

高炉炼铁工艺上节能 减碳新技术及实践

汤清华

2022.8.

鞍钢厂区高炉群.2017.

目录:

1. 炉顶装料过程中均压放散的煤气回收
2. 采用热风炉烟道废气作为高炉煤粉喷吹用惰性气体
3. 高炉煤气干法除尘系统煤气回收时的温度掌控
4. 高炉干法除尘的防腐技术
5. 高炉煤气新型旋风除尘器
6. 高炉低噪音煤气压力调节阀
7. 高炉降料面停炉做到煤气零排放
8. 降低热风炉烟气中的SO₂、NO_x探讨
9. 高炉休、复风炉顶放散的减排
10. 含铁碳和有害杂质尘泥的处理

➤ 生产中表明, 炉顶装料过程中有煤气均压放散, 排入大气的工况煤气量为 $10\text{--}20\text{m}^3/\text{t.Fe}$, 虽只占吨铁煤气发生量的1%左右, 但基数大了其排放量是十分惊人的, 年产200万吨生铁的 2500m^3 高炉年放散量2000-3000万 m^3 , 2021年全国高炉产生铁8.6亿多吨, 仅此项排放最少也是100多亿 m^3 . 全世界?

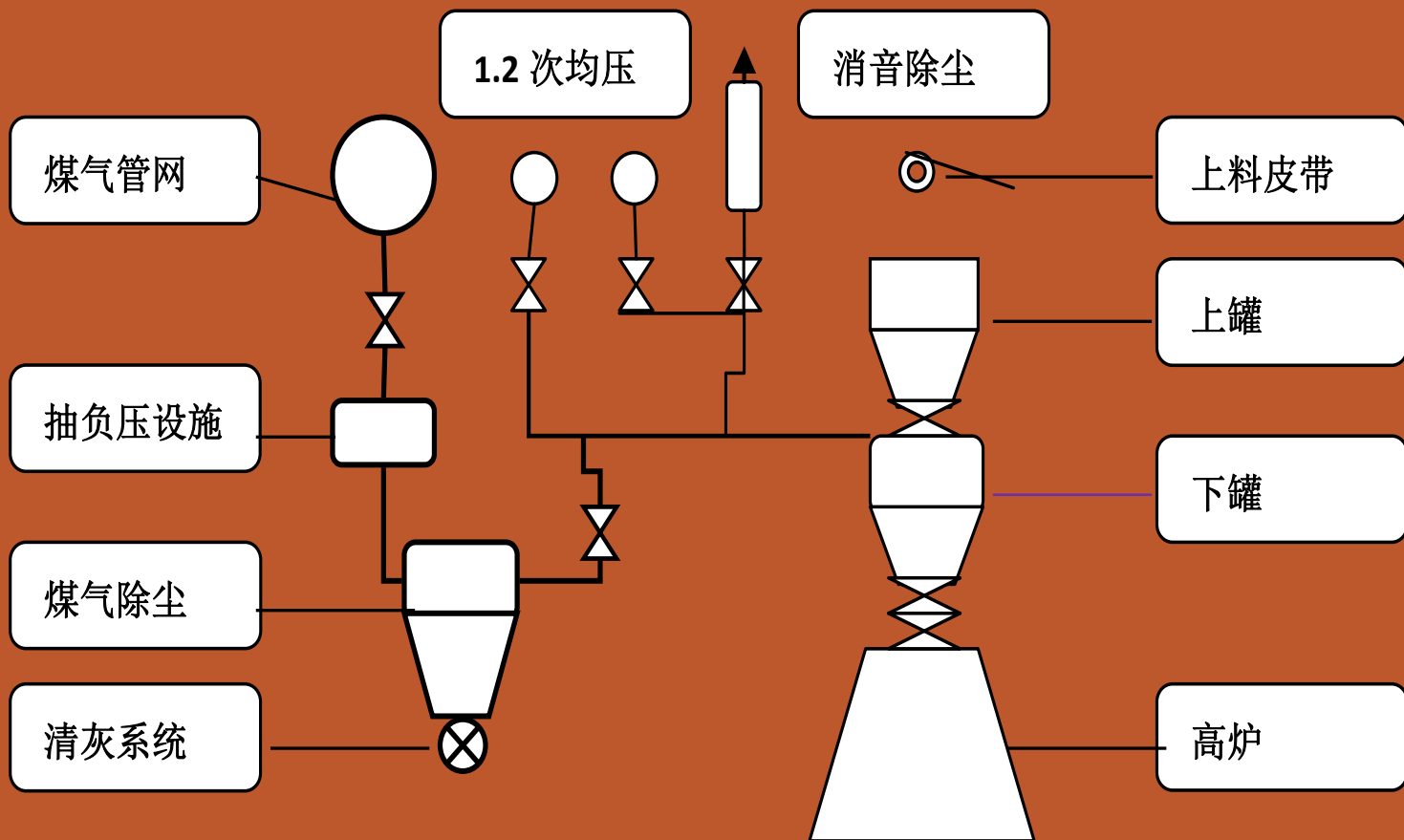
➤ 这些煤气中含CO: 23-24%, CO_2 : 16-23%, 人在含有CO浓度 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 的环境中只要20分钟就有中毒的危险, 有剧毒的高炉煤气是毒害人类的重武器, 这些CO排入大气中虽得到稀释但仍危害人类健康, 比 CO_2 温室气体要严重得多, 特别是“碳达峰和碳中和”的严峻的形势下。

➤ 同时其能源损耗也十分惊人, 1000m^3 高炉煤气约相当100kg标准煤。

➤ 现全国已有数十座高炉采用了, 可回收85%以上, 技术成熟了。还有多少高炉没回收了这一小部分煤气? 值得炼铁工作者赶紧行动

装料过程煤气回收工艺及设备

(专利号z1201020236770.3)



炉顶装料过程中均压放散煤气回收工艺简图

实例：

某厂—1280 m³高炉大修改造于2015.12.6投产并实现了装料过程的均压煤气回收。

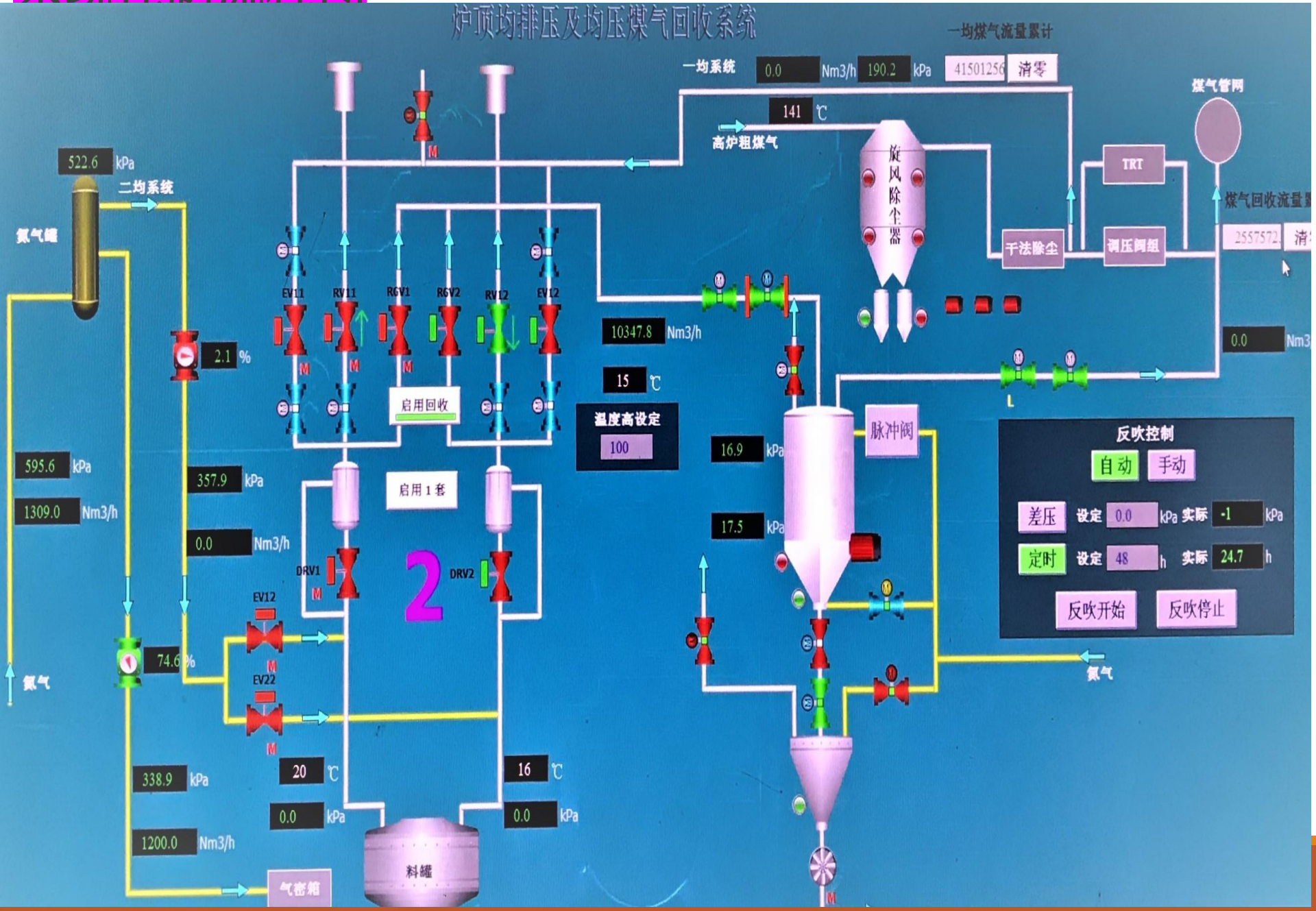
投产后从未间断过，实践结果是每装一罐料，均压回收称量罐中的煤气只需8-14秒，并不影响装料速度，而且对煤气管网压力无冲击。

