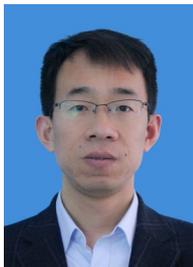


# 纸机系统清洗原理及在造纸生产中的应用



作者简介：吕文志先生，博士，副教授；研究方向：造纸化学品的研发及应用。

吕文志<sup>1</sup> 蒋志龙<sup>1</sup> 李菊香<sup>1</sup> 周海燕<sup>1</sup> 鲍安惠<sup>1</sup> 骆朝涛<sup>1</sup> 田江洪<sup>1</sup> 龙柱<sup>2,\*</sup>

(1. 黔南民族师范学院化学化工学院, 贵州都匀, 558000;

2. 江南大学纺织科学与工程学院, 江苏无锡, 214122)

**摘要：**对纸机系统清洗技术及相关原理进行了阐述，结合生产实际，以短循环碱性和酸性系统清洗为例，对纸机系统清洗所需的方法步骤、注意事项、过程监测及评价方法等进行了说明，为纸机系统清洗，有效减少断纸、纸张孔洞等生产质量问题提供了理论和实践参考。

**关键词：**湿部系统；污染物；系统清洗

**中图分类号：**TS78 **文献标识码：**A **DOI：**10.11980/j.issn.0254-508X.2020.08.012

## Principle of Paper Machine System Cleaning and Its Application in Production Line

LYU Wenzhi<sup>1</sup> JIANG Zhilong<sup>1</sup> LI Juxiang<sup>1</sup> ZHOU Haiyan<sup>1</sup>

BAO Anhui<sup>1</sup> LUO Chaotao<sup>1</sup> TIAN Jianghong<sup>1</sup> LONG Zhu<sup>2,\*</sup>

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Qiannan Normal University for Nationalities, Duyun, Guizhou Province, 558000;

2. College of Textile Science and Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu Province, 214122)

(\*E-mail: longzhu@jiangnan.edu.cn)

**Abstract:** In this paper, the paper machine system cleaning and its related principles were described in detail. Based on the practical production, separately taking the short cycle alkaline and acid system cleanings as example, the methods, steps, precautions, process monitoring and evaluation methods of paper machine system cleaning were discussed, it would be helpful for the paper-making mills to better carry out the paper machine system cleaning and effectively reduce the problems appeared in production such as paper break, paper defect.

**Key words:** wet end system; contaminants; system cleaning

随着现代造纸的发展，生产中各类助剂被大量应用<sup>[1-3]</sup>；造纸原料来源日益丰富和多样化，特别是回收纤维的大量循环使用，导致纸机系统容易出现各类“污染物”问题，并由此引起生产和产品质量问题，给造纸厂商造成巨大损失<sup>[4-6]</sup>。为了降低造纸体系污染物的数量，减少和避免污染物问题的发生，造纸生产者也采取了很多措施：如热分散、除渣器、压力筛和高、低压喷淋等机械设备的优化使用<sup>[7-9]</sup>；又如添加各种胶黏物控制剂、杀菌剂及对成形网、毛毯和干网进行保洁清洗应用等<sup>[10-13]</sup>。尽管如此，在生产周期内各类沉积物的积累还是会发生，如不及时加以清除将会造成严重的胶黏物问题，这就需要在生产间歇对纸机上浆和白水系统进行充分的清洗。进行系统清洗时，首先要根据造纸体系的实际情况，选择合适的清洗药剂，用白水或清水加以稀释后，在封闭浆料和白水系

统中循环一段时间，最后将溶出的污染物连同清洗药剂一同排掉。纸机系统清洗，外文一般称作“boilout”，国内有文献称之为“串洗”<sup>[14]</sup>，是消除纸机管路和设备表层沉积物，降低造纸体系内各类污染物数量的重要措施。

目前国内造纸生产中，特别是对于大型纸机来说，纸机系统清洗一般由专门的造纸化学品供应商来完成，包括提供清洗药剂、清洗设备及人员服务等，

收稿日期：2020-04-05（修改稿）

基金项目：贵州省科技计划项目（黔科合支撑[2019]2860号）；贵州省教育厅科技拔尖人才支持计划（黔教合KY字[2018]079）；贵州省科技计划项目（黔科合基础[2018]1146）；“大学生创新创业训练计划”项目（201710670032）。

