

项目公示信息表

一、项目基本情况

奖 种	国家技术发明奖
项目名称	大型二氧化氯制备系统及纸浆无元素氯漂白关键技术及应用
主要完成人	王双飞、孙润仓、杨崎峰、聂双喜、詹磊、覃程荣
提名单位	中国轻工业联合会
提名单位意见	<p>传统纸浆氯气漂白过程产生大量的可吸附有机卤化物（AOX，如氯苯氯酚类物质）有极强的致癌、致畸和致突变危害，且难于生化降解，进入水体中易形成持久性污染物（POPs）。纸浆无元素氯漂白（ECF）可显著降低 AOX 产生量，能够实现环境、经济和社会效益的统一，但实现 ECF 漂白的关键技术是 ClO_2 制备系统，而 ClO_2 制备技术长期被国外企业垄断。</p> <p>项目针对二氧化氯制备技术长期被国外垄断，导致我国造纸行业清洁漂白技术推广难的问题，历时十多年攻关，攻克了二氧化氯制备体系核心技术难题，发明了高效稳定不产生固形物的综合法二氧化氯制备技术、组合还原剂二氧化氯制备技术、多重强化纸浆无元素氯漂白技术，实现了纸浆漂白 AOX 超低排放，达到国际领先水平。</p> <p>项目技术已推广应用于国内外 23 家企业，获得授权专利 51 件，其中美国、加拿大等国外发明专利 7 件，中国发明专利 24 件，发表学术论文 251 篇，其中 SCI 收录 165 篇（JCR 一区 Top 论文 68 篇），EI 论文 51 篇。相关成果分别获教育部技术发明一等奖、广西科技进步一等奖、中国轻工业联合会技术发明一等奖。</p> <p>项目首次实现了二氧化氯制备成套技术出口海外，使我国一举由二氧化氯技术进口国转变为技术出口国，有力推动了我国纸浆清洁漂白的进程，为造纸行业落实“水污染防治行动计划”提供了技术保障。</p> <p>提名该项目为国家技术发明奖<u>二</u>等奖。</p>

二、项目简介

我国造纸工业总产值约占国内生产总值的2%，在国民经济中占重要地位，与人民生活息息相关。但传统纸浆氯气漂白过程产生大量的可吸附有机卤化物（AOX，如氯苯氯酚类物质）有极强的致癌、致畸和致突变危害，且难于生化降解，进入水体中易形成持久性污染物（POPs）。纸浆无元素氯漂白（ECF）可显著降低 AOX 产生量，能够实现环境、经济和社会效益的统一，上世纪 90 年代发达国家已全面采用 ECF 等先进漂白工艺。实现 ECF 漂白的关键技术是 ClO_2 制备系统，而 ClO_2 制备技术长期被国外企业垄断，导致我国造纸行业清洁漂白技术推广缓慢。该项目历时十多年攻关，打破了国外技术垄断，发明了高效稳定不产生固形物的综合法 ClO_2 制备技术、组合还原剂 ClO_2 制备技术、多重强化纸浆无元素氯漂白技术，实现了纸浆漂白 AOX 超低排放，为落实“水污染防治行动计划”（2015 年）提供了技术保障，有力推动了我国纸浆清洁漂白的进程。主要发明点及技术内容包括：

1) 发明了一种稳定、高效、不产生固形物的综合法 ClO_2 制备技术，解决了传统综合法 ClO_2 制备技术在工艺波动时系统稳定性差、产品中 Cl_2 含量高、电解氢气中氧含量高等难题， ClO_2 生成效率从 90.0% 提高到 93.5%， Cl_2 浓度从 1.8 g/L 降到 0.2 g/L，电解产生的氢气中氧含量从 3.2% 降至 2.6% 以下；

2) 发明了组合还原剂 ClO_2 制备和酸性芒硝中性化回收技术，解决了传统甲醇还原法氯酸钠转化率低、产品中 Cl_2 含量高、副产品资源化利用难等问题，氯酸钠转化率从 95% 提高到 97%， Cl_2 浓度从 0.4-1.2 g/L 降低至 0.2 g/L 以下，实现了酸性芒硝高值资源化利用；发明了高效 ClO_2 发生装置和芒硝过滤系统，产能提高 10%-15%，固液分离效率从 90% 提高到 95% 以上；

3) 发明了多重强化无元素氯漂白 AOX 超低排放技术，解译了水热及超稀酸预处理过程原料中木质素氧化解离结构变化规律及特征，揭示了高温 ClO_2 漂白过程纸浆中残余木质素和己烯糖醛酸影响 AOX 生成的机理，减少了 ClO_2 消耗量，AOX 降低至 0.50 kg/t 浆以下。

