

# 螺旋悬浮燃烧式退火炉 的构思与特点\*

刘 华 信

(化工与生化工程系)

## 摘 要

本文根据笔者对国内目前惯用的可锻铸铁退火炉的调研结果,分析了旧式退火炉的弊病,并在此基础上引入了研制螺旋悬浮燃烧式退火炉的理论构思.文中还介绍了这种新型退火炉的技术特点和其应用的部分效益.

## 前 言

我国现有生产各种可锻铸铁产品的工厂五百余家,所采用的退火炉或是燃烧煤块(屑)的层燃炉,或是直流喷射煤粉的室燃炉.两者炉膛结构基本相同,技术均较落后,普遍存在工件退火能耗高、污染严重、升温速度慢、生产强度低和劳动强度大等弊病.

华侨大学化学工程教研室与泉州玛钢厂于1984年联合研制的《螺旋悬浮燃烧式退火炉》,在节能、消烟、高产、优质和文明生产等方面,收到明显的技术经济和社会效益.在福建省二轻厅组织的技术鉴定会、华东地区可锻铸铁技术交流会及福建省环保学年会等场合,评价为退火炉“设计方案较为合理,燃烧方式有一定创新,退火炉的各项指标跨进全国先进行列”,并荣获省二轻厅1984年科技成果一等奖.本文就该炉的产生背景、理论构思和技术特点进行综合和分析.

## 旧式退火炉主要弊病的分析

图1是一台具有代表性的旧式层燃退火炉结构示意图.挡火墙把整台退火炉分成燃烧室和炉膛(工作室)两大部分;燃烧室又被炉栅隔成燃烧空间与储灰空间.运行时,燃料由人工铲送入燃烧室,并由炉栅支撑着呈层式燃烧.

\* 本文是在作者和林一雄、蔡保章与泉州玛钢厂共同研制的螺旋悬浮燃烧式退火炉的基础上综合撰写的.该课题还得庄世杰、林美和、翁荣周的协助.

本文1985年4月25日收到.

待退火的工件装箱后静置于炉膛内台车的上方。它按可锻铸铁退火工艺的要求, 经历快速升温, 高温保温, 急剧冷却和低温保温等阶段, 周期性地生产出可锻铸件产品。

燃料燃烧所需的空气由鼓风机从炉栅下方向上鼓入, 高温烟气则通过挡火墙上方的火口跨入炉膛, 与砌体及工件箱进行热交换后, 经炉膛两侧下方的烟气闸门流入主烟道由烟囱排空。

目前国内所广泛采用的直流喷煤室燃退火炉的结构如图2所示。它与层燃炉的主要差别是: 结构上把炉膛既作加热工件的工作室, 又作提供热量的燃烧室; 燃烧方式上把燃料和所需空气用一直管同时喷入炉膛进行悬浮燃烧。

