

实现高炉高效长寿是庞大的系统工程

汤清华

2024.2.

鞍钢厂区高炉群.2017.

实现高炉高效长寿是大系统工程

实现高炉高效长寿的目标与现状

长寿高炉设计、建设、检修中的一些建议

高效与长寿高炉的生产操作与维护

炉役后期高炉操作注意事项

关于炉缸浇注的讨论

1 实现高炉高效长寿的目标与现状

炼铁的技术方针：**高效、优质、低耗、长寿、环保**
(GB50427-2015)

实现高炉高效、长寿的标准

高效率长寿命高炉现状

我国高炉长寿方面存在的问题

高炉是可实现高效长寿的

实现高炉长寿是一项涉及到多学科、多工序的庞大系统工程

当前认为高炉不能长寿的原因

1 实现高炉高效长寿的目标与现状

1.1 实现高炉高效、长寿的标准

➤ 高效：15000(t/m³.代)，风温年均1200 °C (1280±20 °C)

➤ 寿命：高炉大于15年(20年, 5475-730d)，热风炉30年

(一代炉役中连续休风不超过7天)

➤ 4000t/m³.代 → 7000t/m³.代 → 10000~15000t/m³.代

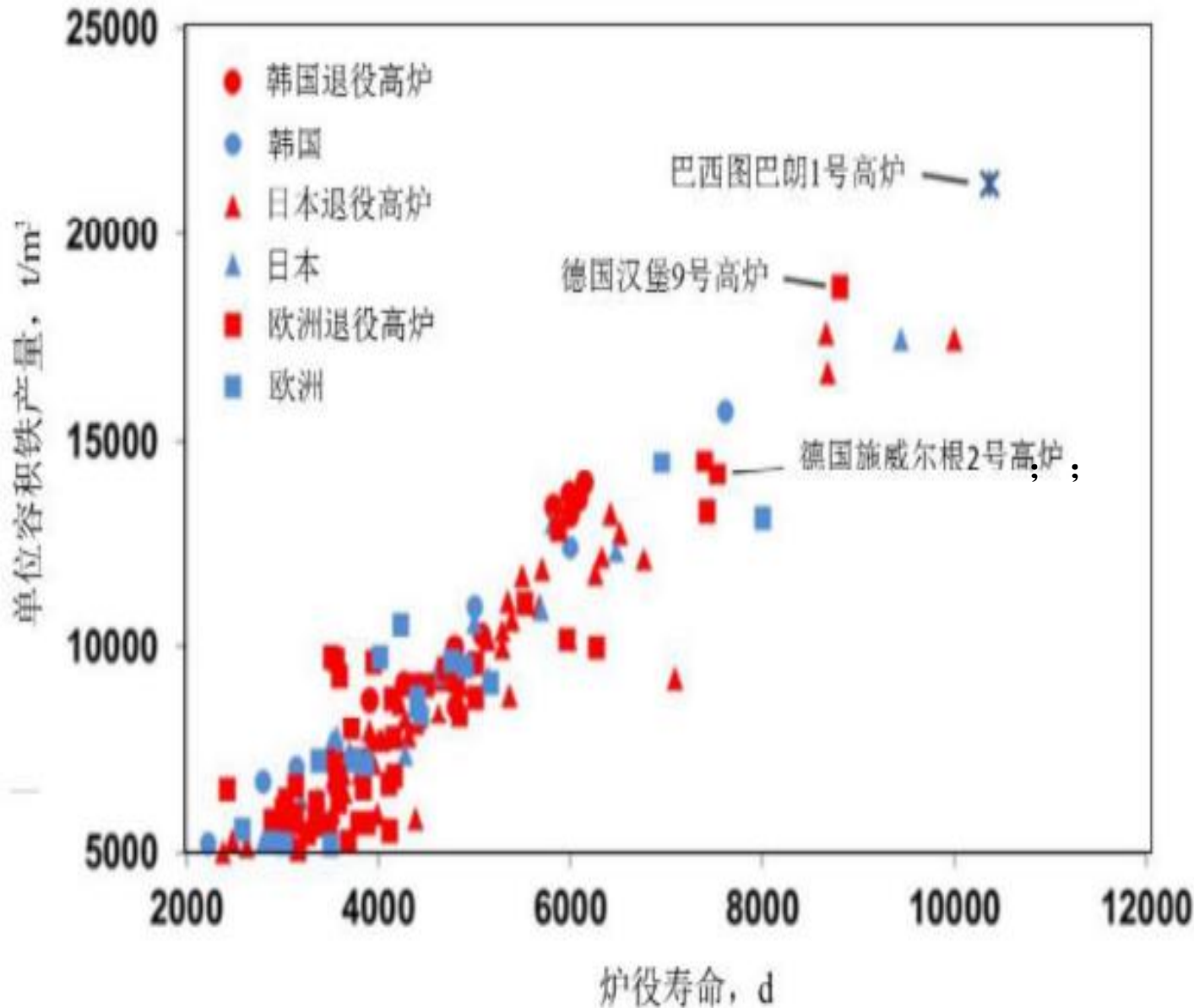
➤ 上世纪六十年代 → 八十年代 → 本世纪

➤ 这样十五年，年均利用系数2.85t/m³？目前双达标的甚少。

1.2 高效率长寿命高炉现状

- 日本和歌山5高炉寿命12891d(30年11个月),世界最高寿命。
- 我最高长寿炉是宝钢3号高炉炉缸19年寿命,产铁15700 t/m³.代,
- 国外部分长寿高炉平均寿命16.5年,平均产铁量11039t/ m³.代。
- 国内部分长寿高炉平均寿命13.93年,平均产铁量10957 t/m³.代
- 国内部分高炉寿命比国外部分高炉寿命平均低2.6年,但生产效率高于国外高炉
- 大型化,高集中度, (大于5000m³全世界计32座, 中国9座, 3000-4000m³级的50座)
- 全世界高炉座数在不断减少,单炉容积在不断扩大,中国高炉座数占全球70%左右,900余座,数量在减少,平均容积在增加
- 炉缸寿命偏短, 时有烧穿事故仍是限制性环节

国外高炉寿命状况



- ◆ 超过20年寿命高炉甚少。
- ◆ 一代炉役产铁15000-20000t/m³
- ◆ 单炉一代炉役产铁突破亿吨。
- ◆ 和歌山4高炉寿命达10001d。
- ◆ 和歌山5高炉寿命12891d(30年11个月),最高寿命。
- ◆ 巴西图巴朗1高炉(4450),寿命10370d,一代炉役产铁21272t/m³.代,累积9400万吨。
- ◆ 蒂森施委尔根2BF(5513m³),寿命7390d,产铁14000t/m³。
- ◆ 蒂森汉堡9BF,寿命8760d以上,产铁15000t/m³。

武钢有限炼铁厂高炉运行年限及单位炉容产铁量

高炉	有效容积 (m3)	投产日期	停炉日期	运行年限	单位炉容产 铁量 t/m3.代	备注
1BF	2200	2001.5.19	2019.10.14	18.4	13310	铜冷却壁使用13年后开始出现损坏
4BF	2600	2007.5.28	/	16.6	14026	6-9段为铜壁，使用12年后开始出现损坏
5BF	3200	2007.12.23	/	16.0	13518	运行超15年，期间未中修更换冷却壁
6BF	3200	2004.7.16	2021.6.29	16.9	14522	6-9段为铜壁，使用10年后开始出现损坏
7BF	3200	2006.6.28	2022.7.02	16.0	13645	
8BF	4117	2009.8.1	/	14.3	12280	5-9段为铜壁，使用10年后开始出现损坏

