

号

96-214-4

图

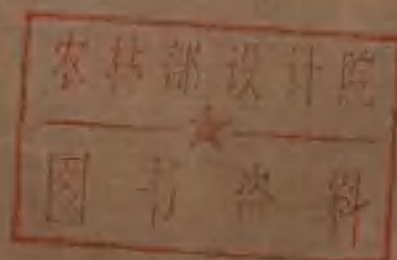
75.8

内部使用

热 机

计 算 手 册

1



1975重印

水利电力部西北电力设计院

前 言

经过轰轰烈烈的无产阶级文化大革命锻炼以后广大设计人员的思想面貌有了崭新的变化，纷纷下楼出院，奔赴现场。为了满足现场三结合设计的需要，我们汇编了这本“热机计算手册”。由于时间仓促，编制人员水平有限，手册中一定有不少错误和遗漏之处，请同志们在使用中及时提出宝贵意见，以便在再版时修改和补充。

热机计算手册编写组

第一章 常用资料

1-1、常用数表	1-1
1-1-1 单位换算	1-1
1-1-2 几何体形计算	1-7
1-1-3 三角函数表	1-10
1-1-4 常用对数表	1-12
1-1-5 自然对数表	1-15
1-1-6 饱和蒸汽表	1-18
1-1-7 过热蒸汽表	1-25
1-1-8 蒸汽特性图	1-30
1-1-9 在饱和线上水的物理特性	1-32
1-1-10 水蒸汽的物理常数	1-33
1-1-11 空气、烟气的平均体积比热 和导热系数	1-34
1-1-12 气体的特性	1-35
1-2、常用资料	1-36
1-2-1 一般材料的性能	1-36
1-2-2 焊条及焊缝	1-45
1-2-3 受压设备、管道的水压试验	1-53

第二章 锅炉设备

2-1、燃料及燃烧计称	2-1
2-1-1 燃料	2-1
2-1-2 燃料消耗量计称	2-5
2-1-3 燃烧空气需要量	2-10
2-1-4 燃烧产物	2-13
2-1-5 空气和烟气的焓	2-15
2-2、锅炉机组	2-22
2-2-1 热平衡计称	2-22
2-2-2 空气动力计称	2-25
2-3、制粉系统	2-56
2-3-1 原始数据及准备计称	2-56
2-3-2 磨煤机出力计称	2-61
2-3-3 磨煤机干燥出力计称	2-67
2-3-4 辅助设备选择	2-76
2-3-5 管径计称	2-82
2-3-6 变工况计称	2-87
2-3-7 煤仓容积	2-87
2-3-8 空气动力计称	2-88
2-4 除尘设备	2-103
2-4-1 一般规定	2-103
2-4-2 大气含尘计称	2-105
2-4-3 百页式除尘器计称	2-108

2-4-4	旋风式除尘器计蒜	2-113
2-4-5	多管式除尘器计蒜	2-117
2-4-6	水膜式除尘器计蒜	2-121
2-4-7	电除尘器计蒜	2-125
2-5	除尘系统	2-131
2-5-1	灰渣量的计蒜	2-131
2-5-2	低压水力除灰计蒜	2-134
2-5-3	高压水力除灰计蒜	2-142
2-5-4	除灰运行费用计蒜	2-149
2-5-5	负压式水力除灰计蒜	2-159
2-5-6	正压式水力除灰计蒜	2-172
2-6	燃油系统	2-183
2-6-1	燃料油	2-183
2-6-2	油泵	2-194
2-6-3	油管路计蒜	2-212
2-6-4	油罐及其附件	2-220
2-6-5	输油系统	2-248
2-6-6	燃油加热器	2-255
2-6-7	燃油锅炉	2-263
2-7	压缩空气系统	2-272
2-7-1	空气过滤器	2-272
2-7-2	终端冷却器	2-272
2-7-3	油水分离器及储气罐	2-274

