

# 轧钢加热炉高效运行的新模式

## ——新型无水冷技术和热管技术的综合应用

黄细阳

(北京首钢股份有限公司第一线材厂, 北京 102206)

**摘要:** 文章介绍了综合应用新型无水冷技术和热管技术的轧钢加热炉高效运行的新模式, 并结合首钢第一线材厂的实践进一步阐明了该模式的实用性和给企业带来的良好效益。

**关键词:** 无水冷加热炉; 热管; 模式; 应用

# The New High Efficiency Mode in Rolling Heating Furnace

## ——the application of no-water-cooling and heat pipe technique

HUANG Xi-yang

(The No. 1 Wire Rod Plant of SHOUGANG LTD, Beijing 100000, China)

**Abstract:** The paper introduced the new high efficiency mode of adopting no-water-cooling and heat pipe technique in Rolling Heating Furnace, and further described that the mode's application and better profits to enterprise according the practice in the No. 1 Wire Rod Plant of SHOUGANG LTD.

**Key words:** no-water-cooling heating furnace; heat pipe; mode; application

## 1 前言

轧钢加热炉作为轧钢厂的主要耗能设备, 其能耗占整个轧钢生产工序的 40% 以上, 直接影响到轧钢企业生产成本的降低和产品竞争力的提高, 长期以来广大热工工作者一直在探索加热炉高效运行的各种模式。20 世纪 90 年代, 蓄热式高温燃烧技术得到了长足的发展, 由于它能实现将空气预热至 1000 °C 以上的高温, 而外排废烟气温度的可达 150 °C, 余热利用率达到 90%, 因此它作为加热炉高效运行的一种模式近年来在国内外得到了较快的推广应用, 但由于蓄热式高温燃烧技术一次性投资约 300 - 500 万元, 且炉体改造和钢结构施工量庞大等问题, 为许多传统轧钢企业所难以接受。首钢第一

线材厂是一个年产 130 多万 t, 拥有三座推钢式连续加热炉的大型轧钢企业, 其设备状况及生产模式在国内同行中具有一定的代表性, 根据长期以来的加热炉节能改造经验, 开创了一种新的加热炉高效运行模式——新型无水冷技术和热管技术的综合应用, 该模式采用无水冷加热炉用复合滑轨专利技术和热管技术对传统水冷推钢式加热炉进行改造, 取消全炉横、纵水管和配套水冷循环系统, 高效回收经空气换热器利用后的低温烟气, 在改造量小、投资少的情况下实现加热炉炉膛热效率达到 59.4%、全炉热效率在 70% 以上、可比单耗为 37.10 kg 标煤/t 坯、钢坯氧化烧损 0.67%、外排烟气温度 150 °C 左右的加热炉高效运行的新模式, 其节能效果能达到与蓄热式加热炉同等的作用, 是满足广大传统轧钢企业实现旧炉改造的经济实用模式。

作者简介: 黄细阳, 男, 工程师, 主要从事冶金热能工程的管理工作。

## 2 传统水冷加热炉能耗情况分析

在我国传统推钢式加热炉数量大且普遍采用水冷结构和管式空气换热器回收烟气余热模式,其工艺流程如图 1 所示,根据对加热炉的热平衡测试表明,通常水冷损失约占 10%~15%,排烟损失约占 30%~40%,这两项是影响加热炉热效率的主要热损失支出项,如何有效降低加热炉的水冷损失和排烟损失是轧钢企业

节能降耗、提高加热炉热效率的关键。

为进一步提高加热炉的热效率,几年来,首钢第一线材厂围绕加热炉水冷损失和排烟损失这两项重点工作,在积极开发和引进新技术的基础上,摸索出了许多宝贵的加热炉节能改造经验,并开创了新型无水冷技术和热管技术相结合的新模式,该模式能减去加热炉水冷损失和最大限度地回收烟气余热供加热炉使用,可以很好地解决传统水冷加热炉能耗损失大的问题。

