

煤的太阳能干馏的可行性及 干馏炉的设计探讨

王助良
(江苏理工大学)

〔摘要〕 论述了太阳能作为煤干馏的高温热源是可行的,通过传热分析和综合评述,阐明了新型的太阳能干馏炉的优点及实际应用中需要解决的问题。

关键词 太阳能 干馏炉 干馏
分类号 TK519 TQ523.2

0 前言

煤是地球上有限的能源资源,煤的综合利用是减少能源资源浪费,保护环境的有效措施。目前,比较行之有效的综合利用方法是对煤进行低温干馏,尤其是褐煤和烟煤,其干馏后可回收焦油和煤气,作为生产优质液态和气态能源的原料或生产化工产品的原料,半焦作为冶金原料或锅炉原料或其它产品,做到物尽其用。

干馏方法目前有十几种^[1],无论是工业化的,还是处于试验阶段的,都是将一部分煤燃烧产生的热量来加热需要干馏的煤,这种方式的干馏,要消耗大量额外的煤,以及水、电和人力等,并造成一定的环境和大气污染。

太阳能是一种取之不尽,用之不竭的再生能源,每年到达地球表面的辐射能约为世界年消耗各种能量总和的2万倍^[2],而且不存在运输问题。如果把太阳光转变成热能用作煤干馏的高温热源,并能达到干馏的目的,那么从整个能源利用系统来说,就能节省大量的有限矿物原料,并能使由此引起的环境及大气污染降到最低程度,就能克服单纯利用太阳能的各种限制。

1 煤的太阳能干馏的可行性

煤进行干馏需要一定的条件,即高温热能和隔绝空气。这两个条件,从目前的太阳能应用水平来说是容易实现的。第一,塔式太阳能聚光系统和抛物面镜系统是目前太阳能电站获得大功率热能和动力的有效途径,在一定规模的基础上,这种形式的聚光系统能提供维持煤进行干馏所需的高温热能。图1是聚光比与吸收体表面温度的关系^[3]。从图中可以看出,塔式聚光系统和抛物面镜聚光系统,在某一聚光比时,吸收体温度随 T/λ 的增大而提高。因此,降低吸收体在高温下的辐射率,就可以在较低的聚光比条件下,达到比较高的温度,从而维持煤的干馏。在其聚光比下,吸收体焦面上的热流密度可达 $250\sim 1200\text{ kW/m}^2$,这个热流密度分散在干馏炉火道内,完全能满足常规干馏的热流密度 $4\sim 15\text{ kW/m}^2$ 。第二,太阳光以辐射的形式传递能量,容易做到在隔绝空气的条件下对煤进行加热干馏,而且传热热阻非常低。D. W. Gregg等人^[4]在 23 kW 的太阳炉上成功地将褐煤进行气化,生产出水煤气就充分地说明了这一方案的可行性。

