

中科院大连化物所“优秀青年博士人才”申请表

姓 名	李文平	性 别	女	出生年月	1989.05	
出生地	江苏徐州	婚姻状况	已婚	政治面貌	群众	
毕业学校及专业	中国科学院大学 物理化学		学历/学位	研究生/博士		
工作单位及职务	中国科学院大连化学物理研究所					
联系方式						

学习及工作经历：
（从高中开始填起，内容包括时间、单位、学位、所学专业、从事专业、专业技术职务情况，时间段要连续，准确到月份，在职学习请注明）

2005.09-2008.06 江苏省郑集高级中学 高中

2008.09-2012.07 北京化工大学 理学学士学位 应用化学专业

2012.09-2018.08 中国科学院大连化学物理研究所 理学博士学位 物理化学专业

2018.08-2019.03 中国科学院大连化学物理研究所 博士期间实验补充与整理

如内容较多，本栏目填不下时，可另纸接续（下同）。

主要学术成就、科技成果及创新点：

反应和分离是化学工业的两大基本过程，任何化工产品的制备过程都由这两大基本过程组成。而膜反应器可实现反应-分离过程的耦合，对化学工业的短流程化具有重要意义。因此，针对现有的工业过程提出基于膜反应器的反应-分离耦合策略，以大幅度简化工艺、降低能耗和成本，是十分必要且有意义的工作。

混合导体透氧膜是一类同时具有氧离子导电性和电子导电性的致密无机陶瓷膜。其对氧气有着 100% 的选择性。由于透氧膜对氧的选择透过性，基于透氧膜的反应器能够很好的进行氧分离过程和需氧反应二者的耦合，或者产氧反应、氧分离过程和需氧反应三者的耦合。诸多工业上的高温涉氧过程和反应都可以在透氧膜反应器中得以实现，有着很好的工业应用前景。

申请人博士期间的工作主要围绕新型透氧膜反应器展开。针对工业氢分离过程、合成氨过程及液体燃料制备过程中存在工艺复杂、能耗高、成本高等问题，在透氧膜反应器中分别构建反应-分离耦合策略并进行策略验证。此外，对构建膜反应器所用的膜材料进行掺杂研究，并对相关氧渗透机理进行探索。主要学术成果及创新点如下：

1、首次提出并实现透氧膜反应器中氢分离的概念

氢气的分离与纯化技术对氢气在各个领域的成功应用十分关键。在膜分离技术中，无机致密透氢膜因其对氢气 100% 的选择透过性而被认为是最有前景的获得高纯氢的方法之一。然而，现有的无机致密透氢膜分离氢技术存在着原材料稀缺昂贵（Pd 膜）、渗透性能低（质子导体膜）、 H_2S 气氛下性能衰减等问题。

针对上述问题，申请人首次提出了陶瓷基混合导体透氧膜反应器中进行氢分离的新概念。其氢分离原理是：膜的一侧（膜 I 侧）通入低纯度氢气，另一侧（膜 II 侧）通入水蒸气，高温下水分解生成的氧在膜两侧氧化学势梯度的驱动下透过膜体相到达膜 I 侧与低纯度氢反应生成水。膜 II 侧流出气体经冷凝干燥后即可得到高纯氢或超纯氢。从整体看，透氧膜反应器中无任何反应发生，从而在透氧膜反应器中实现了氢分离。采用在还原性气氛下具有优异稳定性的双相透氧膜材料进行概念验证。结果表明，相应的氢分离速率高达 16.3 mL cm^{-2}

min^{-1} ，分离系数达到 10000 以上。其氢分离速率相比于质子导体膜的氢分离速率提升了 2-3 个数量级，氢分离性能可与钨基膜相媲美。同时，在含 200 ppm H_2S 的气氛下长期运行，氢分离性能没有发生衰减。以上优点表明，透氧膜反应器氢分离过程可用于为燃料电池、半导体制造、光伏电池生产等产业高效地提供高纯氢或超高纯氢。相关工作以第一作者身份发表在 *Energy Environ. Sci.*, 2017, 10, 101-106 上。此外，深入研究了所采用的双相透氧膜膜厚和膜结构对氢分离性能的影响，分析了氢分离过程速控步随温度的变化，为透氧膜反应器氢分离后续研究的开展提供了指导。相关工作以第一作者身份发表在 *J. Membr. Sci.*, 2019, 573, 370-376 上。为进一步拓展透氧膜反应器氢分离的应用范围，以合成气为低纯度氢气在透氧膜反应器中进行氢分离测试。虽然原料气侧生成的 CO_2 部分吸附在膜表面上不利于氢分离过程的进行，仍旧获得了 $10.4 \text{ mL cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ 的氢分离速率，成功地拓宽了透氧膜反应器氢分离体系适用的原料范围。相关工作以第一作者身份发表在 *AIChE J.*, 2017, 63, 1278-1286 上。