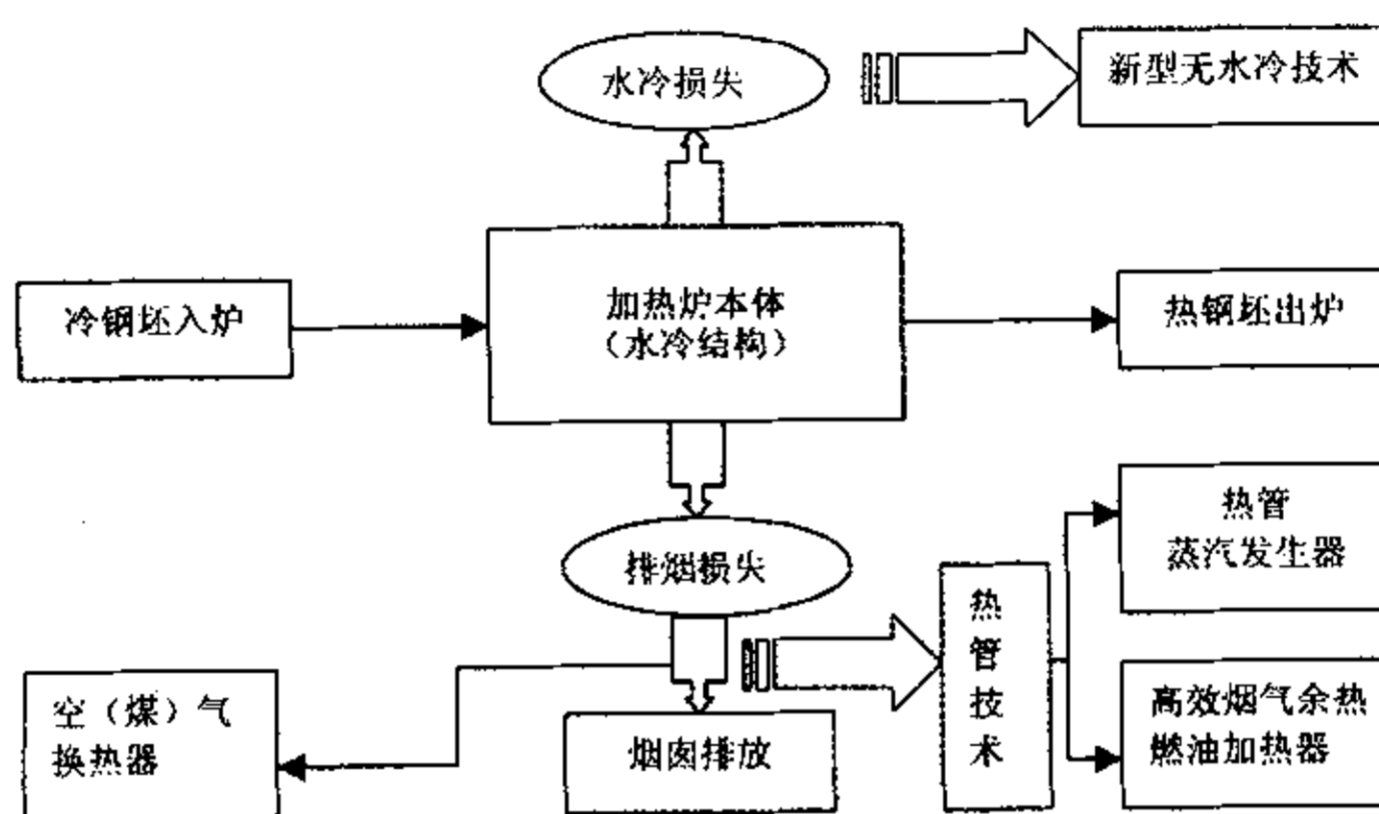


图 1 加热工艺流程示意图

## 3 轧钢加热炉高效运行的新模式

### 3.1 新型无水冷技术

#### 3.1.1 无水冷加热炉概况

无水冷加热炉是以基墙上铺设耐热钢滑轨和耐火材料滑轨代替水冷管上焊接金属滑块的一种炉型,由于其取消水冷后良好的钢坯加热质量、简洁的加热炉系统配置,加之 10%~15% 的节能效果,是一种有发展前途的节能环保型炉型,传统的无水冷加热炉断面如图 2 所示,其主要为两段式布置结构,即:低温段由基墙、座砖、耐热钢滑轨三部分组成,炉温在 900℃ 以下;高温段由基墙、座砖、陶瓷滑轨三部分组成,适用于炉温在 900~1300℃。它与水冷加热炉图 3 相比,主要是取消了横、纵水管及支撑管,减去了加热炉热损失中的第二大项——水冷热损失,而改用基墙上铺设耐热钢滑轨和陶瓷滑轨结构,该结构能减轻钢坯加热黑印,提高钢坯加热质量。根据对国内南钢、邯钢等较有代表性的无水冷

加热炉的调研情况来看,目前国内的无水冷加热炉仍处于生产率低,炉底强度在 300~400 kg/(m<sup>2</sup>·h),正常运行周期短的水平,主要是滑轨等关键部位技术欠缺,难以适应大型轧钢企业生产发展的需要,影响了无水冷加热炉的推广使用。

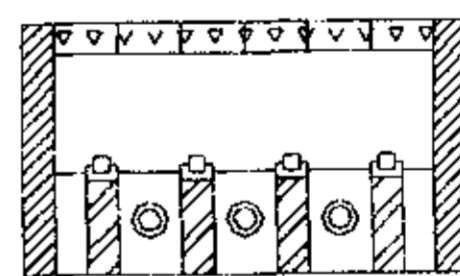


图 2 无水冷加热炉断面

