



云南褐煤干法制腐植酸钠的原料优化及产业化

杨 灿 曾天柱*

云南国惠生物科技有限公司 弥勒 652300

摘 要: 以云南省红河哈尼彝族自治州弥勒市新哨镇山兴村煤矿褐煤为原料, 进行干法制备腐植酸钠产品。优选出 a2 层褐煤, 总腐植酸含量为 52.34%, pH 值为 4.91 作为腐植酸钠生产原料。当 NaOH 用量为 24% 时, 制备的腐植酸钠产品品质最佳: 总腐植酸含量为 39.66%, 可溶性腐植酸含量为 30.77%, pH 值为 10.86, 水不溶物含量为 23.24%。产品产业化选址为弥勒山兴村矿区。干法工艺具有不产生废气、废液、固体废弃物等优点, 环境压力无新增。设备选型、车间布局规模及设计的工艺操作能实现年产能 20000 t, 设备总投资 52.5 万元。

关键词: 产业化; 腐植酸钠; 云南褐煤; 干法

中图分类号: TQ314.1 **文章编号:** 1671-9212(2024)01-0054-08

文献标识码: A **DOI:** 10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2024.01.008

Raw Materials Optimization and Industrialization of Sodium Humate by Dry Process of Yunnan Lignite

Yang Can, Zeng Tianzhu*

Yunnan Guohui Biotechnology Co. Ltd., Mile, 652300

Abstract: Dry extraction of Na-HA was conducted using lignite from Shanxing Village coal mine in Xinshao Town, Mile City, Honghe Hani Yi Autonomous Prefecture, Yunnan Province. The a2 seam lignite with the total humic acid content of 52.34% and the pH value of 4.91 was used as the raw material to produce Na-HA. The quality of the Na-HA product obtained was the best when the 24% of NaOH dosage was used, and the Na-HA product was consisted of the total humic acid content of 39.66% with the soluble humic acid content of 30.77%, the pH value of 10.86, and the water insoluble content of 23.24%. The location for product industrialization was in the Shanxing Village mining area of Mile City. The dry process had the advantages that no waste gas, liquid waste and solid waste was produced, thus there was no new environmental pressure. The equipment selection, workshop layout scale, and designed process operations could achieve the annual production capacity of 20000 t, with the total investment of 525000 yuan.

Key words: industrialization; sodium humate; Yunnan lignite; dry process

腐植酸钠是以风化煤、褐煤、泥炭等矿源为原料, 在一定条件下与氢氧化钠反应制成的产品^[1-3]。腐植酸钠是大分子有机物质, 含有酚羟基、羟基、

羧基、醌基、羰基等活性官能团^[4-6]。可溶性腐植酸是指矿源腐植酸肥料和腐植酸钠盐产品在水溶液产品中呈离子态的腐植酸, 是衡量腐植酸肥料和腐

[收稿日期] 2023-04-02

[作者简介] 杨灿, 女, 1994 年生, 助理工程师, 主要从事腐植酸提取纯化工艺及微生物分离纯化、发酵培养、有机物料发酵腐熟配方优化等工艺研究, E-mail: 2321546776@qq.com。* 通讯作者: 曾天柱, 男, 工程师, E-mail: ztz1828@126.com。



植酸盐产品的重要质量指标^[7]。腐植酸钠在工业、农业、林业、牧业、畜牧业以及医药方面均有广泛应用^[8, 9]。从生产工艺来看,腐植酸钠生产大部分采用湿法工艺^[10-12]。湿法工艺生产设备投资大,工艺繁琐,产生的废料还需要做无害化处理,产品产率低^[13-16]。本研究采用的是干法工艺,具有生产工艺简单、生产成本低、适合用于大规模生产、无废料产生等优点。以云南不同煤层褐煤为原料,进行煤质分析,考察 NaOH 不同用量对褐煤原料提取腐植酸钠产品指标的影响情况,优选出适宜生产的褐煤原料及工艺参数,及腐植酸钠产品产业化设备选型、车间布局、工艺操作规程。

1 干法腐植酸钠产品原料优选

1.1 材料与方法

1.1.1 褐煤原料

褐煤原料来自云南国能煤电公司煤矿,位于云南省红河哈尼族彝族自治州弥勒市新哨镇山兴村。按 GB 474—2008《煤样的制备方法》中 7.4.4 堆锥四分法的规定取样,采集矿区褐煤样品,取距离地层 5~10 m 的煤样标记为 a1,距离地层 12~17 m 的煤样标记为 a2,距离地取距离地层 19~24 m 的煤样标记为 a3。将取得的层煤用破碎机破细,过 40 目筛,用于腐植酸钠产品制备。煤样分析结果见表 1。

