

风水共冷式冷渣器各参数的选取与优化

赵广播 朱群益 阮根健 戴坚

(哈尔滨工业大学)

[摘要] 本文以 Q_k/Q_h 最小为优化目标,建立了风水共冷式冷渣器优化计算模型,并结合实例用可变误差多面体算法对模型进行了求解。

关键词 流化床锅炉 溢流灰 冷渣器 优化 分类号 TK223

符号表

a : 床截面长度, m;	p : 埋管横向距径比;
A_c : 床截面积, m^2 ;	Q_k : 空气吸热量; kJ/s;
a_0 : 冷渣器最大长度, m;	Q_h : 灰放热量; kJ/s;
b : 床截面宽度, m;	S_1 : 埋管横向节距, m;
b_0 : 冷渣器最大宽度, m;	S_2 : 埋管纵向节距, m;
C_h : 灰渣比热, $W/(kg \cdot C)$;	q : 埋管纵向距径比;
C_k : 空气比热, $W/(m^3 \cdot C)$;	R : 膨胀比;
d : 埋管外径, m;	t'_k : 冷风温度, C;
e : 边埋管中心线与墙的距离, m;	t''_k : 热风温度, C;
f : 空气吸热量占灰放热量份额;	t'_h : 热渣温度, C;
h_0 : 静料层高度, m;	t''_h : 出口渣温, C;
h_1 : 最下排埋管到风帽小孔中心线的距离, m;	\bar{W} : 流化数;
H_m : 埋管受热面积, m^2 ;	W : 流化速度, m/s;
B_h : 冷渣器进灰流量, kg/s;	W_i : 终端速度, m/s;
G : 冷渣器空气流量, Nm^3/s ;	ξ : 埋管结构特性系数;
n_1 : 埋管横向排数;	φ : 压降减小系数;
n_2 : 埋管纵向排数;	ρ_a : 床料堆积重度, kg/m^3 ;
p_1 : 鼓风机压头, Pa;	
Δp : 鼓风机至风帽的阻力损失, Pa;	

1 前言

风水共冷式冷渣器是一种新型的灰渣冷却装置⁽¹⁾。在设计风水共冷式冷渣器时需选

收稿日期 1993-01-18

本文联系人 赵广播 男 31 讲师 150006 哈尔滨工业大学热能工程教研室

取一些参数,这些参数的选取必须遵循一定的原则,本文从优化角度对风水共冷式冷渣器各参数的选取原则进行了论述。

2 目标函数

在带风水共冷式冷渣器的流化床锅炉中,一般将冷渣器的埋管作为省煤器受热面的一部分布置在省煤器之前,这样可使冷渣器中水回收的热量全部利用。而空气吸热量的利用程度与热空气进入锅炉的位置有关,在某一热风温度下,如空气吸热量较少,热空气量也较少,便于将热风作为部分二次风送入炉膛,提高空气热量的利用程度,因此,从热量利用率最高的角度考虑,把 Q_k/Q_h 最小作为优化目标。对单床风水共冷式冷渣器,目标函数为

$$f = \frac{Q_k}{Q_h} = \frac{GC_k(t''_k - t'_k)}{B_h C_h (t'_h - t''_h)} \quad (1)$$

从式(1)看出,影响目标函数的因素有流化床的几何特性参数(隐含在 G, t''_k, t'_k 中)、床层温度及操作速度,而床层温度又与床的几何特性和流化数有关,所以目标函数可归结为床层几何特性和流化数的函数。从单床风水共冷式冷渣器的结构简图(图1)可知

$$b = (n_1 - 1)S_1 + 2e \quad (2)$$

取 $e = S_1 - d/2, P = S_1/d \quad (3)$

则 $A_r = b \cdot a$
 $= [(n_1 + 1)pd - d] \cdot a \quad (4)$

$$H_m = \pi da n_1 u_2$$

$$= \pi da n_1 \left(\frac{h_0 R - h_1}{qd} + 1 \right) \quad (5)$$

式中膨胀比 R 由(2)中公式计算

由以上分析看出,单床风水共冷式冷渣器的目标函数中包含的独立变量有 $p, q, d, h_0, h_1, n_1, a, W$, 目标函数是这几个变量的隐函数。

对多床风水共冷式冷渣器,目标函数为

$$f(X) = \frac{\sum Q_{ki}}{\sum Q_{hi}} = \frac{\sum G_i C_{ki} (t''_{ki} - t'_k)}{B_h C_h (t'_h - t''_{hN})}$$

