

高炉炉况失常的分析与处理

王筱留

北京科技大学冶金与生态工程学院钢冶系

北京市海淀区学院路30号,100083

Tel:13520786882

E-mail:wangxiaoliu2009@yahoo.cn

江苏 镇江 2015.04.08

目 录

1. 高炉炼铁生产中炉况顺行是实现，高效，优质，长寿，环保的基础和保证
 - 1.1 煤气流分布合理
 - 1.2 炉缸热状态正常
2. 炉况失常的征兆和演变过程
 - 2.1 失常现象
 - 2.2 失常的演变
3. 造成失常的主要原因
 - 3.1 在上述炉况失常演变过程中，已涉及一些造成炉况失常的原因，现归纳如下：
 - 3.2 操作不精心，处理炉况不当或失误
 - 3.3 设备故障
- 4 炉况失常的预防和处理
 - 4.1 炉况失常的预防
 - 4.2 炉况失常的处理原则
5. 失常炉况案例分析举例

1. 前言

- 高炉炼铁工作者在自己工作高炉的冶炼条件下（原燃料性能和供应水平；设备技术装备和检测手段；炼铁后续工序的生产状况及对铁水的需求等），应用自身的技能使高炉稳定顺行是对自己的起码要求，也是高炉工作者的责任，在当今的形势下，只有高炉顺行才能实现低碳，低成本，高效益的生产。
- 由于高炉炼铁的复杂性和“黑箱”效应，更因为冶炼条件的变化，特别是原燃料质量的变化，设备事故的发生，以及后续工序事故造成铁水供应失衡，以及操作者本事的失误等造成炉况波动继而失常，处理不及时或不当又转为事故。因此正常和失常是高炉炼铁操作者日常处理炉况的重要工作，这样正确识别“正常”与“失常”就显得十分重要。培训班要求讨论“如何分析处理失常情况及事故处理”。

- 本人认为由张寿荣院士组织编写并已出版的“高炉失常与事故处理”一书已出版，该书广泛收集国内高炉事故案例，并认真剖析，为我们提供了宝贵的知识，作为书生和教书匠极力推荐此书，如能认真学习将受益，因此本人已无理由再来谈论这一命题，这里只是应组织者的要求，做一个发言。
- 作为讨论，首先说明炉况正常—顺行的特征。应该指出，顺行的特征是随着冶炼条件，炉子大小，操作者的技术水平，而有变化的，但基本特征是保留的。在说明这点以后，再说一点本人认为当前高炉出现的炉缸不活跃堆积和炉缸寿命的问题。

正常炉况征兆规程：

- 20世纪50年代，中国高炉炼铁刚刚有所恢复，原燃料条件差：土焦，小焦炉炼的机焦强度差，反应性高，生矿，酸性烧结矿是热矿，粉末很多，炉子小且装备落后，称量车，双钟上料；（鞍钢，本钢还有料罐上料）操作人员技术水平不高，判断炉况缺少依据。1955年9月全国高炉生产技术会议制定《全国高炉技术操作基本规程》帮助操作人员掌握高炉生产技术，其中有12条正常炉况的征兆：

1. 铁水热度良好，并且稳定。
2. 渣水热量充足，流过渣沟时不留下厚靛；上渣不带铁；从两个渣口流出的炉渣品质相近。
3. 风口明亮，但在冶炼制钢铁时并不耀目，圆周工作均匀，风口前无生料，不挂渣，焦块活跃，鼓风达到炉心。
4. 热风压力曲线呈微微的波动，其波动范围不超过全风量时正常风压的7%，且无锯齿形状。
5. 风量曲线是一条宽度不变的直线，无摆动尖峰。
6. 各上升管炉顶煤气温度曲线为 $30 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 的一条宽带，曲线呈波浪形，温度高低之间的差别在 $50 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 的范围内，且各点互相交织。

7. 炉顶煤气压力曲线是跃动的宽线，大钟下降时曲线下降，并随即回升到正常位置，没有煤气压力猛然上升的尖峰。
8. 料尺曲线上的倾斜角比较固定。下料均匀，没有陷落、停滞和时快时慢等现象。两根料尺下降深度一致，没有过满和低料线。
9. 炉喉护板1m以内按标准方法安装的高温计所指示的边缘煤气温度约700-800℃，4条曲线间相互间的差别不超过80℃，或者分别成线，或者相互重叠。
10. 煤气气流分布合理，煤气曲线正常。
11. 煤气自动分析器上边缘4点CO₂含量相近。
12. 除尘器煤气灰量无大波动。

这12条现在看起来是有了很大变化，特别是那些数字和曲线，但是如果讲基本特征将现代数据放进去，还是有价值的。概括地说，现在判别炉况正常的主要特征应是怎么样的？

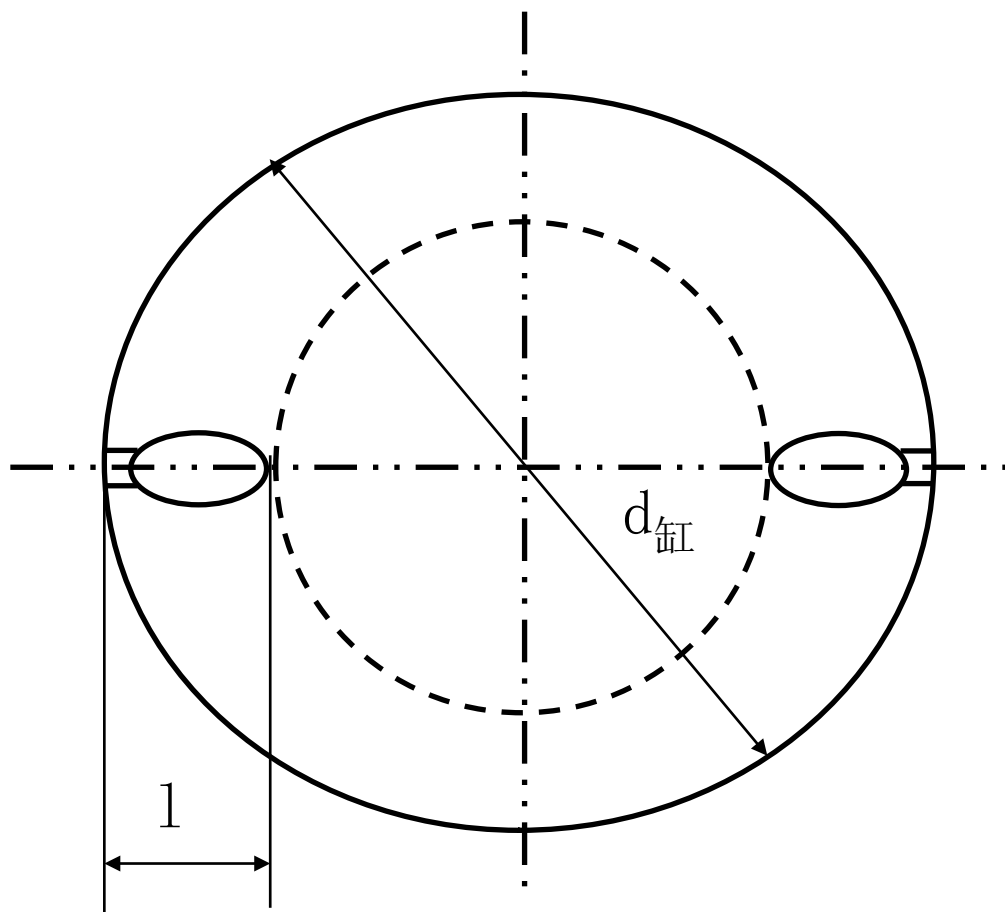
1.1 煤气流分布合理

煤气流从炉缸燃烧带产生向上运动到达炉顶经历三次分配，如果三次分配合理，总的煤气流分布就合理。

- **初始分配：** 与炉缸内燃烧带大小和燃烧带周边特别是燃烧带与死料柱之间的焦粉层的透气性和透液性有关，保证有足够的煤气流向中心。
- **二次分配：** 软熔带有足够的焦窗使煤气顺利分配和通过，因为在软熔带内煤气通过的阻力是矿石软熔层最大，软熔层与焦炭的透气性比例是1:52，要保证软熔带煤气稳定地分配，要保证获得倒“V”型软熔带，因为“W”型对中心气流干扰大而不稳定。
- **三次分配：** 为块状带，它的决定性因素是炉喉布料，炉喉径向和圆周上O/C比的布置情况，O/C大的区域煤气流阻力大，O/C小的区域相反，煤气流阻力小，阻力大小决定了煤气流的分配。

