

# 桉木热水预水解过程中木糖反应动力学的研究



作者简介: 李丹女士, 在读硕士研究生; 主要研究方向: 预水解提取半纤维素。

李丹<sup>1,2</sup> 苏振华<sup>1,2,\*</sup> 曹春昱<sup>1,2</sup>

(1. 中国制浆造纸研究院有限公司, 北京, 100102;  
2. 制浆造纸国家工程实验室, 北京, 100102)

**摘要:** 研究了桉木热水预水解生成木糖水解液的反应动力学, 分别测定了不同热水预水解条件下木糖质量浓度及其降解产物糠醛的质量浓度。研究表明, 以木糖质量浓度及糠醛的质量浓度为指标, 确定桉木最佳热水预水解条件为: 液比 1:8, 水解温度 170℃, 保温时间 105 min。此条件下, 预水解液中木糖和糠醛质量浓度分别为 7.97 g/L、1.74 g/L, 桉木热水预水解生成木糖的反应活化能为 72.62 kJ/mol。

**关键词:** 桉木; 热水预水解; 半纤维素; 反应动力学

**中图分类号:** TS79      **文献标识码:** A      **DOI:** 10.11980/j.issn.0254-508X.2019.06.003

## Reaction Kinetics of Xylose from Eucalyptus Hot Water Prehydrolysis

LI Dan<sup>1</sup> SU Zhenhua<sup>1,2,\*</sup> CAO Chunyu<sup>1,2</sup>

(1. China National Pulp and Paper Research Institute Co., Ltd., Beijing, 100102;  
2. National Engineering Lab for Pulp and Paper, Beijing, 100102)

(\* E-mail: suzh0722@126.com)

**Abstract:** In this study, the reaction kinetics of xylose hydrolysate from eucalyptus autohydrolysis was investigated through analyzing mass concentrations of xylose and its degradation product furfural under different prehydrolysis conditions. The evaluated activation energy of xylose was 72.62 kJ/mol according to the established reaction kinetic equation. The optimization of experimental parameters including wood to liquor ratio, hydrolysis temperature, and time was accomplished to determine the optimized hydrolysis conditions as follows: wood to liquor ratio 1:8, hydrolysis temperature 170℃, time 105 min. Under this condition, the mass concentrations of xylose and furfural in the hydrolysate were 7.97 g/L and 1.74 g/L respectively.

**Key words:** eucalyptus; hot-water prehydrolysis; hemicellulose; reaction kinetics

生物质资源相比于化石资源具有可再生、来源丰富等优点, 面对资源短缺和环境保护的双重压力, 生物质精炼变得越来越重要。生物质精炼是指有效地利用植物原料中的各种生物质组分, 将其转化成高附加值产品(如燃料、各种化学品和其他物质等)。木质纤维生物质是世界上来源最为丰富的可再生资源之一, 通过生物质精炼技术对其进行生物质精炼是解决资源与环境问题的重要途径。但对木质纤维生物质的 高值化利用, 一般需要将其三大主要组分即纤维素、半纤维素和木质素进行分离。半纤维素作为木质纤维生物质主要组分, 因其特殊的成分和功能越来越受到人们的重视, 半纤维素的分离过程中, 其物理化学性质和结构特征很大程度上取决于原料和预处理方

法<sup>[1]</sup>。目前分离半纤维素的方法有热水预处理、稀酸预处理、碱抽提、蒸汽爆破抽提、超声辅助萃取等, 在这些方法中, 热水预水解作为一种环保、工艺简单、对设备要求较低的半纤维素分离技术<sup>[2]</sup>, 常用于发酵糖和寡糖的制备<sup>[3]</sup>。

目前半纤维素的主要应用是通过热水预水解, 将半纤维素中的聚木糖水解成木糖, 再将木糖转化成为木糖醇<sup>[4]</sup>。制浆造纸行业是最早利用木质纤维的行业,

收稿日期: 2019-04-17(修改稿)

