

高炉开炉与停炉操作 优化



汤清华

2020.8



1. 新建和大修高炉开炉操作中的几个问题

- 1) 试车、烘炉、试漏与试压
- 2) 开炉重点参数选择
- 3) 全焦炭开炉与木材开炉
- 4) 点火操作
- 5) 开炉煤气回收温度的掌控
- 6) 第一次出铁时间的掌握
- 7) 达产速度

2. 长期休风或闷炉后的复风开炉操作注意事项

3. 停炉操作

- a) .高炉停炉的几种型式
- b) .降料面并回收煤气但不出残铁的停炉操作
- c) .降料面并回收煤气且出残铁的停炉操作
- d) .停炉如何做到煤气零排放
- e) .出残铁操作

大修和新建高炉开炉 操作中 的几个问题

特点:

炉缸是干净的无残存渣铁

所有设备都是新投用,相当于带负荷热试车

试车：

- ▶ 高炉开炉是：开弓没有回头箭，试车是磨刀不误砍柴功。
- ▶ 试车是：使整个工程不能留丝毫缺陷，否则会带来开炉和生产的不顺利！
- ▶ 单体设备的试车、连续运转的跑合，如各风机、水泵、皮带等的无故降空负荷的跑合
- ▶ 分各子系统的联合试车（一座高炉要分数十或数百个子系统）
- ▶ 系统内，承压系统内的试漏、试压及强度达标与否
- ▶ 配套能源、动力供应的投入与达标

试车:

- ▶ 系统不带负荷的联调联试，达标与否
- ▶ 岗位员工上岗并培训合格
- ▶ 建设队伍与生产队伍的联合试车与合格及保产
- ▶ 多项规程法令制定、颁发，参与人员塾练掌握运用。
- ▶ 基本规程有：
 - 1.各系统安全操作规程，
 - 2.试车与验收规程，
 - 3.工艺技术操作规程，
 - 4.烘、开炉规程，
 - 5.设备维护与检修规程等，
 - 6.试漏试压规程等。

热风炉烘炉与试车

► 热风炉烘炉前的冷试车

程序未调完,不能自动运行前不宜送煤气,易诱发安全事故

► 烘炉时间的确定

硅砖两个晶格转换区间,欧洲14天多,我国因不同结晶硅石原料的产品和产生的晶格转换率和残余石英不同,建议烘炉20--25天。

北方冬天不烘炉要保温,注意两点,泥浆不能冻,一冻无粘结强度,在炉内也不能烧结成一体,硅砖在100℃左右有第一次晶格转换,650-730度的第二次晶格转换

• 顶燃热风炉烘炉不均匀现象

• 没有气体燃料的烘炉方法

• 烘炉用烘烤器

• 高炉煤气烘炉

高炉试车与烘炉

高炉烘炉目的与时间：

耐材去水份、消除应力

- a、至少7天,重点在炉缸,碳砖内温度达多少,
- ▶ b、炉顶温度不能连续超过300度;
- ▶ c、测量和监控炉顶放散气体含水量
- ▶ d、冷却水通多少? 不启循环泵,通蒸气提水温
- ▶ e、准确测量和监控炉体受热膨胀情况

▶ 高炉系统气密性检漏和强度试验

▶ 低压系统的气密试验

▶ 高压系统强度试验

▶ 冷风管道的强度检验：保护风机和建筑物问题

▶ 为什么高炉与热风炉系统按压力容器设计、施工、验收，但不按压力容器管理？

开炉重点参数选择

► 开炉总焦比：

开炉配料焦比一般根据**炉容大小、原燃条件、风温高低、设备试车状况及技术水平等**因素确定,特别是试车状况。容积大的高炉开炉焦比较低,一般2000m³高炉可取2.5左右,随着炉容扩大总焦比可适当降低。

► 配料的渣碱度：

CaO/SiO₂降到0.9--0.95水平, 最好走下限

► 取消空焦段和鞍钢的平衡料段

普遍为平衡碱度净焦批中加入一定量的石灰石组成空料段或叫空料批。鞍钢近十余年有了高碱度烧结矿,就把这些石灰石的用量折算成高碱度烧结矿,不再加石灰石而加高碱度烧结矿,命名为平衡料段。

