简单
工作频率范围	高至 2500Hz,主要用于感应熔化和保温	最高可达 100kHz,适用于感应熔化和保温,也适用于透热和淬火
工作稳定性	中频电流自成回路,触发可控硅必须有一定的电流,抗干扰能力强	中频电流必须通过 IGBT 构成回路,IGBT 是电压控制器件,外界干扰电压可能误触发 IGBT
器件过流容量和过流保护	过流容量大,保护电路简单	过流容量小,保护电路复杂,技术要求高
配置电源变压器的余量要求	较大。变压器配置容量约为中频电源最大输出功率的 1.25 倍	小。变压器配置容量约为中频电源最大输出功率的 1.1 倍
电源功率共享可能性	不能	可以
设备价格	低	高

表 1-5 两种中频电源适用范围

电炉类型	中频电源类型	优点
中小功率熔化炉	IGBT 半桥串联逆变中频电源 SCR 全桥并联逆变中频电源	高性能 低价格
大功率熔化炉	SCR 全桥并联逆变中频电源	高可靠性
DX 型双向供电电炉	IGBT 半桥串联逆变中频电源	唯一选择
保温电炉	IGBT 半桥串联逆变中频电源	高功率因数
透热炉	IGBT 半桥串联逆变中频电源	温度稳定
表面淬火炉	IGBT 半桥串联逆变中频电源	唯一选择

4. 中频电源与电炉如何配置?

为了适应不同的铸造工艺,提高电源和功率利用系数,中频电源与电炉的配置有以下几种形式。

(1) 单台电源配单炉。此种形式简单可靠,适用于电炉内金属液熔化后迅速倒空,再重新加料熔化的作业条件,或作业不频繁的场所。适合于小容量及较低功率的电炉。该方案的作业功率利用系数 K_2 低。

(2) 单台电源配两台电炉(开关切换)。1 台电炉熔化作业,另 1 台炉浇注作业或维修、筑炉。在做小容量多次浇注作业时,可将向熔化作业电炉供电的电源短时间内切换到浇注作业的电炉作快速升温,以补偿浇注温度的下降。2 台电

炉的交替作业保证了向浇注作业线持续供应高温合格金属液。该方案的作业功率利用系数 K_2 较高。

(3) 2 台电源配 2 台电炉 (开关切换)。2 台相同功率的电源和 2 台相同容量的电炉配置, 开关的设置实现 1 电供 1 炉, 实现 2 台电源同时向 1 台电炉供电。此种形式的缺点是: 开关切换频繁, 且 2 电合供 1 炉时的频率低于 1 电供 1 炉情况下的频率, 无法获得最佳搅拌效应。该方案的作业功率利用系数 K_2 低。

(4) 2 台电源配 2 台电炉 (开关切换)。SCR 全桥并联逆变中频电源, 通过切换开关实现 2 台电炉交替与熔化电源和保温电源相连 (图 1-3)。此种形式用户广泛采用, 可达到与方案 (5) 相同的效果, 投资降低。此种形式的缺点: 合金化处理时的搅拌作用较小, 有时需短时间将熔化电源切换过来以增强合金化过程。作业功率利用系数 K_2 值较高。

(5) 单台双供电电源配 2 炉 (图 1-4)。称为功率共享电源系统, 是目前国内外被用户广泛采用的一种先进的配置方案。此种形式的优点是:

- ① 每台电炉可以根据各自的工况选择合适的功率。
- ② 无机械切换开关, 工作可靠性高。
- ③ 作业功率利用系数 K_2 高, 大幅度提高了电炉的生产率。
- ④ 采用 IGBT 半桥串联逆变中频电源, 如表 1-4 所述, 在整个熔化过程中始终能以恒功率运行, 其电炉功率利用系数 K_1 高。