顶压160-190kpa条件下回收煤气7-8 m³ /t.fe，

根据企业煤气价格，年回收煤气120万元，当年回收投资，环保效益更可观，回收过程的粉尘与高炉布袋除尘一并回收。

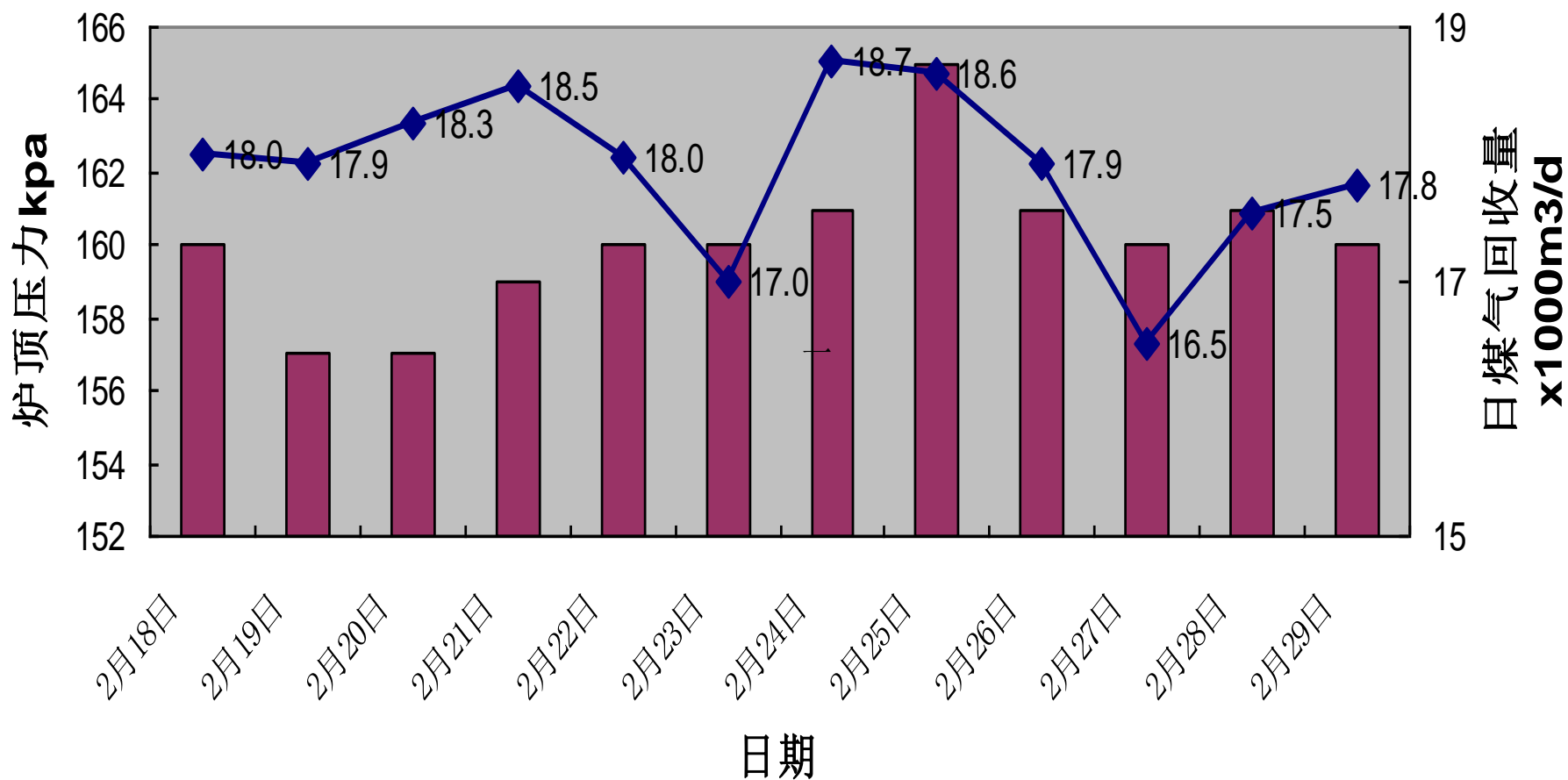
系统控制流程图

炉顶均排压及均压煤气回收系统



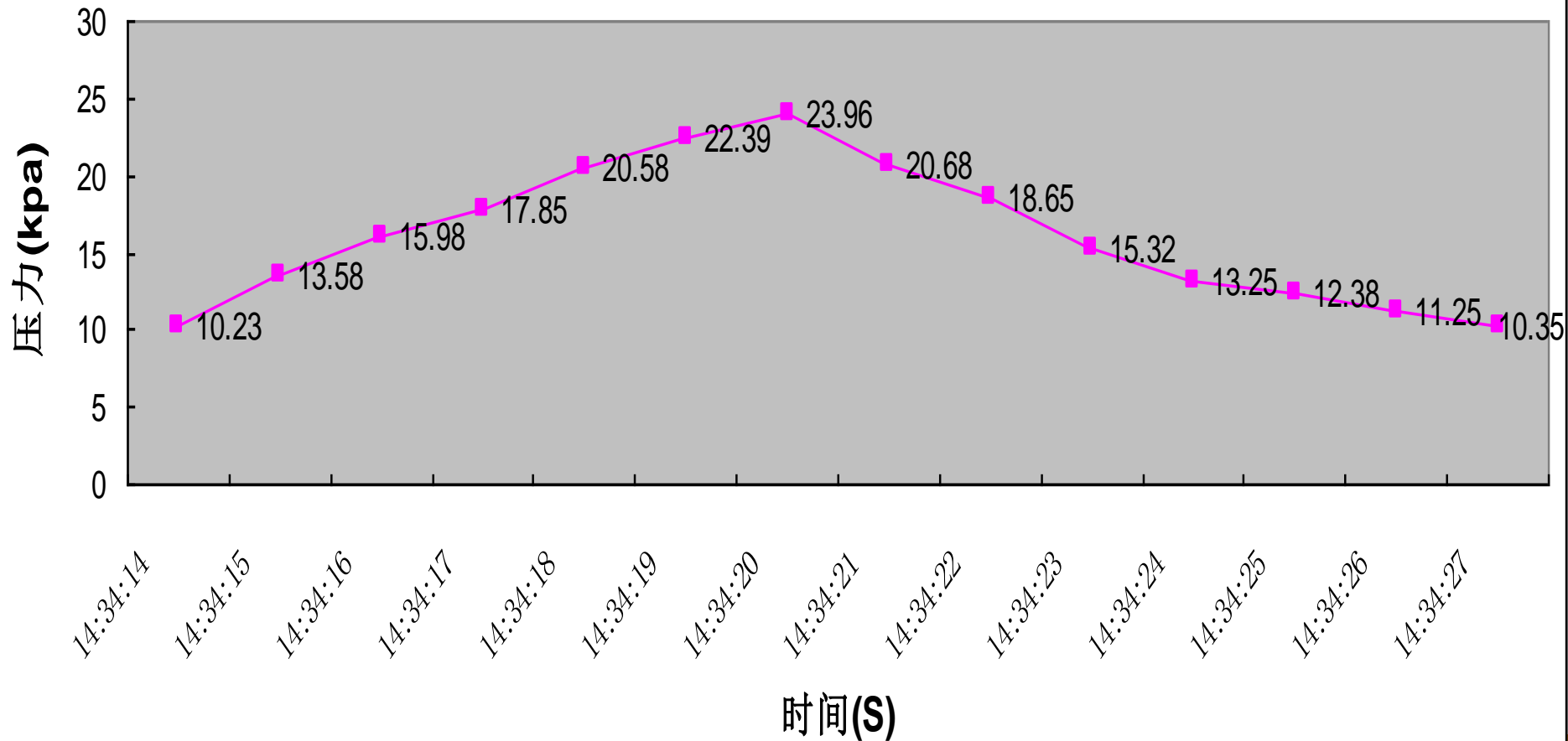
10天煤气回收量统计：

均压煤气回收量

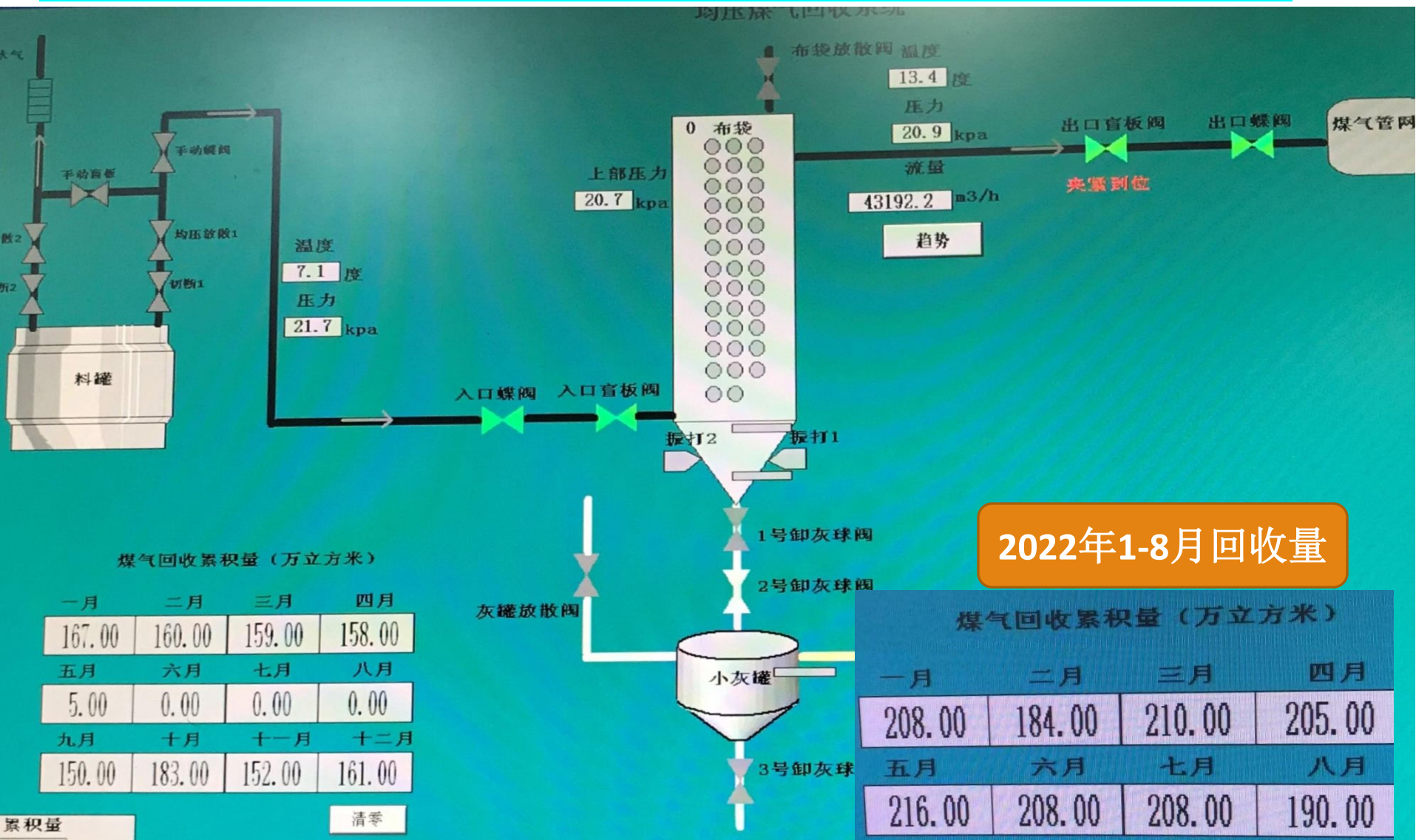


管网处一次煤气回收时间及压力变化实测值

均压煤气压力波动



某3200高炉自2018年增设的均压煤气回收量



2022年1-8月回收量

煤气回收累积量 (万立方米)

