

华南理工大学硕士学位论文

基于渐进式策略的人体运动姿态预测算法

马铁铮

指导教师：聂勇伟 副教授

华南理工大学

2023 年 5 月 20 日

摘 要

3D 人体运动估计 (3D Human motion prediction) 指: 在 3D 空间中, 根据历史人体运动姿态序列, 预测未来的人体姿态运动序列。随着人工智能化浪潮的到来, 该技术被广泛应用于自动驾驶、监控视频异常检测、人体动作捕捉生成等领域中, 有着良好的应用前景和研究价值。例如在自动驾驶算法中, 需要根据行人当前运动轨迹来预测其未来运动趋势, 进而指导自动驾驶程序做出相应处置。

本文提出了一种新颖且高效的 3D 人体运动估计算法, 与现有方法相比, 本方法在预测精确度和运行效率的综合指标上有较大的领先。具体地, 我们在分析总结现有方法优劣的基础上提出了两个改进策略: (1) 3D 空间中的人体运动存在高度的复杂性和不确定性, 给预测过程带来了很大的难度。现有方法往往采用单个网络直接预测。在运动模式简单, 周期性的样本上能达到较高的预测精度。但在处理较为复杂且无明显规律的动作类型时, 往往出现模式坍塌、预测失准等情况。为此我们提出了一种渐进式的网络结构来降低整体的预测难度: 网络由多个阶段构成, 每个阶段不再直接预测最终结果, 而是在上一阶段的基础上完善预测结果。浅层的阶段负责预测运动的大概趋势, 深层阶段则在此基础上完善预测细节, 使预测结果向真值逐渐靠拢, 同时减少各个阶段的预测难度。(2) 3D 人体运动数据同时具有时间和空间两维度, 且人体姿态为无向不规则图结构, 其内涵的空间先验结构信息极为重要。所以, 网络中, 特征提取模块的时空信息提取能力与网络性能密切相关, 现有方法大多使用 *CNN* (卷积神经网络)、*RNN* (循环神经网络)、传统 *GCN* (图卷积网络), 该类方法只适用于处理 2 维空间数据, 难以捕捉时序联系。为此, 我们提出了一种具有时空信息捕捉能力的 *GCN* 模块, 该模块由空间和时间两部分构成, 分别称为 *SD-GCN* (*Spatial Dense Graph Convolution*) 和 *TD-GCN* (*Temporal Dense Graph Convolution*), 两部分串行组合, 当运动序列输入后, 首先由 *SD-GCN* 提取空间信息, 随后送入 *TD-GCN* 提取时间信息, 由此网络间接地捕捉了时空信息, 并具有全局感受野。

在渐进式结构和 *SD-GCN*、*TD-GCN* 这两点改进措施的帮助下, 本方法在 *Human3.6M*、*CMU-MoCap*、*3DPW* 这三个公开数据集上使用公开度量指标, 预测精度较现有方法均有较大提升, 且运行效率无显著落后。

关键词: 3D 人体运动估计、渐进式策略、时空序列、图卷积网络

Abstract

Keywords: 3D Human Motion Prediction、Progressive Learning、Spatial Temporal Sequence、Graph Convolutional Networks

目 录

摘 要	I
Abstract	II
插图目录	V
表格目录	VI
第一章 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 主要研究内容及贡献	2
第二章 模板简介	4
2.1 主文件	4
2.2 章节文件	7
第三章 常用环境及参考文献设置	8
3.1 图	8
3.2 表	11
3.3 公式	12
3.4 定理	15
3.5 参考文献	16
第四章 列举环境	31
4.1 调整间距	31
4.1.1 垂直间距	33
4.1.2 水平间距	33
4.2 enumerate 标签样式	35
4.2.1 小括号阿拉伯数字	35
4.2.2 斜体字母	35
4.2.3 大写罗马字母	35
结 论	36
参考文献	37

附 录 1	38
1.1 测试一级标题 section	38
1.1.1 测试二级标题 subsection	38
1.2 测试测试测试	39
1.2.1 测试测试测试	39
附 录 2	41
2.1 测试测试测试	41
2.1.1 测试测试测试	41
攻读博士/硕士学位期间取得的研究成果	44
致 谢	45

插图目录

图 2-1	TeXstudio 环境	5
图 2-2	TeXstudio 编译选项	5
图 3-1	涵道风扇式无人机	9
图 3-2	T-Hawk	10
图 3-3	GTSpy	10
图 3-4	子图包使用测试	11
图 3-5	常规	18
图 3-6	同步 1	19
图 3-7	同步 2	20
图 3-8	搜索	21
图 3-9	导出	22
图 3-10	引用	23
图 3-11	高级 1	24
图 3-12	高级 2	25
图 3-13	Better BibTeX1	26
图 3-14	Better BibTeX2	27
图 3-15	Better BibTeX3	28
图 3-16	导出文献库	29
图 3-17	导出格式	29
图 3-18	导出文件名	30
图 4-1	enumitem 包对各种间距的定义	32
图 1-1	测试测试测试	39
图 1-2	测试测试测试	39
图 2-1	测试测试测试	42
图 2-2	测试测试测试	42

表格目录

表 3-1 涵道模型参数 12

表 1-1 测试测试测试 40

表 1-2 测试测试测试 40

表 2-1 测试测试测试 43

表 2-2 测试测试测试 43

第一章 绪论

1.1 研究背景和意义

近年来随着人工智能技术和社会经济的高速发展，大量信息化、智能化的新技术渗透到了人们的大众生活中。其中理解和预测人体运动相关研究获得了显著的进展。该技术被广泛应用与自动驾驶、智能机器人、人机交互和多媒体领域。在自动驾驶领域，车载计算机需要预测其他交通参与成员的行动意向和未来位置，并以此来规划车辆未来运行路线。在智能机器人领域，特别是用于协助人类的机器人，如工业机器人、看护机器人等，需要准确地预测人的未来运动来采取对应行动。在人机交互领域，在人口稠密的空间中，机器应准确预测周围的人的动作以安全地穿过人群。在多媒体领域，特别是游戏和影视制作场景中，和通过昂贵的动作捕捉设备获得人体运动模型相比，基于软件的理解和预测人体运动方法更加廉价高效。综上，理解和预测人体运动算法在促进国民经济发展和数字化、智能化转型方面有较高的研究价值。

目前学术界和工业界对该课题进行了较为细致且充分的研究。人体运动预测问题被定义为：在某个三维场景下，已知某个个体的一段历史运动序列，需要根据该段历史运动中包含的趋势或规律，预测该个体在未来的运动序列。该问题的研究重点包含两部分，第一是通过对历史运动序列的理解，提取其中包含的运动信息。例如在观看任意一段运动序列后，人类可以轻易地判别出该序列的运动类型（如行走、拾取物品、舞蹈等）。但对计算机来说，如何理解运动序列中的时序信息是研究的重点。第二是基于对历史运动序列信息的提取，预测未来运动序列。由于人体运动的高度复杂性和不确定性，如何基于有限的运动信息尽可能降低预测过程的不确定性，从而输出准确的未来运动序列，是当前研究的一个主要难点。

在早期的研究中，由于循环神经网络（RNN^[1]）可以利用其内部隐状态（Hidden State）来捕捉输入数据的时间依赖性，对于处理时间序列这类连续数据特别有效，所以 RNN 被用来提取人体运动序列中的时序信息，预测未来的运动序列。

这类方法的主要思想是，每个 RNN Unit 有一个隐状态，可以在每个时间步骤中根据当前的输入的人体运动姿态和以前的隐状态进行更新。这个隐状态是对网络过去所见信息的总结，并被用来对未来进行预测。通过使用以前的隐状态来计算当前的隐状态，RNN 可以捕获输入序列的时间依赖性。这使得 RNN 可以提取关于序列结构和序列元素之间的依赖关系的信息，这对于时间序列预测任务特别有利。

然而，由于 RNN 中每一步输出只与当前输入和上一步隐状态有关，无法对每一步输出进行整体约束。这导致输入序列和预测序列的过渡部分出现不连续的情况。为此现有方法提出了一种有着编码器-解码器结构的序列到序列模型（Sequence-to-Sequence），编码器将输入数据整体映射到隐空间，随后由解码器一次性预测未来运动序列，由此可以对输出进行全局一致性约束。此外，隐状态容量有限，RNN 只能对短期依赖性进行建模，无法处理长距离时序依赖。这导致网络无法完全提取输入序列中的时序信息。为了解决这个问题，出现了长短期记忆（LSTM^[2]）和门控循环单元（GRU^[3]）网络，但它们更加复杂和计算量更大。最后，该类方法通常将一个人体姿态作为一个整体输入 RNN Unit，忽略了人体姿态的空间结构。然后，对于人体运动序列预测问题，人体姿态的空间结构是一个重要的先验信息。这导致基于 RNN 的方法在预测结果真实性和准确性方面有所欠缺。

近年来随着对图卷积网络（GCN^[4]）的深入研究，部分现有方法引入图卷积网络对人体姿态空间结构进行建模。对于人体姿态这类不规则图状数据，图卷积网络有着天然的优势。在这类方法中，人体姿态被视作由一组顶点（或节点）和连接一对顶点的一组边组成的数学结构。通过图卷积网络对复杂的关节点对之间的联系进行建模。但传统图卷积网络主要应用于空间维度，如何设计高效的，具有时空信息提取能力的图卷积网络，对于人体运动序列预测这类涉及到时空序列数据的问题尤为重要，至今也依旧是学术界的一个难点问题。

