

# 解析几何答案手写稿

整理：陈家宝 2017/12/23

答案要写多长，不可避免地并非编辑的规定所能决定的，而是取决于某些高度偶然的因素，例如谁愿意写，在同意写以后是谁实际交了稿，交来的稿子是否符合规定的字数等等。结果，有些解析反映得不如我们所希望的那么充分，终于到了这样一个关节点：发布一篇不甚完备的答案，比之为了达到完美的平衡而再等上几年还要好些。我们希望有朝一日还会有新版，那时就可以弥补本版可能有的缺陷了。但不论如何，我想我们在这篇答案上投入了真正多得心血，读者且看且珍惜。

说明：本手稿包括解析几何课后习题答案内容。1.6 节至 2.4 节由答案编写小组撰写完成，2.5 至 4.4 节由陈家宝撰写完成，1.5 以前的章节答案由徐小琴老师编写，已经录为文字。在 4.4 节写完后，将不再继续 4.5 的内容，而关于 4.4 的内容只写了部分，这是因为我们的书本里并未教授不变式的内容，4.4 的部分习题并非属于我们需要掌握的技巧，因此如果有人想要了解，不妨不要限于此书，这样，写下答案也是无必要的。

答案编写群，然后@陈家宝。



X.Y.Z.工作室

扫一扫二维码，加入该群。

下面开始正文部分

## ANSWERS

### 4.4 节

### 4.4 二次曲面的化简与分类

1.  $\lambda = \lambda^3 - 3\lambda^2 + 2 = 0$ .

$$\lambda_1 = 2, \lambda_2 = \lambda_3 = -1.$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & 0 & \frac{2}{\sqrt{6}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

化简方程得  $y^2 + z^2 - 2x^2 = 9$  : 单叶双曲线

2.  $\lambda = \lambda^3 - \lambda^2 - \lambda + 1 = 0$ .

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

化简得  $-x^2 + y^2 + z^2 + 1 = 0$  : 双叶双曲线.

3.  $\lambda = \lambda^3 - 2\lambda^2 - 3\lambda = 0$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & 0 & -\frac{2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{6}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{3}{2} \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{8} \\ 0 \\ -\frac{1}{4} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{3}{2} \\ \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

化简得  $3z^2 - y^2 - 2 = 0$  : 双曲柱面.

$$(15) \lambda^3 - 18\lambda^2 + 99\lambda - 162 = 0. \quad \lambda_{1,2,3} = 3, 6, 9$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{2}{3} & -\frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{2}{3} & -\frac{2}{3} \\ \frac{2}{3} & \frac{1}{3} & \frac{2}{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \text{ ①}$$

易知为  $\lambda_1 x^2 + \lambda_2 y^2 + \lambda_3 z^2 + I_4 / I_3 > 0$  的齐次方程，故无实数解

$$\text{即得 } 3x^2 + 6y^2 + 9z^2 - \frac{8}{27} = 0$$

$$(16) \lambda^3 + 6\lambda^2 - 21\lambda = 0. \quad \lambda_1 = 0, \lambda_2 = 12, \lambda_3 = -18$$

$$(17) \lambda^3 - 7\lambda^2 + 10\lambda = 0. \quad \lambda_1 = 0, \lambda_2 = 5, \lambda_3 = -2$$

(18)  ~~$2x^2 + 1$~~

$$\lambda^3 - 12\lambda^2 + 21\lambda - 10 = 0. \quad \lambda_1 = 1, \lambda_2 = 1, \lambda_3 = 10$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} & -\frac{2}{3} \\ -\frac{2}{3} & \frac{1}{3} & -\frac{2}{3} \\ \frac{2}{3} & \frac{2}{3} & \frac{1}{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}$$

得  $x^2 + y^2 + 10z^2 - 1 = 0.$   $\therefore$  椭球面

(19)  $\lambda^3 - 7\lambda^2 + 14\lambda - 6 = 0. \quad \lambda_1 = 3, \lambda_2 = 2 + \sqrt{2}, \lambda_3 = 2 - \sqrt{2}.$

简化后过原点，因为  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \neq 0$ . 简化后必为

椭球面. 如为

$$3x^2 + (2 + \sqrt{2})y^2 + (2 - \sqrt{2})z^2 - 11/2 = 0$$

2. 证明特征方程为  $\lambda^3 - \frac{1}{4}\lambda = 0. \quad \lambda_1 = 0, \lambda_2 = \frac{1}{2}, \lambda_3 = -\frac{1}{2}.$

又其必为不存在. 知为(I)情形

$$\frac{1}{2}x^2 - \frac{1}{2}y^2 + d = 0$$
 椭圆

不论d或正或负，都有方程为双叶双曲面。

3. 解：取  $\begin{pmatrix} \vec{e}_1 \\ \vec{e}_2 \\ \vec{e}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{2}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{e}_1 \\ \vec{e}_2 \\ \vec{e}_3 \end{pmatrix}$  和三棱锥面及底  $(0, -\frac{1}{2}, \frac{1}{2})$  为原点，得

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{2}{\sqrt{6}} & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \end{pmatrix} \text{ 即 } \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{2}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y + \frac{1}{2} \\ z - \frac{1}{2} \end{pmatrix}.$$

得  $O'(0, 0, \frac{1}{\sqrt{2}})$ ,  $A'(\frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{2}{\sqrt{6}}, -\frac{1}{\sqrt{2}})$ ,  $B'(\frac{1}{\sqrt{3}}, -\frac{1}{\sqrt{6}}, 0)$ .

代入球方程，得  $-2x^2 + y^2 - z^2 + \frac{1}{2} = 0$ .

其余球方程不存在.

## 4.3 节

1.  $\lambda_1 = -1, \lambda_2 = 1, \lambda_3 = 2$  2013.

(3) 特征方程为  $\lambda^3 - 36\lambda^2 + 396\lambda - 1296 = 0$  (感受副旋量了吗?)

解得  $\lambda_1 = 6, \lambda_2 = 18, \lambda_3 = 12$ .

得 ①  $x:y:z = 1:-1:2$  有  $x+y+2z=0$ .

②  $x:y:z = -1:-1:1$  有  $-x-y+z=0$

③  $x:y:z = 1:-1:0$  有  $x-y+1=0$ .

~~4. 不略 (此题不归答案更佳)~~

知所求平面的斜率方向  $x:y:z = t:t:m$ .

得所求平面方程为  $(6t-2m)x + (3t-m)y - (3t-m)z = 0$ .  
(只有  $m$  不同时为零)

3. 解之得  $t = 1, 3, 3$  有对应方向的直线面三组为

①  $x:y:z = 1:-1:0$  有  $x-y+1=0$

②  $x:y:z = 0:0:1$  有  $-5z-2=0$

③  $x:y:z = 1:1:0$  有  $x+y-1=0$ .

12.  $x:y:z = 1:-1:0$  有  $2x-2y+3=0$ .

注: 特征根为  $\lambda = 0, 0, 2$ .

## 4.2 节

4. 解

(1) 其中心坐标为  $(0, 0, 0)$ ，其渐近线方程为

Ch082.95.2013.8

$$\phi(x=0, y=0, z=0) = y^2 - 2z^2 + 2xz = 0$$

(2) 其中心坐标为  $(0, 0, 0)$ ，其渐近线方程为

$$x^2 + y^2 + z^2 - 4xy - 4yz - 4xz = 0$$

(3)  $I_3 = 0$ ，表示中心之双曲线，且可能不存在渐近线

5. 解

(1)  $x=y=1$  (2)  $x=2y=2$  (3) 该有中心

6. 解

$$m \geq x-y+3z+2=0. \quad (2) x=\frac{3}{2}y=3(z-2)$$

T5

7. 解

双曲线  $ax^2 + by^2 + cz^2 = 0$ .

$$A(X_0, Y_0, Z_0) + B(Y_0, X_0, Z_0) + C(Z_0, X_0, Y_0) = aX_0 + bY_0 + cZ_0 = 0$$

讨论：①  $\phi(x, y, z) = ax^2 + by^2 + cz^2 \neq 0$  时

直线为二次曲线的切线

②  $\phi(x, y, z) = 0$  时

因为恒有  $\phi(x_0, y_0, z_0) = 0$ ，知直线在二次曲面上。

8. 解：將直線代入方程，整理得

$$7x^2 - 7x + 1 = 0$$

解得  $x_{1,2} = \frac{7 \pm \sqrt{41}}{14}$

得交點  $(\frac{-7+3\sqrt{41}}{14}, \frac{7+\sqrt{41}}{14}, 0)$  或  $(\frac{-7-3\sqrt{41}}{14}, \frac{7-\sqrt{41}}{14}, 0)$ .

9. 解：將直線代入曲面之方程，整理得

$$4t - 1 = 0 \text{ 得 } t = \frac{1}{4}$$

得交點  $(0, \frac{1}{2}, 0)$

證明：直線的方程為  $(4, 2, 0)$ ， $\forall (x, y, z) \in$

$$\begin{aligned} f(x, y, z) &= 0 \Leftrightarrow x_1 f_1(x_0, y_0, z_0) + x_2 f_2(x_0, y_0, z_0) + x_3 f_3(x_0, y_0, z_0) \\ &= f(x_0, y_0, z_0) = 0. \end{aligned}$$

$$\begin{cases} 4(x_0 - y_0 + 2z_0 + \frac{3}{2}) + 2(-x_0 - z_0) = 0. \quad ① \\ x_0^2 + z_0^2 - 2x_0y_0 - y_0z_0 + 4z_0x_0 + 3x_0 - 5z_0 = 0 \quad ② \end{cases}$$

①代入②中得，整理得

$$z_0(y_0 - 2z_0 - 8) = 0 \text{ 知 } z_0 = 0 \text{ 或 } y_0 - 2z_0 - 8 = 0.$$

由①聯立方程可得

$$z_0 = x_0 - 13 = \frac{y_0 - 8}{2} \text{ 或 } x_0 - 2y_0 + 3 = z_0 = 0$$

知存在且只有兩組解所求直線。取  $(-3, 0, 0)$  点得其斜率直線為  $\frac{x+3}{4} = \frac{y}{2} = \frac{z}{0}$ .

## 4.1 节

3. ~~取 -n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub>, n<sub>3</sub>~~ = (-1/2, 1, 1/2) 为原点

$\vec{n}_1 = \pm(1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2})$  为 X 轴方向,

$\vec{n}_2 = \pm(1/\sqrt{2}, 0, -1/\sqrt{2})$  为 Y 轴方向.

$\vec{n}_3 = \pm(1/\sqrt{6}, -1/\sqrt{6}, 1/\sqrt{6})$  为 Z 轴方向.

转动正负号使原点落在新坐标系的第一卦限

由坐标变换公式

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vec{n}_1^T & \vec{n}_2^T & \vec{n}_3^T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -\frac{1}{2} \\ 1 \\ \frac{1}{2} \end{pmatrix} \quad ①$$

由过渡矩阵承的基正交矩阵, 所以 ① 即为

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \pm \vec{n}_1 \\ \pm \vec{n}_2 \\ \pm \vec{n}_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x + \frac{1}{2} \\ y - 1 \\ z - \frac{1}{2} \end{pmatrix} + (0, 0, 0)$$

$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \pm \frac{1}{\sqrt{6}} \end{pmatrix}$ , 知  $-\vec{n}_1$  为 X 轴正方向单位向量,  
 取  $+\vec{n}_2$  为 Y 轴正方向单位向量  
 $\vec{n}_3$  为 Z 轴正方向单位向量

同时,  $(\vec{n}_1^T, \vec{n}_2^T, \vec{n}_3^T) > 0$ , 知为右旋, 得坐标变换公式

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{6}} \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & -\frac{1}{\sqrt{6}} \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{6}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{2} \\ -1 \\ -\frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

4. D. 解:  $x^2 + y^2 = 2xy$ , 即  $(x^2 - 2xy + y^2) = (x-y)^2 = 0$ .

5. 可以这样:  $\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 4 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ .

另外的高等解法: 视  $2x+3y+4z+5=0$  为二级方程

$$(2x+3y+4z+5)^2 = 4x^2 + 9y^2 + 16z^2 + 12xy + 16xz + 24yz + 20x + 30y + 40z + 25 = 0.$$

特征方程为:  $\lambda^3 - 29\lambda^2 = 0$ .

承衰换矩阵为  $\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{2}{\sqrt{19}} & \frac{3}{\sqrt{22}} & \frac{-17}{\sqrt{198}} \\ \frac{3}{\sqrt{19}} & \frac{2}{\sqrt{22}} & \frac{18}{\sqrt{198}} \\ \frac{4}{\sqrt{19}} - \frac{-3}{\sqrt{22}} & \frac{5}{\sqrt{198}} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 5 \end{pmatrix}$

b. 其特征方程为  $\lambda^3 - 625\lambda = 0$ ,  $\lambda_1 = 0$ ,  $\lambda_2 = \lambda_3 = 25$ . 直线为无心二次曲面.

和为椭圆抛物面.

7. 设  $\vec{e}_1 = (\cos \theta \sin \varphi, \sin \theta \sin \varphi, \cos \theta \cos \varphi)$ .

则  $\vec{e}_1 \cdot (1, 1, 1) = (0, 0, 1)(1, 1, 1)$ .

且  $\frac{[\vec{e}_1' \times (1, 1, 1)] \cdot [\vec{e}_1' \times (0, 0, 1) \times (1, 1, 1)]}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot 1 \cdot 1} = \cos \frac{2}{3}\pi$ .