$(i = 1, 2, \dots, N) \quad (6)$

隐含在目标函数中的变量有 $q, p, h_1, h_0, d, n_1, a, (i = 1, 2, \dots, N) \bar{W}, (i = 1, 2, \dots, N)$, 共 $6 + 2N$ 个。

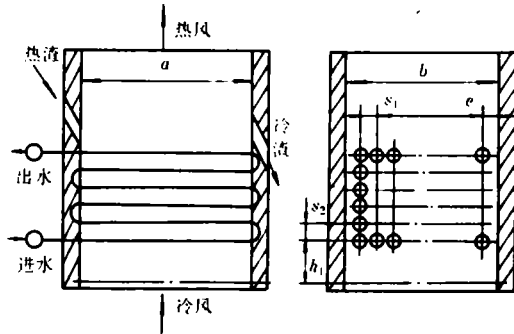


图1 单床风水共冷式冷渣器埋管布置简图

3 几个参数的选取

3.1 埋管横向节距

对单排埋管,单位长度上的 ξH_m 值为

$$\xi H_m = f(S_1/d) \pi d n_1 \quad (7)$$

式中 $\xi = 1/(0.934 + 0.423d/S_1)$ 是文献[3]中线算图 12 的回归形式。将其代入(7)中并将 ξH_m 对 S_1 求导,得

$$\frac{d(\xi H_m)}{dS_1} = \frac{\pi d(0.423d + 1.868e - 0.934b)}{(0.934S_1 + 0.423d)^2} \quad (8)$$

只要满足 $b > 0.453d + 2e$, 恒有

$$d(\xi H_m)/dS_1 < 0$$

即当 $b > 0.453d + 2e$ 时, ξH_m 随着 S_1 的增加而减小。对风水共冷式冷渣器, 恒有 $b > 0.453d + 2e$, 故减小埋管的横向节距可增加埋管的吸热份额, 考虑埋管对床料混合的影响, 取 S_1 为不影响床料混合的节距的最小值。

3.2 埋管纵向节距、最下排埋管到风帽小孔中心线的距离

埋管管径由式(2)~(5)得

$$\frac{H_m}{A_i} = \left(\frac{R h_0 - h_1}{q d} + 1 \right) \frac{\pi n_1}{(n_1 + 1)P - 1} \quad (9)$$

从式(9)看出: 在流化高度一定的情况下, 管径增大, 则单位床面积上埋管受热面积减少, 因此, 为增加埋管受热面积, 宜用小径埋管。

从式(9)还可看出, 单位床面积上可布置的埋管受热面积随 q 和 h_1 的减小而增加, 因此, 在综合考虑床料混合及磨损等因素的前提下, q, h_1 宜选小值。

3.3 静料层高度

静料层高度取决于鼓风机压头, 可由下式计算

$$h_0 = \frac{P_1 - \Delta P}{q \rho_s} \quad (10)$$

前面分析了 p, q, d, h_1, h_0 的选取原则, 其余 $(2N + 1)$ 个变量需通过优化计算确定。

4 约束条件

4.1 流化数的约束条件

$$1 < \bar{W}_i < W_i \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (11)$$

4.2 各分床长度及宽度的约束条件

为使锅炉系统简单, 冷渣器宜布置在锅炉溢流口附近, 而溢流口附近空间有限, 因此需对冷渣器总体尺寸进行限制

$$\sum_{i=1}^N a_i \leq a_0 \quad (12)$$

$$b > b_0 \quad (13)$$

4.3 灰温的约束条件

冷渣温度过高, 溢流灰热量回收太少, 但冷渣温度也不宜太低。一方面, 灰温低则灰渣与埋管、灰渣与空气的温压小, 造成很多埋管受热面和很大床面积只能使灰渣降低很小温压。例如, 在图 2 中, 将灰渣从 950°C 冷至 600°C 需要的床面积为 0.56 m^2 , 如将灰渣从 950°C 冷却到 250°C , 则需要的床面积为 3.4 m^2 , 温降增加一倍, 而床面积增加了 5 倍, 使冷渣器体积庞大, 布置困难; 另一方面, 冷渣温度低, 热风温度也低(图 3), 且风量大(图 4), 使冷渣器中风吸收的热量难于回收。所以, 冷渣温度应综合考虑各因素由经济性分析来确定。

