PGF/TikZ 绘图学习笔记

zoho@bbs.ctex.org

2014 年 5 月 5 日

目录

1 开始工作

我们先来画一些线段。例如下面的例子：

```
% 第一种方式
\tikz \draw (0,0) -- (1,1);
% 第二种方式
\tikz{\draw (0,0) -- (1,1); \draw (0,1) -- (1,0);}
% 第三种方式
\begin{tikzpicture}
\draw (0,0) -- (1,1);
\draw (0,1) -- (1,0);
\end{tikzpicture}
% 第四种方式
\tikzpicture
\draw (0,0) -- (1,1);
\draw (0,1) -- (1,0);
\endtikzpicture
```

将用四种不同的方式画出如下四个图形：

虽然我们同时使用不同方式来画图，但可以看到，基本的绘图语句就是这两句：

```
\draw (0,0) -- (1,1);
\draw (0,1) -- (1,0);
```

一个 TikZ 画图环境可以包含多个绘图语句，但每个语句必须以英文分号结束。否则将产生类似下面的错误提示：

```
! Package tikz Error: Giving up on this path. Did you forget a semicolon?.
```

上面这四种使用方式稍有区别，第一种方式最简单，但是它每次只能使用一个绘图语句，因为 `\tikz` 命令将在第一个分号后结束。而后面三种方式都可以包含多个绘图语句，唯一的区别在于最后一种方式也可以在 Plain TeX 中使用。

本文档主要介绍 PGF/TikZ 2.10 版本。

2 坐标表示

再来看看一下之前画线段的例子：

```
\begin{tikzpicture}
\draw (0,1) -- (1,0);
\end{tikzpicture}
```

TikZ 的绘图命令大多都很直观，我们一看就知道是从坐标 $(0,1)$ 到 $(1,0)$ 画个线段。

在 TikZ 中，坐标的默认长度单位为厘米（cm），其它长度单位也可以使用，但是需要明确写出，例如：

```
\begin{tikzpicture}
\draw (0pt,30pt) -- (30pt,0pt);
\end{tikzpicture}
```

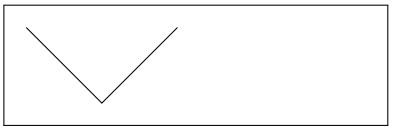
我们也可以用相对坐标，例如：

```
\begin{tikzpicture}
\draw (0,1) -- +(1,-1);
\end{tikzpicture}
```

也就是说，在坐标前加上 + 号表示相对前一个坐标作偏移。这个例子和本节第一个例子的结果是一样的。

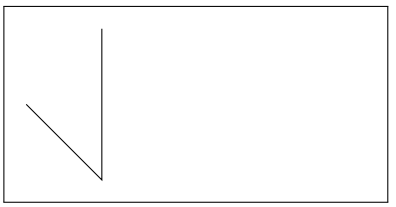
如果相对坐标需要记录下来被其它坐标使用，可以在前边用两个 + 号。例如：

```
\begin{tikzpicture}
\draw (0,1) -- ++(1,-1) -- +(1,1);
\end{tikzpicture}
```



由于第二个坐标是相对坐标，而且它又需要记录下来被第三个坐标使用，所以要用两个 + 号。作为对比，我们来看看用一个 + 号的结果：

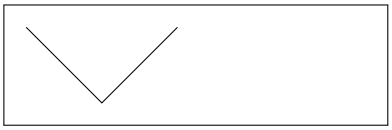
```
\begin{tikzpicture}
\draw (0,1) -- +(1,-1) -- +(1,1);
\end{tikzpicture}
```



也就是说，不管用 `++(1,-1)` 还是用 `+(1,-1)`，第二个坐标都等于 `(1,0)`，但是对于前者第三个坐标等同于 `(2,1)`，对于后者第三个坐标等同于 `(1,2)`。

当然，TikZ 中也可以用极坐标，此时角度值和长度值之间用冒号隔开。例如：

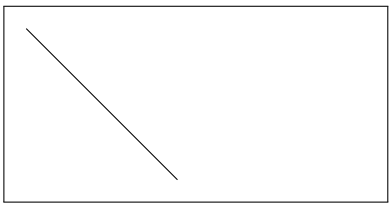
```
\begin{tikzpicture}
\draw (90:1) -- (0:1) -- (2,1);
\end{tikzpicture}
```



可以看到，直角坐标和极坐标混合使用是没有问题的。

如果需要对坐标进行运算，可以在导言区用 \usetikzlibrary{calc} 命令载入 calc 扩展，然后用类似下面的例子：

```
\begin{tikzpicture}
\draw (0,1) -- ($(0,1)-2*(-1,1)$);
\end{tikzpicture}
```

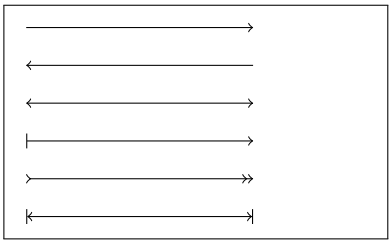


3 绘制命令

3.1 线段和折线

到目前为止，我们知道用 \draw 命令可以画线段。类似的我们也可以画带箭头的线段。例如：

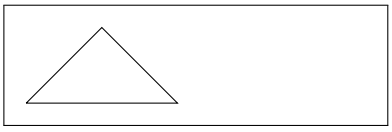
```
\begin{tikzpicture}
\draw[->] (0,2.5) -- (3,2.5);
\draw[<-] (0,2) -- (3,2);
\draw[<->] (0,1.5) -- (3,1.5);
\draw[|->] (0,1) -- (3,1);
\draw[>->>] (0,0.5) -- (3,0.5);
\draw[|<->|] (0,0) -- (3,0);
\end{tikzpicture}
```