得  $\vec{e}_1 = (\frac{2}{3}, \frac{1}{3}, \frac{2}{3})$ . 同理得  $\vec{e}_2, \vec{e}_3$  和承衰换矩阵为

### 3.5 节

### 3.5 直改面

1. 证明、设单叶双曲面方程为  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1, a, b, c \in \mathbb{R}^+$

$$\text{方程改写为 } \left(\frac{x}{a} - \frac{z}{c}\right) \left(\frac{x}{a} + \frac{z}{c}\right) = (1 + \frac{y}{b})(1 - \frac{y}{b})$$

$$\text{得直角坐标系 } \left\{ \begin{array}{l} \frac{x}{a} - \frac{z}{c} = u(1 + \frac{y}{b}) \\ u \cdot \left(\frac{x}{a} + \frac{z}{c}\right) = 1 - \frac{y}{b} \end{array} \right.$$

$$V \text{ 直角坐标系 } \left\{ \begin{array}{l} \frac{x}{a} - \frac{z}{c} = v(1 - \frac{y}{b}) \\ v \cdot \left(\frac{x}{a} + \frac{z}{c}\right) = 1 + \frac{y}{b} \end{array} \right.$$

对原方程中任意两个变量，其值不平行，则下证其任意不相关，即立得，得

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{a}x - \frac{1}{b}u_1y - \frac{1}{c}z = u_1 = 0 \\ \frac{u_1}{a}x + \frac{1}{b}y + \frac{u_1}{c}z - 1 = 0 \\ \frac{1}{a}x - \frac{u_2}{b}y - \frac{1}{c}z = u_2 = 0 \\ \frac{u_2}{a}x + \frac{1}{b}y + \frac{u_2}{c}z - 1 = 0 \end{array} \right. \quad \left| \begin{array}{l} \frac{1}{a} - \frac{u_1}{b} - \frac{1}{c} = u_1 \\ \frac{u_1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{u_1}{c} = 1 \\ \frac{1}{a} - \frac{u_2}{b} - \frac{1}{c} = u_2 \\ \frac{u_2}{a} + \frac{1}{b} + \frac{u_2}{c} = 1 \end{array} \right|$$

$$= \frac{1}{a} \cdot \frac{1}{b} \cdot \frac{1}{c} \left| \begin{array}{l} 1 - u_1 - 1 = u_1 \\ u_1 + u_1 - 1 = u_1 \\ 1 - u_2 - 1 = u_2 \\ u_2 + u_2 - 1 = u_2 \end{array} \right| = \frac{4}{abc} u_2(u_2 - u_1)$$

因为其不平行，故其判别式非零，故两直角坐标系 (1) 得证。

直角坐标系。

梯度场在直角坐标系中，同理得梯度矩阵

$$A = \begin{pmatrix} \frac{1}{a} & -\frac{1}{b}u & -\frac{1}{c}v \\ \frac{1}{a}u & \frac{1}{b} & \frac{1}{c}u - 1 \\ \frac{1}{a} & \frac{1}{b}v & -\frac{1}{c}v \\ \frac{1}{a}v & -\frac{1}{b} & \frac{1}{c}v - 1 \end{pmatrix} \quad \det A = \frac{1}{abc} \begin{vmatrix} 1 & -u & 1 & u \\ u & 1 & -u & 1 \\ 1 & v & 1 & v \\ v & -1 & -v & 1 \end{vmatrix} = 0$$

梯度场在直角坐标系中为平面。

$$\text{梯度场的方向向量 } \vec{u} = \left( \frac{1}{a}, -\frac{1}{b}u, -\frac{1}{c}v \right) \times \left( \frac{1}{a}u, \frac{1}{b}, \frac{1}{c}u \right)$$
$$= \left( -\frac{1}{bc}u^2 + \frac{1}{bc}, -\frac{2}{ac}u, \frac{1}{ab}u^2 + \frac{1}{ab} \right)$$

$$\text{梯度场的方向向量 } \vec{v} = \left( \frac{1}{a}, \frac{1}{b}v, -\frac{1}{c}v \right) \times \left( \frac{1}{a}v, -\frac{1}{b}, \frac{1}{c}v \right)$$
$$= \left( -\frac{1}{ab}v^2 - \frac{1}{ab}, -\frac{1}{ac}v, -\frac{1}{ab}v^2 - \frac{1}{ab} \right)$$
$$= \left( \frac{1}{bc}v^2 - \frac{1}{bc}, -\frac{2}{ac}v, -\frac{1}{ab}v^2 - \frac{1}{ab} \right).$$

令  $\vec{v} \parallel \vec{u}$ , 则 对应数成比例时

$$\frac{-u^2 + 1}{v^2 - 1} = \frac{-u}{-v} = \frac{u + 1}{-(v + 1)} \quad \text{当且仅当 } \frac{u}{v} = -1 \text{ 时成立,}$$

则 梯度场在一直线上，在梯度场中存在一条直线的切线。

2. 证明：由 P34 例题 3.5.1 证法 2 得

$$\text{一族母线} \left\langle \frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 2u \right. ; \quad \text{V 族母线} \left\langle \frac{x}{a} - \frac{y}{b} = 2v \right. \\ \left. u \left( \frac{x}{a} - \frac{y}{b} \right) = z \right. ; \quad \left. v \left( \frac{x}{a} + \frac{y}{b} \right) = z \right.$$

为同理，族互为对称，其增族平行

$$A = \begin{pmatrix} \frac{1}{a} & \frac{1}{b} & 0 & -2u_1 \\ \frac{1}{a}u_1 & \frac{1}{b}u_1 - 1 & 0 \\ \frac{1}{a} & \frac{1}{b} & 0 & -2u_2 \\ \frac{1}{a}u_2 & \frac{1}{b}u_2 - 1 & 0 \end{pmatrix} \det A = \frac{-1}{ab} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & 2u_1 \\ u_1 & -u_1 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & -u_2 \\ u_2 & -u_2 & -1 & 0 \end{vmatrix} \\ = -\frac{4}{ab} (u_1 + u_2)^2 \cdot (u_1 - u_2).$$

知 V 族平行于 U 族两直线母线相交。（V 族同理）

族互为对称，族互为对称，同理，其增族平行

$$A = \begin{pmatrix} \frac{1}{a} & \frac{1}{b} & 0 & -2u_1 \\ \frac{1}{a}u_1 - \frac{1}{b}u_1 & -1 & 0 \\ \frac{1}{a} & -\frac{1}{b} & 0 & -2v \\ \frac{1}{a}v & \frac{1}{b}v & -1 & 0 \end{pmatrix} \det A = \frac{-1}{ab} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & u \\ u & -u & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & v \\ v & v & 1 & 0 \end{vmatrix} \\ = 0$$

知 U 族平行于 V 族两直线母线相交。

$$\text{V 族直线方程向量基为 } \vec{u} = \left( \frac{1}{a}, \frac{1}{b}, 0 \right) \times \left( \frac{1}{a}u_1 - \frac{1}{b}u_1, -1 \right) \\ = \left( -\frac{1}{b}, \frac{1}{a}, -\frac{2}{ab}u \right)$$

易知其平行于平面  $\frac{1}{a}x + \frac{1}{b}y = 0$ 。对 V 族同理，

知 U 族平行于 V 族两直线母线相交于同一平面。

3. 解：

$$(1) \begin{cases} x+z = ux \\ -y = u(x-z) \end{cases} \text{ 或 } \begin{cases} x+z = vx \\ y = v(x-z) \end{cases}$$

$$(2) \begin{cases} I = aux \\ y = uz \end{cases} \text{ 或 } \begin{cases} I = vay \\ x = vz \end{cases}$$

$$4. \text{ 证明: } (x+z)^2 = (I+y)(I-y)$$

$$\text{其方向向量为 } x+z = u(I+y)$$

$$u(x+z) = Iy$$

$$\text{其方向向量为 } (1, -u, 1) \times (u, 1, u) = (-u^2, 0, 1+u^2)$$

$$= (u^2+1)(-1, 0, 1) // (1, -1, 1)$$

方向为负向，知为柱面。

$$(2) (y+z)^2 = (I+x)(I-x)$$

$$\text{得 } \begin{cases} y+z = u(I+x) \\ u(y+z) = I-x \end{cases}, \text{ 其方向向量为 } (u, -1, -1) \times (1, u, u) \\ = (0, -1-u^2, u^2+1) // (0, -1, 1)$$

知为柱面。

$$(3) x+y = u(x+y+z)$$

$$u(x+y+z) = 1$$

$$\text{得其方向向量为 } (1-u, 1-u, -u) \times (0, u, u)$$

$$= (-2u^2+u, u^2-u, u-u^2) // (-1, 1, -1)$$

知为柱面。

$$4) \begin{cases} x+y+z = u(x-y-z) \\ -u(x+y+z) = x-y-z \end{cases} \text{ 得向量 } (1-u, 1+u, 1+u) \times (u-1, u+1, u+1) \\ = (0, -2(1+u), 2(1+u)) // (0, -1, 1).$$

如图平面

$$5. \text{ 解: (1) 共面且成簇方程 } \begin{cases} x+2y = 16u \\ u(x-y) = z \end{cases} \text{ 或 } \begin{cases} x+2y = 1z \\ v(x-y) = 16 \end{cases}$$

其向量  $(1, 2, 0) \times (u, -2u, -1) \cdot (3, 2, -4) = 0$ .

$$\text{ 直线簇方程 } \frac{x}{2} = \frac{y-2}{1} = \frac{z+1}{-1}$$

$$\text{ 同理解得另一条直线 } \frac{x}{2} = y+4 = \frac{z+4}{2}$$

$$(2) \frac{x}{-2} = \frac{y-16}{1} = \frac{z+32}{-4} \text{ 或 } \frac{x}{2} = \frac{y+32}{1} = \frac{z+128}{8}$$

$$(3) \frac{x-2}{2} = \frac{y-3}{3} = \frac{z}{0} \text{ 或 } \frac{x}{2} = \frac{y-6}{-3} = \frac{z+4}{4}$$

$$6. \text{ 解: (1) } \frac{x-6}{3} = \frac{y-2}{0} = \frac{z-8}{4} \text{ 或 } \frac{x-3}{0} = \frac{y-1}{1} = \frac{z-2}{2}.$$

$$(2) \theta = \arccos \frac{8}{25\sqrt{15}}$$

7. 略

8. 解: 参考文献[9] (注: 原文标注有误)

<http://www.mathcurve.com/surfaces/cayley/cayley.shtml>

Cayley 三元二次曲面方程可整理为

$$\frac{x^2}{1-z} + \frac{y^2}{1+z} = 1.$$

故其参数方程可写为  $\begin{cases} x = \sqrt{1-u} \cos \theta \\ y = \sqrt{1+u} \sin \theta \\ z = u \end{cases}$

**Forme 1**  
Équation homogène dite *tétrahédrique* :

$$\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3} + \frac{1}{X_4} = 0 \quad , \text{ soit } \sum_{1 \leq i < j < k \leq 4} X_i X_j X_k = 0$$

Surface **cubique**.

Les 4 points coniques sont  $A_1(1,0,0,0), \dots, A_4(0,0,0,1)$ .

Les 9 droites sont les 6  $D_\eta : X_i = X_j = 0$  pour  $1 \leq i < j \leq 4$  (la droite  $D_\eta$  joint  $A_k$  à  $A_\ell$ )

et les 3  $\Delta_i : X_4 + X_i = X_j + X_k = 0$  pour  $\{i, j, k\} = \{1, 2, 3\}$ .

Dans la version affine associée, d'équation  $xyz + a(xy + yz + zx) = 0$ , ne subsistent à distance finie qu'un point conique  $A_4$  et 3 droites incluses (les 3 axes, en noir ci-contre).



La *surface de Cayley* est la surface définie (à homographie près) par l'équation ci-dessus.

C'est la seule surface cubique dont le groupe des homographies la laissant invariante est le groupe  $S_4$  des permutations de 4 objets (cf. l'invariance par les 24 permutations des coordonnées  $X_1, X_2, X_3, X_4$ ) et c'est aussi la seule surface cubique à posséder 4 points coniques (maximum possible pour une surface cubique). Cette surface cubique non **lisse** possède 9 droites, qui sont réelles : les arêtes du tétraèdre formé par les points coniques et 3 autres droites, qui sont coplanaires.

Une première transformation projective permet de "voir" les 9 droites à distance finie :

**Forme 2**  
Le changement de coordonnées défini

$$\begin{cases} X_1 = X \\ X_2 = Y \\ X_3 = Z \\ kX_4 = T - (X + Y + Z) \end{cases}$$

par

donne l'

Équation homogène 2 :

$$(X + Y + Z - T)(XY + YZ + ZX) = kXYZ$$

Les points coniques sont

$$A_1(1,0,0,1), A_2(0,1,0,1), A_3(0,0,1,1), A_4(0,0,0,1)$$

Les 9 droites sont les 6 arêtes du tétraèdre formé par les points coniques, plus

$$\Delta_1 : \begin{cases} T = (1-k)X \\ Y + Z = 0 \end{cases} \quad \Delta_2 : \begin{cases} T = (1-k)Y \\ X + Z = 0 \end{cases}$$

$$\Delta_3 : \begin{cases} T = (1-k)Z \\ X + Y = 0 \end{cases}$$

Équation cartésienne affine associée :

$$(x + y + z - a)(xy + yz + zx) = kxyz$$

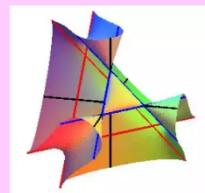
Les points coniques sont

$$A_1(a,0,0), A_2(0,a,0), A_3(0,0,a), A_4(0,0,0)$$

Les 9 droites sont les 6 arêtes du tétraèdre des points coniques, plus :

$$\Delta_1 : \begin{cases} x = a/(1-k) \\ y + z = 0 \end{cases} \quad \Delta_2 : \begin{cases} y = a/(1-k) \\ x + z = 0 \end{cases}$$

$$\Delta_3 : \begin{cases} z = a/(1-k) \\ x + y = 0 \end{cases}$$



Les axes du repère sont en noir, les trois autres arêtes du tétraèdre en bleu, et les 3 droites  $\Delta_i$  en rouge.

Nous avons choisi ici  $k = 2$  (pour  $k = 1$  les droites  $\Delta_i$  sont rejetées à l'infini).

Dans ce cas, on montre que la surface de Cayley est le lieu des points dont les projections sur les quatre plans-faces du tétraèdre des points coniques sont coplanaires. C'est en quelque sorte la généralisation à l'espace du problème du lieu des points dont les projections sur les côtés du triangle sont alignés, lieu qui est, lui, le cercle circonscrit au triangle (cf. [droite de Simson](#)).

Une deuxième transformation projective permet d'obtenir une vue affine où la surface est invariante par les 24 isométries du tétraèdre régulier (mais 3 des 9 droites sont rejetées à l'infini) :

**Forme 3**  
Le changement de coordonnées défini

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ T \end{bmatrix}$$

par

donne l'

$$\text{Équation homogène 3 : } (X^2 + Y^2 + Z^2)T + 2XYZ = T^3$$

Les points coniques sont

$$A_1(-1,1,1,1), A_2(1,-1,1,1), A_3(1,1,-1,1), A_4(-1,-1,-1,1)$$

Les neuf droites sont les 6 arêtes du tétraèdre et

$$\Delta_1 : X = T = 0, \Delta_2 : Y = T = 0, \Delta_3 : Z = T = 0$$

Équation cartésienne affine associée :

$$2xyz + a(x^2 + y^2 + z^2) = a^3$$

(voir à [surface du sinus](#) une paramétrisation simple)

Les points coniques sont

$$A_1(-1,1,1), A_2(1,-1,1), A_3(1,1,-1), A_4(-1,-1,-1)$$

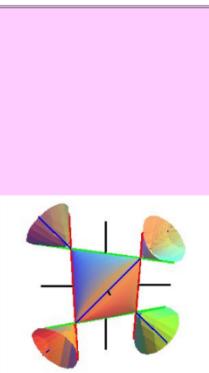
formant un tétraèdre régulier dont les 6 arêtes sont les droites  $D_\eta$  (les droites  $\Delta_i$  sont rejetées à l'infini dans ce modèle).

La rotation d'un huitième de tour définie par  $x := \frac{x+y}{\sqrt{2}}, y := \frac{x-y}{\sqrt{2}}$  donne pour équation cartésienne :  $(x^2 - y^2)z + a(x^2 + y^2 + z^2) = a^3$ , se simplifiant en

$$\frac{x^2 - y^2}{a-z} + \frac{y^2}{a+z} = a$$

$$\frac{\pi^2 a^3}{2}$$

Le volume de la partie tétraédrique vaut  $\frac{\pi^2 a^3}{2}$ .  
Sous cette forme, la surface de Cayley est une [surface tétraédrique de Goursat](#).



