

# 对我国高炉顶燃式热风炉的几点认识与实践



汤清华

2020.8.

# 前言

- 高炉炼铁过程中由鼓风带入炉内的物理热占吨铁耗能的18-20%,其比例甚大, 尤应重视
- 几十年来高炉鼓风温度不断提高,取得可喜成绩
- 离1300 °C风温尚有距离 (目前风温条件下: 100 °C风温仍影响燃料比仍15-20kg/t水平)
- 我国顶燃式热风炉从上世七十年代末开始发展起来, 至今仍很火热
- 顶燃式热风炉以其占地少、投资低赢得市场的需求
- 近年来这类热风炉也存在一些不足之处, 结合实践谈点认识, 与同仁探讨, 以期改进与提高。

# 主要存在的问题

- 热风出口问题甚多
- 锥段坍塌
- 燃烧器喷嘴震塌
- 炉壳网状裂纹
- 燃烧脉动与烟气氮氧化物含量超标
- 三叉口塌落
- 表面温度超标

# 仅讨论下面几方面的问题

- 热风出口上部锥形段结构及与水平夹角讨论
- 预燃室结构与燃烧喷嘴的讨论
- 耐火材料材质和砌筑方式的讨论
- 管系的优化砌筑
- 晶间应力腐蚀与防护

## 热风出口上部锥形段结构与与水平夹角讨论

- 热风炉锥形段钢壳开裂、锥形段掉砖，予燃室坍塌时有发生
- 锥形段非闭环，其它形式热风炉穹顶是闭环的，钢壳与水平夹角太小，支撑受力不佳等有关，
- 当前的 $60-63^{\circ}$ 太小， $65-70^{\circ}$ 如何？
- 锥形段耐材重量不应座在热风出口的大墙上，是坍塌的主因
- 砖型结构不佳,宜采用双向双子母扣的砖型砌筑
- 其它形式的热风炉穹顶耐材是不直接坐在热风炉大墙上的





某5000级高炉热风炉锥形段炉壳损坏照片

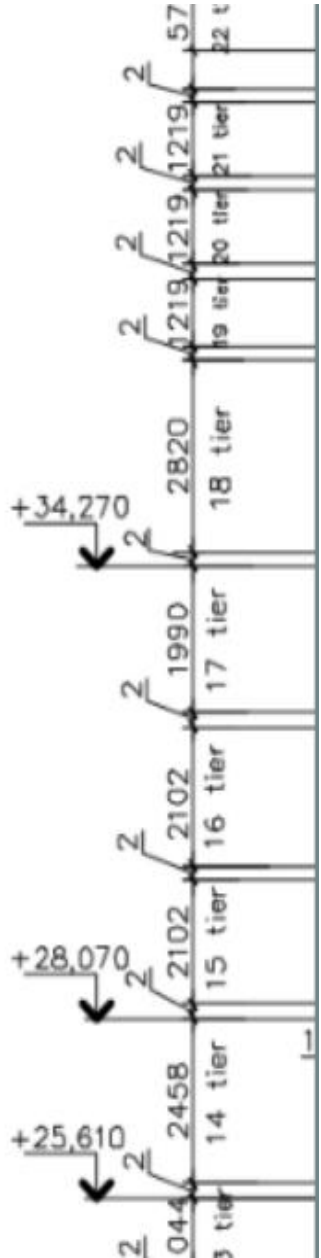
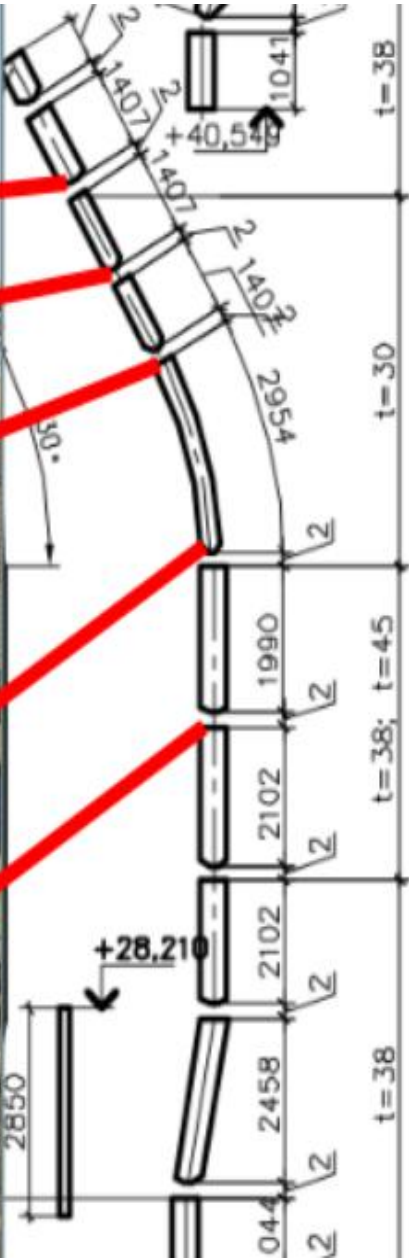
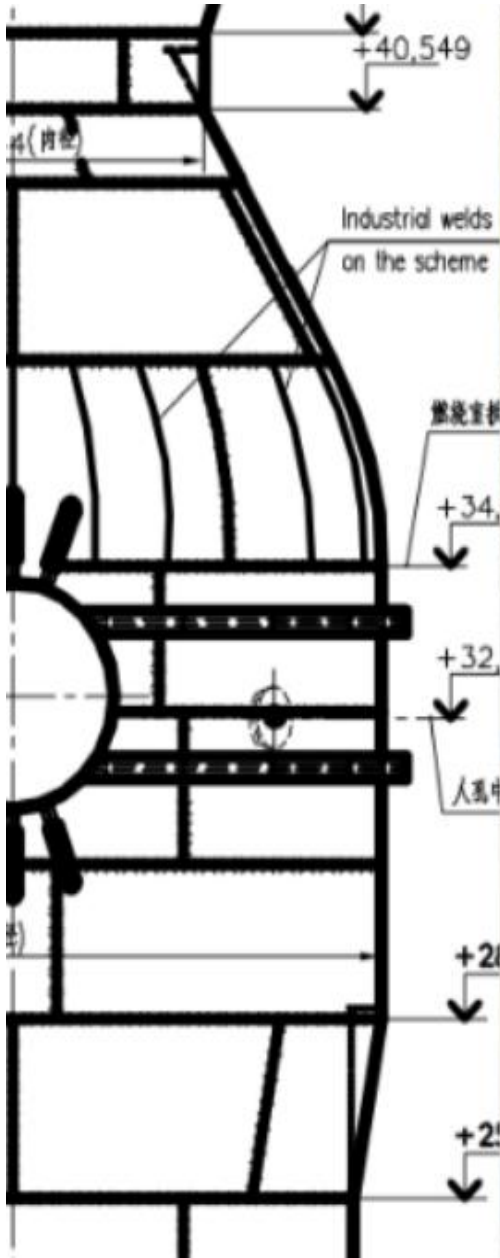




某5000级高炉热风炉锥形段炉壳损坏照片

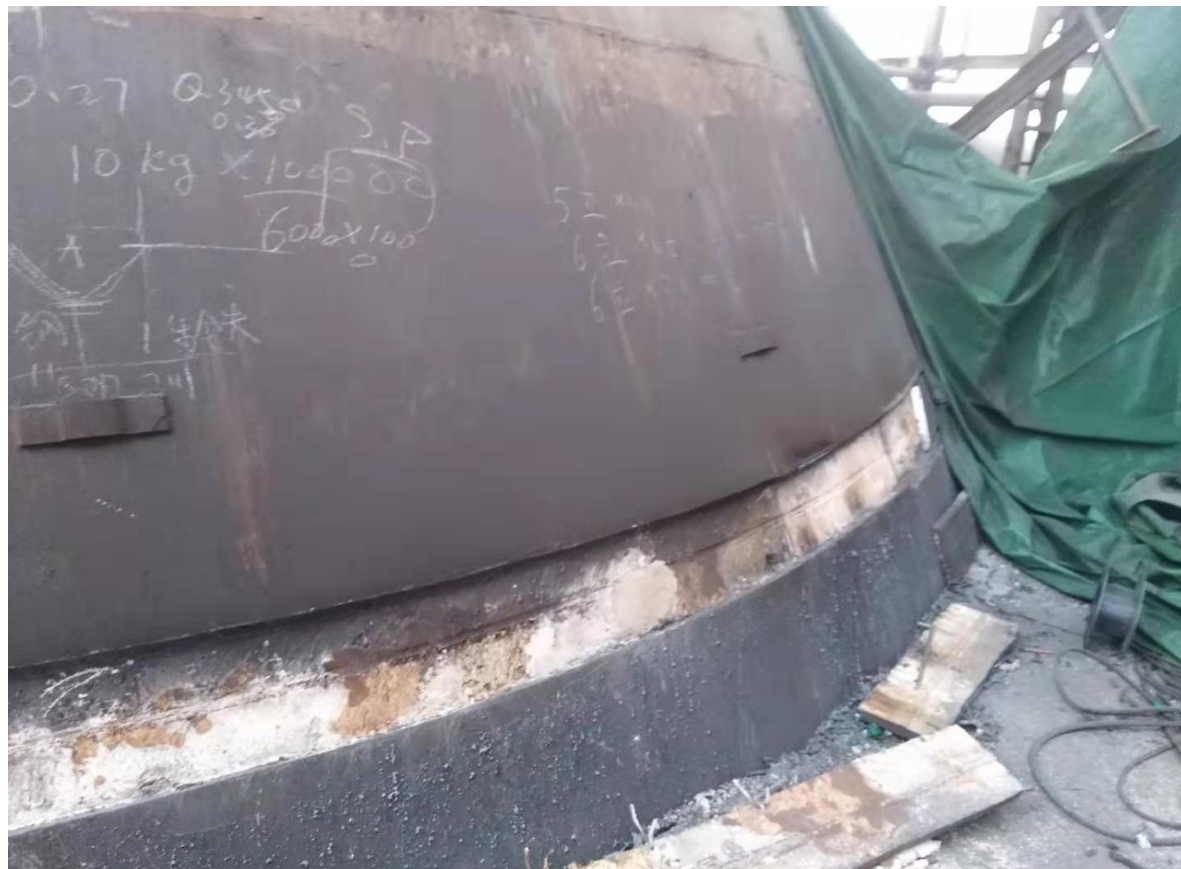


炉壳高温段开裂部位 (位置、板厚、平台)