2 煤的太阳能干馏炉结构设计

煤的太阳能干馏系统主要由两部分组成:太阳能的集热系统和干馏炉。

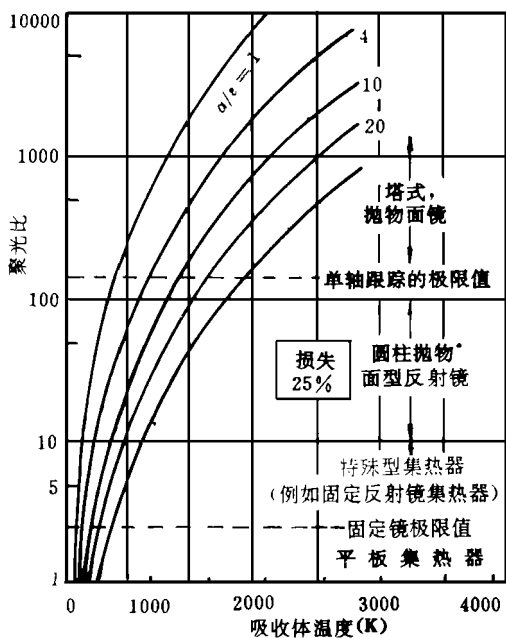


图1 聚光比与吸收体表面温度的关系

2.1 集热系统

集热系统采用运行可靠的塔式聚光系统。该系统在聚光比约 1000 的条件下,就能得到干馏所要求的高温热能。塔式聚光系统是由许多个反射太阳光的平面镜组成,被反射的太阳光汇聚于干馏炉的石英玻璃窗前,并透过石英玻璃窗,在炉内转变为热能。由于太阳的位置和光能密度随时间变化,需设计平面镜的自动跟踪机构,使反射的太阳光汇聚点的位置基本不变,并且自动增加或减少平面镜采光的数量,来维持干馏炉内恒定的热流密度。目前塔式聚光系统是太阳能电站上使用的成熟技术,其平面反光镜称为定日镜。

集热系统所设计的平面镜采光面积与干馏炉的干馏能力、所用煤种的性质、当地太阳辐射能、干馏炉本身的结构等有关,相互之间的关系必须协调一致。例如,以肥煤或气煤为原料生产城市煤气时,干馏每公斤煤需要 2850~3000 kJ 的热量^[3],假定当地的太阳辐射能为 650 W/m^2 ,太阳能的转化利用率为 20%,那么设计 1000 m^2 的有效采光面积的平面镜,每小时所提供的热能可干馏约 600 kg 的煤,产生约 230 m^3 的干馏炉气以及 420 kg 焦和一些副产品,如焦油、粗苯等。

2.2 干馏炉

太阳能干馏炉是一种新型干馏炉,其结构简图如图 2 所示,它由三个主要部分组成:石英玻璃窗、火道和干馏室。

石英玻璃窗 是炉内热能来源通道,让聚光系统聚集的太阳光透过,进入干馏炉的火道。为了减少进入炉内的热能辐射出来,在石英玻璃窗上涂有选择性透过涂层。石英玻璃窗同时起隔绝空气的作用。

火道 吸收透过石英玻璃窗的太阳光的区域,并通过吸收体把吸收的太阳光转变为高温热能,均匀分布在火道内,用来加热干馏室内的煤。为了高效地把太阳光转化为热能,减少高温辐射,在火道内设置涂有选择性吸收涂层的吸收体,吸收体在火道内,沿纵深方向截面逐渐增大,形成梯形结构,使吸收的能量沿纵深方向均匀分布。

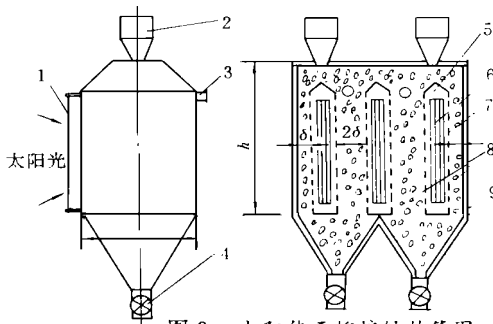


图2 太阳能干馏炉结构简图

图2 太阳能干馏炉结构简图

1. 石英窗 2. 料斗 3. 出气口 4. 排料阀 5. 火道
6. 火道吸收体 7. 间隔式空心砖墙 8. 煤 9. 炉体

干馏室 是煤干馏的区域。煤干馏所需的热量来自于火道,为了减少这一传热热阻,火道与干馏室之间采用间隔式空心砖结构墙,如图 3 所示,这样火道内的吸收体吸收的太阳能几乎直接通过辐射的形式传递给干馏室内的煤。干馏室宽度较窄,便于缩短干馏时间。

干馏炉是由许多火道和干馏室组成,图 2 是三道干馏炉,不粘结性的粉煤 ($0 \sim 10 \text{ mm}$) 由料斗加满干馏炉后,一定面积的定日镜反射太阳光,通过石英窗孔聚光于干馏炉内的火道里,形成高温热能,通过直接(墙空心通道)和间接(墙的实心)形式加热煤,产生的高温煤气由其墙的间隙进入火道,后经煤气出口排出,当干馏室中心达到规定的温度时,整个干馏过程完成,即可进行排焦和再装粉煤,此过程重复进行。

