

造纸行业污染防治最佳 可行技术指南

(征求意见稿)

编制说明

造纸行业污染防治最佳可行技术指南 编制组

二〇一七年四月

项目名称：造纸行业污染防治最佳可行技术指南

项目统一编号：

项目承担单位：轻工业环境保护研究所、中国造纸协会、环境保护部
环境工程评估中心、中国制浆造纸研究院、中国中轻
国际工程有限公司、华南理工大学

项目编制组成员：程言君、张亮、贾学桦、侯雅楠、肖小健、陈月、
王洁、岳冰、靳福明、苏振华、文彪、冉丽君、吕
巍、崔积山、王华同、董妍、佟明恒、郭森、罗霖、
张羽、范述捷、刘建安、李广胜

项目管理负责单位及负责人：中国环境科学研究院 蒋进元

环境保护部科技标准司项目管理员：王泽林、周鹏

目录

1 项目背景.....	102
1.1 项目由来.....	102
1.2 项目承担单位.....	102
1.3 项目立项目的和意义.....	102
1.4 项目工作过程.....	102
1.4.1 申报指南发布.....	102
1.4.2 开题论证.....	102
1.4.3 征求意见稿编制.....	102
2 指南编制的必要性.....	102
2.1 国家及环境保护主管部门要求.....	102
2.1.1 国家环境保护管理要求.....	102
2.1.2 国家环境技术管理体系建设要求.....	103
2.1.3 环境管理制度需求.....	103
2.2 产业政策及准入条件要求.....	104
2.3 技术发展需求.....	104
3 指南编制的原则、依据和技术方法.....	104
3.1 编制原则.....	104
3.2 编制方法.....	105
3.3 编制依据.....	105
4 国内外相关环境技术管理体系研究概况.....	105
4.1 国外相关环境技术管理体系.....	105
4.1.1 美国相关环境技术管理体系.....	105
4.1.2 欧盟相关环境技术管理体系.....	106
4.2 国内相关环境技术管理体系.....	108
4.2.1 行业排放标准制修订情况.....	108
4.2.2 行业清洁生产评价指标体系.....	108
4.2.3 行业污染防治可行技术指南.....	108
5 行业基本情况.....	108
5.1 行业概况及发展趋势.....	108
5.1.1 行业分类.....	108
5.1.2 行业发展现状.....	108
5.1.3 行业污染物排放及环保现状.....	108
5.1.4 行业发展趋势.....	109
5.2 工艺过程污染物产生及污染预防技术.....	109
5.2.1 化学法制浆.....	109
5.2.2 化学机械法制浆.....	113
5.2.3 废纸制浆.....	114
5.2.4 机制纸及纸板制造.....	116
5.2.5 宣纸制造.....	120
5.2.6 加工纸制造.....	121
5.3 末端治理技术.....	121
5.3.1 废水污染治理技术.....	121

5.3.2	废气污染治理技术.....	121
5.3.3	固体废物综合利用及处置技术.....	122
5.3.4	噪声污染控制技术.....	123
5.4	典型案例介绍.....	123
5.4.1	企业 A.....	123
5.4.2	企业 B.....	124
5.4.3	企业 C.....	125
5.4.4	企业 D.....	126
5.4.5	企业 E.....	127
5.4.6	企业 F.....	128
6	主要技术内容及说明.....	129
6.1	工艺过程污染预防最佳可行技术.....	129
6.1.1	化学法制浆.....	129
6.1.2	化学机械法制浆.....	130
6.1.3	废纸制浆.....	130
6.1.4	机制纸及纸板制造.....	130
6.1.5	宣纸制造.....	131
6.1.6	加工纸制造.....	131
6.1.7	污染预防新技术.....	131
6.2	末端治理最佳可行技术.....	131
6.2.1	废水污染治理最佳可行技术.....	131
6.2.2	废气污染治理最佳可行技术.....	132
6.2.3	固体废物综合利用及处置最佳可行技术.....	133
6.2.4	噪声污染控制最佳可行技术.....	133
7	对实施本指南的建议.....	134

1 项目背景

1.1 项目由来

为适应国家环境保护管理工作需要,进一步完善国家环境技术管理体系,引导污染防治技术发展,确保环境管理目标的技术可达性,增强环境管理决策的科学性,根据环境技术管理项目立项计划,环境保护部决定开展2017年度国家环境技术管理项目研究工作,其中包括《造纸行业污染防治最佳可行技术指南》。

1.2 项目承担单位

承担单位包括轻工业环境保护研究所、中国造纸协会、环境保护部环境工程评估中心、中国制浆造纸研究院、中国中轻国际工程有限公司、华南理工大学。

1.3 项目立项目的和意义

本项目以造纸行业废水治理为重点,兼顾废气、固体废物及噪声等污染物治理,对造纸行业工艺过程的污染预防技术及污染物末端治理技术进行了系统的梳理和研究,对于掌握造纸行业目前的污染物排放与控制水平及控制技术发展现状具有重要的意义。

该项目成果可用于造纸行业污染防治技术的选择,同时可作为建设项目可行性研究、环境影响评价、污染物排放标准制修订及污染物排放许可管理等的技术依据。

1.4 项目工作过程

1.4.1 申报指南发布

2016年7月13日,《关于征集2017年度国家环境技术管理项目承担单位的通知》(环办科技函〔2016〕1291号)在环境保护部网站发布,文件显示环境保护部将开展2017年度国家环境技术管理项目承担单位征集工作,其中包括《造纸行业污染防治技术指南》,并提出了相关的研究目标、主要考核指标及研究内容等。依据申报指南的要求,由轻工业环境保护研究所牵头,联合中国造纸协会、环境保护部环境工程评估中心、中国制浆造纸研究院、中国中轻国际工程有限公司、华南理工大学成立项目申报团队,向环境保护部提交了项目申报文件。

1.4.2 开题论证

项目申报团队接受任务后,迅速成立项目编制组并开展开题论证报告的编制工作。2016年8月4日,项目开题论证会在北京召开,项目顺利通过了专家论证。

1.4.3 征求意见稿编制

通过开题论证后,项目编制组根据各承担单位的特点,对工作任务进行了分工。项目编制组查阅了国内外的相关文献、标准、实例及行业最佳可行技术等资料,结合广泛的实地调研,对造纸行业的污染防治可行技术予以汇总,并于2017年3月形成技术指南征求意见稿。

2017年3月17日,环境保护部在北京组织召开征求意见稿技术审查会,并形成专家意见。项目编制组根据专家意见进行完善后,正式形成公开征求意见稿。

2 指南编制的必要性

2.1 国家及环境保护主管部门要求

2.1.1 国家环境保护管理要求

(1) 当前环境保护形势的要求

从总体上来讲,我国生态环境恶化趋势得到遏制,部分地区有所改善。但是,目前我国环境形势依然相当严峻,不容乐观。在水环境方面,劣V类水质断面比例总体下降,但部分水体水质趋于恶化。在大气环境方面,我国大气污染形势严峻,以可吸入颗粒物(PM₁₀)、细颗粒物(PM_{2.5})为特征污染物的区域性大气环境问题日益突出。在土壤环境方面,我国土壤环境总体状况堪忧,部分地区污染较为严重。

(2) 国家环境保护相关法律、法规和规章的要求

《中华人民共和国环境保护法》要求企业应当优先使用清洁能源,采用资源利用率高、污染物排放量少的工艺和设备,采用废物综合利用技术和污染物无害化处理技术,以减少污

染物的产生。

《水污染防治行动计划》要求：① 狠抓工业污染防治，取缔“十小”企业。全面排查装备水平低、环保设施差的小型工业企业。2016 年底前，按照水污染防治法律法规要求，全面取缔不符合国家产业政策的小型造纸等严重污染水环境的生产项目；专项整治包括造纸等十大重点行业，实施清洁化改造。② 调整产业结构，结合产业政策、污染物排放标准、水质改善要求及产业发展情况，制定并实施落后产能淘汰方案。③ 提高用水效率，抓好工业节水，制定国家鼓励和淘汰的用水技术、工艺、产品和设备名录，到 2020 年，造纸等七大高耗水行业达到先进用水定额标准。

《大气污染防治行动计划》要求：① 加强工业企业大气污染综合治理，加快重点行业脱硫、脱硝、除尘改造工程建设，所有燃煤电厂都要安装脱硫设施；除循环流化床锅炉以外的燃煤机组均应安装脱硝设施；燃煤锅炉和工业窑炉现有除尘设施要实施升级改造。② 深化面源污染治理，大型煤堆、料堆要实现封闭储存或建设防风抑尘设施。③ 强化企业责任，企业是大气污染治理的责任主体，要按照环保规范要求，加强内部管理，增加资金投入，采用先进的生产工艺和治理技术，确保达标排放，甚至达到“零排放”，要自觉履行环境保护的社会责任，接受社会监督。

《土壤污染防治行动计划》要求：加强工业废物处理处置，全面整治脱硫、脱硝、除尘产生固体废物的堆存场所，完善防扬散、防流失及防渗漏等措施；加强工业固体废物综合利用。

（3）环境保护规划的要求

《“十三五”生态环境保护规划》提出：① 建立重污染产能退出和过剩产能化解机制，对长期超标排放的企业、无治理能力且无治理意愿的企业、达标无望的企业，依法予以关闭淘汰。② 完善环境标准和技术政策体系。③ 实施重点行业企业达标排放限期改造，发布重点行业污染治理技术，以造纸等十六个行业为重点，推进行业达标排放改造。④ 推动治污减排工程建设，各省（区、市）要制定实施造纸等十大重点涉水行业专项治理方案，大幅降低污染物排放强度。

编制《造纸行业污染防治最佳可行技术指南》是结合当前环境保护形势，对上述法律、法规和规章、规划具体要求落实的重要体现。

2.1.2 国家环境技术管理体系建设要求

根据《国家环境技术管理体系建设规划》（环发〔2007〕150 号）和环境保护部“十三五”工作重点部署，按照全面推进、重点突出的原则，《造纸行业污染防治最佳可行技术指南》是 2017 年度国家环境保护技术项目的重点研究内容，为环境技术管理体系的进一步完善提供技术保障。

2.1.3 环境管理制度需求

（1）排污许可制度需求

国务院办公厅发布的《关于印发控制污染物排放许可制实施方案的通知》（国办发〔2016〕81 号）中提到，建立健全基于排放标准的可行技术体系，推动企事业单位污染防治措施升级改造和技术进步，造纸行业是要求率先核发排污许可证的行业之一。根据环境保护部发布的《造纸行业排污许可证申请与核发技术规范》，企业和环保部门在填报和审核排污许可申请材料时，需要参考行业可行技术来判断企业是否具备符合规定的防治污染设施或污染物处理能力。

（2）环境影响评价制度需求

建设项目环境影响评价过程中需对建设项目环境保护措施及其技术、经济可行性进行论证，需要参考行业可行技术予以判断。

（3）污染物排放（控制）标准制修订

在污染物排放（控制）标准制修订工作中，应对相关行业的情况进行调查和了解，掌握

国家的环保和产业发展相关政策,确定标准的适用范围和控制项目,根据行业主要生产工艺、污染治理技术和排放污染物的特点,提出标准草案,并对标准实施进行成本效益分析,预测行业的达标率。《造纸行业污染防治最佳可行技术指南》可以作为造纸行业相关污染物排放标准制修订工作开展的基础。

2.2 产业政策及准入条件要求

《造纸产业发展政策》要求企业采用清洁生产工艺,从源头防止和减少污染物产生,并采用先进成熟的污染治理技术,使能耗、水耗、污染物排放水平符合准入条件要求。

《轻工业发展规划(2016-2020年)》提出:①加强节能环保技术、工艺、装备推广应用,全面推行清洁生产,走生态文明发展之路。②继续推进节能减排。③推广节能高效造纸装备,环境治理装备,新一代制浆技术和装备等。④加大造纸等六大行业节能降耗、减排治污改造力度,利用新技术、新工艺、新材料、新设备推动企业节能减排;鼓励企业采用先进适用清洁生产工艺技术实施升级改造,提高清洁生产水平,强化废水、废气的末端治理,对治污设施实施升级改造,采用成熟、先进的治污技术实现污染物的持续稳定削减。⑤加强水资源综合利用,提高废水、污水处理回用率,在造纸等行业采用清污分流、闭路循环、一水多用等措施,提高水的重复利用率;加强废弃物综合利用技术的研发与推广应用,提高工业固废综合利用和再生资源回收利用水平。

制定《造纸行业污染防治最佳可行技术指南》是与上述相关要求的衔接及细化,更有利于要求的落实。

2.3 技术发展需求

环保政策日趋严紧,为便于企业针对自身情况,选择适宜的污染防治技术,推动行业现有污染问题的解决,促使我国造纸行业整体清洁生产水平的提升,实现污染物的达标排放或综合利用,必须制定《造纸行业污染防治最佳可行技术指南》。

综上所述,为落实国家环境管理要求,实现对当前环境管理制度的技术支撑,落实产业政策及准入条件,满足技术发展需求,制定《造纸行业污染防治最佳可行技术指南》是必要的。

3 指南编制的原则、依据和技术方法

3.1 编制原则

(1) 全过程管理原则

本指南中列出的污染防治技术包含了工艺过程的污染预防技术和污染物末端治理技术,体现了全过程控制和管理的原则。

(2) 突出重点的原则

本指南的编制选取化学法制浆、化学机械法制浆、废纸制浆和机制纸及纸板制造等污染较大,尤其是水污染较为突出的工艺类型,对于手工纸、加工纸则从中选取产生废水排放量较大的品种,如手工纸选取宣纸,加工纸选取机外涂布纸、钢纸、羊皮纸及玻璃纸等,提出了工艺过程的污染预防措施及末端治理的可行技术路线。对于纸制品生产企业,主要包括纸浆模制品、纸及纸板容器等产品,生产规模普遍偏小,生产过程中产生的废水量较少,一般经过厂区简单处置后排入下游污水处理厂进行处理,影响较小,故本技术指南中未纳入此部分的内容。

(3) 科学性与实用性相结合

充分借鉴发达国家污染防治管理体系的成功经验,结合我国实际状况,通过对典型生产企业进行现场调研,摸清造纸行业企业的污染防治技术工艺和设备水平、资源能源利用水平、污染物产生指标、废物回收利用指标和环境管理水平,并进行技术经济分析比较,筛选确定造纸行业各类型企业的污染防治最佳可行技术,使指南具有较强的科学性、指导性和可操作性。

