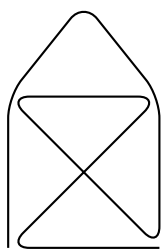


## Part I

# 教程和指导

*by Till Tantau*

为了帮你入门 TikZ，本手册没有立刻给出长长的安装和配置过程，而是直接从教程开始。这些教程解释了该系统所有基本特性和部分高级特性，并不深入所有细节。这部分还指导你在用 TikZ 绘图时，如何继续前进。



```
\tikz \draw[thick,rounded corners=8pt]
(0,0) -- (0,2) -- (1,3.25) -- (2,2) -- (2,0) -- (0,2) -- (2,2) -- (0,0) -- (2,0);
```

# 1 绘图指导

这一节不是讲 PGF 和 TikZ 的，而是讲在科学报告、论文和书籍中绘制图形时，通用的指导和原则。

本节的指导源自不同的地方，我想声明的内容，大多都只是“常识”，一些基于我的个人经历（当然，我希望并不只是我个人的偏好），一些来自图形设计和排版的书籍（还没写参考文献，见谅）。

当有人给你列出一堆指导时，你首先得问自己：我真的应该遵循这些指导吗？这是个重要的问题，因为有很多好理由不去遵循这些通用的指导。给出这些指导的人，目标可能和你的并不一致。比如说，某条指导可能写“用红色来强调”，这可能非常适合用投影仪做的报告，但是对于黑白打印的内容来说，红色可能就起了相反的效果。指导几乎总是用于处理特定的情况，在错误的情况下遵守它只会弊大于利。

关于排版的基本规则，你要知道的第二件事是：“每一条规则都可以打破，只要你确实“意识到”你在打破某条规则。”这条规则也适用于绘图。上面那句话换个说法，就是：“排版时唯一的错误，就是对发生的事一无所知。”如果你想打破一条规则并且清楚后果，那么打破它。

## 1.1 规划绘图用时

如果你要写一篇图很多的文章，那么一个重要的因素是，画这些图要花多久。你怎样计算绘图所需的时间呢？

我们假设，画一张图花费的时间，等于写同样篇幅的文字。比如我写文章，初稿可能一页一小时，到后面修改时，每页可能需要两到四小时。那么，要画半页左右的图，初稿我预计需要半个小时，后面还需要一到两小时，完成最终的图。

在许多出版物甚至是优秀的期刊中，作者和编辑明显在文字上花了很多工夫，但是似乎只花了五分钟就画好了所有图。通常这些图好像就是“后加上的”，或者只是统计软件的截图。正如后面会讨论的，像 GNPLOT 这种软件默认画出来的图，质量并不高。

结合文字绘制信息图，从而帮助读者理解，是一个困难而漫长的过程。

- 把图形作为你文章的一等公民。图形值得花费同文字相等的时间和精力。事实上，相比文字，绘图可能值得投入更多的时间，因为人们第一眼看到的就是图形，也更关注图形。
- 给图形的绘制和修改规划尽可能多的时间，就像对待同等篇幅的文字一样。
- 信息量大的困难的图形，可能需要更多的时间。
- 简单的图形需要更少的时间，但是无论如何，很可能你并不想在文章里放“非常简单的图”，就像你不想在文章中写同等篇幅“非常简单的文字”一样。

## 1.2 绘图的工作流程

你写一篇（科学）文章，通常会遵循下面的模式：你有一些结果或者想法要阐述。写文章时一般会先列一个粗糙的大纲，然后分别写各个章节，得到初稿。在成稿写好前，一般要不停地大量地修改。一篇好的期刊文章，初稿里几乎没有一句到最后还没改过的。

绘图也遵循相同的模式：

- 决定图形想要表达什么。一定要有意识地思考，“图形应该告诉读者什么？”
- 列一个“大纲”，也就是图形整体的大致“轮廓”，包含最重要的元素。在这一步，笔纸一般很有帮助。
- 补充和完善图形的细节，得到初稿。
- 根据文章内容，不断修改图形。

### 1.3 关联图文内容

图形可以置于文本中的不同位置。既可以插在行内，也就是“文字中间”，也可以放在单独的“图片”中。由于印刷者（也就是人们）喜欢将页面“填满”（同时出于美学和经济的考虑），因此独立的图片通常会放到离相关文字很远的地方。基于技术原因， $\text{\LaTeX}$  和  $\text{\TeX}$  倾向于鼓励图形的这种“游离”形式。

