

密 级： 公开

加密论文编号：

论文题目：原子级纳观影像质量提升与分割算法研究

学 号： M202320826

研 究 生： 张一凡

专 业 名 称： 计算机技术

2026 年 1 月 1 日

原子级纳观影像质量提升与分割算法研究

**Research on Quality Enhancement and
Segmentation Algorithms for Atomic-scale
Nanoscale Images**

研究生：张一凡

指导教师：XX

北京科技大学 智能科学与技术学院

北京 100083，中国

Doctor Degree Candidate: Zhang Yifan

Supervisor: XX

School of Intelligent Science and Technology

University of Science and Technology Beijing

30 Xueyuan Road, Haidian District

Beijing 100083, P.R.CHINA

中图分类号:

学校代码:

10008

U D C:

密 级:

公开

北京科技大学博士学位论文

论文题目: 原子级纳观影像质量提升与分割算法研究

研究生: 张一凡

指 导 教 师: 单位: 职称:

指 导 小 组 成 员: 单位: 职称:

单位: 职称:

论文提交日期: 2026 年 1 月 1 日

学位授予单位: 北 京 科 技 大 学

摘 要

论文中文摘要字数约为 300~600 字，如遇特殊需要字数可以略多，限一页。

论文摘要是论文内容不加注释和评论的简短陈述，一般以第三人称语气写成。摘要的编写应遵循下列原则：

1) 摘要应具有独立性和自含性，即不阅读论文的全文，就能获得必要的信息。摘要是学位论文的缩影，是学位论文的主要内容、见解、结论简短明了的缩写。

2) 摘要应是一篇完整的短文，可以独立使用，可以引用。

3) 摘要的内容应包含与论文等量的主要信息，供读者确定有无必要阅读全文，也可供文摘汇编等二次文献采用。

4) 摘要一般应说明研究工作的目的意义、研究方法、研究结果、主要结论及意义、创造性成果和新见解，而重点是结论和创新点。

5) 要用文字表达，不要附图和照片，除了实在无变通办法可用以外，摘要中不用图、表、化学结构式、非公知公用的符号和术语，不要使用表格、公式、上下标以及其他特殊符号，要突出重点，阐述清楚，少用数据表。论文摘要用语力求简洁、准确。原则上 300~600 字。

关键词：摘要；论文；要求；字数；格式（关键词个数为 3~5 个，正式写作请删除此括号）

Research on Quality Enhancement and Segmentation Algorithms for Atomic-scale Nanoscale Images

ABSTRACT

In environmental economics, environmental resources including environmental quality are categorized as amenity resources. Due to its importance to human welfare, the amenity resources theoretical study and valuation is an ongoing issue at the academic frontier in the environmental economics area.

注：论文的英文摘要应有英文题目和关键词，内容与中文摘要相同，用另页置于中文摘要之后；外文摘要实词在 300 个左右。

Key Words: Key word 1; Key word 2; Key word 3; ...

序 (可选)

序并非必要。论文的序，一般是作者或他人对本篇基本特征的简介，如说明研究工作缘起、背景、主旨、目的、意义、编写体例，以及资助、支持、协作经过等；也可以评述和对相关问题研究阐述。这些内容也可以在主体部分引言中说明。

目 录

摘要	I
ABSTRACT	III
序 (可选)	V
插图和附表清单 (如有)	IX
符号清单 (如有)	XI
1 引言	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 研究内容与方法	4
1.3 论文组织结构	4
2 文献综述	5
2.1 图像质量提升算法概述	5
2.1.1 传统方法	5
2.1.2 深度学习方法	5
2.1.3 非配对图像质量提升方法	5
2.2 图像分割算法概述	5
2.3 研究创新点	5
2.4 论文组织结构	5
3 基于结构保持的非配对 HRTEM 图像质量提升方法	7
3.1 非配对 HRTEM 图像质量提升 (实验图像)	8
3.2 基于结构保持的改进循环式生成网络	8
3.2.1 空间频域联合特征提取的生成网络设计	8
3.2.2 基于自注意力机制的全局原子结构一致性建模	8
3.2.3 基于特征函数与频域一致性的结构保持约束设计	8
3.3 算法性能验证与实验结果分析	8
3.3.1 实验数据 (数据集介绍)	8
3.3.2 实验设置与评价指标	8
3.3.3 实验结果与分析 (定性、定量)	8
3.4 本章小结	8
4 文献综述	9
4.1 图像质量提升算法概述	9
4.1.1 传统方法	9
4.2 论文组织结构	9

