

燃煤热处理炉及 金属热处理

齐立礼 编著

1

机械工业出版社

序 言

关于热处理节能问题，已经引起了广大热处理工作者的重视，并开始了各种节能技术的研究与应用。然而，地方中小工厂及社队企业广泛使用的燃煤热处理炉却未曾受到注意。据调查，铸件热处理每吨耗煤平均在0.3~0.6吨范围，若使用的燃煤热处理炉结构不合理，操作不当或管理不善，则煤耗将大大增加。

农村经济正在兴旺发达，可以预料，对于农机具，特别是易损件质量的要求愈来愈高，产品数量也必须大幅度增加，势必发展地方中小工厂及社队企业的农机具生产，而提高这些产品的使用性能及寿命的关键又在于热处理工艺质量。由于燃煤热处理炉具有结构简单，建造维修方便；花费资金少，投产快；与我国丰富的煤矿资源相适应，可以就地利用燃料而不受电力供应的约束等优点，尽管热处理产品质量难以赶上运用现代设备进行热处理的产品，却仍然在中、小工厂广泛使用。针对我国具体情况，必须看到，在一个时期内，地方工厂及社队企业广泛采用电热炉进行热处理是不大可能的。因此，采用燃煤炉进行热处理将是一有效途径。

由于国内迄今尚未出版这方面的著作，并鉴于上述理由，特撰写本书，或能协助地方中、小工厂及社队企业的技术工人、工程技术人员以及生产管理人员，更加有效地利用燃煤热处理炉，节约用煤，进一步提高产品质量及使用寿命。

本书通过生产实践的总结，归纳出按比例尺寸确定燃煤

热处理炉主要结构尺寸的简易方法 通俗地阐明炉子结构与工作性能的关系，整理列出了一些适用炉子的简图。第二章着重介绍了对燃煤炉进行温度测量控制的实用技术，因为这是提高加热质量的关键。第三、四、五章分别介绍了有关的节能技术，铸铁热处理，农机具及民用工具的热处理知识。书中也相应地介绍了有关的新技术。

还必须指出，使用燃煤热处理炉仍然存在着烟尘多、环境污染严重以及工人劳动强度大的问题。采用煤粉燃烧炉，尽管提高了热效率，但粉煤段操作条件太差。在可能的条件下，力争实现机械化加煤，设置合理排烟除尘的装置，也是生产管理者应予充分考虑的问题。

本书由倪学梓、李文卿同志审校，在此表示感谢。

因本人水平低浅，书中必然存在不当甚至错误，恳请读者指正。

齐立礼

目 录

序言

第一章	燃煤热处理炉的结构、使用及简易设计方法	1
第一节	燃煤热处理炉的炉型结构	1
第二节	燃煤热处理炉的简易设计	17
第三节	燃煤室式炉设计实例及图集	36
第四节	燃煤盐浴炉及设计实例	60
第五节	燃煤热处理炉的配套使用及操作安全知识	78
第二章	燃煤热处理炉的温度测量及控制	88
第一节	热处理测温特点及经验测温方法	88
第二节	热电偶的结构、原理及使用	93
第三节	各种测温仪表的工作原理及使用	101
第四节	燃煤热处理炉的控温	115
第五节	测温误差及仪表的校核	124
第六节	测温仪表精度的选择	131
第三章	燃煤加热热处理的节能措施	136
第一节	从综合评定经济价值的观点审议其热处理节能	138
第二节	提高产品质量,延长零件的使用寿命	139
第三节	炉子结构、工艺与操作	143
第四节	防止漏气、漏煤,合理地确定风量及风压	150
第五节	充分利用废热	157
第六节	改进炉衬结构,减少热损失	162
第七节	提高生产组织管理水平实现节能	182
第四章	铸铁热处理	185
第一节	铸铁热处理的基础知识	186

第二节	球墨铸铁的强化	204
第三节	可锻铸铁的热处理	226
第五章	农机具及民用工具的热处理	237
第一节	提高农机具使用寿命的途径	237
第二节	常用农机具及民用工具的制造材料及热处理	247
第三节	获得低碳马氏体的淬火工艺在农机具上的应用	275
第四节	铸锻件余热热处理	280
第五节	利用燃煤热处理炉进行化学热处理及表面处理	294
附表 1	铂铑-铂热电偶分度表	322
附表 2	镍铬-镍硅(镍铬-镍铝)热电偶分度表	328
参考文献		334

