

一种新式蒸汽秸秆氨化炉^①

何 仲 辉^②

(机械工程学院)

摘 要 我国现有秸秆氨化炉能耗高,氨的利用率低。研制出一种新式蒸汽秸秆氨化炉。利用蒸汽从秸秆垛内部加热,秸秆升温快,可节能20%以上;采用水雾法回收氨气,可节省氨化剂10%左右;氨化秸秆的质量不低于现有氨化炉的水平,氨化稻草的粗蛋白含量提高了1.2倍。

关键词 秸秆氨化;蒸汽氨化炉;能耗;氨回收

中图分类号 S816.53

A New Type of Steam Chamber Used in Crop Steam Ammoniation

He Zhonghui

(College of Machinery Engineering, CAU)

Abstract A new type of ammoniation steam chamber is developed. The straw pile is heated with steam on the inside, the heating-up of straw pile goes rapidly and the energy requirement can be reduced nearly 20%. Adopting the water spraying method to recover the ammonia, the ammoniation dosage can be saved about 10%. The quality of ammoniated straw is not lower than that of straw produced by the ammoniation chambers available on the market. The crude protein content of the ammoniated paddy straw is 2.2 times as much.

Key words straw ammoniation; ammoniation steam chamber; consumed energy; recovery of ammonia

氨化炉是用氨化法处理秸秆最先进的一种设备。由原北京农业工程大学研制的适合我国情况的氨化炉于80年代末问世,并获得迅速推广。到目前为止,全国已拥有氨化炉260多座,年处理秸秆12.24万t。这些设备对我国推广秸秆氨化技术、发展畜牧业起了重要作用,但是现有氨化炉存在两大缺陷:一是能耗高,每吨氨化秸秆耗能80~100 kWh;二是氨利用率低,仅为30%~50%,高的能耗和低的氨利用率成为进一步推广氨化技术的障碍。笔者借鉴文[1,2]研制成功节能节氨、高效安全的新式蒸汽氨化炉。

收稿日期:1995-10-12

①国家“八五”科技攻关项目(子专题)

②何仲辉,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)51信箱,100083

1 蒸汽氨化炉的加热方式和加热装置

现有氨化炉对秸秆的加热方式是利用高温空气从秸秆垛的周围加热,热量从外围向中心传递,称为外热式;新式蒸汽氨化炉则是利用高温蒸汽从秸秆垛中心加热,热量自中心向外围传递,称为内热式。这 2 种加热方式的氨化炉的热量损失是不同的。设氨化炉炉壁散热情况完全相同,以 Q_{s1}/kJ 表示外热式氨化炉的热量损失,以 Q_{s2}/kJ 表示内热式氨化炉的热量损失,则有

$$Q_{s1} = 3.6KA t_1 (\theta_g - \theta_a)$$

$$Q_{s2} = 3.6KA t_2 (\theta_d - \theta_a)$$

式中: K 为炉壁传热系数, $\text{W}(\text{m}^2\text{K})^{-1}$; A 为炉壁散热总面积, m^2 ; t_1, t_2 分别为外热式和内热式氨化炉的加热时间, h ; θ_a 为环境温度, $^{\circ}\text{C}$; θ_g, θ_d 分别为炉内高温区和低温区温度, $^{\circ}\text{C}$ 。由于 $\theta_d < \theta_g$, 所以 $Q_{s2} < Q_{s1}$, 即内热式比外热式氨化炉的热量损失小。设以 η_Q 表示节能百分数, 则有 $\eta_Q = [(Q_{s1} - Q_{s2}) / Q_{s1}] \times 100\%$ 。按秸秆氨化工艺条件, 氨化炉内最高温度不超过 90°C , 最低温度不低于 70°C , 以北京地区为例, 取平均气温冬季为 0°C , 夏季为 25°C , 并设 $t_1 = t_2$, 则内热式氨化炉可节能 $\eta_Q = (90^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}) [90^{\circ}\text{C} - (0 \sim 25^{\circ}\text{C})]^{-1} \approx 22\% \sim 30\%$ 。

实际上内热式氨化炉节能还更多, 因为内热式氨化炉秸秆垛周围温度由 θ_a 升高到 70°C 需要一定时间, 而外热式氨化炉一开始加热时秸秆垛周围即有 90°C 以上的热空气。氨化炉的散热量是与炉壁内外的温差成正比的。

此外, 蒸汽加热秸秆时由于水蒸气凝结在秸秆上, 热交换快, 因而秸秆升温快, 能加速氨化作用, 特别是利用碳铵作氨化剂时能加速碳铵分解, 并能提高氨化秸秆的质量。

