

侧向高浓度无烟煤煤粉燃烧技术的探讨

庞丽君 秦裕琨(哈尔滨工业大学)

李永堂 (哈尔滨锅炉厂)

[摘要] 通过理论分析和实践经验提出了一种新型大容量锅炉无烟煤型煤粉燃烧器—侧向高浓度无烟煤煤粉燃烧器。这种燃烧器燃烧稳定性好,有较高的燃烧效率,可防止结渣和降低 NO_x 排放量。

关键词 侧向 煤粉 高浓度 无烟煤 燃烧器

分类号 TK 22.33

1 问题的提出及理论分析

当前燃煤机组将向大容量发展,且燃用的煤质日趋劣化,为了确保锅炉机组运行的安全性和经济性,要求这类机组的炉型及燃烧设备必须具有及时着火、稳定燃烧和较高的燃烧效率,同时还应保证不发生严重的结渣及保持尽可能低的 NO_x 排放量,对于无烟煤煤粉燃烧器也必须满足这四方面的要求。要同时实现这四方面的要求,往往有一定的矛盾,必须正确处理好四者的关系。

我国低污染燃烧技术的研究,还处在起步阶段,与先进国家比较,还有很大的差距。我国燃用的煤种杂而多变,必须结合我国的特点,加速开展低污染燃烧器和燃烧技术的研究。本文所提出的燃烧器,对于开发适合我国煤种的大型燃烧机组的高效、低污染燃烧器具有很大实际意义。

1.1 关于燃烧的稳定性的

无烟煤的着火性能差,保持燃烧稳定性有一定的难度,常因灭火放炮影响锅炉运行

的安全性,还导致点火及稳燃用油增加,影响锅炉的经济性。因此,提高无烟煤煤粉燃烧器的稳定性,对保证锅炉的可靠性和经济性都有重要意义。

经验和理论分析都证明了,提高一次风气流中煤粉浓度对提高燃烧稳定性是有利的。例如黄台电厂从日本引进的300 MW机组采用PM燃烧器,燃烧贫煤。在PM燃烧器中设置了煤粉浓缩器,并将一次风分成上下两股气流喷入炉内,上股煤粉浓度高、下股低,两股一次风气流的粉量比为(4—6):1。该厂采用直吹式制粉系统燃烧贫煤,已达较好的稳定性。

又如CE公司的高调节比燃烧器,利用一次风管的弯头,将一次风分成浓淡两股,类似PM燃烧器,从上、下两喷口喷入炉内,两股粉量比为7:3,提高了低负荷时燃烧稳定性。美国100 MW烟煤锅炉负荷达22%时,可不投油稳燃,以上两种燃烧器都表明:使一股一次风气流的煤粉浓度提高,可以明显提高燃烧稳定性。

收稿时间 1993 09 28

本文联系人 庞丽君 女 51 副教授 150001 哈尔滨工业大学 514 信箱

提高一次风煤粉浓度,可以降低着火热,使着火提前。将煤粉气流加热到着火温度所需要的热量称为着火热,它主要用于加热

煤粉和空气以及使煤中水分蒸发和过热,着火热 Q_{zn} (kJ/h) 为^[1]:

$$Q_{zn} = B_r(V^0 \alpha_r r_{1k} C_{1k} \frac{100 - q_4}{100} + C_{gr} \frac{100 - w^y}{100} (T_{zn} - T_0) + B_r \{ \frac{w^y}{100} [2510 + C_q (T_{zn} - 100)] - \Delta w [2510 + C_q (T_0 - 100)] \} \quad (1)$$

式中: B_r 为每台燃烧器的耗煤量 kg/h; V^0 是理论空气量 Nm^3/kg ; α_r 入炉过量空气系数, r_{1k} 为一次风风率, C_{1k} , C_{gr} 和 C_q 分别是空气, 煤粉(干质)和蒸气比热 $kJ/(Nm^3 \cdot C)$, T_{zn} 和 T_0 为着火温度和一次风的初温 C , Δw 每千克原煤在制粉系统中蒸发的水分。

