

新时代工业炉 走升级智能之路

史 竞,宋湛蘋

(中国汽车工业工程有限公司 机械工业第五设计研究院有限公司,天津 300113)

摘 要:浅谈我国工业炉现状及发展,展望新时代,工业炉稳步升级,走在智能之路上。

关键词:工业炉;热工技术;智能制造

中图分类号:TK175;F424 文献标识码:B 文章编号:1001-6988(2018)02-0001-10

New Era Industrial Furnace to Take the Road of Intelligent

SHI Jing, SONG Zhanping

(The Fifth Institute of Project Planning & Research of Machinery Industry Co., Ltd, China Automotive Industry Engineering Co., Ltd, Tianjin 300113, China)

Abstract: The new tasks of energy saving and emission reduction in China under the new situation are summarized, and the new ways of energy saving and environmental protection in industrial heating are discussed. Looking forward to the new era, the industrial furnace promotes with steady steps and walks on the road of intelligence.

Key words: industrial furnace; thermal technology; intelligent manufacture

当今,我国传统、离散制造的工业炉翻开了新的一页,开始了新的征程。

工业炉是工业加热的重要设备,工业加热是制造业的重要组成部分,工业炉必须随着工业的发展同步发展。

我国制造业是国民经济的主体,占 GDP 比重的 1/3,占工业的 80%,是立国之本、兴国之器、强国之基。目前,我国制造业规模跃居世界第一位,但是大而不强,转型升级和跨越发展的任务紧迫而艰巨。

坚持走中国特色新型工业化道路,以促进制造业创新发展为主题,以提质增效为中心,以加快新一代信息技术与制造业深度融合为主线,以推进智能制造为主攻方向,坚定不移走高质量发展新路。实现中国制造向中国创造转变,中国速度向中国质量转变,中国产品向中国品牌转变。从而实现制造大国向制造强国转变的民族复兴之梦!

这是新时代、新使命、新机遇、新挑战!工业炉的升级发展之路任重道远。

收稿日期 2018-02-26

作者简介:史 竞(1933—),男,教授级高工,长期从事工业炉设计、研究、工程承包及管理工作。

1 工业炉现状

工业炉是集多学科技术为一体的复杂工艺设备。它是高技术载体,是燃烧学、传热学、流体力学等学科交融的科学,与能源、材料、信息等息息相关。工业炉的技术水平反映了一个国家工业的综合水平,它必须与提高制造业的全球化、信息化、绿色化、智能化总需要同步前进。

1.1 特点

(1)工业炉设备种类多,量大面广遍及各行各业,影响广泛。以锻造为例,据中国锻协初步统计,目前我国锻造行业各类加热炉大约 10 余万台,其中 20%为电加热炉(主要是感应加热),80%为煤气、天然气和油炉,个别小型企业甚至还存在燃煤加热的落后情况。

(2)工业炉是耗能大户,约占全国总能耗 1/4,是重要污染源。

(3)工业炉为各部门工艺服务,多为非标设计与生产,具有离散制造的特点。

工业炉由众多零部件经过一系列并不连续的工序的加工最终装配而成。零部件种类多,产品形态

各异,加工过程复杂多变,成本管理计算烦杂。

(4)工业炉技术及装备水平对加热产品生产工
艺、产量、质量、成本、能耗、环保等均有很大影响。

1.2 工业炉进展

目前我国不同地区、不同行业、不同企业的工业
炉发展不平衡。人工操作、机械化操作、自动化操作、
智能化操作等并存。

随着两化融合的推动,工业炉迎来了发展的机
遇,发生了很大变化。

(1)工业炉根据工艺要求向大型化、多功能、智
能型方向发展。

(2)由粗糙型向精细化发展,采用组合式炉衬、
多功能烧嘴、高效回收余热等新技术、新材料,进行
优化组合,取得高效优质节能的综合效果。

(3)从单一工序、设备走向系统工程,在绿色升
级智能之路上大步前进!

1.3 存在问题

我国虽是制造大国,但还不是制造强国。自主创
新能力不强,一些关键装备核心和关键技术依赖进
口,在国际产业链的分工中我们处于价值链的低端。
在产品智能化、管理现代化、制造自动化等方面与发
达国家相比还有差距,工业炉差距更大。

(1)随着市场的需要,加工工艺发生了变化,但
不少企业热加工仍沿用粗犷、落后的加热工艺,对新
工艺不够重视,缺乏针对性的理论研究。即使有较先
进设备,也难以发挥作用。

(2)我国工业炉装备水平不少仍处于上世纪的水
平,机械化程度低,能耗高,污染严重。某些先进的装
备与国外相比已不相上下,但缺乏系统总结、提高和推广。

(3)不少企业管理落后,即使引进先进的管理方
式和模式,也往往会由于缺少文化的支持而流于形
式。节材节能环保的理念落后,轻视源头,轻“防”重
“治”,“先浪费再回收,先污染再治理”,将重点放在
回收上;更有甚者,制造业重“冷”轻“热”现象长期存
在,重视冷加工,认为热加工是简单的烧火加热,没
什么技术含量,致使热加工水平停滞不前。

(4)自主创新不够,热工技术人员明显不足,创
新意识突出的专家型人才短缺。

(5)缺乏企业间的自觉融合和合作,具有国际竞
争力的大企业大集团少。

目前,我国提出了工业转型升级的规划,着力改
造提升传统产业。新使命、新挑战,工业炉将迈进新

时代!

