

硫酸厂的废热锅炉

陈植桑 编

Q111.19

化学工业出版社

TQ111.19

硫酸廠的廢熱鍋爐

陈植榮 編

化学工业出版社

本书討論了硫酸工业废热利用的經濟性与必要性，詳細闡述了废热利用的裝置，并根据硫酸工业废热利用与其他工业不同的特点在总结有关这方面經驗的条件下，提出合理的特別措施；以及废热利用裝置的設計和計算方法，为硫酸工业的废热利用采用合理与節約的新技术提供参考。

本书可供硫酸工业及有关工业部門的生产、設計和研究等工作人員和大专学校硫酸及化工机械专业师生参考之用。

硫酸厂的废热鍋炉

陈植榮 編

化学工业出版社 出版 北京安定門外和平北路

北京市书刊出版业营业許可証出字第092号

化学工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

开本：787×1092公厘1/16 1960年5月第1版

印张：4 $\frac{4}{16}$

1960年5月第1版第1次印刷

字数：62千字

印数：1—3,100

定价：(10) 0.58 元

书号：15063·0667

自 序

硫酸生产过程之废热利用问题，具有重大经济意义，在世界各国硫酸工业中，废热已被重视，并加利用。我国对此问题虽已着手研究，但国内专书鲜见，有志于此道者往往亦因资料不足而感困难。为此，编者不揣愚陋，借工余之暇将这方面的经验加以整理写成本书。

本书阐明废热利用之利害关系及介绍废热利用之装置，并根据硫酸工业废热利用与其他工业不同之特点，提出合理之特别措施，以及废热利用装置之设计及计算方法，为我国硫酸工业的废热利用采用合理与节约之新技术方面提供参考。

因限于编者水平，本书内容失当之处诚恐难免，敬祈广大读者多加批评指正。

陈植桑

引 言

硫酸是化学工业的重要产品，对国民经济和国防事业起重大作用。硫酸的用途很广泛，很多工业部门尤其是化学工业部门，都需要消耗大量的硫酸，因此，从一个国家的硫酸产量可以看出它的工业生产水平。过去我国工业落后，现在正大力发展工业，以赶上世界先进水平，硫酸的生产当然亦为适应各工业部门的发展而迅速扩大。

由于硫酸生产的日益增加，降低硫酸的生产成本、采用新技术提高生产率和降低消耗定额，是硫酸工作者的重要任务。因为达到这个目的，将能为国家创造出更多财富和节约大量资金。

硫酸生产过程中，所产生的废热是很多的，回收这些废热，并且把废热变成有效的能，将能大大地降低硫酸的生产成本，提高硫酸的生产率，同时也能降低硫酸生产的消耗定额。为了便于说明经济问题，兹引述下列一些计算数字^①以供参考。

一个年产硫酸400万吨的国家，如果能够有效的利用硫酸生产过程所放出的废热，每年可以回收2,600,000,000,000多仟卡的热量。

把这些热量折合成发热量为每仟克7000仟卡的标准煤的话，每年可以代替标准煤的消耗量约为40万吨。

倘若采用废热锅炉，把废热变成蒸汽，再用蒸汽来发电的话，每年发出的电能约为6亿多度。

若电价按照每度0.08元计算，则每年约可回收电费4800多万元。

将回收的电费计算在硫酸生产的成本核算中，将可以降低硫酸的生产成本为15~20%以上，如果将废热锅炉所产生的蒸汽，用作热电的综合利用，则其使用价值更高，对于硫酸生产的经济性更为有利。加之有效地利用废热，对于提高硫酸的生产率和降低生产消耗定额都有相应关系。由此看来，硫酸工业中的废热利用是个实际问题，值得我们大大注意的。

随着科学技术的进步，硫酸工业也大力采用崭新的技术，近十余年来，由于采用沸腾焙烧作为矿石的焙烧作业具有显著的优点，而获得了迅速的发展，广泛地被各国采用。目前国内新建和扩建的硫酸工厂，矿石的焙烧作业大都采用沸腾焙烧进行，所以本书所讨论的对象，亦以沸腾焙烧作业过程的废热利用为重点。

^① 所述可以回收的热量、煤量、电量及电费等数字，均是指沸腾焙烧作业过程的废热；并于转化、吸收和成品结晶过程的废热尚未包括在内。数字来源，详见第一章中的论述。

目 录

自序

引言

第一章 废热利用的经济性和必要性	1
第二章 硫酸工业废热利用的特点	4
一、矿料的燃烧温度	4
二、炉气中的三氧化硫	5
三、炉气中的粉尘	5
第三章 废热锅炉	9
一、废热锅炉的分类	9
二、气管式废热锅炉	9
三、套管式废热锅炉	10
四、水管式废热锅炉	12
五、多倍强制循环蛇形管废热锅炉	13
第四章 沸腾焙烧炉冷却装置	19
一、沸腾焙烧炉冷却装置	19
二、沸腾焙烧炉冷却装置水循环的可靠性	23
第五章 硫酸工业废热利用装置中的特别措施	25
一、防止炉气中的三氧化硫冷凝下来腐蚀受热面的措施	25
二、防止粉尘磨损受热面的措施	26
三、保证沸腾焙烧炉冷却装置循环系统可靠地工作	27
四、起动时用的燃烧装置	29
第六章 高温有机载热体废热锅炉	32
一、高温有机载热体的物理化学性质	32
二、高温有机载热体废热利用装置的流程	33
三、高温有机载热体废热锅炉的结构	33
四、二次锅炉	34
第七章 物料平衡及热平衡计算	36
一、焙烧炉物料平衡计算	36
二、废热锅炉气体平衡计算	38
三、焙烧炉热平衡计算	39
四、废热锅炉热平衡计算	40
第八章 热力计算	46
一、沸腾焙烧炉冷却装置的热力计算	46
二、废热锅炉热力计算	47

