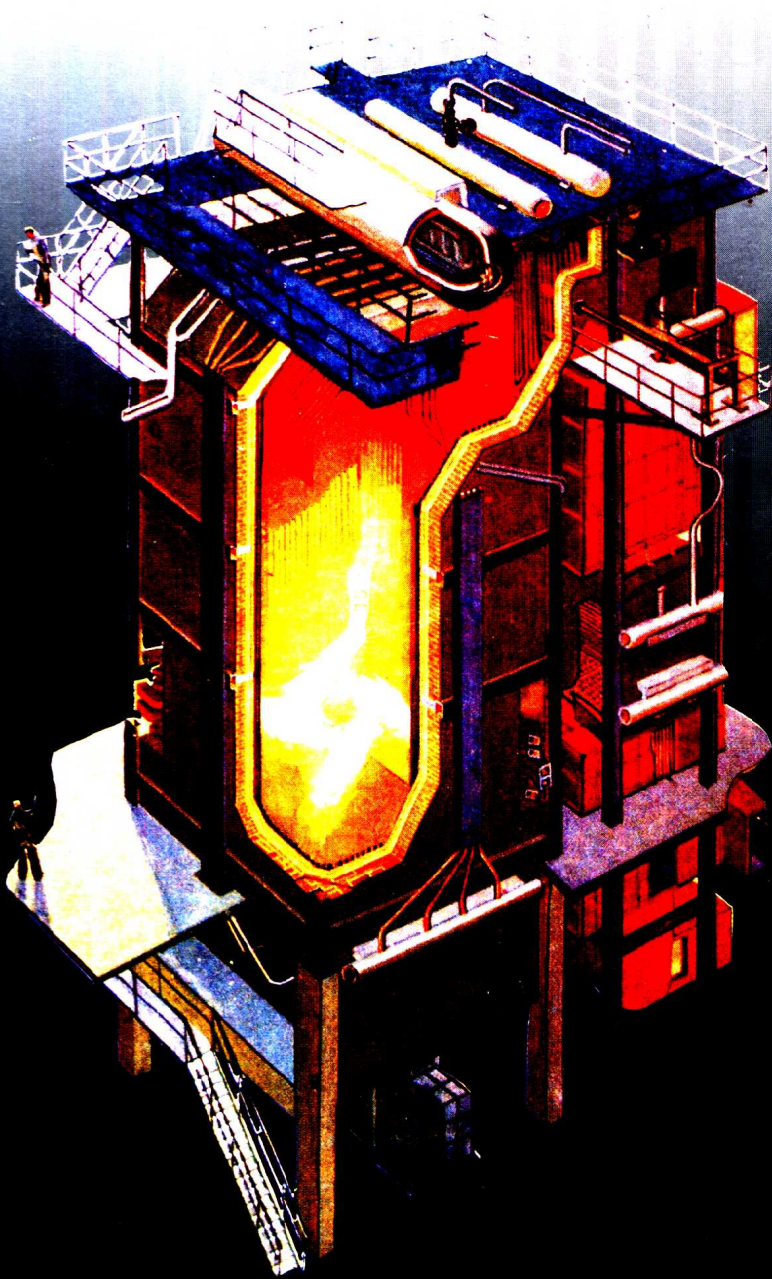


锅炉

计算手册



JISUAN
SHOUCE

主 编
宋贵良

LIAONINGKEXUEJISHUCHUBANSHE

辽宁科学技术出版社

锅炉计算手册

中 册

宋贵良 主编

辽宁科学技术出版社

内 容 提 要

本手册介绍工业锅炉和电站锅炉的全部计算,内容广泛、充实、实用。全册共二十章,分上、中、下三册出版;第一、二章介绍计算需用的基础数据;第三章基础计算为锅炉计算打好基础;第四章介绍锅炉的总体设计和各部分的结构设计与布置,为锅炉各项计算做好准备;第五章至第十七章分别介绍燃料特性计算、燃烧计算、热平衡和烟平衡计算、煤粉制备计算、燃烧设备计算、传热计算、水动力计算、蒸汽净化装置计算、通风计算、受热面的壁温计算、强度计算、炉墙和构架计算、检测仪表和控制系统的计算;最后三章介绍锅炉制造、安装和检验中的计算。

本手册按我国现行锅炉规程和标准编写,既有设计计算,又有校核计算;既有手算程序,也有部分电算程序;既介绍计算目的、原理、方法和步骤,又介绍大量(共 606 个)不同类型的计算例题。采用表格化形式编排,形式简明、直观、清楚、易懂,便于读者掌握。全册共有 3659 幅图、3206 张表、资料齐全,使用要点简明、查阅方便,属于大型工具书之列。

本手册供从事锅炉研究、设计、制造、改造、安装、检验、运行维护、管理等各类工程技术人员和大专院校锅炉及相关专业师生使用。

技术顾问 李 毅

主 编 宋贵良

副主编 张炳煌 金志浩

编 著 宋贵良 张炳煌 金志浩

李志安 张建伟

校 核 王文江 罗 弘 高志伟

张济扶 宋 玮 裴 颖

审 核 王铄庆 刘文铁 石宗扬

童锐刚 潘步云 李兴荣

审 定 冯俊凯 李之光

目 录

第十一章 锅炉的水动力计算	1
第一节 自然循环蒸汽锅炉的水循环计算	1
第二节 多次强制循环锅炉和低循环倍率锅炉的水动力计算	70
第三节 直流锅炉的水动力计算	83
第四节 复合循环锅炉的水动力计算	134
第五节 自然循环热水锅炉的水循环计算	137
第六节 强制流动热水锅炉的水动力计算	176
第七节 锅炉水动力计算的电子计算机算法	314
第八节 计算例题	346
第十二章 蒸汽净化装置的设计和计算	474
第一节 蒸汽品质和炉水品质标准	474
第二节 蒸汽携带水滴和盐分的计算	478
第三节 提高蒸汽品质的基本方法及汽水分离装置设计的基本原则	494
第四节 一次分离元件的设计与计算	496
第五节 二次分离元件的设计与计算	511
第六节 蒸汽清洗装置的设计与计算	532
第七节 分段蒸发的设计与计算	555
第八节 锅筒内部净化装置的组合	561
第九节 计算例题	566
第十三章 锅炉的通风计算	585
第一节 通风计算的基本方法	585
第二节 烟、风道的压降计算	615
第三节 烟囱的计算	628
第四节 送、引风机的计算	636
第五节 锅炉通风计算的电子计算机算法	638
第六节 计算例题	648
第十四章 受热面的壁温计算	678
第一节 壁温校核点的介质温度计算	679
第二节 壁温校核点的最大热强度计算	683
第三节 管子内壁与介质间的放热系数计算	687
第四节 受热面的壁温计算	693
第五节 计算例题	733

