

学校代码: 10255

学 号: 2110162

亚克力滤料的耐腐蚀性及其在烧结机中过滤应用的研究

**THE STUDY ON CORROSION RESISTANCE
PROPERTIES AND FILTRATION APPLICATIONS
OF ACRYLIC FILTER USED IN SINTERING
MACHINE**

专 业: 纺织工程

作者姓名: 葛海祥

指导教师: 王洪 张旭东

答辩日期: 2013. 05

东华大学学位论文原创性声明



本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已明确注明和引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：葛海祥

日期：2013 年 6 月 3 日

东华大学学位论文版权使用授权书

学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅或借阅。本人授权东华大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密 ☐，在 _____ 年解密后适用本版权书。

本学位论文属于

不保密 ☒。

学位论文作者签名：葛海祥

日期：2013年6月3日

指导教师签名：毛洪

日期：2013年6月3日

亚克力滤料的耐腐蚀性及其在烧结机中过滤应用的研究

摘 要

改革开放 30 多年来,粗放型的经济高速增长方式伴随着大量的环境破坏和环境污染问题。主要空气污染物排放量远远超过环境容量,大气污染日益严重,我国已进入污染事故多发期和矛盾凸显期。凡采用袋式除尘技术的除尘系统,其固体颗粒物排放浓度远远低于其他各种除尘技术,袋式除尘器对各种烟尘和粉尘都有具有很好的捕集效果,不受粉尘成分及比电阻等特性的影响,对入口含尘浓度不敏感,在含尘浓度很高或很低的条件下,都能实现很低的粉尘排放。

依据国家十二五规划要求,许多钢铁企业开始在烧结机的机头和机尾除尘中采用电改袋技术或袋式除尘技术。本文研究的是亚克力滤料,亚克力滤料由纯亚克力纤维制成,亚克力纤维化学名为聚丙烯腈,又称腈纶,先以亚克力纤维为原料经复合针刺制成滤毡,然后通过特殊的后处理工艺得到亚克力中温抗水解针刺滤袋,其瞬时工作温度能达到 160℃,正常工作温度为 120℃到 140℃,针刺毡以纯亚克力机织布为基布增强纵横强力,亚克力滤袋适合应用于大型烧结机烟气温度高、酸性大、含水份多的工况,具有优良的耐化学性和抗水解性,也广泛应用于垃圾焚烧、沥青、电厂、水泥厂等烟气的收尘,可以有效地过滤掉烟气中的细微颗粒,减少 PM2.5 等细颗粒物的排放。本

文主要研究内容是亚克力滤料和涤纶滤料的耐腐蚀性能,进行了断裂强力、尺寸保持率、厚度、孔径等各项性能的对比,然后研究了应用在首钢钢铁厂烧结机中亚克力滤料的过滤性能。

通过对主刺 5 道和 7 道的亚克力滤料以及主刺 7 道的涤纶滤料进行试验分析,得出不同主刺道数生产的滤料性能有差异:主刺 7 道的亚克力滤料就比主刺 5 道的断裂强力要高一些;亚克力滤料的耐酸和抗氧化性很优异,比涤纶滤料要好,但是不耐高浓度的碱性溶液,当亚克力滤料经过 40%烧碱溶液处理后,通过扫描电镜可以发现,其纤维被腐蚀的相当严重。

关键词: 亚克力滤料, 复合针刺, PM2.5, 耐腐蚀性, 过滤性能

THE STUDY ON CORROSION RESISTANCE PROPERTIES AND FILTRATION APPLICATIONS OF ACRYLIC FILTER USED IN SINTERING MACHINE

ABSTRACT

Since 30 years of reform and Opening-up, extensive rapid economic growth pattern has accompanied by a large number of environmental damage and pollution problems. Air pollution is increasingly serious, and emissions of main air pollutants far exceed the environmental capacity, China has entered a pollution accident-prone period and the period of prominent contradictions. Dust removal system generally adopts the bag dust removal technology, the solid particulate emission concentration is far below the other kinds of dust removal technology, and bag type dust collector has trapping effect on all kinds of smoke and dust, frees from dust composition and specific resistance characteristics, is insensitive to the entrance dust concentration, can realize quite low dust emission in high or low condition of the dust concentration.

On the basis of the requirements of China's 12th five-year plan, many iron and steel enterprises began to use electric change bag technology or bag dust removal technology in sintering machine head and tail dust. The goal of this study is acrylic filter material, acrylic bag is made of pure acrylic fiber, as raw material by composite acupuncture, the chemical name of acrylic fiber is polyacrylonitrile, also known as acrylic, through special post-processing, acrylic needle punched filter felts for medium temperature and hydrolysis resistant come out, its instantaneous working temperature can reach 160℃, and normal work is from 120℃ to 140℃. Needle felts use pure acrylic woven fabric to enhance vertical and horizontal strength, has excellent chemical resistance and hydrolysis resistance, widely used in waste incineration, asphalt, power plants, cement plants and other flue gas dust collection, can effectively filter out fine particles in the flue gas, to reduce PM2.5 emissions of fine particles. Its performance is suitable for application in large sintering machine with high flue gas temperature, acidity, moisture content. Then This paper mainly studies the physical and mechanical properties of acrylic fabric and

polyester filter through chemical reagent treatment, such as break strength, dimensional stability, thickness, bore diameter, then the application of acrylic filter materials in Shougang sintering machine are studied, the study can play a guidance and reference role for the future conditions.

By test analysis of 5 and 7 main thorn acrylic filter and 7 main thorn polyester filter, find out that performances of filter materials produced from different main thorn are different, and the strength of acrylic filter materials in 7 main thorn is higher than in 5 main thorn; acid resistance and oxidation resistance of acrylic filter materials are excellent, better than polyester material, but intolerant for high concentration of the alkaline solution, After the acrylic filter materials go through 40% caustic soda solution, it can be found that its fibers are very serious corrosion by scanning electron microscopy.

Ge Hai Xiang (Nonwovens Engineering Development)

Supervised by Wang Hong

KEY WORDS: acrylic filter material, composite acupuncture, PM2.5, corrosion resistance, filtration

目 录

摘 要 I

ABSTRACT III

第一章 绪 论 1

 1.1 课题的研究背景 1

 1.2 袋式除尘器及滤料 2

 1.3 课题的研究意义 10

 1.4 研究内容和方法 11

第二章 亚克力滤料的制备及实际生产中需要解决的问题 13

 2.1 亚克力纤维原料的性能及选择 13

 2.2 滤料的制备流程 16

 2.3 生产实习过程中所解决的问题 22

 2.4 本章小结 24

第三章 亚克力滤料与涤纶滤料的耐硫酸性能比较 26

 3.1 引言 26

 3.2 试验材料的制备 26

 3.3 试验介绍 26

 3.4 试验测试 27

 3.5 本章小结 36

第四章 亚克力滤料与涤纶滤料的耐烧碱性能比较 38

 4.1 引言 38

 4.2 试验介绍 38

 4.3 试验测试 38

 4.4 本章小结 47

第五章 亚克力滤料与涤纶滤料的耐次氯酸钙性能比较 48

 5.1 引言 48

 5.2 试验介绍 48

 5.3 试验测试 48

 5.4 本章小结 57

第六章 首钢京唐钢铁厂烧结机工况的研究分析 58

 6.1 半干法循环流化床烧结脱硫工艺 58

 6.2 首钢烧结脱硫工况的分析 61

 6.3 亚克力滤袋在烧结烟气除尘中的应用 62

 6.4 本章小结 64

第七章 结论和展望 65

 7.1 结论 65

 7.2 展望 66

参考文献 67

附 录 69

致 谢 73

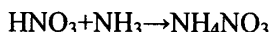
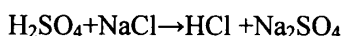
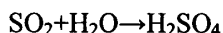
第一章 绪 论

1.1 课题的研究背景

1.1.1 我国大气中 PM_{2.5} 的污染状况

PM_{2.5} 指的是大气中粒径小于 2.5 μm 的细颗粒物（气溶胶）。虽然细颗粒物只是地球大气成分中含量很少的组分，但它对空气质量和能见度等有重要的影响。细颗粒物粒径小，富含大量的有毒、有害物质且在大气中的停留时间长、输送距离远，因而对人体健康和大气环境质量的影响更大。

PM_{2.5} 颗粒物的污染源主要有自然源和人为源两种，但危害较大的是后者。自然源包括土壤扬尘、海盐、植物花粉、孢子、细菌等。自然界中的灾害事件，如火山爆发向大气中排放了大量的火山灰，森林大火或裸露的煤原大火及尘暴事件都会将大量细颗粒物输送到大气层中。人为源包括固定源和流动源。固定源包括各种燃料燃烧源，如发电、冶金、石油、化学、纺织印染等各种工业过程、供热、烹调过程中燃煤与燃气或燃油排放的烟尘。流动源主要是各类交通工具在运行过程中使用燃料时向大气中排放的尾气。除自然源和人为源之外，大气中的气态前体污染物会通过大气化学反应生成二次颗粒物，实现由气体到粒子的相态转换。化学方程式如下：



而大气气溶胶和气态大气污染物是大气污染的两大基本要素。研究表明，大气气溶胶粒子大小、状态和组成的不同决定了大气气溶胶的污染特征和对环境的影响程度。中国大气气溶胶的污染非常严重，其中人为过程排放的细粒子占有很大的比重。不同粒径的大气气溶胶对大气环境和人体健康的影响是完全不同的。大部分有害元素和化合物都富集在细粒子上，而随着粒子粒径的降低，粒子在大气中的保留时间和在呼吸系统的吸收率随之增加，因此对人体健康的影响也越大。细粒子还能造成能见度的下降，给城市景观带来不利影响^[1-6]。

1.1.2 日益严格的环保政策和环保标准

2011 年 1 月 1 日开始，环保部发布的《环境空气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的测定重量法》开始实施。首次对 PM_{2.5} 的测定进行了规范，但在环保部进行的《环境空气

质量标准》修订中, $PM_{2.5}$ 并未被纳入强制性监测指标^[7]。

《国家环境保护“十二五”规划》指出:到 2015 年,主要污染物排放总量显著减少;2012 年在京津冀、长三角和珠三角等区域开展臭氧、细颗粒物($PM_{2.5}$)等污染物监测,开展区域联合执法检查;到 2013 年,上述区域复合型大气污染得到控制,所有城市空气环境质量达到或好于国家二级标准,酸雨、灰霾和光化学烟雾污染明显减少。其中,针对节能环保企业税收减免、提高产业集中度等内容是规划亮点。2011 年新颁布的 GB13223《火电厂大气污染物排放标准》,提出了从 2012 年 1 月 1 日起对新建、改建和扩建锅炉机组执行 $30mg/Nm^3$ 烟尘排放限值。新建火电厂采用袋式除尘器日益增多,尤其是新建的大型火电厂袋式除尘器的使用比例有所提高。

2011 年起城市生活垃圾焚烧厂又在全国各地大量建设,但对二恶英排放从严控制,生活垃圾焚烧发电厂的设计和建设必须满足《生活垃圾焚烧处理工程技术规范 CJJ90》、《生活垃圾焚烧处理工程项目建设标准》。GB18485《生活垃圾焚烧污染控制标准》已经修订报批,各地方标准要求更高,“烟气净化系统必须设置袋式除尘器,去除焚烧烟气中的粉尘污染物,酸性污染物,包括氯化氢、氟化氢、硫氧化物、氮氧化物等,应选用干法、半干法、湿法或其组合处理工艺对其进行去除”已经成为尾气净化处理系统的硬性规定。为袋式除尘主机、滤料在垃圾焚烧行业的应用创造了条件,为袋式除尘行业提供了更大的发展空间^[8]。

1.2 袋式除尘器及滤料

1.2.1 袋式除尘器

袋式除尘器最早应用于 18 世纪 80 年代。1881 年德国实现了机械振动清灰袋式除尘器的商业化生产,是 Betn 工厂的专利产品^[9];1930 年开始出现反吹气流清灰方式。1954 年 H.J.Hersey 发明了逆喷吹气环清灰技术,使得袋式除尘器实现了除尘和清灰的连续操作,处理量提高数倍^[10];1957 年 T.V.Reinauer 发明了脉冲型袋式除尘器,不仅实现了操作和清灰连续,滤布寿命更长且结构简单。20 世纪 70 年代以后,袋式除尘器技术向大型化发展。美、日及欧洲等国家和地区,相继开发了大型袋式除尘器应用于燃煤电站锅炉、钢铁厂烧结脱硫工程、电炉除尘^[11]。

我国的袋式除尘技术起步于上世纪六七十年代,至今也有五十多年的历史。50 年代初期主要从前苏联整机引进袋式除尘器;60 至 70 年代我国有少数几个设计研究单位引进、仿照国外技术生产袋式除尘器;70 年代后期出现少数袋式除尘器生产厂家。80 年代起,我国开发、研制、生产了大型反吹风布袋除尘器、分室反吹风袋式除尘器和长袋低压脉冲袋式除尘器。但是,在使用过程中因为清灰不利等原因并未取得较好的效果,袋式除尘器的发展出现了“停滞”阶段。90

年代至今,是我国袋式除尘技术的迅速发展期,滤料技术迅速发展、清灰控制技术不断完善,袋式除尘器应用飞速增加。随着大型脉冲喷吹袋式除尘器的研制成功,袋式除尘器也向大型化发展^[12]。

尤其是进入 21 世纪以来,随着国家环保标准提高,在工业进步及科学技术进步的推动下,袋式除尘器整机技术和过滤技术特别是中高温滤料技术均获得高速发展,不少产品还实现了批量出口,并呈逐渐加大趋势。2006 年,中国已成为全球袋式除尘器及滤袋市场增加最快的地区,袋式除尘器及滤袋使用已连续 5 年以 20% 以上的速度高速增长。目前,中国袋式除尘器整机台数及滤袋年使用数量仅次于美国和欧洲,有发展成为全球最大市场的趋势^[13]。

1.2.2 过滤机理

袋式除尘器是通过过滤材料以及附着在过滤材料上的粉尘层的机械过滤作用而达到除尘的目的。袋式除尘器以其除尘效率高,不会造成二次污染,便于回收干料等性能,在大气污染的治理方面做出了巨大的贡献,目前国内外的应用越来越广,已占有除尘设备的 80%。袋式除尘器的核心是配套滤袋的优良材料。袋式除尘器过滤原理是使烟气到达过滤袋时,通过以筛分作用为主,同时存在惯性碰撞、拦截、扩散的短物理效应,以及在某些特定条件下的静电效应及重力效应等,进行气体固体分离使颗粒物被捕集在滤袋上,再以定时或定阻控制方式,通过振动、喷吹等作用将其清除的过滤装置^[14]。其除尘效率与烟气流量、温度、含尘量,颗粒物粒径、过滤速度及滤袋材质等有关。袋式除尘器的压力降控制范围为 800~1800Pa,粒径在 0.2~0.4 μm 范围内的颗粒物分级效率较低,在该范围以外的分级效率可达到 99% 以上,总除尘效率达到 99.9% 以上。

1.2.2.1 扩散效应

小于 0.2 μm 的粒子和气体分子相互碰撞后产生不规则运动,由于 1872 年英国人布朗首先发现微粒在流体内做不规则运动故称布朗运动。不规则运动中,一部分尘粒被纤维或尘层所阻留,这种现象称为扩散效应。因扩散而被捕集的效率可用半经验公式表示^[15]:

$$\eta = 6 \text{Re}^{1/6} \text{Pe}^{-2/3} + 3 \text{Re}^{1/2} R^2 \quad (1)$$

式中,前一项表示扩散效果,后一项表示阻留效果。如果把流经纤维周围气体的

雷诺数 $\text{Re} = \frac{v_o d_f}{\nu}$, 支配扩散效果的贝克来数 $\text{Pe} = \frac{v_o d_f}{D_v}$, 阻留系数 $R = \frac{d_p}{d_f}$ 及粒

子的扩散系数 $D_v = \frac{KT}{3\pi\mu d_p} = \frac{r}{d_p}$ 代入上式得:

$$\eta_1 = \frac{6\nu^{2/3}}{\nu^{1/2} d_f^{1/6} d_p^{2/3} \nu_f^{1/2}} + \frac{3d_p^2 \nu_o^{1/2}}{\nu^{1/2} \times d_f^{3/2}} \quad (2)$$

ν ——运动黏度 (m^2/s); d_f ——纤维直径 (m); d_p ——尘粒直径 (m);

ν_o ——气体通过纤维层的真速度 $\nu_o = \frac{\nu_F}{\varepsilon}$ (m/s); ν_F ——过滤速度 (m/s);

ε ——纤维层的孔隙率 (%); r ——系数 ($r = \frac{KT}{3\pi\mu d_p}$); T ——绝对温度 (K);

K ——波尔兹曼常数 ($1.380 \times 10^{-23} \text{J/K}$); μ ——气体的黏度 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)

由此式右边第一项可以知道, 降低过滤速度 ν_F , 缩小纤维直径 d_f , 提高气体温度 T 都会增加扩散作用的效果。扩散与尘粒大小也有关, 粒径越小, 扩散越显著。从第二项可以看出, 速度大、纤维细、粒径粗捕集效率会提高。

1.2.2.2 惯性效率

若粒子质量较大, 当气体流经纤维层而被截住的机理称为惯性效应。因惯性引起的捕集效率为:

$$\eta_2 = \frac{\phi \cdot r^{2/3}}{\phi^3 + 0.77\phi^2 + 0.22} \quad (3)$$

ϕ ——惯性碰撞系数, $\phi = \frac{\rho_B \rho_P d_p^2 \nu_o}{18\mu d_f} = \rho_B \mu \frac{\nu_s \nu_o}{g d_f}$; ρ_B ——气体中粉尘浓度, g/m^3 ;

ρ_P ——尘粒密度, kg/m^3 ; ν_s ——尘粒沉降速度, m/s ; g ——重力加速度, m/s^2 。

由上式可以看出, 惯性碰撞效果正比于尘粒的大小。尘粒的密度以及气流的速度, 而反比于纤维的直径。

1.2.2.3 重力沉降

对于水平横向圆柱捕集体, 粒子的重力沉降捕集效应为

$$\eta_G = G = \frac{\nu_g}{\nu_o} = \frac{C_u \rho_P d_g^2 g}{18\mu \nu_o} \quad (4)$$

η_G ——重力沉降捕集效率, %; ν_g ——重力沉降速度, m/s ;

ν_o ——气体特征速度, m/s ; C_u ——修正系数; ρ_P ——粒子密度, g/cm^3 ;

d_g ——粒子的当量直径, m; g ——重力加速度, m/s²; μ ——气体黏度, Pa·s。

上式是指气流与重力方向相同时的情况, 对任意横向放置的圆柱体, 则其数值还要乘以圆柱体在垂直于气流方向上的投影面积与顺着气流方向上的投影面积的比值。可见, 只有颗粒较大, 气体速度较小时, 重力沉降的作用才较明显。

1.2.2.4 筛分效应

滤料间的孔隙或滤料上粉尘间的孔隙较尘粒小时有利于筛分阻留, 即为筛分效应。很显然, 尘粒愈大, 纤维 粉尘孔隙愈小, 被筛分的概率就愈大。一般情况下新的洁净滤布的筛分作用并不强。当粉尘在滤布表面大量沉降形成粉尘层时, 筛分作用大大加强, 分离和捕集粉尘效率提高。

1.2.3 纺织滤料及其分类

过滤材料的种类很多, 常用的由多孔性陶瓷、金属薄板、塑料多孔板、过滤纸、过滤布等, 随着各行各业对过滤要求的不断提高, 纺织品作为过滤材料显示出突出的优越性。纺织滤材与其他滤料相比, 柔软且容易弯曲, 通过纤维的粗细和长度的改变, 以及选择不同的纤维种类和加工方法, 比较容易达到各种不同的过滤要求^[16]。目前, 纺织滤材已成为配套食品、酿造、制药、化工、钢铁、石油、冶金、造纸、水泥、煤炭、机械、电子等工业生产, 以及环保方面的除尘、吸尘、消声、空气净化、水质提纯、废物去除等不可缺少的材料。

纺织过滤材料的种类很多, 按照加工原理可分为机织过滤材料、针织过滤材料、非织造过滤材料和复合过滤材料^[17]。其中非织造布因纤维排列多呈三维构造, 孔隙小并且孔道曲折, 因此具有比机织布和针织布更好地过滤效率^[18]。非织造布又可分为湿法非织造布、纺粘法非织造布、熔喷非织造布、针刺非织造布、水刺非织造布等。

(1) 机织过滤材料: 机织过滤材料是用相互垂直的两个系统的纱线(经纱和纬纱)交织而成的。这两个系统的纱线既可以是短纤维纺成的单纱和股线, 也可以是长纤维的单丝和复丝。机织过滤材料的性能由所用纤维的性能和纱线、织物的结构规格等因素决定。机织过滤材料属于二维结构, 空隙率为 30%~40%, 而且孔眼是直通的, 因而对流体阻力较小, 且机织滤材强力较大, 所以适合于压力较大的液体过滤。

(2) 针织过滤材料: 针织过滤材料是由一组纱线(经纱或纬纱)编制而成的。针织过滤布的孔眼不像机织过滤布那样是直通的, 而是弯曲迂回的通道, 能阻挡比空隙小的多得颗粒, 从而获得较高的捕集效率。在某些过滤领域中, 针织起绒滤布替代机织滤布取得了很好的除尘效果。针织滤布使用的原料范围也较广泛, 通常滤布都做成起绒织物, 由于其表面覆盖了一层绒毛, 滤尘效果优于一般

的织物。

(3) 针刺非织造布: 针刺非织造布是目前在空气、粉尘等过滤领域应用最普及的一种过滤材料, 因其采用机械固结方式, 刺针反复穿刺构成了纤维的相互缠结且呈现一定厚度和显著的三维形态, 因此有极好的容尘量和较好的强度^[19]。织物较厚, 延长了流体的过滤路径, 对粉尘具有很高的截留、阻挡作用, 它在进行过滤时, 能对首批靠近的尘粒有强烈的截留和筛分作用, 既能快速形成粉尘层, 以便一步截留后一批尘粒, 又能遏制粉尘粒子的深度渗透, 避免降低效率^[20]。过滤效率比机织和针织的滤料都高, 目前针刺法过滤材料占据着国际非织造过滤材料的首位^[21], 其用量约占非织造过滤材料总用量的 80%。

(4) 湿法非织造布: 湿法非织造布(或滤纸)是常用于液体过滤的材料, 其因纤维细短、成网均匀具有较好的过滤效率和容尘量, 它的生产过程中还有利于添加一些高熔点、耐高温的功能性纤维。弱点是强度较低, 纸感较强, 对流体阻力较大。

(5) 熔喷法非织造布: 熔喷法非织造布是非织造布中最细(一般在 $1-4\mu\text{m}$)、成网均匀的材料之一, 它对微尘和细菌具有很高的屏蔽性和过滤性。一般较高质量的熔喷材料, 其中对 $0.3\mu\text{m}$ 微尘的过滤效率可达 97%-99%^[22]。但熔喷的强度很差, 对有较大外力作用的场合很难单独使用。另外, 熔喷非织造布的原料目前相对也比较单一, 即丙纶, 这也限制了这种材料的用途。但熔喷非织造布在常温情况下是一种很好的高效过滤材料。

1.2.4 常见的滤料原料

在中温滤料系列中, 涤纶类纤维耐温一般在 $130\sim 150^{\circ}\text{C}$, 该产品除具有普通毡类滤布特有的优点外, 而且耐磨性非常好, 具有很高的性价比而成为毡类滤料中使用量最大的品种。亚克力纤维针刺毡耐温为 $140\sim 160^{\circ}\text{C}$, 采用进口纤维制造, 它也是耐酸性、耐碱性和耐水解性最好的中温滤料。迷特针刺毡是为了克服普通涤纶针刺毡耐温长时间超过 130°C 出现的收缩现象而开发出的工作温度在 $150\sim 170^{\circ}\text{C}$ 的新型过滤毡, 从而避免了在某些工况条件下使用高温滤料而造成的浪费。斯泰福(STEXF)针刺毡提高了涤纶纤维类过滤材料的过滤精度并降低了压力降, 其具有覆膜滤料表面过滤效果, 而运行阻力小、节省能源^[23]。详见表 1-1。