2-7-4	空气管径与压力损失计算	2-275
2-7-5	空气消耗量	2-277
2-7-6	压缩空气站容量	2-279
2-8	风机选型及变工况计算	2-280
2-8-1	风机选型计算	2-280
2-8-2	风机启动计算	2-287
2-8-3	风机变工况换算	2-292
2-9	锅炉设备计算系例	2-294
2-9-1	燃烧系统热平衡计算	2-294
2-9-2	制粉系统计算	2-302
2-9-3	烟道空气动力计算	2-313
2-9-4	风道空气动力计算	2-319
2-9-5	制粉送粉管道阻力计算	2-327

附录(一) 锅炉热力计算方法(草案) (见另册)

附录(二) 烟风煤粉管道设计导则(修正初稿) (见另册)

第二章 锅炉设备

2-1 燃料及燃烧计算

2-1-1 燃料

1. 燃料的性质：通常区别为有机质、可燃质、干燥质和工作质。上述每一种燃料质的成分都是用相应的角码来表示。

(2-1表1)

角码	碳 C	氢 H	氧 O	氮 N	有机硫 S _{OP}	黄铁矿硫 S _K	杂质	
							灰分 A	水分 W
0	有机质							
1	可燃质							
C	干燥质							
P	工作质							

$$C^0 + H^0 + O^0 + N^0 + S_{OP}^0 = 100\%$$

$$C^1 + H^1 + O^1 + N^1 + S_{OP}^1 + S_K^1 = 100\%$$

$$C^C + H^C + O^C + N^C + S_{OP}^C + S_K^C + A^C = 100\%$$

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S_{OP}^P + S_K^P + A^P + W^P = 100\%$$

换算燃料指标用的换算系数表

(2-1表2)

所求质 \ 给出质	工作质	干燥质	可燃质	有机质
工作质		$\frac{100 - W^P}{100}$	$\frac{100 - (A^P + W^P)}{100}$	$\frac{100 - (S_K^P + A^P + W^P)}{100}$
干燥质	$\frac{100}{100 - W^P}$	1	$\frac{100 - A^C}{100}$	$\frac{100 - (S_K^P + A^C)}{100}$
可燃质	$\frac{100}{100 - (A^P + W^P)}$	$\frac{100}{100 - A^C}$	1	$\frac{100 - S_K^1}{100}$
有机质	$\frac{100}{100 - (S_K^P + A^P + W^P)}$	$\frac{100}{100 - (S_K^C + A^C)}$	$\frac{100}{100 - S_K^1}$	1

2. 燃料的发热量:

高位发热量 Q_B

$$Q_B = Q_{B^0} - (22.5 S_B + \alpha Q_{B^0}) \quad \text{大卡/公斤}$$

式中: S_B —— 氧化了的硫量, 以试样的 % 表示 (通常

$$S_B = S_{op} + S_K)$$

α —— 系数, 贫煤及无烟煤为 0.001, 其它煤种为 0.0015

Q_{B^0} —— 氧弹发热量 大卡/公斤

低位发热量 Q_H —— 等于燃料的高位发热值减掉包含在燃料中的以及燃料燃烧时所生成水分的蒸发热

$$Q_H = Q_B - b (9H + W) \quad \text{大卡/公斤}$$

燃料的低位发热量 Q_H^P 是燃料热值的基本指标。

$$Q_H^P = Q_B^P - b (9H^P + W^P)$$

$$Q_H^C = Q_B^C - 54 H^C$$

$$Q_H^2 = Q_B^2 - 54 H^2$$

$$Q_H^P = Q_H^2 \frac{100 - W^P - A^P}{100} - b W^P$$

通常把燃料低位发热量为 7000 大卡/公斤 的煤, 称为“标准煤”。

固体 (液体) 燃料的发热量可用下列公式求得:

门捷列夫公式:

$$Q_H^P = 81C^P + 246H^P - 26(O^P - S_A^P) - bW^P \quad \text{大卡/公斤}$$

3. 燃料的折算特性:

折算水分 $W_{np} = 1000 \frac{W^P}{Q_H^P} \quad \%$

折算灰分 $A_{np} = 1000 \frac{A^P}{Q_H^P} \quad \%$

折算杂质含量 $B_{np} = 1000 \frac{W^P + A^P}{Q_H^P} \quad \%$

燃料水分改变时, 燃烧发热量的计算

$$Q_{H_2}^P = \frac{1}{100 - w_1^P} \{ Q_{H_1}^P (100 - w_2^P) + 600 (w_1^P - w_2^P) \} \quad \text{大卡/公斤}$$

