

《中国造纸》2018年度“诚铭化工杯” 优秀论文部分获奖作者专访

编者按

2019年1月16日,《中国造纸》2018年度“诚铭化工杯”优秀论文评选活动落下帷幕。经过严格的初评、复评及专家终评会终评后,最终评选出优秀论文15篇,其中一等奖1篇、二等奖2篇、三等奖5篇、优秀奖7篇。获奖优秀论文代表了我国造纸工业相应领域的技术水平和发展方向,为该领域技术进一步发展提供了借鉴和参考。本刊特别对《中国造纸》2018年度“诚铭化工杯”优秀论文一等奖和二等奖的部分获奖作者进行了专访,以期与读者共同分享作者的研究成果。



获奖作者:田超



获奖作者:张美云



获奖作者:靳福明



田超 博士

一等奖

题目：纤维素酶和聚木糖酶处理改善溶解浆性能的研究

作者：田超 石瑜 翟丙彦 乔军 应广东

单位：山东太阳纸业股份有限公司

中国制浆造纸研究院有限公司

获奖者心声

非常感谢《中国造纸》2018年度优秀论文评选专家对“纤维素酶和聚木糖酶处理改善溶解浆性能的研究”一文的认可。这项研究开始于师从倪永浩教授攻读博士学位期间，是来源于国外溶解浆企业需求的课题，后续又在中国制浆造纸研究院有限公司进行拓展研究，并向国内企业推介。研究的着眼点在于通过酶处理达到纤维素纯化和活化的目的，既可用于溶解浆的质量提升，也可为“纸改浆”提供一条新的技术路径。衷心希望这项研究和相关论文能够为溶解浆和再生纤维素纤维两个领域的技术研发提供点滴借鉴和支持。

近年来，随着黏胶纤维等溶解浆下游行业的迅速发展，我国溶解浆消耗量快速增加。在溶解浆无法满足需求的情况下，部分企业将造纸浆经加工处理后改性为溶解浆（以下简称纸改浆）。但受制于反应性能不佳的问题，大部分纸改浆只能部分替代溶解浆应用于黏胶纤维的生产。因此，采用各种手段提高溶解浆反应性能就十分重要，其中，通过酶处理使纤维素纯化和活化，从而改善溶解浆的品质，也可为纸改浆提供一条新的技术路径。获奖论文的研究结果表明，纤维素酶处理可以将纸改浆的 Fock 反应性能从 13.50% 提高到 49.75%。

《造纸信息》：首先恭喜您撰写的文章获得《中国造纸》2018年度“诚铭化工杯”优秀论文一等奖！也非常感谢您接受我们的采访！您的获奖文章《纤维素酶和聚木糖酶处理对改善溶解浆性能的影响》，这个课题在我们行业里也颇为新颖，请介绍一下，当时设计这一科研课题时的研究背景是怎样的？提出这一课题的主要目的是什么？

田超：关于这篇论文所涉及的课题的提出，要非常感谢我的博导倪永浩老师。这个课题最初源自倪永浩老师团队的一个企业合作项目，目的是改善溶解浆的反应性能，我读博期间在这个项目的基础上围绕提升溶解浆质量，主要是提升纤维素纯度和反应性能两个方面，做了相对系统的扩大研究，包括溶解浆反应性能表征方法、改善溶解浆反应性能的方法和机理、冷/热碱抽提提高纤维素纯度等内容。博士毕业后回到中国制浆造纸研究院有限公司继续工作期间，又继续沿着这个方向开展了后续研究，包括如何结合冷/热碱抽提和酶处理来实现纸改浆，以及纸改浆的废液综合利用、酶的选用等内容，目的是让这些研究更加贴近生产实际。这篇论文所介绍

的主要是用酶处理来改善溶解浆反应性能的部分，此外还有关于机械和物理处理方法的研究在其他论文中发表。当然，从实际应用角度来讲，经过研究比较之后，认为酶处理可能是更为简便、高效的方法。

我倒没有觉得这个课题如何高大上，在我看来它只是一个针对小众浆种的具体问题的应用研究，目前没有涉及太深入的机理研究。当然这并不意味着我看低这项研究的意义，重大技术革新与点点滴滴的技术改进对产业发展来说都很重要，我很期望这项小而专的研究能够在溶解浆生产中发挥一点儿作用。并且，这个课题虽然入口比较窄，但接下来可以做得很宽、很深入，影响面也可以扩大，后面我会解释原因。

