

链条炉内型煤着火过程的试验研究

王方 刘准 刘宝东

(清华大学)

〔提要〕 在工业锅炉特别是链条炉上推广燃用型煤,是当今我国防治煤烟型大气污染和节约能源的重要措施。本文通过仿照链条炉内煤层的燃烧过程及特点,建立了实验研究炉内型煤燃烧过程的实验台,进行了型煤和散煤着火延迟时间及煤层中着火线向下扩展速度等有关试验。并强调了煤层中着火线向下扩展速度对型煤稳定着火的重要性。最后,根据实验研究结果和工业链条炉试烧的实践,提出了解决链条炉内型煤稳定着火的有关措施。

主题词 链条炉 燃烧 试验 型煤

一、前言

在工业锅炉,特别是链条炉上推广燃用型煤,是当今我国防治煤烟大气污染和节约能源的重要措施。工业锅炉从烧散煤到改烧型煤,可取得烟气排尘量和 SO_2 排放量(加固硫剂后)均减半的环保效益,并可节煤10%。已进行的工业型煤试烧中均发现,炉内型煤的着火延迟时间均长于散煤^[1]。由于型煤在炉排上不能及时着火燃烧,将影响环保节能效益,使改燃型煤工作难以推广。因此,研究型煤在炉内的着火过程及其特点,并采取相应解决措施,这对推动工业锅炉燃用型煤工作具有重要的现实意义。近年来,实验室内的实验研究和工业上的试验研究表明,只要注意型煤的着火问题,采取某些必要的措施,可以确保型煤在炉内稳定及时着火燃烧,并取得良好的环保节能效益。

二、试验概述

1. 试验装置

(1) 设计原理

链条炉内型煤着火过程的实验研究,除了在现有的各种链条炉内进行各种试烧研究外,为了仔细研究在炉内型煤着火过程,了解其机理并测定有关数据,必须建立试验装置。这种试验装置应当符合燃煤在链条炉内燃烧过程的特点。

本世纪三十年代,苏联克诺烈(Г. Ф. КНОРРЕ)教授等等对链条炉内的燃烧过程作过详尽的研究,他们根据温度和成份的测定,得到了链条炉内炉排上燃料层内的等温线和燃烧区段的分布,如图1、2所示。 W_1 是燃料层向后推进速度,即炉排运动速度,为每分钟几百毫米, W_2 是着火线向料层深处扩展的速度,约每分钟几毫米,两者的合速

度为实际扩展速度。图中 $O_1 L$ 相当于开始析出挥发分温度 (200~400°C) 的等温线, $O_2 K$ 相当于挥发分放出结束的温度或析出纯焦炭的温度 (1100°C左右) 的等温线。在这两等温线中某一等温线即为着火线, 如 $O_2' B$, 这就意味着煤自煤闸板后 O 点进入炉内, 需移至 O_2' 点, 才看得到火焰。移动此距离 $O O_2'$ 所需的时间即为着火延迟时间。 $O O_2'$ 常为 200~300mm, 过小, 易烧坏煤闸板; 过大, 着火过迟, 煤不易燃尽。图 2 则是链条炉排上按燃料层等温线得到的燃烧分区图。

在稳定工况下, 链条炉排上的煤层以恒定速度随炉排向后平移, 经历预热干燥等各阶段。如果从煤闸板后开始跟随某一段煤层考察它的历程, 即所研究的一段煤层相对静止, 则所得该一段煤层的燃烧历程可代表该稳定工况下各段煤层的燃烧历程。因此, 只要选取这一段煤层的燃烧条件与链条炉内相同, 就可以在一个静止炉内研究链条炉内移动煤层的燃烧过程。

据测定, 链条炉内煤闸板附近未燃煤层表面所获得的辐射热流占总热流的99% [3], 这证实链条炉内炉排上煤层的着火是靠接受炉内火焰和炉烘的辐射热, 属上部引燃。所以, 可以建立一个恒温热源靠辐射热流实现上部引燃煤层。

