

如何用 R Markdown 写学术文档?

王树佳
深圳大学经济学院
wangsj@szu.edu.cn

2018 年 11 月 26 日

目录

1	介绍	2
1.1	什么是 R Markdown?	2
1.2	搭建系统环境	3
1.2.1	需要安装的软件	3
1.2.2	RStudio 基本设置	3
1.2.3	安装常用软件包	4
2	用 R Markdown 写简单文档	4
3	用 R Markdown 写学术文档	5
4	用 Bookdown 写书或长文	6
4.1	用 bookdown 写中英文书籍	6
4.2	用 Bookdownplus 模版快速上手	7
4.2.1	安装调用	7
4.2.2	用 Bookdownplus 撰写书籍	7
5	修改中文参考文献样式	7
5.1	一般学术文档修改	8
5.2	修改 Bookdownplus	8
5.3	修改 Bookdown 任意样式	8
6	R Markdown 简介	8
6.1	Markdown 基本语法	8
6.1.1	段落	8
6.1.2	段内文字格式	8
6.1.3	标题和分隔线	9
6.1.4	引用段落	9
6.1.5	列表	9
6.1.6	源程序代码	9
6.1.7	链接	10
6.2	数学公式	10
6.2.1	Markdown 公式	10
6.2.2	LaTeX 公式环境	11
6.2.3	参考手册	12
6.3	R 代码块	12
6.4	图形	13
6.4.1	插入图片	13
6.4.2	R 做图	15
6.4.3	一个 ggplot2 作图的例子	15
6.5	表格	21

6.5.1	用 R Markdown 函数 <code>kable()</code> 制作表格	21
6.5.2	用 R 软件包 <code>xtable</code> 和 <code>stargazer</code> 制作表格	22
6.5.3	Markdown 表格	22
6.6	交叉引用	23
6.6.1	数学公式	24
6.6.2	定理	24
6.6.3	交互引用方式列表	25
6.7	文献引用	25
7	总结	26
	参考文献	27

1 介绍

本文的主要目的是介绍如何用 R Markdown 撰写学术类型的文档。

主要包括：

- (一) 简单介绍 R Markdown 及需安装的软件和设置；
- (二) 简单的学术类文档（结构简单，不需要交叉引用，如理工科课程作业等）；
- (三) 完整的学术类文档（结构完整，篇幅不长，但需要交叉引用，如学术论文等）¹；
- (四) 撰写长篇幅的学术类文档（全文需分章节，篇幅较长，需要跨章节的交叉引用，如书籍、学位论文等）；
- (五) 中文参考文献的样式；
- (六) 介绍 R Markdown 的具体用法。

1.1 什么是 R Markdown?

R Markdown (Allaire et al. 2018) 是结合 Markdown 和 R(R Core Team 2018) 语言的写作软件。

Markdown 是轻量级、纯文本、超简单的书写格式。

R Markdown 可以做什么？

- 语法简单。作者基本上无需关心排版问题，只要专心写作就可以了。
 - 计算结果动态生成。作者不必手动拷贝粘贴代码结果或者生成的表格、图片等。
 - 易于修改。写作过程中如需修改某处，全文相应变动会自动生成，包括软件运行的结果（图形等）。
 - 比 Word 更美观，比 LaTeX 更易用。
 - 方便地插入目录、图表、脚注等。Bookdown 扩展功能可以交叉引用、索引。
 - 方便地插入数学公式、参考文献、R 代码。
 - 可以生成漂亮的 pdf、word、epub、网页和幻灯片等多种文件格式。
 - 写作及结果具有可重复性。
-
- 支持多语言，包括 R, C/C++, Python, Fortran, Julia, Shell scripts 和 SQL 等。
 - R 和 Markdown 都是开源免费的。

R Markdown 使得数据分析代码可以与文档混编，具体语法请参看第6节。

下面是回归模型的简单例子。在 R 中，回归模型可以用非常简单的一行代码搞定：`lm(y~x, data)`,

```
options(digits = 4)
fit = lm(dist ~ speed, data = cars)
coef(summary(fit))
```

```
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  -17.579      6.7584  -2.601 1.232e-02
## speed         3.932       0.4155   9.464 1.490e-12

b = coef(fit)
```

上面回归方程中的斜率是 3.9324088，完整的回归方程为：

$$Y = -17.5790949 + 3.9324088x$$

散点图和回归直线：

¹ 本文就是这种类型的文档

```
par(mar = c(4, 4, .1, .1), las = 1)
plot(cars, pch = 19)
abline(fit, col = 'red')
```

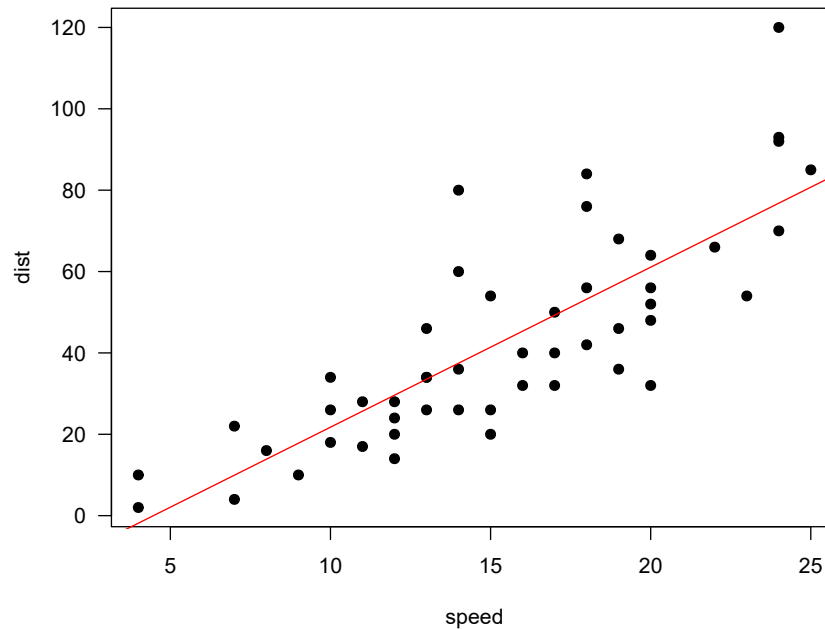


图 1: cars 数据散点图以及回归直线。

1.2 搭建系统环境

1.2.1 需要安装的软件

首先安装最新版本的 R 软件:

- R: <https://www.r-project.org/>

然后安装 RStudio:

- RStudio: <https://www.rstudio.com/>

1.2.2 RStudio 基本设置

首先对 RStudio 进行正确的设置:

- 打开 Tools => global options, 然后
- 点击 sweave, 在 weave rnw files using 选择 knitr
- 在 Typeset LaTeX into PDF using 选择 XeLaTeX
- 在 Code => Saving => Default text Encoding 选择 UTF-8

最好每项工作都单独建立一个文件夹, 把性质相同的文档归到同一个子目录 (比如要插入的图形、需调用的参考文献、设置的格式和参数等等)。然后建立 RStudio 项目 (project), 每次开始都打开这个 project, 这样项目的一切材料都会齐备, RStudio 的工作目录不会搞乱。

1.2.3 安装常用软件包

首先安装软件包 `bookdown`(Xie 2018a) 及其相依软件包, R Markdown 写作所需的包基本上就齐了。`bookdown` 包括了 `rmarkdown` (Allaire et al. 2018)、`knitr` (Xie 2018b)、`rticles` 等, 如果有包缺失, 运行时提示安装。

- `bookdown`: <https://bookdown.org/>

可以安装稳定版: `install.packages('bookdown')`

或开发版: `devtools::install_github('rstudio/bookdown')`

其次建议安装软件包 `tidyverse`, 它包含了数据分析常用的几个核心包, 包括:

- `ggplot2` 数据可视化
- `dplyr` 数据变换和操作
- `tidyr` 数据整理
- `readr` 数据输入
- `purrr` 函数编程
- `tibble` 新的数据框格式
- `stringr` 简单易用的字符串工具集
- `forcats` 用于处理分类变量的因子 (Factor)

2 用 R Markdown 写简单文档

所谓“简单”学术文档, 是指满足了学术文档的基本要求, 包括标题、公式、图表、参考文献以及自动编号等, 但是不能交互引用。这种情况下 R Markdown 具有独特优势, 可以直接上手, 输出结果丰富。