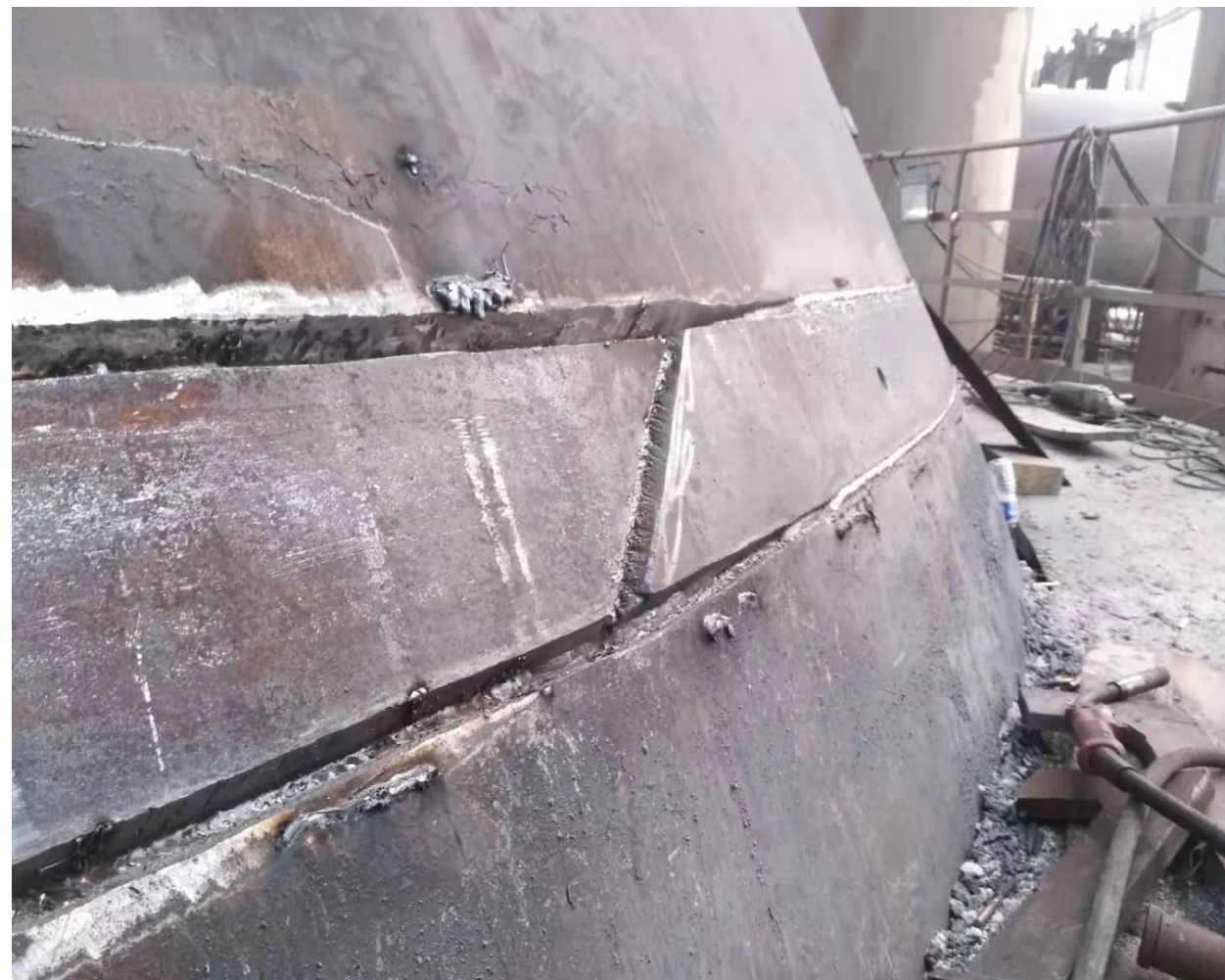


# 挖补



采用原焊缝两侧各100mm进行挖补

炉壳组对采用单边“V型坡口，斜45° 对接”



