



全国特种纸技术交流会暨特种纸委员会第三届会议

论文集

主办单位：中国制浆造纸研究院
造纸工业生产力促进中心特种纸委员会

协办单位：牡丹江恒丰纸业股份有限公司

2008年8月
黑龙江·牡丹江

目 录

电气绝缘纸的性能及制造技术	吕福荫(1)
碳纤维导电屏蔽纸的研制	张美云 钟林新 陈均志(10)
对硅酸铝纤维纸基耐火材料的探讨	赵传山 姜亦飞 逢进江(14)
水稻栽培用纸的研制与应用	杨金玲 王连科(19)
现代化纸机的在线清洁系统	德国 STAMM 公司 孙来鸿(23)
阳光蓄热纸的开发	钱学仁(30)
适用于纸机/纸板机的新型在线透气度测试仪	(35)
浙江省衢州市衢江区特种纸产业发展优势和前景	吕雨土(40)
纺织材料在特种纸上的应用	鲍漫秋 何兆秋(42)
浸渍类特种纸结构与特性	陈 港 方志强(46)
有关数码高光喷墨打印纸的最新进展	崔建同 赵传山 于冬梅(50)
硅酸铝耐火纤维纸增强用胶粘剂	逢锦江 赵传山 姜亦飞 袁瑞红(55)
硅酸铝耐火纤维分散性能的研究	逢锦江 赵传山 姜亦非 王锋吉(59)
浅谈影响热敏纸质量的因素	逢锦江 赵传山 袁瑞红 崔健同(63)
碳纤维纸发展概况	韩文佳 赵传山(68)
加工纸的现状和发展前景	李全朋 赵传山(71)
铸涂纸质量主要影响因素及其控制	宋兆萍 刘温霞 唐杰斌(75)
热敏纸的发展及生产工艺	唐杰斌 赵传山 于冬梅(79)
喷墨打印纸的涂料和涂层结构的研究	滕铭辉 赵传山 于冬梅 赵媛斐(84)
无碳复写纸常见纸病的产生原因及解决方法	袁瑞红 赵传山 韩文佳(89)
玻璃纤维过滤材料——空气过滤及其微生物防护	(93)
水溶 PVA 纤维在擦拭纸中的应用研究	
..... 刘群华 刘 文 陈雪峰 李杰辉 赵 涛 刘学思 陈哲庆	(97)

附 录

Voith 公司相关技术资料	(101)
造纸工业生产力促进中心特种纸委员会简介	(125)
造纸工业生产力促进中心特种纸委员会工作条例	(126)
第二届造纸工业生产力促进中心特种纸委员会组织机构	(128)
特纸委员会简介	(129)

电气绝缘纸的性能及制造技术

吕福荫

(中国制浆造纸研究院, 北京, 100020)

电气设备由两部分组成: 导体和绝缘体。绝缘体种类不同, 性能也不同。其中绝缘用纸使用至今已经有一百多年了, 今后还将被大量使用。虽然电绝缘材料也有了较大的变化和进步, 如高分子材料被广泛使用, 未来发展前景也很好, 但用纸作为绝缘材料, 特别是高压超高压绝缘材料性能是非常优越的, 在某种场合, 仍保持其不可替代的地位。以植物纤维做绝缘纸大量应用的优点概括起来如下:

1. 成本低;
2. 机械强度大且弯曲性能好;
3. 厚薄均匀, 尺寸范围广;
4. 化学稳定性好, 寿命长;
5. 能够承受短时的高温;
6. 良好的干燥后电气性能以及浸渍后绝缘“耐力”大;
7. 最重要的一条是其环境友好, 并且可以再利用;

作为天然植物纤维也有其缺点, 如吸湿性大, 必须处理后才能使用; 可燃性; 高频时介电性不好等。

这里主要介绍植物纤维绝缘纸的性能及制造技术。

一、电气绝缘纸的主要性能

第一作为纸张和纸板有一定的物理性能指标要求: 如厚度、紧度、强度、伸长率和撕裂度等; 第二作为电气绝缘纸又有另外的特性指标要求: 如电绝缘强度、工频击穿电压、介质损耗等; 第三化学指标如纸张灰分、纸张水抽出物电导率和金属离子等。针对不同用途的电气绝缘纸又有其专门的要求。

现把三类指标罗列如下:

1. 物理指标: 厚度, 紧度, 抗张强度, 伸长率, 耐折度, 撕裂度, 挺度, 摩擦系数, 杨氏模量, 透气度和水分。这些物理指标都是很常用但是非常重要的, 其中要讲一下透气度的问题。不同的绝缘纸的电气强度要求不同。纸张的组织结构对电气强度影响很大, 衡量组织结构的方法之一是用透气度(气密度)表示。如一般透气度的纸可用葛尔莱(Gurley)型仪器测定(单位 $\text{s}/100 \text{ mL}$, 国际单位 $\mu\text{m}/\text{Pa} \cdot \text{s}$); 对较低透气度的纸如电容器纸可用肖伯尔(schopper)测定; 对透气度很低的如变压器匝绝缘用纸可用埃曼里尼透气度仪测定。

该仪器是意大利 Pirelli 公司发明的。空气透过纸张产生了压降, 透过越困难, 压降越大。仪器构造原理如图:

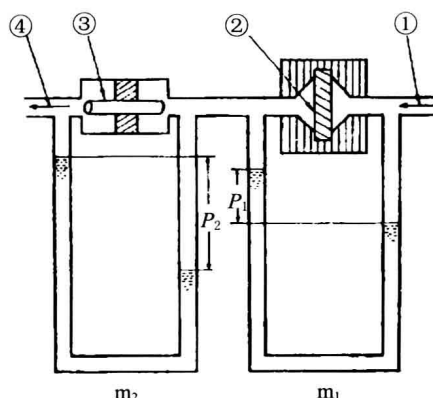


图1 仪器构造原理

压缩空气从①→②（纸样）→③标准毛细管→④排出，在②，③之后的压强分别为 P_1 ， P_2 ，把 P_1 ， P_2 带入下式求出气密度

$$Ad = k \frac{P_1}{P_2} s$$

A——气密度

d——纸张厚度

s——纸样透气面积

k——测定器常数

2. 绝缘纸的电性能指标：介电常数，绝缘电阻，介电损失，绝缘纸击穿特性；

3. 化学指标：木素含量，纸浆硬度，粘度聚合度，半纤维素含量，树脂含量（苯醇抽出物），灰分，金属及阴离子含量，水抽出物 pH 值及电导率，纸浆羧基含量；

下面详细的介绍一下电性能指标：

(1) 绝缘纸的介电常数 ϵ

绝缘纸是植物（或化学）纤维交织而成的一种复合介电体，对于干纸是 ϵ 大的纤维和 $\epsilon \approx 1$ 的空气复合而成；对于油浸纸，是纤维和浸渍物（或含极少量空气和水份）复合而成，这种复合介电体的 ϵ 可以如下对待：

$$\epsilon_{\text{复合}} = \epsilon_{\text{并联}} + \epsilon_{\text{串联}}$$

$$\text{其中 } \epsilon_{\text{并联}} = \epsilon_{\text{纤维素}} \theta_{\text{纤}} + \epsilon_{\text{油}} \theta_{\text{油}} + \epsilon_{\text{水分}} \theta_{\text{水分}} + \epsilon_{\text{空气}} \theta_{\text{空气}}$$

$$\epsilon_{\text{串联}} = \epsilon_{\text{纤}} \cdot \epsilon_{\text{油}} \epsilon_{\text{纤}} \theta_{\text{串油}} + \epsilon_{\text{油}} \theta_{\text{串纤}} \quad (\theta \text{ 为体积百分数})$$

