

# 蓄热式热风炉

项钟庸 郭庆弟 编著

冶金工业出版社

---

## 前 言

热风炉是炼铁生产过程中的重要设备之一，它供给高炉热风的热量约占炼铁生产耗热的四分之一，它消耗的高炉煤气约占高炉产生的煤气的一半，因此提高热风炉的热效率对降低能耗具有很大现实意义。合理组织热风炉的热交换过程和回收其余热，充分挖掘潜力；热风炉的投资约占整个高炉基建费用的一半，减少热风炉的体积和重量，能节约材料，降低造价；延长热风炉的使用寿命，减少维修工作量和修理时间，能增加产量，降低生产成本；而这些都与正确的理论指导和合理设计密切相关。本书准备对强化热风炉的热交换过程、改善结构、改进操作方法等问题展开讨论，希望能对提高设计水平和生产效益有所帮助。

本书在介绍用于蓄热式热交换器的各种热交换理论和热工计算方法时，尽量避开了所涉及的严密的数学推导，只是从其物理意义上进行了必要的说明，以节省读者的时间；在介绍热风炉结构时，不是按热风炉型式分别介绍，而是按为解决某个实际问题相应地采取某种结构的方式来叙述的；在介绍热风炉的各种操作方法和控制系统时，考虑到自动化水平会日益提高，而着重叙述合理选择热风炉各种操作参数的方法，因为根据这些参数对计算机或仪表进行设定，就能进行最佳化操作。

炼铁生产中使用的热风炉，实质上是一种蓄热式热交换器，它广泛地用于钢铁、有色冶金、石油、化工等部门。因此，本书也可供这些部门的有关同志参考。

本书第一、三、六章由项钟庸、郭庆弟编写，第二、四、五、七章由项钟庸编写。征得中国科学院化工冶金研究所张宗诚、苏辉煌同志的同意，附录二编入了他们编制的蓄热室热交换计算机程序。本书在编写过程中，重庆钢铁设计研究院的同事们及苏辉煌同志均提出了宝贵意见，在此表示诚挚的谢意。

由于作者水平所限，经验不足，本书可能存在不少缺点和错误，希望广大读者批评指正。

作 者

一九八五年四月

# 目 录

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| 绪论                         | ( 1 )   |
| 一、热风炉的发展                   | ( 1 )   |
| 二、进一步提高热风温度的课题             | ( 9 )   |
| 第一章 热风炉结构                  | ( 12 )  |
| 第一节 热风炉耐火材料砌体              | ( 12 )  |
| 一、耐火材料砌体的破损和耐火材料的选择        | ( 12 )  |
| 二、热风炉耐火材料砌筑                | ( 22 )  |
| 三、热风炉用不定形耐火材料              | ( 41 )  |
| 第二节 热风炉设备                  | ( 44 )  |
| 一、热风炉设备的配置                 | ( 45 )  |
| 二、热风阀                      | ( 47 )  |
| 三、切断阀                      | ( 52 )  |
| 四、调节阀                      | ( 57 )  |
| 五、充风阀和废风阀                  | ( 59 )  |
| 六、放风阀和消音器                  | ( 60 )  |
| 七、金属燃烧器和助燃风机               | ( 64 )  |
| 第三节 热风炉基础和金属结构             | ( 67 )  |
| 一、热风炉基础                    | ( 67 )  |
| 二、热风炉金属结构                  | ( 68 )  |
| 三、晶界应力腐蚀及其预防措施             | ( 82 )  |
| 第二章 废气热量利用和用低发热值煤气获得高风温的方法 | ( 91 )  |
| 第一节 废气热量的利用                | ( 91 )  |
| 一、旋转再生式热交换器                | ( 91 )  |
| 二、换热式热交换器                  | ( 96 )  |
| 三、热媒式热交换器                  | ( 97 )  |
| 四、热管式热交换器                  | ( 107 ) |

