

中华人民共和国机械行业标准

JB/T 7603—94

烟道式余热锅炉设计导则

1994—12—09发布

1995—06—01实施

目 录

1 主题内容与适用范围..... (1)

2 引用标准..... (1)

3 一般规定..... (2)

4 余热锅炉整体布置..... (3)

5 材料..... (4)

6 余热锅炉计算原则..... (7)

7 结构设计原则..... (17)

8 炉墙..... (20)

9 构架..... (21)

10 受热面清灰..... (23)

11 主要附件和仪表..... (23)

附录A 余热锅炉简易热力计算方法..... (26)

烟道式余热锅炉设计导则

1 主题内容与适用范围

本标准规定了烟道式余热锅炉(以下简称为“余热锅炉”)设计应遵守的基本原则和要求。

本标准适用于以水为介质,额定蒸汽压力不大于 3.82 MPa、额定蒸汽温度不大于 450℃的水管、烟管型固定式余热锅炉。对额定蒸汽压力大于 3.82 MPa 并小于 5.88 MPa,额定蒸汽温度不大于 450℃的固定式余热锅炉可参照本标准执行。

本标准不适用于直流余热锅炉、热管余热锅炉和热水余热锅炉。

2 引用标准

GB 699	优质碳素结构钢技术条件
GB 700	碳素结构钢
GB 711	优质碳素结构钢热轧厚钢板和宽钢带
GB 713	锅炉用碳素钢和低合金钢钢板
GB 715	标准件用碳素钢热轧圆钢
GB 983	不锈钢焊条
GB 1048	管道元件公称压力
GB 1300	焊接用钢丝
GB 1348	球墨铸铁件
GB 1576	低压锅炉水质标准
GB 3077	合金结构钢技术条件
GB 3087	低中压锅炉用无缝钢管
GB 4241	焊接用不锈钢盘条
GB 4242	焊接用不锈钢丝
GB 5117	碳钢焊条
GB 5118	低合金钢焊条
GB 5310	高压锅炉用无缝钢管
GB 5676	一般工程用铸造碳钢
GB 6654	压力容器用碳素钢和低合金钢厚钢板
GB 8163	输送流体用无缝钢管
GB 9222	水管锅炉受压元件强度计算
GB 9439	灰铸铁件
GB 9440	可锻铸铁件
GB 10864	余热锅炉参数系列
GB 11943	锅炉制图
GB 12145	火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量标准
GB J9	建筑结构荷载规范
GB J17	钢结构设计规范

GB J68	建筑结构设计统一标准
GB JZ11	工业炉砌筑工程施工及验收规范
JB 2192	方形铸铁省煤器管和弯头
JB 3622	锅壳式锅炉受压元件强度计算
JB 5339	锅炉构架抗震设计标准
ZB J98 017	烟道式余热锅炉产品型号编制方法
JB/Z 198	工业锅炉锅内装置设计导则
JB/Z 201	电站锅炉水动力计算方法
JB/T 5341	烟道式余热锅炉技术文件及其主要内容

3 一般规定

3.1 余热锅炉设计应执行《锅炉压力容器安全监察暂行条例》及其实施细则和《蒸汽锅炉安全技术监察规程》。

3.2 余热锅炉产品型号编制按 ZB J98 017 规定进行。

3.3 余热锅炉的参数可参照 GB 10864 选用。

3.4 余热锅炉绘图图样按 GB 11943 规定进行。

3.5 设计图样和技术文件应符合 JB/T 5341 规定。

3.6 余热锅炉受压元件强度计算分别按 GB 9222 和 JB 3622 的规定进行。

3.7 余热锅炉设计范围：

- a. 余热锅炉烟气进口和出口连接装置；
- b. 余热锅炉范围内管道，包括主蒸汽阀、给水操作台、安全阀、疏放水阀、排污阀、放气阀等；
- c. 辅助燃烧装置、冷却室、冷灰斗；
- d. 锅筒、水冷壁、过热器、蒸发受热面、省煤器等；
- e. 清灰、除灰装置；
- f. 余热锅炉钢构架、平台、扶梯等；
- g. 炉墙及护板。

3.8 设计余热锅炉必须了解主体工业炉窑及其它余热源设备的生产工艺，掌握进入余热锅炉的烟量、烟气温度、烟气成份等变化规律，并且要研究烟气中烟尘成份、浓度、粒度的理化演变过程，选用合理的余热锅炉结构型式。同时还应了解工业炉窑及其它余热源设备相关的总体布置(包括厂房土建结构)，以便设计出符合要求的整体布置。

3.9 余热锅炉在运行过程中，属于主体设备不可分割的组成部分时，余热锅炉设计应保证主体设备在各种设计工况下能安全、连续地运行。其连续运行时间应能适应主体设备的大、中修期。

当余热锅炉仅作为余热回收方式，可以脱离主体设备而不影响主体设备安全生产时，余热锅炉设计在确保其本体安全、可靠地运行的同时，应注意经济合理，力求最大限度减少金属重量和降低设备造价。

3.10 按余热锅炉入口烟气中含尘量和烟气特性，规定余热锅炉分为五类：

- a. 烟气中含尘量不大于 20 g/m^3 的余热锅炉定为第一类余热锅炉；
- b. 烟气中含尘量大于 20 g/m^3 ，且不大于 70 g/m^3 的余热锅炉定为第二类余热锅炉；
- c. 烟气中含尘量小于 70 g/m^3 的余热锅炉定为第三类余热锅炉；
- d. 烟气中含有粘结性烟尘的余热锅炉定为第四类余热锅炉；
- e. 烟气中含有强腐蚀性成份或具有有毒烟气的余热锅炉定为第五类余热锅炉。

注：“ m^3 ”是指在 0.1013 MPa 、 0°C 时的烟气体积，下同。

3.11 余热锅炉一般采用自然循环的方式。在蒸发量大、热负荷波动比较大、烟气含尘量高、余热锅炉启动要求迅速、排烟温度要求控制、余热锅炉外形尺寸要求紧凑等各种情况下，可以选用强制循环或自然

循环加强制循环方式。

3.12 余热锅炉一般按室内布置设计。当余热锅炉采用露天或半露天布置时,应有防腐、防冻、防雷击、防雨、防风等措施。

3.13 余热锅炉是否需要装设辅助燃烧装置,应视工业炉窑的作业率、烟气量、烟气温度的变化,蒸汽温度、蒸汽平衡的要求以及热力系统蒸汽负荷的波动和需要情况而定。对蒸汽量和供汽可靠性无要求时,可不设辅助燃烧装置。

3.14 当余热锅炉装设辅助燃烧装置时,其辅助燃料宜采用该工业炉窑的同类燃料。燃烧系统应能满足余热锅炉能在最低与最高设计负荷范围内持续稳定地工作。

3.15 余热锅炉的给水温度原则上分 20℃、60℃和 105℃三档,必要时亦可另行确定。给水品质应符合 GB 1576 划 GB 12145 的规定。

3.16 在确定余热锅炉锅筒设计压力时,除用户要求外,尚需注意在烟道内烟气中 SO_2 转化为 SO_3 的现象。蒸发受热面的管壁温度应高于烟气中硫酸蒸汽露点温度,其差值一般不小于 20℃。

3.17 对过热蒸汽的过热度有严格要求时,余热锅炉应设蒸汽减温器。必要时亦可设置炉外过热器。

3.18 除工艺系统对排烟温度有特殊要求者外,各类余热锅炉的排烟温度 (θ_{py})可按以下规定设计;

$D(\text{蒸发量}) < 10 \text{ t/h}, \theta_{py} \leq 250^\circ\text{C};$

$D(\text{蒸发量}) \geq 10 \text{ t/h}, \theta_{py} \leq 220^\circ\text{C}.$

对于利用烟囱自然通风的小型余热锅炉,可不设尾部受热面,但排烟温度(θ_{py})应不大于 320℃。

3.19 进入余热锅炉的烟气有爆炸可能性时,余热锅炉应在适当位置装设一定数量和足够面积的防爆门。防爆门不应少于两个,总防爆面积不应小于 0.2 m²。防爆门的排放口位置不致危害人身安全,必要时将防爆口引出室外。

3.20 在余热锅炉需要经常操作的部位(如水位计、吹灰器、安全阀、窥视孔等),如不能在地面或运转平台进行操作时,应设操作平台、通行平台和扶梯。且操作部位中心距操作平台的高度一般为 1~1.5 m。

3.21 扶梯应为斜扶梯。扶梯与水平面夹角以 45°~50°为宜,如布置困难时,角度可以适当增大,但不宜超过 70°。

3.22 余热锅炉的清灰、出渣等宜采用机械化技术。给水操作应采用自动化技术。

4 余热锅炉整体布置

4.1 余热锅炉型可按下列原则选择:

a. 第一类余热锅炉,可采用水管或烟管型余热锅炉的结构型式;

b. 第二类余热锅炉,受热面一般采用翅片管或光管。采用光管时,烟气可作横向或斜向冲刷,但应适当增大管子的横向和纵向节距,避免出现烟尘搭桥现象。若烟尘流动性能好,对管子磨损不严重的烟气,可提高烟气流速,以加强自除灰能力。

c. 第三、第四类余热锅炉,应采用附有烟尘沉降室或辐射冷却室的多烟道炉型或直通式炉型。烟道应设有冷灰斗。这类余热锅炉受热面宜采用翅片管或膜式壁。并应在受热面易发生磨损的部位,采取防磨措施。

d. 第五类余热锅炉除按烟尘浓度选用余热锅炉结构型式外,尚应采用钢板密闭炉墙。

4.2 烟管余热锅炉一般包括锅壳、前烟箱、烟管、后烟箱等部件。

4.2.1 烟管一般采用 $D_w 51 \sim 89 \text{ mm}$ 的管子。

4.2.2 拉撑管的数量和厚度应根据强度计算确定。

4.3 第一类水管型余热锅炉其蒸发受热面采用管束受热面时,烟气宜作横向冲刷。

4.4 在对流烟道内布置过热器时,受热面可以垂直或水平布置,烟气宜采用横向冲刷。当采用翅片管时,受热面应垂直布置,烟气也可采用纵向冲刷。

4.5 在对流烟道内布置钢管省煤器时,一般水平布置,烟气作横向冲刷。当省煤器垂直布置时,其出口集箱最高位置应有排气装置。

4.6 余热锅炉应设有足够的各类门孔。

4.7 余热锅炉受热面应设有清灰装置。第一类余热锅炉宜设清灰装置。

4.8 余热锅炉辅助燃烧装置

4.8.1 余热锅炉辅助燃烧装置可设计为与余热锅炉结合在一起和独立设置两种。

4.8.2 结合式辅助燃烧装置要求在0~100%负荷内有良好的调节性能时,在燃烧室内可不设水冷壁。

4.8.3 独立式辅助燃烧装置一般采用自然通风,主要用于外置式过热器。

4.9 余热锅炉的辐射冷却室,应能合理地组织烟气的动力场,使烟气在进入后部烟道时其烟温能降到烟尘凝固点以下100~150℃。

4.10 辐射冷却室的受热面宜采用膜式壁或翅片管结构,亦可在辐射冷却室顶棚、侧墙布置过热器受热面。

4.11 烟气可从辐射冷却室或烟尘沉降室的顶部或前部进入辐射冷却室或烟尘沉降室。

当烟气从顶部进入时,烟速可取8~20 m/s;当烟气从前部进入时,烟速一般取3~8 m/s。

4.12 对从辐射冷却室或烟尘沉降室前部进入的烟气,其室中的烟速一般以2~6 m/s为宜;对从辐射冷却室或烟尘沉降室顶部进入的烟气,其室中的烟速一般选用1~3 m/s。