第一章 燃煤热处理炉的结构、 使用及简易设计方法

燃煤热处理炉在实际应用中尚存在以下几个主要问题:

(1) 炉子结构不合理, 导致使用性能不好, 炉温稳定性差, 沿炉膛温度分布不均匀。

(2) 没有或者很少配备必要的温度测量及控制仪表, 故控制工艺参数的偏差颇大。

(3) 冒烟严重, 炉壁散热大, 操作条件不好, 对环境污染严重。

(4) 余热不回收, 空气不预热, 热效率低, 煤耗大。

为扬其长, 避其短, 本章主要介绍燃煤热处理炉的结构与工作性能的关系, 从生产实践中总结出合理的比例尺寸, 方法简便可行, 并分析炉子的操作与工艺、结构的关系。

第一节 燃煤热处理炉的炉型结构

燃煤热处理炉应有合理的炉型结构, 从而达到以下几个目的。

(1) 尽量缩短零件加热过程的升温时间, 提高生产效率。

(2) 炉内具有强烈的炉气循环, 以使炉内温度均匀, 保证热处理工艺质量。

(3) 燃料消耗量少, 有效地节能。

(4) 结构简单紧凑, 可有效地利用生产面积, 节省筑

炉材料，造价低。

(5) 不冒黑烟，散热小，劳动条件好，方便工人的操作。

(6) 能有效地利用余热。

现代炉子设计遵循的基本原则是：综合地考虑燃料燃烧、气体流动、热交换等各方面的问题，予以恰当的计算，以指导和校核炉子的结构设计。

我们省去繁复的数学计算，但不忽视基本原则，结合具体炉型结构，着重于分析研究：(1)合理建造和布置燃烧室及排烟道，从而加快燃烧过程，并在炉内建立合理的炉气循环，创造最佳热交换条件。(2)根据炉子使用性能的具体要求，有效地利用绝热材料并使炉型结构合理化，从而减少无效热损失。

一、炉型

本节主要讨论燃煤炉及燃煤盐浴炉。

(一) 燃煤室式炉炉型

1. 在我国实际应用的燃煤热处理炉中，按其燃烧室的位置主要分为两大类：(1)燃烧室置于炉底，其特点是炉气循环好，加热均匀，炉底面积利用率高，占用生产面积较小。但是，由于炉底结构复杂并受到车间地层结构的限制，当地基不坚实或地下水位太高时，就不能建造这类炉子。所以，这种燃煤室式炉在应用中所占比例极少。(2)燃烧室置于炉侧，其炉型结构简单，使用也较方便，在应用中占绝大多数。其中包括在炉膛两侧设置燃烧室和单侧设置燃烧室两种。

2. 根据燃烧室产生的火焰运动方向不同，又可分为两类：(1)火焰运动方向正对炉门，在使用的炉子中此类占极少数，因为有严重的炉门溢气现象，增加了无效热损失，并

且在开启炉门或加煤门时，易于引起炉内气氛的波动，进入的冷空气影响炉温的稳定性（图1-1）。有不少小型锻造加热炉属于这种类型。（2）火焰运动方向沿炉膛宽度，此类型在燃煤热处理炉中占绝大多数（图1-2），可以避免以上缺陷。

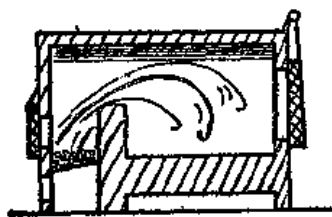


图1-1 火焰运动方向
正对炉门示意图

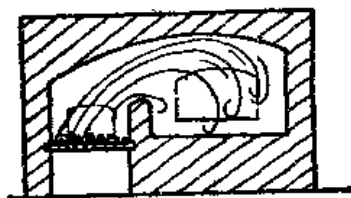


图1-2 火焰运动方向沿
炉膛宽度示意图

3. 按炉气流动方向与炉顶弧拱的关系又可分为两类：

- (1) 炉气沿弧拱方向流动，此类在燃煤热处理炉中占多数。
- (2) 炉气垂直于弧拱方向流动，即在炉气流动方向没有弧拱，所以不利于炉气的流动，增加了炉气流动的阻力，难以建立强烈的炉气循环。有的炉子炉膛建成平顶，可能造成严重的热气聚集顶部，严重地影响炉温均匀性，并降低炉膛的使用寿命。所以应尽量避免建造此类炉子。当受到某些条件的限制时，也可在沿炉气流动方向建成斜顶（图1-3）。

