第七节

二次曲面

- 一、二次曲面简介
- 二、椭球面
- 三、抛物面
- 四、双曲面
- 五、椭圆锥面

一、二次曲面简介

三元二次方程

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Eyx + Fzx + Gx + Hy + Iz + J = 0$$

(二次项系数不全为 0)

的图形通常为二次曲面. 其基本类型有:

椭球面、抛物面、双曲面、锥面

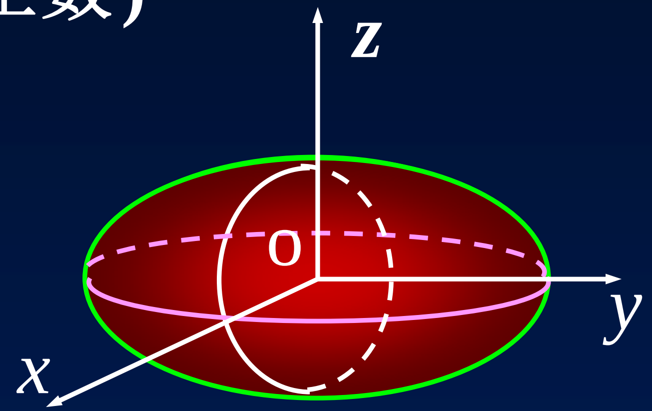
适当选取直角坐标系可得它们的标准方程,

下面仅就几种常见标准型的特点进行介绍 .

研究二次曲面特性的基本方法: 截痕法

二. 椭球面

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}+\frac{z^2}{c^2}=1 \quad (a,b,c\text{为正数})$$



(1)范围：

$$|x|\le a, \quad |y|\le b, \quad |z|\le c$$

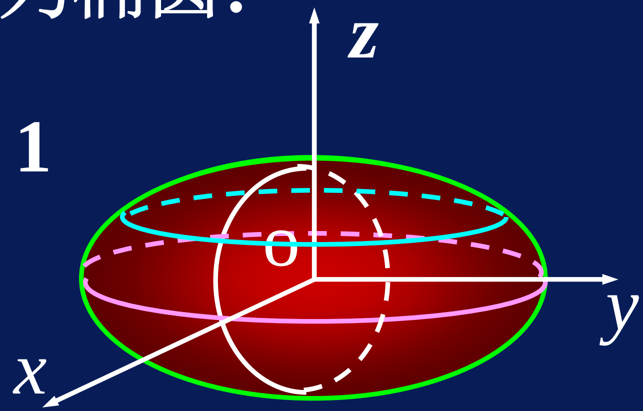
(2)与坐标面的交线：椭圆

$$\begin{cases}\dfrac{x^2}{a^2}+\dfrac{y^2}{b^2}=1\\ z=0\end{cases}, \quad \begin{cases}\dfrac{y^2}{b^2}+\dfrac{z^2}{c^2}=1\\ x=0\end{cases}, \quad \begin{cases}\dfrac{x^2}{a^2}+\dfrac{z^2}{c^2}=1\\ y=0\end{cases}$$

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}+\frac{z^2}{c^2}=1 \quad (a,b,c\text{为正数})$$

(3) 截痕:与 $z=z_1\ (|z_1|<c)$的交线为椭圆:

$$\begin{cases} \dfrac{x^2}{\frac{a^2}{c^2}(c^2-z_1{}^2)}+\dfrac{y^2}{\frac{b^2}{c^2}(c^2-z_1{}^2)}=1 \\ z=z_1 \end{cases}$$



同样 $y=y_1\,(|y_1|\le b)$ 及 $x=x_1\,(|x_1|\le a)$的截痕

也为椭圆.

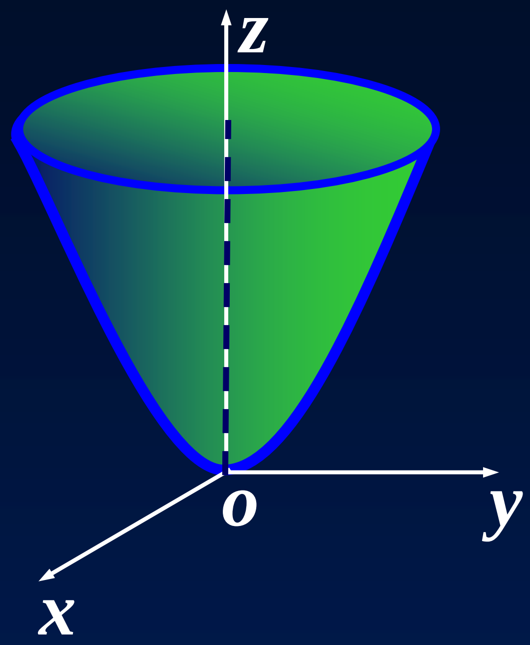
(4) 当 $a=b$ 时为旋转椭球面; 当$a=b=c$ 时为球面.

