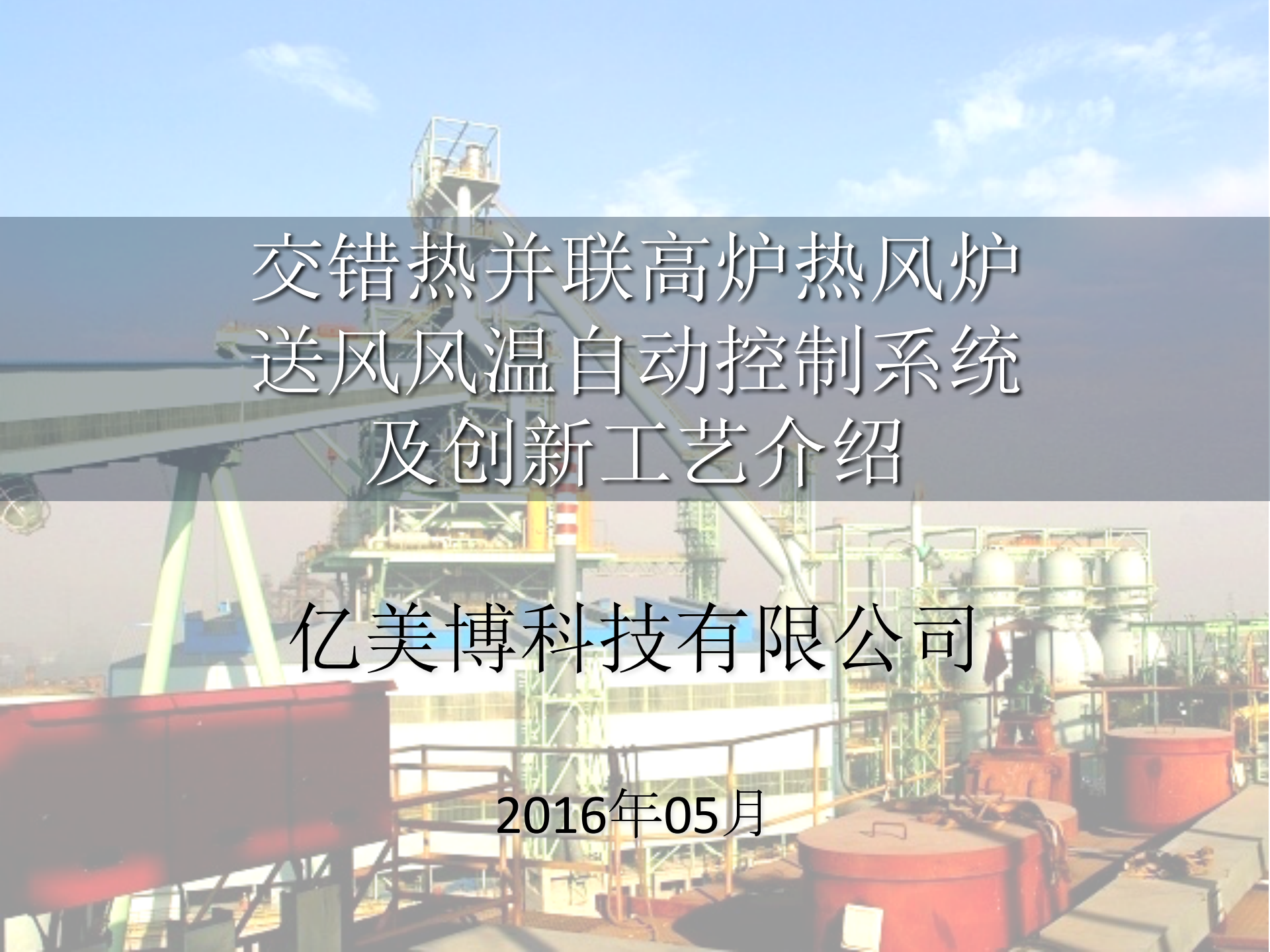




交错热并联高炉热风炉 送风风温自动控制系统 及创新工艺介绍

亿美博科技有限公司

2016年05月

亿美博科技 —— 工业数字化先锋



- 亿美博科技有限公司作为国家“十五”重点科技攻关项目、国家火炬计划项目、二项国防重点攻关和“十二五”预研项目、1999年度和2003年度“国家级重点新产品”计划项目和国家“科技创新基金”项目承担企业，以工业数字传动技术为先锋，致力于传统工业控制的改革和创新，带领中国传统工业进入世界科技前沿。
- 亿美博科技成功地将工业数字化产品在冶金、军事、能源、化工等领域中广泛推广和应用，获得国家冶金工业局国际先进水平鉴定，国家经贸委国家级新产品证书，国家信息产业部双软认证。为支持工业数字科技产业化发展，国家科技部无偿向亿美博科技有限公司提供了科技创新基金，并将数字液压技术列为国家“十五”重点科技攻关项目。
- 亿美博科技拥有享受国务院特殊津贴的国家级专家和一批不断创新的优秀人才，在工业数字科技领域中始终保持着领先地位，为工业界不断提供着优秀的工业数字科技产品。
- 亿美博科技不仅拥有领先的工业数字技术，2002年还通过ISO9001:2000认证。公司采用国际通行的规范进行公司管理、质量控制及客户服务，在虚心向同行们学习的同时，亿美博科技作为您最亲密的伙伴和朋友，与您共同获得成功和进步。

交错热并联送风控制系统



技术呈现

交错热并联送风控制的意义



- 高炉稳定的高风温是提高利用系数、降低焦比、提高喷煤量和稳定高炉炉况的直接措施。1200 ~ 1300°C风温是21 世纪现代化高炉的重要标志。我国高炉风温长期徘徊在1050~1150°C左右，近几年风温虽有所提高，但与国外相比，还是处在较低的风温水平，这种风温状况已成为进一步提高喷煤量、改善高炉指标的最主要障碍。因此，提高高炉风温具有很大的迫切性和必要性。大型高炉热风炉交错热并联送风技术是在不改变热风炉拱顶和废气温度前提下，有效提高风温30-60°C的控制方法。
- 通过计算可得出，如果有效稳定的提高高炉25 ~ 30°C的风温，可使得每生产一吨生铁节约大约4 ~ 5 公斤焦炭，多喷10公斤煤粉，以武钢5高炉为例，年产生铁294 万吨来计算，每年因节能而产生的经济效益近4千万元。

