



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20190268

## 硫酸镁用作湿强废纸再制浆助剂的研究

刘乐, 马昊然, 高琦, 宋亚丽, 高玉杰

(天津市制浆造纸重点实验室, 天津科技大学轻工科学与工程学院, 天津 300457)

**摘要:** 以硫酸镁作为新型再制浆助剂作用于废旧育果袋纸并探究其最佳碎浆条件和碎浆效果。结果表明, 最佳碎浆条件为在 pH=11 的条件下碎浆温度 50 °C、碎浆浓度 12%、硫酸镁用量 8% (相对于绝干废纸质量)、碎浆时间 20 min。硫酸镁作为新型再制浆助剂作用于废旧育果袋纸, 碎浆后良浆得率可达 83.88%。在良浆得率维持在较高水平的基础上可取得相对较好的再生纸成纸强度, 其中撕裂指数较硫酸铝提高了 8.71%, 为 7.99 mN·m<sup>2</sup>/g, 并且处理每吨废纸所需助剂成本较硫酸铝降低了 58%, 为 40 元。

**关键词:** 硫酸镁; 废旧育果袋纸; 良浆得率; 纤维性质; 纸页性能

**中图分类号:** TS743<sup>+</sup>.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-6510(2020)06-0020-05

## Using Magnesium Sulfate as a Re-pulping Aid to Deal with Wet Strong Waste Paper

LIU Le, MA Haoran, GAO Qi, SONG Yali, GAO Yujie

(Tianjin Key Laboratory of Pulp & Paper, College of Light Industry Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** Magnesium sulfate was selected as a new repulping aid for old fruit cultivating bag paper. The optimum pulping conditions and pulping effects were explored. The optimal pulping conditions adopted in this study were as follows: 50 °C pulping temperature, 12% pulp concentration, 8% magnesium sulfate dosage (compared with absolutely dry old paper) and 20 min pulp crushing time at a pH of 11. The results indicate that not only the yield of accept pulp could reach 83.88% when magnesium sulfate was used as a new type of repulping aid to deal with old fruit cultivating bag paper, but the recycled paper can obtain high strength. Compared with aluminum sulfate, the tear index increased by 8.71% to 7.99 mN·m<sup>2</sup>/g, and the cost of aid for each ton of waste paper is reduced by 58% to 40 yuan.

**Key words:** magnesium sulfate; old fruit cultivating bag paper; yield of accept pulp; fiber properties; paper properties

造纸行业作为我国重要的支柱产业, 主要是用木材或废纸作为原料进行生产, 且很多的浆纸生产都运用了废纸回用技术。用废纸作为原料生产纸和纸板, 不仅能减少森林的砍伐, 而且能减少废纸垃圾, 这是一项有利于节能减排的绿色环保工程。废纸制浆是对回收的废纸进行再处理得到合格纤维浆料的过程, 但很多纸张根据需要而添加了湿强剂赋予这类纸一定的湿强度, 在满足使用性能的同时会在一定程度上影响废纸再制浆的效果以及成纸性能, 其中育果袋纸就是比较有代表性的湿强纸。

育果袋纸是一种为水果的生长提供保护的农业技术专用纸, 主要应用在苹果、桃、梨等水果的发育过程中。由于育果袋纸可以提高果实的质量, 并给果农带来了可观的经济收益, 使其需求量大大增加<sup>[1]</sup>; 但与此同时, 果园中废旧育果袋纸的量也随之增加, 会引发环境污染, 合理处理这些废旧育果袋纸势在必行。由于育果袋纸中添加了湿强剂而使其回收处理比较困难, 所以需要加入再制浆助剂降低其回收难度。虽然几种传统的再制浆助剂在育果袋纸上的应用已经研究的较多并能起到一定效果, 但是对纤维的

收稿日期: 2019-10-30; 修回日期: 2019-12-27

作者简介: 刘乐 (1995—), 男, 安徽人, 硕士研究生; 通信作者: 高玉杰, 教授, yujie@tust.edu.cn

损伤比较大,再生浆的得率较低,成纸强度较低,处理后废水回收较困难,或者废纸回用成本比较高,因此开发新型再制浆助剂具有重要意义<sup>[2]</sup>。

本文采用硫酸镁作为一种新型的废纸再制浆助剂,考察其对废旧育果袋纸碎浆效果和成纸性能的影响,以期进一步开发废纸再生效果较好同时生产成本相对较低的废旧育果袋纸再生工艺。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

