



## 几种速生阔叶材的特性分析及其 CMP 的制浆性能

雷 鸣, 李建国, 姜靖毅, 张红杰

(天津市制浆造纸重点实验室, 天津科技大学材料科学与化学工程学院, 天津 300457)

**摘 要:** 针对不同种类速生阔叶材的物理化学组成与化学机械法制浆造纸性能进行研究, 分析比较了三种桉木和一种三倍体毛白杨的物理化学性质; 在制定的化学预处理条件下, 用不同原料进行化学机械法制浆. 实验结果表明: 随着化学预处理药液用量的增加, 磨浆能耗降低, 纸浆得率有所降低, 纤维束含量降低, 纸浆纤维长级分的含量有所增加, 纸页的物理性能, 例如松厚度、耐破指数、抗张指数、伸长率、TEA 等, 都有明显的改善. 三种桉木中, 桉木 DH3229 的制浆造纸性能较好.

**关键词:** 速生阔叶材; 化学组成; 化学预浸渍

**中图分类号:** TS727 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6510(2011)06-0029-05

## Characteristics Analysis and Chemi-Mechanical Pulping Properties of Several Fast-Growing Hardwoods

LEI Ming, LI Jian-guo, JIANG Jing-yi, ZHANG Hong-jie

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

**Abstract:** The characteristics of several fast-growing hardwoods and their CMP pulping properties were studied. The different physical and chemical properties of three eucalyptuses and one triploid Chinese white poplar were analyzed. Further, the chemi-mechanical pulps of different kinds of fast-growing hardwoods were made under three different chemical pretreatments. The results show that with the increase in the amount of chemical pretreatment, the refining energy consumption reduced, the pulp yield decreased, the content of fiber shives decreased, the pulp fiber content in long-fiber fractions increased and the physical properties of the sheet has significantly improved, such as bulk, burst index, tensile index, elongation and TEA. In the three eucalyptuses, the eucalyptus DH3229 has a relatively better pulping and papermaking performance.

**Keywords:** fast-growing hardwood; chemical composition; chemical pretreatment

充足的纤维原料和合理的原料结构, 是造纸工业持续发展的根本保证. 我国造纸木材原料日趋紧张, 为缓解这种局面, 一些较低档次和质量的木材原料也被用于造纸. 合理利用桉木对我国制浆造纸工业的发展以及促进林纸一体化的进程都有着十分重要的意义. 近年来, 为了提高木材资源的利用率, 速生材在制浆造纸行业得到快速发展. 比较典型的速生阔叶材是三倍体毛白杨和巨尾桉. 其中桉树由于具有适应性强、生长快、产量高、轮伐期短、繁殖容易等优良性状, 从而在制浆中得到普遍应用. 目前, 世界上

已有 100 多个国家竞相引种栽培, 桉木已成为世界性造林树种<sup>[1]</sup>. 我国是桉木的主要生产国之一, 产地主要分布在广东、广西、海南、云南、四川和福建<sup>[2]</sup>. 在我国, 大力发展速生材制浆造纸是解决造纸工业木材原料匮乏和调整原料结构的重要措施, 而速生阔叶材是一种资源丰富的优良的制浆造纸原料, 因此, 研究速生材的制浆造纸工艺具有重要的意义. 而 CMP 被公认是世界上各纸浆中最有发展潜力的浆种之一, 在许多纸种中将成为主要配料<sup>[3-4]</sup>. 采用 CMP 可以有效地减少碱液消耗, 解决多酚类等物质的障碍, 制造

收稿日期: 2011-06-21; 修回日期: 2011-10-03

基金项目: 天津科技大学实验室开放基金资助项目(1003A104)

作者简介: 雷 鸣(1985—), 男, 广东连州人, 硕士研究生; 通信作者: 张红杰, 副教授, hongjiezhang@tust.edu.cn.

高得率、高强度的纸浆<sup>[5]</sup>. 故对不同速生材的 CMP 制浆性能进行对比研究具有实际意义.

## 1 材料与方法

### 1.1 实验原料

三种速生桉木分别为广东产纯种桉木片以及两种广西产杂交巨尾桉木片(广林九和 DH3229). 此外, 还选取湖南某浆厂的速生三倍体毛白杨木片.

