



東南大學  
SOUTHEAST UNIVERSITY

# 研究生学位论文写作指南

(讨论稿)

东南大学研究生院

二〇二四年十二月

## 前 言

研究生学位论文是研究生在导师指导下从事科学研究或技术创新结果的报告和总结，是研究生学位评定的主要依据。学位论文不仅反映研究生对基础理论和专业技能的掌握情况，还应体现作者所研究领域的研究方向的最新成果和前言进展。学位论文应内容完整，立论正确，文字简练，语言通顺，数据可靠，表达清晰，图、表、公式、单位等符合规范要求。

为了统一写作标准，保证论文的规范性和独创性要求，提高论文撰写水平和促进国内外技术交流与成果应用，并形成我校的统一格式，学位办依据《学位论文编写规则》(GB/T 7713.1-2006)、《信息与文献参考文献著录规则》(GB/T 7714-2015)等国家标准，并结合《东南大学研究生学位论文格式规定》等文件的要求，编写这本《东南大学研究生学位论文写作指南》(以下简称《写作指南》)和学位论文写作模板，供全体研究生在撰写学位论文时参考。

东南大学学位办公室

2024年12月

# 目录

第一章 引言.....	1
1.1 编写目的.....	1
1.2 学位论文的基本要求.....	1
1.3 撰写学位论文的语言及文字.....	2
1.4 主要内容.....	3
第二章 论文主要部分的写法.....	4
2.1 学位论文组成部分及顺序.....	4
2.2 论文封面.....	5
2.3 摘要和关键词.....	5
2.4 目录.....	6
2.5 正文.....	6
2.6 参考文献.....	9
2.7 其他内容（可选）.....	9
第三章 学位论文格式基本要求.....	11
3.1 目录的内容编排.....	11
3.2 学位论文文字格式.....	11
3.3 纸张尺寸和页码.....	12
3.4 页眉和页脚.....	12
3.5 图、表、公式、计量单位和数字用法.....	12
第四章 参考文献著录规则及注意事项.....	16
4.1 参考文献的类型.....	16
4.2 参考文献与脚注（注释）的区别.....	16
4.3 参考文献著录范围.....	16
4.4 参考文献著录方法.....	17
4.5 参考文献标注法.....	19
4.6 参考文献表.....	20
第五章 其他.....	22
5.1 盲审.....	22
5.2 学位论文印刷、装订要求.....	22
参考文献.....	24
附件一：东南大学学位论文独创性和使用授权声明文本.....	25
附件二：毕业/学位论文答辩委员会名单.....	26
附件三：学科门类名称中英文对照表.....	27
附件四：一级学科名称中英文对照表.....	28
附件五：部分专业学位名称中英文对照表.....	31
附件六：职称中英文对照表.....	32
附件七：有关数字用法的规定.....	33
附件八：研究生学位论文封面参考模板.....	34
附件九：优秀博士学位论文示例.....	36
附件十：优秀硕士学位论文示例.....	43

# 第一章 引言

## 1.1 编写目的

学位论文是研究生攻读学位期间在指导教师指导下独立完成的创新成果的完整呈现，是研究生学位评定的主要依据。同时，研究生学位论文也是反映最高层次学历教育水平的学术作品，学校图书馆、国家图书馆将作为学术资料长期保存，供同行学者、后续研究者查阅和参考。因此，学位论文应文字正确，语言通顺，数据可靠，表述清晰，图、表、公式、单位等符合规范要求。同时，作为东南大学的研究生学位论文，在符合国家关于学位论文编写规范要求的基础上，应有统一的格式。为此，研究生院参照《学位论文编写规则》（GB/T 7713.1—2006）<sup>[1]</sup>、《科技报告编写规则》（GB/T 7713.1—2014）<sup>[2]</sup>、《信息与文献参考文献著录规则》（GB/T 7714—2015）<sup>[3]</sup>等国家标准并结合学校实际情况，编写了《东南大学研究生学位论文写作指南》（以下简称《写作指南》），供研究生在撰写学位论文时参考。

## 1.2 学位论文的基本要求

《中华人民共和国学位法》<sup>[4]</sup>规定国家实行学位制度。学位分为学士、硕士、博士，包括学术学位、专业学位等类型，按照学科门类、专业学位类别等授予。学科门类、一级学科和专业学位类别参见《研究生教育学科专业目录》<sup>[5]</sup>。该目录，是国家进行学位授权审核与学科专业管理、学位授予单位开展学位授予与人才培养工作的基本依据，适用于硕士博士学位授予、招生培养，学科专业建设和教育统计、就业指导服务等工作。除交叉学科门类外，各一级学科按所属学科门类授予学位。专业学位类别按其名称授予学位。

国务院学位委员会和教育部成立全国工程博士专业学位教育指导委员会，对工程博士专业学位研究生教育进行指导。《国务院学位委员会、教育部关于对工程专业学位类别进行调整的通知》学位〔2018〕7号文<sup>[6]</sup>中明确为统筹工程硕士和工程博士专业人才培养，将工程专业学位类别调整为电子信息（代码 0854）、机械（代码 0855）、材料与化工（代码 0856）、资源与环境（代码 0857）、能源动力（代码 0858）、土木水利（代码 0859）、生物与医药（代码 0860）、交通运输（代码 0861）8个专业学位类别。工程硕士领域中的项目管理、物流工程、工业

工程 3 个领域调整到工程管理专业学位类别（代码 1256）。

根据《中华人民共和国高等教育法》、《中华人民共和国学位法》的要求，博士学位论文应当表明作者掌握本学科坚实宽广的基础理论、系统深入的专门知识、相应的技能和方法，在科学或专门技术上做出创造性的成果，并具有独立从事本学科创造性科学研究工作和实际工作的能力；硕士学位论文应当表明作者掌握本学科坚实的基础理论、系统的专业知识，掌握相应的技能、方法和相关知识，对所研究的课题有新的见解，并具有从事本专业实际工作和科学研究工作能力<sup>[4,7]</sup>。根据《教育部人力资源社会保障部关于深入推进专业学位研究生培养模式改革的意见》，专业学位论文应反映作者综合运用知识技能解决实际问题的能力和水平，可将研究报告、规划设计、产品开发、案例分析、管理方案、发明专利、文学艺术作品等作为主要内容，以学位论文形式表现<sup>[8]</sup>。

东南大学对研究生学位论文学术水平的原则要求详见《东南大学学术学位博士研究生培养方案》《东南大学工程类专业学位博士研究生培养方案》《东南大学学术学位硕士研究生培养方案》《东南大学专业学位硕士研究生培养方案》以及各学科、专业学位类别制定的研究生申请学位创新成果要求。研究生学位论文的编写格式应符合本《写作指南》的要求。

### 1.3 撰写学位论文的语言及文字

硕士学位论文一般在三万字以上，博士学位论文一般在五万字以上。学位论文应当用规范汉字进行撰写，除艺术、古籍研究等涉及古文字和繁体字的部分及英文页面、英文摘要、专用术语、参考文献中引用的外文文献等必须使用外文撰写的之外，均应采用中文简体。

根据教育部、外交部、公安部联合制定的《学校招收和培养国际学生管理办法》<sup>[9]</sup>，国际研究生可使用英文撰写学位论文，培养方案中对论文使用语言有特殊规定的（如外国语言文学、翻译），可根据培养方案的要求使用其他语言，但硕士学位论文需提供不少于 3000 字的中文摘要、博士学位论文需提供不少于 6000 字的中文摘要。

对于专业学位硕士论文，可参照各院（系、所）的相关要求执行。特殊情况可经研究生院批准后执行。

## 1.4 主要内容

本《写作指南》包括以下五章：

第一章为引言，阐述编写本《写作指南》的目的，以及按规范撰写学位论文的重要性；

第二章为学位论文主要部分的写法；

第三章为学位论文格式基本要求，包括学位论文的组成部分、排列顺序、装订方式、页面设置等具体格式要求；

第四章为参考文献著录规则及注意事项；

第五章为其他，包括盲审、学位论文印刷、装订要求。

附件提供了东南大学学位论文独创性和使用授权声明文本、毕业/学位论文答辩委员会名单、学科门类名称中英文对照、一级学科名称中英文对照、研究生学位论文封面参考模板等，以供参考。

## 第二章 论文主要部分的写法

### 2.1 学位论文组成部分及顺序

研究生学位论文应包含以下部分，顺序如下：

- 中文封面
- 中文页面
- 英文封面
- 论文独创性声明和使用授权声明
- 中文摘要及关键词
- 英文摘要及关键词
- 目录
- 插图和附表清单（如有）
- 符号和缩略语说明（如有）
- 正文：第 1 章（或引言），第 2 章，……，结论
- 参考文献
- 附录（如有）
- 索引（中英文）
- 作者简历（在学期间完成的相关学术成果）
- 致谢
- 毕业/学位论文答辩委员会名单
- 其他材料（根据学位评定分委员会和院系要求提供）

以上各项均独立成为一部分，每部分从新的一页开始。

紧接英文页面之后的学位论文独创性声明和使用授权声明（见附件）需要由研究生本人亲笔签名，学位论文需要提交电子版以便于数据库管理和网上查阅。有保密要求不宜公开的论文由研究生申请、导师同意、院系审核，经校保密办公室和研究生院学位办审查批准后同意保密，保密期后自动承认使用授权声明，并予以公开。

研究生学位论文撰写，除表达形式上需要符合一定的格式要求外，内容方面上也要遵循一些共性原则。

## 2.2 论文封面

### 2.2.1 中文封面

中文封面包含四部分内容，分别为：论文题目、申请学位的学科门类或专业学位名称、作者及导师信息、答辩委员会主席、研究方向、论文成文打印的日期。

### 2.2.2 英文封面

英文封面的内容与中文封面相对应，题名使用 Arial 字体，字号 20pt，加粗，居中书写。英文封面上的申请学位类型，学术学位博士学位论文填写 Doctor of Philosophy，学术学位硕士学位论文填写 Master of Arts 或者 Master of Science，专业学位填写 Professional Degree of 加专业学位英文名称。

中国姓名译为英文时用汉语拼音，按照姓前名后的原则，姓、名均用全名，不宜用缩写。姓全用大写，名的第一个字母大写，名为双中文字时两个字的拼音之间可以不用短划线，但容易引起歧义时必须用短划线。

### 2.2.3 论文题目

论文题目应简明扼要地反映论文工作的主要内容，力求精炼、准确，切忌笼统，建议不超过 25 个字。

论文题目是对研究对象的准确、具体描述，一般要在一定程度上体现研究结论。因此，论文题目不仅应告诉读者这本论文研究了什么问题，更要告诉读者这个研究得出的结论。

### 2.2.4 论文独创性声明和使用授权声明

该部分内容可以直接查看附件的“学位论文独创性声明和使用授权声明文本”，相应地复制到学位论文中即可，在提交终版论文时作者和指导教师都必须签署姓名，学位论文需要提交电子版以便于数据库管理和网上查阅。

## 2.3 摘要和关键词

论文摘要包括题名、硕士(博士)研究生姓名、导师姓名、学校名称、正文、关键词。中文约 500~800 字左右，英文应与中文基本对应。论文摘要是对论文研究内容的高度概括，应具有独立性和自含性，即应是一篇简短但意义完整的文章。通过阅读论文摘要，读者应该能够对论文的研究方法及结论有一个整体性的了解，因此摘要的写法应力求精确简明。论文摘要应包括对问题及研究目的的描述、对使用的方法和研究过程进行的简要介绍、对研究结论的高度凝练等，重点是结果

和结论。论文摘要切忌写成全文的提纲，尤其要避免“第 1 章……；第 2 章……；……”这样的陈述方式。

论文摘要后还应注明本文的关键词 3 至 5 个。关键词应为公知公用的词和学术术语，不可采用自造字词和略写、符号等，词组不宜过长。

英文摘要采用第三人称单数语气介绍该学位论文内容目的是便于其它文摘摘录，因此在写作英文文摘时不宜用第一人称的语气陈述。叙述的基本时态为一般现在时，确实需要强调过去的事情或者已经完成的行为才使用过去时、完成时等其他时态。可以采用被动语态，要避免出现用“*This paper*”作为主语代替作者完成某些研究行为。