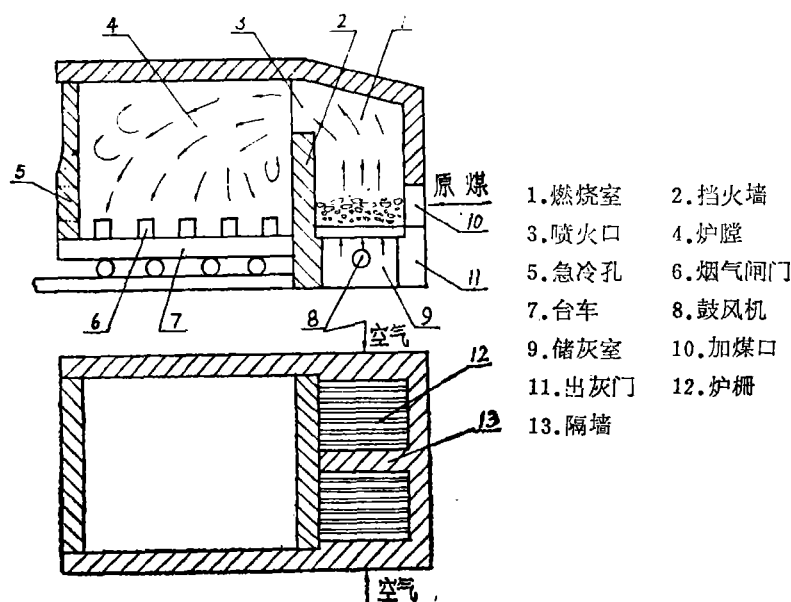


图1 手工加煤层燃退火炉示意图

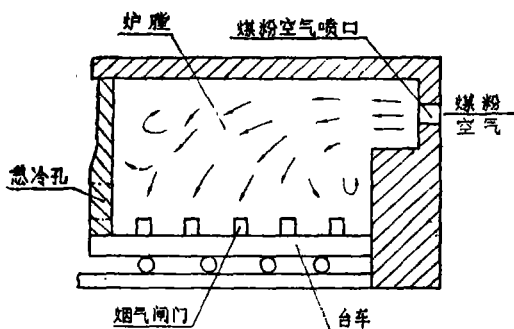


图2 直流喷煤室燃退火炉示意图

这两种退火炉均存在如下主要弊病:

### 1. 热效率低, 煤耗高

层燃炉的煤层厚薄难维持均一。煤层厚处(时)阻力大, 通过的空气量少, 造成燃料烧不透; 煤层薄处(时)风量增大又把煤粒吹向炉膛。室燃炉把燃烧室与工作室合成炉膛, 并把所需燃料与空气用同一直管同时喷送到这里, 风煤比例难以适当控制, 炉膛温度水平又较低, 不利于煤粉燃烧。加之这两种炉型都不能为炉膛中的传热过程创造有利条件, 排烟温度较高, 所以旧式退火炉的热效率低(12—15%), 退火工件的煤耗高(500公斤标准煤/吨件以上)。

### 2. 烟色浓黑, 环境污染重

旧式退火炉中的主气流流动方式均为直流式, 它所携带的固体细粒较难以从中分离出来, 进入炉膛中的煤粒来不及燃烧或燃尽就随烟气经烟囱排空, 常年出现“黑龙”(烟色大于林格曼五度), 对环境污染严重。

### 3. 升温速度慢, 生产强度低

可锻铸铁生产工艺要求把炉膛(工作室)的最高温度控制在 $1050^{\circ}\text{C}$ 左右, 在整个升温阶段, 炉膛的平均温度仅为 $550\sim 600^{\circ}\text{C}$ , 工件升温速度显然由工件箱与烟气之间的对流换热状况所控制。然而旧式退火炉中的烟气流向单调, 流速不高, 扰动不大, 对流换热效果不佳, 因而升温速度慢( $75\sim 85^{\circ}\text{C/hr}$ )、退火周期长( $30\sim 50\text{hr/炉}$ )、生产强度低( $20\sim 25\text{kg/m}^2\cdot\text{hr}$ )。

### 4. 炉温分布不均匀、产品质量不稳定

旧式退火炉由于挡火墙构造不合理, 气流通道未与工件箱的排列方式相匹配, 烟气未能流经炉膛各角落, 产生“死角”区域, 不同部位的炉膛烟温差常在 $100^{\circ}\text{C}$ 以上, 致使置于炉膛内的工件有的过热甚至熔化, 有的却未达到退火工艺所要求的温度, 造成产品质量不稳、次品率较高。

