

# L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 学习笔记

司英成

2022 年 1 月 6 日



# 摘要

本文是根据 github 上的一个 latex-cookbook(<https://github.com/xinychen/latex-cookbook>) 学习  $\text{\LaTeX}$  的基本使用, 本文也使用  $\text{\LaTeX}$  编写。



# 目录

<b>第一章 横空出世的 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X</b>	<b>11</b>
1.1 Tex 和 L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X	11
1.2 引领浪潮的 L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X	12
1.2.1 L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X 的出现	12
1.2.2 L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X 的特点	13
1.2.3 L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X 编辑器	15
1.3 应运而生的在线系统	16
1.3.1 L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X 在线系统的出现	16
1.3.2 L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X 在线系统的特点	17
1.4 L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X 问答社区	19
1.4.1 问答社区的介绍	19
1.4.2 高频访问问题	20
1.5 关于 L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X 的开源项目	20
1.5.1 开源社区 GitHub	20
1.5.2 学位论文 L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X 模板	21
1.5.3 L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X 绘制图形	22
1.5.4 L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X 制作简历	23
1.5.5 L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X 制作幻灯片	23
1.5.6 L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X 制作海报	24
1.5.7 推荐指导本书的开源项目	24
1.6 L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X 制作中文文档	24
1.6.1 使用 CJKutf8 宏包	25
1.6.2 使用 CTEX 宏包	25
<b>第二章 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 基础介绍</b>	<b>27</b>
2.1 L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X 语法规则	27

2.1.1	命令 . . . . .	27
2.1.2	环境 . . . . .	28
2.1.3	宏包 . . . . .	29
2.2	L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X 代码结构 . . . . .	29
2.2.1	前导代码 . . . . .	30
2.2.2	主体代码 . . . . .	31
2.3	文档类型介绍 . . . . .	32
2.3.1	基本介绍 . . . . .	32
2.4	简单文档的制作 . . . . .	33
2.4.1	制作封面 . . . . .	33
2.4.2	开始创建文档 . . . . .	33
2.5	一些基本命令 . . . . .	35
2.5.1	全局格式设置 . . . . .	35
<b>第三章</b>	<b>文本编辑</b>	<b>39</b>
3.1	创建标题部分、摘要及关键词 . . . . .	39
3.1.1	创建标题部分 . . . . .	39
3.1.2	创建摘要及关键词 . . . . .	40
3.2	创建章节 . . . . .	40
3.3	生成目录 . . . . .	41
3.3.1	调整章节层次深度 . . . . .	41
3.3.2	给目录设置别名 . . . . .	42
3.3.3	给目录设置链接 . . . . .	42
3.4	编辑段落 . . . . .	42
3.4.1	段落首行缩进 . . . . .	42
3.4.2	段落间距调整 . . . . .	42
3.4.3	段落添加文本框 . . . . .	43
3.4.4	段落对齐方式调整 . . . . .	43
3.5	文字编辑 . . . . .	43
3.5.1	调整字体样式 . . . . .	43
3.5.2	调整字体大小 . . . . .	43
3.5.3	调整字体颜色 . . . . .	45
3.5.4	字体设置 . . . . .	45
3.5.5	下划线与删除线 . . . . .	46
3.5.6	特殊字符 . . . . .	47

3.6	创建列表 . . . . .	48
3.6.1	无序列表 . . . . .	48
3.6.2	排序列表 . . . . .	49
3.6.3	阐述性列表 . . . . .	50
3.6.4	自定义列表格式 . . . . .	50
3.7	创建页眉、页脚及脚注 . . . . .	52
<b>第四章</b>	<b>公式编辑</b>	<b>55</b>
4.1	基本介绍 . . . . .	55
4.1.1	数学公式环境 . . . . .	56
4.1.2	基本格式调整 . . . . .	59
4.2	常用数学符号 . . . . .	62
4.2.1	运算符号 . . . . .	62
4.2.2	标记符号 . . . . .	64
4.2.3	各类括号 . . . . .	65
4.2.4	空心符号 . . . . .	66
4.2.5	特殊函数 . . . . .	67
4.3	希腊字母 . . . . .	68
4.4	微积分 . . . . .	70
4.4.1	极限 . . . . .	70
4.4.2	导数 . . . . .	71
4.4.3	积分 . . . . .	72
4.5	线性代数 . . . . .	74
4.5.1	矩阵 . . . . .	74
4.5.2	符号 . . . . .	76
4.5.3	范数 . . . . .	79





# 引言

1977 年，计算机科学家克努斯博士<sup>1</sup>开发了一款名为 TeX 的文档排版系统，作为一种计算机程序语言，它能够专门用于制作各类技术文档，并且对制作包含数学公式的技术文档具有良好的适用性。克努斯博士开发 TeX 其实存在一些意外：上世纪 70 年代，克努斯博士在修改自己的著作时，由于当时的排版质量差到让他难以容忍，所以他便转而开始思考能否开发出高质量的文档排版系统。

在使用过程中，TeX 制作文档的方式非常特殊，与今天常用的办公软件 Word 等截然不同，它是完全使用计算机程序语言来制作文档的。由于其对计算机语言的高度依赖，这款系统的使用门槛较高，但也具有很多优点，其中最为人称道的优点是它可以书写大量复杂的数学表达式。基于 TeX，兰波特博士<sup>2</sup>于 1985 年开发了另一款文档排版系统，名为 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X，兰波特博士设计这款系统初衷是让人们从排版样式这些繁琐的细节中解放出来，从而将精力集中在文档结构和文档内容上，这一做法很快便让 LaTeX 取代了 TeX。后来，LaTeX 的众多开发者对 LaTeX 最初版本进行了更新和提升，也就是我们今天一直在用的 LaTeX。

---

<sup>1</sup>Donald E. Knuth，直译名为唐纳德·尔文·克努斯，中文名为高德纳，美国计算机科学家，现代计算机科学的先驱人物，在计算机科学及数学领域著有多部影响深远的著作，于 1974 年获得图灵奖。

<sup>2</sup>Leslie Lamport，直译名为莱斯利·兰波特，美国计算机科学家，于 2013 年获得图灵奖，他获得图灵奖的原因并非在于开发了 LaTeX，而是源于他在所研究的学术领域做出的突出贡献。



# 第一章 横空出世的 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

## 1.1 Tex 和 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

TeX 是一种专门用于文档排版的计算机程序语言，同时也是一款文档排版系统，它几乎和微软推出的 Office 办公软件同时出现，后来成为人们制作文档的两种最佳工具。TeX 和 Office 制作文档的方式截然不同，Office 的使用门槛并不高，只要掌握一些基本操作就能够制作文档；而 TeX 则需要一定的计算机编程基础，除了一些基本命令，还要掌握 TeX 环境和一些特定的宏包。实际应用中，TeX 以其高质量、高效率的排版输出，特别是数学公式的排版能力而闻名，被科研工作者广泛用于科技文档的制作。

TeX 是怎么出现的呢？有时候，新生事物的出现往往会伴随着一定的契机和巧合。在 20 世纪 70 年代末，克努斯博士正准备出版其著作《计算机程序设计艺术》时，他发现出版社提供的排版效果不太理想，当时的计算机排版技术也十分粗糙，这严重影响了他的著作的印刷质量，于是，他计划花费几个月的时间开发出一套更有效的文档排版系统，具体的开发目标是实现高质量的书籍排版。

由于克努斯博士此次在数学公式的排版上下足了功夫，就在他启动这项计划不久后，他收到了美国数学协会 (American Mathematical Society, AMS) 的邀请，克努斯博士在此次邀请中汇报的内容是“基于 TeX 排版，如何让计算机服务于数学”，这次汇报成功吸引了一大批数学家的目光。由于 TeX 在数学公式排版方面的优秀表现，比如数学公式的自动间距调整，TeX 后来摇身一变成为了书写数学公式的“利器”。

为了提升 TeX 的开发质量，克努斯博士悬赏奖励任何能够在 TeX 中发现程序漏洞的人，也就是我们一般认为的“找 bug”。每一个 bug 的奖励金额从 2.56 美元（16 进制的 100 美分）开始，以后每发现一个 bug，都会翻倍，直到 327.68 美元封顶。然而，克努斯博士从未因此而损失大笔金钱，因为 TeX 中的 bug 极少，而真正发现 bug 的人在获得支票后往往因其纪念价值而不愿兑现。

随着时间的推移，TeX 也派生出了很多优秀的软件，其中最著名的派生软件便是 LaTeX。另外，美国数学学会也发布了 TeX 版本的数学公式宏包，其中，以 `ams` 命



图 1.1: 克努斯博士, 注: 图片来源为克努斯博士的维基百科

名的宏包就有 *amsmaths*、*amsmath*、*amssymb* 等, 这些宏包都可以在  $\text{\LaTeX}$  上进行使用, 在  $\text{\LaTeX}$  上使用这些宏包可以编辑出各种数学公式。

#### 参考资料

$\text{\TeX}$  的维基百科介绍: <https://zh.wikipedia.org/wiki/TeX>.

## 1.2 引领浪潮的 $\text{\LaTeX}$

### 1.2.1 $\text{\LaTeX}$ 的出现

$\text{\LaTeX}$  是一款高质量的文档排版系统,  $\text{\LaTeX}$  在读法上一般发作 Lay-tek 或者 Lah-tek 的音, 而不是大家普遍认为的 Lay-teks。  $\text{\LaTeX}$  的历史可以追溯到 1984 年, 兰伯特博士作为早期开发者在这一年发布了  $\text{\LaTeX}$  的最初版本。事实上,  $\text{\LaTeX}$  完全是兰伯特博士的意外所得, 他当年出于自己写书的需要, 在早先发布的文档排版系统  $\text{\TeX}$  基础上新增了一些特定的宏包, 为了便于自己日后可以重复使用这些宏包, 他将这些宏包进行规整, 于是, 便有了相应的标准宏包 (standard macro package)。谁曾想, 正是这些不经意间开发出来的宏包, 在经过后续封装和发布使用手册之后, 形成了  $\text{\LaTeX}$  的雏形。

在很长一段时间里,  $\text{\LaTeX}$  的版本其实没有多少大的更新, 从技术层面来说,  $\text{\LaTeX}$  实在没有什么可供更新的地方了, 它最初的面貌已趋近于完美且深入人心。  $\text{\LaTeX}$  的最初版本是由兰伯特博士于上世纪 80 年代初开发出来的, 目前, 广泛使用

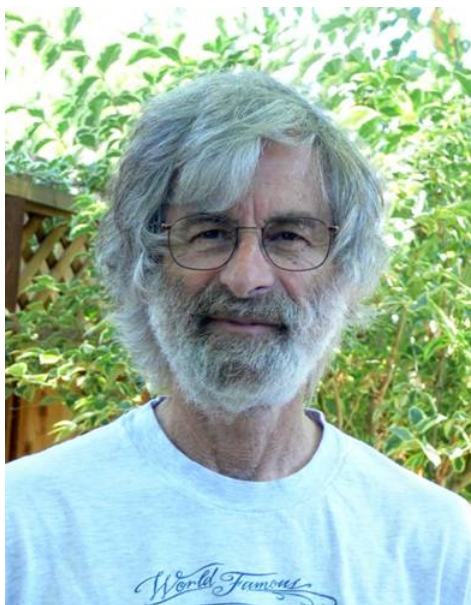


图 1.2: 兰伯特博士，注：图片来源为兰伯特博士的维基百科

的版本  $\text{LaTeX}2\epsilon$  是在 1994 年发布的，发布后一直没有大的更新，甚至发布后的首次更新出现在二十多年后的 2020 年。尽管  $\text{LaTeX}2\epsilon$  的后续版本更新工作早在上世纪九十年代初就已经开展了，但时至今日，新版的  $\text{LaTeX}$  仍未进入人们的视野。从开发者兰伯特博士的角度来看，开发  $\text{LaTeX}$  的目的是为了降低  $\text{TeX}$  的使用门槛、更容易地发挥  $\text{TeX}$  强大的排版功能，提供一款高质量、解释性强的计算机程序语言，所以  $\text{LaTeX}$  最初的风格就是精简，这也是为什么  $\text{LaTeX}$  在日后可供提升的地方不是很多的原因。

### 1.2.2 $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ 的特点

由于种种原因，时至今日， $\text{TeX}$  几乎淡出了人们的视线，不过我们现在依旧能看到：在使用  $\text{LaTeX}$  制作文档时，通常需要创建一个以 *.tex* 为拓展名的文件。对于很多人来说，日常制作各类文档的首选可能是 Word 等软件，它简单好用、所写即所见，但当我们制作几十页甚至上百页的文档时，Word 的劣势就会展露无疑，因为我们需要投入大量的时间和精力来对文档内容进行排版。反观  $\text{LaTeX}$ ，它对文档的排版都是自动完成的，我们根本不需要像 Word 那样完全手动调整格式，另外，使用  $\text{LaTeX}$  插入各种图形、表格、公式、文献时，相应的索引出错的可能性也非常小，这些优点都是 Word 所无法比拟的。

在上个世纪 80 年代和 90 年代， $\text{LaTeX}$  的用户群体非常庞大，然而，在世纪之交，随着微软推出的一系列 Windows 操作系统快速发展，例如红极一时的 XP 系统，

相应的办公软件 Microsoft Office 也以其便捷性吸引了人们的视线，致使大量 LaTeX 用户转而使用 Microsoft Office。即便如此，时至今日，LaTeX 的用户群体依旧十分庞大，这主要得益于 LaTeX 强大的文档排版能力，虽然 LaTeX 复杂的语法结构、不容配置的编译环境让很多初学者望而却步，但 LaTeX 能让用户更专注于内容创作，而非锦上添花的“排版”，这一显著特点契合了人们对质量和效率的追求，使得 LaTeX 在文档排版、论文撰写等方面占有重要地位。在此基础上，具体来说，使得 LaTeX 历久弥新的关键可以归纳为以下五点：

1. LaTeX 是专门用于制作文档的计算机程序语言。在众多计算机程序语言中，LaTeX 可以制作排版连贯性极好的专业文档。
2. 独特的创作方式。尽管 LaTeX 沿用了 TeX 排版系统，但使用 LaTeX 制作文档时，内容创作和文档生成却是分开的，有需要的时候，我们可以预览创作的文档。因此，在创作的过程中，创作者不再像使用办公软件 Word 那样，既要关注创作内容，又要同步关注繁琐的排版和格式，使用 LaTeX 制作文档能在真正意义上让创作者专注于创作内容本身。更值得一提的是，当文档篇幅较大时，使用 LaTeX 无疑会让我们节省大量的时间和精力。
3. 简单的逻辑结构。使用 LaTeX 制作文档时，创作者可以通过一些非常简单的逻辑结构进行创作，如 chapter（章）、section（节）、table（表格）。因此，LaTeX 的使用门槛并不像真正的程序语言那么高。很多人或许在使用 LaTeX 的过程中都不会用到 for 等基本的循环语句。
4. 对数学公式以及特殊符号的支持程度。众所周知，LaTeX 在开发之初，是作为数学和计算机相关研究人员的创作工具，这类群体喜欢使用 LaTeX 的原因无外乎是 LaTeX 可以通过一些简单的代码生成复杂的数学表达式和特殊符号。
5. 编译以 *.tex* 为拓展名的 LaTeX 文件后会得到一个 PDF 文档，PDF 文档不存在跨平台、兼容性问题，可以在各种操作系统上打开。

当然，除了上述五点，实际上可能还有十分重要的一点，那就是 LaTeX 能够制作各类文档，从科技论文、技术报告、著作、学位论文、幻灯片甚至到科技绘图一应俱全，当然它也支持嵌入图片、绘制图形、设计表格、插入参考文献等。

从 LaTeX 的出现到当下，它已经形成了一套非常高效的文档制作环境：

- 文档类型 (document class)。文档类型是文档排版样式的基调，这些类型包括文章 (article)、报告 (report)、幻灯片 (beamer) 等，在 *.tex* 文件中申明文档类型后，我们就可以开始文档创作了。

- 宏包 (package)。它是 LaTeX 中的重要辅助工具,也可以把它理解为一般意义上的工具包。在使用时,调用宏包的基本命令为 `\usepackage{}`,举例来说,包含颜色命令的宏包为 `color`,其调用语句为 `\usepackage{color}`。随着 LaTeX 的发展,越来越多的宏包被开发出来,这些宏包能满足特定的需求(如制表、插图、绘图),同时也能让 LaTeX 代码变得更加简洁,我们只需要用简单的 `\usepackage{}` 命令就能调用所我们需要用到的宏包。
- 模板 (template)。LaTeX 的发展催生了很多视觉和审美效果极好的模板,包括论文模板、幻灯片模板、报告模板甚至著作模板,这些模板在一定程度上能减少创作者在文档排版上的时间开销,也有很多学术刊物会给投稿作者提供相应的 LaTeX 模板。

通过对比 LaTeX 和 Word,我们还会看到:

- 第一, LaTeX 的 .tex 源文件是无格式的,编译之后,根据特定的模板和指定的格式形成最终的 PDF 文档,因此,使用 LaTeX 制作各类文档能够很方便地切换模板和修改格式;
- 第二, LaTeX 对公式、图表以及文献引用的支持是 Word 所无法比拟的,尤为特殊的是,当文献数量达到上百篇时,在 Word 中修改参考文献可能是“牵一发而动全身”,费时耗力,而 LaTeX 根据已经整理好的 .bib 文件可自动完成文献引用和生成。

### 1.2.3 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 编辑器

实际上,配置 LaTeX 环境包括两部分,即编译器和编辑器,对应的英文表达分别是 editor 和 compiler,两者不是一回事。LaTeX 编译器又称为 LaTeX 编译工具,可根据系统安装相应的编译工具:

- Linux 系统:可安装 TeX Live,该编辑器拥有 LaTeX 编辑器;
- Mac OS 系统:可安装 Mac TeX,该编译器拥有完整的 TeX/LaTeX 环境和 LaTeX 编辑器;
- Windows 系统:可安装 MiKTeX 或 TeX Live,两者都拥有完整的 TeX/LaTeX 环境和 LaTeX 编辑器。

目前,我们可以接触到很多 LaTeX 编辑器,这些编辑器的界面大致有两部分组成,即 LaTeX 源码编译区域和 PDF 文档预览区域。前面也提到了几款 LaTeX 编译器,但如果想要提高 LaTeX 的使用体验,以下几款 LaTeX 编辑器比较受人推崇:

- TeXworks: 这是 TeX Live 自带的一款轻量级编辑器。
- TeXstudio: 这款编辑器集代码编译与文档预览于一身。
- WinEdt: 这是 CTeX 自带的一款编辑器。
- VS Code: 这是微软推出的一款免费文本编辑器, 功能包括文本编辑、日常开发等。
- Atom: 这是一款开源的跨平台编辑器 (GitHub 网址为 <https://github.com/atom/atom>), 支持多种程序语言。

## 1.3 应运而生的在线系统

### 1.3.1 $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ 在线系统的出现

上世纪 80 年代,  $\text{LaTeX}$  作为一件新生事物, 在发布之初便引起了人们极大的兴趣, 虽然在制作文档方面拥有很多办公软件都无法比拟的强大优势, 尤其在数学公式编写及高效排版上具有很大优势, 但是由于其较高的使用门槛 (使用计算机程序语言进行编译) 和安装成本 (本地安装需要花费大量的时间配置相应的环境), 在很长一段时间里,  $\text{LaTeX}$  主要用户都是科研工作者。然而,  $\text{LaTeX}$  在线系统的出现已实实在在地改变了这一尴尬局面。

随着信息技术快速发展、互联网深度普及, 人们的工作生活方式也在发生着很大改变, 很多过去安装在本地的操作软件都被搬到了浏览器上, 人们无须在个人计算机上安装各类办公软件就能进行办公, 这带来了极大的便利。不过这类在线系统也存在一些先决条件, 例如, 出于计算资源方面的考虑, 通常要求在线系统的类型不能是计算密集型, 因为计算密集型的在线系统往往需要大量的计算资源作支撑。反观  $\text{LaTeX}$ , 尽管我们可以认为  $\text{LaTeX}$  是一种计算机程序语言, 但实际上, 其对计算资源的需求并不是很大。

在过去, 受网速限制, 使用线上系统几乎是一件难以想象的事。然而, 在线系统的兴起并非空穴来风, 一方面是目前网速已经跟过去发生了质的变化, 另一方面则是上网成本在急剧降低, 互联网触手可及, 已经成为人们日常生活和工作中不可或缺的一部分。以前, 我们可能已经习惯了在本地计算机上安装和使用各类软件或者集成开发环境, 不过以  $\text{LaTeX}$  为例, 在本地计算机上安装的集成开发环境也有很多缺陷:

- 第一, 我们需要为安装  $\text{LaTeX}$  编辑器腾出很大的存储空间;



- 第二,某些特定的宏包需要额外安装和配置,但安装过多宏包之后又会使 LaTeX 变得很臃肿,甚至是不友好;
- 第三,当我们在本地计算机使用 LaTeX 制作文档时,我们很难与合作者进行协同创作。

在这个背景下,一些成熟的 LaTeX 在线系统逐渐走进人们的视野,并受到很多用户的喜爱,其中,最为著名的 LaTeX 在线系统便是 *overleaf.com*。这些 LaTeX 在线系统不仅支持各种语言、各种拓展宏包等复杂的 LaTeX 环境,同时也支持实时编译和实时预览编译后的文档,就算是换一台电脑,也丝毫不会影响创作过程,创作完成之后,可以选择下载压缩文件包(如.zip),也可以只导出 PDF 文档,毫无疑问,这些人性化的设计都是为了让 LaTeX 更加便捷和高效。除此之外,现有的 LaTeX 在线系统还提供大量的 LaTeX 模板库,科技论文、毕业设计、幻灯片、海报、简历等参考模板一应俱全,就连 LaTeX 使用文档也数不胜数。

#### 在线系统 overleaf

Overleaf 是一个初创的科技企业,它的主要业务是构建现代化协作创作工具,即 LaTeX 在线系统,旨在让科学研究变得更加便捷和高效。目前,Overleaf 已合并另一款著名的 LaTeX 在线系统 ShareLaTeX,在全球范围内拥有超过 600 万用户,这些用户大多是来自于高校和研究机构的研究人员、老师以及学生,只要打开网址 [overleaf.com](https://www.overleaf.com),用户无需在本地计算机配置 LaTeX 环境就可以创建各种 LaTeX 项目。

关于 Overleaf 的介绍可参考 <https://www.overleaf.com/about>。

### 1.3.2 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 在线系统的特点

以 Overleaf 为例,该 LaTeX 在线系统往往具备以下几点特征:

- 免费和开源。可以免费注册和使用,不用下载和安装 LaTeX 编辑器,这一点对于初学者来说无疑是非常友好的;
- 使用简单。不管是在计算机、手机还是其他终端上,我们只需要使用浏览器打开 [overleaf.com](https://www.overleaf.com) 就可以开始创作,另外,由于 Overleaf 界面非常简洁,所以用户使用起来也非常便利;
- 支持实时在线编辑。有各类 LaTeX 插件,编辑功能十分完善,且具有实时编译和预览功能;

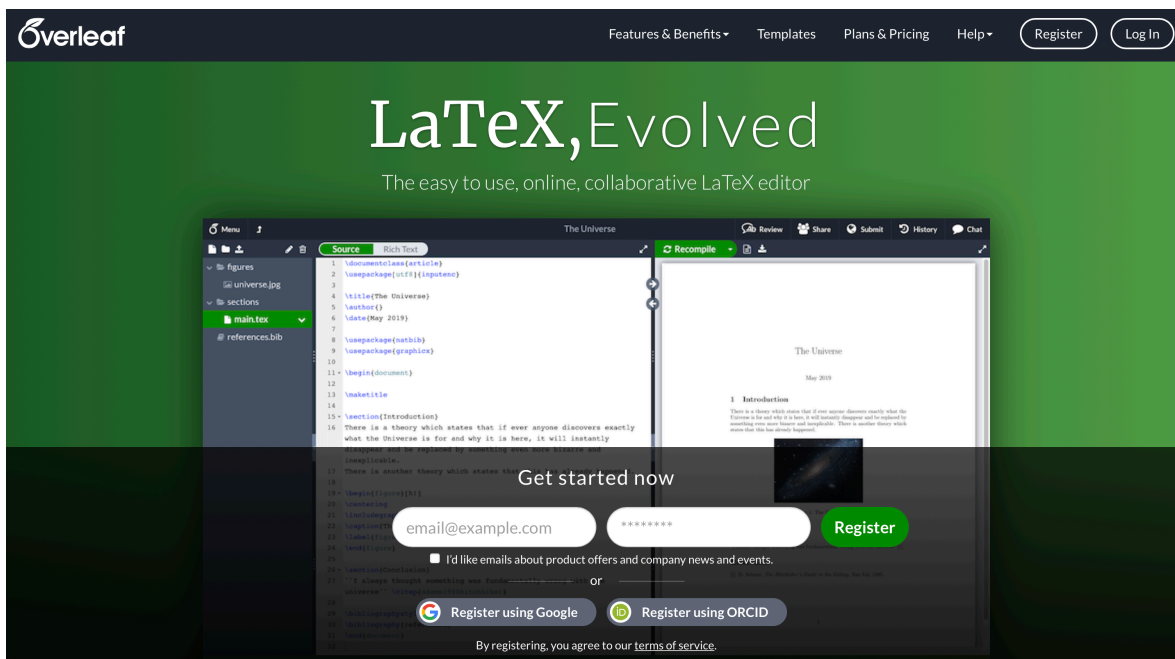


图 1.3: Overleaf 首页, 图片来源于 Overleaf 官网

- 支持在线协作。创作文档时, 我们可以将文档项目分享给合作者进行协作, Overleaf 支持实时编译, 不会出现版本控制混乱等问题;
- 支持双向定位。可以在 LaTeX 代码与 PDF 文档内容之间进行双向定位;
- 提供丰富的模板库。Overleaf 有着非常庞大的模板库, 不仅有正式的学术论文、学位论文和书籍的参考模板, 还有很多美观的报告、简历、幻灯片模板。就论文写作来说, 用户可以在 Overleaf 官网找到众多期刊的 LaTeX 模板, 根据使用说明, 用户很容易就能用于撰写自己的论文;
- 提供大量的帮助文档。LaTeX 提供了齐全的帮助文档, 从 LaTeX 快速入门、基础操作到编译数学公式, 应有尽有、一应俱全, 且这些文档内容具有很强的实操性。

LaTeX 在线系统的出现大大降低了 LaTeX 的使用门槛, 也为用户省去了繁琐的安装和配置过程。其实, LaTeX 在线系统的出现并非个例, 很多办公软件为迎合用户需求 and 时代发展趋势, 陆续转变了产品研发思路, 包括微软在线 Office 系统、腾讯在线文档等在内的很多在线系统都走进了人们的视野, 这些在线系统能够在线备份、满足人们对随时随地办公的需求, 在确保便捷和高效的同时, 在线和共享的理念正在潜移默化地影响着人们的办公模式。

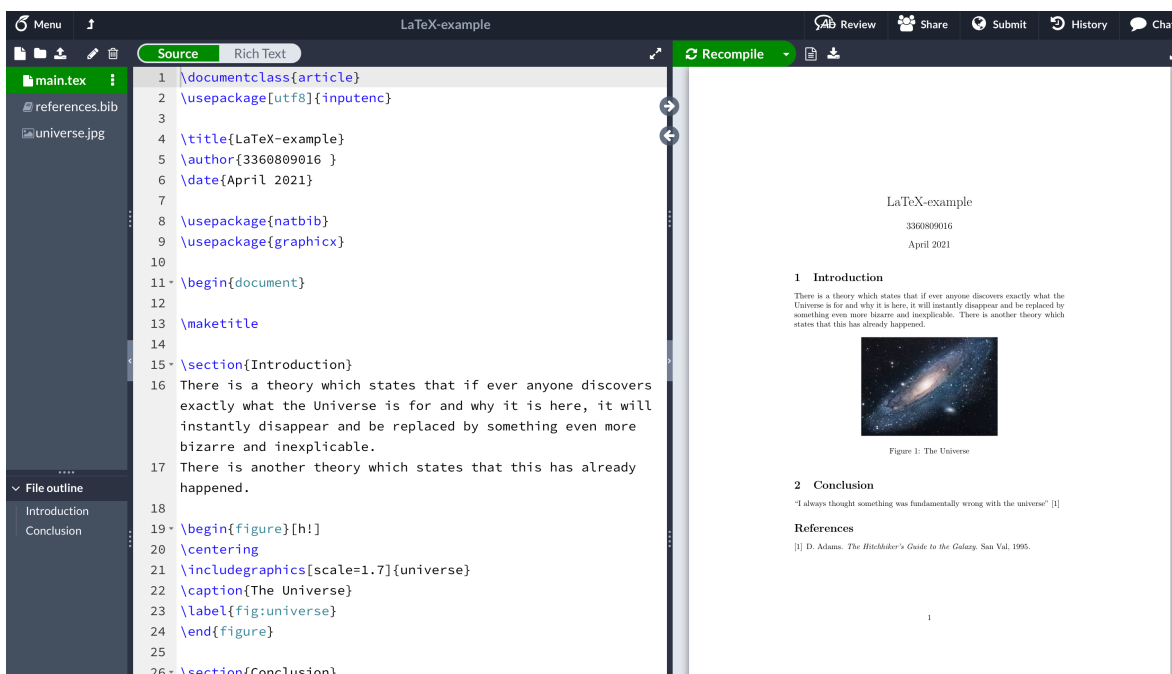


图 1.4: Overleaf 编辑器界面，主要由代码区域和文档预览区域组成

## 1.4 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 问答社区

在 LaTeX 刚被发布和推出的那个年代，相关资源如使用手册、教程等远没有今天这么丰富，同时，获取渠道也没有今天这么便捷。在互联网触手可及的今天，我们能通过一个浏览器访问到各种相关学习素材，遇到代码 bug，也能在一些专业的问答社区找到最佳的解决方案。毫无疑问，对于今天的我们来说，如何利用好互联网资源至关重要。

### 1.4.1 问答社区的介绍

对于从事计算机相关的技术人员来说，专业的技术问答社区往往是不可多得的资源，它能帮助很多技术人员提升个人编程能力、学习新技术，同时解决一些技术困扰，例如解决编程时遇到的 bug。对于各类计算机程序语言而言，*Stack Exchange* 作为一个著名的技术问答社区，覆盖了大量编程相关的技术问题和优质回答，就算是一些较为细致的问题，我们往往都能找到想要的答案。Stack Exchange 问答社区按计算机程序语言类型进行划分，我们所关心的 LaTeX 问答通常被分配在 TeX Stack Exchange 社区（网址为 <https://tex.stackexchange.com/>）。截至目前，TeX Stack Exchange 已经覆盖了关于 TeX、LaTeX 以及其他排版系统的用户在使用中遇到的诸多问题，并且这些问题多与 LaTeX 相关。

### Stack Exchange

网址为 <https://stackexchange.com/>，它与 Stack Overflow 问答社区在全球范围内拥有广泛的用户群体

除了 Stack Exchange 这种涵盖了多种计算机程序语言的技术问答社区，LaTeX forum 社区 (<https://latex.org/forum/>) 是一个专门面向 LaTeX 的技术交流平台，它拥有非常活跃的用户群体和丰富的问答资源，并拥有超过 10 万篇分门别类的技术帖子，我们可以根据浏览量从该平台一览高频访问问题。

实际上，不管是 LaTeX 初学者还是高级用户，在遇到 LaTeX 使用问题时，去问答社区寻找解决方案都是一种非常有效的方式。TeX Stack Exchange 社区非常活跃，每天都会有大量关于 LaTeX 的问题和回答，且每个问题下面的回答都会根据用户的认可度进行排序，回答一般比较细致。

## 1.4.2 高频访问问题

顾名思义，高频访问问题是指访问量较高的问题。LaTeX forum 社区已经将众多问答帖子进行了分门别类整理，针对某一特定话题，展开内容即可看到各类问题的访问情况。

## 1.5 关于 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 的开源项目

实际上，不管是 TeX 还是 LaTeX，它们作为计算机程序语言是完全开源的，我们可以轻松获取到 TeX 和 LaTeX 的源代码。近些年来，互联网催生了一些用户体验以及评价很好的开源社区，比如当下非常受欢迎的开源平台 GitHub，它们都在实实在在地影响着人们对于计算机技术开放的态度。开源社区有很多优质的“仓库”(repository)，这些仓库会提供诸如源代码、工具、案例甚至使用文档。与 LaTeX 在线系统相似的是，这些开源社区非常支持协作功能，在有一些优质的仓库中，我们或许能看到几十甚至上百个贡献者，“汇聚集体智慧”也是这些开源社区广受开发者青睐的一个重要原因。

### 1.5.1 开源社区 GitHub

GitHub 是一个面向开源项目及私有项目的云端托管平台，官方网址为 <http://github.com/>，旨在为开发者储存、管理代码以及控制代码的更新，只支持 Git 作为唯一的版本库格式进行托管。GitHub 已经走进人们的视野已经有十几年了，它于 2008 年 4 月 10 日

正式上线,除了 Git 代码仓库托管和基本的网页管理界面以外,还提供了在线文件编辑器、版本控制、协作报表等功能。截至 2021 年初,GitHub 在全球范围内拥有的注册用户已经超过 5000 万,托管项目的总量更是超过 1 亿,是很多开发者远程协作的重要工具。2018 年 6 月,GitHub 被微软以 75 亿美元的价格收购。