表 1-1 中温滤料性能

性能指标滤料名称	克重/ g · m ²	组成纤维层/基布	断裂强力 (5cm×20cm)/N		工作温度	耐碱性	耐酸性	水解稳定性	
			经向	纬向					
涤纶类	涤纶易清灰针刺过滤毡	500	涤纶/涤纶丝	>1000	>1400	≤130	良	中	优
	涤纶高强低伸针刺过滤毡	500	涤纶/涤纶丝	>1800	>1800	≤130	良	中	中
	迷特针刺过滤毡	500	涤纶/玻璃纤维基布	>1800	>1800	150	良	中	中
	亚克力（均聚丙烯晴）针刺过滤毡	500	亚克力/亚克力	≥800	≥1300	<140	优	优	优
	斯泰福针刺过滤毡	500	涤纶/涤纶丝	>1300	>1500	≤130	优	良	良

国内由于受化纤工业的影响，目前国产的高温合成纤维较少，所以用于高炉煤气净化的国产耐高温滤料品种较少，使用纤维的品种只集中在玻璃纤维和诺美克斯（Nomex）化学纤维两种原料上。玻璃滤料虽价格较低，但耐磨、耐折性能差，不能满足环境复杂的高温粉尘过滤要求，其应用受到限制。除尘器的发展与高温滤料是同步的，高温过滤材料性能和质量的好坏，直接关系到除尘器性能的好坏和使用寿命的长短。尽管近年我国在这方面有较大发展，规模 and 产品质量都有提高，但高端领域仍由国外公司占据，开发能替代价格昂贵的进口滤材的新型滤材变的极为重要。

聚苯硫醚即 PPS 纤维主要用于电厂的袋式除尘，1968 年美国菲利浦石油公司首先采用溶液聚合法成功开发 PPS 纤维，于 1973 年将其投入工业化生产，我国 20 世纪 90 年代初开始研究 PPS 纤维，2006 年实现规模生产。国内以江苏瑞泰科技有限公司为代表的三家企业，自行研发的 PPS 纤维，打破了日本企业的垄断。江苏瑞泰科技有限公司张家港新厂已经顺利投产，标志着中国在打破 PPS 纤维行业的国际垄断之后，进一步将成果产业化，为我国电力行业袋式除尘的推广解决了原料瓶颈问题；有利于中国化纤行业的结构调整和产业升级；使得电力行业除尘能够符合国家“节能环保”和“低碳经济”的要求；为国内大批量采用

PPS 针刺毡做出了贡献。在与东北大学滤料检测中心、南京际华三五二一等单位共同参与的国家“863”计划、国家火炬计划、中小企业创新基金及江苏省重大成果项目等课题的支持下，PPS 纤维的产业化进程逐步迈开并最终得到实现。

用芳纶纤维生产的耐高温滤袋具有多种优越性能，是生产高端滤料的基本材料，在水泥工业篦冷机余风除尘有很大的应用市场，原先基本依赖进口。2009 年以烟台氨纶集团为代表的几家企业芳纶纤维的生产规模已经达到年产 5000 吨左右，不仅满足了国内滤料市场的需求，部分产品还出口到发达国家。

聚酰亚胺，也就是 P84 滤料，最初由 Lenzing 公司，即现在的 InspecFibre 公司（奥地利）于 80 年代后半期生产出来，于 1985 年引入我国后被广泛应用于水泥窑尾、钢铁厂和燃煤锅炉等行业。因其纤维本身的细度和截面形状，具有良好的过滤性能而显著；不规则的纤维横截面使纤维表面积增加到最大而提供很多的微小孔隙至使表面具有过滤效果，具有极佳的微细粉粒收集效率且滤料阻力低。P84 滤料纤维全球只有一家供应商。然而，值得欣慰的是，我国中科院长春高琦聚酰亚胺材料有限公司于 2009 年完成了聚酰亚胺纤维的中试，已于 2010 年批量生产，为国内滤料生产企业提供国产的聚酰亚胺纤维，解决高端滤料的市场需求问题。此外，2009 年我国也和奥地利公司就 P84 滤料在中国的市场价格问题进行了谈判，为国内滤料企业提供更好的服务平台。

目前，国内外关于研究亚克力滤料的文章不多，文献较少，但发明专利比较多。国内做的比较早的企业是上海博格工业用布有限公司（下面简称博格公司）。

（1）在专利号为 200720069357.0^[24]中，博格公司初次提到了亚克力针刺纤维毡的制备方法。即在基布的上下面对称粘贴纤维层，基布为亚克力机织布，纤维层为亚克力短纤维层，产品耐酸碱性能好，抗氧化，对无机和有机酸有良好的抵抗力，抗水解性好，耐温范围为：120℃~130℃；

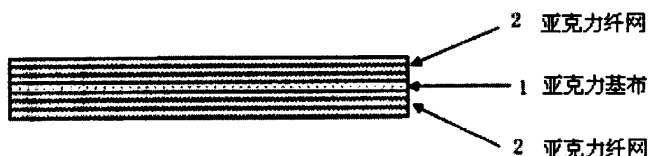


图1-1 亚克力针刺纤维毡结构图

（2）在专利号为 201020033118.1^[25]中，博格公司发明了一种聚苯硫醚纤维和亚克力纤维梯度复合过滤毡的制备方法，该过滤毡是在聚苯硫醚短纤维织成的基布上、下两层铺设混合纤维层和亚克力纤维层，在上面一层混合纤维层表面再铺设一层聚苯硫醚纤维层，优点是过滤精度高、清灰效果好、透气性能好、机械强度大、耐腐蚀性能强，可应用于大型燃煤电厂循环流化床锅炉德烟气除尘。

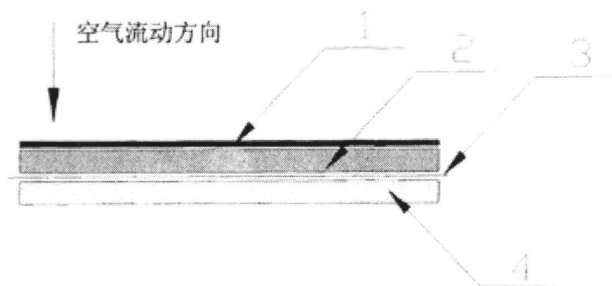


图1-2 一种聚苯硫醚纤维和亚克力纤维梯度复合过滤毡结构图

1: PPS纤维层 2: PPS&亚克力纤维层 3: PPS基布 4: 亚克力纤维层

(3) 在专利号为201020659528.7^[26]中，博格公司发明了一种亚克力纤维涂层过滤毡，即在亚克力纤维针刺毡的迎风面，用发泡机涂一层特氟龙B膜，优点是耐化学气体腐蚀好，拉伸强度高，并且粉尘的剥离性能好，易清灰，降低除尘器的清灰频率，滤料使用寿命长等。

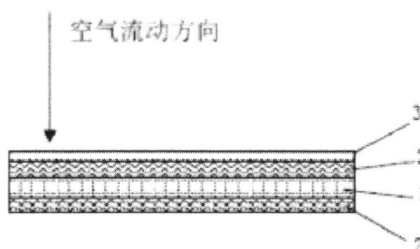


图1-3 一种亚克力纤维涂层过滤毡结构图

1: 亚克力基布 2: 亚克力纤维层 3: 涂层

(4) 在专利号为201020659532.3中，博格公司公开了一种亚克力纤维水刺复合过滤毡的制备方法，即在亚克力基布的上下两面，对称地用高压水流射入粘贴亚克力纤维层，优点是拉伸强度高，耐磨性好，易清灰等^[27]。

1.2.5 过滤材料的评价指标

质量，一般称为布重，克重，它是指 1m^2 面积滤料的质量 (g/m^2)。由于滤料的材质及其结构最直观地反映在其质量上，因此质量就称为决定滤料性能最基本、最重要的指标，同时也是决定滤料价格的重要因素。

厚度，也是滤料重要的物理性能之一，它对滤料的透气性、耐磨性等有很大的影响。对于织布而言，厚度大体取决于重量，纱线粗细及编织方法，对于毡及非织布，厚度则仅取决于重量和制造工艺。

密度，织布的密度是以单位距离内德纱线根数表示，即以一寸或 5cm 间的经纬根数表示。而非织布的密度则以体积密度，即滤料单位面积的重量除以厚度进行计算的 (g/m^3)。

耐腐蚀性,包括耐酸、耐碱、耐氧化剂、耐还原剂及耐有机溶剂性能。含尘气体中常含有各种化学物质,这就是要求滤料具有耐腐蚀性。

尺寸稳定性,是指滤料经向、纬向的胀缩率。滤料的胀缩改变了滤料的孔隙率,使过滤效率和阻力受到影响,有时甚至会影响到除尘器的正常运行,因此,滤料的胀缩率愈小愈好。

断裂强力,滤料被拉伸断裂时的最大强力即为断裂强力,它是衡量滤料坚固性的重要指标。

过滤效率,滤料的过滤效率一方面与滤料结构有关,另一方面也取决于在滤料上所形成的粉尘层,从滤料结构看,短纤维的过滤效率比长纤维高。毛毡滤料比织物滤料高。从粉尘层的形成看,对于薄滤料,清灰后,粉尘层被破坏,效率降低很多,而厚滤料,清灰后还可以保留一部分粉尘在滤料中,避免清灰过度。一般来说,在滤料不破裂的情况下,均可达到最高的效率(99%以上)^[28]。所以,只要设计参数选择得当,袋式除尘器的除尘效果应无问题。

容尘量,又称粉尘负荷,指达到给定阻力值时单位面积滤料上积存的粉尘量(kg/m^3)。滤料的容尘量影响滤料的阻力和清灰周期。为了避免频繁地清灰,延长滤袋的寿命,一般要求滤料的容尘量大些。容尘量与滤料的孔隙率、透气率有关,毛毡滤料比织物滤料的容尘量大。

透气率及阻力,透气率是指在一定的压差下,通过单位面积滤料上的气体量。滤料的阻力直接与透气率有关。作为标定透气量的定压差值,各国取值不同。日本、美国取 127Pa,瑞典取 100Pa,德国取 200Pa,因此选取透气率的大小时要考虑试验时索取的压差。透气率取决于纤维细度、纤维的种类和编织方法。按瑞典的资料,长丝纤维滤料的透气率为 $200\sim 800\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,短丝纤维滤料的透气率为 $300\sim 1000\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,毛毡滤料的透气率为 $400\sim 800\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。透气率越高,单位面积上允许的风量(比负荷)也越大。

滤料的寿命,滤料的寿命指在滤料正常使用条件下破损的时间。滤料的寿命取决于滤料本体的质量(材质、织造方法、后处理工艺等)和使用条件(温度、湿度、粉尘性质、清灰方式等)两个因素。在同样条件下精良的除尘工艺设计也可以延长滤料的使用寿命。

1.3 课题的研究意义

在各产生粉尘或烟尘的行业中,凡采用袋式除尘技术的除尘系统,其固体颗粒排放浓度远远低于其他各种除尘技术。目前国内袋式除尘器的粉尘排放浓度普遍稳定在 30mg/Nm^3 以下,净化燃煤锅炉烟气的袋式除尘系统大部分排尘浓度低于 20mg/Nm^3 ,净化高炉煤气和水煤气的袋式除尘系统则低于 10mg/Nm^3 ,用于垃圾焚烧发电厂的袋式除尘器,更实现了排放浓度低于 5mg/Nm^3 的业绩。

而亚克力滤袋作为滤料中的成员,凭借着自身优越的性能,也发挥出了其独特的除尘功效。亚克力滤袋由纯亚克力纤维制成,亚克力纤维化学名为均聚丙烯腈,以它为原料经复合针刺制成滤毡,然后经过特殊的后处理得到亚克力中温抗水解针刺过滤毡,瞬时工作温度是 160℃,正常工作 120℃到 140℃。针刺毡以纯亚克力机织布为基布增强纵横强力。具有优良的耐化学性和抗水解性,广泛应用于垃圾焚烧、钢铁厂、电厂、水泥厂等烟气的收尘,特别适合应用于大型烧结机烟气温度高、酸碱性大的工况。鉴于国内外关于亚克力滤袋的性能以及具体工况使用情况的研究性文章不是很多,所以本着积极探索和求真的心态,尽可能详细客观地阐述亚克力滤袋的性能和使用情况。

本课题的合作单位为江苏省盐城市阜城镇(全国滤料产业集群)滤料骨干企业江苏东方滤袋有限公司(下面简称东方公司)。正值 2012 年 5 月底,东方公司与大连绿诺集团有限公司签订了一份亚克力滤袋的订购合同,主要是用于首钢京唐钢铁联合有限公司烧结脱硫一期工程。东方公司于 2012 年 6 月底交货后,亚克力滤袋已陆续在首钢京唐的袋式除尘器进行安装,目前正处于使用阶段,相关技术人员一直在跟踪调查这批亚克力滤袋在首钢工况中的使用情况。此次工程的研究正是得到了东方公司的大力支持,亚克力滤袋以及试验所用仪器均由东方公司所属单位江苏省滤料工程技术中心提供。

1.4 研究内容和方法

1.4.1 研究内容

本课题首先是对两种亚克力纤维,一种是德国某公司生产的亚克力纤维,另外一种是日本某公司生产的亚克力纤维,进行了基本性能的对比测试,然后选择性能较好的亚克力纤维投入生产亚克力针刺复合滤料;然后对比分析亚克力针刺复合滤料和涤纶滤料的性能,测试亚克力滤料和涤纶滤料在酸、碱、氧化等三类环境下,基本性能的保持率。主要内容如下:

(1)研究亚克力滤袋的工艺制作流程及其在制作过程中存在的问题,实习过程中帮助企业解决问题;

(2)通过理论的学习与实验相结合,研究亚克力滤料的基本性能,并与涤纶类别滤料进行比较找出优势所在;

(3)研究亚克力滤料在烧结机烟气过滤中的使用情况;

(4)分析亚克力滤袋的市场情况和发展前景。

1.4.2 研究的方法

首先对德国和日本的亚克力纤维原料进行对比实验分析,用红外光谱、X 衍射等分析其结晶和取向度等,了解亚克力纤维的基本结构与组成;

然后使用东方公司阿斯兰梳理机对亚克力纤维进行梳理，再通过幅宽为 2.3m 的预针刺机进行预刺，形成均匀的亚克力纤网；

主针刺机有 2 号生产线和 6 号生产线两条，其中 2 号生产线有 5 道主针刺机，6 号生产线有 7 道主针刺机，用 2 号生产线和 6 号生产线生产亚克力复合针刺滤料和涤纶复合针刺滤料，此处共有两类对比：

(1)用 2 号和 6 号分别生产来自于同一原料的亚克力滤料进行对比分析，研究针刺道数对亚克力滤料性能的影响；

(2)用 2 号和 6 号分别生产亚克力滤料和涤纶滤料，研究在生产工艺和设备基本相同，而原料不同时，滤料性能的差异

(3)然后对上述生产出来的滤料进行耐酸、耐碱及抗氧化性能的测试，即经过硫酸溶液、烧碱溶液、次氯酸钙溶液三种溶液浸泡处理后，以 GBT 6719-2009 袋式除尘器技术要求和 HJT 324-2006 环境保护产品技术要求中相关的国家标准为依据，测试浸泡处理后滤料的各项基本性能，从而得出它们的变化规律。

(4)亚克力滤料在首钢京唐钢铁厂使用一段时间后，对烧结烟气过滤中出现问题的亚克力滤袋，进行实验检测与分析；

(5)最后针对亚克力滤料的过滤优势，分析其在中温烟气过滤市场前景以及带来的社会效益和经济效益。

第二章 亚克力滤料的制备及实际生产中需要解决的问题

2.1 亚克力纤维原料的性能及选择

2.1.1 亚克力纤维原料的特点及性能

亚克力纤维, 又称腈纶纤维, 为非热塑性纤维。在 130℃ 下使用时, 显示出对有机溶剂、氧化剂、无机及有机酸很好的抵抗力。聚丙烯腈纤维分为均聚体和共聚体两种。丙烯腈均聚体就是我们常说的亚克力纤维, 它不会发生水解, 聚丙烯腈在干湿条件下均具有良好的耐热和耐腐蚀性能, 并且能在热酸的环境下保持性能稳定。在干热条件下, 聚丙烯腈比尼龙、天然纤维的性能要好, 但比尼龙和 Teflon 差。在湿热条件下, 其性能比 Teflon 和 Nomex 纤维差, 但比尼龙、聚酯、粘胶和天然纤维好。聚丙烯腈对大多数无机酸和有机酸具有很强的抵抗能力, 并且比芳族聚酰胺纤维、聚酰胺纤维、尼龙纤维和纤维素纤维的性能好, 但比其他合成纤维的抵抗能力差。在低温且有化学腐蚀及潮湿的场合用来取代聚酯^[29]。

亚克力纤维针刺过滤毡, 经过不同的表面处理工艺, 使产品具有防水防油、防静电、抗酸碱腐蚀、抗氧化等性能。可广泛应用于烧结机收尘、钢铁厂矿渣微粉收尘、化工厂、有锌的工况等场合^[30]。

2.1.2 亚克力纤维原料的选择

2.1.2.1 纤维的物理性能对比分析

此次生产的亚克力滤料共有两种纤维来源可供选择, 首先要通过试验测试来对比分析这两者之间, 谁的性能更加优异, 然后使用性能更加优异的纤维作为接下来生产亚克力滤料的原料。1#为德国某公司生产的亚克力纤维, 2#为日本某公司生产的亚克力纤维, 分别测试它们的各项物理性能, 如下表 2-1。

从表 2-1 可以看出, 1#亚克力纤维的断裂强力比 2#的要大, 而且断裂强力变异系数也比 2#小, 如果选用 1#纤维生产非织造布的话, 可那么 1#非织造布的强力也会比 2#强; 1#亚克力纤维的卷曲率也要比 2#大得多(卷曲率是指纤维单位伸直长度内, 卷曲伸直长度所占的百分率, 卷曲率越大, 表明卷曲程度越高), 所以 1#纤维的卷曲程度高于 2#纤维, 如果用 1#纤维生产复合针刺非织造布外面的两层纤网, 其纤维层之间的穿插和抱合程度会比 2#的要好; 纤维的动摩擦系数是

指彼此接触的纤维相对运动时摩擦力和正压力之间的比值，从表中可以看出，1#的动摩擦系数比 2#的大，因此 1#生产出的非织造布纤网中纤维的抱合会更加紧密，结实；（质量比电阻指的是电流通过长度为 1cm，质量为 1g 的纤维束时的电阻值）1#比电阻比 2#的小，所以 1#生产非织造布时，环境的静电相对来说更小，梳理机梳理时就更加均匀，而且可以减少由静电引起火灾，最后的产品表面也不会因为静电而吸附大量的杂质和灰尘，可以保证产品外观的清洁。

表2-1 两类亚克力纤维性能指标

测试指标	亚克力纤维	
	1#	2#
断裂强力 (cN)	10.86	10.24
断裂强力 CV 值 (%)	7.18	16.71
断裂伸长率 (%)	14.20	24.87
断裂伸长 CV 值 (%)	8.95	14.20
断裂强度 (cN/dtex)	4.94	4.65
断裂强度 CV 值 (%)	18.62	16.70
初始模量 (cN/dtex)	64.05	51.90
线密度 (dtex)	2.2	2.2
纤维平均长度 (mm)	55	55
卷曲率 (%)	12.28	6.58
卷曲率 CV 值 (%)	6.58	39.47
动摩擦系数	0.1367	0.1305
比电阻 ($\Omega \cdot g/cm^2$)	8.6×10^8	1.5×10^{10}

2.1.2.2 纤维的红外光谱对比分析

仪器：傅里叶变换红外-拉曼光谱仪 (FTIR-Raman)

仪器型号：NEXUS-670

主要技术指标：

- 红外光谱频率范围：7400~350cm⁻¹
- 红外光谱最高分辨率：0.09cm⁻¹

测试结果如图 2-1，图 2-2 所示。

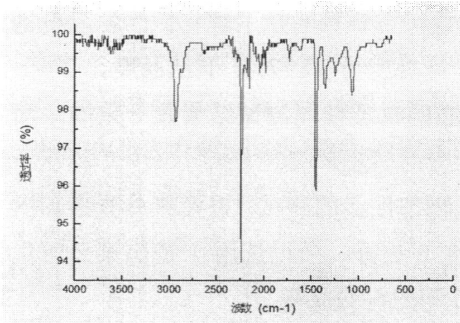


图 2-1 1# 红外光谱测试图

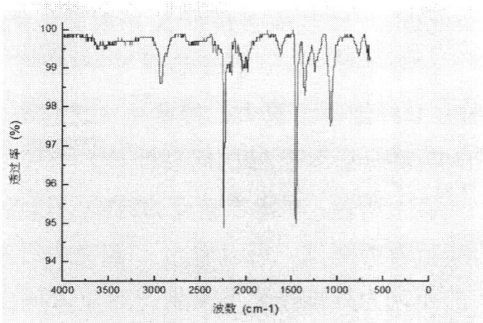


图 2-2 2# 红外光谱测试图

结论：1#样品在波数 (cm^{-1}) 为 2928, 2242, 1732, 1616, 1453, 1357, 1248, 1070 等 8 处出现明显的吸收谱带；2#样品在波数 (cm^{-1}) 为 2929, 2242, 1620, 1452, 1359, 1248, 1069 等 7 处出现明显的吸收谱带，比 1#少一个 1732 的特征谱带。因为特征基团以及一些重键基团一旦出现在分子中，就可在光谱的某些局部地区出现相应的谱带。查阅主要特征基团频率及其强度的对照表可知：

1#和 2#共有的基团为 $-\text{CN}$ 、 $-\text{CH}_3$ 、 $-\text{CH}_2$ 等，而 1#比 2#多了一个特征谱带为 1732 的特征基团：羰基。从光谱图中可以看出 1#氰基基团的光谱强度较 2#的更显著，表明，1#样品的大分子链聚合程度比 2#更加充分，聚合程度更高，相对分子量更大。

2.1.2.3 纤维的 X 衍射对比分析

仪器：X 射线衍射仪

型号：D/Max-2550 PC 生产厂家：日本 Rigaku

主要技术指标：

- 最大输出功率：18KW；
- 2θ 角测量范围： $0.5^\circ \sim 145^\circ$ ；
- 2θ 角测量准确性： $\leq 0.01^\circ$ ；

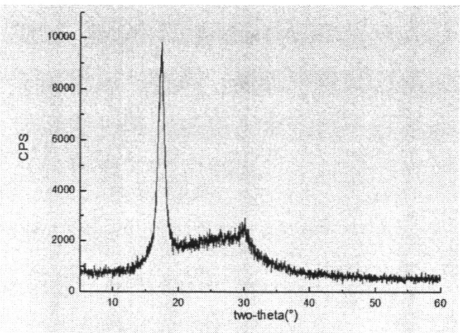


图 2-3 1# X 衍射测试图

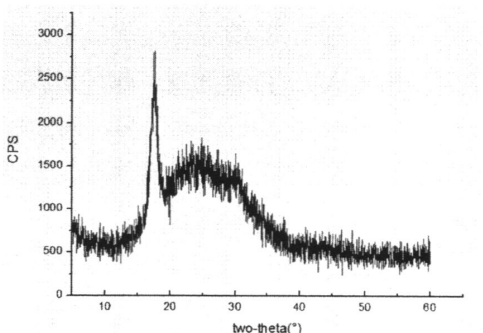


图 2-4 2# X 衍射侧视图

结论：对 1[#]和 2[#]进行 X 衍射分析的试验，主要目的是了解它们的结晶度情况，试验结果显示，1[#]结晶度为 55.88%，2[#]结晶度为 39.27%，1[#]结晶度比 2[#]高，所以 1[#]纤维强力更大，模量更大，这与前面的物理性能测试结果是一致的，而 1[#]的断裂伸长小于 2[#]的断裂伸长。

综上所述：1[#]和 2[#]亚克力纤维经过各项物理性能的测试，以及红外光谱和 X 射线衍射的测试，可以看出 1[#]亚克力纤维比 2[#]更好，所以选用 1[#]德国某公司生产的亚克力纤维作为下面生产亚克力复合针刺滤料的原料。