（二）燃煤盐浴炉

实际应用的燃煤盐浴炉，有的采用挡火墙导向火焰，也有的采用喷火口导向火焰；有的燃烧室置于坩埚侧面，也有

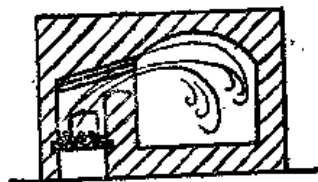


图1-3 沿炉气流动方向
建成斜顶

的设置于坩埚底下；有单独设置一个坩埚的，也有串联两个或三个坩埚的。这些不同的炉型见图1-4、1-5及1-6。

采用喷火口导向火焰的，可将燃烧室设于较低位置，喷火口沿坩埚壁切线方向，炉气通过较高部位的排烟口排出，因此燃烧的气体可围绕坩埚周围流动，加热比较均匀，但结构较复杂，而坩埚的寿命却比较高。

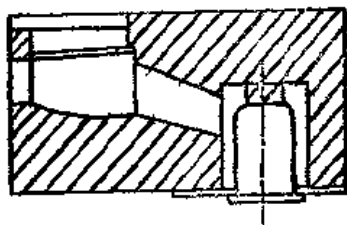


图1-4 侧燃式燃煤盐浴炉简图

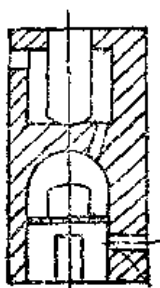


图1-5 底燃式燃煤盐浴炉简图

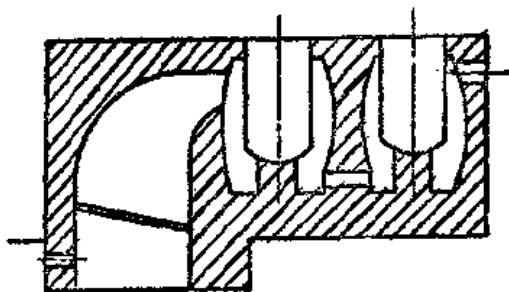


图1-6 串联两个坩埚的燃煤盐浴炉简图

还有一种焦碳盐浴炉，系于坩锅周围布满燃烧的焦炭，直接加热坩锅（图1-7）。这种盐浴炉的结构简单，易于建造而成本低廉。但是加热升温不均匀，容易引起坩锅局部烧穿的现象，以致发生安全事故。并且，在炉子工作表面附近，由于炽热外露的焦炭所影

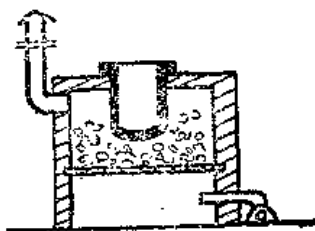


图1-7 以焦炭为燃料的盐浴炉

响，湿度较高而不便于操作。因此，这种盐浴炉不宜于推广应用。

二、炉子结构

(一)炉膛

为了建造具有合适结构及尺寸的炉膛，首先必须了解炉膛内的热交换过程。

从热交换的观点出发，可把燃煤热处理炉的炉膛视作由炉衬、炉气及金属（工件）组成的一个系统。在这系统内，传递热量的主要介质为燃煤产生的炉气。

一般，热交换有三种基本方式，即传导传热、对流传热和辐射传热。传导传热系由于温度不同的物体相互接触（或物体本身不同部位存在温差），热量由高温物体传向低温物体（或同一物体高温区的热量传向低温区），在加热升温过程中，置于炉底上的工件与炉底的热交换及工件表面的热量向内部传递均属此种方式。对流传热是炉气与工件表面接触时的传热过程，辐射传热是物体热射线（电磁波）的传播过程，温度愈高，辐射的热能愈多。炉气对炉壁、炉气对工件表面、炉壁对工件表面均存在辐射传热。

在燃煤热处理炉的炉膛内，主要是炉气通过辐射和对流的方法，把热量传给工件及炉膛内表面的炉衬。由于炉衬的导热性较小，黑度较大，所以炉衬易于吸收辐射热量而不易传导散热，因此炉衬内表面的温度往往高于工件的温度（约 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ ）它也以辐射的方式向工件传热。当炉温较高（ $850\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ）时，其辐射传热比炉温较低时（ $400\sim 650^{\circ}\text{C}$ ）占有更大的比例。炉气带入炉膛的热量，除加热工件以外，一部分热量被排出的烟气所带走，一部分热量通过炉壁向周围空间散发，还有一部分热量从炉门孔隙或其它孔洞溢散到炉外。

