

华南理工大学硕士学位论文

LaTeX 模板使用说明

redfu

指导教师：周嘉嘉 教授

华南理工大学

2025 年 4 月 4 日

摘 要

流变学是研究物质变形和流动的科学，流变学本构方程作为流变学的核心内容之一，是描述材料在外力作用下变形和流动行为的数学模型，用于研究材料的应力、应变、应变率之间的关系。这些方程广泛应用于描述复杂材料的力学行为，如聚合物、胶体、血液、泥浆等，帮助理解和预测材料的力学行为，从而优化工艺、提高产品质量和推动科学研究。传统本构方程的获取和研究方法主要包括实验测定、理论推导和数值模拟，但这些方法存在成本高、耗时长、适用范围有限、计算资源需求大等问题。

近年来，基于数据驱动的机器学习方法开始被应用于流变学本构方程的构建研究中。然而，纯数据驱动的方法缺乏物理约束，难以捕捉复杂的物理关系，如流变学中的非线性黏弹性等。鉴于此，本文采用神经网络（深度学习）方法对流变学本构方程进行建模和预测，并通过引入物理约束，提升模型的训练效果和可解释性。具体而言，本文使用门控循环单元循环神经网络（GRU）和物理信息神经网络（PINN）分别对经典本构方程的模拟数据和动态力学分析（DMA）的实验数据进行深度学习建模和预测。

首先，本文通过数值模拟方法获取 Maxwell、Doi-Edwards、Giesekus 模型的时间域应力应变模拟数据，并使用 GRU 对其进行建模预测。创新性地利用 GRU 的门控机制捕捉时间序列应力应变数据的记忆效应和应变历史依赖性。与传统深度前馈神经网络（DNN）相比，GRU 在 R^2 、MAE、MAPE 各项预测指标上表现更优。结果表明，GRU 能够泛化到不同的应变加载协议和变化历史，捕捉流变学中复杂的非线性关系。

随后，本文对真实 DMA 实验数据进行建模。本文采用物理信息神经网络（PINN），在损失函数中引入物理方程残差，为模型提供物理约束，并与数据损失共同训练模型。同时，针对实验中多个制备参数作为特征的稀疏性和分散性，本文使用注意力特征融合方法进行特征降维，进一步优化了模型效果。结果表明，PINN 的预测效果各项指标均优于纯数据驱动的深度学习模型，而哈达玛特征融合和注意力特征融合方法有效解决了特征稀疏分散问题。

最后，本文使用条件变分自编码器（CVAE）对实验数据进行反向建模，通过特定的流变学性质数据生成实验制备参数，为高分子材料的设计提供辅助支持。

关键词：流变学；本构方程；门控循环单元；物理信息神经网络；条件变分自编码器

Abstract

Rheology is the science that studies the deformation and flow of matter. Constitutive equations in rheology, as one of the core components of rheology, are mathematical models that describe the deformation and flow behavior of materials under external forces. They are used to study the relationships between stress, strain, and strain rate in materials. These equations are widely applied to describe the mechanical behavior of complex materials such as polymers, colloids, blood, and slurries, helping to understand and predict the mechanical behavior of materials, thereby optimizing processes, improving product quality, and advancing scientific research. Traditional methods for obtaining and studying constitutive equations mainly include experimental measurement, theoretical derivation, and numerical simulation. However, these methods have issues such as high cost, long time consumption, limited applicability, and high computational resource requirements.

In recent years, data-driven machine learning methods have begun to be applied to the construction of constitutive equations in rheology. However, purely data-driven methods lack physical constraints and struggle to capture complex physical relationships, such as nonlinear viscoelasticity in rheology. In light of this, this paper employs neural network (deep learning) methods to model and predict constitutive equations in rheology, and enhances the training effectiveness and interpretability of the models by introducing physical constraints. Specifically, this paper uses Gated Recurrent Unit (GRU) and Physics-Informed Neural Networks (PINN) to perform deep learning modeling and prediction on simulation data of classical constitutive equations and experimental data from Dynamic Mechanical Analysis (DMA).

First, this paper obtains time-domain stress-strain simulation data for the Maxwell, Doi-Edwards, and Giesekus models through numerical simulation methods and uses GRU to model and predict them. Innovatively, the gating mechanism of GRU is utilized to capture the memory effects and strain history dependence of time-series stress-strain data. Compared to traditional Deep Feedforward Neural Networks (DNN), GRU performs better in terms of R^2 , MAE, and MAPE prediction metrics. The results show that GRU can generalize to different strain loading protocols and change histories, capturing complex nonlinear relationships in rheology.

Subsequently, this paper models real DMA experimental data. The Physics-Informed Neu-

ral Network (PINN) is employed, introducing physical equation residuals into the loss function to provide physical constraints for the model, and training the model jointly with data loss. Additionally, to address the sparsity and dispersion of multiple preparation parameters as features in the experiments, this paper uses attention feature fusion methods for feature dimensionality reduction, further optimizing the model's performance. The results indicate that PINN's prediction performance metrics are superior to those of purely data-driven deep learning models, and the Hadamard feature fusion and attention feature fusion methods effectively solve the issue of sparse and dispersed features.

Finally, this paper uses Conditional Variational Autoencoder (CVAE) for inverse modeling of experimental data, generating experimental preparation parameters through specific rheological property data, providing auxiliary support for the design of polymer materials.

Keywords: Rheology; Constitutive Equations; Gated Recurrent Unit; Physics-Informed Neural Networks; Conditional Variational Autoencoder

目 录

摘 要	I
Abstract	II
插图目录	VI
表格目录	VII
主要符号对照表	VIII
英文缩略词	IX
第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.1.1 研究背景和意义	1
1.1.2 tes2	2
1.2 研究进展	2
第二章 模板简介	3
2.1 主文件	3
2.2 章节文件	6
第三章 常用环境及参考文献设置	7
3.1 图	7
3.2 表	13
3.3 公式	14
3.4 定理	17
3.5 参考文献	18
第四章 列举环境	23
4.1 调整间距	23
4.1.1 垂直间距	25
4.1.2 水平间距	25
4.2 enumerate 标签样式	27
4.2.1 小括号阿拉伯数字	27
4.2.2 斜体字母	27
4.2.3 大写罗马字母	27

结 论	28
参考文献	29
附 录 1	30
1.1 测试一级标题 section	30
1.1.1 测试二级标题 subsection	30
1.2 测试测试测试	31
1.2.1 测试测试测试	31
附 录 2	32
2.1 测试测试测试	32
2.1.1 测试测试测试	32
攻读博士/硕士学位期间取得的科研成果	33
致 谢	34

插图目录

图 2-1	TeXstudio 环境	4
图 2-2	TeXstudio 编译选项	4
图 3-1	涵道风扇式无人机	8
图 3-2	9
图 3-3	(a) CVAE 示意图; (b) VAE 示意图	9
图 3-4	(a) CVAE 示意图; (b) VAE 示意图	10
图 3-5	(a) CVAE 示意图; (b) VAE 示意图	11
图 3-6	(a) CVAE 示意图; (b) VAE 示意图	11
图 3-7	(a) CVAE 示意图; (b) VAE 示意图	12
图 3-8	(a) CVAE 示意图; (b) VAE 示意图	12
图 3-9	子图包使用测试	13
图 3-10	常规	21
图 4-1	enumitem 包对各种间距的定义	24

表格目录

表 3-1	涵道模型参数	14
表 3-2	涵道模型参数	14

主要符号对照表

【本节论文规范为可选，如果你的论文没有相关内容那么去除这一节；如果有，则删除这一行注释。】

$X_n Y_n Z_n$ -地理坐标系

ψ -偏航角

φ -滚转角

G -NED 系的重力

w -系统的外部扰动

F -机体系的气动力

ρ -空气密度

A_x 、 A_y 、 A_z -沿机体轴的截面面积

l_a -机身气动阻力作用点与重心的距离

T_d -涵道体升力

T_a -总升力

p_U -桨盘上表面压强

$V_c + V_i$ -桨盘上下表面气体速度

V_i -桨盘处气流诱导速度

Q -风扇扭矩

μ -环绕涵道角度变量

\hat{j} -沿机体系 y 轴方向的单位矢量

$C_{d,d}(\alpha_d)$ 涵道翼型阻力曲线

$C_{l,\alpha}$ -风管翼型升力曲线斜率

$C_{d,o}$ 、 $C_{d,g}$ -拟合阻力曲线经验常数

C_{duct} - 常值比例系数

k_δ -操纵面气动升力系数

I_b -风扇转动惯量

L_r -风扇角动量

$X_b Y_b Z_b$ -机体坐标系

θ -俯仰角

R_b^n 、 R -机体系到 NED 系的旋转矩阵

φ_0 -气动面安装角

T -系统采样周期

M -机体系的气动力矩

$C_{D,x}$ 、 $C_{D,y}$ 、 $C_{D,z}$ -沿机体轴阻力系数

v -机身相对于空气的速度分量

V_c -气体在无穷远处的速度

T_p -风扇升力

q_a -涵道升力分配系数

p_L -桨盘下表面压强

S -桨盘面积

V_{cr} -理想自转下降速率

ω -风扇转速

\hat{i} -沿机体系 x 轴方向的单位矢量

$C_{l,d}(\alpha_d)$ -涵道翼型升力曲线

c_d -涵道翼型弦长

$C_{l,\min}$ 、 $C_{l,\max}$ -升力系数极限

R -风扇半径

l_d -重心与涵道气动力作用点的距离

α_d -攻角

d_{af} 、 d_{ds} -风扇扭矩常系数

英文缩略词

【本节论文规范为可选，如果你的论文没有相关内容那么去除这一节；如果有，则删除这一行注释。】

SCUT South China University of Technology 华南理工大学

1.1引言

1.1.1 研究背景和意义

(3) TeXlive202x、TeXstudio, 相当于开发环境和 IDE。本模板是基于 TeX 的发行

版 TeXlive202x 和编辑器 TeXstudio 进行的，百度这两个关键字分别安装。关于 TeXstudio 的使用（快捷键等）可另行查找资料。模板还支持更多 ide，更多编译方式见 GitHub 首页 readme.md。若在其他窗口打开了编译生成的 pdf 文件，记得关掉再编译，否则报错。TeXstudio 的设置见第二章。

