



中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 3158—2024  
代替 SH/T3158-2009

---

## 石油化工管壳式余热锅炉

Tubular heat recovery boilers in petrochemical industry

2024-03-29 发布

2024-10-01 实施

---

中华人民共和国工业和信息化部 发布

## 目 次

前 言 .....	V
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	2
4 一般规定 .....	2
5 设计基础 .....	3
5.1 设计压力 .....	3
5.2 设计温度 .....	3
5.3 载荷 .....	3
5.4 厚度附加量 .....	4
5.5 许用应力和许用拉脱力 .....	4
6 材料 .....	5
6.1 选材原则 .....	5
6.2 钢板 .....	6
6.3 钢管 .....	6
6.4 锻件 .....	7
6.5 保护套管 .....	7
6.6 中心管 .....	7
6.7 炉衬材料 .....	7
7 设计计算 .....	7
7.1 基本规定 .....	7
7.2 符号说明 .....	7
7.3 许用应力 .....	8
7.4 管板计算 .....	10
7.5 换热管计算 .....	12
7.6 换热管与管板连接的拉脱力计算 .....	13
7.7 管箱炉衬厚度的计算 .....	13
8 结构设计 .....	13
8.1 主要元件及名称 .....	13

8.2	筒体及封头 .....	1 4
8.3	接管及开孔补强 .....	1 4
8.4	人孔 .....	1 5
8.5	管板 .....	1 5
8.6	换热管与管板的连接 .....	1 6
8.7	中心管与管板的连接 .....	1 7

8.8	管板及管箱筒体与壳程筒体的连接 .....	1 7
8.9	高温侧管板及管头的热防护 .....	1 8
8.10	支持板 .....	1 9
8.11	炉衬 .....	2 0
8.12	中心管衬里 .....	2 1
8.13	支座 .....	2 1
8.14	超压泄放装置 .....	2 1
8.15	安全保护装置 .....	2 1
9	制造、检验与验收 .....	2 1
9.1	材料复验 .....	2 1
9.2	管板 .....	2 2
9.3	换热管 .....	2 3
9.4	换热管与管板的强度焊接 .....	2 3
9.5	换热管与管板的胀接 .....	2 3
9.6	余热锅炉的组装 .....	2 3
9.7	无损检测 .....	2 4
9.8	焊后热处理 .....	2 4
9.9	耐压试验 .....	2 4
9.10	炉衬的施工与检验 .....	2 5
9.11	其他 .....	2 5
	附录 A (资料性附录) 刚玉瓷保护套管理化性能指标 .....	2 6
	附录 B (资料性附录) 换热管管间距、管孔坡口尺寸及连接接头形式 .....	2 7
	附录 C (资料性附录) 管板表面高强度耐火浇注料理化性能指标 .....	2 8
	本标准用词说明 .....	2 9
	附：条文说明 .....	3 0

## Contents

Foreword .....	V
1 Scope .....	1
2 Normative references .....	1
3 Terms and definitions .....	2
4 General provisions .....	2
5 Design basis .....	3
5.1 Design pressure .....	3
5.2 Design temperature.....	3
5.3 Loads .....	3
5.4 Additional thickness .....	4
5.5 Allowable stress and allowable pulling-out force .....	4
6 Materials .....	5
6.1 Materials selection principle .....	5
6.2 Steel plate .....	6
6.3 Tube .....	6
6.4 Forging .....	7
6.5 Protective casing tubes .....	7
6.6 Center tubes .....	7
6.7 Furnace lining materials .....	7
7 Design calculation .....	7
7.1 Elementary requirements .....	7
7.2 Symbolic description .....	7
7.3 Allowable stresses .....	8
7.4 Tubesheets calculation .....	10
7.5 Heat exchange tubes calculation .....	12
7.6 Heat exchange tubes with tubesheets joint pull-out load calculation .....	13
7.7 Thickness of channel lining calculation .....	13
8 Structure design .....	13
8.1 Main components and names .....	13

8.2 Shell and heads ..... 14

8.3 Nozzle and reinforcement ..... 14

8.4 Manhole ..... 15

8.5 Tubesheet ..... 15

8.6 Heat exchange tubes with tubesheet joint ..... 16

8.7 Center tube with tubesheet joint ..... 17

8.8 Tubesheet and channel with shell joint ..... 17

8.9	High temperature tubesheet and heat exchange tubes head thermal safeguard .....	18
8.10	Support plate .....	19
8.11	Furnace lining .....	20
8.12	Center tube lining .....	21
8.13	Supports .....	21
8.14	Safety discharge appliance .....	21
8.15	Safeguard appliance .....	21
9	Fabrication,testing and inspection .....	21
9.1	Materials repeatedly testing .....	21
9.2	Tubesheet .....	22
9.3	Heat exchange tubes .....	23
9.4	Heat exchange tubes with tubesheet strength weld .....	23
9.5	Heat exchange tubes with tubesheet light expansion .....	23
9.6	Tubular waste heat boiler assembling .....	23
9.7	Non-Destructive examination .....	24
9.8	Heat treatment .....	24
9.9	Static pressure test .....	24
9.10	Construction and testing for furnace lining .....	25
9.11	Other .....	25
Annex A	(Informative) Performance indicators of corundum protective casing tubes .....	26
Annex B	(Informative) Interval of heat exchange tube, groove size of tube hole and joint type.....	27
Annex C	(Informative) Performance indicators of tubesheet surface high strength refractory concrete .....	28
	Explanation of wording in this standard .....	29
Add :	Explanation of article .....	30