3 干馏过程的传热分析

煤干馏所需热源来自火道内吸收体吸收聚光的太阳能,干馏室内煤的温度在不同的时间,距壁面不同的位置都是不同的,可看成是时间和空间的函数。在干馏室内,煤料之间的对流和辐射传热只占次要地位,可以忽略不计,因此煤料的传热过程可看成是不稳定的导热过程。假定导温系数 a 是常数,不考虑干馏室长度和高度方向的温差及干馏过程中的反应热,忽略空心砖墙形成的热阻,那么干馏室内煤料的传热过程可看成是一空间无限大的平板不稳定导热过程^[1],如图 4 所示,其导热微分方程为:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \tag{1}$$

T ——干馏室内煤料温度,℃;
 x ——距干馏室中心面的距离,m;

a ——导温系统, m^2/h ;

t ——煤受热时间,h;

初始条件: $T(x,0) = T_0$ (2)

边界条件: $-\lambda \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} = q(t)$ (3)

式中

T_0 ——环境温度,℃;

$q(t)$ ——热流密度, kW/m^2 ;

λ ——导热系数, $W/(m \cdot ^\circ C)$;

假定火道壁面热流密度 $q(t) = q$,不随时间变化,引用相对温度 $Q(x,F_0) = \lambda(F - T_0)/qW$,无量纲参数

$X = \frac{x}{W}$ 及 $F_0 = \frac{a \cdot t}{W^2}$,则上述微分方程和定解条件下如下:

$$\frac{\partial \theta}{\partial F_0} = \frac{\partial \theta}{\partial X^2} \tag{4}$$

初始条件: $F_0 = 0, \theta_{X=0} = 0$ (5)

边界条件: $F_0 > 0, \frac{\partial \theta}{\partial X}|_{X=\pm 1} = \pm 1$ (6)

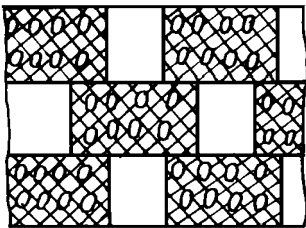


图 3 间隔式空心砖墙示意图

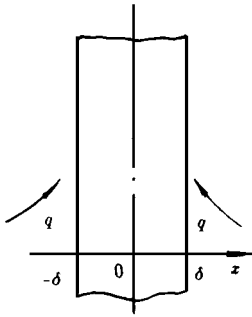


图 4 干馏室对称受热时坐标的选取

上述微分方程的解为:

$$\theta_{(X,F_0)} = F_0 + \frac{X^2}{2} - \frac{1}{6} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{K_n^2} (-1)^{n+1} \cos(K_n X) e^{-K_n^2 F_0} \tag{7}$$

式中: $K_n = n^c, n = 1, 2, 3 \dots$

对无限大平板,当 $F_0 > 0.3$ 时,式(7)后面的无穷级数趋近于零,此时式(7)可简化为:

$$\theta_{x,F_0} = F_0 + \frac{X^2}{2} - \frac{1}{6} \tag{8}$$

或 $T = T_0 + \frac{qW}{\lambda} \left[\frac{a \cdot t}{W^2} + \frac{1}{2} \left(\frac{X}{W} \right)^2 - \frac{1}{6} \right] \tag{8'}$

当 $X = 0$ 时,干馏室中心面温度:

$$T_c = T_0 + \frac{qW}{\lambda} \left(\frac{a \cdot t}{W^2} - \frac{1}{6} \right) \tag{9}$$

中心面达到所要求干馏温度 T_{c0} 所需时间:

$$t = \frac{W^2}{a} \left[\frac{(T_{c0} - T_0)\lambda}{qW} + \frac{1}{6} \right] \tag{9'}$$

煤的平均干馏温度:

$$T = \frac{1}{2W} \int_{-W}^W T dx = \frac{aq \cdot t}{\lambda W} + T_0 \tag{10}$$

如果设计干馏室的宽度 $2W = 400 \text{ mm}$,假定进行低温干馏, $T_{c0} = 700^\circ C$,热流密度 $q = 11 \text{ kW/h}$,那么干馏室内煤距中心面的不同位置,在某一时刻,其温度变化情况如图 5 所示。从图 5 可看出, W 越小,完成干馏所需的时间越短,提高热流密度,完成干馏所需的时间会更短。但热流密度的提高,必须考虑火道内材料的承受能力。