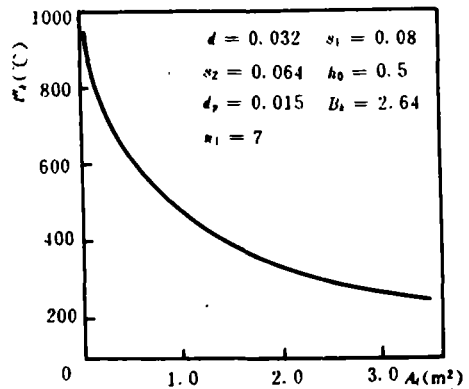


图 2 灰渣温度与床面积的关系

表 1 四床风水共冷式冷渣器优化计算结果

序号	符号	$h_0=0.5$				$h_0=0.7$			
		第一床	第二床	第三床	第四床	第一床	第二床	第三床	第四床
1	n_1	9	9	9	9	8	8	8	8
2	n_2	9	9	9	9	15	15	15	15
3	b	0.768	0.768	0.768	0.768	0.688	0.688	0.688	0.688
4	a	0.49	0.464	0.435	0.401	0.386	0.37	0.351	0.325
5	W	2.31	2.39	2.44	2.5	2.30	2.37	2.42	2.50
6	ρ_1	600	448	345	268	611	456	350	273
7	ρ_2	688	509	289	300	686	508	387	300
8	f_1	0.341	0.406	0.5	0.567	0.235	0.297	0.368	0.536
9	f	0.402				0.303			

表 2 三床风水共冷式冷渣器优化计算结果

序号	符号	$h_0 = 0.5$			$h_0 = 0.7$		
		第一床	第二床	第三床	第一床	第二床	第三床
1	n_1	10	10	10	9	9	9
2	n_2	9	9	9	15	15	15
3	b	0.848	0.848	0.848	0.768	0.768	0.768
4	a	0.63	0.57	0.5	0.52	0.47	0.41
5	W	2.22	2.31	2.5	2.36	2.41	2.5
6	ρ_1	540	375	269	540	371	273
7	ρ_2	618	424	300	604	412	300
8	f_1	0.346	0.45	0.545	0.267	0.352	0.447
9	f	0.414			0.321		

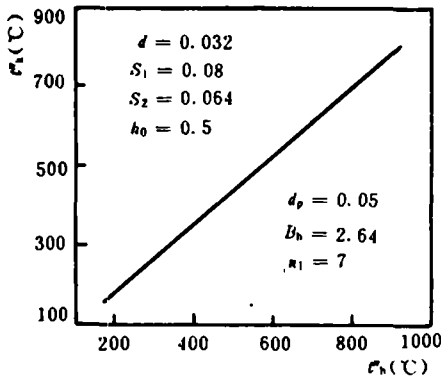


图 3 热风温度与冷渣温度的关系

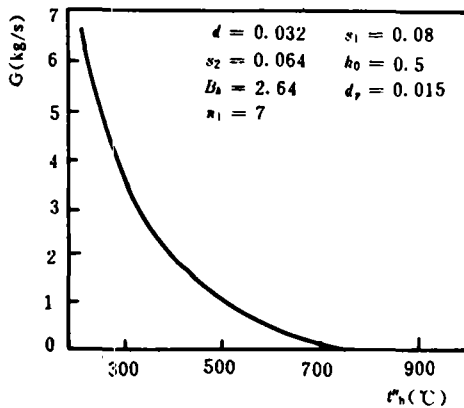


图 4 冷渣温度与冷却风量的关系

各分床的排渣温度应满足以下条件

$$t''_h > t''_{h1} > t''_{h2} > \dots > t''_{hN}$$

5 计算实例

某风水共冷式冷渣器,冷却灰量 2.64 kg/s,溢流灰初温 950℃,灰平均当量直径 1.5 mm,溢流灰真实重、堆积重度分别为 2400、1200 kg/m³,冷空气温度、进口水温分别为 20℃、150℃,按前述原则,取

$$P = 2.5; q = 2.0; h_1 = 0.3 \text{ m};$$

$$d = 0.032 \text{ m}; t''_{hN} = 300; a_0 = 2.1 \text{ m};$$

$$b_0 = 1.4 \text{ m};$$

用可变误差多面体算法编制程序对优化模型求解,计算结果列于表 1、表 2 中。

从表中数据看出:

1. 满足目标函数最小时的各分床面积依次减小,而流化数依次增加,

2. 两种静料高度下各对应床的冷渣温度和热风温度基本相同,说明静料高度对各床冷渣温度和热风温度最优值的影响不大。

3. 静料高度对床面积和可布置的埋管受热面积影响较大, h_0 增加,冷渣器总床面积减少,而单位床面积上可布置的埋管受热面积增加,结果使 f 值随 h_0 增加而降低。

4. 同一静料高度下,四床风水共冷式冷渣器的 f 值低于三床风水共冷式冷渣器。

参 考 文 献

- 1 赵广播,朱群益等.风水共冷式冷渣器及其计算方法.中国工程热物理学会第八届年会论文集,北京,1992年
- 2 清华大学电力系锅炉教研组.沸腾燃烧锅炉.科学出版社,1972
- 3 JB/DQ1060-82.层状燃烧及沸腾燃烧工业锅炉热力计算方法
- 4 薛嘉庆.最优化原理与方法.冶金工业出版社,1983

and naval boilers is also given. **Key words:** *Y-type oil burners, structural parameters, design and calculation*

- (308) **An Analysis of the Cause of Deformation Found on the High-Pressure Superheater Tubes of an American Double-S Heat Recovery Boiler** Zhang Bin (*Shenzhen Mawan Electric Power Co. Ltd.*)

This paper deals with the occurrence after a 4-month operation period of serious deformation on the high-pressure superheater tubes of a heat recovery boiler imported from the USA for use on a gas turbine. The cause of the deformation has been analysed with countermeasures recommended for its alleviation. **Key words:** *heat recovery boiler, deformation analysis*

- (312) **An Experimental Study of Convective Heat Transfer in a Converging-Diverging Duct of Cast Iron Sectional Boilers** Wang Xiqing, Zheng Ying (*Harbin Institute of Technology*); Wu Zhigang (*Boiler & pressure Vessel Inspection and Research Institute of Harbin Labor Bureau*); Xu Keqing (*Harbin Xiaoxing Boiler Works*). Qiu Fuzhi (*Harbin Foundry Works*)

Through experiments the authors have identified the relationship governing the variation of convective heat transfer coefficient in a converging-diverging duct of cast iron sectional boiler with the following parameters: flue gas flow velocity, boiler section thickness and inlet section length. The flue gas is evaluated to have a velocity ranging from 3 to 14 m/s with the section thickness $L = 150 \sim 220$ mm. The experimental results have been compared with those obtained for bare smooth pipes and also those obtained through the use of the formula adopted by soviet designers for cast iron sectional boilers. The said results are readily applicable to the majority of cast iron sectional boilers currently manufactured in China. **Key words:** *converging-diverging duct, cast iron sectional boiler, convective heat transfer*

- (317) **The Selection and Optimization of Parameters for an Overflow Ash Cooler Cooled by Both Water and Air** Zhao Guangbo, ZHU Qunyi, Ruan Genjian and Dai Jian (*Harbin Institute of Technology*)

With a minimum value of Q_k/Q_h being taken as an optimization objective the authors have set up an optimization calculation model for an overflow ash cooler cooled by both water and air. Coupled with practical examples a solution and calculation of the model is made with the help of a variable error and polyhedron computation method. **Key words:** *fluidized bed boiler, overflow ash, ash cooler, optimization*

- (322) **A Treatise on the Regeneration Corrosion of Sodium Ion Exchange Water Treatment and Its Practical Solution** Hua Xiaoning (*Kunming Design and Research Institute of Nonferrous Metals*)