插在行内的图形，或多或少和正文有些关联，因为周围的文字间接地解释了图形的标签，并且通常正文也会阐明这个图形和什么相关，展示了什么。

独立的图片则大不相同，读者在看到它们的时候，也许还没读到与之相关的文字，或者已经读过很久了。因此，如果你要绘制独立的图片，应该遵循如下指导：

- 独立的图片应当有一个标题，并且“顾名思义”。
- 比方说，假设一张图展示了快排算法的不同阶段，那么图片的标题至少应当告诉读者，“该图展示了快排算法的不同阶段，如 xyz 页所述”，而不仅仅是“快排算法”。
- 好的标题会加上尽可能多的上下文信息。比如你会写：“该图展示了快排算法的不同阶段，如 xyz 页所述。在第一行中，选择基准元素 5，这会造成 ...” 这些信息当然也可以在正文中写出，但是放在标题里保证了上下文。不要害怕写一个长达五行的标题。（你的编辑可能会因此讨厌你，你可以把讨厌反弹回去。）
- 在正文中，你可以这样引用图片：“有一个快排的‘实际’例子，见第 xyz 页的图 2.1。”
- 很多讲样式和排版的书，会建议你不要缩写成“Fig. 2.1”，而是应该写“Figure 2.1”。

反对缩写的主要论据是，“不应在缩写这种地方浪费句点的价值”。意思是，句点会让读者以为句子结束于“Fig”，并且需要“有意识的回溯”，才能发现句子根本没有结束。

支持缩写的论据是，节省空间。

我个人并不信服任何一种论据。一方面，我还没见过有力的证据，表明缩写会降低阅读速度；另一方面，在大多数文章中，如果将所有“Figure”缩写成“Fig.”，省下的空间几乎连一行都不到。我会避免使用缩写。

### 1.4 统一图文风格

人们在绘图时犯得最多的一个“错误”（记住，设计中的“错误”通常只是“无知”），也许就是图形和文字的式样不搭。

一个很常见的情况是，文章的配图来自几个不同的程序。作者可能用  $\text{GNUPLOT}$  作图， $\text{XFIG}$  画图表，以及插入一张  $\text{.eps}$  格式的图片（它是合作者画的，不知道用的什么程序）。这些图很可能用了不同的线宽、字体和尺寸。此外，作者在插入图片的时候，还经常用 `[height=5cm]` 这样的选项将图片缩放到“漂亮的尺寸”。

如果写文字也用这种方法的话，那么就相当于：不同的章节用不同的字体和字号。书写定理时，在某些章节中都加了下划线，在另一个章节则全用大写字母，再在另外一个章节用红色字体。此外，不同页面的边距还不一样。读者和编辑一定不能忍受这样的文字，但是对于图形他们常常不得不忍受。

为了保持图文风格一致，请忠于如下指导：

- 不要缩放图形。
- 意思是说，如果用别的程序画图，那么要输出“正确的尺寸”。
- 在图文中使用相同的字体。
  - 在图文中使用相同的线宽。
- 普通文本的“线宽”是指，T 这样的字母中竖直笔画的宽度。在  $\text{\TeX}$  中，这个值通常是 0.4pt。不过有些期刊不接受线宽低于 0.5pt 的图形。
- 图文中使用统一的颜色。比方说，如果正文用红色表示警告，那么在图形中的重要部分也应该用红色；如果正文用蓝色表示结构元素，比如大标题和章节标题，那么在图形中也应该用蓝色表示结构元素。
- 不过，图形也可以用符合内在逻辑的（logical intrinsic）颜色。比如无论你正常用什么颜色，读者一般会总是认为，绿色表示“正面的、前进、好”（positive, go, ok），而红色表示“警醒、警告、行动”（alert, warning, action）。