表 1 煤质分析
Tab.1 Coal quality analysis

煤样名称	碱不溶物 (%)	pH	总腐植酸 (%)	固定碳 (%)	灰分 (%)	水分 (%)
a1	41.06	5.87	55.69	38.21	5.78	47.56
a2	41.09	4.91	52.34	28.18	33.31	49.31
a3	27.68	3.39	48.67	17.96	29.67	35.37

注:总腐植酸、固定碳、灰分以干燥基计。

1.1.2 试验方法

(1) 腐植酸钠产品制备。

测定煤样水分,按方案要求称取煤样 800 g(以干物质计),及对应 NaOH 量,a1 层褐煤,NaOH 用量为 15% 处理标记为 a11,NaOH 用量为 18% 处理标记为 a12,NaOH 用量为 21% 处理标记为 a13,NaOH 用量为 24% 处理标记为 a14。a2 层褐煤,NaOH 用量为 15% 处理标记为 a21,同法标记,此处不在赘述(表 2)。先用适量水溶解 NaOH,缓慢加入煤中,为保证产品均匀性,边少量加,边搅拌,直至搅拌均匀。放置 24 h 继续活化,24 h 后适当晾晒水分至 20% 以下,雷蒙磨机加工磨细,产品粒度大于 200 目,水分小于等于 15%,制得粉状腐植酸钠产品。

(2) 主要仪器和试剂。

试验所用主要仪器:雷蒙磨机:最大进料尺寸 40 mm,处理能力 10~38 t/h,出料 20~400 目。恒温水浴锅:温度控制范围 RT+5~99 °C。马弗炉:带有

热电偶高温计,能升高到 900 °C,并可调节温度,通风良好。反应釜:容积 50 L,搅拌速度 0~600 r/min,材质 SUS304 不锈钢,具有加热功能。电子秤:精度 0.01 g,量程 5 kg。分析天平:感量 0.0001 g。旋转蒸发仪:反应容积 5 L,旋转功率 60 W,加热功率 2 kW,蒸冷凝面积 0.3 m²,发能力 40 mL/min,温度范围 RT+5~199 °C(导热油油浴)。真空泵:标准耐腐型,量程 60 L/min,扬程 8 m。离心机:转速 0~5000 r/min 可调,离心杯容积 500 mL。电热鼓风干燥箱:温度可控制 RT+5~300 °C。pH 值计:精度 0.01。破碎机:430 不锈钢,1000 g。

试验所用主要试剂:NaOH、焦磷酸钠、重铬酸钾、硫酸、盐酸、硫酸亚铁、硫酸亚铁铵、乙二胺四乙酸二钠盐、酚酞、四苯硼酸钠、邻菲罗啉,以上试剂均为分析纯。

(3) 指标测定。

褐煤和腐植酸钠总腐植酸含量执行 GB/T 119 57—2001《煤中腐植酸产率测定方法》测定^[17];



可溶性腐植酸、pH 值、水不溶物、水分执行 HG/T 3278—2018《腐植酸钠》^[18]测定；有机质含量执行 NY 525—2021《有机肥料》测定^[19]；灰分含量执行 GB/T 212—2008《煤的工业分析方法》测定^[20]。

(4) 数据处理。

采用 Excel、SPSS17.0 软件进行数据分析处理。

1.2 结果与分析

腐植酸钠产品理化指标结果统计见表 3。

表 2 NaOH 用量对云南不同煤层褐煤制得腐植酸钠产品影响试验设计

Tab.2 Experimental design for the effects of NaOH dosage on sodium humate products extracted from lignite in different coal seams in Yunnan Province

编号	煤干物质质量 (g)	NaOH	
		用量 (%，以煤干物质计)	质量 (g)
a11	800	15	120
a12	800	18	144
a13	800	21	168
a14	800	24	192
a21	800	15	120
a22	800	18	144
a23	800	21	168
a24	800	24	192
a31	800	15	120
a32	800	18	144
a33	800	21	168
a34	800	24	192

表 3 NaOH 用量对云南不同煤层褐煤制得腐植酸钠产品理化指标统计表

Tab.3 Statistical table of physical and chemical indexes of sodium humate extracted from lignite in different coal seams in Yunnan Province by NaOH dosage

