



中国科学院大学

University of Chinese Academy of Sciences

博士学位论文评阅书

论文题目 用于 CO₂ 分离的聚醚聚酰胺嵌段共聚物共混膜材料与复合膜的制备研究

作者姓名 伍勇东

学位类别 工学博士

学科（专业） 化学工程

研究所（院系） 大连化学物理研究所

中国科学院大学制

学术道德评价

（一票否决）

评价要素	评价意见（请在相应栏内划“√”）
是否存在剽窃他人成果、伪造数据、由他人代写等严重作假行为	<input type="checkbox"/> 是（具体说明存在的问题）
	<input checked="" type="checkbox"/> 否

评阅意见

评 价 要 素			权重	具体得分 (百分制)
1	论文选题	选题的理论意义、实用价值	10%	9
2	文献综述	反映该学科及相关领域的前人成果和前沿动态	15%	13
3	创新成果	论文成果创新性，对学科发展、技术进步、经济建设、国家安全等方面产生的影响和贡献	40%	34
4	基础理论和专门知识	基础理论的宽厚度、坚实度，专门知识的系统性、深入性	10%	9
5	科研能力	论文体现科研潜质与独立科研能力	15%	14
6	论文写作	论文结构、撰写规范性；文字表达准确、清晰和流畅性；引文严谨、规范性	10%	9
总体评价			总分	88

注：“分数”栏每项均按百分制整数评分，各项满分均为 100 分。评分分为四档：大于等于 90 分为优秀；大于等于 75 分小于 89 分为良好；大于等于 60 分小于 74 分为一般；小于 60 分为差。

对学位论文的学术评语：（请对论文的学术水平、创新性做出简要评述，包括选题意义，文献资料的掌握，论文创新之处，写作规范和逻辑性等。还须明确指出论文中存在的问题和不足之处。可另附页）

论文题目：用于 CO₂ 分离的聚醚聚酰胺嵌段共聚物共混膜材料与复合膜制备研究

作者姓名：伍勇东

论文研究聚醚聚酰胺嵌段共聚物共混膜的制备和 CO₂ 分离性能,对发展 CO₂ 的分离技术具有理论意义和借鉴价值。

主要取得如下结果：

- (1) 研究制备了 20%三丙酸甘油酯、三丁酸甘油酯、三己酸甘油（TCP）共混改性的 Pebax 2533 基膜，提高了 CO₂ 的渗透系数，其中 Pebax 2533/TCP 具有较好的稳定性。
- (2) 研究了 Pebax 2533/TCP 凝胶膜，提高了 TCP 稳定性，80wt%TCP 含量时 Pebax 2533/TCP 凝胶膜具有高的渗透系数。
- (3) 研究了 Pebax/C60、Pebax/C60（OH）₂₄ 混和基质膜和 Pebax1657-C60（OH）₂₄/PAN 复合膜，其中 Pebax1657-C60（OH）₂₄/PAN 复合膜的 CO₂ 渗透率为 335GPU，CO₂/N₂ 选择性为 41。

论文撰写清楚，工作量大，数据可靠，结论可信，达到了博士学位论文的要求。

是否同意组织学位论文答辩

（请在相应栏内划“√”）

☒ 同意答辩

☐ 修改后答辩

☐ 不同意答辩

学术道德评价

(一票否决)

评价要素	评价意见 (请在相应栏内划“√”)
是否存在剽窃他人成果、伪造数据、由他人代写等严重作假行为	<input type="checkbox"/> 是 (具体说明存在的问题)
	<input checked="" type="checkbox"/> 否

评阅意见

评 价 要 素			权重	具体得分 (百分制)
1	论文选题	选题的理论意义、实用价值	10%	90
2	文献综述	反映该学科及相关领域的前人成果和前沿动态	15%	90
3	创新成果	论文成果创新性, 对学科发展、技术进步、经济建设、国家安全等方面产生的影响和贡献	40%	90
4	基础理论和专门知识	基础理论的宽厚度、坚实度, 专门知识的系统性、深入性	10%	95
5	科研能力	论文体现科研潜质与独立科研能力	15%	90
6	论文写作	论文结构、撰写规范性; 文字表达准确、清晰和流畅性; 引文严谨、规范性	10%	90
总体评价			总分	90.5

注: “分数”栏每项均按百分制整数评分, 各项满分均为 100 分。评分分为四档: 大于等于 90 分为优秀; 大于等于 75 分小于 89 分为良好; 大于等于 60 分小于 74 分为一般; 小于 60 分为差。

对学位论文的学术评语：（请对论文的学术水平、创新性做出简要评述，包括选题意义，文献资料的掌握，论文创新之处，写作规范和逻辑性等。还须明确指出论文中存在的问题和不足之处。可另附页）