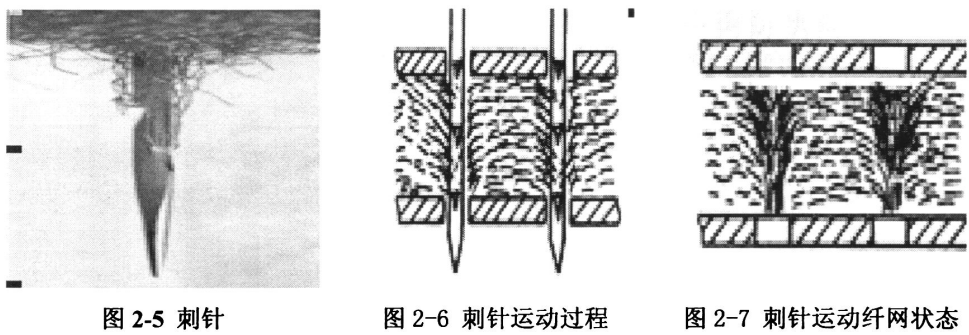
2.2 滤料的制备流程

2.2.1 针刺加固机理

使用截面为三角形且棱边带有钩刺的针，对蓬松的亚克力纤网先进行预针刺，然后再进行多道的主针刺，刺针刺入亚克力纤维网时，针刺上的钩刺就把表层以及里面的纤维穿过纤网层，使其在运动过程中相互穿插纠缠，同时由于摩擦力的作用使纤网受到压缩。针刺过程犹如许多的纤维束“销钉”钉入了纤网，使已经压缩的纤网不会再回复原状，这就制成了一定厚度和强力的亚克力针刺非织造材料^[31]。

针刺过程是由专门设计的针刺机来完成的，纤网由压网罗拉和输网帘握持喂入针刺区。针刺区由剥网板、托网板和针板等组成。刺针是镶嵌在针板上的，并随主轴和偏心轮的回转做上下运动，穿刺纤网。托网板起托持纤网作用，承受针刺过程中的针刺力；刺针完成穿刺加工做回程运动时，由于摩擦力会带着纤网一起运动，利用剥网板挡住纤网，使刺针顺利地从小网中退出，以便纤网作进给运动，因此剥网板起剥离纤网的作用。托网板和剥网板上均有与刺针位置相对应的孔眼以便刺针通过。在刺针过程中，纤网的运动由牵拉辊亦称输出辊传送。非织造材料是网络状结构，可加强载体相在流过滤材时的分散效应，因而使欲分离的粒子悬浮相有更多的机会与单纤维碰撞或粘附。非织造过滤材料中的纤维呈三维随机排列结构，除能提高过滤效率之外，还具有提高载体相的流动速度，加快过滤过程的特点。纤维越细，滤材密度越高，其过滤效率越高，同时，也增加了过滤阻力。因此，滤材结构采用不同的密度梯度和不同纤维密度时，其过滤性能和使用周期显著提高。对于液体过滤，滤材的孔隙度越大，相同压差下通过的流量越大，越有利于液相过滤。

刺针运动过程以及运动后纤网状态如图 2-5、2-6、2-7。



亚克力生产工艺流程图如图 2-8 所示。

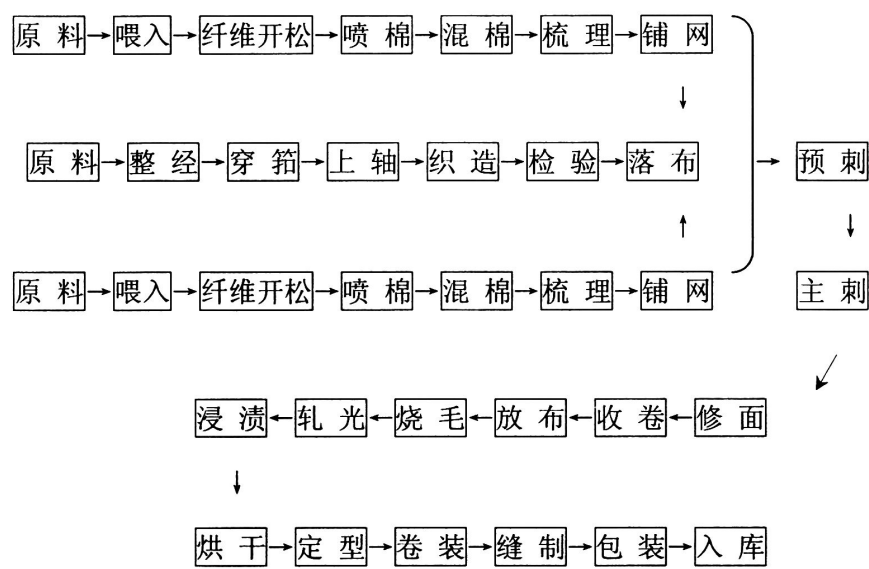


图 2-8 亚克力滤料生产工艺流程图

东方公司 2 号线和 6 号线设备分别如图 2-9、2-10 所示。

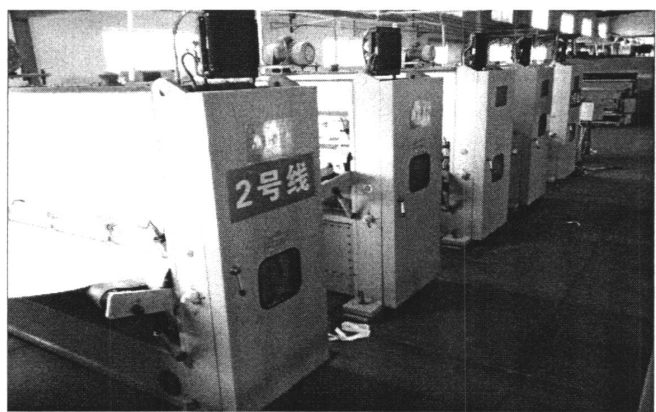


图 2-9 东方公司 2 号主针刺生产线

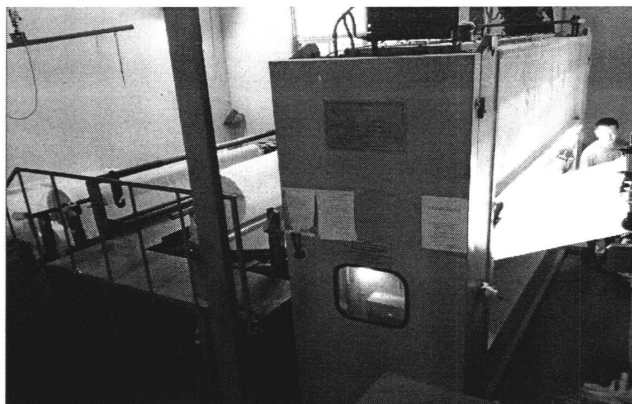


图 2-10 东方公司 6 号主针刺生产线

2.2.2 基布生产工艺流程

在过滤材料中，基布是维持滤料三维结构和强力的基本组织结构，可靠的基布是滤袋正常使用的保障。针刺毡过滤材料的强力主要是依靠于基布来提供。如图 2-11。

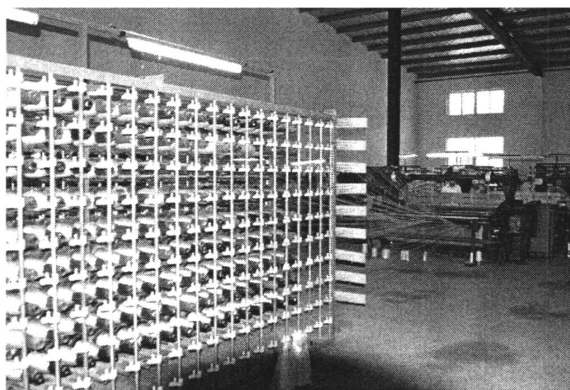


图 2-11 滤料基布生产车间

基布的作用相当重要。本课题研究的亚克力针刺复合滤料应用工况条件较复杂，对基布的强力保持率要求高，因此选用质量优异的亚克力纱线来制作亚克力基布，其抗氧化、抗酸碱能力强，热收缩率低，尺寸稳定性好，在 130℃ 工况下常年应用，不会因高温而导致袋子收缩，延长了滤袋的使用寿命。

本课题的亚克力基布和涤纶基布如图 2-12 和 2-13 所示。

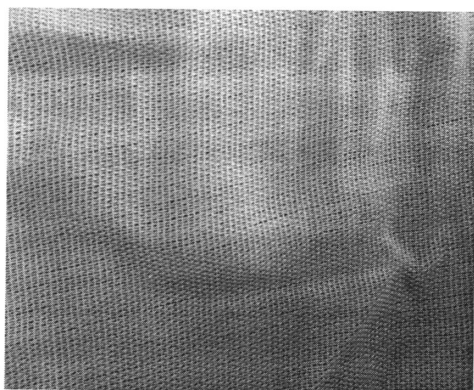


图 2-12 亚克力基布实拍图

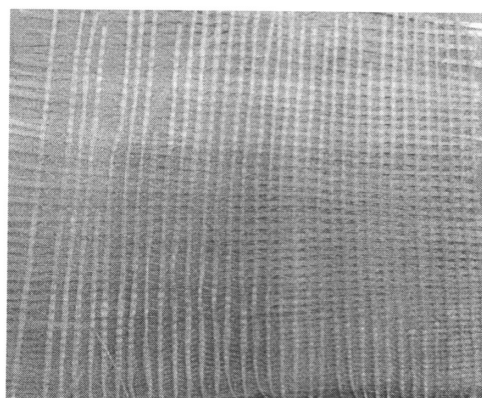


图 2-13 涤纶基布实拍图

2.2.3 开松混合

开松混合是通过喂入机将亚克力纤维进行喂入，不断的对原料开松，混合，使纤维变成均匀，为了防止静电的产生，可以加入一些防静电的油剂。开松混合的目的是为梳理做准备工作的，均匀混合后的纤维，进入梳理机，梳理起来更加容易，纤网更加均匀，平滑，抱合性更好。机器是 LD20A-120 粗开松机，LD80-160 20m³ 混棉箱，LD20A-120 精开松机，设备如图 2-14。

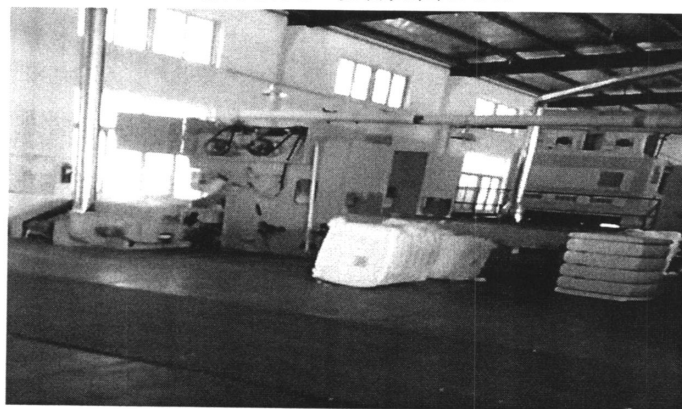


图 2-14 开松混合设备

2.2.4 梳理工艺

本课题的阿斯兰梳理机是双锡林-双道夫-双凝聚式梳理机设备，其结构原理和实际生产设备见图 2-15、2-16。这种梳理机对长纤维损伤小，基本上没有短纤维输出，充分利用工作罗拉对纤维的分梳、凝聚与剥取罗拉的剥取、返回，纤维产生分梳和混合作用，达到高速高产。实验中主要参数配置如表 2-2 所示。

表 2-2 实验用梳理机主要参数配置

齿密配置	齿/25.4mm ²	转速配置	r/min
主锡林齿密	428	主锡林转速	650
胸锡林齿密	126	刺辊转速	80
上下道夫齿密	420	上下道夫转速	50

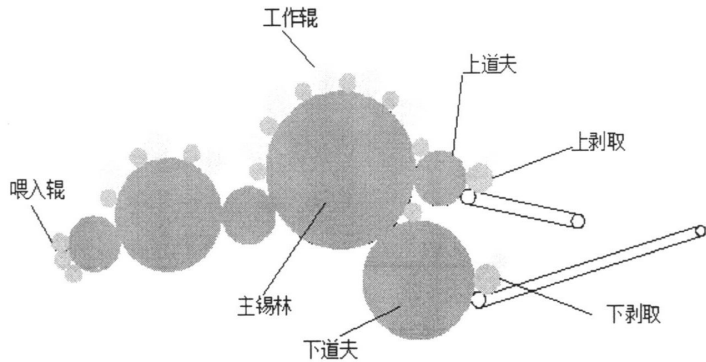


图 2-15 梳理工艺结构原理图

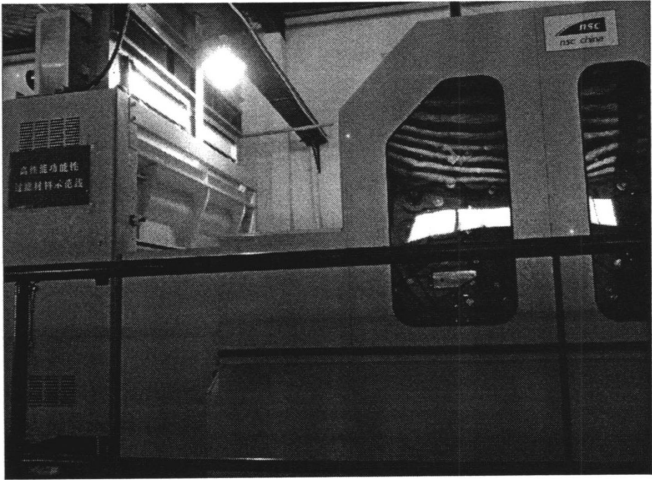


图 2-16 东方公司阿斯兰梳理机设备图

2.2.5 交叉铺网

本实验采用交叉折叠铺网机，将梳理机连续不断输出的纤网通过铺网机的往复运动铺成一定幅宽和一定层数的蓬松纤网，并随底帘进入针刺加固区。其铺网层数 M 可近似用下式表示：

$$M = \frac{W \times V_2}{L \times V_3}$$

式中：W——道夫输出的薄纤网宽度（m）

V_2 ——铺网帘的往复速度（m/min）

L——纤网宽度（m）

V_3 ——成网帘的移动速度（m/min）

铺网的均匀度是影响非织造材料质量的一项重要指标。本实验铺网层数为10~12层，面密度在150~250g/m²，铺网的均匀度较好。实验采用YBG259型夹持式铺网机

技术规格：

输入幅宽：1.5~3.2m

输出幅宽：2.2~6.6m

输入速度：≤60m/min

输出速度：0.6~6m/min

结构特点：碳帘全夹持输网，PVC底帘输出，光电随动纠边，伺服传动，具有横向纤网轮廓曲线整形功能。交叉铺网机下图2-17。



图 2-17 交叉铺网机设备

2.2.6 主要工艺参数

2 号线工艺参数如表 2-3。

表 2-3 2 号线针刺工艺参数

	针刺密度/c · cm ⁻²	针刺频率/c · min ⁻¹	步进量/mm · step ⁻¹	针刺深度/mm
1#预刺	170	806	2.9	+10.8
2#倒刺	170	782	2.9	+10.5
3#正刺	225	828	2.8	+10.1
4#倒刺	240	856	2.6	+8.3
5#正刺	310	872	2.6	+5.0

6 号线工艺参数如表 2-4。

表 2-4 6 号线针刺工艺参数

	针刺密度/c · cm ⁻²	针刺频率/c · min ⁻¹	步进量/mm · step ⁻¹	针刺深度/mm
1#预刺	150	819	3.3	+9.5
2#倒刺	160	858	3.1	+10.4
3#正刺	205	932	3.0	+9.7
4#倒刺	210	944	3.0	+8.7
5#正刺	230	969	2.9	+8.4
6#倒刺	230	959	2.9	+7.2
7#正刺	280	973	2.9	+4.2

2 号线主针刺线采用的是 5 道针刺工艺，而 6 号线主针刺线采用的是 7 道针刺工艺，其中 6 号线比 2 号线多 2 道主针刺机，从表 2-3 和 2-4 可以看出来，2 号线的各针刺机的针刺密度要比 6 号线要稍大一些，是因为 2 号线少了 2 道针刺工艺，增大针刺密度，可以适当提高 2 号线布样的布样强力；2 号线的针刺深度相比于 6 号线的针刺深度，要稍微高一些，主要是为了让 2 号线布样中纤维缠结抱合的更加充分，布样表面更加均匀和平整。

2.3 生产实习过程中所解决的问题

2.3.1 电子织物强力机自动夹持和手动夹持所测数据分析

实习期间，东方公司的一台从温州方圆仪器购买的电子织物强力机，在使用期间，自动夹持和手动夹持所测数据差距较大，为了确定数据的准确性，我对这台仪器自动夹持状态和手动夹持状态测得的数据进行比较分析。此处不考虑预压力，如表 2-5。

表 2-4 自动夹持和手动夹持数据比较

基布材质		断裂强力/N		断裂伸长率/%	
		手动	自动	手动	自动
PPS	纵向	525	479	22.1	21.8
	横向	300	290	31	23
PTFE	纵向	1003	901	12	12.3
	横向	709	704	11.9	11.5
芳纶	纵向	546	353	25	27.5
	横向	304	247	22.6	22.1
玻纤	纵向	1100	759	2.8	3.7
	横向	900	510	2.5	2.7

从表 2-4 的数据可以得出：

自动夹持方式测出的数据均比手动加持方式的要小。然后用另外一台南通宏大的设备测试同样的材料，其结果与本表中手动夹持测试结果基本一致，所以，可以得出自动夹持所测试的网布强力结果不准确，而手动夹持的测试结果相对准确。

- 综合分析出现类似问题的几点原因和解决方法：
- （1）机器本身的误差自动夹持的网布断裂不充分，手动夹持的网布断裂充分。建议使用自动夹持装置。
 - （2）严格按照测试标准进行测试，如标准要求选取宽度为 5mm 的样品进行测试，而如果所裁剪布样宽度超过 5mm，就会出现误差，则数据会较实际结果偏大。
 - （3）严格按照测试标准进行测试，每个样品的纵横向都要进行 5 组测试，如果组数小，则所测数据也会不精确。
 - （4）在选取基布时，注意剪取纵横向规整的基布进行测试，千万注意不能拉扯基布，否则会影响数据的准确性。

2.3.2 东方公司的亚克力滤袋与戈尔公司亚克力滤袋的性能对比

此次试验分析的目的是将东方公司生产的亚克力滤料与国外公司的产品进行对比，充分认识本公司产品存在的优势和不足，以便更好地改善产品质量，从而适应市场的需求。戈尔公司亚克力滤袋和东方公司亚克力滤袋的基本性能对比如表 2-5 所示。

表 2-5 戈尔亚克力滤袋和东方滤袋基本性能对比

		戈尔亚克力滤袋	东方亚克力滤袋
透气性 ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}$)		4.34	4.97
拉伸强力(N)	纵向	812	1128
	横向	728	823
断裂伸长率(%)	纵向	10.4	10.1
	横向	26.3	29
厚度(mm)		2.1	2.4
克重(g)		535	575

从表 2-5 的数据可以看出来：

(1) 戈尔亚克力滤袋与东方亚克力滤袋相比较而言，两者的透气性没有较大的差距。

(2) 再比较它们的拉伸断裂强力，戈尔亚克力滤袋的纵向断裂强力明显要比东方亚克力滤袋的断裂强力要小很多，而其横向断裂强力也较东方亚克力滤袋要小，说明与外国戈尔公司亚克力滤袋相比，东方亚克力滤袋的拉伸断裂强力还是比较强的。

(3) 断裂伸长率方面，戈尔亚克力滤袋纵向断裂伸长率为 10.4%，东方亚克力滤袋为 10.1%，两者是差不多的，而戈尔亚克力滤袋横向断裂伸长率为 26.3%，东方亚克力滤袋横向断裂伸长率为 29%，东方亚克力滤袋要稍微大一些。

(4) 克重方面，东方亚克力滤袋为 2.4mm，而戈尔亚克力滤袋为 2.1mm，东方亚克力滤袋的厚度略大

(5) 东方亚克力滤袋的克重为 575g，戈尔亚克力滤袋的克重为 535g，东方亚克力滤袋较大，但是从测试时的数据发现，东方亚克力滤袋的 CV 值要比戈尔亚克力滤袋要大，说明在布样均匀性和质量稳定性方面，东方公司还有待加强。

2.4 本章小结

在生产制备亚克力滤袋之前，首先进行亚克力纤维原料的选择，从现有的两类亚克力纤维中，选取性能更好，更适合用来生产亚克力滤料的亚克力纤维原料。然后对自己在生产实习时遇到的问题进行了小结。从本节的各项试验数据可以得出以下结论：

(1) 首先测试了德国亚克力纤维和日本亚克力纤维的各项基本性能，如断裂强力、断裂伸长、初始模量、纤维卷曲率，从试验结果可以发现，德国亚克力纤维原料的性能相比于日本亚克力纤维来说更好，更加适合用来生产亚克力滤

料。然后再通过红外光谱技术和 X 衍射技术对这两种纤维进行微观分析，也发现了德国亚克力纤维原料的结晶度和取向程度要优于日本亚克力纤维，因此选取德国亚克力纤维作为此次课题亚克力滤料的纤维原料。

(2) 对于 2 号线和 6 号线主针刺设备的针刺参数来说，由于 2 号线主针刺线采用的是 5 道针刺工艺，而 6 号线主针刺线采用的是 7 道针刺工艺，其中 6 号线比 2 号线多 2 道主针刺机，所以在设备参数面板上，2 号线的各针刺机的针刺密度要比 6 号线要稍大一些，因为 2 号线少了 2 道针刺工艺，增大针刺密度，可以适当提高 2 号线布样的布样强力；而 2 号线的针刺深度相比于 6 号线的针刺深度，要稍微高一些，主要是为了让 2 号线布样中纤维缠结抱合的更加充分，布样表面更加均匀和平整。

(3) 实习期间，东方公司测试中心的一台电子织物强力机出现了问题，自动夹持方式测出的数据均比手动加持方式的要小，通过测试多种基布的强力，然后再用另外一台南通宏大的设备测试同样的材料，其结果与此电子织物强力机中手动夹持测试结果基本一致，所以，可以得出此电子织物强力机的自动夹持所测试的网布强力结果不准确，而手动夹持的测试结果相对准确。

(4) 东方亚克力滤袋和戈尔亚克力滤袋相比，它们的透气性和断裂伸长率是差不多的，而东方亚克力滤袋的拉伸强力、厚度和克重所测值要比戈尔亚克力滤袋要大，但是东方亚克力滤袋的各项数据的 CV 值较高，说明东方亚克力滤袋的均匀性和质量稳定性有待进一步提高。

第三章 亚克力滤料与涤纶滤料的耐硫酸性能比较

3.1 引言

本章主要对 2 号线（7 道主针刺）生产的亚克力针刺复合滤料和涤纶针刺复合滤料、6 号线（5 道主针刺）生产的亚克力针刺复合滤料的耐酸性能进行了对比研究。本试验采用一般通用的常见酸性溶液（硫酸溶液），于一定的温度和时间条件下，对这三类滤料进行腐蚀性试验。通过对比分析硫酸处理前后的物理机械性能指标，将 2 号线（7 道主针刺）生产的亚克力针刺复合滤料与涤纶针刺复合滤料进行对比，2 号线（7 道主针刺）生产的亚克力针刺复合滤料与 6 号线（5 道主针刺）生产的亚克力针刺复合滤料进行对比，研究同一生产线不同纤维原料制得的滤料耐酸性能以及不同生产线同种原料制得的滤料耐酸性能。

3.2 试验材料的制备

纤维原料：亚克力纤维，细度 2.2dtex，长度 60mm

涤纶纤维，细度 1.7dtex，长度 50mm，中国石化仪征公司生产。

加工设备：阿斯兰非织造针刺生产线一条，汕头三辉无纺主针刺生产线两条。

加工工艺：如图 3-1 所示：

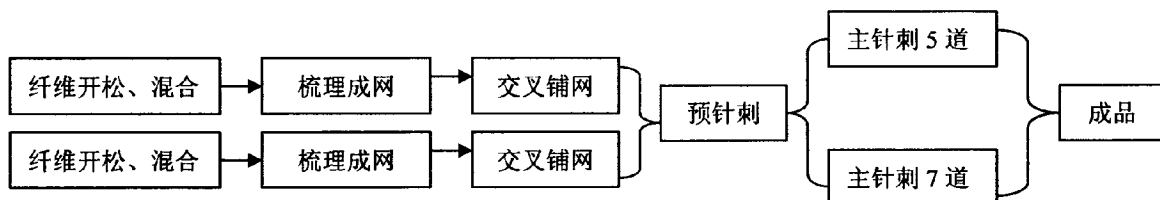


图 3-1 亚克力滤料、涤纶滤料生产工艺流程图

3.3 试验介绍

试验试样：

1[#]：主针刺 7 道的亚克力滤料

2[#]：主针刺 5 道的亚克力滤料

3[#]：主针刺 7 道的涤纶滤料

硫酸溶液处理试验条件：浓度分别为 10%、20%、30%和 40%的硫酸溶液，

温度为 85℃，时间为 2 小时。

试验过程：将浓硫酸溶液稀释配制好所需浓度的硫酸溶液，用圆铁片盖住烧杯，将烧杯放入水浴锅中加热到 85℃；然后将试样浸泡在硫酸溶液中，再用圆铁片盖住烧杯，放回水浴锅中，保持温度为 85℃，处理 2 小时；最后，将试样从烧杯中取出清洗、烘干并在恒温恒湿实验室调湿后进行相关指标的测试。