由式(1)可见,由于煤粉浓度提高,伴随煤粉运动的空气量减少,所以着火热减少,这对于比较难于着火的无烟煤,采用较低的一次风率稳定着火是有利的。以阳罗无烟煤^[2]为例,若将一次风率由 20.42% 降低到 10.21%,即此时一次风煤粉气流的风煤质量比为 1:1,按式(1)计算结果着火热减少了 26.6%。这说明气流的加热条件强化了,加热速度提高了,达到着火温度所需要的时间缩短了。实际上提高煤粉浓度,煤粉气流黑度增加,吸收辐射热增加。但是,煤粉浓度提高,煤粉气流的着火温度降低,由理论计算结果,对于无烟煤,当煤粉浓度由 0.51 kg/kg 增加到 10 kg/kg 时,着火温度由 1200 C 降低到 730 C^[3]。

另外,由于煤粉浓度增加,煤粉和氧反应的面积增加,火焰传播速度提高,使得火焰前沿向气流根部移动,缩短了它们之间的距离,着火提前。

1.2 关于燃烧效率

提高一次风煤粉浓度可能对煤粉燃尽不利,影响燃烧效率。这是因为煤粉着火以后,应及时供给燃烧所必须的空气,如果二次

风供给不及时,将使燃烧推迟。例如,前述的 PM 燃烧器,碳的不完全燃烧损失偏高,就是它的二次风布置欠妥有关。

但是,众所周知,特别是对于无烟煤,一次风率过高,二次风和一次风混合得过早,都会使着火推迟,燃烧器区域的温度水平下降,对燃尽也是不利的。根据伏利斯配风理论^[4],对于马弗炉煤粉气流燃烧过程计算分析,得出了二次风应分批加入,即二次风应根据燃烧过程发展的需要,逐渐混入到一次风中,需要多少,混入多少,这样可以保持火焰有较高的温度水平,对煤粉的燃尽极为有利。

1.3 关于结渣问题

为了提高燃烧稳定性,需要提高燃烧区域的温度水平,同时降低 NO_x 的排放量,需要推迟二次风和一次风的混合,在燃烧区形成还原性气氛。这两点对防止结渣都是不利的,特别是对于燃烧无烟煤,常常设有卫燃带,更需要注意防止结渣。

防止燃烧区域结渣的有效措施是在燃烧区四周有一股二次风气流,形成氧化性气氛,同时也有利降低水冷壁附近的烟气温度。

根据我国的经验,侧二次风一般多用于贫煤,无烟煤和低熔点的烟煤,用以增强气流的“刚性”,降低燃烧器高宽比,防止火焰贴壁结渣。对于电厂用 HG220/100-8 型锅炉和 SG400/100 型锅炉改装侧二次风燃烧无烟煤,在解决燃烧器区域严重结渣问题上都取得了一定的成效。CE 公司采用二次风,一次

风大小切圆布置降低 NO_x , 由于炉壁附近形成氧化性气氛, 也取得了减少结渣的良好效果。

但是, 某电厂虽也设有侧二次风, 由于侧二次风和一次风距离太近, 一次风煤粉浓度又没有提高, 二次风迅速混入, 使一次风煤粉浓度过低, 燃烧效果不佳。因此, 在采用侧二次风时, 必须防止这样现象出现。

1.4 降低 NO_x 排放量

锅炉排烟中的 NO_x 是污染环境的主要有害气体, 世界各国对降低 NO_x 都非常重视, 研究了各种低 NO_x 燃烧器, 其主要措施是推迟一二次风的混合, 在燃烧区形成缺氧状态, 氮得不到氧而形不成氮氧化物。