编号	总腐植酸 (%)	可溶性腐植酸 (%)	pH	水分 (%)	水不溶物 (%)
a11	59.90	23.39	10.09	18.05	63.62
a12	58.67	35.12	10.55	19.17	42.86
a13	57.63	37.85	10.70	19.64	35.66
a14	57.14	40.12	10.77	21.19	28.21
a21	44.16	4.22	8.10	18.68	79.22
a22	42.27	17.06	9.55	22.00	55.29
a23	42.56	25.35	10.15	20.80	34.67
a24	39.66	30.77	10.86	22.06	23.24
a31	43.87	3.54	7.83	20.68	79.17
a32	42.36	10.02	9.12	23.09	70.89
a33	42.02	29.08	10.20	23.73	30.22
a34	41.92	31.48	10.61	24.96	25.73

注：总腐植酸、可溶性腐植酸、水不溶物以干燥基计。



1.2.1 NaOH 用量对不同煤层褐煤制得腐植酸钠产品总腐植酸含量的影响

图 1 显示, 在 NaOH 用量相同条件下, 腐植酸钠产品总腐植酸含量随褐煤煤层的变化而变化。当 NaOH 用量同为 15% 时, a1 层褐煤制得腐植酸钠产品总腐植酸含量最高为 59.90%, 其次是 a2 层褐煤制得腐植酸钠产品总腐植酸含量为 44.16%, a3 层褐煤制得腐植酸钠产品总腐植酸含量最低为 43.87%, 含量从高到低依次是 $a1 > a2 > a3$; 当 NaOH 用量同为 18% 时, a1 层褐煤处理制得腐植酸钠产品总腐植酸含量最高为 58.67%, 其次是 a2 层褐煤处理制得腐植酸钠产品总腐植酸含量为 42.27%, a3 层褐煤处理制得腐植酸钠产品总腐植酸含量最低为 42.36%, 含量从高到低依次是 $a1 > a3 > a2$; 当 NaOH 用量同为 21% 时, a1 层褐煤处理制得腐植酸钠产品总腐植酸含量最高为 57.63%, 其次是 a2 层褐煤处理制得腐植酸钠产品总腐植酸含量为 42.56%, a3 层褐煤处理制得腐植酸钠产品总腐植酸含量最低为 42.02%, 含量从高到低依次是 $a1 > a2 > a3$; 当 NaOH 用量同为 24% 时, a1 层褐煤处理制得腐植酸钠产品总腐植酸含量最高为 57.14%, 其次是 a3 层褐煤处理制得腐植酸钠产品总腐植酸含量为 41.92%, a2 层褐煤处理制得腐植酸钠产品总腐植酸含量最低为 39.66%, 含量从高到低依次是 $a1 > a3 > a2$ 。

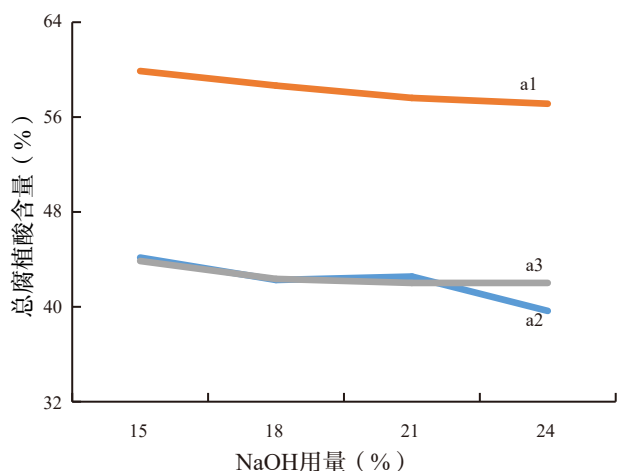


图 1 NaOH 用量对腐植酸钠产品总腐植酸含量的影响

Fig.1 Effects of NaOH dosage on total humic acid content of sodium humate products

总体趋势是腐植酸钠产品总腐植酸含量随煤层褐煤样品腐植酸含量呈正相关, a1 层褐煤样品总腐植酸含量最高为 55.69%, a2 层褐煤样品总腐植酸含量为 52.34%, a3 层褐煤样品总腐植酸含量最低为 48.67%, 褐煤样品的总腐植酸含量越高, 制得的腐植酸钠产品总腐植酸含量越高。同一煤层褐煤样品制得腐植酸钠产品总腐植酸含量, 随 NaOH 用量的变化而变化。NaOH 用量越大, 制得腐植酸钠产品总腐植酸含量越低, 出现该现象的原因是 NaOH 添加至褐煤原料中, 褐煤样品中总腐植酸含量不变, 腐植酸钠产品总体系中, 无机盐含量的占比增加, 总腐植酸含量占比相应减少。