辐射冷却室或烟尘沉降室在烟气流动的纵深方向应有足够的长度,以便使烟尘在流动过程逐步凝固与沉降。

4.13 对腐蚀性强度或有毒性的烟气应采用膜式壁结构。

4.14 余热锅炉炉墙有重型炉墙、轻型炉墙、敷管炉墙三类。

a. 对于第一、二、三类余热锅炉宜采用轻型炉墙;

b. 对蒸发量小于4 t/h的余热锅炉可采用重型炉墙;

c. 对于炉墙严密性要求高或属于第五类的余热锅炉应采用膜式壁敷管炉墙。

4.15 余热锅炉构架的梁、柱、拉撑布置应考虑以下因素:

a. 辅助燃烧室、冷却室的结构;

b. 各段受热面的布置及其支吊要求;

c. 所有门、孔及清灰装置的布置;

d. 炉墙及护板的支撑。

5 材料

5.1 余热锅炉受压元件所用的金属材料及焊条、焊丝、焊剂等应符合有关的国家标准、行业标准的规定。材料制造厂必须保证材料质量,并提供质量证明书。金属材料和焊缝金属在使用条件下应具有规定的强度、韧性和延伸性,以及良好的抗疲劳性能和抗腐蚀性能。

5.2 用于余热锅炉受压元件的金属材料应分别按表5-1、表5-2、表5-3、表5-4、表5-5和表5-6中的规定选用。

表5-1 钢板

钢 的 种 类	钢 号	技 术 标 准	适 用 范 围	
			工 作 压 力 MPa(kgf/cm ²)	壁 温 ℃
炭 素 钢	20g	GB 713	≤5.88(60) ¹⁾	≤450
低合金钢	12Mng	GB 713	≤5.88(60)	≤400

续表 5-1

钢 的 种 类	钢 号	技 术 标 准	适 用 范 围	
			工 作 压 力 MPa(kgf/cm ²)	壁 温 ℃
低 合 金 钢	16Mng	GB 713	≤5.88(60)	≤400
	14MnMoVg	GB 713	≤5.88(60) ¹⁾	≤400
	18MnMoNb g	GB 713	≤5.88(60) ¹⁾	≤400

注：1) 制造不受辐射热的钢筒时，工作压力不受限制。

表 5-2 钢 管

钢 的 种 类	钢 号	技术标准	适 用 范 围		
			用 途	工作压力 MPa(kgf/cm ²)	壁 温 ℃
炭 素 钢	10, 20	GB 3087	受热面管子 蒸汽管道、集箱	≤5.88(60) ≤5.88(60)	≤480 ≤430
	20G	GB 5310	受热面管子 集箱、蒸汽管道	不限 不限	≤480 ≤430 ¹⁾
低 合 金 钢	15CrMo	GB 5310	受热面管子 集箱、蒸汽管道	不限 不限	≤560 ≤550
	12Cr1MoV	GB 5310	受热面管子 集箱、蒸汽管道	不限 不限	≤580 ≤565
	12MoVWBSiXt	GB 5310	受热面管子	不限	≤580
	12Cr2MoWVTiB	GB 5310	受热面管子	不限	≤600 ¹⁾
	12Cr3MoVSiTtB	GB 5310	受热面管子	不限	≤600 ²⁾

注：1) 要求使用寿命在 20 年内，可提高至 450℃。

2) 在强度计算考虑到氧化损失时，可用到 620℃。

表 5-3 锻 件

钢 的 种 类	钢 号	技术标准	适 用 范 围		
			用 途	工作压力 MPa(kgf/cm ²)	壁 温 ℃
炭 素 钢	Q235-A	GB700	法兰、法兰盖、手孔盖、不与火焰接触的锻件	≤2.45(25)	≤350
	20, 25	GB699	大型锻件、手孔盖、集箱端盖、法兰、法兰盖	≤5.88(60) ¹⁾	≤450
低 合 金 钢	12CrMo	GB 3077	大型锻件	不限	≤540
	15CrMo	GB 3077	大型锻件	不限	≤550
	12Cr1MoV	GB 3077	大型锻件	不限	≤565

注：1) 对于不受辐射热的锻件，工作压力不限。

表 5-4 铸 钢 件

钢 的 种 类	钢 号	技术标准	适 用 范 围	
			公称压力 MPa(kgf/cm ²)	壁 温 ℃
炭 素 钢	ZG200-400	GB 5676	≤6.27(62)	≤400
	ZG230-450	GB 5676	公称压力不限 ¹⁾	≤450

注：① 空心受压铸件按 GB 1048 规定进行水压试验。

② 介质温度超过 450℃的铸钢件，应采用耐热合金钢。

1) 若公称压力大于 6.27 MPa 时，还应要求冲击韧性。

表 5-5 铸 铁 件

铸 铁 名 称	牌 号	技术标准	适 用 范 围		
			铸铁公称通径 mm	介质工作压力 MPa(kgf/cm ²)	介质温度 ℃
灰口铸铁	不低于 HT150	GB 9439	≤300	≤0.78(8)	<220
			≤200	≤1.27(13)	<230
可 锻 铸 铁	KTH300-06 KTH330-08 KTH350-10 KTH370-12	GB 9440	≤100	≤1.57(16)	<300
球墨铸铁	QT400-18	GB 1348	≤150	≤1.57(16)	<300
			≤100	≤2.45(25)	<300

注：① 排污阀与排污弯管不得采用灰口铸铁。

② 额定蒸汽压力小于等于 1.27MPa(13kgf/cm²)的锅炉及蒸汽温度小于等于 300℃的过热器，其放水阀与排污阀的阀壳可用表中的可锻铸铁或球墨铸铁制造。

③ 额定蒸汽压力小于等于 1.57 MPa 的余热锅炉方形铸铁省煤器管和弯头，允许采用牌号不低于 HT150 的灰口铸铁，按 JB 2192 制造。额定蒸汽压力小于等于 2.45 MPa 余热锅炉方形铸铁省煤器管和弯头，允许采用牌号不低于 HT200 的灰口铸铁按 JB 2192 制造，在制造厂内，应对省煤器上使用的铸铁部分进行水压试验，其压力应等于余热锅炉工作压力的 2.5 倍。

④ 用于承压部位的铸件不准补焊。铸铁件的偏心不得超过图样的规定。

表 5-6 紧 固 件

钢 的 种 类	钢 号	技术标准	适 用 范 围		
			用 途	工作压力 MPa(kgf/cm ²)	介质温度 ℃
炭 素 钢	Q235-A	GB 700	双头螺柱、螺栓	≤1.57(16)	≤350
			螺 母	≤1.57(16)	≤380
	25	GB 699	双头螺柱、螺栓	不限	≤350
			螺 母	不限	≤400
	35	GB 699	双头螺柱、螺栓	不限	≤420
			螺 母	不限	≤450

续表 5-6

钢 的 种 类	钢 号	技术标准	适 用 范 围		
			用 途	工作压力 MPa(kgf/cm ²)	介质温度 ℃
合 金 钢	40 Cr	GB 3077	双头螺柱、螺栓	不限	≤435
			螺 母	不限	≤480
	30 CrMo		双头螺柱、螺栓	不限	≤480
			螺 母	不限	≤510
	25CrMoVA		双头螺柱、螺栓	不限	≤530
			螺 母	不限	≤550

5.3 拉撑件

余热锅炉拉撑件使用的钢材必须为镇静钢，且应符合 GB 715 的规定或者 GB 699 中 20 号钢的规定，板拉撑件应是锅炉用钢。

5.4 焊丝和焊条

焊接受压元件使用的焊条应符合 GB 5117、GB 5118、GB 983 的规定。焊丝应符合 GB 1300、GB 4241、GB 4242 的规定。

5.5 余热锅炉受压元件采用研制新钢号材料之前，必须经冶金、制造、使用、劳动、标准等部门的有关单位参加的技术评定。

5.6 余热锅炉受压元件代用的钢板和钢管，除遵照下列规定外，应采用与化学成分和机械性能相近的锅炉专用钢材。采用没有列入国家标准、专业标准或部标准的钢材代用时，代用单位应提出技术依据报省级劳动部门审批。

5.6.1 额定蒸汽压力小于或等于 0.39 MPa 的余热锅炉，不与火焰接触的受压元件可以采用 GB 700 中的 Q235-A 代替 GB 713 中的 20 g。

5.6.2 额定蒸汽压力小于或等于 0.39 MPa 的余热锅炉，可以采用 GB 711 中的 15 号钢和 20 号钢代替 GB 713 中的 20g。

5.6.3 额定蒸汽压力小于或等于 0.39 MPa 的余热锅炉，可以采用 GB 8163 中的 10 号钢和 20 号钢代替 GB 3087 中的 10 号钢和 20 号钢。

5.6.4 额定蒸汽压力小于或等于 1.27 MPa 的余热锅炉，可采用 GB 6654 中的 20 R 和 16 MnR 补做时效冲击值合格后分别代替 GB 713 中的 20 g 和 16 Mng。

6 余热锅炉计算原则

在设计余热锅炉时，应进行热力计算，烟气动力计算，受压元件强度计算和安全阀排放量计算，必要时还应进行水动力计算，钢构架计算等。

6.1 热力计算

6.1.1 余热锅炉热力计算除本标准的规定外，推荐采用《锅炉机组热力计算标准方法》(机械工业出版社 1976 年出版)；对于烟气量较小的低压余热锅炉热力计算可采用附录 A 列出的计算方法进行计算。

6.1.2 烟气量和焓的计算

6.1.2.1 烟气量

烟气量按下式计算：

$$V_r=V_r'+\Delta\alpha V_r'+V_{ch}+V_{br} \quad m^3/h \dots\dots\dots (6-1)$$

式中: V_y ——总的烟气量, m^3/h ;

V_y' ——进入余热锅炉的烟气量, m^3/h ;

$\Delta\alpha$ ——余热锅炉的漏风系数, 在无实测数量时, 可参照表 6-1 选用, 对微正压余热锅炉 $\Delta\alpha=0$;

V_{a} ——吹灰介质的容积, m^3/h ;

V_{b} ——辅助燃烧装置产生的烟气量, m^3/h , 余热锅炉无辅助燃烧装置 $V_{\text{b}}=0$ 。

由于余热锅炉一般是间断吹灰, 吹灰介质的流量可忽略不计。

当在大型余热锅炉中采用的吹灰器较多且连续运行时, 吹灰介质的流量应考虑。

表 6-1 余热锅炉各部位漏风系数

部 位 名 称	结 构 特 性			漏风系数 $\Delta\alpha$
辐射冷却室	膜式水冷壁带金属护板			0.05
	水冷壁带双层金属护板			0.07
	水冷壁带单层金属护板			0.08
	水冷壁、砖砌炉墙无护板			0.10
对 流 区 段	凝渣管、屏式过热器、蒸发受热面($D>50\text{ t/h}$)			0
	蒸发受热面($D\leq 50\text{ t/h}$)			0.05
	过 热 器			0.03
	省 煤 器	$D>50\text{ t/h}$	每 级	0.02
		$D\leq 50\text{ t/h}$	钢 管	0.08
			铸铁、有护板	0.10
			铸铁、无护板	0.20

注: 表中漏风系数值, 是以进入余热锅炉的烟气负压在 100 Pa 情况下的值。

6.1.2.2 烟气的焓

烟气的焓是以每标准立方米进入余热锅炉的烟气所携带的热量来表示。对第三类余热锅炉的烟气, 进入余热锅炉的烟尘的焓也应计入。

余热锅炉烟气的焓用下式表示:

$$I_y = I_y' + I_b + \Delta\alpha I_k \quad \text{kJ/m}^3 \quad \dots\dots\dots (6-2)$$

