



造纸业环境、健康与安全指南

前言

《环境、健康与安全指南》（简称《EHS指南》）是技术参考文件，其中包括优质国际工业实践（GIIP）所采用的一般及具体行业的范例。¹。如果世界银行集团的一个或多个成员参与项目，则应根据这些成员各自政策和标准的要求执行本《EHS指南》。本《EHS指南》是针对具体行业，应与《通用EHS指南》共同使用，后者提供的指南针对所有行业都可能存在的EHS问题。如果遇到复杂的项目，可能需要使用针对多个行业的指南。在以下网站可以找到针对各行业的指南：<http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>

《EHS指南》所规定的指标和措施是通常认为在新设施中采用成本合理的现有技术就能实现的指标和措施。在对现有设施应用《EHS指南》时，可能需要制定具体针对该场所的指标，并需规定适当的达标时间表。

在应用《EHS指南》时，应根据每个项目确定的危险和风险灵活处理，其依据应当是环境评估的结果，并应考虑到该场所的具体变量（例如东道国具体情况、环境的吸收能力）以及项目的其他因素。具体技术建议是否适用应根据有资格和经验的人员提出的专业意见来决定。

如果东道国的规则不同于《EHS指南》所规定的指标和措施，我们要求项目要达到两者中要求较高的指标和措施。如果根据项目的具体情况认为适于采用与本《EHS指南》所含规定相比要求较低的指标和措施，则在针对该场所进行的环境评估中需要对提出的替代方案作出详尽的论证。该论证应表明修改后的指标能够保护人类健康和环境。

适用性

《造纸业 EHS 指南》涉及与制浆和造纸设施有关的信息，包括以木材为原料的化学制浆和机械制浆、以回收纤维为原料的制浆，以及以蔗渣、稻草和芦苇等非木材为原料的制浆。本指南不包括原材料生产或收集方面的要求，原材料生产与收集有另外的《环境健康安全指南》。附件 A 中有对产业部门活动的说明。

本文件包含下列章节：

1 具体行业的影响与管理

¹ 定义是：熟练而有经验的专业人员在全球相似情况下进行同类活动时，按常理可预期其采用的专业技能、努力程度、谨慎程度、预见性。熟练而有经验的专业人员在评估项目可采用的污染防控技术时可能遇到的情况包括（但不限于）：不同程度的环境退化、不同程度的环境吸收能力、不同程度的财务和技术可行性。



2 指标与监测

3 参考文献和其他资料来源

附录 A 行业活动的通用描述

1 具体行业的影响与管理

本章概述造纸行业在操作阶段发生的 EHS 问题，并提出如何对其进行管理的建议。关于如何管理大多数大型工业活动建造阶段和报废阶段各种常见 EHS 问题的建议包含于《通用 EHS 指南》。

1.1 环境

制浆造纸厂在运行阶段对环境造成较严重影响的是：

- 废水
- 废气
- 残渣和废弃物
- 噪声

废水

制浆造纸设施每生产 1 t (每 t 3 m³) 可能要排放 10~250 m³ 废水。在制浆厂，产品按风干浆¹计算；在造纸厂和纸板厂，产品按纸的重量出售。在处理之前，制浆厂排出的污水中总悬浮固体物、生化需氧量、化学需氧量和溶解有机化合物含量都很高（总悬浮固体物主要来自蒸煮和制浆过程中的筛渣、洗涤和漂白阶段及原木去皮残渣、化学回收无机物和填料；生化需氧量、化学需氧量和溶解有机化合物主要来自湿原木去皮蒸煮/制浆、筛渣、洗涤、漂白和化学回收工段液体溅洒）。漂白工段污水可能含有聚氯二苯二噁英(PCDD)和聚氯二苯并呋喃(PCDF)，通常称之为二噁英和呋喃。在使用无元素氯 (ECF) 或全无氯 (TCF) 漂白技术时，二噁英和呋喃在污水中的浓度低于检测标准。²

木材原料是释放到废水中的且有可能造成受纳水体超营养的氮、磷化合物的来源之一，也是树脂酸的来源之一。树脂酸，特别是源于松柏科木材纸浆的树脂酸可能对鱼和底栖无脊椎动物有毒害。基于元素氯的纸浆漂白可产生氯化苯。

其他与废水排放有关的问题还可能包括鱼污染、与化学需氧量含量、黑色液体排放及溢流槽纸浆外溢有关的颜色污染、木料堆放场的径流。最后一种污染源可能含有从木料中沥滤出的有毒化学物质（如丹宁酸、苯酚、树脂、脂肪酸等）及从树皮上冲洗下的土和其他物质。

¹ 风干浆指干度为 90% 的木浆。

² 《斯德哥尔摩公约》附件 C 所列化学物质中，只有聚氯二苯二噁英 (PCDD) 和聚氯二苯并呋喃 (PCDF) 被认定为利用氯元素生产纸浆过程中产生的。在 17 种氯元素处于 2、3、7、8 位置的聚氯二苯二噁英和聚氯二苯并呋喃同类物质中，只有两种，即 2、3、7、8-TCDD 和 2、3、7、8-TCDF，被确定为可能在利用氯进行化学纸浆漂白过程中产生的。2、3、7、8-TCDD 和 2、3、7、8-TCDF 的形成大部分发生在通过氯与 TCDD 和 TCDF 前体的反应而完成漂白的丙阶段(联合国环境规划署, 2006)。



废水管理——普通要求

适用于大部分产业设施的节水战略也许有助于减少废水总量。这方面的情况在《通用 EHS 指南》中有论述。现将有可能适用于大部分制浆造纸过程的针对具体产业的废水治理战略提供如下。建议采用的废水治理与控制方法包括：

- 原木干法去皮；
- 临时和偶发溢洒工艺用水收集再利用系统；
- 纸浆存量、木材存量和纸浆白水存量做到充分而平衡，避免或减少工艺用能排量；
- 不管是否同时进行纤维回收（利用过滤或浮选设备），要循环利用废水；
- 通过对清洁无接触的冷却水和密封水的收集和再利用将被污染的废水与无污染的废水分离开来；
- 可能受到污染的暴雨积水包括来自木料处理区、加工设备、楼顶和靠近工厂加工区地域的径流应与工业废水一起处理。

适用于冷却水管理的指南和适用于暴雨积水的补充指南在《通用 EHS 指南》中提供。

废水管理——牛皮纸和亚硫酸盐纸浆厂

建议采用的硫酸盐和亚硫酸盐纸浆厂废水治理补充方法包括：

- 漂白之前脱氧木素；
- 漂白（硫酸盐和亚硫酸盐纸浆厂）之前有效洗浆；
- 在木浆和非木浆漂白处理过程中通过以下方法减少或消除 2,3,7,8-TCDD 和 2,3,7,8-TCDF 的形成¹：
 - 用无元素氯漂白或全无氯漂白²法取代无元素氯漂白；
 - 通过减少氯多重使用或为分子氯增加二氧化氯替代物而减少元素氯的使用；
 - 通过使用无前体添加剂和彻底清洗等措施尽可能减少进入漂白过程的二噁英和二苯并呋喃；
 - 尽可能去除节点；
 - 停止用受到聚氯苯酚污染的材料制浆。
- 通过温性水解去除硬木浆，特别是桉树木浆的己烯糖醛酸；
- 收集和循环利用溢洒的蒸煮液体；
- 抽取和再利用蒸发和蒸煮器冷凝物，以减少产生总还原硫（TRS）化合物的气味（硫酸盐和亚硫酸盐纸浆厂）；
- 在冷凝物蒸发和再利用前对废蒸煮液进行中和处理，以减少溶解有机物（亚硫酸盐纸浆厂）；
- 在硫酸盐和亚硫酸盐纸浆厂进行化学回收。

废水管理——机械制浆和化学机构制浆厂

建议机械制浆和化学机械制浆厂采用的废水治理补充方法包括：

- 将废品损失减少到最低程度；

¹ 联合国环境计划署，2006。

² 全无氯漂白要求现场制造二氧化氯（ClO₂）。应选副产品氯产出低的二氧化氯生产工艺。



- 在机械制浆过程中尽最大可能实行水循环利用；
- 使用增浓工艺有效分离制浆造纸厂的水系；
- 将制浆厂的水与造纸厂的水分离，利用造纸厂与制浆厂之间的对流水降低总水耗、总悬浮固体物（TSS）和溶解有机物。

废水管理——造纸综合工厂

建议用于造纸综合工厂的废水治理补充方法包括：

- 纸浆白水循环利用，用盘式过滤器、鼓形过滤器或微型浮选装置回收纤维，尽可能减少淡水混入白水系统的进水点数量。
- 用超滤水工艺 – 回收涂装化学物质 – 分离法处理涂装废水；
- 用危害性小的代用品替代有潜在危害性的操作助剂。

废水处理

废水末端处理技术受多种因素的限制，包括出水的成分、流量的可测量性和排放位置（直接排入水道还是排入市政或其他污水处理厂之前进行预处理）等。纸浆厂废水处理一般应包括初级处理、生物/二级处理和三级处理。初级处理包括中和、过滤、沉淀（偶或浮选/用水力旋流器分离固体颗粒）以去除漂浮固体特；生物/二级处理的目标是减少废水中的有机质含量、破坏有毒有机物；三级处理很少进行，目的是进一步降低毒性、减少漂浮固体物、有机物和颜色。废水处理过程中产生的污泥需要作为废弃物或副产品加以管理。