绝缘纸的构造模型：

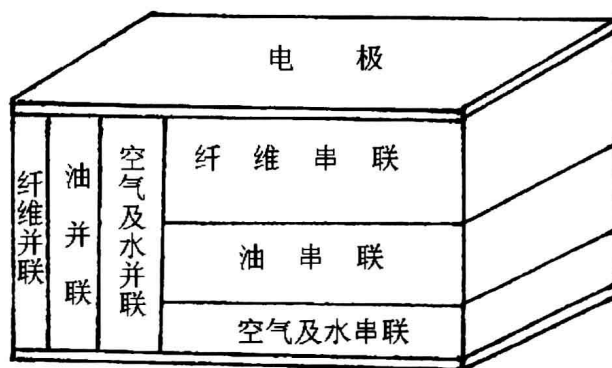


图2 绝缘纸的构造模型

对纤维素而言， $\epsilon_{\text{纤维素}} = 6.25 + 0.005t$ (t 为温度 $^{\circ}\text{C}$)

(2) 绝缘电阻

由于绝缘电阻测定方法简单，所以很早就用它作为介电特性的指标，习惯上，绝缘纸以及用它制成的电容器，电力电缆等，要表示绝缘电阻采用电阻 R 和静电电容的乘积，如电极板的面积 A (cm)，极板间距为 t 的平行电容器当中用体积电阻为 ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$) 的纸样做电介质，有如下关联式：

$$CR = \frac{\epsilon' \cdot A \cdot 10^{-2}}{4\pi t \cdot 0.9} \cdot \frac{\rho t}{A} = \frac{\epsilon'}{3.6\pi} \cdot 10^{-12} \quad (\Omega F), \text{ 其中 } \epsilon' \text{ 为绝缘电介质常数}$$

绝缘电阻受试样形状、尺寸的影响，但用 CR 表示即不存在这种影响；

(3) 绝缘纸的介电损失 $\text{tg}\delta$

处在导体之间的绝缘纸相当于一个电容器，衡量它的电效率时即存在着以下3个量：

视在功率 $\rho = UI$

无功功率 $\rho R = UI \cdot \sin\theta$ (千伏安)

有功功率 $\rho A = UI \cdot \cos\theta$ (千瓦)

品质优良的绝缘体系 δ 趋近于 90° 度，即 $\sin\delta = 1$ ， $\rho_R \approx \rho \approx UI \approx U_{\text{wc}}^2$

· 其介质损失有以下几部分组成:

· 离子移动 (电导和层间极化)

· 介质中空气电离

· 偶极分子旋转或极根的位移

· 极板绝缘处空气电离

①电导损耗 (也称欧姆损耗)

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\gamma_0 e^{\alpha \tau}}{\omega \epsilon \epsilon_0} = \frac{360 \pi 10 \gamma_0 e^{\alpha \tau}}{\omega \epsilon}$$

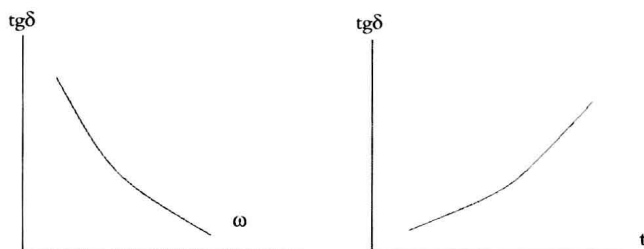


图3 频率变化, f 增大, $\operatorname{tg} \delta$ 下降; 温度变化, t 增大, $\operatorname{tg} \delta$ 增大

②偶极性损耗, 这是所谓的松弛损耗形式即分子或离子的热运动所引起的损耗, 偶极电介质分子 (极性) 热运动, 不同方向转动, 在电场存在的场合, 电场给予偶极分子的能量为 $UE \cos \theta$, 由于频率提高, 极性分子定向来不及, 因此消耗功少, 故温度升高, $\operatorname{tg} \delta$ 增大

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\omega \theta (\epsilon_s - \epsilon_\infty)}{E \epsilon_s + \epsilon_\infty \omega^2 \theta^2}$$

$$\theta \approx \frac{t_0}{2} \cdot e^{\frac{u}{RT}}$$

③共振损耗, 在高频率下, 某些气体中可以非常清楚的看到这种损耗机制, 由能量数值 E_1 , E_2 , 表示两个平衡位置原子分布的特点, 而且 $E_2 > E_1$, 分子内原子以频率 γ 不断从一个位置转入另一个位置,

$$\gamma = \frac{E_2 - E_1}{h} \quad (h \text{ 为普朗克常数})$$

如磁场变化频率为 f , 与频率 γ 互相一致, 即发生电场能量的共振性消耗;

④不均匀点介质损耗可以看作电导损耗的另一种形式。

这既是我们在绝缘纸应用中很重视的特性指标: 它常常是我们使用绝缘纸所要考虑的依据。例如纤维介电常数 $\epsilon \sim 6$, 而空气 $\epsilon = 1$, 这即要求我们在使用纸张时尽量除去残留空气, 否则在高电场下空气作为薄弱部分, 承受不了高电压而被击穿, 从而影响整个复合介电体的抗电性能, 再比如, 我们选用的绝缘纸损耗很大, 在高频高温场合下, 大量有功功率变成了热量, 这不仅影响了电效率, 也会影响绝缘的寿命, 因此要选择能耗低的绝缘体。绝缘材料本身固有性质已选定的情况下, 其制造工艺, 制造条件对它的绝缘特性有很大影响。

二、绝缘纸的制造条件和性能的关系

绝缘纸的制造和普通纸张的制造有相同的工艺个过程, 从原料选择、备料、打浆、抄造、整饰以及后部加工; 也有其不同之处: 浆料的精制、净化、预处理以及特殊的整饰。由于纸张的种种要求, 需进行不同的加工处理, 也是从另一个方面研究制造工艺的影响。总之, 这两个方向的研究都是另一个目的。要搞清楚, 以什么样的工艺生产绝缘纸能满足特定要求。这两者的关系十分复杂, 一个因素会产生多方面的影响结果, 反之, 要达到一个方面的要求, 却要进行多方面的工作。如成纸的紧度会影响纸张的击穿强度, 介质损耗和绝缘电阻, 反之, 改善纸的介电损耗而不单单是调整纸张的紧度, 还要选择纤维原料, 提高纸张化学纯度, 甚至控制纤维末端官能团行为, 所以研究绝缘纸的制造条件与成纸性能的关系是十分复杂的。我们这里选择两条线, 简要说明这种关系: 一是按照制造工艺的流程介绍, 二是结合中国纸院几十年研究过程中的体会以实例说明。

1. 原料 (纤维) 的种类与纸的特性关系

(1) 植物原料种类不同, 生长在高纬度地区的木材比重小, 纤维细长且细胞壁薄, 可以制造很细很密的电气屏蔽效果大的纸, 比如生产薄型电容器纸, 打浆度要上到 90 多度才能抄造出“薄如蝉翼”的纸张,

