

华南理工大学硕士学位论文

LaTeX 模板使用说明

作者姓名

指导教师：xxx 教授

华南理工大学

2020 年 5 月 20 日

摘 要

本模板由 Shun Xu^[1]以及 yecfly^[2]的模板修改而来，适合于华南理工大学硕/博士毕业论文。既然已经入坑 LaTeX ，就不推荐使用 LYX ，但本模板在修改祖传代码过程中仅对修改部分进行更新，其余部分仍保留源代码。另外参考文献管理软件推荐使用 zotero ，这也是本模板使用的软件。本模板最主要的改动是参考文献使用 biber ，而不是原来的 bibtex ，因此不再需要 .bst 文件。

关键词： LaTeX ；论文

Abstract

Keywords: L^AT_EX; Paper

目 录

摘 要	I
Abstract	II
插图目录	V
表格目录	VI
主要符号对照表	VII
英文缩略词	VIII
第一章 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.1.1 研究背景和意义	1
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	10
3.3 公式	11
3.4 定理	14
3.5 参考文献	15
第四章 列举环境	30
4.1 调整间距	30
4.1.1 垂直间距	32
4.1.2 水平间距	32
4.2 enumerate 标签样式	34
4.2.1 小括号阿拉伯数字	34
4.2.2 斜体字母	34
4.2.3 大写罗马字母	34

第五章 第五章	35
5.1 建模	35
5.1.1 符号约定	35
5.1.2 控制力矩	35
5.1.3 角速度环动力学	36
5.2 控制器设计	37
5.2.1 增量非线性动态逆	37
5.2.2 控制分配	38
5.3 增量非线性动态逆控制理论	39
5.3.1 有扰动情况下的局部坐标变换	39
结 论	42
参考文献	43
附 录 1	44
1.1 测试一级标题 section	44
1.1.1 测试二级标题 subsection	44
1.2 测试测试测试	45
1.2.1 测试测试测试	45
附 录 2	46
2.1 测试测试测试	46
2.1.1 测试测试测试	46
攻读博士/硕士学位期间取得的科研成果	47
致 谢	48

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	T-Hawk	9
图 3-3	GTSpy	9
图 3-4	子图包使用测试	10
图 3-5	常规	17
图 3-6	同步 1	18
图 3-7	同步 2	19
图 3-8	搜索	20
图 3-9	导出	21
图 3-10	引用	22
图 3-11	高级 1	23
图 3-12	高级 2	24
图 3-13	Better BibTeX1	25
图 3-14	Better BibTeX2	26
图 3-15	Better BibTeX3	27
图 3-16	导出文献库	28
图 3-17	导出格式	28
图 3-18	导出文件名	29
图 4-1	enumitem 包对各种间距的定义	31

表格目录

表 3-1 涵道模型参数	11
------------------------	----

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_α} -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

第一章 绪论

1.1 研究背景和意义

1.1.1 研究背景和意义

关于 \LaTeX 以及基于 \LaTeX 写作的好处不再赘述。 \LaTeX 的入门资料推荐文献[3] 以及文献[4]。

这里主要是想推荐一种“学术生态”，即利用各种工具展开科研工作，以达到事半功倍的效果。需要用到以下软件：

- (1) 参考文献管理软件 [zotero](#)^[5]。很多人使用过 [endnote](#)，但其实 [zotero](#) 也非常强大，强烈推荐。可到 [b 站](#) 观看 [Struggle with Me](#) 出品的视频教程^[6]入门（或其他最新教程，刚开始不推荐使用插件，会增加学习难度）。[zotero](#) 自带 pdf 阅读器，也可以设置为使用其他阅读器。在 [zotero](#) 可以打开文件所在位置，故不推荐更改 [zotero](#) 的文件系统（尤其不推荐使用 [zotfile](#) 插件，事实上各种五花八门的插件增加了复杂性，实际上没有带来太多便利性）。理论上只需要包含文献元数据信息的 [bib](#) 文件（可以手动一篇一篇文章地收集）即可使用此模板，因此模板不依赖于任何参考文献管理软件，[endnote](#) 用户或不使用参考文献管理软件的用户可以忽略本文 [zotero](#) 部分的讲解。
- (2) 可截图获取文献中公式的软件 [mathpix](#)^[7]。在阅读别人的论文时，很可能需要把文章中的公式抄下来放到自己的笔记中，方便以后组会报告甚至论文中使用，这时使用 [mathpix](#) 可直接截图获取 \LaTeX 源码，非常方便。该软件普通邮箱注册可每月 50 次免费，学校邮箱可 100 次，若信用卡注册可 1000 次（最新情况是只能 500 次了，还要收费 20 美元，世界变化太快了）。注：随着 [mathpix](#) 的使用成本越来越高，免费次数越来越少，2023 起已经不再推荐。目前开源/免费的替代工具为：[SimpleTex](#)和[Pix2Tex](#)。目前 [SimpleTex](#) 性能比较好，免费但不开源，不排除未来收费的可能
- (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。

本文的章节安排如下：

第一章，绪论。

第二章，模板简介。主要介绍各文件的内容。

第三章，常用环境。介绍论文写作中常用的环境，包括：图、表、公式、定理。基本涵盖了常用的命令。

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 \LaTeX 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 \LaTeX 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[1-2]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 \LaTeX 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 \LaTeX 写作也无需了解模板是如何制作的。