|     |                                  |       |
|-----|----------------------------------|-------|
| 第二节 | 使用低发热值煤气获得高风温的方法 .....           | (114) |
| 一、  | 热风炉自身余热预热助燃空气 .....              | (116) |
| 二、  | 蓄热式热风炉预热助燃空气 .....               | (122) |
| 三、  | 换热式热交换器预热助燃空气和煤气 .....           | (126) |
| 第三章 | 蓄热室热交换理论 .....                   | (131) |
| 第一节 | 第一种理论的基本思想 .....                 | (132) |
| 第二节 | 按第一种理论导出的蓄热室热交换系数<br>的经验公式 ..... | (139) |
| 一、  | 蓄热室温度效率和格砖表面有效率 .....            | (139) |
| 二、  | 格砖利用率 .....                      | (147) |
| 第三节 | 蓄热室热交换过程的第二种理论 .....             | (149) |
| 一、  | 蓄热室热交换的微分方程是第二种理论的基础 .....       | (149) |
| 二、  | 基谐波振荡—零次特征函数 .....               | (154) |
| 三、  | 蓄热室末端的温度变化及其对热交换的影响 .....        | (170) |
| 第四节 | 气体与固体表面的热交换系数 .....              | (184) |
| 一、  | 对流热交换系数的确定 .....                 | (184) |
| 二、  | 辐射热交换系数的确定 .....                 | (189) |
| 第五节 | 蓄热室的计算机模拟 .....                  | (193) |
| 一、  | 稳定流量时的蓄热室计算机模拟 .....             | (193) |
| 二、  | 流量变化条件下的蓄热室计算机模拟 .....           | (199) |
| 第四章 | 热风炉内的气体运动和燃烧过程 .....             | (210) |
| 第一节 | 热风炉内的气体运动 .....                  | (210) |
| 一、  | 蓄热室断面上的气流和温度分布 .....             | (210) |
| 二、  | 燃烧器冷态气体流动实验 .....                | (224) |
| 第二节 | 煤气的燃烧 .....                      | (233) |
| 一、  | 煤气燃烧的形式 .....                    | (233) |
| 二、  | 燃烧器热态试验 .....                    | (234) |
| 三、  | 燃烧状态的理论分析 .....                  | (239) |
| 四、  | 在热风炉上的实际应用 .....                 | (242) |
| 第三节 | 燃烧振动 .....                       | (247) |

|                                         |         |
|-----------------------------------------|---------|
| 一、热风炉燃烧振动现象 .....                       | ( 247 ) |
| 二、防止热风炉燃烧振动的实验和理论研究 .....               | ( 247 ) |
| 三、防止热风炉燃烧振动的方法 .....                    | ( 255 ) |
| <b>第五章 热风炉的操作</b> .....                 | ( 258 ) |
| <b>第一节 热风炉的烘炉和凉炉</b> .....              | ( 258 ) |
| 一、热风炉的烘炉 .....                          | ( 259 ) |
| 二、热风炉的凉炉 .....                          | ( 263 ) |
| <b>第二节 热风炉的送风操作制度</b> .....             | ( 268 ) |
| 一、各种送风操作制度 .....                        | ( 268 ) |
| 二、交错并联送风操作的效果 .....                     | ( 272 ) |
| <b>第三节 热风炉的燃烧操作制度</b> .....             | ( 280 ) |
| 一、使用快速燃烧制度强化燃烧过程 .....                  | ( 280 ) |
| 二、合理使用高热值燃料 .....                       | ( 284 ) |
| 三、过剩空气量的调节 .....                        | ( 289 ) |
| <b>第四节 周期时间的确定</b> .....                | ( 294 ) |
| 一、热损失与周期时间的关系 .....                     | ( 294 ) |
| 二、最佳周期时间的确定 .....                       | ( 299 ) |
| 三、缩短周期时间的效果 .....                       | ( 303 ) |
| <b>第五节 操作条件对热风炉热效率和蓄热室温度分布的影响</b> ..... | ( 307 ) |
| 一、燃烧煤气量和燃烧时间的影响 .....                   | ( 307 ) |
| 二、风温的影响 .....                           | ( 308 ) |
| 三、燃烧期与送风期热交换系数之比的影响 .....               | ( 310 ) |
| 四、送风期以格砖为基准的水当量之比的影响 .....              | ( 311 ) |
| <b>第六章 热风炉换炉顺序控制和自动控制</b> .....         | ( 313 ) |
| <b>第一节 热风炉换炉顺序控制</b> .....              | ( 313 ) |
| 一、热风炉换炉顺序控制系统 .....                     | ( 313 ) |
| 二、热风炉换炉顺序操作 .....                       | ( 314 ) |
| <b>第二节 热风炉仪表控制系统</b> .....              | ( 317 ) |
| 一、热风温度控制 .....                          | ( 317 ) |

|                         |         |
|-------------------------|---------|
| 二、热风炉燃烧控制系统 .....       | ( 325 ) |
| 第三节 热风炉计算机控制 .....      | ( 327 ) |
| 一、燃烧期的控制 .....          | ( 328 ) |
| 二、送风期的控制 .....          | ( 333 ) |
| 第七章 热风炉建设和生产的经济分析 ..... | ( 335 ) |
| 第一节 热风炉的基建投资和操作费用 ..... | ( 335 ) |
| 一、合适的蓄热室尺寸 .....        | ( 335 ) |
| 二、选择合适的格砖 .....         | ( 338 ) |
| 第二节 热风炉最佳化操作 .....      | ( 343 ) |
| 附录一 蓄热室热交换的图解算法 .....   | ( 347 ) |
| 附录二 蓄热室热交换的计算机程序 .....  | ( 367 ) |
| 符号说明 .....              | ( 370 ) |
| 参考文献 .....              | ( 393 ) |