4 综合评述

4.1 传统的间隔式干馏炉,热量的传递需经过隔绝

空气的耐火砖墙,才能传到炉内的煤料,传热热阻较大,干馏时间长。而太阳能干馏炉可以保证在隔绝空气的条件下,把火道内的热量通过辐射直接传递给煤料,热阻很小,需要的干馏时间根据干馏室的设计干馏煤层的厚度来定。传统的外热式干馏炉的干馏时间,一般在8小时以上,而太阳能干馏炉的干馏时间,在规模生产上,可控制在4小时以下。

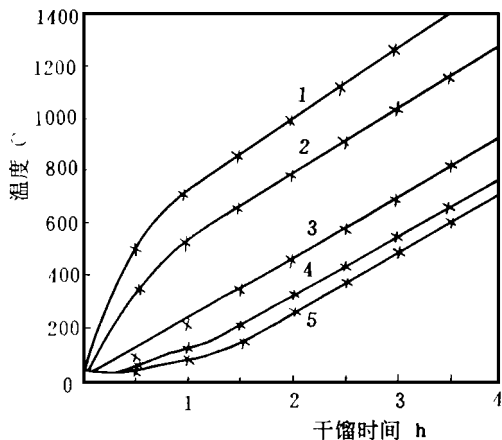


图5 干馏室内煤的温度变化情况

1 2 3 4 5分别对应 $x = 200\ 150\ 100\ 50\ 0$
处的温度变化曲线

4.2 不象传统的外热式干馏炉,用燃煤产生的热量来加热干馏室内的煤,而太阳能干馏炉用聚集的太阳光的能量来干馏煤,从而节省了大量的常规能源,以及提供该热量所需的大量人力、水电及投资的辅助设施,减少环境及大气的污染。

4.3 投资及运行费用方面。传统的干馏系统,其投资包括两个主要部分,即干馏炉和煤气发生炉及其辅助设施,运行时,需消耗大量的煤提供热量,以及人力、水电和环境清洁费用等,产品的成本比较高。太阳能干馏炉也包括两个部分,即干馏炉和集热系统。集热系统目前是比较成熟的工艺,辅助设施少,投资省,运行过程中不消耗矿物原料,消耗的人力和电力极

少;干馏炉结构也不复杂,操作比较方便;整个系统的投资不会太高,但产品的成本大大下降,从长远的观点来看,太阳能干馏炉是合理的、经济的。

4.4 定日镜的面积一定,火道内吸收体的温度不可能产生很大的变化,即不会出现过烧现象。火道内可设置高温蓄热体,防止太阳光减弱或突然消失。

4.5 太阳能干馏炉要解决的关键问题就是吸收体上选择性涂层在高温下腐蚀性环境中的稳定性,也就是说能长期保持高的吸收率,低的热辐射率。其它问题是具体结构问题,比较容易解决。

5 小结

太阳能干馏炉具有传热热阻低,干馏时间短的特点,能节省大量的矿物原料,减少环境及大气污染,是一种理想的煤综合利用方法。在我国内蒙古、山西、云南等地是太阳能资源丰富的地区,年照时数为3000~3200 h,该地区又蕴藏有丰富的烟煤和褐煤,这两种煤是干馏的好原料,因此完全可以在这些地区利用太阳能来干馏煤,这对我国煤炭资源的综合利用具有重要的意义。

当然,作为实际应用,太阳能干馏炉尚有许多细节问题值得进一步研究与探讨。

参 考 文 献

- 1 郭树才 编著. 煤化学工程. 冶金工业出版社, 1991
- 2 方荣生 等. 太阳能应用技术. 中国农业机械出版社, 1985
- 3 日本太阳能学会编. 太阳能的基础和应用. 刘鉴民等译. 上海科学技术出版社, 1982
- 4 Gregg D W, et al. Solar gasification of coal, activated carbon, coke and coal and biomass. Solow Energy, 1980, 25
- 5 重庆建筑工程学院等合编. 燃气生产与净化. 中国建筑工业出版社, 1984