开炉料填充方式

表 1

开炉料填充方式

料段	部位	填充方式	料段	部位	填充方式
8	炉喉	正常料	4	炉腰	平衡料+净焦
7	炉身上部	正常料	3	炉腹	净焦
6	炉身中部	正常料	2	炉缸	净焦+（废旧木材）
5	炉身下部	正常料+平衡料	1	死铁层	垫底焦+（水渣）

▶ 开炉料总渣比:

▶ 上世纪50~80年代, 入炉铁矿石的综合品位低, 开炉配料计算中渣比较高。随着精料水平的提高, 综合入炉品位都在59%, 加之开炉取消空料段, 改为平衡料, 不再加石灰石, 开炉配料中总铁量增加, 相应渣比在降低。如鞍钢2003年到2009年6座3200m³~2580m³高炉, 开炉总渣比为570~650kg/t, 高炉开得很顺利。渣量降低而开炉仍然很顺, 总结一条就是开炉配料中总的液态产品并未减少。目前有的高炉开炉为提高渣比, 把渣比搞到1100~1200 kg/t, 加之平衡渣中Al₂O₃含量高, 又加入大量的石灰石、硅石、白云石, 有的甚至加了一定量的萤石来稀释, 应该说完全没有必要

▶ 鞍钢2003年新1高炉开炉渣比580 kg/t, 2009年新5号高炉开炉, 有意提高第一次铁的渣量。在高炉装料前, 装完垫底焦后加70t高炉水渣后再装开炉料, 这种方式比调整渣成分时外加多种非铁矿石要合算, 因为水渣只需要熔化热而不需要分解热, 加水渣还易使炉缸炉底迅速形成渣铁保护层。

鞍钢几座高炉开炉实际渣比与成分

表 2

开炉渣比及成分

炉别	开炉渣比 t/t	实际成份 %						备注
		CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	S	R2	
1 高炉	0.580	32.37	35.99	7.6	11.13	1.9	0.90	2003.4.
5 高炉	加水渣成份	40.78	35.13	8.11	11.14	1.06	1.13	填充渣
5 高炉	1.043	39.05	41.46	6.91	12.00	2.2	0.94	2009.6.

全焦炭开炉与木材开炉

- ▶ 鞍钢9号高炉(980m³)1956年第一次大修时采用全焦炭开炉，此后数十年间鞍钢几乎全部高炉有数十炉次采用净焦开炉再不用枕木开炉，操作技术应当成熟。
- ▶ 但近10年鞍钢有几座大高炉开炉使用部分废弃的旧枕木，主要是鞍钢进行大规模技术改造，部分铁路运输改成皮带机运输，淘汰出大量已变朽的枕木。此外，拆扒日伪时期旧高炉时，发现其基础桩也是木料，数量多没处堆放且易引发火灾，所以开炉时将这些废旧木材装入炉缸烧掉
- ▶ 废弃浸了沥清枕木开炉也不会糊煤气系统的布袋，因沥清在炉缸高温缺氧条件下未燃烧产物是碳黑，碳黑即使吹到布袋上也是可反吹掉的，不糊布袋
- ▶ 但近几年很多新开高炉选用没浸过沥青油的新枕木开炉，有的对木材材质还提出更高的要求，这样做是一种浪费和倒退，是对生物资源的一种破坏。能做铁路枕木的木材是硬杂木，一般长成枕木大小的树，大约要生长50~80年，一座2000m³的高炉一次开炉要用掉2500~3000根枕木，等于耸立一座高炉，毁坏了一片森林。这不应是高炉工作者的作为，我们应当传承先辈们创立的全焦炭开炉技术。



鞍钢老一高炉本体桩基的松木，1916年

点火操作：

- ▶ 1.开风口数： 决定于试车、原燃料供应情况和设备状况
- ▶ 大修或新建高炉开炉炉缸无残存渣铁，送风风口可选择全部风口送风点火，也可均匀花开风口点火送风，花开风口比率应大于风口数的60%。但是，不应集中开风口送风开炉，这样易造成一开炉高炉就出现炉料偏行，送风风口部位炉内上部重负荷料在炉缸尚未完全加热的情况下就提前到达炉缸，造成炉凉出不来铁，2000年鞍钢4#高炉(1000m³)大修，采用铁口(只有一个铁口)上方6个风口送风开炉，炉缸未加热，铁口方向重料下来造成**风口与铁口之间凝结层**，风口前熔化后的渣铁下不来，43个小时才从铁口烧出来渣铁，且跑大流。集中开风口送风主要用在年修闷炉或炉缸未出残铁检修后的开炉。