鞍钢炼铁总厂一、二排高炉投产及停炉日期

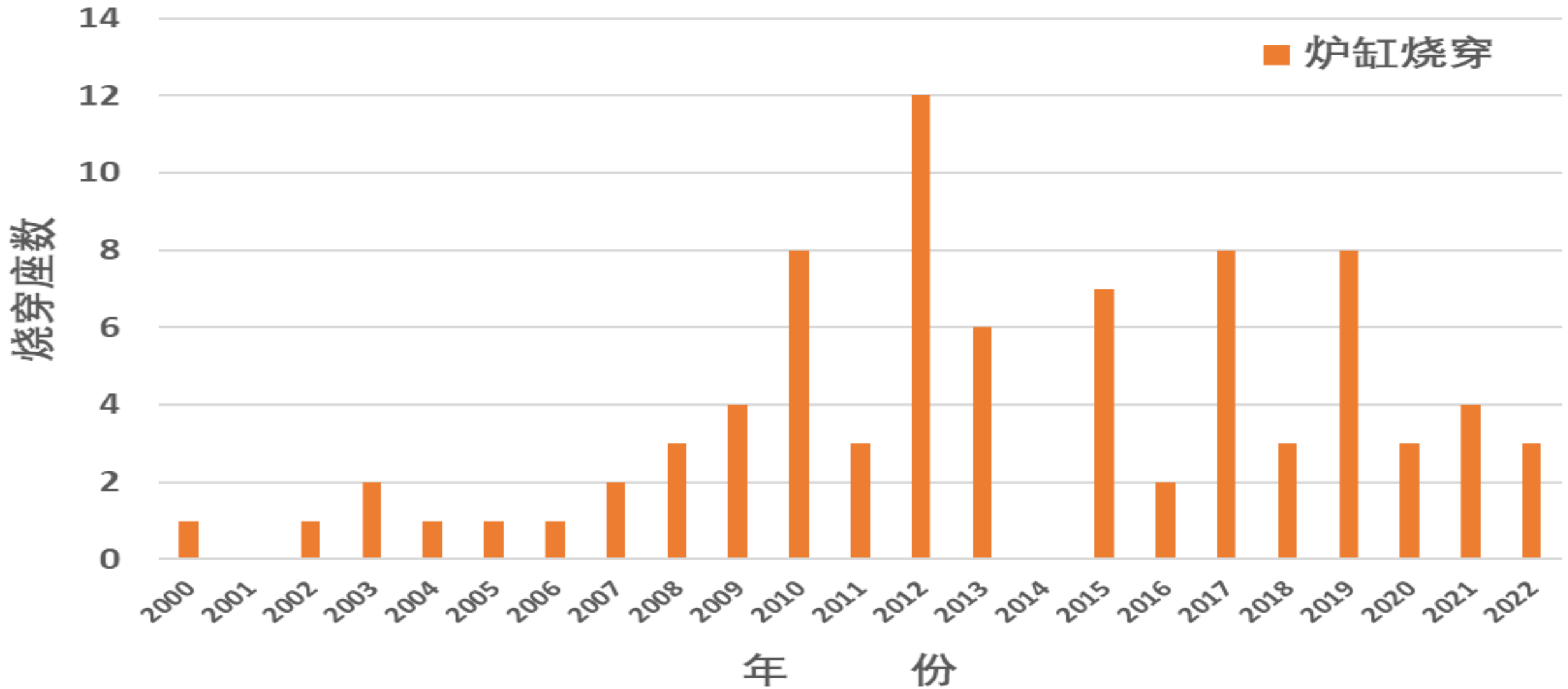
高炉	停炉时有 效容积 (m3)	生产能力 (t/d)	投产日期	上料形式	末代炉役情况	淘汰停炉日期	平均大修 年
1BF	633	1300	1919.04.29	料罐钟式	1987.02.17 第7代炉役	2005.08.08	12.3
2BF	888	1700	1921.12.16	料罐钟式	1988.04.26 第9代炉役	2005.10.10	9.3
3BF	831	2000	1930.03.09	料车钟式	1997.02.26 第7代炉役	2006.12.07	10.8
4BF	1000	1800	1932.07.31	料罐钟式	2000.05.30 第8代炉役	2005.08.05	9.2
5BF	970	1750	1938.09.18	料罐钟式	1996.04.11. 第5代炉役	2006.08.01	13.6
6BF	1050	2100	1938.12.31	料罐钟式	2001.03.13. 第6代炉役	2006.12.15	11.3
9BF	983	1750	1943.11.28	料罐钟式	1996.11.10. 第5代炉役	2005.10.30	12.4

1.3 我国高炉长寿方面存在的问题

- a. 平均达不到10年寿命（有的2-6年），各企业相差较大，发展不均衡
- b. 新建或大修高炉开炉不久，环炭温度攀升，被迫一开炉就采用长期控产降冶强等护炉措施(仅用钒钛矿护炉成本升高2000万元/年. 2500m³座以上)
- c. 炉缸烧穿事故时有发生
- d. 炉腹-炉身下部冷却器或铜冷却壁也没有达到预期的寿命(>15年), 多数在6-8年, 良莠不齐, 仍为限制性环节。
- e. 热风炉30年寿命目标相差甚远, 风温偏低, 特别是仿卡氏炉、燃烧器与管道连接部位, NO_x不达标。

我国高炉炉缸烧穿时有发生

我国高炉炉缸烧穿不完全统计



1.4 高炉是实现高效长寿的

- 高炉是可以实现高效长寿的
- 实现高炉长寿是一项涉及到多学科、多工序的庞大系统工程, 每一环节都做好了, 才能达到目标。
- 应当是科学管理贯彻始终的每一个环节
- 从方案制定开始→设计→制造→施工→生产操作→维护
- 从方案制定、设计开始直至停炉大修为止, 制定整个炉役各环节长寿工作的终身负责制和契约合同
- 各工序中全员终生负责制

1.5 高炉长寿是最大的障本

- 这是不言而喻的。有人曾计算一座5000m³高炉日产值2亿多，加之高昂的大、中修费用，因此努力提高高炉寿命是最大的增效
- 困扰高炉长寿的两个方面：
 - a 炉底炉缸寿命
 - b 炉腹至构炉身下部的冷却结寿命

(仅讨论炉缸寿命, 冷却系统可查阅《炼铁》2022.No.1)

“高效长寿高炉的冷却结构及冷却强度刍议”

1.6 当前很多人认为高炉不能长寿原因有

- 设计者的认识是
 - a. 炭砖质量不好,
 - b. 施工质量差
 - c. 冶炼强度过高,
 - d. 入炉有害杂质超标
- 笔者认同a-d, 但更强调
- e. 当前高炉部分结构不佳应是主要原因

2 高效长寿高炉设计与建设中的一些建议

炉壳结构问题

优化炉缸砖衬砌筑结构的设计

加强炭砖生产质量监控与选择标准

改进冷却结构提升冷却能力

适宜的炉腹与炉身角

关于死铁层深度

捡测手段的配置

炉缸与炉腹过渡区冷却壁的连接

高炉铜冷却壁寿命的建议

2 长寿高炉设计与建设中的一些建议

2.1 炉壳结构问题

a. 高炉炉底炉缸部位壳体没有收角,不是圆锥台形

高炉投产后,炉缸生成了铁水,高炉内砖衬在铁水浸泡下就象油在水中,比重不同轻者要上浮,(铁水比重/炭砖比重= $7.6/1.55=4.9$ 倍,炭砖要上浮),而圆柱型炉缸,靠的是炭砖与冷却壁之间的摩擦力来防止炭砖上浮,上浮使得砖缝逐渐大了,缝中钻入了Zn蒸气和Fe等,砖衬温度就升高和加速侵蚀.如果是斜炉壳的话,炉壳与冷却壁有一种向下的分力来加强约束砖衬上浮,摩擦力与斜面约束力共同阻止炭砖上浮,减轻砖缝

一批高炉开炉半个月或几个月环炭温度就剧烈升高甚至烧穿很有力地证明了这一点,数座巨型高炉环炭温度也出现超标。

b. 另一种结构是炉壳收缩位置在风口段下方，太高，同样使炭砖上浮，砖缝变大，钻铁和锌等。

这里不仅要克服炭砖上浮，而同一块炭砖内部同时受到上浮时所产生的剪切力，易使炭砖断裂，不论大小块炭砖砌筑的炉缸环炭都存在环裂，其原因是否与此有关直得深入探讨。因此炉壳向上收缩应从炉底板位置开始才是正确的，有的从炉缸一段冷却壁开始收缩，比不收缩的好，但不如从炉底板开始的好，这些都在生产实践得以证实的。

注意的有：炭砖抗压强度是30-50MPa左右，而抗折强度只有几MPa，紧靠冷却壁

c. **风口段最好设置为圆柱形，而不应采用圆锥台形**

部分高炉炉腹段冷却壁易烧坏，有的甚至烧坏冷却壁的冷面水管，有的风口段冷却壁也烧块，应与此有关。

风口中套在一代炉役中不断上翘应引起重视，也不能全归罪于入炉碱金属和Zn超标。如：某1780高炉炉缸采用自由式陶瓷杯壁（半杯），2011.8.年开炉到2020.5.为止，因中套上翘及变形更换了97个(风口数3.7倍)，并没有烧坏的记录；很多风口段为圆柱段的结构，中套上翘情况很轻。

风口段内斜而炉腹段外扩径则炉壳交接处应力集中，风口冷却壁和炉腹冷却壁水冷线不能平滑过渡，是一重要原因。

长寿高炉设计与建设中的一些建议

2.2 优化炉缸砖衬砌筑结构的设计

惊人的实例：

2008-2021年之间，国内炉缸烧穿8座2600-4350的高炉，寿命2.5年-8年多一点，8座炉子都是进口炭砖(CGL的2座，NDK的2座，UCAR的4座)。采用的是世界顶级的优质炭砖。（当然寿命长的也是用这些厂的炭砖）。说明问题不全是炭砖质量和是否引进上。问题是：

1水平通缝：不论是由大块炭砖还是小块炭砖单一砌筑的炉缸环炭，设计上多数采用水平通缝的砌筑结构，应当说是**违返了建筑常识，建议消除这种结构。**满铺炭砖是错层消除垂直通缝的，单层互相挤压防浮，环炭应改成大、小块炭块复合砌筑。小块紧贴冷却壁砌筑，炭捣料往热面移到大、小块炭砖之间，用结构上的措施来加以消除。加上陶瓷杯实际上是**三次错缝来消除水平通缝，三道档墙，三道防线，**阻止Zn、铁水的钻入，如热风炉大墙和管道砖砌筑那样，采用两环轻质绝热砖和一环重质砖错缝砌筑类似，即**迷宫理论。**

2.2 优化炉缸砖衬砌筑结构的设计

2) **炭砖厚度：** 550mm太薄，薄壁炉衬不应当指炉缸炉衬，建议环炭铁口区域不能小于1500mm，炉底2000mm，还加800mm陶瓷垫，象脚处炭砖厚度应与陶瓷垫处的炭砖厚度相对应。UCAR为什么不建议厚炭砖衬和用陶瓷杯壁，因其NMD和NMA全是不焙烧炭砖，要到高炉内来快速焙烧。