5 高分辨 TEM 图像自动表征系统	11
5.1 需求分析与系统功能设计	11
5.1.1 自动化原子位置识别与处理模块	11
5.1.2 原子细粒度信息动态提取模块	11
5.2 总体架构设计	11
5.3 详细设计与实现	11
5.3.1 系统技术选型	11
5.3.2 自动化原子位置识别与处理模块实现	11
5.3.3 原子细粒度信息动态提取模块实现	11
5.4 本章小结	11
参考文献	13
附录 A 单位	17
致谢	19
作者简历及在学研究成果	21
独创性说明	23
关于论文使用授权的说明	25
学位论文数据集	27

插图和附表清单（如有）

插图或附表清单并非必要。论文中如图表较多，可以有此页。图的清单应有图号、图题和页码。表的清单应有表号、表题和页码。

根据所列内容，可将本页标题分别更改为“插图清单”、“附表清单”。

符号清单（如有）

此页并非必要。符号、标志、缩略词、首字母缩写、计量单位、名词、术语等的注释说明汇集表，如需汇集，可集中置于此页。

根据所列内容，将本页标题分别更改为“符号清单”、“标志清单”、“缩写清单”、“计量单位清单”、“术语表”等。

1 引言

1.1 研究背景及意义

当今时代科技发展日新月异，材料科学作为支撑众多领域发展的核心基础，其战略地位愈发凸显。从航天工程所依赖的耐极端环境、超高强韧的特种金属材料，到微电子行业不可或缺的高迁移率、微型化集成的新型半导体材料，再到生命健康领域所使用的生物兼容、功能适配的植入与诊疗材料，材料本身的性能优劣与制备质量，直接决定了下游产品的整体水平、可靠性以及可应用的场景边界。因此，系统探究材料的本征特性与服役行为，对推动技术创新突破、增强国家核心竞争力，具有至关重要的作用。

材料的微观结构与宏观性能之间关系挖掘是材料科学中的重要话题 [1]。如图 1-1 研究人员利用多种表征手段从不同尺度开展材料构效关系的研究。比如，在介观尺度下揭示多层纳米结构的界面效应对裂纹传播的影响 [2]；在纳观尺度下表征原子催化活性变化 [3] 等。在多种尺度研究中，原子层面的结构表征能精确揭示原子的排列、缺陷等微观信息 [4, 5, 6]，直接关联材料的结构与性能。这不仅能帮助理解相变、界面效应以及缺陷对材料力学、电学和化学性能的影响，还能进而优化材料设计与应用。因此，要更加深入全面地探索材料的构效关系，提升材料性能，设计符合需求的新材料，原子尺度的观测手段起到了至关重要的作用 [7, 8]。

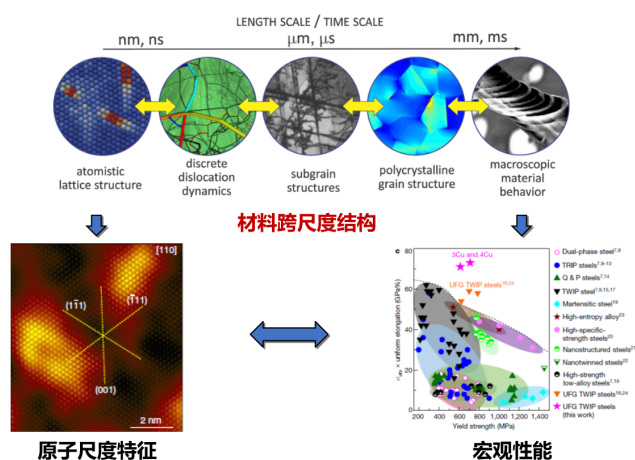


图 1-1: 材料微观结构与宏观性能之间关系

Fig. 1-1: Relationship between microstructure and macroscopic properties of materials

