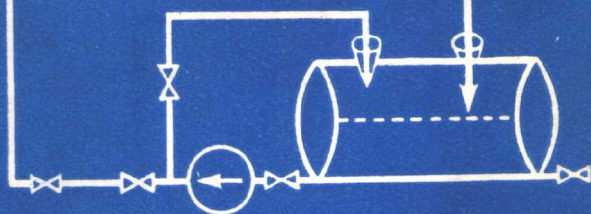


中小型

工业锅炉清洗技术

中国科学院清洗技术协作组 编



能源出版社

中小型工业锅炉清洗技术

中国科学院清洗技术协作组 编

能源出版社

1982

中国科学院清洗技术协作组 编
能源出版社出版 能源出版社发行部发行
妙峰山公社印刷厂印刷

787×1092¹/₃₂开本 2¹/₂印张 60千字
1982年1月第一版 1982年8月第二次印刷

印数10,001—16,500

统一书号15277·2 定价0.40元

前 言

一次能源可以直接利用或经过热机转换为其它形式的能源。不论是直接利用还是能源转换，常需经过锅炉燃烧和热交换的环节。

据统计，我国有各种工业锅炉22万台，每年消耗一次能源相当全国三分之一煤的产量。这些锅炉平均热效率是55%（国外平均85%）。22万台中有70%是中小型锅炉，运行状态非常不好，结垢严重，效率低，燃料浪费大，不安全。大型的电站和工业锅炉尚有水处理和定期清洗管理制度；中小型锅炉相当部分没有水处理装置，或管理不善，近期内也不可能把这些能耗高、效率低的中小型锅炉全部更新。因此，中国科学院能源研究委员会在国家计委的建议下，针对我国中小型锅炉能耗高、效率低的问题，做过一些调研工作，发现不少锅炉由于没有水处理或管理不当，结垢相当严重。据在吉林省调查，锅炉平均结垢为2—3毫米，相当一部分达10毫米厚。国外报道，每结垢0.5毫米厚，要多消耗能源4%。从节能工作出发，院能源研究委员会组织有关研究所，对北京、山西、长春等地水垢的成分、传热系数等进行了计算和测定。我们开展的研究工作和试验结果与国外发表的有关数据基本上一致。因此，我们认为从我国的实际出发，考虑到锅炉改造和更新要有一定过程，抓住锅炉节能这一广阔领域，开展除垢、防垢研究试验，对我国近期节能工作具有重要意义。仅以北京市为例，全市拥有工业锅炉近1万台，取暖锅

炉 3 千多台，其它小锅炉和茶炉 1 万 1 千多台，共有各种锅炉 2 万 4 千多台。北京市 1980 年总能耗为 2176.2 万吨标准煤，如这些锅炉平均结垢按 3 毫米计算（北京水质硬，据数十台典型锅炉调查，一般结垢超过此数值），采取除垢、防垢有效措施后，初步估算每年可节约能源 350 万吨标准煤。

中国科学院具有学科门类齐全的有利条件。中国科学院长春应用化学研究所金属腐蚀研究室，多年来从事缓蚀剂的研究工作，他们的科研成果早于 60 年代已多次用于我国进口和国产的电站大型锅炉的清洗工作，效果很好。针对我国中小型锅炉工况恶劣和三不管的状态，我们组织了长春应用化学研究所、山西煤炭化学研究所、力学研究所、环境化学研究所等单位，以除垢防垢并重为指导方针，从缓蚀剂、传热燃烧、清洗工艺、环境保护，以及经济评价等方面组成清洗技术协作组。一年来，在新型缓蚀剂、清洗工艺、锅炉防垢、监测方法、环境保护和经济评价等方面，开展了研究与试验，使一整套方法更加完善化、科学化。实践证明，经这样组织起来既能发挥多学科、综合性的优势，又能比较快地完成国家急待解决的一些重要科研任务。

中国科学院与北京市合作，开展北京市能源合理利用及环境保护工作。清洗技术是双方共同抓的科研项目之一。不久前中国科学院能源研究委员会和北京市计委共同主持召开了北京地区清洗技术汇报会。与会代表反映很好，一致希望中国科学院和北京市在现有工作基础上，开展面上的锅炉清洗技术推广应用，同时继续开展研究工作，使清洗技术在其它领域得到应用，在我国节能工作中做出贡献。

