

第24章 换热装置和炉子管道的修理

麦润喆 朱京伯

第1节 换热器的修理

利用炉内烟气余热来预热煤气和空气，以达到最大限度地节省燃料，并保证炉内需要的工作温度（当炉子使用低热值燃料时）的目的，许多加热炉及熔炼炉均已采用换热器。实践证明，如对换热器正确安装和操作，可节省燃料10%~30%，同时还可以提高炉内温度，为扩大利用低发热值燃料提供可能性。如与安装余热锅炉相比较，安设换热器在技术上更为合理，因为它不仅仅是单纯利用废气的热量，而同时又将这部分热量返回到炉内使用，提高设备热效率。所以选择好、制造安装好、操作使用好、维护修理好换热器，才能达到预期目的。

（一）换热器的性能及其选用

1. 常用换热器的种类及其主要性能

（1）常用换热器的种类 在机械制造工厂里，炉子采用的换热器绝大多数是金属换热器。这

是由于金属换热器具有气密性好、传热系数高、体积小、重量轻、好修、好造、便于安装等优点。目前，在机械制造工厂中，下列金属换热器得到较为广泛的采用：

- 1) 整体换热器；
- 2) 管状换热器；
- 3) 针状换热器；
- 4) 辐射换热器；
- 5) 辐射对流式换热器；
- 6) PFH型系列喷流辐射换热器；
- 7) BH新型高效管状喷流组合换热器；
- 8) 辐射导热式换热器。

（2）常用换热器的主要性能 列于表 24-1-1。

2. 换热器的选用

选用换热器应根据炉子所用的燃料、排出烟气数据（温度、洁净程度、排烟方式）、预热介质参数（预热温度、介质压力与介质洁净程度）、换热器材质及换热器的安装位置等条件。但首先应考虑以下原则：

表24-1-1 常用换热器的主要性能

性能项目	整体		辐射		管状		针状	
	灰铸铁	耐热铸铁	碳素钢	耐热钢	碳素钢	耐热钢	单筒	双筒
过热器前烟气温度(°C)	800~900	900~1000	850~950	1000~1200	700~750	900~1000	800~900	750~800
预热介质	空气 净煤气	空气 净煤气	空气 净煤气	空气 净煤气	空气 净煤气	空气 净煤气	空气	
介质预热温度(°C)	200~350	300~450	250~350	300~500	200~350	500~500	200~350	300~450
器壁最高允许使用温度(°C)	550~600	600~700	400~450	550~800	300~400	800~1000	550~650	550~650
介质流速(m/s)	3~10		8~20		8~10		3~8	
烟气流速(m/s)	0.5~4		1~3		1.5~2		1~4	0.5~2

(续)

性能项目	换 热 器 名 称		辐 射		管 状		针 状	
	灰铸铁	耐热铸铁	碳素钢	耐热钢	碳素钢	耐热钢	单 侧	双 侧
介质阻力 (Pa)	500~1500		400~4000		300~3000		<150	
烟气阻力 (Pa)	20~50		50~100		30~300		<100	
传热系数 (W/(m ² ·°C))	20~30		30~35		10~30		35~45	55~90
性能项目	换 热 器 名 称		P F H		B H		辐 射 导 热	
	辐射对流		喷流辐射		管嘴组合			
进换热器前烟气温度 (°C)	800~850		900~1000		850~950		1000~1200	
预热介质	空 气		空 气		空 气		空 气	
介质预热温度 (°C)	450~550		350~450		300~550		300~450	
器壁允许温度 (°C)	600~700		600~700		600~700		500~550	
介质流速 (m/s)	15~20		5~10		5~10		2~6	
烟气流速 (m/s)	8~10		2~4		2~4		2~3	
介质阻力 (Pa)	4000~6000		800~1200		n(600~850)		400~1000	
烟气阻力 (Pa)	400~650		50~100		80~150		20~100	
传热系数 (W/(m ² ·°C))	35~40		40~50		50~60		35~50	

注: n—为串联级数。

- 1) 操作可靠; 气密性好; 操作简便、安全; 阻力小。
 不易堵塞。
- 2) 寿命长; 普通材料不低于 1.5 年, 耐热钢不低于 4 年; 耐热性能好, 烟气温度偏高时也不易烧坏。
- 3) 技术经济效果好; 介质预热温度高; 流程
- 4) 投资费用小, 回收还本时间短。
- 5) 易造易修。
- 现将机械制造工厂工业炉常用换热器的选用列于表 24-1-2。但应注意换热器的器壁温度不能高于表 24-1-3。

表 24-1-2 机械厂炉用换热器的选用

选用条件	换 热 器 名 称		辐 射		管 状		针 状	
	灰铸铁	耐热铸铁	碳素钢	耐热钢	碳素钢	耐热钢	单 侧	双 侧
气 密 性	好		好		好		差(仅能预热空气)	
避免阻雾及消灰条件	较好		好		较差		差	
预热介质的洁净要求	空气、净煤气		空气、净煤气		净煤气、空气		空气	
进入烟气最高温度 (°C)	800~900	900~1000	850~950	1000~1200	700~750	900~1000	750~800	1000~1200
介质预热温度 (°C)	200~350	300~450	250~350	300~500	200~350	300~500	200~350	300~450
承受介质最大压力 (kPa)	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<3	<3
正常使用的寿命 (年)	1~2	2~3	1~2	4~7	1.5~3	4~7	1~1.5	0.5~1
耐 热 性	好		较好		较差		差	
传热系数 (W/(m ² ·°C))	20~30		30~35		10~30		35~90	
相对重量 (kg)	3~4		1		1.5~2		1	
制造难易程度	较难		易		较易		较难	
维修难易程度	较难		易		较难		较难	

(续)

换热器名称	辐射对流	PFH 喷流辐射	BH 管嘴组合	多孔体 辐射导热
选用条件				
气密性	好	好	好	好
避免阻塞及清灰条件	好	较好	较好	好
预热介质对洁净要求	空气	空气	空气	净空气
进入烟气的最高温度 (°C)	800~850	900~1000	850~950	1000~1200
介质预热温度 (°C)	450~550	350~450	300~550	300~450
承受介质最大压力 (kPa)	<30	<6	<6	<20
正常使用寿命 (年)	5~8	1.5~4	2~5	1.5~3
耐热性	较好	较好	较好	较好
传热系数 (W/(m ² ·°C))	35~40	40~50	50~60	35~50
相对重量 (kg)	1.5~2	1.2~1.5	1.2~1.5	1.5~2
制造难易程度	较难	一般	较难	较易
维修难易程度	较易	较易	一般	较易

表24-1-3 金属换热器常用材料的允许使用温度

序号	材料牌号	器壁最高允许使用温度 (°C)
1	铸铁	550~600
2	耐热铸铁	600~650
3	耐热球墨铸铁	650~700
4	优质碳素钢	400~450
5	不锈钢	650~700
6	耐热钢	800~1000

(二) 换热器的制造和修理

1. 整体换热器

整体换热器一般是灰铸铁或耐热铸铁的管束，其构架的具体构造如图24-1-1。其中空气管直径为1/2"或3/4"，烟气管直径为1"或1 1/4"，空气管与

烟气管的管束之间互相垂直，两端各固定在厚4~6mm的钢板上。

有时为了简化换热器的构造，仅有一个管系，即空气的平行管束在铸件内直接留有长方形烟道，其中心线与空气管束中心线垂直，其断面的长度为80~100mm (图24-1-2)。

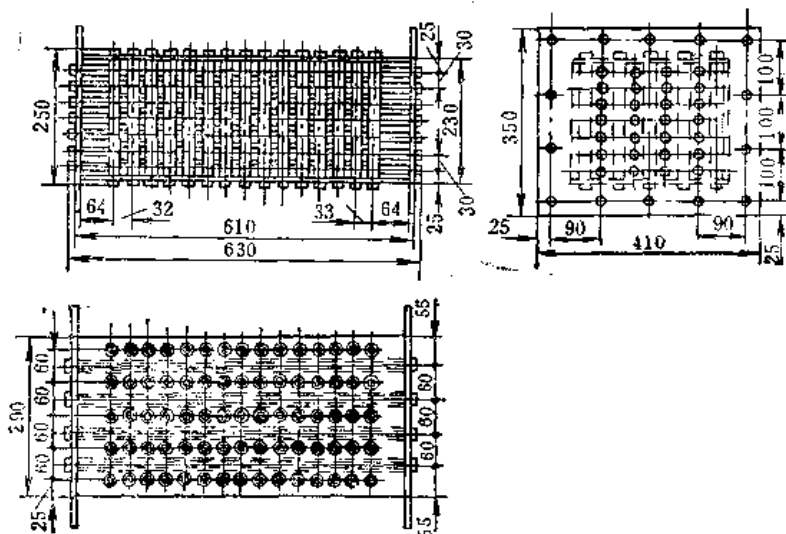


图24-1-1 整体换热器的构架

为了做成双程和多程的块状(整体)换热器，可以由各个构件组合而成，每个构件都是用铸铁铸成的平行钢管束(图24-1-3)。

(1) 整体换热器的制造:

1) 制造中常见问题分析:

① 气密性不高:

a. 管子裂缝或被铁水熔化穿孔。铁水温度控制在1300°C以下，即可消除;

b. 换热器端板与管子交

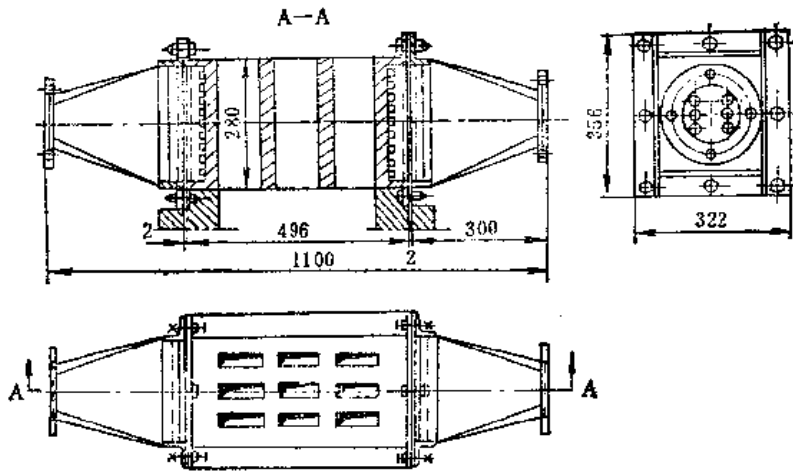


图24-1-2 整体换热器

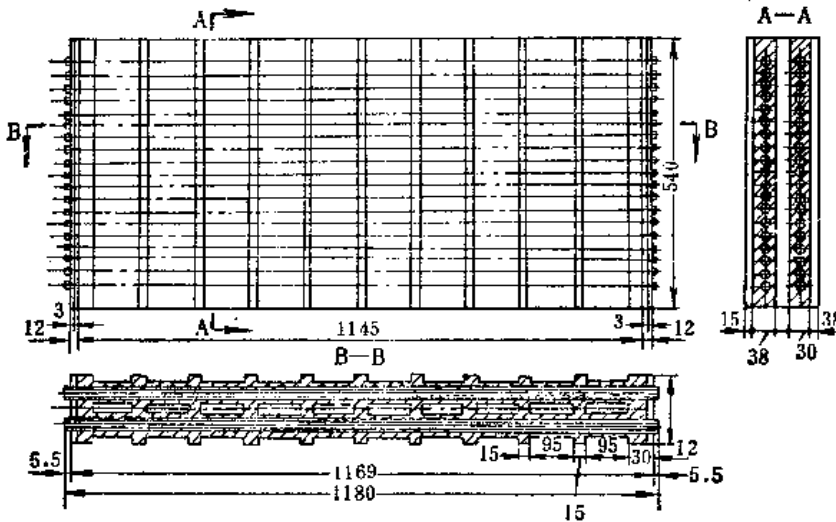


图24-1-3 合成整体换热器的构件

界处漏气。主要是其间隙太小，不易检查。若将管束在换热器本体两端伸出65mm以上，就易于焊好。

c. 法兰处漏气。多半是由于法兰加工不好或太薄引起。可加厚法兰，并用精加工的方法解决。

② 铸造气孔多：

- a. 不用白铁管做管骨架；
- b. 对管束喷砂处理，除去铁锈；
- c. 采用干模、边冒口、底注水口、上箱留集气槽和浇注时先快后慢的铸造方法；
- d. 管束内有型砂难于清除，如管内充以细焦炭粉则易清除。

2) 制造时应注意的事项：

- ① 管束骨架点焊组立(不带两头的端板)；

② 将组立好的骨架浸入水槽中，用0.2兆帕的压缩空气对管束骨架的每根管子进行气密性试压；

③ 管子骨架在800~850℃进行退火处理；

④ 对管束骨架做喷砂处理；

⑤ 采用干模、边冒口、底注水口、上箱留集气槽和管子内充填细炭粉的铸造工艺；

⑥ 浇注前对管子骨架进行预热，浇注铁水时先快后慢，控制铁水温度在1350℃；

⑦ 浇注成的换热器本体，经清理及去毛刺后，套上两端板，采用连续不透气焊接；

⑧ 涂煤油后打压经20~30min，检查焊缝是否渗漏；

⑨ 在水槽中用0.2MPa的压缩空气对换热器本体的每排管子检验气密性，泄漏处应补焊或堵死。

3) 铸造本体技术要求：

① 铸造半径、斜度和厚度公差均按工厂中的平均精度标准铸造；

② 排烟孔四周应光滑，

毛刺与不均匀的地方必须清除；

③ 铸件允许有不产生裸露管面、直径不超过10mm与深度不超过3mm的砂眼，超过上述尺寸的砂眼，应予补焊；

④ 管子泄漏无法补焊者可堵死，但一般不得超过管子总数的10%；

(5) 最后以20kPa压力进行气密性试验，每小时下降少于150Pa压力为合格。

(2) 整体换热器的修理：

1) 修前进行全面检查：

① 烧坏程度：如管子烧坏数量大于10%，一般需要换新的；

② 漏气情况：预计修理后能通过试压者为可修，否则为不可修；

③ 变形程度：检查两头气箱和框架变形程度。

2) 将整个换热器进行彻底清扫，并吊放在修理工位上。

3) 需进行修理部位拆下来。

4) 清理煤气通道，如管子内被煤焦油堵塞者，可以将铁钎烧红，插入管内进行清理。

5) 用铁钎清理后的管子，再用压缩空气吹洗。

6) 用压缩空气吹洗的方法，进行清理烟气通道。

7) 烧坏的管子，需在两端焊堵的地方，进行彻底清理，直到焊接处呈现新的金属断面后才能进行焊堵。

8) 对两头气箱和框架需补焊处进行清理，待焊处呈现新的金属断面后，才能进行补焊。

9) 对两头气箱和框架变形严重处，进行平整，恢复原状。

10) 烟气进口底面烧坏严重时，可以倒转装配使用（即将未烧坏的一面迎着烟气）。

11) 拆下密封垫（一般用石棉橡胶垫），将法兰面清理干净，换上两面涂有二硫化钼油脂的新密封垫。

12) 坏的螺栓或螺帽须换新的，松动的螺栓须紧固住。

13) 修补损坏的砌砖体和保温层。

2. 管状换热器

管状换热器的结构形式很多，一般用无缝钢管制成，其内径为15~100mm，壁厚3~5mm。在水平装置时，所用管子一般不长于1m，垂直装置时，所用管子一般不长于1m，垂直装置时，管子一般也不应超过3~4m（图24-1-4）。

