

ICS 75.180
CCS E 97

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 0538—2021

代替 SY/T 0538—2012

管式加热炉规范

Standard for tubular heater

2021 — 11 — 16 发布

2022 — 02 — 16 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 设计条件和炉型选择	4
4.1 设计条件	4
4.2 炉型选择	4
5 设计基本规定	5
5.1 工艺设计	5
5.2 燃烧设计	6
5.3 机械设计	7
6 炉管系统	7
6.1 炉管材料	7
6.2 炉管壁厚	7
6.3 扩面部分	9
6.4 弯头	10
6.5 配管、端头和集合管	11
6.6 炉管结构设计	11
6.7 管架(管板)	12
7 耐火和隔热	13
7.1 通用要求	13
7.2 浇注衬里结构	13
7.3 陶瓷纤维结构	13
7.4 复合衬里结构	14
8 钢结构	15
8.1 通用要求	15
8.2 荷载和荷载效应组合	15
8.3 结构	16
8.4 平台、钢梯和栏杆	16
9 钢烟囱、烟风道和尾部烟道	17
9.1 通用要求	17

9.2	设计要求	17
9.3	静态设计	18
9.4	风诱导振动的设计	19
10	燃烧器	19
11	吹灰系统	21
11.1	一般规定	21
11.2	吹灰器	21
11.3	空气压缩机	22
11.4	空气储罐	22
12	灭火系统	22
13	环境保护	22
13.1	大气污染防治	22
13.2	噪声与振动防治	22
14	配件	23
14.1	看火门	23
14.2	人孔	23
14.3	防爆门	23
14.4	挡板	23
15	仪表管接口设置要求	23
15.1	烟气和空气	23
15.2	工艺流体	24
15.3	管壁热电偶	24
15.4	辅助管接头	24
15.5	管接头位置	24
15.6	其他要求	25
16	控制、仪表和安全保护系统	25
16.1	一般规定	25
16.2	控制柜及仪表	25
16.3	监测及控制	25
17	工厂制造和安装	26
17.1	一般规定	26
17.2	钢结构制造	27
17.3	炉管制造	29
17.4	耐火和隔热材料施工	31
17.5	安装要求	31
18	检查、检测和试验	32
18.1	一般规定	32

18.2 炉管焊接接头的检测及检验	32
18.3 其他部件的检验	32
18.4 炉管压力试验	32
18.5 其他试验	33
19 出厂文件、铭牌、涂敷和运输	33
19.1 出厂文件	33
19.2 铭牌	34
19.3 涂覆、包装与运输	34
附录 A (资料性) 管式加热炉工艺计算方法	35
附录 B (资料性) 设备数据表	52
参考文献	77



前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 SY/T 0538—2012《管式加热炉规范》。本文件与 SY/T 0538—2012 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 修改了加热炉热效率要求（见 5.2.2，2012 年版的 5.2.2）；
- 修改了炉管拼接技术要求（见 6.6.1，2012 年版的 6.6.2）；
- 修改了炉体外表面温度要求（见 7.1.1，2012 年版的 7.1.1）；
- 修改了燃烧器的最小间距要求（见表 12、表 13，2012 年版的表 13）；
- 增加了“环境保护”（见第 13 章）；
- 增加了焊材技术要求（见 17.1.8、17.1.9、17.1.10）；
- 修改了焊接技术要求（见 17.1.14，2012 年版的 16.1.11）；
- 增加了钢零部件加工技术要求（见 17.2.2.11、17.2.2.14 ~ 17.2.2.18）；
- 增加了炉管氩弧焊打底要求（见 17.3.7）；
- 修改了焊后热处理参数（见表 17，2012 年版的表 17）；
- 修订了钉头管焊接面积技术要求（见 17.3.17，2012 年版的 16.3.18）；
- 增加了炉管压力试验要求（见 18.4.1 ~ 18.4.4）；
- 修改了钉头管试验要求（见 18.5.2，2012 年版的 17.5.2）；
- 删除了“报价”（见 2012 年版的附录 B）。

本文件由石油工业标准化技术委员会石油工程建设专业标准化委员会提出并归口。

本文件起草单位：中国石油天然气管道工程有限公司、中油管道机械制造有限责任公司、常州综研加热炉有限公司。

本文件主要起草人：郭磊、傅伟庆、张文伟、邹峰、贾春桦、王关祥、唐颖浩、李阳、马强、金守奇、程晖、胡江峰、瞿晟华、张黎明、张志强、王彦、杜亮坡、张书勇、胡春伟、王子龙、孟庆鹏、曲忠奎、赵月、袁洋。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 1994 年首次发布为 SY/T 0538—1994，2004 年第一次修订，2012 年第二次修订；
- 本次为第三次修订。

管式加热炉规范

1 范围

本文件规定了油气田和油气输送管道管式加热炉设计、制造、检验与验收的基本要求。
本文件适用于油气田和油气输送管道燃油、燃气管式加热炉的设计、制造、检验与验收。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款，其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 150.1 压力容器 第1部分：通用要求
- GB/T 150.2 压力容器 第2部分：材料
- GB/T 150.3 压力容器 第3部分：设计
- GB/T 150.4 压力容器 第4部分：制造、检验和验收
- GB/T 983 不锈钢焊条
- GB 4053.1 固定式钢梯及平台安全要求 第1部分：钢直梯
- GB 4053.2 固定式钢梯及平台安全要求 第2部分：钢斜梯
- GB 4053.3 固定式钢梯及平台安全要求 第3部分：工业防护栏杆及钢平台
- GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条
- GB/T 5118 热强钢焊条
- GB/T 5468 锅炉烟尘测试方法
- GB/T 9948 石油裂化用无缝钢管
- GB 13271 锅炉大气污染物排放标准
- GB/T 14957 熔化焊用钢丝
- GB 24848 石油工业用加热炉能效限定值及能效等级
- GB 50009 建筑结构荷载规范
- GB 50011 建筑抗震设计规范
- GB 50017 钢结构设计标准
- GB/T 50051 烟囱工程技术标准
- GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准
- GBZ 1 工业企业设计卫生标准
- GBZ 2.2 工作场所所有害因素职业接触限值 第2部分：物理因素
- NB/T 47013.1 ~ 47013.6 承压设备无损检测
- NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定
- NB/T 47015 压力容器焊接规程
- NB/T 47055 锅炉涂装和包装通用技术条件

- SH/T 3037 炼油厂加热炉炉管壁厚计算方法
- SH/T 3070 石油化工管式炉钢结构设计规范
- SH/T 3085 石油化工管式炉碳钢和铬钼钢炉管焊接技术条件
- SH/T 3086 石油化工管式炉钢结构工程及部件安装技术条件
- SH/T 3087 石油化工管式炉耐热钢铸件工程技术条件
- SH/T 3114 石油化工管式炉耐热铸铁件工程技术条件
- SH/T 3115 石油化工管式炉轻质浇注料衬里工程技术条件
- SH/T 3128 炼油装置火焰加热炉陶瓷纤维衬里技术规范
- SH/T 3523 石油化工铬镍不锈钢、铁镍合金、镍基合金及不锈钢复合钢焊接规范
- SY 0031 石油工业用加热炉安全规程
- SY/T 0439 石油天然气工程建设基本术语
- SY/T 0510 钢制对焊管件规范
- SY/T 0599 天然气地面设施抗硫化物应力开裂和应力腐蚀开裂金属材料技术规范
- TSG 11 锅炉安全技术规程
- TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程
- TSG Z8001 特种设备无损检测人员考核规则

3 术语和定义

SY/T 0439 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

额定热负荷 rated duty

管式炉在额定运行条件下所达到的热负荷。

3.2

设计热负荷 design duty

额定热负荷与热负荷裕量之和。

3.3

设计压力 design pressure

炉管强度计算时所规定的计算压力。

3.4

热效率 thermal efficiency

总吸热量除以总输入热量，用百分比表示。

3.5

最小流量 minimum flow rate

管式炉能可靠运行的最小流率。

3.6

炉膛温度 furnace temperature

烟气离开辐射室时的温度。

3.7

烟气 flue gas

包括过剩空气在内的燃烧产物。

- 3.8
排烟温度 **exit flue gas temperature**
离开最后传热面的烟气温度。
- 3.9
烟气露点温度 **flue gas dew temperature**
在一定的压力下，烟气在冷的换热面上开始结露时的温度。
- 3.10
低位发热量 **net heating value**
在燃烧反应的压力保持恒定，所有燃烧产物都恢复到与反应剂相同的规定温度下的气态的条件下，一定量燃气在空气中完全燃烧时以热量形式放出的能力。
[来源：SY/T 0439—2012，2.3.32]
- 3.11
辐射段 **radiant section**
主要以辐射方式将热量传递给炉管的炉子部分。
- 3.12
对流段 **convection section**
主要以对流方式将热量传递给炉管的炉子部分。
- 3.13
转油线 **crossover**
加热炉任何两组炉管段之间的连接管线。
- 3.14
挡板 **damper**
用调节烟气或空气的体积流率来改变阻力的部件。
- 3.15
抽力 **draft**
在炉内任何一点测得的烟气负压值（真空度）。
- 3.16
过剩空气系数 **excess air coefficient**
燃料燃烧时供给的空气量与理论空气量之比。
- 3.17
扩面 **extended surface**
在光管吸热表面上，增加翅片或钉头所提供的传热表面。
- 3.18
集合管 **manifold**
把多程平行流体进行集中和分配的管室，也称作汇管。
- 3.19
浇注衬里 **castable lining**
浇注或喷涂到壁板上，形成一定硬度和形状的耐火隔热混凝土。
- 3.20
陶瓷纤维 **ceramic fiber**
主要由二氧化硅和氧化铝构成的纤维状耐火隔热材料。
- 3.21
锚固件 **anchor**

由金属或耐火材料制成的用来固定耐火或隔热材料的部件。

3.22

吹灰器 **sootblower**

用喷射蒸汽或空气及其他方式清除对流段吸热表面上积灰的装置。

3.23

管架或管板 **tube support or tube sheet**

用于支承炉管的部件。

3.24

体积热强度 **volumetric heat release**

放热量与辐射段的净体积（炉管和耐火隔墙除外）之比。

3.25

炉管压力降 **tube pressure drop**

炉管入口端和出口端压力之差，净压头的影响除外。

3.26

平均热流密度 **average heat flux density**

吸热量与炉管外表面面积之比。扩面管的平均热流密度以扩面的光管面积为准。

3.27

空气预热器 **air preheater**

燃烧用空气通过烟气、蒸汽或其他介质加热的传热设备。

4 设计条件和炉型选择

4.1 设计条件

4.1.1 管式加热炉的设计参数至少应包括以下内容：

- a) 被加热介质的组分、密度、比热容或比焓、特性因数（当介质为原油及石油产品时）、黏度、热导率等；
- b) 被加热介质的流量（包括额定流量和最小流量），气化率，出、入口处的操作温度，操作压力和允许压力降；
- c) 燃料的种类、组分、温度、压力、密度、黏度、低位发热量及燃料油雾化剂的种类、温度和压力等；混烧时，液体燃料和气体燃料的比例；
- d) 使用地区的海拔高度、基本风压值、地震设防烈度、场地土类别、雪荷载及环境空气温度等。

4.1.2 管式加热炉的设计要求至少应包括以下内容：

- a) 安全设施要求；
- b) 环境保护要求；
- c) 职业卫生要求；
- d) 自动控制要求。

4.2 炉型选择

4.2.1 管式炉按照辐射炉管排列形式分为立管式管式加热炉、水平管式管式加热炉、螺旋管式管式加热炉，图 1 为几种管式加热炉结构的典型图。

4.2.2 选型原则：

- a) 被加热介质易结焦或易堵时，宜采用水平管卧式圆筒管式加热炉。

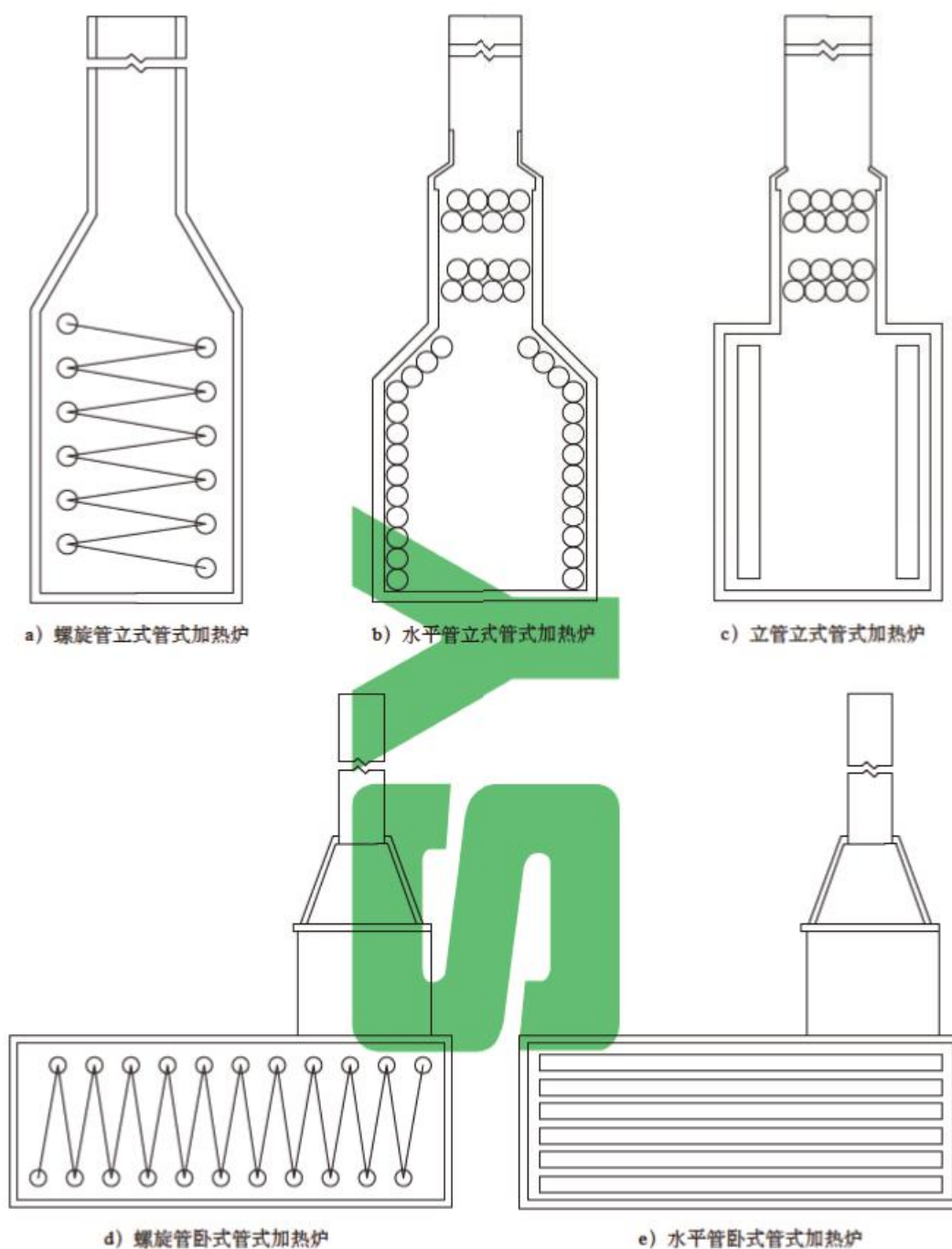


图 1 几种管式加热炉结构的典型图

- b) 被加热介质为单相流，且要求炉管压力降小时，宜采用炉管为螺旋状的管式加热炉。
- c) 当建设场地受到严格限制时，宜选用立式管式加热炉。

5 设计基本规定

5.1 工艺设计

5.1.1 管式加热炉工艺计算可参照附录 A 进行。

5.1.2 设计热负荷宜取额定热负荷的 1.1 倍；正常工况下，管式加热炉不应高于额定热负荷运行。

5.1.3 管式加热炉设计应使传热量分布均匀，多管程管式加热炉设计应使各管程水力学对称。

5.1.4 管式加热炉的管程数宜尽量少，炉管直径和管程数的选择应使介质流速合理和压力降在允许范围内。

5.1.5 对于气化介质，每程从入口到出口应为单一流路。

5.1.6 当被加热介质为原油、单面辐射、管心距为2倍管子公称直径的单排管时，辐射管表面平均热流密度为 $22\text{kW/m}^2 \sim 28\text{kW/m}^2$ 。

5.1.7 辐射段和对流段的任何炉管，管内介质的流动状态不宜出现层流区。

5.1.8 炉管内介质的质量流速宜为 $1290\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}) \sim 2400\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。在最小流量下，管内介质的质量流速不宜低于 $980\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

5.1.9 炉管内膜结垢热阻 M_i ，当被加热介质为脱水原油、温度小于 260°C 、流速大于或等于 $1150\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时，可取 $0.000516\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ 。炉管外膜结垢热阻 M_o ，燃油时可取 $0.0086\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ；当燃气或燃油采取有效吹灰措施时，可取 $0.0043\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ 。

5.2 燃烧设计

5.2.1 燃烧器热负荷应有一定的裕量。

5.2.2 管式加热炉热效率应符合 GB 24848 的规定。

5.2.3 过剩空气系数 (α) 宜按下列要求确定：

- a) 自然通风燃气式燃烧器 $\alpha=1.20$ ；
- b) 自然通风燃油式燃烧器 $\alpha=1.25$ ；
- c) 强制通风燃气式燃烧器 $\alpha=1.15$ ；
- d) 强制通风燃油式燃烧器 $\alpha=1.20$ 。

5.2.4 管式加热炉炉体表面散热损失根据占总输入热量的百分率确定；无空气预热系统时，不应大于 1.5%；有空气预热系统时，不应大于 2.5%。

5.2.5 设计热负荷下的体积热强度，燃油时不应超过 125kW/m^3 ；燃气时不应超过 165kW/m^3 。

5.2.6 排烟温度应确保尾部换热面金属表面温度高于烟气露点温度，防止加热炉尾部换热面的露点腐蚀。当燃料中的含硫量大于 0.1%，且在设计参数、结构或选材上缺乏有效的防止露点腐蚀措施时，尾部换热面最低金属表面温度不应低于图 2 的数值。

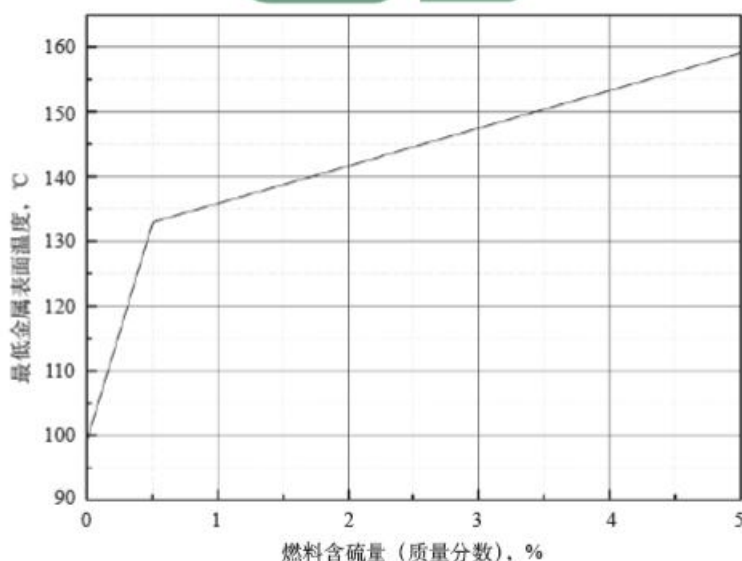


图 2 燃料含硫量与最低金属表面温度的关系

5.3 机械设计

- 5.3.1 管式加热炉的机械设计应满足所有规定的操作条件。
- 5.3.2 对流段炉管及空气预热器管排布置时宜考虑吹灰器、水洗或吹扫喷枪的安装空间。
- 5.3.3 如果采用重质燃料油，对流段或空气预热器应配设吹灰器；采用轻质燃料油或燃气可不配设吹灰器。
- 5.3.4 当管式加热炉采用空气预热器时，应有防止烟气露点腐蚀的措施。
- 5.3.5 管式加热炉最大高径比 (h/d) 宜为 2.75，其中 h 为耐火层内表面辐射段净高或净长， d 为炉管节圆直径。
- 5.3.6 除另有规定外，底烧管式加热炉从地面到燃烧器风箱或调风器的最小净空距离为 2m。
- 5.3.7 遮蔽段至少应有 2 排光管。

6 炉管系统

6.1 炉管材料

- 6.1.1 炉管的选材宜考虑设计压力、管壁设计温度和工作介质等因素。
- 6.1.2 常用炉管材料应符合 GB/T 9948，炉管材料的最高使用温度应符合表 1 的规定。

表 1 常用炉管材料及最高使用温度

单位为摄氏度

材料	标准号	最高使用温度
10	GB/T 9948	475
20	GB/T 9948	475
12CrMo	GB/T 9948	525
15CrMo	GB/T 9948	550

- 6.1.3 所有炉管和管线均应为无缝钢管。
- 6.1.4 被加热介质属于 SY/T 0599 规定的酸性环境的管式加热炉，炉管材料的选用除应符合本文件外，还应符合 SY/T 0599 的有关规定。

6.2 炉管壁厚

- 6.2.1 炉管设计寿命应采用 100000h。
- 6.2.2 炉管计算厚度应按公式 (1) 计算：

$$S_m = \frac{pD_0}{2[\sigma]' + p} + C \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- S_m ——炉管计算厚度，单位为毫米 (mm)；
- p ——设计压力，不应小于 1.6MPa，单位为兆帕 (MPa)；
- D_0 ——炉管外径，单位为毫米 (mm)；
- $[\sigma]'$ ——设计温度下炉管的许用应力，单位为兆帕 (MPa)；
- C ——厚度附加量， $C=C_1$ (厚度负偏差)+ C_2 (腐蚀裕量)，单位为毫米 (mm)。

6.2.3 炉管腐蚀裕量宜根据所选炉管材料的腐蚀速率和设计寿命按公式 (2) 计算, 如无腐蚀速率数据时, 可按表 2 选取。

$$C_2 = r \cdot L_d \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

r ——腐蚀速率, 单位为毫米每年 (mm/a);

L_d ——设计寿命, 单位为年 (a)。

表 2 腐蚀裕量

单位为毫米

炉管材料	腐蚀裕量 C_2
碳钢	3
铬钼合金钢	2
奥氏体不锈钢	1

6.2.4 炉管最小名义壁厚不应小于表 3 的规定。

表 3 炉管最小名义壁厚

单位为毫米

炉管外径	炉管最小名义壁厚	
	碳钢、铬钼钢炉管	奥氏体不锈钢炉管
60.3	3.5	2.5
88.9	5.0	2.8
101.6	5.0	2.8
114.3	5.5	2.8
127	6.0	3.0
141.3	6.0	3.0
152.0	6.5	3.0
168.3	6.5	3.5
219.1	7.5	6.0
273.1	8.5	6.5