交错热并联送风控制系统效益计算



以年产500万吨铁水为例。采用交错热并联提高风温25~30℃

可降焦比4kg/tHM，取5kg/tHM，单价1500元/吨

效益：500×10⁴×0.04×1500=3000万/年

多喷煤粉10kg/tHM，置换焦炭比按0.97计，煤粉单价900元/吨

效益：500×10⁴×(0.01×0.97×1500-0.01×900)=2775万元/年

多用高炉煤气：24Nm³/tHM，单价0.07元/Nm³

煤气成本：500×10⁴×24×0.07=490万元/年

采用交错热并联送风提高风温25~30℃所产生的经济效益为：

3000+2775-490=5285万元/年

交错热并联送风控制系统减排计算



炼焦工序能耗142kg标煤/吨，喷煤工序能耗20-35 kg标煤/吨，取平均值27.5 kg标煤/吨

节约能耗

$$500 \times 10^4 \times (0.005 + 0.01 \times 0.97) \times 0.142 + 500 \times 10^4 \times (0.005 - 0.003) - 500 \times 10^4 \times 0.01 \times 0.0275 = 19062 \text{ 吨标煤/年}$$

减排效果

1kg标煤燃烧约产生2.66-2.72 kgCO₂，取2.7kgCO₂
减排CO₂量约=19062×2.7=5.15万吨CO₂/年

采用交错热并联送风提高风温25 ~ 30℃所减少的CO₂排放约为：

5.15万吨CO₂/年

交错热并联送风控制的优势



- 不增加燃烧总热值、不改变拱顶和废气温度而提高送风温度，降低焦比，增加喷煤量，节约成本；
- 缩小送风温度误差在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围内，改善炉况，有利高炉稳定运行，同时降低由于温度变化对设备损害；
- 不再由混风阀向热风主管混入冷风，有效利用了低风温热风炉余热，降低了能源损耗；
- 两座热风炉同时送风，降低流道风阻，换炉时风量风压波动更小；
- 能使热风炉在低于高炉入炉风温的情况下继续送风，因而延长了送风期，换炉所需时间相对减少，进一步提高了热风炉使用效率；
- 送风开始和终了时，蓄热室格砖的温差大，故单位蓄热室格砖的蓄热能力增加，使风温可以进一步提高，或相同风温时可缩小蓄热面积，提升热风炉效率；
- 在燃烧期，由于烟气与格砖的温差大，故热交换效率高，热效率也高。试验数据表明，交错并联送风温度效率比单独送风高4%左右；
- 根据高炉冶炼要求任意设定风温，控制系统自动调节；

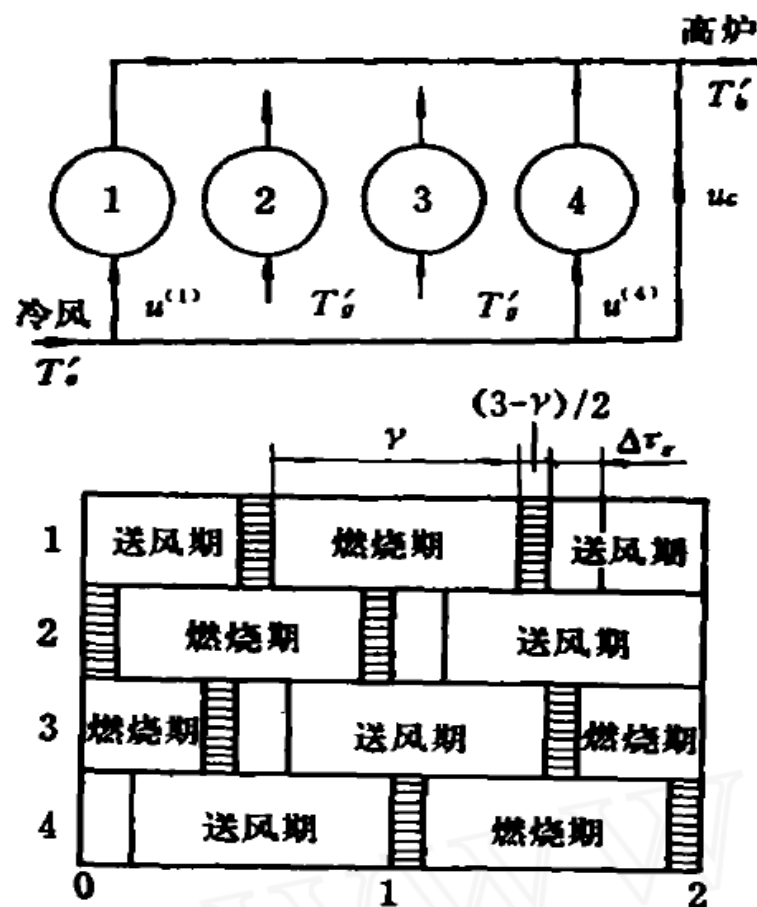
交错热并联送风控制方式及原理



为了使高炉得到稳定的热风温度，通过调节热风炉系统混风调节阀使得高温风降低并稳定在一个需要值上，这是目前国内高炉热风炉送风风温控制的常用方法。

交错热并联送风方式不是通过混风调节阀混入冷风来控制送入高炉的风温，而是通过先行炉较低的风温混合后行炉较高的风温，通过不同风量的配比最终得到稳定的需要温度。由于采用交错热并联方式时的先行炉风温远远高于现有送风方式通过混风阀送入冷风的风温，因此交错热并联送风总热值高于现有送风方式的总热值，送风量相同时，送风温度自然就要高于现有的送风温度。