\*通信作者：龙柱，教授，博士生导师；研究方向：造纸助剂、特种纸及生物质资源综合利用。

而纸厂一线生产技术人员对纸机系统清洗包括其重要性、清洗原理及操作步骤等还缺乏深入的认识。本文就纸机系统清洗的相关原理、分类、清洗步骤及过程监测等加以阐述,并通过列举在国内某大型文化纸机上系统进行清洗的完整过程来加以说明。

## 1 纸机系统清洗分类及原理

根据清洗范围或规模的不同,纸机系统清洗可分为短循环系统清洗和长循环系统清洗,另外还可根据所选用清洗剂种类的不同,分为碱性系统清洗和酸性系统清洗<sup>[14-15]</sup>。

### 1.1 按清洗区域或规模分类

#### 1.1.1 长循环系统清洗

长循环系统清洗也可称作大循环系统清洗,是对纸机上浆和白水系统的全面彻底清洗,涵盖所有浆槽和从碎浆到纸机网部的全部设备。通常选择在第一个浆槽中添加清洗剂,经过一段时间的循环串洗,再依次泵送到其他浆槽进行循环串洗。因为清洗区域大,涉及到的设备多,总的清洗时间较长,所以该类型系统清洗一般会放在纸机大修期间进行。

#### 1.1.2 短循环系统清洗

大多数情况下,长循环系统清洗因耗时太多,不太容易被生产人员认可。另外,停机期间维修人员往往需要对浆料储槽和制浆设备进行维修保养,也使得此类长循环系统清洗无法开展,这时候就只能选择更便捷的短循环系统清洗。

短循环系统清洗也被称作小循环系统清洗,只需将清洗剂泵送到白水系统即可,或者选择将清洗剂泵送到碎浆机中,再依次经过损纸浆槽、混合浆槽、纸机浆槽、调浆箱、除渣器、压力筛、流浆箱、白水收集槽,然后排入沟渠。为了进一步缩短清洗时间,该过程中的任一中间环节都可以选择去掉。

### 1.2 按清洗剂种类分类

#### 1.2.1 碱性系统清洗

该类清洗所用清洗剂为碱性清洗剂,一般由苛性碱、阴离子表面活性剂、溶剂、螯合剂及分散剂等组成。其中碱和有机溶剂的作用是溶解系统中各类沉积物;表面活性剂可促进清洗剂向沉积层的渗透;添加少量的螯合剂有助于络合溶液中的 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 等金属离子,降低它们再次沉积的可能;分散剂也可以起到分散溶出物,防止其二次沉积的作用。

通过碱性系统清洗可除去系统中大多数有机沉积物和微生物沉积物,但这也依赖于正确的清洗方案和步骤。实践证明,为了使系统中大多数有机沉积物得

以皂化和溶解,清洗液的pH值至少要控制在12以上。由于不同纸厂实际用水情况不同,达到相应pH值所需的碱性系统清洗剂的用量也不同。最终的清洗剂用量将由水的酸碱度、体系容量和诸如酸性造纸还是中碱性造纸等生产实际情况决定。此外,考虑到在清洗过程中可能会因碱消耗及额外清水的混入,导致pH值降低,还需要在清洗过程中根据监测结果,通过补充烧碱或清洗剂来维持pH值的稳定。在清洗剂添加之前,可以通过对清洗过程用水(白水或者清水)进行简单滴定,来预估达到相应pH值所需的清洗剂用量。

#### 1.2.2 酸性系统清洗

酸性系统清洗采用的是酸性清洗剂,该类清洗剂一般由各类有机或无机酸、表面活性剂、螯合剂及分散剂等组成,主要是针对中碱性造纸的纸机体系,清除来自填料的碳酸钙类无机盐沉积物。酸性清洗剂组分中往往还含有一定量的缓蚀剂,以减少在清洗过程中可能对设备造成的腐蚀。此外,该类清洗剂对清除染料槽、淀粉槽、漂白水车间螺旋挤浆机及脱墨车间洗浆机等设备表面沉积的无机盐也非常有效。