一月	二月	三月	四月
167.00	160.00	159.00	158.00
五月	六月	七月	八月
5.00	0.00	0.00	0.00
九月	十月	十一月	十二月
150.00	183.00	152.00	161.00

累积量 清零

煤气回收累积量 (万立方米)

一月	二月	三月	四月
208.00	184.00	210.00	205.00
五月	六月	七月	八月
216.00	208.00	208.00	190.00

2. 热风炉烟道废气作为高炉煤粉吹用惰性气体

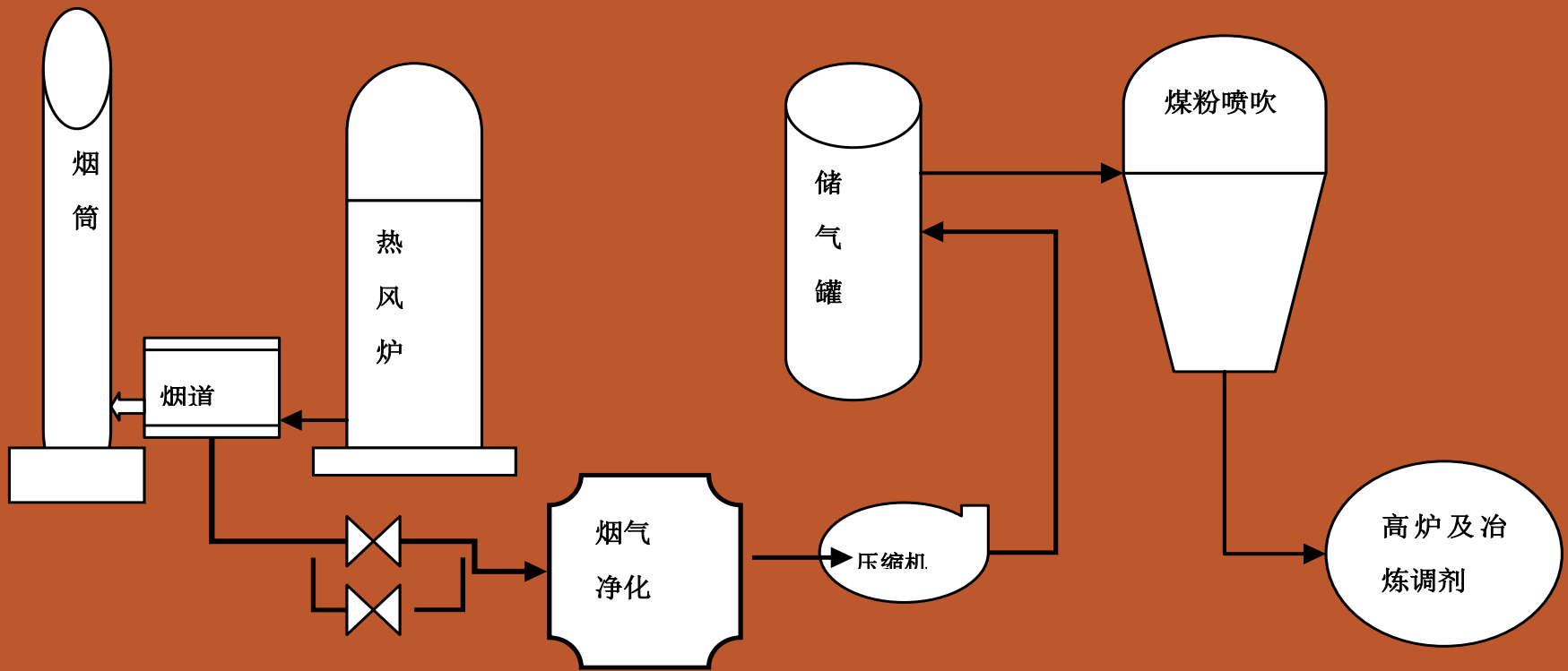
- 高炉用 N_2 不断增加,有十几处需用 N_2 ,仅炉顶无料钟用 N_2 原设计 $500-800m^3/h$,而现实是 $2500m^3$ 以上高炉实际用 N_2 都大于 $2000m^3/h$ 。一座高炉装料中即使一均采用半净煤气的条件下,其的耗 N_2 量大至在 $5000m^3/h$ 以上。

高炉喷煤的制粉系统用热风炉烟道废气做惰化已近50年,为保证安全,喷吹罐组的加压、倒罐、喷吹、二次补气等多处用 N_2 ,加之又多属稀相喷吹,没能真正实现浓相喷吹,因此耗 N_2 量高。

- 介于这种争 N_2 的局面,鞍钢的同志们开发出利用热风炉烟道废气加压后代替现有的 N_2 和压缩空气用于喷煤系统,其专利如简图。

热风炉烟道废气作为高炉煤粉喷吹用惰性气体工艺简图

发明专利号：ZL200610135140.5



热风炉烟道废气作为高炉煤粉吹用惰性气体

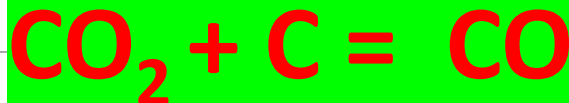
热风炉烟道废气成份见下表，完全可做为喷吹煤粉的惰性气体和载气，它是两种惰性气体的混合气体。当前加压空气或 N_2 作为喷煤载气，改为加压烟道废气作为喷煤载气，（吸入口稍增加简单除尘和脱水设施即可应用），其惰化效果应比纯 N_2 要好。企业内部各工序不再争 N_2 了。

多年统计的热风炉烟气成分 (%)

O_2	CO	H_2	CO_2	N_2	H_2O
0.10 ~ 0.30	0 ~ 0.10	0.01 ~ 0.15	23 ~ 30	60 ~ 66	6 ~ 8

热风炉烟道废气作为高炉煤粉吹用惰性气体

- 由表中可看出烟气中含CO₂近30%，比用压缩的N₂多了30%CO₂，进入高炉后与炉内C发生反应：



CO很好的还原剂，富化了还原剂成分，带入的C原子还节约了能源，某种程度上减少了CO₂的排放量。

- 另外由于从风口吹入，它优先与煤粉中的C发生气化，某种程度减少焦炭的气化反应，进而保护了焦炭的强度。



- 为减排做贡献，**一举三得**。

- 高炉冶炼行程也会发生了一定的变化，CO₂在风口前发生气化反应是吸热的，而在高炉中上部参加间接还原又放出热量，有利间接还原的发展。对进一步使用高风温和发展间接还原都有利，因喷煤带入这种气体量非常很有限，不会给高炉冶炼行程带来大的影响。

3 高炉煤气干法除尘系统煤气回收引气时的温度掌控

高炉煤气净化由传统水洗(塔文结构工艺、环缝清洗、

戴维钟式等)净化方式转为干式净化后, 出现了一个误区: 顶温 100°C 以上才允许回收煤气

认识与实例:

- 高炉煤气湿法除尘方式的煤气回收(或引用煤气)条件: 是所送风风口全部点着火, 无游离 O_2 , 顶压达 3kpa 以上, 无温度要求。
- 而高炉煤气干式回收条件之一: 所有高炉操作规程上都增加了顶温达 $100-250^{\circ}\text{C}$ 后, 才允许引煤气进管网。 因此要挑战“规程”