目录 上页 下页 返回 结束

三. 抛物面

1. 椭圆抛物面

$$\frac{x^2}{2p}+\frac{y^2}{2q}=z \quad (p, q \text{ 同号})$$



$(p>0, q>0)$

特别, 当 $p=q$ 时为绕 z 轴的旋转抛物面.

2. 双曲抛物面（鞍形曲面）

$$\frac{x^2}{2p}+\frac{y^2}{2q}=z \quad (p\,,q\text{ 异号})$$

用截痕法讨论： 设 $p<0,\ q>0$

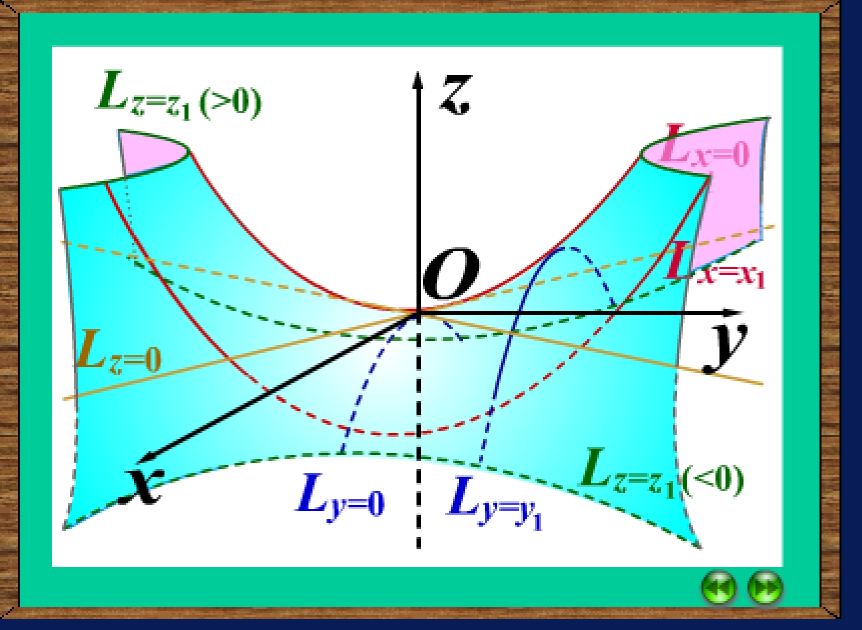
1) 用坐标面

$yOz\ \ (x=0),$

$x=x_1$

与曲面相截

均可得抛物线.