煤气初始分配：燃烧带

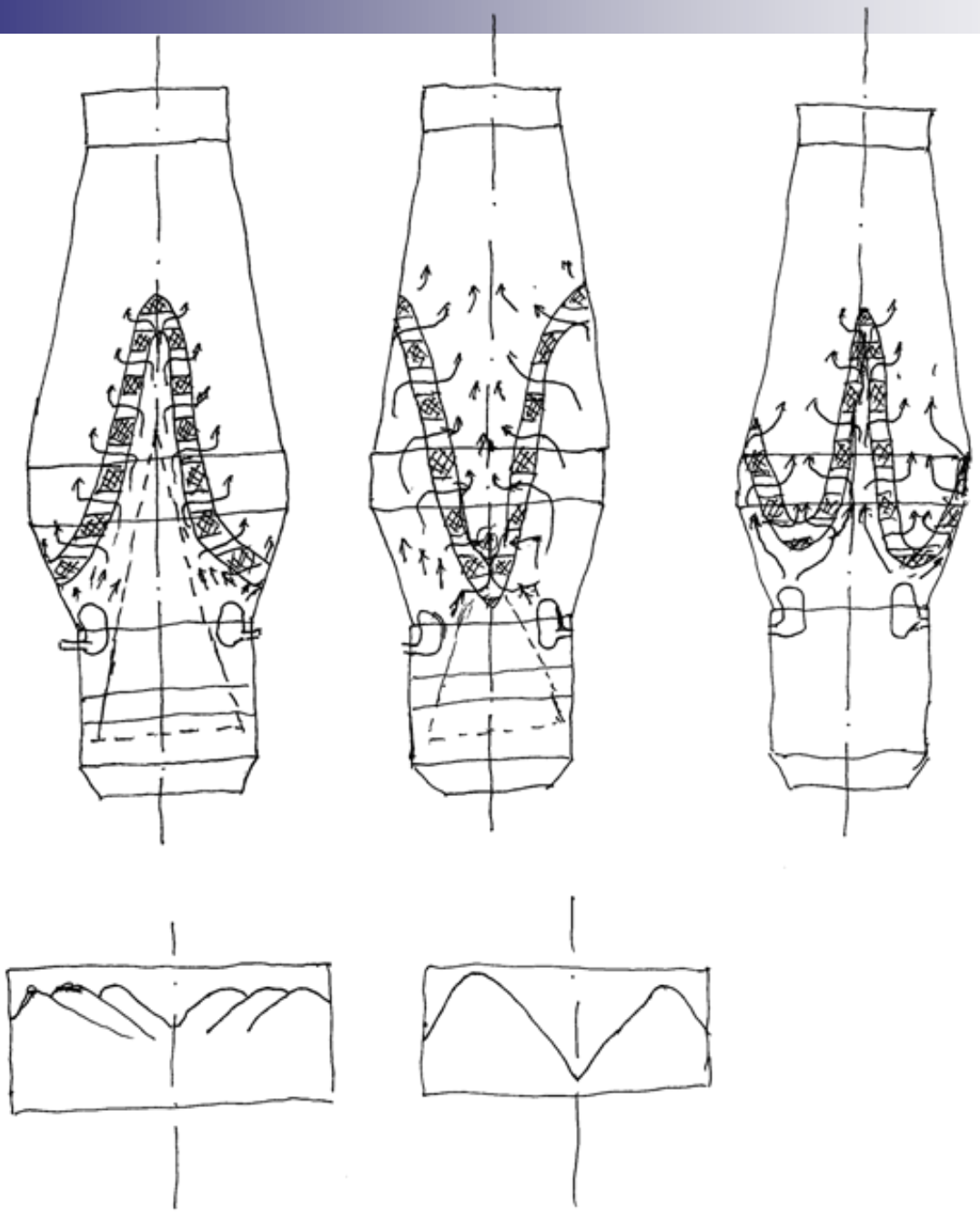
- 生产中运用鼓风参数，风口参数的改变通过风速、鼓风动能，控制好燃烧带大小，最佳燃烧带大小控制在燃烧带环圈面积与炉钢截面积**50%**（大高炉）到**60%**（中小高炉）。
- 同时燃烧带周边和上方的焦炭层透气性（孔隙度）也决定着煤气的分配。这要求焦炭的质量保证**CRI,CSR**。



$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{\text{环}}}{A_{\text{缸}}} \\ &= \frac{d^2 - (d - 2l)^2}{d^2} \\ &= 0.50 \sim 0.60 \end{aligned}$$

煤气二次分配：软熔带

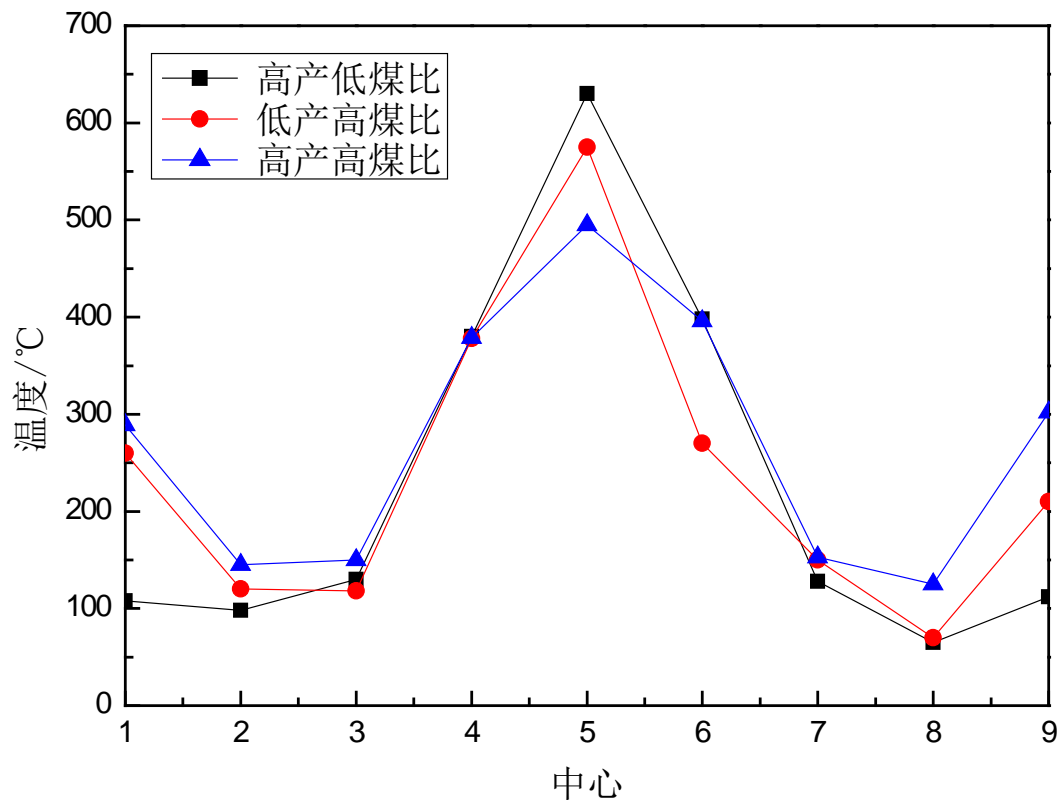
- 煤气二次分配要有好的软熔带形状与位置。
- 以及软熔带以上料柱好的透气性，从煤气流分配上来说应以倒V型和较平坦的软熔带为好。



煤气三次分配：块状带

- 煤气的三次分配是炉料的粒度组成和装料制度控制。
- 在精料中要求烧结矿 $>50\text{mm}$ 的 10%， $<5\text{mm}$ 的 3% 来防止粒度偏析，而无料钟炉顶布料将合理的料批通过布料矩阵分布在炉喉。
- 通过十字测温的温度曲线或煤气中 CO_2 测量的煤气曲线来判断煤气分布的合理性

煤气流可视化



通过红外成像仪或激光仪可以直观地观察到布料后料面形状及电脑处理后的煤气流分布。宝钢高炉的两个图显示了煤气流分布取得的业绩。

炉顶煤气温度分布曲线

煤气流分布合理的征象：

①炉喉，炉身各层径向，圆周向温度分布。

②炉顶温度

③炉顶压力

④料尺，料速

⑤透气性指数，压差，静压力

⑥炉顶煤气利用程度 $\frac{CO_2}{CO + CO_2}$

高炉操作者根据自己的冶炼条件，将上述观察对象定量化

例如炉顶平均温度150-200℃；十字测温温度曲线边缘100-300℃，中心600-500℃； $\eta_{CO}=0.45-0.50$ ；料尺时间间隔均匀，曲线上的倾斜角比较固定，无停滞，滑料，陷落，时快时慢等。

1.2 炉缸热状态正常

- 它是正常炉况的重要内容，炉缸热状态是高炉冶炼过程进行到最后的集中表现，有人认为它是上下部操作制度和造渣制度最终形成的结果。因此上、下部操作制度和造渣制度的任何一方面失常将导致，炉缸热状态的波动，发展为失常，严重时出现堆积，处理不当进而发展为炉缸冻结。
- 在上升煤气流与炉料分布（O/C比分布）相适应的合理分布情况下，煤气与炉料在逆流运动中相互接触良好，传热与传质都达到优化，也就是上升煤气的热能、化学能利用良好，从而矿石及焦炭以及形成的渣铁加热良好，矿石被间接还原达到或接近热力学上平衡的状态，这时炉身工作效率96%以上，而 r_i 达到60%。由于进入炉缸的物料还原及加热很好，在炉缸内直接还原量少，FeO只有极少量，Si，Mn，P还原和脱S，有Si，Mn元素的耦合反应减少了C素和还原热量消耗。炉缸具有与冶炼生铁品种相对应的良好热状态。
- 另一方面，鼓入炉缸的鼓风参数稳定。在风口前形成大小合适的燃烧带，形成的高温煤气的温度满足冶炼的要求而且稳定，其在炉缸的初始分布合理，为良好的炉缸热状态打下基础。

炉缸热状态正常的征象：

常规观察：

- ① 风口工作均匀明亮，但不白炽刺眼。
- ② 风口活跃，无升降，更无挂渣，涌渣迹象。
- ③ 喷吹均匀无脉冲，无粘结；
- ④ 铁水温度适宜1490-1510℃（大高炉），1485±10℃（中小高炉）[Si] 0.3-0.6%；[S]0.03±0.01%，相邻铁次的温度和成分基本相同或接近；出铁速度稳定6-8 t/min（大高炉）5-6 t/min（中小高炉），而且出铁量与下料批数估算量相近。
- ⑤ 炉渣温度适宜一般比铁水温度高50℃不超过100℃；炉渣流动性好，粘度合适，碱度稳定。

数模显示：

- ① 风速和鼓风动能在合适的范围；
- ② 燃烧带大小在合适范围： $n=0.5$ （大高炉）， $n=0.6-0.65$ （中小高炉）
($n = \frac{d^2 - (d-2l)^2}{d^2}$ ， l —燃烧带长度， d —炉缸直径)
- ③ $t_{理}$ 合适 $t_{理}=2150 \pm 50^\circ\text{C}$ ， t_C 焦炭进入燃烧带温度， $t_C=0.75t_{理}$
- ④ 贮有一定数量的高温热量 ΔQ 630KJ/kg生铁

2.炉况失常的征兆和演变过程

2.1 失常现象

失常的：煤气流分布失常，主要表现现象 边缘过分发展，边缘过重，煤气分布紊乱，管道行程。

具体：造渣制度失常 碱度波动，软熔带形状，位置变化，炉渣流动性变化

表现：热状态，特别是炉缸热状态失常。 $t_{理}$ 波动， t_C 波动，热贮量不足

上述相互影响，相互干扰，形成复杂的失常发展成事故。

2.2 失常的演变

过程①由于原燃料质量变化，引起炉喉炉料分布变化，上部块状带的料柱空隙度小 $\frac{\Delta P}{H}$ 上升。煤气流分布因局部地区 $\frac{\Delta P}{H}$ 的变化随之变化出现紊乱，当某一部位 $r_{\text{料}}$ 与 $\frac{\Delta P}{H}$ 的关系失常 $\frac{\Delta P}{H} \geq r_{\text{料}}$ 。炉料出现难行，停滞，处理不当不是管道就是悬料。

上部失常必然影响下部行程，上部预热和还原差的炉料或因崩塌或因坐料落入下部加剧了下部热消耗支出，炉缸热状态变坏，首先表现 t_c 下降。炉子滴落带炉渣滞留率增加（渣凉，粘度增大）。煤气分布变化，边缘发展，中心不开，煤气初始分布混乱，加重上部，煤气流分布失常。