该项目具有完全自主知识产权，彻底打破了国外技术垄断，成果经中国轻工业联合会鉴定达到国际领先水平。2009 年开始产业化，2012 年首次实现了我国二氧化氯制备成套技术出口海外，使我国一举由 ClO_2 技术进口国变为技术出口国。该技术已在我国以及印度尼西亚、印度等国的 23 家大型造纸企业应用 30 多台（套）。近三年主要应用企业累计生产 ECF 漂白浆 735.3 万吨；据企业出具的经济效益证明统计，新增销售收入达 269.5 亿元，取得了重大的经济、社会及环境效益。

项目授权专利 51 件，其中美国、加拿大等国外发明专利 7 件，中国发明专利 24 件，发表论文 251 篇，其中 SCI 收录 165 篇（JCR 一区 Top 论文 68 篇），EI 论文 51 篇，主编及参编中文专著 2 部、参编英文专著 1 部，应邀在国际会议上做特邀和大会报告 12 人次。系列研究成果分别获教育部技术发明一等奖、广西科技进步一等奖、中国轻工业联合会技术发明一等奖。

三、客观评价

1. 国内外相关技术的比较

印度尼西亚 PT LONTAR POPYRUS PULP & PAPER INDUSTRY、APP GROUP PT INDAH KIAT PULP & PAPER TBK 等企业应用了该项目技术，二氧化氯制备工艺稳定、可靠，电解电耗明显降低，氢气中氧含量降至 2.6% 及以下；与传统氯气漂白相比，漂白浆黏度、得率、白度稳定性等显著提高，废水中 AOX 减少了 90%。印度 Kuantum Papers Ltd 使用该项目技术，实现了副产物芒硝的资源化利用，制成高品质元明粉后市场销售，产品的干度稳定在 99.5% 以上、pH 值 6-7。

根据广西壮族自治区科学技术情报研究所出具的“大型二氧化氯制备系统的研发及其在纸浆无元素氯漂白中的应用”项目科技查新报告：“除本项目委托单位及其合作单位的部分研究外，未见有采用文献 6 所述自然循环氯酸钠电解技术研发二氧化氯制备系统的公开文献报道；未见有采用文献 15 所述热能回收技术研发二氧化氯制备系统的公开文献报道”。

2. 技术检测报告

采用该技术生产的二氧化氯水溶液于 2016 年 12 月经广西壮族自治区轻工产品质量监督检验站检验，二氧化氯浓度达到 10.1 g/L，Cl₂ 含量小于 0.2 g/L。采用该发明技术生产出的工业硫酸钠于 2011 年 10 月经广西产品质量监督检验院检测，各项指标均超过国标要求。

3. 鉴定意见

“大型二氧化氯制备系统及纸浆漂白过程 AOX 超低排放关键技术研发与应用”项目通过了中国轻工业联合会组织的鉴定（中轻联科鉴字[2018]第 064 号），专家组一致认为“该项目完成了大型二氧化氯制备系统的国产化，实现了重大的技术突破，取得多项发明专利，打破了国外技术与装备的垄断。氯酸钠转化率提高到 97% 以上，产品中氯气含量降低至 0.2 g/L 以下，二氧化氯生成效率从 90.0% 提高到 93.5%，电解过程中氢气含氧量降低至 2.6% 以下，漂白过程 AOX 降低 33% 以上。项目成果已在国内外 21 家大中型制浆造纸企业成功应用，并取得了显著的经济效益、社会效益和环境效益，形成了具有自主知识产权的二氧化氯制备系统及清洁漂白技术，成果达到国际领先水平”。

4. 国内外重要科技奖励

(1) 王双飞教授等主持的项目“大型还原法二氧化氯制备系统开发及其在纸浆无元素氯漂白中的应用”，获得 2015 年度广西科技进步一等奖。

(2) 王双飞教授、孙润仓教授等主持的“综合法二氧化氯制备及纸浆漂白 AOX 超低排放关键技术研发与应用”项目获得 2018 年度教育部技术发明一等奖（已公示）。

(3) 王双飞教授、孙润仓教授等主持的“大型二氧化氯制备系统及纸浆漂白过程 AOX 超低排放关键技术研发与应用”项目获得 2018 年度中国轻工业联合会技术发明一等奖。

5. 学术性评价意见

(1) 美国北卡罗来纳州立大学 Hou-Min Zhang 教授在 *Bioresource Technology* 发表的文章 (2016, 219: 600-607) 中指出该项目的水热处理 (180°C, 15min) 可从桉木中脱除 26% 的木质素; 韩国首尔大学 Tai Hyun Park 教授在 *Biomass and Bioenergy* 发表的文章 (2017, 105: 190-196) 指出, 孙等人发明的稀酸耦合稀碱处理比传统单一的处理方法更加有效。

