

中图分类号:

UDC:

学校代码: 10055

密级: 公开

南开大学  
博士学位论文

基于节省能量的多智能体系统一致性及编队控制

Energy-Saving based Research for Multi-agent Control based on  
Robust Control and Output Regulation Theory

论文作者 \_\_\_\_\_ 指导教师 \_\_\_\_\_

申请学位 \_\_\_\_\_ 培养单位 \_\_\_\_\_

学科专业 \_\_\_\_\_ 研究方向 \_\_\_\_\_

答辩委员会主席 \_\_\_\_\_ 评阅人 \_\_\_\_\_

南开大学研究生院

二〇一三年三月

## 南开大学学位论文使用授权书

根据《南开大学关于研究生学位论文收藏和利用管理办法》，我校的博士、硕士学位获得者均须向南开大学提交本人的学位论文纸质本及相应电子版。

本人完全了解南开大学有关研究生学位论文收藏和利用的管理规定。南开大学拥有在《著作权法》规定范围内的学位论文使用权，即：(1) 学位获得者必须按规定提交学位论文(包括纸质印刷本及电子版)，学校可以采用影印、缩印或其他复制手段保存研究生学位论文，并编入《南开大学博硕士学位论文全文数据库》；(2) 为教学和科研目的，学校可以将公开的学位论文作为资料在图书馆等场所提供校内师生阅读，在校园网上提供论文目录检索、文摘以及论文全文浏览、下载等免费信息服务；(3) 根据教育部有关规定，南开大学向教育部指定单位提交公开的学位论文；(4) 学位论文作者授权学校向中国科技信息研究所和中国学术期刊(光盘) 电子出版社提交规定范围的学位论文及其电子版并收入相应学位论文数据库，通过其相关网站对外进行信息服务。同时本人保留在其他媒体发表论文的权利。

非公开学位论文，保密期限内不向外提交和提供服务，解密后提交和服务同公开论文。

论文电子版提交至校图书馆网站：<http://202.113.20.161:8001/index.htm>。

本人承诺：本人的学位论文是在南开大学学习期间创作完成的作品，并已通过论文答辩；提交的学位论文电子版与纸质本论文的内容一致，如因不同造成不良后果由本人自负。

本人同意遵守上述规定。本授权书签署一式两份，由研究生院和图书馆留存。

作者暨授权人签字：\_\_\_\_\_

20     年     月     日

### 南开大学研究生学位论文作者信息

论 文 题 目	基于节省能量的多智能体系统一致性及编队控制				
姓 名		学 号		答 辩 日 期	
论 文 类 别	博士 <input checked="" type="checkbox"/> 学历硕士 <input type="checkbox"/> 专业学位硕士 <input type="checkbox"/> 同等学力硕士 <input type="checkbox"/>				
院 / 系 / 所			专 业		
联 系 电 话			Email		
通讯地址 (邮编):					
备 注				非公开论文编号	

注:本授权书适用我校授予的所有博士、硕士的学位论文。由作者填写(一式两份)签字后交校图书馆,非公开学位论文须附《南开大学研究生申请非公开学位论文审批表》。

南开大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师指导下进行研究工作所取得的研究成果。除文中已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或者没有公开发表的作品的内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本学位论文原创性声明的法律 responsibility 由本人承担。

学位论文作者签名：\_\_\_\_\_ 年 月 日

非公开学位论文标注说明

根据南开大学有关规定，非公开学位论文须经指导教师同意、作者本人申请和相关部门批准方能标注。未经批准的均为公开学位论文，公开学位论文本说明为空白。

论文题目			
申请密级	<input type="checkbox"/> 限制 (≤2 年) <input type="checkbox"/> 秘密 (≤10 年) <input type="checkbox"/> 机密 (≤20 年)		
保密期限	20      年      月      日至 20      年      月      日		
审批表编号		批准日期	20      年      月      日

南开大学学位办公室盖章 (有效)

注：限制 ★2 年（可少于 2 年）；秘密 ★10 年（可少于 10 年）；机密 ★20 年（可少于 20 年）

## 中文摘要

随着计算机网络技术的不断提高,复杂系统迅速发展,基于复杂系统的多智能体系统的优良特性日益凸显。采用多个简单廉价的智能体协调完成复杂任务来代替单个复制昂贵的系统,节省成本的同时提高了整个系统的灵活性和鲁棒性。多智能体显现出来的强大的功能和优势,使其在自然科学、社会生活的各个领域具有很强的应用前景,吸引了越来越多专家们的关注。在多智能体系统协调控制中,分布式控制协议的设计成为至关重要的问题,该文基于节省能量的动机,从控制协议设计的角度重点研究了多智能体系统的协调控制中的两个基本问题,即一致性和编队控制问题。论文的主要内容和研究成果包括以下几个方面:

(1) 对于领导者速度不可实时监测的非线性多智能体系统,提出了基于速度观测器的间歇一致性控制协议,控制器间歇性工作的特点减少了单位时间内信息的传递量,从而节省了能量。针对间歇控制协议下的闭环切换系统的动态特征,利用时变切换李雅普诺夫函数技术分析闭环误差系统的稳定性,在固定拓扑和切换拓扑情况下,分别得到了一些充分条件使得跟随者渐近跟踪领导者。最后将结论扩展含有时滞的非线性多智能体系统。

(2) 针对系统状态不可测的线性时滞多智能体系统,设计了不连续的脉冲观测器,其特征是只在瞬时时刻进行观测器自身状态的更新。在同时考虑系统自时滞和通信时滞的情况,基于具有脉冲机制的脉冲观测器设计了分布式一致性控制协议。构造了一个新的分段李雅普诺夫函数来分析具有脉冲效应的闭环误差系统的稳定性,得到了具有线性矩阵不等式形式的充分条件,从而保证了多智能体系统最终达到渐近一致,并给出了控制增益和观测器增益矩阵的求解方法。

(3) 对于含有时滞非线性多智能体系统,利用网络突变过程中与智能体瞬间接触的邻居智能体那里获得的信息,设计了脉冲一致性控制策略,其特点是在一些离散点以脉冲跳跃方式瞬间改变系统状态。利用李雅普诺夫函数方法并结合脉冲控制理论分别在固定拓扑和切换拓扑结构下分析误差系统的稳定性,给出了使跟随者以期望编队跟踪领导者的充分条件。最后考虑了领导者受到有界