并且其击穿强度也很高

表 1 不同厚度的电容器纸所对应的打浆度

电容器纸	10μ	8μ	6μ	5μ	4μ	80μ 电缆纸
击穿电压 伏/层 (AC)	415 - 460	360 - 405	280 - 330	255 - 300	220 - 265	600 - 1200
击穿强度 kV/mm (AC)	44. 0	47. 8	50. 8	55. 5	60. 6	11. 3
打浆度 °SR	95 - 96	97. 3	97. 5	97 - 97. 5	97. 5 - 97. 8	

中国制浆造纸研究院在当年开始使用的是芬兰进口的纸浆，后来自制浆选用东北海林地区的鱼鳞松。四川乐山生产 8 - 12 μm 的电容器纸，也用过四川的冷杉作原料。由此可见不同地方树种，其纤维形态不同，生产的成纸电气绝缘性也不同。

(2) 树种不同，多戊糖含量不同会影响电气性能。如阔叶木硫酸盐浆半纤维素多，以多糖醛酸盐多，因此 tgδ 高，故不宜做绝缘纸。此外树种不同，苯醇抽出物量不同。若残留在纸浆中有未被皂化的高沸点倍半萜烯类产物，制成绝缘纸后溶于绝缘油时电性能差。

2. 制浆的影响

同一种木材原料不同的制浆工艺，所制得的纸浆除物理强度不同外还有纸浆成分不同。制造电气绝缘浆，常常采用硫酸盐法，一是这种浆料的强度比亚硫酸盐好，二是浆中的硫元素对耐热性能有好处。

浆料中残留的木素及半纤维素对绝缘纸的介电性有很大的影响，它们都是造成偶极损失的因素。这些极性基团除掉特别是半纤维素的去除可以改善介质损失。在要求低损耗的场合，进行预水解或碱抽提使耐碱的半纤维素分解或溶解。

漂白浆耐老化性能不好，所以不用它做绝缘纸。由于半纤维素和木素对电性的影响，故不用机械浆、半化学浆或化机浆生产电气绝缘纸。

3. 纸浆洗涤及酸处理的影响

在制浆过程中（如 KP 法）加入大量的无机电解质，蒸煮后除得到的纸浆外还包括碱木素、硫化木素以及多余的蒸煮药液等，它们残留在纸浆中会大大影响电气性能，因而要制造有优异电气性能的绝缘纸必须重视洗涤工艺。纸浆洗涤除了把制浆副产物除去，主要还是净化纸浆，把纸浆中的灰分（结合的金属离子）洗掉。

表 2 水质和用水量对洗涤效果的影响很大

洗涤水电导率 μΩ/cm	灰分%	金属离子含量 (ppm)			油浸纸 tgδ (%)		
		Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	100℃	80℃	20℃
4	0. 41	1090	13. 9	7. 6	0. 316	0. 291	0. 323
85	0. 42	1280	39. 0	10. 1	0. 355	0. 505	0. 328
143	0. 42	1320	42. 2	10. 5	0. 386	0. 322	0. 334

表 3 纸浆洗涤程度与金属离子的变化

洗涤水	洗涤次数	灰分%	金属离子含量 (ppm)			
			Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺
工厂生产用水	0	0. 54	1470	72. 3	13. 5	425
	1	0. 51	1360	44. 6	9. 5	387
	2	0. 43	1170	38. 6	7. 7	375
	3	0. 42	1120	43. 4	9. 4	371
	4	0. 43	1090	45. 1	8. 9	370
水 纯	1	0. 47	1280	17. 6	6. 6	413
	2	0. 42	1120	11. 0	5. 6	360
	3	0. 41	1100	7. 3	4. 6	340
	4	0. 39	1049	7. 1	4. 3	331

有上述两表可以看出

- ① 纸浆洗涤对除去金属离子的作用很大
- ② 除去效果一价离子的效果比二价离子的效果好
- ③ 纯水与工厂用水相比，对除去钠离子的作用较明显

(2) 酸处理的影响

如用水洗涤后的纸浆仍未达标，要进一步除掉金属离子常常采用酸处理的办法，之后再经水洗从而达到进一步净化纸浆的目的。

这里介绍一个用 0.1N 醋酸洗涤的例子

表 4 酸洗条件与纸张化学指标的关系

洗涤次数	后用水洗	灰分%	金属离子含量				水抽出物电导率		tgδ%	
			Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	μΩ/cm	pH	120℃	100℃
原纸	/	0.46	1200	37.4	10.7	364	21.5	7.8	0.446	0.254
0	工厂生产用水	0.4	905	30	8.5	357	13.1	7.15	0.404	0.227
1		0.33	610	32.6	7.6	229	7.9	7.76	0.362	0.214
2		0.31	708	30.8	8.4	210	6.9	7.84	0.362	0.220
3		0.29	715	26.8	8.9	172	7.5	7.80	0.332	0.212
5		0.28	706	28.4	8.2	188	6.5	7.86	0.372	0.214
0	纯水	0.38	856	15.2	5.6	305	8.8	6.69	0.358	0.215
1		0.11	痕迹	10.6	7.6	痕迹	41.7	4.06	0.176	0.153
2		0.10	痕迹	18	7.0	痕迹	47.6	4.02	0.248	0.127
3		0.10	痕迹	14.2	4.7	痕迹	48.8	3.99	0.222	0.164
5		0.09	痕迹	6.7	5.6	痕迹	51.3	3.95	0.254	0.169

有上表可以看出酸洗的效果，但是：

- ① 即便酸洗后，若再用电导率大的水洗，产生再吸附的效果不大
- ② 酸洗后用纯水洗，Ca²⁺，Mg²⁺的去除效果明显。

在生产实践中，常采用更强的 H₂SO₄ 或 HCl 处理，酸处理工艺虽然不同，道理都是一样的。

纸浆的洗涤和酸处理实际是对电气绝缘纸浆的进一步精制纯化。上面介绍了洗涤和酸处理的效果，这样处理主要是为了除去无机杂质（金属离子和金属粒子），这些导电微粒都会影响绝缘性能，即便在作隔膜或衬垫的纸中含有导电粒子也会形成微电池造成腐蚀和漏电。在生产绝缘纸时要格外注意环境、生产车间以及设备的清洁。生产用水的净化设备、金属材料防锈等，以保证金属粒子不进入系统中，另外在工艺上采用筛选、精选等以除去金属杂质，保证用浆的纯净。关于金属离子的影响，后面会专门介绍其对绝缘纸电性的影响。

4. 打浆的影响

这里主要介绍打浆对纸张电气性能的影响。纤维经过打浆发生润胀和细纤维化，从而纤维变得柔软可塑。细胞壁外层及小纤维束形成的微细纤维具有较大的比表面积。这就是打浆所造成的内、外部细纤维化的结果。这种变化的结果形成了纸页的强度和电绝缘性。打浆使纤维发生微观变化，形成纸页的不同结构。不同的结构用不同的指标来描述如厚度、紧度、透气度和气密度等，人们利用这些指标研究其与电气绝缘的关系。

研究表明，打浆生成的微细纤维决定了纸的透气度，从而也影响了纸页的电气性能。

5. 纸页的成型（压榨、干燥、压光等）对电气性的影响

- (1) 采用的抄造设备（圆网、长网、斜网）不同但原理是相同的，因而对纸页结构影响不大
- (2) 压榨和压光对纸页的影响相近，主要提高纸页的平滑度、紧度和气密性。气密性增加会造成吸油减少。

由于水使纤维增加可塑性，所以压光效果随着润湿水分的增加而增加，但是水分过大会造成纸页压溃。若采用超级压光机能达到更高的紧度，因此在生产高紧度的绝缘纸是需要有这一道工序。