用不同的图形程序绘图，几乎不可能保持风格一致。因此，你应该考虑忠于一种图形程序。

## 1.5 图的标签

几乎所有图形中都有标签，也就是文字片段，用于解释图形中的部分内容。加标签时，遵照如下指导：

- 放置标签时请保持一致。需要做到两点：一，标签与正文一致，也就是说，标签应当使用与正文相同的字体。二，标签之间一致，也就是说，如果某个标签采用了特定的格式，那么其他标签也应使用同一格式。
- 图文除了字体一致外，还要符号一致。比如，如果你在正文中用了  $1/2$ ，那么图的标签中也应当用“ $1/2$ ”，而不是“0.5”。 $\pi$  就是“ $\pi$ ”，而不是“3.141”。最后， $e^{-i\pi}$  就是“ $e^{-i\pi}$ ”，而不是“-1”，更不是“-1”。
- 标签要清楚易读。不仅要有合适的大小，还不应被直线或者文字遮挡。这也适用于直线的标签和标签后面的文字。
- 标签的位置要适当。不管空间是否足够，标签都应当靠近所标的内容。只有在必要时，才在标签和所标内容之间加上（柔和的）连接线。标签不应单纯指向外部的图例说明，否则读者得在图中内容和外部说明之间来回跳读。
- 考虑将“不重要的”标签柔和化，比如用灰色，这能让读者更关注对应的图形。

## 1.6 Plots 和 Charts

最常见的图形，尤其是在科学文章中，就是它囊括的范围很广，包括简单的折线图、参数方程图、三维图、饼图，等等等等。

不幸的是，众所周知，很难作好图。部分原因在于，GNUPLOT 或者 Excel 这类程序的默认设置，很容易就作出糟糕的图。

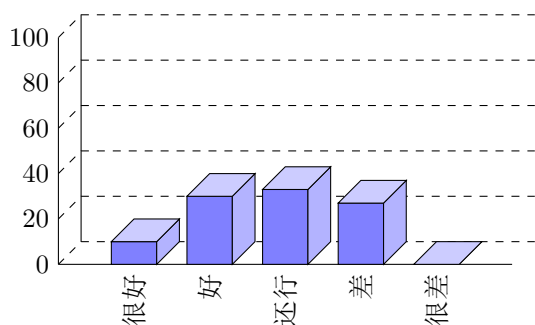
你在作图时，首先得问自己：数据点的个数值得作图吗？如果答案是“不太值得”，那么用一张表。

一个典型的没必要作图的例子，就是把几个数画在柱状图中。这里有个现实的例子：一个研讨会快结束时，演讲者向与会者征询反馈。有 50 名与会者，收回了 30 份反馈表。根据反馈，3 人觉得研讨会“很好”，9 人觉得“好”，10 人觉得“还行”，8 人觉得“差”，0 人觉得“很差”。

要概括这些信息，一个简单的方法就是下面这张表格：

等级	评价人数（共计 50）	百分比
“很好”	3	6%
“好”	9	18%
“还行”	10	20%
“差”	8	16%
“很差”	0	0%
未提交	20	40%

演讲者用三维柱状图将数据可视化出来。看起来像这样：（不过在实际中，打印数字用的是分辨率极低的位图字体，几乎看不清楚）



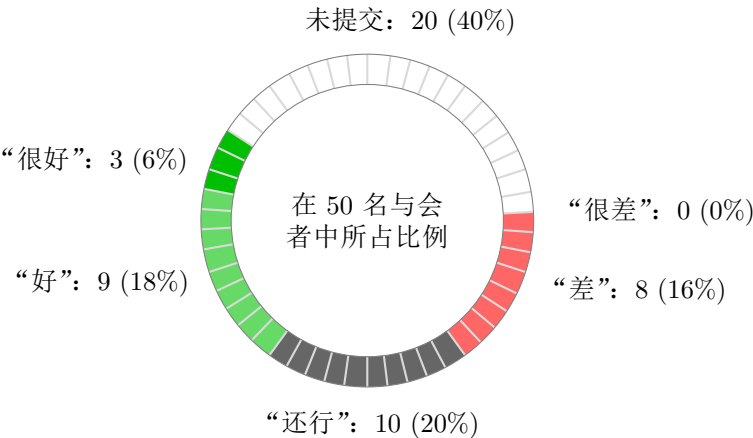
表格和柱状图大小差不多，如果你第一反应是“柱状图比表格好看多了”，那么请根据表格或者柱状图中的信息，试着回答如下问题：

1. 与会者总人数是多少？
2. 提交反馈表的与会者人数是多少？
3. 提交反馈表的与会者百分比是多少？
4. 选择“很好”的与会者人数是多少？
5. 选择“很好”的与会者占所有与会者的百分比是多少？
6. 选择“差”或者“很差”的与会者是否超过了四分之一？
7. 选择“很好”的与会者占提交了反馈表的人的百分比是多少？