试验所需工具与设备：刻度尺、烘箱、剪刀、浓硫酸溶液、蒸馏水、烧杯、量筒、玻璃棒、数字天平、温度计、DK-S28 型电热恒温水浴锅、YG141N 数字织物厚度仪、YG065 型电子织物强力仪等。

3.4 试验测试

3.4.1 断裂强力及断裂伸长测试

参考标准：FZ/T 60005-91 非织造布断裂强力及断裂伸长的测定

试验设备：YG065 型电子织物强力仪

测试结果如表 3-1、3-2：

表 3-1 硫酸溶液浓度对滤料纵向力学性能的影响						
硫酸溶液浓度	0%	10%	20%	30%	40%	
1 [#]	断裂强力 (N)	1311	1389	1328	1289	1215
	断裂伸长 (%)	16.1	15.8	15.4	15.4	14.7
2 [#]	断裂强力 (N)	1163	1250	1190	1180	1090
	断裂伸长 (%)	15.5	15.9	15.5	15.4	14.3
3 [#]	断裂强力 (N)	1250	1274	1068	904	750
	断裂伸长 (%)	11.6	11.6	13.4	14.9	14.8

表 3-2 硫酸溶液浓度对滤料横向力学性能的影响

硫酸溶液浓度	0%	10%	20%	30%	40%	
1 [#]	断裂强力 (N)	838	942	1023	945	811
	断裂伸长 (%)	36.4	34.2	36.8	34.4	36.5
2 [#]	断裂强力 (N)	1124	1259	1355	1280	1150
	断裂伸长 (%)	41.8	42.9	41.7	43.8	42.5
3 [#]	断裂强力 (N)	1457	1528	1243	1179	1045
	断裂伸长 (%)	23.2	27.5	20.4	18.6	18.8

1[#]与 2[#]进行对比。它们纵向的断裂强力和断裂伸长率随硫酸溶液浓度增大而变化的趋势如图 3-2、3-3 所示。它们的横向断裂强力和断裂伸长率随硫酸溶液浓度的变化趋势如图 3-4、3-5 所示。

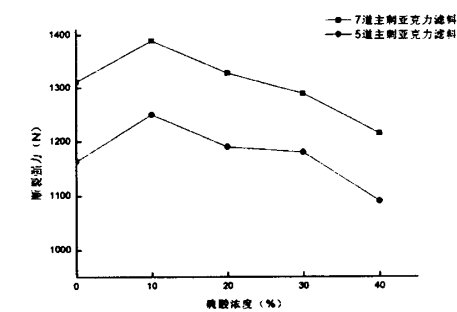


图 3-2 亚克力滤料纵向断裂强力随硫酸浓度的变化趋势图

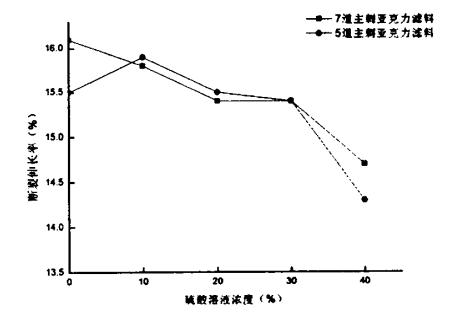


图 3-3 亚克力滤料纵向断裂伸长率随硫酸浓度的变化趋势图

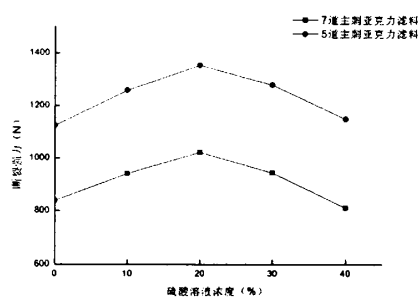


图 3-4 亚克力滤料横向断裂强力随硫酸浓度的变化趋势图

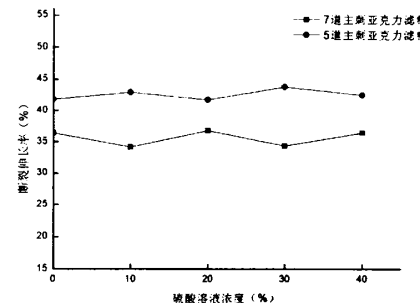


图 3-5 亚克力滤料横向断裂伸长率随硫酸浓度的变化趋势图

1[#]和3[#]进行对比。它们的纵向的断裂强力和断裂伸长率随硫酸溶液浓度变化的趋势如图 3-6、3-7 所示。它们的横向断裂强力和断裂伸长率随硫酸溶液浓度增大而变化的趋势如图 3-8、3-9 所示。

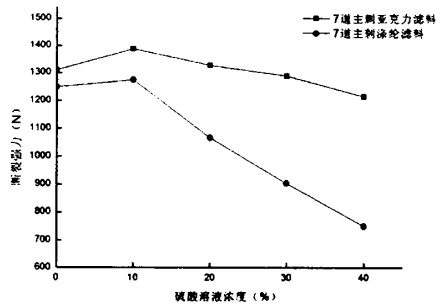


图 3-6 亚克力和涤纶滤料纵向断裂强力随硫酸浓度变化趋势图

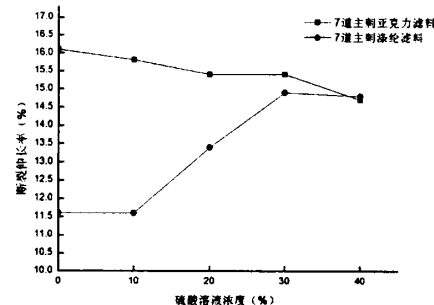


图 3-7 亚克力和涤纶滤料纵向断裂伸长率随硫酸浓度变化趋势图

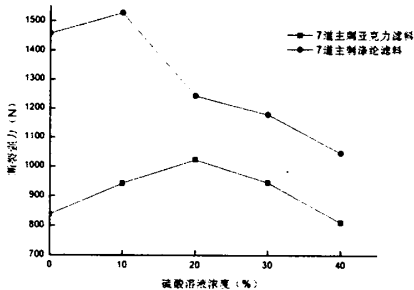


图 3-8 亚克力和涤纶滤料横向断裂强力随硫酸浓度变化趋势图

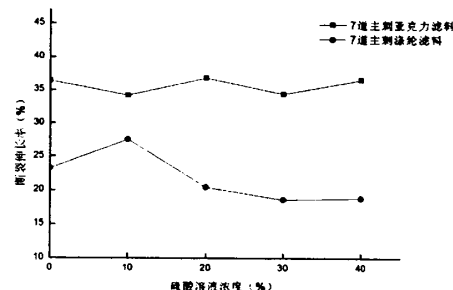


图 3-9 亚克力和涤纶滤料横向断裂伸长率随硫酸浓度变化趋势图

从表 3-1 至 3-2 以及图 3-2 至 3-9 可以看出：

(1) 未经硫酸溶液处理时, 1[#]的纵向断裂强力大于 2[#], 是因为 1[#]亚克力滤料是由 7 道主针刺机生产, 而 2[#]是由 5 道主针刺机生产, 随着主针刺道数的增加, 布样的纤维抱合更加紧密, 纤维缠结状态比 5 道主针刺后布样的纤维缠结状态理想。所以 1[#]的纵向断裂强力大于 2[#]; 然而 2[#]的横向断裂强力大于 1[#], 是因为 6 号线的主针刺机横向握持不充分, 张力不够大, 因此随着主针刺道数的增加, 6 号线生产的纤网横向断裂强力出现了下降的趋势。

1[#]和 2[#]的布样的纵向断裂强力都高于各自的横向断裂强力, 特别是 1[#]布样; 纵向断裂伸长率都低于各自的横向断裂伸长率。这与加工过程中, 纤维在针刺非织造布中的排列方向是有关的。本试验布样中, 纤维主要排列的方向沿着纵向排列, 使得布样纵向的断裂强力更大, 这可能是因为在交叉铺网机铺网时, 纤维网受到牵伸力的作用, 再加上卷棍张力作用的结果。

(2) 通过不同梯度浓度的硫酸溶液浸泡处理, 1[#]和 2[#]布样纵向断裂强力都在 10%硫酸浓度时上升, 然后都随着硫酸浓度的增大而下降, 下降幅度较大, 强力损失较严重; 1[#]和 2[#]布样横向断裂强力先递增后下降, 以 20%硫酸溶液浓度为分界点, 硫酸浓度高于 20%时, 强力下降; 1[#]和 2[#]布样纵向断裂伸长率经过硫酸处理后, 下降严重, 而 1[#]和 2[#]布样横向断裂伸长率波动很小, 基本无变化。

对于 1[#]和 2[#]布样在 10%和 20%浓度水平, 即低浓度水平, 布样的断裂增加值大。《芳砵纶针刺非织造布耐酸性能研究》一文中也报到了硫酸溶液使布样中亚克力纤维变细使得纤维间缠结效应增大, 并且这一效应大于硫酸溶液降低纤维强力的效应, 本论文现象与此类似。通过下面的电镜测试, 也可以清晰看出滤料在经过硫酸溶液处理之后, 纤维之间的抱合与缠结更加充分。

(3) 1[#]和 3[#]布样对比后可发现, 3[#]在 10%浓度水平时, 断裂强力也有提升, 然而随着硫酸浓度的增加, 其强力损失很严重, 表明 3[#]涤纶滤料不能在耐高浓度的酸性环境中使用, 而 1[#]亚克力滤料在 40%硫酸浓度时, 仍有较高的强力保持率, 在高浓度的酸性环境下, 有良好的使用性能和价值。

3.4.2 收缩率测试

参考标准: GB/T 4667 机织物幅宽的测定

试验结果如表 3-3 所示。

从表 3-3 可以看出:

(1) 对于 1[#]和 2[#]亚克力滤料, 硫酸溶液的浓度越高, 布样的纵向收缩幅度越大, 且在 40%浓度时尺寸收缩幅度最大, 而 1[#]和 2[#]横向尺寸收缩幅度随着硫酸溶液浓度的增加基本无变化, 表明 1[#]和 2[#]亚克力滤料的横向尺寸在不同酸性条件下有较好的尺寸保持率, 而纵向尺寸随着浓度增加而收缩幅度增大。

(2) 1[#]和 3[#]相比, 3[#]涤纶滤料纵向和横向尺寸都随着硫酸浓度变化而逐渐

降低，而且幅度较大，可见当酸性溶液浓度不断增大时，3[#]涤纶滤料的尺寸收缩越严重，不能像亚克力滤料一样保持较高的纵横向尺寸保持率，由此可见，涤纶滤料是不适合应用在高浓度的酸性环境中。

表 3-3 硫酸溶液浓度对滤料纵横向尺寸的影响

硫酸溶液浓度		0%	10%	20%	30%	40%
1 [#]	纵向长度（mm）	200	199.0	198.5	198.5	197.5
	横向长度（mm）	200	200	200	199.5	200
2 [#]	纵向长度（mm）	200	200	199.5	198.5	198
	横向长度（mm）	200	200	200	200	200
3 [#]	纵向长度（mm）	200	198.5	197.5	196.5	196.0
	横向长度（mm）	200	198.0	198.5	197.5	197.0

3.4.3 厚度测试

参考标准：FZ/T60004 非织造布厚度测试标准

试验设备：YG141N 字式织物厚度仪

试验结果如表 3-4 所示。

表 3-4 硫酸溶液浓度对滤料厚度的影响

硫酸溶液浓度		0%	10%	20%	30%	40%
	1 [#]	2.99	3.20	3.05	2.88	2.75
厚度（mm）	2 [#]	2.88	3.15	3.08	2.91	2.80
	3 [#]	2.05	2.15	2.09	1.95	1.91

主刺 7 道的亚克力针刺复合滤料与主刺 5 道的亚克力针刺复合滤料进行对比，厚度大小随硫酸溶液浓度增大而变化的趋势如图 3-10。

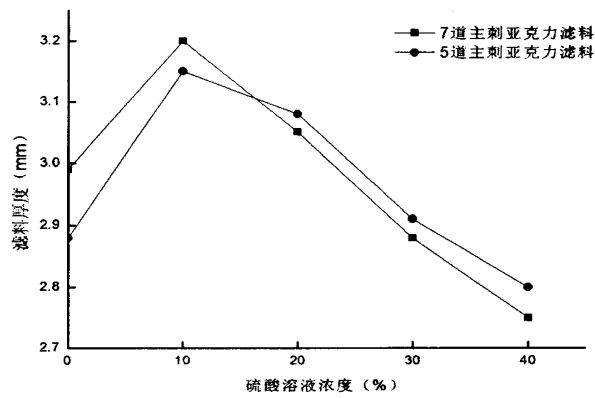


图 3-10 亚克力滤料厚度随硫酸浓度变化的趋势图

主刺 7 道的亚克力针刺复合滤料与主刺 7 道的涤纶针刺复合滤料进行对比，厚度大小随硫酸溶液浓度增大而变化的趋势如图 3-11。

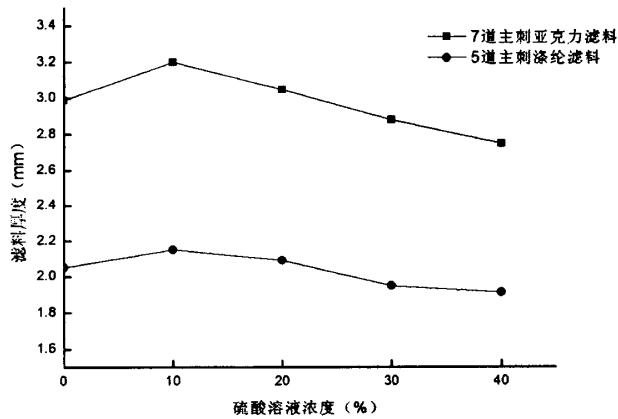


图 3-11 亚克力和涤纶滤料厚度随硫酸浓度变化的趋势图

从表 3-4 及图 3-10 至 3-11 可以看出：

(1) 1[#]和 2[#]亚克力滤料经过不同浓度硫酸溶液处理后，主刺 7 道和主刺 5 道布样的厚度值总体呈下降趋势，但是在低浓度 10%水平时，厚度都有一个上升的变化，这与针刺非织造布的加工工艺有关，纤网本身是三维立体结构，当浸泡在酸性溶液中，此时低浓度的硫酸对纤网的腐蚀损伤作用并不明显，而纤维层吸收大量溶液后，加上 85℃温度的作用，会导致纤维层的膨胀，从而导致厚度增加。总体来说，经过浓度为 10%~40%的硫酸溶液处理后，1[#]和 2[#]的厚度呈下降趋势，但下降幅度不大，厚度保持率较高。

(2) 在四个硫酸溶液浓度水平之上，3[#]相对于1[#]的变化趋势就不那么明显了，表现得相当平滑，但还是可以看出，呈现略微上升然后下降的趋势。表明硫酸溶液对亚克力滤料厚度指标的影响比涤纶滤料的影响要大一些。

3.4.4 孔径测试

参考标准：GB/T 2679.14 非织造布孔径测试标准

试验设备：Capillar Flow Porometer CFP-1100-AI

试验结果如表 3-5 所示。

表 3-5 硫酸溶液浓度对滤料孔径大小的影响

硫酸溶液浓度		0%	10%	20%	30%	40%
1 [#]	平均孔径(μm)	13.0	25.5	35.2	40.0	24.5
	泡点直径(μm)	57.0	54.3	49.9	46.5	40.4
2 [#]	平均孔径(μm)	16.0	27.6	36.2	41.0	30.5
	泡点直径(μm)	59.7	56.5	51.4	47.0	42.1
3 [#]	平均孔径(μm)	19.4	21.0	24.4	23.9	23.3
	泡点直径(μm)	40.2	42.1	40.7	42.2	44.9

主刺 7 道的亚克力针刺复合滤料与主刺 5 道的亚克力针刺复合滤料进行对比，平均孔径随硫酸溶液浓度增大而变化的趋势如图 3-12。泡点直径随硫酸溶液浓度增大而变化的趋势如图 3-13。

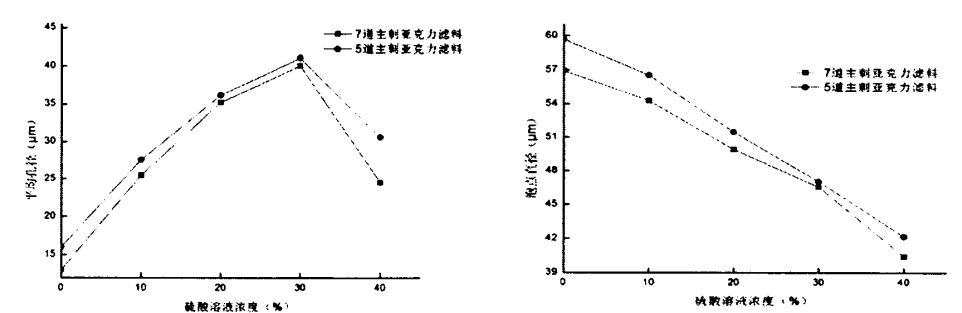


图 3-12 亚克力滤料平均孔径随硫酸浓度的变化趋势图

图 3-13 亚克力滤料泡点直径随硫酸浓度的变化趋势图

主刺 7 道的亚克力针刺复合滤料与主刺 7 道的涤纶针刺复合滤料进行对比，平均孔径随硫酸溶液浓度增大而变化的趋势如图 3-14，泡点直径随硫酸溶液浓度

增大而变化的趋势如图 3-15。

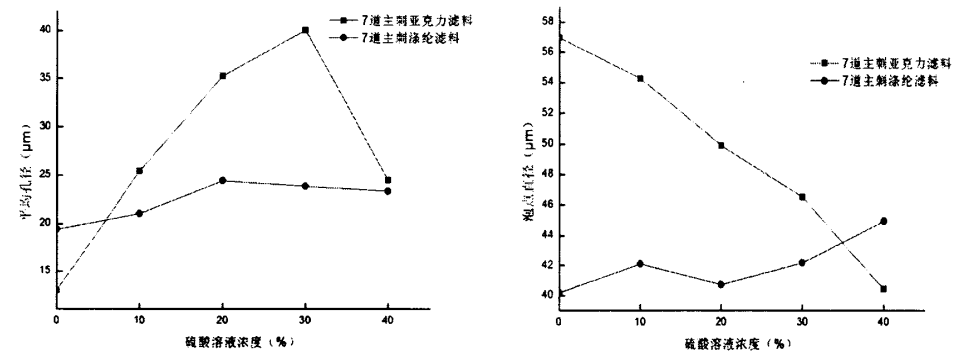


图 3-14 亚克力和涤纶滤料平均孔径随硫酸浓度的变化趋势图

图 3-15 亚克力和涤纶滤料泡点直径随硫酸浓度的变化趋势图

从表 3-5 及图 3-12 至 3-15 可看出：

- (1) 对比 1[#]和 2[#]，主刺 7 道布样的平均孔径小于主刺 5 道布样的平均孔径，这是由于经 7 道主针刺加工后，布样中的纤维抱合更加紧密，致使主刺 7 道亚克力滤料的平均孔径较小。
- (2) 亚克力滤料经硫酸溶液处理以后，主刺 7 道、5 道布样的平均孔径相比各自的对照样呈上升的趋势，且上升幅度较大，然后随着浓度的增加，平均孔径大小下降。在本项目的上阶段试验中，已发现在硫酸溶液处理后，布样中的亚克力纤维会呈现纤维直径变细的现象。亚克力纤维直径变细导致布样中的平均孔径出现增大现象。而随着硫酸浓度的增加，平均孔径之所以会下降，针对这一问题，需要通过下阶段的扫描电镜测试分析才能给出理论结果。
- (3) 3[#]涤纶滤料相比 1[#]亚克力滤料而言，平均孔径随硫酸溶液变化的趋势比较平缓，但还是可以看出呈现先上升后下降的趋势，表明硫酸溶液对涤纶滤料的平均孔径的影响不是很大。

3.4.5 扫描电镜测试

试验仪器：日立 TM-1000 台式扫描电镜。对未经硫酸溶液处理的 7 道主刺亚克力滤料、5 道主刺亚克力滤料、7 道主刺涤纶滤料以及上述滤料经 40%硫酸溶液处理的试样进行扫描电镜测试。结果如图 3-16 至 3-21 所示。

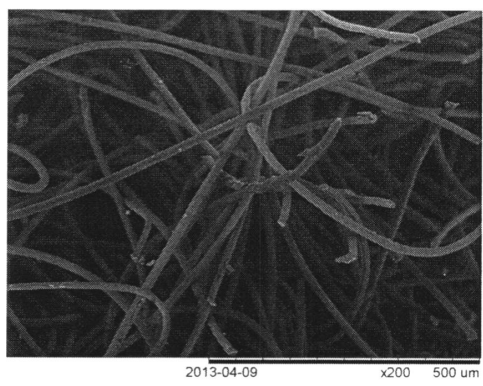


图 3-16 未经硫酸溶液处理的 1[#](7 道主刺亚克力滤料)

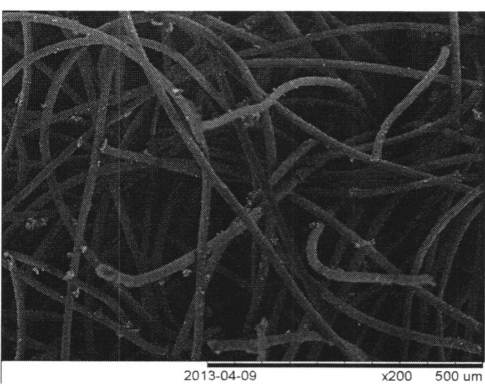


图 3-17 经 40%硫酸溶液处理的 1[#](7 道主刺亚克力滤料)

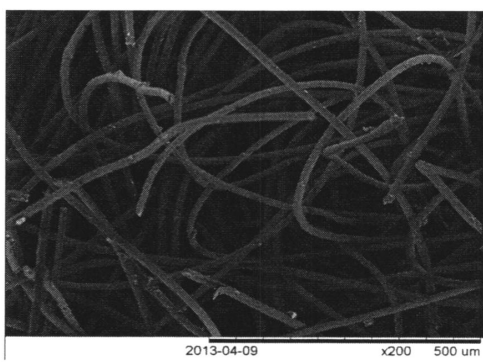


图 3-18 未经硫酸溶液处理的 2[#](5 道主刺亚克力滤料)

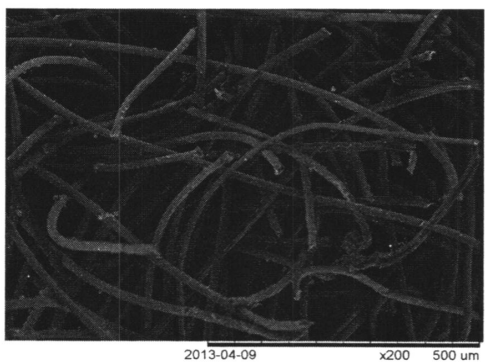


图 3-19 经 40%硫酸溶液处理的 2[#](5 道主刺亚克力滤料)

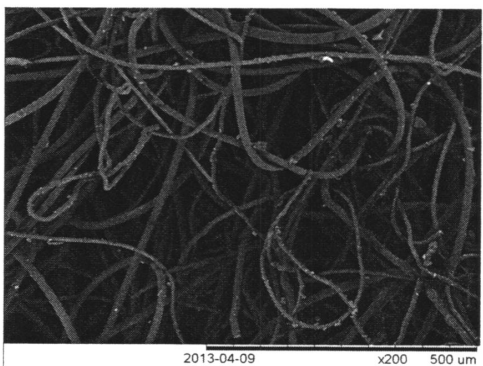


图 3-20 未经硫酸溶液处理的 3[#](7 道主刺涤纶滤料)

