

小氮肥生产工艺

湖南大学化工系无机物工学教研室编



湖南人民出版社

前 言

在毛主席无产阶级革命路线的指引下，近几年来，我国化肥工业得到了高速度的发展；各县（市）办的小氮肥厂遍布全国，已成为化肥工业的强大生力军，它对促进农业生产的发展起了重要作用。这是无产阶级文化大革命的伟大胜利，是各级党委认真贯彻执行“**两条腿走路**”方针的丰硕成果。

为了适应目前小氮肥生产发展的需要，我们在湖南省革命委员会化工局党委和湖南大学校系党组织的领导下，深入工厂调查研究，编写了这本《小氮肥生产工艺》。

本书较系统地介绍了年产三千吨小合成氨厂的工艺过程，包括锅炉、造气、脱硫、变换、压缩、碳化、水洗、精炼、合成、制冷和全厂生产等十一个部分。着重在理论与生产实际结合，通俗地阐明生产原理，分析当前生产中的主要问题，介绍一些新的技术与设备，可供从事小氮肥生产的工人、干部和技术人员参考，也可作为小氮肥厂工人培训班的参考教材。

本书初稿曾在三期小氮肥厂工段长培训班试用过，广泛征求了工人、干部和技术人员的意见，并在此基础上进行了重新修订。我们在编写和修订过程中，得到了广大工人、干部和技术人员的大力支持和热情帮助，特此表示谢意。

由于我们学习马列和毛主席著作不够，理论水平与实践知识有限，本书定有不少缺点甚至错误，热忱地希望读者批评指正。

编 者

1973年3月

目 录

第一章 锅 炉

第一节 锅炉的基本知识	(1)
一、燃烧过程	(2)
二、传热过程	(3)
三、锅炉运行经济性	(5)
第二节 锅炉的结构	(6)
一、锅炉的基本特性	(6)
二、锅炉的结构	(8)
第三节 锅炉的引风	(14)
第四节 小型锅炉的操作运行	(17)
第五节 给水的处理	(19)
一、天然水的杂质及表示方法	(19)
二、水的软化方法	(21)
第六节 手烧锅炉的改造	(25)
一、振动炉排机械炉	(25)
二、悬浮炉 (或称粉煤炉)	(28)
三、沸腾炉	(29)

第二章 造 气

第一节 制气的工作循环	(33)
一、制气方法的 确定	(33)
二、制气工作循环	(35)
第二节 如何提高制气能力	(38)
一、吹风和制气过程的反应速度	(38)
二、生产条件的 选择	(39)
第三节 如何调节半水煤气的成分	(46)
第四节 流程和设备	(48)
一、造气流程	(48)
二、主要设备	(50)
第五节 惰性气体的制备	(54)
第六节 粉煤利用与粉煤造气	(56)
一、粉煤成型造气	(56)
二、双筒熔渣炉造气	(57)
三、单筒熔渣炉造气	(60)

第三章 脱 硫

第一节 脱硫剂的选择	(65)
第二节 氨水中和法脱硫	(67)
一、基本原理	(67)
二、工艺流程 和 设备	(70)
第三节 氨水液相催化法脱硫	(77)

一、再生化学反应	(78)
二、再生工艺条件	(79)
三、再生流程和主要设备	(81)
第四节 有机硫的脱除	(83)

第四章 变 换

第一节 变换的基本理论	(86)
一、变换反应的化学平衡	(88)
二、变换反应的速度	(90)
第二节 操作条件的选择	(94)
一、操作温度	(95)
二、水蒸汽比例	(97)
三、空间速度	(98)
四、压 力	(98)
第三节 工艺流程和主要设备	(101)
一、工艺流程	(101)
二、主要设备	(104)
第四节 变换触媒的升温还原	(110)
第五节 变换的操作管理	(115)

第五章 压 缩

第一节 活塞式压缩机的工作原理	(125)
一、气体的压缩过程与功消耗的关系	(125)
二、多段压缩与压缩比	(131)