2. 双曲抛物面（鞍形曲面）

$$\frac{x^2}{2p}+\frac{y^2}{2q}=z \quad (p\,,q\text{ 异号})$$

用截痕法讨论： 设 $p<0,\ q>0$

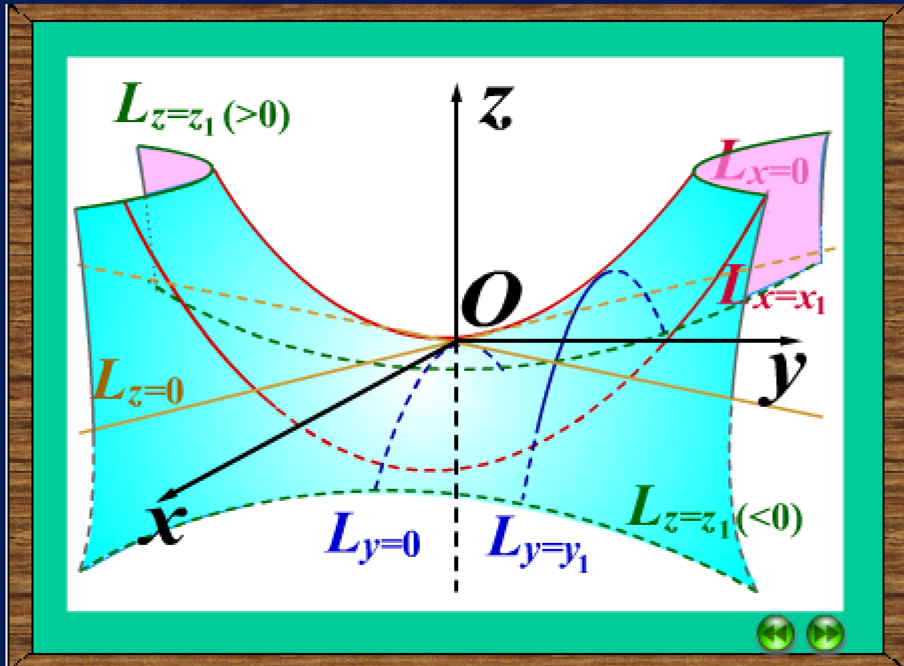
1) 用坐标面

$yOz\ \ (x=0),$

$x=x_1$

与曲面相截

均可得抛物线.



目录 上页 下页 返回 结束

2) 用坐标面 $zox\ (y=0)$,

平面 $y=y_1$ 与曲面相截

均可得抛物线.

$$\frac{x^2}{2p}+\frac{y^2}{2q}=z$$

$$(p<0,q>0)$$

3) 用 平面 $z=z_1$

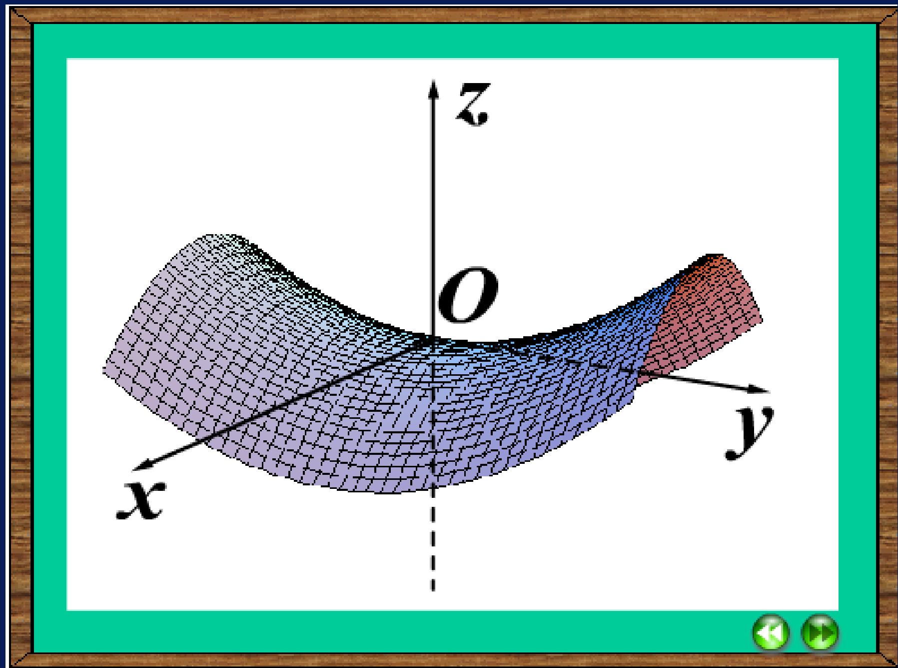
与曲面相截

可得双曲线.

用坐标面 $xoy\ (z=0)$

与曲面相截可得

两条直线.

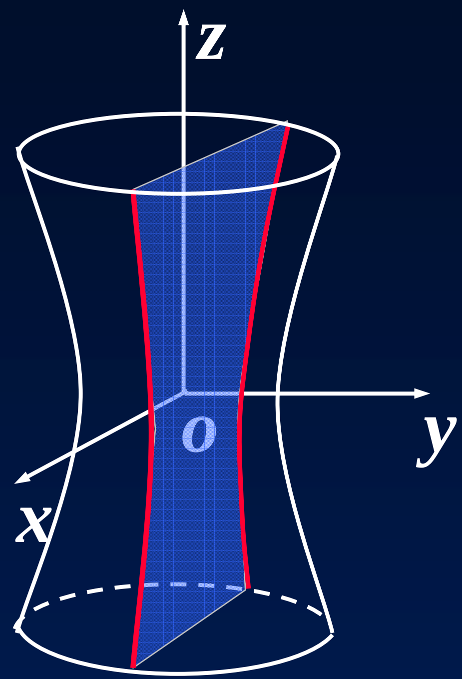


目录 上页 下页 返回 结束

四、双曲面

1. 单叶双曲面

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{c^2}=1\quad(a,b,c\text{ 为正数})$$



平面 $z=z_1$ 上的截痕为 椭圆.

