

附件三：

造纸行业非木材制浆工艺
污染防治最佳可行技术指南(试行)

编制说明
(征求意见稿)

环 境 保 护 部

2011年6月

目 录

1. 任务来源.....	1
2. 制定的必要性.....	1
2.1 实现“节能减排”目标的技术保障	1
2.2 国际履约的必然要求	1
2.3 环境技术管理体系的重要组成部分	1
3. 编制的原则、方法和技术依据.....	2
3.1 编制原则	2
3.2 编制方法	2
3.3 法律依据	2
3.4 指南的使用	3
4. 主要工作过程.....	3
4.1 资料查阅和调研	3
4.2 指南初稿的完成	3
4.3 征求意见稿的完成	3
5. 国内外相关环境技术管理体系研究概况.....	4
5.1 国外相关环境技术管理体系	4
5.2 国内相关环境技术管理体系	7
6. 行业技术现状调研情况.....	8
6.1 非木材制浆造纸企业基本情况	8
6.2 非木材制浆造纸企业生产工艺与装备情况	9
6.3 非木材制浆产排污情况	11
7. 最佳可行技术的确定原则和评估、筛选方法.....	14
7.1 评估原则	14
7.2 评估指标体系建立	15
7.3 评估程序	16
7.4 评估方法	18
8. 主要技术内容及说明.....	25
8.1 生产过程中的污染防治技术	25
8.2 末端治理过程中的污染防治技术	28
9. 实施的环境效益与经济技术分析.....	29
9.1 环境效益分析	29
9.1.1 减少漂白工段废水中AOX的产生	29
9.1.2 减少制浆过程中吨浆耗水量	29
9.1.3 降低废水中COD的排放	29
9.2 经济技术分析	29
10. 实施建议.....	31

1.任务来源

为贯彻执行《中华人民共和国环境保护法》，引导污染防治技术发展，确保环境管理目标的技术可达性和增强环境管理决策的科学性，根据《国家环境技术管理体系建设规划》，环境保护部组织制定污染防治技术政策、污染防治最佳可行技术指南、环境工程技术规范等系列技术指导文件。

本指南是系列技术指导文件的一部分，由中华人民共和国环境保护部科技标准司 2007 年提出编制任务，主要编制单位包括：山东省环境保护科学研究设计院、中国制浆研究院、中国环境科学研究院。

2.制定的必要性

2.1 实现“节能减排”目标的技术保障

2008 年，造纸行业的废水排放量和 COD（化学需氧量）排放量分别占到了全国工业废水排放总量和 COD 排放总量的 17%和 35%。在国产纸浆的原料结构中，非木浆比重接近 20%，与木浆的比重大致相当。麦草制浆吨浆耗水更是远远高于木浆和废纸浆，麦草浆 COD 的排放量约占整个制浆造纸工业排放总量的一半以上，是节能减排的重点领域。因此，编制《非木材制浆造污染防治最佳可行技术指南》，指导企业采用先进生产技术和工艺、推行清洁生产、发展循环经济，对于实现节能减排目标和优化产业结构具有重要的意义。

2.2 国际履约的必然要求

《中国履行<关于持久性有机污染物(POPs)的斯德哥尔摩公约>国家实施计划》明确要求，自 2008 年开始，对重点行业排放二噁英的新源采取最佳可行技术和最佳环境实践的措施；对重点区域的重点行业现有二噁英排放源采取相应措施，力争到 2015 年基本控制二噁英排放量的增长趋势。制浆造纸工业是二噁英重点排放行业之一，主要源自元素氯漂白工艺；此外，采用氯气漂白工艺的企业，总排口的废水中和废水处理产生后的污泥中也会含有二噁英。因此，编制《非木材制浆污染防治最佳可行技术指南》，优化漂白等生产工艺，严格控制二噁英排放，不但对于我国履行国际公约要求、树立良好国际形象，提高国际地位有重要意义；而且对我国纸和纸制品突破贸易壁垒、提高国际市场的竞争力，营造更加宽松的对外开放环境也具有显著的意义。

2.3 环境技术管理体系的重要组成部分

控制环境污染，实现环保目标，一是要保证污染治理的技术科学、先进、高效；二是要保证治理后的污染源长期、稳定、可靠达标排放。要实现这两个目的，必须切实解决目前无技术可用、有技术不用、技术含量不高、污染治理设施低水平重复建设、企业排污不能稳定达标等突出问题，其核心是要改变目前环境管理缺乏技术支撑的现状，建立符合我国当前和今后一定时期内的环境保护形势和环境管理各环节相配套的技术管理体系，使企业、环保部门能够方便、快捷地从公开渠道了解污染防治的技术状况、适用范围、效果、环境及经济效益等，正确选择、使用先进、高效的技术或装备。编制《非木材制浆污染防治最佳可行技术指南》，不但可以完善我国的环境技术管理体系，而且可以为环境管理、技术部门开展环境影响评价、项目可行性研究、环境监督执法、环境标准编制等工作提供技术依据。

总之，编制《非木材制浆污染防治最佳可行技术指南》，对于实现环境保护目标，完成“节能减排”任务，履行国际公约，完善环境管理技术体系，都有积极的意义；同时对于指导行业突破发展的环境技术瓶颈，促进行业整体又好又快发展也有重要意义。

3. 编制的原则、方法和技术依据

3.1 编制原则

（1）全过程管理原则

污染防治最佳可行技术指南主要由最佳可行技术和最佳环境管理实践两部分组成，其中污染防治技术包含生产过程的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）清洁生产与循环经济的原则

全面贯彻清洁生产和循环经济的理念和指导思想，《指南》对非木材化学法制浆主要工艺及防治技术都做了概要性的描述，按照减量化、再利用、再循环的原则对各技术的环境效益、二次污染、经济成本、综合利用途径等做了详细分析，目的在于通过技术的环境效果和经济分析，确定最佳可行技术，促进产业循环经济发展，提高产业经济效益。

（3）因地制宜的原则

我国幅员辽阔，能源资源分布不均，生产原料多种多样，因此，在选择最佳可行技术时，一定要紧密结合制浆企业所在地的地域条件、资源条件和企业的具体情况，因地制宜地选择污染防治的最佳可行技术。

（4）选取主流工艺的原则

非木材制浆工艺复杂，某些工艺应用较少或成熟度较低，根据《指南》开题会专家意见，应选取主流的制浆工艺，即非木材化学法制浆工艺，对生产过程的污染防治技术和末端治理技术进行分析和筛选。

3.2 编制方法

在项目的实施过程中，课题组能够紧密围绕项目的总体目标，系统采用调研、资料分析、类比分析、专家咨询、论证、案例验证等方法，从推进实现危险废物和制浆造纸行业可持续环境管理的角度出发，深入研究国内外在非木材制浆工艺污染防治管理和处置方面的先进经验以及国际公约对制浆造纸行业的基本要求，并对中国目前的制浆造纸行业政策、法规、标准体系进行深入地研究和分析，在此基础上结合中国的实际国情，开展非木材化学法制浆工艺污染防治最佳可行技术指南的研究，进而在以上工作基础上编制完成《非木材化学法制浆工艺污染防治最佳可行技术指南》。

3.3 法律依据

本指南是根据下列有关制浆造纸和环境保护的法律、法规和技术政策制定的：

《中华人民共和国环境保护法》；

《中华人民共和国水污染防治法》；

《草浆造纸工业废水污染防治技术政策》（环发[1999]273号）；

《产业结构调整指导目录(2005年本)》；

《造纸产业发展政策》(国家发改委 2007);
《清洁生产标准 造纸工业(漂白碱法蔗渣浆生产工艺)》(HJ/T317-2006);
《清洁生产标准 造纸工业(漂白化学烧碱法麦草浆生产工艺)》(HJ/T339-2007);
《中华人民共和国污染防治最佳可行技术指南编制管理办法》(试行);
《中华人民共和国污染防治最佳可行技术指南编制指南》(试行)。

3.4 指南的使用

3.4.1 法律定位

非木材制浆工艺污染防治最佳可行技术指南是指导性文件,是非木材制浆工艺污染物处置和管理达到国家政策要求和污染物排放标准后更高的环境管理要求。非木材制浆工艺污染防治最佳可行技术指南具有明显的时限特征,随着社会的不断进步需要定期更新。

3.4.2 适用范围

本指南适用于以麦草、芦苇、蔗渣等非木材为主要原料,采用化学法工艺制浆的企业,采用其他工艺制浆的企业参照执行,以竹类为原料的制浆企业参考《造纸行业木材制浆工艺污染防治最佳可行技术指南》。

4. 主要工作过程

4.1 资料查阅和调研

(1) 查阅国内外关于制浆造纸工业污染防治和产业发展方面的法律法规、标准、政策或规范性文件,并进行分析研讨;了解国内非木材制浆工艺和污染防治技术的现状、问题和发展趋势。

(2) 检索国内外最新发布的相关文件,特别针对欧盟的最佳可行技术文件进行了翻译学习,消化吸收。

(3) 对山东省 10 余家非木材制浆企业进行了现场调研,并对各主要工段水污染物排放情况进行了现场监测。对河南、湖南、广西、贵州等省份的非木材制浆企业进行了现场调研,听取了企业对有关技术和运行参数等的介绍;对辽宁、宁夏等省非木材制浆企业进行了发函调研,获取了书面调研材料。基本掌握了国内不同工艺、不同规模、不同原料、不同地域的非木材制浆企业的污染防治技术情况。

(4) 每次实地调研均由指南编制技术小组成员及 1-2 名特聘行业专家参加,对调研的数据进行质疑、筛选和核定后,作为指南编制的依据。

4.2 指南初稿的完成

(1) 在对调研资料、文献资料、相关法律法规、标准、政策和规范性文件深入分析的基础上,按照有关要求,于 2010 年 1 月编制完成了《非木材制浆污染防治最佳可行技术指南》(讨论稿)。

