

doi:10.3969/j.issn.0253-2417.2015.05.021

磷酸活化碱木糖渣制备高吸附性能活性炭



HOU Min

侯敏^{1,2}, 邓先伦^{1,2*}, 朱光真^{1,2}, 孙康^{1,2},
郭昊², 张燕萍², 李萍², 梁芳敏²

(1. 中国林业科学研究院林业新技术研究所, 北京 100091; 2. 中国林业科学研究院林产化学工业研究所; 生物质化学利用国家工程实验室; 国家林业局林产化学工程重点开放性实验室; 江苏省生物质能源与材料重点实验室, 江苏 南京 210042)

摘 要: 以碱木糖渣为原料, 磷酸为活化剂, 经预处理后活化, 制备高吸附性能活性炭。考察了不同条件对活性炭吸附性能的影响, 并结合 N_2 吸附-脱附等温线对其孔结构进行表征。结果表明, 当浸渍比为 2.0:1, 预处理温度和时间分别为 270 °C 和 60 min, 活化温度和时间分别为 400 °C 和 90 min 时, 制得的活性炭得率为 36.36%, 亚甲基蓝吸附值 360 mg/g, 碘吸附值 1 142 mg/g, 焦糖脱色率 120%, 比表面积 1 850.6 m^2/g , 总孔容积 1.48 cm^3/g , 中孔孔容 0.81 cm^3/g , 平均孔径 3.2 nm。

关键词: 碱木糖渣; 活性炭; 制备; 吸附性能

中图分类号: TQ35; TQ424

文献标识码: A

文章编号: 0253-2417(2015)05-0129-06

引文格式: 侯敏, 邓先伦, 朱光真, 等. 磷酸活化碱木糖渣制备高吸附性能活性炭[J]. 林产化学与工业, 2015, 35(5): 129-134.

Preparation of Activated Carbon from Alkali Xylose Residue by Phosphoric Acid Activation

HOU Min^{1,2}, DENG Xian-lun^{1,2}, ZHU Guang-zhen^{1,2}, SUN Kang^{1,2},
GUO Hao², ZHANG Yan-ping², LI Ping², LIANG Fang-min²

(1. Research Institute of Forestry New Technology, CAF, Beijing 100091, China; 2. Institute of Chemical Industry of Forest Products, CAF; National Engineering Lab. for Biomass Chemical Utilization; Key and Open Lab. of Forest Chemical Engineering, SFA; Key Lab. of Biomass Energy and Material, Jiangsu Province, Nanjing 210042, China)

Abstract: Activated carbon with high adsorption performance was prepared from alkali xylose residue by phosphoric acid activation after pretreatment. The effect of different conditions on the adsorption properties of activated carbon was studied and the pore structure was characterized by N_2 adsorption-desorption isotherm. The results showed that the optimum conditions for raw material was pre-activated at 270 °C for 60 min and then the activated carbon was prepared at the impregnated ratio 2.0:1 (mass ratio), activation temperature 400 °C, and activation duration 90 min. Under these conditions, activated carbon had the yield of 36.36%, methylene blue value 360 mg/g, iodine value 1 142 mg/g, rate of caramel decolorization 120%, specific surface area 1 850.6 m^2/g , total pore volume 1.48 cm^3/g , mesopores volume 0.81 cm^3/g and average pore diameter 3.2 nm.

Key words: alkali xylose residue; activated carbon; preparation; adsorption performance

活性炭是一种优质的吸附材料, 具有发达的孔隙结构和巨大的比表面积, 且其化学稳定性好, 吸附能力强, 吸附后易再生, 在化工、食品、医药以及环保等领域有着广泛的应用, 已成为国民经济不可缺少的重要产品^[1-3]。制备活性炭的原料很多, 近年来利用廉价易得的废弃生物质制备活性炭越来越受到重视。目前, 活性炭的制备技术及工艺研究都已经比较成熟, 因此, 制备活性炭原料的研究成为一个新

收稿日期: 2014-07-02

基金项目: 中国林科院林业新技术所基本科研业务费专项资金(CAFINT2013C02)

