

出版说明

在无产阶级文化大革命伟大胜利的推动与鼓舞下，我国国民经济蓬勃发展，社会主义革命和建设形势一派大好。工业战线广大革命群众，在各级党组织的正确领导下，以批林批孔为动力，认真贯彻执行“**生产和节约并重**”的原则，抓大事，促大干，广泛开展群众性的节约煤炭活动。在降低煤耗、工业锅炉和取暖锅炉改造、工业余热利用、节约非炼铁用焦、煤矸石等代燃品的利用以及改革城乡炊事灶这几方面，工作扎实、经验丰富、成效显著。一个声势很大的群众性的节约煤炭运动已经形成，并逐步深入地发展。

为沟通情况，交流经验，从而对节煤工作有所促进，我们将汇集有关行业的节约煤炭先进经验，分册出版。希望各地区、各部门和各条战线的广大工农兵群众都来支持这项工作，及时把你们积累的节煤经验寄给我们，以使这套选辑不断充实和丰富。

这本书共收入有关沸腾燃烧锅炉的7篇材料，分别阐明烧用烟煤煤矸石、次无烟煤、褐煤和石煤的各种沸腾锅炉的特点、主要结构、建炉的革新机具和热工测试数据。为使沸腾锅炉的运行走向正常化，书中还系统介绍烧用不同煤种时的操作方法，包括从冷态试验、温炉、点火、启动、调整、压火、停炉、故障排除到事故处理一整套带规律性的做法，供沸腾炉司炉工人和从事改炉、建炉的工作人员学习、参考。

目 录

沸腾锅炉的现状与发展·····	1
煤矸石沸腾锅炉的测试和运行·····	20
烧用烟煤矸石的溢流式沸腾锅炉·····	50
三汽包溢流式沸腾锅炉·····	85
FTL4-13型褐煤全沸腾燃烧锅炉·····	104
卧式快装锅炉改制的溢流式沸腾炉·····	119
角管锅炉改制的石煤沸腾炉·····	131

沸腾锅炉的现状与发展

煤炭科学研究院 沸腾燃烧组

在伟大领袖毛主席“**备战、备荒、为人民**”的伟大战略方针指引下，我国国民经济迅速发展，对煤炭的需求日益增长。因此，节约煤炭、燃用多种煤及煤矸石，已成为锅炉行业的当务之急。

沸腾燃烧锅炉是近十多年才发展起来的。因为它具有强化燃烧、强化传热、体积小、能燃烧多种煤及煤矸石等优点，在国内外普遍受到重视，认为是一种有发展前途的炉型。

近年来，沸腾炉在我国有了很大发展。北京、吉林、广东、浙江等省市发展较快；福建、湖南、湖北等省和我国各产煤地区也都在试验、研究和推广。目前，不仅一般工业锅炉采用沸腾炉，而且也向电站锅炉方面发展。

在国外，沸腾炉的发展大致可概括为三个方面。一是为充分利用劣质燃料而建造沸腾炉；二是为综合利用灰渣，并解决劣质燃料的使用而修建沸腾炉；三是为强化燃烧与传热、缩小体积、提高效率、适应多种燃料、减轻大气污染，从而提高锅炉经济性而逐步向大型电站锅炉发展的沸腾炉。有些国家为提高能量利用率，在积极研究磁流体发电和增压流化层—燃气轮机机组等新的发电工艺。

一、沸腾炉的主要特点

沸腾炉是一种新型的流化床锅炉。实践证明，这种锅炉

比之其它工业锅炉具备一系列特点，主要表现在以下几方面：

煤在沸腾床中迅速猛烈燃烧，沸腾炉的可见容积热强度可达 $1.5 \sim 1.8 \times 10^6$ 大卡/米³·时，相当于煤粉炉的10倍，链条炉的4~5倍。