三、压缩机的生产能力及其影响因素	(134)
第二节 流程与设备	(137)
一、流程概述	(137)
二、压缩机及附属设备	(138)
第三节 压缩工序操作	(143)

第六章 水 洗

第一节 水洗原理及水洗条件的确定	(151)
一、水洗原理	(151)
二、水洗操作条件的确定	(153)
第二节 水的再生	(160)
第三节 流程与主要设备	(160)
一、水洗系统的工艺流程（如图6—2所示）	(160)
二、主要设备	(161)
第四节 水洗塔的操作控制要点	(164)

第七章 碳 化

第一节 碳化工段的任务和产品概述	(167)
一、碳化工段的任务	(167)
二、碳酸氢铵的性质	(167)
第二节 碳化过程的原理和工艺条件	(169)
一、化学吸收过程	(170)
二、结晶过程	(172)
三、生产方法和主要工艺条件	(179)

第三节 浓氨水的制备	(182)
第四节 碳化工段的流程与主要设备	(183)
一、碳化工段 工 艺 流 程	(183)
二、主要设备	(186)
第五节 碳化的操作控制	(193)
一、操作控制要点	(193)
二、取出控制	(196)
三、调塔操作	(197)
第六节 氨水浓度、碳化度、氨转化率、氨利用率的 定义及计算	(203)
一、溶液浓度	(203)
二、碳化度	(204)
三、氨的转化率	(205)
四、氨利用率	(206)

第八章 精 炼

第一节 原理	(207)
一、络合物及铜氨络物吸收CO的原理	(207)
二、铜氨液吸收CO ₂ 、H ₂ S、O ₂ 的反应	(211)
三、铜液再生原理	(212)
第二节 工艺流程及主要设备	(214)
一、工艺流程及 讨 论	(214)
二、主要设备	(216)
第三节 如何保证微量合格	(224)

第四节 如何防止精炼气带液和回流塔喷液·····	(237)
第五节 铜氨液的制备·····	(240)
一、酸、氨并加法制备铜氨液过程·····	(240)
二、制备铜氨液原料量计算·····	(242)

第九章 氨的合成

第一节 氨的合成原理·····	(245)
一、反应的推动力·····	(245)
二、反应的能量·····	(247)
三、生产条件的选择·····	(249)
第二节 工艺流程与主要设备·····	(256)
一、工艺流程·····	(256)
二、主要设备·····	(262)
第三节 主要操作分析·····	(275)
一、合成塔操作原则·····	(275)
二、触媒升温还原操作分析·····	(276)
三、合成触媒的钝化·····	(287)

第十章 制 冷

第一节 冷冻循环和制冷能力·····	(291)
一、冷冻循环·····	(291)
二、冷冻能力·····	(292)
第二节 冰机系统的操作分析·····	(297)
一、尽量降低气氨冷凝温度·····	(297)

二、适当的蒸发温度·····	(298)
三、保证冰机吸入干饱和氨蒸气·····	(300)
四、保持系统中有一定的氨量·····	(301)
第三节 工艺流程和主要设备·····	(302)
一、工艺流程·····	(302)
二、主要设备·····	(302)

第十一章 全厂生产

第一节 生产特点和生产能力·····	(305)
一、生产特点·····	(305)
二、生产能力·····	(308)
第二节 生产平衡·····	(309)
一、气量平衡计算·····	(310)
二、全厂主要设备能力平衡分析·····	(312)
第三节 生产组织·····	(318)
附录 I 煤的一些性质·····	(323)
附录 II 水、火管锅炉给水、锅水质量标准·····	(327)
附录 III 纯氨水浓度与比重关系·····	(328)

