

柳絮纤维的研究现状与展望

付玮康, OLIMOV Khamdamjon, 李 炜, 荆愈涵, 奚柏君*

(绍兴文理学院 纺织服装学院, 浙江 绍兴 312000)

摘要:柳絮通常被视为废弃物,但其实质为优质的生物质资源。从柳絮纤维的微观结构出发,针对柳絮纤维质轻、截面中空、表面褶皱、孔隙多等特点,介绍了柳絮纤维在电极材料、重金属吸附、纳米气凝胶、CO₂捕获和吸油材料等领域的研究现状及应用展望。

关键词:柳絮;电极材料;重金属吸附;纳米气凝胶

中图分类号:TS 102.2

文献标志码:A

文章编号:1673-0356(2022)04-0001-05

柳树是一种常见的园林绿化树种,容易种植且生长迅速,同时柳树为蒸腾速率极高的深根植物,可以有效地减少污染物从地表水到地下水的迁移^[1]。柳树叶片中具有累积Cd和Zn的能力,适合于从受污染的地点通过这些树种提取这些元素,同时也可作为土壤污染的生物监测指标^[2],因此柳树在中国被广泛用作城市绿化景观植物。

柳絮是柳树的种子,上面覆盖着大量蓬松的柳絮纤维。每年春季,柳絮大量出现,接触人群可能出现咳嗽、皮肤红疹和其他过敏症状^[3]。一棵柳树每年产出的柳絮有28万~1 485万枚,重约1 000 g,而在人工林和农林复合系统中,中国种植的柳树占世界柳树资源的85%^[4],这意味着中国以柳树为绿化树种的城市可以生产数千万公斤的柳絮,这些絮状物极大增加了花季的颗粒物排放。ZHOU等^[5]研究表明,在南京市春夏过渡季节,以柳絮为主的植物相关颗粒物可占颗粒物总数的2%~10%。

如果能将这些柳絮纤维加以利用,不仅能带来一定的社会效益,顺应可持续发展的趋势,还能解决柳絮的污染问题。因此,对柳絮进行适当处理,使其具有利用价值,具有良好的应用前景。

介绍柳絮纤维的微观结构以及近年来柳絮纤维在电极材料、重金属离子吸附、纳米气凝胶、CO₂捕获和吸油材料等领域的研究进展与展望。

1 柳絮纤维的微观结构

柳絮纤维的横纵向形态结构如图1所示。通过扫描电子显微镜观察,图1(b)中,柳絮纤维的横截面有明显的椭圆形中空,说明柳絮纤维为中空纤维;图1(c)、(d)中可以看出柳絮纤维纵向相对光滑、无转曲,平均直径约为9.11 μm;图1(a)中,纤维梢端、中段和尾段粗细无明显差异,一定长度内有一段束起的结,可能是由于处理柳絮纤维时纤维受外力屈曲折叠,纤维空腔破裂外壁压缩导致。从图1可以看出柳絮纤维空腔壁薄,接近透明,横截面形态结构高度中空,促使柳絮纤维内部布满许多大小不一的微小褶皱和孔隙,因而孔隙率较高。

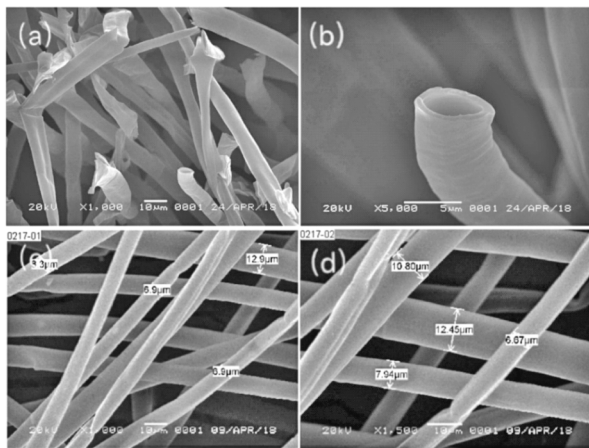


图1 柳絮纤维的微观形貌

图1 柳絮纤维的微观形貌

柳絮在微观形态上壁薄、空腔大,纤维表面有微孔且直径在10 μm左右。因为有蜡质层包裹的原因,未经处理过的柳絮纤维表面光滑,脱蜡处理后微纤集集体裸露导致纤维表面粗糙。