干扰的情况，同样设计了脉冲控制协议实现了多智能体系统的达到期望的编队。

(4) 对于含有内部不确定和外部干扰的多智能体系统，在系统状态不可测的情况下，设计了线性扩张状态观测器 (LESO) 来同时估计系统的状态和系统总的不确定。基于 LESO 的观测信息，提出分布式控制协议对系统的总扰动进行实时的估计和补偿，从而有效地抑制了扰动带来的输出误差，大大节省了能量。在系统动态完全已知的情况下，得到了一些充分条件使得多智能体系统在渐近跟踪领导者的同时达到了期望的编队；在系统动态未知且有外部干扰的情况下，得到 LESO 的估计误差和系统跟踪误差都是有界的，并且智能体之间达到了期望的编队。

**关键词：** 多智能体系统, 一致性, 编队控制, 间歇控制, 脉冲观测器, 脉冲控制, 线性扩张状态观测器, 非线性动态

## Abstract

Due to the booming of computer network technology, complex networks have experienced a rapid development. Based on the complex network, this gives rise to a very active and exciting research field—multi-agent systems with excellent properties. Many benefits can be obtained when replacing a solo complicated system with several simple systems which enjoys low cost, high flexibility and great robustness. Multi-agent systems have sparked the attention of many researchers for their strong application prospects. It is worth noting that the design of distributed control protocol is of importance in the field of coordination control problem for multi-agent systems. In this paper, motivated of the idea of energy-saving, the consensus and formation control for multi-agent systems are investigated from the perspective of the design of distributed control protocol. The main work and research results lie in the following:

(1) Observer-based intermittent consensus control for nonlinear multi-agent systems The tracking consensus for leader-following multi-agent systems is investigated in the third chapter. In practice, the velocity of the leader is commonly not obtained online, and the agents may communicate with their neighbors intermittently due to bandwidth limitations or external disturbances and so on. To deal with these situations, a distributed observer is designed for each agent to estimate the velocity of the active leader, and then a distributed intermittent formation control protocol based on the above observer is developed for the delayed nonlinear multi-agent system. The closed-loop dynamical system under intermittent control can be viewed as a classical switched system. Some sufficient conditions which ensure the achievement of tracking consensus for the multi-agent system are given under fixed topology by time-varying Lyapunov function technology. The result under fixed topology is extended to that in switching topology.

(2) Intermittent consensus control for nonlinear multi-agent systems with time-delay Based on the result of the Chapter 3, the intermittent control for the leader-following multi-agent system with time-delay is addressed. Combining with the pinning control, the intermittent control based on velocity observer is designed. With the aid of

time-delay differential inequality and Lyapunov function method, in order to achieve the tracking consensus for the multi-agent system, some sufficient conditions are derived under both fixed topology and switching topology by analyzing the stability of the closed-loop switched system, and the range of control gain is obtained at the same time.

(3) Impulsive observer-based consensus control for multi-agent systems with time-delay The main work in the Chapter 5 is that the design of the impulsive observer aiming at the unmeasurement of the state of the system. The output of the linear multi-agent system studied in this part is only available at discrete time instants. Based on the idea of saving energy, in view of that the system state is unmeasurable, a kind of discontinuous impulsive observer which is updated in an impulsive fashion is designed to estimate the state of the system continuously. Due to the reduced transmission of sampled output information from the system to the observer, the on-line computations are reduced, furthermore, the bandwidth usage and communication cost has been saved, saving energy and improving quality, all at the same time. Considering the time-delay from the system itself and communication among agents, an impulsive observer-based distributed consensus protocol is designed which makes the closed-loop system be impulsive system. In view of the dynamic characteristics of closed-loop system, a time-varying Lyapunov function is constructed to analyze its stability theoretically, and some sufficient conditions in terms of linear matrix inequalities (LMIs) are derived to realize the consensus of the multi-agent system.

(4) Impulsive formation control for the time-delay multi-agent system with disturbance Motivated from the view of energy conservation, the impulsive control strategy is designed in the Chapter 6 to realize the formation control for the leader-following multi-agent system with time-delay. Due to the network may experience abrupt changes or suffer from the sudden interference, the impulsive control algorithm is proposed using the information from the neighbours instantaneously contact with the agent to achieve the tracking formation for the multi-agent system. Some sufficient conditions are obtained under both fixed and switching topology. Furthermore, the impulsive control protocol is designed for the case that the leader system is in a noise environment, which solves the formation control for the leader-follower multi-agent system.

(5) Formation control for multi-agent systems based on the linear extended state observer The object discussed in the Chapter 7 is the second order multi-agent system with nonlinear uncertainty. Assume that the state of the agent is unmeasurable and taking into account the uncertainty both in system itself and the external disturbance, the linear extended state observer (LESO) is designed to estimate both the state of the system and the uncertainty of the system. Based on LESO, the active disturbance rejection control (ADRC) is proposed to compensate the total uncertainty of the system which brings the inhibition of the output error resulted from total uncertainty, saving energy at the same time. Some sufficient conditions are derived to ensure that the followers asymptotically track the leader in desired formation in the face of completely known system dynamics. Even when there are large system uncertainties, the estimation and tracking errors are shown to be bounded and the desired formation among agents is achieved.

**Key words:** multi-agent systems (MAS), consensus, formation control, impulsive observer, impulsive control, linear extended state observer (LESO), active disturbance rejection control (ADRC), time-delay, uncertainty, leader, nonlinear dynamics





## 目录

中文摘要	I
Abstract	III
第一章 绪论	1
第一节 多智能体系统概述	1
1.1.1 多智能体系统研究背景	1
1.1.2 智能体系统简介	1
1.1.3 多智能体系统一致性问题研究现状	1
第二章 预备知识	3
第一节 代数图论	3
第三章 基于观测器的非线性多智能体系统间歇一致性控制	5
第一节 引言	5
第四章 南开大学学位论文格式宏包 NKThesis 使用说明	7
第一节 系统要求	7
第二节 修改说明	7
第三节 NKThesis 使用说明	10
4.3.1 测试	10
第四节 引用章节号	11
第五节 中英文间隔	11
第六节 NKThesis 预调用的宏包	11
第七节 图表	11
第八节 字体	11
第九节 参考文献	12
4.9.1 录入参考文献	12
第十节 一些建议	12
4.10.1 关于分数的写法	12
4.10.2 标点	13
4.10.3 列举环境: enumerate	14