(4) 以国家相关环保技术政策为依据

在污染物末端治理、清洁生产、发展循环经济和节能减排中，国家制订了一系列技术政策，污染防治最佳可行技术指南的编制以这些技术政策作为依据。

3.2 编制方法

在项目的实施过程中，编制组紧密围绕项目的总体目标，系统采用实地调研、资料分析、专家咨询、技术评估筛选及论证等方法，从推进造纸行业可持续环境管理的角度出发，深入调研国内外造纸行业工艺过程污染预防技术及末端治理技术的发展水平，结合造纸行业相关政策、法规及标准体系等政策规范，完成本指南编制。

3.3 编制依据

本指南根据下列有关造纸行业生产和环境保护的法律、法规、技术政策标准等制订。

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》（2014年4月24日修订）；
- (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2016年7月2日修订）；
- (3) 《中华人民共和国大气污染防治法》（2015年8月29日修订）；
- (4) 《中华人民共和国水污染防治法》（2008年2月28日修订）；
- (5) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2015年4月24日修订）；
- (6) 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》（1996年10月29日）；
- (7) 《中华人民共和国清洁生产促进法》（2012年2月29日修订）；
- (8) 《中华人民共和国节约能源法》（2016年7月2日修订）；
- (9) 《国务院关于印发水污染防治行动计划的通知》（国发〔2015〕17号，2015年4月2日）；
- (10) 《国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知》（国发〔2013〕37号，2013年9月10日）；
- (11) 《制浆造纸行业清洁生产评价指标体系》（2015年4月15日）；
- (12) 《关于印发控制污染物排放许可制实施方案的通知》（国办发〔2016〕81号，2016年11月10日）；
- (13) 《排污许可证管理暂行规定》（环水体〔2016〕186号，2016年12月23日）；
- (14) 《关于开展火电、造纸行业和京津冀试点城市高架源排污许可证管理工作的通知》（环水体〔2016〕189号，2016年12月28日）。

4 国内外相关环境技术管理体系研究概况

4.1 国外相关环境技术管理体系

4.1.1 美国相关环境技术管理体系

1970年以前，美国的相关环境技术管理体系由各州分别负责制定，全国没有统一的标准。1970年成立国家环境保护署（EPA）后，国家对环境技术开始进行统一管理与控制。1977年和1983年EPA先后公布了“最佳实用技术”（BPT）和“最佳可行技术”（BAT），并按工艺分12个大类制定了造纸行业的污染物排放限值。其中，每个大类又按照产品种类、采用的设备、工艺等进行了更加具体的划分。

美国制定标准的方法是依据BPT制定现有污染源排放限值，采用BAT制定新污染源的排放限值。1983年制定的“造纸出水准则和标准”选取的污染物指标主要有pH、BOD₅、SS、AOX等。与我国不同，美国并未对COD_{Cr}规定具体的排放限值。此外，由于目前美国无非木浆生产工艺，虽然保留了该类别的划分，但排放限值空缺。本次选择了与我国对应的7类主流工艺作为参考。表1列出了1988年6月5日—1998年6月5日期间建成的制浆造纸厂的污染物排放限值。1997年EPA签署了联合法规，联合法规（第一期）规定了漂白硫酸盐法、烧碱法和亚硫酸盐法浆厂的排放要求。该法规中对已有的企业BOD₅、SS限值仍保持原标准要求，对新建企业要求从1998年6月开始实施更加严格的标准（见表2）。此外，美

国还规定了二噁英类污染物排放的限值，要求进入水体的污染物浓度不得超过 10 pg/L。

表1 EPA规定的部分工艺造纸废水排放标准
(1988年6月5日—1998年6月5日建成企业, kg/t)

类别	工艺	BOD ₅		SS	
		日最高	月均	日最高	月均
造纸用漂白硫酸盐浆和碱法浆子类	漂白硫酸盐商品浆生产	10.3	5.5	18.2	9.5
	纸板生产用漂白硫酸盐浆生产	8.5	4.6	14.6	7.6
	高级纸用漂白硫酸盐浆生产、漂白碱法浆	5.7	3.1	9.1	4.8
本色硫酸盐浆	生产挂面纸用本色浆	3.4	1.8	5.8	3.0
	纸袋、混合产品用本色浆	5.0	2.7	9.1	4.8
机械浆	热磨机械浆	4.6	2.5	8.7	4.6
	纸浆、粗纸、新闻用纸综合厂	4.6	2.5	7.3	3.8
	高级纸用机械浆	3.5	1.9	5.8	3.0
非木化学浆	-	-	-	-	
废纸脱墨	脱墨废纸生产高档纸	5.7	3.1	8.7	4.6
	新闻纸	6.0	3.2	12	6.3
废纸本色	纸板	2.6	1.4	3.5	1.8
	建筑用纸	1.7	0.94	2.7	1.4
造纸厂	非综合性高级纸厂	3.5	1.9	4.4	2.3

表2 新建漂白硫酸盐法、烧碱法和亚硫酸盐法浆厂废水排放标准
(1998年6月5日后执行, kg/t)

污染物参数	日最高值	月均值	年均值
BOD ₅	4.52	2.41	1.73
SS	8.47	3.86	2.72
AOX	0.476	0.272	0.208

4.1.2 欧盟相关环境技术管理体系

欧盟的法律体系包括基本立法、国际条约、二次立法和其他法律文件等，欧盟委员会污染防治指令（IPPC 指令）属于二次立法的范畴。该指令于 1993 年提出草案，1996 年正式采纳发布，1999 年开始实施。IPPC 指令实质上是在欧共体范围内为减少各种工业污染而实施的许可证制度，根据指令的第 11 条规定，成员国有义务确保责任当局遵循最佳可行技术，因此它是欧盟 27 个成员国必须遵守的共同的指令，IPPC 成为欧盟环境法规的核心内容。2001 年欧盟委员会对上述指令进行了修订，形成了《欧盟制浆造纸厂环境保护导则》（IPPC 造纸部分）。

该导则是直接参考 BAT 技术来制定的，污染物控制指标主要包括 COD_{Cr}、BOD₅、SS、AOX、TN、TP 等，并加入了吨产品排水量指标。排放标准体系的实质与我国 2001 年版的排放标准体系有相似之处。与美国标准一样，该标准中同样没有涉及非木浆工艺的标准限值。标准的各项数值均比美国的排放限值严格（见表 3）。

表3 欧盟制浆造纸厂环境保护导则（IPPC，2001年12月，数据为年均值）

产品名称	排水量	COD _{Cr}	BOD ₅	悬浮物	AOX	TN	TP
	m ³ /t	kg/t	kg/t	kg/t	kg/t	kg/t	kg/t
本色硫酸盐木浆	15~25	5~10	0.2~0.7	0.3~1	—	0.1~0.2	0.01~0.02
漂白硫酸盐木浆	30~50	8~23	0.3~1.5	0.6~1.5	<0.25	0.1~0.25	0.01~0.03
亚硫酸盐漂白浆	40~55	20~30	1~2	1~2	—	0.15~0.5	0.02~0.05
CTMP（非综合厂）	15~20	10~20	0.5~1.0	0.5~1	—	0.1~0.2	0.005~0.01
综合的机械制浆造纸（例如新闻纸、SC、LWC造纸厂）	12~20	2~5	0.2~0.5	0.2~0.5	<0.01	0.004~0.1	0.004~0.01
用废纸的新闻纸、印刷纸、书写纸（有脱墨）	8~20	2~4	<0.05~0.5	0.1~0.3	<0.005	0.05~0.1	0.005~0.01
用废纸的薄绵纸造纸厂	8~25	2~4	<0.05~0.5	0.1~0.4	<0.005	0.05~0.25	0.005~0.015
用废纸的瓦楞原纸、挂面纸板，涂布白板（无脱墨）	<7	0.5~1.5	<0.05~0.15	0.1~0.4	<0.005	0.02~0.05	0.002~0.005
用木浆的薄棉纸（非综合厂）	10~25	0.4~1.5	0.15~0.4	0.2~0.4	<0.01	0.05~0.25	0.003~0.015
不涂布高级纸（非综合厂）	10~15	0.5~2.0	0.15~0.25	0.2~0.4	<0.005	0.05~2	0.003~0.01
涂布高级纸（非综合厂）	10~15	0.5~1.5	0.15~0.25	0.2~0.4	<0.005	0.05~2	0.003~0.01

4.2 国内相关环境技术管理体系

4.2.1 行业排放标准制修订情况

国家造纸工业水污染物排放标准于 1983 年首次发布, 1992 年第一次修订, 1999 年第二次修订, 2001 年以 GB 3544—2001 替代 GWPB2—1999, 2003 年 9 月由国家环境保护总局发布公告对 GB 3544—2001 部分内容进行了修订。2008 年, 环境保护部又颁布了《制浆造纸工业水污染物排放标准》(GB 3544—2008)。

4.2.2 行业清洁生产评价指标体系

2015 年 4 月 15 日, 国家发展和改革委员会、环境保护部、工业和信息化部共同发布了《制浆造纸行业清洁生产评价指标体系》。

该指标体系将生产工艺及设备要求、资源和能源消耗指标、资源综合利用指标、污染物产生指标和清洁生产管理指标作为一级指标, 而后根据不同类型的企业确定二级指标及权重, 根据综合评价所得分值将清洁生产等级划分为三级, I 级为国际清洁生产领先水平, II 级为国内清洁生产先进水平, III 级为国内清洁生产基本水平。该指标体系可用于企业清洁生产评价, 对企业的清洁生产潜力与机会进行判断, 提出相应的改进措施, 提高企业的整体清洁生产水平。

4.2.3 行业污染防治可行技术指南

2013 年 12 月 27 日, 环境保护部发布了《造纸行业木材制浆工艺污染防治可行技术指南(试行)》、《造纸行业非木材制浆工艺污染防治可行技术指南(试行)》及《造纸行业废纸制浆及造纸工艺污染防治可行技术指南(试行)》, 对于造纸行业工艺过程的污染预防技术及末端治理技术进行了梳理和汇总, 为造纸行业污染防治技术的选择提供了技术依据。

5 行业基本情况

5.1 行业概况及发展趋势

5.1.1 行业分类

本技术指南中所列造纸行业包括制浆和造纸。

制浆根据工艺可分为化学法制浆、化学机械法制浆、废纸制浆, 化学法制浆包括碱法化学制浆和亚硫酸盐法制浆, 碱法化学制浆又可分为烧碱法制浆和硫酸盐法制浆, 废纸制浆包括脱墨废纸制浆和非脱墨废纸制浆。制浆原料通常包括木材、竹材、非木材(包括稻麦草、芦苇、蔗渣)及废纸。

造纸可分为机制纸及纸板制造、手工纸制造和加工纸制造。

5.1.2 行业发展现状

造纸行业是国民经济的重要产业之一, 根据中国造纸协会调查资料, 2015 年全国纸浆生产总量 7984 万吨, 较上年增长 0.98%。其中: 木(竹)浆 1109 万吨, 较上年增长-0.63%; 废纸浆 6338 万吨, 较上年增长 2.41%; 非木浆 537 万吨, 较上年增长-10.65%。

2015 年全国纸及纸板生产企业 2900 家, 纸及纸板生产量 10710 万吨, 较上年增长 2.29%; 消费量 10352 万吨, 较上年增长 2.79%。2006~2015 年, 纸及纸板生产量年均增长率 5.71%, 消费年均增长率 5.13%。但从 2011 年开始, 生产量和消费量增长率开始明显放缓。

根据国家统计局数据, 2015 年全国规模以上纸制品生产企业 3898 家, 生产量 7038 万吨, 较上年增长 6.07%, 2006~2015 年, 纸制品生产量年均增长率 13.60%。

5.1.3 行业污染物排放及环保现状

根据环境保护部统计, 2014 年造纸和纸制品业(统计企业 4664 家, 比上年减少 192 家)用水总量为 119.65 亿吨, 其中新鲜水量为 33.55 亿吨, 占工业总耗新鲜水量(386.34 亿吨)的 8.68%。万元工业产值(现价)新鲜水用量为 46.2 吨, 比上年减少 2.7 吨, 降低 5.5%。废水排放量为 27.55 亿吨, 占全国工业废水总排放量(186.96 亿吨)的 14.7%。排放废水中化学需氧量为 47.8 万吨, 比上年 53.3 万吨减少 5.5 万吨, 减少 10.3%, 占全国工业化学需氧量总排放量(274.6 万吨)的 17.4%, 比上年减少 1.3%。排放废水中氨氮为 1.6 万吨, 占

全国工业氨氮总排放量（21.0万吨）的7.6%，与上年基本持平。造纸工业废水处理设施年运行费用为56.9亿元，比上年减少1亿元。

2014年，造纸和纸制品业二氧化硫排放量41.2万吨，比上年减少3.7万吨，降低8.2%；氮氧化物排放量19.4万吨，与上年基本持平；烟（粉）尘排放量14.2万吨，比上年降低4.7%。废气治理设施年运行费用17.3亿元，比上年升高6.1%。

近十年，我国造纸行业加大了污染治理资金及技术投入，年污染物排放总量持续稳定下降，效果显著。全行业化学需氧量排放总量从2005年的160万吨下降到2014年的47.8万吨，减少了70%，但2014年造纸行业化学需氧量和氨氮排放总量仍占我国工业排放总量的17.4%和7.6%，排名第一和第四。我国幅员辽阔，地区发展不平衡现象较严重，西部地区造纸产能占比不到10%，但排放强度大，吨纸化学需氧量排放量为14.8千克，分别是东部地区和中部地区的5.9倍和2.1倍。另外，我国小型造纸企业数量占比很大，部分小型造纸企业为节约运行成本，减少环保相关投入，部分造纸设备、工艺落后，甚至无废水处理设施，对这类小造纸企业要继续实行关、停、并、转，淘汰落后产能，实现造纸行业整体产业升级和节能减排。

5.1.4 行业发展趋势

（1）企业并购重组加快，产业集中度逐步提高

随着国内环保要求的趋严和市场竞争日趋激烈的双重压力下，企业生存空间和盈利空间收窄，造成企业正常运营的困难增多。为提高企业市场生存机会，大型造纸企业将通过跨省、跨地区甚至跨国重组，推进企业向集团化、特色化、多元化方向发展，实现规模化效益。

（2）产品结构更加优化，纸品质量不断提升

经过多年的发展，我国造纸工业不断引进国外技术并加强自主创新，不断推进技术装备改造更新，加快了产品向低定量、功能化、高品质、多品种方向优化调整和质量升级，以满足市场消费结构变化和 demand。