第一章 锅 炉

小氮肥厂中，用锅炉生产一定压力的蒸气直接用于下述几方面：

1. 作生产原料用 例如造气时，用水蒸气与碳反应制造水煤气；变换时，用水蒸气与一氧化碳反应生成氢气和二氧化碳。

2. 作热源用 例如铜洗工段，用水蒸气间接加热铜氨液进行再生。

3. 作吹净管道设备用 用蒸气吹净管道中的油污、结晶物，以及置换设备、管道中的可燃的有毒的气体。

上述三项用途中，以第一项耗汽量最大，因此锅炉产汽量不足，影响全厂的生产，有时还成为全厂生产的薄弱环节。

第一节 锅炉的基本知识

什么叫锅炉？简单地讲，由一个锅、一个炉组合起来生产水蒸气的设备。锅炉工作的过程是燃料（一般用烟煤，现在也用油）燃烧放出热量，并通过火焰辐射和烟道气流动经过锅壁传导给水，将水加热为水蒸气。

毛主席教导我们：“**力求节省，用较少的钱办较多的事。**”如何耗用较少的煤，产生更多的水蒸气，这是讨论锅炉的基本原则。

一、燃 烧 过 程

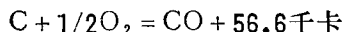
烟煤加入炉子，被高温烘干，蒸发水分，挥发出可燃性气体如一氧化碳、甲烷、乙烯等之后，煤成为焦炭，而后空气与这些可燃气体、焦炭燃烧，放出热量。

为了少用煤，多产汽，必须加强燃烧过程，即创造优越条件，使煤炭中可燃成分完全燃烧，放出最多的热量。

实际情况中，总是有两种不完全燃烧，即机械不完全燃烧和化学不完全燃烧。机械不完全燃烧是煤中一部分碳，根本没有反应，被烟气或灰渣带出炉外，造成煤的损失。化学不完全燃烧，是煤中的碳，已经参加了燃烧反应，但不是按下式进行



而是按



进行反应，显然前者每燃烧 1 克分子碳放出热量比后者燃烧同样多的碳放出热量要大得多。故前者称化学完全燃烧，后者称化学不完全燃烧。

在锅炉的燃烧过程中，煤层中不完全燃烧放出的产物如一氧化碳，当空气量充足的话，它还能在炉膛中继续燃烧。



放出热量，仍然达到了完全燃烧的效果。所以可以认为，凡从锅炉排出的烟道气中，可燃气体成分如一氧化碳、甲烷、氢等的含量多，化学不完全燃烧程度大，反之化学不完全燃烧程度小，如果烟道气中没有可燃气体成分，就是化学完全燃烧。

影响燃烧的因素是：

1.炉膛温度：温度低于 $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，燃烧速度慢，燃烧物来不及完全燃烧就离开了炉子。温度过高（高于 1800°C ），完全燃烧的产物吸热分解，也相当于燃烧不完全。故温度维持在 $1000\sim 1800^{\circ}\text{C}$ 间最好。

2.空气过剩量：按化学反应式计算需要的空气量是理论空气量。实际空气量与理论空气量之比值，称空气过剩系数。空气过剩系数大，表明过剩空气量多，反之过剩空气量少。从各方面考虑，空气过剩系数必须维持一定，如果太大，大量氮气进入炉内，降低炉温，不利于燃烧反应，加之排烟量增加，在排烟温度一定时，排烟带走热量多。空气过剩系数过小，则燃烧不完全。故一般燃烧烟煤的手工炉，空气过剩系数为1.4左右。

3.可燃气体与空气混合的情况：可燃气体与空气的燃烧反应，在高温和空气过剩系数恰当的条件下，燃烧完全的程度决定于空气与它们混合湍动的程度，如果混合均匀、湍动急烈，燃烧就完全。所以有些锅炉所需要的空气，分两处加入，一是炉篦下面加入，称一次风，以保证焦炭尽量完全燃烧，二是以高速从炉膛喷入，使炉膛的气流形成急烈的湍动，以促使可燃气体及飞起的粉煤在炉膛中完全燃烧。