## 前 言

根据中华人民共和国工业和信息化部《2015年第三批行业标准制修订计划》（工信厅科[115]号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，修订本标准。

本标准共分9章和3个附录。

本标准主要技术内容是：石油化工管壳式余热锅炉的材料、设计计算、结构设计、制造、检验和验收。

本标准是在SH/T3158-2009《石油化工管壳式余热锅炉》的基础上修订而成，修订的主要技术内容是：

- 修订了标准的适用范围；
- 修订了规范性引用文件；
- 修订了材料的基本许用应力；
- 修订了材料的复验要求；
- 修订了管板、换热管的设计计算；
- 修订了换热管的尺寸偏差及管孔的尺寸偏差；
- 修订了管板的结构形式；
- 修订了管板与壳体的连接结构；
- 增加了附录A“刚玉瓷保护套理化性能指标”；
- 增加了附录B“换热管管间距、管孔坡口尺寸及连接接头形式”。
- 增加了附录C“管板表面高强度耐火浇注料理化性能指标”。

请注意本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利。本标准的发布和管理机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国石油化工集团公司负责管理，由中国石油化工集团公司设备设计技术中心站负责日常管理，由山东三维石化工程股份有限公司负责具体内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送管理单位和主编单位。

本标准日常管理单位：中国石油化工集团公司设备设计技术中心站

通信地址：北京市朝阳区安慧北里安园21号

邮政编码：100101

电 话：010—84877513

邮 箱：zengxj.sei@sinopec.com

主编单位：山东三维化学集团股份有限公司

通信地址：山东省淄博市临淄区炼厂中路 22 号  
邮政编码：255434

主编单位：中国石化工程建设有限公司

通信地址：北京市朝阳区安慧北里安园 21 号  
邮政编码：100101

主要起草人： 刘福 张迎恺 刘汉宝 张仲 王春江 何智灵

主要审查人： 张国信 葛春玉 曾小军 段瑞 李艳明 薛玉生 丁天才 徐儒庸 韩玉梅  
杨盛启 朱胜国 周文鹏 钱飞舟 齐克礼 黄晓霞

**SH/T 3158-2024**

本标准 2009 年首次发布，本次为第 1 次修订。

# 石油化工管壳式余热锅炉

## 1 范围

- 1.1 本标准规定了石油化工管壳式余热锅炉的材料、设计计算、结构设计、制造、检验和验收的要求。
- 1.2 本标准适用于石油化工装置中设计压力不大于 6.4MPa 的卧置挠性固定薄管板管壳式余热锅炉（简称余热锅炉）的设计、制造、检验和验收。
- 1.3 壳程内设有蒸发空间、管板上布满换热管的挠性固定薄管板式蒸汽发生器，可按本标准进行设计计算。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB/T					
GB/T				150.1-2011	150.2-2011 150.3-2011 150.4-2011
GB/T	GB/T	GB/T	GB/T	151	
GB/T				699	
GB/T				713.2-2023	
GB/T					
				1576	
				1804	
GB/T				2997	
GB/T				2999	
GB/T				3001	
GB/T				3002	
GB/T				3044	
GB/T				3077	
GB/T				5072	
GB/T				5313	
GB/T				5777	
GB/T				5988	
GB/T				6900	
GB/T				7322	
GB/T				8923.1	

9948	压力容器 第 1 部分：通用要求	耐火材料 颗粒体积密度试验方法 耐火材料 常温抗折强度试验方法 耐火材料 高温抗折强度试验方法
12145 30583	压力容器 第 2 部分：材料	白刚玉、铬刚玉 化学分析方法
	压力容器 第 3 部分：设计	合金结构钢
	压力容器	耐火材料 常温耐压强度试验方法 厚度方向性能钢板
	第 4 部分：制造、检验和验收	无缝钢管超声波探伤检验方法
	热交换器	耐火材料 加热永久线变化试验方法 铝硅系耐火材料化学分析方法 耐火材料 耐火度试验方法
	优质碳素结构钢	涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级
	承压设备用钢板和钢带 第 2 部分：规定温度性能的非合金钢和合金钢	石油裂化用无缝钢管
	工业锅炉水质	火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量 承压设备焊后热处理规程
	一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差	
	致密定形耐火制品体积密度、显气孔率和真气孔率试验方法	

