

纸张阻燃化学品的阻燃机理及应用技术研究进展



作者简介：李婷女士，在读硕士研究生；研究方向：本征阻燃聚合物纸张施胶剂。

李婷¹ 杜少辉² 郭润兰¹ 李虎林² 朱映雪¹ 祝安军¹
于乐² 王振军² 阎银鹏² 崔锦峰^{1,*}

(1. 兰州理工大学石油化工学院, 甘肃兰州, 730050;

2. 甘肃静宁县恒达有限责任公司, 甘肃平凉, 743400)

摘要：为降低纸及纸制品在使用过程和纸制品包装在仓储物流过程中的火灾风险，纸及纸制品包装的阻燃防火受到国内外科技工作者和工程技术人员的重视。本文综述了纸张的阻燃机制和方法、国内外阻燃化学品的现状与研究进展；分析了纸及纸制品包装阻燃面临的技术问题和对策；展望了纸张阻燃化学品的发展前景。

关键词：阻燃纸张；纸品包装；阻燃化学品；阻燃机理；协同效应

中图分类号：TS727+.2 **文献标识码：**A **DOI：**10.11980/j.issn.0254-508X.2021.05.013

Research Progress of Flame Retardant Mechanism and Application Technology of Paper Flame Retardant Chemicals

LI Ting¹ DU Shaohui² GUO Runlan¹ LI Hulin² ZHU Yingxue² ZHU Anjun¹
YU Le¹ WANG Zhenjun² YAN Yinpeng² CUI Jinfeng^{1,*}

(1. College of Petrochemical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, Gansu Province, 730050;

2. Gansu Jingning Hengda Co., Ltd., Pingliang, Gansu Province, 743400)

(*E-mail: cuijf@lut.cn)

Abstract: In order to reduce fire risk of paper and paper products in use and paper packaging in storage and logistics, the flame retardant and fire prevention of paper and paper packaging were attracted more attention to domestic and foreign scientist and engineers. In this paper, the flame retardant mechanism and methods of paper materials were reviewed. The current status and research progress of flame retardant chemicals at home and abroad were discussed. The technical problems and countermeasures faced by paper and paper packaging flame retardant were analyzed. The development prospect of paper flame retardant chemicals was proposed.

Key words: flame retardant paper; paper packaging; flame retardant chemicals; mechanism of flame retardant; synergistic effect

纸的原料主要成分之一为植物纤维素 [通式为 $(C_6H_{10}O_5)_n$] [1-2]，纸品包装以纸或纸板为原材料。纸或纸板的燃点在 130℃ 左右，氧指数仅为 15% 左右 [3-5]，属于易燃物，在使用过程中存在火灾隐患 [6]。为避免因纸制品包装易燃而造成火灾，降低被包装产品在仓储物流过程中的火灾风险 [7-9]，纸品包装阻燃防火一直是国内外科技工作者和工程技术人员关注的重点 [10-11]。

纸张与温度足够高的外部热源接触受热后，能够分解并产生可燃性气体，分解后的挥发性可燃物和空气混合达到一定浓度时就会被引燃。燃烧产生的热能除释放到外界环境中之外，还会向纸张表面反馈，加

剧纸张纤维的受热分解；如果传递到纸张表面的热量高于纸张的热解温度，则纸张持续释放可燃挥发物，燃烧将继续。由此可见，纸张纤维的燃烧会经历：①纸张受热分解产生挥发性可燃物；②挥发性可燃物和 O_2 混合至着火点，在此点燃并燃烧；③燃烧反应释放的热量传递到纸张中，使纸张再次被热解。按照上述循环使燃烧反应得以维持。纸及纸制品的阻燃旨在阻断燃烧循环的 3 个核心过程之一，即可实现纸及纸制

收稿日期：2021-01-26（修改稿）

*通信作者：崔锦峰，教授；研究方向：本征型阻燃聚合物及其复合材料的结构、性能、设计、制备与应用。

品阻燃防护的目的^[12-13]。本文综述了纸张阻燃化学品及纸张的阻燃机制与阻燃方法、国内外阻燃纸的研究现状与进展；分析了纸及纸制品包装阻燃的技术问题和对策；展望了纸张阻燃施胶剂的发展前景。

1 阻燃机理与纸张阻燃方法

1.1 阻燃机理分类^[14]

1.1.1 气相阻燃机理

气相阻燃机理，主要包括气相稀释的物理阻燃机理和自由基猝灭的化学阻燃机理。①稀释或降低燃烧区可燃气体和O₂浓度的物理阻燃机理。阻燃剂在纸张裂解挥发之前率先分解生成不燃性气体，不燃性气体会稀释或降低纸张表面的可燃气体挥发物和O₂浓度，实现有效抑制气相燃烧。含氮有机阻燃剂^[15]和一些金属氢氧化物^[16]的阻燃机制以此为主。②猝灭或捕获燃烧区自由基的化学阻燃机理。燃烧反应本质是一类剧烈的自由基连锁反应，阻燃剂在材料燃烧过程中产生的自由基，与燃烧自由基结合，降低燃烧区材料连锁燃烧的自由基浓度，终止材料燃烧的自由基连锁反应，达到有效阻止气相燃烧的作用。卤代阻燃剂^[17]及部分含磷阻燃剂就是根据自由基的活性捕获发生作用从而起到了气相阻燃的作用。