进行酸性系统清洗时,pH值一般控制在3~4,系统中清洗液需要循环1~2h。不同于碱性系统清洗,酸性系统清洗时一般可在常温下进行。这是由碳酸钙特殊的溶解特性决定的,采用较低的温度有利于碳酸钙溶解,而且还可大大降低洗涤过程中酸性清洗剂对设备表面的腐蚀。类似的,在进行酸性系统清洗之前,也可以通过对清洗用白水或清水进行滴定,预估使系统达到预定pH值所需的清洗剂用量。此外,由于在清洗过程中,沉积的碳酸盐将消耗相当数量的酸,所以清洗期间需要通过额外添加酸来维持清洗液pH值的稳定。

系统清洗过程中,温度、pH值及时间等参数的参考值见表1。

表1 系统清洗过程中参数的参考值

系统	温度/℃	pH值	时间/h
碱性	55~60	12.0~12.5	2~4
酸性	常温	3.0~3.5	1~2

## 2 系统清洗应用实例

大型纸机一般每月进行1次碱性系统清洗,每3个月进行1次酸性系统清洗,而且一般是先酸性系统清洗,随后再进行碱性系统清洗。如果酸性系统清洗

后没有进行碱性系统清洗, 则应在清洗液排空后使用弱碱性溶液冲洗系统, 直到系统或设备表面没有残留的酸, 然后用清水冲洗至 pH 值为中性。无论长、短循环系统清洗, 所用清洗剂的类型都是相同的, 一般由沉积物的类型决定。

本文分别以国内某 30 万 t/a 文化纸机进行的短循环碱性系统清洗和酸性系统清洗为例, 对整个系统清洗过程加以说明, 其中对短循环酸性系统清洗过程只做简要描述。

## 2.1 短循环碱性系统清洗步骤

(1) 纸机停机后, 由操作人员打开流浆箱并抽出飘片, 防止清洗剂对其造成腐蚀的可能性。

(2) 正式清洗前, 对纸机浆水系统进行仔细检查, 关闭末段除渣器排渣阀、清水补给阀及除渣器、脱气罐的喷淋水等。

(3) 网下白水槽预留 80% 左右的液位, 打开蒸汽阀给系统加热, 定期取样监测温度。

(4) 纸机浆池预留 25% 左右的浆料, 该部分浆料在清洗过程中可以增加对设备表面的冲刷, 有助于增强清洗效果。

(5) 降低成形网张力, 调至爬行状态, 降低脱水元件的真空度, 维持成形网低速运转。

(6) 添加 1.5% 片碱 (相对白水量), 待系统温度升至 55℃ 以上时添加清洗剂, 对系统 pH 值进行监测, 使 pH 值维持在 12.0 以上。

(7) 以短循环形式运转浆料和清洗液, 对流送设备、管路、浆池和流浆箱进行强力冲洗。

(8) 清洗临近结束时关闭蒸汽阀门, 然后快速排掉清洗液, 以防沉积物在温度降低后黏附在设备表面。

(9) 清洗结束后, 用清水对系统进行充分洗涤, 直到系统 pH 值接近中性。

(10) 流浆箱等需要重点清洗的设备, 可用高压水枪进一步彻底冲洗。

(11) 现场对纸机进行检查确认, 做好开机准备。

## 2.2 短循环碱性系统清洗过程中各监测指标变化情况

### 2.2.1 温度和 pH 值

温度、pH 值无疑是碱性系统清洗过程中影响清洗效果的两个最关键因素, 因此需要在清洗期间对其进行实时监测, 其中温度最好维持在 55~60℃, 而 pH 值最佳范围则是 12.0~12.5。