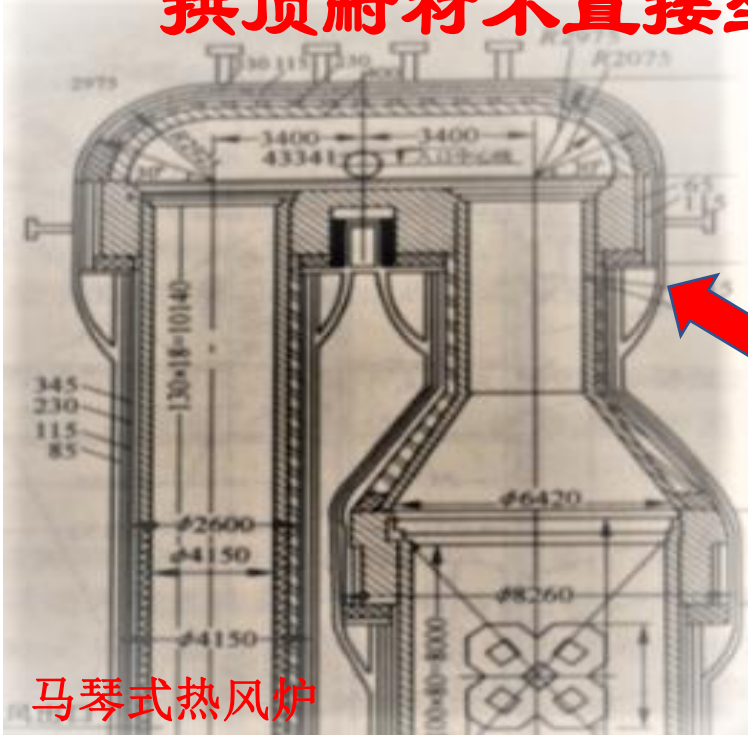


# 组对

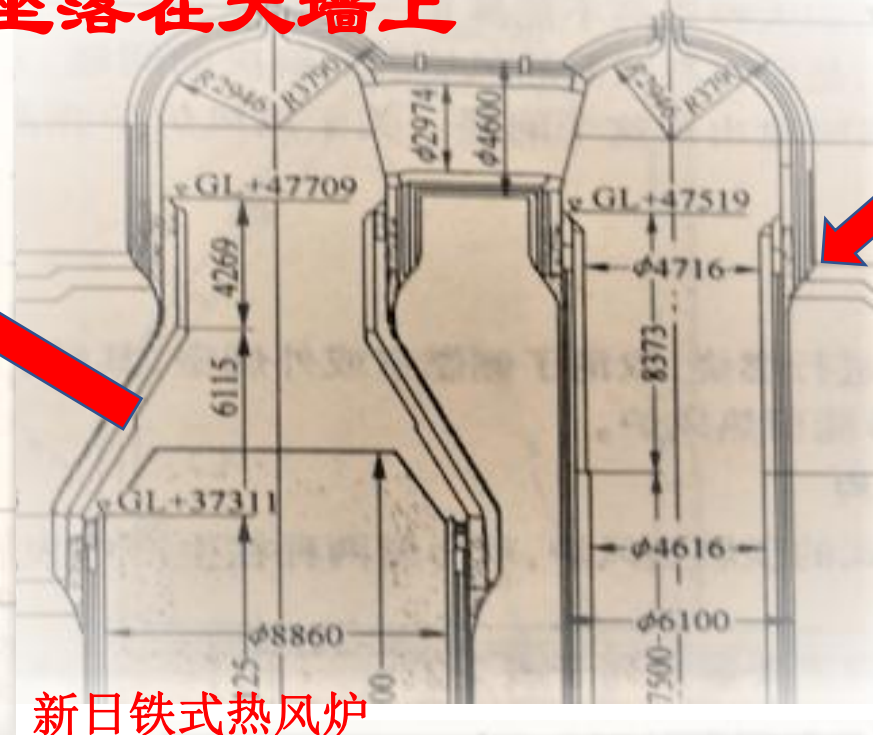




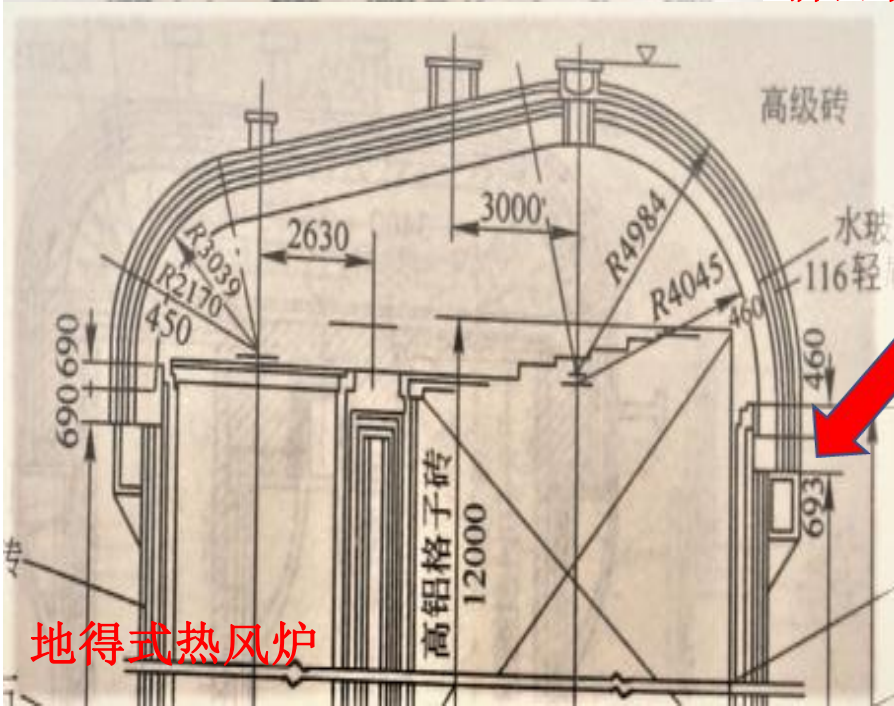
拱顶耐材不直接坐落在大墙上



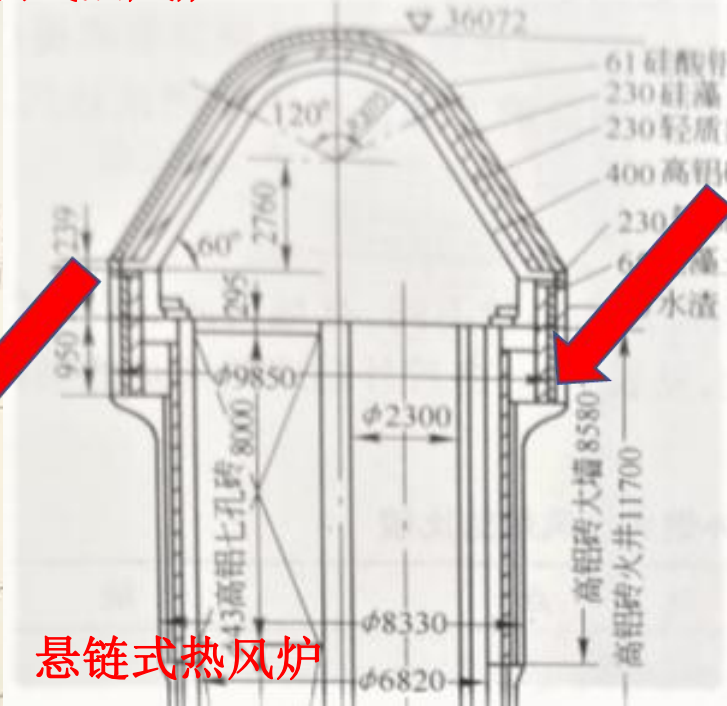
马琴式热风炉



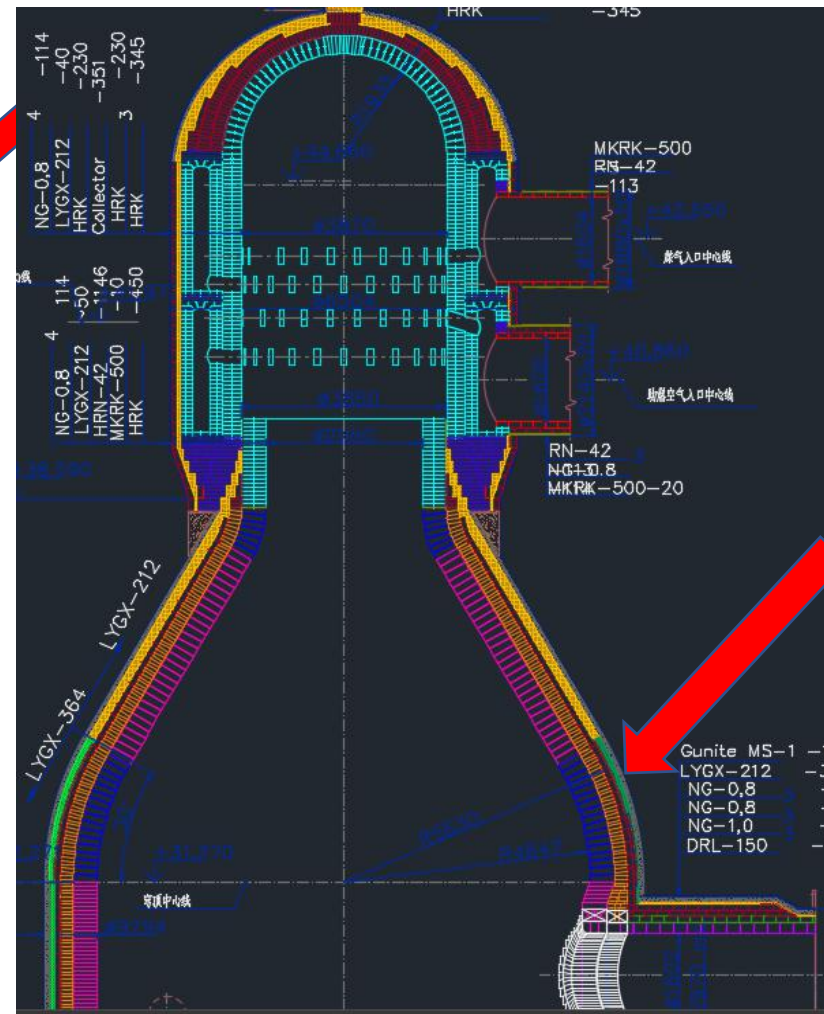
新日铁式热风炉



地得式热风炉



悬链式热风炉



卡氏炉拱顶耐材  
承重在热风出口  
的大墙上

# 锥形段耐材坐在大墙上带来热风出口和锥段耐材都不稳定

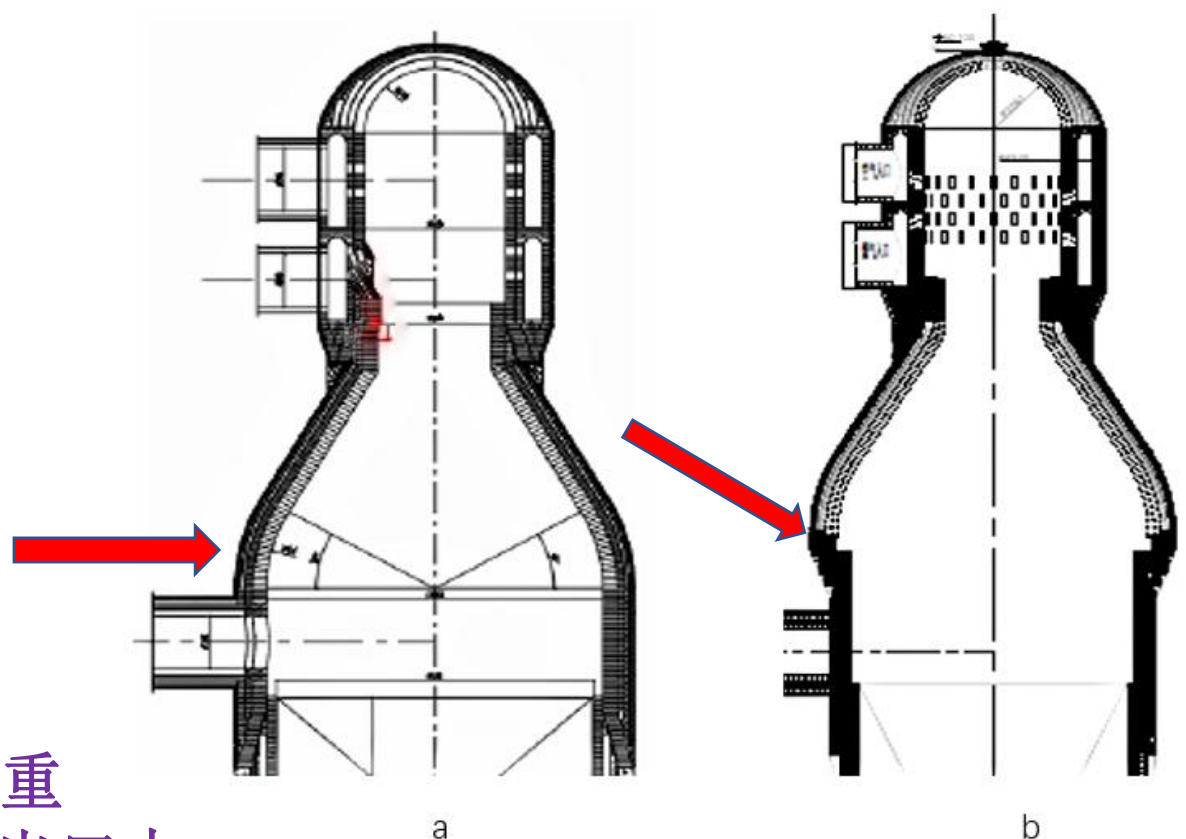


图 卡氏热风炉锥形段内衬受力比较

a. 锥形段内衬重量坐落在热风出口大墙上, 随大墙上下涨落

b. 锥形段内衬重量坐落在炉壳上, 不随热风炉大墙上下涨落



## 预燃室结构与燃烧喷嘴的讨论

- 分层喷嘴布置，从实际运行的结果看这种燃烧器是长焰燃烧，空、煤气混合是不好，空气过剩系数大
- 时有燃烧脉动和爆震燃烧发生，极易损坏喷嘴
- 这种分层烧嘴燃烧产生的烟气中含氮氧化物高，因其燃烧空气过剩系数高(1.1—1.2),(如烧结矿生产中 $\text{NO}_x$ 物高),目前高 $300\text{--}400\text{mg}/\text{m}^3$ ，(国家标准规定 $\leq 50\text{mg}/\text{m}^3$ )将面临严重的考验。
- 其它形式热风炉烧嘴空--煤气出口在同一水平面交叉喷出，有混合效果好，空气过剩系数小 ( $\text{NO}_x$ 在 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 左右)的优点
- 宝钢1-3高炉热风炉燃烧器设计前都在鞍钢热态试验装置上先行半工业试验找出参数。
- 王筱留教授指出卡氏炉第一代比第二代好