基金项目: 国家重点研发计划项目课题“制浆水解液半纤维素提取技术及木糖制备产业化示范”(2017YFB0307904)。

\*通信作者: 苏振华, 高级工程师; 主要研究方向: 制浆造纸清洁生产与污染控制。

通过制浆前的热水预水解可以提取部分半纤维素从而实现木质纤维生物质的综合利用。桉木是目前化学浆厂应用最为广泛的纤维原料,因此研究桉木热水预水解工艺有着重要意义。

本研究通过热水在不同预水解条件下水解桉木半纤维素中的聚戊糖,研究了桉木热水预水解过程中半纤维素的反应历程,通过建立半纤维素反应动力学方程,得到桉木热水预水解生成木糖的反应活化能,从而得出桉木热水预水解的反应规律。

## 1 实验

### 1.1 实验原料及药品

桉木木片,取自山东某企业。

实验中所用药品及其规格、生产厂家如表 1 所示。

表 1 实验药品

| 药品名称   | 规格  | 生产厂家            |
|--------|-----|-----------------|
| 苯      | 分析纯 | —               |
| 95% 乙醇 | 分析纯 | 国药集团化学试剂有限公司    |
| 亚氯酸钠   | 分析纯 | —               |
| 冰醋酸    | 分析纯 | 北京化工厂           |
| 盐酸     | 分析纯 | 国药集团化学试剂有限公司    |
| 溴酸钠    | 分析纯 | —               |
| 溴化钠    | 分析纯 | 北京化工厂           |
| 硫代硫酸钠  | 分析纯 | 天津市永大化学试剂       |
| 碘化钾    | 分析纯 | 中国医药公司北京采购供应站   |
| 硫酸     | 分析纯 | 北京化工厂           |
| 氢氧化钠   | 分析纯 | 北京化工厂           |
| 乙酸钠    | 分析纯 | 中国医药公司北京采购供应站经销 |
| 蒸馏水    |     | 实验室自制           |

### 1.2 实验仪器及设备

实验中所用的主要仪器及设备如表 2 所示。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 桉木原料组分分析

将一定量的桉木木片风干,用原料粉碎机磨成粉,冷却至室温,过筛后收集 40~60 目的桉木木粉,装进具塞广口瓶中,平衡水分后测定灰分(GB/T 2677.3—1993)、苯-醇抽出物(GB/T 2677.6—1994)、聚戊糖(采用二溴化法 GB/T 2677.9—1994)、综纤维素(GB/T 2677.10—1995)、酸不溶木素(GB/T 2677.8—1994)和酸溶木素(GB/T 10337—2008)等组分的含量。具体分析结果见表 3。

表 2 实验仪器及设备

| 仪器名称             | 型号              | 生产厂家           |
|------------------|-----------------|----------------|
| 原料粉碎机            | —               | 芬兰             |
| 电热恒温水浴锅          | HH- S11-Ni6     | 北京三二八科学仪器有限公司  |
| 分析天平             | MS204S/01       | METTLER TOLEDO |
| 电热回转蒸煮锅          | AU/E-20         | 巴西 REGMED 公司   |
| 电热鼓风干燥箱          | XT5118-OV140    | 杭州雪中炭恒温技术有限公司  |
| 循环水式多用真空泵        | SHB-III         | 郑州长城科工贸有限公司    |
| 紫外可见分光光度计        | UV-1800         | 日本津岛公司         |
| 旋转蒸发器            | RE-5203A        | 上海振捷实验设备有限公司   |
| 冷冻干燥机            | FD-1D-50        | 北京博医康实验仪器有限公司  |
| 高速台式离心机          | GT10-1          | 北京时代北利离心机有限公司  |
| 安捷伦 1200 高效液相色谱仪 | DIONEX ICS-3000 | USA            |

表 3 桉木原料主要组分 %

| 组分     | 含量    |
|--------|-------|
| 灰分     | 0.50  |
| 苯-醇抽出物 | 1.26  |
| 综纤维素   | 80.23 |
| 聚戊糖    | 23.85 |
| 酸不溶木素  | 21.08 |
| 酸溶木素   | 2.40  |