根据上述原理, 设计了用上部电炉发热元件辐射引燃其下方固定煤炉的试验装置。这个试验装置将按照链条炉内煤层的燃烧条件进行试验。

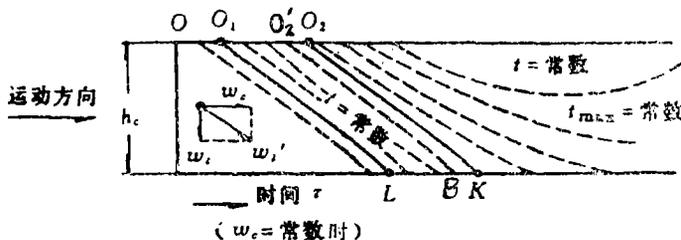


图 1 链条炉排上燃料层内等温线的分布 [2]

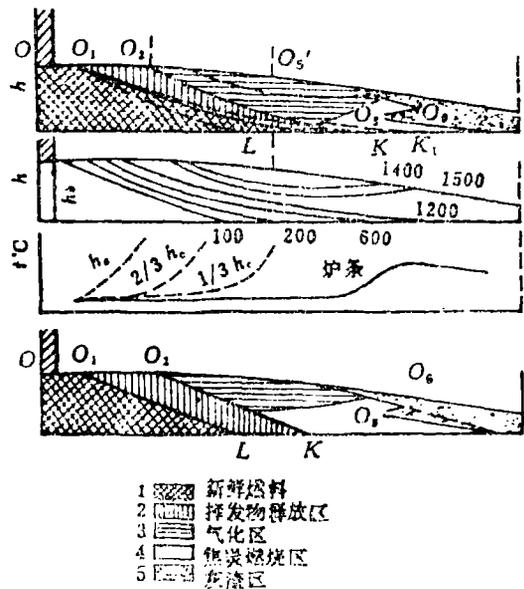


图 2 链条炉排上燃料层内燃烧分区示意图 [2]

1—新燃料; 2—挥发分析出区域; 3—气化区;
4—焦炭燃烧区域; 5—灰渣区域;

(2) 结构特点

层燃试验装置系统示意图如图 3 所示。这一试验装置的主体是坩埚炉辐射热源和其下方的煤炉。煤炉位于带轮子的磅秤上, 可滑入或滑离坩埚炉辐射炉口, 煤炉缸体两侧有两排小孔, 可插入热偶、气体取样器, 或作窥测用。煤缸用绝热材料保温, 缸内设有炉篦, 下连风室和送风管, 送入风量可由流量计测得。

试验前, 已预测坩埚炉炉口辐射热流均匀, 在 $\phi 200$ 圆截面上各点辐射热流值的最大偏差为 3.5%。在坩埚炉与煤缸连接后, 煤缸同一截面上温度基本相同, 用热偶测不到温差。故可忽略不计辐射不均和煤缸升温后的散热, 煤缸中的煤层温度只在沿高度方向有差别, 其温度场可看作是一维问题。

2. 实验

实验时，在煤缸内装入一定厚度（约200mm）的煤层，并预先使坩埚炉达恒定炉温，此时其辐射热流为恒定值。将装好煤的煤缸迅速滑至坩埚炉炉口下方，记时，并用螺旋顶丝将煤缸口与坩埚炉炉口密封。

此时，煤层表面将接受来自坩埚炉产生的辐射热流，温度不断升高，开始蒸发水分和析出挥发分，当气相混合物浓度达到爆炸极限时起火，煤层表面出现火焰。以后，由于煤层燃烧反应放热和接受坩埚炉辐射热流的积累，使煤层表面燃烧反应更为剧烈，同时因传热使燃烧反应向煤层下方扩展，最终整个煤层着火燃烧直至煤烧尽灭火。