某果场的废旧育果袋纸;硫酸镁,化学纯,天津市化学试剂一厂;硫酸铝、硫酸、氢氧化钠,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;次氯酸钠,化学纯,陕西三桥精细化工有限公司。

051型高浓水力碎浆机,美国AMC公司;P40170型平筛机,奥地利Frank-PTI公司;SJH-8S型电子电热恒温水浴锅,宁波天恒仪器厂;MJ33型快速水分测定仪,瑞士Mettler-Toledo公司;M10097型快速纸页成型器,普利赛斯国际贸易(上海)有限公司;Fiber Fester 912型纤维测试分析仪,瑞典RGM公司;H1850型高速离心机,湘仪离心机有限公司;166型透气度测试仪、009型撕裂度测试仪、B0660005型抗张强度测定仪,瑞典Lorentzen & Wet-re公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 良浆得率的测定

将高浓水力碎浆机碎解后的浆料(浓度为 $w_1$ ,碎解后纸浆总质量为 $m_1$ )在筛缝为0.15 mm的振动式筛浆机中筛选20 min,分别测定截留在浆袋里的良浆浓度( $w_2$ )和纸浆总质量( $m_2$ ),计算良浆得率 $L$ 。

$$L = \frac{w_2 m_2}{w_1 m_1} \times 100\%$$

#### 1.2.2 纤维形态分析

取0.1 g(绝干)不同再制浆助剂制备的浆料进行打散,然后采用纤维测试分析仪分析纤维的数均纤维长度与宽度。

#### 1.2.3 纸页抄造

采用实验室快速纸页成型器按标准方法抄造定量为 $50 \text{ g/m}^2$ 的手抄片,对再生浆的相关物理性能进行考察。

#### 1.2.4 纸页物理性能分析

将手抄片置于相对湿度为 $(50 \pm 2)\%$ 和温度为 $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的恒温恒湿室中平衡水分24 h后,分别按

照GB/T 455—2002《纸和纸板撕裂度的测定》、GB/T 22898—2008《纸和纸板·抗张强度的测定·恒速拉伸法(100 mm/min)》、GB/T 22901—2008《纸和纸板·透气度的测定(中等范围)·通用方法》测定相关物理性能。

## 2 结果与讨论

根据本课题组宋亚丽<sup>[3]</sup>对废旧育果袋纸碎浆工艺的前期研究结果,在不加入助剂的情况下,废旧育果袋纸的最佳基本碎浆工艺为碎浆时间20 min、碎浆温度 $50^\circ\text{C}$ 、碎浆浓度15%。在此基础上进行相关后续研究。

### 2.1 硫酸镁用于废旧育果袋纸的最佳碎浆工艺条件

根据基本碎浆工艺条件,分别从pH条件、硫酸镁用量、碎浆浓度以及碎浆温度等方面研究硫酸镁作为新型再制浆助剂的最佳碎浆工艺条件。

#### 2.1.1 不同pH条件

取3组相同质量的废纸分别加入8%(相对于绝干废纸质量)硫酸镁,设定碎浆时间20 min、碎浆温度 $50^\circ\text{C}$ 、碎浆浓度15%。分别用质量分数25%的稀硫酸将pH调至3,用2 mol/L的氢氧化钠将pH调至11,另一组pH为7,探讨不同pH条件下的良浆得率,结果如图1所示。