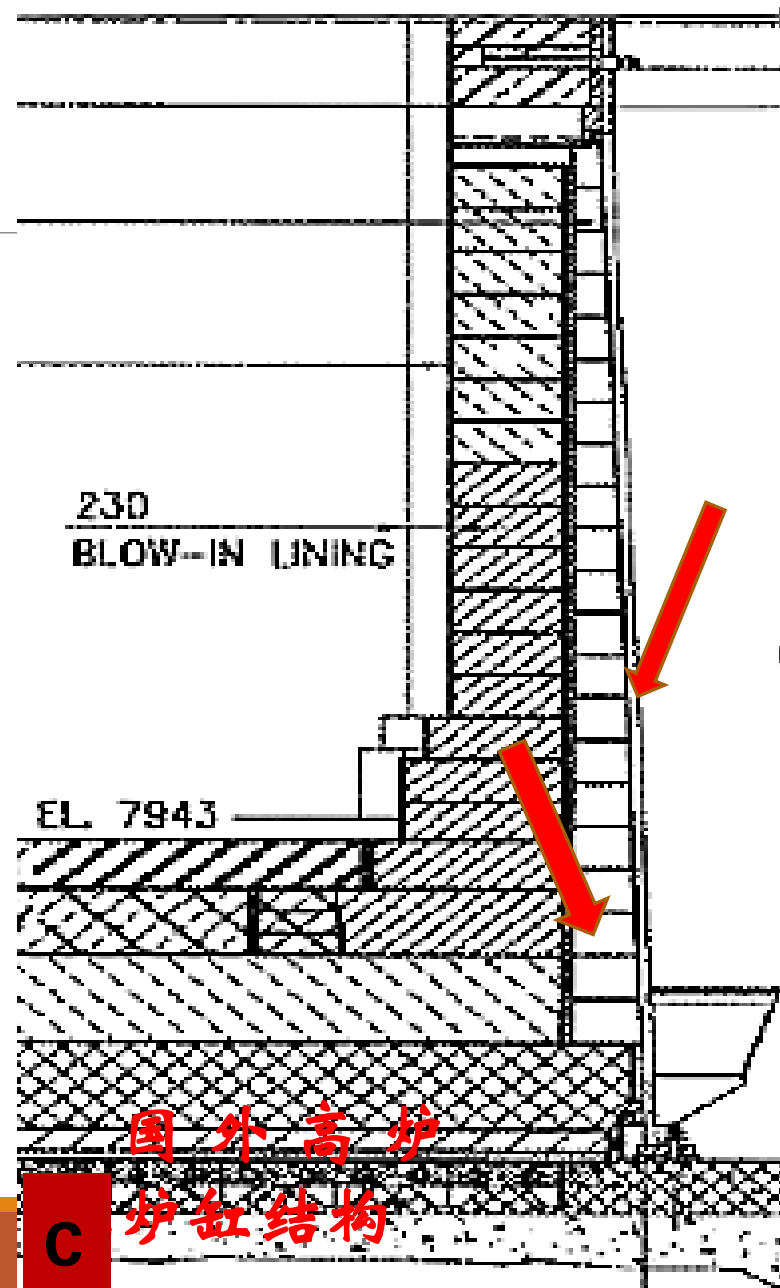
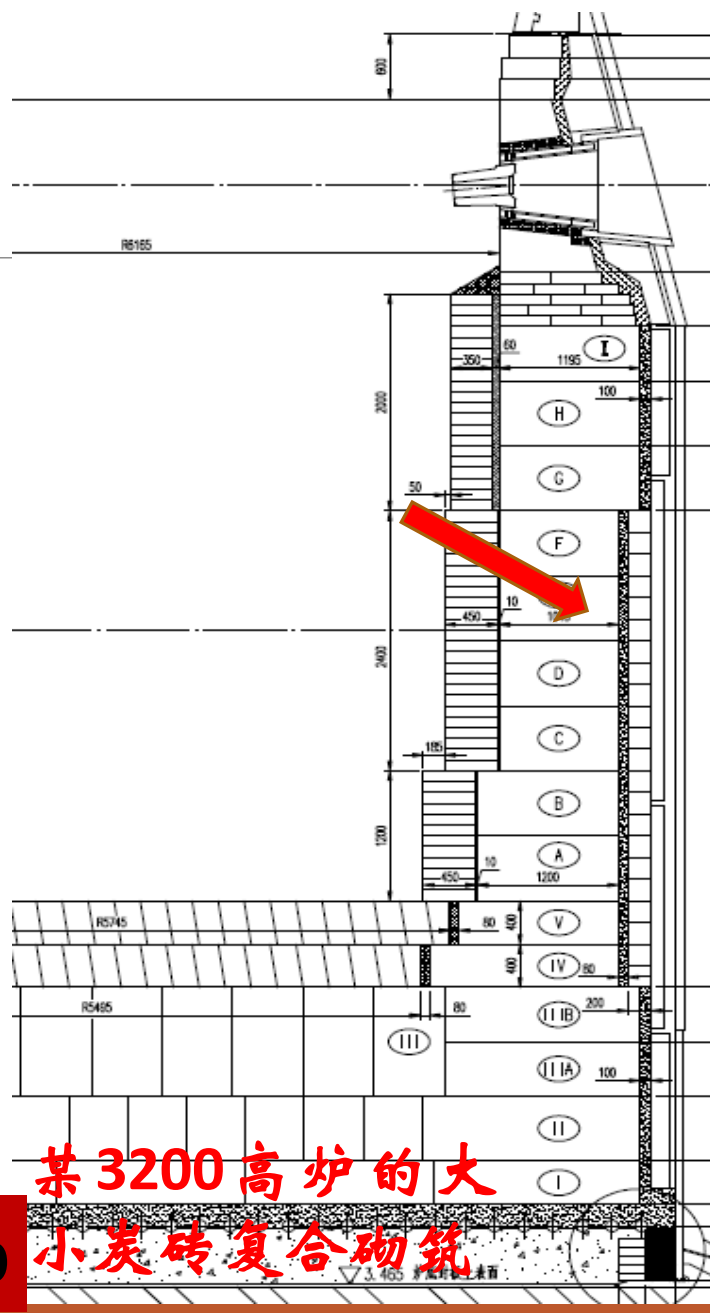
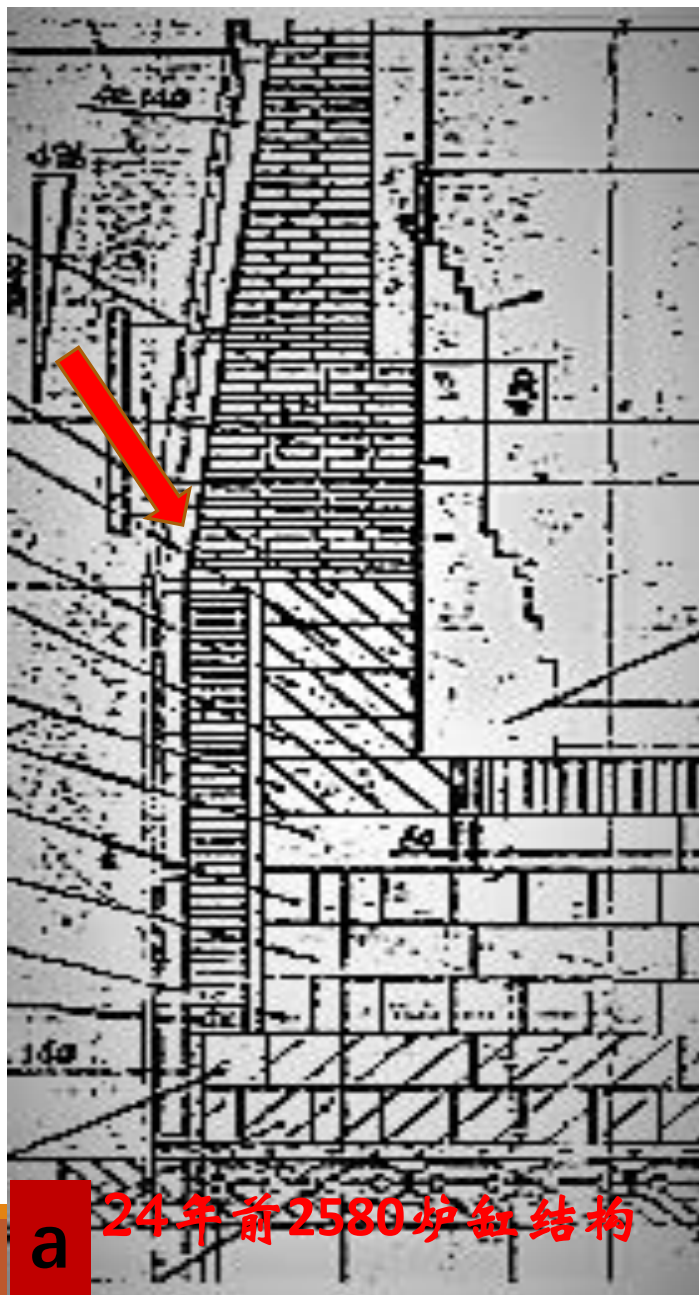
3) 坚持好传热的顺序

- 炉底由下至上,导热系数由大至小
- 环炭由冷面至热面,导热系数由大至小
- 消除中间热阻层

4) 高度关注炭捣料的材质与施工质量

5) **注意铁口组合砖的选材与结构：** 铁口区域或通道烧穿的众多，有的全炭炉缸炉底高炉铁口区用高铝质？用高铝质的结构就应恢复铁口处三块冷却扁水箱冷却形式的传统结构。

