



**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 铁族氧化物负载高热稳定铂族单原子催化剂的研究

作者姓名 刘凯鹏

学位类别 工学博士

学科（专业） 工业催化

研究所（院系） 中国科学院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)
	√ 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%	95
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%	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%	85
总体评价			总分	91.5

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：**铁族氧化物负载高热稳定铂族单原子催化剂的研究

**作者姓名：**刘凯鹏

作者针对铂族单原子催化剂进行了热稳定性的相关考察，利用尖晶石与金属间的强相互作用实现高热稳定铂族单原子催化剂的制备，并在催化反应中显示了优良的性能，该工作学术水平很高、具有很好的创新性。

该论文选题意义重大，文献掌握详细，实验方案设计科学，实验数据可靠，对实验结果和实验现象理解到位，行文流畅，达到了博士学位水平。该论文反映出作者扎实的理论基础，良好的实验技能以及分析问题与解决问题的综合能力。

因此，我同意该论文提交答辩，并建议授予作者博士学位。

部分可以在答辩后考虑修改的地方：

1、摘要部分中提到单原子催化剂的两个难题，实际上是一个稳定性的问题，建议添加研究共价金属-载体强相互作用的相关讨论；2、论文第一部分主要介绍了高稳定性单原子催化剂的制备方法，建议添加关于共价金属-载体强相互作用这种新型作用方式的总结；3、论文第三、四部分中的催化剂制备方法与第二部分相重合，建议重新规划论文结构避免重复；4、论文第三部分以催化剂表征和性能评价来划分结构，建议以结构表征、性能评价、构效关系等来构建，是论文更有逻辑性；5、论文第五部分研究了钴系载体的催化剂，建议补充性能评价的数据是论文更完整；6、建议在总结与展望部分加上对本论文创新点的总结。

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%	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：铁族氧化物负载高热稳定铂族单原子催化剂的研究

作者姓名：刘凯鹏

单原子催化是多相催化和电催化交叉领域的前沿研究热点。本论文系统研究了高热稳定单原子催化剂的形成机制和催化性能。选题具有重要的学术价值和实用前景。首先通过掺杂Fe元素制备了具有高热稳定性和高热稳定性的 $\text{MgAl}_{1.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_4$ 尖晶石作为载体材料，制备了负载量高达5wt%的Pt单原子催化剂；其次通过物理混合高活性Ru纳米粉末和 $\text{MgAl}_{1.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_4$ 尖晶石制备了高热稳定的Ru单原子催化剂。研究结果表明，掺杂Fe元素-载体相互作用捕获和稳定Pt单原子，而物理混合了Ru纳米颗粒，实现了千克级单原子催化剂的制备。最后研究了不同价态及配位环境下的尖晶石载体对Pt单原子的负载能力。该工作量大，创新性较强，写作规范，逻辑清晰，是一篇优秀的学位论文。

建议在后续工作中探索单原子催化剂的

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%	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%	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%	15
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	94

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：铁族氧化物负载高热稳定铂族单原子催化剂的研究

作者：刘凯鹏

单原子催化剂，尤其是具有高热稳定性的单原子催化剂，近年来引起了研究人员的高度关注，开展系列 Fe 族氧化物负载的 Pt 族单原子催化剂的制备，表征及其性能的研究，选题具有重要的理论价值和潜在的应用前景。

在 MgAl<sub>1.2</sub>尖晶石中参杂 Fe 元素制备了大比表面积和良好热稳定性的 MgAl<sub>1.2</sub>Fe<sub>0.8</sub>O<sub>4</sub>尖晶石，浸渍法和溶胶沉积法制备了 Pt 单原子催化剂，在 NO 分解反应中表现出优异的催化性能，研究表明，Pt 与载体间的强金属-载体的相互作用是 Pt 单原子结构的关键。

RuO<sub>2</sub> 粉末与 MgAl<sub>1.2</sub>Fe<sub>0.8</sub>O<sub>4</sub> 的物理混合，高温焙烧后可制得高含量高热稳定性的 Ru 单原子催化剂，在 NO 的分解反应中也表现出优异的催化性能。DFT 计算和表征研究发现 Ru 物种不是通过气相原子捕获法，而是 Ru 物种与 MgAl<sub>1.2</sub>Fe<sub>0.8</sub>O<sub>4</sub> 载体间的强共价键金属-载体相互作用来实现的。

