廣西大學

博士学位答辩资格审核表

学　院	轻工与食品工程学院		学科专业名称 （与学籍信息一致）	轻工技术与工程	
研究生姓名	张含笑	学号	2216401014	入学日期	2022 年 09 月
指导教师 （姓名、职称）	沙九龙　副教授		学位类型	☑学术学位　☐专业学位	
学位成果类型	☑学位论文　☐实践成果（成果形式：　　）				
学位成果题目	离子传输调控增强纤维素基水凝胶湿气发电性能的机理研究				

质量审核

评阅情况	送审情况			评审结果		
	聘请	评阅专家	其中行业专家	专家 1	专家 2	专家 3
		3　人	0　人			
	回收	3　份	0　份	89 分	88 分	85 分

答辩专家组成审核

		姓名	职称	是否博导	是否我校兼职博导	工作单位	备注
答辩委员会	主席	戴红旗	教授	是	否	南京林业大学	
	委员	肖领平	教授	是	否	大连工业大学	
		闵斗勇	教授	是		广西大学	
		张健	副教授	是		广西大学	
		张云	副教授	是		广西大学	

答辩秘书 （姓名、职称）	梁珈祥、讲师	联系电话	18202790664	答　辩 时间、地点	2026 年 11 月 25 日上午 8:30、轻工副楼 201

学院学位评定分委员会审核意见：

是否同意答辩：☑同意　☐不同意

学位评定分委员会主席（签名）

（单位公章）

2026 年 11 月 20 日

校学位评定委员会办公室备案

广西大学研究生院
备案专用章

注：1.本页不足可增页，增页时，审核表应双面打印。

2.“是否我校兼职博导”栏，本校老师请留空。

3.根据评阅意见需修改后答辩的，须附上《博士学位成果修改认定表》。

廣西大學

博士答辩资格简况表

学　院	轻工与食品工程学院		学科专业（研究方向）	轻工技术与工程	
研究生姓名	张含笑	入学日期	2022 年 09 月	指导教师	沙九龙　副教授
学位成果类型	☑学位论文　□实践成果（成果形式：　　）				
学位成果题目	离子传输调控增强纤维素基水凝胶湿气发电性能的机理研究				
答辩地点	轻工副楼 201 会议室		答辩时间	2026 年 11 月 25 日	

主要研究内容及重要结论（≤300 字）：

本研究以纤维素基水凝胶的离子传输调控为核心，通过官能团选择、离子交换膜耦合、双梯度结构构筑及界面效应增强等策略，实现了湿气发电性能的逐级提升，系统揭示了官能团种类、离子选择性输运与界面电荷转移对发电性能的影响机制。实验结果表明，在所选商品化样品范围内，官能团种类决定载流子类型与输出极性，性能排序为 PCNF > SCNF > TOCNF > QCNF > LCNF；离子交换膜与 Li^+浓度梯度耦合实现 H^+/Li^+定向迁移，80% RH 下输出 0.815 V、101 μA，−20°C 下仍保持 0.8 V、15 μA；三层一体化水凝胶实现阴阳离子反向迁移，输出 0.895 V、201.8 μA cm^{-2}，稳定运行超 200 h；蒸发电位与 PANI/Al 肖特基结协同增强界面电荷转移，输出 1.43 V、929.5 μA，功率密度为 217.6 μW cm^{-2}，稳定运行超 360 h。本研究为宽湿度、宽温度范围内高性能纤维素基湿气发电器件提供了设计依据。

创新点内容：

（1）通过选用经 TEMPO 氧化、磺酸盐改性、磷酸化和季铵化制备的具有不同官能团的纤维素纳米纤维构建系列水凝胶湿气发电机，揭示了官能团种类对载流子类型、输出极性、水亲和性及离子传输行为的调控规律，建立了官能团类型-离子输运-发电性能之间的内在关联，为纤维素基水凝胶在湿气发电中的官能团选择与离子传输调控提供了理论依据。