《造纸信息》：在造纸行业里，改善溶解浆性能方面的实验课题涉及较少，请简单介绍一下实验的主要内容和研究心得。实验中提到的对阔叶木溶解浆性能的改善，可以使原有性能有大多幅度的提升？这一提升会对下游用户的使用产生什么影响？

田超：正如前面所提到的，可能

是因为溶解浆比较小众，且其下游是纺织行业，完全脱离了我們熟知的造纸行业，很多关于溶解浆性能的深层要求并没有像制浆和造纸这样通畅、深入地反映出来，所以制浆造纸行业中相关研究相对较少。

这个课题的主要内容还是比较容易理解的。首先，厘清了什么是溶解浆的反应性能，及其主要影响因素。简单来说，在黏胶纤维生产中，反应性能是特指与二硫化碳发生黄化反应的能力，其主要决定因素是纤维素的可及度。提高溶解浆反应性能的方法有很多，但每种方法在应用时都存在一些难度，有可能引起溶解浆的多个指标之间的联动反应。例如，降低聚合度在提高反应性能的同时，可能引起甲纤含量的显著降低，而黏纤厂对聚合度也有下限要求，诸如此类，此外还要考虑经济上的可行性。

如果以 Fock 测试来衡量的话，市场上的预水解硫酸盐溶解浆的反应性能普遍在 50% 左右，酸法浆普遍在 80% 以上。目前在研究中取得的最好效果是把阔叶木预水解硫酸盐溶解浆的 Fock 反应性能从 45% 提高至接近 90%，也就是达到酸法浆的水平。当然这并不具有典型的应用意义，因为还需要考虑应用场景和成本要求，但探索出了技术上的可能性。反应性能改善对下游用户——也就是黏纤生产的影响是，可以提高浆粕的溶解程度、提高原料利用率，减少有毒溶剂二硫化碳的使用量，提高成丝质量和生产效率，优点是显而易见的。正因为如此，虽然在溶解浆国标中并没有规定反应性能的标准，但实际上在黏纤厂和溶解浆厂反应性能都是必测、必报的核心指标。

《造纸信息》：我们知道，由于国内的溶解浆需求和供应之间比较大的缺口，在一些比较特殊的价格或者供求关系条件下，会催生纸改浆这样的做法，据了解主要采用的是碱抽提的方法，这篇文章里也涉及到这方面的内容。请您介绍一下，这类纸改浆与直接生产的溶解浆相比有哪些优缺点？这篇文章主要介绍的酶

处理跟纸改浆有什么特定的关联性？以碱抽提为基础的纸改浆工艺是否有进一步扩大应用的可能性，主要难点在哪里？

田超：首先要再提及一下纸改浆所基于的技术原理。在一些纤维素化学的权威著作中提到，高浓冷碱液抽提是从纸浆中去除五碳糖类半纤维素的最高效的方法，因为高浓低温碱液可以使纤维素大幅润胀，短链糖类可以有效溶出，并且这个过程几乎可以认为是纯物理过程，发生的化学反应很少；对含有比较多六碳糖类半纤维素的纸浆，当然就是指针叶木浆，则可能还需要热碱抽提来去除这类半纤维素。而化学纸浆和溶解浆的主要差别就在于半纤维素含量，所以碱抽提就自然成为纸改浆的首选途径。基于这个原理，特别是在冷碱抽提条件下，短链糖类大量溶出，浆粕可以很容易达到比较高的甲纤含量，平均聚合度也会有所提高，但是同时，纤维素经过强碱条件下的显著润胀之后，第一会发生晶型的变化，至少会有一部分由 I 型转变为反应性能更差的 II 型纤维素，第二再次干燥时由于“杂质”的流失会形成更加紧密的氢键结合，也就是常说的角质化。所以纸改浆的一个重要特点就是纤维素可以更纯，但被显著“钝化”，反应性能变差。因此，这篇文章里介绍了用酶处理来重新“活化”碱抽提之后的浆粕。