内热式氨化炉的加热装置由蒸汽发生器(锅炉)、蒸汽管道和喷汽管组成。喷汽管安装在料车底部, 秸秆装入料车后蒸汽喷入秸秆垛中心部位。

2 蒸汽氨化炉的氨回收装置

用于氨化秸秆的氨化剂只有 $30\% \sim 50\%$ 与秸秆结合形成粗蛋白, 其余 $50\% \sim 70\%$ 中一部分以氨水形式附着在秸秆上或流淌至炉底, 另一部分以氨气形式充斥炉内; 因此, 氨回收就是回收氨水和氨气。附着在秸秆上的氨水是无法回收的, 在氨化秸秆出炉后, 它将逐渐挥发在大气中。

氨水的回收比较容易, 在氨化炉底部设一氨水池, 炉的底部作成漏斗形, 中心低四周高, 氨水便自动流向氨水池。利用氨气极易溶于水的特性, 这里采用水雾法回收氨气, 即把炉内氨气抽出并送入风管, 在风管中装置喷雾器, 当氨气经过水雾时, 氨溶于水而成为氨水流入氨水池中。只要循环抽风一段时间, 氨气中的氨绝大部分都能被回收。回收的氨水通过液氨泵泵至炉顶的喷淋管, 喷洒在待氨化的秸秆上, 可以再利用。

3 蒸汽氨化炉的结构

新式蒸汽氨化炉的总体布置如图 1 所示。它除了采用内热式蒸汽加热秸秆的方式和能够

进行氨回收外,还具有炉内加湿秸秆及自动控温控水等功能。

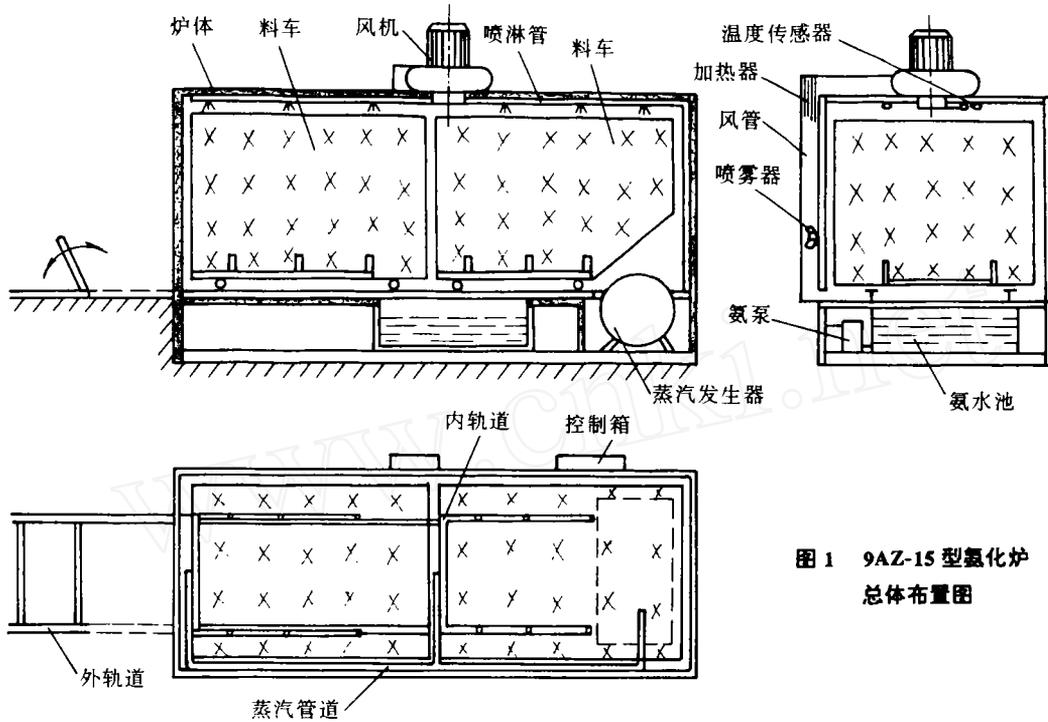


图1 9AZ-15型氨化炉总体布置图

3.1 炉体

炉体为积木式结构:炉座是整体部件;炉门、炉壁和炉顶均为板块式结构的标准构件,可根据炉座的规格组成不同型号的氨化炉。本结构的优点是可以简化制造工艺,便于运输。用岩棉作炉体的保温材料。为了降低成本,炉体用碳素钢制造,内壁涂防氨腐蚀涂料。