作者简介: 侯敏(1988—), 女, 山东潍坊人, 硕士生, 研究方向为碳质吸附材料; E-mail: 1106548832@qq.com

* 通讯作者: 邓先伦(1956—), 男, 研究员, 硕士生导师, 主要从事活性炭研究与开发工作; E-mail: dengxianlun_483@163.com。

的重点^[4-7]。传统生产木糖的工艺过程中,利用农作物秸秆中的半纤维素在稀酸条件下得到木糖溶液,同时还会产生大量的木糖渣,其中部分用于烧锅炉,绝大部分无法处理,造成环境污染。因此木糖渣的综合利用,成为目前迫切需要解决的一个难题。本研究采用碱木糖渣为原料,磷酸为活化剂,在活化前增加预处理工序,分析了活性炭制备工艺与其吸附性能的关系。

1 实验

1.1 原料、试剂及仪器

碱木糖渣(山东圣泉集团,玉米芯经稀碱水解并固液分离后的残渣),水分 75.94%,木质素 3.48%,纤维素 84.57%,多戊糖 5.26%。其中,碱木糖渣木质素和多戊糖含量分别按照 GB/T 2677.8—1994 和 GB/T 2677.9—1994 测定,纤维素含量的测定方法采用硝酸-乙醇法^[8]测定。

磷酸、碘、亚甲基蓝、硫代硫酸钠、重铬酸钾均为分析纯。SX2-4-10 箱式电阻炉,上海意丰电炉有限公司;DHG-9070 电热恒温鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司。

1.2 实验方法

对碱木糖渣进行干燥处理后水分为 20%,称取干燥后原料 20 g 置于烧杯中,与质量分数为 60% 的磷酸溶液按一定浸渍比(磷酸与绝干料质量比,下同)进行混合,搅拌均匀后静置使其浸渍充分,再放置于烘箱中控制温度和时间进行预处理,然后将其置于活化炉中活化,最后将得到的活化料用水多次漂洗至滤液 pH 值为 3~5,置于 150 °C 干燥箱中烘干,粉碎过筛,取 71 μm 粒径粉末,待测。

1.3 活性炭吸附性能分析

活性炭的吸附性能用亚甲基蓝吸附值、碘吸附值以及焦糖脱色率来表征,测定方法按照《木质活性炭试验方法》GB/T 12496—1999 进行。

1.4 样品表征

采用美国 Micrometric 公司生产的 ASAP2020 自动吸附仪,在液氮温度 -196 °C 下以高纯氮气为吸附介质测定活性炭的 N₂ 吸附等温线。根据吸附等温线,采用 BET 法计算活性炭的比表面积,孔容积由相对压力为 0.99 时的 N₂ 吸附量决定,孔径分布采用密度函数理论(DFT)进行分析。

2 结果与讨论

2.1 不同制备条件对活性炭吸附性能的影响

2.1.1 浸渍比 在预处理温度 270 °C、预处理时间 60 min、活化温度 450 °C 和活化时间 60 min 条件下,浸渍比对活性炭吸附性能的影响见表 1。由表 1 可以看出,浸渍比从 1.3:1 升高到 3.0:1 的过程中,活性炭的得率随着浸渍比值的增加而增加,这可能是由于在活化过程中,活化剂磷酸会脱水缩合形成各种分子尺寸的磷酸盐,并且对碱木糖渣的热分解有一定抑制作用^[9]。另外,活性炭的亚甲基蓝吸附值开始时基本没有变化,随着浸渍比值的继续升高吸附性能略有升高,在 2.0:1 时亚甲基蓝吸附值达到最大,随后吸附值明显下降;碘吸附值和焦糖脱色率总体上也是呈现先上升后下降的趋势,但增幅都不明显,在 2.0:1 时也保持着最大值 1 139 mg/g 和 100%。这主要是因为,适当的磷酸渗透入碱木糖渣原料,在活化过程中能使其大分子键断裂,并通过自身的缩聚和环化参与键的交联,在加速碳键断裂的同时抑制焦油的产生,并形成发达的孔隙结构^[10]。然而,当浸渍比过大时,过多的磷酸溶液与碱木糖渣原料接触,使得磷酸对炭体的侵蚀作用增强,原料中大量的氢和氧以水蒸气的形式流失,导致活化过度,已形成的大量微孔结构遭到破坏坍塌,从而使活性炭的吸附性能下降^[1,11]。因此,浸渍比控制在 2.0:1 比较适合。