收稿日期:2021-11-18;修回日期:2021-11-26

基金项目:浙江省科技厅公益项目(LGG19E030005)

第一作者:付玮康(1995—),男,硕士研究生,主要从事天然纤维材料的研究。

*通信作者:奚柏君(1963—),女,教授,主要从事纺织材料的开发利用,E-mail:xbj@usx.edu.cn。

余宏伟等^[6]对柳絮进行三级红外光谱研究,由表1的数据可知,在 $3\ 000\sim 1\ 000\text{ cm}^{-1}$ 频率范围内, $1\ 740\text{ cm}^{-1}$ 频率处是油脂的羰基伸缩振动模式($\nu_{\text{C=O}}$)产生的较宽的红外吸收峰。 $1\ 660$ 、 $1\ 610$ 、 $1\ 580\text{ cm}^{-1}$ 频率处发现了3个红外吸收峰,其中 $1\ 660\text{ cm}^{-1}$ 频率处的红外吸收峰是典型的蛋白质酰胺峰I($\nu_{\text{C=O}}$)模式,而 $1\ 610\text{ cm}^{-1}$ 和 $1\ 580\text{ cm}^{-1}$ 这两处则属于蛋白质酰胺峰II($\delta_{\text{N-H}}+\nu_{\text{C-N}}$)红外吸收峰。这三处红外吸收峰说明柳絮纤维的种子中含有少量的油脂及蛋白质。

通过对红外谱图的研究,可以看出柳絮纤维化学组成主要为 α -纤维素和少量油脂及蛋白质。

表1 柳絮纤维三级红外光谱数据^[6]

官能团	吸收波段/ cm^{-1}		
	一维红外光谱	二阶导数红外光谱	同步二维红外光谱
ν_{asCH_2}	2 920	2 920	2 930, 2 930; 2 918, 2 918
ν_{CH}	—	—	2 905, 2 905
ν_{SCH_2}	2 850	2 850	2 850, 2 850
$\nu_{\text{C=O}}$	1 740	1 735; 1 745	1 750, 1 750
酰胺峰 I	—	1 660	—
酰胺峰 II	1 600	1 610; 1 580	—; 1 580, 1 580
$\delta_{\text{OH-1}}$	1 424	1 424	—
$\delta_{\text{OH-2}}$	—	1 335	1 335, 1 335
$\delta_{\text{C-O}}$	—	1 032, 1 055	1 016, 1 016; 1 085, 1 085

2 柳絮的研究进展及应用展望

2.1 电极材料

随着社会进步,绿色理念的深入人心,人们对环境问题也日益重视,开发具有清洁可持续特性的新能源材料也一直被广大学者关注研究。碳材料原料来源广泛,物理化学稳定性好,比表面积及孔体积大^[7],被广泛应用于双电层电容器和电池的电极材料,常见的有活性炭、碳纳米管、石墨烯和炭气凝胶等。其中,尽管活性炭比表面积高、成本低^[8-9],但是因为活性炭孔隙闭塞,所制备的电极材料在电容和功率方面并不理想。离子在电极材料之间的通过时间是电容器和电池性能高低的一个重要指标,目前,石墨烯相较于一般活性炭具有更好的孔隙结构,适合于制备高性能电极材料。但是由于石墨烯的产能有限、价格高昂,应用前景并不理想,而生物质碳材料具有可再生、低成本和生态友好的特点,因此受到了广泛关注。