1.1.2 凝聚相阻燃机理

凝聚相（固态或熔融态）阻燃机理，以残留层隔离阻断机理和吸热降温机理为主。①残留层隔离阻断燃烧机理。阻燃剂受热分解过程中，形成对材料具有催化脱水成炭的中间产物，促使材料表面生成一层具有阻隔中断能量、物质交换和热量交换的稳定性以炭（石墨碳或无定形碳）为主的残留阻断层，或者通过诱导聚合物链段发生重排，从而在材料表面生成一层玻璃态或陶瓷状的保护层，达到中断燃烧的目的。有机磷系阻燃剂^[18]、含硼阻燃剂^[19]和膨胀型阻燃剂^[20]即根据这一机制阻燃。②吸热降温中断燃烧循环链的凝聚相阻燃机理。当阻燃剂被热分解时，会吸收大量的热，降低材料燃烧区温度至热分解温度以下，从而降低材料的分解速度，降低燃烧区可燃挥发物的浓度，中断燃烧循环链，从而达到阻燃的效果。氢氧化铝^[21]（ATH）和氢氧化镁^[18]（MH）属于此类阻燃剂。

1.2 纸张阻燃方法

1.2.1 浆内添加或机内施胶阻燃法

纸张阻燃一般是在造纸过程中通过浆内添加或纸机内纸幅表面施加阻燃化学品的方式实现。浆内添加法是在打浆或供浆系统中，向纸浆中添加阻燃剂而获得阻燃纸的方法。此法操作简单，添加部位灵活，阻

燃剂在纸张中的分布均匀，但流失较严重^[16]。Wang等^[22]、李贤慧等人^[23]通过在纸浆内添加阻燃填料镁铝水滑石，制备了阻燃纸。陈继伟^[24]以无机阻燃剂氢氧化镁、氢氧化铝、硼酸锌为阻燃填料，采用浆内添加法制备了环保阻燃绝缘纸板。表面施胶法是在纸机内使阻燃剂（可溶性阻燃剂）通过施胶压榨方式吸附在纸张表面从而最终获得阻燃纸的方法^[10]。鲍坤^[25]将硼酸、硼砂作阻燃剂和淀粉胶黏剂混合，采用表面施胶法生产出防火包装纸。

1.2.2 机外表面涂布法

纸张阻燃也可以在成品纸或纸制品表面通过表面涂布或浸渍的方式，将阻燃剂涂覆于纸张表面形成具有阻燃薄膜的加工纸制品。表面涂布法是将配制的阻燃剂涂料均匀涂布于纸张表面使纸张具有阻燃性。该法对纸张表面涂层的阻燃效果明显，但由于纸张内部阻燃性差，阻燃效果不理想。Wang等人^[19]研究设计了一种酸碱协同阻燃作用的磷酸胍/硼砂阻燃涂料体系，采用表面涂布法制备阻燃木浆纸。周辉等人^[26]以氢氧化镁、氢氧化铝、聚磷酸铵（APP）和红磷复配，通过涂布工艺制备阻燃纸。刘连丽等人^[27]以氢氧化镁基复配膨胀型阻燃剂，采用表面涂布法制备阻燃纸。浸渍法是将纸浸渍在配制的阻燃剂溶液中，然后经加热干燥制得阻燃纸。这种方法要求纸张具有很高的吸收能力和湿强度，可以在较大的吸收范围内进行调节。洪莉等人^[28]将粉状磷酸-尿素混合体系（BL-阻燃体系）溶于蒸馏水中制成液状，浸渍原纸。在阻燃剂浓度为10%及以上时，浸渍涂布纸样表现出了不燃性。Jindasuwan等人^[29]将磷酸一铵（MAP）和聚甲基氢硅氧烷（PMHS）的混合阻燃涂料通过浸渍法涂布到桑皮纸上，使桑皮纸的热重残余质量分数从20.51%升高至60.61%。燃烧实验表明，除去火源后，涂布桑皮纸表现出自熄行为，并且有大量残留。

2 纸张阻燃化学品

2.1 单元素阻燃化学品

单元素纸张阻燃化学品主要是指含有具有阻燃功能的卤素、磷系、氮系、硼系等^[30-32]元素的阻燃化学品。磷系阻燃化学品主要为单质磷、磷酸盐、磷酸酯、亚磷酸盐、磷氧化物等，近年来，对造纸用环保型无机磷系阻燃剂的研究居多^[33]。Prieger等人^[34]研究了聚亚甲基磷（PMP）和聚亚甲基氧化磷（PMP-O）涂布纸的阻燃性能。结果表明，PMP和PMP-O是一种具有优异阻燃性能的聚磷酸盐类阻燃剂，能促进焦炭的形成，抑制燃烧，涂布前后纸样燃烧的残留物如

图 1 所示。PMP 和 PMP-O 涂布纸样的极限氧指数 (LOI) 分别为 23.1%、25.9%，较未涂布纸样 (19.6%) 分别提高 17.9%、32.1%，阻燃性能优异。