第一章 废热利用的经济性和必要性

焙烧炉内矿料燃烧温度的适当与否,对焙烧作业来说,十分重要。通常沸腾焙烧炉沸腾层的温度为 $800\sim 900^{\circ}\text{C}$,但硫在燃烧时的温度可以比这个数字高得多。为了保证矿料在适当的温度下进行燃烧,必须从沸腾层中导出大量的热,每生产1吨硫酸^①从沸腾层中导出的热量就达354,000^②千卡。

已有的沸腾焙烧炉的沸腾层,是采用水的直接或间接等两种冷却方法来保证温度。

直接冷却是将水直接喷入焙烧炉的沸腾层上,水吸收了热后蒸发成水蒸汽和炉气一起排出,以达到冷却目的。但是,这样将会增加炉气的湿度,因而影响炉气的质量,同时热量也无法回收。

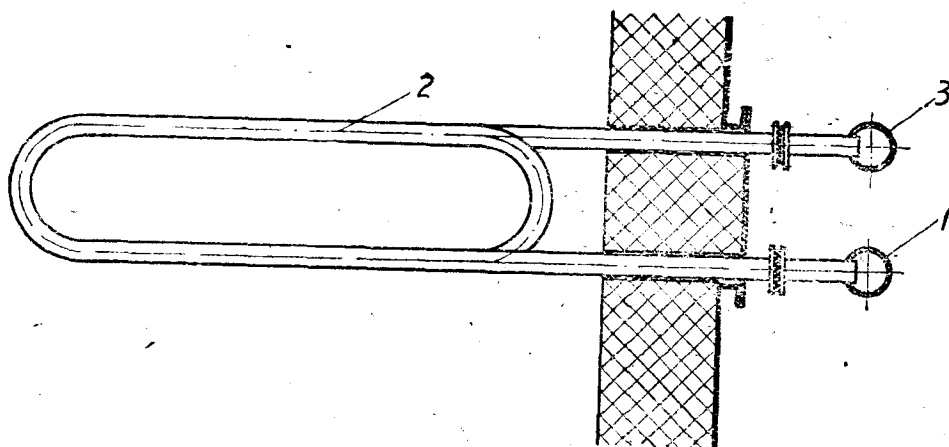


图 1 沸腾焙烧炉沸腾层冷却水管装置

1—下联箱; 2—冷却水管; 3—上联箱

间接冷却的型式很多,通常采用冷却水管插入沸腾焙烧炉的沸腾层内;或者采用冷却水箱装置在沸腾焙烧炉的炉墙上。

冷却水管通常采用直径 89×10 毫米的无缝钢管,弯成长形环状的蛇形管,分成几组插入沸腾层内,其装置如图1所示,环的圈数通常采用两圈,常温的冷却水自下联箱进入蛇形管,在沸腾层吸收热量之后,经由上联箱排出。

冷却水箱通常采用12公厘厚的钢板制成,其装置如图2所示,宽度约为600毫米;高度约为1000毫米,下部装有进水口,上部装有出水口,中间装上手孔,以便清除水箱内部的污垢。

间接冷却装置,冷却水的进口温度通常是常温,排水排入下水道时,排水温度约为 40°C ;若采用循环水冷却时,排水温度还可以稍高一些,但冷却水的进出口温度差主要决定于冷却系统投资的经济比较。冷却水所导出的热量通常也不加以利用。

① 指浓度为100%的硫酸,后同。

② 详细计算过程可参考第七章的例题。

由沸腾焙烧炉出来的炉气●温度很高，約在 $750\sim 800^{\circ}\text{C}$ 之間，如果直接进入除尘器，将会使除尘器器体温度增高，构成除尘器的鋼材就会因机械强度降低而至变形和破坏。炭素鋼（如10号鋼）的机械强度因温度升高而降低，当温度升至 500°C 以上时，因其机械强度的急剧下降，以至不能使用。所以炉气在进入除尘器时，其温度不应超过 450°C 。

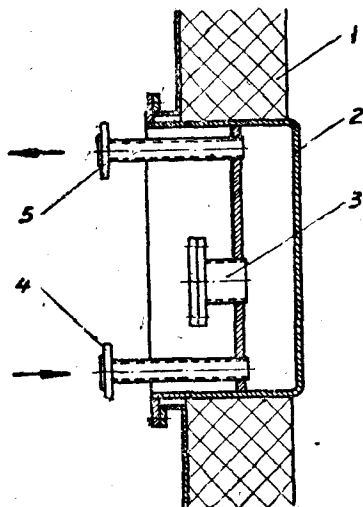


图 2 冷却水箱

1—炉墙；2—水箱；3—手孔；4—进水管；
5—出水管

但是进入除尘器的炉气，其温度若接近或低于其所含的三氧化硫气体的露点温度时，三氧化硫开始凝結，生成硫酸，因而腐蚀除尘器，并且容易产生矿尘的粘附与沉积，所以进入除尘器的炉气温度也不宜于过低，通常采用 $350\sim 450^{\circ}\text{C}$ 。