### 1.2 制浆原料的特性分析

木材的水分、密度、灰分, 原料的冷、热水抽出物、1% NaOH 抽出物、苯醇抽出物、综纤维素、木素以及聚戊糖含量测定均采用国家标准方法<sup>[6]</sup>进行. 针对原料的纤维形态(纤维长度、纤维宽度、长宽比以及纤维粗度等)分析, 首先将制浆原料沿纵向切成“火柴棍”状, 在60℃下利用体积比为1:1的冰醋酸/过氧化氢(质量分数为30%~35%)溶液浸泡30~48h, 使试样变白、纤维分散; 最后采用L&W公司的Fiber Tester912型纤维分析仪分析检测各项参数指标.

### 1.3 CMP的制浆工艺

CMP 工艺流程如图1所示. 由图1可见, 木片经洗涤后, 在ZTI-01/15L型回转蒸煮锅中用80℃热水浸渍(代替预汽蒸). 浸渍后木片在JS30型螺旋挤压疏解机中进行挤压, 压缩设备螺旋压缩比为1:4.

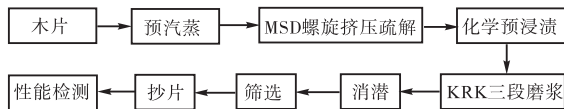


图1 CMP实验工艺流程

Fig.1 Flow chart of the CMP experiment

化学预浸渍同在回转蒸煮锅中进行, 工艺参数见表1, 试剂用量以绝干木片为基准; 控制浆浓为25%, 温度为120℃, 时间为30min. 经预浸渍磨浆浓度为20%, 采用三段磨浆, 盘磨间隙分别为: 2.5、0.5、0.07mm. 采用日本产KRK高浓盘磨机进行磨浆, 成浆的加拿大游离度控制在350mL左右.

表1 化学预浸反应条件

Tab.1 Reaction conditions for the impregnation

反应条件	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> 用量/%	NaOH用量/%
1#	2	1
2#	4	2
3#	8	3

### 1.4 浆料质量评价

CMP 成浆后对制浆纤维进行检测, 检测指标包

括纤维束含量、纤维级分及纤维形态分析. 实验中采用保尔筛分仪对浆料进行筛分分级; 纤维形态采用Fiber Tester 912型纤维分析仪进行测定.

不同速生阔叶材 CMP 的纸浆在实验室标准纸页成型器上抄造手抄片, 定量 60 g/m<sup>2</sup>. 将手抄片放置相对湿度为(50±2)%和温度为(23±1)℃的恒温恒湿室中平衡水分后, 按照国家标准<sup>[6]</sup>进行手抄片的强度性能测定.

## 2 结果与讨论

### 2.1 原料特性分析

不同速生阔叶材的物理性质见表2, 纤维分析结果见表3. 几种桉木原料的纤维长度、长宽比都要比三倍体毛白杨的小, 这使得其本身的纤维显得挺硬、短粗, 在制浆过程中消耗过多的无效能, 从而影响制浆的强度性能. 此外, 桉木广林九和 DH3229 的纤维长度大多在0.5~1.5mm, 细小纤维含量为0.3%.

表2 不同速生阔叶材原料的物理性质

Tab.2 Physical properties of different fast-growing hardwoods

材种	水分含量/%	基本密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	灰分含量/%
纯种桉木	8.75	0.522	0.39
广林九	8.04	0.481	0.37
DH3229	8.19	0.464	0.29
三倍体毛白杨	9.11	0.409	0.75

表3 不同速生阔叶材的纤维分析

Tab.3 Fiber analysis of different fast-growing hardwoods

材种	长度/mm	宽度/μm	长宽比	粗度/(μg·m <sup>-1</sup> )
纯种桉木	0.90	20.2	44.5	99.2
广林九	0.93	20.4	45.5	70.2
DH3229	0.92	20.5	44.7	74.7
三倍体毛白杨	1.31	25.6	51.2	71.0

注: 表中所示为纤维二重重均长度和二重重均宽度.