除了需要尽可能提取输入序列中的时空信息，如何降低预测过程中的不确定性也是需要考虑的问题。在大多数情况下，由于人体运动序列的复杂性，输入序列和未来序列之间存在较大的差异，这导致预测过程存在较大的不确定性和预测歧义。现有方法大多采用单个前馈神经网络，直接接受输入序列，并预测未来运动序列。网络在预测过程中将承受较大的不确定性，预测结果可能出现模式坍塌（Mode collapse）问题。因此，如何设计更高效的预测策略来降低预测过程中的不确定性和歧义，是当前研究中需要重视的问题。

1.2 主要研究内容及贡献

针对上述研究存在的问题和人体运动姿态预测问题的特点，本文主要的研究内容和贡献被总结如下：

1. 基于渐进式策略的人体运动姿态预测算法框架。

- 与现有方法使用单阶段的网络结构不同，我们由浅至深地将预测过程拆分为多个阶段，除开位于网络入口的阶段，其他阶段均在上一步预测基础上进行预测，这将有利于降低每一阶段的预测难度。
- 我们遵循网络由浅至深，预测难度由易到难的原则。浅层阶段只负责预测大致的运动趋势，复杂的运动细节预测则由具有深层语义提取能力的深层阶段负责。
- 为了构建多阶段、渐进式的网络，我们为每个阶段构造对应的中级监督目标 (Intermediate target)。具体的，我们设计了一种人体运动轨迹平滑方法，通过平滑关节点运动轨迹的方式，逐步去除运动细节，为每个阶段由深至浅提供不同平滑程度的预测目标。

2. 具有时空信息提取能力的 Spatial-temporal 图卷积网络模块 ($SD-GCN$ 和 $TD-GCN$)。

- 我们提出了一种新颖的具有时空信息提取能力的图卷积模块，该模块由时间信息提取模块和空间信息提取模块两个独立的图卷积构成。
- 时间信息提取模块称为 $TD-GCN$ ，输入数据被视为多个关节点轨迹， $TD-GCN$ 提取时间维度上的信息。空间信息提取模块称为 $SD-GCN$ ，输入数据被视为多个人体姿态， $SD-GCN$ 提取空间维度上的信息。两个模式以串联的方式构成一个时空图卷积模块，当数据依次通过二者时，网络间接地提取到了时空信息。
- 由于时间和空间信息提取模块相互独立，因此随着输入数据的时间长度和空间复杂度提高，模型空间复杂度只随线性增长而非倍数增长，在保证模型信息提取能力的同时，降低了时间效率。

3. 我们在三个公开数据集上使用通用度量指标，与现有先进方法进行对比。在预测精确性方面大幅领先 (Human3.6M 6%-7%, CMU-MoCap 5%-10%, and 3DPW 13%-16%)。并且在时间效率和内存占用指标上我们也处于靠前位置。

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，他们的无私贡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 [5-6] 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 [7]。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}
```

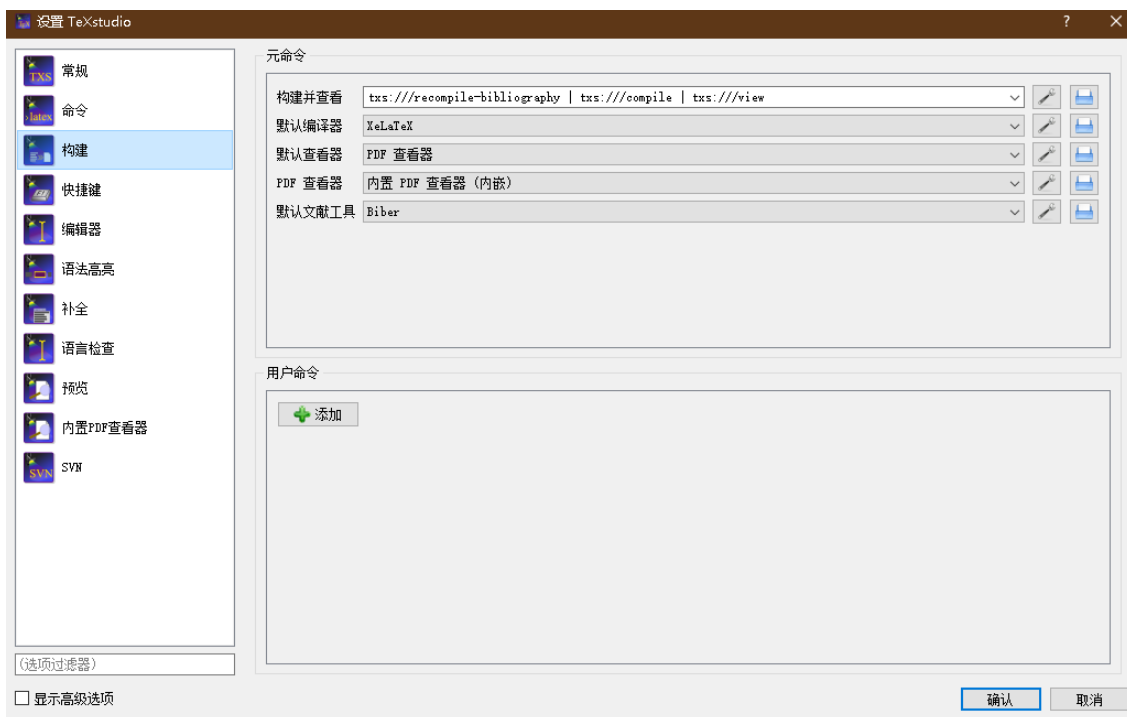


图 2-1 TeXstudio 环境

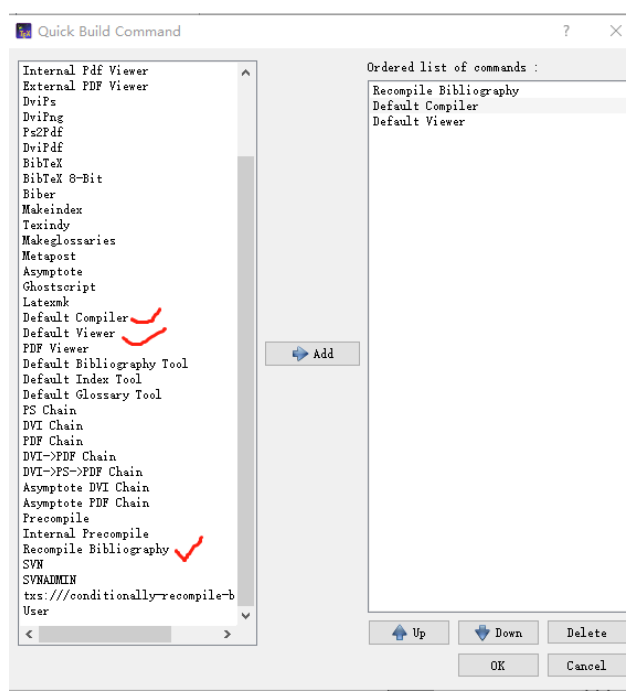


图 2-2 TeXstudio 编译选项

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{蒙超恒}
\supervisor{指导教师: 裴海龙\ 教授}
\institute{华南理工大学}
\date{2020年5月20日}
%%%%%%%%%%%%
```

章节文件如 `chapter0x.tex` 等，其内容由 `\chapter{章名}` 开头。新建一章可新建一个文件并由 `\chapter{新建章名}` 开头填写内容即可。节及小节分别用 `\section{新建节名}`、`\subsection{新建小节名}` 命令。

正文环境中使用公式，即行内公式，需要用两个 $\$$ 包围，如源码： $\$a+b=c\$$ 显示为 $a + b = c$ 。使用其他字符可自行百度或阅读参考文献。再次提醒，使用 \LaTeX 撰写论文不需要研究其原理，在达到某种效果（图文显示、公式显示效果）时百度或查书寻找其代码即可。

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

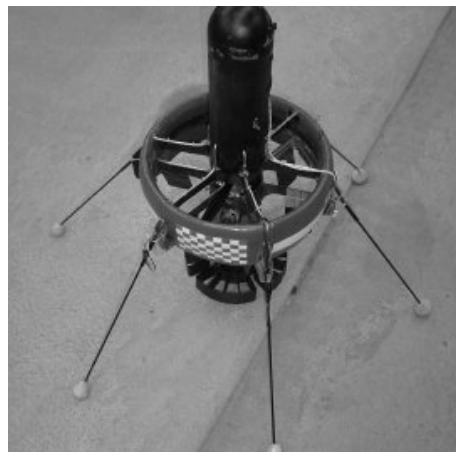


图 3-3 GTSpy

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，

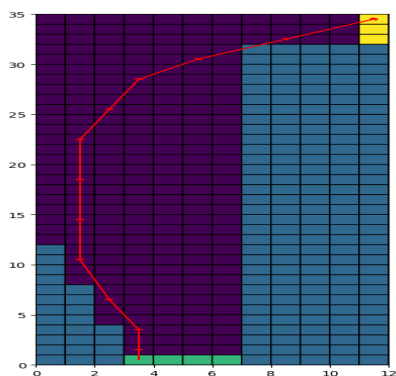
并由如下定义，根据撰写规范需要定义为：

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

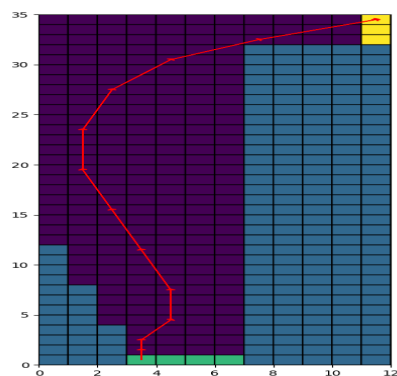
和

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

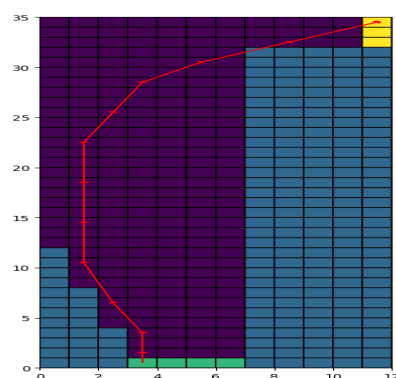
```
\DeclareCaptionListFormat{parens}{#1 #2)}
\DeclareCaptionListFormat{subsimple}{#2}
\DeclareCaptionListFormat{subparens}{ #2)}
```