（2）提出了离子交换膜与 Li^+浓度梯度耦合增强离子选择性输运的策略，构建了 IEM-MEG，揭示了 H^+/Li^+双离子定向迁移的耦合机制，突破了单一离子体系在低湿和低温下的输出瓶颈；进一步构筑了三层一体化水凝胶湿气发电机（QLT-MEG），将离子选择性直接赋予功能层，揭示了水分梯度驱动与阴阳离子反向迁移的协同机制，实现了宽湿度范围内的高输出与长期稳定性。

（3）提出了蒸发电位与 PANI/Al 肖特基结协同的界面工程策略，构建了三层复合凝胶湿气发电机（TLP-MEG），揭示了离子定向迁移与选择性富集规律及肖特基结的界面电荷转移调控机制，实现了宽湿度、宽温度范围内的稳定输出。

注：本页不足可增页，增页后存档时应双面打印

10593|广西大学

博士学术学位论文评阅书

学号：2216401014

论文名称：离子传输调控增强纤维素基水凝胶湿气发电性能的机理研究

作者姓名：张含笑

作者学科专业：轻工技术与工程

作者研究方向：木质纤维功能材料

学位中心学位论文质量监测平台——997696579

论文题目	离子传输调控增强纤维素基水凝胶湿气发电性能的机理研究	
学科(专业)	轻工技术与工程	
评议项目	**评价要素**	**分档**
选题与综述	选题的前沿性和开放性； 研究的理论意义、现实意义； 对国内外该选题以及相关领域发展现状的归纳、总结情况。	优秀
基础知识与科研能力	论文体现的科学理论基础坚实宽广程度和专业知识系统深入程度； 论文研究方法的科学性，引证资料的翔实性； 论文所体现的作者独立从事科学研究的能力。	良好
研究内容、创新性及论文价值	对有价值现象的探索、新规律的发现、新命题新方法的提出等新的科学发现； 对解决自然科学或工程技术中重要问题的作用； 论文及成果对科技发展和社会进步的影响和贡献。	优秀
学术规范与写作水平	引文的规范性，学风的严谨性，论文结构的逻辑性； 文字表述的准确性和流畅性。	良好
总分	89	
总体评价	良好 90＞总分≥80	
是否同意答辩	达到博士学位授予要求，同意答辩（90>评阅总分≥80）	
是否推荐参加优秀学位论文评选	不推荐	

学位中心学位论文质量监测平台——997696579

论文编号:997695079
论文题目:离子传输调控增强纤维素基水凝胶湿气发电性能的机理研究

简述推荐理由	
1	无
对论文熟悉程度	很熟悉

学位中心学位论文质量监测平台---997696579

对学位论文的学术评语

该论文围绕纤维素基水凝胶湿气发电中离子传输调控的关键科学问题，系统开展官能团种类、离子选择性与浓度梯度、双梯度一体化结构及电极/凝胶界面肖特基结四方面研究，选题具有前沿性和重要理论现实意义。论文提出Nafion膜与LiCl浓度梯度耦合的H? /Li? 双离子定向迁移策略，构筑仿生三层QLT水凝胶实现阴阳离子反向迁移，并引入TPP蒸发电位与PANI/Al肖特基结协同增强界面电荷收集，器件性能达1.43 V、929.5 μA cm? 2、217.6 μW cm? 2并稳定运行360 h，创新性和学术价值较突出。作者掌握较扎实的轻工技术与工程、材料化学及电化学基础，能综合运用DFT/MD、KPFM、XPS、EDS、I－V等开展机理验证，具备独立科研能力。论文结构合理、逻辑清晰、图表丰富，但第二章以不同厂家商品化CNF为原料，未报告取代度/官能团密度，导致“官能团种类”与“官能团密度”混杂，性能排序不能唯一归因于种类，正文结论应限定为“在本文所选样品范围内”，并建议补充电导滴定、XPS元素分析或固体核磁等取代度表征。此外，存在Cl? 写作CI、P@QPP/P@OPP不一致及英文摘要重复等规范问题，需系统校核。总体达到博士学位论文良好水平，同意答辩。