- (1) 新建一个 R Markdown 文档。在打开界面可输入题目和作者姓名, 输出格式可选择 `html`, `pdf` 或 `word`。
- (2) 简单设置。点击 `Knit` 旁边的齿轮按钮, 在 `Output Options` 可做更多选择, 比如可勾选 `Include table of contents`, 表示建立目录。勾选 `Number section headings` 表示章节题目包含顺序数字。在 `Figures` 勾选 `Render figure captions` 表示图形会显示标题并自动排序。
- (3) 结果输出。
 - 如果文档是纯英文的, 可以通过 `knit` 转为 `html`, `pdf` 或 `word` 任何格式都没问题。不过, 如果你用中文 Windows, 则日期最好用 "``r Sys.Date()``" 代替或直接输入英文日期, 否则可能会乱码。注意: `pdf` 文档中不能出现任何中文字符, 包括标点符号。
 - 如果文档是中文的, 则
 - 转 `html` 没有任何问题。
 - 转 `word`, 一定要在开始时指定, 或在文档的 `output:` 下面指明 `word_document:`, 否则标题和日期会是乱码。
 - 中文文档不能直接转 `pdf`, 需要加装软件包并正确设置。

一般文档开头 (称为 `yaml`) 是这样的:

```
---
title: "Title"
author: "Your Name"
date: "2018-11-26"
output:
  html_document:
    fig_caption: yes
    number_sections: yes
    toc: yes
    toc_depth: 3
    toc_float: True
# 文档格式为 html
# 包括图形标题
# 章节数字顺序
# 显示目录
# 三级目录
# 目录作为侧边栏
```

```

pdf_document:                                # 文档格式为 pdf
  fig_caption: yes
  keep_tex: yes
  latex_engine: xelatex
  number_sections: yes
  toc: yes
word_document:                               # 文档格式为 word
  fig_caption: yes
  toc: yes
bibliography: reference.bib                 # 参考文献文件名
bibli0-style: apalike                       # 参考文献格式
link-citations: yes                         # 参考文献链接
colorlinks: yes                             # 链接颜色
#lot: yes                                    # 表格列表
#lof: yes                                    # 图形列表
---
```

中文 pdf 文档

首先要确保已经安装 `bookdown`，因为中文 pdf 文档需要用到 `rticles`, `tynytex` 等软件包。中文 pdf 文档还需要用到 LaTeX 套件，如 `Texlive`, `MikTeX` 等。安装 `bookdown` 后，这些套件是否还需要安装，我不能确定。

创建简单的中文 pdf 文档，很简单：打开 R Markdown 时，选择 `From Template`，从模版中选择 `CTeX Documents` 即可。

3 用 R Markdown 写学术文档

前面介绍的 R Markdown 文档是没有交叉引用功能的，即公式、图形、表格或章节之间在正文不能交互引用。

为了实现交叉引用功能，可以扩展到 `bookdown`。但是 `bookdown` 需要建立一个文件夹，里面有一堆文件夹和文件，还要每章（节）单独写一个 Rmd 文件，有点复杂。除非你写书或硕博毕业论文，一般不太长的文档或杂志论文没有必要。解决办法是把 `bookdown` 用单个文件的格式 (Xie 2018a)，也具有交互引用功能。

一个合适的设置需要满足：

- (1) 标题、图形、表格、公式等可以自动编号，可以交互引用；
- (2) 一个文档可以输出 html、pdf 和 word 等多种格式；
- (3) 参考文献可以方便地修改样式。

我的 `yaml` 是这样的（满足以上三个条件）：

```

---
title: " 如何用 R Markdown 写学术文档？ "
author: "Shujia Wong"
#date: "2018-11-26"
date: "2018 年 11 月 26 日"
#geometry: left = 3.18cm, right = 3.18cm, top = 2.0cm, bottom = 2.0cm
#fontsize: 12pt
output:
  bookdown::gitbook:
    config:
      toc:
        collapse: subsection
    self.contained: yes
    table_css: TRUE
    number_sections: TRUE
---
```

```

split_by: none
bookdown::pdf_document2:
  keep_tex: yes
  dev: "cairo_pdf" # Allow Chinese figure title and labels
  latex_engine: xelatex # for chinese
  template: template/template_article_zh.tex #latex template
  #pandoc_args: --top-level-division=chapter
  fig_caption: yes
  number_sections: yes
  toc_depth: 3
  #toc_unnumbered: no
  #toc_appendix: yes
  quote_footer: ["\\begin{flushright}", "\\end{flushright}"]
bookdown::html_document2:
  css: bib/style.css
  fig_caption: yes
  theme: readable
  #highlight: monochrome
  number_sections: yes
  toc: yes
  toc_depth: 3
  toc_float: True # 目录作为侧边栏
bookdown::word_document2:
  reference_docx: template/reference_word.docx
  fig_caption: yes
  toc: yes
  toc_depth: 3
citation_package: natbib
bibliography: [bib/packages.bib,bib/book.bib]
#csl: bib/chinese-gb7714-1987-numeric.csl
bibli0-style: apalike
link-citations: yes
colorlinks: yes
#lot: yes
#lof: yes
---
```

注意，要在工作目录中创建两个子目录：

- `template` 子目录，存放样板文档。`template_article_zh.tex` 来自 `bookdownplus` (Zhao 2017)，并且稍作修改。`reference_word.docx` 是本人制作，你可以根据需要修改 `word` 的样式。
- `bib` 子目录，存放参考文献（`.bib`）和式样文件（`.csl`）。

4 用 Bookdown 写书或长文

4.1 用 bookdown 写中英文书籍

长篇文章（书籍、毕业论文）需要分章节以及交叉引用，结构复杂，简单的一个 R Markdown 文档可能不能胜任。

一本 bookdown 书含有多个章节，每个章节写在单独的 `.Rmd` 文件，起始部分为该章节标题 (Xie 2018a)。

如果含有中文，所有 R Markdown 文档都必须用 UTF-8 编码保存。

具体用法：

- 下载模板：在模板下载网页（github）的右上角，点击 Clone or download 下载压缩文件，解压到工作目录。
 - 英文模版 <https://github.com/rstudio/bookdown-demo>。
 - 中文模版 <https://github.com/yihui/bookdown-chinese>
- 用 RStudio 打开文件 bookdown-demo.Rproj 或 bookdown-chinese.Rproj，然后在右上角点击 Build，下一行 Build Book，然后选择相应格式 (pdf,epub,word,gitbook) 即可得到模板文件。
- 根据自己需要修改相关文件，保存。运行 Build Book 即可得到你自己的书籍。

中文可输出 gitbook 网页、pdf, word 和 epub。

英文的 demo 里默认没有 word 格式的输出，要自行在 _output.yml 里添加一行：

```
bookdown::word_document2: default
```

更多说明请参看 Xie Yihui (2018): *bookdown: Authoring Books and Technical Documents with R Markdown* <https://bookdown.org/yihui/bookdown/>

4.2 用 Bookdownplus 模版快速上手

Bookdownplus(Zhao 2017) 对 Bookdown 进行了重新配置，制作了多种文本的模版，包括中、英文论文，北大、浙大等高校毕业论文等，大大方便了各种类型的写作应用。

4.2.1 安装调用

软件包 bookdownplus 可参看 CRAN <https://cran.r-project.org/web/packages/bookdownplus/index.html>。也可以到 Github <https://github.com/pzhaonet/bookdownplus> 去下载相关文件。

安装稳定版: `install.packages('bookdownplus')`

或开发版: `devtools::install_github('pzhaonet/bookdownplus')`

调用软件包: `require(bookdownplus)`

查看所有可用模版: `get_template()`，其中 `article` 是英文版学术论文模版，`article_zh` 是中文学术论文模版，支持双语标题、作者、摘要、关键词。`pku_zh` 是北京大学毕业论文模版，`ucas_zh` 是中国科学院大学学位论文模版，`zju_zh` 是浙江大学毕业论文模版。

4.2.2 用 Bookdownplus 撰写书籍

步骤：

- (1) 产生模版。首先把 RStudio 的工作目录设置在一个空白的文件夹（Session -> Set Working Directory -> Choose Directory，也可以通过快捷键选取 Ctrl + Shift + H）。执行 `library("bookdownplus") bookdownplus(template = "article_zh", rproj=TRUE)` 其中 `rproj=TRUE` 必须加上，否则不会产生 `bookdownplus.Rproj` 文件。
 - (2) 在 `index.Rmd` 修改题目、作者等，在 `body.Rmd` 撰写正文。注意这里一级标题竟然要用 `##`，有点不明白。
 - (3) 创建你的书籍。在 RStudio 中打开 `bookdownplus.Rproj`，在右上角点击 Build，下一行 Build Book，然后选择相应格式 (pdf,epub,word,gitbook) 即可，你的书籍在文件夹 `_book` 里面。
- 其它格式（书籍、毕业论文、杂志文章等）类似，请自行测试。