Vue avec les 3 axes de coordonnées (en noir) et les 6 droites incluses.

9. 证明： $\alpha$ 族解为  $x+3z = \alpha(1+y)$

$$\alpha(x-3z) = 1-y$$

消去  $z$  得到在  $\mathbb{R}^3$  上面上的族为

$$2\alpha x + (1-\alpha^2)y = \alpha^2 + 1$$

$$\text{即 } \frac{2\alpha}{1+\alpha^2}x + \frac{1-\alpha^2}{1+\alpha^2}y = 1 \quad \textcircled{1}$$

又其图形为  ~~$x^2 + y^2 = 1$~~   $\textcircled{2}$

$$\textcircled{1} \text{ 中 } \left(\frac{2\alpha}{1+\alpha^2}\right)^2 + \left(\frac{1-\alpha^2}{1+\alpha^2}\right)^2 = 1$$

易知  $\textcircled{1}$  是  $\textcircled{2}$  的切线，证毕

### 3.4 节

### 3.4 二项曲面

1. 解：设所求平面为  $Ay+Bz=0$ . 联立椭球面方程，得

$$\begin{cases} Ay+Bz=0 \\ \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \end{cases}$$

①  $A=0$  时，显然不满足要求  
②  $A \neq 0$  时，有  $\frac{x^2}{a^2} + (\frac{B}{A} - \frac{1}{c^2})z^2 = 1$   
显然  $\frac{1}{A^2} = \frac{B^2}{A^2b^2} + \frac{1}{c^2}$ .

所求平面为  $y = \pm \sqrt{(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{c^2})b^2} z$

2. 解：由题  $(x+4)^2 + y^2 + z^2 = 4[x-2]^2 + y^2 + z^2$

得  $3x^2 + 3y^2 + 3z^2 - 24x = 0$ .

3. 解：设所求椭圆为  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$ . 由题设得

$$\frac{x^2}{9} + \frac{y^2}{16} + \frac{z^2}{36} = 1$$

4. 解： $\frac{x^2}{9} = \frac{z^2}{9}$ , 即  $\frac{x}{z} = \pm 1$ , 为两条双曲线

5. 解： $(1-k^2)x^2 + y^2 = 1$ .

形状为圆， $k=0$ .

$$\begin{cases} 椭圆, -1 < k < 1 \\ 两条双曲线, k=\pm 1 \\ 双曲线, |k| > 1 \end{cases}$$

6. 解：(1) 双叶抛物面，讨论略。 (2)  $\begin{cases} z = kx \\ x = k \end{cases}$  利用平行消元法，  
如直纹面，讨论略  
(3) 单叶双曲面，讨论略 (4) 双叶双曲面，讨论略。

7. 解： $A, B, C > \lambda$  时为椭球面  $\lambda = C$  时为

$A > B > C$  时为单叶双曲面

$A > \lambda > B > C$  时为双叶双曲面

$\lambda > A, B, C$  时不存在图形

8. 解： $\lambda > 9$ , 不存在;  $\lambda = 9$ , 不存在;  $9 > \lambda > 4$ , 双叶双曲面;

$\lambda = 4$ , 椭圆柱面;  $4 > \lambda > 1$ , 单叶双曲面;  $\lambda = 1$ , 椭圆柱面;

$\lambda < 1$ , 椭圆球面。

9. 解：设其方程为  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2x$ , 代入两点坐标解得

$$\frac{3}{5}z^2 + \frac{18}{5}y^2 = x.$$

10. 解：显然为  $x=12$  或  $y=3$

11. 略

12. 证明：显然有  $P(1\lambda, 1\mu, 1\nu)$ . 我们原方程整理可得证.

13. 解： $\sqrt{(x-1)^2 + y^2 + z^2} = \frac{1}{2}|x-4|$ . 即

$$3x^2 + 4y^2 + 4z^2 - 12 = 0.$$

14. 解：物理， $3x^2 - y^2 - z^2 - 12 = 0$ .

15. 解：不妨设定直线为  $x=y=0$ . 考虑  $(a, b, c)$ . 则由题

$$\sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2} = \lambda \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\text{整理得}, (1-\lambda^2)x^2 + (1-\lambda^2)y^2 + z^2 - 2ax - 2by - 2cz + a^2 + b^2 + c^2 = 0.$$

从而

$|\lambda| < 1$  时，椭球面.

$\lambda = 1$  时，椭圆抛物面.

$\lambda > 1$  时，双叶双曲面.

注：该圆锥曲线属高维几何.

### 3.3 节

### 3.3 離圓面和旋轉曲面

1. 离圆面：在取离圆面上一点，从  $(x_1, y_1, z_1)$  旋转成以  $(x, y, z)$  为圆心的圆。

从  $(x_1, y_1, z_1)$ , 则

$$\frac{x_1 - 0}{x - 0} = \frac{y_1 - 0}{y - 0} = \frac{z_1 - 0}{z - 0} \quad \text{令圆心为 } (x, y, z), \text{ 则}$$

$x = xt, y = yt, z = zt$  将其代入圆的方程，并消去参数  $t$ ，

整理得所求圆面方程为  $36x^2 + 9y^2 - 4z^2 = 0$ 。

(2) 同理，所求圆面方程为  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0$ 。

(3) 同理，所求曲面方程为  $F\left(\frac{hx}{z}, \frac{hy}{z}\right) = 0$ 。

(4) 先讨论当  $x=y=z$  为圆锥面的轴时

取圆锥面上一点  $M(x, y, z)$ ，该点离原点  $O(0, 0, 0)$  在上一点  $B(a, a, a)$

令  $\overrightarrow{OM} \cdot \overrightarrow{OB} = |\overrightarrow{OM}| \cdot |\overrightarrow{OB}| \cos \alpha$ 。

再在圆锥上一点  $A(1, 0, 1)$  为圆锥面上一点，则得以下两个方程：

$$(x, y, z) \cdot (a, a, a) = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \cdot a\sqrt{3} \cdot \cos \alpha$$

$$(0, 0, 1) \cdot (a, a, a) = \sqrt{3} \cdot a\sqrt{3} \cdot \cos \alpha$$

解得所求圆锥面方程为  $xy + yz + xz = 0$ 。

同理得其余情况下的方程为  $xy - yz + xz = 0$  或  $xy - yz - xz = 0$ 。

或  $xy + yz - xz = 0$ 。

(15) 同理, 所求曲面方程为  $x^2 + 13y^2 + 25z^2 - 10xy - 30yz + 22xz + 4x - 4y + 4z - 4 = 0$ .  
Ch082.95.2113.8

(16) ~~同理, 所求曲面方程为?~~

(17) 其曲面方程为  $x=y=z$ . 且由题得

$$(1, 2, 1)(1, 1, 1) = \sqrt{1^2 + 2^2 + 1^2} \cdot \sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2} \cdot \cos \alpha. \text{ 知 } \cos \alpha = \frac{6}{7}$$

由第78页第7题结论 得所求曲面方程为

$$(x+yz)^2 = \frac{6}{7} (1^2 + 1^2 + 1^2) (x^2 + y^2 + z^2)$$

$$\text{即 } 11x^2 + 11y^2 + 11z^2 - 14xy - 14xz - 14yz = 0.$$

2. 解: (1) 由题3.3.1 其侧面为锥面 ~~方程~~, 且是圆锥面 ~~方程~~.

其顶点为  $(0, 0, 0)$ .

(2) ~~由题3.3.1 其侧面为锥面 ~~方程~~, 且是圆锥面 ~~方程~~~~

$$(x+z-x)^2 = 1$$

由原方程的形态, 利用  $x=x'+a$  的线性变换将其化成一个新方程,  
为此, 令  $y+z-x-1=0$ .

$$\begin{cases} z+x-y-1=0 \\ x+y-z-1=0 \end{cases} \text{解得 } x=y=z=1. \text{ 则}$$

$\therefore x'=x-1, y'=y-1, z'=z-1$ , 代入原方程整理得

$(y'+z'-x')^2 = (z'+x'-y')^2 (x'+y'-z')$  由于这样而变换不改变曲面  
的形状, 因此原方程为锥面方程, 其顶点为  $(1, 1, 1)$

证明：整理方程，得  $x^2 + y^2 + z^2 - 2xy - 2yz - 2xz = 0$ .

显然其为一个椭圆方程且原点是其顶点。

再整理得  $(x+y+z)^2 = (\frac{16}{3})^2 (1^2 + 1^2 + 1^2) / (x^2 + y^2 + z^2)$ .

由 P18 页第 7 题知， $\sqrt{x} + \sqrt{y} - \sqrt{z} = 0$  表示一个椭圆角为  $\arccos \frac{16}{3}$  的圆锥面。

$$1) \frac{(y-1)^2}{b^2} + \frac{x^2 + z^2}{c^2} = 1 \quad 2) z - \tan(x^2 + y^2) = 0$$

$$3) 4(x-1)^2 + y^2 + z^2 = 0 \quad (4) \text{ 设 } x = \frac{1}{3}(t-2), y = \frac{1}{2}(t+1), z = t.$$

得该椭圆方程为

$$\begin{cases} x = \sqrt{\frac{(t-2)^2}{9} + \frac{(t+1)^2}{4}} \cos \theta \\ y = \sqrt{\frac{(t-2)^2}{9} + \frac{(t+1)^2}{4}} \sin \theta \end{cases}$$

$\theta = \pi$ .

$$\text{得 } x^2 + y^2 = \frac{(z-2)^2}{9} + \frac{(z+1)^2}{4}$$

同理得，故得圆锥面方程

(6) 圆锥面上一点从  $(x', y', z')$ .

$$\begin{aligned} & 5x^2 + 5y^2 + 2z^2 + 2xy + 4xz + 4yz \\ & + 4x - 4y - 4z - 6 = 0. \end{aligned}$$

$$\text{则 } x'^2 + y'^2 + z'^2 = x^2 + y^2 + z^2.$$

$$(x-x', y-y', z-z')(1, 2, 1) = 0.$$

$$\begin{cases} x'^2 = y \\ x' + z' = 0 \end{cases}$$

消去  $x', y', z'$  得

$$3x^2 + 3y^2 - 4xy - 2xz - 4yz - 4x - 8y - 4z = 0.$$

5. 解: 得  $\frac{x^2+y^2}{9-\lambda} + \frac{z^2}{4-\lambda} = 1$

其形状为  $\begin{cases} \text{椭球面}, & \lambda < 4; \\ \text{单叶双曲面}, & 4 < \lambda < 9 \\ (\text{不存在}), & \lambda > 9 \end{cases}$

(2) 承  $(x, y, z) = (at, b, t)$ .

得旋转参数方程为  $(x, y, z) = h(\sqrt{at^2+b^2}\cos\theta, \sqrt{at^2+b^2}\sin\theta, t)$ .

即  $x^2 + y^2 - a^2 z^2 - b^2 = 0$ . 证毕.

6. 证明: 由题得  $4x^2 - 9(y^2 + z^2) = 36$ .

可取母成为  $\begin{cases} 4x^2 - 9y^2 = 36, \\ z \geq 0 \end{cases}$ , 轴为  $x$  轴, 故其为单叶双曲面.

7. 证明：设任一点  $(m, n, p)$  固锥面上一点  $(x, y, z)$ .  
则由共轭为义，得

$$\frac{(x, y, z)(m, n, p)}{\sqrt{m^2+n^2+p^2}\sqrt{x^2+y^2+z^2}} = \cos \alpha.$$

$$\text{整理即得，为 } (mx+ny+pz)^2 = \cos^2(m^2+n^2+p^2)(x^2+y^2+z^2)$$

8. 解：(1) 柱面. 说明：对任一满足行程的点  $(x_0, y_0, z_0)$  都必然会有

$(x_0+t, y_0, z_0+t)$  满足行程，由此得直角线

$$\begin{cases} kx - z - kx_0 + z_0 = 0 \\ y = y_0 \end{cases} \quad \text{之所以解会形成一条直线}$$

因是直角线，又由于本节讨论代数曲面，故所得解是连续的，可构成连绵的图形，称为柱面。

(2) 锥面. 说明：对任一  $(x_0, y_0, z_0)$  满足行程，都有  $(tx_0, ty_0, tz_0)$  满足行程，又由于是代数曲面，故为锥面。

(3) 柱面. 说明：同(1)中理， $(x_0, y_0, z_0)$  解张为直角解

$$x - x_0 = \frac{y - y_0}{a} = \frac{z - z_0}{b}.$$

(4) 锥面. 说明略。

### ~~3.2 柱面的投影曲线~~

1. ~~单柱面~~, ~~图~~

单圆柱面, 图形如图所示

(2) 双圆柱面, 图形如下

(3) 抛物柱面, 图形如下

(4) 抛物柱面, 图形如下

(5) 平面, 图形略.

(6) 两个垂直的平面, 图形略.

(7) 两个垂直的平面, 图形略

(8) 三个互相垂直的平面, 图形略.

2. 解: 1)  $z^2 + 4z - 4y = 0$   
 $x^2 + z^2 = 0$

2. 解: 1)  $y - z^2 + 4y + 4z = 0$     2)  $x^2 - x + y^2 + 1 = 0$     3)  $x^2 - 2x - 2z^2 + 6z - 3 = 0$   
 $\begin{cases} x^2 + z^2 = 0 \\ x^2 - 4z = 0 \\ x^2 + 4y = 0 \end{cases}$      $\begin{cases} z - x - 1 = 0 \\ z^2 - 3z + y^2 + 1 = 0 \end{cases}$      $\begin{cases} y - z + 1 = 0 \\ x^2 - 2x + y^2 + 2y + 1 = 0 \end{cases}$

4)  $x - z - 3 = 0$ .    5)  $\begin{cases} z^2 + x - 1 = 0 \\ 2y + 7z - 2 = 0 \\ 7x + 2y - 18 = 0 \end{cases}$

3. 解:  $\begin{cases} x^2 + y^2 + z^2 = 1 \\ x^2 + y^2 = 2z \end{cases}$  通过  $(x^2 + y^2)$ , 得  $z^2 + 2z = 1$ . 解得  $z = -1 \pm \sqrt{2}$ . 代入方程中, 得  
 $x^2 + y^2 = -2 \pm 2\sqrt{2}$ , 由于  $x^2 + y^2 \geq 0$ , 故  $x^2 + y^2 = -2 + 2\sqrt{2}$ ,  
知曲线方程为  $\begin{cases} x^2 + y^2 = 2(\sqrt{2} - 1) \\ z = \sqrt{2} - 1 \end{cases}$  其形状为一个半径  $r = \sqrt{2(\sqrt{2} - 1)}$  的圆.

4. 解: 通过方程组, 得

$\begin{cases} (z-2)^2 = 4(y+1) \\ x^2 = -4y \end{cases}$  知其图形为一个在  $x_0y$  平面和  $z_0y$  平面上的椭圆柱状平行  
 根据曲线的方程, 其横截面为抛物线.