6.2.5 管壁设计温度应按公式 (3)~公式 (9) 计算:

$$t_d = t_m + t_o \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$t_m = t_b + \Delta t_f + \Delta t_c + \Delta t_w \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\Delta t_f = \frac{q_m}{h_i} \left(\frac{D_o}{D_i - 2S_c} \right) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\Delta t_c = \frac{q_m S_c}{\lambda_c} \left(\frac{D_o}{D_i - S_c} \right) \dots\dots\dots (6)$$

$$\Delta t_w = \frac{q_m S_a}{\lambda_w} \left(\frac{D_o}{D_o - S_a} \right) \dots\dots\dots (7)$$

$$q_m = F_c F_L F_T q_a + q_c \dots\dots\dots (8)$$

$$F_T = \frac{T_g^4 - T_s^4}{T_g^4 - T_a^4} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

t_d ——管壁设计温度，单位为摄氏度（℃）；

t_m ——管壁最高温度，单位为摄氏度（℃）；

t_0 ——温度裕度，不应小于 15℃，单位为摄氏度（℃）；

t_b ——管内介质平均温度，单位为摄氏度（℃）；

Δt_f ——通过流体膜的温差，单位为摄氏度（℃）；

Δt_c ——通过焦层或垢层的温差，单位为摄氏度（℃）；

Δt_w ——通过管壁的温差，单位为摄氏度（℃）；

q_m ——炉管外表面最高热流密度，单位为瓦每平方米（W/m²）；

h_c ——管内流体传热系数，单位是瓦每平方米摄氏度 [W/（m²·℃）]；

D_o ——炉管外径，单位为米（m）；

D_i ——炉管内径，单位为米（m）；

S_c ——焦层或垢层的厚度（对易结焦的炉子 S_c 可取 0.003m），单位为米（m）；

λ_c ——焦层或垢层的热导率，单位为瓦每米摄氏度 [W/（m·℃）]；

λ_w ——管壁金属的热导率，单位为瓦每米摄氏度 [W/（m·℃）]；

S_a ——管壁平均厚度，单位为米（m）；

F_c ——炉管周向辐射热流密度变化因数，查图 3；

F_L ——炉管纵向辐射热流密度变化因数（对短宽炉膛取 1.0；对狭长炉膛取 1.5）；

F_T ——管壁金属温度对辐射热流密度的影响因数；

q_a ——炉管外表面平均辐射热流密度，单位为瓦每平方米（W/m²）；

q_c ——辐射段炉管外表面平均对流热流密度，单位为瓦每平方米（W/m²）；

T_g ——辐射段烟气平均温度，单位为开尔文（K）；

T_s ——计算点管壁金属温度，单位为开尔文（K）。

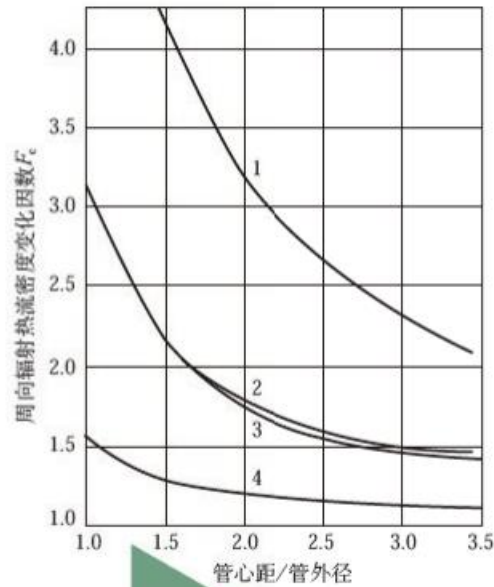
6.2.6 炉管的许用应力应符合 GB/T 150.2 中的规定，GB/T 150.2 中未规定的炉管许用应力应符合 SH/T 3037 的规定。

6.2.7 炉管外径宜按下列规格选用：

60.3mm、88.9mm、101.6mm、114.3mm、127mm、141.3mm、152.0mm、168.3mm、219.1mm、273.1mm。

6.3 扩面部分

6.3.1 对流段炉管允许加钉头或翅片以增大其传热面积（燃油管式加热炉不宜采用翅片管），扩面管的钉头和翅片应与炉管成为一体，用完全熔透的焊接方法制造，接触面应密合。



曲线 1—双排管三角形排列，一面辐射，一面反射；曲线 2—双排管双面辐射；排心距两倍直径（管子等距离）；
曲线 3—单排管，一面辐射，一面反射；曲线 4—单排管，双面辐射
注：本图适用于管子中心距耐火墙距离为 1.5 倍管径，未考虑炉管的对流传热。

图 3 炉管周向辐射热流密度变化因数

6.3.2 扩面部分的尺寸应符合表 4 的规定。

6.3.3 钉头和翅片材料应根据其端部的最高使用温度按表 5 选取。

6.4 弯头

6.4.1 弯头的材料应与相连炉管的材料相同，其壁厚至少应与所连接的炉管壁厚相同。

6.4.2 弯头位于炉内时，其设计压力和温度应与所连接的炉管相同。

6.4.3 弯头位于弯头箱内时，其设计压力应与所连接炉管相同；其设计温度至少应等于该处介质最高温度加 30℃。

表 4 扩面部分尺寸

单位为毫米

燃料	钉头		翅片		
	最小直径	最大高度	最小厚度	最大高度	最小间距
气体	12	25	1.2	25	5
油气混烧以气为主	12	25	1.2	19	8
油	12	25	—	—	—

表 5 扩面部分材料最高使用温度

钉头材料	最高使用温度, ℃	翅片材料	最高使用温度, ℃
碳钢	510	碳钢	454
2 ¹ / ₄ Cr-1Mo, 5Cr-1/2Mo	593	2 ¹ / ₄ Cr-1Mo, 5Cr-1/2Mo	549
11Cr 至 13Cr	649	11Cr 至 13Cr	593
18Cr-8Ni 不锈钢	815	18Cr-8Ni 不锈钢	815
25Cr-20Ni 不锈钢	982	25Cr-20Ni 不锈钢	982

6.4.4 所有弯头的壁厚应包括冲蚀和腐蚀裕量，腐蚀裕量不应小于炉管的腐蚀裕量。

6.4.5 弯头应采用无缝弯头。

6.4.6 弯头与炉管应采用全焊透焊接连接。

6.4.7 弯头常用管心距宜按表 6 选用，并优先选用 A 系列。

表 6 180° 弯头管心距

单位为毫米

炉管公称直径 DN	炉管外径 D_0	管心距		
		A 系列	B 系列	C 系列
50	60.3	102	150	120
80	88.9	152	178	150
90	101.6	178	203	172
100	114.3	203	230	203
—	127	229	250	215
125	141.3	254	282	254
150	168.3	305	336	304
200	219.1	406	438	372
250	273.1	508	546	478

6.5 配管、端头和集合管

6.5.1 炉膛外配管的腐蚀裕量，应符合 6.2.3 的规定。

6.5.2 集合管应采用拔制或整体补强汇管。

6.5.3 集合管的端部和炉管的出口端部均应设计坡口，以备焊接。

6.5.4 汇管内截面积与分支管内截面积总和之比：当管内介质为液体时，应为 1.2 ~ 2.0；当管内介质为气体时，不应小于 1.0。

6.5.5 需要打开检查时，端部接头可采用法兰连接。

6.5.6 不应采用螺纹连接。

6.5.7 需要低点排污和高点放空时，其位置应设在炉外。

6.5.8 转油线的材料应与炉管材料相同。

6.6 炉管结构设计

6.6.1 炉管宜为整根无拼接，如需拼接时，应采用全焊透结构，最小拼接长度不应小于 500mm，单根炉管的对接焊缝不应超过一条。

6.6.2 辐射管中心线距炉墙内表面的距离应为管子公称直径的 1 ~ 1.5 倍。

6.6.3 对流室两侧的对流管中心线距炉墙内表面距离应为管子公称直径的 1 倍。

6.6.4 炉管伸出两端管板外表面的距离不应小于表 7 所列尺寸。

表 7 炉管伸出两端管板外表面的距离 A

单位为毫米

炉管壁厚	≤ 6	8	10	12	14	16	18	20
A	75	85	95	105	115	125	135	145

6.6.5 炉管的设计宜考虑正常运行时的膨胀量，并留出足够的膨胀空间。

6.7 管架（管板）

6.7.1 管架（管板）或其他作用类似的炉内受热构件，设计温度符合以下规定：

- a) 辐射段和遮蔽段：等于炉膛温度加 100℃，且不小于 870℃；
- b) 对流段：等于与管板相接触的烟气温度加 55℃；
- c) 通过每块对流中间管板的烟气最大温差不应超过 250℃。

6.7.2 水平炉管的支承间距不应超过其外径的 35 倍或 6m，取较小值。

6.7.3 所有与烟气接触的管架（管板）表面，腐蚀裕量为：奥氏体不锈钢 1.3mm，铁素体不锈钢 2.5mm。

6.7.4 两端管板的结构设计符合以下规定：

- a) 管板的厚度不应小于 12mm；
- b) 两端管板的烟气侧应设置耐火隔热层；当采用浇注料耐热衬里时，在对流段，衬里最小厚度为 75mm；在辐射段，衬里最小厚度为 125mm；锚固件材料应采用奥氏体不锈钢；
- c) 管板上的每个管孔都应焊上套管，其套管内径至少比炉管或扩面管的外径大 10mm，套管与炉管间应采取有效密封；套管材质宜为合金钢或奥氏体不锈钢。

6.7.5 扩面管的支承符合以下规定：

- a) 管板的设计应防止管板对扩面管造成机械损伤，并使炉管易于穿入和抽出；
- b) 对钉头管，至少应有 3 排钉头支承在套管上或采用其他有效支承方式；
- c) 对翅片管，至少应有 5 排翅片支承在套管上。

6.7.6 管架（管板）荷载按以下规定确定：

- a) 管架（管板）所受荷载应按多支点连续梁的分析方法计算；
- b) 摩擦荷载至少应按摩擦系数为 0.3 计算；
- c) 摩擦荷载应按所有炉管向同一方向膨胀或收缩确定，不考虑炉管向相反方向移动引起的荷载。

6.7.7 管架（管板）在设计温度下的许用应力不应超过下列数值。

- a) 静荷载：
 - 1) 抗拉强度的 1/3；
 - 2) 屈服强度的 2/3；
 - 3) 10000h 产生 1% 蠕变时的平均应力的 50%；
 - 4) 10000h 产生断裂时的平均应力的 50%。
- b) 静荷载和摩擦荷载组合：
 - 1) 抗拉强度的 1/3；
 - 2) 屈服强度的 2/3；
 - 3) 10000h 产生 1% 蠕变时的平均应力；
 - 4) 10000h 产生断裂时的平均应力。

6.7.8 管架（管板）常用材料的最高使用温度应符合表 8 的规定。

表 8 管架（管板）常用材料最高使用温度

材料	最高使用温度，℃
碳钢	425
06Cr19Ni10	800
06Cr25Ni20	1000
QTRSi4	800
QTRSi5	800
ZG40Cr25Ni12Si2	1050
ZG40Cr25Ni20Si2	1100

6.7.9 铸件的许用应力值应乘以 0.8 的铸造系数。

7 耐火和隔热

7.1 通用要求

7.1.1 加热炉炉墙、烟风道、辅助设备、管道及阀门应具有良好的密封和保温性能。当周围环境温度为 20℃ 时，距门（孔）300mm 以外的炉体外表面温度不得超过 60℃。

7.1.2 炉衬结构的设计应允许所有部件均能适当膨胀。采用多层或复合衬里时，接缝不应连续贯穿衬里。

7.1.3 除另有规定外，任何一层耐火材料的许用工作温度至少应高出计算热面温度 165℃。辐射和遮蔽段耐火材料的最低许用工作温度应为 980℃。

7.1.4 燃烧器砖的最低使用温度应为 1650℃。

7.1.5 人孔门至少应采用与周围耐火层有同样隔热性能的耐火材料进行防护，避免直接辐射。

7.1.6 除采用浇注结构炉衬外，在炉壁钢板内侧宜涂防腐层。

7.2 浇注衬里结构

7.2.1 水硬性浇注料衬里适用于加热炉的所有部分，浇注料种类应按使用温度选取并应符合 SH/T 3115 的有关规定。

7.2.2 双层浇注料衬里，热面层的最小厚度应为 75mm。锚固件应支承住每层衬里。

7.2.3 浇注料衬里厚度大于 50mm 时，锚固件的高度应贯穿该衬里厚度的 70%，其顶部距热表面的距离不应小于 12mm。

7.2.4 锚固件应为方形布置，最大间距应为衬里总厚度的 3 倍，但在炉壁不应超过 300mm，在炉顶不应超过 225mm。为避免形成连续剪切面，锚固件的叉口方向应交错排列。

7.2.5 衬里总厚度不超过 150mm 时，锚固钉最小直径应为 5mm；超过 150mm 时，锚固钉最小直径应为 6mm。

7.2.6 弯头箱、尾部烟道、烟风道和烟囱的衬里厚度不应小于 50mm。

7.2.7 燃烧器砖砌体和预烧成型制品的周围应留有膨胀缝。

7.2.8 密度大于或等于 970kg/m³ 的衬里，允许加入金属纤维进行加强，加入的金属纤维量不应大于干混料量的 3%。

7.2.9 当燃料中包括钠在内的重金属总量超过 250mg/kg 时，暴露的热面层应采用高铁（铁含量不大于 1%）或重质浇注料。重质浇注料密度至少为 1800kg/m³，其集料中 Al₂O₃ 的含量不应小于 40%，SiO₂ 的含量不应大于 35%。

7.3 陶瓷纤维结构

7.3.1 层状或模块结构的陶瓷纤维可用于加热炉除烟囱、烟道之外的所有部位，其性能要求应符合 SH/T 3128 的有关规定。

7.3.2 用于热面层的陶瓷纤维毯的最小厚度应为 20mm、密度不应小于 128kg/m³；用于背层的陶瓷纤维毯的最小密度应为 90kg/m³。用于热面层的陶瓷纤维板，厚度不应小于 38mm，密度不应小于 240kg/m³，当烟气温度低于 1100℃ 时，其最大尺寸应为 600mm×600mm；当烟气温度超过 1100℃ 时，其最大尺寸应为 450mm×450mm。

7.3.3 任何一层陶瓷纤维的许用工作温度应比计算的热面温度高 280℃。

7.3.4 陶瓷纤维毯热面层的锚固件至所有边沿的最大距离应为 75mm。

7.3.5 炉顶锚固件按长方形排列，其间距不应超过以下数值：

- 毯宽 300mm；间距为 150mm×225mm；
- 毯宽 600mm；间距为 225mm×225mm；
- 毯宽 900mm；间距为 225mm×250mm；
- 毯宽 1200mm；间距为 225mm×270mm。

7.3.6 炉壁锚固件按长方形排列，其间距不应超过以下数值：

- 毯宽 300mm；间距为 150mm×300mm；
- 毯宽 600mm；间距为 225mm×300mm；
- 毯宽 1200mm；间距为 270mm×300mm。

7.3.7 未被炉管遮蔽的金属锚固件，应由陶瓷纤维块完全覆盖或用可塑性陶瓷纤维保护。

7.3.8 当烟气流速超过 12m/s 时，陶瓷纤维毯不能用于热面层；当流速大于 12m/s 且小于 24m/s 时，热面层应使用湿毯、陶瓷纤维板或陶瓷纤维模块；当流速超过 24m/s 时，热面层应采用浇注料或采用外保护层。

7.3.9 陶瓷纤维毯施工时，最大尺寸方向宜与烟气流动方向一致，毯在热面层上的连接应为搭接，搭接方向顺着烟气流动方向。热面层采用陶瓷纤维板时，应为对接连接，接缝应严密。

7.3.10 用于背层的陶瓷纤维毯应在接缝处采用压缩量至少为 25mm 的对接缝，相邻各层的所有接缝应错开。

7.3.11 陶瓷纤维模块应按竖缝立砌法进行施工，交错镶嵌法仅适用于炉顶。

7.3.12 陶瓷纤维模块施工时，每边均应压缩以避免收缩裂纹。

7.3.13 炉顶上的陶瓷纤维模块应设计为其锚固范围至少大于模块宽度的 80%。

7.3.14 应在陶瓷纤维模块施工前，将锚固件固定在壁板上。

7.3.15 锚固组合件应装在距模块冷表面小于 50mm 处。

7.3.16 模块内的金属件至少应为奥氏体不锈钢或镍合金。

7.3.17 陶瓷纤维结构用于含硫量大于 10mg/kg 的燃料时，壳体的内表面应涂一层防腐涂料，防腐涂料的许用工作温度不应小于 180℃。

7.3.18 燃料中的含硫量超过 500mg/kg 时，应设置奥氏体不锈钢箔阻气层。在任何操作工况下，阻气层的位置应使阻气层的温度应高出计算露点 55℃。阻气层边沿至少应重叠 175mm，边沿和开孔处应密封。

7.3.19 燃料中重金属含量超过 100mg/kg 时，不应采用陶瓷纤维结构。

7.3.20 设有吹灰器，蒸汽喷枪或水洗设施的对流段，不应采用陶瓷纤维结构。

7.3.21 应在壁板涂覆防腐涂料前安装锚固件。涂料应覆盖锚固件，未覆盖部分的温度应在酸露点温度以上。

7.4 复合衬里结构

7.4.1 采用浇注热面层时，最小厚度为 75mm。

7.4.2 锚固系统应对各层都具有固定和支承作用。

7.4.3 对每种炉衬，锚固件的型式和安装应符合 7.2 和 7.3 的要求。

7.4.4 任何一层材料许用工作温度均应符合 7.1、7.2 和 7.3 的要求。

7.4.5 隔热块应由工作温度至少为 900℃ 的硅酸钙或矿渣棉制成。隔热块只可用作背衬材料，但当液体燃料中的硫含量超过 1%（质量分数）或气体燃料中硫化氢含量超过 100mg/kg 时不允许采用。

7.4.6 如果燃料中含硫量超过 10mg/kg，而采用隔热块或陶瓷纤维作为背衬保温时，壁板上应涂覆防护涂料，防护涂料的许用工作温度不应小于 180℃。

7.4.7 如果采用隔热块或陶瓷纤维作为浇注料的背衬层，应将其隔离以防止水从浇注料中渗出。

7.4.8 用作背衬材料的隔热块和陶瓷纤维的密度不应小于 128kg/m^3 。

8 钢结构

8.1 通用要求

8.1.1 钢结构设计应符合 GB 50009、GB 50011、GB 50017 和 SH/T 3070 的相关要求。

8.1.2 风和地震最小设计荷载应符合结构设计规范要求。

8.1.3 钢结构构件应选用不低于 Q235B 碳素结构钢制作，当加热炉结构工作温度等于或低于 -20°C 时，宜考虑钢材的低温性能。

8.1.4 平台活荷载应符合结构设计规范的要求。

8.1.5 结构和附件设计应满足运输、安装和操作过程中遇到的各种荷载条件。宜考虑寒冷气候条件的影响，尤其在加热炉停工时的影响。

8.1.6 结构和附件的设计温度应为计算金属温度加 55°C ，计算金属温度按无风、环境温度为 20°C 时各种操作条件下的最高烟气温度确定。

8.1.7 宜考虑设计温度对材料屈服强度和弹性模量的影响，结构钢在高温下的强度和弹性模量，为其常温值乘以表 9 和表 10 折减系数。

表 9 结构钢的强度折减系数 r_s

折减系数	钢材牌号	温度, $^\circ\text{C}$						
		≤ 100	150	200	250	300	350	400
r_s	Q235, Q355, Q390, Q420	1.00	0.92	0.88	0.83	0.78	0.72	0.65

注：温度为中间值时，可内插法计算。

表 10 结构钢弹性模量折减系数 β_d

折减系数	温度, $^\circ\text{C}$						
	≤ 100	150	200	250	300	350	400
β_d	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92	0.88	0.83

注：温度为中间值时，可内插法计算。

8.1.8 结构和附件材料应满足加热炉停工期间规定的最低环境温度下所有荷载条件的要求。

8.2 荷载和荷载效应组合

8.2.1 荷载分为永久荷载（恒载）、可变荷载（活荷载）和偶然荷载三类。钢结构的设计荷载至少应包括永久荷载、风荷载、地震荷载和温度荷载。

8.2.2 永久荷载（恒载）包括钢结构自重、衬砌结构重、配件重、炉管及管内介质或充水重等。

8.2.3 可变荷载（活荷载）包括：

- 风荷载：取垂直于钢结构表面的风荷载。
- 平台操作荷载：仅放置零星器材时取 2.5kN/m^2 ；需放置较重器材时取 3.5kN/m^2 。
- 雪荷载：仅考虑操作间上的雪荷载。
- 炉顶风机当量荷载：

- 1) 竖向荷载, 取风机加电机重量的 1.5 倍;
- 2) 水平荷载, 取风机加电机重量的 0.3 倍。

e) 温度作用在钢结构上产生的温度效应。

8.2.4 偶然荷载, 仅考虑钢结构上的水平地震作用。当管式加热炉建于地震设防烈度 7 度及以上地区时, 应按 GB 50011 进行地震荷载计算。

8.2.5 钢结构设计按荷载基本效应组合和偶然效应组合分别计算, 取最大荷载进行设计。

a) 荷载基本效应组合:

永久荷载 + 风荷载 + 温度荷载 + 平台操作荷载 + 风机当量荷载。

b) 荷载偶然效应组合:

永久荷载 + 地震荷载 + 25% 风荷载 + 温度荷载 + 风机当量荷载。

8.3 结构

8.3.1 管式加热炉宜采用分段预组装结构, 辐射室与对流室及对流室与烟囱之间均宜采用螺栓连接结构。

8.3.2 对流段采用扩面管时, 则对流室两侧宜采用吊车悬挂式活动侧门。活动侧门与炉体宜采用快开式楔铁连接。

8.3.3 辐射室弯头箱与炉体墙板之间及对流室弯头箱门与炉体之间应采用可拆卸式结构。

8.3.4 弯头箱应能满足炉管的全部膨胀。弯头箱门衬里和热态下弯头之间的距离不应小于 50mm。

8.3.5 弯头箱及门的壁板最小厚度为 4mm, 且应有加劲肋以防翘曲。

8.3.6 炉管和弯头的所有荷载应由钢结构支承, 不应传递到耐火材料上。

8.3.7 钢结构设计宜考虑所有加热炉部件水平和垂直膨胀。

8.3.8 加热炉壁板最小厚度为 5mm, 且应配设加劲肋以防翘曲。当壁板承受弯曲应力时, 最小厚度为 6mm。

8.3.9 加热炉壁板外部焊缝应为密封焊。

8.3.10 加热炉结构应能有效支承直梯、斜梯和平台。

8.3.11 平顶炉设计应能排除雨水, 通过布置构件和排水孔达到排水要求。

8.3.12 若配设防火层, 从基础面到炉底的主要结构梁柱应有 50mm 厚的防火层。

8.3.13 结构系统应能有效支承烟风道, 在操作和停工时膨胀节不受约束, 且不妨碍烟风道部件的拆卸。

8.4 平台、钢梯和栏杆

8.4.1 平台、钢梯和栏杆除应符合本文件要求外, 还应符合 GB 4053.1 ~ 4053.3 的有关要求。

8.4.2 以下位置应设平台:

- a) 地面不易接近的燃烧器和燃烧器调节机构处;
- b) 对流段两端的维修位置;
- c) 挡板和吹灰器的维修和操作位置;
- d) 地面上无法操作的看火门、辐射室人孔门和仪表管接口处;
- e) 通风机、驱动机和空气预热器等辅助设备操作和维修处。

8.4.3 平台的最小净宽度应为:

- a) 操作维修平台: 900mm;
- b) 通道: 750mm。

8.4.4 平台铺板应采用大于或等于 4mm 厚的花纹钢板或 25mm × 5mm 的格栅板。

8.4.5 直梯应从距地面 2m 处开始设置护圈。直梯进出平台处应设安全栏杆。

8.4.6 斜梯的最小宽度应为 600mm，踏步的最小宽度应为 200mm，踏板间距不应大于 250mm，斜梯的倾角最大为 60°。

8.4.7 所有平台、通道和斜梯均应设扶手。

9 钢烟囱、烟风道和尾部烟道

9.1 通用要求

9.1.1 本章适用于烟风道、尾部烟道和圆柱或圆锥形自承重式直立钢烟囱的结构设计。

9.1.2 钢烟囱、烟风道和尾部烟道的设计除应符合本文件要求外，还应符合 GB 50017 和 GB/T 50051 的有关规定。

9.1.3 钢烟囱的高度应符合以下要求：

- a) 自然通风管式加热炉在设计过剩空气系数和最大热负荷工况下，烟囱的抽力大于炉内烟气流程总阻力，且炉内负压值不小于 0.02kPa；
- b) 国家或地区的环保有关规定。

9.1.4 烟囱和烟风道的净流通面积应按表 11 的气体流速确定。

表 11 气体流速

通风方式	气体流速, m/s		
	冷风道	热风道和烟道	烟囱
自然通风	6 ~ 8	—	8 ~ 10
强制通风	10 ~ 12	12 ~ 15	12 ~ 20

9.2 设计要求

9.2.1 烟囱应为自承重式并与其支承的结构用螺栓连接。

9.2.2 烟囱中间各段宜采用全熔透焊连接。

9.2.3 尾部烟道和烟风道可为法兰连接或焊接结构。

9.2.4 与烟囱相连的外部附件应采用密封焊。

9.2.5 安装在混凝土基础上的烟囱和烟风道，设计时应防止混凝土温度超过 150℃。

9.2.6 烟囱和烟风道间不应采用焊接连接。

9.2.7 在具有内衬的烟囱顶部，应设置防浸蚀的金属盖板，保护衬里水平表面免受风雨浸蚀。

9.2.8 下列情况下，钢烟囱内宜设衬里：

- a) 防火；
- b) 防止结构筒体接触高温气体；
- c) 防腐蚀；
- d) 烟气温度低于酸露点温度加 20℃；
- e) 减少潜在的空气动力不稳定性。

9.2.9 对于非耐火特殊衬里的适用性应与供货商协商，并考虑其强度、柔性、热性能及抵抗化学侵蚀的能力。

9.2.10 浇注衬里应以适当方式锚固在烟囱、烟风道、尾部烟道上。

9.2.11 烟囱、烟风道和尾部烟道上所有的开口和连接均应密封以防空气和烟气泄漏。

9.2.12 烟囱、烟风道和尾部烟道应按运输、安装及操作过程中可预见的所有荷载条件下进行设计。这些荷载应包括永久荷载、可变荷载和偶然荷载。

9.2.13 设计荷载应为使结构产生最大效应的荷载组合，但任何情况下，单项荷载产生的应力均不应超过 9.3 中规定的允许值。风荷载和地震荷载不应同时考虑。

9.2.14 包括腐蚀裕量的烟囱壁板最小厚度应为 6mm。最小腐蚀裕量应为 1.6mm。

9.2.15 任何烟囱的地脚螺栓至少应为 8 个。

9.2.16 烟囱如果需要吊耳，吊耳应按烟囱从水平位置吊至垂直位置的吊装荷载设计。

9.2.17 烟囱、烟风道和尾部烟道的设计金属温度应为计算金属温度加 55℃，计算金属温度按无风、环境温度 20℃ 下各种操作工况的最高烟气温度计算。

9.2.18 烟风道和尾部烟道的最小壁板厚度应为 4mm。

9.2.19 烟风道和尾部烟道应加强以防止过大的翘曲和变形。有耐火浇注衬里的烟风道的变形不应超过跨度的 1/360，其他烟风道的变形不应超过跨度的 1/240。

9.2.20 烟囱、尾部烟道和烟风道所用材料，应满足加热炉在不操作期间的最低环境温度下所有荷载条件的要求。

9.3 静态设计

9.3.1 所有烟囱均应按照悬臂梁结构设计。

9.3.2 不宜考虑衬里对烟囱、烟风道或尾部烟道的加强作用。

9.3.3 烟囱壁板不连续处，应按壁板或加强圈的薄膜加弯曲组合应力不大于该材料在设计温度下最小屈服强度的 90% 进行设计；或遵照相应结构设计规范的规定。

9.3.4 烟囱上开口的净宽不应超过烟囱直径的 2/3。对于两个相对的开口，每个开口的弦长不应超过烟囱的半径。开口处采用等面积法补强。

9.3.5 圆筒形烟囱变径段应为顶角小于或等于 60° 的锥体。

9.3.6 为承受环向弯矩，宜配设抗风压加强圈。

9.3.7 对于无加强圈圆筒体，当筒体半径 R 和扣除腐蚀裕量后的壁板厚度 t 之比不大于 160，可忽略由风压引起的环向弯矩。

9.3.8 当烟囱的壁厚符合公式 (10) 条件时，应设置加强圈，并按公式 (11) 和公式 (12) 确定加强圈的间距和截面模量：

$$t \leq (5M/9F_{ys})^{0.5} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$1 \leq H_s/D \leq 3 \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$Z \geq H_s M / 0.6 F_{yr} \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：

t ——扣除腐蚀裕量后的筒壁厚度，单位为毫米 (mm)；

M ——单位筒体长度上的最大环向弯矩，单位为牛米每米 (N·m/m)；

F_{ys} ——设计温度下筒体材料的最小屈服强度，单位为牛每平方米 (N/mm²)；

H_s ——加强圈间距，单位为毫米 (mm)；

D ——筒体直径，单位为毫米 (mm)；

Z ——加强圈截面模量，单位为立方毫米 (mm³)；

F_{yr} ——筒体设计温度下加强圈的最小屈服强度，单位为牛每平方米 (N/mm²)。

9.3.9 由风荷载产生的烟囱挠度不应大于烟囱高度的 1/200。挠度按筒壁厚度中仅含有 50% 以下的腐

蚀裕量且不考虑衬里。

9.3.10 烟囱筒体在基础之上任意高度处的允许垂直偏差（施工偏差）应按公式（13）确定：

$$\delta = \frac{h}{1000\sqrt{1+50/h}} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中：

δ ——允许垂直偏差，单位为米（m）；

h ——烟囱高度，单位为米（m）。

9.4 风诱导振动的设计

9.4.1 烟囱对于风和地震作用的响应特性应按 GB 50017 的要求确定。

9.4.2 如果烟囱第一振型的临界风速比最大设计风速（指烟囱顶端处 1h 的平均值）高 1.25 倍以上，在设计荷载中无需包含由横向风引起的动荷载。

9.4.3 如果分析显示横向风可能引起过大的振动，应采用下列措施之一减少涡流引起的振动幅度：

- a) 增加质量和结构的阻尼特性（例如使用耐火衬里）；
- b) 使用质量减振器（例如调谐摆式减振器）；
- c) 采用空气动力学方法（例如 9.4.5 中所述的扰流构件，或 9.4.6 所述的交错排列的直立扰流板）；
- d) 调整烟囱的长度和（或）直径，直到获得满意的振动特性。

9.4.4 当采用扰流构件减振时，扰流构件至少应在烟囱最上部三分之一高度内设置。

9.4.5 螺旋扰流构件应由间隔为 120° 的三条板绕制成，其螺距为烟囱直径的 5 倍。板宽为烟囱外径的 0.1 倍。

9.4.6 交错排列直立扰流板的厚度不应小于 6mm，长度不应大于 1.5m，三块板沿着烟囱的周向成 120° 布置，板宽应为烟囱的外径的 0.1 倍。上下相邻位置的直立板间应互相错开 30°。

9.4.7 当烟囱位于其他构筑物的附近时，宜考虑该构筑物可能带来的震颤效应。

9.4.8 当烟囱与其他烟囱或高的直立圆柱形容器相邻近，其中心之间的最小距离宜为 4d（d 是相邻近构筑物中的最大直径）。如果中心间距大于 15d，它们之间的相互影响可以忽略。

9.4.9 当烟囱处于一个临近烟囱或高的直立容器的下风向时，其影响效应通过增加风荷载计算确定。

10 燃烧器

10.1 燃烧器的设计、选用、位置、安装和操作应确保燃烧器在整个操作过程中，火焰不舔烧炉管和管架，且不从加热炉的辐射段窜出，并应保证燃料燃烧完全。

10.2 自然通风低 NO_x 燃烧器的最小间距应符合表 12 的规定，强制通风低 NO_x 燃烧器的最小间距应符合表 13 的规定。

10.3 燃烧器的最大功率应为额定热负荷的 120%，还应满足炉膛背压要求。

10.4 燃烧器应确保可见火焰长度不应超过辐射段长度的 2/3。

10.5 燃烧器宜采用低 NO_x 燃烧器。燃烧器的输出功率应具有自动调节功能，并能实现自动程序点火和火焰监测、熄火保护等功能。

10.6 输出功率大于 1200kW 的自动燃气燃烧器，应具备漏气检测功能。

10.7 燃油时宜采用全自动转杯式、机械雾化式或气动雾化式燃烧器。

10.8 燃烧器砖应与加热炉炉衬分开。

表 12 自然通风低 NO_x 燃烧器的最小间距

燃烧器类型	每台燃烧器最大放热量 MW	最小间距 m			
		A	B	C	D
		燃烧器至顶部炉管中心或耐火材料的垂直距离 (仅对于垂直燃烧)	燃烧器中心至靠墙炉管中心的水平距离	燃烧器中心至无遮蔽耐火材料的水平距离	对燃烧器间的水平距离 (水平安装时)
燃油	1.0	4.3	0.8	0.6	6.5
	1.5	5.6	0.9	0.7	8.8
	2.0	7.0	1.1	0.8	11.2
	2.5	8.3	1.2	1.0	13.3
	3.0	9.7	1.3	1.1	14.8
	3.5	11.0	1.4	1.2	16.4
	4.0	12.4	1.6	1.4	18.0
燃气	0.5	2.6	0.6	0.4	3.4
	1.0	3.6	0.7	0.6	4.9
	1.5	4.6	0.8	0.7	6.5
	2.0	5.6	1.0	0.8	8.1
	2.5	6.7	1.1	1.0	9.6
	3.0	7.7	1.2	1.1	11.1
	3.5	8.7	1.4	1.2	11.9
	4.0	9.7	1.5	1.4	12.6
	4.5	10.7	1.6	1.5	13.4
	5.0	11.7	1.8	1.6	14.2

注 1：对于水平安装的燃烧器，燃烧器中心线与顶部炉管中心或耐火材料间的距离应比 B 列的数据大 50%。
注 2：对于油—气联合燃烧器，除仅在开工时燃油外，其间距应按燃油设计。
注 3：对于常规气体燃烧器（非低 NO_x），允许减少距离。A 列应乘以系数 0.77，D 列应乘以系数 0.67。
注 4：表中所列数据的中间值可用内插法查出。
注 5：对于天然气燃料，过剩空气系数为 1.15 且炉膛温度为 870℃，NO_x 的排放量低于 70mg/m³ 的燃烧器，A 列和 D 列的数据应增加 20%。

10.9 燃烧器砖应预先烘干。由水基和含水材料制成的燃烧器砖，其预先烘干温度不应小于 260℃。

10.10 燃烧器的出力范围调节比：液体燃料至少应为 1：3，气体燃料至少应为 1：5。

10.11 在规定的最大发热量条件下，燃烧器的抽力损失不应大于可利用抽力的 90%。

10.12 燃烧器的噪声不应大于 85dB (A)，否则应装设消声设施。

10.13 燃烧器应符合 TSG 11 的相关规定。

表 13 强制通风低 NO_x 燃烧器的最小间距

每台燃烧器的最大放热量 MW	燃烧器中心至靠墙炉管中心的水平距离 m
燃油	
2.00	0.94
3.00	1.19
4.00	1.36
5.00	1.53
6.00	1.67
8.00	1.92
10.00	2.15
12.00	2.35
燃气	
2.00	0.94
3.00	1.19
4.00	1.36
5.00	1.52
6.00	1.67
8.00	1.79
10.00	1.93
12.00	2.04
注 1：水平安装的燃烧器，燃烧器中心线与顶部炉管中心或耐火材料的距离应比表中的数据大 50%。 注 2：对于油—气联合燃烧器，除仅在开工时燃油外，其间距应按燃油设计。 注 3：表中所列数据的中间值可用内插法查出。 注 4：由于缺乏相应的数据，其他间距本表未作规定。 注 5：当热强度接近允许的最高值时，可能需要增加表中所列间距。	

11 吹灰系统

11.1 一般规定

- 11.1.1 当燃油加热炉对流段采用扩面管时，对流段应装设在线吹灰器。
- 11.1.2 当燃油加热炉采用空气预热器时，空气预热器应装设在线吹灰器。
- 11.1.3 吹灰介质宜为空气，入口处吹灰介质的压力不应低于 1.0MPa。
- 11.1.4 吹灰器吹扫范围内的炉墙应采取防冲刷措施。

11.2 吹灰器

- 11.2.1 宜采用气动旋转式或其他型式固定吹灰器。
- 11.2.2 吹灰管应采用奥氏体不锈钢管。
- 11.2.3 当吹灰介质压力为 1.0MPa 时，固定旋转式吹灰器的有效吹灰半径应按表 14 选用。

表 14 吹灰管有效长度和吹灰半径

单位为米

吹灰管有效长度	有效吹灰半径
1.1	1.2
1.5	1.0
2.0	0.85
2.6	0.75

11.2.4 固定旋转式吹灰器宜上下各吹扫三排管子，当管子外径小于或等于 88.9mm，且每个吹灰管的喷孔数量不大于 14 个时，则吹灰排数可增加一排。

11.2.5 吹灰器应配套装设自动吹灰控制器。吹扫应逐个进行，各排的吹扫顺序应与烟气流动方向一致。

11.3 空气压缩机

11.3.1 应选用固定风冷式螺杆空气压缩机，当用于沙漠地区时，要求空气压缩机有较好的密封性能和防尘保护措施。

11.3.2 空气压缩机的额定排气压力不应小于 1.2MPa。

11.4 空气储罐

11.4.1 空气储罐应符合 GB/T 150.1 ~ 150.4 的规定，并接受 TSG 21 的监察。

11.4.2 空气储罐应为立式，容积不宜小于 5m³，设计压力不应低于 1.6MPa。

12 灭火系统

12.1 被加热介质为油气的管式加热炉，应配备灭火系统，灭火气体可采用蒸汽、氮气或其他灭火气体。

12.2 当采用蒸汽灭火时，灭火蒸汽量应按 1m³ 炉膛体积每小时提供 32kg 蒸汽，并保证事故时蒸汽的持续供应。

12.3 氮气灭火系统由氮气瓶组或氮气罐、阀组、仪表及管路组成。氮气瓶组或氮气罐应与加热炉灭火气体接口连通并保证事故时氮气的持续供应。

12.4 氮气瓶组或氮气罐储存的灭火用氮气量应保证 15min 内至少可充满 3 倍炉膛体积。

13 环境保护

13.1 大气污染防治

13.1.1 管式加热炉排放的大气污染物应符合 GB 13271 和所在地大气污染物排放标准的有关规定。

13.1.2 管式加热炉排放颗粒物浓度不达标时，宜采用袋式除尘技术实现达标排放。

13.1.3 管式加热炉烟气排放中二氧化硫浓度超过标准时，应采取脱硫设施。

13.1.4 氮氧化物排放控制宜优先采用低氮燃烧技术，若不能实现达标排放，应结合烟气脱硝技术实现达标排放。

13.2 噪声与振动防治

13.2.1 管式加热炉系统各工作场所的噪声限值，应符合 GBZ 1 和 GBZ 2.2 的规定。控制室的噪声，

不应大于 70dB(A)，值班室的噪声，不应大于 75dB(A)，其他工作场所不应大于 85dB(A)。

13.2.2 燃烧器、风机、油泵等设备，应选用低噪声产品，并采取降噪和减震措施：

- a) 燃烧器宜设置隔声罩降噪；
- b) 鼓风机的进风口宜设置消声器；
- c) 风机、油泵等设备与基础之间宜设置隔振器或隔振材料。

13.2.3 动设备与管道连接宜采用柔性接头连接。

14 配件

14.1 看火门

14.1.1 管式加热炉应设置看火门和观察孔。

14.1.2 看火门和观察孔应能观察到所有辐射管和燃烧器正常操作和点火时的火焰情况。

14.2 人孔

14.2.1 每个炉膛均应设置人孔。

14.2.2 管式加热炉应设置快开式人孔。

14.2.3 在烟囱或烟道上应设置人孔。

14.2.4 炉底面积较小的圆筒炉，可利用燃烧器开孔代替人孔。

14.3 防爆门

14.3.1 管式加热炉辐射室应设置防爆门。防爆门数量按每 100m³ 炉膛体积设置一个确定，其开孔面积不应小于 0.2m²。

14.3.2 当一个炉膛分为几个隔室时，每个隔室至少应设置一个防爆门。

14.3.3 防爆门应开启灵活，关闭时密封良好。防爆门应设在发生爆炸后不会危及人身和设备安全的部位。

14.4 挡板

14.4.1 当烟囱或烟风道内部净截面积不大于 1.2m² 时可使用单轴式挡板。

14.4.2 挡板上应装有手动或自动调节机构，并能使挡板处于从全开到全关之间的任何位置。

14.4.3 挡板上应装有显示挡板开度的外部指示器。

14.4.4 当挡板的控制信号失灵或驱动力断开时，应保证挡板不会关闭，并能自动回到指定位置。

15 仪表管接口设置要求

15.1 烟气和空气

15.1.1 测温点的设置满足下列要求：

- a) 每个辐射室至少应设一个炉膛测温点；
- b) 辐射段烟气出口处应设一个测温点；
- c) 无空气预热器的烟囱入口处应设一个测温点；
- d) 空气预热器的烟气和空气出入口应设置测温点，通往燃烧器的风道末端应设置测温点。

15.1.2 测压点的设置满足下列要求：

- a) 每个辐射室至少应设一个炉膛测压点；

- b) 辐射段烟气出口处应设一个测压点；
- c) 无空气预热器的烟囱入口处应设一个测压点；
- d) 空气预热器的烟气和空气出入口应设置测压点；
- e) 燃烧器空气管道调节挡板下游侧应设置一个测压点。

15.1.3 烟气取样口的设置满足下列要求：

- a) 每个辐射室烟气出口处宜设置一个烟气取样口或氧量计接口；
- b) 每个烟囱下部应设置烟气检测孔，检测孔的位置、数量及规格应符合 GB/T 5468 的规定。

15.2 工艺流体

15.2.1 每个进出炉工艺流体管道上应设置一个测温点和测压点。

15.2.2 管式加热炉由对流至辐射转油线上宜设置测温点。

15.2.3 炉外炉管最低位置应设置紧急放空管接头，其尺寸不宜小于 DN80，材质应与所连接管子材质相同。

15.2.4 在炉管、集合管或工艺流体管道最高位置应设置一个 DN25 的放空管接头。

15.3 管壁热电偶

15.3.1 当采用管壁热电偶时，管壁热电偶应焊于炉管外壁向火面 60° 范围内，导线、绝缘体和保护套的设计应与炉管预计的位移相适应。

15.3.2 保护套应为气体密封式，材质应为奥氏体不锈钢或适合操作条件的其他合金钢。保护套通过焊制的夹子或卡子固定到炉管上，所有热电偶组件均应在管式加热炉上采用热电偶接线盒连接。

15.4 辅助管接头

15.4.1 灭火管接头

15.4.1.1 每个燃烧室至少应设置一个 DN40 或 DN50 的灭火气体管接头。

15.4.1.2 管接头焊于端部板外侧，穿过炉墙的开孔应衬奥氏体不锈钢套管。

15.4.2 吹扫和排污管接头

15.4.2.1 当对辐射或对流炉管进行水洗或机械清灰时，对于八角箱型卧式管式加热炉，在辐射段炉底至少应设置一个 DN100 排污管接头，不排污时，接头端部应密封。

15.4.2.2 当要求对辐射或对流炉管进行水洗或机械清灰时，对于圆筒型卧式管式加热炉，在辐射段及对流段炉底至少应各设置一个 DN100 排污管接头，不排污时，接头端部应密封。