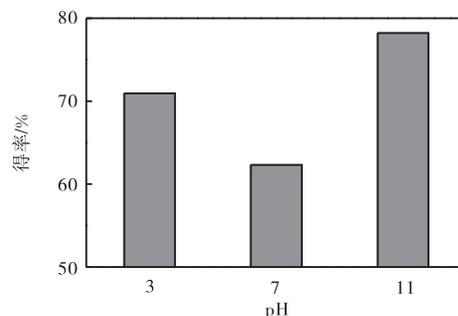


图1 不同pH碎浆条件对良浆得率的影响

Fig. 1 Effect of different pH pulping conditions on the yield of accept pulp

由图1可以看出:以硫酸镁为再制浆助剂时,无论是在碱性还是酸性条件下,良浆得率都比中性条件下要高。在pH为11的条件下碎浆时良浆得率最高,这是由于碱性环境下纤维更容易润胀,使纸片或纤维变得柔软而更加有利于药液的渗透<sup>[4]</sup>。

#### 2.1.2 硫酸镁用量

采用碎浆浓度为15%、碎浆时间为20 min、碎浆温度 $50^\circ\text{C}$ 以及pH为11的碎浆条件,设定硫酸镁用量分别为0%、6%、8%、10%、12%(相对于绝干废纸

质量)的5组平行实验,其中0%为空白对照实验.根据良浆得率、纤维性质及成纸性能分析确定硫酸镁的最佳用量.

硫酸镁用量对良浆得率的影响如图2所示.实验结果表明:随着硫酸镁用量的增加,良浆得率先增加后减少,在用量为8%时得率最大为78.22%,相对于空白实验良浆得率增幅为25.49%.这可能是因为硫酸镁对湿强树脂与纤维之间的结合有一定的破坏作用,使纤维能较好地分散,有利于良浆得率的提高;当硫酸镁用量大于8%时,细小纤维流失的比较严重,从而导致良浆得率有所下降.

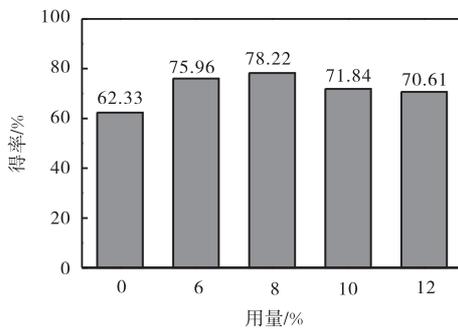


图2 硫酸镁用量对良浆得率的影响

Fig. 2 Effect of dosage of magnesium sulfate on the yield of accept pulp

硫酸镁用量对纤维性质的影响见表1.

表1 硫酸镁用量对纤维性质的影响

Tab.1 Effect of dosage of magnesium sulfate on fiber properties

硫酸镁用量/%	数均纤维长度/mm	数均纤维宽度/ $\mu\text{m}$	保水值/%
0	0.671	29.5	163.15
6	0.728	29.6	155.56
8	0.805	30.3	161.65
10	0.689	30.6	162.02
12	0.672	29.9	159.23

从表1可以看出:随着硫酸镁用量增加,纤维的数均长度、数均宽度都是先增加后减小,这是由于在一定范围内随着硫酸镁用量的增加可以将纤维束更容易解离成单根纤维,从而有利于减小机械对纤维的切断作用,纤维可以保持较大的数均纤维长度;但是继续提高用量时,由于助剂与机械的综合作用会使数均纤维长度有所下降,细小纤维的含量增加.当硫酸镁用量为10%时,纤维的保水值达到了最大值162.02%,说明此时废纸中的抗水键得到最大程度的破坏,纤维分丝帚化的程度和润胀效果较好,致使保水值达到最大值<sup>[5-7]</sup>.

硫酸镁用量对纸页性能的影响见表2.实验结果表明:随着硫酸镁用量的增加,抗张指数和撕裂指数先增加后减小,而透气度则相反.当硫酸镁用量为8%时再生纸的抗张强度和撕裂强度较好,透气度较低,说明此用量下在一定程度上有利于改善再生纸纤维润胀和柔软性,同时可使数均纤维长度维持在相对较好的水平,较好的碎浆效果有利于解离出来的纤维在成纸过程中更好地结合,从而使透气度减小,抗张指数和撕裂指数增大.当硫酸镁用量继续增加时,会使助剂与纤维作用增大,使纤维造成一定程度的损坏,数均纤维长度有所降低,导致纸页强度有所下降而透气度有所上升.根据实验结果,硫酸镁用量选择8%为宜.