对各材种的化学成分分析据见表4. 其中, 从苯醇抽出物含量来看, 巨尾桉广林九苯醇抽出物含量偏高(达1.18%), 而巨尾桉 DH3229 的苯醇抽出物含量也略高于纯种桉木片. 从1% NaOH 抽出物来看, 两种速生巨尾桉(广林九和 DH3229)要明显低于三倍体毛白杨, 在碱性预浸渍过程中的碱耗将会较小. 由表4数据还可以看出, 巨尾桉广林九和 DH3229 的总木素含量要明显高于三倍体毛白杨, 从而过多消耗 CMP 制浆过程中的化学药品; 此外, 在相同的化学药品用量下木素含量相对较多, 可能导致其磨浆能耗较高. 从半纤维素含量来看, 三倍体毛白杨的聚戊糖含

量要高于三种桉木,在磨浆过程中易于分丝帚化,能够使纤维间的结合增强,从而提高强度<sup>[7]</sup>。

表4 各种速生阔叶材的化学成分比较

Tab.4 Comparison of chemical compositions of different fast-growing hardwoods %

材种	苯醇抽出物	1%NaOH 抽出物	热水抽出物	冷水抽出物	酸溶木素	Klason 木素	综纤维素	聚戊糖
纯种桉木	0.85	11.55	1.48	0.72	3.94	26.26	81.02	17.99
广林九	1.18	13.63	1.96	0.77	4.60	27.73	79.52	20.64
DH3229	0.98	12.31	2.22	0.95	3.04	27.13	80.99	20.34
三倍体毛白杨	1.28	16.51	0.92	0.78	3.32	23.12	80.91	23.26

2.2 不同化学预处理条件下的磨浆能耗分析

化学预处理阶段,木素在 NaOH 和 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 的作用下,磺酸基和羧基等亲水性基团增加,从而导致木素自身亲水性增加,纤维柔软,易于磨浆;同时碳水化合物在化学预处理阶段通过脱乙酰基、水解以及部分溶出等得到改性<sup>[7]</sup>。三种不同的预处理条件的磨浆能耗比较如图2所示。

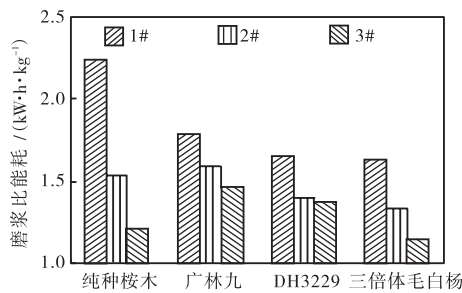


图2 化学预浸渍对磨浆比能耗的影响

Fig.2 Effect of chemical pretreatment on the refining specific energy consumption

由图2可见,随着用碱量的增加,磨浆能耗(仅表征 KRK 盘磨机磨浆过程能耗)逐渐降低,其中以纯种桉木的降低最为明显(下降 46.7%),其次是三倍

体毛白杨(下降 31.2%)。两种杂交桉木(广林九和 DH3229)所消耗的能耗明显比三倍体毛白杨高。随着用碱量的增加,两种杂交巨尾桉的磨浆能耗降低幅度相对于纯种桉木和三倍体毛白杨的降低不大。造成此现象的原因:一是桉木的总木素含量偏高,在相同用碱量下,剩余木素必然高于毛白杨,致使磨浆过程中使 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 对木素的软化作用较弱;其次,可能是桉木的基本密度较高,纤维较短粗,磨浆过程中纤维挺硬,难以分离成单根纤维,产生过多的无效能耗。

2.3 CMP 纸浆纤维形态分析

CMP 成浆后,所得浆料纤维的形态分析见表5。由于化学处理使木材纤维得到润胀,并且使木素改性,从而使磨浆时单根纤维易于解离,并使纤维完整程度增大,细纤维化程度高,纤维结合强度好。基于以上原因,增加化学浸渍药品(NaOH 和 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>)用量可以使最终的成浆纤维束含量降低,并且磨浆能耗也会随之降低。由表5可知,随着预处理用药量增加,纤维束含量逐渐降低,其中以巨尾桉广林九的含量最多,三倍体毛白杨的含量最少。原因是桉木的木素含量相对较高、木材基本密度较大,软化程度相对杨木较弱,以至于在磨浆过程中有些单根纤维难以被完全解离,进而纤维束含量增加。

表5 各种化学预处理条件下 CMP 纸浆纤维形态分析

Tab.5 Characteristics of CMP fibers of different hardwoods under different chemical pretreatment conditions