2 工业炉的发展

现代经济发展,使中国工业炉发展的方式与内容
产生了重大变化,工业炉设备技术有了长足的进步。

(1)设计由经验设计,以炉建炉,发展到理性设
计,重视热工计算,仿真试验,建立数学模型,实现智
能设计。

(2)研究目标由以前烧嘴,换热器等单项部件研
制转化为炉子系统优化,进而扩展到车间、企业的智
能运行与管理。

(3)由只注重产品产量、成本到全方位关注产品
质量、节能、环保,安全等问题。

(4)由手工操作到机械化、自动化到智能化
生产。

2.1 工业炉随着工艺设备大型化而发展

以我国大型锻压设备发展为例:

国内主要重机企业基本完成了大型自由锻现代
化技术改造,进入了世界前列。大锻件生产能力大,
但其中 50%的高端锻件仍然依靠进口。大型模锻件
生产能力已经达到世界首位,但技术经济指标(锻件
材料利用率、锻件能耗、自动化水平等)尚待提高。设
备情况见表 1、表 2。

表 1 2016 年我国大型压力机数量表

压力机名称	数量/台
万吨以上 自由锻液压机	25
万吨以上 模锻液压机	15
万吨以上 模锻机械压力机	21
万吨多向 模锻液压机	7
等温锻液压机	9

注:不含停建和规划中项目

表 2 我国大锻件制造设备举例

国别	厂家	压机压力/MN/ 操作机/t·m×台套	传动	投产 日期	制造 者	最大钢锭 /t
中国	一重	150/630×1	水压	2007.7	一重	715
		100/450×1	水压注	1964	一重	
	二重	160/400×1	水压	2008.2		560
		125×1	水压	1968	捷克	
	上重	165/630×1	油压	2008.10	西重所	400
		100/450×1	水压	1962	上重	
	中信重工	185/750×1	油压	2011.3	德国	450
			(双柱)			

注:资料来源于《锻造与冲压》2013.9

工业炉设备随着大锻件发展的需要,同步跟上。

2.1.1 特大型的台车式炉

1986 年上锅 7.5 m(宽)×30 m(长)×8.5 m(炉膛

高)超大型热处理炉投产,是当时亚洲最大的热处理炉,主要技术经济指标超过国外同类炉先进水平,填补了我国超大型工业炉的空白。该项目 1991 年获国家科技进步一等奖。以后相继出现了特大型的台车式热处理炉,特别是炉子横断面又宽又高,例如:

(1)台车尺寸达到 13.5 m(宽)×33 m(长)×13.5 m(炉膛高),台车面积 450 m²;

(2)台车尺寸达到 12.8 m(宽)×30 m(长)×9.5 m(炉膛高),炉底面积 384 m²,装载量 600 t/炉。

2.1.2 大型可拆装组合炉体技术

为适应工业炉产品尺寸变化的需要,设计可拆卸和拼装的组合式炉体,实现炉体可灵活调节。这种一炉多用的新炉型,避免了大马拉小车现象,既节约了能源又提高了加热精度,已在大型炉上广泛应用。例如:2002 年建造 16 m×6 m×6 m 对开移动罩式电阻炉,炉体为一大一小,配以活动炉门,一炉三用,提高了大型电阻炉使用率。

2.1.3 超宽、超大平移炉门技术

由于工业炉设备大型化,大型炉门开启的安全性和对厂房结构以及车间物流的影响越来越大。为此开发了平移炉门技术。2000 年用于当时国内最宽的台车式热处理炉,顺利投产。

2.2 多功能工业炉

一些工厂需要在一台大型设备上完成不同工艺,如:完成 1 150~1 300 ℃加热和 1 000 ℃锻后热处理两种工艺。新建加热系统必须兼顾高温加热炉及热处理炉的需要,台车及炉衬必须满足高温加热要求。

例如,上重台车炉群具有此特点:

台车规格 6 m(宽)×15 m(长),距炉顶高度 4.5 m;台车载重 500 t,采用大功率台车驱动装置;最高使用温度 1 300 ℃,有效空间温差 ≤ ±15 ℃;炉衬使用耐高温的耐火纤维;炉顶采用平顶吊挂式整体浇注;燃烧器布置及其燃烧能力,可满足热处理工艺对炉温均匀性及高温加热的双重要求,并实现自动控制。

2.3 优化组合多项技术的工业炉

2.3.1 综合多项技术改造台车式加热炉

二重采用多项技术改造 5 m×13 m 台车式加热炉。原炉主要问题是:高温阶段(1 100 ℃以上)升温慢;钢锭过烧;能耗大;密封装置不可靠;采用的元件性能不稳定,故障率高,维修保养困难;炉衬寿命短等。

针对以上问题的技术措施是:采用先进的燃烧装置、可靠的空/燃比例调节装置、热风温度补偿系统,并对供风、供气以及炉压、炉温进行自动控制和调节,保证了燃料完全燃烧,节能,且降低了 CO₂ 和 NO_x 的排放量。

与改造前炉子相比,综合节能在 40%以上,炉温均匀性达到 ±10 ℃。

2.3.2 热处理炉群的技术改造

中信重工对全车间 12 台陈旧的热处理炉进行了系统改造:全车间实现计算机群控,台车驱动采用自行走机构,炉衬全部采用高纯硅酸铝耐火纤维,炉口采用汽缸自压紧,燃烧器改用高速调温烧嘴,增设空气换热器。

改造后,节能效果显著,炉子热效率提高 10%;炉表温度降到了 40 ℃左右;炉温均匀性为 ±8 ℃;NO_x 得到控制,热处理能力比过去提高了两倍。

2.3.3 一炉多车的新配置

为了减少装卸料时炉门开启的热等待时间,一些企业采用一炉多车的新组合。出现了双台车或三台车的台车炉,台车交替使用,缩短了生产周期,产量高;减少了炉体散热损失,提高了能源利用率;实现自动控制,炉温均匀,产品质量好。