在煤层表面气相中装有热偶，煤层的着火由其温升曲线突变点判定。这是因为如果煤层开始着火，对热偶来说必然在其温升曲线上出现附加热源（煤层表面火焰）导致的附加温升，即总的温升速率增大，温升曲线突变点即为着火点，同时由窥测孔可看到温升曲线出现拐点时煤层表面出现火苗。从煤层开始加热至着火所需时间就是该实验台测得的煤层着火延迟时间。为便于对各种煤层着火延迟时间的数值作比较，煤层着火前不送风。

煤层着火后送入空气，送入空气量可仿

煤层着火后送入空气，送入空气量可仿

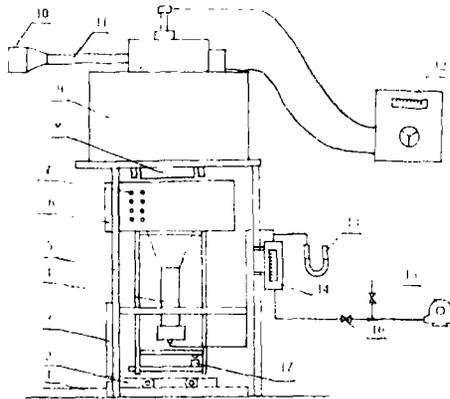


图 3 层燃试验装置系统示意图

- 1—滑轨 2—小车 3—台秤 4—风室 5—大支架
- 6—煤缸 7—测试孔 8—不锈钢套 9—坩埚炉 10—引风机
- 11—烟道 12—炉温控制器 13—U型管 14—转子流量计
- 15—风机 16—调节阀 17—螺旋顶丝

照锅炉分区送风保持过量空气系数 α 为 1.5—2 左右，也可在恒定空气量下作试验。送风后煤层表面的燃烧过程将向煤层深度方向扩展，根据埋在煤层内热偶的温升曲线和经历时间可以求得着火线向下扩展速度。

实验得到热电偶温升曲线如图 4 所示。图上 1 热偶贴近煤层表面，其余都按次序插于煤层中。

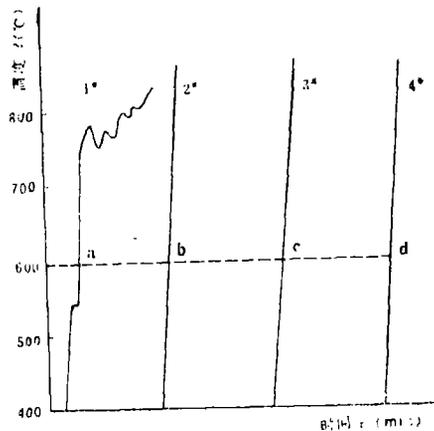
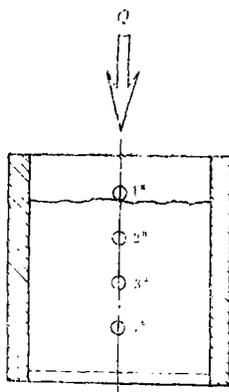


图 4 热电偶升温曲线

三、结果和讨论

1. 型煤的着火延迟时间

在链条炉内,煤层从煤闸板开始吸收辐射热流至煤层表面着火所经历的时间,称为着火延迟时间。此时间随煤质,特别是水分和挥发分的含量,所吸收的辐射热流量,辐射源温度,通风量等因素而变化。

在试验装置上,测定了重庆烟煤制型煤和散煤的着火延迟时间与坩埚炉(辐射热源)炉温的关系,如图5所示。从图中可见,煤层的着火取决于辐射源的温度,在低温时着火延迟时间长,高温时则短。且型煤的着火延迟时间长于散煤,低温时两者差别大,而在高温时差别小。型煤和散煤的差别从燃烧方面看主要表现在颗粒大小及煤层的结构方面。因此,它们着火延迟时间的不同也是由于这两方面造成的煤层通风、传热与传质方面的差别所致。