柳絮具有特殊的天然空腔结构且组成杂原子丰富,因此将柳絮纤维作为前驱体制备的碳材料会具有

特定的化学性质和微孔结构。林焯等^[10]以柳絮为生物质碳前驱体,采用KOH活化和氨气氛围高温碳化两步法制备了生物质氮掺杂多孔碳材料,制备的碳材料具有较高的氮含量和丰富的多孔结构,其电化学测试结果表明该种材料具有较好的质量比电容和极其优异的倍率性能和循环稳定性。尽管林焯等的柳絮生物质碳材料在电流密度为 1 A/g 时的质量比电容相较于传统石墨烯基复合材料的接近 $1\ 000\text{ F/g}$ 有一定差距,但是在较高电流密度下依然有大于 200 F/g 的比电容,对快速充电为发展前景的能源领域依然有较大的使用价值,而且工艺较为简单,便于规模化的工业生产。XIE等^[11]用柳絮以相似方法制备分层多孔碳微管,在 1 A/g 电流密度下具有 $37.9\text{ W}\cdot\text{h/kg}$ 的高能量密度,且在 2.8 V 工作电压下具有 $4\ 000$ 次循环使用寿命,较好的性能表现说明柳絮生物质基多孔碳材料是一种很有潜力的能量转换和储能材料。WU等^[12]采用直接碳化法将柳絮合成了微米级一维多孔碳微管,将碳微管材料进一步负载高含量硫($>75\text{ wt}\%$)作为负极,如图2(a)、(b)所示,均匀且相互连接的柳絮纤维碳微管被很好地分散,从图2(c)可以看出,硫元素分布均匀,密集程度较高。通过研究该锂硫电池的性能,在 150 次循环周期后,放电容量依旧达到了初始容量的 80% ,长循环周期下的高性能表现,说明天然柳絮材料能被开发用于能量存储。赵鲁康等^[13]对柳絮纤维热处理后使用KOH活化,制备具有较大层间距的钾离子电池电极材料,在 1 A/g 电流密度下循环 300 次后依然有 $228\text{ mA}\cdot\text{h/g}$ 比容量,同时在 5 A/g 的高电流密度下表现出 $122\text{ mA}\cdot\text{h/g}$ 的高比电容,稳定的循环性能和高倍率性能说明柳絮纤维碳材料具有较好的储钾能力,但是KOH活化过后的柳絮纤维电极材料的缺陷程度升高,石墨化程度降低,导致对电解液的消耗加剧。

目前,对于柳絮纤维在电化学电极材料领域的研究较多,进一步提高柳絮纤维电极材料的比电容和循环性能是研究的主要方向。

2.2 重金属离子吸附剂

近年来,国际上对重金属离子的污染问题极为重视,国内外学者广泛聚焦于利用绿色无污染、可再生的纤维素资源对水体重金属离子进行处理。自然界中存在大量可利用的纤维素资源^[14],但未经处理的纤维素对重金属离子的吸附性能并不强,因此需要通过一定

的手段如化学改性、接枝来使其拥有更多的吸附位点或基团,进而高效吸附重金属离子^[15]。目前已有多种纤维素^[16-17]及其衍生物^[18-19]所制成的聚合物吸附剂在处理污染水体中的重金属离子方面得到了大量应用,其中,生物炭因其具有低成本、高吸附等特点,受到了各方学者的广泛关注。

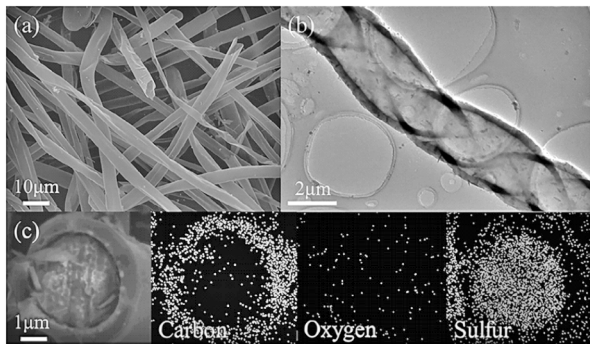


图2 柳絮毫米级一维多孔碳微管微观形貌^[12]