表2 硫酸镁用量对纸页性能的影响

Tab.2 Effect of dosage of magnesium sulfate on paper properties

硫酸镁用量/%	抗张指数/ $(\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{g}^{-1})$	撕裂指数/ $(\text{mN}\cdot\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1})$	透气度/ $(\mu\text{m}\cdot\text{Pa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1})$
0	29.13	6.54	38.72
6	30.12	6.61	38.68
8	39.52	7.98	29.24
10	35.66	7.22	31.03
12	33.41	7.05	32.95

2.1.3 碎浆浓度

在pH为11、碎浆温度为50℃、硫酸镁用量为8%(相对于绝干废纸质量)、碎浆时间为20min的条件下,设定碎浆浓度分别为9%、12%、15%、18%进行实验,研究硫酸镁助剂在不同碎浆浓度下对废旧育果袋纸碎浆效果的影响.根据良浆得率、纤维性质及成纸性能优选出最佳碎浆浓度.碎浆浓度对良浆得率的影响如图3所示.

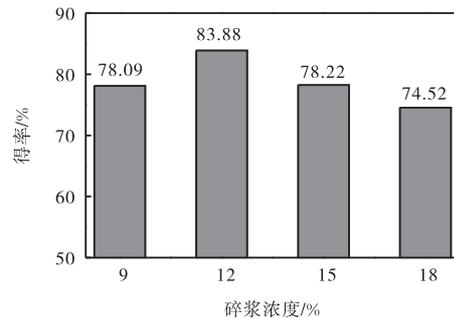


图3 碎浆浓度对良浆得率的影响

Fig. 3 Effect of pulping concentration on the yield of accept pulp

由图3可知:随着碎浆浓度的增加,良浆得率呈现先增加后减小的趋势,当碎浆浓度为12%时,良浆得率最大为83.88%.当碎浆浓度较低时,纤维与纤

纤维之间的相互摩擦作用较小,因此碎浆效果较差;在一定范围内提高碎浆浓度,可使纤维之间的相互摩擦作用逐渐增强,有利于使纤维分离更加完全,从而改善碎浆效果<sup>[8-9]</sup>.浓度12%后继续提高碎浆浓度,由于实验条件的局限性,浆料在高浓水力碎浆机中的循环效果较差,在一定程度上影响了良浆得率.

碎浆浓度对纤维性质的影响见表3.由表3可以看出:随着碎浆浓度的增加,再生纤维的数均长度与数均宽度先增加后减小,意味着细小纤维的含量先减少后增加,纤维保水值则呈现先升高后降低的趋势;在碎浆浓度为12%~15%时数均纤维长度、保水值可维持在较高水平,说明此时对纤维链状网络交联结构的破坏程度达到了最大,有效保留了数均纤维长度并使纤维得到了较充分的润胀和分丝帚化.

表3 碎浆浓度对纤维性质的影响

Tab. 3 Effect of pulping concentration on fiber properties

碎浆浓度/%	数均纤维长度/mm	数均纤维宽度/ $\mu\text{m}$	纤维保水值/%
9	0.715	29.5	155.88
12	0.810	30.4	163.33
15	0.805	30.3	161.65
18	0.784	29.8	152.22

碎浆浓度对纸页性能的影响见表4.由表4可知:在一定范围内适当提高碎浆浓度,纤维与纤维之间相互摩擦的作用增强,有利于纤维的分丝帚化,增强纤维之间的结合能力,从而使成纸的抗张强度和撕裂强度增加,但透气度有所下降<sup>[10-11]</sup>;在实验条件下,当碎浆浓度高于12%后,由于设备循环不良使部分长纤维被筛出而导致成纸强度有所下降,相应的透气度随之增加.

表4 碎浆浓度对纸页性能的影响

Tab. 4 Effect of pulping concentration on paper properties

碎浆浓度/%	抗张指数/ $(\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{g}^{-1})$	撕裂指数/ $(\text{mN}\cdot\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1})$	透气度/ $(\mu\text{m}\cdot\text{Pa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1})$
9	30.18	6.81	32.56
12	39.56	7.99	28.72
15	39.52	7.98	29.24
18	32.25	6.92	33.45

综合分析良浆得率、纤维性质以及纸页性质等,选择废旧育果袋纸的最佳碎浆浓度为12%.