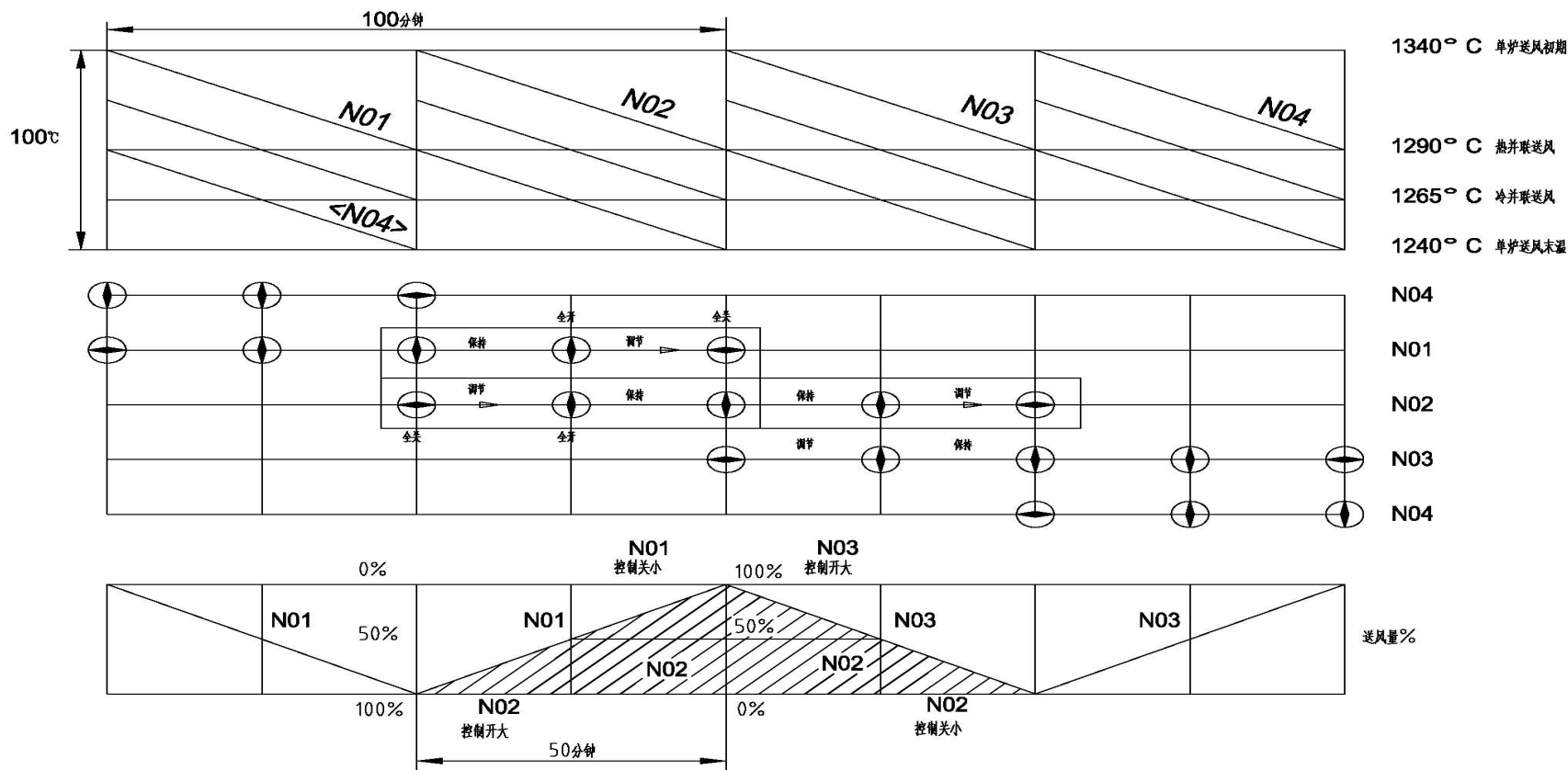
通过武汉钢铁公司5号高炉交错热并联送风自动控制系统使用情况看，在原有年平均风温1150℃、不改变热风炉烧炉燃烧总热值、拱顶和废气温度情况下，通过采用交错热并联送风自动控制，可有效稳定提高送风温度50℃，且无论是在正常送风抑或是换炉时，风温误差均可以在+/-5度左右。无论是节能降耗还是稳定高炉生产，热风炉交错并联送风自动控制系统都表现优异。



