

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 侧	双 侧
进换热器前烟气温度(°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	
介质预热温度(°C)	200~350	300~450	250~350	300~500	200~350	300~500	200~350	300~450
器壁最高允许使用温度(°C)	550~600	600~700	400~450	750~800	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		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 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		辐 射 对 流		P F H 喷流辐射		B H 管喷组合		辐 射 导 热	
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(600~650)		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		块 状		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)	
避免阻塞及清灰条件			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	P F H 喷流辐射	B H 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
进入烟气流最高温度 (°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	HT150
2	耐热铸铁	RTSi-5.5
3	耐热球墨铸铁	RQTSi-5.5
4	优质碳素钢	20 [#] , 20g
5	不 锈 钢	Cr18Ni9Ti
6	耐 热 钢	Cr25Ni20Si2

(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)。

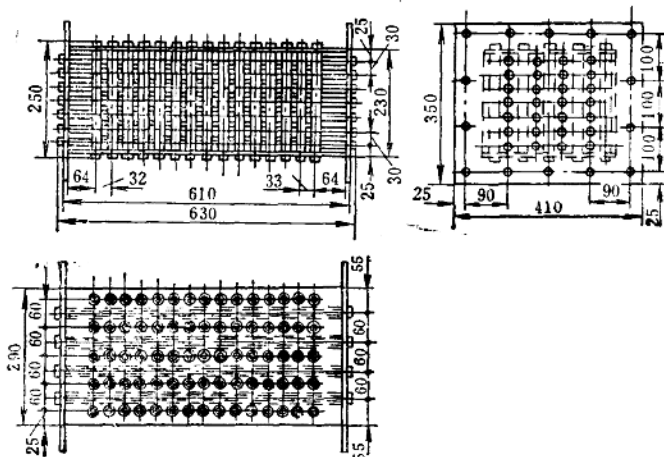


图24-1-1 整体换热器的构架

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

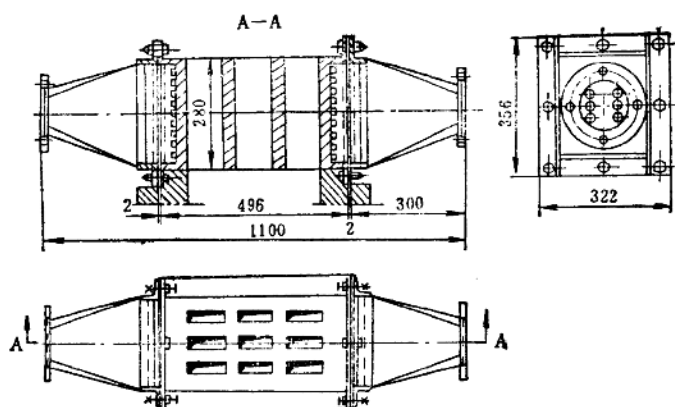


图24-1-2 整体换热器

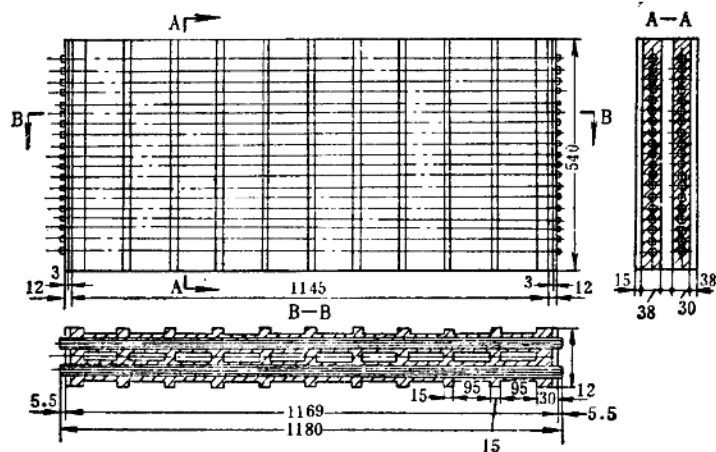


图24-1-3 合成整体换热器的构件

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螺栓引起。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°C ，