GB/T 30873	耐火材料 抗热震性试验方法	
HG/T 20525	化学工业管式炉传热计算设计规定	
HG/T 20582-2020	钢制化工容器强度计算规范	
NB/T 10558	压力容器涂敷与运输包装	
NB/T 47008	承压设备用碳素钢和合金钢锻件	
NB/T 47013	承压设备无损检测	
NB/T 47014-2011	承压设备焊接工艺评定	
NB/T 47015	压力容器焊接规程	
NB/T 47018	承压设备用焊接材料订货技术条件	
NB/T 47019.1	锅炉、热交换器用管订货技术条件	
NB/T 47019.2	锅炉、热交换器用管订货技术条件 非合金钢和合金钢	
NB/T 47019.3	锅炉、热交换器用管订货技术条件 非合金钢和合金钢 卧式容器	第 1 部分：通则 第 2 部分：规定室温性能的
NB/T 47042	容器支座 第 1 部分：鞍式支座	第 3 部分：规定高温性能的
NB/T 47065.1	石油化工钢制压力容器	
SH/T 3074	石油化工钢制压力容器材料选用规范	
SH/T 3075	石油化工管式炉轻质浇注料衬里工程技术条件	
SH/T 3115	石油化工管式炉炉衬设计规范	
SH/T 3179	石油化工筑炉工程施工及验收规范	
SH/T 3534	耐火浇注料高温耐压强度试验方法	
YB/T 2208	耐火材料 导热系数试验方法（水流量平板法）	
YB/T 4130	固定式压力容器安全技术监察规程	
TSG 21-2016	Steels for Hydrogen Service at Elevated Temperatures and Pressures in Petroleum Refineries and Petrochemical Plants	
API RP941		

### 3 术语和定义

现行国家标准 GB/T 150.1、GB/T 151 界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

#### 3.1 呼吸空位 component space

是指管板上壁温不同的相邻元件之间的空间，以防止产生过大的温差应力。

#### 3.2 还原性气氛 reducing atmosphere

是指含氧量很低，且显著含有还原性气体（CH<sub>4</sub>、CO、H<sub>2</sub>等）使某些已形成的氧化物还原成原物质的气体（或烟气）介质。

#### 3.3 保护套管 protective casing

是指在换热管的进口端插入一段金属或非金属管子，将管程高温气体直接导至换热管浸泡在汽水混合段部位，以降低管板及其与换热管连接接头的温度，且保护其免受高温、高速气流的腐蚀、冲蚀。

#### 4 一般规定

4.1 余热锅炉的设计、制造、检验和验收除执行本标准外，还应符合现行国家标准 GB/T 150.1~150.4、GB/T 151 和《固定式压力容器安全技术监察规程》 TSG 21 的规定。

4.2 本标准未包括的特殊要求，均应在设计文件中明确。

## 5 设计基础

### 5.1 设计压力

5.1.1 余热锅炉设计压力的确定应符合现行国家标准 GB/T 150.1、GB/T 151 和现行行业标准 SH/T 3074 的规定。当工程项目另有规定时，其设计压力应符合有关规定。

5.1.2 余热锅炉壳程的工作压力为饱和水蒸汽压力。必要时，工作压力还应考虑系统管网、过热器等的压力降。余热锅炉壳程的设计压力应以工作压力为基准，考虑安全阀整定压力；设计压力值应大于等于安全阀的整定压力。壳程设计压力范围为 0.1MPa~6.4 MPa。

5.1.3 管程设计压力小于等于 3.0MPa，且任何时候管程压力应小于等于壳程压力。

### 5.2 设计温度

5.2.1 余热锅炉无炉衬的管箱壳体及法兰、接管、与余热锅炉壳程筒体相连的环形件等受压元件，其设计温度按表 5.2.1 确定。

表 5.2.1 设计温度

单位：℃

操作温度 $t_w$	设计温度 $T$
$t_w \leq 350$	$T = t_w + 20$
$t_w > 350$	$T = t_w + (15 \sim 5)$

5.2.2 对带有炉衬的管箱壳体、接管、法兰、与余热锅炉壳程筒体相连的环形件，应进行传热计算，依据传热计算结果确定元件的设计温度。当各元件的传热计算温度小于等于 350℃时，设计温度不宜低于 350℃。

5.2.3 余热锅炉壳程筒体、接管及法兰等受压元件，其设计温度按表 5.2.1 确定，且应大于等于设计压力下的饱和水蒸汽温度。

5.2.4 管板、换热管及中心管的设计温度应通过传热计算确定。当余热锅炉给水和锅水品质符合现行国家标准 GB/T 1576 或 GB/T 12145 的要求，管板有可靠的隔热防护时，管板、换热管及中心管的设计温度可按表 5.2.4 确定。