## 绪 论

高温是提高高炉产量、降低能耗、提高生铁质量和降低生铁成本的有效措施之一。热风炉虽然是一个高效率的热工设备，但它耗用的能量十分巨大，因此进一步提高热风炉的热效率仍具有重要意义。

由于高炉炉容扩大，冶炼强化，以及提高高温的要求，对热风炉的热交换理论、结构、耐火材料、设备及其操作进行过大量的研究。

图1所示的热风炉称为内燃式热风炉，燃烧室和蓄热室是一种圆筒形结构，它们之间砌有耐火砖隔墙，加热的煤气由管道通过煤气阀送入燃烧器。煤气在燃烧室燃烧，烟气向上流动，经拱顶改变方向，向下进入蓄热室。蓄热室内的格砖由炉箠子支柱所支承。烟气将格砖加热而本身逐渐冷却，然后经烟道阀排入烟囱。格砖被加热并贮存一定热量后，燃烧停止，进行转换（或称换炉）。冷风经冷风管道和冷风阀送入热风炉，自下而上被格砖加热。热风经热风管道和热风阀进入高炉。随着格砖的冷却，热风出口温度逐渐降低，当不能维持规定的送风风温时，又转换成燃烧。热风炉采用周期性的工作制度。

### 一、热风炉的发展

#### 1. 热风炉型式的发展

第一座热风炉1828年在美国开始使用。当时采用的是管式热交换器，构造很简单。空气从铁管中通过，用煤作燃料，热风温度只能达到315℃。但高炉炉况有显著改善，产量提高，焦比降低了35%。十几年以后才开始使用高炉煤气作热风炉的燃料。

1857年，考贝(Cowper)提出用蓄热式热风炉来代替换热式热风炉，蓄热式热风炉最初也用煤作燃料。

自考贝使用蓄热式热风炉以来，其基本原理至今没有改变，而热风炉的结构、设备及操作方法却有了重大改进。1972年，荷



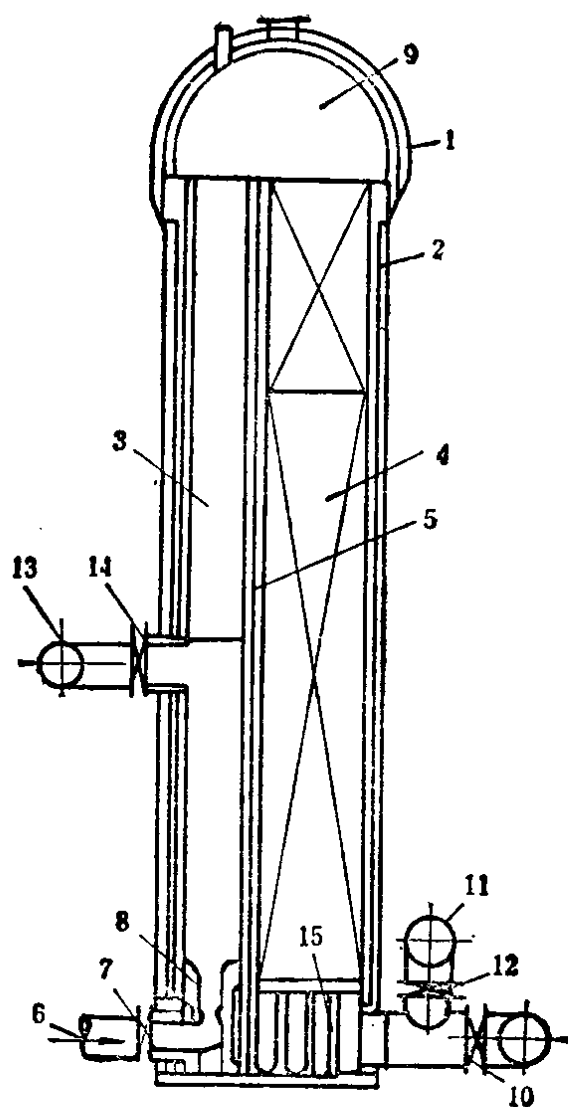


图1 热风炉

1—炉壳；2—内衬；3—燃烧室；4—蓄热室；5—隔墙；6—煤气管道；  
7—煤气阀；8—燃烧器；9—拱顶；10—烟道阀；11—冷风管道；12—冷  
风阀，13—热风管道；14—热风阀；15—炉篦子及支柱