学位中心学位论文质量监测平台——997696579

论文的不足之处和建议

1、补充官能团密度/取代度表征或限定结论：对BCNF、TOCNF、SCNF、PCNF、QCNF补充电导滴定、XPS元素分析、固体核磁等定量或半定量表征，至少给出相对大小；若无法补充，应在第二章明确说明样品为不同厂家商品化CNF、取代度存在差异，将“官能团种类决定性能排序”限定为“在本文样品范围内”，避免将密度贡献误归为种类贡献。

2、统一符号与缩写：全文统一Cl？、Al、P@QPP等写法；核对图号、表号、单位及英文摘要重复段；修正“李铵化”“磷酸基与磷酸基”等笔误。

3、深化定量构效与耦合归因：建议尽可能补充官能团密度-离子传输-发电性能的定量关联；对第三至五章多策略耦合输出，补充各因素贡献的半定量拆分或控制实验。

4、完善长期稳定性评估：多层水凝胶界面的抗溶胀、抗机械形变及高低温循环可靠性仍需系统评估；性能对比时建议统一湿度、温度、电极和面积等测试条件。

学位中心学位论文质量监测平台——997696579

论文编号:997695079

论文题目:离子传输调控增强纤维素基水凝胶湿气发电性能的机理研究

创新点	内容	分档
创新点1	通过选用不同官能团的纤维素制备系列水凝胶湿气发电机，揭示了官能团种类对载流子类型、输出极性、水亲和性及离子传输行为的调控规律，建立了官能团类型-离子输运-发电性能的内在关联，为纤维素基水凝胶在湿气发电中的官能团选择与离子传输调控提供了理论依据。	B（良好）
创新点2	提出了离子交换膜与Li+浓度梯度耦合增强离子选择性输运的策略，构建了IEM-MEG，揭示了H+/Li+双离子定向迁移的耦合机制，突破了单一离子体系在低湿和低温下的输出瓶颈；进一步构筑了三层一体化水凝胶湿气发电机（QLT-MEG），将离子选择性直接赋予功能层，揭示了水分梯度驱动与阴阳离子反向迁移的协同机制，实现了宽湿度范围内的高输出与长期稳定性。	B（良好）
创新点3	提出了蒸发电位与PANI/Al肖特基结协同的界面工程策略，构建了三层复合凝胶湿气发电机（TLP-MEG），揭示了离子定向迁移与选择性富集规律及肖特基结的界面电荷转移调控机制，实现了宽湿度、宽温度范围内的稳定输出。	B（良好）
创新点4	无	

创新点5	无	

学位中心学位论文质量监测平台---997696579

10593|广西大学

博士学术学位论文评阅书

学号：2216401014

论文名称：离子传输调控增强纤维素基水凝胶湿气发电性能的机理研究

作者姓名：张含笑

作者学科专业：轻工技术与工程

作者研究方向：木质纤维功能材料

学位中心学位论文质量监测平台——997696566

论文题目	离子传输调控增强纤维素基水凝胶湿气发电性能的机理研究	
学科(专业)	轻工技术与工程	
评议项目	**评价要素**	**分档**
选题与综述	选题的前沿性和开放性； 研究的理论意义、现实意义； 对国内外该选题以及相关领域发展现状的归纳、总结情况。	良好
基础知识与科研能力	论文体现的科学理论基础坚实宽广程度和专业知识系统深入程度； 论文研究方法的科学性，引证资料的翔实性； 论文所体现的作者独立从事科学研究的能力。	优秀
研究内容、创新性及论文价值	对有价值现象的探索、新规律的发现、新命题新方法的提出等新的科学发现； 对解决自然科学或工程技术中重要问题的作用； 论文及成果对科技发展和社会进步的影响和贡献。	良好
学术规范与写作水平	引文的规范性，学风的严谨性，论文结构的逻辑性； 文字表述的准确性和流畅性。	良好
总分	88	
总体评价	良好 90＞总分≥80	
是否同意答辩	达到博士学位授予要求，同意答辩（90>评阅总分≥80）	
是否推荐参加优秀学位论文评选	不推荐	