将一次风分成两股的 PM 燃烧器, 在炉内形成了两个区段燃烧, 这两个燃烧区段 NO_x 生成率和风 / 煤的质量比关系如图 1 所示⁽⁴⁾。

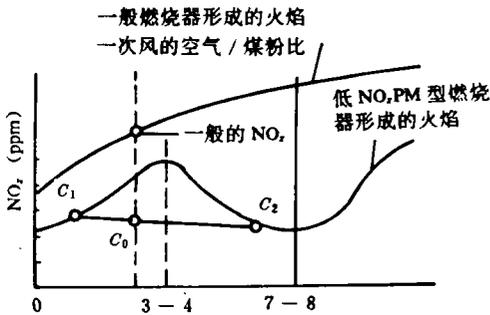


图 1 一次风 / 煤比对 NO_x 生成量的影响

由图 1 可见, 对于 PM 型燃烧器形成的火焰的 NO_x 生成率, 当风煤比为 3 - 4 时, 有一个峰值; 当风煤比接近 7 - 8 时, 又有一个最低值。显然, 浓淡两股的一次风中, 如果使浓的那股煤粉气流的风煤比小于 3 - 4, 而淡的那股接近 7 - 8 时, NO_x 生成率降低。图中分

股燃烧生成的 NO_x 相当于 C_1 和 C_2 , 总的平均 NO_x 生成量 C_0 一定低于一次风不分股的一般燃烧器形成火焰的 NO_x 量。

综上所述, 提高一次风煤粉浓度, 有利燃烧的稳定性 and 降低 NO_x 排放量, 再采用侧向分批送入二次风, 有利于防止结渣和控制无烟煤粉燃尽。

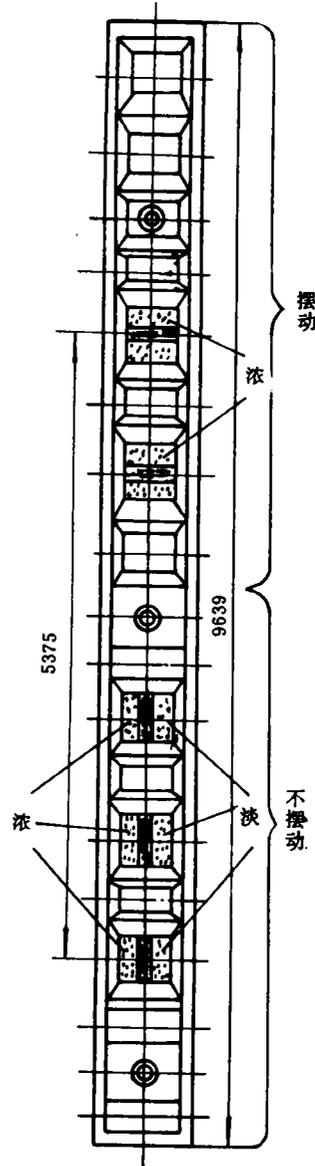


图 2 燃烧器结构

2 侧向高浓度无烟煤型煤粉燃烧器

图 2 就是根据上述的理论分析和实践经验提出的一种新型无烟煤煤粉燃烧器设计方案原理图,可应用于 300 MW 锅炉上。

这种燃烧器上半部为摆动式,下半部为固定式。上下部分共有 5 组 10 个一次风风口,一次风总风率 $r_1 = 17.2\%$ 。下半部的一次风口被水平分为两股气流,一股为浓含粉气流(浓气流),其风率约为 5.16% ,风/煤质量比为 1.054,另一股是淡含粉气流,设置在浓气流的背火侧,其风率 $r_{m2} = 5.16\%$ (下半部一次风口浓淡每投气流占总风量的百分比),风/煤质量比是 4.22。两股气流煤粉浓淡比为 4:1。为了便于调节火焰中心高度,燃烧器上部为摆动式的,上部每个一次风口分为上、下浓淡两股气流,其风率为 3.44% ,煤粉浓淡比 2.3:1,目的也是为了提高着火