⑤ 单台电源仅需 1 台变压器和冷却装置, 主变压器的安装容量小, 占用空间也小。

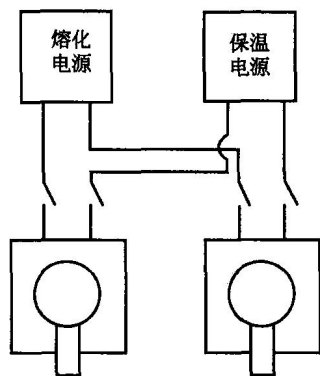


图 1-3 2 台电源配 2 炉

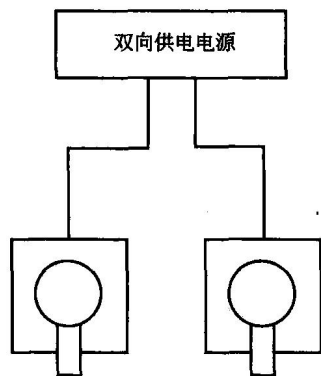


图 1-4 单台双供电电源配 2 炉

5. 电炉熔化率与生产率有什么关系?

一般电炉制造商在样本或技术规格上提供的电炉熔化能力数据是熔化率。电炉的熔化率是电炉本身的特性, 它与电炉的功率大小及电源类型有关, 与而生产

作业制度无关。而电炉的生产率则除了与电炉本身的熔化率性能有关外，还与熔化作业制度有关。

电炉功率利用系数 K_1 是指在整个熔化周期内电源输出功率与其额定功率之比，它与电源类型有关。配置可控硅（SCR）全桥并联逆变固体电源的中频感应电炉的 K_1 数值通常在 0.8 左右。增加逆变控制后， K_1 接近 0.9。配置（IGBT）或（SCR）半桥串联逆变器中频电源的中频感应电炉的 K_1 数值理论上可达到 1.0。

作业功率利用系数 K_2 的大小与铸造车间的工艺设计和管理水平，电炉电源的配置方案等因素有关。其数值等于整个作业周期内电源实际输出功率与额定输出功率之比。通常， K_2 取 0.7 ~ 0.8，电炉的空载辅助作业时间（例如：加料、取样、等待化验、等待浇注等）愈短， K_2 值愈大。采用单台双供电电源配 2 炉系统的 K_2 值理论上可达 0.9 以上。

$$N = \frac{PK_1K_2}{p} \quad (1-1)$$

式中 N ——电炉的生产率，t/h；

P ——电炉额定功率，kW；

K_1 ——电炉功率利用系数，通常在 0.8 ~ 0.95；

K_2 ——作业功率利用系数，0.7 ~ 0.85；

p ——电炉熔化单耗，kW·h/t。

以 1 台 2500kW 可控硅（SCR）全桥并联逆变中频电源的 10t 中频感应电炉为例，技术规格表示的熔化单耗 p 为 520kW·h/t，电炉功率利用系数 K_1 数值可达 0.9，作业功率利用系数 K_2 数值取为 0.8，由此可得电炉的生产率为：

$$N = \frac{PK_1K_2}{p} = \frac{2500 \times 0.9 \times 0.8}{520} = 3.462 \text{ (t/h)} \quad (1-2)$$

6. 中频感应电炉节能方面存在哪些问题？

（1）供电电压，变压器损耗的影响。在不同的供电电压下，变压器自身的损耗有所不同，采用合理的供电电压和相应变压器有利于节能。

（2）中频感应电炉存在的问题：

- ① 不同容量、频率的选择。
- ② 额定功率的匹配。
- ③ 感应线圈、水电缆的纯度和截面积对电耗的影响。
- ④ 水垢的影响以及如何处理的问题。
- ⑤ 冷却水温对电耗的影响。
- ⑥ 炉衬方面对节能的影响。

