

辽宁省金属学会

一九六二年年会論文选集

(有色专业分册)

辽宁省金属学会

1962. 12.

目 录

前言

有色金属学术組学术會議紀要·····	(1)
、 鋅精矿高温沸騰焙燒的生产实践和沸騰焙燒炉的廢热利用·····	溫庆驥、付紹康 (3)
、 論銅精矿飄浮状态熔煉的发展概況及对其若干問題的分析·····	叶國瑞 (19)
鋅蒸餾殘渣处理方法試驗·····	盘家照、刘井武 (46)
降低渣含銅問題商榷·····	陈国发 (38)
鎳精煉过程中鋅的脫除·····	楊學福 (52)
低浓度二氧化硫的回收·····	王成汉 (69)
鋅电解液中杂质錳对电解沉澱过程中的行为探討·····	王彭年 (72)
論鋁电解中電能的节省·····	邱竹賢 (79)
鋁电介槽上抬原因初步分析·····	孙关米、程賢輔 (101)
鋁电解槽槽底电压降上升原因分析·····	王文信 (111)
提高金属鉻质量·····	陈 浩 (126)

有色金属学术組学术會議紀要

辽宁省金属学术一九六二年年会十月二十五日至十一月一日在鞍山召开，出席这次年会的有色金属专业学术會議的代表及列席代表共32人。

会上共提出論文二十二篇，在学术报告会上报告了十八篇。

提出的論文一般可分为下列三类：

1. 結合生产实践对基础理論上的分析和研究；
2. 新技术新工艺在生产上的推广和应用；
3. 生产技术經驗总结和試驗研究工作报告。

會議期間根据专业特点，为了便于討論分輕冶和重冶两个小組分別进行。茲分別叙述如下：

一、輕 冶 方 面：

东工邱竹賢在“論鋁电解電能的节省”的論文中，根据国内外生产和理論数据，对鋁电解電能节省問題作了系統的重点的分析，提出新的热損失系数的概念並綜述了节省電能的途径。与会同志认为这是一篇理論水平較高的文章，同时也紧密地結合了生产实践，对理論研究及生产均具指意义。301厂和鋁鎂設計院合作提出的“鋁电解槽上抬原因初步分析报告”系针对工厂发生的实际情况，根据观察測量数据，进行了一定的理論分析，並指出了改进电解槽结构的途径。301厂王仲文的“鋁电解槽槽底电压降上升原因的探討”报告，是在生产实践中通过調查研究进行科学研究的典型例子，在調查研究过程中积累了上千次的生产数据，比較具体的說明了該厂槽底电压降上升的原因，这是十分寶貴的，对于工业設計及生产和理論数学均有参考价值。沈阳鋁鎂設計院楊瑞祥提出的“鋁电解槽电流密度的选择”报告系根据鋁电解生产与鋁厂投資資料，推算鋁电解槽的电流密度在何处成本为最低，在何处投資为最省，計算的結果与生产的实际情况相符，这对当前鋁工业生产与建設來說是有着一定的指导意义的。

二、重 冶 方 面：

401厂溫庆驥提出的“鋅精矿高溫沸騰焙燒的生产实践”創造性的利用沸騰炉进行鋅精矿的高溫沸騰焙燒，成功地解决了工艺流程技术条件及設備结构，为沸騰焙燒在我国有色冶煉事业上开辟了廣闊的途径，与会者肯定了这一方法的合理性与先进性，並对目前煙尘大的問題，提出預先制粒的解决办法，並认为有进一步研究解决自动化的必要。

东工叶国瑞提出的“論銅精矿飄浮状态熔煉的发展概况及若干問題分析”詳細地評述了国内外採用这一个强化銅精矿冶煉工艺的新方法的优缺点，这些分析是正确的，給今后繼續进行实验研究指出了方向，但作者最后对国内銅精矿的飄浮熔煉所作的結論中，对不利因素估計有不同的

看法，有人认为估計过高，应加以考虑。

✓ 沈阳冶炼厂周重华提出的“迴轉窑氧化鋅有价金属綜合回收处理流程的探討”根据生产实践，改进了流程，解决了砷在流程中的循环富集，提高了某些稀散金属在砷渣中的品位，因此，这是一项有意义的有价值的改革，大家认为根据改进，在流程中排出的剧毒气体 AsH_3 应給予严重的注意，在論文中也应強調指出。

省冶金研究所盘家照提出的“旋渦炉处理鋅蒸馏残渣”根据原料性质，試驗对比了各种处理方法，最后根据扩大試驗結果，說明了採用旋渦炉处理鋅蒸馏残渣的优越性，大家认为选择这一方法是正确的，可以在一个冶金过程达到多种金属分离和富集的目的，但还需要研究旋渦炉及上料系統与热交换系統等设备的适应性；以及降低渣含銅鈷的技术条件和採用粉煤用作燃料等问题。

东工陈国发提出的“降低渣含銅問題的商榷”从經濟上闡述了降低渣含銅的途径，对于从事生产的同志有一定启发，对于論文中提出的选择降低渣含銅問題的途径认为对各种因素应全面加以考虑进一步进行研究工作。

沈阳冶炼厂楊学編提出的“鋅在鎳精炼过程中的脫除”有效地将旧有的碳酸盐除鋅法改为电冶与电解相结合的除鋅方法，在生产中获得良好效果，是工业生产中除鋅的合理方案。

沈阳冶炼厂王成汗提出的“沈阳冶炼厂烟害及其对策”調查了生产系統中烟气分佈情况及烟气的危害程度，並探討了目前解决的途径和原則，这对解决冶炼厂的烟害問題很有现实意义，应进一步进行試驗研究工作。

东北工学院王彭年提出了“鋅电解液中杂质錳对电解沉积过程中的行为”，根据国内外的資料闡述了錳在鋅电解液中存在的各种形态及对鋅的电解沉积质量，电流效率以及共存杂质的影响等问题。