GitHub 本着开源、共享、协作的理念正影响着开发社区生态,吸引了包括微软和谷歌等国外技术巨头在这里进行开源,另外,我们也能在 GitHub 上看到一些国内互联网企业的身影。实际上,GitHub 开源社区的项目类型及展现形式也异常丰富,既有大量的应用型项目,也有很多研究探索型项目。

为了方便开发者追踪整个开源社区的开发动态,GitHub 根据计算机程序语言类型提供了趋势分析,这个功能称为 GitHub trending,它会定期更新趋势榜、帮助开发者追踪当下较为流行的 GitHub 仓库。

GitHub 开源社区提供了很多关于 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 的优质开源项目,这些项目使得 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 的用户群体越来越广泛。实际上,L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 在线系统 Overleaf 也是开源的,它托管在 GitHub 上,网址为 <https://github.com/overleaf/overleaf>。

为便于读者认识和掌握 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X,以下简单归纳一下关于 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 的各类开源项目。需要注意的是,优质的开源项目是非常多的,限于篇幅,这里只列举一部分,感兴趣的读者不妨在 GitHub 平台上探寻更多优质项目。

### 1.5.2 学位论文 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 模板

在 GitHub 开源社区中,我们可以找到很多国内外高校官方和非官方的学位论文 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 模板,学位论文类型包括本科毕业设计、硕士学位论文和博士学位论文等。以下将列举一部分国内高校的学位论文 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 模板开源项目:

- 开源项目 <https://github.com/tuna/thuthesis> 提供了清华大学学位论文 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 模板,模板库涵盖本科综合论文训练、硕士论文、博士论文以及博士后出站报告,截至目前,已在 GitHub 上获得超过 3000 次标星。
- 开源项目 <https://github.com/mohuangrui/ucasthesis> 提供了中国科学院大学学位论文 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 模板,包括本科、硕士和博士学位论文模板,截至目前,已在 GitHub 上获得超过 2000 次标星。
- 开源项目 <https://github.com/mohuangrui/ucasthesis> 提供了中国科学院大学学位论文 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 模板,包括本科、硕士和博士学位论文模板,截至目前,已在 GitHub 上获得超过 2000 次标星。
- 开源项目 <https://github.com/ustctug/ustcthesis> 提供了中国科学技术大学学位

论文  $\text{\LaTeX}$  模板, 包括本科毕业论文 (设计) 和研究生学位论文, 截至目前, 已在 GitHub 上获得近 1000 次标星。

- 开源项目 <https://github.com/TheNetAdmin/zjuthesis> 提供了浙江大学学位论文  $\text{\LaTeX}$  模板, 包含本科、硕士和博士学位论文模板, 也提供了英文版的硕博学位论文模板, 截至目前, 已在 GitHub 上获得近 1000 次标星。
- 开源项目 <https://github.com/dustincys/hithesis> 提供了哈尔滨工业大学学位论文  $\text{\LaTeX}$  模板, 包含本科、硕士、博士开题、中期和毕业论文, 也提供了博后出站报告和英文毕业论文格式, 截至目前, 已在 GitHub 上获得近 1000 次标星。
- 开源项目 <https://github.com/x-magus/ThesisUESTC> 提供了电子科技大学毕业论文  $\text{\LaTeX}$  模板, 截至目前, 已在 GitHub 上获得超过 500 次标星。

上述开源项目提供的学位论文模板绝大多数支持在  $\text{\LaTeX}$  在线系统 [overleaf.com](https://overleaf.com) 上直接进行编辑和使用。

### 1.5.3 $\text{\LaTeX}$ 绘制图形

目前,  $\text{\LaTeX}$  有很多关于绘制图形方面的宏包, 这些宏包会提供图形的基本元素、颜色等。由于  $\text{\LaTeX}$  绘制出来的图形可以以 PDF 文档保存, 所以一般不会出现分辨率不足等问题。这里对  $\text{\LaTeX}$  绘制图形相关的一些开源项目稍作整理:

- 工具类:
  - *BayesNet*: 用于绘制贝叶斯网络、图模型和因素图形的 TikZ 库。开源网址为 <https://github.com/jluttine/tikz-bayesnet>。一般而言, 使用 BayesNet 绘制特定图形时, 需要使用以下两行命令调用该库: `\usepackage{tikz}` 和 `\usetikzlibrary{bayesnet}`
  - *matlab2tikz*: 将由 Matlab 代码绘制的图形转换成 PGFPlots 图形。开源网址为 <https://github.com/matlab2tikz/matlab2tikz>。
  - *tikzplotlib*: 将由 Python 绘图工具 matplotlib 绘制的图形转换成 PGFPlots 图形。开源网址为 <https://github.com/nschloe/tikzplotlib>。
  - *svg2tikz*: 将 SVG 图形转换成 TikZ 代码。开源网址为 <https://github.com/xyz2tex/svg2tikz>。
- 实例类:
  - *TeXample*: 该项目提供了大量的 TikZ 绘图实例, 开源网址为 <https://texample.net/tikz/>。

- 开源项目 <https://github.com/walmes/Tikz> 提供了大约 200 个关于统计学的 TikZ 绘图实例。
- 开源项目 <https://github.com/MartinThoma/LaTeX-examples/tree/master/tikz> 提供了大约 350 个 TikZ 绘图实例。
- 开源项目 <https://github.com/PetarV-/TikZ> 提供了大量的 Tikz 绘图实例，囊括了各类神经网络模型的图形。
- TeX Stack Exchange 社区中提供的可视化效果很好的 TikZ 科技绘图实例，网址为 <https://tex.stackexchange.com/questions/158668/nice-scientific-pictures-show-off>。
- 开源项目 <https://github.com/FriendlyUser/LatexDiagrams> 提供了大量的 TikZ 绘图实例，包括流程图、图模型。
- 开源项目 [https://github.com/alemelis/tikz\\_drawings](https://github.com/alemelis/tikz_drawings) 提供了一些 TikZ 绘图实例。

### 1.5.4 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 制作简历

LaTeX 可用于制作各类文档，这也包括简历。

- 开源项目 <https://github.com/sb2nov/resume> 提供了简历模板。
- 开源项目 <https://github.com/xdanaux/moderncv> 提供了 moderncv 简历样式。
- 开源项目 <https://github.com/jankapunkt/latexcv> 提供了一些美观大方且容易使用的简历模板，支持包括中文在内的多种语言编译。
- 开源项目 <https://github.com/hijiangtao/resume> 提供了中文简历的模板。

### 1.5.5 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 制作幻灯片

- 开源项目 <https://github.com/matze/mtheme> 提供了现代风格主题的幻灯片模板。
- 开源项目 <https://github.com/wzpan/BeamerStyleSlides> 提供了很丰富的模板，包含了 PowerPoint 和 Keynote 两套格式。
- 开源项目 <https://github.com/XiangyunHuang/awesome-beamers> 提供了多种制作幻灯片的模版，同时也支持中文制作。



- 开源项目 <https://github.com/josephwright/beamer> 提供了多种风格的幻灯片模版。

### 1.5.6 $\text{\LaTeX}$ 制作海报

- 开源项目 <https://github.com/jkjaer/aauLatexTemplates> 提供了 beamer 海报模版。
- 开源项目 <https://github.com/mloesch/baposter> 提供了简洁的海报模版。
- 开源项目 <https://github.com/HolgerGerhardt/TeXTemplates> 提供了适合做学术报告的海报模版，同时也包含幻灯片模版。

### 1.5.7 推荐指导本书的开源项目

开源网址为 <https://github.com/xinychen/latex-cookbook>。同时该作者还有图形绘制和幻灯片制作的开源项目：

- LaTeX 图形绘制：<https://github.com/xinychen/awesome-latex-drawing> 提供大量绘图实例，实例包括贝叶斯网络、框架图、流程图、机器学习模型示意图。
- LaTeX 幻灯片制作：<https://github.com/xinychen/awesome-beamer> 提供大量使用 Beamer 制作幻灯片的实例。

#### 参考资料

开源项目 <https://github.com/xiaohanyu/awesome-tikz>。

## 1.6 $\text{\LaTeX}$ 制作中文文档

LaTeX 最初只提供英文的编译环境，随着其在文档编辑领域的优势越来越深入人心，更多国家的学者希望用到这一工具，因此出现了许多支持各国语言的工具包或编写环境，作为全世界使用人数最多的语言，LaTeX 有 *CJKutf8* 宏包、*CTEX* 宏包等多种方式可以实现中文文档编辑，均能在开源网站 Overleaf 中调用并实现中文文档制作。



### 1.6.1 使用 CJKutf8 宏包

*CJKutf8* 宏包提供了两种中文简体字体制作中文文档:使用 `\begin{CJK}{UTF8}{gbsn}` 和 `\end{CJK}` 环境将以宋体 (gbsn) 制作文档, 而使用 `\begin{CJK}{UTF8}{gkai}` 和 `\end{CJK}` 环境则以楷体 (gkai) 制作文档内容。在默认的 pdfLaTeX 编译环境中即可得到文档编译结果。

【例】使用 *CJKutf8* 红包制作中文文档:

```
1 \documentclass{article}
2 \usepackage{CJKutf8}
3
4 \begin{document}
5
6 \begin{CJK}{UTF8}{gbsn} %字体是gbsn
7 你好, LaTeX! 。
8 \end{CJK}
9
10 \end{document}
```

Listing 1.1: CJKutf8 示例

### 1.6.2 使用 CTEX 宏包

*CJKutf8* 宏包只提供了两种字体, 可选择的余地太小。如果想要使用更丰富的字体编辑 Latex 中文文档, 可以调用 *CTEX* 宏包、并设置 UTF8 选项使其支持 utf-8 编码。在 Overleaf 中使用 *CTEX* 宏包时, 需要先将编译环境从 *pdfLaTeX* 调整为 *XeLaTeX*。【例】使用 *CTEX* 宏包制作中文文档:

```
1 \documentclass[UTF8]{ctexart}
2
3 \begin{document}
4
5 {\kaishu 你好, LaTeX! (楷体)}
6
7 {\songti 你好, LaTeX! (宋体)}
8
9 {\heiti 你好, LaTeX! (黑体)}
10
```

```
11 {\fangsong 你好, LaTeX! (仿宋) }。  
12  
13 \end{document}
```

Listing 1.2: CTEX 示例

目前在 Overleaf 上已经出现了许多中文文档 LaTeX 模板, 除了一些学位论文模板, 一些中文学术期刊如《计算机学报》也提供了科技论文的 LaTeX 模板。

**期刊模板:**

- 《中国科学: 信息科学》<https://www.overleaf.com/project/5e99712a0916c900018d11af>
- 《中国科学: 信息科学》<https://www.overleaf.com/project/5e99712a0916c900018d11af>

**中文学位论文模板:**

- 《浙江大学学位论文模板》<https://www.overleaf.com/project/610fa05007d0073d5405a04f>
- 《武汉大学博士学位论文模板》<https://www.overleaf.com/project/610fa09e07d007fa5605a1e9>
- 《武汉大学博士学位论文模板》<https://www.overleaf.com/project/610fa09e07d007fa5605a1e9>
- 《南京大学研究生毕业论文模板》<https://www.overleaf.com/project/610fa1d007d00704c305a3eb>

另外, 开源项目 <https://github.com/MCG-NKU/NSFC-LaTeX> 提供了国家自然科学基金申报书的 LaTeX 模板。

## 第二章 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 基础介绍

L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 作为专门用于制作文档的计算机程序语言，其语法规则是由命令 (command) 和环境 (environment) 构成，基于一些基本命令，如`\usepackage{}`，我们能调用制作文档所需的宏包。一般而言，在制作文档时，L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 的代码结构分为前导 (preamble) 和主体 (body) 两部分，前导部分的代码主要用于申明文档类型、排版样式、所使用的宏包等；主体部分主要用于确定标题、章节、目录等文章结构及创作文档内容。

掌握一些常用命令之后，我们便可上手编辑简单的文档。从功能上来说，L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 能满足人们对文档制作多样性的要求。我们可以用 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 制作各类文档，包括科技文档、技术报告、学位论文、书籍著作、幻灯片、个人简历、信件以及海报。不同的文档类型在文档大小、排版、章节样式方面略有不同，所以在使用 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 制作文档时，我们首先需要对文档类型进行申明，然后再进行文档内容的创作。

本章节要介绍的内容主要包括：Latex 语法规则、Latex 代码结构、文档类型的介绍、简单文档的制作以及全局格式的设置。

### 2.1 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 语法规则

对于任何一种计算机程序语言，严格的语法规则都是让程序语言实现功能的保障。不同于一般性的计算机程序语言，L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 的语法规则非常简单，是由命令和环境构成。在 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 中，不管是命令还是环境，都离不开计算机符号反斜线`\`，例如调用宏包会用到`\usepackage{宏包名称}`，这里的花括号`{}`也是非常常用的一个符号。在调用宏包后，命令的用法都是由宏包约定的。

#### 2.1.1 命令

L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 中有很多命令，它们用法大同小异，功能却千差万别。既有申明文档类型的命令，如`\documentclass{article}`，也有输入特殊符号的命令，例如`\copyright`。一般而言，L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 中的命令通常由三部分组成`\命令名 [可省略参数]{不可省略参数}`，具

有以下特点：

- 通常都是以反斜线作为开始，通过紧跟的既定字符（命令名）实现相应的功能，例如`\LaTeX` 和`\copyright` 可生成特殊字符。
- 一些命令需要申明一些参数，通过大括号中的不可省略参数进行申明，例如`\color{blue}` 命令中需要申明具体的颜色名称。
- 一些命令包括一些选项和一些参数一般情况下是默认的，有需要时可以通过中括号中的可省略参数进行调整，例如在`\documentclass[a4paper]{article}` 中，中括号 `[]` 作为额外的选项，既可以自行设置，也可以选择默认设置。
- 有些命令可以用反斜线作为终止，例如`\copyright`。

### 2.1.2 环境

这里所说的“环境”是指编译环境，使用  $\text{LaTeX}$  时，当我们想要编译出期望的效果，例如列表、插入图形、制作表格，我们就需要用到一些环境。举例来说，我们可以通过

```
1 \begin{itemize}
2   \item item 1 % 条目1
3   \item item 2 % 条目2
4 \end{itemize}
```

制作一个简单的无序列表，这里的 `itemize` 表示无序列表环境，`\begin{}` 和 `\end{}` 表示环境的初始化和结束。当然，这些环境并非“一成不变”，我们也可以设置一些参数，从而改变编译之后的文档效果，例如，可以通过

```
1 \begin{spacing}{1.3}
2   paragraph 1 % 第1段
3
4   paragraph 2 % 第2段
5 \end{spacing}
```

将两段话之间的行间距设置为 1.3 倍。

**【例】**使用基本命令`\documentclassarticle` 和文档环境`\begin{document}` 和`\end{document}` 创建一个简单文档。

```
1 \documentclass{article}
2
3 \begin{document}
4
5 Hello, LaTeXers! This is our first LaTeX document.
6
7 \end{document}
```

### 2.1.3 宏包

宏包是 LaTeX 的重要组成部分，用来扩展和增强 LaTeX 的功能，是支撑 LaTeX 实现一系列复杂文档编辑和排版的关键所在。宏包与 LaTeX 的关系和浏览器插件与浏览器的关系类似，通过调用不同的宏包可以实现一些复杂排版功能，例如插入表格、插入公式和特殊符号、插入程序源代码、设置文档样式等。一个宏包通常会提供一组 LaTeX 命令，有些特殊命令只能在调用宏包后使用。在 LaTeX 中，调用宏包的形式大同小异，如果想要使用某一特定宏包，最简单的办法就是用 `\usepackage{宏包名}` 命令对相应宏包进行调用。

**【例】** 使用 `\usepackage{color}` 命令调用颜色宏包调整文本字体颜色。

```
1 \documentclass{article}
2 \usepackage{color} % 调用颜色宏包
3 \begin{document}
4 \textcolor{rgb}{1,0,0}{Hello, LaTeXers! This is our first LaTeX document.}
5 \end{document}
```

## 2.2 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 代码结构

在使用 LaTeX 进行文档编辑时，我们通常在拓展名为 *.tex* 的源文件中书写代码，然后通过编译，生成一个 PDF 格式的文档。LaTeX 源文件的代码结构主要包含两个部分，即前导代码（preamble）和主体代码（body），其结构示例如下：

```
1 \documentclass[]{}
2
```

```
3 ..... % 前导代码 (preamble)
4
5 \begin{document}
6
7 ..... % 主体代码 (body)
8
9 \end{document}
```

### 2.2.1 前导代码

前导代码是指从源文件第一行代码到`\begin{document}`之间的所有命令语句，一般为 LaTeX 代码的第一部分。在前导代码部分，既可设置文档类型全局参数，包括字体大小、纸张大小、文字分栏、单双面打印设置等，也可声明主体代码中需要用到的宏包，如插入图形、新增表格所用到的宏包。当全局格式没有特殊申明时，前导代码中的文档类型申明语句可以简写成`\documentclass{B}`，其中，位置 B 的作用在于申明文档类型，如 `article`（常规文档）、`book`（书籍）、`report`（报告）、`beamer`（幻灯片）等。