2.4 高效燃烧技术及装置的进展

工业炉燃烧技术发展较快,在生产应用中取得很好效果。

20 世纪八十年代,我国冲破国外封锁,根据国情相继自主研究了平焰燃烧、高速喷流燃烧、蓄热燃烧等技术,不但学术价值高,而且指导了相关燃烧装置的研制。如平焰烧嘴、高速烧嘴、蓄热式烧嘴、低氧化氮烧嘴等,实现了产品系列化生产,在全国普遍推广,受到用户欢迎。特别是,当时众多大型企业采用原苏联的发生炉煤气引射式烧嘴,我国引射式平焰烧嘴的研制成功,满足了企业改造的需要,填补了国内空白,提高了我国加热水平,获得了国家级奖励。

2.4.1 高温低氧燃烧技术

高温低氧燃烧技术(HTAC—High Temperature Air Combustion)其原理就是燃料在高温和贫氧气氛中燃烧,快速扩散至整个燃烧室空间,不形成传统的矩形火焰,有人称为扩散燃烧。

研究发现:

(1)当空气温度高于燃料的自然温度时,燃烧自发出现,可燃物可以在含氧低于 21%(可低至 2%)气

氛中进行稳定燃烧。

(2)常见的白炽火焰区消失,火焰呈现多种颜色,有时肉眼观测不出。

(3)火焰区体积成倍增大,属扩散反应,甚至可扩大到所给定的整个燃烧室空间。

(4)整个燃烧室气相空间可构成一个温度相对均匀的高温强幅射体,炉膛传热效率因而显著提高。

(5)燃烧室不再存在传统燃烧过程中的局部高温区, NO_x 的生成受到抑制, NO_x 排放量能大幅度地减少。

该技术在工业炉上应用的关键是空气必须预热至高温,因此高效换热装置应运而生,使该技术用于生产成为可能。

2.4.2 蓄热燃烧技术

蓄热燃烧技术是由蓄热式换热器与高温低氧燃烧技术结合而成。

生产中采用热回收率高的蓄热式换热装置,极限回收燃烧产物中的显热,预热助燃空气至 $800\sim 1\,000\text{ }^\circ\text{C}$ 。高温气体进入炉膛后,卷吸周围炉气,形成含氧量大大低于21%的贫氧高温气流。燃料在这种高温低氧气氛中,作延缓状燃烧释出热能,不再出现局部高温高氧区。取得节能减排(低 NO_x)的好效果。目前,在不少企业工业炉上得到应用。

2.4.3 组合燃烧技术

组合燃烧是在同一热工设备采用多种燃料、对应多种燃烧技术的燃烧方式。特点是:①对同一加热炉,不同部位供热采用不同煤气,包括低热值的高炉煤气或转炉煤气,高热值的混合煤气、焦炉煤气、乃至天然气。②不同煤气采用不同燃烧技术,低热值燃气部分采用双蓄热技术,高热值燃气部分采用单蓄热或是常规燃烧技术。

采用组合燃烧技术可以实现:

(1)燃气不再混合,高炉煤气、转炉煤气、焦炉煤气完全可以实现不掺混的独立供应,各自走各自的管路系统。燃气与燃烧技术紧密配合,实现高效加热节能。

(2)可以根据燃料特性,实际需要,灵活配置,为钢铁企业的能源使用提供了极大的自由度。

(3)当工艺要求炉内各部位有特殊温差时,蓄热燃烧因炉温均匀难以实现,而组合燃烧解决了此问题。例如不锈钢/合金钢加热的问题,即低温区缓慢加热,高温区快速加热;热连轧希望钢坯首尾有 $30\text{ }^\circ\text{C}$ 左

右的温差;炉卷轧机希望钢坯两边温度比中间温度略高等。

组合燃烧技术已被一些冶金企业采用,特别是将高炉煤气成功用于工业炉。

2.4.4 富氧燃烧技术

目前富氧燃烧技术在冶金等行业得到应用,是节能减排技术。用含氧浓度高于21%的富氧空气进行燃烧,称为富氧燃烧(Oxygen Enriched Combustion),简称OEC。其特点是:

(1)提高火焰温度

富氧燃烧技术可使氮气的量、空气量及烟气的量均显著减少,故火焰温度随着燃烧空气中氧气比例的增加而显著提高,但氧浓度不宜过高(氧浓度在28%左右为宜)。

(2)加快燃烧速度,燃烧完全,消烟除尘。

(3)减少燃烧后的烟气排量,节约能源。当富氧空气中含氧量达到28%时,排烟量可以减少30%,节能效果非常显著。

(4)富氧燃烧与空气燃烧的烟气组分相比有显著变化,特别是 CO_2 、 NO_x 、 SO_2 和 H_2O 含量明显增加。由于烟气酸露点相应提高,应根据助燃空气含氧量合理选取排烟温度和余热回收装置。

目前,国内外学者就富氧燃烧及其如何降低 NO_x 排放进行了大量的研究工作。

2.4.5 空燃比控制技术

燃料燃烧时,空燃比的控制十分重要。炉子工作时,空气系数影响很大。当炉内空气系数过大,降低炉子的燃烧效率,导致钢材氧化烧损增加;而当助燃空气量不足时,燃烧不完全,造成能源浪费和钢材脱碳,甚至会发生还原性气氛在烟囱中燃烧,损坏设备。