作为揭示材料微观结构和宏观性能之间内在联系的核心手段，现代显微

影像表征技术呈现出多样化和高精度发展的趋势。电子显微镜根据成像模式、电子束与样品交互方式和样品厚度以及分辨率的差异分为扫描电子显微镜（SEM）、透射电子显微镜（TEM）和扫描透射电子显微镜（STEM）。这些技术能够识别从毫米到数十皮米的细节，并提供材料在形貌、相态、晶体学以及分子和原子结构等方面的独特信息。随着 TEM 成像技术及原位表征技术的快速发展，结合像差校正的原位 TEM 已能够在原子乃至亚埃尺度上直接观测材料的原子排列与结构演化，在揭示材料微观结构、动态行为、物理化学性质及相变机制等方面发挥着不可替代的作用。凭借其超高的空间与能量分辨率，该技术已广泛应用于材料、化学、能源及生命科学等领域，成为研究纳米至原子尺度微观行为及其演化规律的重要手段。

随着计算能力的大幅提升，机器学习和深度学习技术不断突破，AI 在不同领域得到了广泛应用，并正在成为科学研究中的核心分析工具。计算机-电子显微术-材料科学的结合应运而生，许多方法也被引入到 TEM 数据自动化分析任务中。原子定位是晶体或分子结构解析的前置任务，在原子尺度的数据分析中，原子定位的准确性直接决定了后续材料分析的有效性，并为深入研究材料微观结构与性能之间的关系提供技术支撑。

随着图像采集设备的进步，TEM 已经能够获得原子级分辨率的图像，提供原子位置、晶格参数和缺陷等信息。然而，在实际成像中，材料的原子结构及缺陷形貌往往呈现出高度复杂的空间分布特征，其边界在噪声、像差及成像模糊等因素的影响下难以清晰界定，给传统的人工分析和规则化处理方法带来了巨大挑战。在材料表征与性能分析过程中，研究人员通常需要对原子列、晶界及缺陷区域进行精确定位与标注，而这一过程高度依赖人工经验与主观判断，容易导致结果不一致，并限制分析精度与重复性。此外，由于高分辨率 TEM 图像及原位实验数据通常具有高维度和大规模特性，人工分析不仅工作量巨大，而且难以满足高通量材料研究的需求。

综上所述，开发一种准确、高效且具有良好泛化能力的原子尺度结构质量提升与分割方法，已成为提升材料显微表征与数据驱动材料研究潜力的重要研究方向。原子分辨率 TEM 图像中蕴含着丰富的结构信息，通过对原子排列、局域畸变及缺陷形态等特征的定量化分析，能够为理解材料的相变行为、界面效应及性能演化机制提供关键依据。这类基于显微图像的结构特征提取方法，为材料设计、性能优化及新材料发现提供了重要的数据支撑。

目前，得益于卷积神经网络和 Transformer 架构的突破性进展，这些技术

的应用为材料微结构分析带来了技术提升，但仍存在一些制约性的瓶颈问题亟待解决，具体总结如下：

(1) TEM 图像普遍存在质量退化且现有方法难以兼顾精度与泛化性。受设备性能、成像条件及环境干扰等因素影响，实验 TEM 原子图像在采集过程中常出现噪声增强、对比度不足及结构模糊等退化现象。传统图像增强方法对复杂退化模式的适应能力有限，难以有效恢复精细原子结构。尽管深度学习方法在图像质量提升任务中展现出优势，但其通常依赖大量成对标注数据，在实验场景中面临数据获取困难及模型泛化能力不足的问题。此外，现有模型在刻画原子级细微结构时，对长距离依赖关系和全局结构特征的建模能力仍显不足。