## 2.4 目录

目录是论文的大纲，它反映论文的梗概。论文目录要求层次清楚，应将论文的章节按顺序编好页码，页码应居页面右侧并排列整齐。

## 2.5 正文

正文是学位论文的主体，占论文的主要篇幅，论文的论点、论据和论证均在此部分阐述或展示，应包括引言、主体和结论等部分。由于研究工作涉及的学科、选题、研究方法、工作进程、结果表达方式等有很大的差异，对正文内容不能作统一的规定。但是，必须实事求是，客观真切，准确完备，合乎逻辑，层次分明，简练可读。

### 2.5.1 绪论

可以在绪论第一段或摘要部分对本论文学术研究有特别贡献的组织或个人做相应介绍，主要包括：1、对提供资助或者支持的基金（基金项目应该包括基金名称、项目名称、项目编号、项目负责人、研究起止年月等）、合同单位、企业、组织或者个人；2、协助完成研究工作或提供便利的组织或个人；3、给予转载或者引用权的资料、图片、文献、研究设想的所有者。

绪论主要论述论文的选题意义、国内外研究现状、本论文要解决的问题、论文运用的主要理论与方法、基本思路及论文的结构等。大致包含如下几个部分：

（1）选题背景及意义；（2）文献综述；（3）研究目的与内容；（4）论文结构安排。

(1) 选题背景及意义：要论述清楚为什么选择这个题目来研究，即阐述该研究对学科发展的贡献、对国计民生的理论与现实意义等。

(2) 文献综述：在查阅国内外文献和了解国内外有关科技情况的基础上，围绕课题涉及的问题，综述前人工作情况，达到承前启后的目的。要求：(I) 总结课题方向至少 10 年以来的国内外动态；(II) 明确前人的工作水平；(III) 介绍目前尚存在的问题；(IV) 说明本课题的主攻方向。文献总结应达到可独立成为一篇综述文章的要求。

(3) 研究目的与内容：要讲清论文所使用的研究目的及开展的主要研究内容。

(4) 论文结构安排：要介绍本论文的写作结构安排。

### 2.5.2 主体部分

论文主体是学位论文的主要部分，应该结构严谨，层次清晰，重点突出，文字简练、通顺。论文主体部分涵盖但不限于以下具体方面：(1) 理论分析、数值分析或统计分析；(2) 实验原理、实验方法及实验装置；(3) 实验结果及分析。

#### (1) 理论分析、数值计算或统计分析

利用研究生本人所掌握的理论知识对所选课题进行科学地、严密地理论分析、数值计算或统计分析，剖析课题，提出自己的见解。

#### (2) 实验原理、实验方法及实验装置

学位论文要求对实验原理、方法、装置、步骤和有关参数有较详细的阐述，以便评阅人及答辩委员会审核实验的可靠性，并能对实验进行重复以便验证结果的可靠性，也为以后的研究者提供一个较完整的研究方法。

#### (3) 实验结果及分析

列出数据的图或表，并对数据结果进行讨论，对比分析、结果推论要严格准确，避免采用模棱两可的评定语言。对反常的数据要保留并做解释或者说明，不可随意剔除数据做出有违科学公正的行为。引用他人的研究成果及数据应加注参考文献，较长的公式推导可列入附录。

论文主体部分应确保各章节之间前后连贯，具有逻辑性，是一个有机的整体。论文给出的数据必须真实可靠，推理正确，结论明确，无概念性和科学性错误。对于科学实验、计算机仿真的条件、实验过程、仿真过程等需加以叙述，避免直接给出结果、曲线和结论。引用他人研究成果或采用他人成果时，应注明出处，

不得将其与本人提出的理论分析混淆在一起。采纳文献及引用数据应为可以公开并能重复查到的文献资源，并需标明准确出处（如页码或图表序号等）。正文引用文献一律用右上角方括号内的次序号（阿拉伯数字）以“上标”格式标示。

论文主体各章后应有一节“本章小结”，实验方法或材料等章节可不写“本章小结”。各章小结是对各章研究内容、方法与成果的简洁准确的总结与概括，也是论文最后结论的依据。

### 2.5.3 结论

结论作为学位论文正文的组成部分，单独排写，不加章标题序号，不标注引用文献。结论内容一般在 2000 字以内。

结论应是作者在学位论文研究过程中所取得的创新性成果的概要总结，不能与摘要混为一谈。博士学位论文结论应包括论文的主要结果、创新点、展望三部分，在结论中应概括论文的核心观点，明确、客观地指出本研究内容的创新性成果（含新见解、新观点、方法创新、技术创新、理论创新），并指出今后进一步在本研究方向进行研究工作的展望与设想。对所取得的创新性成果应注意从定性和定量两方面给出科学、准确的评价，分（1）、（2）、（3）...条列出，宜用“提出了”、“建立了”等词叙述。

此外，结论的撰写还应符合以下基本要求：

（1）结论具有相对的独立性，不应是对论文中各章小结的简单重复，应该是对各章节内容的凝练与总结。结论要与引言相呼应，以自身的条理性、明确性、客观性反映论文价值。对论文创新内容的概括、评价要适当。

（2）结论措辞要准确、严谨，不能模棱两可，避免使用“大概”、“或许”、“可能是”等词语。结论中不应有解释性词语，而应直接给出结果。结论中一般不用量的符号，而宜用量的名称。

（3）结论应指出论文研究工作的局限性或遗留问题，如条件所限，或存在例外情况，或本论文尚难以解释或解决的问题。

（4）常识性的结果或重复他人的结果不应作为结论，同时要严格区分自己取得的成果与导师及他人的科研工作成果。在评价自己的研究工作成果时，要实事求是，除非有足够的证据表明自己的研究是“首次”的、“领先”的、“填补空白”的，否则应避免使用这些或类似词语。

## 2.6 参考文献

学位论文中的参考文献主要包括引文参考文献及阅读型参考文献。引文参考文献是作者在撰写学位论文过程中，为正文中的直接引语（数据、公式、理论、观点等）或间接引语提供的有具体文字来源的文献信息资源。阅读型参考文献是作者在撰写学位论文过程中曾经阅读过但在正文中未被引用的文献信息资源。引文参考文献表应置于正文后，并另起页。所有被引用文献均要列入参考文献表中。阅读性参考文献可集中列入附录中，其标题为“书目”。

## 2.7 其他内容（可选）

### 2.7.1 符号和缩略语说明

如果论文中使用了大量的物理量符号、标志、缩略词、专门计量单位、自定义名词和术语等，应编写“符号和缩略语说明”。如果符号和缩略词使用数量不多，可以不设专门的“符号和缩略语说明”，而在论文中出现时随即加以说明。

### 2.7.2 附录

如果有必要可以设置附录。该部分包括与论文有关的原始数据明细表，较多的图表，计算程序及说明，过长的公式推导，或取材于复制品而不便于编入正文的材料等。附录一般与论文全文装订在一起，与正文一起编页码。如果附录内容很多，可独立成册。若有多个附录，则按大写英文字母编号排序，如附录 A、附录 B 等，每一个附录均另起一页。附录中的公式及图表编号应冠以附录序号字母加一短划线，如公式 (A-2)、图 A-2，表 B-2 等。

### 2.7.3 索引

如果有必要可以设置索引。此部分可根据需要编排内容索引(关键词索引)、著者索引，中文按汉语拼音字母顺序、英文按照英文字母顺序编排。

### 2.7.4 作者简介（包括在学期间发表的论文和取得的学术成果清单）

作者简介主要包括本人简历、所从事的主要研究方向和取得的科研成果，要求语句精炼，硕士生字数应控制在 1000 字以内，博士生字数控制在 2000 字以内。

作者简介内容按照下列次序编排：（1）基本情况，包括姓名、性别、年龄、籍贯或出生地等。（2）从大学开始的学习和工作简历（包括毕业学校、院系、专业、学习时间；工作的单位、职务和时段等）。（3）本阶段学位攻读期间课程学

习情况，包括学习课程的门数、总学分数、学位课程学分数等（也可以介绍各科总平均成绩情况等）。（4）参加研究课题（或工程设计）情况，包括课题名称、课题类别（国家级、省部级、横向协作、子课题属哪一级课题等）、研究时段、本人承担任务及完成情况。（5）研究生在学期间公开发表的学术论文目录和取得的其他学术成果清单（此部分单列，作为学位授予的参考条件）。学术论文包括期刊（杂志）论文和学术会议论文，其他学术成果包括学术专著、科技获奖成果、鉴定成果、专利、已完成的重要工程设计（或工程应用）项目等。该学术论文和成果清单所列内容需要经过导师签字认可。按照参考文献中论文或著作的著录格式依据时间顺序排列学术著作和成果，并按顺序列出全部作者名字。（6）学术报告和非公开发表论文情况，以及研究生非在学期间发表的学术论文目录和取得的其他学术成果等。

#### 2.7.5 致谢

若包含该部分内容，应简明扼要，朴实自然。对研究的个人心得、对师长的感谢等可以写在此处。不要包含过多对师长的赞美之词；不宜罗列同学好友的长串名单。尚未取得学位的硕士（博士）研究生不能称为硕士（博士）。

## 第三章 学位论文格式基本要求

### 3.1 目录的内容编排

● 内容	.....页码
● 中文摘要	.....I
● 英文摘要	.....II
● 目录	.....III
● 插图和附表清单(任选)	.....IV
● 符号、变量、缩略词等本论文专用术语的注释(任选)	.....V
● 第一章 前言(或绪言)	.....1
● 1.1 (文科论文可用第※节)	.....*
● 1.2 (文科论文可用第※节)	.....*
● 第二章	
● 2.1 (文科论文可用第※节)	.....*
● 结论	.....*
● 附录	.....*
● 参考文献	.....*
● 作者简介(包括论文和成果清单)	.....*
● 致谢	.....*

### 3.2 学位论文文字格式

#### 3.2.1 电子文档类型

##### (1) 基本要求

学位论文要求电子文档用 WORD 输入(或 PDF 矢量文件格式)其他格式应经校档案馆特许,原则上应能自动转成 WORD 格式并不会丢失图形、字符、分式和产生乱码。

##### (2) 学位论文电子文档的提交方式

详见《东南大学研究生学位论文网上提交的要求》。

#### 3.2.2 字体

(1) 正文小四号宋体,首行缩进。除引文和前面所述的某些外文符号外,正文一律用宋体,文字用横排。

(2) 一级标题（题目）：二号宋体居中，二级标题（章）：三号黑体居中。

(3) 三级标题（节）：四号宋体（加粗）居左；四级标题（节内小节）小四号黑体居左。

(4) 表格文字可用小五宋体或正文字体，居中（或居左）并整齐划一，表格名及图名用五号宋体。

(5) 标点符号：单个的标点符号（如句号、逗号、分号、顿号、冒号、感叹号、破折号等）和成双的标点符号（如引号、括号）的后半部分不得放在行首，成双的标点符号前半部分不得放在句末。学术论文中英文标点符号不能混用。

### 3.3 纸张尺寸和页码

A4 纸张，四周页边距 2cm，带连续页码（罗马数字或阿拉伯数字页码，底部居中）。双面印刷，页数较少时也可用单面印刷。根据装订需要，左、右侧的页边距也可以选 2.5cm。

页码 1 从正文开始，前面摘要和目录等内容的页码用大写罗马数字表示。在 WORD 中分段设置页码采用菜单里的“插入”“分隔符”，然后选中“分节符”里的“下一页”，这样就可以分段设置连续页码和不同的页眉和页脚。