中联公司对此进行了研究,对燃料炉的燃烧控制方式进行优化,助燃空气和燃气分别采用电动调节阀连续调节,通过计算机控制系统建立燃气和助燃空气的对应关系,并利用温度补偿系统适应助燃空气温度的变化。这一套控制系统在江苏扬州某厂得到了应用,燃烧中保证了较好的空燃比控制。

2.5 烟气余热高效回收技术及装备

加热炉的烟气余热在热平衡支出中占30%~70%,因此回收烟气余热是炉子节能的重要措施。

目前,烟气余热回收主要有间壁式换热技术与蓄热技术两种,前者可将助燃介质或气体燃料预热到 $400\text{ }^\circ\text{C}$ 左右,排烟温度一般可降到 $350\text{ }^\circ\text{C}$ 左右。后

者可将助燃介质或气体燃料预热到 1 000 ℃ 温度,排烟温度接近烟气露点温度,提高了炉子热效率。

20 世纪八十年代起,我国根据生产需要,研制了各种间壁式金属换热器,如辐射换热器、喷流换热器、对流管式换热器、附壁流管式换热器等,实现了产品系列化生产,在全国普遍推广应用,大大提高了烟气余热回收率,节约能源。

近期蓄热式换热器发展较快,空、煤气均可预热,不但设备微型化,而且采用蓄热燃烧技术发展成蓄热式加热炉。

根据对蓄热式轧钢加热炉热工分析,烟气余热开发利用的状况,大致分成三种类型,见表 3。

表 3 烟气余热回收方法节能效果对比(轧钢加热炉)

项目	余热不回收	间壁式换热	蓄热式换热
排烟温度/℃	700 以上	240~500	130~180
空、煤气 预热温度/℃		空气 400~600 煤气 250~400	800~1 000
热效率/%	30 以下	40~55	60~70

蓄热式加热炉有如下特点:

(1)最大限度地回收高温烟气的物理热,大幅度节能。

(2)组织贫氧燃烧,扩展了火焰燃烧区域,炉温均匀,大大降低了烟气中 NO_x 。

(3)加强了炉内的传热,相同尺寸的热工设备,可以提高产量。

(4)低热值的燃料(如高炉煤气、发生炉煤气等)借助高温预热的空气或燃气可获得较高的炉温,扩展了低热值燃料的应用范围。

(5)蓄热式加热炉也存在一些问题:炉压难控制,空燃比调节难度大,换向阀昂贵,维修费用高等。

鉴于蓄热式技术发展迅速,钢铁行业 2011 年曾制定了技术规范,作为行业推荐性标准,明确了准入条件与技术指标:

(1)排烟温度降到 180 ℃ 以下,高于露点以上;助燃介质预热到 1 000 ℃。

(2)全炉热效率 70%。

(3) NO_x 排放指标为 180 mg/m^3 。

实际生产应用中,蓄热式加热炉因设计水平、设备装备水平、燃料及燃烧方式的不同,技术指标不尽相同,节能率也大不相同。

2.6 新型筑炉材料的应用

2.6.1 采用新技术新材料

炉衬的蓄热和散热,一般占炉子总能耗的 15%~40%,工业炉炉衬材料主要分为砖砌炉衬、浇注料炉衬和纤维炉衬。筑炉材料的发展趋向是“两高一轻”,即高温、高强、轻质。合理选择炉衬材料和优化复合炉衬结构,综合效果好。

20 世纪七十年代,我国新型耐火材料发展很快。例如,耐高温、隔热的耐火纤维用于工业炉,节约能源,受到关注。随着纤维材料的品种增多,耐火度提高,从使用温度 1 000 ℃ 以下的硅酸铝纤维扩展到使用温度 1 300 ℃ 以上的莫来石、氧化锆纤维等。纤维制品的优异隔热性能和施工方便,受到用户欢迎,得到了广泛的应用。

微孔球低导热浇注料有较好的常温和高温性能,较低的导热系数,可代替普通低水泥高铝浇注料;喷射浇注料和泵送浇注料替代普通低水泥浇注料,采用模块化组装炉衬,可提高筑炉效率。

2.6.2 优化炉衬结构

长期以来,很多单位在优化炉衬结构上做了很多工作,提高了炉子热工性能及寿命。例如:复合炉衬大大提高了高温炉炉衬寿命,降低炉子外表面温度,满足节能环保要求。值得一提的是,近期有些单位在燃料炉内,采用炉衬内嵌入“黑体”强化传热引起关注。

西华公司重视炉内热射线的定向传热,进行黑体强化辐射传热节能的研究和应用。

(1)黑体强化传热节能机理

炉膛内加热工件时,热源发出的热射线,只有一部分被工件吸收,另一部分投射到了炉壁上。炉膛内壁表面粗糙,使热射线形成漫反射,导致钢坯的到位率较低,因此炉子的热效率不高。

提高热射线到位率的方法是:将一定数量高辐射系数(0.95 以上)的黑体元件,安装于炉膛内壁适当部位(如炉顶和侧墙),与炉膛共同构成辐射加热系统;既增大传热面积,又增加辐射能力,更能对炉膛内的热射线进行有效调控,使之从漫射的无序状态调控到有序,直接射向钢坯,从而提高对钢坯辐射效率,节约能源。

利用黑体技术成功地改造了多种类型的加热炉、热处理炉。据报导,可在现有能耗的基础上,节能 15% 以上。根据需要,在不同部位增加黑体元件,形成新“热源”,实现均匀供热。同时,黑体元件的发射率具有高稳定性,其性能不随时间而衰退,适用于工