使炉气温度从 $750\sim 850^{\circ}\text{C}$ 降至 $350\sim 450^{\circ}\text{C}$ ，必須从炉气中导出大量的热，每生产1吨硫酸从炉气中导出的热量达302,000仟卡。

在已有的硫酸生产中，大都采用水夹套作为炉气的冷却设备，水夹套是由两个内径約为1公尺，全高約为6公尺的套管式热交换器組成，套管的外壁用5公厘厚的鋼板制成，套管的內壁因承受較高温度，并备受腐蚀与磨損，所以采用10毫米厚的鋼板制成，套管的容水間隙約为35毫米，套管中部装有膨胀节，炉气自上部进入水夹套，与冷却水进行逆流热交换，炉气經水夹套冷却

后，其温度可以降至 600°C 以下，冷却水在水夹套进出口处的温度，与前述的沸腾焙烧炉間接冷却装置相同。

由于冷却水在进出口时的温度都很低，水夹套很容易被腐蚀，所以设备的寿命很短，仅在半年到一年之間。

正如前面所述，进入沸腾层間接冷却装置，和炉气間接冷却的水夹套，冷却水的温度平均仅在 20°C 左右，冷却水排出的温度也不过 40°C 左右，由于冷却水的进出口温度相差不大，每单位冷却水所吸收的热也就不多，而需要导出的热量却不少。所以冷却水的消耗量甚大。每生产1吨硫酸所消耗的冷却水量为：

$$\frac{354,000 + 302,000}{(40 - 20) \times 1000} = 32.8 \text{ 吨。}$$

这样，消耗于輸送冷却水的动力也很大，每生产1吨硫酸用以輸送这项冷却水所消耗的电力●为：

$$\frac{32.8 \times 30 \times 0.736}{270 \times 0.65} = 4.12 \text{ 仟瓦。}$$

由上述情况可知，用水作为冷却，既消耗动力；又增加管道及设备的投資；而且冷却水所带出的能量又不能加以利用（因为冷却水的量大而且温度低），将会增高硫酸生产的消耗定额，以至增高硫酸的生产成本，很不经济。为了降低硫酸的生产成本，有效地利用废热是重要的途径。

① 指矿料在焙烧作业过程的燃烧产物。

● 設需用揚程为30米，水泵效率为65%。

事实证明，从沸腾层及焙烧炉出来的炉气所导出的热量是完全可以回收的，只需要撤换一些设备；同时对老的沸腾焙烧炉作适当的改装。

水蒸汽的热焓很大，而且水的价格很低，利用水吸热产生蒸汽，作为对焙烧炉及炉气的冷却介质是最理想的，因为这样既能达到使焙烧炉和炉气的温度降低，也能够使废热变成蒸汽，以供有关热用户的使用。

从矿料加入沸腾焙烧炉后，至使炉气温度冷却到 400°C 时，每生产1吨硫酸可以回收的热变成标准蒸汽量为：

$$\frac{354,000 + 302,000}{640 \times 1000} = 1.025 \text{吨；}$$

若普通中小型锅炉的热效率按75%计算，每生产1吨硫酸其废热可以代替每公斤发热量为7,000仟卡的标准煤量为：

$$\frac{354,000 + 302,000}{7,000 \times 0.75} = 125 \text{仟克；}$$

若把蒸汽送入背压式汽轮发电机来发电，排出的低压蒸汽再送给热用户使用，则再生产1吨硫酸其废热尚可发出75仟瓦的电力。

如果附近没有蒸汽用户，则应采用凝汽式汽轮发电机来发电，每生产1吨硫酸其废热可发出的电力不下150仟瓦，这项电力除了能满足全部硫酸生产过程的用电以外，尚可输出大量电力，以供其他用电户的使用，电价按照每度0.08元来计算，则每生产1吨硫酸可以回收的电费为：

$$150 \times 0.08 = 12 \text{元。}$$

如果把回收的电费，计算在硫酸生产的成本核算中，显然看出，硫酸的生产成本将降低15~20%。

为了增加设备的寿命以保证硫酸的正常生产，降低硫酸消耗定额和有效地回收废热以降低生产成本，而采用新技术，借助于结构完善的废热锅炉完全可以达到上述目的，因此在硫酸工业中采用废热锅炉十分必要。

第二章 硫酸工业廢热利用的特点

在討論利用硫酸工业所产生的廢热之先，必須充分考虑到硫酸工业的廢热利用具有着与其他工业的廢热利用不同的特点，而导至廢热利用的装置設計、設備构造和生产操作上的复杂化。