炉缸寿命较好结构实例



长寿高炉设计与建设中的一些建议

2.3 加强炭砖生产质量监控与选择标准

➤ 作为高炉长寿炭砖质量至关重要，不容忽视。炉缸烧穿的8座2600-4747炉子炭砖都是引进的好炭砖，说明问题不全在炭砖质量上，除前述结构问题外，炭砖质量应重点注意：

➤ 我国国产炭砖进步较大，要科学选用质量指标，不应诱导某些参数。

➤ 碳复合砖在100余座高炉得到应用，实践是检验的标准。

➤ 国产炭砖存在的问题：

➤ a. 不是合格的电煅烧无烟煤

➤ b. 砖的焙烧温度不够高或不均匀

➤ c. 添加的超微粉没有形成微孔的新物质，

➤ d. 不能靠添加人造石墨来提高导热系数

➤ e. 成型压力及加工精度不足。小于0.3mm缝干砌尚达不到

➤ f. 强化制造工艺的管控，防止表面和内部裂纹

➤ g. 细心做好鉴制工作

2.4 改进冷却结构提升冷却能力

➤ 炉腹至炉身下部冷却壁的使用寿命至今仍是高炉长寿限制环节之一

高炉冶炼强度不断提升，冷却能力应与之相适应

炉缸内衬耐材导热能力较过去已翻了数倍，传热结构应怎样改进？

举几例：

某两企业中的6座2600-4000高炉铜壁使用15-25年，尚无水管损坏，水速在2.5-3.51m/s

某两座5000高炉全铸铁冷却壁，冷却壁冷却比表面积1.2，水速2.7m/s已高强度运行六年，效果很好

长寿高炉设计与建设中的一些建议

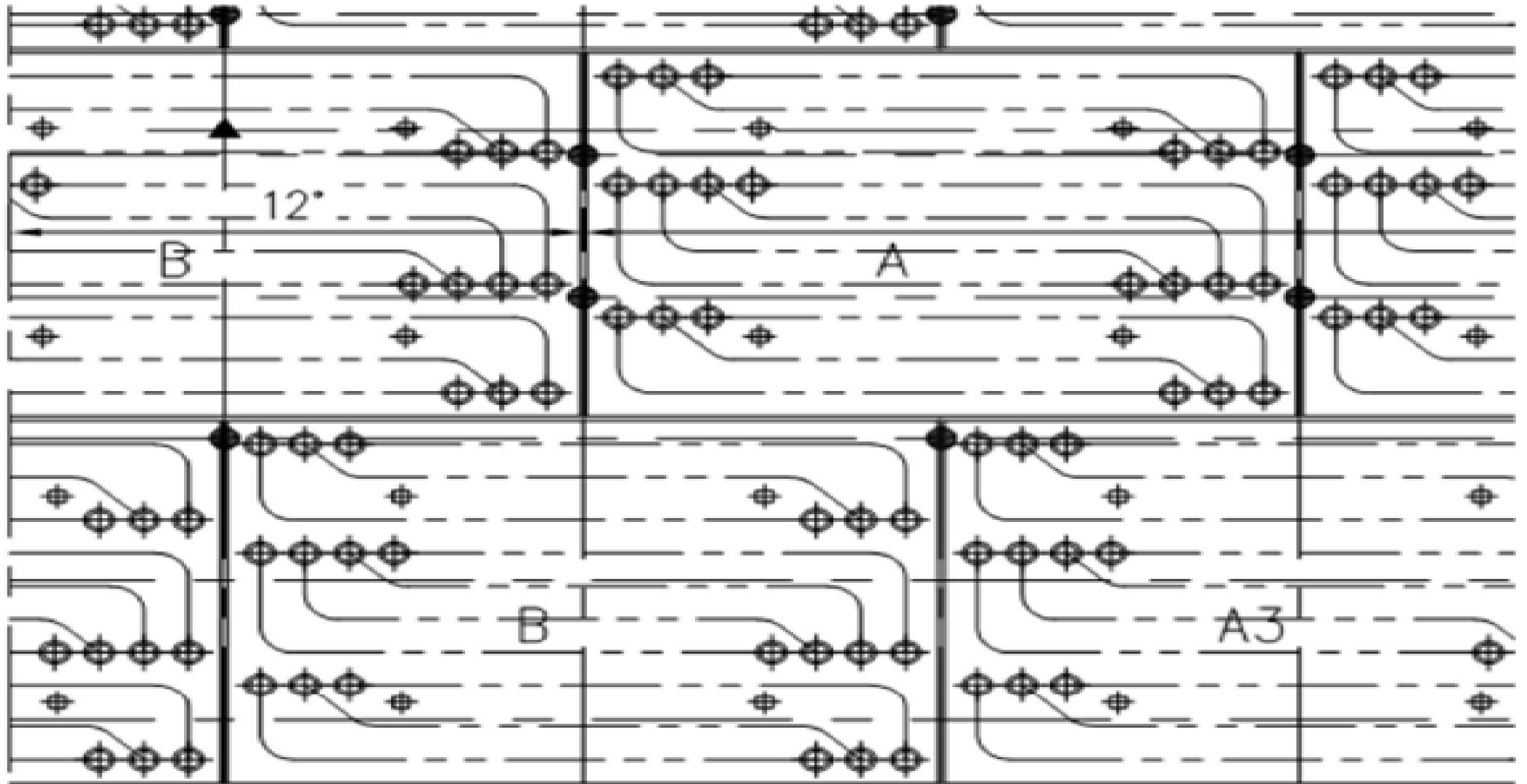
- ◆ 冷却壁冷却比表面积**业内共识的定义为**
- ◆ 冷却水通道面积与冷却壁受热面的比值叫“**冷却壁冷却比表面积**”
- ◆ 简化后：
- ◆ **冷却壁冷却比表面积 $F = D\pi \div L$ (管间距)**
- ◆ D---冷却水管的直径
- ◆ L---水管间距
- ◆ 水管受热的冷、热两面都计算在内，实际上应当除2，则这种冷却壁的冷却比表面积很小，**一般 ≤ 1.0**

几种冷却壁优缺点：

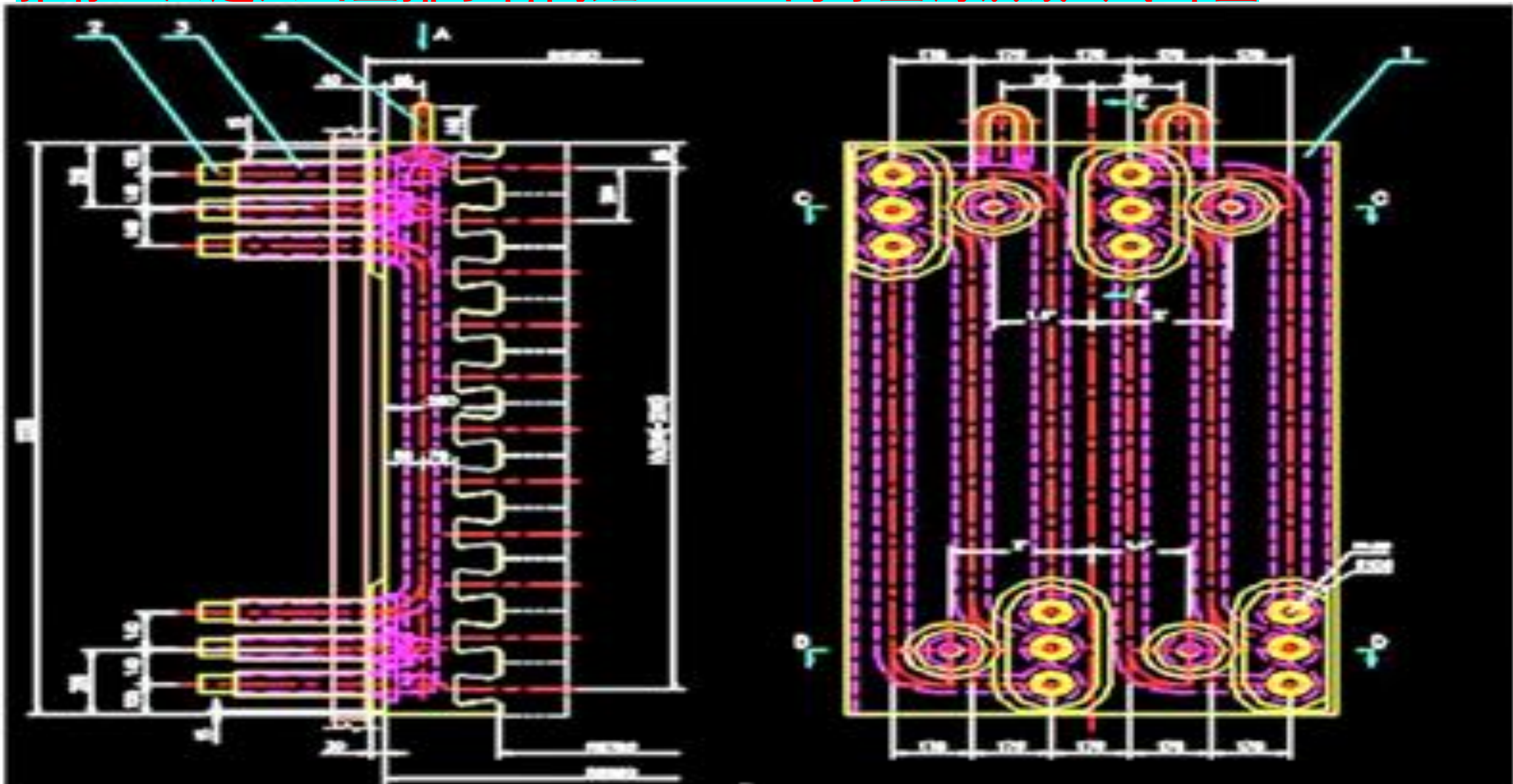
例：鞍钢2、3号和宝钢3、4高炉冷却壁及冷却比表面积比较

高炉	冷却壁方式及进出口管数	管径与管间距	冷却比表面积	热面冷却比表面积	备注
鞍钢3高炉 1代	立式, 4进4出, 宽1040mm	50mmx260mm	0.604	0.302	2.8年烧穿
宝钢3高炉, 1代	卧式, 10进10出, 高1450mm	60.3mmx145mm	1.31	0.66	19年寿命
宝钢3高炉, 2代	卧式, 10进10出, 高1600mm	70mmx160mm	1.374	0.68	2013-
宝钢4高炉, 1代	立式, 4进4出, 宽920mm两段铜壁	50mmx230mm	0.683	0.342	9年寿命
宝钢4高炉, 2代	卧式, 10进10出, 高1600mm	70mmx160mm	1.374	0.68	2014-