一般的废水处理技术在《通用 EHS 指南》中有讨论。建议在造纸和制浆产业通用的具体技术如下：

初步机械处理：通常利用机械净化池或沉淀池去除废水中的悬浮固体物。化学絮凝法有时被用作去除悬浮固体物的辅助手段；

二级处理：有机污染物排放量相对比较高的制浆造纸厂大都使用生物处理技术去除废水中的树脂酸和含氯有机物等有毒化合物。具体应用包括多种不同类型和配置的生物处理技术。最常用的系统包括□活性污泥处理法；□氧化塘处理法；□通常与其他方法并用的各种类型的生物过滤法；□预处理阶段厌氧生物处理之前使用的厌氧处理法；□在需要高效处理的情况下不同方法的综合利用。

另外，有时需要延长曝气时间以氧化树脂和脂肪酸等有毒化合物、减少生物淤渣生成，并帮助确保处理的高水平；

厌氧生物处理法适合于处理生化需氧量/化学需氧量高、有毒物质含量低的某些排放物，如亚硫酸盐制浆冷凝物和机械制浆和回收纸排放物，再利用剩余的净化冷凝物以降低总耗水量和废水排放量。

废气

制浆造纸过程中产生的主要废气为生产废气，制浆工艺的不同，废气的类型也不同，其成分可包括硫化物（相伴气味问题）、颗粒物、氧化氮、挥发性有机化合物、氯气、二氧化碳、甲烷等。其他常见的废气来源有焚化厂及辅助蒸气和发电设备的烟气。这些烟气中含有颗粒物、硫化物和氧化氮。



生产废气——硫酸盐纸浆和亚硫酸盐纸浆

恶臭气体（硫酸盐纸浆厂）-硫酸盐制浆过程中通常排放出带有恶臭味的总还原硫（TRS）化合物，包括硫化氢、甲硫醇、二甲基硫和二甲基二硫。废水处理厂有时会成为恶臭气体的重要来源。建议采用的排放管理策略包括：

- 漂白和非漂白硫酸盐制浆厂应对处理黑色液体过程中从所有工段的排气口排出的恶臭气体、不洁褐色纸浆、部分洗涤褐色纸浆、未漂白纸浆和冷凝物进行集中收集和焚烧，以使用总还原硫彻底氧化；
- 对于高浓度气体（通常来自冷凝物和蒸煮器排气孔），应提供一个备用焚化系统，根据需要承担主系统的工作，以尽量减少总还原硫气体向大气的排放；
- 在敏感情况下（如靠近居民区），应考虑配备备用焚化装置可指定其他替代焚化点处理低浓度总还原硫。回收锅炉是首选的焚化点；
- 在可能的情况下，必要的安全排气口排放点应为位置高的热堆积点，如回收锅炉或动力锅炉；
- 当废水处理厂的臭气成为问题时，应考虑使用含氧活性污泥俘获并随之焚化排放的废气。总还原硫气体焚化可以处理设备内完成，最好是在回收炉内完成，这样，硫可以被回收，但也可以在动力锅炉内完成。对浓缩气体，可以有别的选择，包括石灰窑（虽然需要考虑产生硫酸钙的问题）或独立的外部焚化设备。

回收锅炉（硫酸盐或亚硫酸盐纸浆厂）——回收锅炉排放的废气一般都含有颗粒物和二氧化硫。其他主要成分包括氧化氮，硫酸盐纸浆厂排放的气体中有时还含有硫化氢。在亚硫酸盐纸浆厂，二氧化硫的回收被认为是最基本的。排放管理策略主要包括：

- 在直接接触蒸发前对黑色液体进行氧化处理¹；
- 在回收锅炉焚化之前用于固体高于 75%的蒸发器（硫酸盐纸浆厂）浓缩黑色液体以减少硫黄排放量；
- 控制回收锅炉的燃烧参数，包括炉温、供气、黑色液体在注入量和锅炉负荷（硫酸盐纸浆厂）等，以减少硫黄排放量；
- 控制炉火条件，如过剩空气，以减少二氧化氮排放量；
- 吸收碱性溶液生成新的蒸煮液（亚硫酸盐纸浆厂）以收集排放的二氧化硫。

根据《通用EHS指南》提供的良好国际产业实践（GIIP）法设计堆叠方式²。

石灰窑（硫酸盐纸浆厂）——煅烧反应过程形成氧化氮、二氧化硫和颗粒物的排放。总还原硫气体也可能由于白泥中的硫化钠（Na₂S）去除不净而排放。建议采用的排放管理策略主要有：

- 通过使用含硫低的燃料和控制过剩氧量减少二氧化硫排放；
- 通过控制炉火燃烧条件减少氧化氮排放；
- 通过炉窑的适当操作和控制白泥中的剩余硫化钠减少硫化氢排放。此项措施可通过对白泥进行适当的洗涤和过滤以去除硫化钠和降低水含量（从 20%降到 30%）的方法实现，

1 适用于现有设备，因为新设备不应使用直接接触蒸发器。

2 在制浆厂，通常可能采取 100 m 以上的单堆方式，高于相邻地面，或根据大气排散模式设计。



因为这样可以在干泥入窑前对剩余硫进行过滤空气氧化。

建议采用的适用于上述排放源的二次排放控制措施有：

- 在回收锅炉、辅助锅炉和石灰窑采用二级微粒排放控制，如静电沉淀法；
- 采用二级二氧化硫排放控制，如利用碱性湿式洗刷器去除酸性气体和总环原硫气体焚化的副产品。

挥发性有机化合物（所有制浆造纸厂）¹——以树皮和其他木材做燃料的设计不良的电站锅炉向大所排放挥发性有机化合物（VOC）。

在机械制浆厂，挥发性有机化合物排放的主要来源包括木屑洗涤和冷凝喷淋时的空气排放，因为机械制浆过程中释放出的蒸气受到挥发性木质成分的污染并浓缩。挥发性有机化合物浓缩要靠木料中的树脂成分和所用的纤维分离技术。排放的物质包括醋酸、蚁酸、乙醇、松萜和萜烯。建议用于将挥发性有机化合物减少到最低程度的措施有：

- 确保将萃取物（树脂）含量高的木材机械制浆过程中排放的挥发性有机化合物回收至热回收装置和启动洗刷机（进行 TMP 蒸煮），并收集和进一步处理挥发性化合物。含有挥发性有机化合物的废气可以在现有的锅炉内焚化，也可以用独立的焚化炉处理。萜烯可以从主要含萜烯成分的被污染冷凝物中回收；
- 在将氧化氮含量降低到最低水平的同时，用足以防止挥发性有机化合物（和氧化碳）排放的过剩氧量操作树皮蒸煮装置。

燃烧源

制浆造纸厂是能源和蒸气消耗大户，有时要使用辅助锅炉（树皮锅炉和附加蒸气锅炉）生产蒸气能。与这些蒸气能源有关的气体排放通常有氧化氮、氧化硫、微粒和挥发性有机化合物等燃烧副产品及温室气体。建议采用的管理策略有：选择包括减少能量需求在内的综合策略，使用清洁燃料、采取必要的排放控制措施。在高效能的非综合性制浆厂，黑液和树皮燃烧产生的热能应该超过整个生产过程所需的能源。

有关提高能源效率的建议在《通用EHS指南》中有论述。针对制浆造纸厂运行的补充建议有^{2, 3}：

- 增加用作燃料的树皮中干固体的含量，提高蒸气锅炉的效率（加装节约装置），减少热损失，降低热耗；将更多的二次热能用于建筑物取暖；提高纸浆浓缩度；坚持管好供水系统；部分关停漂白设施。
- 在纸浆筛选和净化过程中尽可能保持纸浆的高度连续性，以降低电耗；控制大型电机的速度，而不是使用节流阀或气阀控流；使用高效真空泵；适当选择管、泵、扇的尺寸；
- 保持锅炉高压，最大可能提高发电量；将回压涡轮机的出口蒸气压力保持在技术上可行的最低水平；使用冷凝式涡轮机利用剩余蒸气发电；保持涡轮机的高效率；对加入锅炉的空气和燃料进行预热处理。

热量最高在 50 MW · h 的小型燃烧源排放管理指南，包括废气排放指南，在《通用 EHS 指南》中提供。热电指南提供了适用于热量在 50 MW · h 以上的燃烧源排放管理指南。

¹ 本节说的是挥发性有机化合物，而不是上面所说的有恶臭的化合物。

² 欧盟最佳可利用技术。2001。

³ 另见威廉森。1994，《提高能效补充指南》。



残渣和废弃物

制浆造纸厂通常会大量产生无害固体废弃物，而产生的有害废弃物很少。该产业的废弃物具体包括原木上剥下来的树皮、蔗渣制浆过程中产生的残渣、化学回收过程中产生的无机泥（如绿液泥、滤泥）、回收纤维设备从纸张/纸板上分离的废物（脱落物）、废水处理过程中产生的纤维（初级澄清池）污泥和生物污泥。所有制浆造纸厂都会产生少量有害废弃物，包括油和油脂残渣、电气设备废料、化学品残渣，通常情况下，1 t 产品大约含 0.5 kg。

应根据当地的法定标准建立危险固体废弃物或非危险固体废弃物分类制度。严格分离危险废弃物和非危险废弃物，以减少可能会被危险物质污染并从而归类为危险废弃物的废弃物数量。关于危险和非危险工业废弃物管理和安全处置指南，在《通用 EHS 指南》中有论述。针对制浆造纸厂的补充指南包括：