两个

Ch082.95.2013.8

典例

5. 解: (1) 设  $M_0(x_0, y_0, z_0)$  为 P<sub>1</sub> 上一点, 则  
 椭面上的点有  $x = x_0 - t - 1, y = y_0, z = z_0$ .  
 且  $\begin{cases} (x_0-1)^2 + (y_0+3)^2 + (z_0-2)^2 = 25 \\ x_0 + y_0 + z_0 + 2 = 0 \end{cases}$  ①

消去  $x_0, y_0, z_0$ , 得  $\begin{cases} (x+t)^2 + (y+3)^2 + (z-2)^2 = 25 \\ x + y - z + t + 3 = 0 \end{cases}$

消去参数 t, 得  $(z-y-3)^2 + (y+3)^2 + (z-2)^2 = 25$

(2) 设  $M_0(x_0, y_0, z_0)$  为 P<sub>2</sub> 上一点, 由直线的方向向量为  $(0, 1, 1)$  得  
 椭面上的点有  $x = x_0, y = y_0 + t, z = z_0 + t$ .  
 且满足①式,  
 消去  $x_0, y_0, z_0$ , 得  $\begin{cases} (x-1)^2 + (y-t+3)^2 + (z-t-2)^2 = 25 \\ x + y - z + 2 = 0 \end{cases}$

消去参数 t, 得  
 无视参数 t, 得  $x + y - z + 2 = 0$ .

(3) 设  $M_0(x_0, y_0, z_0)$  为 P<sub>3</sub> 上一点, 则  
 椭面上的点有  $x = x_0 - t, y = y_0 + t, z = z_0 + t$ .  
 且  $\begin{cases} x_0^2 + y_0^2 - z_0 + 1 = 0 \\ 2x_0^2 + 2y_0^2 + z_0 - 4 = 0 \end{cases}$

消去  $x_0, y_0, z_0$ , 得  $\begin{cases} (x+t)^2 + (y-t)^2 - z + t + 1 = 0 \\ 2(x+t)^2 + 2(y-t)^2 + z - t - 4 = 0 \end{cases}$

消去参数 t, 得  $(x+z-2)^2 + (y-z+2)^2 - 1 = 0$ .

4) 求准线所过之点,  $A(0, 0, 0)$ ,  $B(2, 1, 1)$ ,  $C(2, -1, 1)$ .

其法向量  $\vec{u} = \vec{AB} \times \vec{AC} = (-1, 0, 2)$ , ( $\lambda = \frac{1}{2}$ ).

设从  $(x_0, y_0, z_0)$  在准线上, 则对所有~~该~~面上的点有

$$x = x_0 - t, y = y_0, z = z_0 + 2t.$$

且  $x_0 = y_0^2 + z_0^2 = 2z_0$ .

消去  $x_0, y_0, z_0$ , 得  $x + t = y^2 + (z - 2t)^2 = 2(z - 2t)$

消去参数  $t$ , 得 ~~2y^2 + (z + 2x)^2 - 20x - 10z = 0~~.

b) 知  $d=1$ , 而到轴的距离  $d = \frac{\sqrt{14}}{3}$ , 故圆柱面半径为  $r = \frac{\sqrt{14}}{3}$

由定理 2.3.2, 得圆柱面方程

$$2x^2 + \frac{1}{4}y^2 + \frac{1}{4}z^2 + xy - 2xz - 2yz - 2x - \frac{1}{2}y - \frac{1}{2}z - \frac{39}{4} = 0.$$

即  $(2y - 2z)^2 + (z + 2x - 1)^2 + (2x + y + 1)^2 = 41$ .

(2) 因为对称轴上点  $(x, y, z)$  到原点的距离相等，所以

Ch082.95.2013.8

$$|(x, y, z) \times (1, 1, 1)| = |(x+1, y, z-1) \times (1, 1, 1)| = |(x, y+1, z-2) \times (1, 1, 1)|.$$

化简得对称轴方程为  $x = y + 2 = z - 1$ ，圆柱面上的点到对称轴的距离等于对称轴上点  $(0, -2, 1)$  到直线  $x = y = z$  的距离，故

$$|(0, -2, 1) \times (1, 1, 1)| = |(x, y+2, z-1) \times (1, 1, 1)| \text{ 即}$$

$$(z-y-3)^2 + (x-z+1)^2 + (y-x+2)^2 = 14$$

于是圆柱面方程为

答案有误，大家自己看着办

$$x^2 + y^2 + z^2 - xy - yz - xz - x + 5y - 4z = 0.$$

(3) 圆柱面平行  $z$  轴，其方程即为  $(x-1)^2 + (y-1)^2 = 2$ .

(4) 圆柱面平行  $z$  轴，故该所求圆柱面方程为

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = t^2.$$

代入  $(0, 0), (4, 2), (6, -3)$  三个点解得

$$(x-\frac{11}{3})^2 + (y+\frac{1}{3})^2 = \frac{34}{3}$$

(5) 圆柱面平行  $z$  轴，同理可得

$$(x+4)^2 + (y-3)^2 = 25$$

7. 证明：由定理 3.2.2 圆柱面方程为

$$(py-nz)^2 + (qx-mz)^2 + (hx-my)^2 = f^2 (m^2 + n^2 + p^2).$$

展开即证得

### 3.1 圆与空间曲线

1. 解：整理得  $(x+1)^2 + y^2 + (z-2)^2 = 3^2$ . 和

圆心  $(-1, 0, 2)$ , 半径  $r=3$

2. 解：(1) 知道  $r=3$

$$(2) r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = \sqrt{3}$$

$$\theta = \arccos \frac{z}{r} = \arccos \frac{\sqrt{3}}{3} \text{ 和柱面坐标 } (r, \theta, \phi) = (\sqrt{3}, \frac{\pi}{4}, \arccos \frac{\sqrt{3}}{3})$$

$$y = r \sin \theta = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{2}$$

$$y = r \sin \theta = \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ 和柱面坐标 } (r, \theta, z) = (\sqrt{2}, \frac{\pi}{4}, 1).$$

$$z = \sqrt{3} = 1$$

3. 解

$$\begin{cases} x = a \cos \varphi \\ y = a \cdot \sin \varphi \\ z = z_0 \end{cases} \quad \begin{cases} x = a \cos \omega t \\ y = a \sin \omega t \\ z = vt \end{cases}$$

$$y = vt$$

$$z_0 \neq vt$$

4. 解：椭圆曲线，证明略

5. 解：(1) 原点至平面  $x+y+z-3=0$  的距离

$$d = \sqrt{3} \text{, 则所求圆的半径 } r = \sqrt{4 - d^2} = 1.$$

易得过原点且与平面  $x+y+z-3=0$  垂直为

$$x=y=z.$$

该平面方程得圆心坐标  $(1, 1, 1)$ .

(2) 对原方程由

$$\begin{cases} x^2 + y^2 + z^2 = 5 \\ x^2 + y^2 + z^2 + x + 2y + 3z - 7 = 0 \end{cases} \quad ①$$

$$\begin{cases} x^2 + y^2 + z^2 = 5 \\ x + 2y + 3z - 2 = 0 \end{cases} \quad ②, \quad ② - ① \text{ 得}$$

$$\begin{cases} x^2 + y^2 + z^2 = 5 \\ x + 2y + 3z - 2 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x^2 + y^2 + z^2 = 5 \\ x + 2y + 3z - 2 = 0 \end{cases}$$

同(1)理可得半径  $r = \frac{4}{7}\sqrt{14}$ .

$$\text{圆心坐标} = \left(\frac{1}{7}, \frac{2}{7}, \frac{3}{7}\right).$$

令  $t=0$ , 得坐标  $(0, 0, 0)$ .

令  $t=1$ , 得坐标  $(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3})$

令  $t=-1$ , 得坐标  $(-\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, -\frac{1}{3})$ .

该曲线三焦点的椭圆方程为  $\Gamma$ . 其圆心为  $(x_0, y_0, z_0)$ .

$$\text{令 } (\frac{1}{3} - x_0)^2 + (\frac{1}{3} - y_0)^2 + (\frac{1}{3} - z_0)^2 = (-\frac{1}{3} - x_0)^2 + (\frac{1}{3} - y_0)^2 + (-\frac{1}{3} - z_0)^2 \\ = x_0^2 + y_0^2 + z_0^2.$$

解得  $(x_0, y_0, z_0) = (0, \frac{1}{2}, 0)$ . 半径  $r = \frac{1}{2}$ .

$$\text{而 } \left(\frac{x}{1+r+r^2}\right)^2 + \left(\frac{y}{1+r+r^2} - \frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{z}{1+r+r^2}\right)^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \text{ 成立.}$$

则曲线在  $xy$  平面上的椭圆方程为  $x^2 + (y - \frac{1}{2})^2 + z^2 = (\frac{1}{2})^2$

7. 证明：由题， $(\sqrt{x^2+y^2}-a)^2+z^2=b^2$ .

Ch082.95.2013.8

则由第75页表3.2得：

面 $(\sqrt{x^2+y^2}-a)^2+z^2=b^2$ 可由 $\begin{cases} (y-a)^2+z^2=b^2 \\ x=0 \end{cases}$ 绕 $x$ 轴旋转得到。  
故其为一个环面。其环面方程为 $(\sqrt{x^2+y^2}-a)^2+z^2=b^2$ .

8. 解：

$$\begin{cases} x=t \\ y=1-t \end{cases}$$

$$z=\sqrt{\frac{9}{4}-t^2-(1-t)^2}$$

9. 解：(补平面)  $x-y-3z+1=0$  距离 $d=\frac{|b|}{\sqrt{14}}$

故球体方程为 $(x-3)^2+(y+5)^2+(z-2)^2=\frac{128}{7}$

9. 证明：由前面定理2.3.2，只要证 $l_1 \parallel l_2$ ，只需证 $l_1 \parallel l_2$ 时成立。

若 $l_1 \parallel l_2$ ，此时不妨设 $x=\frac{a}{d}, y=\frac{b}{d}, z=\frac{c}{d}$ .

此时把方程转化为 $A/a+b/b+c/c+d/d=0$ .

当 $d>0$ 时， $l_1 \parallel l_2$ ，此时转化为前面定理2.3.2相同的结论。

故 $l_1 \parallel l_2$ 。

## 2.6 节

## 2.6 平面束

1. 证明：假设方程为  $\frac{x_2}{-1} = \frac{y-1}{4} = \frac{z}{3}$ , 则  $\begin{cases} \frac{x_2}{-1} = \frac{y-1}{4} \\ \frac{x_2}{-1} = \frac{z}{3} \end{cases}$  代入平面方程则得如

$$\frac{x_2}{-1} = \frac{y-1}{4},$$

恒满足平面方程，即在平面上。

2. 解：假设该平面为  $\mu(4x-y+3z-1) + \lambda(x+5y-2z+2) = 0$ .

$$\text{即 } (4\mu+1)x + (-\mu+5\lambda)y + (3\mu-\lambda)z + (-\mu+2\lambda) = 0.$$

$$\text{令 } (4\mu+1, -\mu+5\lambda, 3\mu-\lambda) \cdot (0, 1, 0) = 0.$$

$$\text{得 } 5\lambda = \mu. \text{ 得该方程为 } 21x+14y-3=0.$$

$$(2) 同理，令  $(4\mu+1, -\mu+5\lambda, 3\mu-\lambda) \cdot (2, -1, 5) = 0$ .$$

$$\text{得该方程为 } 7x+14y+5=0.$$

3. 解：(1) 该平面方程为  $\mu\left(\frac{x+1}{2} - \frac{y}{-1}\right) + \lambda\left(\frac{y}{-1} - \frac{z-2}{3}\right) = 0$ .

$$\text{则 } \mu = \frac{6}{-1} - \frac{-1-2}{3} = 1$$

$$\lambda = -\left(\frac{2+1}{3} - \frac{0}{-1}\right) = -1$$

$$\text{得平面 } 3x+12y+2z-1=0.$$

(2) 该平面方程为  $\mu(-5x-y+7) + \lambda(-x-z+1) = 0$ .

$$\text{其法向量 } \vec{n} \cdot [(2, -1, -1) \times (1, 2, -1)] = 0.$$

$$\text{得平面方程 } -3x-y+2z+5=0.$$

(3) 同理，该平面方程为  $\mu(-3x-2y-1) + \lambda(-x-z+1) = 0$ .

$$\text{其法向量 } \vec{n} \cdot (3, 2, -1) = 0.$$

4. 解：得平面方程为  $-x+8y+13z-9=0$ .

① 该平面方程为  $x-2y+3z+c=0$ . ( $c \neq -4$ ).

(1) 代入  $(0, -3, 0)$  得  $x-2y+3z-6=0$ .

$$(2) d_{\text{max}} = |c| / \sqrt{1^2 + (-2)^2 + 3^2} = 1.$$

$$\text{得 } x-2y+3z \pm \sqrt{14} = 0.$$

5. 解：设所求平面为  $x+3y+2z=D$ .

其在  $x$  轴、 $y$  轴、 $z$  轴上的距离分别为  $D, \frac{D}{3}, \frac{D}{2}$ .

$$V = |D| \cdot |\frac{D}{3}| \cdot |\frac{D}{2}| \cdot \frac{1}{3} = 6. \text{ 解得 } D = \pm 3\sqrt[3]{4}$$

则所求平面方程为  $x+3y+2z \pm 3\sqrt[3]{4} = 0$ .

6. 解：设  $x$  轴系数为  $\lambda$ ， $y$  轴系数为  $\mu$ ， $z$  轴系数为  $\nu$ ，即

$$1+\lambda=3-\lambda, \text{ 得 } \lambda=1, \text{ 平面 } 2x+2y-2z+9=0.$$

7. 解：设所求平面为  $\mu(x+1)+\lambda(-3y-2z-6)=0$ .

$$\text{令 } d_{xy}=\lambda=3, \text{ 则 } (5\mu+1)^2 = 3^2 \cdot [\mu^2 + (3\lambda)^2 + (2\lambda)^2]$$

$$\text{解得 } \mu=\lambda=8 \text{ 或 } -\frac{34}{7}, (-65+18\sqrt{77})/16 \text{ 或 } (-65-18\sqrt{77})/16$$

则所求平面为  $8x+3y+2z+2=0$ .

$$\text{或 } 34x+21y+14z+76=0.$$

$$\text{设两个相似平面 } 3x-21y-14z-39=0.$$

$$\text{或 } 54x-21y-14z+12=0.$$

注：我也很无奈啊！

8. 解：设平面 I:  $\mu(2x-4y+z)+\lambda(3x-y-9)=0$ .

$$\text{令 } I \perp II, \text{ 解得 } I: x+3y-z-9=0.$$

$$\text{则所求直线方程为 } \begin{cases} x+3y-z-9=0 \\ 4x-y+z-1=0. \end{cases}$$

9. 证明：由平面几何 2.3.2 知要证垂直成立，只需证  $l_1 \parallel l_2$  即可。

若  $l_1 \parallel l_2$ ，此时不妨设  $x = \frac{a}{d}, y = \frac{b}{d}, z = \frac{c}{d}$ .