交错热并联送风控制方式及原理



热并联工艺的控制原理图

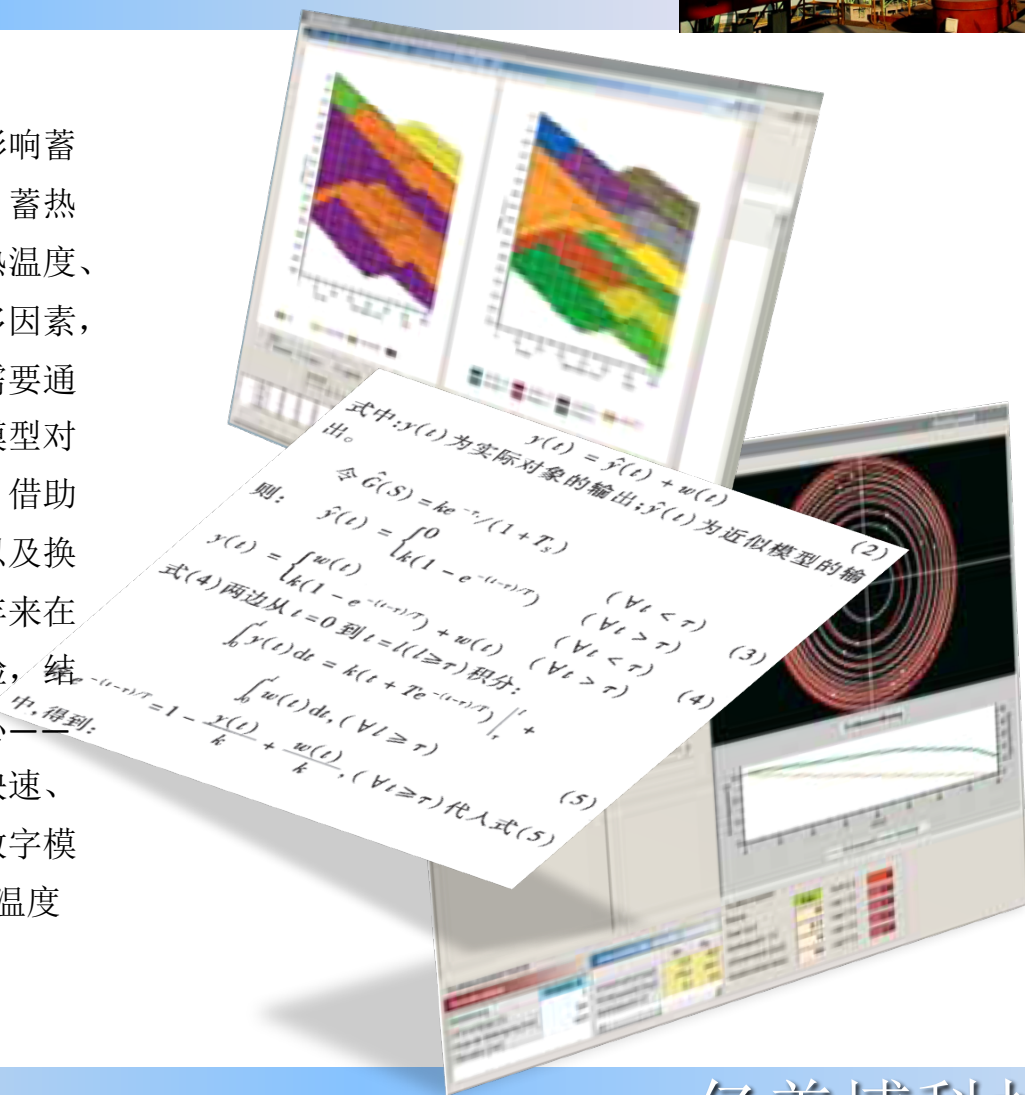


交错热并联送风控制系统构成



- 多变量参数热风炉数字模型

热风炉是一个很大的惯性和滞后系统，而影响蓄热和送风的因素又众多，它们包括：炉容、蓄热体、燃烧器、煤气热值、煤气量、煤气预热温度、送风量、空气湿度、管道热损失、等等众多因素，因此要想稳定精确的控制送风温度，我们需要通过建立准确的、多变量参数的热风炉数字模型对蓄热和送风趋势进行预测，根据预测结果，借助神经元矩阵模型推演，获得对燃烧和送风以及换炉等步骤的控制决策依据。亿美博借助多年来在军工、冶金、能源等领域中积累的大量经验，结合国内最具实力的国家级仿真控制研究中心——亚洲仿真中心，共同构建了一套具有响应快速、数据自动更新和优化、结果准确的热风炉数字模型。该模型已经在武钢5高炉交错并联送风温度自动控制系统实施中得到验证。



交错热并联送风控制系统构成

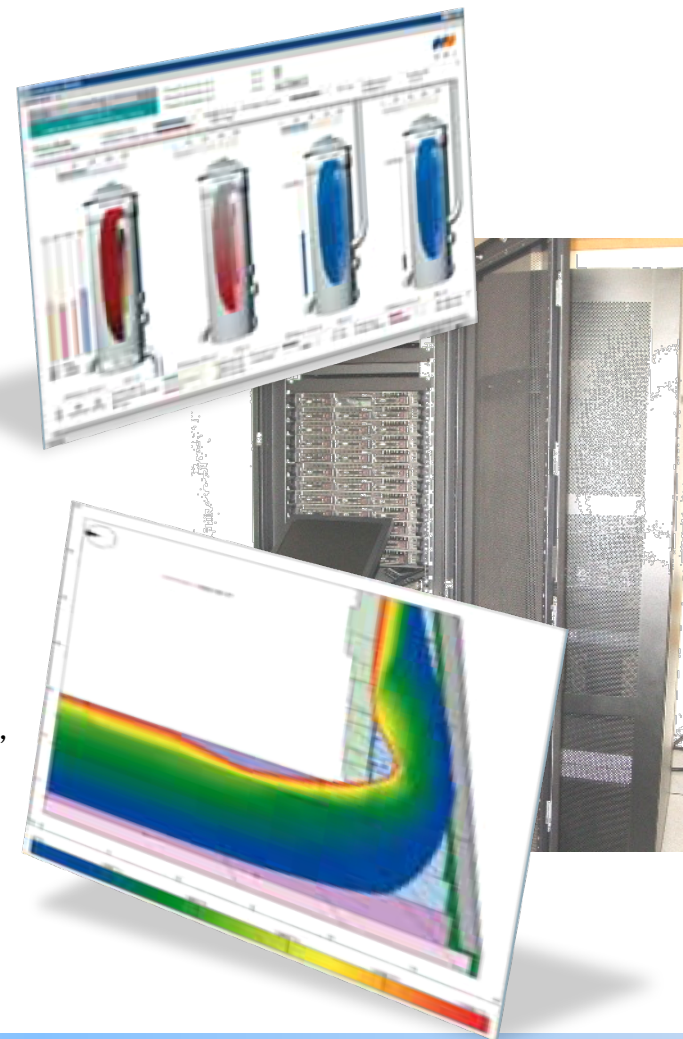


- **神经元矩阵模型推演机**

建立了多变量参数热风炉数字模型后，将各个变量送入载有模型的高速计算机（工作站或小型机），通过神经元矩阵模型推演算法，获得有关于热风炉燃烧、送风和换炉等过程的预知量，该预知量再送入**具有专家知识库的热风炉自适应智能调节算法**，以实现精确的风温控制。

- **具有专家知识库的热风炉自适应智能调节算法**

通过对模型实施的神经元矩阵推演计算后得出的决策参数并不能完全精确的体现热风炉长期使用后的状况，还需要进一步精细化处理和计算方可对最终的风温进行精确控制，同时这些精细化处理和计算后的数据同时反馈至前端的多变量参数热风炉数字模型，用以对模型的实施优化和修正。亿美博在构建专家知识库时，不仅收纳了国内知名的工程院院士、炼铁工艺、设计专家等的丰富知识外，还吸收了宝贵的现场工艺专家、操作使用人员的广泛经验，结合亿美博多年冶金领域卓越的控制技术水平，构建了一套国际先进水平的控制算法。