- 通过就地再利用或循环利用将固体废弃物数量减少到可以接受的程度，可以再利用和循环利用的例子有：
 - 污泥的循环利用；
 - 对木节和筛渣进行二次蒸煮；
 - 提高污泥脱水率，促进淤泥的燃烧（通常在辅助锅炉，使用辅助燃料）；
 - 在林区剥皮以减少树皮等有机废弃物的产生（将树皮留在原地改善土壤）；
 - 在蒸气锅炉中焚烧树皮¹等有机废弃物以降低燃料总耗。
- 有关废弃物管理的补助建议有：
 - 对原木进行清洁处理后隔离有机馏分，将原木去皮废弃物²减少到最低程度。隔离的有机馏分可用作生产蒸气的燃料，剩余部分掩埋；
 - 树皮灰、木灰和其他灰烬可作为建筑工程和道路工程填充材料或土壤改良剂回收利用，或掩埋；
 - 石灰污泥（硫酸盐纸浆厂）通常由厂内回收系统回收，但过剩的可用于改良酸性土壤，也可作掩埋自理；
 - 绿液污泥（硫酸盐纸浆厂）脱水后可用作固体废弃物掩埋的覆盖物，个别情况下可用作树林的肥料（在对营养成分及土地使用潜在影响进行分析的基础上），也可用作酸性废水的中合材料；
 - 脱墨污泥（回收纤维制浆厂）可用作其他纸的添加料，与其他有机材料混合用于改良土壤或焚烧；
 - 髓（蔗渣制浆厂）可与其他有机材料混合用于改良土壤或焚烧；
 - 纤维污泥可在现场循环用于生产、出售给其他制浆厂、或送到厂外用于生产其他产品，还可焚烧或用于垃圾掩埋覆盖材料；
 - 生物污泥可与纤维污泥一起焚烧，或在硫酸盐纸浆厂脱水焚烧，还可与其他有机材料混合用于改良土壤；

1 “树皮”是从原木上剥离下的主要成分，相对比较干净，可用作固体燃料锅炉的燃料。

2 “剥皮废弃物”是树皮受沙土污染的较少部分，不适宜作燃料。



- ▶ 经过三级处理的污泥可与其他污泥混合，在树皮锅炉焚烧，也可与其他有机材料混合用于改良土壤¹。

噪声

制浆造纸厂产生噪声不可避免的，因为它们要动用大量的机械设备和运输车辆，从事大量的物理活动，并消耗大量的能源。产生噪声特别厉害的是真空泵、液体泵和蒸气生产系统。《通用 EHS 指南》提供了关于噪声治理的指南。

1.2 职业健康与安全

职业健康与安全应视为综合危险或风险评估内容的一部分，包括危险识别研究（HAZID）、危险与可操作性研究（HAZOP）或其他风险评估研究等。应将研究结果用于健康与安全管理计划的制订、设施与安全工作体制的设计及安全工作规程的准备与交流过程中。

《环境健康安全指南》提供了关于设计、运作和监控主要职业健康与安全风险管理情况的通行方法，同时还有针对设施建设与关停活动的通用指南，以及适用于所有产业的健康与安全培训、人身保护设备及物理、化学、生物、放射性危害的指南。

在制浆造纸厂需要进一步考虑的职业健康与安全问题是：

- 化学危害
- 物理危害
- 木料粉尘
- 生物制剂
- 热
- 空间限制
- 噪声
- 辐射

化学危害

制浆造纸工业使用和产出大量化学物质，对工人的健康与安全造成不利影响。这些化学物质包括：

气体——如还原硫化合物（硫酸盐制浆）、氧化硫化合物，主要是二氧化硫（硫酸盐制浆）、氯、二氧化氯、萜烯和其他挥发性有机化合物、氧化物；

液体——包括氢氧化钠和其他腐蚀性物质、硫酸等酸性物质、松节油等蒸煮副产品、次氯酸钠、二氧化氯水溶液、过氧化氢、生物杀灭剂、造纸添加剂、溶剂、染料和墨水；

固体——包括氯酸钠、硫酸钠、石灰、碳酸钙、灰尘、石棉（用于绝缘）。

建议采取的用于防止、控制和尽可能减少化学物质对工人的健康和安全造成潜在影响的措施有：

¹ 污泥管理方法的适用要视污泥的实际质量与类型而定。比如，在回收锅炉焚烧法通常只适用于硫酸盐纸浆厂生物污泥；在树皮锅炉或独立焚化炉焚烧的方法仅适用于有机物和干固体含量相对较高的污泥；混合法仅适用于有机物含量高的污泥。来自废品处理厂的污泥需要逐批进行分析评估后确定其是否属于危险废弃物，是否会对土壤造成潜在影响。



- 尽可能采用机械化制浆和造纸作业，这样作业人员就可以远离潜在化学物质和其他健康与安全危害的控制室完成操作。有效的过程控制也可以最大限度地减少漂白和其他化学品的使用；
- 提供工程控制，如自动蒸煮锅压盖阀门；能将锅内气体排放出去的排放间歇蒸煮锅和喷放锅当场排气；在回收锅炉和亚硫酸-二氧化硫酸化塔中加负压以防止气体泄漏；蒸煮仓后全密封或部分密封罩通风；石灰传送器、升降机和储存框密封或通风；给每一个漂白塔和洗涤器的天篷密封罩加专用排气机；纸样干燥器加密封罩。¹
- 在有可能渗漏或生成有害气体的部位安装带报警器的连续气体监测器，如化学回收锅炉、氯储存区、二氧化氯生成器和漂白区等；为这些部位的所有雇员、承包商和来访者提供应急撤离呼吸器；
- 保持工厂使用和生产的所有化学品的最新数据库，包括危险品、有毒物品和生物物品的数据；
- 识别并防止可能导致危险气体或其他物质生成的化学反应（比如，亚硫酸盐制浆废液和硫酸在废水系统中结合可能产生硫化氢）。现场使用或制造的所有化学物质都要进行检查，看其能否与设施中其他类型的化学物质发生反应。
- 根据国家和国际认可的要求和标准标记、包装和储存所有化学品；
- 工厂停产期间确保有承包方人员，包括维护人员留厂。留厂人员应该接受相关培训并遵守现场安全规程，包括使用人员保护设备和处理化学品。
- 对接触和处理二氧化氯和氯酸钠的工人进行培训。用水打湿溅洒的氯酸钠，洗涤前让受到污染的衣物保持湿度；
- 避免用元素氯漂白；
- 使用水性油墨水和染料（而不是溶剂墨水和染料）。
- 保护储硫框清洁，不要有硫尘积聚。
- 制定检查与维护计划，查防渗漏和设备故障等问题。

物理危害

最严重的物理危害常归因于没有执行挂锁挂牌的制度。应当根据《通用 EHS 指南》中所描述的挂锁挂牌制度，严格执行。

一般性物理危害

建议采取如下预防、减少和控制一般性物理危害（如运输、掉落和材料处置中的危害）的措施：

- 在通过通道或道路的传送机下，安装接坠物的平台；
- 迅速清理溢出物；
- 行走表面应防滑、排水；
- 生产线附近或高处的通道要安装扶手，并清楚标出车辆和行人的路线；
- 移动设备要采取防翻转措施；

¹ 国际劳工组织：《职业健康与安全百科全书》第4版，第72章，《制浆造纸业，职业危险与控制》。



- 建立起重机不从人员头上吊起重物的工作程序。

机械安全

对于使用木材剥皮机和削片机¹等木材加工机械、可能严重伤害工人的制浆厂，建议采取如下措施预防、减少和控制木材剥皮机和削片机等木材加工机械可能生产的危害：

- 对移动的机器零件（如链条和传送机链轮齿之间的卷入点；传送机滚筒、传送带、滑车、轴；造纸机的滚筒、粉碎机的进料带等）应当安装能够预防工人接触这些移动零件的安全防护装置或连锁装置；
- 维护、清洁或修理时，必须关掉设备并上锁²；
- 应当对工人进行安全使用木材剥皮机和削片机等设备的培训；
- 应排列好工作台，减少破碎时产生碎块对人造成伤害；
- 应当定期检查和维护设备，防止设备出现故障；
- 操作切削设备的所有人员都要佩戴护眼用具，需要时使用其他个人安全保护用具。

原木处置

在制浆厂，原木一般自火车车皮或重型卡车卸下，并由机器码放，之后被运到原木传送机和原木平台，等待加工。在原木场，车辆运输会对人可能造成严重的危害；此外，还有原木滚落、被处理设备掉下、或从原木堆架上落下等造成的伤害。建议采取如下措施，预防、减少和控制原木场内可能生产的危害³：

- 制定并遵守卸载原木、锯材和木片的安全操作规定⁴；
- 原木场操作活动如果全部实现机械化，可以在卸载和堆放过程中减少人与原木的接触；
- 原木场内的运输路线应明确划出界线，车辆来往应当得到密切控制；
- 原木堆不应高于风险评价中所规定的安全高度，风险评价应当考虑原木场的具体情况，包括原木堆放方法⁵；
- 进入原木场的通道未经许可不得进入；
- 原木楞台应有隔挡、链条和其他防止原木滚下、掉出楞台的装置；
- 工人应当经过原木堆放和楞台区安全操作的培训，包括如何避免原木落下、事先计划好撤离路线；
- 应当为工人提供包铁的保护靴、安全帽和醒目的夹克；
- 所有移动设备都应安装倒转的声音警报。