此时把该方程转化为  $A/x + B/y + C/z + D/d = 0$ .

当  $d=0$  时， $l_1 \parallel l_2$ . 此时转化为与定理 2.3.2 相同的情形。

故垂直成立。

## 2.4 节

### 2.4 点到平面的距离

$$1. (1) d = \frac{20}{11}\sqrt{2} \quad (2) d = \sqrt{6}$$

2. 证明：由点到平面距离公式，

$$d = \frac{|x+1|}{\sqrt{\left(\frac{1}{a}\right)^2 + \left(\frac{1}{b}\right)^2 + \left(\frac{1}{c}\right)^2}}, \text{整理即得所证。}$$

3. 解：虽然平面  $x+1=0$  不满足条件，则设过直线  $\frac{x+1}{0} = \frac{y+2}{3} = \frac{z+1}{2}$  的平面为

$$(1)x+1+m(3y+2z+2)=0.$$

$$\text{即 } x+3my+2mz+2m+1=0.$$

由点到平面距离公式，得

$$3^2 = \frac{(4+3m+4m+2m+1)^2}{[1+(3m)^2+(2m)^2]}$$

$$\text{解得 } m = -\frac{1}{6} \text{ 或 } \frac{8}{3}$$

所以所求平面方程为  $3x+4y+16z+19=0$ .

$$\text{或 } 3x-y-2z+2=0.$$

$$4. (1) d=0 \quad (2) d = \frac{15}{4}\sqrt{41} \quad (3) d=0.$$

5. 解：(1) 证明：由定理2.4.2，得公垂线段长  $d = \frac{3}{122}\sqrt{122}$ . Ch082.95.2013.8  
 所以两直角平面，同时其公垂线方程为

$$\left\{ \begin{array}{l} \begin{vmatrix} x-1 & y & z \\ 1 & -3 & 3 \\ 3 & 8 & 7 \end{vmatrix} = 0, \\ \begin{vmatrix} x & y & z \\ 2 & 1 & -2 \\ 3 & 8 & 7 \end{vmatrix} = 0 \end{array} \right. \text{即 } \left\{ \begin{array}{l} -45x + 2y + 17z + 45 = 0, \\ 23x - 20y + 13z = 0 \end{array} \right.$$

(2) 证明：同理可得其公垂线段长  $d = \sqrt{14}$ .

所以两直角平面，其公垂线方程为

$$\left\{ \begin{array}{l} \begin{vmatrix} x+2 & y & z-2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 5 & -2 & 5 \end{vmatrix} = 0 \\ \begin{vmatrix} x-3 & y+2 & z-7 \\ 1 & 5 & 1 \\ 5 & -2 & 5 \end{vmatrix} = 0 \end{array} \right. \text{即 } \left\{ \begin{array}{l} x + 5y + z = 0, \\ x - z + 4 = 0. \end{array} \right.$$

(3) 证明：公垂线段长  $d = \frac{1}{6}$ ，故两直角平面，其公垂线方程为

$$\left\{ \begin{array}{l} x + y + 4z - 1 = 0, \\ x - 2y - 2z + 3 = 0 \end{array} \right.$$

6. (1) 证明：整理方程得  $m(x+y) + n(-z-1) = 0$ .

$m, n$  不为零，若  $x, y$  满足  $\begin{cases} x+y=0 \\ -z-1=0 \end{cases}$ ，则原方程恒成立.

知平面 II 通过直线  $\begin{cases} x+y=0 \\ -z-1=0 \end{cases}$ ，点从  $(0, 0, -1)$  既然在 I, II.

$$(2) l_1: x = -y = \frac{z+1}{0}$$

$$l_1, l_2 \text{ 的判别式 } \Delta = \begin{vmatrix} -1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{vmatrix} = -4 \neq 0$$

知  $l_1, l_2$  异面.

(3) 由定理 2.4.2 得  $l_1$  与  $l_2$  的距离  $d = 2$ .

其立体方程为

$$\left\{ \begin{array}{r} x \quad y \quad z+1 \\ 1 \quad -1 \quad 0 \\ 0 \quad 0 \quad 2 \end{array} \right| = 0$$

$$\begin{cases} x+y=0 \\ x-y=0 \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{r} x-1 \quad y-1 \quad z-1 \\ 1 \quad 1 \quad 0 \\ 0 \quad 0 \quad 2 \end{array} \right| = 0$$

$$\begin{cases} x-y=0 \\ x+z=0 \end{cases}$$

7. 解：过点从 $\alpha$ 到平面 $\beta$ 平行的平面 $\gamma$ 为 $3x-2y+z-6=0$ . Ch082.95.2013.8

过点从 $\alpha$ 到平面 $\beta$ 平行的平面 $\gamma$ 为 $3x-2y+z-13=0$ .

由 $-6 < -4$ ,  $-13 < -4$ , 得从 $\alpha$ 到平面 $\beta$ 同侧.

注：将方程 $(x, y, z)$ 与原方程 $3x-2y+z-a=0$ 对比，若 $a < 0$ , 则该直线与原方程同侧；若 $a > 0$ , 则该直线与原方程异侧.

若平面在平面 $\beta$ 轴方向上方，则其标准方程系数比 $\beta$ 小，反之同理.

8. 解：(1) 解得两个平面：  
①过从 $\alpha$ 到 $\beta_1$ :  $3x-y+2z-9=0$ .

②过从 $\alpha$ 到 $\beta_2$ :  $x-2y-z-3=0$ .

③过从 $\alpha$ 到 $\beta_3$ :  $3x-2y+2z+5=0$ .

④过从 $\alpha$ 到 $\beta_4$ :  $x-2y-z=0$ .

则由第④题知得从 $\alpha$ 左 $\beta_1$ 上, 在 $\beta_2$ 下.

$\beta_1$ 左 $\beta_2$ 下, 在 $\beta_3$ 下.

由图可知，从 $\alpha$ 到 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 、 $\beta_4$ 的直线都在 $\beta_4$ 内.

(2) 同理可得， $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 在 $\beta_4$ 的面角内.

9. 证：假设有两条公垂线，则他们都与异面直线相交.

所以两垂线确定一个平面 $\alpha$ . 所以四个点共面.

又因为每条异面直线都有两个点在平面 $\alpha$ 上.

所以四条直线都在平面 $\alpha$ 上. 所以四直线共面.

与题设矛盾. 假设不成立.

## 2.3 线、面的位置关系

1. n) 解: 取从 $(-1, 1, 2)$ 处  $\frac{x+1}{3} = \frac{y-1}{3} = \frac{z-2}{3}$

$$\text{取从 } (0, 1, -5) \text{ 处 } \frac{x}{-1} = \frac{y-1}{2} = \frac{z+5}{3}$$

由两已知直线的方向向量分别为  $\vec{u}_1 = (3, 3, 1)$ ,  $\vec{u}_2 = (-1, 2, 3)$ ,  
根据例题 2.3.2,  $(\vec{u}_1, \vec{u}_2, \vec{u}_1 \times \vec{u}_2) = -10 \neq 0$ ,

知两直线异面.

$$12) \text{解: } \begin{cases} x+y+z=0 \\ y+z+1=0 \end{cases} \Leftrightarrow \frac{x+1}{-1} = \frac{y-1}{-1} = \frac{z+2}{1}$$

$$\begin{cases} x+z+1=0 \\ x+y+1=0 \end{cases} \Leftrightarrow \frac{x+1}{-1} = \frac{y}{1} = \frac{z}{-1}$$

同理, 计算三向量的混合积为 3, 知两直线异面.

2. m) 解:  $x$  轴所在直线方程为  $y=z=0$ .

$$\text{联立方程} \quad \begin{cases} A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0 \\ A_2x + B_2y + C_2z + D_2 = 0 \\ 0 \cdot x + 0 \cdot y + z + 0 = 0 \\ 0 \cdot x + y + 0 \cdot z + 0 = 0 \end{cases}$$

~~由例 2.3.2 得所求条件为~~

Ch082 95 2007 11

$$\left| \begin{array}{cccc} A_1 & B_1 & C_1 & D_1 \\ A_2 & B_2 & C_2 & D_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{array} \right| = 0 \quad \text{即} \quad \begin{array}{l} A_1D_2 + A_2D_1 \\ A_1D_2 = A_2D_1 \end{array}$$

(2) 所求直线的方向向量  $\vec{v} = \vec{n}_1 \times \vec{n}_2 = (A_1, B_1, C_1) \times (A_2, B_2, C_2) = (A_1B_2 - A_2B_1, B_1C_2 - B_2C_1, A_2C_1 - A_1C_2)$

得  $\begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_1 & C_1 \\ A_2 & C_2 \end{vmatrix} = 0, \quad \begin{vmatrix} B_1 & C_1 \\ B_2 & C_2 \end{vmatrix} \neq 0.$

直线不与轴重合，只需  $(0, 0, 0)$  不满足直线方程，则  $D_2 = D_1 = 0$  无解。

综上，所求条件为  $\begin{cases} \begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_1 & C_1 \\ A_2 & C_2 \end{vmatrix} = 0, \quad \begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_1 & C_1 \\ A_2 & C_2 \end{vmatrix} \neq 0 \\ \begin{vmatrix} B_1 & C_1 \\ B_2 & C_2 \end{vmatrix} \neq 0 \end{cases}$  或  $\begin{cases} \begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_1 & C_1 \\ A_2 & C_2 \end{vmatrix} \neq 0 \\ \begin{vmatrix} B_1 & C_1 \\ B_2 & C_2 \end{vmatrix} \neq 0 \end{cases}$   
 $D_2 \neq 0 \quad D_1 \neq 0$

(3) 同理可得所求条件为  $\begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_1 & C_1 \\ A_2 & C_2 \end{vmatrix} = D_1 = D_2 = 0$

注：若  $\begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_1 & C_1 \\ A_2 & C_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} B_1 & C_1 \\ B_2 & C_2 \end{vmatrix} \neq 0$ , 则  $\begin{cases} A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0 \\ A_2x + B_2y + C_2z + D_2 = 0 \end{cases}$

不构成直线，两平面平行或重合

3. (1) 解：设所求直线的方向向量为  $\vec{v} = (3, -2, 7)$

所求平面法向量为  $\vec{n} = (4, -3, 7)$

$\vec{v} \cdot \vec{n} \neq 0$ , 且  $\vec{v} \times \vec{n}$ . 则直线与平面相交

(2) 解：由题： $\begin{cases} 5x - 3y + 2z - 5 = 0 \quad \text{施拉默法则,} \\ 2x - y - z - 1 = 0 \\ 4x - 3y + 7z - 7 = 0 \end{cases}$

$$D = \begin{vmatrix} 5 & -3 & 2 \\ 2 & -1 & -1 \\ 4 & -3 & 7 \end{vmatrix} = 0$$

年 月 日 第  
知直线在平面上。

(3) 已知直线的方向向量为  $\vec{u} = (1, -2, 9)$

已知平面法向量为  $\vec{n} = (3, -4, 7)$ .

同(1)中理可得直线上有一点.

解: 由已知得  $\begin{cases} A_1x + B_1y + C_1z = 0 \\ A_2x + B_2y + C_2z = 0 \end{cases}$

$$\begin{array}{|l} A_3x + B_3z \\ \hline \end{array}$$

$$(A_1+A_2)x + (B_1+B_2)y + (C_1+C_2)z = 0$$

由拉默法则,  $D = \begin{vmatrix} A_1 & B_1 & C_1 \\ A_2 & B_2 & C_2 \\ A_3 & B_3 & C_3 \end{vmatrix} = 0$  是必需的,

且既然在直线  $\begin{cases} A_1x + B_1y + C_1z = 0 \\ A_2x + B_2y + C_2z = 0 \end{cases}$  上点必在平面  $(A_1+A_2)x + (B_1+B_2)y + (C_1+C_2)z = 0$  上.

知直线上有

5. (1) 解: 直线的方向向量  $\vec{u}$  为所求平面法向量方程,

$$\text{得 } \vec{u} \cdot \vec{n} = (3, -2, 7) \cdot (3, -2, 7) =$$

$$\text{得 } \vec{u} \cdot \vec{n} = (4, 3, 1) \cdot (k, 3, -5) = 0.$$

得  $k = -1$ , 经检验, 直线不在平面内, 故  $k = -1$  满足题意

(2) 所求平面的方向向量  $\vec{u} = (2, -4, 3)$

为所求平面的法向量  $\vec{n} = (k, m, b)$  平行

即  $(2, -4, 3) = \lambda(k, m, b)$ , 解得  $k = 4, m = -8$

6. 解：设所求直线为  $\ell_2$ ，其方向向量为  $\vec{v}_2 = (8, 7, 1)$ .

则  $\ell_2$  所在平面的法向量  $\vec{n}_1 = \vec{v}_1 \times \vec{v}_2 = (4, -6, 10)$

代入  $\ell_2$  上一点  $(-1, 5, 0)$  得

$\ell_2$  所在平面  $2x - 3y + 5z + 41 = 0$

同理得  $\ell_4, \ell_3$  所在平面  $x - y + z - 17 = 0$

知所求直线为  $\begin{cases} 2x - 3y + 5z + 41 = 0 \\ x - y + z - 17 = 0 \end{cases}$

06 2007.11

7. 解：与例 12.3.3 同理，所求直线为  $\begin{cases} 2x + 4y - 3z - 11 = 0 \\ 13x - 9y + 2z - 50 = 0 \end{cases}$

8. 解：由题设可知：设未知直线的方向向量为  $\vec{v} (x, y, z)$

则  $\ell'$  的方向向量为  $\vec{v}' (1, 5, 3)$ . 平面法向量为  $\vec{n} (2, 1, -3)$ .

所以： $\begin{cases} \vec{v} \cdot \vec{v}' = 0 \\ \vec{v} \cdot \vec{n} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x + 5y + 3z = 0 \\ 2x + y - 3z = 0 \end{cases}$

解得： $x = -2y, z = -y$  所以  $x:y:z = -2:1:-1$

又因为未知直线过  $\ell'$  与平面  $\pi$  的交点  $P$

所以  $\begin{cases} 2x + y - 3z + 1 = 0 \\ x = -2y, z = -y \end{cases}$  所以  $P(1, 0, 1)$

$$\frac{x}{1} = \frac{y+5}{5} = \frac{z+2}{3}$$

所以直线方程为  $\frac{x-1}{2} = \frac{y}{1} = \frac{z-1}{-1}$

9. 解：设所求直线的方向向量为  $\vec{v}$ ，所求平面的法向量为  $\vec{n}$ ，  
所给直线的方向向量为  $\vec{l}_0$

易得  $\vec{l}_0 = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow (1, 0, 0)$  (0, -1, 1)

则  $\vec{l}_0 \cdot \vec{v} = \vec{n} \cdot \vec{v} = 0$ . 得  $\vec{v} = \vec{l}_0 \times \vec{n} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 \end{pmatrix}$ .