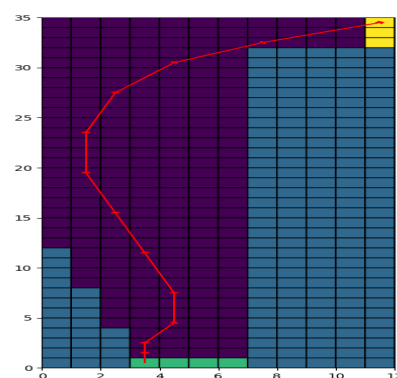
a) 不合理的轨迹



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(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。

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}
```

$$a = b + c$$

$$d = e + f + g$$

$$h + i = j + k$$

$$l + m = n$$

(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 [7]

`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}
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}
```

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

其中矩阵/向量加粗使用 `\bm{}` 命令。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 [7]，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^[7,9]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 $\{\bm{W}\}_1$ 和  $\{\bm{W}\}_2$  是对称矩阵, 且 $\{\bm{W}\}_2$ 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,  $\bm{F}$ 满足式\eqref{eq_F}的定义, 且 $\{\bm{W}\}_1$ 非
  奇异, 则有 $0 \leq e \left( \bm{F} \right) < 1$ , 其中 $e \left( \bm{F} \right)$ 是  $\bm{F}$ 
  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。

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^[9]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^[9]。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，本模板最大的改进就是引入 BibLaTeX。关于这部分知识可参考文献 [7,9] 的第六章，6.1 节参考文献和 BIBTEX 工具。

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 [10]。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，科学上网很重要，通常我们使用谷歌学术搜索文献并利用chrome的zotero插件直接捕获文献著录信息。但我使用蓝灯，代理服务器均遇到过被谷歌学术封锁的情况。只能不断换科学上网方法。这里我现在用的chrome插件：谷歌上网助手，它可以轻松捕获谷歌学术的著录信息，注册一个账号即可使用。谷歌上网助手有可能和某些代理冲突。这些都是科学上网的问题，已经超出了本项目的范围，听说百度一下 v2ray 可发现新大陆，可惜我试了Vultr的服务器依然被谷歌封。知网捕获中文参考文献著录信息的话不需要考虑这个问题，直接在知网首页搜索文献然后点击插件既可以选想捕获的著录了。

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 [11]、[12] 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。