交错热并联送风控制系统构成

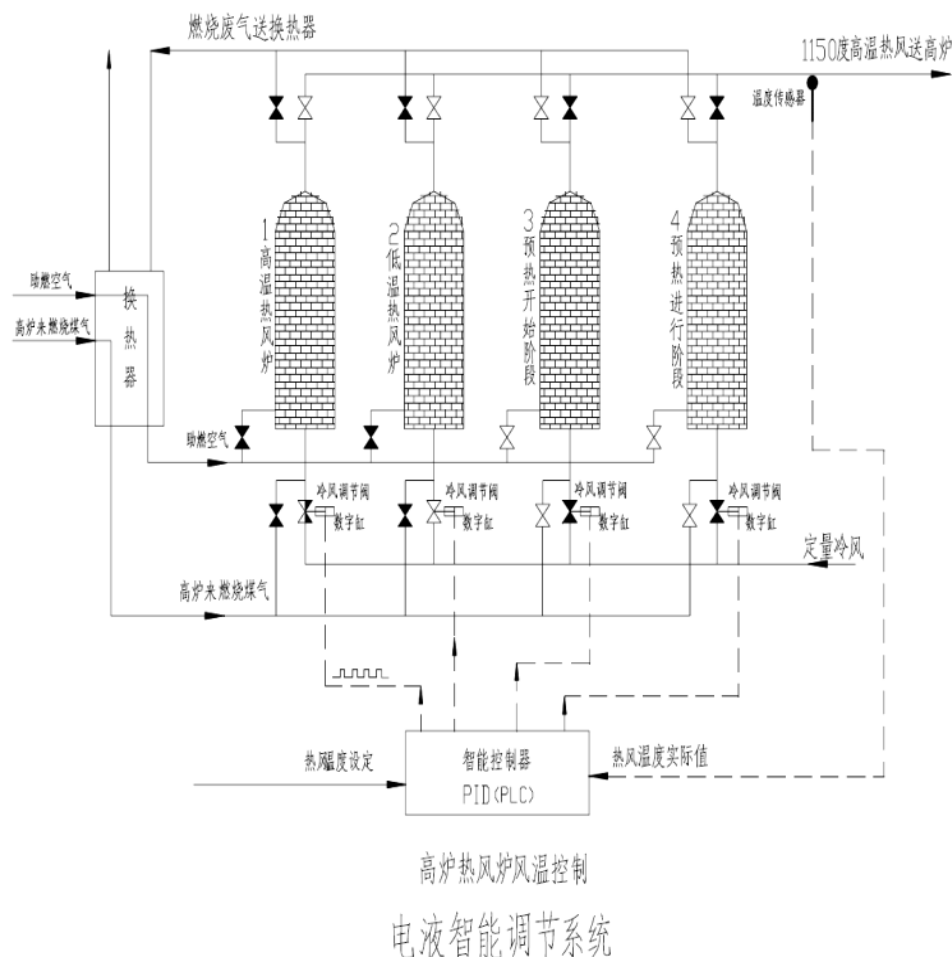


- **数字式高精度冷风流量调节阀**

因为冷风阀不但直径大、惯性大，而且在全行程中严重非线性，在两头开和关小角度时非常不灵敏，而在中部时又太过灵敏，因而必须能够精确微动阀门翻板实现微调，为此我们采用能够精确微调冷风调节阀开度的大力量数字液压油缸作为执行元件，不仅其高精度的定位能力保证了阀门的精度，其大力量的输出更是可靠性的重要保证，另由于液压油缸驱动避免了电动机带动减速机驱动时的机械旷量，其微动精度极高，这是高精度稳定风温的根本保障。

- **西门子PLC 系统**

世界公认的优秀工业控制设备S7-300PLC 不仅保证了全套系统的稳定运行，更提供了超大运算和信息吞吐以及可靠的逻辑控制能力。通过工业以太或者Profib-bus网络，系统简单溶入高炉热风炉现有控制系统。



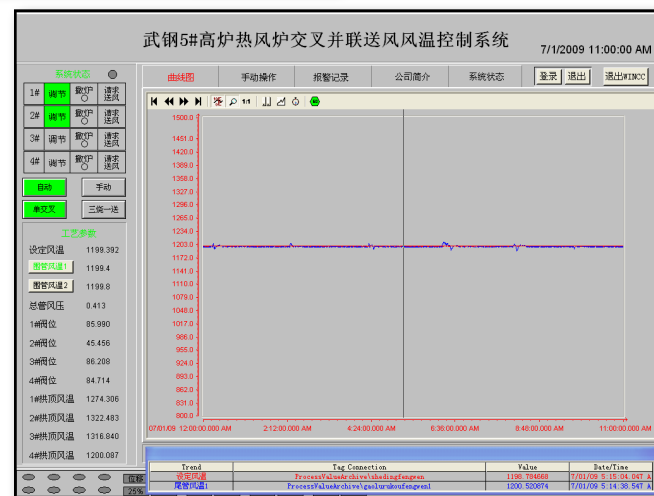
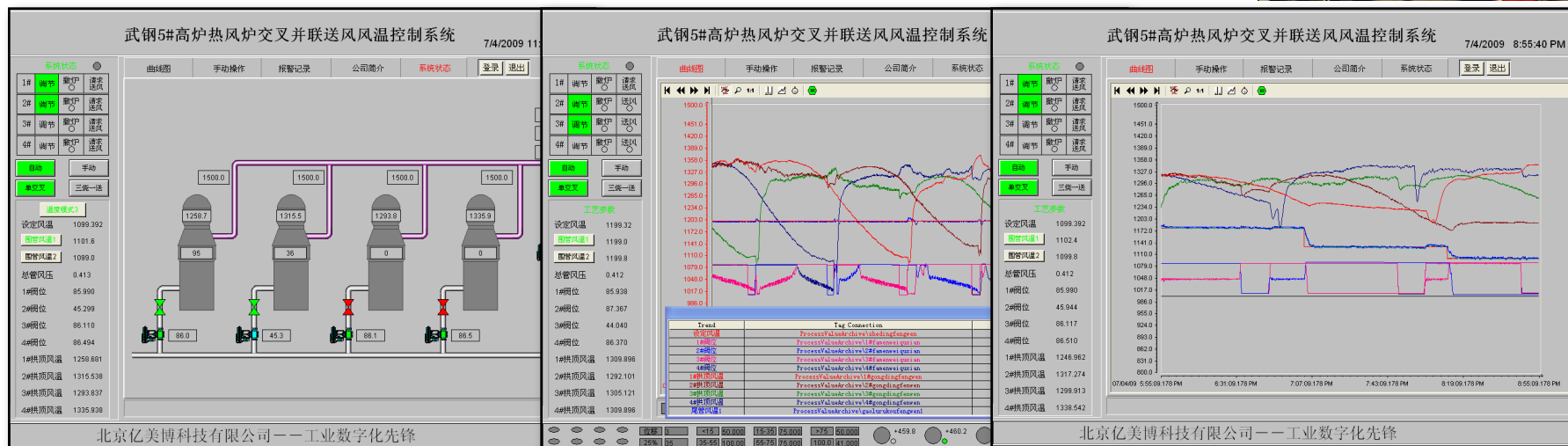
交错热并联送风控制系统构成