\LaTeX 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。 \LaTeX 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 \LaTeX 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 \LaTeX 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。 \LaTeX 提供的基础文档类见文献[4]。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}
```

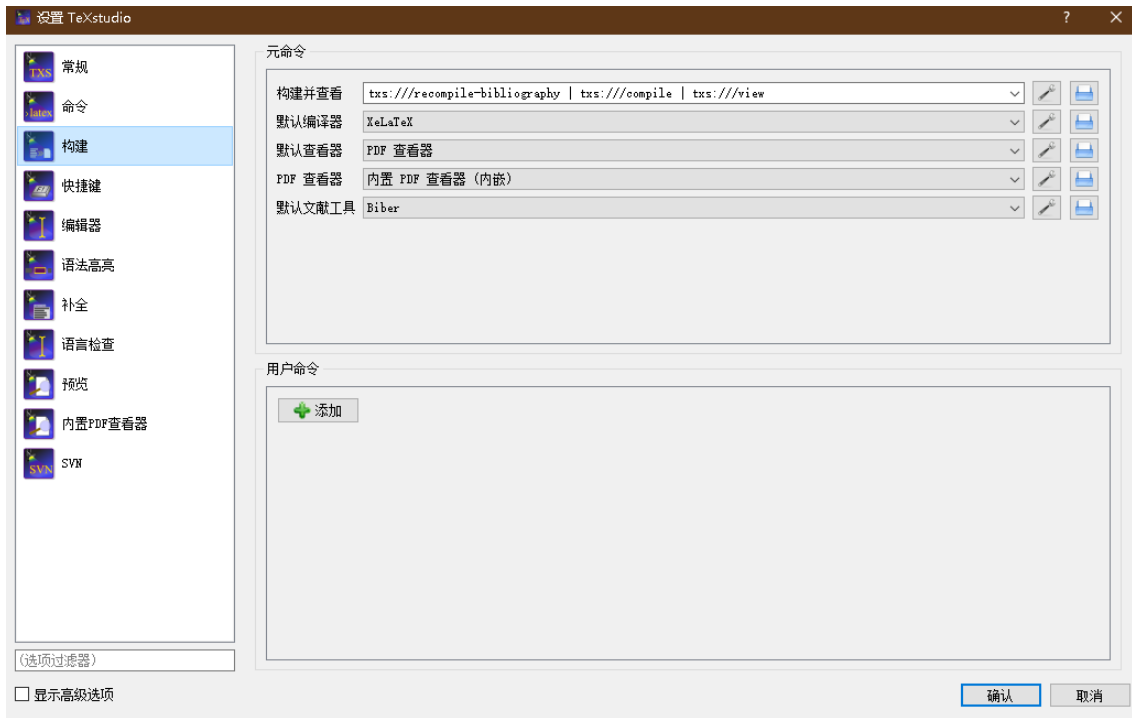


图 2-1 TeXstudio 环境

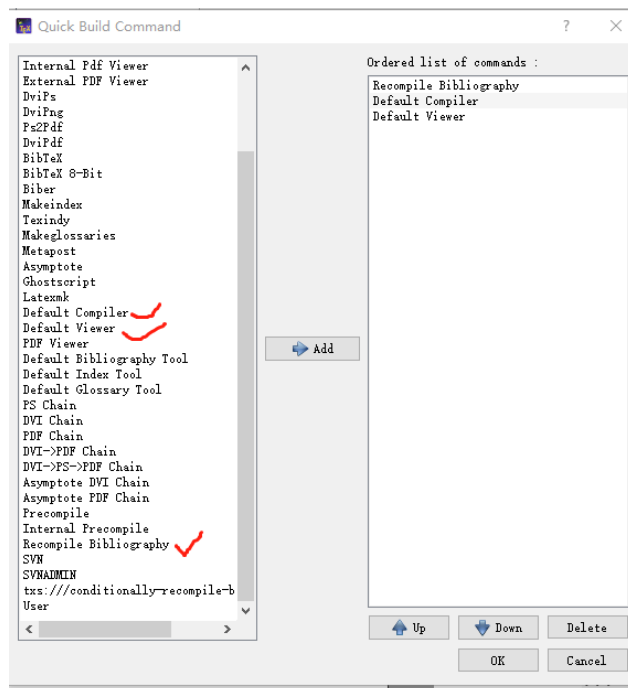


图 2-2 TeXstudio 编译选项

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[scale=1]{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。

使用如下代码划分页面并排放置图3-2、图3-3

```
\begin{figure}[htbp]
\centering
\begin{minipage}[c]{0.5\textwidth} % minipage将页面划分为0.5\textwidth
\centering
\includegraphics[width=6cm,height=6cm]{Fig/honeywell_t-hawk.jpg}
\caption{\label{Hawk}T-Hawk}
\end{minipage}%
\begin{minipage}[c]{0.5\textwidth}
\centering
```




图 3-1 涵道风扇式无人机

```
\includegraphics[width=6cm,height=6cm]{Fig/GTSpy.jpg}
\caption{\label{GTSpy}GTSpy}
\end{minipage}
\end{figure}
```

其中 [c] 表示行居中对齐。当图片大小不一但又需要 1:1 导入时，图标题可能行不对齐，因此可以改为如下指令：

```
\begin{figure}[htbp]
\centering
\begin{minipage}[c]{0.5\textwidth}
\centering
\includegraphics[scale=1]{Fig/honeywell_t-hawk.jpg} %1:1导入
\end{minipage}%
\begin{minipage}[c]{0.5\textwidth}
\centering
\includegraphics[scale=1]{Fig/GTSpy.jpg}
\end{minipage}\\[1pt]
\begin{minipage}[t]{0.5\textwidth} % 以下为新添加页面划分，[t]表示行顶部对齐
\caption{\label{Hawk}T-Hawk}
\end{minipage}%
\begin{minipage}[t]{0.5\textwidth}
\caption{\label{GTSpy}GTSpy}
\end{minipage}%
\end{figure}
```

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



图 3-2 T-Hawk



图 3-3 GTSpy

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3-4的子图3-4 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}}
  \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}{}
\DeclareSubrefFormat{simple}{#1#2}
\DeclareSubrefFormat{parens}{#1 #2)}
\DeclareSubrefFormat{subsimple}{#2}
\DeclareSubrefFormat{subparens}{ #2)}
```

和

```
\DeclareCaptionListOfFormat{empty}{}
\DeclareCaptionListOfFormat{simple}{#1#2}
```

```
\DeclareCaptionListFormat{parens}{#1 #2)}
\DeclareCaptionListFormat{subsimple}{#2}
\DeclareCaptionListFormat{subparens}{ #2)}
```



a) 不合理的轨迹



b) 优化的轨迹



c) 不合理的轨迹



d) 优化的轨迹

图 3-4 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}
```

```
\end{tabular}
\end{table}
```

表 3-1 涵道模型参数

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

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(5-1)所示。

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

$$a + b = c \quad (3-1)$$

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。

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
  \end{aligned}
\end{equation}
```

```
l + m &= n
\end{aligned}
\end{equation}
```

$$\begin{aligned} a &= b + c \\ d &= e + f + g \\ h + i &= j + k \\ l + m &= n \end{aligned} \quad (3-5)$$

`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[4]