（3）熔炼过程中在熔炼配料、熔炼工艺、熔炼时间以及熔炼设备维护等方面

的影响。

7. 中频感应电炉各部分损耗有哪些？

(1) 中频感应电炉使用厂家一般都采用 S7、S9 节能型电力变压器，但其电压低不适合中频感应电炉的节能，达不到很好的效果。

(2) 钢铁生产厂家选择中频感应电炉的容量、频率和其匹配的额定功率不合适而导致不必要的损耗。

(3) 目前市场上，一方面由于电解铜产量不能满足消费者的需求；另一方面中频感应电炉生产厂家为降低成本大都采用价格低廉的紫杂铜代替 1 号电解铜，导致供电线路的电阻增加，热量损耗相应提高。

(4) 感应线圈是感应炉的关键部分，是传递有用功到被加热或被熔化的金属炉料的主体。其传递的能力取决于电流通过感应线圈所产生的磁场强度，即感应器的安匝数。为了得到大的加热功率，流过感应器的电流很大，历年来中频感应电炉生产厂家一直沿用传统的感应线圈、水电缆截面的制作模式，普遍采用导线电流密度大于 $25\text{A}/\text{mm}^2$ ，感应线圈、水电缆截面小，由于功率因数的影响，经过反复实测炉体额定实际电流是中频输出电流的 10 倍（电容全并联式），铜损又与电流的平方成正比，这些将使感应线圈、水电缆产生较大的热量，温度进一步升高，大量的电能转化为热量被循环水带走，以致在感应器中的电量损耗可达到中频感应电炉有效功率的 20%~30%。

(5) 冷却循环水水温的高低对感应线圈的电阻有一定的影响。水温高时感应线圈电阻值相应升高，导致损耗增加、产热量大，然后产生的大量热使水温升高，形成一种恶性循环，对中频感应电炉的节能很不利。

(6) 中频感应电炉感应线圈中形成的水垢，阻碍了循环水路，冷却效果降低，使线圈表面的工作温度升高，致使耗电增加，甚至造成局部过热，烧坏线圈造成事故，又由于冷却水有一定电势，现有阻垢器效果不明显。

(7) 中频感应电炉的炉衬使用寿命的长短对筑炉电耗有影响。炉衬寿命长，相对筑炉电耗就小，所以炉衬的材料选择、筑炉烘炉工艺应该加以改善。

(8) 中频感应炉熔炼工艺的好坏也对电炉的耗电量有着直接关系。在炉料是否合理、熔炼时间的长短、是否连续熔炼等方面存在着相当大的问题，致使增加了不必要的损耗。

(9) 一些工厂对中频感应电炉的维护问题没有给予足够重视，使炉体、供电系统等不能正常运行，相应损耗增加。

8. 中频感应电炉生产节能措施有哪些？

(1) 中频感应炉应采用专用变压器。现在我国由于供电政策的规定，工业用电采用的变压器一般为 S7、S9 型电力变压器，二次电压输出为 380V，而国外

工业电炉用电的二次输出电压为 650~780V, 如果采用中频感应炉专用的特种变压器使二次输出电压变为 650V, 输出功率一定时输出电流减小为原来的 0.585 倍, 铜损大约降低为原来的 $1/3$, 铜损的进一步降低又减小了变压器的产热量, 使得同线圈的电阻不至于因温度过高而导致升高, 冷却系统带走热量减少, 节能效果明显增加。此外又可以根据需要, 在炉子运行过程中适时地调节供电电压以调节炉子的输入功率, 使中频感应电炉的损耗尽量减到最小。可见, 采用中频感应炉专用变压器提高电压势在必行。

另外, 限制变压器的空载运行在节能方面也起到一定的作用。在实际应用中, 应当在空载时间超过几小时或停止生产时, 断电拉闸, 及时停止变压器的运行, 这样更有利于变压器的节能降耗以及提高功率因数。