### 5. 劳动环境差、劳动强度大

旧式退火炉运行过程中需断续加煤、清灰和捅焦, 炉门(孔)常开, 火苗外喷、尘灰外扬, 不仅环境艰苦、劳动强度很大, 而且造成炉况不稳, 加剧上述弊病

## 螺旋悬浮燃烧式退火炉研制的理论构思

从上述的分析可见, 要消除旧式退火炉的弊病, 需要认真选择燃烧方式、妥善组织燃烧过程和改善传热传质条件, 并精心设计与它们相适应的炉型与结构。

待研制的新炉应能为燃料燃烧创造理想的条件, 使燃料能在所设想的燃烧空间中迅猛而完全地燃烧。为此, 新炉应让入炉的燃料能迅速升温着火、及时获得新鲜空气助燃和在高温区域停留足够时间以利燃尽。这三者是互有矛盾的(例如燃料要不断获得足量新鲜空气常会影响其升温速度和在燃烧空间的停留时间)。为了同时兼顾, 我们设想将入炉燃料的燃烧方式由层状或直流悬浮状燃烧变为螺旋悬浮状燃烧, 将燃烧室中的主气流流向由直流前进变为螺旋线状推进。因为其一, 作旋转运动的气流能在其根部造成负压区域, 卷吸燃烧空间中的部分高温烟气, 从而能加速煤粉空气与高温烟气之间的传热传质过程, 缩短煤粉升温时间,

其二,受气流拖引而处于螺旋悬浮运动中的煤粒能比固定在煤层中的煤块(屑)同空气混合得更快更均匀;其三,作螺旋旋转运动的煤粒能在有限的燃烧空间中延长行程和停留时间。此外,由于随气流作旋转运动的煤灰粒子具有离心效应,因而燃烧室具有旋风除尘器的功能,从而能降低烟气含尘量,缩减环境污染。

待研制的新炉还应能为退火工件的快速均匀受热和烟气热量的利用率提高创造有利条件。前面已经指出:在退火炉炉膛中,工件箱的受热方式主要依靠它们与烟气之间的对流换热。对于产品品种和生产能力已定的具体退火炉,工件箱的受热面积和工件箱与烟气之间的温差已基本固定,因此为了增强对流换热效果,缩减炉膛不同方位上的箱温差别及降低排烟温度,就要提高烟气流经工件箱的流速,增加烟气的扰动程度,消灭烟气的滞流区域以及让烟气在炉膛中延长行程。而这些因素又是相互制约的。要同时满足,就要精心设计炉体各部件(特别是挡火墙)的结构和布局,让它与工件箱的排列情况相呼应,使烟气流具有合适的通道和流速。

### 螺旋悬浮燃烧式退火炉的技术特点

根据研制的理论构思,并考虑到便于对旧式退火炉的改造挖潜,我们设计了适用于中小型厂家的第一台周期性生产的螺旋悬浮燃烧式退火炉(图3),其工作原理和过程是:

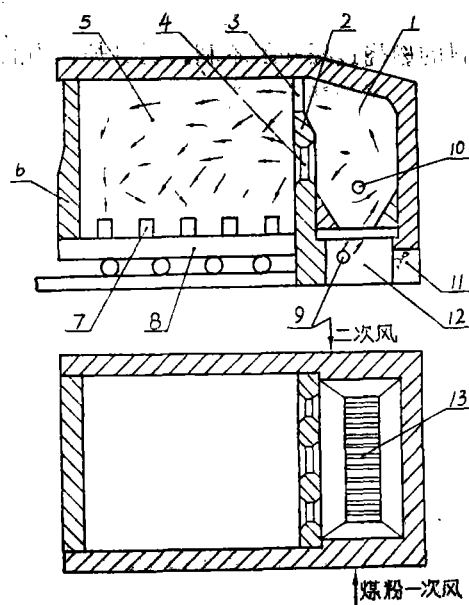


图3 螺旋悬浮燃烧式退火炉示意图

1. 燃烧室 2. 挡火墙 3. 上火口 4. 下火口 5. 炉膛
6. 急冷孔 7. 烟气闸 8. 台车 9. 二次风口 10. 煤粉
- 一次风口 11. 出灰门 12. 储灰室 13. 炉栅