（1）管状换热器的制造与安装：

1) 钢管材质选用要合理，管壁温度低于350℃时可用普通钢管，高于400℃则需采用渗铝钢管或耐热钢管。

2) 特别要注意管子与端板的焊接质量。

3) 为了减少框架变形和漏气，框架应适当加

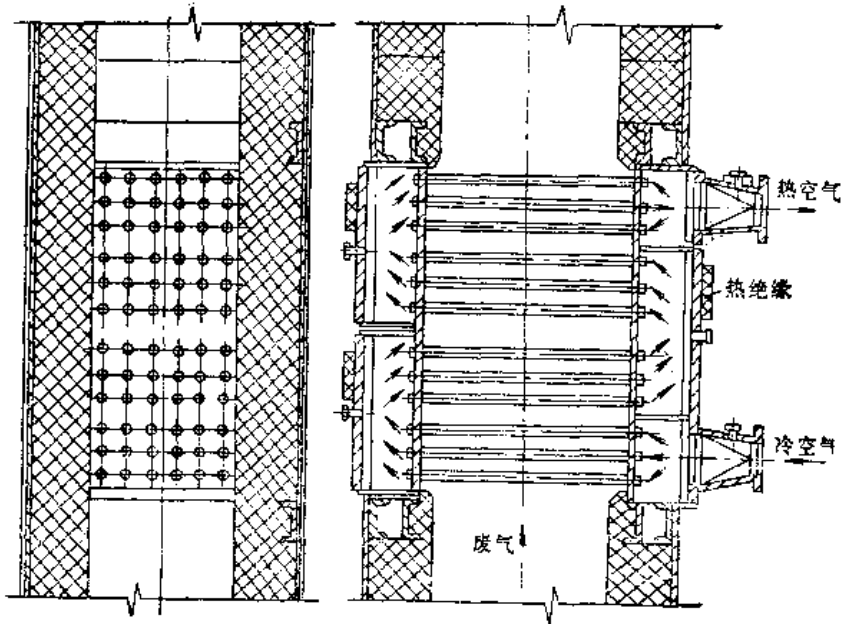


图24-1-4 四行程平滑钢管换热器

固。

4) 框架下边接触高温烟气处必须砌砖。

5) 换热器应装在燃料已不可能进行燃烧的区段。

6) 应装在换热器单体材料所允许的工作温度的区段。

7) 不应直接装在转弯后的区段。

8) 尽量不装在受赤热砌体辐射的地方。

9) 安装时必须考虑受热膨胀问题。水平安装的换热器对受热较高的一个行程要考虑有伸缩的可能，通常是将换热器上端固定，下端让其自由伸缩。

10) 组装完毕后，需进行强度与气密性的试验。

11) 换热器表面，出气箱和所有热气管路需进行保温。

（2）管状换热器的修理 与整体换热器的修理方法基本相同。

3. 针状换热器

针状换热器（图24-1-5）是由许多标准化的针状管联接组成。目前使用的针状管有长度为880、1135、1385和1640mm的4种。图24-1-6所示是长度为880mm有双侧针状管，管的两端有盒状法兰，法兰的侧面应予加工。

根据管子表面的针状构造，有“17.5”型管子

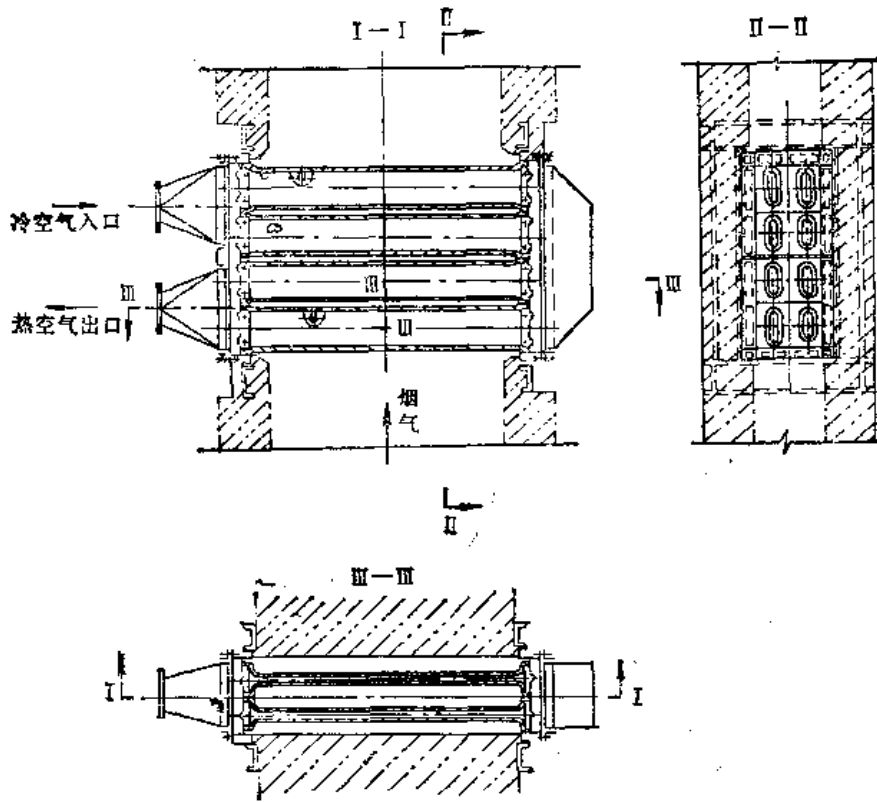


图24-1-5 针状换热器

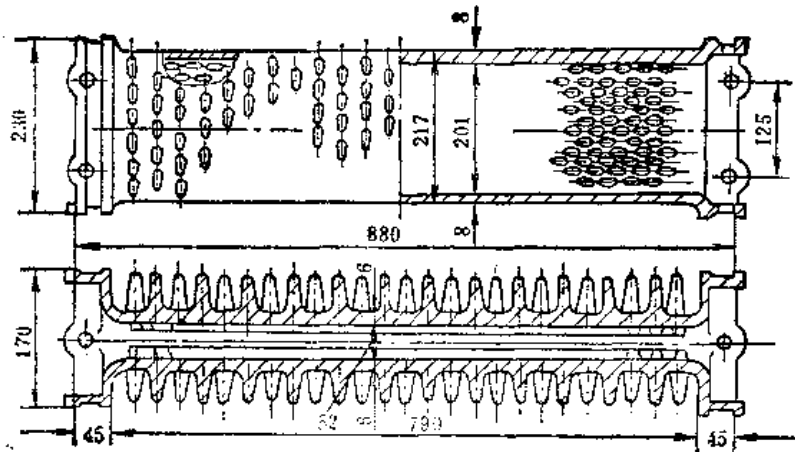


图24-1-6 长880mm铸铁针状管子

(针间距离为17.5mm)和“28”型管子(针间距离为28mm)两种。有的管子仅内表面有针,叫单侧管。上述3种管子的规格见表24-1-4。

(1) 针状换热器的制造和安装;

1) 针状管的制造技术条件:

① 针状管用耐热铸铁或灰铸铁制造;

② 管内外侧上的针与针之间应完全没有型砂和脏物等;

③ 未铸满的针和折断的针不得超过总数3%,且应分散在管子表面,而不集中在管子某一处;

④ 管子不应有任何裂纹和深的砂眼,对管子应作水压试验,试验压力为0.2~0.3MPa。

⑤ 管子法兰应进行机械加工,加工后,管子法兰上,装填料槽的深度应不小于2.5~3mm;

⑥ 管子中线与法兰加工面应垂直,不得有变形、扭曲

等缺陷;

⑦ 管子长度公差:长度880mm管子不应超过2~3mm;1640mm管子不应超过3~4mm。

2) 针状换热器的安装:针状换热器因管子法兰间有许多接头,气密性差。例如4~5根管子的针状换热器,其泄漏率为3%~5%,而80~100根管子的针状换热器可达20%~30%。影响针状换热器气密性的主要因素是安装质量和法兰间填料的质

表24-1-4 针状换热器管的规格

型 号	17.5				28				单 侧 管			
	880	1135	1385	1640	880	1135	1385	1640	880	1135	1385	1640
管 长 (mm)	880	1135	1385	1640	880	1135	1385	1640	880	1135	1385	1640
空气通道面积(m ²)	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
烟气通道面积(m ²)	0.06	0.08	0.01	0.12	0.07	0.092	0.114	0.136	0.042	0.055	0.067	0.08
空气侧上的针数(根)	636	852	1068	1284	636	852	1068	1284	636	852	1068	1284
烟气侧上的针数(根)	558	740	922	1118	298	396	496	594				
空气接触面(m ²)	0.83	1.12	1.41	1.70	0.83	1.12	1.41	1.70	0.83	1.12	1.41	1.70
烟气接触面(m ²)	1.34	1.81	2.27	2.64	0.95	1.26	1.60	1.90	0.40	0.53	0.66	0.70
计算加热面(m ²)	0.25	0.33	0.425	0.50	0.25	0.33	0.425	0.50	0.25	0.33	0.425	0.50
管 重 (kg)	45	55	66	80	41	52	63	76	31	39	47	55
法兰间管子的长度(烟道长)(mm)	790	1045	1295	1550	790	1045	1295	1550	790	1045	1295	1550

表24-1-5 法兰间密封填料成分规格

名 称	第一种配方		第二种配方	
	规 格	成 分	规 格	成 分
矿 渣 棉	清洁干燥	170g	清洁干燥	170g
碳化硅(砂轮废料)	粒度小于 0.5~0.6mm	150g	—	—
铁 屑	—	—	粒度小于 1mm	100g
石 墨	—	—	—	50g
水 玻 璃	比 重 1.40~1.45	250cm ³	比 重 1.40~1.45	250cm ³

量。法兰间的密封填料成分规格见表24-1-5。每根针管的填料消耗量约为1.5~2kg。

针状换热器安装的基本要求是：

① 安装前必须仔细检查针状管子和框架，使其与制造的技术条件相符合；

② 整个换热器应在修理车间进行预装配，并将预装配，并将预装配中零件的位置编号，以免安装时弄乱；

③ 预装配时，应使针状管与框架“配合”，如果相邻框架两端间形成的缝隙较大，则应用钢板将其堵塞；

④ 选择优质的填料，并应现用现调制。放入管子法兰凹槽内的填料应稍微多些，以便法兰移动时，部分填料能进入法兰侧面间的缝隙内；

⑤ 无凹槽法兰表面的连接（框架的侧部接头，空气室与框架的连接）用浸以水玻璃的石棉板衬垫来填塞，为使石棉板更好润湿，宜将比重1.38~1.4的水玻璃以3~4倍的水稀释；

⑥ 安装水平放置的换热器（图24-1-5）时，先装下部钢架（该钢架可由型钢制成，也可特殊铸造）。装钢架时，应使其装管子和框架的平面水平。

烟气侧钢架表面应砌轻质砖绝热；

⑦ 在下部钢架上装针状管的连接框架，框架上再装针状管。针状管的安置应使流线型针的钝端迎着烟气或空气的气流；

⑧ 装针状管时，应注意管子法兰的侧面是否与邻管的法兰侧面相对。应当是法兰的凸面对凸面，凹槽对凹槽；

⑨ 针状管一个一个地慢慢连接，管端螺栓也应均匀拧紧；

⑩ 安装后，针状管和框架形成一个整体。框架和各边的架子间应有宽10mm的缝隙，作为膨胀缝。在膨胀缝内应填入浸以耐火粘土泥浆的石棉绳。框架和架子不固定，以便换热器受热时能自由移动；

⑪ 在安装空气室之前，应清除在安装时偶然落入管内的油灰及脏物；

⑫ 在安装空气室之前，应校正空气室因焊接引起的扭转变形。检查连接空气室的所有框架的表面是否在同一平面上。如果不在同一平面上，应以相应的石棉板填平，然后才放置所有的石棉板衬垫；

⑬ 安装完毕后，将换热器与风管相接，作气密性试验。试验压力为工作压力的1.2~1.5倍，以一小时下降3%~10%以内为合格；

⑭ 气密性试验合格后，将热风管和空气室包上绝热层。

(2) 针状换热器的修理：

1) 将整个换热器从炉上拆下来。

2) 检查每根针状管烧坏情况，框架和集气箱等的变形程度。

3) 彻底清理整个换热器。

4) 将需进行清理的部位和针状管拆成单体，以便修理。

5) 能再用的针状管，其烟道上的脏物必须清理干净。

6) 能再用的针状管，其法兰上的旧密封填料应用扁铲清理干净。

7) 框架和气箱变形的地方需进行平整，严重变形的地方可用气焊加热进行平整，使其恢复原状。

8) 新的和再用的针状管要从排列组合，将新的针状管排列在下面(烟气进口处)，安装方法见前所述。

9) 针状管法兰之间组合后，间隙较大者，可用水玻璃浸透的石棉绳堵塞之。

10) 修补坏了的砌体和保温层。

4. 辐射换热器

辐射换热器具有气密性好、效率高、不易积灰、寿命长等特点，故广泛应用在冲天炉和加热炉上。

这种换热器一般是做成大直径的套管，这个管子放在另一管子之中。高温烟气通常在管内作1~3 m/s的低速流动，而需加热的空气沿着两管之间的30~50mm间隙的环状空间通过，速度一般为8~20 m/s。为了增加传热面积和保持内外套筒均匀间隙及改善气流的分布，在环形空间的内筒壁焊设了许多导热片，其结构见图24-1-7。

(1) 辐射换热器的制造和安装：

1) 内筒壁材质的选用是重要的，壁温低于400℃用锅炉钢板，超过450℃时须采用耐热合金材质钢板制造。

2) 严格控制焊接质量，注意焊接次序及应力消除。

3) 内筒壁能遇到火焰处要再加一块盖板焊

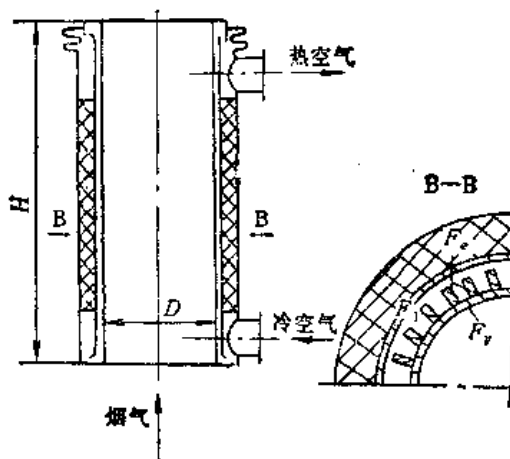


图24-1-7 带筋片圆筒辐射换热器

死。

4) 内筒外侧传热筋片，如长度超过1m可以分段焊接。

5) 内筒两端与法兰的焊缝，不应与火焰接触。

6) 在焊上段与下段传热筋片时应错开焊，每片焊缝必须采用连续满焊的焊接方法进行焊接。

7) 为了使预热气体的通道面积均匀地分配在圆周上，故两筒要保证同心度，或内外之间加些定位片来保证。

8) 为使大型换热器膨胀自由伸缩，宜采用吊装结构。

9) 大型换热器本身应安装预热气体的放散系统。

10) 为减少内筒内凸出变形，在一定距离焊一环加固圈。

11) 环状空间气道底部，有存渣堵塞气道的可能性，故需在此处开设清理渣门，以便清理污物。

12) 当烟气温度高时，可考虑在烟气进口处砌1~2环砖或钢制的保护套圈。

13) 进行强度与气密性的试压。

14) 换热器外壁及预热气体的管路，须进行绝热保温。

(2) 辐射换热器的修理：

1) 换热器从炉子上拆下来，检查内筒壁烧损、变形、氧化程度，环形气道堵塞、漏气情况等，以决定修理项目。

2) 将换热器上的挂灰、氧化铁皮和脏物进行彻底清理。

3) 对修理的部位，进行拆卸和清理。

4) 局部变形的内外筒身, 需进行校正, 变形严重者可以用气焊加热校正, 做到基本恢复原状。

5) 用锤子锤击振动筒身, 将环形气道脏物振松, 从清理门 (或割一个缺口, 清理后补上) 将脏物清理干净。

6) 内筒如局部烧穿, 将烧穿处割去, 再补焊上一块新的筒壁。

7) 框架变形时则需进行修复平正, 恢复原状。

8) 焊缝烧裂地方, 需将焊处进行清理, 呈现新的金属断面后再进行补焊。

9) 烟道进口处的钢保护套圈, 如烧损严重, 应换新的。

10) 上下结构对称的换热器, 如下部 (烟口进口处) 烧损较严重时, 经修复后, 可以倒转使用。

11) 辐射导热式换热器的多孔物体, 下沉高度如超过整个高度1/5, 应给予补充填满。

12) 把气体进出口法兰的垫片拆掉, 并将法兰面清理干净, 换上两面涂有二硫化铝油脂的新垫

(一般用石棉橡胶垫), 再用好的螺栓拧紧。

13) 修复损坏的砌砖体和保温层。

(3) LF II型辐射换热器:

1) 技术性能见表24-1-6。

2) 外形图及安装尺寸见表24-1-7和图24-1-

8。

5. 辐射对流式换热器

(1) 结构原理 辐射对流换热器如图24-1-9所示, 由热风箱、外套筒、内套筒、扁管、导流管、冷风箱、集烟箱、波纹补偿器等部件组成。它是辐射和对流换热设计而成的一种组合换热器, 完全燃烧后的高温烟气, 自上而下高速度进入换热器, 先经过辐射段换热后再经过对流段的换热, 烟气降温后, 在烟气管集中, 流出换热器。在内套筒的长圆柱内体中, 装的是空心扁管, 冷空气进入冷风箱分成两路, 一路沿扁管空心通道向上流, 一路是在内外套筒壁间形成的环形通道向上流。这样, 空气自下而上的流动与烟气自上而下的流动构成逆

表24-1-6 LF-II型换热器的技术性能

项 目 \ 型 号	LF II-1	LF II-2	LF II-3	LF II-4	LF II-5	LF II-6	LF II-7
传热面积 (m ²)	1.6	2.3	2.8	3.3	4.2	6.2	8.1
预热室(煤)气量(m ³ /h)	350	550	650	750	1000	1400	2300
烟气量 (m ³ /h)	400	610	720	830	1100	1560	2650
废气入口温度 (°C)	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
废气出口温度 (°C)	800	800	800	800	800	800	800
介质预热温度 (°C)	350	350	350	350	350	350	350
传热系数 (W/m ²)	43	44	44	43	43	43	46.5
介质压力损失 (Pa)	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000

表24-1-7 外形及安装尺寸表

(mm)

尺寸代号 \ 型 号	LF II-1	LF II-2	LF II-3	LF II-4	LF II-5	LF II-6	LF II-7
D ₁	φ 300	φ 400	φ 500	φ 600	φ 800	φ 1000	φ 1300
D ₂	φ 374	φ 481	φ 584	φ 684	φ 886	φ 1086	φ 1386
D ₃	φ 560	φ 800	φ 900	φ 1000	φ 1200	φ 1400	φ 1600
H ₁	1890	1990	1990	1990	2192	2292	3000
H ₂	1610	1710	1690	1680	1860	1850	2204
H ₃	360	400	500	550	650	800	1000
H ₄	400	450	500	600	650	800	1000
H ₅	107	107	122	126	138	203	
H ₆	247	302	367	417	553	644	
a × b	625 × 625	740 × 740	900 × 900	1000 × 1000	1260 × 1260	1500 × 1500	
单件重(kg)	410	570	610	750	1150	1560	3100

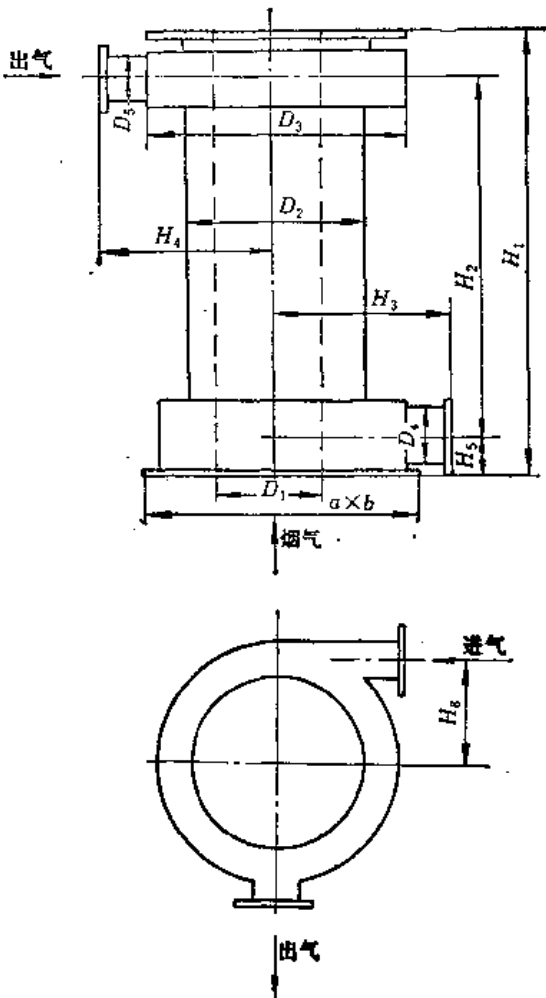


图24-1-8 LF-II型辐射换热器外形及安装尺寸

流方式的热交换，预热了的高温空气，在热风箱集中后流出换热器。

(2) 特点:

- 1) 结构紧凑，单位体积换热面积大，换热效率高。
- 2) 补偿装置合理，故热胀冷缩引起变形而不会产生开裂，因此气密性好，使用寿命长。
- 3) 气体流速高，对流传热快，传热效率大。
- 4) 各通道形状结构合理，阻力基本相同，流速均匀，充分发挥各部分换热作用，达到最佳的换热效果。
- 5) 不易积灰，不易堵塞，能经受高温含尘量大的烟气条件下，保持长时间正常工作。

(3) 制造和安装:

- 1) 内筒壁和扁管材质的选用是重要的，其辐射段与对流段不同的部位，应相应采用不同的耐热合

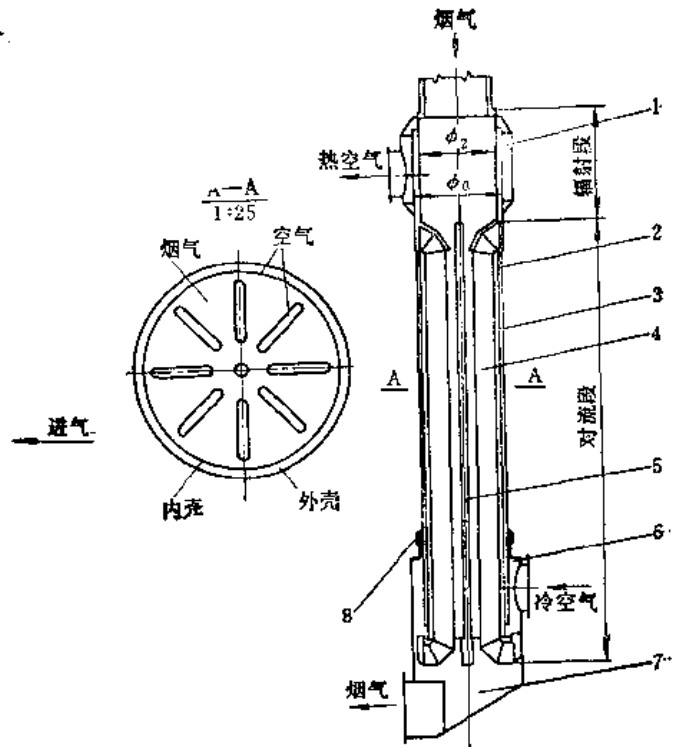


图24-1-9 辐射对流换热器的结构

- 1—热风箱 2—外套筒 3—内套筒 4—扁管 5—导流管 6—冷风箱 7—集烟箱 8—波形补偿器

金。壁温低于350℃用锅炉钢板，超过此温度须采用耐热合金材质制造。

- 2) 全部焊接应采用氩弧焊，严格控制焊接质量，注意焊接次序及应力消除。焊后应用X光检查，焊缝应符合国家二级焊缝的技术标准。

- 3) 内外套筒应达到平直度与同心度要求，满足装配的需要。

- 4) 异形扁管轧制成形或采用压制后焊接成时，必须保证焊后管子平直不变形。

- 5) 异形扁管沿内筒圆周垂直均匀成放射形的安装在内筒中。

- 6) 全部冷缩热胀的装置，应按技术要求安装，装配后应达到动作自如。

- 7) 空气和烟气进出接管都应采用软管连接。

- 8) 应安装有预热气体的放散系统。

- 9) 整台换热器采用立式弹簧吊装结构。

- 10) 需进行强度和密封性的试压。

- 11) 在冷风箱上部，应有适当数量维修工作门。

- 12) 换热器冷风箱以上的外体表面及热风管

路，要有保温层。

(4) 维护修理。

1) 检查、调整、修理扁管与集烟箱上部连接处的密封盖。

2) 检查修理全部伸缩装置和软连接管的地方，使用时是否动作自如。

3) 检查空气和烟气系统的密封性，发现漏气的地方应及时修理。

4) 检查吊装换热器的弹簧工作情况，调整好或换调坏了的弹簧。

5) 定期彻底清理吹扫换热器的挂灰和脏物。

6) 内外套筒的筒身如产生局部变形，则进行校正。变形严重者，则用气焊加热校正。

7) 焊缝有烧裂的地方，应进行清理，直到该处呈现新的金属断面后，再进行补焊。

8) 内外套筒和扁管，有局部烧坏时，要将烧坏地方割去，采用同材质新钢板，进行焊接修理。

9) 气体进出口法兰连接处发生漏气时，要将旧衬垫拆掉并将法兰表面清理干净，换上两表面涂有二硫化钼油脂的新石棉橡胶垫，再用好的螺栓拧紧。

10) 修复损坏的保温层。

6. 喷流辐射换热器

(1) 结构原理 PFH喷流换热器是由辐射筒、外筒、空气入口管、空气出口管等主要部件组成(见图24-1-10)。高温烟气由辐射筒入口处进入换热器，主要以辐射方式把热量传给辐射筒内壁，通过导热把热量传递到外壁。冷空气由空气入口处进入喷流夹层，通过喷流筒上的大量喷流孔，以高速喷向辐射筒外壁，从而大大减薄边界层的厚度，从而极大增加了该侧的换热系数。用这对流方式获得热量后，由上部集气箱的热空气出口处送进热风管道供燃料助燃使用。

(2) 特点 在换热器内同时存在对流热交换、辐射热交换及导热3种传热方式。它具有综合传热系数大、换热效率高、辐射筒内壁温度低、使用寿命长、节能效果显著等特点。它能把空气预热到350℃以上。

PFH型换热器适用于废气出口温度大于700℃上排烟形式为主的各种工业炉窑。

(3) 主要技术性能 PFH系列喷流辐射换热器的主要技术性能列表24-1-8。

(4) 安装要求：

1) 安装尺寸列于表24-1-9(参见图24-1-10)。

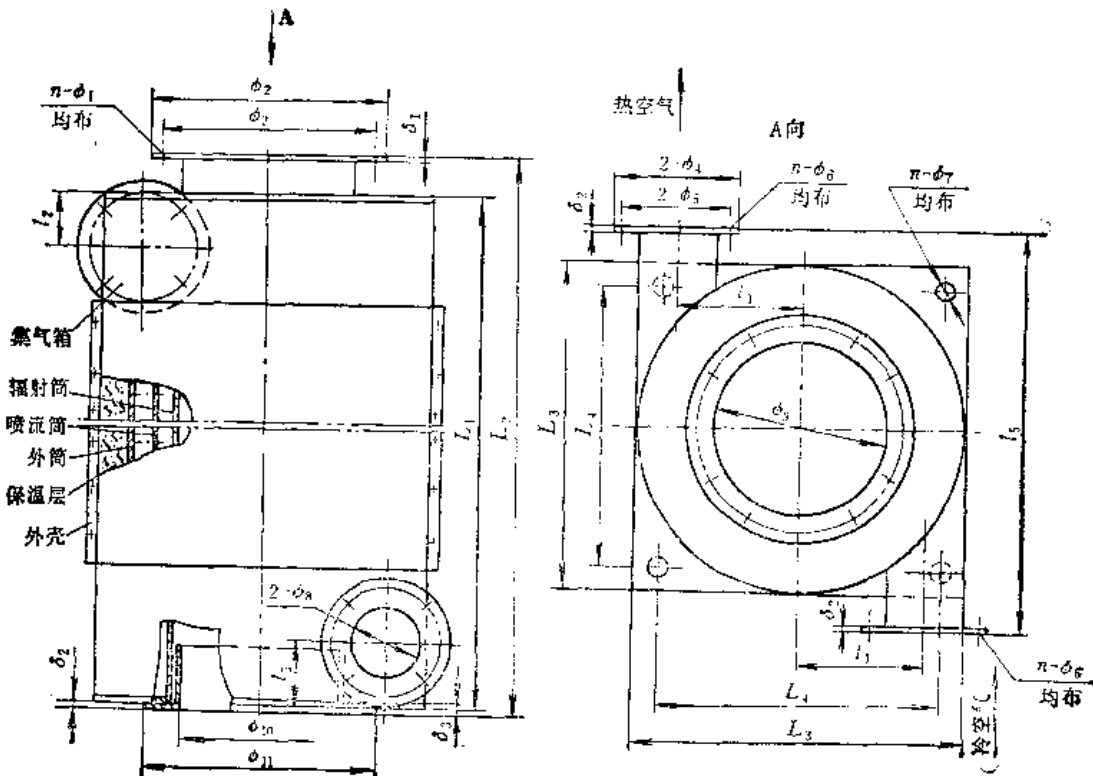


图24-1-10 喷流辐射换热器的结构

表24-1-8 PFH换热器的技术性能

项 目 \ 型 号	PFH-300	PFH-400	PFH-500	PFH-600	PFH-700	PFH-800	PFH-900
换热面积(m ²)	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2
介质预热温度(°C)	>350	>350	>350	>350	>350	>350	>350
预热空气量(m ³ /h)	300~500	400~600	500~700	600~800	700~900	800~1000	900~1400
入口烟量(m ³ /h)	330	450	550	650	760	870	980
烟气入口温度(°C)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
烟气出口温度(°C)	500~600	500~600	500~600	500~600	500~600	500~600	500~600
平均内壁温度(°C)	550	550	550	550	550	550	550
空气阻力损失(Pa)	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000
空气压力(Pa)	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
综合传热系数 (W/(m ² ·°C))	50	50	50	50	50	50	50
重量(kg)	≈211	≈253	≈304	≈360	≈387	≈450	≈504