沸腾炉的受热面是埋浸在沸腾床中。由于煤在沸腾床中反复扰动传热，传质的性能很好，沸腾段受热面的传热系数很高，通常可达200~250大卡/米²·时·℃。这一数值比一般锅炉对流受热面的传热系数大3~4倍。

沸腾床温度较“低”，煤中的钾、钠等碱金属在燃烧过程中升华很少，可避免一般锅炉发生的受热面的高温腐蚀现象。同时，燃烧过程中生成一氧化氮的反应进行很慢，如果在沸腾床中加入石灰石，可使二氧化硫转变为硫酸钙的反应加快，从而降低了烟气中的一氧化氮和二氧化硫等有害气体含量。

这样看来，沸腾炉的优点很多，现列举主要的如下：

1. 对燃料适应性广。沸腾炉不但能烧褐煤、烟煤、无烟煤，而且还能燃用一般工业锅炉无法烧的劣质燃料和煤矸石。大量事实证明，沸腾炉已为节约煤炭开辟了一条新途径。

广东茂名石油公司的沸腾炉，以油页岩作燃料，其发热量仅为700~1100大卡/公斤。浙江石煤的发热量仅为1000~2000大卡/公斤。实践证明，这样的劣质燃料在沸腾炉内均可燃烧。湖南一个电厂建一台25吨/时的发电用沸腾炉，燃用灰分50%以上、发热量1000~2000大卡/公斤的洗矸，炉子运行很稳定。

北京矿务局水泥支架厂使用的两台兰开夏“煤老虎”长

年烧大同烟煤块，自改为沸腾炉后，一直燃用附近城子矿的无烟次煤，每年可为国家节约 800 多吨好煤。又如通化矿务局湾沟矿的 10 吨/时沸腾炉，从 1971 年投产后全烧发热量约 2000 大卡/公斤的水洗矸石，一个取暖期（5 个月）就为国家节约焦煤 5400 多吨。

2. 因沸腾层内传热较强，可节省受热面钢材，锅炉体积缩小，初投资较小。

北京矿务局支架厂的 2 吨/时沸腾炉，与原兰开夏锅炉相比，每吨蒸汽的钢耗量可节省 3 吨，成本降低 4 元多，投资节约 20000 元，建炉费用一年内就可全部收回。据估算，其他小型锅炉本体钢耗量每吨蒸汽约 4 吨，而沸腾锅炉仅为 2~2.5 吨，而且可以自己设计、制造和安装。

3. 连续给料和出灰，不但减轻体力劳动强度，而且便于实现机械化和自动化，运行负荷调节的范围也很大。

4. 沸腾炉渣具有“低温烧透”的特点，可用来做水泥等建筑材料，还可考虑其他综合利用。

广东茂名石油公司利用油页岩沸腾炉渣作水泥掺合料生产高标号水泥。浙江电厂利用石煤沸腾炉渣试制 400# 以上的无熟料水泥已投入生产。清华大学用沸腾炉渣试制分子筛也获得成功。南票矿务局用沸腾炉渣提取硫酸铝和氯化铝，已取得一定成效。总之，沸腾炉灰渣的综合利用是大有可为的。

另外，我国煤矿的矸石堆积成山，占用大面积农田。矿区锅炉数量很多，耗煤量很大。煤矿企业发展、推广沸腾炉速度较快。这不仅为煤矿锅炉节煤找到新方向，而且还为煤矸石的综合利用、变废为宝开辟了新途径。

5. 减轻受热面的高低温腐蚀，减少锅炉排烟对大气的

污染。

在大型电站锅炉最昂贵的部件就是过热器的合金钢，它的价格约为炭素钢的10倍以上。由于沸腾床温度场均匀，传热系数大，又无高温腐蚀，因此过热器可不用或少用合金钢。

另外，由于可以控制锅炉排烟中的有害气体，不但能防止大气污染，同时还可变害为利，回收二氧化硫制取硫酸或提取硫黄。

二、沸腾炉存在的主要问题及其解决途径

沸腾炉十多年的运行实践表明，它还有一些问题亟待解决。现将对这些问题的分析及解决办法综述如下：

1. 飞灰量大，飞灰含碳量高

目前运行的沸腾炉的飞灰含碳量一般都比较高。燃用无烟煤时的飞灰含碳量约30~50%，锅炉效率一般为50~70%。褐煤沸腾炉效率可达80%。目前国内外都进行研究，采取不少措施以解决这一“老大难”问题，都取得一些效果。