为了推进我国中小型锅炉的清洗工作，现将清洗技术汇报会上的报告和有关资料，经整理汇编成《中小型工业锅炉

清洗技术》一书，供广大读者参考。

在编辑过程中，承蒙中国科学院清洗技术协作组组长刘寿荣(长春应用化学研究所副研究员)，副组长吴承康(力学研究所研究员)、庄亚辉(环境化学研究所副研究员)同志的关怀，对全书文稿进行了认真的审阅。这本书中的每篇文章，在编辑之前，都邀请了有关方面的专家进行了审查，得到了各方面专家的有益指导，在此一并致谢。

我们的工作以及这个小册子，难免有错误或不当之处，欢迎批评指正。

中国科学院能源研究委员会办公室

王世中

1981年10月15日

内 容 简 介

为了促进中小型工业（包括生活）锅炉的化学除垢和节能工作，并使新型的酸洗缓蚀剂 IMC-5 能够在锅炉清洗中推广，特将中国科学院清洗技术协作组有关锅炉清洗技术方面的研究成果汇编成册。其中包括：锅炉酸洗技术和工艺；缓蚀剂 IMC-5 的研究；节能效果和技术经济评价的研究；以及锅炉水垢分析，酸洗液毒性的研究和腐植酸钠用于锅炉水处理的研究。

本书介绍的清洗技术有实用价值，工艺简便，投资少，节能效果好，并不污染环境；可供装有中小型锅炉的工矿企业、事业单位，锅炉清洗技术人员、节能和环境保护工作者参考。

目 录

前 言

锅炉酸洗技术中间试验及技术经济评价.....	
.....中国科学院清洗技术协作组 (1)	
酸洗缓蚀剂IMC-5的研究.....	陈家坚 曹家绥 (11)
中低压锅炉化学清洗工艺.....	徐玉伦 何逸平 (30)
水垢导致工业锅炉热效率下降的概算方法.....	
.....方铎荣 (47)	
锅炉酸洗液毒性的初步研究.....	竺乃恺 (69)
水垢样品的粉晶X—射线衍射物相分析.....	
.....茅世森 林国珍 (73)	
腐植酸钠用于低压锅炉水处理的研究.....	
.....吴家珊 潘允珍 刘程艳 张春媛 (75)	

锅炉酸洗技术中间试验 及技术经济评价*

中国科学院清洗技术协作组

为了促进中小型工业（包括生活）锅炉的化学除垢节能工作，并使新型的酸洗后缓蚀剂IMC-5能够在锅炉酸洗中得到推广，以及对酸洗技术做出正确的技术经济评价，经中国科学院能源办公室组织，我们于1981年6月底7月初对中关村浴室的兰开夏锅炉进行了酸洗技术的中间试验。试验内容是：缓蚀剂对锅炉的保护性能；除垢前后的锅炉热效率试验；酸洗排放液对环境污染情况。并在试验基础上作出技术经济评价。中间试验表明，对于中关村浴室目前的情况，除垢后能够把占锅炉无垢运行的48%的煤节省下来，仅用50天时间就能把酸洗技术所花费的投资收回。同时采用IMC-5缓蚀剂后对锅炉能起到保护作用。酸洗排泄物对环境保护无有害的影响。

一、试验内容与结果

中关村浴室是为我院中关村约2万职工、家属服务的。一星期开放五天，每天洗澡人数为1000—2000人次，最高达4000人次。使用锅炉为兰开夏火管锅炉，水容量为23吨。无水处理设备，正常运行时把自来水加热到80—100℃的热水