通过预处理优化及化学改性,已经制备出了性能优越且价廉的吸附用生物质炭。YANG等^[20]用HNO₃对生物质炭进行活化改性,其改性原理如图3所示,通过硝化反应,控制速率将NO₂⁺接枝到生物质炭上,增加其含氧官能团,然后用Na₂S₂O₄快速还原,增加吸附位点,吸附量相较于未改性前提高了8倍,极大地提高了对Cu(II)吸附能力。王彦隽等^[21]通过厌氧热解法将玉米秸秆制成生物质炭,当pH值为4、吸附剂投放量为1.75 g/L时,其对样品水体中Th(IV)几乎达到全吸附。INYANG等^[22-23]利用厌氧热解纤维素制备生物质炭,其对Pb(II)的吸附性能远超商业活性炭,同时他们发现破裂处理过的该生物质炭对水体中的Cu(II)的吸附性能显著提升。

目前,柳絮纤维在环境污染治理方面的研究还无人涉及,但柳絮纤维微细结构多孔化,孔隙率高,比表面积大。经过碳化之后,比表面积进一步提升,因此在吸附重金属离子这一领域有较好前景。

2.3 纳米气凝胶

气凝胶是一种新型的高孔隙率材料,由水凝胶通过低温冷冻干燥或者超临界干燥得到^[24],因此形成了气凝胶独特的结构,具有高比表面、低导热系数、低导电系数、可再生性等优良性能,其孔隙率80%~99%、比表面积为400~1 200 m²/g、密度为0.001~0.4 g/cm³^[25]。纤维素气凝胶是一种天然的高分子气凝胶材料,不但具有传统气凝胶的优点,还具有天然材料无污

染、生物可降解的特点^[26]。纤维素气凝胶因其具有孔隙率高、密度低等优点,被广泛应用于吸附、保温和光电等领域^[27]。

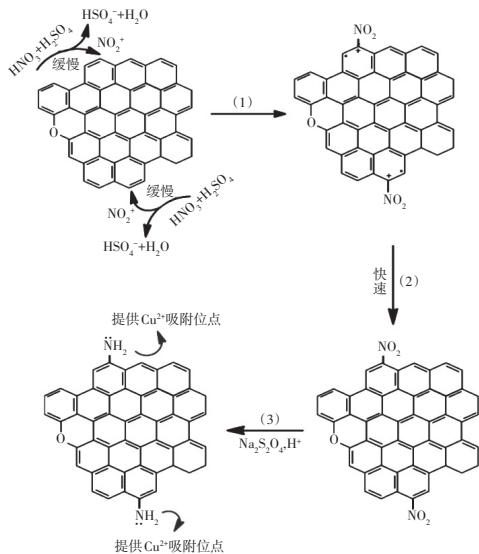


图3 生物质炭的氨基改性原理

史甜霖等^[28]具体研究了以杨絮纤维为原料,经过化学纯化得到杨絮纳米纤维素溶胶,采用液氮冷冻再经冷冻干燥机制备出了纳米纤维素气凝胶。样品如图4所示,内部由无数个形状相似的微小孔隙单元相连排列,图4(a)、(b)仅在超声时间上有所差别,可以看出图4(b)的孔隙均匀性更好,但两样品的物理特性基本相似,其密度仅为0.3~0.4 mg/cm³,孔隙率均大于99%。GAO等^[29]在不使用活化剂的情况下直接热解杨絮而制得油性碳气凝胶,其吸收能力是其自重的81~171倍,并且对不同的油和有机溶剂都具有出色的可回收性,性能十分优异。

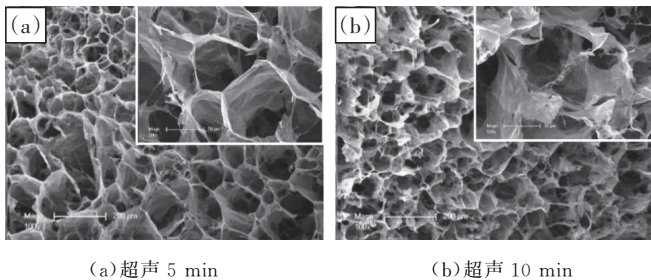


图4 纳米纤维素气凝胶微观形貌^[28]