5 修改中文参考文献样式

不管是 Bookdown 还是 Bookdownplus，默认参考文献的引用格式都是 `apalike`，引用格式是作者-年，不符合 `gb7714` 中文标准。

如何把参考文献修改为中文标准格式？

5.1 一般学术文档修改

- (1) 到 csl 样式库 <https://www.zotero.org/styles> 下载合适的样式(有几百种),比如 `chinese-gb7714-1987-numeric.csl`, 放在工作目录下的 `bib` 子目录。
- (2) 注释掉 `#bibliography-style: apalike`, 然后增加一行:
`csl: bib/chinese-gb7714-1987-numeric.csl`

为了试试中文的引用,我通过 Zotero 产生一个 bibtex 格式中文文献(注意自动生成的中文 `key` 显示为--, 需要自行修改), 例如 (柯忠义²⁰¹⁷)。

5.2 修改 Bookdownplus

- 把 `chinese-gb7714-1987-numeric.csl` 放在项目所在目录。
- 在文件 `index.rmd` 中:
 - 修改 `natbib` 为 `none`;
 - 把 `pandoc_args:` 后面内容替换为: `["--top-level-division=chapter", "--csl","chinese-gb7714-1987-numeric.csl"]`;
 - 删除或注释掉文档 `index.Rmd` 中的 `bibliography-style: apalike`;
- 在 `body.Rmd` 的最后增加一行: `## 参考文献 {-}`。

5.3 修改 Bookdown 任意样式

- 在文件 `_output.yml` 中修改 `citation_package: none`;
- 在文件 `_output.yml` 各种格式 (`gitbook`, `pdf_book`, `epub_book`) 中增加 `pandoc_args:` `["--csl","your-csl-file.csl"]`;
- 删除或注释掉文档 `index.Rmd` 中的 `bibliography-style: apalike`;
- 把文件 `08-references.Rmd` 首行改为: `# 参考文献 {-}` (否则参考文献不出现)。

6 R Markdown 简介

6.1 Markdown 基本语法

6.1.1 段落

Markdown 中, 一个段落由一行或连续的多行组成。段落之间以空行分隔。同一段落内的不同行仅表示空格。

为了在段内换行, 可在前行末尾输入两个或两个以上空格。也可以输入 `
` 分行, 但是仅对 `html` 和 `word` 格式有效, 对 `pdf` 格式无效。

6.1.2 段内文字格式

- 斜体: 星号或下划线包围的内容是强调格式, 如 `_text_` 或 `*text*`: *text*。
- 黑体: 双星号或双下划线包围的内容是加重格式, 如 `text`, `__text__` 或 `**text**`。
- 下标: 两个 `~` 包夹的内容为下标, 如 `H~2~S0~4~` 显示为 H_2SO_4 。
- 上标: 两个 `^` 包夹内容为上标, `R^2^` 显示为 R^2 。
- 显示代码: 两个反向单撇号内, 如 ``code``, 显示为: `code`²。
- 为了使得某些有特殊意义的字符不作特殊解释, 可以在该字符前面加上反斜杠`\`, 取消其特殊含义。比如, 要插入普通的星号或下划线, 可以使用反斜杠保护`*`, 或者写成段内代码格式 ``*``。

²要把反向单撇号作为一般字符(而不是代码表示符), 可以在外围用比它多的反向单撇号表示, 如 ``` `code` ```。

- 插入图片: `![图片标题](path/to/image)`, 更好的图形插入方式在第6.4节介绍。
- 脚注: `^[脚注文本]`。例如, 这里插入脚注³

6.1.3 标题和分隔线

- 一级标题: 以井号 `#` 开头, 或在标题下面一行输入多个等号 `=====`;
- 二级标题: 两个井号 `##` 开始。或在标题下面一行输入多个减号 `-----`;
- 标题行前面应该空一行;
- 用三个或三个以上连续的星号组成的行, 可以转换成分隔线;
- 标题不编号: 标题后增加 `{-}`, 如本文最后标题“`# 参考文献 {-}`”。

6.1.4 引用段落

在段落的每行前面加一个大于号 `>`, 表示引用。

凡事只要看得淡些, 就没有什么可忧虑的了; 只要不因愤怒而夸大事态, 就没有什么事情值得生气的了。

——屠格涅夫

6.1.5 列表

不编号列表: 以 `*`、`-` 或 `+` 开头, 再空四个空格可以嵌套, 如:

```
- 第一项
- 第二项
  - 第二项的第一项
  - 第二项的第二项
```

结果:

- 第一项
- 第二项
 - 第二项的第一项
 - 第二项的第二项

带编号列表:

```
1. 第一项
2. 第二项
3. 第三项
```

6.1.6 源程序代码

三个或以上连续的反向单撇号表示代码开头与代码结束, 缩进四个空格也可以。

```
```
这是代码
```
```

或缩进四个空格:

```
    这是代码
```

使用栅栏式代码块, 可以彩色语法和行号显示等多种选项, 如 `.cpp` 表示 C++, `.c` 表示 C, `.r` 表示 R, `.python` 表示 python 等。选项 `numberLines` 要求该代码行编号, 选项 `startFrom=` 指定开始行号。

³所谓“脚注”, 就是在页脚对某些文字的注释。

另外，如果代码内本身含有 ~ 行，只要使得开头与结尾标志中的 ~ 个数更多就可以了。

```
~~~{.python .numberLines startFrom=101}
# 计算面积函数
def area(width, height):
    return width * height

def print_welcome(name):
    print("Welcome", name)

print_welcome("Runoob")
}
~~~
```

结果:

```
101 # 计算面积函数
102 def area(width, height):
103     return width * height
104
105 def print_welcome(name):
106     print("Welcome", name)
107
108 print_welcome("Runoob")
109 }
```

6.1.7 链接

- 直接链接。
深圳大学的网页地址是： <<https://www.szu.edu.cn/>> 。
显示为深圳大学的网页地址是： <https://www.szu.edu.cn/>。
- 行内式链接。
[显示的文本](链接网址)，
例如，请参考 [RStudio](<https://www.rstudio.com>)，
显示为[RStudio](https://www.rstudio.com)。

6.2 数学公式

6.2.1 Markdown 公式

行内公式用两个美元符号， $y=x^2$ 显示 $y = x^2$ 。

整行公式（display style）最简单的方法是用两双美元符号之间表示：

$$f(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\infty} \int_0^1 \sin^2(itx) dt.$$

$$f(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\infty} \int_0^1 \sin^2(itx) dt.$$

矩阵和行列式公式

```
$$\begin{array}{ccc}
x_{11} & x_{12} & x_{13} \\
x_{21} & x_{22} & x_{23}
\end{array}$$
```

$$\begin{matrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} \end{matrix}$$

```

 $X = \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ 1 & x_3 \end{bmatrix}$ 

```

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ 1 & x_3 \end{bmatrix}$$

```

 $\Theta = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{pmatrix}$ 

```

$$\Theta = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{pmatrix}$$

```

 $\begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} = ad - bc$ 

```

$$\begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} = ad - bc$$

这样的整行公式输出 html 格式非常简单，效果也好，但是如果要输出 pdf 或 word，还要编号交互引用的话，就可能有问题。所以，如果除了网页格式外，还需要输出 pdf 等其它文档格式，最好还是用 LaTeX 的公式环境。

6.2.2 LaTeX 公式环境

一行整行公式：公式自动居中。

```

\begin{equation}
y=f(x)
\end{equation}

```

$$y = f(x) \tag{1}$$

关于公式编号：输出为 html 时，公式默认不编号，只有标注了的公式才编号。而输出为 pdf 时，一般默认为自动编号。

如果想输出的公式不编号，可以用 `equation*` 环境或在该公式后面增加 `\nonumber` 或 `\notag`。其它公式环境类似，如 `eqnarray*`, `gather*`, `align*` 等。

```

\begin{equation*}
\frac{d}{dx} \left( \int_a^x f(u) du \right) = f(x)
\end{equation*}