下面以常规文档（`article`）为例，简要介绍各常用全局参数的设置方式。

#### 字体大小

`article` 类型文档字体大小默认为 `10pt`，可在`\documentclass[可省参数]{article}` 的中括号中根据需要设置成 `11pt` 和 `12pt`。

通常，我们按照`\documentclass[fontsize = 12pt]{article}` 这样的形式设置文档参数，有时候，为了方便起见，可以把文档类型申明做一定的简写，如`\documentclass[12pt]{article}`。需要注意的是，字体大小设置中的基本单位 `pt` 是英文单词 `point` 的缩写，是一个物理长度单位，指的是 72 分之一英寸，即 `1pt` 等于 `1/72` 英寸。

#### 纸张大小

`article` 类型文档纸张大小默认为 `letterpaper`，同样可在`\documentclass [可省参数]{article}` 的中括号中根据需要设置成 `a4paper`、`a5paper`、`b5paper`、`legalpaper` 和 `executivepaper`。

## 文字分栏

article 类型文档的文字分栏默认为 *onecolumn* (不分栏), 也可以使用 *twocolumn* 参数设置为 *twocolumn* (两栏)。

## 单双面打印设置

article 类型文档打印时默认单面打印, 同样可以使用 `\documentclass[可省参数]{article}` 中括号中的可选参数, 通过添加 *twoside* 参数进行双面打印的设置。

### 文档属性设置小结

基于上面介绍可供调整的参数, 我们可以进行任意无序组合, 例如 `\documentclass[a4paper, 11pt, twoside]{article}` 对应着文档类型为 *article*、纸张大小为 A4、字体大小为 11pt 的双面文档。

## 2.2.2 主体代码

主体代码为 `\begin{document}` 及 `\end{document}` 之间所有的命令语句和文本, 一般由文档的创作内容构成, 按照一般书写顺序, 主要包含文档标题、目录、章节、图表及具体文字内容等, 通常配合一些基本命令的使用, 来形成我们期望的文档。下面给出了一个简单例子, 让读者对如何制作一个包含标题、章节及其文字内容的简单文档能有一个比较粗略的认识, 更具体的语法命令我们将在后续章节中依次介绍。

```
1 \documentclass{article}
2 \title{LaTeX cook-book}
3
4 \begin{document}
5 \maketitle
6 \section{Introduction}
7
8 Hello, LaTeXers! This is our first LaTeX document.
9
10 \end{document}
```

## 2.3 文档类型介绍

在 LaTeX 代码结构中, 申明文档类型往往是制作文档的第一步, 也是最基本的一步。事实上, 不同文档类型对应的文档样式略有不同, 但制作不同类型的文档时, LaTeX 中的绝大多数命令和环境却是通用的, 完成对文档内容的创作后, 使用文档类型的申明语句可以让我们在不同类型的文档间切换自如。

### 2.3.1 基本介绍

对 LaTeX 熟悉的读者会知道, LaTeX 实际上支持非常多的文档类型, 例如, 撰写科技论文会用到的 *article* (常规文档) 类型、制作演示文稿会用到的 *beamer* (幻灯片) 类型。在众多文档类型中, 常见的文档类型包括 *article* (常规文档)、*report* (报告)、*book* (书籍)、*beamer* (幻灯片) 等, 如果使用支持中文编译的 *ctex* 文档类型, 还会有 *ctexart* (中文常规文档)、*ctexrep* (中文报告)、*ctexbook* (中文书籍) 等, 文档类型会直接决定整个文档的样式和风格。

使用 LaTeX 制作文档时, 申明文档类型是作为前导代码, 其一般格式为:

1

```
\documentclass[A]{B}
```

在这一申明语句中, 位置 A 的作用主要是设置控制全文的文档参数, 我们可以调整全文的字体大小、纸张大小、分栏设置等, 因为各种文档类型都有一整套的默认参数, 所以一般情况可以省略掉位置 A。在位置 B, 我们需要键入特定的文档类型, 例如, `\documentclass[a4paper, 12pt]{article}` 即表示申明一个纸张大小为 A4、字体大小为 12pt 的常规文档。

以下将逐一介绍比较常用的三种文档类型, 包括 *article* (常规文档)、*report* (报告)、*book* (书籍)。其中, *report* 和 *book* 这两种文档类型的文档结构是一致的, 可以使用的结构命令有 `\part{}`、`\chapter{}`、`\section{}`、`\subsection{}`、`\subsubsection{}`、`\paragraph{}`、`\subparagraph{}`, 举例来说, 包含颜色命令的而 *article* 文档类型中除了没有 `\chapter{}` 这一结构命令之外, 其他都与 *report* 和 *book* 文档类型是一样的。

- *article* 是 LaTeX 制作文档时最为常用的一种文档类型, 撰写科技论文往往会用到 *article* 文档类型。
- *report* 主要是面向撰写各类技术报告的文档类型。
- *book* 是用于制作书籍等出版物的文档类型。



## 2.4 简单文档的制作

LaTeX 不但适合制作篇幅较大的文档，在制作篇幅较小的文档比如手稿、作业等时也十分方便。在 LaTeX 的各类文档中，最为常用的文档类型为 article (文章)，以下将介绍如何制作一个简单文档。

### 2.4.1 制作封面

添加标题、日期、作者信息一般是在 `\begin{document}` 之前，格式如下：

```
1 % 输入空格表示空的
2 \title{标题}
3 \author{作者名字}
4 \date{日期} % 如果不设置则会自动设置为编译时的时间，如果不想展示日期则使用\data{}
```

如果要显示添加的相关信息，需要在 `\begin{document}` 之后使用 `\maketitle` 命令。

### 2.4.2 开始创建文档

在 LaTeX 中，以 `\begin{document}` 命令为分界线，该命令之前的代码都统称为前导代码，这些代码能设置全局参数。位于 `\begin{document}` 和 `\end{document}` 之间的代码被视为主体代码，我们所创作文档的具体内容也都是放在这两个命令之间。

#### 设置章节

文档的章节是文档逻辑关系的重要体现，无论是中文论文还是英文论文都会有严谨的格式，章、节、段分明。在 LaTeX 中，不同的文档类设置章节的命令有些许差别，`\chapter` 命令只在 book、report 两个文档类中有定义，article 类型中设置章节可以通过 `\section{name}` 及 `\subsection{name}` 等简单的命令进行实现。

#### 段落

段落是文章的基础，在 LaTeX 中，可以之间在文档中间键入空行文本作为段落，也可以使用 `\paragraph{name}` 和 `\subparagraph{name}` 插入带标题的段落和亚段落。

## 生成目录

在 LaTeX 中,我们可以通过一行简单的命令便可以生成文档的目录,即`\tableofcontents`。命令放在哪里,就会在哪里自动创建一个目录。默认情况下,该命令会根据用户定义的篇章标题生成文档目录。目录中包含`\subsubsection` 及其更高层次的结构标题,而段落和子段信息则不会出现在文档目录中。注意如果有带 \* 号的章节命令,则该章节标题也不会出现在目录中。如果想让文档正文内容与目录不在同一页,可在`\tableofcontents` 命令后使用`\newpage` 命令或者`\clearpage` 命令。

类似对章节编号深度的设置,我们通过调用计数器命令`\mintinline{tex}{\setcounter}` 也可以指定目录层次深度。例如:

- `\setcounter{tocdepth}{0}` 目录层次仅包括 part
- `\setcounter{tocdepth}{1}` 目录层次深入到 section
- `\setcounter{tocdepth}{2}` 目录层次深入到 subsection
- `\setcounter{tocdepth}{3}` 目录层次深入到 subsubsection, 默认值

除此之外,我们还可以在章节前面添加`\addtocontents{toc}{\setcounter{tocdepth}{}}` 命令对每个章节设置不同深度的目录。另外还有一些其他的目录格式调整命令,如果我们想让创建的目录在文档中独占一页,只需要在目录生成命令前后添加`\newpage`;如果我们需要让目录页面不带有全文格式,只需要在生成目录命令后面加上`\thispagestyle{empty}` 命令;如果我们想设置目录页之后设置页码为 1,则需要在生成目录命令后面加上`\setcounter{page}{1}` 命令。

如果我们想要创建图目录或表目录,分别使用`\listoffigures`、`\listoftables` 命令即可,与创建章节目录的过程类似,这两个命令会根据文档中图表的标题产生图表目录,但不同之处在于,图目录或表目录中所有标题均属于同一层次。

**【例】** 基于当前已掌握的知识的一个简单的 article:

```

1 \documentclass[a4paper,utf8,12pt]{ctexart}
2
3 %% 导言区
4 \usepackage{hyperref} % 超链接
5 \hypersetup{hidelinks} % 超链接隐藏默认的红框
6 \title{\LaTeX Cookbook} % 设置标题
7 \author{XXX} % 作者
8 \date{2021/12/19} % 设置日期,不设置默认生成编译当天日期
9

```

```
10 \tableofcontents % 生成目录
11
12 %% 文档主体
13 \begin{document}
14 \section*{摘要} % 默认不生产目录；带*号的不设置编号
15
16 \section{XX背景介绍} % 第一节
17
18 \section{XX原理} % 第二节
19 \subsection{XX原理论证} % 2.1 小节
20 \subsection{基于XX的优化} % 2.2 小节
21 \paragraph{一个段落...}
22
23 \paragraph{另一个段落...}
24
25 段落也可以使用空行生成,比如这是第三个段落...
26
27 这是第四个段落...
28
29 \end{document}
```

## 2.5 一些基本命令

当我们运用 LaTeX 进行文档编辑时，需要用到一些基本命令。

### 2.5.1 全局格式设置

在前面，我们介绍了一些全局设置的命令在申明文档类型时可以进行的一些全局参数设置，使用方法为在`\documentclass[可省参数]{article}`的中括号中根据需要进行参数设置，然而有些全局设置需要用到一些其他方法进行调整。例如，纸张方向、页边距等需要调用宏包进行参数调整。同样地，我们以 `article` 类型文档进行举例说明。

#### 纸张方向

`article` 类型文档的纸张方向默认为 *portrait* (纵向)，也可以设置成 *landscape* (横向)。在文档中可以调用 *lscap* 宏包中的`\begin{landscape}` `\end{landscape}` 环境将默认的纵向文档调整为横向。

How to change certain pages into landscape/portrait mode

<https://tex.stackexchange.com/q/337/227605>

## 页边距

article 类型文档的页边距可以通过调用 *geometry* 宏包进行调整

```
1 \usepackage{geometry} % 使用页面设置宏包
2 \geometry{left=3.0cm,right=3.0cm,top=2.5cm,bottom=2.5cm} % 设置页边距
```

## 章节标题的字体格式

article 类型文档的章节标题的字体格式可以通过调用 *sectsty* 宏包进行调整。

一些设置例举：

```
1 \usepackage{sectsty}
2 \sectionfont{\fontfamily{phv}\fontseries{b}\fontsize{11pt}{20pt}\selectfont} % 一
   级标题字体格式设置
3 \subsectionfont{\fontfamily{phv}\fontseries{b}\fontsize{11pt}{20pt}\selectfont} %
   二级标题字体格式设置
4 \subsubsectionfont{\fontfamily{phv}\fontseries{b}\fontsize{11pt}{20pt}\selectfont
   } % 三级标题字体格式设置
```

## 图、表、公式格式全局设置

当我们需要批量设置图、表及公式的格式时，可以通过调用 *caption* 宏包进行全局设置。例：

```
1 \usepackage[labelfont=bf,labelsep=period,font={bf,sf,normalsize}]{caption}
```

Changing/Defining Fonts for an Entire Document

<https://tex.stackexchange.com/q/337/227605>

## 自定义命令全局设置

有时，我们需要也可以使用一些自定义命令来更改全局设置。例如在更改整个文档的字体格式时，我们也可以使用：

```
1 \renewcommand{\sfdefault}{\fontencoding{T1}\fontfamily{phv}\selectfont}
2 \renewcommand{\familydefault}{\sfdefault}
```

等命令。

在更改目录标题时，我们可以使用：

```
1 \renewcommand{\contentsname}{new name of Contents}
```



## 第三章 文本编辑

文本编辑是组成科技论文或科技报告的重要主要内容。而对于论文或报告中，简洁美观的文本对于阅读者的理解以及感受是非常重要的。因此，我们需要认真学习在 Latex 中如何编辑出清晰明了的文本内容。

文本编辑的内容一般包括文本章节的设定、文本段落的编辑、文字格式的编辑、列表的创建、页眉页脚和脚注的创建。其中文本段落的编辑又包括段落首行缩进、段行间距、段落对齐方式的调整等，而文字的编辑主要包括字体样式的调整、字体大小的调整、字体颜色的调整、字体本身的设定、字体中的下划线和删除线、以及一些特殊字符的书写等内容。

列表的创建是方便读者对文本进行阅读，而这一类文本中的内容一般处于并列关系。合适的列表可以方便读者知道文本的框架和内容关系。列表内容主要包括无序列表、排序列表、阐述性列表和自定义列表格式。对于文本编辑，页眉页脚和脚注是很重要的，页眉一般可以用于显示题目或者章节名称等提醒内容，而页脚可以显示文本页码等重要信息，脚注可以用于备注一些重要特别内容，如作者个人信息以及项目资助信息等。本章将详细介绍文本编辑的相关内容，学好文本编辑有助于我们完成一个阅读性更好的高质量文档。

### 3.1 创建标题部分、摘要及关键词

文档主体代码是指位于 document 环境的部分。在文档正文章节内容及目录之前，一般先创建标题部分（包括文档标题、作者和日期）、摘要、以及关键词信息，这也是文档主体代码中最开始的部分。下面分别介绍这部分的创建过程。

#### 3.1.1 创建标题部分

- 使用 `\title{}` 命令设置文档标题，对于较长的文档标题，可以使用 `\\` 对标题内容进行分行。

- 使用`\author{}` 命令设置作者，如果有多个作者，作者之间可以使用`\and` 进行分隔。
- 使用`\date{}` 命令设置日期信息，在实际使用时，有时需要省略日期信息，那么在 `{}` 中不写任何内容即可。如果想要使用默认值（当前日期），则应使用`\date` 命令。
- 使用`\maketitle` 命令完成标题部分的创建。

仅仅执行上述三行语句无法在文档编译时生成标题部分，还必须在之后加上`\maketitle` 命令，表示对标题部分内容进行排版才能真正实现标题部分的创建。

### 3.1.2 创建摘要及关键词

在 LaTeX 中，使用 *abstract* 环境撰写文档摘要部分，并在其后使用`\textbf{}` 命令设置文档关键词。

## 3.2 创建章节

在制作文档时，不管是学术论文还是书籍，都需要创建章节来优化文章的层次结构。LaTeX 提供了不同层次章节的创建命令，从高到低包括：使用`\part{}` 命令创建不同篇、使用`\chapter{}` 命令创建不同章、使用`\section{}` 命令创建一级节、使用`\subsection{}` 命令创建二级节、以及使用`\subsubsection{}` 命令创建三级节。各篇章节的标题填写在 `{}` 中。

对于 article 类型文档，可以调用上述除了`\chapter{}` 命令之外的其他章节命令。而在 book、report 类型文档中，则可以调用上述所有章节命令。

在撰写学术论文时，不同出版商所要求的章节标题格式可能是不一样的。因此，我们需要根据不同需要调整章节标题的格式。

- 自动编号与取消自动编号：在 LaTeX 中使用上述命令创建章节时，默认会对各章节进行自动编号。如果用户想要对某章节取消自动编号，只需要在章节命令后加上星号即可，如`\section*{}` 命令。
- 设置章节自动编号深度：用户也可以通过在导言区使用`\setcounter{secnumdepth}{}` 计数器命令设置章节自动编号深度，从而达到批量取消自动编号的效果。在 `{}` 中填写编号深度值，编号深度值从 0 开始设置，表示章节自动编号深入层次：
  - `\setcounter{secnumdepth}{0}` 表示自动编号章节层次仅包括`\part` 和`\chapter`；



- 当然，有时我们也会遇到一些出版商要求我们将标题居中显示，在 LaTeX 的 article 文档类型中，我们可以调用 `sectsty` 宏包，并用 `\sectionfont{\centering}` 使标题居中。

章节目录一般在摘要之后创建，使用`\tableofcontents` 命令即可。命令放在哪里，就会在哪里自动创建一个章节目录。默认情况下，该命令会根据用户定义的篇章标题生成文章目录，目录中将包含`\subsubsection` 及其更高层次的结构标题。但对于带星号的章节命令，其章节标题不会出现在目录中。

### 3.3.1 调整章节层次深度

- `\setcounter{tocdepth}{0}`，目录层次仅包括 part 和 chapter;
- `\setcounter{tocdepth}{1}`，设置目录层次深入到 section 级;
- `\setcounter{tocdepth}{2}`，设置目录层次深入到 subsection 级;
- `\setcounter{tocdepth}{3}`，设置目录层次深入到 subsubsection 级，默认值;

上面的语句可以为所有章节指定了相同的目录层次深度。此外，我们也可以为每个章节设置不同的目录层次，具体是通过在每个章节创建命令前，使用`\addtocontents{toc}\setcounter{命令}{数字}`命令为该章节指定目录层次深度。

### 3.3.2 给目录设置别名

对于章节标题特别长的情况，直接在目录中显示完整标题显然可视化效果不佳，因此需要为长章节标题设置一个比较短的“目录别名”。通过这种设置，在正文中可以显示完整标题，而在目录中将显示“短标题”。为此，只需要在章节创建命令中添加目录别名选项即可。例：`\section[FS]{First Section}`

### 3.3.3 给目录设置链接

如果想要为目录中的章节引用添加链接，使得点击链接后就能跳转到相应章节所在页面，那么只需要在导言区调用 `hyperref` 宏包。如果设置 `colorlinks=true` 选项，此时文档中章节引用及其它交叉引用均会被自动添加链接（添加了链接的引用将显示为红色）。

## 3.4 编辑段落

### 3.4.1 段落首行缩进

许多出版社要求文章段落必须首行缩进，若想调整段落首行缩进的距离，可以使用 `\setlength{\parindent}{长度}` 命令，在 {长度} 处填写需要设置的距离即可。例：`\setlength{\parindent}{2em}`

当然，如果不想让段落自动首行缩进，在段落前使用命令 `\noindent` 即可。

需要注意的是，在段落设置在章节后面时，每一节后的第一段默认是不缩进的，为了使第一段向其他段一样缩进，可以在段落前使用 `\hspace*{\parindent}` 命令，也可以在源文件的前导代码中直接调用宏包 `\usepackage{indentfirst}`。

### 3.4.2 段落间距调整

在使用 LaTeX 排版时，有时为了使段落与段落之间的区别更加明显，我们可以在段落之间设置一定的间距，最简单的方式是使用 `\smallskip`、`\medskip` 和 `\bigskip` 等命令。

#### 设置段落间距的几种方法

<https://latex.org/forum/viewtopic.php?f=44&t=6934>

<https://tex.stackexchange.com/questions/41476/lengths-and-when-to-use-them>

### 3.4.3 段落添加文本框

有时因为文档没有图全都是文字，版面显得极其单调。如果想让版面有所变化，可以通过给文字加边框来实现对段落文本新增边框。在 LaTeX 中，我们可以使用 `\fbox{}` 命令对文本新增边框。

How to put a box around multiple lines?