- ② 由于鼓风参数变化（风温、富氧、湿度、喷煤等），风口装置（进风、漏水等）造成风口前燃烧带的热量收入发生变化；由于焦炭热强度变差使燃烧带周边透气性透液性变差影响煤气初始分布；由于渣皮脱落，升降，炉渣下滴过快未充分加热和还原，增加炉缸热支出。其结果不是煤气流初始分布失常，经常是边缘过分发展，中心打不开，就是炉子向凉，调控不及时就是发展为风口灌渣，炉缸堆积，甚至炉缸冻结。
- ③ 上料，变料错误引起炉渣成分发生大的变化，炉渣的化学和物料性能变差，引起软熔带位置和形状的变化，这种变化一是煤气流二次分配不合理，产生紊乱；另一是炉渣在滴落带、滞留率增加煤气通过阻力大幅度上升，煤气流流向边缘，造成边缘气流过大；三是炉缸中炉渣难熔性变大后，其流动性温度升高，影响炉缸活跃产生堆积。

从上述三方面看，它们相互影响相互干扰，而且逐渐进入恶性循环，后果就是，上部频繁崩塌料，管道，悬料，下部则炉凉引起灌渣，风口烧坏，炉缸堆积。严重时，上部发展为恶性管道顽固悬料，下部有炉凉发展为炉缸堆积甚至炉缸冻结，给生产带来很大损失。

3 造成失常的主要原因

3.1 在上述炉况失常演变过程中，已涉及一些造成炉况失常的原因，现归纳如下：

3.1.1 原燃料质量变化

3.1.2 含Fe炉料质量变化

3.2 操作不精心，处理炉况不当或失误

3.2.1 追求高产量，维持高冶炼强度

3.2.2 不重视“脉冲”式炉况的处理

3.2.3 不重视炉型管理

3.2.4 复风操作中加风过快，过量也料柱的透气性不相适应

3.2.5 炉前操作不正常

3.2.6 配料单失误，变料单错误，装错料造成造渣过程失常而引起炉况失常甚至造成事故

3.3 设备故障

3.1.1 原燃料质量变化

- 焦炭性能变差及在炉内劣化是造成失常的主要原因之一
- 焦炭在高炉内的骨架作用是没有任何其他原燃料所能替代的，特别是软熔带及滴落带内的骨架作用，正因为如此，对炉容大小不同的高炉有着相对应的要求，主要是M40，M10，CRI和CRS四个指标，焦炭在高炉内的劣化是有以下几个因素造成的：**a.热应力破坏**：焦炭导热性差，焦炭块表面和中心温差小则100-150℃，大到250℃造成的热应力大于焦炭强度，焦炭沿出炉时的 $>500\mu$ 的裂隙破碎产生粉末；**b.碳素溶解损失反应** $CO_2 + C \rightarrow 2CO$ 降低焦炭强度，使焦炭成蜂窝状，经摩擦成粉末，而炉料中的 K_2O ， Zn ， ZnO ，还原出来的新生态 FeO ， Fe 都是溶损反应的催化剂，这是焦炭劣化的主要原因；**c.铁水和炉渣的溶蚀**，碳不饱和的金属铁与焦炭接触溶解碳（渗铁），含 FeO ， MnO ， P_2O_5 等炉渣与焦炭中碳的还原反应均造成对焦炭的溶蚀而降低焦炭的强度；**d.摩擦粉碎**，下降过程中不同运动速度的焦炭块与焦炭块和烧结矿，球团矿或天然块矿之间的摩擦，焦炭块与炉墙的摩擦，特别是炉缸燃烧带内高炉转动的焦炭与相对静止的死料柱的焦炭之间的摩擦使焦炭破碎形成大量的5mm的碎焦粉存在于燃烧带周边。

M40是显示焦炭抗碎强度，M10是显示焦炭耐磨强度，CRI是焦炭与CO₂反应难易程度的指标，CRI数值越大，焦炭在炉内与CO₂反应能力越大，焦炭溶损率越高。CSR是反映焦炭高温强度的指标，它的数值越高说明焦炭高温下强度越好，产生粉末的量就越少。这些性能集中反映了焦炭在炉内空隙率的变化 ε_C ，炉况失常多数是焦炭质量变差造成入炉后 ε_C 变小 $\frac{\Delta P}{H}$ 大（ $\frac{\Delta P}{H}$ 与 ε_C 3次方成反比），不同容积高炉对这四个指标的要求略有差别。

	M40	M10	CRI	CSR
大高炉	>85%	<6%	<25	>65
中小高炉	>78%	<8%	<28	>60

只要焦炭这四个指标中有1-2项变差，就会造成炉况失常（见案例分析）

3.1.2 含Fe炉料质量变化

含Fe炉料质量变差使造成炉况波动的另一个重要原因，特别是烧结矿质量波动造成炉况波动是最常见的案例。烧结矿质量波动主要表现在：化学成分波动，粒度组成波动，以冶金工艺性能波动。

(1) 化学成分波动表现在TFe波动超过1%；FeO波动超过1%；烧结矿碱度波动超过0.1%。

前两者波动造成还原剂消耗变化，更重要的是还原消耗热能波动，引起炉子热状态波动处理不及时或处理不当造成炉况失常。烧结矿碱度波动造成炉渣制度混乱。严重时引起软熔带内软熔层增加，使这个带内 $\frac{\Delta P}{H}$ 急剧上升，即使软熔滴落，也因渣的粘度变坏；在滴落带内的滞留率增加，使上升煤气通过的通道 $(\varepsilon_C - h_t)$ 缩小而 $\frac{\Delta P}{l}$ 升高，严重时引起亚液泛现象，出现炉况失常。

引起烧结矿品位波动是烧结料配矿前未很好混匀，配料时矿种乱和称量失误等造成FeO波动是配碳量变动及烧结工艺参数控制不当，而烧结矿碱度波动是采购的溶剂质量差，特别是生石灰质量更是碱度波动的主要原因。

(2) 粒度组成波动，特别是 $<10\text{mm}$ 的粒度数量偏高，入炉 $<5\text{mm}$ 的粒级多一方面是烧结强度差形成的数量多，更主要的是槽下筛分效率不好。有时也因为烧结后量不平衡，供不应求，被迫 $<5\text{mm}$ 粒级的烧结矿入炉，以满足高炉产量的要求。有时生产中为了增加烧结矿强度配碳增大，结果造成烧结矿中 FeO 升高， $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ 增多，强度增加了，不仅还原性降低，还原过程变差；而且粒度组成大小悬殊，造成整个粒度组成更不合理， 10mm 以下小烧结矿填充入大于 $40\text{-}50\text{mm}$ 的粒级中，使烧结矿层的空隙度 ε_0 大幅度下降， $\frac{\Delta P}{H}$ 上升，煤气上升给予炉料的浮力大幅度上升，当某一局部 $\frac{\Delta P}{H} \geq \gamma_{\text{料}}$ 就出现难行，小悬料，料层中出现空间，上部炉料的自重增加超过浮力就塌崩料或煤气冲过粉末层而吹出管道。

3.2 操作不精心，处理炉况不当或失误

在日常生产中，因操作不精心处理炉况不及时，不当甚至失误，也是引起炉况失常的原因，他们表现在以下方面。

3.2.1 追求高产量，维持高冶炼强度

长期以来，我国炼铁是追求高冶炼强度已达到高产，这在国民经济高速发展，对钢铁产品有很大需求时，无疑是可以理解的，也为很多企业创造了利润，但是在当今国民经济进入调整转型，市场需求减少，还继续盲目追求高冶炼强度和高产量就达不到低碳和高炉稳定顺行的目的。尤其一些企业听信低价劣质矿可以降成本的片面说法，在高冶强下，炉况频繁失常。

- 高冶炼强度生产是要有条件的，首先要有很好的精料作为基础，其次是要精心操作，采取一切可以降低炉腹煤气量的措施：富氧，高顶压等维持高炉顺行。因为长期在极限炉腹煤气量下生产，一旦原燃料质量波动，肯定要出现失常，人们往往存在侥幸心理，压差升高不作调整，认为挺一下就过去，甚至认为采用“顶烧”办法可解决因下料过快，炉缸热量不足而有涌渣出现的问题，后果就不是管道就是悬料。

3.2.2 不重视“脉冲”式炉况的处理

生产中因原燃料条件变化而操作者并没有发现，炉况就经常出现由塌料，小崩料，有时稍加调剂就过去了，有时不调剂也“自动”过去了，这种“脉冲”式的炉况就习以为常，但是往往这种炉况逐渐发展成管道行程或悬料，由于反复出现小崩料，炉料分布混乱，引起煤气流分布失常而发展成恶性管道。

3.2.3 不重视炉型管理

生产过程中不重视或忽视合理操作炉型的管理，由于气流分布不合理或炉料粉末过多，软熔性能变化特别是升华和挥发性物质过量（例如 K_2O ， Na_2O ， Zn ， ZnO 等）造成炉墙局部结厚，甚至生成炉瘤，又不及时处理，极易造成炉况不顺，在某个方向上或局部吹出管道甚至造成悬料等。

3.2.4 复风操作中加风过快，过量也料柱的透气性不相适应

不论在休风后复风尤其是无计划休风或长期休风后的复风，操作者不注意休风时炉内料柱透气性的变化；放风过程中，煤气对下降炉料的浮力减少，甚至完全消失，炉料柱的空隙度会变小，休风后料面下降一种可能是漏入炉内空气继续燃烧燃料，另一种是在无煤气浮力的作用后，炉料在重力作用下准下沉，后者造成炉料透气性下降，还有休风过程中热量损失过大为补足，炉内等温线下移，造成原来已局部，熔融的料块因温度下降而再次固化，是 ε_0 降低而整个料柱的透气性降低，复风时急于求成，加风过快使风量与料柱透气性不相适应吹出管道。

3.2.5 炉前操作不正常

炉前操作不正常而影响炉内，造成炉况不顺，甚至出现管道或悬料是炉况失常的一个原因。铁口维护不好，主沟跑铁，撇渣器跑铁，摆动流嘴失灵等造成不能按时出铁出渣，炉内被风量被憋，风压上升，波动...，造成炉况失常悬料频繁。