```

$$\frac{d}{dx} \left(\int_a^x f(u) du \right) = f(x)$$

多行公式：用 `eqnarray`，等号对齐用 `&=`，换行用 `\\`。

$$y = f(x) + c \quad (2)$$

$$z = g(y) + \sin(x) \quad (3)$$

公式对齐可以用 `align`，等号对齐用 `&=`；默认情况下，`align` 环境里每行都会指定一个编号，如果某行不要编号，可用 `\notag`。

```
\begin{align}
g(X_{\{n\}}) &= g(\theta) + g'(\tilde{\theta})(X_{\{n\}} - \theta) \notag \\
\sqrt{n}[g(X_{\{n\}}) - g(\theta)] &= g'(\tilde{\theta})\sqrt{n}[X_{\{n\}} - \theta] \\
\sqrt{n}[X_{\{n\}} - \theta] &(\text{\#eq:grad})
\end{align}
```

$$\begin{aligned} g(X_n) &= g(\theta) + g'(\tilde{\theta})(X_n - \theta) \\ \sqrt{n}[g(X_n) - g(\theta)] &= g'(\tilde{\theta})\sqrt{n}[X_n - \theta] \end{aligned} \quad (4)$$

如果希望多行公式共享一个编号，可用 `split` 环境：

```
\begin{equation}
\begin{split}
\mathrm{Var}(\hat{\beta}) \\
&= \mathrm{Var}((X'X)^{-1}X'y) \\
&= (X'X)^{-1}X'\mathrm{Var}(y)X(X'X)^{-1} \\
&= (X'X)^{-1}\sigma^2
\end{split} (\text{\#eq:multi-eq})
\end{equation}
```

$$\begin{aligned} \mathrm{Var}(\hat{\beta}) &= \mathrm{Var}((X'X)^{-1}X'y) \\ &= (X'X)^{-1}X'\mathrm{Var}(y)X(X'X)^{-1} \\ &= (X'X)^{-1}\sigma^2 \end{aligned} \quad (5)$$

6.2.3 参考手册

LaTeX 参考手册：<https://wch.github.io/latexsheet/latexsheet-a4.pdf>

RStudio 还有很多使用手册，不妨去下载备用：<https://www.rstudio.com/resources/cheatsheets/>。

6.3 R 代码块

行内 R 代码：``r R_CODE``。如 ``r exp(sin(pi/2))``，计算结果为 $e^{\sin(\pi/2)} = 2.7182818$ 。

插入 R 代码块：在 RStudio 左上角的 **Insert** 可插入 R 代码（也可以是 Python、Stan 等），或者用快捷键 `Ctrl + Alt + I`。

代码块可以运行代码并输出文本结果、图形和表格，使得 R 和 Markdown 方便的放在一起⁴。

```
```{r}
```
```

代码块有丰富的控制选项，可参考 *knitr* 说明文档 <https://yihui.name/knitr/options>。

代码块常用选项：

⁴为了显示在 R Markdown 中实际输入的代码块（包括首尾标志），需要将代码段整体地缩进 4 个空格，并在三个反单撇号前面加上 ``r '``，即生成一个空字符串的行内 R 代码。

- **eval**: 代码块是否运行。**eval=FALSE** 代码仅显示而不实际运行。
- **echo**: 是否在结果中显示源代码。
- **results**: 用选项 **results=** 选择文本型结果的类型。取值有：
 - **markup**, 这是缺省选项, 会把文本型结果变成 HTML 的原样文本格式。
 - **hide**, 运行了代码后不显示运行结果。
 - **hold**, 一个代码块所有的代码都显示完, 才显示所有的结果。
 - **asis**, “as-is”, 直接输出源代码文本。**knitr** 包的 **kable()** 函数可以把数据框转换为 HTML 表格。
- **collapse**: 是否把源代码和输出文本放在一个输出文本块。默认是分开的。
- **warning, message, and error**: 是否显示警告、消息和错误信息。
- **include**: 代码块和结果是否包含在输出文档中。当 **include = FALSE**, 但 **eval = TRUE**, 则代码块和结果都不出现在输出文档里, 但仍然运行。
- **cache**: 是否缓存。部分修改时, 仅运行修改部分。
- **fig.width**: R 图形本身的宽度 (英寸), 如 **fig.width = 6**。
- **fig.height**: R 图形的高度, 如 **fig.height = 4**。
- **fig.asp**: 表示图形的高宽比。
- **out.width**: R 图形在生成文档中的宽度。如 **out.width = '80%'** 表示占页面宽度的 80%。
- **out.height**: R 图形在生成文档中的高度。
- **fig.align**: 图形的对齐方式, 可以是 **'left', 'center', or 'right'**。
- **dev**: R 图形的装置。常见的有 **'pdf'** (for LaTeX output)、**'png'** (for HTML output)、**'svg'** (矢量图格式)、**'jpeg'** (压缩格式), 本文用 **'cairo_pdf'**, 可以在图形中出现中文。
- **fig.cap**: 图形和表格的标题。
- **child**: 主文件中包含的子文件。

6.4 图形

6.4.1 插入图片

方式一: Markdown 插入。

方法简单, 但不能自动编号, 而且输出 **html** 和 **pdf** 时显示结果会不一致。

- 插入网络图片: `![] (网址)`
- 插入本地图片: `![] (images/tline.png)` (子目录 **images** 下), 显示为:



方式二：R Markdown 插入。

用 `knitr` 函数 `knitr::include_graphics()` 插入图形（图2）（设置了宽度等于页面的 50%，居中）。

```
knitr::include_graphics('images/run.jpg')
```



图 2: 插入本地图形

用 `include_graphics()` 插入图形有如下优点：

1. 不必担心文档的输出格式。LaTeX 的 pdf 中插入图形命令是 `\includegraphics{}`，在 Markdown 中插入图形命令是 ``，它们互相不认。而函数 `include_graphics()` 会自动选择插入方

式。

2. 无论是插入图形还是由 R 生成的图形，控制图形属性的指令（`out.width` 等）都含义相同。
3. 可以对所有图形设置相同的大小比例。如本文设置 `out.width = '75%'`。

所以，最好是统一使用 Rmd 的插图方法。

6.4.2 R 做图

R 作图可以指定大小和对齐方式（见图3）。

```
par(mar = c(4, 4, .1, .1))  
plot(pressure, pch = 19)
```

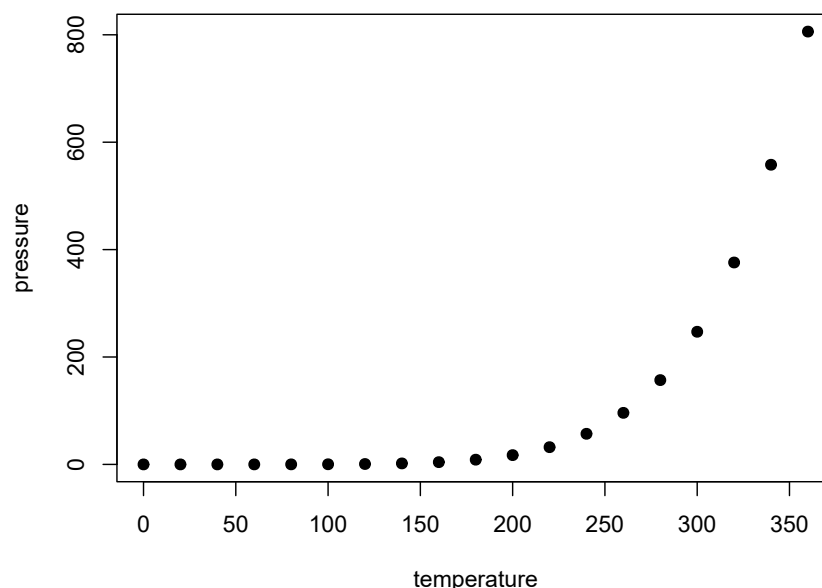


图 3: 图形指定大小和位置

如果一幅图里有多个子图，必须设 `fig.show='hold'`，并排图形加起来宽度不能超过文本宽度。如两个子图并排，每个不能超过 50%⁵。

见图4。

```
par(mar = c(4, 4, .1, .1))  
plot(pressure, pch = 19, type = 'b')  
plot(cars, pch = 19)
```

6.4.3 一个 ggplot2 作图的例子

软件包 `ggplot2` (Wickham et al. 2018) 是 R 中可视化的利器，作者是 Hadley Wickham。“gg”表示“Grammar of Graphics”的意思，作图理念是分图层，

Plot（图形）= data（数据）+ Aesthetics（美学）+ Geometry（几何）

包括:

- data 指数据框 (data frame)
- Aesthetics 标明 x 和 y 变量，以及控制图形的颜色、大小、数据点的形状、柱形的高低等美学特征
- Geometry 表示图形的几何形状（直方图、箱线图、密度图等）
- 统计变换 (Statistics): 对数据进行某种汇总，如直方图，或将二维关系用线性模型解释