图 1 为系统 pH 值及温度监测情况。由图 1 可见, 碱性系统清洗期间, 在经过前期短暂的快速升温阶段

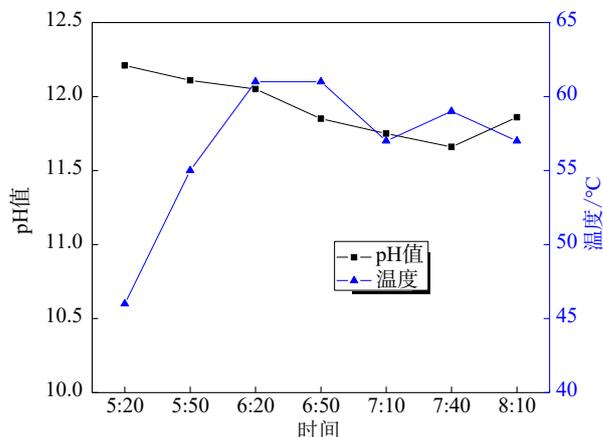


图 1 系统 pH 值及温度监测情况

后, 纸机系统中清洗液温度基本维持在 55~60℃ 之间。较高的清洗温度有助于促进系统内设备表面沉积物的软化溶解, 并且可以有效避免已溶解的沉积物发生二次沉积。清洗开始后, 随着片碱和清洗剂的添加, 纸机系统 pH 值迅速增加, 在达到最大值后随着清洗过程的进行逐渐下降, 之后趋于稳定。这是因为随着片碱和清洗剂添加结束, 由于清洗液中的碱会与系统中的有机沉积物发生皂化反应, 从而被大量消耗, 导致系统 pH 值逐渐降低。为此, 清洗期间应该根据 pH 值的实时监测结果, 向体系中补充部分片碱或清洗剂, 以维持清洗液 pH 值的稳定。总体而言, 系统清洗期间, 维持较高的 pH 值有助于各类沉积物的充分软化和皂化溶解, 从而提高总的清洗效果, 但也要防止过高的 pH 值可能会对成形网造成损坏。

### 2.2.2 总碱度和电导率

总碱度反映的是体系中各类碱性物质的总含量, 相比 pH 值, 它能更准确地反映出体系中碱的浓度及变化情况。电导率值可用于表征体系中溶解的各类电解质的总浓度, 该浓度与体系中所含物质的溶解程度密切相关。且鉴于造纸生产中添加的各类化学品基本都带有正负电荷, 因此电导率测量结果能较好地反映此类物质在体系中的溶解含量。通过对系统中总碱度和电导率值的实时监测, 一方面可以了解清洗期间系统中碱的变化情况, 另一方面也可对清洗期间系统中沉积物的溶解和电离情况进行考察, 从而能更好地掌握清洗效果。

图 2 为系统电导率及总碱度变化情况。由图 2 可知, 开始阶段, 随着片碱及清洗剂的加入, 系统的总碱度和电导率值均迅速增加, 达到最大值后又快速降低。这是因为在开始阶段, 随着片碱及清洗剂这类强碱的加入, 导致系统总碱度和电导率值快速增加; 但之后随着片碱及清洗剂添加结束, 系统中各类有机沉

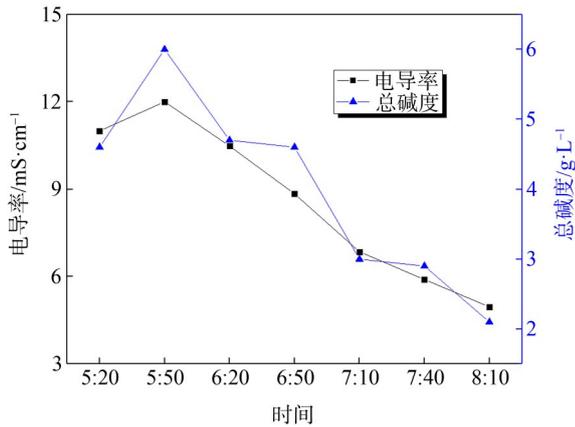


图2 系统电导率及总碱度变化情况

积物不断与碱发生皂化反应，消耗了大量的强碱性物质，并生成相应的有机弱碱盐，导致总碱度和电导率监测值快速降低。总碱度和电导率值的监测结果，在一定程度上也反映了系统清洗的效果。

### 2.3 短循环碱性系统清洗前后纸机状况对比

图3分别是清洗前后流浆箱、除气器内部及纸机表面的对比照片。由图3可见，短循环碱性系统清洗

之后，设备表面的沉积物已基本被除去。通过短循环碱性系统清洗，将沉积在设备表面的腐浆、有机和无机沉积物清洗干净，可有效避免后续生产过程中，因此类沉积物质脱落而导致的断纸、纸张破洞等生产和质量问题，进而为造纸企业创造可观的经济效益。