第十五章 锅炉受压元件的强度计算	748
第一节 锅炉受压元件的强度特性	748
第二节 承受内压圆筒形元件的强度计算	759
第三节 承受外压圆筒形元件的强度计算	777
第四节 凸形封头、炉胆顶、半球形炉胆和凸形管板的强度计算	789
第五节 平端盖、平堵头及盖板的强度计算	797
第六节 有拉撑(加固)平板和管板的强度计算	804
第七节 下脚圈的强度计算	825
第八节 孔的加强计算	829
第九节 异形元件的强度计算	848
第十节 矩形集箱的强度计算	855
第十一节 铸铁锅炉受压元件的强度计算	861
第十二节 决定元件最高允许计算压力的验证试验	863
第十三节 受压元件的疲劳分析计算	866
第十四节 带缺陷锅炉受压元件的强度计算	872
第十五节 受压元件强度分析计算的有限单元法	891
第十六节 锅炉受压元件强度计算的电子计算机算法	926
第十七节 计算例题	935
第十六章 锅炉炉墙和构架的计算	1020
第一节 炉墙的传热计算	1020
第二节 锅炉构架的荷载计算	1026
第三节 锅炉构架的内力计算	1041
第四节 锅炉构架的构件计算	1067
第五节 锅炉构架的连接计算	1131
第六节 计算例题	1194
主要参考资料	1252

第十一章 锅炉的水动力计算

水动力计算是锅炉的主要计算项目之一。水动力计算的任务是计算锅炉汽水系统受热面内的水动力特性和流动阻力,确定其最佳布置方案和结构尺寸,检验其工作可靠性,并制定提高可靠性的措施;还可为汽水系统的动态特性计算提供原始资料,并为锅炉的运行方式提供依据。因此,在设计新锅炉、改造现有锅炉(汽水系统有较大改动)、锅炉运行条件改变和分析蒸发受热面的故障时,都必须进行水动力计算。

锅炉在一般负荷范围(70 ~ 100% D)内,水动力特性变化不大,而降压运行又会提高工作的可靠性,故通常只对额定负荷和参数进行水动力计算,只有当结构或运行条件较特殊时,才需要考虑其它工况下的计算。因相互连接各回路在结构和受热情况上有差异,故原则上应对每一回路都进行计算,但对结构和受热情况基本一致的同类回路,可只选择其中一个典型回路进行计算。

水动力计算是在锅炉的结构布置及热力计算完成后进行的,属于校验计算性质,计算需要的结构数据来自设计图纸,热力数据来自热力计算书。水动力计算是求解非线性方程或方程组,除最简单的系统外,直接求解时只能用电子计算机计算。在手工计算时,通常采用图解法或试凑法。

第一节 自然循环蒸汽锅炉的水循环计算

对于新设计或改装的自然循环锅炉,进行水循环计算的目的是确定合理的循环回路结构和检验水循环的可靠性。对于正在运行的锅炉,水循环计算的目的是校核运行工况下的水循环可靠性。计算的内容包括循环回路的循环特性计算和循环可靠性校验计算。对于受 600 ℃ 以下烟气冲刷的受热面,则仅在上升管引入锅筒汽空间时才需要进行水循环计算。

水循环计算是求解循环回路中的流量平衡和压头(或压差)平衡方程式,由于对后者采用了不同的方式,故形成了三种计算方法,即“运动压头法”、“有效压头法”和“压差法”。

“运动压头法”是根据下降管内工质密度 ρ_{xj} 与上升管系统内工质密度 ρ_{ss} 之差产生的运动压头 S_{yd} 用于克服上升管系统流动阻力 ΔP_{ss} 和下降管流动阻力 ΔP_{xj} ,即用于克服循环回路的总流动阻力,其计算的基本方程式为

$$S_{yd} = h(\rho_{xj} - \rho_{ss}) = \Delta P_{ss} + \Delta P_{xj} \quad (11-1)$$

“有效压头法”是根据有效压头 S_{yx} (运动压头与上升管系统阻力之差)用于克服下降管的流动阻力 ΔP_{xj} ,其计算的基本方程式为

$$S_{yx} = S_{yd} - \Delta P_{ss} = \Delta P_{xj} \quad (11-2)$$

“压差法”是根据并列于上、下锅筒之间的下降管压差 $\sum \Delta P_{xj}$ 与上升管系统压差 $\sum \Delta P_{ss}$ 相等,其计算的基本方程式为

$$\sum \Delta P_{xj} = h\rho_{xj}g - \Delta P_{xj} = h\rho_{ss}g + \Delta P_{ss} = \sum \Delta P_{ss} \quad (11-3)$$

上述三种计算方法是用不同的物理概念来表达自然循环回路中作用于工质上力的平衡,它们的实质是完全相同的。我国过去大多采用“有效压头法”进行计算,绘制循环特性曲线比较容易,但强制循环锅炉的水动力计算仍须采用“压差法”,使整个水动力计算方法不一致。采用“压差法”绘制循环特性曲线比较麻烦,但可使整个水动力计算方法一致,我国制定的《电站锅炉水动力计算方法》中均采用“压差法”。目前国内进行自然循环锅炉水循环计算,“有效压头法”和“压差法”均可采用。