和其它 LaTeX 命令一样，TikZ 命令的可选参数也放在方括号中。利用带箭头的线段，画坐标系就毫无问题了。

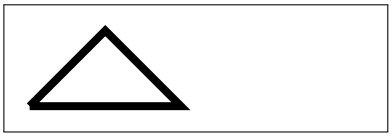
既然我们已经知道怎么画线段，而 TikZ 中多个操作是可以连续指明的，这样画三角形也没问题了。例如：

```
\begin{tikzpicture}
\draw (0,0) -- (1,1) -- (2,0) -- (0,0);
\end{tikzpicture}
```



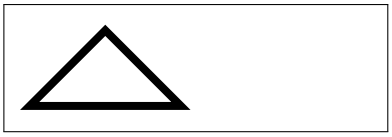
TikZ 默认的线条宽度为 0.4pt。我们可以用 `line width` 选项来加粗这个三角形：

```
\begin{tikzpicture}[line width=3pt]
\draw (0,0) -- (1,1) -- (2,0) -- (0,0);
\end{tikzpicture}
```



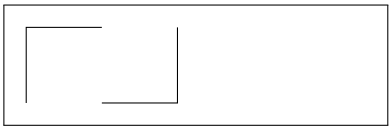
这时候，问题出来了：我们发现，加粗三角形的左下角有个缺口！这个问题可以用 `cycle` 操作来解决。把前面的例子按如下的方法修改，一切就都正常了：

```
\begin{tikzpicture}[line width=3pt]
\draw (0,0) -- (1,1) -- (2,0) -- cycle;
\end{tikzpicture}
```



再来看怎么画过两点的直角折线：

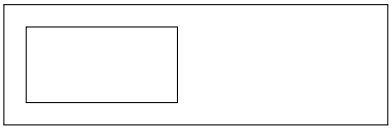
```
\begin{tikzpicture}
\draw (0,0) |- (1,1);
\draw (1,0) -| (2,1);
\end{tikzpicture}
```



其中 `|-` 表示先竖直画线再水平画线，而 `-|` 正好反过来。

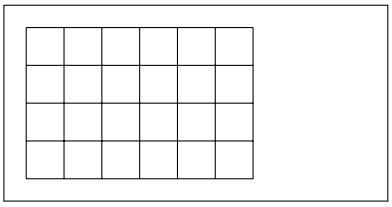
将两个直角折线合起来就得到一个矩形。不过我们有更简洁的写法：

```
\begin{tikzpicture}
\draw (0,0) rectangle (2,1);
\end{tikzpicture}
```



类似地，我们也可以画网格线。例如：

```
\begin{tikzpicture}
\draw[step=0.5] (0,0) grid (3,2);
\end{tikzpicture}
```

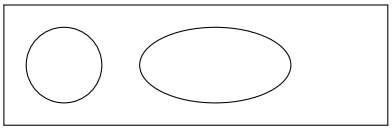


其中的 `step` 参数指明网格的间隙。

3.2 二次曲线

不能总是画最简单的线段，我们接下来来画一种二次曲线：圆和椭圆。例如：

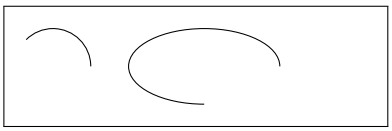
```
\begin{tikzpicture}
\draw (0,0) circle (0.5);
\draw (2,0) ellipse (1 and 0.5);
\end{tikzpicture}
```



对于圆，我们需要圆心和半径这两个参数，而对于椭圆，我们需要中心，长轴和短轴这三个参数。

当然，我们也可以画圆弧和椭圆弧。此时，需要将圆心或中心换成起始点，再指明起始角度和终结角度。例如：

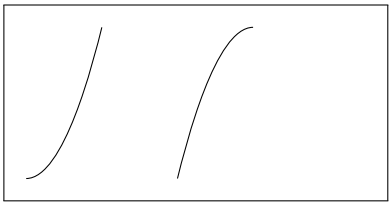
```
\begin{tikzpicture}
\draw (0.5,0) arc (0: 135: 0.5);
\draw (3,0) arc (0: 270: 1 and 0.5);
\end{tikzpicture}
```



注意后面的参数涉及到角度，所以它们之间用冒号分隔。

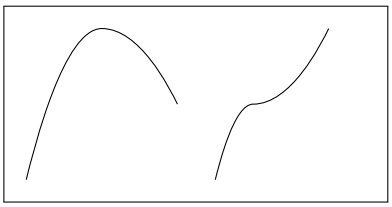
抛物线也不在话下，只需要指明从起始点和终结点坐标。例如：

```
\begin{tikzpicture}
\draw (0,0) parabola (1,2);
\draw (2,0) parabola[bend at end] (3,2);
\end{tikzpicture}
```



TikZ 默认以起始点为抛物线顶点；如果加上 `bend at end` 选项，则以终结点为顶点。我们也可以在中间指明顶点坐标，此时将得到由两段抛物线连接而成的曲线。例如：

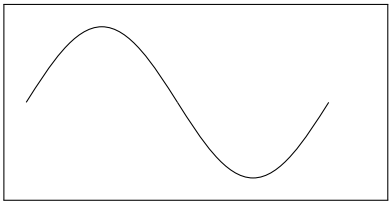
```
\begin{tikzpicture}
\draw (0,0) parabola bend (1,2) (2,1);
\draw (2.5,0) parabola bend (3,1) (4,2);
\end{tikzpicture}
```



3.3 三角函数

正弦和余弦曲线也可以类似地画出来。例如：

```
\begin{tikzpicture}
\draw (0,0) sin (1,1) cos (2,0);
\draw (2,0) sin (3,-1) cos (4,0);
\end{tikzpicture}
```