平面 $y=y_1$ 上的截痕情况:

1) $|y_1|<b$ 时, 截痕为双曲线:

$$\begin{cases}\dfrac{x^2}{a^2}-\dfrac{z^2}{c^2}=1-\dfrac{y_1^{\,2}}{b^2}\\ y=y_1\end{cases}$$

(实轴平行于x 轴;
虚轴平行于z 轴)

2) $|y_1| = b$ 时, 截痕为相交直线:

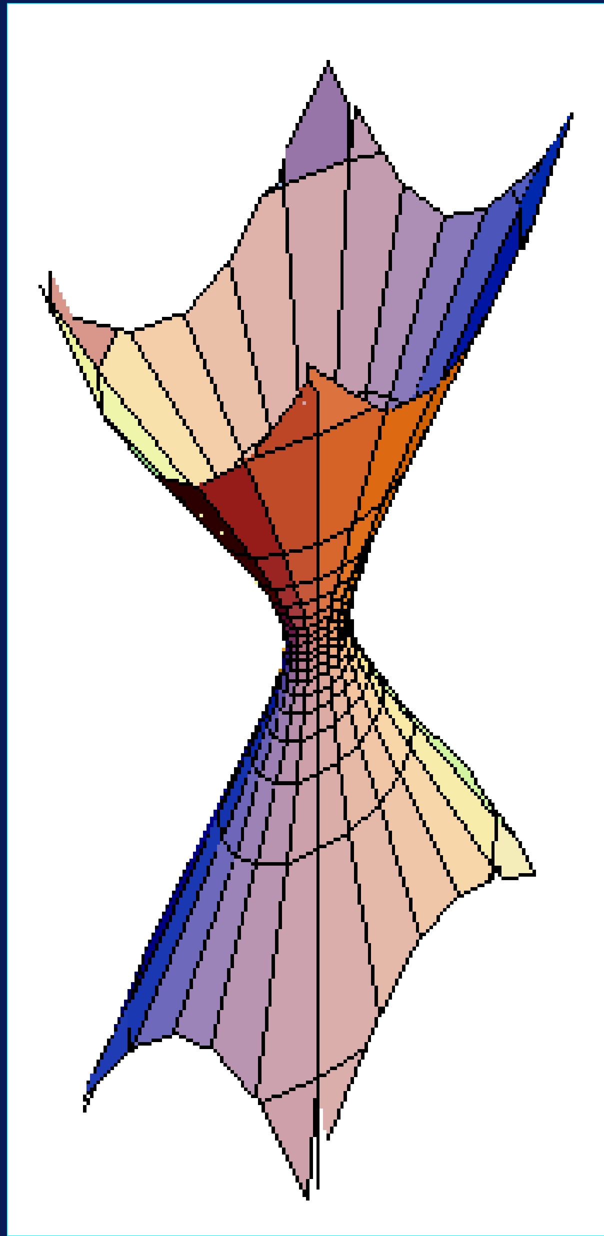
$$\begin{cases} \dfrac{x}{a} \pm \dfrac{z}{c} = 0 \\ y = b\ (\text{或} -b) \end{cases}$$

3) $|y_1| > b$时, 截痕为双曲线:

$$\begin{cases} \dfrac{x^2}{a^2} - \dfrac{z^2}{c^2} = \underline{1 - \dfrac{y_1^2}{b^2}} \quad < 0 \\ y = y_1 \end{cases}$$

(实轴平行于z 轴;

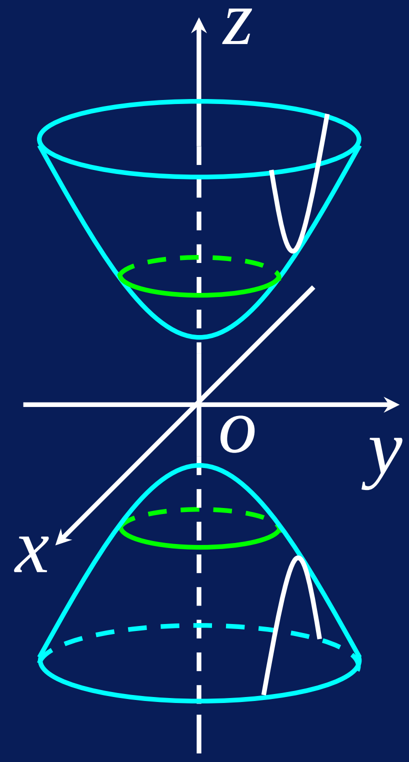
虚轴平行于x 轴)