### 3.4 页眉和页脚

#### (1) 页眉

页眉采用下列形式（在页眉页脚的页面设置中选择“奇偶页不同”）：

偶数页：

东南大学硕士学位论文（小五号宋体居中）

奇数页：

第 \* 章 章题目（小五号宋体居中）

若为博士学位论文则将页眉中的“硕士”换为“博士”。

#### (2) 页脚

正文及其以后部分，其页脚为居中、连续的阿拉伯数字页码。不宜采用分章的非连续页码。摘要和目录等内容的页脚为居中、连续的大写罗马数字页码。

### 3.5 图、表、公式、计量单位和数字用法

#### (1) 图

图包括曲线图、构造图、示意图、图解、框图、流程图、地图、照片等。图应具有“自明性”，即只看图、图题和图例，不阅读全文就可理解图意。图应编排序号，可按章用阿拉伯数字顺序编排，例如图 3-1。插图较少时可按全文编排，如图 1、图 2……，若有分图用(a)(b)(c)表示，图注在图名下方，内容按序编号并用分号“；”隔开。

每一图应有简短确切的题名，连同图号置于图下。图题、图号字体与正文相同，字体也可改用仿宋以示与正文的区别。必要时，应将图上的符号、标记、代码以及实验条件等，用最简练的文字，横排于图题下方，作为图例说明。

在 WORD 文档中，图名、图号和图例应和插图一起置于一个图文框内（框线隐去）。图文框采用锁定标记选项，以免编辑时漂移。一般插图宜用 AutoCAD 画成，线条用多义线（pline）以便于编辑线宽，图名、图号不宜放在 AutoCAD 图中以免图名图号的字体、字号不易统一排版。

插图尺寸不宜过大，边长不宜大于 12 厘米，尽量不用整页插图。插图宜采用文字环绕方式随文右侧编排。

曲线图的纵横坐标必须标注三要素即“量、标准规定符号、单位”，例如“体积  $V(m^3)$ ”。此三者只有在不必要标明（如无量纲等）的情况下方可省略。坐标上标注的量的符号和缩略词必须与正文一致。

照片的主题和主要显示部分须轮廓鲜明、细节清晰、反差适中。照片上应该有表示目的物尺寸的标度。照片等图片用 JPG 格式插入，尽量不要采用 BMP 或 TIF 等格式（这类格式文件的字节数可能较大），以便减小图片所占字节数从而减小文件的总容量。

## （2）表

表的编排，一般是内容和测试项目由左至右横读，数据依序竖排。表应有自明性并采用阿拉伯数字编排序号，如表 1、表 2 等，表格较多时可按章排序，如表 1.1、表 2.3 等。

每一表应有简短确切的题名，连同表号置于表上。必要时，应将表中的符号、标记、代码以及需要说明事项，以最简练的文字，横排于表题下，作为表注，也可以附注于表下。表内附注的序号宜用小号阿拉伯数字并加右圆括号置于被标注对象的右上角，如： $\times\times(1)$ ，不宜用星号“\*”，以免与数学上共轭的符号相混。

表的各栏均应标明“量（或测试项目）、标准规定符号、单位”。只有在无必要

标注的情况下方可省略。表中的缩略词和符号，必须与正文中一致。

表内同一栏的数字必须上下对齐。表内不宜用“同上”、“同左”、“”和类似词，应一律填入具体数字或文字。表内“空白”代表未测或无此项，“-”或“...”代表未发现（当“-”可能与代表阴性反应相混时用“...”代替），“0”表示实测结果确为零。

### （3）数学、物理符号和化学式

正文中的公式、算式或方程式等应编排序号，序号标注于该式所在行的最右边；当有续行时，应标注于最后一行的最右边。

公式首行的起始位置位于行首算起第五个中文字符之处，即在段落起始行的首行缩进位置再退后两个中文字符。不要用居中、居左或居行首排列。公式编号按阿拉伯数字顺序编号，如（1）（2）.....，公式较多时可按章顺序编号，如（1.1）（1.2）.....。公式引用使用式 1、式 1.1 等，英语文本中用 Eq.1、Eq.1.1 等。

较短的公式一般一式一行并按顺序编号，后面一式若为前面一式的注解（如下标范围  $i=1, 3, 5, \dots$ ）可用括号括起来与前面一式并排一行。较长的公式必须转行时，只能在=、 $\approx$ 、+、-、 $\times$ 、 $\div$ 、 $<$ 、 $>$ 处转行。上下式尽可能在等号“=”处对齐。公式中符号尚未说明者应有说明，符号说明之间用分号隔开，一般一个符号占一行，如：

（21）式中

I——电流（A）；

V——电压（V）；

R——电阻（ $\Omega$ ）；

不需编号的公式也可以不用另起行。如： $I=V/R$ ，式中 I 为电流（A），V 为电压（V），R 为电阻（ $\Omega$ ）。

对不需要公式编号的短公式，或者夹杂在文字内的公式及符号，一般不用公式编辑器，可用上标（ $X^2$ ）、下标（ $x_2$ ）和  $\Omega$  字符库中的字符来表达，并把除式写成横式，不宜采用竖式，以便使行距均匀，编排整齐。

公式及文字中的一般变量（或一般函数）（如坐标 X，Y、电压 V、频率 f）宜用斜体，矢量用粗斜体如  $\vec{S}$ （或白斜体上加单箭头如  $\vec{S}$ ）。常用函数（如三角函数 cos、对数函数 ln 等）、数字运算符、化学元素符号及分子式、单位符号、产品代号、人名地名的外文字母等用正体。

非公知公用的符号、缩略词均应该在第一次出现时加以说明，并给以明确定

义。必要时须在缩略词后面的括号内标明外文原文。

#### (4) 计量单位和数字用法

论文必须采用 1984 年 2 月 27 日国务院发布的《中华人民共和国法定计量单位》，并遵照《中华人民共和国法定计量单位使用方法》执行。各种量、单位和符号，必须遵循国家标准的规定执行。数字和单位用法应遵照 GB/T 15835，例如：

不宜在文字中间夹杂使用数学（物理）符号、计量单位符号，例如“钢轨每 m 重量 < 50kg”应写成“钢轨每米重量小于 50kg”；

纯小数在小数点前面的 0 不能省略；

百分数及幂次数量范围应完整表达，如“20%~40%”不应写作“20~40%”，“ $3 \times 10^2 \sim 5 \times 10^2$ ”不能写成“3~ $5 \times 10^2$ ”；避免让单位误为词头，如力矩单位 N·m 或 Nm 不能写成 mN；组合单位中的斜线不能多于一条，如  $w/(m^2 \cdot ^\circ C)$  不能写成  $w/m^2/^\circ C$ 。

## 第四章 参考文献著录规则及注意事项

我校研究生学位论文的参考文献著录和在正文中的标注方式不区分理工科和人文社科，统一按照现行国家标准《信息与文献参考文献著录规则》（GB/T 7714—2015）<sup>[3]</sup>执行。该标准适用于各个学科、各种类型的出版物。本指南选编该标准中相关要点，供研究生在撰写学位论文时参考。如需了解更多细节，请查看标准原文。

### 4.1 参考文献的类型

学位论文中的参考文献主要包括引文参考文献及阅读型参考文献。引文参考文献是作者在撰写学位论文过程中，为正文中的直接引语（数据、公式、理论、观点等）或间接引语提供的有具体文字来源的文献信息资源。阅读型参考文献是作者在撰写学位论文过程中曾经阅读过但在正文中未被引用的文献信息资源。引文参考文献表应置于正文后，并另起页。所有被引用文献均要列入参考文献表中。阅读性参考文献可集中列入附录中，其标题为“书目”。

### 4.2 参考文献与脚注（注释）的区别

脚注与参考文献有所区别。参考文献是作者写作学位论文时所参考的文献，一般集中列于文末。参考文献序号用方括号标注，与正文中指示序号一致。脚注是对学位论文中某一特定内容所做的进一步解释或补充说明，一般排印在该页地脚，并用阿拉伯数字加圆圈标注<sup>[10]</sup>。

### 4.3 参考文献著录范围

- (1) 已在国内外公开出版的学术期刊上发表的论文；
- (2) 由国内外出版公司或出版社正式出版的学术著作（有 ISBN 号）；
- (3) 有 ISBN 号的会议论文集及论文集集中的论文；
- (4) 博士和硕士学位论文；
- (5) 专利文献；
- (6) 国际标准、国家标准和部颁标准；
- (7) 报纸文章；
- (8) 电子文献。

其他性质的资料可以作为正文的随文脚注。

非纸张型电子文献应注明载体类型，见后述。

#### 4.4 参考文献著录方法

##### 4.4.1 参考文献类型及其标志：

根据 GB3469 规定，对参考文献类型应该在文献题名后用方括号加以标引，以单字母方式标志以下各种参考文献类型：

参考文献类型	期刊文章	专著	论文集	学位论文	专利	标准	报纸文章	报告	资料汇编	其他文献
类型标志	J	M	C	D	P	S	N	R	C	Z

##### 4.4.2 电子文献类型标志

对于数据库（Database）、计算机程序（Computer program）及电子公告（Electronic bulletin board）等电子文献类型的参考文献，以下列字母作为标志：

电子参考文献类型	数据库	计算机程序	电子公告
电子文献类型标志	DB	CP	EB

对于非纸张型载体的电子文献，当被引用为参考文献时需在参考文献类型标志中同时标明其载体类型，采用双字母表示 电子文献载体类型：

磁带（Magnetic tape）：MT；

磁盘（Disk）：DK；

光盘（CD-ROM）：CD；

联机网络（Online）：OL；

以下列格式表示包括了文献载体类型的参考文献类型标示：

[电子文献类型标示 / 载体类型标示]，如：

[DB/OL]： 联机网上数据库（Database online）；

[DB/MT]： 磁带数据库（Database on magnetic tape）；

[M/CD]： 光盘图书（Monograph on CD-ROM）；

[CP/DK]： 磁盘软件（Computer program on disk）；

[J/OL]： 网上期刊（Journal serial online）；

[EB/OL]: 网上电子公告 (Electronic bulletin board online)。

以纸张为载体的传统文献在引作参考文献时可不必注明其载体类型。

#### 4.4.3 参考文献著录方法

专著、专著中的析出文献、连续出版物、连续出版物中的析出文献、专利文献、电子资源等主要类型参考文献的著录项目与格式要求如下表：

文献类型号	文献类型	格式示例
1	学术期刊(共著录8项)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧
		序号 作者 题名 刊名 出版年份 卷号(期号) 起页-止页。
		1 高景德, 王祥珩. 交流电机的多回路理论 [J]. 清华大学学报, 1987, 27(1): 1-8(完整的)。
		2 高景德, 王祥珩. 交流电机的多回路理论 [J]. 清华大学学报, 1987(1): 1-8(缺卷的)。 3 Chen S, Billing S A, Cowan C F, et al. Practical identification of MARMAX models. Int J Control, 1990, 52(6): 1327-1350(完整的)。

文献类型号	文献类型	格式示例
2	学术著作(至少著录7项)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
		序号 作者 书名 版次(首版免注) 翻译者 出版地 出版社。
		⑧ ⑨
		出版年 起页-止页。 4 竺可桢. 物理学 [M]. 北京: 科学出版社, 1973.1-3。 5 霍夫斯基主编. 禽病学 [M]: 下册. 第7版. 胡祥璧等译. 北京: 农业出版社, 1981.7-9。 6 Aho A V, Sethi R, Uihman J D. Compilers Principles. New York: Addison Wesley, 1986. 277-30833.
3	有ISBN号的论文(共著录10项)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
		序号 作者 题名 见: (In:) 主编. (,eds.) 论文集名 出版地。
		⑧ ⑨ ⑩
		出版社 出版年 起页-止页。 7 张全福, 王里青 “百家争鸣”与理工科学报编辑工作 [C]. 见: 郑福寿主编 学报编论丛: 第2集 南京: 河海大学出版社, 1991. 1-4。 8 Dupont B. Bone marrow transplantation in severe combined immunodeficiency [C]. In: White H J, Smith R, eds. Proc. of the 3rd Annual Meeting of Int Soc for Experimental Hematology (ISEH). Houston: ISEH, 1974. 44-464.
4	学位论文(共著录7项)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
		序号 作者 题名 学位论文 保存地点 保存单位 年份。
		9 张竹生 微分半动力系统的不变集 [D]: [博士学位论文]. 北京: 北京大学数学系, 1983。 10 余勇 劲性混凝土柱抗震性能的试验研究 [D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学土木工程学院, 1998。