15.5 管接头位置

15.5.1 所有仪表管接头和采样管接头应能在地面、平台或直梯上进行操作。

15.5.2 在地面或平台上操作的热电偶管接头，不应高于地面或平台 2m。

15.5.3 烟气取样管接头不宜高于地面或平台 1.2m。

15.5.4 在固定直梯上操作的管接头距直梯中心线横向距离不应大于 0.8m，且至该直梯顶端梯蹬距离不应大于 0.9m。

15.6 其他要求

15.6.1 管式加热炉应设置自控仪表要求的其他管接头。

15.6.2 所有穿过炉墙的管接头，应在炉墙上设置与墙内表面齐平的耐热不锈钢套管。

15.6.3 管接头停止使用时，应用丝堵或其他方法封闭。

16 控制、仪表和安全保护系统

16.1 一般规定

16.1.1 管式加热炉宜采用 PLC 控制并应自成系统，实现全自动控制。

16.1.2 根据被加热介质温度变化，应能自动调节加热炉的热负荷。

16.1.3 管式加热炉应有完善的点火程序控制和炉膛熄火保护装置。

16.1.4 管式加热炉应具有非正常情况的报警和停炉安全保护功能。

16.1.5 热负荷大于或等于 2500kW 的加热炉宜有氧量分析装置。如有要求，应增加氧量控制系统参与负荷调节。

16.1.6 管式加热炉应设置可靠的流量监测设施，当被加热介质出现最小流量时应自动停炉。

16.1.7 控制设备、电气设备包括加热炉的紧急按钮应安装在易于操作的安全位置。

16.1.8 对发生故障也必须进行持续操作的设备（例如照明）应采取防爆措施。

16.1.9 管式加热炉应设置自动保护装置，并在下列情况下应能自动停炉：

- a) 介质出炉温度超过允许值时；
- b) 介质出炉压力超过允许值时；
- c) 介质入、出炉压差超过允许值时；
- d) 炉膛温度超过允许值时；
- e) 炉膛熄火时；
- f) 排烟温度超过允许值时；
- g) 介质流量降到规定最小值时；
- h) 燃烧器发生故障时。

16.2 控制柜及仪表

16.2.1 控制柜及仪表应能对所有参数进行自动检测、控制，并执行报警和自动停炉保护功能。

16.2.2 控制柜及仪表宜提供与站控系统连接的通信接口，将运行参数、状态、报警信号等数据传送到中心控制室，并接受中心控制室的紧急停炉等信号。

16.2.3 控制柜应采用全封闭外壳，应能全天候防尘防水，控制柜及仪表防护等级不应低于 IP55。

16.3 监测及控制

应对表 15 所列参数进行监测及控制。

表 15 监测及控制

参数	监测位置	显示	控制	报警	停炉
介质入炉温度	控制盘 / 就地	✓			
介质出炉温度	控制盘 / 就地	✓	✓	高报	高高停

表 15 (续)

参数	监测位置	显示	控制	报警	停炉
介质入炉压力	控制盘/就地	✓			
介质出炉压力	控制盘/就地	✓		高报	高高停
介质入出炉压力差	控制盘/就地	✓		低报	低低停
介质流量	控制盘/就地	✓		低报	低低停
燃料压力	控制盘/就地	✓		高低报	
燃料温度 ^a	控制盘/就地	✓		高低报	
燃料耗量	控制盘/就地	✓			
炉膛温度	控制盘/就地	✓		高报	高高停
管壁温度 ^b	控制盘/就地	✓		高报	高高停
炉膛压力	控制盘	✓		高低报	
炉膛火焰监测	控制盘	✓		熄火报	熄火停
排烟温度	控制盘/就地	✓		高报	高高停
烟气氧量	控制盘	✓			
火焰故障	控制盘/就地	✓		报警	停炉
空气储罐压力	控制盘/就地	✓		低报	高高停空压机/ 低起空压机
灭火气体压力	控制盘/就地	✓		低报	
其他报警	控制盘	✓		报警	

^a 当燃料为气体时, 燃料温度报警为可选项。
^b 管壁温度为选择项, 仅当有特殊要求时列为监控参数。

17 工厂制造和安装

17.1 一般规定

17.1.1 管式加热炉的制造单位应具有 SY 0031 规定的相应资质。

17.1.2 热负荷小于或等于 5000kW 的卧式管式加热炉, 宜采用轻型撬装管式加热炉; 热负荷大于 5000kW 的管式加热炉, 宜采用现场组装的管式加热炉。

17.1.3 管式加热炉及所有附属设备、梯子和平台在运输、安装和吊装能力允许的条件下, 应最大程度地进行工厂组装。炉管端部及其他机加工表面应涂敷易清除的防锈介质。受压部件开口处应封严, 以防外部杂质进入。

17.1.4 管式加热炉钢结构制造与验收应符合 GB 50205 的适用条款的有关规定。

17.1.5 管式加热炉炉管的制造应符合 SH/T 3085 和 SH/T 3523 的有关规定。

17.1.6 制造管式加热炉的炉管和管件应符合设计文件要求, 并应附有出厂合格证和质量证明文件。材料代用应取得原设计单位的书面认可。

17.1.7 焊条、焊丝应符合 GB/T 5117、GB/T 5118、GB/T 983 和 GB/T 14957 的规定, 所选择的型号应与母材金属相匹配。

17.1.8 焊接材料应具有产品质量证明文件, 且实物与证书上的批号相符。焊条药皮不应有受潮、脱

落或明显裂纹。

17.1.9 焊条的烘干应按焊接工艺指导书进行。烘干后的焊条应放在 100℃ ~ 150℃ 的恒温箱内储存随用随取。

17.1.10 焊丝在使用前应清除铁锈和油渍等污物，直到露出金属光泽为止。

17.1.11 供货商应说明耐火和隔热材料在运输、储存和安装过程中应采取的保护措施。

17.1.12 管式加热炉的焊接应由具有相应资质的焊工担任，焊工应在焊接接头附近打上自己的钢印代号，辐射炉管迎火段拼接焊缝不得打焊工钢印，其焊工代号应记录在炉管单线图。上。

17.1.13 炉管施焊前的焊接工艺评定应符合 NB/T 47014 的规定，其焊接规程应参照 NB/T 47015 有关规定。

17.1.14 加热炉制造过程中，当焊件环境温度低于 0℃ 时，焊前应在施焊处 100mm 范围内预热到 15℃ 以上方可施焊。如出现下列任一情况且无有效防护措施时，禁止施焊：

- a) 焊条电弧焊时风速大于 10m/s；
- b) 气体保护焊时风速大于 2m/s；
- c) 相对湿度大于 90%；
- d) 雨、雪环境；
- e) 焊件温度低于 -20℃。

17.1.15 施焊前应将坡口及两侧 20mm 范围内的铁锈、油污及其他杂质清理干净，打磨至见金属光泽。

17.2 钢结构制造

17.2.1 一般要求

17.2.1.1 钢板对焊焊缝应为连续、全焊透焊缝。

17.2.1.2 钢板和钢构件间的外部水平焊缝，上侧应为连续角焊缝，下侧为每 225mm 焊 50mm 的间断角焊缝，斜面和立面外焊缝应为双面连续角焊缝。

17.2.1.3 立柱和底板上的圆孔和长圆螺栓孔应钻制或冲制。柱脚板与立柱连接焊缝应在工厂内焊完。

17.2.1.4 节点板的最小厚度应为 6mm。

17.2.1.5 工厂连接件应用法兰连接或焊接。除非所提供的全部结构为加强型法兰连接，现场连接的炉体板接头和烟囱的中间接头应采用焊接；其他所有的现场连接接头均应采用法兰连接，当现场不能进行法兰连接时，应采用安装卡具或其他适当的定位设施进行现场焊接。

17.2.1.6 主要结构连接螺栓的最小规格应为 M16，当法兰宽度有限制时，任何情况下螺栓规格不应小于 M12。

17.2.1.7 钢构件上的排水孔最小直径应为 12mm。花纹钢板平台上每 1.4m² 应开设一个直径为 12mm 的排水孔。

17.2.1.8 烟囱挡板叶片和转轴之间的连接螺栓，安装后应牢固点焊；烟囱挡板及操纵机构安装后，应转动灵活、操作自如。

17.2.1.9 耐火材料用锚固件应用手工焊或螺柱焊于筒体上。采用手工焊时应全圆周焊接。

17.2.1.10 质量超过 1820kg 的所有部件应配设安装吊耳。吊耳的允许荷载应为该部件质量的 1.5 倍。

17.2.1.11 烟囱制造符合以下要求：

- a) 烟囱筒体垂直度偏差为每 15m 高不应大于 25mm；
- b) 烟囱筒体的直线度为任何 3m 长不应大于 3mm；
- c) 沿烟囱筒体任何截面上，最大直径与最小直径之差不应超过该截面公称直径的 2%；
- d) 烟囱筒体任一连接处的错边量不应超过公称壁厚的 25%，且不大于 3mm；
- e) 环向接缝的棱角度用 900mm 的直规以接缝为中心测量时，其间隙不应大于 8mm。

17.2.2 钢零部件加工

17.2.2.1 钢结构所用材料尺寸的允许偏差值应符合其产品标准要求，否则按 GB 50205 有关规定矫正。

17.2.2.2 钢板和型钢在热矫正和热加工过程中，其烧损量应小于厚度的 10%。

17.2.2.3 碳素结构钢在环境温度低于 -16°C 时、低合金结构钢在环境温度低于 -12°C 时，不应进行冷矫正、剪切或冲孔。

17.2.2.4 型钢和钢板的下料允许偏差符合以下规定：

- a) 型钢的长度偏差应小于长度的 $1/2000$ ，且不应大于 2mm；
- b) 钢板的长度和宽度偏差应小于 2mm，对角线偏差应小于 3mm；
- c) 节点板、加强板和肋板的尺寸偏差应小于 1.5mm；
- d) 柱脚板及其他厚板，可采用氧乙炔气割下料，加工后应清除边缘的毛刺、渣滓、溅斑和熔瘤，其长度和宽度的偏差应小于 3mm。

17.2.2.5 立柱与柱脚底板接触面应整平，整平后其间隙不应大于 0.3mm；其接触面积不应小于立柱截面积的 70%。

17.2.2.6 炉体壁板连接处的错边量不应超过公称板厚的 25%，且不大于 3mm。

17.2.2.7 筒体纵向焊接接头处的棱角，用弦长 600mm 的弧形样板以接头为中心测量时，其偏差不应大于 5mm。

17.2.2.8 筒体环向焊接接头处的棱角，用长 900mm 的直规以接头为中心测量时，其偏差不应大于 8mm。

17.2.2.9 筒体任何截面上最大直径与最小直径之差，不应超过该截面公称直径的 1%，且不大于 20mm。

17.2.2.10 筒体直度允许偏差不应大于筒体长度的 $2/1000$ ，且不大于 10mm；筒体端面平面度允许偏差不应大于公称直径的 $1/1000$ ，且不大于 2mm。

17.2.2.11 箱式炉框架结构平面内两对角线长度之差和炉膛空间对角线长度之差均不得大于 10mm。

17.2.2.12 钢板制焊接管板，其长度和宽度偏差应小于 3mm；整块管板最大翘曲值应小于 10mm；管板上两相邻管孔间距偏差应小于 2mm，任意两管孔间距偏差应小于 5mm；管板上两相邻安装螺栓孔间距偏差应小于 2mm，任意两安装螺孔间距的偏差应小于 5mm。

17.2.2.13 钢结构组装后的偏差符合以下规定：

- a) 组合柱的高度偏差应小于 3mm；垂直度偏差应小于高度的 $1/1000$ ，且不大于 10mm；柱的弯曲矢高不应大于高度的 $1/1000$ ，且不大于 15mm；
- b) 组合柱上相邻两级板间距偏差不应大于 5mm；
- c) 主梁中心跨距偏差不应大于 5mm；
- d) 主梁水平度偏差不应大于跨度的 $1/1500$ ；
- e) 主梁跨中垂直度偏差不应大于梁高度的 $1/500$ ；
- f) 两端管板与中间管板（管架）的管孔同轴度偏差不应大于 4mm；管板垂直度偏差不应大于高度的 $5/1000$ ；
- g) 辐射室顶梁与对流室及对流室顶梁与烟囱的安装螺栓孔，其相邻螺栓孔间距偏差应小于 2mm，任意两螺栓孔间距的偏差应小于 4mm。

17.2.2.14 墙板的挠曲矢高不应大于 8mm；凹凸变形采用 1.5m 长的直线样板检查，不应大于 12mm。

17.2.2.15 墙板的高度和宽度允许偏差不应大于 5mm。

17.2.2.16 管架在安装前应进行外观检查，其表面质量、外形尺寸应符合设计文件的规定。

17.2.2.17 铸造的管架的表面不得有裂纹、冷隔、浇注不足、疏松、气孔、夹渣、沙眼等缺陷。外形尺寸应符合设计文件规定。安装时，不得敲打、摔撞和强力安装，螺栓拧紧后应退回 $1/4$ 螺距。

17.2.2.18 管架的安装符合下列规定：

- a) 卧管管架标高允许偏差应为 $\pm 2\text{mm}$ ；
- b) 立管管架中心位置允许偏差应为 2mm 。

17.3 炉管制造

17.3.1 炉管在加工前应进行外观检查。表面应平整，不应有裂纹、折叠、轧折、分层、结疤等缺陷，并不应有严重锈蚀。

炉管外形尺寸允许偏差，应符合现行相关标准和设计文件的规定。弯头外形尺寸允许偏差，应符合 SY/T 0510 和设计文件的规定。

17.3.2 炉管焊接坡口的型式及尺寸应符合设计要求，采用机械方法加工；坡口成形后，应进行外观检查，其表面不应有裂纹、分层、夹渣等缺陷。

17.3.3 单根炉管拼接应按设计要求制作。拼接后每米长度的直度偏差不应大于 1mm 。

17.3.4 炉管组对前应矫直，直度偏差不应大于管长的 $1/1000$ ；且整根炉管长度不超过 6m 时，全长直度偏差不应大于 4mm ；超过 6m 时，全长直度偏差不应大于 8mm 。

17.3.5 与 180° 弯头相焊的两根炉管的两端应齐平，长短相差不应大于 2mm 。

17.3.6 炉管与炉管、弯头对接时，同轴度允许偏差不应大于 1mm 。炉管外径不大于 101.6mm 时，对口错边量不应大于 0.5mm ；炉管外径大于 101.6mm 时，对口错边量不应大于 1mm 。若外径相同，壁厚差值大于 1mm 时，应将厚壁件削薄，削薄长度至少应为削薄厚度的 4 倍。

17.3.7 炉管与炉管、弯头的对接焊缝应采用氩弧焊打底，炉管系统的焊接接头应采用全焊透结构，焊接时不应采用永久性垫环。

17.3.8 除非另有要求，采用钨极气体保护焊焊接铬钼钢根部焊道时，保护气体应为氩气或氮气，焊接奥氏体不锈钢可采用氮气保护。

17.3.9 焊接接头的表面质量应符合 GB/T 150.4 的有关规定。

17.3.10 炉管与炉管、炉管与管件的焊接，除炉内组对焊接外，宜在胎具上进行。

17.3.11 炉管组对时，作为焊接接头组成部分的定位焊，符合以下规定：

- a) 焊接工艺与正式焊的焊接工艺相同；
- b) 定位焊缝的长度宜为 $10\text{mm} \sim 20\text{mm}$ ，高度为 $2\text{mm} \sim 4\text{mm}$ ；
- c) 严禁强力组对；
- d) 定位焊缝应沿管周均匀分布，正式焊接时，起焊点应在两定位焊缝之间；
- e) 定位焊应焊透，当发现裂纹等焊接缺陷时必须清除后重焊；
- f) 定位焊缝的两端应平滑过渡，否则应打磨修整；
- g) 当有预热要求时，定位焊的预热温度取上限。

17.3.12 焊接时应在坡口内引弧，严禁在非焊接部位引弧。铬钼钢炉管及管件表面不得有电弧擦伤等缺陷。

17.3.13 焊前预热符合以下规定：

- a) 炉管和管件施焊前，应根据钢材的淬硬倾向及焊接环境进行预热，预热温度可按表 16 确定；
- b) 预热方法宜采用电加热、红外线加热或在预热炉内加热；若无条件，也可用火焰加热，火焰不应触及焊道坡口；
- c) 预热范围应以对口处为基准两侧各不小于 100mm ；预热区以外的 100mm 范围应予以保温；
- d) 不同钢号铬钼钢之间的焊接，预热温度应取淬硬倾向较大侧材质的预热温度下限；碳钢与铬钼钢、铬钼钢与奥氏体钢组成的焊接接头，仅预热铬钼钢一侧。

17.3.14 焊接铬钼钢材质时，当达到预热温度后，应立即进行焊接，且应连续焊完。如焊接中断，应立即进行温度为 $300^\circ\text{C} \sim 350^\circ\text{C}$ 、时间为 $15\text{min} \sim 30\text{min}$ 的后热处理，然后保温缓冷至室温。再焊接时应对接头进行检查，确认无裂纹等缺陷后方可按原焊接工艺继续进行焊接。

表 16 炉管、管件焊接预热温度

材料	预热温度, °C	备注
10、20	一般不预热	当焊接环境温度低于 0°C 时, 预热至 15°C 以上
12CrMo	150 ~ 200	当焊接环境温度低于 0°C 时, 预热温度取上限
15CrMo	150 ~ 250	

17.3.15 焊后热处理符合以下规定:

- a) 需进行焊后热处理的焊接接头焊完后, 应立即进行焊后热处理, 否则应采取后热、缓冷等措施;
- b) 炉管、管件的焊后热处理参数, 可按表 17 确定;

表 17 焊后热处理参数

参数	内容	
升温速度	a) 300°C 以下可不控制; b) 升温至 300°C 后, 不应大于 220°C/h	
热处理温度	材料	温度, °C
	10, 20	通常不做热处理
	12CrMo	600 ~ 720
	15CrMo	700 ~ 750
恒温时间	每毫米壁厚恒温 3min, 且不小于 1h	
冷却速度	a) 恒温后的冷却速度不大于 275°C/h; b) 300°C 以下自然冷却	

- c) 焊后热处理宜采用电加热、红外线加热或在预热炉内加热;
- d) 热处理的加热范围, 应以对口处为基准两侧各不小于焊缝宽度的 3 倍且不小于 25mm, 加热区以外的 100mm 范围应予以保温;
- e) 异种钢焊接接头的焊后热处理温度应取合金含量较高侧的温度下限;
- f) 热处理后, 应对焊接接头及其附近母材分别抽检表面硬度, 抽检数量不应少于热处理焊接接头总量的 10%, 所测硬度值应符合相应材料规范要求, 否则, 应重新热处理并做硬度测试。

17.3.16 焊接接头的返修符合以下规定:

- a) 分析缺陷产生原因, 制定可行的返修方案, 经焊接责任工程师批准后实施;
- b) 同一部位的返修次数不宜超过 2 次; 超过 2 次以上的返修, 应经制造单位技术总负责人批准, 并将返修次数、部位和无损检测结果等记入质量证明书中;
- c) 要求热处理的炉管焊接接头, 应在热处理前进行返修; 如在热处理后进行返修, 返修后应再做热处理并做硬度测试;
- d) 压力试验后需返修时, 返修部位应按原要求进行检验, 并应重新进行压力试验。

17.3.17 钉头管其钉头根部的焊着面积不应小于钉头截面积的 90%, 钉头对炉管的垂直度偏差不应大于 2mm, 钉头纵向及横向距离偏差不应大于 2mm, 钉头总数允许误差不应大于 2%。钉头焊接弧坑深度超过 0.5mm 应补焊, 焊后不应有裂纹、夹渣等缺陷。钉头应采用酸洗后的圆钢制作。

17.3.18 翅片管的翅片应与炉管垂直，其偏斜应小于 15° ，每 2.50m 长焊缝允许不连续的累计长度为 65mm。翅片根部的焊着面积不应小于翅片根部截面积的 90%。

17.4 耐火和隔热材料施工

17.4.1 陶瓷纤维衬里施工按照 SH/T 3128 有关要求进行。

17.4.2 轻质浇注衬里施工按照 SH/T 3115 有关要求进行。

17.4.3 材料应在供货商建议的储存温度下储存，并应避免受潮、风化和其他杂质侵入。

17.4.4 耐火材料施工前，钢结构表面的污物、油脂、油漆、浮锈和其他杂物应清除干净。

17.4.5 除耐火材料供货商另有规定外，耐火材料施工用水应为洁净水，且温度为 $7^\circ\text{C} \sim 32^\circ\text{C}$ 。

17.4.6 材料的准备和施工应按材料供货商的建议进行。

17.4.7 底部为圆形的锚固件应采用全圆周焊，其他锚固件应沿两侧焊接在壁上。

17.4.8 钢丝网锚固应在浇注料施工前进行牵拉就位并焊接固定，保持其在浇注层中处于适当位置。

17.4.9 陶瓷纤维衬里符合以下要求：

- a) 层铺式陶瓷纤维衬里施工时，应按设计要求将保温钉焊接牢固；
- b) 层铺式陶瓷纤维衬里层间应错缝铺设，每层的接缝处及层间应完全贴合；
- c) 陶瓷纤维模块施工时，应按设计要求将锚固件焊接牢固；
- d) 陶瓷纤维模块施工时，应检查其外形尺寸，如尺寸误差超标则应重新捆扎整形；
- e) 陶瓷纤维衬里安装完毕后，表面应平整，不应有间隙、缺角、起毛、裂纹等缺陷；
- f) 衬里检查合格后，按设计要求涂刷高温涂料。

17.4.10 浇注衬里符合以下要求：

- a) 施工和养护期间，浇注衬里的表面温度应保持在 $7^\circ\text{C} \sim 38^\circ\text{C}$ 。
- b) 采用机械喷涂法施工时，衬里应由下至上逐段水平喷涂；喷涂应在规定的区域内按所要求的厚度进行，如喷涂间断，应立即将衬里铲除至炉壁板表面，铲除衬里的切口应与壁板表面垂直。
- c) 施工过程中的回弹料不应再用于衬里。
- d) 浇注衬里表面的伸缩缝应符合材料供货商的规定。
- e) 每层衬里施工后应进行适当养护；初凝后应立即进行至少 24h 的养护，工厂浇注的衬里在施工后 72h 内不应运输或试验。