**因燃烧脉动  
或爆震而损  
坏的燃烧喷  
嘴**



**某3200高炉热风炉投产4年有两座炉的煤气入口处坍塌，煤气喷嘴开裂,没用组合砖结构和外墙子母扣砖方向搞反了**





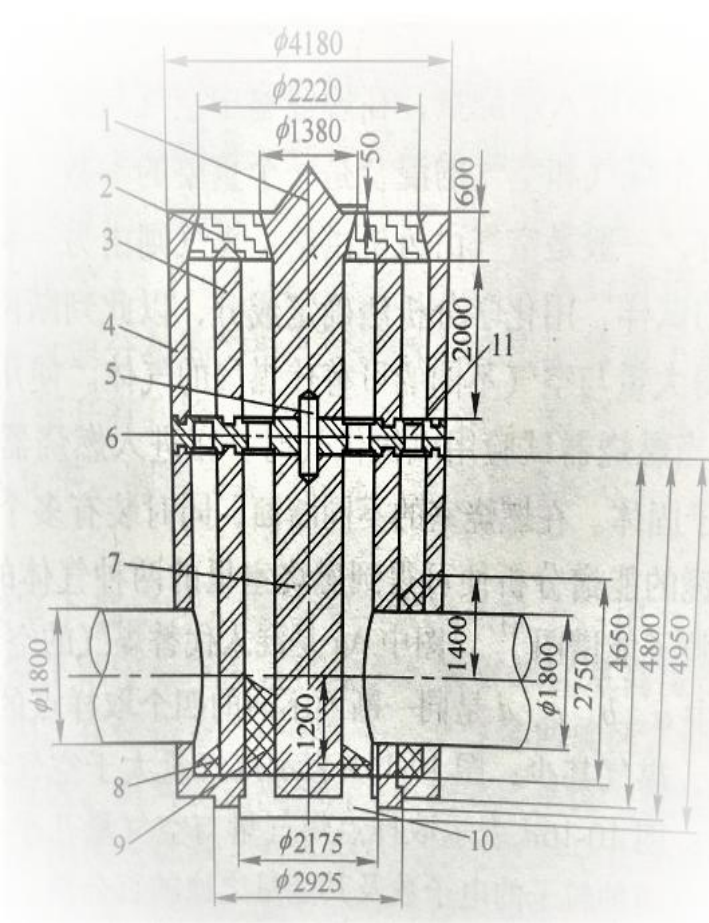


OPPO R9s  
煤气烧嘴出口全部损坏

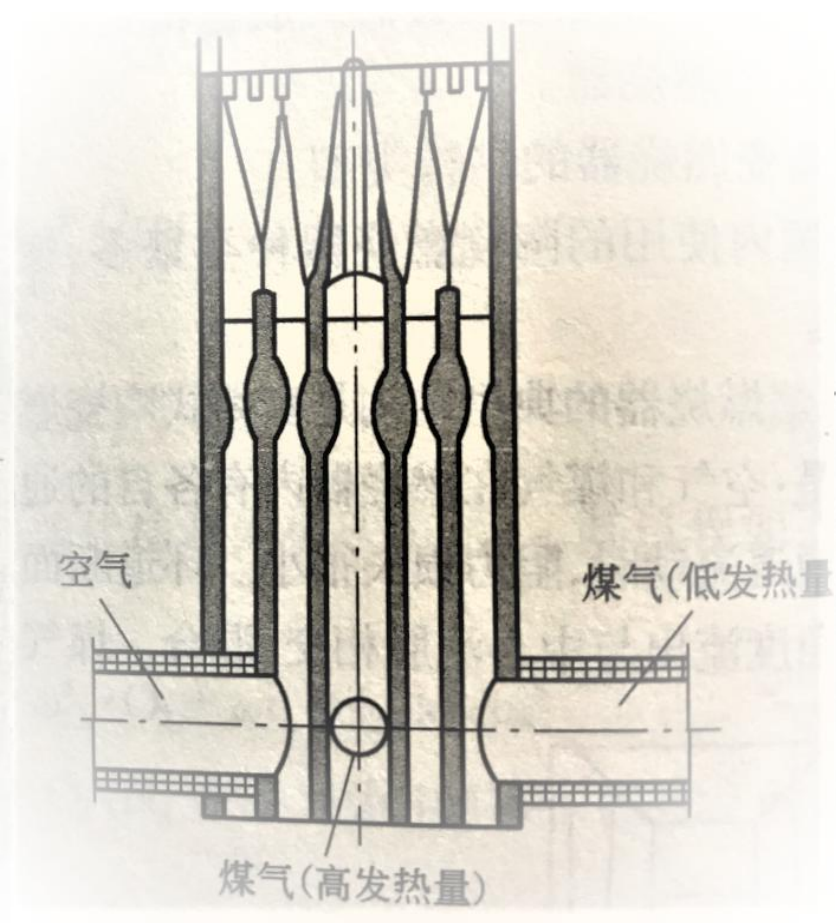


热风出口坍塌