#### 1.3.2 桉木热水预水解工艺

每次实验取 100 g 绝干桉木片,置于电热回转蒸煮锅中的每个小罐中,按照不同液比(1:4、1:6、1:8 及 1:10)加入蒸馏水,然后分别在 130、150、170℃ 下预水解桉木,升温阶段从 35℃ 开始计时,以 2℃/min 的升温速率达到指定的预水解温度,然后再将其分别保温 45、60、75、90、105、120 min。预水解完成后,待电热回转蒸煮锅的温度降至 100℃ 以下后,依次取出 4 个反应小罐,置于事先备好的冷水浴中冷却数十分钟,然后将预水解液和预水解后的木片分开,储存好备用。

#### 1.3.3 木糖质量浓度的测定

将实验分离出的预水解液用孔径 0.22 μm 的水系滤头过滤后,将其稀释到一定倍数,采用安捷伦 1200 高效液相色谱仪测定预水解液中的木糖质量浓度。该检测系统包括 G1362A 示差检测器、G1316A 柱温箱、G1329A 自动进样器。柱温为 30℃,检测器的温度为 25℃,进样量为 20 μL,工作压力约为 17.93~20.68 MPa。流动相先以 4% 50 mmol/L 的氢氧化钠和 96% 的超纯水梯度洗脱 22 min;随后用 40% 1 mol/L 乙酸钠、20% 超纯水和 40% 50 mmol/L

的氢氧化钠梯度洗脱 5 min; 再用 20% 超纯水、80% 250 mmol/L 的氢氧化钠梯度洗脱 8 min。流速为 5 mL/min(注: 以上所用实验药品的百分数均为体积分数)。

### 1.3.4 糠醛质量浓度的测定

用紫外可见分光光度计于波长 280 nm 附近测量预水解液中的糠醛质量浓度, 扫描范围为 220 ~ 280 nm。

### 1.3.5 聚戊糖含量的测定

桉木热水预水解后桉木片的聚戊糖含量按照 GB/T 2677.9—1994 中二溴化法进行测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同预水解温度和保温时间对木糖质量浓度的影响

不同热水预水解温度下预水解液中木糖质量浓度变化情况见图 1。由图 1 可知, 随着预水解温度升高和保温时间的延长, 木糖质量浓度逐渐增大。同一保温时间下, 预水解温度 170℃ 时木糖质量浓度比 130℃ 和 150℃ 的高, 所以高温有利于半纤维素水解。但是, 由图 1 中预水解温度 170℃ 曲线可以发现, 当保温时间超过 105 min 时, 木糖质量浓度呈下降趋势, 这说明桉木半纤维素水解反应达到一个理想状态后, 单糖会脱水生成糠醛或者转变为其他物质, 因此木糖质量浓度会下降。

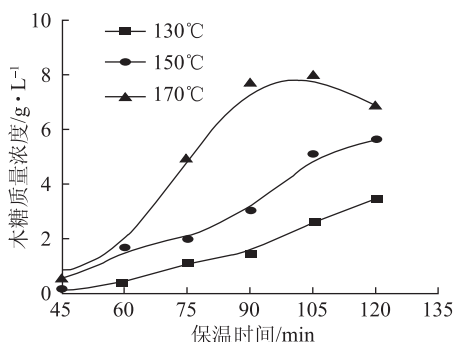


图 1 不同预水解温度和保温时间对木糖质量浓度的影响

不同预水解温度和保温时间对桉木片中聚戊糖含量的影响见图 2。由图 2 可知, 预水解温度对聚戊糖的预水解情况影响很大, 当预水解温度 130℃、保温时间 105 min 时, 桉木热水预水解后桉木片中聚戊糖含量为 18.71%, 相比于未处理的桉木木片中聚戊糖含量, 还有 78.45% 聚戊糖未被水解; 但当预水解温度为 170℃ 时, 桉木热水预水解后聚戊糖含量急剧下降, 此条件下当保温时间为 90 min 时, 聚戊糖含量为 11.41%, 此时有 50% 以上的半纤维素已经被水解。