(2) 2010 年 1 月~7 月,项目编制组分别在济南、青岛、北京召开了多次由环保部门、制浆企业、行业技术专家参与的制浆污染防治技术咨询与讨论会,听取了有关专家对《指南》讨论稿的意见,修改形成了《非木材制浆污染防治最佳可行技术指南》(初稿)。

4.3 征求意见稿的完成

(1) 2010年8月20日, 环保部科技标准司、造纸协会、造纸学会、轻工环保研究所、中国制浆研究院、中国环科院、北京环科院等行业专家以及指南技术编制组成员在北京召开了《非木材制浆污染防治最佳可行技术指南》(初稿)技术咨询会, 与会专家对《指南》初稿的格式、技术内容、数据等提出了具体的修改意见。

(2) 2011年6月, 根据多次会议及有关专家的意见, 修改形成了《非木材制浆污染防治最佳可行技术指南》(征求意见稿)。

5. 国内外相关环境技术管理体系研究概况

5.1 国外相关环境技术管理体系

5.1.1 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是由各州分别负责制定的, 全国没有统一的标准。1970年成立了国家环境保护局(EPA)后, 国家对环境保护开始实行控制。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, 而采用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值、BOD₅、SS、AOX等。与我国不同, 美国并未对COD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5.1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)规定了造纸用漂白硫酸盐法与烧碱法浆厂和造纸用亚硫酸盐法浆厂的排放要求。该法规中对现有制浆造纸企业BOD₅、SS限值仍保持原标准要求不变, 对新建污染源要求1998年6月开始实施更加严格的标准(见表5.2)。此外, 美国还规定了二噁英类污染物向水体排放的限值, 要求进入水体的污染物浓度不得超过10pg/L。

**表 5.1 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	-	保留	保留	保留	保留
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 5.2 漂白硫酸盐法和烧碱法纸浆厂新污染源实施标准

(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

5.1.2 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些相似之处。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要严格得多（见表 5.3）。

表 5.3 欧盟制浆造纸业环境保护导则 (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, 涂布白纸板 (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

5.2 国内相关环境技术管理体系

5.2.1 国家标准制修订情况

国家造纸工业水污染物排放标准首次发布于 1983 年，1992 年第一次修订，1999 年第二次修订，2001 年以 GB3544—2001 替代 GWPB2—1999，2003 年 9 月由国家环保总局发布公告对 GB3544—2001 部分内容进行了修订。2008 年，环保部又颁布了《制浆造纸工业水污染物排放标准》（GB3544-2008）。

GB3544—92 标准于 1992 年 7 月 1 日实施，代替 GB3544—83 及 GB8978—88 造纸工业部分。该标准按生产工艺和废水排放去向，分级别、分年限、分工艺规定了造纸工业水污染物最高允许排放浓度、吨产品最高允许排水量和吨产品污染物排放量。

GWPB2—1999 标准不再分级，按生产工艺规定了造纸工业吨产品日均最高允许排水量、日均最高允许排放浓度和吨产品最高允许水污染物排放量，对 GB3544—92 标准的指标值进行了调整，不再分年限规定标准限值，与 GB3544—92 第二时间段二级标准值相比，排水量、BOD₅、SS 加严，COD_{Cr} 基本保持不变。

2001 年 11 月，国家环保总局、国家质量监督检验检疫总局联合发布《造纸工业污染物排放标准》（GB3544—2001），原 GWPB2—1999 废止，但内容不变，自 2002 年 1 月 1 日起实施。

2003 年 9 月，国家环保总局下达环发[2003]152 号文件对 GB3544—2001 进行补充修改，增补、更改了部分内容，对标准中的 3.3 条、3.4 条、4.5 条等内容进行了修订，对标准附录 A 的第一款及 Q 混合的公式做了修改，对废纸制浆造纸企业排放的水污染物排放限值的执行做了新规定。

为适应新时期环境保护的要求，促进造纸行业的节能减排和行业健康、持续发展，根据 2005 年度 254 号国家标准制修订计划，对 GB3544—2001 标准进行全面修订。2008 年，为了加快企业应用清洁生产技术改造传统工艺的步伐，环保部又颁布了《制浆造纸工业水污染物排放标准》（GB3544-2008），该标准增加了氮、磷、色度、二噁英等污染物控制项目，将可吸附有机卤化物（AOX）调整为控制指标，排水量和排放浓度进一步降低。自该标准实施之日起，《造纸工业水污染物排放标准》（GB3544—2001）、《关于修订〈造纸工业水污染物排放标准〉的公告》（环发[2003]152 号）废止。

5.2.2 相关清洁生产标准

为造纸工业开展清洁生产提供技术支持和导向，国家环保总局制定和颁布了下列 3 项有关造纸工业的清洁生产标准，分别为《清洁生产标准 造纸工业（漂白碱法蔗渣浆生产工艺）》（HJ/T317-2006）、《清洁生产标准 造纸工业（硫酸盐化学木浆生产工艺）》（HJ/T340-2007）和《清洁生产标准 造纸工业（漂白化学烧碱法麦草浆生产工艺）》（HJ/T339-2007）。

上述清洁生产标准均为指导性标准，主要用于企业清洁生产审核和清洁生产潜力与机会的判断，以及清洁生产绩效评定等。标准根据当前行业技术、装备水平和管理水平及造纸工

业清洁生产的一般要求而制定的，共分为三级，一级代表国际清洁生产先进水平，二级代表国内清洁生产先进水平，三级代表国内清洁生产基本水平。标准对造纸行业生产工艺与装备要求、资源能源指标、污染物产生指标（末端处理前）、废物回收利用指标和环境管理要求五个方面进行了具体的规定。

5.2.3 地方标准

为适应新时期污染控制与环境质量改善的需要，各省市因地制宜，积极开展了地方造纸工业水污染物排放标准的研究和探索，取得了显著的经济、社会、环境效益，为国家造纸行业污染物排放标准的修订提供了许多值得借鉴的经验，有力地推动了地方造纸工业生产原料及产品结构调整、生产工艺和水污染治理技术进步，极大地促进了区域水环境保护目标的实现。

《浙江省造纸工业（废纸类）水污染物排放标准》（浙 DHJB1-2001）于 2001 年 1 月 21 日发布，该标准与国家环保总局环发[2003]152 号文件中对废纸制浆造纸企业的规定相比，排水量与 COD_{Cr} 指标值相当，对 SS 和 BOD₅ 的要求则比国家标准严格得多。

2003 年 2 月 24 日，《山东省造纸工业水污染物排放标准》（DB37/336-2003）发布，标准根据生产工艺分阶段规定了山东省辖区内造纸工业吨产品日均最高允许排水量，日均最高允许排放浓度和吨产品最高允许水污染物排放量，与 GB3544—2001 标准相比，该标准更加严格，第三时段（2010 年）所有造纸工艺 COD 最高排放浓度要求不超过 120mg/L，同时增加了色度和 AOX 两个指标。

《河南省造纸工业水污染物排放标准》（DB41/389-2004）于 2004 年 12 月 6 日发布，标准划分为两个时段，内容与山东省造纸工业水污染物排放标准相似，第二时段（2011 年）所有造纸工艺 COD 最高排放浓度要求不超过 150 mg/L，并增加了色度指标和 AOX 指标。

6. 行业技术现状调研情况

6.1 非木材制浆造纸企业基本情况

我国的非木材纤维制浆历史悠久，是世界非木浆生产规模最大的国家（其他个别国家规模均较小）。由于环境保护要求的日益严格，及近年来产业政策的引导，使得 2009 年非木材纸浆的比重下降为 15%，其中禾草浆占 60%左右，芦苇浆 10%左右，竹浆 10%左右，蔗渣浆 8%左右，其他占 12%左右。从非木材制浆的产能来看，以河南、山东两省的产量最多。而从原料构成来看，河南、山东、河北以麦草制浆为主，江苏、湖南、湖北、辽宁以芦苇为主，广西以蔗渣为主，四川以竹浆为主，这主要与各省的农业结构有很大的关系。

目前，非木材制浆方法有化学法、半化学法、高得率制浆法，其中，化学法制浆是非木材制浆的主流工艺。非木材化学法制浆技术主要包括烧碱法制浆、硫酸盐法制浆及亚硫酸盐法制浆。其生产工艺流程基本相同，工艺流程一般为：非木材原料经过备料以后，进入蒸煮设备进行蒸煮，所得纸浆通过洗涤筛选工段进行净化，得到质量较好的本色浆，如果需要得到白度较高的纸浆，还需通过后续漂白工段处理。

6.2 非木材制浆造纸企业生产工艺与装备情况

6.2.1 备料工段

调研企业中草类原料(如麦草、芦苇等)的备料方法包括干法备料和干湿结合备料两种。其中大部分使用的是干湿法备料技术。该技术的主体设备是切草机和水力碎草机,目前均采用国产设备。蔗渣备料目前均使用湿法堆存备料工艺。竹子原料使用干法备料的工艺。

6.2.2 蒸煮工段

蒸煮工段根据使用的方法不同,一般可分为间歇式蒸煮和连续式蒸煮两种。间歇式蒸煮是以蒸球或立锅作为主要蒸煮设备,而连续式蒸煮则以管式连蒸器为主要设备。调研的企业中大部分使用横管式连蒸器来作为蒸煮设备,也有少量几个企业使用蒸球来进行蒸煮原料。对于芦苇原料,大部分企业使用的立锅作为蒸煮设备来进行原料的蒸煮。

碱法制浆所排放的黑液是制浆过程中污染物浓度最高、色度最深的废水,呈棕黑色,几乎集中了制浆造纸过程 90%的污染物,其中含有大量木质素和半纤维素等降解产物、色素、戊糖类、残碱及其他溶出物。表 6.1 为 20 余家调研企业的黑液水质指标。