稳定性和降低 NO_x 的排放量。

该燃烧器浓气流的一次风总风率与常用无烟煤燃烧器相比,约降低 50%(浓气流总风率为 8.6%),煤粉浓度相应提高 1.6 倍。但浓淡两股气流的总风率接近常用无烟煤燃烧器的一次风率($r_1 = 17.2\%$),一次风速与常用无烟煤燃烧器的相当, $w_1 = 21 \text{ m/s}$,二次风的布置也与常用无烟煤燃烧器相同,二次风速 $W_2 = 46 \text{ m/s}$ 。从总体上看,该燃烧器体现了一次风相对集中布置原则。

对于该燃烧器下部水平浓淡两股气流混合浓度场的变化规律,按 $W_1 = 21 \text{ m/s}$ 排列风口的结构尺寸,根据两股平行射流计算^[5]侧边风淡气流与浓气流边界相交点到喷口距离约 348 mm,相交前各自保持自己原来的特性。相交后,由于侧边风向浓气流内混入,在两射流的交叉区内煤粉浓度有所降低,但比较缓慢,直到距喷口 1005 mm 处,侧边风边界才影响到浓相一次风气流的中心处。一般着火点到喷口的距离不应大于 1 m,因此侧边风不会影响着火。

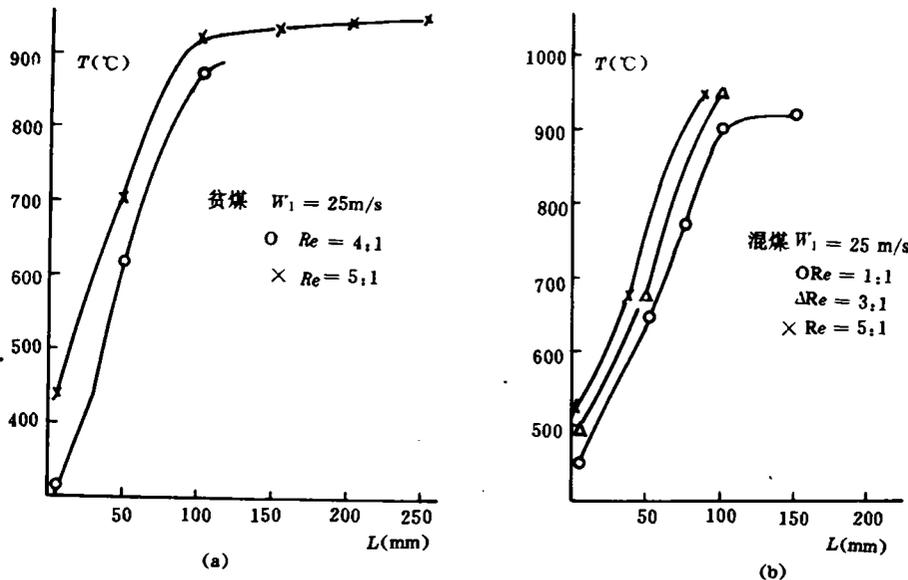


图 3 浓缩比对煤粉气流着火的影响

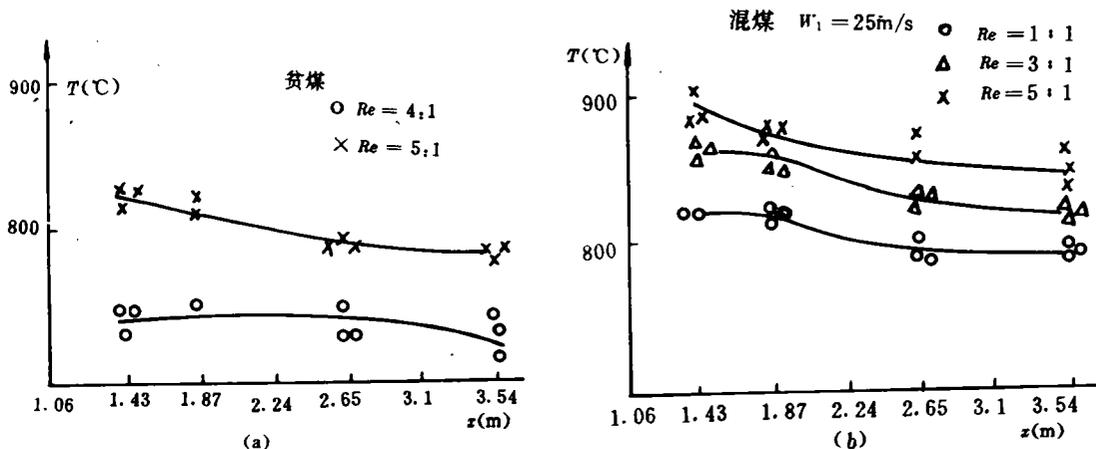


图 4 浓缩比对煤粉气流燃烧的影响

当浓气流着火后,侧边风逐渐和浓气流混合,可及时提供给煤粉着火后所需的空气,符合伏利斯的配风理论,不致由于浓气流煤粉浓度提高而影响燃尽。同时,侧边风在浓气流的背火侧,在水冷壁附近造成氧化性气氛,有利于防止结渣。但该燃烧器与一般侧二次风燃烧器不同,该燃烧器的侧边风是一次风中的淡气流,不影响着火稳定性。另外,浓相气流在第一燃烧区段,风/煤比远小于 3-4,所以有利于降低 NO_x 的生成率。