论文编号:997695079
论文题目:离子传输调控增强纤维素基水凝胶湿气发电性能的机理研究

简述推荐理由	
1	论文研究内容表述存在问题，需阐述说明，不推荐
对论文熟悉程度	很熟悉

学位中心学位论文质量监测平台---997696566

对学位论文的学术评语

本论文依据纤维素具有优异的亲水性和丰富的化学可修饰性、是构建绿色可持续湿气发电器件的理想材料，将其构筑为水凝胶形态，可进一步发挥三维多孔网络与连续离子传输通道的优势。然而，目前纤维素基水凝胶湿气发电机仍面临以下问题：官能团类型与发电性能之间的构效关系尚不明确；低湿度下电输出功率小、高湿度下电输出稳定性差；电极/凝胶界面电荷收集效率低。限制了纤维素基水凝胶MEG 的应用潜力释放与实用化进程。针对上述问题，本论文以纤维素基水凝胶作为核心材料平台，从官能团类型、离子传输路径与界面工程三个方面调控离子传输行为，系统探究湿气发电性能的增强机制；通过官能团选择、离子选择性设计、双梯度结构构筑及界面效应增强等策略，系统揭示了纤维素基水凝胶多级结构影响离子输运的物理化学机制，实现了湿气发电性能的显著提升，并拓展了器件在宽湿度、宽温度范围内的适用性，为开发高性能、可降解的生物质基自供电系统奠定了材料与器件基础。论文作者查阅了大量中外文献，对本研究目前国内外的研究进展、研究趋势有较充分了解，制定的研究工作技术路线、研究方法和手段科学合理；研究内容饱满。论文撰写规范，结构条理性和逻辑性较强；论文表述较准确、流畅，格式规范。论文整体体现了作者较坚实宽广的理论基础和专门专业知识系统深入的程度。

学位中心学位论文质量监测平台——997696566

论文的不足之处和建议

1、机械法制备的纤维素纳米纤维（BCNF）准确的英文缩写应该是（LCNF）；

2、论文第二章“2.3.1 纤维素基水凝胶的制备：实验原料：机械法纤维素纳米纤维、TEMPO 氧化纤维纳米纤维—浙江闪思科技有限公司，磺酸盐改性纤维素纳米纤维、磷酸化纤维素纳米纤维、季铵化纤维素纳米纤维—天津市木精灵生物科技有限公司。由于对比样采用机械法制备的纤维素纳米纤维（LCNF）（浙江闪思科技有限公司），那么TEMPO 氧化纤维纳米纤维（浙江闪思科技有限公司）、磺酸盐改性纤维素纳米纤维、磷酸化纤维素纳米纤维、季铵化纤维素纳米纤维（天津市木精灵生物科技有限公司）都是采用机械法纤维素纳米纤维分别TEMPO氧化、磺酸盐改性、磷酸化、季铵化制备的吗？一般情况下，TEMPO 氧化纤维纳米纤维、磺酸盐改性纤维素纳米纤维、磷酸化纤维素纳米纤维、季铵化纤维素纳米纤维都采用高纯度纤维素纤维制备。因为机械法制备的纤维素米纤维含有大量木素，因此在TEMPO氧化、磺酸盐改性、磷酸化、季铵化过程中会与木素发生反应，影响反应产物。而实验原料分别由浙江闪思科技有限公司和天津市木精灵生物科技有限公司提供，必然存在差异。请予以说明。

3、“论文摘要（1）及结论（1）：“以仅含？OH 的机械法制备的纤维素纳米纤维（BCNF）为对照，选取 TEMPO 氧化纤维素纳米纤维（TOCNF）、磺酸盐改性纤维素纳米纤维（SCNF）、磷酸化纤维素纳米纤维（PCNF）和季铵化纤维素纳米纤维（QCNF），分别与聚乙烯醇（PVA）和甘油（Gly）复合，制备系列纤维素基水凝胶并组装为湿气发电机。通过系统测试电输出性能，并结合密度泛函理论（DFT）/分子动力学（MD）模拟，揭示了官能团种类（？COOH、？SO3H、？PO4H2、？N+(CH3)3Cl？）对载流子类型、输出极性及发电性能的影响规律；从分子层面阐明了官能团类型对水分子亲和性及离子传输行为的影响规律。电输出性能绝对值排序PCNF ＞ SCNF ＞ TOCNF ＞ QCNF ＞ BCNF，最终建立了官能团类型-离子输运-发电性能之间的对应关系。”由于对比样采用机械法制备的纤维素纳米纤维（LCNF），那么如果TEMPO 氧化纤维纳米纤维、磺酸盐改性纤维素纳米纤维、磷酸化纤维素纳米纤维、季铵化纤维素纳米纤维不是采用机械法纤维素纳米纤维分别TEMPO氧化、磺酸盐改性、磷酸化、季铵化制备的，由其分别与聚乙烯醇（PVA）和甘油（Gly）复合制备的系列纤维素基水凝胶并组装为湿气发电机，其电输出性能不具有可比性。因为机械法制备的纤维素纳米纤维与高纯度纤维素纳米纤维性能差异非常大。