2.1.2 预处理温度 磷酸法制备活性炭主要采用磷酸溶液浸渍原料后直接进行活化,而在活化前增加预处理工序有利于提高活性炭吸附性能的研究已有报道^[10]。在浸渍比 2.0:1、预处理时间 60 min、活化温度 450 °C 和活化时间 60 min 条件下,预处理温度对活性炭吸附性能的影响见表 1。由表 1 可知,预处理温度从 180 °C 升高到 270 °C 的过程中,活性炭的得率整体上呈现下降趋势,从 38.34% 下降到

34.41%,亚甲基蓝吸附值和碘吸附值都有较为明显的提高,分别达到 360 mg/g 和 1 204 mg/g。活性炭的焦糖脱色率整体上也是呈现上升趋势,但在 200 ℃ 到 230 ℃ 过程中,脱色率基本上没有变化,表明该温度范围不利于大孔的形成,当温度继续升高到 270 ℃ 时,焦糖脱色率达到 100%,表明预处理温度的升高有利于不同孔径结构的形成,孔隙结构发达。若继续升高预处理温度至 290 ℃,活性炭吸附性能增加不明显,而且成本也会相应增加,因此综合考虑将预处理温度控制在 270 ℃。

2.1.3 预处理时间 在浸渍比 2.0:1、预处理温度 270 ℃、活化温度 400 ℃ 和活化时间 60 min 条件下,预处理时间对活性炭吸附性能的影响见表 1。由表 1 可知,预处理时间从 15 min 增加到 120 min 的过程中,活性炭的得率逐渐降低,这可能是由于随着预处理时间的延长活化剂损失增多的缘故。同时,活性炭的亚甲基蓝吸附值、碘吸附值以及焦糖脱色率都呈现出先上升后下降的趋势,且在 60 min 时达到最大,分别为 360.0 mg/g、1 142 mg/g 和 120%。这是因为预处理时间的延长,有利于磷酸在原料内部充分渗透,使其在活化阶段能与原料发生更为均匀和充分的反应,从而得到更为丰富的孔隙结构,提高活性炭的吸附性能。然而,如果预处理时间过长,会导致磷酸分解和流失,从而影响后续的活化反应,吸附性能则会下降。因此,预处理时间以 60 min 为宜。

表 1 不同条件下制备的活性炭的吸附性能
Table 1 The adsorption properties of activated carbon prepared under different conditions

条件 conditions		亚甲基蓝吸附值 /(mg·g ⁻¹) methylene blue adsorption value	碘吸附值/ (mg·g ⁻¹) iodine adsorption value	焦糖脱色率/% rate of caramel decolorization	得率/% yield
浸渍比 impregnation ratio	1.3:1	330.0	1076	95	31.70
	1.6:1	330.0	1117	100	31.98
	2.0:1	345.0	1139	100	35.09
	2.5:1	315.0	1139	95	36.90
	3.0:1	270.0	985	90	38.10
预处理温度 pretreatment temperature	180 ℃	232.5	892	85	38.34
	200 ℃	277.5	1009	95	38.52
	230 ℃	307.5	1153	95	36.30
	270 ℃	360.0	1204	100	34.41
	290 ℃	367.5	1212	100	34.08
预处理时间 pretreatment time	15 min	202.5	807	50	39.70
	30 min	292.5	1022	100	38.18
	60 min	360.0	1142	120	36.36
	90 min	337.5	1031	110	35.68
	120 min	322.5	995	105	35.50
活化温度 activation temperature	320 ℃	285.0	758	50	39.84
	400 ℃	337.5	1128	110	35.27
	450 ℃	345.0	1139	100	35.09
	480 ℃	322.5	1182	90	35.17
	530 ℃	307.5	1158	85	35.08
活化时间 activation time	15 min	322.5	988	50	36.49
	30 min	337.5	1193	90	35.09
	60 min	337.5	1170	110	34.67
	90 min	360.0	1142	120	36.36
	120 min	330.0	1092	110	36.94