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）。

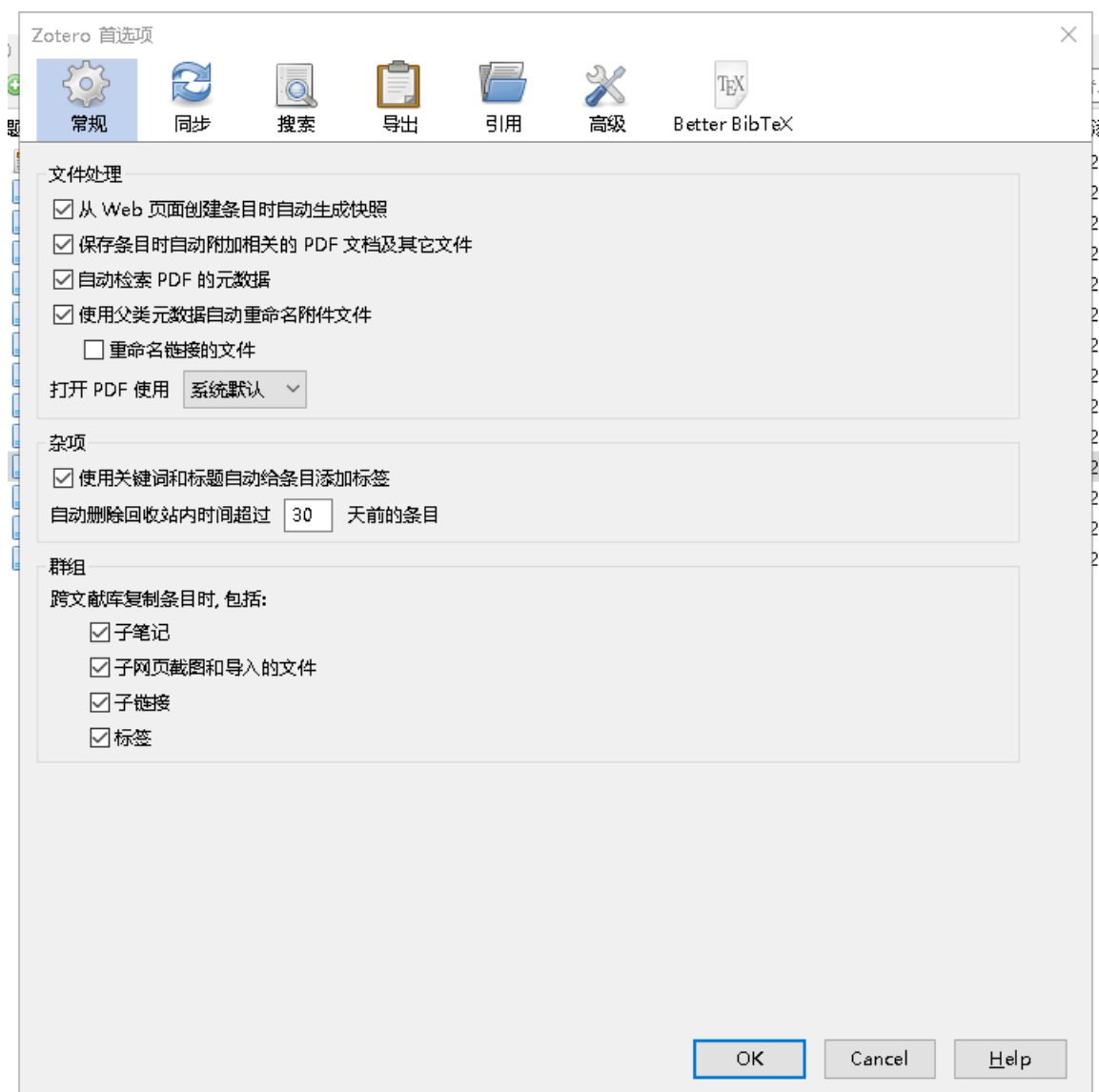


图 3-5 常规

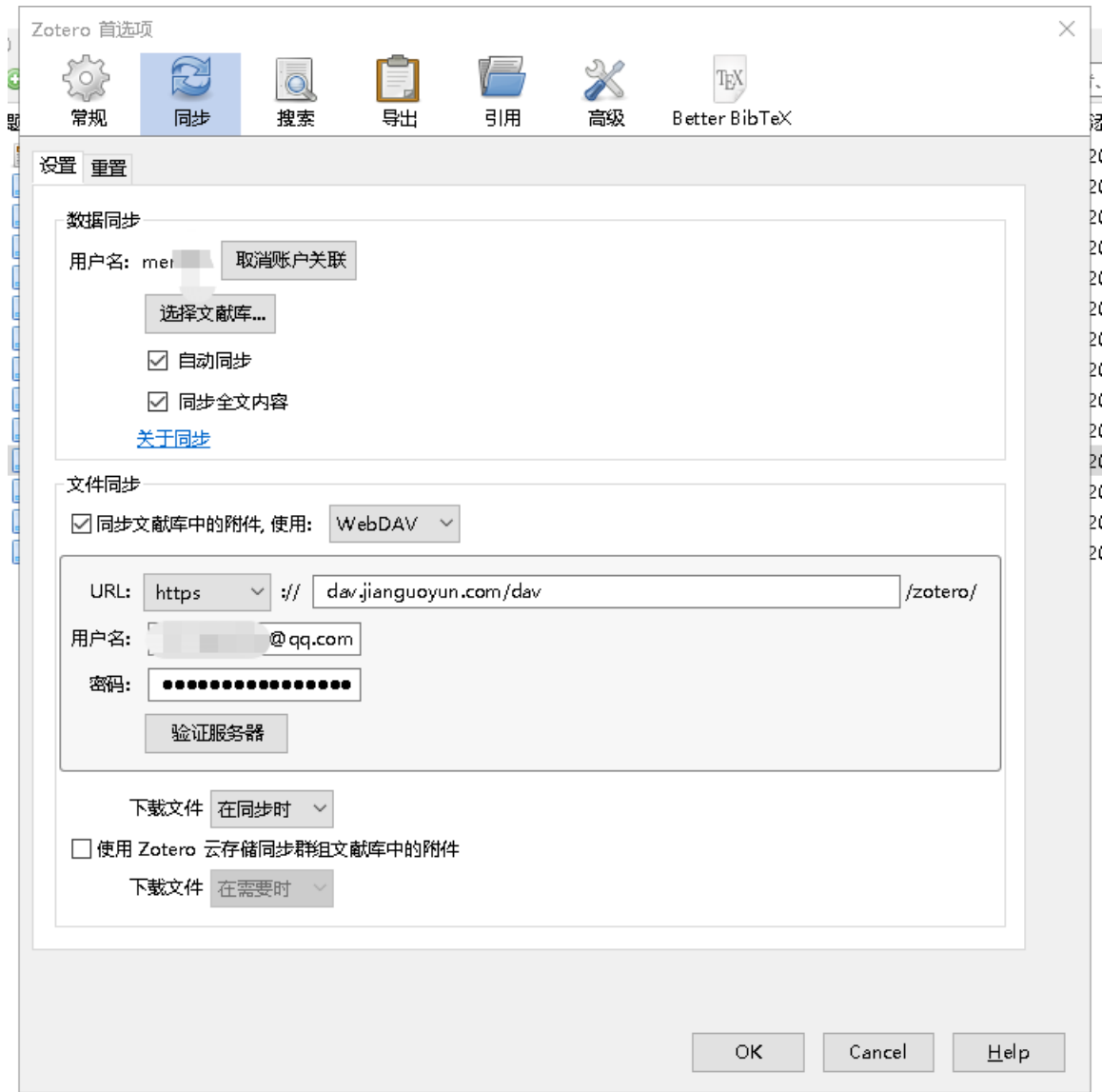


图 3-6 同步 1

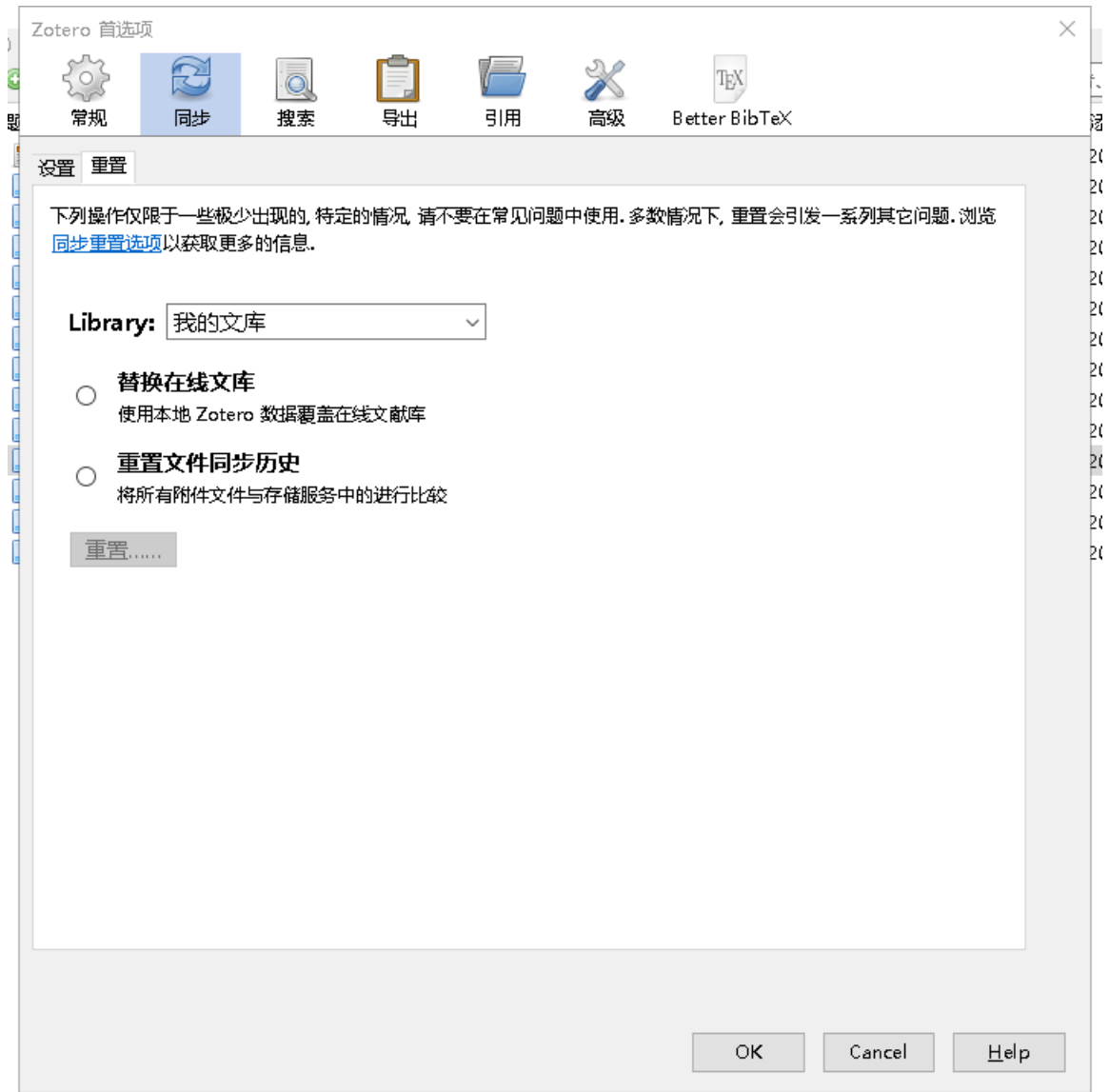


图 3-7 同步 2

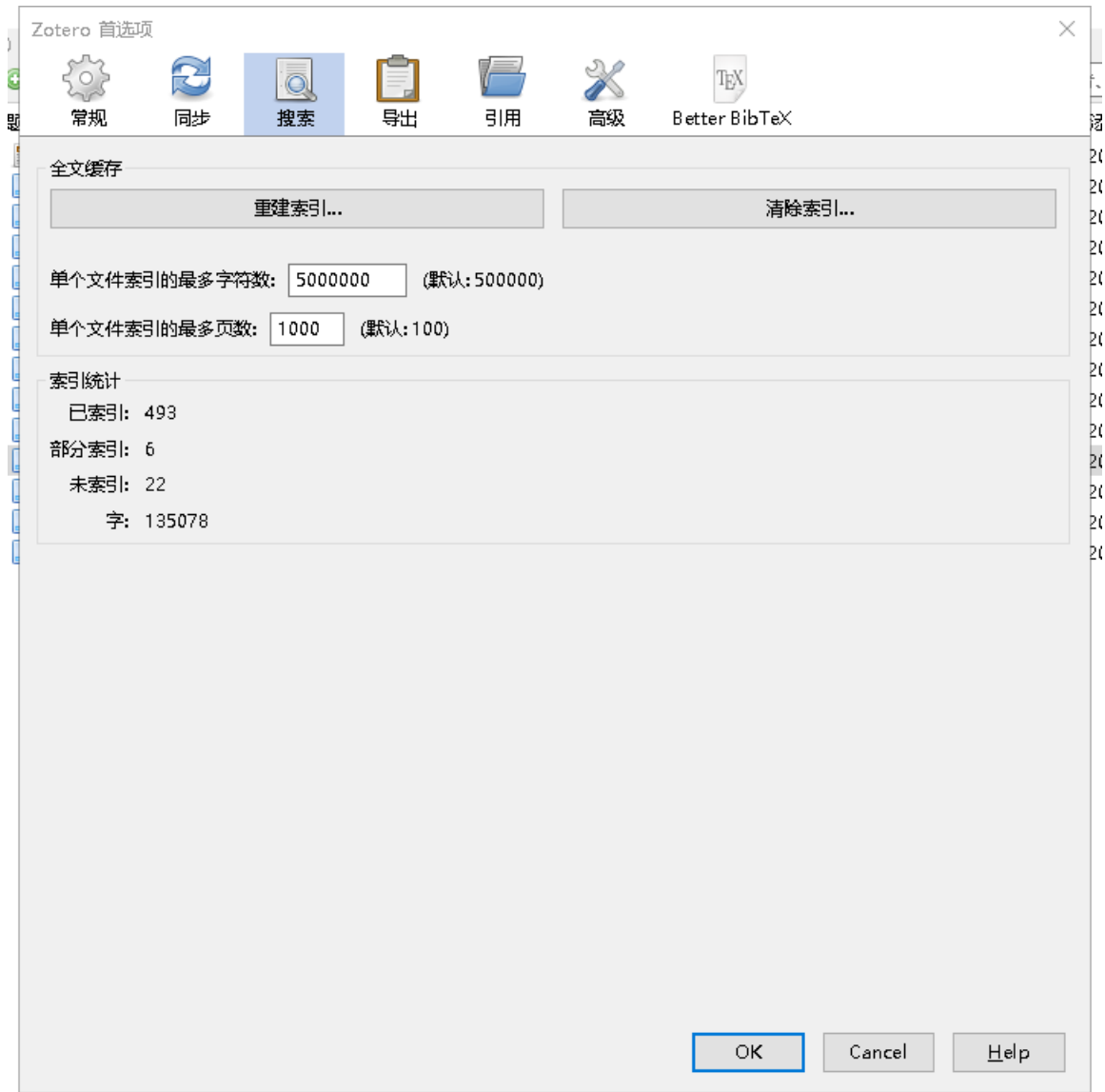


图 3-8 搜索

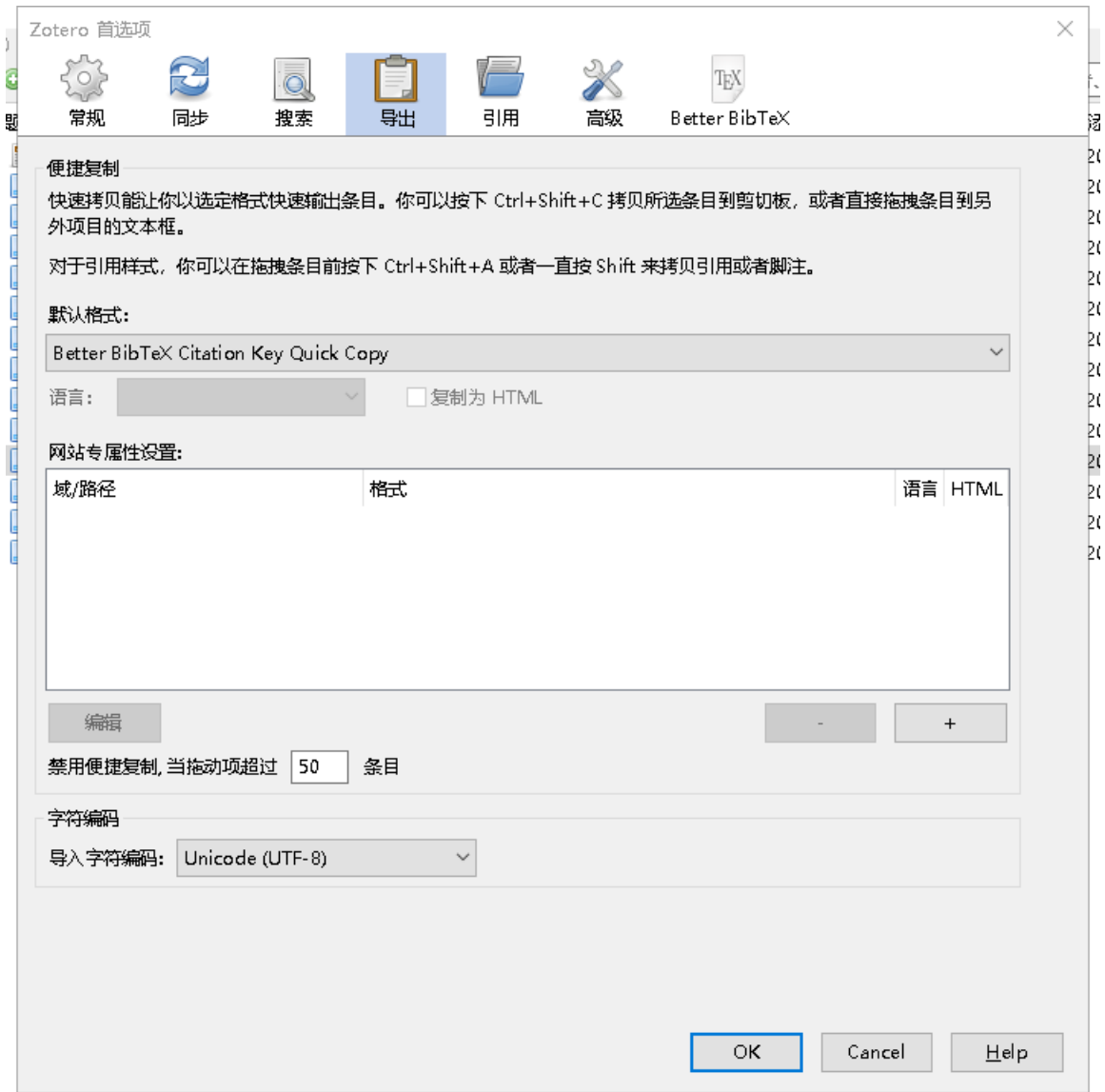


图 3-9 导出

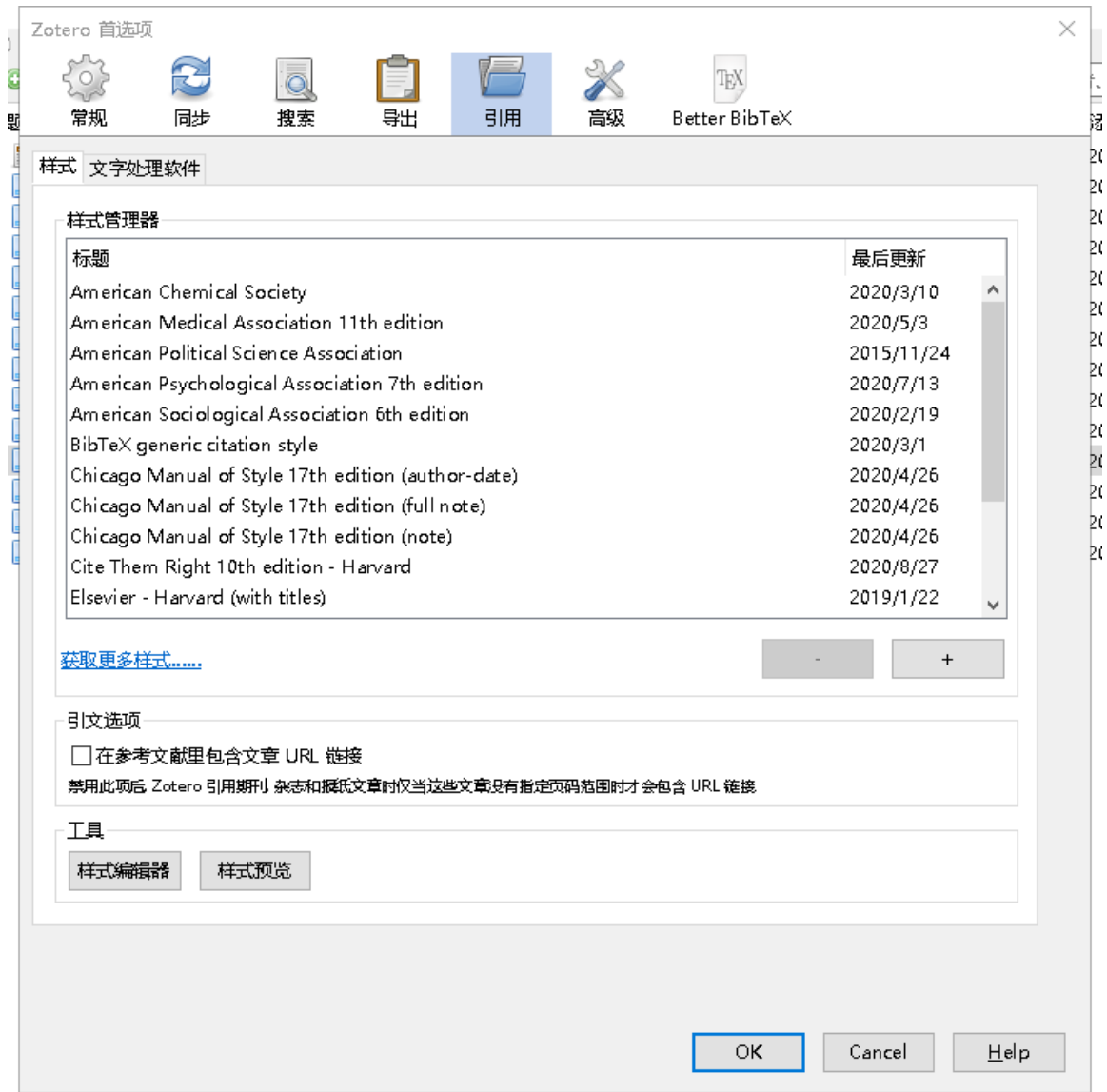


图 3-10 引用

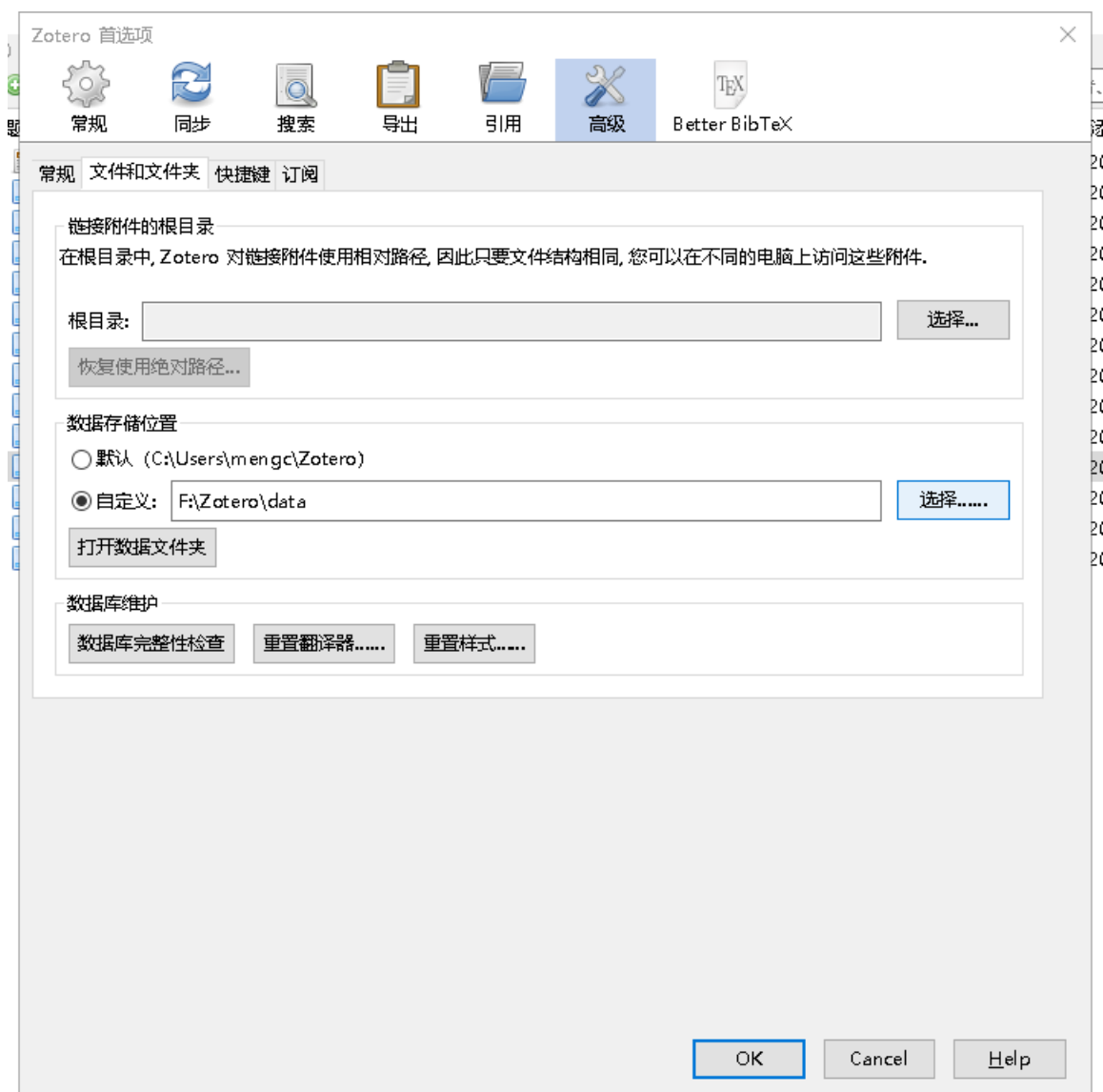


图 3-11 高级 1

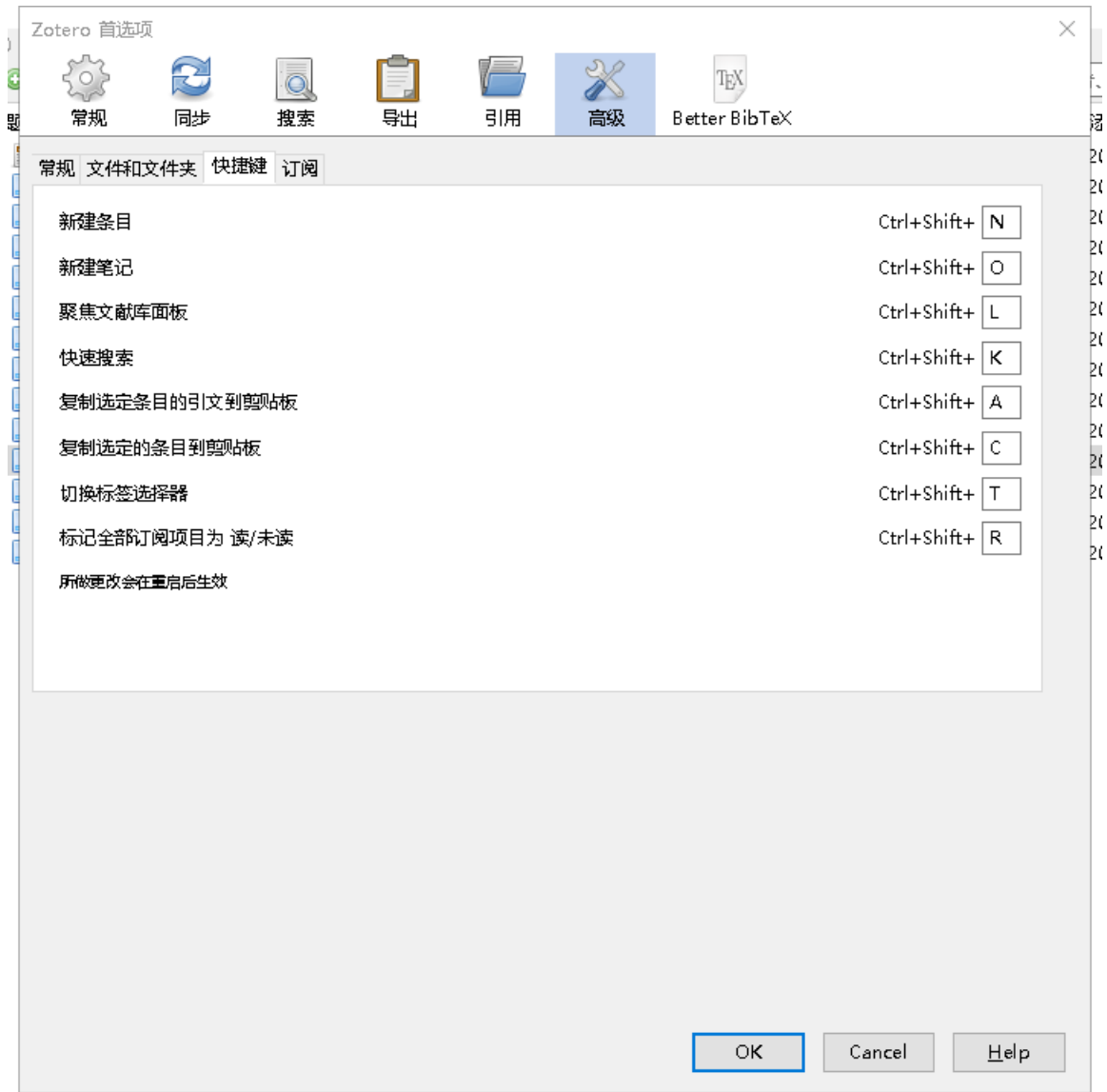


图 3-12 高级 2

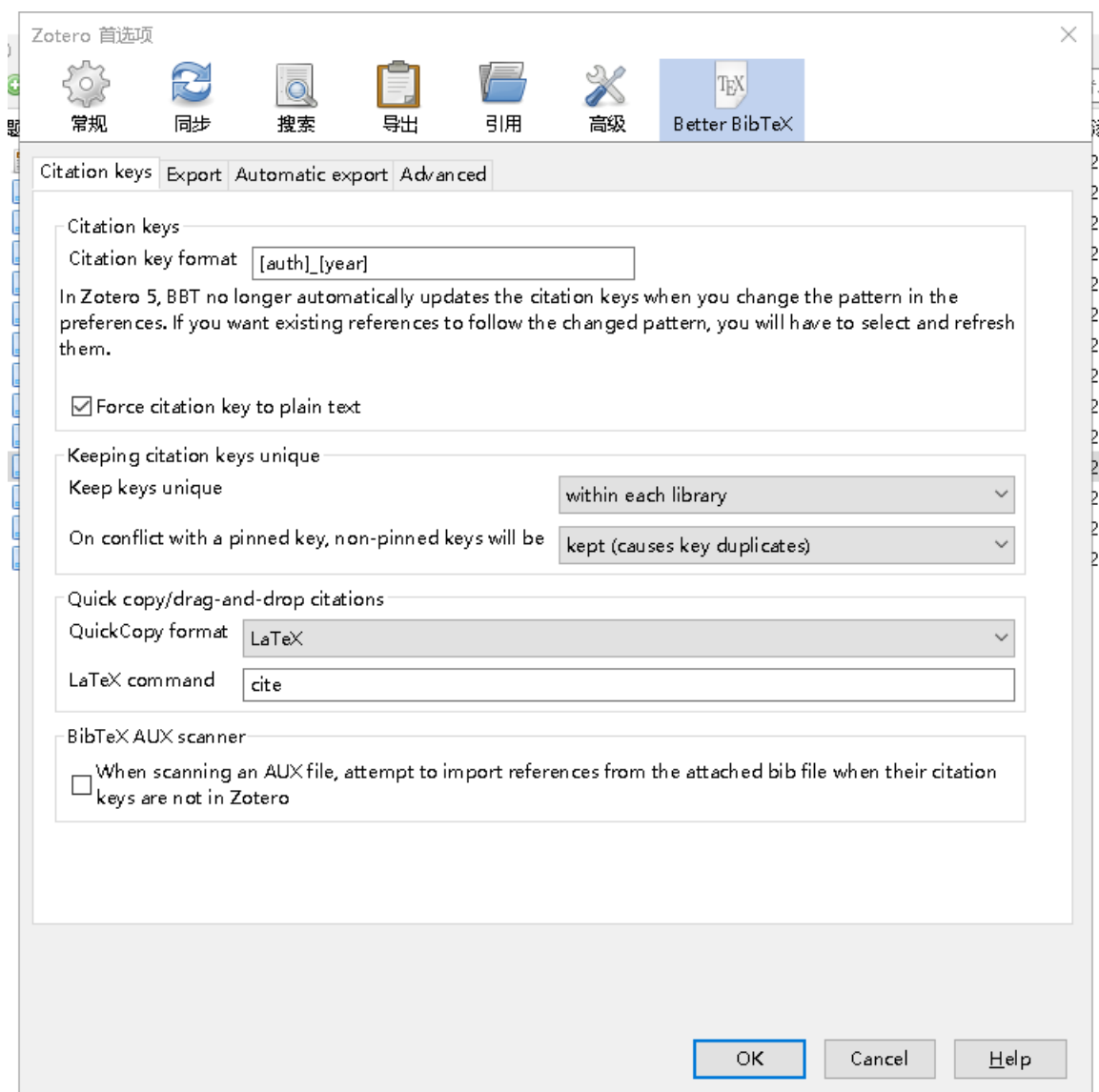


图 3-13 Better BibTeX1

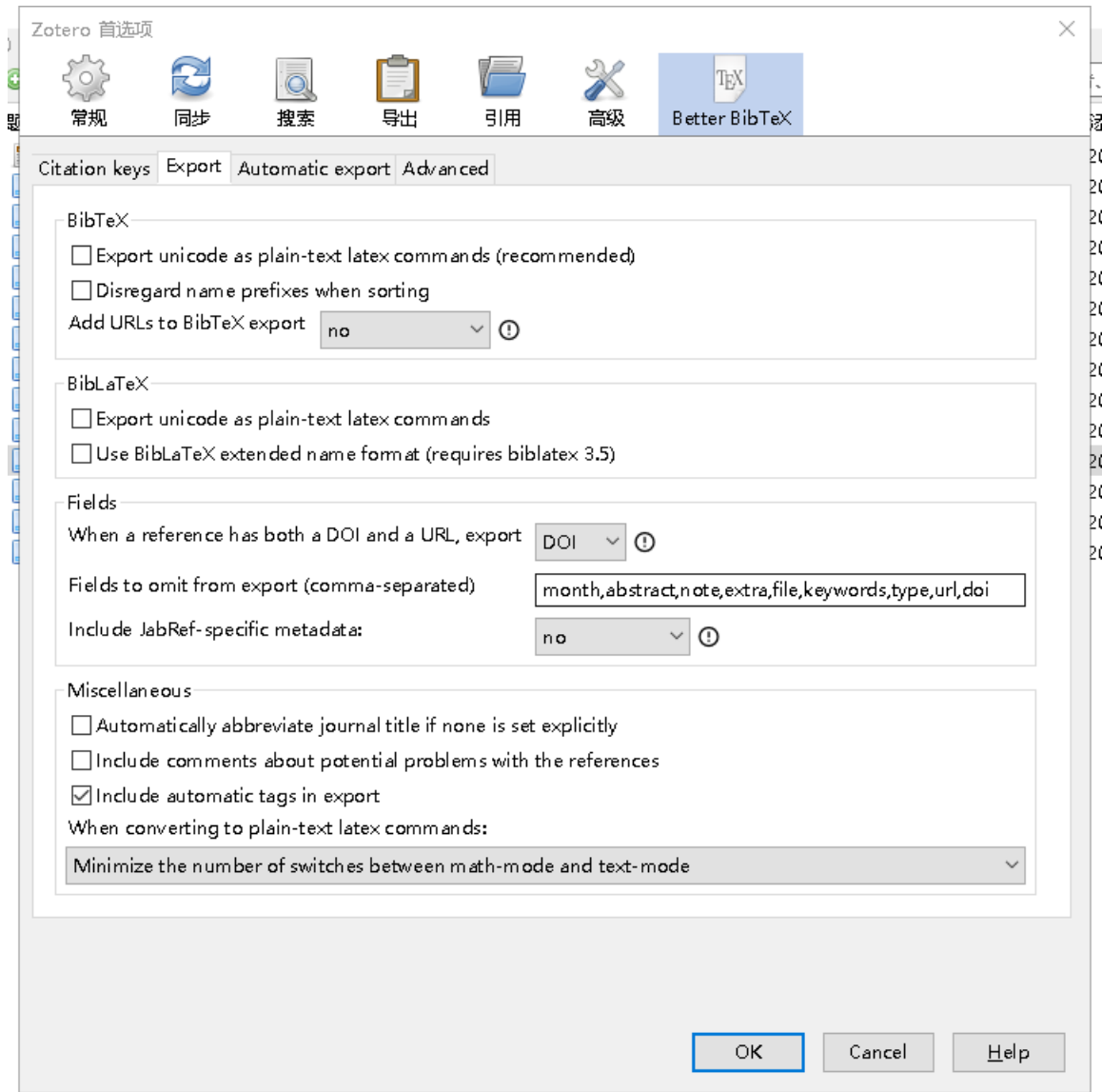


图 3-14 Better BibTeX2

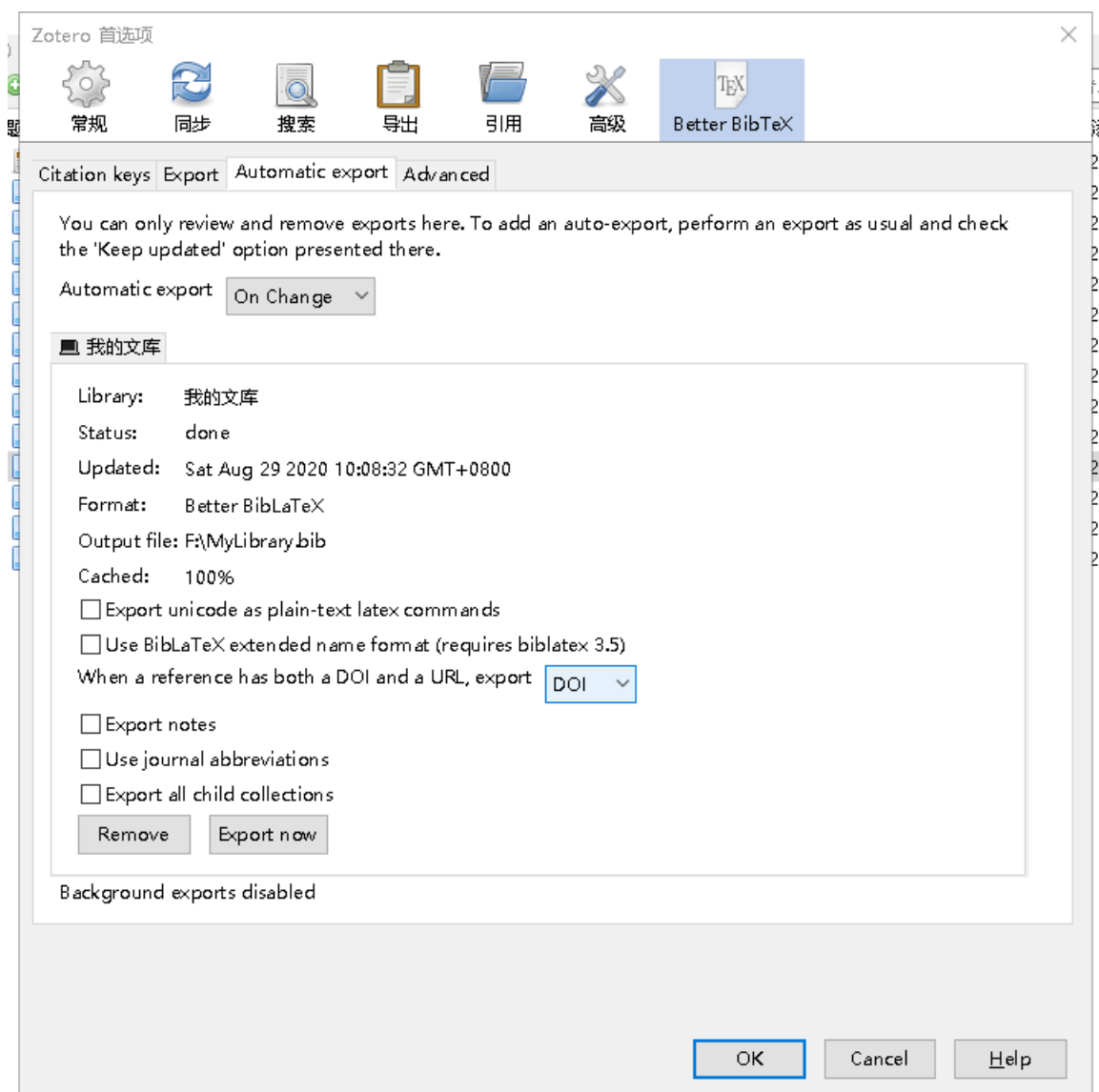


图 3-15 Better BibTeX3

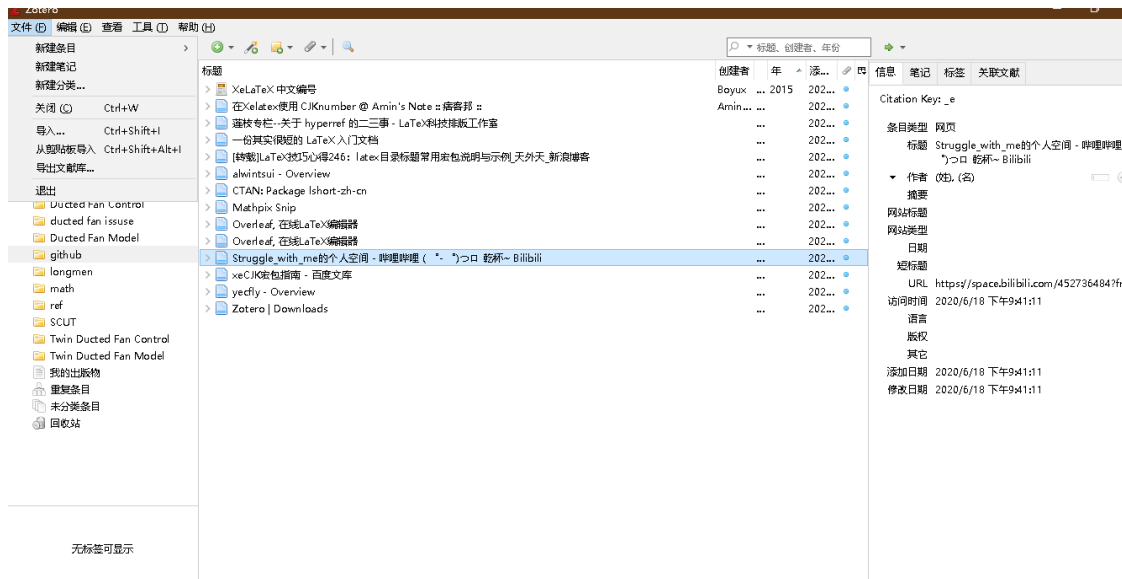


图 3-16 导出文献库

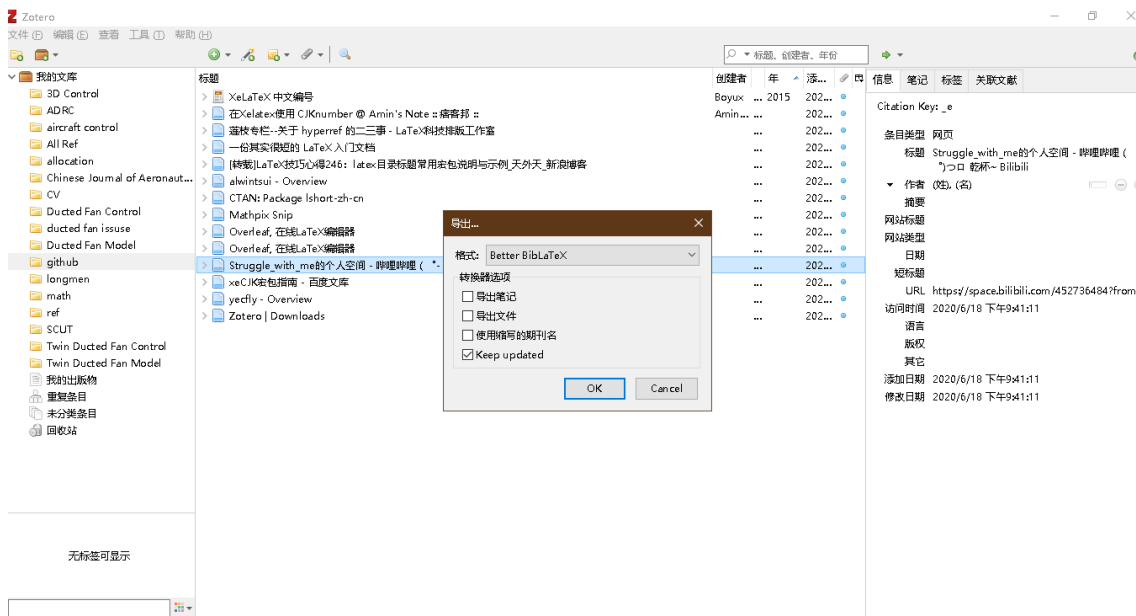


图 3-17 导出格式

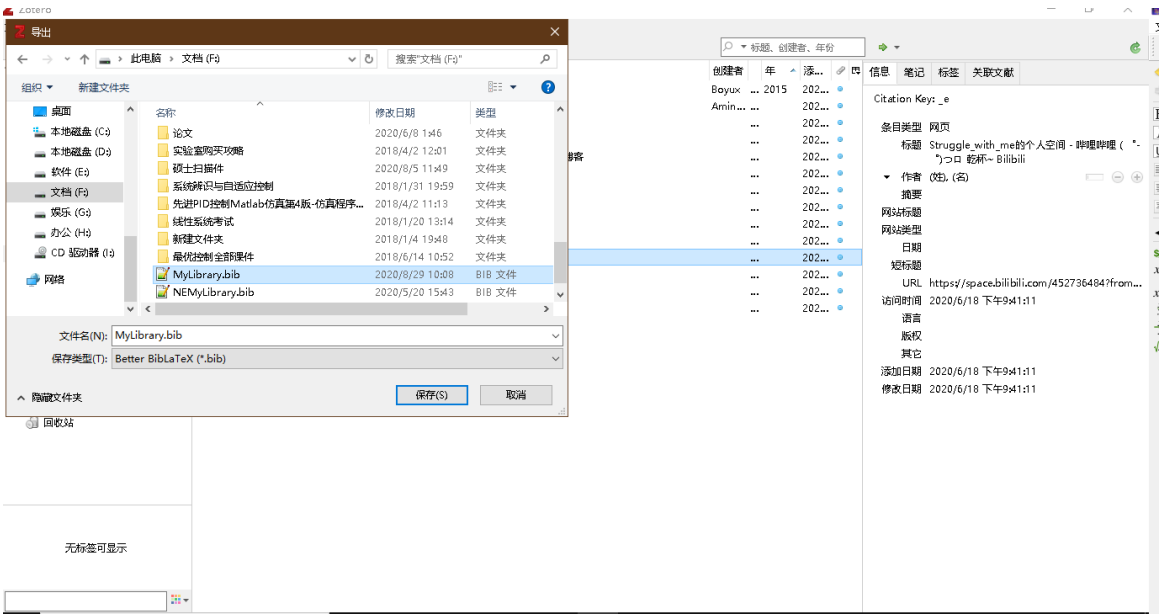


图 3-18 导出文件名