1) 扩大沸腾层上部悬浮空间，形成一个高温段，其中不布置受热面并加设砖拱。

广东江门肥皂厂6吨/时沸腾炉（图1-1）就采取这种措施，扩大悬浮段空间，将悬浮段截面积增大为底部垂直段截面的5.7倍。这样，悬浮段烟气流速可降低到0.7米/秒左右，部分颗粒经重力分离及撞击而回到沸腾层，延长飞灰在炉内的停留时间。同时，在距风板3.7米处加一砖拱，在沸腾层上布置一不吸热的燃烧带，有利于飞灰的燃尽。这台炉子运行稳定，燃用劣质无烟煤，锅炉效率可达74%，拱下温度比沸腾层温度高80℃左右。看来这些措施对飞灰燃尽起到一定

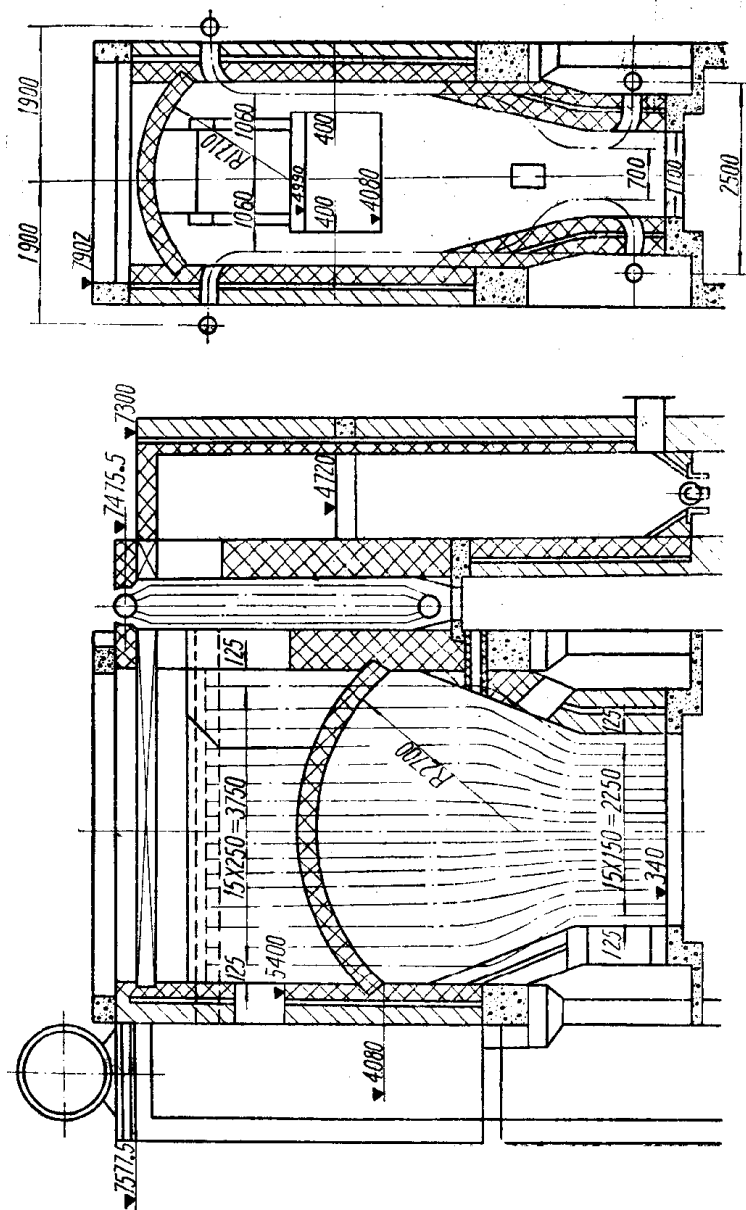


图 1-1 江门肥皂厂沸腾炉总图

作用。但北京有的沸腾炉也采用了这项措施，认为燃用北京无烟煤对降低飞灰含碳量效果不明显。

2) 加装二次风以助飞灰燃尽