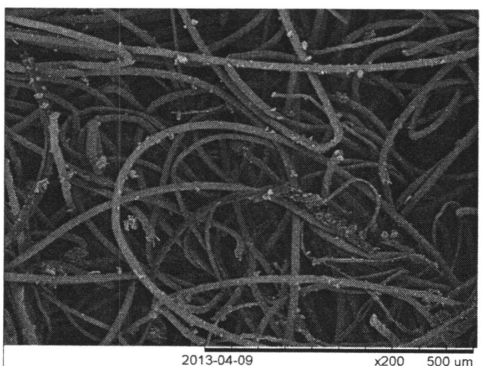


图 3-21 经 40%硫酸溶液处理的 3[#](7 道主刺涤纶滤料)

从图 3-16 至图 3-21 可以看出来：

(1) 未经硫酸溶液处理的 1[#]纤维缠结相比 2[#]而言, 更加紧密, 抱合更加充分, 表明随着主针刺道数的增加, 纤维与纤维之间穿插纠缠的更好, 摩擦力更大, 从而布样的断裂强力也随之增大。

(2) 通过扫描电镜图可以看出, 经过 40%硫酸溶液处理后的 1[#]、2[#]、3[#], 腐蚀程度各不相同, 其中 3[#]涤纶滤料最为严重, 纤维之间出现很多腐蚀反应物质, 1[#]和 2[#]的腐蚀程度就不是很明显了, 表明亚克力纤维耐高浓度的硫酸溶液, 而涤纶滤料不能在高浓度的酸性环境下使用。

(3) 上阶段孔径试验中, 当硫酸浓度较高时, 1[#]和 2[#]的平均孔径出现下降的趋势, 根据扫描电镜图, 一方面是由于硫酸的腐蚀作用, 使得亚克力纤维之间产生了反应颗粒物质, 另一方面, 亚克力滤料在硫酸溶液处理后, 纤维与纤维之间的抱合更加紧密, 缠结更加充分, 这两种因素的相互作用也许是导致它们平均孔径下降的原因。

3.5 本章小结

为了指导亚克力滤料的实际应用, 本章模拟研究了两种成形工艺亚克力滤料经不同浓度硫酸处理后, 其拉伸断裂强力、断裂伸长率、收缩率、厚度、孔径等性能的保持率, 并和涤纶滤料做了对比研究, 得出如下结论:

(1) 未经硫酸溶液处理时, 主针刺 7 道的亚克力滤料纵向断裂强力大于主针刺 5 道的亚克力滤料, 而主针刺 7 道的亚克力滤料横向断裂强力小于主针刺 5 道的亚克力滤料; 在四个硫酸浓度水平上, 当硫酸在 10%和 20%低浓度时, 亚克力滤料纵向和横向断裂强力增加值较大, 当硫酸在 40%高浓度时, 断裂强力呈现下降的态势, 但是仍保持较高的断裂强力保持率。

主针刺道数同为 7 道的涤纶滤料和亚克力滤料相比而言, 涤纶滤料的断裂强力也是呈现低浓度上升, 高浓度时下降的趋势, 但是涤纶的强力损失非常严重, 尤其是 40%硫酸浓度水平时, 处于最低值。这说明亚克力滤料在低浓度和高浓度硫酸溶液中, 能保持较高的断裂强力保持率, 而涤纶滤料在高浓度的硫酸溶液中, 断裂强力的损失较严重。

(2) 对亚克力滤料而言, 硫酸溶液的浓度越高, 布样的纵向收缩幅度越大, 且在 40%浓度时尺寸收缩幅度处于最大值, 然而它们的横向尺寸收缩幅度随着硫酸溶液浓度的增加基本无变化, 表明亚克力滤料的横向尺寸在不同酸性条件下有较好的尺寸保持率, 而纵向尺寸随着浓度增加而收缩幅度增大。

亚克力滤料和涤纶滤料相比而言, 涤纶滤料纵向和横向尺寸都随着硫酸浓度变化而逐渐降低, 而且幅度较大, 可见当酸性溶液浓度不断增大时, 涤纶滤料的尺寸收缩越严重, 不能像亚克力滤料一样保持较高的纵横向尺寸保持率, 由此可知, 涤纶滤料是不适合应用在高浓度的酸性环境中。

(3) 亚克力滤料经过不同浓度硫酸溶液处理后, 主刺 7 道和主刺 5 道布样的厚度值总体呈下降趋势, 但是在低浓度 10% 水平时, 厚度都有一个上升的变化, 这与针刺非织造布的加工工艺有关, 纤网本身是三维立体结构, 当浸泡在酸性溶液中, 此时低浓度的硫酸对纤网的腐蚀损伤作用并不明显, 而纤维层吸收大量溶液后, 加上 85℃ 温度的作用, 会导致纤维层的膨胀, 从而导致厚度增加。总体来说, 经过浓度为 10%~40% 的硫酸溶液处理后, 亚克力滤料的厚度呈下降趋势, 但下降幅度不大, 厚度保持率较高, 表明硫酸溶液对亚克力厚度影响程度不大。

在四个硫酸溶液浓度水平之上, 涤纶滤料相对于亚克力滤料的变化趋势就不那么明显了, 表现得相当平滑, 但还是可以看出, 呈现略微上升然后下降的趋势。表明硫酸溶液对涤纶滤料厚度指标的影响比亚克力滤料的影响要小一些。

(4) 对于亚克力滤料而言, 主刺 7 道布样的平均孔径小于主刺 5 道布样的平均孔径, 这是由于经 7 道主针刺加工后, 布样中的纤维抱合更加紧密, 致使主刺 7 道亚克力滤料的平均孔径较小。亚克力滤料经硫酸溶液处理以后, 主刺 7 道、5 道布样的平均孔径相比各自的对照样呈上升的趋势, 且上升幅度较大, 然后随着浓度的增加, 平均孔径大小下降。而随着硫酸浓度的增加, 平均孔径会下降, 说明硫酸溶液对亚克力滤料的孔径影响较大, 会直接影响滤料的过滤性能。涤纶滤料相比亚克力滤料, 平均孔径随硫酸溶液变化的趋势比较平缓, 但还是可以看出呈现先上升后下降的趋势, 表明硫酸溶液对涤纶滤料的平均孔径的影响不是很大。

(5) 通过扫描电镜发现, 亚克力滤料在高浓度硫酸溶液中受到的腐蚀程度要明显小于涤纶滤料, 主针刺 7 道亚克力滤料的纤维缠结抱合比主针刺 5 道亚克力滤料更加充分, 这也是导致前者断裂强力大的原因。

(6) 综合本章试验数据, 初步可以得出以下结论: 亚克力针刺复合滤料和涤纶针刺复合滤料分别在相当于硫酸溶液 ($\leq 40\%$) 和硫酸溶液 ($\leq 20\%$) 的情况下, 是可以作为烟气除尘过滤材料的。

第四章 亚克力滤料与涤纶滤料的耐烧碱性能比较

4.1 引言

本章主要是通过试验，来探讨一下亚克力滤料和涤纶滤料的耐碱性能，亚克力滤料和涤纶滤料都是经过阿斯兰梳理机梳理，相同预针刺设备和主刺设备，主刺道数均为 7 道生产出来的针刺滤料，通过将这两种滤料浸泡到不同梯度浓度的氢氧化钠溶液中，然后比较各自基本物理机械性能的变化得出亚克力滤料和涤纶滤料的耐碱性。

4.2 试验介绍

试验试样：亚克力针刺复合滤料（主刺 5 道和主刺 7 道）和涤纶针刺复合滤料（主刺 7 道）。

NaOH 溶液处理试验条件：浓度分别为 10%、20%、30%和 40%的 NaOH 溶液，常温下，浸泡处理时间为 2 小时。

试验过程：将 NaOH 溶液稀释配制好所需浓度的 NaOH 溶液，用圆铁片盖住烧杯，因为烧碱固体溶于水时放出很多的热量，所以要先将配制好的 NaOH 溶液冷却一段时间，然后将试样浸泡在 NaOH 溶液中，再用圆铁片盖住烧杯，保持常温状态，浸泡处理 2 小时；最后，将试样从烧杯中取出清洗、烘干并在恒温恒湿实验室调湿后进行相关指标的测试。

试验所需工具与设备：刻度尺、烘箱、剪刀、固体烧碱、蒸馏水、烧杯、量筒、玻璃棒、数字天平、温度计、DK-S28 型电热恒温水浴锅、YG141N 数字织物厚度仪、YG065 型电子织物强力仪等。

4.3 试验测试

4.3.1 断裂强力及断裂伸长测试

参考标准：FZ/T 60005-91 非织造布断裂强力及断裂伸长的测定

试验设备：YG065 型电子织物强力仪

测试结果如表 4-1、4-2 所示。

表 4-1 烧碱溶液浓度对滤料纵向力学性能的影响

烧碱溶液浓度		0%	10%	20%	30%	40%
1 [#]	断裂强力 (N)	1311	1402	1335	1299	1230
	断裂伸长 (%)	16.1	18.2	16.8	16.0	16.5
2 [#]	断裂强力 (N)	1163	1298	1187	1150	1106
	断裂伸长 (%)	15.5	16.0	15.3	15.0	14.8
3 [#]	断裂强力 (N)	1250	1233	1180	1126	1098
	断裂伸长 (%)	11.6	12.8	12.1	11.5	11.5

表 4-2 烧碱溶液浓度对滤料横向力学性能的影响

烧碱溶液浓度		0%	10%	20%	30%	40%
1 [#]	断裂强力 (N)	838	886	879	825	780
	断裂伸长 (%)	36.4	38.0	36.1	34.9	33.1
2 [#]	断裂强力 (N)	1124	1249	1204	1109	1069
	断裂伸长 (%)	41.8	42.5	42.1	40.9	39.5
3 [#]	断裂强力 (N)	1457	1439	1370	1354	1284
	断裂伸长 (%)	23.2	22.9	23.6	20.7	18.9

主刺 7 道的亚克力针刺复合滤料与主刺 5 道的亚克力针刺复合滤料进行对比。它们的纵向断裂强力和断裂伸长随烧碱溶液浓度增大而变化的趋势如图 4-1、4-2。

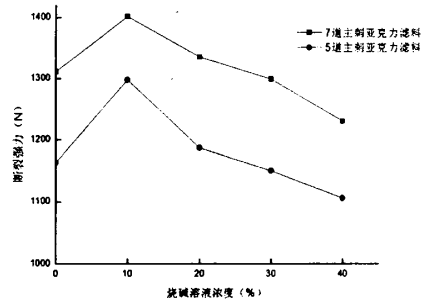


图 4-1 亚克力滤料纵向断裂强力随烧碱浓度变化趋势图

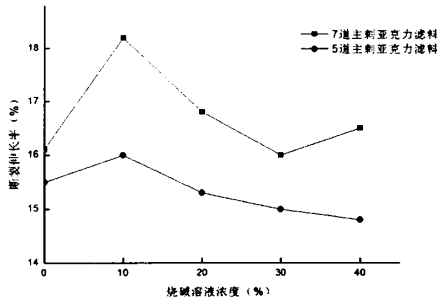


图 4-2 亚克力滤料纵向断裂伸长率随烧碱浓度变化趋势图

它们的横向断裂强力和断裂伸长随烧碱溶液浓度增大而变化的趋势如图 4-3、4-4。

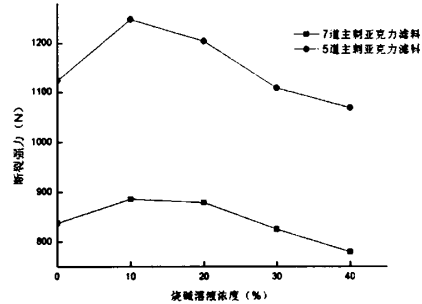


图 4-3 亚克力滤料横向断裂强力随烧碱浓度变化趋势图

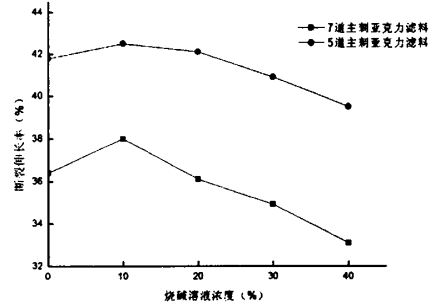


图 4-4 亚克力滤料横向断裂伸长率随烧碱浓度变化趋势图

主刺 7 道的亚克力针刺复合滤料与主刺 7 道的涤纶针刺复合滤料进行对比，纵向的断裂强力和断裂伸长随烧碱溶液浓度增大而变化的趋势如图 4-5、4-6。

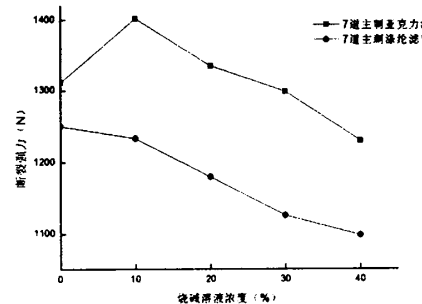


图 4-5 亚克力和涤纶滤料纵向断裂强力随烧碱浓度变化趋势图

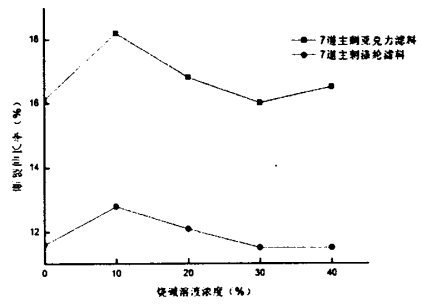


图 4-6 亚克力和涤纶滤料纵向断裂伸长率随烧碱浓度变化趋势图

横向的断裂强力和断裂伸长随烧碱溶液浓度增大而变化的趋势如图 4-7、

4-8。

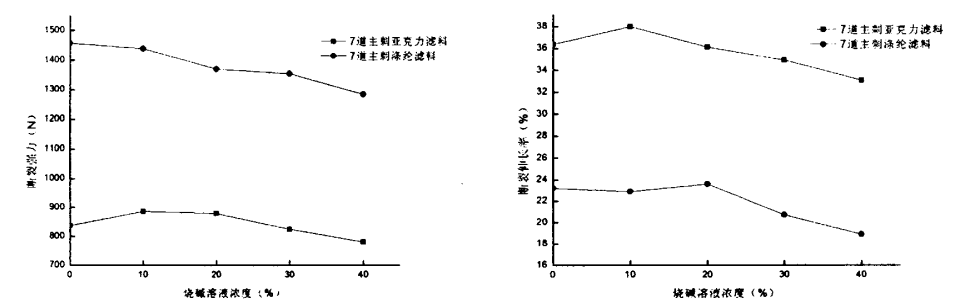


图 4-7 亚克力和涤纶滤料横向断裂强力随烧碱浓度变化趋势图 图 4-8 亚克力和涤纶滤料横向断裂伸长率随烧碱浓度变化趋势图

从表 4-1 至 4-2 及图 4-1 至 4-8 可以看出：

（1）经过不同主刺道数的亚克力滤料在纵向断裂强力方面随着烧碱溶液浓度的递增所表现出来的变化趋势是一致的，都是先增后降，而纵向断裂伸长方面，主刺 7 道的亚克力滤料最后又出现上升的态势，这种奇特的现象与第三章相同，可能也是因为低浓度烧碱溶液对亚克力纤维的损伤作用很小，而使得纤维收缩和变细，纤维间的缠结效应增加；对于它们的横向断裂强力，两类滤料也都是呈现先升后降的变化，只是主刺 5 道的亚克力滤料的变化比主刺 7 道的亚克力滤料更加明显，相反地，对于横向断裂伸长率，是主刺 7 道的亚克力滤料的变化曲线比主刺 5 道的更加陡峭。

（1）对于主刺道数同为 7 道的亚克力滤料和涤纶滤料而言，涤纶滤料随着烧碱溶液浓度的递增一直是下降的变化，而且变化十分明显，纵向断裂伸长率方面，涤纶滤料先增后减；横向断裂强力上，涤纶滤料也一直是呈现下降的变化，变化幅度相对亚克力滤料而言更明显，这表明了涤纶滤料在烧碱溶液的作用下，腐蚀严重，影响了其纵向拉伸强力。

4.3.2 收缩率测试

参考标准：GB/T 4667 机织物幅宽的测定
试验结果如表 4-3 所示。

表 4-3 烧碱溶液浓度对滤料纵横向尺寸的影响

烧碱溶液浓度		0%	10%	20%	30%	40%
1 [#]	纵向长度（mm）	200	199.5	198.0	197.5	197.5
	横向长度（mm）	200	200	199.5	200	200
2 [#]	纵向长度（mm）	200	199.0	198.5	198.0	197.5
	横向长度（mm）	200	200	200	200	199.5
3 [#]	纵向长度（mm）	200	198.0	197.5	197.0	196.5
	横向长度（mm）	200	199.0	198.5	198.0	197.0

从表 4-3 可以看出来：

（1）主刺 7 道和主刺 5 道的亚克力滤料相比而言，纵向尺寸随着烧碱溶液浓度的递增而表现缓慢下降的趋势，而横向尺寸保持率基本上是没有变化的。

（2）对于主刺 7 道的亚克力滤料和涤纶滤料，涤纶滤料的纵向和横向尺寸保持率都呈现递减的态势，而且下降得很明显，这也就说明了亚克力滤料在碱性环境下的尺寸保持率要比涤纶滤料更加优秀。

4.3.3 厚度测试

参考标准：FZ/T60004 非织造布厚度测试标准

试验设备：YG141N 字式织物厚度仪

试验结果如表 4-4 所示。

表 4-4 烧碱溶液浓度对滤料厚度的影响

烧碱溶液浓度		0%	10%	20%	30%	40%
厚度（mm）	1 [#]	2.99	3.12	2.76	2.61	2.60
	2 [#]	2.88	2.99	2.79	2.65	2.50
	3 [#]	2.05	1.98	2.06	1.89	1.80

主刺 7 道的亚克力针刺复合滤料与主刺 5 道的亚克力针刺复合滤料进行对比，它们的厚度大小随烧碱溶液浓度增大而变化的趋势如图 4-9。

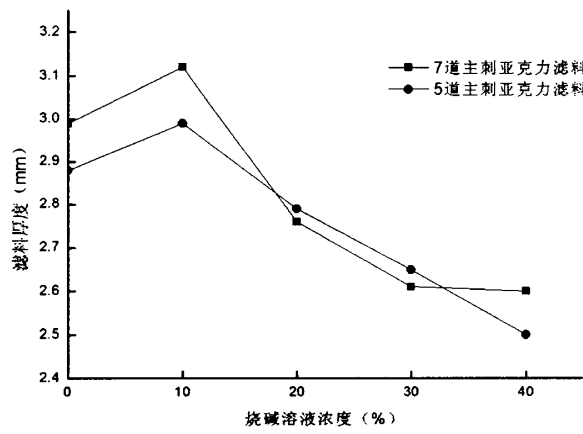


图 4-9 亚克力滤料厚度变化随烧碱浓度变化的趋势图

主刺 7 道的亚克力针刺复合滤料与主刺 7 道的涤纶针刺复合滤料进行对比，它们的厚度大小随烧碱溶液浓度增大而变化的趋势如图 4-10。

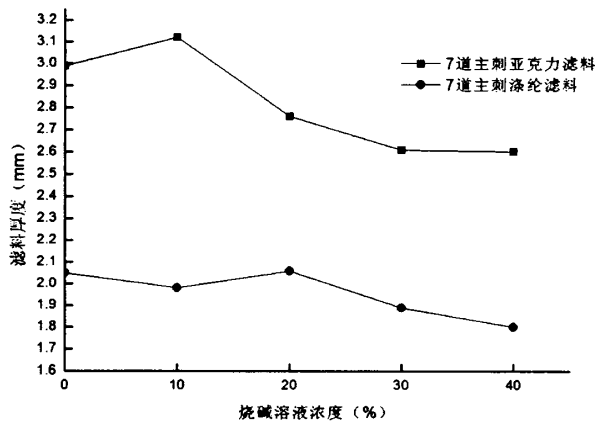


图 4-10 亚克力和涤纶滤料厚度随烧碱溶液浓度变化的趋势图

从表 4-4 及图 4-9 至 4-10 可以看出来：

- (1) 主刺 7 道和主刺 5 道的亚克力滤料随着烧碱溶液浓度的增加表现出先升后降的变化，但是在中低浓度的烧碱条件下，主刺 7 道的亚克力滤料下降的较明显，当烧碱溶液高浓度时，主刺 7 道的亚克力滤料的厚度却保持不变，趋于稳定。
- (2) 涤纶滤料厚度的变化是先降后升再下降的过程，但是总体变化是比较

平稳的，与亚克力滤料相比，变化幅度比后者要小一些。

4.3.4 孔径测试

参考标准：GB/T 2679.14 非织造布孔径测试标准
试验设备：Capillar Flow Porometer CFP-1100-AI
试验结果如表 4-5 所示。

表 4-5 烧碱溶液浓度对滤料孔径的影响						
烧碱溶液浓度		0%	10%	20%	30%	40%
1 [#]	平均孔径 (μm)	13.0	23.1	25.0	12.5	10.1
	泡点直径 (μm)	57.0	44.0	45.0	22.5	23.8
2 [#]	平均孔径 (μm)	16.0	23.7	26.1	15.2	12.4
	泡点直径 (μm)	59.7	47.4	42.6	25.7	23.1
3 [#]	平均孔径 (μm)	19.4	21.0	22.1	15.5	14.9
	泡点直径 (μm)	40.2	39.6	38.5	28.0	37.7

主刺 7 道的亚克力针刺复合滤料与主刺 5 道的亚克力针刺复合滤料进行对比，它们的平均孔径随烧碱溶液浓度增大而变化的趋势如图 4-10，泡点直径随烧碱溶液浓度增大而变化的趋势如图 4-11。

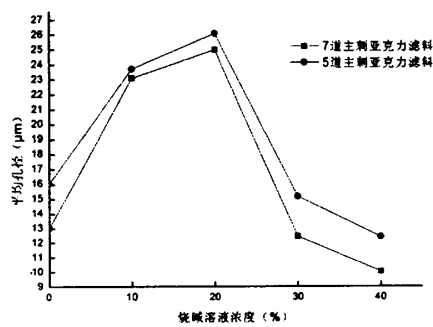


图 4-10 亚克力滤料平均孔径随烧碱溶液浓度变化趋势图

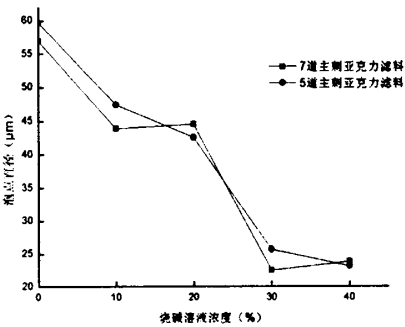


图 4-11 亚克力滤料泡点直径随烧碱溶液浓度变化趋势图

主刺 7 道的亚克力针刺复合滤料与主刺 7 道的涤纶针刺复合滤料进行对比，它们的平均孔径随烧碱溶液浓度增大而变化的趋势如图 4-12，它们的泡点直径随

烧碱溶液浓度增大而变化的趋势如图 4-13。

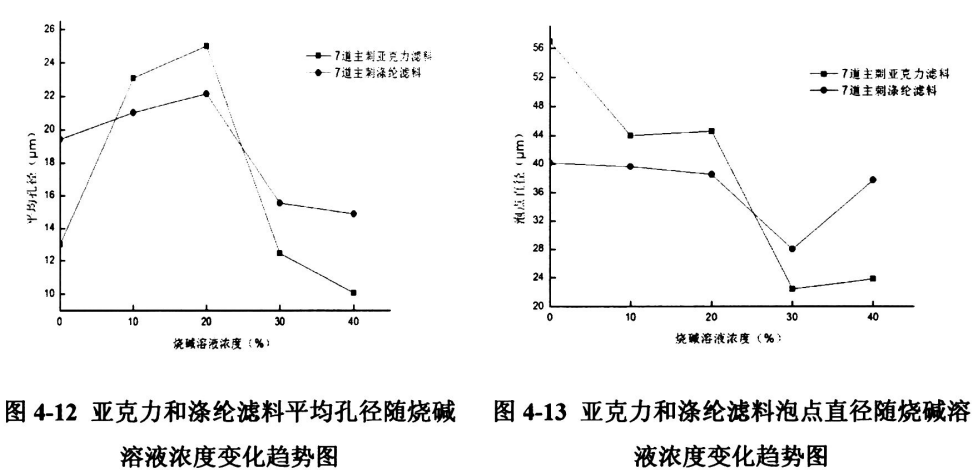


图 4-12 亚克力和涤纶滤料平均孔径随烧碱溶液浓度变化趋势图

图 4-13 亚克力和涤纶滤料泡点直径随烧碱溶液浓度变化趋势图

从表 4-5 及图 4-10 至 4-13 可以看出来：

- （1）主刺 7 道和主刺 5 道的亚克力滤料平均孔径的变化都是先升后降的变化趋势，变化程度基本相同，而对于泡点直径而言，主刺 5 道亚克力滤料一直是在递减的，但是主刺 7 道的亚克力滤料在 10%~20%、30%~40% 的烧碱浓度趋于平稳，无太大变化。
- （2）主刺 7 道的涤纶滤料随着烧碱溶液浓度的递增，其平均孔径的变化也是先升后降的变化过程，而其泡点直径的变化是先降后升的过程，而且变化趋势十分明显。