表 6.1 蒸煮工段黑液水质指标

浆种	制浆方法	原料	设备	制浆设备规模(t 浆/d)	取样节点	COD (mg/L)	TSS (mg/L)
化学 浆	烧碱法 1	麦草	横管式连蒸器	450	蒸煮黑液	110000	4200
	烧碱法 2	麦草	蒸球	100	蒸煮黑液	100000	2250
	烧碱蒽醌 法	芦苇麦 草	蒸球	315	蒸煮黑液	124390	350
浆种	制浆方法	pH	色度(倍)	颜色描述	DO(mg/L)	电导率 (ms/cm)	氨氮 (mg/L)
化学 浆	烧碱法 1	--	--	--	--	--	--
	烧碱法 2	11.42	4096	深,黑,不透明	0	46.00	659.76
	烧碱蒽醌 法	12.10	1500	深,黑,不透明	0	52.4	1.72

结合调研数据及文献资料可得,蒸煮工段黑液的水质指标范围是:COD 为 100000~157000 mg/L, TSS 为 350~4200 mg/L, pH 为 11~13, DO 基本为 0。

6.2.3 洗选工段

洗选工段可细分为洗涤、筛选两个部分。被调研企业均采用多段逆流洗涤和封闭筛选工艺,洗涤部分用水系统封闭操作,理论上基本上不排放废水,但在工厂的实际操作中,由于工艺管线长,浆泵和黑液槽多,容易发生跑冒滴漏的现象,另外正常检修时的停开机清洗也需要用水,这是洗浆废水的主要来源,另外洗涤工段的废水量波动较大;筛选部分用水量大,筛选后的浓缩废水是筛选废水的主要来源,封闭筛选是提高洗涤效率、减少废水排放量的有效措施。洗选废水中的主要污染物是细小悬浮纤维以及纤维原料中的溶解性有机物。

调研对象在同时使用封闭筛选工艺,设备规模相同的情况下,分别采用四段和五段逆流

洗涤的洗筛废水的水质指标如下表所示。

表 6.2 洗选废水水质指标

技术名称	主体设备	设备规模(t 浆/d)	取样节点	COD(m g/L)	TSS(mg/ L)	黑液提取 率
五段逆流洗涤、封闭 筛选	真空洗浆机	400	洗选废水	2200	1500	88%
四段逆流洗涤、封闭 筛选	真空洗浆机	400	洗选废水	1207	100	85%

由上表可看出，调研对象采取五段逆流洗涤的黑液提取率、优于四段逆流洗涤，但产生的筛选废水的 COD、TSS 均大于四段逆流洗涤。洗选废水的浓度高低与蒸煮液的成分和提取率有关。目前，草浆黑液提取率一般在 80%~85%，部分草浆企业可达 90%以上；苇浆黑液提取率一般可达 90%以上，蔗渣浆企业可达 88%左右。

6.2.4 漂白工段

漂白是为了将残余木素由未漂浆中分离出去。传统的 CEH 三段漂白是由氯化(C)、碱抽提(E)、次氯酸盐漂(H)等几段组成。CEPH 漂白是在 CEH 三段漂白次氯酸盐之前，增加过氧化氢漂白(P)，可提高漂浆白度和稳定性。在调研的企业中大部分使用 CEH 三段漂，还有部分企业使用改进的 CEPH 的漂白工艺，其漂白出水的水质指标如表 6.3 所示。

表 6.3 漂白出水的水质指标

漂白工艺类型	取样节点	COD(mg/L)	TSS(mg/L)	pH	DO(mg/L)
传统三段漂白工艺(CEH)	漂白出水	1311	600	7	4.81
过氧化氢补充漂白工艺(CEPH)	漂白出水	274	110	8.30	5.57
漂白工艺类型	取样节点	色度(倍)	颜色描述	电导率 (ms/cm)	氨氮(mg/L)
传统三段漂白工艺(CEH)	漂白出水	16	浅，黄，不透明	6.24	19.34
过氧化氢补充漂白工艺(CEPH)	漂白出水	2	浅，白，混浊	6.08	1.68

由以上数据可看出，CEPH 漂白出水水质在 COD、TSS、色度、DO、电导率等指标方面均优于传统 CEH 漂白工艺。但是，由于该方法使用了含元素氯的漂剂，因此，会产生大量的氯化废水，废水中含有致癌性和致变性的 AOX 等有机氯化物，其发生量在 3~4 kg/t 浆，个别企业超过 7kg/t 浆。

6.2.5 碱回收工段

碱回收车间采用燃烧法将制浆车间洗浆工段送来的浓黑液经多效蒸发浓缩，使黑液浓度提高，送入燃烧炉进行燃烧，消除污染，回收烧碱和热能，然后进行苛化分离，最后将清洁的烧碱回收至蒸煮工段循环使用。目前，芦苇浆的黑液碱回收率一般在 85%~90%，蔗渣浆的黑液碱回收率一般在 83~87%，麦草浆的黑液碱回收率相对较低，一般在 70%~80%。

黑液在综合利用或送碱回收炉燃烧前，都要通过多效蒸发器浓缩，蒸发浓缩过程中产生

的冷凝水是一种污染来源。冷凝水中一般含有甲醇、硫化物和少量黑液。污冷凝水经过气体法处理后，方能回用或者排放。调研企业碱回收冷凝水的各项水质指标如表 6.4 所示。

表 6.4 碱回收冷凝水水质指标

COD (mg/L)	TSS (mg/L)	pH	色度(倍)	DO (mg/L)	电导率 (us/cm)	氨氮 (mg/L)
756	50	9.42	8	3.21	963	28.26

6.2.6 亚硫酸盐法制浆废液的处理

(1) 废液燃烧回收技术

该技术的工艺流程与黑液碱回收过程相近，包括废液蒸发工段、燃烧工段、回收热能和再生蒸煮液等。镁盐基废液回收较容易，一般可回收 75%~88%的 MgO 和 65%~70%的 SO₂；铵盐基废液回收过程中，盐基部分将分解挥发而难以回收，只有 SO₂ 和热能可以回收利用。

调研的亚硫酸镁法非木材制浆企业使用该技术进行制浆废液的处理。

(2) 废液综合利用技术

非木材亚硫酸盐法制浆废液中主要以糖类有机物和木素磺酸盐废液中还含有一定量的铵盐。目前，其综合利用技术主要包括木素产品的制备技术和复合肥的制备技术。

①木素产品的制备技术

制浆废液先通过发酵蒸馏分离后，进入蒸发工段进行浓缩，得到纯度较高的木素磺酸盐。根据不同用途，对木素磺酸盐进行改性，所得产品可以用做减水剂、化学灌浆材料、石油开采助剂等。

②复合肥的制备技术

制浆废液先经过蒸发工段进行浓缩，后喷浆造粒、冷却、筛分，合格颗粒肥料送去包装。

提取后的废液浓度约 13%，经蒸发后达到 45%左右。喷粒干燥机热风炉产生的烟温约 550~660℃。为主。其中，亚铵法制浆

6.3 非木材制浆产排污情况

非木材制浆过程中会向水体、大气、土壤等环境中排放污染物质，其中水污染是最主要的环境问题，非木材制浆生产工艺及主要产污环节见图 6.1。

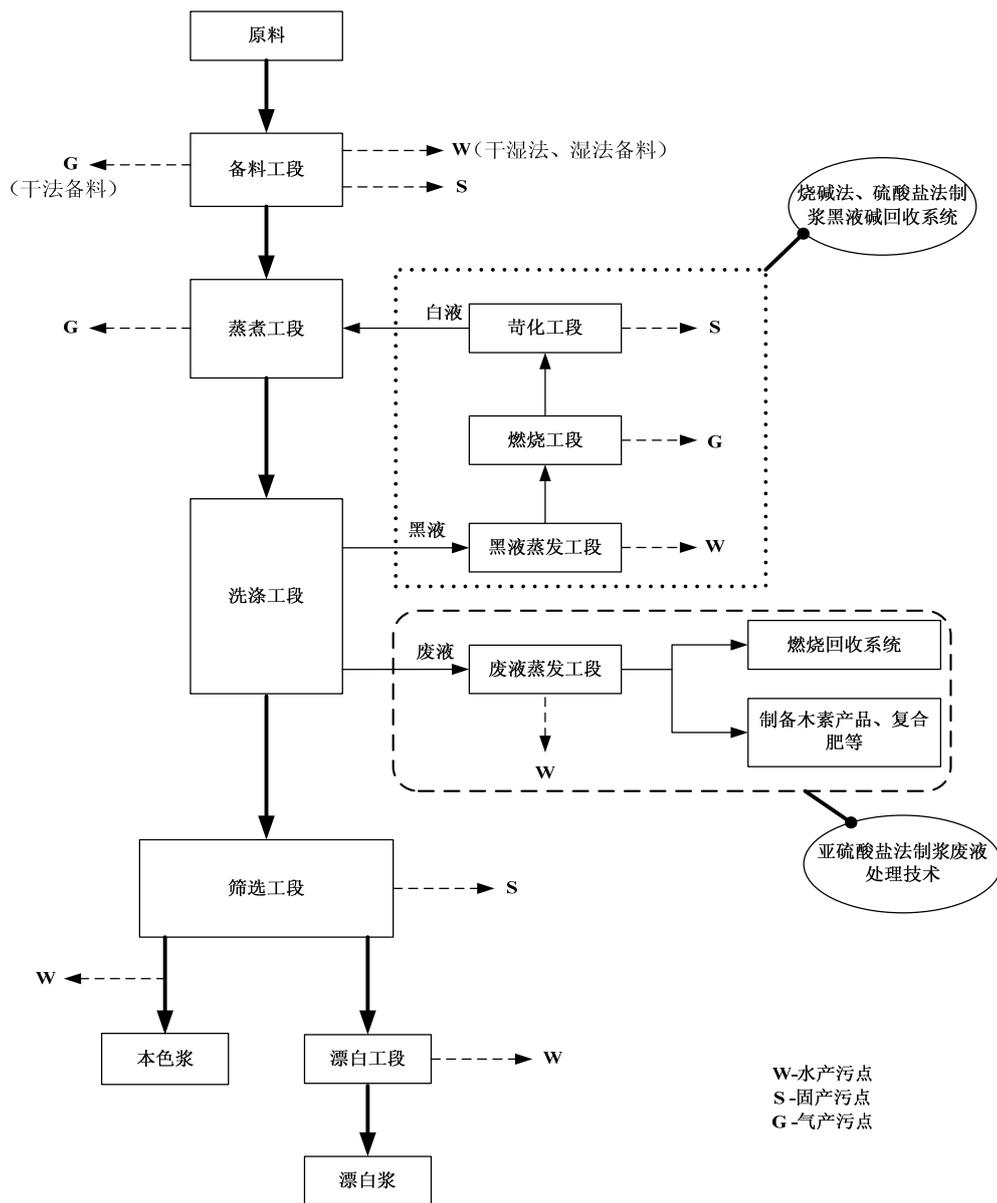


图 6.1 非木材制浆生产工艺及主要产污环节

6.3.1 水污染物排放

非木材制浆厂水污染排放主要来源于：备料工段产生的备料废水(干湿法和全湿法)、洗涤工段提取的制浆废液、洗选漂废水以及污冷凝水等。各工段产生废水情况见表 6.5。

表 6.5 各种化学浆 COD 污染负荷(kg/t 浆)