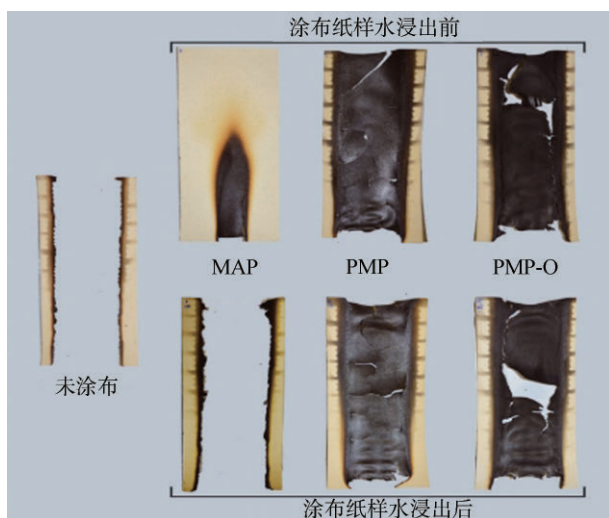


图 1 未涂布和涂布纸样的残留物^[34]

Fig. 1 Remains of uncoated and coated paper samples^[34]

氮系阻燃剂主要为三聚氰胺、磷酸铵、氯化铵、硫酸胍等。氮系阻燃剂在火焰燃烧过程中受热分解时会释放出 N_2 、 NH_3 等难燃气体，从而隔绝氧气，达到阻燃效果^[35]。Naksata 等人^[36]采用不同浓度的硫酸铵阻燃剂对手工桑皮纸进行涂覆。结果表明，硫酸铵对桑皮纸是一种良好的阻燃剂，仅用 50 g/L 硫酸铵涂布桑皮纸后，桑皮纸便不易燃。

硼系阻燃剂主要有硼酸锌、硼酸和硼砂等，具有阻燃、碳化、抑烟和防止生成熔滴等多种功能^[37]。Dogan 等人^[38]研究了硼酸锌、硼酸和氧化硼 (B_2O_3) 对含红磷的环氧树脂的阻燃性能和热稳定性的影响。结果表明，硼化合物通过促进成炭和在凝结相中形成磷酸硼而显示出佐剂效应。当 B_2O_3 与红磷的比例为 3 : 7 (质量比) 时，复合材料 LOI 值和垂直燃烧 (UL-94) 等级分别为 29.5% 和 V-0，表现出优异的耐

火阻燃性能。

锑系阻燃剂主要是三氧化二锑 (Sb_2O_3)。 Sb_2O_3 本身并不具有阻燃性能，仅在与其它卤化阻燃剂协同作用时才发挥阻燃作用^[12,39]。唐鑫等人^[40]以三氧化二锑和十溴二苯乙烷为阻燃剂，与新型改性硅酸钙防火填料助剂协同作用于箱纸板，当两者的比例为 2 : 1 (质量比)、硅酸钙填充量为 10% 时，涂布纸有良好的阻燃效果。杨守生^[3]将海泡石、氯化石蜡和三氧化二锑混合阻燃体系用于纸张阻燃，当其配方比为 7 : 1 : 2 (质量比)，添加量为 30% 时，纸张的阻燃性能达到 GB/T 14656—93 《阻燃纸和纸板燃烧性能试验方法》要求。

2.2 多元素阻燃化学品

研究表明，卤素 (X)、磷 (P)、硼 (B)、氮 (N)、硅 (Si) 等元素在有机材料燃烧过程中具有优异的阻燃效果，含 X 阻燃剂因在燃烧过程中生成高毒性气体而受限^[41]，P、B、N、Si 等元素阻燃剂具有无卤低烟、环保高效的阻燃功能。通过分子设计与合成或材料设计与制备，将多种阻燃元素 (X、P、B、N、Si 等) 构建于纸张材料体系，制备具有协效阻燃作用的纸张化学品称为多元素阻燃纸张化学品。常见的组合方式有 P-N 协效阻燃体系、P-B 协效阻燃体系、P-Si 协效阻燃体系、P-B-N 协效阻燃体系、P-B-N-Si 协效阻燃体系等。

Passauer 等人^[42]采用差示扫描量热法和热重分析法对不同取代度的淀粉磷酸铵酯进行了热降解分析。结果表明，随着淀粉磷酸铵酯取代度的升高，液相中淀粉磷酸铵酯的炭化和聚磷酸盐的形成明显增加，质量损失和分解产物的数量明显减少，活化温度明显降低。作为淀粉磷酸铵酯降解的副产物，确定了氨气作为惰性气体对火焰的灭火作用。王祎虹等人^[43]成功合成了三乙醇胺三(磷酸二苯酯)磷-氮阻燃剂，合成路线如图 2 所示，并将其应用于纸张阻燃。当用该阻燃剂浸渍纸张 24 h 时，纸张氧指数 (OI) 为 26.8%，达到难燃级别，阻燃性达防焰 2 级。

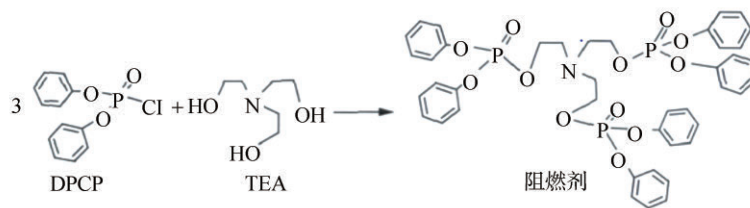


图 2 三乙醇胺三(磷酸二苯酯)阻燃剂的合成路线^[43]