兰艾莫依登厂在新建的 $3667\text{m}^3$ 高炉上对内燃式热风炉作了较大改进，较好地克服了传统考贝式热风炉的缺点。这种热风炉被称为霍戈文内燃式热风炉（图2a），它具有如下特征：拱顶砌体呈悬链线形直接由炉壳支承；燃烧室隔墙下部增设隔热砖，以减小燃烧室隔墙的温度梯度；外包柔性耐火纤维，以吸收砌体的不均匀膨胀；采用套筒式陶瓷燃烧器。

内燃式热风炉的主要优点有：

- 1) 节约钢材及耐火材料，建设费用低；
- 2) 占地面积小；

- 3) 散热面积小, 热损失小, 有利于提高热效率;
- 4) 结构简单、可靠。

内燃式热风炉的缺点是, 蓄热室内气流分布不均匀, 限制了热风炉直径的进一步扩大; 燃烧室隔墙结构较复杂; 目前尚缺乏1300℃风温的使用经验。

外燃式热风炉的构思是1910年由弗朗兹·达尔(Franz Dahl)提出, 并申请了专利。1928年美国首先在卡尔尼基钢铁公司建造外燃式热风炉, 但由于其表面积大, 热损失大而没有得到发展。

其后, 在1938年科珀斯(Koppers)公司又提出专利, 外燃式热风炉开始在化学工业中得到发展。科珀斯式外燃热风炉在1950年才应用到高炉上。1959年使用了地得(Didier)式, 1965年在西德沃古斯特-蒂森(August Thyssen)公司使用了马琴(Martin & Pagenstecher)式外燃热风炉。新日铁式外燃热风炉是新日本钢铁公司于六十年代末综合了科珀斯式和马琴式外燃热风炉的特点, 首先在新日铁八幡制铁所洞岡高炉上使用的。这些外燃式热风炉的特征, 主要表现在拱顶及其联接的方式上。图2示出了各种热风炉的结构特征。

科珀斯式外燃热风炉的燃烧室和蓄热室均保持其各自不同半径的半球形拱顶, 两个独立的球顶之间由设置有膨胀器的连络管联接(图2b)。

地得式外燃热风炉的拱顶由半个截头圆锥体联结两个半径不同接近1/4球形拱顶组成, 整个拱顶呈半卵形整体结构(图2c)。

马琴式外燃热风炉的蓄热室顶部具有圆锥形的缩口, 蓄热室顶部直径与燃烧室直径相同, 拱顶由两个半径相同的1/4球形拱顶和大半个圆柱体组成(图2d)。

新日铁式外燃热风炉的蓄热室顶部也具有圆锥形的缩口, 蓄热室顶部直径与燃烧室的直径相同, 拱顶由两个半径相同的半球形拱顶和一个圆柱体的连络管组成, 在连络管上设置有膨胀器(图2,e)。