取所求直线的一个点  $(1, 1, -1)$  代入，得

所求直线方程为  $\frac{x-1}{-2} = \frac{y-1}{-1} = \frac{z+1}{1}$

10. 解：化  $\vec{l}_0$  为标准方程  $\frac{x}{2} = \frac{y}{4} = \frac{z+1}{5}$ ，  
设所求直线的一个点

设从  $\vec{l}_0$  在  $\vec{n}_0$  上的投影点为  $\vec{n}_0(2t, 4t, \frac{1}{2} + 5t)$ .

$\vec{n}_0 \cdot \vec{l}_0 \cdot (2, 4, 5) = 0$  得  $\vec{n}_0 = (3, 6, 8)$ .

由中点坐标公式得  $\vec{n}_2 = (2, 15, 6)$ .

所求直线方程为  $\frac{x-2}{2} = \frac{y-15}{4} = \frac{z-6}{5}$

11. 证明： $\begin{cases} cy+bx-bc=0 \\ ax-ay-ac=0 \end{cases}$

$$\begin{cases} x=0 \\ ay-ax-ac=0 \\ y=0 \end{cases}$$

其系数行列式  $\begin{vmatrix} 0 & c & b & -bc \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ a & 0 & -a & -ac \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} = abc \neq 0$

由例 2.3.2， $l_1, l_2$  不平行于一点，则  $l_1, l_2$  异面或平行，而毫无疑问， $l_1, l_2$  不平行。

故得证。

95 2007.11

## 2.2 节

$$\text{或 } x = \frac{z}{2} + t\lambda.$$

2.2 直线方程

1. (1) 取所求直线的方向向量即平面的法向量。

$$\vec{n} = \lambda \vec{n}_1 = (6, -3, -5) \text{ 从 } (2, -3, -5).$$

$$\text{得点向量法标准方程 } \frac{x-2}{6} = \frac{y+3}{-3} = \frac{z+5}{-5}$$

(2) 取所求直线的方向向量  $\vec{v} = (x_0, y_0, z_0)$  与已知直线的方向向量。

$$\vec{n}_1 = (1, 1, -1), \vec{n}_2 = (1, -1, 0) \text{ 垂直。}$$

$$\text{所以 } \vec{v}_1 \cdot \vec{n}_1 = \vec{v}_2 \cdot \vec{n}_2 = 0.$$

$$\text{取 } \vec{v} \text{ 的一个解为 } (1, 1, 2). \text{ 又从 } (1, 0, -2),$$

$$\text{得点向量法标准方程 } x-1 = y = \frac{z+2}{2}$$

95 2007.11

(3) 解：设所求直线的方向向量为  $\vec{U} = (x_0, y_0, z_0)$ , 由题,

~~且~~  $\vec{U} = (\cos\alpha, \cos\beta, \cos\gamma) = \left(\frac{1}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2}, -\frac{1}{2}\right)$ .

又从  $(1, -5, 3)$

得直线方向的标准方程为  $x-1 = \frac{y+5}{\sqrt{2}} = \frac{z-3}{-1}$

(4) 解：设所求直线的方向向量为  $\vec{U}_0 = (x_0, y_0, z_0)$ , ~~且~~

已知平面的法向量为  $\vec{n} = (3, -1, 2)$ .

已知直线的方向向量为  $\vec{U} = (4, -2, 1)$ .

~~且~~ 已知直线上的一点  $P_0 = (1, 3, 0)$ . 由题, 得,

~~且~~  $\vec{U}_0 \cdot \vec{n} = 0$ ;

且  $(\vec{P}_0, \vec{U}_0, \vec{U}) = 0$ ; (注: <解书几何> P41. 例题 2.3.2, (2)).

即  $\begin{cases} 3x_0 - y_0 + 2z_0 = 0 \\ \begin{vmatrix} 1 & 3 & 0 \\ 0 & 3 & 2 \\ 4 & -2 & 1 \end{vmatrix} = 0 \end{cases}$  求直角-直解  $(-4, 50, 31)$

得直线方向的标准方程为  $\frac{x-1}{-4} = \frac{y}{50} = \frac{z+2}{31}$

(1) 解：令  $y=0$ , 得一点  $M(-5, 0, -9) \in l$ ,

已知平面的两个法向量为  $\vec{n}_1 = (2, 1, -1)$ ,  $\vec{n}_2 = (3, -1, -2)$

取所求直线的法向量  $\vec{u} = \vec{n}_1 \times \vec{n}_2 = (-3, 1, -5)$ ,

则该直线的方向方程为  $\frac{x+5}{-3} = \frac{y}{1} = \frac{z+9}{-5}$

(2) 解：从一簇方程中消去  $z$ , 得  $4y = 3x$ ,

消去  $x$ , 得  $4y = -3z + 18$ , 得

$$\frac{x}{4} = \frac{y}{3} = \frac{z-6}{-4}$$

3. (1) 解：设从  $\begin{cases} 2x-7y+4z-3=0 \\ 3x-5y+4z+11=0 \end{cases}$  为轴的平面方程

$$\lambda(2x-7y+4z-3)+\mu(3x-5y+4z+11)=0.$$

$$代入点(-2, 1, 3), 得 \frac{\mu}{\lambda} = -\frac{1}{6}.$$

$$故所求平面方程为 \frac{3}{2}x - \frac{37}{6}y + \frac{10}{3}z - \frac{19}{6} = 0.$$

(2) 解：同理，设平面方程为

$$\lambda(2x-7y+4z-3)+\mu(3x-5y+4z+11)=0.$$

$$取其法向量 \vec{n}_1 = (2\lambda+3\mu, -7\lambda-5\mu, 4\lambda+4\mu)$$

$$与已知平面法向量 \vec{n}_2 = (1, 1, 1) \text{ 垂直},$$

$$即 \vec{n}_1 \cdot \vec{n}_2 = 0. \text{ 得 } \mu/\lambda = -\frac{1}{2}.$$

$$故所求平面方程为 \frac{3}{2}x - \frac{3}{2}z + 2 = 0.$$

(3) 解：任取直线  $\frac{x-1}{2} = \frac{y+2}{-3} = \frac{z-2}{2}$  的平面方程

$$\vec{n}_1 = 2 \cdot \frac{x-1}{2} - \frac{y+2}{-3} - \frac{z-2}{2} = 0.$$

$$\vec{n}_2 = \frac{x-2}{2} + \frac{y+2}{-3} - 2 \cdot \frac{z-2}{2} = 0.$$

$$\text{从而得 } \vec{n}_1 = 6x + 2y - 3z + 4 = 0.$$

$$\vec{n}_2 = 3x - 2y - 6z + 2 = 0.$$

同理，得所求平面方程为  $x - 8y - 13z + 9 = 0$ .

3.(3) 解2: 已知平面的法向量  $\vec{n}_1 = (3, 2, -1)$  明洋扬 张静

~~求已知直线上一点  $(-1, -2, 2)$  及其方向向量  $\vec{u} = (2, -3, 2)$~~

~~则所求平面的法向量  $\vec{n}_2 = \vec{n}_1 \times \vec{u} = (1, -12, 13)$ .~~

~~又所求平面过点  $(1, -2, 2)$ , 得所求平面方程为~~

$$x - 8y - 13z + 9 = 0.$$

4.) 解: 设该平面为  $Ax + By + Cz + D = 0$ .

因为该平面与直线  $\frac{x+2}{-1} = \frac{y+4}{3} = \frac{z+1}{1}$  垂直, 有  $\vec{n} \parallel \vec{v}$

$$\text{所以 } \vec{n} = (-1, 3, 1)$$

$$\text{则有 } -x + 3y + z + D = 0.$$

又因为该平面过点  $(4, -1, 2)$ . 所以 得  $D = 5$ . 得该平面为  $-x + 3y + z + 5 = 0$

2. (5) 解: 求得直线  $\begin{cases} 2x-y-z-3=0 \\ x+2y-z-5=0 \end{cases}$  的方向向量

$$\vec{v}_0 = (2, -1, -1) \times (1, 2, -1) = \cancel{(1, 1, 5)} \rightarrow (3, 1, 5)$$

平面  $\frac{x-2}{1} = \frac{y+3}{-5} = \frac{z+1}{-1}$  的方向向量为  $\vec{v}$ ,

$$\vec{v} = (1, -5, -1).$$

则所求平面的法向量为  $\vec{n}$ , 则

$$\vec{n} \cdot \vec{v}_0 = \vec{n} \cdot \vec{v} = 0$$

取方程一组非零解为  $(3, 1, -2)$ .

代入直线  $\frac{x-2}{1} = \frac{y+3}{-5} = \frac{z+1}{-1}$  得一点  $(2, -3, -1)$ , 得

所求平面方程

所求平面方程为  $3x+y-2z-5=0$ .

## 2.1 节

### 2.1 平面方程

1. (1) 取过轴上两点和点  $(0, 0, 0), (0, 0, 1), (3, 1, -2)$ .

所求方程为  $\left| \begin{array}{ccc|c} x & y & z & x-3y=0 \\ 0 & 0 & 1 & x-y=0 \\ 3 & 1 & -2 & \end{array} \right.$

(2) 由平面点法式方程, 不妨设所求平面为  $3x-2y+5=D$  ( $D \neq 0$ )

代入  $(-1, -5, 4)$  得  $3x-2y-7=0$

(3) 不妨设所求平面法向量为  $(a, b, c)$ ,  $\vec{n} = (a, b, c)$

则  $\vec{n} \cdot \vec{m}_1 = \vec{n} \cdot (1, -8, 3) = 0$

即  $\begin{cases} a + 8b + c = 0 \\ a - 8b + 3c = 0 \end{cases}$  取一组解  $\vec{n} = (1, -8, 3)$

由(2)中得  $13x - y - 7z - 37 = 0$

年 月 日

第

2.  $\vec{AB} = (-4, 5, -1)$ ,  $\vec{CD} = (-1, 0, 2)$ .

由题得: 此平面的法向量为  $\vec{n} = \vec{AB} \times \vec{CD}$   
 $= (11, 7, 5)$

因此平面的方程为:  $11(x-4) + 7(y-0) + 5(z-6) = 0$

$11x + 7y + 5z - 74 = 0$

$\vec{AB} = (-4, 5, -1)$ ,  $\vec{BC} = (4, -6, 2)$

由题得 平面ABC的法向量  $\vec{n} = \vec{AB} \times \vec{BC}$   
 $= (-16, 12, 4), (4, 3, 1)$

所以平面的法向量  $\vec{n} = (\vec{n}, \vec{AB})$

$= (-8, 0, 32)$

因此此方程为  $-8(x-5) + 32(z-3) = 0$

~~$x - 4z + 7 = 0$~~

2

$$\text{解: } x+2y-z+4=0$$

$$\Rightarrow x+2y-z=-4$$

左.右两边同时乘以-4.

$$\frac{x}{-4} + \frac{2y}{-4} - \frac{z}{-4} = 1$$

$$\therefore \frac{x}{-4} + \frac{y}{-2} + \frac{z}{+4} = 1$$

$$\text{截距式为: } \frac{x}{-4} + \frac{y}{-2} + \frac{z}{+4} = 1$$

由截距式知: 平面过点

$$A(-4, 0, 0) \quad B(0, -2, 0) \quad C(0, 0, 4)$$

$$\vec{AB} = \{4, -2, 0\}$$

$$\vec{AC} = \{4, 0, 4\}$$

$$x = -4 + 2u + v$$

参数方程  $\left| \begin{array}{l} y = -u \\ z = v \end{array} \right.$

## 1.6 节

## 1.6 两向量和双垂向量法

1. D. 解:  $(A) = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos \langle \vec{a}, \vec{b} \rangle = |\vec{a}| \cdot |\vec{c}| \cdot \cos \langle \vec{a}, \vec{c} \rangle$  ( $\vec{a} \neq 0$ )

(B):  $\text{取 } \vec{a} = \vec{0} \text{ 或 } \vec{b} = \vec{0}$ .

(C):  $\vec{a} = \vec{0}$

(D): 证明: 原式左右两边同乘以  $\vec{c}$ , 得

$$\vec{a} \times \vec{b} \cdot \vec{c} + \vec{b} \times \vec{c} \cdot \vec{c} + \vec{c} \times \vec{a} \cdot \vec{c} = 0$$

由定理 1.6.1 由性质 1.6.1, 得

$$(\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}) = 0$$

由推论 1.6.1 得证.

2. C. 解:  $\vec{a} \cdot [(\vec{c} \cdot \vec{b})\vec{b} - (\vec{a} \cdot \vec{b})\vec{c}] = (\vec{a} \cdot \vec{b})(\vec{c} \cdot \vec{b}) - (\vec{a} \cdot \vec{c})(\vec{a} \cdot \vec{b}) = 0$ .

又  $\vec{a} \neq \vec{0}$ , 又  $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c} \neq \vec{0}$ , 得证.

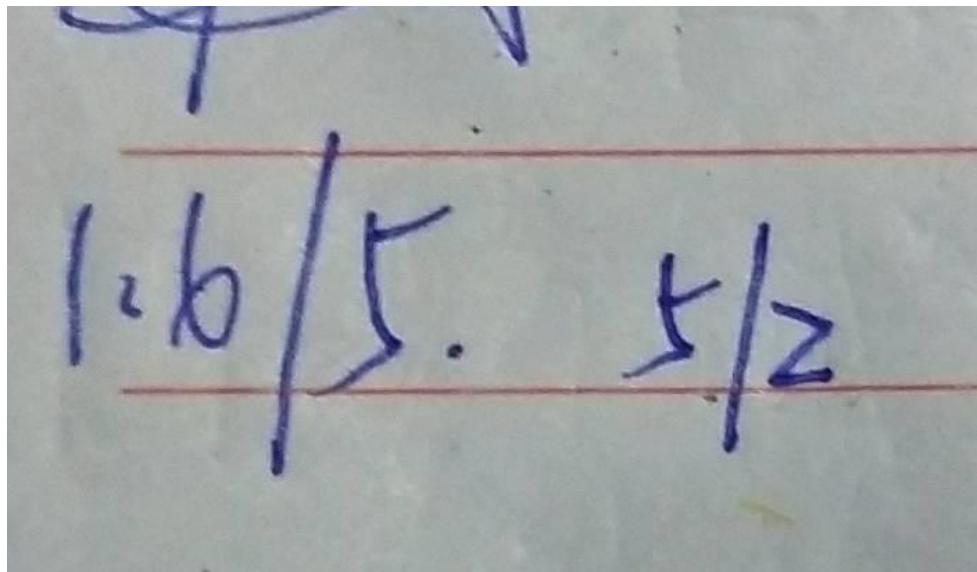
注: 定理 1.6.2 不一定成立, 因为向量又必须在  $\mathbb{R}^3$  情况下成立.

3. 解: 与例 1.6.1 同理,  $V = 59/6$ .