第十一节	$\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ 简介 .....	16
4.11.1	什么是 $\text{T}_{\text{E}}\text{X}/\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ , 我是否应该选择它 .....	16
4.11.2	我该用什么编辑器? .....	17
4.11.3	我该去哪里寻找答案? .....	17
4.11.4	我应该看什么 $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ 读物? .....	17
4.11.5	什么知识会过时? 什么不会? .....	18
4.11.6	插图格式 .....	20
4.11.7	$\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ 作图 .....	20
第五章	说明 .....	21
参考文献	.....	23
致谢	.....	25
个人简历	.....	27

## 第一章 绪论

### 第一节 多智能体系统概述

#### 1.1.1 多智能体系统研究背景

使得整个群体表现出单个个体所不能达到的行为的内在规律，并且将这些内部工作机制及理论应用到实际中<sup>[1]</sup>；物理学家们则希望运用更为精确的数学模型，通过计算机模拟这些现象并且能够深入直观地解释这些令人讶异的群体行为<sup>[2, 3]</sup>；另外在控制科学领域，[4–6]提出了很有意义的研究方向。

#### 1.1.2 智能体系统简介

智能体的研究起源于 20 世纪 70 年代初，文本文本文本。

#### 1.1.3 多智能体系统一致性问题研究现状

除了上面提到的 Boid 和 Vicsek 两个经典模型，下面列举几种常见的多智能体动力学模型及其控制协议的设计。

对于以下的一阶连续积分器动力学模型：(无编号公式)

$$\dot{x}_i = u_i, i = 1, 2, \dots, n,$$

其中， $x_i \in R^n$  是第  $i$  个智能体的位置状态， $u_i \in R^n$  表示施加的控制输入。对于这样的单积分器系统，学者们设计了不同的控制协议 (有编号公式)，

$$u_i = - \sum_{j \in N_i(t)} a_{ij}(t)(x_i(t) - x_j(t)), \quad (1.1)$$

图1.1展示了几种多智能体系统编队控制在一些领域的应用。



(a) 多机器人世界杯足球锦标赛



(b) 无人机编队



(c) 多个机械手臂协同作业



(d) 城市交通控制管理系统

图 1.1 多智能体系统编队控制在实际中的应用

## 第二章 预备知识

### 第一节 代数图论

$$T_h = 288.15 - 0.0065H \quad (2.1)$$

大气压强同温度比的指数变化关系为：

$$P_h = P_0 \left( \frac{T_h}{T_0} \right)^{5.256} \quad (2.2)$$

定理测试：

**定理 2.1** 定理环境中定理两个字用加粗的楷体，定理内容用楷体，标号以（章. 编号）标记。

$$P_h = P_0 \left( \frac{T_h}{T_0} \right)^{5.256} \quad (2.3)$$

**定理 2.2** 测试

**定理 2.3** 测试

**引理 2.4** 测试引理

**引理 2.5** 测试引理

参考文献格式<sup>[7]</sup> 参考文献测试<sup>[8-10]</sup>



## 第三章 基于观测器的非线性多智能体系统间歇一致性控制

### 第一节 引言

一致性问题，作为多智能体系统协调控制的基本问题，近些年来受到众多领域专家学者的关注。一致性问题是指设计合适的分布式控制协议使得多个智能体就某个共同兴趣点达成一致的问题。一致性是多智能体系统协调完成任务的前提，与群集、编队等许多问题密切相关，是最基础的也是近几十年来研究者们持续关注的问题，并且取得了大量优秀的成果。<sup>[11]</sup>。测试引用参考文献 [11]<sup>[11-25]</sup>。

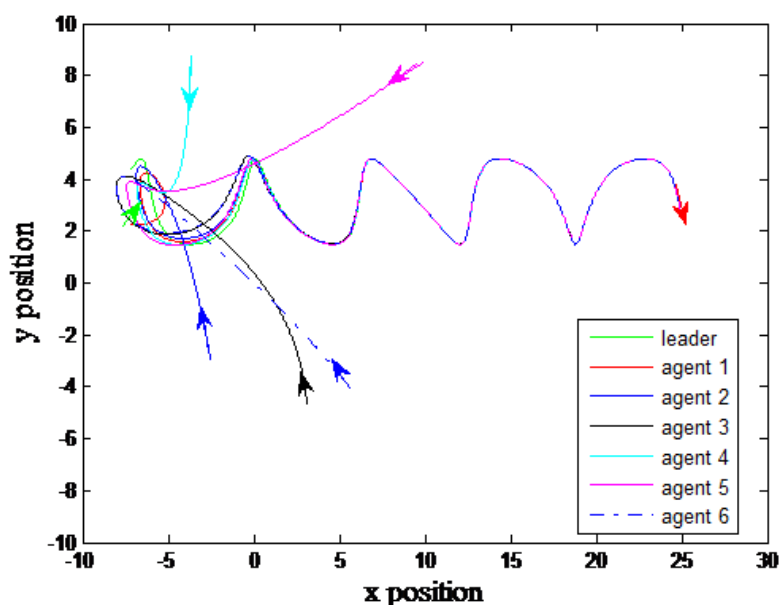


图 3.1 切换拓扑下多智能体系统的轨迹

定理 3.1 测试

定理 3.2 测试

定理 3.3 测试

引理 3.4 测试引理



**引理 3.5** 测试引理

**注 3.6** 测试标注，“注”是楷体加粗，然后注的内容是宋体。

**例 3.1** 测试例子，“例”是楷体加粗，然后例子的内容是宋体。

**例 3.2** 测试例子

## 第四章 南开大学学位论文格式宏包 NKThesis 使用说明

### 第一节 系统要求

CTEX 2.9 或者 TeX Live 2011 及以后版本. 需要有 caspervector.bbx 宏包其中 Tex Live2013 中有

### 第二节 修改说明

修订记录:

2015-03-08 版本 1:

已修改: 1, 修改“非公开学位论文标注说明”中保密年限的格式 2, 关键词对齐方式(需要手动调整换行) 3: 修改原创性声明页中的“注”部分的星号解决: 在 NKThesis.sty 中添加`\RequirePackage{amssymb}`, 然后在 NKThesis.cfg 中相应位置添加数学环境, `\bigstar`.