4.3.5 扫描电镜测试

对未经硫酸溶液处理的 7 道主刺亚克力滤料、5 道主刺亚克力滤料、7 道主刺涤纶滤料以及上述滤料经 40%烧碱溶液处理的试样进行扫描电镜测试，结果如图 4-14 至 4-19 所示。

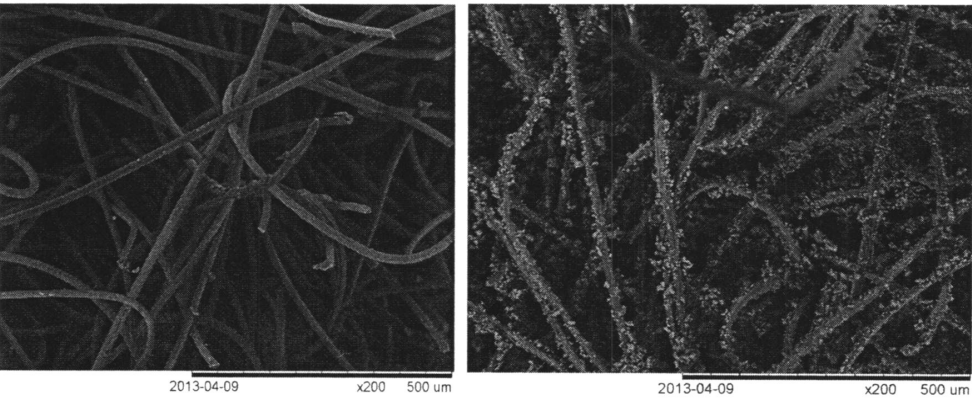


图 4-14 未经烧碱溶液处理的 1# (7 道主刺)

图 4-15 经 40%烧碱溶液处理的 1# (7 道主刺亚

亚克力滤料)

克力滤料)

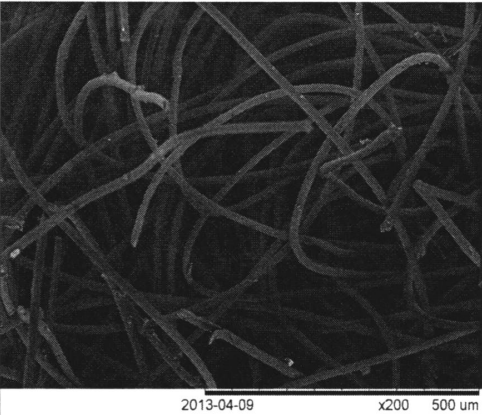


图 4-16 未经烧碱溶液处理的 2[#] (5 道主刺亚克力滤料)

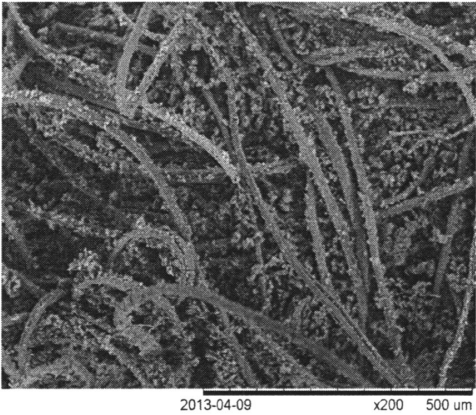


图 4-17 经 40%烧碱溶液处理的 2[#] (5 道主刺亚克力滤料)

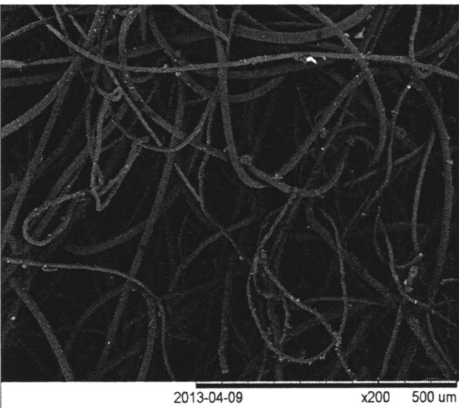


图 4-18 未经烧碱溶液处理的 3[#] (7 道主刺亚克力滤料)

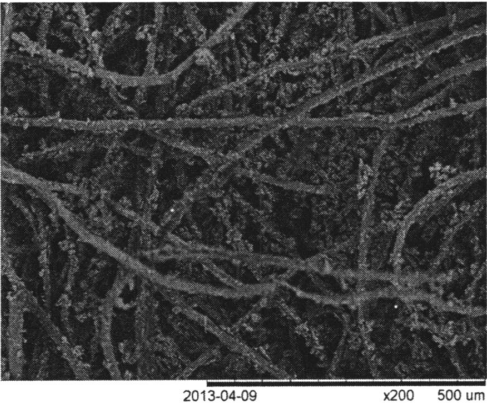


图 4-19 经 40%烧碱溶液处理的 3[#] (7 道主刺亚克力滤料)

从图 4-14 至 4-19 可以看出来：

(1) 亚克力滤料和涤纶滤料表面的纤维都受到了比较严重的腐蚀，大部分纤维表面都有被烧碱腐蚀后出现的突起物，这个也许是影响平均孔径和泡点直径变小的原因之一，由于这些烧碱腐蚀纤维后突起物的增多，导致纤维之间的孔隙变得越来越小了。

(2) 从《腈纶生产工艺及其原理》一书中，如氢氧化钠之类的强碱能使亚克力纤维的 -CN 基水解，最后生成羧酸盐，并且作用力较酸强的多，从扫面电

镜图可以直观地看出来这一现象，亚克力大分子上 $-CN$ 基转化为羧基或羧酸盐达一定程度，聚合物即具有水溶性，使纤维遭到破坏。碱性水解时释放的 NH_3 与未水解的 $-CN$ 基反应，生成脒基，产生黄色。

4.4 本章小结

为了指导亚克力滤料的实际应用，本章模拟研究了两种成形工艺亚克力滤料经不同浓度氢氧化钠溶液处理后，其拉伸断裂强力、断裂伸长率、尺寸稳定性、厚度、孔径等性能的保持率，并和涤纶滤料做了对比研究，得出如下结论：

(1) 主刺 7 道的亚克力滤料、主刺 5 道的亚克力滤料、主刺 7 道的亚克力滤料随着烧碱溶液浓度的增加，它们的性能均出现了不同程度的下降，主要表现在纵向断裂强力以及厚度和孔径的变化上，表明在碱性较强的工况下，亚克力滤料和涤纶滤料的基本机械物理性能会受到一定程度的损伤，试验数据中所体现的强力损失虽然不是很大，但是考虑到电镜图片中的亚克力纤维被氢氧化钠腐蚀较为严重，而且考虑到工况中还有温度与其他腐蚀性气体的综合作用，亚克力滤料的强力也许会损失得更为严重，所以亚克力滤料是不太适合在高碱性的工况条件下投入使用的。

(2) 主刺 7 道的涤纶滤料的纵向和横向尺寸保持率随着烧碱溶液浓度递增出现了很明显的下降过程，而且通过扫描电镜的测试可以发现，涤纶滤料表面的纤维由于氢氧化钠的腐蚀，发生了较严重的腐蚀反应，产生了很多反应物，包覆在纤维上，同样地，亚克力滤料也发生了这种情况，这些包覆在纤维上的反应物使得纤维间的间隙越来越小，这可能是造成它们平均孔径和泡点直径呈现变小趋势的原因之一。

(3) 综合本章试验数据，初步可以得出以下结论：亚克力针刺复合滤料和涤纶针刺复合滤料分别在相当于氢氧化钠溶液 ($\leq 20\%$) 和氢氧化钠溶液 ($\leq 10\%$) 的工况下，是可以作为烟气除尘过滤材料的。

第五章 亚克力滤料与涤纶滤料的耐次氯酸钙性能比较

5.1 引言

本章主要对亚克力滤料和涤纶滤料的耐氧化性能进行了研究。试验采用次氯酸氧化性溶液，在一定的温度和时间条件下，对亚克力滤料和涤纶滤料进行了腐蚀性试验。通过对比分析亚克力滤料和涤纶滤料经梯度浓度的次氯酸钙溶液浸泡处理后的物理性能指标，考察亚克力滤料和涤纶滤料在次氯酸钙溶液作用下的性能表现。

5.2 试验介绍

试验试样：亚克力针刺复合滤料（主刺 5 道和主刺 7 道）和涤纶针刺复合滤料（主刺 7 道）。

$\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 溶液处理试验条件：浓度分别为 5%、10%、15% 和 20% 的 $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 溶液，常温下，浸泡处理时间为 2 小时。

试验过程：将 $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 溶液稀释配制所需浓度的 $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 溶液，用玻璃棒沿着烧杯内壁不停地搅拌 $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 溶液，直到 $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 溶液完全溶于蒸馏水中，然后将试样浸泡在 $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 溶液中，再用圆铁片盖住烧杯，保持常温状态，浸泡处理 2 小时；最后，将试样从烧杯中取出清洗、烘干并在恒温恒湿实验室调湿后进行相关指标的测试。

试验所需工具与设备：刻度尺、烘箱、剪刀、漂白粉、蒸馏水、烧杯、量筒、玻璃棒、数字天平、温度计、DK-S28 型电热恒温水浴锅、YG141N 数字织物厚度仪、YG065 型电子织物强力仪等。

5.3 试验测试

5.3.1 断裂强力及断裂伸长测试

参考标准：FZ/T 60005-91 非织造布断裂强力及断裂伸长的测定

试验设备：YG065 型电子织物强力仪

测试结果如表 5-1、5-2 所示。

表 5-1 次氯酸钙溶液浓度对滤料纵向力学性能的影响

次氯酸钙溶液浓度		0%	5%	10%	15%	20%
1 [#]	断裂强力 (N)	1311	1391	1240	1094	1302
	断裂伸长 (%)	16.1	12.3	12.55	12.45	15.15
2 [#]	断裂强力 (N)	1163	1213	1200	1187	1220
	断裂伸长 (%)	15.5	15.3	14.6	13.5	14.9
3 [#]	断裂强力 (N)	1250	1180	1157	1190	1105
	断裂伸长 (%)	11.6	12.7	11.9	13.5	12.5

表 5-2 次氯酸钙溶液浓度对滤料横向力学性能的影响

次氯酸钙溶液浓度		0%	5%	10%	15%	20%
1 [#]	断裂强力 (N)	838	974	992	927	968
	断裂伸长 (%)	36.4	33.95	33.55	32.85	34.9
2 [#]	断裂强力 (N)	1124	1210	1231	1190	1235
	断裂伸长 (%)	41.8	40.8	39.1	38.5	40.2
3 [#]	断裂强力 (N)	1457	1451	1436	1388	1439
	断裂伸长 (%)	23.2	22.1	21.2	13.9	12

主刺 7 道的亚克力针刺复合滤料与主刺 5 道的亚克力针刺复合滤料进行对比。它们纵向断裂强力和断裂伸长随次氯酸钙溶液浓度增大而变化的趋势如图 5-1、5-2。

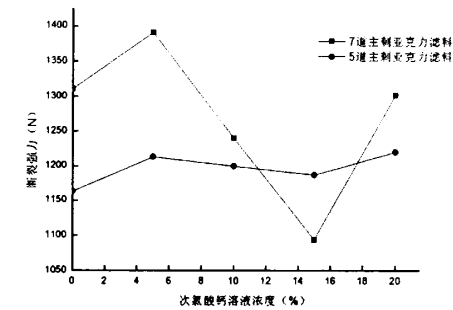


图 5-1 亚克力滤料纵向断裂强力随次氯酸钙浓度变化趋势图

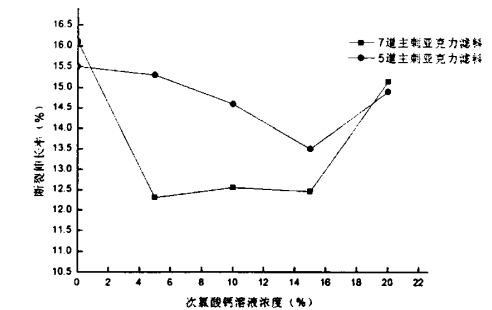


图 5-2 亚克力滤料纵向断裂伸长率随次氯酸钙浓度变化趋势图

横向的断裂强力和断裂伸长随次氯酸钙溶液浓度增大而变化的趋势如图 5-3、5-4。

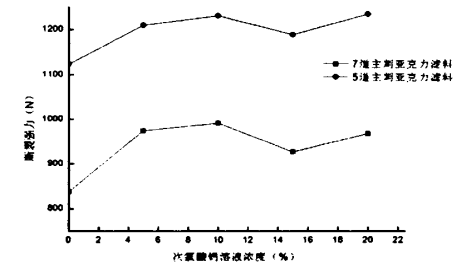


图 5-3 亚克力滤料横向断裂强力随次氯酸钙浓度变化趋势图

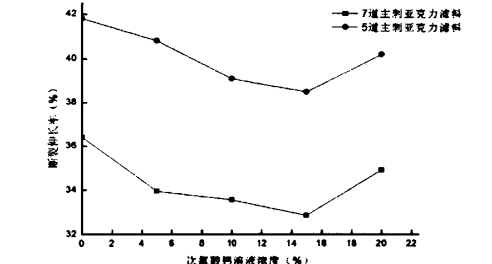


图 5-4 亚克力滤料横向断裂伸长率随次氯酸钙浓度变化趋势图

主刺 7 道的亚克力针刺复合滤料与主刺 7 道的涤纶针刺复合滤料进行对比。纵向的断裂强力和断裂伸长随次氯酸钙溶液浓度增大而变化的趋势如图 5-5、5-6。

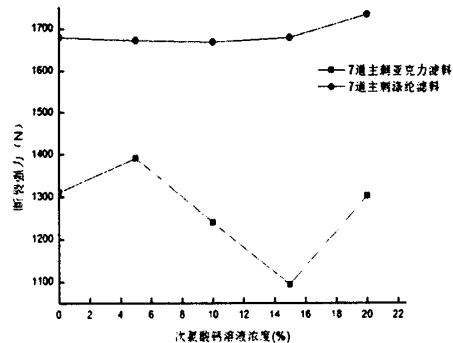


图 5-5 亚克力和涤纶滤料纵向断裂强力随次氯酸钙浓度变化趋势图

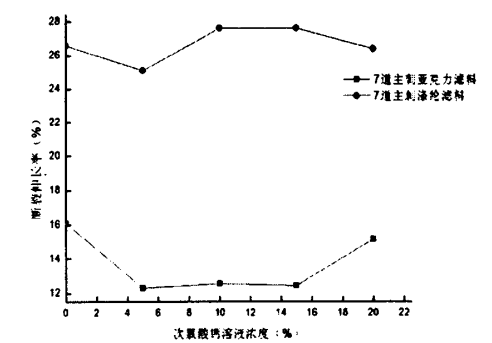
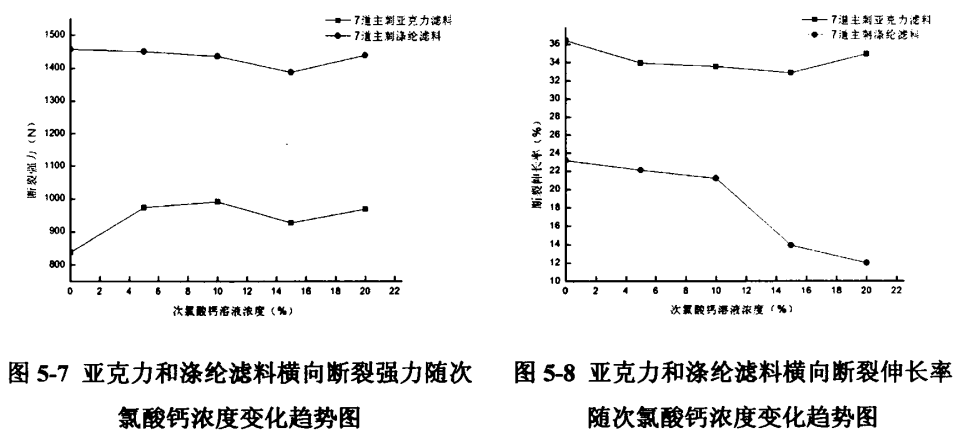


图 5-6 亚克力和涤纶滤料纵向断裂伸长率随次氯酸钙浓度变化趋势图

横向的断裂强力和断裂伸长随次氯酸钙溶液浓度增大而变化的趋势如图 5-7、5-8。



从表 5-1 至 5-2 及图 5-1 至 5-8 可以看出：

（1）1[#]亚克力滤料和 2[#]亚克力滤料相比，纵向断裂强力都是呈现先升后降再升的过程，但是 1[#]的变化趋势更加明显，表明 1[#]的纵向断裂强力受次氯酸钙影响较大，1[#]和 2[#]横向断裂强力呈现先升后降再升的过程，但是整体上有较高的强力保持率，变化趋势基本相同，表明经次氯酸钙溶液处理后，亚克力滤料横向断裂强力有所增加；断裂伸长率方面，亚克力滤料是先上升后下降，纵向断裂伸长率的变化趋势总体比横向伸长率要明显。

（2）1[#]亚克力滤料和 3[#]涤纶滤料相比，纵向断裂强力上，亚克力滤料呈现先升后降再升的变化，而涤纶滤料是逐渐缓慢上升的态势；横向断裂强力方面，亚克力滤料是先升后降再升的，基本呈现上升的趋势，而涤纶滤料是先降后升的变化，强力基本维持不变；纵向伸长率上，涤纶滤料是先降后升再降的过程，亚克力滤料是先降，然后再趋于平稳，之后再升的过程；横向伸长率方面，亚克力滤料先降后升，基本没什么变化，而涤纶滤料始终呈现下降的趋势。说明涤纶滤料随次氯酸钙溶液浓度的影响不大，其中纵向强力略有上升，而横向强力略有下降。

5.3.2 收缩率测试

参考标准：GB/T 4667 机织物幅宽的测定
试验结果如表 5-3 所示。

表 5-3 次氯酸钙溶液浓度对滤料纵横向尺寸的影响

次氯酸钙溶液浓度		0%	5%	10%	15%	20%
1 [#]	纵向长度（mm）	200	200	200.5	200	200
	横向长度（mm）	200	200.7	200.5	200.5	200.5
2 [#]	纵向长度（mm）	200	200	200	200.25	200
	横向长度（mm）	200	200.5	200.5	200.25	200.25
3 [#]	纵向长度（mm）	200	199.75	199.5	199.25	199
	横向长度（mm）	200	199.25	199.75	199.75	199.5

从表 5-3 可以看出：

（1）1[#]亚克力滤料和 2[#]亚克力滤料相比，它们的纵向尺寸随次氯酸钙溶液浓度的增加而基本不变化，说明了在次氯酸钙溶液的氧化条件下，亚克力滤料的纵向尺寸有良好的稳定性；它们的横向尺寸随次氯酸钙溶液浓度的变化而增大，规律不明显，表明经次氯酸钙溶液氧化处理后，亚克力滤料的横向尺寸会增大。

（2）1[#]亚克力滤料和 3[#]涤纶滤料相比，3[#]涤纶滤料纵横向上的尺寸长度都下降了，其中纵向尺寸随次氯酸钙浓度的增大而递减，而横向尺寸变化不明显，但整体呈现下降趋势，表明次氯酸钙的氧化环境对 3[#]涤纶滤料的尺寸影响较大。

5.3.3 厚度测试

参考标准：FZ/T60004 非织造布厚度测试标准

试验设备：YG141N 字式织物厚度仪

试验结果如表 5-4 所示。

表 5-4 次氯酸钙溶液浓度对滤料厚度的影响

次氯酸钙溶液浓度		0%	5%	10%	15%	20%
厚度（mm）	1 [#]	2.99	2.77	2.78	2.85	2.74
	2 [#]	2.88	2.80	2.75	2.80	2.78
	3 [#]	2.05	2.64	2.57	2.62	2.66

主刺 7 道的亚克力针刺复合滤料与主刺 5 道的亚克力针刺复合滤料进行对比，厚度大小随次氯酸钙溶液浓度增大而变化的趋势如图 5-9。

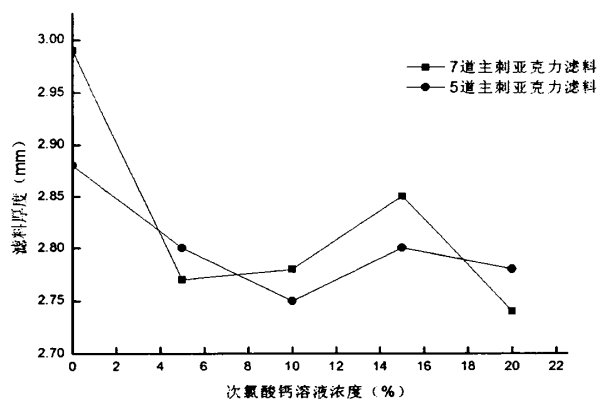


图 5-9 亚克力滤料厚度随次氯酸钙浓度变化趋势图

主刺 7 道的亚克力针刺复合滤料与主刺 7 道的涤纶针刺复合滤料进行对比，厚度大小随次氯酸钙溶液浓度增大而变化的趋势如图 5-10。

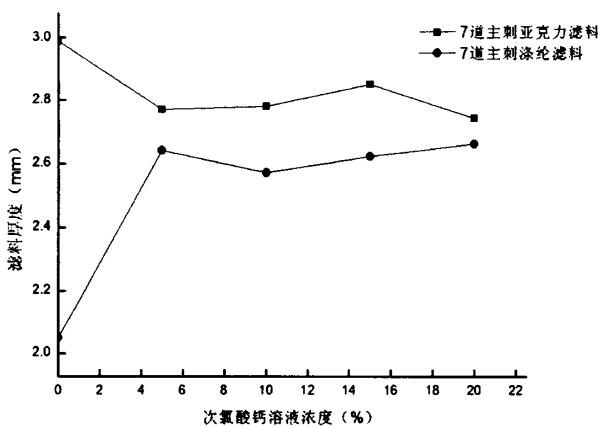


图 5-10 亚克力和涤纶滤料厚度随次氯酸钙浓度变化趋势图

从表 5-4 及图 5-9 至 5-10 可以看出：

(1) 主刺 7 道的亚克力滤料和主刺 5 道亚克力滤料随着次氯酸钙溶液浓度的递增，它们厚度的大小是先降后升再降的变化过程，变化趋势基本上是一致的，而整体是呈现下降的趋势，说明次氯酸钙溶液对亚克力滤料厚度还是有影响的，但是变化不大，当浓度越高时，其厚度保持率越低。

(2) 主刺 7 道的涤纶滤料和亚克力滤料相比，涤纶滤料的厚度大小时先增加后降低再升的过程，与亚克力滤料是相反的变化过程，涤纶滤料的厚度在浓度 5%~20%次氯酸钙溶液时的变化趋势不是十分明显，变化较平缓。