2、首次提出并实现透氧膜反应器同时制备合成氨原料气和合成液体燃料原料气的耦合策略

合成氨和 Fischer-Tropsch 合成制备液体燃料是两个重要的化工过程，相应的合成气制备十分关键。现有工业制备氨合成气 ($\text{H}_2/\text{N}_2=3$) 至少需要 6 步，制备液体燃料合成气 ($\text{H}_2/\text{CO}=2$) 至少需要 3 步，工艺复杂且能耗高（以合成氨过程为例，制备氨合成气的能耗占合成氨过程总能耗的 84%）。此外，氨合成气制备过程伴随大量二氧化碳的排放。

针对上述问题，申请人创造性地提出了在混合导体透氧膜反应器中 1 步同时制备氨合成气和液体燃料合成气的耦合策略。其原理为：膜 I 侧通入水蒸气和空气，膜 II 侧通入甲烷（天然气）。高温下，膜 I 侧空气中的氧和水分解生成的氧透过透氧膜到达膜 II 侧与甲烷反应生成液体燃料合成气，同时膜 I 侧流出气体经冷凝干燥后即可得到氨合成气。实验结果表明，在膜反应器中，可以同时获得 $18.8 \text{ mL cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ 的氨合成气生成速率和 $45.6 \text{ mL cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ 的液体燃料合成气生成速率，即一个同时年产 30 万吨氨和 100 万吨甲醇的工厂，所需反应器体积仅为 100 m^3 ，体现了高度的过程强化。能耗比现有工业过程降低 63%。此外，该膜反应器过程还具有无飞温和爆炸风险，无直接 CO_2 排放以及

氨合成气清洁等优点。透氧膜反应器中两种合成气同时制备的耦合策略为天然气化工变革提供新机遇。相关工作以第一作者身份发表在 *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2016, 55, 8566-8570 上。此外, 申请人采用非对称的双相膜反应器进行两种合成气的同时制备, 大大提高了该体系中膜材料的稳定性, 并进一步降低了过程能耗(相比于工业过程降低了 66.5%)。相关工作以第一作者身份发表在 *Int. J. Hydrogen Energy*, 2019, 44, 4218-4227 上。

3、双相膜材料元素掺杂及相关氧渗透机理研究

透氧膜反应器氢分离过程和两种合成气制备过程均对透氧膜材料在还原性气氛下的稳定性提出了高要求。由于双相膜透氧膜材料中含有大量还原性气氛下高稳定的萤石相材料, 其在还原性气氛下的稳定性远优于单相钙钛矿材料, 在透氧膜反应器中具有较大的应用潜力。但双相透氧膜材料的氧渗透性能较低, 且缺少相关的氧渗透机理方面的研究。为提高双相透氧膜材料的氧渗透性能, 首次采用 Bi 元素对两种双相膜材料进行掺杂, 研究了 Bi 掺杂对双相膜材料多种性能的影响。发现不同于 Bi 掺杂对钙钛矿透氧膜氧渗透性能的提升作用, 其对双相透氧膜材料性能的影响因掺杂量和双相膜的元素组成不同而不同。相关工作以共一作者身份发表在 *J. Membr. Sci.*, 2019, 579, 342-350 上。在氧渗透机理相关研究上, 选用了 Zhu 模型对双相膜材料的氧渗透参数和性能进行了深入研究, 为深入理解混合导体透氧膜材料氧交换动力学和扩散动力学特性提供了帮助。相关工作以共一作者身份发表在 *J. Membr. Sci.*, 2019, 573, 628-638 上。

主要论著目录:

(1. 论文作者、题目、期刊名称、年份、卷期、页、总引次数、他引次数、期刊影响因子; 2. 著作: 著者、书名、出版社、年份)

目录列表最后请注明论文总引次数、他引次数、期刊影响因子的查询截止时间和查询数据库。

已发表(或正式接受)的学术论文:

1. **Wenping Li**, Zhongwei Cao, Lili Cai, Lixiao Zhang, Xuefeng Zhu,* Weishen Yang,* H₂S-tolerant oxygen-permeable ceramic membranes for hydrogen separation with a performance comparable to those of palladium-based membranes, *Energy Environ. Sci.*, **2017**, 10, 101-106.