型煤颗粒大、粒径单一,造成球间空隙大,每个球体压得较实,热量很容易扩散到整个球体,因此,辐射热量在煤层中的可穿透

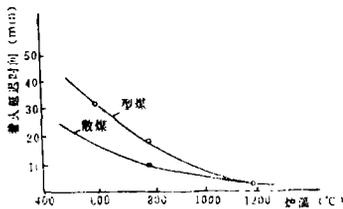


图5 煤层的着火延迟时间和炉温的关系

深度大,相应达到着火所需辐射热流量就大。同时,压球使挥发分释放时间拉长,也不利着火。相反,对散煤来说,煤层间隙少,辐射热量聚集在近表面的薄层中,且每个小颗粒的比表面积又较大,故着火容易。

在坩埚炉炉温为1000℃(对应的热流值为86.0kW/m²)下,实验装置上测得几种煤种型煤和散煤的着火延迟时间列在表中。由于在实际的链条炉内炉排上煤层干燥预热

和析出挥发区均送风和接受到辐射热流值偏离上值,以及其他种种因素的影响,使实际炉中煤层的着火延迟时间与实验装置上测得的数值不同,但后者测试条件控制严格,测得的数据具有相互比较意义,可供判别该煤种着火难易参考。

型煤和散煤的着火延迟时间对比

煤种	大同烟煤	京混烟煤	重庆烟煤
散煤	2分36秒	/	4分7秒
型煤	4分40秒(碳化) 3分10秒(浙青)	3分26秒	5分31秒

2. 煤层着火线的向下扩展速度

煤层表面着火是从煤析出挥发分的着火开始的,以后逐渐从煤层表面向深处扩展,这种扩展的快慢可以用煤层着火线向下扩展速度 W 来衡量。煤层着火线向下扩展速度愈快,煤层的稳定着火就愈有保证。

根据埋在煤层中几个热偶的温升曲线(参看图4)可计算出煤层着火线向下扩展速度。图中有4根热偶温升曲线,与600℃等温线交点为a, b, c, d。根据煤层中埋设热偶的间隔距离和两交点的间隔时间,就可以算出煤层着火线向下扩展速度。

对于一定的煤种,着火线向下扩展速度还受给风量的影响,因此,对重庆型煤和散煤分别作了给风量对着火线向下扩展速度的影响的试验,试验结果如图6所示。

从图中型煤曲线可见,随着风量增大,上中层煤层内着火线向下扩展速度随之降低,这是因为正在燃烧的煤层较薄,煤层温度较低,加大风量因散热增大,反而使着火线向下扩展速度降低,这种燃烧属于动力燃烧,曾观察到,此时如将风量增至50m³/h,可将已燃烧的煤层逐渐吹灭。下层煤层的情况却相反,着火线向下扩展速度随着风量的增大而增大,这是因为此时已有足够厚的煤层在燃烧,增加风量,增加了燃烧所需氧的

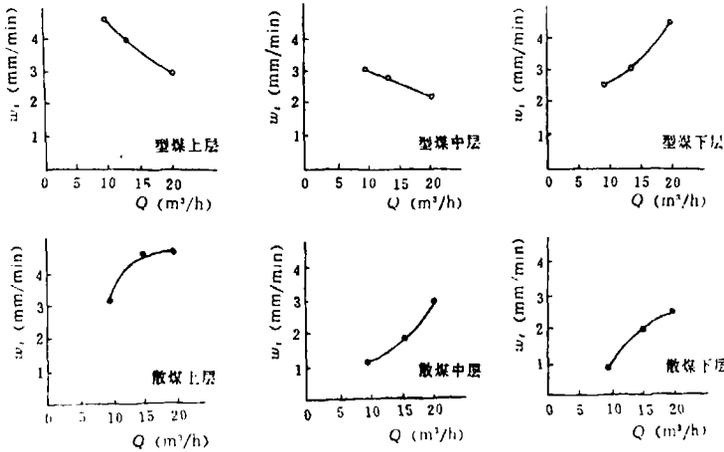


图 6 给风量对煤层着火线向下扩展速度的影响

供应。从而使着火线向下扩展速度加快，这种燃烧属于扩散燃烧。

散煤的情况却不同，上，中，下煤层内着火线向下扩展速度都随着风量的增大而增大，这是因为散煤颗粒小，粒径不一，形成的孔隙率小，散热较差，此时加大风量造成增加散热的影 响不足以抵偿加大风量造成燃烧速度加快而增温，结果使着火线向下扩展速度加快，这种燃烧均属于扩散燃烧。