2.1.4 活化温度 在浸渍比 2.0:1、预处理温度 270 ℃、预处理时间 60 min 和活化时间 60 min 条件下,活化温度对活性炭吸附性能的影响见表 1。由表 1 可知,当活化温度从 320 ℃ 升高到 400 ℃ 时,活性炭的得率从 39.84% 下降到 35.27%,亚甲基蓝吸附值和碘吸附值都有非常明显的提高,分别达到了 337.5 mg/g 和 1 128 mg/g,而且,活性炭的焦糖脱色率也从 50% 上升到最大值 110%。这是因为随着温度的升高,活性炭上孔隙增多,磷酸分子更容易进入碱木糖渣原料内部,活性点上碳原子的反应活性增加,活化反应速度加快,有助于更多活性炭孔隙结构的形成^[12]。另外,温度从 400 ℃ 升高到 530 ℃ 的过

程中,活性炭的亚甲基蓝吸附值在 450 ℃ 时达到最大,碘吸附值在 480 ℃ 时达到最大,两者的增大幅度都很小,随后都出现下降趋势。这说明,随着温度的继续升高,活化温度对活性炭的吸附性能影响不大,而且,如果温度太高会导致具有一定抗氧能力的磷酸炭结构逐步分解成气体产物逸出,炭体失去磷酸的保护而氧化烧蚀^[13],使得孔道之间发生坍塌,形成通道,降低活性炭比表面积和孔容积,影响活性炭的吸附性能^[14-15]。因此,综合各种因素,活化温度控制在 400 ℃ 比较合适。

2.1.5 活化时间 在浸渍比 2.0:1、预处理温度 270 ℃、预处理时间 60 min 和活化温度 400 ℃ 条件下,活化时间对活性炭吸附性能的影响见表 1。由表 1 可知,活化时间的变化对活性炭得率影响不大,而活化时间从 15 min 增加到 90 min 时,活性炭的亚甲基蓝吸附值和焦糖脱色率都有明显的提高,分别达到 360 mg/g 和 120%。虽然碘吸附值在 30 min 时达到最大值 1 193 mg/g,但随着时间的继续延长,碘吸附值变化不大,仍然保持较高值。这是因为在活化初期,活化反应还未进行完全,随着活化时间的延长,活化反应充分进行,吸附性能增强。当活化时间由 90 min 到 120 min 时,活性炭的吸附性能下降,这是由于随着活化时间延长,活化剂会继续和微晶结构反应,导致活性炭的碳骨架失去磷酸保护而发生烧蚀反应^[16],微孔孔壁变薄或被烧穿,已有的部分微孔和中孔分别转变为中孔和大孔^[1,4],使得吸附性能变差。因此,最佳的活化时间为 90 min。

2.2 活性炭孔隙结构表征

在 2.1 节分析的基础上,选取综合性能最好的碱木糖渣活性炭作为研究对象进行孔结构分析,其生产工艺为:浸渍比 2.0:1,预处理温度 270 ℃,预处理时间 60 min,活化温度 400 ℃,活化时间 90 min,制得的活性炭得率 36.36%,亚甲基蓝吸附值 360 mg/g,碘吸附值 1 142 mg/g,焦糖脱色率 120%。

2.2.1 N₂ 吸附-脱附等温线分析 图 1 是所选取活性炭的 N₂ 吸附-脱附等温线,从图中可以看出,该活性炭的吸附等温线为 IV 型等温线,吸附曲线和脱附曲线形成明显的滞后回环,滞后回环的类型为 H₄ 型,表明活性炭中存在的孔道是狭窄的楔形孔^[17]。当 P/P_0 较低时,吸附量急剧上升,吸附曲线与脱附曲线重合,活性炭吸附特性符合 BET 方程,这意味着孔隙未发生毛细凝聚,被完全充满,有大量微孔存在。当 $P/P_0 > 0.4$ 时,N₂ 开始在孔隙中发生凝聚,中孔的出现使得等温线的形状发生了相应的改变,出现滞后回环。