反应条件	材种	二重重均长度/mm	粗度/(μg·m <sup>-1</sup> )	纤维束含量/%
1#	纯种桉木	0.850	156	6.4
	广林九	0.850	156	11.4
	DH3229	0.920	155	2.3
	三倍体毛白杨	1.130	180	4.0
2#	纯种桉木	0.850	156	4.8
	广林九	0.892	176	8.1
	DH3229	0.932	146	2.3
	三倍体毛白杨	1.142	181	3.0
3#	纯种桉木	0.910	137	3.2
	广林九	0.899	146	5.9
	DH3229	0.928	133	1.7
	三倍体毛白杨	1.139	155	2.6

对比表 3 和表 5 可知,随着预处理用药量的增加,纤维长度逐渐接近原料纤维长度,说明预处理时纤维得到更好的保护.对比 CMP 成浆纤维与原料纤维的数据可知,纤维粗度有了较大变化.因为原料纤维分析“类似于”分析化学浆纤维,在前期原料处理时木素和其他成分都被溶解除去;而 CMP 成浆纤维表面还保留有大量木素和其他成分,所以 CMP 成浆的纤维粗度大于原料纤维粗度.另外,针对 CMP 纤维,当用碱量相对较低时,经受机械磨解的纤维表面保留有较多木素“碎片”,因此检测的纤维粗度偏高;当用碱量相对较高时,化学预浸渍强度增加,药品对木素和其他成分的溶解相应有所增加,致使成浆纤维粗度有所降低,但依然高于原料纤维粗度.

不同化学预处理条件下粗浆得率与 1%NaOH 抽出物的关系见表 6.

表 6 不同化学预处理条件下粗浆得率与 1%NaOH 抽出物的关系

Tab.6 Relationship between unscreened pulp yield and 1% NaOH extractive content under different chemical pretreatment conditions

反应条件	材种	1%NaOH 抽出物/%	粗浆得率/%
1#	纯种桉木	11.55	96.7
	广林九	13.63	90.1
	DH3229	12.31	92.9
	三倍体毛白杨	16.51	89.8
2#	纯种桉木	11.55	93.5
	广林九	13.63	89.5
	DH3229	12.31	90.4
	三倍体毛白杨	16.51	86.9
3#	纯种桉木	11.55	92.3
	广林九	13.63	88.1
	DH3229	12.31	90.1
	三倍体毛白杨	16.51	85.4

1%NaOH 抽出物含量与制浆得率有直接关系,随着抽出物含量增加,制浆得率逐渐降低.其中三倍体毛白杨的 1%NaOH 抽出物含量最高(16.51%),所以制浆得率偏低.制浆过程中的化学预浸渍使原料中的碱性抽出物溶出较多,进而导致制浆得率降低.

### 2.4 CMP 纸浆纤维的级分分析

由表 7 可以看出,在相同条件下,三倍体毛白杨的长纤维级分(如 R30 组分)明显要高于三种桉木;即使在 2#条件(较高化学预处理)下,毛白杨的 R30 仍高达 22.3%.三种桉木中,DH3229 在 1#条件时的长纤维级分含量略高;而纯种桉木在 2#和 3#条件时的长纤维级分较高.对于相同的桉木树种,随着化学预处理条件的加强,长纤维级分含量略有提高.

表 7 不同阔叶材 CMP 纸浆纤维的级分分析

Tab.7 Analysis of CMP fiber fractionations of different hardwoods %

反应条件	级分	纯种桉木	广林九	DH3229	三倍体毛白杨
1#	R30	8.3	7.58	9.4	28.9
	P30/R50	18.6	22.29	23.4	24.3
	P50/R100	18.3	10.61	32.4	22.7
	P100/200	13.5	16.06	13.4	8.9
2#	R30	11.1	9.91	8.4	22.4
	P30/R50	25.0	24.16	25.4	27.3
	P50/R100	31.4	32.54	31.2	23.8
	P100/200	12.4	14.53	12.1	9.3
3#	R30	11.5	8.64	7.8	22.3
	P30/R50	18.5	24.82	25.8	32.3
	P50/R100	29.6	34.25	26.4	24.9
	P100/200	11.3	13.96	11.8	8.8

### 2.5 CMP 纸浆的物理性能

不同速生阔叶材 CMP 纸浆的物理性能见表 8.