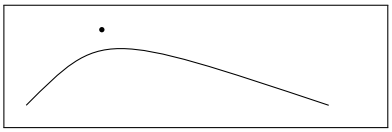


其中，对于 `(0,0) sin (1,1)` 操作，TikZ 拿 $[0, \frac{\pi}{2}]$ 区间上的正弦曲线作适当伸缩得到，而对于 `(2,0) sin (3,-1)` 操作，除了作伸缩外，还需要再旋转 180 度才能得到。余弦的绘制过程类似。我们将两者结合起来，就能画出一个周期的正弦或者余弦曲线。

3.4 贝塞尔曲线

我们还可以画出贝塞尔（Bézier）曲线。此时需要将 `--` 操作改为 `..` 操作。例如：

```
\begin{tikzpicture}
\draw (0,0) .. controls (1,1) .. (4,0);
\fill (1,1) circle (1pt);
\end{tikzpicture}
```



这样画出的是**三次**贝塞尔曲线，其中曲线在起点 $(0,0)$ 和终点 $(4,0)$ 的切线都过点 $(1,1)$，因此点 $(1,1)$ 称为控制点。代码中的 `\fill` 是填充命令，这里用于画一个实心小圆点，我们后面还会再看到这个命令。

在绘制三次贝塞尔曲线时，也可以提供两个控制点。例如：

```
\begin{tikzpicture}
\draw (0,0) .. controls (1,1) and (2,1) .. (4,0);
\fill (1,1) circle (1pt) (2,1) circle (1pt);
\end{tikzpicture}
```

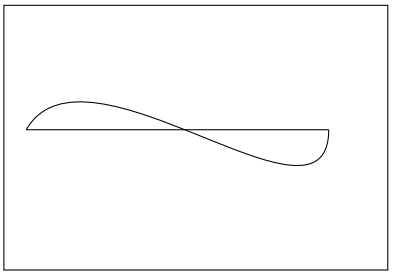
此时，曲线在起点 $(0,0)$ 的切线过第一个控制点 $(1,1)$，而在终点 $(4,0)$ 的切线过第二个控制点 $(2,1)$。

三次贝塞尔曲线的形状可以更加复杂，例如下面的例子：

```
\begin{tikzpicture}
\draw (0,0) .. controls (1,1) and (2,1) .. (4,1);
\fill (1,1) circle (1pt) (2,1) circle (1pt);
\end{tikzpicture}
```

在绘制连接两点的曲线时，我们也可以指明起始角度和终结角度。例如：

```
\begin{tikzpicture}
\draw (0,0) to[out=60,in=-90] (4,0);
\draw (0,0) to (4,0);
\end{tikzpicture}
```

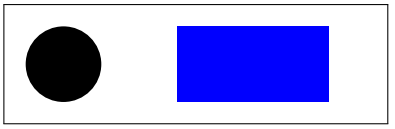


如果 to 没有任何选项，就和前面的 -- 操作同样画出线段。实际上，to 操作是比较一般的操作，它还有多种选项，这里不再详述。

4 填充命令

现在来看填充命令 \fill。先来看如何画实心圆盘和实心矩形。例如：

```
\begin{tikzpicture}
\fill (0.5,0.5) circle (0.5);
\fill[blue] (2,0) rectangle (4,1);
\end{tikzpicture}
```



默认的填充颜色是黑色，当然我们可以自己设定颜色。

注意 \draw 仅绘制区域边界，而 \fill 仅填充区域内部，不包括边界。两者结合我们可以绘制边界和内部颜色不同的圆盘或者矩形。例如：

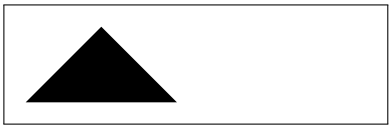
```
\begin{tikzpicture}
\draw[green] (0,0) rectangle (3,1);
\fill[orange] (0,0) rectangle (3,1);
\end{tikzpicture}
```

或者，我们可以将 \draw 和 \fill 合并起来写成 \filldraw 命令。此时，这个例子就可以改为

```
\begin{tikzpicture}
\filldraw[fill=orange,draw=green] (0,0) rectangle (3,1);
\end{tikzpicture}
```

我们也可以填充自己绘制的封闭曲线，例如：

```
\begin{tikzpicture}
\fill (0,0) -- (1,1) -- (2,0) -- cycle;
\end{tikzpicture}
```



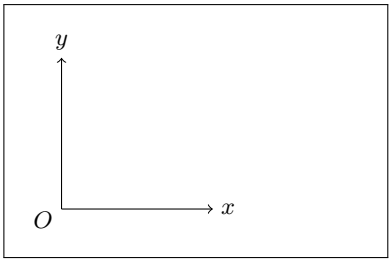
与 \fill 命令类似的还有 \shade 这个渐变命令。例如：

```
\begin{tikzpicture}
\shade[inner color=yellow,outer color=orange] (1,1) circle (1);
\shade[left color=gray,right color=black] (3,0) rectangle (6,2);
\end{tikzpicture}
```

5 节点命令

如果想在图形上加上标签，就要用到节点命令 \node 了。例如下面的例子绘制了直角坐标系：

```
\begin{tikzpicture}
\draw[->] (0,0) -- (2,0);
\draw[->] (0,0) -- (0,2);
\node[below=4pt,left] at (0,0) {$O$};
\node[right] at (2,0) {$x$};
\node[above] at (0,2) {$y$};
\end{tikzpicture}
```



