

三活叶技术資料三

总 号: 307

热加工: 095

内部資料 注意保存

Φ 500—900冲天炉中溫炉胆 預热器的定型試驗研究 (之一)

第一机械工业部新技术先进经验
宣传推广联合办公室

1965. 12.

目 录

一、前言	(1)
二、定型研究的基本方法	(4)
三、試驗結果及其分析	(10)
四、影响炉胆使用寿命的主要因素	(17)
五、炉胆的经济合理性分析	(20)

Φ 500—900冲天炉中溫炉胆 預热器的定型試驗与研究

上海市机械制造工艺研究所
第一机械工业部第二設計院

一、前 言

热风熔炼是强化冲天炉熔炼的有效措施之一，在国内外发展极为迅速。按其使用的热源，安放位置及结构形式之不同所组成的换热器种类极为繁多，炉胆預热器就是利用冲天炉炉料預热区内炉气余热为主的一种空气换热器。

这种預热器在国外，曾被重視过，但由于风溫不高，寿命不长，因而没有得到应有的发展。例如美国灰铸铁公司在1927年内就应用了一种莫尔 (Moor) 式的炉胆热风冲天炉，其焦耗在10~13.5%时风溫最高达150°C，其使用寿命仅75炉次：[1]又如在文献[2]所介绍的苏联的炉胆預热器、风溫也只150°C左右，使用寿命为50~60炉次，效果均不理想。除此之外，在奥地利也虽然使用过空心薄壁铁砖组成的在熔化带上端的預热器[3]，在西德和苏联还应用过装在預热器带炉衬内的抽气式預热器[4]，[5]，但这些结构都缺乏具体效果的介紹。

在国内，几年前也出现过几种类型的炉胆預热器。諸如螺旋隔片式，等风带式，垂直隔板式等[6]。图1表示这些形式的示意。这些炉胆大都装在加料口下沿的一段高度内，其共同特点是：

1. 安放位置高，一般均在主风口2公尺以上，因而預热风溫低，熔炼效果不显著，表1是61年时对上海地区若干使用炉胆单位实测的纪录[6]。

2. 預热器结构不合理、空气侧散热能力差。散热系数 α_B 大多 <100 大卡/米²·小时°C，因而預热器的内筒溫度高、刚性差、易于变形及开

裂，使用寿命短，大多只能熔化40~60炉次左右，就发生变形及裂纹。图2是螺旋隔片式炉胆预热器变形的典型情况。

3. 供风阻力损失大[表1]，平均总在300毫米水柱以上，因而使用单位逐渐地减少了。

近年来，由于仿照法国烏尔謀热风冲天炉設計了带有垂直密排筋片散热的烟囱预热器获得了一定的效果，使我们感到采用垂直密排筋片散热的空气预热器与上面所述的各种结构相比，不仅可以做到高的散热能力，而且可以做到較低的流动阻力，极适宜于应用到炉胆预热器的结构上来。因而1962年底一机部第二設計院与上海船舶修造厂共同协作，首先根据这一结构原理設計了一个高为1700毫米，直径为500毫米，带有45°倾斜的密排筋片炉胆预热器。设计中一方面由于使炉胆空气侧散热系数 α_B 增大到240大卡/米²·小时·°C左右，因而可将炉胆的安放位置自原先較高的位置下伸到距主风口以上1200毫米的平面上，使预热风温达到270°C左右，另一方面还大大地降低了炉胆内筒的壁温，增加了内筒的刚度，使炉胆的寿命成倍增加。

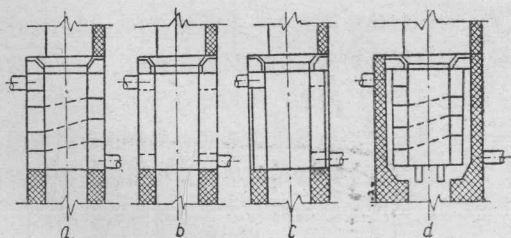


图1 几种不同隔片结构的热风炉胆：

- (a) 螺旋隔片式；(b) 等风带式；(c) 垂直隔片式；
(d) 双面受热螺旋隔片式。

这一尝试，充分表明了炉胆的优越性。之后，炉胆的发展又重新获得了新的生命力。在这样的情况下，为了寻求较为合理的炉胆结构型式以及提供有效的設計方法，使炉胆预热器能较顺利地予以推广，根据一机部(63)机技字第4448号文指示：由上海市机械制造工艺研究所及一机