问题: 1, 目录层级缺少小节. 解决方法: 在文件 NKThesis.cfg 首行,  
`\tocdepth{2}`

数字 2 代表目录层级为 2, 目录有章和节, 数字 3 代表目录层级为 3, 目录有章、节、小节。2, 参考文献列出全部作者(已解决, 见版本 2 的 2).

2015-04-08 版本 2:

1, 测试第 3 章

2, 参考文献格式修改, 如果作者需要全部列出修改 nkthesis.bbx 中的 如果需要列出 3 个作者, 后边的用 et al. (等) 代替, 则将 10 改为 3. 如果需要全部列出, 则改为较大的值即可。

3, 博士学位论文的引用方法: 下载下参考格式之后修改为如下格式:

`@customf {Ding,addendum={丁光莹. 钢筋混凝土框架结构非线性反应分析的随机模拟分析[博士学位论文]. 上海: 同济大学, 2001}, userf = {zh},}` 暂时有点错误, 在参考文献前会有一个点。

4, 上标引用参考文献使用`\scite{}[1]`, 普通引用参考文献使用`\cite{}([1])`

2016-01-09 版本 3: 问题 1: 系统迁移过程中遇到字体的乱码问题, 通过更换字体库不能解决乱码问题, 黑体字呈现乱码修改方法: 修改 NkTfonts.cfg 文件中的

```
\ifxetex
\setCJKmainfont[BoldFont={SimHei},ItalicFont={[simkai.ttf]},{SimSun}
\setCJKmonofont{[simfang.ttf]}
\setmainfont{Times New Roman}
\else
```

片段, 其中关于黑体字的设置, 修改为:

```
\ifxetex
\setCJKmainfont[BoldFont={[simhei.ttf]},ItalicFont={[simkai.ttf]},{SimSun}
\setCJKmonofont{[simfang.ttf]}
\setmainfont{Times New Roman}
\else
```

解决问题。问题 2: (1) 英文作者之间用逗号, 不是 “.” 且首字母缩写后面没有句号。(2) 英文名字的姓全部大写。

解决办法: (1) 修改 main.tex 中 \usepackage[backend = bibtex8, ..., style = nkthesis] 改为 \usepackage[backend = biber, ..., style = nkthesis]{biblatex}, 并且在 nkthesis.bbx 中添加

```
\renewrobustcmd*{\bibinitperiod}{\}
\renewrobustcmd*{\bibinitdelim}{\addnbspace}
```

并且将编辑器的 bibtex 的默认编译方式修改为 biber, 修改方法: 见: [tell your editor to use Biber](#).

(2) 在 nkthesis.bbx 中添加

```
\renewcommand*{\mkbibnamelast}[1]{\MakeUppercase{#1}}
```

问题 3: 将参考文献中所有的中文标点改为西文标点。解决方法: 将 nkthesis.bbx 中的

```
\providecommand{\cecomma}{\cegen{\cncomma}{\addcomma\addspace}}
\providecommand{\cecolon}{\cegen{\cncolon}{\addcolon\addspace}}
\providecommand{\cescolon}{\cegen{\cnscolon}{\addcolon\addspace}}
\providecommand{\ceperiod}{\cegen{\cnperiod}{\addperiod\addspace}}
```

```
\providecommand{\cespace}{\cegen{}\addspace}}
\renewcommand{\finentrypunct}{\cegen{\cnperiod}{.}}
```

修改为:

```
\providecommand{\cecomma}{\cegen{\addcomma\addspace}{\addcomma\addspace}}
\providecommand{\cecolon}{\cegen{\addcolon\addspace}{\addcolon\addspace}}
\providecommand{\cescolon}{\cegen{\addcolon\addspace}{\addcolon\addspace}}
\providecommand{\ceperiod}{\cegen{\addperiod\addspace}{\addperiod\addspace}}
\providecommand{\cespace}{\cegen{\addspace}{\addspace}}
\renewcommand{\finentrypunct}{\cegen{.}{.}}
```

悬疑: 参考文献中的引号怎么处理? 仍然用中文的还是西文的

问题 4: 定理以及定理内容使用楷体, 定理两个字加粗解答: 在 main.tex 文件中添加

```
\usepackage{ntheorem}
\theoremheaderfont{\jiacu\kaiti}
```

问题 5: 添加“注”这一环境, 也就是英文中的“Remark”环境。并且将“注”和“例”的正文字体改为宋体在 main.tex 中添加

```
\theorembodyfont{\songti}
\newtheorem{Remark}[Theorem]{\hspace{2em}注}
\newtheorem{Example}[Theorem]{\hspace{2em}例}
```

问题 6: 修改原创性声明页中的“注”部分的星号解决: 在 NKThesis.sty 中添加\RequirePackage{amssymb}, 然后在 NKThesis.cfg 中相应位置添加数学环境,  $\bigstar$ .

问题 7: 因为“注”和“例”的编号是独立于定理环境的, 而且是重新编号, 所以需要在“注”和“例”的前面添加计数器重置语句:  $\setcounter{Theorem}{0}$ 。但是“注”并不是都在所有环境之后的, 所以考虑将“注”和定理按序统一编号。

2016-09-27 将个人简介部分增加如下命令, 使得个人发表论文可以用 enumerate 环境列出, 并且序号带中括号。

研究生期间发表论文:

```
\begin{enumerate}
\renewcommand{\labelenumi}{[\theenumi]}
```

```
\item Bell F K. A note on the irregularity of graphs[J]. Linear algebra and its applica
\item Bell F K. A note on the irregularity of graphs[J]. Linear algebra and its applica
\end{enumerate}
```

呈现结果：

研究生期间发表论文：

- [1] Bell F K. A note on the irregularity of graphs[J]. Linear algebra and its applications, 1992, 161: 45-54.
- [2] Bell F K. A note on the irregularity of graphs[J]. Linear algebra and its applications, 1992, 161: 45-54.