（3）清洁生产和节能减排效果明显

随着国家和地方不断发布和更新相关产业政策和环保政策法规及标准，促进企业通过必要的技术工艺改造更新，加大生产过程污染预防技术方面的投入，加大环境治理力度，实现源头及末端治理综合防治，使得企业清洁生产水平不断提高，节能减排效果日益显著。

5.2 工艺过程污染物产生及污染预防技术

5.2.1 化学法制浆

5.2.1.1 主要污染物产生情况

（1）废水

废水主要包括：备料废水、洗涤废水、蒸煮及黑液蒸发产生的污冷凝水和漂白废水（漂白浆）等，制浆黑液或废液进入碱回收车间处理或综合利用（亚硫酸盐法非木材制浆），综合废水COD_{Cr}产生浓度为1200~2500 mg/L。主要污染物为碳水化合物的降解产物、低分子量的木素降解产物、有机氯化物（含氯漂白工艺）及水溶性抽出物等。

（2）废气

废气主要包括：蒸煮、洗涤、筛选、氧脱木素、漂白、黑液蒸发、苛化等工段产生的臭气；备料工段产生的少量粉尘；污水处理厂产生的臭气；碱回收炉及石灰窑产生烟气中的烟尘、二氧化硫及氮氧化物等。

（3）固体废物

固体废物主要包括：木（竹）材备料过程产生的树皮和木（竹）屑等残渣，非木材备料过程产生的麦糠、苇叶、蔗髓及砂尘等废料；制浆过程中筛选工段产生的节子和浆渣；碱回收车间产生的绿泥、白泥和石灰渣；污水处理厂污泥等。

（4）噪声

噪声主要来自剥皮、削片、切草机、传动、泵、风机和压缩机等设备运转，以及间歇喷

放或放空，压力、真空清洗或吹扫等过程。

5.2.1.2 污染预防技术

本技术指南中，化学法制浆包括硫酸盐法化学木（竹）制浆、碱法或亚硫酸盐法非木材制浆。

化学法制浆工艺过程主要包括原料的贮存、备料、蒸煮、洗涤、筛选、氧脱木素、漂白以及黑液碱回收或废液综合利用。

（1）原料贮存

堆场的原料经雨淋后，会产生初期雨水，通常污染物浓度较高，不经处理直接排放可能对环境造成影响。目前企业已普遍设置收集系统，对初期雨水收集后送污水处理厂处理。

（2）备料

木材原料的备料主要经过剥皮和切片两个环节，其中，剥皮工艺包括干法和湿法。湿法剥皮用水量大，且废水中的污染物即树皮的水溶解物（有机酸和酚类等物质）较难处理。现湿法剥皮已逐步被干法剥皮所取代，干法剥皮用水量少，用水仅限于原木洗涤和除冰（在寒冷气候条件下，使用水或蒸汽为木材解冻），且能有效循环使用，使产生的废水降到最低。

对于竹材则通常采用干法备料技术。

麦草、芦苇等原料备料，国内一般采用干法备料或干湿法备料工艺。干法备料技术备料车间产生较多飞尘，影响人体健康，且不适合后续采用连续蒸煮工艺的企业，适用性受到一定限制。干湿法备料技术原料净化程度高，可实现均匀连续供料，保障连续蒸煮的正常生产，所得纸浆质量较好，减少化学药品用量。

蔗渣中除含有纤维细胞外，还有30%左右的蔗髓及5%左右的非纤维表皮细胞。蔗渣备料的关键工序是除髓。除髓的方法有干法、半干法和湿法。目前，绝大多数企业采用半干法除髓，可大大减少贮存面积和运输费用，降低原料成本，并且纤维损失少。蔗渣原料经除髓后，一般均进行湿法堆存。

（3）蒸煮

化学法制浆蒸煮设备分为连续式和间歇式两大类。连续式蒸煮设备主要包括立式或横管蒸煮器，间歇式蒸煮设备目前主要为蒸球和立式蒸煮锅。

① 硫酸盐法木（竹）制浆

大部分硫酸盐法木（竹）制浆企业均采用立式连续蒸煮器。

在立式新型连续蒸煮工艺中，具有代表性的有改良型连续蒸煮（MCC）、深度改良型连续蒸煮（EMCC）、等温蒸煮（ITC）、低固形物蒸煮（Lo-Solids）及紧凑蒸煮（Compact Cooking）5种，但目前新建或改造后企业普遍采用低固形物蒸煮或紧凑蒸煮等先进的新型连续蒸煮技术，仅少数企业仍采用深度改良型连续蒸煮（EMCC）等技术。

在间歇蒸煮技术发展过程中，也开发出多种技术，主要包括快速置换加热（RDH）、超级间歇蒸煮（Super Batch），以及由此发展起来的改良型间歇蒸煮技术，如DDS置换蒸煮、连续间蒸（Dual C）和优化间蒸（Opti-Batch）等。

新型连续蒸煮技术、改良型间歇蒸煮技术与传统蒸煮技术相比可有效降低纸浆卡伯值，纸浆的卡伯值每降低一个单位，漂白过程中产生的COD_{Cr}将减少约2 kg/ADt（千克每吨风干浆）。

② 碱法或亚硫酸盐法非木浆

碱法或亚硫酸盐法非木浆连续式蒸煮以横管式连续蒸煮器为主，间歇式蒸煮以蒸球和立式蒸煮锅为主。

蒸球结构简单，操作方便，投资小，但装锅量小，单套设备产浆量低，采取直接通汽的方式加热，蒸煮时间长且不均匀，粗浆得率低，已被逐步淘汰。立锅装锅量大，但操作复杂，投资大，且容易糊锅，蒸煮不均匀。

连续蒸煮技术一次性投资高，但产量高，生产工艺参数稳定，成浆质量好且均匀，自动化程度高，蒸煮时间短，药品消耗少，粗浆得率高，运行费用低。目前已有越来越多的非木材制浆企业选择横管式连续蒸煮器。

(4) 洗涤、筛选、漂白

① 洗涤

洗浆的目的是将纸浆充分洗净的同时，提取较高浓度的蒸煮废液。单段洗涤耗水量大，而且会导致黑液浓度下降，不利于碱回收和资源化利用。

为减少新鲜水的消耗和水污染物排放，提高蒸煮废液的综合利用率，企业应采用高效的多段逆流洗涤技术。

② 筛选

对于纸浆的筛选一般有开放式筛选和封闭式筛选两类。开放式筛选与洗浆一般是一体式的，该技术所用的筛选净化设备，如跳筛、CX筛及除砂器均为低浓处理设备，故整个工艺耗水量、耗电量大，该方法已逐步被封闭式筛选工艺所代替。封闭式筛选选用封闭式的压力筛代替开放式系统的跳筛和CX筛，可以有效分离置换出节子、浆渣中夹带的纤维和黑液，并减少稀释水用量，达到了节能、节水和提高筛选质量的目的，是目前较为先进的筛选工艺。

③ 氧脱木素

氧脱木素技术在木（竹）材制浆中已经广泛应用，非木浆也在推广使用。氧脱木素工艺一般作为无元素氯或全无氯漂白工艺的配套工艺，设置在蒸煮之后。氧脱木素技术一般可脱除40%~60%的木素，从而减少后续漂白工段化学品用量，降低漂白剂总成本，减少漂白阶段的污染负荷。

企业应在采用低能耗、低卡伯值蒸煮技术的基础上，同步考虑氧脱木素技术。当对无氧脱木素的制浆生产线技术改造，增加氧脱木素系统时，应注意由于固形物总量增加，需要提高蒸发、碱回收炉和苛化能力，这有可能使得碱回收系统超负荷运行或因此限制了制浆产能的发挥。

④ 漂白

目前采用的漂白技术分为元素氯漂白和无元素氯（ECF）漂白。传统的CEH（氯气-碱-次氯酸盐）三段漂会产生大量的氯化废水，废水中含有致癌性和致变性的二噁英等有机氯化物，而ECF漂白技术则可以大大降低废水中AOX的产生量。

漂白工序通常需要多段漂白，包括进一步脱除木素段和后续的漂白段。现代ECF漂白技术的目标是进一步降低二氧化氯使用量，降低漂白废水发生量和降低漂白产生的COD_{Cr}。如在漂白段使用酸、氧气、臭氧、过氧化物等部分替代二氧化氯，称之为轻ECF漂白，国内轻ECF漂白程序的主要应用情况见表4。

表4 国内轻ECF漂白程序的应用情况

序号	漂白程序	序号	漂白程序
1	O/O-D-Eop-D-PO	5	O/O-D-Eop-D-P
2	O/O-Q-OP-D-PO	6	O/O-D-Eop-D
3	O/O-AZe-D-P	7	O/O-D-Eop-D-D
4	O/O-ZQ-Eop-D	8	O/O-D-Zq-PO

注：O代表氧脱木素（氧漂）；D代表二氧化氯漂白；E代表碱抽提（碱处理）；P代表过氧化氢漂白；Q代表螯合处理；A代表酸处理；Z代表臭氧漂白；Eop代表氧和过氧化氢强化的碱抽提；PO代表压力过氧化氢漂白（用氧加压的过氧化氢漂白）；OP加过氧化氢的氧脱木素。

应用于针叶木、阔叶木、竹浆和非木浆的漂白程序不尽相同，一般依据产品需求、化学品成本、运行成本和灵活性、漂白损失及其他工艺限制条件综合确定，但其一致的目标是优化漂白工艺、降低能耗、降低水耗、降低污染物排放并依据产品用途生产高质量纸浆产品。

⑤ 酶促漂白

酶促漂白技术是指利用生物酶（主要是木聚糖酶）对未漂纸浆进行预处理，通过降解纸浆中的残余木聚糖，提高纸浆的可漂性，降低后续漂白工段的化学品用量，有利于实现ECF漂白，降低漂白过程中AOX及二噁英的产生。

该技术目前仅有部分企业使用，尚未推广。

⑥ 漂白工段工艺水循环利用

漂白工段工艺水循环利用是指将漂白后段的碱性（或酸性）滤液逆流用于漂白前段碱性（或酸性）漂白段浆料洗涤，甚至将漂白工段碱性水逆流进入粗浆洗涤，降低漂白工段清水消耗的技术。该技术可减少漂白工段废水产生量和污染物排放量。

漂白工段工艺水逆流使用应对原料、工艺过程、设备情况等仔细研究后确定，因其对漂白甚至其他工序产生一定的影响，包括：

- a、含氯漂白的滤液产生的氯离子对漂白、洗选及碱回收设备的腐蚀问题；
- b、因 Ca^{2+} 、 Ba^{2+} 、 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 、 CO_3^{2-} 及 SO_4^{2-} 在浆料及滤液中累积，造成漂白设备结垢；
- c、送碱回收固形物中氯、钾离子含量增加，碱灰熔点降低造成碱炉换热面积灰加剧；
- d、非工艺元素累积造成回收石灰反应活性降低；
- e、因洗涤水含有机物而使浆料洗净度降低，造成漂白化学品消耗量增加；
- f、因金属离子浓度增加造成有些氧化剂氧化反应的选择性降低；
- g、因树脂或其他成分的累积而降低漂白浆质量。

应特别注意碱性滤液与酸性滤液混合过程中草酸钙的结垢问题。氧化漂白将产生草酸，当使用碱性滤液作为洗涤水或与酸性滤液混合时，溶在酸性废水中的钙将以草酸钙形式析出，在漂白设备上形成结垢，严重的将影响漂白系统正常运行。

（5）黑液（废液）处理

碱法化学制浆黑液一般通过碱回收方式进行处理，亚硫酸盐法制浆废液可综合利用制成有机肥等产品。

① 黑液蒸发

按照黑液运动方式可将蒸发器分为升膜式蒸发器和降膜式蒸发器。降膜式蒸发器与升膜式蒸发器不同之处在于：降膜式蒸发器的二次蒸汽、黑液流向与重力同向，而升膜式蒸发器的二次蒸汽、黑液流向与重力相反。升膜式蒸发器将黑液拉拽成上升的液膜，必须克服重力及料液与管壁的摩擦力，因此，黏度较大的黑液就不易上升成膜，而降膜蒸发器不必克服液体上升的重力，反而可以借助重力拉拽成膜，降膜蒸发器有更高的蒸发强度，可把黑液蒸浓至含固形物65%左右。

降膜蒸发器又分为管式和板式，与管式相比，板式降膜蒸发器产生的二次蒸汽与液膜之间没有干扰，传热效率更高，具有不易积垢、容易清洗、运行周期长、耗电量低、出液浓度高及操作弹性大等优点。

降膜蒸发器通过提高蒸发强度，降低单位蒸发水量的蒸汽消耗量，节约能源，并具有更强的稳定性。

② 高浓黑液蒸发及燃烧

对于碱回收炉来说，进炉黑液固形物含量需要达到65%~70%，而且浓度越高，碱回收炉热效率越高，运行更稳定。对木浆而言，采用管式升膜蒸发站只能生产浓度不超过45%~50%的浓黑液，为达到碱回收炉对黑液固形物的要求，需要进一步提高黑液固形物浓度，或为了提高碱回收炉的热效率，采用降膜蒸发器浓缩的黑液也需要进一步提高浓度，这时就需要用到黑液增浓器。由于在高固形物浓度时黑液黏度太高，且无机钠盐会沉析出来，发生严重的结垢现象，必须泵入相当大量的黑液以减少管壁沉淀，带循环的降膜式增浓器是最常用的方式。

采用高浓黑液蒸发及燃烧技术,可以提高碱炉热效率,增加蒸汽产量,同时可以减少碱炉二氧化硫的排放。

③ 蒸发二次蒸汽冷凝水分级及污冷凝水汽提

蒸发器蒸汽冷凝水可以分为轻污冷凝水 I、轻污冷凝水 II 及重污冷凝水,使用特殊设计的蒸发器结构,将二次冷凝水中 80% 的污染物集中在 10%~20% 的重冷凝水中,重污冷凝水通过蒸汽汽提使污冷凝水中的恶臭气体及有机物分离出来,处理后的冷凝水与轻污冷凝水 II 混合,所有冷凝水均回用于生产。汽提系统产生含有恶臭气体的蒸汽,需要进行热氧化处置,在碱回收炉、石灰窑、辅助锅炉或单独的臭气焚化炉即可实现。

该技术可减少企业新鲜水用量,减少废水处理系统的有机污染负荷,并减少臭气的排放。

④ 碱灰中的氯、钾元素去除

随着浆厂运行封闭程度的加大及速生木材制浆的发展,含氯、钾等非过程元素对碱回收车间生产的正常运行及经济性产生了严重危害,如随飞灰黏结点的下降,加剧了碱回收炉结焦堵灰,高温过热器的结垢腐蚀,运行周期缩短等,导致碱回收车间运行效率降低,影响制浆生产能力。