3.2.6 配料单失误，变料单错误，装错料造成造渣过程失常而引起炉况失常甚至造成事故

3.3 设备故障

- 外部原因造成高炉炉况失常的主要方面是设备故障，由于设备故障，例如设备的功能失常，零部件损坏等，高炉被迫慢风生产，尽快休风处理。有的是紧急无计划休风，它们都会影响冶炼过程失常是常有的事。特别装料设备故障，无法向高炉供料，造成高炉低料线，慢风操作。送风系统故障无法向高炉送风造成无计划紧急，休风炉内煤气流分布紊流，热制度被破坏，常由失常发展为严重事故，炉缸堆积，炉缸大凉，甚至冻结。

4 炉况失常的预防和处理

4.1 炉况失常的预防

在很好地了解高炉顺行正常炉况的特征和造成炉况失常的各种原因后，预防炉况失常就成为可能和操作者的职责。

4.1.1 搞好精料工作和了解原燃料质量变化

原燃料质量的变化是造成炉况失常的主要原因。高炉生产组织者要把大部分精力用在精料的实施上，在保证量的供应上，特别注重质量的稳定上：成分稳定，粒度均匀是为炼铁提供原燃料的最重要原则。

- 作为高炉操作者—工长接班首先要了解本班及上个班入炉原燃料的质量及其变化，并根据入炉原燃料质量变化通过交接班统一操作人员的思想，采取相应的措施，保证炉况顺行，这是预防炉况失常应把好的第一关。可采用的措施是：①通过原燃料成分，核算入炉料产生的铁量，渣量及其成分，估算热量供给和消耗的变化幅度。核算焦炭负荷是否合适，必要时作调整防止炉温和造渣过程的波动造成失常。②通过观察了解原燃料的外观和物理性状的变化，水分，强度，粒度组成特别是含粉率及槽下筛的效率，分析装料制度是否合适，分析生产中风量与料柱透气性相适应，必要时调整 α_0 和 α_c 。保证边缘和中心气流稳定，调整风量，保证煤气初始分布合理。

4.1.2 重视炉内煤气分布，防止“脉冲”式炉况发展

煤气流合理分布是炉况顺行的重要保证，只有将三次煤气分布都控制在合理范围内整个高炉的煤气流分布就合理了，炉况就会顺利。这要通过下部调剂控制初始分布；稳定造渣维持较好的软熔带及稳定的焦窗面积，使二次分配合理；要通过装料制度控制好，块状带内的煤气流分布，使其维持顺利状态下的十字测温曲线的范围。这要认真细致地检查分析各风口的状况，装料矩阵是否正常无误，上料人员是否正确执行装料制度的指令，防止错料造成炉况波动，要检查了解无钟炉顶工作状况，各阀门工作是否正常，溜槽运转是否符合要求等。

4.1.3 保证有较稳定和要求的熟状态

特别重视 $t_{理}$ ， t_c 和 ΔQ 的数值，任何 $t_{理}$ 的变化反映出送风参数的变化；它是炉缸具有充沛高炉热量的源泉。 t_c 反映了下降炉料与上升煤气之间热交换好坏，焦炭和进入炉缸渣铁被加热程度的高低， $t_c > 0.75t_{理}$ 炉子向热有悬料可能， $t_c < 0.7t_{理}$ 炉子向凉， $t_c < 0.65t_{理}$ 炉子已凉。当然也应注意出铁时的铁水温度和炉渣性状等以了解炉缸热状态的好坏。

4.1.4 加强设备维护，改进炉外操作

这是消除外部因素对炉况顺行的影响，在生产中炉况常受外部因素干扰，这是生产组织者，高炉工长，炉前班长要重视并做好本职工作的要点，外部因素造成炉况失常往往比较持久，处理较困难，恢复要有耐心。

4.2 炉况失常的处理原则

4.2.1 减风是处理失常的首选

不论何种原因，造成炉况失常，减风是首先应采取的措施，减风的目的是减少产生的炉腹煤气量。使它与炉内料柱透气性相适应，防止失常进一步发展，减风数量要视情况而定。

4.2.2 减焦炭负荷在处理失常和恢复炉况是的必要手段

减轻焦炭负荷可以一举两得，两得之一是增加料柱中焦炭数量可改善料柱的透气性，两得之一增加炉内热量收入，因为失常出现常是由于炉料质量劣化造成，料柱透气性变坏，煤气流分布失常随之炉况失常，炉况失常常造成煤气的热能，化学能变差为补偿需要多烧焦炭来达到炉子不凉，恶化炉况。

4.2.3 调节布料矩阵和料批大小来适当发展边缘和中心两条通路，降低压差

炉况失常后，打开两条通路是必选的措施，共有煤气通路打开后，风量才能入炉炉料才能下降，炉况才能逐步恢复。只有在炉况完全恢复后，再逐步恢复正常炉况是的布料矩阵和料批大小。

4.2.4 加空焦净焦，不失为调负荷的良好办法

加空焦或净焦是处理恶性管道和顽固悬料时采取的必要手段，其作用要比减负荷来得快和大，这个措施可以改善炉料透气性和增加炉缸热量收入防止炉凉，但是一定要认真分析具体情况后决定加入数量，以免造成短时过热而发生悬料。

4.2.5 为防止失常后，造成严重的炉缸堆积，视情况（不进风）堵部分风口来维持炉缸工作。必要时（失常时间长，焦炭强度特差，炉缸碎焦过多；炉渣性能变坏等）还要采取洗炉来消除堆积，为恢复炉缸正常工作打好基础。

以上是炉况失常处理的一些原则，要结合具体情况选择使用（见案例分析），要特别强调的是失常炉况处理首先要分析找到造成失常的原因，积极地采取相应措施处理，切忌两种倾向：一是舍不得产量和考核指标，而想挺过去或轻视，观望延误处理时机，二是处理时急于求成，例如加风过快，加负荷过快，造成失常反复。

5. 失常炉况

5.1 高炉异常炉况-炉缸不活，堆积

- 本来与正常炉况相比，炉温波动较大、煤气流分布不太正常。采用一般调节手段，在短期内就可纠正，而转为正常。
- 但是国内多座高炉都长期失常，处理困难，造成损失重大。
- 这种现象出现在长期休风或封炉复风后的较长一段时间，有的由于钢铁企业调度不当，使高炉较长时间的慢风操作，再要转入正常生产出现炉况失常。

5.1.1 炉缸堆积的征状是有规律的

近年来失常与特殊炉况发生的现象大幅度减少

出铁前后风量和风压变化，前：风量减少，风压升高，后：风量增加风压下降形成周期性波动；

铁水温度，[Si]、[S]波动，在正常生产时，出铁过程也是波动的，所以这变动会被忽视；

炉渣变粘，有时带铁，即渣铁分离不好，这在高铝低镁渣表现突出；

煤气流分布呈现边缘过度发展，中心打不开；

风口工作不均匀，时有升降和未充分加热的黑焦降落到风口；

炉缸工作不均匀而且顺行差。

上列征状操作者是知道的，但是在生产中不是明显地同时出现，尤其是仪表检测手段，不齐全的高炉更易被忽视。最终表现：炉缸不活，炉子不接受风量，产量较低。这是炉缸堆积的初期征兆，需要认真寻找原因，对症处理。

5.1.2 主要原因

本人认为：堆积或不活的主要原因是三个方面

1. 原燃料质量引起

- 首先是焦炭质量变差，实践表明，高炉炉缸工作受1) 焦炭质量影响很大，而且是造成炉缸失常的重要原因，从焦炭在炉内劣化的过程看，在块状带还未发生，碳熔损反应前重要的是M10，而在熔损反应发生区则是CRI和CSR，而对炉缸工作来说是CSR，它决定着软熔带焦窗的透气性，滴落带焦塔（死料柱）的透气性和透液性，因为M10，M40，CRI和CSR决定着高炉内各部位的空隙度 ξ_C ，从来考察煤气通过料柱的阻力 ξ_C 的三次方成反比。空隙度的变化将影响煤气流的流向。
- 目前高炉炉缸不活，堆积不多是由焦炭质量变差造成的，中国焦炭质量与高炉炼铁的要求有一定差距。

捣固焦质量问题

- 要大家注意的是目前正在推广，大量销售给高炉生产用的**捣固焦的质量问题**。焦炭是煤在隔绝空气下干馏而成的，其质量与配煤，煤在高温下产生胶质的数量，炼焦过程工艺参数等诸多因素有关。**而起决定作用的是胶质数量的多少**。而产生胶质层的煤：焦煤，肥煤储量有限，成为宝贵的紧缺煤种，为节约它们的用量，炼焦工作者研究出一些节省焦煤的新技术，例如热压焦，捣固焦等，目前在中国大力推广的是捣固焦。它是在炼焦配煤中用1/3焦煤即气煤部分地置换焦煤和肥煤后，用适当压强的捣固将炼焦配煤捣实一些，缩小煤粉颗粒之间的距离使有限的胶质可以粘结更多的煤粉颗粒而生产出相应强度和反应性的焦炭，因此它是节约焦煤和肥煤的技术措施。在置换焦煤和肥煤数量合理，捣固压强适当，炼焦工艺参数优化适应捣固焦生产的情况下，捣固焦的质量能满足中大型高炉冶炼对焦炭质量的要求，国外已将捣固焦用于2000m³级以上高炉。
- **我国涟源钢铁公司和兴澄特钢3200 m³高炉也成功使用捣固焦炼铁**。可是众多高炉工作者对捣固焦的使用并不满意，因为大量独立焦化厂生产的捣固焦在高炉内表现差，造成炉况波动，甚至失常，而且燃料比升高，其原因在于：

- (1) 目前捣固焦配煤尚无统一标准，是由众多生产厂根据自己的条件配煤，部分独立焦化厂为节省成本，配料中将炼焦煤和肥煤数量降到不合理的程度，有的甚至完全不配焦煤和肥煤，单靠1/3焦煤—气煤的少量胶质炼焦，其成品质量显然不好，强度等满足不了高炉炼铁的要求，在炉内四个劣化因素的作用下表现很差。
- (2) 捣固焦的生产过程中捣固压强控制是非常重要的，合适压强捣固后生产的捣固焦具有分布均匀的小孔，而超高压强捣固后生产的捣固焦则局部基本无气孔，而在二层捣固层的交界面出现盲肠型大的横向气孔，这样无气孔压实的部分反应性很差，而大的横气孔部分反应性特好，与 CO_2 反应后，变成薄壁多孔而强度降低很多，经高炉内的劣化因素作用后形成很多粉末而影响炉况，所以在高炉内这两种极端表现给高炉工作者的感觉就是捣固焦质量差。