(2) 正确选择中频感应炉的容量、增大匹配功率。炉子容量的选择, 一般主要考虑炉子的生产率是否能满足铁水的需要。但是, 同一铁水量, 可以选择单台大容量炉也可以选择多台较小容量的炉子, 这须根据实际要求进行分析比较确定。在只是有时需要大量铁水供生产大型铸件用的场合, 不宜选用单台大容量的炉子, 而应当在正常生产要求条件下选用多台适当容量的炉子。这样, 既可以提高生产过程的灵活性和可靠性, 解决单台大容量中频感应电炉由于事故所引起的停产问题, 又可以减小熔炼少量铁水时因为容量过大达不到额定功率而引起的耗电量。

感应炉的容量与炉子的技术经济指标密切相关, 一般来说大容量炉子技术经济指标高, 这是因为随炉子容量增大, 熔化铸铁的单位能量损失相对减小。中频无芯感应炉主要技术参数和技术经济指标, 如表 1-6 所示。炉子容量由 0.15t 增大到 5t, 电耗由 $850\text{kW}\cdot\text{h/t}$ 降低到 $660\text{kW}\cdot\text{h/t}$ 。

额定功率与额定容量的比值 (即熔炼 1kg 钢匹配的功率) 是反映中频感应炉熔炼时间以及熔炼电耗的一个标志。当比值大时, 熔炼时间短, 耗电量大、熔化率高; 反之, 则熔炼时间长, 耗电量大、熔化率低。

表 1-6 中频无芯感应炉的主要技术参数和技术经济指标

技术特性	炉子容量/t				
	0.15	0.5	1	2.5	5
额定功率/kW	100	250	500	1000	2000
频率/Hz	1000	1000	1000	500	500
工作温度/℃	1600	1600	1600	1600	1600
生产率/(t/h)	0.12	0.35	0.80	1.5	3.33
电耗/(kW·h/t)	850	750	690	680	660

因此, 在同一容量的炉种下, 应增大中频感应熔炼炉的匹配功率, 以提高电

炉的熔化效率,降低其耗电。

(3) 感应线圈、水电缆部分改进。中频感应电炉电功率的无功消耗主要是感应线圈和水电缆在电炉运行过程中所引起的铜损,其单位电阻对铜损的影响非常巨大。现在,一些电炉生产厂为降低成本,感应线圈的铜原料大都采用价格低廉、电阻值高的紫杂铜而不是电阻值低的1号电解铜,导致感应线圈和水电缆的电阻较高,单位时间点损耗相对较大。

优质高纯度铜管,表面颜色发亮,电阻低,导电性能好;而劣质铜使用的不全是铜质材料,铜管发黑偏硬,由于杂质多不能承受大电流,通电发热量高,选材时应以区分。

① 增大感应线圈、水电缆横截面积。较大截面的铜导线和铜导体电缆,不仅能减少导线的发热及电压损失,还能增加配电线路的可靠性并适应长期的发展,而且从经济的观点讲也极有好处,增加的投资能很快收回,用户在长期使用中能得到更多的效益。

通过增加感应线圈、水电缆横截面积,可以大幅度降低其电流密度,减少供电线路铜损,有助于降低线圈、水冷电缆的工作温度,减少水垢的形成概率,降低故障率,节约生产成本,降低损耗,增加企业经济效益。

以0.5t/400kW的中频电炉为例,感应线圈为(外形尺寸)30mm×25mm×2mm矩形空心铜管,匝数为16,线圈直径为560mm,工作温度为80℃,电炉功率因数为0.1,由计算得感应线圈自身在80℃时的耗电功率为80.96kW。同理,水电缆直径为60mm、长2m,计算得自身在80℃时耗电功率为0.42kW。供电线路仅此两项在80℃时的耗电功率81.38kW。随着感应线圈和水电缆截面积的增加,电阻变化、供电线路节能效果如表1-7所示。