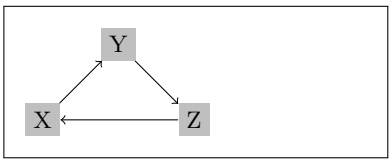
节点命令的一般形式如下：

```
\node[<options>] (<name>) at (<coordinate>) {<text>}
```

其中 <text> 是节点的文本，<coordinate> 是节点的坐标，<name> 是节点的名称，而 <options> 是一些选项。在前面的例子里，left，right，above 和 below 分别表示节点文本相对于节点坐标的四种位置。倘若不指明位置，节点文本的中心将和节点的坐标重合。

至于节点名称的用法，可以先看下面这个例子：

```
\begin{tikzpicture}
\node[fill=lightgray] (a) at (0,0) {X};
\node[fill=lightgray] (b) at (1,1) {Y};
\node[fill=lightgray] (c) at (2,0) {Z};
\draw[->] (a) -- (b);
\draw[->] (b) -- (c);
\draw[->] (c) -- (a);
\end{tikzpicture}
```



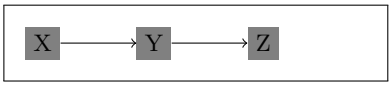
可以看到，知道了节点名称，就可以把它看成坐标那样，作各种线段和曲线的连接。这就是示意图或者流程图的一般绘制方法。

节点之间也可以用相对位置。这时候，我们首先需要载入 positioning 库：

```
\usetikzlibrary{positioning}
```

然后就可以用类似下面例子的方法使用相对位置了：

```
\begin{tikzpicture}
\node[fill=gray] (a) {X};
\node[fill=gray,right=1 of a] (b) {Y};
\node[fill=gray,right=1 of b] (c) {Z};
\draw[->] (a) -- (b);
\draw[->] (b) -- (c);
\end{tikzpicture}
```



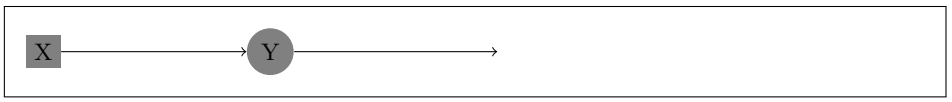
节点命令和 `\draw` 等绘制命令实际上是可以写在一起的。例如本节最开始画坐标轴的例子就可以改写如下：

```
\begin{tikzpicture}
\draw[->] (0,0) node[below=4pt,left]{$O$} -- (2,0) node[right]{$x$};
\draw[->] (0,0) -- (0,2) node[above]{$y$};
\end{tikzpicture}
```

这样写可能简短一点，但是对于初学者来说有些复杂。

TikZ 中的节点形状预先定义好的有三种：矩形，圆形和点形，但可以自己定义新的形状。节点形状用 `shape` 选项来确定（不指定则默认为矩形），例如：

```
\begin{tikzpicture}
\node[shape=rectangle,fill=gray] (a) at (0,0) {X};
\node[shape=circle,fill=gray] (b) at (3,0) {Y};
\node[shape=coordinate,fill=gray] (c) at (6,0) {Z};
\draw[->] (a) -- (b);
\draw[->] (b) -- (c);
\end{tikzpicture}
```



可以看到，由于点形节点的面积为零，所以填充颜色和标注文本都没有任何效果。

这种点形节点还可以用简化的记号来表示。例如上面例子的点形节点也可以这样表示：

```
\coordinate (c) at (6,0);
```

6 路径命令

之前介绍的 \draw，\fill，\shade 和 \filldraw 命令，实际上，分别是 \path[draw]，\path[fill]，\path[shade] 和 \path[fill,draw] 命令的简写。而 \node 和 \coordinate 命令分别等同于 \path node 和 \path coordinate。

例如，下面这四种写法的效果是一样的，它们都画出一个半径为 1cm 的圆：

```
\draw (0,0) circle (1cm);
\path [draw] (0,0) circle (1cm);
\path (0,0) [draw] circle (1cm);
\path (0,0) circle (1cm) [draw];
```

而下面这两种写法也是一样的，它们都定义了一个节点：

```
\node [fill=gray] (a) at (1,1) {X};
\path (1,1) node[fill=gray] (a) {X};
```

TikZ 的路径命令，将之前介绍的多种命令统一起来了。我们来整理一下。首先，路径命令的一般形式如下：

```
\path <specification>;
```

即路径命令后面需要写上路径描述 <specification>，然后以分号结尾。而路径描述可以有多种，这些我们都介绍过了：

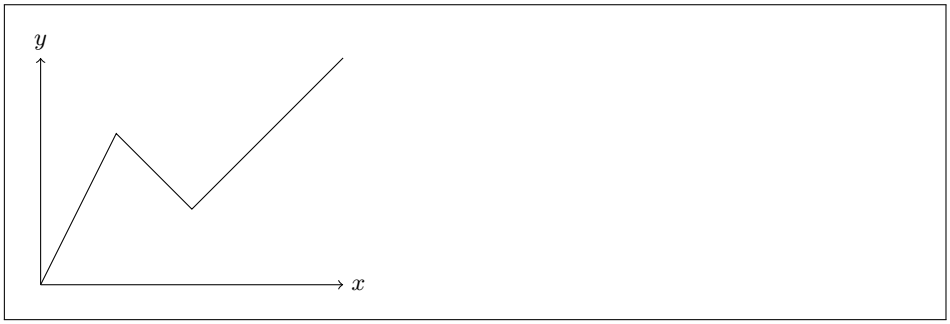
- (coordinate) (coordinate): 从一个点移动到另一个点
- (coordinate) -- (coordinate): 从一个点画线段到另一个点
- (coordinate) rectangle (coordinate): 以这两个点为对角画矩形
- (coordinate) circle[options]: 以这个点为圆心画圆
- (coordinate) arc[options]: 以这个点为起点画圆弧
- (coordinate) .. controls (control) and (control) .. (coordinate): 从一个点画贝塞尔曲线到另一个点
- (coordinate) to[options] (coordinate): 从一个点按照选项指定画某种曲线到另一个点
- (coordinate) node[options] (name) {text}: 将这个点记为文本节点
- (coordinate) coordinate (name): 将这个点记为点形节点