陈航^[30]的研究表明,杨絮与2种天然纤维有较多相似之处,且柳絮纤维的纤维素含量高,几乎不含木质素,具备制备纳米纤维素气凝胶的客观条件,因此柳絮纳米气凝胶值得探索。

2.4 CO₂捕获材料

近些年来,全球气候变化一直是人们关注的焦点

问题,其中,CO₂排放导致的气候变暖更是亟需解决的重中之重。CO₂主要来源于精炼厂和发电厂的生产排放。SAMANTA 等^[31]的研究表明,全球大气中的CO₂浓度从工业化前的 280 ppmv 增加至现在的 390 ppmv。因此,对 CO₂的捕获是主要研究热点之一。目前,国际上对 CO₂的吸附主要是利用传统的吸收分离法^[32],该方法将 CO₂的混合气体通过吸附剂溶液,洗涤混合气体从而分离 CO₂。CO₂捕获常用的固体吸附剂主要为沸石、多孔碳和金属有机骨架等,其中多孔碳材料因为绿色可再生、稳定性良好和较强的吸附选择性等优点被广泛关注,目前的主要研究方向为高效制备高 CO₂吸附量的多孔碳材料。

在孔径分布中,只有超微孔对 CO₂ 的吸附起作用^[33]。CHEN 等^[34]利用椰子壳制备的超微孔碳在 25 °C、1 bar 的条件下表现出 5 mmol/g 的 CO₂ 吸附量。邬良^[35]利用木棉纤维预氧化及碳化活化得到木棉纤维生物质炭,通过提高表面 O—I(羰基或醌基氧)含量的方式来增大生物质多孔碳的 CO₂ 吸附量,测试中表现出 6.32 mmol/g(27.81 wt%)的 CO₂ 吸附量。值得注意的是,在其实验中,更高微孔量样品的 CO₂ 吸附量并不理想,说明路易斯酸碱中和是该材料的 CO₂ 主要吸附方式。JALILOV 等^[36]通过 KOH 对沥青进行活化,并使用 NH₃ 进行热处理,再经过 H₂ 还原制备了具有高氮掺杂的多孔碳材料,制备流程如图 5 所示。在 25 °C、30 bar 下展示了 26 mmol/g 的 CO₂ 吸附量,而且该材料通过简单的变压吸附,在压力达到 1 bar 时,CO₂ 就被释放,具有较好的 CO₂ 捕获可逆性。通过变压吸附的过程,为捕获 CO₂ 提供了一个廉价高效的可逆捕获媒介。

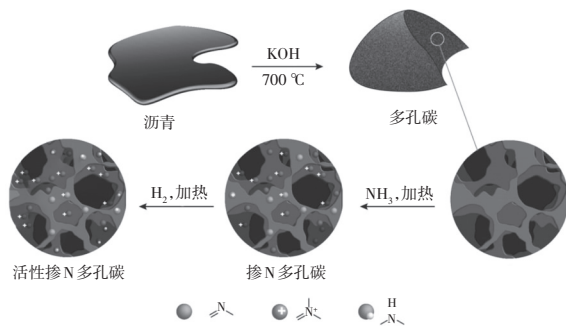


图5 沥青制备多孔碳材料流程^[36]

根据 XIE 等^[11]的研究表明,在相同的 KOH 活化条件下,活化温度为 800 °C 时,碳化柳絮纤维材料的孔径分布以 1.5 nm 为中心,范围约为 0.57~4 nm,基本上可以满足 CO₂ 捕获的微观物理条件。因此,柳絮纤维