Fig. 2 Synthesis route of flame retardant triethanolamine (diphenyl phosphate)^[43]

刘蕊平等人^[44]利用新型水溶性磷-氮阻燃剂、阻燃助剂及防水剂,对工程墙纸进行阻燃整理。结果表明,阻燃整理后的工程墙纸炭化长度为56 mm,无阴燃、续燃现象,具有较好的阻燃效果。崔锦峰等人^[45]通过逐步聚合得到磷-硼杂化聚合物(PDCP-DGB),合成路线如图3所示,然后将其与环氧树脂(EP)共混体系交联固化制备了磷硼元素共杂化环氧树脂基(PDCP-DGB/EP)阻燃复合材料,并研究了其阻燃性能。结果表明,PDCP-DGB/EP复合材料LOI达到28.3%,较纯EP提高了47.4%,UL-94等级达到V-0级,阻燃性能优异。

林宏等人^[46]通过制备聚磷酸铵(APP)-硅藻土复合填料,研究了其对加填纸张的阻燃性能。结果表明,相对于未加填纸,加填后纸张成炭明显(燃烧后的残渣照片如图4所示),纤维热解后质量损失下降,具有较好的阻燃效果。董延茂等人^[47]成功合成了一种新型的掺有B、P、N元素的三聚氰胺磷酸硼酸盐(MPB)膨胀型阻燃剂,探讨了MPB中B、P、N元素的协同阻燃机理,阻燃机理示意图如图5所示。结果

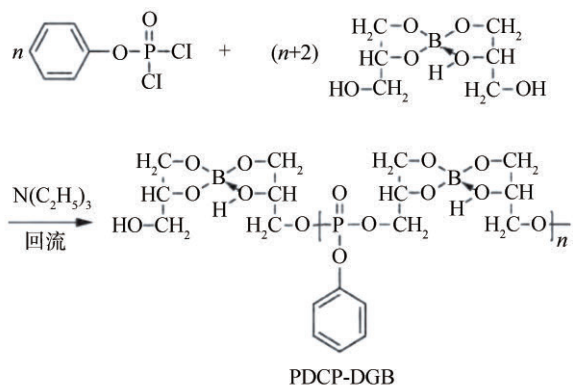
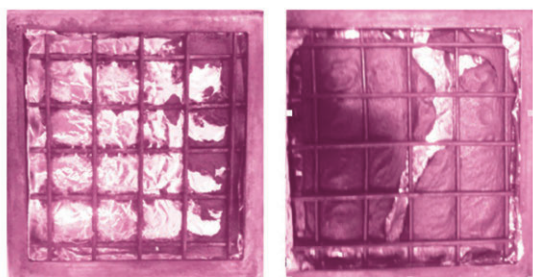


图3 磷-硼杂化聚合物(PDCP-DGB)合成路线^[45]

Fig. 3 Synthesis route of phosphorus-boron hybrid polymer (PDCP-DGB)^[45]



(a) 原纸 (b) APP-30%硅藻土复合填料加填纸

图4 纸样燃烧后残渣照片^[46]

Fig. 4 Photo of burning residue of paper samples^[46]

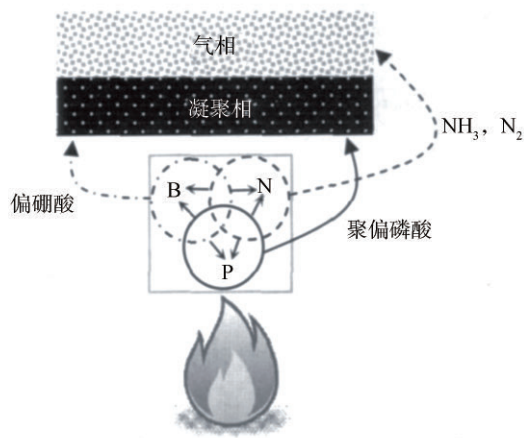


图5 硼-氮-磷协同阻燃机理示意图^[47]

Fig. 5 Schematic diagram of boron-nitrogen-phosphate co-flame retardant mechanism^[47]

表明,硼在明火燃烧氧化过程中形成的玻璃状物质可有效防止可燃气体的产生和扩散,偏硼酸可以与自由基相互作用,以加速链终止氧化反应并大幅降低总氧化反应速率。刘景宏等人^[48]在超轻质木纤维发泡材料中添加了一种包含多元素(包括B、P、N、Si和卤素)的复合无机功能阻燃剂,并通过CONE(锥形量热仪)法详细研究了每种阻燃元素的协同有效阻燃机理。结果表明,经复合阻燃剂处理的试样燃烧稳定放热,火焰燃烧阶段持续时间小于30 s,热分解阶段基本为无焰燃烧。阻燃剂中B元素加速形成玻璃态的隔离层,N-P元素具有促进材料脱水成炭的作用,Si元素可以增强炭层热稳定性,卤素大大降低了燃烧的有效热量,所有元素均显示出良好的协同隔热阻燃效果。

3 纸张阻燃的技术难题

3.1 阻燃剂品种^[35,49]