文献类型号	文献类型	格式示例
5	专利文献(共著录7项)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ 序号 专利申请者 题名 国别 专利文献种类 专利号 出版日期。 11 姜锡洲.一种温热外敷药制备方法[P]. 中国专利, 881056073.1989-07-2666。
		① ② ③ ④ ⑤ 序号 起草责任者 标准代号 标准顺序号-发布年 标准名称。 ⑥ ⑦ ⑧ 出版地: 出版社, 出版年。 12 全国文献工作标准化技术委员会第六分委员会.CB6447-S6文摘编写规则[S].北京: 中国标准出版社, 1986。
7	报纸文献(共著录6项)	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ 序号 作者.文献题名.报纸名, 出版日期(版面次序)。 13 谢希德.创新学习的新思路[N].人民日报, 1998-12-25(10)。
		① ② ③ ④ 序号 作者.文献题名.电子文献类型标示/载体类型标示。 ⑤ ⑥ 文献网址或出处, 更新/引用日期。 14 王明亮.标准化数据库系统工程新进展[EB/OL].http://www.cajcd.edu.cn/pub/980810-2.html, 1998-08-16。 15 万锦坤 中国大学学报论文文摘(1983-1993)(英文版)[DB/CD] 北京: 中国大百科全书出版社, 1996。

## 4.5 参考文献标注法

正文中引用参考文献的标注方法可以采用“顺序编码制”，也可以采用“著者-出版年制”。撰写学位论文时仅选择一种，并全文保持一致。

### 4.5.1 顺序编码制

(1) 按正文中引用的文献出现的先后顺序用阿拉伯数字连续编码，并将序号置于方括号中。

(2) 同一处引用多篇文献时，应将各篇文献的序号在方括号中全部列出，各序号间用逗号，如遇连续序号，起讫号间用短横线连接，例如：张三<sup>[1]</sup>指出……，李四<sup>[2-3]</sup>认为……，形成了多种数学模型<sup>[7, 9, 11-13]</sup>……。

### 4.5.2 著者-出版年制

(1) 正文引用的文献采用著者-出版年制时，各篇文献的标注内容由著者姓氏与出版年构成，并置于“( )”内。倘若只标注著者姓氏无法识别该人名时，可标注著者姓名。集体著者著述的文献可标注机关团体名称。倘若正文中已提及

著者姓名, 则在其后的“( )”内只著录出版年。例如: ..... (张中国, 2005), ..... 张中国 (2005) 认为.....。

(2) 正文中引用多著者文献时, 对欧美著者只需标注第一个著者的姓, 其后附“et al.”; 对中国著者应标注第一著者的姓名, 其后附“等”字, 姓名与“等”字之间留 1 个空格。例如: ..... (张中国 等, 2005) .....。

(3) 在参考文献表中著录同一著者在同一年出版的多篇文献时, 出版年后应用小写字母 a, b, c...区别。例如:

Kennedy W J, Garrison R E. 1975a. Morphology and genesis of nodular chalks and hardgrounds in the Upper Cretaceous of southern England. *Sedimentology*, 22:311-386.

Kennedy W J, Garrison R E. 1975b. Morphology and genesis of nodular phosphates in the Cenomaman of South-east England. *Lathiaia*, 8:339-360.

(4) 多次引用同一著者的同一文献, 在正文中标注著者与出版年, 并在“( )”外以上标形式著录引文页码。例如: ..... (张中国等, 2005)<sup>15-17</sup>; .....张中国等 (2005)<sup>55</sup> 认为.....。

#### 4.6 参考文献表

参考文献表的组织方法应与参考文献在正文中的标注方法保持一致, 或按“顺序编码制”组织, 或按“著者-出版年制”组织。参考文献表中所列参考文献应与正文中引用的参考文献一一对应。

参考文献表按“顺序编码制”组织时, 各篇文献要按正文部分标注的序号依次列出, 每条文献的序号要加方括号“[ ]”, 采用悬挂格式, 将序号悬挂在外。参考文献表采用“著者-出版年制”组织时, 各篇文献首先按文种集中, 可分为中文、日文、西文、俄文、其他文种 5 部分; 然后按著者字顺和出版年排列。中文文献一般按著者汉语拼音字顺排列。每条文献不必加序号, 采用悬挂格式, 悬挂缩进 2 个汉字符或 4 个字符。

参考文献表用五号字, 汉字用宋体, 英文用 Times New Roman 体, 行距采用固定值 16 磅, 段前 3 磅, 段后 0 磅。采用悬挂格式, 悬挂缩进 2 个汉字符或 4 个字符。

注意事项:

(1) 只有 3 位及 3 位以内作者的，其姓名全部列上，中外作者一律姓前名后；

(2) 共有 3 位以上作者的，只列前 3 位，其后加“，等”或“， et al”；

(3) 外文文献中表示缩写的实心句点“ . ”一律略去；

(4) 原本就缺少某一项目时，可将该项连同与其对应的标点符号一起略去；

(5) 页码不可省略，起止页码间用“—”相隔，不同的页码引用范围之间用“，”相隔；

(6) 正文中参考文献标引一律用上标形式的方括号内数字表示，例如<sup>[3]</sup>，方括号和数字不必用粗体。

## 第五章 其他

### 5.1 盲审

盲审（匿名送审）格式学位论文见《东南大学研究生学位论文盲审条例》的要求。盲审学位论文格式有关要求为：中英文论文封面、摘要、书脊及论文中不要出现研究生姓名和导师姓名；论文独创性声明和使用授权声明请勿签名；研究生发表论文清单要将研究生姓名、导师姓名隐去，并注明是第几作者；致谢不要出现在盲审学位论文中。

### 5.2 学位论文印刷、装订要求

1、学位论文使用 A4 标准纸（210mm×297mm）印制，必须是打印件、印刷件或复印件。

2、博士学位论文封面颜色统一为“白色刚古艺术纸”，硕士学位论文封面颜色统一为“淡黄色刚古艺术纸”。

（1）学位论文封面格式见研究生院主页学位教育→学位授予→文件下载。

（2）学位论文封面注释：

注 1：学校代码：10286。

注 2：分类采用《中国国书资料分类法》。

注 3：经批准保密的论文要注明密级及保密期限。经批准技术保护的论文要注明“技术保护”及保护期限。

注 4：注明《国际十进分类法 UDC》的类号。

注 5：学号要完整，前面的零不能省略。

（3）论文封面上“申请学位类别”填写要求：

①学历博士、硕士的类别为哲学、经济学、法学、教育学、文学、管理学、理学、工学、医学等（如：法学硕士、工学博士）。中职教师、高校教师在职申请硕士学位，其学位类别注明中职教师、高校教师，如工学硕士（高校教师）。

②专业学位类别为电子信息硕士、工商管理硕士、公共管理硕士、艺术硕士、法律硕士、公共卫生硕士、临床医学硕士、建筑学硕士、风景园林硕士、会计硕士、翻译硕士、应用统计硕士、资产评估硕士、国际商务硕士等。

（4）中文页面，放在扉页，内容包括：东南大学博士（硕士）学位论文、

论文题目、二级学科名称（或专业领域等）、研究生姓名、导师姓名。论文资助项目标注要求获得各类基金项目资助需标注的，统一标注在该页面的左下角。

中文页面格式见研究生院主页学位教育→学位授予→文件下载→博士硕士学位论文中文页面格式。

（5）英文页面格式见研究生院主页学位教育→学位授予→文件下载→博士硕士学位论文英文页面格式。

（6）学位论文书脊格式见研究生院主页学位教育→学位授予→文件下载→学位论文书脊格式。

3、封面上的内容如论文分类号、学号等不能空缺。论文即刷时尚无法填写的评阅人和答辩委员会主席等栏目待答辩完成后要填写补齐，不要空缺。盲审论文的评阅人处标明“盲审”。

4、指导教师一栏署名多于一人时，第二导师应是经过研究生院审核批准作为第三导师的专家才能署名。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 7713.1—2006 学位论文编写规则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 7713.1—2014 科技报告编写规则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 7714—2015 信息与文献 参考文献著录规则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [4] 中华人民共和国中央人民政府. 中华人民共和国学位法.[2025-01-01].  
[https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202404/content\\_6947841.htm](https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202404/content_6947841.htm).
- [5] 中华人民共和国教育部. 研究生教育学科专业目录(2022年)学位(2022)15号.  
[https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-09/14/content\\_5709785.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-09/14/content_5709785.htm).
- [6] 中华人民共和国教育部. 国务院学位委员会、教育部关于对工程专业学位类别进行调整的通知. 学位(2018)7号.  
[http://www.moe.gov.cn/srcsite/A22/yjss\\_xwgl/moe\\_818/201803/t20180326\\_331244.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A22/yjss_xwgl/moe_818/201803/t20180326_331244.html).
- [7] 中华人民共和国教育部. 中华人民共和国高等教育法[EB/OL].(2018-12-29)[2020-04-19].  
[http://www.moe.gov.cn/s78/A02/zfs\\_\\_left/s5911/moe\\_619/201512/t20151228\\_226196.html](http://www.moe.gov.cn/s78/A02/zfs__left/s5911/moe_619/201512/t20151228_226196.html).
- [8] 中华人民共和国教育部. 教育部 人力资源社会保障部关于深入推进专业学位研究生培养模式改革的意见[EB/OL]. (2013-11-13)[2020-04-19].  
[http://www.moe.gov.cn/srcsite/A22/moe\\_826/201311/t20131113\\_159870.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A22/moe_826/201311/t20131113_159870.html).
- [9] 中华人民共和国教育部. 学校招收和培养国际学生管理办法[EB/OL]. [2020-04-19].  
[http://www.moe.gov.cn/srcsite/A02/s5911/moe\\_621/201705/t20170516\\_304735.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A02/s5911/moe_621/201705/t20170516_304735.html).
- [10] 大学图书馆学报编委会. 实行新的投稿格式的说明[J]. 大学图书馆学报. 2005, 23(2): 91-92.