¹ 减少切割和剥皮设备危害的具体方法，可参见 US OSHA（2003），载于：http://www.osha-slc.gov/SLTC/etools/sawmills/log_breakdown.html。

² 可参见美国职业安全与健康委员会（OSHA）Pulp, Paper, and Paperboard Mills, 29 Code of Federal Regulations（CFR）1910.261（a），以及美国国家标准机构（ANSI）的相关规定，如 O1.1-2004: Woodworking Machinery Safety Requirements。

³ 卸载和堆放原木的具体方法参见 US OSHA（2003），载于：<http://www.osha-slc.gov/SLTC/etools/sawmills/receive.html> 和 <http://www.osha-slc.gov/SLTC/etools/sawmills/convey.html>。

⁴ 可参见美国职业安全与健康委员会（OSHA）有关安装和卸载原木的规定 29 Code of Federal Regulations（CFR）1910.266（h）（6），以及俄勒冈州行政法规（OAR）437-02-312。

⁵ 对于人工堆放，堆放高度一般限于 2 m，而机械堆放可允许更高的安全堆放高度。



木料粉尘

在制浆厂的木材处理区（如半自动化的木材切削机），工作接触锯木灰尘是一个问题。在造纸厂，工人接触木纤维灰尘也是问题。木纤维灰尘也是一种火灾隐患。

建议采取如下措施，预防、减少和控制木灰尘可能生产的危害：

- 封闭木锯、粉碎机、集尘器和木片传送机并安装通风设备；
- 考虑对木片储放区进行封闭；
- 避免用压缩空气来清理木灰尘和废纸；
- 对卸载、称重和混合干燥多尘的添加剂的工作区、或以液体形式使用添加剂的工作区，要进行封闭并安装通风设备；
- 定期检查并清理多灰尘的工作区，减少接触木灰尘的风险。

生物制剂

生物制品包括微生物，如细菌、真菌和病毒，其中有些是病原微生物。造纸设备的闭环系统、生产废水的生物处理车间和水冷却塔内，有微生物繁殖。

建议采取如下措施，预防、减少和控制生物可能生产的危害：

- 生物处理厂的设计要有利于减少病原微生物的生长；
- 在冷却水及制浆和造纸过程中使用杀菌剂，以尽量减少病原微生物的增长。

热

制浆厂有很多工艺（包括煮浆、制浆化学品的回收、石灰生产和干纸过程）属于高温或高压工艺。《通用 EHS 指南》讨论了大型工业工艺过程常用的保温措施。另外，在制浆和造纸厂预防、减少和控制热接触的措施有：

- 在木材制备、制浆、漂白和造纸等工作区，提供有空调设备的控制室；
- 规划在热区开展工作的进度表、使工人能够适应温度、有休息时间；
- 自动化去除化学品回收锅炉的气味。向可能接触热熔或高温材料的工作人员提供结实的防护服；
- 执行安全程序，减少热熔物和水的爆炸风险。热熔物转移要以一定速率进行，回收锅炉应进行维修，预防锅炉管壁漏水。一有漏水迹象，就应迅速关闭化学品回收锅炉；
- 考虑使用移动设备，使操作区封闭、有空调。

空间限制

有些操作（尤其是维护工作）可能需要进入狭窄空间。例如：锅炉、干燥器、脱脂锅、蒸煮锅、喷放池、管道池、加工反应池、罐、和桶。狭窄空间的影响和减缓措施在《通用 EHS 指南》中有规定。



噪声

制浆厂的木材剥皮和造纸厂的造纸机器是两大主要的噪声源，但是其他生产过程也产生噪声。如前所述，控制室的使用是一种有效的工程控制。《通用 EHS 指南》中给出了其他管理生产噪声的建议。

辐射

某些测量设备（尤其是在造纸厂）中含有放射性物质。这类含有放射性物质的设备一般都是密封的，但是如果受到破坏或在维修时可能会暴露。这种装置的设计和运行应当遵循国家的相关要求、国际承认的职业¹和/或电离辐射的天然²暴露标准，如《国际电离辐射保护和辐射源基本安全标准》³及其三个相互关联的安全指南。《通用 EHS 指南》中给出了管理生产辐射暴露的其他建议。

1.3 社区健康与安全

制浆厂和造纸厂在建设和报废过程中产生的社区健康和安全问题，在大多数大型工业设施中都很常见，在《通用 EHS 指南》中给出了预防和控制的建议。

对社区健康和安全的影响主要产生在制浆和造纸设备的运行阶段，包括：

- 化学品的储存、使用和运输
- 恶臭
- 交通

化学品的储存、使用和运输

大型事故可能导致在制浆漂白过程、在加工设施外进行产品处理和运输中产生化学品的泄漏、火灾或爆炸。以下是处理这些问题的指南；在《通用 EHS 指南》的相关部分也有说明，包括交通安全、有害物质的运输、应急准备与响应。

恶臭

化学法制浆，尤其是牛皮纸浆制浆，产生还原态硫化物，对于附近居民是一种损害。现代空气污染控制手段（如节 1.1 所讨论），能够预防制浆厂产生的恶臭，不过在不良条件下还会产生臭气。因此，在建设绿地项目时，要考虑拟建设施的地点与居民区或其他社区的距离。

交通

制浆厂和造纸厂需要大量的木材（原木或木片），并且大量出口产品，这些一般都用卡车运输。这种现象可能使社区的卡车交通量大量增加。《通用 EHS 指南》中规定了交通安全措

¹ 加工、采用放射性物质用于医疗或工业过程、教育、培训研究等的组织。

² 地下矿（放射性矿除外）、温泉、氡风险大的地区等。

³ IAEA Safety Series No. 115.



施。

2 指标和监测

2.1 环境

废气和废水管理导则

附件 B 中表 1 (a) 提供了制浆厂和造纸厂的废水管理导则，表 2 提供了制浆厂和造纸厂的废气管理导则。一般认为，这些导则在正确设计和运行的设施内、在正常运行条件下，通过运用污染防治技术（本文前面部分有所讨论）是可实现的。

废水管理导则提出了年平均排放值¹，适用于污水经过处理后直接排入表面水体后用于一般用途。至于具体地点的排放水平，可以根据公共污水收集和处理系统的可得性和条件确定；而如果污水直接排入地表水，则根据《通用EHS指南》所描述的接受水体的使用分类加以确定。在不经稀释的情况下，要在工厂或车间年运行时间 95%以上的时间内达到这些排放水平。在当地具体的条件下，如果离实现这种水平有一定差距，需要在环境评价中予以论证²。

废气管理导则适用于生产工艺过程的废气排放。《通用 EHS 指南》中给出了关于蒸汽和 50 MW·h 及以上发电厂燃料源废气排放管理导则；对于更大发电厂的废气排放，则由《热电厂环境健康与安全指南》规定。对大气质量和总排放量规定，由《通用 EHS 指南》确定。

资源利用

表 3 提供了制浆和造纸行业能耗和水耗的例子，可作为该行业的效率指标，也可用来跟踪监测行业表现随时间的变化。实际的能源消耗取决于生产工序的选择、生产设备和工序控制的效率。

环境监测

制浆和造纸行业应当实施环境监测项目，监测可能具有明显环境影响的所有活动，在正常和非正常运行期都需监测。环境监测工作应当根据废气或废水的直接或间接排放，以及项目的资源使用等。

应当保证充分的监测频率，以提供有代表性的监测参数数据。监测应由经过培训的人员进行，遵照监测和保存数据的程序，使用的设备要经过妥善校准和维护。应当定期分析和回顾监测数据，并与适用标准对比，便于采取必要的纠正措施。《通用 EHS 指南》中给出了废气和废水取样分析的建议。

¹ 平均日排放不应高于年均排放值的 2.5 倍。

² 这种废水排放水平以生产负荷为基础（如 1 t 纸浆或纸的废水排放量，以 kg 计）。对于单独而非联合的制浆厂和造纸厂，具体数字（如每生产 1 t 纸浆排放的废水，以 kg 计；或每生产一吨纸所排放的废水，以 kg 计）并不难实现。对于纸浆造纸联合企业，排放指标通常为每生产 1 t 纸所排放的废水，以 kg 计；应当包括制浆厂和造纸厂的排放量。如果一个纸浆造纸联合企业既出售纸浆、也出售纸张，最合适的指标则是为每生产 1 t 纸浆总计所排放的废水，其中 1 t 纸浆总计是生产出的纸张和出



2.2 职业健康与安全

职业健康与安全指南

评价职业健康与安全表现，应当根据国际上出版的有关职业暴露的导则，包括美国政府职业暴露阈值（TLV[®]）导则和生物暴露指标体系（BEIs[®]），由美国政府与工业卫生师大会（ACGIH）¹和美国职业安全与卫生研究所（NIOSH）²出版；职业暴露允许浓度（PELs），由美国职业安全与健康委员会（OSHA）³出版；指导性职业暴露限值（IOELV），由欧盟成员国出版⁴；以及其他相关导则。

事故率和伤亡率

项目应当努力把工人发生事故的几率降到零，而不论是否直接受雇还是承包商所雇用的工人，尤其是要消灭可能影响工作时间、生产不稳定性或伤亡的事故。伤亡率可以根据本行业在发达国家的表现来定，通过回顾出版文献找到资料来源，如美国劳工统计局（UBLA）和英国健康与安全执行委员会⁵的资料。

职业健康与安全监测

应监测项目工作环境的职业危害。监测的设计和应由具有资质和证书的专业人员⁶进行，作为职业健康与安全监测项目的一部分工作内容。工厂还应保留职业事故和疾病、危险事件和事故的档案。《通用EHS指南》中给出了职业健康与安全监测的其他建议。

3 参考文献和其他资料来源

- [1] Allan M Springer, Ed.. Industrial Environmental Control – Pulp and Paper Industry. 3rd, Atlanta: Tappi Press, 2000.
- [2] Environment Canada. Regulations Amending the Pulp and Paper Effluent Regulations [embedding the Environmental Effects Monitoring requirements under Schedule IV]/Part II of the Canada Gazette. 2004.
- [3] European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry, December, 2001.
- [4] Finnish Environment Institute. A Strategic Concept for Best Available Techniques in the Forest Industry, 2001, <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=10759&lan=en>
- [5] Finnish Environment Institute. Continuum-Rethinking BAT Emissions of the Pulp and Paper Industry in

售的纸浆的总和。

¹ <http://www.acgih.org/TLV/>.