17.5 安装要求

17.5.1 管式加热炉的安装单位应具有 SY 0031 规定的相应资质。

17.5.2 安装单位应负责保证安装的管式加热炉符合管式加热炉供货商提供的图纸和规程，管式加热炉的安装应符合本文件有关规定。

17.5.3 装运已经浇注衬里的壁板时应防止耐火材料过度开裂或从钢结构上脱落。

17.5.4 应防止气候对耐火材料造成的损坏，避免材料被雨淋湿或浸泡；其防护措施包括加盖防雨罩和排水，将门和弯头箱关紧和密封等。

17.5.5 对耐火材料边缘露出部分应采取防护措施，以防碰裂边缘和棱角。对已衬里的炉体表面应避免冲击。

17.5.6 两壁板或构件间的现场连接处，应按管式加热炉供货商的要求进行密封。

17.5.7 壁板或构件结构的连接接头，应用与其相邻耐火层等厚度的耐火材料连续覆盖。

17.5.8 浇注结构的炉衬烘炉升温曲线应符合 SH/T 3115 要求。

17.5.9 加热炉烘炉时，炉管内介质应符合设计文件要求。

18 检查、检测和试验

18.1 一般规定

18.1.1 供货商应对管式加热炉所有外购零部件、工厂组合件进行检查，以保证其材料和制造工艺符合相应的标准和图纸要求。

18.1.2 当业主要求时，应在制造开始前举行业主和供货商联席会议，确定检查、检测有关事宜。

18.2 炉管焊接接头的检测及检验

18.2.1 焊缝的目视检查及射线、超声、磁粉或液体渗透检测应符合 NB/T 47013.1 ~ 47013.6 及本文件的规定。

18.2.2 炉管、弯头、管件、集合管与转油线的焊接接头检测范围符合以下规定。

- a) 炉管的对接接头：介质为油、气或油气混合物时，应进行 100% 的射线检测或 100% 的超声检测加至少 20% 的射线检测；介质为水（包括含油污水）时，至少应进行 20% 的射线检测。射线检测 II 级合格；超声检测 I 级合格。
- b) 对于结构上难于进行射线或超声检测的焊接接头，可用液体渗透或磁粉检测代替，I 级合格。
- c) 有延迟裂纹倾向的材料应至少在焊接完成 24h 后进行无损检测。

18.2.3 无损检测人员应由通过 TSG Z8001 考核，并取得资格证书的人员担任。

18.3 其他部件的检验

18.3.1 管式加热炉钢结构工程检验与验收应按 GB 50205 和 SH/T 3086 的有关规定。

18.3.2 弯头的检验与验收应符合 SY/T 0510 的有关规定。

18.3.3 辐射室铸钢管架的检验与验收应按 SH/T 3087 的有关规定。

18.3.4 对流段铸铁管架的检验与验收应按 SH/T 3114 的有关规定。

18.3.5 在施工期间应全面检查耐火衬里厚度变化和养护后可能产生的裂纹及密实程度。厚度偏差应为 $-6\text{mm} \sim 13\text{mm}$ 。宽度大于或等于 3mm 和深度大于衬里厚度 50% 的裂纹应返修。返修时应铲去不密实和待修的耐火材料直至背层交接面或金属表面，并至少露出三个锚固件或金属本体。密实的耐火材料之间的接头应做成至少 25mm 的接茬，并一直到基层（榫接结构）。然后采用喷涂、浇注或手工捣制方法进行修补。

18.3.6 钉头管钉头不应有成片的缺漏，即最多不得同时在纵横两个方向连续缺漏 4 个，且漏焊或未焊牢而脱落的钉头数量累计不应大于总数的 2%，钉头管还应符合 17.3.17 的规定。

18.3.7 翅片管应符合 17.3.18 的规定。

18.4 炉管压力试验

18.4.1 组装完成的炉管应进行水压试验，炉管的水压试验应在无损检测合格后进行。

18.4.2 试验用压力表应使用两个量程相同的、并经检定合格的压力表。压力表的量程应为 1.5 ~ 3 倍的试验压力，宜为试验压力的 2 倍。压力表的精度不得低于 1.6 级，表盘直径不得小于 100mm。

18.4.3 试压试验保压期间，不应采用连续加压以维持压力不变。水压试验过程中不应带压拧紧紧固件或对受压元件施加外力。

18.4.4 炉管水压试验时，炉管内的气体应排尽并充满水，试验过程中应保持炉管观察表面的干燥。

18.4.5 试验压力应大于或等于 1.5 倍炉管设计压力乘以炉管在试验温度下的许用应力与炉管在金属设计温度下的许用应力之比，同时还满足以下要求：

- a) 最大试验压力应使最薄弱处的应力不超过该材料在环境温度下屈服强度的 90%；

b) 水压试验压力至少保持 1h 以检查是否泄漏，以压力表压力不降、管道所有部位无渗漏为合格。

18.4.6 碳钢炉管试压时，水温不应低于 5℃；铬钼低合金钢炉管试压时，水温不应低于 15℃。冬季试压时应采取防冻措施。试压合格后，应立即将水放净，并用压缩空气吹扫干净。

18.4.7 水压试验应采用洁净水。对奥氏体材料，水中氯离子含量不应大于 25mg/L。

18.4.8 对奥氏体不锈钢炉管，不应采用加热汽化的方法除去水分。

18.5 其他试验

18.5.1 耐火层试验

18.5.1.1 浇注料施工后应做锤击试验，检查耐火层内是否有空洞。对双层衬里，应在每层养护后分别进行锤击试验。应用 450g 圆头机工锤沿整个表面敲击，敲击点可为下列方格交点处：

a) 炉顶为 600mm×600mm；

b) 侧墙和炉底为 900mm×900mm。

18.5.1.2 烘炉结束后，应对衬里进行全面检查，并做好检查记录。

18.5.2 钉头管试验

对组装好的钉头管应以锤击试验随机抽查钉头的焊接质量，用 0.5kg 重的钢锤轻敲钉头的一侧（约 5.5J/cm² 的冲击值），以钉头不脱落为合格。

18.5.3 证实性材料鉴定

18.5.3.1 证实性材料鉴定系检查金属产品的化学成分是否在规定范围内，应使所检查材料与所用材料一致，严禁混料。

18.5.3.2 证实性材料鉴定方法、检验仪器及检验人员资格应在制造前由业主和供货商协商一致。产品分析相对熔炼分析的误差应在相应规范规定的范围之内。

18.5.3.3 除非另有要求，所有合金钢部件的 10% 应进行证实性材料鉴定试验，碳钢炉管材料也应按炉批号进行证实性材料鉴定试验。

18.5.3.4 试验项目记录应整理保存并作为供货商合格证明文件的一部分。

19 出厂文件、铭牌、涂敷和运输

19.1 出厂文件

19.1.1 应提供管式加热炉的质量证明文件：

a) 出厂合格证；

b) 受压元件材料质量证明书；

c) 焊接质量检查报告；

d) 水压试验报告；

e) 与标准和设计不符项目的说明。

19.1.2 其他文件：

a) 主要设计数据：操作介质、介质入出口温度、介质流量（额定及最小流量）、设计压力、试验压力、热负荷、热效率、排烟温度、燃料耗量等管式加热炉竣工总图，工艺和强度计算书；

b) 安装和使用说明书；

c) 所有受压部件和扩面用合金材料质量证明书（包括熔炼分析）、工厂试验报告；

- d) 管式加热炉及附属设备的安装、操作和维修说明书；
- e) 空气预热器，通风机、驱动机、挡板、燃烧器、空压机及其他附属设备的性能曲线或数据表（附录 B 所列主要设备）；
- f) 材料清单（主要部件）；
- g) 噪声数据；
- h) 耐火层烘干程序；清灰程序（如需要）；
- i) 所有其他试验文件，包括试验报告和无损检测报告；
- j) 引进部件应提供原产地证明。

19.2 铭牌

19.2.1 应在明显位置设置耐腐蚀金属材料制作的铭牌。

19.2.2 铭牌上至少应标明下列内容：

- a) 管式加热炉的型号、名称；
- b) 制造厂名称和制造许可证号；
- c) 产品编号；
- d) 额定热负荷，kW；
- e) 加热介质；
- f) 设计压力，MPa；
- g) 设计温度（入口、出口），℃；
- h) 设计热效率，%；
- i) 总质量，kg；
- j) 设备外形尺寸，长×宽×高，mm×mm×mm；
- k) 制造日期；
- l) 出厂检验单位及检验标志。

19.3 涂覆、包装与运输

19.3.1 管式加热炉的涂覆包装和运输除应符合本文件外，还应符合 NB/T 47055 的规定。

19.3.2 需要涂敷防腐涂料的设备及其部件，应经检验合格后方允许涂敷防腐涂料。

19.3.3 需要涂敷防腐涂料的设备及其部件表面应予以清理除锈。外表面至少应涂底漆二遍，面漆颜色及种类应符合设计文件规定。

19.3.4 管式加热炉及附属设备的橇装结构可采用裸装，管口及法兰密封面应采用有效措施防护。

19.3.5 所有钢结构及其附件应采用字高为 50mm 的字母或数字清晰地作出标识。所有散件，如杆件、紧固件和垫片等，均应置于袋内、筒内或箱内运输。袋、筒或箱外应带有标出内装零件尺寸、直径和长度的标签。标签应用金属制造并用钢印标识。

19.3.6 管式加热炉所有设备发货之前，应提供安装图和部件清单。安装图上的安装标记，现场焊缝尺寸和长度应采用高度至少为 3mm 的字号表示。螺栓清单中应说明每个连接部位所用螺栓的数量、直径、长度和材料。

19.3.7 管式加热炉所有设备安装用螺栓、螺母至少应提供 5% 的备用量。

19.3.8 管式加热炉所有设备应有明显的起吊、防雨、防倾等标志。

19.3.9 管式加热炉所有设备应牢固地固定在运输车、船上，以防窜动。

附录 A
(资料性)
管式加热炉工艺计算方法

A.1 加热炉热负荷计算

A.1.1 管式加热炉工艺计算所需的设计条件见 4.1。

A.1.2 被加热介质的比焓的计算见 A.1.2.1 ~ A.1.2.3。

A.1.2.1 原油和石油馏分的比焓，有实测的比焓参数时，应按实测数据进行计算；也可由图 A.1 查取。

A.1.2.2 气体的比焓按公式 (A.1) 计算：

$$h_g = \sum_{i=1}^n X_i h_i \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

h_g ——气体的比焓，单位为千焦每立方米 (kJ/m^3) (m^3 系指在 101.325kPa 和 273.15K 下的体积)；

X_i ——第 i 组分的体积分数，用百分数表示；

h_i ——第 i 组分的比焓，单位为千焦每立方米 (kJ/m^3)。

A.1.2.3 水的比焓按照压力和温度查未饱和水的热力性质表。

A.1.3 加热原油或其他液体介质的加热炉的热负荷按公式 (A.2) 计算：

$$Q = \frac{q_m (i_2 - i_1)}{3.6 \times 10^3} + q \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

Q ——加热炉的热负荷，单位为千瓦 (kW)；

q_m ——被加热介质的质量流量，单位为千克每小时 (kg/h)；

i_1 ——被加热介质在进炉温度时的比焓，单位为千焦每千克 (kJ/kg)；

i_2 ——被加热介质在出炉温度时的比焓，单位为千焦每千克 (kJ/kg)；

q ——其他热负荷，单位为千瓦 (kW)。

A.1.4 加热气体介质的加热炉的热负荷按公式 (A.3) 计算：

$$Q = \frac{q_v (i_{g2} - i_{g1})}{3.6 \times 10^3} + q \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

Q ——加热炉的热负荷，单位为千瓦 (kW)；

q_v ——被加热气体的体积流量，单位为立方米每小时 (m^3/h)；

i_{g1} ——被加热气体在进炉温度时的比焓，单位为千焦每立方米 (kJ/m^3)；

i_{g2} ——被加热气体在出炉温度时的比焓，单位为千焦每立方米 (kJ/m^3)；

q ——其他热负荷，单位为千瓦 (kW)。

A.2 燃烧计算

A.2.1 一般规定

油气田和油气输送管道管式加热炉的燃料主要为原油或天然气。在计算燃烧空气量和烟气量时，

均按 1kg 燃料油或 1m³ 燃料气计算，以 273.15K 为基准温度。

A.2.2 燃料油的燃烧计算

A.2.2.1 燃料油的低位发热量按 GB 384 进行实测；无实测数据时，可按公式 (A.4) 计算：

$$Q_e = 339C + 1030H + 108.8(S - O) - 25.1W \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

Q_e ——燃料油的低位发热量，单位为千焦每千克 (kJ/kg)；

C、H、S、O、W——燃料油中碳、氢、硫、氧元素和水分的质量分数，用百分数表示。

A.2.2.2 燃料油完全燃烧时的理论空气量按公式 (A.5) 计算：

$$L_0 = (2.67C + 8H + S - O) / 23.2 \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

L_0 ——理论空气量，kg (空气) / kg (燃料油)；

C、H、S、O——燃料油中碳、氢、硫、氧元素的质量分数，用百分数表示。

A.2.3 燃料气的燃烧计算

A.2.3.1 燃料气的低位发热量，应采用量热计实测；如条件不具备，也可按真实气体计算发热量。

A.2.3.2 当燃料气中含 3% 以下成分不明的不饱和烃时，该不饱和烃按乙烯考虑。

A.2.3.3 燃料气完全燃烧时的理论空气量按公式 (A.6) 计算：

$$L_0 = 0.0619 \left[0.5H_2 + 0.5CO + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n + 1.5H_2S - O_2 \right] \quad \dots\dots (A.6)$$

式中：

L_0 ——燃料气的理论空气量，kg (空气) / m³ (燃料气)；

H₂、CO、H₂S、C_mH_n、O₂——燃料气中各组分的体积分数，用百分数表示；

m ——碳氢化合物中的碳原子数；

n ——碳氢化合物中的氢原子数。

A.3 加热炉设计热效率的计算

A.3.1 加热炉排烟温度 t_4 和过剩空气系数 α 按本文件有关要求。

A.3.2 工艺计算中，加热炉本身的设计热效率 (即不计入辅机的能耗) 按公式 (A.7) 计算：

$$\eta = 100\% - q_1 - q_2 - q_3 \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

式中：

η ——加热炉的设计热效率，用百分数表示；

q_1 ——烟气离开加热炉时带走的热量损失 (燃料油的 q_1 也可根据排烟温度和过剩空气系数 α 由图 A.2 查取)，用百分数表示；

q_2 ——加热炉表面散热损失，用百分数表示；

q_3 ——机械和化学不完全燃烧损失，用百分数表示。

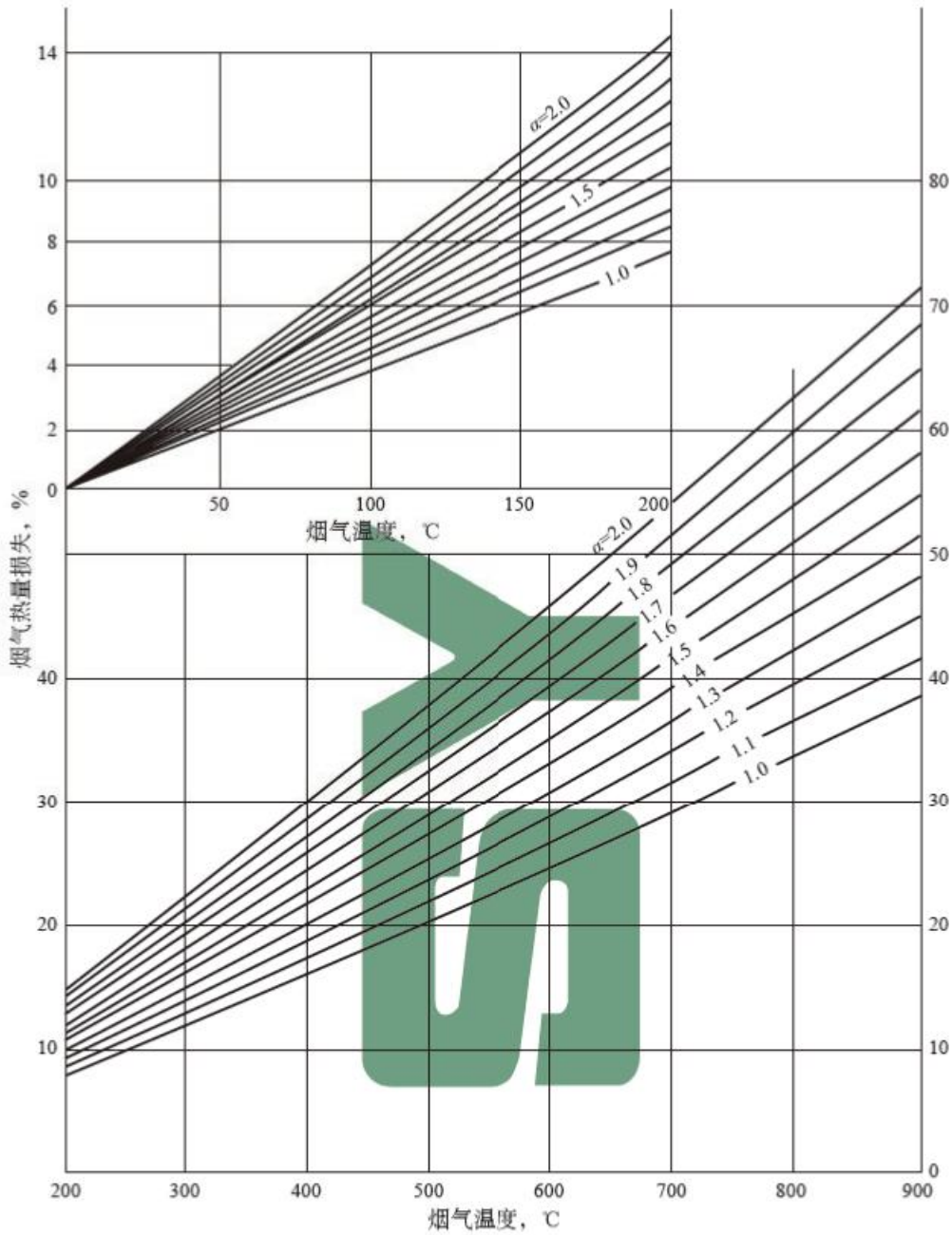


图 A.2 烟气热量损失

A.3.3 燃料用量按公式 (A.8) ~ 公式 (A.12) 计算：

$$B = 3.6 \times 10^3 \frac{Q}{(Q_e + Q_a + Q_f + Q_s)\eta} \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

$$Q_a = L_o i_a \alpha \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

$$i_a = \left[0.24 t_a + (597.3 + 0.44 t_a) \frac{d_a}{1000} \right] \times 1.163 \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

$$Q_s = W_s i_s \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

$$Q_t = c_t \Delta t_t \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

式中：

B ——燃料用量，千克每小时 (kg/h) 或立方米每小时 (m³/h)；

Q ——加热炉的热负荷，单位为千瓦 (kW)；

Q_c ——燃料的低位发热量，单位为千焦每千克 (kJ/kg) (燃油) 或千焦每立方米 (kJ/m³) (燃气)；

Q_a ——空气进炉显热 (如空气不预热时， Q_a 可以不计)，千焦每千克 (kJ/kg) 或千焦每立方米 (kJ/m³)；

Q_f ——燃料进炉显热 [Q_f 按公式 (A.12) 计算]，单位为千焦每千克 (kJ/kg) (燃油) 或千焦每立方米 (kJ/m³) (燃气)；

Q_s ——雾化蒸汽进炉显热，单位为千焦每千克 (kJ/kg) (燃料)；

η ——加热炉的设计效率，用百分数表示；

L_o ——燃料的理论空气量，kg (空气)/kg (燃料油) 或 kg (空气)/m³ (燃料气)；

i_s ——空气进炉温度时的比焓；

t_a ——燃烧空气进燃烧器前的温度，单位为摄氏度 (°C)；

d_a ——环境空气的湿含量，单位为克每千克 (g/kg) (空气)；

W_s ——雾化蒸汽消耗量，单位为千克每千克 (kg/kg) (燃料)；

i_s ——雾化蒸汽比焓，单位为千焦每千克 (kJ/kg) (蒸汽)；

c_t ——燃料比热容，单位为千焦每千克开 [kJ/(kg·K)] 或千焦每立方米开 [kJ/(m³·K)]；

Δt_t ——燃料进炉温度与基准温度之差，单位为开尔文 (K)。

A.4 辐射段计算

A.4.1 一般规定

A.4.1.1 辐射段的传热计算采用罗伯—伊万斯 (LOBO—EVANS) 的图解计算方法。

A.4.1.2 辐射段计算时，应首先假设下列数据：

- a) 辐射段炉膛平均烟气温度 T_g , K；
- b) 辐射段热负荷 Q_R (按加热炉热负荷的 65% ~ 75% 估算), kW；
- c) 辐射炉管管壁平均温度 T_w (按辐射炉管内介质平均温度加 30°C ~ 60°C 考虑，炉管内介质平均温度为炉管内介质进出口温度之和的一半), K；
- d) 辐射炉管平均表面热流密度、炉管内介质质量流速、管径等按本文件有关要求选取。

A.4.2 辐射段热平衡计算

A.4.2.1 辐射段传热速率方程式见公式 (A.13)：

$$Q_R = \left[4.93 \times 10^{-8} F_a A_{\text{sp}} F (T_g^4 - T_w^4) + C_1 F_a A_{\text{sp}} F (T_g - T_w) \right] \times 1.163 \times 10^{-3} \quad \dots\dots (A.13)$$

式中：

Q_R ——辐射段热负荷，单位为千瓦 (kW)；

F_a ——有效吸收因数 [单排管单面辐射时，取如下数值：当辐射炉管管心距 $S=2D$ (D 为辐射炉

管外径, m) 时, 取 $F_a=0.88$; 当辐射炉管管心距 $S=1.82D$ 时, 取 $F_a=0.91$];

A_p ——当量平面 [按公式 (A.15) 计算], 单位为平方米 (m^2);

F ——气体交换因数 (计算方法见 A.4.4);

T_g ——辐射段炉膛平均烟气温, 单位为开尔文 (K);

T_w ——辐射炉管管壁平均温度, 单位为开尔文 (K);

C_1 ——系数 (辐射段为圆筒形时, $C_1=40.60$; 辐射段为箱型时, $C_1=34.20$)。

A.4.2.2 辐射段热平衡方程式见公式 (A.14):

$$Q_R = \frac{B}{3.6} (Q_e + Q_a + Q_f + Q_s) (1 - q_R - q_g) \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (A.14)$$

式中:

Q_R ——辐射段热负荷, 单位为千瓦 (kW);

B ——燃料用量, 单位为千克每小时 (kg/h) 或立方米每小时 (m^3/h);

Q_e ——燃料的低位发热量, 单位为千焦每千克 (kJ/kg) (燃油) 或千焦每立方米 (kJ/m^3) (燃气);

Q_a ——空气进炉显热 (如空气不预热时, Q_a 可以不计), 千焦每千克 (kJ/kg) 或千焦每立方米 (kJ/m^3);

Q_f ——燃料进炉显热 [Q_f 按公式 (A.12) 计算], 千焦每千克 (kJ/kg) (燃油) 或千焦每立方米 (kJ/m^3) (燃气);

Q_s ——雾化蒸汽进炉显热, 单位为千焦每千克 (kJ/kg) (燃料);

q_R ——辐射段表面散热损失 (取 1% ~ 1.5%);

q_g ——离开辐射段炉膛的烟气 (温度为 T_g) 带走的热量损失, 计算方法同公式 (A.7) 中的 q_1 , 用百分数表示;