表 5.2.4 设计温度

单位：℃

工作温度	受压元件	受压元件的设计温度
管程介质温度 > 1450℃~1600℃	管板	应通过传热计算后确定，且不低于 $t_j + 90$
管程介质温度 > 1100℃~1450℃		$t_j + 90$
管程介质温度 > 900℃~1100℃		$t_j + 70$
管程介质温度 > 600℃~900℃		$t_j + 50$
管程介质温度 600℃以下		$t_j + 25$
	换热管、中心管	$t_j + 25$



注：  $t_j$ ——壳程设计温度。

5.2.5 当各受压元件在工作状态下的金属温度不同时，可分别设定每一受压元件的设计温度。

### 5.3 载荷

5.3.1 设计时应考虑下列载荷：

- a) 内压、外压或最大压差；
- b) 液柱静压力，当液柱静压力小于设计压力 5%时，可忽略不计。

5.3.2 需要时，还应考虑下列载荷：

- a) 余热锅炉及其支撑的汽包自重（包括内构件），及正常工作条件下或试压状态下内装介质的重力载荷；
- b) 附属设备及隔热材料、衬里、管道、扶梯、平台等的重力载荷；

- c) 风载荷、地震载荷、雪载荷；
- d) 支座及其他支撑形式支撑件的作用力；
- e) 连接管道和其他部件的作用力；
- f) 温度梯度和热膨胀引起的作用力；
- g) 冲击载荷，包括压力急剧波动引起的冲击载荷，流体冲击引起的作用力等；
- h) 运输或吊装时的作用力。

5.4 厚度附加量

5.4.1 厚度附加量按式(5.4.1)确定

$$C=C_1+C_2 \dots\dots\dots (5.4.1)$$

式中：

- C——厚度附加量，(mm)；
- C<sub>1</sub>——厚度负偏差，(mm)；
- C<sub>2</sub>——腐蚀裕量，(mm)。

5.4.2 板材或管材的厚度负偏差按相应材料标准的规定。

5.4.3 为防止受压元件由于腐蚀、机械磨损而导致厚度削弱减薄，应考虑腐蚀裕量。

5.4.3.1 对有均匀腐蚀或磨损的元件，应根据预期的设计使用年限和介质对金属材料的腐蚀速率（及磨蚀速率）确定腐蚀裕量。

5.4.3.2 余热锅炉主要元件腐蚀裕量可按表 5.4.3 选取，但最大腐蚀裕量不宜超过 6mm，否则应采取工艺防腐措施或选用其他耐腐蚀材料。

5.4.3.3 当工程项目另有规定或已有实际经验时，可根据具体的工程规定或工程经验确定腐蚀裕量。

表 5.4.3 腐蚀裕量的选取

元件类型		腐蚀裕量 C <sub>2</sub> mm	
锅炉壳程壳体		不小于 1.0	
有炉衬管箱壳体		不小于 2.0	
无炉衬管箱壳体	腐蚀速率 <sup>a</sup> mm/a	≤0.1	1.5
		>0.1~0.2	3.0
		>0.2~0.3	4.5
管板		取管程侧与壳程侧腐蚀裕量之和	
换热管		不小于 1.0	
接管法兰（包括人、手孔等）		可取所在壳体的腐蚀裕量	

壳程内部固定件 <sup>b</sup>	取壳程壳体腐蚀裕量的两倍
壳程内部可拆件 <sup>b</sup>	取壳程壳体腐蚀裕量的 1/2~1/4
注： a. 腐蚀速率可根据工程设计实践或查取有关腐蚀手册确定。 b. 内部构件的腐蚀裕量均指两侧腐蚀裕量之和。	

## 5.5 许用应力和许用拉脱力

5.5.1 余热锅炉筒体、封头、法兰、螺栓、接管、人（手）孔、管箱壳体与余热锅炉壳程筒体相连的环形件等受压元件在不同设计温度下材料的许用应力按现行国家标准 GB/T 150.2 的规定选取。

5.5.2 管板、换热管、中心管在不同设计温度下材料的许用应力应按本标准第 7.3 条的规定。

5.5.3 换热管与管板连接接头在不同设计温度下材料的许用拉脱力应按本标准第 7.6 条的规定。

## 6 材料

### 6.1 选材原则

6.1.1 受压元件用钢的钢材标准、冶炼方法、使用状态、许用应力（管板、换热管、中心管除外）、无损检测标准及检测项目等均应符合现行国家标准 GB/T 150.2、GB/T 151 及相应材料标准中对材料的有关规定。

6.1.2 受压元件材料的选用应考虑余热锅炉的使用条件（设计温度、设计压力、介质特性和操作特点等）、材料的力学性能、工艺性能、物理性能和介质的相容性、制造工艺以及经济合理性。