基于上述热交换过程可知，为了改善传热效果，使工件最有效地获得炉气带入炉膛内的热量，对炉膛的结构及尺寸应有以下基本要求：

1. 炉膛顶部沿炉气流动方向应建成弧拱形，以减少炉气流动的阻力，提高对流传热的效果，并且有益于炉膛顶部较集中地向工件辐射热量，从而可以提高炉温的均匀性及工件的加热质量。另一方面，有利于提高拱顶使用寿命。

2. 炉膛底面积的确定虽取决于生产能力的要求及工件的最大轮廓尺寸，但若炉膛宽度及高度不合适，也会对热交换带来不利影响。刚从燃烧室进入炉膛的炉气，由于温度较高，其重度比炉膛内残留的气体以及进入炉内的冷气较轻，所以具有自然上升的趋势（即几何压头），在其它条件相同的情况下，若炉膛太高，则温度较高的炉气易于聚集在炉膛上部，使得炉膛的上、下区域温差增大，不利于工件的加热。若炉膛太低，则不能保证炉膛具有充分的辐射面积，并且，还应考虑装料高度。同样，在其它条件不变，特别是排烟系统的抽力不变时，对于单侧燃烧室的炉子而言，若炉膛太宽，势必影响炉气循环，造成沿炉膛宽度方向上温度的不均匀性。

3. 炉膛应具有良好的密封性。除炉膛炉衬的砌筑质量要求较高以外，炉门的密封性特别重要，对于台车式燃煤热处理炉，则要求台车与炉膛密封良好，这样就可以大大减少热量从孔隙中的溢散。炉膛炉衬材料应具有良好的耐温绝热性能，以减少炉墙的散热损失。

（二）燃烧室

煤在燃烧室内燃烧的主要过程是，空气中的氧气通过炭表面的气体膜与炭接触而发生燃烧，生成的燃烧产物从覆盖

炭表面的气体膜跑出后，新的氧气才能与炭继续接触而不断燃烧。因此，燃烧的快慢决定于：(1)炭与氧的化学反应速度。(2)空气通过燃料层的扩散速度。(3)燃烧生成气体的离开速度。高温燃烧时（一般温度在 850°C 以上），后两个因素对燃烧快慢产生主要影响。除必须具有与炉膛尺寸适应的燃烧室底面积来保证必需的燃烧气体量以外，还与燃烧室的炉栅结构以及排烟系统的抽风能力有关。这些因素都是影响炉子升温速度的重要因素。

砌筑燃烧室时必须注意以下几点：(1)炉栅底面应低于炉膛底面，以利于炉压控制。当炉膛底面压力为 ± 0.0 或稍正压时，则加煤时不易产生火焰外冒现象。(2)炉栅位置应使燃烧室能保证煤层的厚度。一般，煤层厚 $100\sim 200$ 毫米左右。若煤层太薄，则燃烧不易稳定，也容易发生局部烧穿；若煤层太厚，则产生不完全燃烧，热效率降低。若在燃烧室上部炉膛入口处增设二次风管吹风，即半煤气化炉，则煤层可适当加厚至 $300\sim 400$ 毫米。如果燃用焦炭，也可适当加厚。(3)为便于工人操作，扒灰口不宜过低，一般距操作面 $600\sim 800$ 毫米，单个燃烧室最长不要超过 2 米，宽在 $500\sim 700$ 毫米以内。

炉栅的间隙直接影响进入燃烧室的空气量，在燃煤热处理炉中，绝大多数采用水平条状炉栅燃烧室，其结构简单，并且制造维修方便，成本低，可适用于褐煤、无烟煤及烟煤等燃料。

炉栅的选用尺寸，还与燃料的烧结程度有关。容易烧散的，则缝隙取小一些，易结块的则缝隙可取大一些。常用数据可参考表1-1。

若燃烧粉煤，则采用板状炉栅，以免漏煤。

表1-1 条状炉棚常用尺寸(毫米)

尺 寸	燃 料 特 征				附 注
	碎块的	易燃散的	混合的	易结渣的	
炉栅厚度	5~8	8~10	10~13	13~20	炉棚长度一般不超过1200毫米,采用HT15-53铸铁制造
间隙宽度	3~6	5~8	8~10	10~15	
炉棚长度	—	500~600	1000	300	
炉棚高度	—	100~120	—	—	

在一般情况下,为了加快燃烧和强化炉气的循环,可采用风机鼓风,此时炉棚间隙占炉棚面积的10~15%合适。若自然通风,则间隙面积增大至炉棚面积的50%合适。风压数据参考表1-2。