辽宁冶金研究所陈浩提出的“鉬中矿次氯酸鈉直接浸出”系統試驗了次氯酸鈉浸出鉬中矿的技术条件，根据小型試驗結果表明以次氯酸鈉直接浸鉬中矿具有很高的浸出率及回收率，认为以次氯酸鈉处理品位低，数量多、粒度細的鉬中矿很有希望，會議认为有进一步进行半工业試驗进行驗証。

李家蔭同志提出的“电解法制取鋅粉”根据小型試驗結果，採用熔融盐电解的方法生产鋅粉。对于炉子結構及加热系統的选择是有独创性的。大家认为应进一步研究連續生产問題，並应进一步闡明反应机程。

辽宁冶金研究所陈浩提出的“改进金属鉻生产工艺流程”系統的試驗了純制三氧化二鉻过程的各种条件，根据試驗結果，确定的条件，已在生产規模中获得良好的效果，金属鉻质量有很大提高，但目前回收率还很低需要繼續进行研究工作。

某厂和树桐和楊紹鈺提出的“有关鈳渣生产及提高鈳回收率問題的探討”結合国内外生产經驗，介紹了鈳生产工艺流程及主要技术条件，对如何提高鈳回收率进行了理論上的闡述。

鋅精矿高溫沸騰焙燒的生产实践和 沸騰焙燒炉的廢热利用

401 廠 “溫慶驥 傅紹康”

四〇一厂于一九五七年末改建成第一座鋅精矿沸騰焙燒炉投入生产，随后在一九五八年內將焙燒車間全部改建成沸騰焙燒，一共改建成四座沸騰炉，其中两座焙燒鋅精矿，一座焙燒硫鉄精，另一座作为备用炉。自从投产以来，在党委和行政的正确领导下，在三面紅旗的光輝照耀与鼓舞下，特别是經過三年的大跃进，在操作技术及設備改进上积累了一些經驗。于一九五八年以后也不断的对沸騰焙燒炉的廢热利用进行研究，对硫鉄矿焙燒的炉气的廢热利用已經投入了生产，对鋅精矿焙燒的沸騰床廢热及炉气廢热的利用也获得了初步的结果。本文仅就这两方面的情况作一簡略的介紹。

一、鋅精矿高溫沸騰焙燒的生产实践

(一) 工艺过程及主要設備的概况

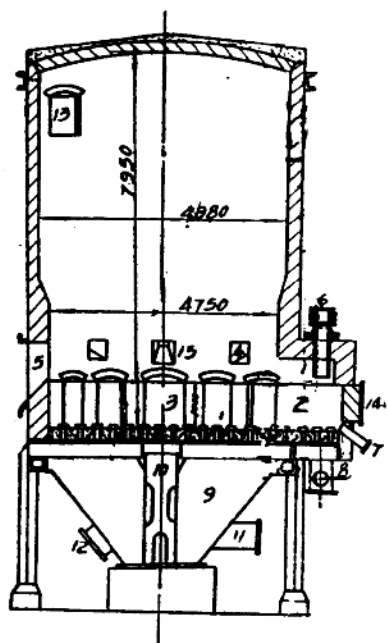
鋅精矿沸騰焙燒的工艺过程主要分为四个部分：即炉料准备及加料系統；炉本体及送風系統；炉气收集系統；以及排料系統。

1. 炉料准备及加料系統

在儲矿舍中，將含水分6~8%的鋅精矿用抓斗起重機送入矿斗中。在輸送过程中，即以抓斗按配料比例对不同矿种进行配料。精矿从矿斗中落入皮帶運輸机，在夏秋两季直接送至鼠籠式碎矿机进行破碎，通过4網目篩后，篩下部分由皮帶運輸机送至設在炉旁的儲料斗中。如在冬春两季則送至筒式干燥窑进行干燥，由于精矿往往冻结成块，引起破碎困难，所以干燥的目的在于解冻。將解冻后的精矿送至鼠籠式碎矿机进行破碎，过篩，然后送至炉旁的儲料斗中。由儲料斗中放入矿斗磅秤进行称量，然后放入圆盘加料器的料斗中，由盘径为1500毫米的圆盘加料器將料加入炉子的前室中。

2. 炉本体及送風系統

沸騰焙燒炉为原有八层多层焙燒炉改建而成，炉子下半部內径为4750毫米，上半部略成扩大，內径为4980毫米，內高为7950毫米，炉床面积共为18.66平方米（前室底面积0.96平方米在內）。图（1）为沸騰焙燒炉的簡图。炉底面积与炉體体积比为1:7.86炉气在炉膛的停留时间为10~12秒。炉衬內衬耐火砖，外衬115毫米的輕质耐火砖。炉拱系利用多层炉的层砖砌成，拱高約为跨度的 $\frac{1}{4}$ ，溢流口高度为1000毫米，如需要时可以調正至1200毫米。沸騰床备有10个冷却水



图(1) 沸爆焙烧炉简图、

1. 加料前室; 2. 沸爆床; 3. 冷却水套门; 4. 热气喷口; 5. 溢流口;
6. 带气封的下料管; 7. 烧矿清出口;
8. 前室送风斗; 9. 送风斗; 10. 炉底支柱; 11. 送风管; 12. 扫除门;
13. 炉气出口; 14. 清扫门; 15. 操作门。

将冷至 100°C 以下的烧矿最后用皮带运输机送至竖缶炼锌的制团工序。

(二) 高温焙烧的生产实践

如所周知, 竖缶炼锌的焙烧工序原先系通过两段焙烧而实现的。即第一段的脱硫焙烧和第二段的脱除杂质的所谓“死烧”。通过一五七年以前的试验研究工作及一九五八以后长期的生产实践均说明, 採用高的沸腾床温度进行焙烧可以成功地使烧矿达到“死烧”的目的从而使竖缶炼锌的焙烧工序得以简化。