6.1.3 临氢设备的受压元件用钢，应根据介质中的最高操作氢分压和操作温度，按 API RP941 相关曲线确定，并应在设计文件中提出相应的附加技术条件。

#### 6.1.4 受压元件常用材料最高使用温度

6.1.4.1 钢板最高使用温度见表 6.1.4-1，钢管最高使用温度见表 6.1.4-2，锻件最高使用温度见表

6.1.4-3，紧固件使用的温度范围见表 6.1.4-4。

表 6.1.4-1 钢板最高使用温度

单位：℃

钢种	钢号	材料标准	最高使用温度
碳素钢	Q245R	GB/T 713.2	425
低合金钢	Q345R	GB/T 713.2	425
	15CrMoR	GB/T 713.2	520

表 6.1.4-2 钢管最高使用温度

单位：℃

钢种	钢号	材料标准	最高使用温度
碳素钢	20 接管	GB/T 9948	425
	20 换热管	GB/T 9948	425
低合金钢	15CrMo 接管	GB/T 9948	520
	15CrMo 换热管	GB/T 9948	475

表 6.1.4-3 锻件最高使用温度

单位：℃

钢种	钢号	材料标准	最高使用温度
碳素钢	20	NB/T 47008	425
低合金钢	16Mn	NB/T 47008	425

	15CrMo	NB/T 47008	520
--	--------	------------	-----

表 6.1.4-4 紧固件使用的温度范围

单位：℃

螺 柱			匹配的螺母			
材 料	材料标准	使用状态	材 料	材料标准	使用状态	使用的温 度范围
35	GB/T 699	正火	20, 25	GB/T 699	正火	0~350
40MnB, 40MnVB, 40Cr	GB/T 3077	调质	40Mn, 45	GB/T 699	正火	0~400
30CrMoA	GB/T 3077	调质	40Mn, 45	GB/T 699	正火	-10~400
			30CrMoA	GB/T 3077	调质	-100~500
35CrMoA	GB/T 3077	调质	40Mn, 45	GB/T 699	正火	-10~400

			30CrMoA, 35CrMoA	GB/T 3077	调质	-70~500
35CrMoVA	GB/T 3077	调质	35CrMoA, 35CrMoVA	GB/T 3077	调质	-20~425
25Cr2MoVA	GB/T 3077	调质	30CrMoA, 35CrMoA	GB/T 3077	调质	-20~500
			25Cr2MoVA	GB/T 3077	调质	-20~550

6.1.4.2 对碳素钢换热管与 Q245R 管板或与 Q345R 管板间的连接接头，当与含硫、硫化氢介质接触时，宜控制管头最高温度小于等于 370℃。

## 6.2 钢板

6.2.1 余热锅炉壳程壳体宜选用 Q245R 或 Q345R 钢板，其它受压元件用钢板应根据使用条件选用 Q245R、Q345R、15CrMoR 等。

6.2.2 同时符合下列条件的主要受压元件用钢板，应按批进行设计温度下的高温拉伸试验，其屈服强度值见 GB/T 150.2-2011 附录 B。

- a) 设计温度大于等于 300℃；
- b) 设计压力大于等于 2.5MPa；
- c) 钢板厚度大于等于 20mm。

6.2.3 用于锅炉壳体的下列钢板，应逐张按现行行业标准 NB/T 47013.3 进行超声检测：

- a) 厚度大于 30mm 且小于等于 36mm 的 Q245R、Q345R 钢板，质量等级不低于 III 级；
- b) 厚度大于 36mm 的 Q245R、Q345R 钢板，质量等级不低于 II 级；
- c) 厚度大于 25mm 的其他低合金钢板，质量等级不低于中 II 级。

6.2.4 用于管板的碳素钢及低合金钢的任意厚度钢板，应逐张按现行行业标准 NB/T 47013.3 进行超声检测，扫查方式为 100%扫查，探头重叠部分不得小于 15%，质量等级为 I 级。

6.2.5 用于管板厚度大于等于 20mm 的 Q245R、Q345R 钢板以及用于余热锅炉壳体厚度大于等于 30mm 的 Q245R、Q345R 钢板，应正火状态下使用。

6.2.6 用于管板的碳素钢及低合金钢钢板，当钢板厚度大于 20mm 时，应按炉进行化学成分分析，应逐张进行力学性能、弯曲性能试验，冲击试验取样在钢板厚度 1/2 处。Q245R、Q345R 冲击试验温度为 -20℃，15CrMoR 冲击试验温度为 -10℃，符合 GB/T 713.2-2023 表 2 的规定。

6.2.7 用于余热锅炉壳体钢板，当厚度大于等于 30mm 时，应按炉进行化学成分分析，按批进行力学性能、弯曲性能试验，冲击试验取样在钢板厚度 1/2 处，Q245R、Q345R 冲击试验温度为 -20℃，15CrMoR 冲击试验温度为 -10℃，符合 GB/T 713.2-2023 表 2 的规定。