你也会做实验吗？

$$\frac{1}{2} \tag{1-1}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{2}} \tag{1-2}$$

1.1.2 tes2

1.2 研究进展

第二章 模板简介

与很多外文杂志社不同，大部分中文期刊都不提供 L^AT_EX 模板给投稿者使用，也很少有学校给学生提供官方的毕业论文模板。目前 github 上的大部分模板都是由学生发起的非官方模板。在此感谢 Shun Xu 以及 yecfly 等人的工作，他们的无私奉献使得华南理工大学硕博士毕业论文也可以使用 L^AT_EX 撰写。

本模板是直接修改前人的模板得到的，更详细的介绍可到[4~5] 下载。本章仅从用户的角度简要介绍模板的使用，而尽量避免涉及 L^AT_EX 的模板制作细节（实际上是因为本人也不会）。正如我们使用手机并不需要了解麦克斯韦方程组，使用 L^AT_EX 写作也无需了解模板是如何制作的。

L^AT_EX 的源代码保存在后缀名为.tex 的文件中。当编写长篇文档时，例如当编写书籍、毕业论文时，单个源文件会使修改、校对变得十分困难。将源文件分割成若干个文件，例如将每章内容单独写在一个文件中，会大大简化修改和校对的工作。为方便，本文将 scutthesis.tex 文件称为主文件，而将 abstract.tex、chapter0x.tex、conclusion.tex 等文件称为章节文件。

值得注意的是，要每次编译时都更新参考文献著录，TeXstudio 软件的选项-> 设置中的构建并查看、编译器需要设置成如图2-1、2-2所示。此时只需在任意一个文件中点击构建并查看按钮即可编译文档。每次编译都更新参考文献会使得编译时间很长。

2.1 主文件

scutthesis.tex 文件相当于主函数，调用各章的内容。L^AT_EX 源代码以一个\documentclass 命令作为开头，它指定了文档使用的文档类。文档类规定了 L^AT_EX 源代码所要生成的文档的性质——普通文章、书籍、演示文稿、个人简历等等。

```
\documentclass[<options>]{<class-name>}
```

其中 class-name 为文档类的名称，如 L^AT_EX 提供的 article, book, report，可在其基础上派生的一些文档类或者有其它功能的一些文档类。L^AT_EX 提供的基础文档类见文献[6]。还可以自定义文档类，如华南理工大学硕博士论文文档类 scutthesis，其实现保存在后缀名为.cls 的文件中。可选参数 options 为文档类指定选项。

document 环境当中的内容是文档正文：

```
\begin{document}
正文内容
\end{document}
```

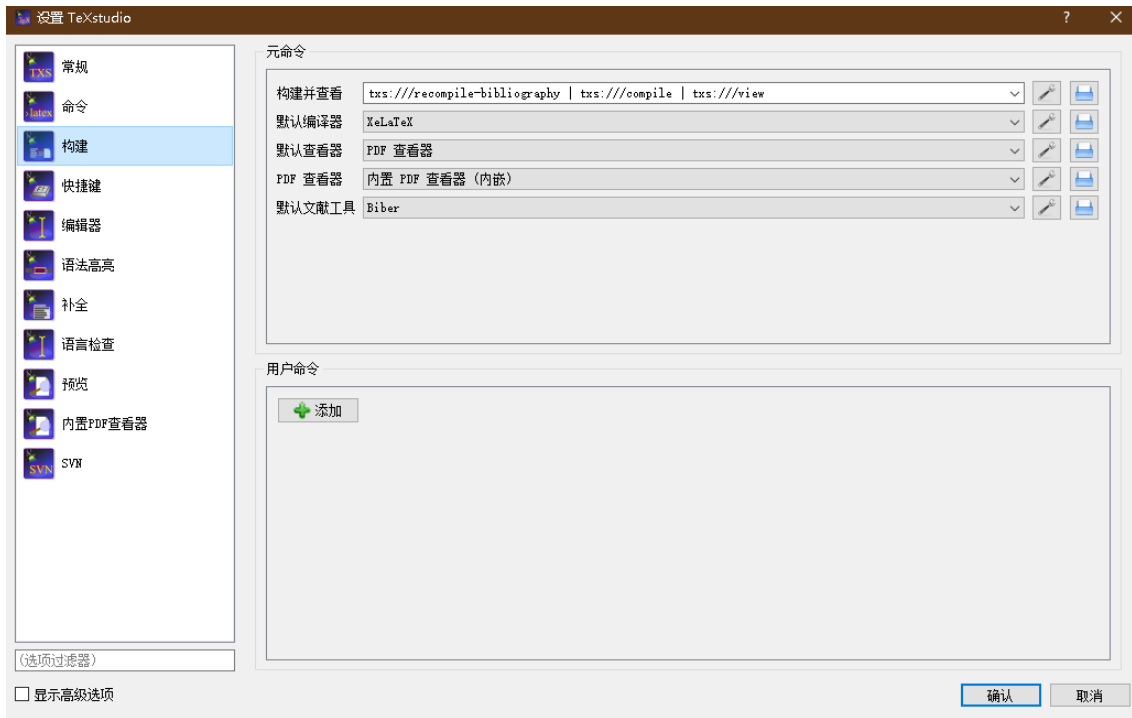


图 2-1 TeXstudio 环境

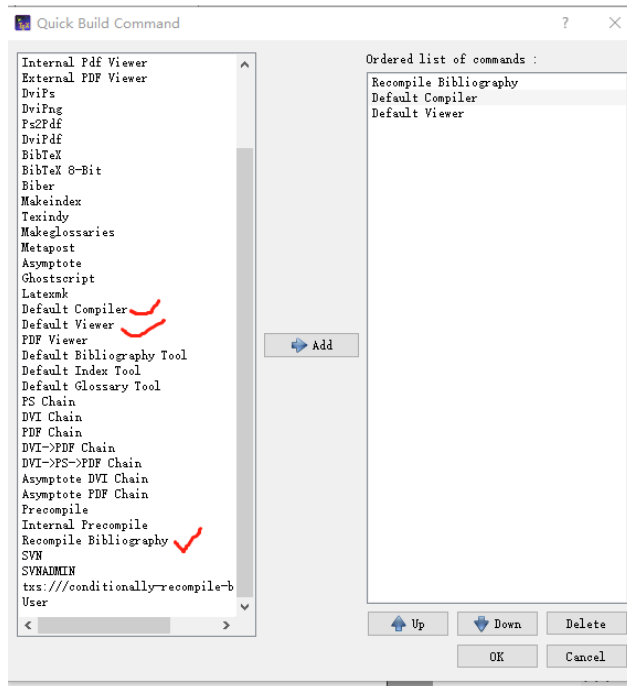


图 2-2 TeXstudio 编译选项

正文中包含各章节内容:

```
\include{abstract} % 中英文摘要
\tableofcontents % 目录
\listoftables % 表格目录 (可选)
\listoffigures % 插图目录 (可选)
```

```

\include{symbols} % 符号对照表(可选)
\include{abbreviation} % 缩略词
...
\include{chapter01} % 第一章
\include{chapter02} % 第二章
\include{chapter03} % 第三章
% 自行根据需要添加章节。
...
\include{conclusion} % 结论
...
\printbibliography % 参考文献著录
\include{appendix} % 附录
\include{pub} % 成果
\include{ack} % 致谢

```

其中 % 之后的内容为注释, ... 表示省略其他代码, 仅保留论文内容主体部分。`\include{xxx}` 指令用于包含 `xxx.tex` 文件的内容, 各章节的内容主要在 `xxx.tex` 中保存。在 `\documentclass` 和 `\begin{document}` 之间的位置称为导言区。在导言区中一般会使用 `\usepackage` 调用宏包, 以及会进行对文档的全局设置。本模板的导言区除调用所需的宏包外, 还进行了页眉页脚的设置。有的模板会把所有调用宏包的指令放到一个 `.sty` 宏包文件中, 页面的设置放在文档类文件 `.cls` 文件中。因本人时间有限, 就不做整理, 欢迎有志之士加入完善。使用本模板并不需要了解导言区的指令, 在需要时额外添加即可(要注意宏包冲突)。特别地, `\includeonly{xxx}` 指令用于使文档仅编译 `xxx.tex` 文件的内容, 这就是分章节包含 (`include`) 的好处, 可大大减少编译时间。