表 1

厂 名	冲天炉基本参数			换热器几何尺寸			换 热 器					受热系数 K
	内径 (毫米)	铁水 温度 (°C)	焦铁比	结构形式	内筒直径 (毫米)	高度 (毫米)	进口 风压	出口 风压	风压 损失	进口 风温	出口 风温	风温 升高
上海铸造厂	φ1000	1340	1 : 11	螺旋隔片式	φ1100	1600	940	570	370	500	1000	1100
上海拖拉机厂	φ900	1400	1 : 14.5	螺旋隔片式	上φ760 下φ840	2000	1500	1200	300	45	145	100
公兴群翻砂厂	φ600	1370	1 : 9.6	螺旋隔片式	φ600	1000	950	690	260	50	100	50
顺昌翻砂厂	φ900	1390	1 : 10	螺旋隔片式	φ800	1830	1300	1000	300	45	160	115
同发翻砂厂	φ700	1320	1 : 8	螺旋隔片式	φ700	1600	1360	1040	320	50	107	57
上海鼓风机厂	φ650	1400	1 : 10	垂直隔片式	φ600	850	/	/	/	37	127	90



图2 螺旋隔片式炉胆的变形情况。

部第二設計院共同进行了中溫炉胆預热器的系列定型研究，期望通过研究，在进一步提高空气的預热溫度至 300°C 左右以上的效果下，并进一步延长炉胆的使用寿命至200炉次以上。研究工作自1963年底开始进行，至今已告一段落，现将試驗过程及其結果整理如下：

二、定型研究的基本方法

1. 概述：

系列研究的主要目的在于对中小型冲天炉（ $\phi 500\sim 900$ 毫米），提供与其相适应的炉胆預热器的結構形式，及通过相应的設計計算、預測炉胆預热器的工作性能及其大致的熔炼效果。考虑到炉胆預热器的使用普遍性，在定型研究中一律选用了价格便宜，易于采购的普通碳钢钢板及部分鍋炉钢板，作为炉胆預热器的結構材料，因而研究范围也就大大地縮小了。此时，我們只要照按碳钢的許用性能寻求有效的热工計算方法以及影响預热器工作性能和使用寿命的一些其它因素。

关于炉胆預热器的热工計算主要包括传热計算，阻力計算及内外筒相对膨胀的补偿計算等三部分。对于强度計算，由于在定型研究中一律选用了12毫米厚的鍋炉钢板作为炉胆内筒及6毫米厚的碳钢钢板作为炉胆外筒，因而一般予以忽略了。

对于热工計算中的传热計算，由于在冲天炉加料口下面的一段炉身內，充滿金属炉料燃料及熔剂，使炉內热流体对炉身的传热变得十分复杂，因而我們在定型研究中采用了在不同直径的冲天炉上进行实测的办法来整理出一套近似的計算办法，以保证必要的准确度。这个办法的原

理是：

由于炉胆的传热过程可用图3表示，即炉内对炉胆内筒通过炉气的辐射和对流及炉料的辐射和传导的总热量 q_{g-CT1} ，这部分热量在炉胆空气侧通过对流，一部分传给空气 q_{CT1-B} ，而另一部分则通过辐射传给炉胆外筒 ($q_{CT1-CT2}$)。由于在密排筋片时，辐射遮隔很大及筋片顶端温度较低，热流 $q_{CT1-CT2}$ 常常很小，致使外筒壁温常常低于或接近相应的空气温度，因而炉胆外筒对空气的给热可忽略不计〔7〕，此时炉内热流体对空气的传热热流强度可近似地看成是 q_{CT1-B} 。