哈尔滨工业大学热能工程教研室在热态煤粉燃烧试验台上曾进行了侧向高浓度煤粉燃烧器的浓缩比对煤粉气流的着火、燃烧和燃尽的影响的试验,试验时采用挥发分 $V^r = 15.03\%$ 贫煤和 $V^r = 25.91\%$ 的混烟煤,其试验结果见图 3、4、5。由图中可以看出随

煤粉浓缩比 Re (浓淡两股一次风煤粉浓度比) 增加,煤粉火焰温度水平升高,有利于着火和燃烧。同时,随浓缩比增加,飞灰含碳量降低,提高了燃烧效率。这一点与单纯提高煤粉浓度可改善着火稳定性,但同时也提高了飞灰含碳量增加 q_4 损失形成了鲜明对照。因为单纯提高煤粉浓度推迟燃烧空气适时混入,所以降低了燃烧效率。

一次风的空气/煤粉质量比,决定于干燥煤粉和输粉条件,一般该比值为 1.5-2.0。若达到本燃烧器的一次风煤粉浓度,输粉将有困难。所以,为了达到输粉要求,可在燃

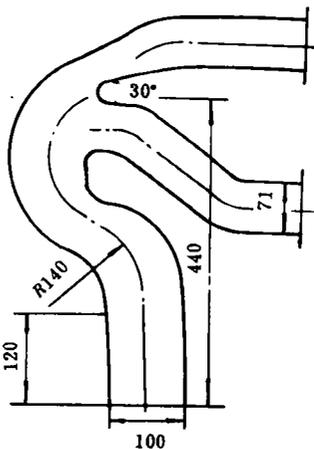


图 6 煤粉浓淡分离器

烧器入口处布置煤粉气流浓淡分离器。将煤粉气流分成浓淡两股送到燃烧器,保证浓气

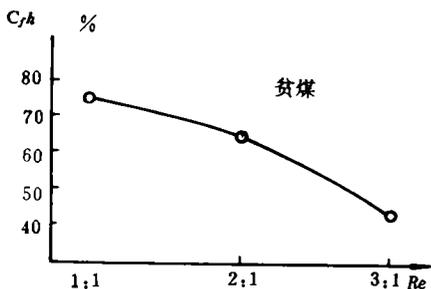


图 5 浓缩比对煤粉气流燃尽的影响

流的煤粉浓度。

哈尔滨工业大学热能工程教研室在 PM 燃烧器的基础上,通过冷态试验,已得到了该分离器的最佳结构特性,煤粉气流速度,煤粉浓度和粒度对分离效果的影响规律以及达到最低 NO_x 燃烧的最佳煤粉浓淡比。分离器的结构简图如图 6 所示^[6]。