⁵因为 word 不允许多子图，所以本文无法输出 word 格式。如果 word 确实需要多个子图，可以先保存到本地，然后再插入。

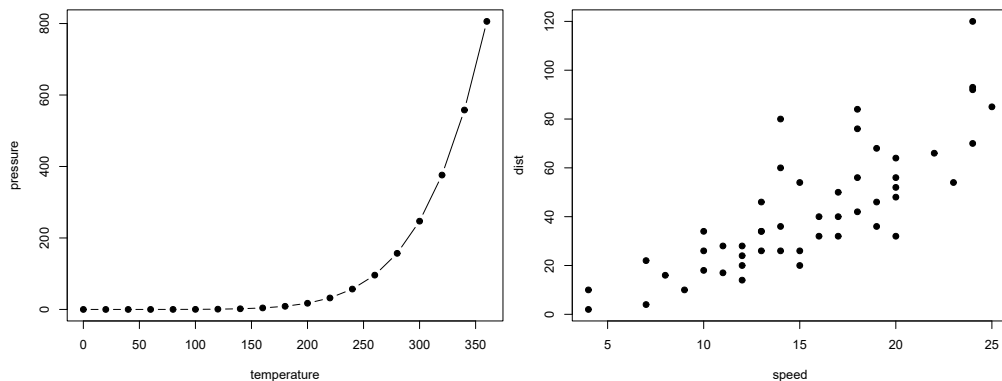


图 4: 两个图形并排

- 标度 (Scale): 将数据的取值映射到图形空间, 例如用: 颜色、大小、形状表示不同取值
- 坐标系 (Coordinate): 数据如何映射到图形所在平面, 提供作图所需的坐标轴和网格线
- 分面 (Facet): 将数据分解为子集, 进行联合展示
- 图层 (Layer): 对所需的绘图操作进行一层一层叠加, 最终得到所需图形

下面具体介绍一个用 `ggplot2` 作图的例子⁶。

6.4.3.1 散点图

```
library(ggplot2)
p <- ggplot(data = mpg, mapping = aes(x = cty, y = hwy))
p + geom_point()
```

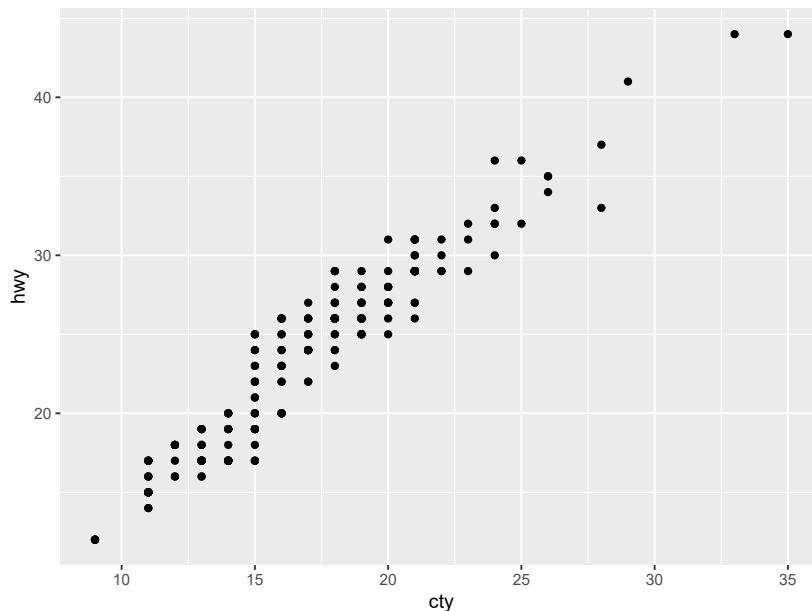


图 5: ggplot2 with points

第一行指定数据集、映射 (坐标轴), 第二行表示在 `p` 的基础上加上点, `geom` 表示的是 `geometric object` (几何对象) (见图5)。

`mpg` 是 `ggplot2` 里面的一个关于汽车的数据集。

- `cty`: city miles per gallon

⁶这个例子来自 https://blog.csdn.net/weixin_41929524/article/details/79765882。

- hwy: highway miles per gallon
- year: year of manufacture
- displ: engine displacement, in litres
- cyl: number of cylinders
- class: “type” of car

6.4.3.2 变换颜色

按生产年份以颜色区分, `factor(year)` 是把年份转化为因子形式 (相当于定类变量), 见图 6。

```
p <- ggplot(mpg, aes(x = cty, y = hwy, colour = factor(year)))
p + geom_point()
```

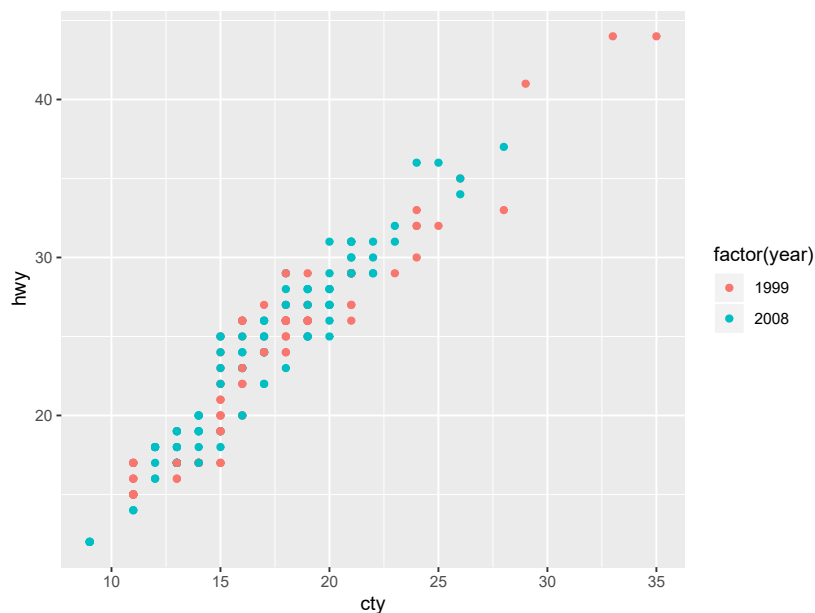


图 6: ggplot2 with points colors

6.4.3.3 拟合曲线

再加一行 `+ stat_smooth()`, 其中 `stat` 表示 statistical transformation, 做了统计平滑拟合直线, 以及置信区间, 见图 7。

```
p + geom_point() + stat_smooth()
```

6.4.3.4 变换大小

上图的数据点明显偏小, 可以让这些数据点随着汽车排量的大小而变化, 见图 8。

```
p + geom_point(aes(colour = factor(year), size = displ)) +
  stat_smooth() # 排量越大, 点越大
```

6.4.3.5 修改透明度

数据点太密集, 增加透明度, 解决点与点之间的重叠的问题, 见图 9。

```
p + geom_point(aes(colour = factor(year),
                    size = displ), alpha = 0.5) +
  stat_smooth() + scale_size_continuous(range = c(4, 10))
```