悲伤的是，从柱状图中我们不能回答上述任何一个问题，而表格则能直接告诉我们所有问题的答案，除了最后一个。实际上，这张柱状图的信息密度几近于零，而表格的信息密度则远高它，尽管只是为了展示几个数，表格就用了许多空白。下面是三维柱状图中的一系列错误：

- 整张图都被恼人的背景线支配了。
- 左侧的数字含义不明，猜测可能是百分比，但也可能是与会者的绝对人数。
- 底部标签旋转了一个角度，很难读。  
(在我看到的实际展示中，文本分辨率很低，每个字母只有  $10 \times 6$  个像素，并且字距还有问题，这让旋转后的文字几乎完全没法读。)
- 第三个维度增加了图的复杂度，但没有提供更多的信息。
- 第三个维度影响了对柱形高度的判断。看下“差”的那根，它比 20 高还是低？柱形的正面比 20 低，背面（真正重要的）比 20 高。
- 几乎不可能说出这些柱形表示的数字，因此，柱形掩盖了想要传递的信息。
- 这些柱形的高度总和是多少？是 100% 还是 60%？
- “很差”的那根表示的是 0 还是 1？
- 为什么柱形用蓝色？

你可能会争辩道，这个例子里，数字是否准确对图形并不重要，重要的是“信息”，也就是“很好”和“好”的比例高于“差”和“很差”。然而，想传达这个信息只要一句话，或者像下图这样更清晰地展示出来：



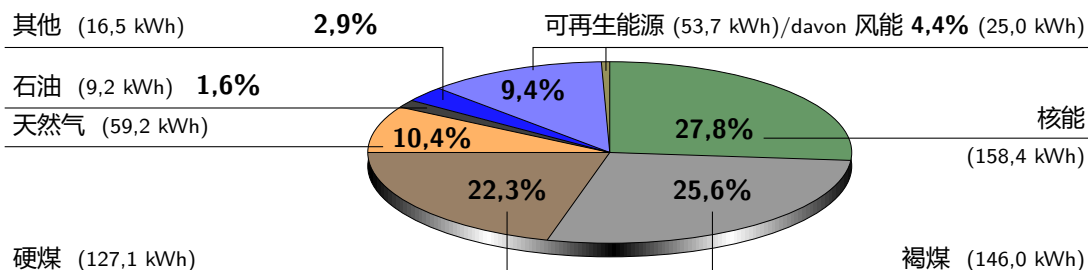
上图拥有和表格相同的信息密度（尺寸和展示的数字都相同）。此外，人们可以直接“看到”好的评价多于差的评价。还可以看出，没有评价的人数不能忽略，这在使用反馈表时很常见。

用图表并不总是好主意。我们来看个例子，这是我从 2005 年 6 月 4 日的德国时代周刊中选取并且重绘的一张饼图。

## 煤最重要

### 2004 年德国发电能源结构

占总体发电量百分比，单位为十亿千瓦时 (Mrd. kWh)



这张图是用 TikZ 重绘的，不过原来的和这个几乎完全一样。

乍看上去，这张图“漂亮且翔实”，但是很多地方都有问题：

- 图是三维的，然而阴影没有提供任何信息，顶多是让人分神。
- 三维饼图的相对尺寸失真得很厉害。比如，灰色部分的“褐煤”比绿色部分的“核能”面积要大，然而实际百分比的大小却正好相反。
- 对于面积小的地方，三维失真更加明显。“核能”比“天然气”的面积要大一些；“风能”比“石油”的面积要小一点，尽管“风能”的百分比几乎是“石油”的三倍。  
在最后一情况中，失真只是尺寸不同的部分原因。原图的作者把“风能”部分画得太小了，即使是失真也不至于如此。（只要比较一下“风能”和“可再生能源”的大小就能看出来。）
- 根据标题，这张图是想告诉我们，煤是 2004 年德国最重要的能源。然而即使不考虑多余的和误导性的三维设置造成的严重失真，要想领会这个信息也要花上一会。  
煤作为能源被分成了两块：“硬煤”和“褐煤”（两种不同的煤）。把它们加起来后，你会发现饼图的整个下半部分都被煤占据了。  
在视觉上，这两种同属煤的区域却毫无关联，不但颜色不同，标签也位于图的两侧。相比之下，“可再生能源”和“风能”则联系紧密。
- 图中的色彩模式也不合逻辑。为什么“核能”是绿色的？“可再生能源”是浅蓝色的，而“其他能源”是蓝色的？更好笑的是，“褐煤”（字面意思是“褐色的煤”）是石灰色的，而“硬煤”（字面意思是“石头煤”<sup>1</sup>）是褐色的。
- 颜色最亮的区域是“天然气”，因此这个区域也最显眼，然而在这张图里“天然气”一点也不重要。