### 第三节 NKThesis 使用说明

本模板可以使用以下两种方式编译：

1. PDF $\LaTeX$
2. X $\LaTeX$ [推荐]

例如，

```
XeLaTeX main
bibtex main      % 处理参考文献
XeLaTeX main     % 连续编译两遍
XeLaTeX main     % 以生成正确的文献引用。
```

#### 4.3.1 测试

本模板用到宋体、楷体、仿宋、黑体四种字体。若需重新配置字体，请修改 NKFonts.cfg。对于 Linux/Mac 下的 TeX Live 2009，可能需要设置环境变量 OSFONTDIR，具体内容请参考 texmf.cnf。

我们建议您使用 X $\LaTeX$  编译。与前两种方法相比，X $\LaTeX$  编译长文档的速度更快，编译一篇一百多页的论文只需几秒的时间 (SL9400 @ 1.86GHz)。

在改变编译方式前应先删除 \*.toc 和 \*.aux 文件，因为不同编译方式产生的辅助文件格式可能并不相同。

注意：使用 X $\LaTeX$  编译时，X $\TeX$  的版本应不低于 0.9995.0(MiKTeX 2.8 或者 TeXLive 2009)。

## 第四节 引用章节号

引用章节号请参考如下格式: 第四章第四节.

## 第五节 中英文间隔

使用  $\text{Xe}\text{L}\text{A}\text{T}\text{E}\text{X}$  编译时, 会自动在中英文转换时添加必要的空格。使用  $[\text{PDF}]\text{L}\text{A}\text{T}\text{E}\text{X}$  编译时仅忽略中文之间的空格, 而中英文之间的空格予以保留。因此, 不管何种编译方式, 您都不需要在中英文间添加~以获得额外的空格。例如,

这是 English 中文  $x = y$  测试

这是 English 中文  $x = y$  测试

可以看出, 以上两行用  $\text{Xe}\text{L}\text{A}\text{T}\text{E}\text{X}$  编译的结果是相同的。

## 第六节 NKThesis 预调用的宏包

NKThesis 已经调用以下宏包, 您无须重新调用。

表 4.1 NKThesis 预调用的宏包

编译方式	调用的宏包
$\text{Xe}\text{L}\text{A}\text{T}\text{E}\text{X}$	xeCJK, CJKnumb, graphicx, mathptmx
$[\text{PDF}]\text{L}\text{A}\text{T}\text{E}\text{X}$	CJK, CJKnumb, uniGBK, graphicx, mathptmx

## 第七节 图表

插图的例子:



图 4.1 南开大学

## 第八节 字体

一般情况下, 您不需要显式地设置字体. 如果确实需要, 请使用以下命令

宋体: `\rmfamily\upshape` 或 `\songti`

黑体: `\bfseries` 或 `\heiti`

楷体: `\itshape` 或 `\kaiti`  
 仿宋: `\ttfamily` 或 `\fangsong`  
 加粗: `\jiacu`

## 第九节 参考文献

参考文献引用: <sup>[26–28]</sup> [29, 30] [26, Theorem 1]

### 4.9.1 录入参考文献

本模板采用 `biblatex` 宏包管理参考文献。如果你对此不熟悉, 可以

1. 参考宏包使用说明, 或者
2. 手工排版参考文献, 然后参考 `nkthesis-gbk.bib` 最后 3 条的格式录入。

## 第十节 一些建议

### 4.10.1 关于分数的写法

$\text{\LaTeX}$  提供宏命令 `\frac`, 用以打印分数. 为使得版面整齐, 该命令的使用应遵循以下原则:

1. 仅在分行表达式中使用,
2. 不嵌套使用,
3. 不在上下标中使用.

也就是说, 行内表达式和上下标中出现分数时一律用  $a/b$  表示, 如  $(x + 2)/((3x^2 + 4)(7 + y))$ . 下面是居中表达式:

$$x^2 = y^{1/2} + 3.$$

多行表达式: 尽量在加、减、乘、等号前换行. 在乘号前换行时, 下一行首用 `\times`:

$$\begin{aligned} & |(W_{\psi_1} f)(a, b) - (W_{\psi_1} f)(a_j, b_{j,k})|^2 \\ &= \frac{1}{C_\varphi^2} \left| \iint_{\mathcal{G}} (W_\varphi f)(s, t) \right. \\ &\quad \times \left. \left( (W_{\psi_1} \varphi) \left( \frac{a}{s}, \frac{b-t}{s} \right) - (W_{\psi_1} \varphi) \left( \frac{a_j}{s}, \frac{b_{j,k}-t}{s} \right) \right) \frac{ds dt}{s^{d+1}} \right|^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\leq \frac{1}{C_\varphi^2} \iint_{\mathcal{G}} |(W_\varphi f)(s, t)|^2 \\
&\quad \times \left| (W_{\psi_1} \varphi) \left( \frac{a}{s}, \frac{b-t}{s} \right) - (W_{\psi_1} \varphi) \left( \frac{a_j}{s}, \frac{b_{j,k}-t}{s} \right) \right| \frac{ds dt}{s^{d+1}} \\
&\quad \times \iint_{\mathcal{G}} \left| (W_{\psi_1} \varphi) \left( \frac{a}{s}, \frac{b-t}{s} \right) - (W_{\psi_1} \varphi) \left( \frac{a_j}{s}, \frac{b_{j,k}-t}{s} \right) \right| \frac{ds dt}{s^{d+1}} \\
&= \frac{1}{C_\varphi^2} \dots
\end{aligned} \tag{4.1}$$

### 4.10.2 标点

科技文献中一般用半角标点, 请参考《中国科学》发表的论文.

如果使用全角标点, 可以使用

`\punctstyle{<style>}`

选择标点样式, 有效值为

`quanjiao` (所有标点符号占一个汉字宽度,

相邻两个标点占一个半汉字宽度)

`banjiao` (所有标点符号占半个汉字宽度)

`hangmobanjiao` (所有标点符号占一个汉字宽度, 行末行首半角)

`kaiming` (句号、叹号、问号占一个汉字宽度, 其他标点占半个汉字宽度)

缺省为全角式。注意: 不论选择哪种样式, 都提供行末对齐 (`margin kerning`) 功能。

**定理 4.1**  $\text{\LaTeX}$  的输出是最完美的.

先证明一个引理

**引理 4.2**  $\text{\TeX}$  文件在不同操作系统下的排版结果完全一致.

**证明:** 这是证明.

**证明:** (定理 4.1 的证明) 显然是错的.

单个带编号的表达式

$$x = y + z \tag{4.2}$$

单个不带编号的表达式

$$y = x - z.$$

不带编号的多行表达式

$$x = y + z$$



$$= z - s$$

$$< 3.$$

一些注释

带编号的多行表达式

$$x = y - z, \tag{4.3}$$

$$y = x + z,$$

$$z = y - x. \tag{4.4}$$

引用: 定理4.1的推论是什么呢? 方程式编号: 由 (4.2)(4.4) 式.