汇总项目 浆种	湿法备料	洗筛废水			漂白废水		蒸发工段污冷凝水		废液 COD 量占制浆造纸全过程 COD 总量 (%)	蒸煮废液最佳治理	
		(蒸煮)黑液无处理	提取黑(废)液进行厂内处理后残留 COD 量			无氧脱木素	有氧脱木素	无汽提			有汽提
			1995 年最低量(≥)	2000 年最低量(≥)	2005 年最低量(≥)						

												方法
漂白硫酸盐法或碱法浆	芦苇	—	1350	230 (83%)	135 (90%)	108 (92%)	60	40	30	10	92.8	碱回收
	甘蔗渣	30~100	1340	268 (80%)	160 (88%)	134 (90%)	69	40	30	10	90.0	
	麦草	80	1300	325 (75%)	208 (84%)	143 (89%)	60	36	30	10	93.5	
亚硫酸盐法	铵基 麦草	—	1100 (废液)	330 (70%)	220 (80%)	165 (85%)	80	-	20	-	91.7	制备黏合剂
	钙镁或钠盐基 芦苇	5~20	1500 (红液)	75 (95%)	60 (96%)	22 (98.5%)	70	-	40	-	93.0	综合利用

注：数据来源于《中国造纸工业非木材制浆污染防治进展》，林乔元。括号中数据为当年黑液最高提取率。

(1) 备料工段的废水主要来自全湿法备料或干湿结合法备料中用于清洗原料的废水，这部分废水主要用的是回用水(来自碱回收车间的污冷凝水或回用中段水)，个别企业采用清水。备料废水的主要污染物为有机污染物、固体悬浮物等。草类和芦苇备料多采用干湿法备料，其废水中 COD 浓度一般在 4000~5000 mg/L，吨浆 COD 负荷约 80 kg 左右。蔗渣备料目前均采用湿法堆存的方式，废水中污染物的浓度与湿法堆存的时间有关，前期废水中 COD 浓度一般在 10000 mg/L 左右，后期可降至 2000 mg/L 左右，吨浆 COD 负荷 30~100 kg 左右。

(2) 蒸煮废液是制浆厂的主要污染来源，所产生的污染物质约为制浆全过程污染物总量的 90%以上，吨浆黑液 COD 污染物负荷约 1300 kg。这部分废液主要通过洗涤的方式进行提取，提取率通常在 85%左右。对于碱法提取后的废液一般称为黑液，多采用碱回收的方式进行处理。对于亚硫酸盐法提取的废液，一般采用综合利用的方式处理。提取剩余后的废水进入后续洗涤工段。

(3) 洗选漂废水，主要污染物为有机污染物、固体悬浮物等，含氯漂白工艺还会产生一定量的可吸附有机卤化物(AOX)和二噁英。经测定，多数企业平均吨浆耗水量约 70~100 m³，废水中 COD 浓度在 1500~2500 mg/L 之间，洗筛漂废水中吨浆 COD 负荷约 200 kg。非木浆含氯漂白废水中 AOX 的含量通常在 1.5~4 kg/t 浆左右，排放浓度通常在 100 mg/L 以下。

(4) 污冷凝水主要来自制浆废液的蒸发工段以及蒸煮废气热回收系统等。碱法蒸煮过程中产生的污冷凝水，主要含有萜烯化合物、甲醇、乙醇、丙酮、丁酮及糠醛等污染物，硫酸盐法制浆中还含有硫化氢及有机硫化物。碱回收系统的二次蒸汽污冷凝水中含有甲醇、硫化物，有时还含有少量黑液。亚硫酸盐法制浆废液蒸发产生的污冷凝水，主要成分是乙酸，其

次是甲醇及糠醛。

6.3.2 固体废物产生

非木材制浆厂固体废物主要来源于备料工段产生的废渣、尘土，筛选工段产生的废浆渣以及碱回收工段产生的白泥等。

(1) 备料工段：在原料的除尘过程中会产生一部分废渣，主要包括麦渣、叶(或蔗渣髓、苇渣)等，还含有一定量的尘土。

(2) 筛选工段：压力筛、锥形除砂器会定期排出部分尾渣，主要是少量的长纤维及粗大的草节、金属杂质、小石块等。

(3) 碱回收工段：主要是来自苛化工段的白泥，主要成分是碳酸钙，另外，还含有一定量的硅化物。

6.3.3 大气污染物排放

非木材制浆厂大气污染排放主要来源于蒸煮工段产生的蒸煮废气、硫酸盐法制浆产生的臭气及碱回收炉产生的废气等。

(1) 烧碱法蒸煮工段产生的废气，主要污染物是高温废气。硫酸盐法蒸煮工段产生的废气，主要污染物是臭气，主要成分为硫化氢(H_2S)、甲硫醇(CH_3SH)、甲硫醚(CH_3SCH_3)、二甲二硫醚(CH_3SSCH_3)等。

(2) 烧碱法制浆黑液碱回收炉产生的废气中 SO_2 和粉尘含量均较少；而在硫酸盐法制浆过程中，碱回收炉产生的废气主要以 SO_2 为主。

7. 最佳可行技术的确定原则和评估、筛选方法

7.1 评估原则

(1) 可行性原则

设计的技术评价指标应根据被评价技术的特点，尽量使指标简单明了，抓住主要因素，忽略次要因素，使其在实际操作中具有可行性。另外，评价指标体系应充分考虑到数据的可获得性和指标量化的难易程度，尽可能地选择一些容易量化、数据易得的指标，使之具有较强的可操作性。

(2) 可比性原则

建立的评价指标体系，评价指标要尽可能能够量化，不能完全量化的指标也可通过文字描述，划分出等级，具有可比性。

(3) 层次优化原则

由于不同指标具有不同的层次性，而且同层次上他们对目标层的重要性影响又不同，因此评价指标体系应有明确的层次性和良好的优化结构。

(4) 独立性原则

要求所建立的评价指标体系的各个指标作为一个有机的整体，能够从各个方面反映所评

估技术的特征，但各具体指标之间在内容上应保持相对独立。

(5)发展性原则

随着社会的发展、技术的进步、环境污染状况的变化，评价指标体系应作相应修订和调整。

7.2 评估指标体系建立

7.2.1 评估指标体系建立的方法

目前多元指标选取的方法主要有三种，分别是调查研究及专家咨询法、多元统计法和目标分解法。

调查研究及专家咨询法。是指通过调查研究，在广泛收集有关指标的基础上，利用比较归纳法进行归类，并根据评估目标设计出评估指标体系，再以问卷的形式把所设计的评估指标体系，寄给有关专家征求意见的方法。

多元统计法。是通过因子分析和聚类分析等方法，从初步拟定的较多指标中找出关键性指标。其主要的优点是，具有逻辑和统计意义，科学性强；能综合简化要素，解决要素的归属、要素间的联系和隶属位次等问题；能建立定性定量相结合的评估指标体系；能处理大量的数据和信息。

目标分解法。这种方法是通过研究主体的目标或任务具体分析来建构评估指标体系。对研究对象进行分解，一般是从总目标出发，按照研究内容的构成进行逐次分解，直到分解出来的指标达到可测的要求。

本评估指标体系拟综合采用上述第一种和第三种方法构建，其中指标体系整体框架的搭建采用目标分解法，具体指标的选取综合采用目标分解法和专家咨询法。初步考虑的评估指标体系分三级指标，一级指标包括可行技术和最佳可行技术，各指标下分若干二级指标，其中部分二级指标根据情况进一步细化为三级评估指标。

7.2.2 评估体系的构成

本指标体系整体框架的搭建采用目标分解法，将评估指标体系分为三级指标，各指标的选取主要综合采用目标分解法和调查研究及专家咨询法来进行筛选。图 7.1 列出了评估体系中各指标的层次关系。