将封面打印保存为 `thesis_cover.pdf` 文件, 硕士使用 `master_cover.docx`, 博士使用 `doctor_cover.doc`。如果有更新版本的封面, 可自行替换。文档类默认是博士论文, 下面指令将控制添加封面与否:

```

\documentclass[unicode, master, pdfcover]{scutthesis} % 使用pdf文件封面的 硕士模板
\documentclass[unicode, master]{scutthesis} % 不使用pdf文件封面的 硕士模板
\documentclass[unicode, pdfcover]{scutthesis} % 使用pdf文件封面的博士模板
\documentclass[unicode]{scutthesis} % 不使用pdf文件封面的博士模板

```

不使用 `thesis_cover.pdf` 文件指定的封面时, 将使用草稿封面。草稿封面也可以减少编译时间, 因此可以在最终提交论文时再使用论文封面。草稿封面用以下指令设置:

```

%%%%%%%%%%%%草稿封面设置%%%%%%%%%%%%
\title{LaTeX模板}
\author{作者姓名}
\supervisor{指导教师: xxx\ 教授}
\institute{华南理工大学}
\date{2020年5月20日}
%%%%%%%%%%%%

```


第三章 常用环境及参考文献设置

强烈建议在使用公式、表格、定理环境时进行百度，没必要研究各种用法，只需要知道自己需要什么。因本人的论文所用表格较少，因而对表格不是很熟悉，本章对表格的介绍相应的较少。本章仅介绍本人在论文撰写过程中常用的环境以及参考文献设置。

3.1 图

图的导入需要提前准备好图片文件，最好是.png、.eps、.pdf或.jpg文件。另外，如果是从matlab导出图片文件，可使用print函数或手动导出，print函数的使用可参考ICGNC2020plot.m以及PlotToFileColorPDF.m文件等。手动导出（matlab的figure界面的“文件”->“导出设置”设置好大小、分辨率和线宽等然后点击“应用于图窗”）主要用于观察效果，可设置某种样式名称后保存该样式，下次使用时加载，具体可百度“matlab导出高清图片”。需要特别注意的是一定要1:1导入matlab生成的图片，并且图中文字设置好字体字号。否则缩放之后，图片的字号就变了，盲审老师一眼就能看出来字号不对，就很麻烦。这就是为什么要在matlab点击“应用于图窗”进行预览，观测效果后再1:1使用图片。

使用如下代码放置独立成行的图片，效果如图3-1所示

```
\begin{figure}[htbp]
% 图片居中（列居中对齐）
\centering
% 包含当前路径下的Fig文件夹的图片文件DFUAV_f31.png
\includegraphics[width=0.8\textwidth]{Fig/DFUAV_f31.png}
% 添加标签one_DFUAV以及图标题“涵道风扇式无人机”，引用某图时使用\ref{xxx}，其中xxx就是
% 标签，图编号是自动生成的。
\caption{\label{one_DFUAV}涵道风扇式无人机}
\end{figure}
```

其中figure为环境名，[htbp]表示将图片设置为浮动体，实际上这在.cls文件已经设置过，因而可以省略。[scale=1]表示安装1:1的比例导入图片，还可以按其他方式导入，需要时可自行百度。

下一章图是这样的

下面插入一下我自己的图下一章图是这样的如图3-4所示，CVAE是非常好看的

下面看一下图片的字体

¹⁹⁸⁵通常一个figure内含有其他小的figure，可以使用一些宏包，但最初本着简单的原则，本模板并没有使用这些子图包。后来应同学们要求在，把子图的功能加上，主要



图 3-1 涵道风扇式无人机

是修改了模板文件（scutthesis.cls 文件）的功能包参数。注意，很多网上拿到的代码不一定可以精确的调子图标题字体字号，因为此模板的子图标题字体字号是利用 subfig 宏包的选项进行设置的（在 scutthesis.cls 文件的“图表环境”中），而有些教程使用 subcaption 进行同样的设置，还需进一步验证可行性。另外图的排版方法很多，有些宏包已经被弃用，所以尽量使用本文给出的案例的格式进行排版图片。

常见的子图包有 subfigure 和 subfig。subfigure 是比较老的了，这里使用 subfig 包。两个包在使用的时候用法不同，千万不要混淆了，不然可能会报错。subfig 包的命令是\subfloat。这里给出一种使用 subfig 包的常用排版，如图3-9的子图3-9 b)，其中a)的试验并不好（这里测试了交叉引用\subref{xxx} 和\subref*{xxx}）。必要时也可以排版多行多列的图、调整图之间的间距，具体可百度。

```
\begin{figure}[!h]
  \centering
  \subfloat[不合理的轨迹]{\includegraphics[width=6cm,height=6cm]{Fig/Figure_1.png}%
    \label{Fig:1:a}}
```