外燃式热风炉的优点是: 蓄热室内气流分布较均匀, 其中以

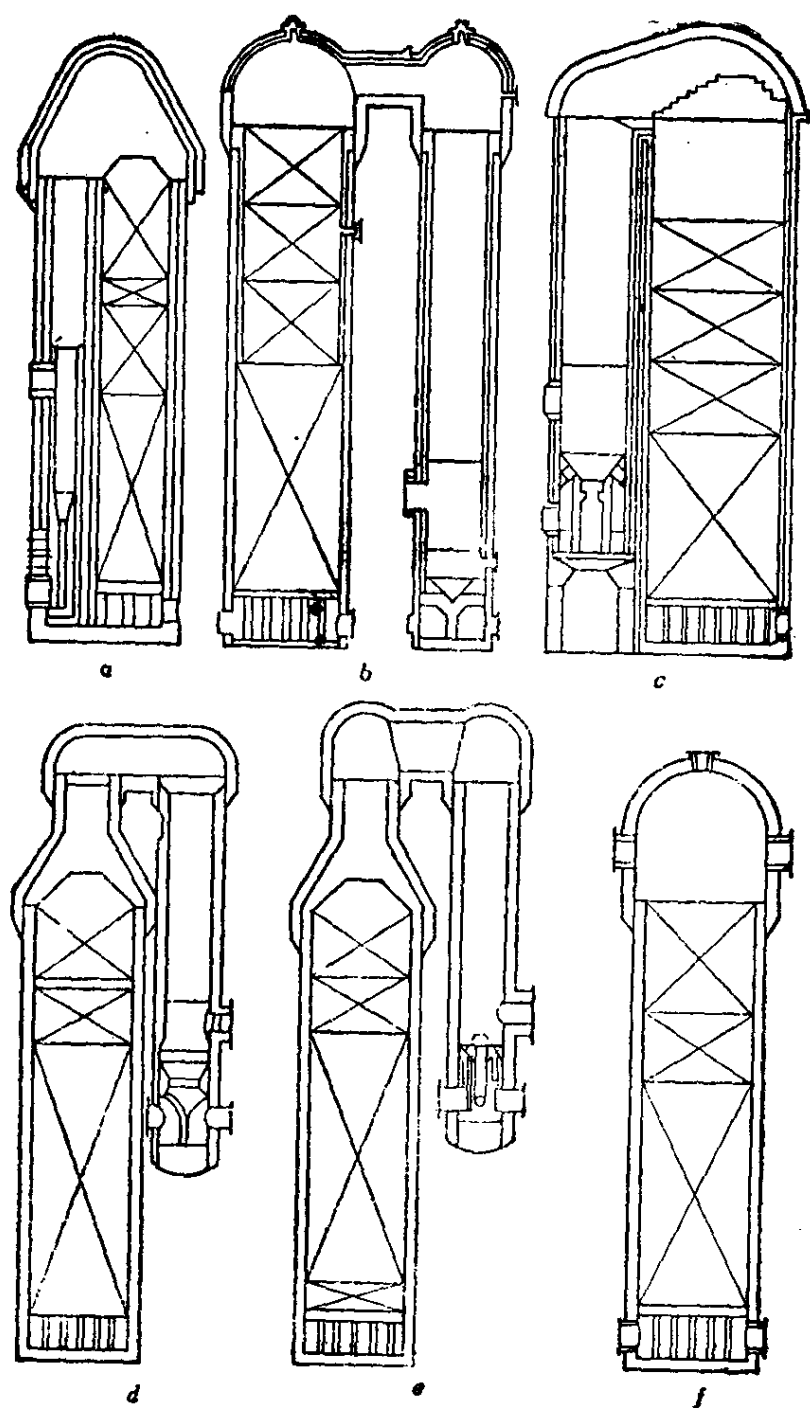


图2 各种热风炉的结构特征

a—霍戈文式内燃热风炉；b—科珀斯式外燃热风炉；c—地得式外燃热风炉；

d—马琴式外燃热风炉；e—新日铁式外燃热风炉；f—顶燃式热风炉

马琴式和新日铁式的气流分布最好；由于燃烧室是独立的，因而可以避免隔墙烧穿或倒塌等事故。除地得式外，其他外燃式热风炉都在1300℃风温下经过长期考验。

外燃式热风炉的缺点是：占地面积大，耗用大量钢材和耐火材料，基建费用高，散热损失大。因此，不宜在中、小型高炉使用。

从四种外燃式热风炉来看，地得式和科珀斯式的高度较低；地得式占地面积较小，但结构庞大，稳定性差；新日铁式占地面积最大；马琴式和新日铁式拱顶尺寸小，结构稳定性好，但使用的材料较多，散热面较大。

早在二十年代哈特曼(Hartmann)就提出了顶燃式热风炉的设想，但未受到人们的重视。后来这种热风炉在化工部门得到了应用。最近首钢在容积为 $1300\text{m}^3$ 的新二号高炉上使用了顶燃式热风炉，受到世界各国的重视。顶燃式热风炉不设专门的燃烧室，而是将拱顶的空间作为燃烧室。这就不会产生燃烧室隔墙倾斜倒塌或开裂的问题，热风炉构造简单，结构稳定（图2f）；而且蓄热室内的气流分布均匀，可以满足大型化的要求。顶燃式热风炉还具有节省钢材和耐火材料的优点。由于顶燃式热风炉投资比较低，又能适应高风温和高压的要求，可以预料，它是高风温热风炉发展的方向。

## 2. 燃烧装置的发展

热风炉是热交换的装置，它把燃料释放的热量传递给鼓风。因此热风炉中燃料的燃烧装置是十分重要的。

最初的热风炉的燃烧装置是炉篦子，由使用固体燃料改为使用气体燃料时，高炉煤气没有经过清洗，从荒煤气中带入的炉尘堵塞上部格砖的孔道，并使格砖渣化。因而大大恶化了热交换过程，并且要经常停炉清扫热风炉。

