

# 余热多级动力回收系统及其优化

刘业奎, 王 黎, 严文君, 冯 霄

(西安交通大学 环境与化学工程学院, 陕西 西安 710049)

**摘 要:** 针对当前我国反应器余热资源过剩和热回收不完全的现状, 在余热单级动力回收的基础上, 提出余热的多级动力回收, 并对多级动力回收系统以输出功率最大为目标函数进行优化, 结果表明多级动力回收系统的余热回收效果明显优于单级回收系统。

**关 键 词:** 动力回收; 余热; 优化; 多级; 模型

中图分类号: TK11 文献标识码: A

## 1 前 言

在节能的研究与实施中, 余热的回收是一项非常重要的内容, 特别是在我国余热资源很富余, 据统计余热量占总能耗的 20% 以上<sup>[1,2]</sup>。这部分能量通常使用冷却水直接冷却, 没有得到合理的利用。在余热的回收利用中, 如果有适当的热用户, 应首先考虑余热的热回收。若没有合适的热用户, 就需要考虑其它方式的回收, 其中, 余热的动力回收是一种可以考虑选择的方式。

在可动力回收的余热中, 特别要考虑的是反应热的回收。因为反应热通常具有一定的温位, 而且流出反应器的物流流量较大即热量集中, 回收热量所需的投资相对减少。

近年来, 国内外学者对余热动力回收的研究都相当的活跃, 同时建立了大量的单参数或多参数的数学模型以进行系统优化。国内这方面的研究如文献[1]对余热发电工程中热力系统优化提出了必须方案对比, 择优选择的方法, 以输出功率最大为目标函数, 进行单级动力回收系统优化; 文献[3]对柴油机发电机组余热发电的经济性进行分析, 文献[4]对余热发电系统进行了多目标优化设计, 引入最大输出功率和最小投资双目标对 12 800 t 货轮发动机排放尾气的单级余热动力回收系统进行优化设计等

等。国外在这方面的研究以美国和日本最为活跃, 如文献[5]以余热发电回收的有用能为目标函数, 通过调整蒸汽进出膨胀机的温度来获得最大值, 对余热发电系统进行优化设计; 文献[6]对涡轮机排气余热发电系统经济性进行了评估等等。

研究发现随着蒸汽压力等级的下降, 余热回收系统回收的热能越多, 但系统输出的功率却随着压力的降低呈现出如图 1 所示钟形的趋势, 即对于余热单级动力回收系统, 输出功率存在一个最大值。

迄今为止, 所有有关的研究都集中在单级动力回收系统的优化上, 对于多级动力回收系统的研究至今还未曾见过报道。然而研究表明在回收相同热量情况下, 多级动力回收系统的输出功率明显要比单级系统高。

本文在余热单级动力回收系统的基础上, 针对反应余热, 提出多级动力回收系统及其优化的方法。

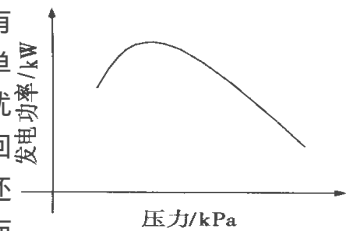


图 1 余热单级动力回收系统蒸汽压力与输出功率的关系

## 2 余热多级动力回收系统

通常反应热的移出有两种形式: (1) 反应热在反应器中利用换热管等直接从反应器中移出; (2) 反应热随着反应产物一起带出反应器后被冷却。由于生产实际中, 大部分的反应热都是随着反应产物带出的, 因而本文主要讨论反应热随着出反应器物流带出的余热动力回收及其优化问题。目前国内的大部分化工企业反应器流出物的温度都在 200 °C 以上, 前期的技术改造中, 一般都回收一级蒸汽, 经过一级

换热的物流温度还在 180℃ 左右, 之后都以废热的形式对待, 直接用冷却水冷却。而且企业生产中产生的余热富余, 没有适当的热用户, 这部分能量就应该考虑动力回收。