广州糖厂在沸腾炉后炉膛上部四角布置了二次风，切向送入炉膛，以提高温度，有利于飞灰的燃尽（图1-2）。运行表明，沸腾段烟气温度 1000°C ，在后炉膛上部对流排管之前，烟气温度达 1100°C 左右，最高可达 1300°C 。这说明加二次风有一定效果。

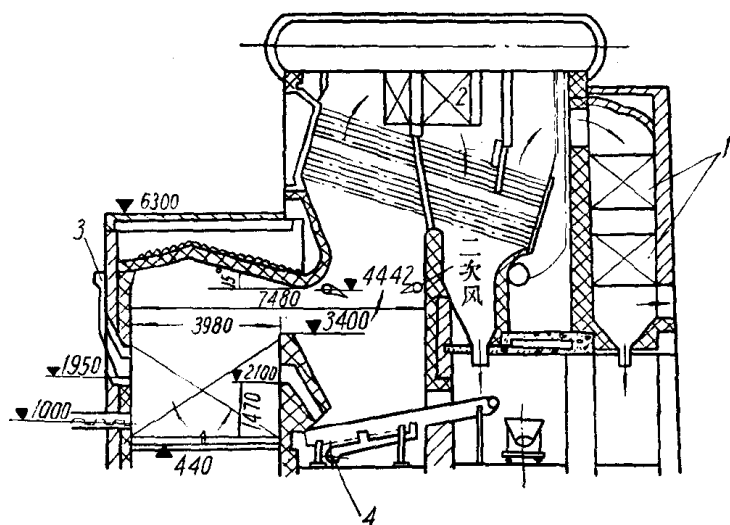


图 1-2 广州糖厂沸腾炉简图

1—省煤器；2—过热器；3—负压进料口；4—炉排鼓风机

3) 飞灰复燃。就是将飞灰沉降室或除尘器沉降下来的飞灰再吹入沸腾段燃烧。

武汉制氨厂在10吨/时沸腾炉对流受热面处专设飞灰沉

降室，将沉降下来的飞灰借助“密相送粉”装置送到离风帽顶100毫米的沸腾层中（图1-3）。经过几次测试表明，飞灰回送装置投入运行后，烟道灰含碳量下降8~10%。北京市节煤办公室对北京市第四招待所的沸腾炉进行了飞灰复燃试验，飞灰含碳量由约30%降为20%左右。