上述三点是影响燃烧完全程度的基本因素，如何满足这些因素所提出的要求，决定于炉子的结构和操作运行情况。

二、传 热 过 程

锅炉操作中，煤燃烧放出的热量，如能全部传给水就理想

了。实际情况不能如此，有一部分热量被烟气带走，排到大气之中，这种热损失称为排烟损失。应该从讨论锅炉的传热过程中，寻求减少热量损失的操作条件。

热量在锅炉中，以辐射形式直接达到锅炉金属受热面上，经过金属的热传导，传给汽水混合物；或者以对流形式传到锅炉金属受热面上，经过金属的热传导，传给汽水混合物；或者两种传热形式兼而有之。

在炉膛内，主要是火焰直接辐射到锅炉的锅壁和管壁上给出热量，辐射给热的大小与温度关系很大，按辐射传热公式：

$$E = C \left(\frac{T}{100} \right)^4$$

E ——辐射强度〔千卡/米²小时〕

C ——灰体辐射系数，对锅炉而言， $C = 4.6$ 千卡/米²·小时K⁴

T = 绝对温度°K， $T = 273 + t$ ，其中 t 是摄氏温度。

由上式可见，炉膛内温度以四次方影响辐射热。例如炉膛温度升高2倍，则辐射热增加16倍，因此必须尽量提高炉膛温度，或者在温度很高的炉膛内，应设置辐射传热面（一般称为水冷壁），这样可以用较小的传热面积，换得较多的热量。

烟气自炉膛进入第一烟道到离开锅炉整体为止，主要是烟气分子的运动。将热量传到锅壁或管壁的外侧，这种分子运动的传热称对流传热。

强化对流给热，主要是减少给热阻力。它与锅炉结构有关，例如一种锅炉，烟道气横刷通过管壁，而另一种锅炉，烟道气顺流通过管壁，两者比较，前者给热阻力小，后者给热阻力大。

又与烟气流速有关，烟气流速增加，给热阻力成倍地减少，但烟气的摩擦阻力四倍地增加，动力消耗增大，因此不能盲目地增加烟气流速。

无论是对流或辐射给热，都要经过金属传热面，才能传导给水。金属的导热能力很大，其大小可由导热系数表示，一般钢制设备，为40千卡/米·小时 $^{\circ}\text{C}$ ，但如果表面有水垢和烟灰，导热系数大为降低，即导热阻力增加，热量传不进去，被烟气带走，增加了排烟损失。

因此，要加强传热过程，减少热损失，必须：（1）提高炉膛温度，合理布置辐射受热面；（2）适当增加烟气流速；（3）减少烟灰和水垢。

三、锅炉运行经济性

加强燃烧过程和传热过程，总目的是产汽量一定时，尽量减少煤的消耗。也就是提高锅炉运行的经济性能。通常用锅炉效率来表示。它是锅炉中有效利用的热量与燃料在炉内完全燃烧时所放出的热量之比

$$\eta_k = \frac{Q_1}{Q_2} \times 100\%$$

η_k ——锅炉效率。

Q_1 ——锅炉有效利用热量，即用于产生蒸汽的热量。

Q_2 ——燃料完全燃烧时放出热量，就是燃料的低发热值*。

* 低发热值是：1公斤燃料完全燃烧时，放出的热量，称为燃料的发热值，发热值包括了水蒸汽冷凝热的称高发热值，没有包括这项热量的称为低发热值。

Q_1 的求法如下

$$Q_1 = D \times (i'' - i' - rx)$$

D ——锅炉的蒸发量 公斤/时

i'' ——在绝对压力下干饱和蒸汽的热焓，千卡/公斤，查水蒸汽性质表得到

i' ——给水的热焓 千卡/公斤

r ——水的汽化潜热 千卡/公斤

x ——蒸汽的湿度，即湿蒸汽中水分含量。%

燃料一定，则 Q_2 一定，因此 η_k 的大小，决定于 Q_1 的大小，如果燃烧比较完全，传热效果较好，则排烟损失和化学不完全燃烧损失少， Q_1 就大，锅炉效率高，运行越经济。