点火操作

- ▶ 2. 软熔带形成时怎样做到不难行，不悬料
- ▶ 3. 铁口喷渣什么时候堵铁口合适，为什么
- ▶ 关键是煤气导出管发挥好的作用，充分加热炉缸下部

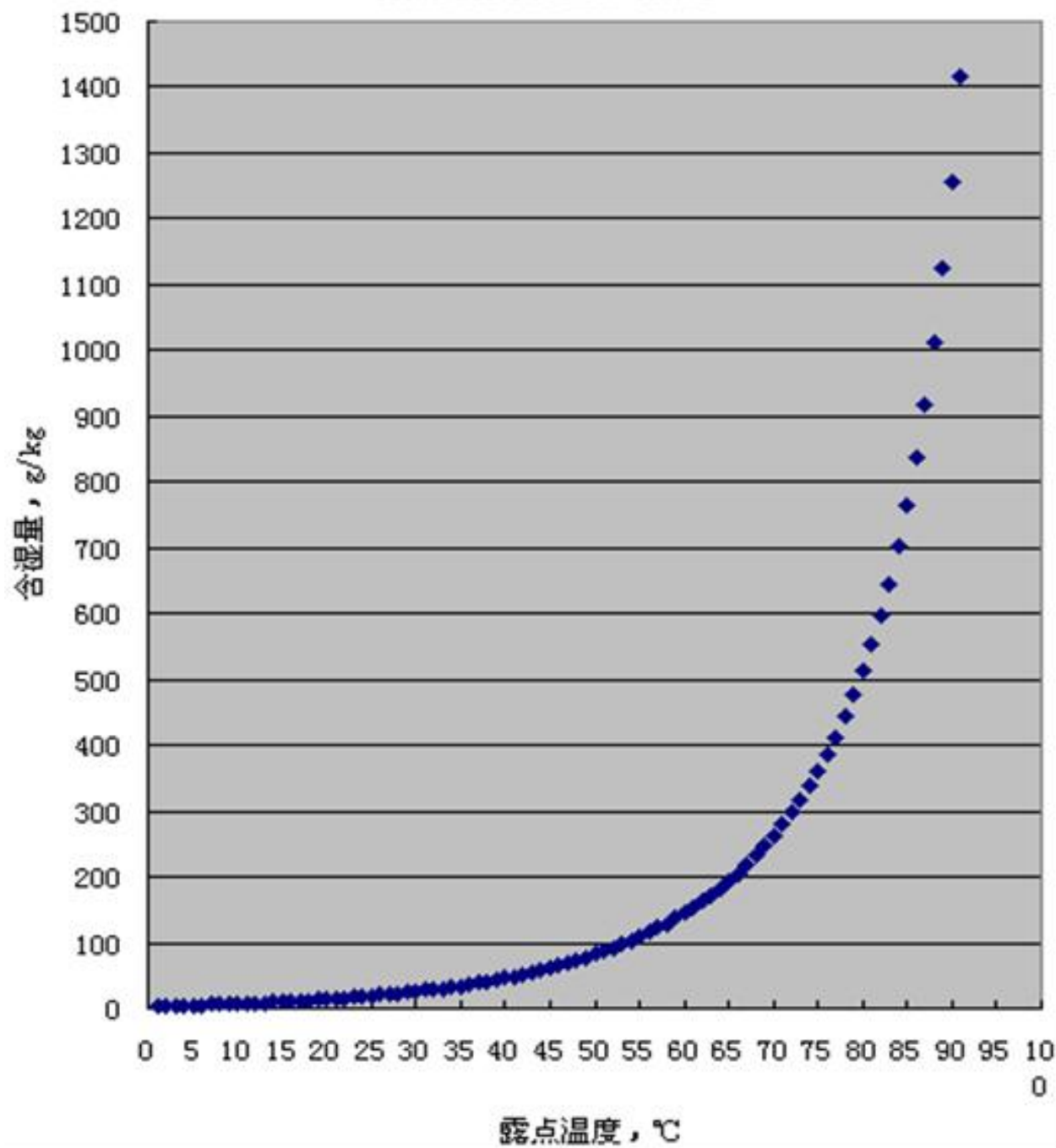
► 4.第一次出铁时间的掌握

- 最近几年的做法是，铁口喷渣铁堵口后4--6小时出第一次铁，如果开炉风量风压偏低或不足，再适当延长开铁口时间，更应根据死铁层深度来判断第一次渣铁能出来多少量。一般也可选取点火送风后高炉下料25--35批料，使得第一次铁出来渣铁较多。这样第一次铁就走撇渣器（砂口），渣铁分离良好，炉渣可走水冲渣。如鲅鱼圈2号高炉，出第一次铁时已下料近30批，第一次出铁290多吨，渣铁分离非常好，第一次铁就走撇渣器，铁水进鱼雷罐，红渣进行水冲渣，未损失任何渣铁。