2.2.2 孔径分布分析 根据国际纯粹与应用化学联合会(IUPAC)推荐孔隙大小的划分范围为:微孔宽度小于 2 nm,中孔宽度为 2~50 nm,大孔宽度大于 50 nm^[18]。采用密度函数理论(DFT)对活性炭的孔径分布进行分析,如图 2 所示,反映了最优条件下制得活性炭的孔径和孔容积之间的关系。从图中可以看出,孔径主要集中在 0.68、1.27、1.48、2.73、3.43、4.66 和 8.63 nm 等范围。由于具有一定的微孔,吸附等温线表现为较小的 P/P_0 下吸附量急剧上升,同时,大量的中孔使其在较高的 P/P_0 下发生明显的滞后回环,这与等温线分析结果相符。另外,可计算得到活性炭的比表面积为 1 850.6 m²/g,总孔容积 1.48 cm³/g,中孔孔容 0.81 cm³/g,平均孔径 3.2 nm,表明该活性炭的中孔及微孔都比较发达。

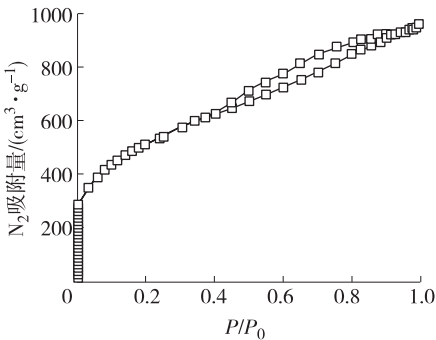


图 1 活性炭的 N₂ 吸附-脱附等温线

Fig. 1 Nitrogen adsorption-desorption isotherm of activated carbon

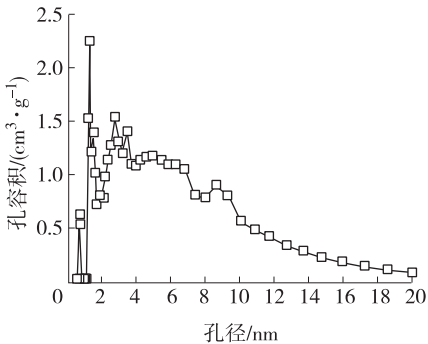


图 2 活性炭孔径分布

Fig. 2 Pore size distribution of activated carbon

2.3 讨论

关于采用磷酸法制备高吸附性能活性炭的文献报道较多,但能够制备出亚甲基蓝吸附值、碘吸附值、焦糖脱色率、比表面积和孔容积都比较优良的活性炭较少。林冠烽等^[19]制备的木聚糖基活性炭的亚甲基蓝和碘吸附值分别为 150.0 mg/g 和 1 018.9 mg/g,比表面积和孔容积分别为 1 673.6 m²/g 和 0.847 cm³/g;孙康等^[20]制备的稻秆基活性炭的亚甲基蓝和碘吸附值分别为 215.0 mg/g 和 855.0 mg/g,焦糖脱色率为 110%,比表面积和孔容积分别为 967.7 m²/g 和 1.23 cm³/g;左宋林等^[21]制备的棉秆基活性炭的亚甲基蓝吸附值为 285 mg/g,焦糖脱色率为 100%,比表面积为 1 244 m²/g。本研究采用碱木糖渣为原料,制备的活性炭亚甲基蓝吸附值为 360 mg/g,碘吸附值为 1 142 mg/g,焦糖脱色率为 120%,比表面积为 1 850.6 m²/g,孔容积为 1.48 cm³/g。与上述文献中研究制备的活性炭的性能相比,本研究制备的活性炭亚甲基蓝吸附值明显升高,碘吸附值及焦糖脱色率也有一定程度增加,综合性能优良,为工业化磷酸法高吸附性能活性炭的生产提供了参考依据,也为农业废弃物的资源化综合利用提供了新的思路。

3 结论

3.1 以碱木糖渣为原料,磷酸为活化剂,并在活化前增加预处理工序,制备出了高吸附性能的活性炭,活性炭的较佳工艺条件为:浸渍比 2.0:1,预处理温度 270 ℃,预处理时间 60 min,活化温度 400 ℃,活化时间 90 min。

3.2 在较佳条件下制得的活性炭得率为 36.36%,亚甲基蓝吸附值 360 mg/g,碘吸附值 1 142 mg/g,焦糖脱色率 120%,比表面积 1 850.6 m²/g,孔容积 1.48 cm³/g,中孔孔径 0.81 cm³/g,平均孔径 3.2 nm,孔隙结构发达,吸附性能优异。