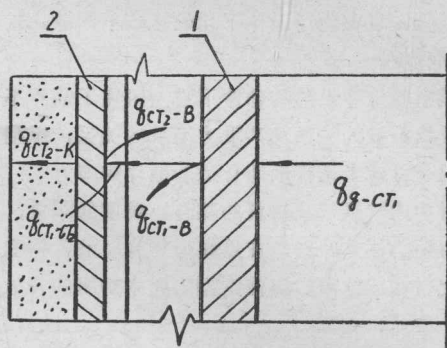


图3 炉胆热交换示意图。

对于空气侧 q_{CT1-B} 的热流方程是：

$$q_{CT1-B} = \alpha_B (t_{CT1} - t_B) \quad (1)$$

式中： α_B ——空气侧散热系数

t_{CT1} ——炉胆内筒温度

t_B ——相应点空气温度

因而对沿炉胆高度方向筒壁及空气温度的分点测量以及通过空气侧对流换热系数的实验室研究〔7〕，便可顺利地得到不同炉径炉胆热风冲天炉沿炉身高度方向的热流体对空气传热热流强度分布规律，依靠这一规律便可对炉胆预热器进行传热计算。

对于热工计算中的阻力计算，系首先从实验室中确定不同排列的筋

片散熱結構的阻力系數〔7〕，然後在生產爐上予以驗證。

對於熱工計算中的爐胆內外筒相對膨脹的補償計算則套用了煤氣管道中鼓形及波形膨脹補償器的計算辦法，並在實際生產中予以驗證，〔8〕在定型試驗中未進行專門的研究。

2. 試驗安排及測試方法：

定型試驗研究過程包括如下試驗內容：

(1) 在生產條件下分別選擇了上海船舶修造廠 $\phi 500$ 毫米三節爐，杭州制氧機廠 $\phi 500$ 毫米沖天爐，高山鑄鐵廠 $\phi 600$ 毫米沖天爐、發利翻砂廠 $\phi 600$ 毫米沖天爐、進行了傾斜筋片散熱，圓柱針狀筋散熱及垂直叉排筋片散熱的选型試驗，以在生產條件下比較這些不同散熱結構的傳熱效能及其使用的可靠程度。

(2) 在實驗室模仿沖天爐的條件下重點研究了筋片不同排列方式和密度對其對流放熱系數的關係及其阻力系數的關係，以期通過對傳熱和阻力損失的綜合考慮來選擇最為合適的筋片排布方式〔7〕。

(3) 通過對爐內（煙氣及爐料的綜合）溫度的測量，確定不同直徑（ $\phi 500 \sim 900$ ）的爐胆熱風沖天爐在焦耗為10%，送風強度為 $100 \text{ m}^3/\text{米}^2 \cdot \text{分}$ 時，其熔化帶相應位置。以使定型研究中爐胆的安放位置能予以肯定。

(4) 根據式(1)，通過對爐胆預熱器沿爐胆高度方向上內筒壁溫的分點測定及相應點的空氣溫度測定，以尋找出爐內熔化帶位置以沿爐身高度方向熱流強度的分布規律。由於這一規律隨着沖天爐爐徑大小，風量的大小及焦耗的多寡而變的；在爐徑方面的影響則由於條件所限、終于沒能把系列尺寸（ $\phi 500 \sim \phi 900$ ）的沖天爐都能找到列表，對於這一點不足，我們是從已有的爐徑之間的差別找到一定的對應關係來彌補的，這些關係將在後面定型計算中介紹。

(5) 在同一沖天爐及相同的操作條件下，通過對鐵水溫度，金屬元素的燒損，加料口爐氣溫度及成份的測定，重點分析了爐胆熱風沖天爐與冷風沖天爐相比時其技術經濟上的合理性。

各生產條件沖天爐爐胆結構參數列於表2

表 2

项 目 厂 名	炉 径 (毫米)	炉胆下沿 距主风口 距 (毫米)	炉 胆 高 度 (毫米)	筋 排 形 式	片 列 式	筋端部 中心距 (毫米)	筋片垂 直高度 (毫米)	筋 片 长 度 (毫米)	炉胆高度 方向壁温 测点数目	炉胆高度 方向风温 测点数目	内 外 筒间隙 (毫米)
上海船舶修造厂	φ500	1200	1700	45°斜排		25	30	400	0	3	32.5
杭州制氧机厂	φ550	1200	1570	垂直叉排		14.5	45	90	3	2	50
高山铸铁厂	φ600	1200	1500	下端 200 毫 米圆柱针 状,其余45° 斜排		15	针高35 筋片35	200	2	4	37
中工冶铸厂	φ600	1200	2000	垂直叉排		10	30	200	4	4	32
发利翻砂厂	φ600	1200	1800	垂直叉排		10	30	200	4	4	32
上海重型机器厂	φ900	1500	2000	垂直叉排		24	40	176	2	1	45