可通过采用析滤法、蒸发结晶法、冷却结晶法或离子交换法实现氯、钾元素的去除,减少碱灰中氯、钾元素的富集,保证生产的正常进行。

该技术目前仅有少数企业使用,尚未大范围推广。

⑤ 复合肥制备

复合肥制备技术是利用原料制浆废液来制造有机肥,提取后的废液经蒸发后,通过热风炉进行喷浆造粒。喷浆造粒干燥机和冷却机会排出粉尘,需配除尘器回收重新进行配料造粒。

该技术目前仅应用于亚硫酸盐法非木浆生产企业。

5.2.2 化学机械法制浆

5.2.2.1 主要污染物产生情况

(1) 废水

废水主要包括:备料、木片洗涤废水及磨浆工段废水,综合废水 COD_{Cr} 产生浓度为 6000~16000 mg/L。主要污染物为以细小纤维为主的悬浮物和以水溶性抽出物为主的溶解物。

(2) 废气

废气主要包括:备料工段产生的少量粉尘及污水处理厂产生的臭气等。

(3) 固体废物

固体废物主要包括:备料过程产生的树皮和木屑等木材残渣;制浆过程中筛选工段产生的浆渣;污水处理厂污泥等。

(4) 噪声

噪声主要来自剥皮、削片、磨浆、传动、泵、风机和压缩机等设备运转,以及压力、真空清洗或吹扫等过程。

5.2.2.2 污染预防技术

化学机械法制浆工艺过程包括原料的贮存、备料、木片洗涤、预浸渍、磨浆、洗涤、漂白及筛选等。

(1) 原料贮存及备料

见 5.2.1.2。

(2) 磨浆

① 二段低浓磨浆

高浓磨浆对纤维的切断作用较小,而以纤维的细纤维化为主。低浓磨浆以纤维切断为主,产生较大的纤维碎片,细小组分增多。在二段采用低浓磨浆,有助于减少纤维束的含量。在低浓磨浆时,由于浓度较低,动、定磨片磨齿之间的纤维分布多呈单根游离的纤维或数目较

少的纤维间松散絮聚，纤维多与磨片磨齿作用，纤维束主要被分散、切断和分丝帚化，纤维束得到了较好的磨浆。采用二段低浓磨浆，可在成纸松厚度损失不多的同时，显著提高成纸的抗张强度和内结合强度，缓和化机浆应用时成纸松厚度与强度这一矛盾。

② 浆渣筛选及精磨

化机浆在磨解成浆后，含有未完全离解的纤维束、少量木材碎片以及砂尘等杂质，需经压力筛分离出初级筛渣，再经多段筛选对筛渣进一步分离，砂石等无机杂物分离后排出系统，尽量保留纤维束，并送浆渣处理系统，浆渣经精磨后再转化为纤维返回制浆线。

采用浆渣筛选及精磨技术可提高原料的利用率，减少固体废物产生。

(3) 洗涤

洗涤设备有多种，采用辊式洗浆机、双辊压榨洗浆机或螺旋压榨机等高效洗涤设备，可提高纸浆的洁净度，降低后续漂白化学品（漂白化学热磨机械浆）的消耗；改进的洗涤工艺，可减少洗涤损失，降低洗涤用水量。另外，通过流程控制可实现轻污分流，制浆废液单独进厌氧处理，降低厌氧段废水的处理量。

(4) 制浆废液处理

化学机械法制浆废水通常情况下送污水处理站厌氧段处理后再经生化、三级深度处理后排放，但随着废水排放标准的加严、总量控制要求的提高，部分企业参考化学浆黑液的处理方式处理化机浆废液，即将其蒸发后送碱回收炉燃烧回收热量和化学品。

(5) 磨浆系统热回收

化学机械法制浆生产过程中高浓磨浆会产生废热蒸汽，如不进行回收将造成能源的浪费。磨浆系统热回收，根据其性质，可采取直接加热或间接加热的方式进行。磨浆蒸汽直接回收的用途有限。间接加热是用换热器间接加热空气和水，加热空气可用于纸机的袋通风、锅炉供风、车间取暖和顶部通风，加热清水可用于锅炉供水、生产喷淋水、洗涤水、制浆用水及生活用水，更为有利的方式是通过压力旋风分离器，回收压力较高的废热蒸汽，通过降膜式蒸发器或其他形式的换热器以生产清洁的新蒸汽。

(6) 酶促打浆

酶促打浆可以用于制浆过程，对于化学机械浆而言，在一段磨和二段磨之间加入生物酶（如纤维素酶），可以水解半纤维素并改善纤维素纤维的游离度，降低第二段磨的磨浆时间。

该技术目前只有少数企业使用，尚未大范围推广。

5.2.3 废纸制浆

5.2.3.1 主要污染物产生情况

(1) 废水

废水主要包括：碎浆、洗涤、筛选、净化、脱墨及漂白废水等，脱墨废纸浆综合废水 COD_{Cr} 产生浓度为1200~6500 mg/L，非脱墨废纸浆综合废水 COD_{Cr} 产生浓度为1500~5000 mg/L。主要污染物包括细小纤维及其降解物、油墨微粒、胶黏物及填料等。

(2) 废气

废气主要包括：漂白工序产生的少量废气及污水处理厂产生的臭气等。

(3) 固体废物

固体废物主要包括：碎浆工段产生的砂石、金属及塑料等；净化、筛选工段产生的油墨微粒、胶黏剂、塑料碎片及填料等；浮选产生的脱墨污泥；污水处理厂污泥等。

(4) 噪声

噪声主要来自碎浆、磨浆、热分散、泵、风机和压缩机等设备，以及压力、真空清洗或吹扫等过程。

5.2.3.2 污染预防技术

废纸制浆工艺过程包括碎浆、筛选、净化、洗涤、浓缩及漂白（脱墨浆）等。

(1) 废纸原料分选

废纸的回收再利用首先是要获得纯净的原料。在回收再利用过程中，被分选出的纸张有利于生产高品质终端产品，并节约生产过程化学品和能源的消耗量，因为不同级别纸张需要按照不同的回收工艺进行处理。此外，分选出的废纸回用时还可减少污泥和废弃物以及抄纸用水量等。

将废纸分为若干等级，根据生产产品及工艺要求选用质量过关、杂质少的废纸原料，能在提供制浆产品质量的同时，从生产源头降低污染物产生量，达到降低企业成本的目的。

(2) 高浓碎浆

在12%~20%浓度下将废纸解离，碎浆机的碎浆能力大大增加，同时能够促进对纤维的分离能力，改善油墨类及其他杂质从纤维中分离出来的能力，为后续的油墨颜料的分离和扩散提供有利的条件，有利于改善纤维疏解效果和节约化学药品。此外，高浓碎浆也能够降低能耗。

(3) 中浓筛选

纸浆的筛选不仅消耗一定的电能，还要消耗大量的水，通常采用中浓（筛浆浓度3.5%左右）筛选技术，不仅节水，而且还可降低能耗。

(4) 脱墨

脱墨常用技术主要有洗涤法、浮选及浮选和洗涤相结合的方法。洗涤法和浮选法的特点比较见表5。浮选法因浆得率高、污染小、原料适应性强等特点，越来越得到广泛应用。

表5 废纸脱墨方法比较

脱墨方法	洗涤法	浮选法
优点	灰分去除率高达95%，并且可控；投资费用低；成品浆强度与白度较高。适合油墨粒子的有效粒径小于40 μm，最佳值为1~10 μm，适合于活版印刷、胶版印刷、苯胺印刷油墨粒子的去除。	纸浆得率高（90%~95%）；水可循环利用，清水用量少；污染少，废水处理较容易；对油墨粒子规格大小不敏感；药剂成本低，原料适应性强。
缺点	纸浆得率低；化学品消耗多，水耗与能耗高；废水处理回用难，操作费用高。对激光打印、紫外光固化等印刷油墨粒子难以去除。	设备费用稍高；白度较洗涤法低。

(5) 中浓漂白

在适当的范围内增大浆浓，可以降低水耗、泵送能耗以及加热蒸汽的消耗。通常采用中浓（8%~12%浓度条件下）漂白技术，可增加有效漂剂的浓度，加速漂白作用，节约漂白化学品用量，并降低能耗。

(6) 中浓泵送和贮存

纸浆在中浓（8%~12%条件下）条件下泵送和贮存，可以减少浓缩与稀释的幅度，节约能耗。当采用中浓贮浆，低浓泵送时，需以水稀释后搅拌泵送，再浓缩进入下一工序，总能耗约为25~35 kWh/ADt，改用中浓泵送技术后，不需在贮槽出口将浆料稀释，只加以搅拌，用中浓泵输送，能耗仅为5 kWh/ADt。

(7) 纤维分级

纤维分级筛属于一种外流式压力筛。纤维分级筛的目的是使浆料中的长短纤维分开处理，能有效地将长纤维分离出来，最大限度地利用长纤维原料；同时可解决多层成形技术对不同浆层使用不同浆料的需求，满足纸页物理性能的要求。

纤维分级技术能更好地发挥长纤维原料的作用，不仅可以节省设备投资，简化处理流程和节省动力消耗，还可以使纸页的物理性能达到满意的效果，提高产品质量。

(8) 热分散

热分散是废纸制浆造纸过程中一个极重要的过程，是一种采用加热揉搓、融化方式分散

纸浆中热熔性物质的技术，能有效地消除废纸浆中难以用化学或机械方法去除的有机类杂质，如石蜡、沥青、热熔胶、胶黏剂及油脂等，提高产品的物理性能。

热分散系统有利于增加纤维强度、弹性及纤维与纤维之间的结合力，提高纸浆质量品质。

5.2.4 机制纸及纸板制造

5.2.4.1 主要污染物产生情况

(1) 废水

废水主要为纸机白水， COD_{Cr} 产生浓度为500~1800 mg/L，主要污染物包括细小纤维、胶料及填料等。

(2) 废气

废气主要包括：干燥段产生的少量废气及污水处理厂产生的臭气等。

(3) 固体废物

固体废物主要包括：浆渣及污水处理厂污泥等。

(4) 噪声

噪声主要来自磨浆、泵、传动、风机和压缩机等设备运转，以及压力、真空清洗或吹扫等过程。

5.2.4.2 污染预防技术

机制纸及纸板制造工艺过程包括打浆、流送、成型、压榨、干燥、施胶或涂布及压光等。

(1) 打浆

打浆是决定纸张性能的一个重要工序。通常采用高效磨浆机或通过优化进料泵、操作模式等手段，有效降低电机损耗、泵送及摩擦引起的“空载功率”。相关资料显示，空载功率最高可达磨浆机总能耗的30%~50%。空载功率的降低可有效提高打浆效率，同时还可显著节约电能。

(2) 流送

① 高效低脉冲上浆系统

高效低脉冲上浆系统包括高效除砂筛选系统、低脉冲网前筛、低脉冲高频上网浆泵技术、新型机外白水池系统、高效除气技术等。

采取高效低脉冲上浆系统，可降低水耗和能耗，提高纸机运行效率，改善和稳定产品质量。

② 流浆箱稀释水横幅控制系统

在抄纸过程中，流浆箱是连接备浆流送和纸页成形两部分的关键枢纽，决定纸幅横幅定量的分布，影响纸幅成形的质量。

传统流浆箱的横幅定量微调是通过机械方法改变唇板开口大小来实现的，具有调节精度低、唇板易变性、无法改变纤维方向等缺点，随着车速的提高，这些缺点变得愈加明显。

稀释水水力式流浆箱创造性地提出了浓度调节的新概念，是流浆箱发展史上一次比较大的飞跃，它突破了传统的通过调节唇口弯曲变形来调节纸机横幅定量偏差的方法，以一种全新的概念实现了良好的纸机横幅定量调节，消除了传统调节方法的缺点，可提高调节精度，增强了纸张质量。该技术一般应用于车速在500~2000 m/min的高速纸机上，不仅能提高高质量纸张产量，同时降低了电能和水资源消耗。

该技术可提高成纸率，提高产品质量，降低能耗物耗。

(3) 纸页成型

从浆料变为纸页的成型脱水过程是在网部完成的，网部是决定纸页性能的关键部位，可脱除造纸浆系统95%以上的水分。高效的成型脱水效率是在不影响产品质量的前提下提高水循环利用率的关键。纸机的分类通常是以其成形部的型式来进行的，一般可分为长网、夹网成型技术、圆网成型技术、斜网成型技术等。

① 长网、夹网成型技术

长网纸机是一种广泛使用的纸机类型，可以抄造绝大多数的纸张品种。通过增加顶网成型器，将纸页向下单面脱水改为纸页挤压双面脱水，可提高纸机的成型脱水效率，缩短网部长度，提高纸页干度，降低能耗，改善纸页的匀度、两面差和强度等性能。

高频无后座力摇振箱技术，仅摇胸辊，频率高，摇振强度大，可获得良好的成型性能、提高纸机运行效率、降低能耗效果明显，解决了中高速纸机无法使用摇振的难题。

采用高脉冲陶瓷脱水元件技术、高效洗涤技术，按不同产品需求和运行车速对脱水元件进行升级改造，可提高纸机车速、抄宽，提高生产效率和纸机产量。

采用高效耐磨多层（2层、2.5层、3层）成型网技术，可延长成型网寿命，降低消耗，提高纸机运行效率。

目前，新型夹网纸机的工作车速已超过2000 m/min，长网纸机+顶网成型器+高频无后座力摇振箱技术工作车速可达1300 m/min。

② 圆网成型技术

圆网成型技术大多用于中低速纸机，生产特种纸等，普通圆网纸机生产非特种纸基本已淘汰；新型圆网成型技术，包括真空成型、新月形、超成型等多种结构形式，利用离心力、挤压力、真空等高效脱除水分。目前卫生纸机的工作车速最高可达2500 m/min。

③ 斜网成型技术

斜网成型是一种新型的成型技术，将特殊的流浆箱（有1层、2层、3层等一次成型技术）与网部结合在一起，网案有一定的倾斜角度，使用超低上网浓度，可以同时使用不同的纤维配比生产特种纸。

造纸机的高效成型可提高纸机运行效率，降低吨纸电耗、水耗、物耗和蒸汽用量，提高能源、水和纤维的利用效率，减少污染物产生量。

④ 高浓成型技术

目前，纸页成型过程的纸浆上网浓度一般在 0.1%~1.0%范围内，当上网浓度大于 1.5%时，普通的流浆箱则难以正常操作。高浓成型技术是国际上造纸工业中的一项新技术，目前，世界上在高浓成型技术上处于领先地位的有日本、芬兰、瑞典和美国等，其科研成果，包括新技术、新装备等专利，已在一些国家得到应用。