在焙烧炉內，由于硫的燃烧而至温度很高，同时，由于正处在燃烧过程的矿料的搅动或激烈的沸騰，形成对金属的严重磨損。从焙烧炉出来的炉气，除含有大量的二氧化硫和一些三氧化硫气体外；尚含有大量的矿尘。二氧化硫尤其是三氧化硫气体凝結下来，将对金属产生腐蝕作用，矿尘对金属产生磨損作用，同时，炉气漏出将会使硫酸的生产率降低，并且，二氧化硫和三氧化硫气体对于人身亦为害甚大，所以廢热利用的設備装置和材料的选择都应特別注意。

一. 矿料的燃烧温度

矿料在焙烧过程的温度决定于：(1)矿料的燃烧热；(2)空气及矿料带入的热；(3)焙烧炉內冷却装置导出的热；(4)焙烧炉炉体向四周散失的热；以及(5)过剩空气量等等。

因此生成的炉气中，二氧化硫的浓度与燃烧温度之間就有着一定的关系，因为炉气中二氧化硫的浓度大；加入的过剩空气量就少；矿料的燃烧温度就高，炉气中二氧化硫的浓度小；加入的过剩空气量就多；矿料的燃烧温度就必然会低。图3是表明硫铁矿的燃烧温度与炉气中二氧化硫浓度的关系。

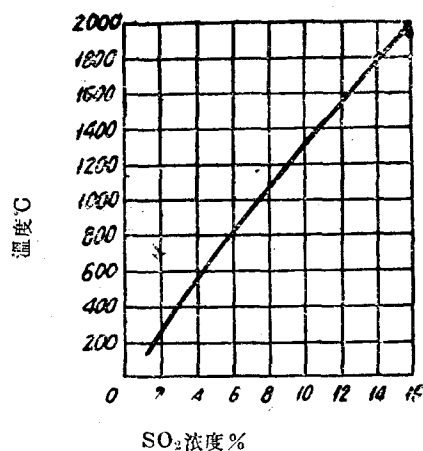


图3 硫铁矿燃烧温度与炉气中二氧化硫的浓度关系

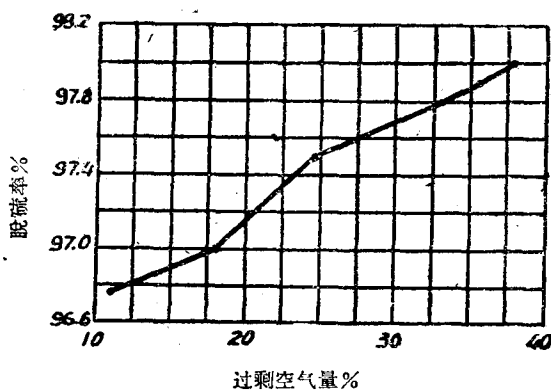


图4 过剩空气量与脱硫率的关系

在硫酸生产工艺方面看来，炉气中二氧化硫浓度增高，是可以提高炉气精制系統的设备生产能力；从而达到增产的目的，因而加入的过剩空气量就较少；矿料的燃烧温度就较高。

但是，在焙烧过程中，加入的过剩空气量少；硫和空气接触的机会就少，所以矿料焙烧的脱硫率就要降低，即矿渣的残余含硫率就要增加，图4是关于过剩空气量与脱硫率的关系的試驗数据。

同时, 增高燃烧温度将会引起较低熔点的矿渣熔化, 而在焙烧炉内产生烧结现象, 影响正常生产。

由此可见, 燃烧温度过低, 将会降低二氧化硫的浓度, 反之则降低脱硫率和发生烧结, 所以燃烧温度的适当与否, 对硫酸生产的经济性和可靠性有直接影响, 通常沸腾焙烧炉沸腾层的温度以 $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ 为合适。

二. 炉气中的三氧化硫

三氧化硫的含量

炉气中三氧化硫的含量随二氧化硫浓度的降低而增高, 同时当炉气中二氧化硫浓度在13%以下时; 三氧化硫的含量即迅速增高, 根据试验结果, 焙烧精选硫铁矿生成的炉气中, 三氧化硫含量与二氧化硫浓度的关系如表1所示。

表 1

二氧化硫%	14	13	12	11	10
三氧化硫%	0.04	0.15	0.24	0.37	0.55

三氧化硫的性质

三氧化硫 SO_3 或称硫酐, 与水有强烈的化合能力; 生成硫酸。炉气中的三氧化硫气体尽管其含量甚微, 但是, 由于炉气中有水蒸汽的存在, 在温度较低的情况下, 气体三氧化硫即与水蒸汽凝结下来, 生成小滴硫酸酸雾, 而附在废热利用设备的金属表面上, 对金属产生强烈的腐蚀作用, 以至使设备损坏。

沸腾焙烧炉焙烧出来的炉气, 当其三氧化硫含量为 $0.06\sim 0.55\%$; 水含量为 $3.5\sim 6.5\%$ 时, 炉气的露点约在 $200\sim 230^{\circ}\text{C}$ 之间。但在进行废热利用装置设计时, 可以按照 240°C 来考虑。

三. 炉气中的粉尘

炉气的含尘量

矿料在焙烧过程中, 一部分矿渣成为粉尘为炉气带出焙烧炉外, 炉气所带出的粉尘数量, 取决于: 焙烧炉的形式; 焙烧的强度以及矿料的粒度。从机械焙烧炉出来的炉气, 其含尘量为 $1\sim 10$ 克/标准米³; 从悬浮状态焙烧炉出来的炉气, 其含尘量为 $20\sim 60$ 克/标准米³; 而从沸腾焙烧炉出来的炉气, 其含尘量达 $200\sim 250$ 克/标准米³。