表24-1-9 安装尺寸表

代 号 \ 型 号	PFH-300	PFH-400	PFH-500	PFH-600	PFH-700	PFH-800	PFH-900
ϕ_2	$\phi 340$	$\phi 370$	$\phi 400$	$\phi 440$	$\phi 470$	$\phi 490$	$\phi 520$
ϕ_3	$\phi 305$	$\phi 335$	$\phi 365$	$\phi 400$	$\phi 430$	$\phi 450$	$\phi 475$
ϕ_0	$\phi 224$	$\phi 259$	$\phi 291$	$\phi 318$	$\phi 344$	$\phi 368$	$\phi 390$
ϕ_{10}	$\phi 198$	$\phi 233$	$\phi 265$	$\phi 284$	$\phi 310$	$\phi 334$	$\phi 356$
ϕ_{11}	$\phi 360$	$\phi 400$	$\phi 440$	$\phi 480$	$\phi 510$	$\phi 540$	$\phi 570$
2- ϕ_4	$\phi 205$	$\phi 205$	$\phi 235$	$\phi 235$	$\phi 260$	$\phi 260$	$\phi 270$
2- ϕ_5	$\phi 170$	$\phi 170$	$\phi 200$	$\phi 200$	$\phi 225$	$\phi 225$	$\phi 235$
2- ϕ_8	$\phi 100$	$\phi 110$	$\phi 125$	$\phi 140$	$\phi 150$	$\phi 160$	$\phi 170$
n- ϕ_1	8- $\phi 18$	8- $\phi 18$	12- $\phi 18$	12- $\phi 22$	12- $\phi 22$	16- $\phi 22$	16- $\phi 22$
n- ϕ_6	4- $\phi 18$	4- $\phi 8$	8- $\phi 18$	8- $\phi 18$	8- $\phi 18$	8- $\phi 18$	8- $\phi 18$
n- ϕ_7	4- $\phi 24$	4- $\phi 24$	4- $\phi 24$	4- $\phi 26$	4- $\phi 28$	4- $\phi 28$	4- $\phi 28$
L ₁	1316	1403	1543	1659	1768	1835	1910
L ₂	1402	1489	1629	1746	1856	1922	1998
L ₃	480	534	580	630	662	698	732
L ₄	410	480	490	540	562	600	630
L ₅	580	636	720	770	802	838	872
l ₁	186	208	223.5	241	252	265	277
l ₂	88	95	101	109	114	119	124
l ₃	116	123	131	143	148	156	160
δ_1	14	14	16	16	16	16	16
δ_2	12	12	12	12	14	14	14
δ_3	16	16	16	20	20	20	20
δ_4	14	14	14	16	16	16	16

2) 换热器底部底板与底盘及炉体(如炉顶或烟道)的连接处必须密封,不能漏风。

3) 安装时,在换热器的上部或下部要留有受热自由膨胀的余地。

4) 换热器应垂直安装。

5) 换热器是采用顺流式热交换过程,即烟气由下部进入换热器,由上部排出。而冷空气也是由下部的入口处进入,预热后的热空气由上部的出口处排出,送入热风管道。

6) 热风管道必须用保温材料包扎绝热,并安装放风支管及放风阀门。

(5) 换热器修理 与辐射换热器的修理相同。

7. 管状喷流组合换热器

(1) 结构原理 BH管状喷流换热器是将要预热的空气通过喷流管上的小孔,垂直地喷到波纹形的传热面上,从而大大地减薄了边界层的厚度,极大地提高了空气侧的对流换热系数。同时,在管外设置了辐射板和辐射墙,将外管制成波纹形状,因而增加了烟侧的辐射换热系数。因此可得到较高的综合传热系数。管状喷流组合换热器的单管结构示于图24-1-11。

(2) 技术性能:

1) 空气预热温度:烟气温度为 600°C 时,可将空气预热至 300°C 以上;烟气温度为 900°C 时,可将空气预至 500°C 以上。

2) 综合传热系数:烟气温度大于 600°C 时,可高达 $50\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$;烟气温度大于 900°C 时,可高达 $60\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$ 。

3) 空气侧的压力损失:四级串联时,其值为 2400Pa ;六级串联时,其值为 3600Pa 。

4) 烟气侧的压力损失:其值不大于 100Pa 。

5) 使用寿命:因喷流作用使器壁温度降低,因而可降低对材质的要求,或者在同一材质时提高使用寿命,如果操作正常,使用寿命在 $3\sim 5$ 年。

6) 不易积灰,清灰亦方便:采用竖波纹管垂直安装,不易积灰。同时在底部可使烟灰漏下,因而不易堵塞,可保持长时期的高效传热。

7) 投资回收期:换热器性能好,用材省,故价格较便宜,其回收期 $0.5\sim 1$ 年。

(3) 管状喷流组合换热器制造和安装:

1) 在供风系统中必须考虑有热风放散系统,可保证有一定量的空气通过换热器,以免在热负荷太低时烧坏换热器。在排烟系统中必须考虑进换热器前有冷风充入,可保证烟气温度不致过高,以免在热负荷太高时烧坏换热器。

2) 为了掌握换热器的工作状况和保证换热器正常工作,必须对空气预热温度、空气预热量、烟气入口温度、烟道抽力和换热器前后空气的压力等参数进行测量和控制。

3) 除使用煤气外,不论固体燃料还是液体燃料都必须考虑有清灰装置,并且都要定期吹扫烟灰和清除积灰,以保证换热器高效率地工作。

4) 必须在换热器前的烟道上设置工作门,一方面便于检查清灰和维修,另一方面可临时打开吸入冷空气,以保护换热不致烧坏。

5) 为了避免烟气的热量损失,最好采用绝热良好的上排烟,将换热器置于空间便于维护和修理。

6) 对于多灰的烟气,如燃用粉煤和有色冶炼的炉子,应将换热器的下风箱选用为若干小风箱类型,可使烟灰漏下。同时在风箱下设置灰斗,以便可储存一定的烟灰量后再集中排出。

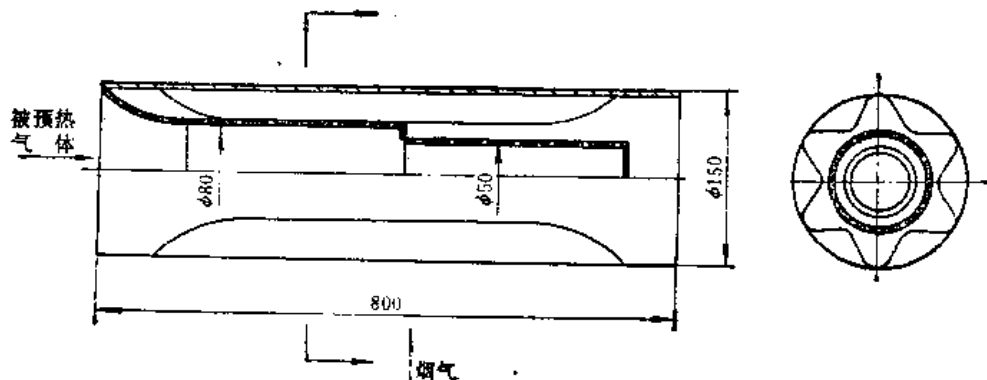


图24-1-11 管状喷流换热器单管结构

7) 如果条件允许, 应将大型换热器分解成若干小型换热器, 加以并联扩大。这样, 便于制造和维修, 还可以节省合金钢材。

8) 应根据烟气温度, 空气预热温度和使用寿命, 合理选择优质钢(1Cr18Ni9Ti不锈钢和Cr25Ni20耐热钢)制造换热器。

(4) 管状喷流组合换热器的维修:

1) 应定期对换热器用压缩空气或蒸汽进行吹扫, 清除管壁上的烟灰。对固体燃料应每月清灰一次, 对液体燃料应每3个月清灰一次, 以保持换热器的高效热工性能长期不变。

2) 除定期吹扫外, 当换热器的空气预热温度降低, 烟气阻力增加时, 应及时对换热器进行清扫, 保证换热器的高效率运行。

3) 当其他条件不变时, 如果换热器的空气预热热量减少, 或者换热器前的压力减少, 这时应检查换热器前后烟气中含氧量是否增加来确定是否烧坏开裂, 应及时找出损坏的地方进行修补。

4) 对于分组并联的换热器, 当发现其中一组损坏时, 可封闭该组而继续生产。修理时不用全部更换, 发挥分组并联的优越性。

5) 为了充分利用烟气余热, 减小烟气在烟道内温降, 在下排烟中必须避免地下水渗入。工作门和烟道闸门等不严密处(或绝热层太薄)都会吸入冷空气, 因此必须加强防漏措施, 增加绝热层厚度。

(5) 小型A类管状喷流换热器

1) 特性:

- ① 风量1800~5060m³/h;

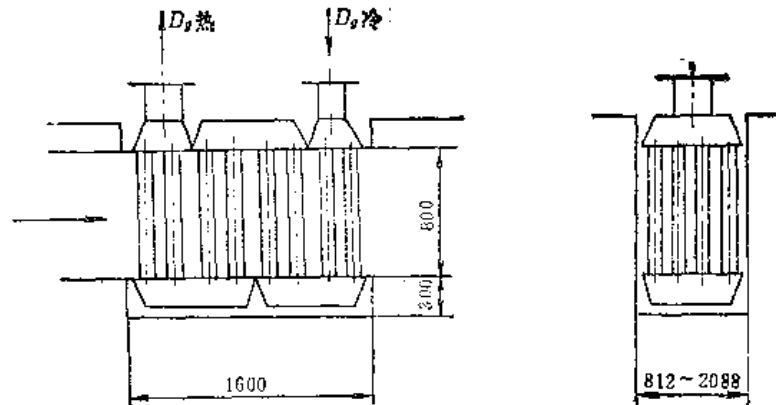


图24-1-12 小型A类管状喷流换热器安装

- ② 烟气入口温度500~700℃;
- ③ 空气预温度250~400℃;
- ④ 单根、风箱连接、逆流、四级串联;
- ⑤ 适用于小型连续加热炉、热处理炉。

2) 规格: 见表24-1-10。

3) 安装图及尺寸见图24-1-12。

(6) 小型B类管状喷流换热器

1) 特性:

- ① 风量1380~4600m³/h;
- ② 烟气入口温度700~900℃;
- ③ 空气预热温度350~550℃;
- ④ 双根、U形连接、叉流、四级串联;
- ⑤ 适用于锻造炉、室式加热炉。

2) 规格: 见表24-1-11。

(3) 安装图及尺寸见图24-1-13。

8. 辐射导热式换热器

辐射导热式换热器的构成为了强化传热, 尽量扩大气体与固体接触表面积, 故在内外筒之间的环形间隙填入导热性好的多孔性物料。一般是以卷状钢屑或铜屑作为多孔性物体, 厚度约为30~50mm,

表24-1-10 小型A类管状喷流换热器的规格

型 号	空气流量 (m ³ /h)	换热器有效尺寸, 高×宽×长(mm)	冷风管进口直径 (mm)	热风管出口直径 (mm)
4IBH-4×8	1800~2300	800×812×1600	260	340
4IBH-5×8	2300~2700	800×1044×1600	300	380
4IBH-6×8	2700~3250	800×1276×1600	330	410
4IBH-7×8	3250~3680	800×1508×1600	360	450
4IBH-8×8	3680~4140	800×1624×1600	400	480
4IBH-9×8	4140~4600	800×1856×1600	430	510
4IBH-10×8	4600~5060	800×2088×1600	450	550

表24-1-11 小型B类管状喷流换热器的规格

型号	空气流量 (m³/h)	换热器有效尺寸, 高×宽×长(mm)	冷风管直径 (mm)	热风管直径 (mm)
4 BH-8×3	1380~1840	1600×812×600	260	300
4 BH-8×4	1840~2300	1600×812×800	300	340
4 BH-8×5	2300~2750	1600×812×1000	330	380
4 BH-8×6	2750~3200	1600×928×1200	360	410
4 BH-8×7	3200~3680	1600×928×1400	400	450
4 BH-8×8	3680~4140	1600×928×1600	430	480
4 BH-8×9	4140~4600	1600×928×1800	450	500

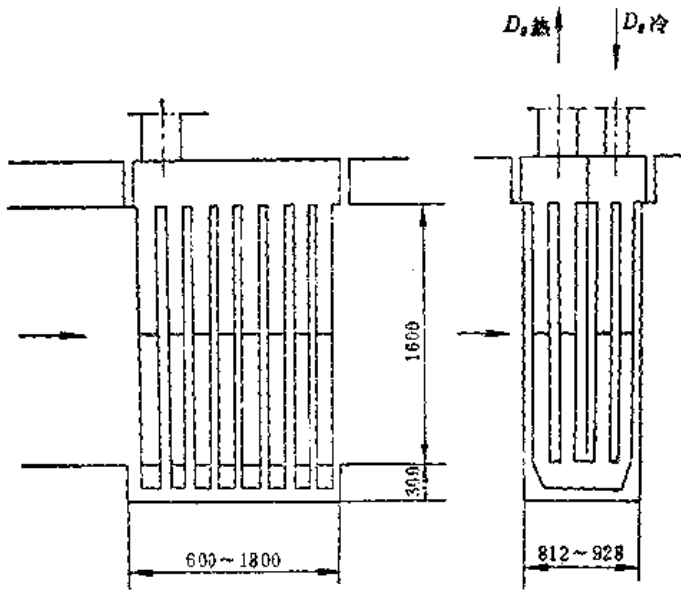


图24-1-13 小型B类管状喷流换热器安装图

通过气体的流速（不考虑多孔物）为2~6m/s。其结构见图24-1-14。

(三) 换热器的核算

1. 核算项目

(1) 换热器所需传热面积;

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_d} \quad (\text{m}^2)$$

式中 F ——传热面积(m²);
 Q ——预热气体所需的热量(W);
 Δt_d ——对数平均温度差(°C);
 K ——换热器总传热系数(W/(m²·°C))。

(2) 预热气体所需的热量;

$$Q = V \Delta t C \quad (\text{kJ/h})$$

式中 V ——预热的气体量(m³/h);
 Δt ——预热器在换热器内提高的温度(°C);
 C ——预热气体的热容量(kJ/(m³·°C))。
 预热空气所需热量也可由图24-1-15查出⊙。

(3) 求对数平均温度差;

$$\Delta t_d = \frac{\Delta t_{12} - \Delta t_{21}}{\ln \frac{\Delta t_{12}}{\Delta t_{21}}} = \frac{\Delta t_{12} - \Delta t_{21}}{2.31 \lg \frac{\Delta t_{12}}{\Delta t_{21}}} \quad (\text{°C})$$

顺流时(图24-1-16 a): $\Delta t_{12} = t_{11} - t_{21}$
 $\Delta t_{21} = t_{12} - t_{22}$

逆流时(图24-1-16 b): $\Delta t_{12} = t_{11} - t_{22}$
 $\Delta t_{21} = t_{12} - t_{21}$

错流时(图24-1-16 c), 将求出逆流温差(Δt_d)乘以修正系数 ψ 。

式中 t_{11}, t_{12} ——进出预热器烟气温(°C);
 t_{21}, t_{22} ——进出预热器空气(或煤气)温度(°C);