(2) 实验 TEM 图像中原子级目标的精准分割仍面临鲁棒性与精度不足的问题。原子分割的准确性直接影响材料微观结构的定量分析结果，但目前公开可用的高质量实验 TEM 标注数据较为匮乏，相关研究多依赖模拟数据进行验证，难以充分反映真实实验条件下的复杂成像特性。在低信噪比和强伪影条件下，现有分割方法对噪声较为敏感，分割稳定性和精度显著下降。同时，基于卷积神经网络的模型在捕捉细微原子结构的长距离依赖关系和全局上下文信息方面存在局限，从而制约了分割性能的进一步提升。

(3) 当前 TEM 图像分析流程缺乏系统化的自动化表征分析框架。随着高分辨率 TEM 成像数据规模的持续增长，传统依赖人工或半自动方式的分析流程在处理效率、结果一致性及可扩展性方面逐渐显现不足。目前尚缺乏能够将图像质量提升、精准分割与特征提取等关键环节进行统一整合的自动化表征分析系统，限制了 TEM 数据的高效利用。构建基于人工智能的自动化 TEM 图像表征分析框架，对于提升材料微结构定量分析效率和可靠性具有重要意义。

综上所述，针对上述瓶颈问题，本课题旨在构建原子级纳观影像鲁棒分割算法及自动化表征分析系统，围绕图像质量提升、精准分割、自动化表征分析三方面开展深入研究，推动透射电子显微影像分析方法从传统的人工依赖向高通量、智能化、自动化方向转型。这不仅对材料科学研究具有重要的科学价值，还将为深入理解材料的本质机理与性能调控提供更加可靠的依据，对加速材料研发与应用、推动相关领域的技术进步产生深远影响。

1.2 研究内容与方法

准确的原子级纳观影像分割是进行材料微观结构定量分析的关键。针对 1.1 节所描述的关键问题与挑战，本文主要研究内容如图 1-2 所示，主要包括：

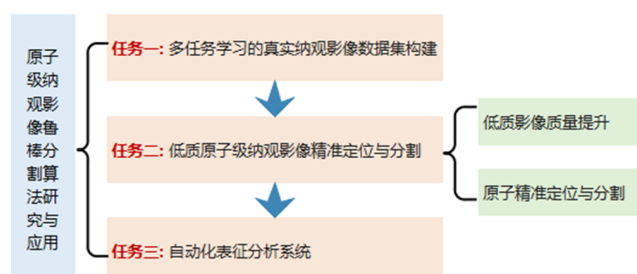


Fig. 1-2: Main research content and methods

(1) 为了解决

(2) 纳观影像多原子分割的模型训练中，图像质量提升与原子分割模块的多源特征难以联合优化从而提升整体精度。在纳观影像分析中，原子分割的准确性通常与图像质量紧密相关，但拍摄过程中引起的随机和确定性噪声以及出现由设备漂移和环境振动引起的扫描失真都会导致图像质量不佳，增加了提升图像质量与原子分割模块联合优化的难度

(3) 面向原子级纳观影像的定量分析中，针对高通量时序图像的关键信息批量提取的自动化程度低且集成性差。传统的 TEM 图像分析是一项劳动密集型工作，高度依赖研究人员的经验，需要花费较高的时间成本。针对计算机材料领域的纳观影像定量分析，现阶段缺少一个针对高通量时序图像的关键信息的自动化分析系统，以集成原子级视频信息的动态提取分析

1.3 论文组织结构

2 文献综述

2.1 图像质量提升算法概述

2.1.1 传统方法

2.1.2 深度学习方法

2.1.3 非配对图像质量提升方法

2.2 图像分割算法概述

2.3 研究创新点

2.4 论文组织结构

3 基于结构保持的非配对 HRTEM 图像质量提升方法

高质量的 HRTEM 图像对于在原子尺度上建立材料结构与性能之间的关系至关重要。然而，在实际实验中，为了捕获动态过程的高时间分辨率图像，往往需要在低剂量成像条件下进行采集，这不可避免地导致 HRTEM 图像质量严重退化，表现为原子排列模糊、结构信息不完整等问题，从而极大地限制了后续的精确定构分析能力。