1.2.2 NaOH 用量对不同煤层褐煤制得腐植酸钠产品可溶性腐植酸含量的影响

图 2 显示, 在 NaOH 用量相同条件下, 腐植酸钠产品可溶性腐植酸含量, 随褐煤煤层的变化而变化。当 NaOH 用量同为 15% 时, a1 层褐煤处理制得腐植酸钠产品可溶性腐植酸含量最高为 23.39%, 其次是 a2 层褐煤处理制得腐植酸钠产品可溶性腐植酸含量为 4.22%, a3 层褐煤处理制得腐植酸钠产品可溶性腐植酸含量最低为 3.54%, 含量从高到低依次是 $a1 > a2 > a3$; 当 NaOH 用量同为 18% 时, a1 层褐煤处理制得腐植酸钠产品可溶性腐植酸含量最高为 35.12%, 其次是 a2 层褐煤处理制得腐植酸钠产品可溶性腐植酸含量为 17.06%, a3 层褐煤处理制得腐植酸钠产品可溶性腐植酸含量最低为 10.02%, 含量从高到低依次是 $a1 > a2 > a3$; 当 NaOH 用量同为 21% 时, a1 层褐煤处理制得腐植酸钠产品可溶性腐植酸含量最高为 37.85%, 其次是 a3 层褐煤处理制得腐植酸钠产品可溶性腐植酸含量为 29.08%, a2 层褐煤处理制得腐植酸钠产品可溶性腐植酸含量最低为 25.35%, 含量从高到低依次是 $a1 > a3 > a2$; 当 NaOH 用量同为 24% 时, a1 层褐煤处理制得腐植酸钠产品可溶性腐植酸含量最高为 40.12%, 其次是 a3 层褐煤处理制得腐植酸钠产品可溶性腐植酸含量为 31.48%, a2 层褐煤处理制得腐植酸钠产品可溶性腐植酸含量最低为 30.77%, 含量从高到低

依次是 $a1 > a3 > a2$ 。

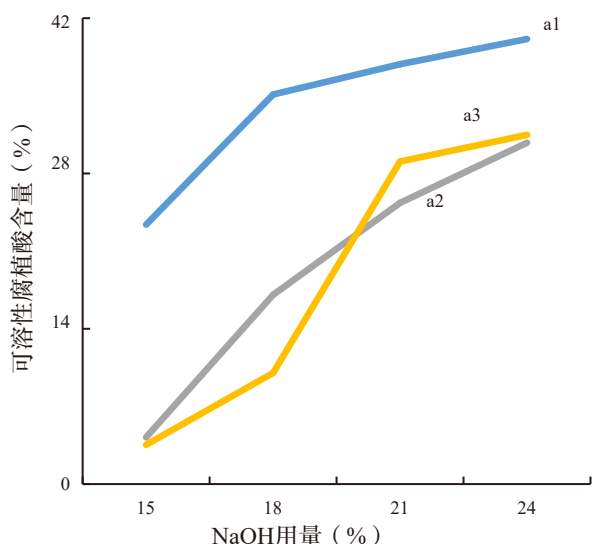


图 2 NaOH 用量对腐植酸钠产品可溶性腐植酸含量的影响
Fig.2 Effects of NaOH dosage on soluble humic acid content in sodium humate products

同一煤层褐煤样品制得腐植酸钠产品可溶性腐植酸含量，随 NaOH 用量的变化而变化。NaOH 用量越大，制得腐植酸钠产品可溶性腐植酸含量越高。出现这一现象的原因是，腐植酸是溶于稀 NaOH 溶液，褐煤中含有大量的酸性物质。在一定 NaOH 用量范围内，NaOH 主要作用是 OH^- 与褐煤中的酸性基团发生中和反应，达不到腐植酸溶解的碱性条件。在同一褐煤用量的情况下，随着 NaOH 用量增加，总体系 OH^- 含量增加，腐植酸继续与 NaOH 发生中和反应，生成可溶性腐植酸钠盐，可溶性腐植酸的含量随腐植酸钠含量的升高而升高。