* 本试验由陈家坚、竺乃恺、何逸平、方铎荣主持。

本文由方铎荣执笔，吴承康审定。

供洗澡。该锅炉直至清洗前已经运行一年，在火管水侧上部结有严重的水垢，最厚处达30毫米。在火管的下半部没有结垢，在整个外筒内壁的上半部约结有1毫米厚水垢。

1. 热效率试验

在浴室现场条件下，要取得全面、精确的热效率数据有一定困难。为了使试验尽量符合实际运行情况，又能得到较精确的数据，我们采用接近于正平衡热效率试验方法。

$$\eta = \frac{GC_p(t_2 - t_1) + D(1 - \omega)r}{BQ_D} \quad (1)$$

此处 η ——锅炉的热效率〔%〕（被水吸收的热量与消耗燃料的发热量之比）；

G ——锅炉的水容量〔公斤〕（用水表测量）；

C_p ——水的比热（大卡/公斤·°C）；

t_1, t_2 ——锅炉内水的初温与终温〔°C〕（用温度计测量）；

D ——锅炉的蒸发量〔公斤〕（用停火冷却后补充水量测量）；

ω ——蒸汽湿度〔%〕；

r ——汽化潜热〔大卡/公斤〕；

B ——耗煤量〔公斤〕（用磅秤测量）；

Q_D ——煤的低位发热量〔大卡/公斤〕。

有垢后锅炉的燃料使用的增加率 $\Delta B/B$ 经推导后，可按下式计算：

$$\Delta B/B = \frac{Q}{Q_s} - 1 \quad (2)$$

此处 Q ——锅炉无垢时单位耗煤量得到的有用热量〔大卡/公斤〕；

Q_s ——锅炉有垢后单位耗煤量得到的有用热量〔大卡/公

斤]。

所以，一旦得知结垢前后的锅炉效率，则(2)式可写成：

$$\Delta B/B = \frac{\eta_{gL}}{\eta_s} - 1 \quad (3)$$

此处 η_{gL} ——锅炉无垢时的热效率[%]；

η_s ——锅炉结垢后的热效率[%]。

在试验中，蒸汽在一个大气压下100℃蒸发，所以其蒸发潜热为539.6大卡/公斤。

关于蒸汽湿度的测定，工业锅炉常用测量湿度的方法，是利用对蒸汽的采样，进行碱度化验，当饱和蒸汽中，不含水分时，即为干饱和蒸汽，则采样中就没有碱性反应，若含有水分时，则采样中就出现碱性反应。碱度越大，则蒸汽湿度越大。但我们试验的锅炉是没有条件装设取样器的大容量锅炉，我们采用表1中给出的经验值。为使效率值可靠性，选取 $\omega = 1\%$ 。

表 1 几种锅炉蒸汽湿度参考表

锅 炉 型 式	蒸汽湿度 (%)
WS (兰开夏) 型	0—1
卧式外燃及卧式单火筒 (康尼许) 型	1—2
立式大横水管、立式多火管型	2—4
立式多横水管型	3—4
HH、FH、SZ、SH型	2—3

关于煤的低位发热量的测定由煤炭科学研究院北京煤化学研究所实验测定，值为6315大卡/公斤。实验结果见表2：

表 2 中关村浴室锅炉酸洗前后热效率试验结果

工 况	内 容	G	t_1	t_2	D	r	Q_D	B	η
		(公斤)	(°C)	(°C)	(公斤)	(大卡/公斤)	(大卡/公斤)	(公斤)	(%)
有	垢	20390	16	100	4021	539.6	6315	1440	42.5
无	垢	21467	16	100	5559	539.6	6315	1200	63.0

清洗后比清洗前锅炉热效率提高20.5%。

清洗前锅炉比清洗后的燃料消耗的增加率为48.3%。

由于测定过程中包含了点火与熄火的一段不稳定过程，所以对于效率的绝对值相对于完全稳定工况时会偏高一些。

2. IMC-5酸洗缓蚀剂对锅炉的保护性能试验

由于锅炉结垢严重，且主要集中在火管的水侧面上，为了使酸液与水垢充分化学反应，所以所用清洗时间较长，共28小时。为了测定酸洗缓蚀剂对锅炉金属的保护性能，我们把碳钢试样挂在锅炉的酸洗溶液中，使它经受整个酸洗过程，等酸洗结束后，我们取出样品，对比酸洗前后的重量变

表 3 碳钢试样的腐蚀速度试验结果

序 号	酸 洗 时 间 (小时)	盐 酸 浓 度 (%)	溶 液 温 度 (°C)	腐 蚀 速 度 (克/米 ² ·小时)
1	14	1.0	55	0.9
2	14	2.7	55	1.6