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

\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

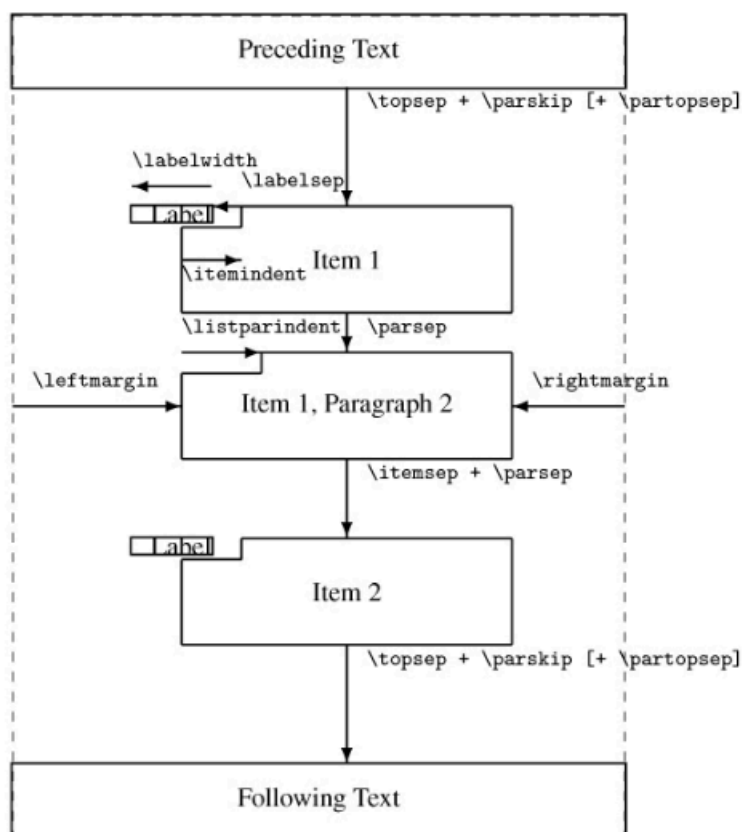


图 4-1 enumitem 包对各种间距的定义

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

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：

- [illegible]

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

(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

[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：

(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。总结下来最最最麻烦的是科学上网，只有科学上网才能获取文献信息生成 bib 文件，后面就好办了。

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，上班之余我会尽量回复。

本模板会一直更新——2022-5-28

参考文献

- [1] Zaremba W, Sutskever I, Vinyals O. Recurrent neural network regularization[J]. ArXiv preprint arXiv:1409.2329, 2014.
- [2] Shi X, Chen Z, Wang H, et al. Convolutional LSTM network: A machine learning approach for precipitation nowcasting[J]. Advances in neural information processing systems, 2015, 28.