`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}
```

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nn} \end{bmatrix} \quad (3-6)$$

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[4]，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^[3-4]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 $0 \leq e \left( \boldsymbol{F} \right) < 1$ ，其中 $e \left( \boldsymbol{F} \right)$ 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^[3]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^[3]。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 zotero 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^[3-4]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^[3-4]的第六章, 引用后面有空格。

引用前手动加空格 ^[3-4] 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 ^[6]。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^[6]。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3-5到图3-15所示的是我的 zotero 软件设置。其中最重要的是3-14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。

使用zotero, 有时候科学上网很重要。

在 zotero 软件点击文件-> 导出文献库，如图3-16所示，再在导出对话框图3-17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3-18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）。

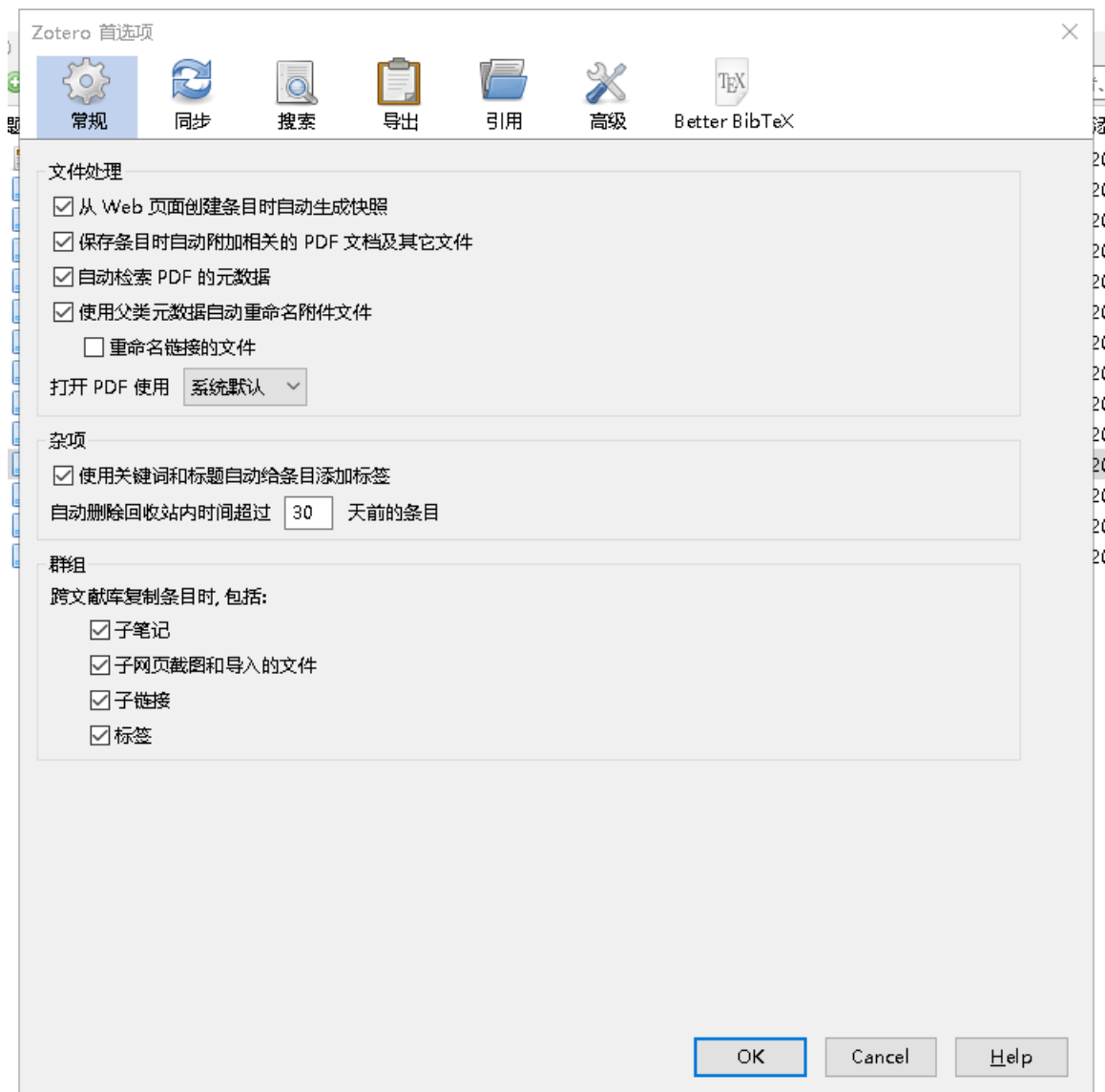


图 3-5 常规



图 3-6 同步 1



图 3-7 同步 2

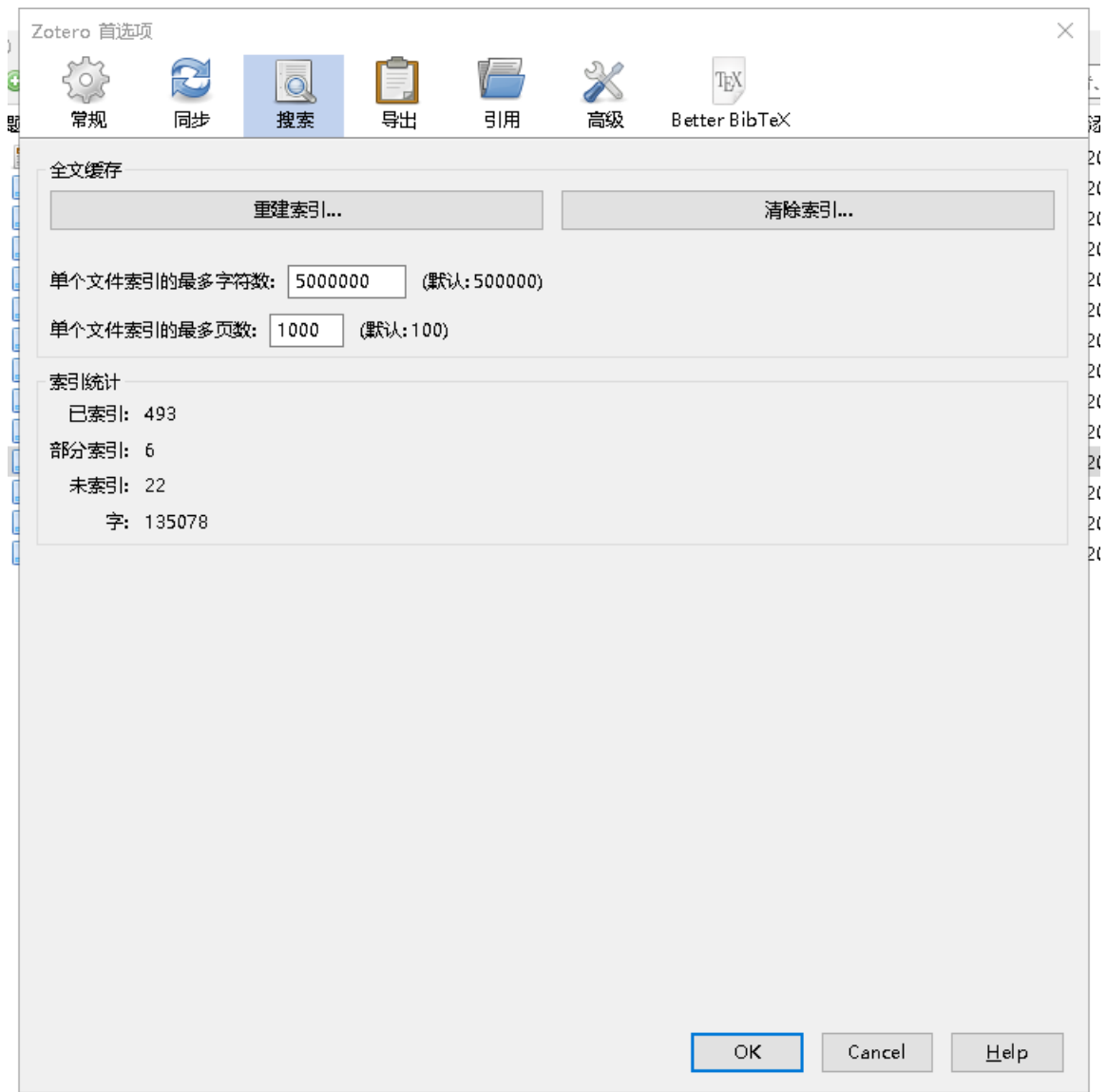


图 3-8 搜索



图 3-9 导出

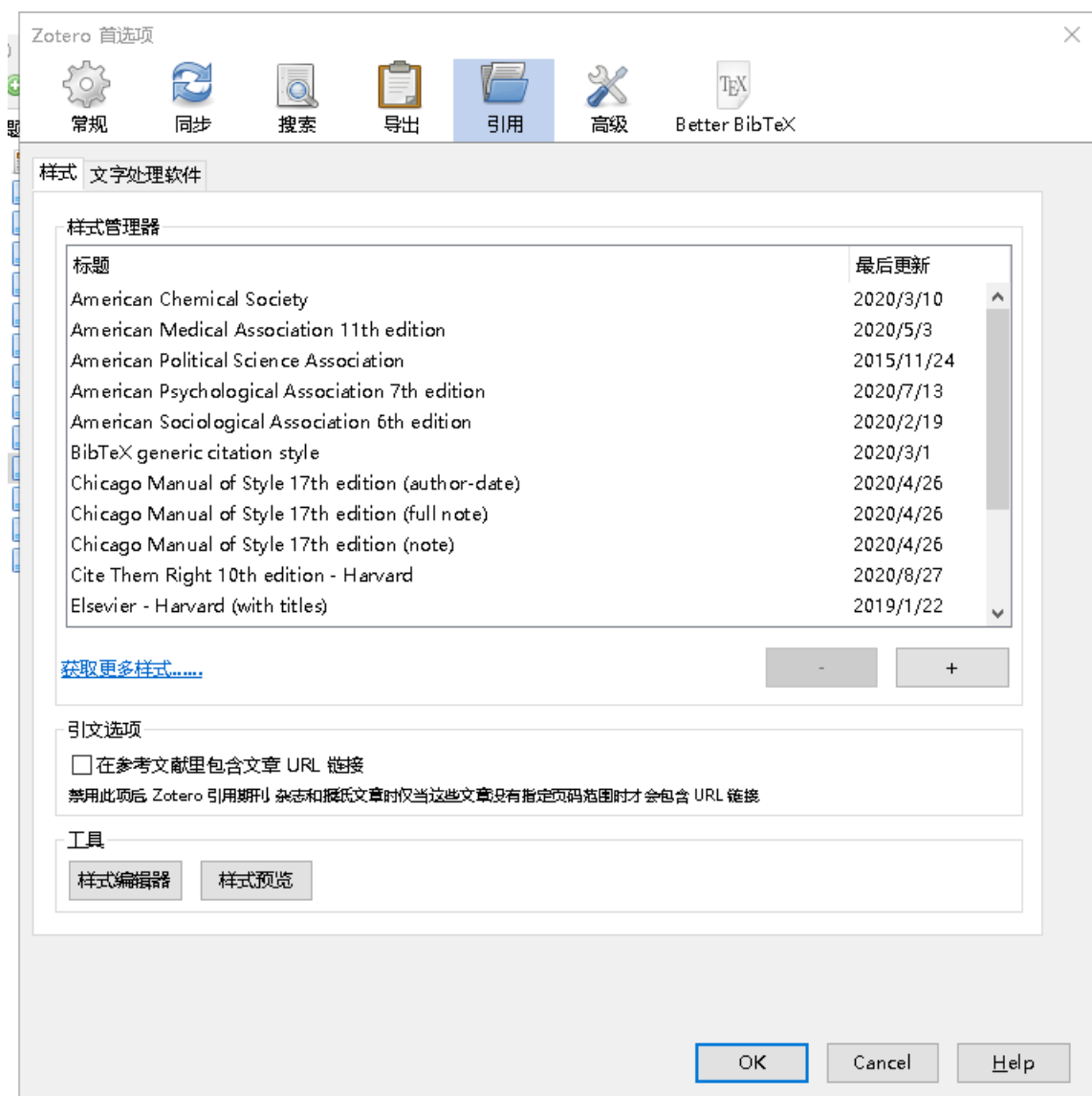


图 3-10 引用



图 3-11 高级 1

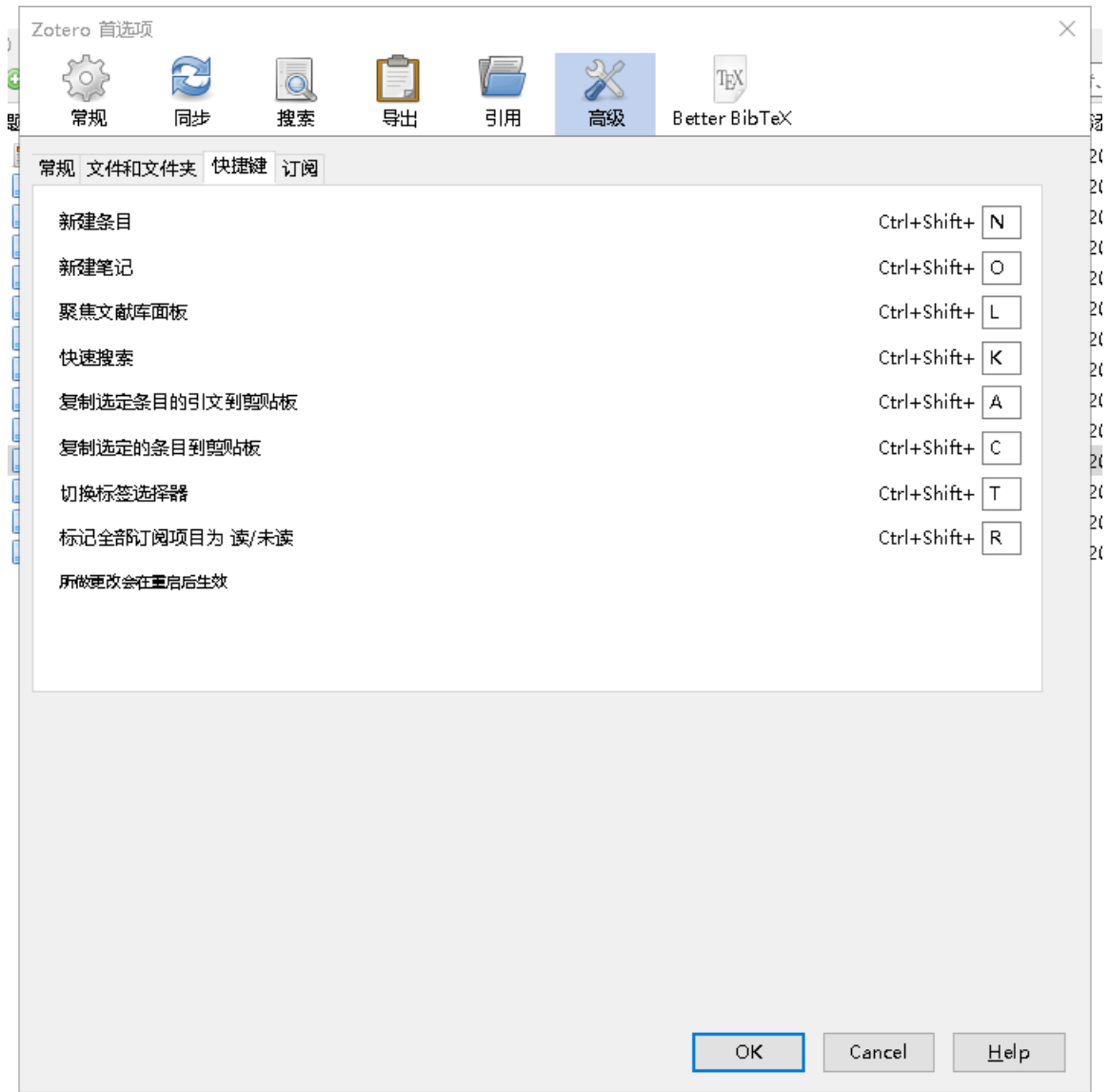


图 3-12 高级 2



图 3-13 Better BibTeX1



图 3-14 Better BibTeX2



图 3-15 Better BibTeX3



图 3-16 导出文献库



图 3-17 导出格式

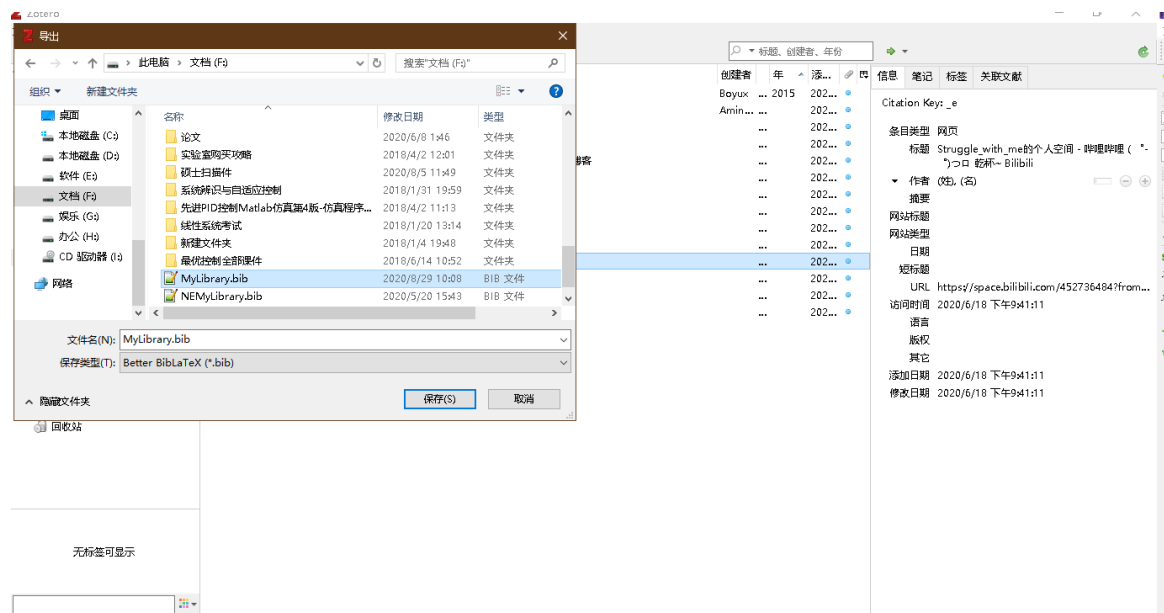


图 3-18 导出文件名

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
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

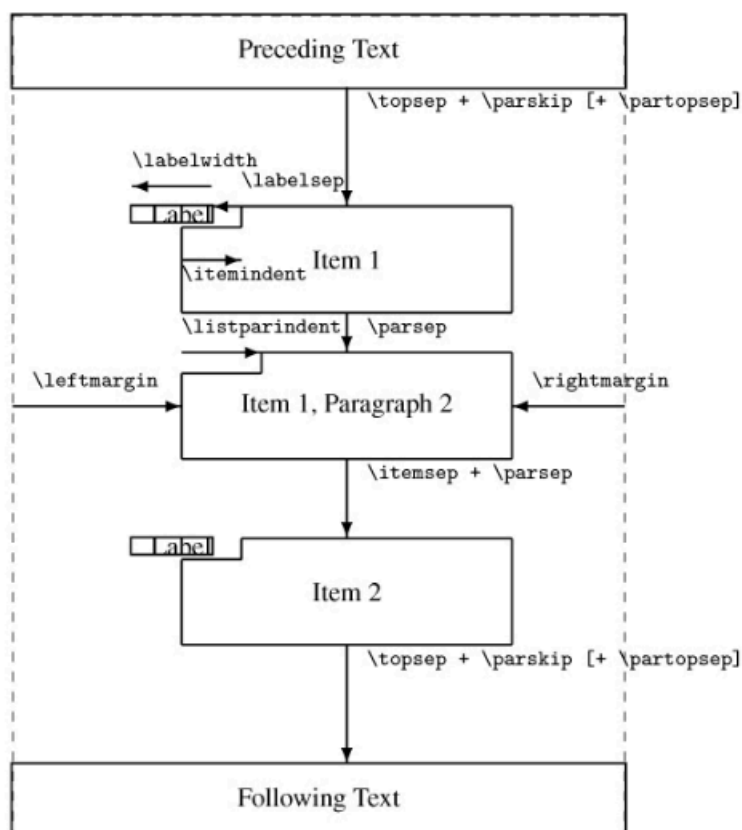


图 4-1 enumitem 包对各种间距的定义

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

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

基准点。若 `itemindent=0pt`，则 `leftmargin-labelsep`-编号长度的结果就是编号起始位置。

- `labelwidth` 包含标签的框的标称宽度。如果标签的自然宽度为 $< \text{labelwidth}$ ，则默认情况下，标签在宽度为 `(labelwidth)` 的框内右对齐排版。否则，使用自然宽度的框，这会导致该行上的文本缩进。可以通过为 `\makelabel` 命令提供定义来修改标签的排版方式。
- `listparindent` 条目下面段落的缩进距离。除了以 `litem` 开头的段落之外，列表的每个段落的开头都有额外的缩进。可以为负数，但通常为 `0pt`。

无编号的水平间距，给出两张方案

第一种：

- 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
- 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

第二种：

- 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
- 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

推荐第一种。