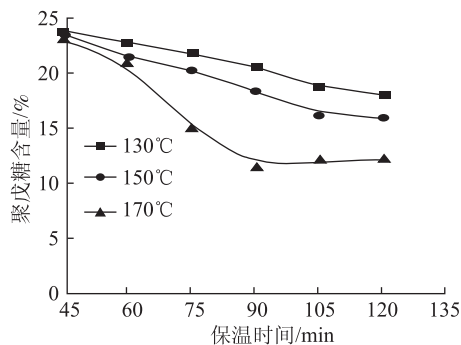


图 2 不同预水解温度和保温时间下桉木片中聚戊糖含量

### 2.2 不同预水解温度和保温时间对糠醛质量浓度的影响

糠醛是一种以半纤维素或低聚戊糖为原料制备的绿色化工中间体, 它可以代替来源于石化的化工产品<sup>[6]</sup>, 而糠醛又是木糖水解的主要降解产物<sup>[7]</sup>, 预水解液中的糠醛含量与木糖得率有很大关联, 因此, 研究预水解过程中糠醛质量浓度的变化, 对于热水预水解半纤维素最佳工艺的确定具有重要的指导意义。

不同预水解温度下桉木热水预水解后糠醛质量浓度变化情况见图 3。由图 3 可知, 随着预水解温度的升高和保温时间的延长, 木糖降解产物糠醛逐渐产生。预水解温度 170℃ 时产生的糠醛质量浓度比 130℃ 和 150℃ 下的高, 高温虽然有利于半纤维素水解, 但是随着预水解温度的升高和保温时间的延长, 糠醛等副产物的产生影响预水解的效果。

结合图 1 和图 3 可以看出, 当预水解温度 170℃、保温时间 90 min 时, 木糖质量浓度为 7.71 g/L、糠醛的质量浓度为 1.73 g/L、当预水解温度 170℃、保温时间 105 min 时, 木糖质量浓度为 7.97 g/L, 糠醛的质量浓度为 1.74 g/L, 由此可知, 在预水解温度 170℃、保温时间 105 min 下木糖质量浓度最高而降解产物糠醛含量又变化不大, 综合考虑, 选取预水解温度 170℃、保温时间 105 min 为本实验的

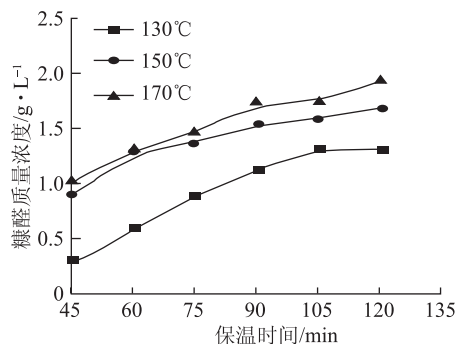


图 3 不同预水解温度下桉木热水预处理后糠醛质量浓度变化情况

最佳预水解温度和最佳保温时间。

### 2.3 不同液比对预水解液中木糖和糠醛质量浓度及其绝对量的影响

在预水解温度 170℃、保温时间 105 min 条件下, 不同液比下桉木热水预水解后木糖质量浓度及糠醛质量浓度见图 4。不同液比下桉木热水预水解后木糖及糠醛绝对量的(质量浓度和预水解液体积之积)变化情况见图 5。由图 4 可知, 液比增大, 木糖质量浓度先增大后减小, 糠醛的质量浓度缓慢增加。由图 5 可知, 木糖绝对量和糠醛绝对量都逐渐增大后又略微减小。原因是在一定液比范围内, 液比增大, 桉木木片浸渍得越充分, 有利于预水解的进行, 但是液比过高时, 由于半纤维素预水解液是复杂的酸溶液, 桉木木片中少量的灰分会中和预水解产生的部分酸<sup>[8]</sup>, 预水解液中酸浓度降低, 在一定程度上影响预水解效果。总体而言, 液比对桉木热水预处理后木糖及糠醛的质量浓度影响不如预水解温度和保温时间明显。综合考虑, 选取液比 1:8 为本实验的最佳液比。