7 描点绘制

7.1 平面曲线

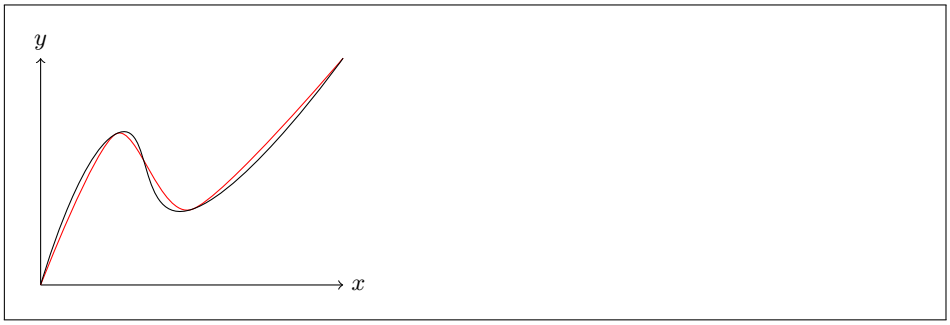
在 \draw 命令中，我们还可以用 plot 操作来画一般的平面曲线。例如：

```
\begin{tikzpicture}
\draw[->] (0,0) -- (4,0) node[right] {$x$};
\draw[->] (0,0) -- (0,3) node[above] {$y$};
\draw plot coordinates {(0,0) (1,2) (2,1) (4,3)};
\end{tikzpicture}
```



上面的例子中，我们用折线连接各个点得到一条折线。我们也可以用光滑曲线连接这些点。例如：

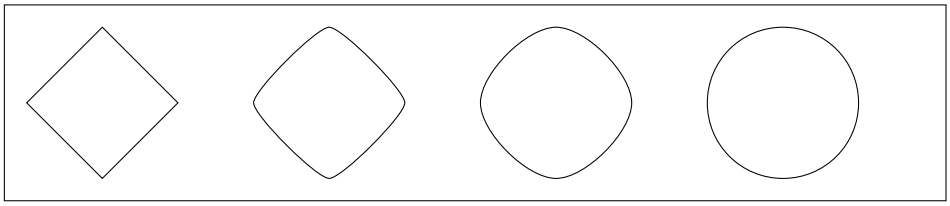
```
\begin{tikzpicture}
\draw[->] (0,0) -- (4,0) node[right] {$x$};
\draw[->] (0,0) -- (0,3) node[above] {$y$};
\draw[color=red] plot[smooth] coordinates {(0,0) (1,2) (2,1) (4,3)};
\draw plot[smooth,tension=.9] coordinates {(0,0) (1,2) (2,1) (4,3)};
\end{tikzpicture}
```



其中 smooth 选项表示我们需要绘制光滑曲线，而 tension 选项描述该光滑曲线的绷紧度，取值范围为从 0 到 1，默认值为 0.55。

类似地，如果将 smooth 选项改为 smooth cycle 选项，将绘制一个闭合曲线。例如：

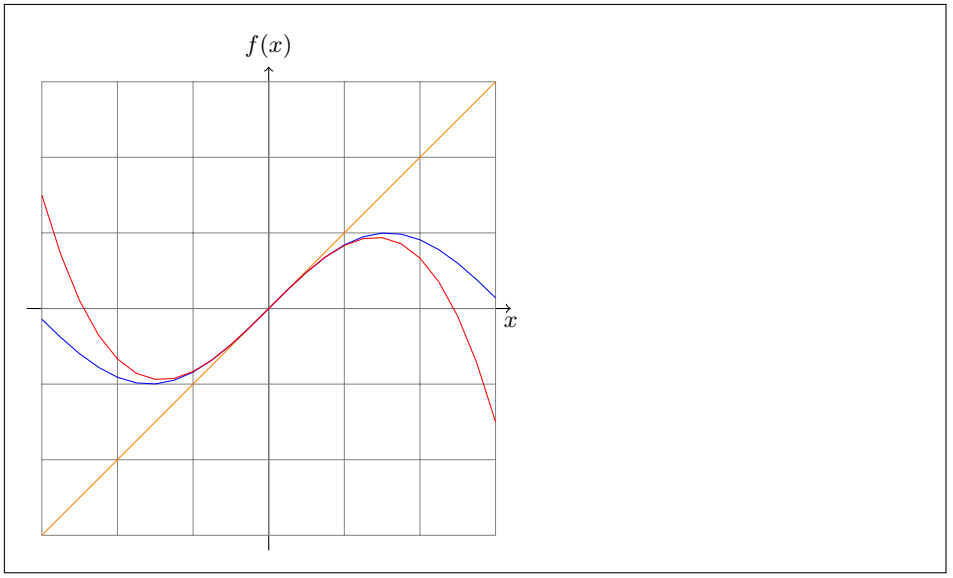
```
\begin{tikzpicture}[smooth cycle]
\draw plot[tension=0] coordinates {(0,1) (1,0) (2,1) (1,2)};
\draw[xshift=3cm] plot[tension=0.3] coordinates{(0,1) (1,0) (2,1) (1,2)};
\draw[xshift=6cm] plot[tension=0.7] coordinates{(0,1) (1,0) (2,1) (1,2)};
\draw[xshift=9cm] plot[tension=1] coordinates{(0,1) (1,0) (2,1) (1,2)};
\end{tikzpicture}
```