1920年开始使用助燃风机，强制鼓入燃烧所必需的空气，将煤气和空气混合在金属燃烧器中燃烧。这样能够增加煤气的燃烧量和烟气的流速，从而强化了热交换过程。在使用助燃风机以前，烟气在蓄热室中的流速比鼓风流速低得多，热风炉的燃烧时间很长，必需有3~4座热风炉同时燃烧，才能将鼓风加热到 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。使用高炉净煤气和强制鼓入助燃空气以后，有两座热风炉就

可满足要求，其中一座送风，一座燃烧。

随着高炉操作技术的提高，炉容的扩大，金属燃烧器的能力已不能满足要求。燃烧过程中出现的振动现象，同时在燃烧室中引起共振，这不仅限制了燃烧器能力的提高，而且对砖衬也有破坏作用。

六十年代初，西德地得公司首次在热风炉上采用套筒式陶瓷燃烧器。它具有燃烧能力大，气体混合均匀，燃烧稳定，流量调节比大(20~140%)等优点，在新建或改建的热风炉上得到了迅速推广。

陶瓷燃烧器分为套筒式、栅格式和三孔式三种基本形式。套筒式陶瓷燃烧器结构简单，空气从一侧进入外面的环状管，空气出口处设有狭窄喷口的环状圈（见图3a）。这种燃烧器所用的砖型少，制造、砌筑方便，但火焰较长，喷嘴砖在冷、热变化时出现片状剥落，煤气通道下部在煤气中的水雾作用下，耐火砖也产生剥落。这种燃烧器的能力较小，流量不易超过 $80000\text{m}^3/\text{h}$ ，适合于外燃式或内燃式热风炉使用。

在栅格式陶瓷燃烧器中，煤气和助燃空气都从被分隔成若干个狭窄的通道内喷出，煤气和助燃空气通道间隔布置，并设有带隔板的砖质分布板，煤气与助燃空气在燃烧器上部得到混合，形成几十个甚至上百个小的燃烧器（图3b）。栅格式燃烧器结构复杂，砖型多，但气流混合均匀，火焰较短，耐火砖剥落现象少，燃烧能力大。因此，大型外燃式热风炉几乎都采用栅格式陶瓷燃烧器。

三孔式陶瓷燃烧器的中部为焦炉煤气通道，外侧为圆环形空间，是高炉煤气通道，两者之间的圆环形空间为助燃空气通道。燃烧器上部设有分布板，三种气体被切割成较小的流股，从喷口中喷出而混合燃烧，（图2c）。这种燃烧器的结构复杂，砖型多，气流混合较均匀，火焰较短，但由于焦炉煤气在中部喷出，中心温度较边缘约高 $200^\circ\text{C}$ ，焦炉煤气的调节性能较差。目前只有新日铁的一些大型外燃式热风炉使用。