也有望被用于开发 CO₂ 捕获材料。

2.5 吸油材料

油类是现代工业必需的工业品,被称为“工业血液”。随着经济全球化的推进,工业油类运输过程中的泄露问题以及废品油排放污染也引起了多方面关注。因此,绿色吸油材料的制备也成为了近些年来研究的热点领域。

未经处理过的柳絮纤维表面含有稀薄的蜡质层,故其具有一定的拒水亲油特性。当柳絮纤维和油接触时,油会被较快吸附并存储于柳絮纤维的空腔结构中。因此,柳絮纤维可以作为相关吸油材料的基材。

目前,关于杨絮纤维吸油材料的研究较多,这也给柳絮吸油材料的研究提供了一个可行性思路。单巨川等^[37]研究了不同条件下,杨絮纤维对大豆油和柴油的吸附效果,结果表明杨絮纤维对大豆油和柴油的吸油倍率分别为 72 g/g 和 49 g/g。值得注意的是,研究仅探索了单一杨絮纤维,而未考虑纺织复合材料。魏玉君等^[38]利用棉短绒制备棉短绒非织造布吸油毡的柴油吸油倍率在 9.37~16.85 g/g,其结果远小于杨絮纤维。

可以看出,杨絮纤维具有较好的吸油性能,作为同样高中空、拒水亲油的絮状纤维,柳絮纤维在吸油材料领域具有较好的研究前景。

3 结束语

回顾了近年来关于柳絮纤维的研究进展,介绍了柳絮纤维的结构特点以及潜在的应用领域。可以看出柳絮纤维作为电化学电极材料具有一定优势;天然柳絮纤维碳化后的材料也可以对空气中的 CO₂ 气体捕捉,以及吸附土壤、水中的重金属离子;利用柳絮纤维制备纳米气凝胶也具有较高的可行性和创新性。在纺织吸油复合材料中柳絮纤维也有较大的开发探索空间。

柳絮纤维的利用不仅可减少污染,有利于环境保护,还可以创造更多的价值,所以,深入探究柳絮纤维是一个较有前景的研究课题。

参考文献:

- [1] BOLAN N S, PARK J H, ROBINSON B, et al. Phytostabilization: A green approach to contaminant containment[J]. *Advances in Agronomy*, 2011, 112: 145-204.
- [2] ROBINSON B H, MILLS T M, PETIT D, et al. Natural and induced cadmium-accumulation in poplar and willow: Implications for phytoremediation [J]. *Plant and Soil*, 2000, 227(1): 301-306.