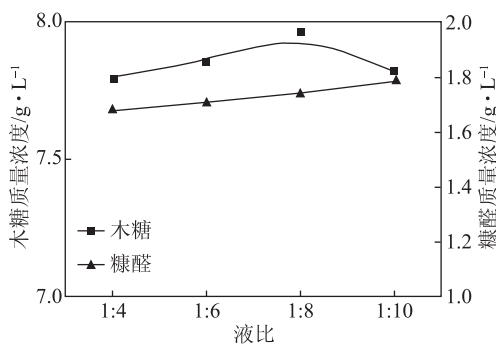


图 4 不同液比下桉木热水预水解后木糖及糠醛质量浓度变化情况

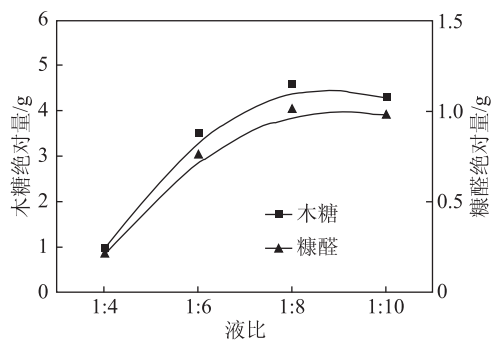


图 5 不同液比下桉木热水预水解后木糖及糠醛绝对量变化情况

### 2.4 半纤维素预水解产物木糖的动力学分析

半纤维素热水预水解动力学用于研究影响预水解速率的动力和阻力的变化规律。即通过研究半纤维素热水预水解动力学公式的表现形式, 得出反应速率常数和活化能, 从而用来控制热水预水解的质量<sup>[9]</sup>。

通过热水预水解, 半纤维素的主要成分聚戊糖首先水解生成木糖, 这一阶段的动力学公式如公式(1)所示。

$$-\frac{d\rho_{x_n}}{dt} = k_1\rho_{x_n} \quad (1)$$

式中,  $\rho_{x_n}$  为半纤维素热水预水解过程中聚戊糖质量浓度, g/L;  $t$  为水解时间, min;  $k_1$  为半纤维素热水预水解过程中聚戊糖水解速率常数,  $\text{min}^{-1}$ 。

其次, 木糖降解生成糠醛等降解产物的动力学公式见公式(2)。

$$-\left(\frac{d\rho_{x_n}}{dt} + \frac{d\rho_x}{dt}\right) = k_2\rho_x$$

$$\frac{d\rho_x}{dt} = k_1\rho_{x_n} - k_2\rho_x \quad (2)$$

式中,  $\rho_x$  为木糖质量浓度, g/L;  $k_2$  为半纤维素热水预水解过程中木糖降解速率常数,  $\text{min}^{-1}$ 。

对公式(2)进行转换见公式(3)。

$$\rho_x = c_1 \frac{k_1}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + c_2 e^{-k_2 t} \quad (3)$$

式中,  $c_1$ 、 $c_2$  为常数, 半纤维素还未开始进行热水预水解时, 初始半纤维素质量浓度为  $H_0$ , g/L,  $\rho_{x_n} = H_0$ ,  $\rho_x = 0$ , 因此  $c_1 = H_0$ 、 $c_2 = 0$ 。所以, 公式(3)则变为公式(4)。

$$\rho_x = H_0 \frac{k_1}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) \quad (4)$$

假设木糖得率用  $Y_x$  表示, 则木糖得率计算见公式(5)。

$$Y_x = \frac{\rho_x}{H_0} = \frac{k_1}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) \quad (5)$$

公式(6)由孙勇等人<sup>[7]</sup>提出, 其中  $x$  为起始聚戊糖质量分数, 23.85%, LWR 为液比, 即 1:8, 则  $H_0$  为 33.88 g/L。

$$H_0 = \frac{150}{132} \times \frac{x}{\text{LWR}} \times 1000 \quad (6)$$

根据公式(5)算出不同水解温度和不同保温时间下木糖得率, 表 4、表 5、表 6 分别为 130℃、150℃及 170℃下桉木热水预水解后木糖得率。

表 4 130℃下桉木热水预水解后木糖得率

| 保温时间/min | 木糖质量浓度/g·L <sup>-1</sup> | 木糖得率/% |
|----------|--------------------------|--------|
| 45       | 0.03                     | 0.09   |
| 60       | 0.39                     | 1.16   |
| 75       | 1.14                     | 3.37   |
| 90       | 1.49                     | 4.41   |
| 105      | 2.64                     | 7.81   |
| 120      | 3.48                     | 10.29  |