纸改浆目前处于一种存在但非主流的状态。单从理论上讲，纸改浆为溶解浆生产提供了一种新的选择，在溶解浆需求缺口明显的情况下应该是受欢迎的；对传统的化学纸浆生产者来说，也意味着可以通过纸改浆实现产品线的延伸，而不必建设专门的溶解浆生产线。但是既然没有大规模发展起来，说明这个技术路线还存在一些问题。我个人的看法是，还没有解决技术手段和成本之间的平衡。高浓碱液抽提、酶处理，这些处理都需要增加成本，溶解浆和化学纸浆之间的差价能否覆盖这些成本起着决定性作用，差价很高的时候碱液不回收

都可以接受，但差价低的时候就不行，另外还有废液处理的问题，回收要有回收的方法、并且也存在经济性的问题，不回收时废液也要有相应的去处。恰恰是这些附属问题没有妥善地解决，成为纸改浆的发展障碍，由纸浆到溶解浆并没有太大的技术难度。所以在纸改浆方向，目前我和同事们把重点放在了碱抽提废液的回收利用方面，比如结合制浆生产直接回用碱抽提废液是一条路线，把抽提废液的碱和抽出物分离回用是另一条路线。

《造纸信息》：科研的终极目的就是应用到实践中转化为生产力。请介绍一下，酶处理改善溶解浆性能这一课题，目前是否已经有实践中的应用。在成果转化方面，这类课题整体处于什么阶段？您负责的这项研究，处于什么阶段？如果将成果转化设定为目标的话，还有多长的路要走？

田超：是的，这个课题从形成之初到目前的研究目标都是指向应用。可以说，这个技术本身已经比较成熟了，随时可以投入生产应用，只要根据溶解浆产品要求调整好酶的构成和使用条件，在生产线上实施起来并不困难，不需要大的改造和硬件投入。据我所知，用酶处理来改善反应性能的做法，国外的溶解浆企业已经投入了实际应用。我也在跟国内一些溶解浆企业介绍这项技术，希望能够尽快实现应用。当然，这项技术在国内推广并不容易，不是技术的问题，而是成本的原因。酶处理本身需要增加的成本并不高，在国外的時候做过测算，通常情况下在3~4美元/t浆，但是由于国外企业有明显的原料成本优势，所以应用相对容易，而国内的价格竞争压力比较大，有难度是可以理解的。

《造纸信息》：酶处理改善溶解浆性能这一领域的研究，国外的研究现状是什么？与国外相比，我们的研究是否有差距。

田超：坦率地说，在研究这个层面，我们

跟国外并没有太大的差距，更多的是“差异”，比如创新理念上的差异。国外的企业比较看重技术上的领先优势，即便产品质量合格，也不断追求质量改进，不断提出新的创新需求。所以总给人一种感觉，国外的研究比我们领先一步，实际上还是需求导向的差异，要看研究是解决存量问题还是引领技术发展。

《造纸信息》：您对获奖论文课题中的现有成果是否满意，还存在哪些不足之处？下一步的研究方向怎样？

田超：说实话我并不是很满意，或者说还有很多工作没有完成。从几个方面来说：第一，由于对酶本身的特性研究还不够，采取的是“拿来主义”，同样都是内切葡萄糖酶（或以内切葡萄糖酶为主）、用量相当，处理之后效果差异很大，说明可能还要深入探究酶产品的差异，比如活化效果是否与产酶的菌种、内切葡萄糖酶之外的其他组分相关等；第二，对机理的研究还不够，例如聚合度、半纤维素含量、孔隙结构、结晶结构这些表现性能与反应性能的定性关系是确定的，但各自的影响权重还未能完全掌握，这涉及到应用过程中应该首先调控哪些参数、调控的限度；第三，目前的研究主要基于黏胶工艺，实际上纤维素的溶解方法正在不断发展，纤维素的反应性能和可及度本身就是一个更为宽泛的概念，目前的研究结论、效果在其他溶解浆体系中的效果如何，我和同事们已经开始了一些在NMMO-水溶解体系中的类似研究，还有很多工作要做。此外，纤维素作为一种天然高分子材料，将来作为基础原料获得更广泛应用的可能性正在增加。因此无论在黏胶工艺还是NMMO-水溶解体系下的反应性能、可及度研究，都会给将来更好、更广泛地利用化学纸浆、溶解浆粕这些纤维素原料提供理论和技术参考，所以我觉得这个课题还是很有意义的，也就是我认为这个课题可以更宽、更深入、影响面更大的原因，所以研究肯定会继续进行下去。■