## 附件一：东南大学学位论文独创性和使用授权声明文本

### 东南大学学位论文独创性声明

本人声明所呈交的学位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，也不包含为获得东南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。

研究生签名：\_\_\_\_\_日期：\_\_\_\_\_

### 东南大学学位论文使用授权声明

东南大学、中国科学技术信息研究所、国家图书馆、《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司、万方数据电子出版社、北京万方数据股份有限公司有权保留本人所送交学位论文的复印件和电子文档，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。本人电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。除在保密期内的保密论文外，允许论文被查阅和借阅，可以公布（包括以电子信息形式刊登）论文的全部内容或中、英文摘要等部分内容。论文的公布（包括以电子信息形式刊登）授权东南大学研究生院办理。

研究生签名：\_\_\_\_\_导师签名：\_\_\_\_\_日期：\_\_\_\_\_

## 附件二：毕业/学位论文答辩委员会名单

### 毕业/学位论文答辩委员会名单

毕业/学位论文题目				
作者				
专业				
研究方向				
导师				
答辩委员会组成	姓名	职称	学科专业	工作单位
	XXX (主席)			
		XXX (秘书)		

备注：

- 1、本表格适用于所有研究生。
- 2、本表格排版在终版毕业/学位论文中，附在毕业/学位论文的最后。

### 附件三：学科门类名称中英文对照表

中文名称	英文名称
工学	Engineering
理学	Natural Science
哲学	Philosophy
经济学	Economics
法学	Law
教育学	Education
文学	Literature
历史学	History
管理学	Management Science
医学	Medicine
艺术学	Art

#### 附件四：一级学科名称中英文对照表

中文名称	英文名称
哲学	Philosophy
理论经济学	Theoretical Economics
应用经济学	Applied Economics
法学	Science of Law
政治学	Politics
社会学	Sociology
马克思主义理论	Theory of Marxism
教育学	Education
心理学	Psychology
体育学	Physical Education and Sport Science
中国语言文学	Chinese Language and Literature
外国语言文学	Foreign Languages and Literatures
新闻传播学	Journalism and Communication
中国史	History of China
世界史	History of the World
数学	Mathematics
物理学	Physics
化学	Chemistry
天文学	Astronomy
大气科学	Atmospheric Sciences
生物学	Biology
科学技术史	History of Science and Technology
生态学	Ecology
统计学	Statistics
力学	Mechanics
机械工程	Mechanical Engineering

光学工程	Optical Engineering
仪器科学与技术	Instrument Science and Technology
材料科学与工程	Materials Science and Engineering
动力工程及工程热物理	Power Engineering and Engineering Thermal Physics
电气工程	Electrical Engineering
电子科学与技术	Electronics Science and Technology
信息与通信工程	Information and Communication Engineering
控制科学与工程	Control Science and Engineering
计算机科学与技术	Computer Science and Technology
建筑学	Architecture
土木工程	Civil Engineering
水利工程	Hydraulic Engineering
化学工程与技术	Chemical Engineering and Technology
交通运输工程	Transportation Engineering
航空宇航科学与技术	Aerospace Science and Technology
核科学与技术	Nuclear Science and Technology
环境科学与工程	Environmental Science and Engineering
生物医学工程	Biomedical Engineering
城乡规划学	Urban and Rural Planning
风景园林学	Landscape Architecture
软件工程	Software Engineering
安全科学与工程	Safety Science and Engineering
网络空间安全	Cyberspace Security
基础医学	Basic Medicine
临床医学	Clinical Medicine
药学	Pharmaceutical Science
管理科学与工程	Management Science and Engineering
工商管理	Business Administration
公共管理	Public Administration

艺术学理论

Art Theory

美术学

Fine Art

设计学

Design

## 附件五：部分专业学位名称中英文对照表

中文名称	英文名称
金融硕士（MF）	Master of Finance
应用统计硕士（MAS）	Master of Applied Statistics
法律硕士（JM）	Juris Master
社会工作硕士（MSW）	Master of Social Work
教育博士（Ed.D）	Doctor of Education
体育硕士（MSPE）	Master of Science in Physical Education
应用心理硕士（MAP）	Master of Applied Psychology
新闻与传播硕士（MJC）	Master of Journalism and Communication
建筑学硕士（M.Arch.）	Master of Architecture
城市规划硕士（MUP）	Master of Urban Planning
风景园林硕士（MLA）	Master of Landscape Architecture
临床医学硕士（MM）	Master of Medicine
公共卫生硕士（MPH）	Master of Public Health
工商管理硕士（MBA）	Master of Business Administration
公共管理硕士（MPA）	Master of Public Administration
会计硕士（MPAcc）	Master of Professional Accounting
工程管理硕士（MEM）	Master of Engineering Management
艺术硕士（MFA）	Master of Fine Arts

## 附件六：职称中英文对照表

教授	Professor
副教授	Associate Professor
助理教授	Assistant Professor
讲师	Lecturer
助教	Teaching Assistant
研究员	Research Scientist
副研究员	Associate Research Scientist
助理研究员	Assistant Research Scientist
研究助理	Research Assistant
教授级高工	Professorate Senior Engineer
高级工程师	Senior Engineer
工程师	Engineer
助理工程师	Assistant Engineer
博士后	Post-Doctoral Research Fellow

## 附件七：有关数字用法的规定

按《出版物上数字用法》(GB/T 15835—2011)，除习惯用汉字数字表示的以外，一般数字均用阿拉伯数字。

(1) 公历的世纪、年代、年、月、日和时刻用阿拉伯数字或汉字数字均可，如 20 世纪（二十世纪），80 年代（八十年代），4 时 3 刻（四时三刻）等。年号要用四位数，如 1989 年，不能用 89 年。推荐用阿拉伯数字。

(2) 记数与计算（含正负整数、分数、小数、百分比、约数等）一律用阿拉伯数字，如  $3/4$ ，4.5%，10 个月，500 多种等。

(3) 一个数值的书写形式要照顾到上下文。不是出现在一组表示科学计量和具有统计意义数字中的一位数可以用汉字数字，如一个人，六条意见。星期几一律用汉字，如星期六。邻近两个数字并列连用，表示概数，应该用汉字数字，数字间不用顿号隔开，如三五天，七八十种，四十五六岁，一千七八百元等。

(4) 数字作为词素构成定型的词、词组、惯用语、缩略语等应当使用汉字数字。如二倍体，三叶虫，第三世界，“七五”规划，相差十万八千里等。

(5) 5 位以上的数字，尾数零多的，可改写为以万、亿为单位的数。一般情况下不得以十、百、千、十万、百万、千万、十亿、百亿、千亿作为单位。如 345 000 000 千米可改写为 3.45 亿千米或 34 500 万千米，但不能写为 3 亿 4 500 万千米或 3 亿 4 千 5 百万千米。

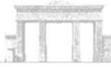
(6) 数字的书写不必每格一个数码，一般每两数码占一格，数字间分节不用分位号“，”，凡 4 位或 4 位以上的数都从个位起每 3 位数空半个数码(1/4 汉字)。“3 000 000”，不要写成“3,000,000”，小数点后的数从小数点起向右按每三位一组分节。一个用阿拉伯数字书写的多位数不能从数字中间转行。

(7) 数量的增加或减少要注意下列用词的概念：①增加为（或增加到）过去的二倍，即过去为一，现在为二；②增加（或增加了）二倍，即过去为一，现在为三；③超额 80%，即定额为 100，现在为 180；④降低到 80%，即过去为 100，现在为 80；⑤降低（或降低了）80%，即原来为 100，现在为 20；⑥为原数的 1/4，即原数为 4，现在为 1，或原数为 1，现在为 0.25。

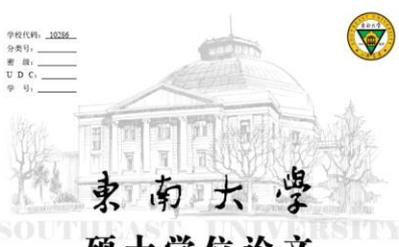
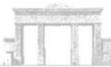
应特别注意在表达数字减小时，不宜用倍数，而应采用分数。如减少为原来的 1/2，1/3 等。

## 附件八：研究生学位论文封面参考模板

学术学位博士学位论文：

论文题目	学校代码: 10285 分类号: _____ 密 级: _____ U D C: _____ 学 号: _____	  <b>东南大学</b> SOUTHEAST UNIVERSITY <b>博士学位论文</b>
	姓 名	论文题目
东南大学	研究生姓名: _____ 导师姓名: _____	申请学位类别 _____ 学位授予单位 <u>东南大学</u> 一级学科名称 _____ 论文答辩日期 <u>20</u> 年 <u>  </u> 月 <u>  </u> 日 二级学科名称 _____ 学位授予日期 <u>20</u> 年 <u>  </u> 月 <u>  </u> 日 研究方向 _____ 评 阅 人 _____ 答辩委员会主席 _____
	20 年 月 日	
	 SOUTHEAST UNIVERSITY	
	心於至善	
	论文题目	
	姓 名	

学术学位硕士学位论文：

论文题目	学校代码: 10285 分类号: _____ 密 级: _____ U D C: _____ 学 号: _____	  <b>东南大学</b> SOUTHEAST UNIVERSITY <b>硕士学位论文</b>
	姓 名	论文题目
东南大学	研究生姓名: _____ 导师姓名: _____	申请学位类别 _____ 学位授予单位 <u>东南大学</u> 一级学科名称 _____ 论文答辩日期 <u>20</u> 年 <u>  </u> 月 <u>  </u> 日 二级学科名称 _____ 学位授予日期 <u>20</u> 年 <u>  </u> 月 <u>  </u> 日 研究方向 _____ 评 阅 人 _____ 答辩委员会主席 _____
	20 年 月 日	
	 SOUTHEAST UNIVERSITY	
	心於至善	
	论文题目	
	姓 名	

专业学位博士学位论文：

论文题目	学校代码：10286	东南大学
	分类号：_____	
姓名	密 级：_____	东南大学
	U D C：_____	
东南大学	学 号：_____	东南大学
 东南大学 交通运输博士学位论文		
论文题目		
研究生姓名：_____		
导师姓名：_____		
申请学位类别 <u>交通运输博士</u> 学位授予单位 <u>东南大学</u> 领域名称 _____ 论文答辩日期 <u>20</u> 年 <u>  </u> 月 <u>  </u> 日 研究方向 _____ 学位授予日期 <u>20</u> 年 <u>  </u> 月 <u>  </u> 日 答辩委员会主席 _____ 评 阅 人 _____		
20 年 月 日		

注：其他专业学位博士学位论文可参照专业学位博士学位论文封面，如临床医学博士学位论文可将“交通运输博士学位论文”替换为“临床医学博士学位论文”；申请学位类别将“交通运输博士”替换为“临床医学博士”等。

专业学位硕士学位论文：

论文题目	学校代码：10286	东南大学
	分类号：_____	
姓名	密 级：_____	东南大学
	U D C：_____	
东南大学	学 号：_____	东南大学
 东南大学 电子信息硕士学位论文		
论文题目		
(学位论文形式： _____ )		
研究生姓名：_____		
导师姓名：_____		
申请学位类别 _____ 学位授予单位 <u>东南大学</u> 领域名称 _____ 论文答辩日期 <u>20</u> 年 <u>  </u> 月 <u>  </u> 日 研究方向 _____ 学位授予日期 <u>20</u> 年 <u>  </u> 月 <u>  </u> 日 答辩委员会主席 _____ 评 阅 人 _____		
20 年 月 日		

注：其他专业学位硕士论文可参照电子信息硕士学位论文封面，如工商管理硕士可将“电子信息硕士学位论文”替换为“工商管理硕士学位论文”；学位论文形式按以下类别填写：应用研究、调研报告、规划、产品开发、案例分析、项目管理、文学艺术作品、其它。

## 附件九：优秀博士学位论文示例

学校代码： 10286

分类号： U448

密 级： 公开

U D C： 624

学 号： \_\_\_\_\_



# 面向大跨度桥梁结构健康监测的多 源数据预测方法及其应用研究

研究生姓名： \_\_\_\_\_  
导师姓名： \_\_\_\_\_ 教授

申请学位类别 工学博士 学位授予单位 东南大学

一级学科名称 土木工程 论文答辩日期 2021年05月18日

二级学科名称 桥梁与隧道工程 学位授予日期 20 年 月 日

答辩委员会主席 教授 评 阅 人 \_\_\_\_\_

2021年05月20日

## 摘要

海量结构健康监测数据的有效分析与处理对保障工程结构的安全、高效运营具有重要意义,已成为当前土木工程领域的研究热点及前沿方向。面向大跨度桥梁海量监测数据的分析处理需求,本文紧密围绕多源数据的预测方法及其应用开展研究,主要研究内容包括:

(1) 基于改进贝叶斯动态线性模型(BDLM)的大跨度桥梁应变响应建模与预测。为提高BDLM的预测精度,除考虑趋势、季节和回归项外,引入自回归(AR)项描述上述分量之外的不规则时间序列成分。结合期望最大化与卡尔曼滤波方法估计了BDLM参数,采用赤池信息准则及均方根误差确定了AR项的阶数。基于优化后的BDLM对苏通大桥应变数据进行了一步及多步预测,并对比了传统BDLM、多元线性回归模型及AR模型的预测性能。