炉缸卧式弧型铸铁冷却壁 (10进10出, 管间距140-160mm, 比表面积1.4)



推荐：六进六出竖排水管间距170mm的球墨铸铁镶砖冷却壁



高炉冷却用水

高炉热流强和总水量的设计参考值与讨论

高炉的不同部位的热负荷是不同的，各区段最大热负荷是各区段热流强度最大值与它们面积乘积的总和，是确定冷却系统能力的主要参数。

高热负荷区域的热流峰值有的要达到 $200000\text{--}400000\text{kJ}/\text{m}^2\text{h}$ ，风口区的热负荷还要高出4-5倍

建议：用串联水冷方式，带2-3层环管布置的一串到顶的方式，“握紧拳头出击才有力”，优于分段式冷却

高炉冷却用水

冷却水压

风口冷却水压要求1.0-1.5MPa

高炉实践表明，炉体冷却水压要比炉内压力高0.1MPa为宜。

高炉冷却水温差

历史上的高铝质的综合炉底炉缸和工业水冷却结构的冷却水温差规定为小于3.0 °C

当今，全碳炉缸1-5段水温差合计小于1 °C

整个炉体一串到顶冷却水温差多在5 °C左右，相匹配的水冷却器要达到15度温降能力。

冷却水速

《高炉炼铁生产技术手册》中，建议高炉风口水速要求**9.14-19.12m/s**（2500-4000m³高炉），

大于2000m³高炉开路水冷却70mm管径的水速应在**3.5m/s**。

随着冶炼强度进一步提高，把冷却水管的水速控制在**1.5-2.0m/s**左右思路，笔者认为偏低

六座长寿铜壁（16-25年）高炉的水速在**2.5-3.51m/s**

某些高炉全铸铁冷却壁结构，其冷却壁冷比表面积**1.2**的情况下，水速在**2.7m/s**，目前运行甚好。

建议在2.5±0.2m/s水平上试用

2.4 改进冷却结构提升冷却能力

1. 改善冷却壁结构，提高冷却比表面积达**1.2**以上，可取消双排水管结构，炉缸建议采用卧式弧形光面冷却壁或提高水量的夹套式结构。
2. 提高冷却壁铸造质量，优化冷却壁水管排布方式，减少冷却死角，提高炉壳开孔强度，改善水管联接方式。
3. 新设计高炉时适当缩小炉腹角，已投产的高炉应适当调整风口小套的长度，达到缩小操作炉腹角目的。
4. 优化铜冷却壁的安装技巧和提高铜冷却壁与耐材镶嵌强度
5. 建议采用软水(工业纯水)闭路循环冷却工艺的高炉，冷却壁内的水流速度达到 **2.5 ± 0.2 m/s**水平。
6. 炉缸有铁水区域，建议不采用机械加工和有焊口的冷却壁。

长寿高炉设计与建设中的一些建议

2.5 适宜的炉腹与炉身角

- a. 炉腹角大了,不易挂渣,挂渣能保护炉腹炉衬,特别是铜冷却壁的高炉,太小也不行,渣皮太厚也不一定长寿。
- b. 三种炉腹角(水冷线炉腹角,用耐材组成内型炉腹角,操作炉腹角)
- c. 炉身角太小,炉身部位易生成管道气流,太大又不利于煤气利用率提高,炉料结构的进步(球团矿和块矿使用比例增加),更趋于扩大炉身角
- d. 寻找适宜对称的角度,长寿与低耗
- e. 建议操作炉腹角72-75度,炉身角 83 ± 0.5 度

长寿高炉设计与建设中的一些建议

2.6 关于死铁层深度

- 死铁层加深的演变
- 过去单铁口、大渣量冶炼、放上渣,现在条件大为改善,多铁口、低渣比、不放上渣。
- 死铁层深度为炉缸直径20%不宜继续加深,减少环流?

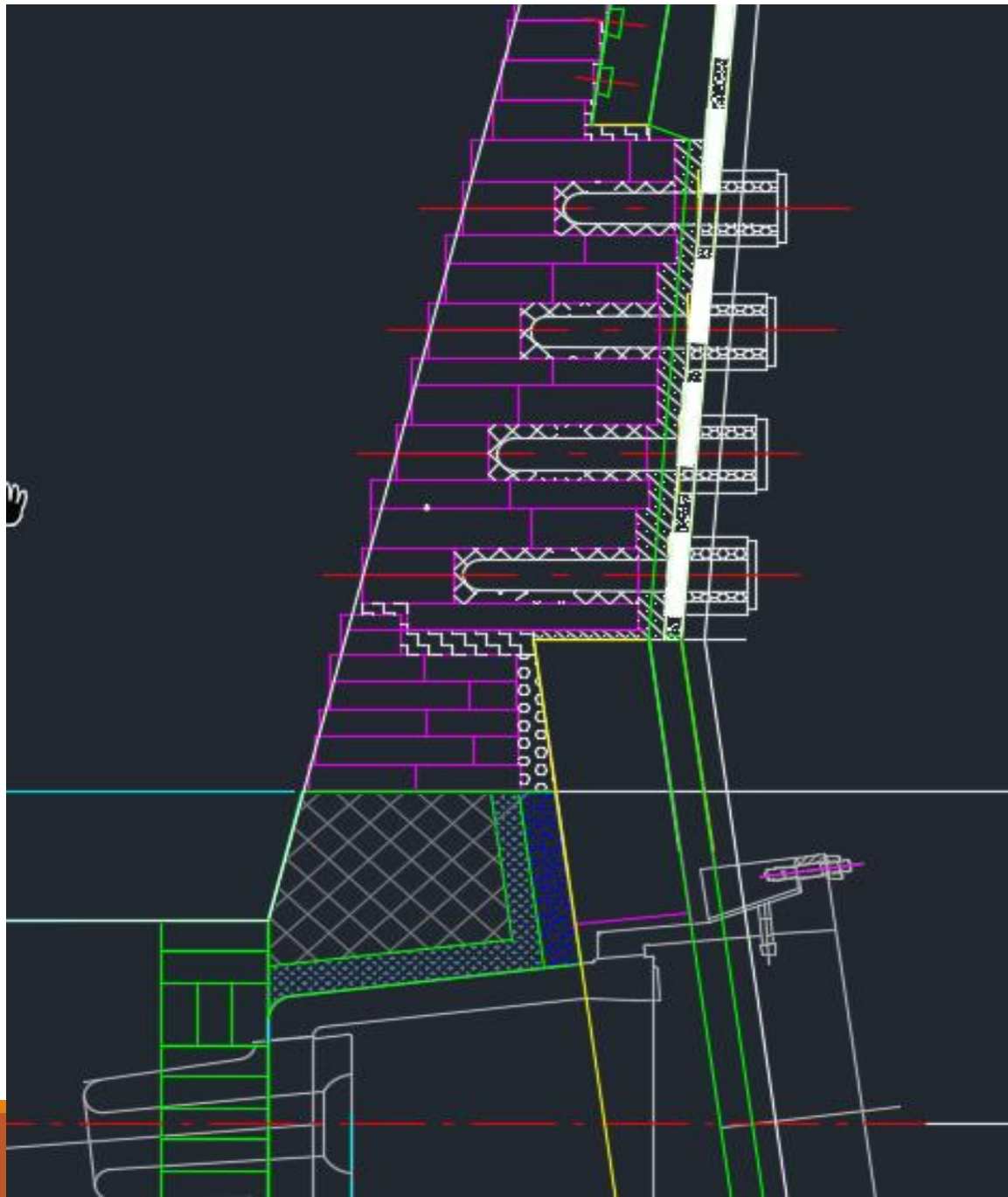
2.7 检测手段的配置

- 应克服买得起马而配不上鞍的作法,尤其是大包工程
- 炉缸炭砖测温点根据炉子大小应达到300-500个点
- 冷却水流量及水温差也应配套合格的检测仪表
- 鞍钢3高炉2008年烧穿和本钢2019年烧穿的教训是深刻的
- 检测点施工安装质量和保护措施