采用试算法, 按假设的各种炉膛温度 T_g 代入计算, 直至按公式 (A.13) 和公式 (A.14) 计算的 Q_R 近似相等, 此时的 T_g 、 Q_R 即为最终计算结果。

A.4.3 当量平面计算

当量平面 A_p 按公式 (A.15) 计算:

$$A_p = nL_n S \quad \dots\dots\dots (A.15)$$

式中:

A_p ——当量平面, 单位为平方米 (m^2);

n ——辐射炉管根数;

L_n ——辐射炉管有效长度, 单位为米 (m);

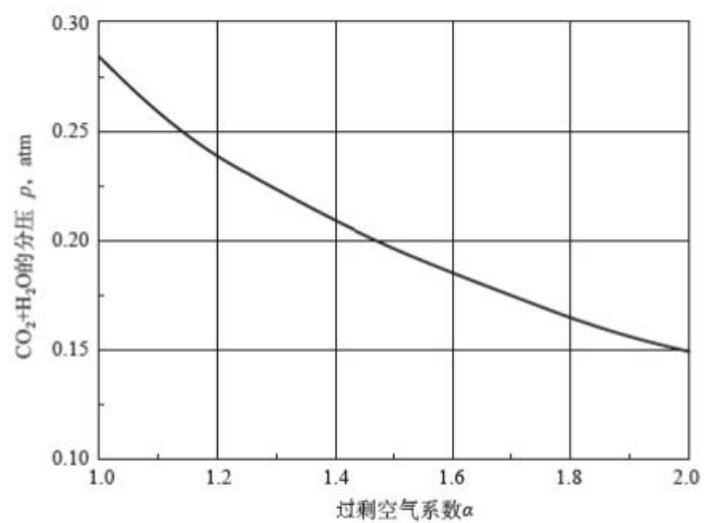
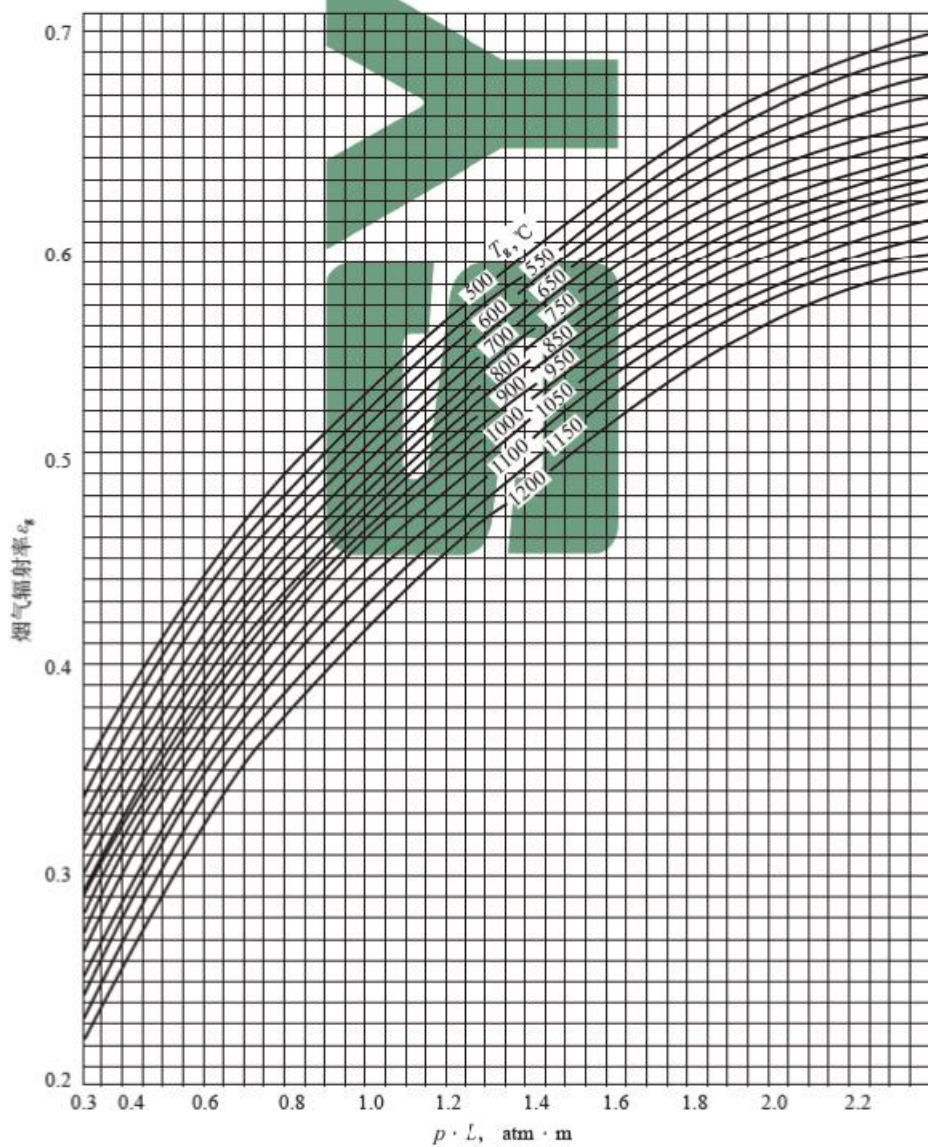
S ——辐射炉管管心距, 单位为米 (m)。

A.4.4 气体交换因数 F 计算步骤

A.4.4.1 烟气中二氧化碳 (CO_2) 加水蒸气 (H_2O) 的分压值 p (单位: atm), 根据过剩空气系数 α 由图 A.3 查取。

A.4.4.2 决定平均气体辐射长度 L (单位: m), 不同炉形的平均气体辐射长度由表 A.1 查取。

A.4.4.3 根据 $p \cdot L$ 和辐射段烟气平均温度 T_g , 由图 A.4 查得烟气辐射率 ε_g 。

图 A.3 烟气中 CO_2 和 H_2O 的分压图 A.4 烟气辐射率 ϵ_g

A.4.4.4 炉膛有效辐射率 ϵ_s 和气体交换因数 F 按公式 (A.16)、公式 (A.17) 计算：

$$\epsilon_s = \epsilon_g \left[1 + \left(\frac{\sum F}{F_a \cdot A_{cp}} - 1 \right) / \left(1 + \frac{\epsilon_g}{1 - \epsilon_g} \frac{\sum F}{F_a \cdot A_{cp}} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (A.16)$$

$$F = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_t} + \frac{1}{\epsilon_s} - 1} \quad \dots\dots\dots (A.17)$$

式中：

ϵ_s ——炉膛有效辐射率；

ϵ_g ——烟气辐射率；

$\sum F$ ——炉膛总内表面积，单位为平方米 (m²)；

F_a ——有效吸收因数 [单排管单面辐射时，取如下数值：当辐射炉管管心距 $S=2D$ (D 为辐射炉管外径，m) 时，取 $F_a=0.88$ ；当辐射炉管管心距 $S=1.82D$ 时，取 $F_a=0.91$]；

A_{cp} ——当量平面，单位为平方米 (m²)；

ϵ_t ——炉膛表面辐射率 (对于碳钢、铬钼钢炉管， $\epsilon_t=0.9$)。

表 A.1 平均气体辐射长度 L

单位为米

辐射段型式		平均气体辐射长度 L
长方形	长—宽—高 (任何顺序)： 1—1—1 至 1—1—3 1—2—1 至 1—2—4	$(2/3)\sqrt[3]{\text{炉膛体积}}$
	1—1—4 至 1—1— ∞ 1—2—5 至 1—2— ∞ 1—3—3 至 1— ∞ — ∞	1× 最小尺寸 1.3× 最小尺寸 1.8× 最小尺寸
	直径—长度： 1—1	$(2/3) \times \text{直径}$
	1—2 至 1— ∞	1× 直径

A.5 对流段计算

A.5.1 对流段总传热系数 k_c 按公式 (A.18)、公式 (A.19) 计算：

$$k_c = \frac{h_i^* \cdot h_o^*}{h_i^* + h_o^*} \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (A.18)$$

$$h_i^* = \frac{1}{\frac{1}{h} + M_i} \quad \dots\dots\dots (A.19)$$

式中：

k_c ——对流段总传热系数，单位为千瓦每平方米开尔文 [kW/(m²·K)]；

h_i^* ——包括结垢热阻在内的管内膜传热系数，单位为瓦每平方米开尔文 [W/(m²·K)]；

h_o^* ——包括结垢热阻在内的管外膜传热系数 (对流段采用光管时 h_o^* 的计算见 A.5.4，对流段采用

钉头管时 h_0 的计算见 A.5.5；对流段采用翅片管时 h_0 的计算见 A.5.6)，单位为瓦每平方米开尔文 [$W/(m^2 \cdot K)$]；

h_i ——管内膜传热系数（计算方法见 A.5.3），单位为瓦每平方米开尔文 [$W/(m^2 \cdot K)$]；

M_i ——管内膜结垢热阻，单位为平方米开尔文每瓦 ($m^2 \cdot K/W$)。

A.5.2 对数平均温度差按公式 (A.20)、公式 (A.21) 计算：

$$\Delta t = \frac{(t_g - t'_1) - (t_s - t_1)}{\ln \left(\frac{t_g - t'_1}{t_s - t_1} \right)} \quad \dots\dots\dots (A.20)$$

$$t'_1 = t_2 - (t_2 - t_1) \cdot \frac{Q_R}{Q} \quad \dots\dots\dots (A.21)$$

式中：

Δt ——对流平均温度差，单位为摄氏度 ($^{\circ}C$)；

t_g ——对流段烟气进口温度，即辐射段炉膛烟气平均温度，单位为摄氏度 ($^{\circ}C$)；

t'_1 ——对流段被加热介质出口温度，即辐射段被加热介质进口温度，单位为摄氏度 ($^{\circ}C$)；

t_s ——对流段烟气出口温度，单位为摄氏度 ($^{\circ}C$)；

t_1 ——对流段被加热介质进口温度，单位为摄氏度 ($^{\circ}C$)；

t_2 ——被加热介质出炉温度，单位为摄氏度 ($^{\circ}C$)。

A.5.3 管内膜传热系数 h_i ，应按对流管内介质的不同流动状态分别计算。

A.5.3.1 管内介质流动的雷诺数按公式 (A.22) 计算：

$$Re = \frac{d_i \cdot G_r}{\mu} \quad \dots\dots\dots (A.22)$$

式中：

Re ——雷诺数；

d_i ——炉管内径，单位为米 (m)；

G_r ——管内介质质量流速，单位为千克每平方米秒 [$kg/(m^2 \cdot s)$]；

μ ——管内介质在平均温度下的动力黏度（管内介质平均温度，指对流段被加热介质进出口温度之和的一半），单位为帕斯卡秒 ($Pa \cdot s$)。

A.5.3.2 管内介质流动状态为紊流（雷诺数 $Re > 10^4$ ）时的管内膜传热系数 h_i 按下列公式计算：

a) 管内介质为液体时：

$$h_i = \frac{0.0267}{d_i} Re^{0.8} \cdot \lambda \cdot Pr^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu'} \right)^{0.14} \quad \dots\dots\dots (A.23)$$

b) 管内介质为水时：

$$h_i = \left[3600(1 + 0.015t) \cdot W^{0.8} / (100d_i)^{0.2} \right] \times 1.163 \quad \dots\dots\dots (A.24)$$

c) 管内介质为气体时：

$$h_i = 0.0244 \times \frac{\lambda}{d_i} \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \cdot \left(\frac{T}{T_w} \right)^{0.5} \quad \dots\dots\dots (A.25)$$

d) 普朗特准数 Pr 按下式计算：

$$Pr = \frac{c\mu'}{\lambda} \times 10^3 \quad \dots\dots\dots (A.26)$$

式中：

h_i ——管内膜传热系数，单位为瓦每平方米开尔文 $[W/(m^2 \cdot K)]$ ；

d_i ——炉管内径，单位为米 (m)；

Re ——雷诺数；

λ ——管内介质在平均温度下的热导率，单位为瓦每米开尔文 $[W/(m \cdot K)]$ ；

Pr ——普朗特准数；

μ ——管内介质在平均温度下的动力黏度，单位为帕斯卡秒 (Pa·s)；

μ' ——管内介质在管壁温度下的动力黏度，单位为帕斯卡秒 (Pa·s)；

t ——管内介质的平均温度，单位为摄氏度 (°C)；

W ——管内介质流速，单位为米每秒 (m/s)；

T ——管内介质的平均温度 (T 值等于对流段被加热介质进出口温度之和的一半)，单位为开尔文 (K)；

T_w ——对流炉管管壁温度 (T_w 等于管内介质的平均温度加 30°C)，单位为开尔文 (K)；

c ——管内介质在平均温度下的比热容，单位为千焦每千克开尔文 $[kJ/(kg \cdot K)]$ 。

A.5.3.3 管内介质流动状态处于紊流水力光滑区 (雷诺数 $Re=2200 \sim 10000$) 范围内的管内膜传热系数按公式 (A.27)、公式 (A.28) 计算：

a) 管内介质为液体时：

$$h_i = \frac{0.135}{d_i} (Re^{0.667} - 125) \cdot \lambda \cdot Pr^{0.33} \cdot \left[1 + \left(\frac{d_i}{L} \right)^{0.667} \right] \cdot \left(\frac{\mu}{\mu'} \right)^{0.14} \quad \dots\dots\dots (A.27)$$

b) 管内介质为气体时：

$$h_i = \frac{0.025}{d_i} (Re^{0.8} - 100) \cdot \lambda \cdot Pr^{0.4} \cdot \left[1 + \left(\frac{d_i}{L} \right)^{0.667} \right] \cdot \left(\frac{T}{T_w} \right)^{0.45} \quad \dots\dots\dots (A.28)$$

式中：

L ——每管程炉管长度，单位为米 (m)。

A.5.3.4 管内介质流动状态为层流 (雷诺数 $Re < 2200$) 时的管内膜传热系数按公式 (A.29) 计算：

$$h_i = \frac{2.163}{d_i} \lambda \cdot Re^{0.33} \cdot Pr^{0.33} \cdot \left(\frac{d_i}{L} \right)^{0.33} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu'} \right)^{0.14} \quad \dots\dots\dots (A.29)$$

A.5.4 对流段采用光管时管外膜传热系数的计算见 A.5.4.1 ~ A.5.4.4。

A.5.4.1 烟气对流传热系数 h_{oc} 按公式 (A.30) 计算：

$$h_{oc} = 10.98 \times \frac{G_E^{0.667} \cdot T_s^{0.3}}{d_c^{0.333}} \quad \dots\dots\dots (A.30)$$

式中：

h_{oc} ——光管的对流传热系数，单位为瓦每平方米开尔文 $[W/(m^2 \cdot K)]$ ；

G_g ——对流段烟气质量流速，单位为千克每平方米秒 $[(\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}))]$ ；

T_g ——对流段烟气平均温度，单位为开尔文 (K)；

d_c ——对流炉管外径，单位为毫米 (mm)。

A.5.4.2 烟气辐射传热系数 h_{or} 按公式 (A.31) 计算：

$$h_{or} = \frac{5.675 \times 10^{-8} \left(\frac{1 + \varepsilon_t}{2} \right) (\varepsilon_g \cdot T_A^4 - \varepsilon_t \cdot T_W^4)}{T_A - T_W} \quad \dots\dots\dots (\text{A.31})$$

式中：

h_{or} ——烟气辐射传热系数，单位为瓦每平方米开尔文 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ ；

T_A ——平均气体温度（平均气体温度为管内介质平均温度 T 加对数平均温度差 Δt ），单位为开尔文 (K)。

A.5.4.3 管外膜传热系数 h_o 按公式 (A.32) 计算：

$$h_o = 1.1(h_{oc} + h_{or}) \quad \dots\dots\dots (\text{A.32})$$

A.5.4.4 包括结垢热阻在内的管外膜传热系数 h_o^* 按公式 (A.33) 计算：

$$h_o^* = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + M_o} \quad \dots\dots\dots (\text{A.33})$$

式中：

M_o ——管外膜结垢热阻，单位为瓦每平方米开尔文 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ 。

A.5.5 对流段采用钉头管时， h_i 按公式 (A.34)~公式 (A.39) 计算：

$$h_i = 10.98 \times \frac{G_g^{0.667} \cdot T_g^{0.3}}{d_s^{0.333}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.34})$$

$$h_i^* = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + 0.0043} \quad \dots\dots\dots (\text{A.35})$$

$$\Omega = \frac{T_b(mb)}{mb} \quad \dots\dots\dots (\text{A.36})$$

$$m = \left(\frac{h_i \cdot i_i}{0.86 \lambda_i \cdot a_x} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.37})$$

$$h_{oc}^* = \frac{1}{\frac{1}{h_{oc}} + 0.0043} \quad \dots\dots\dots (\text{A.38})$$

$$h_o^* = 1.163 \times \frac{(h_i^* \cdot \Omega \cdot a_i + h_{oc}^* \cdot a_o)}{a_o} \quad \dots\dots\dots (\text{A.39})$$

式中：

- h_s ——钉头表面传热系数，单位为瓦每平方米开尔文 [W/(m²·K)]；
- h_s^* ——包括结垢热阻在内的钉头表面传热系数，单位为瓦每平方米开尔文 [W/(m²·K)]；
- Ω ——钉头效率；
- b ——钉头高，单位为米 (m)；
- l_s ——钉头周边长，单位为米 (m)；
- d_s ——钉头直径，单位为米 (m)；
- λ_s ——管材热导率，单位为瓦每米开尔文 [W/(m·K)]；
- a_s ——钉头的断面面积，单位为平方米 (m²)；
- T_h ——双曲正切；
- G_g ——烟气通过钉头管束时的质量流速，单位为千克每平方米秒 [kg/(m²·s)]；
- h_{bc}^* ——包括结垢热阻在内的钉头管（或翅片管）光管部分管外对流传热系数 [按公式 (A.38)、公式 (A.39) 计算]，单位为瓦每平方米开尔文 [W/(m²·K)]；
- h_{bc} ——按公式 (A.30) 计算；
- m ——系数；
- h_0^* ——包括结垢热阻在内的钉头管管外膜传热系数，单位为瓦每平方米开尔文 [W/(m²·K)]；
- a_s ——每米钉头管的钉头部分外表面积，单位为平方米 (m²)；
- a_b ——每米钉头管光管部分的外表面积，单位为平方米 (m²)；
- a_0 ——每米钉头管光管的外表面积，单位为平方米 (m²)。

A.5.6 对流段采用环向翅片管时，包括结垢热阻在内的管外膜传热系数的计算见 A.5.6.1、A.5.6.2。

A.5.6.1 翅片效率按公式 (A.40) 计算：

$$\Omega_f = \frac{T_h \left(x \sqrt{\frac{2h_{bc}^*}{\lambda \cdot y}} \right)}{x \sqrt{\frac{2h_{bc}^*}{\lambda \cdot y}}} \dots\dots\dots (A.40)$$

式中：

- Ω_f ——翅片效率；
- x ——翅片高度，单位为米 (m)；
- y ——翅片厚度，单位为米 (m)。

A.5.6.2 翅片管管外膜传热系数按公式 (A.41) 计算：

$$h_0^* = h_{bc}^* \frac{\Omega_f \cdot a_f + a_0}{a_0} \dots\dots\dots (A.41)$$

式中：

- h_0^* ——包括结垢在内的翅片管管外膜传热系数，单位为瓦每平方米开尔文 [W/(m²·K)]；
- a_f ——每米翅片管的翅片表面积，单位为平方米 (m²)。
- a_0 ——每米翅片管的光管部分表面积，单位为平方米 (m²)。

A.5.7 对流炉管的表面积和管排数分别按公式 (A.42)、公式 (A.43) 计算：

$$A = \frac{Q}{K_c \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (A.42)$$

$$N_c = \frac{A}{n_w \cdot L_c \cdot d_c \cdot \pi} \dots\dots\dots (A.43)$$

式中：

- Q_c ——对流段热负荷，单位为千瓦 (kW)；
 A_c ——对流炉管表面积，单位为平方米 (m²)；
 N_c ——对流炉管管排数；
 n_w ——每排对流炉管的根数；
 L_c ——每根对流炉管的有效长度，单位为米 (m)。

A.6 炉管压力降计算

A.6.1 对于辐射段和对流段，当液体介质无相变化时，通过炉管压力降按公式 (A.44)、公式 (A.45) 计算：

$$\Delta p = 2 f \frac{L}{d_i} u^2 \cdot \rho \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (A.44)$$

$$L_e = nL + (n-1) \cdot \varphi \cdot d_i \quad \dots\dots\dots (A.45)$$

式中：

- Δp ——介质通过辐射炉管或对流炉管的压力降，单位为兆帕 (MPa)；
 L_e ——每程辐射炉管或每程对流炉管的当量长度，单位为米 (m)；
 n ——每程辐射炉管或每程对流炉管的根数；
 u ——辐射段或对流段炉管内介质的流速，单位为米每秒 (m/s)；
 ρ ——炉管内介质在操作条件下的密度，单位为千克每立方米 (kg/m³)；
 L ——每根炉管的长度，单位为米 (m)；
 φ ——与炉管连接形式有关的系数 (当用 180° 急弯弯头时， $\varphi=45$)；
 f ——水力摩擦系数 (由图 A.5 查取)；
 d_i ——炉管内径，单位为米 (m)。

A.6.2 当加热炉被加热介质进口高度高于工艺管线而造成的压力降，必须计入加热炉炉管压力降，其值按公式 (A.46) 计算：

$$\Delta p' = \rho \cdot \Delta H \cdot g \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (A.46)$$