表 5 不同水分压光结果

水分 %	压光条件 kg/cm	抗张强度	光泽度	紧度	气密度
		kg/cm ²	%	g/cm ³	s/100 ml
2.4	未压光	137.2	20	0.42	53
	365	185.5	31	0.55	108
	511	156.5	35	0.58	108
4.3	未压光	147.0	20	0.43	62
	365	206.2	50	0.64	149
	511	230.3	53	0.67	182

表 6 超压对绝缘纸特性的影响（1）

纸样厚度 μ	超压处理	紧度 g/cm ³	纵向抗张 kg	纵向伸长 %	击穿电压	
					V/两层	KV/mm
电容器纸 20μ	未压	0.87	2.71	2.51	3050	61.4
	超压	1.06	2.78	2.38	3273	78.6
电容器纸 25μ	未压	0.90	3.74	2.57	4010	67.0
	超压	1.06	3.77	2.58	4100	82.0

表 7 超压对绝缘纸特性的影响（2）

纸样厚度	超压处理	物理指标							油浸纸击穿			
		厚度	紧度	气密度	抗张 kg/片		伸长%		AC 短时		脉冲	
		mm	g/cm ³	s/100 ml	纵	横	纵	横	kV	kV/mm	kV	kV/mm
电缆纸 70μ	/	0.0902	0.82	670	16.5	3.7	3.3	12.1	21.0 (3)	79.6	44 (3)	166.9
	V	0.068	1.13	4810	14.5	3.9	3.1	11.5	17.8	92.5	37.8	195.3
100μ	/	0.127	0.71	900	11.3	6.0	2.7	5.6	17.1 (2)	72.7	38.7 (2)	163.1
	V	0.102	0.88	1900	12.5	6.1	2.2	6.5	14.9	79.3	33.2	176
125μ	/	0.144	0.74	262	12.1	7.8	2.5	4.9	17.3 (2)	64.9	35.4 (2)	133.9
	V	0.124	0.91	430	12.6	7.9	2.6	7.0	14.6	71.1	31.1	149.3
150μ	/	0.168	0.88	550	21.7	9.1	2.5	11.2	20.3 (2)	63.5	42.0 (2)	134.3
	V	0.146	1.03	1010	21.8	9.1	2.8	11.4	17.9	64.3	39.8	141.8
200μ	/	0.253	0.82	270	26.6	10.5	2.6	10.2	25.7 (2)	55.1	51.6 (2)	111.3
	V	0.204	1.00	590	26.9	11.3	2.4	11.5	22.5	60.3	46.6	123.5

注：（1）表示三层纸测击穿 （2）表示两层纸测击穿

由上表可以看出，超压处理后：厚度下降，而紧度、气密度、击穿电压和脉冲击穿电压都提高。

表 8 不同电缆纸紧度对电气强度的影响

紧度 g/cm ³	AC (50HZ) 击穿标准（已浸 C-110 油）					
	纸厚 0.03 mm		0.045mm		0.075mm	
	kV/mm	提高%	kV/mm	提高%	kV/mm	提高%
0.7	60	100	52	100	40	100
0.8	62	103	54	103	42	104
0.9	66	110	57	107	43	108
1.0	70	116	59	114	45	112
1.1	76	126	63	121	50	124
1.2	84	140	71	136	54	136
1.3	96	160	82	157	62	156

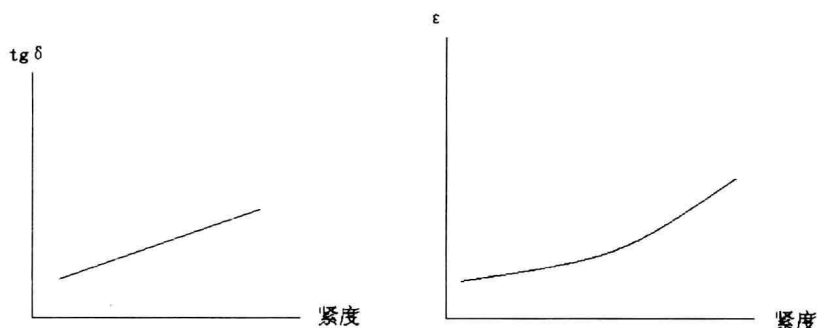


图4

打浆和干燥的作用，这也可由纤维打浆后形成纸页的微观结构的变化不同分析纸页的电气性能。在打浆过程中纤维各层受到破坏，在纸页成形时有不同部分的结合，所以在打浆过程中，所谓外部小纤维化形成 S_1-S_1 结合；内部小纤维化的 S_2-S_2 结合以及处于中间状态不均匀的 S_1-S_2 结合。其中 S_2-S_2 最柔软而且容易塑性变形，因为羟基暴露形成活性状态的带状薄膜间结合，这与 S_1-S_1 或 S_2-S_1 结合比较形式更强的氢键结合，这种结合表现了更强的对水分子扩散渗透的抵抗，对高电场作用下被加速的电子、离子有力的屏蔽作用。这种在干燥过程中不可逆的耐水氢键的结合，大大提高了绝缘纸的机械和电气性能。对高压绝缘纸来说要形成 S_2-S_2 结合是主要选择的打浆方式，这种相邻纤维的结合大大改善了绝缘纸的机械和电气性能。

总结这部分的纸浆种类、打浆度、打浆方法、超压处理4个条件与纸张的特性关系，以统计方法得出如下结论：

① 紧度变动的76%由超压引起；气密度变动的85%由打浆度引起，紧度气密度增大引起脉冲击穿强度提高；

② 打浆度提高，脉冲提高，交流短时间击穿提高（依赖度55%），但耐电晕放电会下降；

③ 同样密度下， S_2-S_2 结合比 S_1-S_1 结合耐电晕高；

6. 绝缘纸化学成分对电气性能的影响

硫酸盐浆是制造电气绝缘纸的主要原料，因此除了需要高度的机械性能外，还必须符合作为优良介质的要求。对电气绝缘纸要求的日益提高，有必要研究其化学成分与电气特性的关系，了解了化学成分影响才知道必要采用的工艺措施。

有机物和无机物杂质是绝缘纸浆的伴生物，这些所谓的“杂质”实际含义不同，而杂质对不同品种绝缘纸的影响不同，所以称作“杂质”的物质也不同。比如对普通的电缆纸主要应除去金属颗粒，而对高压、低损耗电缆纸不但不能有金属粒子存在，而且还要除去某些金属离子、非金属基团。纸浆中有机成分即是纤维素、半纤维素、五碳糖，无机成分即灰分。

研究表明，纸浆和纸的介电性能很大程度上取决于灰分和它的组成。显而易见，灰分高击穿电压低，灰分高则 Cu、Fe 的含量也增加，导电点也会随之增加；反之即导电点的数量也降低。我们生产的一些高纯纸浆灰分也降低到 0.05-0.07%。

灰分的组成不同其影响纸张性能也不同，当然不同的离子、基团和不同的有机成分对绝缘纸的电性能影响不同。这也从另外一方面说明在绝缘纸的制造过程中采取的某些措施的必要性。