Edward Tufte 把上面这样的图称为“垃圾图”。（不过，我很开心德国时代周刊不再用三维饼图了，并且信息图也好一点了。）

这里有几条建议，也许能帮你避免画出垃圾图：

- 不要用三维饼图，它们是魔鬼。
- 考虑用表格而不是饼图。
- 不要随便配色，要用颜色来引导读者的注意力，以及对事物分类。
- 用颜色，而不是交叉线或者对角线这样的背景图案。信息图中背景图案是魔鬼。

<sup>1</sup>这里“硬煤”的原文是德语 *Steinkohle*，译者根据各种资料和德英转译，中文作“硬煤”。尽管 *Stein* 意为“石头”，*kohle* 意为“煤”，但是很多科技术语不能顾名思义译。从原文括号中所附的字面含义看，也许翻译成“石煤”更符合上下文语境。“石煤”属于无烟煤，包含于“硬煤”。因此该处译文存疑。

## 1.7 注意力的集中与分散

拿起你最爱的小说，看一眼其中典型的一页。你可以注意到页面非常统一。没有什么让读者分神；没有大标题，没有粗体，更没有大片空白。事实上，即使作者想要强调某些东西，也是用斜体。这些斜体字很好地融入了正文——你很难看出一页中是否有斜体字，但是你能一眼看出一个粗体单词。小说用这种方式排版，是遵循这个范式：避免分神。

好的排版（如同好的组织）润物细无声。这里排版的作用是，让人在阅读文本时，尽可能容易地“吸收”信息。看小说时，读者通过一行又一行的文字获取信息，就像在听人讲故事一样。这种情况下，只要是影响人眼迅速平滑地掠过字里行间，页面上的任何其他东西都会让文本更难读。

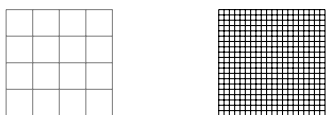
现在，拿起你最爱的周刊或者报纸，看一眼其中典型的一页。你可以看到页面上有非常多“正在发生”的事情。字体大小不一、布局相异，文本放在窄列中，通常还夹杂着图片。杂志用这种方式排版，是遵循另一种范式：引导注意力。

读者不会像读小说一样看杂志。我们不是读杂志的每一行，而是看大标题和短摘要，确定自己是不是想看某一篇文章。这里排版的作用是，先把我们的注意力引导到摘要和标题上。一旦我们想读某篇文章了，我们就不会再容忍令人分神的内容，因此文章正文的排版方式就和小说一样。

“避免分神”和“引导注意力”这两个原则也适用于图形。当你设计图形时，你应该尽可能去除所有“令人分神”的内容。与此同时，你也应该试着用不同的字体、颜色和线宽，来突出不同的部分，以此积极帮助读者“一览图形全貌”。

这里部分列举了会让读者分神的东西：

- 强烈的对比总是会最先吸引眼球，比如下面这两个网格：



按照英文阅读顺序，应该先看到左边的网格，尽管如此，人们却更可能先看到右边的网格：黑白对比相较于灰白对比更加强烈，而且更多的“空间”增强了右边网格整体对比。

像网格或者是辅助线这样更普遍的东西，通常不应该分散读者的注意力。因此，排版这类内容时，同背景的对比应该弱一些。另外，稠密的网格比稀疏的网格更分散注意力。

- 虚线有很多点，形成了黑白对比。短划线或者点线可能很令人分神，因此一般避免使用。  
不要在作图中用不同类型的虚线样式来区分曲线。这种方式会丢失数据点，而且眼睛并不擅长“按照虚线样式划分事物”，而是更擅长按照颜色划分。
- 用对角线、水平线、竖直线或者只是点形来填充背景，几乎总会令人分神，而且通常毫无用处。
- 背景图片和渐变也令人分神，只能略微增加一些图形的重要性。
- 可爱的剪贴画很容易分散读者对数据的注意。