(2) 瑞典 Arshadi 教授在 *Green Chemistry* 发表的文章 (2016, 18:6160-6204) 中引用了聂等人的研究 “Efficient extraction of bagasse hemicelluloses and characterization of solid remainder. *Bioresource Technology*, 2015”, 并评价该研究采用了响应面法评估了校正 pH 的蔗渣热碱提取效果。

(3) 美国田纳西大学的 Ragauskas 在 *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 发表的文章 (2018, 6: 957-964) 中指出覃等人发明的水热处理可用于辅助二氧化氯漂白 “Extraction of hemicellulose by hot water to reduce adsorbable organic halogen formation in chlorine dioxide bleaching of bagasse pulp. *Industrial Crops and Products*, 2017, 96: 178-185, ESI 高被引论文”。

6. 入选产品名录及称号

(1) 中国环境保护产业协会认定“甲醇还原法制备二氧化氯技术”为 2015 年度国家重点环境保护实用技术。

(2) 广西《关于公布 2016 年首台 (套) 重大技术装备名单的通知》(桂工信装备[2016]400 号), 广西博世科环保科技股份有限公司自主设计制造的综合法大型二氧化氯制备系统, 被评为广西国内首台 (套) 节能环保和资源利用重大成套技术装备。

(3) 2015 年 12 月, 广西壮族自治区工业和信息化委员会授予“纸浆漂白配套二氧化氯制备系统”广西壮族自治区工业新产品称号。

(4) 2016 年 8 月, 广西壮族自治区质量技术监督局授予“博世科牌甲醇法二氧化氯制备系统”广西名牌产品。

四. 应用情况

成果 2009 年开始产业化推广, 2012 年首次实现了我国二氧化氯制备成套技术出口海外, 目前已在国内外 23 家大型造纸企业应用 30 多台(套)。

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间
1	广西博世科环保科技股份有限公司	组合还原剂法二氧化氯制备技术、综合法二氧化氯制备技术、多重强化纸浆漂白技术	二氧化氯制备及纸浆漂白技术应用及相关主要设备的加工制造	2009.01-2018.12
2	APP GROUP PT INDAH KIAT PULP & PAPER TBK (印度尼西亚)	综合法二氧化氯制备技术、多重强化纸浆漂白技术	应用于年产 100 万吨纸浆生产配套用综合法二氧化氯制备系统及桉木化学浆无元素氯漂白	2014.07-2018.12
3	海南金海浆纸业有限公司	综合法二氧化氯制备技术、多重强化纸浆漂白技术	应用于年产 150 万吨纸浆生产配套用综合法二氧化氯制备系统及桉木化学浆无元素氯漂白	2014.07-2018.12
4	PT LONTAR PAPYRUS PULP & PAPER INDUSTRY (印度尼西亚)	组合还原法二氧化氯制备技术、多重强化纸浆漂白技术	应用于年产 26 万吨纸浆生产配套用组合还原剂二氧化氯制备系统及桉木化学浆无元素氯漂白	2015.02-2018.12
5	APP GROUP PT INDAH KIAT PULP & PAPER TBK (印度尼西亚)	组合还原剂法二氧化氯制备技术、多重强化纸浆漂白技术	应用于年产 25 万吨纸浆生产配套用组合还原剂二氧化氯制备系统及桉木化学浆无元素氯漂白	2013.03-2018.12
6	Kuantum Papers Ltd (印度)	组合还原剂法二氧化氯制备技术、多重强化纸浆漂白技术	应用于年产 15 万吨纸浆生产配套用组合还原剂二氧化氯制备系统及化学草浆无元素氯漂白	2016.10-2018.12
7	广西永凯糖纸有限责任公司	组合还原剂法二氧化氯制备技术、多重强化纸浆漂白技术	应用于年产 15 万吨纸浆生产配套用组合还原剂二氧化氯制备系统及蔗渣化学浆无元素氯漂白	2011.11-2018.12
8	广西永鑫华糖集团有限公司	组合还原剂法二氧化氯制备技术、多重强化纸浆漂白技术	应用于年产 15 万吨纸浆生产配套用组合还原剂二氧化氯制备系统及蔗渣化学浆无元素氯漂白	2016.07-2018.12
9	广西田阳南华纸业有限公司	综合法二氧化氯制备技术、多重强化纸浆漂白技术	应用于年产 12 万吨纸浆生产配套用组合还原剂二氧化氯制备系统及蔗渣化学浆无元素氯漂白	2015.12-2018.12
10	泸州永丰浆纸有限责任公司	组合还原剂法二氧化氯制备技术、多重强化纸浆漂白技术	应用于年产 20 万吨纸浆生产配套用组合还原剂二氧化氯制备系统及化学竹浆无元素氯漂白	2016.11-2018.12