(2) 基于改进BDLM的监测数据异常诊断研究。将改进BDLM方法应用于监测数据的异常诊断,采用子空间识别方法解决了参数估计的初始化问题。在此基础上,针对监测数据的类型及特点,结合BDLM的不同成分进行建模,根据相邻时间步的对数似然值变化开展异常诊断。采用仿真数据、苏通大桥的应变响应及江阴大桥船撞期间的加速度响应数据,验证了改进BDLM异常诊断方法的有效性。

(3) 基于切换BDLM的桥梁伸缩缝性能异常诊断研究。基于伸缩缝位移的实测数据,结合BDLM和马尔可夫切换理论,通过多个BDLM之间的转换估计每个时间步的真实状态,建立了基于切换BDLM的桥梁伸缩缝性能异常诊断方法。采用子空间初始化的期望最大化算法优化了切换BDLM参数,并与牛顿-拉夫逊方法在计算性能及准确性方面进行了对比。通过仿真数据验证了该方法的有效性,并将其应用于苏通大桥伸缩缝的性能预警。

(4) 基于贝叶斯动态回归的缺失数据重构研究。针对静态回归无法反映变量的动态相关性问题,研究了基于贝叶斯动态回归模型的缺失数据重构方法。采用期望最大化算法确定时变回归系数,并结合卡尔曼滤波估计了模型参数。引入移动窗方法,通过固定训练样本尺寸加快贝叶斯动态回归的计算速度,以期实现海量监测数据的实时处理。采用实验室缩尺模型及苏通大桥的监测数据对该方法的重构性能进行了验证。

(5) 基于集成学习的大跨度桥梁阵风风速概率预测研究。为克服单一模型预测性能稳定性差、鲁棒性弱等问题,建立了基于随机森林、长短期记忆神经网络(LSTM)及高斯过程模型的集成学习方法,实现大跨度桥梁阵风风速的概率预测。采用随机森林及LSTM模型的输出值作为高斯过程模型的输入,以量化预测过程中的不确定性。将集成模型与随机森林、LSTM以及高斯过程等基础模型的预测效果进行了对比,检验集成模型的预测及泛化性能。

目 录

摘 要 .....	I
ABSTRACT.....	III
第 1 章 绪论 .....	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.2 基于预测的监测数据异常诊断研究现状.....	3
1.3 基于预测的监测数据缺失重构研究现状.....	4
1.4 桥址区风速预测方法研究现状.....	5
1.5 大跨度桥梁风振响应预测研究现状.....	6
1.6 本文主要研究内容.....	7
参考文献.....	8
第 2 章 基于改进 BDLM 的大跨度桥梁应变响应建模及预测 .....	17
2.1 引言.....	17
2.2 改进 BDLM 方法 .....	18
2.3 苏通大桥健康监测系统.....	23
2.4 基于改进 BDLM 的温致应变预测 .....	25
2.5 本章小结.....	34
参考文献.....	35
第 3 章 基于改进 BDLM 的监测数据异常诊断研究 .....	39
3.1 引言.....	39
3.2 基于改进 BDLM 的监测数据异常诊断框架 .....	40
3.3 模拟算例.....	42
3.4 基于 BDLM 的监测数据异常诊断方法应用 .....	45
3.5 本章小结.....	54
参考文献.....	55
第 4 章 基于切换 BDLM 的桥梁伸缩缝性能异常诊断研究 .....	59
4.1 引言.....	59
4.2 切换 BDLM 理论及其参数估计 .....	60
4.3 模拟算例.....	66
4.4 苏通大桥伸缩缝性能评估.....	71

4.5 本章小结.....	78
参考文献.....	79
<b>第 5 章 基于贝叶斯动态回归的缺失数据重构研究 .....</b>	<b>83</b>
5.1 引言.....	83
5.2 贝叶斯动态回归模型.....	83
5.3 缺失数据重构实例.....	89
5.4 本章小结.....	101
参考文献.....	102
<b>第 6 章 基于集成学习的大跨度桥梁阵风风速概率预测研究 .....</b>	<b>105</b>
6.1 引言.....	105
6.2 基础模型简要介绍.....	106
6.3 集成模型框架.....	109
6.4 桥址区阵风风速预测.....	111
6.5 不同模型的性能比较.....	116
6.6 本章小结.....	121
参考文献.....	122
<b>第 7 章 强/台风作用下大跨度桥梁风振响应概率预测研究 .....</b>	<b>125</b>
7.1 引言.....	125
7.2 基于贝叶斯优化的分位数随机森林回归.....	126
7.3 台风及其响应统计特性.....	129
7.4 强/台风作用下苏通大桥振动响应动态预测 .....	137
7.5 本章小结.....	147
参考文献.....	147
<b>第 8 章 主要结论与展望 .....</b>	<b>151</b>
8.1 本文主要结论.....	151
8.2 研究工作展望.....	153
<b>攻读博士期间取得的科研成果 .....</b>	<b>155</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>157</b>

## 第 8 章 主要结论与展望

### 8.1 本文主要结论

近年来,结构健康监测逐步成为传统管理养护方式的替代方案。结构健康监测系统积累了与结构响应及环境因素相关的大量监测数据,为分析桥梁的环境时变特性及性能演化规律提供了重要的数据来源及技术支撑。然而,大跨度桥梁服役环境复杂,由于传感器故障、数据传输误差、结构损伤等原因,不可避免地会出现监测数据的异常或缺失。多源监测数据的实时预测为异常数据诊断及缺失数据重构提供了有效途径。另外,大跨度桥梁对风作用十分敏感,强风可能引起列车脱轨、货车侧翻等事故,导致线路中断、经济损失甚至人员伤亡。在强/台风作用下,大跨度桥梁还将产生大幅振动,严重影响其运营安全并可能引发交通事故。准确预测桥址区风速以及结构振动响应,可为桥梁养护者的决策提供可靠参考。

本文围绕多源监测数据的预测方法,从应变响应预测、监测数据异常诊断、桥梁伸缩缝性能异常诊断、缺失数据重构、桥址区阵风风速概率预测、强/台风作用下大跨度桥梁风振响应概率预测等方面开展研究,主要结论如下:

1. 基于改进贝叶斯动态线性模型(BDLM)的大跨桥梁应变响应建模与预测。为提高 BDLM 计算精度,除了考虑趋势、季节和回归分量外,引入自回归(AR)分量,以描述除其他分量之外的不规则时间序列成分。采用苏通大桥的监测数据对该方法进行验证,并对比了传统 BDLM、多元线性回归、AR 模型等方法。所得结论主要包括:(1)改进 BDLM 叠加了趋势项、季节项、回归项及 AR 成分,可有效估计模型隐藏变量及建立温致应变模型。此外,该方法根据预测误差考虑随机不确定性,具有动态更新模型的优点。(2)温致应变的周期在季节项成分中占有重要作用,直接影响预测结果的准确性。采用谱分析方法可有效识别温致应变的周期。(3)由于改进 BDLM 考虑了温度与温致应变的相关性以及当前与历史时刻温致应变的关系,其相比于传统 BDLM、AR 及多元线性回归模型的预测精度更高。(4)最大期望及卡尔曼平滑算法可准确估计模型参数,基于 AIC 及 RMSE 可有效确定改进 BDLM 的最优阶数。由于改进 BDLM 方法较高的预测精度,因而适用于基于温度的异常检测。

2. 基于改进 BDLM 的监测数据异常诊断研究。将结论 1 提出的改进 BDLM 方法用于监测数据的异常诊断,采用期望最大化(EM)和卡尔曼平滑算法估计 BDLM 参数,并引入子空间识别方法以解决 EM 算法的初始化问题。根据上述参数估计方法,可同时得到对数似然函数及模型参数。然后,在不引入其他异常诊断函数的情况下,根据连续时间步的对数似然差确定阈值。由于该时变阈值从历史信息中获得,因而具有更强的适应性和可靠性。采用仿真数据和实测 SHM 数

据验证了该方法的有效性,其中 SHM 数据包括大跨度斜拉桥的应变响应以及悬索桥在经历船撞过程中的加速度响应。所得主要结论如下:(1)子空间方法是对 EM 算法进行初始化的有效方法。结合子空间法、EM 算法和卡尔曼平滑,可有效估计 BDLM 参数。(2)两个连续时间步之间的对数似然差对异常值极为敏感。由于估计 BDLM 参数的同时可以得到对数似然值,因此无需引入额外的检测函数识别异常数据。另外,对数似然由历史监测数据生成,因而具有更高的可靠性。

(3)考虑温度与应变的关系可提高 BDLM 的异常数据识别精度,且基于 BDLM 的方法可以很好地捕捉和重构应变时间序列的变化特征。(4)基于 BDLM 的方法可准确检测突发事件(如本研究中的船舶碰撞)引起的异常,并识别其发生和持续时间。此外,该方法在计算效率方面显示出极大的优势,对于其在线应用尤其重要。

3. 基于切换 BDLM 的大跨度桥梁伸缩缝性能异常诊断研究。基于伸缩缝长期实测数据,结合 BDLM 与马尔科夫切换理论,建立大跨度桥梁伸缩缝性能异常诊断方法,基于多个 BDLM 的加权组合及概率转换评估伸缩缝位移在每个时间步的真实状态。采用谐波分量的叠加描述温度对位移的影响,并考虑了正常状态的先验概率和不同状态之间的转移概率。利用子空间方法初始化的 EM 算法优化切换 BDLM 的参数,并与牛顿-拉夫逊(NR)方法进行了对比。采用模拟算例和苏通大桥的长期监测数据验证了切换 BDLM 进行伸缩缝性能评估的有效性。所得结论如下:(1)子空间方法初始化的 EM 算法在计算精度和效率上均优于 NR 方法。(2)切换 BDLM 提供了从正常状态到退化状态的转移概率,在实际应用中具有较强的鲁棒性,可以识别退化程度较低的伸缩缝状态。(3)切换 BDLM 可以将位移分解为不同的子成分。状态变化在零阶(基线)、一阶趋势(速度)、二阶(加速度)和 AR 分量中较为明显。由于日循环和季节循环子成分的周期性由外界温度引起,因此其状态变化较小。

4. 基于贝叶斯回归的缺失数据重构研究。针对静态回归可能不适用于具有高度动态特征的监测数据建模问题,提出了贝叶斯动态回归模型(BDLM 的回归项成分)恢复缺失数据。与贝叶斯静态回归相比,动态回归允许回归系数随时间发生变化以更真实地反映变量间的相关性。该模型假设线性回归仅为局部常数,且回归系数的变化遵循独立随机游走分布。采用期望最大化估计回归系数,并结合卡尔曼平滑估计贝叶斯动态回归的其他参数。为解决处理海量数据时计算效率低下的问题,引入了移动窗方法,通过固定序列集的大小加快计算速度。所得结论如下:(1)EM 算法的阈值直接影响参数估计的计算量和精度。即使对于缺失率较高的数据集,多元贝叶斯动态回归模型的重构效果仍较好。该模型可以同时重构不同传感器的数据,并给出比静态贝叶斯线性回归模型更准确的结果,且可

显示其系数变化情况。(2) 贝叶斯动态回归模型能够描述回归中的不确定性, 不仅提供缺失数据的估计值, 同时给出相应的方差。(3) 移动窗方法大幅提升了贝叶斯动态回归模型的计算效率。(4) 与线性模型相比, 二次项模型具有更好的重构能力, 说明非线性贝叶斯动态回归更适用于不同传感器之间的动态相关性建模。

5. 基于集成学习的大跨度桥梁阵风风速概率预测研究。考虑到随机森林、长短期记忆神经网络 (LSTM) 和高斯过程模型的优势, 建立了阵风风速概率预测集成模型。采用随机森林及 LSTM 模型的输出值作为高斯过程模型的输入, 以量化预测过程中的不确定性。将集成模型与随机森林、LSTM 以及高斯过程等基础模型的预测效果进行了对比, 检验集成模型的预测及泛化性能。所得结论如下:

(1) 偏自相关函数可有效确定输入变量的数量。(2) 由于高斯过程模型的贝叶斯特性, 集成模型允许概率预测, 即量化预测过程中的不确定性。(3) 将该方法与持久性模型 (PM)、随机森林、LSTM、高斯过程模型、平均值和梯度提升回归决策树模型进行了比较, 结果表明, 该方法的 RMSE、MAE 和 MAPE 值均最低, 验证了集成方法的有效性。

6. 强/台风作用下大跨度桥梁风振响应概率预测研究。结合贝叶斯优化与分位数随机森林建立了强/台风作用下大跨度桥梁风振响应概率预测方法。与传统基于有限元模型的计算方法相比, 该方法基于数据驱动, 可实现振动响应的动态预测。利用苏通桥址区 5 年来的台风数据对分位数随机森林的可行性进行验证。所得结论如下: (1) 平均风速和风向是预测竖向振动响应最重要的输入特征, 偏向角在预测扭转振动响应中占有最高的重要性程度。(2) 分位数随机森林提供了准确的预测结果, 并且可以在不假设分布函数类型的情况下量化风振预测中的不确定性。该方法不仅提供了预测的均值, 还提供了相应的预测条件分布。(3) 与网格搜索和随机搜索相比, 基于贝叶斯优化的分位数随机森林预测振动响应的计算效率更高。(4) 由于强大的非线性系统建模能力, 该方法比线性、平方和完全平方的响应面模型具有更高的预测精度。

## 8.2 研究工作展望

本文在大跨度桥梁多源监测数据预测方法及其应用方面开展了一些研究工作, 但限于作者水平, 研究工作尚不深入与全面, 仍存在以下问题值得进一步研究与探讨:

1. 基于多变量 BDLM 的多源监测数据同步预测方法研究。本文仅采用温度产生的应变对改进 BDLM 方法的预测性能进行了验证。后续研究将针对监测数据的类型及特点, 并考虑不同数据类型间的相关性, 通过构建多变量 BDLM 形式对多源监测数据开展同步预测研究。

2. 错误监测数据的诊断与修复。异常数据可分为正确数据与错误数据, 其中

# 附件十：优秀硕士学位论文示例

学校代码： 10286  
分类号： P228  
密 级： 公开  
U D C： 528  
学 号： \_\_\_\_\_



## 面向观测值域的 GNSS 多路径误差建模 与抑制方法研究

研究生姓名： \_\_\_\_\_

导师姓名： \_\_\_\_\_

申请学位类别 工学硕士 学位授予单位 东南大学

一级学科名称 仪器科学与技术 论文答辩日期 2021 年 5 月 25 日

二级学科名称 仪器科学与技术 学位授予日期 2021 年 月 日

答辩委员会主席 \_\_\_\_\_ 评 阅 人 盲审

2021 年 月 日

# 東南大學

## 硕士学位论文

### 面向观测值域的 GNSS 多路径误差建模与 抑制方法研究

专业名称: 仪器科学与技术

研究生姓名: \_\_\_\_\_

导师姓名: \_\_\_\_\_

---

本论文获国家自然科学基金项目(419 022)资助。

## 摘要

随着我国 BDS 的快速发展、Galileo 的建设推进以及 GPS、GLONASS 的改进完善，全球导航卫星系统（GNSS）已被应用到各个行业。GNSS 在实际应用中容易受到各种观测误差的影响，通常采用站间/星间差分或绝对误差改正方法以消除或削弱星端、接收机端、电离层和对流层等误差。但多路径误差由于与卫星位置、接收机周围环境以及天线的反射特性有关，具有很大的随机性和复杂性，常规的差分方法并不能有效的抑制，且难以使用普适的先验模型予以改正。本文通过分析多路径误差的产生机理和特性，研究分析了多路径误差的提取和标定方法；在此基础上，针对不同定位场景，提出了三种面向观测值域的函数模型和随机模型以抑制多路径误差，并对其定位性能进行了评估验证。论文的主要工作和贡献如下：

(1) 分析了多路径误差的产生机理和时空特性，对比了双差、单差、非差三种多路径误差的提取方法，提出了一种基于归一化信噪比的多路径误差标定方法。其中双差模型在应用过程中需要选择和模型中一致的参考星，而单差模型则可以避免这一问题，并适用于多路径图谱的建立。非差多路径误差提取方法主要用于提取伪距多路径，适用于利用多路径周日重复性建立的改正模型。基于归一化信噪比的多路径误差标定方法针对不同类型卫星建立了不同的标定模型，对于 GPS 和 BDS IGSO&MEO，利用归一化后的信噪比与高度角的关系及其重复性，建立标定拟合函数；而对于 BDS GEO，则直接对各卫星信噪比观测值的平均值和标准差进行标定。

(2) 面向复杂环境下短基线伪距差分定位，提出了一种基于单频归一化信噪比的精化随机模型，同时采用一致性检验方法进一步减弱了多路径误差对伪距差分定位的影响。实验结果表明，采用新随机模型后的定位精度优于常规的等权模型和高度角定权模型，定位精度在 3D 方向上提升了 7.1%-33.3%。此外，加入一致性检验算法后的定位精度进一步提升了 12.4%-19.5%。两组实验在 U 方向精度上均有明显提升，说明多路径误差对 U 定位方向的影响较大。

(3) 面向中等基线 RTK 解算，提出了一种顾及伪距多路径的中等基线 RTK 定位方法，建立了伪距多路径改正的宽巷（WL）解算模型和无电离层-窄巷（IF-L1）模型。重复性分析实验结果表明两个周期的低频多路径之间存在高度相关性。定位实验结果表明，低频多路径改正模型可以降低 MW 组合序列的 RMS 值，应用前一周期建立的多路径改正模型后，当前周期的单 BDS、GPS+BDS 宽巷和 IF-L1 定位都能快速收敛，并且定位精度在收敛后阶段基本一致，收敛前阶段和整体阶段均有所提升，提升比例约为 13%-48%，收敛后精度基本不变。此外，GPS+BDS 的宽巷和 IF-L1 的定位精度均优于单 BDS，提升比例约为 41%-71%。其定位精度在收敛前接近分米级，宽巷定位解算收敛后单 BDS 可达到 8cm 以内，GPS+BDS 可达到 5cm 以内；IF-L1 定位解算收敛后单 BDS 可达到 4.5cm 以内，GPS+BDS 可达到 2.5cm 以内。

(4) 面向变形监测载波解算, 提出了一种基于单差滤波的多分辨率多路径空间图谱改正方法, 并实际应用于桥梁变形监测解算中。实测结果表明各天所建立的图谱具有强相关性, 并且多路径改正后模糊度检核 Ratio 平均值提升约 2 倍, 模糊度固定成功率平均值为 99% 以上。同时载波残差值的改善效果为 10%-40%, 最佳网格分辨率为  $0.2^{\circ} \times 0.2^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。在算法研究的基础上, 开发了一种基于此多路径抑制方法的桥梁变形实时监测软件, 用于解决传统检测技术无法长时间连续测量, 易受观测环境限制的问题, 为桥梁维护、维修与管理决策提供依据和指导。实际运行结果表明, 基于单差滤波的多分辨率多路径空间图谱可有效改正桥梁监测环境下接收机所受到的多路径误差。

**关键词:** GNSS, 多路径误差, 观测值域, 随机模型, 桥梁变形监测

## 目录

摘要.....	I
Abstract .....	III
目录.....	V
第一章 绪论.....	1
1.1 研究背景与意义.....	1
1.2 多路径误差处理的国内外研究现状.....	2
1.2.1 基于合理观测站点选择的多路径抑制研究现状.....	2
1.2.2 基于接收机和天线改良的多路径抑制研究现状.....	2
1.2.3 基于数据误差处理的多路径抑制研究现状.....	3
1.3 论文研究目标及内容安排.....	5
第二章 多路径效应介绍及其提取与标定方法.....	7
2.1 多路径效应产生机理.....	7
2.2 多路径效应特性分析.....	8
2.2.1 多路径效应对观测值的影响.....	8
2.2.2 多路径误差的周日重复性.....	10
2.2.3 多路径误差的空间相关性.....	11
2.3 多路径误差提取方法.....	12
2.3.1 双差多路径误差的提取.....	12
2.3.2 单差多路径误差的提取.....	14
2.3.3 非差伪距多路径误差的提取.....	16
2.4 多路径误差标定方法.....	17
2.5 本章小结.....	20
第三章 基于归一化信噪比的 GPS/BDS 多路径实时抑制方法研究.....	21
3.1 GPS/BDS 伪距差分观测模型.....	21
3.2 基于归一化信噪比的 GPS/BDS 多路径实时抑制方法.....	21
3.2.1 基于单频信噪比归一化的精化随机模型.....	21
3.2.2 一致性检验算法.....	22
3.3 数据采集和实验设计.....	24
3.4 实验结果分析.....	25
3.4.1 重复性验证实验与分析.....	25
3.4.2 良好观测环境下的标定.....	26
3.4.3 定位实验一.....	27
3.4.4 定位实验二.....	29
3.5 本章小结.....	31

第四章 顾及伪距多路径的中等基线 RTK 定位方法研究 .....	33
4.1 顾及伪距多路径的中等基线 RTK 定位模型 .....	33
4.1.1 改进的宽巷解算模型 .....	33
4.1.2 无电离层组合-窄巷解算模型 .....	34
4.1.3 改进算法整体流程 .....	35
4.2 解算算例分析 .....	36
4.2.1 数据情况 .....	36
4.2.2 伪距多路径重复特性分析 .....	36
4.2.3 宽巷 (WL) 解算 .....	40
4.2.4 无电离层组合-窄巷 (IF-L1) 解算 .....	43
4.3 本章小结 .....	44
第五章 基于单差滤波的多分辨率多路径空间图谱改正方法研究 .....	47
5.1 改进的多路径图谱改正方法 .....	47
5.2 多路径提取及空间重复性分析 .....	48
5.2.1 多路径提取及分析 .....	48
5.2.2 多路径空间重复性分析 .....	51
5.3 多路径空间图谱模型改正效果比较 .....	52
5.4 桥梁变形监测应用实例 .....	55
5.4.1 软件整体架构 .....	55
5.4.2 定位解算流程 .....	56
5.4.3 前端显示功能 .....	57
5.5 本章小结 .....	59
第六章 总结与展望 .....	61
6.1 主要工作与结论 .....	61
6.2 研究展望 .....	62
致谢 .....	63
参考文献 .....	65
攻读硕士期间发表的论文与取得的学术成果 .....	69

## 第一章 绪论

### 1.1 研究背景与意义

卫星导航定位技术因其全天候作业、覆盖范围广、定位精度高、实时性强等优势,已成为人类社会活动中位置信息来源的主要方式之一。全球导航卫星系统 GNSS (Global Navigation Satellite System)<sup>[1-3]</sup>, 主要包括 GPS、GLONASS、BDS 以及 Galileo<sup>[4-6]</sup>。GNSS 在为多个领域的用户提供了可靠高精度定位的同时,也提升了经济和社会效益<sup>[7-10]</sup>。它的应用遍及多个领域,如军事导航、大地测量、资源勘察、地质勘测、地震预报、气象预测、交通运输、社会安全、医疗救援、民用导航等<sup>[11-14]</sup>。

GNSS 定位模式可以分为两类:绝对定位和相对定位。绝对定位中包括 SPP (standard point positioning 标准单点定位) 和 PPP (precise point positioning 精密单点定位); 相对定位包括伪距差分 and 载波相位差分, 其中基于载波差分的实时动态定位 (RTK) 是代表性的高精度定位前沿技术<sup>[15-18]</sup>。

GNSS 在定位过程中易受多种误差的影响, 主要包括卫星端误差、接收机端误差、大气误差、多路径误差等等。对于短基线, 可利用差分技术将卫星端误差、接收机端误差、大气误差等相关性误差进行消除<sup>[19]</sup>。对于长基线, 大气误差在差分后虽仍有残余, 但可采用大气内插建模技术来改善<sup>[20]</sup>。当 GNSS 信号在传播过程中受到一些反射体影响时, 改变了原来的传播方向、相位以及振幅等, 接收机不仅接收了直射信号, 也接收了这种反射信号, 这种现象称为多路径效应。多路径误差与接收机周围环境以及卫星-接收机的几何关系相关, 若两台差分接收机的环境不同, 则无法通过差分技术消除。由于其复杂的局域性特征和随机性<sup>[21-24]</sup>, 目前仍没有一种有效的改正模型或者是普遍适用的数据处理方法<sup>[25-27]</sup>。