下面介绍一下这些成分的影响，

A. 微量金属离子的影响

如硫酸盐浆总有一定数量的盐基，金属离子首先被羧基束缚，另外纤维表面带负电也吸引金属离子。纸浆中的微量金属离子常以灰分形式存在，灰分有如下几种：

- 附着灰分
- 游离灰分

- 结合灰分
- 强结合灰分（固有灰分）

被纤维束缚的状态不同，介电性也不同。纸中灰分一般含有 Ca、Mg、Na、K、Si 等等 15 种之多；不同离子所含量都不同，其中 Ca、Mg 数量大但影响不大，研究表明，一价阳离子比多价阳离子影响大，按影响大小排列顺序如下：

$$\text{Na} > \text{Li} > \text{K} > \text{Rb} > \text{Cs} > \text{NH}_4$$

其中 Na 离子对绝缘纸介电性能的影响十分大，因此在工艺上应该重点除去 Na 离子，同时也可以利用二价或多价阳离子来置换一价离子以改善 $\text{tg}\delta$ ，在某些场合下，在生产中绝缘纸浆的灰分要严格控制，不同绝缘等级的纸灰分不同，含 Ca、Mg 离子的硬水比软水好。

表 9 不同纸种的灰分含量

纸种	未浸渍绝缘纸	电力电缆纸	电容器纸	高压绝缘木浆	英国电工用纸	美国 (ASTM)	(俄) 35-110Kv 电缆纸
灰分%	≤0.8	≤1.0	≤0.35	A: 0.25; B: 0.30	0.5	≤0.5	0.3

在总灰分要求下，针对不同品种的纸，对不同金属离子的要求不同，比如普通电缆纸只要求灰分，而低损耗电缆纸则要求灰分中某些金属离子的含量，因为它们影响的程度不同。

B. 阴离子及阴离子基团的影响

在制浆工艺进程中会引入一些化学品因此浆中会有诸如氯根、硫酸根这样的阴离子基团。它们有两种不良影响：一是，它们会腐蚀导体，破坏电器元件，另外即是这些极性物质在电场作用下的取向和旋转都会形成功率损失，所以在生产绝缘浆时都要尽量除去这两种阴离子，制定出严格的标准控制。如对氯离子严加控制，在高级绝缘浆和纸的标准中都在 5-10ppm，甚至低至 2-3ppm。此外，在低损耗绝缘纸的研制中，纸浆中羧基含量的影响也显现出来，这是因为强化酸处理把金属盐基置换出来形成了游离羧基，这种阴离子基团的除去比较困难因而采用了高价盐饱和的办法，使这种游离基团钝化，减少其对损耗的影响。

C. 半纤维素对损耗的影响

除去半纤维素， $\text{tg}\delta$ 改善。有实验证实，半纤维素除去量为 20% 时， $\text{tg}\delta$ 值最佳（多戊糖含量为 10-12%）；也有实验结果表明，在低温情况下，半纤维素含量降低， $\text{tg}\delta$ 随之降低；而在 120℃ 以上的高温时情况则相反。

D. 木素的影响

木素含量对 $\text{tg}\delta$ 的影响也有不同看法，一种认为除去木素对 $\text{tg}\delta$ 影响不大，但是另外一方持相反观点，认为木素是极性分子，对 $\text{tg}\delta$ 影响很大。低温时， $\text{tg}\delta$ 随着木素含量的降低而降低，高温时（≥120℃）则相反。

E. 非结晶区部分的影响

葡萄糖分子单元有 3 个羟基，它对介电常数和介质损失有很大的影响。在纤维素中，结晶区的羟基形成胶束，处于稳定状态，另外非结晶区处于非稳定状态，其偶极矩比结晶区大。

以上 A、B、C 三部分结论之所以有不同看法甚至完全相反的观点，可能是不同条件所界定的，也有可能是要使得一种成分变化而其他不变很困难，更何况这 3 种成分在纤维中是相互交联在一起的，一种成分的变化会引起微细结构的变化而对 $\text{tg}\delta$ 的影响都很大。我们在生产高纯度绝缘浆时仅仅控制成浆的硬度（由用碱量、硫化度、升温曲线等控制），之后再测定成纸的损耗还是合格的。

三、几种电气用纸的研制

下面以几种电气用纸的研制为例，说明其主要指标与制造技术关系

表 10 主要指标与制造技术关系

名称	主要指标要求	关键技术
高纯度绝缘浆	①纸浆强度 ②化学纯度（包括耐磨性）	选择树种；制浆工艺（用碱量、硫化度、曲线）原料净化，酸处理洗涤
薄型电容器纸	①厚度均匀（特别是6，5，4 μ ） ②击穿电压	打浆工艺 超压、导电点
超高压电缆纸 变压器匝绝缘纸	①低损耗 ②高直流冲击电压 ③高强度（抗张）	酸处理和盐处理 打浆和纸页成型 纸页成型
聚噁二唑干式变压器纸	①工作温度（H级） ②击穿电压	合成树脂的选择，制造合成浆料 合成浆打浆、成形
新型电解电容器纸	①宽工作温度，低损耗 ②低漏电 ③一定的强度 ④一定的电压和良好的吸收性	原料选择（纤维形态） 纸浆净化、处理 打浆、造纸 纸张结构（复合型）
覆铜箔板原纸	①吸收性 ②尺寸稳定	原料处理 成型
电池隔膜纸	①吸收性 ②均匀性和稳定性	原料选择 成型，原料的稳定性

四、结 语

随着经济发展，对特种用纸也会提出新的要求，同样随着科技进步，也会推出新的特种纸及其制造技术。业内各企业、大专院校在多年的工作中都积累了丰富的经验并取得了一定的成绩，这就形成了我国特种纸目前的发展态势，对此我们对这些成绩倍感欣慰，而对迅速发展要求也感到责任重大，大家共同携起手来为造纸科技工作的发展共同努力，创造特种纸的新辉煌！

碳纤维导电屏蔽纸的研制

张美云 钟林新 陈均志

(陕西科技大学造纸工程学院, 陕西, 西安, 710021)

摘 要: 对碳纤维导电屏蔽纸的导电性能及其在电磁波频率为 100KHz ~ 1.5GHz 范围内的屏蔽性能进行了探讨。结果表明, 屏蔽纸对不同频率段电磁波产生不同的屏蔽效能; 随着纸页电导率、厚度的增加, 屏蔽效能提高。屏蔽纸在 600 MHz ~ 1.2 GHz 频段具有更高的屏蔽效能。通过改变碳纤维含量和纸页厚度可以制备具有不同屏蔽效能的屏蔽纸, 应用于不同场合, 防止电磁辐射危害与干扰、防止电磁信息泄漏。

关键词: 碳纤维纸; 导电; 屏蔽

随着社会电气化的飞速发展, 电子产品的种类、数量和电子元件的精密程度不断提高, 电子元件所造成的电磁辐射、元件本身受外界电磁波干扰及电磁辐射人体危害等问题变得日益严峻。电磁辐射不仅直接影响电子产品的性能以及信息产业的健康有序发展, 对人类及其它生物体造成严重伤害, 而且还对国家政治、军事以及经济信息的安全带来极大的危害^[14]。因此, 开发电磁屏蔽材料(特别是轻量化产品)具有十分重要的意义。

传统的屏蔽材料有金属板、导电导磁屏蔽涂料、填料等。随着电磁屏蔽科学的不断发展, 各种新型材料向着屏蔽效率高、轻量化发展。金属纤维和碳纤维的出现为制造屏蔽材料提供了新的原料。碳纤维具有导电性能好、质量轻、价格比金属纤维低、易加工、抗氧化性能好等优点, 因此是很有发展前景的电磁波屏蔽材料。本研究以碳纤维为原料来开发碳纤维导电屏蔽纸, 以拓宽电磁屏蔽材料的研究领域和应用范围, 并为研制高性能电磁屏蔽材料提供依据。