表 1-7 中频感应炉线圈壁厚、水电缆直径增加与其节能效果对照

线圈壁厚增加量/mm	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3
$R'/R/\%$	100	78.46	64.15	54.97	46.36	40.48	35.79
水电缆直径增加量/mm	0	5	10	15	20	25	30
$R'_l/R/\%$	100	85.21	73.47	64.00	56.25	49.83	44.44
节约电量/kW·h	0	17.50	29.14	36.61	43.61	48.40	52.22
两者总节电/%	0	21.51	35.80	44.98	53.59	59.47	64.17

由表1-7可见,如果感应线圈壁厚增加3mm、水电缆直径增加3cm,则感应线圈与水电缆部分每小时耗电量为29.16kW,比增加前节电64.17%,每小时节电52.22kW,显著节约了电能。

② 降低感应线圈、水电缆的工作温度。感应熔炼时感应线圈和水电缆工作升温,由于铜存在温度系数,其电阻率升高、电阻变大、耗电增加,数学公式

如下:

$$R_T = (1 + \alpha \Delta T) R_{20} \quad (1-3)$$

式中 R_{20} ——20℃时电解铜的电阻值, $0.0175 \times 10^{-6} \Omega$;

R_T ——线圈温度上升 $T^\circ\text{C}$ 时铜的电阻值, Ω ;

α ——铜的电阻温度系数, $0.004/^\circ\text{C}$;

ΔT ——线圈温度的变化量, $^\circ\text{C}$ 。

由上式可知, 铜线圈工作温度每升高 10°C , 其电阻增加 4%, 电能损耗亦提高 4%, 这对一个较大功率的中频感应炉来说是个相当大的损失。当感应线圈的工作温度从 80°C 降低到 50°C 时, 电能损耗降低 12%。所以采用有效的冷却系统高效的降低供电线路的温度, 尽量避免形成温度升高→电阻升高→温度升高这个恶性循环, 减小线路损耗。

(4) 采用新型阻垢器、封闭水冷系统。

① 水垢对冷却系统冷却能力的影响。水垢对铜管使用状况影响非常大, 它直接改变了铜管的工作温度。对铜管水垢进行成分分析后发现, 水垢的形成主要为水中含有不溶性盐类 (CaCO_3 、 CaSO_4) 和氧化物沉淀 (还可能含有其他金属的阴阳离子和各种杂质)。随着冷却水温度的升高, 水中盐类逐渐超过饱和极限, 发生沉淀形成导热性极差的水垢。水垢沉积在线圈内壁, 将会缩小水道横截面积堵塞管道, 增加水循环的阻力, 阻碍正常的热交换, 又由于水垢的热导率只有 $0.464 \sim 0.8 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 远小于铜管的热导率 $320 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 热交换率大大降低, 降低设备使用寿命; 同时, 铜管的热流分布不同, 故各处水垢厚度也不同, 在铜管局部温度过高位置发生结垢过厚, 就会出现局部过热现象, 烧坏线圈、水电缆, 甚至引起电器漏电、短路等严重安全事故。

根据有关数据计算感应线圈、水电缆内壁水垢对综合换热系数的影响规律见表 1-8。

表 1-8 水垢对冷却水冷却能力的影响

水垢厚度 σ/mm	0.5	1	1.5	2	3	4
综合换热系数降低/%	22	37	46	54	64	70

线圈内壁的水垢是一层隔热层。当水垢厚 $0.5 \sim 4 \text{ mm}$ 时, 综合传热系数比无垢时降低 22%~70%。换热能力降低, 线圈温度上升, 其电阻值增大, 造成无功电耗的增加, 当局部温度较高, 有烧毁线圈、水电缆的危险, 故必须采取相应措施去除水垢。

② 采用新型阻垢器。中频感应电炉冷却水在感应线圈、水电缆中循环, 其中含有大量离子, 现有的一些方法生产的阻垢器对冷却水阻垢效果不很明显。比如磁化处理法受磁铁磁性的影响较大, 阻垢效果不稳定; 静电处理对水中钙、镁