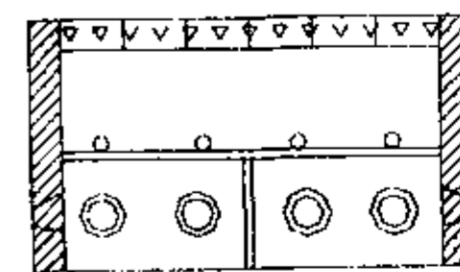


图 3 水冷加热炉断面

#### 3.1.2 新型无水冷加热炉的特点

新型无水冷加热炉是在传统无水冷加热炉的基

基础上,通过攻克困扰无水冷加热炉发展的种种难题,特别是利用经过实践检验的专利技术——无水冷加热炉用复合滑轨,炉底强度和正常运行周期均已完全满足现代轧钢企业生产需要的节能环保型炉型。

新型无水冷复合滑轨结构示意图如图4所示,它由金属内芯和耐火材料保护外套两部分组成。金属内芯含固定支座、滑动支垫,其前后各设有一个错位接头,两金属内芯通过错位接头搭接而形成一连续滑道,钢坯就在滑道上完成运动过程。新型无水冷

复合滑轨克服了现有技术的不足,以耐火材料保护外套包裹金属内芯的形式,综合利用了耐热钢和耐火材料的使用性能并将它们合理地结合在一起,使它们各自的优势得到了最大限度的发挥,实现全炉滑轨使用寿命相匹配,从而大大提高无水冷加热炉的使用寿命和炉底强度,其结构简单,成本低,易于制造,安装、更换方便,使用寿命长,特别适用于炉底强度在  $550 \sim 650 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,最高炉温  $1320 \text{ }^\circ\text{C}$  的无水冷加热炉的中高温区,为大型轧钢企业高产型加热炉实现无水冷改造铺平了道路。