(2-1表3)

4. 全国煤质分类及煤质

煤种	煤种		C ^P	H ^P	O ^P	N ^P	S ^P	A ^P	W ^P	K ₁₀	V ^T	Q _H ^P	T ₁	T ₂	T ₃	W ^a	π ₈₀₁	π ₈₀₂
	主要煤种	煤质分类																
第一类	抚顺、大同、下花园、包头、独河	K ₁₀ < 1.2	59.4	4.0	9.1	0.7	0.8	17	9	1	35	5277	1115	1270	1320	1.5	0.938	1.046
第二类	平顶山、萍乡、开滦	K ₁₀ 1.5~1.7 V ₅₅ ~ 35%	48.4	3.6	5.9	0.9	0.5	36	5	1.35	31.5	4500	1100	—	—	1.0	0.93	1.015
第三类	大同、阿开建、准格尔、黄坛、鹤岗、淮南	K ₁₀ 1.8~1.85 V ^T > 30%	64.6	3.8	7.0	1	1.3	20	2.3	1.38	27	5800	1100	—	—	0.5	0.938	1
第四类	黄阳、资兴、中深山	K ₁₀ > 1.7 V ^T < 25%	64.25	3.3	3.2	1	2.4	24	1.85	1.7	18.5	5600	1030	1185	1255	0.8	0.91	0.993
第五类	阳泉、铜川、西山洗、淄博	K ₁₀ V ^T < 12%	71.35	2.86	1.67	1.06	1.17	16.03	5.36	1.4	7.64	6396	1150	1200	1400	—	—	—
五 种 基 型 煤 质 资 料	褐 煤		33.2	2.3	10.5	0.56	0.54	23	30	1.2	45.7	2875				9.0		
	变化范围							15~30	25~40		40~55	2500~3500						
	烟 煤		46.85	3.09	4.44	1.01	0.47	33.29	10.87	1.1	33.2	4325				1.36		
	变化范围							20~35	5~12		25~40	4000~5000						
	无烟煤		34.4	2.62	3.04	0.6	0.24	40	14.1	1.05	32.74	3230				4.0		
变 化 范 围	变化范围							35~50	12~18		25~40	2500~3500						
	贫 煤		47.93	2.86	3.09	1.17	1.45	33.8	9.7		14.1	4500				1.7		
	变化范围							20~40	5~10		10~15	3500~5000						
	无烟煤		69.3	2.35	2.54	0.77	0.47	19.2	5.28		5.51	6189				1.6		
	变化范围							15~20	5~10		4~10	5000~6000						

5. 由实用分析推算元素分析

H_2 , N_2 , C_2 为燃质的氢, 氮及总碳量, 则

$$H_2 = V_2^r \left(\frac{7.35}{V_2^r + 10} - 0.013 \right)$$

$$N_2 = 0.07 V_2^r \quad \text{无烟煤及半无烟煤}$$

$$N_2 = 2.10 - 0.012 V_2^r \quad \text{烟煤及泥煤}$$

$$C_2 = C_2^n + 0.02 V_2^r \quad \text{无烟煤}$$

$$C_2 = C_2^n + 0.9 (V_2^r - 10) \quad \text{半无烟煤}$$

$$C_2 = C_2^n + 0.9 (V_2^r - 14) \quad \text{烟煤}$$

$$C_2 = C_2^n + 0.9 (V_2^r - 18) \quad \text{泥煤}$$

式中: V_2^r ——实用分析的挥发份 %

C_2^n ——实用分析的固定碳 %

例: 北票煤矿烟煤实用分析

	原煤标准 P	干煤标准 C	燃质标准 r
固定碳	50.19	54.42	61.49
挥发份	31.44	34.08	38.51
灰份	10.61	11.50	—
水份	7.76	—	—