式中: I_y ——总的烟气的焓, kJ/m^3 ;

I_y' ——烟气的焓, 对有辅助燃烧的情况, 是烟气混合后的焓, kJ/m^3 ;

I_b ——烟尘的焓, kJ/m^3 ;

I_k ——为冷空气的焓, kJ/m^3 。

烟气的焓等于烟气中各组成焓之和。见下式:

$$I_y' = I_{\text{CO}_2} + I_{\text{SO}_2} + I_{\text{N}_2} + I_{\text{O}_2} + I_{\text{CO}} + I_{\text{H}_2\text{O}} + \dots\dots\dots \text{kJ/m}^3 \quad \dots\dots (6-3)$$

式中: I_{CO_2} 、 I_{SO_2} 、 I_{N_2} 、 I_{O_2} 、 $I_{\text{H}_2\text{O}}$ ——分别为烟气中 CO_2 、 SO_2 、 N_2 、 O_2 、 CO 、 H_2O 、……等气体的焓, kJ/m^3 。

烟气中各组成气体焓计算按下式:

$$I_q = V_q \cdot C_q \cdot t'_q \quad \text{kJ/m}^3 \quad \dots\dots\dots (6-4)$$

式中: I_q ——烟气中某种气体的焓, kJ/m^3 ;

V_q ——烟气中某种气体的容积, m^3/m^3 ;

C_q ——烟气中某种气体在 t'_q 温度下的定压比热, $\text{kJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$, 见表 6-2;

t'_q ——烟气在某一点处的温度, $^\circ\text{C}$ 。

烟尘的焓按下式计算:

$$I_b = 0.8\mu \cdot C_b \cdot t_b \quad \text{kJ/m}^3 \quad \dots\dots\dots (6-5)$$

式中：I_h——烟尘的焓，kJ/m³；

0.8——系数；

μ——烟尘的含量，kg/m³；

t_h——烟尘的温度，℃；

C_h——烟尘的比热，kJ/kg·℃。在无确切资料时一般可取 C_h=0.5862。

表 6-2 空气和烟气组分的平均比热

(1 个大气压下的平均定压比热 C_p)(kJ/m³℃)

温度℃	H ₂ O	N ₂	O ₂	CO	H ₂ O	CO ₂	SO ₂	空 气
0	1.2979	1.2946	1.3059	1.2979	1.4943	1.5999	1.7794	1.2971
100	1.2979	1.2959	1.3176	1.3021	1.5052	1.7003	1.8631	1.3005
200	1.2979	1.2996	1.3352	1.3105	1.5224	1.7874	1.9427	1.3072
300	1.2979	1.3068	1.3562	1.3188	1.5425	1.8628	2.0138	1.3171
400	1.2979	1.3164	1.3775	1.3314	1.5655	1.9298	2.0724	1.3290
500	1.3021	1.3277	1.3980	1.3440	1.5898	1.9888	2.1269	1.3428
600	1.3021	1.3403	1.4169	1.3607	1.6149	2.0412	2.1688	1.3566
700	1.3063	1.3537	1.4345	1.3733	1.6413	2.0885	2.2106	1.3708
800	1.3105	1.3671	1.4500	1.3858	1.6681	2.1312	2.2399	1.3842
900	1.3147	1.3796	1.4646	1.3984	1.6957	2.1693	2.2692	1.3976
1000	1.3188	1.4476	1.4476	1.4110	1.7230	2.2036	2.2986	1.4098
1100	1.3272	1.4893	1.4893	1.4235	1.7502	2.2350	2.3237	1.4215
1200	1.3314	1.4144	1.5006	1.4319	1.7770	2.2639	2.3488	1.4328
1300	1.3398	1.4253	1.5107	1.4403	1.8029	2.2899	2.3614	1.4433
1400	1.3440	1.4349	1.5203	1.4486	1.8280	2.3137	2.3739	1.4529
1500	1.3523	1.4441	1.5295	1.4570	1.8527	2.3355	2.3865	1.4621

6.1.3 余热锅炉的热平衡

余热锅炉的热平衡计算是为了使进入余热锅炉的热量与有效利用的热量及各种损失的总和相平衡，并据此计算余热锅炉的产汽量和余热锅炉利用率。

6.1.3.1 热平衡方程式：

$$Q' = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad \text{kJ/h} \quad \dots\dots\dots (6-6)$$

式中：Q'——进入余热锅炉的热量，kJ/h；

Q₁——余热锅炉的有效利用热量，kJ/h；

Q₂——排烟热损失，kJ/h；

Q₃——化学不完全燃烧热损失，kJ/h；

Q₄——机械不完全燃烧热损失，kJ/h；

Q₅——散热损失，kJ/h；

Q₆——排灰渣热损失，kJ/h。

进入余热锅炉的热量按下式计算：

$$Q' = Q_y + Q_r + Q_{oh} + Q_{lk} \quad \text{kJ/h} \quad \dots\dots\dots (6-7)$$

式中：Q_y——烟气带入的热量，kJ/h；(可包括烟尘的焓值)

Q_r——工业炉窑炉口辐射热量，kJ/h；

Q_{oh} ——连续吹灰介质带入的热量, kJ/h;

Q_{lk} ——漏入余热锅炉的空气带入的热量, kJ/h。

一般来说漏入余热锅炉的空气所带入的热量, 相对是较少的, 可忽略不计。

烟气带入的热量按下式计算:

$$Q_y = I_y \cdot V_y + Q_r \quad \text{kJ/h} \quad \dots\dots\dots (6-8)$$

式中: I_y ——总的烟气的焓, 按式(6-2)计算, kJ/m³;

V_y ——进入余热锅炉的烟气量, m³/h;

Q_r ——烟气携带物质的潜热化学燃烧热量, kJ/h。

炉口辐射热量按下式计算:

$$Q_l = 3.6a_r C_o F_{lk} \left[\left(\frac{T_r}{1000} \right)^4 - \left(\frac{T_b}{1000} \right)^4 \right] \quad \text{kJ/h} \quad \dots\dots\dots (6-9)$$

式中: a_r ——辐射体的黑度, 一般取 0.6~0.9;

C_o ——绝对黑体的辐射系数, $C_o = 5.7 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}^4$;

F_{lk} ——余热锅炉炉口的面积, 当工业炉窑出口面积较小时, 取工业炉窑的出口面积, m²;

T_r ——高温辐射体的绝对温度, K;

T_b ——余热锅炉内辐射体的平均温度, K; 在具体计算中, 可近似地取其等于余热锅炉管壁的绝对温度。

吹灰介质带入的热量, 只有在使用蒸汽连续吹灰时才考虑。按下式计算:

$$Q_{oh} = 4.1868 G_{oh} (I_m - 2512) \quad \text{kJ/h} \quad \dots\dots\dots (6-10)$$

式中: G_{oh} ——连续吹灰时的蒸汽消耗量, kg/h;

I_m ——蒸汽的焓, kJ/kg。

6.1.4 余热锅炉的余热利用率与辅助燃烧装置的效率

6.1.4.1 余热利用率

$$\eta_{bz} = 100 - \sum q_i = 100 - q_2 - q_3 - q_4 - q_5 - q_6 \quad \% \quad \dots\dots\dots (6-11)$$

式中: η_{bz} ——余热锅炉的余热利用率, %;

q_2 ——余热锅炉的排烟热损失, %;

q_3 ——化学不完全燃烧热损失, %;

q_4 ——机械不完全燃烧热损失, %;

q_5 ——散热损失, %;

q_6 ——排尘渣热损失, %。

余热锅炉排烟热损失按下式计算:

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q'} \times 100 = \frac{I'' V_y''}{Q'} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6-12)$$

式中: I'' ——相应排烟温度下烟气的焓, kJ/m³;

V_y'' ——余热锅炉出口烟气量, m³/h;

排灰渣热损失按下式计算:

$$q_6 = \frac{Q_6}{Q'} \times 100 = \frac{G_b \cdot C_b \cdot t_b}{Q'} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6-13)$$

式中: G_b ——在余热锅炉内沉降的烟尘量, kg/h;

C_b ——烟尘的比热, kJ/kg, °C;

t_b ——烟尘的温度, °C。

注: ① 烟尘从冷却室排出的取 $t_b = 600^\circ\text{C}$ 左右; 从对流受热面排出的取 $t_b = 200 \sim 300^\circ\text{C}$ 。

② q_3 , q_4 , q_5 计算方法按《锅炉机组热力计算—标准方法》第五章中有关规定。

6.1.4.2 辅助燃烧装置的效率

$$\eta_{by} = 100 - \sum q = 100 - q_{zby} - q_{aby} - q_{aby} - q_{sby} - q_{aby} \quad \% \quad \dots\dots\dots (6-14)$$

式中: η_{by} ——辅助燃烧装置的效率, %;

q_{zby} ——辅助燃烧时排烟热损失, %;

q_{aby} ——辅助燃烧时化学不完全燃烧热损失, %;

q_{aby} ——辅助燃烧时机械不完全燃烧热损失, %;

q_{sby} ——散热损失, %;

q_{aby} ——排灰渣热损失, %。

上述各项热损失按《锅炉机组热力计算—标准方法》第五章有关规定计算。

6.1.5 余热锅炉蒸发量

$$D_{bq} = \frac{\eta Q - Q_{\text{外}}}{(i_{bq} - i_{gs}) + p(i_{bs} - i_{gs})} \quad \text{kg/h} \quad \dots\dots\dots (6-15)$$

$$D_{gs} = \frac{\eta Q - Q_{\text{外}}}{(i_{gs} - i_{gs}) + p(i_{bs} - i_{gs})} \quad \text{kg/h} \quad \dots\dots\dots (6-16)$$

上两式中: D_{bq} 、 D_{gs} ——分别为饱和蒸汽和过热蒸汽蒸发量, kg/h;

i_{bq} 、 i_{gs} ——分别为饱和蒸汽和过热蒸汽的焓, kJ/kg;

i_{gs} 、 i_{bs} ——分别为给水和饱和水的焓, kJ/kg;

P ——排污率按表 6-3 选用;

η ——如求余热锅炉蒸发量, 则为余热锅炉余热利用率 η_{yu} ;

如求辅助燃烧装置蒸发量, 则为辅助燃烧装置的效率 η_{by} %;

Q ——如要求余热锅炉蒸发量, 则为进入余热锅炉的总热量;

$Q_{\text{外}}$ ——外来工质加热所带走的热量, kJ/h。

表 6-3 余热锅炉排污率

给 水 条 件	排 污 率 %
以化学除盐水或蒸馏水为补给水的凝汽式电厂	1
以化学除盐水或蒸馏水为补给水的热电厂	2
以化学软水为给水的余热锅炉, $D > 4 \text{ t/h}$	5
以化学软水为给水的余热锅炉, $D \leq 4 \text{ t/h}$	8~12

6.1.6 辅助燃烧装置燃料量

辅助燃烧装置所需燃料量按下式计算:

$$B_{by} = \frac{Q_{by}}{Q_{dw} \times \eta_{by}} \quad \text{kg/h 或 m}^3/\text{h} \quad \dots\dots\dots (6-17)$$

式中: B_{by} ——辅助燃烧所需要的燃料量, kg/h 或 m^3/h ;

Q_{by} ——余热锅炉所需的辅助热量, kJ/h。可以 6-15 式或 6-16 式中反求;