化，求出腐蚀速度。其试验结果为表3所示。

从上述试验结果可以得到，锅炉在整个清洗过程中，所受到的腐蚀为35.0克/米²；换算成厚度减少量为 3.5×10^{-4} 毫米，所以对锅炉的腐蚀是极为微小的。

3. 清洗过程的环境污染控制

北京市从1981年6月1日起，要求所有废水的排放按国家“工业三废排放标准”所规定的执行，超标要罚款收费。因此在清洗工艺中必须考虑污染控制。

清洗后排放的废水中有毒物质来自三个方面：缓蚀剂、锅垢和盐酸。我们对缓蚀剂作了急性中毒试验及微生物变性试验（Ames试验）。试验结果表明，IMC-5型缓蚀剂属于低毒化学品，在清洗酸液中的浓度只有万分之几，排放入下水道后不会造成人畜急性中毒。初步试验结果还表明，IMC-5型缓蚀剂无诱变性，可能不是潜在致癌物。IMC-5型缓蚀剂也不含有国家三废排放标准要控制的苯胺、硝基苯等物质。

为了弄清中关村浴池锅垢是否含有毒物质，我们进行了发射光谱分析、X——衍射相分析和化学定量分析（见表4）。分析结果表明锅垢中95%以上是碳酸钙和镁，其余是铁、硅、磷、铝、锰、钡。

清洗用的盐酸大部分被锅垢的碳酸盐中和，清洗后残留盐酸浓度为0.01%，稍微超出国家三废排放标准。因此在排放前应该往酸槽内加一些石灰或电石渣中和残酸，使清洗废液pH的值在6—9之间，然后再排放。

为了降低成本，可以使用废酸，但使用前必须了解一下废酸中是否含有大量有毒金属离子，然后才能决定废酸是否适用。

表 4

中关村浴池锅垢的化学分析结果

分 析 方 法	化 学 成 分 名 称	含 量 (%)
化 学 定 量 分 析	CaO	48.80
	MgO	5.44
	CO ₂	42.17
	Fe ₂ O ₃	0.80
	Al ₂ O ₃	—
	P ₂ O ₅	0.06
	不 溶 物	1.78
	以 上 总 计	99.05
发 射 光 谱 分 析	Ca	极 大 量
	Mg	大 量
	Ba	少 量
	Si	少 量
	Mn	少 量
	Fe	少 量
	Al	少 量

综上所述,缓蚀剂和锅垢中没有超出国家三废排放标准的有毒物质。清洗废液的化学耗氧量(K₂Cr₂O₇法)也小于100毫克/升。废液的pH值这一项指标稍微超出国家标准,今后需要加石灰或电石渣中和后排放。

二、酸洗技术的技术经济评价

化学除垢技术对于锅炉热效率的提高和对燃料的节省,从这一次试验中看出,效果是显著的。根据酸的实际消耗量计算得到去垢总量约为900公斤。但在酸洗过程中也消耗了许多酸、缓蚀剂等,在经济上是否可行,这一技术应该如何组织推广,更经济有效,是应该作出技术经济评价的。

酸洗技术应对不同型号的锅炉、不同水垢成分、厚度等

要采用合理的酸洗工艺，才能达到既去垢又保护锅炉的目的，同时酸洗需要一套耐酸泵及耐酸槽等专用设备。对于中小型工业锅炉各单位专门建立设备来做，设备投资大，利用率低，酸洗人员又缺乏专门训练，不能取得预期的效果，显然这样做在经济上是不合算的。为此，中国科学院专门组织了酸洗技术队伍，建立了专门设备，在中国科学院长春应用化学所，北京环境化学研究所的大力支持下，已在北京地区开展了锅炉清洗工作，并期望能解决部分待业青年的就业问题。

对中关村锅炉酸洗所用材料、工时的费用如表5所示。

表 5 酸 洗 所 花 的 费 用 表

名 称	单 位	数 量	单 价 (元)	总 价 (元)	备 注
盐 酸	公 斤	4185	0.16	669.60	浓度31%
IMC-5缓蚀剂	公 斤	50	5.00	250.00	
工 时 费	工 时	192	1.00	192.00	
设备折旧费				50.00	酸泵与槽按洗 一百台锅炉计
合 计				1161.60	