传统的图像处理方法，如维纳滤波、双边滤波和 BM3D 等，虽然能够在一定程度上抑制随机噪声，但这些方法依赖于固定的假设和有限的局部统计特性，难以鲁棒地处理复杂背景和严重的图像退化问题。近年来，基于深度学习的方法在 TEM 图像去噪和增强领域展现出了显著的优势。然而，现有大多数方法仍然依赖于配对的训练样本或合成数据进行监督学习，忽视了真实高质量实验图像中丰富而真实的纹理特征，且在严重退化的成像条件下表现不佳。

为了解决上述问题，本章提出了一种基于结构保持的非配对 HRTEM 图像质量提升方法 HRTEM-GAN。该方法采用循环一致性生成对抗网络 (CycleGAN) 框架，在非配对训练条件下运行，通过图像块级别的分布建模实现高质量域和低质量域之间的双向映射。与传统的全图翻译方法不同，本方法采用图像块级建模策略，缩小了生成的有效感受野范围，使网络能够聚焦于细粒度的原子结构特征，从而缓解了全图生成中常见的原子恢复不完整问题。为了更好地建模长程原子关联，本章在生成器的瓶颈层引入了视觉 Transformer (ViT) 模块，使其能够捕获超越局部卷积邻域的全局依赖关系。此外，本章明确引入了频域建模和约束机制，通过专用的频域分支和频域感知损失函数来利用 HRTEM 图像固有的频谱特性，在增强图像质量的同时保持原子尺度的结构保真度。

本章的主要内容安排如下：首先介绍非配对 HRTEM 图像质量提升的问题背景和挑战；随后详细阐述基于结构保持的改进循环式生成网络的设计，包括空间频域联合特征提取的生成网络设计、基于自注意力机制的全局原子结构一致性建模，以及基于特征函数与频域一致性的结构保持约束设计；最后通过在真实实验数据集上的广泛定性和定量评估，验证所提方法的有效性，并与现有代表性方法进行对比分析，证明本方法在图像恢复质量和下游原子