Q_{dw} ——燃料低位发热量, kJ/kg 或 kJ/ m^3 。

6.1.7 辐射冷却室换热计算

6.1.7.1 辐射冷却室容积和受热面积

冷却室的容积按图 6-1 所示进行计算:

a. 水冷壁管中心线所在的平面是容积的边界线; 未敷设水冷壁的地方, 炉墙壁面是容积的边界线。在冷却室出口断面上, 以通过屏式过热器、凝渣管或蒸发受热面的第一排管中心线作为容积的边界线, 如在冷却室中布置屏式过热器, 冷却室的容积应扣除其所占的容积。

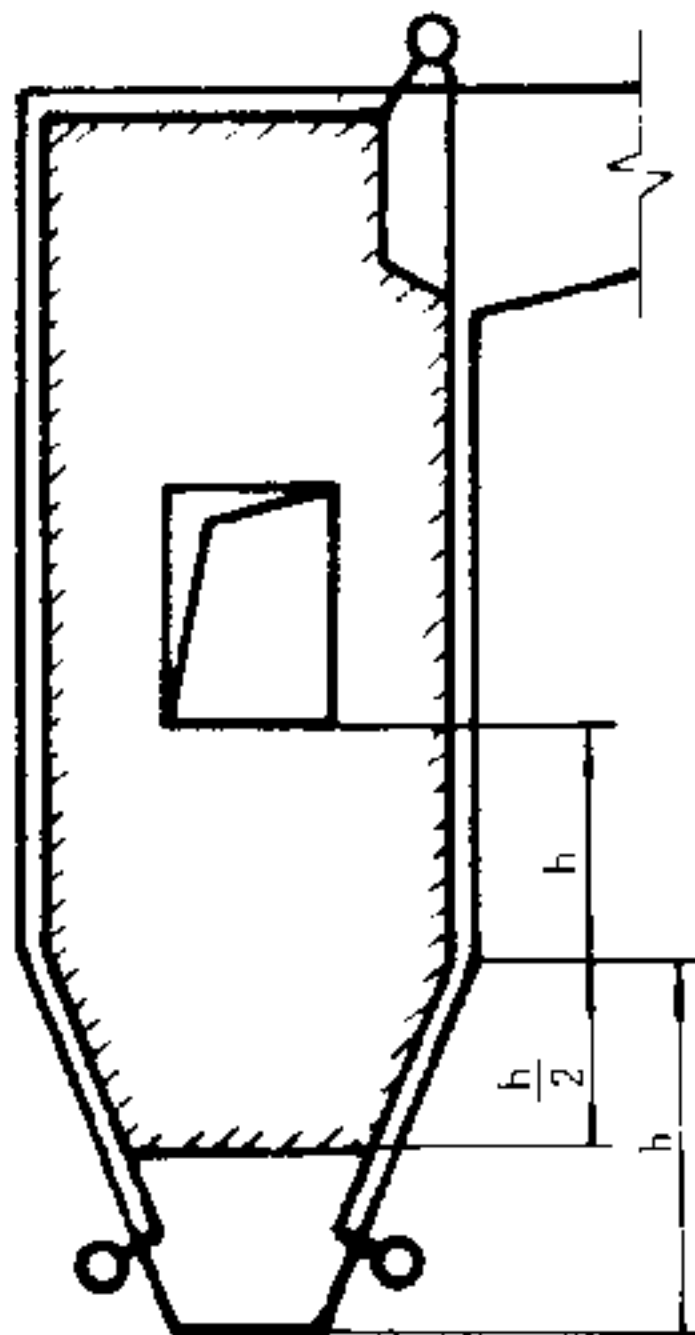


图 6-1 辐射冷却室容积计算

冷却室下部用水冷壁管构成冷灰斗的余热锅炉，一般取冷灰斗高度 h 的一半处的水平面作为冷却室下部容积的边界线。

b. 对烟气从一侧进入的余热锅炉，当烟气进口下部边缘与冷灰斗上部水平面的距离 h_1 小于 1 m 时，冷灰斗的计算受热面积取等于冷灰斗几何面积的 $1/3$ ；而烟气进口下部边缘距冷灰斗上部水平面大于 1 m 时，不计冷灰斗受热面积。

对烟气从冷却室顶部进入，而冷却室中又无烟道隔墙，烟气在冷却室中水平流动时，不计冷灰斗受热面积；而冷却室中有烟道隔墙，并且烟气在冷却室中作上、下流动时，可根据隔墙底边与冷灰斗距离，将冷灰斗几何面积的 $1/3 \sim 1/2$ 计入受热面积。

c. 贴墙水冷壁及双面曝光水冷壁的辐射受热面，可当作一连续平面来计算，该平面在吸热上与管子未污染的水冷壁相当，受热面积按下式计算：

$$H_r = \sum (F_i \cdot X) \quad \text{m}^2 \quad \dots\dots\dots (6-18)$$

式中： H_r ——水冷壁受热面积， m^2 ；

F_i ——水冷壁所占据的炉墙面积， m^2 ；

X ——水冷壁的角系数。

带翅片的和膜式水冷壁 $X=1$ 。

在冷却室出口处布置有蒸发受热面，凝渣管及屏时，通过其第一排管子的角系数， $X=1$ 。

水冷壁所占据的炉墙面积 F_i 可按该水冷壁边界管子中线间的距离 b 与水冷壁管子曝光长度 L 的乘积来计算。见下式：

$$F_i = b \times L \quad \text{m}^2 \quad \dots\dots\dots (6-19)$$

对于双面曝光的水冷壁及屏，其面积应为：

$$F_i = 2 \times b \times L \quad \text{m}^2 \quad \dots\dots\dots (6-20)$$

在确定水冷壁所占据的炉墙面积 F_i 时，要扣除检查门，吹灰孔等未敷设水冷壁管的面积。

冷却室辐射受热面积 H_r 与冷却室炉墙面积之比称为冷却室的水冷程度，即：

$$X = \frac{H_r}{F} \quad \dots\dots\dots (6-21)$$

F ——炉墙的面积， m^2 。对冷却室中带屏的炉墙面积 F ，按《锅炉机组热力计算—标准方法》中 6-02 节计算。

6.1.7.2 有效辐射层厚度

辐射冷却室有效辐射层厚度按下式计算:

$$S = 3.6 \frac{V_L}{F} \quad \text{m} \quad \dots\dots\dots (6-22)$$

式中: S ——有效辐射层厚度, m ;

V_L ——冷却室的容积, m^3 ;

F ——冷却室的炉墙面积, m^2 。

当在冷却室的容积中包含有屏时, 考虑到屏的面积, 其有效辐射层厚度按下式确定:

$$S = \frac{3.6 V_L}{F_{L1} + F_{L2} + F_b} \left(1 + \frac{F_b}{F_{L1} + F_{L2}} \times \frac{V_{L1}}{V_L} \right) \quad \text{m} \quad \dots\dots\dots (6-23)$$

式中: V_{L1} ——与屏无关部分的冷却室容积, m^3 ;

F_{L1} ——与屏无关部分的冷却室炉墙的面积, m^2 ;

F_{L2} ——布置有屏的冷却室部分炉墙面积, m^2 ;

F_b ——屏的面积, m^2 。

6.1.7.3 辐射冷却室换热计算

辐射冷却室应吸收的热量, 按热平衡方程式确定:

$$Q_{Lf} = \varphi (Q_L - I''_L V''_{Ly}) \quad \text{kJ/h} \quad \dots\dots\dots (6-24)$$

式中: Q_{Lf} ——冷却室应吸收的热量, kJ/h ;

φ ——保热系数;

Q_L ——烟气进入冷却室的有效热量, kJ/h ;

I''_L ——冷却室出口处烟气的焓, kJ/m^3 ;

V''_{Ly} ——冷却室出口处烟气量, m^3/h 。

保热系数按下式计算:

$$\varphi = \frac{1}{1 + \frac{q_s}{\eta}} \quad \dots\dots\dots (6-25)$$

烟气在冷却室内的有效热量按下式计算:

$$Q_L = Q' \frac{100 - q_s}{100} \quad \text{kJ/h} \quad \dots\dots\dots (6-26)$$

Q' ——进入余热锅炉的总热量, kJ/h ;

辐射冷却室受热面积吸热量按下列换热方程式计算:

$$Q_f = 3.6 C' H_f \zeta \left[\left(\frac{T_m}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_b}{100} \right)^4 \right] \quad \text{kJ/h} \quad \dots\dots\dots (6-27)$$

式中: Q_f ——冷却室受热面吸收热量, kJ/h ;

C' ——辐射系数, $\text{kW/m}^2 \cdot \text{K}^4$;

H_f ——有效辐射受热面积, m^2 ;

ζ ——辐射受热面污染系数, 按《锅炉机组热力计算—标准方法》中 6-20 节的有关规定选取或根据实际运行经验选取;

T_m ——冷却室中烟气的平均绝对温度, K ;

T_b ——冷却室受热面管壁的绝对温度, K 。

辐射系数按下式计算:

$$C' = a_k a_b C_0 \quad \text{kW/m}^2 \cdot \text{K}^4 \quad \dots\dots\dots (6-28)$$

式中: a_k ——冷却室的折算黑度, 见式 6-29;

C_0 ——绝对黑体的辐射系数, $\text{kW/m}^2 \cdot \text{K}^4$;

a_b ——烟尘的辐射系数, 见表 6-4。

冷却室的折算黑度 a_k 决定于火炬的有效黑度 a_r , 辐射受热面的有效吸收能力 a_s 以及冷却室的水冷程

度,按下式计算:

$$a_x = \frac{1}{\frac{1}{a_x} + X(\frac{1}{a_p} - 1)} \quad (6-29)$$

a_p 、 a_x 根据《锅炉机组热力计算—标准方法》中, § 6-29、§ 6-30 等节的规定计算。

余热锅炉冷却室管壁积灰与工业炉窑种类、烟尘数量及性质有关。对烟气中烟尘较少,或烟尘粘结性不强的余热锅炉,积灰厚度可取 5 mm,对于烟尘量大和烟尘粘结性强的余热锅炉,积灰厚度可视同一般锅炉带销钉的水冷壁。

积灰厚度的选取,这与锅炉清除灰设施的强弱有关,清除灰设施强而有效的,积灰厚度一般为 5 mm,相反,取较大值。

烟尘辐射系数,根据烟气的含尘量,推荐按表 6-4 中的数值选取。

表 6-4 烟尘辐射系数

烟 尘 量 g/m^3	烟尘辐射系数 a_s
0~50	1.0
50~100	1.05
100~200	1.1
200~300	1.25
>300	1.4

冷却室烟气的平均温度按下式计算:

$$T_{mp} = \frac{T_L' + T_L''}{2} \quad K \quad (6-31)$$

式中: T_L' 、 T_L'' ——冷却室烟气的进、出口绝对温度, K。

在进行冷却室结构(设计)热力计算时,可按下式求有效辐射受热面积:

$$H_i = \frac{Q_{if}}{\zeta C' \left[\left(\frac{T_{mp}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_b}{100} \right)^4 \right]} \quad m^2 \quad (6-31)$$

辐射冷却室受热面平均热负荷按下式计算:

$$q_i = \frac{Q_{if}}{H_i} \quad kJ/h \cdot m^2 \quad (6-32)$$

辐射冷却室容积热负荷按下式计算:

$$q_v = \frac{Q_{if}}{V_1} \quad kJ/h \cdot m^3 \quad (6-33)$$

式中: V_1 ——辐射冷却室容积, m^3 。

6.1.8 对流受热面计算

6.1.8.1 基本方程式

a. 换热方程式

$$Q = 3.6kH\Delta t \quad kJ/h \quad (6-34)$$

式中: Q ——所求受热面以对流和辐射方式吸收的热量, kJ/h ;

k ——所求受热面的传热系数, $W/m^2 \cdot ^\circ C$;