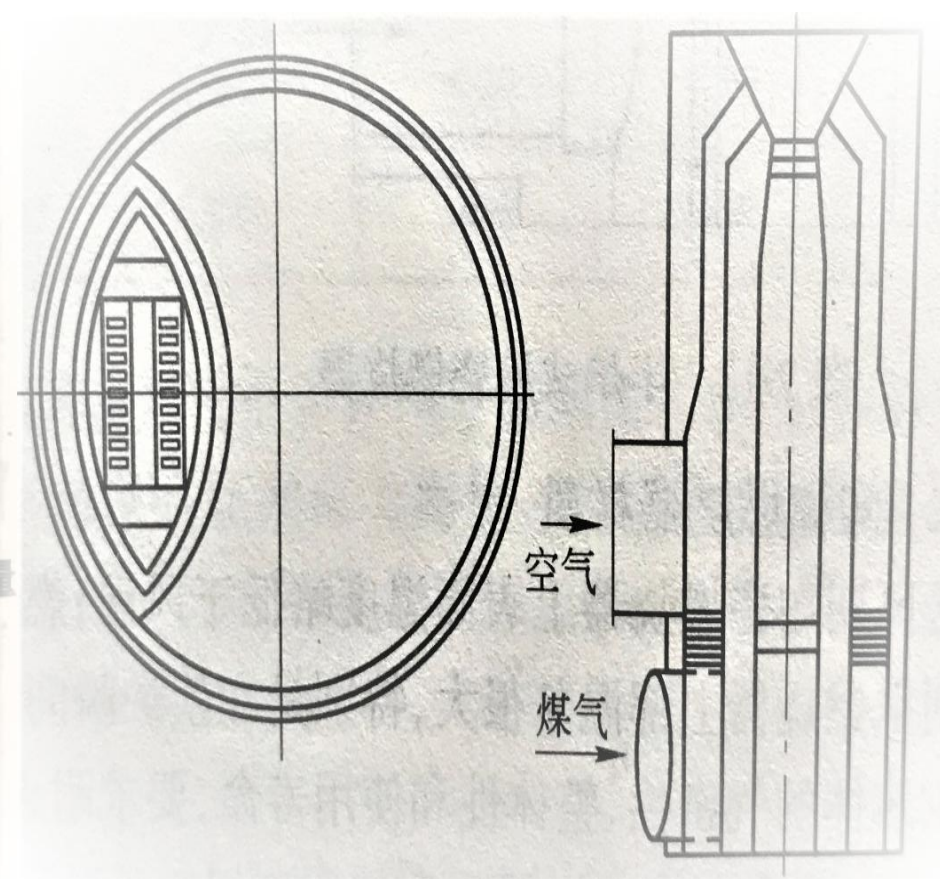




双通道燃烧器



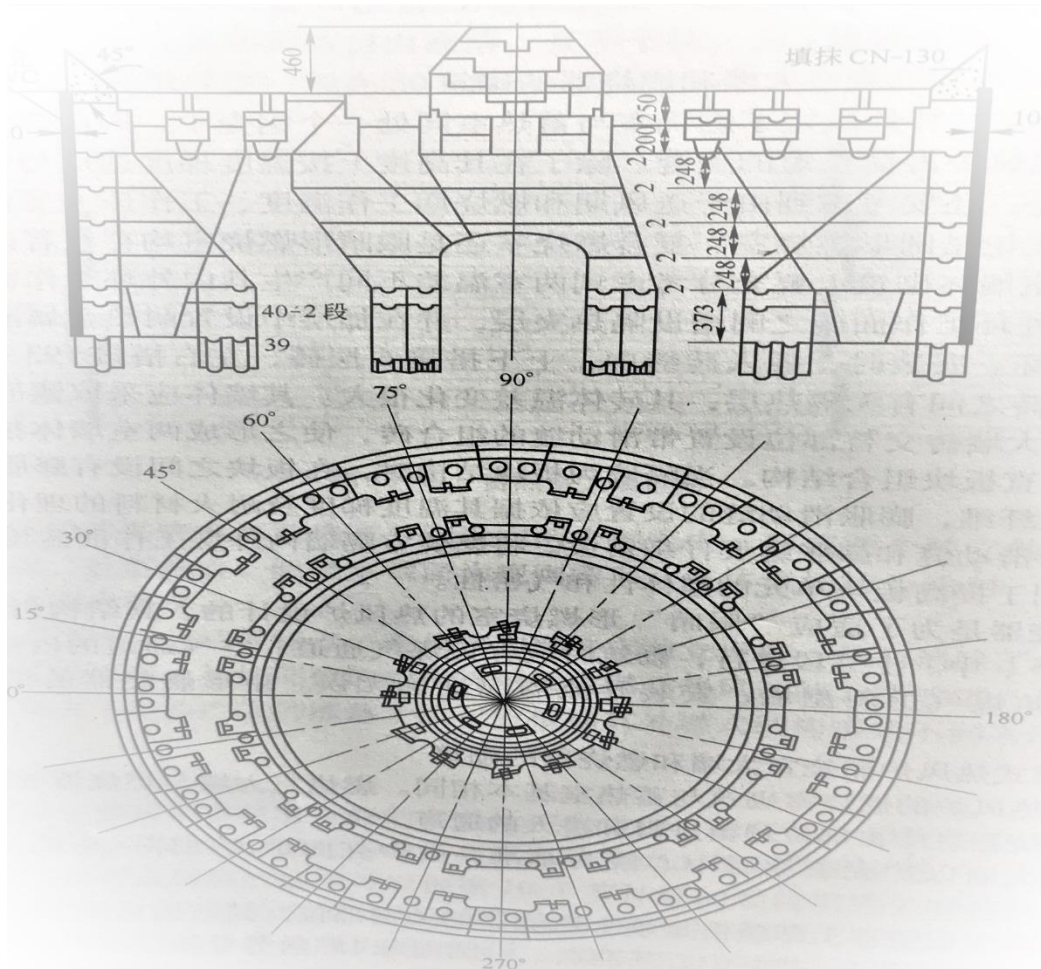
三通道燃烧器



巨形燃烧器

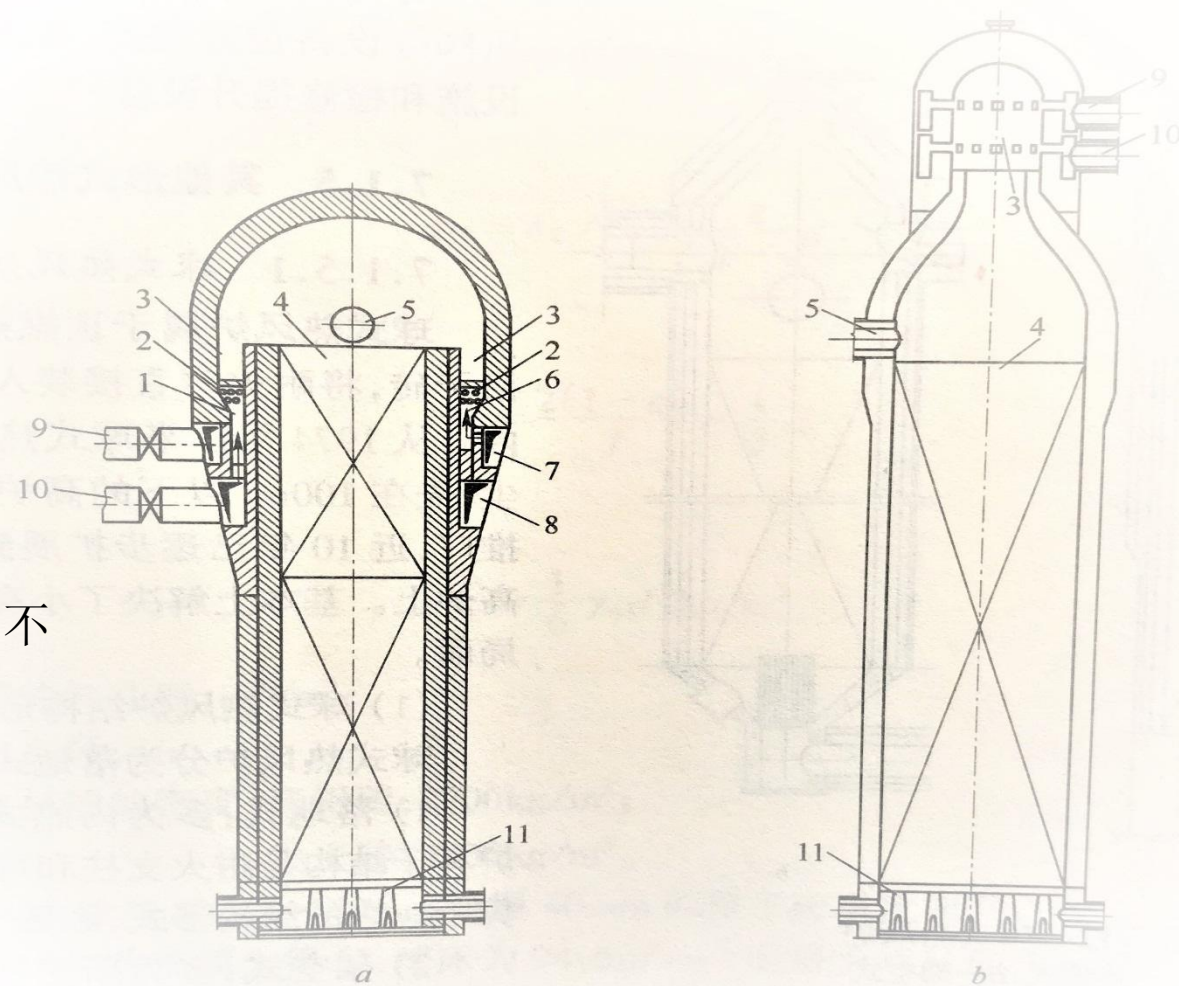
煤气、助燃空气喷嘴都在一个平面上以不同角度交叉混合燃烧





三孔试陶瓷燃烧器