一、计算前的准备

进行水循环计算时,首先应收集热力计算的有关数据、锅炉汽水系统的结构数据、汽水分离装置和汽水系统图,然后划分循环回路和区段,并进行吸热量分配,列出下列原始数据表。

1. 热力数据准备

热力数据表,见表 11-1。

表 11-1

热力数据表

序号	项 目	符 号	计 算 公 式 或 数 据 来 源	数 值	单 位
1	锅 炉 蒸 发 量	D	给 定		t/h
2	锅 筒 工 作 压 力	P	给 定		MPa
3	给 水 温 度	t_g	给 定		℃
4	省 煤 器 出 口 水 温	t_{sm}^c	取自热力计算书		℃
5	饱 和 温 度	t_{bh}	查水蒸汽表(表2-50)		℃
6	饱 和 水 焓	i'	查水蒸汽表(表2-50)		kJ/kg
7	饱 和 蒸 汽 焓	i''	查水蒸汽表(表2-50)		kJ/kg
8	汽 化 潜 热	r	查水蒸汽表(表2-50)		kJ/kg
9	饱 和 水 密 度	ρ'	查水蒸汽表(表2-50)		kg/m ³
10	饱 和 蒸 汽 密 度	ρ''	查水蒸汽表(表2-50)		kg/m ³
11	饱 和 水 与 汽 密 度 差	$\rho' - \rho''$	$\rho' - \rho''$		kg/m ³
12	饱 和 水 与 汽 密 度 比	ρ' / ρ''	$\frac{\rho'}{\rho''}$		
13	单位压力变化之饱和水焓变化	$\Delta i' / \Delta p$	查水蒸汽表(表2-50)		kJ/kgMPa
14	单位高度变化之饱和水焓变化	$\frac{\Delta i'}{\Delta p} \rho' g \times 10^{-6}$	$\frac{\Delta i'}{\Delta p} \rho' g \times 10^{-6}$		kJ/kgm
15	省 煤 器 出 口 水 焓	i_{sm}^c	取自热力计算书		kJ/kg
16	清 洗 水 份 额	η_{qx}	当采用清洗装置时设计任务书给定		
17	计 算 燃 料 消 耗 量	B_j'	取自热力计算书		kg/s
18	炉 膛 水 冷 壁 辐 射 吸 热 量	Q_{r1}	当炉膛内只布置水冷壁时,等于炉膛辐射吸热量; $Q_{r1} = Q_r$;当炉膛内还布置过热器时,应扣除辐射给 过热器的热量		kJ/kg
19	水 冷 壁 总 受 热 面 积	H_r	取自热力计算书		m ²
20	水 冷 壁 平 均 污 染 系 数	ζ	取自热力计算书		
21	水 冷 壁 平 均 热 强 度	$\bar{q}_l$	按我国《层状燃烧及沸腾燃烧工业锅炉热力计算方法》 法》 $\frac{B_j' Q_{r1}}{H_r}$;按《锅炉机组热力计算标准方法》 法》 $\frac{B_j' Q_{r1}}{\zeta H_r}$		kW/m ²

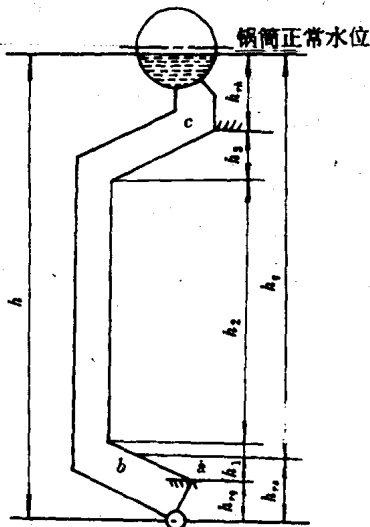
续表

序号	项 目	符 号	计 算 公 式 或 数 据 来 源	数 值	单 位
22	对 流 管 束 吸 热 量	Q_d	取自热力计算书		kJ/kg
23	对 流 管 束 进 口 烟 温	θ'	取自热力计算书		$^{\circ}\text{C}$
24	对 流 管 束 出 口 烟 温	θ''	取自热力计算书		$^{\circ}\text{C}$
25	对 流 管 束 内 工 质 平 均 温 度	t	取自热力计算书		$^{\circ}\text{C}$

2. 结构数据准备

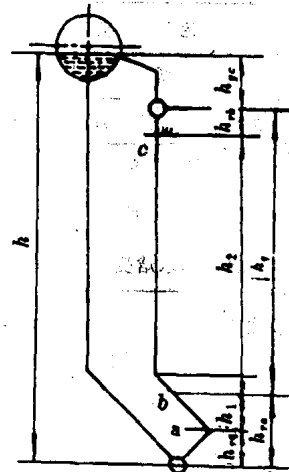
(1) 划分循环回路。在进行水循环计算之前,应根据受热情况的不同,先将锅炉的汽水系统划分成若干独立的循环回路,并尽量划分成简单的循环回路。在划分循环回路时,除了考虑安装、运输的条件之外,为了减少吸热不均匀和流量偏差,应尽可能保证在同一并联管组内各管的吸热量、结构特性和阻力特性相同。

简单的循环回路由上锅筒、下降管(单根或数根)、下集箱(或下锅筒)、上升管组(数根并联)构成一个闭合回路,如图 11-1 所示。有的简单回路中,上升管汇集于上集箱,再由汽水引出管引入锅筒水空间(图 11-2)或引入锅筒汽空间(图 11-3)。锅炉带有分段蒸发,采用外置式分离器组成的盐段简单循环回路如图 11-4 所示。带有集中下降管的循环回路如图 11-5 所示。复杂循环回路见后面图 11-12 至图 11-16。



- a—开始受热点
- b—开始沸腾点
- c—受热终了点
- h_n —受热前区段高度
- h_1, h_2, h_3 —第一,二,三区段高度
- h —回路高度
- h_n —上升管热水段
- h_q —上升管含汽段高度