初步尝试了采用铁族其它氧化物替代 Fe 氧化物制备高温稳定 Ru 单原子催化剂，Co 代替 Fe 来制备钴硅尖晶石载体，发现+3 价是生成高热稳定 Ru 单原子催化剂的关键。以上研究结果具有明显的创新性。

该博士论文总体来说，工作量大，工作较为系统，论文书写文字通顺，推理合理，表明作者有较扎实的理论基础和实验技能，具备独立进行科研工作的能力。建议组织博士论文答辩。

是否同意组织学位论文答辩  
(请在相应栏内打“√”)

☒ 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%	
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%	
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%	
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%	
5	科研能力	论文体现科研潜质与独立科研能力	15%	
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%	
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。

刘凯鹏 博士论文详细评阅意见:

单原子催化剂具有最大的原子利用率,是催化领域的研究热点。制备高载量、高稳定的单原子催化剂是目前该方向的一个巨大挑战。该论文从高热稳定氮原子催化剂出发,制备了系列 Fe 族氧化物负载的高热稳定 Pt 族单元子催化剂。例如,以制备的含铁镁铝尖晶石为载体,通过等体积浸渍和溶胶沉积法,制得高载量 (5wt%)、高热稳定的 Pt 单原子催化剂, Pt 与载体之间的强共价金属-载体相互作用是形成单原子分散的关键。以商业  $\text{RuO}_2$  粉末与含铁的镁铝尖晶石物理混合,经过高温焙烧,可制备高载量、高热稳定的 Ru 单原子催化剂,该催化剂对氧化亚氮分解反应表现出优异的活性和稳定性;载体与活性组分之间的强相互作用可以稳定 Ru 单原子,促进  $\text{RuO}_2$  的再分散。该催化剂具有商业价值。此外,研究了 Co 基尖晶石对 Ru 稳定的能力,拓展了单原子催化剂的制备以及制备规律的认识。该论文的研究结果具有创新性,作者发表了多篇有影响的学术论文并申请了相关专利,表明作者具备了独立从事科研的能力。论文撰写规范、文字表达清晰、结论合理,建议组织答辩。

关于论文修改的建议如下:

1. 论文的第 40 页, 1.5 本论文的研究思路和研究内容,这部分写成了已经取得的成果,写成了完成时,而非计划要去研究的内容。建议作者对此部分内容进行适当修改。
2. 论文第 53 页,第三章的研究背景,这部分内容在引言中已经描述过了,建议精简。可以把第一段删除。
3. 论文的排版问题:第 57 页的图,最好排在一页。论文其他地方也存在类似的问题,建议一并修改。
4. 论文第 63 页,如图表 3.2 所示,应该改为如图表 3.8 所示。
5. 论文第 77 页,第四章的研究背景,这部分内容在引言中已经描述过了,建议精简。可以把第一和第二段删除。
6. 第 118 页,建议将“生产”改成“制备”。

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)
	√ 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%	
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%	
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%	
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%	
5	科研能力	论文体现科研潜质与独立科研能力	15%	
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%	
总体评价			总分	96

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 90 分为良好；大于等于 60 分小于 75 分为中；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）