长寿高炉设计与建设 中的一些建议

2.8 炉缸与炉腹过渡 区冷却壁的连接

鞍钢3高炉炉缸炉腹
过渡段结构



长寿高炉设计与建设中的一些建议

2.9 提高铜冷却壁寿命的建议

1). 改进设计

- ◆ 探索适宜的炉腹角与炉身角
- ◆ 缩短冷却壁长度,与铸铁冷却壁长度接近。
- ◆ 完善安装方法设计
- ◆ 提升铜壁与耐材的连接强度
- ◆ 提高耐材的导热能力与粘渣能力
- ◆ 提高冷却壁的冷却比表面积
- ◆ 冷却壁用水应用软水或除盐水, 水速应在
2.5m/s左右

2). 优化制造与安装技巧

- ### 3). 加强精料方针执行力度或 管理水平, 稳定渣皮

3 高炉高效长寿的操作与维护

保持高炉全炉役的稳定顺行是高冶强与长寿命的关键

坚持精料方针，**杜绝**有毒有害物质入炉

提高炉体冷却强度

保证铁口有足够的深度

科学、谨慎压浆

高温与热风炉长寿

建立严格的全炉役长寿管理制度

3 高炉长寿的操作与维护

3.1 保持高炉全炉役的稳定顺行是高冶强与长寿命的关键

高炉有稳定顺行才有一切

巴西图巴朗1号高炉,寿命28.5年无中修,产铁21272 t/m³.代, 2.14t/m³.d, 一代炉役最长的一次休风只有7日, 顺行良好。

宝钢3号高炉炉缸19年寿命,产铁15700t/m³.代, 2.36t/m³.d , 除了两次更换S1-S3冷却壁, 整代炉役顺行甚好

目前高效指标: 15000t/m³.代, 15年年平均利用系数2.85t/m³.d , 作业率是98% , 是件高难度的事。

保持炉缸中心活跃是保证稳定顺行的关键

以风为纲和以下部调剂为主

精料不能停留在口亏上，结构在改进但铁品位在下降

我国高炉入炉锌负荷的现状

国家2008版和2015版的“高炉炼铁工艺设计规范”并没有改变，曾想加严的，但与实际相差甚远。

国外高炉入炉锌负荷基本控制在0.15kg/t以下，主要是采用了多种处理含锌粉尘新工艺来降低入炉锌量，如竖炉工艺，转底炉工艺。

我国这方面差距较大，能控制入炉锌负荷达标的企业仅有宝钢、鞍钢、武钢、等企业，且是阶段性的。含高锌粉尘本企业不能处理，外销流向社会造成进一步的大循环污染。

只有少数钢铁企业建设了有害粉尘的处理装置，取得好效果，树立了典范。但当前一家停用，且两家能力不足。

多数企业入炉锌超标，有的竟超出十几倍，平时不能管控，经常出现锌害、炉况失常，使生产不正常进行，当炉况失常和高炉寿命出问题后再来采取措施。其后又好了疮疤忘了痛。众多企业对锌害认识不足，甚至正常取样检验的工序都没有，摸着石头过河，有的石头都不摸。

平均在0.3-1.00kg/t之间，超国家规范的2-10倍。

环保政策加严，推动了对有害杂质危害认识的提升、控制、管理、技术的提升与创新。

3.2 坚持精料方针，杜绝有毒有害物质入炉

中华人民共和国国家标准中对高炉入炉原料和燃料有害杂质的控制值

单位：kg/t.fe

杂质名称//国家标准编号	GB50427-2008	GB50427-2015
K_2O+Na_2O	≤ 3.0	≤ 3.0
Zn	≤ 0.15	≤ 0.15
Pb	≤ 0.15	≤ 0.15
As	≤ 0.1	≤ 0.1
S	≤ 4.0	≤ 4.0
Cl^-	≤ 0.6	≤ 0.6

入炉铁矿石中其它有害杂质的含量要求

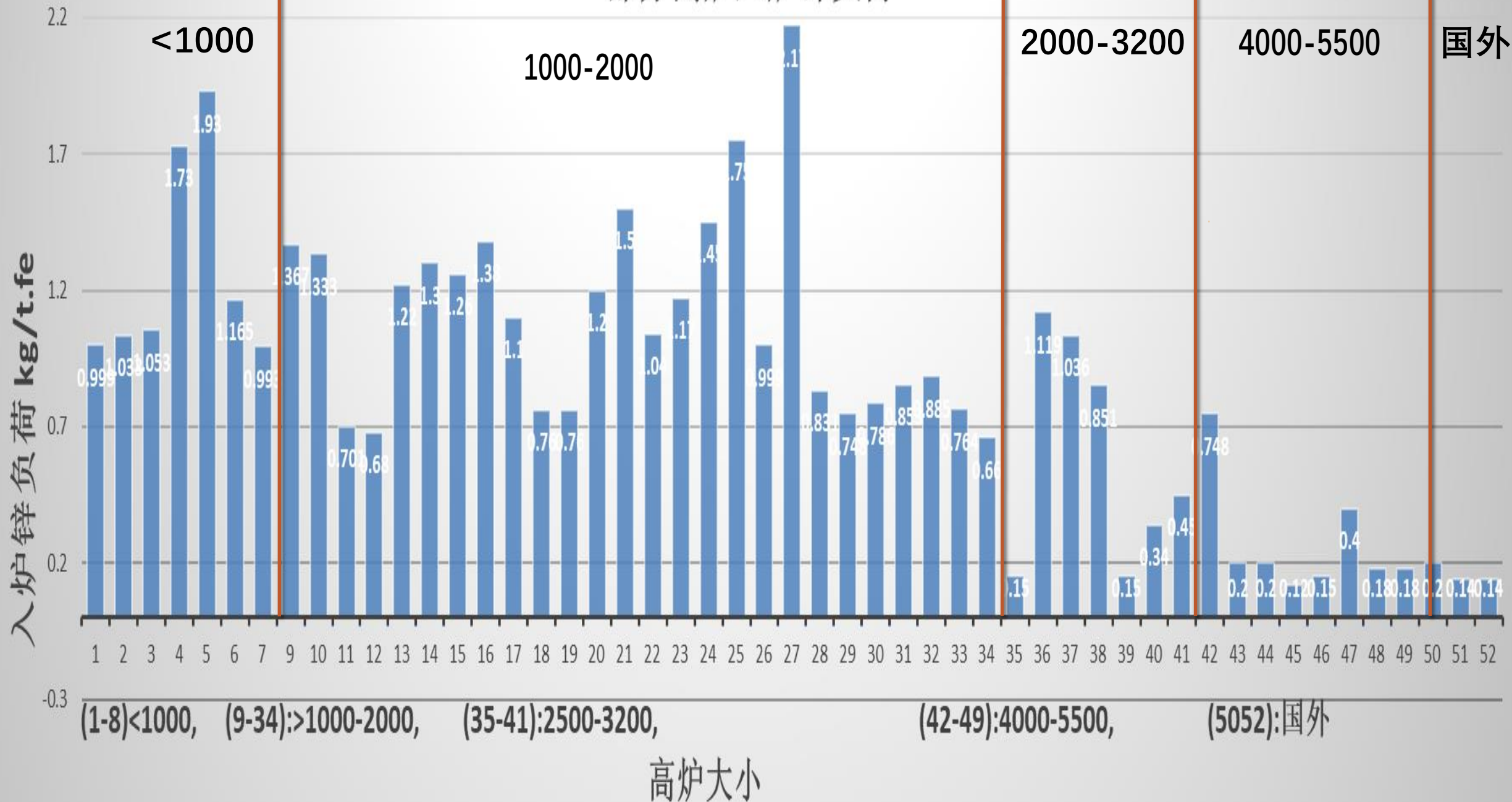
入炉铁矿石中有害杂质的含量要求

元素	S	Pb	Zn	Cu	Cr	Sn	As	Ti,TiO ₂	F	Cl
含量 %	≤0.3	≤0.1	≤0.15	≤0.2	≤0.25	≤0.08	≤0.07	≤1.5	≤0.05	≤0.06