作者简介 王助良,男,1964年3月出生,1989年毕业于江苏理工大学获硕士学位,现在江苏理工大学动力系热能教研室工作,讲师。主要从事流化床煤气化及气体净化方面的教学科研工作。已完成流化床水煤气气化炉的研制及KRW气化炉喷嘴结构特性的研究。(212013 江苏 镇江 江苏理工大学 2-13-402室)

Thermal Power Station. Acoust analysis is performed in comparison with a cyclone-furnace. **Key words** low-
 ver stepped cycle, circulating fluidized bed, cost analysis

煤的太阳能干馏的可行性及干馏炉的设计探讨 = **The Feasibility of Destructive Distillation by the Use of So-
 lar Energy and the Design Study of a Furnace of Destructive distillation** [刊, 中] /Wang Zhuliang (Jiangsu Uni-
 versity of Science & Engineering) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -19~
 22

The author has proved that it is feasible to use solar energy as a high-temperature heat source for a destruc-
 tive distillation furnace. Through a heat transfer analysis and comprehensive review the merits of a new type
 of solar energy-based destructive distillation furnace are demonstrated with some issues to be solved during
 practical applications also pinpointed. **Key words** solar energy, destruction distillation furnace, destructive
 distillation

高温吸收式热泵的生态学准则优化 = **The Optimiztion of Ecological Criteria for High-temperature Absorp-
 tion Heat pumps** [刊, 中] /Chen Tianze, Yan Zijun (Shamen University) // Journal of Engineering for Ther-
 mal Energy & Power. -1997, 12(1). -23~ 25

With an objective being the ecological criteria which enables the cycle heat supply rate and heat supply rate
 dissipation attain an optimum compromise the paper presents the study results of the optimization of a high-
 temperature absorption heat pump. Some new performance parameters of the heat pump are derived and sev-
 eral interesting aspects of the issue discussed. The conclusions obtained can serve as a new theoretical guide
 for the optimized design and the selection of optimum operating condition of the high-temperature triple heat
 source heat pumps and heat engines. **Key words** finite time thermodynamics, high-temperature absorption
 heat pump, ecological criteria, performance optimization

塔型飞灰浓缩器阻力特性的试验研究 = **An Experimental Study of the Resistance Characteristics of a Tower-
 type Fly ash Concentrator** [刊, 中] /Li Gongbo (Xi'an Thermotechnical Research Institute), Wen Long (Xi'
 an Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -26~ 29

On the basis of the cold-state Model Test of a tower-type fly ash concentrator and an exploratory analysis of
 the resistance variation relationship under various operating regimes and geometric parameter test conditions
 as well as a multidimensional linear regression analytical calculation of a vast amount of test data, given in
 this paper is a multidimensional regression formula for calculating the resistance of the tower-type fly ash
 concentrator, thereby providing a technical basis for its design, evaluation and application in engineering
 practice. **Key words** tower-type fly ash concentrator, resistance, characteristics, regression analysis

130 t/h锅炉结渣及稳燃问题的研究 = **The Study and solution of a Slagging and Stable Combustion Problem
 for a 130 t/h Boiler** [刊, 中] /Chen Gang, Qiu Jihua, Li Fojin, et al. (Central China University of Science &
 Engineering) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -30~ 32

The underlying causes leading to slagging and poor combustion stability of a 130 t/h boiler are analysed. Af-
 ter a redesign and modification of its burners with the adoption of pulverized coal burners incorporating a
 combustion stabilization cavity very good results have been attained. The combustion efficiency is enhanced
 by 6% and the boiler can maintain a stable combustion when operating at 60% load without using oil. **Key
 words** boiler, slagging, combustion stability, pulverized coal combustion, burner with a combustion stabi-
 lization cavity

燃用固体燃料电厂环境负压吸尘系统的选择与设计 = **The Selection and Design of a Negative-Pressure Dust
 Collecting System for a Solid Fuel-Fired Power Plant Environment** [刊, 中] /Li tai, Hao Chunhai (Northeast