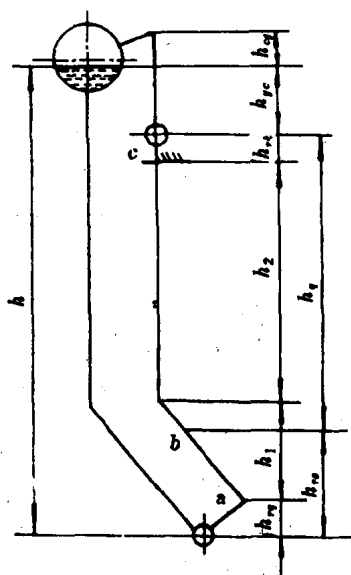
图 11-1 上升管直接进入锅筒的简单回路及其区段划分



h_c —汽水引出管高度

其余见图 11-1

图 11-2 带有上集箱由汽水引出管与锅筒连接的简单回路及其区段划分



h_{cs} —汽水引出管高出锅筒正常水位的高度
其余见图 11-1

图 11-3 汽水引出管高出锅筒正常水位的循环回路及其区段划分

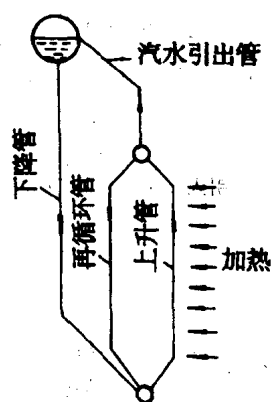


图 11-6 有再循环管的循环回路

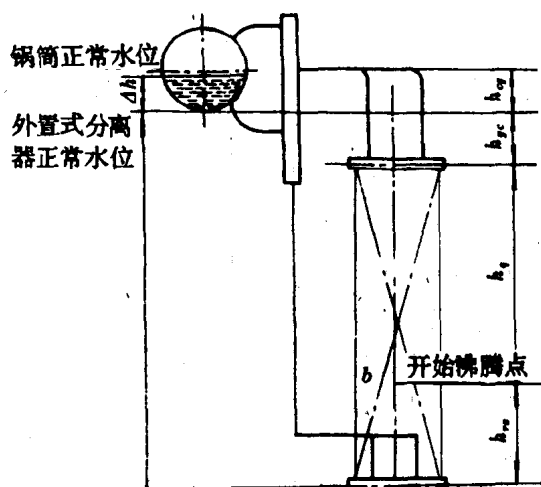
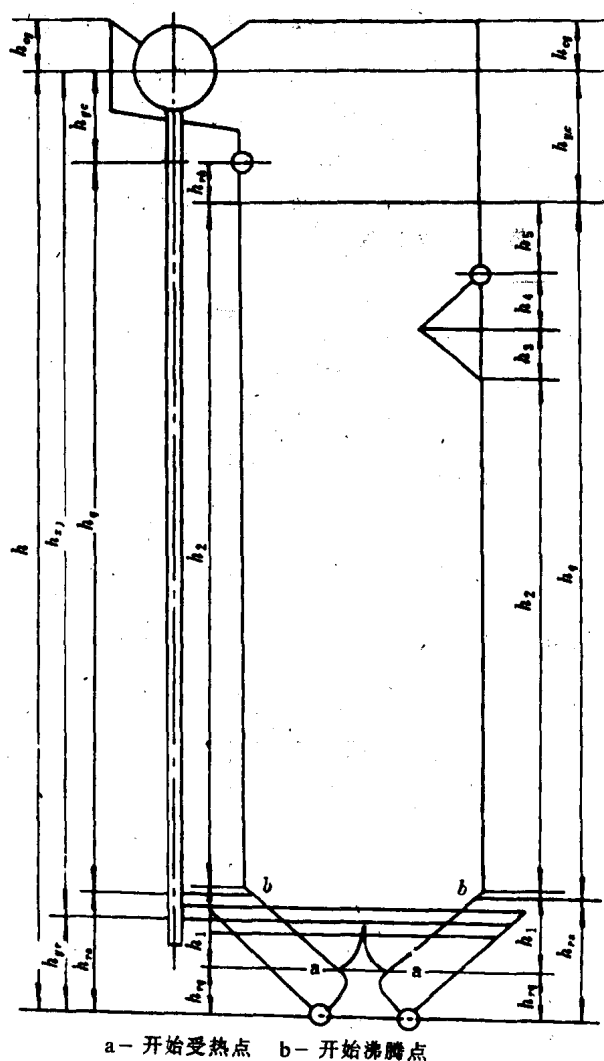