5.3.4 孔径测试

参考标准：GB/T 2679.14 非织造布孔径测试标准

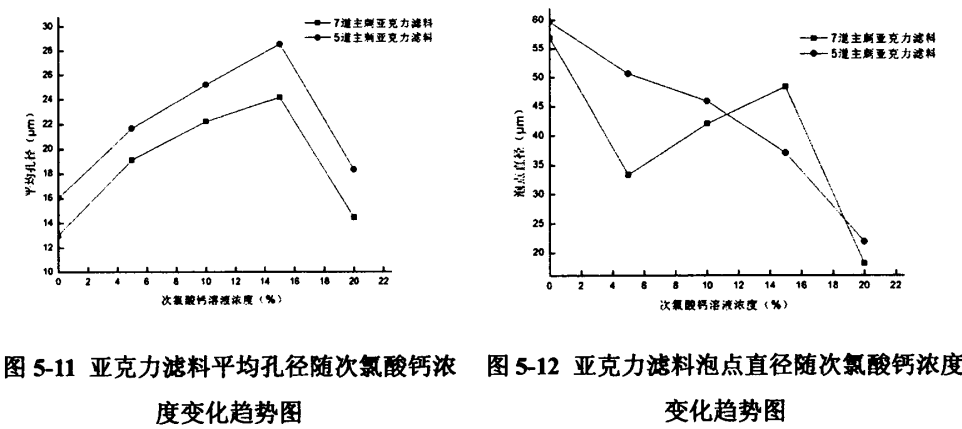
试验设备：Capillar Flow Porometer CFP-1100-AI

试验结果如表 5-5 所示。

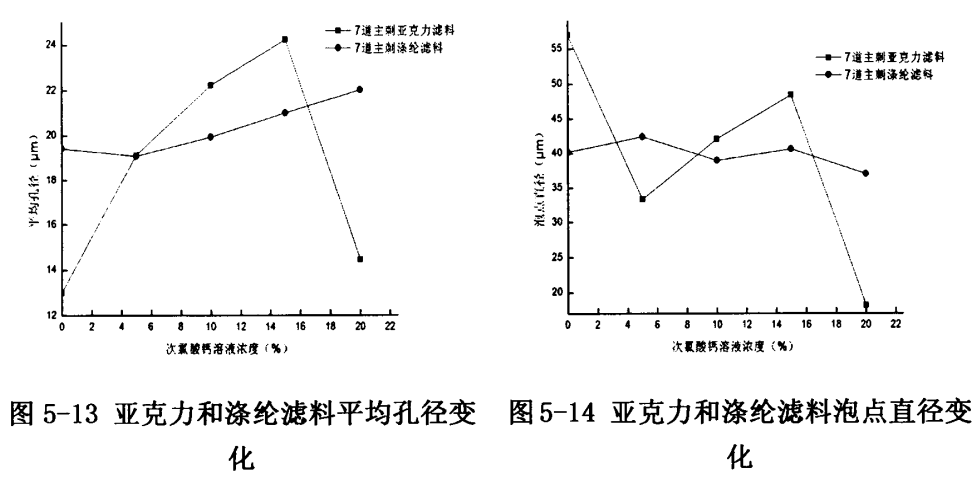
表 5-5 次氯酸钙溶液浓度对滤料孔径的影响

次氯酸钙溶液浓度		0%	5%	10%	15%	20%
1 [#]	平均孔径 (μm)	13.0	19.1	22.2	24.2	14.5
	泡点直径 (μm)	57.0	33.3	42.0	48.4	18.1
2 [#]	平均孔径 (μm)	16.0	21.7	25.2	28.6	18.3
	泡点直径 (μm)	59.7	50.7	45.9	37.1	21.9
3 [#]	平均孔径 (μm)	19.4	19.1	20.0	21.0	22.0
	泡点直径 (μm)	40.2	42.4	39.0	40.5	37.0

主刺 7 道的亚克力针刺复合滤料与主刺 5 道的亚克力针刺复合滤料进行对比，平均孔径随次氯酸钙溶液浓度增大而变化的趋势如图 5-11，泡点直径随次氯酸钙溶液浓度增大而变化的趋势如图 5-12。



主刺 7 道的亚克力针刺复合滤料与主刺 7 道的涤纶针刺复合滤料进行对比，平均孔径随次氯酸钙溶液浓度增大而变化的趋势如图 5-13，泡点直径随次氯酸钙溶液浓度增大而变化的趋势如图 5-14。



从表 5-5 及图 5-11 至 5-14 可知：

（1）主刺 7 道的亚克力滤料和主刺 5 道的亚克力滤料随着次氯酸钙溶液浓度的递增，它们的平均孔径是先增后减的变化过程，而主刺 5 道的亚克力滤料泡点直径的大小是一直下降的，而主刺 7 道的亚克力滤料泡点直径是先降后升再降的过程。对曲线变化趋势进行对比，发现没有什么规律可循。

（2）主刺 7 道的亚克力滤料和涤纶滤料相比，涤纶滤料呈现出先降后升的趋势，而亚克力滤料是先升后降的趋势，而且亚克力滤料的变化幅度很明显；对于泡点直径的变化，涤纶滤料有稍许波动，变化基本稳定，而亚克力滤料是先降后升再降的过程，变化十分明显。

5.3.5 扫描电镜测试

对未经硫酸溶液处理的 7 道主刺亚克力滤料、5 道主刺亚克力滤料、7 道主刺涤纶滤料以及上述滤料经 20%次氯酸钙溶液处理的试样进行扫描电镜测试，结果如图 5-15 至 5-20 所示。

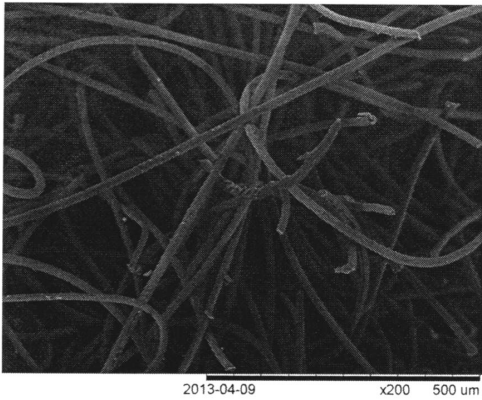


图 5-15 未经次氯酸钙溶液处理的的 1[#]（7 道主刺亚克力滤料）

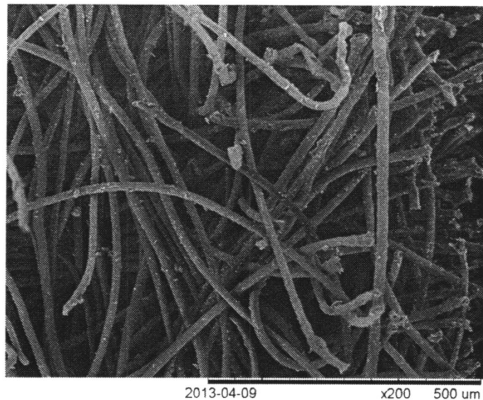


图 5-16 经 20%次氯酸钙溶液处理的的 1[#]（7 道主刺亚克力滤料）

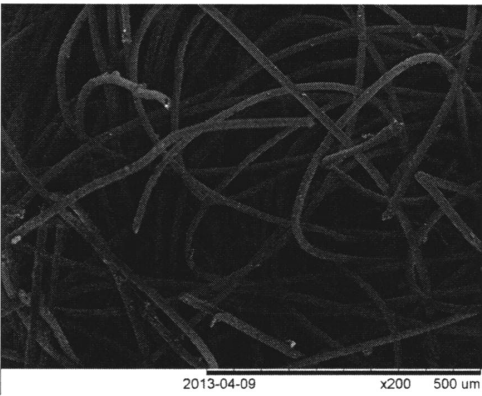


图 5-17 未经次氯酸钙溶液处理的的 2[#]（5 道主刺亚克力滤料）

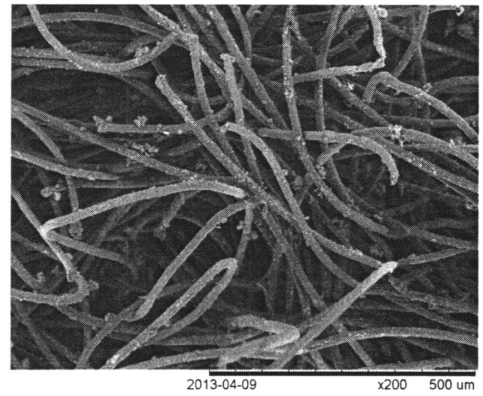


图 5-18 经 20%次氯酸钙溶液处理的 2[#]（5 道主刺亚克力滤料）

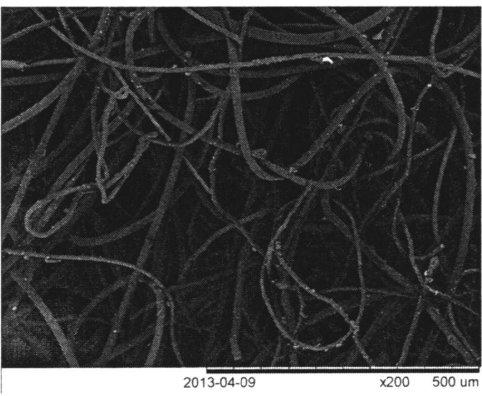


图 5-19 未经次氯酸钙溶液处理的 3[#]（7 道主刺亚克力滤料）

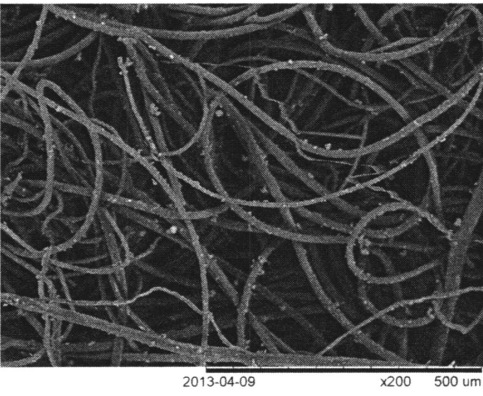


图 5-20 经 20%次氯酸钙溶液处理的 3[#]（7 道主刺亚克力滤料）

从图 5-15 至 5-20 可以看出来：

(1) 亚克力滤料和涤纶滤料由于次氯酸钙的氧化性，而发生了不同程度的氧化作用，其中涤纶纤维的变化更为明显。

(2) 亚克力滤料经过次氯酸钙的作用，纤维与纤维间的间隙从图中可以看出变小了，纤维之间更加紧密，再加上纤维表面包覆的氧化产物，这可能是使其孔径变小的原因之一。

5.4 本章小结

为了指导亚克力滤料的实际应用，本章模拟研究了两种成形工艺亚克力滤料经不同浓度次氯酸钙溶液处理后，其拉伸断裂强力、断裂伸长率、尺寸稳定性、厚度、孔径等性能的保持率，并和涤纶滤料做了对比研究，得出如下结论：

(1) 主刺 7 道的亚克力滤料和涤纶滤料相比，纵向断裂强力上，亚克力滤料呈现先升后降再升的变化，而涤纶滤料是逐渐缓慢上升的态势。

(2) 横向断裂强力方面，亚克力滤料是先升后降再升的，基本呈现上升的趋势，而涤纶滤料是先降后升的变化，强力基本维持不变；纵向伸长率上，涤纶滤料是先降后升再降的过程，亚克力滤料是先降，然后在趋于平稳，之后再升的过程；横向伸长率方面，亚克力滤料先降后升，基本没什么变化，而涤纶滤料始终呈现下降的趋势。

(3) 亚克力滤料和涤纶滤料由于次氯酸钙的氧化性，而发生了不同程度的氧化作用，其中涤纶纤维的变化更为明显；亚克力滤料经过次氯酸钙的作用，纤维与纤维间的间隙从图中可以看出变小了，纤维之间更加紧密，再加上纤维表面包覆的氧化产物，这可能是使其孔径变小的原因之一。

(4) 综合本章试验数据，初步可以得出以下结论：亚克力针刺复合滤料和涤纶针刺复合滤料分别在相当于次氯酸钙溶液 ($\leq 10\%$) 和次氯酸钙溶液 ($\leq 10\%$) 的工况下，是可以作为烟气除过滤尘材料的。

第六章 首钢京唐钢铁厂烧结机工况的研究分析

6.1 半干法循环流化床烧结脱硫工艺

6.1.1 工艺简介

循环流化床脱硫技术是国外 20 世纪 80 年代后期开发的一种新的脱硫技术，该技术具有投资低、占地少、结构简单、易于操作，兼有高效除尘和烟气净化功能，运行费用低等特点^[32]。

含 SO_2 的烧结烟气进入循环流化床脱硫塔，在这里与脱硫剂（生石灰）、循环返料和水在湍流状态下相混合，脱硫剂以较大的表面积与 SO_2 相接触发生脱硫反应。少量的物料在烟气的夹带下进入布袋除尘器，经气固分离，捕捉下来的物料绝大部分通过返料系统重新返回硫化床脱硫塔内进行反应，只有少量反应较完全的物料根据相应的设计控制要求外排后综合处理。脱硫剂通过输送系统进入脱硫塔。水通过雾化喷嘴从塔底喷入。在系统启动时加入启动床料，以形成稳定硫化床。由于接触面积非常大，脱硫剂和烟气中的 SO_2 能够充分接触，从而 SO_2 在脱硫塔中被吸收，最后，净化的烟气通过烟囱达标排放^[33]。

此工艺简单，副产品还可回收利用，同时由于它的多次再循环，在 Ca/S 为 1~1.2 时就可以达到与湿法相当的脱硫效率。循环式硫化床则是在吸收塔内部增设了循环构件，从而减少了吸收塔出口粉尘的浓度，减轻了外循环装置的负担^[34]。烟气循环硫化床比传统喷雾干燥法有更高的脱硫效率和吸收剂利用率。但是它很难流化碳类粒子且运行不是很稳定^[35]。工艺流程图如图 6-1。

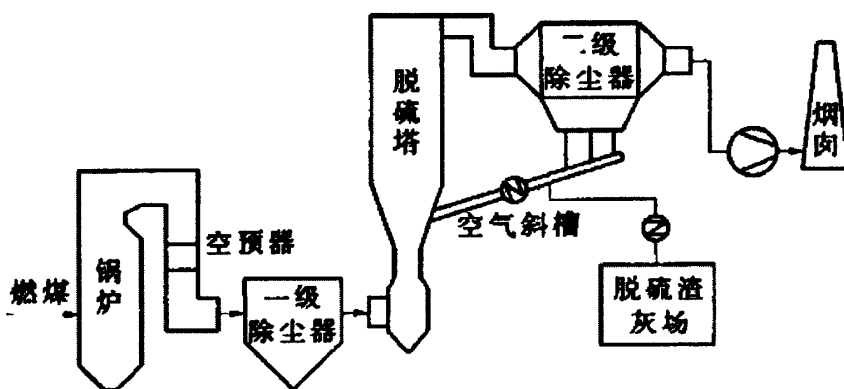


图 6-1 首钢烧结脱硫工艺流程图

6.1.2 首钢京唐钢铁厂工程中的烧结脱硫技术

首钢京唐钢铁厂是首钢实施搬迁结构调整,建设的具有 21 世纪世界先进水平的钢铁企业。其汇集了国内外钢铁流程中先进的技术装备,创造了国内设备大型化的新记录。钢铁厂烧结项目以设备大型化、流程简洁化、能源循环化的特点位居国内首位。设计打破传统封闭意识,走开放合作、自主创新道路,大力推广应用新技术、新工艺、新设备、新材料,以创新理念实现技术升级,为提高钢铁厂综合科技水平,打造新一代可循环钢铁厂起到了重要的支撑作用^[36]。位于首钢京唐钢铁联合有限责任公司一期项目中 2 套 500m² 烧结机烟气脱硫工程,采用半干法循环流化床烟气脱硫工艺,共设两套滤袋除尘器。

首钢京唐钢铁厂大型烧结机特点:

1. 总图布局紧凑,流程简洁。烧结厂设计中按照新一代钢铁制造流程工程学原理,运用动态有序的流程结构和运动力学理论,通过对冶金工程“界面技术”的研究,建立工序间物质流、能源流、信息流动态有序、高效协调的“在线”运行理念,在各工序流程优化、先进的基础上进行了系统集成优化,使烧结厂系统流程短捷紧凑,总图布置顺畅合理,其突出表现在 2 台烧结机的燃料破碎系统、配料系统、成品筛分系统、主抽风系统、主控室、环境除尘系统及配套公辅设施均采用集中布置,全厂仅有一个单独的转运站,此总图布置不仅大大降低了工程投资和运营成本,而且便于生产管理和设备维护。

2. 设置燃料预筛分,避免燃料的过粉碎。首钢京唐烧结厂含铁原料为进口矿粉,粒度较粗,要求固体燃料的粒度不宜过细,应尽量减少<0.5mm 粒级的含量,而且,就首钢京唐目前的燃料情况,给料粒度中<3mm 约占 50%左右,在确定燃料破碎系统的工艺配置时设置了圆振筛对燃料进行预筛分,筛下物作为成品进入配料室料仓,筛上物依次通过对辊破碎机和四辊破碎机完成粗、细碎后进入配料室料仓。

3. 厚料层烧结梯形布料技术。在烧结“自动蓄热”作用下,增加烧结布料厚度,下层烧结矿可以获得更高的烧结温度。烧结温度提高,生成的液相量增多,粘结相增多,增强了下层烧结矿强度,提高了烧结矿整体强度,烧结矿转鼓强度提高。首钢京唐烧结机实行梯形布料,通过采取二混加蒸汽,提高混合料温度,强化制粒;适当调节点火器空燃比,由原来的 11 降低至 6.5;降低九辊布料器的转速等技术措施改善料层透气性,将料层厚度由 750mm 提高至 800mm 后,使转鼓强度提高约 0.12%,FeO 降低约 0.37%,返矿率降低约 1.6%,相应成品率提高约 1.6%,烧结矿粒度极大和极小部分明显减少,中间粒级明显增加,烧结矿粒度组成更加趋于均匀。

4. 全厂环境除尘采用高效布袋除尘器。首钢京唐烧结厂 2 台烧结机共配套

设置了 6 套环境除尘系统对扬尘部位进行除尘处理，设计中集成了当前先进、成熟的除尘工艺技术，采用高效低压脉冲布袋除尘器净化，并在布袋除尘器前选用粗颗粒分离器，解决烧结高琢磨度粉尘对布袋的损害，以满足工艺生产及人体卫生要求，防止环境污染。经除尘后，岗位含尘浓度 $\leq 5\text{mg}/\text{m}^3$ ，烟尘排放浓度 $\leq 20\text{mg}/\text{m}^3$ 。图 6-2 为首钢京唐钢铁厂 500 m^2 烧结机外景。

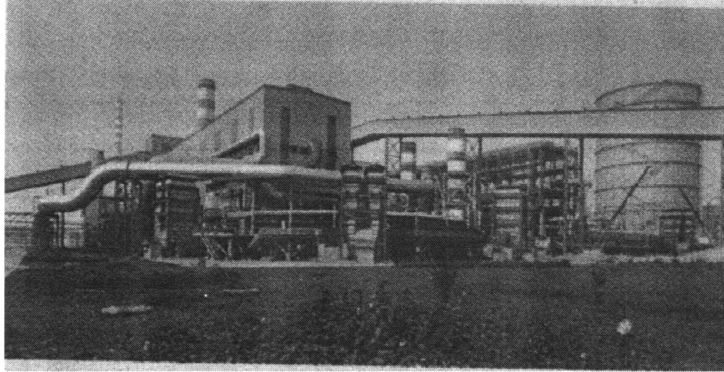
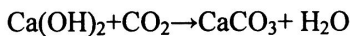
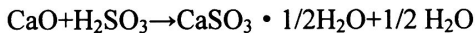
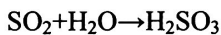


图 6-2 首钢京唐钢铁厂 500 m^2 烧结机外景

6.1.3 脱硫反应机理

脱硫反应的复杂性使得循环流化床中的脱硫反应机理更加复杂，吸收与吸附同时存在。在循环流化床中，存在着如下的反应：



从反应原理上看，烟气循环硫化床脱硫过程是吸收过程和吸附过程的综合。

(1) SO_2 气体的经历：烟气中的 SO_2 进入循环流化床后，先是与底部浓相区的床料粒子接触。由于一些颗粒表面附有 CaO 或 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，因此在物理吸附的同时，也发生化学吸附。

随着烟气的上升， SO_2 分子就会与喷入反应器内大水滴，浆滴以及刚刚裹上水滴或浆滴的床料粒子相碰撞。在这个阶段， SO_2 可能溶入不断蒸发的水滴，或与浆滴发生反应，或与裹在床料粒子表面的浆滴反应，生成 $\text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ 。当 SO_2 气体上升时，未反应的 SO_2 气体浓度降低，反应速度慢，但反应仍在进行。同时，水分的蒸发使水蒸汽分压相对增加，促使反应继续进行，到达循环流化床出口，反应器内反应结束。进入分离器后，在分离器内还可发生反应，出分离器后，气固分离，整个反应结束。

(2) 灰浆滴的经历：将石灰与水喷入反应器底部，被雾化后进入流化床。

雾化后的浆滴,由于含有较多的水分,极易与 SO_2 发生反应,生成 $\text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ 。

同时也可能与床料、水滴相碰撞发生粘附,继续与 SO_2 反应。进入分离器后,已蒸发干的极细的部分随气流离开系统,而颗粒较大以及粘附与床料表面的那部分在反应器内上下循环参加反应,直至排出床外。

由于循环流化床特有的性能以及颗粒运动的独特方式,使得颗粒之间互相摩擦碰撞磨损,经常暴露出新反应表面,从而使得脱硫剂可以充分利用。

6.2 首钢烧结脱硫工况的分析

6.2.1 烧结机机头、机尾工况

烧结机机头烟气中含有空气带来的氧和氮,混合料水分蒸发和燃烧产生的水蒸气,烧结过程中产生的 SO_2 、 CO_2 、 CO 及 NO_x 等。根据原料、有无铺底料和操作状况,烟气含尘浓度约在 $0.5\sim 6\text{g}/\text{m}^3$ 之间。烟气温度 $80\sim 200^\circ\text{C}$,平均约 150°C ,此温度下粉尘的比电阻较高,一般接近或大于 $1010\Omega \cdot \text{cm}$,高时可达 $1013\Omega \cdot \text{cm}$ 。

烧结机机头污染物污染特点如下:(1)烟气量大。每生产 1t 烧结矿,约排出烟气 $3\,000\sim 4\,300\text{m}^3$ 。按烧结机面积计,则为 $75\sim 95\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$;(2)粉尘量大,含铁量高。烧结机烟气是烧结厂最主要的粉尘污染源,每生产 1t 烧结矿,产生的烟气中含有粉尘 $5\sim 18\text{kg}$ 。烧结机烟气粉尘的含铁量和烧结矿相近,均返回原料系统,加以利用;(3)含湿量高,露点温度高。混合料的水分蒸发后,全部进入烧结机烟气中,烟气含湿量高^[37]。

烧结机机尾污染物废气为含尘的热空气,含湿量低;废气温度在各抽风点的温度不同,最低 40°C ,最高 250°C 。各点废气混合后的温度在 $80\sim 150^\circ\text{C}$ 之间,一般为 100°C 左右;各抽风点的废气含尘浓度不同,混合后的废气含尘浓度为 $5\sim 15\text{g}/\text{m}^3$;粉尘比电阻一般在 $1011\Omega \cdot \text{cm}$ 以下。

烧结机机尾污染物污染特点如下:(1)废气量较大。机尾废气量约为烧结机机头烟气量的 $25\sim 50\%$;(2)粉尘磨琢性强。粉尘比重大、坚硬,且外形粗糙,磨琢性强;(3)粉尘粘附性强,遇水易结垢,粉尘颗粒细,粘附在除尘设备内部不易脱落。粉尘中含有 CaO ,遇水后容易造成结垢、堵塞设备;(4)含铁量高,具有较高的回收利用价值。

综上所述,烧结机烟气的主要特点是排放量大、 SO_2 排放浓度低且波动范围宽、含水量多,成分复杂、腐蚀性气体多(SO_2 、 HCl 、 HF 等)。

6.2.2 烧结厂粉尘污染物粒径分布特征

在 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 控制的研究过程中,粒径质量频率是一项很重要的指标,表 6-1 列出了烧结厂各生产工段排放粉尘的粒径质量频率分布特征。