柱识别性能上均取得了显著提升。

3.1 非配对 HRTEM 图像质量提升（实验图像）

3.2 基于结构保持的改进循环式生成网络

3.2.1 空间频域联合特征提取的生成网络设计

3.2.2 基于自注意力机制的全局原子结构一致性建模

3.2.3 基于特征函数与频域一致性的结构保持约束设计

3.3 算法性能验证与实验结果分析

3.3.1 实验数据（数据集介绍）

3.3.2 实验设置与评价指标

3.3.3 实验结果与分析（定性、定量）

3.4 本章小结

4 文献综述

4.1 图像质量提升算法概述

4.1.1 传统方法

4.2 论文组织结构

5 高分辨 TEM 图像自动表征系统

5.1 需求分析与系统功能设计

5.1.1 自动化原子位置识别与处理模块

5.1.2 原子细粒度信息动态提取模块

5.2 总体架构设计

5.3 详细设计与实现

5.3.1 系统技术选型

5.3.2 自动化原子位置识别与处理模块实现

多原子定位：

多原子关系建模：

关键参量计算：

5.3.3 原子细粒度信息动态提取模块实现

多原子运动追踪：

多原子行为识别：

运动特征提取：

5.4 本章小结

参考文献

参考文献

- [1] RAMAKRISHNA S, ZHANG T Y, LU W C, et al. Materials informatics[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2019, 30(6): 2307-2326.
- [2] BUTLER K T, DAVIES D W, CARTWRIGHT H, et al. Machine learning for molecular and materials science[J]. Nature, 2018, 559(7715): 547-555.
- [3] LIU G D, SHIH A J, DENG H Q, et al. Site-specific reactivity of stepped Pt surfaces driven by stress release[J]. Nature, 2024, 626(8001): 1005-1010.
- [4] BANHART F, KOTAKOSKI J, KRASHENINNIKOV A V. Structural defects in graphene[J]. ACS Nano, 2011, 5(1): 26-41.
- [5] ZIATDINOV M, DYCK O, MAKSOV A, et al. Deep learning of atomically resolved scanning transmission electron microscopy images: chemical identification and tracking local transformations[J]. ACS Nano, 2017, 11(12): 12742-12752.
- [6] ZILETTI A, KUMAR D, SCHEFFLER M, et al. Insightful classification of crystal structures using deep learning[J]. Nature Communications, 2018, 9(1): 2775.
- [7] TILLEY R J D. Crystals and crystal structures[M]. John Wiley & Sons, 2020.
- [8] MULLER D A. Structure and bonding at the atomic scale by scanning transmission electron microscopy[J]. Nature Materials, 2009, 8(4): 263-270.

附录 A 单位

以下内容可放在附录之内：

- (1) 正文内过于冗长的公式推导；
- (2) 方便他人阅读所需的辅助性数学工具或表格；
- (3) 重复性数据和图表；
- (4) 论文使用的主要符号的意义和单位；
- (5) 程序说明和程序全文；
- (6) 企业应用证明；
- (7) 项目鉴定报告；
- (8) 获奖成果证书；
- (9) 设计图纸；
- (10) 程序源代码；
- (11) 论文发表；
- (12) 作者简介。

这部分内容可省略。如果省略，删掉此页。

书写格式说明：

标题“附录 A 附录内容名称”样式为字体：黑体，英文用 Times New Roman 字体，居中，加粗，字号：小三，2.41 倍行距，段前 17 磅，段后为 16.5 磅。

附录正文样式为字体宋体小四，英文用 Times New Roman 字体小四，两端对齐书写，段落首行左缩进 2 个字符。1.3 倍行距（段落中有数学表达式时，可根据表达需要设置该段的行距），段前 0.1 行，段后 0.1 行，1.3 倍行距。

示例

表 A-1: 表 A.1 国际单位制的基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克 (公斤)	kg
时间	秒	s
电流	安 (培)	A
热力学温度	开 (尔文)	K
发光强度	坎 (德拉)	cd

表 A-2: 表 A.2 国家规定的非国际单位制单位

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
时间	分	min	1 min=60 s
	[小] 时	h	1 h=60 min=3600 s
	天 (日)	d	1 d=24 h=86400 s
平面角	[角] 秒	"	$1'' = (\pi/648000) \text{ rad}$
	[角] 分	'	$1' = 1^\circ/60 = (\pi/10800) \text{ rad}$
	度	°	$1^\circ = (\pi/180) \text{ rad}$
	度	°	$1^\circ = (\pi/180) \text{ rad}$
旋转速度	转每分	r/min	1 r/min=(1/60) r/s
长度	海里	n mile	1 n mile=1852 m
速度	节	kn	1 kn=1 n mile/h=(1852/3600) m/s (只用于航行)

致 谢

致谢是作者对该论文的形成作出过贡献的组织或个人予以声明的文字记载，语言要客观、准确、简短。

字数一般不超过 500 字，最多不超过一页。论文作者可以在致谢页对下列方面致谢：

国家科学基金、资助研究工作的奖学金基金，合同单位、资助或支持的企业、组织或个人；

协助完成研究工作和提供便利条件的组织或个人；

在研究工作中提出建议和提供帮助的人；

给予转载和引用权的资料、图片、文献、研究思想和设想的所有者；

其它应感谢的组织或个人。

作者简历及在学研究成果

一、主要教育经历/工作经历（从大学起，到博士入学止）

起止年月	学习或工作单位	备注
XXX 年 XX 月至 XXXX 年 XX 月	在 XXXX 学校 XXXX 专业攻读学士学位	
XXX 年 XX 月至 XXXX 年 XX 月	在 XXXX 单位从事 XXXX 岗位的工作	
XXX 年 XX 月至 XXXX 年 XX 月	在 XXXX 学校 XXXX 专业攻读博士学位	

二、在学期间从事的科研工作

（1）高性能低功耗深度神经网络处理器芯片设计（USTB06500093），主要参与人员，2017.11-2022.11。

（2）...