一般将上网浓度大于 1.5%的成形操作称为高浓成型。目前世界上高浓成型的实验浓度为 1.5%~5.0%，在 3.0%左右可维持稳定的操作。由于上网浓度的提高，高浓成型可节省大量的造纸用稀释水，并由于纸浆流量减少而节省了大量的输送能量。同时，高浓成型的特殊成型方式，使得纸页中填料和微细组分的留着率增加，并赋予纸页以特殊的结构和强度特性。

高浓成型按纸页成形方式可分为单层成型和多层成型。单层成型的成型部一般为高浓流浆箱和长网纸机网部或夹网成型器的组合体。在多层成型中，高浓流浆箱作为第二流浆箱用以合成高定量（大于 300 g/m²）的纸张和纸板。

高浓成型技术抄造的单层纸页定量范围约 60~280 g/m²，因此适合于大多数纸种的抄造。近年中试研究和实际生产试验表明，高浓成型技术适合于以下纸种的抄造：

a、瓦楞原纸：是一种非常适于采用高浓成型技术抄造的纸种。高浓成型的瓦楞芯纸可使其环压强度等抗压强度指标提高 20%~45%，且大大改善了成纸的层间结合强度；

b、箱纸板：生产试验表明，用高浓成型技术抄造芯层，用低浓成型技术抄造面层和底层，纸页的松厚度稍有增加，而纸板的层间结合强度可提高 50%~100%。

由于高浓成型技术的特点，目前还不能适用于所有纸种的抄造，但该技术在节水、节能和节约化学品、提高总保留等清洁生产方面显示出的优势，将会越来越受到关注和重视。

（4）压榨

宽压区压榨的典型代表是靴型压榨和大辊径压榨。靴型压榨是20世纪80年代发展起来的一种最具潜能的压榨型式，目前在现代纸机上被广泛采用。靴型压榨装置以一个靴型支撑体

与上压辊配合,实现了提高压区宽度的目标,从而获得优良的压榨效果。纸机压榨部由常规压榨改为靴型压榨后,干燥部可节约20%~30%的能耗。使用大辊径压榨,可以有效提高脱水效率、提高车速、降低干燥蒸汽消耗。

采用该技术可改善纸张质量,降低干燥部能耗。某企业改用靴型压榨代替常规压榨后,干燥部纸幅干度提高3%~4%,车速从850 m/min提高到1200 m/min,产量增加30%,干燥部蒸汽消耗减少30%;某企业采用靴型压榨代替常规压榨后,纸幅干度增加6%,干燥部吨纸蒸汽消耗量从2.13 t减少到1.76 t,节约了18%的能耗。

(5) 干燥

① 烘缸封闭气罩技术

可采用封闭式烘缸气罩代替敞开式烘缸气罩,回收干燥纸页蒸发水蒸汽中的热量和水分,提高送风温度,减少进、排风量,降低干燥能耗。

② 袋式通风技术

可在纸机干燥部袋区安装袋式通风装置,将封闭式气罩回收的热量和蒸汽加热后的干燥热风均匀不断地送到纸幅周围,抵消蒸发阻力,使整个纸幅横向比较均匀。设计合理的气袋通风装置可提高纸机运行效率,降低吨纸蒸汽消耗量。与无袋式通风相比,袋式通风可使纸机的干燥能力提高10%~20%,使纸机车速平均提高10%。

③ 多段通汽供热系统

烘缸干燥部通过蒸汽供热干燥纸页脱水,因此通汽是烘缸干燥部的重要工艺。纸机干燥部主要有两种不同的通汽方式,即无蒸汽循环的单独通汽和有蒸汽循环的分段通汽。

单独通汽方式是蒸汽由总汽管分别引进各个烘缸,冷凝水通过排水阻汽阀沿总排水管排出,收集在槽内再用泵送回锅炉房。该方式有以下缺点:没有蒸汽循环,空气会逐渐在烘缸内积蓄,必须定期打开烘缸的排气阀排放空气;需要很多排水阻汽阀,管理和维修工作量很大;排水阻汽阀发生故障会引起蒸汽的损失,或使冷凝水充满整个烘缸,大大降低烘缸的蒸发能力。

为解决单独通汽存在的问题,目前,造纸企业一般都采用多段通汽的干燥方式。采用多段通汽供热系统,利用自动阀门调节纸机干燥部各段烘缸的供汽压力和用汽量。常用的分段方案为三段通汽,仅在第一段使用蒸汽加热,第二、三段使用前段的冷凝水产生的二次蒸汽,形成压力和温度梯度,建立合理的烘缸干燥曲线。

有蒸汽循环的多段通汽可以保证烘缸温度逐渐上升,使干燥曲线稳定。同时加强蒸汽循环和排除烘缸内的冷凝水和空气又可以保证整个烘缸温度均匀、大大增加总传热系数、提高烘缸的干燥效率。另一方面,分段通汽时,由于各段烘缸的蒸汽压力逐渐降低,对应于各段干燥温度的蒸汽热焓减小,因而可以节约干燥时的蒸汽消耗量。采用多段通汽方式,对于保证产品质量和节约蒸汽消耗具有良好的作用。

④ 固定虹吸管技术

新型固定虹吸管技术可减小虹吸管口与烘缸内表面的间隙,并充分利用纸机运转线速度的动能,形成冷凝水排出压差,从而改善烘缸排水情况,减小水膜厚度,加速冷凝水的排出,可提高传热系数,减少蒸汽用量。

⑤ 废气热回收

废气热回收系统指回收利用干燥部排气中的热能,干燥部排气首先用于加热干燥部的进空气,其次用于加热循环水或喷淋用水,也可用于建筑通风采暖。

热回收系统通常分为干燥部排气-空气换热器、干燥部排气-水换热器。气-气换热器主要用于加热风罩供风和机房通风空气;气-水换热器主要用于循环水和工艺用水的加热。通常为免堵塞,热交换器配套设有清洗装置。

热回收系统可节约大量的蒸汽,投资回收期较短,各企业可根据生产工艺及设备情况对热回收系统进行单独设计。

(6) 施胶

传统表面施胶是在前后干燥之间安装一个双辊形成的施胶机，使用的施胶剂浓度仅为3%~8%，施胶量小，纸中增加的水分多，后干燥蒸汽用量大，对纸张质量改进少。膜转移施胶机是通过计量棒或计量刮刀将表面施胶料转移到辊子上，再转移到纸张上。表面施胶浓度可达8%~12%，施胶量大，纸张吸水少，还可用于纸张的机内微涂或预涂布。采用膜转移施胶技术可提高纸张质量，减少蒸汽用量。

(7) 造纸机网部和压榨部清洗节水

造纸机网部和压榨部清洗节水技术是采用针形喷射器，自动移动式高压喷射（2.5~4 MPa）清洁造纸机。企业可根据清洁程度、耗水情况及对成型网、毛毯的损害程度等因素平衡选择喷淋方案、喷淋设备。采用该技术，可减少新鲜水用量以及废水排放量。

(8) 白水回收

① 白水回收及纤维利用

造纸生产中白水的的使用应尽量通过再循环，将白水应用于前一段生产工序以回收白水中所含的纤维、填料和可溶性造纸化学品。从网部脱除的部分白水，又回用于稀释进入流浆箱的浆料，称为白水的短循环系统。细小纤维和填料特别容易通过成形网进入白水中，短循环可以达到使这些细小粒子在网上成形的纸幅中合理分布，能大致保持与打浆工段送到纸机的浆料相当的目的。

在网上脱除的不用于稀释流浆箱浆料的另一部分白水，将其引送至更前面的生产工序，称为白水的长循环系统。长循环常包括多个分支，目的是改善系统物料和热量的利用。如长循环排出的白水常在白水回收装置中处理，从长循环来的白水可用于均衡浆料的浓度波动，或调节浆料制备系统的浓度。除了上述持续耗水的用水点外，还有间断耗水的用水点。这类用水点，如损纸碎浆器（纸机断头时启动）、冲网喷水管（从成形网移走湿纸幅，使其掉入损纸坑中）等。

典型的造纸生产线水回路设计见图1。

该技术可减少清水用量，通过优化水回路设计，生产瓦楞纸板和挂面纸板可达到的最小清水使用量为4~7 m³/t纸；减少废水产生量，减少原材料损失。

随着废水排放标准的实施及相关环保要求的提高，该技术已被广泛应用于造纸企业，企业可根据自身产品及生产工艺要求，工艺水重复利用原则优化设计水回路，设置白水回收系统设备。

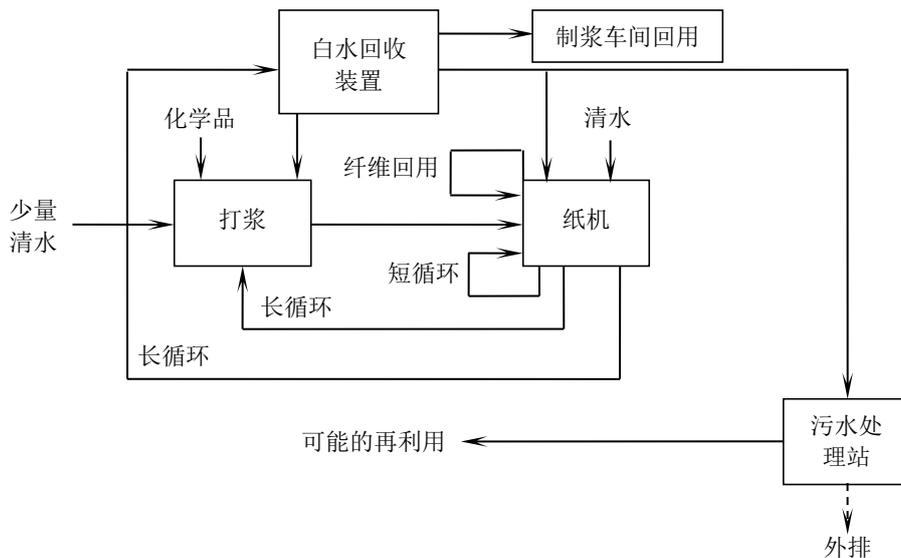


图1 典型的造纸生产线水回路设计

② 膜过滤处理造纸白水技术

常规的过滤技术对粒径小于1 μm 的固体和胶体物质去除效果较差，通过添加絮凝剂可使上述小粒径物质絮凝转化为粒径为100~1000 μm 的絮凝物而去除，但加入的絮凝剂可能将一些盐类物质引入到水体中。

膜过滤技术根据膜的截留尺寸、过滤压力分为多种，主要有微滤（MF）、超滤（UF）或纳滤（NF），在此过程中，不会有新的物质进入到水体中，同时出水可回用于生产工艺，吨产品可减少2~4 m^3 的新鲜水消耗量。膜过滤技术的操作过程中，需要定期使用酸或碱清洗膜过滤器，并适时更换，保证良好的去除效果。

（9）涂料回收利用

涂布废水的固含量通常在2%~5%，这些废水主要来源于涂料站（涂布头）和供料系统断纸时的冲洗水，其中含有大量的涂料和黏合剂。可采用超滤技术截留涂料、黏合剂等大分子物质，并回收利用。在回收涂料的同时，减少清水用量，降低废水的污染产生负荷，避免黏合剂、防腐剂等物质直接排入污水处理厂对其运行造成影响。

（10）纸机湿部化学品优化

造纸配料中的纤维、细小纤维、干扰物质、填料、色料、胶料、化学添加剂等都具有复杂的表面和胶体化学性能。特别是造纸配料的电荷、比表面积、吸附等表面化学现象不但影响纸质量等级的提高，而且还会影响纸机的正常运转。纸厂一般可通过使用湿部化学优化技术来提高纸张强度、增加细料的留着和改善滤水性能。

湿部化学优化技术主要包括：

① 添加湿强剂和干强剂提高湿纸幅和成纸的强度；

② 添加填料改善纸页表面性能，节约纤维原料；

③ 添加施胶剂赋予纸张抗水性能；

④ 添加助留剂、助滤剂提高细小纤维的首程留着率，降低纸机网下的白水浓度，提高浆料网部的滤水速度。目前应用较多的是带有阳电荷高分子聚合物和微粒子组成的助留助滤系统，能够最大限度提高纸机的运行效率，提高细小纤维和填料留着率，促进纸机白水的循环使用；

⑤ 对纸机湿部关键参数进行测量与控制。实际生产中，对纸机湿部关键参数的测量与控制是优化纸机湿部的关键，如测量纸机上网浆料的阳离子需求量，对纸机流浆箱浆料的Zeta 电位进行测量和控制。这些都是指导纸机湿部化学品添加种类、添加点和添加量的重要参考依据。

纸机湿部化学品种类多，选择非常复杂，实时的测量与控制也是一个难点，上述技术需在实际生产过程中不断优化。

5.2.5 宣纸制造

5.2.5.1 主要污染物产生情况

（1）废水

废水主要包括：浸泡、碱煮、洗涤及抄纸过程产生的废水，碱煮等工段产生的浓黑液可制成碱木素，洗涤等工段产生的次黑液经厌氧处理后与抄纸等工段低浓废水混合进一步处理。主要污染物为碳水化合物降解产物及低分子量的木素降解产物等。

（2）废气

废气主要包括：浸泡、碱煮工段产生的废气及污水处理厂产生的臭气等。

（3）固体废物

固体废物主要为备料过程产生残渣等。

5.2.5.2 污染预防技术

宣纸制造是一种传统的造纸方法，一般生产规模较小，间歇化生产。制浆过程中黑液量较少，难以采用碱回收方式处理，可通过综合利用生产碱木素，降低进入污水处理厂的污染负荷。

5.2.6 加工纸制造

5.2.6.1 主要污染物产生情况

(1) 废水

废水主要包括：涂料制备、药品配制及清洗废水等。

(2) 废气

废气主要包括：干燥、复合工段产生的废气及污水处理厂产生的臭气等。

5.2.6.2 污染预防技术

加工纸根据工艺主要可分为涂布加工纸、浸渍/淋膜加工纸、复合加工纸及镀膜加工纸。通常情况下，加工纸制造过程污染物产生量少，但在涂布加工纸或镀膜加工纸涂布涂料制备工段会产生含涂料废水，浸渍/淋膜加工纸中生产钢纸或羊皮纸、玻璃纸会产生含氯化锌废水或酸性废水，需进行处理。