表 5 150℃下桉木热水预水解后木糖得率

| 保温时间/min | 木糖质量浓度/g·L <sup>-1</sup> | 木糖得率/% |
|----------|--------------------------|--------|
| 45       | 0.18                     | 0.52   |
| 60       | 1.69                     | 5.00   |
| 75       | 2.01                     | 5.93   |
| 90       | 3.06                     | 9.03   |
| 105      | 5.10                     | 15.05  |
| 120      | 5.64                     | 16.65  |

表 6 170℃下桉木热水预水解后木糖得率

| 保温时间/min | 木糖质量浓度/g·L <sup>-1</sup> | 木糖得率/% |
|----------|--------------------------|--------|
| 45       | 0.53                     | 1.58   |
| 60       | 1.68                     | 4.96   |
| 75       | 4.89                     | 14.43  |
| 90       | 7.71                     | 22.75  |
| 105      | 7.97                     | 23.52  |
| 120      | 6.86                     | 20.24  |

采用非线性拟合的方法得到不同预水解温度和不同保温时间下, 半纤维素热水预水解过程中聚戊糖水水解速率常数  $k_1$  如表 7 所示。从表 7 可知, 随着预水解温度的升高, 聚戊糖水水解速率常数  $k_1$  变大, 这说明半纤维素热水预水解过程中随预水解温度升高, 木糖生成的速率加快。

表 7 半纤维素热水预水解过程中聚戊糖水水解速率常数  $k_1$

| 预水解温度/℃ | $k_1/\text{min}^{-1}$ | $R$    |
|---------|-----------------------|--------|
| 130     | 0.0218                | 0.9698 |
| 150     | 0.0706                | 0.9452 |
| 170     | 0.1347                | 0.9480 |

### 2.5 桉木热水预水解生成木糖的反应活化能

阿伦尼乌斯(Arrhenius)(公式 7)方程揭示了反应速率常数与温度之间的关系<sup>[10]</sup>。半纤维素热水预水解过程中, 聚戊糖水水解速率常数与预水解温度的关系(公式 8)符合阿伦尼乌斯(Arrhenius)方程<sup>[11]</sup>。

$$k = A \times e^{-\frac{E}{RT}} \quad (7)$$

$$k_1 = A \times e^{-\frac{E_1}{RT}} \quad (8)$$

式中,  $k_1$  为半纤维素热水预水解过程中聚戊糖水水解速率常数,  $\text{min}^{-1}$ ;  $A$  为指前因子<sup>[10-13]</sup>,  $\text{min}^{-1}$ ;  $E_1$  为桉木热水预水解生成木糖的反应活化能,  $\text{kJ/mol}$ ;  $R$  气体常数,  $8.3143 \times 10^{-3} \text{ kJ}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ;  $T$  为绝对温度,  $\text{K}$ ,  $T = (T_1 + 273.15) \text{ K}$ ,  $T_1$  为摄氏温

度,  $^{\circ}\text{C}$ 。将公式(8)两边取对数见公式(9)。

$$\ln k_1 = -\frac{E_1}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln A \quad (9)$$

根据半纤维素热水预水解过程中不同预水解温度下聚戊糖水水解速率  $k_1$  值, 做出  $\ln k_1$  与  $1/T$  的关系图, 采用 origin 软件进行线性拟合, 拟合结果见图 6。