H ——计算受热面积, m^2 ;

Δt ——温压, $^\circ C$ 。

b. 热平衡方程式: 热平衡方程式表示烟气放出的热量等于工质吸收的热量, 烟气放出热量为:

$$Q = \varphi[I' - I'' + \Delta a I_{th}] V, \quad kJ/h \quad (6-35)$$

式中: φ ——保热系数;

I' ——受热面入口处的烟焓, kJ/m^3 ;

I'' ——受热面出口处的烟焓, kJ/m^3 ;

$\Delta a I_{1k}$ ——漏风所带入的热量, kJ/m^3 ;

V_r ——进入余热锅炉的烟气量, m^3/h 。

被加热工质所吸收的热量可按下列几个公式计算。

对于直接吸收冷却室辐射热时

$$Q = D(i'' - i') - Q_{\text{af}} \quad \text{kJ/h} \quad \dots\dots\dots (6-36)$$

式中: D ——流过所求受热面的工质流量, kg/h ;

i'' 、 i' ——受热面出口及入口工质的焓, kJ/kg ;

Q_{af} ——以辐射方式从冷却室获得的热量, kJ/h 。

当受热面以纯对流形式存在, 则式 6-36 的 $Q_{\text{af}}=0$ 。

布置在冷却出口处的凝渣管或对流过热器从冷却中获得的辐射热量按下式求得:

$$Q_{\text{af}} = q_r X H_{\text{af}} \quad \text{kJ/h} \quad \dots\dots\dots (6-37)$$

式中: q_r ——辐射冷却室受热面平均热负荷, $\text{kJ/m}^2\text{h}$;

X ——管束的角系数, 一般经验值 $X=0.6\sim 1.0$;

H_{af} ——凝渣管或对流过热器的有效受热面积, m^2 。

对于前面无屏的凝渣管

$$H_{\text{af}} = X F_a \quad \text{m}^2 \quad \dots\dots\dots (6-38)$$

式中: F_a ——凝渣管所在出口窗的断面积, m^2 ;

X ——凝渣管的角系数。

凝渣管排数 ≥ 5 排时, $X=1.0$

当凝渣管排数 $X_n < 5$ 时, $X_n < 1$

$$X_n = 1 - (1 - X_1)(1 - X_2)(1 - X_3)(1 - X_4) \quad \dots\dots\dots (6-39)$$

式中: X_1 、 X_2 …… X_4 分别为第 1、2、3、4 排管的角系数。

对于前面有凝渣管的对流过热器, 而且凝渣管的排数少于 5 排时, 过热器的有效辐射受热面按下式计算。

$$H_{\text{af}} = (1 - X_n) F_a \quad \text{m}^2 \quad \dots\dots\dots (6-40)$$

当对流过热器前无凝渣管时, H_{af} 按公式 6-38 计算。

6.2 水动力计算

余热锅炉水动力计算是在余热锅炉结构、水循环方式和受热面系统拟定, 并经过热力计算校核受热面后进行的。

循环形式有: 自然循环、强制循环和自然与强制循环相结合等三种。

6.2.1 推荐采用 JB/Z 201 中的有关章节计算公式进行汽水循环计算。

6.2.2 自然循环的循环倍率和各管段循环流速按表 6-5、表 6-6 选取。

表 6-5 循环倍率 K

余热锅炉型式	工 作 压 力 MPa	蒸 发 量 t/h	循环倍率 K
单锅筒	2.45~3.82	10~40	15~35
双锅筒	2.45~3.82	<15	40~60
低 压	1.57~2.45	<15	50~100
低 压	<1.57	<15	100~200

表 6—6 各管段循环流速值

序 号	管 段 名 称	循环流速 m/s
1	直接引入锅筒的水冷壁	0.5~1.5
2	有上集箱的水冷壁管	0.3~1.0
3	双面水冷壁管	0.5~2.0
4	小容量锅炉的水冷壁	0.3~0.8
5	第一组蒸发管束的头三排管子	0.1~0.8
6	第一组蒸发管束的其余各排管子	0.1~0.5
7	第二和第三组蒸发管束	0.1~0.5

6.2.3 自然循环余热锅炉的汽水引出管与上升管的截面比、下降管与上升管的截面比,建议在下列数值范围内进行选择。

$$\text{引出管与上升管截面比} = \frac{\text{引出管总截面}}{\text{上升管总截面}} = 35\% \sim 45\%$$

$$\text{下降管与上升管截面比} = \frac{\text{下降管总截面}}{\text{上升管总截面}} = 20\% \sim 30\%$$

6.2.4 强制循环的计算

6.2.4.1 循环倍率一般为 8~20。

6.2.4.2 节流孔板的计算可按 JB/Z 201 中有关规定进行。

其节流孔板阻力系数按线算图查取。并应取计算值的较大值,以留有适当的裕量。

6.2.4.3 循环水泵压头裕量为计算值的 10%~20%且不小于 0.25 MPa。循环水泵不得少于两台,其中一台停运时,其余水泵总流量应满足最大循环水量。

6.2.5 对上升管装有节流孔板的集箱,应设装拆、检修节流孔板的手孔,以便节流孔板的检修、装拆。

6.3 烟气动力计算

6.3.1 余热锅炉烟气动力计算,推荐采用《锅炉设备空气动力计算》中的有关规定进行计算。

6.3.2 根据余热锅炉特点,烟气动力计算规定如下。

6.3.2.1 对于不设置管束的烟道,当烟气流速小于 12 m/s 时,其摩擦阻力可忽略不计。

6.3.2.2 屏式(半辐射式)过热器烟气原则上按纵向冲刷计算阻力。

6.3.2.3 计算过热器阻力时,对于正常的污染,其修正系数 $K=1.2$,当烟气中烟尘的粘结性较强时, K 值应适当加大,但一般不大于 1.5。

6.4 受压元件强度计算

6.4.1 受压元件强度计算标准

6.4.1.1 水管型余热锅炉采用 GB 9222。

6.4.1.2 烟管型余热锅炉采用 JB 3622。

6.4.2 当锅筒、集箱、管子与腐蚀性烟气接触时,应根据其腐蚀速度考虑腐蚀裕量。

6.4.3 锅筒

6.4.3.1 在任何受压情况下,锅筒筒体和封头的壁厚均应大于 6 mm。采用胀接结构时,筒体壁厚不应小于 12 mm。无论平形炉胆或波形炉胆,其壁厚均不应小于 8 mm,且不大于 22 mm。

6.4.3.2 锅筒筒体的附加壁厚应按 GB 9222 或 JB 3622 规定选取。

6.4.4 集箱

6.4.4.1 余热锅炉的集箱应设计为圆筒形并尽可能布置在烟道外。

若集箱布置在烟道内,未经绝热层保护,则其计算壁温按有关规定选取;烟气腐蚀性较强时,要采取防止集箱壁发生高、低温腐蚀的措施。

6.4.4.2 集箱壁厚选择时,应按 GB 9222 规定确定附加壁厚。

6.4.4.3 对于由钢管弯制的环形集箱,应按 GB 9222 中有关规定计算附加壁厚。

6.4.5 管接头(连接受热面管子的除外)的最小壁厚在任何情况下不得小于 0.04 倍管子外径加 2.5 mm。

7 结构设计原则

7.1 水冷壁

7.1.1 水冷壁管通常选用 $\Phi 51$, $\Phi 60$, $\Phi 76$ mm。钢管制造。

7.1.2 采用膜式(或翅片)水冷壁,翅片宽度 b (图 7-1)一般不超过 25 mm。否则需核算翅片的应力和翅端的壁温。

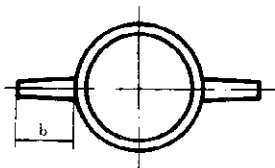


图 7-1 翅片宽度

7.1.3 光管水冷壁节距 s/d , 对轻型炉墙一般取 1.1~1.2, 对重型炉墙一般取 2~5。

7.1.4 对烟尘粘结性较强的余热锅炉,其冷却室应采用膜式壁或翅片管水冷壁。

7.1.5 为保证自然循环正常进行,受热的水冷壁管尽量垂直布置,不宜有水平管。如需倾斜时,管子与水平线夹角不小于 10° 。

7.1.6 下降管(不含集中下降管)断面上部与锅筒最低水位的距离应不小于下降管内径的 4 倍。并尽可能从锅筒底部引出,下降管入口应低于上升管的出口位置,它们之间的净距应不小于 250 mm,否则应加隔板隔开。

7.1.7 工作压力小于等于 0.79 MPa 的自然循环余热锅炉水冷壁管高度不宜小于 2 m;工作压力大于 0.79 MPa(做水循环计算)的余热锅炉水冷壁管高度宜不小于 3 m。

7.1.8 水冷壁下降管应不受热。每个循环回路的下降管总截面不小于上升管截面总和的 20%~30%,其中较小数值适用于受热面管子直接与锅筒相联的水冷壁及高度较小的余热锅炉。

7.1.9 下降管应均匀引入水冷壁下集箱。并尽可能与水冷壁管垂直布置。

7.1.10 水冷壁管应尽可能单独引入锅筒,也可设上集箱,由汽水引出管与锅筒相接。

7.1.11 水冷壁上、下集箱一般选用 $\Phi 159$, $\Phi 219$ mm 钢管制造。

7.1.12 水冷壁下集箱应有疏水或排污装置。

7.1.13 布置水冷壁时,应使水冷壁管在受热时能自由膨胀。

7.1.14 布置水冷壁时管子应绕开燃烧器、吹灰孔、检查门等门孔。

7.2 过热器

7.2.1 过热器根据烟气与蒸汽流向相互关系可采用顺流、逆流、双逆流、混合式布置方式。过热器分级时,通常使每一级的焓增量不超过 251~419 kJ/kg。

7.2.2 对流过热器中的烟速一般不超过 12 m/s,工质的质量流速可取 $250\sim 400 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$;传热强度高时取上限,传热强度低时取下限。