总引次数: 7, 他引次数: 4, 期刊影响因子30.07

2. **Wenping Li**, Zhongwei Cao, Xuefeng Zhu,* Weishen Yang,* High-rate hydrogen separation using an MIEC oxygen permeable membrane reactor, *AIChE J.*, **2017**, 63, 1278-1286.

总引次数: 2, 他引次数: 0, 期刊影响因子3.326

3. **Wenping Li**, Xuefeng Zhu,* Shuguang Chen, Weishen Yang,* Integration of nine steps into one membrane reactor to produce synthesis gases for ammonia and liquid fuel, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2016**, 55, 8566-8570.

总引次数: 10, 他引次数: 3, 期刊影响因子12.10

4. **Wenping Li**, Zhongwei Cao, Xuefeng Zhu,* Weishen Yang,* Effects of membrane thickness and structural type on the hydrogen separation performance of oxygen-permeable membrane reactors, *J. Membr. Sci.*, **2019**, 573, 370-376.

总引次数: 0, 他引次数: 0, 期刊影响因子6.578

5. Claudia Li,[#] **Wenping Li**,[#] Jiuan Jing Chew, Shaomin Liu, Xuefeng Zhu,* Jaka Sunarso,* Rate determining step in SDC-SSAF dual-phase oxygen permeation membrane, *J. Membr. Sci.*, **2019**, 573, 628-638.

总引次数: 0, 他引次数: 0, 期刊影响因子6.578

6. Song Huang,[#] **Wenping Li**,[#] Zhongwei Cao, Hongbo Li, Hongchao Ma,* Xuefeng Zhu,* Weishen Yang, Effect of Bi doping on the performance of dual-phase oxygen permeable membranes, *J. Membr. Sci.*, **2019**, 579, 342-350.

([#]co-first author)

总引次数: 0, 他引次数: 0, 期刊影响因子6.578

7. **Wenping Li**, Zhongwei Cao, Hongbo Li, Xuefeng Zhu,* Weishen Yang, Asymmetric dual-phase MIEC membrane reactor for energy-efficient coproduction of two kinds of synthesis gases, *Int. J. Hydrogen Energy*, **2019**, 44, 4218-4227.

总引次数: 0, 他引次数: 0, 期刊影响因子4.229

8. **Wenping Li**, Xuefeng Zhu,* Zhongwei Cao, Weiping Wang, Weishen Yang,* Mixed ionic-electronic conducting (MIEC) membranes for hydrogen production from water splitting, *Int. J. Hydrogen Energy*, **2015**, 40, 3452-3461.

总引次数: 15, 他引次数: 9, 期刊影响因子4.229

9. Yue Zhu, **Wenping Li**, Yan Liu, Xuefeng Zhu,* Weishen Yang,* Selection of oxygen permeation models for different mixed ionic-electronic conducting membranes, *AIChE J.*, **2017**, 63, 4043-4053.

总引次数: 6, 他引次数: 5, 期刊影响因子3.326

10. Lili Cai, **Wenping Li**, Zhongwei Cao, Xuefeng Zhu,* Weishen Yang,* Improving oxygen permeation of MIEC membrane reactor by enhancing the electronic conductivity under intermediate-low oxygen partial pressures, *J. Membr. Sci.*, **2016**, 520, 607-615.

总引次数: 11, 他引次数: 6, 期刊影响因子6.578

11. Zhongwei Cao, Xuefeng Zhu,* **Wenping Li**, Bing Xu, Lina Yang,* Weishen Yang, Asymmetric dual-phase membranes prepared via tape-casting and co-lamination for oxygen permeation, *Mater. Lett.*, **2015**, 147, 88-91.