11	宜宾纸业股份有限公司	组合还原剂法二氧化氯制备技术、多重强化纸浆漂白技术	应用于年产 15 万吨纸浆生产配套用组合还原剂二氧化氯制备系统及化学竹浆无元素氯漂白	2013.7-2018.12
12	四川金福纸品有限责任公司	组合还原剂法二氧化氯制备技术、多重强化纸浆漂白技术	应用于年产 10 万吨纸浆生产配套用组合还原剂二氧化氯制备系统及化学竹浆无元素氯漂白	2014.2-2018.12
13	湖南林源纸业有限公司	组合还原剂法二氧化氯制备技术、多重强化纸浆漂白技术	应用于年产 7 万吨纸浆生产配套用组合还原剂二氧化氯制备系统及芦苇化学浆无元素氯漂白	2015.05-2018.12
14	广西博冠环保制品有限公司	组合还原剂法二氧化氯制备技术、多重强化纸浆漂白技术	应用于年产 7 万吨纸浆生产配套用组合还原剂二氧化氯制备系统及蔗渣化学浆无元素氯漂白	2013.01-2018.12

五、主要知识产权和标准规范等目录（不超过 10 件）

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准实施）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态
发明专利	Method and system for the integral chlorine dioxide production with relatively independent sodium chlorate electrolytic production and chlorine dioxide production	美国	US 9,776,163 B1	2017.10.03	US 9,776,163 B1	广西大学	Shuangfei Wang, CR Qin, XP Song, XS Li, SX Nie, L Chen	授权
发明专利	生产二氧化氯产生的副产品酸性芒硝的回收利用方法	中国	ZL200910114032.3	2011.05.11	775375	广西大学	王双飞;农光再;李许生;杨崎峰;宋海农;许开绍;覃程荣;陈楠	授权
发明专利	Excess heat recovery during high temperature pulp bleaching	美国	US 9,777,431 B1	2017.10.03	US 9,777,431 B1	广西大学	Shuangfei Wang, SX Nie, CR Qin, XP Song, HC Zhang, K Zhang	授权
发明专利	Efficient electrolysis system for sodium chlorate production	美国	US10,106,900 B2	2018.10.23	US10,106,900 B2	广西大学	Shuangfei Wang, CR Qin, XS Li, C Liang, XL Liu, ZW Wang	授权
发明专利	一种不产生固形物的二氧化氯制备方法	中国	ZL201410493558.8	2016.2.17	1956827	广西大学	王双飞,詹磊,覃程荣,周敬红,李许生,梁辰,刘新亮,宋雪萍	授权
发明专利	从木质纤维原料提取半纤维素、纤维素和木质素的方法	中国	ZL201210051748.5	2013.12.11	1320126	北京林业大学	孙润仓,肖领平,许凤,史正军	授权
发明专利	An integrated method and system for the chlorine dioxide Production	加拿大	2946016	2018.01.16	2,946,016	广西大学	Wang Shuangfei, Xv CS, Zhan L,	授权

	coupled with a relatively independent sodium Chlorate electrolytic production						Song HN, Huang BG, Yang Y, Ban F	
发明专利	一种用于稳定控制甲醇法二氧化氯生产的方法	中国	ZL201610706322.7	2018/09/25	3088976	广西博世科环保科技股份有限公司	詹磊 徐萃 声贵 丙飞 双飞 良青 彦	授权
发明专利	Method for photo-assisted chlorine dioxide bleaching of pulp	加拿大	2,946,012	2017.11.07	2,946,012	广西大学	Shuangfei Wang, SX Nie, CR Qin, XP Song	授权
发明专利	A process of producing chlorine dioxide without generating solid crystalline	印度尼西亚	IDP000040613	2016.4.11	IDP000040613	广西大学	Wang Shuangfei, Zhan L, Qin CR, Zhou JH, Li XS, L Chen, Liu XL, Song XP	授权

六、主要完成人情况表

姓名	王双飞	排名	1	技术职称	教授
工作单位	广西大学			行政职务	无
完成单位	广西大学				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目总负责人，制定项目整体方案和实施计划，指导关键技术的解决，组织成果的转化和推广应用，协调各合作单位的具体实施工作。对本项目《主要技术创新点》中的第1、2、3项技术创新做出了创造性贡献。授权发明专利29件，其中国外专利7件，出版专著1部，获得相关科研奖励3项。</p>					