4. (1) 同理, A, B, C, D 点面

$$(2) V = \frac{1}{6} |(\vec{AB}, \vec{AC}, \vec{AD})| = 58/3$$

$$h_D = \frac{6V}{|\vec{AB} \times \vec{AC}|} = \frac{6V}{\left| \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & -3 \\ 4 & 0 & 6 \end{vmatrix} \right|} = \frac{29}{7}$$



6. (1) 证明: 该命题用命题 1.b.1 得证

$$\begin{aligned} \text{(1) 证明: 左边} &= (\vec{a}, \vec{b} + \vec{c}, \vec{c} + \vec{a}) + (\vec{b}, \vec{b} + \vec{c}, \vec{c} + \vec{a}) \\ &= (\vec{a}, \vec{b} + \vec{c}, \vec{c}) + (\vec{a}, \vec{b} + \vec{c}, \vec{a}) + \dots = \dots \\ &= 2(\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}) = \text{右边} \end{aligned}$$

注: 应该《高等代数》P

(2) 证明: 左边 =  $\vec{a} \cdot \vec{b} + \vec{c}$ ,

同(1)理, 展开左边即得

$$\text{注: } a(b-d)(c-d) = abc - abd - dbc - adc + 0(abd+abd+cdd-ddd)$$

(3) 证明: 左边 =  $(\vec{a} + \vec{b})(\vec{a} \times \vec{c} + \vec{b} \times \vec{c})$

$$\begin{aligned} &= (\vec{a} + \vec{b}) \cdot (\vec{a} \times \vec{c}) + (\vec{a} + \vec{b}) \cdot (\vec{b} \times \vec{c}) \\ &= \vec{a} \cdot (\vec{a} \times \vec{c}) + \vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{c}) + \vec{b} \cdot (\vec{b} \times \vec{c}) + \vec{b} \cdot (\vec{a} \times \vec{c}) \\ &= \text{右边} \end{aligned}$$

15) 证明: 设  $\vec{d} = \lambda\vec{a} + \mu\vec{b} + \nu\vec{c}$

$$\begin{aligned}\text{则 } (\vec{a}, \vec{b}, \vec{c} \times \vec{d}) &= (\vec{a} \times \vec{b}) [\vec{c} \times (\lambda\vec{a} + \mu\vec{b} + \nu\vec{c})] \\ &= (\vec{a} \times \vec{b}) [\vec{c} \times (\lambda\vec{a} + \mu\vec{b})] \\ &= \vec{a} \times \vec{b} [\lambda(\vec{c} \times \vec{a}) + \mu(\vec{c} \times \vec{b})] \\ &= \lambda(\vec{a} \times \vec{b})(\vec{c} \times \vec{a}) + \mu(\vec{a} \times \vec{b})(\vec{c} \times \vec{b}) \quad \textcircled{1}\end{aligned}$$

同理乘其余两式得

$$(\vec{b}, \vec{c}, \vec{a} \times \vec{d}) = \mu(\vec{b} \times \vec{c})(\vec{a} \times \vec{b}) + \nu(\vec{b} \times \vec{c})(\vec{a} \times \vec{c}) \quad \textcircled{2}$$

$$(\vec{c}, \vec{a}, \vec{b} \times \vec{d}) = \nu(\vec{c} \times \vec{a})(\vec{b} \times \vec{a}) + \mu(\vec{c} \times \vec{a})(\vec{b} \times \vec{c}) \quad \textcircled{3}$$

$\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3}$ , 整理得

$$\begin{aligned}\text{左边} &= \lambda [(\vec{a} \times \vec{b})(\vec{c} \times \vec{a}) + (\vec{c} \times \vec{a})(\vec{b} \times \vec{a})] + \mu [(\vec{a} \times \vec{b})(\vec{c} \times \vec{b}) + (\vec{b} \times \vec{c})(\vec{a} \times \vec{b})] \\ &\quad + \nu [(\vec{b} \times \vec{c})(\vec{a} \times \vec{c}) + (\vec{c} \times \vec{a})(\vec{b} \times \vec{c})] \\ &= \lambda \cdot 0 + \mu \cdot 0 + \nu \cdot 0 = 0 = \text{右边}\end{aligned}$$

等式得证.

7. 证明: 假设  $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c} \perp \vec{n}$ , 则  $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$  共面.

否则, 若  $\vec{n} = \vec{0}$ , 则  $\vec{a} = \vec{b} = \vec{c} = \vec{0}$ , 不成立;

若  $\vec{n} \neq \vec{0}$ ,  $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$  中至少有两条是共线, 则不成立;

若  $\vec{n} \neq \vec{0}$ ,  $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$  互不共线, 则  $\vec{n}$  为  $\vec{a}, \vec{b}$  所确定的平面的法向量,  $\vec{n} \cdot \vec{c} \neq 0$ , 这与题设矛盾;

故成立.

# 第一章 向量与坐标

## §1.1 向量的定义、加法及数乘

1. 证明： $\overrightarrow{PA_1} + \overrightarrow{PA_2} + \cdots + \overrightarrow{PA_n} = (\overrightarrow{OA_1} - \overrightarrow{OP}) + (\overrightarrow{OA_2} - \overrightarrow{OP}) + \cdots + (\overrightarrow{OA_n} - \overrightarrow{OP})$

$$= \overrightarrow{OA_1} + \overrightarrow{OA_2} + \cdots + \overrightarrow{OA_n} - n\overrightarrow{OP},$$

$$\text{又 } \overrightarrow{OA_1} + \overrightarrow{OA_2} + \cdots + \overrightarrow{OA_n} = \overrightarrow{0},$$

$$\text{所以 } \overrightarrow{PA_1} + \overrightarrow{PA_2} + \cdots + \overrightarrow{PA_n} = -n\overrightarrow{OP} = n\overrightarrow{OP}.$$

2. (1)

$$(\mu - \nu) \cdot (\mathbf{a} - \mathbf{b}) - (\mu + \nu) \cdot (\mathbf{a} - \mathbf{b}) = \mu\mathbf{a} - \mu\mathbf{b} - \nu\mathbf{a} + \nu\mathbf{b} - \mu\mathbf{a} + \mu\mathbf{b} - \nu\mathbf{a} + \nu\mathbf{b}$$
$$= -2\nu\mathbf{a} + 2\nu\mathbf{b}.$$

(2)  $D = \begin{vmatrix} 3 & 4 \\ 2 & -3 \end{vmatrix} = -17, D_x = \begin{vmatrix} \mathbf{a} & 4 \\ \mathbf{b} & -3 \end{vmatrix} = -3\mathbf{a} - 4\mathbf{b}, D_y = \begin{vmatrix} 3 & \mathbf{a} \\ 2 & \mathbf{b} \end{vmatrix} = 3\mathbf{b} - 2\mathbf{a},$

$$\mathbf{x} = \frac{D_x}{D} = \frac{3}{17}\mathbf{a} + \frac{4}{17}\mathbf{b}, \mathbf{y} = \frac{D_y}{D} = -\frac{3}{17}\mathbf{b} + \frac{2}{17}\mathbf{a}.$$

3.(1)  $\mathbf{a} \perp \mathbf{b}$     (2)  $\mathbf{a}, \mathbf{b}$  同向    (3)  $\mathbf{a}, \mathbf{b}$  反向, 且  $|\mathbf{a}| \geq |\mathbf{b}|$     (4)  $\mathbf{a}, \mathbf{b}$  反向

(5)  $\mathbf{a}, \mathbf{b}$  同向, 且  $|\mathbf{a}| \geq |\mathbf{b}|$ .

4. 证明： $3^\circ$  若  $\lambda + \mu < 0, -\lambda < 0$ , 由情形 1,

$$[(\lambda + \mu) + (-\lambda)]\mathbf{a} = (\lambda + \mu)\mathbf{a} + (-\lambda)\mathbf{a}, \text{ 即}$$

$$\mu\mathbf{a} = (\lambda + \mu)\mathbf{a} - \lambda\mathbf{a}, \text{ 从而 } (\lambda + \mu)\mathbf{a} = \lambda\mathbf{a} + \mu\mathbf{a}, \text{ 得证.}$$

## §1.2 向量的线性相关性

1. (1) 错 当  $\mathbf{a} = \vec{0}$  时

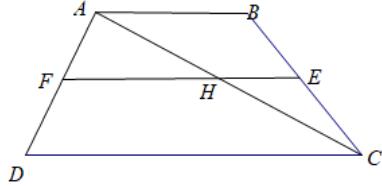
(2) 错 当  $\mathbf{a} = \vec{0}$  时

2. 设  $\lambda \mathbf{a} + \mu \mathbf{b} = \vec{0}, \lambda(2\mathbf{a} - \mathbf{b}) + \mu(3\mathbf{a} - 2\mathbf{b}) = \vec{0}, (2\lambda + 3\mu)\mathbf{a} + (-\lambda - 2\mu)\mathbf{b} = \vec{0}.$

由于  $\mathbf{a}, \mathbf{b}$  不共线, 所以  $\begin{cases} 2\lambda + 3\mu = 0, \\ \lambda + 2\mu = 0. \end{cases}$  又  $\begin{vmatrix} 2 & 3 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} = 1 \neq 0.$

所以  $\lambda = \mu = 0$ , 即  $\vec{c}, \vec{d}$  线性无关.

3.



$\overrightarrow{AB} \parallel \overrightarrow{CD}$ ,  $E$ 、 $F$  分别为腰上中点, 连接  $EF$ , 交  $AC$  于  $H$ , 则  $H$  为  $AC$  的中

点,  $\overrightarrow{FH} = \frac{1}{2} \overrightarrow{DC}$ ,  $\overrightarrow{HE} = \frac{1}{2} \overrightarrow{AB}$ ,  $\overrightarrow{FE} = \overrightarrow{FH} + \overrightarrow{HE} = \frac{1}{2} (\overrightarrow{DC} + \overrightarrow{AB})$ , 因为  $\overrightarrow{AB} \parallel \overrightarrow{CD}$ , 而

$\overrightarrow{AB}$  与  $\overrightarrow{CD}$  方向一致, 所以  $|\overrightarrow{FE}| = \frac{1}{2} (|\overrightarrow{AB}| + |\overrightarrow{DC}|)$

4. 设  $a = \lambda b + \mu c$

$$-\mathbf{e}_1 + 3\mathbf{e}_2 + 2\mathbf{e}_3 = 2\lambda\mathbf{e}_1 - 6\lambda\mathbf{e}_2 + 2\lambda\mathbf{e}_3 - 3\mu\mathbf{e}_3 + 12\mu\mathbf{e}_2 + 11\mu\mathbf{e}_3$$

$$(-1 - 4\lambda + 3\mu)\mathbf{e}_1 + (3 + 6\lambda - 12\mu)\mathbf{e}_2 + (2 - 2\lambda - 11\mu)\mathbf{e}_3 = 0$$

又  $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \mathbf{e}_3$  线性相关 (注: 有误. 应该为非线性相关, 即三个向量相互独)

立-----编者加)

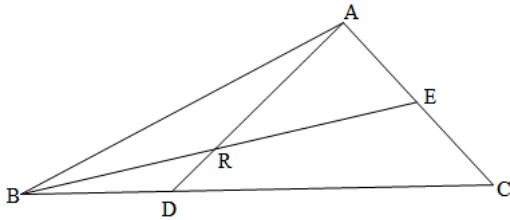
$$\text{则 } \begin{cases} -1 - 4\lambda + 3\mu = 0 \\ 3 + 6\lambda - 12\mu = 0 \\ 2 - 2\lambda - 11\mu = 0 \end{cases}$$

$$\text{解得 } \lambda = -\frac{1}{10}, \mu = \frac{1}{5}$$

$$\text{所以 } a = -\frac{1}{10}b + \frac{1}{5}c$$

5. C

6.



第6題

设  $\overrightarrow{RD} = \lambda \overrightarrow{AD}, \overrightarrow{RE} = \mu \overrightarrow{BE}$ , 则

$$\overrightarrow{RD} = \lambda \overrightarrow{AB} + \frac{1}{3} \lambda \overrightarrow{BC}, \overrightarrow{RE} = \overrightarrow{RD} + \frac{2}{3} \overrightarrow{BC} + \frac{1}{3} \overrightarrow{CA} = \mu \overrightarrow{BC} + \frac{1}{3} \mu \overrightarrow{CA}, \text{ 所以}$$

$$\overrightarrow{RD} = \left( \frac{2}{3} \mu - \frac{1}{3} \right) \overrightarrow{BC} + \frac{1}{3} (1 - \mu) \overrightarrow{AB} = \lambda \overrightarrow{AB} + \frac{1}{3} \lambda \overrightarrow{BC}$$

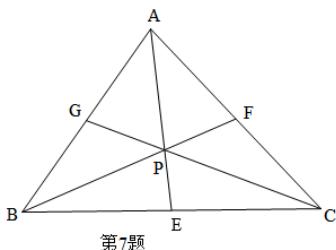
$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{2}{3} \mu - \frac{1}{3} = \frac{1}{3} \lambda \\ \frac{1}{3} (1 - \mu) = \lambda \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \lambda = \frac{1}{7} \\ \mu = \frac{4}{7} \end{cases}$$

所以  $RD = \frac{1}{7} AD, RE = \frac{4}{7} BE$  得证

7.