图 11-4 带外置式分离器的盐段回路及其区段划分



a—开始受热点 b—开始沸腾点

图 11-5 带有集中下降管的循环回路及其区段划分

(2) 划分上升管区段和确定循环回路各部件的结构尺寸, 见表 11-2。

表 11-2 上升管区段划分和循环回路部件结构尺寸的确定方法

回路部件结构尺寸		符 号	结 构 尺 寸 确 定 方 法
上升管组	受热前区段高度	h_{r_0}	下集箱(或下锅筒)至开始受热点(管子穿墙时与炉墙内壁面的交点, 对于冷灰斗开始受热点的算法见图 11-1)间的高度
	受热前区段长度	l_{r_0}	下集箱(或下锅筒)外壁面至开始受热点间的管长, 包括集箱上的管接头长度在内
	受热区段高度	h_i	当上升管结构特性相同, 沿高度吸热均匀时, 可不分段; 若上升管结构特性不同或吸热负荷有很大差别时, 应按下列原则划分区段: (1) 当管径改变超过 10% 或流通面积改变超过 20% 时, 应在管径改变处分段; (2) 当热负荷变化超过平均热负荷的 50% 以上(如卫燃带或铺耐火层区域管子)且长度大于上升管总前长度的 10% 以上时, 应在吸热不同处分段; (3) 当倾斜管段的倾角与相邻管段的倾角之差大于 20° , 且长度大于上升管总长度的 10% (图 11-7) 时, 应在倾斜不同处分段; (4) 当不受热段长度超过上升管总长度的 10% 以上时, 应与受热段分开; 当不受热段长度很小时, 则与其相连的受热段合并在一起计算; 划分区段后, 各段范围内沿高度的热负荷就当作是均匀分布的
	受热区段长度	l_i	
	受热后区段高度	h_{r_h}	当上升管直接引入锅筒(无论是水空间或汽空间)时, 为管子穿墙与内壁面相交的受热终了点至锅筒正常水位间高度; 当上升管引入上集箱时, 为受热终了点至上集箱中心间的高度
	受热后区段长度	l_{r_h}	当上升管直接引入锅筒时, 为受热终了点至锅筒外壁间的管长; 当上升管引入上集箱时, 为受热终了点至上集箱外壁间(包括管接头)的管长
	上升管几何特性的量取		两区段之间的分界点, 以管子直段延长线的交点为准。在量取上升管的几何特性时, 可不必对管屏中的每一根管子都度量后再取其平均值, 而只需按管屏中间的一根管子来度量。度量时, 只计管子上构成炉膛形状的弯头, 而不计在炉膛平面内的弯头(例如燃烧器、窥视孔、吹灰孔、打焦孔等之上管)及其所造成的长度增加, 用这种方法测量出来的几何特性就作为整个管屏的平均几何特性
下降管和引入管	下降管高度	h_{d_j}	当下降管直接引入下集箱(或下锅筒)时, 为锅筒正常水位或外置式分离器的正常水位(图 11-4)至下集箱(或下锅筒)中心线间的高度; 当采用集中下降管并通过引入管引入下集箱时, 则下降管与引入管的高度应分别计算, 集中下降管的高度为锅筒正常水位至引入管中心线的平均标高间的高度
	引入管高度	h_{y_r}	等于引入管中心线的平均标高与下集箱中心标高之差
	下降管长度	l_{d_j}	当下降管直接引入下集箱(或下锅筒)时, 为锅筒外壁面或外置式分离器外壁面至下集箱(或下锅筒)外壁面间的管长(包括两端管接头长度); 当采用集中下降管并通过引入管引入下集箱时, 则下降管与引入管的长度应分别计算, 集中下降管的长度为锅筒外壁至引入管中心线平均标高间的管长
	引入管长度	l_{y_r}	等于下降管外壁连通处至下集箱外壁连接处间的管长(包括管接头长度)
引出管	汽水引出管高度	h_{y_c}	不受热的汽水引出管不必分区段。不论汽水引出管引入锅筒汽空间或水空间, 其高度均为锅筒正常水位至上集箱中心线或管子穿过炉墙与内壁面相交的受热终了点(图 11-2)间的高度。 当汽水引出管引入外置式分离器(图 11-4)时, 其高度为外置式分离器正常水位至上集箱中心线间的高度

续表

回路部件结构尺寸		符 号	结 构 尺 寸 确 定 方 法
引出管	汽水引出管长度	l_x	为锅筒外壁连接处至上集箱连接处或管子穿过炉墙与内壁面相交的受热终点间的管长(包括两端管接头长度) 当汽水引出管引入外置式分离器时,其长度为外置式分离器外壁连接处至上集箱外壁连接处间的管长(包括两端管接头长度)
汽水混合物的提升高度		h_x	上升管或汽水引出管引入锅筒汽空间时,为锅筒正常水位至引出管中心线的最高标高点间的高度; 当汽水引出管引入外置式分离器的汽空间时,为外置式分离器正常水位至引出管中心线的最高标高点间的高度。 当有几个上锅筒时,应以与下降管相连接的锅筒的正常水位为准
循环回路高度		h	当上升管或汽水引出管引入锅筒汽空间时,为下集箱中心线至锅筒正常水位间的垂直高度; 当上升管或汽水引出管引入锅筒水空间时,为下集箱中心线至上升管或汽水引出管进锅筒入口处间的垂直高度; 对流管束的循环回路高度可取对流管束的平均高度

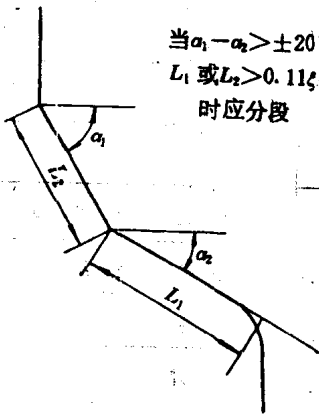
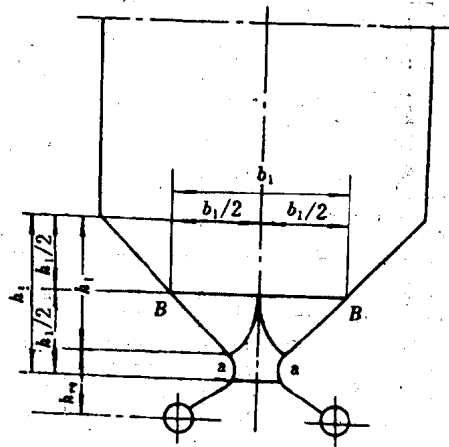
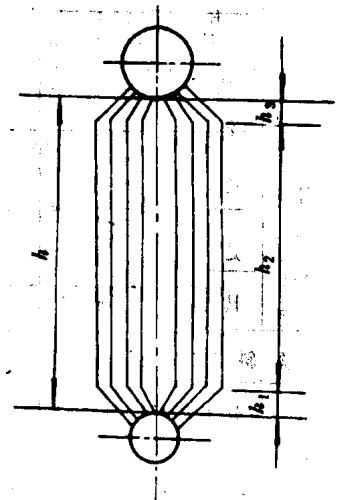