1 碳纤维屏蔽原理

电磁波辐射也叫噪音干扰, 其计量单位为分贝(dB)。屏蔽材料对电磁波的作用有反射、吸收和透射三种形式, 如图1所示。

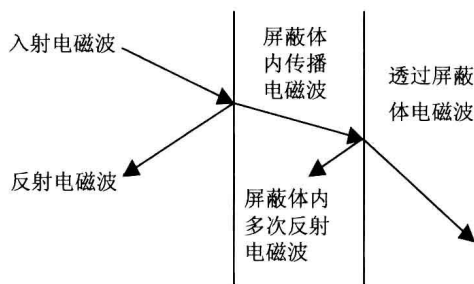


图1 电磁屏蔽原理示意图

按照 Schelkunoff 电磁屏蔽理论, 屏蔽效果按下式计算:

$$SE = SE_R + SE_A + SE_M \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

屏蔽效能 SE 是电磁波反射损耗 SE_R 、吸收损耗 SE_A 和内部反射损耗 SE_M 的总和。当 SE_A 在 10dB 以上时 SE_M 可忽略不计, 因此公式 1 可简化为

$$SE = SE_R + SE_A \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

2 实验部分

2.1 实验原料、助剂及仪器

2.1.1 原 料

①碳纤维: 3 mm, 由吉林吉研高科技纤维有限责任公司提供; ②植物纤维: 漂白针叶木浆, 由美国威力

美工业公司提供, 打浆度为 38°SR。

2.1.2 助剂

①分散剂: CPAM, Percol 47, Ciba 公司提供; ②消泡剂: 磷酸三丁酯。

2.1.3 仪器

①Agilent 高精度表, 34401A, 量程为 0 ~ 100MΩ。②法兰同轴测试装置: Agilent4396B 网络阻抗频谱分析仪, 测试夹具是东南大学的 DN15115 远场屏蔽效能测试装置。

2.1.4 碳纤维屏蔽纸的制备

将碳纤维与植物纤维置于疏解器中, 同时加入 1% 的 CPAM 及 0.01% 的磷酸三丁酯 (助剂及原料的百分数均相对于绝干浆料的质量百分比), 疏解 1500 转后进行抄片、测试。

3 结果与讨论

3.1 碳纤维纸的导电性能

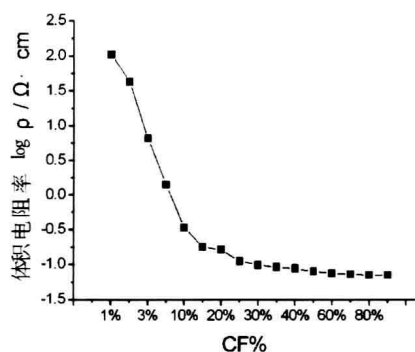
图 2 是纸页体积电阻率随碳纤维含量变化而变化的关系图。由图可知, 碳纤维的含量对导电纸的导电性影响非常大。碳纤维含量 $\leq 1\%$ 时为绝缘体。这是因为当纸页中碳纤维的含量很少时, 纸页中碳纤维间的距离大, 它们或是彼此不接触, 或是只能形成一些局部的搭接, 无法在整个纸页上形成一个连续的导电网络通路, 因而此时体积电阻率非常大, 导电性很小。

随着碳纤维含量的增加, 纸页中碳纤维间的距离变小, 一个连续的导电网络通路逐渐形成, 达到 3% 左右时, 连续的导电网络通路已初步形成, 体积电阻率急剧下降至 $6.5\Omega \cdot \text{cm}$, 纸张由绝缘体变为导体。随着碳纤维含量的进一步增加, 碳纤维之间的接触几率不断增加, 导电网络不断完善, 纸页的体积电阻率继续下降, 碳纤维含量达 25% 时形成一个完善的导电网络通路。此时, 碳纤维间的接触非常充分, 体积电阻率降到 $0.111\Omega \cdot \text{cm}$ 。之后, 随着碳纤维含量的继续增加, 纸页的体积电阻率下降趋势变缓。

碳纤维含量达 25% 时导电纤维网络已经非常致密、完善, 甚至已经开始出现纤维的重复搭接。这种重复搭接对网络导电性的提高没有太大贡献, 因而体积电阻率下降幅度变小。另一方面, 碳纤维含量的增加使得纤维分散性变差, 导致碳纤维在导电纤维网络中分布不均匀, 影响纤维网络导电性的提高。因而, 碳纤维含量达 25% 以后导电性能的提高很缓慢。

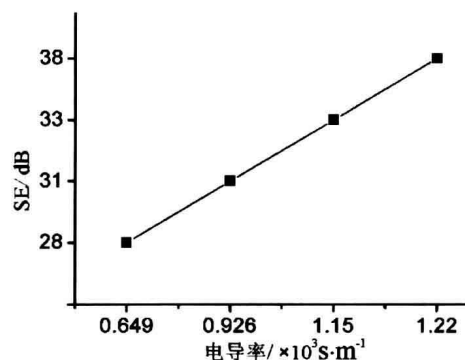
3.2 碳纤维纸的屏蔽性能

碳纤维导电屏蔽纸的电导率与屏蔽效能的关系如图 3 所示。



注: 纸页定量为 60 g/m^2 , 测试尺寸为 $1.5\text{ cm} \times 14.0\text{ cm}$, 下同。

图2 碳纤维含量对纸页体积电阻率的影响

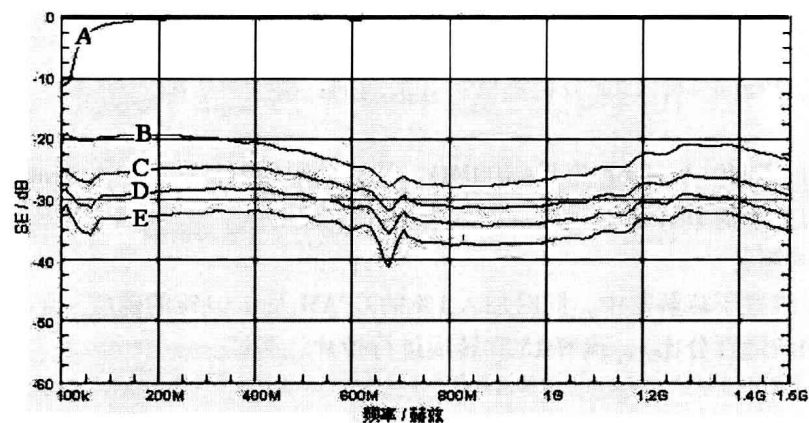


注: 电磁波频率为 800MHz, 纸页定量为 60 g/m^2 , 下同。

图3 屏蔽纸电导率与屏蔽效能关系

由图可知, 屏蔽纸屏蔽效能随纸页电导率升高而提高, 因此提高纸页的导电性 (即降低纸页的体积电阻率) 可以提高纸页的屏蔽性能; 而提高碳纤维含量可以提高纸页的导电性, 因而可以通过控制碳纤维含量来控制纸页的屏蔽效能。

图 4 为不同碳纤维含量纸页的屏蔽效能图。图中横坐标表示入射测试电磁波的频率, 纵坐标表示测试电磁波的衰减值, 其绝对值为屏蔽纸对电磁波的屏蔽效能 SE, 绝对值越大, 屏蔽效能越大, 屏蔽效果越好。