1.2.3 NaOH 用量对不同煤层褐煤提取腐植酸钠产品 pH 值的影响

图 3 显示，在 NaOH 用量相同条件下，因腐植酸钠产品 pH 值，随褐煤煤层的变化而变化。当 NaOH 用量同为 15% 时，a1 层褐煤处理制得腐植酸钠产品 pH 值最高为 10.09，其次是 a2 层褐煤处理制得腐植酸钠产品 pH 值为 8.01，a3 层褐煤处理制得腐植酸钠产品 pH 值最低为 7.83，pH 值从高到低依次是 $a1 > a2 > a3$ ；当 NaOH 用量同为

18% 时，a1 层褐煤处理制得腐植酸钠产品 pH 值最高为 10.55，其次是 a2 层褐煤处理制得腐植酸钠产品 pH 值为 9.55，a3 层褐煤处理制得腐植酸钠产品 pH 值最低为 9.12，pH 值从高到低依次是 $a1 > a2 > a3$ ；当 NaOH 用量同为 21% 时，a1 层褐煤处理制得腐植酸钠产品 pH 值最高为 10.70，其次是 a2 层褐煤处理制得腐植酸钠产品 pH 值为 10.15，a3 层褐煤处理制得腐植酸钠产品 pH 值最低为 10.20，pH 值从高到低依次是 $a1 > a2 > a3$ ；当 NaOH 用量同为 24% 时，a2 层褐煤处理制得腐植酸钠产品 pH 值最高为 10.86，其次是 a1 层褐煤处理制得腐植酸钠产品 pH 值为 10.77，a3 层褐煤处理制得腐植酸钠产品 pH 值最低为 10.61，pH 值从高到低依次是 $a2 > a1 > a3$ 。

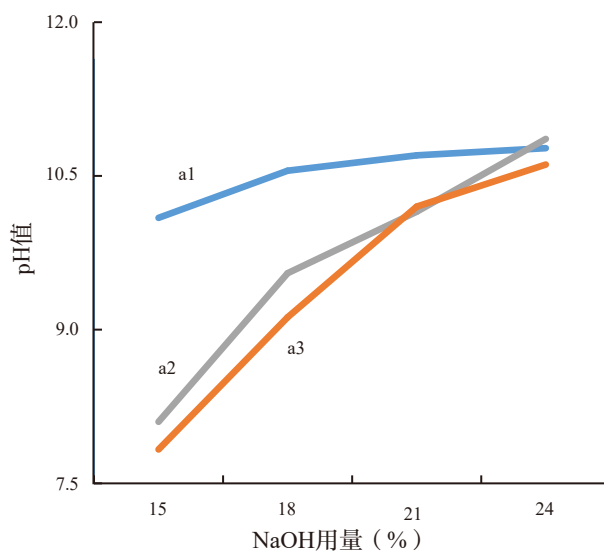


图 3 NaOH 用量对腐植酸钠产品 pH 值的影响
Fig.3 Effects of NaOH dosage on pH value of sodium humate products

a1 层褐煤样品 pH 值为 5.87，a2 层褐煤样品 pH 值为 4.91，a3 层褐煤样品 pH 值为 3.39，褐煤样品的 pH 值越高，制得的腐植酸钠产品 pH 值越高。同一煤层褐煤样品制得腐植酸钠产品 pH 值随 NaOH 用量的变化而变化。NaOH 用量越大，制得腐植酸钠产品 pH 值越高，当 NaOH 用量达到 24% 时，3 个煤层制得的腐植酸钠产品 pH 值差异最小，pH 值已经趋于稳定，受煤样变化影响较小。