张美云 教授

二等奖

题目：原纤化过程对纸基空气滤材结构和性能的影响

作者：张美云 马珊珊 杨斌 宋顺喜 鲁鹏 苏治平

单位：陕西科技大学轻工科学与工程学院

中国轻工业纸基功能材料重点实验室

轻化工程国家级实验教学示范中心

广西清洁化制浆造纸与污染控制重点实验室

东华大学纤维材料改性国家重点实验室

华南理工大学制浆造纸工程国家重点实验室

获奖者心声

非常荣幸我们的研究论文“原纤化过程对纸基空气滤材结构和性能的影响”获评《中国造纸》2018年度优秀论文二等奖！近年来雾霾已经成为全球焦点问题，尤其是中国北京、河北、西安等地的居民更是深受其害。而传统的空气过滤材料常采用无法自然降解的石油基衍生物，其废弃滤材常会给生态环境带来二次的污染负担。因此，我们团队采用生物可降解的植物纤维为原材料，并利用典型的造纸技术——原纤化对其进行预处理，从而制备出可以拦截和吸附一定量PM2.5颗粒物的柔性纸基空气滤材。各位评审专家对我们研究工作的肯定给予了我们进一步在纸基空气过滤材料领域研究探索的动力。我们将一如既往地关注空气污染问题，把制备绿色、轻质、抗菌的功能型柔性纸基空气过滤材料作为下一个努力目标，不断前进。最后衷心祝愿《中国造纸》杂志在新的一年里越办越好，成为造纸及相关领域新技术和新知识的交流平台，推动行业不断进步与发展！

获奖论文研究要点：植物纤维作为一种广泛存在于大自然中的可再生生物质资源，来源广泛、价格低廉，因此以植物纤维为原料取代合成聚合物制备空气滤材具有很大的发展潜力和应用价值。获奖论文中，分别采用不同磨浆转数对木浆纤维进行不同程度的原纤化处理，利用冷冻干燥法脱除凝固相冰晶，同时尽可能地保留纤维分丝帚化的表观形貌，制备出可生物降解的纸基空气滤材。研究了不同程度原料化处理对纸基空气滤材结构和性能的影响，并探究了原纤化处理对纸基空气滤材的性能影响机理。

《造纸信息》：首先祝贺您的论文在《中国造纸》2018年度“诚铭化工”优秀论文评选中荣获二等奖。我们注意到，论文项目是国家自然科学基金项目等多个基金项目的一部分，请介绍一下当时提出这一课题的研究背景是什么？项目主要内容及目的是什么？

张美云：近年来由于人类活动的不断加剧，如工业化和城市化进程的加快、煤炭能源的大量消耗，以及机动车数量的激增所引发的大气中细小颗粒物（PM）的污染问题，尤其是空气动力学直径小于 $2.5\ \mu\text{m}$ 的细小颗粒（PM_{2.5}），已经给人类健康带来了极大的威胁。据国际癌症研究中心报道，PM_{2.5}会诱发冠状动脉堵塞、充血性心力衰竭和肺癌等疾病，严重影

响人类的生命安全。另外，最近美国环境保护局宣布，目前在世界范围内每年因PM_{2.5}所导致的死亡人数高达2100万。因此，研究和开发出高性能的空气过滤材料，以分离空气中的PM_{2.5}，净化室内空气，一直以来都是工业界和学术界关注的热点。利用静电纺丝法制备的聚丙烯腈（PAN）、聚砜（PSU）、聚碳酸酯（PC）、聚乙烯醇（PVA）、聚氨酯（PU）等聚合物的无纺布材料是目前应用较为广泛的纤维类室内空气净化材料。然而，这些聚合物均属于不可再生资源，而且其制备过程中使用的大量化学品会对环境带来污染，另外其废弃物处理存在很大困难。纤维素纤维，作为一种广泛存在于大自然中的绿色可再生型生物质资源，来源广泛、价格低廉，因此，以纤维素纤维为原料取代合成