无机物阻燃剂如硼砂、硼酸、硼酸锌、氧化锑、磷酸铵等,由于价格低廉,品种较多等优点,广泛应用于纸或纸板阻燃,其缺点在于密度大、用量多、耐水性差、迁移性大,浆内施胶对纸或纸板抄造工艺造成不良影响,导致纸或纸板强度下降、松厚度变差、可塑性变差、印刷适性变劣,瓦楞纸箱耐水性下降,使用安全性不高等。氯化石蜡、四溴双酚A等有机阻燃剂已成功用于实际应用。有机阻燃剂具有阻燃效率高、密度小、耐水性好等优点,不足之处在于品种少、价格较高、毒性大、含卤高烟、不耐有机质,因迁移造成包装物品和周围环境的污染,发生火灾时因

含卤高烟会造成更大的环境污染。

3.2 阻燃剂形态^[39,50]

添加型阻燃剂是将具有阻燃功能的低分子化合物阻燃剂,直接加入到纸浆内,形成纤维悬浮混合浆料,或与施胶剂混合制备阻燃施胶剂用于表面施胶,具有品种多、使用方便的优点,其缺点在于稳定性差。本征型阻燃剂是通过分子设计和合成,将具有阻燃功能的元素键接到纤维素分子结构中,能够提高阻燃元素的存在稳定性,达到瓦楞纸箱环保长效的阻燃效果,其不足之处在于品种少、价格较高、技术难度大。

3.3 阻燃剂施用方式^[35,51]

最常见施胶方式是机外表面涂布,浆内添加或机内表面施胶较少。纸或纸板机外表面涂布通常在瓦楞纸箱制造前,对纸或纸板进行表面涂布,其优点在于灵活性较大,缺点是阻燃剂的附着量不足,瓦楞纸箱的阻燃效果不佳。浆内添加或机内表面施胶是在制浆阶段添加阻燃剂或在湿部压榨后进行机内施加阻燃剂,其优点在于阻燃剂用量大、阻燃效果好,便于瓦楞纸箱制造企业直接选用,且易于质量控制,降低制造成本,其不足之处在于浆内施胶对纸或纸板抄造工艺产生影响,优质阻燃施胶剂的品种缺少。

4 结 语

随着纸及纸制品阻燃防火功能需求的进一步凸显,纸张阻燃的基础研究和应用技术工作亟待加强:①纸张阻燃化学品必然朝着无卤、高效、经济、环保的方向发展。②纸张阻燃化学品应具有品种多、用量少、功能强、效率高的特点。③纸张阻燃化学品应将阻燃功能和其他性能同时兼顾,在取得优良阻燃性能同时,提高纸及纸制品的物理性能、光学性能、印刷性能、防水性能、安全性能等综合性能,达到阻燃功能与其他功能相互促进、彼此增长的协同增效。

参 考 文 献

- [1] 李超,惠岚峰,刘忠. 阻燃纸的研发现状及趋势[J]. 中华纸业, 2010, 31(23): 62-66.
LI C, HUI L F, LIU Z. Research and development status and trend of flame retardant paper[J]. China Pulp & Paper Industry, 2010, 31(23): 62-66.
- [2] 赵强. 阻燃剂在造纸工业中的应用[J]. 中华纸业, 2006, 27(6): 58-61.
ZHAO Q. Application of flame retardant in paper industry[J]. China Pulp & Paper Industry, 2006, 27(6): 58-61.
- [3] 杨守生. 海泡石阻燃纸的研制[J]. 中国造纸学报, 2005, 20(1): 153-155.