² <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>.

³ http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992.

⁴ http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/.

⁵ <http://www.bls.gov/iif/>和 <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>.

⁶ 具有资质和证书的专业人员包括获得证书的工业卫生师、注册职业卫生师、获得证书的安全专业人员或类似人员。



- the European Union, 2007. <http://www.environment.fi/download.asp?contentid=65130&lan=en>
- [6] International Labour Organization, Encyclopaedia of Occupational Health and Safety, 4th, Chapter 72, Pulp and Paper Industry, Occupational Hazards and Controls.
- [7] Oregon Administrative Rule (OAR) 437-02-312.
- [8] Peter N Williamson, Patti Turner Techn. Water Use and Reduction in the Pulp and Paper Industry – A Monograph. Canada: Canadian Pulp and Paper Association, 1994
- [9] Swedish Paper Industry’s Council for Development of Occupational Health and Safety (2005).
- [10] United Nations Environment Programme (UNEP). Revised edited draft guidelines on best available techniques and guidance on best environmental practices relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Expert Group on Best Available Techniques and Best Environmental Practices. 2006.
- [11] US EPA: Final Pulp, Paper, and Paperboard “Cluster Rule”.
- [12] U.S. Occupational Health Administration regulations for Pulp, Paper.
- [13] Paperboard Mills, 29 Code of Federal Regulations (CFR) 1910. 261.
- [14] U.S. EPA. 2002. Sector Notebook Project, Profile of the Pulp and Paper. Industry, 2nd. EPA/310-R-02-002. 2002. <http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notebooks/pulp.html>

附件 A：行业活动的通用说明

纸浆和造纸产生的主要工序步骤是：原材料准备（如剥皮和木材切削）；漂白纸浆；造纸。详见下列说明。有的制浆厂和造纸厂单独运行，也有一些是联合企业。

原材料准备¹

木材是纸产品中木纤维的重要来源，不过其他纤维来源如稻草、甘蔗渣和竹子等，也用于森林资源匮乏的地区，尤其是在发展中国家。另外，一些非木植物，如马尼拉麻、棉花和大麻，用于制造特种纸。

用于制浆的木材以各种木材形式到达制浆厂，如原木、木片和锯木渣。如果是原木，一般都被切成便于处理的适当尺寸，然后剥皮。如果制浆厂中还有制造木材的车间，在这一阶段，合适的木材被选出运走，而加工木材所剩余的所有余材则被返回到木片加工工序中；这种余材是纸浆厂木材的一个重要来源。

不适合加工木材的原木树皮通常是机械去除，一般利用滚筒式剥皮机，以防止在制浆过程中造成污染²。根据树皮的水分含量，有些树皮可以用来燃烧、制造能源。如果不用来燃烧制造能源，树皮可用来铺地面或烧炭。纸浆造纸厂大多已经摒弃了湿法剥皮工艺，这种工艺产生的废水含有大量营养物质、纤维和耗氧有机化合物，如树脂酸和脂肪酸等。

某些机械制浆工艺过程，如磨石磨木浆法，要求用圆木做原料，但是大多数制浆工艺要求用木片。统一的木片尺寸对于提高生产效率和纸浆质量是很有必要的，一般为顺纹为 20 毫米

¹ 资料改编自美国环境保护署（U.S. EPA）Sector Notebook Project, Profile of the Pulp and Paper Industry, 2nd Edition（产业手册项目，纸浆和造纸产业情况），EPA/310-R-02-002, November 2002.

² 目前认为利用高压水流的液压式剥皮技术已经过时，从环境方面考虑也不再适合，因为产生的废水中含有大量的 BOD。



长，4 毫米厚。然后，木片被置于一些振动的筛网上，除去尺寸太大或太小的木片。太大的木片留在筛网上层，被送去再进行切削，而过小的木片一般与树皮一同进行燃烧产能，或被出售，用于其他用途。

非木纤维一般根据其成分进行加工，以最大限度地减少对木纤维的破坏，并由此提高纸浆产量。非木原材料一般以捆为单位管理。

制浆工艺

用于制浆的植物原料一般含有木纤维素、半纤维素和木质素、和一种天然黏合物材料，将木材或秸秆中的纤维粘在一起。在制浆工艺过程中，含有木纤维素的原材料（初始植物纤维或回收的废纸）被分解为单独的纤维，这就是人们所称的纸浆。制浆过程一般被分为化学法制浆和机械法制浆两种工艺。化学法制浆主要依靠化学反应物和热能来软化和溶解木片中所含的木质素，之后利用机械分离出纤维。机械法制浆需要对木材进行预处理，虽然也用蒸气热量和/或浓度较稀的化学溶剂进行预处理，但主要还是依靠机械设备来将木材分解为纤维材料，主要通过研磨完成。不同的制浆工艺所得到的纸浆性质各有不同，适用于不同的终端用途。

木材为原材料的化学法制浆工艺

主要的化学制浆工艺包括碱性亚硫酸盐纸浆（或牛皮纸浆工艺），酸性亚硫酸盐纸浆工艺和半化学法制浆工艺。牛皮纸浆工艺占目前全球纸浆生产的 80% 左右，几乎所有新建厂都使用这种技术工艺。与机械法制浆工艺相比，碱性亚硫酸盐纸浆和牛皮纸浆的市场价格普遍更高，生产成本也较高。纸浆质量对于大多数用途来说都更为优秀，木质素和其他木材成分普遍较低，相应地含有更多木纤维，纤维也更完整。碱性亚硫酸盐纸浆和牛皮纸浆更易于漂白，白度或洁白度更高，很多纸产品都需要具有这种优势的纸浆。和其他制浆工艺相比，牛皮纸浆能生产出强度更强的纸张或板纸

（1）牛皮纸浆制造工艺。

牛皮纸浆制造工艺占全球纸浆生产的 80% 左右¹，已经成为占据主导地位的化学制浆方法，这是由于这种技术与碱性亚硫酸盐纸浆生产技术相比，纸浆纤维强度更大，适用于所有种类的木材，还能有效地回收投入的化学原料。在牛皮纸浆制造工艺过程中，木片在蒸煮器中与白液混合。白液是含有硫化钠（ Na_2S ）和氢氧化钠（ NaOH ）一种水溶剂，能够分解木材中的木质素，在提高温度和压力的情况下，还能够分解半纤维素，释放出纤维素纤维（即纸浆）。蒸煮过程后形成“黑液”，其中含有溶解在水中的有机物质，从纸浆中分离出来就形成黄料粗浆。粗浆在含有氢氧化钠的情况下，经过氧气处理，去除残留的一些木质素，这个过程被称为氧脱木素工艺。之后，粗浆经过漂白（见下述），使最终纸浆产品达到期望的白度、强度和纯度。

在这个过程中投入的化学原料通过“液体循环”得以回收。通过水的蒸发使黑液浓缩，然后在回收炉中燃烧，破坏其中的有机成分，用产生的热量生产蒸气，用于其他生产设施。最后，回收炉底部剩下主要由碳酸钠（ Na_2CO_3 ）和硫化钠（ Na_2S ）组成的熔融混合液（Smelt），形成“绿液”。在苛化器中，将石灰（ CaO ）加入绿液中，将碳酸钠转化为氢氧化钠，再次形成白液，

¹ European Commission, Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry, December 2001. 欧盟。《污染综合防治：纸浆造纸产生最佳可得技术参考文件》。



重新用于蒸煮器。在苛化器中，还形成了石灰泥，主要由碳酸钙（ CaCO_3 ）组成。通过在石灰窑中加热，石灰泥被再次转化为石灰石。

牛皮纸浆制造过程中产生的液体流，大部分能在制浆过程中得到再利用，或者再用于漂白厂的纸浆漂白工艺。粗浆制造所产生的废水应控制为少量的浓缩物和溢出物。排放的废气包括二氧化硫、硫化氢和其他还原硫化物、氮氧化物和颗粒物。典型的牛皮纸浆制造工艺（包括下述的漂白工艺）见图 1。

（2）亚硫酸盐纸浆制造工艺。

亚硫酸盐蒸煮工艺的基础是水溶性二氧化硫和盐基。使用何种盐基会影响生产工艺条件、化学品和能源回收、水消耗和纸浆性质。钙盐基、钠盐基、镁盐基和铵盐基都可使用，不过，占主导地位的还是镁盐基亚硫酸盐蒸煮工艺。目前的新建项目认为从环境的角度来看，钠盐基工艺不再合适。钠盐基和铵盐基工艺由于成本较高，已经被大量停用。虽然钙盐基工艺的成本相对较便宜，但是用于蒸煮的化学品不能得到回收，而只能被排放，因此，新建项目一般不用这种方法。