### 4.10.3 列举环境: `enumerate`

环境 `enumerate` 已经被改写, 增加了一个可选参数 [字符串], 用以控制所进。例如,

```
\begin{enumerate}
\item This is an example.
\item This is an example.
  \begin{enumerate}
    \item This is an example.
    \item This is an example.
  \end{enumerate}
\end{enumerate}
\begin{enumerate}[Mn]% 字符串"Mn"的宽度为增加的缩进。
    % 缺省值为 [M]
\item This is an example.
\item This is an example.
  \begin{enumerate}[Mnn]% 字符串"Mnn"的宽度为增加的缩进。
    \item This is an example.
    \item This is an example.
  \end{enumerate}
\end{enumerate}
```

的输出为

1. This is an example.
2. This is an example.
  - (a) This is an example.
  - (b) This is an example.
1. This is an example.
2. This is an example.
  - (a) This is an example.
  - (b) This is an example.

## 第十一节 $\text{T}_\text{E}\text{X}$ 简介

以下内容是 [milksea@bbs.ctex.org](mailto:milksea@bbs.ctex.org) 撰写的关于  $\text{T}_\text{E}\text{X}$  的简单介绍。注意这不是一个入门教程，不讲  $\text{T}_\text{E}\text{X}$  系统的配置安装，也不讲具体的  $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_\text{E}\text{X}$  代码。这里仅仅试图以一些只言片语来解释：进入这个门槛之前新手应该知道的注意事项，以及遇到问题以后该去如何解决问题。

### 4.11.1 什么是 $\text{T}_\text{E}\text{X}/\text{L}^{\text{A}}\text{T}_\text{E}\text{X}$ ，我是否应该选择它

$\text{T}_\text{E}\text{X}$  是最早由高德纳 (Donald Knuth) 教授创建的一门标记式宏语言，用来排版科技文章，尤其擅长处理复杂的数学公式。 $\text{T}_\text{E}\text{X}$  同时也是处理这一语言的排版软件。 $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_\text{E}\text{X}$  是 Leslie Lamport 在  $\text{T}_\text{E}\text{X}$  基础上按内容/格式分离和模块化等思想建立的一集  $\text{T}_\text{E}\text{X}$  上的格式。

$\text{T}_\text{E}\text{X}$  本身的领域是专业排版 (即方正书版、InDesign 的领域)，但现在  $\text{TeX}/\text{LaTeX}$  也被广泛用于生成电子文档甚至幻灯片等， $\text{T}_\text{E}\text{X}$  语言的数学部分偶尔也在其他一些地方使用。但注意  $\text{T}_\text{E}\text{X}$  并不适用于文书处理 (MS Office 的领域，以前和现在都不是)。

选择使用  $\text{T}_\text{E}\text{X}/\text{L}^{\text{A}}\text{T}_\text{E}\text{X}$  的理由包括：

- 免费软件；
- 专业的排版效果；
- 是事实上的专业数学排版标准；
- 广泛的西文期刊接收甚或只接收  $\text{LaTeX}$  格式的投稿；
- .....

不选择使用  $\text{T}_\text{E}\text{X}/\text{L}^{\text{A}}\text{T}_\text{E}\text{X}$  的理由包括：

- 需要相当精力学习；
- 图文混合排版能力弱；
- 仅流行于数学、物理、计算机等领域；
- 中文期刊的支持较差；
- .....

请尽量清醒看待网上经常见到的关于  $\text{T}_\text{E}\text{X}$  与其他软件的优劣比较和口水战。在选择使用或离开之前，请先考虑  $\text{T}_\text{E}\text{X}$  的应用领域，想想它是否适合你的需要。

### 4.11.2 我该用什么编辑器？

编辑器功能有简有繁，特色不一，从简单的纯文本编辑器到繁复的 Emacs，因人而异。基本功能有语法高亮、方便编译预览就很好了，扩充功能和定制有无限的可能。初学者可以使用功能简单、使用方便的专用编辑器，如 TeXWorks、Kile、WinEdt 等，或者类似所见即所得功能的 LyX；熟悉的人可以使用定制性更强的 Notepad++、SciTE、Vim、Emacs 等。这方面的介绍很多，一开始不妨多试几种，找到最适合自己的才是最好的。

另外提醒一句，编辑器只是工作的助力，不必把它看得太重。一些编辑器有极为繁杂的功能，一些编辑器常常会引来黑客们的论战（如 Emacs 与 Vim）。为工作，别为这些浪费太多精力，适用即可。

### 4.11.3 我该去哪里寻找答案？

- 0、绝对的新手，先读完一本入门读物，了解基本的知识。
- 1、无论如何，先读文档！绝大部分问题都是文档可以解决的。
- 2、再利用 Google 搜索，利用 (bbs.ctex.org) 版面搜索。
- 3、清楚、聪明地提出你的问题。

### 4.11.4 我应该看什么 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 读物？

这不是一个容易回答的问题，因为有许多选择，也同样有许多不合适的选择。这里只是选出一个比较好的答案。更多更详细的介绍可以在版面和网上寻找（注意时效）。

近两年 T<sub>E</sub>X 的中文处理发展很快，目前没有哪本书在中文处理方面给出一个最新进展的合适综述，因而下面的介绍也不主要考虑中文处理。

1. 我可以阅读英文
  - (a) 我要迅速入门：ltxprimer.pdf (LaTeX Tutorials: A Primer, India TUG)
  - (b) 我要系统学习：A Guide to LaTeX, 4th Edition, Addison-Wesley 有机械工业出版社的影印版（《LaTeX 实用教程》）
  - (c) 我要深入学习：要读许多书和文档，TeXbook 是必读的
  - (d) 还有呢？去读你使用的每一个宏包的说明文档
  - (e) 还有许多专题文档，如讲数学公式、图形、表格、字体等
2. 我更愿意阅读中文