⑦ 浇注成的换热器本体，经清理及去毛刺后，套上两端板，采用连续不透气焊缝焊接；

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，待需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

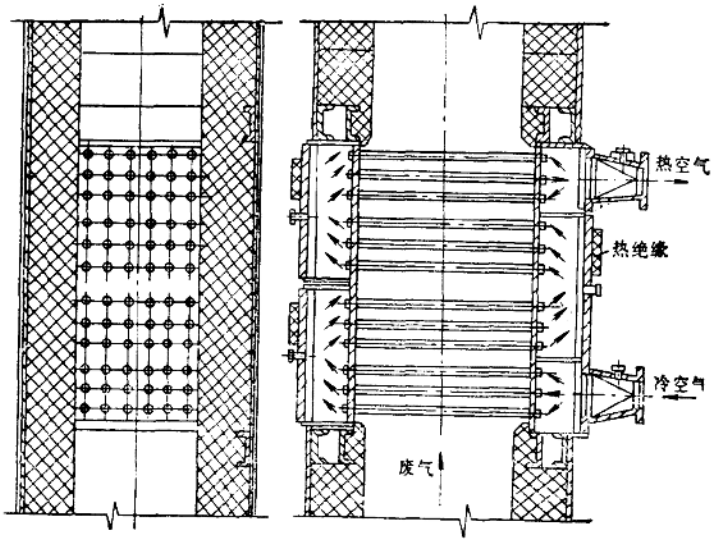


图24-1-4 四行程平滑钢管换热器

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域。

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，管的两端有盆状法兰，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

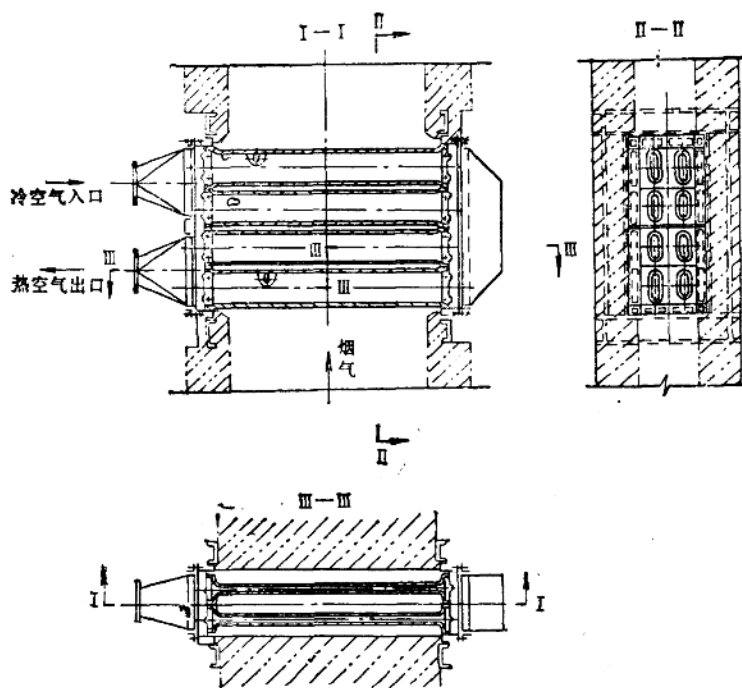


图24-1-5 针状换热器

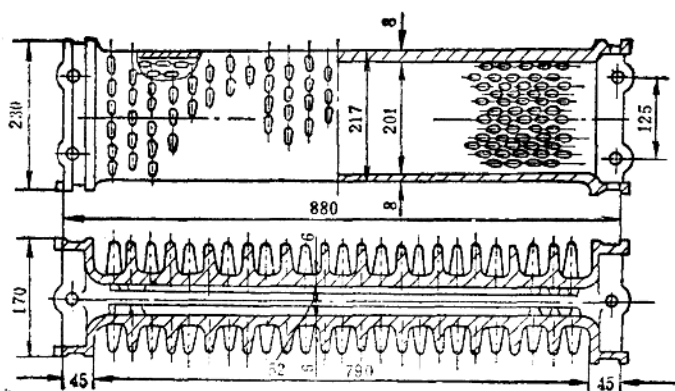


图24-1-6 长880mm铸铁针状管子

(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			
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
法兰侧管子的长度(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 泥 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) 框架和气管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管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