- 技术参数

送风方式	单、双交错热并联；单、双交错冷并联；三烧一送；一烧二送
温度控制范围	900-1500℃
温度控制误差	+/-5℃（90%有效率）
冷风调节阀直径	适合用户冷风管道尺寸
冷风调节阀精度	0.00001度
液压系统工作压力	10-16MPa

交错热并联送风控制系统实施



亿美博科技

新闻报道



湖北经信委及武钢网站分别报道工信部节能司司长率队在武钢考察交错并联的节能减排技术

使用证明



使用证明

使用证明

北京亿美博科技有限公司 2008 年为我厂提供的热风炉交错热并联送风自动控制系统，自调试成功投入使用以来，达到了预期的效果，可将原“三烧一送风”的送风方式无扰动地转换为“交错热并联”送风方式，风温可提高 30 - 50 摄氏度，满足了我厂长期使用要求，系统性能稳定可靠，操作使用简单，维护维修方便，易于掌握，为我厂 5 号高炉节能减排和高质高效生产提供了可靠保障。



北京亿美博科技有限公司2008年为我厂提供的热风炉交错热并联送风自动控制系统，自调试成功投入使用以来，达到了预期的效果，可将原“三烧一送”的送风方式无扰动地转换为“交错热并联”送风方式，风温可提高30~50摄氏度，满足了我厂长期使用要求，系统性能稳定可靠，操作使用简单，维护维修方便，易于掌握，为我厂5号高炉节能减排和高质高效生产提供了可靠保障。

武汉钢铁股份有限公司炼铁厂
2012年12月12日

三座热风炉交错热并联创新工艺



关于三座热风炉交错热并联探讨

三座热风炉交错热并联方案



三座热风炉和四座热风炉的比较

1. 建三座热风炉的投资比建四座热风炉省
2. 三座热风炉采用两烧一送操作制度，送出的稳定风温是单炉送风末温；四座热风炉采用两烧两送交错并联操作制度后送出的稳定风温 $\approx$ 单炉送风末温 $+1/4$ （单炉送风初温-单炉送风末温）。在拱顶温度相同、换炉排放总能耗相等的条件下，三座热风炉两烧一送时的送风温度要比四座热风炉交错并联时低 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ 。
3. 四座热风炉可以看成是两套热风炉系统，每套热风炉系统中的两座热风炉采用一烧一送操作制度，使用合理的烧/送时间比；而三座热风炉采用两烧一送的操作制度，实际上是把一座热风炉放入到了燃烧行列，不能不说是浪费了大量燃烧时间。
4. 三座热风炉两烧一送时在理论上有一个潜在的优点，即拱顶温度受到限制时可以用缩短送风时间来提高风温，但是要付出耗能增排的代价（后面再讨论）。

三座热风炉交错热并联方案



减少三座热风炉送风时间来提高送风温度的弊端

1. 三座热风炉和四座热风炉比较排放能耗时不能只比排放次数，因为三座热风炉的单座热风炉炉内空间约为四座热风炉的 $\frac{4}{3}$ 倍。三座热风炉两烧一送单炉送风时间为66.7min时（21.6次/天）的排放总能耗与四座热风炉两烧两送单炉送风时间100min时的排放总能耗相等。
2. 提高热风温度不能靠增排。九十年代初，德国曾有文章说“三座热风炉两烧一送，拱顶温度在 1350°C 条件下就足以达到 1250°C 的高风温，单炉送风时间定为30min”，“建第四座热风炉就是多余的了”。但是，单炉送风时间从66.7min缩短到30min，每天需排放48次，排放总能耗要增加到原来的2.22倍。

三座热风炉交错热并联方案



表 1 热风炉换炉排放次数和高炉围管前风温比较表一

序号	名称	操作制度		
		两烧一送	一烧两送交错并联	一烧两送交错热并联
1	单炉送风时间	65min	260min	260min
2	换炉时间	15min	15min	15min
3	单炉燃烧时间	115min	115min	115min
4	烧/送时间比	1.77	0.442	0.442
5	单炉送风初温	1330℃	1330℃	1330℃
6	平均单位送风温降	1.2℃/min	0.6℃/min	0.6℃/min
7	单炉送风末温	1252℃	1174℃	1174℃
8	混合后送出风温		$1174 + (1330 - 1174) / 4 = 1213℃$	$(1330 + 1174) / 2 = 1252℃$
9	管路散热损失	10℃	10℃	10℃
10	混风蝶阀漏风损失	25℃	25℃	
11	高炉围管前风温	1217℃	1178℃	1242℃
12	风温变化		降 39℃	升 25℃
13	换炉排放次数	22.2 次/天	11.1 次/天	11.1 次/天
14	换炉排放变化		降 50%	降 50%
15	进入主管最高风温	1330℃	1213℃	1252℃
16	采用后的效果		大幅度减排，大幅度降温	减排 50%，升温 25℃

一烧两送交错热并联可使得换炉排放能耗减少**50%**，同时提高风温**25℃**

三座热风炉交错热并联方案



表 2

热风炉换炉排放次数和高炉围管前风温比较表二

序号	名称	操作制度		
		两烧一送	一烧两送交错并联	一烧两送交错热并联
1	单炉送风时间	65min	210min	210min
2	换炉时间	15min	15min	15min
3	单炉燃烧时间	115min	90min	90min
4	烧/送时间比	1.77	0.43	0.43
5	单炉送风初温	1330℃	1330℃	1330℃
6	平均单位送风温降	1.2℃/min	0.6℃/min	0.6℃/min
7	单炉送风末温	1252℃	1204℃	1204℃
8	混合后送出风温		$1204 + (1330 - 1204) / 4 = 1235.5℃$	$(1330 + 1204) / 2 = 1267℃$
9	管路散热损失	10℃	10℃	10℃
10	混风蝶阀漏风损失	25℃	25℃	
11	高炉围管前风温	1217℃	1200.5℃	1257℃
12	风温变化		降 16.5℃	升 40℃
13	换炉排放次数	22.2 次/天	13.7 次/天	13.7 次/天
14	换炉排放变化		降 38.3%	降 38.3%
15	进入主管最高风温	1330℃	1235.5℃	1267℃
16	采用后的效果		减排，但降低风温	减排，升温较多