(1) 一级指标

分为可行技术和最佳可行技术。

(2) 二级指标

生产过程分为工艺技术、社会经济效益、资源能源消耗和环境污染控制；末端治理分为工艺技术、社会经济效益、资源能源消耗和环境污染治理。

(3) 三级指标

二级指标中的四个指标又分为若干评估指标。其中三级指标中，由于生产过程侧重于污染的防治，而末端治理技术侧重于污染的治理，故在指标的选择上略有差别。

① 工艺技术

分为先进性、成熟性、稳定性和实用性。

② 社会经济效益

分为工程投资、运行成本、经济效益和占地面积。

③ 资源能源消耗

生产过程分为单位产品物耗、单位产品能耗和吨耗新鲜水量；末端治理分为单位产品物耗、单位产品能耗和污染物综合利用。

④ 环境污染控制

生产过程分为废水控制效果、大气污染控制效果和固体废物控制效果；末端治理分为废水控制效果、废气控制效果、固体废物控制效果和二次污染。

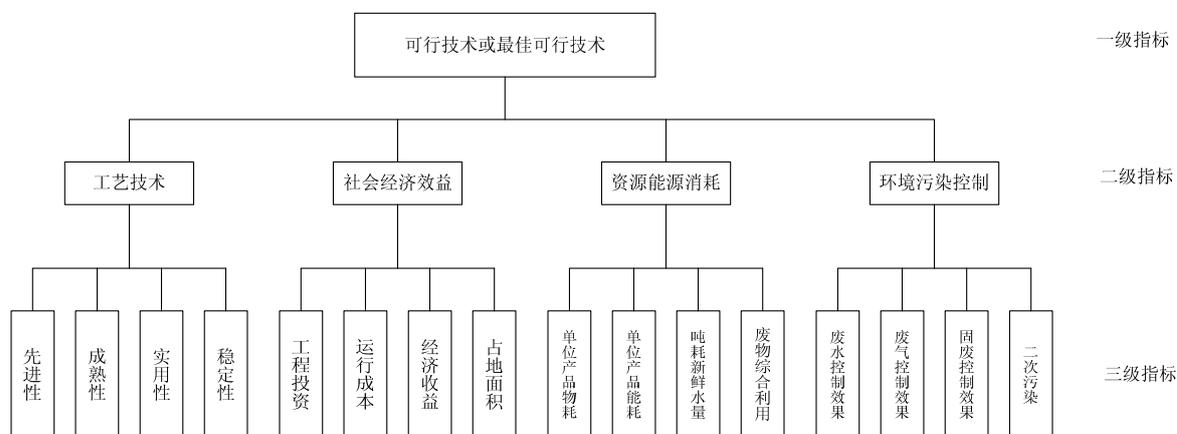


图 7.1 评估体系中各指标体系框架图

7.3 评估程序

污染防治最佳可行技术评估工作大致可分为两个阶段：技术初筛阶段和技术评估阶段。

7.3.1 技术初筛阶段

本阶段工作内容主要包括：列出所有技术、确定参选技术、成立评估专家组、确定可行技术等工作环节。评估机构在对被评估技术背景资料全面了解的基础上，列出该行业当前实际应用的所有技术，形成所有技术清单，并按照生产过程和末端治理技术进行分类，并对所有技术进行初步筛选，确定参选技术。从本行业中聘请十名或以上专家成立评估专家组，采用基于专家经验判断的定性评估方法，从参选技术中筛选出可行技术。

7.3.2 技术评估阶段

本阶段工作内容主要包括：确定评估指标、综合评估(权重分析和技术打分)、确定最佳可行技术等工作环节。根据专家组意见确定最佳可行技术的评估指标，采用目标分解法对各指标分为三级，依据专家对各指标重要性的权重分析及污染防治技术的评估，对可行技术进

行综合评估，经过比较和筛选确定最佳可行技术。

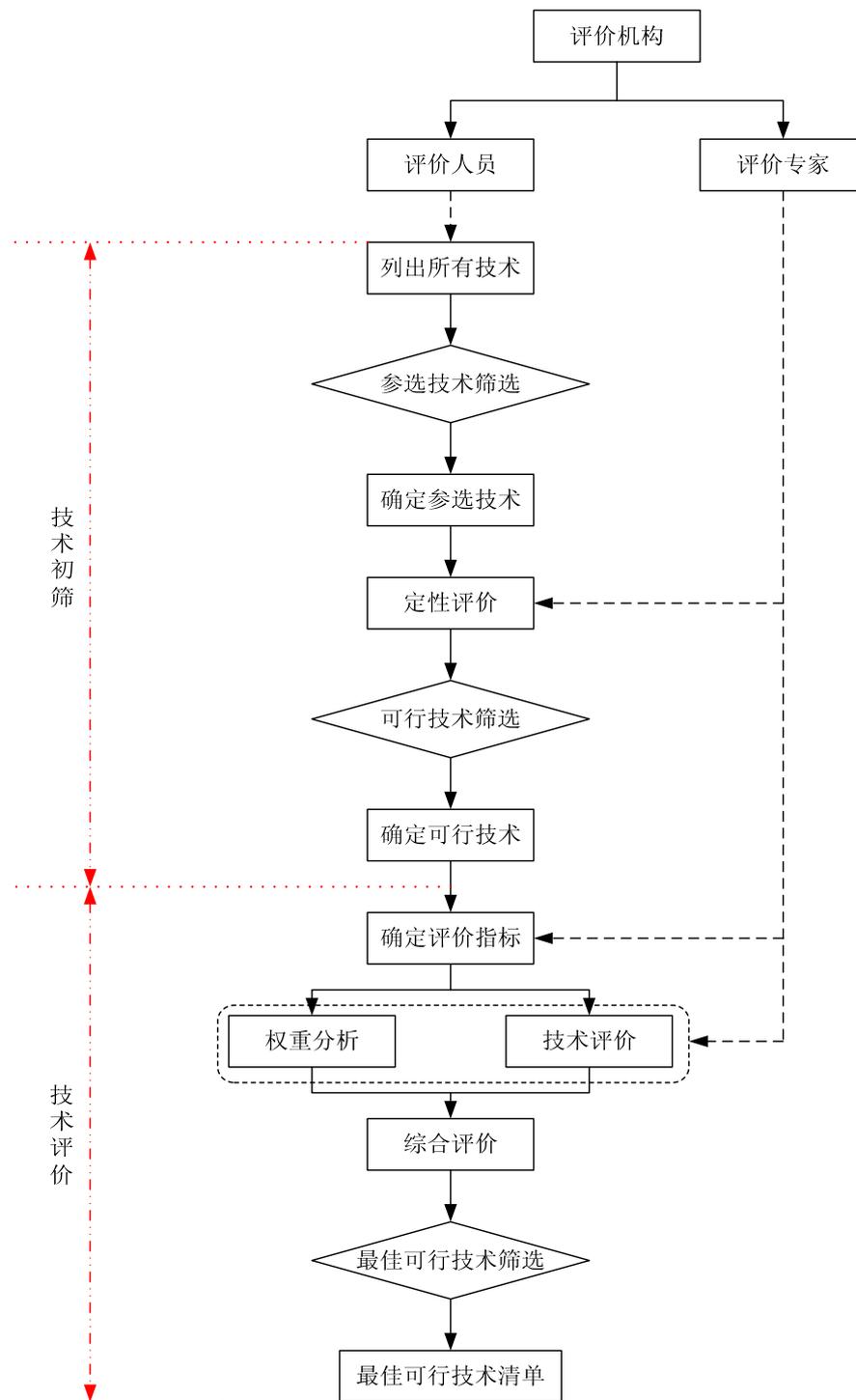


图 7.2 技术评估工作流程图

7.4 评估方法

7.4.1 可行技术评估

(1) 对于某生产工段或末端治理应用的技术只有一种时，直接认定为可行技术。

(2) 对于同一工段或同一类型的技术有多种时，需要列出定性评估指标表，征询专家意见，必要时根据专家意见对定性评估指标进行适当调整。

(3) 定性评估专家评分表，发给评估专家，由各评估专家独立打分。1~5 不同的分值分别代表很差、较差、一般、较好、很好。

(4) 打分时针对每一项技术打一个分数，对于某工段的某项技术不涉及某一具体指标时，可去掉该项指标。

(5) 对专家评分进行统计，如果存在较大歧义，则将统计结果反馈给评估专家，由专家重新打分。必要时重复本步骤。

(6) 根据专家打分统计结果，达到一般水平(该技术平均总得分 $\geq 3 \times$ 评估指标个数)的参选技术即定为可行技术，形成备选技术清单。专家人数一般定为 10 人或以上。

表 7.3 生产过程可行技术打分表

评估集	参考集	很好	较好	一般	较差	很差
		5	4	3	2	1
工艺技术性 能	先进性					
	成熟性					
	实用性					
	稳定性					
社会经济效 益	工程投资					
	运行成本					
	经济收益					
	占地面积					
资源能源消 耗	单位产品物耗					
	单位产品能耗					
	吨耗新鲜水量					
环境污染控 制	废水控制效果					
	废气控制效果					
	固废控制效果					

注：很差为 1 分、较差为 2 分、一般为 3 分、较好为 4 分、很好为 5 分。

表 7.4 末端治理可行技术打分表

评估集	参考集	很好	较好	一般	较差	很差
		5	4	3	2	1
工艺技术性 能	先进性					
	成熟性					
	实用性					

	稳定性					
社会经济效 益	工程投资					
	运行成本					
	经济收益					
	占地面积					
资源能源消 耗	单位产品物耗					
	单位产品能耗					
	废物综合利用					
环境污染控 制	废水控制效果					
	废气控制效果					
	固废控制效果					
	二次污染					

注：很差为 1 分、较差为 2 分、一般为 3 分、较好为 4 分、很好为 5 分。

7.4.2 最佳可行技术评估

(1) 评估的方法

最佳可行技术分为生产过程的最佳污染预防技术和末端治理的最佳污染治理技术两个方面，其侧重点有所不同，因此指标体系分别建立。具体评估方法如下：

①对于某生产工段或末端治理可行的技术只有一种时，直接认定为最佳可行技术。

②对于同一工段或同一类型的技术有多种时，需要通过综合评估确定。列出评估指标表，征询专家意见，必要时根据专家意见对定性评估指标进行适当调整。

③定性评估指标由专家根据经验直接给出打分。1~5 不同的分值分别代表很差、较差、一般、较好、很好。

④对于客观性评估指标，给出指标限值可采用如下两种方式：一是由专家组讨论后，采用模糊评判的方法直接按评估集给出分数；二是由技术库中数据自动给出。

由技术库中数据自动给出的方法如下：根据环境技术数据库中数据，查出该指标的最优值与最差值，最优值得 5 分，最差值得 1 分，在最优值与最低值之间通过均匀插值分为 5 档。