(1) 涂料回收利用技术

见 5.2.4.2。

(2) 氯化锌的蒸发回收技术

在生产钢纸的过程中，原纸需采用氯化锌溶液处理进而产生含氯化锌的废水。为消除氯化锌排放污染问题，需对废水中氯化锌进行回收，通常采用蒸发器蒸发回收氯化锌，冷凝水回用于生产过程中。该技术可消除含重金属废水的排放问题，减少新鲜水用量。

(3) 酸性废水的中和处理技术

在生产羊皮纸或玻璃纸的过程中，会产生酸性废水，通常采用加入碱中和的方式处理，然后送污水处理厂。该技术可消除酸性废水的直接排放问题。

5.3 末端治理技术

5.3.1 废水污染治理技术

造纸行业企业通过在工艺过程中采用污染预防措施，提高产品得率、减少化学品使用、提高水循环利用率，可从源头降低废水污染产生负荷。产生的废水一般采用两级或三级处理，根据间接及直接排放的要求，选择适当的工艺，最终满足一般排放标准或特别排放限值的要求达标排放。

一级处理常用工艺包括过滤、混凝沉淀（气浮）等技术，通过一级处理后可以均衡废水的水质及水量，另外对悬浮物等污染物进行有效去除，调节 pH 及温度以满足后续生化处理的要求；

二级处理主要为生化处理过程，常见工艺包括厌氧及好氧，通常依据一级处理后的出水情况选择适当的工艺，当废水通过一级处理后 COD_{Cr} 浓度大于 2000 mg/L，宜采用厌氧与好氧相结合的方式，否则可选择好氧的方式进行处理。通过生化工段的处理，可有效降解悬浮和溶解在废水中的有机污染物；

三级处理一般可采用物理、化学或者物理化学相结合的方式，主要工艺技术包括混凝沉淀（气浮），高级氧化（以 Fenton 氧化为主）等，通过三级处理能够使水中的污染物质进一步去除。

5.3.2 废气污染治理技术

基于造纸行业特点，选取碱回收炉、石灰窑、焚烧炉及工艺过程产生臭气作为主要污染源，筛选并给出废气污染治理最佳可行技术。

(1) 工艺过程恶臭气体

硫酸盐法制浆企业制浆及碱回收等工段，会产生高、低浓度臭气，一般收集后采用焚烧处置。臭气可引入碱回收炉焚烧，高浓臭气通过碱回收炉中的燃烧系统直接焚烧，低浓臭气通过鼓风机输送到碱回收炉中作为二次风或三次风进行焚烧，此方法也是目前广泛采用的臭气治理措施；也可将收集起来的高、低浓臭气引入石灰窑焚烧，但对于现有制浆企业，通过改造实现对低浓臭气的收集和处理存在一定困难；另外也可将臭气通过火炬燃烧，但由于该

技术单独使用将造成二氧化硫排放量增加，通常作为事故状态下的臭气应急处置。

(2) 碱回收炉废气

烟尘可通过电除尘的方式进行处置，除尘效率可达 99%以上，经过处理后废气中的烟尘能够满足相应标准限值的要求。

二氧化硫主要通过提高入炉黑液固形物的浓度来降低排放，TRS 的控制可通过控制一次风和二次风的比例实现，并在风口处使空气与可燃物充分混合，加大燃烧区的湍流程度，使燃烧充分，另外还要保持 2.5%~4.0%的过量氧气。

氮氧化物可通过优化燃烧控制条件，控制碱回收炉运行负荷、控制燃烧过程的一氧化碳浓度等方式降低其产生量。近年来部分企业通过对碱回收炉引入四次风系统，降低烟气中氮氧化物产生，但该技术宜从新建项目设计源头进行考虑，对现有碱回收炉改造可能受到结构、尺寸及大小的限制，另外该技术会降低硫的还原率，造成碱回收炉二氧化硫排放量大幅增加及热能损失等。

(3) 石灰窑废气

烟尘可通过电除尘的方式予以去除，经过处理后废气中的烟尘能够满足相应标准限值的要求。

二氧化硫及 TRS 的控制可以通过白泥洗涤及过滤实现，该过程可降低白泥中硫化钠的含量，减少燃烧过程中二氧化硫及 TRS 的产生。

(4) 焚烧炉废气

烟尘通常采用布袋除尘技术进行处置，除尘效率为 99.50%~99.99%。

二氧化硫可采用石灰石/石灰-石膏湿法脱硫技术、循环流化床法脱硫技术或喷雾干燥法脱硫技术进行治理。

氮氧化物可通过 SNCR 脱硝技术进行治理。

二噁英可通过活性炭吸附技术治理，在布袋除尘器前喷入粉状活性炭，降低烟气中的二噁英排放。

(5) 厌氧沼气

污水厌氧处理过程中产生的沼气，视沼气产生量的多少，可脱硫后通入锅炉作为燃料、用于发电或直接采用火炬燃烧的方式进行处置。

5.3.3 固体废物综合利用及处置技术

(1) 备料废渣

备料废渣一般为富含纤维的固体废物，具有较高热值，可用于焚烧综合利用；另外在硫酸盐法化学木浆企业，树皮、木屑等生物质原料可在生物质气化炉中产生可燃气（主要成分为氢气、一氧化碳、甲烷和一些碳氢化合物等），替代石灰窑化石燃料的使用；木浆生产过程产生的备料废渣经过好氧堆肥后可作为有机肥，非木浆尤其是草浆生产过程备料废渣可用于还田，增加土壤有机质，增肥地力。

(2) 废纸浆原料中的废渣

废纸浆生产过程中，原材料中的固体废物，如塑料、金属等，可回收实现资源化利用。

(3) 浆渣

经单独的处理系统处理后，可用于配抄低价值纸板或纸浆模塑产品，另外也可通过处理后送锅炉焚烧处置。

(4) 碱回收工段废渣

硫酸盐法化学木浆企业白泥一般均经石灰窑烧制重新生成石灰用于苛化工段；对于碱法非木浆生产企业，白泥可经洗涤、精制后作为造纸车间碳酸钙填料，用于造纸生产线。

绿泥一般采用填埋的方式，近年来也有部分硫酸盐法化学木浆企业将其送入锅炉燃烧。

石灰渣一般采用填埋的方式，近年来也有部分硫酸盐法化学木浆企业将其送入锅炉燃

烧。

(5) 脱墨污泥

脱墨污泥属于危险废物，可采用专用焚烧炉处置，焚烧过程需满足国家《危险废物焚烧污染控制标准》（GB 18484）的相关要求，如不具备厂内焚烧处置条件，则应委托有相应危险废物处理资质的单位进行安全处置。

(6) 污水处理厂污泥

污水处理厂污泥由于具有较高的热值，可采用干化处理后，送入锅炉焚烧，另外对于生化工段产生的污泥也可作为有机肥，其肥效指标和重金属指标应满足相应标准要求。

5.3.4 噪声污染控制技术

制浆造纸企业噪声主要分为机械噪声和空气动力性噪声，主要的可行降噪措施包括：由振动、摩擦和撞击等引起的机械噪声，通常采取减振、隔声措施，如对设备加装减振垫、隔声罩等，也可将某些设备传动的硬件连接改为软件连接；车间内可采取吸声和隔声等降低噪声的措施；对于空气动力性噪声，通常采取安装消声器的措施。

5.4 典型案例介绍

5.4.1 企业A

5.4.1.1 公司概况

企业 A 为典型的硫酸盐法化学木浆企业，配套建设文化用纸及生活用纸等生产线。

5.4.1.2 化学木浆生产线

5.4.1.2.1 工艺过程污染预防技术

(1) 备料车间：原木采用干法剥皮工艺，车间原木削片、大木片再碎机处喷淋用水产生的废水经沉淀后循环利用，不外排。

(2) 制浆车间：

① 蒸煮工段采用立式连蒸，粗浆得率 48%~54%，卡伯值为 14~24，蒸煮温度 145~165℃，温度较低；

② 洗选工段采用压榨式洗浆机进行逆流洗涤，洗涤水来自于氧脱木素洗涤滤液，洗浆机废水回到蒸煮工段，筛选采用封闭筛选；

③ 采用两段氧脱木素工艺，氧脱后采用压榨式洗浆机进行逆流洗涤，洗涤水为加热清水，卡伯值小于 15；

④ 漂白工艺采用 O/O-D₀-Eop-D₁-D₂，实现无元素氯漂白，采用压榨式洗浆机逆流洗涤，E/O 段洗浆机洗涤水来自蒸发车间冷凝水，D₂ 段洗浆机洗涤水来自白水，洗浆机洗涤水均不使用清水。监测结果显示，制浆工段废水中 AOX 浓度满足《制浆造纸工业水污染物排放标准》（GB 3544）相应限值要求。

(3) 碱回收蒸发工段采用管式降膜六效十体蒸发方式，蒸发工段重污冷凝水经汽提塔气提后，冷凝水回用于苛化工段或排入污水处理厂，高浓臭气去碱回收炉焚烧，蒸发工段轻污冷凝水回用于制浆车间。

5.4.1.2.2 末端治理技术

(1) 废水治理技术

污水处理厂采用一级混凝沉淀+二级 A/O 池+三级 Fenton 氧化工艺。实际运行情况良好，监测结果显示，企业外排废水中各主要污染物排放均能满足《制浆造纸工业水污染物排放标准》（GB 3544）相应限值要求。

(2) 废气治理技术

① 工艺臭气

碱回收车间蒸发工段高浓臭气主要来源于制浆工段、汽提塔、污冷凝水槽、重黑液槽，全部经管道送往碱回收炉燃烧系统焚烧；低浓臭气经管道收集后，经加压输送进入碱回收炉焚烧。

② 碱回收炉废气

碱回收炉烟气采用四电场静电除尘器处理，除尘效率在 99.8%以上。烟气除尘设施实际运行情况良好，根据实际监测结果，烟气中二氧化硫、氮氧化物、烟尘浓度均可达到《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223）中相应限值要求。

③ 石灰窑废气

石灰窑烟气采用三电场静电除尘器处理，除尘效率在 99%以上。实际监测结果显示，烟气中二氧化硫、烟尘浓度均可达到《工业炉窑大气污染物排放标准》（GB 9078）中相应限值要求。

（3）固体废物处理处置技术

厂内固体废物主要有备料车间木屑；制浆、浆板车间浆渣；碱回收车间苛化工段绿泥、白泥及石灰渣；污水处理厂污泥等。木屑、污水处理厂污泥脱水后送循环流化床锅炉燃烧；浆渣外卖用于生产低档纸板；白泥经石灰窑煅烧后回用于苛化工段；绿泥、石灰渣外卖用于掺烧水泥。

5.4.1.3 文化用纸生产线

5.4.1.3.1 工艺过程污染预防技术

文化纸生产线纸机采用夹网成型器、设白水回用系统，上网浓度为 0.3%~1%，出网部干度为 21%，压榨部采用靴式压榨，出压榨部干度为 45%~48%，干燥部采用封闭烘缸罩等技术。

5.4.1.3.2 末端治理技术

（1）废水治理技术

污水处理厂采用一级混凝沉淀+二级 A/O 池+三级混凝沉淀工艺，同时还采用电渗析系统处理达标废水作为冷却塔补水。实际监测结果显示，企业外排废水中各主要污染物排放均能满足《制浆造纸工业水污染物排放标准》（GB 3544）中相应限值要求。

（2）固体废物处理处置技术

固体废物主要有造纸车间浆渣、污水处理厂污泥。其中，污水处理厂污泥脱水后送热电站循环流化床锅炉燃烧，浆渣外卖用于生产低档纸板。

5.4.2 企业B

5.4.2.1 公司概况

企业 B 为典型的硫酸盐法化学木浆企业，配套建设文化用纸等生产线。

5.4.2.2 工艺过程污染预防技术

（1）备料工段采用干法剥皮，剥皮后的原木由配有高压水冲洗系统的辊筒运输机送至削片机削片，冲洗水大部分经处理后回用；另外在原料堆场周边各雨水沟汇合点设置集水缓冲池，通过管道将木片堆场初期雨水送入污水处理站事故池，随后再用较小流量水泵将应急池内污水提升进入初沉池，与其它综合污水一并进入污水处理站处理达标后排放。

（2）蒸煮工段采用改良连续蒸煮技术，蒸煮比较缓和，蒸煮温度为 158~165℃，温度较低，具有纸浆强度高、卡伯值低、得率高（蒸煮得率为 48%）、浆渣少等特点。

（3）洗涤工段采用 DD 洗浆机，筛选采用封闭筛选，黑液提取率大于 99%，使用高效的洗涤设备并采用逆流洗涤方式进行洗涤，可提高浆料出洗涤器的浓度，减少洗浆用清水量。

（4）ECF 漂白前段设置两段氧脱木素，氧脱木素后纸浆卡伯值为 8，漂白工段采用 O/O-D-Eop-D-PO 流程的无元素氯漂白技术，漂白浆的白度可达 91% ISO，能有效减少 AOX 和二噁英的产生量。监测结果显示，制浆工段废水的 AOX 及二噁英均能满足《制浆造纸工业水污染物排放标准》（GB 3544）标准限值要求。

（5）漂白工段工艺水循环利用，采用逆流洗涤的方式，最后一段 PO 采用新鲜水，滤液作为前一段的喷淋水，有效降低了新鲜水的使用量。

（6）黑液采用碱回收处理技术，通过七效降膜板式蒸发器组将黑液浓度由 16%蒸发至

80%，通过提高固形物的浓度可有效减少碱回收炉二氧化硫的产生量。

(7) 碱回收蒸发工段产生的轻污冷凝水可用于洗浆和苛化。重污冷凝水与蒸煮工段的污冷凝水一起送汽提塔，气提后轻污冷凝水回用，重污冷凝水回气提工段，气提塔排出高浓臭气送入碱炉臭气燃烧系统燃烧。

(8) 项目建设 65 MW 生物质气化炉，首先采用石灰窑烟气加热的空气去干燥树皮及木屑原料，生物质废渣经干燥后进入气化炉，850℃工况下裂解产生 600℃可燃气体，送入石灰窑代替重油燃烧。

5.4.2.3 末端治理技术

(1) 废水治理技术

污水处理工艺采用一级沉淀+二级好氧生物处理+三级 Fenton 氧化处理的工艺，COD_{Cr}、BOD₅ 及 SS 去除效率分别达到 96%、98%、95%以上。监测结果显示，企业外排废水中各主要污染物均能满足《制浆造纸工业水污染物排放标准》(GB 3544) 限值要求。