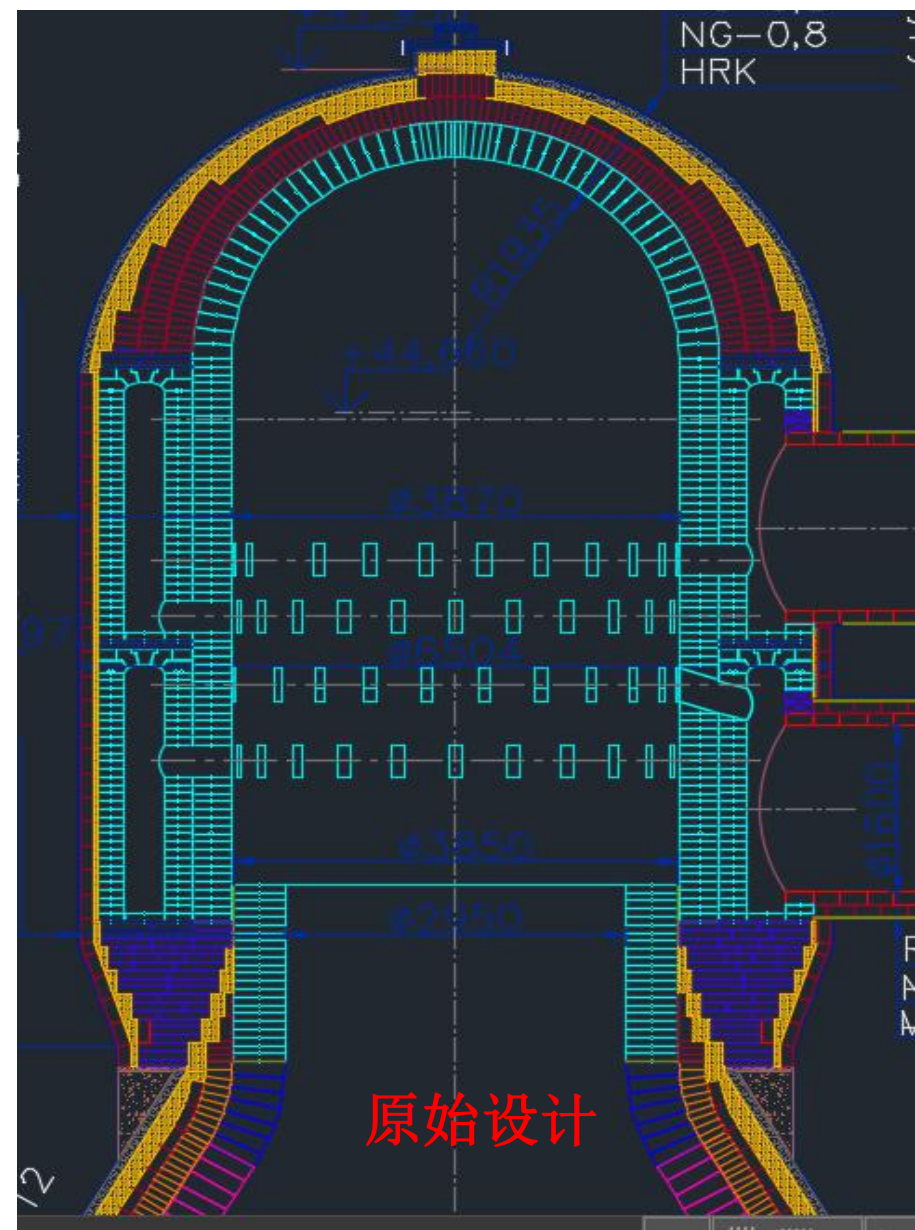
不



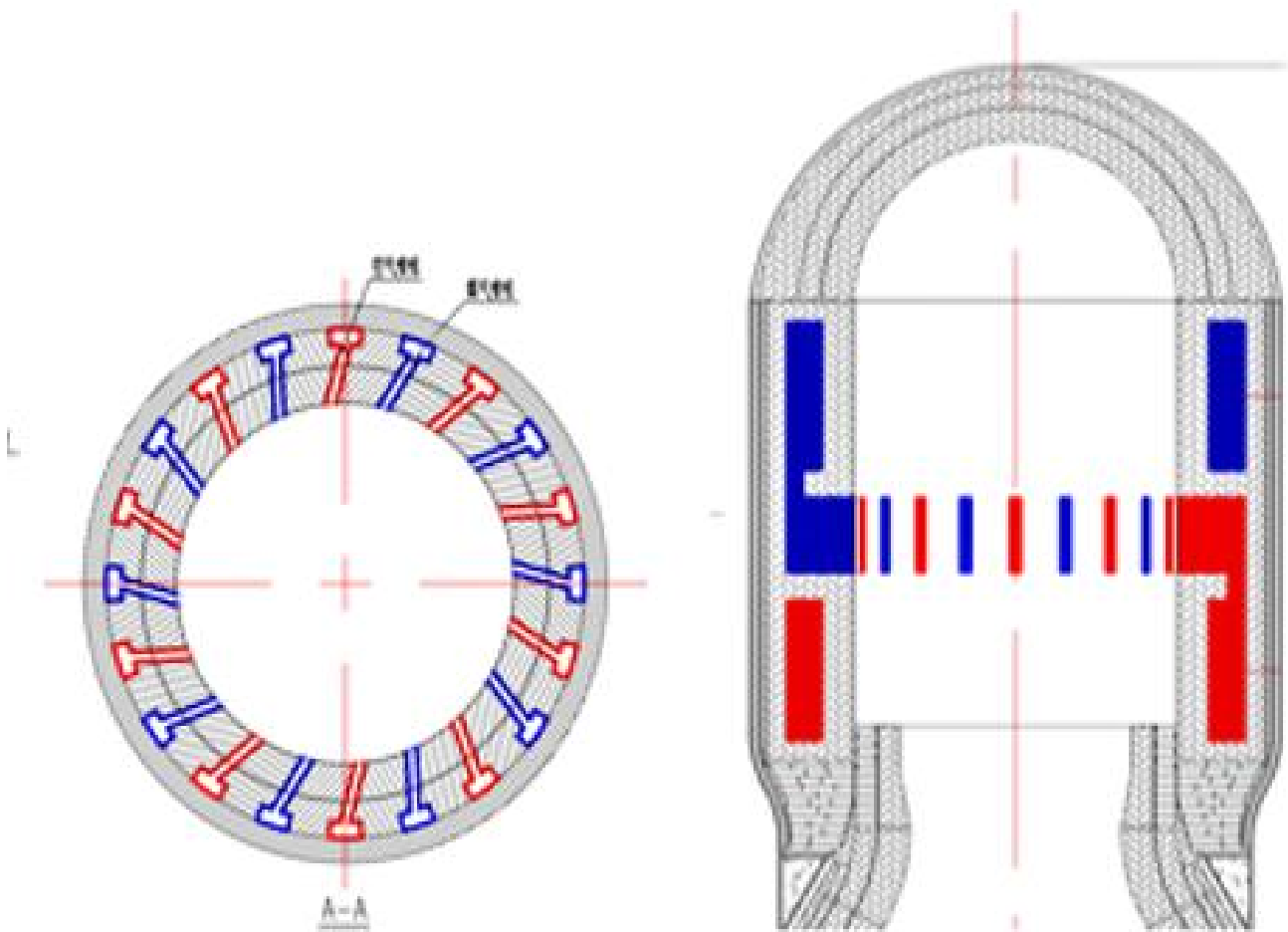
卡鲁金顶燃式热风炉第一代(a)与第二代的区别 (b)



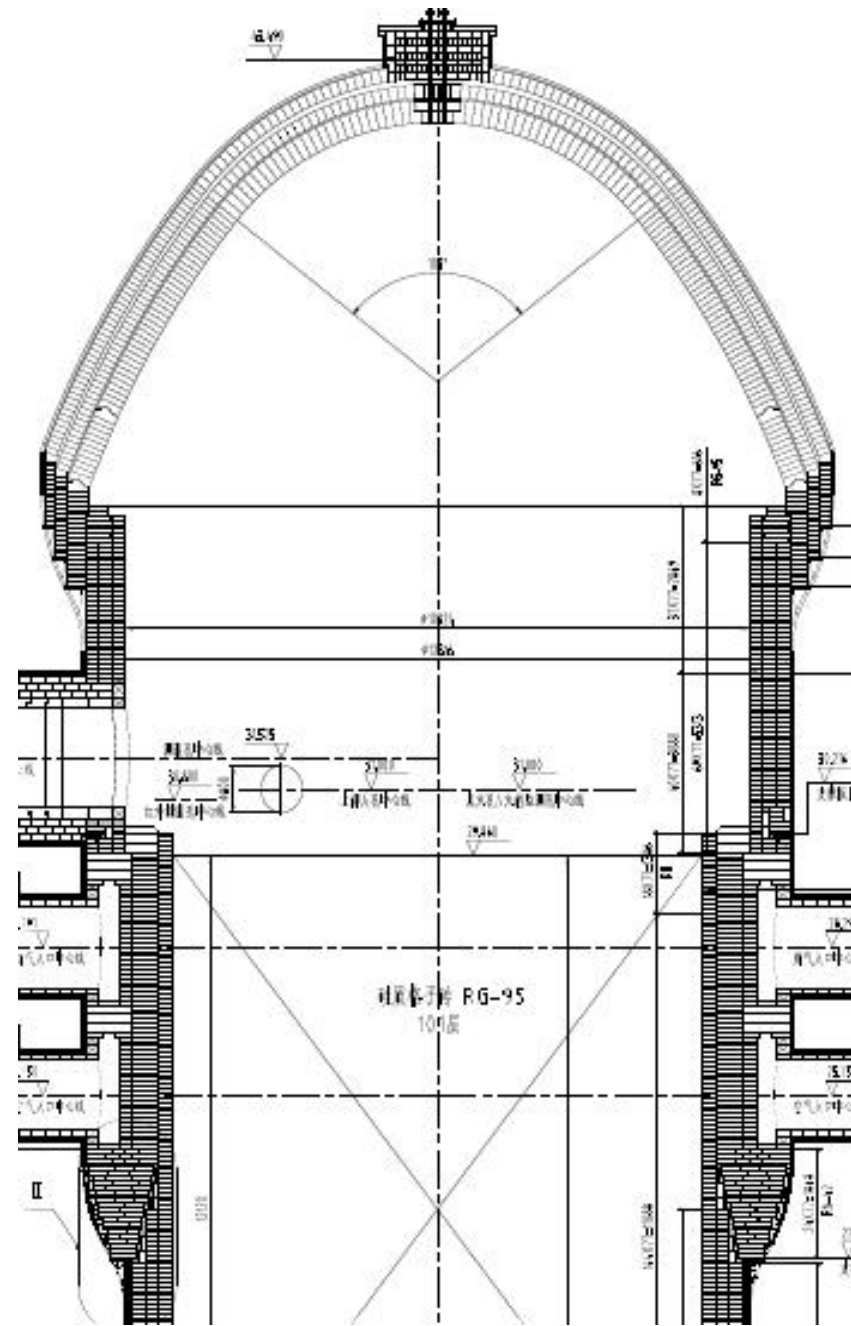
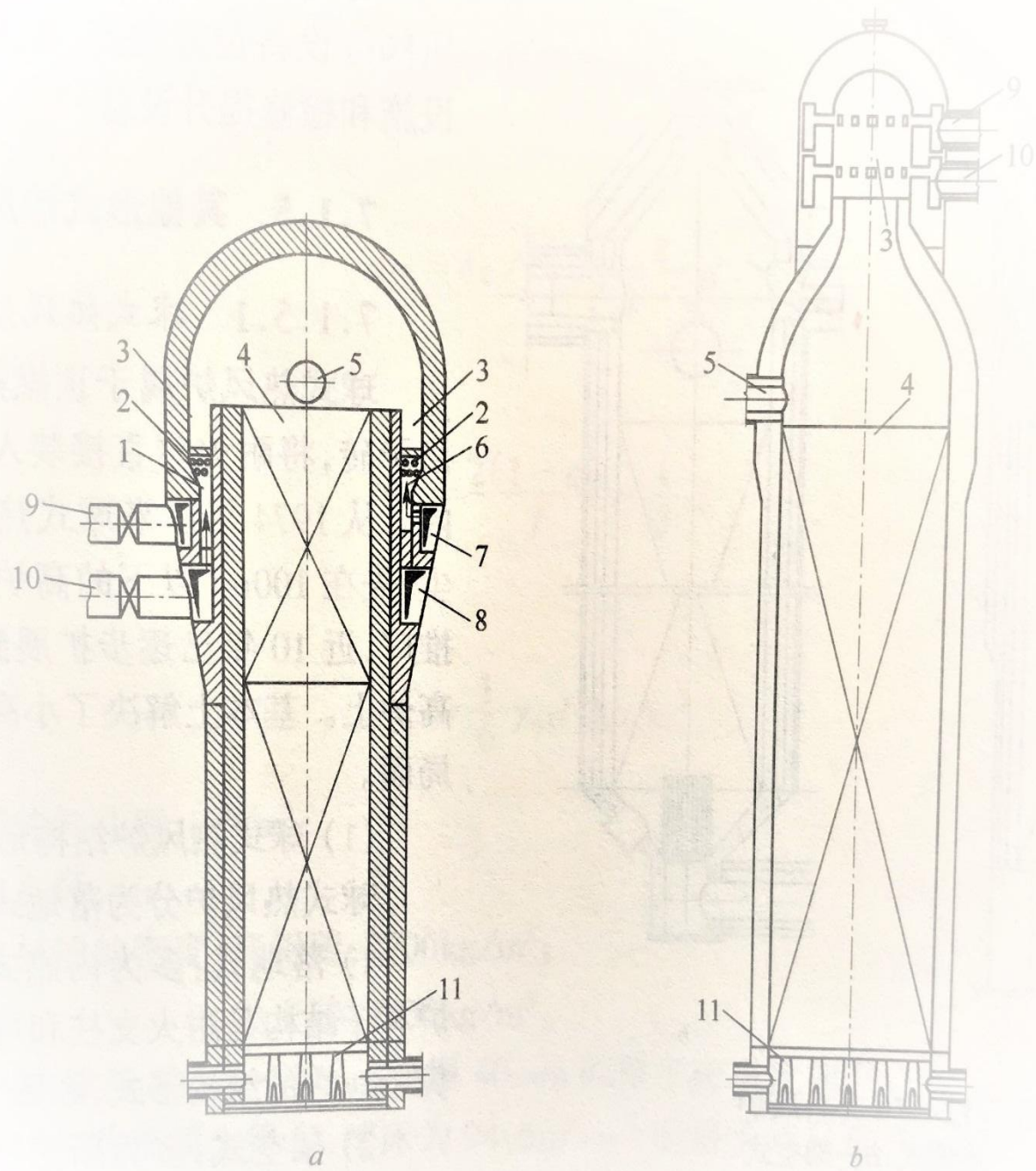
分层喷嘴和优化后的卡氏炉燃烧喷嘴,优化后的混合形式要好