⑤对专家评分进行统计，如果存在较大歧异，则将统计结果反馈给评估专家，由专家重新打分。必要时重复本步骤。

⑥权重的获取采用层次分析法，权重因具体工艺、具体工段有所不同，同一技术各指标的权重之和等于 1。

⑦根据专家打分统计结果，达到较好以上水平(该技术平均总得分=对每一指标的平均分与该指标的权重乘积后求和×评估指标个数≥4×评估指标个数)的参选技术即定为最佳可行技术。专家人数一般定为 10 人或以上。

表 7.5 生产过程控制指标打分表

目标层	准则层	指标层	权重	平均分	5	4	3	2	1	
最佳可行技术评估	工艺技术	先进性								
		成熟性								
		实用性								
		稳定性								
	社会经济效益	工程投资								
		运行成本								
		经济收益								
		占地面积								
	资源能源消耗	单位产品物耗								
		单位产品能耗								
		吨耗新鲜水量								
	环境污染控制	废水控制效果								
		废气控制效果								
固废控制效果										

表 7.6 末端治理控制指标打分表

目标层	准则层	指标层	权重	平均分	5	4	3	2	1	
最佳可行技术评估	工艺技术	先进性								
		成熟性								
		实用性								
		稳定性								
	社会经济效益	工程投资								
		运行成本								
		经济收益								
		占地面积								
	资源能源消耗	单位产品物耗								
		单位产品能耗								
		污染物综合利用								
	环境污染控制	废水控制效果								
		废气控制效果								
固废控制效果										
二次污染										

(2) 权重的确定方法

采用层次分析法来确定各级指标的权重，如下图中目标层相对应于 7.2.2 中构建的评估体系的一级指标，准则层相对应于二级指标，指标层相对应于三级指标。

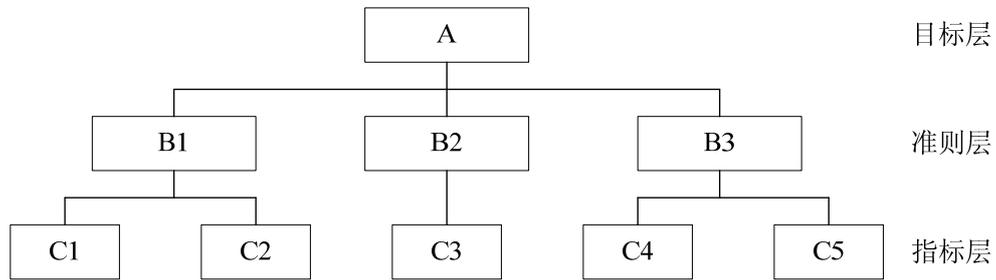


图 7.7 层次分析法指标层次框架图

(3) 评估方法应用示例

以非木材制浆备料工段中的干湿法备料技术为例来介绍本评估方法的实施过程，选取某一个专家的评分表作为依据来计算。生产工艺污染防治技术评估表及各指标重要性比较表分别见表 7.10 至表 7.15。

表 7.10 根据某专家 1 打分的生产工艺污染防治技术评估表

评估指标	工艺技术	干湿法备料
	工艺技术	先进性
成熟性		4
实用性		5
稳定性		4
社会经济效益	工程投资	4
	运行成本	4
	经济收益	4
	占地面积	4
资源能源消耗	单位产品物耗	3
	单位产品能耗	3
	吨耗新鲜水量	3
环境污染控制	废水控制效果	4
	废气控制效果	5
	固废控制效果	5

表 7.11 某专家 1 给出的二级指标之间重要性比较表

	工艺技术	社会经济效益	资源能源消耗	环境污染控制
工艺技术	1	1	3	9
社会经济效益	1	1	3	9
资源能源消耗	1/3	1/3	1	9
环境污染控制	1/9	1/9	1/9	1

表 7.12 某专家 1 给出的工艺技术中四个三级指标之间的重要性比较表

	先进性	成熟性	实用性	稳定性
先进性	1	3	3	3
成熟性	1/3	1	3	1
实用性	1/3	1/3	1	1
稳定性	1/3	1	1	1

表 7.13 某专家 1 给出的社会经济效益中四个三级指标之间的重要性比较表

	工程投资	运行成本	经济收益	占地面积
工程投资	1	3	3	1
运行成本	1/3	1	1	1
经济收益	1/3	1	1	1/3
占地面积	1	1	3	1

表 7.14 某专家 1 给出的资源能源消耗中三个三级指标之间的重要性比较表

	单位产品物耗	单位产品能耗	吨耗新鲜水量
单位产品物耗	1	3	3
单位产品能耗	1/3	1	3
吨耗新鲜水量	1/3	1/3	1

表 7.15 环境污染控制中三个三级指标之间的重要性比较表

	废水控制效果	废气控制效果	固废控制效果
--	--------	--------	--------

废水控制效果	1	1/3	1/3
废气控制效果	3	1	1
固废控制效果	3	1	1

①准则层对目标层的权向量的计算。我们可以根据表 3.6 数据，确定其判断矩阵为：

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 9 \\ 1 & 1 & 3 & 9 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 & 1 \end{bmatrix}$$

该矩阵的最大特征根 $\lambda=4.1545$ ，对应的最大特征向量 $w^{(2)}=(0.191539, 0.087813, 0.049741, 0.063846)^T$

一致性检验：一致性指标 $CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} = \frac{4.1545 - 4}{4 - 1} = 0.0515$ ，一致性比率

$CR=CI/RI=0.0515/0.9=0.057 < 0.1$ ，故通过一致性检验。

因此，准则层对目标层的权向量为判断矩阵的最大特征向量 $w^{(2)}=(0.3929,0.3929,0.1801,0.0340)^T$ 。

②指标层对准则层的权向量的计算。根据表 5.4-7~表 5.4-10 中数据，可依照(1)中相同的方法来计算他们各自的权向量。

1) 工艺技术中四个三级指标对工艺技术的权向量 $w_1^{(3)}=(0.4875,0.2235,0.1266,0.1625)^T$ 。

2) 社会效益中四个三级指标对社会效益的权向量 $w_2^{(3)}=(0.3889, 0.1783, 0.1296, 0.3031)^T$ 。

3) 资源能源消耗中三个三级指标对资源能源消耗的权向量 $w_3^{(3)}=(0.5842, 0.2809, 0.1350)^T$ 。

4) 环境污染控制中三个三级指标对环境污染控制的权向量 $w_4^{(3)}=(0.1429, 0.4286, 0.4286)^T$ 。

各指标的权向量为列向量可构造矩阵 $W^{(3)}=(w_1^{(3)}, w_2^{(3)}, w_3^{(3)}, w_4^{(3)})^T$ 。

③指标层对目标层的权向量的计算。

指标层对目标层的权向量 $w^{(3)}=$ 准则层对目标层的权向量 \times 指标层对准则层的权向量 $=w^{(2)}\times W^{(3)}$ ，故

$$w^{(3)} = [0.3929 \quad 0.3929 \quad 0.1801 \quad 0.0340] \begin{bmatrix} 0.4875 & 0 & 0 & 0 \\ 0.2235 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1266 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1625 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3889 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1783 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1296 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3031 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5842 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2809 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1350 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.1429 \\ 0 & 0 & 0 & 0.4286 \\ 0 & 0 & 0 & 0.4286 \end{bmatrix}$$

$$= [0.191539 \quad 0.087813 \quad 0.049741 \quad 0.063846 \quad 0.152799 \quad 0.070054 \quad 0.05092 \quad 0.119088 \quad 0.105214 \quad 0.05059 \quad 0.024314 \quad 0.004859 \quad 0.014572 \quad 0.014572]$$

④ 综合评估

组合所得权向量和表 7.10 数据，可设计以下表。

表 7.16 根据某专家得出的最佳可行技术综合评估表

		干湿法备料		
		权重	技术打分	综合得分
工艺技术	先进性	0.191539	5	0.957695
	成熟性	0.087813	4	0.351252
	实用性	0.049741	5	0.248705
	稳定性	0.063846	4	0.255384
社会经济效益	工程投资	0.152799	4	0.611196
	运行成本	0.070054	4	0.280216
	经济收益	0.05092	4	0.20368
	占地面积	0.119088	4	0.476352
资源能源消耗	单位产品物耗	0.105214	3	0.315642
	单位产品能耗	0.05059	3	0.15177
	吨耗新鲜水量	0.024314	3	0.072942
环境污染控制	废水控制效果	0.004859	4	0.019436
	废气控制效果	0.014572	5	0.07286
	固废控制效果	0.014572	5	0.07286
技术综合总得分		4.08999		

表中技术打分来自表 7.10 数据，综合得分等于每个指标的权重与相应的技术打分的乘积，技术综合总得分等于每个指标的综合得分之和。

十个专家可以得到十个不同的技术综合总得分，然后求平均值得到技术平均总得分。由此得出干湿法备料技术的最终综合评估得分为 4.140，根据最佳可行技术“平均总得分≥4”来进行筛选，可以认定干湿法备料技术为生产过程污染预防最佳可行技术。