6.2.8 用于余热锅炉壳体的钢板，当厚度大于等于 60mm 时，应按炉进行化学成分分析，应逐张进行力学性能、弯曲性能试验，冲击试验取样在钢板厚度 1/2 处。Q245R、Q345R 冲击试验温度为 -20℃，15CrMoR 冲击试验温度为 -10℃，符合 GB/T 713.2-2023 表 2 的规定。

6.2.9 用于余热锅炉壳体、管板的钢板，当厚度大于等于 100mm 时，除符合以上各条规定外，还应符合现行国家标准 GB/T 5313 中 Z35 的要求。

6.2.10 当设计文件要求余热锅炉进行焊后消除应力热处理时，应从经过模拟焊后消除应力热处理的样坯上取样，检验钢板的力学性能。

### 6.3 钢管

6.3.1 壳体上的开口接管宜采用现行国家标准 GB/T 9948 中的 20、15CrMo 等无缝钢管。

6.3.2 换热管应采用现行国家标准 GB/T 9948 中的 20、15CrMo 等冷拔（轧）无缝钢管。且换热管还应符合以下要求：

a) 现行国家标准 GB/T 9948 中的 20、15CrMo 换热管设计温度大于等于 250℃时，应按批进行设计温度下的高温拉伸试验，其屈服强度值应符合 GB/T 150.2-2011 附录 B 要求。

b) 换热管应按批进行拉伸、扩口、压扁、显微组织检验。

- c) 换热管应逐根进行水压试验，试验压力应符合相应钢管标准的要求。
- d) 换热管应逐根进行涡流检测和超声检测。涡流检测和超声检测应符合现行国家标准GB/T 9948和现行行业标准 NB/T 47019.1、NB/T 47019.2、NB/T 47019.3 的规定。
- e) 换热管订货时，应保证无缝钢管订货长度满足换热管两端有足够切头余量。
- f) 换热管应采用光管，整根制作，不允许拼接。
- g) 换热管的公称外径和公称厚度允许偏差见表 6.3.2。
- h) 设计温度小于 250℃的换热管还应符合现行行业标准NB/T 47019.1、NB/T 47019.2 的规定。
- i) 设计温度大于等于 250℃的换热管还应符合现行行业标准NB/T 47019.1、NB/T 47019.3 的规定。

表 6.3.2 换热管的公称外径和公称厚度允许偏差

单位：mm

制造方式	钢管尺寸		允许偏差
冷拔（轧）无缝钢管	公称外径（ $d_n$ ）	>25~38	±0.20
		>38~50	±0.25
		>50~60	±0.30
		>60	±0.5%D
	公称厚度（S）	≥4	±7.5%S

#### 6.4 锻件

6.4.1 受压元件用碳素钢、低合金钢锻件，其级别应不低于现行行业标准 NB/T 47008 规定的 II 级，当壳程设计压力大于等于 2.5MPa 时，其级别应不低于现行行业标准 NB/T 47008 规定的 III 级。

6.4.2 用于管板及环形过渡段的锻件，级别应不低于现行行业标准 NB/T 47008 规定的 III 级。

#### 6.5 保护套管

6.5.1 当管程进口介质温度大于等于 900℃时，应选用刚玉瓷保护套管。

6.5.2 当管程介质温度小于 900℃时，宜选用刚玉瓷保护套管，也可选用高铬镍奥氏体钢保护套管。

#### 6.6 中心管

6.6.1 中心管材料应符合 6.3.2 条关于换热管的规定。

6.6.2 中心管外径及厚度允许偏差应在设计文件中规定。

#### 6.7 炉衬材料

6.7.1 在还原性气氛中，当气体温度大于等于 900℃时，管箱迎火层、管板热防护层的高强度耐火浇注料理化性能指标见附录 C。

6.7.2 刚玉瓷保护套管理化性能指标见附录 A。

### 7 设计计算



## 7.1 基本规定

7.1.1 余热锅炉的壳体、中心管、法兰及开孔补强等按现行国家标准 GB/T 150.3 的规定进行设计计算。

7.1.2 由上升管支撑汽包时，上升管和壳体连接部位的局部应力，按 HG/T 20582-2020 中第 21 章“外载荷通过开孔接管对圆筒引起的局部应力计算”进行计算和校核。

7.1.3 管板、换热管、换热管与管板连接焊缝按本章的规定进行计算。

7.1.4 对于不能按照本标准及相应标准进行设计计算的余热锅炉或受压元件可按 GB/T 150.1-2011 中的 4.1.6 条规定的方法进行设计。

## 7.2 符号说明

$A$ ——换热管、换热管与管板连接焊缝强度计算时，单根换热管所支撑的面积， $\text{mm}^2$ ；

$b$ ——换热管管间距, mm;

$C$ ——厚度附加量, mm;

$d_i$ ——换热管内径, mm;

$d_e$ ——当量圆直径, mm;

$d_n$ ——换热管外径, mm;

$L_n$ ——换热管与管板连接的焊缝高度, mm;

$k$ ——系数;

$p_s$ ——壳程设计压力(表压), MPa;