7.2.3 对流过热器管组横向相对管节距 S_1/d 及纵向相对管距 S_2/d 一般取 2.5 左右。

7.2.4 过热器管组横向与炉墙距离为一半节距($t=1/2S_1$)左右,在过热器管组长度方向与炉墙的距离为一个到两个管径。

7.2.5 过热器管子一般采用 $\Phi 32$, $\Phi 38$, $\Phi 42$ mm 等规格的管子。弯曲半径根据制造厂的弯管模具确定。

- 7.2.6 过热器集箱强度计算按 GB 9222 进行。其外径根据余热锅炉蒸发量确定，一般为 $\Phi 159$ ， $\Phi 219$ mm。
- 7.2.7 在过热器集箱端部应按规定设置手孔。出口集箱上还应装设排汽管座、压力表座、温度计插座、安全阀管座、疏水管座和水冲洗管座等。
- 7.2.8 根据汽轮机用汽要求或用户有要求时，过热器应加装减温器，使过热蒸汽温度符合规定的偏差值，或采用辐射式过热器调温。
- 7.2.9 减温器型式可根据水质条件选用表面式减温器或喷水减温器。
- 7.2.10 余热锅炉额定蒸汽温度小于等于 350°C ，可以采用减温器布置在过热器之后的方式，有两级过热器时宜装在两级过热器之间。
- 7.2.11 减温器一般的焓降幅度取 $90\sim 120\text{ kJ/kg}$ 。减温器减温能力应为所需减温量的 $1.15\sim 1.5$ 倍。
- 7.2.12 喷水减温器的喷水量为额定负荷的 $3\%\sim 6\%$ 。装设位置应使减温后的蒸汽温度至少要高出饱和温度 20°C 。
- 7.2.13 对喷水减温器，必须保证良好的减温水质量，减温水质量应保证减温后蒸汽中的钠、二氧化硅和金属氧化物的含量符合 GB 12145 规定的蒸汽质量标准。
- 7.3 对流蒸发受热面
- 7.3.1 布置原则
- 7.3.1.1 烟气在烟道截面内应尽量均匀流过，并尽量布置为横向冲刷受热面，亦可采用纵向冲刷。
- 7.3.1.2 烟气含尘量较少时，可采用错列布置。自然通风时宜采用顺列布置。
- 7.3.1.3 上锅筒与下锅筒或锅筒与下集箱外表面之间净距一般大于 1.4 m 。
- 7.3.1.4 对流蒸发受热面管子与锅筒相接处，应在锅筒最低水位下 $100\sim 150\text{ mm}$ 。
- 7.3.1.5 对流蒸发受热面一般采用 $\Phi 32$ ， $\Phi 38$ ， $\Phi 51\text{ mm}$ 规格的管子。
- 7.3.2 对流蒸发受热面中烟气流速，第一类余热锅炉一般取 $8\sim 12\text{ m/s}$ ，对微正压余热锅炉可适当提高，第二、三类余热锅炉一般取小于 8 m/s 。
- 7.3.3 对于第二、三类余热锅炉，对流蒸发受热面容易受到磨损的管子，应采取适当的防磨措施。
- 7.4 省煤器
- 7.4.1 余热锅炉设置省煤器的原则，应以烟气、烟尘特性，用户要求等因素来确定。烟气中 SO_2 含量大，烟尘粘结性强，原则上不应设置省煤器。
- 7.4.2 省煤器布置应便于检修。水平布置时每段高度不宜超过 1.5 m ，段与段之间应留出 0.8 m 的检修空间。
- 7.4.3 钢管省煤器用于工作压力大于 1.27 MPa 的余热锅炉，其汽化率最大可达 20% 。铸铁省煤器仅适用小于等于 2.45 MPa 的余热锅炉，出口水温应低于饱和温度 $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ 。
- 7.4.4 钢管省煤器一般采用 $\Phi 32$ ， $\Phi 38\text{ mm}$ 规格的管子。管组横向节距可采用 $S_1/d=2\sim 3$ ，纵向节距可采用 S_2/d 小于 2 。
- 7.4.5 省煤器集箱规格根据锅炉蒸发量一般可选用 $\Phi 133$ ， $\Phi 159$ ， $\Phi 219\text{ mm}$ 等钢管制造。
- 7.4.6 集箱应按规定开设手孔。
- 7.4.7 当露点温度较低时，进入省煤前的给水应采取预加热或其它措施，以防止低温腐蚀。
- 7.4.8 省煤器中的水阻力一般不得超过上锅筒工作压力的 8% 。在额定负荷下，对于铸铁省煤器平均流速应大于 0.3 m/s ；对沸腾式钢管省煤器，平均流速应大于 1 m/s 。
- 7.4.9 省煤器的给水管路上应装设止回阀。为了保护省煤器的安全，应有冷却省煤器的可靠措施，如在省煤器入口和锅筒之间装设再循环管和再循环阀等。
- 7.5 锅筒及内部装置
- 7.5.1 锅筒内径大于 1000 mm 的烟管式余热锅炉和锅筒内径大于等于 800 mm 的水管式余热锅炉都应在锅筒或封头(管板)上开设人孔。人孔开在筒体上时，短轴应平行于锅筒轴线。椭圆孔尺寸不得小于

280mm×380 mm。

7.5.2 水管式余热锅炉的锅筒根据需要可以在一端或两端封头上开设人孔，锅筒长度大于 6000 mm 时，一般宜开设两个人孔。

7.5.3 水管型余热锅炉锅筒的封头宜选用长短轴比值为 2 的椭球形封头。

7.5.4 水管型余热锅炉的最低安全水位，应保证对下降管可靠地供水，锅筒正常水位线一般可定在锅筒中心上下 0~100 mm 处。正常水位线上下各 70~100 mm 处为最高水位和最低水位，如有特殊要求可适当加大。

7.5.5 烟管型余热锅炉的最低安全水位应高于最高火界 100 mm，对直径小于等于 1500 mm 卧式烟管式余热锅炉的最低安全水位应高于火界 75 mm。

7.5.6 锅筒结构设计

锅筒结构设计主要确定锅筒容积、内部装置等。

7.5.6.1 锅筒的容积由四部分组成，见下式

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \quad \text{m}^3 \quad \dots\dots\dots (7-1)$$

式中：V——锅筒的容积，m³；

V_1 ——有效水容积，m³；

V_2 ——蒸汽空间容积，m³；

V_3 ——闲置水容积，m³；

V_4 ——水位波动空间容积，m³。

为了简化计算，保证适当的精度，锅筒的容积均按锅筒直段范围计算。

7.5.6.2 锅筒的蒸汽空间容积按下式确定。

$$V_2 = \frac{D' \cdot v''}{R_v} \times 10^3 \quad \dots\dots\dots (7-2)$$

式中： V_2 ——锅筒蒸汽空间容量，m³；

D' ——余热锅炉蒸发量，t/h；

v'' ——饱和蒸汽比容，m³/kg；

R_v ——蒸汽空间容积负荷，m³/h·m³ 推荐按表 7-4 取用。

表 7-4 蒸汽空间容积负荷 R_v

额定蒸汽压力 MPa	0.39	0.69	0.98	1.27	1.57	2.45	3.82
蒸汽空间 容积负荷 m ³ /h·m ³	630~1310	610~1280	610~1250	580~1200	570~1150	540~1080	500~800

注：当汽水混合物由水空间引入时；或锅筒顶部无分离设备；或只装有集汽管时， R_v 应取表中的较小值。

7.5.7 锅筒内部装置

锅筒内部装置的结构设计，当额定蒸汽压力小于等于 2.45 MPa 时，按照 JB/Z 198 的规定进行；大于 2.45 MPa，且有过热器时，按照《电站锅炉汽包内部装置设计方法》的规定进行。

7.5.8 锅筒内部辅助装置

锅筒内部的辅助装置主要有给水分配管、排污管、加药管、水位计保护装置、事故放水管等。

7.5.8.1 给水分配管：

- 给水分配管不宜小于三分之二的锅筒直段长度，以使沿锅筒长度配水均匀；
- 给水分配管可装在近水面处（应低于最低水位），以减少蒸汽的带盐和减轻或避免泡沫的形成；
- 给水分配管应远离排污管，特别是表面排污管，以提高排污水的含盐浓度。

7.5.8.2 排污管

- 排污管应远离给水管和加药管；

b. 设有连续排污时, 排污管应从正常水位下 80~100 mm 处锅水含盐浓度最大处引出。

7.5.8.3 加药管

a. 加药管布置一般应与给水管的长度相同, 并应比较靠近给水管或下降管入口;

b. 加药管的开孔应使药液和给水均匀地得到混合, 并应远离排污管。

7.5.8.4 在锅筒内部应加装水位计汽侧和水侧的保护装置, 避免出现假水位, 以保证余热锅炉的安全运行。

7.5.8.5 为防止余热锅炉满水而造成事故, 在锅筒上应装有事故放水管。

a. 放水管一般选用 $\Phi 57 \sim \Phi 108$ mm 的管子;

b. 放水管管口一般装在锅筒正常水位或设计最高水位线处, 应从锅筒下部引出。

7.5.9 对供汽轮机用汽或额定蒸汽压力大于 1.57 MPa 的余热锅炉应进行锅内加药处理, 锅筒内部需加装连续表面排污管。

7.5.10 凡能引起锅筒壁或集箱局部热疲劳的连接管(给水管, 加药管等)在穿过筒壁处应加装套管。

7.5.11 对锅筒的集中下降管和强制循环的吸水管, 应设置防涡板装置。

8 炉墙

8.1 基本要求

8.1.1 炉墙设计、施工等应符合 GB JZ11 的规定。

8.1.2 炉墙应有良好的绝热性, 室内布置的余热锅炉其外表温度不应超过 50℃, 室外布置的余热锅炉其外表温度不超过 55℃。

8.1.3 炉墙应有较好的密封性。以提高余热锅炉的利用率, 保证工作人员和周围设备的安全, 以及防止空气污染。

8.1.4 炉墙砌体材料应有足够的耐热性, 能承受高温烟气的冲刷, 及灰渣侵蚀的能力。

8.1.5 炉墙砌体材料应有一定的热稳定性, 保证炉墙在外力的作用和较大的温度波动时不发生破坏和崩裂。

8.1.6 对设有内护板的炉墙, 其内护板的工作温度应高于酸露点温度 50℃以上。

8.2 重型炉墙

8.2.1 重型炉墙一般采用耐火砖和红砖砌筑组成, 炉墙高度一般不超过 10 m; 若冷却室四周无水冷壁时, 高度不宜超过 6~8 m。

8.2.2 耐火砖与红砖之间应根据烟温条件有足够的绝热层间隙。

8.2.3 炉墙应留有水平方向和垂直方向的膨胀缝。一般可在分段减载结构处或垂直炉墙与顶棚或斜墙交界处留出有效的间隙, 以形成水平膨胀缝。在炉墙角部留出的垂直膨胀缝。当炉墙很宽时, 还须在炉墙中部设垂直膨胀缝。

8.2.4 为提高砌体的相对稳定性, 炉墙砌体必须考虑有效的加固措施。小型余热锅炉炉墙高于 1.5 m 时, 一般采用内外牵连砖。对容量较大的余热锅炉重型炉墙, 采用金属构件进行加固和牵连。

8.2.5 重型炉墙厚度可按表 8-1 中的数值选择

表 8-1 重型炉墙厚度

炉墙内壁温度 ℃	炉 墙 厚 度 mm
1000~1300	耐火砖(230)+绝热层+红砖(240)
800	耐火砖(113)+绝热层+红砖(240)

续表 8-1

炉墙内壁温度 ℃	炉 墙 厚 度 mm
800~1000 (凝渣管区隔墙)	耐火砖(230)
500~700	耐火砖(113)+绝热层+红砖(240)
500 以下	红砖(380~490)

8.3 轻型炉墙

8.3.1 轻型炉墙也称护板框架式炉墙，可分为砖砌结构和浇涛料结构两种。

砖砌轻型炉墙一般由耐火砖、保温砖组成。

b. 浇涛料轻型炉墙一般由耐火浇涛料、保温浇涛料、保温板三层组成。

8.3.2 轻型炉墙设计时应将炉墙全高分为几段，通过水平托架将炉墙重量支承在钢架上，每段高度约为2 m，最高不超过3 m。

8.3.3 轻型炉墙应在耐火层部分留有膨胀缝，垂直膨胀缝一般留在炉墙拐角部位，必要时炉墙的中间也应留膨胀缝。水平的膨胀缝一般必须留在承受炉墙重量的托架部位。

8.3.4 轻型炉墙的在耐火层与保温层之间一般不留出膨胀间隙。

8.4 敷管炉墙

8.4.1 敷管炉墙由耐火层、保温层、密封抹面等组成，直接敷在水冷壁管上。炉墙的砌筑高度不受限制，炉墙的重量均匀地分布到受热面管子上，由水冷壁悬吊结构传递到余热锅炉顶大梁或余热锅炉构架上。