<https://latex.org/forum/viewtopic.php?f=44&t=4117>

### 3.4.4 段落对齐方式调整

LaTeX 默认的对齐方式是两端对齐，有时在进行文档排版的过程中，我们为了突出某一段落的内容，会选择将其居中显示，在 LaTeX 中，我们可以使用 `center` 环境对文本进行居中对齐。另外还有一些出版商要求文档是左对齐或者右对齐，这时我们同样可以使用 `flushleft` 环境和 `flushright` 环境将文档设置为左对齐或右对齐。

## 3.5 文字编辑

文字编辑是制作文档非常重要的一部分，主要关注如何调整字体样式、字体设置、增加下划线、突出文字、调整字体大小、调整对齐格式等内容。

### 3.5.1 调整字体样式

调整文字的样式有很多对应的命令，这些命令包括 `\textit`、`\textbf`、`\textsc`、`\texttt`，在使用的过程中，需要用到花括号 `{}`。具体而言，`\textit` 对应着斜体字，`\textbf` 对应着粗体字，`\textsc` 对应着小型大写字母，`\texttt` 对应着打印机字体（即等宽字体）。

除了这几种字体样式，有时候，如果想对文本中的英文字母进行全部大写，可用 `\uppercase` 和 `\MakeUppercase` 两个命令中的任意一个。

一般而言，当我们需要对段落、句子、关键词等做特殊标记时，往往会用到上述几种字体样式，其中，打字机字体主要用于代码的排版，有时候，如果需要添加一个网站，通常也会选用打字机字体对文本进行突出，例如 `\texttt{https://www.overleaf.com}`。

### 3.5.2 调整字体大小

字体大小的设置一方面可以在申明文档类型的命令 `\documentclass[]{}`  中指定具体的字体大小（如 11pt、12pt）来实现，另一方面也可以通过一些简单的命令来调整。

```
1 \documentclass[12pt]{article}
2 \begin{document}
3
4 Produce {\tiny tiny word}
5
6 Produce {\scriptsize script size word}
7
8 Produce {\footnotesize footnote size word}
9
10 Produce {\normalsize normal size word}
11
12 Produce {\large large word}
13
14 Produce {\Large Large word}
15
16 Produce {\LARGE LARGE word}
17
18 Produce {\huge huge word}
19
20 Produce {\Huge Huge word}
21
22 \end{document}
```

在这里，这些命令对应的字体依次是从小到大。当然，这些命令也有另外一种使用方法，以 `\large`、`\Large`、`\LARGE` 为例，我们可以使用 `\begin{} \end{}` 语句来实现对字体的加大：

```
1 \documentclass[12pt]{article}
2 \begin{document}
3
4 Produce \begin{large}large word\end{large}
5
6 Produce \begin{Large}large word\end{Large}
7
8 Produce \begin{LARGE}large word\end{LARGE}
9
10 \end{document}
```

### 3.5.3 调整字体颜色

一般而言，文本默认的颜色是黑色，但有时候，我们可以根据需求改变字体的颜色，这通过 LaTeX 一些拓展的宏包就可以实现，例如 *xcolor*。

使用颜色宏包时，我们也可以根据需求自定义颜色，相应的命令为 `\definecolor{A}{B}{C}`，其中位置 A 是颜色标签，位置 B 是制定颜色系统为 RGB（英文缩写 RGB 是红色、绿色和蓝色三种颜色的英文单词首字母），位置 C 是具体的 RGB 数值。

```
1 \documentclass[12pt]{article}
2
3 \usepackage{color}
4 \definecolor{kugreen}{RGB}{50, 93, 61}
5 \definecolor{kugreenlys}{RGB}{132, 158, 139}
6 \definecolor{kugreenlysllys}{RGB}{173, 190, 177}
7 \definecolor{kugreenlyslslsls}{RGB}{214, 223, 216}
8
9 \begin{document}
10
11 This is a simple example for using \LaTeX.
12
13 {\color{kugreen}This is a simple example for using \LaTeX.}
14
15 {\color{kugreenlys}This is a simple example for using \LaTeX.}
16
17 {\color{kugreenlysllys}This is a simple example for using \LaTeX.}
18
19 {\color{kugreenlyslslsls}This is a simple example for using \LaTeX.}
20
21 \end{document}
```

### 3.5.4 字体设置

不管是英文还是中文，我们都会用到各种各样的字体，因此，使用 LaTeX 编译出想要的字体对于整个文档也非常重要。对于英文文档的编译，一般会用宏包 *fontspec* 设置具体的字体，调用格式为 `\usepackage{fontspec}`，需要说明的是，这个宏包只能设置英文的字体。例如：

```
1 \setmainfont{Times New Roman}
```

```
2 \setsansfont{DejaVu Sans}
3 \setmonofont{Latin Modern Mono}
4 \setsansfont{[foo.ttf]}
```

如果文档输入的是中文，首先需要申明文档类型为 `ctex` 中的 `ctexart`、`ctexrep` 之类的。

在 LaTeX 中，编译文档一般默认的英文字体为 Computer Modern，如果要将其调整到其他特定类型的字体，可以在前导代码中使用各种字体对应的工具包。

#### 更多字体设置参考

[https://www.overleaf.com/learn/latex/Font\\_typefaces](https://www.overleaf.com/learn/latex/Font_typefaces)

### 3.5.5 下划线与删除线

有时候，为了突出特定的文本，我们也会使用到各种下划线。最常用的下划线命令是 `\underline`，然而，这个命令存在一个缺陷，即当文本过长，超过页面宽度时，下划线不会自动跳到下一行，因此，我们需要用到一个叫 *ulem* 的宏包，使用这个宏包中的命令 `\uline` 可以增加单下划线，使用 `\uuline` 可以增加双下划线，而使用 `\uwave` 则可以增加波浪线。

```
1 \documentclass[12pt]{article}
2 \usepackage{ulem}
3 \begin{document}
4
5 Generate \underline{underlined} text. \\ % 生成带下划线的文本（使用\underline命令）
6
7 Generate \uline{underlined} text. \\ % 生成单下划线的文本（使用\uline命令）
8
9 Generate \uuline{double underlined} text. \\ % 生成单下划线的文本
10
11 Generate \uwave{wavy underlined} text. \\ % 生成波浪线的文本
12
13 \end{document}
```

删除线是文字中间划出的线段，常见于文档的审阅。在 LaTeX 中，我们可以使用宏包 *soul* 中的 `\st` 命令生成删除线。

下划线在 LaTeX 环境中属于特殊字符，如果需要在文本中使用下划线，则需要家上反斜线进行转义，例：

```
1 \documentclass[12pt]{article}
2 \begin{document}
3
4 This\_is\_text\_with\_underscores.
5
6 \end{document}
```

### 3.5.6 特殊字符

在 LaTeX 中，有很多特殊字符的编译需要遵循一定的规则，例如：

- 反斜杠 (backslash) 符号是 LaTeX 中定义和使用各类命令的基本符号，如果要在文档中编译出反斜杠，可使用 `\textbackslash`；
- 百分号通常用于注释代码，如果要在文档中编译出百分号，可使用 `\%`；
- 美元符号通常用于书写公式，如果要在文档中编译出美元符号，可使用 `\$`。

带圆圈数字可用于各类编号，我们可以根据需求插入这种特殊符号。在 LaTeX 中，比较常用的一种生成带圆圈数字的方法是使用宏包 *pifont*，在前导代码中申明使用宏包，即 `\usepackage{pifont}`，根据工宏包所提供的命令 `\ding{}` 可以生成从 1 到 10 的带圆圈数字，且圆圈样式也各异。

**【例】** 使用 *pifont* 宏包中的命令生成从 1 到 10 的带圆圈数字：

```
1 \documentclass[12pt]{article}
2 \usepackage{pifont}
3 \begin{document}
4
5 How to write a number in a circle? \\
6 Type 1: \ding{172}-\ding{173}-\ding{174}-\ding{175}-\ding{176}-\ding{177}-\ding
   {178}-\ding{179}-\ding{180}-\ding{181} \\ % 样式1是从172开始
7 Type 2: \ding{182}-\ding{183}-\ding{184}-\ding{185}-\ding{186}-\ding{187}-\ding
   {188}-\ding{189}-\ding{190}-\ding{191} \\ % 样式2是从182开始
8 Type 3: \ding{192}-\ding{193}-\ding{194}-\ding{195}-\ding{196}-\ding{197}-\ding
   {198}-\ding{199}-\ding{200}-\ding{201} \\ % 样式3是从192开始
```

```

9      Type 4: \ding{202}-\ding{203}-\ding{204}-\ding{205}-\ding{206}-\ding{207}-\ding
      {208}-\ding{209}-\ding{210}-\ding{211} \\ % 样式4是从202开始
10
11      \end{document}

```

## 3.6 创建列表

在内容表达上，列表是一种非常有效的方式，它将某一论述内容分成若干个条目进行罗列，能达到简明扼要、醒目直观的表达效果。在论文写作中，列表不失为一种让内容清晰明了的论述方式。

通常来说，列表有单层列表和多层列表，多层列表无外乎是最外层列表中嵌套了一层甚至更多层列表。具体来说，列表主要有三种类型，即无序列表、排序列表和阐述性列表，其中，无序列表和排序列表是相对常用的列表类型，LaTeX 针对这三种列表提供了一些基本环境：

- itemize，无序列表环境；
- enumerate，有序列表环境；
- description，阐述列表环境；

在这三种列表中，我们创建的每一项列表内容都需要紧随\item 命令之后。当然，有时候，我们也可以根据需要进行选择合适的列表类型、调整列表符号甚至行间距等。

### 3.6.1 无序列表

LaTeX 中的无序列表环境一般用特定符号（如圆点、星号）作为列表中每个条目的起始标志，以示有别于常规文本。可以忽略主次或者先后顺序关系的条目排列都可以使用无序列表环境来编写，无序列表时很多文档最常用的列表类型，也被称为常规列表。

在无序列表环境中，每个条目都是以条目命令\item 开头的，一般默认的起始符号是 *textbullet*，即大圆点符号，当然，也可以根据需要调整起始符号。

**【例】**在无序列表环境中使用星号作为条目的起始符号：

```

1      \documentclass[12pt]{article}
2      \begin{document}
3      \begin{itemize}

```



```
4
5 \item Python % 条目1, 起始符号为大圆点
6 \item LaTeX % 条目2, 起始符号为大圆点
7 \item[*] GitHub % 条目3, 起始符号为星号
8
9 \end{itemize}
10 \end{document}
```

如果想要将所有条目的符号都进行调整, 并统一为某一个特定符号, 则可以使用 `\renewcommand` 命令进行自定义。

**【例】** 自定义条目的起始符号为黑色方块 (black square):

```
1 \documentclass[12pt]{article}
2 \usepackage{amssymb}
3 \begin{document}
4
5 \begin{itemize}
6 \renewcommand{\labelitemi}{\scriptsize$\blacksquare$}
7 \item Python % 条目1
8 \item LaTeX % 条目2
9 \item GitHub % 条目3
10 \end{itemize}
11
12 \end{document}
```

其中, 命令 `\labelitemi` 是由三部分组成, 即 `label` (标签)、`item` (条目)、`i` (一级), 有时候, 如果需要创建多级列表, 则可以类似这里使用命令 `\labelitemii` (对应于二级列表) 甚至 `\labelitemiii` (对应于三级列表)。

### 3.6.2 排序列表

排序列表也被称为编号列表。在排序列表中, 每个条目之前都有一个标号, 它是由标志和序号两部分组成: 序号自上而下, 从 1 开始升序排列; 标志可以是括号或小圆点等符号。相互之间有密切的关联, 通常是按过程顺序或是重要程度排列的条目都可以采用排序列表环境编写。排序列表环境 `enumerate` 以序号作为列表的起始标志, 每个条目命令 `item` 将在每个条目之前自动加上一个标号条目命令 `item` 生成的默认标号样式为阿拉伯数字加小圆点。

排序列表同样可以进行相互嵌套，最多可以达到四层，为了便于区分，不仅每层列表的条目段落都有不同程度的左缩进，二期每层列表中条目的标号也各不相同，其中序号的计数形式与条目所在的层次有关，标志所用的符号除第 2 层是圆括号外，其他各层都是小圆点。

### 3.6.3 阐述性列表

相比无序列表和排序列表，阐述性列表的使用频率较低，它常用于对一组专业术语进行解释说明。阐述性列表环境为 *description*。在 *description* 环境命令中，每个词条都是需要分别进行阐述的词语，每个阐述可以是一个或多个文本段落。这种形式很像词典，因此诸如名词解释说明之类的列表就可以采用解说列表环境来编写。在阐述性列表环境中，被解释的词条的格式是用 *descriptionlabel* 定义的。

【例】创建一个简单的阐述性列表：

```

1      \documentclass[12pt]{article}
2      \begin{document}
3
4      \begin{description}
5
6      \item [CNN] Convolutional Neural Networks
7      \item [RNN] Recurrent Neural Network
8      \item [CRNN] Convolutional Recurrent Neural Network
9
10     \end{description}
11
12     \end{document}

```

### 3.6.4 自定义列表格式

使用系统默认的 LaTeX 列表环境排版的列表与上下文之间以及列表条目之间都附加有一段垂直空白，明显有别于列表环境之外的文本格式，通常列表中的条目内容都很简短，这样会造成很多空白，使得列表看起来很稀疏，与前后文本之间的协调性较差。因此，我们需要自定义列表格式。使用 *enumitem* 宏包可以调整 *enumerate* 或 *itemize* 的上下左右缩进间距。

- 垂直间距

- topsep 列表环境与上文之间的距离
  - parsep 条目里面段落之间的距离
  - itemsep 条目之间的距离
  - partopsep 条目与下面段落的距离
- 水平间距
    - leftmargin 列表环境左边的空白长度
    - rightmargin 列表环境右边的空白长度
    - labelsep 标号与列表环境左侧的距离
    - itemindent 条目的缩进距离
    - labelwidth 标号的宽度
    - listparindent 条目下面段落的缩进距离

**【例】** 使用 enumitem 宏包可以调整无序列表间距：

```
1 \documentclass[12pt]{article}
2 \usepackage{enumitem}
3 \begin{document}
4
5
6 Default spacing:
7
8 \begin{itemize}
9
10 \item Python % 条目1
11 \item LaTeX % 条目2
12 \item GitHub % 条目3
13
14 \end{itemize}
15
16 Custom Spacing:
17
18 \begin{itemize}[itemsep= 15 pt,topsep = 20 pt]
19
20 \item Python % 条目1
21 \item LaTeX % 条目2
22 \item GitHub % 条目3
```

```

23
24 \end{itemize}
25
26 \end{document}