推算其元素分析, 根据燃质标准:

$$C_2^n = 61.49 \% , \quad V_2^r = 38.51 \%$$

$$H_2 = V_2^r \left(\frac{7.35}{V_2^r + 10} - 0.013 \right) = 38.51 \left(\frac{7.35}{38.51 + 10} - 0.013 \right) = 5.33$$

$$N_2 = 2.10 - 0.012 V_2^r = 2.10 - 0.012 \times 38.51 = 1.64$$

$$C_2 = C_2^n + 0.9 (V_2^r - 14) = 61.49 + 0.9 (38.51 - 14) = 83.55 \text{ (色视硫)}$$

$$O_2 = 100 - (H_2 + N_2 + C_2) = 100 - (5.33 + 1.64 + 83.55) = 9.48$$

按此燃料标准换算到原煤标准

查实用分析中灰份 $A = 10.61$

水份 $W = 7.76$

$$H^P = H_2 (1 - 0.1061 - 0.0776) = 5.33 \times 0.8163 = 4.35$$

$$N^P = N_2 \times 0.8163 = 1.64 \times 0.8163 = 1.34$$

$$C^P = C_2 \times 0.8163 = 83.55 \times 0.8163 = 68.2 \text{ (包括硫)}$$

$$O^P = 100 - (H^P + N^P + C^P + A^P + W^P) = 100 - (4.35 + 1.34 + 68.2 + 10.61 + 7.76) \\ = 7.74$$

2-1-2 燃料消耗量计标

1. 锅炉连续排污量计标

锅炉连续排污量是根据炉水和给水中的含盐量或碱度或硅酸根(中压锅炉硅酸根通常不计)的数量确定。计标中应取三个指标中的最大值作为计标排污量。但有一条限制:即锅炉排污量不得超过《电力工业技术管理法》第347条的规定值。即

以蒸馏水作补充水的凝汽式发电厂 1%

以化学处理水作补充水的凝汽式发电厂 2%

以化学处理水作补充水的热电厂(密闭式系统) 3%

以化学处理水作补充水的热电厂(无回水热电厂) 5%

如计标结果不能达到上述要求,则应通过加强水处理或采用其它办法加以解决。

$$D_{np} = \frac{(a' + a'') \cdot a_{\text{dB}}}{A_{\text{KB}} - (1 - \beta) a_{\text{dB}}} \cdot D \quad \text{公斤/时}$$

式中: D_{np} —— 锅炉连续排污量 公斤/时

D —— 锅炉额定蒸发量

a' —— 发电厂内蒸汽凝结水的损失占 D 的百分数 %

a'' —— 外部蒸汽用户的凝结水损失占 D 的百分数 %

a_{dB} —— 化学处理补充水的含盐量,毫克/升或毫克-当量/升

A_{KB} —— 用同样水质标准的水炉水质量计标标准值,毫克-当量/升或毫克-当量/升

β ——由连续排污扩容器中分离出来的蒸汽锅炉排污水量的百分数 %

国产锅炉炉水标准

(2-1表4)

锅炉型式	锅炉规范	含盐量	碱度	含氧量	生产厂
231/20-39及231/40-39	20 t/h 及 40 t/h 中压	2400 mg/l	21°G (7.5 mmol/l)	60 mg/l	上海锅炉厂
140 t/h 炉	140 t/h, 39 kg/cm ² 不分段蒸发	"	"	"	"
818-120/39型	120 t/h 中压一段蒸发	2000 mg/l	"	"	哈锅厂
321-230/100型	230 t/h 二段蒸发高压	700 mg/l	"	"	"
1314-240/39型	240 t/h 一段蒸发中压	2000 mg/l	"	"	"

自然循环炉内式锅炉水质计算标准（仅供参考）
(2-1表5)