### 2.4 短循环酸性系统清洗及过程监测

短循环酸性系统清洗步骤和短循环碱性系统清洗类似，只是将药剂由碱性系统清洗剂改为柠檬酸及专用酸性系统清洗剂，清洗过程中无需加热，pH值一般控制在3.0~3.5。除pH值外，清洗期间还需要对电导率、总酸度、总硬度等系统参数进行监测，以实时了解整个清洗过程及清洗效果。表2是进行1次短循环酸性系统清洗时，系统中相关参数的监测情况。

由表2可见，短循环酸性系统清洗过程中，pH值接近3.0，控制的相对较低，温度低于清洗前的白水温度；电导率、总酸度和总碱度均随着清洗剂加入达到最大值，之后明显回落，其中以总碱度在清洗剂添加后增幅最大，应该是系统中沉积的碳酸钙类填料大量溶解所致。

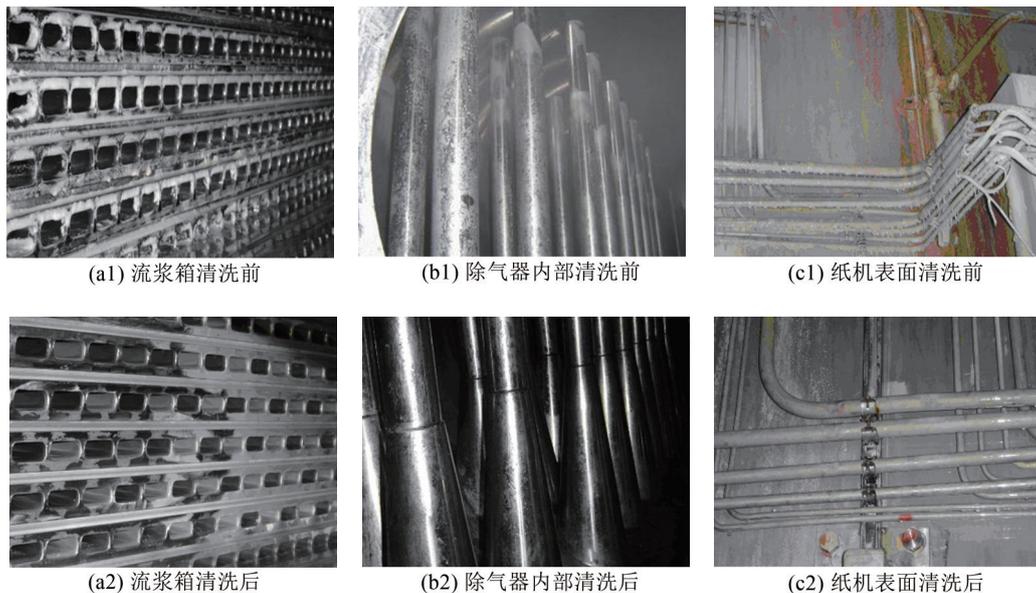


图3 短循环碱性系统清洗效果

表2 短循环酸性系统清洗过程监测

时间	pH值	温度/℃	电导率/mS·cm <sup>-1</sup>	总酸度/100 mg·L <sup>-1</sup>	总碱度/100 mg·L <sup>-1</sup>
清洗前	7.67	45.0	1.41		1.24
6:30	2.60	37.7	2.75	35	63
7:00	2.72	37.3	1.73	28	33
7:30	2.82	36.4	1.27	16	24
8:00	2.97	36.3	1.36	8	10

## 3 结 语

对纸机定期进行系统清洗的目的,是通过清洗,使纸机在经过一个运转周期之后,最大程度恢复到其最初的设计能力,并通过有效清除或减少生产过程中体系内各种胶黏物的数量,从而保证生产的连续运转和维持稳定的纸张质量。要保证良好的纸机系统清洗效果,有几点非常重要,包括:①通过对系统隔离创造一个封闭的循环体系,能有效避免体系外清水、白水的侵入,以及体系中清洗药液的过度流失;②通过分析,准确判断体系中沉积物的主要成分,选择最有效的清洗类型和清洗剂产品;③结合生产实际,制定合理的系统清洗方案并正确应用清洗剂产品。