有编号的水平间距，下面给出三种方案：注：labelsep 是某一项文字和编号框的距离，一般就设为一个空格 6pt，要使编号左侧缩进两格，itemindent-labelsep 要等于编号长度。注意编号是右对齐，向左扩展的。

第一种方案是整体右移两格，文字距离编号一个空格，然后第二行文字和第一行对齐：

- (1) 第一项。内容
- 内容
- (2) 第二项。内容
- 内容

第二种方案是和论文撰写规范的格式一样，注意不是论文撰写规范规定的格式，规

- [illegible]

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：

- (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

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。

第五章 第五章

公式字体测试

5.1 建模

5.1.1 符号约定

涵道风扇无人机的机体系如图所示。机体系的原点位于重心，正交的机体轴线表示为 $\{\mathbf{X}^B, \mathbf{Y}^B, \mathbf{Z}^B\}$ 。无人机沿机身轴线的角速度表示为 $\boldsymbol{\omega}^B = [p \ q \ r]^T$ 。风扇的转速记为 Ω 。每个控制舵的偏转角表示为 δ_i ，以矢量形式描述为 $[\delta_1 \ \delta_2 \ \delta_3 \ \delta_4]^T$ 。

惯性系中的速度、惯性系中的姿态和风速分别表示为 \mathbf{V}^I ， $\boldsymbol{\eta}$ 和 \mathbf{W}^I 。虽然不涉及角度控制设计，但这里也使用了这些与惯性系相关的变量，因为它们对于指定 INDI 的有效性至关重要。

由于涵道风扇无人机对所有机身轴对称，无人机的惯性矩阵可以简化为对角矩阵，表示为 $\mathbf{I} = \text{diag}(I_x, I_y, I_z)$ 。

在机体坐标系中表示的合力矩表示为 \mathbf{M} ，为以下几项的和：

$$\mathbf{M} = \mathbf{M}_{vane} + \mathbf{M}_{flap} + \mathbf{M}_{fan} + \mathbf{M}_{aero} \quad (5-1)$$

其中 \mathbf{M}_{vane} 是从控制舵产生的控制力矩矢量。 \mathbf{M}_{flap} 是作用在固定气动襟翼上的反扭矩作用。 \mathbf{M}_{fan} 包括来自旋转的风扇的气动扭矩、角加速度力矩和陀螺效应。 \mathbf{M}_{aero} 是气动力矩。

5.1.2 控制力矩

在 INDI 设计中，只需要辨识控制力矩，控制力矩 \mathbf{M}_{vane} 是涵道风扇无人机角速度子系统的控制输入，由控制舵产生。一个偏转舵受到垂直于无人机 \mathbf{Z}^B 轴的力，并同时受到两个相对于相应机体系轴的正交力矩。四个控制舵的总控制力矩可以通过以下公式表示：

$$\mathbf{M}_{vane} = k_{cv} V_e^2 \begin{bmatrix} -l_1 & 0 & l_1 & 0 \\ 0 & -l_1 & 0 & l_1 \\ l_2 & l_2 & l_2 & l_2 \end{bmatrix} \boldsymbol{\delta} \quad (5-2)$$

其中 k_{cv} 是与舵形状相关的常数系数。 l_1 和 l_2 是图中所示的杠杆臂。 V_e 表示涵道流出的速度，由下式给出：

$$V_e = k_v \Omega \quad (5-3)$$

其中 k_v 是与涵道的所有空气动力学特征相结合的常系数。

如果所有舵偏转角都保持在气动失速极限内，则式 (5-2) 中的比例关系成立，表示为 δ_m 。这是 δ 的基本约束：

$$-\delta_m \leq \delta_i \leq \delta_m, i = 1, 2, 3, 4. \quad (5-4)$$

显然，式(5-2) 将冗余舵偏转角映射到三维的控制力矩，表明无人机角速度子系统的过度驱动特性。通过使用虚拟控制输入 $\nu = [\nu_x \ \nu_y \ \nu_z]^T$ ，可以将控制力矩效应重构为模块化形式：

$$\begin{cases} I^{-1} M_{vane} = H_1 \nu \Omega^2 \\ \nu = B \delta \end{cases} \quad (5-5)$$

其中

$$H_1 \triangleq k_{cv} k_v^2 \begin{bmatrix} 2I_x^{-1} l_1 & & \\ & 2I_y^{-1} l_1 & \\ & & 4I_z^{-1} l_2 \end{bmatrix} \quad B \triangleq \begin{bmatrix} -0.5 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & -0.5 & 0 & 0.5 \\ 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.25 \end{bmatrix} \quad (5-6)$$

从式 (5-5) 和式 (5-6) 中， B 的定义表示虚拟输入的大小被标准化为 $[-1, 1] \cdot \delta_m$ 。通过这种模块化，在式 (5-2) 中从舵偏转角到控制力矩的直接映射被转换为从舵偏转角到虚拟输入的映射，而映射矩阵 B 不包含模型信息。

5.1.3 角速度环动力学

在无人机控制的意义上，旋转风扇通常被假设为一个圆盘，对飞行器施加稳定的推力和扭矩，因此无人机可以被视为刚体。因此角速度动力学方程为：