原煤经煤粉机磨至一定细度后,由一次风携带通过螺旋式煤粉—气流喷嘴喷入燃烧室。由于喷嘴叶片的导向作用,煤粉气流呈渐扩螺旋线状行进,并在前进中完成与高温烟气混合、煤粉着火与燃烧等过程。从炉栅下方向燃烧室鼓入的二次风与着火的煤粉相遇,进一步强化了煤粉燃烧过程。

燃烧室中的高温烟气通过挡火墙上按特定次序排列的若干个喷火口以一定的速度射向炉膛。它与工件箱和炉子砌体进行热交换后,从炉膛两侧下方的烟气闸门流入主烟道经烟囱排空。

煤粉燃尽后所剩的煤灰由于旋转气流的作用,大部分被抛向燃烧室壁,进而滑沉到燃烧室底部,小部分被烟气带到炉膛。前者通过炉栅条空隙处泻入储灰室;后者则由于烟温降低和空间容积扩大,烟气承载灰粒的能力减小,或由于灰粒在穿越工件箱时与之相碰而丧失动能,又从烟气流中分离出一部分并沉集在台车和工件箱上面。继续随烟气流经烟囱排空的仅仅是一些粒度很细的烟尘。

至于退火工件的装载、入炉、升温、保温、冷却和出炉等过程,与旧式炉完全相同,此处不再赘述。

由于在设计这种螺旋悬浮燃烧式退火炉时采取一些具体的技术措施,以消除旧式退火炉的弊病和把可锻铸铁的生产提高到一个新的水平,因而该炉具有一些旧式退火炉所没有的技术特点:

### 1. 关于燃烧室

旧式室燃退火炉把炉膛(工作室)兼作燃烧室使用,构造上固然简单,但因其温度水平受退火工艺要求限制,对燃料的燃烧过程却很不利。况且炉膛中的气流动力场既要满足各部位退火工件均匀快速受热的要求,又要顺应燃料燃烧不同阶段的需要,在技术上困难较大。所以螺旋悬浮燃烧式退火炉采用旧式层燃炉的布局:将燃烧室与工作室(炉膛)分开。

对燃烧室热强度和温度水平的控制选择,我们既考虑有利于煤粉着火燃烧和工件快速升温,又考虑退火炉所用燃料的特性,防止燃烧室结焦挂渣。

对燃烧室具体形状的设计,我们既考虑顺应燃烧过程的发展和室内温度场与空气动力场的分布特点,又顾及到具体厂家的厂情,以节省建炉投资和工时,因此设计成渐扩形状。

### 2. 关于煤粉喷嘴

我国现有的煤粉室燃退火炉均采用直筒喷咀,未能顺应燃料燃烧过程的发展和气固分离的要求。我们设计的喷咀是煤粉气流螺旋推进式喷咀,在其出口端面上,煤粉气流具有较高的线速度和一定的扩散角。它能为煤粉与空气和煤粉气流与高温烟气之间的热质交换创造良好条件,有助于煤粉迅速升温,有助于煤粉与空气均匀混合。它也能使喷出后的固体粒子具有一定的离心倾向,有利于燃烧室捕尘,缩减烟尘污染。

### 3. 关于配风方式

我国目前所采用的二千余台退火炉中,不论层燃炉或室燃炉,所需的全部空气均采用单股直吹鼓入燃烧室,没有为燃料燃烧提供二次风的设施。而螺旋悬浮燃烧式退火炉,把入炉的总气量分为一次风与二次风两股。一次风由与煤粉机连成整体的一次风机提供,它主要起携带煤粉入炉和在煤粉升温着火阶段供应少量空气的作用;煤粉猛烈燃烧阶段所需的大量空气(二次风)则由专设的二次风机提供。这样的配风方式,易于控制调整风煤比例,既能缩