论文题目： 用于 CO₂ 分离的聚醚聚酰胺嵌段共聚物共混膜材料

与复合膜制备研究

作者姓名： 伍勇东

研制具有高气体渗透率和选择性的分离膜是膜过程技术中的重要研究方向。本博士论文开展了共混改性制备具有高分离性能的聚醚聚酰胺嵌段共聚物（Pebax）膜材料的研究，有较重要的学术价值和应用前景。

论文研究了甘油三酯（三丙酸甘油酯 TPP、三丁酸甘油酯 TBT、三己酸甘油酯 TCP）添加剂共混改性 Pebax 2533 基膜。研究表明，Pebax/甘油三酯共混膜 CO₂ 扩散系数和溶解系数均增加，扩散系数增加为主要因素；随甘油三酯烷烃链长度增加，CO₂ 渗透系数下降，但膜热稳定性增加。研究了 Pebax/TCP 凝胶膜结构变化对气体分离性能的影响。随着 TCP 含量增加，凝胶膜性质趋同液体 TCP，且其热稳定性大幅提升；同时，凝胶膜中自由体积和酯基浓度也随之增加，有效提高了气体渗透系数；TCP 含量越高，凝胶膜的压力敏感性增大。TCP 含量为 80wt%，CO₂ 渗透系数从 300Barrer 增至 1673Barrer。

研究了表面羟基化的 C₆₀(OH)₂₄ 对 Pebax 1657 膜性能的影响。C₆₀(OH)₂₄ 与 Pebax 间的氢键作用，混合基质膜中 C₆₀(OH)₂₄ 分布均匀，结晶度下降；且该混合基质膜中 CO₂ 渗透系数随着 C₆₀(OH)₂₄ 含量增加先增后降。制备了 Pebax- C₆₀(OH)₂₄/PAN 混合基质复合膜，选择层厚度在 200-300nm 之间，其抗塑化及抗静压能力均提高。C₆₀(OH)₂₄ 含量增加，该混合基质复合膜的 CO₂ 渗透率先增后降，CO₂/N₂、CO₂/CH₄、CO₂/H₂ 选择性分别在 40-55、15-17、6-8 之间。

上述研究结果具有创新性。根据本文的工作，论文综述全面、研究工作系统深入、书写规范、论述充分、分析合理，反映了伍勇东同学具有扎实的理论基础和独立的科研工作能力，已达到博士论文要求，同意进行答辩，并建议授予工学博士学位。

建议：

- 1、如何提高有机-无机混合基质膜的稳定性？

是否同意组织学位论文答辩

（请在相应栏内划“√”）

☒ 同意答辩

☐ 修改后答辩

☐ 不同意答辩

学术道德评价

（一票否决）

评价要素	评价意见（请在相应栏内划“√”）
是否存在剽窃他人成果、伪造数据、由他人代写等严重作假行为	<input type="checkbox"/> 是（具体说明存在的问题）
	<input checked="" type="checkbox"/> 否

评阅意见

评 价 要 素			权重	具体得分 (百分制)
1	论文选题	选题的理论意义、实用价值	10%	9
2	文献综述	反映该学科及相关领域的前人成果和前沿动态	15%	12
3	创新成果	论文成果创新性，对学科发展、技术进步、经济建设、国家安全等方面产生的影响和贡献	40%	38
4	基础理论和专门知识	基础理论的宽厚度、坚实度，专门知识的系统性、深入性	10%	10
5	科研能力	论文体现科研潜质与独立科研能力	15%	13
6	论文写作	论文结构、撰写规范性；文字表达准确、清晰和流畅性；引文严谨、规范性	10%	8
总体评价			总分	90

注：“分数”栏每项均按百分制整数评分，各项满分均为 100 分。评分分为四档：大于等于 90 分为优秀；大于等于 75 分小于 89 分为良好；大于等于 60 分小于 74 分为一般；小于 60 分为差。

对学位论文的学术评语：（请对论文的学术水平、创新性做出简要评述，包括选题意义，文献资料的掌握，论文创新之处，写作规范和逻辑性等。还须明确指出论文中存在的问题和不足之处。可另附页）