表1-2 选用风机风压参考数据

炉 棚 形 式	风 压 (毫米水柱)			
	半煤气燃烧室		普通燃烧室	
	不易结渣煤	易结渣煤	不易结渣煤	易结渣煤
条 状	100~120	120~150	70~80	80~120
板 状	120~140	140~180	80~100	100~140

注: 1. 一次风口流速采用8~12标米/秒;二次风口——20~25标米/秒。

2. 压力的法定单位为帕, 1毫米水柱=9.8帕。

这种人工加煤燃烧室存在下列缺点: 加煤门开启次数多, 冷空气容易进入; 工人的劳动强度大, 且操作的熟练程度对煤层的燃烧状况有很大影响。因此, 炉温波动较大且不易控制, 过剩空气很多(过剩空气系数 $\alpha=1.5\sim1.8$), 但燃烧并不完全。一方面, 可以从提高操作技巧着手(详见第三章第三节), 稳定和改善操作质量。另一方面, 可改善燃

烧室结构并实现加煤机械化。

例如，可建成阶梯式炉栅燃烧室（图 1-8）。在这种燃烧室中，在阶梯式炉栅部分上，煤层一部分燃烧，一部分加热后逸出挥发分，在最下面的水平炉栅部分可以得到进一步燃烧并形成灰渣。这种结构与水平炉栅燃烧室比较，具有以下优点：可以采用漏斗式连续加煤，煤的挥发分逸出较均匀，因此可以较小的过剩空气量实现完全燃烧。但是这种炉栅结构比水平炉栅复杂，操作时难以观察到煤层燃烧情况。对于自然通风的燃烧室，也可将普通炉栅安装成一定的倾斜角度，由外向内下斜，在相同的燃烧室底面积时，可以增加通风的有效面积，有益于煤层的完全燃烧。

对于水平炉栅燃烧室可以采用旋转叶片式给料器加煤。由图 1-9 可见，给料器中的叶片旋转，将煤撒在炉栅上，并且叶片的转数可以改变，从而可以调节不同大小煤块的散布距离，保证燃料在燃烧室中均匀分布。

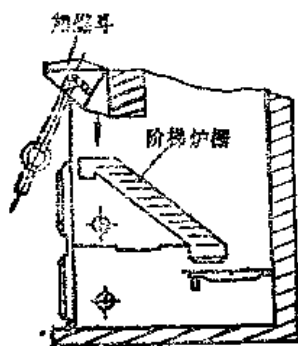


图1-8 阶梯式炉栅燃烧室示意图

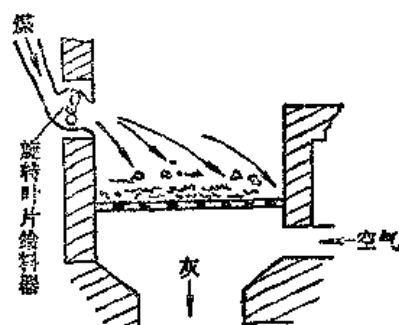


图1-9 旋转叶片式给料器加煤示意图

（三）挡火墙（或喷火口）

一般，燃烧室生成的燃烧气体是翻过挡火墙，或通过喷

火口进入炉膛的。所以，挡火墙上部间隙的面积，或喷火口截面积的大小，直接影响进入炉膛的燃烧气体量以及流动速度，好似人体的咽喉位置，其作用是 ~~调节炉膛的燃烧强度~~。为了避免炉气的冲刷和减少炉气的无谓热损失，挡火墙顶部应建成弧形或斜角。有的炉子挡火墙建成平顶和清角是不恰当的。

关于挡火墙高度及间隙面积的确定见下节。

(四) 排烟系统

排烟系统包括排烟口、烟道及烟囱。炉子烟气通过排烟口、烟道并依靠烟囱排入大气。烟囱与烟道的布置及结构应综合考虑工艺要求、炉况、周围环境、气象以及地层结构等因素。

1. 烟囱

要使通过热交换以后的炉气（废气）从炉内排出并送到较高位置的大气中去，需要克服各种阻力（包括烟道阻力及炉内排烟阻力）。烟囱之所以能克服这些阻力，是因为在烟囱底部有抽力存在，而烟囱的抽力是由里面的高温气体造成，即由废气的几何压头造成。烟囱底部所能产生的抽力主要取决于三个因素，即烟囱高度、废气平均温度和空气温度。