#### 2.1.4 碎浆温度

在硫酸镁用量为8%(相对于绝干废纸质量)、碎浆时间20 min、碎浆浓度为12%、碎浆pH为11的条件下,设定碎浆温度分别为40、50、60、70℃进行实验,研究硫酸镁助剂在不同碎浆温度下对废旧育果袋

纸碎浆效果的影响.综合分析良浆得率、纤维性质及成纸性能等确定最佳碎浆温度.

碎浆温度对良浆得率的影响如图4所示.实验结果表明:随着碎浆温度的增加,得率呈现先上升后下降的趋势,且当碎浆温度为50℃时,碎浆效果较好,良浆得率最高为83.88%.

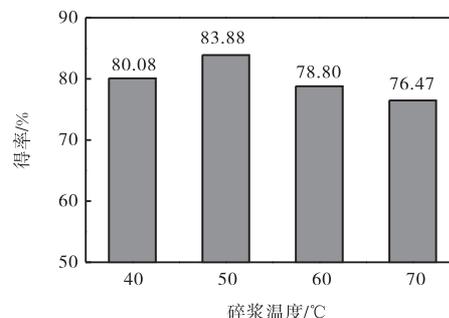


图4 碎浆温度对良浆得率的影响

Fig. 4 Effect of pulping temperature on the yield of accept pulp

碎浆温度对纤维性质的影响见表5.由表5可以看出:纤维的数均长度、数均宽度和保水值随着碎浆温度的提高呈现出先升高后降低的趋势.适当提高碎浆温度有利于废纸软化,使纸片及纤维束更容易被分散,与此同时提高碎浆温度可使药液的黏度降低,更加有利于药液的渗透<sup>[12-13]</sup>;但在一定条件下过高的碎浆温度不利于数均纤维长度的保留.在碎浆温度为50℃时有利于保持相对较高的数均纤维长度和保水值.

表5 碎浆温度对纤维性质的影响

Tab. 5 Effect of pulping temperature on fiber properties

碎浆浓度/%	数均纤维长度/mm	数均纤维宽度/ $\mu\text{m}$	纤维保水值/%
40	0.791	29.5	161.71
50	0.810	30.4	163.33
60	0.792	29.7	162.12
70	0.783	28.7	161.88

碎浆温度对纸页性能的影响见表6.随着碎浆温度的提高,再生纸的抗张指数和撕裂指数呈现先上升后下降的趋势,而透气度刚好相反,在碎浆温度为50℃时纸页的强度指标较好.原因是随着碎浆温度的提高使药液黏度降低,更加有利于药液的渗透,使纤维束可以更加容易地被分散成单根纤维,有利于成纸后纤维之间的结合,有利于提高纸页的抗张和撕裂指数,并使透气度有所下降;但随着碎浆温度的继续提高,会对纤维造成不可逆的损伤,致成纸的强度降低透气度上升.综合分析良浆得率及纸张性能等,确

定废旧育果袋纸的最佳碎浆温度为 50 ℃。

表 6 碎浆温度对纸页性能的影响

Tab. 6 Effect of pulping temperature on sheet properties

碎浆温度/℃	抗张指数/ (N·m·g <sup>-1</sup> )	撕裂指数/ (mN·m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	透气度/ (μm·Pa <sup>-1</sup> ·s <sup>-1</sup> )
40	28.63	6.52	30.69
50	39.56	7.99	28.72
60	35.23	7.43	29.35
70	32.25	6.85	33.46

实验结果表明:采用硫酸镁作为新型再制浆助剂时的最佳碎浆工艺条件为碎浆温度 50 ℃、碎浆浓度 12%、碎浆时间 20 min、硫酸镁用量 8%(对绝干废

纸)、碎浆 pH 为 11。在此条件下不加硫酸镁的空白实验的良浆得率为 63.53%(此数据来自本课题组宋亚丽<sup>[3]</sup>),废旧育果袋纸制备再生浆时采用硫酸镁助剂时的良浆得率可达 83.88%,相较于空白实验,其得率增幅为 32.03%。