单原子催化剂的稳定性问题及其宏量制备是单原子催化剂研究领域中的一个重大挑战。本论文针对这一重要问题，开展了系统而深入的研究，发展了一类简单可行的宏量制备单原子催化剂的方法，阐述了这个过程中单原子催化剂的形成机制，将其应用到几个反应中并表现出优异的反应性能。这些结果对推动单原子催化剂概念的扩展和将这个概念应用到一些工业过程都非常有意义，研究结果 also 具有很好的创新性。总体上是一个优秀的博士论文。具体成果包括：1) 利用大比表面积和良好热稳定性的  $\text{MgAl}_{1.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_4$  尖晶石作为载体，通过等体积浸渍法和溶胶沉积法两种不同制备方法，通过高温氧化焙烧制备最高负载量达到 5 wt% 的高热稳定的 Pt 单原子催化剂。利用表征和理论计算阐明了 Pt 与  $\text{MgAl}_{1.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_4$  尖晶石载体间强的共价金属-载体相互作用是形成单原子的关键。2) 发展一类简单可行的方法，利用商业  $\text{RuO}_2$  粉末和不同的尖晶石氧化物载体进行物理混合，经过高温焙烧，可成功制得高载量高热稳定的 Ru 单原子催化剂；作者对整个分散过程进行了详细的研究，发现  $\text{RuO}_2$  亚微米粉末的分散是一个 anti-sintering 过程；体系中 Ru 物种与氧化物载体之间的强共价金属-载体相互作用可以稳定 Ru 单原子并促进  $\text{RuO}_2$  的再分散。这个方法对于宏量制备单原子催化剂是一个突破。以氧化物粉末为前驱体通过焙烧过程在氧化物载体上制备高分散氧化物催化剂例如  $\text{RuO}_2$ ，这个过程和早期催化研究中提出的氧化物催化剂在氧化物载体上单层分散现象比较相似，建议作者可以参考和对比。总之，本论文研究目标明确，研究内容系统，数据分析充分，结果讨论合理，论文书写规范，符合博士论文的要求，推荐进行博士论文答辩。

<p>是否同意组织学位论文答辩</p> <p>（请在相应栏内划“√”）</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> 同意答辩</p> <p><input type="checkbox"/> 修改后答辩（论文需通过小的修改后答辩）</p> <p><input type="checkbox"/> 修改后评阅（论文需通过大的修改后再评阅）</p> <p><input type="checkbox"/> 不同意答辩</p>
---	--

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%	94
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%	96
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%	92
5	科研能力	论文体现科研潜质与独立科研能力	15%	94
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%	92
总体评价			总分	93.8

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 90 分为良好；大于等于 60 分小于 75 分为中；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）

近年来，单原子催化剂因其具有最大化的原子利用率、均一的活性位点、对特定反应优异的活性和/或选择性，已经成为催化剂领域的研究热点。论文选择铁族氧化物负载高热稳定铂族单原子催化剂为研究内容，选题具有重要的学术价值。

论文从高热稳定单原子催化剂出发，围绕着工业生产中常用到的 Pt 族金属，制备了系列 Fe 族氧化物负载的高热稳定 Pt 族单原子催化剂，并对其催化高温反应的活性和稳定性进行了研究，得到如下主要研究结果：（1）向镁铝尖晶石中添加 Fe 元素，成功制得具有大比表面积和良好热稳定性的  $\text{MgAl}_{1.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_4$  尖晶石，通过等体积浸渍法和溶胶沉积法，经高温氧化焙烧，制得高载量高热稳定的 Pt 单原子催化剂，最高负载量可达 5 wt%。对于氧化亚氮分解反应，相较于纳米粒子催化剂和传统三氧化二铁负载的 Pt 单原子催化剂，呈现更高的活性和优异的热稳定性。（2）将商业  $\text{RuO}_2$  粉末与  $\text{MgAl}_{1.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_4$  尖晶石物理混合，并经高温焙烧，可成功制得高载量高热稳定的 Ru 单原子催化剂，该催化剂对不同浓度的氧化亚氮分解反应均可表现出优异的活性，且具有优异的高热反应稳定性，可实现千克级单原子催化剂的制备。（3）考察不同 Fe 族氧化物高温稳定 Ru 单原子的能力，并进一步以 Co 元素作为 Fe 族元素的代表，考察不同价态及配位环境的 Co 基尖晶石高温稳定 Ru 单原子的能力。

上述研究结果具有创新性。

论文达到了博士学位论文的要求，同意参加答辩。

<p>是否同意组织学位论文答辩</p> <p>（请在相应栏内划“√”）</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> √ 同意答辩</p> <p><input type="checkbox"/> 修改后答辩（论文需通过小的修改后答辩）</p> <p><input type="checkbox"/> 修改后评阅（论文需通过大的修改后再评阅）</p> <p><input type="checkbox"/> 不同意答辩</p>
---	--