图 3-2

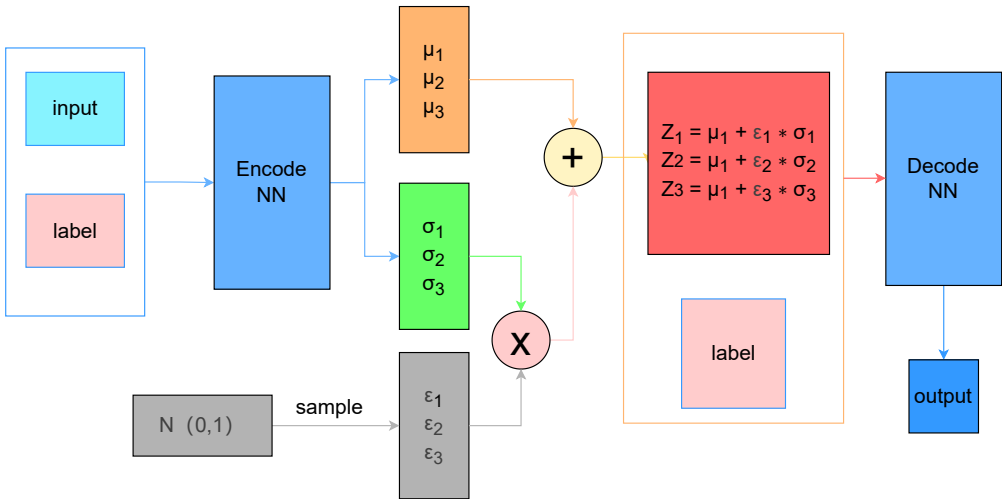


图 3-3 (a) CVAE 示意图；(b) VAE 示意图

Figure 3-3 (a) CVAE option

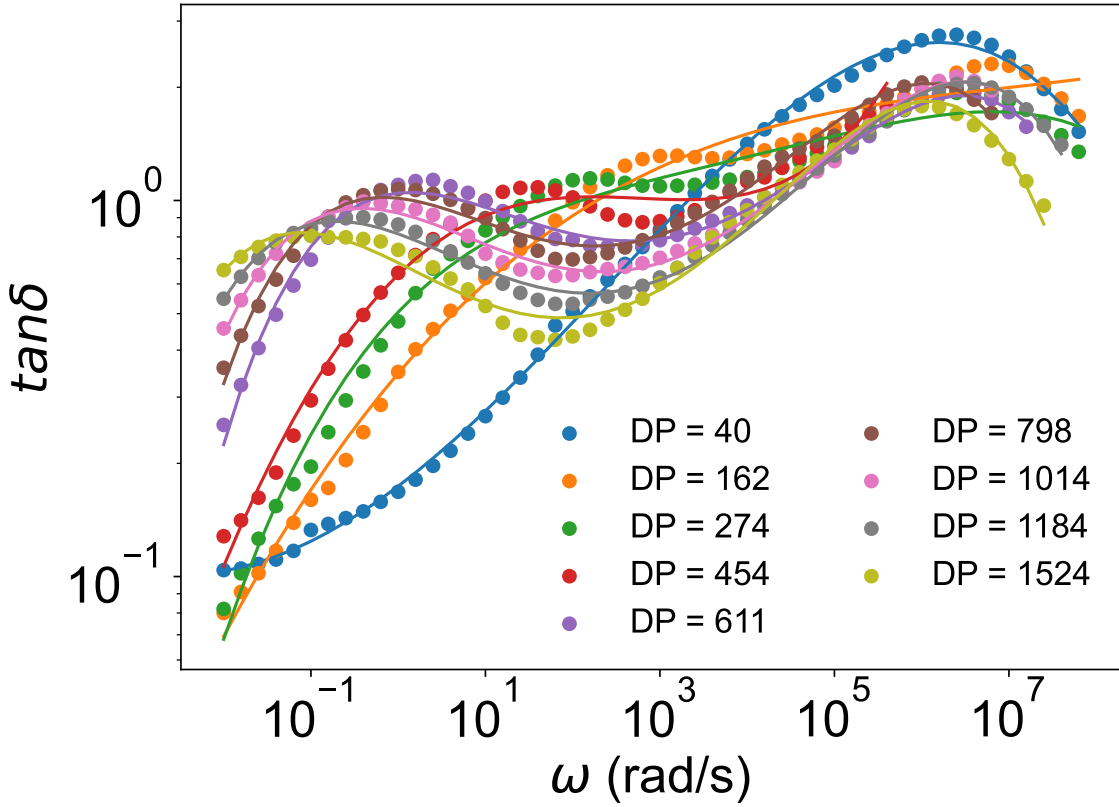


图 3-4 (a) CVAE 示意图; (b) VAE 示意图

Figure 3-4 (a) CVAE option

```

\subfloat[优化的轨迹]{\includegraphics[width=6cm,height=6cm]{Fig/Figure_2.png}
\label{Fig:1:b}}
\\ % 用 \\ 换行, 也可以此处空一行进行换行, 只有两个图的话下面就不需要了。
\subfloat[不合理的轨迹]{\includegraphics[width=6cm,height=6cm]{Fig/Figure_1.png}%
\label{Fig:1:c}}
\subfloat[优化的轨迹]{\includegraphics[width=6cm,height=6cm]{Fig/Figure_2.png}%
\label{Fig:1:d}}
\caption{子图包使用测试}\label{Fig:1}
\end{figure}
-----
% 引用某子图时使用\subref{xxx}, 其中xxx就是标签Fig:1:a
子图的引用比较特殊, 命令有: \subref{xxx}和\subref*{xxx}
注: 在subfig包使用说明中, \subref{xxx}和\subref*{xxx}分别由参数listofformat和
subrefformat控制,
并由如下定义, 根据撰写规范需要定义为:
\DeclareSubrefFormat{empty}{#1}
\DeclareSubrefFormat{simple}{#1#2}
\DeclareSubrefFormat{parens}{#1 #2}
\DeclareSubrefFormat{subsimple}{#2}
\DeclareSubrefFormat{subparens}{#2}
和

```

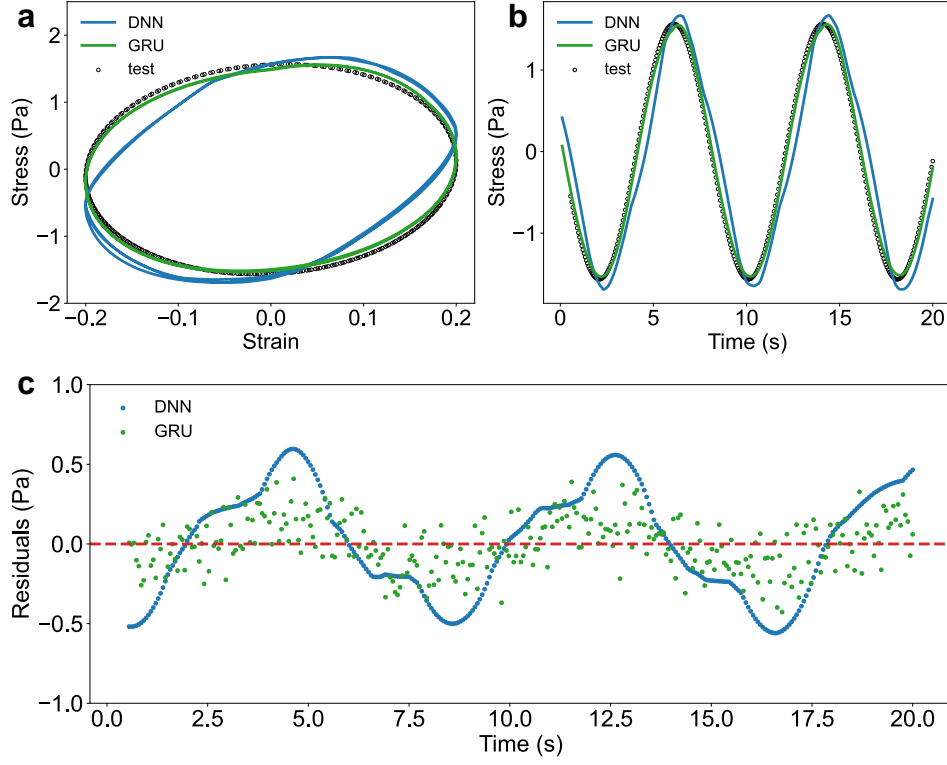


图 3-5 (a) CVAE 示意图; (b) VAE 示意图

Figure 3-5 (a) CVAE option

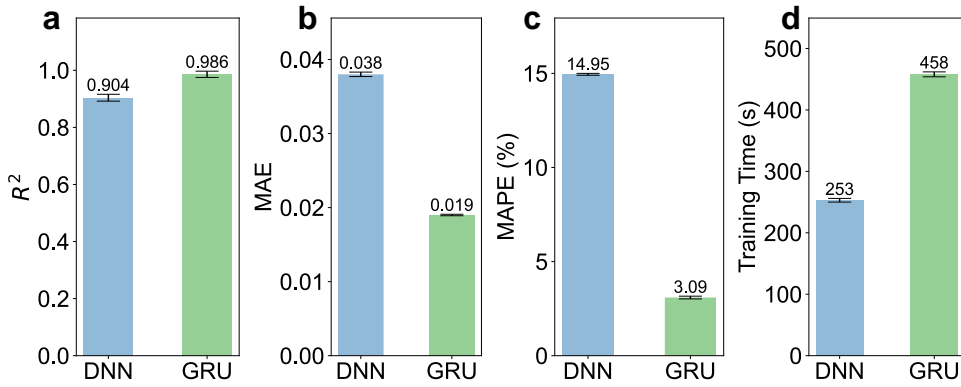


图 3-6 (a) CVAE 示意图; (b) VAE 示意图

Figure 3-6 (a) CVAE option

```
\DeclareCaptionListFormat{empty}{}
\DeclareCaptionListFormat{simple}{#1#2}
\DeclareCaptionListFormat{parens}{#1 #2}
\DeclareCaptionListFormat{subsimple}{#2}
\DeclareCaptionListFormat{subparens}{ #2}
```