认识与实例

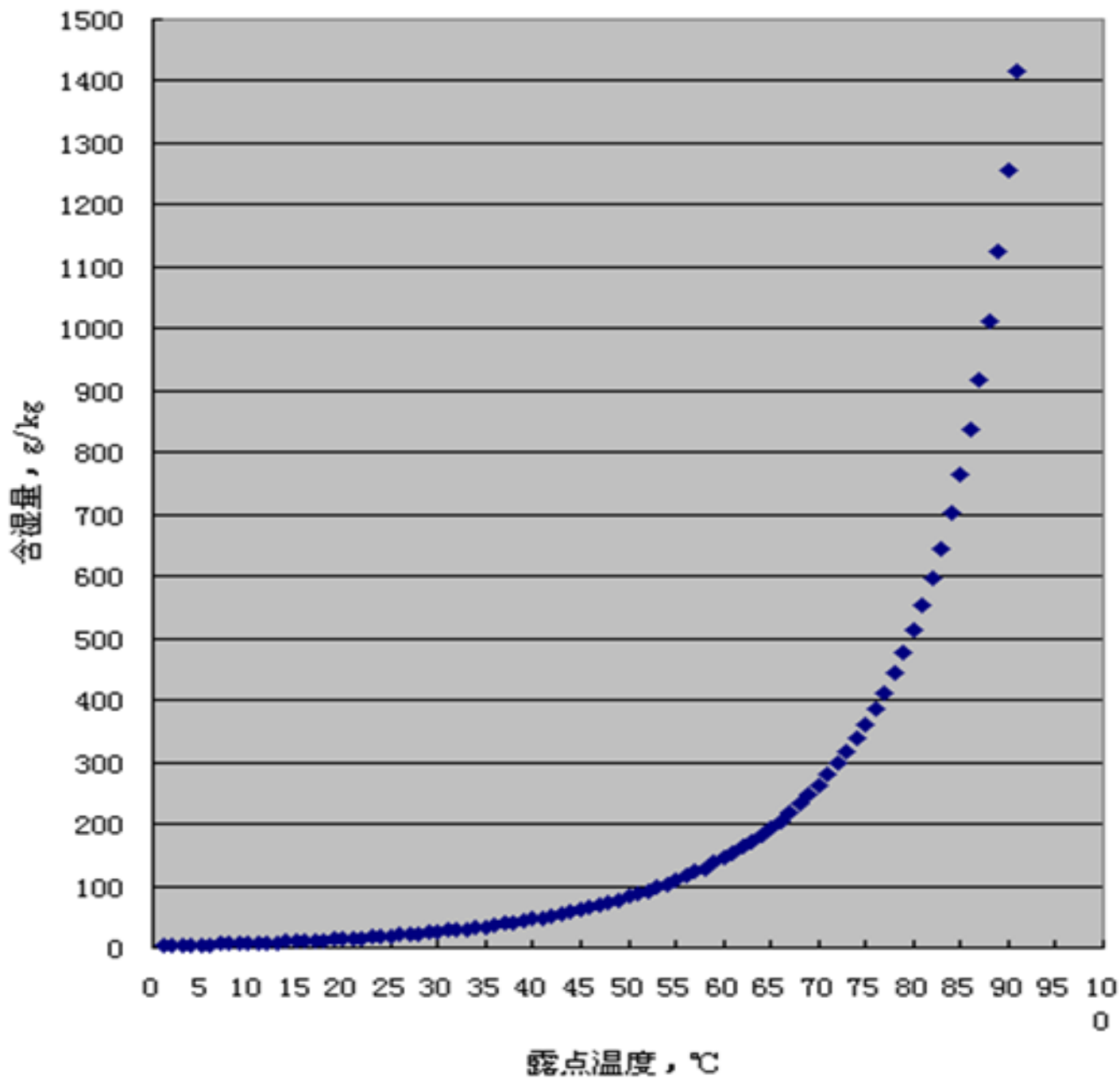
- 大修或新建高炉开炉点火送风,要达到顶温 100°C 以上,得大于15小时的送风,顶温才能上得来,此阶段高炉煤气热值最高,几乎都是 CO 和 N_2 ,成百数千万立方米地排放至空中,是浪费与犯罪。

- 布袋结露充分必要条件:

- 气体中含湿量与温度同时具备才能结露,(可计算和查表求得),这是个认识问题

高炉煤气中含湿实际很低,鞍钢高炉湿焦和全人造富矿开炉,其煤气中含湿 $16\text{g}/\text{m}^3$,对应结露温度 19°C 。湿度大的南方高炉使用15%天然矿与干熄焦入炉,其煤气含湿也在 $30\text{g}/\text{m}^3$ 左右,结露温度也在 40°C 以下,因此完全没有必要这么高的顶温才回收。

露点温度与含湿量对照图



气体含湿量与结露温度的关系

实例：

所有煤粉制粉系统的布袋温度都控制在70度以下,高了易引起煤粉着火,而载气含湿远高于高炉煤气,并不结露。

烧结工序电除尘应向布袋除尘发展,烧结主抽风机的除尘多采用电除尘,也是担心湿度高、温度低粉尘结露板结,问题得到认识后,近年来采用布袋除尘的越来越多。

2006.12.2.鞍钢4高炉(2580m³)开炉,鞍钢第一次采用干法除尘,因点着火前送了几个小时冷风,着火后顶温60⁰C左右收引的煤气,非常成功,(过去的规定,不收引煤气则炉顶不允许装料)

2011.8.16.长江南岸的某1780高开炉,(离居民区极近)送风的16个风口全着火到煤气回收完,只用了30min,顶温仅37-38⁰C,即当时的大气温度。计划要损坏几个布袋箱体,结果没有一条布袋被粘住。

这几年进步更大了,开炉引煤气在风口着火后30min左右

4. 高炉干法除尘的防腐技术

- 高炉煤气采用干法除尘净化后，给企业带来节水、TRT多发电、提高风温、减少污染等诸多好处。笔者曾根据实际核算这项技术可降低吨铁成本**12-15元**

但同时出现管道被腐蚀的现象,某企2002年才有高炉炼铁的钢铁企业,至2013年因煤气管网腐蚀严重被迫在管道外部采用全线包裹防腐防漏措施

1) 有的企业采用煤气布袋除尘出口处雾化喷洒石灰水使其生成 CaCl 和 CaSO_4 , (在水中沉淀), 其后端增设旋流脱水装置, 水循环使用, 建个小型沉淀池, 固体物沉淀回收。以解决后部高炉煤气管网腐蚀问题。

2) 重力除尘器或旋风除尘器出口至布袋除尘器入口的半净煤气管道上采用喷涂50mm的耐材, 防止点蚀。

5 鞍山新型旋风除尘器优于进口设备

专利号：ZL200510073304.1)

➤ 自主开发**优于进口**的旋风除尘器,2006年第一台旋流除尘器用在鞍钢4高炉(2580m^3)至今,国内已有几十台投用,炉容在 **$1000-5100\text{m}^3$** 不同级别的高炉上。

除尘效率提高到85%±。众知的重力除尘器最好的效率最好的是50%,提高35个百分点。

鞍钢4高炉运行16年实践表明,完全克服了引进的设备弊端,效率提高后带来布袋寿命的延长,设计一年更换的布袋已延至4年以上。16年来也不需维修。

6 炉低噪音煤气压力调节阀

专利号ZL200820011354.6)

2009年鞍钢新5高炉(2580m³)改造中新开发了一种由一个钟型阀组成, 液压驱动无级可调的调压阀, 替代传统的调压阀组, 有调节灵敏, 精度高, 炉顶压力波动在 $\pm 1\text{pa}$, 而传统3-4个蝶阀组成的调压阀组是 $\pm 3\text{pa}$ 。

7 高炉大修降料线停炉过程的煤气零排放

- 1】高炉大修要停炉降料面出残铁：怎么进行炉顶打水、回收煤气、降料面到风口水平面,其操作是同时进行的,安全难度大,怎么做到煤100%回收？
- 2】盖面焦应当适宜
- 3】滴落带以下焦炭中无渣铁，空烧是一种浪费
- 4】液面高度的控制和出最后一次铁的时间掌握
- 5】中修不出残铁怎么做到煤气零排放
- 6】炉顶煤气中**现**规定 H_2 小于**6%**,过去鞍钢规程中**12%**，需重新认识。

8 降低热风炉烟气中的SO₂、NO_x探讨

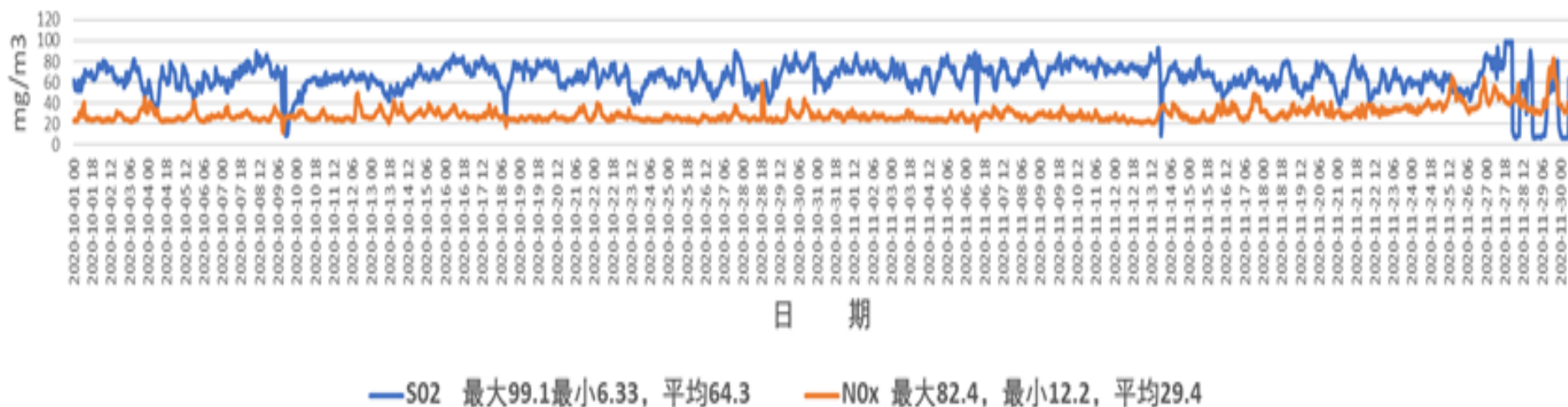
- 热风炉烟气中含：粉尘、SO₂、NO_x**现状**
- 国家标准(这三项目前：20、100、300，超低标准：10、50、200，mg/m³)当前都不超标！ 但应与时俱进

➤ **治理：**

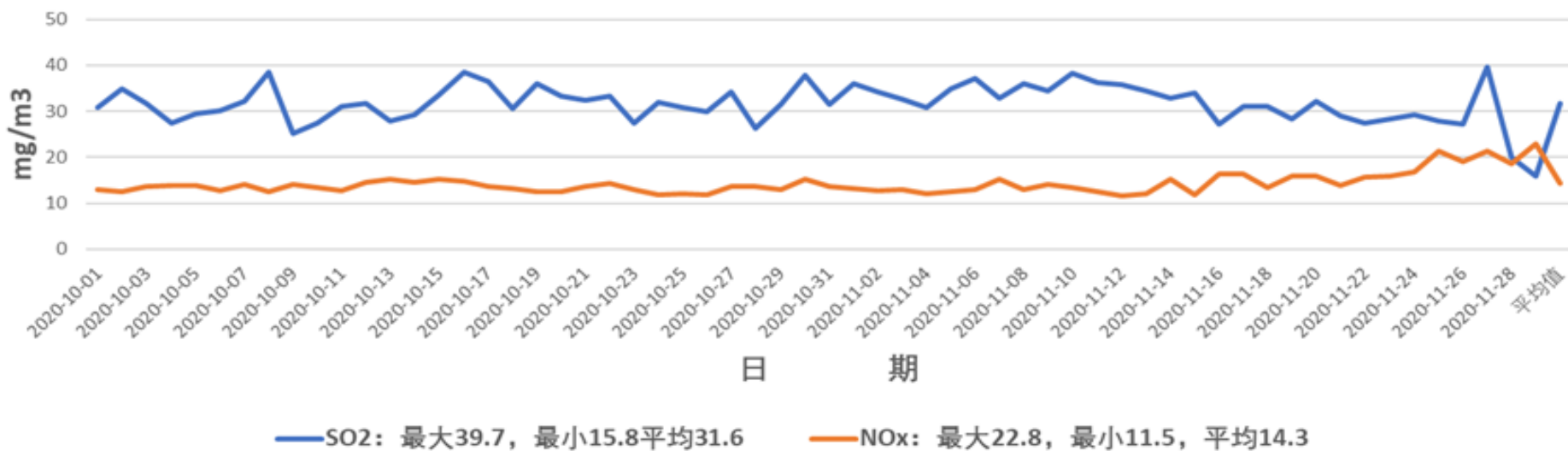
- 1) 源头治理最有效，受益面大，众多企业讨论高炉煤气先行脱硫，但NO_x怎么办？
- 2) 热风炉燃烧器的优化与研究
- 3) 最后才是末端治理