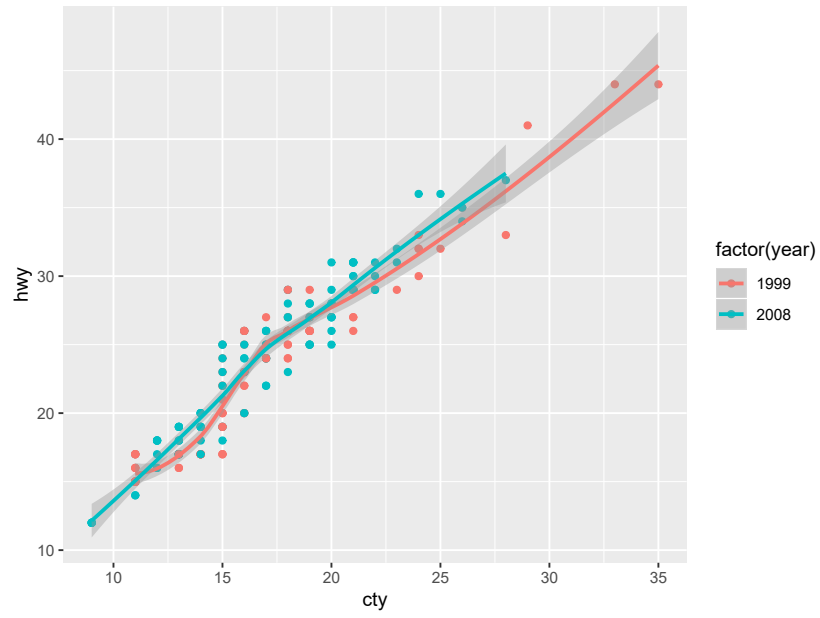


图 7: ggplot2 with smooth trends

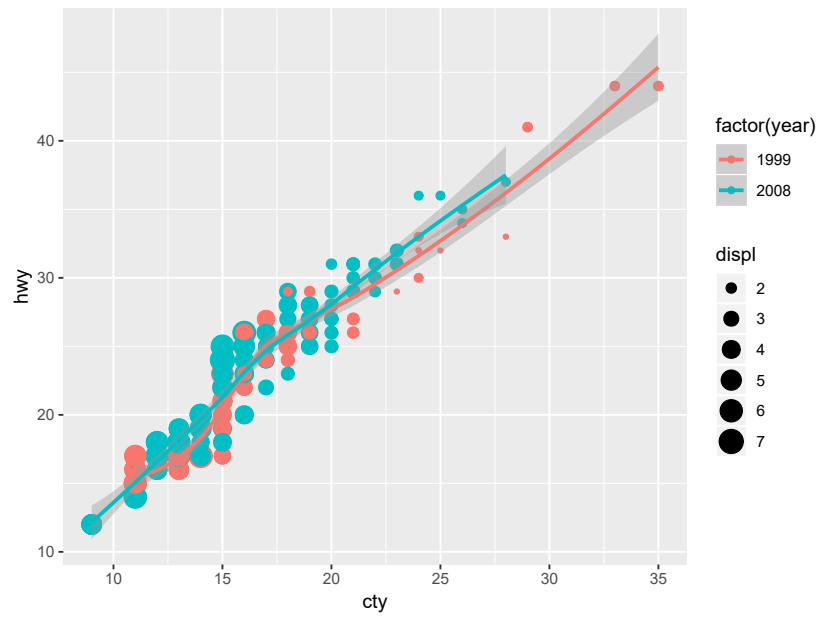


图 8: ggplot2 with variable point size

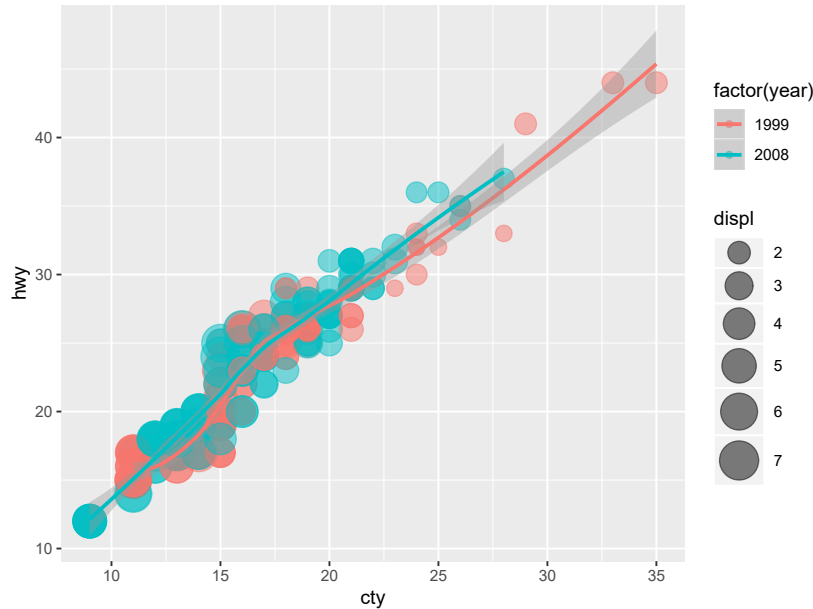


图 9: ggplot2 with transparent points

`alpha=0.5` 在 `aes()` 的外面，代表对所有的点都强制透明度为 0.5。

6.4.3.6 图形分层

1999 年与 2008 年数据点全部挤在一块，太拥挤了，应采用分层，见图 10。

```
p + geom_point(aes(colour = class, size = displ), alpha = 0.5) +
  stat_smooth() + scale_size_continuous(range = c(4, 10)) +
  facet_wrap(~ year, ncol = 1)
```

- `facet_wrap()` 是 `facet` 与 `wrap` 两个词组合，表示逐面包起来。
- `~year` 表示按变量 `year` 分层，将 1999 与 2008 分开。
- `ncol = 1` 代表小窗口是 1 列，指定了 1 列之后，默认就是两行（因为年份一共只有两种）。如果不加这句，会默认横着排列，或者想要指定几行，则使用 `nrow = 1`。
- 这里颜色指定了 `colour = class`，代表不同种类的汽车。
- 添加了 `scale_size_continuous(range = c(4, 10))`，指定 `size` 的变化范围。在本图中，就是控制点的绝对大小的范围，不要太大，也不要太小。

6.4.3.7 添加中文标注

默认情况下图形是不能出现中文的，要使得中文在图形中正常显示，必须在文档开头的 `output` 下面加上：`dev: "cairo_pdf"`，也可以在 R 代码中加上 `pdf.options(family="GB1")`。

```
p + geom_point(aes(colour = class, size = displ), alpha=0.5) +
  stat_smooth() + scale_size_continuous(range = c(4, 10)) +
  facet_wrap(~ year, ncol = 1) +
  labs(y = ' 每加仑高速公路行驶距离', x = ' 每加仑城市公路行驶距离',
       title = ' 汽车油耗与型号', size = ' 排量', colour = ' 车型') +
  theme(text = element_text(family = "STHeiti"),
        plot.title = element_text(hjust = 0.5))
```