```

### 3.7 创建页眉、页脚及脚注

在大多数文档中，我们往往需要页面、页脚及脚注来展示文档的附加信息，例如时间、图形、页码、日期、公司徽标、页眉示意图文档标题、文件名或作者姓名等信息。在 LaTeX 中，我们常用 *Fancyhdr* 工具包进行页眉、页脚的设置。

**【例】** 使用 *Fancyhdr* 工具包进行页眉、页脚的设置：

```

1 \documentclass{article}
2 \usepackage{fancyhdr}
3 \pagestyle{fancy}
4 \lhead{}
5 \chead{}
6
7 \rhead{\bfseries latex-cookbook} %页眉内容
8 \lfoot{From: Xinyu Chen} %页脚内容
9 \cfoot{To: Jieling Jin} %页脚内容
10 \rfoot{\thepage} %在页脚处给出页码
11 \renewcommand{\headrulewidth}{0.4pt}
12 \renewcommand{\footrulewidth}{0.4pt}
13
14 \begin{document}
15 This is latex-cookbook!
16 \end{document}

```

如果想某一页不需要页眉页脚，可以在该页正文内容开始时使用 `\thispagestyle{empty}` 命令，去除该页页眉页脚。

在 LaTeX 中，我们常用 `\footnote{}` 命令来添加脚注。

在论文撰写过程中，我们有时会需要在表格中添加脚注，但是在 `table` 环境中，`\footnote` 命令不起作用，这时我们可以使用 *minipage* 环境来化解。

**【例】** 使用 *minipage* 环境来给表格添加脚注：

```
1 \documentclass{article}
2 \begin{document}
3 \begin{center}
4 \begin{minipage}{.5\textwidth}
5 \begin{tabular}{l|l}
6 \textsc{Chapter} & \textsc{Author} \\ \hline
7 \textit{Introduction} & Xinyu Chen\footnote{Xinyu Chen is a PhD from the
8 \textit{Methods} & Jielsing Jin \footnote{Jielsing Jin is a PhD from the
9 \textit{Case Study} & Xinyu Chen \\
10 \textit{Conclusion} & Jielsing Jin
11 \end{tabular}
12 \end{minipage}
13 \end{center}
14 \end{document}
```



## 第四章 公式编辑

在一些文档特别是科技文档写作的过程中，难免涉及复杂数学公式的编辑工作。Microsoft office 等办公软件繁琐低效的数学公式编辑问题长期困扰着广大科研工作者。为什么这些办公软件数学公式编辑效率低下，主要原因是数学公式本身就是复杂多变的，而这些软件采用交互式的操作会让用户使用起来效率变低。而 LaTeX 具有简洁又强大的数学公式编辑功能，可以通过调用特定的工具包、使用一些简单的代码就能生成优雅美观的数学公式，这也是 LaTeX 深受广大科研工作者喜爱的重要原因之一。

本章将介绍在 Latex 中进行编写公式编辑的方法和技巧。为了方便读者查用和学习，我们将公式编辑内容主要分为以下部分：公式编辑的基本介绍、常用的数学符号、希腊字母、微积分中的常用公式、线性代数中的常用公式、概率论和数理统计、优化理论中的公式。这样分类的目的就是便于读者根据需要，可以很快查找出合适的公式编辑方法。公式编辑的基本介绍主要是关于数学公式换的设定和基本格式的调整；而常用的数学符号包括运算符号、标记符号、各类括号、空心符号和特殊函数；希腊字母主要用于一些数学的变量表示。

而微积分部分主要包括极限、导数和积分；线性代数部分包括矩阵、符合和范数；概率论和数理统计部分包括概率论基础和概率分布；最后是优化理论部分。以上这些是科研工作者在数学公式编辑时高频率遇到的公式编辑内容，因此我们将其分类进行介绍，这样可以方便读者提高编辑的效率和质量。

### 4.1 基本介绍

由于 LaTeX 编辑的数学公式颜值非常高，很多理工科研究领域的顶级期刊甚至明确要求投稿论文必须按照给定的 LaTeX 模板进行论文排版，这样做一方面能保证论文整体排版的美观程度，另一方面也能让生成出来的数学公式更加规范。一般而言，使用 LaTeX 编辑公式的一系列规则与数学公式的编写原则是一致的，例如，在 LaTeX 中，我们可以用  $\frac{\partial f}{\partial x}$  生成偏导数  $\frac{\partial f}{\partial x}$ 。

### 4.1.1 数学公式环境

#### 美元符号

在 LaTeX 中生成数学公式也有一些基本规则，插入公式的方式有很多种，最基本的一种方式是使用美元符号，这种方式不仅在 LaTeX 适用，在 Markdown 中也是适用的，具体插入数学公式的方法是：

- 如果我们想插入行内公式，可以直接在两个美元符号中间编辑需要的公式。
- 如果想用美元符号插入行间公式，我们需要输入四个美元符号，与此同时，在四个美元符号中间编辑需要的公式。需要注意的是，这里生成的数学公式会自动居中对齐。

需要注意的是，LaTeX 源文件中的美元符号一般都默认为申明数学公式环境，如果想要在文档中编译出美元符号，需要在美元符号前加上一个反斜线，这种做法同样适用于百分号，百分号一般被默认为注释功能。

#### equation 环境

尽管美元符号可以在行间插入公式，但却没办法对公式进行编号。自动生成带有公式编号的行间公式需要用到 *equation* 环境，使用 *equation* 环境，LaTeX 编译时会自动将公式进行居中对齐。

在 *equation* 环境中，如果不需要公式编号，只需要在数学公式环境中加上一个星号，例如，使用 `\begin{equation*} \end{equation*}` 就可以移除公式编号。

更进一步，在 *equation* 环境中，如果想对公式进行索引，可以使用 `\label` 和 `\eqref` 两个命令。

**【例】** 在数学公式环境中对数学公式进行索引：

```
1 \documentclass[12pt]{article}
2 \begin{document}
3
4 Equation~\eqref{eq1} shows a simple formula.
5
6 \begin{equation}\label{eq1}
7 x+y=2
8 \end{equation}
9
10 \end{document}
```



## align 环境

在 LaTeX 中，除了 `equation` 数学公式环境，还有其他几种数学公式环境可以使用。我们要介绍的第一种是 `align` 环境，它主要用于数组型的数学表达式，`align` 环境可以将公式进行自动对齐，它也能对每一条数学表达式分别进行公式编号。

【例】使用 `align` 环境编译一个方程组：

```
1 \documentclass[12pt]{article}
2 \usepackage{amsmath}
3 \begin{document}
4
5 %% 使用align环境
6 \begin{align}
7 x+y=2 \\\
8 2x+y=3
9 \end{align}
10
11 \end{document}
```

在 `align` 环境中，如果不需要公式编号，同样只需要在数学公式环境中加上一个星号即可，利用这一特性，我们可以使用 `align` 环境，定义多列公式。

需要注意的是，如果想对多行公式对齐，并且共用同一个公式编号，可以在 `equation` 环境内使用 `aligned` 环境，这里的 `aligned` 与 `align` 功能类似。

【例】在 `equation` 内使用 `aligned` 编译多列公式：

```
1 \documentclass[12pt]{article}
2 \usepackage{amsmath}
3 \begin{document}
4
5 \begin{equation}
6 \begin{aligned}
7 2x+1&=7 & 3y-2&=-5 & -5z+8&=-2 \\\
8 2x&=6 & 3y&=-3 & -5z&=-10 \\\
9 x&=3 & y&=-1 & z&=2
10 \end{aligned}
11 \end{equation}
12
13 \end{document}
```

当然，我们也能只对 align 环境中的某一些公式进行编号，而其他公式不作编号。

Eqnarray: numbering last line only.

<https://latex.org/forum/viewtopic.php?f=46&t=4543>

【例】使用 align 编译一个方程组，并且只对第 2 个方程进行编号：

```

1 \documentclass[12pt]{article}
2 \usepackage{amsmath}
3 \begin{document}
4
5 \begin{equation}
6 \begin{aligned}
7 2x+1&=7 & 3y-2&=-5 & -5z+8&=-2 \\
8 2x&=6 & 3y&=-3 & -5z&=-10 \\
9 x&=3 & y&=-1 & z&=2
10 \end{aligned}
11 \end{equation}
12
13 \end{document}
```

### gather 环境

我们要介绍的第二种数学公式环境是 *gather*，它既可以将公式进行居中对齐，也能对每一条数学表达式分别进行公式编号。同样的，如果想要移除公式编号，只需要在公式环境中加上星号即可。

【例】使用 gather 编译一个方程组：

```

1 \documentclass[12pt]{article}
2 \usepackage{amsmath}
3 \begin{document}
4
5 \begin{gather}
6 x+y=2 \\
7 2x+y=3
8 \end{gather}
9
10 \end{document}
```

## 4.1.2 基本格式调整

### 字符类型

在文本编辑中，我们已经介绍了几种常见的字符类型，实际上，对于数学公式而言，书写时也可以设置不同的字符类型。以  $X, Y, Z, x, y, z$  为例，具体而言：

- 命令 `\boldsymbol{X,Y,Z,x,y,z}`，编译后的效果为  $\mathbf{X, Y, Z, x, y, z}$ ，使用之前需申明 `\usepackage{amsmath}`；
- 命令 `\mathrm{X,Y,Z,x,y,z}`，编译后的效果为  $X, Y, Z, x, y, z$ ；
- 命令 `\mathit{X,Y,Z,x,y,z}`，编译后的效果为  $X, Y, Z, x, y, z$ ；
- 命令 `\mathbf{X,Y,Z,x,y,z}`，编译后的效果为  $\mathbf{X, Y, Z, x, y, z}$ ；
- 命令 `\mathsf{X,Y,Z,x,y,z}`，编译后的效果为  $X, Y, Z, x, y, z$ ；
- 命令 `\mathtt{X,Y,Z,x,y,z}`，编译后的效果为  $X, Y, Z, x, y, z$ ；
- 命令 `\boldmath{X,Y,Z,x,y,z}`，编译后的效果为  $X, Y, Z, x, y, z$ ；依赖于特定工具包，使用之前需申明 `\usepackage{amssymb}`；
- 命令 `\mathcal{X,Y,Z}`，编译后的效果为  $\mathcal{X}, \mathcal{Y}, \mathcal{Z}$ ；
- 命令 `\mathbb{X,Y,Z}`，依赖于特定工具包，使用之前需申明 `\usepackage{amssymb, amsfonts}`，编译后的效果为  $\mathbb{X}, \mathbb{Y}, \mathbb{Z}$ ，概率论与数理统计中常见的数学期望符号  $\mathbb{E}$  也是用该命令编译的，即 `\mathbb{E}`；
- 命令 `\mathfrak{X,Y,Z,x,y,z}`，依赖于特定工具包，使用之前需申明 `\usepackage{amssymb, amsfonts, eufrak}`，编译后的效果为  $\mathfrak{X}, \mathfrak{Y}, \mathfrak{Z}, \mathfrak{x}, \mathfrak{y}, \mathfrak{z}$ 。

除此之外，如果想在公式中插入正常的文本，可以使用 `\text{}` 命令，例如 `T_{\text{start}}` 编译后的效果为  $T_{\text{start}}$ 。

## 调整公式大小

如果想对单个公式调整公式字符大小，在美元符号插入的公式中，可以使用 *displaystyle*、*textstyle*、*scriptstyle* 和 *scriptscriptstyle* 等申明命令对公式大小进行调整，公式显示效果依次从小到大，这些命令一般放在公式前即可。

【例】使用上述四种命令分别书写函数  $f(x) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}$ ：

```

1 \documentclass[12pt]{article}
2 \begin{document}
3
4 $\displaystyle{f(x)=\sum_{i=1}^n\frac{1}{x_{i}}}$,
5 $\textstyle{f(x)=\sum_{i=1}^n\frac{1}{x_{i}}}$,
6 $\scriptstyle{f(x)=\sum_{i=1}^n\frac{1}{x_{i}}}$,
7 $\scriptscriptstyle{f(x)=\sum_{i=1}^n\frac{1}{x_{i}}}$.
8
9 \end{document}
```

在各类公式环境（如 *equation*、*align*、*gather*）中，可以外使用一系列字符大小命令进行调整，例如用 *\begin{group}* *\end{group}* 限定字符区域。

【例】在 *\begin{group}* *\end{group}* 中使用字符大小命令 *\small* 和 *\Large* 对公式大小进行调整：

```

1 \documentclass[12pt]{article}
2 \usepackage{amsmath}
3 \begin{document}
4
5 %% Small size
6 \begin{group}
7 \small
8 \begin{align}
9 x+y=2 \\\
10 2x+y=3
11 \end{align}
12 \end{group}
13
14 %% Large size
15 \begin{group}
16 \Large
17 \begin{align}
```

```

18 x+y=2 \\
19 2x+y=3
20 \end{align}
21 \endgroup
22
23 \end{document}

```

## 其他格式调整

在 equation、align 等公式环境中，我们也可以通过数组 *array* 环境对数学公式进行对齐：

**【例】** 使用 array 环境编译一个方程组，并添加半边花括号，如：

```

1 \documentclass[12pt]{article}
2 \usepackage{amsmath}
3 \begin{document}
4
5 \begin{equation}
6 \left\{\begin{array}{l}
7 x+y=2 \\
8 2x+y=3
9 \end{array}\right.
10 \end{equation}
11
12 \begin{align}
13 \left\{\begin{array}{l}
14 x+y=2 \\
15 2x+y=3
16 \end{array}\right.
17 \end{align}
18
19 \end{document}

```

编译后：

$$\begin{cases} x + y = 2 \\ 2x + y = 3 \end{cases} \quad (4.1)$$

其中，对齐的方式有 l（左侧对齐）、c（居中对齐）和 r（右侧对齐）。

**【例】** 使用 array 环境编译公式，并让公式居中对齐：

```

1 \documentclass[12pt]{article}
2 \usepackage{amsmath, mathtools}
3
4 \begin{document}
5
6 \begin{equation}
7 \begin{array}{c@{\quad}c}
8 A = B + C
9 \quad\Rightarrow
10 & D = E - F, \quad \quad
11 G = H
12 \quad\Rightarrow
13 & K = P + Q + M.
14 \end{array}
15 \end{equation}
16
17 \end{document}

```

编译后：

$$\begin{array}{lcl}
 A = B + C & \Rightarrow & D = E - F, \\
 G = H & \Rightarrow & K = P + Q + M.
 \end{array}
 \tag{4.2}$$

当公式过长时，还有一些工具包提供的环境可以让公式进行自动跨行，以工具包 *breqn* 为例，在使用时，用 `\begin{dmath}` `\end{dmath}` 即可。

## 4.2 常用数学符号

常用数学符号包括运算符号、标记符号、各类括号、空心符号及一些特殊函数。

### 4.2.1 运算符号

在初等数学中，最基本的运算规则是加减乘除。在 LaTeX 中，加法符号和减法符号就是 `+` 和 `-`；而乘法符号有两种，第一种是 `\times`，对应于符号  $\times$ ，第二种是 `\cdot`，对应于符号  $\cdot$ ，除法符号的命令为 `\div`。

- `+` 加

- - 减
- `\times` 叉乘
- `\cdot` 点乘
- `\div` 除
- / 除

在加减的基础上命令`\pm`（由 `plus` 和 `minus` 首字母构成）和`\mp`（由 `minus` 和 `plus` 首字母构成）分别对应着符号 $\pm$  和 $\mp$ 。与加减乘除同样常用的运算符号还有大于号、小于号等。

- $x < y$  即  $x < y$
- $x > y$  即  $x > y$
- $x \leq y$  即  $x \leq y$
- $x \geq y$  即  $x \geq y$
- $x \ll y$  即  $x \ll y$  远小于
- $x \gg y$  即  $x \gg y$  远大于

对于集合而言：

- `\cap` 即  $\cap$
- `\cup` 即  $\cup$
- `\supset` 即  $\supset$
- `\subset` 即  $\subset$
- `\supseteq` 即  $\supseteq$
- `\subseteq` 即  $\subseteq$
- `\in` 即  $\in$
- `\notin` 即  $\notin$

### 4.2.2 标记符号

在数学中, 还有一些基本数学表达式也非常重要, 例如分式、上标、下标。LaTeX 中用于书写分数和分式的基本命令为`\frac{分子}{分母}`, 根据场景需要, 也可以选用`\dfrac{分子}{分母}` 和`\tfrac{分子}{分母}`。

- `\frac{x+3}{y-5}` 即  $\frac{x+3}{y-5}$
- `\dfrac{x+3}{y-5}` 即  $\frac{x+3}{y-5}$
- `\tfrac{x+3}{y-5}` 即  $\frac{x+3}{y-5}$
- `x^{x+5}` 即  $x^{x+5}$
- `x^{x^3+5}` 即  $x^{x^3+5}$
- `x_{x+5}` 即  $x_{x+5}$
- `x_{x^3+5}` 即  $x_{x^3+5}$
- `x_1, x_2, \dots, x_n` 即  $x_1, x_2, \dots, x_n$