短煤粉升温气化和着火的时间,又能在燃料需要大量空气助燃时得以满足供应。

#### 4. 关于挡火墙

旧式室燃退火炉不设挡火墙,炉膛(工作室)即为燃烧室,温度水平低下;层燃退火炉因有煤层而无法在挡火墙下方开火口,必须把挡火墙高度降低(否则易造成炉膛不同部位的温差增大),为避免从燃烧室出来的烟气直冲工件箱,炉膛装箱高度也因此受限制,生产强度较低。螺旋悬浮燃烧式退火炉的挡火墙,其高度伸延至炉顶,并根据燃烧室的具体结构和炉膛中工件箱的排列情况,在墙上不同位置开有若干个喷火口,让燃烧室中的高温烟气以一定的速度射向炉膛。由于火口位置与工件箱排列位置相匹配,使炉膛中烟气或从前到后、或自上而下穿越工件箱,形成交错流动,提高了炉膛烟气的扰动度,消灭了烟气滞流区,从而增强了烟气与工件箱之间的对流换热效果,维持了炉膛烟温的均匀性。同时,退火炉的生产强度也由于炉膛装箱高度得以提高而增大。

#### 5. 关于配风室与储灰室

旧式室燃退火炉不设这些设施。而我们却在燃烧室的底部装上炉栅,炉栅下方的空间既作配风室又作储灰室。在炉子点火与煤粉猛烈燃烧阶段,鼓入炉的不同风量可以通过配风室经炉栅向燃烧室均匀布风,缩短点火升温时间和强化煤粉燃烧。而燃烧室捕集的煤灰又能通过炉栅泻入储灰室,减少沉灰再度被烟气卷出的机会。

### 螺旋悬浮燃烧式退火炉应用的部分效益

第一台螺旋悬浮燃烧式退火炉自1984年9月投试首炉以来,业已证明该炉的研制构思正确、设计方案合理、技术措施得当,取得了明显的技术经济和社会效益:

#### 1. 建炉投资少、工期短

第一台螺旋悬浮燃烧式退火炉系由一台年产600吨件的层燃退火炉改造而成。改建耗资仅一万九千余元,施工耗时15天,远低(少)于国内同期建造的退火炉水平(见表1)。

#### 2. 各项技经指标达到国内先进水平

螺旋悬浮燃烧式退火炉的各项技术经济指标大大优于改造前的原炉(见表2),经鉴定认定达到国内同类工厂的先进水平,且在消烟减尘、炉温均匀性和炉子操作灵活方面处于领先地位(见表3)。

#### 3. 经济和社会效益显著

螺旋悬浮燃烧式退火炉与改造前的原炉相比,年生产能力提高三分之一,退火件吨煤耗节省40%以上,产品合格率上升约0.5%,综合经济收益净增70%左右。

烟尘排放由林格曼五级以上降至一级(国家允许标准)以下,高温高尘的车间面貌大有改观,频繁捅焦清渣操作已不出现,螺旋悬浮燃烧式退火炉已为社会、工厂和工人带来了明显的社会效益。

表 1 建炉投资与工时对照表

退 火 炉 名 称		螺旋悬浮燃烧 式退火炉	复合加热双壁 烟道式退火炉	二炉三车四工位 退火炉
设计生产能力		周期性生产 6T/炉, 800T/年	周期性生产 10T/炉, 1000T/年	连续性生产 4T/炉, 2400T/年
建 炉 投 资 (元)	炉体、烟囱、仪表室	8647.11	10358.40	142628.43
	辅机与仪表	8323.52 (不包括台车)	6208.40 (不包括台车)	72045.83
	外包工资	2170.00	1750.00	\
	总投资	19140.63	18316.80	214674.26
工 时	现场施工	15天	约40天	约6个月
	调试与试生产	3个月零6天	约11个月	约6个月
资 料 来 源		闽二轻技鉴 84023 号 鉴定证书附件	冀科工(84)082 号 鉴定证书附件	冀机电技艺字(84) 1号验收证书附件