1. 高温焙烧的技术条件与技术过程

为了使焙烧矿能够直接进行竖缶蒸馏, 在焙烧过程中除了把精矿含硫脱除至最低限度外, 还要把精矿中的 Pb 及 Cd 等主要杂质脱除大部

套門, 每个門可以按裝 0.75 平方米冷却面的水套一块。炉底空气分布板所採用的风帽如图(2)所示。风帽系以同心圆排列, 列距 175 毫米(前室则为方形排列)。共計裝有风帽 627 个(包括前室的 32 个)。风帽的风眼面积总和为炉底面积的 1.05% 。风帽間填灌 250 毫米高的耐热混凝土。这种炉底的結構可以保证在高温下的长期使用。

炉內及前室分別送风, 鼓风机里按裝有压力为 1700 毫米水柱, 风量为 19800 立方米/时的离心式鼓风机两台, 供应三个沸爆炉所需的风量。另外按裝一台风压为 2000 毫米水柱, 风量为 6720 立方米/时的叶式鼓风机作为备用。

沸腾床温度及鼓风量均採用自动记录仪指示与控制。

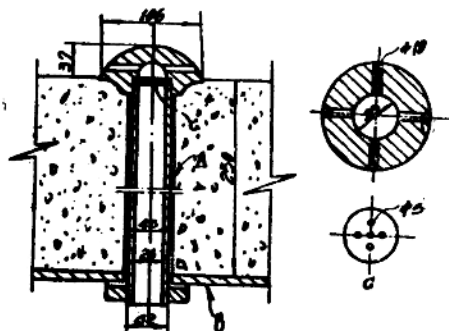
3. 炉气收尘系統

炉子的炉气出口有两个, 按裝有两套两段式多火管炉气冷却水套, 每套的冷却面积为 98 平方米, 将炉气由 $1000 \sim 1050^{\circ}\text{C}$ 冷却至, $450 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 进入 8 个直径为 700 毫米的 IMHOF a3 型旋渦收尘器, 然后通过高温电收尘器送往制酸。

炉气冷却水套及旋渦收尘器所收集的烟尘, 如返回炉內再处理或送回轉窑处理均需輸送。烟尘的輸送过程为由集尘斗排入迴轉筒中进行冷却, 从迴轉筒排出並过篩以除去其结块部分, 然后用吸式风动輸送, 再由旋渦收尘器及布袋收尘器分別将烟尘收下集中在所需要輸送到达的地点。这种輸送方式比較适应。

4. 排料系統

烧矿从溢流口不間歇地排出, 进入沸腾冷却箱中, 由 1000°C 迅速地冷至 360°C , 然后再进入迴轉筒中冷却及輸送,



图(2) 风帽简图、

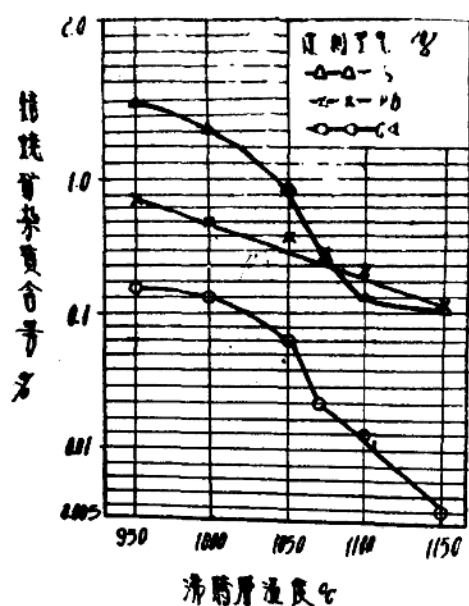
A. 鍍鋅铁皮管; B. 石棉垫; C. 阻力板。

分。

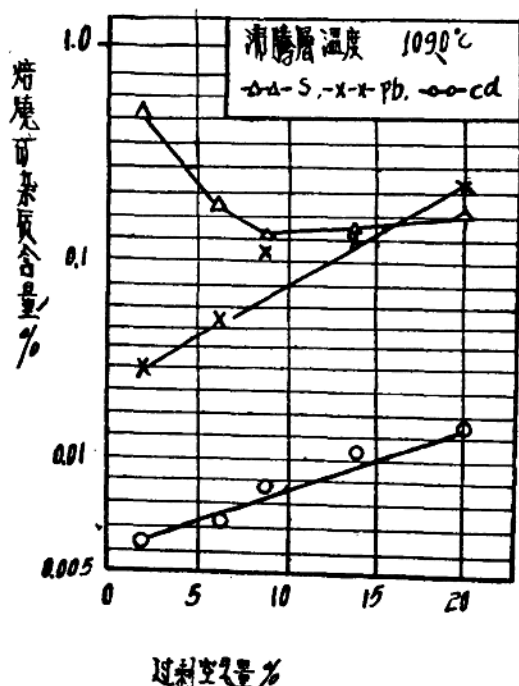
由于沸腾床中的强烈氧化过程， PbS 及 CdS 迅速地转变为氧化物。而 PbO 及 CdO 需要较高的温度始能大量挥发。当这些杂质一经挥发就成为细微的尘雾，很容易为上升的炉气带至沸腾床外，并随炉气进入收尘系统中。

当过剩空气量为20%时，焙烧温度从950℃至1150℃，对焙烧矿的脱硫已比较不甚显著。虽然温度愈高，残硫有所降低，这可能是高分解点的硫酸盐分解的原故。 Pb 和 Cd 的脱除随温度的升高而增加。 Cd 在1050℃以上始大量挥发。而 Pb 在1070℃以上始有效地升华。两者在950℃时基本上不挥发。焙烧矿的杂质脱除与焙烧温度的关系如图(3)所示。