表 6-1 烧结厂各生产工段排放粉尘的粒径质量频率分布

车间部位	质量频率 (%)				
	$>30\mu\text{m}$	$30\sim20\mu\text{m}$	$20\sim10\mu\text{m}$	$10\sim5\mu\text{m}$	$<5\mu\text{m}$
机头（冷矿）	64	6.7	14.9	6.0	8.4
整粒（环境除尘）	42	6	12	10	30
整粒（筛子除尘）	31	14	22	14	19

6.3 亚克力滤袋在烧结烟气除尘中的应用

6.3.1 亚克力滤料过滤性能的研究

动态除尘率比较真实地反映了滤料在工作状态下的除尘效果,通常采用滤料动态过滤性能测试仪器测定。

滤料动态过滤性能包括滤料的残余阻力及动态除尘率,分 4 个阶段进行测试。

(1) 初始阶段测试。将滤料样品安装在采样筒一侧,将高效滤膜安装在另一侧,按规定的参数(滤速、发尘量、滤后气体采样流量)发尘和采样,并进行实时检测和自动记录,当滤料阻力达 1000Pa 时,按规定的参数进行喷吹清灰。如此连续进行 30 次后,记录最后一次清灰后的滤料阻力,称为初始阶段滤料的残余阻力 P_1 。根据发尘时间 T 、测试和计算的累积发尘量、累积吸气量 Q 计算滤料样品捕集的粉尘质量(也可直接测定滤料的增重) M_d ,再按高效滤膜增重 g_m 、累积吸气量 Q ,计算排放的粉尘质量 M ,最后,计算出初始阶段滤料除尘率 η_1

(2) 滤料老化处理阶段的检测。在完成初始阶段测试后,重新按规定的参数发尘和采样,并进行实时检测和自动记录,每隔 5s 实施脉冲喷吹清灰一次,连续进行“滤尘—清灰”10000 次。记录最后一次清灰后的阻力,称为老化处理后的残余阻力 P_2 ,根据测试数据计算老化处理后的滤尘效率 η_2 。

(3) 最终检测。老化并稳定处理后滤料的滤尘性能检测按步骤(1)重复连续进行“滤尘—清灰”30 次,测试此时滤料的阻力,即为滤料的动态残余阻力 P_3 ,计算出滤料的动态除尘率 η_3 。

根据测定滤料动态阻力获得的数据,按下式计算滤料的粉尘剥离率 P_d

$$P_d = \frac{\Delta p_E - \Delta p_{E1}}{\Delta p_E - \Delta p_0} \times 100\%$$

式中： Δp_E —滤袋清灰前阻力（Pa）； Δp_{E1} —滤袋清灰后阻力； Δp_0 —滤料初始阻力，即洁净滤料阻力（Pa）。

亚克力滤料过滤性能的检测结果如表 6-2 所示。

表 6-2 亚克力滤料过滤性能测试结果

阻力特性	初始阻力	Pa	15.4	开始状态
	残余阻力	Pa	161.2	实验最终阶段
除尘特性	除尘效率	%	99.998	实验最终阶段
清灰特性	粉尘剥离率	%	85.2	实验最终阶段
	周期	—	28 分 45 秒	第一个周期
	周期		9 分 34 秒	最后一个周期

从东北大学的测试结果可以看出来，亚克力滤料是符合 GBT 6719-2009^[38]和 HJT326-2006^[39]标准要求的。

6.3.2 亚克力滤料的在首钢的应用工况

亚克力滤料在首钢京唐钢铁厂中具体工况情况如表 6-2。

表 6-2 亚克力滤料应用在首钢烧结机中的工况

除尘器入口烟气量	300×10 ⁴ m ³ /h(单套除尘器)
除尘器入口烟气固料浓度	<600—1000g/Nm ³
除尘器入口烟气温度	连续：130℃
	瞬间：≤150℃
除尘器入口烟气	NO _x : 400 mg/Nm ³
	CO ₂ : 8%
	O ₂ : 18%
	H ₂ O: 13%(蒸汽)
	SO ₂ : 300 mg/Nm ³

根据第三章所做试验，由于客观原因没有能亲自采集首钢京唐钢铁厂烧结机的烟气进行 PH 值的测试，但是从表中的氮氧化合物、二氧化硫以及水蒸汽的浓度可以看出，因为烟气中含水分很多，而酸性气体所占比例较少，所以首钢烧结

机烟气的酸性不是很强，，此亚克力滤料是能完全适用于这种酸性气体工况的。

自 2012 年 8 月，亚克力滤料在首钢京唐钢铁厂投入使用以来，使用过程中没有出现异常情况，并且烟囱排放的烟气质量浓度 $\leq 20\text{mg}/\text{m}^3$ ，达到了国家要求的排放指标。

6.4 本章小结

(1) 首钢京唐钢铁厂烧结脱硫采用是半干法循环流化床脱硫工艺，2 套 500m^2 烧结机烟气脱硫工程，共设两套滤袋除尘器。半干法循环流化床脱硫工艺简单，副产品还可回收利用，同时由于它的多次再循环，在 Ca/S 为 1~1.2 时就可以达到与湿法相当的脱硫效率。循环式硫化床则是在吸收塔内部增设了循环构件，从而减少了吸收塔出口粉尘的浓度，减轻了外循环装置的负担。烟气循环硫化床比传统喷雾干燥法有更高的脱硫效率和吸收剂利用率。

(2) 烧结机产生的烟气的主要特点是排放量大、 SO_2 排放浓度低且波动范围宽、含水量多，成分复杂、腐蚀性气体多，因此滤袋的选用显得尤为重要，而亚克力滤料是中温耐水解、耐酸性腐蚀的滤料，将其应用在首钢烧结厂的布袋除尘器中是非常适合的，经过东北大学的过滤性能的测试以及实际使用情况来看，亚克力滤料在除尘效率方面表现优异，在其使用后烧结厂排放的烟气质量浓度满足最新的国家排放指标。

(3) 根据东北大学的测试报告可知亚克力滤料的初始阻力为 15.4Pa ，残余阻力为 161.2Pa ，其除尘效率达 99.998%，亚克力滤料的过滤性能完全符合国家标准的要求。

第七章 结论和展望

7.1 结论

通过对亚克力纤维滤料以及涤纶纤维滤料进行耐酸、耐碱、耐氧化剂的处理,然后测试它们的各项基本物理性能,如断裂强力、断裂伸长率、尺寸稳定性、厚度、孔径等,比较数据可以发现如下结论:

(1) 未经硫酸溶液处理时,主针刺 7 道的亚克力滤料纵向断裂强力大于主针刺 5 道的亚克力滤料,而主针刺 7 道的亚克力滤料横向断裂强力小于主针刺 5 道的亚克力滤料;在四个硫酸浓度水平上,当硫酸在 10%和 20%低浓度时,亚克力滤料纵向和横向断裂强力增加值较大,当硫酸在 40%高浓度时,断裂强力呈现下降的态势,但是仍保持较高的断裂强力保持率。

主针刺道数同为 7 道的涤纶滤料和亚克力滤料相比而言,涤纶滤料的断裂强力也是呈现低浓度上升,高浓度时下降的趋势,但是涤纶的强力损失非常严重,尤其是 40%硫酸浓度水平时,处于最低值。这说明亚克力滤料在低浓度和高浓度硫酸溶液中,能保持较高的断裂强力保持率,而涤纶滤料在高浓度的硫酸溶液中,断裂强力的损失较严重。

(2) 对亚克力滤料而言,硫酸溶液的浓度越高,布样的纵向收缩幅度越大,且在 40%浓度时尺寸收缩幅度处于最大值,然而它们的横向尺寸收缩幅度随着硫酸溶液浓度的增加基本无变化,表明亚克力滤料的横向尺寸在不同酸性条件下有较好的尺寸保持率,而纵向尺寸随着浓度增加而收缩幅度增大。亚克力滤料和涤纶滤料相比而言,涤纶滤料纵向和横向尺寸都随着硫酸浓度变化而逐渐降低,而且幅度较大,可见当酸性溶液浓度不断增大时,涤纶滤料的尺寸收缩越严重,不能像亚克力滤料一样保持较高的纵横向尺寸保持率,由此可知,涤纶滤料是不适合应用在高浓度的酸性环境中。

(3) 主刺 7 道的亚克力滤料、主刺 5 道的亚克力滤料、主刺 7 道的亚克力滤料随着烧碱溶液浓度的增加,它们的性能均出现了不同程度的下降,主要表现在纵向断裂强力以及厚度和孔径的变化上,表明在碱性较强工况下,亚克力滤料和涤纶滤料的基本机械物理性能会受到较大程度的损伤,亚克力滤料不适合在高碱性的工况条件下投入使用。

(4) 亚克力滤料和涤纶滤料由于次氯酸钙的氧化性,而发生了不同程度的氧化作用,其中涤纶纤维的变化更为明显;亚克力滤料经过次氯酸钙的作用,纤

维与纤维间的间隙从图中可以看出变小了,纤维之间更加紧密,再加上纤维表面包覆的氧化产物,这可能是使其孔径变小的原因之一。

(5) 为了模拟工况的目的。初步得出亚克力针刺复合滤料和涤纶针刺复合滤料分别在相当于硫酸溶液 ($\leq 40\%$) 和硫酸溶液 ($\leq 20\%$) 的工况,而在相当于氢氧化钠溶液 ($\leq 20\%$) 和氢氧化钠溶液 ($\leq 10\%$) 的工况,并在相当于次氯酸钙溶液 ($\leq 10\%$) 和次氯酸钙溶液 ($\leq 10\%$) 的工况下,是可以作为烟气除过滤尘材料的。

7.2 展望

随着近年来国家对于环境保护的重视,以及社会大众对 PM2.5 等细颗粒物的深度关注,以后冶金工业、水泥行业、燃煤锅炉行业、垃圾焚烧行业的烟气排放标准会愈来愈严格。

亚克力纤维滤料作为针刺毡滤料,其纤维呈立体交错排列,三维结构,这种结构既有利于很快形成粉尘层,滤尘开始和清灰后也不存在直通的孔隙,捕尘效果稳定,而亚克力滤料在东北大学测试的除尘效率高达 99.998%。亚克力纤维滤料在干湿条件下均具有良好的耐热和耐腐蚀性能,并且能在热酸的环境下保持性能稳定。其瞬时工作温度能达到 160°C ,正常工作温度为 120°C 到 140°C ,针刺毡以纯亚克力机织布为基布增强纵横强力,亚克力滤袋适合应用于大型烧结机烟气温度高、酸性大、含水份多的工况,具有优良的耐化学性和抗水解性,适合应用于垃圾焚烧、沥青、电厂、水泥厂等烟气的收尘,可以有效地过滤掉烟气中的细微颗粒,减少 PM2.5 等细颗粒物的排放。

针刺毡滤料的工艺流程简单,产量大,再加上亚克力纤维滤料的这些优良性能,相信以后亚克力纤维滤料的应用会更加广泛。

参考文献

- [1] 王玮, 王文兴, 陈宗良. 日本东京湾地区冬季飘尘污染研究[J]. 环境科学学报, 1998(18).
- [2] Wang Wei; Sakamoto K; Wang Wenxing. Acidity and buffering ability to precipitation acidification of atmospheric aerosols collected in China, 1997(2).
- [3] Wang Wei; Sakamoto K; Wang Wenxing. Pollution characteristic of atmospheric aerosol and its relations to acid rain at the southern area of Fujian province in China, 1997(4).
- [4] 王玮, 汤大钢, 张孟衡. 气溶胶酸度和酸化缓冲能力的分析[J]. 中国环境监测 1993, 9 (3) .
- [5] 王玮, 王文兴, 坂本和彦等. 日本关东冬季飘雪酸度及其对酸雨形成的影响[J]. 中国环境科学, 1996, 16(6).
- [6] 王玮, 王英, 苏红梅等. 北京市沙尘暴天气大气气溶胶酸度和酸化缓冲能力[J]. 环境科学学报, 2002, 22(4).
- [7] 在发展中实施环境保护大连市已启动 PM_{2.5} 监测[DL]. 新华网. 2012.01.07
- [8] 袋式除尘行业 2011 年度发展报告[R]. 中国环境保护产业协会袋式除尘委员会.
- [9] 张殿印, 张学义. 除尘技术手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.
- [10] 陈明绍, 吴光兴, 张大中等. 除尘技术的基本理论及应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1981:578-579.
- [11] 桑亮, 孙体昌, 杨景玲等. 袋式除尘器的发展及其在高温条件下的应用[J]. 安徽化工, 2006, 140 (2) :61-63.
- [12] 刘克勤. 袋式除尘器在处理高温烟气中的应用[J]. 中国冶金, 2006, 16 (5): 44-47.
- [13] 刘书平. 我国用于袋式除尘器的过滤材料[J]. 产业用纺织品, 2007, 196 (1): 1-4.
- [14] 王锦, 任加荣, 俞镇慌. 芳腈纶针刺非织造布在高条件下的性能研究[J]. 合成纤维, 2008. 1.
- [15] 张殿印, 王纯, 俞非澹编著. 袋式除尘技术[M]. 冶金工业出版社, 2008:43-47
- [16] 黄齐模主编. 产业用纺织品. 第 1 版. 北京: 中国纺织出版社, 1998.
- [17] 杨彩云主编. 产业用纺织品. 第 1 版. 上海: 东华大学出版社, 2003.
- [18] 晏雄主编. 产业用纺织品. 第 1 版. 上海: 东华大学出版社, 2003.

- [19] 裘康, 焦晓宁. 非织造布在空气过滤中的应用[J]. 产业用纺织品, 2005, 1:24-26.
- [20] Houghton J, Anand S. C. and Purdy A. T. Characterisation of fabrics used for wet filtration[J]. Textile Asia, 1997, 27(7):59-66.
- [21] 刘呈坤, 马建伟. 非织造布过滤材料的性能测试及产品应用. 非织造布, 2005, 3:30-34.
- [22] Kenneth L. Rubow, Ph. D. Mott. Air Filtration. Filtration 96 International Conference and Exposition[C], (12): 2-4, 1996.
- [23] 张殿印, 王纯, 俞非澹编著. 袋式除尘技术[M]. 冶金工业出版社, 2008:305-306.
- [24] 刘书平. 亚克力纤维针刺过滤毡: 中国, 200720069357. 0[P]. 2008-04-02.
- [25] 吴春峰, 陆卫祥, 张金星等. 聚苯硫醚纤维和亚克力纤维梯度复合过滤毡: 中国, 201020033118. 1[P]. 2010-11-24.
- [26] 刘书平. 亚克力纤维涂层过滤毡: 中国, 201020659528. 7[P]. 2011-09-14.
- [27] 刘书平. 亚克力纤维水刺复合过滤毡: 中国, 201020659532. 3[P]. 2011-07-20.
- [28] 李新娥. 工业过滤布的生产及应用领域[J]. 毛纺科技, 2004, 7:47-48.
- [29] V. Kumar 编著. 纺织品过滤材料及应用[J]. 国外纺织技术, 2004, 22.
- [30] 徐彪. 亚克力滤料及 PPS 滤料在烧结机除尘中的应用[C]. 全国袋式除尘技术研讨会论文集. 2011:492.
- [31] 柯勤飞, 靳向煜编著. 非织造学[M]. 东华大学出版社, 2008:86-87.
- [32] 张悦, 祁宁. 关于循环硫化床脱硫机理的研究[J]. 辽宁化工, 2003, 32(4): 172-173.
- [33] 孙幸福, 王志强, 李万胜. 循环硫化床半干法烧结烟气脱硫探讨[C]. “十一五”烟气脱硫脱氮技术创新与发展交流会. 2007:78.
- [34] 宫国卓, 杨文芬, 陈倬为. 循环硫化床技术在烟气脱硫中的应用[J]. 煤炭加工与综合利用, 2011, 1:54-59.
- [35] 李晓斐, 傅大放, 马光. 半干法烟气脱硫新技术—粉末-颗粒喷动床技术[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3(6): 53-56.
- [36] 李文武. 大型烧结技术在首钢京唐钢铁厂工程中的创新应用[N]. 世界金属导报, 2010-3-16.
- [37] 李依丽, 钱文娇, 李晶欣等. 首钢烧结厂 PM₁₀ 治理技术与经济分析[N]. 环境工程学报, 2009, 3(7):1299-1310.
- [38] GB/T 6719-2009. 袋式除尘器技术要求[S].
- [39] HJT326-2006. 环境保护产品技术要求 袋式除尘器用覆膜滤料[S].

附录

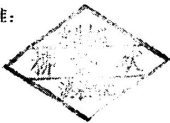
东北大学滤料检测中心
检测报告

计量认证：2012060151K
中环协认检(2011)07号

No.110801
共4页 第1页

受检单位	江苏东方滤袋有限公司 东华大学	样品规格	2.15×1.5m
样品名称	耐高温氧化的环保滤料	厂商样品标称	“志荣”牌
生产单位	江苏东方滤袋有限公司		
抽样地点		抽（送）样数量	滤料 3m ²
抽样方法	寄样	抽（送）样日期	2012.8.2.
检测项目	厚度，厚度偏差，单位面积质量，单位面积质量偏差，经向断裂强力，经向断裂伸长率，纬向断裂强力，纬向断裂伸长率，透气度，透气度偏差，耐热特性，除尘效率，粉尘剥离率，阻力特性，喷吹周期。		
检测依据	HJ/T 324-2006 环境保护产品技术要求 袋式除尘器用滤料		
检测结果	符合标准要求（详见附页）		
检测结论	样品所测参数符合 HJ/T 324-2006 标准。 检测专用章 2012年8月9日		
备注		贴样	

批准：



审核：



主检：



东北大学滤料检测中心

检测报告附页

计量认证: 2012060151K

No.110801

中环协认检(2011)07 号

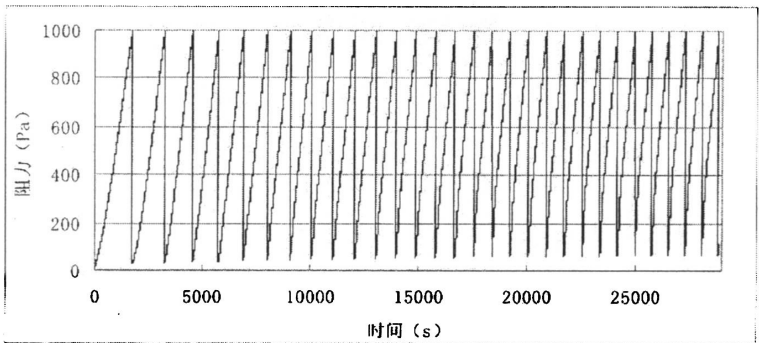
共 4 页 第 2 页

特性	检测项目		单位	实测值	备注
形态特征	单位面积质量		g/m^2	566	
	单位面积质量偏差		%	-1.4, +1.7	
	厚度		mm	2.05	
	厚度偏差		%	-2.0, +3.8	
强力特性	断裂强力	经向	$\text{N}/5\times 20\text{cm}$	1110	
		纬向		1514	
	断裂伸长	经向	%	34.6	
		纬向		33.0	
透气性	透气度		$\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{min}$	11.66	
	透气度偏差		%	-5.7, +2.9	
阻力特性	初始阻力		Pa	15.4	开始状态
	残余阻力		Pa	161.2	实验最终阶段
除尘特性	除尘效率		%	99.998	实验最终阶段
清尘特性	粉尘剥离率		%	85.2	实验最终阶段
	周期		—	28 分 45 秒	第一个周期
	周期			9 分 34 秒	最后一个周期

计量认证: 2012060151K
中环协认检(2011)07号

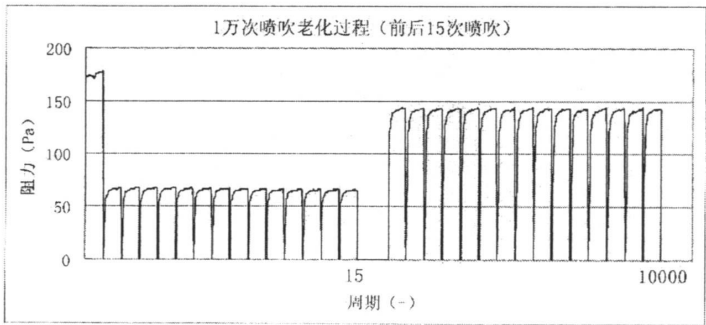
No.110801
共4页 第3页

(1) 开始状态: 滤料 1000Pa 定压喷吹 30 次过程



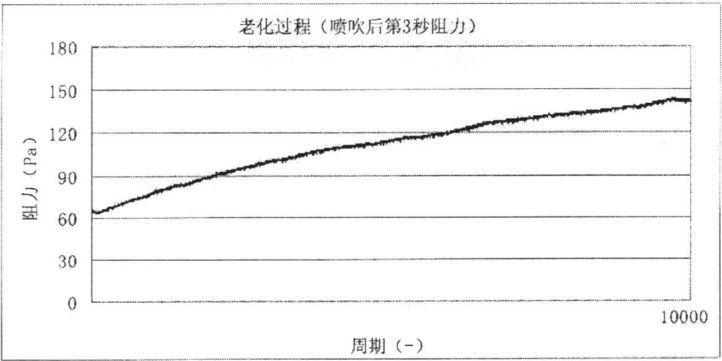
滤料开始的阻力: 15.4Pa
30 个周期结束时的残余阻力: 70.1Pa
第一个周期的时间: 28 分 45 秒
第 30 个周期的时间: 12 分 53 秒
30 个周期的过滤效率: 99.990%
30 个周期的粉尘剥离率: 94.4%

(2) 5s 间隔喷吹 10000 次老化过程



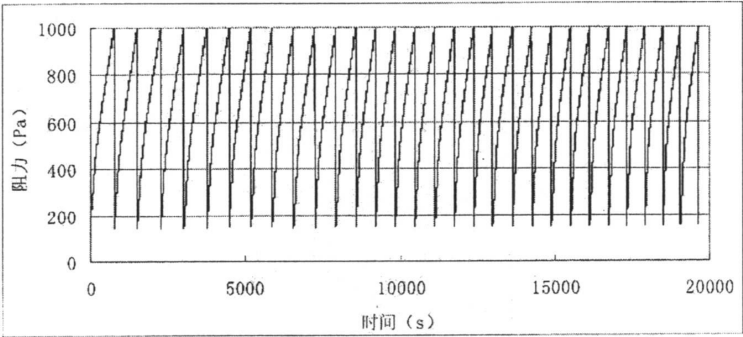
计量认证: 2012060151K
中环协认检(2011)07号

No.110801
共4页 第4页



老化过程开始时的初始阻力:70.1Pa
老化过程结束时的残余阻力:142.4Pa

(3) 老化后 1000Pa 定压喷吹 30 次过程



30 个周期开始的阻力: 146.5Pa
30 个周期结束时的残余阻力: 161.2Pa
第一个周期的时间: 12 分 36 秒
第 30 个周期的时间: 9 分 34 秒
30 个周期的过滤效率: 99.998 %
30 个周期的粉尘剥离率: 85.2%

致 谢

本研究及学位论文是在我的导师王洪老师的悉心指导下完成的，首先要感谢王洪老师，正是由于王洪老师循循善诱，孜孜不倦地给我们灌输非织造技术最前沿的科学技术，让我对非织造学产生了极其浓厚的兴趣，并对非织造学中的理论有了更深的认识。从刚开始论文方向的选定，到最后整篇论文的修改，王老师都非常耐心的对我进行指导，给我提供很多数据资料和建议，告诉我应该注意的细节问题，详细地给我指出存在的问题，导师的关心和鼓励对于我整个课题和论文的完成起到了非常关键的作用。，再次向王洪老师表示最真挚的感谢！

非织造组课题组里各位老师们的严肃的科学态度，严谨的治学精神，精益求精的工作作风，深深地感染和激励着我，衷心感谢靳向煜老师、吴海波老师、殷保璞老师、王荣武老师、张初阳老师、张志奋老师、黄健华老师对我的关心、支持和教诲！

感谢江苏东方滤袋有限公司给我提供实习的机会，让我掌握了针刺毡滤料的整个生产流程工序，感谢东方公司的张旭东总经理在实习期间给我提供了非常方便的饮食居住环境，以及对我生活和学习上的关心和指导，感谢东方公司的刘宝明工程师在生产实习时帮助我解答疑难问题！

感谢我的父母对我的关心、支持和鼓励！

感谢辛勤评阅本论文的各位专家！

感谢培养我的东华大学纺织学院！