总引次数: 18, 他引次数: 9, 期刊影响因子2.687

12. Yan Liu, Xuefeng Zhu,* Mingrui Li, **Wenping Li**, Weishen Yang,* Degradation and stabilization of perovskite membranes containing silicon impurity at low temperature, *J. Membr. Sci.*, **2015**, 492, 173-180.

总引次数: 9, 他引次数: 6, 期刊影响因子6.578

13. Huanying Liu, Kaiyue Zhu, Yan Liu, **Wenping Li**, Lili Cai, Xuefeng Zhu, Weishen Yang, Structure and electrochemical properties of cobalt-free perovskite

cathode materials for intermediate-temperature solid oxide fuel cells, *Electrochim. Acta*, **2018**, 279, 224-230.

总引次数：1，他引次数：1，期刊影响因子5.12

论文总引用次数：79

论文他引次数：43

查询截止时间：2019年3月10日

查询数据库：Web of Science

参加国内国际会议：

1. **李文平**，朱雪峰*，杨维慎，第17届全国固态离子学学术会议暨新型能源材料与技术国际研讨会（包头，2014年8月），新型氧渗透模型建立和实验研究. 口头报告
2. X. Zhu,* **W. Li**, S. Chen, W. Yang, 第九届中美化工年会（北京，2017年10月），Simultaneous producing two types of syngases in one membrane reactor. 口头报告 (W. Li was the reporter)
3. **W. Li**, X. Zhu,* Z. Cao, W. Yang, 第九届全球华人化工学者研讨会（杭州，2017年7月），Hydrogen separation using MIEC oxygen-permeable membranes. 墙报
4. **李文平**，朱雪峰*，陈曙光，杨维慎，第18届全国固态离子学学术会议暨国际电化学储能技术论坛（桂林，2016年11月），混合导体膜反应器中同时制备氨合成气和液体燃料合成气. 墙报

主持(参与)科研项目及申请专利：

(项目来源、项目名称、经费、个人在其中的作用)

参与科研项目：

1. 国家自然科学基金面上项目，21776267，透氧膜反应器用于高纯氢分离的相关基础研究，64 万
主要作用：负责完成膜反应器氢分离系统的设计与搭建，密封问题的解决，氢分离过程的实现；部分参与膜反应器材料及催化剂的优化。
2. NSFC-辽宁联合基金项目，U1508203，反应-分离-反应耦合催化膜反应器，245 万
主要作用：负责完成膜反应器两种合成气制备系统的设计与搭建，密封问题的解决，两种合成气制备过程的实现及性能优化。
3. 大连化物所甲醇转化与煤代油新技术基础研究专项金，DICPDMTO201503，100 万
主要作用：负责透氧膜膜结构的优化与反应器制备两种合成气性能的提升，为进一步的放大研究提供指导。

已申请专利：

1. 杨维慎、李文平、朱雪峰，同时制备氨合成气和液体燃料合成气的系统及方法，中国发明专利，2015 年，201510918918.9.
2. 杨维慎、李文平、朱雪峰，制备合成氨原料气的系统及方法，中国发明专利，2014 年，201410714748.8.
3. 杨维慎、李文平、朱雪峰，制备氨的系统及方法，中国发明专利，2014 年，201410707759.3.
4. 杨维慎、李文平、朱雪峰，制备高纯度氢气的系统及方法，中国发明专利，2014 年，201410709667.9.

获科技奖情况：

（项目名称、奖项、获奖时间、本人在其中的作用及排名、获奖总人数）

获各类荣誉奖情况：

2018 年 中国科学院院长优秀奖、中国科学院大学优秀毕业生、北京市优秀毕业生

2017 年 博士研究生国家奖学金、渤海化工研究生奖学金一等奖、中国科学院大学三好学生标兵、中国科学院朱李月华优秀博士生奖学金

2015 年 中国科学院大学三好学生

2014 年 第 17 届全国固态离子学学术会议“米开罗那”优秀论文奖

2012 年 北京市高等学校优秀毕业生

2011 年 国家励志奖学金

2010 年 国家励志奖学金、第二届北京市大学生化学实验竞赛三等奖

2009 年 国家奖学金、首都国庆 60 周年庆祝活动先进个人称号