- YANG S S. Preparation of Sepiolite Flame Retardant Paper[J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2005, 20(1): 153-155.
- [4] 孙昊,倪敏娜,张新昌,等. 阻燃型包装纸板材料的阻燃剂制备及性能研究[J]. 包装工程, 2014, 35(23): 63-67, 152.
SUN H, NI M N, ZHANG X C, et al. Preparation and Properties of Flame Retardant for Flame Retardant Packaging Paper[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(23): 63-67, 152.
- [5] 周永信. 磷-氮系膨胀型纸质材料阻燃剂的研制及应用[D]. 南宁:广西大学, 2007.
ZHOU Y X. Development and application of phosphorus-nitrogen expansion flame retardant for paper materials [D]. Nanning: Guangxi University, 2007.
- [6] 潘泉利,徐程程,刘明友,等. 阻燃剂在造纸中的应用与发展[J]. 中国造纸, 2006, 25(5): 39-42.
PAN Q L, XU C C, LIU M Y, et al. Application and Development of Flame Retardant in Paper Making[J]. China Pulp & Paper, 2006, 25(5): 39-42.
- [7] 彭国勋,姜文剑,许爽,等. 用于快递防燃包装系统的包装箱优化设计[J]. 上海包装, 2017(12): 40-44.
PEN G X, JIANG W J, XU S, et al. Optimal design of packing box for express flameproof packing system[J]. Shanghai Packaging, 2017(12): 40-44.
- [8] 孙熠炜,李丹,戴焯浩,等. 阻燃技术在制浆造纸工业中的应用研究进展[J]. 中国造纸, 2019, 38(3): 70-77.
SUN Y W, LI D, DAI Y H, et al. Research Progress in Application of Flame Retardant Technology in Pulp and Paper Industry[J]. China Pulp & Paper, 2019, 38(3): 70-77.
- [9] 万成婕,陈景华,孙浩霖,等. 阻燃包装纸研发技术优化研究[J]. 包装工程, 2020, 41(21): 83-92.
WAN C J, CHEN J H, SUN H L, et al. Study on optimization of flame retardant wrapping paper[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(21): 83-92.
- [10] 郑荣辉,龚盛昭. 阻燃剂在造纸工业中的应用与发展趋势[J]. 造纸科学与技术, 2001, 20(6): 49-52.
ZHEN R H, GONG S Z. Application and development trend of flame retardant in papermaking industry[J]. Paper Science & Technology, 2001, 20(6): 49-52.
- [11] 邓均豪,杨进,洪浩源,等. 复合改性聚磷酸铵增强滤纸阻燃性[J]. 造纸科学与技术, 2019, 38(2): 62-65.
DENG J H, YANG J, HONG H Y, et al. Enhanced flame retardancy of filter paper by compound modification of ammonium polyphosphate[J]. Paper Science & Technology, 2019, 38(2): 62-65.
- [12] 杨军,梁云,徐桂龙,等. 内燃机用阻燃型空气过滤纸的研制[J]. 中国造纸, 2010, 29(6): 6-9.
YANG J, LIANG Y, XU G L, et al. Development of Flame Retardant Air Filter Paper for Internal Combustion Engine [J]. China Pulp & Paper, 2010, 29(6): 6-9.
- [13] 刘娇. 纸制包装品防火阻燃初探[J]. 中国包装工业, 2002(97): 38-39.
LIU J. Preliminary study on fire retardant of paper packaging [J]. China Packaging Industry, 2002(97): 38-39.
- [14] 李国志,丁毅. 阻燃技术在纸包装中的应用[J]. 包装工程, 2009, 30(4): 160-161.
LI G Z, DING Y. Application of flame retardant technology in paper packaging[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(4): 160-161.