图 11-7 倾斜上升管分段示意图



a—开始受热点 B—冷灰斗中点
图 11-8 冷灰斗开始受热点求法示意图



h_1, h_2, h_3 —受热各区段高度
图 11-9 对流管束区段的划分法示意图

(3) 列出循环回路各部件的结构数据表, 见表 11-3。

表 11-3

结构数据表

回 路 名 称				选 择 计 算 的 循 环 回 路				
回 路 部 件				上 升 管	汽水引出管	下 降 管	引 入 管	再 循 环 管
管 子 外 径	d	mm	d_i 按结构	d_{ye} 按结构	d_{yj} 按结构	d_{yr} 按结构	d_{n_i} 按结构	d_{n_x} 按结构
管 子 内 径	d_n	mm	d_{n_i} 按结构	$d_{n_{ye}}$ 按结构	$d_{n_{yj}}$ 按结构	$d_{n_{yr}}$ 按结构	d_{n_r} 按结构	d_{n_x} 按结构
管 子 根 数	n	根	n_i 按结构	n_{ye} 按结构	n_{yj} 按结构	n_{yr} 按结构	n_r 按结构	n_x 按结构
截 面 积	单 根 管 子	A'	$A'_i = 0.785d_i^2$	$A'_{ye} = 0.785d_{ye}^2$	$A'_{yj} = 0.785d_{yj}^2$	$A'_{yr} = 0.785d_{yr}^2$	$A'_r = 0.785d_r^2$	$A'_x = 0.785d_x^2$
	整 个 回 路	A	$A_i = n_i f_i$	$A_{ye} = n_{ye} f_{ye}$	$A_{yj} = n_{yj} f_{yj}$	$A_{yr} = n_{yr} f_{yr}$	$A_r = n_r f_r$	$A_x = n_x f_x$
	与 上 升 管 截 面 积 比	A/A_i		$\frac{A_{ye}}{A_i}$	$\frac{A_{yj}}{A_i}$	$\frac{A_{yr}}{A_i}$	$\frac{A_r}{A_i}$	$\frac{A_x}{A_i}$
各 区 段 长 度	受 热 前 区 段	L_{rq}	m	按 结 构				
	受 热 各 区 段	L_i	m	按 区 段 划 分				
	受 热 后 区 段	L_{rh}	m	按 结 构				
	总 长 度	L	m	$L_i = L_{rq} + L_i + L_{rh}$	L_{ye} 按结构	L_{yj} 按结构	L_{yr} 按结构	L_x 按结构
各 区 段 高 度	受 热 前 区 段	h_{rq}	m	按 结 构				
	受 热 各 区 段	h_i	m	按 区 段 划 分				
	受 热 后 区 段	h_{rh}	m	按 结 构				
	总 高 度	h	m	$h_i = h_{rq} + h_i + h_{rh}$	h_{ye} 按结构	h_{yj} 按结构	h_{yr} 按结构	h_x 按结构
汽水引出管高出 锅筒正常水位高度		h_{eg}	m	按 结 构	按 结 构			
弯 头 数 和 角 度	受 热 前 区 段	$\alpha-n$	度	按 结 构				
	受 热 各 区 段	$\alpha-n$	度	按 结 构				
	受 热 后 区 段	$\alpha-n$	度	按 结 构				
	其 它 管	$\alpha-n$	度		按 结 构	按 结 构	按 结 构	按 结 构
倾 斜 管 段 倾 斜 度		α	度	按 结 构	按 结 构	按 结 构	按 结 构	按 结 构
汽水分离器的结构特性				类 型、 数 量、 人 口、 截 面 积				
集 箱 内 径		d_k	mm	按 结 构 设 计				
集箱吸入引出管间角度		α	度	按 结 构 设 计				

(4) 循环回路各部件的阻力系数。为了计算循环回路的流动阻力, 需要各部件的阻力系数。各部件的阻力系数可以预先查算出来列成阻力系数表, 供计算流动阻力时查用; 也可以在计算各项流动阻力时, 将各部件阻力系数列在循环特性计算表中。

3. 分配吸热量

由于炉膛内火焰的形状和充满度、火焰和烟气的温度场、速度场以及燃烧产物的浓度场都不均匀,而且受热面的结构特性和积灰程度也有差异,使炉膛内各炉墙间、沿宽度、沿高度的受热面热负荷都各不相同,因此要进行吸热量分配,确定所需受热面的吸热量。吸热量的分配是根据热力计算数据,将蒸发受热面的总吸热量依次分配到各炉墙受热面上、各循环回路水冷壁管组上和上升管各区段上。吸热量分配得是否正确,将直接影响水循环计算的准确性,应尽可能做到接近实际的吸热量。吸热量分配完成后,应按热平衡进行校核。