- (a) 我要迅速入门: lnotes.pdf (LaTeX Notes, 1.20, Alpha Huang)
- (b) 我要系统学习: 《LaTeX2 $\epsilon$  科技排版指南》, 邓建松 (电子版) 如果不好找, 看《LaTeX 入门与提高》第二版, 陈志杰等
- (c) 我要深入学习: TeXbook0.pdf (特可爱原本, TeXbook 的中译, xianx-ian)
- (d) 还有呢? 英语, 绝大多数 TeX 资料还是英文的

#### 4.11.5 什么知识会过时? 什么不会?

T<sub>E</sub>X 是排版语言, 也是广泛使用的软件, 并且不断在发展中; 因此, 总有一些东西会很快过时。作为学习 T<sub>E</sub>X 的人, 免不了要看各种各样的书籍、电子文档和网络论坛上的只言片语, 因此了解什么知识会迅速过时, 什么知识不会是十分重要的。

最稳定的是关于 Primitive T<sub>E</sub>X 和 Plain T<sub>E</sub>X 的知识, 也就是 Knuth 在他的《The TeXbook》中介绍的内容。因为 T<sub>E</sub>X 系统开发的初衷就是稳定性, 要求今天的文档到很久以后仍可以得到完全相同的结果, 因此 Knuth 限定了他的 T<sub>E</sub>X 语言和相关实现的命令、语法。这些内容许多年来就没有多少变化, 在未来的一些年里也不会有什么变化。Primitive T<sub>E</sub>X 和 Plain T<sub>E</sub>X 的知识主要包括 T<sub>E</sub>X 排版的基本算法和原理, 盒子的原理, 底层的 T<sub>E</sub>X 命令等。其中技巧性的东西大多在宏包设计中, 初学者一般不会接触到很多; 而基本原理则是常常被提到的, 譬如, T<sub>E</sub>X 把一切排版内容作为盒子 (box) 处理。

相对稳定的是关于基本 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 2 $\epsilon$  的知识, 也包括围绕 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 2 $\epsilon$  的一些核心宏包的知识。L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 2 $\epsilon$  是自 1993 年以来的一个稳定的 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 版本, 直到最近的一次修订 (2005 年) 都没有大的变动。L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 的下一个计划中的版本 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 3 遥遥无期, 在可预见的将来, L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 2 $\epsilon$  不会过时。L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 2 $\epsilon$  的知识是目前大部分 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 书籍的主体内容。关于 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 的标准文档类 (article、report、book、letter、slide 等), 关于基本数学公式的输入, 文档的章节层次, 表格和矩阵, 图表浮动体, LR 盒子与段落盒子……这些 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 的核心内容都是最常用的, 相对稳定的。与 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 2 $\epsilon$  相匹配的核心宏包, 如 graphics(x)、ifthen、fontenc、doc 等, 也同样是相对稳定的。还有一些被非常广泛应用的宏包, 如 amsmath 系列, 也可以看作是相对稳定的。

简单地说, 关于基本 T<sub>E</sub>X/L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 的语言, 都是比较稳定的。与之对应, 实现或者支持 T<sub>E</sub>X/L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 语言的软件, 包括在 T<sub>E</sub>X/L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 基础上建立的新的宏, 都不

大稳定。

容易过时的是关于第三方  $\text{\LaTeX}$  宏包的知识、第三方  $\text{\TeX}$  工具的知识，以及新兴  $\text{\TeX}$  相关软件的知识等。 $\text{\TeX}$  和  $\text{\LaTeX}$  语言是追求稳定的；但无论是宏包还是工具，作为不断更新软件，它们是不稳定的。容易过时的技术很多，而且现在广泛地出现在几乎所有  $\text{\LaTeX}$  文档之中，因此需要特别引起注意：宏包的过时的原因可能是宏包本身的升级换代带来了新功能或不兼容，也可能是同一功能的更新更好的宏包代替了旧的宏包。前者的典型例子比如绘图宏包 PGF/TikZ，现在的 2.00 版功能十分强大，和旧的 1.1x 版相差很大，和更旧的 0.x 版本则几乎完全不同；后者的典型例子比如 caption 宏包先是被更新的 caption2 宏包代替，后来 caption 宏包更新又使得 caption2 宏包完全过时。——安装更新的发行版可以避免使用过旧的宏包；认真阅读宏包自带的文档而不是搜索得到的陈旧片断可以避免采用过时的代码。

工具过时的主要原因也是升级换代和被其他工具替换。前者的典型例子是编辑器 WinEdt 在 5.5 以后的版本支持 UTF-8 编码，而旧版本不支持；后者的典型例子是中文字体安装工具从 GBKFonts 到 xGBKFonts 到 FontsGen 不断被取代。图形插入是一个在  $\text{\TeX}$  实现、宏包与外围工具方面都更新很快的东西。在过去，最常用的输出格式是 PS (PostScript) 格式，因此插入的图像以 EPS 为主流。使用 Dvips 为主要输出工具，外围工具有 GhostScript、bmeps 等等，相关宏包有 graphics 等，相关文档如《LaTeX2e 插图指南》。

但凡提及“ $\text{\LaTeX}$  只支持 EPS 图形”的，就是这个过时的时代的产物。事实上  $\text{\TeX}/\text{\LaTeX}$  并无限定任何图形格式，只不过是当时的输出格式 (PS) 和工具 (Dvips) 对 EPS 情有独钟而已。后来 PDF 格式成为主流，pdf $\text{\TeX}$ 、DVIPDFM、DVIPDFMx、X $\text{\LaTeX}$  等工具则主要支持 PDF、PNG、JPG 格式的图形，涉及一系列工具如 ImageMagick、ebb 等。

值得特别提出注意的就是，中文处理也一起是更新迅速、容易过时的部分。而且因为中文处理一直没有一个“官方”的“标准”做法，软件、工具、文档以及网上纷繁的笔记也就显得相当混乱。从八十年代开始的 CCT 系统、天元系统，到后来的 CJK 方式，到近来的 X $\text{\LaTeX}$ 、Lua $\text{\TeX}$  方式，中文处理的原理、软件、宏包、配置方式等都在不断变化中。