论文题目： 用于 CO₂ 分离的聚醚聚酰胺嵌段共聚物共混膜材料与复合膜制备研究

作者姓名： 伍勇东

是否同意组织学位论文答辩

（请在相应栏内划“√”）

☒ 同意答辩

☐ 修改后答辩

☐ 不同意答辩

膜技术以其高效节能被认为是 CO₂ 的捕获、利用与存储的重要技术，而制备出具有高性能的 CO₂ 分离膜实现膜技术 CO₂ 的捕获与分离的关键。本文针对现有聚合物气体分离膜的问题（通量低，抗塑化能力差等），以聚醚聚酰胺嵌段共聚物（Pebax）为基膜，通过共混改性并制备用于 CO₂ 分离的混合基质复合膜，探讨共混改性剂的种类、结构及制备工艺对混合基质膜结构性能的影响。论文选题对膜材料的改性与应用具有重要的科学意义和实用价值。

本论文在如下几方面取得创新成果：

- 1、基于酯基良好的 CO₂ 亲和性，采用不同种类的甘油三酯为有机改性剂共混改性制备 Pebax/甘油三酯混合基质膜。探讨甘油三酯结构对 Pebax 膜结构与性能的影响，揭示了混合基质膜的结构变化与气体分离性能的影响规律。并在此基础上，基于 Pebax/TCP 共混膜良好的热稳定性和气体渗透稳定性，进一步制备了具有高渗透能力的 Pebax/TCP 凝胶膜，并探讨了凝胶膜结构与气体分离性能的构效关系；
- 2、零维尺度的 C60 为无机改性剂，共混改性制备 Pebax/C60 混合基质膜。探讨了 C60 的结构相容性及对 Pebax/C60 混合基质膜结构与 CO₂ 分离性能的影响；并进一步采用表面羟基化的 60(OH)₂₄ 共混改性剂，制备 Pebax/C60(OH)₂₄ 混合基质膜，解决 C60 颗粒团聚与沉降问题。混合物基质膜的 CO₂ 分离性能也明显提高。在此基础上，制备了 Pebax-C60(OH)₂₄/PAN 混合基质复合膜，其 CO₂ 渗透率达到 335GPU，CO₂/N₂ 的选择性为 41；并表现出良好的抗塑化能力及抗静力学压力能力。

作者对本领域研究发展现状进行了系统的综述，论文选题合理、写作规范、逻辑清楚，所采用的实验手段及研究方法先进，数据翔实；反映了该生具备扎实的理论基础，分析和解决问题的能力，良好的论文写作水平及独立从事科研工作能力。论文的部分成果已在国内外学术期刊发表，达到了博士学位论文的要求，可以进行论文答辩。

修改建议：

- 1、论文摘要应简化，突出重点；
- 2、创新点需要进一步凝练，突出论文的创新性。

学术道德评价

（一票否决）

评价要素	评价意见（请在相应栏内划“√”）
是否存在剽窃他人成果、伪造数据、由他人代写等严重作假行为	<input type="checkbox"/> 是（具体说明存在的问题）
	<input checked="" type="checkbox"/> 否

评阅意见

评 价 要 素			权重	具体得分 (百分制)
1	论文选题	选题的理论意义、实用价值	10%	90
2	文献综述	反映该学科及相关领域的前人成果和前沿动态	15%	80
3	创新成果	论文成果创新性，对学科发展、技术进步、经济建设、国家安全等方面产生的影响和贡献	40%	78
4	基础理论和专门知识	基础理论的宽厚度、坚实度，专门知识的系统性、深入性	10%	80
5	科研能力	论文体现科研潜质与独立科研能力	15%	80
6	论文写作	论文结构、撰写规范性；文字表达准确、清晰和流畅性；引文严谨、规范性	10%	82
总体评价			总分	80.4

注：“分数”栏每项均按百分制整数评分，各项满分均为 100 分。评分分为四档：大于等于 90 分为优秀；大于等于 75 分小于 89 分为良好；大于等于 60 分小于 74 分为一般；小于 60 分为差。

对学位论文的学术评语：（请对论文的学术水平、创新性做出简要评述，包括选题意义，文献资料的掌握，论文创新之处，写作规范和逻辑性等。还须明确指出论文中存在的问题和不足之处。可另附页）

论文题目：用于 CO₂ 分离的聚醚聚酰胺嵌段共聚物共混膜材料与复合膜制备研究

作者姓名：伍勇东

发展新型二氧化碳分离膜及其应用技术具有重要的理论参考和应用价值。该博士论文选题前沿，作者针对渗透性/选择权关系和稳定性等关键问题，采用有机和无机改性剂，成功制备出系列不同结构的共混膜，系统考察了膜分离性能的影响因素和分离机制。文章选题具有实际应用价值，文献综述系统，思路清晰，工作量饱满，撰写规范，并取得的一定的科研成果。