一烧两送交错热并联可使得换炉排放能耗减少**38.3%**，同时提高风温**40℃**

三座热风炉交错热并联方案



三座热风炉采用“一烧两送热并联”新技术后的效果

1. 换炉排放能耗减少50%，同时提高风温25℃；换炉排放能耗减少38.3%，同时提高风温40℃（详见表1、2）；
2. 关闭混风大闸避免漏风，还可以进一步提升送风温度25℃或更多；
3. 使进入热风主管的最高风温降低60~80℃，且温度稳定，有利于延长热风主管寿命；
4. 改善了高炉的不稳定工况；
5. 采用热并联，可以向高炉提供误差 $< \pm 3^{\circ}\text{C}$ 的稳定风温；
6. 采用热并联操作后大大延长了单炉送风时间，很大程度提高了中下部格子砖的利用率，在新设计热风炉时可以减少格子砖数量，节约投资。

EMC（合同能源管理）模式



商务探讨

什么叫**EMC**模式



- **EMC**是**Energy Management Contract**(合同能源管理模式)的简称，它是一种在市场经济国家中逐步发展起来的新型节能合作机制，基于这种新节能机制运作的专业化“节能服务公司”发展十分迅速，尤其在美国、加拿大，**EMC**已发展成为一种新兴的节能产业。节能服务公司根据企业能耗情况进行评估统计，提出存在的节能空间进行技术改造，达到能源优化的目的。所需基金由专业节能服务公司提供，双方签订《节能绩效保证合同》，在项目投入使用后，企业从该项目每年的节能效益中，按照合同约定的比例偿还投资方，达到合同约定时间时项目所有权归企业所有。
- 这种机制使耗能企业避开了投资风险，企业不用投资即可获得节能项目和技能效益从而实现“零风险”投资，同时让投资方保有利润，是一种双赢的现代能源管理理念。
- **EMC**机制的实质是：通过节能服务合同为耗能企业提供能源评估、方案设计、技术选择、设备采购、安装调试、运行维护、人才培养、效果跟进等一整套的系统化服务，在合同期内，分享节能效益，服务公司由此得到应回收的投资和合理的利润，合同结束后，高效的设备和节能效益全部归耗能企业所有。