采用冷冻干燥技术制备纸基空气滤材流程图

聚合物原料制备空气过滤材料具有很大的发展潜力和应用价值。

本研究采用纤维素纤维为原材料，结合造纸中常用的纤维处理方式——原纤化，使纤维充分分丝帚化，制备出纸基空气滤材。另外，随着磨浆转速的增加，纤维表面分丝帚化作用越明显，纤维表面暴露出了更多的细纤维丝或更多的纤维丝从纤维表面剥离，这会使最终制备的过滤材料中包含有更多比表面积大、吸附能力强的细纤维丝，有助于增强过滤材料对空气中颗粒物的吸附作用，提高其过滤效率。从而，以纤维素纤维为原材料，基于原纤化处理结合冷冻干燥技术制备出绿色可生物降解的空气过滤材料，减少雾霾污染对人体的伤害。

《造纸信息》：作为高性能纤维纸基功能材料的一种，纸基空气滤材的发展潜力及应用价值如何？其主要的制备方法有哪些？在制备及应用方面存在哪些瓶颈？

张美云：PM_{2.5}，作为当前最为严重的大气污染物，对人类的生命健康有极大的威胁。因此研究和开发高性能的空气过滤材料用以截留空气中的PM_{2.5}，一直以来都是工业界和学术界关注的热点。纸基空气滤材是一类典型的绿色可降解的生物物质材料，符合国家可持续发展战略要求。目前纸基空气过滤材料的制备方法主要分为冷冻干燥、泡沫成形和湿法成形。

(1) 冷冻干燥法，作为一种常用的制备多孔材料的技术，其原理是首先将液态悬浮液冷冻成冰，然后通过减压升华脱除水分。冷冻干燥过程中水分直接从固态升华为水蒸气而被去除，避免了液态状态下水分子的表面张力对多孔材料结构带来的破坏。以纤维素纤维悬浮液为原料，利用冷冻干燥技术制备空气过滤材料可以避免纤维之间的角质化，保持过滤材料的本质微观形貌和结构，而且冷冻干燥工艺简单、灵活便捷，因此，更适合于用以制备高性能纸基空气过滤材料。

(2) 泡沫成形法，原理是向纤维悬浮液中加入发泡剂，在机械搅拌作用下使纤维悬浮液中产生大量气泡，发泡后纤维悬浮液中的水分子会在纤维端部之间搭建起水桥，从而将分散在泡沫体系中的纤维连接起来，干燥后泡沫破裂，纤维相互搭接形成三维网状结构。在利用泡沫成形法制备纤维素基空气过滤材料时，纤维/泡沫体系中的空气含量对过滤材料的孔隙结构起着决定性影响，进而会影响过滤材料的空气过滤性能。但是，发泡剂含量、机械搅拌速率、搅拌时间、纤维悬浮液浓度等因素都会对空气含量产生影响，因此如何精准地控制空气含量依然是一项困难的工作。

(3) 湿法成形法，是生产纸基材料应用最广泛和最成熟的工艺。湿法成形法主要是纤维在水流状态下均匀分散形成纤网，大量的纤维在纤网中呈现杂乱无章的分布，当于烘缸上干燥后，样品会呈现出疏松多孔的结构。但是湿法成形过程中需要大量的生产用水进入整个循环系统，增加了生产过程中的能耗。另外湿法造纸技术适于生产薄片状的纸页产品材料，而这类薄页材料由于其本身多孔的性质，对微细颗粒物捕捉和拦截作用有限的容尘量远达不到日常对微细颗粒物的过滤要求。

冷冻干燥技术适合制备多孔的三维纤维素基空气滤材，然而由于其过程主要分为“浆料预冻”和“升华干燥”，在样品干燥过程中需要低压真空的冷冻环境，整个过程需要较大动力

能耗输入，在短时期内较难达到工业化批量生产。

《造纸信息》：纸基空气滤材的主要性能参数是什么？制备过程需要注意的主要事项是什么？

张美云：“过滤效率”“压力降”和“质量因子”是评价空气过滤材料最基本也是最重要的参数。目前，我们团队制备的纸基空气过滤材料达到超高过滤效率（99.9%），符合美国职业健康安全研究所制定的 N-99 标准要求，详细的样品信息与参数已发表在相关杂志。