影响杂质脱除的另一个因素为过剩空气量，也就是焙烧的气氛。一般说来，过剩空气量过小时将会影响焙烧矿的残硫升高，特别是在理论空气量或者不足理论需要量时更为显著。但是如果控制过剩空气量在适当的范围内不致于影响残硫的升高。对 Pb 及 Cd 来说，在一定的温度条件下，过剩空气量愈小则脱除的效率愈高，特别是对提高脱 Pb 效率更为有利。在沸腾床温度为1090℃时，过剩空气量由20%减少至2%，则烧矿中含 Pb 量降低约8倍，而含 Cd 量降低约4倍。可以认为，由于过剩空气量的减少，沸腾床中的氧化速度相对的减慢，从而有利于硫化物的优先挥发，特别是硫化铅的挥发较为容易。这种情况在铅精矿的制粒沸腾焙烧试验中也得到证实，即粒径大的脱 Pb 效率较高，小的则较低。焙烧矿的杂质脱除与过剩空气量的关系如图(4)所示。



图(3) 烧矿杂质的脱除与焙烧温度的关系



图(4) 焙烧矿杂质的脱除与过剩空气量的关系。

由此可见，取得较高质量的焙烧矿应该保持较高的焙烧温度和较小的过剩空气量。但是必须

注意到：（1）焙烧温度的高低决定于精矿的性质，焙烧温度不能超过精矿在沸腾床结块的温度。四〇一厂所用的锌精矿在沸腾床中引起全部结块的温度一般在1180~1200℃也不宜采用接近结块的温度进行焙烧，否则操作控制会因而极为紧张，偶有失误就会导致沸腾床结块而被迫停炉；（2）如果过剩空气量过小，不仅会使烧矿的残硫升高，而且也造成烟尘的含硫量更为增高，使总的脱硫率降低，这是不希望有的。

经过长期生产实践证明。适宜的沸腾床温度为1070~1100℃，过剩空气量为5~10%，所产生的焙烧矿完全满足豎缶蒸馏的要求。所取得的主要技术经济指标列于表（1）中。

表（1）高温焙烧的主要技术指标

炉子处理量，吨/日	112~120
单位床能力，吨/M ² 日	6~6.5
过剩空气量，%	8~12
沸腾床直线速度，米/秒	0.6~0.64
沸腾床温度，℃	1070~1100
炉顶温度，℃	1030~1050
旋涡收尘入口温度，℃	450~470
电收尘入口温度，℃	250~300
精矿成分%，Zn	45.5~48.3
Pb	0.8~1.0
S	26.6~28.5
Cd	0.2~0.24
溢出烧矿%，Zn	55.8~58.6
Pb	0.12~0.3
S	0.25~0.5
Cd	0.01~0.025
矿尘率，%	20~25
脱S率，%	94~99
脱Pb率，%	60~75
脱Cd率，%	90~95
炉气SO ₂ 浓度（体积），%	10~12

高温焙烧的烟尘率较小，一般是沸腾床温度愈高产出的烟尘量愈少，如表（2）所列，焙烧温度为930℃的烟尘率将近为1100℃的三倍。烟尘率的降低主要系由于在高温条件下矿粒已开始软化，粘结成小粒。从高温焙烧后的烧矿粒度变粗就可以说明这一过程（筛分析比较列于表（3）中）。也正是由于这一原因，如果沸腾床突然停止鼓风，就会引起整个沸腾床粘结成块，终于被迫停炉。

表(2) 焙烧温度与烟尘率的关系,

沸腾床温度, $^{\circ}\text{C}$	930	1050	1100
烟尘率, %	34.8	22.8	12.6
沸腾床直线速度米/秒	0.372	0.402	0.455

表(3) 不同焙烧温度所产出焙烧矿的筛分析。

沸腾床温度 $^{\circ}\text{C}$	通 过 筛 目 (累积百分率)							
	20	40	60	80	100	120	140	160
900~950	97.85	96.10	94.0	83.6	69.3	47.0	41.5	27.8
1070~1100	98.5	93.0	82.4	61.2	21.6	13.2	4.8	2.1

在相同的焙烧温度下, 如果沸腾床直线速度愈大, 则烟尘率也愈大, 换言之, 提高生产率也会相应的增加烟尘率, 如图(5)所示, 直线速度为0.62米/秒时的烟尘率较0.46米/秒时的烟尘率增加将近一倍。过大的烟尘率是不希望的, 它给处理上带来很多麻烦, 所以生产能力在一定程度上受到限制。

此外, 烟尘率的大小, 还与精矿的粒度有关, 精矿的粒度愈细烟尘率也相应地增大。

产出的烟尘由于杂质含量很高, 不能作为竖缶蒸馏的炼料, 烟尘的一般化学成分列于表(4)中。其中电收尘器的烟尘已经成功地提取镉及其他有用金属, 实现了原料的综合利用。其余的烟尘均需加工处理, 将杂质除去后再作炼料使用。关于解决烟尘的处理问题, 在试验期间曾通过制粒后返回沸腾床再处理, 随后在生产上也作过同样的试验, 均说明

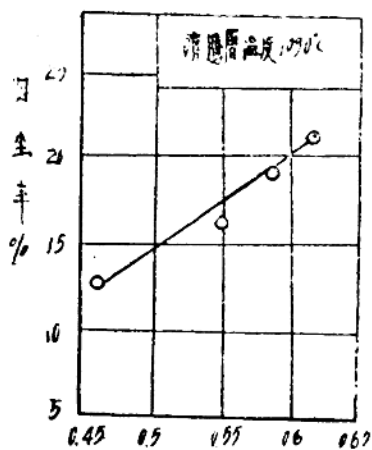


图5

表(4) 烟尘化学成分 (%)

	Zn	Pb	T	Cd
炉气冷却器烟尘	45~50	1.2~1.8	5~6	0.5~0.7
旋涡收尘烟尘	43~49	1.8~2.5	5.5~6.5	0.8~1.2
电收尘烟尘	38~45	9.5~12	10~13	4.5~7.0

这一处理方法是可行的。在一定的返回量下不致影响烟尘率的增高和降低烧矿的质量。試驗指出，烟尘的返回量最大不能超过20%（正常是15~18%）过多的返回将会影响过程的恶化，而且由于採用固定式的沸騰床冷却水套，过多的返回烟尘将会扰乱已經相适应的热平衡，使焙烧温度不能达到指标。