亚硫酸盐纸浆比牛皮纸浆易于漂白，还可以采用 TCF 漂白工艺（详见下述）。与牛皮纸浆工艺相比，亚硫酸盐纸浆工艺产生的臭气少，纸浆的产量高。不过，由于纤维强度相对较低，也由于回收技术不过关（除了镁盐基工艺外），亚硫酸盐纸浆的市场竞争优势不太强，而且还伴随着更多的废水产生。这种工艺还有其他有限性，比如与牛皮纸浆工艺相比，其能源净消耗更高，仅限于特定的木材种类（如松木），限制了原材料的供应。出于这些原因，许多新建制浆项目多使用牛皮纸浆工艺。

（3）半化学法制浆工艺过程。

在半化学法制浆工艺过程中，木片经过少许蒸煮，以弱化纤维之间的黏合；之后，木片在磨浆机中经过机械处理，利用机械反应来分离出纤维。半化学法制浆工艺，生产的纸浆具有很高强度的硬度，一般用于瓦楞纸的生产。最为常见的半化学法制浆工艺技术是中性亚硫酸盐半化学法制浆工艺过程（NSSC）。其他还在使用中的工艺技术包括氢氧化钠液碱性蒸煮（苏打蒸煮法）工艺，或改良的亚硫酸盐液制浆工艺。

半化学法制浆技术的纸浆产量，由于选择工艺的不同，从 55%到 90%不同。不过，纸浆残留木素也很高，因此，与牛皮纸浆工艺和亚硫酸盐化学法纸浆工艺相比，漂白的难度更大。由于与牛皮纸浆工艺和亚硫酸盐纸浆工艺相比，生产条件要求不太严格，也由于半化学法纸浆一般不需要漂白，因此，这种生产工艺较为简单。另外，与牛皮纸浆工艺和亚硫酸盐纸浆工艺相比，这种工艺所需的化学品用量较少。

由于与牛皮纸浆工艺和亚硫酸盐纸浆工艺相比，半化学法制浆工艺形成的蒸煮液中有有机物浓度较低，化学品回收的成本相对更高，所以，有些采纳半化学法制浆工艺的纸浆厂通常对生产过程中使用后的蒸煮液经过处理后直接排放，并不加以回收。由于回收效率较低，未经处理的废水一般比牛皮纸浆工艺和亚硫酸盐纸浆工艺所产生的废水更高。

木材为原材料的机械法制浆工艺

机械法制浆工艺包括预热机械法（TMP）、化学预热机械法（CTMP）、磨木制浆工艺和其他工艺方法。预热机械法主化学预热机械法都使用磨盘机将木片分解为木纤维，通常要经过木片蒸



气预热，和/或微弱的化学溶液浸泡。较老的磨木工艺通常将小段的原木在磨石上磨成纸浆。

机械法制浆工艺产量高，但是在磨浆过程中用机械分解纤维需要大量的电能。机械纸浆一般用于印刷纸和书写纸，需要很强的不透明性和吸墨性能；也用于板纸，数量大、价格便宜的纸浆更好。可用化学预热机械法（CTMP）生产面巾纸浆和绒毛纸浆。

（1）预热机械法（TMP）。

在进行木片预热机械法工艺之前，一般要先清洁木片，除去沙石、金属屑和其他硬物，这些可能产生磨盘的磨损和破坏。经过清洁和筛选后，木片用蒸气预热，然后进入磨浆过程。磨浆可以采用高温高压一步磨浆法，也可以采用两步磨浆法，即经过第一步磨浆后，再进行第二步高压（或常压）磨浆。通常，木片筛后的余料在第二阶段磨盘机中磨浆。更多地使用机械能而不用化学溶剂，能够使纤维打得更碎，形成更细致的质地。预热机械法工艺生产的纸浆常用于新闻印刷。

磨盘机预热机械法要求使用较多电能，其中大多数转化为蒸气热能，通过木材含水和磨盘机的稀释液释放。高压条件下（可达 5×10^5 Pa 大气压），产生的蒸气大部分可被回收，形成清洁的工艺用蒸气（如用来干燥纸）。另一部分能源还可以热水的形式回收。原材料一般倾向于使用新鲜木材。如果需要储藏木材，一般放在水中或用水喷洒，防止变干。因此，木材场可能需要建设废水收集系统，避免含有机物质的污水外排。木材中有一些有机物质在制浆过程中溶于水后被排放。不过，由于预热机械法工艺产生的木材损失非常低，大部分的木质材料被转化为纸浆，这种工艺所产生的废水，热值非常低，不需要用和化学法制浆工艺（如黑液）相同的手法回收。因此，采用预热机械法工艺的纸浆厂需要进行污水处理。

（2）化学预热机械法（CTMP）。

化学预热机械法工艺结合了预热机械法和木片的化学浸泡。经过清洗和筛选后，将木片浸泡在浸泡塔中的碱性化学品溶剂中。软木材主要使用亚硫酸钠（ Na_2SO_3 ），硬木材主要使用碱性过氧化氢。经过化学浸泡后，预热木片，并在接下来的第一和第二步磨浆过程中进一步升高温度。出于和预热机械法相同的原因，化学预热机械法工艺常被联合用于造纸厂或板纸厂；不过，化学预热机械法工艺也常用于制造商品浆。

热能和化学品的结合使用，能够软化木质素，便于纤维素纤维的释放，使纸浆更具强度和厚度，但是也有产出低的问题，因而，与预热机械法相比，产生的污染物更多。与预热机械法一样，工艺废水能够得到经济回收利用，残留物经过处理后排放。

化学预热机械法工艺最初主要用于云杉木，但是现在也用于密度较低的硬木，比如白杨木。化学预热机械法用于生产面巾纸、板纸和绒毛纸浆，但是白杨木目前被越来越多地用于印刷纸浆和书写纸浆，纤维的成本比化学法纸浆要低。

（3）磨木纸浆制造工艺。

在磨木纸浆制造工艺中，最初的纤维分离发生于磨盘中，主要是将原木压在特制的旋转磨石上，使木纤维与石磨的轴平等。在磨木过程中使用的能量大部分被转化为热能，帮助软化木质素的黏合，从而释放出纤维素纤维。在磨石上需要洒水降温、减少摩擦，并将纤维运到下一个加工环节。

在高压磨浆工艺阶段（PGW），磨浆在高压下进行，可达到 3×10^5 Pa，使得这一过程只能在



高温下进行。温度越高，对软化木质素黏合的软化就越彻底，纸浆质量也越高（如强度更大），但是要求的技术更高和投资更大。当对纸浆进行降压时，将生产低压蒸气，常被用于生产工艺热水。

有一种相对便宜的方法能够改善磨木纸浆工艺，这就是热磨工艺（TGW）。用这种工艺能够得到减少磨浆区蒸发所引起的热能损失，而且用稳定性控制器能够优化工艺温度。

回收纤维纸浆制造工艺（RCF）

现在，回收纸已经成为造纸行业越来越重要的纤维来源，约有 50% 的纤维原材料来自于回收的废纸¹。在回收再利用过程中，回收纸或纸板被浸湿，再被打成纸浆，主要是利用机械方法。墨水、黏合剂和其他污染物的去除可通过化学法纸浆精化和机械分离实现。由于回收纸的纸板中的纤维曾被彻底风干、再被泡湿，因此和原始木浆相比，物理性质有所不同。在某些情况下，使用回收纸的造纸厂不进行任何纸浆精化过程，如果进行封闭式的水循环利用，并利用小型的厌氧或需氧生物处理系统去除回收水中的溶解有机物，就能够不在运行过程中产生任何废水排放。如果产品能够容忍一定程度的泥尘和污染，就像一些包装和建设用纸一样，这种封闭式的水循环利用形式是实用的。在一些回收纸厂，大约有 30% 到 40% 的原材料在加工后形成了污泥，要求作为固体垃圾进行妥善管理。

（1）不进行纸浆精化。

回收纸的加工，如果不要求纸浆有高的白度（如瓦楞纸、硬纸板和一些棉纸），就不需要进行任何纸浆精化。

（2）进行纸浆精化。

纸浆精化工艺用来去除墨水，使纸浆更白更干净。有时还需要在纸浆精化后进行漂白。经过精化处理的回收纤维适用于要求白度更高的用途，如印刷纸、杂志用纸和棉纸。

工艺废水与不经过纸浆精化过程的废水相似。不过，精化后纸浆产量较低，还要求进行进一步的内部处理。纸浆产量为进入工艺过程的回收纸的 60%~70%，因此，约有 30%~40% 的投入料可能进入白液中，在排放废水前需要进行处理和去除。

利用非木原材料的制浆工艺

世界范围内，非木原材料资源占造纸业纤维供应总量的 60%。非木纤维来自于农业纤维，如秸秆和其他植物纤维（竹子、甘蔗渣、当年的纤维作物如洋麻）。总体而言，在木材供应充分的地区，采集和加工非木植物纤维的成本比木纤维更高，因此在世界上大部分地区，纸浆几乎全部用木材纤维生产。不过，非木纤维纸浆的产量还是很大，尤其在亚洲和非洲，因为在这些地区木材不太充足，但是却有非木纤维。

（1）甘蔗渣、秸秆、芦苇等。

大多数非木纤维相对较短，与硬木纤维相似，因此适合用于与硬木纤维相似的用途，如书写纸。不过，非木纤维也常被用于其他用途，如印刷印刷用纸和瓦楞纸板，这只是因为当地没有做纸浆的木材。