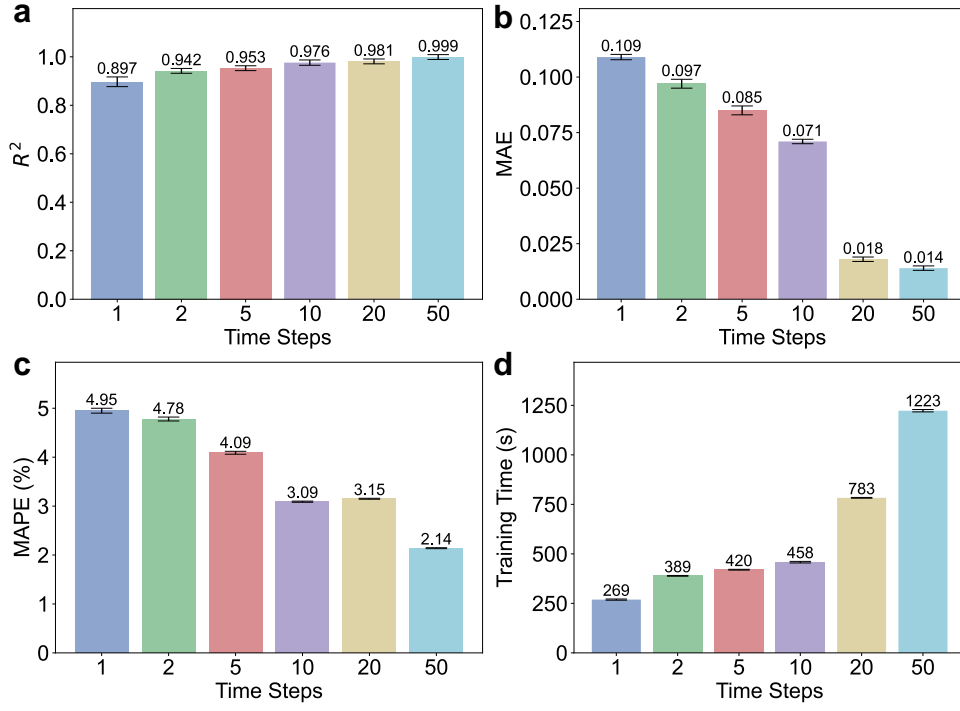


图 3-7 (a) CVAE 示意图; (b) VAE 示意图

Figure 3-7 (a) CVAE option

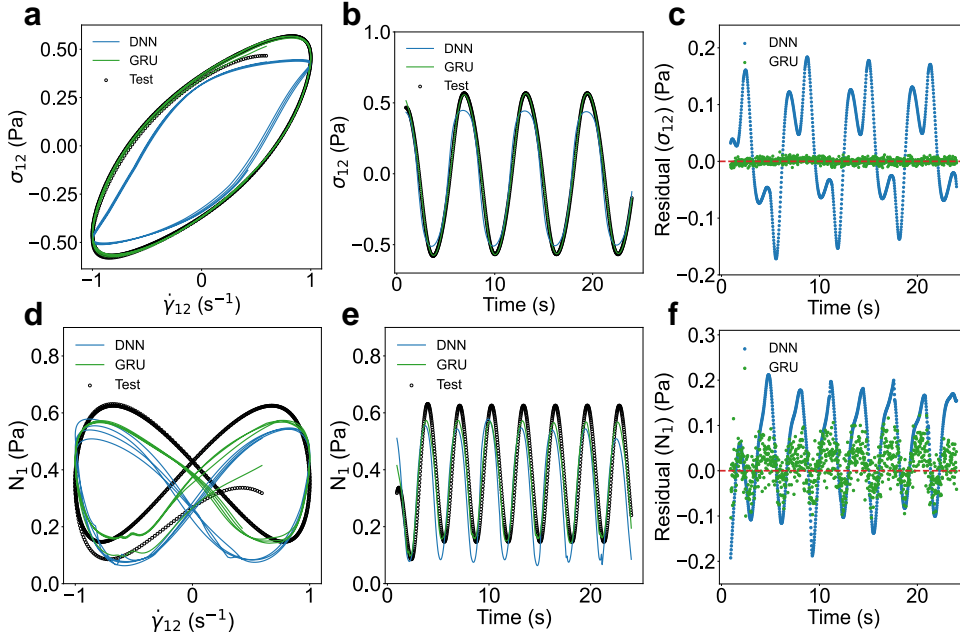


图 3-8 (a) CVAE 示意图; (b) VAE 示意图

Figure 3-8 (a) CVAE option

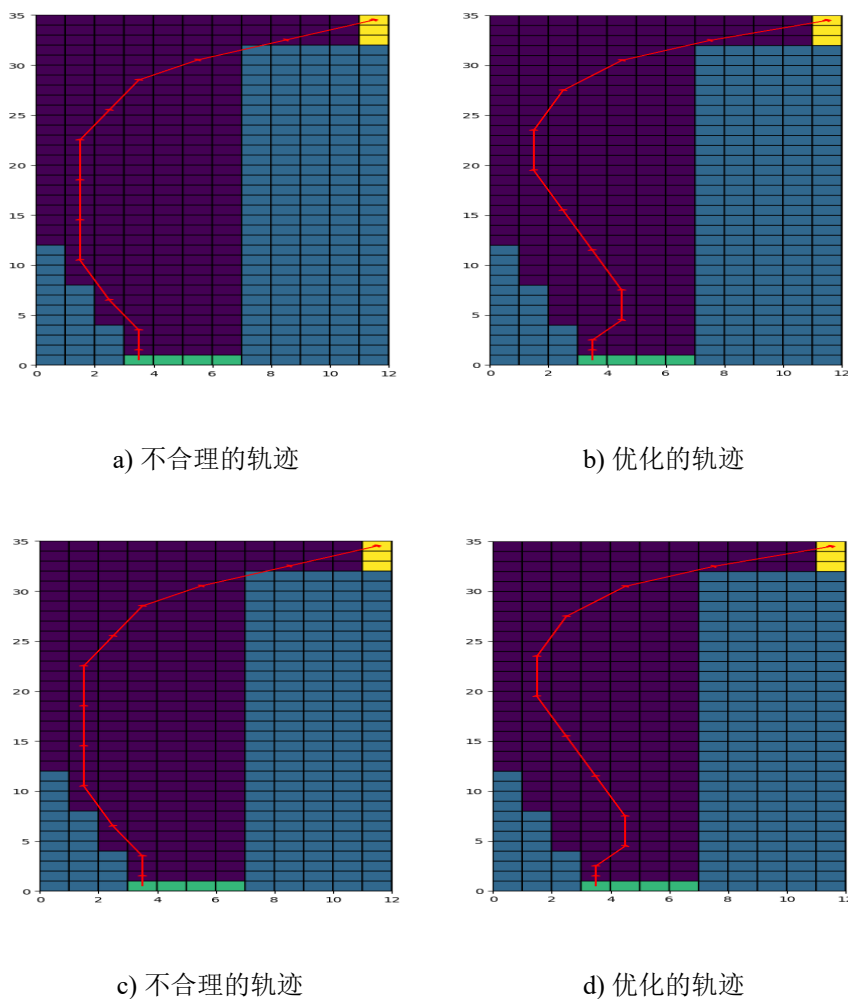


图 3-9 子图包使用测试

3.2 表

本节仅展示使用常见的三线表

```
\begin{table}
\caption{\label{TDF_para}涵道模型参数} %表题在上
\centering % 表居中
\small % 表内字体小一号（即设置成和表题字号一致）
\begin{tabular}{cccc} % cccc表示4列并居中，若列之间需要分隔符则设置为|c|c|c|c|
\hline % \hline表示横线。列之间的元素用&分隔，\tabularnewline表示换行
参数符号 & 数值 & 参数符号 & 数值 \tabularnewline
\hline
 $I_x$  & 0.054593 &  $I_y$  & 0.017045 $ \tabularnewline
 $l_1$  & 0.0808\,\text{m} &  $l_2$  & 0.175\,\text{m} $ \tabularnewline
 $l_4$  & 0.2415\,\text{m} &  $l_5$  & 0.1085\,\text{m} $ \tabularnewline
\hline
\end{tabular}
\end{table}
```


表 3-1 涵道模型参数

Table 3-1 Parameters of Ducted Fan Model			
参数符号	数值	参数符号	数值
I_x	054593	I_y	0.017045
l_1	0.0808 m	l_2	0.175 m
l_4	0.2415 m	l_5	0.1085 m
l_σ	xdf	df	扫描电镜

表 3-2 涵道模型参数

Table 3-2 Parameters of Ducted Fan Model			
参数符号	数值	参数符号	数值
I_x	054593	I_y	0.017045
l_1	0.0808 m	l_2	0.175 m
l_4	0.2415 m	l_5	0.1085 m
l_σ	xdf	df	扫描电镜

3.3 公式

除了前面讲行内公式，常用的还有行间公式。公式中的数学符号可自行百度，本章仅介绍常用的几种公式环境。

单独成行的行间公式在 \LaTeX 里由 `equation` 环境包裹。`equation` 环境为公式自动生成一个编号，这个编号可以用`\label`和`\ref`生成交叉引用，`amsmath`宏包的`\eqref`可为引用自动加上圆括号；如式(3-1)所示。

```
\begin{equation}
  a+b=c \quad \label{eq_1}
\end{equation}
```

$$a + b = c \tag{3-1}$$

若不需要编号则加星号，改为

```
\begin{equation*}
  a+b=c
\end{equation*}
```

其他环境类似。当使用 `$` 开启行内公式输入，或是使用 `equation` 环境时， \LaTeX 就进入了数学模式。数学模式相比于文本模式有以下特点：

1. 数学模式中输入的空格被忽略。数学符号的间距默认由符号的性质（关系符号、运算符等）决定。需要人为引入间距时，使用 `\quad` 和 `\qquad` 等命令。
2. 不允许有空行（分段）。行间公式中也无法用 `\\` 命令手动换行。排版多行公式需要用到其他各种环境。
3. 所有的字母被当作数学公式中的变量处理，字母间距与文本模式不一致，也无法生成单词之间的空格。如果想在数学公式中输入正体的文本，简单情况下可用 `\mathrm` 命令。或者用 `amsmath` 提供的 `\text` 命令（仅适合在公式中穿插少量文字。如果你的情况正好相反，需要在许多文字中穿插使用公式，则应该像正常的行内公式那样用，而不是滥用 `\text` 命令）。

实际上更常用的的是多行公式，不需要对齐的公式组可以使用 `gather` 环境，需要对齐的公式组用 `align` 环境。长公式内可用 `\\` 换行。

这是一个正文公式： Mn^{12}

如果需要罗列一系列公式，并令其按照等号对齐，可用 `align` 环境，它将公式用 `&` 隔为两部分并对齐。分隔符通常放在等号左边：

```
\begin{align}
  a &= b + c \\
  &= d + e
\end{align}
```

$$a = b + c \tag{3-2}$$

$$= d + e \tag{3-3}$$

`align` 环境会给每行公式都编号。

如果不需要按等号对齐，只需罗列数个公式，可用 `gather` 环境：

```
\begin{gather}
  a = b + c \notag \\
  f = d + e
\end{gather}
```

$$a = b + c$$

$$f = d + e \tag{3-4}$$

`gather` 环境同样会给每行公式都编号，如果某行不需要编号可在行末用 `\notag` 仅去掉某

行的编号。

`align` 和 `gather` 有对应的不带编号的版本 `align*` 和 `gather*`。

另一个常见的需求是将多个公式组在一起公用一个编号，编号位于公式的居中位置。为此，`amsmath` 宏包提供了诸如 `aligned`、`gathered` 等环境，与 `equation` 环境套用。以 `-ed` 结尾的环境用法与前一节不以 `-ed` 结尾的环境用法一一对应。我们仅以 `aligned` 举例：

```
\begin{equation}
  \begin{aligned}
    a &= b + c \\
    d &= e + f + g \\
    h + i &= j + k \\
    l + m &= n
  \end{aligned}
\end{equation}
```

$$a = b + c + \sigma_{121234}$$

$$d = e + f + g$$

$$h + i = j + k$$

$$l + m = n$$

(3-5)