因此，一般设计烟囱时，即根据所需要的抽力求出烟囱的高度。考虑到烟道可能部分堵塞，或者由于操作过程的强化（燃料用量增加等），对于燃煤热处理炉的烟囱（一般高度均低于40米），应按烟道阻力计算值增大20~30%计算烟囱的高度。这种计算方法比较复杂，工业炉设计手册中均有介绍。下节介绍经验方法确定烟囱的高度。烟囱的出口直径则按进入烟囱的废气量，以及烟囱出口处的废气流速进行计算。根据经验，在既要考虑到减小废气在烟囱出口的动能损

失，又要防止倒风现象发生的条件下，废气在烟囱出口的流速应取 $3 \sim 4$ 米/秒。

由于燃煤热处理的烟囱一般均低于40米，所以一般只有砖结构及钢板结构两种。当烟囱出口直径 ≤ 0.7 米时，采用钢板烟囱。进钢板烟囱的烟气温度低于 500°C 时，烟囱内壁不衬耐火砖；高于 500°C 时，需衬耐火砖。圆形砖烟囱的最小出口直径为0.7米，常用出口直径范围为0.8~1.8米。

若烟囱太高，一方面大大增加了建筑费用，另一方面则产生的抽力过大，可能使整个炉内都是负压，冷空气容易吸入炉内。在这种情况下，必须适当控制闸门的开启程度。若烟囱太矮，则抽力不够，整个炉内呈现正压，火焰容易从炉子缝隙喷出。

烟囱建于铁路沿线时，烟囱底部外缘距铁路边线不宜小于5米。若烟囱建于锻造车间附近，则离锻锤的距离不得近于 $(12 \sim 15)\sqrt{G}$ 米 (G ——锻锤落下部分重量，以吨表示)。烟囱离车间最近柱基中心的距离不得小于 $R+B+1$ 米 (R ——烟囱基础半径； B ——柱基中心至最外边缘的宽度)。

建造烟囱还必须充分考虑当地的气候条件，烟囱与炉子的相对方位应尽量背着常年风向。

2. 烟道

排烟方式可分为上排烟及下排烟两种。下排烟结构虽然比较复杂，但有利于炉温的均匀性，所以绝大多数燃煤热处理炉采用下排烟烟道系统。

但是，也有某些炉子采用上排烟方式。例如，某些地区瓦筛加热淬火采用的焦碳加热炉，则直接从炉顶部排烟。有的炉子由于受到车间地层条件的限制，而不得不直接采用上排烟方式。燃煤盐浴炉主要是通过坩锅周围流动的热气流将坩锅

加热，当燃烧室位置较低时，采用上排烟方式可以达到均匀加热坩埚的要求。

建筑下排烟烟道系统时应注意以下几个问题：

(1) 为使烟道布置紧凑，技术经济合理、操作维修方便，通常由多台炉子组成一组排烟系统，但烟道总长不宜超过100米，炉子数量不宜超过10台。布置烟道时，应尽量缩短烟道长度，避免直角（或钝角）拐弯。因为烟道愈长，拐弯愈多或愈急时，则排出气体受的阻力愈大，要求烟囱的抽力则愈大，势必建造更高的烟囪。

若各个炉子所执行的热处理工艺差别很大，为保证准确执行工艺，避免相互影响，应当尽可能单个炉子设置烟囪。

(2) 烟道包括总烟道、分烟道及支烟道。各烟道的截面尺寸应与炉气量相适应，保证排出气体具有相适应的流速，从而保证炉膛内气体循环达到最佳状态。若废气流速太大，则必然带走大量热能；若废气流速太慢，则势必妨碍新的燃烧气体进入炉膛，工件的升温速度必然减慢，并且也会影响燃烧反应，使燃料的热利用率较差。关于烟道截面尺寸的简易确定方法将在下节介绍。

(3) 烟道的结构强度应能承受烟气的温度作用及地面载荷。一般，烟道内层用耐火砖砌筑，外层用红砖砌筑，烟道底部与炉子或其它设备基础接触时，接触面要衬砌绝热砖（多用硅藻土砖）以降低基础表面温度，但绝热砖不能直接与周围土壤接触。

为便于烟道检修，车间烟道截面尺寸最好不小于 460×572 毫米。各烟道需设置检查口，特别是支烟道，即各炉子单独通向分烟道（或总烟道）的烟道，在靠近炉子部位应设置检查口，以方便疏通排烟口及炉子下部烟道的烟尘。