在纸基空气过滤材料的制备过程中，我们发现冷冻介质、浆料浓度、冷冻温度等因素都会对纸基空气过滤材料的“孔隙率”“孔径分布”“密度”和“强度”等性能参数产生较大的影响。实验发现：当冷冻介质由纯水溶剂变为叔丁醇时，孔隙率从 94.8% 增加到 96.4%，孔径分布峰值由 120.9 μm 变化为 72.6 和 6.0 μm。另外实验过程中在浆料悬浮液中加入一定量的纳米纤维素可以显著改善纸基空气过滤材料的强度性能。

制备合格的纸基空气过滤材料，首先一定要将原材料——纤维素纤维充分地分丝帚化，因为絮聚的浆团经过冷冻干燥过程会变为干硬的块状物质，这种材料对 PM2.5 颗粒物几乎没有吸附和过滤效果，所以充分的原纤化过程是必要的。另外滤材样品在冷冻干燥过程中必须一次性冷冻成型，未完全冷冻的样品在经历二次冷冻过程中会对滤材内部的多孔结构造成较大影响，破坏原有的孔隙结构，导致空气滤材的过滤效率降低。

《造纸信息》：在纸基空气滤材的研发与应用方面，我国与国际相比差距在哪里？您对纸基空气滤材未来研发的重点方向有哪些建议？

张美云：目前对于纸基空气滤材研发和制备，国内普遍采用冷冻干燥法、泡沫成形和湿法成形，即层层抄造技术，这些研究的阶段性成果是比较先进的，制备的纸基空气滤材可以达到国际

N-99 标准，芬兰 VTT 研究中心采用泡沫成形技术制备多孔的纸基滤材，已经进行了多次多产品中试，这项技术在国际上领先。

纸基空气滤材未来研发的重点方向：

- 研究和开发憎水性或超疏水性纸基空气过滤材料，因为纤维素纤维的吸湿性较高，当空气中湿度较高时，纸基空气过滤材料的结构容易受到破坏；

- 优化生产工艺，降低生产能耗，实现纸基滤材的规模化和批量化生产；

- “功能化”和“智能化”是目前材料的发展趋势，所以对于纸基空气过滤材料的要求可能不仅仅是拦截和吸附 PM2.5 颗粒物，同时对污染空气中有毒气体可以有效地吸附，因此研究和开发多功能型的纸基空气过滤材料是一项具有意义和挑战性的工作。

《造纸信息》：您作为一直奋战在制浆造纸行业教学、科研第一线的一名老兵，有什么样的心得体会，您想对业内的全体造纸科技工作者说些什么？

张美云：做学术、搞科研是十分辛苦的工作，要耐得住寂寞、抵得住诱惑，要沉得下心、扑得下身，没有谁能随随便便成功。作为科技工作者要走出校园，深入生产实际，解决实际问题，把论文写在祖国的大地上。

与发达国家相比，目前我国在高性能纸基功能材料领域，尚未形成基础研究、关键技术、应用研究、生产集成等完整体系，在国际市场缺乏话语权和竞争力，相关技术水平及产品仍处于“跟跑”或“并跑”水平。未来我们团队将继续紧密围绕国家重大需求，开展基础研究和技术开发，加强产学研结合与国际合作，实现高端领域用纸基复合材料国产化，加快替代进口并参与国际竞争。我们将继续致力于科技创新，产学研并举，为推进我国高性能纤维纸基功能材料国产化，促进轻工新材料轻量化、高性能化和绿色安全化不懈努力！



靳福明 国家工程勘察设计大师

二等奖

题目：碱回收炉烟气排放及控制措施可行性技术分析

作者：靳福明

单位：华南理工大学

中国中轻国际工程有限公司

获奖者心声

获悉我的论文获得《中国造纸》2018年度“诚铭化工杯”优秀论文二等奖很是高兴，感谢《中国造纸》编辑部给予的这个平台和机会，让我就当前行业热议的碱回收炉大气污染物排放的技术问题，发表自己的看法和意见，也感谢广大读者、评委对该文的关注和认可，希望所有制浆造纸工作者以《中国造纸》为平台，对行业关注度较高的热门话题发表各自的观点和看法，充分发挥《中国造纸》这一学习和交流平台的作用。