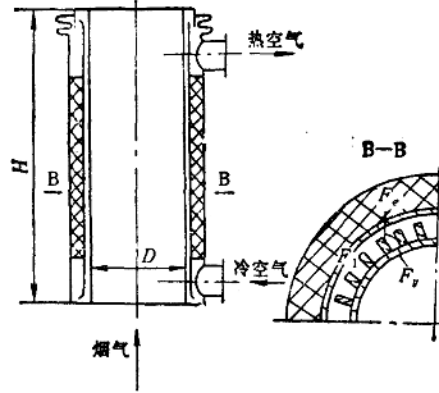


图24-1-7 带筋片圆筒辐射换热器

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钼油脂的新垫

(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-

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。在内套筒的长圆柱体内中, 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	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	3650
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	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

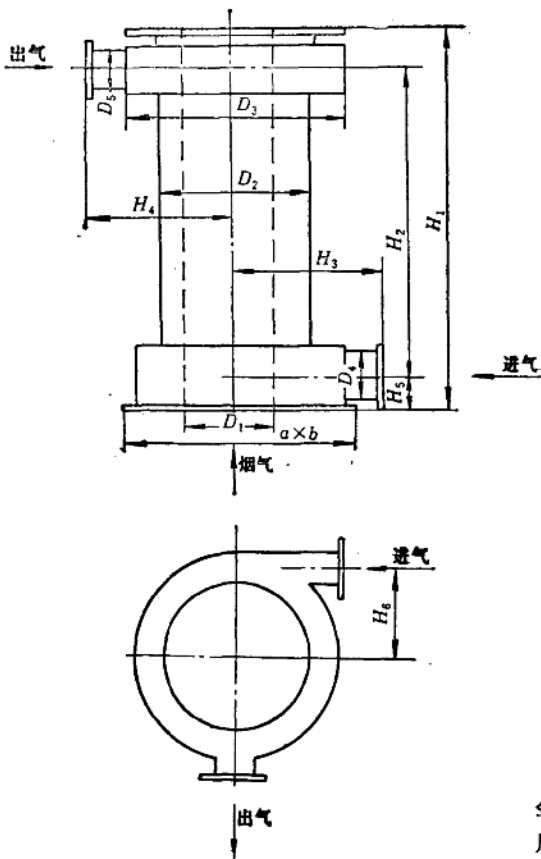


图24-1-8 LF-II型辐射换热器外形及安装尺寸

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，传热效率高。

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

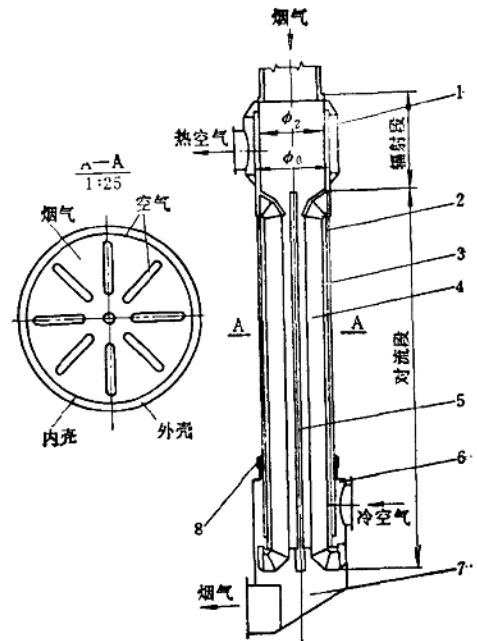


图24-1-9 辐射对流换热器的结构

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)。

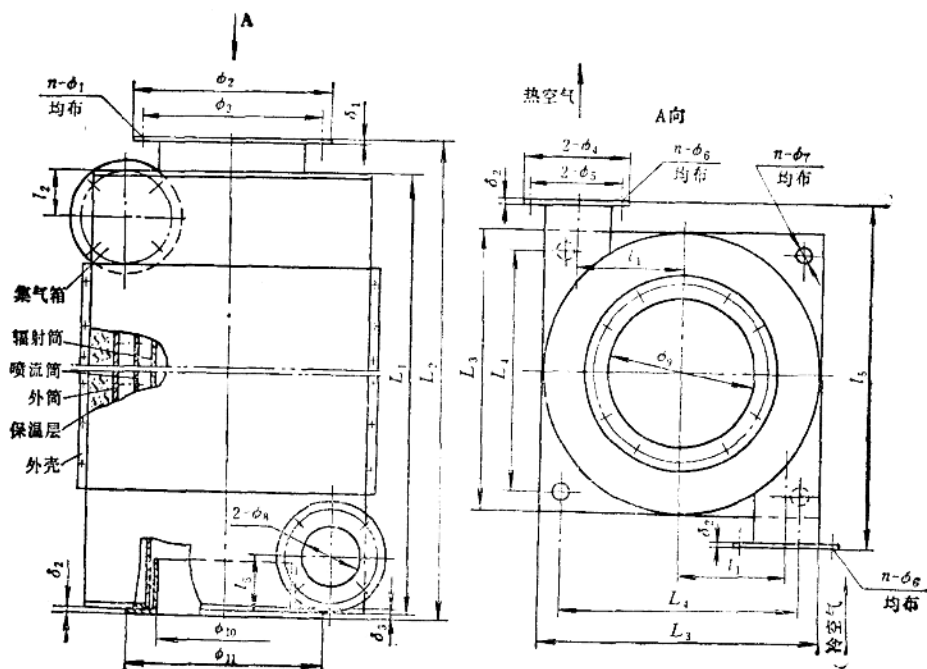


图24-1-10 喷流辐射换热器的结构