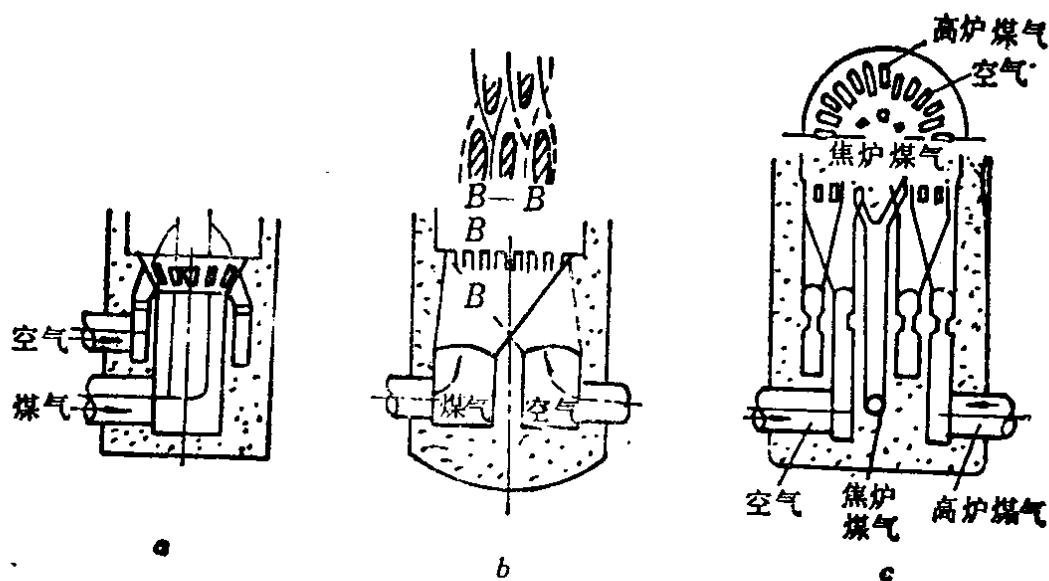


图3 陶瓷燃烧器的型式

a—套筒式；b—栅格式；c—三孔式

### 3. 耐火材料的改进

随着高风温热风炉的发展，对耐火材料的材质提出了愈来愈高的要求。特别重要的是高温区域所使用的耐火材料的性能，它对热风炉的寿命和操作安全性有重大影响。

在最初的热风炉中，高温部位使用普通粘土砖，当热风炉操作一段时间以后，蓄热室格砖沉陷，燃烧室隔墙发生倒塌。当时认为这种现象是由于普通粘土砖的耐火度或荷重软化温度不够高引起的。于是改善粘土砖质量或改用高铝砖，但格砖的沉陷及隔墙的倒塌等事故并没有杜绝。经过反复研究后发现，要求热风炉使用的耐火材料除具有一定的耐火度、荷重软化温度、抗渣性、热稳定性、高温体积稳定性以及残存线膨胀率等性能指标外，还有一个特别重要的指标是抗蠕变性，即在长期高温和荷重作用条件下的体积稳定性。其测定方法，一般是在使用温度下，荷重  $1.96 \times 10^5 \text{ Pa} (2 \text{ kg/cm}^2)$ ，测定50h的变形率作为蠕变试验的标准。大量试验证明硅砖具有良好的高温特性。苏联彼得洛夫斯克 (Петровск) 冶金工厂于1950年首先使用了硅砖，其后在热风炉中得到了广泛应用。硅砖的特点是：

- 1) 在高温区域始终保持着良好的抗蠕变性；
- 2) 在高温区热膨胀系数小，抗剥落性高；

3) 比重轻, 价格较便宜, 基建费用较低。

使用硅砖的热风炉, 拱顶最高设计温度达到 $1550\sim 1650^{\circ}\text{C}$ , 风温达到 $1350^{\circ}\text{C}$ , 但由于高温区炉壳晶界应力腐蚀开裂等原因, 实际使用的拱顶温度在 $1450^{\circ}\text{C}$ 左右。

硅砖的缺点是在低温区的体积稳定性和耐剥落性差, 这是由于石英矿物的状态发生急剧变化引起的。

从热风炉作为热交换装置的功能来考虑, 蓄热室内贮热体的热工性能具有重要意义。贮热体的热工参数及其形状主要取决于煤气的净化程度, 蓄热室的热工要求及允许的压力损失, 以及预定的操作制度和送风周期。格砖的热工特性在很大程度上影响到热风炉的建设费用和生产费用。这些热工特性包括: 单位体积格砖的蓄热面积和重量, 格孔的流体直径, 当量厚度和有效通道面积(活面积)。其中, 流体直径和当量厚度是确定格砖特性的主要参数。最初的热风炉燃烧固体燃料或荒煤气, 格砖容易被渣化, 格孔易被灰尘堵塞, 因此使用尺寸大的格孔, 格砖形状也是极简单的单段平板砖, 便于清扫灰尘。随着煤气清洗设施的发展, 格孔尺寸逐渐缩小。同时为了使上部格砖具有较大的蓄热能力, 下部格砖具有较强的滤热能力, 以减少风温降落, 延缓烟气温度上升, 因而采用多段式格砖。为了增加格砖的砌筑稳定性, 改为块状格砖。目前使用的块状砖有五孔砖或蜂窝砖(见图4)。此外, 化工部门或小型高炉采用用耐火材料制作的石球作贮热体, 石球直径 $35\sim 50\text{mm}$ 。