图4及图5分别表示上海发利翻砂厂 $\phi 600$ 毫米冲天炉及上海重型机器厂 $\phi 900$ 毫米冲天炉炉胆预热器的试验测量系统，其壁温及风温的测量，分别如图6及图7。其中发利厂的风温及壁温系用如图8所示的自制的热电偶插入测孔内进行测量。考虑到测量风温时为了使炉胆内筒对热电偶热点的辐射影响相对地减少保证风温的正确。在自制热电偶中应用了 $\phi 0.3$ 毫米直径的铝—铬热电偶丝。上重厂的风温测量，则事前在炉胆内筒上下端分别焊上一热电偶丝的保护罩，将 $\phi 1.2$ 毫米的X—A热电偶埋入其中，然后再经过炉衬而引出。所有测温仪表均用303及702电位计分别测量。

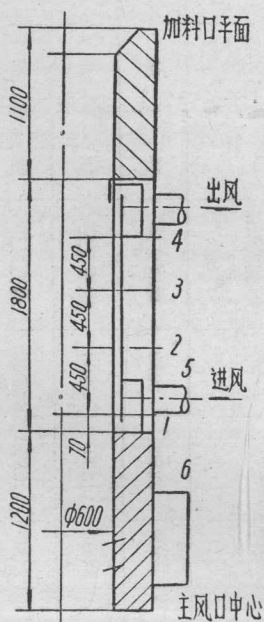


图4

1、2、3、4——壁温测点；
5、6——风温及风压测点。

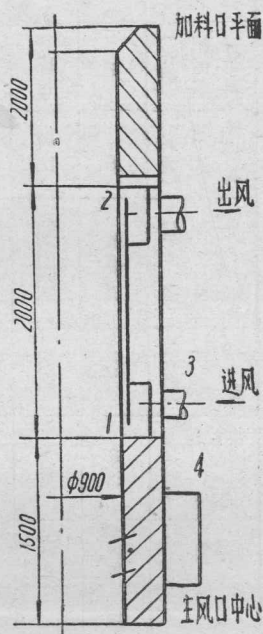


图5

1、2——壁温测点；
3、4——风温及风压测点。

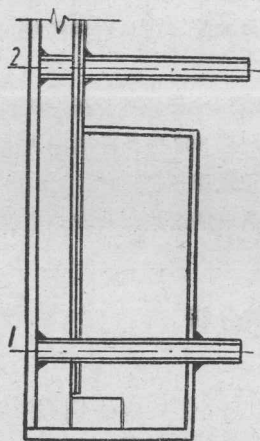


图6 发利厂炉胆壁温及风温的测量孔。

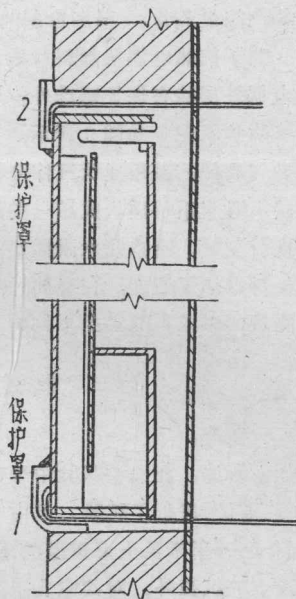


图7 上重厂炉胆上下端壁温测量方法。

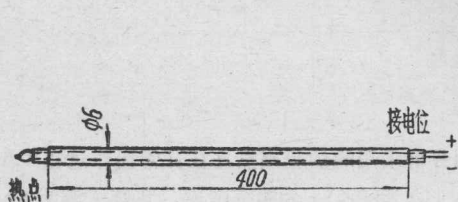


图8 测壁温及风温用热电偶。

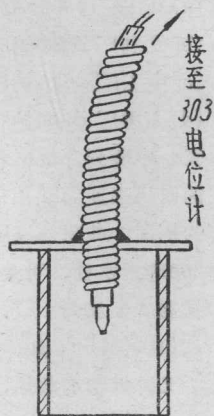


图9 测炉内温度用热电偶。→

炉内温度测量，系用自制的 Fe—Ni80Cr20 热电偶配以303电位计进行。为了使热电偶从加料口放入后能跟随炉料一起下降而不被损坏，在热电偶外层除有保护磁珠外，还包有金属软管，在热电偶的热接处。设有一防护罩壳，如图9所示。