(2) 废气治理技术

① 工艺臭气

高浓臭气送碱回收炉燃烧系统进行燃烧，另外设置臭气火炬燃烧系统一套，在碱回收炉开停车等应急情况下使用。低浓臭气作为碱回收炉二次风的一部分燃烧。

② 碱回收炉废气

碱回收炉烟气采用三室/四电场静电除尘器，除尘效率为 99.8%，经过处理后，烟尘浓度小于 30 mg/m³，满足《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223) 的要求；碱回收炉入炉黑液浓度达到 80%以上，监测结果显示，二氧化硫多为未检出。

③ 石灰窑废气

石灰窑烟气采用单室三电场静电除尘器处理，除尘效率 99.6%，石灰窑烟尘浓度小于 70mg/m³，满足《工业炉窑大气污染物排放标准》(GB 9078) 的要求。

(3) 固体废物处理处置技术

备料工段产生的树皮、木屑作为生物质气化炉的原料，经气化后作为石灰窑燃料；浆渣采用委托处置的方式，用于低档纸板的生产；碱回收白泥采用石灰窑烧制，回用于苛化工段；碱回收工段产生的绿泥经过洗涤后，与污水处理厂污泥混合经过干化处理，送入锅炉中焚烧处置；污水处理厂污泥采用锅炉烟气进行干化处理，含水率达到 30%以下，送锅炉焚烧。

5.4.3 企业C

5.4.3.1 公司概况

企业 C 为典型的硫酸盐法化学木浆企业。

5.4.3.2 工艺过程污染预防技术

(1) 蒸煮工段采用紧凑蒸煮技术，可以在较低的蒸煮温度下，提高蒸煮得率，使蒸煮出来的纸浆既具有较好的强度，又具有较好的可漂性能。

(2) 洗涤工段采用双棍压榨洗涤机对纸浆进行置换洗涤，并脱除大量滤液，使浆料浓度达到约 30%~32%，可大大节约洗涤用水。

(3) 筛选工段采用封闭筛选，纸浆从蒸煮工段喷放锅泵送至压力筛中进行除节和除渣，得到良浆。

(4) 采用优化“O/O-AZe-D-P”四段漂白工艺，将氧脱木素调整到漂白工艺的最前端，通过降低浆料中木素含量，减少后段工序漂白化学品用量，并降低污染负荷，降低 AOX 等污染物产生量；将 D (ClO₂) 段漂白提到 P (H₂O₂) 段之前，可减少漂白工段中浆料的 pH 调节，又可提高漂白效果；最后一段采用过氧化氢漂白，可减少含氯漂白剂的使用，降低污染物的产生量。

5.4.3.3 末端治理技术

(1) 废水治理技术

制浆废水单独送入制浆污水处理厂处理，采用一级沉淀+二级活性污泥法（纯氧曝气）+三级物化处理+AOP（高级氧化，备用）处理工艺，监测结果显示，COD_{Cr}、SS、氨氮、总氮及总磷的去除效率分别为 89.2%~92.0%、84.6%~85.2%、93.3%~93.5%、84.3%~90.3%和 99.3%~99.5%，出水浓度能够达到《制浆造纸工业水污染物排放标准》（GB 3544）相应限值要求。

（2）废气治理技术

① 工艺臭气

制浆及碱回收等工段产生的臭气经收集、除湿处理后，送入碱回收炉燃烧。另外配套有一套臭气燃烧器及臭气洗涤塔（碱液吸收塔）作为备用。

② 碱回收炉废气

碱回收炉烟气采用三电场静电除尘器，监测结果显示，除尘效率为 99.89%，经除尘后烟尘浓度小于 20 mg/m³，满足《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223）相应限值要求。

③ 石灰窑废气

石灰窑燃料为重油，烟气采用三电场静电除尘器+脱硫洗涤器脱硫，监测结果显示，除尘器除尘效率为 99.64%~99.68%，满足《工业炉窑大气污染物排放标准》（GB 9078）相应限值要求。

（3）固体废物处理处置技术

制浆车间产生的浆渣、木节送动力锅炉燃烧；碱回收白泥采用石灰窑烧制，回用于苛化工段；碱回收工段产生的绿泥及石灰渣脱水后送动力锅炉燃烧；污水处理厂污泥经处理后送动力锅炉燃烧。

5.4.4 企业D

5.4.4.1 公司概况

企业 D 为典型的化学机械法制浆企业，配套建设白卡纸等生产线。

5.4.4.2 工艺过程污染预防技术

（1）制浆生产线采用的污染预防技术

① 木片堆场的废水收集及处置

公司建有原木及木片堆场初期雨水收集系统，收集后送污水管网，经污水处理站处理后排放。

② 浆渣筛选及精磨技术

制浆生产线设置 3 段压力筛系统，压力筛分离出来的纤维束送浆渣处理系统，经 2 级精磨后再转化为纤维返回制浆线。可提高纤维的利用率，制浆得率可以达到 88%~90%。

③ 高效的洗涤和流程控制技术

APMP 生产线采用螺旋压榨机、BCTMP 生产线采用双辊压榨洗浆机通过置换压榨等作用分离浆中的溶解性有机物，提高纸浆洁净度，降低后续漂白化学品消耗，同时降低洗涤用水量，并提高洗涤废水中有机物浓度，减少洗涤损失。更高的洗涤废水有机物浓度，也降低了碱回收蒸发工段蒸汽消耗量。

④ 制浆废液蒸发碱回收技术

制浆生产线产生的废水经多效蒸发浓缩至 65%后，送碱回收炉燃烧。燃烧使废水中的有机物转变为热能；废水中钠的化合物转化为碳酸钠，呈熔融状态从碱回收炉流出，用稀白液吸收即得到绿液；绿液与熟石灰乳液混合反应后，得到白液，回用到制浆生产线，碱回收率达到 80%。蒸发过程产生的冷凝水回用于生产，实现了蒸汽和化学药品的回收利用，也直接减少了企业新鲜水的使用量及废水排放量，但蒸发工段将消耗蒸汽。

⑤ 磨浆系统热回收技术

制浆生产线高浓磨浆过程会产生废热蒸汽，通过压力旋风分离器，回收压力较高的废热

蒸汽，用于碱回收车间蒸发站。通过磨浆系统热回收，可以降低制浆总能耗。

⑥ 二段低浓磨浆技术

制浆生产线均采用两段磨浆，第一段采用高浓磨，第二段采用低浓磨，其中 APMP 生产线各配置 3 台低浓磨浆机，BCTMP 生产线配置 4 台低浓磨浆机。二段磨浆采用低浓磨浆，可以降低能耗，达到运行成本低且成浆指标好的效果。

(2) 造纸生产线采用的污染预防技术

① 纸机

造纸生产线选用长网+叠网纸机，可实现更高的运行效率和能源利用效率，降低吨纸电耗、汽耗。

② 压榨部

造纸生产线压榨部采用针形喷射器喷淋节水和靴式压榨强化脱水技术，出压榨部干度可达 45%~48%。喷淋技术可有效减少新鲜水用量及废水产生量，靴式压榨可提高纸幅的干度，降低后续干燥部长度，减少蒸汽消耗。

③ 干燥部

造纸生产线干燥部采用烘缸封闭气罩技术，在袋区安装袋式通风装置，并设置多段通汽供热系统。可有效降低能耗，改善操作条件，减少车间噪声。

干燥部配套设置 7 套蒸汽冷凝水回收和高效废气热回收系统，可节约蒸汽，降低能耗，减少污染物排放。

④ 白水系统

采用优化的水回路设计和水净化技术，白水回收系统采用多圆盘过滤机，设有单独的芯层白水回收系统，回收芯层白水中短纤维后，使芯层白水回用面底层白水系统，减少了面底层白水塔添加的清水用量，降低了芯层白水排放量。芯层白水回收机滤袋使用金属滤袋，提高芯层白水回收机效率，使芯层清滤液的用途更为广泛，可以替代更多清水用点，减少清水补充量。面底层白水全部回用，超清滤液作为网压部喷淋水，清滤液作为药品稀释温水，减少清水补充量。

5.4.4.3 末端治理技术

(1) 废水治理技术

制浆废液采用蒸发碱回收技术，其他废水经一级混凝沉淀+二级 SBR 好氧+三级气浮处理达标排放。COD_{Cr}、BOD₅、SS 去除效率分别达到 95.5%、97.6%、97.5%，经处理后可以达到《制浆造纸工业水污染物排放标准》(GB 3544) 相应限值要求。

(2) 废气治理技术

碱回收炉烟气经双列四电场静电除尘器除尘，除尘效率大于 99.9%，经处理后烟气污染物达到《锅炉大气污染物排放标准》(GB 13271) 相应限值要求。

(3) 固体废物处理处置技术

备料过程产生的木屑、制浆车间产生的浆渣和污水处理站污泥送动力锅炉焚烧；造纸车间产生的废渣、损浆等外售做低档纸的原料；白泥作为锅炉脱硫剂；石灰渣与煤掺烧，具有一定的脱硫作用。

5.4.5 企业E

5.4.5.1 公司概况

企业E为典型的亚硫酸盐法非木浆生产企业。

5.4.5.2 工艺过程污染预防技术

(1) 备料工段采用二级干湿法备料技术。麦草由人工喂入切草机，被切断的麦草经双锥除尘器除尘，除尘后的草片经过粉碎机粉碎分丝，经旋风除尘器风选除去轻尘，通过圆筒筛除去细小砂石、秸秆碎秸和细碎草叶，得到洁净合格的麦草片。该技术使麦草除尘率达到

23%，有效地降低了黑液中硅含量和黑液黏度，降低蒸煮碱耗10%以上。

(2) 蒸煮工段采用立锅连蒸，蒸煮后采用冷喷放，将高温黑液循环使用，回收热能，降低能耗。蒸煮第一阶段溶出的木素及碳水化合物通过置换，排出锅外，可减少后期蒸煮中的碱耗。由于草类纤维大量脱木素阶段在100℃左右，因而大部分木素都可在第一段蒸煮中除掉。该技术蒸煮得率达到55%以上，吨浆清水消耗为30 m³，浆渣产生量比传统蒸煮方式大大减少。

(3) 洗涤工段采用多级串联鼓式真空洗浆机，筛选采用封闭筛选，黑液提取率大于90%，使用高效的洗涤设备并采用逆流洗涤方式进行洗涤，可提高浆料出洗涤器的浓度，减少洗浆清水用量。

(4) 氧脱木素工段采用多段氧脱木素技术，氧反应器反应温度约100℃，反应时间60min，可以有效地将蒸煮后浆料中木素脱除45%以上。该技术在获得低卡伯值（卡伯值为10左右）浆料时，保持较高的纸浆得率、物理强度和滤水性。

(5) 制浆废液农用技术，主要是利用秸秆备料过程中产生的麦糠与制浆废液混合，再添加少量污水处理厂产生的污泥，通过热风炉进行喷浆造粒。该技术可将废液中的木质素分离出来，生产有机肥。喷浆造粒干燥机和冷却机会排出粉尘，配套除尘器回收重新进行配料造粒。

5.4.5.3 末端治理技术

(1) 废水治理技术

污水处理站采用物化沉淀+复合式化学曝气池+厌氧流化床+好氧生化+氧化塘等多级废水处理工艺。废水经处理后，COD_{Cr}、BOD₅、SS、氨氮、总氮及总磷去除效率分别达到96%、98%、97%、90%、83%及88%以上，出水水质可达到《制浆造纸工业水污染物排放标准》（GB 3544）相应限值要求。

另外，为了不增加对外环境水体的污染物排放负荷，将部分达标废水经超清过滤装置深度处理，处理后的水质满足生产工艺用水的要求，替代清水回用到生产工艺中。

(2) 废气治理技术

传统亚铵制浆采用4%~5%的氨水和18%的亚铵溶液混合蒸煮，蒸煮结束采用全压喷放，释放出大量氨气。立锅亚硫酸铵制浆采用两种方式控制异味产生：首先，采用3%氢氧化钠+2%的氨水+18%的亚铵溶液混合蒸煮，降低氨水用量，改变蒸煮环境。其次，改变传统的喷放工艺，采用冷喷放，一方面回收热量和药品，另一方面降低了喷放温度，大大减少了蒸汽挥发，异味（氨气）得到控制。另外，在洗浆机处也会有氨气排放，采用对洗浆机设置密闭汽罩，用抽气的方法对氨气进行收集送至吸收塔，通过喷淋稀废硫酸，与氨气反应生成硫酸铵，可作为有机肥生产原料。

(3) 固体废物处理处置技术

备料工段产生的麦糠送至有机肥料车间，与制浆废液、污水处理厂污泥共同综合利用生产有机肥；浆渣采用委托处理的方式，用于低档纸板的生

5.4.6 企业F

5.4.6.1 公司概况

企业F为典型的废纸制浆造纸企业。

5.4.6.2 工艺过程污染预防技术

(1) 废纸原料分选技术。原料经分选后，杂质较少，质量满足公司对原料的要求。

(2) 高浓碎浆技术。在12%~20%浓度下将废纸分散成纤维悬浮液，同时将废纸中固体污染物如砂、石、金属等重杂质及塑料等体积较大的杂质有效分离，节约化学品的使用量。

(3) 中浓筛选技术。保持筛浆浓度为3.5%左右的条件下，分离碎浆后纸浆中的重、轻杂质。

(4)热分散技术。热分散之前,进浆浓度为3%~5%,经过斜螺旋浓缩机浓缩至10%~12%,然后输送至螺旋挤浆机进一步将浆料浓度浓缩至28%~32%。送入加热器均匀混合,并加热至90~120℃,使废纸浆料中的胶黏物、热熔物等杂质加热到液点温度,使废纸浆保持圆粒状形态,吨浆电耗为80~100 kWh。

(5) 浮选脱墨技术。通过加入化学药品,在适当的温度和机械作用下,除去浆料中的油墨和胶黏性杂质。

5.4.6.3 末端治理技术

(1) 废水治理技术

废水处理采用一级沉淀+二级生化(IC厌氧+传统活性污泥法)+三级Fenton氧化处理的工艺,运行情况稳定。监测结果显示,污水处理厂的出水各主要污染物均能够稳定满足《制浆造纸工业水污染物排放标准》(GB 3544)相应限值要求。

(2) 废气治理技术

焚烧炉废气采用布袋除尘器,除尘效率达到99.8%;脱硫采用旋转喷雾半干法脱硫,脱硫效率为90%;氮氧化物采用SNCR脱硝;二噁英采用活性炭吸附处置,废气污染物排放满足《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485)相应限值要求。