GNSS 定位应用的场景有很多, 如桥梁变形监测、城市峡谷、CORS 站网等<sup>[28-30]</sup>。但由于不同定位场景下接收机所处的环境不同, 其所受多路径的影响也存在差异性。在桥梁变形监测中, 理论上来说多路径所造成的误差是最大载波相位波长的 1/4。例如波长为 19.03cm 的 GPS L<sub>1</sub>, 载波多路径误差最大为 4.8cm; GPS L<sub>2</sub> 的载波多路径误差最大为 6.1cm。这导致模糊度固定成功率不高, 无法满足高精度变形监测的需求<sup>[31-33]</sup>。在城市复杂环境中, 伪距差分定位 (RTD) 由于其易于实现的特点被广泛应用。然而在城市环境中 GNSS 信号容易被高楼、树林等物体遮挡或反射, 使伪距观测值精度受多路径误差影响较大, 导致 RTD 定位精度不佳<sup>[34-35]</sup>。在静态测站环境中, 中长基线下需采用 MW 法固定宽巷模糊度<sup>[36-38]</sup>, 其固定成功率受伪距多路径影响较大。宽巷模糊度的固定成功率将直接影响宽巷解的精度和窄巷模糊度的固定。因此针对不同定位环境, 采用不同的多路径误差处理方法具有重要意义。

值权重进行调整,以削弱多路径误差对定位精度的影响。此方法对高程方向的精度具有明显的改善,高程方向坐标解算重复性均方差减少了约 1.5mm。柳响林<sup>[70]</sup>基于信噪比提出了精密 GPS 动态定位的精细化模型,并通过实测数据结果表明精细化模型可以改善基线处理的精度。丁凯<sup>[71]</sup>在高精度的 IGS 台站基线向量解算处理过程中引入了基于信噪比的随机平差模型,研究结果表明该随机模型能有效地提高 IGS 站的基线向量解算精度。

总之,在城市复杂环境下,多路径误差对定位精度的影响较大,传统的经验模型无法反映真实的观测值精度,需要针对特定类型卫星建立特定的定权随机模型以抑制多路径。因此本文提出了一种基于归一化信噪比观测值的多路径检测及抑制方法,可以有效地提高定位的精度和可靠性。

### 1.3 论文研究目标及内容安排

本文致力于研究面向观测值域的 GNSS 多路径误差建模与抑制方法,分析多路径误差的时空特性和其对不同类型观测值的影响,同时研究多路径的提取和标定,最后建立新的函数模型和随机模型削弱多路径误差,提升精度、实时性和可靠性等定位指标,以更好地满足 GNSS 在不同环境下的定位需求。

具体目标包括:1)分析多路径效应的产生机理和特性,包括对伪距、载波相位和信噪比观测值的影响、周日重复性和空间相关性;2)在分析多路径特性的基础上,提出基于不同观测值的多路径提取和标定方法;3)根据多路径的重复特性,针对不同定位场景,提出三种面向观测值域的函数模型和随机模型,并对其定位性能做出全面的评估。全文分为六章,各章节安排和逻辑关系如图 1-1 所示。

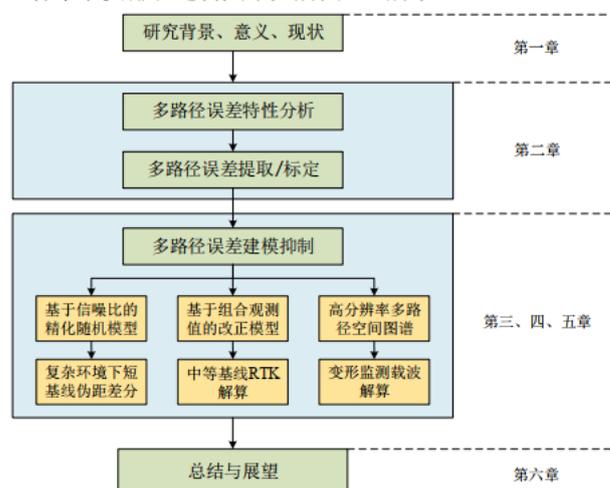


图 1-1 论文组织结构框架图

具体各章节内容安排如下：

第一章，绪论。本章主要包括论文的研究背景与意义，并简要介绍了多路径效应的国内外研究现状，以及本文的主要研究内容和论文组织结构。

第二章，多路径效应介绍及其提取与标定方法。本章主要介绍了多路径效应的产生机理，并分析了多路径效应的特性，具体包括多路径效应对观测值的影响、多路径误差的周日重复性和空间相关性。根据各类特性，介绍了多路径误差的提取和标定方法。

第三章，基于归一化信噪比的 GPS/BDS 多路径实时抑制方法研究。基于在第二章提出的多路径误差标定方法，提出了一种基于归一化信噪比的 GPS/BDS 多路径实时抑制方法，建立了一种新的精化随机模型，并加入了一致性检验算法。通过两组伪距差分定位实验对比了四种随机模型，验证了本章所提方法在复杂环境下抑制多路径误差的有效性。

第四章，顾及伪距多路径的中等基线 RTK 定位方法。介绍了基于 MW 固定宽巷模糊度和无电离层组合模型，分析了 BDS 非差伪距多路径误差的周日重复性。在此基础上改正了 MW 组合中的双频伪距观测值，比较了  $MP_1$ 、 $MP_2$  和 MW 序列在改正前后的波动性，并测试和分析了在中等基线下 BDS、BDS+GPS 的宽巷 (WL) 和无电离层组合-窄巷 (IF-L1) 定位性能。

第五章，基于单差滤波的多分辨率多路径空间图谱改正方法研究。分析了多路径的空间重复性特征，并基于此特点建立了多分辨率多路径空间图谱，提升解算精度和模糊度固定可靠性。最后介绍了基于此方法开发的桥梁变形实时监测软件，包括监测软件整体架构、定位解算流程和前端显示界面。

第六章，总结与展望。本章对本文所作的工作进行了简要总结，并对后续需要进一步研究的内容进行了展望。

## 第六章 总结与展望

### 6.1 主要工作与结论

本文致力于研究面向观测值域的 GNSS 多路径误差建模与抑制方法,分析多路径误差的时空特性和其对不同类型观测值的影响,同时研究多路径的提取和标定方法,最后建立新的函数模型和随机模型削弱多路径误差,提升精度、实时性和可靠性等定位指标,以更好地满足 GNSS 在不同环境下的高精度定位需求。主要研究工作与结论如下:

(1) 阐述了多路径的产生机理和特征,通过建立墙体和地面多路径误差几何模型,推导了直射信号与反射信号的相位差与卫星高度角的关系,阐明了多路径效应不仅影响伪距和载波观测值,也会影响到信噪比测量值,同时多路径效应与接收机周围环境以及卫星-接收机几何关系都有紧密关系。随后分析了多路径误差的周日重复性和空间相关性,并介绍了求取重复周期的两种方法和多路径空间图谱的建模方法。最后,提出了获取和标定基于观测值域的多路径误差方法,包括双差、单差和非差多路径误差的提取方法,以及基于归一化信噪比的多路径误差标定方法,为后续建立多种面向观测值域的多路径误差改正模型提供了理论基础。

(2) 面向复杂环境下短基线伪距差分定位,并基于归一化信噪比的多路径误差标定方法,提出了一种基于单频归一化信噪比的精化随机模型用于抑制多路径误差,同时采用一致性检验方法进一步地减弱多路径误差对 RTD 定位的影响,提高定位精度。所提出的模型针对不同类型卫星采用不同的标定方法。实验结果表明采用 ELERM 的定位精度要明显优于 EQU 和 ELEM,在加入一致性检验后,ELERM+CC 的定位精度要优于 ELERM。并且两组实验在 U 方向上均有明显提升,说明多路径误差对定位结果的 U 方向影响较大,该模型对于定位误差较大甚至出现峰值的历元有明显改善。所提方法相比于常规模型的定位精度可以提升 7.1%-33.3%。特别是在复杂环境下可有效抑制多路径误差的影响,例如在密集高楼和树林等区域,特别是在城市复杂环境下 GNSS 定位中可以发挥重要作用。

(3) 面向中等基线 RTK 解算,并基于非差多路径误差的提取方法,提出了一种顾及伪距多路径的中等基线 RTK 定位方法,建立了伪距多路径改正的宽巷解算模型和无电离层-窄巷模型。重复性分析实验表明小波去噪方法可以去除原始多路径序列中的高频随机噪声,有效提取出低频多路径序列。同时两个周期的低频多路径序列之间的相关性比原始多路径序列更加显著,且两个周期的低频多路径之间存在高度互相关性。定位实验表明低频多路径改正模型可以降低 MW 组合序列的 RMS 值,使其更接近于高频随机噪声。应用前一周期建立的多路径改正模型后,当前周期的单 BDS、GPS+BDS 宽巷和 IF-L1 定位都能快速收敛,并且定位精度在收敛前阶段和整体阶段均有所提升,提升

比例约为 13%-48%，收敛后精度基本不变。此外，GPS+BDS 的宽巷和 IF-L1 的定位精度均优于单 BDS，提升比例约为 41%-71%。其定位精度在收敛前接近分米级，宽巷定位解算收敛后单 BDS 可达到 8cm 以内，GPS+BDS 可达到 5cm 以内；IF-L1 定位解算收敛后单 BDS 可达到 4.5cm 以内，GPS+BDS 可达到 2.5cm 以内。

(4) 面向变形监测载波解算，并基于单差多路径误差的提取方法，提出了一种基于单差滤波的多分辨率多路径空间图谱改正方法，并实际应用于桥梁变形监测中。采用了实际桥梁变形监测的一条短基线连续四天数据建立了多路径空间图谱，实验结果表明各天图谱间的相关性均属于强相关性。同时多路径改正前后的模糊度固定成功率平均值均为 99%，改正后的 Ratio 值整体有所提升，模糊度检核 Ratio 平均值提升约 2 倍。此外，实验采用 6 种不同网格分辨率方案，利用控制变量法寻找各高度角区域的最佳分辨率。结果表明使用多路径空间图谱后的载波残差值均小于改正前，且改善效果基本大于 10%，最大可接近 40%，整体的最佳网格分辨率为  $0.2^{\circ} \times 0.2^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。相比于高高度角区域，低中高度角区域的分辨率更高。最后设计了一种基于本章所提出的多路径抑制方法的桥梁变形实时监测软件，主要包括解码模块、解算模块、数据库模块、前端显示模块。

## 6.2 研究展望

尽管本文在上述研究内容方面取得了一些研究成果，但作者在数据处理和论文撰写中仍然深刻感受到本文在理论深度及内容的全面性等方面需要进一步的深化和拓展，结合本文的研究内容，今后在以下几个方面需要进一步的研究：

(1) 本文将非差伪距多路径改正应用到了 MW 组合中，改进了宽巷模糊度收敛慢的问题，但并未对其他多频组合的改进效果进行探索。随着 GNSS 多频信号的播发，多频组合也展现出了多样化。因此利用多频组合观测值改正多路径是下一步的工作方向之一。

(2) 本文建立的多路径图谱仅在桥梁变形监测进行了实际应用，未来将对多路径图谱改正模型适用场景进行研究，探索多路径图谱的适用范围，同时还需继续加强对算法的改进。

(3) 深度学习的蓬勃发展为 GNSS 定位带来了许多解决思路与新方法，可以引入深度学习的方法来解决 GNSS 多路径误差的问题。因此如何将深度学习与多路径误差处理相结合也是未来的重要研究方向。