1.2.4 NaOH 用量对不同煤层褐煤制得腐植酸钠产品水不溶物含量的影响

图 4 显示, 在 NaOH 用量相同条件下, 腐植酸钠产品水不溶物含量, 随褐煤煤层的变化而变化。当 NaOH 用量同为 15% 时, a2 层褐煤处理制得腐植酸钠产品水不溶物含量最高为 79.22%, 其次是 a3 层褐煤处理制得腐植酸钠产品水不溶物含量为 79.17%, a1 层褐煤处理制得腐植酸钠产品水不溶物含量最低为 63.62%, 含量从高到低依次是 a2 > a3 > a1; 当 NaOH 用量同为 18% 时, a3 层褐煤处理制得腐植酸钠产品水不溶物含量最高为 70.89%, 其次是 a2 层褐煤处理制得腐植酸钠产品水不溶物含量为 55.29%, a1 层褐煤处理制得腐植酸钠产品水不溶物含量最低为 42.86%, 含量从高到低依次是 a3 > a2 > a1; 当 NaOH 用量同为 21% 时, a1 层褐煤处理制得腐植酸钠产品水不溶物含量最高为 35.66%, 其次是 a2 层褐煤处理制得腐植酸钠产品水不溶物含量为 34.67%, a3 层褐煤处理制得腐植酸钠产品水不溶物含量最低为 30.33%, 含量从高到低依次是 a1 > a2 > a3; 当 NaOH 用量同为 24% 时, a1 层褐煤处理制得腐植酸钠产品水不溶物含量最高为 28.21%, a3 层褐煤处理制得腐植酸钠产品水不溶物含量为 25.73%, a2 层褐煤处理制得腐植酸钠产品水不溶物含量最低为 23.24%, 含量从高到低依次是 a1 > a3 > a2。同一煤层褐煤制得腐植酸钠产品水不溶物含量, 随 NaOH 用量的变化而变化。NaOH 用量越大, 制得腐植酸钠产品水不溶物含量越低。出现这一现象有两方面的原因: 一方面, NaOH 为水溶性物质, 在同一褐煤用量情况下, NaOH 用量越大, 水溶物含量占比增大, 水不溶物含量占比相应降低。水不溶物含量降幅明显大于 NaOH 用量增幅; 另一方面, 随着 NaOH 用量增加, 不溶物水的腐植酸与 NaOH 反应生成溶于水的腐植酸钠量越大, 这是水不溶物含量下降的最关键因素。

综上分析可知, 根据 HG/T 3278-2018《腐植酸钠》标准 4.2 中腐植酸钠的质量技术指标要求。煤层和 NaOH 两个变量, 在本文可研范围内, 采用干法工艺, 只有 a2 层褐煤在 NaOH 用量为 24%

时能满足标准产品技术指标要求。a2 层褐煤原料 pH 值为 4.91, 总腐植酸含量为 52.34%。当 NaOH 用量为 24% 时, 制备的腐植酸钠产品水不溶物含量最低为 23.24%, 可溶性腐植酸含量为 30.77%, pH 值为 10.86, 总腐植酸含量为 39.66%。因此, 优选出 a2 层褐煤作为腐植酸钠产品生产原料。确定了 NaOH 用量为 24%。

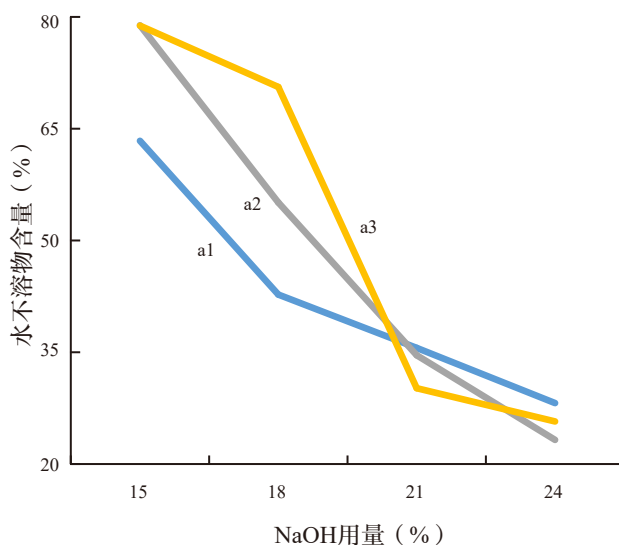


图 4 NaOH 用量对腐植酸钠产品水不溶物含量的影响
Fig.4 Effects of NaOH dosage on water insoluble content of sodium humate products

2 干法制腐植酸钠产业化建设方案

2.1 腐植酸钠生产设备

根据腐植酸钠产品特性及物料衡算和工艺流程, 整个工艺所需的设备包括: 装载机、料斗、破碎机、分级筛、输送机、拌料机、造粒机、烘干机、包装机、消防设备。设备选型见表 4。

上述设备能满足日产量 100 t, 月产量 2400 t (平均月工作日以 24 天计), 年产量 20000 t (每年工作时间按 250 天计), 设备总投资 52.5 万。