`split` 环境和 `aligned` 环境用法类似，也用于和 `equation` 环境套用，区别是 `split` 只能将每行的一个公式分两栏，`aligned` 允许每行多个公式多栏。

分段函数通常用 `amsmath` 宏包提供的 `cases` 环境，可参考文献[6]

`amsmath` 宏包还直接提供了多种排版矩阵的环境，包括不带定界符的 `matrix`，以及带各种定界符的矩阵 `pmatrix`、`bmatrix`、`Bmatrix`、`vmatrix`、`Vmatrix`。其中中括号版的 `bmatrix` 最常用。这些矩阵环境需要在公式中使用，比如 `gather` 环境。

```
\begin{gather}
  \boldsymbol{A} = \begin{bmatrix}
    x_{11} & x_{12} & \ldots & x_{1n} \\
    x_{21} & x_{22} & \ldots & x_{2n} \\
    \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
    x_{n1} & x_{n2} & \ldots & x_{nn}
  \end{bmatrix}
\end{gather}
```

这是一个正文公式

$$f(x) = x^2 + 1, \quad \text{如果 } x \geq 0$$

$$= -x^2, \quad \text{如果 } x < 0$$

(3-6)

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nn} \end{bmatrix} \quad (3-7)$$

其中矩阵/向量加粗使用`\boldsymbol{}`命令, `\bm{}`命令和 `unicode-math` 包有兼容性问题。另外还可以使用 `array` 环境排版矩阵, 类似 `tabular` 环境, 用 `\\` 和 `&` 用来分隔行和列, 这里不再赘述。

```
\begin{array }[外部对齐tcb]{列对齐lcr}
  行列内容
\end{array}
```

另外注意排版分式时, 有两种方法: `\frac` 或者 `\dfrac`, 效果分别为 $\frac{1}{2}$ 和 $\frac{1}{2}$ 。以上介绍的数学环境中, 空格可参考文献[6], 例如常用`\quad`。

需要局部更改字号时, 可以使用 `tutorial` 文件夹 `lshort-zh-cn.pdf` 的 5.1 节进行更改, 如加`\small`使得字号小一号。

3.4 定理

在 `scutthesis.cls` 文件的最后, 已经用`\newtheorem`命令定义了几种定理环境, 包括: 定义、假设、定理、结论、引理、公理、推论、性质等等, 统称定理环境, 关于`\newtheorem`的用法, 可参考[6,8]或自行百度。要下面提供几个例子, 在横线之间的深色区域是代码, 效果在相应下方表示:

```
\begin{assumption}
  加权矩阵 $\{\{\boldsymbol{W}\}_{1}\}$ 和  $\{\{\boldsymbol{W}\}_{2}\}$  是对称矩阵, 且 $\{\{\boldsymbol{W}\}_{2}\}$ 非奇异。 \label{assum_dca1}
\end{assumption}
```

假设 3.1: 加权矩阵 \mathbf{W}_1 和 \mathbf{W}_2 是对称矩阵, 且 \mathbf{W}_2 非奇异。

定理用法和假设类似:

```
\begin{theorem}
  如果假设\ref{assum_dca1}成立,  $\boldsymbol{F}$ 满足式\eqref{eq_F}的定义, 且 $\{\{\boldsymbol{W}\}_{1}\}$ 非奇异, 则有 $0 \leq e(\boldsymbol{F}) < 1$ , 其中 $e(\boldsymbol{F})$ 是  $\boldsymbol{F}$ 的特征值。 \label{the_dca2}
\end{theorem}
```

定理 3.1: 如果假设3.1成立, \mathbf{F} 满足上式的定义, 且 \mathbf{W}_1 非奇异, 则有 $0 \leq e(\mathbf{F}) < 1$, 其中 $e(\mathbf{F})$ 是 \mathbf{F} 的特征值。

注 3.1: 定理环境的编号可自定义，但通常不需要再进行设置，因为模板文件 `scutthesis.cls` 文件已经定义好。

2022 年 5 月更新：

根据最新的博士论文送审结果，定理等环境统一把原来的斜体改成正体。在此引用一下参考文献^[8]的内容：

`amsthm` 提供了 `\theoremstyle` 命令支持定理格式的切换，在用 `\newtheorem` 命令定义定理环境之前使用。`amsthm` 预定义了三种格式用于 `\theoremstyle:plain` 和 LATEX 原始的格式一致；`definition` 使用粗体标签、正体内容；`remark` 使用斜体标签、正体内容。

以上部分在 `scutthesis.cls` 文件最后一部分设置。

`amsthm` 还提供了一个 `proof` 环境用于排版定理的证明过程。`proof` 环境末尾自动加上一个证毕符号：

证明：显然有

$$E = mc^2$$

证毕

□

`proof` 的大更多用法见参考文献^[8]。`scutthesis.cls` 文件的最后，跟所有定理环境一样，只是把英文” `Proof` “改成中文” `证明` “。

3.5 参考文献

再次强调，使用其他参考文献管理软件的用户以及不使用任何软件的“裸奔”的用户不需要关注任何关于 `zetero` 的东西。

关于参考文献这块，很多同学有疑问。只有记住一点：不管用什么参考文献管理工具，最终目的是生成一个 `bib` 文件，`bib` 文件里是特定格式的文献信息。`bib` 文件当作文本打开，里面就是文献的元数据。

通常学位论文参考文献是基于 `BibTeX` 进行的，本模板使用的是 `BibLaTeX`，或者叫 `Biber`。关于这部分知识可参考文献^[6, 8] 的第六章，6.1 节参考文献和 `BIBTEX` 工具。所以使用 `TeXstudio` 或者 `vscode` 的时候需要注意调整正确的参数进行编译。

引用前手动加空格，如：

引用前没有加空格^[6, 8] 的第六章，引用后面有空格。

引用前手动加空格 [6, 8] 的第六章，引用后面有空格。

手写方括号 [6]。引用后面没空格。

生成方括号 [2]。引用后面没空格。

参考文献引用和著录是基于 ZOTERO 这个软件进行的。视频教程见[2]。此外，为了符合毕业论文撰写规范，需设置参数。按照视频教程安装完必要的插件（如 Better BibTeX）后，在编辑->首选项进行设置。图3-10到图??所示的是我的 zotero 软件设置。其中最重要的是??的设置要排除的选项，多余的显示会让审稿人反感，按照论文撰写规范进行即可。在毕业论文撰写时，在编辑->首选项->Better BibLaTeX->Fields 中，Fields to omit from export 填 month,abstract,note,extra,file,keywords,type,url,doi，就是在参考文献著录中排除这些多余的项，避免过于复杂。而在写本模板使用说明时，没有排除 url，因为很多参考资料是网页。

在 zotero 软件点击文件->导出文献库，如图??所示，再在导出对话框图??选择导出格式为 Better BibLaTeX，同时勾选 Keep updated 选项保持自动更新，再点击 ok，在弹出的对话框图??确定保存路径和文件名，例如我的是 MyLibrary.bib，这也是我整个读书生涯的文献库 bib 文件。如果写小论文的话通常导出格式是 BibTeX 或者 Better BibTeX（这里按照期刊的要求来即可，文献管理软件的好处就是快速自动生成一个文件库）。关于 BibTeX 和 BibLaTeX 的区别这里不做展开。

得到文献库后，在 scutthesis.tex 文件第九行使用\addbibresource 命令，添加文献库。引用某文献时秩序在 zotero 选中某文献条目，然后按 Ctrl+Shift+C，复制引用关键字（Citation Key）到剪切板（快捷键可自定义）。然后在 tex 文件编辑界面直接粘贴，默认的时上标形式，若需要非上标形式，可以改为\parencite{xxx}，其中 xxx 是 Citation Key。这里的操作和认为设置的首选项参数有关，需要在编辑->首选项->导出界面的默认格式一栏选中相应的项，同时在编辑->首选项->高级->快捷键设置为默认值。

2020 年 12 月 2 日测试：下载最新 zotero，从知网和谷歌捕获文献（刚打开网页最好稍等一会再点击插件，谷歌可能需要现人机验证），对文献^[9]、[10] 进行引用。

2021 年 9 月 14 日测试：使用 endnote 的用户也可以利用导出的 bib 文件生成参考文献著录信息，导出选项是 bibTeX，貌似没有更多导出设置选项。导出设置没有 zotero 那

么灵活丰富，得到 bib 文件后要引用某论文需要自行查找标签（label，也有软件叫引用关键字 Citation Key）{xxx} 然后手打\cite{xxx}。欢迎熟悉 endnote 的同学来信告诉我更好的办法。

2023 年 3 月 8 日测试：参考文献管理软件经常更新，但还是那句话，无论什么工具，最终得到 bib 文件即可，在期刊的文章页或者谷歌学术搜索页，只需要复制/下载 bibtex 的内容。得到这些元数据后甚至自己往 bib 文件里加都可以。