炉气成份：系用奥氏气体分析仪，每隔15~30分钟分析一次。

铁水温度系用插入式铂—铂铑热电偶配以303电位计后插入出铁包子中进行测量，冷点用水银温度计读出后予以修正。

加料口炉气温度，在必要时用铝—铬热电偶或铜—钛铜热电偶进行连续测量，以求得真实的平均值。

三、试验结果及其分析

1. 概况：

如上所述：在选型试验中曾分别选择了6个厂，四种不同炉径的冲天炉(三节炉)进行了试验。但由于受到生产条件的限制，我们仅在发利翻砂厂 $\phi 600$ 毫米及上海重型机器厂 $\phi 900$ 毫米的炉胆热风冲天炉上做了较为重点的试验外，对其它几个厂都只是作了一般性的测量。关于炉胆测量结果及使用情况可用表3表示：

图10几种筋片式炉胆的内筒情况(由炉底向上拍摄)

(a)高山厂 $\phi 600$ 炉胆；

(b)发利厂 $\phi 600$ 炉胆；

(c)中工厂 $\phi 600$ 炉胆；

(d)上重厂 $\phi 900$ 炉胆。

表3中所列之数据表明目前采用的炉胆预热器在日常操作过程中所使用的送风强度大都在 $90 \sim 110$ 米³/米²·分的范围内，焦耗大都为8~12%的范围，其预热风温普遍都在250°C以上，而其阻力损失一般均不超过200毫米水柱，可是，它具有较好的使用性能。

根据表3及图10可以看出在高山及重型厂所作的造型试验是失败的。高山铸铁厂的 $\phi 600$ 毫米炉胆预热器由于在其下端200毫米的高度内采用了叉排针状筋散热，使内筒抵抗向炉内方向突起变形的能力大大减弱，加上安装、操作上一些原因，在使用200小时后即引起变形及裂纹。

表 3

单 位 名 称	炉胆主要尺寸参数		日常操作条件		主 要 效 果		使 用 寿 命	
	内径×高度 (毫米)	安放位置距 主风口高度 (毫米)	层焦 耗%	风量米 ³ /分米 ²	预热风温 (°C)	阻力损失 (毫米水柱)	开始使用 日期	破 坏 情 况
上海船舶修造厂	φ500×1700	1200	12	90	260~280		1964.11	使用1200小时后上端开始发生变形使用1800小时后停止使用。
杭州制氧机厂	φ550×1570	1200	10	100	320~340			
高山铸铁厂	φ600×1500	1200	9	110~120	190~200		1964.2	使用至 200 小时后开始在下端产生裂纹及变形, 使用至700小时后停止使用 (图10a)。
发利翻砂厂	φ600×1800	1200	8	90~100	250~260		1964.8	使用至今已820小时, 未有任何变形及裂纹正继续使用 (图10b)。
中工冶铸厂	φ600×2000	1200	9	100~110	300~320		1964.5	使用 200 小时后, 内筒突起变形, 400小时后停止使用 (图10c)。
上海重型机器厂	φ900×2000	1500	10	80~90	280~300		1963.11	使用 200 小时后, 内筒下端有轻微变形。