4、创新点：“（1）通过选用不同官能团的纤维素制备系列水凝胶湿气发电机，揭示了官能团种类对载流子类型、输出极性、水亲和性及离子传输行为的调控规律，建立了官能团类型-离子输运-发电性能的内在关联，为纤维素基水凝胶在湿气发电中的官能团选择与离子传输调控提供了理论依据”。表示不准确严谨。实际上并不存在不同官能团的纤维素，而是本论文选用的通过TEMPO氧化、磺酸盐改性、磷酸化、季铵化改性制备的纤维素纳米纤维具有不同官能团，建议修改。

论文编号:997695079

论文题目:离子传输调控增强纤维素基水凝胶湿气发电性能的机理研究

创新点	内容	分档
创新点1	通过选用不同官能团的纤维素制备系列水凝胶湿气发电机，揭示了官能团种类对载流子类型、输出极性、水亲和性及离子传输行为的调控规律，建立了官能团类型-离子输运-发电性能的内在关联，为纤维素基水凝胶在湿气发电中的官能团选择与离子传输调控提供了理论依据。	B（良好）
创新点2	提出了离子交换膜与Li+浓度梯度耦合增强离子选择性输运的策略，构建了IEM-MEG，揭示了H+/Li+双离子定向迁移的耦合机制，突破了单一离子体系在低湿和低温下的输出瓶颈；进一步构筑了三层一体化水凝胶湿气发电机（QLT-MEG），将离子选择性直接赋予功能层，揭示了水分梯度驱动与阴阳离子反向迁移的协同机制，实现了宽湿度范围内的高输出与长期稳定性。	B（良好）
创新点3	提出了蒸发电位与PANI/Al肖特基结协同的界面工程策略，构建了三层复合凝胶湿气发电机（TLP-MEG），揭示了离子定向迁移与选择性富集规律及肖特基结的界面电荷转移调控机制，实现了宽湿度、宽温度范围内的稳定输出。	B（良好）
创新点4	无	

创新点5	无	

学位中心学位论文质量监测平台---997696566

10593|广西大学

博士学术学位论文评阅书

学号：2216401014

论文名称：离子传输调控增强纤维素基水凝胶湿气发电性能的机理研究

作者姓名：张含笑

作者学科专业：轻工技术与工程

作者研究方向：木质纤维功能材料

学位中心学位论文质量监测平台——997696555

论文题目	离子传输调控增强纤维素基水凝胶湿气发电性能的机理研究	
学科(专业)	轻工技术与工程	
评议项目	**评价要素**	**分档**
选题与综述	选题的前沿性和开放性； 研究的理论意义、现实意义； 对国内外该选题以及相关领域发展现状的归纳、总结情况。	良好
基础知识与科研能力	论文体现的科学理论基础坚实宽广程度和专业知识系统深入程度； 论文研究方法的科学性，引证资料的翔实性； 论文所体现的作者独立从事科学研究的能力。	良好
研究内容、创新性及论文价值	对有价值现象的探索、新规律的发现、新命题新方法的提出等新的科学发现； 对解决自然科学或工程技术中重要问题的作用； 论文及成果对科技发展和社会进步的影响和贡献。	良好
学术规范与写作水平	引文的规范性，学风的严谨性，论文结构的逻辑性； 文字表述的准确性和流畅性。	良好
总分	85	
总体评价	良好 90＞总分≥80	
是否同意答辩	达到博士学位授予要求，同意答辩（90>评阅总分≥80）	
是否推荐参加优秀学位论文评选	推荐省级优秀	