与上标和下标对应的还有各种“帽子”符号, 即字母上面加符号:

- `\hat{x}` 即  $\hat{x}$
- `\bar{x}` 即  $\bar{x}$
- `\tilde{x}` 即  $\tilde{x}$
- `\vec{x}` 即  $\vec{x}$
- `\dot{x}` 即  $\dot{x}$
- `\bar{xy}` 即  $\bar{xy}$
- `\overline{xy}` 即  $\overline{xy}$
- `\tilde{xy}` 即  $\tilde{xy}$
- `\widetilde{xy}` 即  $\widetilde{xy}$



Tilde over the letter

<https://latex.org/forum/viewtopic.php?f=48&t=11388>

根号同样是数学表达式中的常见符号，在 LaTeX 中，根号的命令为 `\sqrt{}`，使用默认设置，生成的表达式为二次方根，如果想要设置为三次方根，则需要调整默认设置，即 `\sqrt[3]{}`，以此类推，可以设置四次方根等。

### 4.2.3 各类括号

在数学表达式中，括号的用处和种类都非常多，例如最常见的小括号、中括号、大括号（即花括号）。

【例】书写数学表达式  $\left(\frac{1}{y} + 1\right)$ 、 $\left[\frac{1}{y} + 1\right]$  和  $\left\{\frac{1}{y} + 1\right\}$ ：

```
1  $$x\left(\frac{1}{y}+1\right)$$
2  $$x\left[\frac{1}{y}+1\right]$$
3  $$x\left\{\frac{1}{y}+1\right\}$$
```

有时候，由于公式过长等原因，我们也可以在需要分行处插入 `\\` 将括号内的公式切分成多行。

在这里，我们可以使用一系列命令代替最常用的 `\left` 和 `\right` 组合，如 `\bigl` 和 `\bigr` 组合、`\Bigl` 和 `\Bigr` 组合、`\biggl` 和 `\biggr` 组合、`\Biggl` 和 `\Biggr` 组合来控制括号大小。

【例】利用各组合控制括号大小：

```
1  \begin{equation}
2
3  \left(x+y=z \right) \\
4  \bigr(x+y=z \bigr) \\
5  \Bigr(x+y=z \Bigr) \\
6  \biggl(x+y=z \biggr) \\
7  \Biggl(x+y=z \Biggr)
8
9  \end{equation}
```

编译后：

$$(x+y=z)(x+y=z)(x+y=z)(x+y=z)(x+y=z) \quad (4.3)$$

在数学公式编辑中，除了以上常见的括号，也有一些广义的“括号”。

【例】书写数学表达式：

```
1 \begin{equation}
2   x\left|\frac{1}{y}+1\right| \backslash
3   x\left|\frac{1}{y}+1\right| \backslash
4   \left<\frac{1}{x},\frac{1}{y}\right> \backslash
5   \langle\frac{1}{x},\frac{1}{y}\rangle
6 \end{equation}
```

编译后：

$$x \left| \frac{1}{y} + 1 \right| x \left\| \frac{1}{y} + 1 \right\| \left\langle \frac{1}{x}, \frac{1}{y} \right\rangle \left\langle \frac{1}{x}, \frac{1}{y} \right\rangle \quad (4.4)$$

在这里，使用半边括号，也能书写出导数的表达式。

【例】书写导数：

```
1 $$\left.\frac{dy}{dx}\right|_{x=1}$$
```

编译后：

$$\left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=1}$$

#### 4.2.4 空心符号

在数学表达式中，我们有时候会用到一些约定俗成的空心符号表示集合，这包括：

- 空心 R 符号  $\mathbb{R}$  表示由所有实数构成的集合。
- 空心 Z 符号  $\mathbb{Z}$  表示由所有整数构成的集合。
- 空心 N 符号  $\mathbb{N}$  表示由所有非负整数构成的集合，如果要表示正整数，使用符号  $\mathbb{N}_+$  即可。
- 空心 C 符号  $\mathbb{C}$  表示由所有复数构成的集合。

上面的例子使用了`\mathbb{字母}`。需要注意的是,要想让 LaTeX 成功编译出这些空心符号,我们需要调用特定的工具包,即`\usepackage{amsfonts}`,一般而言,为了保证公式的编译不出现意外,还会用到其他工具包,即`\usepackage{amsfonts, amssymb, amsmath}`。当然,除了这些,还有许多其他符号,这里不再一一赘述。

【例】书写表达式  $X \in \mathbb{R}^{m \times n}$  :

```
1 \usepackage{amsfonts}
2 \begin{document}
3 $$X \in \mathbb{R}^{\textcolor{blue}{m} \times \textcolor{blue}{n}}$$
4 \end{document}
```

【例】使用工具包 `bbold` 中的`\mathbb` 命令书写空心的 1、2、3、4、5:

```
1 \usepackage{bbold}
2 \begin{document}
3 $$\mathbb{1}, \mathbb{2}, \mathbb{3}, \mathbb{4}, \mathbb{5}$$
4 \end{document}
```

编译后:

1, 2, 3, 4, 5

### 4.2.5 特殊函数

上标很多时候是用来表示变量的幂,例如  $x^2$  表示  $x$  的平方,由此可以用上标书写出指数函数如  $y = x^2$  等。与指数函数对应的一类常用函数被称为对数函数,是指对数函数的反函数, LaTeX 提供了一些跟对数函数相关的命令,包括`\log`、`\ln`,在命令`\log`中,我们可以自行设置底数,而命令`\ln`则表示底数为自然数的对数。

有时候,为了简化数学表达式,我们可能会采用求和或者连乘的写法,在 LaTeX 中,求和符号对应的命令为`\sum_{下标}^{上标}`,连乘符号对应的命令为`\prod_{下标}^{上标}`。

- `\sum_{i=1}^n x_i` 求和公式即  $\sum_{i=1}^n x_i$
- `\prod_{i=1}^n x_i` 连乘公式即  $\prod_{i=1}^n x_i$

另外,在初等数学的几何中,我们学过了正弦、余弦等,这些在 LaTeX 都有定义好的命令可供直接使用。

- $y=\sin(x)$  正弦函数  $y = \sin(x)$
- $y=\arcsin(x)$  反正弦函数  $y = \arcsin(x)$
- $y=\cos(x)$  余弦函数  $y = \cos(x)$
- $y=\arccos(x)$  反余弦函数  $y = \arccos(x)$
- $y=\tan(x)$  余弦函数  $y = \tan(x)$
- $y=\arctan(x)$  反余弦函数  $y = \arctan(x)$

### 4.3 希腊字母

我们在初等数学中便已经学习到了一些常用的希腊字母，例如最常见的  $\pi$ （对应于`\pi`），圆周率  $\pi$  约等于 3.14，圆的面积为  $\pi r^2$ 、周长为  $2\pi r$ 。在几何学中，我们习惯用各种希腊字母表示度数，如  $\alpha$ （对应于`\alpha`）、 $\beta$ （对应于`\beta`）、 $\theta$ （对应于`\theta`）、 $\phi$ （对应于`\phi`）、 $\psi$ （对应于`\psi`）、 $\varphi$ （对应于`\varphi`），使用希腊字母既方便，也容易区分于  $x, y, z$  等其他变量。

实际上，这些希腊字母也可以用来作为变量，在概率论与数理统计中常常出现的变量就包括：

- 正态分布中的  $\mu$ （命令为`\mu`）、 $\sigma$ （命令为`\sigma`）；
- 泊松分布中的  $\lambda$ （命令为`\lambda`）；
- 通常表示自由度的希腊字母为  $\nu$ （命令为`\nu`）。

另外，在不等式中经常用到的希腊字母有：

- $\delta$  命令为`\delta`；
- $\epsilon$  命令为`\epsilon`；
- $\gamma$  命令为`\gamma`；
- $\eta$  命令为`\eta`；
- $\kappa$  命令为`\kappa`；
- $\rho$  命令为`\rho`；

- $\tau$  命令为\tau;
- $\omega$  命令为\omega;

当然, 前面提到的这些希腊字母在用途上并没有严格的界定, 很多时候, 我们书写数学表达式时可以根据需要选用适当的希腊字母。

【例】书写椭圆  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$  的面积公式  $S = \pi ab$ :

```
1 $$$=\pi ab$$ % 椭圆面积公式
```

【例】书写不等式  $a^\alpha b^\beta \cdots k^\kappa l^\lambda \leq a\alpha + b\beta + \cdots + k\kappa + l\lambda$ :

```
1 $$a^{\alpha}b^{\beta}\cdots k^{\kappa}l^{\lambda}\leq a\alpha+b\beta+\cdots+k\kappa+l\lambda$
```

【例】书写不等式  $\phi\left(\frac{x_1+x_2+\cdots+x_n}{n}\right) \leq \frac{\phi(x_1)+\phi(x_2)+\cdots+\phi(x_n)}{n}$ :

```
1 $$\phi\left(\frac{x_1+x_2+\cdots+x_n}{n}\right)\leq\frac{\phi(x_1)+\phi(x_2)+\cdots+\phi(x_n)}{n}$
```

与英文字母类似的是, 有些希腊字母不但有小写字母, 还有大写字母, 具体如下:

- 命令\Gamma 对应于希腊字母  $\Gamma$ , 命令\varGamma 对应于  $\Gamma$ ;
- 命令\Delta 对应于希腊字母  $\Delta$ , 命令\varDelta 对应于  $\Delta$ ;
- 命令\Theta 对应于希腊字母  $\Theta$ , 命令\varTheta 对应于  $\Theta$ ;
- 命令\Lambda 对应于希腊字母  $\Lambda$ , 命令\varLambda 对应于  $\Lambda$ ;
- 命令\Pi 对应于希腊字母  $\Pi$ , 命令\varPi 对应于  $\Pi$ ;
- 命令\Sigma 对应于希腊字母  $\Sigma$ , 命令\varSigma 对应于  $\Sigma$ ;
- 命令\Phi 对应于希腊字母  $\Phi$ , 命令\varPhi 对应于  $\Phi$ ;
- 命令\Omega 对应于希腊字母  $\Omega$ , 命令\varOmega 对应于  $\Omega$ 。

从这些大写希腊字母中可以看到：大写希腊字母的命令是将小写希腊字母的命令首字母进行大写，但这些大写希腊字母与小写希腊字母的区别却不仅仅是尺寸不同；当大写希腊字母作为变量时，可以采用斜体字。

【例】书写  $\Delta x + \Delta y$  和  $(i, j, k) \in \Omega$ ：

```
1  $$\Delta x+\Delta y$$
2  $(i,j,k)\in\Omega$
```

## 4.4 微积分

事实上，数学公式的范畴极为广泛，我们所熟知的大学数学课程中，微积分、线性代数、概率论与数理统计中数学表达式的符号系统均大不相同。本节将主要介绍如何使用 LaTeX 对微积分中的数学表达式进行书写和编译。

### 4.4.1 极限

求极限是整个微积分中的基石，例如  $\lim_{x \rightarrow 2} x^2$  对应的 LaTeX 代码为 `$$\lim_{x \rightarrow 2} x^2$`。

【例】书写以下求极限的表达式：

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{3x^2 - 2}{3x - 2x^2} = \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{x^2 \left(3 - \frac{2}{x^2}\right)}{x^2 \left(\frac{3}{x} - 2\right)} = \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{3 - \frac{2}{x^2}}{\frac{3}{x} - 2} = -\frac{3}{2}$$

```
1  $$\lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{3x^2-2}{3x-2x^2} = \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{x^2 \left(3 - \frac{2}{x^2}\right)}{x^2 \left(\frac{3}{x} - 2\right)} = \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{3 - \frac{2}{x^2}}{\frac{3}{x} - 2} = -\frac{3}{2}$$
```

【例】书写极限  $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{s(t+\Delta t)+s(t)}{\Delta t}$  &  $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{s(t+\Delta t)+s(t)}{\Delta t}$ ：

```
1  $$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{s(t+\Delta t)+s(t)}{\Delta t} \& \displaystyle \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{s(t+\Delta t)+s(t)}{\Delta t}$$
```

### 4.4.2 导数

在微积分中，给定函数  $f(x)$  后，我们能够将其导数定义为：

$$f'(a) = \lim_{x \rightarrow a} \frac{f(x) - f(a)}{x - a}$$

用 LaTeX 书写这条公式为：

```
1  $$$f^{\prime}(a)=\lim_{x \rightarrow a} \frac{f(x)-f(a)}{x-a}$$$
```

有时候，为了让分数的形式在直观上不显得过大，可以用：

$$f'(a) = \lim_{x \rightarrow a} \frac{f(x) - f(a)}{x - a}$$

用 LaTeX 书写这条公式为：

```
1  $$$f^{\prime}(a)=\lim\limits_{x \rightarrow a} \frac{f(x)-f(a)}{x-a}$$$
```

其中，`\lim` 和 `\limits` 两个命令需要配合使用。

需要注意的是，`f\prime(x)` 中的 `\prime` 命令是标准写法。

【例】书写导数的定义  $f'(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\Delta x}$ ：

```
1  $$$f^{\prime}(x)=\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x+\Delta x)-f(x)}{\Delta x}$$$
```

【例】书写函数  $f(x) = 3x^2 + 2x^3 + 1$  的导数  $f'(x) = 6x + 6x^2$ ：

```
1  $$$f^{\prime}(x)=6x+6x^2$$$
```

微分在微积分中举足轻重，`\mathrm{d}` 为微分符号  $d$  的命令，一般而言，微分的标准写法为  $\frac{d^n}{dx^n} f(x)$ 。

【例】书写微分  $\frac{d}{dx} f(x) = 6x + 6x^2$  和  $\frac{d^2}{dx^2} f(x) = 6 + 12x$ ：

```
1  $$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x} f(x)=6x+6x^2$$$
```

```
2  $$$\frac{\mathrm{d}^2}{\mathrm{d}x^2} f(x)=6+12x$$$
```

在微积分中, 偏微分符号  $\partial$  的命令为 `\partial`, 对于任意函数  $f(x, y)$ , 偏微分  
的标准写法为  $\frac{\partial^n}{\partial x^n} f(x, y)$  或  $\frac{\partial^n}{\partial y^n} f(x, y)$ 。

【例】书写函数  $f(x, y) = 3x^5y^2 + 2x^3y + 1$  的偏微分  $\frac{\partial}{\partial x} f(x, y) = 15x^4y^2 + 6x^2y$  和  
 $\frac{\partial}{\partial y} f(x, y) = 6x^5y + 2x^3$ :

```
1  $$\frac{\partial}{\partial x} f(x,y)=15x^4y^2+6x^2y$$
2  $$\frac{\partial}{\partial y} f(x,y)=6x^5y+2x^3$$
```

【例】书写偏导数  $z = \mu \frac{\partial y}{\partial x} \Big|_{x=0}$  :

```
1  $$z=\mu\,,\frac{\partial y}{\partial x}\bigg|_{x=0}$$
```

### 4.4.3 积分

积分的标准写法为  $\int_a^b f(x) dx$ , 代码为 `\int_{a}^{b} f(x)\,,\mathrm{d}x`, 其中,  
`\int` 表示积分, 是英文单词 integral 的缩写形式, 使用 `\,` 的目的是引入一个空格。

【例】书写积分  $\int \frac{dx}{\sqrt{a^2+x^2}} = \frac{1}{a} \arcsin\left(\frac{x}{a}\right) + C$  和  $\int \tan^2 x dx = \tan x - x + C$ :

```
1  $$\int\frac{\mathrm{d}x}{\sqrt{a^2+x^2}}=\frac{1}{a}\arcsin\left(\frac{x}{a}\right)+C$
2  $$\int\tan^2x\,,\mathrm{d}x=\tan x-x+C$
```

【例】书写积分  $\int_a^b [\lambda_1 f_1(x) + \lambda_2 f_2(x)] dx = \lambda_1 \int_a^b f_1(x) dx + \lambda_2 \int_a^b f_2(x) dx$  和  $\int_a^b f(x) dx =$   
 $\int_a^c f(x) dx + \int_c^b f(x) dx$ :

```
1  $$\int_a^b\left[\lambda_1f_1(x)+\lambda_2f_2(x)\right]\,,\mathrm{d}x=\lambda_1\int_a^bf_1(x)\,,\mathrm{d}x+\lambda_2\int_a^bf_2(x)\,,\mathrm{d}x$
2  $$\int_a^bf(x)\,,\mathrm{d}x=\int_a^cf(x)\,,\mathrm{d}x+\int_c^bf(x)\,,\mathrm{d}x$
```