原始设计



优化设计





# 耐火材料材质和砌筑方式的几点讨论

- 1.防晶间应力的酸性喷涂料,
  - 鞍钢热风炉内的酸性喷涂料规定 $\text{CaO} < 0.7\%$ ,有的国家 $\text{CaO} < 0.5\%$
  - $\text{CaO} + \text{NO}_x \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,
  - 应当重视, 有的不做要求,此处不能糊涂
- 2.重质硅砖及轻质硅砖,高温性能好,蠕变性好(第一座硅砖热风炉至今45年)
  - 不足: 有两个晶格转换点, 体密低热容量小(硅砖 $1.85\text{g/cm}^3$ ,粘土砖 $2.6\text{g/m}^3$ ), 膨胀系数大, 因此格砖柱高度, 根据不同炉容宜选在在6-10m之间,不能太高。
  - 轻质隔热硅砖性能同重质硅砖相近,但砌在冷面,所处温度区间经常在晶格转换温度范围内,(历史上某3200经验),建议热风炉不采用轻质硅砖,(隔热砖含 $\text{SiO}_2$ 在90%, 重质硅砖含 $\text{SiO}_2$ 在95%)
- 3.格子砖孔径:
  - 格子砖大孔径其换热面积小,格子砖的孔径越小, 其单位体积的换热面积越大,热风炉体积也越做越小。
  - 孔径 $\phi 20\text{mm}$ 的37孔格子砖比 $\phi 60\text{mm}$ 球体换热面积还大 $1\text{m}^2/\text{m}^3$ ,实际是个了不起的数

# 耐火材料材质和砌筑方式的几点讨论

蓄热体的热容量变小了,应保证单位高炉炉容的换热体的总热容量足够大才能保证送风风温的稳定,不摔尾,应提高单位炉容的换热面积。

或者提高热风炉换炉的频率,这样给机械化、自动化速度带来更高的要求

有的学者也提出孔径过小会使上部辐射传热能力变小,热效率降低。

同时孔径变小,孔道中气体流速增后加对流传热增强,但热风炉阻力也有所增加。**应综合考虑**

热风炉格孔砖孔径、孔数与加热面积

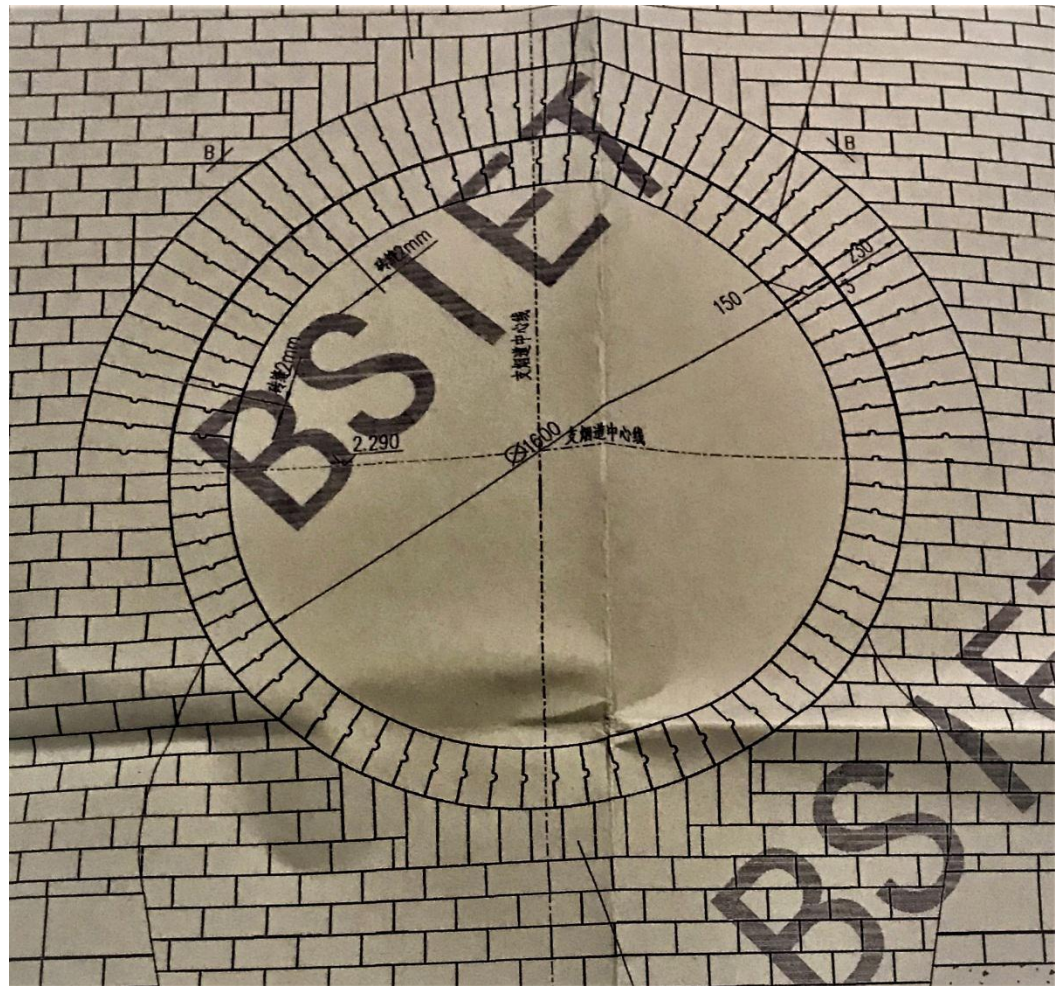
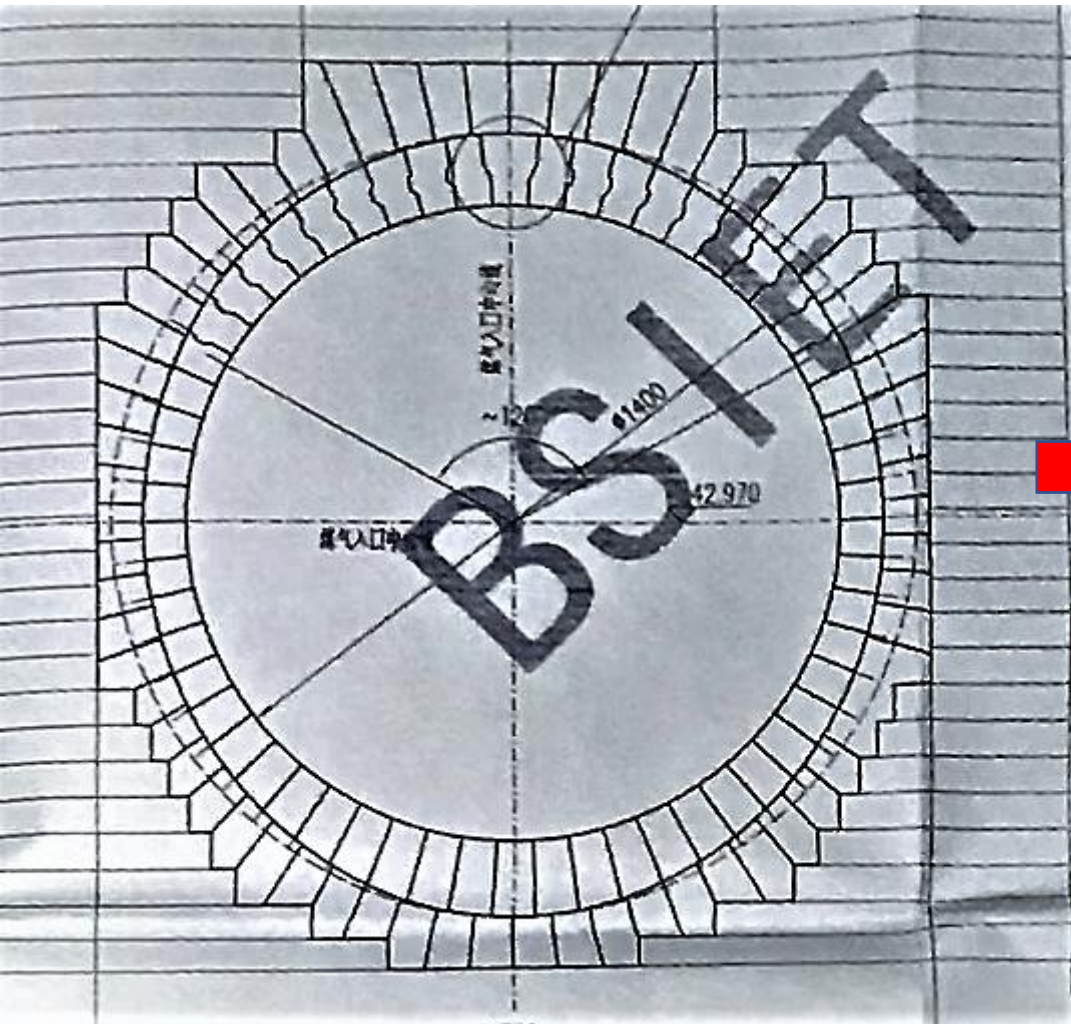
格孔数/砖	7孔	7孔	19孔	19孔	19孔	31孔	37孔	37孔	球式	球式
格孔直径 mm	Ø43	Ø40	Ø33	Ø30	Ø28	Ø25	Ø23	Ø20	Ø60	Ø80
单位体积加热面积 m²/m³	38.08	40.3	44.36	48.0	50.71	58.13	59.82	64.0	63.0	47.25