2023 年 11 月测试。论文写完记得断掉 bib 文件自动更新，在 zotero 的插件 Better BibTeX 自动导出设置里删除不希望再继续同步到项。否则更改软件中的文献后，论文的 bib 文件也同步更改，但有时候这不是想要的。

另外有同学反映，换了电脑后重新导出的bib文件Citation Key值不同，记得设置好Better BibTeX之后，在著录条目界面全选著录（或仅选想更新的著录）然后右键选Better BibTeX更新refresh一下。然后在Automatic export选项点击Export now立即更新bib文件（按理说勾选了自动更新选项他会自动更新，但为了确保万无一失还是点一下）。

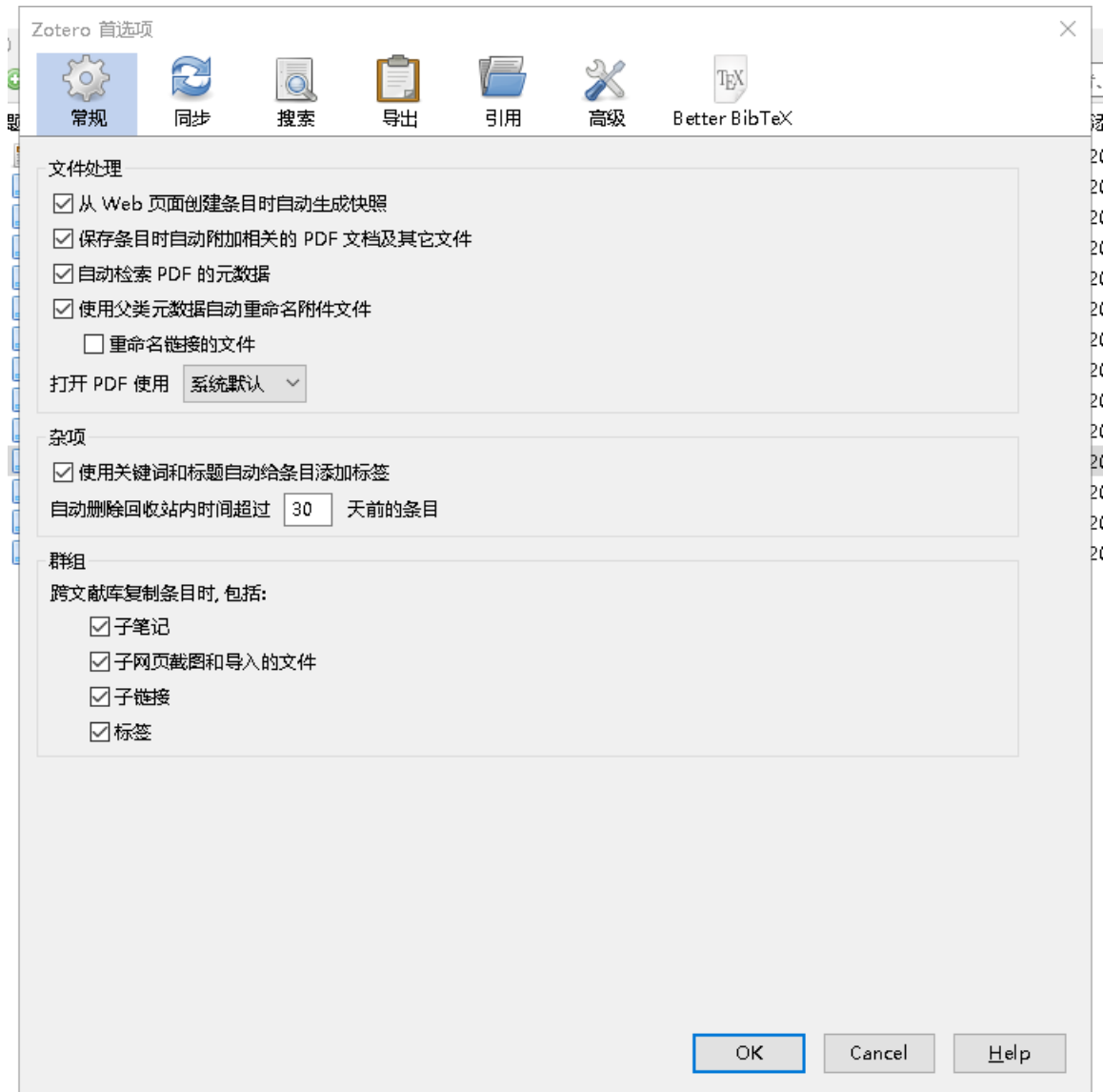


图 3-10 常规

接下来我们引用几篇文献来说明问题，首先是期刊论文 [J], 正如 lennon 所说的那样^[11] 现在引用一篇中文作者的英文期刊试一下^[12], 接下来引用一篇会议论文^[13]

第四章 列举环境

以下资料来自宏包说明和网络，翻译不一定正确：

在 LaTeX 中有三种基本的列举 (列表) 环境，即 `enumerate`(编号)、`itemize`(分条目) 和 `description`(描述) 环境。调整 latex 的列表环境时，使用 `enumitem` 宏包可以方便的调整间距（注意区分包名和环境名）和自定义编号样式。

4.1 调整间距

三种基本环境无论哪一种，间距的调整都是一样的。调整间距的参数命令包括两类：垂直间距和水平间距。各种距离的定义如图4-1所示。下图的来源一直找不到，可能是旧版本的宏包说明，新版已经删掉了下面的注释了。

现先总结出所推荐的间距设置，无编号的：

```
\begin{itemize}[topsep = 0 pt, itemsep= 0 pt, parsep=0pt, partopsep=0pt, leftmargin=36
pt, itemindent=0pt, labelsep=6pt, listparindent=24pt]
\item 第一项。内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容
内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容

\item 第二项。内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容
内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容

\end{itemize}
```

效果：

- 第一项。内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容
内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容
- 第二项。内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容
内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容

有编号的：

```
\begin{enumerate}[topsep = 0 pt, itemsep= 0 pt, parsep=0pt, partopsep=0pt, leftmargin
=44pt, itemindent=0pt, labelsep=6pt, label=(\arabic*)]
\item 第一项。内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容
内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容

\item 第二项。内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容
内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容

\end{enumerate}
```

效果：

- (1) 第一项。内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容

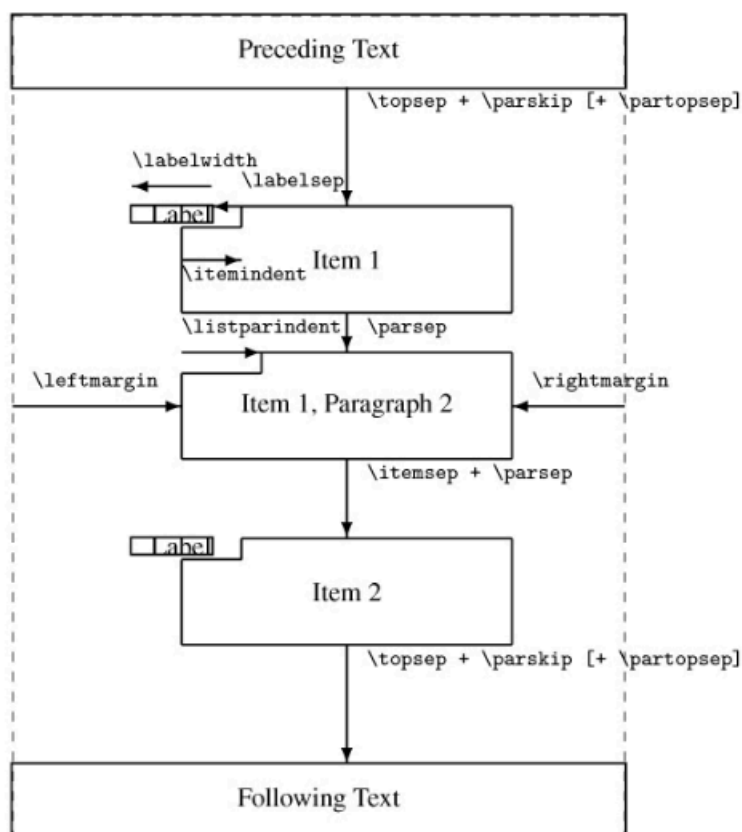


图 4-1 enumitem 包对各种间距的定义

内容

(2) 第二项。内容

内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容

下面两节分别讨论参数设置规则。

4.1.1 垂直间距

摘抄宏包说明：

- `topsep` 控制列表环境与上文之间的距离。第一项和前一段之间的空间。
- `itemsep` 条目之间的距离
- `parsep` 条目里面段落之间的距离
- `partopsep` 条目与下面段落的距离。当环境开始一个新段落时，额外的空间被添加到 `\topsep`。

论文中希望上述距离都为 `0pt`，如：

```
\begin{itemize}[topsep = 0 pt, itemsep= 0 pt, parsep=0pt, partopsep=0pt]
  \item 第一项。
  \item 第二项
  \item 第三项。
\end{itemize}
```