- [3] LI Y, WANG G, WEI T, et al. Nitrogen and sulfur co-doped porous carbon nanosheets derived from willow catkin for supercapacitors[J]. *Nano Energy*, 2016, 19: 165-175.
- [4] FAO. Poplars, willows and people's wellbeing: Abstracts of submitted papers[J]. *Tigerpaper*, 2009, 36(1): 16.
- [5] ZHOU B, FENG L, SHIUE A, et al. Study on influencing mechanism of outdoor plant-related particles on indoor environment and its control measures during transitional period in Nanjing[J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 2018, 19(3): 571-586.
- [6] 于宏伟, 赵婷婷, 杨晓雪, 等. 杨絮纤维及柳絮纤维的三级红外光谱研究[J]. *成都纺织高等专科学校学报*, 2017, 34(3): 17-24.
- [7] 冯晨辰, 吴爱民, 黄昊. 超级电容器电极用N-掺杂多孔碳材料的研究进展[J]. *材料导报*, 2016, 30(1): 143-149.
- [8] 侯敏, 邓先伦, 孙康, 等. 超级电容器用活性炭电极材料研究进展[J]. *生物质化学工程*, 2015, 49(3): 59-64.
- [9] 赵婧, 龚俊伟, 李一举, 等. 自掺杂氮多孔交联碳纳米片在超级电容器中的应用[J]. *化学学报*, 2017, 76(2): 107-112.
- [10] 林焯, 姚路, 吴登鹏, 等. 基于柳絮的生物质活性炭制备及电容性能的研究[J]. *电子元件与材料*, 2018, 37(10): 13-21.
- [11] XIE L, SUN G, SU F, et al. Hierarchical porous carbon microtubes derived from willow catkins for supercapacitor applications[J]. *Journal of Materials Chemistry A*, 2016, 4(5): 1637-1646.
- [12] WU J, ZHANG X, ZHAO Z, et al. Hierarchical carbon microtubes from willow catkins for Li-S batteries[J]. *Materials Letters*, 2020, 261: 127079.
- [13] 赵鲁康, 黄方志. 柳絮衍生中空碳管的制备及其储钾性能研究[J]. *广州化工*, 2021, 49(8): 40-42.
- [14] 张智峰. 纤维素改性研究进展[J]. *化工进展*, 2010, 29(8): 1493-1501.
- [15] 陈丽华. 改性纤维素吸附剂的制备及其对重金属离子的吸附[J]. *中国新技术新产品*, 2009, 2(12): 6.
- [16] JORGETTO A O, SILVAR I V, LONGO M M, et al. Incorporation of dithiooxamide as a complexing agent into cellulose for the removal and pre-concentration of Cu(II) and Cd(II) ions from natural water samples[J]. *Applied Surface Science*, 2013, 264(1): 368-374.
- [17] LU M, ZHANG Y M, GUAN X H, et al. Thermodynamics and kinetics of adsorption for heavy metal ions from aqueous solutions onto surface amino-bacterial cellulose[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2014, 24(6): 1912-1917.
- [18] DAX D, CHAVEZ M S, XU C L, et al. Cationic hemi-cellulose-based hydrogels for arsenic and chromium removal from aqueous solutions [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2014, 111: 797-805.
- [19] RAHMAN M L, ROHANI N, MUSTAPA N, et al. Synthesis of polyamidoxime chelating ligand from polymer-grafted corn-cob cellulose for metal extraction [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2014, 131(19). DOI: 10.1002/app.40833.
- [20] YANG G X, JIANG H. Amino modification of biochar for enhanced adsorption of copper ions from synthetic wastewater[J]. *Water Research*, 2014, 48: 396-405.
- [21] 王彦隽, 赵婷婷, 王维大. 玉米秸秆生物炭对水溶液中Th(IV)的吸附性能[J]. *安全与环境学报*, 2020, 20(6): 2375-2382.
- [22] INYANG M, GAO B, YAO Y, et al. Removal of heavy metals from aqueous solution by biochars derived from anaerobically digested biomass[J]. *Bioresource Technology*, 2012, 110: 50-56.
- [23] INYANG M, GAO B, DING W, et al. Enhanced lead sorption by biochar derived from anaerobically digested sugarcane bagasse[J]. *Separation Science and Technology*, 2011, 46(12): 1950-1956.
- [24] MEMBRENO D, SMITH L, DUNN B. Silica sol-gel chemistry: Creating materials and architectures for energy generation and storage[J]. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 2014, 70(2): 203-215.
- [25] HAJ-ALI R, ELIASI R, FOURMAN V, et al. Mechanical characterization of aerogel materials with digital image correlation [J]. *Microporous & Mesoporous Materials*, 2016, 226: 44-52.
- [26] 李坚, 邱坚. 气凝胶型木材的形成与分析[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [27] 阴建华, 吕悦慈, 张军, 等. 杨树枝毛纤维的性能及其采集应用[J]. *棉纺织技术*, 2011, 39(9): 65-68.
- [28] 史甜霖, 王汉坤, 吴燕, 等. 杨絮纳米纤维素气凝胶的制备及表征[J]. *家具*, 2018, 39(4): 14-16, 25.
- [29] GAO S, LI X, LI L, et al. A versatile biomass derived carbon material for oxygen reduction reaction, supercapacitors and oil/water separation[J]. *Nano Energy*, 2017, 33: 334-342.
- [30] 陈航, 梅长彤, 骆文, 等. 杨/柳絮与其他天然纤维的微观结构比较研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2018, 38(3): 929-932.
- [31] SAMANTA A, ZHAO A, SHIMIZU G K H, et al. Post-Combustion CO₂ capture using solid sorbents: A Review [J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2012, 51(4): 1438-1463.