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
入口烟气量(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	φ 340	φ 370	φ 400	φ 440	φ 470	φ 490	φ 520
φ ₃	φ 305	φ 335	φ 365	φ 400	φ 430	φ 450	φ 475
φ ₆	φ 224	φ 259	φ 291	φ 318	φ 344	φ 368	φ 390
φ ₁₀	φ 198	φ 233	φ 265	φ 284	φ 310	φ 334	φ 356
φ ₁₁	φ 360	φ 400	φ 440	φ 480	φ 510	φ 540	φ 570
2-φ ₄	φ 205	φ 205	φ 235	φ 235	φ 260	φ 260	φ 270
2-φ ₅	φ 170	φ 170	φ 200	φ 200	φ 225	φ 225	φ 235
2-φ ₈	φ 100	φ 110	φ 125	φ 140	φ 150	φ 160	φ 170
n-φ ₁	8-φ 18	8-φ 18	12-φ 18	12-φ 22	12-φ 22	16-φ 22	16-φ 22
n-φ ₆	4-φ 18	4-φ 8	8-φ 18	8-φ 18	8-φ 18	8-φ 18	8-φ 18
n-φ ₇	4-φ 24	4-φ 24	4-φ 24	4-φ 26	4-φ 28	4-φ 28	4-φ 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3~5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。

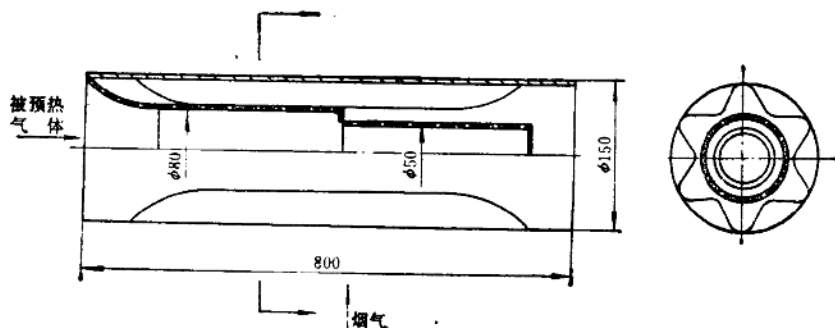


图24-1-11 管状喷流换热器单管结构

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;