$$\dot{\omega}^B = I^{-1} (M + I \omega^B \times \omega^B) \quad (5-7)$$

其中 M 由式 (5-1) 预先定义， \times 表示向量的叉积。

通过将式 (5-1)、(5-5) 代入式 (5-7)，可以将角速度动力学重写为：

$$\begin{cases} \dot{\omega}^B = L + H_1 \nu \Omega^2 + H_2 \Omega + H_3 \dot{\Omega} \\ \nu = B \delta \end{cases} \quad (5-8)$$

其中 $L = L(V^I, \eta, W^I, \omega^B) \triangleq I^{-1}(M_{aero} + I \omega^B \times \omega^B)$ 。矩阵 H_1 由式 (5-6) 定义。

5.2 控制器设计

5.2.1 增量非线性动态逆

$$\dot{\omega}^B = L(V^I, \eta, W^I, \omega^B) + H_1 \nu \Omega^2 + H_2 (\omega^B) \Omega + H_3 \dot{\Omega} \quad (5-9)$$

$$\begin{aligned} \dot{\omega}^B &= L(V^I, \eta, W^I, \omega^B) + H_1 \nu \Omega^2 + H_2 (\omega^B) \Omega + H_3 \dot{\Omega} \\ &= L_0 + H_1 \nu_0 \Omega_0^2 + H_{20} \Omega_0 + H_3 \dot{\Omega}_0 \\ &\quad + \left[\frac{\partial L}{\partial V^I} (V^I - V_0^I) + \frac{\partial L}{\partial \eta} (\eta - \eta_0) + \frac{\partial L}{\partial \omega^B} (\omega^B - \omega_0^B) \right. \\ &\quad + \frac{\partial L}{\partial W^I} (W^I - W_0^I) \\ &\quad + \frac{\partial (H_1 \nu \Omega^2)}{\partial \nu} (\nu - \nu_0) + \frac{\partial (H_1 \nu \Omega^2)}{\partial \Omega} (\Omega - \Omega_0) \\ &\quad + \frac{\partial (H_2 \Omega)}{\partial \omega^B} (\omega^B - \omega_0^B) + \frac{\partial (H_2 \Omega)}{\partial \Omega} (\Omega - \Omega_0) \\ &\quad \left. + \frac{\partial (H_3 \dot{\Omega})}{\partial \dot{\Omega}} (\dot{\Omega} - \dot{\Omega}_0) \right] \bigg|_{\substack{V^I=V_0^I, \eta=\eta_0, \omega^B=\omega_0^B, W^I=W_0^I \\ \nu=\nu_0, \Omega=\Omega_0, \dot{\Omega}=\dot{\Omega}_0}} \end{aligned} \quad (5-10)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial (H_1 \nu \Omega^2)}{\partial \nu} \bigg|_{\Omega=\Omega_0} &= H_1 \Omega_0^2, & \frac{\partial (H_1 \nu \Omega^2)}{\partial \Omega} \bigg|_{\nu=\nu_0} &= 2H_1 \nu_0 \Omega_0 \\ \frac{\partial (H_2 \Omega)}{\partial \Omega} \bigg|_{\Omega=\Omega_0} &= H_2 (\omega_0^B), & \frac{\partial (H_3 \dot{\Omega})}{\partial \dot{\Omega}} \bigg|_{\dot{\Omega}=\dot{\Omega}_0} &= H_3 \end{aligned} \quad (5-11)$$

最终，我们有：

$$\dot{\omega}^B = K_\omega (\omega_d^B - \omega^B) \quad (5-12)$$

其中 $K_\omega = \text{diag}(K_{\omega 1}, K_{\omega 2}, K_{\omega 3})$ 是反馈增益矩阵， ω_d^B 表示所需的角速度。

$$\begin{aligned}
 \boldsymbol{\nu}_d &= \boldsymbol{\tau}_i + \boldsymbol{\tau}_f, \\
 \boldsymbol{\tau}_i &= -(\mathbf{H}_1 \Omega_0^2)^{-1} \left[\dot{\boldsymbol{\omega}}_0^B + \mathbf{T}(\Omega_d, \dot{\Omega}_d) \right] + \boldsymbol{\nu}_0, \\
 \boldsymbol{\tau}_f &= (\mathbf{H}_1 \Omega_0^2)^{-1} \mathbf{K}_\omega (\boldsymbol{\omega}_d^B - \boldsymbol{\omega}^B)