出反应器物流在被冷却过程中, 物流的相态变化一般为两种情况, 一种为有相变, 另一种为无相变。在计算出反应器物流余热回收量时, 无相变的情况相对比较简单。对于有相变的情况, 就需要考虑到各组分的相变热和发生相变的组分摩尔数。

图 2 中曲线 I 表示了某反应热的状况, 该曲线下的面积为该反应过程放出的热量。若采用一级回收, 则可回收的热量为图 2 中虚线矩形面积; 若采用两级回收, 则可回收的热量为图 2 中两实线矩形面积; 系统的级数

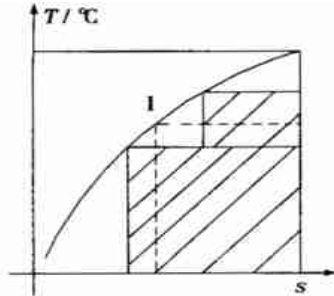


图 2 余热物流的温熵图

越增大, 所回收的热量越接近所放出的余热。同时, 在相同热量下, 高温位的蒸汽所产生的动力也相应的增加, 所以系统输出动力也会随着级数的增加而相应的增长。例如, 对于国内某厂反应器尾气带出的余热, 其余热的表达式可以简单表示为:

$$\Delta H_{\text{余}} = \int_{T_0}^T c_p dT \quad (1)$$

其中:  $c_p$  代表携带余热物流的热容流率, 为 113 kW/℃;  $T_0$  一尾气冷却终温, 为 40℃;  $T$  一尾气初温, 为 178.4℃。

目前该余热经第一级换热产生一级蒸汽后, 尾气的出口温度还在 178℃ 以上, 这部分余热被以废热的形式处理掉。

若将这部分的能量回收再产生 1~2 级蒸汽用于产生动力进而得到表 1 的结果, 表 1 比较了单级与两级动力回收时的输出功率。可见, 当合理选择两级的压力时, 输出功率可以明显增长。

由以上的论述可知, 多级动力回收要比单级回收效果明显, 而且回收的级数越多效果越好。但从经济上考虑, 动力回收级数越多, 设备的投资也要相应的成倍增加, 只有余热具有足够高的温位和充足的热量, 使每级所输出的动力均达到经济容量, 多级动力回收才是可行的, 若这两种条件不能同时满足

时, 单级动力回收应该作为首选的方案。实际企业中待回收的余热一般温位相对较低, 因而一般最多采用两级动力回收。

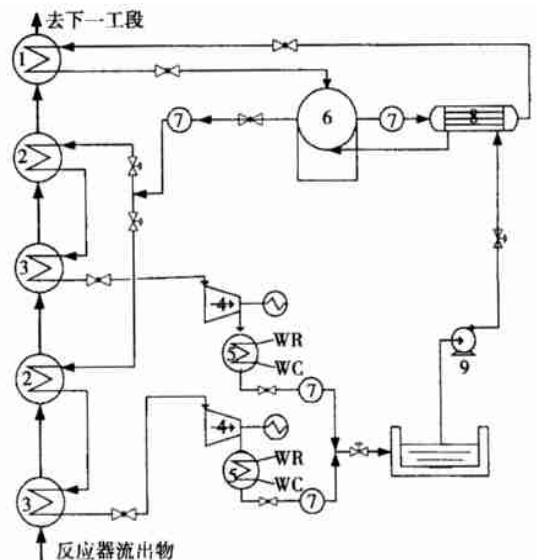
表 1 单级与两级动力回收系统输出功率对照表

单级动力回收	蒸汽压力/kPa	200	250	300	350	400	500
	输出功率/kW	12556	12333	11889	11139	10694	6083
两级动力回收	一级压力/kPa	200	250	300	350	400	500
	二级压力/kPa	200	200	200	200	200	200
	总输出功率/kW	12556	13306	13861	14417	14889	13528