六、主要完成人情况表

姓 名	孙润仓	排 名	2	技术职称	教授
工作单位	北京林业大学			行政职务	重点实验室主任
完成单位	北京林业大学				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目技术主要负责人，负责项目申报、试验实施、技术研发与推广应用。对创新点 3 有贡献，主要负责多重强化纸浆无元素氯漂白技术，实现纸浆漂白 AOX 超低排放。授权发明专利 2 件，相关科研奖励 2 项，出版专著 2 部，发表 SCI 论文 100 余篇。</p>					

六、主要完成人情况表

姓 名	杨崎峰	排 名	3	技术职称	教授
工作单位	广西博世科环保科技股份有限公司			行政职务	副董事长
完成单位	广西博世科环保科技股份有限公司				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>主要负责二氧化氯制备关键技术和设备研发，并主持成果产业化应用与推广，对创新点 1、2、3 有贡献，授权发明专利 2 件，获得相关科研奖励 1 项。</p>					

六、主要完成人情况表

姓 名	聂双喜	排 名	4	技术职称	副教授
工作单位	广西大学			行政职务	无
完成单位	广西大学				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目主要完成人，主要参与二氧化氯制备的关键技术研发和设备研制以及多重强化无元素氯漂白技术的开发。对创新点 1、2、3 有突出贡献，授权发明专利 15 件，获得相关科研奖励 1 项。</p>					

六、主要完成人情况表

姓名	詹磊	排名	5	技术职称	高级工程师
工作单位	广西博世科环保科技股份有限公司			行政职务	副总经理
完成单位	广西博世科环保科技股份有限公司				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目主要完成人，负责关键二氧化氯制备技术研发和设备的研制，并主持成果产业化应用与推广，对创新点 1、2、3 有贡献，授权发明专利 14 件，相关科研奖励 2 项。</p>					

六、主要完成人情况表

姓名	覃程荣	排名	6	技术职称	教授
工作单位	广西大学			行政职务	院长
完成单位	广西大学				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目主要完成人，主要参与二氧化氯制备的关键技术研发和设备研制以及多重强化无元素氯漂白技术的开发。对本项目的创新点 1、2、3 有贡献，授权发明专利 20 件，相关科研奖励 1 项。</p>					

七、完成人合作关系说明

2004年1月，王双飞课题组开始从事二氧化氯制备及清洁化漂白新技术研究，攻克了二氧化氯制备核心技术难题，发明了高效稳定不产生固形物的综合法 ClO_2 制备技术、组合还原剂 ClO_2 制备技术、多重强化纸浆无元素氯漂白技术。并在广西博世科环保科技股份有限公司杨崎峰、詹磊等负责下实现产业化，在国内外大面积应用。2006年开始与孙润仓课题组合作多重强化纸浆无元素氯漂白技术，实现了纸浆漂白 AOX 超低排放，显著提高了我国清洁化制浆漂白水平并成功实现工程化应用。

(1)王双飞为项目第一完成人，负责项目创新技术开发与应用的总体思路构建，制定整体方案和实施计划，获发明专利 29 件，其中国外专利 7 件，出版专著 1 部，获得相关科研奖励 3 项；覃程荣 2004 年加入王双飞课题组，对创新点 1、2、3 有贡献，与第一完成人共同获授权专利 20 件、相关科研奖励 1 项、鉴定 1 项；聂双喜 2010 年加入王双飞课题组，对创新点 1、2、3 有贡献，与第一完成人共同获专利 15 件、相关科研奖励 1 项、鉴定 1 项。

(2)孙润仓是项目技术主要负责人，主要负责多重强化纸浆无元素氯漂白技术，实现纸浆漂白 AOX 超低排放，对创新点 3 有贡献，获专利 2 件，出版专著 2 部。与第一完成人王双飞获得相关科研奖励 2 项、发表 SCI 收录论文 5 篇、鉴定 1 项；与第一完成人王双飞、第三完成人杨崎峰、第五完成人詹磊共同完成校企合作项目“制浆、氧脱及二氧化氯漂白过程中木质素的结构变化研究”。

(3)广西博世科环保科技股份有限公司杨崎峰、詹磊负责二氧化氯制备关键技术和设备研发，并主持成果产业化应用与推广。杨崎峰对创新点 1、2、3 有贡献，获专利 2 件，与第一完成人王双飞获得相关科研奖励 1 项。詹磊对创新点 1、2、3 有贡献，获专利 14 件，与第一完成人王双飞获得相关科研奖励 2 项、鉴定 1 项。