焙烧炉的焙烧强度愈大, 炉内气体的流速就愈大; 炉气所带出的粉尘也就愈多。根据试验结果, 炉气的直线速度对于其含尘率的影响如图5①所示。

粉尘的粒度

粉尘粒度的变动范围很大, 其粒度的百分数组成在很大程度上决定于: 焙烧炉的型式; 焙烧的强度; 导气管的形状; 以及矿料的成分和粒度。

事实很明显, 大至一定程度的矿料或矿渣颗粒, 就不会被炉气带出焙烧炉外, 甚至只在高出沸腾层不远的空间即行落下来, 随着炉渣一起排出, 只有粒度不大的粉尘, 才会被炉气带

① 根据“化学工业”1957年第3期第14页制成。

出焙烧炉外。从已有的試驗数据看来，也正是这样，表2是从几种不同型式的焙烧炉中出来炉气，其矿尘的不同粒度組成为：

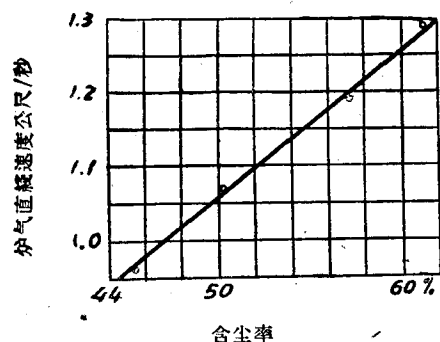


图5 炉气直綫速度对炉气含尘率的影响

在沸騰焙烧炉中，因焙烧强度大和矿料的粒度較小，同时，空气对正在焙烧的矿料的搅动十分激烈，所以沸騰焙烧炉焙烧出来的炉气所带出的矿尘粒度也較大，表3是根据永利宁厂中央試驗室发表的試驗数据②换算出来的。

实际經驗指出，在沸騰焙烧炉焙烧出来的炉气所带出的矿尘，其粒度大小的組成，一般以在100 μ 左右者为最多。

矿尘的成分

矿尘的化学成分組成，主要决定于原料的化学成分，在焙烧一般硫鉄矿时所产生的矿尘，其化学成分組成主要是：四氧化三鉄、三氧化二鉄、二氧化硅，此外尚含有少量金属的硫酸盐和氧化物等杂质。

表 2

机械焙烧炉炉气所含矿尘的粒度組成								
粒度 μ ①	>60	60~50	50~35	35~30	30~25	25~21	21~15	15~0
組成 %	6.5	7.5	6.5	5.5	13.0	24.0	21.0	15.1
悬浮焙烧炉炉气所含矿尘的粒度組成								
粒度 μ	>62	62~52	52~42	42~27	27~22	22~16	16~13	13~0
組成 %	25.0	19.0	10.0	8.0	7.5	7.0	6.0	17.5
有良好裝置的悬浮焙烧炉炉气所含矿尘的粒度組成								
粒度 μ	>63	63~56	56~40	40~30	30~18	18~16	16~12	12~0
組成 %	10.0	13.0	17.5	8.0	5.5	8.0	9.0	29.0

表 3

粒度 μ	250~177	177~149	149~125	125~0
組成 %	0.5	22.92	25.20	50.50

矿尘的速度

按照矿尘在气流中的沉降理論，矿尘的飞行速度决定于炉气的流动速度；以及其本身的沉降速度。

① μ 为微米，合 1×10^{-6} 米；或 $\frac{1}{1000}$ 毫米。

② 原发表数字的粒度組成总和不等于100%。

矿尘的沉降速度，是由于其本身的重力作用而产生的，所以矿尘的沉降速度决定于矿尘本身的粒度和密度；以及炉气的粘度，粒度和密度较大的矿尘，其沉降速度也较快；炉气的粘度较小时矿尘的沉降速度也较快。反之矿尘的沉降速度也就较慢。图6是当炉气温度为 400°C ，炉气粘度为 3.22×10^{-6} 仟克·秒/米²和矿尘密度为5000 仟克/米³时，矿尘在静止气流中的沉降速度。

炉气沿着水平或倾斜的方向，在一定长度的气道内流动，只有当炉气的速度低至一定程度时，悬浮在炉气中的矿尘颗粒，才可能突破限制着它的气流表面，借本身的重力作用沉降下来。因此，当炉气流速大至一定程度时，除了少量粒度较大和位置处在气道底部的矿尘以外，大多数的矿尘，由于其本身的沉降速度与炉气速度之比甚小，而仍然悬浮在炉气中，其飞行速度大致可以视为与炉气速度相同。

炉气从上向下流动时，矿尘速度等于炉气速度与其沉降速度之和。就是说矿尘的速度要比炉气的速度快一些，并且粒度和密度较大的矿尘，其速度要较之粒度和密度较小的矿尘快一些。

炉气从下向上流动时，矿尘速度等于炉气速度与其沉降速度之差。就是说矿尘的速度要比炉气的速度慢一些，并且粒度和密度较大的矿尘，其速度要较之粒度和密度较小的矿尘慢一些。