在这个例子可以看到，对于正方形的四个顶点，tension=0 将画出正方形，而 tension=1 将画出圆形。

利用 \draw 命令的 plot 操作，我们也可以画一般的函数曲线。例如：

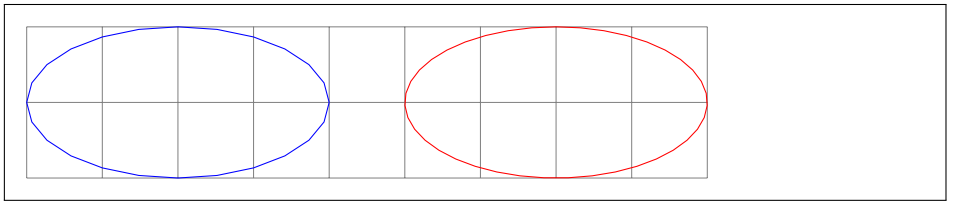
```
\begin{tikzpicture}[domain=-3:3]
\draw[->] (-3.2,0) -- (3.2,0) node[below] {$x$};
\draw[->] (0,-3.2) -- (0,3.2) node[above] {$f(x)$};
\draw[very thin,color=gray] (-3,-3) grid (3,3);
\draw[color=orange] plot (\x,\x);
\draw[color=blue] plot (\x,{sin(\x r)});
\draw[color=red] plot (\x,{\x-(1/6)*(\x)^3});
\end{tikzpicture}
```



在函数的表达式中，乘号用 * 表示，而且不能省略。如果表示式不是简单的 \x，我们一般需要将其中的变量 \x 用圆括号括起来，并且将整个表达式用花括号括起来；否则 PGF/TikZ 在解析表达式时多半会出错。注意代码中的 sin 函数需要指明长度类型 r （表示弧度，默认为角度）。

实际上，我们用 plot 是可以画出参数曲线的，其中的 \x 就是参数。例如：

```
\begin{tikzpicture}[domain=0:2*pi]
\draw[very thin,color=gray] (-2,-1) grid (7,1);
\draw[color=blue] plot ({2*sin(\x r)},{cos(\x r)});
\draw[color=red,xshift=5cm,samples=40] plot ({2*sin(\x r)},{cos(\x r)});
\end{tikzpicture}
```



比较图形中的两个椭圆，可以看到第二个比第一个光滑。此中区别是由于取样点数 samples 的多少造成的。samples 选项的默认取值为 25。

PGF 的数学引擎支持下面这些数学函数：

- abs
- acos
- add
- and
- array
- asin
- atan
- atan2
- bin
- ceil
- cos
- cosec
- cosh
- cot
- deg
- depth
- div
- divide
- e
- equal
- factorial
- false
- floor
- frac
- greater
- height
- hex
- Hex
- int
- ifthenelse
- less
- ln
- log10
- log2
- max
- min
- mod
- Mod
- multiply
- neg
- not
- notequal
- notgreater
- notless
- oct
- or
- pi
- pow
- rad
- rand
- random
- real
- rnd
- round
- sec
- sin
- sinh
- sqrt
- subtract
- tan
- tanh
- true
- veclen
- width

7.2 三维投影

接下来将介绍空间曲线和空间曲面的绘制。为了在平面上绘制出空间图形，我们需要先了解三维投影的基本概念。

三维投影（3D Projection），或者称为图形投影（Graphical Projection），是将三维空间中的点映射到平面中的方法。投影通常分为两类：**透视投影**（Perspective Projection）和**平行投影**（Parallel Projection）。

透视投影[1]，是指视点和物体的距离有限远的投影。透视投影近似于我们用照相机拍摄物体，此时平行直线在投影中不再保持平行，而越远的物体在投影中越小。

[1]有些人称透视投影为中心投影（Central Projection）。

平行投影，是指视点和物体的距离无限远的投影。平行投影近似于阳光照射下的投影，此时投影线都平行。因此，在平行投影中，平行直线在投影中仍然保持平行，而物体的投影大小和它的距离没有直接关系。根据投影线和投影面是否垂直，平行投影又分为**正（交）投影**（Orthographic Projection）[2]和**斜投影**（Oblique Projection）。

对于斜投影，假设投影面为 xOy 平面，而投影线与投影面的夹角为 θ，投影线的投影与 x 轴的夹角为 ϕ，则将空间中的点 (x, y, z) 投影到 xOy 面的坐标就是

$$\begin{cases} x' = x + z \cdot \frac{1}{\tan\theta} \cdot \cos\phi \\ y' = y + z \cdot \frac{1}{\tan\theta} \cdot \sin\phi \end{cases}$$

上面的 θ 和 ϕ 分别称为仰角（Elevation）和方位角（Azimuth）。

在斜投影中，如果取仰角 $\theta = 45°$，则 z 轴上的单位长度在投影中保持不变，我们称它为**等斜投影**（Cavalier Projection）。如果取 $\theta = \arctan 2 = 63.43°$，则 z 轴上的单位长度在投影中缩为一半，我们称它为**半斜投影**（Cabinet Projection）。