目前，由于生产率提高，相应地增加了烟尘率，和烟尘的制粒設備尚存在問題，所以烟尘尚未返回沸騰床再处理，而由原来用作二段焙烧的迴轉窑进行处理。

應該指出，解决烟尘的处理問題，較好的方法为使揮发性的金属不致在重力收尘系統中冷凝下来，而尽可能使它們集中在电收尘器中，这样，重量收尘所获得的烟尘有可能直接作为鑛料用，而且也有利于原料的綜合利用。关于在收尘系統中分离揮发性金属的問題仍有待于今后的研究。

2. 操作及故障的处理

沸騰床的操作較为简单，而且控制也較容易。几年来认真实行定风量，定料量，定温度的操作經驗，有效地控制沸騰床温度在5~10℃范围内波动，得到良好的焙烧质量。在生产上由于精矿的含硫量經常有1%左右的波动，而且高温焙烧必須控制的温度波动范围只容許30℃，所以精矿含硫量的少量波动会影响沸騰床的温度高于或低于指标。如果經常以改变风量及加料量来調正必然影响操作的稳定性。因此，採用一种管式活动冷却水套斜插入沸騰床中（同时可以插入4~5个），来調正沸騰床温度在控制指标范围以外的較小差距，以避免过于頻繁的改变操作条件。这种管式活动水套的传热系数为250~330仟卡/平方米，小时度。

对开炉的操作也作了改进，首先向炉底鋪入厚度100約毫米的焙烧矿，鼓入需要的风量后由圆盘加料器繼續加入焙烧矿，直至炉底风斗的压力降达到600毫米水柱时即停止加入。然后点燃煤气噴咀，煤气噴咀仅作为点火用。煤气点火后即向沸騰床噴入重油，使沸騰床的温度迅速提高到200℃，然后向沸騰床噴入鋸末，待温度升至400℃时即改噴入粉煤，沸騰床温度便很快地提高到800~900℃，这时便可以加入精矿。开炉時間可縮短至6~8小时。这主要是利用低燃点的燃料在沸騰床内部燃烧，借助于沸騰床內的良好传热特性，使整个沸騰床的温度迅速提高，从而减少燃料的消耗。如果不使用煤气点火时也可以用木柴代替。不过，應該指出，这种快速开炉預热方法不适用于新砌的炉子，新砌的炉子第一次开炉預热仍按通常的速度进行。

几年来所遇到的操作故障主要有：鼓风机断电，加料前室堵塞，沸騰床沉积或結块，以及冷却水套漏水等。

鼓风机的突然断电可能造成沸騰床結块，但如果有計劃的停电可以預先降低沸騰床的温度至安全范围内（900℃內），就可以避免結块。加料前室的堵塞主要系由于加入原料的控制不严，或者原料的水分过大，湿矿团过多所引起的。夹杂在精矿中的杂物如砖块鉄器等，以及較粗的矿粒，首先就在前室中沉降，日久便堆积成一固定床，堆积过多时便造成堵塞。一般生产約三个月左右便产生堵塞，需要停炉2~3小时进行处理。处理的方法是将前室的工作門打开，清出其中堆积物便可再鼓风开炉。至于沸騰床的沉积也往往是由于对于原料的粒度控制不严所造成的，严重时会被迫停炉。可定期地用壓縮空气管插入沸騰床鼓风处理，使粗粒矿由溢流口排出以減輕这种沉积过程，但是根本的办法仍然是在加料前严格控制精矿的粒度。此外，某些精矿的軟化点过低时（只占配料比的一部分）也会引起炉底的沉积产生。只有适当的降低焙烧温度和随后减少这种精矿的配料比例才能消除。沸騰床的結块是由于温度控制不填，达到炉料的燒結温度而引起

的，这种结块产生非常突然，一旦达到炉料的结块温度便整个床不沸腾，另外一种结块情况是由于局部的风帽堵塞所引起的，随着风帽的堵塞严重，结块范围也扩大，直至全面不沸腾。前者一旦发生就须停炉处理，所以根本的办法是严格的控制操作温度，后者由于系逐渐产生，可以根据炉底风斗的压力降上涨情况，预料风帽的堵塞程度，作出换炉检修的安排。沸腾床的固定冷却水套，除了因断水或施工质量不良而烧坏外，可以保证长期的使用。唯活动水套如使用时间较长常易产生漏水故障，可以随时更换。

3. 尚存在的问题

虽然经过长期的生产实践，但仍存在两个主要的问题未获解决：

(1) 如前所述，由于焙烧温度相当高，使矿粒表面开始软化。所以一旦遇到难以完全避免的事故突然断电（即突然停止鼓风），就会使沸腾床粘结成块而被迫停炉。

(2) 由于高温焙烧所引起的炉底结瘤不能消除（如果焙烧温度在 950°C 以内没有产生这种结瘤现象）。停炉观察到整个炉底均产生结瘤，一般结瘤厚度为200毫米，有的高达350毫米观察结瘤块可以清楚地看到是一层层逐渐形成的。在整个结瘤层形成许多风沟及风洞，在逐渐的结瘤过程中通过这些风沟及洞风尚能使空气比较均匀的鼓入，所以还能保持较好的沸腾床。但是，随着结瘤厚度的逐渐增加，使风眼堵塞愈来愈多，便影响到炉子的连续操作周期不能进一步延长，一般连续操作6个月左右就需要停炉清理炉底。