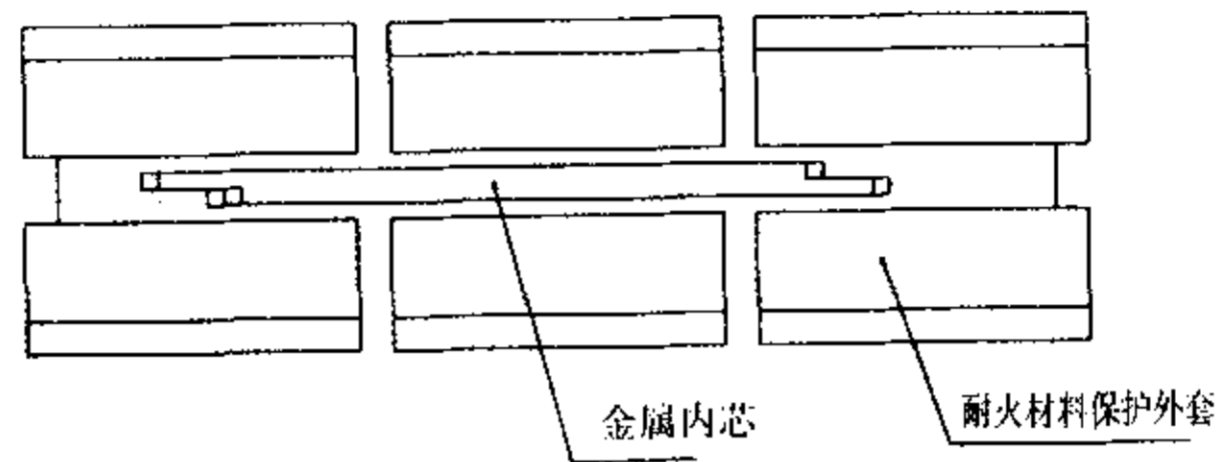


图4 复合滑轨的俯视图

### 3.1.3 新型无水冷加热炉的应用

新型无水冷加热炉技术于2000年11月和2001年6月先后在首钢第一线材厂线二车间和线三车间得到了成功的应用,其中在线二车间  $112 \text{ m}^2$ 、年产量40万t三段连续式推钢加热炉上进行的改造总

计投资78万元,在线三车间  $143 \text{ m}^2$ 、年产量46万t三段连续式推钢加热炉上进行的改造总计投资103万元,其改造前后基本情况如表1、表2。

表1 线二车间加热炉主要技术参数

序号	技术参数	改前	改后
1	有效尺寸(L×B)(m)	32.248×3.48	32.248×3.48
2	纵水管	2根,间距1600mm	无
3	横水管	8根,间距2320mm	无
4	小时产量(t/h)	60	60
5	有效炉底强度( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )	664	664
6	燃料种类	重油	重油
7	烧嘴型式	高压外混旋流烧嘴16个	高压外混旋流烧嘴9个
8	最高炉温( $^\circ\text{C}$ )	1320	1320
9	燃耗水平( $\text{kg}/\text{t}$ )	33.68	26.92
10	冷却水消耗量( $\text{t}/\text{h}$ )	200	无
11	水冷损失(%)	10.41	无
12	坯料尺寸(mm)	120、130mm方,2.8m	120、130mm方,2.8m
13	产品规格	$\phi 6.5$ 普碳盘条	$\phi 6.5$ 普碳盘条

表2 线三车间加热炉主要技术参数

序号	技术参数	改前	改后
1	有效尺寸(L×B)(m)	22.04×6.496	22.04×6.496
2	纵水管	4根,间距1624mm	无
3	横水管	7根,间距1972mm	无
4	支撑管	6根,间距1972mm	无
5	小时产量(t/h)	70	70
6	有效炉底强度(kg/m <sup>2</sup> ·h)	548	548
7	燃料种类	重油	重油
8	烧嘴型式	HPN-100,10个; HPN-150,10个	HPN-100,6个; HPN-150,7个
9	炉温(℃)	1320	1320
10	燃耗水平(kg/t)	32.36	25.53
11	冷却水消耗量(t/h)	250	无
12	水冷损失(%)	9.34	无
13	坯料尺寸(mm)	120mm方,5.8m	120~150mm方,5.8m
14	产品规格	Ø8普碳盘条	Ø8普碳盘条

