



**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 微反应器内气-液-液弹状流流动与传质特性研究

作者姓名 刘艳艳

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%	10
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%	14
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%	36
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	92

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：微反应器内气-液-液弹状流流动与传质特性研究

作者姓名：刘艳艳

论文研究微反应器内的三相气-液-液弹状流的流动与传质特性，具有重要的理论和实际意义。

主要获得了以下有创新性的成果：

- 1) 研究了传质阻力相为液滴或连续相液弹的传质特性和机制：连续相液弹内循环和液膜间的物质交换等对流占主导，液滴内扩散与对流协同作用，并建立了传质系数预测模型。
  - 2) 研究了气-液-液三相流中长气泡断裂过程及其对流动稳定性的影响，揭示了表面张力、流体惯性力及粘性力的作用机制，并首次提出了气泡断裂模型。
  - 3) 研究了气-液-液三相流中氧气从气泡向液滴或连续相液弹的传质特性，并提出了两种模式中最优流型下传质模型。
- 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%	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%	39
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	93

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：微反应器内气-液-液弹状流流动与传质特性研究

作者姓名：刘艳艳

见附件

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

微尺度条件下三相流动、传质及其反应协调控制等是微反应器内气-液-液三相反应过程中的关键科学问题。本文开展双T型微反应器内气-液-液三相弹状流动与传质特性研究,揭示气-液-液三相弹状流中的相间分散机制,提出三相分散和传质模型,具有重要的理论和使用价值。

该生对气泡/液滴的产生机制、运动特性、三相传递特性以及在气-液-液反应、反应催化耦合和纳米颗粒制备等方面的应用进行总结评述,并结合微反应器传递特性提出自己的研究思路和研究构架,说明该生对微反应通道内气-液-液三相流动、传质特性等具有非常好的理解能力。

论文首先基于刃天青水溶液与氧气发生氧化还原反应的机理,将显色反应由气-液体系拓展到液-液和气-液-液体系,开发建立了刃天青显色技术在线测定传质速率的应用体系,为多相传质研究奠定分析基础。

然后采用刃天青显色体系,通过调控两相弹状流中传质阻力相的分散形式-液滴或连续相液弹,研究对流与扩散的协同/竞争作用及其对应的传递特性;建立数学模型实现传质过程的准确预测,为三相传质研究提供理论基础。

针对高含气率下的气-液-液三相弹状流,揭示了粘性力、惯性力、界面张力等对长气泡在T2处断裂行为和系统稳定性的影响机制,提出了气泡断裂模型、母气泡临界断裂长度、子气泡与子液滴尺寸关联式。研究三相弹状流中氧气从气泡向连续相液弹和分散相液滴传递过程特性,提出了在不同模式下的气-液-液传质模型。

该论文实验方法及手段设计合理严谨,数据的获取可靠与清晰。同时该论文书写流畅,条理清楚,论述透彻,逻辑性强,结论可信,是一篇优秀的博士论文,达到博士学位论文答辩要求,同意组织答辩。

## 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%	39
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	93

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：微反应器内气-液-液弹状流流动与传质特性研究

作者姓名：刘艳艳

气-液-液三相过程广泛存在于化学合成、反应-萃取等过程，而传统反应器低的传质速率、严重的返混导致过程可控性差、目标产品选择性低，后续分离成本高等一系列问题，微反应器高的传质传热效率，能够有效规避上述问题。但是，微尺度内的三相流动、传质及反应间的耦合机制亟待深入研究。本论文开展了双 T 型微反应器内气-液-液三相弹状流动与传质特性的研究，提出了三相分散和传质预测模型，得出如下主要结论：

- 1) 构建了刃天青显色在线测定气-液以及气-液-液传质速率的技术体系；
- 2) 采用刃天青显色技术研究了两相弹状流体系中，连续相液弹和分散相液滴中的传质行为，揭示出其传质特性和机制，提出了相应的传质系数预测模型。
- 3) 在线测定了三相弹状流中气泡向连续相液弹和分散相液滴传递的过程特性，并提出了相应的传质预测模型。
- 4) 研究了 T 形微反应器内，长气泡在 T2 处断裂现象及其对流体稳定性的作用机制，首次提出气泡断裂模型、母气泡临界断裂长度、各子气泡与液滴的尺寸关联式。

论文表述清楚、数据详实、结论可信，同意按期答辩。

为了进一步完善论文研究工作，建议在如下几个方面进行改进：

- 1) 应在文献综述部分，增加三相流传质行为在线表征的相关研究进展，包括但不限于刃天青显色技术；
- 2) 为了增加论文的系统性，建议在研究 T 形微反应器内高气含率下的气泡断裂现象时，也应在线测定气泡断裂对传质行为的影响。

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



## 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 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%	92
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%	90
5	科研能力	论文体现科研潜质与独立科研能力	15%	92
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	91

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： 微反应器内气-液-液弹状流流动与传质特性研究

作者姓名： 刘艳艳

博士生刘艳艳的论文在系统综述国内外文献基础上，研究双 T 型微反应器中气-液-液三相流动与传质特性，建立三相分散和传质预测模型，为过程优化及反应器设计提供基础。论文选题具有重要的理论和实际应用价值。

论文重要研究结果包括：1) 将刃天青显色技术由气-液拓展液-液和气-液-液弹状流体系，优化了实验和分析方法，提高了复杂体系传质分析的准确性；2) 研究高气含率下气-液-液三相流中长气泡在 T2 处断裂现象及流体稳定性的影响机制，提出了气泡断裂时间预测模型以及子气泡与子液滴的尺寸关联式；3) 研究了三相弹状流中氧气从气泡连续相液弹和分散相液滴转递过程特性，通过与对应两相传质体系的对比分析，得到了最优流型下的气-液-液传质模型。这些研究工作和结果具有创新性。论文已达到博士学位论文要求。

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%	95
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%	92
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%	90
5	科研能力	论文体现科研潜质与独立科研能力	15%	91
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	91

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： 微反应器内气-液-液弹状流流动与传质特性研究

作者姓名： 刘艳艳

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

论文题目：微反应器内气-液-液弹状流流动与传质特性研究

作者姓名：刘艳艳

在化学合成、反应-萃取耦合等过程常见的气-液-液三相体系中，其反应常受传质控制，利用微反应器热质传递速度快、过程安全可控等优势，成为气-液-液三相过程的有效强化手段之一。本文针对双 T 型微反应器腔内的气-液-液三相弹状流流动、传质及其与反应间协调控制机制等基础科学问题开展研究工作。选题具有重要的科学意义，为微反应器设计和过程优化提供了基础数据。

论文作者首先主要发展完善了显色技术在线测定传质系数的应用体系，研究揭示了两相弹状流中对流-扩散竞争对传质特性的影响；其次，研究了高气含率下气-液-液三相弹状流中，长气泡断裂过程及其对流动稳定性的影响，并提出了气泡断裂模型；第三，分别研究了三相弹状流中氧气从气泡向连续相液弹和分散相液滴传递的过程特性，并提出了相应的预测模型。研究取得了较突出的、创新性的成果。

论文综述比较全面，撰写规范、对结果和分析做了充分的阐述。表明作者很好地掌握了化工专业基础知识和专门知识，具备了独立从事科研工作的能力；论文达到了博士学位论文的要求。同意进行博士论文答辩，并建议授予工学博士学位。