(三) 设备的改进

自试验研究以至投产以来，在设备的设计及选择上做了一些改进的工作，主要有如下几方面。

1. 炉本体方面。

采用高温焙烧需要有耐热的炉底结构，特别是对风帽的选择。在半工业性试验期间曾采用直孔式“菌形”风帽，这种风帽虽可以造成良好的沸腾床，但是在高温条件下由于风眼过小（眼径2.5~3毫米），极易堵塞，操作期最长不超过一个月，而且由于风帽表面过薄，也易于烧坏。因此，在后来的生产炉设计中就抛棄了这种风帽，而采用侧孔式“伞形”风帽（如图（2）所示）。生产实践证明，这种风帽的优点在于风眼在侧面，而且风眼较大，不易很快为结瘤所堵，同时风帽的面表也较厚，不易烧坏。所以它的使用期较长，使用12~16个月才更换一次，纵使由于高温下炉底结瘤的不利影响，它仍能保持炉子连续操作6个月左右。风帽的材质为含硅4~5%的铸铁。

对沸腾床的固定冷却水套在结构上也做了改进，即将水套四周做成弯边然后焊接，使焊缝藏在炉墙内，不致与沸腾床直接接触，可以防止产生湿水的故障。在冷却水套表面也形成一层1~3毫米厚的结瘤层。由于这一结瘤层的形成，影响冷却水套的传热系数逐渐下降，开始时在200~250仟卡/平方米，时，度，逐渐降至100~150仟卡/平方米时，度（一般采用平均值为120仟卡/平方米，时，度）。但是，也正是由于结瘤层的形成，可以保护冷却水套表面不受沸腾床矿粒的长期强烈的摩擦而损坏。这种冷却水套有的已经使用三年，仍然良好。

2. 排料方面。

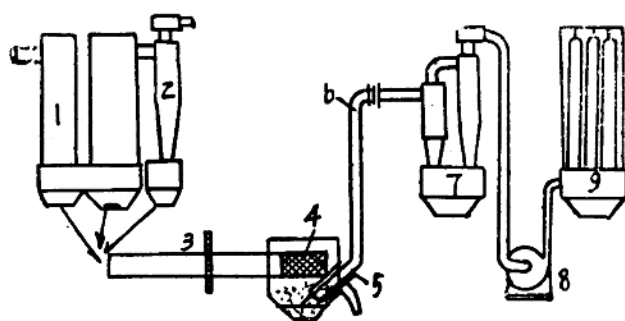
从溢流口排出的焙烧矿温度在 100°C 左右，需要冷却至 100°C 以下，才输送至下一工序使用，原先系采用从外部淋水冷却的迴轉筒进行冷却及输送。但是实践证明，这种迴轉筒只于宜于多层焙烧炉的烧矿冷却，而不适用于高温沸腾焙烧炉。因为沸腾焙烧炉所排出的焙烧矿不仅数量

却器已經担負了一部分重力收尘作用。这样可以减少炉气系統的阻力，从而有利于高温电收尘器的正常操作。在不同烟尘率的条件，炉气系統的烟尘率分布如表（6）所示，由表可見，焙烧温度高时，烟尘的粒度也較粗，所以在炉气冷却器沉降的比例也較大。而电收尘器所占的比例較低温度焙烧时多，是由于高温焙烧所产生挥发作用而形成的微粒，其中相当部分不能在旋渦收尘器沉降而集中在电收尘器所致。

表（6）炉气系統的烟尘分布比例

沸騰层温度 ℃	烟尘率	收尘系統的烟尘比例 %		
		炉气冷却器	旋渦收尘器	电收尘器
900~950	40~50	38	54	8
1070~1100	20~25	60	30	10

如前所述，高温焙烧所产出的烟尘，除电收尘器的可作为綜合利用原料外，其余的均需輸送至迴轉窑处理。关于烟尘的輸送曾經試驗过多种方案，最后採用迴轉筒冷却后用吸式风动輸送裝置进行輸送。这一过程如图（7）所示，从炉气冷却器及旋渦收尘器所排出的烟尘温度在 350~700℃ 之間，进入外部淋水的迴轉筒中进行冷却及过篩后，篩下部分由一吸咀吸入很长的輸送管道中，一直送至需要到达的地点，然后用旋渦收尘器及布袋收尘器将烟尘收下並集中在一起。每一单元的輸送能力平均为每小时二千四百二十公斤，每立方米空气輸送烟尘量为1.18公斤，收尘效率达98.6%。



图（7）烟尘风动輸送流程图

1. 炉气冷却器；2. 旋渦收尘器；3. 迴轉筒；4. 迴轉篩；5. 吸咀；6. 輸管道；7. 旋渦收尘；8. 排风机；9. 布袋收尘。

炉气冷却器的使用仍存在缺点，主要是气管易为烟尘的結痂所堵，和一旦断水便很易烧坏，而且使用的寿命也不太长。所以，最近已經結合炉气废热利用的研究，改装成汽化冷却，以产生低压的蒸汽，以期解决这一問題。

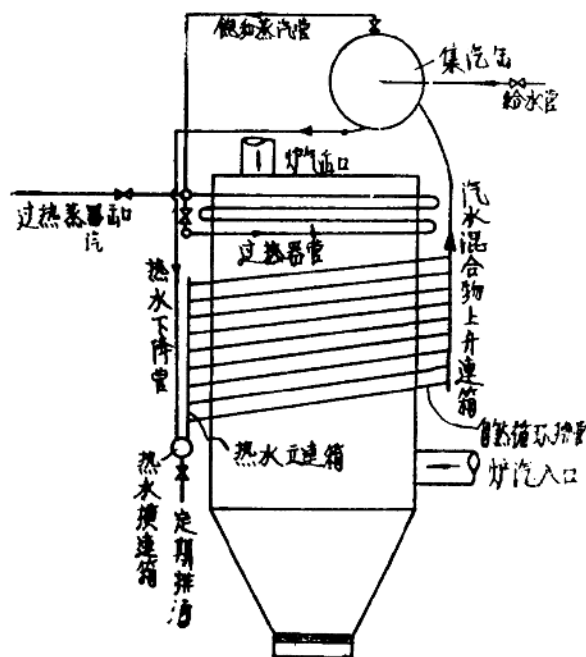
二、沸腾焙烧炉的废热利用

(一) 硫化铁矿炉气废热锅炉的生产实践

硫化铁矿沸腾焙烧的炉气含尘量为 $150\sim 200$ 克/立方米，而且在冷却过程中不会产生严重的烟尘结垢现象。因而就为采用一般的水平式或倾斜式的水管锅炉提供了有利的条件。不过，关键问题是防止酸雾在管壁上冷凝而腐蚀水管。国外资料记载，防止侵蚀水管的方法大致有：（1）提高蒸汽压力达 $40\text{Kg}/\text{Cm}^2$ 以上，从而使锅炉管壁温度高于炉气露点 $240\sim 250^\circ\text{C}$ ，消除酸雾冷凝的可能性；（2）利用高沸点的热载体作为热的中间介质来汽化水。前者施工技术复杂，后者设备庞大，操作也较复杂。