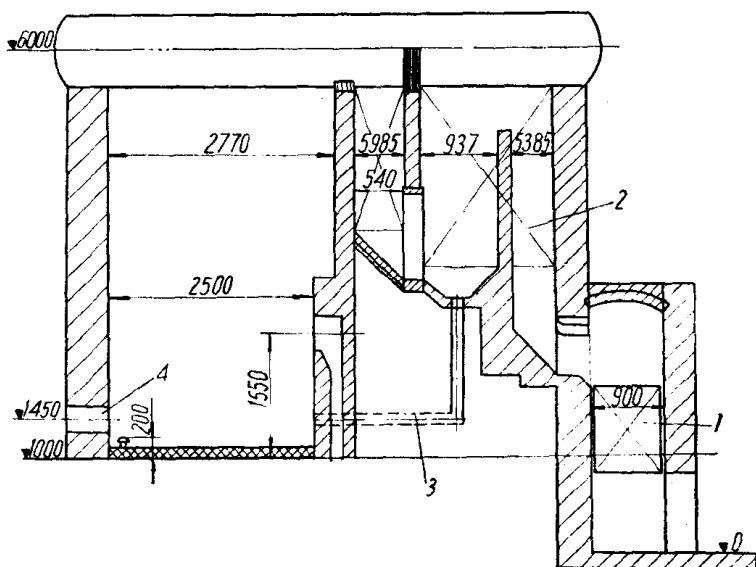


图 1-3 武汉制氮厂沸腾炉示意图

1—省煤器；2—对流段受热面；3—飞灰回收管；4—给煤口

4) 采用炉内旋风燃烬室。就是使携带飞灰的烟气从悬浮段出来以20~40米/秒的速度进入旋风燃烬室，进行旋风燃烬。

广东花县氮肥厂的4吨/时沸腾炉就采取这种措施。起初燃用发热量4000大卡/公斤的无烟煤时，旋风燃烬室温度曾达到1300℃。后因燃烬室内挂渣并在炉内出现正压而被迫

停炉。上海锅炉厂一台带有卧式和立式旋风室的沸腾炉试验台（图1-4）曾对烟煤、贫煤、无烟煤、石煤等进行试烧。结果表明，卧式旋风室燃尽效果比立式旋风室燃尽效果好。燃用烟煤效果显著，燃烧效率达95%左右，但燃用北京无烟煤效果不够好。

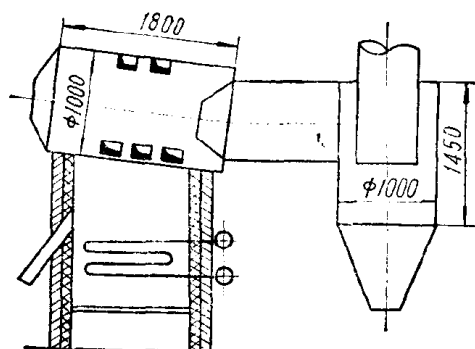


图 1-4 带卧式旋风燃烬室的 4 吨/时沸腾炉试验台

5) 采用飞灰燃烬床。就是设置两个沸腾燃烧室，主炉燃煤，副炉燃飞灰。

副炉的型式有两种：一种是风帽式全沸腾，如北京六铺炕管委会锅炉房 20 吨/时双室沸腾炉（图1-5）；另一种是链条式炉排的半沸腾炉。如广州糖厂的沸腾炉（见图1-2）。

前一台炉系清华大学设计并参加试验，其主要结果是副炉单独燃烧和主炉副炉联合运行都很好。由于副炉燃料主要靠从主炉过来的烟气中沉降下来的高温灰粒，因此启动非常方便，不需另行点火。再因灰粒小，死料透气性差，压火后保温性能好，压火时间比燃煤主炉长得多。热平衡试验结

果，主炉燃烧效率约60%，增加副炉后燃烧效率可达78%左右。

广东糖厂的双炉膛沸腾炉副炉采用链条式半沸腾炉。因炽热的溢流灰渣进入半沸腾炉炉排，同时鼓进足够的风，因而副炉温度显著升高。经测定，烧烟煤时副炉炉温可达1140℃，锅炉效率77.5%；烧无烟煤时，该区温度达880℃，锅炉效率70%。