(1) 水冷壁吸热量分配计算,见表 11-4。

表 11-4 水冷壁吸热量分配计算

序号	项 目	符 号	计 算 公 式 或 数 据 来 源	数 值	单 位
(1) 各面炉墙水冷壁吸热量分配					
1	炉膛水冷壁平均热强度	$\bar{q}_l$	见热力数据表 11-1		kW/m ²
2	各炉墙辐射受热面积	H_{rl}	取自炉膛传热结构特性计算:前墙 H_{r1} 、侧墙 H_{r2} 、后墙 H_{r3}		m ²
3	各炉墙水冷壁污染系数	ζ_l	取自炉膛传热计算:如前墙 ζ_{l1} 、侧墙 ζ_{l2} 、后墙 ζ_{l3}		
4	各炉墙间热负荷不均匀系数	η_r^a	按表 11-130 选取:如前墙 η_r^{a1} 、侧墙 η_r^{a2} 、后墙 η_r^{a3}		
5	各炉墙水冷壁吸热量	Q_{rl}	$\bar{q}_l$ 按 $\frac{B_{rl} Q_{rl}}{H_r}$ 计算时: $\eta_r^a \bar{q}_l H_{rl}$ $\bar{q}_l$ 按 $\frac{B_{rl} Q_{rl}}{\zeta_l H_r}$ 计算时: $\eta_r^a \bar{q}_l \zeta_l H_{rl}$ 冷灰斗各面的吸热量按各面延续的水冷壁吸热量取用		kW
6	各炉墙吸热量分配校核		$\sum Q_{rl} = Q_{rl}$		kW
(2) 各循环回路水冷壁吸热量分配:当一面炉墙上划分成几个循环回路时					
7	第 i 个循环回路并联上升管组受热面积	H_{li}	按循环回路划分的结构计算		m ²
8	沿炉墙宽度各循环回路间热负荷不均匀系数	η_r^b	按一面炉墙上划分的循环回路数查表 11-131 或按炉膛相对宽(深)度查图 11-108 至图 11-113		
9	第 i 个回路水冷壁吸热量	Q_{li}	$\eta_r^a \eta_r^b \bar{q}_l H_{li}$ 或 $\eta_r^a \eta_r^b \bar{q}_l \zeta_{li} H_{li}$		kW
10	一面炉墙上各循环回路水冷壁吸热量分配校核		$\sum Q_{li} = Q_{rl}$		kW
(3) 上升管各区段吸热量分配:当上升管沿高度吸热不均匀时					
11	上升管第 i 区段受热面积	H_{si}	按结构		
12	沿炉膛高度热负荷不均匀系数	η_r^h	按表 11-132 选取;或查图 11-114 至图 11-118 小型工业锅炉可以不考虑		
13	上升管第 i 区段吸热量	Q_{si}	$\eta_r^a \eta_r^b \eta_r^h \bar{q}_l H_{si}$ 或 $\eta_r^a \eta_r^b \eta_r^h \bar{q}_l \zeta_{si} H_{si}$		kW
14	上升管各区段吸热量分配校核		$\sum Q_{si} = Q_{rl}$		kW

(2) 对流管系吸热量分配计算, 见表 11-5。

表 11-5 对流管束吸热量分配计算

序号	项 目	符 号	计 算 公 式 或 数 据 来 源	数 值	单 位
	(1) 对流管束吸收炉膛辐射热量的分配: 按照与各排管子角系数成正比的关系进行分配				
1	炉膛投向出口烟窗的辐射热量	Q_{ch}	取自炉膛传热计算 ($\eta_{ch} q_r F_{ch}$)		kW
2	第 i 排管子角系数	X_i	按 s/d 查图 11-10: $x_1, x_2, \dots, x_i$		
3	各排管子吸收的炉膛辐射热量	Q_{di}^f	第一排: $Q_{d1}^f = x_1 Q_{ch}$; 第二排: $Q_{d2}^f = (1-x_1)x_2 Q_{ch}$ 第三排: $Q_{d3}^f = (1-x_1)(1-x_2)x_3 Q_{ch}$ 第 i 排: $Q_{di}^f = (1-x_1) \cdots (1-x_{i-1})x_i Q_{ch}$ 通常可以认为 Q_{ch} 由最前面的 5 排管子所吸收		kW
4	隔墙反射到前排管子的炉膛辐射热量	$Q_{di}^{f''}$	投射到第 i 排管子后面的炉膛辐射热量为: $Q_{ch} - Q_{di}^f$; 如果第 i 排管子后面为隔墙, 则辐射到隔墙上的热量又反射于前排管子上, 此反射热量也按与各排管子角系数成正比进行分配, 但此时角系数按相反的排列顺序计算		kW
5	第 i 排管子吸收的炉膛辐射热量	Q_{di}^f	不考虑隔墙反射时: $Q_{di}^f = Q_{di}^f$ 考虑隔墙反射时: $Q_{di}^f = Q_{di}^f + Q_{di}^{f''}$ (双层水冷壁各层间吸热量的分配也按上述方法进行)		kW
	(2) 对流管束吸收对流热量的分配: 当管子排数小于 4 时 (如凝渣管束), 可按各排管子受热面的比例来分配对流吸热量; 当管子排数大于 4 时, 纵向冲刷吸热量均匀分配, 横向冲刷可按下述方法进行对流吸热量分配				
6	对流管束总的对流吸热量	Q_d^d	见热力数据表		kW
7	对流管束进口烟温	θ'	见热力数据表		℃
8	对流管束出口烟温	θ''	见热力数据表		℃
9	对流管束内工质平均温度	t	见热力数据表		℃
10	对流管束受热面积	H_d	取自热力计算书		m ²
11	第 1 排至第 i-1 排管子受热面积	H_{i-1}	按结构计算		m ²
12	第 1 排至第 i 排管子受热面积	H_i	按结构计算		m ²
13	第 i 排管子前烟温	θ_{i-1}	用图 11-11 按作图直线内插法确定: 按 $\frac{\log(\theta' - t) - \log(\theta_{i-1} - t)}{\log(\theta' - t) - \log(\theta'' - t)} = \frac{H_{i-1}}{H}$ 计算 当对流管束前后的最大温差与最小温差之比 $\frac{\theta' - t}{\theta'' - t} \leq 1.7$ 时, 图 11-11 中的纵坐标 $\log(\theta - t)$ 可改为 $(\theta - t)$		℃
14	第 i 排管子后烟温	θ_i	按 $\frac{\log(\theta' - t) - \log(\theta_i - t)}{\log(\theta' - t) - \log(\theta'' - t)} = \frac{H_i}{H}$ 计算		℃
15	横向冲刷第 i 排管子的对流吸热量	Q_{di}^d	$Q_d^d \frac{\theta_{i-1} - \theta_i}{\theta' - \theta''}$		kW
16	(3) 第 i 排管子总吸热量	Q_{di}	$Q_{di}^f + Q_{di}^d$		kW