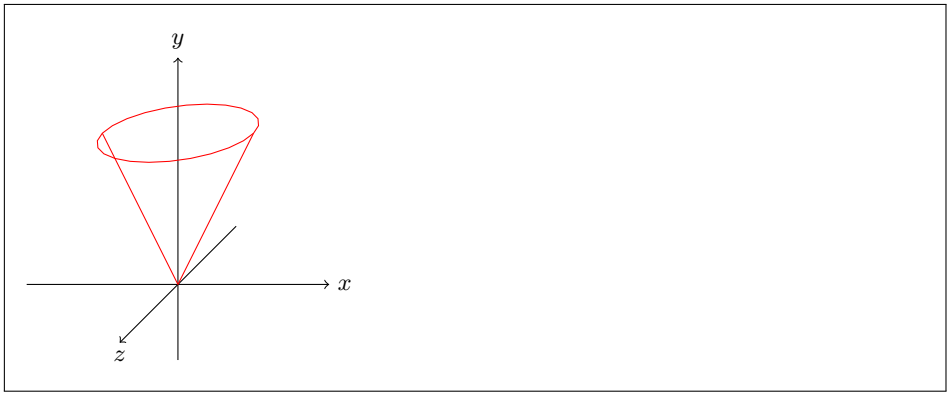
在空间解析几何中，经常用等斜投影和半斜投影来描绘空间中图形。此时方位角 ϕ 一般选取 135° 或者 150°。

7.3 空间曲线

在 PGF/TikZ 中，也可以绘制空间参数曲线，此时我们用三个坐标来表示空间中的点。例如：

```
\begin{tikzpicture}]
\draw[->] (-2,0,0) -- (2,0,0) node[right] {$x$};
\draw[->] (0,-1,0) -- (0,3,0) node[above] {$y$};
\draw[->] (0,0,-2) -- (0,0,2) node[below] {$z$};
\draw[color=red] plot[domain=0:2*pi] ({sin(\x r)},2,{cos(\x r)});
\draw[color=red] (0,0,0) -- (1,2,0) (0,0,0) -- (-1,2,0);
\end{tikzpicture}
```

[2]有些人称平行投影为正交投影（Orthographic Projection），这与我们的命名不一致。

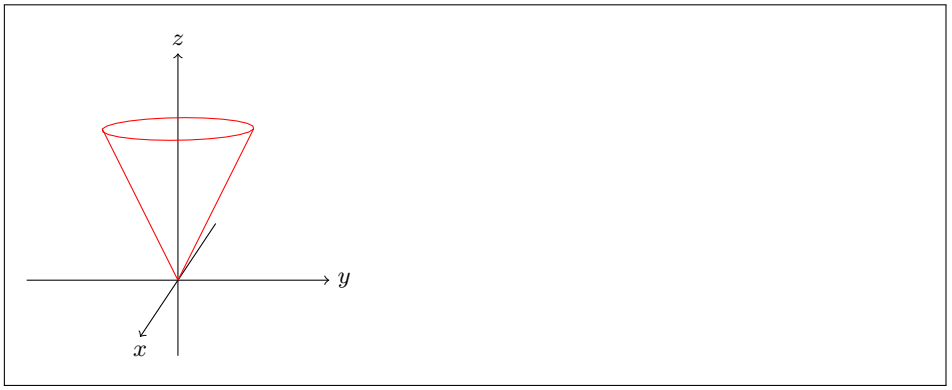


在这个例子中，我们画出了空间中的一个圆以及两个线段，以此轮廓图表示一个圆锥面。

但是这个例子还有两个不足：一是我们通常希望将 x 轴指向左下角，y 轴指向右边，而 z 轴指向上边；二是图形中圆和左斜线的连接点看来不太美观。

这两个问题可以通过修改坐标轴的指向来解决。例如：

```
\begin{tikzpicture}[x={(-.1cm,-.15cm)},y={(1cm,0cm)},z={(0cm,1cm)}]
\draw[->] (-5,0,0) -- (5,0,0) node[below] {$x$};
\draw[->] (0,-2,0) -- (0,2,0) node[right] {$y$};
\draw[->] (0,0,-1) -- (0,0,3) node[above] {$z$};
\draw[color=red] plot[domain=0:2*pi] ({sin(\x r)},{cos(\x r)},2);
\draw[color=red] (0,0,0) -- (0,1,2) (0,0,0) -- (0,-1,2);
\end{tikzpicture}
```

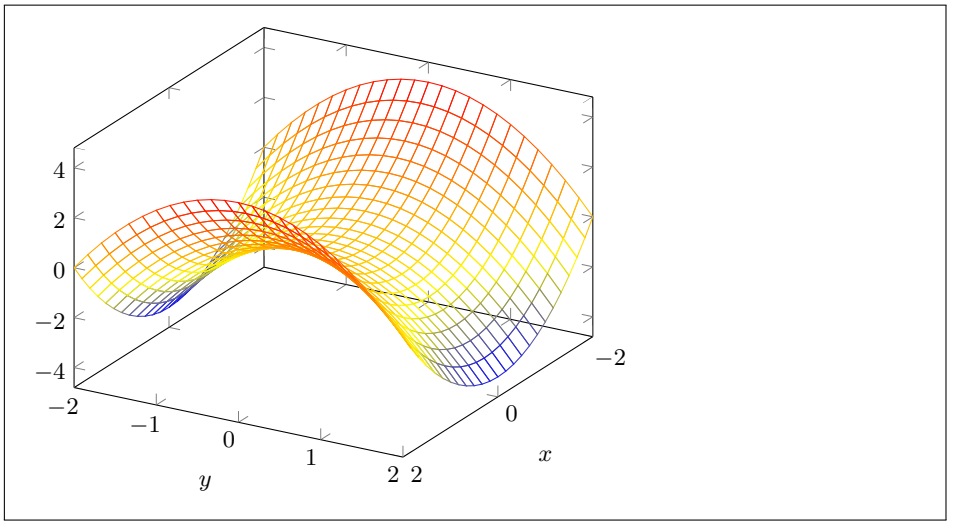


其中的 x，y 和 z 指明了三个坐标轴各自的单位向量的位置。PGF/TikZ 绘制时将按照指定的位置计算空间图形的投影。默认的取值为 x={(1cm,0cm)}，y={(0cm,1cm)}, z={(-.385cm,-.385cm)}。注意我们需要将坐标用花括号括起来。