EMC模式的优势

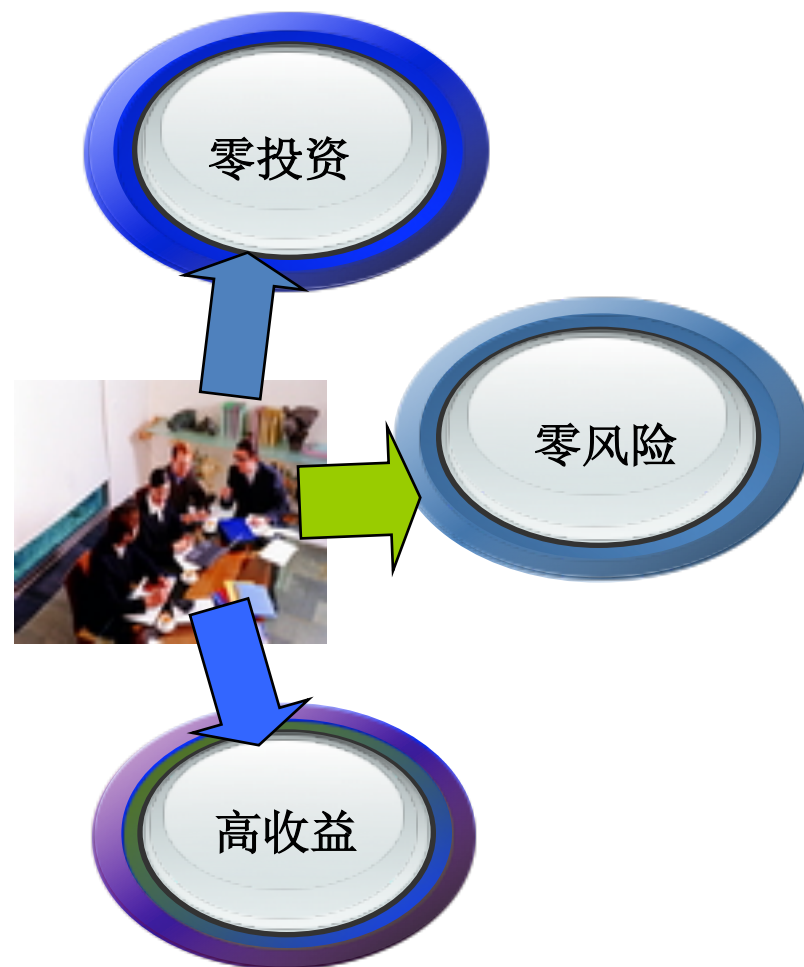


采用该模式可以享受如下好处：

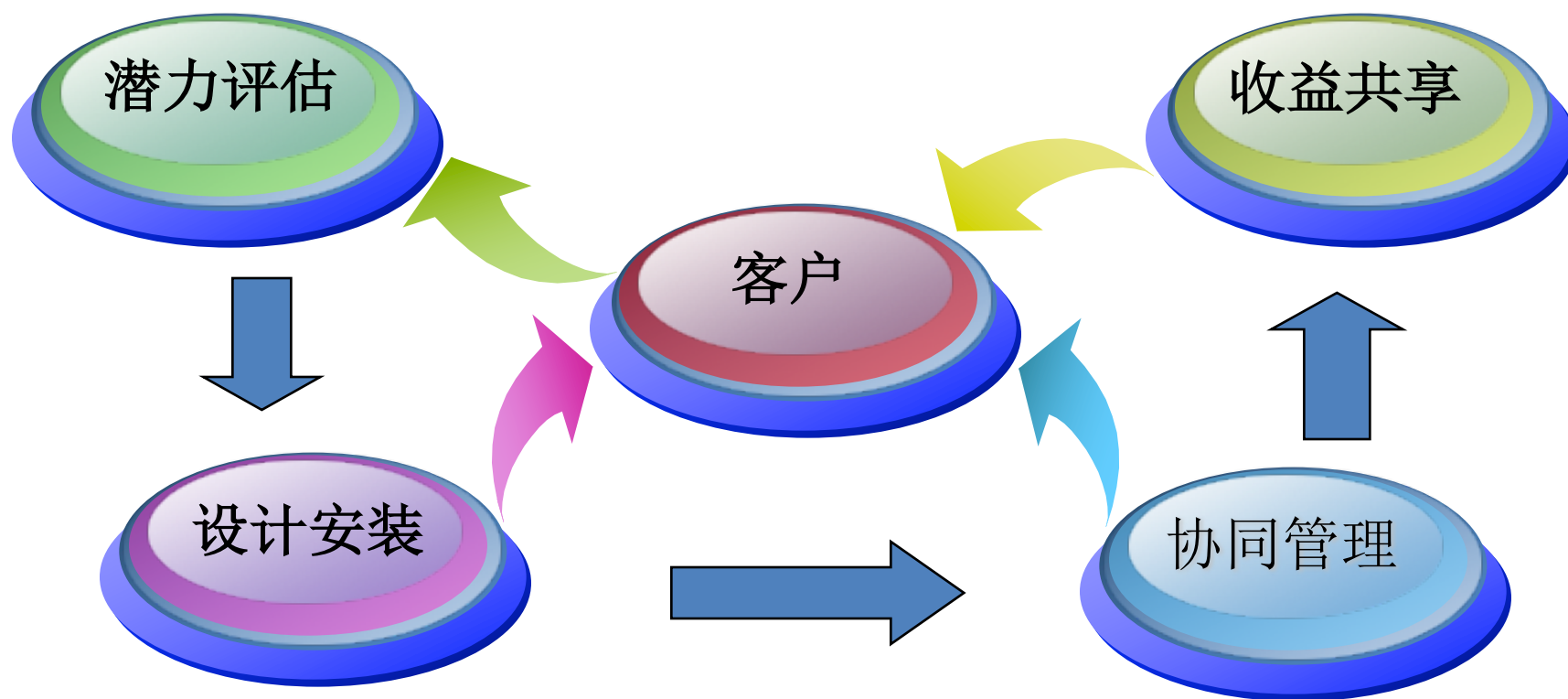
一是零风险：**EMC**帮助客户开展的节能项目所采用的技术是成熟的，设备是规范的，并具有足够的成功案例。所开展的项目以节能效益为主，**EMC**以承诺保证不影响生产情况下实现节能效益为前提。因此对客户来说，项目的技术风险趋于零。

二是零投资：全部投资、改造设计、可行性分析、投资融资、设备采购、指导安装、运行管理、人员培训能源监测等均由亿美博负责，客户投资风险为零。

三是高收益：因为**EMC**为客户实施的节能项目，通常会有明显的节能及经济效益。客户可以以节约的能源费用来偿还**EMC**的服务费用，并取得自身的经济效益。节能合同中一般可以分段划分几年的效益分享期，前五年双方分享节能效益、分享期后节能产品的所属权归客户单位。



EMC模式的运作流程



★技术优势 ★团队优势 ★资源优势 ★经营模式

亿美博**EMC**模式



1. 效益

$(\text{使用前焦炭/吨铁} - \text{使用后焦炭/吨铁}) \times \text{铁产量} \times \text{焦炭单价} + (\text{使用前二氧化碳排量/吨铁} - \text{使用后二氧化碳排量/吨铁}) \times \text{铁产量} \times \text{二氧化碳减排单价}$

2. 分配方式

A. 钢铁企业：

- 第一年：效益 $\times 0\%$
- 第二年：效益 $\times 20\%$
- 第三年：效益 $\times 40\%$
- 第四年：效益 $\times 60\%$
- 第五年：效益 $\times 80\%$
- 第六年：效益 $\times 100\% + \text{设备产权}$

B. 亿美博：

- 第一年：效益 $\times 100\%$
- 第二年：效益 $\times 80\%$
- 第三年：效益 $\times 60\%$
- 第四年：效益 $\times 40\%$
- 第五年：效益 $\times 20\%$
- 第六年：效益 $\times 0\% - \text{设备产权}$

亿美博**EMC**模式的更多服务



在您选用了我公司**EMC**模式的热风炉交错热并联系统，您会享用到更多的增值服务：

全程跟踪	合同期内，亿美博工程师们将和您一起，全程协同生产、培训、能源监测等；
完美售后	合同期内免费服务，合同期后设备产权转让给钢铁企业，亿美博提供7*24无缝隙服务；
零备件投入	合同期内亿美博负责系统全部部件更换和维护，确保安全生产；
无损害安装	以最小化的改动作为设计方针，在原有基础上加装部件，不影响管道主体；
安全生产	亿美博为系统设计了恢复方案，一旦系统不符合生产要求时可随时切换到原先工作状态满足生产要求；
先使用后分成	签订EMC合同后，亿美博将为您免费设计安装、协同生产、能源监测，节能效益获得后开始共享收益分成；

EMC模式的特点



- **用别人的钱办自己的事。**按照EMC模式运作节能项目，一般不要求企业自身对节能项目进行投资，在节能改造之后，可由企业原先高耗能、高消耗浪费的那部分资金来支付EMC项目的费用。合同期后，客户享有全部的节能效益。
- **用未来的收益实现今天的节能目的。**合同能源管理机制的实质是一种以减少的能源费用来支付节能项目全部成本的节能投资方式。这种节能投资方式允许用户使用未来的节能收益为工厂和设备升级，降低目前的运行成本，提高能源利用效率，从而达到用未来的收益解决企业目前节能减排的一系列问题，实现更大的效益。
- **无投资风险、无安全风险、无效益风险。**在节能改造工作中推广EMC模式，通常基于投资效益、运作效益和转嫁风险效益三方面的考虑。EMC是市场经济下的节能服务商业化实体，在市场竞争中谋求生存和发展，与我国传统的节能项目运作模式有根本性的区别。在传统节能投资方式下，节能项目的所有风险和所有盈利都由实施节能投资的企业承担。采用EMC模式实施节能项目则有效规避了这个问题。
- 通过实施EMC模式运作，可以把节能项目的风险和负担转嫁给EMC，帮助克服由于实施项目的可能风险所造成的实施节能项目的保留态度，克服节能项目经济效益不明显、占用企业精力太多的担心和疑虑，弥补我们在节能项目实施过程中来自安全、技术等方面的不足以及承担的风险。同时，EMC通过同类项目的开发和大量“复制”来提高其节能项目运作能力，降低节能项目的实施成本，并且节能项目的投资出自节能项目本身产生的节能效益，从而减轻了企业实施节能项目的资金压力。



北京亿美博科技有限公司

北京100054，丰台，菜户营东街甲88号，鹏润2B2906 电话：010-63331966 网址：www.aemetec.com