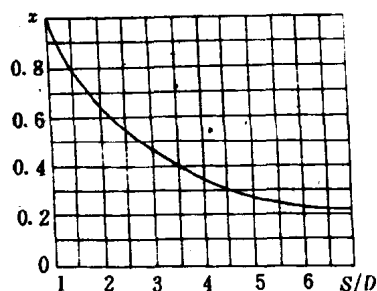


图 11-10 排管的角系数

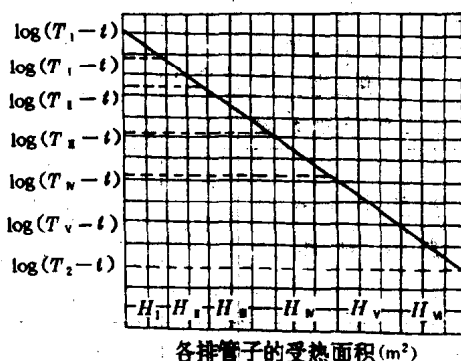


图 11-11 横向冲刷对流管束在各排管子间的温差分布图

二、循环回路的循环特性计算

循环回路的循环特性计算是根据循环回路的结构数据和热力数据求出下降管阻力、运动压头、上升管系统阻力和有效压头(“有效压头法”)或下降管压差和上升管系统压差(“压差法”),通过流量平衡和有效压头与下降管阻力的平衡关系(“有效压头法”)或上升管系统压差与下降管压差的平衡关系(“压差法”),电算求解非线性方程和方程组,手算用图解法得出水动力特性曲线(循环特性曲线或压差特性曲线),确定循环回路的工作点,并求出在此工作点下的循环流速、循环流量和循环倍率,校核其是否在推荐的合理范围内。

循环特性计算是指回路中并联上升管组的结构和吸热情况相同的条件下,得出循环回路的平均特性。偏差管的特性在循环可靠性校验时考虑。

1. 简单循环回路的循环特性计算

(1)用“有效压头法”进行简单循环回路的循环特性计算。有效压头法是根据在稳定循环条件下,有效压头与下降管阻力相等的平衡关系来计算循环特性,为此要进行下降管阻力、运动压头和上升管系统阻力的计算,有效压头为运动压头与上升管系统阻力之差。在计算阻力时,需知道工质的流速。由于循环倍率事先不能确定,所以没有确定的循环流速。在这种条件下只能采用试算法,即先假定一个循环流速,算出下降管阻力和有效压头,如果两者不相等,再重新假定一个循环流速,一直到两者相等为止。这种试算法虽然比较准确,但试算多次比较麻烦。为了节省时间,在没有电子计算机的条件下,手算常采用三点图解法,即先假定三个循环流速,分别计算出三个下降管阻力、三个运动压头、三个上升管系统阻力和三个有效压头,绘出下降管阻力与循环流速(或循环流量)的阻力特性曲线和有效压头与循环流速(或循环流量)的关系曲线,两曲线的交点即为所求的工作点,可以求出对应工作点的循环流速、循环流量和循环倍率加以校核。在计算运动压头时,为了求含汽段高度,需先假定锅炉的循环倍率,计算相应的锅水欠焓。待所有循环回路的循环特性都计算完之后,计算出锅炉的循环倍率,并求出相应的锅水欠焓,通过比较两个锅水欠焓的误差,来校核假定的锅炉循环倍率,见表 11-6。

表 11-6

简单循环回路的循环特性计算(“有效压头法”)

序号	项 目	符号	计 算 公 式 或 数 据 来 源	数值	单位
	(1) 假定三个循环流速, 求出三个相应的循环流量; 或假定三个循环流量, 求出三个相应的循环流速				
1	循 环 流 速	w_0	按 P 和 D 参考表 11-137 或表 11-138 选取三个值(小、中、大)		m/s
2	循 环 流 量	G_0	$w_0 A_0 \rho'$		kg/s
	(2) 计算相应于三个循环流速下的下降管流动阻力, 并绘制下降管流动阻力与循环流速(或循环流量)的阻力特性曲线				
	a. 下降管内为单相水的流动阻力计算: 一般下降管不带汽或带汽很少, 可忽略不计				
3	下 降 管 内 水 速	w_{kj}	$w_0 \frac{A_s}{A_{kj}}$		m/s
4	管 内 壁 绝 对 粗 糙 度	k	碳钢及珠光体合金钢管: 0.06; 奥氏体钢管: 0.008 或查表 11-74		mm
5	摩 擦 阻 力 系 数	λ	紊流完全粗糙区(自模区): $\frac{1}{4 \lg(3.7 \frac{d_n}{k})^2}$ 上式适用于 $Re < (120 \frac{d_n}{k})^{1.125}$, 超出此范围查图 11-74; 还可采用折算阻力系数 $\lambda_0 = \frac{\lambda}{d_n}$, 查图 11-75		
6	入 口 阻 力 系 数	ξ_r	按表 11-84 选取		
7	弯 头 阻 力 系 数	$\Sigma \xi_{wt}$	(1) 缓转弯头: 内外边缘具有同一弯曲中心的弯头。 $\xi_{wt}^0 k_\Delta$; $\xi_{wt}^0 = c_1 c_2$ ξ_{wt}^0 - 弯头基本阻力系数, 查表 11-94 或图 11-83(a); c_1 - 弯头角度 α 的修正系数, 查表 11-95; c_2 - 相对曲率半径 R/d_n 的修正系数, 查表 11-96; k_Δ - 粗糙度修正系数, 查表 11-98 或图 11-83(b). 对于 $R/d_n \geq 3.5$ 的一般弯头, 也可按表 11-99 选取。 对于 $d_n < 60\text{mm}$ ($k = 0.06\text{mm}$) 和 $d_n < 8\text{mm}$ ($k = 0.008\text{mm}$), ξ_{wt} 可直查图 11-83(a) (2) 圆边急转弯头: 内外边缘具有相同弯曲半径的弯头。 $k_\Delta c_1 c_2$ k_Δ, c_1 - 同上; c_2 - 相对曲率半径 R/d_n 的修正系数, 查表 11-101; ξ_{wt} 也可查图 11-84 或表 11-102。 (3) 锐边急转弯头: 查表 11-103。 (4) 焊接弯头(虾米腰): 按缓转弯头的阻力系数 ξ_{wt} 乘以修正系数 c_0, c_0 查表 11-104		
8	出 口 阻 力 系 数	ξ_c	按表 11-88 选取		
9	下降管局部阻力系数之和	$\Sigma \xi_{kj}$	$\xi_r + \Sigma \xi_{wt} + \xi_c$		