8.4.2 为保护炉墙和增加水冷壁的刚性，沿水冷壁管高度方向每隔2~3 m应设置一刚性梁。

8.4.3 对气密性要求高的炉墙，应加设单层或双层钢护板。

8.5 炉墙材料的选择

炉墙材料分为耐火材料、保温材料和密封材料三类。

8.5.1 耐火材料

8.5.1.1 耐火材料应有足够的耐火度。应根据工作温度选择合适的材料，也不能以耐火度作为材料的实际工作温度。

8.5.1.2 耐火材料应有足够的常温及高温耐压强度。

8.5.1.3 耐火材料的荷重软化温度应高于余热锅炉相应部位烟气温度150℃以上。

8.5.1.4 耐火材料应有足够的热稳定性和抗渣性。确保炉墙运行周期内安全可靠。

8.5.2 保温材料应选用导热系数小、容重轻、容易加工成形的材料，以降低散热损失和减小炉墙厚度。

8.5.3 密封材料应选择透气性小，具有良好的抗侵蚀能力的材料，以减少漏风或热烟气外逸。

8.6 露天布置的余热锅炉炉墙防护

a. 轻型炉墙宜在炉顶上装设敞开式轻型大屋顶；

b. 在炉墙表面装设波形板或平板式的金属护板；

c. 对无金属外护板的炉墙应在炉墙外涂一层防护涂料，防护涂料一般采用冷沥青膏或古巴沥青膏。

9 构架

9.1 基本规定

9.1.1 钢构架设计应分别符合 GB J17、GB J68、GB J9 和 JB 5339 中的有关规定。

9.1.2 设计钢构架必须与余热锅炉本体、辅助设备、厂房布置和安装要求等密切配合、互相协调，选用安全可靠又经济合理的结构方案。

- 9.1.3 构架必须保证余热锅炉在运行、安装和检修过程中具有足够的强度、刚度和稳定性。
- 9.1.4 要求抗震设防的构架，在设防烈度地震作用时，构架不应遭受到影响继续使用的破坏。
- 9.1.5 布置构架时，应使构件尽量避免高温(150℃以上)作用。对于必须布置在烟道内或长期受高温作用的构件，除选用合适的钢材外，还应采取必要的隔、绝热或冷却措施。同时使其有自由膨胀的可能，避免产生破坏性热应力。
- 9.2 设计
- 9.2.1 余热锅炉钢构架设计原则上采用极限状态设计法，按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行构架设计。
- 9.2.2 计算结构或构件的强度、稳定性及连接强度时，应采用荷载设计值；计算变形时，应采用荷载标准值。
- 9.2.3 构架允许的水平相对位移按表 8-1 的规定。

表 8-1 构架允许的水平位移值

荷 载 类 别	允许的水平位移值
永久荷载	$< \frac{1}{500}$
风 荷 载	$< \frac{1}{500}$
地震作用	不宜大于 1/450

- 9.2.4 基础的相对不均匀沉降应不大于相邻柱距的千分之二。
- 9.2.5 结构重要性系数 γ 值，取 $\gamma=1.0$ 。
- 9.3 材料
- 9.3.1 余热锅炉构架材料，一般选用碳素结构钢和低合金钢的板材和型钢，根据使用要求，可选用沸腾钢、镇静钢。
- 9.3.2 构件接触腐蚀性烟气或受高温时，根据作用要求，可选耐腐蚀性和耐高温的合金钢。
- 9.3.3 材料的质量应符合国家标准或有关行业标准中的有关规定，必要时尚应具有冷弯试验合格的证明。
- 9.3.4 露天布置且处于严寒地区的主要受力构件的厚板，如无有效的防护措施，应考虑钢材的无塑性转变温度低于使用中可能出现的最低温度。
- 9.3.5 计算温度低于 -20℃ 的主要承重构件不得采用沸腾钢。
- 9.3.6 主要承重结构的板材厚度或型钢厚度大于 40 mm 时，应要求原材料以正火状态供货。
- 9.4 钢构架布置
- 9.4.1 钢构架分类
- 框架式钢构架，构件之间采用刚性连接；
 - 桁架式钢构架，构件之间采用铰接或刚性连接；
 - 由框架和桁架式组成的混合式构架。
- 9.4.2 钢构架布置原则
- 9.4.2.1 根据余热锅炉本体、炉墙和附属设备支吊或支承要求，布置梁、柱、垂直支撑和水平支撑。
- 9.4.2.2 布置钢构架应力求传力明确，结构简单，节省材料；柱的数量少，且梁的跨度不宜过大。
- 9.4.2.3 钢构架布置应便于安装。
- 9.4.2.4 构件布置应便于余热锅炉运行和检修，构件不应妨碍各种门、孔、清除灰措施、阀门等设备的监护和操作，以及过热器、减温器、省煤器的检修。

10 受热面清灰

10.1 吹灰器

10.1.1 吹灰器的吹灰介质要根据烟气的特性确定，一般有压缩空气、氮气和蒸汽三种。烟气中 SO_2 成份较高时，不应采用压缩空气和蒸汽作为吹灰介质。

10.1.2 布置吹灰器时，须保证需吹灰受热面在吹灰器的有效吹扫半径之内，并要避免炉墙受到气(汽)流的冲刷。

10.2 振动式清灰器

10.2.1 振动式清灰器一般适用于中、小容量的余热锅炉。

10.2.2 振动式清灰器一般用于翅片蛇形管组，振源连杆宜设在悬吊垂直蛇形管下部的三分之一的位罝。

10.2.3 振动清灰器应消除垂直方向的振动，避免振动波殃及余热锅炉的钢架与平台。

10.3 振打式清灰器

10.3.1 振打式清灰器具有较大的冲击动能，适用于大容量的余热锅炉。

10.3.2 振打式清灰器一般用于翅片蛇形管组，锤击点宜设悬吊垂直蛇形管下部约三分之一的高度，其锤击方向应垂直于蛇形管的受热面。

10.4 钢珠清灰

10.4.1 钢珠清灰一般用于竖井式烟道中的水平蛇形管组的清灰。

10.4.2 钢珠直径一般为 3~ mm，钢珠分配器的数量应保证钢珠能均匀地冲刷受热面管组。

10.4.3 钢珠可用压缩空气提升，亦可用机械方式提升。

11 主要附件和仪表

11.1 安全阀

11.1.1 由于烟气的不可调节性，安全阀的排汽能力应按工艺过程中使余热锅炉可能出现的最大蒸发量考虑，也可按 1.5 倍额定蒸发量考虑，并按《蒸汽锅炉安全技术监察规程》第 132 条计算安全阀的排汽面积。

11.1.2 蒸发量大于 0.5 t/h 的余热锅炉，至少装设两个安全阀(不包括省煤器安全阀)。蒸发量小于等于 0.5 t/h 的余热锅炉，至少装一个安全阀。

11.1.3 可分式省煤器出口处、过热器出口处都必须装设安全阀。

11.1.4 安全阀应铅直安装，并尽可能装在锅筒、集箱的最高位置。在安全阀和锅筒(或集箱)之间不得装有取用蒸汽的出汽管和阀门。

11.1.5 对于额定蒸汽压力小于等于 3.82 MPa 的余热锅炉，安全阀喉径应不小于 25 mm。

11.1.6 几个安全阀如共同装置在一个与锅筒直接相连接的短管上，则短管的通路截面积应不小于所有安全阀排汽面积的 1.25 倍。

11.1.7 安全阀应安装在人可以充分接近的地方，在确保人身安全的情况下，调节和校验安全阀。

11.2 压力表

11.2.1 每台余热锅炉必须装有与锅筒蒸汽空间直接相接的压力表。还应在下列部位装设压力表：

- a. 给水管的调节阀前；
- b. 可分式省煤器出口；
- c. 循环水泵入口阀门前，出口阀门后；
- d. 过热器出口和主汽阀之间。

11.2.2 选用压力表应符合下列规定：

- a. 额定蒸汽压力小于 2.45 MPa 的余热锅炉，压力表精度不应低于 2.5 级；额定蒸汽压力大于或

等于 2.45 MPa 的余热锅炉，压力表的精确度不低于 1.5 级；

b. 压力表应根据工作压力选用。压力表表盘刻度极限值应为工作压力的 1.5~3.0 倍，最好选用 2 倍；

c. 压力表表盘的大小应保证司炉工人能清楚地看到压力指示值。表盘直径可按下表 11-1 选取。

表 11-1 压力表表盘直径

压力表安装高度 m	<2	2~5	>5
表盘直径 mm	≥100	≥150	≥250

11.2.3 压力表装置应符合下列要求：

- 应装置在便于观察和吹洗的位置，并应防止受到高温、冰冻和震动的影响；
- 应有存水弯管。存水弯管用钢管时，其内径不应小于 10 mm；用铜管时，其内径不应小于 6 mm；
- 压力表和存水弯管之间应装有旋塞，以便吹洗管路，卸换压力表。

11.3 水位表

11.3.1 每台余热锅炉至少装设两个彼此独立的水位表。但额定蒸发量小于或等于 0.2 t/h 的余热锅炉，可以装一个水位表。

11.3.2 水位表应装在便于观察和操作的地方。水位表距离操作地面高于 6 m 时，应加装低地位水位计。低地位水位计的连接管应单独地接到锅筒上。

11.3.3 一般水位表(计)与锅筒之间的汽水连接管内径不应小于 18 mm，对于连接管长度大于 500 mm 或管子有弯曲度时，内径应放大至 25~50 mm，并需有防冻措施，以防止出现假水位。

11.3.4 连接管应尽可能地短，汽连接管应能自动地向水位表(计)疏水，水连接管应能自动向锅筒疏水，以防止形成假水位。

11.3.5 水位表(计)和锅筒之间的汽水连接管口，如装有阀门，在正常运行时必须将阀门全开。

11.4 测量温度和负压的仪表

11.4.1 为测量下列温度，在余热锅炉相应部位应装设测量温度的仪表。

- 余热锅炉烟气进出口处；
- 冷却室出口烟气温度；
- 过热器工质出口处；
- 由几段平行管组组成的过热器的每段出口处；
- 减温器前、后工质进出口处；
- 省煤器工质进口和出口处；
- 辅助燃烧室烟气出口处；

若烟气温度有特殊要求，可按其需要装设测温点。

11.4.2 在余热锅炉进出口烟道上应装设压力测点。

11.5 排污装置

11.5.1 额定蒸发量大于或等于 1 t/h 或额定蒸汽压力大于或等于 0.69 MPa 的余热锅炉，排污管应装两个串联的排污阀。

11.5.2 锅筒、每组水冷壁下集箱的最低处，都应装排污阀；过热器集箱、每组省煤器最低处，都应装疏水阀。有过热器的余热锅炉一般应装设连续排污装置。

11.5.3 排污阀宜采用闸阀、快速排污阀或斜截止阀。

11.5.4 排污阀的公称通径为 20~65 mm 卧式烟管式余热锅炉锅筒上的排污阀通径不得小于 40 mm。

11.6 保护装置

11.6.1 额定蒸发量等于或大于 2 t/h 的余热锅炉，应装设高低水位警报器。

11.7 主要阀门及仪表

11.7.1 主汽阀应装在靠近锅筒或过热器集箱的出口处，通径按蒸汽流速在 20~40 m/s 的范围内选用。

11.7.2 副汽阀主要供自用汽。额定蒸汽压力等于或大于 2.45 MPa 时，宜选用两个截止阀串联；小于 2.45 MPa 压力时，允许只有一个截止阀。

11.7.3 放汽阀的通径应根据辅助燃烧或余热回收时较高的排放量来确定，额定蒸汽压力大于 2.45 MPa 的宜串联两个放汽阀，且宜设计为一次门手动，二次门电动(或气动)。