- [3] Cho K, Van Merriënboer B, Gulcehre C, et al. Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation[J]. ArXiv preprint arXiv:1406.1078, 2014.
- [4] Kipf T N, Welling M. Semi-supervised classification with graph convolutional networks[J]. ArXiv preprint arXiv:1609.02907, 2016.
- [5] Alwintsui - Overview[EB/OL]. GitHub. <https://github.com/alwintsui>.
- [6] Yecfly - Overview[EB/OL]. GitHub. <https://github.com/yecfly>.
- [7] 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>.
- [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] CTAN: Package Lshort-Zh-Cn[EB/OL]. <https://ctan.org/pkg/lshort-zh-cn>.
- [10] 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>.
- [11] Renduchintala A, Jahan F, Khanna R, et al. A Comprehensive Micro Unmanned Aerial Vehicle (UAV/Drone) Forensic Framework[J]. Digital Investigation, 30: 52-72.
- [12] 蒙超恒, 裴海龙, 程子欢. 涵道风扇式无人机的优先级控制分配[J/OL]. 航空学报, 41(10): 327-338. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2020&filename=HKXB202010026&v=H33nFWoKPiMVe8lDuZG26q9EEFHrc40qK0CS6t2FdhaWKR8ppb9it6SMeovM2l8e>.

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。

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]

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

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



图 1-1 测试测试测试



图 1-2 测试测试测试

1.2 测试测试测试

1.2.1 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。

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

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

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



图 2-1 测试测试测试



图 2-2 测试测试测试

表 2-1 测试测试测试

参数符号	数值	参数符号	数值	参数符号	数值
A_x, A_y, A_z	0.04082 m ²	ρ	1.225 kg/m ³	I_b	0.000029