学位中心学位论文质量监测平台——997696555

论文编号:997695079
论文题目:离子传输调控增强纤维素基水凝胶湿气发电性能的机理研究

简述推荐理由	
1	研究探索工作具有一定实用价值，部分工作创新性较好。
对论文熟悉程度	熟悉

学位中心学位论文质量监测平台---997696555

对学位论文的学术评语

该论文以纤维素基水凝胶为材料平台，研究了官能团种类、离子梯度构筑和界面效应对湿气发电性能的增强机制，研究内容是材料领域的前沿方向，选题合理。

1. 从含有的羧基、磺酸基、磷酸基和季铵基团的TOCNF、SCNF、PCNF 和QCNF 所构筑1纤维素基水凝胶的湿气发电性能受到离子性能的影响，所获得规律对于材料研究具有指导意义。

2. 将PA引入水凝胶中强化质子供给，构建的锂离子浓度差生电，能在低温下应用，具有一定的创新；

3. 从IEM-MEG到QLT-MEG，以及TLP-MEG的研究工作逐步深入，逻辑性强，开发的具有并一定的应用价值。

论文写作规范，达到博士论文水平。

学位中心学位论文质量监测平台——997696555

论文的不足之处和建议

在研究意义和目的方面：

1. 作者写到“湿气发电技术能够利用活性材料与环境湿气之间的相互作用，将大气中的化学能直接转化为电能”，这种定义并不正确。水凝胶中的离子移动生电，并不是大气中的化学能转换，请仔细思考。

2. “纤维素基水凝胶因其丰富的官能团、固有的负表面电荷、三维多孔网络结构以及优异的柔韧性和可降解性，被认为是构建绿色可持续MEG 的理想材料平台”纤维素实际上并非理想材料，而是利用纤维素资源而已，请问是不是？

3. 2.3.1 纤维素基水凝胶的制备：本研究采用一锅法制备纤维素基水凝胶。不要强调一锅法，这就是混合，并获得水凝胶而已。

4. 文章的逻辑不够清晰，很像按照工艺完成一项工作。

5.“2.4.3 发电机理验证”，这是不合理的，发电机理肯定是知道的，应该为发电验证。

6. 关于分子模拟，应该有附件，中其中把方法写清楚，自己有哪些贡献。不然花钱送给人做，作为自己的工作量就不合适。

7.其他章节也有类似的问题存在，请进行核实修改。

学位中心学位论文质量监测平台——997696555

论文编号:997695079

论文题目:离子传输调控增强纤维素基水凝胶湿气发电性能的机理研究

创新点	内容	分档
创新点1	通过选用不同官能团的纤维素制备系列水凝胶湿气发电机，揭示了官能团种类对载流子类型、输出极性、水亲和性及离子传输行为的调控规律，建立了官能团类型-离子输运-发电性能的内在关联，为纤维素基水凝胶在湿气发电中的官能团选择与离子传输调控提供了理论依据。	B（良好）
创新点2	提出了离子交换膜与Li+浓度梯度耦合增强离子选择性输运的策略，构建了IEM-MEG，揭示了H+/Li+双离子定向迁移的耦合机制，突破了单一离子体系在低湿和低温下的输出瓶颈；进一步构筑了三层一体化水凝胶湿气发电机（QLT-MEG），将离子选择性直接赋予功能层，揭示了水分梯度驱动与阴阳离子反向迁移的协同机制，实现了宽湿度范围内的高输出与长期稳定性。	B（良好）
创新点3	提出了蒸发电位与PANI/Al肖特基结协同的界面工程策略，构建了三层复合凝胶湿气发电机（TLP-MEG），揭示了离子定向迁移与选择性富集规律及肖特基结的界面电荷转移调控机制，实现了宽湿度、宽温度范围内的稳定输出。	B（良好）
创新点4	无	

创新点5	无	

学位中心学位论文质量监测平台---997696555