注：A表示碳纤维含量为0%的纸页，B表示碳纤维含量为15%的纸页，C表示碳纤维含量为25%的纸页，D表示碳纤维含量为35%的纸页，E表示碳纤维含量为50%的纸页；定量均为60g/m²。

图4 电磁波频率对纸页屏蔽效能的影响

由图可知，随着碳纤维含量的提高，纸页的屏蔽效能提高。同时，碳纤维屏蔽纸对不同频率段的电磁波产生不同的屏蔽效能。电磁波频率 $f \leq 600\text{MHz}$ 时，屏蔽纸的屏蔽效能较低，因碳纤维含量在20~35dB范围内发生；随着频率的升高，屏蔽纸的屏蔽效能明显提高，当 f 在600MHz~1.2GHz时，其屏蔽效能较好，并在675MHz左右出现屏蔽峰值，说明碳纤维屏蔽纸对675MHz处的电磁波具有较佳的屏蔽性能；频率升到950MHz之后，屏蔽效能开始下降，但是在1.35GHz~1.5GHz范围内，其屏蔽性能又有所提高。由此可见，入射电磁波频率影响碳纤维屏蔽纸的屏蔽效能，在不同频率出现差异，这种差异依频率不同而在0~8dB范围内变化。

3.3 纸页厚度对其屏蔽性能影响

研究发现，碳纤维屏蔽纸的屏蔽效能随纸页定量的增加而提高。这说明屏蔽纸的屏蔽效能受纸页定量影响，而这种影响是由纸页厚度变化引起的。以不同碳纤维含量纸页在800MHz处的一倍定量厚度和二倍定量厚度屏蔽效能为例，如表1所示。

表1 碳纤维屏蔽纸不同定量下的厚度与SE

碳纤维含量/%	15		25		35		50	
定量/g/m ²	60	120	60	120	60	120	60	120
厚度/mm	0.147	0.293	0.170	0.341	0.196	0.391	0.245	0.488
SE/dB	28	33	31	34	32	39	37	42

由表1可知，随着碳纤维屏蔽纸的定量由60 g/m²增加至120 g/m²，不同碳纤维含量纸页的厚度几乎增加了一倍，而纸页的屏蔽效能依碳纤维含量的不同提高了4~6dB不等，即屏蔽效能随纸页厚度的增加而提高。因此，增加纸页的厚度可以提高纸页的屏蔽效能。

4 碳纤维屏蔽纸的应用

对于屏蔽材料来说，屏蔽效能只有达到一定程度时才具有实际屏蔽应用价值。屏蔽效果分类如表2所示。

表2 屏蔽效果分类

SE/dB	0	0~10	10~30	30~60	60~90	>90
屏蔽效果	无	差	较差	中等	良好	优

30dB~60dB的屏蔽材料具有中等屏蔽效果，可用于一般工业、商业设备、会议室等；60dB~90dB屏蔽

材料具有良好屏蔽效果,可用于航空航天及军用仪器设备等。

当碳纤维含量和定量较低时(碳纤维含量不大于15%,定量不大于 60g/m^2),碳纤维屏蔽纸的屏蔽效能小于30dB,屏蔽效能较低,只能用于对屏蔽要求低的场合。纸页定量提高到 120g/m^2 或者碳纤维含量提高到25%时,屏蔽纸在600MHz~1.2GHz范围的屏蔽效能大于30dB,具有商业用途;进一步增加碳纤维含量或纸页定量,则纸页在100KHz~1500MHz处的屏蔽效能均大于30dB,最高可达50dB,屏蔽效能中等,完全可以用于一般商业或电子产品的防辐射和抗干扰,如作为电子仪器的屏蔽罩、屏蔽板,重要计算机房、医疗病房、精密实验室及重要会议室等场所的墙纸,防止或减少外界电磁波通过墙体进入/进出室内,减少或防止电磁干扰和信息泄漏,减少电磁辐射对室内人员的影响;特别对于居住在高压输电线、发射塔、基站等周围电磁辐射较强的居民有很好的电磁辐射保护作用。另外,碳纤维纸还可以作为电磁屏蔽防护卡,近距离操作电子设备者可将卡放在胸前衣袋里,以减少或避免电磁辐射对心脏的损害。同时,碳纤维屏蔽纸的重量比金属屏蔽材料轻,符合现代轻量化要求。

因此,碳纤维导电屏蔽纸具有较好的电磁屏蔽性能,双层纸的屏蔽性能更好,能够代替金属板和容易氧化、脱落的金属涂层,应用于需要对电磁波进行屏蔽、防护及信息保密的军工、政治、商业、民用等场合,具有广阔的前景。

5 结 论

- (1) 碳纤维导电屏蔽纸的导电性能良好,其体积电阻率由碳纤维含量决定,随碳纤维含量增加而下降。
- (2) 碳纤维导电屏蔽纸的屏蔽效能随纸页的导电性及厚度的增加而提高,并对不同频率的电磁波产生不同的屏蔽效能。
- (3) 通过控制碳纤维含量、纸页定量可以制备具有不同屏蔽效能的碳纤维屏蔽纸,应用于屏蔽要求中等的各种场合,具有较高的商业价值。

参 考 文 献

- [1] 崔升,沈晓冬,袁林生. 电磁屏蔽和吸波材料的研究进展[J]. 电子元件与材料,2005,24(1):57
- [2] 唐世钧,王保华,钟季康. 生物医学电磁学——非热效应现象与机理[J]. 国外医学·生物医学分册,1998,21(1):12
- [3] 陈国璋,陈惠晓. 谈谈生物电磁学研究热点-非热效应[J]. 物理,1998,27(3):151
- [4] 刘亚宁. 电磁辐射生物效应的机理研究述评[J]. 基础医学与临床. 2000,20(1):20

Researching on the conductive and Shielding Carbon Fiber Paper

ZHANG Mei-yun ZHONG Lin-xin CHEN Jun-Zhi

(College of Papermaking Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, XI'AN, Shaanxi Province, 710021, China)

Abstract: The conductive properties and the shielding properties of carbon fiber paper were evaluated and discussed in this paper. The SE of this paper increased visibly with the increase of the carbon fiber content and the paper thickness. In the frequency range of 600MHz~1.2GHz, the carbon fiber paper had higher SE than that of other frequency. The paper with various SE (30dB~50dB) could be obtained by changing the carbon fiber content and the paper thickness, and could be used in different occasions for reducing or preventing electromagnetic interference, electromagnetic hazards, or information leakage.