 \end{aligned} \tag{5-13}$$

其中 $\boldsymbol{\tau}_i$ 定义为 INDI 输入, $\boldsymbol{\tau}_f$ 定义为反馈输入。

5.2.2 控制分配

在底层设计中, 我们解决控制分配问题, 即利用下式, 对给定的 $\boldsymbol{\nu}_d$ 求解适当的舵偏转角 $\boldsymbol{\delta}$,

$$\boldsymbol{\nu}_d = \mathbf{B}\boldsymbol{\delta} \tag{5-14}$$

上式的解表示为 $\boldsymbol{\delta}_d$ 。具体可以描述为: 对于给定的 $\boldsymbol{\nu}_d$, 求 $\boldsymbol{\delta}_d \in \Delta$ 使得 $\boldsymbol{\nu}_d = \mathbf{B}\boldsymbol{\delta}_d$, 或者最小化分配误差 $\boldsymbol{\nu}_d - \mathbf{B}\boldsymbol{\delta}_d$, 其中 Δ 是允许控制集, 定义为:

$$\Delta = \{\boldsymbol{\delta} \in \mathbb{R}^4 \mid -\delta_m \leq \delta_i \leq \delta_m, i = 1, 2, 3, 4\} \tag{5-15}$$

如果 $\boldsymbol{\nu}_d$ 包含在可达集 (AS) 中, 则称它是可达到的, 可达集记为 A 并定义为:

$$A = \{\boldsymbol{\nu} \in \mathbb{R}^3 \mid \boldsymbol{\nu} = \mathbf{B}\boldsymbol{\delta}, \boldsymbol{\delta} \in \Delta\} \tag{5-16}$$

为了达到控制分配的目的, 一种广泛采用的方法是直接计算 \mathbf{B} 的伪逆:

$$\boldsymbol{\delta}_d = \mathbf{B}^\dagger \boldsymbol{\nu}_d, \quad \mathbf{B}^\dagger = \mathbf{B}^T (\mathbf{B}\mathbf{B}^T)^{-1} \tag{5-17}$$

在伪逆法中, 在某些极端情况下, 即使 $\boldsymbol{\nu}_d$ 在其 AS 中, 计算出的 $\boldsymbol{\delta}_d$ 可能会超出他们的约束, 即 $\boldsymbol{\delta}_d \notin \Delta$, 导致实际控制效果与预期不同的情况。如果这种情况与结构设计式 (??) 不匹配, 则闭环系统可能不稳定。

为了克服伪逆的缺点, 所提出的 PCA 算法倾向于通过解决以下优化问题来实现结构设计 (??):

$$\begin{aligned}
 &\max_{\alpha, \boldsymbol{\delta}} \alpha \\
 &\text{s.t.} \quad \begin{cases} \boldsymbol{\delta} \in \Delta \\ \mathbf{B}\boldsymbol{\delta} = \boldsymbol{\tau}_i + \alpha \boldsymbol{\tau}_f \\ 0 \leq \alpha \leq 1 \end{cases}
 \end{aligned} \tag{5-18}$$

其中 B 、 Δ 分别由式 (5-6)、(5-15) 定义。 τ_i 和 τ_f 在式 (5-13) 中定义。

5.3 增量非线性动态逆控制理论

5.3.1 有扰动情况下的局部坐标变换

考虑一个多输入多输出的非线性系统，其形式描述为

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{G}(\mathbf{x})\mathbf{u} + \mathbf{d}(\mathbf{x}) \\ \mathbf{y} &= \mathbf{h}(\mathbf{x})\end{aligned}\quad (5-19)$$

其中， $\mathbf{f} : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ 和 $\mathbf{h} : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^p$ 是光滑的向量场。 \mathbf{G} 是一个光滑函数，将 $\mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^{n \times m}$ 映射，其中的列是光滑的向量场。 $\mathbf{d} : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ 是外部扰动向量。 $\mathbf{y} \in \mathbb{R}^p$ 是被控制的输出向量，可以是系统可观测输出的任意子集的函数

设 h 的元素为 $h_i, i = 1, 2, \dots, p$ ，矩阵 G 的列向量为 $g_j, j = 1, 2, \dots, m$ ，则 h_i 对向量场 f 和 g_j 的 Lie 导数定义为