(3) 固体废物处理处置技术

浆渣部分回用于生产,其余送入焚烧炉焚烧;污泥送入自备动力锅炉进行焚烧;轻渣进入焚烧炉焚烧。

6 主要技术内容及说明

6.1 工艺过程污染预防最佳可行技术

本技术指南在考虑技术、经济等因素基础上,按照节能减排、清洁生产要求,选取低水耗、低能耗、可减少污染物产生,在国内企业中得到应用且有效、可行、有利于生产的工艺或技术,经过对比分析,按工序确定工艺过程污染防治最佳可行技术。

在新技术中,列出了部分企业为满足自身需求实施,而尚未广泛推广的技术,另外也包括少量未进行生产实践和研究、试验阶段的技术等。

6.1.1 化学法制浆

6.1.1.1 硫酸盐法化学木(竹)制浆

硫酸盐法化学木(竹)制浆工艺过程污染预防最佳可行技术见表6。

表6 硫酸盐法化学木(竹)制浆工艺过程污染预防最佳可行技术

序号	技术名称	适用性
1	木(竹)片堆场的废水收集及处置	以原木(竹)、木(竹)片为原料的制浆企业
2	干法剥皮	以原木为原料的制浆企业
3	新型连续蒸煮技术	以木(竹)为原料的硫酸盐法制浆企业
	改良型间歇蒸煮技术	
4	纸浆高效洗涤技术	以木(竹)为原料的硫酸盐法制浆企业
5	封闭筛选技术	
6	氧脱木素技术	
7	无元素氯(ECF)漂白技术	
8	漂白工段工艺水循环利用技术	
9	黑液降膜蒸发技术	
10	高浓黑液蒸发及燃烧技术	
11	蒸发工段二次蒸汽冷凝水分级及污冷凝水汽提技术	

6.1.1.2 碱法或亚硫酸盐法非木材制浆

碱法或亚硫酸盐法非木材制浆工艺过程污染预防最佳可行技术见表 7。

表 7 碱法或亚硫酸盐法非木材制浆工艺过程污染预防最佳可行技术

序号	技术名称		适用性	
1	备料技术	干湿法备料技术	以麦草、芦苇等为原料的制浆企业	
		湿法堆存备料技术	以蔗渣为原料的制浆企业	
2	连续蒸煮技术		年产 5 万吨以上的非木材制浆企业	
3	纸浆高效洗涤技术	多段逆流真空洗浆技术	非木材制浆企业	
		挤浆+多段逆流真空洗浆技术		
4	封闭筛选技术			
5	氧脱木素技术			
6	无元素氯（ECF）漂白技术			
7	黑液碱回收技术			碱法非木材制浆企业

6.1.2 化学机械法制浆

化学机械法制浆工艺过程污染预防最佳可行技术见表 8。

表 8 化学机械法制浆工艺过程污染预防最佳可行技术

序号	技术名称	适用性
1	木（竹）片堆场的废水收集及处置	化学机械法制浆企业
2	干法剥皮	
3	浆渣筛选及精磨技术	
4	高效洗涤和流程控制技术	
5	化学机械法制浆废液蒸发碱回收技术	同时具有化学浆和化学机械浆的生产企业
6	磨浆系统热回收技术	化学机械法制浆企业
7	二段低浓磨浆技术	

6.1.3 废纸制浆

废纸制浆工艺过程污染预防最佳可行技术见表 9。

表 9 废纸制浆工艺过程污染预防最佳可行技术

序号	技术名称	适用性
1	废纸原料分选技术	废纸制浆企业
2	高浓碎浆技术	废纸脱墨浆生产企业
3	中浓筛选技术	废纸制浆企业
4	浮选脱墨技术	废纸脱墨浆生产企业
5	中浓漂白技术	
6	中浓泵送和贮存技术	废纸制浆企业
7	纤维分级技术	废纸制浆企业
8	热分散技术	

6.1.4 机制纸及纸板制造

机制纸及纸板制造工艺过程污染预防最佳可行技术见表 10。

表 10 机制纸及纸板制造工艺过程污染预防最佳可行技术

序号	技术名称		适用性
1	高效磨浆技术		机制纸及纸板生产企业
2	高效低脉冲上浆系统技术		
3	流浆箱稀释水横幅控制系统		
4	纸页高效成型技术	长网、夹网成型技术	
		圆网成型技术	
		斜网成型技术	
5	宽压区压榨技术		
6	造纸机网部和压榨部清洗节水技术		
7	膜转移施胶技术		需要表面施胶或微涂的机制纸及纸板生产企业
8	烘缸封闭气罩技术		机制纸及纸板生产企业
9	袋式通风技术		机制纸及纸板生产企业
10	固定虹吸管技术		机制纸及纸板生产企业的中高速纸机
11	多段通汽供热系统		机制纸及纸板生产企业
12	废气热回收系统		
13	纸机白水回收及纤维利用技术		
14	涂料回收利用技术		有涂布的纸和纸板生产线
15	纸机湿部化学品优化技术		机制纸及纸板生产企业

6.1.5 宣纸制造

宣纸制造工艺过程污染预防最佳可行技术见表 11。

表 11 宣纸制造工艺过程污染预防最佳可行技术

技术名称	适用性
黑液综合利用生产碱木素	宣纸生产企业

6.1.6 加工纸制造

加工纸制造工艺过程污染预防最佳可行技术见表 12。

表 12 加工纸制造工艺过程污染预防最佳可行技术

序号	技术名称	适用性
1	涂料回收利用技术	含涂布工艺的加工纸企业
2	氯化锌的蒸发回收技术	钢纸生产企业
3	酸性废水的中和处理技术	羊皮纸和玻璃纸生产企业

6.1.7 污染预防新技术

造纸行业工艺过程污染预防新技术见表 13。

表 13 造纸行业工艺过程污染预防新技术

序号	技术名称		适用性
1	碱灰中的氯、钾元素去除技术		配套碱回收车间的化学法制浆企业
2	酶制剂使用技术	酶促漂白	化学法制浆企业
		酶促打浆	化学机械法制浆企业
3	复合肥制备技术		铵盐基亚硫酸盐法非木材制浆企业
4	高浓成型技术		瓦楞原纸、箱纸板或浆板的抄造
5	膜过滤处理造纸白水技术		造纸白水的回收利用

6.2 末端治理最佳可行技术

6.2.1 废水污染治理最佳可行技术

(1) 硫酸盐法化学木(竹)浆

硫酸盐法化学木(竹)浆产生废水,经过一级处理后废水 COD_{Cr} 浓度通常小于 2000 mg/L, 二级处理宜采用好氧工艺。废水间接排放宜选择一级+二级处理工艺; 废水直接排放则需选择一级+二级+三级处理工艺, 根据最终排放限值的要求, 三级处理工艺选择有所不同, 若执行特别排放限值的要求, 三级处理工艺宜采用高级氧化工艺。

(2) 碱法或亚硫酸盐法非木浆

碱法或亚硫酸盐法非木浆由于生产工艺水平不同, 污染物的产生负荷有所不同。通过一级处理后废水 COD_{Cr} 大于 2000 mg/L 时二级处理宜采用厌氧+好氧工艺, 小于 2000 mg/L 时可采用好氧工艺, 其中对于亚硫酸盐法非木材制浆由于氨氮和总氮的产生量较高, 好氧工序宜采用脱氮功能的 A/O 等处理工艺。废水间接排放宜选择一级+二级处理工艺; 废水直接排放则需选择一级+二级+三级处理工艺, 根据最终排放限值的要求, 三级处理工艺选择有所不同, 若执行特别排放限值的要求, 三级处理工艺宜采用高级氧化工艺。

(3) 化学机械法制浆

化学机械法制浆废液 COD_{Cr} 产生浓度较高, 可达到 10000 mg/L 以上。通常高浓废液进入污水处理系统进行处理, 二级生化处理需采用厌氧与好氧相结合的处理工艺, 厌氧宜采用 UASB 或 IC 等处理工艺。废水间接排放宜选择一级+二级处理工艺; 废水直接排放则需选择一级+二级+三级处理工艺, 根据最终排放限值的要求, 三级处理工艺选择有所不同, 若执行特别排放限值的要求, 三级处理工艺宜采用高级氧化工艺。

近年来部分企业对化学机械法制浆废液通过蒸发进入碱回收炉中进行燃烧处置, 采用该技术后, 排放废水仅为少量污冷凝水, 末端污水处理流程大大简化, 二级处理仅采用好氧工艺。废水间接排放宜选择一级+二级处理工艺; 废水直接排放也可选择一级+二级处理工艺, 若执行特别排放限值的要求, 宜选择一级+二级+三级处理工艺。

(4) 废纸制浆

废纸制浆过程中废水 COD_{Cr} 产生浓度较高, 尤其是近年来废纸制浆企业单位产品用水量不断降低, 废水中 COD_{Cr} 的浓度也在不断提高, 脱墨废纸浆产生废水 COD_{Cr} 浓度通常大于 3000 mg/L, 非脱墨废纸浆产生废水浓度较脱墨废纸浆相对低。由于废水产生浓度较高, 二级处理工艺一般采用厌氧与好氧相结合的方式, 脱墨废纸浆在厌氧工段一般采用 UASB、IC 等处理工艺, 非脱墨废纸浆也可采用水解酸化工艺。

废水间接排放宜选择一级+二级处理工艺; 废水直接排放则需选择一级+二级+三级处理工艺, 根据最终排放限值的要求, 三级处理工艺选择有所不同, 若执行特别排放限值的要求, 三级处理工艺宜采用高级氧化工艺。

(5) 机制纸及纸板制造

机制纸及纸板生产过程产生废水 COD_{Cr} 浓度较低, 二级处理采用好氧工艺即可达标排放。

废水间接排放宜选择一级+二级处理工艺; 废水直接排放可选择一级+二级处理工艺, 也可选择一级+二级+三级处理工艺。

(6) 宣纸制造

宣纸生产过程中洗涤等工段产生的次黑液 COD_{Cr} 产生浓度 2000~3500 mg/L, 需采用三级处理的方式满足达标排放的要求。根据国内企业的实际运行情况, 一般采用一级+二级 (EGSB+好氧)+三级 (混凝沉淀、气浮) 的处理工艺。

6.2.2 废气污染治理最佳可行技术

废气污染治理最佳可行技术见表 14。

表 14 废气污染治理最佳可行技术

序号	废气污染源		最佳可行技术	技术适用性
1	工艺过程臭气		碱回收炉焚烧	适用于硫酸盐法化学制浆企业
			石灰窑焚烧	适用于硫酸盐法化学木浆企业
			火炬燃烧	适用于硫酸盐法化学制浆企业，常用于事故状态下的臭气应急处置
2	碱回收炉废气	烟尘	电除尘	适用于制浆企业
		二氧化硫	高浓黑液蒸发及燃烧	适用于硫酸盐法化学制浆企业
		TRS	控制燃烧条件	适用于硫酸盐法化学制浆企业
		氮氧化物	优化燃烧控制条件	适用于制浆企业
3	石灰窑废气	烟尘	电除尘	适用于硫酸盐法化学木浆企业
		二氧化硫及 TRS	白泥洗涤及过滤	适用于硫酸盐法化学木浆企业
4	焚烧炉废气	烟尘	袋式除尘	适用于制浆造纸企业
		二氧化硫	石灰石/石灰-石膏湿法脱硫	适用于制浆造纸企业
			循环流化床法脱硫	适用于制浆造纸企业
			喷雾干燥法脱硫	适用于制浆造纸企业
		氮氧化物	SNCR 脱硝	适用于制浆造纸企业
二噁英	活性炭吸附	适用于制浆造纸企业		
5	厌氧沼气		锅炉燃烧或发电	适用于废水采用厌氧处理的制浆造纸企业
			火炬燃烧	适用于废水采用厌氧处理的制浆造纸企业

6.2.3 固体废物综合利用及处置最佳可行技术

固体废物处理处置最佳可行技术见表15。

表 15 固体废物处理处置最佳可行技术

序号	固体废物		最佳可行技术	技术适用性
1	备料废渣 (树皮、木屑、草屑等)		焚烧	适用于木材及非木材制浆企业
			气化	适用于硫酸盐法化学木浆企业
			堆肥	适用于木材及非木材制浆企业
2	废纸浆原料中的废渣		回收利用	适用于废纸制浆企业
3	浆渣		造纸原料	适用于制浆造纸企业
			焚烧	适用于制浆造纸企业
4	碱回收工段废渣	白泥	烧制石灰回用	适用于硫酸盐法化学木浆企业
			生产碳酸钙	适用于碱法非木材制浆企业
		绿泥	填埋	适用于制浆企业
			焚烧	适用于硫酸盐法化学木浆企业
4	碱回收工段废渣	石灰渣	填埋	适用于制浆企业
			焚烧	适用于硫酸盐法化学木浆企业
5	脱墨污泥		焚烧	适用于废纸脱墨浆生产企业
			安全处置	适用于废纸脱墨浆生产企业
6	污水处理厂污泥		焚烧	适用于制浆造纸企业
			堆肥	适用于制浆造纸企业，一般用于生化污泥的处置

6.2.4 噪声污染控制最佳可行技术

噪声污染控制最佳可行技术见表16。

表16 噪声污染控制最佳可行技术

序号	噪声源	最佳可行技术	降噪水平
1	设备噪声	厂房隔声	降噪量 20dB(A)左右
		隔声罩	降噪量 20dB(A)左右
		减振	降噪量 10dB(A)左右
2	高压排汽噪声	消声器	消声量 30dB(A)左右
3	风机噪声	消声器	消声量 25dB(A)左右
4	泵类噪声	隔声罩	降噪量 20dB(A)左右

7 对实施本指南的建议

本指南围绕造纸行业污染防治的实施需要,对造纸行业主要类型企业产生的污染物的预防及控制措施进行了系统分析,结合国内外技术发展趋势和要求,提出了最佳可行技术指南,对于推动造纸行业在污染防治技术的选择、为环境影响评价及污染物排放许可管理提供技术依据具有重要意义。

针对本指南的实施提出如下建议:

(1) 对新污染源企业审批及排污许可核发的可行技术判断中,应参照本指南的要求实施,必须着重审核把关;同时,应加强对企业的环境监管,加大对违法排污的处罚力度,引导企业增加污染治理设施投资,防止出现新的环境污染问题。

(2) 本指南确定的最佳可行技术仅为现阶段的最佳可行技术,应用中在鼓励采用指南推荐技术的同时,也应鼓励引进国外先进的污染防治技术以及应用国内自主研发的成熟可靠的新技术,并应根据国内造纸行业污染防治技术水平的提高适时修订指南推荐的技术。