目录 上页 下页 返回 结束

2. 双叶双曲面

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{c^2}=-1 \quad (a,b,c\text{ 为正数})$$



平面 $y=y_1$ 上的截痕为 双曲线

平面 $x=x_1$ 上的截痕为 双曲线

平面 $z=z_1\ (|z_1|>c)$ 上的截痕为 椭圆

注意单叶双曲面与双叶双曲面的区别:

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{c^2}=\begin{cases}1 & \text{单叶双曲面}\\ -1 & \text{双叶双曲面}\end{cases}$$

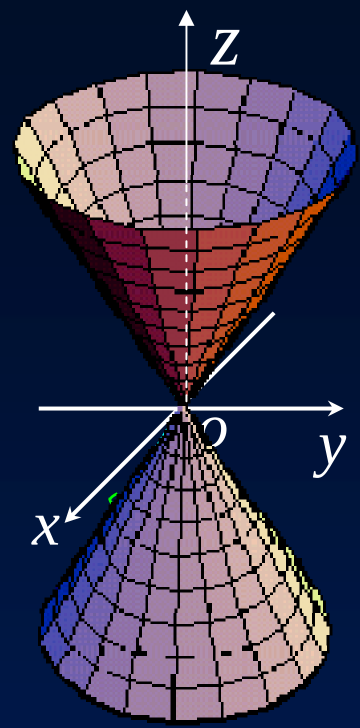
图形

五、 椭圆锥面

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=z^2 \quad (a, b \text{ 为正数})$$

在平面 $z=t$ 上的截痕为 椭圆

$$\frac{x^2}{(at)^2}+\frac{y^2}{(bt)^2}=1, \quad z=t \qquad ①$$



在平面 $x=0$ 或 $y=0$ 上的截痕为过原点的两直线 .

可以证明, 椭圆①上任一点与原点的连线均在曲面上.

(椭圆锥面也可由圆锥面经 x 或 y 方向的伸缩变换得到)

内容小结

1. 空间曲面 $\longleftrightarrow$ 三元方程 $F(x, y, z) = 0$

- 球面 $(x-x_0)^2+(y-y_0)^2+(z-z_0)^2=R^2$
- 旋转曲面

  如, 曲线 $\begin{cases} f(y,z)=0 \\ x=0 \end{cases}$ 绕 z 轴的旋转曲面:

  $$f(\pm\sqrt{x^2+y^2}, z)=0$$

- 柱面

  如,曲面 $F(x, y)=0$ 表示母线平行 z 轴的柱面.

  又如,椭圆柱面, 双曲柱面, 抛物柱面等 .

2. 二次曲面 $\longleftrightarrow$ 三元二次方程

- 椭球面：$\dfrac{x^2}{a^2}+\dfrac{y^2}{b^2}+\dfrac{z^2}{c^2}=1$
- 抛物面：
  (p,q 同号)

  椭圆抛物面 $\dfrac{x^2}{2p}+\dfrac{y^2}{2q}=z$

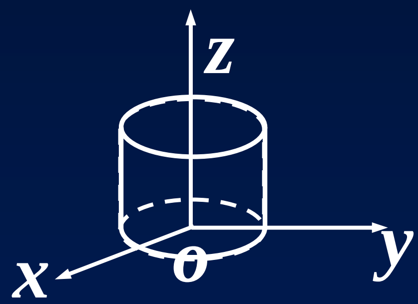
  双曲抛物面 $-\dfrac{x^2}{2p}+\dfrac{y^2}{2q}=z$
- 双曲面：

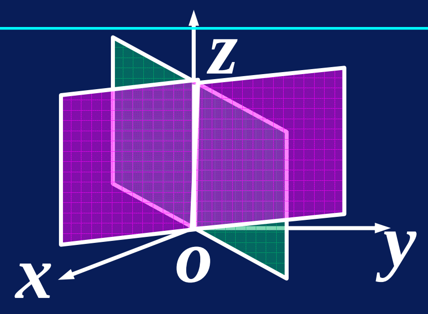
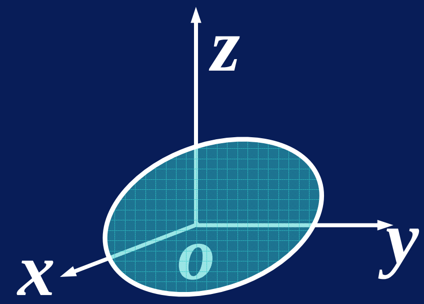
  单叶双曲面 $\dfrac{x^2}{a^2}+\dfrac{y^2}{b^2}-\dfrac{z^2}{c^2}=1$