获奖论文研究要点：碱回收炉作为浆厂的核心设备，回收的制浆化学品和副产品蒸汽，均回用于制浆造纸生产，是提升现代浆厂效益的关键环节，同时也是浆厂二氧化硫和氮氧化物等酸性气体污染物排放的主要来源。随着近年来环保政策的日趋严格，作为浆厂大气污染物排放源之一的碱回收炉也面临严峻的考验。作者结合碱回收炉烟气排放现状调查，提出采用排放当量指标考核碱回收炉酸性气体污染物排放并希望尽早出台碱回收炉专用排放标准。

《造纸信息》：首先恭喜您撰写的文章获得《中国造纸》2018年度“减名化工杯”优秀论文二等奖。请您简单介绍一下获奖论文的撰写背景、主要内容及目的。

靳福明：谢谢！我之所以写这篇文章，首先，在工作上，我们中国中轻国际工程有限公司承接了国内大部分新建和改造浆厂项目的前期咨询和后续的工程设计任务，在前期项目策划阶段的可行性研究报告编制过程中面临的问题之一是碱回收炉烟气排放执行什么标准，不同的标准参数涉及到不同技术的选用、不同设备规格参数的确定、投资规模的变化以及不同的技术经济可行性结论等。同时项目总排放量的不同也直接关系到项目环境影响评估报告的结论，新建项目则直接影响项目的建设规模和项目是否可以立项，改造项目关系到企业达标排放和经济运行等问题。因此，工作过程中对影响碱回收炉污染物排放负荷的因素比较关注并进行了一定的研究。其次，我在华南理工大学的工程博士论文也涉及了黑液性质及黑液提取木素对碱回收炉运行的影响研究，其中专门研究了入炉黑液固形物中氮含量对碱回收炉氮氧化物排放量的影响以及酸析木素对黑液氮元素分布的影响。基于上述基础，考虑碱回收炉烟气排放也正是行业热议的话题，我把这些研究成果进行了汇总，结合自己对行业的一些调研和思考，完成了这篇文章，与行业同仁分享。

这篇文章主要分析了碱回收炉二氧化硫、氮氧化物的产生和排放控制技术以及适用的

氮氧化物减排技术，同时介绍了国内碱回收炉装备情况和不同类型碱回收炉的排放现状。主要目的是针对碱回收炉二氧化硫、氮氧化物产生和排放控制技术的可行性进行深入分析，引导碱回收炉运行控制和技术改造的方向并呼吁制定碱回收炉专用的大气污染物排放标准。

《造纸信息》：碱回收炉不仅是浆厂的核心设备，又是浆厂最重要的环保设备，但在燃烧黑液的同时却产生新的污染物质——二氧化硫、氮氧化物等酸性气体。请您介绍一下碱回收炉酸性气体大气污染物的排放情况，以及碱回收炉工况对酸性气体大气污染物排放的影响。

靳福明：浆厂大气污染物主要来自碱回收炉、石灰窑、焚烧炉和工艺过程的无组织废气，碱回收炉烟气占浆厂总气体排放量的80%，是浆厂重要的大气污染物排放源，排放的大气污染物主要是粉尘、二氧化硫、氮氧化物等。碱回收炉燃烧的黑液总钠占固形物总量的20%~25%，所以一台正常运行的碱回收炉能够实现良好的钠盐炉内脱硫功能，从而保证排放的二氧化硫浓度处于较低的水平，如大型木浆碱炉可以达到10 mg/m³的二氧化硫排放浓度。因此碱回收炉大气污染物排放控制主要关注的是颗粒物和氮氧化物。

碱回收炉工况对酸性气体排放的影响主要体现在以下几个方面：提高入炉黑液浓度将降

低二氧化硫排放而氮氧化物排放略有增加。控制碱回收炉炉膛上部一定浓度的CO含量，可降低氮氧化物产生量。增加碱回收炉炉膛上部供风能够降低氮氧化物排放。控制碱回收炉在85%~105%负荷运行也可降低氮氧化物排放，而对二氧化硫排放影响不大。