## 参 考 文 献

- [1] SHEN Yi-ding. Preparation and action mechanism of papermaking chemicals[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2004.  
沈一丁. 造纸化学品的制备和作用机理[M]. 北京:中国轻工业出版社,2004.
- [2] LIU Wen-xia, QIU Hua-yu. Wet end chemistry of papermaking [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.  
刘温霞,邱化玉. 造纸湿部化学[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [3] Kumar A, Bhardwaj N K, Singh S P. Sizing performance of alkenyl succinic anhydride (ASA) emulsion stabilized by polyvinylamine macromolecules [J]. Colloids and Surfaces A-Physicochemical and Engineering Aspects, 2018, 539: 132.
- [4] HUANG Cong, ZHOU Minghua, LI De, et al. Analysis and Control of Stickies in the Reuse of Waste Coated Paper[J]. China Pulp & Paper, 2016, 35(9):16.  
黄 聪,周明华,李 德,等. 废涂布纸回用过程中胶黏物的分析和控制[J]. 中国造纸,2016,35(9):16.
- [5] Tayeb A H, Hubbe M A, Tayeb P, et al. Soy Proteins As a Sustainable Solution to Strengthen Recycled Paper and Reduce Deposition of Hydrophobic Contaminants in Papermaking: A Bench and Pilot-Plant Study [J]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2017, 5(8):7211.
- [6] KOGA Eiji. Settlement of sedimentation in concealed works by strengthening chemical cleaning [J]. China Cleaning Industry, 2018(5):50.  
古贺英次. 通过强化化学清洗解决隐蔽工程内的沉淀问题[J]. 中国洗涤用品工业,2018(5):50.
- [7] YU Zhangshu. Improvement of 606 Type Conical Slag Remover[J]. China Pulp & Paper, 2015,34(3):70.  
余章书. 606型锥形除渣器的改进[J]. 中国造纸,2015,34(3):70.
- [8] Licursi D, Antonetti C, Martinelli M, et al. Monitoring/characterization of stickies contaminants coming from a papermaking plant-Toward an innovative exploitation of the screen rejects to levulinic acid [J]. Waste Management, 2016,49:469.
- [9] WANG Xu, ZHAN Huaiyu, CHEN Gang. Process Control Technology of Stickies in Recycling of Waste Paper [J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2002,17(1):116.  
王 旭,詹怀宇,陈 港. 废纸回用中胶黏物的工艺控制技术[J]. 中国造纸学报,2002,17(1):116.
- [10] Zhang Z D, Lan D M, Zhou P F, et al. Control of sticky deposits in wastepaper recycling with thermophilic esterase [J]. Cellulose, 2017, 24(1):311.
- [11] Xu R, Wang C Y, Wu S B. Effects of the polymeric additives on the stickies formation in recycled fibers based papermaking process [J]. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 2017, 32(4):647.
- [12] HUANG Qiran, YANG Weihe, QIU Meijian, et al. Application of Polyhexamethylene Guanidine Hydrochloride in Papermaking Industry [J]. China Pulp & Paper, 2011, 30(6):32.  
黄奇然,杨伟和,邱美坚,等. 聚六亚甲基盐酸胍在造纸工业中的应用[J]. 中国造纸,2011,30(6):32.
- [13] PEI Jicheng, SHEN Zhenghui, ZHANG Dongfang, et al. Control the Content and Surface Viscosity of Stickies in Old Newspaper Pulp by Using Phospholipase [J]. China Pulp & Paper, 2016, 35(12):1.  
裴继诚,申正会,张方东,等. 利用磷脂酶控制旧报纸浆中胶黏物的含量及表面黏性[J]. 中国造纸,2016,35(12):1.
- [14] DU Wei-min. Several papermaking chemicals developed in Japan [J]. Paper Chemicals, 2011, 23(1):71.  
杜伟民. 日本开发的几种造纸化学品[J]. 造纸化学品,2011,23(1):71.
- [15] ZHOU Zhen-ping. Present situation and application technology of fine chemicals in papermaking [J]. China Pulp & Paper Industry, 2019,40(13):164.  
周振平. 造纸精细化学药品的现状与应用技术[J]. 中华纸业,2019,40(13):164. [CPP]

(责任编辑:黄 举)

欢迎投稿

欢迎订阅

欢迎刊登广告

欢迎访问中国造纸杂志社网站

<http://www.cppmp.com>