热风炉烟气含SO₂和NO_x监测（1800高炉）

1号高炉10-11月热风炉烟气含SO₂和NO_x小时实测值

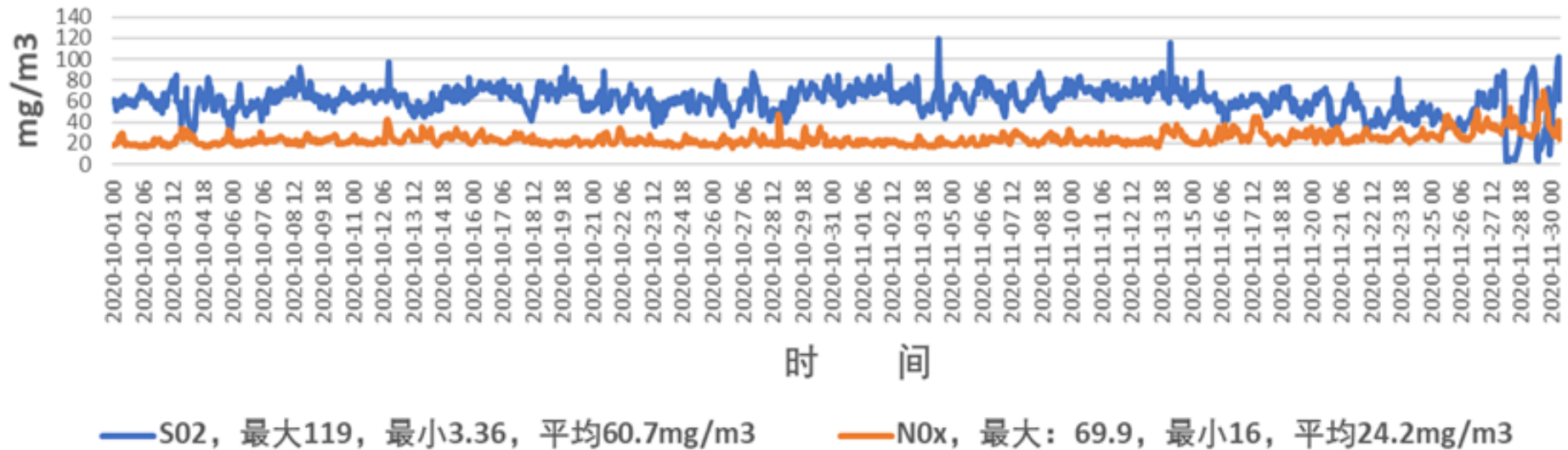


10-11月1号高炉热风炉烟气SO₂、NO_x监测日均值

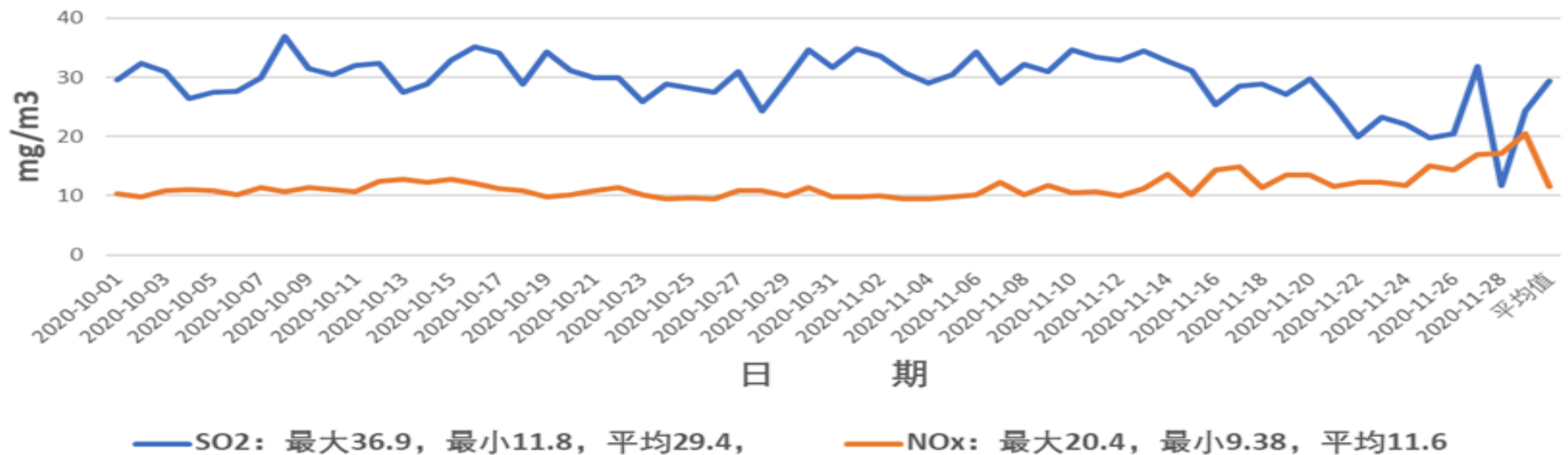


热风炉烟气含SO₂和NO_x监测

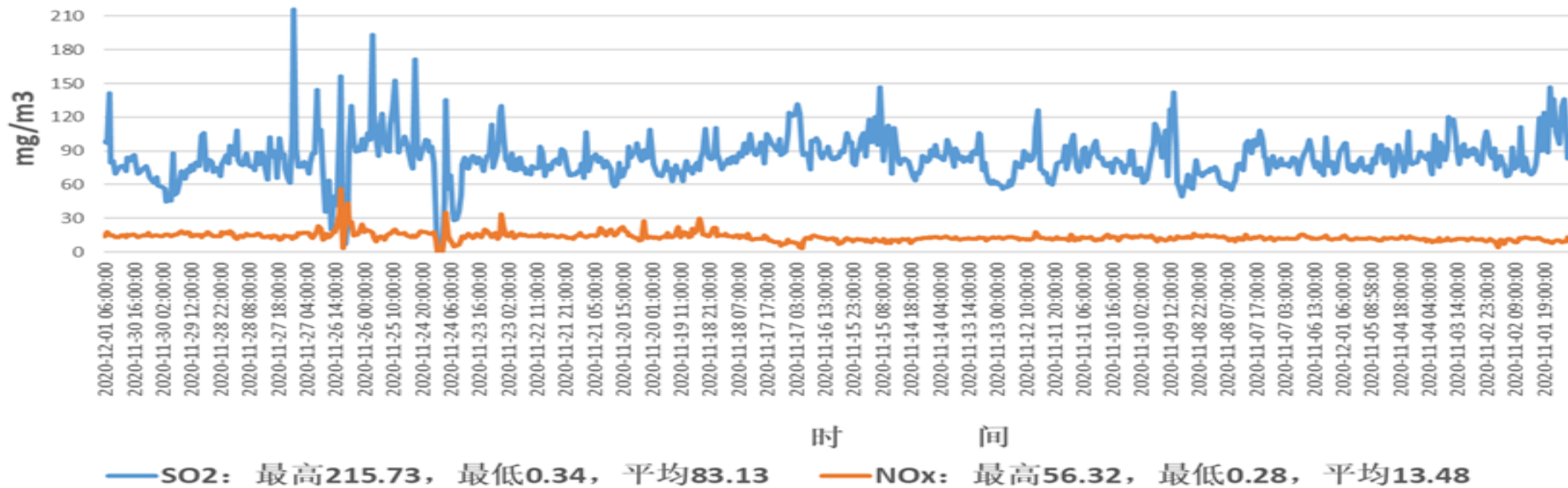
2高炉热风炉烟气中SO₂和NO_x小时监测值



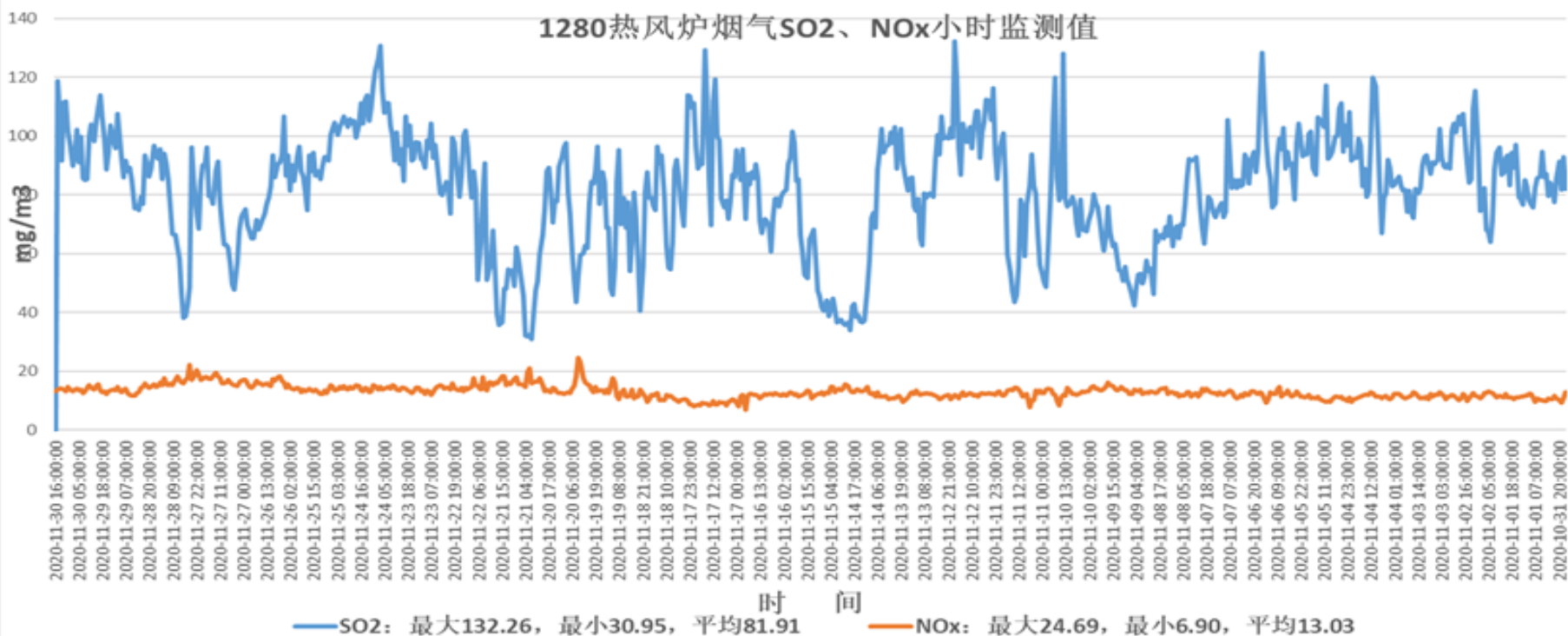
10-11月2高炉热风炉烟气含SO₂、NO_x监测日均值



1780热风炉烟气含SO₂、NO_x小时监测值

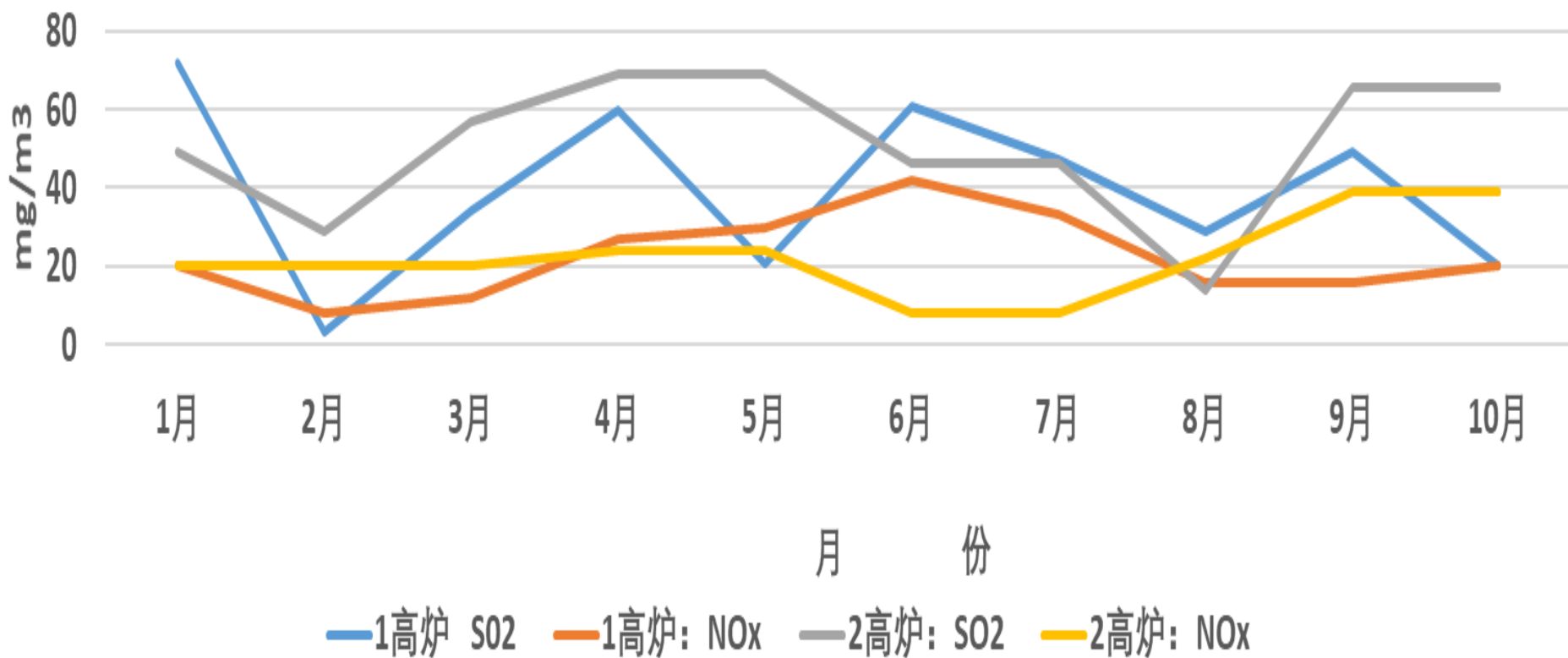