多级动力回收发电系统输出功率要比单级的高, 然而多级回收系统也存在着输出功率的最大值问题, 以两级回收系统为例, 两级蒸汽的压力并不是可以任意选择的, 如表 1 所示, 在第一级蒸汽为 500 kPa、第二级压力为 200 kPa 下, 总输出功率要比第一级蒸汽为 400 kPa、第二级压力仍然为 200 kPa 下的输出功率降低了。因此, 多级动力回收也存在优化问题。

### 3 建立优化数学模型

针对两级动力回收系统, 建立系统优化的数学模型。考虑到设备投资在低温余热动力回收系统中随着蒸汽压力的变化不大, 因此就以整个发电系统的输出功率为目标函数对该系统进行优化。



1-余热回收器; 2-省煤器; 3-蒸汽发生器; 4-汽轮机; 5-冷凝器; 6-蒸汽储罐; 7-在线泵; 8-原料水预热器; 9-离心泵

图 3 反应器流出物余热回收发电系统工艺简图

图 3 给出一个反应器流出物余热产生两级蒸汽进行动力回收的典型系统。理论上,提高汽轮机出口处的真空度,可以减少被循环冷却水带走的热量,提高汽轮机的热效率,提高蒸汽做功的能力。但考虑到循环冷却水温度的限制,一般认为凝汽器出口凝液的温度在 34 °C 左右比较合适<sup>[7]</sup>。

根据以上的分析,以系统输出总功率最大作为最优化的目标函数,以出反应器物流携带的余热作为一个约束条件,建立数学优化模型确定两级蒸汽的初压。

则低温余热两级动力回收系统优化问题可以表示为:

$$\max E = W_1(P_1, P_0, m_1, \eta_1) + W_2(P_2, P_0, m_2, \eta_2) \quad (2)$$

约束条件: (1)  $P_0 < P_2 < P_1 < P_{\max}$   
 (2)  $(\Delta H_1 + \Delta H_2) \leq \Delta H_{\text{余热}}$

式中:  $P_1$  和  $P_2$  — 待确定的两级蒸汽压力, kPa;

$E$  — 两级动力回收系统总输出功率, kW;

$P_{\max}$  — 欲回收余热物流初温下, 水蒸气的饱和蒸汽压, kPa;

$P_0$  — 末级膨胀机出口处蒸汽的饱和压力, 一般在 5.5 kPa 左右<sup>[7]</sup>;

$\eta$  — 机组效率;

$m_1, m_2$  — 相应回收压力下蒸汽的流量, 与该级蒸汽的所能回收的能量多少有关。

这个模型的求解是个相当复杂的过程, 需要搜索求解。在搜索过程中, 两级蒸汽初值的确定非常重要。两级蒸汽初值确定和求解过程简单地可以表示为以下的几个步骤:

(1) 对单级动力回收系统进行优化, 确定最优的回收压力  $P_{\min}$ ;

(2) 以单级动力回收系统的最优压力作为两级动力回收系统第二级蒸汽压力的初值记为  $P_2 = P_{\min}$ ;

(3) 设回收的第一级蒸汽压力为  $P_1$  ( $P_1$  的初值应靠近  $P_{\max}$ );

(4) 按照式(3)或式(4)分别计算第一级蒸汽与第二级蒸汽所带走的热量, 即  $\Delta H_1$  与  $\Delta H_2$  的值;

反应器流出物冷却时:

有相变: 
$$\Delta H = \sum_{i=1}^n \int_{T_0}^T g_i c_{p_i}^g dT + \sum_{i=1}^n g'_i \alpha_i +$$

$$\sum_{i=1}^n \int_{T_0}^T L_i c_{p_i}^L dT \quad (3)$$

无相变: 
$$\Delta H = \sum_{i=1}^n (m_i \int_{T_{\text{初}}}^{T_{\text{终}}} c_{p_i} dT) \quad (4)$$

其中:  $m_i$  —  $i$  组分气相摩尔流量,  $g'_i$  —  $i$  组分气相冷凝为液相部分的摩尔流量,  $L_i$  —  $i$  组分流相的摩尔流量;