3.2 蒸汽加热装置

蒸汽加热装置由蒸汽发生器(锅炉)、蒸汽管道及装在料车上的蒸汽喷管组成。蒸汽锅炉为电热式,能自动加水,工作时无内压;锅炉安装在炉体内,使其热量能得到充分利用。

3.3 热风循环装置

热风循环装置由风机、风管及加热器组成。热风循环的作用是使炉内各处温度均匀及保持炉温。

3.4 氨回收装置

氨回收装置由风机、风管、喷雾器、氨水池、氨泵及喷淋管等组成。氨的回收分为2个部分:一是回收流淌在炉底的氨水;二是回收氨气。其工作原理如前述。

热风循环与氨气回收共用一个装置,加热器和喷雾器都安装在风管中。热风循环时加热器工作,喷雾器不工作;氨气回收时则相反。这样便简化了氨化炉的结构。

3.5 秸秆加湿装置

秸秆加湿装置由自来水管路(炉体外)、水表及喷淋管组成。它可对秸秆定量喷水,这就克服了寒冬在炉外加湿秸秆的困难。

3.6 料车与轨道

为提高生产率和减轻劳动强度,氨化炉设有内外轨道及料车。料车为网箱式,可装切碎秸秆、散料及成捆秸秆。料车下部装有滚轮,进出炉十分轻便。

3.7 控制箱

氨化炉的工作过程采取集中控制方式,将锅炉的加热和自动上水,风机、加热器、喷雾器以及自动控温等操作集中于控制箱,使氨化炉操作简便。

4 蒸汽氨化炉的能耗计算

4.1 秸秆加热升温的能耗

氨化炉的主要热源为锅炉蒸汽,蒸汽从料车中心部位加热秸秆,热量从秸秆垛中心向四周传递,料车中心温度高,周边温度低。根据试验研究^[3],秸秆氨化温度以70~90℃为宜,因此把料车中心温度设定为90℃,料车周边温度设定为70℃。将秸秆从 θ_a 加热到中心温度为 θ_{j1} 和周边温度为 θ_{j2} 时秸秆吸收热量为 Q_j ;将料车从 θ_a 加热到 θ_{j2} 时料车吸收的热量为 Q_z ;氨化剂(液氨或碳铵)反应产生的热量为 Q_n ,则加热秸秆和料车所需热量 Q_w/kJ 为

$$Q_w = Q_j + Q_z - Q_n$$

其中

$$Q_j = m_j c_j [0.5(\theta_{j1} + \theta_{j2}) - \theta_a]$$

$$Q_z = m_z c_z (\theta_{j2} - \theta_a)$$

$$Q_n = m_n C_n$$

式中: m_j 为秸秆的质量,kg; c_j 为秸秆的比热容, $\text{kJ}(\text{kg}\cdot\text{K})^{-1}$, $c_j = 4.19 \times$ 秸秆含水的百分数 + $0.92 \times$ 秸秆质量(干)的百分数; θ_{j1} 为秸秆垛中心的温度,℃,可取 $\theta_{j1} = 90$ ℃; θ_{j2} 为秸秆垛周边温度,℃,可取 $\theta_{j2} = 70$ ℃; m_z 为料车的质量,kg; c_z 为钢的比热容, $\text{kJ}(\text{kg}\cdot\text{K})^{-1}$; m_n 为氨化剂质量,kg; C_n 为氨化剂反应放热率, $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$,对于液氨, $C_n = 628 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$,对于碳铵, $C_n = 182 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[2]。

秸秆和料车的加热都是由锅炉蒸汽提供的热量,因此提供热量 Q_w 所需蒸汽量 m_s/kg 为 $m_s = Q_w/q_s$ 。式中 q_s 为每kg饱和蒸汽在温度为 θ_m 下凝结成水时释放出的热量, $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$,可按下式计算:

$$q_s = 2257 + 4.2(100 - \theta_m)$$

式中 θ_m 为氨化时秸秆垛的平均温度,℃,可取 $\theta_m = (\theta_{j1} + \theta_{j2})/2$ 。

锅炉生产蒸汽 m_s 所需时间为 $t_s = m_s/m_h$ 。式中 m_h 为单位时间内锅炉的产汽量, $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ 。锅炉所需功率为 $P_s = Q_w/3600t_s$ 。

可见,若要秸秆升温快,则蒸汽发生器功率应当大,一般可按 $t_s = 4\sim 6$ h设计蒸汽发生器的功率。

4.2 秸秆保温的能耗

根据试验研究^[3],秸秆氨化时在70℃以上加热保温14~16h效果最佳,因此氨化炉工作时,当秸秆垛周边温度升至70℃可停止蒸汽加热,开始热风循环保温。保温时间内的能耗用以补偿炉体的散热。

可将氨化炉简化为具有一定壁厚的空心六面体。设炉内温度为 θ_1 ,炉外环境温度为 θ_a ,炉

体表面积为 A , 炉壁传热系数为 K , 则炉体散热量 Q_t/kJ 为

$$Q_t = 3.6KA t_b (\theta_i - \theta_a)$$

式中: $K = (1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2)^{-1}$ [4]; t_b 为保温时间, h。