项目名称	不分段蒸发锅炉						分段蒸发锅炉						锅 炉					
	压力，绝对大气压						碱 度						盐 分					
	< 20	20-40	40-80	80-100	100-150	< 20	20-40	40-80	80-100	100-150	< 20	20-40	40-80	80-100	100-150			
蒸发残渣 毫克/公升	3000~ 5000	2500~ 3000	1500~ 2000	≤ 800	≤ 500	1000~ 1500	500~ 1000	400~ 800	≤ 800	≤ 500	2000~ 10000	2500~ 3000	1500~ 2000	≤ 2000	≤ 1500			
全碱度 毫克-当量/公升	8-12	6-10	2-4	≤ 2	≤ 2	6-10	4-6	2-4	≤ 2	≤ 2	不定标准	不定标准	不定标准	≤ 6	≤ 6			
PO ₄ ³⁻ 含量 毫克/公升	15	15	15	≥ 15	≥ 15	10-15	10-15	10-15	≥ 10	≥ 10	不定标准	不定标准	不定标准	≤ 20	≤ 15			
SiO ₃ 含量 毫克/公升	不定标准	不定标准	不定标准	≤ 5	≤ 3	不定标准	不定标准	不定标准	≤ 5	≤ 3	不定标准	不定标准	不定标准	≤ 20	≤ 15			
SiO ₃ 和NaOH 的当量比	不大于 0.5	—	—	—	—	不大于 0.5	不大于 0.5	不大于 0.5	—	—	不大于 0.5	不大于 0.5	—	—	—			
以O ₂ 表示的溶解 量 毫克/公升	≤ 50	≤ 20	≤ 10	—	—	≤ 50	≤ 20	≤ 10	—	—	不定标准	不定标准	不定标准	—	—			

2. 锅炉定期排污量计算

锅炉定期排污的百分数，一般取为 0.1~0.5% 锅炉额定蒸发量，在一般运行厂中，又多没有实测数据。

在资本主义国家中，是按汽鼓水位下降若干时来计标的。

以下是根据汽水两相流体在管中流动的公式计标，而用汽鼓水位下降的极限允许值加以校核，以保证锅炉水循环安全。

$$D_{np} = 8.25 \times 10^5 \times d^2 \times \sqrt{\frac{(P_1 - P_2)(\gamma_1 - \gamma_2)}{(\lg \gamma_1 - \gamma_2)(\lambda \frac{L}{d} + \sum \xi)}} \quad \text{公斤/时}$$

式中： D_{np} —— 锅炉定期排污量 公斤/时

d —— 定期排污管直径 米

P_1 —— 汽鼓内压力 公斤/厘米²

考虑到定期排污处的水柱高（水封管高度）

P_1 取得比汽鼓内压力略高些。

P_2 —— 定期排污扩容器处的压力 公斤/厘米²

γ_1 —— 排污水的比重 公斤/米³

γ_2 —— 排污管末端汽水混合物的比重 公斤/米³

$\lambda \frac{L}{d}$ —— 沿程阻力系数

$\sum \xi$ —— 局部阻力系数

例题：120 吨/时 中压锅炉，取排污水压力为 4.5 公斤/厘米²，定期排污扩容器压力为 1.2 公斤/厘米²，试计算每锅炉定期排污量。定期排污管的管径为 20 毫米，排污管全长 20 米，共有三个阀门，五个弯头。

解： $\gamma_1 = 790$ 公斤/米³

$$\text{汽化率 } \beta = \frac{i'_{4.5} - i'_{1.2}}{i'_{1.2} - i'_{1.2}} = \frac{266.6 - 104.38}{536.3} \times 100 = 31\%$$

排污管末端汽水混合物比重：

$$\begin{aligned} \gamma_2 &= \frac{1}{V_{\text{水}}(1-\beta) + V_{\text{汽}}(\beta)} = \frac{1}{0.010468 \times 0.69 + 1.175 \times 0.31} \\ &= 2.218 \quad \text{公斤/米}^3 \end{aligned}$$

取排污水管的绝对粗糙度值 $K = 0.6$ 毫米, 管径 $d = 20$ 毫米

$$\lambda = \frac{1}{(1.14 + 2 \lg \frac{20}{0.6})^2} = 0.0575$$

$$\text{局部阻力系数 } \Sigma \xi = 3 \times 5 + 5 \times 0.1 = 15.5$$

$$D_{np} = 8.25 \times 10^5 \times 0.02^2 \times \sqrt{\frac{(45 - 1.2)(790 - 2.218)}{(\lg 790 - \lg 2.218)(0.0575 \frac{20}{0.02} + 15.5)}} = 4500 \text{ 公斤/时}$$

一台 120 吨/时中压锅炉共有 12 根排污管, 每根排污管开启 30 秒, 故每炉每次排污量为:

$$12 \times 0.5 \times \frac{4500}{60} = 450 \text{ 公斤/次}$$

高、中压锅炉定期排污量计算汇总表 (2-1 表 6)