⊙ 1W=3.6kJ/h。

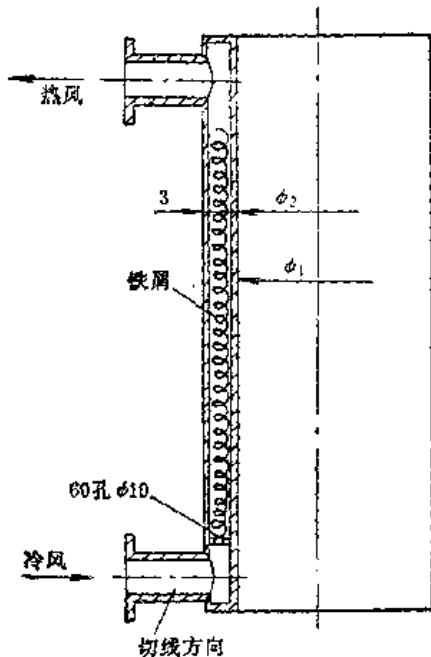
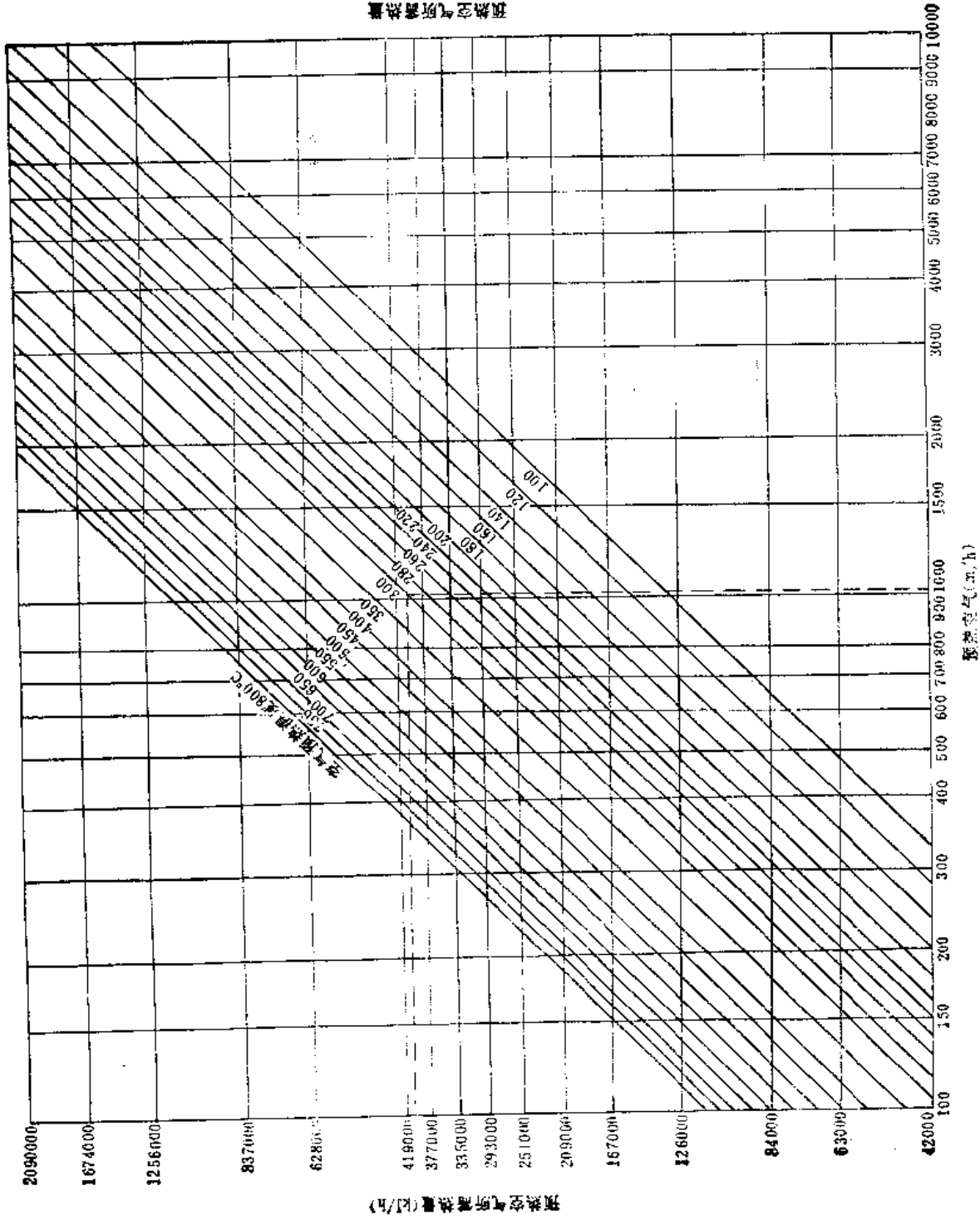


图24-1-14 辐射导热式换热器



预热空气所需热量

预热空气(m³/h)

图24-1-16 预热空气所需热量

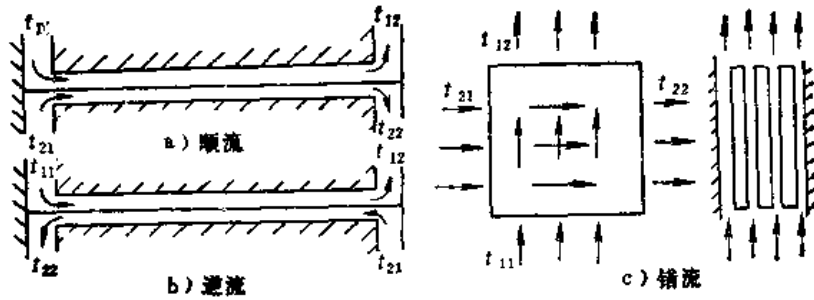


图24-1-16 气体流动方式

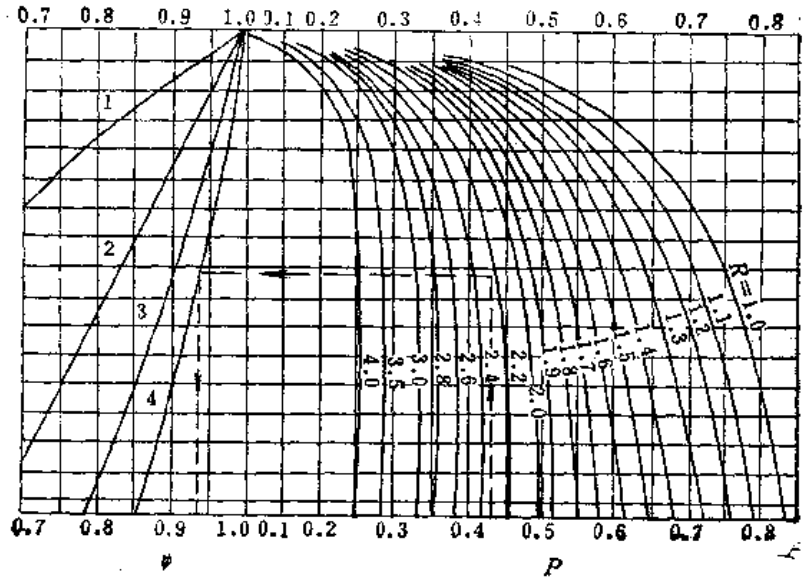


图24-1-17 错流时平均对数温度修正系数 ϕ 值

1—1个行程错流 2—2个行程错流 3—3个行程错流 4—4个行程错流

ϕ ——修正系数 (查图24-1-17), 与下列参数有关

$$P = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}}, \quad R = \frac{t_{11} - t_{12}}{t_{22} - t_{21}}$$

当 $\Delta t_{\text{始}}$ 、 $\Delta t_{\text{终}}$ 算出后, Δt_d 也可由图 24-1-18 查出。

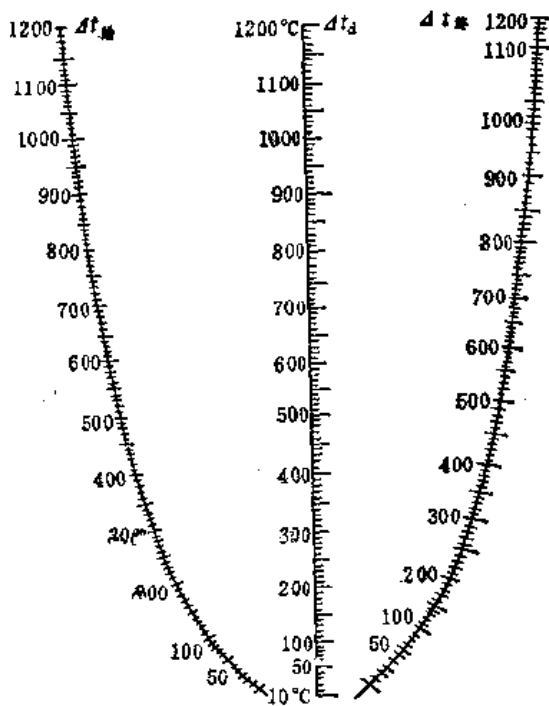


图24-1-18 平均对数温差

(4) 换热器总传热系数(K):

- 1) “17.5”型针管K值由图24-1-19查出。
- 2) “28”型针管K值由图24-1-20查出。
- 3) 单面针管K值由图24-1-21查出。
- 4) 块状保护管K值由图24-1-22查出。
- 5) 块状换热器K值由图24-1-23查出。
- 6) 管状换热器K值由图24-1-24查出。

(5) 换热器壁温(t_s):

$$t_s = t_{22} + (t_{12} - t_{22}) \frac{1}{1 + \frac{\alpha_k}{\alpha_y}} \quad (^\circ\text{C})$$

式中 t_{12} ——进换热器烟气温度($^\circ\text{C}$);

t_{22} ——出换热器空气(或煤气)温度($^\circ\text{C}$);

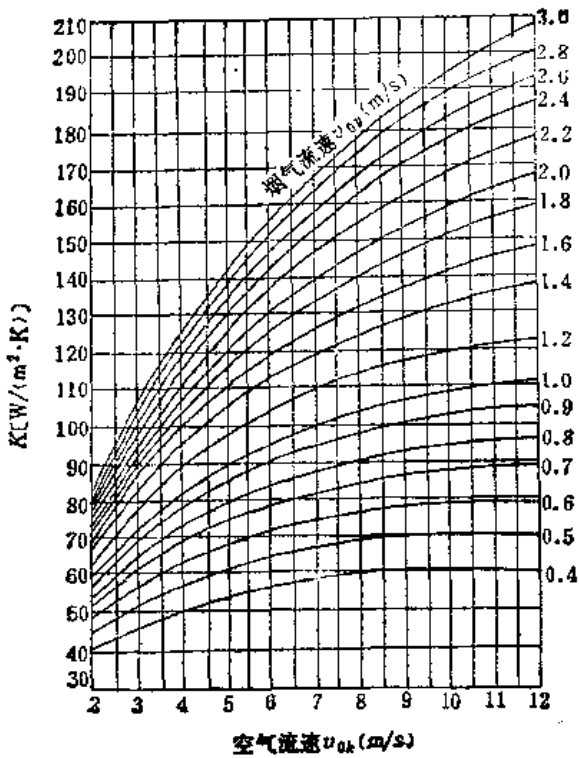


图24-1-19 “17.5”型针管K值

使用说明：1.本表按进换热器最高温度为800~900℃绘成
2.K为燃用净发生炉煤气时的值。燃油及脏煤气应乘系数0.75，燃煤和煤粉应乘以系数0.5

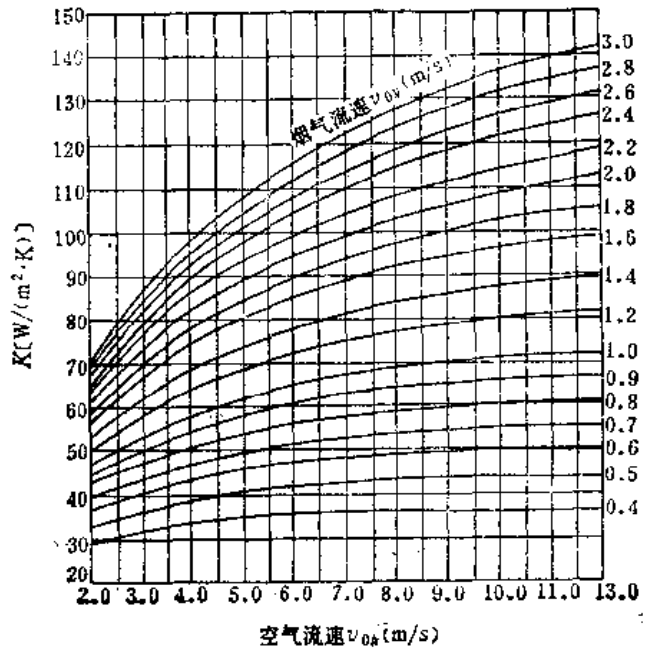


图24-1-20 “28”型针管K值

使用说明：1.本表按进换热器最高烟气温度的为800~900℃绘成
2.K为燃用净发生炉煤气时的数值。燃油及脏煤气应乘系数0.8，燃煤和煤粉应乘系数0.65

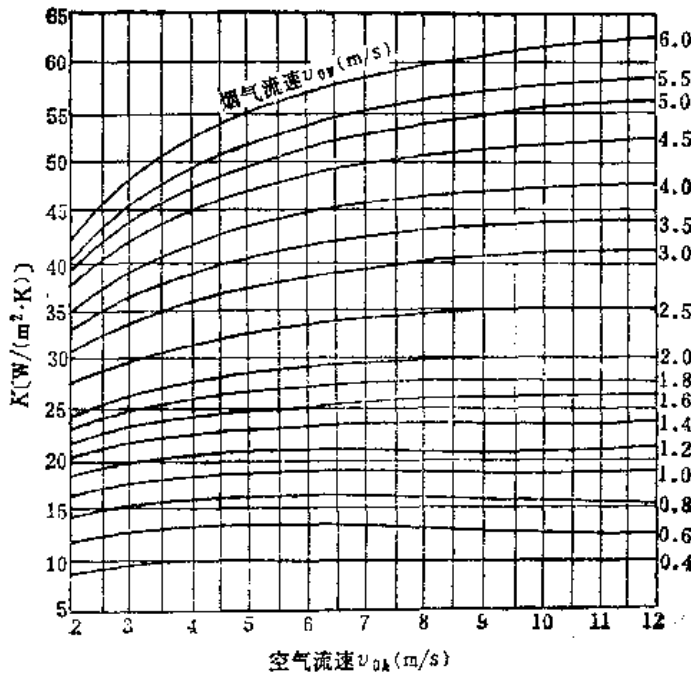


图24-1-21 单面针管K值

使用说明：1.本表按进换热器最高烟气温度的为800~900℃绘成
2.K为燃用净发生炉煤气时的数值。燃油及脏煤气应乘系数0.8，燃煤和煤粉应乘系数0.65。

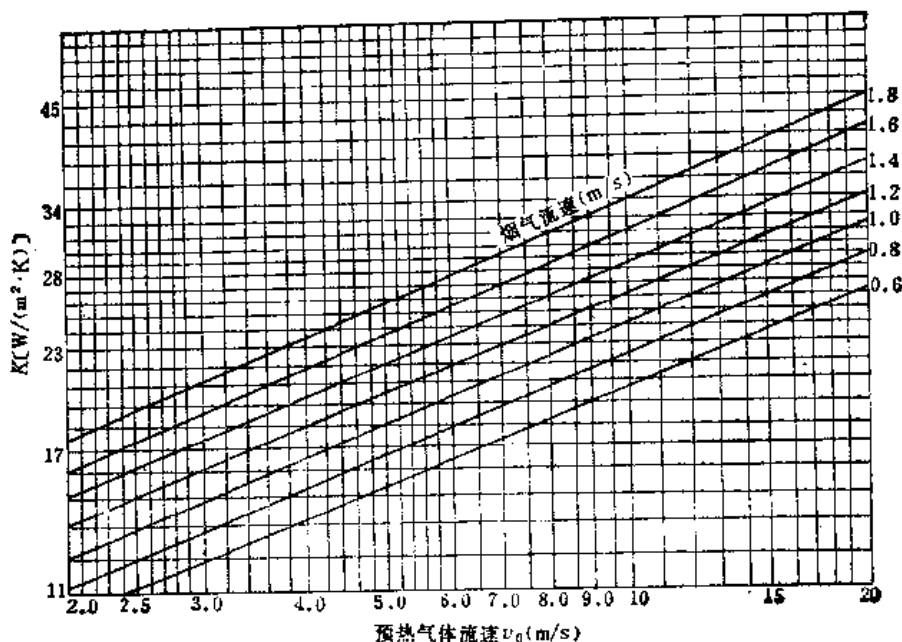


图24-1-22 块状保护管K值

使用说明：适用烟气温度1000℃，当进入烟气温度900℃时，乘以系数0.9

α_x ——空气（或煤气）传热系数(W/(m²·℃))，

α_y ——烟气传热系数(W/(m²·℃))。

如进入换热器的烟气温度不高于表24-1-1数据时，可不验算换热器壁温。

2. 核算实例

例1 在室状锻造炉有一个单程块状、整体换热器的型式（图24-1-2），其预热是洁净的发生炉煤气，流量为300m³/h，要求预热温度300℃，求所需换热面积。

1) 煤气预热到300℃时所需的热量：

$$Q = V \cdot \Delta t \cdot C \quad (\text{kJ/h})$$

已知：V = 300m³/h $t_{21} = 20^\circ\text{C}$ $t_{22} = 300^\circ\text{C}$

故 C = 1.43 kJ/(m³·℃)

$$\Delta t = 300 - 20 = 280^\circ\text{C}$$

$$\text{则 } Q = 300 \times 280 \times 1.43 = 120278 \text{ kJ/h}$$

2) 求对数平均温差：

已知： $t_{11} = 900^\circ\text{C}$ $t_{12} = 600^\circ\text{C}$

$t_{21} = 20^\circ\text{C}$ $t_{22} = 300^\circ\text{C}$

$$\Delta t_{\text{始}} = t_{11} - t_{22} = 900 - 300 = 600^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{终}} = t_{12} - t_{21} = 600 - 20 = 580^\circ\text{C}$$