业生产。

(2) 黑体炉衬的应用范围

黑体强化辐射传热的实质是改变热射线的分布状态,它并不涉及热射线是哪一种燃料产生的,所以,各种能源均适用。

2.6.3 重视炉衬应用技术

提高热工设备的使用寿命,降低耐火材料消耗,是人们追求的目标。这不但需要高质量的耐火材料,也需要高水平的耐火材料应用技术。

我国耐火材料吨钢单耗与先进国家的差距较大,见表4。

表4 耐火材料吨钢消耗(2010年)

厂名	宝钢一厂	宝钢二厂	A钢厂三炼钢	W钢厂	韩国G钢厂	韩国P钢厂	日本某钢厂
耐材消耗/kg·t ⁻¹	10.93	10.60	13.83	13.84	4.73	5.08	6.23

注:A、W钢厂(均为我国特大型先进企业),韩国厂不包括铁沟料和炮泥消耗,日本厂不含铁水包消耗

“耐火材料产业发展政策”指出:中国钢铁工业耐火材料单耗为25 kg/t左右,到2020年降低到15 kg/t以下。

资料表明,我国耐火材料的品质不错,但热工设备的寿命却低于先进国家水平,因此,有待提高耐火材料的应用技术水平。

生产实践表明,炉窑等热工设备选择合适的耐火材料、优化炉衬结构,合理维护、适当修补、加强管理等措施,使用寿命会得到大幅度提高。

例如,随着轧钢生产节奏的加快,如果加热炉内衬局部损坏或脱落,用常规办法,停炉时间长,影响生产效率,同时急冷急热会影响炉体寿命。可用全自动喷补机,在高温状态下喷补,或者在设备检修间隙很短时间(0.5~3 h)快速喷补,不但延长加热炉的使用寿命,还提高加热炉的作业率。

2.7 加热从单一工序、设备走向系统工程

2.7.1 建立以工业炉群为主体的热处理中心

五院承担上重水压机大型锻件热处理扩建改造工程中,采用工艺、装备、生产管理有机结合,将优化的热处理工艺,计算机群控技术,先进的预测性生产管理融为一体,改变以往分散的热加工方式,建立以工业炉群为主体的热处理中心。生产实践证明新的生产形式在提高产品质量、节能减排上效果显著。

2.7.2 室式锻造加热炉群的新建

五院在上海某重工企业新建了6种规格17台室式锻造加热炉群,按企业系统工程统一配置、调度。

(1)该炉群为间歇式操作周期式作业设备,炉门开启频繁。采用双排烟口,炉尾为主排烟口,炉口为辅助排烟口,防止炉口处大量溢气或吸入冷空气,炉膛温度均匀。解决了周期式炉炉温不均、炉口冒火的老大难问题。

(2)炉衬采用复合型炉衬结构,炉体钢架外面安装彩色钢板外壁,使外壁温度基本与室温接近,节约能源。

(3)炉群采用计算机控制,燃烧采用全自控,使空燃比得到精确控制,炉温均匀,成品率大大提高。

2.7.3 连轧系统技术改造

承钢公司对连轧工序进行了系统改造:①由原来的推钢式单蓄热加热炉改造为步进双蓄热式加热炉,并回收了烟气余热。②实现热装热送,余热蒸汽提压并网发电等。③将炉用燃料由混合煤气逐步替换为转炉煤气,不仅实现了连轧的节能降耗,同时也实现了公司煤气综合利用。

2.8 积极开展基础研究

根据国情和生产需要,加强基础研究和应用基础研究,提高创新力和竞争力。

2.8.1 新的实践丰富了热工理论

例如:高温低氧燃烧、蓄热燃烧,使得燃烧学中的燃烧三要素:燃料+氧气+温度,变成了燃烧多要素:燃料+氧气+温度+空间(炉膛形状、尺寸)+时间(容积热强度等)+参数(炉压等)。对燃料炉而言,产品形状和材质,炉型、炉子结构,燃料、燃烧技术,流体流动、传热、传质等影响很大。

2.8.2 对热工理论开展专题研究

专题研究对工业炉设备设计及生产意义很大。

(1) 传热学

1)炉型、炉长、炉膛高度等对传热的影响;

2)工件的形状、尺寸、复杂程度、性状(散料)对传热影响;

3)对流传热的比例和控制、附面层热阻分析等。

(2) 流体力学

炉内需要什么样的速度场?烧嘴喷射对炉内速度场的影响;炉压对流场的影响等。

2.8.3 新的热工理论指导了生产实践

经过研究验证,已建立了针对具体产品和材料的传热、传质数学模型,并指导工艺和装备实现最佳

综合效果。例如,河工大、北科大对高温低氧燃烧及富氧燃烧技术进行了研究;哈工大对工业炉和企业节能的影响因素作了理论探讨;安徽工大对工业炉智能控制,特别是燃烧控制进行了研究;西华公司进行黑体强化辐射传热节能的研究,很有实际意义。

2.8.4 开展测试技术的开发

开展准确稳定的测试技术开发,以获得在线动态测量数据。加强过程仿真、优化、动态控制的研究,促进加热装备的智能化。

总之,热工领域开展了大量艰苦的基础研究工作,而且有待继续深化探讨。

2.9 智能工业炉的研发

随着理论研究及专利技术的应用,智能工业炉应运而生。近年来研发了高效智能热处理炉,在三峡水轮机转轮整体热处理、核电站压力壳、蒸发器、大型压力容器热处理,超超临界发电机组管屏固溶化处理专用生产线等重大工程中成功运用,取得重大突破。为重大产品技术引进,制造技术的国产化作出了贡献。