## 2.2 不同再制浆助剂应用效果的比较

在各助剂的最佳碎浆工艺条件下,综合比较硫酸铝、次氯酸钠、硫酸镁分别作为再制浆助剂的再制浆效果(表中硫酸铝和次氯酸钠的数据来自课题组前期研究结果<sup>[3]</sup>),实验结果见表 7。

表 7 不同助剂的应用效果比较

Tab. 7 Comparison of the effects of different additives

助剂种类	最佳用量/%	数均纤维长度/mm	数均纤维宽度/μm	得率/%	纤维保水值/%	抗张指数/ (N·m·g <sup>-1</sup> )	撕裂指数/ (mN·m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	助剂价格/ (元·t <sup>-1</sup> )	处理每吨废纸所需 助剂成本/元
硫酸铝	10	0.67	33.1	91.43	168.17	40.23	7.35	960	96
次氯酸钠	8	0.73	31.5	78.52	159.45	39.60	7.23	800	64
硫酸镁	8	0.81	30.4	83.88	163.33	39.56	7.99	500	40

从表 7 可以看出:在良浆得率方面,硫酸铝的得率为 91.43%,硫酸镁为 83.88%,次氯酸钠 78.52%。在相同助剂用量下,硫酸镁与次氯酸钠相比较,其得率增幅为 6.83%。不同助剂对纤维性质也有一定的影响,纤维保水值最大的是硫酸铝,其次是硫酸镁,次氯酸钠稍低。

在成纸性能方面,3 种助剂的抗张指数基本相当;撕裂指数变化较为明显,其中最高的是硫酸镁,其撕裂指数为 7.99 mN·m<sup>2</sup>/g,较硫酸铝提高了 8.71%,较次氯酸钠提高了 10.51%。综上所述,硫酸镁作为再制浆助剂在成纸性能与良浆得率方面具有一定的优势。

若不计其他生产成本,则每处理 1 t 废旧育果袋纸所需的助剂成本,硫酸铝需要 96 元,次氯酸钠需要 64 元,硫酸镁需要 40 元。硫酸镁较硫酸铝的助剂成本降低了 58%,较次氯酸钠降低了 37.5%,所以硫酸镁较次氯酸钠和硫酸铝具有较好的价格优势。

综上所述,采用硫酸镁作为废旧育果袋纸的新型再制浆助剂,可在良浆得率维持在较高水平的基础上取得相对较好的再生纸成纸强度,并且所需助剂成本较低。

硫酸镁作为解湿强助剂具有较好的再制浆效果,本文认为可能是在碱性条件下硫酸镁与氢氧化钠发生复分解反应,生成氢氧化镁并作用于废纸浆,从而破坏了湿强剂所形成的抗水键,考虑工业应用时效果和成本同等重要。工业用硫酸镁约 500 元/t,工业用

氢氧化镁约 1 800 元/t,且氢氧化镁为微溶,应用上有困难。硫酸镁应用时有较好的效果的真正机理,以及本文估计的复分解反应产生氢氧化镁作用等,还需后续进一步证实和验证。

## 3 结 论

(1) 硫酸镁作为再制浆助剂的最佳碎浆工艺条件为碎浆温度 50 ℃、碎浆浓度 12%、硫酸镁用量 8%(相对于绝干废纸质量)、碎浆时间 20 min、碎浆 pH 11,在该条件下良浆得率可达 83.88%。

(2) 采用硫酸镁作为废旧育果袋纸的再制浆助剂,与其他助剂相比,可在良浆得率维持在较高水平的基础上取得相对较好的再生纸成纸强度,并且所需助剂成本较低。

## 参考文献:

- [1] 刘毅娟. 高性能育果套袋纸相关技术的研究[D]. 西安:陕西科技大学,2015.
- [2] 刘毅娟,张美云,吴养育,等. 不同助剂对废旧育果袋纸制浆性能的影响[J]. 纸和造纸,2014,33(8):26-29.
- [3] 宋亚丽. 废旧果袋纸再生工艺研究[D]. 天津:天津科技大学,2018.
- [4] 杨陈. 氢氧化钠处理对竹原浆纤维性能的影响[J]. 纺织科技进展,2015,4(7):19-21.