(5) 根据  $\Delta H_1$  与  $\Delta H_2$  分别计算两级压力下蒸汽的产量即确定  $m_1, m_2$  的值;

$$m_i = \frac{\Delta H_i}{\int_{T_c}^{T_i} c_p dT + \alpha_i} \quad (5)$$

式中:  $T_c$  — 水的初温 (一般取凝汽器出口凝液的温度);  $\alpha_i$  — 相应压力下饱和水蒸气的潜热,  $T_i$  — 相应压力下饱和水蒸气的温度;

(6) 按照式(6)计算系统输出功率, 并记录:

$$E = W_1(P_1, P_0, m_1, \eta_1) + W_2(P_2, P_0, m_2, \eta_2) \quad (6)$$

(7) 返回到(3)按照适当的步长减小  $P_1$  值, 重新计算, 直到输出功率出现最大值为止, 并记录;

(8) 返回到(2)按照适当的步长减小第二级蒸汽压力  $P_2$  值, 重新计算, 直到最后得到真正的输出功率最大值结束, 记录  $P_1, P_2$  和输出的功率  $E$  值。

上述最优化问题是一个复杂的有约束非线性最优化问题。计算模型的求解过程也是相当复杂的, 必须编制计算机程序进行求解。为了使优化模型收敛得更快, 应事先进行数值处理和简化, 这样就可以大大提高计算的效率。在出反应器物流有相态变化时, 为了确定出反应器物流被冷凝过程中气相与液相的组成和流量, 就需要用到相应温度下出反应器物流中各组分的相平衡常数。应该尽可能收集每一温度下各组分的相平衡常数。若相平衡常数实在有限, 可以按照牛顿插值或三次样条插值的方法, 把相平衡常数变成温度的连续函数, 作以近似。若无相态变化, 就可以很简单地计算得到回收余热, 然后用以上循环搜索法进行计算。选取第二级蒸汽压力的初值时, 其压力应该参照单级动力回收系统的最优值, 因为两级动力回收系统的第二级蒸汽的压力偏离最优值不是很大。而后按照适当的步长 (步长一般取 2 Pa 比较合适<sup>[9]</sup>, 如果要求更高精度可以再小) 减小, 用以上循环搜索法对非线性问题进行优化求解。

## 4 实例研究

以某生产聚酯单体装置反应器出口尾气余热回收发电装置为例, 反应热随着反应生成的尾气带出反应器, 反应尾气中富含溶剂、水、生成物、部分的副产物和部分没有参加反应的原料等, 尾气出口的温度为 198 °C, 经过一级换热产生一级蒸汽后, 出换热器尾气的温度为 178.4 °C。生产中因低温余热富余, 因而直接用冷却水冷却至 40 °C。尾气在被冷凝过程中是一个有相变的过程, 随着温度的降低组分会部分地冷凝为液态, 放出大量的潜热。由于这股物流的温度还是比较高, 而且有足够的热量, 故考虑余热两级动力回收, 并应用本数学模型进行优化设计。以下分别使用反应余热单级动力回收系统与两级动力回收系统的优化模型进行计算, 计算结果如表 2 所示。

表 2 单级与两级优化结果比较

单级动力回收系统	蒸汽压力/kPa	150	165	200	250	300	400
	输出功率/kW	12 691	12 978	12 556	12 333	11 889	10 694
两级动力回收系统	第一级压力/kPa	450	200	300	400	430	450
	第二级压力/kPa	160	158	158	158	158	158
	输出功率/kW	16 205	13 389	14 444	16 056	16 439	16 083