3 结论

新型燃烧器的上述特点,可以较好地处理对无烟煤燃烧器四方面的要求,即燃烧稳定性好,较高的燃烧效率,有利防止结渣和降低 NO_x 排放量。

除燃烧器出口及一次风燃烧区域外,从

整体上看,与常用燃烧器没有差别,而在这一区域所采取的各项措施都已被国内外实践经验所证明。因此,这种燃烧器既是新型的,其技术又是成熟可靠的。

参 考 文 献

- 1 许晋源,徐通模.燃烧学.机械工业出版社.1980
- 2 西安热工研究所.阳罗煤试验报告材料.1989
- 3 郭晓宁.煤粉浓度对着火温度的影响.动力工程.1982(2)
- 4 何佩敦等.煤粉燃烧器设计及运行.机械工业出版社.1987
- 5 郑治余等.流体力学.机械工业出版社.1980
- 6 唐学光,庞丽君,秦裕琨等.低 NO_x 燃烧煤粉浓淡分离器的试验研究.动力工程学会大容量锅炉设计与运行经验交流会论文.1991

应用简讯

燃机用于油田回注

据“Gas Turbine World”1993年9~10月号报导,据说英国石油公司(British Petroleum)即将开发哥伦比亚新的大型原油储藏,这些油田的结构层中具有高品位的伴生气、天然气液体和冷凝液。

BP公司打算首先开采原油和可燃气体,通过回注甲烷提高石油的采收率和可能的将来商业使用(假定设置管道和液化天然气系统)。如果1994年进行钻井,估计油田约在1998年展开全面的生产,届时将需要37.0 MW燃气轮机回注功率,用来使甲烷的回注压力达到要求的10.34 MPa(表压)压力值。

作为研究的一部分,工程公司正在权衡重型结构燃机和航空改型燃机的运行和性能指标,包括利用率、可靠性和故障发生前平均工作时间。

【工程消息】

引进循环流化床锅炉

据“Modern Power Systems”1993年4月号报道,中国茂名石化公司已向Ahlstrom公司订购了二台热流循环流化床锅炉,合同金额为伍千万美元。

该装置将是由中国大型国营石油化工企业—Sinopec给予此化工厂二十亿美元投资的一部分。选订的热流锅炉能够燃烧当地高灰分低品位油页岩来生产电力。

据说,此装置是中国此种装置的第一台,将为茂名生产100MW工业用电,将于1995年开始商业运行。

(学斗 供稿)

CONTENTS

- (65) **A study on the Water Circulation Operation Reliability of a Vertical Topping Pulverized Coal-Fired Cyclone Boiler in Case of Low-Load Single Cyclone Operation**.....Zhou Yunlong, Jiang Ansheng, Hu Guang, Xia Guodong (*Northeastern China Electrical Engineering Institute*), Yan Dazhong, Pang Shuzhen, Xu lixin (*Power Plant of Jilin Chemical Engineering Co.*)

This paper gives a brief description of the water circulation test performed on a 180 t/h vertical topping pulverized coal-fired cyclone boiler. The test mainly aims at the verification of water circulation reliability during the low-load single cyclone operation. The results of the test have shown that in the case of simultaneous operation of two cyclones with the boiler load $D \geq 61\% D_0$ (D_0 stands for rated load) no water circulation problem will arise. In the case of single cyclone operation and another cyclone fed with heavy oil a stagnation will take place in the water-wall tubes when $D_0 \leq 45\%$ and there would be a lack of suitable conditions for a normal operation. During a load of $45\% D_0 < D < 50\% D_0$ a lowering of water circulation reliability will result, making it unsuitable for long-term operation. Under the condition of single cyclone operation and the other cyclone not fed with heavy oil a flow reversal in the water-wall tubes will appear when $D \leq 55\% D_0$ and the boiler is also rendered unsuitable for normal operation. **Key words:** *cyclone-fired boiler, water circulation, reliability, experimental study, low load*