7.4 空间曲面

PGF/TikZ 无法绘制复杂的空间曲面，但我们可以用 pgfplots 宏包。在载入这个宏包后，我们可以先试试这个例子：

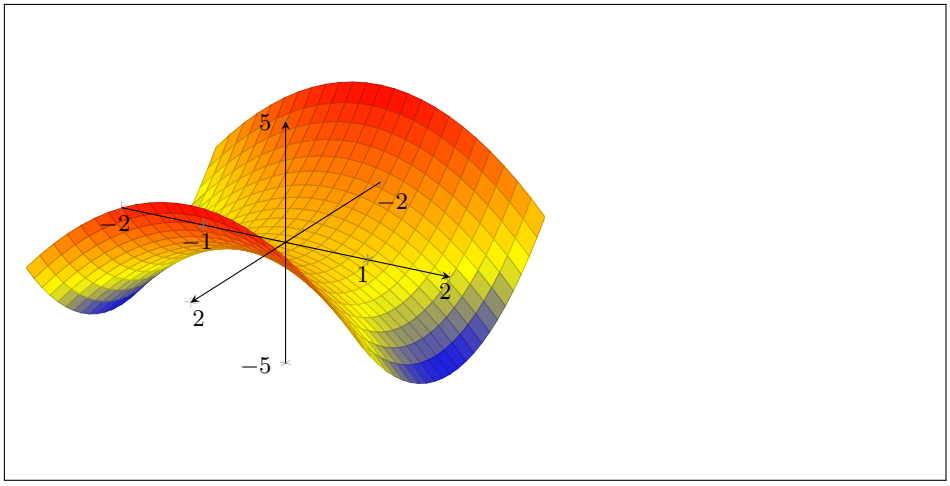
```
\begin{tikzpicture}
\begin{axis}[view={120}{30},xlabel=$x$,ylabel=$y$]
\addplot3[domain=-2:2,y domain=-2:2,mesh]{x^2-y^2};
\end{axis}
\end{tikzpicture}
```



其中的 view 选项分别设定了前面所述的方位角和仰角，其默认值为 view={25}{30}。由于在 pgfplots 中，z 轴总是垂直向上的，所以不管怎么调整视角都不可能让 y 轴指向右边而 x 轴指向左下角。

例子中的 mesh 选项指明我们用网格来表示曲面。如果将 mesh 改为 surf，将会填充曲面的网格。

```
\begin{tikzpicture}
\begin{axis}[view={120}{30},axis lines=center,axis on top,
             xmin=-2,xmax=2,ymin=-2,ymax=2,zmin=-5,zmax=5]
\addplot3[domain=-2:2,y domain=-2:2,surf]{x^2-y^2};
\end{axis}
\end{tikzpicture}
```



其中我们还用 `axis lines=center` 选项指明只画出坐标轴，而用 `axis on top` 选项指明坐标轴在曲面上方。

如果用 `axis lines=center` 选项，旧版本的 pgfplots 在标记空间图形的 `xlabel`，`ylabel`，`zlabel` 时的位置是错误的，更新它到 1.8 版本，并且设置 `\pgfplotsset{compat=1.8}`，就可以解决这个问题。CTeX 2.9 完整版包含的 pgfplots 的版本为 1.5.1，因此需要先升级它。

实际上，pgfplots 也有类似的 `\addplot2` 命令，用于画平面曲线。相比 PGF/TikZ，pgfplots 的语法更加简单，但缺点在于比较慢。

因为 pgfplots 比较复杂，所以经常会出现耗尽 TeX 内存的错误：

```
! TeX capacity exceeded, sorry [pool size=3000000].
```

在 MiKTeX 中，我们可以用下面的命令打开配置文件：

```
initexmf --edit-config-file xelatex
```

然后在打开的 `xelatex.ini` 中写上如下两行并保存该文件：

```
main_memory=90000000
save_size=80000
```

接下来在开始菜单中找到 `MiKTeX->Maintenance->Settings` 程序，在其中的 Formats 页中选中 `xelatex`，并点击 Build。对于 pdflatex 也可以类似地设置。

8 文档标注

利用 TikZ 的节点命令，我们也可以对文档标注。基本方法先标出节点，然后再画图。首先我们定义一个 `\tikzmark` 命令如下：

```
\newcommand\tikzmark[1]{%
  \tikz[overlay,remember picture] \node[coordinate] (#1) {};%
}
```

其中行尾的 `%` 号用于去掉后面的多余空格。

现在就可以用这个命令来标注了。例如：

```
这\tikzmark{a}个是一个重要的极限公式：
\[\tikzmark{b}\lim_{x\to\infty}\left(1+\frac1x\right)^x=\mathrm{e}\]
\begin{tikzpicture}[overlay,remember picture]
\draw[->] (a) .. controls +(2em,-3em) .. (b);
\end{tikzpicture}
```

这个是一个重要的极限公式：

$$\lim_{x\to\infty}\left(1+\frac{1}{x}\right)^{x}=\mathrm{e}$$

注意在标出节点和添加标注这两个步骤中，`overlay,remember picture` 选项都是必需的。这种标注方法需要编译两遍才能看到最终的结果。

在制作 Beamer 演示时，这种标注的方法会更加有用。实际上，我们也可以直接使用 `tikzmark` 这个功能更加强大的文档标注包[3]。

[3] http://www.ctan.org/pkg/tikzmark