存在问题和修改建议如下：

1、研究背景，建议画出技术路线图，涵盖关键问题、研究策略、研究内容和科学问题等，另外，一些图注的英文要修改规范（图 1.5）

2、表 1.6 中列举了 Pebax 膜的分离性能，其与工业化的应用制备要求较高，建议修改，使得表达更清洗，具有逻辑性。

3、文章部分语句存在不通顺的情况，如 33 页 22-25 行，55 页 5 行（明确 CO₂），61 页 3 行等等（不一一指出，建议作者逐一检查修改）。

4、全文中的英文格式要统一。如 23 页 20 行，80 页 12 行（不一一指出，建议作者逐一检查修改）。文章图中的字体予以统一，如图 3.6 的温度字体。

5、图 2.6Pebax 膜 XRD 多出一处衍射峰，应该予以解释。

6、3.3.4 时间稳定性，可修改为稳定性即可。

7. 建议所有的 FTIR 结果整理相对应的表格，给出峰位置、官能团和键类型等信息

是否同意组织学位论文答辩

（请在相应栏内划“√”）

☒ 同意答辩

☐ 修改后答辩

☐ 不同意答辩

学术道德评价

（一票否决）

评价要素	评价意见（请在相应栏内划“√”）
是否存在剽窃他人成果、伪造数据、由他人代写等严重作假行为	<input type="checkbox"/> 是（具体说明存在的问题）
	<input checked="" type="checkbox"/> 否

评阅意见

评 价 要 素			权重	具体得分 (百分制)
1	论文选题	选题的理论意义、实用价值	10%	9
2	文献综述	反映该学科及相关领域的前人成果和前沿动态	15%	13
3	创新成果	论文成果创新性，对学科发展、技术进步、经济建设、国家安全等方面产生的影响和贡献	40%	38
4	基础理论和专门知识	基础理论的宽厚度、坚实度，专门知识的系统性、深入性	10%	9
5	科研能力	论文体现科研潜质与独立科研能力	15%	13
6	论文写作	论文结构、撰写规范性；文字表达准确、清晰和流畅性；引文严谨、规范性	10%	8
总体评价			总分	90

注：“分数”栏每项均按百分制整数评分，各项满分均为 100 分。评分分为四档：大于等于 90 分为优秀；大于等于 75 分小于 89 分为良好；大于等于 60 分小于 74 分为一般；小于 60 分为差。

对学位论文的学术评语：（请对论文的学术水平、创新性做出简要评述，包括选题意义，文献资料的掌握，论文创新之处，写作规范和逻辑性等。还须明确指出论文中存在的问题和不足之处。可另附页）

论文题目：用于 CO₂ 分离的聚醚聚酰胺嵌段共聚物共混膜材料与复合膜制备研究

作者姓名：伍勇东

二氧化碳分离膜是目前二氧化碳捕获、利用与存储研究的热点，本论文开展用于二氧化碳分离的聚醚聚酰胺嵌段共聚物（Pebax）共混膜材料与复合膜制备与性能研究，其选题具有重要的理论意义和实用价值。

论文考察了甘油三酯结构变化对 Pebax 共混膜热稳定性与气体分离性能的影响，发现随着 Pebax 共混膜中甘油三酯烷烃链长度的增加，膜中酯基浓度下降，二氧化碳与酯基之间相互作用的空间位阻增加，二氧化碳渗透系数下降。

选取零维无机填料 C60 共混改性 Pebax1657 基膜性能，发现 Pebax1657 与 C60 之间无界面缺陷，随着 C60 含量增加，混合膜中结晶度先增加后减小，二氧化碳分离性能表现出先减小后增加的趋势。

考察了 C60 (OH)₂₄ 对 Pebax 结构与性能的影响，发现 C60 (OH)₂₄ 与 Pebax 之间氢键相互作用抑制了 Pebax 链的堆积，使混合膜中结晶度下降，随着 C60 (OH)₂₄ 含量增加，混合膜二氧化碳分离性能表现出先增加后下降。

制备了 Pebax-C60 (OH)₂₄/聚丙烯腈复合膜，考察了 Pebax-C60 (OH)₂₄ 对复合膜性能的影响，发现复合膜的二氧化碳渗透率增加，CO₂/N₂ 选择性增加，抗塑化能力与抗静力学压力能力都增加。

上述研究结果具有创新性。

论文书写流畅，综述全面；研究工作目标明确，数据可信，结论合理，具有创新性。表明该生具有扎实的理论基础知识与独立从事科研工作的能力，达到博士学位论文的要求。

建议分析讨论在制备 Pebax-C60 (OH)₂₄/聚丙烯腈复合膜时，聚丙烯腈多孔膜结构对复合膜性能影响。

是否同意组织学位论文答辩

（请在相应栏内划“√”）

☒ 同意答辩

☐ 修改后答辩

☐ 不同意答辩