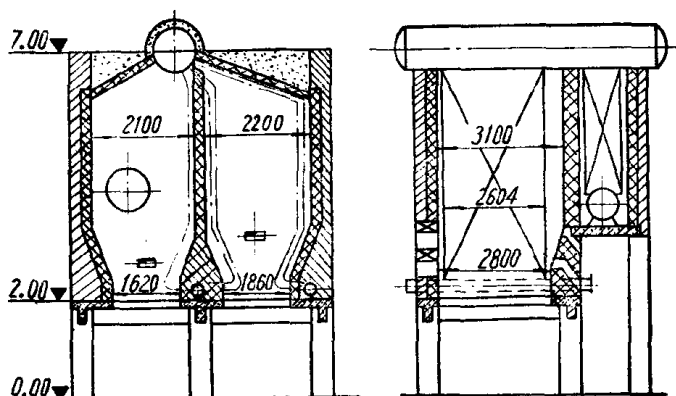


图 1-5 20吨/时双室沸腾炉示意图

右炉膛燃烧0~8毫米煤粒；左炉膛燃烧飞灰

此外，还有的沸腾炉采用正压多点给煤，降低煤的粒度，选择合理的沸腾层气流速度等措施，试图提高锅炉效率。

2. 关于磨损问题

沸腾炉的运行实践表明，从埋在沸腾层内的受热面到燃烧室的炉墙，以及除尘器、引风机等都有严重的磨损。特别是沸腾层内的埋管，有的单位采用3.5毫米厚的管壁，运行3个月就被磨穿。因此沸腾炉如何防磨，是值得研究和解

决的重要问题。在这方面，清华大学和北京市建筑工程研究所等单位做了大量试验研究工作，现简介如下：

1) 埋管的防磨问题

如何减轻和防止沸腾段埋管的磨损，许多单位都在摸索试验。除在设计上适当抬高埋管位置，避免暴露弯头而采用垂直埋管、烧用小颗粒燃料和低烟气流速运行等措施能适当延长埋管的使用期限以外，曾采用过下列3种办法：

(1) 在埋管磨损较严重的部位包一层厚度约1.5~2.0厘米的耐磨塑料。耐磨塑料见表1-1。

表1-1 耐 磨 塑 料①

序 号	塑 料 名 称	添 加 剂②				总 重 量 100%			
		胶 结 材 料		促·凝材料		掺 料		骨 料	
		名 称	%	名 称	%	名 称	%	名 称	%
1	磷酸铝 铬渣	磷 酸 铝	16.1	矾土水泥	3.0	矾 土 粉	30.0	0.5毫米 铝 铬 渣	70.0
2	磷酸铝 黑刚玉	磷 酸 铝	15.3	矾土水泥	3.0	矾 土 粉	40.0	0.2毫米 黑 刚 玉	60.0
3	磷酸铝 英石	磷 酸 (浓度60%)	15.0	矾土水泥	3.0	锆英石粉	46.0	锆英石砂 0.03毫米	54.0
4	磷酸铝 白刚玉	磷 酸 铝	20.9	矾土水泥	3.0	白 刚 玉 280号	43.0	白 刚 玉 60号	57.0

① 配方由北京市节煤办公室“耐磨耐热组”提供。

② 按掺料和骨料总重量100%，另外加入的重量比。

清华大学电厂的沸腾炉实际运行表明，1号塑料最好，几乎完整无损，其它几种塑料全已脱落。

这种方法存在的问题，是塑料的导热系数很低，而且容易脱落。但用来解决局部地区的防磨问题还是可取的。

(2) 在埋管上喷镀耐磨材料，即利用“等离子喷镀”

技术，在磨损严重的部位喷镀一层耐磨合金或非金属材料，借以提高埋管的耐磨特性。常用的金属材料如钨、钼、镍、铬以及多种元素合金材料；非金属材料如各种氧化物、碳化物及高分子化合物。

(3) 在埋管上焊防磨抓钉。具体做法是在逆气流侧斜向（与管壁成 45° 夹角）错列，顺气流方向焊上许多抓钉。抓钉直径 $d=6$ 毫米， $S_1 \times S_2 \approx 12$ 毫米，长度 $L \approx 20$ 毫米。实践表明，这种办法对解决燃烧粒度 $0 \sim 10$ 毫米宽筛分沸腾炉的埋管磨损是简易可行的。问题在于焊抓钉过程中因热应力作用使管子会产生较大的变形。新建锅炉可以先焊好抓钉，校直后再安装。已运行过的炉子要采取这种措施，必须慎重考虑热变形问题。