3 工业炉发展趋势

目前,世界经济发生深刻变化。绿色发展、循环发展、低碳发展、两化融合是我国经济发展基本途径。

实现中国装备制造业的升级,必须走信息化和工业化深度结合的“两化融合”之路。其主攻方向是大力发展智能制造。

3.1 国外动向

发达国家对热加工十分重视,为了不断提升企业竞争力,目前,发达国家有以下主要动向:

(1)生产自动化,数字化控制的可靠性和准确性有力地保证了产品质量和产量。

(2)生产工序管理一体化。例如,企业要提高大锻件产品质量,就需要在炼钢-锻造-加工-热处理等环节建立相应的质量控制体系。

(3)企业管理现代化。对外部环境的反应速度比传统企业要快得多。因此,使之在变化无常的市场环境中保持持续的竞争力。

(4)重视节能、节材、绿色智能制造。

3.2 我国工业炉发展趋势

随着形势发展,科技进步,企业将发展成智能工厂,车间将成为数字化车间,生产过程智能化控制,工业炉设备与企业系统工程有机融为一体,必须走智能之路。

3.2.1 中国制造走向“中国智造”

智能制造将成为新型生产方式,贯穿于设计、生产、管理、服务等制造活动的各个环节,具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等功能。

(1)智能制造的特征

智能制造系统是一种由智能机器和人类专家共同组成的人机一体化智能系统,特征如下:

1)自律能力

智能制造过程具有能感知与理解环境信息和自身信息,并进行分析判断和规划自身行为的能力。

2)人机一体化

具有逻辑思维,形象思维还具有灵感(顿悟)思维。它能够独立承担起分析、判断、决策等任务。

3)虚拟现实技术

是以计算机为基础,融信号处理、动画技术、智能推理、预测、仿真和多媒体技术为一体,借助各种音像和传感装置,虚拟展示现实生活中的各种过程、物件等。

4)自组织和超柔性

是指智能制造系统中的各组成单元能够依据工作任务,自行组成一种最佳结构,其柔性不仅表现在运行方式上,而且表现在结构形式上,所以称这种柔性为超柔性,如同一群人类专家组成的群体,具有生物特征。

5)学习能力与自我维护能力

(2)中国智能制造的发展战略

2025年前我国智能制造发展实施“两步走”战略:第一步,到2020年,智能制造发展基础和支撑能力明显增强,传统制造业重点领域基本实现数字化制造,有条件、有基础的重点产业智能转型取得明显进展;第二步,到2025年,智能制造支撑体系基本建立,重点产业初步实现智能转型。这是中国制造2025的愿景和目标。

要全面实现智能化是一个浩大、复杂的系统工程。需要大量的资金,人力资源的投入,绝不是一蹴而就的事。必须按照“总体规划,分步实施,重点突破,效益为先”的原则进行规划。

3.2.2 探索智能之路

“中国智造”的技术核心——信息技术,相当于延伸了大脑的智力,使我们做到以前难以想象的事情。表现在管理精细化、生产自动化、产品智能化等方面。

实现企业升级转型,一些单位在以下方面不断

的探索,初见成效。

(1)管理精细化

工业炉属于离散制造,由于受品种多、批量小和产品结构复杂、管理比较粗放等因素的影响,要实现生产设备网络化、生产数据可视化、生产文档无纸化、生产过程透明化、生产现场无人化智能工厂,需要做很多工作。

例如,中航集成设备公司对热工车间智能集控系统作了研究。当前热工车间设备自动化控制水平不一;生产、工艺、质量等管理系统独立运行不互通。推进数字化车间智能管控时,以产品全周期的相关数据为基础,利用信息化手段实现设备从管理到控制的多系统集成;用计算机对整个生产过程进行仿真、评估和优化,打造了一个可视化、智能化的数字化热工生产中心,实现了从传统方式到先进数字化制造管理方式的跨越。

一些企业应用了该系统,以工业炉等生产设备为基础,应用数字化集成技术,快速分析企业能耗及库存,建立生产销售管理系统,将车间生产计划与企业经营系统连接,提高制造生产能力。

(2)生产过程的自动控制与运行管理

要实现生产自控,必须进行工业炉生产过程诊断分析。

生产过程中存在“柔性”和“刚性”两个相对立的需求系统。“柔性”系统要求工业炉能适应各种钢种、规格和工艺。而“刚性”系统则要求不论何种产品、操作方式和设备状况,均要求产品达到规定的质量和性能。但由于人工操作、炉子惯性和设备性能等影响,导致整个系统不可能完全处于稳定受控状态,如何进行工业炉的系统控制和运行管理,具有重要的实际意义。

例如:威仕工业炉公司以钢坯加热炉为研究对象,结合设备的运行特点,建立了一套在线过程能力评估体系。在分析加热炉生产率、单位能耗、污染物生成、氧化烧损、加热质量与加热制度之间影响关系的基础上,对加热炉生产在线过程进行了诊断,为工业炉的生产管理系统提供了一种分析方法。

(3)工业炉设备及系统数学模型的开发与应用

工业炉由于其燃烧过程影响因素多,同时,具有大惯性、滞后的非线性特点,炉内热交换除包括有关辐射、对流和传导的影响外,还有很多不确定因素,如压力、温度的滞后、燃料热值的波动等,因此,要建