【例】书写积分：

$$\begin{aligned}
 V &= 2\pi \int_0^1 x \{1 - (x-1)^2\} dx \\
 &= 2\pi \int_0^2 \{-x^3 + 2x^2\} dx \\
 &= 2\pi \left[ -\frac{1}{4}x^4 + \frac{2}{3}x^3 \right]_0^2 \\
 &= 8\pi/3
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

```

1 \begin{equation}
2   \begin{aligned}
3     V&=2\pi\int_{0}^{1} x\left\{1-(x-1)^2\right\}\mathrm{d}x \\\
4     &=2\pi\int_{0}^{2}\left\{-x^3+2 x^2\right\}\mathrm{d}x \\\
5     &=2\pi\left[-\frac{1}{4} x^4+\frac{2}{3} x^3\right]_{0}^{2} \\\
6     &=8\pi/3
7   \end{aligned}
8 \end{equation}

```

上述介绍的都是一重积分，在微积分课程中，还有二重积分、三重积分等，对于一重积分，LaTeX 提供的基本命令为`\int`，二重积分为`\iint`，三重积分为`\iiint`、四重积分为`\iiiiint`，当积分为五重或以上时，一般使用`\idotsint`，即  $\int \cdots \int$ 。

【例】书写积分  $\iint_D f(x, y) d\sigma$  和  $\iiint_{\Omega} (x^2 + y^2 + z^2) dv$ ：

```

1 $$\iint\limits_{D}f(x,y)\mathrm{d}\sigma$$
2 $$\iiint\limits_{\Omega}\left(x^2+y^2+z^2\right)\mathrm{d}v$$

```

在积分中，有一种特殊的积分符号是在标准的积分符号上加上一个圈，可用来表示计算曲线曲面积分，即  $\oint_C f(x) dx + g(y) dy$ ，代码为：

```

1 $$\oint_C f(x)\mathrm{d}x+g(y)\mathrm{d}y$$

```

## 4.5 线性代数

### 4.5.1 矩阵

在线性代数和众多代数课程中，矩阵是最基础的代数结构，可以直观上理解为数表。使用 LaTeX 时，我们可以用 `\begin{array} \end{array}` 环境来书写矩阵。

【例】书写矩阵  $\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{bmatrix}$  和  $\left[ \begin{array}{c|cc} 1 & 2 & 3 \\ \hline 4 & 5 & 6 \end{array} \right]$ ：

```
1  $$\left[\begin{array}{ccc} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{array}\right] \right]$$
2  $$\left[\begin{array}{c|cc} 1 & 2 & 3 \\ \hline 4 & 5 & 6 \end{array}\right] \right]$$
```

当然，除了 `\begin{array} \end{array}`，我们还可以用 `\begin{matrix} \end{matrix}` 等一系列环境来书写矩阵。

- *smallmatrix* 环境，编译结果为：

$$\begin{smallmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 7 \end{smallmatrix}$$

- *matrix* 环境，编译结果为：

$$\begin{matrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 7 \end{matrix}$$

- *pmatrix* 环境，编译结果为：

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 7 \end{pmatrix}$$

- *bmatrix* 环境，编译结果为：

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 7 \end{bmatrix}$$

- *Bmatrix* 环境，编译结果为：

$$\begin{Bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 7 \end{Bmatrix}$$

- *vmatrix* 环境，编译结果为：

$$\begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 7 \end{vmatrix}$$

- *Vmatrix* 环境，编译结果为：

$$\begin{Vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 7 \end{Vmatrix}$$

在线性代数中，一般用粗体字母或者符号表示矩阵，例如 **A, B, C, X, Y, Z**。

```

1  $\mathbf{A}$,
2  $\mathbf{B}$,
3  $\mathbf{C}$,
4  $\mathbf{X}$,
5  $\mathbf{Y}$,
6  $\mathbf{Z}$

```

【例】书写矩阵  $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$

```

1  $$\mathbf{A}=\begin{bmatrix}
2    a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\
3    a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\
4    \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
5    a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \\
6  \end{bmatrix}

```

【例】书写矩阵  $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b & c \\ b & d & e \\ c & e & f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c & e & f \\ b & d & e \\ a & b & c \end{bmatrix}$

```

1  $$\begin{bmatrix}
2    0 & 0 & 1 \\
3    0 & 1 & 0 \\
4    1 & 0 & 0 \\
5  \end{bmatrix} \begin{bmatrix}
6    a & b & c \\
7    b & d & e \\
8    c & e & f \\
9  \end{bmatrix} = \begin{bmatrix}
10   c & e & f \\
11   b & d & e \\
12   a & b & c \\
13  \end{bmatrix}

```

### 4.5.2 符号

作用于矩阵的符号可分为标记符号和运算符号，就标记符号而言，有：

- 矩阵的逆，写作  $\mathbf{A}^{-1}$ ；
- 矩阵的伪逆，写作  $\mathbf{A}^+$  或  $\mathbf{A}^\dagger$ ；
- 矩阵的转置，写作  $\mathbf{A}^T$  或  $\mathbf{A}^\top$ ；
- 酉矩阵的转置，写作  $\mathbf{A}^H$ ；
- 矩阵的秩，写作  $\text{rank}(\mathbf{A})$ ；
- 矩阵的迹，写作  $\text{Tr}(\mathbf{A})$ ；
- 矩阵的行列式，写作  $\det(\mathbf{A})$ ；

上面的相关代码如下：

```

1  $$\mathbf{A}^{-1}$$ % 矩阵的逆
2  $$\mathbf{A}^{+}$$ % 矩阵的伪逆
3  $$\mathbf{A}^{\dagger}$$ % 矩阵的伪逆
4  $$\mathbf{A}^T$$ % 矩阵的转置
5  $$\mathbf{A}^\top$$ % 矩阵的转置
6  $$\mathbf{A}^H$$ % 酉矩阵的转置
7  $$\operatorname{rank}(\mathbf{A})$$ % 矩阵的秩
8  $$\operatorname{Tr}(\mathbf{A})$$ % 矩阵的迹
9  $$\det(\mathbf{A})$$ % 矩阵的行列式

```

【例】书写矩阵运算规则

$$(\mathbf{AB})^{-1} = \mathbf{B}^{-1}\mathbf{A}^{-1}$$

$$(\mathbf{A} + \mathbf{B})^\top = \mathbf{A}^\top + \mathbf{B}^\top$$

$$(\mathbf{A} + \mathbf{B})^H = \mathbf{A}^H + \mathbf{B}^H$$

$$\text{Tr}(\mathbf{A} + \mathbf{B}) = \text{Tr}(\mathbf{A}) + \text{Tr}(\mathbf{B})$$

$$\det(\mathbf{AB}) = \det(\mathbf{A})\det(\mathbf{B})$$

```

1  $$\left(\mathbf{A}\mathbf{B}\right)^{-1}=\mathbf{B}^{-1}\mathbf{A}^{-1}$$
2  $$\left(\mathbf{A}+\mathbf{B}\right)^{\top}=\mathbf{A}^{\top}+\mathbf{B}^{\top}$$
3  $$\left(\mathbf{A}+\mathbf{B}\right)^H=\mathbf{A}^H+\mathbf{B}^H$$
4  $$\operatorname{Tr}\left(\mathbf{A}+\mathbf{B}\right)=\operatorname{Tr}\left(\mathbf{A}\right)+\operatorname{Tr}\left(\mathbf{B}\right)$$
5  $$\det\left(\mathbf{A}\mathbf{B}\right)=\det\left(\mathbf{A}\right)\det\left(\mathbf{B}\right)$$

```

【例】书写  $\frac{\partial}{\partial \mathbf{X}} \operatorname{Tr}(\mathbf{A}\mathbf{X}\mathbf{B}) = \mathbf{A}^\top \mathbf{B}^\top$

```

1  $$\frac{\partial}{\partial \mathbf{X}} \operatorname{Tr}\left(\mathbf{A}\mathbf{X}\mathbf{B}\right)=\mathbf{A}^{\top}\mathbf{B}^{\top}$$

```

【例】书写多元正态分布的概率密度函数

$$p(\mathbf{x}) = \frac{1}{\sqrt{\det(2\pi)}} \exp\left[-\frac{1}{2}(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})^\top \mathbf{\Sigma}^{-1}(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})\right]$$

```

1  $$p\left(\mathbf{x}\right)=\frac{1}{\sqrt{\operatorname{det}\left(2\pi\mathbf{\Sigma}\right)}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu}\right)^{\top}\mathbf{\Sigma}^{-1}\left(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu}\right)\right]$$

```

【例】书写混合高斯分布的概率密度函数

$$p(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^K \rho_k \frac{1}{\sqrt{\det(2\pi \mathbf{\Sigma}_k)}} \exp\left[-\frac{1}{2}(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}_k)^\top \mathbf{\Sigma}_k^{-1}(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}_k)\right]$$

```

1  $$p\left(\mathbf{x}\right)=\sum_{k=1}^K\rho_k\frac{1}{\sqrt{\operatorname{det}\left(2\pi\mathbf{\Sigma}_k\right)}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu}_k\right)^{\top}\mathbf{\Sigma}_k^{-1}\left(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu}_k\right)\right]$$

```

【例】书写混合高斯分布的概率密度函数

$$p(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^K \rho_k \frac{1}{\sqrt{\det(2\pi \mathbf{\Sigma}_k)}} \exp\left[-\frac{1}{2}(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}_k)^\top \mathbf{\Sigma}_k^{-1}(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}_k)\right]$$

```

1  $$$\left(\mathrm{x}\right)=\sum_{k=1}^K\rho_k\frac{1}{\sqrt{\operatorname{det}
    }\left(2\pi\mathrm{\Sigma}_k\right)}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\mathrm{x}
    -\mathrm{\mu}_k\right)^{\top}\mathrm{\Sigma}_k^{-1}\left(\mathrm{x}-
    \mathrm{\mu}_k\right)\right]$$$

```

就运算符号而言，有：

- Hadamard 积，如  $\mathbf{A} \odot \mathbf{B}$  ；
- Hadamard 积，如  $\mathbf{A} \otimes \mathbf{B}$  ；
- 内积，如  $\langle \mathbf{A}, \mathbf{B} \rangle$  ；

上面的相关代码如下：

```

1  $\mathrm{A}\odot\mathrm{B}$ % Hadamard积
2  $\mathrm{A}\otimes\mathrm{B}$ % Kronecker积
3  $\left\langle\mathrm{A},\mathrm{B}\right\rangle$ % 内积

```

【例】书写 Kronecker 积运算

$$\mathbf{X} \otimes \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} x_{11}\mathbf{Y} & x_{12}\mathbf{Y} & \cdots & x_{1n}\mathbf{Y} \\ x_{21}\mathbf{Y} & x_{22}\mathbf{Y} & \cdots & x_{2n}\mathbf{Y} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1}\mathbf{Y} & x_{m2}\mathbf{Y} & \cdots & x_{mn}\mathbf{Y} \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

```

1  \begin{equation}
2  \quad \mathrm{X}\otimes\mathrm{Y}=\left[\begin{array}{cccc}
3  \quad x_{11}\mathrm{Y} & x_{12}\mathrm{Y} & \cdots & x_{1n}\mathrm{Y} \\
4  \quad x_{21}\mathrm{Y} & x_{22}\mathrm{Y} & \cdots & x_{2n}\mathrm{Y} \\
5  \quad \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
6  \quad x_{m1}\mathrm{Y} & x_{m2}\mathrm{Y} & \cdots & x_{mn}\mathrm{Y}
7  \quad \end{array}\right]
8  \end{equation}

```

【例】书写李亚普诺夫方程

$$\begin{aligned} \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{X}\mathbf{B} &= \mathbf{C} \\ \Rightarrow \operatorname{vec}(\mathbf{X}) &= (\mathbf{I} \otimes \mathbf{A} + \mathbf{B}^\top \otimes \mathbf{I})^{-1} \operatorname{vec}(\mathbf{C}) \end{aligned} \quad (4.7)$$

```

1 \begin{equation}
2 \begin{aligned}
3 &\mathbf{A}\mathbf{X}+\mathbf{X}\mathbf{B}=\mathbf{C} \quad \backslash\backslash
4 \quad \text{\textcolor{blue}{\Rightarrow}}\quad\text{\textcolor{blue}{\operatorname{vec}}}\text{\textcolor{blue}{\left}}(\mathbf{X}\text{\textcolor{blue}{\right}})=\text{\textcolor{blue}{\left}}(\mathbf{I}\backslash
5 \quad \text{\textcolor{blue}{\otimes}}\mathbf{A}+\mathbf{B}\text{\textcolor{blue}{\top}}\text{\textcolor{blue}{\otimes}}\mathbf{I}\text{\textcolor{blue}{\right}})^{-1}\text{\textcolor{blue}{\operatorname{vec}}}\text{\textcolor{blue}{\left}}(\mathbf{C}\text{\textcolor{blue}{\right}})
6 \end{aligned}
7 \end{equation}

```

### 4.5.3 范数

一般而言，代数结构有标量、向量、矩阵、张量这几种，对于这几种代数结构来说，有时候，为了描述数据特征等，会引入范数这个概念。对于向量而言，常用的范数包括  $\ell_0$  范数、 $\ell_1$  范数、 $\ell_2$  范数，具体来说，给定任意向量  $\mathbf{x}$ ，有：

- $\ell_0$  范数为  $\|\mathbf{x}\|_0 = \sqrt[0]{\sum_i x_i^0}$ ;
- $\ell_1$  范数为  $\|\mathbf{x}\|_1 = \sum_i |x_i|$ ;
- $\ell_2$  范数为  $\|\mathbf{x}\|_2 = \sqrt{\sum_i x_i^2}$ ;

上面的相关代码如下：

```

1 $\text{\textcolor{blue}{\left}}\text{\textcolor{blue}{\mathbf{x}}}\text{\textcolor{blue}{\right}}\text{\textcolor{blue}{\|}}_{0}=\sqrt[0]{\sum_{i} x_{i}^{0}}$ % 范数 0
2 $\text{\textcolor{blue}{\left}}\text{\textcolor{blue}{\mathbf{x}}}\text{\textcolor{blue}{\right}}\text{\textcolor{blue}{\|}}_{1}=\sum_{i} |x_{i}|$ % 范数 1
3 $\text{\textcolor{blue}{\ell}}_{2}$ 范数为 $\text{\textcolor{blue}{\left}}\text{\textcolor{blue}{\mathbf{x}}}\text{\textcolor{blue}{\right}}\text{\textcolor{blue}{\|}}_{2}=\sqrt{\sum_{i} x_{i}^{2}}$ % 范数 2

```

对于矩阵而言，常用的范数包括 F 范数、核范数。给定任意矩阵  $\mathbf{X}$ ，F 范数的表达式为  $\|\mathbf{X}\|_F$ ；核范数的表达式为  $\|\mathbf{X}\|_*$ 。

```

1 $\text{\textcolor{blue}{\left}}\text{\textcolor{blue}{\mathbf{X}}}\text{\textcolor{blue}{\right}}\text{\textcolor{blue}{\|}}_{F}$ % F 范数
2 $\text{\textcolor{blue}{\left}}\text{\textcolor{blue}{\mathbf{X}}}\text{\textcolor{blue}{\right}}\text{\textcolor{blue}{\|}}_{*}$ % 核范数

```

【例】书写

$$\frac{1}{2} \mathbf{x}^\top \mathbf{A}^\top \mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{x}^\top \mathbf{A}^\top \mathbf{b} = \frac{1}{2} \|\mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{b}\|_2^2 - \frac{1}{2} \|\mathbf{b}\|_2^2$$

```

1  $$\frac{1}{2}\mathbf{x}^{\top}\mathbf{A}^{\top}\mathbf{A}\mathbf{x}-\mathbf{x}^{\top}\mathbf{A}^{\top}\mathbf{A}\mathbf{b}=\frac{1}{2}\mathbf{b}^{\top}\mathbf{A}\mathbf{x}-\mathbf{b}^{\top}\mathbf{A}\mathbf{b}+\frac{1}{2}\mathbf{b}^{\top}\mathbf{b}

```

【例】 书写

$$\begin{aligned}
 & \left\| \left[ \begin{array}{cc|cc} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ \hline a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \\ \hline a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} \end{array} \right] - \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \\ b_{31} & b_{32} \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} \right\|_F \\
 &= \left\| \left[ \begin{array}{cc|cc} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ \hline a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \\ \hline a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} \end{array} \right] - \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ b_{31} \\ b_{12} \\ b_{22} \\ b_{32} \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} c_{11} & c_{21} & c_{12} & c_{22} \end{bmatrix} \right\|_F
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

```

1  \begin{equation}
2    \begin{aligned}
3      &\mathbf{b}^{\top}\mathbf{A}\mathbf{x}-\mathbf{b}^{\top}\mathbf{A}\mathbf{b}+\frac{1}{2}\mathbf{b}^{\top}\mathbf{b} \\
4      &=\mathbf{b}^{\top}\mathbf{A}\mathbf{x}-\mathbf{b}^{\top}\mathbf{A}\mathbf{b}+\frac{1}{2}\mathbf{b}^{\top}\mathbf{b}
5    \end{aligned}
6  \end{equation}

```