2) 炉墙的防磨问题

考虑到普通耐火砖不能适应沸腾炉的燃烧特点，因此着重试验了几种耐磨耐热混凝土材料。试验用材料成分如表1-2。试验表明，从材料性能考虑试验是成功的，尤其是1号材料比较经济，原料好解决，也不一定非用高质量的矾土耐火水泥集料不可，也能用一般含三氧化二铝45%左右的耐火集料代替。最好将上述材料用压砖机加工做成砖坯后经过烧结。用这样的砖作为沸腾炉的耐磨耐热衬砖，或许能解决炉墙的防磨问题。

3) 除尘器和引风机的防磨问题

可在新做的除尘器内先焊抓钉，安装龟甲网或钢板网，然后分2~3次（因需10~20小时才能凝固）抹压一层厚2厘米左右的耐磨材料，等凝固后最好再进行烘烤、烧结即可使用。这样，除尘器磨损问题可基本上获得解决。

引风机的磨损也得到相当缓和，但限于除尘器的效率，

表 1-2 耐磨耐热混凝土配方①

序 号	名 称	外 加 ③		总 重 量 100%							
		胶 结 材 料		促 凝 剂		掺 料		骨 料		料	
		材 料	%	材 料	%	材 料	%	材 料	%	材 料	%
1	水玻璃矾土 耐磨耐热混凝 土	水玻璃	15~16	500号 硅 酸 盐 水 泥③	2~3	矾 土 粉	25	3号细 矾土耐火水 泥集料	37.5	2号粗 矾土耐火水 泥集料	37.5
2	水玻璃铝矾 渣混凝土	水玻璃	14~15	500号 硅酸盐水泥	2~3	矾 土 粉	30	0~5毫米 铝矾渣	70		
3	磷酸铝矾土 混凝土	磷酸铝	18.6	矾土水泥	3	矾 土 粉	25	3号细 矾土耐火水 泥集料	45	2号粗 矾土耐火水 泥集料	30
4	磷酸铝矾渣 混凝土	磷酸铝	15.4	矾土水泥	3	矾 土 粉	30	0~5毫米 铝矾渣	70		

① 配方是北京市节煤办公室“耐磨耐热组”提供的。

② 按掺料和骨料总重量100%，另外加入的重量比。

③ 不能用矿渣硅酸盐水泥。

引风机仍不能完全根除磨损现象。而且一般防磨措施对引风机也无法应用。采用“等离子喷镀”可认为是有前途的办法。目前国外已作这方面的尝试。

3. 沸腾炉结焦问题

这个问题曾被认为是在锅炉上能否采用沸腾燃烧的一个关键问题。在开始推广用沸腾炉试烧无烟煤时，结焦确是一个主要难题。随着试验研究工作的发展，目前无论在运行操作，还是在设计方面，都已积累了一定经验，沸腾炉能稳定运行，结焦问题基本得到解决。

但是由于沸腾炉对点火和运行操作的要求比较严格，特别是新接触沸腾炉的运行人员，一时不太容易掌握操作方法，往往出现结焦或灭火现象，就是比较熟练的操作人员，可能由于一时疏忽，也会引起结焦。看来沸腾炉的结焦问题是很难避免的。

吉林市火柴厂等单位的革命职工发扬了敢想敢干的革命精神，创造出一种新型密孔板沸腾炉。这种沸腾炉对结焦不敏感，即使结焦也能及时处理而不致停炉影响生产。工人师傅们说：“这种密孔板沸腾炉很‘皮实’，怎么烧都好烧”。启动点火简单方便时间短，耗用木柴又少。

此外它还具有炉排热强度高、省钢材、开孔率大、阻力小、动力消耗小等优点。由于沸腾段底部截面风速高，这种炉子的飞灰量、飞灰含碳量及溢流灰含碳量均增高，锅炉效率有所降低，但这个问题一定会逐步得到解决。