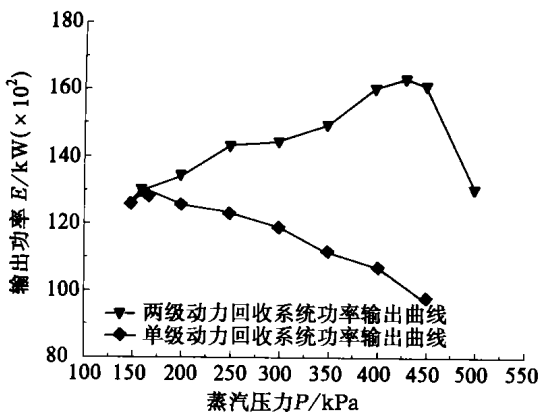


图 4 单级动力回收系统与第二级最优压力下两级动力回收系统输出功率曲线图

图 4 中两级动力回收系统功率输出曲线横坐标表示的是第一级蒸汽的压力, 其第二级蒸汽的压力为最优压力 158 kPa。在两级蒸汽回收下输出功率明显高于一级蒸汽回收系统, 两级动力回收系统的第一级蒸汽输出功率为 8 528 kW, 第二级蒸汽的输出功率 7 611 kW。如表 3 所示结果可知, 两级动力

回收系统的最大输出功率为 16 139 kW, 比单级回收系统的最大输出功率 12 978 kW 高大约 24%。可见, 优化后的两级动力回收系统比单级动力回收系统节能效果明显。

## 5 经济性分析

多级动力回收系统与单级动力回收系统相比设备的投资通常是成倍的增长, 如上述生产单位的工艺情况, 两级动力回收系统的设备投资约为单级系统的 1.8 倍。因此, 在考虑多级余热动力回收系统时应该首先考虑余热资源的温位和可回收能量的多少进行综合的评估计算, 使每级所输出的动力均达到经济容量, 多级动力回收才是可行的。

以上述生产厂为例, 根据该厂的生产工艺情况, 考虑到该厂地区的劳动力成本、地理条件和设备的市场价格等综合因素计算得到两级动力回收系统的投资费用约为 1 900 万 RMB。电价按照 0.3 元 RMB/(kWh) 计算, 该厂两级动力回收系统每年可以获得经济效益 3 400 万 RMB 以上, 设备的投资回收期不足一年。虽然单级动力回收系统的年经济效益约为 2 700 万 RMB, 投资回收期亦不足一年, 但净收益却明显不如两级回收系统。由此可见, 对于本实例, 两级动力回收系统在经济效益上要明显的好于单级余热动力回收系统。

## 6 结 论

(1) 对余热利用现状进行了分析, 提出低温余热富余情况下多级动力回收的方案, 并对余热单级与多级动力回收系统输出的最大功率进行比较, 发现余热多级动力回收系统的最大输出功率明显大于单级动力回收系统, 而且多级动力回收系统同样存在最优化的问题。

(2) 针对两级动力回收系统建立数学优化模型, 并应用此模型进行实例研究, 由优化后的结果可知, 此模型对两级动力回收系统达到了优化, 其最大输出功率较单级动力回收系统提高了 24% 之多, 说明了此模型的科学性与有效性。

(下转第 576 页)

### 3.3.4 减小叶片顶部冲角

如何控制顶部大分离区的流动,始终是改型设计考虑的主要问题。减小气流在叶片顶部的冲角是削弱顶部分离的有效措施之一。在叶顶附近,原型几何进气角为 $90^\circ$ ,对应进气冲角为 $0^\circ$ ,而改型几何进气角为 $75.1^\circ$ ,对应进气冲角为 $-14.9^\circ$ ,因此改型在叶顶附近分离区气流的膨胀加剧,从而使分离区的低能流体更容易加速进入主流区,并随主流一起向下游发展,吸力面的流动改善。由图 11(b)可见,改型吸力面附近低速区变薄,边界层损失低于原型。此外,如图 10(c)所示,改型流道前部横向压差远小于原型,减少了分离区流体向吸力面角区的聚集,同时配合顶部正弯,顶部损失也有较大幅度减少。