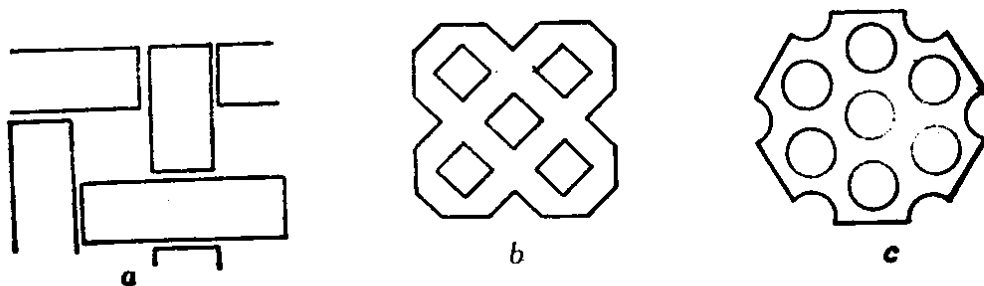


图4 各种格砖

a—板状砖; b—五孔砖; c—蜂窝砖

为了加强蓄热室的热交换, 改进操作制度和缩短周期时间,

现代热风炉蓄热室一般为单段式，格孔直径小，选用厚度薄的块状格砖。目前使用的高效率格砖的格孔尺寸为40mm左右，格砖当量厚度为20mm左右，每立方米格砖蓄热面积为 $40\text{m}^2$ 左右。因而，有效地利用了热风炉的蓄热室容积。由于高效率格砖的热交换系数高，格砖利用率高，参与热交换的有效砖量增大，因此单位高炉容积的格砖重量可以大幅度降低，节约基建或大修费用。

## 二、进一步提高热风温度的课题

高炉采用蓄热式热风炉以来，热风温度有了大幅度提高，热风炉的结构和设备有了很大改进，能耗降低，操作技术日臻完善，热风炉已经成为高效率的热工设备。但是，随着热风温度的提高，又出现许多新的问题，需要进一步研究改进。

现代热风炉设备、结构、节能、操作等方面的改进涉及广泛的理论和实践问题。首先是热工理论问题，我们曾经广泛地使用蓄热室热交换的经验公式来确定蓄热室的尺寸，近来我们开始使用H.豪森(Hausen)的理论来研究蓄热室的热工性能，它们都能满足设计要求，而后者较严密。但是，理论中的若干假设，使得理论计算结果与蓄热室的实际热交换有某些偏差。因此，还必须更深入、更严密地研究蓄热室中的热交换现象。

与热风炉的气体流动有关的现象，如气流分布、流体阻力、气体燃料燃烧和热交换过程等还须深入研究。目前只能依靠实验确定气体在蓄热室和燃烧室中的分布，以及燃烧过程的各种参数。蓄热室中的气流分布对蓄热室的温度分布影响甚大，与理想状态相差甚远，难以充分利用蓄热室的能力；同样，对燃烧过程理论的研究也比较少，因此还不能用计算方法确定燃烧装置的各种参数。

在进一步提高热风温度时，热风炉的设备和结构也出现了一系列问题。

热风炉用耐火材料的材质已经引起了人们的重视，目前国内外在热风炉高温区广泛使用了抗蠕变性能良好的硅砖。但是，在升温过程中硅砖因晶型转变而体积变化较大。因此必须限制升温



速度，以致烘炉时间较长。在凉炉时不允许降温过快，就是在高炉检修时也仍需将硅砖的温度保持在 $600^{\circ}\text{C}$ 以上，这就需要消耗附加的燃料，因此人们正在研究凉炉的新方法。另外，作为贮热体的格砖的导热性、比热容等特性也已成为研究的对象。欧美正在研究用新的耐火材料，如镁砖、氧化锆砖等取代热风炉现用耐火材料。

为了提高砌体的结构强度，必需改进砌体的设计。热风炉的某些薄弱部位，如拱顶、管道出入口等设计合理，能有效地延长其使用寿命。

继续提高风温，热风炉炉壳及热风管道会产生晶界应力腐蚀开裂。晶界应力腐蚀开裂是由于化学腐蚀介质及应力作用产生的，因此消除炉壳中的应力和避免应力集中是十分重要的。同时还要避免硝酸和亚硝酸介质的腐蚀，研究减少生成氧化氮，防止溶液在炉壳上凝结和直接接触炉壳的措施。

提高风温必须提高热风炉的拱顶温度，最简便的方法是使用高发热值煤气富化高炉煤气以提高理论燃烧温度。但是，在钢铁厂内，高发热值气体燃料的用途广、需求量大、价值高，供应紧张。因此，研究采用低发热值的高炉煤气获得高风温的工作就显得非常迫切。同时，利用热风炉废气热量以降低热量消耗，也是有效的节能措施之一。

热风炉的操作潜力很大，合理的操作制度能够最大限度地发挥热风炉能力，获得最大的经济效益。新的设备和结构必须有合适的操作制度相配合。济南铁厂从1966年开始使用我国创造的热风炉余热预热空气的操作制度以来，取得了良好的成绩，是值得推广的操作方法之一。我国在六十年代就使用了交错并联送风的操作制度，这种操作制度可在不提高拱顶温度的条件下提高热风温度。合理的燃烧制度是节能的有效措施，我国五十年代就广泛地推行了快速燃烧的热风炉操作方法，它可以增加热风炉的贮热量，提高热风炉的能力。降低燃烧时的过剩空气量和废气的热损失也十分重要。选择合适的空气过剩系数，使废气中的含氧量最