1280热风炉烟气SO₂、NO_x小时监测值



两座5000m³高炉的实测值

2020年风温在1250度条件下热风炉烟气含SO₂、NO_x月均值



9.高炉休、复风炉顶放散的减排

- ◆ 话题并不轻松，但又必须面对
- ◆ 设备检修不应晚上休、复风，不能以罚代管或代改
- ◆ 有装料过程煤气回收工艺装置的借鉴，这件事应当易解决了，第一步可烧掉，只排CO₂
- ◆ 没上措施前的休、复风时鼓风量的掌控问题

10 含碳铁和有害杂质尘泥的处理技术

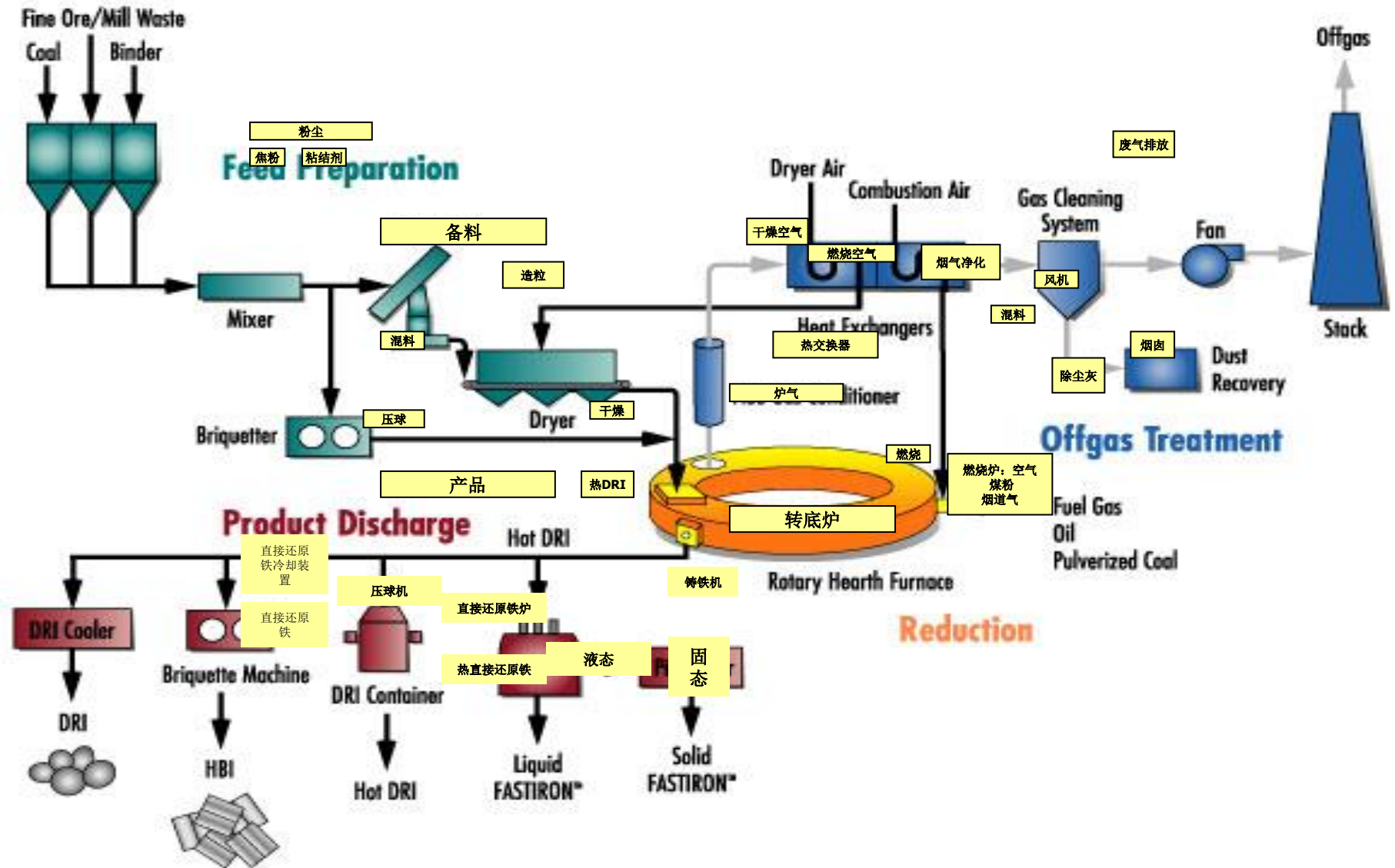
- 钢铁企业含有害杂质粉尘量在增加（吨钢2%）
- 钢材积累量增加废钢使用量提升，含锌粉尘增加，高炉、钢企业和社会的循环富集
- 固废不许外出政策，必须本地消化
- 循环入炉相当慢性自杀
- 目前处理工艺与方法：
 - 1 转底炉工艺
 - 2 竖炉工艺
 - 3 其它火法工艺和选矿工艺
- 应积极探索