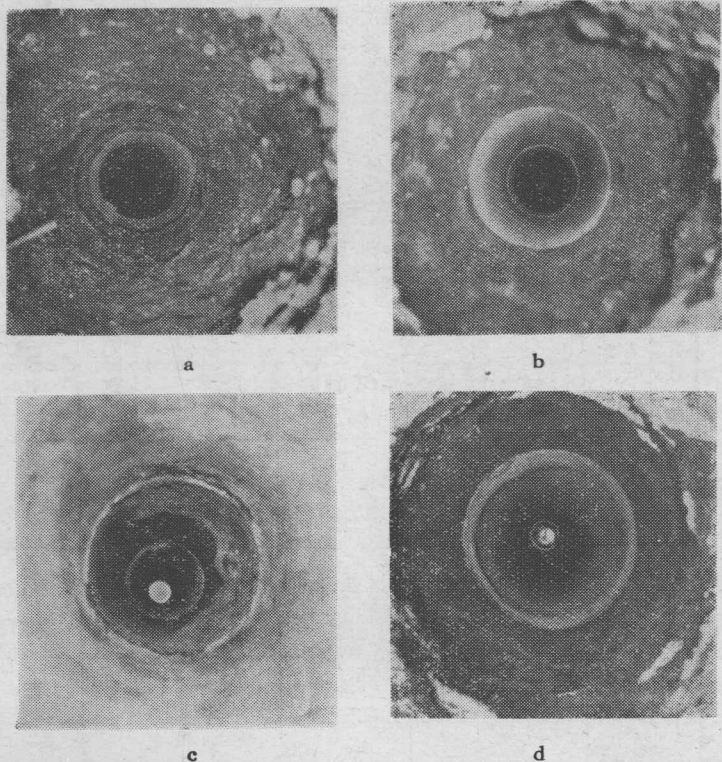


图10

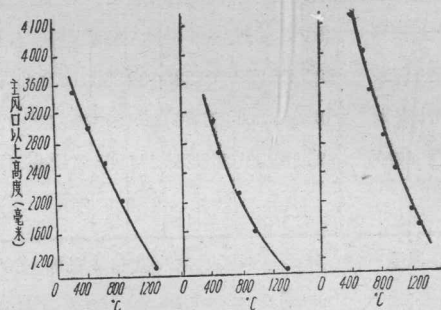
这說明单纯地追求高的散热能力,而不注意去增强炉胆内筒的抗变能力,也不能得到理想的结果。

对于片状筋的散热结构,不论是倾斜排列或是垂直排列都具有相同的使用效果及内筒抗变能力。但是在设计上考虑片状筋的散热能力不够(如上海重型机器厂 $\phi 900$ 毫米炉胆筋片间距过大)或者是在制造过程中焊缝质量不符合要求,(如中工冶铸厂 $\phi 600$ 毫米炉胆)都会增加变形的可能性。

2. 炉内温度分布规律:

应用 Fe—Ni80Cr20 热电偶絲外层套以磁珠及金属软管后制成如图 9 所示的测温装置。将该测温装置的头部(热点)自加料口放入, 跟随炉料沿炉壁一起下降, 依靠对热电偶絲的下降过程中的逐点测温, 从而测得炉内温度的分布规律。

图11系表示在杭氧厂 $\phi 550$ 毫米冲天炉、发利翻砂厂 $\phi 600$ 毫米冲天炉及上重厂 $\phi 900$ 毫米冲天炉上所测得的炉内温度沿炉身高度方向的分布。



日期: 1964, 6, 25
有效高度3900毫米
 $\phi 550$ 冲天炉。

日期: 1964, 11, 24
有效高度4100毫米
 $\phi 600$ 冲天炉。

日期: 1965, 1, 23
有效高度5500毫米
 $\phi 900$ 冲天炉。

图11

图11在焦耗为 9~11%, 送风强度为 $80 \sim 100 \text{ 米}^3/\text{米}^2 \cdot \text{分}$ 的条件下, 不同炉径的炉胆热风冲天炉其炉内温度沿炉身高度方向的分布规律。

如果将炉内 $1250 \sim 1350^\circ\text{C}$ 的温度区域看作为炉内熔化带的位置, 那么由图11不难看出: 在焦耗和送风量大致固定的条件下, 其熔化带的所在位置是随炉径热风温度及有效高度 (指有效高度不足的情况下) 而变动的。在定型试验中由于预热风温大致相近: 而有效高度一般均已足够, 所以此时熔化带相对于主风口的位置随炉径的增大而逐渐升高。

3. 炉胆预热器的工作性能:

在重点的试验工作中, 曾分别在发利翻砂厂 $\phi 600$ 毫米炉胆预热器及上海重型机器厂 $\phi 900$ 毫米炉胆预热器上应用不同的焦耗及风量操作、进行了炉胆预热器工作性能的测定, 其结果可由下表 4 及图12、图13表示。