但是，从图6的曲线不难看出，无论矿尘的粒度如何，其沉降速度并不比炉气流经受热面时的速度小得多。所以无论炉气的流动方向如何，矿尘流经受热面的速度，实际上可当作与炉气的流速一致来考虑。

矿尘对金属的磨蚀性

由于矿尘对金属的磨蚀性不同，所以，同样重量、同样速度的矿尘颗粒在同一角度撞击到金属表面所产生的金属磨蚀程度就不相同，矿尘对金属的磨蚀性，首先决定于其颗粒的外形，矿尘颗粒对金属的磨蚀性按其尖锐棱角的存在，而在很大范围内变动。熔化了了的球形矿尘颗粒撞击到金属表面时，只可能引起金属表面的可塑性变形，并不损伤金属；只有当熔化了了的矿尘颗粒，长期作用于金属表面时，才会使金属表面的晶体结构发生变化，金属将发生损伤（管壁长期被熔化了了的矿尘颗粒撞击，因矿尘颗粒的动能在撞击时一部分转变为热能，因此造成管壁硬脆，这层硬脆层容易掉下，然后又重复进行上述变化，在进行相当次数的变化后，金属会全部损伤。事实上这种变化进行极慢，而且不易于觉察到的）。但当具有尖锐棱角的矿尘颗粒撞击到金属表面时，所发生的现象与上述完全不同，金属将发生损伤。因为这样的撞击继续发生下去，而促使极细的金属粉末脱离其表面。经验指出，在其他条件相同的情况下，具尖锐棱角的矿尘颗粒损坏金属的速度要较熔化了了的矿尘颗粒快四倍以上。

除矿尘颗粒的外形以外，矿尘本身的材料强度也是确定其对金属磨蚀的特性，强度低的矿尘颗粒在撞击到金属表面时，其本身遭到损坏，而金属表面损伤较少。强度高的矿尘颗粒在撞击到金属表面时，其本身不致受到损坏，而金属表面则损伤甚大。由于矿尘本身的材料强度不同，对金属所产生的磨蚀程度往往也相差好几倍。

矿尘随着炉气横向流过排管时，只有一部分矿尘颗粒撞击到管壁上，其余一部分矿尘颗

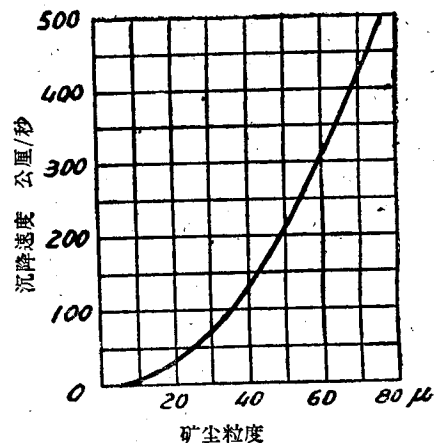


图6 矿尘粒度与其沉降速度的关系

粒改变了原来的运动方向，它们不与管壁接触，而从管子的两侧绕过去，如图7所示。

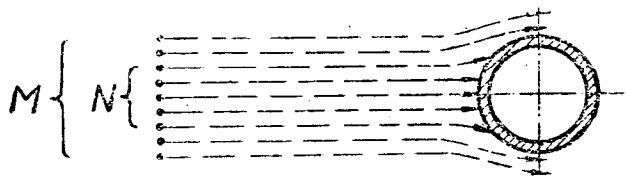


图7 炉气横向流过排管时，粉尘颗粒与管壁撞击的情况

随炉气横向流过排管的 M 个粉尘颗粒中，撞击到管壁上的仅有 N 个，其余的粉尘颗粒随炉气从管子的两侧绕过，以 $\frac{N}{M} = n$ 来表示粉尘颗粒撞击管子的可能性， n 之值决定于粉尘的粒度、密度、速度、炉气的粘度和管子的直径。根据试验结果，撞击可能性 n 之值与上述有关因数发生变化时的关系，如图8所示。

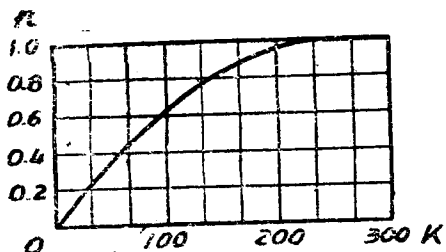


图8 n 值与粉尘的粒度、密度、速度、炉气粘度和管子直径等的关系

图中

$$K = \frac{\rho v d^2}{\mu D}$$

式中： ρ ——粉尘颗粒的密度，克/厘米³；

v ——粉尘颗粒的速度，厘米/秒；

d ——粉尘颗粒的平均直径，厘米；

μ ——炉气的粘度，克·秒/厘米²；

D ——被撞击管子的外径，厘米。

由上式看出 K 值是与粉尘颗粒的平均直径的平方成正比的，所以粉尘粒度的变化对管子受粉尘颗粒撞击的可能性 n 之值影响最大。

根据公式及图8可以得知，粒度大至100微米的粉尘颗粒其对管子撞击的可能性甚大，几乎所有(在100微米以上)的粉尘颗粒都撞击到管壁上，因而磨损是极为严重的。

第三章 废 热 鍋 爐

为了有效的利用硫酸生产过程的废热，并且把废热变成蒸汽，来供給热用户使用；或者用来发电，装設废热鍋爐几乎是唯一可能的办法。由于硫酸工业的废热利用具有与其他工业的废热利用不同的特点（已在本书的第二章論述），因此用于硫酸工业中的废热鍋爐，其設备装置就依其本身特性出现了很多不同的型式，同时随着科学技术水平的不断提高，其設备装置亦日趋完善。