开炉煤气回收温度的掌控：

- ▶ 对于湿法煤气回收系统，高炉开炉煤气回收条件是送风风口全部着火，炉顶压力7kPa左右，炉内**无游离氧**，煤气检验合格即可回收并网。
- ▶ 新的问题是，干法煤气回收系统要求炉顶煤气温度达到一定时才能回收，以防止结露粘布袋。新开高炉煤气温度提高较慢，尤其湿料开炉，造成煤气长时间不回收，有的长达20小时以上，产生浪费和污染。建议，点火前先送几个小时冷风（100-200℃），对料柱干燥和加热，这样点着火后顶温升得较快，可加速煤气回收。但对带风装料，炉顶粉尘排出量大不宜采用。其实用不着。
- ▶ **一个重要认识问题**：有些布袋煤气除尘系统规程中要求炉顶温度在100—250℃时才能回收煤气，有甚者把下限温度提到120℃，笔者认为这是几十年前布袋除尘技术开发时的做法，没有足够理论根据，现今值得商讨，不宜照搬。就是说**制定规程有误**
- ▶ **造成布袋结露挂腊的充分必要条件是**：煤气中水蒸汽浓度和温度同时具备结露条件，才能结露。缺一条件就不会结露

露点温度与含湿量对照图



气体含湿量与结露温度的关系

- ▶ 还有一个问题是过去湿法除尘,规程中都规定不引煤气不允许炉顶装料,怕引起煤气爆炸。
- ▶ 2006.12月鞍钢新4高炉(2580 m^3)开炉,采用湿熄焦和全人造富矿开炉,含大气湿度在内计算的的煤气含湿是在 16g/m^3 ,对应的结露温度是 $19\text{ }^{\circ}\text{C}$,此时炉顶温度达 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 即可回收煤气,实际当时 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 回收了煤气,结果很好。
- ▶ 2011年8月江南一座 1780m^3 高炉新建开炉,采用布袋除尘回收煤气系统,同样用废枕木填充炉缸,16个风口送风点火,最后一个风口着火到煤气回收完不到30分钟,当时炉顶温度 $37-38\text{ }^{\circ}\text{C}$,预计要堵塞2-3个布袋筒体,但结果一个布袋都没挂粉和堵塞,安全顺利开炉。(今年8.1.10:30全着火,10:50收完)
- ▶ 再举一个例子,各厂喷煤制粉车间的收粉布袋湿度比高炉煤气湿度大,但都控制温度小于 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ▶ 将来烧结电除尘,遂渐改成布带除尘,也不会结露的

达产速度

- ▶ 以往高炉开炉要控制达产速度不能太快，且要冶炼一段时间的铸造铁，炉温高一点，生成部分石墨碳沉积，堵塞部分砖缝，以保护炉缸。最好冶炼10-15天含Si：1.0—1.5%铸造铁。
- ▶ 1985年宝钢1#、2#高炉开炉是日本人指挥开炉，当时达产速度控制在半年左右，1号炉实际达产用了一年，大家记忆犹新，似乎有点太慢。但近些年开炉又搞快速达产，在对标或要产量的利益驱动下，开炉三天就达到 $2.0\text{t}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ 的利用系数，新闻上也在大肆报道，笔者认为传统做法过于四平八稳，现在做法又有点急功近利。
- ▶ 高炉炉体升温冶炼与冷却保护，达到热平衡是要一定时间的，新建高炉各种应力消除速度都应是缓慢一些为好，开炉速度过快不利于渣皮形成与稳定，对高炉炉衬寿命最终会带来影响的，建议还是缓慢一点好。

中修及长期封炉后的 复风开炉

- ▶ 分两种情况：
- ▶ 1. 降料线的中修或降料线后长期闷炉，重新装开炉料的复风开炉
- ▶ 2. 不降料线后的复风开炉

共同特点:

- ▶ 1. 炉缸有冷凝了的渣铁，炉缸部分焦炭缝隙中被钻粘住，渗透性很差
- ▶ 2. 开炉都应以炉缸冻结方式开炉
- ▶ 3. 只能用铁口上方极少量风口送风，即铁口上方集中开几个风口(3个月的应2-4个)，不能花开风口送风
- ▶ 4. 送风前要把铁口和其上方风口疏通，上下通气后才能复风
- ▶ 5. 热风炉：
 - 1). 保温
 - 2). 凉炉与烘炉

复风开炉关键点：

- ▶ 开炉前试好车为第一关键
- ▶ 只要能使风口前然烧熔化的渣铁能从铁口搞出来,不憋死牛就胜算了,其后只是时间长短
- ▶ 防止风口烧坏和发现烧坏能**及时**处理是极关键的,也是避勉事故的有效措施(举例: 某450高炉, 闷炉8个月、冬天漏水, 9号大套烧坏)
- ▶ R_2 不能高

复风开炉方法的优化：

- ▶ 不降料线闷炉其重点要把风口封堵严密，不得进空气。
- ▶ 绝对不允许有往炉内漏水现象
- ▶ 中修降料线休风开炉建议：清理铁口中心线以上的喷涂反弹料，铁口与其上方风口之间清尽并填上新焦炭
- ▶ 休风停炉前的出铁时提高开口机角度
- ▶ 复风前几次铁要尽量降低开口机角度，越水平越好。
- ▶ 复风时即钻开铁口，并密切注意铁口喷煤气火的大小，烧氧气尽量往上挑着烧

复风开炉方法的优化：

▶ 若采用氧枪烧铁口时要注意：（氧枪烧坏炉缸环炭现象很多）

▶ 1) 氧枪最好在风口复风前数小时插入并点着火，

▶ 2) 氧枪插入深度要过炉内泥包，并注意烧断枪管而烧坏碳砖，

▶ 3) 没送风时注意炉内抽力。

▶ 4) 用捣料或有水泡泥封住氧枪与泥套口处，不让跑煤气

▶ 5) 建议用电偶或内窥镜监视枪头燃烧情况

复风开炉方法的优化:

► 复风开炉焦比:

降料线至风口时复风开炉焦比与新高炉开炉焦比,差不多
不降料线闷炉的焦比是在休风前加入的

► 炉渣碱度: 应比新炉子开炉的碱度还应低(CaO/SiO_2)

► 出铁时间: 渣铁不分没关系, 只要能出来, 并及时排尽冷渣铁 (4.44m^3 空气/kg 碳素)

► 有渣口的高炉取下渣口二套用炭套用临时铁口

► 风口改铁口的办法

► 增开风口的时间掌握:

新产生的渣铁能分离并能及时从铁口排出,

送风的每个风口风量达到正常生产平均风量80-100%

炉温充足、渣铁分离及流动性好、料尺开始走动

捅开风口必须与已开风口相连, 不允许花开

停炉操作优化

► 停炉的几种形式：

不降料面的停炉，即填充法：

碎焦填充、石灰石填充、砾石填充，事故停炉

不回收煤气降料面停炉

炉顶打水并回收煤气降料面的停炉
(1952.5.27.鞍钢2高炉首次)

出残铁停炉

不出残铁的停炉

打水降料面并回收煤气的停炉操作要点

停炉前的准备工作:

► 制定一个好操作规程

► 检修损坏的设备:

不往炉内漏水

系统内不往外漏煤气

打水能力要足够,(2580m³约100t/h),

探尺探入最大深度(25m)

各仪表灵敏准确运转正常

► 上好煤气分析设备,最好在线连续分析,人工取样分析: 1.从顶压取出口引到炉台下,
2.30min/次

停炉前的准备工作:

- ▶ 调整炉顶压力控制的配重,降低炉顶最高开启压力 (60%),一旦炉内爆震压力超限,自动放散泄压,进而保护设备,如渣皮掉落时爆震
- ▶ 顶压泄压自动开启设备达不到要求
- ▶ 洗炉与否?
- ▶ 盖面焦用量
- ▶ 做好C曲线图

降料线中的操作要点

- ▶ 予休风
- ▶ 整体时间控制
- ▶ 最大风量一般不超正常风量的80%
- ▶ 顶温严控小于300 °C,开始降料面前炉顶眼镜阀关严并加水冷却
- ▶ 顶温控制与打水及风量三者有机结合
- ▶ 保证足够的炉温与用好风温
- ▶ R_2 控制

降料线中的操作要点

► 爆振予防与处理

► 按C曲线走向与 H_2 (过去国家安标12%)含量决定是否停止煤气回收,建议选取10%

► 国家应急管理部新规定是6%; ?