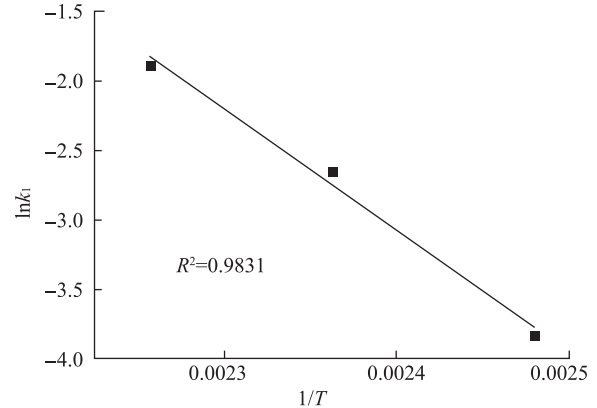


图 6 桉木半纤维素热水预水解过程中  $\ln k_1$  与  $1/T$  关系图

由图 6 得出, 此线性回归方程如公式(10)所示。拟合度  $R^2$  为 0.9831, 说明拟合效果较好, 此线性回归方程可以表示半纤维素预水解过程。从线性回归方程中可以得出, 指前因子为  $5.85 \times 10^7 \text{ min}^{-1}$ , 桉木热水预水解生成木糖的反应活化能为  $72.62 \text{ kJ/mol}$ 。

$$\ln k_1 = -8734.32 \frac{1}{T} + 17.88 \quad (10)$$

### 3 结论

本实验研究了不同热水预水解条件对桉木半纤维素的影响, 并研究了桉木热水预水解过程中生成木糖的反应动力学。

**3.1** 热水预水解桉木半纤维素木糖提取的最佳工艺条件为: 预水解温度  $170^{\circ}\text{C}$ , 保温时间  $105 \text{ min}$ , 液比  $1:8$ 。此条件下预水解液中的木糖质量浓度和糠醛质量浓度分别为  $7.97 \text{ g/L}$  和  $1.74 \text{ g/L}$ 。

**3.2** 桉木半纤维素热水预水解过程中聚戊糖水水解速率常数  $k_1$  与水解温度  $T$  的关系为:  $\ln k_1 = -8734.32 \frac{1}{T} + 17.88$  ( $R^2 = 0.9831$ ), 指前因子为  $5.85 \times 10^7 \text{ min}^{-1}$ , 桉木热水预水解生成木糖的反应活化能为  $72.62 \text{ kJ/mol}$ 。

### 参 考 文 献

- [1] Fu LianHua, Meng LingYan, Li YaYu, et al. Comparative study of water-soluble and alkali-soluble hemicelluloses extracted by hydrothermal pretreatment[J]. Paper and Biomaterials, 2017, 2(1): 1.
- [2] Fu LianHua, Liu Shan, Li ShuMing, et al. Characterization of Hemi-