表 4—1 $\Phi 600$ 毫米炉胆预热器正常工作时的特性

焦 耗 (%)		11				10				9		8			
送风强度 (米 ³ /米 ² 分)		108		99		110		102		91		90		91	
测 点	项 目	壁温	风温	壁温	风温	壁温	风温	壁温	风温	壁温	风温	壁温	风温	壁温	风温
		℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃
距炉胆下端70毫米		352		397				333				274		281	
距炉胆下端520毫米		325	300	289	176	288	139	286	163	290	170	264	168	249	148
距炉胆下端970毫米		333	255	306	237	300	209	278	218	290	225	267	203	252	184
距炉胆下端1420毫米		323	285	301	268	285	244	265	228	288	270	247	232	238	225
炉胆出口处*			315		298		274		258		300		262		255

* 炉胆出口处风温一律以炉距=1420毫米高度处风温加上30℃计算。

表 4—2 $\Phi 900$ 毫米炉胆预热器正常工作时的特性。

焦 耗 (%)		11						9	
送 风 强 度 (米 ³ /米 ² 分)		111		97		80		111	
测 点	项 目	壁温 ℃	风温 ℃	壁温 ℃	风温 ℃	壁温 ℃	风温 ℃	壁温 ℃	风温 ℃
炉 胆 下 端		473	60		60		60	400	60
炉 胆 上 端		452	317		320		330	437	302

表 4 表明了趋势是：在相同的送风量时焦耗愈多，则风温愈高、相应的内筒壁温也愈高；但如果在固定的焦耗条件下，改变风量，则由于两个截然相反的作用，增加风量，一方面使炉内热流强度升高（在有足够的层焦焦耗时），但另一方面使预热风量增加，因而对预热风量及壁温的影响不很明显。

图12表示发利厂 $\phi 600$ 毫米炉胆预热器在不同焦耗及风量时,下端壁温及上端第4点风温的变化,从这一图中可以看出不論是在那一种操作条件下。在开风之初,炉胆内筒下端总是会出现一个温峰,它在焦耗11%和10%时,均为 500°C 左右。供风强度不变时,它到来的时间相差不远,一般均在开风后12~14分钟的时间内产生。可见焦耗对它没有多大的影响。与此同时,也有相应的风温峰值。在此之后,炉胆的工作就趋于正常。峰值产生的原因,曾经有几种想法:(1)底焦面较高,开风时底焦就处于炉胆位置,刚结束燃烧的高温炉气造成这一事实。在继续开炉时由于底焦的下降使炉内温度重复下降;(2)开风初,尚未形成热阻较大的熔渣层、光洁的内筒金属壁更容易接受炉内以各种形式传来的热量,造成了那时的高温;(3)开风初炉内几乎是固体炉料、底焦柱中无铁水及渣液吸热、燃烧产生的高温气流在底焦柱中失热较少,故底焦面气流温度较高,根据估算,比冲天炉在正常熔化时要高出 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$,因而造成了峰值的产生,为了弄清那一个因素在起主导作用,首先从底焦影响着手,试验中曾把底焦面控制在炉胆下端以下100毫米,并在炉胆下沿伸入一石墨管于炉内,同时测定炉内温度和炉胆下端壁温,发现峰值依旧出现。结渣的现象也只在个别厂的炉胆上出现,事实上不出现结渣现象也同样有峰值,例如发利厂 $\phi 600$ 毫米炉胆使用过程中几乎不结渣,也有类同的峰值。看来最大的可能是炉料吸热的影响。由于这方面的试验做得不多,进一步的看法,尚待今后继续研究。但是这一温峰的产生在炉胆设计过程中必须予以重视。即必须使炉胆空气侧的散热能力增大到使炉胆内筒下端壁温的温峰不超过 550°C 的数值,否则炉胆容易变形。图13表示了上海重型机器厂 $\phi 900$ 毫米炉胆在相同焦耗及风量条件下炉胆下端壁温及风带风温的变化。由于上重厂的炉胆在设计时空气侧散热系数仅 $240\text{大卡}/\text{米}^2\cdot\text{时}^{\circ}\text{C}$ 左右(发利厂为 $500\text{大卡}/\text{米}^2\cdot\text{时}^{\circ}\text{C}$ 左右)因而开风后短时所达到的壁温温峰常在 900°C 以上。其使用寿命仅200多小时就在下部引起变形(见图10 b)这是很重要的原因之一。图13中在冲天炉转入正常工作后,炉胆下端壁的二炉测量的温度差别,主要是由于下部结渣的影响。

另外从表4所列数值中的相应点的壁温与风温的温差,可以看出空