由此可见，型煤燃烧从动力燃烧过渡到扩散燃烧较缓慢，致使着火过程中煤层上部为动力燃烧而下部为扩散燃烧，这种过渡转变的快慢取决于煤种和粒度等因素。而对散煤，这种过渡转变极为迅速，在实验中还未曾观测到着火过程内的动力燃烧现象。

3. 煤层着火的稳定性

链条炉内炉排上煤层表面受到炉内火焰和炉烘的高温辐射实现上部引燃，这仅仅是煤层着火的开始，至于整个煤层的着火，就要谈及煤层着火的稳定性。

在链条炉内燃烧不易着火的型煤，如潮湿的低挥发分煤制成的型煤，可以观察到，尽管炉排上煤层表面煤球已在着火燃烧或表层已灰化，然而次层煤球根本不着火，整个煤层的着火不能连续下去，因此，正常的燃

烧仍不能进行。

表层煤球是靠炉内火焰和炉烘的高温辐射而着火的，次一层的煤球要靠表层煤球传来的热量而升温着火，再次一层就要靠次一层的传热，依次下去。在表层煤球已着火和整个煤层有空气穿过的情况下，对每一层煤球都有吸热和散热，吸热用于煤蒸发干燥和释放挥发分的裂解，只要该层不断吸热增温，最终必然导致着火，着火后自身释放热量升温燃烧。每一层要达到着火，必须满足 $dT/d\tau > 0$ ，即应处于增温状态。

型煤空隙大，各球彼此接触面小，要靠接触球直接传热的热量不可能多，主要传热要靠对流和辐射，特别是靠大间隙中的火焰本身传热。散煤空隙小，空隙内不可能形成火焰，所以煤间隙内有火焰是型煤或块煤燃烧的特征。在给风量较小时，间隙内的火焰能稳定燃烧，能促使着火过程中煤层着火线向下扩展速度加快，而在给风量较大时，情况则相反。这正如上述型煤煤层上层处于动力燃烧的特征。

因此，要保证煤层着火稳定，应使煤层中每一层都处于不断增温状态，适宜的风量，能使着火线向下扩展速度加快，利于着火过程进行。实践证明，对型煤和散煤来

说,这个适宜风量是完全不同的,单纯从利于着火来看,型煤风量宜小,而散煤宜大。

4. 链条炉解决型煤着火采取的措施

近年来,为使型煤在炉排上及时稳定着火,曾试用过一些措施,这些措施主要是从增加着火用辐射热流量和加快煤层着火线向下扩展速度方面进行的,现分述如下。

(1) 炉烘

前拱应具有足够的敞开度,以便能有效地接受来自火焰和火床面的辐射热,并再辐射至新燃料层上。

后拱功能之一是将大量高温烟气和炽热炭粒输运到着火区和燃烧区,这无疑对型煤的着火是有利的,尤其是高温烟气在前,后拱配合下于着火区上方形成高温涡流,并不断冲扫煤层表面,大大改善了着火条件。在燃烧无烟煤的链条炉上,大量炽热炭粒输送到着火区强迫煤层着火起着很重要的作用。这种锅炉一旦改烧型煤,由于型煤颗粒大而无煤末,也就没有炭粒输送到着火区复盖在型煤煤层表面促使着火,所以在这种锅炉上改烧烟煤和无烟煤各半制成型煤,也发生煤层着火困难,不如烧纯无烟煤散煤时正常着火燃烧的情况。因此,应该注意到,在燃烧型煤时,后拱已失去输送大量炽热炭粒的作用,此时为利于型煤着火应从提高拱的复盖度和加强高温烟气冲刷煤层表面方面采取措施。