查图24-1-17得 $\psi = 0.96$

$$\text{则 } \Delta t_s = \psi \cdot \frac{\Delta t_{\text{始}} - \Delta t_{\text{终}}}{1 - \frac{\Delta t_{\text{始}}}{\Delta t_{\text{终}}}} = 0.96 \times \frac{600 - 580}{1 - \frac{600}{580}} = 558^\circ\text{C}$$

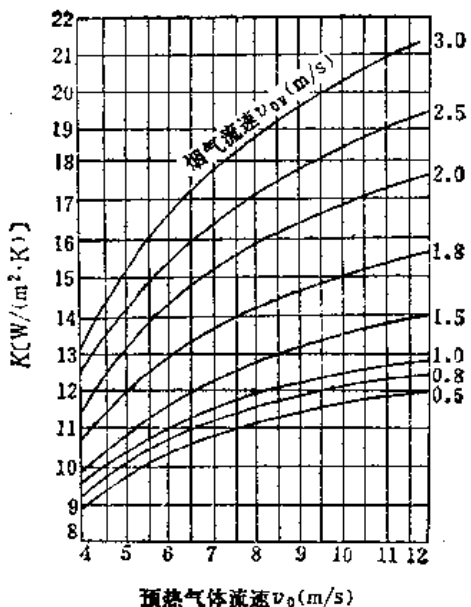


图24-1-23 块状换热器传热系数K值

使用说明：

1. 本表按进换热器最高温度 $t_{11} = 900^\circ\text{C}$ 绘成

2. 实际传热系数 $K = K' \eta_1 \eta_2 \eta_3$

η_1 —温度系数： $t_{11} = 1000^\circ\text{C}$ 时 $\eta_1 = 1.05$

$t_{11} = 800^\circ\text{C}$ 时 $\eta_1 = 0.95$

η_2 —行程系数：单行程为1.2，双行程为1.4；

η_3 —燃料系数：油及脏煤气0.9，煤及煤粉0.65
净煤气为1。

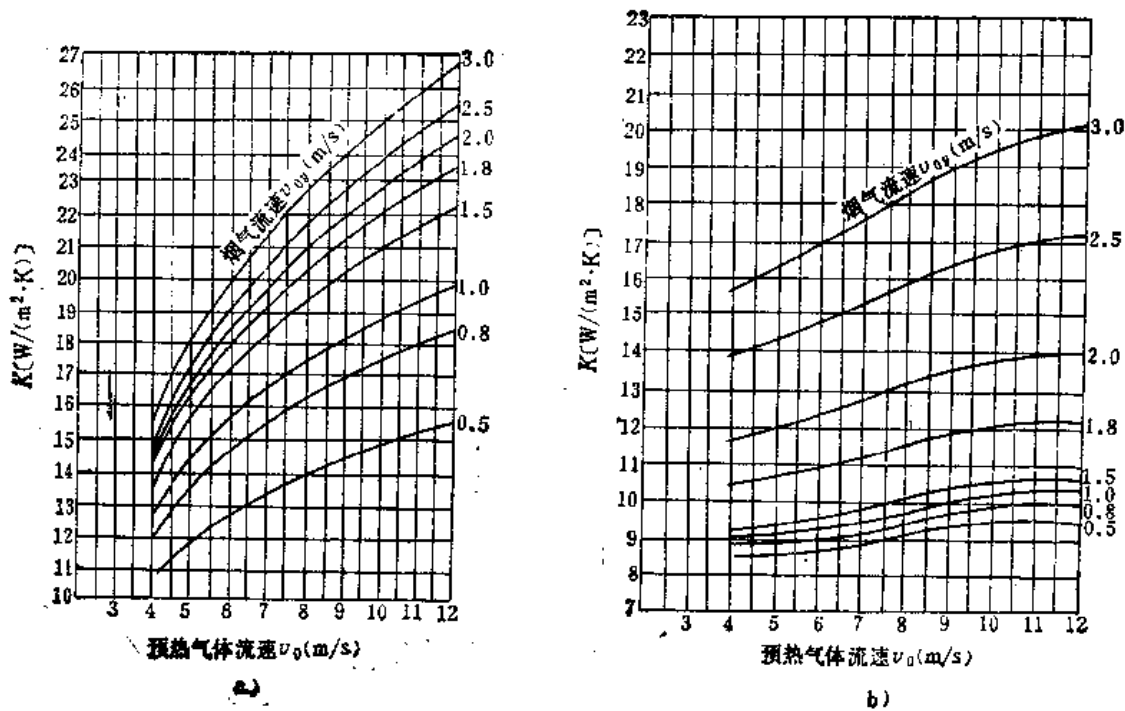


图24-1-24 管状换热器传热系数K值

a) 空气在管内流动, 烟气在管外流动 b) 空气在管外流动, 烟气在管内流动

使用说明: 1. 本表按进换热器的烟气最高温度 $t_{11}=750^{\circ}\text{C}$ 绘成;

2. 烟气温度为 850°C 时乘系数1.05, 650°C 时乘系数0.95

3) 所需换热面积:

已知: 煤气流速 $v = 8\text{ m/s}$

烟气流速 $v_y = 1.8\text{ m/s}$

查图24-1-19得 $K = 14.2\text{ W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$

$$Q = \frac{120278}{3.6} = 33410\text{ W}$$

$$\therefore F = \frac{Q}{K\Delta t_d} = \frac{33410}{14.2 \times 558} = 4.22\text{ m}^2$$

例2 筒式筋片辐射换热器, 预热空气量 $6000(\text{m}^3/\text{h})$, 空气预热温度 350°C 。求换热器所需面积和高度。

1) 已知条件:

- ① 烟气入口温度: $t_{11} = 950^{\circ}\text{C}$;
- ② 烟气出口温度: $t_{12} = 750^{\circ}\text{C}$;
- ③ 空气进口温度: $t_{21} = 30^{\circ}\text{C}$;
- ④ 空气出口温度: $t_{22} = 350^{\circ}\text{C}$;
- ⑤ 预热空气量: $V_1 = 6000\text{ m}^3$;
- ⑥ 空气热容量: $C_{850} = 471.85(\text{kJ}/\text{m}^3)$,
 $C_{30} = 40.2(\text{kJ}/\text{m}^3)$;
- ⑦ 换热器气流方式: 顺流;
- ⑧ 换热器内筒直径: $\phi = 1300(\text{mm})$;

⑨ 空气在换热器内流速: $v_2 = 15(\text{m}/\text{s})$ 。

2) 预热空气所需热量:

$$Q = 6000(471.85 - 40.2) = 2589900\text{ kJ/h}$$

$$= \frac{2589900}{3.6} = 719416\text{ W}$$

3) 求对数平均温度差:

$$\Delta t_m = t_{11} - t_{21} = 950 - 30 = 920^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_n = t_{12} - t_{22} = 700 - 350 = 350^{\circ}\text{C}$$

查图24-1-18得 $\Delta t_d = 600^{\circ}\text{C}$

4) 传热系数(K): 参考表24-1-2, 一般为 $K = 30 \sim 35$, 取其平均值比较合适:

$$K = 32.5\text{ W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$$

5) 所需面积:

$$F = \frac{719416}{32.5 \times 600} = 37\text{ m}^2$$

6) 换热器有效高度:

$$H = \frac{F}{\pi D} = \frac{37}{3.14 \times 1.3} = 9\text{ m}$$

(四) 换热器常见故障分析

换热器的常见故障分析列于表24-1-12。

表24-1-12 换热器常见故障分析

换热器类型			
针 状	块 状	辐射、喷流辐射、 对流辐射	管 状 管状喷流
1. 气体经换热器后压力降严重			
1. 内针壁挂灰, 严重堵塞气道 2. 法兰之间密封填料烧损, 漏气严重	1. 内管粘满焦油和灰, 堵塞气道 2. 换热器积水超过三分之一高度, 堵塞气道	1. 环形气道与传热筋片, 挂灰严重, 堵塞气道 2. 内外壁变形严重, 使通道面积减小 3. 环形气道底部积灰和渣严重, 气体进口处被堵塞 4. 喷流小孔被堵塞	1. 管内挂满焦油和灰, 气道被堵 2. 积水严重, 气道被堵死超过1/3 3. 喷流小孔堵塞
2. 预热气体温度下降			
1. 烟道挂灰严重, 影响传热 2. 内壁针间挂满灰尘, 减少加热面积和传热效果 3. 外壁针被烧毁, 影响传热	1. 方孔烟道挂灰或结渣严重, 影响传热 2. 内管粘满焦油或结焦, 减少加热面和传热效果 3. 被预热气体带进大量水分	1. 烟气侧内筒壁挂灰或结渣严重, 影响传热 2. 空气侧内外筒壁和传热筋片的氧化和挂灰, 减小加热面积和传热效果 3. 外壁保温层损坏严重	1. 烟道挂灰结炭严重 2. 钢管内粘灰结焦 3. 预热体带进大量水分
3. 不正常烧坏			
1. 烟气温度过高 2. 安装位置不合适, 火焰直接接触换热器 3. 严重漏气 4. 烟气中有可燃气体, 在换热器中燃烧	1. 烟气中的不完全燃烧气体在换热器中燃烧 2. 内管堵塞严重, 器体得不到冷却, 因过热而烧坏 3. 器体受热裂缝, 逸出大量煤气, 在器内燃烧 4. 不合理关阀	1. 热膨胀问题没有得到合理解决, 产生严重变形, 焊缝开裂 2. 筒壁材质选择不当 3. 烟气侧内筒壁底部温度过高 4. 关风操作不当	1. 烟气温度过高 2. 安装位置不当 3. 焊缝烧裂, 大量逸出可燃气体, 在器体中燃烧 4. 内管堵塞严重, 器壁得不到冷却, 因过热而烧坏

第2节 炉子管道和 排烟系统的修理

(一) 炉子管道的修理

炉子管道是指炉子本身配套管道及其有关的附件装置, 包括炉子燃气管道、燃油管道、空气管道、冷却水管道、蒸汽管道、压缩空气管道、保护气体管道以及附件装置。日常维修的主要项目有:

1) 发现和排除管道渗漏现象。渗漏分外漏和内漏; 外漏是指管道内介质漏出管外, 常出现在法兰及接头、阀门、管道及焊口的裂纹等处; 内漏是截止阀、调节阀等各种阀件, 截断不严密, 造成介质在管道内泄漏。不论外漏或内漏, 都能造成动

能浪费; 有毒及易燃易爆介质管道泄漏, 甚至会发生人身中毒及爆炸燃烧等事故, 因此, 对泄漏要及时发现及时排除。

2) 排除影响炉子正常运行的各种故障。例如管内积污、积水、气塞, 使管路不畅通, 各种阀件操作不灵, 指示不明等临时故障。

3) 炉子设备在调整时要改善炉子性能, 或为了加强安全措施, 对炉子管道要进行合理改进和完善。

炉子管道的修理, 往往与炉子的大、中、小修同时进行。但管道有其特性, 特别是燃气管道, 因必须保证严密性, 不应拘泥于同炉子一起检修, 要经常保持良好状态, 随时发现损坏, 随时修理。管道及附件如能确认技术状态良好, 炉子进行中、小修时则不必要一定拆修管道。现从以下的几个方面说

表24-2-1 炉子管道检修项目

管道分类	检 修 项 目		
	小 修	中 修	大 修
煤气、保护气体管道	1.清扫和清洗管道上的污物 2.调整紧固支架螺栓 3.检查阀门、伸缩节、充塞填料、加油 4.更换联接处腐蚀的衬垫，堵塞漏气处 5.检查清理排水器、排水坑和地沟污物 6.检修盲板是否变形，压力表是否损坏 7.修补保温和刷漆	1.拆开管道联接处，更换部分腐蚀管子 2.检修或更换不良的阀门和衬垫 3.调整更换支架螺栓 4.检修排水器、排水坑 5.清洗管道、刷漆、保温 6.试压	1.更换和修理管道及阀门达50%以上 2.更换全部衬垫，清洗管道 3.试压、保温、刷漆
燃油管道	1.检修管道及附件漏泄处 2.冲洗管道沉渣、过滤器杂物 3.检查调整紧固支架螺栓 4.检修衬垫、阀门、充塞填料 5.修补管道绝热层，局部刷漆 6.检修压力表、温度表	1.拆开管子清洗管道 2.更换腐蚀的管子 3.修理或更换阀门、法兰、接头支架螺栓、衬垫、过滤器等 4.试压、保温、刷漆	1.更换或修理管道及附件达50%以上 2.更换所有衬垫 3.试压、保温、刷漆
冷却水管道	1.消除表面污物 2.检修阀门灵活可靠，换衬垫 3.校正压力表 4.检修联接处漏损部分 5.修理支架、附件、防寒保温、刷漆	1.拆开管道修理、更换附件 2.修理支、吊、托架 3.更换管接头和腐蚀的衬垫、螺栓 4.防寒保温、试压、刷漆	1.更换管道及附件达50%以上 2.试压、保温、刷漆
蒸汽管道	1.清除表面污物 2.消除管道漏点，更换腐蚀衬垫 3.检修阀门，充塞填料并加油 4.检修疏水器、减压阀、压力表、温度计等 5.检修支架螺栓是否牢靠 6.修补脱落的保温层，刷漆	1.拆开管道进行清洗，清除内部垢物 2.检修或更换管道、阀门、疏水器、减压阀、压力表、温度计 3.更换衬垫、填料，修理支架螺栓 4.试压、保温、刷漆	1.更换管道及附件达50%以上 2.试压、保温、刷漆
空气管道	1.清除管子内、外的灰尘和垢物 2.检查调整支、托架，消除不严密处 3.检修阀门附件，充塞填料，紧固各部分螺栓 4.修补保温层、局部刷漆	1.拆开管道及附件，清理垢物 2.检修或更换局部管道，阀门紧固件及衬垫 3.保温、刷漆	1.更换管道及附件达30%以上 2.保温、刷漆