为简化计算, 忽略炉体竖壁、顶壁及底壁在散热方面的差异, 并取炉内壁与炉内混合气体的换热系数 $\alpha_1 = \infty$; 取炉外壁与自由空气的换热系数 $\alpha_2 = \infty$, 于是有 $K = (\delta/\lambda)^{-1}$ 。式中 δ/λ 为炉壁单位面积的热阻, 按下式计算:

$$\delta/\lambda = \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3$$

式中: δ_1, δ_3 为钢板厚度, m; δ_2 为保温材料厚度, m; λ_1, λ_2 为钢板导热系数, $W(m \cdot K)^{-1}$; λ_3 为保温材料导热系数, $W(m \cdot K)^{-1}$ 。

炉体散热面积 A/m^2 按下式计算:

$$A = 2(l_1 l_2 + l_1 l_3 + l_2 l_3)$$

式中: l_1, l_2, l_3 分别为氨化炉体的长、宽、高, m, 则保温的能耗 N_b/kWh 为 $N_b = Q_t/3600$ 。热风循环装置内的加热器功率 P_b/kW 应取为 $P_b \geq N_b/t_b$ 。

4.3 每吨氨化秸秆的能耗

氨化秸秆的能耗由加热、保温和热风循环的能耗构成。由此, 氨化 1 t 秸秆的能耗 $N_1/kWh \cdot t^{-1}$ 为

$$N_1 = (P_s t_s + P_b t_b + P_{itb})/1000m_i$$

式中 P_i 为风机消耗的功率, kW。

4.4 氨回收的能耗

氨回收的能耗是指回收氨气时风机运转的能耗, 氨回收能耗 N_a/kWh 为

$$N_a = P_i t_i$$

式中 t_i 为氨回收时风机运转时间, h。

4.5 氨化炉的总能耗

氨化炉的总能耗由加热、保温、热风循环以及氨回收等能耗组成。每氨化一炉秸秆的总能耗 N/kWh 为

$$N = P_s t_s + P_b t_b + P_{itb} + P_{it_i} + P_p t_p$$

式中: P_p 为氨泵消耗功率, kW; t_p 为氨泵运转时间, h。

5 蒸汽氨化炉的测试结果

为了考察新式蒸汽氨化炉的技术经济指标, 对 9AZ-15 型氨化炉进行了多次试验和测定。该炉的技术数据如下: 外形尺寸, 4 220 mm × 2 250 mm × 2 800 mm; 氨化炉容积, 15 m³; 总功率, 12.80 kW; 每炉氨化秸秆量, 1 100~1 300 kg; 氨化炉总质量, 2.6 t。

现以最近一次测试为例。测试时间 1995-03-21~23, 平均气温 6℃, 风力 1~2 级, 秸秆为稻草(含水率 8.5%), 1 000 kg, 加湿后稻草含水率 40%; 氨化剂为液氨, 30 kg。加热 6 h 秸秆垛中心温度达 90℃ 以上, 周边温度为 73℃, 停止加热, 接着保温 8 h; 然后再焖炉 4 h, 同时进行余氨回收, 氨回收作 3 次, 每次回收时间 20 min, 每次间隔 2 h。测定结果如下。

1) 氨化秸秆的能耗。经测定, 每 1 t 氨化秸秆加热保温的能耗为 60 kW·h, 而我国现有氨化

炉每1 t 氨化秸秆能耗为80~100 kW·h,即节能25%以上。

2)氨回收率。氨回收率是指回收的氨量与可回收氨量的百分比。经测定氨回收率为70%,回收的氨量为氨化剂氨量的8.6%(即可节约氨化剂8.6%)。

3)氨化秸秆质量和氨化时间。加热6 h,保温7 h,再焖炉4 h后出炉的氨化稻草呈黄褐色,表明氨化成熟,经化验粗蛋白含量为10.26%,而氨化前仅为4.68%,粗蛋白含量提高了1.2倍,达到和超过现有氨化炉氨化稻草的质量水平。氨化秸秆的时间(加热、保温和焖炉)18 h,比现有氨化炉缩短6 h。

测试结果表明,新式蒸汽氨化炉具有节能、节氨、省时的优点,若能普遍推广则会获得巨大的经济效益。

参 考 文 献

- 1 穆丽君,郭佩玉,夏建平,等. 高压蒸汽秸秆氨化炉设计. 北京农业工程大学学报,1991,11(2):80~84
- 2 李道娥,夏建平,何仲辉,等. 一种简易型土建式秸秆氨化炉. 北京农业工程大学学报,1991,11(3):77~81
- 3 张瑞明. 碳酸氢铵氨化秸秆的工艺及设备研究:[学位论文]. 北京:北京农业工程大学,1994
- 4 俞佐平. 传热学. 北京:高等教育出版社,1985. 29~30