Key words: carbon fiber paper; conductive; shielding

对硅酸铝纤维纸基耐火材料的探讨

赵传山 姜亦飞 逢进江

(山东轻工业学院制浆造纸科学与技术省部共建教育部重点实验室, 山东济南 250353)

摘 要: 硅酸铝纤维的分散性能及沉降性能直接影响纸张的外观、质量、除渣效率以及成纸强度。本文主要讨论了硅酸铝纸基耐火材料改进强度的常用的几种胶粘剂, 以及硅酸铝纤维浓度、打浆度、分散剂对硅酸铝纤维分散性能的影响, 实验发现当纤维浓度为 0.6%, 硅酸铝纤维疏解 2 min, 添加少量分散剂时, 纤维分散相对比较均匀, 成纸外观和质量有一定程度的提高。PAC 对纤维成纸松厚度好, Na_2SiO_3 粘结能力最强, SiO_2 的性能介于两者之间。CMC 与 PVA 复配后能达到较高强度, 但不耐高温。

关键词: 硅酸铝纤维; 分散性能; 沉降性能; 胶粘剂

耐温隔热材料由最初的天然石棉纤维到一般的人造玻璃纤维, 继而发展到硅酸铝纤维。硅酸铝纤维容重小, 导热系数低, 热抗震和机械抗震性好, 富有弹性, 有可塑性, 并且具有良好的电绝缘性, 是现在实用的非晶态无机纤维^[1]。硅酸铝纤维纸是由各种耐火纤维做原料并配以多种添加剂而制成的薄片制品。它具有较好的耐高温性能和优良的隔热性能, 可用作高温绝缘材料、高温气体过滤材料、高温缓冲材料。还可用作金属熔液流槽的内衬材料^[2]。广泛的应用于机械、石油、交通运输、航天航空等工业部门。

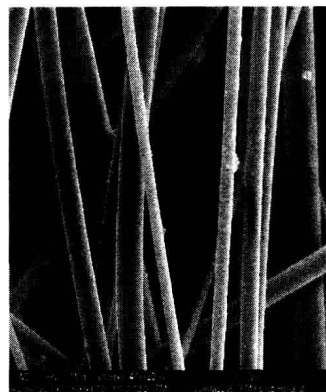


图 1 SEM 下的硅酸铝纤维

硅酸铝纤维直径多为 2~5 μm , 长度 30~250 mm 之间, 呈表面光滑无缺陷的圆柱形, 截面往往是圆形 (如图 1 所示)。且不能分丝帚化, 对于纸的抄造十分困难, 尤其是薄纸页的抄造, 很难形成有强度的纸页。硅酸铝纤维不能细纤维化, 纤维之间没有氢键结合力, 强度较低。因此, 在硅酸铝纤维造纸的过程中要通过添加胶粘剂。正因为硅酸铝纤维是人造纤维, 所以我们可以改变硅酸铝纤维的制造工艺或者原料来改善它的物理化学性质和性能, 以生产不同性能的纸张。为了使硅酸铝纤维能在造纸行业中发挥它的最大作用, 需要解决很多技术问题, 其中硅酸铝纤维的分散性能和沉降性能是主要问题。

1 实验部分

1.1 试验原料、试剂及仪器

- 无机纤维原料选用硅酸铝纤维, 硅酸铝纤维产自天通耐火材料厂, 球渣含量 10~12%;
- PVA、CMC、SBR、水玻璃、硅溶胶和 PAC;
- 自制纤维粉碎机, 2860 r/min;
- H158 型纸浆疏解机, FTI101 圆形抄片器。

1.2 实验方法

1.2.1 硅酸铝纤维浆前处理

硅酸铝纤维含有大量的渣球, 抄造时会影响纸张的物理性能, 必须将其除去。本实验采用的方法: 先将硅酸铝纤维进行纤维切断、疏解后, 采用 H158 型纸浆疏解机疏解后浆料重力沉降除去渣球。

1.2.2 纤维分散性能的检测

沉降时间法因其操作简便, 产品观察法能较为精确地反映分散情况。所以本实验采用沉降法和观察法相结合。操作步骤如下: 将不同浓度的硅酸铝纤维搅拌均匀后, 倒入 500 ml 的量筒中, 每隔一段时间 (秒表计时) 观察浆料沉降的体积 V (ml), 做好记录。

1.2.3 硅酸铝纤维抄纸

将硅酸铝纤维按工艺要求加入疏解机内, 加入水、纤维分散剂等进行打浆或疏解, 纤维经一定时间的疏

解后被分散、切短,成为分散较均匀的浆料,浆料浓度一般控制在 0.4% ~ 0.8%,浆料浓度小有利于硅酸铝纤维表面平整。将经切断、疏解处理的硅酸铝纤维,添加粘结剂的浆料在高速疏解器疏解 3 min 左右,然后用 FT1101 圆形抄片器进行抄纸。

1.2.4 纸的物理性能检测

将抄好的纸张按国家标准测定纸页的抗张强度、烧失率。

2 结果与讨论

2.1 硅酸铝纤维分散性能的探讨

2.1.1 硅酸铝纤维与植物纤维的对比

表 1 硅酸铝纤维与植物纤维对比

项 目 名 称	硅酸铝纤维	针叶木纤维	阔叶木纤维	麦草浆纤维
直径 (μm)	2 ~ 5	20 ~ 50	≤ 20	< 20
长度 (mm)	30 ~ 250	2 ~ 3	0.8 ~ 1.2	< 2

由表 1 可以看出硅酸铝纤维长度是普通的植物纤维长度的 12 ~ 150 倍,直径与植物纤维也相差较大。如果对硅酸铝纤维不进行处理,纤维与纤维之间就会形成絮团,影响纸张的强度、外观及其质量等。

2.1.2 硅酸铝纤维浓度对纤维分散性能的影响

硅酸铝纤维比重比水大,所以纤维在水中静止时要下沉。纤维在水中分散得越好,纤维分散成单根的比例就越大,它们相互交织成很好的网状结构,其沉降时间就越大。实验中不断的改变硅酸铝纤维的浓度,观察纤维在 500 ml 量筒中的沉降情况。

由图 2 我们可以发现,开始的半分钟之内,各个浓度纤维的沉降明显,即纤维由于自身重力作用沉降。其后的各个时间段变化并不是很明显的。其中 0.6% 浓度下,分散性相对较好,沉降体积在各个时间段都比较的稳定。主要由于纤维之间相互的交织在一起形成网络结构悬浮在水中。

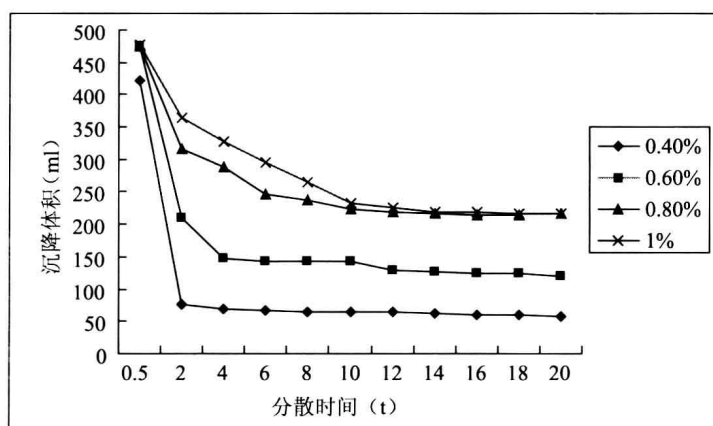


图 2 硅酸铝纤维浓度对纤维分散性

2.1.3 打浆度对硅酸铝纤维分散性能的影响

对硅酸铝纤维打浆只是起到切断和疏解的作用,并不像植物纤维那样能够细纤维化,通过氢键的连接来提高纤维与纤维的结合,到达提高纸张强度的目的,通过打浆实验我们发现,硅酸铝纤维打浆时打浆度变化不大,一般在 8 ~ 10°SR 之间。未作纤维切断、分散处理的浆料,在网上成形时难以分布均匀,抄出的纸张疏松、多孔、表面粗糙、强度低等问题。为此打浆减小纤维长度,提高纸张的外观性能。

2.1.4 分散剂对硅酸铝纤维分散性能的影响

为使纤维分散的更加均匀,纤维沉降减慢,通常加入一定量的分散剂。本实验测定分散剂加入量为 2%