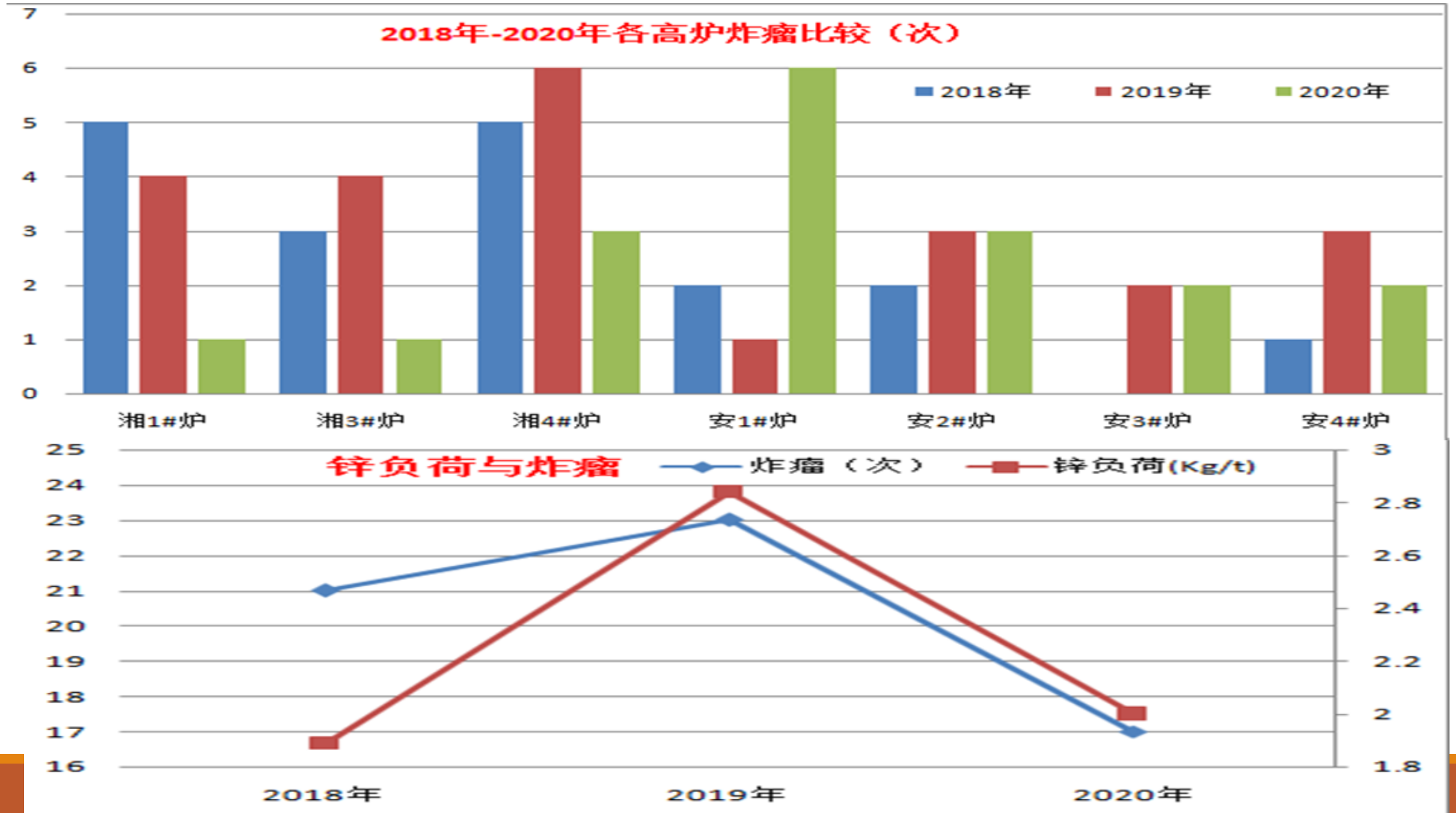
高炉入炉含磷量的控制指标

烧结矿的含磷量 (%)	炉料的含磷量 (%)	入炉磷负荷 (kg/t)
<0.07	<0.06	<1.0

部分高炉入炉锌负荷



某厂锌负荷与炸瘤次数



坚持精料方针，杜绝有毒有害物质入炉

- 锌对高炉的危害：
- 影响高炉顺行
- 炉墙结厚，结瘤，堵塞煤气上升、下降、半净煤气管道等
- 大量损坏风口大、中、小套等
- 损坏炉体寿命，炉内富集的锌蒸气可渗入炉墙，炉体上抬开裂
- 侵蚀炭砖 $\text{ZnO} + \text{C} \rightleftharpoons \text{Zn} + \text{CO}(\text{CO}_2)\uparrow$ ，炭砖耗损，造成炉缸烧穿。较K、Na更易侵蚀炭砖
- 焦比升高，有研究资料表明：还原1kg锌需11kg焦炭

坚持精料方针，**杜绝**有毒有害物质入炉

1) 切断有害杂质三种循环富集

高炉内的小循环富集；钢铁企业内循环富集；现实社会一钢企--高炉的大循环富集

2) 最好也是关键的措施是控制锌入高炉的源头，实行精料方针，防止“病从口入”

3) 提高顶温和提高炉喉煤气流进行排锌(如何提高的措施)

4) **可喜可贺**：建立本企业处理含锌等有害杂质生产线。**湿法和火法**介绍两种火法处理粉尘工艺, 收集的高锌粉尘送锌冶炼厂。

a. **日本、美国、马钢、沙钢、宝钢、宝湛、京唐、首迁等的转底炉工艺**

b. **德国蒂森、太钢的竖炉工艺**

c. **有些粉尘搬家 外售社会旅游方法不可取 应开发新的高效处理工艺**

高炉长寿的操作与维护

3.3提高炉体冷却强度

努力实现炉体冷却水速 $2.5 \pm 0.2\text{m/s}$

改大泵或由二供一备  三供，降进水温度等

热流强度的一些经验值:

武钢生产中规定他们的热强度如下

炉缸热流强度报警值 $\leq 29.3\text{MJ/m}^2\cdot\text{h}$ (7000 kcal/m².h) ;

炉缸热流强度警戒值 $\leq 37.67\text{MJ/m}^2\cdot\text{h}$ (9000 kcal/m².h) ;

炉缸热流强度事故状态 $\leq 50.23\text{MJ/m}^2\cdot\text{h}$ (12000 kcal/m².h) ;

热流强度超过报警值后必须采取措施把热流强度降低到安全范围以内。

美国Cary厂14号高炉炉缸烧穿时检测到的热流强度约12880kcal/m².h

高炉长寿的操作与维护

3.4 保证铁口有足够的深度

- 炉缸烧穿事故多发生在铁口中心线往下的1.5-2.0m范围内,
- 铁口设计深度+600-800mm泥包, 3200-5000高炉铁口深度在3.8-4.2m
- 防止铁口喷溅
- 10 ± 1 次铁/d, $0.3-0.35\text{kg/t.Fe}$ 泡泥

3.5 努力提高铜冷却壁的使用寿命

生产操作中应采用适当风口长度, 操作炉腹角在72-75度之间
适当边沿气流和稳定挂住渣皮

高炉长寿的操作与维护

3.6 科学、谨慎压浆

开炉后对炉体压灌泥浆对提高高炉寿命稳定顺行起到了积极作用，**弥补了施工质量的不足。**

压浆不科学反而诱发了炉缸安全事故甚多：损坏大、中套、冷却壁等，有的使炭砖温度不降反升，炉缸环炭爆炸(临汾与阳春高炉)的恶性事故，2010年以来1250-2600-3200-4747数座高炉因压浆不当而迅速诱发烧穿，数座高炉炉壳 (>60mm)变形。

建议压浆压力在压入点处<1.0 Mpa(10kg/cm²)，炉缸应用无水炭素泥浆

建议投产4-6年后不要热面压浆

高炉长寿的操作与维护

3.7 高风温与热风炉长寿

近几年超大型高炉热风炉出现的问题，向30年寿命提出了挑战

环保排放加严，热风炉烟气脱硫脱硝已提出

高风温是实实在在的降燃料比，高风温与富氧鼓风都是促使炉内高温区下移的

3.8 建立严格的全炉役长寿管理制度

从方案制定、设计开始直至停炉大修为止，制定整个炉役各环节长寿工作的终身负责制和契约合同

4 高炉炉役后期生产注意事项

➤ 4.1 炉役后期的判断(科学判断高炉中修和大修的时机)

➤ 什么是中修和大修

中修：检修风口往上的冷却壁和砖衬

大修：检修更换炉缸耐材，需处理炉缸残铁的检修

1965年当时的冶金工业部规定，高炉炉缸以上冷却设备损坏超过1/3时，高炉应该进行中修，这一规定看来基本是合适的。

➤ 怎样判断炉子该大修：

➤ 过去综合炉缸炉底结构的高炉炉缸冷却壁水温差不能超过 3°C ，（指的是整个炉缸几段冷却壁水温之和）。现在为全炭炉缸炉底结构，水温差1-5段应当小于 1°C ，并结合热流强度综合判断

科学判断高炉中修和大修的时机

怎样判断炉子该大修：

➤ “3 → 4 → 3”的建议

➤ 现在业内共识的是炭砖剩余厚度在300mm，应当大修。全炭炉缸炉底，加之炭砖传热能力增强，检测手段提高，易于确定了。

➤ 一定要根据本炉实际情况定，设计说明书上的15-20年寿命，没有几座高炉达到设计寿命的，要看看具体实现长寿的措施有多少

➤ 如某企高炉年均利用系数 $4.5\text{t}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ ，年产铁 $1500\text{t}/\text{m}^3\cdot\text{年}$ ，那么9-10年大修应数高效长寿高炉

4.2 该检修时必须及时检修

➤ 带病的车不能开，更不允许开上马路，这是基本原则，**安全第一要靠实际行动来实现**

➤ 磨刀不误砍柴功

➤ 坚决杜绝拼设备、紧锣栓的工作思路和作风。

➤ 举两个震惊我国的高炉事故：

➤ **例1**：

2019.9.1.服役才8年的本钢高炉炉缸烧穿，是我国烧穿的最大高炉(4747m³)

该检修时必须及时检修

例2:

酒钢1号高炉崩塌事故

1990年3月12日7:56, 随着一声闷响, 正在生产的酒钢1号高炉突然崩塌, 托圈 (位于炉腹中部) 以上高炉本体和斜桥上半段脱落, 出铁场和卷扬机室的屋面砸坏。从炉内喷出的高温气流和炉料烧坏了矿槽的上料皮带系统和卷扬机室内的设备。造成了人身伤亡。

这一高炉爆炸事故在世界高炉炼铁史上也可算作最严重的爆炸事故之一。

酒钢1号高炉崩塌事故的经验教训

酒钢1号高炉这次崩塌事故的严重程度在世界炼铁历史上也是少见的，应该从中吸取沉痛的教训。

①在计划经济时代，上级部门对炼铁厂主要考核产量等指标，不考核炉体损坏情况和高炉寿命，对高炉寿命问题的重要性人们重视不够。操作人员关心高炉产量和顺行往往超过对炉体维护和高炉寿命。在炉况不顺时，操作人员习惯于采取发展边缘气流、加萤石洗炉等措施，造成炉衬和冷却设备大量损坏，导致炉皮严重开焊开裂。