- [15] Liu Y, Pan Y T, Wang X, et al. Effect of phosphorus-containing inorganic-organic hybrid coating on the flammability of cotton fabrics: Synthesis, characterization and flammability[J]. Chemical Engineering Journal, 2016, 294: 167-175.
- [16] 刘跃军, 郝宗贤, 刘亦武. 多元层状双羟基金属复合氧化物用作阻燃填料制备阻燃纸[J]. 中国造纸, 2012, 31(7): 17-21.
LIU Y J, HAO Z X, LIU Y W. Multivariate Layered Dihydroxyl Metal Composite Oxides were Used as Flame Retardant Filler to Prepare Flame Retardant Paper[J]. China Pulp & Paper, 2012, 31(7): 17-21.
- [17] 李星玮, 陈瑞林. 纸用阻燃剂的应用现状与发展前景[J]. 精细与专用化学品, 1998(3): 4-6.
LI X W, CHEN R L. Application status and development prospect of flame retardant for paper[J]. Fine and Specialty Chemicals, 1998(3): 4-6.
- [18] 叶红卫, 刘玲. 红磷-氢氧化镁高效阻燃体系研究[J]. 石化技术与应用, 2000, 18(6): 338-340.
YE H W, LIU L. Study on high efficiency flame retardant system of red phosphorus and magnesium hydroxide[J]. Petrochemical Technology & Application, 2000, 18(6): 338-340.
- [19] Wang N, Liu Y, Xu C, et al. Acid-base synergistic flame retardant wood pulp paper with high thermal stability[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 178: 123-130.
- [20] Jimenez M, Duquesne S, Bourbigot S. Intumescent fire protective coating: Toward a better understanding of their mechanism of action[J]. Thermochimica Acta, 2006, 449: 16-26.
- [21] 郭军红, 郭永亮, 幕波, 等. 氢氧化铝-磷掺杂丙烯酸树脂的热稳定性和协同阻燃效应[J]. 高分子材料科学与工程, 2016, 32(12): 75-81.
GUO J H, GUO Y L, MU B, et al. Thermal stability and synergistic flame retardant effect of aluminum hydroxide-phosphine-doped acrylic resin[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2016, 32(12): 75-81.
- [22] Wang S L, Song X M. Synthesize and Application of Mg-Al Hydrotalcite in Flame Retardant Paper Preparation[J]. Advanced Materials Research, 2010, 174: 362-365.
- [23] 李贤慧, 钱学仁. 镁铝水滑石用作造纸阻燃填料的研究[J]. 中国造纸, 2008, 27(12): 16-19.
LI X H, QIAN X R. Study on Magnesia-alumina Hydrotalcite as Flame Retardant Filler in Papermaking[J]. China Pulp & Paper, 2008, 27(12): 16-19.
- [24] 陈继伟. 环保阻燃绝缘纸板的研制[J]. 造纸科学与技术, 2016, 35(6):31-33,55.
CHEN J W. Development of environment-friendly flame retardant insulating paperboard[J]. Paper Science & Technology, 2016, 35(6):31-33,55.
- [25] 鲍坤. 防火包装纸的试制[J]. 中华纸业, 2008(10): 84-85.
BAO K. The trial production of fire proof wrapping paper[J]. China Pulp & Paper Industry, 2008(10): 84-85.
- [26] 周辉, 刘忠, 微亚静. 以氢氧化镁为阻燃剂制备阻燃纸的研究[J]. 中国造纸, 2009, 28(1): 13-16.
ZHOU H, LIU Z, WEI Y J. Study on Preparation of Flame Retardant Paper with Magnesium Hydroxide as Flame Retardant[J]. China Pulp & Paper, 2009, 28(1): 13-16.
- [27] 刘连丽, 曾英, 戚天游. 氢氧化镁基复配膨胀型阻燃剂制备阻燃纸的研究[J]. 纸和造纸, 2019, 38(1): 36-39.
LIU L L, ZENG Y, QI T Y. Study on preparation of flame retardant paper with magnesium hydroxide based compound expansion flame retardant[J]. Paper and Paper Making, 2019, 38(1): 36-39.
- [28] 洪莉, 胡健, 黄铖, 等. BL-阻燃剂对纸张纤维阻燃的效果[J]. 造纸化学品, 2010, 29(6): 28-31.
HONG L, HU J, HUANG C, et al. The effect of BL-flame retardant on the flame retardant of paper fiber[J]. Paper Chemicals, 2010, 29(6): 28-31.
- [29] Jindasuwan S, Sukmanee N, Supanpong C, et al. Preparation of Water-Repellent and Flame-Retardant Coating on Mulberry Paper[J]. Advanced Materials Research, 2013, 770: 100-103.
- [30] 李涛, 惠岚峰. 纸基材料的阻燃技术[J]. 湖南造纸, 2005(1): 7-9.
LI T, HUI L F. Flame retardant technology for paper based materials[J]. Hunan Papermaking, 2005(1): 7-9.
- [31] 黄放辉, 雷利荣. 阻燃蜂窝纸板[J]. 纸和造纸, 2008, 27(1): 46-47.
HUANG F H, LEI L R. Flame retardant honeycomb board[J]. Paper and Paper Making, 2008, 27(1): 46-47.
- [32] 姜玉起. 溴系阻燃剂的现状及其发展趋势[J]. 化工技术经济, 2006, 24(9): 14-18,24.
JIANG Y Q. Current situation and development trend of brominated flame retardants[J]. Chemical Technology Economy, 2006, 24(9): 14-18,24.
- [33] 刘连丽. 阻燃纸生产技术的研现状[J]. 纸和造纸, 2019, 38(2): 30-35.
LIU L L. Research status of flame retardant paper production technology[J]. Paper and Paper Making, 2019, 38(2): 30-35.
- [34] Prieger A M, Siu P W, Hu T Q, et al. Flammability properties of paper coated with poly (methylene phosphine), an organophosphorus polymer[J]. Fire and Materials, 2015, 39: 647-657.
- [35] 韩文佳. 阻燃纸制品的发展现状[J]. 湖北造纸, 2008(1): 4-7.
HAN W J. Development status of flame retardant paper product[J]. Hubei Paper, 2008(1): 4-7.
- [36] Naksata W, Naksata M. Sulphate-Based Flame-Retardant for Handmade Mulberry Paper[J]. Advanced Materials Research, 2008, 55-57: 833-836.
- [37] 陈先斌, 于春华. 纸的阻燃技术[J]. 纸和造纸, 2003(5): 81-82.
CHEN X B, YU C H. Flame retardant technology of paper[J]. Paper and Paper Making, 2003(5): 81-82.
- [38] Dogan M, Murat Unlu S. Flame retardant effect of boron compounds on red phosphorus containing epoxy resins[J]. Polymer Degradation and Stability, 2014, 99: 12-17.
- [39] 徐程程. 纸张阻燃剂的应用与发展[J]. 陕西科技大学学报, 2005, 23(2): 126-130.
XU C C. Application and development of flame retardant for paper[J]. Journal of Shaanxi University of Science & Technology, 2005, 23(2): 126-130.
- [40] 唐鑫, 惠岚峰, 刘忠, 等. 新型硅酸钙填料对涂布阻燃纸性能影响的研究[J]. 中华纸业, 2014, 35(2): 24-27.
TANG X, HUI L F, LIU Z, et al. Study on the effect of new calcium silicate fillers on the properties of flame retardant coated paper[J]. China Pulp & Paper Industry, 2014, 35(2): 24-27.