转底炉还原金属化球工艺

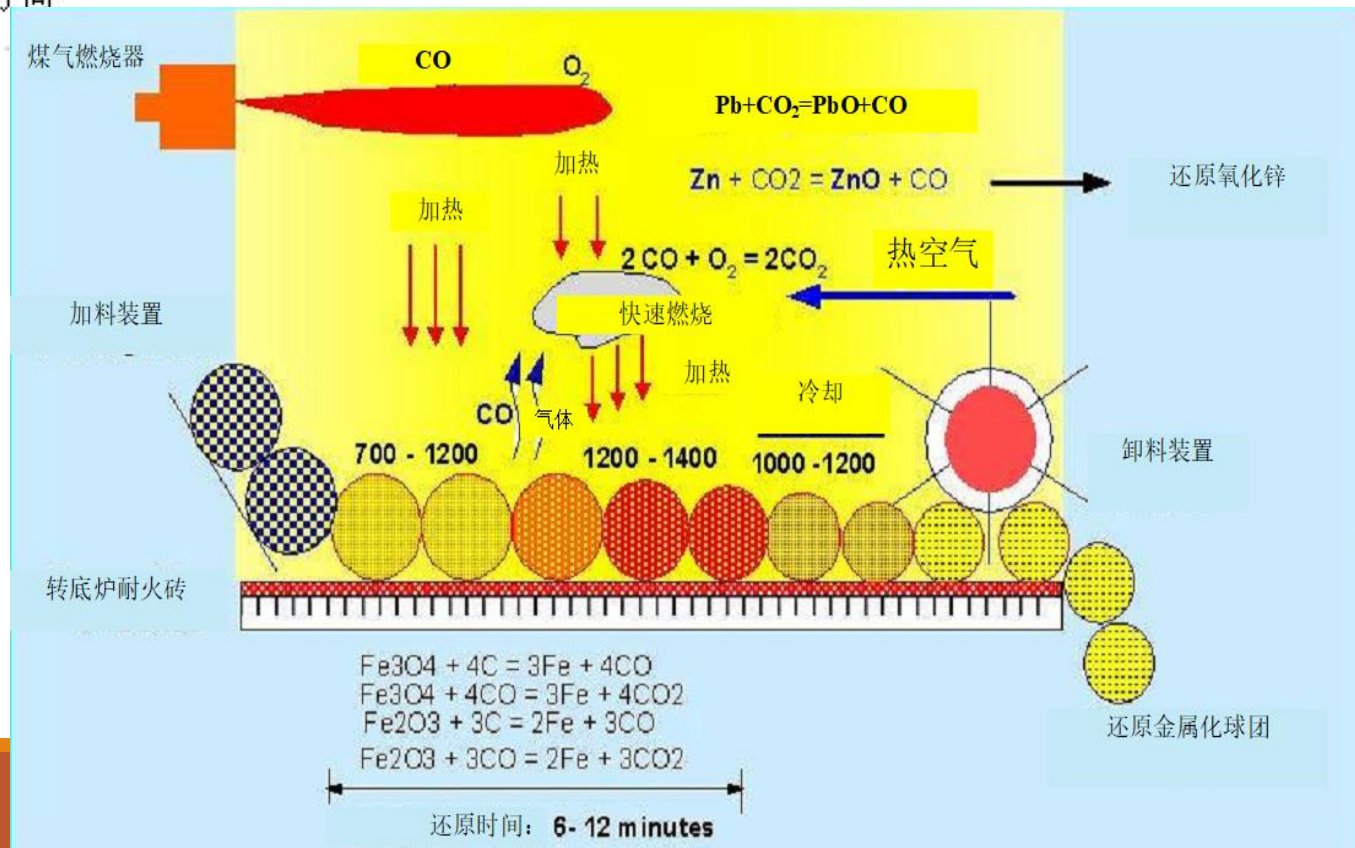
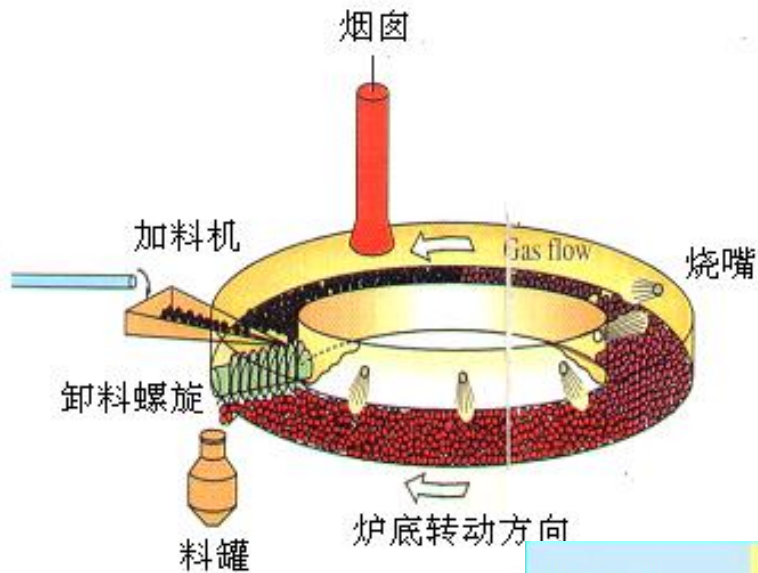
- 国外目前最大50万吨/年生产线
- 我国大多为处理20万吨粉尘/年，已数十座，只有马钢是引进的，余全部国产化
- 金属化率65%左右球团矿，加入高炉较好
- $T_{Fe}=69\% \pm$
- 回收粉尘Zn含量30%以上，可供锌冶炼厂
- 转底热效率低，但回收蒸气量可观，进一步优化

转底炉工艺

(日本, 美国、马钢、沙钢、宝武等)



基本原理



竖炉处理含锌，镍等有害杂志及碳、铁粉尘工艺

- ◆ 蒂森竖炉75m³左右，太钢引进建设的A.B.C三座炉子类似
- ◆ 炉缸没有死铁层，铁口与憋渣器连通
- ◆ 含碳(15%) 粉尘用低水泥压块养生固化后装入
- ◆ 产品为铁水直接进高炉，炉渣冲水渣，煤气净化后进企业管网，炉顶粉尘含Zn有时高达50%，宜用湿法除尘
- ◆ 炉缸寿命较短，最早的只有不足100天，炉小易修，现在已大幅提升
- ◆ 可利用淘汰小高炉改造，焕发新春。

竖炉处理含锌尘泥工艺(德国蒂森、中国太钢)