  双叶双曲面 $\dfrac{x^2}{a^2}+\dfrac{y^2}{b^2}-\dfrac{z^2}{c^2}=-1$
- 椭圆锥面：$\dfrac{x^2}{a^2}+\dfrac{y^2}{b^2}=z^2$

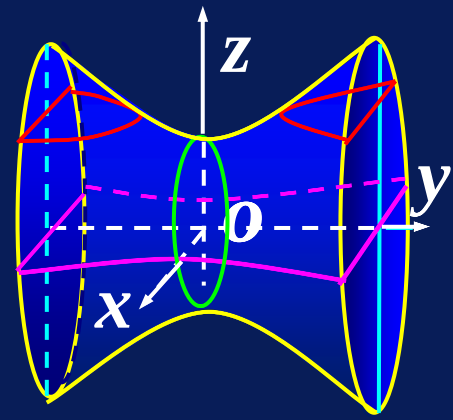
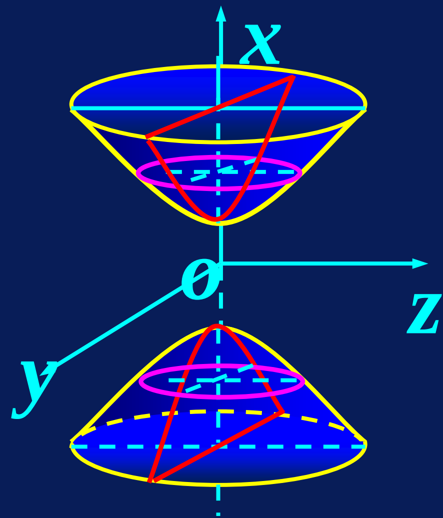
思考题

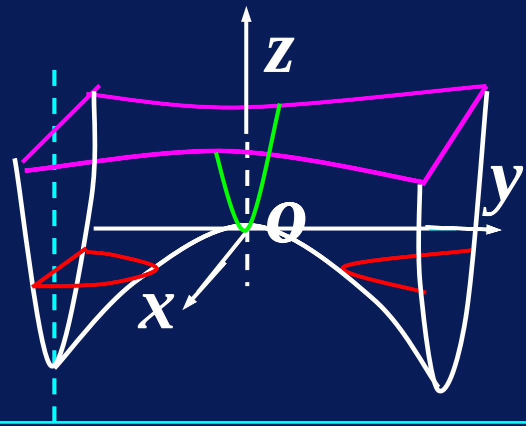
下列方程在空间各表示何种图形？

方 程	空间解析几何中	图形
$x^2 + y^2 = 1$	以 z 轴为中心轴的圆柱面	
$x^2 + y^2 = 0$	z 轴	

方　程	空间解析几何中	图形
$x^2 - y^2 = 0$	两个过 z 轴且相交的平面	
$xyz = 0$	三个坐标面： $x = 0, y = 0, z = 0$	
$\frac{x^2}{4} + \frac{y^2}{9} + \frac{z^2}{9} = 1$	$\begin{cases} \frac{x^2}{4} + \frac{y^2}{9} = 1 \\ z = 0 \end{cases}$ 绕x轴旋转而成的旋转椭球面	

目 录　上 页　下 页　返 回　结 束

方 程	空间解析几何中	图形
$x^2-\frac{y^2}{4}+z^2=1$	$\begin{cases} x^2-\frac{y^2}{4}=1 \\ z=0 \end{cases}$ 绕y 轴旋转而成的单叶旋转双曲面	
$x^2-y^2-z^2=1$	$\begin{cases} x^2-y^2=1 \\ z=0 \end{cases}$ 绕x 轴旋转而成的双叶旋转双曲面	

方　程	空间解析几何中	图形
$x^2 - y^2 = 4z$	双曲抛物 面面	
$x^2 + y^2 = 4z$	$\begin{cases} y^2 = 4z \\ x = 0 \end{cases}$ 绕z 轴旋转而成的旋转抛物面