欧洲炼铁工作者对中国捣固焦的评价是：1kg捣固焦只能当0.85kg顶装焦使用。

(3) 中国捣固焦增加速度太快，一些影响捣固焦质量的炼焦工艺参数的变化规律还没有研究深透，特别是炼焦过程的热制度控制，造成目前捣固焦炉生产的焦炭在焦炉顶部的焦炭黑头焦过多，质量差，一些小的独立焦化厂生产的焦炭质量差别很多，严重影响高炉生产的炉况波动，甚至造成炉况失常，这也是炼铁工作者不欢迎，甚至不认可捣固焦的原因之一。

- 初步研究和实践表明为保证捣固焦的质量，捣固焦生产中的配煤要保持一定数量的炼焦煤和肥煤（对中小高炉焦炭要求达到25%左右，而大型高炉焦炭要求45%-50%）维持合理的捣固压强，将捣固煤饼的密度在 $0.95 \sim 1.0 \text{ kg/m}^3$ （顶装焦配煤的密度在 $0.8 \sim 0.85 \text{ kg/m}^3$ ），保持合理的结焦时间，使焦炉顶部得到很好的加热等是可以生产出好的捣固焦，能满足 $2000 \sim 3000 \text{ m}^3$ 级高炉生产的要求。
- 兴澄特钢 3200 m^3 高炉应用合理配煤下的捣固焦，高炉取得相应好的业绩，但是如果因成本而降低配煤中的焦煤和肥煤的比例，炼出的捣固焦，质量下降， 3200 m^3 高炉应用后炉况恶化，历时半年才调整过来，损失很大。

国内外高炉焦炭比较

- 有专家以国外大型高炉原料条件为依据，得出高炉大型化对原料品质提高的要求是有限的，表8是专家提出的德国蒂森公司4座容积2132m³，2500m³，4407m³和5513m³高炉操作指标的对比。

表7 德国蒂森高炉操作指标（2011,1-5月）

高炉内容积， m ³	9# 2132	8# 2500	1# 4407	2# 5513
高度， m	27.089	28.530	31.250	32.800
CSC/CRI， %	66.1/22.9	66.1/22.9	67.4/22.6	68.0/22.3
I40/I10， %	55.4/16.9	55.4/16.9	54.7/15.8	54.1/15.7
渣量， %	288	287	287	289
风温， %	1092	1113	1096	1119
煤气利用率， η ， %	49.2	48.3	48.8	49.2
燃料比， kg/t	497.1	490.4	498.5	497.7

从指标看，4座高炉原燃料条件基本一致，而炉容相差很大，高炉操作指标基本相同，如果我们仔细地分析，不难看出，德国高炉用的原燃料是真正的精料，从渣量288kg/t，估算其2132m³高炉和比它大的2500，4407，5513m³的入炉品位都相当高，也达到我国5000m³高炉的入炉品位，而焦炭的CSR/CRI指标比中国5000m³级高炉用焦还好，更不说德国焦炭的灰分只有9-10%，比我国最好的宝钢焦炭还低2-3%，也就是说德国2132m³高炉的原燃料条件，已能满足5000m³级高炉生产的要求，总体上比中国5000级高炉用原燃料质量只高不低，而在中国就完全不一样了，如果我们也用目前中国2000m³级高炉的原燃料用到5000m³级高炉进行生产，那5000m³高炉生产将会出现什么样的情景。不用说整体质量，就仅一项焦炭变差，就够咱们炼铁工作者折腾的，这样的例子已很多了，所以任何国外的经验都要按国内具体条件来分析，是否适用！故不可不顾条件而盲目适用，其结果只会带来负面作用。

杨天钧教授今年9月访欧带回3座高炉的资料如下：

高炉		A瑞典 Lulea 3号 高炉	B德国蒂森 Schwelger n2号高炉	C德国蒂森 Hamborn8 号高炉	
炉容	m ³	3224	5513	2500	
炉缸直径	m	11.4	14.9	10.7	
风口数	个	32	42	28	
日产生铁	t/d	6257	10406	5790	
单位炉缸面积利用系数	t/(m ³ d)	61.3	59.7	63.9	
高炉容积 利用系数	按工作容 积	t/(m ³ d)	2.463	2.182	2.731
	按总容积	t/(m ³ d)	1.941	1.887	2.316

燃料

项目		A	B	C
焦比	kg/tHM	310	328(含小焦63.6)	297.8 (含小焦77.3)
煤比	kg/tHM	144	174.2	197.6
燃料比	kg/tHM	455	(502)	(495)

焦炭

项目		A		B		C	
水分	%	5.7		5.0		4.3	
灰分	%	11.25		10.63		11.36	
固定碳	%			86.95		86.39	
Na ₂ O	%			0.05		0.07	
K ₂ O	%			0.15		0.14	
S	%	0.71		0.44		0.46	
特性	%	M40	80.6	M40	71.4	M40	67.9
		M10	8.0	M10	19.8	M10	22.4
		Strength(I40) :55.8				55.3	
		Abrasion(I10):15.2				16.2	

过程参数

项目		A	B	C
吨铁风量（含富氧折算的风量）	kNm^3/tHM	935	928	852
风温	$^{\circ}\text{C}$	1073	1130	1091
风速	m/s	212.9	217	200
富氧率	%	3.7	5.4	7.2
鼓风湿分	g/Nm^3	11.4	24.1	11.1
理论燃烧温度	$^{\circ}\text{C}$	2093	2134	2155

从上面资料看，利用焦炭质量适用于欧洲2500m³级高炉，而且它们的灰分只有9%-10%，CSR/CRI指标比我们5000m³高炉的还好，所以我国焦炭质量波动时将会引起炉况波动，尤其是炉缸状态，要特别注意的是中国高炉入炉的钾，钠，锌等有害元素负荷远超过国外的，而有害元素对焦炭在高炉内的劣化作用是，巨大的这是引起炉缸不活的原因之一。

第二是入炉含Fe料质量很差，受成本的压力，一些企业受不科学的宣传影响采购劣质矿是造成炉况恶化的重要原因之一，在这个问题上已有不少论述，这里仅从造成炉缸不活、堆积角度来说明。

- 1) 渣量增加，使滴落带和炉缸焦柱的空隙度下降，造成煤气和铁水流通不过，出现中心打不开炉缸不活，这是渣量增加后造成炉渣在焦柱中滞留率增加，煤气通过的通道空隙（ ζ_C-h_t ）减小，煤气通不过。
- 2) 劣质矿中Al₂O₃高，给炉渣性能带来坏的影响，在低MgO/Al₂O₃比的炉渣时，炉渣稳定性变差，炉缸热状态稍有波动，不稳定高Al₂O₃黏度变大，造成煤气流通过困难，炉缸出现不活。
- 3) 若劣质矿带入炉内的有害元素增加即损害焦炭，也破坏炉料和炉衬，甚至影响高炉一代寿命。

2.煤气分布不合理

- 煤气流通过三次分配达到合理分布是路况顺行，能量利用率高，燃料比低，产量高的基础，对于炉缸来说煤气的初始分配，达到中心和边缘合理分布尤为重要，煤气流分布不合理的变现为少边缘气流过大，中心气流不足。由于边缘气流过大，炉墙渣皮频繁脱落，炉料下降不稳定。中心气流不定造成来料未被充分加热和还原的炉料进入炉缸，破坏炉缸的热状态，最后导致炉缸堆积。在炉料质量差，若发现炉料下降不顺，甬料、悬料、坐料造成料层混乱，致使煤气流分布混乱，同样造成未加热和还原炉料进入炉缸而造成炉缸热量消耗增大出现炉缸不活甚至炉缸堆积。

3.炉缸热状态不稳，炉渣性能波动较大，两者相互影响

- 稳定的炉缸热状态应具备充沛的高温热量满足冶炼需要，本人认为充沛的高温热量的特征是 $t_{理}2200 \pm 50^{\circ}\text{C}$ ， t_c （焦炭进入燃烧带时的温度）应达到 $(0.7-0.75) t_{理}$ 。满足冶炼每kg生铁热量后应有一定数量的热储备630kJ/kg生铁，以供炉温被动时补偿，如果上述三个方面遭到破坏，炉缸必定出现不活甚至堆积。这时冶炼中选用低MgO/ Al₂O₃炉渣尤为突出，因为低MgO/ Al₂O₃渣是属于稳定性差的炉渣，如果没有精料为基础，合理炉缸热状态与之配合，这样炉渣在炉缸温度，炉渣成分波动合理很快增加，炉渣黏度被炉缸不活甚至炉缸堆积。特别要注意长期慢风操作，无计划休风，闷炉复风，因为炉缸热量得不到补充，会造成死料柱中的炉渣变稠，甚至凝固，煤气流通过更是得不到热量补充，炉缸会由不活发展为堆积处理不及时会引起炉缸冻结。

4.高炉炉型不合理

- 过去高炉炉墙为厚壁或中厚壁，现在都是薄壁，而且是冷却器从炉底到炉喉是全覆盖。在厚壁和中厚壁炉墙时，炉型从设计建炉到停炉大修有一个侵蚀而变为操作炉型，良好的操作炉型可以保持高炉生产获得好的操作指标，现在薄壁没有这个应变过程，因此设计时就要造成合理的操作炉型，很遗憾，在这个方面的经验不足，也无理论验证，因而如果选择不当将影响一代高炉生产。从目前生产业绩来看，大部分高炉炉型有待改进，本人认为最突出的是炉腹角过大，造成边缘气流偏长，中心气流不足或不易打开，后果是大部分高炉炉渣皮频繁脱落，未加热和为还原的炉料进入炉缸，炉缸热状态不稳定，由此发展到炉缸堆积。

5.1.3 处理方法

- 切实做好精料工作
- 提高焦炭质量
- 高炉冶炼过程对焦炭性能的劣化作用是客观存在的，而且随着炉容的扩大，喷煤量的增加，劣化程度越来越大，宝钢、迁钢研究数据完全证实了这个劣化的严重程度。

表4 宝钢喷煤前后焦炭在炉内的变化

煤比 kg/t	焦比 kg/t	负荷 t矿/t焦	滞留 时间h	料柱内 负荷增 加%	熔损率 %	循环区内 滞留时间 h	入炉焦 平均粒度 mm	风口焦 平均粒度 mm	差值 mm
0	489.3	3.474	6.50	0.00	29.63	1.000	-	-	-
100	400.0	4.250	9.06	5.53	36.25	1.393	54.40	23.00	27.4
200	310.7	5.470	14.92	12.33	46.67	2.294	53.04	17.15	35.9