$p_t$ ——管程设计压力(表压), MPa;

$q$ ——换热管与管板连接焊缝的拉脱力, MPa;

$[q]$ ——换热管与管板连接焊缝的许用拉脱力, MPa;

$R_m$ ——材料标准抗拉强度的下限值, MPa;

$\overset{t}{R}e_L$ ——材料在设计温度下的屈服强度, MPa;

$\overset{t}{R}D$ ——材料在设计温度下经 10 万小时断裂的持久强度的平均值, MPa;

$\overset{t}{R}n$ ——材料在设计温度下经 10 万小时蠕变率为 1% 的蠕变极限平均值, MPa;

$S$ ——换热管(中心管)名义厚度, mm;

$t_j$ ——壳程设计温度, (°C);

$\delta$ ——管板管束区外管板厚度, mm;

$\delta_c$ ——换热管计算厚度, mm;

$\delta_e$ ——当管板直边与管束区外管板厚度不同时, 确定管板折边内半径用的管板当量厚度, mm;

$\delta_i$ ——余热锅炉壳程筒体名义厚度, mm;

$\delta_{min}$ ——管板最小需要厚度, mm;

$\eta$ ——基本许用应力修正系数;

$[\sigma]$ ——许用应力, MPa;

$[\sigma]_j$ ——基本许用应力, MPa;

$\phi$ ——焊接接头系数。

### 7.3 许用应力

#### 7.3.1 材料的许用应力按式(7.3.1)确定:

$$[\sigma] = \eta [\sigma]_j \dots \dots \dots (7.3.1)$$

7.3.2 常用钢材的基本许用应力 $[\sigma]_j$ 取表 7.3.1 相应设计温度下所列值; 对表 7.3.1 未列出的钢材, 基本许用应力 $[\sigma]_j$ 按式(7.3.2-1)、式(7.3.2-2)、式(7.3.2-3)、式(7.3.2-4)计算, 取其中的较小值。

$$[\sigma]_j \leq R_m / 2.7 \dots \dots \dots (7.3.2-1)$$

$$[\sigma]_j \leq \overset{t}{R}e_L / 1.5 \dots \dots \dots (7.3.2-2)$$

$$[\sigma]_j \leq R_b^t / 1.5 \dots \dots \dots (7.3.2-3)$$

$$[\sigma]_j \leq R_n^t / 1.0 \dots\dots\dots (7.3.2-4)$$

计算时， $R_m$ 、 $R_{eL}^t$ 、 $R_{b0}^t$ 、 $R_n^t$ 取现行国家标准 GB/T 150.2 中相应钢号的最小值。

表 7.3.1 屈服强度和抗拉强度

钢号	材料标准	使用状态	厚度 mm	室温强度		在下列温度(°C) 下的许用应力, MPa													
				$R_m$ MPa	$R_{el}$ MPa	≤20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	525	
Q245R	GB/T 713.2	热轧、控轧、正火	6~16	400	245	148	147	140	131	117	108	98	91	85					
			>16~36	400	235	148	140	133	124	111	102	93	86	84					
			>36~60	400	225	148	133	127	119	107	98	89	82	80					
			>60~100	390	205	137	123	117	109	98	90	82	75	73					
			>100~150	380	185	123	112	107	100	90	80	73	70	67					
Q345R	GB/T 713.2	热轧、控轧、正火、 正火+回火	6~16	510	345	189	189	189	183	167	153	143	125	93					
			>16~36	500	325	185	185	183	170	157	143	133	125	93					
			>36~60	490	315	181	181	173	160	147	133	123	117	93					
			>60~100	490	305	181	181	167	150	137	123	117	110	93					
			>100~150	480	285	178	173	160	147	133	120	113	107	93					
			>150~200	470	265	174	163	153	143	130	117	110	103	93					
15CrMoR	GB/T 713.2	正火+回火	6~60	450	295	167	167	167	160	150	140	133	126	122	119	117	88	58	
			>60~100	450	275	167	167	157	147	140	131	124	117	114	111	109	88	58	
			>100~150	440	255	163	157	147	140	133	123	117	110	107	104	102	88	58	

SH/T 3158-2024

20	GB/T 9948	正火、	≤16	410	245	152	147	140	131	117	108	98	88	83				
15CrMo		正火+回火	≤16	440	235	157	140	131	124	117	108	101	95	93	91	90	88	58
20	NB/T 47008	正火、正火+回火	≤100	410	235	152	140	133	124	111	102	93	86	84				
16Mn		正火、正火+回火， 调质	≤100	480	305	178	178	167	150	137	123	117	110	93				
15CrMo		正火+回火，调质	≤300	480	280	178	170	160	150	143	133	127	120	117	113	110	88	58