一、废热鍋爐的分类

按照冷却系統可以分为：单系統废热鍋爐和双系統废热鍋爐；

单系統废热鍋爐

它只是包括炉气的冷却系統，而与焙烧炉的冷却系統沒有联系，焙烧炉的冷却系統是独立的（如采用水或空气进行冷却），单系統废热鍋爐，多用于机械焙烧或小型的沸騰焙烧过程，仅作为使炉气冷却之用。

双系統废热鍋爐

它是将焙烧炉的冷却装置和炉气的冷却装置等两个汽水循环系統联接起来，給水集中供应；产生的蒸汽也汇合輸出。双系統废热鍋爐多用于沸騰焙烧的焙烧作业过程，作为沸騰焙烧炉和炉气的冷却之用。

按照废热鍋爐的汽水循环系統的工作特性可以分为：自然循环废热鍋爐和强制循环废热鍋爐。

在自然循环废热鍋爐中，由于受热管內的水吸收了热，而在受热管內形成了汽水混合物。汽水混合物的比重，比下降管內的水的比重小，所以下降管內的水下降，而比重小的汽水混合物就沿受热管上升进入汽水鼓，形成了一个循环系統。进入汽水鼓的汽水混合物，当蒸汽分离出来以后，炉水又重新沿下降管下降。因此在自然循环的废热鍋爐中，炉水是多次的自然流經整个循环系統。

在强制循环废热鍋爐中，水循环系統的工作是借助于專門的循环泵来进行的。

按照废热鍋爐热交换的結構特点可以分为：气管式废热鍋爐和水管式废热鍋爐。

二、气管式废热鍋爐

气管式废热鍋爐构造簡單，主要由鍋筒、管板及炉管等构成，炉气通过炉管內部，被包围在炉管外壁的炉水所冷却，因此降低其温度，炉水吸热后，蒸发为水蒸汽，輸送给热用户使用。

气管式废热鍋爐按照其安装型式所以分为：臥式和立式两种类型。

由于气管式废热鍋爐的結構簡單，安装和管理都很簡便，而且鍋爐的水容量很大，偶然間断給水，也不致立即发生事故，同时炉气是在炉管內部流动，可以免除炉气漏出炉外；也不致使冷空气漏入废热鍋爐中。

但是，由于炉气中矿尘的含量很大，易于磨損炉管，或堵塞炉管时难于清理，鍋筒內的

泥渣和水垢也不容易清除，同时由于管式废热锅炉受本身结构上的限制，其操作压力常在13大气压以下，炉水的饱和温度不高，锅炉受热面的温度也就很低，因此炉气中的三氧化硫气体，易于冷凝下来生成硫酸，腐蚀受热面以致使废热锅炉损坏，所以气管式废热锅炉设备用于硫酸工业时，易被腐蚀因而寿命不长；同时只能用于低压操作，而不能在高压使用。

卧式气管废热锅炉

本型式废热锅炉的锅筒基本上是水平安装的，但根据其结构上的需要，亦可以与水平线成一定的角度，图9所示是卧式气管废热锅炉，炉气水平通过炉管，与包围在炉管外壁的炉水进行热交换，使水受热蒸发，产生的蒸汽经汽水分离器后，由蒸汽输出口接出。锅筒上设有人孔，以便在检修时清除锅炉内的泥渣和水垢，为排除锅炉内带有沉渣的污水，在锅筒底部装设排污管，定期排放污水。