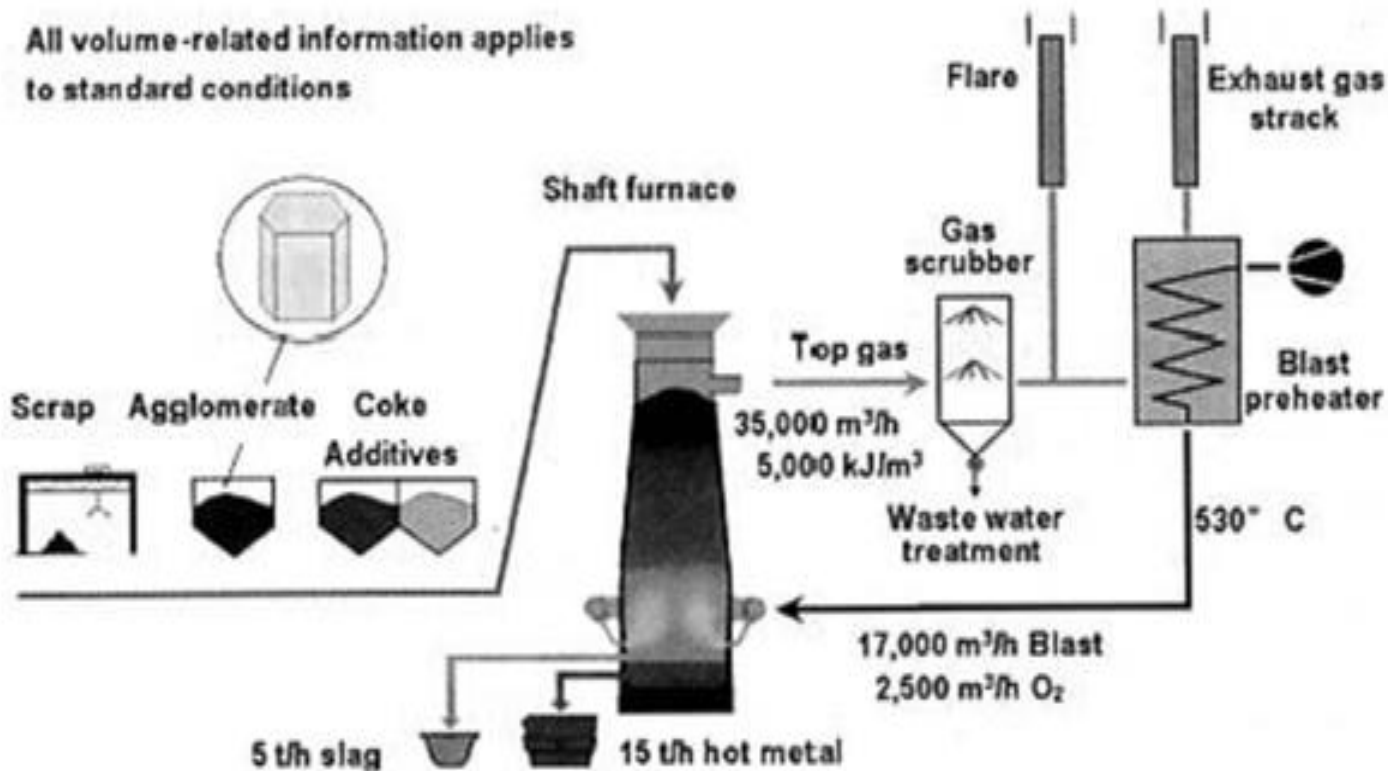


图 16 Hamborn OciCup 竖炉

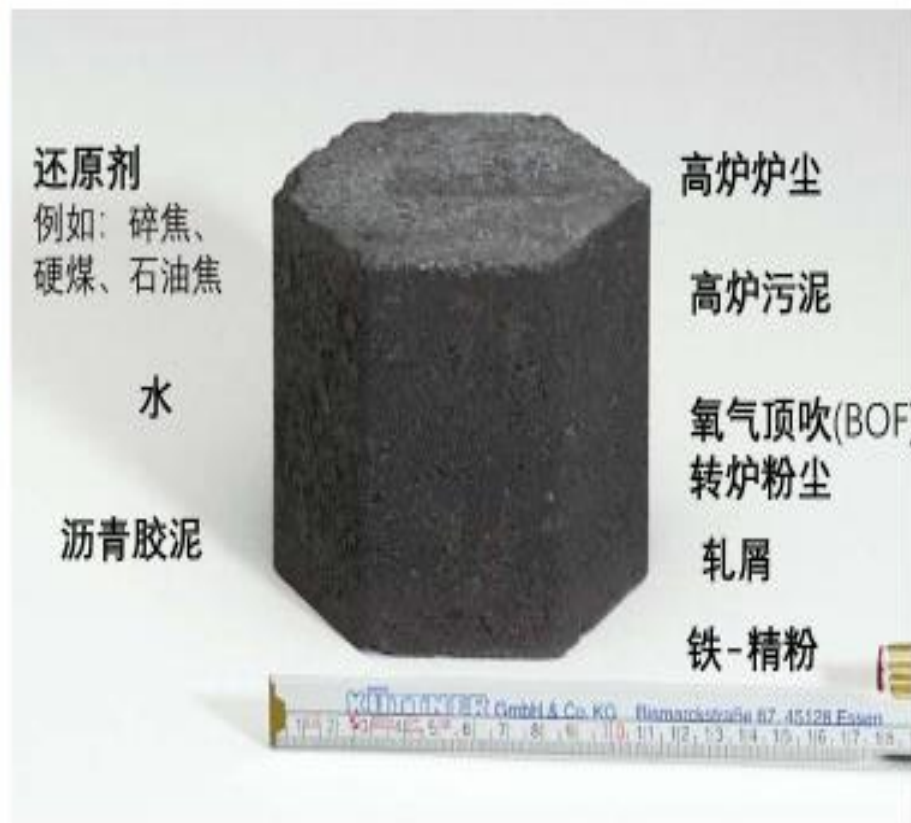
德国蒂森竖炉处理含锌尘泥工艺流程



- 不同废渣与焦炭及水泥的混合与压制

- 压块由模具中取出置于木制托盘上。每个托盘上放置约200公斤压块
- 制作时间约为20-30秒

制块



还原剂
例如：碎焦、硬煤、石油焦

水

沥青胶泥

高炉炉尘

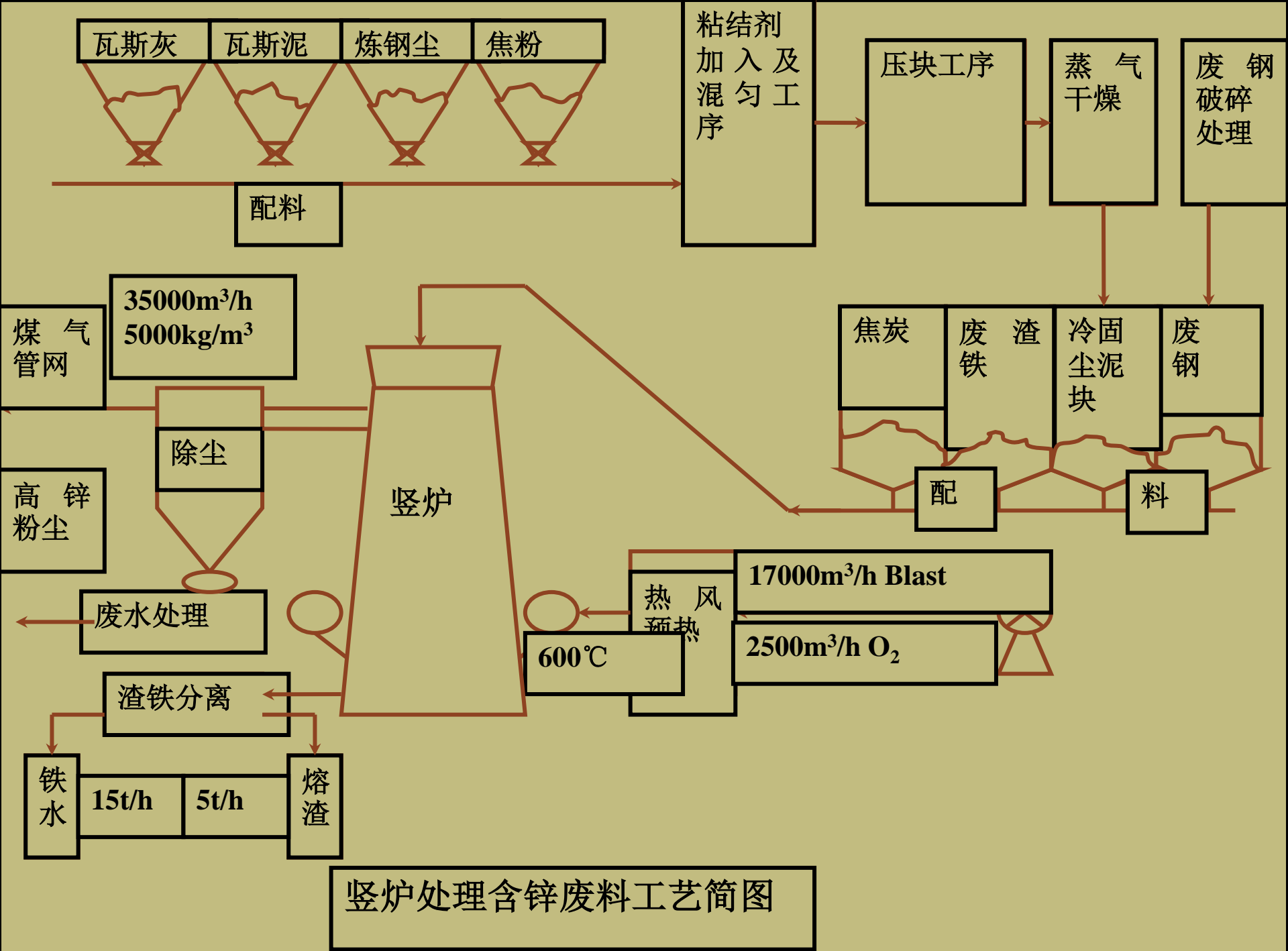
高炉污泥

氧气顶吹(BOP)
转炉粉尘

轧屑

铁-精粉

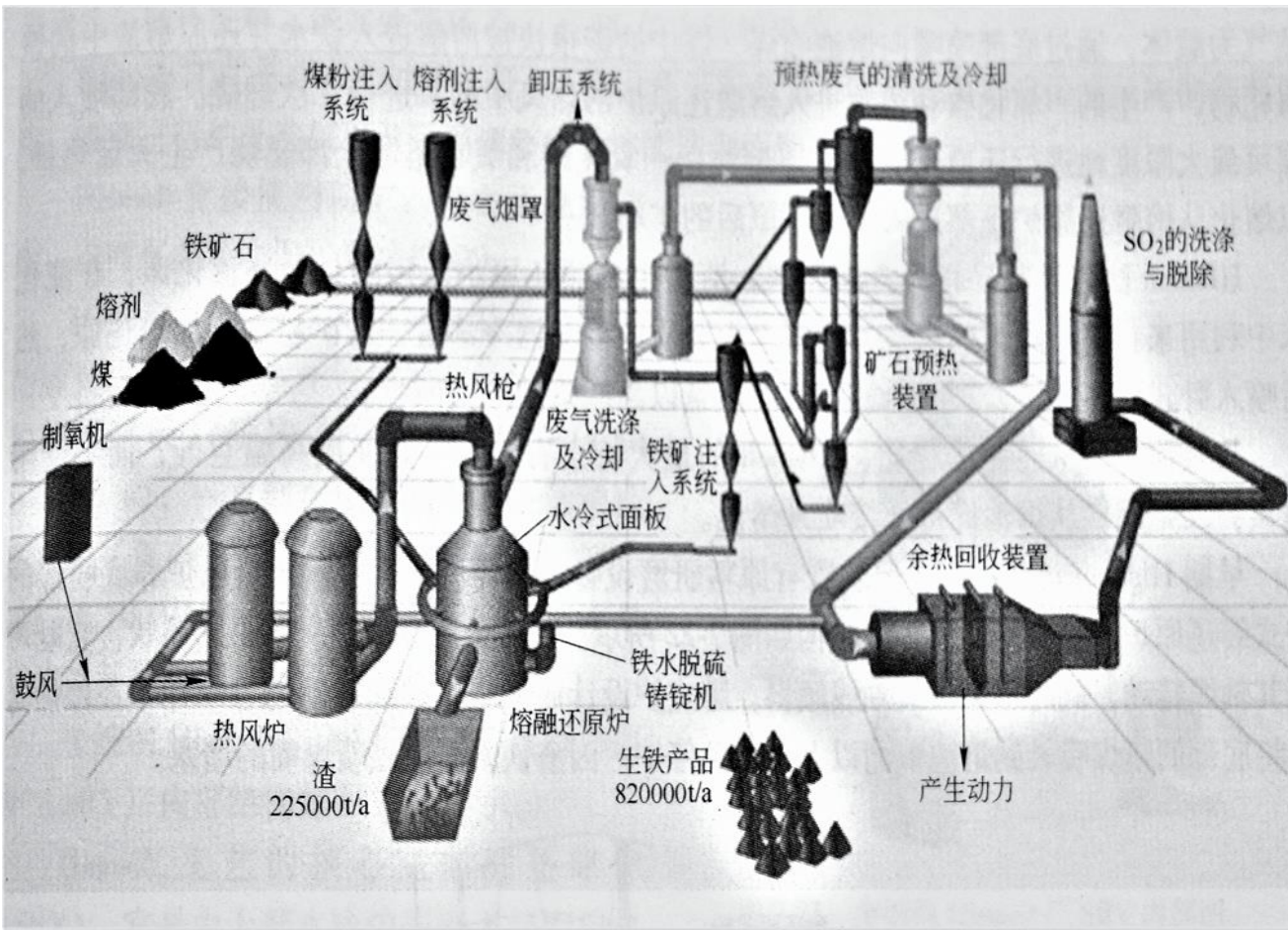
含炭还原块







熔融还原炼铁工艺---Hismelt消耗固废法



Hismet熔融还原法是由澳大利亚CRA公司与美国Midrex公司共同组建公司(1981-1989)，1993年第一炉铁水(年10万吨)。山东墨龙公司引进一套，(50000t/月)可连续生产，可用低品位矿粉不用焦炭和人造铁矿块。用粉矿粉煤喷吹燃烧还原

结语

这几项工艺上的节排减排的新技术在鞍钢和一些企业已有应用,且取得好效果,也不太难.提出来想抛砖引玉,把高炉炼铁这一古老工艺做得更精细

在产能严重过剩和环保压力越来越大的条件下,不创新就只有被淘汰

谢谢聆听！
请批评指正！