7.3.3 基本许用应力修正系数  $\eta$  按表 7.3.3 确定。

表 7.3.3 基本许用应力修正系数  $\eta$

元件名称	$\eta$
管板	0.85
换热管、中心管	0.80
其它受压元件	1.0

#### 7.4 管板计算

7.4.1 管束区以内管板、管束区以外管板最小厚度按式 (7.4.1) 计算：

$$\delta_{min} = kd_e \sqrt{\frac{p_s}{[\sigma]} + C} \dots\dots\dots (7.4.1)$$

7.4.2 管束区以外通过三个支撑画当量圆时， $k$ 值按表 7.4.2 确定；通过四个或四个以上支撑画当量圆时， $k$ 值降低 10%；通过两个支撑画当量圆时， $k$ 值增加 10%。管束区以内画当量圆时， $k$ 值取 0.47。

表 7.4.2 系数  $k$

部位	支 撑 形 式		$k$
管束区以外	支点线	管板与余热锅炉筒体、中心管连接： 折边连接[图 7.4.4 (a)、(b)、(d)、(e)、(f)、(g)]	0.35
		内部无法封焊的单面坡口型角焊缝[图 7.4.4 (c)]	0.50
	支撑点	换热管	0.45
管束区以内	支撑点	换热管	0.47

7.4.3 如支撑形式不同时，则系数  $k$ 取各支撑点（线）相应值的算术平均值。

7.4.4 支点线位置按图 7.4.4 所示原则确定。

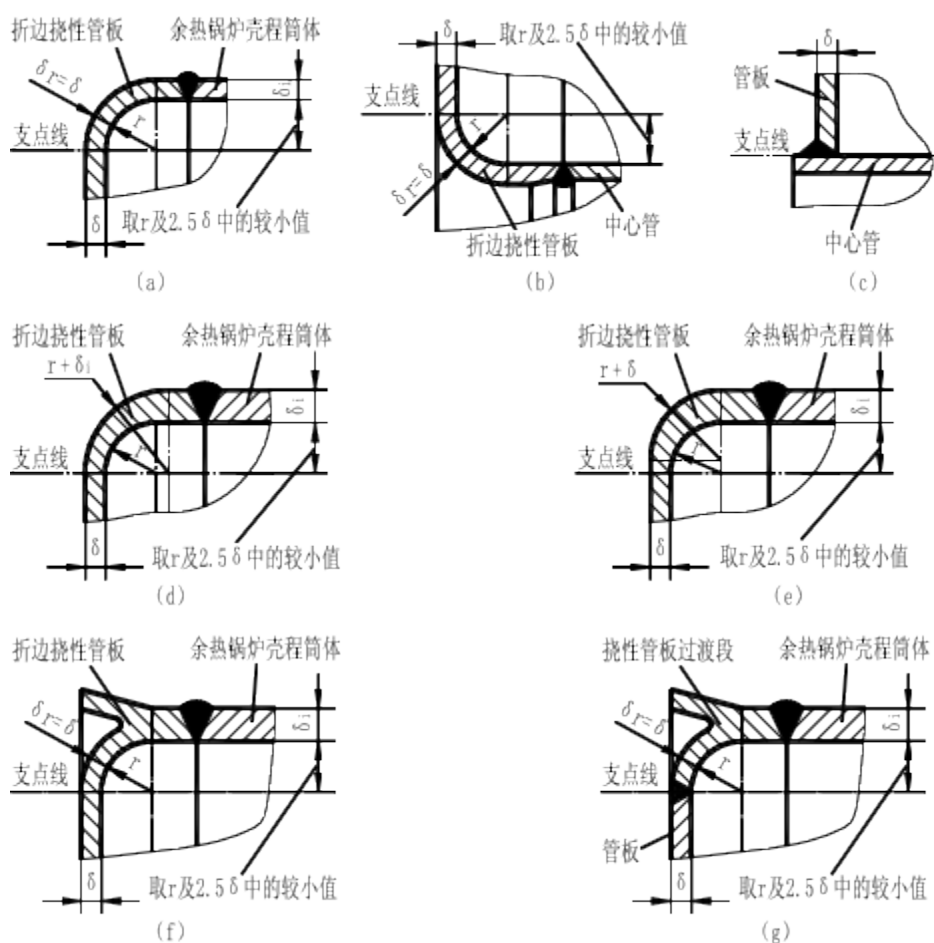


图 7.4.4 支点线位置

7.4.5 换热管与管板全部采用焊接连接，每根换热管的中心点均视为支撑点。

7.4.6 当量圆直径  $d_e$  如为经过三个或三个以上支撑画圆时，支撑不应都位于同一半圆周上。如为二个支撑画圆时，支撑应位于当量圆直径的两端。当量圆的画法如图 7.4.6 所示。

7.4.7 管束区以外当量圆直径  $d_e$  取管束区以外的最大当量圆。管束区以内当量圆直径  $d_e$  的计算：换热管三角形排列时， $d_e = 1.155b$ ；换热管正方形排列时， $d_e = \sqrt{2}b$ 。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/916203242205010121>