式中：

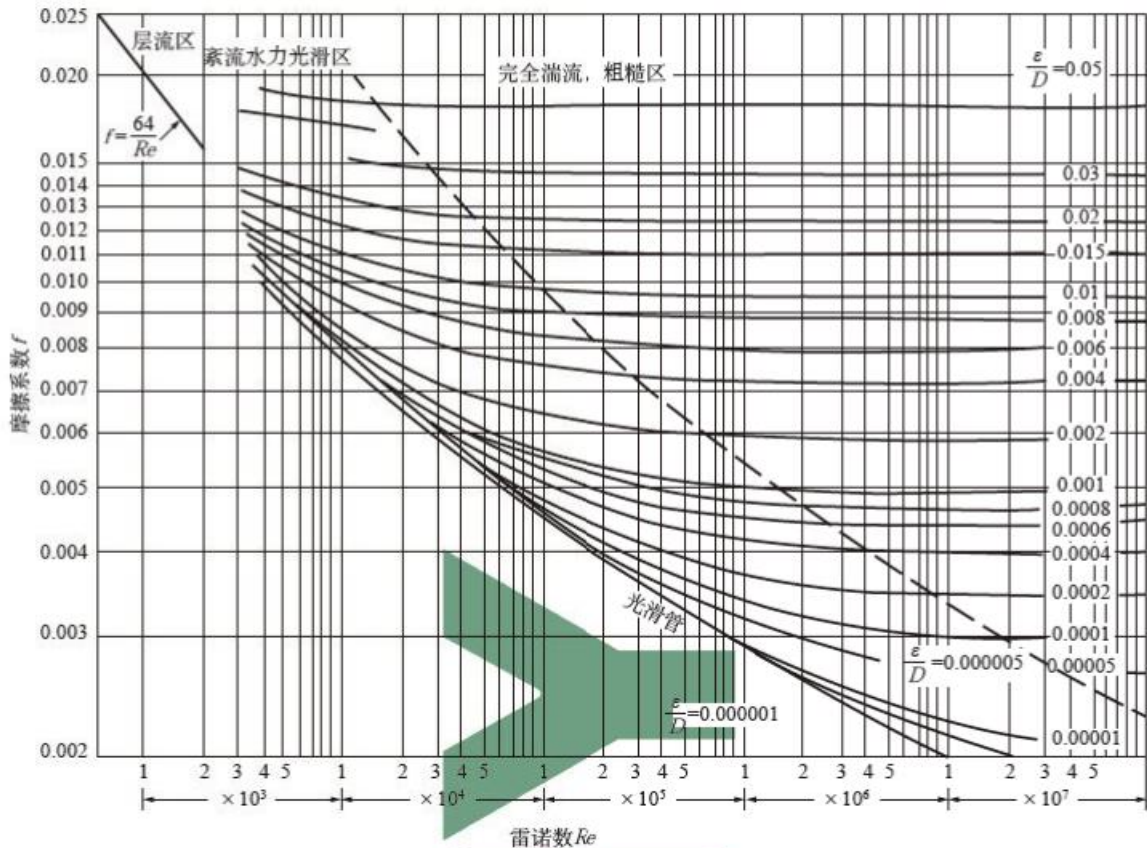
- $\Delta p'$ ——加热炉被加热介质进口高于工艺管线造成的压力降，单位为兆帕 (MPa)；
 ΔH ——加热炉被加热介质进口标高与工艺管线标高之差，单位为米 (m)。

A.6.3 加热炉炉管总压力降等于辐射段炉管压力降、对流段炉管压力降、被加热介质进口与工艺管线间高度差造成的压力降三部分之和。

A.7 烟囱计算

A.7.1 烟气通过交错水平排列光管管排的阻力按公式 (A.47) 计算：

$$\Delta H_1 = \frac{T_s}{9250} G_g^2 \cdot N_c \left(\frac{d_p G_g}{\mu_g \times 10^3} \right)^{-0.2} \times 10^{-2} \quad \dots\dots\dots (A.47)$$



D —炉管内径, m; ϵ —管壁粗糙度, m (对于无缝钢管, 取 0.0003m)

图 A.5 水力摩擦系数 f

式中:

ΔH_1 ——烟气通过交错水平排列光管管排的阻力, 单位为千帕 (kPa);

d_p ——管子之间的间隙, 单位为米 (m);

μ_g ——烟气动力黏度, 单位为帕斯卡秒 (Pa·s)。

A.7.2 烟气通过交错水平排列钉头管管排的阻力计算, 先分别用公式 (A.48)、公式 (A.49) 计算钉头区域外部和内部的流通面积, 用公式 (A.50) 计算钉头区域外部的烟气质量流速 G_{g0} ; 用公式 (A.51) 计算钉头管管排的阻力 $\Delta H_1'$ 。

$$A_{s0} = [W_c - (d_c + 2b) \cdot n_w] L_c \quad \dots\dots\dots (A.48)$$

$$A_{s1} = W_c \cdot L_c - d_c \cdot L_c \cdot n_w - L_c \cdot n_w \times \frac{1000}{d_p'''} \times 2d_s \cdot b - A_{s0} \quad \dots\dots\dots (A.49)$$

$$\left(\frac{W_g}{G_{g0}} - A_{s0} \right)^{1.8} = \frac{A_{s1}^{1.8}}{N_s} \left(\frac{d_p''}{d_p'''} \right)^{0.2} \quad \dots\dots\dots (A.50)$$

$$\Delta H_1' = \frac{T_s}{9250} \cdot G_{g0}^2 \cdot N_c \left(\frac{d_p'' \cdot G_{g0}}{\mu_g \times 10^3} \right)^{-0.2} \times 10^{-2} \quad \dots\dots\dots (A.51)$$

式中:

- $\Delta H'_1$ ——钉头管管排的阻力，单位为千帕 (kPa)；
- G_{g0} ——烟气在钉头管区域外部的质量流速，单位为千克每平方米秒 [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]；
- A_{s0} ——钉头区域外部的流通面积，单位为平方米 (m^2)；
- A_{s1} ——钉头区域内的流通面积，单位为平方米 (m^2)；
- W_c ——对流段宽度，单位为米 (m)；
- N_c ——每一圈的钉头数目；
- W_g ——烟气质量流量，单位为千克每秒 (kg/s)；
- d'_p ——钉头和钉头之间的间隙，单位为米 (m)；
- d''_p ——相邻两钉头管钉头端之间的间隙，单位为米 (m)；
- d'''_p ——纵向钉头间距，单位为毫米 (mm)。

A.7.3 烟气通过翅片管管排的阻力按公式 (A.52) 计算：

$$\Delta H''_1 = 0.051 f' \left(\frac{G_g^2}{D_v \cdot \rho_g} \right) Z \left(\frac{D_v}{S_c} \right)^{0.4} \cdot N_c \times 10^{-2} \quad \dots\dots\dots (A.52)$$

式中：

- $\Delta H''_1$ ——翅片管管排的阻力，单位为千帕 (kPa)；
- f' ——烟气错流摩擦系数 (根据烟气通过对流段的雷诺数，由图 A.6 查取)；
- ρ_g ——烟气的密度，单位为千克每立方米 (kg/m^3)；
- D_v ——容积水力直径 [$D_v=4 \times (\text{净自由体积}) / \text{摩擦表面积}$]，单位为米 (m)；
- S_c ——翅片管管心距，单位为米 (m)；
- Z ——翅片管排心距，单位为米 (m)。

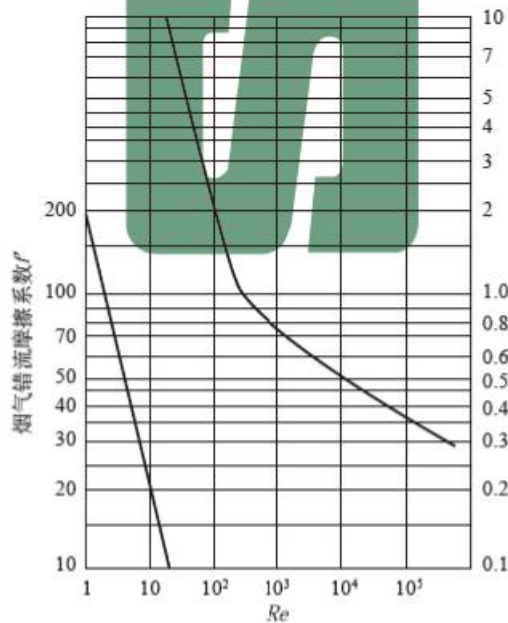


图 A.6 烟气错流摩擦系数 f'

A.7.4 烟气局部阻力计算见 A.7.4.1 ~ A.7.4.8。

A.7.4.1 烟气通过各部分的局部阻力按公式 (A.53) 计算：

$$\Delta H_2 = e_s \left(\frac{T_i \cdot G_g^2}{6940} \right) \times 10^{-2} \quad \dots\dots\dots (A.53)$$

式中：

ΔH_2 ——烟气通过各部分的局部阻力，单位为千帕 (kPa)；

T_i ——烟气通过该部分时的温度，单位为开尔文 (K)；

G_g ——烟气通过该部分时的质量流速，单位为千克每平方米秒 [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]；

e_s ——局部阻力系数。

A.7.4.2 局部阻力系数应按下列要求选取。

a) 烟气通过截面收缩或扩张所产生的局部阻力，其阻力系数 e_s 按表 A.2 选取。

表 A.2 阻力系数 e_s

A_2/A_1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
e_s	0.47	0.43	0.39	0.34	0.30	0.26	0.21	0.16	0.08	0

注： A_2 、 A_1 分别为烟气出口、入口的流通面积。

b) 烟气通过转弯部分的局部阻力，其阻力系数按表 A.3 选取。

表 A.3 转弯部分的阻力系数 e_s

角度	5°	10°	15°	22.5°	30°	45°	60°	90°
e_s	0.024	0.044	0.062	0.154	0.165	0.320	0.584	1.265

c) 烟气通过烟道挡板或烟囱挡板处的阻力按公式 (A.53) 计算；宜取烟囱挡板开度为 60%，其局部阻力系数 $e_s=2$ 。

A.7.4.3 烟囱直径 [按烟囱内烟气的质量流速为 $2.5\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}) \sim 3.5\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 用公式 (A.54) 计算：

$$D_s = (0.6 \sim 0.7) \sqrt{W_g} \quad \dots\dots\dots (A.54)$$

式中：

D_s ——烟囱内直径，单位为米 (m)。

A.7.4.4 烟气在烟囱内的阻力损失，应按下列两部分计算。

a) 烟气在烟囱内的摩擦损失，按公式 (A.55) 计算。

$$\Delta H_3 = \frac{1}{1735} T_v \cdot G_g^2 \cdot f \cdot \frac{H_s}{D_s} \times 10^{-2} \quad \dots\dots\dots (A.55)$$

式中：

ΔH_3 ——烟气通过烟囱的摩擦阻力，单位为千帕 (kPa)；

f ——水力摩擦系数 (由图 A.5 查取)；

T_v ——烟囱内烟气的平均温度 (可假设为对流段烟气出口温度减去 55K)，单位为开尔文 (K)；

H_s ——烟囱高度，单位为米 (m)。

b) 烟气在烟囱内的动能损失，按公式 (A.56) 计算。

$$\Delta H_4 = \frac{T_v \cdot G_g^2}{6940} \times 10^{-2} \quad \dots\dots\dots (A.56)$$

式中：

ΔH_4 ——烟气在烟囱内的动能损失，单位为千帕 (kPa)。

A.7.4.5 采用自然通风方式的加热炉，需按下列规定计入燃烧器的阻力。

a) 自然吸入二次风的转杯式燃烧器，取其阻力为 0.030kPa ~ 0.035kPa。

b) 高压空气雾化燃烧器（包括蒸汽雾化燃烧器），取其阻力为 0.05kPa ~ 0.06kPa。

A.7.4.6 负压燃烧的加热炉，为保持正常燃烧时炉膛具有 0.02kPa ~ 0.03kPa 的负压值，在计算烟囱时应增加 0.02kPa ~ 0.03kPa 的阻力。

A.7.4.7 如果对流段烟气向下流动，则应考虑烟气下行的阻力，其值按公式 (A.57) 计算：

$$\Delta H_5 = 355 H_c \cdot \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_s} \right) \times 10^{-2} \quad \dots\dots\dots (A.57)$$

式中：

ΔH_5 ——烟气向下流动的阻力，单位为千帕 (kPa)；

H_c ——对流段高度，单位为米 (m)；

T_a ——大气温度，单位为开尔文 (K)。

A.7.4.8 计算直立式圆筒炉烟囱阻力时，应扣除由对流段高度提供的抽力，其值按公式 (A.57) 计算，考虑夏季最不利因素，式中取 $T_a=303K$ 。

A.7.5 烟囱最低高度按公式 (A.58)、公式 (A.59) 计算：

$$H_s = \frac{\sum \Delta H}{355 \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_m} \right)} \times 10^{-2} \quad \dots\dots\dots (A.58)$$

$$T_m = \alpha_s \cdot (T_b - T_a) + T_a \quad \dots\dots\dots (A.59)$$

式中：

H_s ——烟囱高度，单位为米 (m)；

$\sum \Delta H$ ——加热炉烟气阻力之和，单位为千帕 (kPa)；

T_a ——大气温度（计算时取 $T_a=303K$ ），单位为开尔文 (K)；

T_m ——烟囱内烟气的平均温度，单位为开尔文 (K)；

T_b ——烟囱底部的烟气温度，单位为开尔文 (K)；

α_s ——系数（当烟囱内直径 $\leq 1m$ ，烟囱高度等于 10m 时，取 $\alpha_s=0.93$ ；烟囱高度等于 20m 时，取 $\alpha_s=0.89$ ；烟囱高度等于 30m 时，取 $\alpha_s=0.83$ ）。

附 录 B
(资料性)
设备数据表

本附录包括下列设备的数据表：

- a) 表 B.1 管式加热炉数据表；
- b) 表 B.2 燃烧器数据表；
- c) 表 B.3 空气预热器数据表；
- d) 表 B.4 风机数据表；
- e) 表 B.5 吹灰器数据表；
- f) 表 B.6 容器数据表（空气储罐、氮气罐）；
- g) 表 B.7 空气压缩机数据表。

表 B.1 管式加热炉数据表

管式加热炉数据表		SI 单位			
		版次：	日期：	第 1 页 共 10 页	
买方 / 业主：		设备编号：			
用途：		安装位置：			
1	装置：	* 所需数量：			修改
2	供货商：				
3	炉型：				
4	* 总额定热负荷, kW				
5	工艺设计条件				
6	* 操作工况				
7	炉段				
8	* 用途				
9	额定热负荷, kW				
10	* 介质名称				
11	* 流率, kg/s				
12	* 流率, m ³ /h				
13	* 压力降, 允许值 (清洁 / 结垢), kPa				
14	压力降, 计算值 (清洁 / 结垢), kPa				
15	辐射段平均热流密度, 允许, W/m ²				
16	辐射段平均热流密度, 计算, W/m ²				
17	辐射段最高热流密度, W/m ²				
18	对流段热流密度 (基于光管), W/m ²				
19	流速限制, m/s				

表 B.1 (续)

管式加热炉数据表		SI 单位				
		版次：	日期：	第 2 页 共 10 页		
						修改
20	工艺介质质量流速, $\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$					
21	最高内膜温度, 允许 / 计算, $^{\circ}\text{C}$					
22	结垢热阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$					
23	允许焦层厚度, mm					
24	入口条件：					
25	* 温度, $^{\circ}\text{C}$					
26	* 压力 (表), kPa					
27	* 液相流率, kg/s					
28	汽相流率, kg/s					
29	液相密度 (在 15°C)					
30	汽相相对分子质量					
31	* 黏度 (液相 / 汽相), $\text{mPa} \cdot \text{s}$					
32	比热容 (液相 / 汽相), $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$					
33	热导率 (液相 / 汽相), $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$					
34	出口条件：					
35	* 温度, $^{\circ}\text{C}$					
36	* 压力 (表), kPa					
37	液相流率, kg/s					
38	汽相流率, kg/s					
39	液相密度 (在 15°C)					
40	汽相相对分子质量					
41	黏度 (液相 / 汽相), $\text{mPa} \cdot \text{s}$					
42	比热容 (液相 / 汽相), $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$					
43	热导率 (液相 / 汽相), $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$					
44	附注和特殊要求：					
45	蒸馏数据或进料组成：					
46	短期操作条件：					
47	注：					
48	燃烧设计条件					
49	操作工况					
50	* 燃料类型					
51	过剩空气量, %					
52	计算放热量 (h_L), kW					
53	计算燃料效率 (h_L), %					
54	保证燃料效率 (h_L), %					
55	散热损失 (h_L), %					

表 B.1 (续)

管式加热炉数据表			SI 单位			
			版次：	日期：	第 3 页 共 10 页	
						修改
56	烟气温度：离开辐射段，℃					
57	离开对流段，℃					
58	离开空气预热器，℃					
59	烟气流，kg/s					
60	对流段烟气质量流速，kg/(s·m ²)					
61	抽力：在炉顶，Pa					
62	在燃烧器处，Pa					
63	* 环境空气温度（热效率计算），℃					
64	* 环境空气温度（烟囱设计），℃					
65	* 海拔高度，m					
66	体积热强度（ h_v ），W/m ³					
67	排放限制（干基）：	mL/m ³ （折算至3%O ₂ ）	NO _x ：	CO：	SO _x ：	
68		kg/kJ（ h_L 或 h_H ）	未燃烃：	颗粒物：		
69	燃料性质：					
70	* 燃料气类型		* 燃料油类型		* 其他类型	
71	* h_L	kJ/m ³	* h_L	kJ/kg	* h_L	kJ/kg
72	* h_H	kJ/m ³	* h_H	kJ/kg	* h_H	kJ/kg
73	* 燃烧器进口压力（表）	kPa	* 燃烧器进口压力（表）	kPa	* 燃烧器进口压力（表）	kPa
74	* 燃烧器进口温度	℃	* 燃烧器进口温度	℃	* 燃烧器进口温度	℃
75	相对分子质量		* 在 ℃ 黏度	mPa·s		
76			* 雾化蒸汽/空气温度，	℃		
77			* 雾化蒸汽/空气压力（表），	Pa		
78	组分	摩尔分率，%	组分	质量分数，%	组分	质量分数，%
79						
80						
81						
82			* 钒，mg/kg			
83			* 钠，mg/kg			
84			* 硫			
85			* 灰分			
86						
87	燃烧器数据：					
88	制造商：		尺寸/型号：		数量：	
89	类型：		安装位置：		安装方位：	
90	单台燃烧器放热量，kW		设计：	正常：	最小：	
91	在设计放热量时通过燃烧器的压力降，Pa					

表 B.1 (续)

管式加热炉数据表		SI 单位			
		版次：	日期：	第 4 页 共 10 页	
					修改
92	燃烧器中心线到炉管中心线间距离，水平，mm；		垂直，mm；		
93	燃烧器中心线到无遮蔽耐火墙间距离，水平，mm；		垂直，mm；		
94	点火器，类型：	能量，kW；	燃料：		
95	点火方式：				
96	火焰监测，类型：		数量：		
97	注：				
98	机械设计条件				
99	* 平面限制：		* 烟囱限制：		
100	* 炉管限制：		* 噪声限制：		
101	* 结构设计数据：	风速：	主导风向：		
102		雪荷载：	地震区：		
103	* 最低 / 正常 / 最高环境空气温度，℃		相对湿度，%		
104	炉段：				
105	用途：				
106	炉管设计：				
107	* 设计基础：炉管壁厚（标准或规范）				
108	断裂强度（最小或平均）				
109	断裂应力对应的设计寿命，h				
110	设计压力，弹性 / 断裂，kPa				
111	介质设计温度，℃				
112	温度裕量，℃				
113	腐蚀裕量，炉管 / 管件，mm				
114	水压试验压力，kPa				
115	* 焊后热处理（是或否）				
116	* 射线检测比例，%				
117	炉管金属最高（清洁）温度，℃				
118	炉管金属设计温度，℃				
119	内膜传热系数，W/(m ² ·K)				
120	炉管布置：				
121	炉管方位：垂直、水平或螺旋				
122	* 炉管材料（规范和牌号）				
123	炉管外径，mm				
124	炉管壁厚，（最小）（平均），mm				
125	管程数				
126	炉管数量				
127	每排管数（对流段）				

表 B.1 (续)

管式加热炉数据表		SI 单位				
		版次：	日期：	第 5 页 共 10 页		
						修改
128	炉管总长, m					
129	炉管有效长, m					
130	光管：数量					
131	总外表面积, m ²					
132	扩面管：数量					
133	总外表面积, m ²					
134	炉管布置方式 (顺排、错排或螺旋)					
135	炉管间距, 中心到中心：水平 × 对角线 (或垂直)					
136	炉管中心至炉墙间距 (最小), mm					
137	折流砖 (有或无)					
138	折流砖宽度, mm					
139	扩面形式：					
140	类型：(钉头) (锯齿型翅片) (连续翅片)					
141	材质					
142	尺寸 (高 × 直径 / 厚度), mm					
143	间距 (翅片数 / m) (钉头数 / 周)					
144	最高端部温度 (计算), °C					
145	扩面比 (总面积 / 光管面积)					
146						
147						
148						
149	弯头：					
150	类型					
151	材质 (规范和牌号)					
152	公称规格或管壁厚度系列号					
153	* 位置 (炉膛、弯头箱)					
154	端部接头和 / 或集合管：					
155	* 类型 (开坡口、集合管、法兰)					
156	入口：材质 (规范和牌号)					
157	尺寸 / 壁厚系列号或壁厚					
158	端部接头数量					
159	法兰材质 (规范和牌号)					
160	法兰尺寸、压力等级和密封面形式					
161	出口：材质 (规范和牌号)					
162	尺寸 / 壁厚系列号或壁厚					

表 B.1 (续)

管式加热炉数据表		SI 单位				
		版次：	日期：	第 6 页 共 10 页		
						修改
163	端部接头数量					
164	法兰材质 (规范和牌号)					
165	法兰尺寸、压力等级和密封面形式					
166	* 集合管和炉管连接形式 (焊接、拔头等)					
167	集合管位置 (内部或外部)					
168	转油线：					
169	* 焊接或法兰连接					
170	* 管子材质 (规范和牌号)					
171	管子尺寸 / 壁厚系列号或壁厚					
172	* 法兰材质					
173	法兰尺寸 / 压力等级					
174	* 位置 (内部 / 外部)					
175	介质温度, °C					
176	管支承件 (管架 / 管板 / 支承件)：					
177	位置 (两端、顶部、底部)					
178	材料 (规范和牌号)					
179	金属设计温度, °C					
180	厚度, mm					
181	中间支承件：					
182	材质 (规范和牌号)					
183	金属设计温度, °C					
184	厚度, mm					
185	弯头箱					
186	位置：	铰接门 / 螺栓连接门：				
187	壳体材料：	厚度, mm				
188	衬里材料：	厚度, mm				
189	锚固钉 (材质和型式)：					
190	注：					
191	耐火材料设计基础条件：					
192	环境温度, °C：	风速, m/s：	炉外壁温度, °C：			
193	无排管的炉墙：					
194	衬里：内部 / 外部	热面温度, 设计 / 计算, °C				
195	厚度, mm					
196	材料					

表 B.1 (续)