## 4 结 论

首先,改型出口能量损失比原型有较大幅度降低,气动性能明显改善。其次,对低压导向器通流部分进行精细化设计,包括选择端壁型线、改进叶型、叶片弯扭三维成型等,即优化流道几何参数,可使叶栅流道空间的压力分布更趋合理,并进一步减少流动损失。本文中子午上端壁等速度梯度曲线、后部加载叶型以及正弯叶片等几何参数得到了较好匹配。

### 参考文献:

- [1] 宋彦萍. 弯扭叶片的主要研究成果及其应用[J]. 热能动力工程, 1999, 14(81): 159-163.
- [2] ARNO DUDEN. Controlling the secondary flow in a turbine cascade by 3D airfoil design and endwall contouring[R]. ASME Paper, 98-GT-72, 1998.
- [3] ARNO DUDEN. The secondary flow field of a turbine cascade with 3D airfoil design and endwall contouring at off-design incidence[R]. ASME Paper, 99-GT-211, 1999.
- [4] YAN J. Secondary flow reduction in a nozzle guide vane cascade by non-axisymmetric end-wall profiling[R]. ASME Paper, 99-GT-339, 1999.
- [5] 安柏涛, 韩万今, 芦文才, 等. 子午扩压对环形叶栅流道内旋涡发生和发展的影响[J]. 航空动力学报, 2000, 15(4): 361-365.
- [6] 安柏涛, 韩万金, 王松涛, 等. 大扩张角子午流道型线对损失的影响[J]. 推进技术, 2000, 22(3): 332-335.
- [7] 王松涛, 袁 宁, 王仲奇, 等. 具有 TVD 性质的三阶精度 GODUNOV 格式在粘性流场计算中的应用[J]. 工程热物理学报, 1999, 20(3): 299-303.
- [8] 王松涛, 吴 猛, 王仲奇, 等. 通道涡结构稳定性对损失的影响[J]. 工程热物理学报, 2000, 21(4): 425-429.
- [9] HAN WANJIN. Effects of leaning and curving of blades with high turning angles on the aerodynamic characteristics of turbine rectangular cascades[J]. Trans of the ASME Journal of Turbomachinery, 1994, 116: 417-424.

(辉 编辑)

(上接第 567 页)

### 参考文献:

- [1] 萧汉才, 李 可. 余热发电工程中热力系统方案选择的研究[J]. 长沙电力学院学报(自然科学版), 2001, 16(1): 1-3.
- [2] 和 平. 全国节能计划与基建工作会议在京召开[J]. 1994(4): 52.
- [3] 叶剑明, 陈汝棧. 余热发电的经济性分析[J]. 动力工程, 1994, 5(14): 1-4.
- [4] YE FEIFAN. Multi-objective optimization of waste heat recovery turbo-generating system[J]. 宁波大学学报, 1996, 9(1): 30-36.
- [5] PYONG SIK PAK, ARMA T. Oposal and characteristics evaluation of a power generation system utilizing waste heat from factories for load leveling[J]. Inst Elektra Eng 2000 120(B): 10-28.
- [6] PYONG SIK PAK, SUZUKI Y, KOSUGI T. Evaluation of characteristics and economics of a CO/sub 2/-capturing H/sub 2/O turbine power generation system utilizing waste heat from a garbage incineration plant[J]. Inderscience Enterprises, 1998 11: 1-4.
- [7] 李燕生, 陆桂林, 向心透平与离心压缩机[M]. 北京: 机械工业

出版社, 1987.

- [8] 王 伟, 周 健, 蒋建国. 城市垃圾焚烧发电系统热平衡分析与优化方案[J]. 城市环境与城市生态, 2002, 15(3): 1-3.
- [9] YOUNG J B. An equation of state for steam for turbo machinery and other flow calculations[J]. J Engng Gas Turbine Pow, 1988, 110(1): 1-7.
- [10] 何勤伟, 李真泽, 吴协恭. PTA 装置节能[J]. 聚酯工业, 2002, 15(2): 1-4.
- [11] 谭天恩, 麦本熙, 丁惠华. 化工原理: 上册[M]. 第 2 版. 北京: 化学工业出版社, 1990.
- [12] LIHNETSKIL V V. An algorithm for calculating the thermodynamic properties of steam by computer[J]. Thermal Engineering, 1986 33(4): 205-208.
- [13] 陈兴华. 数学模型[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1994.
- [14] 谭浩强. C 程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [15] 陈明达, 凌永祥. 计算方法[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1996.
- [16] 冯 霄, 李勤凌. 化工节能原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.