无水冷加热炉由于基墙的限制,无论是取消下部供热,还是采取下端供热,其下部供热量较水冷加热炉必然是减少的,除了原水冷10%~15%左右的热损失是理论上可减少的以外,其它减少供热量在适当增加上部供热能力的基础上可通过炉型的改进来进行弥补,具体措施一是对炉底的改造:对端烧火道的炉底,因氧化铁皮的减少,可比水冷时增高120~180mm;对炉墙与基墙间的火道,因火道间距小,无烧嘴直接供热,可加高800~1000mm;对原加热段与预热段间的炉底爬坡,因下部供热量的减少,为保持炉气充满,可进行前延,保持下加热长度在7~8m即可。二是增设下部通气孔洞:在基墙离下端烧4m以后,即避开下端烧火焰高温区,可增设多个通气孔洞,使炉气在炉膛横断面上适当流通,保持全炉温度分布的均匀性。首钢第一线材厂线二车间和线三车间应用新型无水冷技术后,其下加热供热量较改前分别减少80%和30%,但其加热能力仍能满足车间生产工艺需要,而且炉膛内的铁皮已由原来的高温熔化礁块变成了松软的细粉末,并且数量大为减少,说明无水冷加热炉下部供热能力问题可以借助工艺的控制和炉型的改进得到较好的解决。

2002年线二车间加热炉重油单耗为26.92kg/t;线三车间加热炉重油单耗为25.53kg/t,分别比新型无水冷加热炉技术应用前降低了20%和21%,仅降低油耗直接创经济效益754.30万元,实践证明:新型无水冷加热炉具有节水、节能、寿命长、成本低等优点,完全能够满足现代轧钢企业生产的需要,是

继蓄热式高温燃烧技术后的又一项值得推广的重要节能技术。

### 3.2 热管技术

热管是一种超级导热元件,根据其工质回流的动力形式(毛细力、重力、离心力)可分为吸液芯热管、重力热管和旋转热管等类型,其中重力热管结构最为简单。热管的高传热性能和工质密闭循环等优点,加之当热流体温度在500℃左右时仍然可以安全地采用价廉的碳钢-水热管的优势,使得适应于中低温气体余热资源回收的可靠高效换热组件的获得成为可能,其中热管余热锅炉已在我国的冶金、化工、建材、机械等工业领域均有了成功的应用先例。

首钢第一线材厂应用热管余热锅炉技术,在加热炉空气换热器后的烟道中增设热管蒸汽发生器,实现外排低温烟气从300℃降低至150℃左右。热管余热锅炉技术进行余热利用的系统图如图5所示,该系统工作原理为软水进入贮槽,由给水泵泵入汽液分离器中,汽液分离器的液位应保持在设定的正常水位,当水位低于正常水位时,水位报警器发出报警并开始自动补水,水位到达最高位时补水泵自动停止工作,正常运行时汽液分离器中的软水经下降管进入热管蒸汽发生器被加热后形成汽液混合物,沿外联管进入汽液分离器,在其中进行汽液分离后,饱和蒸汽由主蒸汽阀排出,进入蒸汽管道送给用户。由于热管蒸汽发生器是由许多热管组成,而每一支热管都是一个独立的传热单元,所以即使某几