理工大学,2002.

- [16] 吴中伟,张慧,艾青松,等. 芳纶防弹防刺材料研究[J]. 合成纤维,2021,50(6):36-40.
- [17] 胡晓兰,王东,石毓镡,等. 用于人体防护装甲的纤维复合材料的研究[J]. 纤维复合材料,2000(2):40-44.
- [18] 李英建,金子明,李华,等. 玄武岩纤维增强乙烯基酯树脂的抗弹性能研究[J]. 工程塑料应用,2006(9):5-7.
- [19] 王亚进,王陶,王良模,等. 陶瓷/芳纶纤维复合靶板防弹

性能研究及结构改进[J]. 北京化工大学学报(自然科学版),2020,47(2):74-80.

- [20] LIU B G, WADLEY H, DESHPANDE V S. Failure mechanism maps for ultra-high molecular weight polyethylene fibre composite beams impacted by blunt projectiles [J]. International Journal of Solids and Structures, 2019, (7):178-179.

New Bulletproof Composite Material

HAO Chentao

(Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

Abstract: With the application of advanced technology in military warfare, the situation of personnel and property losses is becoming more and more complicated. Therefore, further research and application of ballistic materials should also be conducted. Ceramic armor and fiber reinforced composite materials are important research and application directions. The new composite bulletproof ceramic board and aramid bulletproof composite material were summarized. The new composite bulletproof ceramic board was compared with the traditional bulletproof board, and its characteristics and some problems still existing in the current research and application were analyzed. The bulletproof mechanism of aramid bulletproof composites was described in detail, and the main factors that affect the performance of the aramid bulletproof composite material were pointed out.

Key words: new composite ceramic bulletproof board; fabric structure; aramid bulletproof composite material

(上接第 5 页)

- [32] 王震. 甲烷/二氧化碳的吸附法分离[D]. 天津:天津大学, 2005.
- [33] BAI R, YANG M, HU G, et al. A new nano porous nitrogen-doped highly-efficient carbonaceous CO₂ sorbent synthesized with inexpensive urea and petroleum coke[J]. Carbon, 2015, 81(1): 465-473.
- [34] CHEN J, YANG J, HU G, et al. Enhanced CO₂ capture capacity of nitrogen-doped biomass-derived porous carbons [J]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2016, 4 (3):1439-1445.

[35] 邬良. 木棉及柳絮纤维基生物质多孔碳制备及电化学储能与 CO₂ 捕获的研究[D]. 北京:北京化工大学, 2017.

[36] JALILOV A S, RUAN G, HWANG C C, et al. Asphalt-derived high surface area activated porous carbons for carbon dioxide capture[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2015, 7(2): 1376-1382.

[37] 单巨川,张梦迪,阴建华,等. 杨树绒毛纤维的吸油性能研究[J]. 棉纺织技术, 2017, 45(12): 14-17.

[38] 魏玉君,夏朝阳,徐丽丽,等. 棉短绒非织造布吸油性能测试与评价[J]. 上海纺织科技, 2018, 46(8): 52-54.

Research Status and Prospect of Willow Catkin Fiber

FU Weikang, OLIMOV Khamdamjon, LI Wei, JING Yuhan, XI Bojun*

(College of Textile and Garment, Shaoxing University, Shaoxing 312000, China)

Abstract: Catkins are usually regarded as waste, but their essence is high-quality biomass resources. Based on the microstructure of willow catkin fiber, the research status and application prospect of catkins in electrode material, heavy metal adsorption, nano-aerogels, CO₂ capture and oil absorbing materials were introduced in light of the characteristics of catkins, such as light weight, hollow section, surface wrinkle and many pores.

Key words: willow catkin; electrode material; heavy metal adsorption; nano-aerogels