目前密孔板沸腾炉在吉林省得到了推广，并引起全国各地的注意。在向吉林省学习的基础上，北京矿务局支架厂将一台3吨/时沸腾炉的风帽布风板改为密孔板后试烧，结果表明密孔板沸腾炉有如下两个突出的优点：

1) 操作比较安全可靠, 即使结焦也好处理, 不致停炉, 也不需要工人进去清焦, 从而减轻了体力劳动强度, 很受工人师傅欢迎。

2) 启动点火时间短, 耗木柴少。风帽式沸腾炉往往启动点火一次需要半天或一个班的时间, 而且要烧上百斤木柴。这种密孔板沸腾炉只需要很短的点火时间和少量的木柴即可点起火来。

由于沸腾炉底部气流速度高, 使飞灰量的进一步增高, 这是密孔板的一个缺点。

吉林省的同志们在操作和设计密孔板沸腾炉方面积累了丰富经验, 现将主要设计参数与要点简介如下:

1) 炉篦面积热强度 $5 \sim 7 \times 10^6$ 大卡/米²·时, 而普通工业锅炉每吨蒸发量需 0.1~0.14 米² 的炉篦面积。

2) 炉篦的长宽比 7~15:1, 最小宽度 60 毫米。选取窄长形的目的, 是尽可能延长投煤口到溢流排渣口之间的距离, 以利灰渣燃尽。

3) 炉篦可以是水平的, 最好用倾斜的 (炉前低), 倾角一般 4~6°。

4) 风箱顺密孔板炉篦长度方向分成 3~5 个风室, 每个风室上设有冷灰管、进风管和调节阀门。

5) 密孔板用灰口铸铁平板, 厚度 15~30 毫米。板上钻许多倒锥形通风小孔, 按等边三角形紧密排列。锥形孔的好处是减少通风阻力, 避免堵塞, 增大冷却面积, 确保炉篦不过热。倒锥形小孔直径 $\phi 3/6$, $\phi 4/8$, $\phi 5/10$ 毫米, 孔间距 7~15 毫米。密孔板的开孔率 (小孔总面积与密孔板有效面积的比值) 目前选取 5.65~16.5%, 推荐采用 10~15%。

目前密孔板沸腾炉刚刚开始运行, 还不很完善, 一般是

4吨/时以下的沸腾炉采用。能否在10吨/时以上的沸腾炉上采用，还需要进一步试验研究。

4. 沸腾炉的电耗问题

沸腾锅炉电耗较高，主要原因是需要压头较高的鼓风机。目前采用的风机压头一般在800毫米水柱左右。风机压头一部分消耗在布风板配风方面。目前，由于布风结构的改善，特别是采用密孔板，这部分阻力可大大降低。另一部分压头主要用于料层的流化上。上海工业锅炉厂工业锅炉研究所经调查认为，沸腾炉耗电比一般工业锅炉高50~80%。广东省的沸腾炉多数电耗为每吨蒸汽8.4~11.8度。这一数值与竖井煤粉炉电耗相当，而高于链条炉和振动炉排锅炉的电耗。目前对降低沸腾炉电耗方面，除改善布风结构降低配风阻力外，认为采用高效鼓风机是一个有效措施。因为过去采用的风机效率一般是50~60%，最高也只有65%。而高效风机的效率一般都在80~90%。这样，装机容量和运行电耗可减少很多。高效风机可自己设计制造，也可用旧的改装。目前广东省一些厂，如江会氮肥厂、江门肥皂厂等已经采用。

总之，沸腾锅炉是一个新生事物，目前存在一些问题还有待进一步研究解决。

三、蒸发量4吨/时的沸腾炉

1973年，北京矿务局支架厂、清华大学和我们组成联合设计组，将该厂已运转3年的6吨/时沸腾炉改为4吨/时双室沸腾炉。炉体设计是吸取了国内兄弟单位的一些先进经验并结合本单位的实际情况进行的。建成后，试烧情况良好，目前已正式投入生产。这台沸腾炉炉体结构见图1-6，主要参数列入表1-3。