管式加热炉数据表		SI 单位		
		版次：	日期：	第 7 页 共 10 页
				修改
197	炉墙结构：			
198				
199	外保护板材质：	厚度，mm：		
200	锚固件（材质和型式）：			
201	壁板材质：	厚度，mm：	温度，℃：	
202	有管排的炉墙：			
203	衬里：内部/外部	热面温度，设计/计算，℃		
204	厚度，mm			
205	材料			
206	炉墙结构：			
207				
208	外保护板材质：	厚度，mm：		
209	锚固件（材质和型式）：			
210	壁板材质：	厚度，mm：	温度，℃：	
211	炉顶/炉前墙：			
212	衬里：内部/外部	热面温度，设计/计算，℃		
213	厚度，mm			
214	材料			
215	炉墙结构：			
216				
217	锚固件（材质和型式）：			
218	壁板材质：	厚度，mm：	温度，℃：	
219	炉底/炉后墙：			
220	衬里：内部/外部	热面温度，设计/计算，℃		
221	厚度，mm			
222	材料			
223	炉墙结构：			
224	锚固件（材料和型式）			
225	壁板材质：	厚度，mm：	温度，℃：	
226	炉底最低标高，m：	风道下部净空，m：		
227				
228	对流段：			
229	衬里：内部/外部	热面温度，设计/计算，℃		
230	厚度，mm			

表 B.1 (续)

管式加热炉数据表		SI 单位			
		版次：	日期：	第 8 页 共 10 页	
					修改
231	材料				
232	炉墙结构：				
233					
234	锚固件（材质和型式）：				
235	壁板材质：	厚度，mm：	温度，℃：		
236	烟风道	烟气		燃烧用空气	
237	位置：	尾部烟道			
238	尺寸，m 或净流通面积，m ²				
239	壁板材质：				
240	壁板厚度，mm：				
241	衬里：内部/外部				
242	厚度，mm				
243	材料				
244	锚固件（材质和型式）				
245	壁板温度，℃				
246	风箱（空气）：				
247	壁板材质：	厚度，mm：	温度，℃：		
248	衬里材料：		厚度，mm：		
249	锚固件（材质和型式）：				
250	烟囱或烟囱短节：				
251	数量：	自支承或拉索式：	位置：		
252	壁板材质：	* 腐蚀裕量，mm：	最小厚度，mm：		
253	壁板内径，m：	海拔高度，m：	烟囱高度，m：		
254	衬里材料：		厚度，mm：		
255	锚固件（材质和型式）：				
256	衬里范围：	内部/外部：			
257	设计烟气流速，m/s：	烟气温度，℃：			
258	挡板：				
259	位置				
260	类型（控制、密封等）				
261	叶片材质：				
262	轴材质：				
263	多叶/单叶				

表 B.1 (续)

管式加热炉数据表			SI 单位			
			版次：	日期：	第 9 页 共 10 页	
						修改
264	操作方式 (手动或自动)					
265	控制器类型 (电动或气动)					
266	附件：					
267	平台：位置	数量	宽度	长度 / 弧长	斜梯 / 直梯	入口位置
268						
269						
270						
271						
272						
273	铺板类型：					
274	门：	数量	位置	尺寸	螺栓连接 / 铰接	
275	人孔					
276	防爆门					
277	看火孔					
278						
279						
280						
281	仪表接管：		数量	尺寸	类型	
282	烟气 / 燃烧空气温度					
283	烟气 / 燃烧空气压力					
284	烟气采样					
285	灭火蒸汽或氮气 / 吹扫					
286	O ₂ 分析仪					
287	CO 或 NO _x 分析仪					
288	放空 / 排泄					
289	工艺介质温度					
290	管壁热电偶					
291						
292						
293	油漆要求：					
294	内壁涂层：					
295	镀锌要求：					

表 B.1 (续)

管式加热炉数据表		SI 单位		第 10 页 共 10 页	修改
		版次：	日期：		
296	是否包括油漆吊车或导轨：				
297	特殊设备：	吹灰器：			
298		空气预热器：			
299		风机：			
300		其他：			
301					
302					
303					
304					
305					
306					
307					
308					
309					
310					
311					
312					
313					
314					
315					
316					
317					
318					
319					
320					
321					
322					
323					

表 B.2 燃烧器数据表

燃烧器数据表		SI 单位	
		版次：	日期：
买方/业主：		设备编号：	
用途：		安装位置：	
1	一般数据：		修改
2	炉型		
3	海拔高度，m		
4	空气：		
5	环境空气/预热空气		
6	温度，℃（最低/最高/设计）		
7	相对湿度，%		
8	送风类型：鼓风/自然/引风		
9	有效抽力（通过燃烧器），Pa：		
10	有效抽力（通过风箱），Pa：		
11	要求调节比		
12	燃烧器壁衬里厚度，mm		
13	加热炉壳体壁厚，mm		
14	辐射室高度/长度，m		
15	炉管节圆直径，m		
16	燃烧器数据：		
17	供货商		
18	燃烧器类型		
19	型号/尺寸		
20	燃烧方向		
21	位置（炉顶/炉底/侧壁）		
22	数量		
23	最小距离，燃烧器中心线至：		
24	炉管中心线（水平/垂直），mm		
25	相邻燃烧器中心线（水平/垂直），mm		
26	无遮挡耐火材料（水平/垂直），mm		
27	燃烧器节圆直径，m		
28	点火器：		
29	数量		
30	型式		
31	点火方式		
32	燃料		
33	燃料压力，kPa		
34	能量，kW		

表 B.2 (续)

燃烧器数据表		SI 单位		
		版次：	日期：	第 2 页 共 4 页
				修改
35	操作数据：			
36	燃料			
37	单个燃烧器功率 (h_L), kW			
38	设计			
39	正常			
40	最小			
41	设计发热量下过剩空气量, %			
42	空气温度, °C			
43	压力损失, Pa			
44	设计			
45	正常			
46	最小			
47	要求燃料压力, kPa			
48	设计发热量下的火焰长度, m			
49	火焰形状 (圆形、扁形等)			
50	雾化介质 / 燃料油比率, kg/kg			
51				
52				
53				
54	燃料气特性			
55	燃料类型			
56	低发热量 (h_L), kJ/m ³			
57	相对密度 (空气 = 1.0)			
58	相对分子质量			
59	燃烧器处的燃料温度, °C			
60	燃料气压力 (表): 在燃烧器处可达到的, kPa			
61	燃料气组成 (摩尔分数), %			
62				
63				
64				
65				
66				
67				
68				
69				
70	总计			

表 B.2 (续)

燃烧器数据表		SI 单位			
		版次：	日期：	第 3 页 共 4 页	
					修改
71	液体燃料特性				
72	燃料类型				
73	低发热量 (h_L), kJ/kg				
74	相对密度 (在 15℃)				
75	H/C 比 (质量)				
76	黏度, 在 ℃, mPa·s				
77	黏度, 在 ℃, mPa·s				
78	钒, mg/kg				
79	钾, mg/kg				
80	钠, mg/kg				
81	镍, mg/kg				
82	固定氮, mg/kg				
83	硫 (质量分数), %				
84	灰分 (质量分数), %				
85	水 (质量分数), %				
86	蒸馏数据： 初馏点, ℃				
87	中馏点, ℃				
88	终馏点, ℃				
89	燃烧器处的燃料温度, ℃				
90	燃料油压力 (表)：在燃烧器处可达到的, kPa				
91	雾化介质： 空气 / 蒸汽 / 机械				
92	温度, ℃				
93	压力 (表), kPa				
94					
95	其他				
96	燃烧器风箱： 普通 / 集成				
97	材料				
98	板厚, mm				
99	内衬				
100					
101					
102					
103					
104	空气入口控制： 挡板调节器				
105	操作方法				
106	泄漏量, %				

表 B.2 (续)

燃烧器数据表		SI 单位		
		版次：	日期：	第 4 页 共 4 页
				修改
107	燃烧器砖：	组成		
108		最低使用温度，℃		
109	噪声规范			
110	降噪方法			
111	油漆要求			
112	点火孔：	尺寸 / 数量		
113	看火孔：	尺寸 / 数量		
114	火焰监测：类型			
115		数量		
116	监测连接：	尺寸 / 数量		
117	雾化介质和燃料油安全联锁系统			
118	性能试验要求（是或否）			
119	排放要求：			
120	辐射室桥墙温度，℃			
121	NO _x	* mL/m ³ （干基）或 kg/kJ (<i>h_L</i>) (<i>h_H</i>)		
122	CO	* mL/m ³ （干基）或 kg/kJ (<i>h_L</i>) (<i>h_H</i>)		
123	未燃烃	* mL/m ³ （干基）或 kg/kJ (<i>h_L</i>) (<i>h_H</i>)		
124	颗粒物	* mL/m ³ （干基）或 kg/kJ (<i>h_L</i>) (<i>h_H</i>)		
125	SO _x	* mL/m ³ （干基）或 kg/kJ (<i>h_L</i>) (<i>h_H</i>)		
126				
127	* 校正至 3% O ₂ （设计发热量下的干基）			
128				
129				
130				
131				
132				
133				
134				
135				
136				
137				
138				
139				
140				
141				

表 B.3 空气预热器数据表

空气预热器数据表		SI 单位				
		版次：	日期：	第 1 页 共 3 页		
买方 / 业主：		设备编号：				
用途：		安装位置：				
1	供货商：					修改
2	型号：					
3	数量：					
4	传热面积， m^2					
5	质量，kg					
6	外形尺寸（高 × 宽 × 长）， $m \times m \times m$					
7	性能数据					
8	操作工况					
9	空气侧：入口流量，kg/s					
10	入口温度， $^{\circ}C$					
11	出口温度， $^{\circ}C$					
12	压降：允许，Pa					
13	压降：计算，Pa					
14	吸热量，kW					
15	烟气侧：入口流量，kg/s					
16	入口温度， $^{\circ}C$					
17	出口温度， $^{\circ}C$					
18	压降：允许，Pa					
19	压降：计算，Pa					
20	放热量，kW					
21	空气旁路流量，kg/s					
22	至燃烧器空气总流量，kg/s					
23	混合空气温度， $^{\circ}C$					
24	烟气组成（摩尔分数）%， $(O_2/N_2/H_2O/CO_2/SO_2)$					
25	烟气比热， $kJ/(kg \cdot K)$					
26	烟气酸露点温度， $^{\circ}C$					
27	最低金属温度，允许， $^{\circ}C$					
28	最低金属温度，计算， $^{\circ}C$					
29	其他：					
30	最低环境空气温度， $^{\circ}C$					
31	装置区海拔高度，m					
32	相对湿度，%					
33	外部冷空气旁路（是 / 否）					
34	冷端热电偶（是 / 否）数量					
35	人孔门：数量 / 尺寸 / 位置					
36	保温（内部 / 外部）：					

表 B.3 (续)

空气预热器数据表		SI 单位			
		版次：	日期：	第 2 页 共 3 页	
					修改
37	清灰介质：	空气 / 蒸汽 / 水			
38		压力，kPa			
39		温度，℃			
40	机械设计：				
41	设计烟气温度，℃				
42	设计压差，Pa				
43	地震区				
44	油漆要求				
45	泄漏试验				
46	结构风荷载，kg/m ²				
47	空气泄漏率（保证的最大值），%				
48					
49	注：所有数据均以单个单元为基准。				
50					
51					
52	结构数据				
53	I 管式：				
54	程数				
55	管数				
56	每排管数				
57	管排数				
58	管子材质				
59	管外径 / 壁厚，mm				
60	管心距（正方形 / 三角形），mm				
61	玻璃管区（是 / 否）				
62	玻璃管数				
63	吹灰器：	是 / 否			
64		类型（高线或在线）			
65		位置			
66	II 热管式：				
67	管数				
68	管外径 / 壁厚，mm				
69	管子材质				
70	每排管数				
71	管排数				
72	管心距（正方形 / 三角形），mm				

表 B.3 (续)

空气预热器数据表		SI 单位		
		版次：	日期：	第 3 页 共 3 页
				修改
73		空气侧	烟气侧	
74	翅片：类型			
75	高度 × 厚度 × 数量，m			
76	材质			
77	有效长度，m			
78	加热面积，m ²			
79	最高允许使用温度，℃			
80	吹灰器： 是 / 否			
81	类型（离线或在线）			
82	位置			
83				
84				
85				
86				
87				
88				
89				
90				
91				
92				
93				
94				
95				
96				
97				
98				
99				
100				
101				
102				
103				
104				
105				
106				
107				
108				
109				
110				
111				

表 B.4 风机数据表

风机数据表		SI 单位		
		版次：	日期：	第 1 页 共 3 页
买方 / 业主：		设备编号：		
用途：		安装位置：		
1	供货商： 型号 / 尺寸：	布置方式：		修改
2	用途： 数量：			
3	驱动程序：	风机转向 (从驱动器端)： <input type="checkbox"/> 顺时针 <input type="checkbox"/> 逆时针		
4	输送气体类型：	分子量：		
5	装置区海拔高度，m：	风机位置：		
6	操作条件			
7	操作条件 / 工况	设计	试验	其他条件
8	质量流量，kg/s			
9	容积流量，m ³ /s			
10	空气密度，kg/m ³			
11	温度，℃			
12	相对湿度，%			
13	入口静压 (绝)，Pa			
14	出口静压 (绝)，Pa			
15	性能			
16	在 ℃ 下的功率 (包括所有损失)，kW			
17	风机转速，r/min			
18	通过风机静压差，Pa			
19	入口挡板 / 叶片方位			
20	出口挡板方位			
21	风机静效率，%			
22				
23	风机控制：	驱动器：		
24	送风	制造厂	型号	
25	风机控制，由 完成	额定功率，kW	转速，r/min	
26	方法 <input type="checkbox"/> 入口挡板 <input type="checkbox"/> 出口挡板	电气防爆区域划分		
27	<input type="checkbox"/> 入口导向叶片 <input type="checkbox"/> 变频	等级	组	区
28	启动方式	电源	V	相 Hz
29	结构特征			
30	壳体：	轴承：		
31	材质 厚度，mm	<input type="checkbox"/> 滑动 <input type="checkbox"/> 滚动		
32	为叶轮装卸壳体分体 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	型号		
33	排污口，数量 / 尺寸	润滑油牌号		
34	人孔门，数量 / 尺寸	冷却水流量	m ³ /s	水在 ℃
35	叶片：	恒温控制加热器 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		
36	类型	温度监测仪 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		

表 B.4 (续)

风机数据表		SI 单位			
		版次：	日期：	第 2 页 共 3 页	
					修改
37	数量	厚度, mm	振动监测仪	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
38	材料				
39	轮毂：		速度监测仪：		
40	<input type="checkbox"/> 过盈连接	<input type="checkbox"/> 键连接	<input type="checkbox"/> 无接触探头		
41	材料		<input type="checkbox"/> 速度开关		
42	轴：		<input type="checkbox"/> 其他		
43	材料		联轴器：		
44	轴承处直径, mm		类型		
45	轴套：		制造厂	型号	
46	材质		工作因数		
47	轴密封：		半联轴器安装		
48	型号		<input type="checkbox"/> 风机制造厂		
49			<input type="checkbox"/> 驱动器制造厂		
50	转动惯量 WR^2 , $\text{kg} \cdot \text{m}^2$		中间短节 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	长度, mm	
51	注：所有数据均以单台设备为基准				
52					
53	其他：				
54	<input type="checkbox"/> 联合机座 (风机, 驱动器)	<input type="checkbox"/> 消音器 (入口) (出口)	<input type="checkbox"/> 入口 (滤网) (过滤器)		
55	<input type="checkbox"/> 轴承座 / 底板	<input type="checkbox"/> 喇叭口	<input type="checkbox"/> 壳体排污接管		
56	<input type="checkbox"/> 性能曲线	<input type="checkbox"/> 隔振	<input type="checkbox"/> 无火花联轴器护罩		
57	<input type="checkbox"/> 剖面图	<input type="checkbox"/> 类型	<input type="checkbox"/> 保温夹 (钉)		
58	<input type="checkbox"/> 外形尺寸图	<input type="checkbox"/> 特殊涂层	<input type="checkbox"/> 检查孔		
59	<input type="checkbox"/> 进气箱	<input type="checkbox"/> 控制盘	<input type="checkbox"/> 外防护层		
60	降噪：		质量, kg		
61	最大允许声压级	dB (A) 在	m	风机	驱动器
62	预计声压级	dB (A) 在	m	消声器	底座
63	降噪措施		出口扩压器		
64	由	实施	装运总质量		
65	油漆		接管：		
66	<input type="checkbox"/> 制造厂 (商) 标准		尺寸	等级	方位
67			入口		
68	运输：		出口		
69	<input type="checkbox"/> 国内 <input type="checkbox"/> 出口 <input type="checkbox"/> 出口集装箱		排污口		
70	安装：				
71	<input type="checkbox"/> 整体组装		试验：		

表 B.4 (续)

风机数据表		SI 单位		
		版次：	日期：	第 3 页 共 3 页
				修改
72	<input type="checkbox"/> 部分组装	<input type="checkbox"/> 性能试验 (无荷载)		
73	<input type="checkbox"/> 室外存放超过 6 个月	<input type="checkbox"/> 见证性能试验		
74	适用规范	<input type="checkbox"/> 转子平衡		
75		<input type="checkbox"/> 工厂检查		
76		<input type="checkbox"/> 组装和装配检查		
77				
78				
79				
80	注： <input type="checkbox"/> 选中项目应包括在供货商的供货范围内			
81				
82				
83				
84				
85				
86				
87				
88				
89				
90				
91				
92				
93				
94				
95				
96				
97				
98				
99				
100				
101				
102				
103				
104				
105				
106				
107				

表 B.5 吹灰器数据表

吹灰器数据表		SI 单位			
		版次：	日期：	第 1 页 共 2 页	
买方 / 业主：		设备编号：			
用途：		安装位置：			
1	操作数据：				修改
2	燃料油类型 / 相对分子质量				
3	硫 (质量分数), %				
4	钒, mg/kg				
5	镍, mg/kg				
6	灰分 (质量分数), %				
7	吹灰管位置				
8	吹灰器处烟气温度, 最高, °C				
9	吹灰器处烟气压力, 最高, Pa				
10	吹灰介质				
11	公用工程数据：				
12					
13	每台吹灰器需要的蒸汽 _____ kPa 在 _____ °C _____ kg/s				
14					
15	每台吹灰器需要的空气 _____ kPa (标准状态) m ³ /s				
16					
17	电源 _____ V 相 _____ Hz				
18					
19	布置数据：				
20	炉管外径, mm				
21	炉管长度, m				
22	炉管间距 (错排 / 顺排), mm				
23	管束宽度, m				
24	中间管板数量				
25	吹灰管尺寸 (最小间距), mm				
26	最大吹扫半径, m				
27	扩面管类型				
28	扩面管管排数				
29	衬里厚度, mm				
30	吹灰器数据：				
31	制造厂 (商)				
32	类型				
33	型号				
34	数量				
35	排数				
36	每排数量				

表 B.5 (续)

吹灰器数据表		SI 单位		
		版次：	日期：	第 2 页 共 2 页
				修改
37	布置			
38	操作			
39	控制要求			
40	控制面板位置 (现场或遥控)			
41	驱动器类型 (手动、气动或电动)			
42	电气区域等级			
43	电动机启动器等级			
44	电动机： kW			
45	机壳			
46	r/min			
47	吹灰管材质			
48	吹灰管外径, mm			
49	穿墙处密封要求			
50				
51				
52				
53				
54				
55				
56				
57				
58				
59				
60				
61				
62				
63				
64				
65				
66				
67				
68				
69				
70				
71				
72				
73				

表 B.6 容器数据表 (空气储罐、氮气罐)

容器数据表				SI 单位			
				版次：	日期：	第 1 页 共 2 页	
买方/业主：				设备编号：			
用途：				安装位置：			
设计数据							修改
1	物料	名称		设计、制造、检验和验收标准			
2		质量流量, kg/h		水(气)试验压力, MPa			
3		黏度, mPa·s		气密性试验压力, MPa			
4		密度, kg/m ³		容器类别(类)			
5	操作压力, MPa	正常：	最大：	最小：	安全监察规程		
6	操作温度, ℃	正常：	最大：	最小：	A、B 类焊缝检测要求		
7	设计压力, MPa				腐蚀裕量, mm		
8	设计温度, ℃				焊接接头系数		
9	允许压力降, kPa				压力容器涂敷与包装运输要求		
10	全容积, m ³				焊后热处理		
11	基本风压, Pa				无损检测合格级别		
12					其他要求		
13		基础荷载					
14		空载	操作	水压试验			
15	竖向力, kN				质量, kg		
16	水平力, kN				空质量		
17	弯矩, kN·m				操作质量		
18	绝热层厚度, mm				充水质量		
19	热(冷)				内件质量		
20	人身保护				填料质量		
21	防火						
22	材料						
23	筒体(规范和牌号)			接管 法兰	垫片		
24	封头(规范和牌号)				法兰		
25	支座(规范和牌号)				螺栓(螺母)		
26				设备 法兰	垫片		
27					法兰		
28					螺栓(螺母)		
29	尺寸, mm				现场条件		
30	总尺寸				温度, ℃		
31	底座尺寸				相对湿度, %		
32	容器尺寸				海拔, m		
33					基本风压, Pa		
34					安装	<input type="checkbox"/> 室内 <input type="checkbox"/> 室外 <input type="checkbox"/> 腐蚀 <input type="checkbox"/> 防爆	
35					地震区		

表 B.6 (续)

容器数据表				SI 单位				
				版次：	日期：	第 2 页 共 2 页		
							修改	
36	接管表							
37	符号	公称直径	公称压力	法兰标准	连接形式	连接面到中心线距离	用途	
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								
45								
46								
47								
48								
49								
50								
51								
52								
53								
54								
55								
56								
57								
58								
59								
60								
61								
62								
63								
64								
65								
66								
67								
68								
69								
70								

表 B.7 空气压缩机数据表

空气压缩机数据表		SI 单位		
		版次：	日期：	第 1 页 共 1 页
买方 / 业主：		设备编号：		
用途：		安装位置：		
1	供货商		电动机制造厂 (商)	修改
2	型号		型号	
3	型式		型式	
4	数量		额定功率, kW	
5	转速, r/min		额定转速 r/min	
6	容积流量 (排气量), m ³ /min		电气防爆区域划分	等级 组 区
7	额定排气压力 (表), MPa		电源	V 相 Hz
8	电机功率, kW		电机质量, kg	
9	排气口尺寸			
10	噪声, dB (A)			
11	方式			
12	外形尺寸, mm			
13	机组质量, kg			
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				

参 考 文 献

- [1] GB/T 3087 低中压锅炉用无缝钢管
 - [2] GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
 - [3] TSG ZB001 燃油（气）燃烧器安全技术规则
 - [4] TSG ZB002 燃油（气）燃烧器型式试验规则
-