- [41] Malucelli G, Carosio F, Alongi J, et al. Materials engineering for surface-confined flame retardancy [J]. Materials Science and Engineering: R: Reports, 2014, 84: 1-20.
- [42] Passauer L. Thermal characterization of ammonium starch phosphate carbamates for potential applications as bio-based flame-retardants[J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 211: 69-74.
- [43] 王祎虹, 石俊龙, 肖兴强, 等. 纸用阻燃剂三乙醇胺三(磷酸二苯酯)的合成及其性能研究[J]. 中国造纸, 2016, 35(2): 14-18.
WANG Y H, SHI J L, XIAO X Q, et al. Synthesis and Properties of Triethanolamine (diphenyl phosphate) Flame Retardant for Paper [J]. China Pulp & Paper, 2016, 35(2): 14-18.
- [44] 刘蕊平, 朱守诚, 孙庆红, 等. 新型磷-氮系阻燃剂在工程墙纸上的应用[J]. 中华纸业, 2016, 37(23): 75-77.
LIU R P, ZHU S C, SUN Q H, et al. Application of new P-N flame retardant in engineering wallpaper [J]. China Pulp & Paper Industry, 2016, 37(23): 75-77.
- [45] 崔锦峰, 王文华, 郭永亮, 等. 磷-硼杂化聚合物/环氧树脂复合材料的制备及阻燃性能[J]. 复合材料学报, 2019, 36(1): 28-38.
CUI J F, WANG W H, GUO Y L, et al. Preparation and flame retardant properties of phosphorus-boron hybrid polymer/epoxy resin composites [J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2019, 36(1): 28-38.
- [46] 林宏, 沙力争, 赵会芳. 聚磷酸铵-硅藻土复合填料的合成及对纸页阻燃性能的影响[J]. 纸和造纸, 2017, 36(2): 30-33.
LIN H, SHA L Z, ZHAO H F. Synthesis of ammonium polyphosphate-diatomite composite filler and its effect on flame retardant properties of paper pages [J]. Paper and Paper Making, 2017, 36(2): 30-33.
- [47] 董延茂, 张祥, 赵丹, 等. 硼-磷-氮协效膨胀型阻燃剂的合成与性能研究[J]. 塑料科技, 2010, 38(1): 87-92.
DONG Y M, ZHANG X, ZHAO D, et al. Study on synthesis and properties of boron-phosphorus-nitrogen co-effect expansive flame retardant [J]. Plastics Science and Technology, 2010, 38(1): 87-92.
- [48] 刘景宏, 谢拥群, 魏起华. 用CONE法研究ULDM的阻燃特性[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(1): 174-177.
LIU J H, XIE Y Q, WEI Q H. The flame retardant properties of ULDM were studied by CONE method [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(1): 174-177.
- [49] 徐程程, 刘明友, 侯轶, 等. 纸张阻燃剂的应用与发展[J]. 陕西科技大学学报, 2005, 23(2): 126-130.
XU C C, LIU M Y, HOU Y, et al. Application and development of flame retardant for paper [J]. Journal of Shaanxi University of Science & Technology, 2005, 23(2): 126-130.
- [50] 王文华. 磷-硼杂化聚合物环氧树脂复合材料阻燃性能研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2018.
WANG W H. Flame retardant properties of phosphorus-boron hybrid polymer epoxy resin composites [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2018.
- [51] 宋彬章, 李志生, 陈继伟. 阻燃蜂窝纸的研制[J]. 造纸科学与技术, 2006, 25(6): 53-55.
SONG B Z, LI Z S, CHEN J W. Development of flame retardant honeycomb paper [J]. Paper Science & Technology, 2006, 25(6): 53-55. [CPP]

(责任编辑: 黄 举)

· 消息 ·

纪念蔡伦逝世1900周年活动暨 2021中国造纸学会手工纸与造纸史专业委员会年会会议通知(第一轮)

2021年是蔡伦逝世1900周年,中国造纸学会联合金光集团APP(中国)将于2021年10月(暂定)在湖南省耒阳市举办“纪念蔡伦逝世1900周年活动暨2021中国造纸学会手工纸与造纸史专业委员会年会”。会议由中国造纸杂志社与耒阳市蔡伦纪念馆共同承办,将邀请造纸史和手工纸领域专家,以及关心和参与纸史研究、手工纸工艺与文化遗产的企业和人士,共同纪念蔡伦这位伟大的造纸术发明家,以尊重历史、尊重科学的实事求是态度,围绕纸史、手工纸的热点问题、造纸术的概念及古纸工艺和科学检测分析等相关议题进行广泛、深入的研讨。

本次会议旨在搭建学习和交流的平台,推广我国造纸文化的研究、传承和国际传播,为我国文化软实力输出贡献力量。

一、会议议题

围绕纪念蔡伦发明造纸术、造纸史、手工纸、纸的文化与传播等热点问题,造纸术的概念及古纸工艺和科学检测分析及相关议题进行深入研讨。

二、会议时间及地点

会议具体地点和日期请见第二轮通知。

三、会议论文集

会议决定,将出版2021年年会会议论文集。请各参会单位及嘉宾

积极参与并组织相关技术、管理人员撰写论文。

1. 征文主题

蔡伦和造纸术、手工纸、纸文化

2. 征文内容

蔡伦发明造纸术;造纸史研究成果;手工纸原料及抄造技术;手工纸特性及应用;手工纸与文化传播;纸史研究检测分析技术。

3. 征文对象

纸史和手工纸领域专家,以及关心、参与纸史研究、手工纸工艺与文化遗产的企业和人士。

4. 截稿日期

2021年7月25日

5. 论文提交方式

相关论文请发送到会议承办单位中国造纸杂志社邮箱(E-mail: tcpp@vip.163.com),编辑部收到论文后会及时反馈收稿及录用信息。

四、组委会联系方式

陈丽卿: 15010056169, 邮箱: tcpp@vip.163.com

杨 艳: 15120049133, 邮箱: tcpp@vip.163.com

郭彩云: 15810270478, 邮箱: tcpp@vip.163.com

雷 煌: 13621223168, 邮箱: leihuang@ctapi.org.cn