非木原料比木片更易于蒸煮。因此，常常不用牛皮纸浆蒸煮方法，而用苏打（只用氢氧化钠）蒸煮方法，这样成本可以较低。与化学法制浆工艺相比，用过的蒸煮液通常所含的溶解有

¹ U.S. EPA, Sector Notebook Project, Profile of the Pulp and Paper Industry, 2nd Edition, EPA/310-R-02-002, November 2002. (美国环境保护署,《行业手册项目:纸浆和造纸业》,第二版。



机物的浓度较低，因此增加了回收化学品的成本。另外，制造纸浆的非木原料植物通常较小，一般每年只能生产不到 10 万 t 纸浆，因此不具备使环境投资更加经济的规模经济效应。其结果是，许多非木制浆厂在化学物质回收方面做得不够或根本不回收，每吨产品的废物排放高于现代牛皮纸浆制浆厂。

一般说来，非木植物的二氧化硅含量比木材高很多。二氧化硅会在回收化学品时制造困难，还会对纸张质量产生不良的影响。特别是，二氧化硅加大液体蒸发器的垢沉积问题，降低苛化器的运行效率和石灰窑中石灰泥（碳酸钙）向生石灰（氧化钙）转化的效率。为了消除这些影响，利用非木原料制浆的工厂一般排放更多的石灰泥，购买更多的石灰或石灰石。

（2）棉花和其他长纤维。

有些非木纤维具备特殊而有价值的特性，可用于制造特别产品。比如，棉短线（轧棉后残留在棉籽上的）、大麻、亚麻和马尼拉麻等，这些纤维较长，可用于生产有水印的文件纸、证券纸、银行钞票纸、茶叶袋等。这种特殊产品的产量很低，因此，从环境影响方面来看不太重要。

漂白

漂白是利用化学方法使纸浆增加白度的任何工艺过程。和未经漂白的纸浆生产的纸张相比，用漂白纸浆生产的纸张更白、更亮、更柔软、也更有吸水性。漂白纸浆用来生产对质量要求较高、不能发黄的产品（如印刷纸和书写纸）。未经漂白的纸浆主要用于生产硬纸板、挂面纸板和购物袋。所有类型的纸浆都漂白处理，但是，纤维类型、制浆工艺、期望质量和最终产品用途，都会对纸浆漂白工艺的类型和程度的选择产生很大的影响。纸浆中木质素成分是漂白工艺的主要决定因素。比如，机械法制浆和半化学法制浆生产的木质素含量高，较难完全漂白，要求投入大量的化学物质。如果对机械纸浆和半化学纸浆过度漂白，会由于对纤维的破坏使纸浆产量下降。化学纸浆由于木质素含量较低（10%），可能被过度漂白。虽然脱木素过程能采用闭式水循环系统，漂白车间一般倾向于直接外排污水。漂白车间的污水不易循环利用、并回收化学品，主要是因为这种做法将使氯化物和其他无机物质在化学品回收系统中逐渐积累，导致腐蚀、垢沉积和其他问题。

化学纸浆

在纸浆漂白车间，最常用的化学物质是氢氧化钠、二氧化氯、氧气、臭氧、过氧化氢等。近来，过氧乙酸作为一种漂白剂，已经有了商业化的供应。氯和次氯酸盐已经被大量淘汰了，这两种化学品曾是近来最主要的漂白剂。生产二氧化氯的设施，在生产过程中会产生一种副产品，即少量的氯；在使用二氧化氯漂白时，其中会含有一定数量的氯。二氧化氯和臭氧必须在现场制造。过氧化氢、氧气和碱可以从厂外运来。臭氧是一种活性极强的漂白剂，而二氧化氯、氧气和过氧化氢活性不太大。

加长蒸煮时间和用氧气脱木素这种方法的采用，可更有效地回收有机物质，使漂白过程中能够不使用或生产氯，因此大幅度地减少在漂白过程中产生的有机化合物总量和有机氯化物的总量。在漂白之前进行酶处理能够加强漂白剂的使用效率，而产量损失也不大。

漂白车间一般有四五个单独的漂白阶段。每个阶段都添加不同的化学品，而酸和碱阶段交替进行。每个漂白步骤都包括化学品与纸浆混合设备、漂白反应器（设置化学品停留、化学反应的



合适时间)和清洗设备(用于分开用过的化学品、去除木质素和其他溶解在纸浆中的物质)。目前常使用的两种漂白方法,一是无元素氯的 ECF 漂白法,在漂白过程中不添加分子氯或气态氯;二是完全无氯的 TCF 漂白法。ECF 漂白法利用二氧化氯和碱去除溶解在纸浆中的木质素,并利用过氧化氢强化木质素的去除。TCF 漂白法利用氧气、臭氧或过氧乙酸、碱性过氧化氢进行木质素的去除。ECF 法和 TCF 法都可用于牛皮纸浆的生产,不过 ECF 漂白法更多见。

机械纸浆

漂白机械纸浆时主要用余留木质素的方法,与化学纸浆脱木质素的漂白工艺有很大的不同。化学纸浆的漂白能改变木质素聚合物中的载色基团,使之变成无色。用这种方法,化学纸浆的漂白在增加纸浆的白度的同时,能够减少固体物质的损失,并由此增加总产量。这种漂白效果不能持久,纸张会随时间发黄。出于这种漂白效果,白度不能长久保持,因此漂白的化学纸浆更适于新闻印纸和杂志用纸,而不适合用于书籍或档案文件用纸。

余留木质素的漂白工艺一般有一个或两个步骤,这要看纸浆对最终纸白度的要求而定。根据使用的漂白剂区分不同的漂白阶段。还原漂白使用连二亚硫酸盐($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$),不溶解纸浆中的有机物质,因此,漂白后纸浆的产量只会少许减少。漂白后,纸浆中残留的连二亚硫酸盐可能腐蚀下游造纸工艺中的金属成分。大多数工厂使用金属螯合剂(如 EDTA 和 DTPA),用来预防连二亚硫酸盐的降解。

氧化漂白使用过氧化氢(H_2O_2)。过氧化氢漂白法可减少纸浆产量达 2%左右,主要是由于漂白过程中的碱性会造成木材中有机物质的溶解,还会增加污染量。过氧化氢漂白法能够加强纸浆的强度和吸水能力。如果存在重金属(如铁、锰、铜、铬),氧化漂白过程会使白度降低,因此,常在漂白前加入金属螯合剂(如 EDTA 和 DTPA),防止纸浆被染污,同时防止过氧化氢分解。EDTA 和 DTPA 中含有氮成分,会进入污水中。在制浆和漂白工艺中间加入一个清洁过程可以有效减少金属造成的问题,并相应减少金属螯合剂的用量,还能改善过氧化氢的漂白效果。

用硫酸或二氧化硫使经过漂白的纸浆的 pH 值达到 5~6。

造纸

经过制浆、有时还要经过漂白过程之后,最后形成的纸浆被加工成纸浆货包,用于造纸。在此步骤,要投放到市场的纸浆被风干、捆包后,从纸浆厂运至造纸厂或纸板厂。在制浆造纸联合企业中,纸浆加工过程包括根据纸产品的特定要求混合纸浆、在水中散开、敲打和精化以增加密度和强度,并加用必需的湿性添加剂。使用湿性添加剂是为了使纸产品具有特定的特殊性质,或协助造纸过程。湿性添加剂包括:加强抗水性的树脂和蜡;造纸助剂如黏土、硅石和云母;上色的无机和有机染料;以及用来改善纸质、印刷质量、不透明性和白度的某些无机化合物(如硫酸钙、硫化锌和二氧化钛)。

纸浆经过造纸机器的加工,成为纸产品。传统的造纸设备是 Fourdrinier 长网造纸机,但现在越来越多的工厂开始使用具有知识产权专利的双长网造纸机。在造纸机器上,纤维浆被倒在一个移动的金属带上,进入造纸工艺的第一个步骤。水通过重力、真空室和真空辊去除。多余的废水由于纤维含量较高,被回收利用到纤维回收步骤。然后,不断移动的纸片在一组圆柱体间被挤压,压榨出更多的水分,并使纤维紧密。



压实后，纸片进入风干区。在这里，蒸气加热的圆柱体开始压紧湿纸片，纸纤维开始粘在一起。在这个阶段，纸片被沉重的辊子压紧，减少纸张的厚度，并压光纸面。这时可进行纸张涂层，改善纸张的光度、印刷质感和鲜亮度。较轻的涂层在机器上涂，而较重的涂层则下了机器后再涂。然后纸产品被卷起，便于储藏。

附件 B：废水和废气管理导则/资源利用标杆

表 B1 (a) 制浆和造纸厂废水管理导则——经漂白的牛皮纸浆，联合生产

参 数	单 位	导 则
Flow ^a	m ³ /t (AD) *	50
pH 值		6~9
TSS	kg/t (AD)	1.5
COD	kg/t (AD)	20
BOD ₅	kg/t (AD)	1
AOX	kg/t (AD)	0.25
总氮	kg/t (AD)	0.2 ^b
总磷	kg/t (AD)	0.03

表 B1 (b) 制浆和造纸厂废水管理导则——未经漂白的牛皮纸浆，联合生产

参 数	单 位	导 则
Flow ^a	m ³ /t (AD)	25
pH 值		6~9
TSS	kg/t (AD)	1.0
COD	kg/t (AD)	10
BOD ₅	kg/t (AD)	0.7
总氮	kg/t (AD)	0.2
总磷	kg/t (AD)	0.02