表5 首钢集团迁安2号高炉生产技术指标与风口焦粒度

日期	实际 风速 m/s	渣量 kg/t	煤比 kg/t	t _风 ℃	t _理 ℃	渣铁滞留率%		风口焦平均粒 度mm		粒度 降解 百分 比%
						0-2.5m	0-5m	0-2.5m	0-5m	
07.05.15	239	295	150	1236	2089	44.2	49.1	17.86	13.66	59.88
07.11.10	239	294	145.1	1229	2145	55.0		14.08		68.07
08.04.01	241	295	155.9	1239	2155	46.4	59.4	18.29	12.81	58.77
09.02.11	240	305	177.4	1243	2077	32.2		18.04		59.91
09.06.03	241	309	161.0	1251	2176	50.0	50.0	16.99	13.44	62.516

表8 焦炭质量要求

炉容级别(m ³)	1000	2000	3000	4000	5000
M ₄₀	≥78%	≥82%	≥84%	≥85%	≥86%
M ₁₀	≤8.0%	≤7.5%	≤7.0%	≤6.5%	≤6.0%
反应后强度CSR	≥58%	≥60%	≥62%	≥65%	≥66%
反应性指数CRI	≤28%	≤26%	≤25%	≤25%	≤25%
焦炭灰分	≤13%	≤13%	≤12.5%	≤12%	≤12%
焦炭含硫	≤0.7%	≤0.7%	≤0.7%	≤0.6%	≤0.6%
焦炭粒度范围(mm)	75~20	75~25	75~25	75~25	75~30
大于上限	≤10%	≤10%	≤10%	≤10%	≤10%
小于下限	≤8%	≤8%	≤8%	≤8%	≤8%

- 这里要特别强调的，应用捣固焦时要重视捣固焦的喷煤捣固程度，炼焦工艺参数，炼焦时间等以保证捣固焦有较高的质量，目前捣固焦的质量检测都按照顶装焦的质量检测指标和方法进行。从数值上看，似乎捣固焦质量不错，有的甚至优于同类顶装焦，但进入高炉后，表现甚差，一般认为其价值要打8折，明显的一点事捣固焦的粒度组成差，平均粒度要比顶焦小10mm以上，因此，捣固焦的堆度要大于顶装焦，如果合格的顶装焦，的密度堆在0.5左右，则捣固焦的堆密度至少在0.55，有的到0.6。

- **提高含Fe炉料质量**
- **提出的建议是：**
- **停止购买和使用低Fe 高Al的有害杂质的廉价矿。**
- **优化烧结料，控制Al，降低甚至停止配料中的Mg。因为高Al和高MgO烧结出的烧结矿，铁酸铝的含量减少，液相量不足而且流动性差，为提高烧结矿强度，提高烧结温度使烧结矿形成的薄壁大孔，成品粒度组成变差，10~5mm的粒度增多，要重视烧结矿的粒度组成，还原性，低温还原粉化。**
- **国产磁精粉应用与生产会MgO球团矿与SFCA高碱度烧结矿形成优良的炉料结构**
- **富块矿要注意它的爆裂性能，粒度组成、还原性。**

2. 通过上下部调剂，理顺炉料分布和煤气分布

- 从宏观上观察，炉缸不活，甚至堆积，但光从炉缸上调剂是不能完全解决的，需要上下部配合，即从装料、造渣和送风三大制度配合上下功夫。

上部装料制度

- 选用合理的科学的装料制度是理顺炉料分布的重要手段，它要保证合理的两条通路，并且保证炉缸焦柱具有良好的透光性和透液性，这样本人认为应该用力炉墙的第2或第3档位开始装焦炭，采用较宽的平台。形成较浅的中心漏斗，中心加5%-10%最多15%的大块性能好的（CRI低，CSR高，粒度50mm以上）焦炭，这样既理顺炉料分布，也保证煤气三次分配合理。

下部送风制度

- 它是决定煤气初始分配的，煤气初始分配由两个因素制约：燃烧带大小和燃烧带上方和周边焦炭柱的透气性，因为煤气流是燃料在燃烧带内与热风反应产生的。它提供冶炼过程所需要的热量和还原剂，它的分配是否合理影响着炉缸状态和边缘与中心气流分布。
- 送风制度是决定着燃烧带大小的因素，大量的生产实践证明，合理的燃烧带大小是燃烧带形成的环圈面积与炉缸面积之比 $n = \frac{d^2 - (d - 2\theta)^2}{d^2}$ 要出于较合理的范围，大高炉 $n=0.5$ ，中高炉 $n=0.55$ 左右，而小高炉则应保持 0.6 左右。

这里要注意的是单纯用鼓风动能（或风速）不可能完全达到所要求的燃烧带大小，要重视两个因素：死料柱的透气性和炉腹角的大小，在焦炭质量不好，炉渣量大而且粘度过大造成在死料柱中的滞留率增加，死料柱的空隙度（ ζ_{C-h_t} ）偏小甚至过小时，采用过大的风速或鼓风动能，将进一步恶化炉缸状态而不是搞活炉缸。因为这时具有过大鼓风动能的煤气流冲击到死料柱上产生顺时针的涡流，将碎焦、渣铁的混合物扫入下炉缸和风口之下，反而形成严重堆积，而破坏风口。过大的炉腹角使燃烧带过于靠近炉墙边缘，先天的造成初始分配时的边缘气流（边缘效应）。这也是目前薄壁高炉炉腹角 78° - 80° 过大使渣皮频繁脱落的原因之一。本人认为，建炉时将炉腹角设置在 75° ，实际生产中等效炉腹角在 74° 以下为好。

造渣制度

造渣制度的原则中的重要一条是炉渣要具有良好的稳定性，炉渣的性能及它的稳定性不仅影响着炉缸状态，前面提及炉渣性能要与炉缸状态相匹配就是这个意思。炉渣性能和它的稳定性还影响着软熔带及滴落带的煤气流分配。目前受浦项低镁高铝渣的影响都想降低MgO含量，后果是炉渣的稳定性变差，也是目前炉缸不适，甚至堆积的原因之一，在使用低品位高 Al_2O_3 贫劣质矿时后果更严重，本人认为目前状况下要保持适当的MgO量来保持渣的稳定性 $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 不应低于0.5-0.55，对小高炉来说可保持0.6以上。

3. 降低有害杂质的入炉量最好将 (K_2O+Na_2O) 控制在3.0kg/t以下, Zn控制在150g/t以下

- 有害元素是焦炭质量劣化的催化剂, 提前和加剧焦炭与 CO_2 的气化反应, , 增加了焦炭的CRI, 降低CSR。相应焦炭的粒度和强度的变差, 料柱(特别软熔带和滴落带炉缸的炉芯地段)的透气性变差。他们还使烧结矿低温还原粉化率升高, 导致球团矿异常膨胀。这些造成料柱压差梯度升高, 引起高炉的悬料。还会引起炉墙结瘤, 风口的大套上翘, 小套烧坏等。**

提高操作和管理水平

在上述3方面的措施做好的基础上，要做好管理工作。防止设备出问题而造成无计划休风，杜绝冷却器等的漏水现象以免水流入炉缸造成危害。处理炉况要有“耐性”，不能操之过急，更不能有病乱投医。需要进行技术分析后，找出原因。统一操作人员认识，采取有效措施，处理炉况。

5.2 炉缸大凉与冻结

- 炉缸大凉到冻结是一个量变过程
- 炉缸冻结是最严重的事故之一
- 一旦发生影响生产、损坏设备、人力物力巨大损失
- 近年由于高炉大型化、综合条件的改善、操作水平提高，这类事故大幅度减少。
- 处理水平与速度提高。

炉缸大凉和冻结的征兆

- 急剧炉凉
- 因炉凉引起崩料、悬料、管道等炉况失常
- 铁口难开
- 随炉凉的发展风量自动减少，风压升高
- 大型管道发生前必有一段时间压差升高
- 如果由炉内漏水而引起的，冻结前可能出现风口与二套间、二套与大套间、大套与法兰间向外流水，铁口发潮、冒气甚至流水，炉顶煤气中 H_2 含量升高

大凉与炉缸冻结的原因

- 炉况失常处理不当：崩料一连续崩料，恶性管道、煤气流分布严重失常，炉凉时的崩、坐料；
- 操作失误；
- 大量冷却水漏入炉缸；
- 长期休风或封炉；
- 原、燃质量突发恶化；
- 设备事故诱发；
- 突发自然灾害；
- 高煤比时突发停煤，既准备及处理不当。

炉缸冻结的处理

- 关键点：熔化低温物料，速排低温渣铁
- 具体方法
 - 1)加够净焦,焦炭容积/炉缸容积:0.5---2.0
 - 2)形成小冶炼区,吃月饼方式
 - 3)按单风口风量送风
 - 4)排出冷渣铁,(渣口、风口改铁口,特殊氧枪等
 - 5)慢捅风口
 - 6)加强炉前工作
 - 7)长期休风减少冷却水

炉缸冻结处理实例

- 鞍钢11高炉(2025m³)装错料造成炉缸冻结
- 1986.3.3.中班(17:58—23:22,长达5h24min)因上料程序出错,连续加入高炉27批净烧结矿而设装焦炭(R=1.35热矿、1014t),发现甚晚,直到快交班时才察觉,(已装2245.83t烧,29t石灰石)为时甚晚,处理措施拖延时间较长,造成炉缸冻结。
- 处理过程:
- 讨论结果: (1)送风换料; (2)吹料,试图将冷料吹出; (3)扒料,割开炉皮将冷料扒出
- 1.第一步继续送风换料
- 从装错料到发现已持续生产5个多小时,发现后立即休风堵风口,复风时开风口如表1
- 开、堵、吹开、自动灌死、直至烧穿,这期间共装入17批净焦(计165.69t),为恢复炉况打下了基础
- 左边风口平均只工作2.5h,右边风口平均工作5.21h,而2号风口工作了8h26min,
- 说明:a.开3个风口也多了,b.一旦吹开要想法堵上, c.捅开风口更着急了。

表1

时 间	高 炉					风 口				
	18	19	20	21	22	1	2	3	4	5
3:45	×	○	○	○	×	×	×	×	×	×
4:00	×	○	○	○	×	×	○ (自动吹开)	×	×	×
4:45	×	○	○	○	○ (自动吹开)	×	○	×	×	×
6:30	×	⊗	⊗	⊗	⊗	×	○	×	×	×
6:40	×					×	○	○ (人工打开)	×	×
11:00	×					×	○	○	○ (人工打开)	×
12:26	×					×	⊗	⊗ (自动灌渣)	⊗	⊗ (烧穿)