由于在生产上并不需要高压蒸汽，为了寻找生产低压蒸汽（ $3\sim 4\text{Kg}/\text{Cm}^2$ ）而防止腐蚀水管的有效方法，管径进行过多次的工业性试验，已经找到了比较简易的有效途径，从而使工业性的炉气废热锅炉得以正常运转。

炉气废热锅炉的流程示意如图（8），它的炉气入口连接沸腾炉的炉气出口，它的炉气出口连接旋涡收尘器而至电收尘器。锅炉的结构为蒸发管是由18排自然循环管组成，每排8根管，共计144根管，受热面积共为80平方米，热水由集汽罐经热水下降管进入横联箱中，再分别充满横联箱上的8个立联箱，每个立联箱有18根蒸发管（由下至上共有18排），热水进入自然循环管内，受热变成汽水混合物上升立联箱回到集汽罐中，经汽水分离后，饱和蒸汽导入过热器加热，最后由过热器导出送入全厂供汽系统中使用。



图（8）炉气废热锅炉流程示意图

自然循环的方式可以简化锅炉的附属设备,而且在集汽缸内给水可以克服由于冷水进入蒸发管所造成的管外壁温度过低而带来的不良后果。

为了防止酸雾冷凝而侵蚀管壁,除了上述的给水方式可以提高进入蒸发管的水温外,主要的是将锅炉管改为套管式的,即用 $\phi 38$ 毫米的无缝钢管外套以 $\phi 57$ 毫米的无缝钢管,在两管之间的空隙堆充以100网目的炭化硅灰,以降低传热系数,提高管外壁的温度达到硫酸的○点以上,从而防止硫酸的冷凝,这种结构成功地解决了酸雾侵蚀水管的问题,而且也较简易可行。

过热器的管子不用套管及填充炭化硅灰,只用 $\phi 57$ 毫米的无缝钢管制成。因为过热器的管外壁温度可以保持在硫酸的沸点以上,不致于受到侵蚀。

锅炉管与炉墙应该严密结合,因为漏入任何的冷空气会使局部的水管受到侵蚀。

在锅炉的运行中所测得的数据和计算的结果列于表(7)中,从表中的数据看来,管外壁温度高于硫酸露点,从而基本上避免了硫酸的冷凝,有效地解决了腐蚀问题,保证了锅炉的长期运行。不过,传热系数较低,这是由于有意识的采用双套管间填充炭化硅灰的原故,

表(7) 炉气废热锅炉生产实践数据

炉气量, M^3 小时,	1200
炉气温度, 锅炉进口, $^{\circ}C$	1010~1030
过热器进口, $^{\circ}C$	650~700
锅炉出口, $^{\circ}C$	600~650
蒸发管总面积, m^2	80
锅炉阻力, mm 水柱,	10~15
给水温度, $^{\circ}C$	15
给水量, kg /小时,	2600
排污量, kg /小时,	110
产出蒸汽量, kg /小时,	1500
蒸汽压力, kg/Cm^2	2~4
蒸发管的传热系数, 仟卡/ m^2 ·时·度,	17.2
过热器的传热系数, 仟卡/ m^2 ·时·度,	18.4
过热蒸汽温度, $^{\circ}C$	320
蒸发管外表面温度 $^{\circ}C$	527
过热器管外表面温度, $^{\circ}C$	460

此外,为了防止在开停炉过程中造成酸雾在管壁上冷凝,在开炉前必须将锅炉预热至必需的温度后再通入炉气,在停炉后仍必须保持锅炉的温度至炉气排净为止。

锅炉的扫除也比较方便,可以用人工进行或者用2~3 kg/Cm^2 的压缩空气进行。

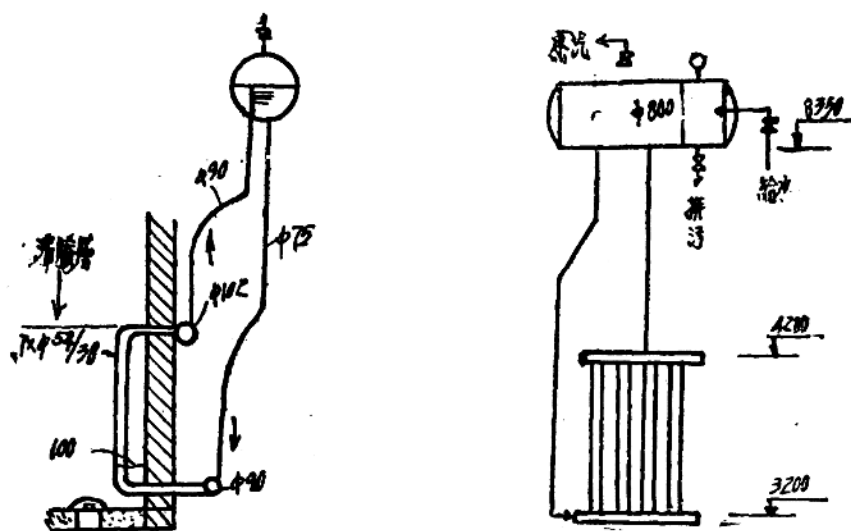
(二) 锌精矿沸腾焙烧炉的废热利用,

由于沸腾炉采用干法加料,它的废热利用分为沸腾床的废热及炉气的废热两个方面。几年来曾进行过一系列的研究试验工作,已经找到了比较简易而切实可行的途径。

1. 沸腾床的废热利用。

鋅精矿沸騰焙燒中从沸騰床排出的余熱可以产生 1400~1800 kg/小时的蒸汽量，而且經過对沸騰床箱式冷却水套的长期观察表明，其被摩擦損的程度並不严重。也不存在炉气酸霧的侵蝕及扫除等問題。这样，沸騰床的廢熱利用較炉气廢熱利用所存在的問題少些。