中关村浴室兰开夏锅炉，若按清洗后无垢运行工况，从上午8时点火到下午8时的耗煤量计算为1.2吨/天，一星期开放5天，每月按22天计算，耗煤26.4吨/月。据锅炉工人反映，浴室定量供煤每月40吨，经常不够烧。按前述试验结果，在有垢时运行则每月要多耗煤12.751吨/月，单价按40

元/吨计算，则每天多花23.18元，每月多花510.05元。这次清洗所花的成本费为1161.60元，所以根据目前情况，从50天的锅炉无垢运行所节约的煤炭中就能收回。同时还可降低锅炉工的劳动强度，节约鼓风机的电能消耗。若能进一步改进清洗工艺，则清洗成本还可进一步节约。如，对于兰开夏锅炉，可先进行适当的机械清洗，去除松散的水垢，然后对机械除垢困难部分进行化学除垢，则可以大大节省盐酸与缓蚀剂的消耗量，缩短清洗时间，节省酸洗费用。

从长期运行的角度考虑，在技术经济合理的前提下，尽可能采用炉外与炉内水处理办法，防止结垢，使锅炉无垢运行，一旦发现结垢，应该在积垢开始显著时，锅炉工人在烧煤过程中，当煤耗量有显著增加时，即进行清洗，以经常保持高的锅炉效率。每年多洗几次（每次费用和时间可以减少）总的清洗的材料费用大致不变。几种运行方式的比较可见表6和图1。由于锅垢的增长规律尚不准确，假定它随锅炉运行

表 6 锅炉的几种运行方式比较

序 号	锅 炉 运 行 方 式	年 平 均 耗 煤 量 (吨/年)		
		第 一 年	第 二 年	第 三 年
1	不 清 洗	398.4	561.6	724.8
2	每年清洗一次	398.4	398.4	398.4
3	每年清洗二次	357.6	357.6	357.6

是线性增长的，比较中按中关村锅炉带垢运行一年后的每月耗煤量为40吨，清洗后，无垢运行时每月耗煤量为26.4吨，所以无垢运行年耗煤量为316.8吨。

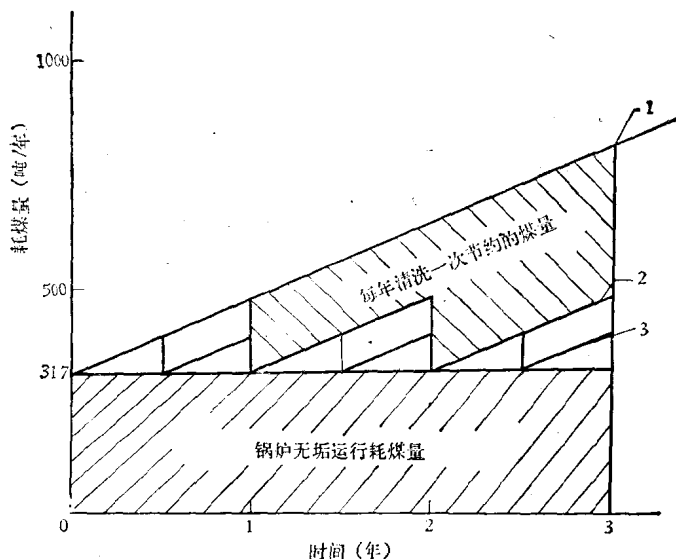


图 1 清洗对锅炉节煤效果示意图

由此可见，清洗技术的节能和经济效果是显著的，而且缓蚀剂已由中国科学院长春应化所实验化工厂生产，因此，应予推广。

三、结 论

1. 采用酸洗缓蚀剂IMC-5对中关村浴室兰开夏锅炉进行酸洗中间试验表明，能够起到既除垢又保护锅炉的作用。

2. 去垢前后的锅炉热效率试验表明，去垢后热效率由有垢时的42.5%提高到63.0%。有垢时比无垢时燃料消耗的增加率为48.3%。

3. 缓蚀剂和锅垢中没有超出国家三废排放标准的有毒物