②酒钢高炉碱金属负荷高，1号高炉1987年底以前采取的高炉操作制度不合理，低炉温、高碱度使得高炉排碱困难，炉温波动大，导致炉腹、炉腰和炉身下部炉衬和冷却器损坏加速，炉皮开焊开裂加剧。

③在高炉炉衬和冷却器烧损，炉皮直接接触高温煤气和炉料时，温度梯度很大（尤其是径向）。炉皮材质为亚共析钢，在焊补炉皮、打水冷却的周期性作业过程中，反复加热冷却，钢的组织变成珠光体加马氏体，发生结晶转变时体积膨胀，产生应力，使钢板开裂。1号高炉崩塌前的几个月，炉皮频繁地大面积焊补，靠炉皮喷水冷却，造成开焊开裂恶性循环，仅靠喷水冷却已经无济于事。

酒钢1号高炉崩塌事故的经验教训：

④在高炉崩塌前的几个月，高炉是在炉皮焊补不及时，存在很多穿透性裂纹的情况下生产。高炉炉顶压力约为0.08--0.10MPa，由于炉况不顺，经常崩料，造成炉内压力升高，更加加剧了穿透性裂纹的扩展。穿透性裂纹的扩展，使得达到炉皮爆裂的压力比按照常规计算的低得多，爆炸产生的破坏程度也大得多。

⑤高炉何时大修、何时中修要有标准加以规范。1965年原冶金部曾规定，高炉炉缸以上冷却设备损坏超过1/3时，高炉应该进行中修，这一规定看来基本是合适的。由于种种原因，当时酒钢1号高炉未能及时中修，最后酿成了高炉崩塌的严重事故，这一深刻教训应该引以为戒。

酒钢1号高炉崩塌事故的经验教训

以上是刘奇先生生前代表原冶金工业部组织事故调查分析与写的上述经验教训。但实际上：

1984年大修复产的，但1985.11月，冶金部组织炼铁专家对高炉进行诊断，诊断意见：“采用切实可靠措施，精心护炉，可维持正常生产水平一年半到两年”。这样1987年就应大修，一拖再拖。炉壳还是1978年大修时的Q235钢板用了20余年，经常发红开裂焊补加强筋等，1988年下半年开始7个月内焊了77根立筋加强，炉壳受疲劳应力和渗碳等影响，千疮百孔糟了或说朽了。冷却板已损坏83.38%，向炉内大量漏水也习以为常了。

到1990.3.12.7:59大量漏水后产生水煤气爆炸。

根源是一起典型的：瞎指挥，尽蛮干，要产量，要政绩，不顾生产安全的恶性事故。

炉役后期高炉生产要以安全为主，不得侥幸

端正认识，真正的安全第一，真正落实到每一个工作场点和每个员工的行动上；

开炉初期预留的炉役后期的安保措施全部投入运行，运行可靠

炉壳不能有开裂现象，有了必须加固焊好，坚决杜绝炉体往外冒煤气。

冷却器坏了必须及时更换，换不了应采取其它有效措施，杜绝往炉内漏水，漏水造成焦比升高，顺行变坏。

特别要加强炉缸的护理，炭砖温度（3-4-3模式），水温差，热流强度，冷却水量、水速等参数应时刻受控。

坚决杜绝有害杂质入炉

4.3 炉役后期的护炉措施

- 1) 保证炉况长期稳定顺行是敢好的护炉
- 2) 保持适当的冶强，尤期要活跃炉缸中心活跃，杜绝炉缸中心堆积，该堵风口时应毫不犹豫
- 3) 提高冷却强度
- 4) 杜绝有害杂质入炉
- 5) 钒钛矿护
- 6) 慎重科学压浆
- 7) 保持铁口深度
- 8) 不要搞炉皮炼铁
- 9) 特护措施
- 10) 慎重洗炉和炉缸区域外做好事故预案

4.3 炉役后期的护炉措施

1) 保证炉况长期稳定顺行是最好的护炉

➤ 高炉操作没有顺行就没有一切，稳定顺行好了，产量也上来了，冶强自然提高了

➤ 做好高炉长期顺行是企业的系统工程，(某厂一年内炸瘤24次，那有顺行和稳定)，执行精料方针

➤ 高冶强与长寿命并不矛盾




4.3 炉役后期的护炉措施

2) 保持适当的冶强时, 尤其要活跃炉缸中心, 杜绝炉缸中心堆积, 该堵风口时应毫不犹豫, **高冶强与长寿命并不矛盾**

- 炉缸中心堆积的危害
- 炉缸某方向温度高时应采取局部堵风口措施, 除使局环流减少降温外, 还有一个吹透中心, 缩小死料堆体积
- 大风吹高冶强与中等冶强之争

3) 提高冷却强度

- 全碳炉缸 (1-5段) 水温差 $\Delta t < 1^{\circ}\text{C}$, 全炉 5°C 为正常值
- 增大水量, 二工一备  三工
- 降低进水温度
- 水速尽力提到 2.0m/s 以上, 原配置的炉役后期用保安水要投用
- 例如: 5座 2600m^3 高炉铜壁使用了17-25年水管没坏, 仍在服役, 水速 $2.5-3.51\text{m/s}$
- 短期还可采取更强的冷却措施

热流强度的一些经验值:

武钢生产中规定他们的热强度如下

炉缸热流强度报警值 $\leq 29.3 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{h}$ (7000 kcal/m².h) ;

炉缸热流强度警戒值 $\leq 37.67 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{h}$ (9000 kcal/m².h) ;

炉缸热流强度事故状态 $\leq 50.23 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{h}$ (12000 kcal/m².h) ;

热流强度超过报警值后必须采取措施把热流强度降低到安全范围以内。

美国Cary厂14号高炉炉缸烧穿时检测到的热流强度约12880kcal/m² .h

4.3炉役后期的护炉措施

5) 钒钛矿护炉

➤ 钒钛矿护炉加入方法：

- a 炉顶块矿或钛球加入
- b 喷吹方式
- c 喂线法
- d 钒钛铁精粉加入烧结生产造块入炉
- e 含钛泡泥方式

➤ 加钛护炉的高炉操作

➤ 钛在高炉中进入铁水最高比例30%，与炉温成线性相关，因此 $[\text{Fe}] + [\text{Ti}] \geq 0.7$

➤ 考虑脱S与粘度，提炉温时可适当降低CaO/SiO₂值，

➤ 铁水含钛与护炉效果

铁水中含钛浓度作用如下

铁水中[Ti], %	补炉作用	Ti 平衡结果	补炉率, %
> 0.25	极强	$Ti_{\text{入炉}} - Ti_{\text{出炉}} \gg 0$	不断补炉, 内衬渐厚
0.15-0.25	强	$Ti_{\text{入炉}} - Ti_{\text{出炉}} > 0$	不断补炉, 缓慢变厚
0.08-0.15	补炉较慢或保持现状	$Ti_{\text{入炉}} - Ti_{\text{出炉}} \cong 0$	低温处补炉变厚或保持现状
0.06-0.08	维持现状或很弱溶解	$Ti_{\text{入炉}} - Ti_{\text{出炉}} \leq 0$	维持现状或缓慢减薄
< 0.06	不能补炉	$Ti_{\text{入炉}} - Ti_{\text{出炉}} \ll 0$	已补部分如高温, 逐渐减薄; 低温处保留

炉役后期的护炉措施

6) 慎重科学压浆

- a) 压浆不慎造成很多事故
- b) 高炉投产6年后建议取消热面压浆
- c) 炉缸压浆必须用碳质无水浆
- d) 严格控制压入点压力小于1 Mpa

7) 保持铁口深度

- 炉缸烧穿事故多发生在铁口及1.5-2.0m范围内,
- 铁口设计深度+600-800mm泥包
- 10-12次/日铁,0.3-0.35kg/t.fe泡泥

炉役后期的护炉措施

8) 风口以上不要搞炉皮炼铁

- 高炉本体长寿的两个限制性环节：
 - a. 炉缸炉底 b. 炉腹至炉身下部
- 事故太多
- 炉腹至炉身下部是高炉热负荷最高的部位, 高热负荷区域的热流峰值有的要达到 $200000\text{--}400000\text{kJ}/\text{m}^2\text{h}$, 风口区的热负荷还要高出4-5倍
- 损坏的冷却设施应及时处理, 杜绝往炉内漏水(焦比升高, 易生成水煤气, 重大爆炸事故)
- 炉皮开裂必须处理, 跑煤气时是越跑越大的, 威胁安全
- 出现1/3水管漏水的冷却设备必须更换

炉役后期的护炉措施

9) 特护措施

- 很多企业有经验可借鉴，但这是上世纪的做法与名词，现在都**智能炼铁**了
- 建立技术精湛、工作能力强的队伍，责、权、利统一好
- 对关键需护理部位制定详细监控措施，提高检测频率，做到心中有**数**，在受控范围以内

10) 慎重洗炉炉缸区域外做好事故预案

- 洗炉的危害，特别是**莹石洗炉**
- 在什么条件下才洗炉

5. 关于炉缸浇注的讨论

上世纪中叶叫高炉整体打结

现在的套浇如果不剩炭砖了行不行

消除水平通缝

高导热质浇注料的开发

谢谢聆听
请批评指正