2.2 腐植酸钠生产车间布局

腐植酸钠整个生产车间占地面积 6335.16 m², 长 80.6 m、宽 78.6 m、最高处 7 m, 主要包括装料区、破碎区、拌料区、烘干区、包装区、成品区、消防设备、配电室等。布局图如图 5 所示。

表 4 腐植酸钠产品生产设备清单

Tab.4 Production equipment list of sodium humate products

设备名称	生产产能 (t/h)	功率 (kW)	数量	总费用 (万元)	制造厂商
装载机	—	226	2	14	恒旺
料斗	—	150	2	2	河北浩旺
破碎机	30	200	1	3	荆门佳益
分级筛	5	6	3	2	荆门佳益
输送机	—	95	10	5	广东万德隆
拌料机	—	50	1	5	河南鑫创
造粒机	5	15	1	4	荆门佳益
烘干机	5 ~ 8	120	1	7	荆门佳益
包装机	30	3	2	2	河北浩旺
消防设备	—	—	10	1.5	广东平安
安装费	—	—	—	7	—
合计	—	—	—	52.5	—

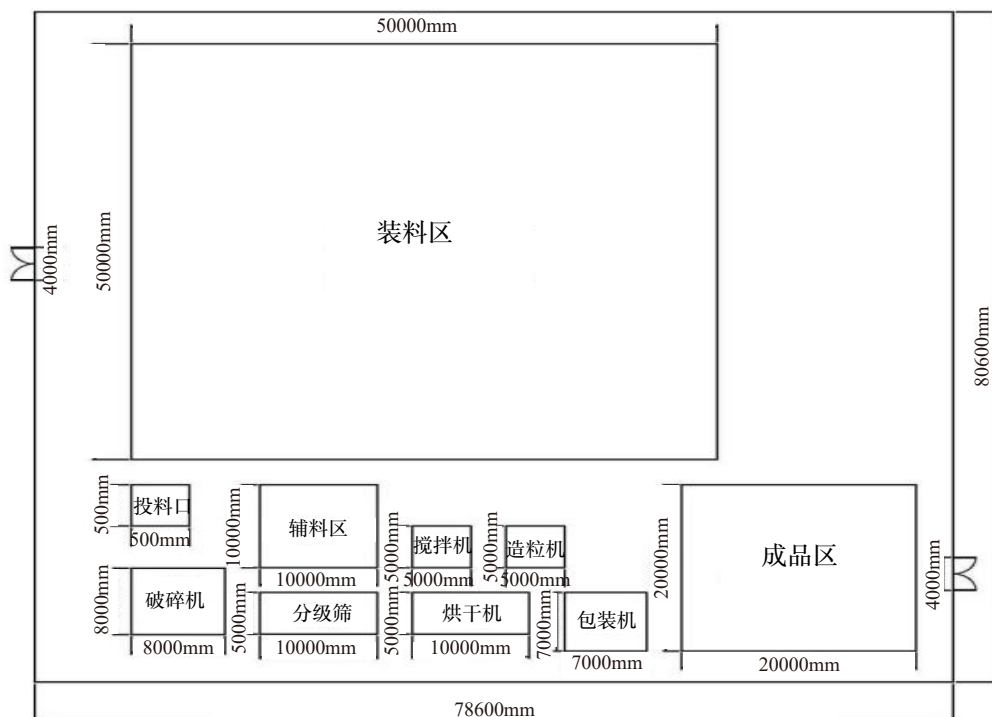


图 5 腐植酸钠产品加工车间基本布局图

Fig.5 Basic layout of sodium humate products processing workshop

2.3 腐植酸钠生产工艺流程

腐植酸钠生产整个生产工艺（图 6）包括褐煤原料破细、筛分、添加辅料搅拌、直接烘干（粉状

产品）、造粒后烘干（颗粒产品）、包装 5 ~ 6 个工序，工艺简单，在控制好原料的基础上，产品质量控制较简单。

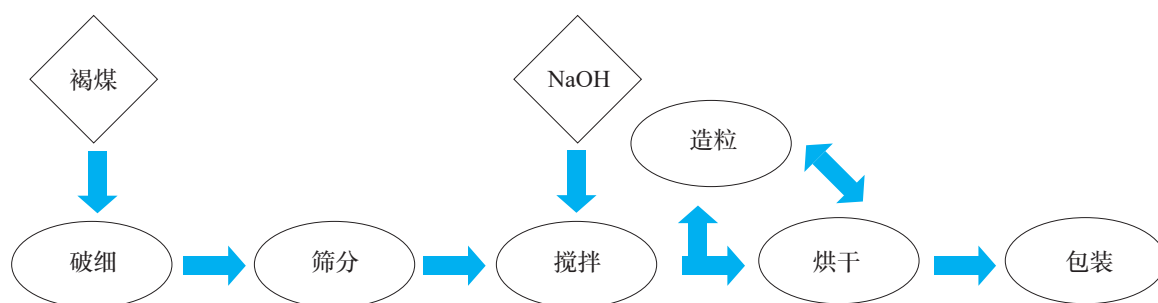


图 6 腐植酸钠产品生产工艺流程图

Fig.6 Production process flowchart of sodium humate products

3 结论

综上所述,云南褐煤的总腐植酸含量越高,制得的腐植酸钠产品总腐植酸含量越高,生产加工时选用高含量腐植酸原料,有利于生产高含量腐植酸产品。同一煤层褐煤处理制得腐植酸钠产品指标,随 NaOH 用量的变化而变化。NaOH 用量越大,制得腐植酸钠产品总腐植酸含量越低,可溶性腐植酸含量越高,pH 值越高,水不溶物含量越低。优选出适宜干法制腐植酸钠产品的褐煤原料,以提升褐煤经济价值。在腐植酸初加工设备基础上新增设备改进能满足年产能 20000 t 的腐植酸钠生产线,实现了腐植酸钠产品产业化,为企业带来效益,带动当地就业率,实现经济创收。

参考文献

- [1] 方宁. 一种用煤生产腐植酸钠的技术: ZL021242879 [P]. 2004-12-22.
- [2] 白义, 刘建伟, 张旭昊, 等. 一种饲用腐植酸钠及其制备方法和应用: ZL201811239594.6[P]. 2018-12-25.