三、在学期间所获的科研奖励

（1）博士研究生国家奖学金

四、在学期间发表的论文

- [1] **Liu M K**, LIU C X, ZHANG S T, et al. Research on Industry Development Path Planning of Resource-Rich Regions in China from the Perspective of “Resources, Assets, Capital” [J]. Sustainability, 2021, 13(7): 3988-3988.
- [2] **Liu M K**, LIU C X, PEI X D, et al. Sustainable Risk Assessment of Resource Industry at Provincial Level in China [J]. Sustainability, 2021, 13(8): 4191-4191.
- [3] **刘明凯**, 张寿庭, 刘昌新, 等. 基于“三资”视角的矿山企业绿色可持续发展路径研究 [J]. 中国矿业, 2020, 29(07): 35-43.

- [4] 刘明凯, 张红艳, 王新宇. 广西有色金属产业链关联测度与发展路径规划研究 [J]. 中国国土资源经济, 2020, 33(12): 65-74.
- [5] 虎海峰, 刘明凯, 樊杰. 黄河流域经济-社会-生态耦合协调效应评价及预测 [J]. 中国管理科学. 待刊出.

盲审说明（正式写作请删除此说明）：

盲审论文需要隐藏掉所有会影响盲审结果的论文作者及其导师的信息，以便论文评阅人能够公正的进行评阅。

当学校要求提供盲审论文时，请按如下方法制作。

1) 对于论文中下列学生和导师信息。请将学生姓名、学生学号、导师姓名，依次全部替换为[本论文作者]、[论文作者学号]、[本论文导师]。论文中上述信息均需要替换，包括作者研究成果等部分的有关信息。

2) 在研究成果中，论文作者发表的文章列表中应隐去所有作者的名字，只标明论文期刊名，级别，发表年份。

3) 盲审论文，请不要填写致谢，致谢页除标题、页眉、页码外请保持空白。

4) 其他会影响盲审结果的信息，请采用类似方式处理。

5) 提交的盲审论文应为正式论文，除了上述替换后的信息外，应为可以评阅的正式论文。

6) 论文封面，请填写专业名称、论文题目等，将学号和姓名项目保持空白不填。制作盲审论文时，论文书脊、封二、题名页请删除。

替换前后将文档分别保存，以便盲审论文与其他论文分开管理。

盲审样例（正式写作请删除此样例）：

五、在学期间发表的论文：

[1] **第一作者**. 中国矿业. 中文核心期刊.2020.

[2] **第二作者（导师一作）**. 中国矿业. 中文核心期刊.2020.

独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得北京科技大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

作者签名：_____ 日期：_____ 年_____ 月_____ 日

备注：提交时须有作者亲笔签名！

关于论文使用授权的说明

本人完全了解北京科技大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

（保密的论文在解密后应遵循此规定）

签名：_____ 导师签名：_____ 日期：_____

学位论文数据集

关键词 *	密级 *	中图分类号 *	UDC	论文资助
学位授予单位名称 *		学位授予单位代 码 *	学位类别 *	学位级别 *
北京科技大学		10008		
论文题名 *		并列题名		论文语种 *
作者姓名 *			学号 *	
培养单位名称 *		培养单位代码 *	培养单位地址	邮编
北京科技大学		10008	北京市海淀区学 院路 30 号	100083
学科专业 *		研究方向 *	学制 *	学位授予年 *
论文提交日期 *				
导师姓名 *			职称 *	
评阅人	答辩委员会主席	答辩委员会成员		
	*			
电子版论文提交格式文本 () 图像 () 视频 () 音频 () 多媒体 () 其他 () 推荐格式: application/msword; application/pdf				
电子论文出版 (发布) 者		电子论文出版 (发布) 地		权限声明
论文总页数 *				
共 33 项, 其中带 * 为必填数据, 为 22 项。				