表 B1 (c) 制浆和造纸厂废水管理导则：亚硫酸盐法制浆，联合生产和非联合生产

参 数	单 位	导 则
流量 ^a	m ³ /t (AD)	55 ^d
pH 值		6~9
TSS	kg/t (AD)	2.0
COD	kg/t (AD)	30 ^c
BOD ₅	kg/t (AD)	2.0
AOX	kg/t (AD)	000.5
总氮	kg/t (AD)	0.5
总磷	kg/t (AD)	0.05



表 B1 (d) 制浆和造纸厂废水管理导则——化学预热机械法制浆

参 数	单 位	导 则
流量 ^a	m ³ /t (AD)	20
pH 值		6~9
TSS	kg/t (AD)	1.0
COD	kg/t (AD)	5
BOD ₅	kg/t (AD)	1.0
总氮	kg/t (AD)	0.2
总磷	kg/t (AD)	0.01

表 B1 (e) 制浆和造纸厂废水管理导则：机械法制浆，联合生产和非联合生产

参 数	单 位	导 则
流量 ^a	m ³ /t (AD)	20
pH 值		6~9
TSS	kg/t (AD)	0.5
COD	kg/t (AD)	5.0
BOD ₅	kg/t (AD)	0.5
AOX	kg/t (AD)	0.01
总氮	kg/t (AD)	0.1
总磷	kg/t (AD)	0.01

表 B1 (f) 制浆和造纸厂废水管理导则：回收纸浆、不经纸浆精化脱墨处理，联合生产

参 数	单 位	导 则
流量 ^a	m ³ /t (AD)	10
pH 值		6~9
TSS	kg/t (AD)	0.15
COD	kg/t (AD)	1.5
BOD ₅	kg/t (AD)	0.15
AOX	kg/t (AD)	0.005
总氮	kg/t (AD)	0.05
总磷	kg/t (AD)	0.005

表 B1 (g) 制浆和造纸厂废水管理导则：回收纸浆、经纸浆精化脱墨处理，联合生产

参 数	单 位	导 则
流量 ^a	m ³ /t (AD)	15
pH 值		6~9
TSS	kg/t (AD)	0.3
COD	kg/t (AD)	4.0
BOD ₅	kg/t (AD)	0.2
AOX	kg/t (AD)	0.005
总氮	kg/t (AD)	0.1



总磷	kg/t (AD)	0.01
----	-----------	------

表 B1 (h) 制浆和造纸厂废水管理导则：回收纸浆、棉纸生产厂

参 数	单 位	导 则
流量 ^a	m ³ /t (AD)	25
pH 值		6~9
TSS	kg/t (AD)	0.4
COD	kg/t (AD)	4.0
BOD ₅	kg/t (AD)	0.5
AOX	kg/t (AD)	0.005
总氮	kg/t (AD)	0.25
总磷	kg/t (AD)	0.015

表 B1 (i) 制浆和造纸厂废水管理导则：未涂层的细纸车间

参 数	单 位	导 则
流量 ^a	m ³ /t (AD)	15
pH 值		6~9
TSS	kg/t (AD)	0.4
COD	kg/t (AD)	2.0
BOD ₅	kg/t (AD)	0.25
AOX	kg/t (AD)	0.005
全氮	kg/t (AD)	0.2
全磷	kg/t (AD)	0.01

表 B1 (j) 制浆和造纸厂废水管理导则：涂层的细纸车间

参 数	单 位	导 则
流量 ^a	m ³ /t (AD)	15
pH 值		6~9
TSS	kg/t (AD)	0.4
COD	kg/t (AD)	1.5
BOD ₅	kg/t (AD)	0.25
AOX	kg/t (AD)	0.005
全氮	kg/t (AD)	0.2
全磷	kg/t (AD)	0.01

表 B1 (k) 制浆和造纸厂废水管理导则：棉纸车间

参 数	单 位	导 则
流量 ^a	m ³ /t (AD)	25×10 ³
pH 值		6~9
TSS	kg/t (AD)	0.4
COD	kg/t (AD)	1.5
BOD ₅	kg/t (AD)	0.4



AOX	kg/t (AD)	0.01
全氮	kg/t (AD)	0.25
全磷	kg/t (AD)	0.015

表 B1 (I) 制浆和造纸厂废水管理导则：纤维制备，非木纤维

参 数	单 位	导 则
流量 ^a	m ³ /t (AD)	50
pH 值		6~9
TSS	kg/t (AD)	2.0
COD	kg/t (AD)	30
BOD ₅	kg/t (AD)	2.0
全氮	kg/t (AD)	0.5
全磷	kg/t (AD)	0.05

资料来源：欧盟《污染综合防治：纸浆造纸产生最佳可得技术参考文件》。European Commission. 2001. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. December 2001. 美国环境保护署《纸浆、纸张和纸板制造点源类污染防治导则》。U.S. EPA Effluent Guidelines for the Pulp, Paper, and Paperboard Point Source Category, 40 CFR Part 430.

*备注：kg/t (AD) = 1 t 风干纸浆产生的污染物，kg。

- 冷却水和其他洁净的水被单独排放，因此不包括在内。
- 任何与使用复杂助剂有关的氮排放，都应计入总氮量中。
- 由于亚硫酸镁制浆工艺蒸煮后纸浆卡伯值较高，最佳可得技术的 COD 水平为 35 kg COD/t (AD)。
- 不包括联合亚硫酸盐制浆企业造纸厂的工艺废水。

表 B2 制浆和造纸厂废气管理导则

参 数	车间类型	单 位	意向型指标值
TSP	牛皮纸浆、漂白	kg/t (AD)	0.5
	牛皮纸浆、不漂白，联合企业	kg/t (AD)	0.5
	亚硫酸盐，联合和非联合企业	kg/t (AD)	0.15
SO ₂ 作为 S	牛皮纸浆、漂白	kg/t (AD)	0.4
	牛皮纸浆、不漂白，联合企业	kg/t (AD)	0.4
	亚硫酸盐，联合和非联合企业	kg/t (AD)	1.0
NO _x 作为 NO ₂	牛皮纸浆、漂白	kg/t (AD)	硬木纸浆 1.5 软木纸浆 2.0
	牛皮纸浆、不漂白，联合企业	kg/t (AD)	硬木纸浆 1.5 软木纸浆 2.0
	亚硫酸盐，联合和非联合企业	kg/t (AD)	2.0
TRS 作为 S	牛皮纸浆、漂白	kg/t (AD)	0.2
	牛皮纸浆、不漂白，联合企业	kg/t (AD)	0.2

资料来源：

European Commission. 2001. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. December 2001. 欧盟《污染综合防治：纸浆造纸产生最佳可得技术参考文件》。U.S. EPA Effluent Guidelines for the Pulp, Paper, and Paperboard Point Source Category, 40 CFR Part 430. 美国环境保护署《纸浆、纸张和纸板制造点源类污染防治导则》。

备注：

TSP=悬浮颗粒物总量



SO₂ = 二氧化硫

S = 硫

NO₂ = 二氧化氮

N = 氮

TRS = 还原性硫化物总量

kg/t (AD) = kg/t (AD) = 1 t 风干纸浆产生的污染物, kg。

表 B3 水耗和能耗

车间类型	记载的水耗范围/ (m ³ /t) ^a	记载的能耗范围/ (GJ/t)	记载的电耗范围/ (kWh/t)
牛皮纸浆——漂白	20~100 ^b	10~14	600~1 200 ⁱ
亚硫酸盐制浆——镁基	40~100		
机械化制浆——磨木浆	5~15		1 100~2 200 ^c
机械化制浆——TMP	4~10		1 800~3 600 ^d
机械化制浆——CTMP	15~50		1 000~4 300 ^e
回收纸车间——未涂层的折叠板纸	2~10		
回收纸车间——涂层的折叠板纸	7~15		
回收纸车间——瓦楞纸和包装纸	1.5~10		
回收纸车间——新闻纸	10~20		
回收纸车间——棉纸	5~100 ^c		
回收纸车间——书写纸, 未涂层	7~20		
造纸车间——棉纸	10~50 ^f		500~3 000
造纸车间——书写纸, 未涂层	5~40 ^g		500~650
造纸车间——书写纸, 有涂层	5~50 ^g		650~900
造纸车间——纸板	0~20 ^h		~550~680
造纸车间——特种纸	10~300		

资料来源：

European Commission. 2001. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. December 2001. 欧盟《污染综合防治：纸浆造纸产生最佳可得技术参考文件》。

备注：

- 洁净的冷却水一般不计为水耗。
- 大于 50 m³/t 的记载量可能包括冷却水。
- 大约有 20% 的能量能以热水的形式回收。
- 大约有 20% 的能量能以热水的形式回收, 大约 40%~45% 的能量能以蒸气的形式回收。
- 棉纸车间的水耗在很大程度上取决于工艺条件 (如机器速度) 和产品 (如基本重量)。对于低基本重量的产品, 1 t 产品的水耗可能比其他造纸车间的水耗要高。
- 针对利用回收纤维制浆 (RCF) 生产棉纸, 包括 RCF 加工过程。
- 可能包括纸浆加工过程消耗的水。
- 包括纸浆加工过程消耗的水。
- 现代漂白牛皮纸浆车间一般能够通过燃烧黑液和树皮, 发相当于所用电能 30% 以上的电能, 但仍需使用外电。