参考文献:

- [1] 刘晓敏,邓先伦,郭昊,等.油茶壳活性炭的制备及其吸附性能研究[J].安徽农业科学,2012,40(13):7901-7904.
LIU Xiao-min, DENG Xian-lun, GUO Hao, et al. Study on preparation of activated carbon from oil camellia shell and its adsorption performance [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(13): 7901-7904.
- [2] 谢新苹,蒋剑春,孙康,等.磷酸活化剑麻纤维制备活性炭试验研究[J].林产化学与工业,2013,33(3):105-109.
XIE Xin-ping, JIANG Jian-chun, SUN Kang, et al. Preparation and characterization of activated carbon using phosphoric acid as activator from sisal fiber[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2013, 33(3): 105-109.
- [3] 周亚平,吴岷,刘佳,等.玉米芯活性炭的制备及储气性能[J].天津大学学报:自然科学与工程技术版,2013,46(10):939-944.
ZHOU Ya-ping, WU Di, LIU Jia, et al. Preparation of corncob activated carbon and its gas storage[J]. Journal of Tianjin University: Science and Technology, 2013, 46(10): 939-944.
- [4] ZUO Song-lin, YANG Jian-xiao, LIU Jun-li, et al. Significance of the carbonization of volatile pyrolytic products on the properties of activated carbons from phosphoric acid activation of lignocellulosic material[J]. Fuel Processing Technology, 2009, 90(7): 994-1001.
- [5] BACCARAT R, BOUZIDA J, FEK M, et al. Preparation of activated carbon from tunisian olive-waste cakes and its application for adsorption of heavy metal ions[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 162(2/3): 1522-1529.
- [6] GIRGIS B S, EL-HENDAWY A A. Porosity development in activated carbons obtained from date pits under chemical activation with phosphoric acid[J]. Microporous and Mesoporous Materials, 2002, 52(2): 105-117.
- [7] 卢辛成,蒋剑春,孙康,等.磷酸活化稻秆制备中孔活性炭的研究[J].林产化学与工业,2013,33(4):43-47.
LU Xin-cheng, JIANG Jian-chun, SUN Kang, et al. Preparation of mesoporous activated carbon from rice straw using phosphoric acid[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2013, 33(4): 43-47.
- [8] 北京造纸研究所.造纸工业化学分析[M].北京:中国轻工业出版社,1975:48-50.
Beijing Papermaking Research Institute. Chemical Analysis of Papermaking Industry[M]. Beijing: China Light Industry Press, 1975: 48-50.
- [9] 朱光真,邓先伦,郭昊,等.催化活化法制备杉木基超高比表面积颗粒活性炭[J].林产化学与工业,2014,34(1):113-116.
ZHU Guang-zhen, DENG Xian-lun, GUO Hao, et al. Preparation of granular activated carbon from china fir with super-high surface area by catalysis activation[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2014, 34(1): 113-116.
- [10] 郭昊,邓先伦,朱光真,等.磷酸活化制备高吸附性能活性炭的研究[J].林产化学与工业,2013,33(6):55-58.
GUO Hao, DENG Xian-lun, ZHU Guang-zhen, et al. Preparation of high adsorption performance activated carbon by phosphoric acid activation