# 耐材砌筑优化

1. 两环隔热轻质砖不宜合并成一环设置, 两环砖砌筑不管怎么排列都存在大量**通缝**, 而三环砖错缝砌筑几乎不存在通缝, 真正利用了迷宫技术的优势, 所谓窜风。2001年鞍钢11高炉大修采用单层隔热砖, 总砖衬加厚了, 但结果管道表面温度反而升高了, 近200℃, 主要是**通缝窜风**。

- 2. 管系的耐材砌筑优化: 上半圆120度子母扣砖砌筑存在水平推力, 应学拱桥或隧道窑采用180度
- 3. 三叉口是出问题最多的部位(90%)
- 各三叉口应采用组合砖结构
- 管道三叉口相关线两钢壳管径差应 $\geq 100\text{mm}$ , 才有条件稳住耐材砌筑, 或者学欧洲人重质砖采用铰杆吊挂形式, 或者采用国内的D形结构。
- 组合砖或异型砖一定要严格检查有没有内部层裂(砖生产工艺不佳所至, 例鞍11BF进口时), **国内、外标准都规定: 有层裂则判废, 不允许砌筑**。振动浇注成型”方式做成毛胚, 再焙烧的制造工艺生产的组合砖不存在层裂
- 4. 管道系统的应力计算与相应的结构形式选择, (例某巨形高炉事故, 历时5年, 4次更换热风总管与砌筑才稳定)
- 管壳厚度(鞍钢10BF热风围管事故后, 多为22mm)
- **滑动支座、固定支座、弹簧支座、加强拉杆、波纹膨胀器等选取的正确性**



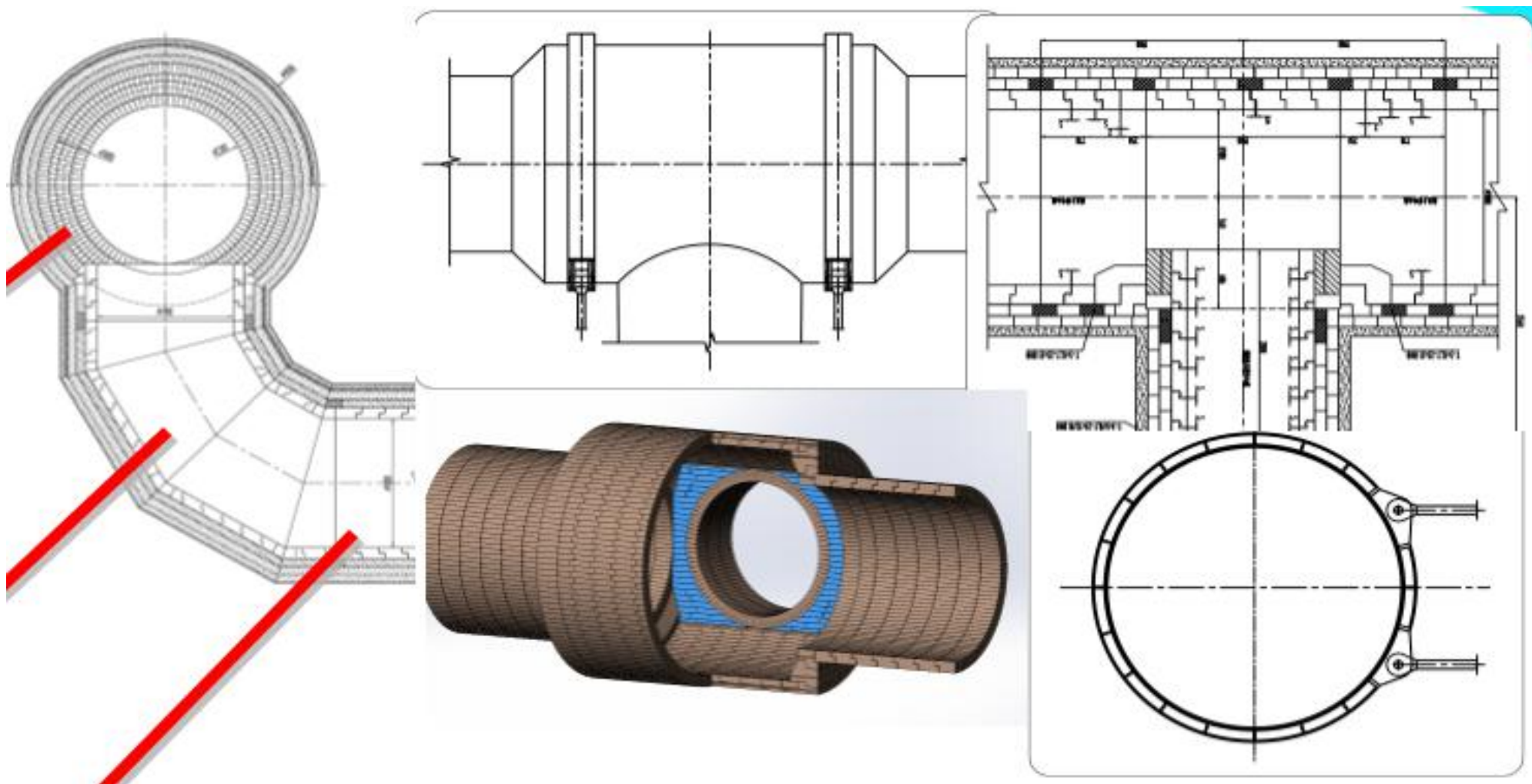


**某3200高炉开炉4年由于煤气入口没采用组合砖，入口坍塌和予燃室损坏**





# D型结构三叉口组合砌筑





# 耐材砌筑优化

- 4 热风出口的结构的优化
- 热风出口区域的钢壳发红、开焊、跑风、撕裂、耐材坍塌等事故经常威胁高炉生产和安全，尤其是发生在卡氏顶燃式热风炉现象居多，鞍钢新5高炉(2580m<sup>3</sup>)2007年从卡鲁金公司引进热风炉本体设计，管道系统是鞍钢设计院配套设计，当时谈判时我们坚持了对卡鲁金先生几十项设计上的改进，开炉至今已10年多，热风炉系统没出现任何问题，实践证明是正确的。
- 热风炉出口炉壳直段高度应足够高，开口避开在上下弧段上，燃烧室的耐材重量不应承载在热风出口段的大墙上，应改变方式让这部分耐材重量承载到热风炉壳上
- 采用薄炉壳开孔再增加补强附板来加强的结构，是不适宜高温区域的，加强圈与炉壳的焊接实际上在外环焊接，而内环焊不上，形成两层皮，强度就不够了，加之整段刚度也不够。因此应整段采用厚炉壳，或圆周1/3-1/4区域采用厚钢板才适宜。

# 晶间应力腐蚀与防护

- NO<sub>x</sub>生成条件的研究、减少其生成量的方法、热风炉各燃烧器所产生NO<sub>x</sub>在线测定、比较和防止晶间应力腐蚀是摆在我们面前的新课题。也是高炉炼铁本身的发展和环境保护提出的要求。烧结脱硫脱硝就是例证。 $\text{CaO} + \text{NO}_x \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,
- 有测试资料显示,当前卡氏顶燃式热风炉烟气中含氮氧化物较高,比其它几种类型的热风炉烟气的氮氧化物高出很多,严重超出环保标准,准确否?(国标NO<sub>x</sub>要小于50mg/m<sup>3</sup>),巨型高炉热风炉上部炉壳开裂,与晶间应力腐蚀有关,应引起重视
- 宝钢本部热风炉的防晶间应力腐蚀的方法已使用35多年了;鞍钢炉壳采用容器钢→内表面焊接锚固钉→喷沙除锈→喷防酸油漆→喷酸性耐火材料,都有实践经验,值得借鉴。



谢谢聆听！

欢迎批评指正！