8.主要技术内容及说明

8.1 生产过程中的污染防治技术

8.1.1 备料工段

8.1.1.1 干法备料技术

来自原料场的麦草，通过刀辊式切草机进行切割，得到适合于蒸煮的麦草长度。除去麦草中的尘土、麦穗、麦节等杂质后，送蒸煮工段进行蒸煮。

使用干法备料不会产生备料废水，平均吨风干浆电耗 90 ~100 kWh。但干法备料由于切草机和除尘机密闭性较差，使备料车间产生较多飞尘，影响人体健康。

干法备料流程简单、操作及运行费用较低，但切草机和除尘机密闭性较差，备料车间产生较多飞尘，影响人体健康。该技术不适合后续工段采用连续蒸煮工艺的企业。

8.1.1.2 干湿法备料技术

麦草原料经切草机切断，除尘机除尘后，再经碎解、洗涤处理，合格的草片经脱水后，通过螺旋喂料器送去蒸煮工段蒸煮。

平均吨风干浆产生备料废水约 20 m³ 左右，电耗 110 ~130 kWh，废水中 COD 浓度 3000 ~5000 mg/L。

8.1.1.3 蔗渣湿法堆存储备料技术

蔗渣经过除髓机除髓后，送到原料堆场进行湿法堆存（喷淋），合格原料经脱水后，送入蒸煮工段进行蒸煮。

平均吨风干浆产生备料废水约 20 m³ 左右，喷淋前期废水中 COD 浓度可达 10000 mg/L，后期降至 2000 mg/L 左右。

通过对这三种技术的评估，备料工段选取的最佳可行技术如下：

选取的技术。干湿法备料技术，蔗渣采用湿法堆存储备料技术。

筛除的技术。干法备料技术由于备料车间产生较多飞尘，影响人体健康；且不适合后续工段采用连续蒸煮工艺的企业，技术先进性较差，适用性也受到一定的限制。

8.1.2 蒸煮工段

8.1.2.1 间歇式蒸煮技术

间歇式蒸煮技术是一次性进料，蒸煮结束后一次性出料，然后再进料的蒸煮过程，整个过程是间歇的。一般选用蒸球作为蒸煮设备。

平均每吨风干浆消耗蒸汽约 2.9 m³。蒸煮过程化学品消耗与蒸煮工艺和原料有关。制浆过程还会产生部分高温蒸煮废气。

蒸球结构简单，操作灵活，节电，投资较小。但蒸球装锅量小，蒸煮不均匀，产浆量低。

8.1.2.2 连续蒸煮技术

连续蒸煮技术是连续进料和连续出浆的蒸煮过程，多采用横管连续蒸煮器。

平均每吨浆消耗蒸汽约 2.3 m^3 。蒸煮过程中化学品的消耗与蒸煮工艺及原料有关。

该技术产量高，生产工艺参数稳定，成浆质量均一，自动化程度高，运行费用较低。要求备料工段使用干湿法结合备料工艺。

通过对这两种技术的评估，蒸煮工段选取的最佳可行技术如下：

选取的技术。连续蒸煮技术。

对于非木材制浆而言，间歇式蒸煮技术主要采用蒸球，由于蒸球装锅量小，蒸煮不均匀，产浆量低，占地面积大，新建企业已经不允许使用该技术。

8.1.3 洗涤工段

8.1.3.1 多段逆流真空洗浆技术

多段逆流真空洗浆系统的主体设备是鼓式真空洗浆机，通过多台真空洗浆机串联，除最后一台设备加入新鲜水进行洗涤外，其余各洗浆机均使用前段洗涤后的废液作为洗涤水。

黑液提取率一般可达 80% 以上，剩余部分残留在纸浆中进入后续工段。

该技术可大大减少新鲜水的使用。适用于所有企业。

8.1.3.2 挤浆+多段逆流真空洗浆技术

该技术是在多段串联的逆流真空洗浆机之前增加一台挤浆机。黑液提取率一般可达 85% 以上。可有效提高黑液浓度，并在一定程度上提高黑液提取率。适用于所有企业。

通过对这两种技术的评估，洗涤工段选取的最佳可行技术如下：

选取的技术。多段逆流真空洗浆技术或挤浆+多段逆流真空洗浆技术。

8.1.4 筛选工段

封闭式筛选技术是指通常在三段或四段真空洗浆机后增加两段压力筛，对浆料进行封闭式筛选，最后一段真空洗浆机既是黑液提取的洗涤设备，又是筛选的过滤浓缩设备。

该技术无废水排放，吨浆节水 $50 \text{ m}^3 \sim 60 \text{ m}^3$ ，节电 30%。

该技术工艺流程简单，占地面积小，筛选效率高，成浆质量好，适用于所有企业。

8.1.5 漂白工段

8.1.5.1 无元素氯漂白技术（ECF）

ECF 漂白工艺是指采用 ClO_2 作为主要漂白剂的漂白工艺。

该技术可大大减少废水中 AOX（包括二噁英）物质的产生，并可减少废水的排放。

漂白后纸浆的白度高，返黄少，浆的强度好。但 ClO_2 必须就地制备，生产成本较高，对设备耐腐蚀性要求高。

8.1.5.2 全无氯漂白技术（TCF）

全无氯漂白是不使用任何含氯漂剂，用 H_2O_2 、 O_3 及过氧醋酸等含氧化学药品进行漂白

的技术。

不产生 AOX（包括二噁英），同时可减少废水的排放。

TCF 纸浆成本更高，生产的纸浆白度相对较低。该工艺适用于低卡伯值纸浆的漂白，一般要求配套氧脱木素工艺。

8.1.5.3 本色制浆或低白度漂白技术

本色制浆是指不进行漂白的技术。而低白度漂白技术是通过减少漂白剂的用量从而得到白度较低的纸浆的技术。

本色制浆技术可从根本上避免 AOX（包括二噁英）的产生，同时减少废水的产生。在 ECF 的基础上采用低白度漂白技术可减少 AOX（包括二噁英）的产生，并可减少新鲜水的使用。在 TCF 的基础上采用低白度漂白技术主要贡献是减少新鲜水的使用。

本色制浆或低白度漂白技术适用于所有企业，但其产品在一定程度上受到市场的限制。

通过对这些技术的评估，漂白工段选取的最佳可行技术如下：

选取的技术。ECF 漂白技术。本色制浆技术。低白度漂白技术，在 ECF 的基础上应用。

筛除的技术。由于 TCF 漂白技术生产纸浆成本更高，生产的纸浆质量相对较差，白度相对较低，目前国内尚无大规模成功使用案例。而在环境效益方面，除了不产生 AOX 外，没有其他比 ECF 漂白技术更好的方面。

8.1.6 制浆废液处理

8.1.6.1 黑液碱回收工段（碱法）

采用燃烧法将制浆车间洗浆工段送来的浓黑液经多效蒸发浓缩，使黑液浓度提高到 40% 以上，再经圆盘蒸发器进一步浓缩后（黑液浓度到 45% 以上），送入燃烧炉进行燃烧，回收烧碱和热能，然后进行苛化分离，苛化度达到 85%，最后将清洁的烧碱回收至蒸煮工段循环使用。

使用碱回收工艺可以有效的将制浆过程中产生的绝大部分污染物处理掉，降低了中段水的污染负荷，并且回收了热量，碱回收率为 75% 以上。

该工艺蒸发工段的二次蒸汽经冷却后会产生较多的污冷凝水，可将这部分废水送入备料工段做洗涤水；在苛化工段会产生大量的白泥，需妥善处理或综合利用；对于硫酸盐法碱回收炉还会产生二氧化硫，需妥善收集处置。

8.1.6.2 制浆废液处理技术（亚硫酸盐法和半化学法）

① 废液燃烧回收技术

该技术的工艺流程与黑液碱回收过程相近，包括废液蒸发工段、燃烧工段、回收热能和再生蒸煮液等。

镁盐基废液回收较容易，一般可回收 75%~88% 的 MgO 和 65%~70% 的 SO₂；铵盐基废液回收过程中，盐基部分将分解挥发而难以回收，只有 SO₂ 和热能可以回收利用。

燃烧产生的废气回收后对外界影响很小。

适用于亚硫酸盐法非木材制浆企业。

②废液综合利用技术

非木材亚硫酸盐法制浆废液和半化学法制浆废液中主要以糖类有机物和木素磺酸盐为主，需要先浓缩后综合处理。目前，其综合利用技术主要包括木素产品的制备技术和复合肥的制备技术。

(3) 通过对这些技术的评估，制浆废液处理选取的最佳可行技术如下：

选取的技术。碱法制浆黑液采取黑液碱回收技术。

亚硫酸盐法制浆废液则采用燃烧回收热技术和废液生产木质素产品或有机肥技术。

8.2 末端治理过程中的污染防治技术

8.2.1 废水处理技术

通过对现有废水处理技术的评估，选取的最佳可行技术如下：

选取的技术。一级物化+二级生化，该技术适用于新建及现有非木材制浆企业废水的预处理，处理后的废水需满足间接排放的有关标准后排入当地的公共污水处理厂进行二次处理；

一级物化+二级生化+三级深度处理(+人工湿地强化处理)，适用于所有企业；人工湿地强化处理技术适用于企业有足够用地，并严格落实防渗措施的前提下作为三级深度处理的辅助处理。

筛除的技术。目前废水处理采用的都是组合技术，单纯的一级处理和二级处理无法实现达标排放。因此，单纯的一级处理或二级处理不作为最佳可行技术。

8.2.2 固体废物处理技术

通过对现有固体废物处理技术的评估，选取的最佳可行技术如下：

选取的技术。备料废渣燃烧处理技术或还田、垫土综合利用技术。

筛选工段废渣，纤维回收蒸煮技术或浆渣单独处理后用于生产较低档纸技术。

碱回收白泥，制备碳酸钙填料技术。

废水处理初沉污泥回收生产较低档纸技术。

废水处理生化污泥干化焚烧回收热技术或污泥生产有机肥技术。

废水三级深度处理的化学污泥采用干化焚烧技术（由于热值低，需掺煤燃烧）。

筛除的技术。主要是白泥和污泥的填埋技术，虽然该技术是目前应用最多的一种技术，但其占用土地较多，且宜造成二次污染，从长远来说，不是最佳的污染治理技术。

8.2.3 大气污染治理技术

通过对现有大气污染治理技术的评估，选取的最佳可行技术如下：

选取的技术。蒸煮工段（间歇式）高温废气喷射式冷凝器热回收技术。

硫酸盐法产生的臭气燃烧处理或液体吸收处理技术。

废水厌氧处理工段沼气的回收与治理技术，产生沼气的量较少时通过火炬直接燃烧，量多时可净化后作为燃料使用。

9. 实施的环境效益与经济技术分析

9.1 环境效益分析

9.1.1 减少漂白工段废水中 AOX 的产生

现阶段，对于麦草烧碱法纸浆常用的漂白方法是传统的 CEH 三段漂，是指氯化、碱处理和次氯酸盐补充漂白。由于该方法使用了含元素氯的漂剂，因此，会产生大量的氯化废水，废水中含有致癌性和致变性的 AOX 等有机氯化物，其发生量在 3-4 kg/t 浆，个别企业超过 7kg/t 浆。