明炉子管道修理工作的内容、方法及注意的工作要点：

1. 修理项目

炉子管道的检修项目见表24-2-1。

表24-2-1所列的修理项目，还应该根据各种炉子的特点、季节，适当注意增删。

关于管道及阀门的材料和修理项目技术，请参阅本手册第5卷第6篇工业管道的修理部分。

2. 炉子燃气管道的修理

图24-2-1为一般中小型燃气炉的炉子配用燃气管道示意图。阀门1属于车间燃气网络管道，阀门1以后（按气体流向，下同）的则属于炉子管道。修理炉子燃气管道必须注意的事项有：

1) 关闭阀门1，切断燃气来源。如炉子管道大修或中修，则在阀门1后的法兰盘间，要堵上盲板2，以保证隔断燃气，确保修理人员的安全。如属小修可不堵盲板，但必须开启放散管阀门3。

2) 放水罐4为贮存、排放管道中积水用，其进、出口端各有一个阀门。当燃气在管道中流动时，不允许两个阀门同时打开，只允许一开一闭。当下端阀门打开不见水时应立即关闭。

3) 活接头5（也可能是法兰盘）是燃气烧嘴连接炉前管道的必需零件，但这个零件在燃气管道试压时特别容易疏忽，以致在使用时发生漏燃气事故，为此，必须对这个零件的密封垫制造和安装要特别注意严密性。当第一次通燃气时尤应注意。

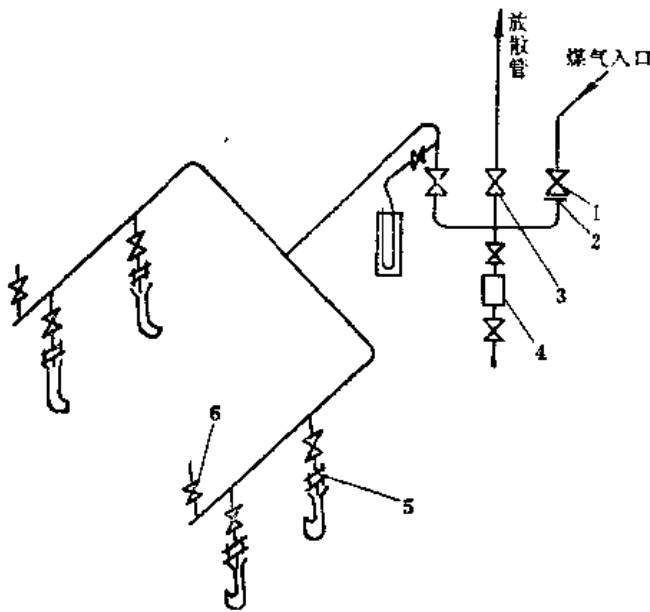


图24-2-1 炉子煤气管道示意图

1—阀门 2—盲板 3—阀门 4—放水罐
5—活接头 6—阀门

4) 燃气管道拆卸前,要用蒸汽或压缩空气进行吹洗,由放散管排出。吹洗前要注意燃气压力表是否卸下,表前阀门是否关闭,以免高压气体损坏压力表或把U形表内的水银吹跑。放散管阀门要全开,其他阀门应关闭。吹洗管接头应选择管道末端的阀门接口,如图24-2-1中阀门6。

5) 燃气阀门经过修理后,在安装到管道前必须经过单独试漏。安装人员如无确切试漏的合格证明,应进行抽试或全部试验,以避免重复返工。

6) 管道安装前要清除管道内的杂物脏物,避免安装完后发生堵塞现象。

7) 燃气管道试压分强度试验及密封试验二次进行。强度试验一般注意焊接强度,用0.2MPa的压缩空气通入管道,用手锤在管道上所有焊缝二边100~150mm左右轻击,检查焊缝有否泄漏。试压用压力表可用簧式圆形压力表。

8) 密封试验应当从严,试验要求必须认真执行。当燃气管道使用压力小于20kPa时,试验压力需50kPa,保持30min,如下降0.5kPa以内,可认为密封试验合格,试验应用U型水银柱压力表才能显示读数;密封试验也可用20kPa的U型压力计测量,以15分钟下降不超过0.15kPa的读数,也可认为合格。

9) 如燃气管道有保温绝热层,必须先经过管道试压后才进行保温层包扎或修理。

3. 炉子空气管道的修理

炉子空气管道如果按原设备修复,仅用一般修复技术即可。但一般对炉子空气管道不够重视,造成炉子工作不正常、不经济。经常发生有如下几种情况:

1) 漏气不及时修理。一般对空气没有使周围空间被污染和被毒害的顾虑,所以阀门内漏与外漏的情况较多。甚至在漏损量影响炉子正常燃烧时,往往把加大鼓风机作为主要措施而不修理。

2) 往往不考虑鼓风机特性和要求,不合理使用鼓风机,造成燃烧不正常或浪费动能。

3) 对空气管道制造安装要求不严。往往为了施工方便造成管路阻力损失大、风量不足等弊病。

现举某厂一重油燃料炉为例。配用8-18型6号风机一台,电机功率为17kW,转速为2900 r/min,按风机性能出力,全风压应为8.45kPa,风量为3440~3800m³/h,管路安装如图24-2-2。在使用中,炉子油嘴燃烧冒黑烟,炉温上不去,炉子风量明显不足。经实测风量只有1600m³/h,仅为额定的43%,在风机的进风口处有出风现象。经过分析,虽然鼓风机选用合适,问题是管道的设计不合理。因为这种鼓风机出口尺寸都较小,风速很大,不能用与风机出口同样大小的尺寸去配风管,而要

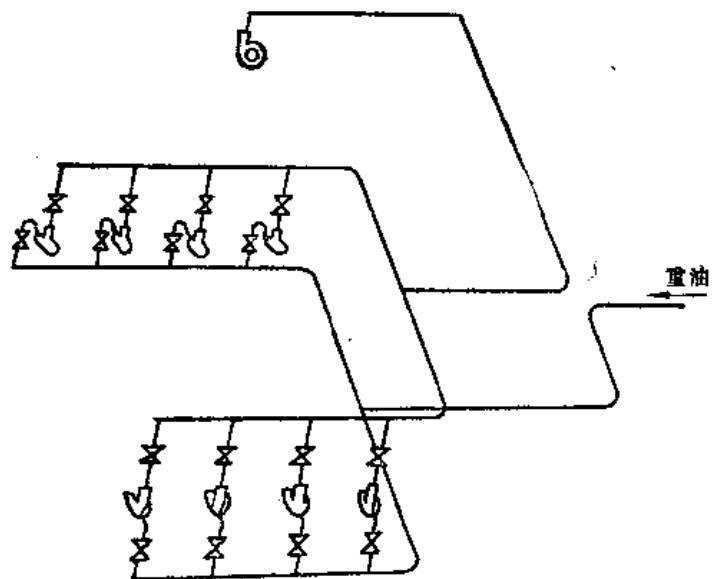


图24-2-2 炉子重油管路的安装

逐渐扩口，使整条管路的风速控制在 $10\sim 15\text{ m/s}$ 。在分叉、拐弯处不应用直角弯形，要用圆弧弯，以减少局部阻力损失。在修理时把原总管（ $150\times 150\text{ mm}$ 方管）改成 $\phi 300\text{ mm}$ ，2根支管由 100 mm 改成 $\phi 200\text{ mm}$ ，三通由直角弯形改成圆弧形，8根 $1''$ 分管改成 $2''$ 管，直角弯头改成半径大于4倍管径的圆弧弯。修改后计算总管风速为 15 m/s ，支管风速为 17 m/s ，经实测总风量达到 $3600\text{ m}^3/\text{h}$ ，达到了鼓风机出力要求，炉子缺陷也就迎刃而解。由此可见，空气管路在选配和维修时应注意空气管路的阻力损失，正确地安排空气管路，同时要注意机械漏损。

（二）排烟系统的修理

1. 排烟系统的分类

为了保证炉子的正常工作，需使炉内的燃烧产物及时地排出炉外，以保证炉子的连续燃烧，此装置一般称为排烟系统。通常，排烟系统可作如下分类：

1) 按其所利用的能量来源不同，分为自然排烟和机械排烟。自然排烟是将烟气利用烟囱所具有的几何压头使气体流动；机械排烟是用引风机或喷射器来供给能量使气体流动。

2) 按排烟方式不同，一般分为上排烟和下排烟。对于中小型燃料炉可采用上排烟，即将烟气直接排入车间，如果烟量较大，可用集烟罩。对于大、中型燃气炉以及多数烧油、烧煤的炉子，多采用下排烟。

2. 烟道的维修

1) 烟道必须保证有可靠的严密性，以防冷空气吸入烟道内，降低烟气温度，并增加了流量，以致急剧地恶化了烟囱的工作。

2) 当烟道内烟气温度较低和抽力较高时，采用金属管，内衬以耐火材料的烟道结构较好。用在水位高的地方，即可防水又可防止抽入冷空气。

3) 根据炉子操作制度的不同，烟道内定时清灰，以防烟道截面减小，影响抽气量。

4) 为了便于清扫烟道和施工，必须在烟道上和烟囱附近的烟道上留出人孔。人孔用双层盖板覆盖，两层之间要填砂密封，以防冷气抽入。

5) 烟道由于长久使用，烟道砌体会出现裂缝或拱顶砖脱落，这时应先将被清理处清理干净，然后更换新砖或用耐火砂浆填塞裂缝。

6) 烟道渗水严重时，即降低了烟气温度，又减小了烟道截面，应当重新作防水层。

7) 新的排烟系统投入使用前，应进行烘干，以防急热干裂。

3. 烟囱的维修

在一般情况下，砖烟囱由基础、囱身、内衬、隔热层、爬梯、紧箍圈、避雷装置和信号台等部分组成。根据烟囱的用途、位置及尺寸，有时隔热层、信号台和紧箍圈可以不设。对烟囱的维修是：

1) 烟囱应在设计的烟气允许最高温度下运行，并应保证燃料在炉内完全燃烧。

2) 在未预先检查烟囱基础和囱身坚固性之前，不许在囱身上穿孔。

3) 当炉子使用固体燃料，而抽力能带走大量的烟灰和微粒时，烟道进入烟囱的正对面处，会因烟灰及其微粒的冲刷而损坏，此处应用高强度、耐腐蚀性好的砖砌筑并附加保护内衬；应定期检查附加保护内衬的使用情况，一旦发现损坏，应及时进行修复。

4) 烟囱基础下面的地基应严防受地下水、地面水和生产用水的冲刷。

5) 当发现烟囱砌体有裂缝时，必须及时采取措施予以修复。垂直裂缝或斜裂缝一般是由于囱身内可燃气体爆炸引起，或是由于囱身内的温度应力引起，最有效的防止办法是在砌筑囱身时加紧箍圈，并予以拧紧。在烟囱砌体内发生贯通孔时，应分别在损坏的部分安装紧箍圈或垂直连接器来加固，然后再把损坏的砌体加以补修。

6) 烟囱囱首由于长时间受到烟气和雨水的冲刷而逐渐损坏。有时囱首和烟囱上部也会因暴雷放电而损坏。受热比较厉害的烟囱内衬要比囱身破坏得更厉害，因此砖烟囱每隔 $2\sim 3$ 年应进行一次检查。

7) 在烘烤或使用烟囱过程中发生的裂缝，宽度在 30 mm 以内的，可用水泥砂浆或混合砂浆填塞。超过 30 mm 的裂缝要用砖和砂浆填塞；开裂的砖要换新砖，然后再浇灌砂浆。在填塞裂缝时，要先将裂缝清理干净，并浇水润湿，填塞及浇灌裂缝时应由下向上进行，在填塞裂缝的同时应把紧箍圈紧固到极点。

8) 紧箍圈应每3年检查一次，锈蚀部件应及时更换，更换紧箍圈应由下向上进行，并同时紧固紧箍圈。

9) 发现烟囱周围土壤有变化, 或烟囱垂直度有变化时, 应请专业人员监视烟囱垂直度的变化, 必要时可采取措施矫正烟囱。

10) 为了保证避雷装置能起到应有的作用, 必须每3年检查一次。检修时应测量避雷装置的电阻, 并保证它的部件接触良好, 锈蚀的零部件应及时更换。

11) 烟囱所有金属件应每3年刷漆一次。

12) 如果是金属烟囱, 它的支承结构是外壳和基础。所以应经常观察烟囱的基础和外壳的状态。为防止烟囱的外壳受到热烟气的侵蚀, 金属烟囱应有内衬。每2年应全面检查一次金属烟囱内衬的损坏情况, 并根据损坏情况及时进行检修。

4. 自然排烟系统的核算

自然排烟系统一般包括: 烟道、闸门及烟囱(图24-2-3)。

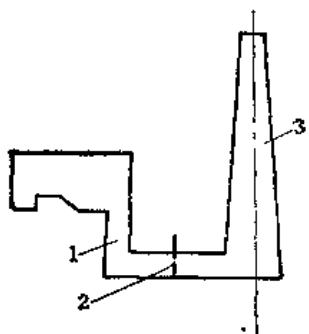


图24-2-3 自然排烟系统图
1—烟道 2—闸门 3—烟囱

(1) 烟道 一般用砖或水泥建筑。烟道的断面积可由下式决定:

$$F = \frac{V_0 + \Delta V}{W_0}$$

式中 F ——烟道断面积(m^2);

V_0 ——废气量, 可由燃料用量确定(m^3/s);

ΔV ——烟道缝隙吸入空气量(见表24-2-2);

W_0 ——废气流速, 由废气温度选定, 一般废气温度: $600\sim 800^\circ\text{C}$, $W_0 = 1.5\text{ m/s}$; $300\sim 400^\circ\text{C}$, $W_0 = 2.5\text{ m/s}$ 。

烟道有标准尺寸, 算出断面积便可从表24-2-3查出尺寸。

(2) 闸门 为了调节灶膛压力应安装废气闸门。废气温度 $400\sim 600^\circ\text{C}$ 时闸门用灰口铸铁或铸钢件。 $600\sim 700^\circ\text{C}$ 时则需用水冷闸门、衬砖闸门或耐热金属闸门。闸门形式一般有自动回转式闸门; 人工操作的倾斜式闸门; 前者严密性较好, 适合于自动

表24-2-2 烟道缝隙吸入空气量

烟道缝隙的部位	一个缝隙吸入空气量 (m^3/s)
烟道闸门缝隙	0.1~0.15
炉后烟道检查口	0.15~0.2
烟道上检查口	0.2~0.4
靠近烟道根部的检查口	0.5~0.6

调节炉压。闸门的维护和修理, 见本卷第22章炉用机械部分。

(3) 烟囱的核算 近似核算可先求出烟囱的抽力, 然后根据图表求出烟囱的高度。

1) $h_{抽力}$ 的计算: 烟囱的抽力应等于炉膛到烟囱底部的全部阻力之和。

$$\Sigma h_{抽力} = \Sigma h_{局} + \Sigma h_{摩} + \Sigma \Delta h_{动} + \Sigma \Delta h_{几} \quad (\text{Pa})$$

式中 $\Sigma h_{局}$ ——废气流动局部阻力之和(Pa);

$\Sigma h_{摩}$ ——废气流动摩擦阻力损失之和(Pa);

$\Sigma \Delta h_{动}$ ——废气的动压头增量(Pa);