- celluloses Extracted From *Populus Tomentosa* Carr. by the Hydrothermal Method with Ethanol [J]. Paper and Biomaterials, 2017, 2(3): 1.
- [3] GUO Kaiyuan, SHI Haiqiang, CAO Nan, et al. Effects of Acetic Acid-strengthened Hydrothermal Prehydrolysis on the Dissolution of Hemicelluloses from Acacia Wood and the Component and Structure of the Hemicelluloses [J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2018, 33(3): 1.  
郭凯原, 石海强, 曹楠, 等. 乙酸强化水热预水解对相思木半纤维素溶出及组分与结构的影响[J]. 中国造纸学报, 2018, 33(3): 1.
- [4] Mussatto S I, Roberto I C. Kinetic behavior of *Candida guilliermondii* yeast during xylitol production from highly concentrated hydrolysate [J]. Process Biochemistry, 2004, 39(11): 1433.
- [5] ZHAO Xu-hong, SHI Hai-qiang, ZHANG Jian, et al. The content of soluble lignin and furfural in wood fiber prehydrolysate was determined by UV-spectrophotometry [J]. Journal of Chemical Industry, 2015, 66(6): 2295.  
赵旭红, 石海强, 张健, 等. 紫外光谱定量测定木质纤维预水解液中溶解性木素和糠醛含量[J]. 化工学报, 2015, 66(6): 2295.
- [6] GAO Hong-ling, PANG Bo, DU Jian, et al. Green preparation process and development trend of hemicellulose conversion of furfural [J]. Paper and Paper Making, 2015, 34(8): 13.  
高红玲, 庞博, 杜健, 等. 半纤维素转化为糠醛的绿色制备工艺及发展趋势[J]. 纸和造纸, 2015, 34(8): 13.
- [7] SUN Yong, ZHANG Jin-ping, YANG Gang, et al. Kinetic studies of hydrochloric acid hydrolysis of xylan in corn straw [J]. Chemical Engineering, 2007(10): 49.  
孙勇, 张金平, 杨刚, 等. 盐酸水解玉米秸秆木聚糖的动力学研究[J]. 化学工程, 2007(10): 49.
- [8] BIN Dong-ming. Study on the technology and mechanism of pre-extraction of hemicellulose before sugar cane bagasse pulping [D]. Nanning: Guangxi University, 2009.  
宾东明. 甘蔗渣制浆前预抽提半纤维素的工艺及机理研究[D]. 南宁: 广西大学, 2009.
- [9] ZHAN Huan-yu, LIU Qiu-juan, CHEN Jia-chuan, et al. Pulp Principle and Engineering [M]. Beijing: Chinese Light Industry Press, 2011.  
詹怀宇, 刘秋娟, 陈嘉川, 等. 制浆原理与工程[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011.
- [10] JIN Qiang, ZHANG Hong-man, XU Rui, et al. Hydrolysis kinetics of hemicellulose dilute acid cycle spray filtration [J]. Journal of Chemical Industry, 2011, 62(1): 103.  
金强, 张红漫, 徐锐, 等. 半纤维素稀酸循环喷淋冲滤水解动力学[J]. 化工学报, 2011, 62(1): 103.
- [11] DENG Yuan-de. Study on hydrolysis kinetics of wheat straw hemicellulose in formic acid-hydrochloric acid mixed solution [J]. Food Technology, 2010, 35(8): 157.  
邓远德. 麦草半纤维素在甲酸-盐酸混合溶液中水解动力学研究[J]. 食品科技, 2010, 35(8): 157.
- [12] YUE Chang-hai, BO De-chen, LI Ping-li. Kinetics of acetic acid hydrolysis of xylan in corn cob [J]. Chemical Engineering, 2011, 39(9): 16.  
岳昌海, 薄德臣, 李凭力. 醋酸水解玉米芯中聚木糖的动力学[J]. 化学工程, 2011, 39(9): 16.
- [13] TAN Lihong, MA Lefan, LIU Dingjun, et al. Research of Dissolution Kinetics of Water Prehydrolyzed Hemicellulose of Bamboo [J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2012, 27(3): 33.  
谭丽红, 马乐凡, 刘定军, 等. 楠竹水预水解半纤维素溶出动力学的研究[J]. 中国造纸学报, 2012, 27(3): 33. [CPP]

(责任编辑:黄 举)

· 消息 ·

## 博汇纸业 PM5 护面纸项目 OCC 制浆生产线成功开机

2019年5月26日,凯登为山东博汇纸业股份有限公司(以下简称博汇纸业)PM5护面纸项目提供的OCC制浆生产线成套设备成功开机,各项性能指标均达到了设计要求,用户非常满意。

作为博汇集团年产150万t高档包装纸板项目的重要部分,凯登向博汇纸业PM5护面纸项目提供的高性能OCC制浆生产线成套设备,该制浆生产线日产量2150t,年产量高达75万t。纸机幅宽8.75m,车速1200m/min,是目前全世界产量最高的OCC制浆生产线,也是博汇集团继2019年3月7日PM6箱

板纸生产线成功开机后,又一个成功开机的项目。

按照计划,OCC浆线于5月26日开始正式投料。自开机以来系统稳定、各项质量指标均达到合同规定要求。由于前期工作准备充分和细致到位,此次开机非常顺利,所有设备稳定运行,各项质量指标均控制在工艺范围之内,展现出凯登一如既往的优越性能。

展望未来,凯登将一如既往地为客户提供创新技术、解决方案和优质服务,帮助客户提高效率,提升可持续发展能力,引领制浆造纸市场发展。