- [3] 张逸林. 一种饲料级腐植酸钠及其制备方法: ZL201910269160.9[P]. 2019-07-23.
- [4] 路亚楠. 泥炭提取腐植酸和黄腐酸的研究 [D]. 内蒙古科技大学硕士学位论文, 2022.
- [5] 曹赞杰, 郝雪松. 褐煤中提取腐植酸钠的研究 [J]. 化工时刊, 2016, 30 (3): 31 ~ 34.
- [6] 孙海兵, 玄先路, 张来明, 等. 一种水溶性腐植酸的提取方法: 201410593571.0[P]. 2015-03-15.
- [7] 中华人民共和国工业合并信息化部. 农业用腐植酸钠:

HG/T 5334—2018[S]. 中国工业出版社, 2019.

- [8] 李善祥. 我国煤炭腐植酸资源及其利用 [J]. 腐植酸, 2000 (3): 2 ~ 13.
- [9] 李红龙, 理国反. 腐植酸在动物生产中的应用概况 [J]. 国外畜牧学 - 猪与禽, 2006 (5): 8 ~ 11.
- [10] 张时能. 一种利用褐煤腐植酸生产腐植酸钾的方法: ZL202210190988.7[P]. 2022-05-06.
- [11] 高宇, 张彩凤, 朱瑞涛, 等. 一种腐植酸快速提取方法: ZL201410726805.4[P]. 2015-03-11.
- [12] 张远琴, 李艳红, 张红贵. 弥勒褐煤提取腐植酸的工艺优化研究 [J]. 应用化工, 2020, 49(6):1348 ~ 1353.
- [13] 吴仁儒. 腐植酸钠的提取及提纯 [J]. 景德镇高专学报, 2000, 15 (2): 1 ~ 2.
- [14] 刘德康. 介绍一种抗硬水腐植酸钠 [J]. 腐植酸, 1995 (3): 14 ~ 17.
- [15] 田丹碧, 田定一. 从红原县 1# 泥炭地泥炭中提取腐植酸的研究 [J]. 四川大学学报 (自然科学报), 2002, 39 (5): 913 ~ 917.
- [16] 张水花. 一种腐植酸及其钠盐的生产方法: 201610042612.6[P]. 2016-06-29.
- [17] 国家技术监督局. 煤中腐植酸产率测定方法: GB/T 11957—2001[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [18] 中华人民共和国工业和信息化部. 腐植酸钠: HG/T 3278—2018[S]. 北京: 化学工业出版社, 2019.
- [19] 中华人民共和国农业农业农村部. 有机肥料: NY/T 525—2021[S]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 煤的工业分析方法: GB/T 212—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.