表 2 某厂退火炉改造前后技经指标对照表

项 目		改造前(手工加煤层 燃退火炉) 运行记录统计值	改造后(螺旋悬浮燃烧式退火炉)		
			设计值	1984.9.6—10.26 试生产18炉统计值	1984.12.12 省鉴定会复测值
炉膛生产强度(kg/m <sup>2</sup> ·hr)		23—24	28	29—30	27.3
退火炉热效率(%)		12—13	20.45	22.50	22.45
退火件标准煤耗(kg/T)		475—498	298	238—309	253
排烟污染程度(林格曼度)		>5 (严重超标)	1(允许标准)	<1	<1
生产能力	装载量(T/炉)	4.5—5.5	5.5	5.5—6	6.607
	退火周期(hr/炉)	24—28	24	22—25	29.5
烟气温度	燃烧室(°C)	1250—1350	1300	1350—1400	
	炉膛(°C)	1050	1050	1050—1100	1050—1080
	排烟道(°C)	600—700	350	320—350	
温差状况	炉膛温差(°C)	≤100		≤77	≤23
	箱内温差(°C)	≤40		≤35	≤15
产品质量	产品牌号	大部KT33-8, 小部KT30-6	同 原 炉	同 原 炉	全部KT33—8
	不合格率(%)	0.75%	/	0.25%	0
操 作 情 况		手工罐煤入炉 24—100 次/炉, 清灰渣 6—8 次/炉(难清)	气流送煤。 停炉后一次 清灰	气流输煤, 停 炉后一次清灰 (易清)	同左

表3 国内部分煤粉室燃退火炉技经指标的平均值与先进值

炉 别	直吹悬浮式	螺旋悬浮式	复合加热烟道式	车 底 式	二炉三车四工位
生 产 方 式	周 期 性	周 期 性	周 期 性	周 期 性	连 续 性
炉膛装件能力T/炉	4—25	6	10	10	4
退火周期 hr/炉	40—50	22—25	31—33	26—28	16—17
标准煤耗 kg/T	436	253	155	450(实物煤)	176
炉膛温差 °C	(缺)	≤23	≤45	(缺)	≤100
箱内温差 °C	(缺)	≤15	≤30	(缺)	≤50
烟尘污染情况	常排黑烟, 污染较为严重	白烟轻飘, 烟色低于林格曼一度	有时冒黑烟并可见火星, 超排放标准	(缺)	白烟轻飘
运行操作情况	点火困难, 操作调整不便	点火容易, 操作灵活, 清灰方便	点火困难, 升温时加煤块维持炉温, 劳动强度较大	(缺)	一次点火, 连续生产, 炉子结渣, 清桶困难
资 料 来 源	1984.3全国可锻铸铁情报网抽样统计的46个厂家材料	1984.12 闽二轻 84023 号鉴定证书	1984.7冀科工 (84)082号鉴定证书	一机部 790122号 鉴定证书	1984.3冀机电 (84)1 号验收证书

## 参 考 文 献

- 〔1〕 中华铸造技术开发公司等, 全国锌气氛可锻铸铁退火新工艺资料汇编, 北京(1985)。
- 〔2〕 臧尔寿, 热处理炉, 冶金出版社, (1983)。
- 〔3〕 上海化工研究院, 旋风炉制熔融磷肥, 石油化工出版社, (1978)。
- 〔4〕 A.B., Strub and H.Ehringer, New Ways to Save Energy, Proceeding of the International Seminar Held in Brussels, (1979)。



## The Conception and Characteristics of a New Type Annealing Furnace with Spiral Suspended Burning

Liu Huoxin

### Abstract

This paper analyses the shortcomings existed in the old type annealing furnace which still used in producing malleable casting. On these basis the author introduces the theoretical conception to develop a new type annealing furnace with spiral suspended burning. The technical characteristics of this new type annealing furnace and parts of its benefits of application are recommended here briefly.