根热管失效,也不会影响整个热管蒸汽发生器的使用。故该系统具有几个特点:一是热管蒸汽发生器放置于烟道中,原烟道改动量小,施工周期短,安装

检修方便。二是烟气流动阻力小,可实现远程控制、操作方便。三是软水贮槽可在停水情况下保证连续向蒸汽发生器供水 1 h 以上,具有高可靠性。

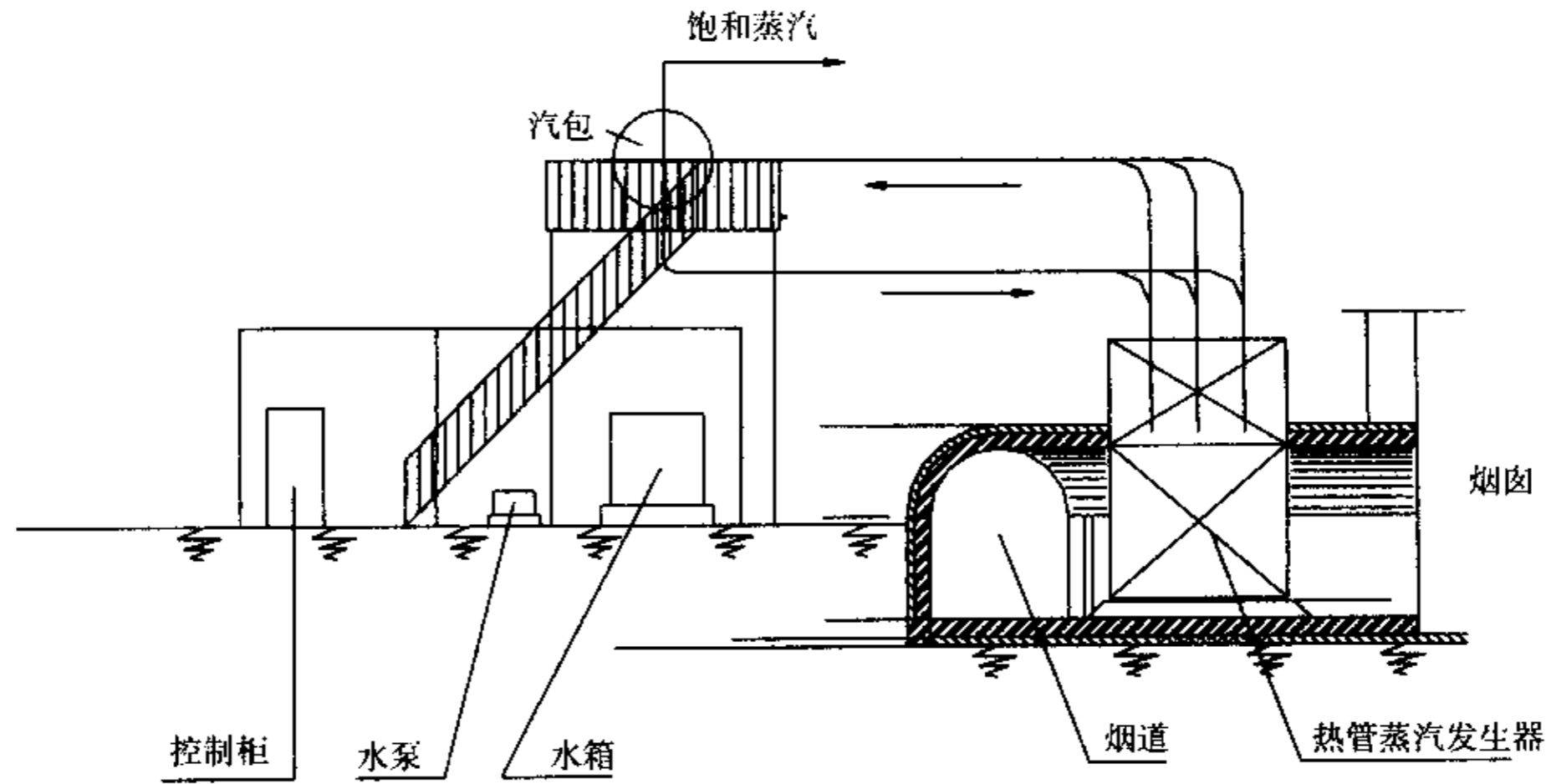


图 5 热管余热锅炉系统图

首钢第一线材厂线三车间加热炉烟道增设热管余热锅炉总计投资费用为 52.0 万元,2003 年 10 月份项目实施后增设的热管余热锅炉可产生蒸汽 1.6 t/h,能够满足该车间目前用汽需要,同时,可停开燃煤锅炉 1 台,减少燃煤消耗 3 600 t。热管余热锅炉产汽量按 330 个工作日,每 t 蒸汽按 65 元/t 计算,每年节省蒸汽费用为 82.37 万元,该项目的实施给企业带来了较好的经济效益和良好的环保效果。

## 4 结论

(1)新型无水冷技术和热管技术综合应用的加

热炉高效运行模式,是满足大量传统轧钢企业实现旧炉改造的经济实用模式,该模式节能效果能达到与蓄热式加热炉同等的作用。

(2)新型无水冷技术能直接减去加热炉水冷冷损失和配套水冷循环系统,其改造投资约为蓄热式高温燃烧技术改造投资的 1/3,投资回报期短,是水冷推钢式连续加热炉进一步降低能耗和运行费用的有效途径。

(3)热管余热锅炉对中低温气体余热资源的回收具有显著的功效,能二次利用加热炉空气换热器后低温烟气余热的 50%,从而使全炉余热利用率达到 90%。