效果为：

- 第一项。
- 第二项
- 第三项。

4.1.2 水平间距

水平间距调整比较复杂，对照宏包说明给出的图，下面内容参考了宏包原文和网络资料：

- 为页面的左边距）和该列表的左边距之间的空间。必须是非负数。它的值取决于表，则为页面的左边距）和该列表的左边距之间的空间。必须是非负数。它的值取决于列表级别。
- `rightmargin` 列表环境右边的空白长度。类似于 `\leftmargin` 但用于右边距。它的值通常是 `0pt`。
- `labelsep` 标号与列表第一项文本左侧的距离。标签框的末尾和第一项的文本之间的空间。它的默认值为 `0.5 em`。
- `itemindent` 条目的缩进距离。添加到项目第一行文本部分的水平缩进的额外缩进。通过减去 `labelsep` 和 `labelwidth` 的值，相对于该参考点计算标签的起始位置。它的值通常是 `0pt`。注：理解这个变量时，查看图4-1的顺序应该按照箭头从左到右，先 `leftmargin` 再 `itemindent`，然后再 `labelsep`，最后 `labelwidth`。即箭头的起始点是

(1) 第一项。内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容
内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容

(2) 第二项。内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容
内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容

第三种方案是整体右移两格，文字距离编号一个空格，第二行文字不再右移：

(1) 第一项。内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容
内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容内容

(2) 第二项。内容
内容

推荐第一种。

除上述小括号数字的编号方法外，还有斜体字母等。在使用 `enumerate` 的时候，`label` 的问题就是使用计数的字符，是阿拉伯数字、罗马、中文、还是希腊字符的问题。

1) 第一项。

2) 第二项

3) 第三项。

a. 第一项。

b. 第二项

c. 第三项。

(I) 第一项。

(II) 第二项

(III) 第三项。

结 论

本文主要是展示如何使用修改“祖传模板”得到的新模板，在使用时直接替换成自己的论文内容即可。

本模板难免有不足之处，主要是我本人的论文涉及的格式有限，有些地方没探索到自然就没去设置。比如附录，附录的图文并茂等等，我本人是没有研究的，这里仅仅做了一些初步的工作，不过对很多同学来说本模板是够用的。希望有能帮助到华工的小伙伴们，有不足之处请多多理解，可以通过邮件联系我，我会尽量回复。

参考文献

- [1] Zotero | Downloads.
- [2] Struggle_with_me 的个人空间 - 哔哩哔哩 (゜-゜) つロ 乾杯 ~ Bilibili.
- [3] Mathpix Snip.
- [4] Alwintsui - Overview. GitHub.
- [5] Yecfly - Overview. GitHub.
- [6] 一份其实很短的 LaTeX 入门文档. 始终.
- [7] 莲枝专栏-关于 Hyperref 的二三事 - LaTeX 科技排版工作室.
- [8] CTAN: Package Lshort-Zh-Cn.
- [9] Renduchintala A, Jahan F, Khanna R, et al. A Comprehensive Micro Unmanned Aerial Vehicle (UAV/Drone) Forensic Framework. *Digital Investigation*, 30: 52~72.
- [10] Milz D. Design and Evaluation of a Unified Control Framework for Electric Vertical Take-off and Landing Vehicles. Technical University of Munich, 2020.
- [11] Lennon K R, McKinley G H, Swan J W, et al. Scientific Machine Learning for Modeling and Simulating Complex Fluids. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2023, 120(27): e2304669120.
- [12] Zhao P, Zhang Y, Chen X, et al. Versatile Hydrogel Dressing with Skin Adaptiveness and Mild Photothermal Antibacterial Activity for Methicillin-Resistant *Staphylococcus Aureus*-Infected Dynamic Wound Healing. *Advanced Science*, 2023, 10(11): 2206585.
- [13] Cho K, Van Merriënboer B, Gulcehre C, et al. Learning Phrase Representations Using RNN Encoder-Decoder for Statistical Machine Translation. In: *Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*. Doha, Qatar: Association for Computational Linguistics, 2014: 1724~1734.

附录 1

在论文撰写规范中，下面两段话让人费解：

1. 对需要收录于学位论文中但又不适合书写于正文中的附加数据、方案、资料、详细公式推导、计算机程序、统计表、注释等有特色的内容，可做为附录排写，序号采用“附录 1”、“附录 2”等。
2. 公式序号按章编排，如第一章第一个公式序号为“(1-1)”，附录 2 中的第一个公式为“(2-1)”等。

论文撰写规范要求的附录和通常书籍上使用附录 A、附录 B 等编号的不一样，容易和正文混淆。特殊的要求和代码的耦合，使我不得不使用比较笨的方法来设计附录部分的模板。这部分还需要有附录需求的同学来完善，为了目录中美观且不命名冲突，还是不在附录使用图表。

1.1 测试一级标题 section

1.1.1 测试二级标题 subsection

1.1.1.1 测试三级标题 subsection

[illegible]

$$\begin{cases} \dot{v}_1(t) = v_2(t) \\ \dot{v}_2(t) = R^2 \left(-\zeta_1 [v_1(t) - v_c(t)]^\alpha - \zeta_2 \left[\frac{v_2(t)}{R} \right]^\beta \right) \end{cases} \quad (1-1)$$

$$\begin{cases} \dot{v}_1(t) = v_2(t) \\ \dot{v}_2(t) = R^2 \left(-\zeta_1 [v_1(t) - v_c(t)]^\alpha - \zeta_2 \left[\frac{v_2(t)}{R} \right]^\beta \right) \end{cases} \quad (1-2)$$

1.2 测试测试测试

1.2.1 测试测试测试

测试
测试
测试
测试
测试
测试

测试

附录 2

在论文撰写规范中，下面两段话让人费解：

1. 对需要收录于学位论文中但又不适合书写于正文中的附加数据、方案、资料、详细公式推导、计算机程序、统计表、注释等有特色的内容，可做为附录排写，序号采用“附录 1”、“附录 2”等。
2. 公式序号按章编排，如第一章第一个公式序号为“(1-1)”，附录 2 中的第一个公式为“(2-1)”等。

论文撰写规范要求的附录和通常书籍上使用附录 A、附录 B 等编号的不一样，上述要求最终的效果是这些编号容易和正文的混淆。特殊的要求和代码的耦合，使我不得不使用比较笨的方法来设计附录部分的模板。这部分还需要有附录需求的同学来完善，为了目录中美观且不命名冲突，还是不在附录使用图表。

2.1 测试测试测试

2.1.1 测试测试测试

测试测试测试测试测试测试测试测试测试测试测试测试测试测试测试测试

$$\begin{cases} \dot{v}_1(t) = v_2(t) \\ \dot{v}_2(t) = R^2 \left(-\zeta_1 [v_1(t) - v_c(t)]^\alpha - \zeta_2 \left[\frac{v_2(t)}{R} \right]^\beta \right) \end{cases} \quad (2-1)$$

$$\begin{cases} \dot{v}_1(t) = v_2(t) \\ \dot{v}_2(t) = R^2 \left(-\zeta_1 [v_1(t) - v_c(t)]^\alpha - \zeta_2 \left[\frac{v_2(t)}{R} \right]^\beta \right) \end{cases} \quad (2-2)$$

攻读博士/硕士学位期间取得的研究成果

一、已发表（包括已接受待发表）的论文，以及已投稿、或已成文打算投稿、或拟成文投稿的论文情况(只填写与学位论文内容相关的部分):

序号	作者（全体作者，按顺序排列）	题目	发表或投稿刊物名称、级别	发表的卷期、年月、页码	与学位论文哪一部分（章、节）相关	被索引收录情况
1	redfu	在 LaTeX 中有三种基本的列举	acm	2000.04,100(10)	第三章	已见刊
2						

注：在“发表的卷期、年月、页码”栏：

1. 如果论文已发表，请填写发表的卷期、年月、页码；
2. 如果论文已被接受，填写将要发表的卷期、年月；
3. 以上都不是，请据实填写“已投稿”，“拟投稿”。

不够请另加页。

二、与学位内容相关的其它成果（包括专利、著作、获奖项目等）

致 谢

这次你离开了没有像以前那样说再见, 再见也他妈的只是再见
我们之间从来没有想象的那么接近, 只是两棵树的距离
你是否还记得山阴路我八楼的房间, 房间里唱歌的日日夜夜
那么热的夏天你看着外面, 看着你在消逝的容颜
我多么想念你走在我身边的样子, 想起来我的爱就不能停止
南京的雨不停地下不停地下, 就像你沉默的委屈
一转眼, 我们的城市又到了夏天, 对面走来的人都眯着眼
人们不敢说话不敢停下脚步, 因为心动常常带来危险
我多么想念你走在我身边的样子, 想起来我的爱就不能停止
南京的雨不停地下不停地下, 有些人却注定要相遇
你是一片光荣的叶子, 落在我卑贱的心
像往常一样我为自己生气并且歌唱
那么乏力, 爱也吹不动的叶子

作者姓名

2020 年 7 月 10 日

于华南理工大学