$$\mathcal{L}_f h_i = \frac{\partial h_i}{\partial x} f, \quad \mathcal{L}_{g_j} h_i = \frac{\partial h_i}{\partial x} g_j, \quad \mathcal{L}_f^k h_i = \frac{\partial(\mathcal{L}_f^{k-1} h_i)}{\partial x} f, \quad \mathcal{L}_{g_j} \mathcal{L}_f^k h_i = \frac{\partial(\mathcal{L}_f^k h_i)}{\partial x} g_j \quad (5-20)$$

以下两项假设是所有讨论的前提：

假设 5.1: 系统形式为

假设 5.2: 对于每个

注 5.1: 矩阵

注 5.2: 假设 2 是为了

在假设 5.1 下

$$\begin{bmatrix} y_1^{(\gamma_1)} \\ y_2^{(\gamma_2)} \\ \vdots \\ y_p^{(\gamma_p)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathcal{L}_f^{\gamma_1} h_1(x) \\ \mathcal{L}_f^{\gamma_2} h_2(x) \\ \vdots \\ \mathcal{L}_f^{\gamma_p} h_p(x) \end{bmatrix} + \beta(x)\mathbf{u} \quad (5-21)$$

或者

$$\mathbf{y}^{(\gamma)} = \alpha(x) + \beta(x)\mathbf{u} \quad (5-22)$$

并且行向量 $dh_1(x), \dots, dL_f^{\gamma_1-1}h_1(x), \dots, dh_p(x), \dots, dL_f^{\gamma_p-1}h_p(x)$ 是线性无关的。那么系统的相对度 γ 满足 $\gamma = \|\gamma\|_1 = \sum_{i=1}^p \gamma_i \leq n$, 并且 $h_i(x), L_f h_i(x), \dots, L_f^{\gamma_i-1}h_i(x)$, $1 \leq i \leq p$ 可以作为新坐标的一部分。对于 $1 \leq i \leq p$, 设

$$\begin{aligned}\phi_1^i(x) &= h_i(x) \\ \phi_2^i(x) &= L_f h_i(x) \\ &\vdots \\ \phi_{\gamma_i}^i(x) &= L_f^{\gamma_i-1}h_i(x)\end{aligned}\tag{5-23}$$

如果 $\gamma = n$, 对于每个 $x \in \mathbb{D}$, 存在一个邻域 \mathbb{N} , 使得映射

$$\Phi = [\phi_1^1(x), \dots, \phi_{\gamma_1}^1(x), \dots, \phi_1^p(x), \dots, \phi_{\gamma_p}^p(x)]^T\tag{5-24}$$

在 \mathbb{N} 上是一个微分同胚。否则, 如果 $\gamma < n$, 对于每个 $x \in \mathbb{D}$, 总可以找到光滑函数 $\phi_{r+1}(x), \dots, \phi_n(x)$, 使得

$$\Phi = [\phi_1^1(x), \dots, \phi_{\gamma_1}^1(x), \dots, \phi_1^p(x), \dots, \phi_{\gamma_p}^p(x), \phi_{\gamma+1}(x), \dots, \phi_n(x)]^T\tag{5-25}$$

在 x 的邻域 \mathbb{N} 上是一个微分同胚。根据假设 5.2, 根据 Frobenius 定理, 总是可以选择 $\phi_{r+1}(x), \dots, \phi_n(x)$, 使得对所有 $r+1 \leq i \leq n$ 和所有 $1 \leq j \leq m$, 有 $L_{g_j}\phi_i(x) = 0$, 对于所有 $x \in \mathbb{N}$ 。

总之, 如果假设 5.1 和 5.2 (对于 $\gamma < n$) 成立, 并且忽略外部干扰, 总可以找到适当的局部坐标变换 $\phi(x)$, 在其下, 原始系统 (5-19) 可以表示为标准形式。设

$$\xi^i = \begin{pmatrix} \xi_1^i \\ \xi_2^i \\ \vdots \\ \xi_{\gamma_i}^i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \phi_1^i(x) \\ \phi_2^i(x) \\ \vdots \\ \phi_{\gamma_i}^i(x) \end{pmatrix} \quad \xi = \begin{pmatrix} \xi^1 \\ \vdots \\ \xi^m \end{pmatrix} \quad \eta = \begin{pmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ \vdots \\ \eta_{n-\gamma} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \phi_{\gamma+1}(x) \\ \phi_{\gamma+2}(x) \\ \vdots \\ \phi_n(x) \end{pmatrix} \quad z = \Phi(x) = \begin{pmatrix} \xi \\ \eta \end{pmatrix}\tag{5-26}$$

然后, 方程 (5-19) 可以重写为标准形式, 为简便起见, 我们仍然保留原始坐标, 并以向量形式重写系统 (5-19) 的标准形式:

$$\begin{aligned}\dot{\eta} &= f_0(\eta, \xi) \\ \dot{\xi} &= A_c \xi + B_c[\alpha(x) + \beta(x)u] \\ y &= C_c \xi\end{aligned}\tag{5-27}$$

其中

$$A_c = \text{diag}(A_1, \dots, A_m) \quad B_c = \text{diag}(B_1, \dots, B_m) \quad C_c = \text{diag}(C_1, \dots, C_m) \quad (5-28)$$

和

$$A_i = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & & 0 & 1 \\ 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}_{\gamma_i \times \gamma_i}, B_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}_{\gamma_i \times 1}, C_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}_{1 \times \gamma_i} \quad (5-29)$$

如果考虑外部干扰 $d(x)$ ，通过坐标变换 (5-26)，系统 (5-19) 变为

$$\begin{aligned} \dot{\eta} &= \frac{\partial \eta}{\partial x}(f(x) + d(x)) \Big|_{x=\Phi^{-1}(z)} = f_d(\eta, \xi, d) \\ \dot{\xi} &= A_c \xi + B_c[\alpha(x) + \beta(x)u] + L \\ y &= C_c \xi \end{aligned} \quad (5-30)$$

其中

$$L = \begin{pmatrix} L^1 \\ L^2 \\ \vdots \\ L^m \end{pmatrix} \quad L^i = \begin{pmatrix} L_1^i \\ L_2^i \\ \vdots \\ L_{\gamma_i}^i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_d h_i(x) \\ L_d L_f h_i(x) \\ \vdots \\ L_d L_f^{\gamma_i-1} h_i(x) \end{pmatrix} \quad (5-31)$$

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] Alwintsui - Overview[EB/OL]. GitHub. <https://github.com/alwintsui>.
- [2] Yecfly - Overview[EB/OL]. GitHub. <https://github.com/yecfly>.
- [3] CTAN: Package Lshort-Zh-Cn[EB/OL]. <https://ctan.org/pkg/lshort-zh-cn>.
- [4] 一份其实很短的 LaTeX 入门文档[EB/OL]. 始终. <https://liam.page/2014/09/08/latex-introduction/index.html>.
- [5] Zotero | Downloads[EB/OL]. <https://www.zotero.org/download/>.
- [6] Struggle_with_me 的个人空间 - 哔哩哔哩 (゜-゜) つロ 乾杯 ~ Bilibili[EB/OL]. <https://space.bilibili.com/452736484?from=search&seid=12208069428001748893>.
- [7] Mathpix Snip[EB/OL]. <https://mathpix.com/>.
- [8] 莲枝专栏–关于 Hyperref 的二三事 - LaTeX 科技排版工作室[EB/OL]. <https://www.latexstudio.net/archives/4800.html>.
- [9] Renduchintala A, Jahan F, Khanna R, et al. A Comprehensive Micro Unmanned Aerial Vehicle (UAV/Drone) Forensic Framework[J]. Digital Investigation, 30: 52-72.
- [10] Milz D. Design and Evaluation of a Unified Control Framework for Electric Vertical Take-off and Landing Vehicles[D]. Technical University of Munich, 2020.

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]

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

1.2 测试测试测试

[illegible]

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						
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