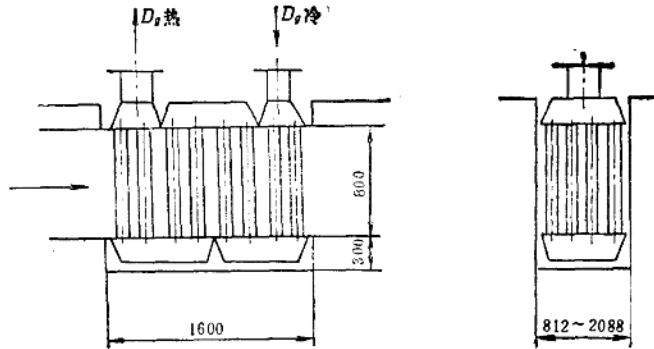


图24-1-12 小型A类管状喷流换热器安装

- 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 (m^3/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 II BH-8×3	1380~1840	1600×812×600	260	300
4 II BH-8×4	1840~2300	1600×812×800	300	340
4 II BH-8×5	2300~2750	1600×812×1000	330	380
4 II BH-8×6	2750~3200	1600×928×1200	360	410
4 II BH-8×7	3200~3680	1600×928×1400	400	450
4 II BH-8×8	3680~4140	1600×928×1600	430	480
4 II BH-8×9	4140~4600	1600×928×1800	450	500

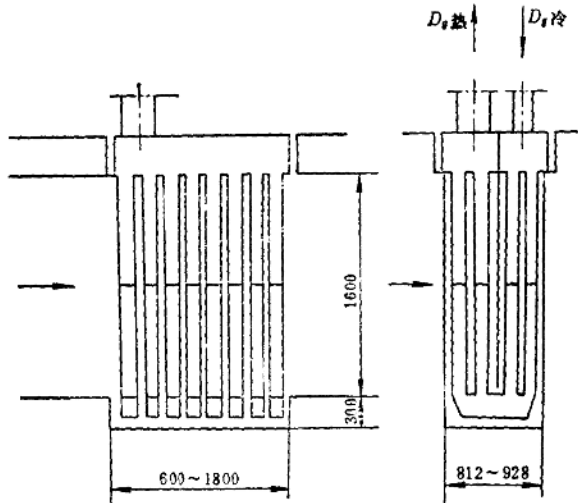


图24-1-13 小型B类管状喷流换热器安装图

通过气体的流速（不考虑多孔物）为 2~6 m/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(m^2);

Q ——预热气体所需的热量(W);

Δt_d ——对数平均温度差($^{\circ}\text{C}$);

K ——换热器总传热系数($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$)。

(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(m^3/h);

Δt ——预热体在换热器内提高的温度($^{\circ}\text{C}$);

C ——预热气体的热容量($\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$)。

预热空气所需热量也可由图24-1-15查出 $\ominus$ 。

(3) 求对数平均温度差:

$$\Delta t_d = \frac{\Delta t_{\text{热}} - \Delta t_{\text{冷}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{热}}}{\Delta t_{\text{冷}}}} = \frac{\Delta t_{\text{热}} - \Delta t_{\text{冷}}}{2.31 \lg \frac{\Delta t_{\text{热}}}{\Delta t_{\text{冷}}}} \quad (^{\circ}\text{C})$$

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

$$\Delta t_{\text{冷}} = t_{12} - t_{22}$$

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

$$\Delta t_{\text{冷}} = t_{12} - t_{21}$$

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 $t_{11} t_{12}$ ——进出预热器烟气温度的($^{\circ}\text{C}$);