- [J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2013, 33(6): 55-58.
- [11] 刘斌, 杨继亮, 马叶, 等. 磷酸活化法制备梧桐叶活性炭及表征[J]. 林产工业, 2013, 40(6): 35-40.
LIU Bin, YANG Ji-liang, MA Ye, et al. Activated carbon prepared from phoenix tree leaves using phosphoric acid activation and its characters [J]. China Forest Products Industry, 2013, 40(6): 35-40.
- [12] 曾巧玲. 磷酸法颗粒活性炭的制备与性能研究[D]. 福州: 福建农林大学硕士学位论文, 2010.
ZENG Qiao-ling. Preparation and properties of granular activated carbon activated with H_3PO_4 [D]. Fuzhou: Master Degree Thesis of Fujian Agriculture and Forestry University, 2010.
- [13] 张会平, 叶李艺, 杨立春. 磷酸活化法制备木质活性炭研究[J]. 林产化学与工业, 2004, 24(4): 49-52.
ZHANG Hui-ping, YE Li-yi, YANG Li-chun. Preparation of activated carbon from sawdust by phosphoric acid activation[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2004, 24(4): 49-52.
- [14] SOLUM M S, PUGMIRE R J, JAGTOYEN M, et al. Evolution of carbon structure in chemically activated wood[J]. Carbon, 1995, 33(9): 1247-1254.
- [15] LIU Qing-song, ZHENG Tong, WANG Peng, et al. Preparation and characterization of activated carbon from bamboo by microwave-induced phosphoric acid activation[J]. Industrial Crops and Products, 2010, 31(2): 233-238.
- [16] 黄慧权, 刘方, 刘逸洲. 奶牛粪磷酸法制备活性炭的工艺条件及其吸附性能[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(2): 132-135.
HUANG Hui-quan, LIU Fang, LIU Yi-zhou. Preparation and adsorption properties of activated carbon from cow dung by phosphoric acid method[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2014, 42(2): 132-135.
- [17] YUN C H, PARK Y H, PARK C R. Effects of pre-carbonization on porosity development of activated carbons from rice straw[J]. Carbon, 2001, 39(4): 559-567.
- [18] QIAN Q, MACHIDAB M, TATSUMOTO H. Preparation of activated carbons from cattle-manure compost by zinc chloride activation[J]. Bioresource Technology, 2007, 98(2): 353-360.
- [19] 林冠烽, 蒋剑春, 吴开金. 磷酸活化法制备半纤维素基颗粒活性炭[J]. 生物质化学工程, 2013, 47(3): 6-10.
LIN Guan-feng, JIANG Jian-chun, WU Kai-jin. Preparation of hemi-cellulose-based granular activated carbon by phosphoric acid activation [J]. Biomass Chemical Engineering, 2013, 47(3): 6-10.
- [20] 孙康, 蒋剑春, 卢辛成, 等. 磷酸法水稻秆活性炭的制备[J]. 生物质化学工程, 2011, 45(6): 19-23.
SUN Kang, JIANG Jian-chun, LU Xin-cheng, et al. Preparation of rice straw activated carbon by phosphoric acid[J]. Biomass Chemical Engineering, 2011, 45(6): 19-23.
- [21] 左宋林, 刘军利, 倪传根. 低温磷酸活化棉秆制备活性炭的研究[J]. 林产化学与工业, 2008, 28(6): 44-48.
ZUO Song-lin, LIU Jun-li, NI Chuan-gen. Preparation of activated carbons from cotton stalk by low-temperature activation using phosphoric acid [J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2008, 28(6): 44-48.

欢迎订阅 2016 年《中国造纸学报》

《中国造纸学报》是由中国造纸学会主办、中国制浆造纸研究院承办的造纸专业学术性期刊, 创刊于 1986 年。主要刊登造纸专业研究论文、学术报告及综合性学术评述, 反映我国造纸工业在原材料、制浆、造纸、废液综合利用及污染防治、机械设备、分析检验、工艺和质量控制自动化以及制浆造纸专业基础理论等方面的新进展和新成果, 是我国造纸工业理论性强、水平高的学术性期刊。它为我国造纸工业提供了一个极好的学术交流平台, 对国内造纸工业的技术进步做出了较大贡献。该刊的固定栏目有: 研究论文与综述等。连续多年入选“中文核心期刊”、“中国科技论文统计源期刊”、“中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊”、“中国科学文献评价数据来源期刊”, 入选“中国科协精品科技期刊工程第四期(2015-2017)项目”, 并被 Scopus、CA 等国外著名的期刊索引收录。

季刊, 大 16 开本, 出版日期为 3 月 25 日、6 月 25 日、9 月 25 日、12 月 25 日。国内外公开发行刊号: ISSN 1000-6842, CN 11-2075/TS, 自办发行, 单价: 20 元, 全年 80 元。地址: 100102 北京市朝阳区启阳路 4 号中轻大厦 607 室; 电话: 010-64778173(发行部), 64778165(编辑部); 传真: 010-64778174; E-mail: tcpp@vip.163.com。