$\Sigma \Delta h_{几}$ ——废气在烟道内的几何压头增量(Pa)。

抽力计算的已知条件是烟道的布置和尺寸、废气的温度、重度和流量。系统复杂时建议分段计算, 每段包括一个局部阻力损失。为计算方便, 常用烟道总阻力计算表(见表24-2-4)。

核算过程常用数据说明:

① 废气在前进过程中的温降值见表24-2-5。

② 摩擦阻力损失系数 ξ 值: 对一般工程计算 ξ 值列于表24-2-6。

考虑到炉子的热负荷有可能增加, 以致废气量增大, 为预防烟囱抽力不足, 故取:

$$h_{抽力} = 1.2 h_{烟道总阻力}$$

如果两个或两个以上炉子共用一个烟囱, 只计算阻力最大的炉子。烟囱在冬季所形成的抽力要比夏季大, 烟囱的高度通常按夏季条件来确定。

2) 烟囱核算中物理量的确定(图4-2-4);

① 砖烟囱:

烟囱废气出口流速 w_{02} 取 $2.5\sim 3\text{ m/s}$;

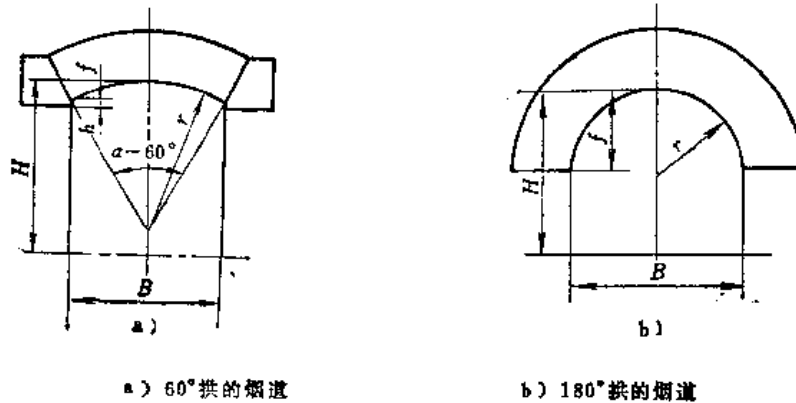
$$\text{烟囱出口面积 } f_2 = \frac{V_0 + \Delta V}{w_{02}} \text{ m}^2;$$

$$\text{烟囱出口直径 } d_2 = \sqrt{\frac{4f_2}{\pi}} \text{ m};$$

烟囱废气出口温度 $t_2 = t_1 - 1.5H^\circ\text{C}$; 一般先假定 $H = (20\sim 30)d_2$;

烟囱进口废气温度是已知值($^\circ\text{C}$);

表24-2-3 烟道标准尺寸



烟道宽 B (mm)	拱 顶 中 心 角 $\alpha = 60^\circ$					拱 顶 中 心 角 $\alpha = 180^\circ$			
	矢 高 f (mm)	拱脚砖阶 台高 A (mm)	烟道高 H (mm)	断面积 F (m^2)	周 长 S (m)	矢 高 f (mm)	烟道高 H (mm)	断面积 F (m^2)	周 长 S (m)
410	30	5	540	0.25	1.13	235	640	0.23	2.98
580	60	5	560	0.30	2.15	275	700	0.38	2.31
580	80	5	700	0.38	2.54	290	830	0.44	2.57
700	95	5	710	0.48	2.66	350	890	0.57	2.88
810	100	5	900	0.61	3.02	405	950	0.70	3.74
810	110	5	930	0.72	3.41	405	1150	0.80	3.87
930	125	5	1010	0.90	3.76	465	1210	0.94	3.88
1050	148	5	1100	1.11	4.12	525	1410	1.36	4.45
1280	170	5	1260	1.64	4.80	640	1520	1.77	5.05
1400	190	5	1420	1.90	5.33	700	1720	2.30	5.65
1510	205	5	1500	2.17	5.69	755	1840	2.53	6.05
1830	220	5	1550	2.56	6.19	815	2040	3.04	6.64

烟囱进口直径 $d_1 = 1.5d_2$ 。

② 铁烟囱: $d_1 = d_2$, 不砌砖衬铁烟囱的温降值平均为 $3 \sim 4 (^\circ C/m)$ 。

3) 求烟囱的高度 H: 知道烟囱的 $h_{阻力}$, 烟囱废气出口温度 t_2 和大气温度, 即可从图 24-2-5 求出烟囱高度 H。

5. 机械排烟装置的核算

机械排烟装置分: 直接排烟式(图24-2-6 a)及间接排烟式(图24-2-6 b)。

直接排烟时, 废气全部经排烟机排出, 因此废气温度一般不应高于 $250^\circ C$ 。需要排除高于 $300^\circ C$ 的烟气时, 则要采用耐热的排烟机或间接排烟的喷射器。

间接排烟时, 废气不经过排烟机, 此时烟囱内的废气靠喷射器内气流所形成的负压, 带动气体流动。喷射器内的介质常用空气, 由中压或高压鼓风机供应。根据由炉膛到排烟机的全路阻力之和, 来

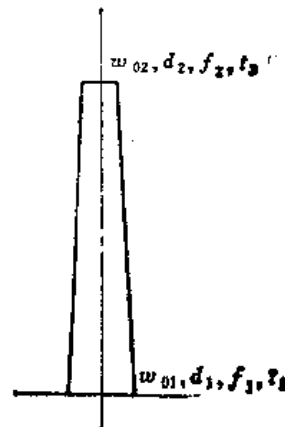


图24-2-4 烟囱核算中的物理量

选择排烟机的能力及必须形成的抽力。

由间接作用的排烟机所获得的必须抽力, 可由专门的喷射器来造成(图24-2-7)。

喷射器可用表24-2-7进行核算。

表24-2-4 烟道总阻力计算表

分段	管道尺寸						废气物理量						废气流动阻力						本段阻力							
	分段号	分段名称	管道长度 l	管道直径 d	管道面积 f	管道升降 h	管道周长 s	管重 Y ₀	流量 V ₀	进口处 t _{2进}	出口处 t _{2出}	平均 t _{2均}	进口处 w _{0进}	出口处 w _{0出}	平均 w _{0均}	几何压头增量 Δh _几	进压口头 h _进	出压口头 h _出		动压头增量 ΔP _动	摩擦阻力损失	局部阻力损失	摩擦阻力损失	本段阻力		
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
第一段	从...到...																									
第二段	从...到...																									
第三段	从...到...																									
第四段	从...到...																									
		计算公式																								
		$d = \frac{4f}{\pi}$																								
		$t_{2均} = \frac{1}{2}(t_{2进} + t_{2出})$																								
		$w_{0进} = \frac{V_0}{f_{进}}$																								
		$w_{0出} = \frac{V_0}{f_{出}}$																								
		$w_{0均} = \frac{1}{2}(w_{0进} + w_{0出})$																								
		$\Delta h_{几} = \pm h \left(\gamma_B - \frac{1 + t_{2均}}{273} \right)$																								
		$\Delta h_{几} \text{是向量, 烟道向下为负, 烟道向上为正}$																								
		$h_{动, 进} = \frac{w_{0进}^2}{2g} \gamma_{02} \left(1 + \frac{t_{2进}}{273} \right)$																								
		$h_{动, 出} = \frac{w_{0出}^2}{2g} \gamma_{02} \left(1 + \frac{t_{2出}}{273} \right)$																								
		$\Delta P_{动} = h_{动, 出} - h_{动, 进}$																								
		$h_{局} = K h_{动}$																								
		$h_{局} \text{是阻力, 在起算阻力时其符号同前}$																								
		$h_{摩} = \xi \frac{L}{2R} \frac{w_{0均}^2}{g} \left(1 + \frac{t_{2均}}{273} \right)$																								
		$h_{摩} = \xi \frac{L}{2R} \frac{w_{0均}^2}{g} \left(1 + \frac{t_{2均}}{273} \right)$																								
		$h_{总阻力}$																								

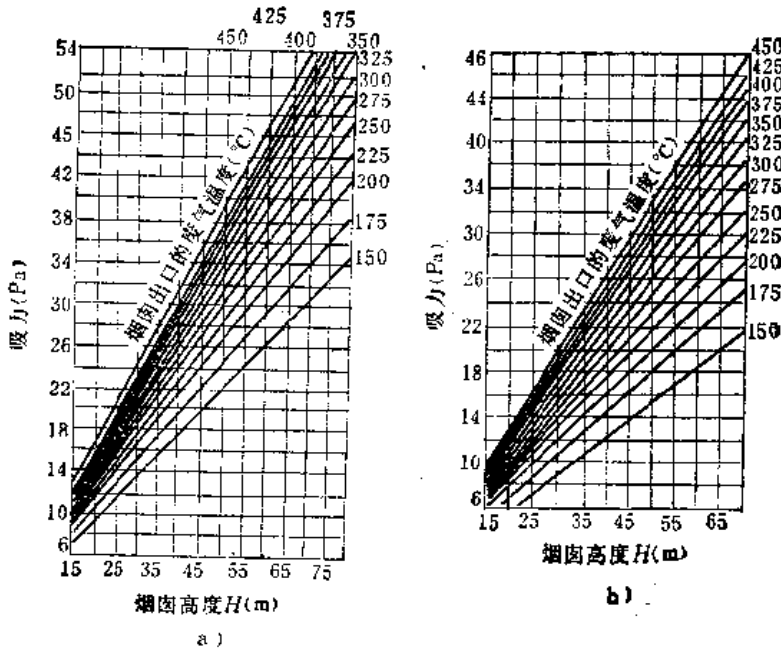


图24-2-5 烟囱高度的近似计算图表

a) 用于大气温度60°C b) 用于大气温度30°C

表24-2-5 废气温降值

废气温度 (°C)	每米长的烟道废气温降 (°C/m)		
	地下砖砌烟道	地上烟道	
		绝热	不绝热
200~300	1.5	1.5	2.5
300~400	2.0	3.0	4.5
400~500	2.5	3.5	5.5
500~600	3.0	4.5	7.0
600~700	3.5	5.5	10.0
700~800	4.5	7.0	—

表24-2-6 ξ 值

光滑金属管道	轻微氧化金属管道	使用已久有锈金属管道	砖砌管道
0.025	0.035~0.04	0.045	0.05

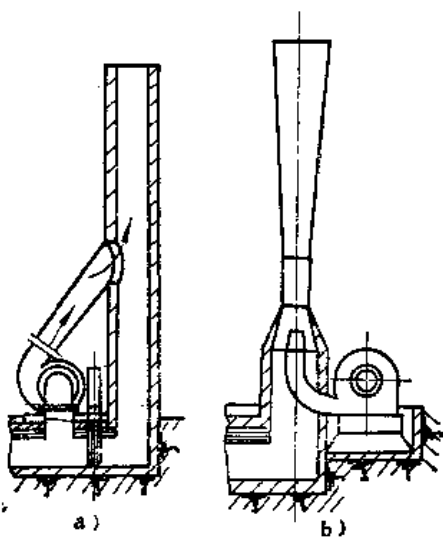


图24-2-6 排烟装置

a) 直接排烟式 b) 间接排烟式

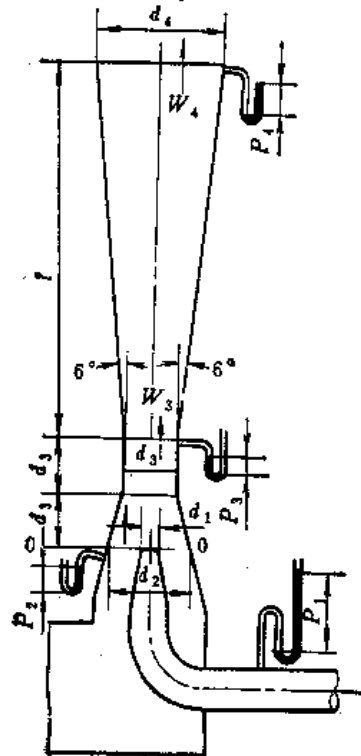


图24-2-7 喷射器简图

为了保证喷射器的正常工作，喷射器必须：

1) 经常保持喷口 d_1 及混合管颈部 d_3 的完整性，一旦发现烧损，应及时进行补焊。

2) 经常保持喷口 d_1 内介质的压力及流量。

鼓风机的选择在本手册第 7 卷有关章节已有叙述，这里不再重复。

6. 排烟系统常见故障分析

排烟系统常见故障分析列于表 24-2-8。

表 24-2-7 喷射器的计算

序号	项 目	计 算 公 式	单 位
1	喷射介质重度	$\gamma_1 = \frac{\gamma_{01}}{1 + \beta t_1}$	kg/m ³
2	吸入介质重度	$\gamma_2 = \frac{\gamma_{02}}{1 + \beta t_2}$	kg/m ³
3	吸入介质进口断面	$f_2 = \frac{v_2}{w}$	m ²
4	混合气体在扩散管进口处静压力	$p_3 = p_2 - \frac{w_2^2}{2g} \gamma_2$	Pa
5	扩散管中静压头增量	$h_{静} = p_4 - p_3$	Pa
6	喷射介质进口处流速	$w_1 = \varphi \sqrt{\frac{2g(p_1 - p_3)}{\gamma_1}}$ φ : 流速系数, 取 0.85	m/s
7	喷射介质消耗量	$p_4 - p_3 = \eta \frac{(v_1 \gamma_1 w_1 + v_2 \gamma_2 w_2)^2}{2g(v_1 \gamma_1 + v_2 \gamma_2)(v_1 + v_2)}$ 由上式解出 v_1 式中 η —— 喷射管效率, 取 0.8	m ³ /s
8	喷口截面积	$f_1 = \frac{v_1}{w_1}$	m ²
9	喷口直径	$d_1 = \sqrt{\frac{4f_1}{\pi}}$	m
10	吸入介质喷口直径	$d_2 = \sqrt{\frac{4(f_1 + f_2)}{\pi}}$	m
11	混合物重度	$\gamma_3 = \frac{v_1 \gamma_1 + v_2 \gamma_2}{v_1 + v_2}$	kg/m ³
12	混合物流速	由 $p_4 - p_3 = \eta \frac{w_3^2}{2g} \gamma_3$ 得 $w_3 = \sqrt{\frac{2g(p_4 - p_3)}{\eta \gamma_3}}$ 式中 η —— 扩散管效率, 取 0.8	m/s
13	混合管颈部截面	$f_3 = \frac{v_1 + v_2}{w_3}$	m ²
14	混合管颈部直径	$d_3 = \sqrt{\frac{4f_3}{\pi}}$	m
15	扩散管末端直径	取 $d_4 = 2.4d_3$	m
16	扩散管长度	取 $l = 7d_3$	m

表24-2-8 常见故障分析

序号	常见故障	产生原因	消除办法
1	烟道及烟囱裂缝	1. 烟道及烟囱未烘干或烘烤温度过急 2. 废气温度过高	1. 用耐火砂浆填塞裂缝及用紧箍圈紧固烟囱 2. 在不高于设计的最高温度下运行
2	排气量不足	1. 废气温度低 2. 烟道或烟囱漏气(如拱顶砖脱落、烟道漏水、积灰太多等) 3. 废气量过大	1. 按设计温度运行 2. 及时修补、清理烟道或烟囱 3. 重新核算排烟系统
3	烟囱底部正对烟道处烧损严重	高温废气的粉末冲刷造成	采用更好的耐火材料或在被冲刷处砌筑附加保护内衬
4	烟囱倾斜	烟囱周围土壤有变化	请专业人员监视烟囱垂直度变化, 必要时采取措施矫正
5	喷射器抽力下降	喉口 d_1 及混合管颈部 d_2 磨损, 或是喷射器壳局部烧损	定期检查并及时修补