(下转第 43 页)

的氨氮, HRT 为 30 min, 在连续运行 240 min 后出水氨氮为 1.47 mg/L, 基本满足出水要求。

#### 参考文献:

- [1] Huo H X, Lin H, Dong Y B, et al. Ammonia-nitrogen and phosphates sorption from simulated reclaimed waters by modified clinoptilolite[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2012, 229/230: 292–297.
- [2] 张丽, 何锡武. 微波辐照处理高浓度氨氮废水的研究进展[J]. *工业水处理*, 2014, 34(12): 8–11.
- [3] 中国政府网. 国务院关于印发“十三五”生态环境保护规划的通知 [EB/OL]. (2016–11–24) [2019–09–01]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/05/content\\_5143290.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/05/content_5143290.htm).
- [4] Adam M R, Othman M H D, Samah R A, et al. Current trends and future prospects of ammonia removal in wastewater: A comprehensive review on adsorptive membrane development[J]. *Separation and Purification Technology*, 2019, 213: 114–132.
- [5] Minato J, Kim Y J, Yamada H, et al. Alkali-hydrothermal modification of air-classified Korean natural zeolite and their ammonium adsorption behaviors[J]. *Separation Science and Technology*, 2004, 39(16): 3739–3751.
- [6] 李忠, 符瞰, 夏启斌. 改性天然沸石的制备及对氨氮的吸附[J]. *华南理工大学学报: 自然科学版*, 2007, 35(4): 6–10.
- [7] 唐登勇, 郑正, 郭照冰, 等. 改性沸石吸附低浓度氨氮废水及其脱附的研究[J]. *环境工程学报*, 2011, 5(2): 293–296.
- [8] 安莹, 王志伟, 张一帆, 等. 天然沸石吸附氨氮的影响因素[J]. *环境工程学报*, 2013, 7(10): 3927–3932.
- [9] Zelmanov G, Semiat R. Phosphate removal from aqueous solution by an adsorption ultrafiltration system[J]. *Separation and Purification Technology*, 2014, 132: 487–495.
- [10] Li M Y, Zhu X Q, Zhu F H, et al. Application of modified zeolite for ammonium removal from drinking water[J]. *Desalination*, 2011, 271(1/2/3): 295–300.
- [11] 张雨山, 王静, 任华峰, 等. 混凝-活性炭-超滤工艺处理洪水的试验研究[J]. *工业水处理*, 2007, 27(6): 19–22.

责任编辑: 周建军

(上接第 24 页)

- [5] 陈影. 轻度化学预处理对 OCC 纤维强度性能影响的研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2007.
- [6] 朱洋丽, 吴伯超, 薛国新. 碎解条件以及添加碎解助剂对 OCC 浆料性能的影响[J]. *造纸化学品*, 2015, 7(1): 16–22.
- [7] Rossi-Fedele G, Prichard J W, Steier L, et al. The effect of surface tension reduction on the clinical performance of sodium hypochlorite in endodontics[J]. *International Endodontic Journal*, 2013, 46(6): 492–498.
- [8] 杜春宇. 打浆的影响因素及对成纸性能的影响[J]. *黑龙江造纸*, 2017, 45(3): 20–22.
- [9] 赵爱威. 高浓打浆对纸张性能的影响[J]. *太原科技*, 2000(增刊): 37–38.
- [10] 冯长龄. 装饰原纸的透气度和吸水性[J]. *上海造纸*, 2004, 35(4): 36–39.
- [11] Springer D S, Loaiciga H A, Cullen S J, et al. Air permeability of porous materials under controlled laboratory conditions[J]. *Groundwater*, 1998, 36(4): 558–565.
- [12] 卢章文. 用高浓水力碎浆机低温除胶脱墨[J]. *纸和造纸*, 2007, 26(s1): 8–9.
- [13] Stockner J G, Costella A C. Marine phytoplankton growth in high concentrations of pulpmill effluent[J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1976, 33(12): 2758–2765.

责任编辑: 周建军