通过被技术指南的实施，漂白工段纸浆漂白方式采用无元素氯漂白或低白度漂白技术，这些漂白方式 AOX 的发生量可减至 0.2~0.6kg/t 浆，大大减少了绿化废水中有毒污染物的产生；如果采用本色制浆技术，可彻底消除 AOX 的产生。

9.1.2 减少制浆过程中吨浆耗水量

本技术指南中对非木材制浆生产过程中的清洁生产技术做了最佳可行技术的评估，这些清洁生产技术包括连续蒸煮技术、逆流洗涤技术、封闭筛选技术等。企业通过对自身工艺的改造或参照本指南新建工厂，可望实现吨浆耗水量控制在 60~80m³。目前，大部分工厂的耗水量在 100 m³/t 浆，工艺比较先进的工厂可控制在 80 m³/t 浆以下，而对于设备比较陈旧、工艺技术比较落后的工厂耗水量达到 300 m³/t 浆以上。因此，通过本技术指南的实施可以推进企业的技术改造，加快清洁生产技术的推广，降低企业的吨浆耗水量，有力地促进了造纸行业的节能减排。

9.1.3 降低废水中 COD 的排放

2008 年，为了加快企业应用清洁生产技术改造传统工艺的步伐，环保部又颁布了《制浆造纸工业水污染物排放标准》(GB3544-2008)，该标准增加了氮、磷、色度、二噁英等污染物控制项目，将可吸附有机卤化物(AOX)调整为控制指标，排水量和排放浓度进一步降低。现有的“预处理—生物处理法(包括活性污泥法、氧化沟等)”处理技术已经不能达到新标准 COD 排放浓度低于 100mg/L 的要求了，三级深度处理技术作为补充处理已经势在必行。基于此，本技术指南对现有的成熟技术做了技术分析，根据不同情况提出了三种常用的废水深度处理技术，如废水量比较少的企业可以将其送入城镇污水处理厂进行处理，或上三级深度处理技术，若有足够大场地的企业，也可在三级处理后加上“人工湿地强化处理”。通过这些后续处理，废水的 COD 排放浓度由以前的 200-400 mg/L 降低到 100 mg/L 以下，大大地降低了污染物的排放。

9.2 经济技术分析

9.2.1 生产过程中制浆工艺的经济技术分析

9.2.1.1 备料工段

从表 9.1 看出，备料工段中干湿结合法备料固定投资要高于干法备料，而且耗水量增加了，但是干湿结合法备料运行时的维护成本降低了，而且解决了干法备料的飞尘问题，改善了操作环境，备料质量明显提高，所得原料中灰分和 SiO₂ 含量明显下降很多，有利于后续连蒸系统的正常运行，提取的黑液中硅含量减少，降低了它对碱回收工段的干扰。另外，所用的洗草水主要来自碱回收工段的污冷凝水，并且采用封闭循环的方式，减少了水的用量，降低了污染负荷。

表 9.1 不同工艺技术资源、能源消耗情况对比

		固定资产投资(万元/t 浆·d ⁻¹)	吨浆能源消耗			化学药品用量	原料损耗率(%)	维护成本(元/t 浆)
			水(m ³)	电(kWh)	汽(t)			
备料工段	干法	4-5	0	50-150	0	0	5-10	45-50
	干湿结合法	10-12	20-25	50-150	0	NaOH 用量 1% (对原料)	15-20	30-50
蒸煮工段	间歇蒸煮	15-18	5-10	50-150	2-8	300-400kg/t 浆 (15-30%碱外购, 70-85%来自碱回收)	45-50% (粗浆得率)	35-40
	连续蒸煮	65-70	0.1-0.2	150-200	2-3		45-50% (粗浆得率)	20-25
筛选工段	开放式筛选	-	85-90	3.5-4.0	0	-	-	30-35
	封闭筛选	-	40-50	1.5-2.2	0	-	-	15-20

9.2.1.2 蒸煮工段

蒸煮工段中，使用连蒸系统的投资要远远高于间歇蒸煮，但是连续蒸煮出浆质量好而且均匀，自动化程度高，有利于大规模生产，特别适用于麦草的蒸煮。连续蒸煮系统的运行维护成本比间歇蒸煮要低得多，吨浆水耗和汽耗均比间歇蒸煮低，因此总运行成本也低。连续蒸煮系统是一个连续进料和连续出料的过程，在蒸煮过程中，不会对周边环境造成污染，是一种比较常用的清洁生产系统。

本技术指南推荐的最佳可行技术为连续法蒸煮技术，该技术常使用的设备横管式连续蒸煮器（三横管），生产能力为 150 吨浆/天，固定资产投资 1.2 亿元，生产成本约为 2200 元/吨浆，维护成本为 20 元/吨浆。生产中单位产品的水耗为 0.1 吨/吨浆，电耗为 400 Kwh/吨浆（整个制浆车间），汽耗为 2.17 吨/吨浆（整个制浆车间）。

9.2.1.3 筛选工段

筛选工段中，封闭筛选已近成为近几年造纸厂进行技术改造的首选技术，也是符合我国清洁生产要求的技术。从表中，可以看出封闭式筛选耗水、耗电量均是开放式筛选的一半用

量，维护成本也低于开放筛选，如果参考水价为 0.5 元/m³，电价为 0.6 元/kWh，水处理费用为 2.5 元/ m³，则使用封闭筛选可节约水电费 146~149 元/t 浆。另外，使用封闭筛选也可提高黑液的提取率 2%~3%，使得大部分污染物进入到碱回收工段进行处理，减少了后续中段水车间的污染负荷，降低了处理成本。采用封闭筛选，由于所用的水都进行封闭循环使用，最后进入提取工段，从而降低了筛选工段的废水产生量，理论上该工段的废水产生量可以为零，大大降低了污染负荷。

9.2.1.4 漂白工段

漂白工段，本技术指南推荐的最佳可行技术为无元素氯漂白技术或低白度漂白技术，目前大部分企业使用的是常规的 CEH 三段漂，因此需要对整个工艺进行改造，包括建造二氧化氯制备车间、洗涤设备及漂白设备酸防腐的改造及相应漂白工序的改造，该条线总投资约 8000 万（年产 10 万吨的非木材化学浆）。通过该技术的改造可以降低漂白废水中 AOX 的含量，减少污染物的排放。

9.2.1.5 碱回收工段

碱回收系统一次性投资约为 50~60 万元/（t 固形物·d-1），回收吨碱成本约为 900-1000 元/t 碱，碱回收率为 70%~85%。目前市售烧碱价格是 1800 元/t，若按生产每吨浆需 400kg NaOH 来计算，碱回收率 70%，则生产吨浆可节约成本 250~280 元。因此，从成本上说，碱回收是有利于降低生产成本，节约资源。另外，黑液中包含了整个造纸厂中 80%以上的污染物，使用碱回收的处理工艺可以有效的将污染物燃烧去除，降低了废水对周边环境的污染负荷，也减少了污染物的排放。

由于碱回收工段回收了部分热能和烧碱，从而降低了其运行费用，一般来说，碱回收工段不需要额外增加投资。

9.2.2 末端治理技术的经济技术分析

本技术指南推荐的废水处理的可行技术是“一级物化+二级生化”和“一级物化+二级生化+三级深度处理(+人工湿地强化处理)”。

“一级物化+二级生化”处理技术适用于废水量比较少的企业，生化处理后的废水可以将其送入城镇污水处理厂进行处理，这部分成本一般比较低，约 1.0 元/m³（视当地城镇污水处理厂具体情况而定）。

“一级物化+二级生化+三级深度处理(+人工湿地强化处理)”的处理工艺，一般来说，一级物化和二级生化的处理成本约 1.0~1.5 元/t 水，出水 COD 在 400~450 mg/L，还达不到国家排放要求。故需要进行三级深度处理，这段处理成本相对较高，一般为 2.0~3.0 元/t 水，对于某些对排水污染物控制要求较高的地方，成本可能会更高。出水 COD 可到 100 mg/L 以下，有的工厂达到 80 mg/L，吨水处理费用不超过 3 元。

10. 实施建议

本指南围绕非木材制浆过程中污染防治的实施需要,在对各种制浆过程中产生的污染物处理处置技术进行系统分析和评估的基础上,结合国际发展趋势和要求,提出了最佳可行技术和最佳环境管理要求,对于推进非木材化学法制浆处理处置设施建设中技术选择、工程设计、工程施工、设施运营、监督管理等方面工作具有重要的指导意义。

非木材制浆工艺污染防治最佳可行技术是随着社会的不断进步,污染物的管理和处置也将不断的取得进步和发展的必然选择,是多项国际公约对医疗废物管理的共同要求。非木材制浆工艺污染防治最佳可行技术应围绕如何更好的实现制浆过程中污染物的控制和防治而展开。针对我国非木材制浆工艺污染防治最佳可行技术实施提出如下建议:

(1) 对新污染源企业审批应严格按本指南的要求实施,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) 中国应充分结合非木材制浆工艺的特性和地方的特点,围绕最佳可行技术和最佳环境实践的要求,选择切实可行的技术。

(3) 适时开展指南实施后的评估,确定评估方法并建立评估结果反馈机制,将评估结果作为相关指南制修订项目是否立项或下达指南修改单的重要依据。