立加热炉数学模型是困难的。

宝钢中央研究院为企业从国外引进的工业炉设备,成功地进行热模型的开发及应用。

1)对引进工业炉消化、改进后,优化加热曲线、控制温度等工艺参数、控制设备动作节奏,保证工序有序进行。

2)完成工业炉等设备的热模型并系统集成。

3)完成炉群生产组织调度模型,解决各工业设备生产冲突,合理调度、交叉生产。

4)进行控制系统、燃烧器、蓄热箱仿真模拟,指导了生产。

例如通过燃烧器仿真模拟,结果如下:①燃烧器的火焰长度对板坯的质量有很大的影响。②空气喷口与燃气喷口夹角影响火焰长度。③煤气热值对火焰长度影响不明显。此结论与生产试验结果相似。

经过对国外引进设备的消化改进,系统集成,仿真模拟,实现了工业炉热过程的系统控制,绿色生产。

(4)控制系统无线化

在工业炉的控制领域内,目前普遍采用有线传输与控制。现在有企业成功地运用无线传输和通讯技术实现数据的互传,现场不再需要铺设信号电缆和电缆桥架,避免因电缆维护不当烧损短路,对电控设备产生极大的危害。用无线代替有线,控制系统具有安全性、可靠性、便捷性等,同时为实现工业炉控制智能化创造了条件。

(5)互联网+工业炉

“互联网+”代表一种新的经济形态,“互联网+各个传统行业”,并不是简单的两者相加,而是利用信息通信技术以及互联网平台,与传统行业进行深度融合。充分发挥互联网在生产要素配置中的优化和集成作用,提升实体经济的创新和生产能力。

“互联网+工业炉”将颠覆传统制造方式,产品个性化、流程虚拟化、工厂智能化等等都将成为新的热点和趋势。

例如互联网+工业炉远程服务收到了实效。

工业炉是复杂工艺设备。设备建成后,需进行冷调、烘炉、热调、试生产、售后服务等。使用者需要熟悉设备操作、维护保养、处理故障等。

建立“工业炉远程服务系统”,可远离设备实时监控、分析、优化运行参数、操作维护等。

例如,中联公司为湖州某厂蓄热式加热炉项目,采用互联网的工业炉远程控制及诊断系统,获得较

好的效果。

该系统主要由硬件和软件组成。硬件主要包括工业炉 PLC 主控系统、本地工控机、监控服务器、交换机、工业远程通讯模块、远程诊断计算机。

工业炉 PLC 控制系统,用于采集整个工业炉数据,并通过程序处理输入输出,完成现场执行机构的控制,从而达到工业炉稳定控制。

本地工控机主要用于工业炉设备的现场实时监控,并且具备数据查询、打印历史数据功能。

监控服务器,作为工业炉各远程客户端的服务器,在生产过程中实现远程监控及 PLC 程序、监控软件的集中管理。

工业远程通讯模块,进行远程工业数据加密,实现现场 PLC 与远程诊断计算机之间的通信。

远程诊断计算机对工业炉实时监控及 PLC 程序下载,在线诊断、维护升级等功能。

该系统投产后,节省了出差成本,及时解决了生产中的问题,保证了设备连续正常地工作,为企业创造较大效益。

还有人设想,互联网+工业炉延展开,可借助智能手机或平板电脑对工业炉实现远程移动监控或操作;也可将工业炉远程服务系统结合“短信”或“微信”功能,实现定时、定人、定向提醒功能等服务。

值得注意的是,当前物联网得到发展。物联网是物物相连的网络,是在互联网基础上的延伸和扩展的网络,其用户端延伸和扩展到了物品与物品之间,即把所有物品通过信息传感设备与互联网连接起来,进行信息交换,即物物相息,以实现智能化识别和管理。如将生产机器等接入互联网,构建网络化物理设备系统,加快生产制造实时数据信息的感知、传递及分析,使各生产设备能自动交换信息,触发动作和实施控制。物联网在热加工企业得到应用。

例如西北某研究院对有色冶金生产线信息化物联网进行了技改。该信息化物联网平台共建设了7个单体车间信息子站及1个即厂级调度信息总站。开发建设了MES(Manufacturing Execution System),即制造企业生产过程执行系统,建立了先进的信息化物联网调度平台。建成了无人值守式水、电、气、风远程集控平台,建成了全线约20台冶金炉群集中监控平台,建成了全线数千个信息点的DLP(Digital Light Processing)总调度中心。DLP即为数字光处理,完成可视数字信息的显示。率先实现有色冶金生产

线由传统单机不互联制造模式向信息化物联网制造模式转变,成功开创了有色冶金生产线大数据管理平台,达到了提质增效目的。

(6)开发仿人脑的专家控制系统

智能控制是仿人控制,即将人的知识、经验融合于自动控制之中,从而解决常规控制无法解决的控制难题。

仿人脑的专家控制系统是一种模拟人类专家解决领域问题的智能计算机程序系统。根据其内部含有大量的某个领域专家水平的知识与经验,应用人工智能技术和计算机技术,进行推理、判断、决策,解决那些需要人类专家处理的复杂问题。

例如:中联公司开展此研究,针对加热炉燃烧过程中热值、燃气、空气流量变化导致燃烧不稳定的问题,利用专家控制系统动态改变空燃比的控制方式,使加热炉在各种工况条件下,燃料充分燃烧,节约能源,减少氧化烧损。

(7)创智能加热设备

我国智能制造发展规划(2016~2020年)提出在传统制造业推广应用数字化技术、系统集成技术、智能制造装备。

工业炉利用传感技术、工业控制技术等,增强产品的智能性,即产品自己会“思考”,会做出正确判断并执行任务,从而形成先进的智能工业炉。

重庆沃克斯公司研制的智能型蓄热式工业炉已成功用于生产,据介绍其特点是:

1)研制高效节能的蓄热式燃烧器

研究了蓄热式高速脉冲燃烧、蓄热式平焰燃烧、自身蓄热式燃烧、低 NO_x 蓄热式燃烧技术,对应研制了各种燃烧器(包括控制系统),火焰形状可变,满足了工艺要求,节能显著。

2)建立了全智能,无需人工介入的温度控制和过程控制系统。开发新型控制器,用控温模块实现了多点温度控制。实现了蓄热式全温段换向,全过程蓄热。

3)开发了基于炉内温度场和流场的炉温均匀性数学模型,作为加热设备设计基础,保证了炉温均匀性,提高了加热质量。

4)关键部件寿命长:如蓄热体,换向阀,耐火纤维炉衬等。

该炉制造实现了模块化、标准化,具有操作简单、维护方便等特点。在全国应用近千台,受到用户

欢迎。

可以想象,互联网+工业炉的深度融合,聚合裂变!工业炉行业将会有重大变革,不仅在技术设备方面,还会深刻影响企业的管理、组织结构。

我国工业炉由复杂粗糙型向高效、高精度、智能型发展;生产管理上,通过两化融合推进热加工向“数字化、网络化、智能化”转型升级。工业炉将稳步地走在升级智能之路上!

参考文献:

- [1] 国务院.国务院关于印发《中国制造 2025》的通知(国发[2015]28号)[EB/OL].(2015-05-08)[2015-05-19].http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm.
- [2] 吴顺达.中国锻造行业发展研究(2013 版)[M].北京:中国锻压协会,2013.
- [3] 佚名.中国锻压行业“十三五”发展纲要——锻造行业[EB/OL].(2016-05-19)[2018-02-13].<http://www.duanxie.cn/info/2016519/1-35645.shtml>.
- [4] 中国机械工程学会塑性工程分会加热学术委员会.全国锻压学会成立 50 周年纪念册[M].武汉:[出版者不详],[2013].
- [5] 肖泽强.高温无焰燃烧(HTAC)技术在日、欧几国的开发应用近况研究报告[R].长沙:中南工业大学,1999.
- [6] 张强国.轧钢炉采用热装工艺及蓄热技术的应用分析[J].工业炉,2017,39(6):44-47.
- [7] 李东.钢铁联合企业应用复合燃烧技术的探讨与实践[J].工业炉,2016,38(6):16-21.
- [8] 全国钢标准化技术委员会.钢铁行业蓄热式燃烧技术规范:YB/T 4209-2010[S].北京:冶金工业信息标准研究院,2010:10.
- [9] 李治岷,魏玉文.工业加热炉窑节能的新途径——黑体强化辐射传热节能的新机理:第七届工业炉学术交流会论文集[C].南昌:工业炉学会燃料炉技术委员会,2009.
- [10] 蒋明炜.离散制造业如何走向智能制造之路[EB/OL].[2015-06-22].<http://cio.it168.com/a2015/0619/1738/000001738893.shtml>.
- [11] 装备工业司.智能制造发展规划(2016-2020 年)正式发布[EB/OL].[2016-12-08].<http://www.miit.gov.cn/n1146290/n4388791/c5405924/content.html>.
- [12] 吴红纲.数字化车间智能管理系统:工业炉学会第九届燃料炉委员会暨第二届热仿真与控制委员会学术交流会论文集[C].马鞍山:中国机械工程学会工业炉分会燃料炉委员会,2014.
- [13] 刘小民.工业炉在线过程能力评估及过程诊断分析:2014 年国际热工前沿技术发展论坛论文集[C].北京:中国机械工程学会,2014.
- [14] 吕立华.宝钢加热炉模型的开发与实践:工业炉学会第九届燃料炉委员会暨第二届热仿真与控制委员会学术交流会论文集[C].马鞍山:中国机械工程学会工业炉分会燃料炉委员会,2014.
- [15] 邢海潇,杨应凯,张碧琰,等.基于互联网的工业炉远程控制及诊断系统研究[J].工业炉,2017,39(3):59-61.
- [16] 王振军,杨少武,王世军,等.有色冶金生产线信息化物联网建设[J].工业炉,2017,39(4):52-57.
- [17] 沃克斯科技开发有限公司简介
- [18] 徐平坤.提高我国耐火材料应用技术水平探讨[J].工业炉,2017,40(1):1-6.

作者介绍:

史 竞(1933—),男,教授级高工、原全国工业炉窑节能技术服务中心主任、全国火焰炉研究中心主任;工业炉行业专业杂志《工业炉》的创办人之一。原中国机械工程学会工业炉学会副理事长及塑性工程学会加热学术委员会主任委员;长期从事工业炉设计、研究、工程承包及管理工作。

宋湛蘋(1941—),女,教授级高工、国家级有突出贡献科技专家、享受国务院特殊津贴、中国塑性工程学会加热学术委员会名誉主任、天津市工业炉学会理事长、原中国机械工程学会塑性工程学会副理事长。长期从事工业炉窑设计、研究及工程承包工作。

(此文章系作者为工业炉杂志创刊四十周年而作!)

工业炉杂志社重要启事

☆本刊印刷和网络版的版权属工业炉杂志社所有。

☆为本刊撰写的文稿、图片等,从发表之日起,其专有出版权即归工业炉杂志社所有。请作者不要一稿多投。

☆本刊文章欢迎转载或翻译成其它文种发表,但需征得工业炉杂志社的书面同意。未经书面许可,不得以任何方式全部或部分翻印、转载、网上发表或录入数据库。

☆如发现本刊有印刷、装订、残缺破损等质量问题,请寄回杂志社调换。