通过一些探索性的試驗之后，採用如图（9）的廢熱利用裝置进行試驗。这种裝置的选择主要是：（1）为了使冷却水系統能够得到良好的自然循环，和能够承受 $4\text{kg}/\text{cm}^2$ 的操作压力，所以将原来的箱式冷却水套改为排管式的；（2）为了避免妨碍沸騰床的正常运动，故将排管按裝在靠近炉的内壁，不过这种按裝方法将会影响排管传热面的有效利用；（3）为了避免在个别排管发生意外破裂时，大量的水注入沸騰床而影响生产，因此，每組排管設有单独的水循环小型汽鼓。該裝置的結構为排管由7根 $\phi 57 \times 5$ 的無縫鋼管組成，联箱为 102×6 的無縫鋼管。循环汽鼓为 $\phi 800 \times 1200$ ，受熱面积为 0.8 平方米，設計的蒸发能力为每小时 150~230 公斤蒸汽（在传热系数为 150~230 仟卡/平方米，时，度）操作压力最大为 $4\text{kg}/\text{cm}^2$ 。



图（9）排管式沸騰床冷却試驗裝置簡圖，

这一裝置投入生产試驗后，除了因按裝时使排管过分靠近炉内壁，影响传热系数未达到設計要求外，其他均达到預期的要求，可以认为这种廢熱利用的方式是比較簡易而切实可行的。

2. 炉气的廢熱利用。

鋅精矿焙燒的炉气，所带出的烟尘在冷却过程中产生大量的硫酸盐結垢，粘附在冷却管上不易清扫，这样，如採用一般的水管式鍋炉是困难的。所以解决硫酸盐結垢的清扫問題为採用廢熱鍋炉的前提条件。

鋅精矿沸騰焙燒炉的炉气冷却器原系採用多火管的冷却水套，主要是为了在火管中便于清扫結垢。生产实践說明，如果按制度进行清扫是可以解决火管中的結垢問題的。由于这种清扫方式較为簡單，有可能比較簡便地实现机械化或半机械化进行清扫。所以有可能採用火管式的鍋炉来实现炉气的廢熱利用。

随后，利用一座沸腾炉的炉气系统进行大修理的机会，设计了一套多组单火管水套冷却器，配置了自然循环系统，使既能全部用水冷却，又能进行汽化冷却，产生 $2\text{kg}/\text{Cm}^2$ 压力的蒸汽。这一设备已经投入生产试验，基本上达到了预期的结果，可以得到 $2\text{kg}/\text{Cm}^2$ 压力的蒸汽。总结经验后便可以在其他炉子上推广使用，因此，可以说已经为炉气的废热利用找到一个简便的途径。

总的看来，沸腾焙烧的废热利用是有前途的，并且已经找到了可能实现这一目的的途径。通过这几年的试验工作，对沸腾焙烧炉的废热利用问题，认为：

(1) 不同性质的炉气应该相应地采用不同类型的废热锅炉，例如，易于结垢的炉气直采用火管式的废热锅炉。

(2) 不论水管式或火管式的废热锅炉均可以採用自然循环。

(3) 实践说明，锌精矿沸腾床的废热利用比炉气的废热利用较易解决，因为前者存在的不利因素较少。

三、結 論

1. 锌精矿沸腾焙烧已经成功地作为竖罐炼锌所采用。由于简化了焙烧工序，不仅节省基本建设投资，而且降低了冶炼成本。

2. 由于高温焙烧的实践，为原料的综合利用创造了条件。已经成功地从电收尘的烟尘中回收铜及其他有价金属。不过，如何使挥发性金属在收尘过程中得到有效的分离，仍有待于今后的研究。

3. 硫铁矿沸腾焙烧的炉气废热利用，由于比较简便地解决了水管被腐蚀问题，已经成功地应用于生产，得到了 $3\sim 4\text{kg}/\text{Cm}^2$ 压力的蒸汽。至于锌精矿沸腾焙烧的废热利用，也已经找到了比较简易可行的途径。

参 考 文 献

- (1) 四〇一厂编：竖罐炼锌（1960年3月，内部资料）
- (2) 温庆骥：沸腾焙烧（草稿）（1959年5月内部资料）
- (3) 四〇一厂：锌精矿高温氧化焙烧操作经验（1958年5月内部资料）
- (4) 四〇一厂：矿尘吸式风动输送工作情况总结（1959年10月内部资料）
- (5) 四〇一厂：3"沸腾炉沸腾冷却箱实验报告（1959年，内部资料）
- (6) 吕云山：锌精矿制粒沸腾焙烧试验报告（1957年，9月内部资料）
- (7) 温庆骥：锌精矿沸腾焙烧试验（有色金属，1957年，9第期）
- (8) 史成仁：沸腾焙烧沸腾层废热利用试验设备的設計说明（1961年9月，内部资料），
- (9) 吴玉俊：四〇一厂硫铁矿废热锅炉使用情况总结（1961年10月内部资料）
- (10) 傅绍康：61年改进硫铁矿废热锅炉使用情况总结（1962年，1月，内部资料）
- (11) BASF法沸腾焙烧黄铁矿问题（国外硫酸工业技术概况、卷I含硫原料的焙烧，第一分册，1961年1月）