注：×、○、⊗分别表示堵、开、灌渣风口。

第二步吹料

- “吹”就是两个风口送风,另一个风口为出料口,以期将炉料吹出。即采用13,16号风口送风,以15号风口为出料口。吹风时间共316min,热风压力为0.078~0.225MPa,风量为0~1200m³/min,共吹八次。
- 结果只吹出28t焦炭,9.5t烧结矿。吹炉结束后发现炉缸焦炭迁移现象。吹炉时风口工作布局如图2所示
- ①第四次吹料结束后发现13号风口前约2.0m深是空洞,其上方有凝结物质。第五次吹料时,13号风口前空洞缩小为0.05m,上面有凝结物。第六次吹料时,13号风口前空洞消失,凝物消失。
- ②第八次吹料结束后发现已凝死3号风口,有2.5m深空洞,风口以上为1m,下面为500m,而且向东侧5,6号风口延伸。这几个风口打开时都烧约200mm深的凝结物。

第三步 ” 送风”

- 吹料实际没达到预想目的,研究决定不扒料了而采取送风。3号风口前吹成的空洞填入2—3t新焦, 13、14号风口向炉内加铝锭13块, 15号风口做临时出铁口, 16号风口为送风口。
- 3月6日15:30送风, 风压0.02MPa, 风温500 0C, 风量无显示。22:14---22:20间13、17号风口吹开, 22:40休风堵住这两风口,全天装焦38.2吨, 打开渣口无渣。
- 7日, 7:40, 14号风口吹开, 风压0.02MPa, 风量升到529m³/min, 多次打开渣口无渣。13点开铁口出铁30t, 17:10打开17号风口, 风口工作正常, 风量650m³/min风压0.04MPa, 全天装焦134t,出铁105t, 但无渣。

- 8日夜、白班13、14、17号风口工作正常，风压提0.05MPa，风量加至800—850m³/min，风温8400C，9:30—11:00休风,烧开18.19号风号并堵泥,17:00打开18号风,工作风口增至4个，铁口只出铁不出渣，20:35打开西渣口出渣30t。渣热炉温回升,23:20打开19号风口,截至加矿石前共加焦532t,略相当加错料的热量。CO₂含量已降到4.5-6%，预示已全烧焦炭。8日17:25开始加入第一车矿石(12t) .接着以开炉焦比分段调整焦炭负荷.焦比由4.57---0.518t/t逐步调整.采用倒装与倒分装装料.
- 7日铁[Si]:0.6—0.58%,8日铁含[Si]:1.23%,9日[Si]:0.9—3.096%,10日[Si]:4.516—2.705%。
- 9日,3:45开13风口,4:55开12风口, 8:50—10:15休风处理20.21.22号风口,15:20开20号风口,23:20左右风管烧穿.休风处理并开21号风口.
- 10日10:14—12:36休风处15号风口
- 12日14:20—16:46休风处理南西渣口炭砖套.工作风口增至18个
- 9--13日按目标计划管理来恢复炉况。临时铁口沒用上.
- 经过9个日夜不断努力,排除了这次意外事故,炉况恢复顺.

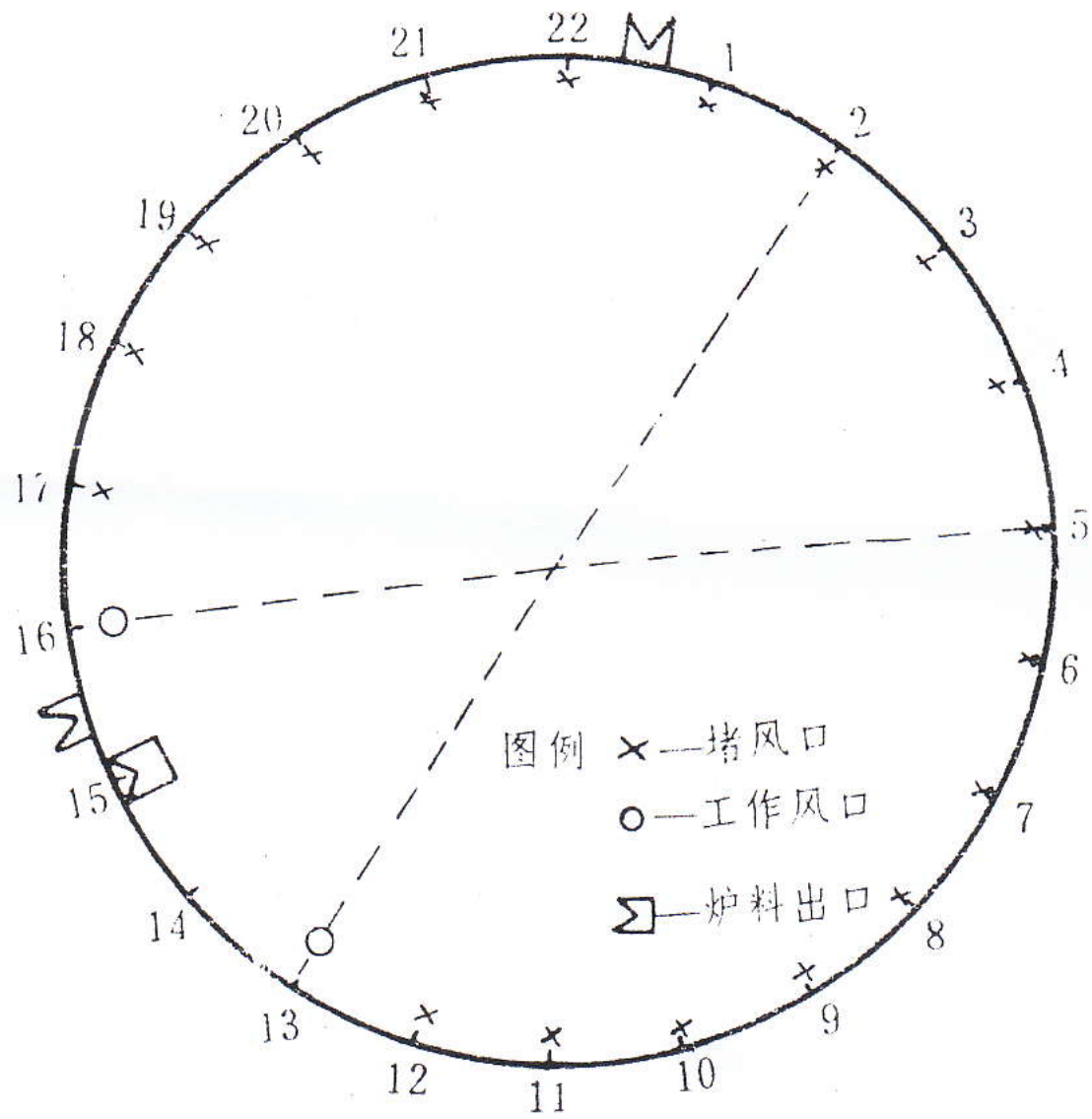


图 2 高炉吹料时风口工作图

5.3 炉缸渗铁与烧穿

5.3.1 原因

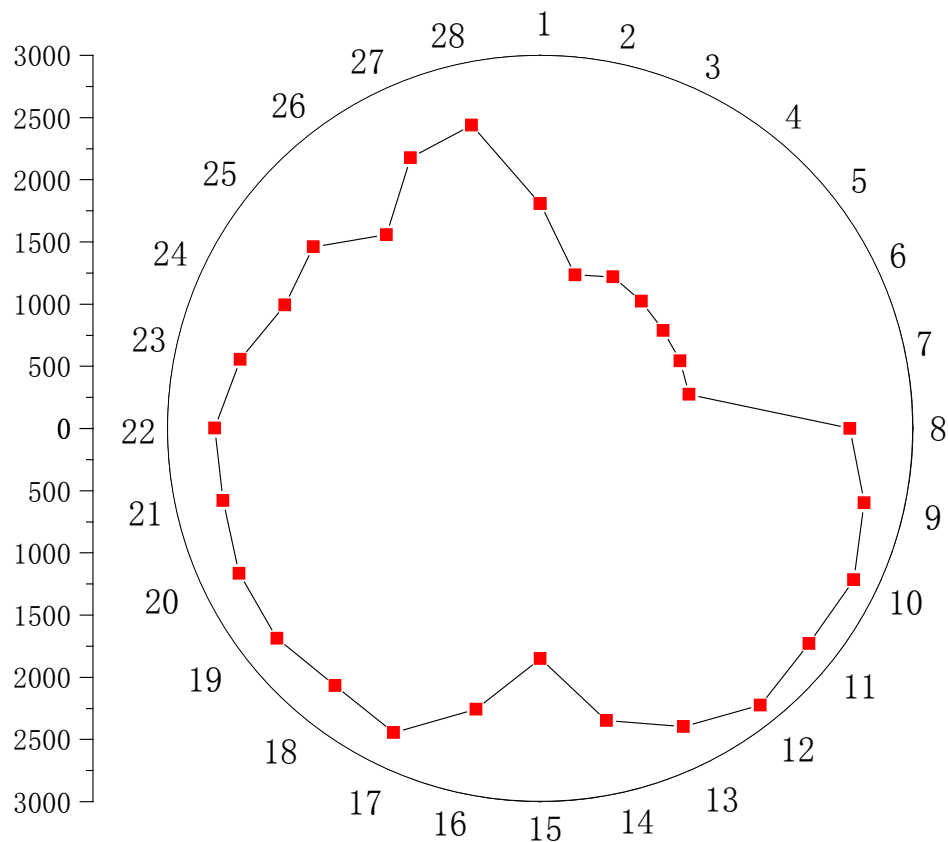
- 随着炼铁生产的发展，近年来出现多座高炉渗铁和烧穿事故，分析其原因是多方面的，有设计上，还有筑炉上的，也有生产操作上的。
- 设计上的是结构合理例如自焙砖与陶瓷杯结合，美联碳砖中微孔碳砖与陶瓷杯结合，再有冷却强度与选用的砖衬和冶炼强度不匹配，还有设计师为节省投资，未考虑完善的检测手段等。
- 筑炉上的是砖衬选用不当，验收不严，以次充好，筑炉时追求速度而砌筑质量差砖衬缝隙过大，陶瓷杯与碳砖间和碳砖与冷却壁间，冷却壁与炉壳的膨胀逢处理不当，冷却器安装不规范等。