- (70) **An Experimental Study of the Effect of Pulverized Coal Concentration on Flame Temperature** Chen Gang, Qiu Jihua, Zhang Zhiguo (*Central China Polytechnical University*)

Based on the mass action law and basic combustion theory the authors propose the application of a relatively high pulverized coal concentration for use in a pulverized coal-fired boiler in order to enhance the ignition zone flame temperature, thus achieving a more stable combustion. A combustion test was conducted on a single burner hot-state test stand, firing respectively the coal of Huangshi Electric Power Station and Luochuan Power Station and employing different values of pulverized coal concentration. **Key words:** *pulverized coal, high concentration, flame temperature*

- (73) **An Exploratory Study on the Combustion of Pulverized Anthracite Coal Characterized by Its Lateral High Concentration** Pang Lijun (*Harbin Institute of Technology*), Li yongtang (*Harbin Boiler Works*)

Based on a theoretical analysis and practical experiences the authors have come up with a new type of large-capacity boiler pulverized anthracite coal burner - lateral high concentration pul

verized anthracite coal burner. Such burners feature combustion stability, relatively high combustion efficiency and a desirable tendency of slagging prevention and low NO_x emissions. **Key words:** *pulverized anthracite coal, high concentration, burner*

- (79) **An Experimental Study of Factors Exercising An Influence on the Separation Efficiency of Internal Circulation Fluidized Bed** Wang Yongwu, Wang Huaibin, Chen Chongsu (*Harbin Institute of Technology*)

An experimental investigation was undertaken on a cold-state test model of the factors liable to have an effect on the separation efficiency of internal circulation fluidized bed. On the basis of an analysis of the test results an optimum range of secondary air feeding rate is given with the nozzle angle and layout mode being studied and discussed. **Key words:** *internal circulation, fluidized bed boiler, separation effectiveness, secondary air feeding rate*

- (85) **The Influence of Elevation above Sea Level on the Heat Transfer in Boilers** Che Defu, Hui Shi'en, et al (*Energy & Power Engineering Dept. of Xi'an Jiaotong University*)

Based on the currently available thermal calculation method for boilers analysed and discussed in this paper is the influence of elevation above sea level on the following: boiler furnace heat exchange, convection heat transfer coefficient, radiation heat transfer coefficient, flue gas physical properties and the heat transfer rate of the boiler as a whole. The general tendency of the above influence is also given. **Key words:** *elevation above sea level, heat transfer, boiler*

- (89) **A study on the Structure Optimization of Intensified-Heat-Transfer Elements** Li Weizhong, Mang Gang, Hu Lianxi (*Department of Mechanical Engineering of Fushun Petroleum Institute*)

From the viewpoint of energy comprehensive applications the structure size optimization of intensified-heat-transfer elements has been studied through the use of multi-objective mathematical programming. A suitable optimization method has been developed with the effect of weighted factor on optimization results also being analysed. As a result, the authors provide a major and highly scientific approach for the study, design and utilization of intensified-heat-transfer elements. **Key words:** *intensified-heat-transfer element, optimization, weighted factor, mathematical model*

- (93) **Two-dimensional Temperature Field Calculation of Electric Heating Tubes** Xu Jinliang, Chen Tingkuan (*Xi'an Jiaotong University*)

Taking account of the fact that due to the effect of natural convection the single-phase flow and two-phase flow in horizontal and inclined tubes will lead to a non-uniformity of tube wall heat transfer factor along the peripheral direction the authors have proposed a numerical calculation model for the electric heating tube two-dimensional temperature field by employing the technique of "radial node internal contraction" and solved the problem of inadequacy of inner wall surface boundary conditions by utilizing the two boundaries of the outer wall surface. In addition, the conception of parallel network resistance heat generation has been applied to deal with the non-uniform internal heat source item. With the help of the above-cited model pro