在链条炉内加设中拱,对改善型煤着火有利。

(2) 采用预热空气

可以使煤层着火线向下扩展速度加快,对改善型煤着火取得很好效果。

(3) 减少煤层着火区的风量

尽可能关闭第一风室的风门,减少煤层着火区的风量,以减少散热,使间隙火焰促进煤层着火线向下扩展速度加快。实际燃烧调试中可以发现,即使关闭第一室风门,由于漏风,煤层着火区仍有一定量空气供应保

证煤层着火的需要,而低风量大大改善了型煤的着火条件,使煤层着火线向下扩展速度加快。

四、结 论

1. 在一个仿照实际链条炉煤层燃烧条件运行的静止煤炉中实现了链条炉内移动煤层的燃烧过程的试验研究。

2. 煤层表面气相着火仅是整个煤层着火的开始,表层着火靠火焰和烘的高温辐射,次层着火则主要靠上一层着火燃烧的传热和传质,加快煤层着火线向下扩展速度对煤层着火有关键性作用。

3. 在实验装置上实测了型煤和散煤的着火延迟时间,再一次证实,型煤着火不如散煤。分析了影响着火延迟时间的有关因素。

4. 在型煤的着火过程中,煤层上部为动力燃烧,下部为扩散燃烧。而对散煤通常为扩散燃烧,估计这种差别是由煤种和粒度等因素所造成的。

5. 应保持煤层着火稳定。要使煤层中每一层都处于不断增温状态,适宜的风量能加速煤层着火线向下扩展速度,这个风量对型煤宜小而对散煤宜大。

6. 在链条炉上解决型煤着火采取的措施主要是从增加着火用辐射热流量和加快煤层着火线向下扩展速度方面进行,如改进炉拱结构,采用预热空气,减少煤层着火区的风量等,这些措施使型煤着火问题得到基本解决。

参 考 文 献

- [1] 王方、韩锦珠.在层燃炉上型煤燃烧的试验研究.动力工程,1987,(2)
- [2] 苏联克诺烈ГФ.著,马毓义等译.锅炉燃烧过程.电力工业出版社,1956
- [3] 张鹤声,卜成.链条炉内煤层的着火模型及试验.工程热物理学报,1987.(5)

渠源沂 编辑

An Experimental Investigation of the Ignition of Coal Briquettes on Chain Grate Stokers

Wang Fang, Liu Zhun, Liu Baodong

(*Qinghua University*)

Abstract

To alleviate and to curb atmospheric pollution and to conserve energy, it is necessary to popularize the practice of firing coal briquettes instead of run-of-mine coals, especially for travelling grate stokers. To study the combustion process of coal briquettes, the authors have built a test rig, which is designed to simulate the peculiarity of the combustion process of the coal layer on a travelling grate. Experiments to measure the ignition time delay and the downward propagation speed of the ignition front of coal briquettes and run-of-mine coals were performed. It was found that the propagation velocity of the ignition front had an important influence on the stable ignition of coal briquettes. On the basis of these studies, measures to ensure a stable ignition of coal briquettes are proposed.

Key Words: *Chain grate stokers, combustion, test, coal briquettes*

(上接第50页)

Some Comments on The Technical Renovation of Small Boilers

Zhan Zhengmei Xü Zhenkun

(*TieLi Factory for Timber Dry Distillation*)

Abstract

The remarkable economic results obtained by the introduction of forced steam secondary blast into a boiler combustion system are described in the present paper. Several dozens of boilers of various type with different combustion methods have been reconstructed by applying the above-cited technology, which has the following conspicuous features: no change in boiler construction, economy in time, labor and material, and significant economic results.

Key Words: *boilers, technical renovation*