	中 压 锅 炉			高 压 锅 炉	
排污管直径(毫米)	20	40	50	20	50
定期排污水量(公斤/时)	4500	25200	42300	6500	61500
公斤/分	75	420	712	108.5	1025

说明: 高压锅炉定期排污量计算条件如下: 原始数据:

$$P_1 = 112 \text{ 公斤/厘米}^2 \quad Y_1 = 0.72 \text{ 公斤/米}^3$$

$$P_2 = 1.2 \quad B = 4.5\%$$

$$Y_2 = 1.53 \text{ 公斤/米}^3 \quad \lambda = 0.0575$$

$$\Sigma \xi = 15.5 \quad L = 20 \text{ 米}$$

3. 锅炉燃料消耗量

$$B = \frac{D_{ky}(i_{ne} - \bar{i}_{ne}) + Q_{np}}{Q_H^P \eta_{ky}} \quad \text{吨/时}$$

$$\text{若 } Q_{np} = D_{np}(i_k - \bar{i}_{nk})$$

$$\text{则 } B = \frac{D_{ky}(i_{ne} - \bar{i}_{ne}) + D_{np}(i_k - \bar{i}_{nk})}{Q_H^P \eta_{ky}} \quad \text{吨/时}$$

若锅炉同时供应饱和蒸汽

$$\text{则 } B = \frac{D_{ky}(i_{ne} - \bar{t}_{nb}) + D_H(i_H - \bar{t}_{nb}) + D_{np}(i_K - \bar{t}_{nb})}{Q_H^P \eta_{ky}} \quad \text{吨/时}$$

式中: B —— 锅炉的燃料消耗量 吨/时
 D_{ky} —— 锅炉生产的过热蒸汽量
 D_H —— 锅炉生产的饱和蒸汽量
 i_{ne} —— 过热蒸汽焓 千卡/公斤
 i_H —— 饱和蒸汽焓
 $\bar{t}_{nb}$ —— 锅炉给水焓
 i_K —— 锅炉排污水的焓
 Q_{np} —— 排污水的利用热
 Q_H^P —— 燃料的低位发热量
 η_{ky} —— 锅炉设备效率

煤耗率 (燃料消耗率)

$$b = \frac{q_c}{Q_H^P} \quad \text{公斤/瓩·时}$$

$$\text{或 } b = \frac{860}{Q_H^P \eta_c}$$

式中: q_c —— 发电厂的能耗率 千卡/瓩·时
 η_c —— 发电厂效率

标准煤耗率

$$b_y = \frac{q_c}{7000} \quad \text{公斤/瓩·时}$$

$$\text{或 } b_y = \frac{0.123}{\eta_c}$$

计标燃料消耗量

计及机械未完全燃烧热损失的影响, 设计中常使用计标燃料消耗量, 即:

$$B_p = B \frac{100 - q_4}{100} \quad \text{吨/时}$$

式中: q_4 —— 机械未完全燃烧损失 %

2 — 1 — 3 燃烧空气需要量

完全燃烧所必须的理空气量

$$V^0 = 0.0889(C^P + 0.375 S_A^P) + 0.265 H^P - 0.0333 O^P \quad \text{标米}^3/\text{公斤}$$

$$\text{或 } L^0 = 0.115(C^P + 0.375 S_A^P) + 0.342 H^P - 0.0431 O^P \quad \text{公斤/公斤}$$

理空气量也可按下式近似求得：

$$V^0 = a \frac{Q_H^P + b W^P}{1000} \quad \text{标米}^3/\text{公斤}$$

a —— 系数 见下表：

(2-1 表 7)

燃料种类	木柴	泥煤	褐煤	烟煤 $V^2 \geq 20\%$	烟煤 $V^2 < 20\%$	无烟煤	重油
系数 a	1.045	1.070	1.085	1.095	1.10	1.10	1.09

当炉膛过剩空气系数为 α_m 时，实际空气需要量为：

$$V_2 = V^0 \alpha_m \quad \text{标米}^3/\text{公斤}$$

$$\text{或 } L_2 = L^0 \alpha_m \quad \text{公斤/公斤}$$

过剩空气系数可参照以下两表选取。