图 11 中，

- `labs()` 修改的是标签的名称。

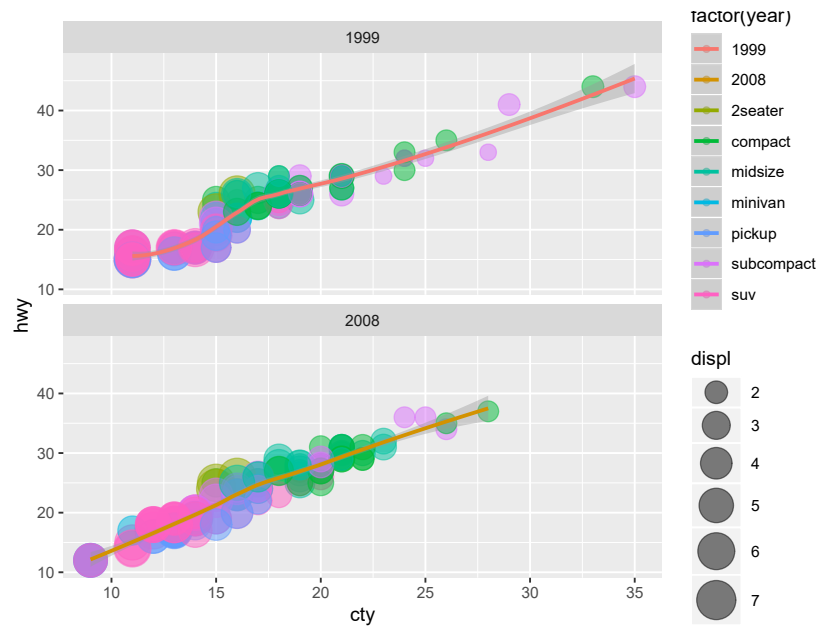


图 10: ggplot2 with facets

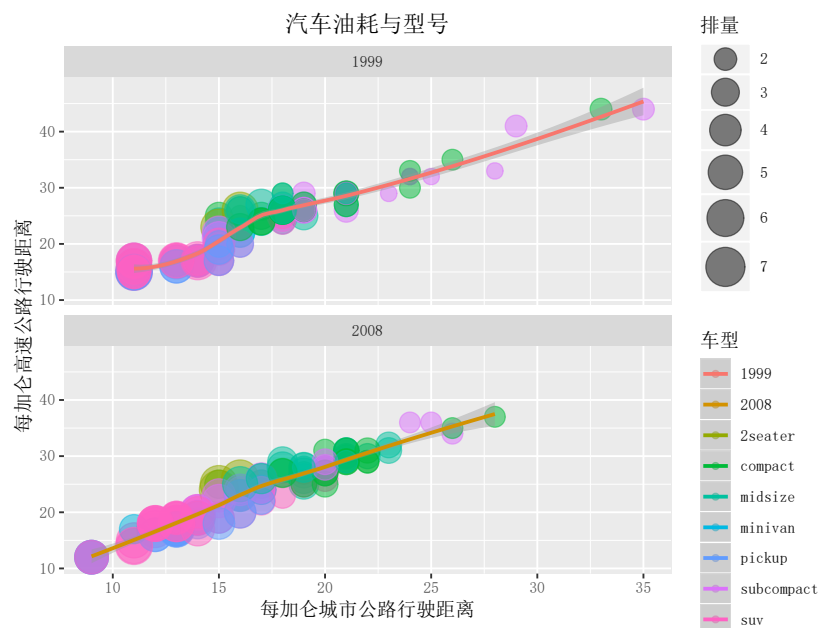


图 11: ggplot2 中显示中文

表 1: mtcars 数据的前 10 行

| | mpg | cyl | disp | hp | drat | wt | qsec | vs |
|-------------------|------|-----|-------|-----|------|-------|-------|----|
| Mazda RX4 | 21.0 | 6 | 160.0 | 110 | 3.90 | 2.620 | 16.46 | 0 |
| Mazda RX4 Wag | 21.0 | 6 | 160.0 | 110 | 3.90 | 2.875 | 17.02 | 0 |
| Datsun 710 | 22.8 | 4 | 108.0 | 93 | 3.85 | 2.320 | 18.61 | 1 |
| Hornet 4 Drive | 21.4 | 6 | 258.0 | 110 | 3.08 | 3.215 | 19.44 | 1 |
| Hornet Sportabout | 18.7 | 8 | 360.0 | 175 | 3.15 | 3.440 | 17.02 | 0 |
| Valiant | 18.1 | 6 | 225.0 | 105 | 2.76 | 3.460 | 20.22 | 1 |
| Duster 360 | 14.3 | 8 | 360.0 | 245 | 3.21 | 3.570 | 15.84 | 0 |
| Merc 240D | 24.4 | 4 | 146.7 | 62 | 3.69 | 3.190 | 20.00 | 1 |
| Merc 230 | 22.8 | 4 | 140.8 | 95 | 3.92 | 3.150 | 22.90 | 1 |
| Merc 280 | 19.2 | 6 | 167.6 | 123 | 3.92 | 3.440 | 18.30 | 1 |

表 2: 回归系数及显著性检验结果

| | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t) |
|-------------|-----------|------------|------------|-----------|
| (Intercept) | 0.5689172 | 3.0662516 | 0.1855416 | 0.8531878 |
| x | 1.9980722 | 0.0304439 | 65.6312709 | 0.0000000 |

- `theme()` 主题, 更偏向于格式的修改。`text = element_text(family = "STHeiti")` 是对字体进行修改, 变为黑体。Windows 系统可以不添加这行, 一样会显示前面 `labs()` 中设定的中文。而如果是 Mac 或者 Linux 系统, 由于字体的缺失, 会显示成一个一个的框框, 在图像上显示不了中文字。
- `plot.title = element_text(hjust = 0.5)` 调整标题的位置, 不加这行, 标题会居左, 加上才会居中。`hjust = 0.5` 其实就是左右移动的意思, 0.5 表示居中。

6.5 表格

6.5.1 用 R Markdown 函数 `kable()` 制作表格

用法: `knitr::kable()`

这是 R Markdown 显示表格最方便的方式, 可以把数据框或模型结果转化成有格式的表格, 支持 HTML、docx、LaTeX 等格式, 并且表格有标题选项, 可以自动编号和交互引用, 例如表1。

```
knitr::kable(
  head(mtcars[, 1:8], 10), booktabs = TRUE,
  caption = 'mtcars 数据的前 10 行'
)
```

回归模型的回归系数用表格显示 (表2):

```
x <- rnorm(100, mean=100, sd=10)
y <- 2*x + 3*rnorm(100)
out <- lm(y~x)
cofs <- summary(out)$coefficients
knitr::kable(cofs, booktabs = TRUE, caption = '回归系数及显著性检验结果')
```

在 LaTeX 的 pdf 中, 表格和图形经常会浮动位置。如果不希望表格浮动 (因此表格允许跨页), 可以用 LaTeX 软件包 `longtable`。当然, 在 html 网页中不会出现这种情况, 因为网页是不分页的。

用法: 在 `kable()` 中指定 `longtable = TRUE`。如

```

```{r longtable, tidy=FALSE}
knitr::kable(
 iris[1:10,], longtable = TRUE, booktabs = TRUE,
 caption = ' 用 longtable 包生成的一个表格'
)
```

```

6.5.2 用 R 软件包 xtable 和 stargazer 制作表格

R 扩展包 `xtable` 提供了一个 `xtable()` 函数，可以用来生成 HTML 格式和 LaTeX 格式的表格，但是需要指定输出格式 (latex, html 或 text)，不像 `kable` 可以同时输出多种格式。如果输出 pdf，需在代码块选项中选择 `results="asis"`，并且预先加载软件包 `library(xtable)`。

`xtable` 不仅对数据框，还可以对许多统计模型的结果输出表格，包括回归模型、方差分析、主成分分析等。

还有一个软件包 `stargazer` 与 `xtable` 类似。

6.5.3 Markdown 表格

Markdown 表格由简单文本表示，转化为 HTML、docx 等格式后就变成了富文本的表格。Markdown 表格默认是不编号的，不能交互引用。为了使得其可交互引用，需要在表标题的 **Table:** 处加上引用标志，如 `(\#tab:label)`。

6.5.3.1 管道表

管道表在两列之间用竖线分开，在列标题下面用减号画横线，用如下方法指定各对齐方式：

- 在列标题下的横线开始加冒号，表示左对齐；
- 在列标题下的横线末尾加冒号，表示右对齐；
- 在列标题下的横线两端加冒号，表示居中对齐；
- 列标题下面仅有横线没有冒号，表示缺省对齐方式，一般是左对齐。

这种方法不需要输入内容上下对齐，适用于中文内容（表3）。

表 3: 管道表

| 姓名 | 收入 | 职业 | 颜色偏好 |
|-----|--------|------|------|
| 赵四海 | 123456 | 业务经理 | 红 |
| 刘英 | 50 | 无 | 蓝 |
| 钱德里 | 3200 | 保洁 | 灰 |

6.5.3.2 简单表

简单表的格式是，第一行是各列标题，第二行是各标题下面用减号组成的表格线，同一行的不同列要用空格分开，从第三行开始是内容。

在表格前或表格后用空行隔开的以 **Table:** 开头的行是表格说明或标题。

为了确定表格每列单元格内容如何对齐，用列标题下的表格线给出提示：

- 表格线与列标题右对齐，表示该列右对齐；
- 表格线与列标题左对齐，表示该列左对齐；
- 列标题在表格线中间，表示该列居中对齐；
- 列标题左右都与表格线对齐，表示该列为缺省对齐方式，一般是左对齐。
- 一定要使用一个等宽字体来编辑这样的表格，否则对齐与否无法准确分辨。
- 单元格内容不能超出表格线左端。

经过试验发现，英文没问题，中文内容很难按这种方法对齐（表4）。

表 4: 一个简单 Markdown 表格

| Sepal.Length | Sepal.Width | Petal.Length | Petal.Width |
|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 5.1 | 3.5 | 1.4 | 0.2 |
| 4.9 | 3.0 | 1.4 | 0.2 |
| 4.7 | 3.2 | 1.3 | 0.2 |
| 4.6 | 3.1 | 1.5 | 0.2 |
| 5.0 | 3.6 | 1.4 | 0.2 |
| 5.4 | 3.9 | 1.7 | 0.4 |

6.5.3.3 换行表

换行表在输入列标题和单元格内容时，允许输入内容拆分行，但是编译后并不拆分行。这样的表以一行减号开始，以一行减号结束，中间的表格用空行分开实际的不同行。例如（表5）：

表 5: 一个换行表的例子

| Name of
Subject | Income | Job | color |
|--------------------|--------|--------------------|-------|
| Jane Ayer | 123456 | Research Assistant | red |
| John Tukey | 50 | N/A | blue |
| William Tale | 3200 | Cleaner | blue |

换行表输入时各列的输入宽度是有作用的，输入较宽的列结果也较宽。

6.5.3.4 有格表

完全用减号、竖线、等于号、加号画出表格线。这样的表在文本格式下呈现出很好的表格形状。编译后不能指定对齐方式（表6）。

表 6: 一个有格表

| 水果 | 价格 | 优点 |
|---------|--------|---|
| Bananas | \$1.34 | <ul style="list-style-type: none">• built-in wrapper• bright color |
| Oranges | \$2.10 | <ul style="list-style-type: none">• cures scurvy• tasty |