表 8 不同速生阔叶材 CMP 纸浆的物理性能比较

Tab.8 Comparison of the physical properties of different fast-growing hardwoods CMP

反应条件	材种	松厚度/ (cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> )	耐破指数/ (kPa·m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	撕裂指数/ (mN·m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	抗张指数/ (Nm·g <sup>-1</sup> )	伸长率/ %	TEA 指数/ (mJ·g <sup>-1</sup> )
1#	纯种桉木	3.05	0.250	2.67	7.4	0.751	35.3
	广林九	2.93	0.208	2.17	7.7	0.561	26.2
	DH3229	3.04	0.319	3.56	10.3	0.775	51.5
	三倍体毛白杨	2.70	0.480	4.52	14.8	0.936	89.3
2#	纯种桉木	2.91	0.384	3.89	11.7	0.738	54.7
	广林九	2.96	0.291	2.82	8.6	0.511	26.2
	DH3229	2.98	0.443	4.24	11.2	0.773	55.7
	三倍体毛白杨	2.59	0.901	6.23	21.1	1.233	175.7
3#	纯种桉木	2.85	0.594	4.93	16.9	0.965	106.1
	广林九	2.81	0.500	4.22	15.8	0.847	86.6
	DH3229	2.84	0.661	4.65	19.5	1.083	140.2
	三倍体毛白杨	2.57	0.817	6.98	19.5	1.233	150.4

同一树种随着用碱量的增加,纤维在次生壁的分  
离增加,细纤维化程度增强,更多的 S<sub>2</sub> 层暴露出来,  
纤维间的结合力增大,致使纸浆的耐破强度和抗张强  
度有较明显的提升;其中,三倍体毛白杨的耐破指数  
和抗张指数最大.由表 7 可知,纸浆纤维的平均长度  
随用碱量的增加有上升趋势,因此纸浆的撕裂强度增  
加明显.三倍体毛白杨材性要优于三种桉木,但经一  
定的化学预处理后,三种桉木的制浆造纸性能接近于  
三倍体毛白杨.其中,抗张指数最高的为三倍体毛白  
杨,这是因为三倍体毛白杨的纤维质量无论从长度、  
长宽比来看,都要优于桉木;其次,如前所述,三倍体  
毛白杨的半纤维素含量要高于桉木,使其在磨浆过程  
中更容易分丝帚化;再者,毛白杨的木素含量低也是  
致使其强度大的原因之一.

### 3 结 论

三倍体毛白杨材性优于三种桉木,但经一定的化  
学预处理后,三种桉木的制浆造纸性能接近于三倍体  
毛白杨.增加化学浸渍(NaOH 和 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>)的用量可  
以使最终的成浆纤维束含量降低,并且磨浆能耗也会  
随之降低(降低最明显的纯种桉木下降 46.7%).随着  
用碱量的增加,浆料纤维长度越来越接近原纤维长  
度.其中三种桉木的成浆纤维长度要明显低于三倍

体毛白杨.随着化学预处理药液用量的增加,纸浆物  
理性能得到明显改善.以巨尾桉 DH3229 为例,当原  
料预处理的 NaOH 用量从 1%提高到 3%时,所得纸浆  
的抗张指数提高了 89.3%,撕裂指数提高了 30.6%,  
耐破指数增加了一倍.

### 参考文献:

- [1] 殷亚方,姜笑梅,吕建雄,等.我国桉树人工林资源和  
木材利用现状[J].木材工业,2001,15(5):3-5.
- [2] 林德根.福建省桉树人工林的发展现状、问题与对策  
[J].福建林业科技,2000,27(增刊):56-58.
- [3] 黄六莲.4种阔叶树 CTMP 制浆性能研究[J].福建林  
学院学报,2000,20(2):154-157.
- [4] 梁川.发展桉树人工林是解决我国造纸纤维原料短缺  
的重要途径[J].造纸信息,2005(10):8.
- [5] 谢益民,伍红,赖燕明,等.桉木 CTMP 法制浆过程中  
化学成分的变化[J].中国造纸学报,1999,14(1):20-  
25.
- [6] 石淑兰,何福望.制浆造纸分析与检测[M].北京:中  
国轻工业出版社,2003.
- [7] 刘斌.三倍体毛白杨木材特性分析及 CTMP 制浆[J].  
中华纸业,2008,29(10):18-21.
- [8] Vicente C, Alberto J M. Dynamics of hardwood im-  
pregnation[J].Holzforschung,2000,54(2):183-188.