(辉 编辑)

emerge with regard to the definition of the exergy efficiency. In such a case a similar method for coping with the defect can be put into use. **Key words:** exergy efficiency, definition method, analysis, mathematical expression, heat pump  
壳管式海水换热器污垢状况的可用评价方法研究 = **An Investigation of the Method for Evaluating the Exergy Loss Relating to a Shell-and-tube Seawater Heat Exchanger Fouling Condition** [刊, 汉] / JIANG Zhu-xing, LIU Xiao-hong (Guangzhou High Technical School of Navigation, Guangzhou, China, Post Code: 510725) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(6). — 558 ~ 560

An analysis is given of the impact, which the fouling of a shell-and-tube seawater heat exchanger at the tube side and the resulting changes in heat transfer intensity and flow pressure drop will have on the exergy loss of the heat exchanger. A method is proposed to evaluate heat exchanger fouling condition by making use of the exergy loss factor. This method has been found to be more comprehensive and straightforward for evaluating heat exchanger fouling than the one based on heat resistance detection and measurement. **Key words:** heat exchanger, exergy loss, fouling

城市污泥和煤混燃特性的热重分析法研究 = **A Study of the Characteristics of Mixed Burning of Municipal Sewage Sludge and Coal by a Thermogravimetric Method** [刊, 汉] / GU Li-feng, CHEN Xiao-ping, ZHAO Chang-sui, et al (Education Ministry Key Laboratory on Clean Coal Power Generation and Combustion Technology under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(6). — 561 ~ 563

A thermogravimetric method is employed to study such parameters as ignition temperature, activation energy and comprehensive combustion characteristics in connection with the burning of municipal sewage sludge and coal as well as their blends. The result of the study indicate that as compared with the case of burning only coal the combustion of blends has resulted in an enhanced activation energy with a lowering of the ignition temperature and a reduction of comprehensive combustion performance. During the blend burning process the municipal sewage sludge and coal have basically maintained their respective devolatilization characteristics with the coal burning exhibiting a more conspicuous behavior in this respect. **Key words:** municipal sewage sludge, coal, mixed combustion of sewage sludge and coal, thermogravimetric method

余热多级动力回收系统及其优化 = **Waste Heat Multi-stage Recovery System and It Optimization** [刊, 汉] / LIU Ye-kui, WANG Li, YAN Wen-jun, et al (College of Environmental and Chemical Engineering under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(6). — 564 ~ 567, 576

Taking into account the commonly seen phenomenon of incomplete recovery of waste heat from reactors a multi-stage system of reaction heat recovery is proposed based on a single-stage system of waste heat recovery. With the net power output serving as an objective function an optimization of the multi-stage recovery system was conducted. It can be demonstrated that the multi-stage system of waste heat recovery is markedly superior as compared to the single-stage one in terms of heat recovery efficiency. **Key words:** heat recovery, waste heat, optimization, multiple stage, model

离心叶轮内三维湍流流场的数值分析 = **Numerical Analysis of a Three-dimensional Turbulent Flow Field in a Centrifugal Impeller** [刊, 汉] / TAN Da-zhi, YUAN Xin (Department of Thermal Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(6). — 568 ~ 571

Through the use of a LU-SGS-GE implicit scheme and an improved version of high-order MUSCL TVD scheme and by solving for a full three-dimensional compressible Reynolds time-averaged Navier-Stokes equation and low Reynolds number  $q-\omega$  dual equation turbulent flow model calculated is the complicated three-dimensional flow in the impeller passage of a centrifugal compressor. The results of the calculation are in good agreement with those obtained by tests. This shows that