$t_{21} t_{22}$ ——进出预热器空气(或煤气)温度($^{\circ}\text{C}$);

$$\ominus 1 \text{ W} \sim 3.6 \text{ kJ/h}.$$

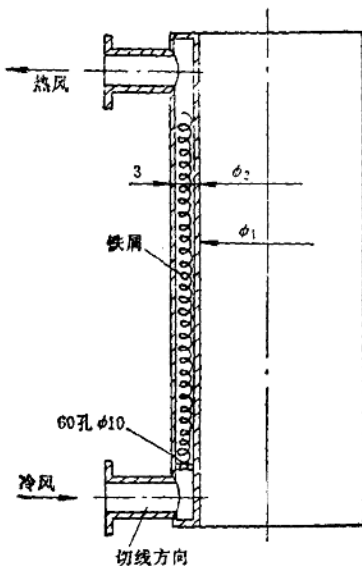


图24-1-14 辐射导热式换热器

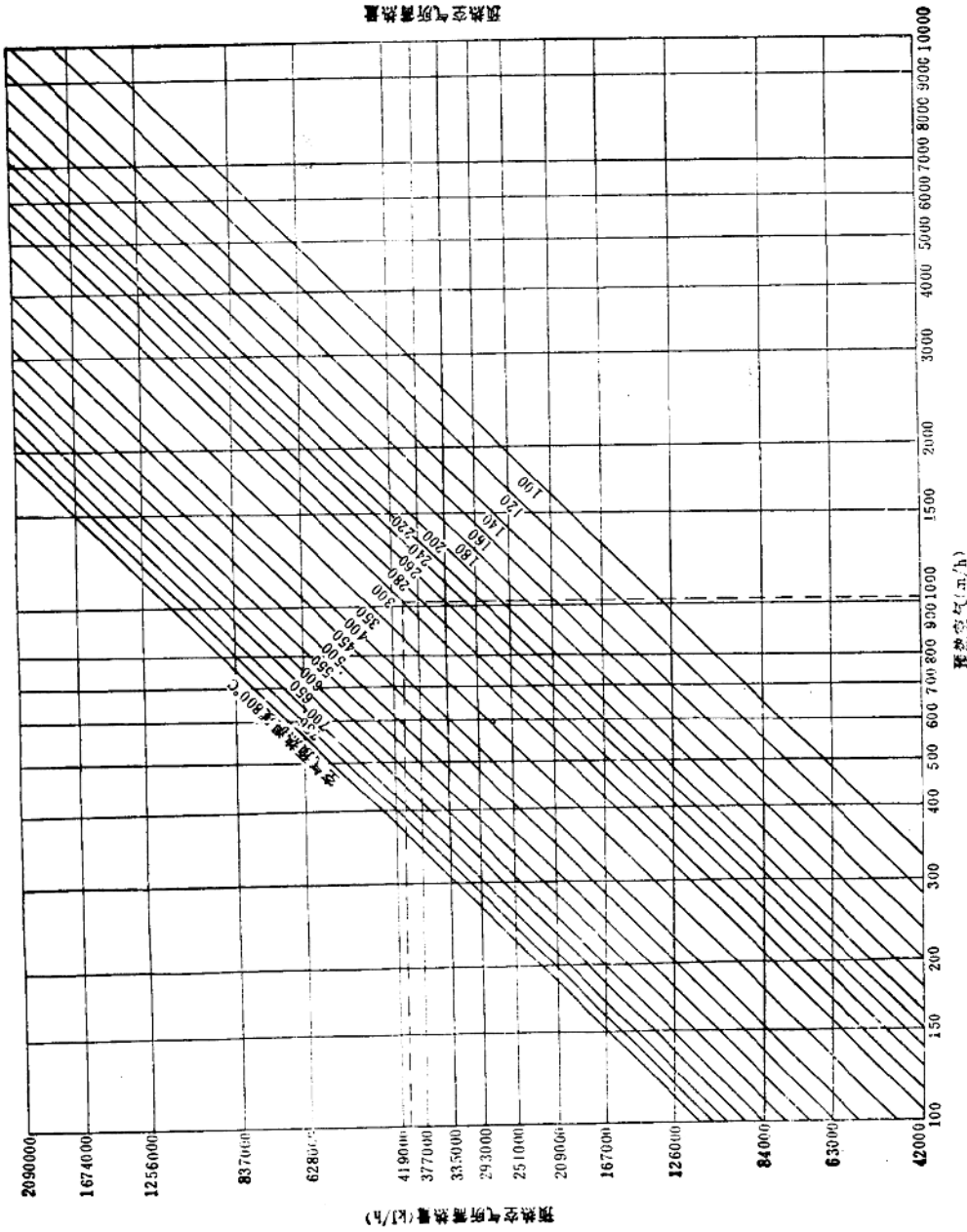


图24-1-15 预热空气所需热量

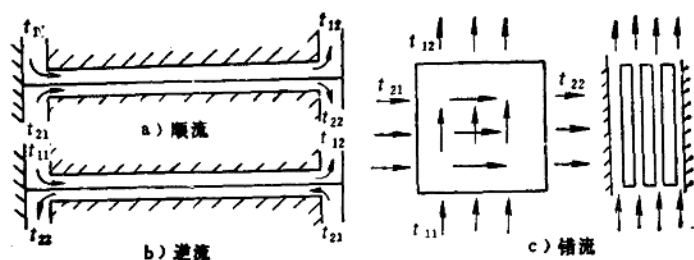
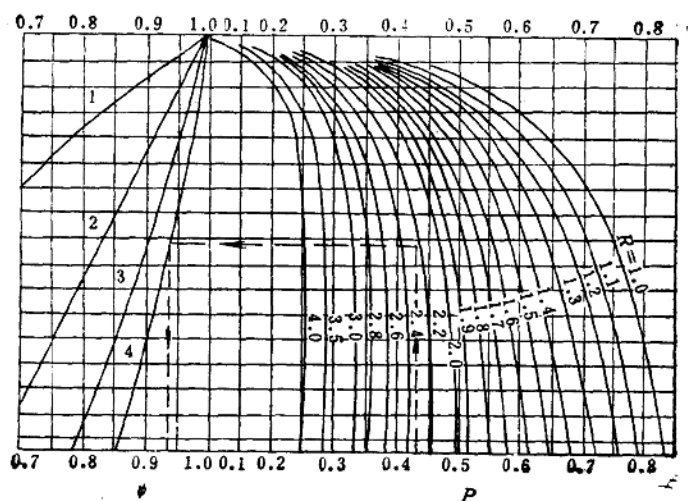


图24-1-16 气体流动方式

图24-1-17 错流时平均对数温度修正系数 ψ 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