此种废热锅炉如上所述，除易被腐蚀外，只能用于低压操作，而不能在高压使用，因而在硫酸工业中不宜采用。

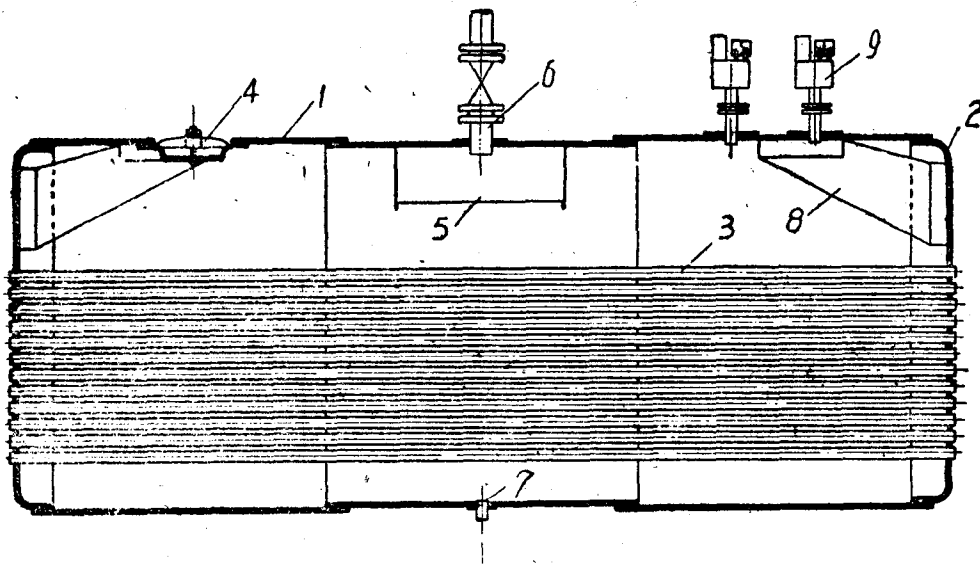


图9 卧式气管废热锅炉

1—锅筒；2—管板；3—炉管；4—人孔；5—汽水分离装置；6—蒸汽出口；7—排污管；8—加强板；9—安全阀

立式气管废热锅炉

如图10所示，是一种立式气管废热锅炉，炉气从上部进入炉管，在炉管内与包围在炉管外壁的炉水进行逆流热交换后，由废热锅炉下部排出，汽水鼓内的炉水沿下降管降至锅筒下部，在锅筒内吸热蒸发，产生的蒸汽经导管进入汽水鼓，进行汽水分离后集中输出。此种废热锅炉有与卧式气管废热锅炉相同缺点。

综上所述，此类气管式废热锅炉虽曾经在某些资本主义国家的硫酸厂应用过，但由于上述原因很快就腐蚀坏了，虽形式不同，而缺点相同，故在硫酸工厂不宜推荐。

三、套管式废热锅炉

套管式废热锅炉是单系统的废热锅炉，仅用作对焙烧过程所产生的炉气的冷却，其结构如图11所示，纵向汽鼓水平装设在锅炉上部，锅炉受热面装置在砖砌的气道内，被中间挡墙

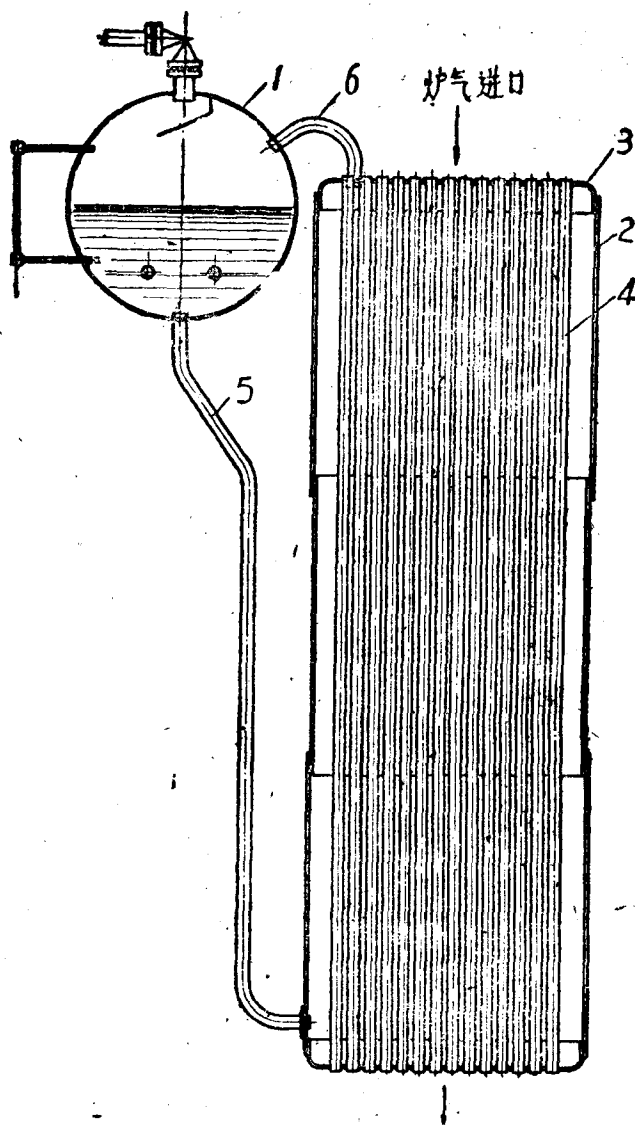


图 10 立式气管废热锅炉

1—汽鼓；2—锅筒；3—管板；4—炉管；5—下降管；6—上升管

隔开为两部分，与普通锅炉的铸铁省煤器相似。废热锅炉的汽水循环系统，按照炉气的流动方向分为4组，炉气自左下角的入口进入废热锅炉，向上流经第一及第二组受热面后，跨过中间挡墙，再向下流经第三及第四组受热面，最后由废热锅炉的右下角出口排出，接往除尘器。

汽水鼓内的炉水分别经下降管进入各组受热面的下联箱，再由下联箱进入受热管，在受热管内吸热产生蒸汽，汽水混合物在各组受热面的上联箱汇合后，分别沿上升管进入汽水鼓，蒸汽释出后炉水又重新下降，形成自然循环系统，套管式废热锅炉汽水管线的流程如图12所示。

由于套管式废热锅炉是低压操作的，水蒸汽的饱和温度很低，为了防止炉气的腐蚀，锅炉的受热面全部套以铸铁制的护管，同时因炉气进入废热锅炉时的温度较高，含尘量也很