11.7.4 在锅筒、过热器、省煤器等可能聚集空气的地方，都应装设排气阀。排气阀的通径一般为 15 mm。

11.7.5 通向锅筒的给水管上，应串联装设截止阀和止回阀各一只。截止阀装在靠近锅筒侧。截止阀的通径可按给水流速 0.5~5 m/s 选用。

11.7.6 蒸发量大于 4 t/h 的余热锅炉，应装设自动给水调节器，并应能手动操作。

附录 A
余热锅炉简易热力计算方法
(参 考 件)

A1 对于进入余热锅炉的烟气温度低于 800℃, 烟气量在 5000 m³/h 以下的情况可按本附录计算方法进行简化热力计算。

A2 有关参数的选用

A2.1 余热锅炉进出口烟温

余热锅炉进口烟温是已知的。设有省煤器的余热锅炉出口烟温一般小于 250℃, 在进行热力计算时预先假定, 后校核。

A2.2 烟气放热量计算

$$Q_y = 1.4V_y(\theta' - \theta'') \quad \text{kJ/h} \quad \dots\dots\dots (\text{A1})$$

式中: Q_y ——烟气放热量, kJ/h;

θ' ——烟气进口温度, ℃;

θ'' ——烟气出口温度, ℃。

A2.3 传热系数

影响传热系数的因素较多, 其中烟气流速、烟气对受热管束的冲刷方式、受热面管子直径和工业炉窑采用的燃料种类这四方面是主要的影响因素。

A2.3.1 过热器

$$k = 1.163k_1 \times k_2 \times k_3 \quad \text{W/m}^2 \cdot \text{℃} \quad \dots\dots\dots (\text{A2})$$

式中: k ——过热器传热系数, W/m²·℃;

k_1 ——速度系数, 与烟气流速及冲刷方式有关, 查表 A1;

k_2 ——管径系数, 与管子的外径有关, 查表 A2;

k_3 ——燃料系数, 与工业炉窑采用的燃料的种类有关, (亦即与污染系数 ϵ 有关), 查表 A3。

表 A1 速度系数 k_1

烟 气 流 速 W , m/s		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18
管子排 列方式	横向错列	30	33	36	39	42	45	48	50	52	54	56	58	60
	横向顺列	22	25	28	31	34	37	40	43	46	48	50	52	54

表 A2 管径系数 k_2

管 径 mm	32	38	42	51
k_2	1.05	1.0	0.97	0.85

表 A3 燃料系数 k_3

燃 料 种 类	煤及天然气	重 油	高炉与焦炉煤气
ϵ	0.005~0.007	0.01(有吹灰)	0.002
k_3	1.0	0.88	1.15

A2.3.2 蒸发受热面及钢管省煤器

$$k = 1.163k_1 \times k_2 \times k_3 \quad \text{W/m}^2 \cdot \text{℃} \quad \dots\dots\dots (\text{A3})$$

式中：k——蒸发受热面或钢管省煤器的传热系数，W/m²·℃；

k₁——速度系数，查表 A4；

k₂——管径系数，查表 A2；

k₃——燃料系数，查表 A3。

表 A4 速度系数 k₁

烟气流速 w, m/s		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
管子 排列 方式	横向错列	30	34	38	42	46	50	54	58	61	65	69	73	77	81	84
	横向顺列	22	25	29	33	37	41	45	49	54	58	62	67	71	75	78

A2.3.3 铸铁省煤器

对管径 76 mm 带翅片的铸铁省煤器传热系数如下：

$$k=1.163k_1\times k_3 \quad \text{W/m}^2\cdot\text{℃} \quad \cdots\cdots\cdots (A4)$$

式中：k——传热系数，W/m²·℃；

k₁——速度系数，查表 A5；

k₃——燃料系数，查表 A3。

表 A5 速度系数 k₁

烟气速度 W, m/s	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
k ₁	12	13.5	15	16.5	18	19.5	21	22.2	23.4	24.5	25.5

A2.4 温压

在蒸发受热面计算中，温压按对数平均温差考虑，即：

$$\Delta t=a\times\frac{\Delta t_d+\Delta t_x}{2} \quad \cdots\cdots\cdots (A5)$$

式中：Δt——温压，℃；

a——温压系数，见表 A6；

Δt_d——最大温差，℃，按式 A6 计算；

Δt_x——最小温差，℃，按式 A7 计算。

$$\Delta t_d=\theta'-t_b\text{℃} \quad \cdots\cdots\cdots (A6)$$

$$\Delta t_x=\theta''-t_b\text{℃} \quad \cdots\cdots\cdots (A7)$$

式中：t_b——饱和蒸汽温度，℃

表 A6 温度系数 a 值

$\frac{\Delta t_d}{\Delta t_x}$	<1.5	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
a	1.0	0.99	0.96	0.94	0.91	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81
$\frac{\Delta t_d}{\Delta t_x}$	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10	—
a	0.80	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	—

A3 计算顺序

A3.1 热平衡计算，见表 A7。

表 A7 热平衡计算

序 号	项 目	符 号	计 算 公 式	单 位	数 值
1	余热锅炉入口处烟气体量	V_r	已知	m^3/h	
2	余热锅炉入口处烟气温度	θ'	已知	$^{\circ}C$	
3	余热锅炉出口处烟气温度	θ''	假定	$^{\circ}C$	
4	烟气放出的总热量	Q_r	$1.4V_r(\theta' - \theta'')$	kJ/h	
5	给水温度	t_{gs}	给定	$^{\circ}C$	
6	给水焓	i_{gs}	根据 t_{gs} 查表	kJ/kg	
7	余热锅炉额定蒸汽压力	P	已知	MPa	
8	过热蒸汽温度	t_{rs}	已知	$^{\circ}C$	
9	过热蒸汽焓	i_{rs}	查表	kJ/kg	
10	余热锅炉蒸发量	D	$\frac{Q_r}{i_{rs} - i_{gs}}$	kg/h	

A3.2 对流受热面的计算，见表 A8—1~A8—3

表 A8—1 过热器对流受热面积计算

序 号	项 目	符 号	计 算 公 式	单 位	数 值
1	饱和蒸汽温度	t_{bq}	已知	$^{\circ}C$	
2	饱和蒸汽焓	i_{bq}	查表	kJ/kg	
3	过热器所需的热量	Q_{rs}	$D \cdot (i_{rs} - i_{bq})$	kJ/h	
4	过热器进口烟气温度	θ'	已知	$^{\circ}C$	
5	过热器出口烟气温度	θ''	$\theta' - \frac{Q_{rs}}{1.4V_r}$	$^{\circ}C$	
6	最大温差	Δt_d	$\theta'' - t_{bq}$	$^{\circ}C$	
7	最小温差	Δt_s	$\theta' - t_{rs}$	$^{\circ}C$	
8	温压系数	a	查表 A6	—	
9	温压	Δt	$\frac{a}{2}(\Delta t_d + \Delta t_s)$	$^{\circ}C$	
10	烟气流速	W_r	假定	m/s	
11	传热系数	k_{rs}	式 A2	$W/m^2 \cdot ^{\circ}C$	
12	受热面积	H_{rs}	$\frac{Q_{rs}}{3.6k_{rs} \times \Delta t}$	m^2	

表 A8—2 蒸发受热面对流受热面积计算

序 号	项 目	符 号	计 算 公 式	单 位	数 值
1	工质进口温度	t'	已知	$^{\circ}C$	
2	工质进口焓	i'	查表	kJ/kg	
3	工质总吸热量	Q_{rl}	$D \cdot (i_{bq} - i')$	kJ/h	
4	蒸发受热面进口烟温	θ'	过热器出口烟温	$^{\circ}C$	

续表 A8—2

序 号	项 目	符 号	计 算 公 式	单 位	数 值
5	蒸发受热面出口烟温	θ'	$\theta' = \frac{Q_d}{1.4V_r}$	℃	
6	最大温差	Δt_d	$\theta' - t_{bq}$	℃	
7	最小温差	Δt_s	$\theta' - t_{bq}$	℃	
8	温压系数	a	查表 A6	—	
9	温压	Δt	$\frac{a}{2}(\Delta t_d + \Delta t_s)$	℃	
10	烟气流速	W_r	假定	m/s	
11	传热系数	k_d	式 A3	W/m ² ·℃	
12	受热面积	H_d	$\frac{Q_d}{3.6k_d \times \Delta t}$	m ²	

表 A8—3 省煤器对流受热面积计算

序 号	项 目	符 号	计 算 公 式	单 位	数 值
1	出口水温	t''	已知	℃	
2	出口水焓	i''	查表	kJ/kg	
3	工质总吸热量	Q_{in}	$D \cdot (i'' - i_p)$	kJ/h	
4	省煤器进口烟气温度	θ	系蒸发受热面出口烟温	℃	
5	省煤器出口烟气温度	θ'	$\theta' = \frac{Q_{in}}{1.4V_r}$	℃	
6	最大温差	Δt_d	$\theta' - t_{gr}$	℃	
7	最小温差	Δt_s	$\theta' - t''$	℃	
8	温压系数	a	查表 A6	—	
9	温压	Δt	$\frac{a}{2}(\Delta t_d + \Delta t_s)$	℃	
10	烟气流速	W_r	假定	m/s	
11	传热系数	k_{in}	式 A3 或 A4	W/m ² ·℃	
12	受热面积	H_{in}	$\frac{Q_{in}}{3.6k_{in} \times \Delta t}$	m ²	

注：当采用铸铁省煤器时，其出口水温比饱和蒸汽温度低 40℃。

A3.3 核算

根据上述方法求得的所需受热面积 H 值，对受热管束进行布置排列，然后再进行如下的核算：

- a. 算出流经余热锅炉各个受热面的实际烟气量 V_{gr} 。

$$V_{gr} = \frac{V_r \cdot (\theta_{gr} + 273)}{273} \text{ m}^3/\text{h} \dots\dots\dots (A7)$$

式中： V_{gr} ——受热面的实际烟气量，m³/h；
 V_r ——余热锅炉各受热面在一定 a 值下的烟气量，m³/h；
 θ_{gr} ——各受热面的平均烟气温度，数值 $\theta_{gr} = \frac{1}{2}(\theta + \theta')$ ℃。

b. 通过各个受热面上的实际烟气平均流速。

$$W_y = \frac{V_y}{3600 \times F_y} \quad \text{m/s} \quad \dots\dots\dots (A8)$$

式中：W_y——实际烟气的平均流速，m/s；

F_y——烟气流净截面积，m²。

c. 按算出的流速 W_y 再来校核各受热面选定的 k 值大小是否妥当，两者应尽量接近，当按换热方程式计算出的受热面吸热量与按热平衡方程式计算的烟气对受热面的放热量之比值大于 1 并小于 1.15 时，即认为计算完成。否则，就需要适当调整局部的结构尺寸或烟温，以使 W_y 和 k 值能相应。

附加说明：

本标准由杭州余热锅炉研究所提出并归口。

本标准由北京钢铁设计研究总院、杭州余热锅炉研究所、马鞍山钢铁设计研究院负责起草。

本标准主要起草人张师荣、孙立江、郑法清、韩岷。

中 华 人 民 共 和 国
机 械 行 业 标 准
烟道式余热锅炉设计导则
JB/T 7603—94

•

机械部北京电工综合技术经济研究所
机械部湘潭电工标准化研究室
编 辑 出 版 发 行
(湖南湘潭市下摄司街302号)
湘潭电机厂印刷厂印刷

•

开本880×1230 1/16 印张2 $\frac{1}{8}$ 字数 62 000
1995年8月第一版 1995年10月第二次印刷
印数 251—500

•

印刷号 DB821