性能好的锅炉，效率可达90%以上，性能差的锅炉，效率只有50~80%。在运行时，操作得恰当，实际效率可以提高，反之，效率可以降低很多。所以操作锅炉应该处理好人与设备的关系，为革命烧好锅炉，为国家节省煤炭。

第二节 锅炉的结构

一、锅炉的基本特性

锅炉结构形式很多，往往用几个物理量来反映它们的基本特性，并用铭牌标记出来，使人们对每种锅炉一目了然，便于选择和比较。

1.蒸发量：锅炉每小时产生的蒸汽量，以D吨/小时或D公斤/小时表示。它是说明锅炉生产能力的特性量。

锅炉铭牌上的蒸发量指的按额定蒸汽参数长期运行最大的蒸发量，维持这个蒸发量运行，经济性能较差，即效率较低，故一般经济蒸发量，即效率最高时的蒸发量(也称正常蒸发量)只为铭牌蒸发量80%。

2.蒸汽参数：指锅炉主汽阀出口处蒸汽的压力和温度。然而饱和蒸汽的压力与温度是相对应的，温度一定，压力即一定。如1绝对大气压的饱和水蒸气，温度为 99.09°C ，50绝对大气压的饱和水蒸气，温度为 267.7°C ，故只标记压力，不标记温度。如果铭牌上既标了温度，又标记压力，这说明锅炉生产的蒸汽是过热蒸汽，即将饱和蒸汽引出到过热器，进一步加热了的蒸汽，此时蒸汽压力不变，而温度升高。

通常，锅炉铭牌上把上述两项连同型号标记在一起。如K4—13，就是K型弯水管锅炉，蒸发量为4吨/小时，压力为13公斤/厘米²的饱和水蒸气。又如K4—13—250，就是K型弯水管锅炉，蒸发量为4吨/小时，压力为13公斤/厘米²，温度为 250°C 的过热蒸汽。

3.锅炉效率：它是说明锅炉运行经济特性量，已在第一节中详述。

4.受热面蒸发率：指每平方米受热面所产生的蒸汽量，用 $\frac{D}{F}$ 表示，受热面蒸发率越高，制造锅炉金属消耗越少，或锅炉受热面工作强度越大。它是说明锅炉金属消耗的特性量。

二、锅炉的结构

小氮肥厂用的锅炉型式很多，结构各有差别，下面介绍几种常见的锅炉结构。

(一) 双火筒锅炉

双火筒锅炉，又称兰开夏，如图1—1所示。锅筒中有两个火筒，燃料在火筒前部炉排上燃烧，高温烟道气通过火筒流出。锅筒里面的水被加热不断地变成水蒸气。

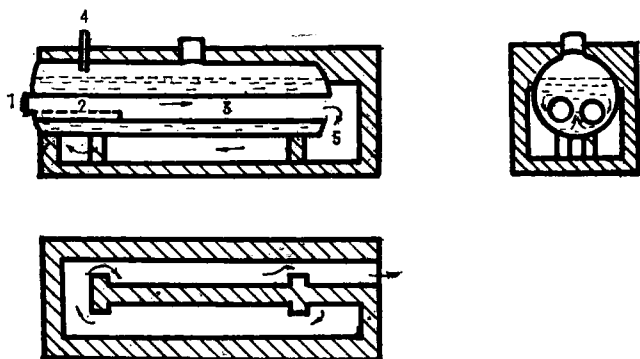


图1—1 双火筒锅炉

1. 炉门 2. 炉膛 3. 火筒 4. 给水管 5. 烟道

双火筒锅炉最大的缺点是锅筒直径大，制造它所耗金属材料多。其次是炉子放在锅筒里面，辐射热强度小，燃料层大小和厚度受到限制，效率低，煤耗大。因此一般不再制造，如现存这种锅炉，仍可利用，因锅筒大，水容量大，蓄热能力大，蒸汽压力稳定，适合于小氮肥厂连续生产的特点。