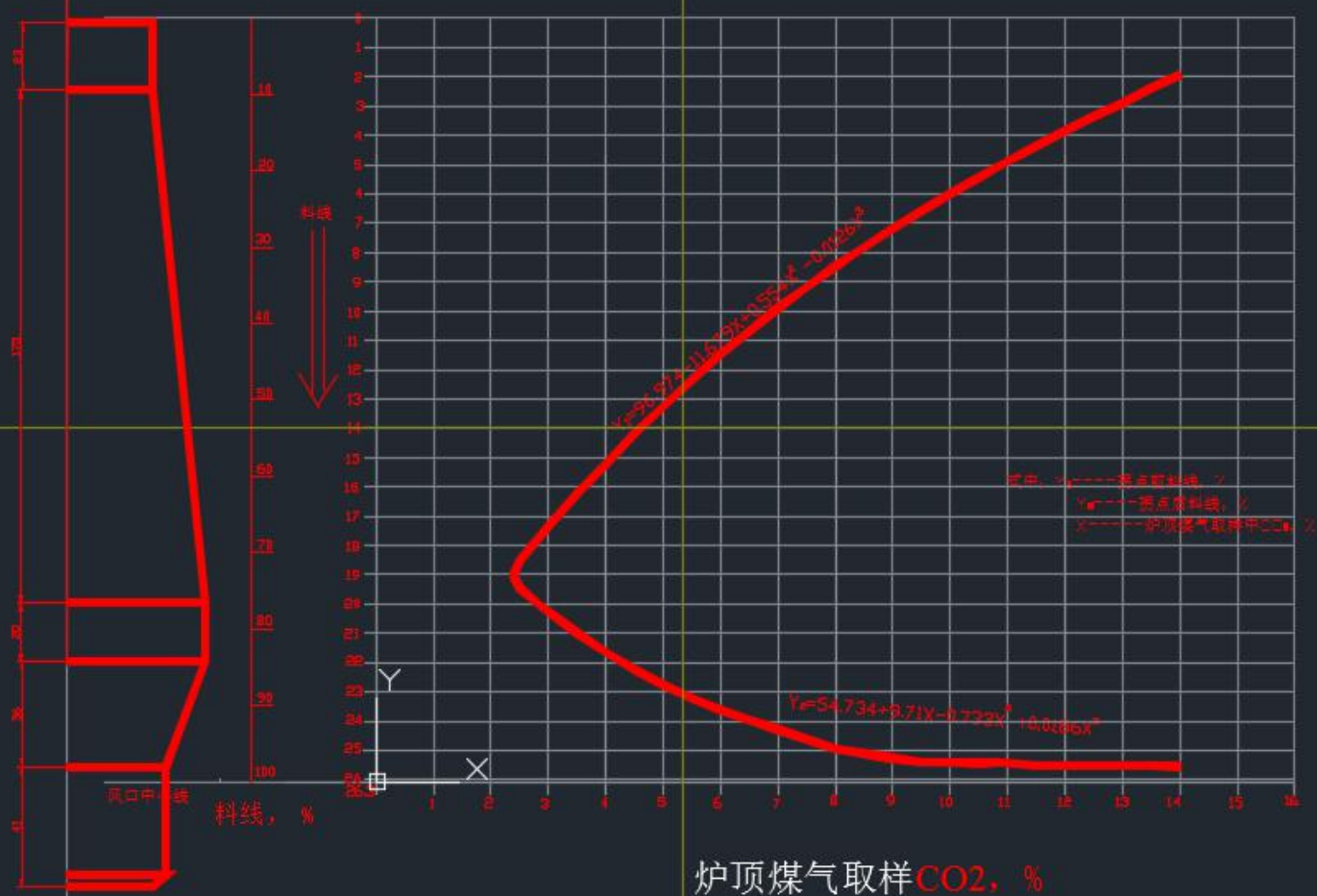
► 出铁时间的控制

► 不出残铁时怎样控制料面降到风口中心线以下,充分利用安全存铁量多的优势

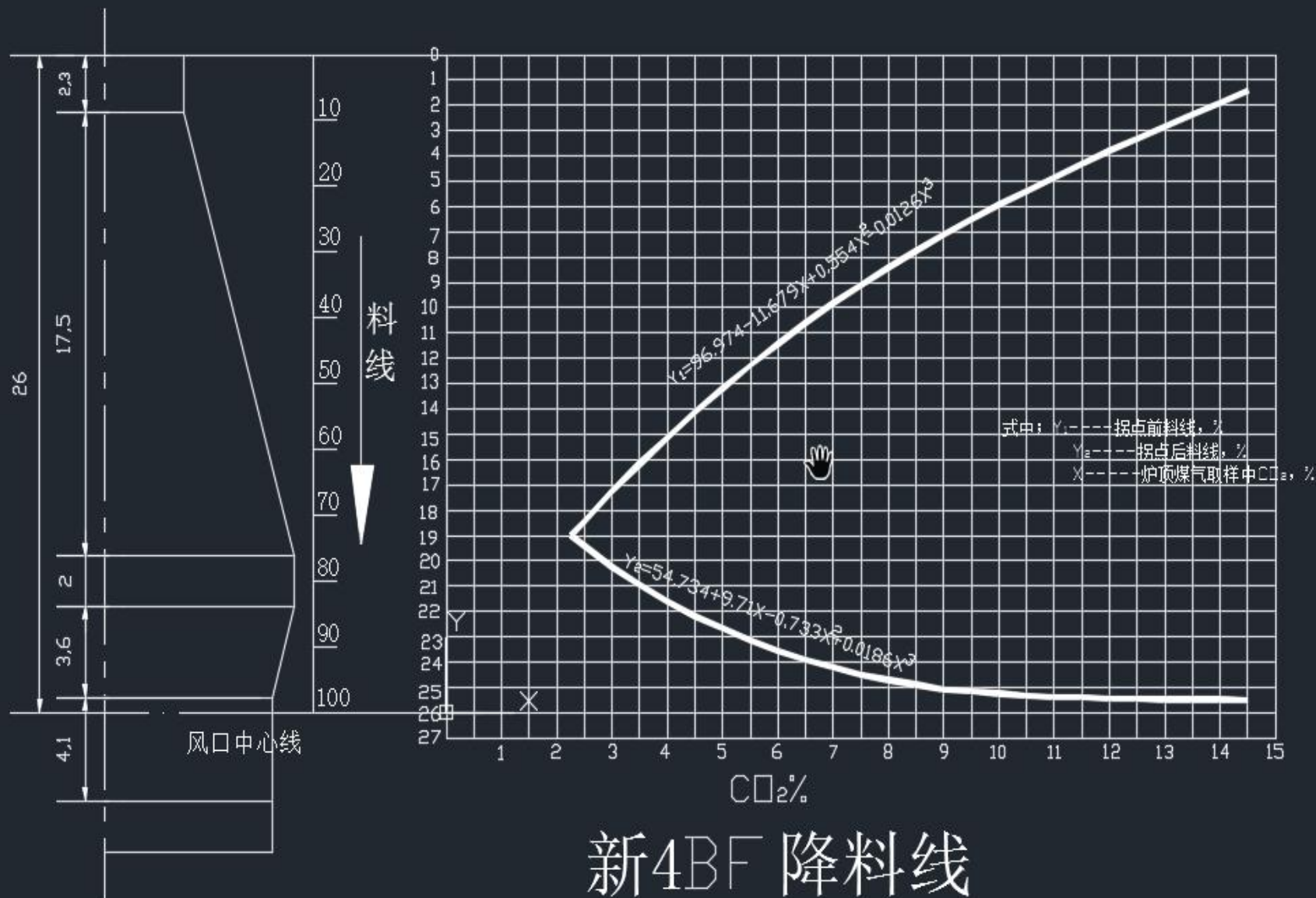
► 见黑雨出最后一次铁,并带压出铁

料面高度与炉顶煤气CO₂含量关系(C曲线)

十一高炉停炉料线与二氧化碳关系



料面高度与炉顶煤气CO₂含量关系(C曲线)



高炉不降料面的封炉(闷炉)

► 封炉重点:

炉况稳定顺行,消灭崩悬料

出净渣铁,最后一次铁提高铁口角度(12-14度),铁口大喷

不许向炉内漏水,损坏冷却设备更换或闭严

加强炉体密封,防止焦炭烧损和烧结矿粉化

► 封炉总焦比选择:

小高炉总焦比要高于大高炉

封炉时间与焦比的经验参考

封炉时间.天	10-30	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180	>180
焦比 t/t	1.2-1.5	1.5-1.8	1.8-2.1	2.1-2.4	2.4-2.7	2.7-3.0	3.-3.5

高炉封炉(闷炉)

封炉料选择:

粉末少,高于大、中修高炉开炉原燃料标准

选择好的人造富矿和天然块矿,烧结易粉化变质期短,要注意

可配入少量锰矿,控制铁中0.8%, R_2 小于1.0

封炉操作注意事项:

$[Si]=0.6-1.0\%$

封炉料填充方式同高炉大、中修开炉相同

封炉料下到炉腹中下部,铁口角度提高至12-14度出最后一次铁,大喷堵口,休风处理煤气,炉顶点火

休风后进行炉体密封。炉顶装水渣500-1000mm左右

根除往炉内漏水因素

高炉封炉(闷炉)

降低炉体冷却强度,休风4小时后减水50%,3天更低,3个月以上封炉,上部关闭并吹扫干净防冻

封炉2天后可关一个炉顶放散阀

封炉期间定期检查漏风情况,发现必堵严

专人监视炉顶点火情况,特别是压料时,用长明火点着,3天后炉顶火基本熄灭,如火焰旺盛,说明漏风漏气,应迅速封堵。

► 热风炉保护措施:

1.保温方式,短期封炉宜采,应有逆送风的装置,可利用助燃风机与倒流休风阀组成逆送风,

2.凉炉与烘炉方式,注意硅砖热风炉凉炉与烘炉时间等同

高炉大修降料线停炉过程的煤气零排放

高炉停炉降料面出残铁，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。又要做到煤气100%回收，零排放，环保压力更大，与时俱进怎么作？

1】盖面焦的作用与多少合适

2】滴落带以下焦炭柱中几乎没有渣铁，

H_2 达6%左右休风停止降料面，要求更难，只有扒焦炭

3】渣铁液面控制和出最后一次铁时间掌握

4】带压出最后一次铁和出残铁时炉内带

一定的压力

出残铁操作:

► 出残铁的准备工作的:

炉缸炉底侵蚀程度的估计, 残铁量的估算, 残铁罐准备

残铁口位置及高度的选定, (有一2600高炉开了9次孔才出来),

残铁的运输方式,

出残铁操作规程制定与培训,

残铁沟的制作...。

出残铁操作:

► 出残铁的操作:

开残铁口的时间掌控: 必须降完料面, 出完最后一次铁后, 煤气处理好后

开残铁口的步骤及注意事项(割切炉皮和冷却壁必须在料面降完后, 且休风)

开残铁口一个恶性事故的教训
怎样将残铁出得更干净

► 一个出残铁操作不当的事故案例

例某公司高炉降料面铁水泄漏爆炸事故

2011年10月5日7时30分，某公司炼铁厂5号高炉按照停炉方案要求降料线9-10米进行预休风操作。预休风期间，拆除了炉顶大放散阀和煤气取样管，安装了炉顶打水装置，割开了残铁口处炉皮，并取下了残铁口处冷却壁，同时对5号炉界区内净、荒煤气及高炉富氧等设施进行安全处理，并与公共部分管线隔断。11时37分左右，进行复风。11时40分左右，现场作业人员在安装残铁沟时，大量铁水突然从残铁口预开位置流出，造成在残铁（炉前）平台上的12人死亡、1人受伤。



事故主要的原因：

降料面前不应割开炉壳，违返了高炉炉壳即是承压容器又起密封作用的科学规律，不论炉衬多厚 降料线前不应割开炉壳和冷却壁，必须降完料线并处理好煤气后才能割炉皮开残铁口。不怕一万就怕万一。

（炉缸内部碳砖受**侵蚀变薄**，在对其强度检测和论证评估不充分的情况下**割开了残铁口处炉皮**，复风操作使炉内压力升高，**导致铁水击穿炉壁流出**）。



不出残铁的停炉后残铁的处理方法：

▶ 进炉内人工处理法

▶ 炉缸整体移出法

▶ 钢绳锯切割法

謝謝



請批評指証