#### 4.11.6 插图格式

前面提到， $\text{\LaTeX}$  主要支持 EPS 格式的插图文件，而  $\text{PDF}\text{\LaTeX}$  则更喜欢 PDF、PNG、JPG 格式的图形。为解决兼容性，最新版的  $\text{PDF}\text{\LaTeX}$  会自动把 EPS 文件转换为 PDF 文件。因此，使用 EPS 格式的插图可能具有最广泛的通用性。

#### 4.11.7 $\text{\LaTeX}$ 作图

目前已经有很多优秀的  $\text{\LaTeX}$  作图宏包，如 pgf/Tikz 和 pstricks，两者都具有强大的作图能力。

## 第五章 说明

本模板参照南开大学学位论文写作规范编写，仅仅提供了论文的基本格式，包括章节标题和正文字体、字号等等的设置。

您自愿使用这个模板。提供本模板的目的是为了给您的论文写作带来方便，然而，作者不保证这个模板完全符合学校的要求，也不对由此产生的任何后果负责。如果您不同意这些条款，请不要使用这个模板。

参考文献的录入请参考第九节。





## 参考文献

- [1] COUZIN I D, KRAUSE J, JAMES R, RUXTON G D, FRANKS N R. Collective memory and spatial sorting in animal groups. *Journal of theoretical biology*, 2002, 218(1): 1-11.
- [2] TANNER H G, JADBABAIE A, PAPPAS G J. Stable flocking of mobile agents, Part I: Fixed topology. In: *Proceedings of 42nd IEEE Conference on Decision and Control*, 2003: 2010-2015.
- [3] 程代展, 陈翰馥. 从群集到社会行为控制. *科技导报*, 2004, 22(0408): 4-7.
- [4] 洪奕光, 翟超. 多智能体系统动态协调与分布式控制设计. *控制理论与应用*, 2011, 28(10): 1506-1512.
- [5] OLFATI-SABER R, FAX A, MURRAY R M. Consensus and cooperation in networked multi-agent systems. *Proceedings of the IEEE*, 2007, 95(1): 215-233.
- [6] SAVKIN A V. Coordinated collective motion of groups of autonomous mobile robots: analysis of Vicsek's model. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2004, 49(6): 981-983.
- [7] DAI Q M, FANG X D, LI X J, TIAN L L. Performance simulation of high altitude scientific balloons. *Advances in Space Research*, 2012, 49(6): 1045-1052.
- [8] 昂海松, 童明波, 余雄庆. *航空航天概论*. 科学出版社, 2008.
- [9] COLOZZA A, DOLCE J. Initial feasibility assessment of a high altitude long endurance airship. 2003.
- [10] ZHOU L, WANG J, ZHAO Y B. Study on the Action Modeling of Air-defense Combat CGF Based on MAS [J]. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2007, 2: 122.
- [11] RAN H J, THOMAS R, MAVRIS D. A comprehensive global model of broadband direct solar radiation for solar cell simulation. *AIAA2007-33*, 2007.
- [12] BLOEMEN H H, VAN DEN BOOM T J, VERBRUGGEN H B. Optimizing the end-point state-weighting matrix in model-based predictive control. *Automatica*, 2002, 38(6): 1061-1068.
- [13] BREDER C. Equations descriptive of fish schools and other animal aggregations. *Ecology*, 1954, 35(3): 361-370.
- [14] DING B C, XIE L H, CAI W J. Distributed model predictive control for constrained linear systems. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 2010, 20(11): 1285-1298.
- [15] DUNBAR W B, MURRAY R M. Distributed receding horizon control for multi-vehicle formation stabilization. *Automatica*, 2006, 42(4): 549-558.
- [16] FIEDLER M. Algebraic connectivity of graphs. *Czechoslovak Mathematical Journal*, 1973, 23(2): 298-305.

- [17] GAZI V, PASSINO K M. Stability analysis of swarms. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2003, 48(4): 692-697.
- [18] JI M, EGERSTEDT M B. Connectedness preserving distributed coordination control over dynamic graphs. 2005.
- [19] LIU Z X, CHEN Z Q. Discarded Consensus of Network of Agents With State Constraint. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2012, 57(11): 2869-2874.
- [20] MILGRAM S. The small world problem. *Psychology today*, 1967, 2(1): 60-67.
- [21] OLFATI-SABER R. Flocking for multi-agent dynamic systems: Algorithms and theory. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2006, 51(3): 401-420.
- [22] REN W. Multi-vehicle consensus with a time-varying reference state. *Systems & Control Letters*, 2007, 56(7): 474-483.
- [23] VICSEK T, CZIRÓK A, BEN-JACOB E, COHEN I, SHOCHET O. Novel type of phase transition in a system of self-driven particles. *Physical Review Letters*, 1995, 75(6): 1226.
- [24] WATTS D J, STROGATZ S H. Collective dynamics of ‘small-world’ networks. *nature*, 1998, 393(6684): 440-442.
- [25] ZHANG H T, CHEN M Z, ZHOU T, STAN G B. Ultrafast consensus via predictive mechanisms. *EPL (Europhysics Letters)*, 2008, 83(4): 40003.
- [26] 陈建军, 车建文, 陈勇. 具有频率和振型概率约束的工程结构动力优化设计. *计算力学学报*, 2001, 18(1): 74-80.
- [27] NADKARNI M A, NAIR C K K, PANDEY V N, MA Z G. Characterization of alpha-galactosidase from *Corynebacterium murisepticum* and mechanism of its induction. *J Gen App Microbiol*, 1992, 38: 223-234.
- [28] 华罗庚, 王元. 论一致分布与近似分析: 数论方法 (I). *中国科学*, 1973, (4): 339-357.
- [29] 姜锡洲. 一种温热外敷药制备方案. 中国: 88105607.3. July 26, 1989.
- [30] TIMOSHENKO S P. *Theory of plate and shells*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1959: 17-36.

## 致谢

感谢您使用本模板。



## 个人简历

研究生期间发表论文:

- [1] Bell F K. A note on the irregularity of graphs[J]. Linear algebra and its applications, 1992, 161: 45-54.
- [2] Bell F K. A note on the irregularity of graphs[J]. Linear algebra and its applications, 1992, 161: 45-54.