ψ ——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 Δt_m 、 $\Delta t_{\text{修正}}$ 算出后, Δt_d 也可由图 24-1-18 查出。

(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_k):

$$t_k = t_{22} + (t_{12} - t_{22}) \frac{1}{1 + \frac{a_k}{a_y}} \quad (^\circ\text{C})$$

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($^\circ\text{C}$);

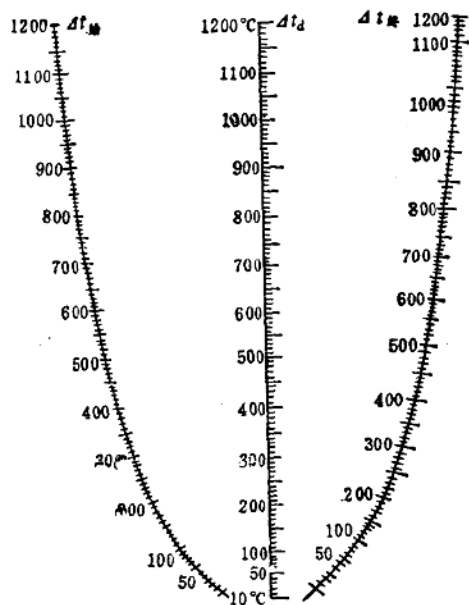


图24-1-18 平均对数温差