《造纸信息》：我国林业资源匮乏，木材制浆相对较少。这在一定程度上限制了我国碱回收及其上下游领域的技术进步与装备水平的提升。请您介绍一下，目前我国在控制碱回收炉烟气排放方面主要应用了哪些技术？北美及北欧木材制浆比较发达地区的纸浆厂是如何解决碱回收烟气排放这一问题的？有哪些方面是我们可以借鉴和学习的？

靳福明：目前我国在控制碱回收炉烟气排放方面采用的技术主要包括提高入炉黑液浓度、控制碱回收炉烟气含氧量、增加碱回收炉上部供风、合理分配炉膛不同高度的供风比例和供风方式等。国内有的企业也在尝试其他的炉内或炉外烟气处理技术，如炉内喷入化学药品、排放烟气干法或干湿法脱硝等，这些技术基本是开创性和实验性的技术，我个人认为如果在碱回收炉运行工况上下功夫而直接尝试这些技术是得不偿失的。

我国采用的这些技术和北美及北欧的木材制浆企业处理碱回收炉烟气排放技术区别不大，并且也都在互相的借鉴和学习过程中。值得强调的是我们在向国外同行学习技术的同时，更要学习他们以扎实的理论基础为出发点，对待任何事情一事说一事、不刀切、不盲从和充分论证的科学态度。

《造纸信息》：近年来，社会各界对空气污染的关注度迅速提高，我国大气污染物排放标准日益严格。您在文章中提到，建议早日建立适宜碱回收炉特点的大气污染物排放标准。请介绍一下，在您建议的这个标准中，适宜碱回收炉的排放标准的主要污染物的控制指标，是低于国家整体标准还是高于国家整体标准？国家“十三五”规划中，造纸行业有800万t落后产能需要淘汰，如果只从碱回收炉烟气排放这个角度考虑，您认为有多少不合格的产能应该被淘汰？

靳福明：近几年我国大气污染排放标准日益严格，而由于碱回收炉的特性，直接套用任何标准都不太适宜，就酸性气体排放来讲，一般二氧化硫的排放浓度可通过工艺控制达到较低的水平，氮氧化物则受黑液固形物中氮元素含量的影响较大，在不提高二氧化硫总排放浓度的前提下，应用所有的操作控制技术其氮氧化物排放浓度也只能达到200 mg/Nm³（基准含氧量6%）。所以根据国内外同业情况，科学制定针对碱回收炉烟气氮氧化物的排放限值是很有必要的。

我建议实行碱回收炉酸性气体排放的总量控制，控制酸性气体排放当量总值，达到技术和经济的优化。小型碱回收炉酸性气体酸性气体排放当量在11.68以下，这个数值与GB13271—2014新建燃油锅炉的酸性气体排放当量一致。大型碱回收炉酸性气体排放当量在7.47以下，这个数值与GB13223—2011中新建其他气体燃料锅炉的酸性气体排放当量一致。希望我的建议能提供一个考虑的思路，起到抛砖引玉的作用，具体如何操作和制定什么样的指标还应由主管部门组织行业、环保和标准制定的专家研讨论证后确定。

谈到“十三五”规划中造纸行业800万t产落后能的淘汰问题，我理解主要是淘汰纸和纸板的落后产能，就我的了解目前我国带碱回收的化学浆生产系统基本不存在落后产能的问题。

《造纸信息》：作为造纸行业的资深专家，针对我国碱回收炉烟气排放的问题，您有哪些建议？

靳福明：您过奖了，谈不上资深专家。就碱回收炉烟气排放问题，我觉得一方面是对一些有条件的碱回收系统进行技术改造，如提高入炉黑液浓度、改善碱回收炉供风系统，甚至通过适当的技术改变黑液固形物中氮含量和降低碱回收炉运行负荷等。另一方面则是要稳定碱回收炉的运行，应用现代的自动化控制技术稳定碱回收炉各项操作参数，解决排放浓度受操作影响而波动大的问题。在这两点上，非木浆碱回收系统和早期建设的木浆碱回收系统的科研和技术开发的所需工作量还比较大。此外，希望行业同仁能够共享碱回收炉烟气排放控制新技术的研究成果，哪怕是不成功的经验，也有助于行业少走弯路。■