6.6 交叉引用

R Markdown 没有交叉引用（cross-reference）功能，但是 bookdown 可以。

交叉引用包括数学公式、定理、图形、表格和章节的标记和引用。

6.6.1 数学公式

要给公式编号，先要建立公式环境。如果公式环境是 $...$ ，那么输出 html 完全没问题，但是 pdf 和 word 都表现不佳。所以，如果要输出 pdf 格式，最好统一建立 LaTeX 公式环境，即
$$...$$
 等。

然后标记 (`\#eq:label`), 例如

```
\begin{equation}
f\left(k\right) = \binom{n}{k} p^k \left(1-p\right)^{n-k}
(\#eq:binom)
\end{equation}
```

结果如下:

$$f(k) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k} \quad (6)$$

引用方法是 `\@ref{eq:binom}`, 如, 参看公式 (6)。

6.6.2 定理

用下面形式创建一个定理环境:

```
```\theorem, label="mylabel", name=" 定理名"
这是黎曼猜想。
```
```

一个定理的例子:

```
```\theorem, label="pyth", name=" 勾股定理"
对于直角三角形, 设 c 表示斜边的长度, a 和 b 分别表示两条直角边的长度, 则
 $a^2 + b^2 = c^2$
```
```

结果如下:

定理 6.1 (勾股定理) 对于直角三角形, 设 c 表示斜边的长度, a 和 b 分别表示两条直角边的长度, 则有

$$a^2 + b^2 = c^2$$

引用用法: 在需要引用处插入 `\@ref{thm:label}`。比如, 定理 6.1 是个著名的定理。

定义、推论、命题、公理、假设等类似。

注意, 如果 `echo` 设置为 `FALSE`, 定理编号失效。

定义 1 随机变量 X 的特征函数定义为

$$\varphi_X(t) = E[e^{itX}], \quad t \in \mathcal{R}$$

特征函数是个极为重要的函数, 见定义 1。

引理 1 *For any two random variables X_1, X_2 , they both have the same probability distribution if and only if*

$$\varphi_{X_1}(t) = \varphi_{X_2}(t)$$

命题 1 *The distribution of the sum of independent Poisson random variables $X_i \sim \text{Pois}(\lambda_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$ is $\text{Pois}(\sum_{i=1}^n \lambda_i)$.*

This is the characteristic function of a Poisson random variable with the parameter $\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$. From Lemma 1, we know the distribution of P_n is $\text{Pois}(\sum_{i=1}^n \lambda_i)$.

注解 1 *In some cases, it is very convenient and easy to figure out the distribution of the sum of independent random variables using characteristic functions.*

推论 1 *The characteristic function of the sum of two independent random variables X_1 and X_2 is the product of characteristic functions of X_1 and X_2 , i.e.,*

$$\varphi_{X_1+X_2}(t) = \varphi_{X_1}(t)\varphi_{X_2}(t)$$

6.6.3 交互引用方式列表

对不同类型环境的交叉引用，大同小异，唯有对章节的引用区别较大。归纳为下表。

表 7: 交叉引用的方法列表

| 类型 | 标记 | 引用 |
|----|----------------------------|-------------------------------|
| 公式 | <code>(\#eq:label)</code> | <code>\@ref(eq:label)</code> |
| 图形 | <code>(\#fig:label)</code> | <code>\@ref(fig:label)</code> |
| 表格 | <code>(\#tab:label)</code> | <code>\@ref(tab:label)</code> |
| 定理 | <code>(\#thm:label)</code> | <code>\@ref(thm:label)</code> |
| 章节 | <code>{#label}</code> | <code>\@ref(label)</code> |

6.7 文献引用

学术论文一般做法是，把所有文献以 **BibTeX** 格式保存为一个 `.bib` 文件，然后在论文中随时插入引用。

引用方式：

一般引用有两种方式，一种是作者-年格式，另一种是数字格式。当然，一篇文章内要统一用一种格式。

- 作者-年格式：@key 表示作者姓名（年份），而 [key] 则表示（作者年份）。
- 数字编号格式：@key 表示序号，[key] 则表示序号为上标。

示例 Allaire et al. (2018)； 示例 (Allaire et al. 2018)。

如何产生 Bibtex 文献格式？

- 一般用文献管理软件（如 Zotero、Endnote 等）把参考文献转为 `.bib` 文件。
- 可以在知网、谷歌学术、百度学术等网站查找文献，产生 Bibtex 引用格式。
- 一些常用软件包也可以用 knitr 的函数 `write_bib()` 产生。下面代码产生 knitr、bookdown、tidyverse 和 ggplot2 的 bibtex 格式文献。

```
# the second argument can be a .bib file
knitr::write_bib(c('knitr','bookdown','tidyverse','ggplot2'), '', width = 60)
```

```
@Manual{R-bookdown,
  title = {bookdown: Authoring Books and Technical Documents
    with R Markdown},
  author = {Yihui Xie},
  year = {2018},
  note = {R package version 0.7},
  url = {https://CRAN.R-project.org/package=bookdown},
}
@Manual{R-ggplot2,
  title = {ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using
    the Grammar of Graphics},
  author = {Hadley Wickham and Winston Chang and Lionel Henry
    and Thomas Lin Pedersen and Kohske Takahashi and Claus Wilke
    and Kara Woo},
```

```

year = {2018},
note = {R package version 3.1.0},
url = {https://CRAN.R-project.org/package=ggplot2},
}
@Manual{R-knitr,
  title = {knitr: A General-Purpose Package for Dynamic Report
    Generation in R},
  author = {Yihui Xie},
  year = {2018},
  note = {R package version 1.20},
  url = {https://CRAN.R-project.org/package=knitr},
}
@Manual{R-tidyverse,
  title = {tidyverse: Easily Install and Load the
    'Tidyverse'},
  author = {Hadley Wickham},
  year = {2017},
  note = {R package version 1.2.1},
  url = {https://CRAN.R-project.org/package=tidyverse},
}

```

文献引用要在 R Markdown 文档的开头的 yaml 部分指定文献文档名（.bib 文件）和引用风格（biblio-style）。

```

-----
bibliography: ["one.bib", "another.bib", "yet-another.bib"]
biblio-style: "apalike"
link-citations: true
-----

```

7 总结

本文简单介绍了如何用 R Markdown 写一般性研究短文（标题、公式、图表、参考文献等都能自动排版和编号）、中等篇幅的研究论文（可以交互引用）和长篇幅的研究文章（书籍、研究报告、学位论文等）等。还介绍了 R Markdown 的一些基本的用法，以方便在写作过程中随时参考。

用 R Markdown 写研究性文章最大的优点是可以把数据分析的过程（不局限于 R，也可以是 Python 等）和文章文本结合起来，写作过程中可以方便地进行修改，保持文章结果的可重复性。

LaTeX 的一些前端（如 LyX）也可以做到 R 运行与文本的结合，但必须全文编译后才能看到结果，不如 R Markdown 方便，可以在中间过程运行 R 代码块，随时查看部分计算结果。

总之，R Markdown 简单易学，是做学习笔记、科学研究、撰写论文和书籍的好工具，值得花时间掌握。

参考文献

Allaire, JJ, Yihui Xie, Jonathan McPherson, Javier Luraschi, Kevin Ushey, Aron Atkins, Hadley Wickham, Joe Cheng, and Winston Chang. 2018. *Rmarkdown: Dynamic Documents for R*. <https://CRAN.R-project.org/package=rmarkdown>.

R Core Team. 2018. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.

Wickham, Hadley, Winston Chang, Lionel Henry, Thomas Lin Pedersen, Kohske Takahashi, Claus Wilke, and Kara Woo. 2018. *Ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics*. <https://CRAN.R-project.org/package=ggplot2>.

Xie, Yihui. 2018a. *Bookdown: Authoring Books and Technical Documents with R Markdown*. <https://CRAN.R-project.org/package=bookdown>.

———. 2018b. *Knitr: A General-Purpose Package for Dynamic Report Generation in R*. <https://CRAN.R-project.org/package=knitr>.

Zhao, Peng. 2017. *Bookdownplus: Generate Varied Books and Documents with R 'Bookdown' Package*. <https://CRAN.R-project.org/package=bookdownplus>.

柯忠义. 2017. “创业板上市公司经济绩效及影响因素——基于贝叶斯模型平均法 (BMA) 的实证研究.” 数量经济技术经济研究 34 (1): 146–60.