k_{ϖ}	1.13342×10^{-6}	d_{ϖ}	1.13342×10^{-7}	k_{δ}	0.01495
$C_{D,x}, C_{D,y}$	0.43213	$C_{D,z}$	0.13421	q_a	1.49
l_a	-0.1121 m	d_{ds}	0.01495	d_{af}	0.01495
R	0.11 m	b	2	S	0.04082 m ²
$C_{l_{\alpha}}$	2.212 /rad	$C_{l_{\max}}$	1.05	$C_{l_{\min}}$	-1.05
l_2	0.06647 m	l_1	0.17078 m	m	1.53 kg
$C_{d,o}$	0.9	$C_{d,g}$	0.9	C_{duct}	0.78497
I_x	0.02548	I_y	0.02550	I_z	0.00562

表 2-2 测试测试测试

参数符号	数值	参数符号	数值	参数符号	数值
I_x	0.054593	I_y	0.017045	I_z	0.049226
l_1	0.0808 m	l_2	0.175 m	l_3	0.06647 m
l_4	0.2415 m	l_5	0.1085 m	m	3.7 kg

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	蒙超恒、裴海龙、程子欢	涵道风扇式无人机的优先级控制分配	航空学报	已录用，2020年5月	2.1、2.2、3.4、4.1、4.2、5.1和5.3节	EI
2	蒙超恒、裴海龙、程子欢	Dynamic Control Allocation for A Twin Ducted Fan UAV	2020 International Conference on Guidance, Navigation and Control	已录用，2020年8月	2.3、4.3和5.2节	EI

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

蒙超恒

2020 年 7 月 10 日

于华南理工大学