5.3 炉缸渗铁与烧穿

- 虽然炼铁科技和生产人员对炉缸损坏造成渗铁(漏铁)与烧穿的原因有着分歧，但是在出现征兆和处理方法上还是一致的。
- 本人在这里仅就出现征兆后，如何行动，讲一点个人意见，一般来说渗铁与烧穿都是有征兆的，需要操作人员仔细观察，尽早发现，最明显的就是炉缸冷却壁水温差异常升高，炉缸侧壁的热电偶温度异常升高。造成升高的原因有两类：一类是点升高，另一类是面升高，因此要认真观察和分析是点升高还是面升高，点升高是铁水或煤气沿缝隙窜出来造成的，面升高绝大部分是砖衬被侵蚀，操作人员应根据情况认真观察分析，得出科学结论，采取不同措施处理。

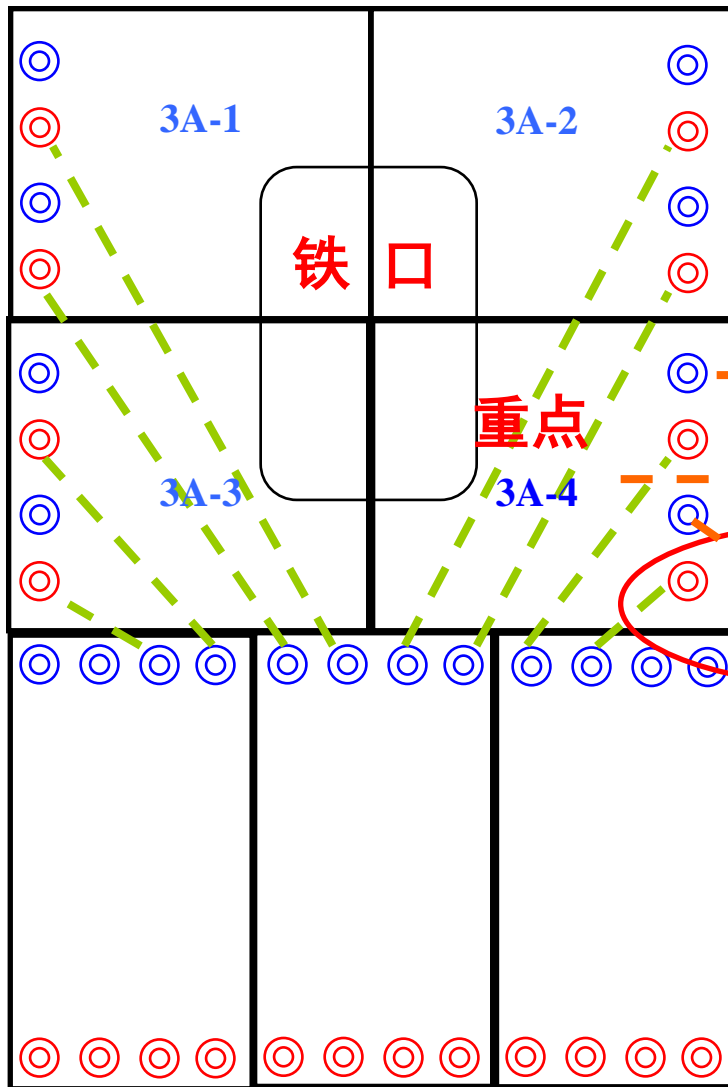
- 要做的第一件事是判断砖衬残余厚度，是否已达到渗铁或烧穿的危险程度，这可从砖衬中同一高度前后两个热电偶的温度差计算出热流密度，如无两个热电偶，则可用传热学的公式计算出残余砖厚，一般认为残余厚度在300mm一下，就有烧穿危险应立即停炉大修。

例一：



- 国内某高炉计算结果，部分位置已经小于300mm，建议停炉大修
- 几乎与拆炉实际结果相同
- 多次参与计算高炉炉墙，炉底厚度计算，得出值都比较准确

例二：



测量原因：高炉有部分水管水温差升高

测量位置：1780m³高炉41,42水管，如图所示分别对应铁口附近3A-4冷却壁的位置。

测量条件：水管外径70mm，内径3.5mm，进水温度：38.1℃，出水温度38.9℃，温差0.8℃；
测量结果：41、42号水管流量分别为21.1m³/h。

→ 41管，1-3层水温差0.7℃

判断41,42管水温差升高的原因，

问题所在：42管，
1-3层出水温差0.8℃

33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44

⊙ 进水管 ⊙ 出水管

■ 分析原因：

- 计算热流强度：从图纸计算，铁口3A-4的面积为1.52m²，国丰1780m³高炉2号炉计算热流及相应厚度有两个不利条件：1.其水温差为1-3层水管水温差，不能准确测量每个水管的水温差，2.铁口位置没有热电偶可以参考。
- 克服问题一，采用1炉检修时，把经过铁口的几根水管连接部位割断分别测量水温差：1段水温差0.1℃，2段水温差0.4℃，3段水温差0.1℃，共0.6摄氏度，我们根据这个信息，分别确定这次测量3A-4的水温差为0.3或0.4；克服问题二，找周围最近的热电偶，360℃，插入碳砖内200mm，分别计算，当温差为0.3℃时，为8328大卡/m²h，当温差为0.4℃时，温差为11105大卡/m²h；计算炉墙厚度时，在300℃，导热系数为10，600℃导热系数为14，我们取12，计算出厚度分别为1.09m和1.03m，实际碳砖1.10m。可以判定是刚刚陶瓷杯壁脱落，从而引起水温差升高。
- 同时分析，由于二层冷却壁，象脚位置侵蚀引起，又分别计算2层39，40两根管，面积去一半的冷却壁厚度，面积一半1.91/2mm，温度分别按0.4℃，0.5℃计算，计算出所剩厚度为769mm，655mm。现在来看还可继续安全生产，但是应加强护炉，在近期不要增加冶炼强度，视其水温差的升降情况，再进行下部决定。

- 本人认为如果计算出残余厚度大于300mm，例如450~500mm，则应采取以下应急措施：

堵温度高地的风口；

加大冷却水量，最好降低进水温度；

降低冶炼强度，例如短期降20%左右；

- 加含Ti料护炉，一般应达到铁水中含Ti 0.15%~0.2%，砖衬残余厚度较薄时可短时加大到0.25%。另外，同时应将铁水含硅提高到0.45%以上，要使铁水中Ti+Si=0.6%左右（不应低于0.5%），以利于铁水中形成TiC，TiN和石墨碳析出形成保护层；

严重时应凉炉，凉炉前应使铁水含Ti在0.2%或0.25%；

加强出铁管理，降低出铁速度，保证铁口长度；

局部进行灌浆处理，尤其是点升高的情况下，效果会更好；

部分高炉是由于有害杂质过多造成的，应短时停止入炉。

5.3.3 渗铁和烧穿后的处理

- 高炉漏铁或烧穿后，是否就一定要停炉大修，这要看具体情况。一看漏铁和烧穿位置是炉缸侧壁还是已深入炉底砖，二看面积是点穿，点漏还是大面积烧穿。据大部分高炉出事故后调查，属点穿和侧壁占多数，在这种情况下就可采用挖补的方法来处理。
- 首先确定炉缸内还有无铁水，如有应放尽残铁，避免修补时炉壳开孔，取出烧坏冷却壁时残洗流浆，造成二次安全事故。

- 取出同时准备修补用耐火砖（最好是小块微孔炭砖）和冷却壁（最好做成小块，例如原冷却壁的1/2或1/4小块）
- 割开炉壳，取出烧坏冷却壁，支架支撑烧穿口上方的砖衬，清理残渣铁和杂物，找出原始砖面。
- 砌筑新砖和安装冷却壁，然后焊好炉壳，注意焊补钢板的钢种要与原钢板钢种相同。焊口加工和 温焊补，要安装检测热电偶等。
- 压入泥浆填充缝隙，减少或消除传热过程的气隙，降低传热的热阻，提高冷却效率。
- 复风生产前要对新冷却壁通水试压试漏。
- 一般采用这种方法修补后，可延长高炉寿命若干年（有长有短，短的1-3年，长的10年）

5.3.4 鞍钢新3号高炉炉缸烧穿处理实例

- 事故简况:
- 鞍钢新3高炉(3200m³)于2008.25.20.30.突发炉缸烧穿事故,烧出口在4#铁口下2.2m左右,炉皮烧开一500x2000mm的大口子,烧坏33.32两块冷壁,跑出渣铁近900t、炉料2500余t,即风口以上容全部跑空。实行挖补抢修共计停炉12天,到9月7日4时复风恢复,按炉缸冻结处理,至9月19日恢复正常,又历时了12天。

处理大至经过:

- 1) 事故发生时炉顶下罐尚有70t铁料,加净焦前需先入炉,采用非开风口方向定点布料,4号铁口是事故区、不用其作开炉铁口。
- 2) 风口上2200m³容积: a.净焦至炉腰上沿, b.1.0、0.8t/t焦比料两段, c.扣除原炉内料,新装料焦比1.5,终渣R=0.95,
- 3) 送风:1号铁口上开1.2.31.32.号4个风口,2号铁口上方开5.6.7.8.9.10.号6个风口,3号铁口上开14.15.16.17.18.19.号6个风口,共计16个风口,占风总数50%。

- 4) 原计划:5天处理冻结,7天冶炼铸造铁护炉,7天恢复到2.0的系数,但难度大,开风多,未达到予期目标
- 5) 复风后渣铁渗透性很差,(铁口—风口之间为烧穿下来的焦矿混凝物),在风口—铁口之间形凝固层,从铁口只出少量低温铁水,熔渣渗不下来,开风口虽多,但进风量不多,且风口然烧焦炭热量随煤气带走了,风口区域憋了大量熔渣,随时有烧穿风口的危险.部分风口已灌渣。
- 6) 被迫于14日休风,从风口排出大量熔渣.
- 7) 再次在相对较好的2号铁口上方,开6.7.8.9.号4个风口,其余风口全部诸死,于15日22:00再次送风
- 8) 由于炉缸加热已达到一定程度,2号铁口排渣铁很顺。到9月19日8:00工作风口达27个,风压到0.320 MPa,基本达到正常炉况水平。

处理过程简结:

- a. 处理方案、热负荷、装配料、炉前工作、设备系统保障,操作控制、防止风口烧穿做得优秀。
- b. 抢修后复风对炉内状况估计得乐观,第一次送风开16个风口太多,急于求成,没能利用极小空间加热,进而蚕食扩大战果的方法,三个方向齐进攻,忽略风口以上全部是冷料,没有预热与预还原,造成了第二次休风。

谢 谢！

由于时间关系，其他炉况和事故处理请阅读其他专著，上述是个人体会和建议，部队和不妥之处请批评！！