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC} &= \overrightarrow{PA} + \overrightarrow{OP} + \overrightarrow{OP} + \overrightarrow{PB} + \overrightarrow{OP} + \overrightarrow{PC} \\ &= (\overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PB} + \overrightarrow{PC}) + 3\overrightarrow{OP} \not\propto \overrightarrow{CP} = 2\overrightarrow{PG} = \overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PB} \end{aligned}$$

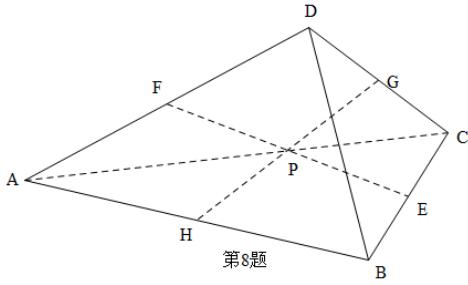
所以  $\overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PB} + \overrightarrow{PC} = \overrightarrow{O}$  所以  $\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC} = 3\overrightarrow{OP}$  得证



第7題

$$8. \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC} + \overrightarrow{OD} = 4\overrightarrow{OP} + \overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PB} + \overrightarrow{PC} + \overrightarrow{PD}$$

$$= 4\overrightarrow{OP} + 2\overrightarrow{PH} + 2\overrightarrow{PG} = 4\overrightarrow{OP}$$



9. “ $\Rightarrow$ ”因为 A,B,C 三点共线所以存在不全为 0 的实数  $k,l$ , 使得  $k\overrightarrow{AB}+l\overrightarrow{AC}=\vec{0}$

$$k(\overrightarrow{OB}-\overrightarrow{OA})+l(\overrightarrow{OC}-\overrightarrow{OA})=\vec{0} \quad -(k+l)\overrightarrow{OA}+k\overrightarrow{OB}+l\overrightarrow{OC}=\vec{0}$$

分别取  $\lambda = -(k+l)$ ,  $\mu = k$ ,  $\gamma = l$ , 得证“ $\Leftarrow$ ”因为  $\lambda = -(\mu + \gamma)$ , 设  $\lambda \neq 0$ , 则

$\mu, \gamma$  不全为 0

$$-(\mu + \gamma)\overrightarrow{OA} + \mu\overrightarrow{OB} + \gamma\overrightarrow{OC}=\vec{0} \quad \mu(\overrightarrow{OB}-\overrightarrow{OA})+\gamma(\overrightarrow{OC}-\overrightarrow{OA})=\vec{0} \quad \mu\overrightarrow{AB}+\gamma\overrightarrow{AC}=\vec{0}$$

所以 A,B,C 共线。

10. “ $\Rightarrow$ ”因为  $P_1, P_2, P_3, P_4$  四点共面, 所以  $\overrightarrow{P_1P_2}, \overrightarrow{P_1P_3}, \overrightarrow{P_1P_4}$  线性相关, 存在不全为 0 的

$m, n, p$  使得  $m\overrightarrow{P_1P_2}+n\overrightarrow{P_1P_3}+p\overrightarrow{P_1P_4}=\vec{0}$  即  $m$

$$(\overrightarrow{OP_2}-\overrightarrow{OP_1})+n(\overrightarrow{OP_3}-\overrightarrow{OP_1})+p(\overrightarrow{OP_4}-\overrightarrow{OP_1})=\vec{0}$$

$$-(m+n+p)\vec{r}_1+m\vec{r}_2+n\vec{r}_3+p\vec{r}_4=\vec{0} \quad \text{令 } m+n+p=$$

$\lambda_1, \lambda_2 = m, \lambda_3 = n, \lambda_4 = p$  得证

$\Leftarrow$  设  $\lambda_1 \neq 0$ , 则  $\lambda_1 = -(\lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)$ , 所以  $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$  不全为 0

$$-(\lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)\vec{r}_1 + \lambda_2\vec{r}_2 + \lambda_3\vec{r}_3 + \lambda_4\vec{r}_4 = \vec{0} \Rightarrow \lambda_2(\vec{r}_2 - \vec{r}_1) + \lambda_3(\vec{r}_3 - \vec{r}_1) + \lambda_4(\vec{r}_4 - \vec{r}_1) = \vec{0}$$

即  $\lambda_2\overrightarrow{P_1P_2}+\lambda_3\overrightarrow{P_1P_3}+\lambda_4\overrightarrow{P_1P_4}=\vec{0}$  因此  $P_1, P_2, P_3, P_4$  共面.

11. 因为 A,B,C 三点不共线

则  $\overrightarrow{AB}, \overrightarrow{AC}$  不共线

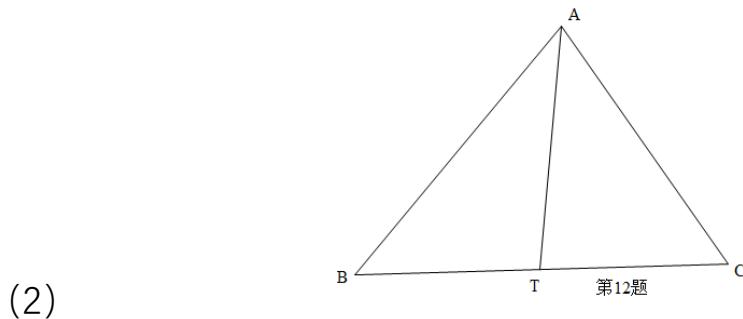
点  $P$  在  $\pi$  上  $\Leftrightarrow \overrightarrow{AP} = \mu \overrightarrow{AB} + \gamma \overrightarrow{AC}, \mu, \gamma \in R.$

$$\Leftrightarrow \overrightarrow{OP} - \overrightarrow{OA} = \mu(\overrightarrow{OB} - \overrightarrow{OA}) + \gamma(\overrightarrow{OC} - \overrightarrow{OA}).$$

$$\Leftrightarrow \overrightarrow{OP} = (1 - \mu - \gamma) \overrightarrow{OA} + \mu \overrightarrow{OB} + \gamma \overrightarrow{OC}, \text{ 取 } \lambda = (1 - \mu - \gamma), \text{ 得证}$$

12.

$$(1) \quad \overrightarrow{AD} = \frac{2}{3} \mathbf{e}_1 + \frac{1}{3} \mathbf{e}_2, \overrightarrow{AE} = \frac{1}{3} \mathbf{e}_1 + \frac{2}{3} \mathbf{e}_2$$



(2)

由角平分线的性质  $\frac{|\overrightarrow{BT}|}{|\overrightarrow{TC}|} = \frac{|\mathbf{e}_1|}{|\mathbf{e}_2|}$ , 又  $\overrightarrow{BT}$  与  $\overrightarrow{TC}$  同向, 则  $\overrightarrow{BT} = \frac{|\mathbf{e}_1|}{|\mathbf{e}_2|} \overrightarrow{TC}$

$$\overrightarrow{BT} = \overrightarrow{AT} - \overrightarrow{AB}, \overrightarrow{TC} = \overrightarrow{AC} - \overrightarrow{AT}, \text{ 因此 } \overrightarrow{AT} - \overrightarrow{AB} = \frac{|\mathbf{e}_1|}{|\mathbf{e}_2|} (\overrightarrow{AC} - \overrightarrow{AT})$$

$$\Rightarrow \overrightarrow{AT} = \frac{\mathbf{e}_1(|\mathbf{e}_1| + |\mathbf{e}_2|)}{|\mathbf{e}_1| + |\mathbf{e}_2|}$$

### §1.3 标架与坐标

1. (1): (0, 16, -1)

(2) (-11, 9, -2) 有误, 编者加

2. 分析: 以推论 1.6.1 (本书 P25) 作判别式 ; 以定理 1.21 (4) (本书 P7)

$$(1) (\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}) = \begin{vmatrix} 5 & 2 & 1 \\ -1 & 4 & 2 \\ -1 & -1 & 5 \end{vmatrix} = 121 \neq 0 \quad \text{故不共面, 故不共面, 无线性组合}$$

(2) 同理  $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$  共面,

设  $\vec{c} = \lambda \vec{a} + \mu \vec{b}$ ,

$$\text{得} \begin{cases} -3 = 6\lambda + (-9) \mu \\ 6 = 4\lambda + 6\mu \\ 3 = 2\lambda = 3\mu \end{cases}$$

$$\text{解得 } \mathbf{c} = \frac{1}{2}\mathbf{a} + \frac{4}{3}\mathbf{b}$$

(3) 同理,  $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}$  共面,

但  $\mathbf{a}$  平行  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{a} \neq \mathbf{c}$  故显然无法以线性组合表示  $\mathbf{c}$

3. 证明：设四面体  $A_1, A_2, A_3, A_4$ 。  $A_i$  对面重心为  $G_i$

欲证  $A_i G_i$  交于一点 ( $i = 1, 2, 3, 4$ )

在  $A_i G_i$  上取一点  $P_i$ , 使  $\overrightarrow{A_i P_i} = 3 \overrightarrow{P_i G_i}$

$$\text{从而 } \overrightarrow{OP_i} = \frac{\overrightarrow{OA_i} + 3\overrightarrow{OG_i}}{4}$$

设  $A_i(x_i, y_i, z_i)$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) 则：

$$G_1 \left( \frac{x_2 + x_3 + x_4}{3}, \frac{y_2 + y_3 + y_4}{3}, \frac{z_2 + z_3 + z_4}{3} \right)$$

$$G_2 \left( \frac{x_1 + x_3 + x_4}{3}, \frac{y_1 + y_3 + y_4}{3}, \frac{z_1 + z_3 + z_4}{3} \right)$$

$$G_3 \left( \frac{x_1 + x_2 + x_4}{3}, \frac{y_1 + y_2 + y_4}{3}, \frac{z_1 + z_2 + z_4}{3} \right)$$

$$G_4 \left( \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}, \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3}, \frac{z_1 + z_2 + z_3}{3} \right)$$

$$\text{所以: } P_1 \left( \frac{x_1 + 3 * \frac{x_2 + x_3 + x_4}{3}}{4}, \frac{y_1 + 3 * \frac{y_2 + y_3 + y_4}{3}}{4}, \frac{z_1 + 3 * \frac{z_2 + z_3 + z_4}{3}}{4} \right)$$

$$\text{既 } P_1 \left( \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4}, \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{4}, \frac{z_1 + z_2 + z_3 + z_4}{4} \right)$$

同理可得  $P_2, P_3, P_4$  相同

所以  $A_iG_i$  交于一点  $P$  且这一点到顶点的距离等于这一点到对面重心的三倍。

4. 证明：(1) 必要性：因为  $\pi$  上三点  $p_i(x_i, y_i)$   $i=1,2,3$  共线；

所以  $p_1p_2$  与  $p_1p_3$  平行；即  $\frac{x_2 - x_1}{x_3 - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{y_3 - y_1}$ ；

即  $x_1y_2 + x_2y_3 + x_3y_1 - x_1y_3 - x_3y_2 - x_2y_1 = 0$ ；所以  $\begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix} = 0$

(2) 充分性：因为  $\begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix} = 0$ ；所以  $x_1y_2 + x_2y_3 + x_3y_1 - x_1y_3 - x_3y_2 - x_2y_1 = 0$ ；

即  $\frac{x_2 - x_1}{x_3 - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{y_3 - y_1}$ ；即  $\overrightarrow{p_1p_2}$  与  $\overrightarrow{p_1p_3}$  平行；所以  $\pi$  上三点  $p_i(x_i, y_i)$   $i=1,2,3$  共线。

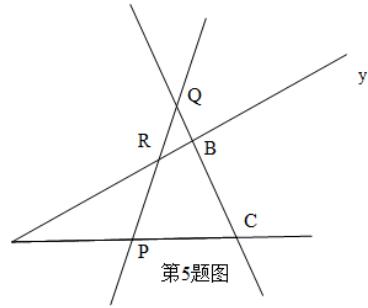
综上， $\pi$  上三点  $p_i(x_i, y_i)$   $i=1,2,3$  共线当且仅当  $\begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix} = 0$ 。

5. 证明：如图，建立仿射坐标  $\{\vec{A}, \vec{AB}, \vec{AC}\}$  由  $\vec{AP} = \lambda \vec{PB} = \lambda(\vec{AB} - \vec{AP})$

$$\text{得 } \vec{AP} = \frac{\lambda}{\lambda+1} \vec{AB}, \vec{AP} = \left( \frac{\lambda}{\lambda+1}, 0 \right) \quad \vec{AR} = \frac{1}{(1+\nu)} \vec{AC} \quad \vec{AR} = \left( 0, \frac{1}{1+\nu} \right)$$

$$\vec{AQ} = \left( \frac{1}{1+\mu} \right) \vec{AB} + \frac{\mu}{1+\mu} \vec{AC} \quad \vec{AQ} = \left( \frac{1}{1+\mu}, \frac{\mu}{1+\mu} \right)$$

由  $P, Q, R$  共线，当且仅当  $\begin{vmatrix} \frac{1}{1+\lambda} & 0 & 1 \\ 0 & \frac{1}{1+\nu} & 1 \\ \frac{1}{1+\mu} & \frac{\mu}{1+\mu} & 1 \end{vmatrix} = 0$ , 得  $\lambda\mu\nu = -1$  证毕。

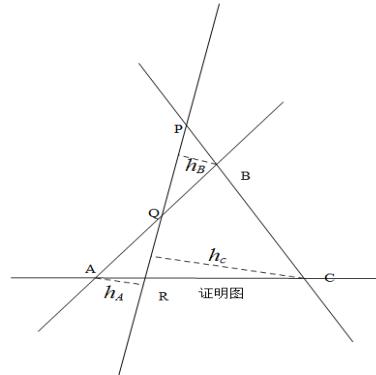


注：事实上，根据梅涅劳斯定理，由直线  $QRP$  截  $\triangle ABC$  的三边得

$$\frac{|QC|}{|QB|} \cdot \frac{|RB|}{|RA|} \cdot \frac{|PA|}{|PC|} = 1$$

证明：记直线  $l$  截  $\triangle ABC$  三边于  $P, Q, R$  三点，记  $A, B, C$  三点到  $l$  的垂线段分别为  $h_A, h_B, h_C$ ，由相似定理，显然有

$$\frac{|QC|}{|QB|} \cdot \frac{|RB|}{|RA|} \cdot \frac{|PA|}{|PC|} = \frac{h_A}{h_B} \cdot \frac{h_B}{h_A} \cdot \frac{h_A}{h_C} = 1 \quad \text{得证.} \quad (*)$$



## §1.4 数量积

$$1. ab + bc + ca$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} [(a+b+c) - (a+b+c)] \\ &= -13 \end{aligned}$$

$$2. (3a + 2b)(2a - 5b)$$

$$\begin{aligned} &= 6|a|^2 - 0\|b\|^2 - 11ab \\ &= 14 - 33\sqrt{3} \end{aligned}$$

3. 由题：得

$$(\mathbf{a} + 3\mathbf{b})(7\mathbf{a} - 5\mathbf{b}) = (\mathbf{a} - 4\mathbf{b})(7\mathbf{a} - 2\mathbf{b}) = 0$$

解得： $\mathbf{ab} = \frac{1}{2}|\mathbf{b}|^2$  且  $|\mathbf{a}| = |\mathbf{b}|$  知  $\cos\angle(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \frac{\mathbf{ab}}{|\mathbf{a}||\mathbf{b}|} = \frac{1}{2}$

故  $\angle(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \frac{\pi}{3}$

4. (1) 错误 说明：数量不等同向量

(2) 正确

(3) 错误 说明：向量相等成立条件之一方向相同

(4) 错误 说明：左边 =  $|\mathbf{a}||\mathbf{b}|\cos^2\theta$ , 右边 =  $|\mathbf{a}||\mathbf{b}|$  ;

(5) 错误 说明：向量相等成立条件之一方向相同

(6) 错误 说明：左边 =  $|\mathbf{c}||\mathbf{a}|\cos\angle(\mathbf{c}, \mathbf{a})$  右边 =  $|\mathbf{c}||\mathbf{b}|\cos\angle(\mathbf{c}, \mathbf{b})$

故 不成立

5. 证明：左边 =  $(\mathbf{a} + \mathbf{b})^2 + (\mathbf{a} - \mathbf{b})^2 = 2\mathbf{a}^2 + 2\mathbf{b}^2 + 2\mathbf{ab} - 2\mathbf{ab} =$  右边

几何意义：平行四边形两斜边的平方和等于四条边长的平方和

6. (1) 证明：由向量乘法交换律，

得  $(\mathbf{a} \cdot \mathbf{b})(\mathbf{a} \cdot \mathbf{c}) = (\mathbf{a} \cdot \mathbf{c})(\mathbf{a} \cdot \mathbf{b})$ ,

故  $\mathbf{a} \cdot [(\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}) \cdot \mathbf{c} - (\mathbf{a} \cdot \mathbf{c}) \cdot \mathbf{b}] = 0$  ; 所以两向量垂直。

注： $(\mathbf{a} \cdot \mathbf{c}) \cdot \mathbf{b} - (\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}) \cdot \mathbf{c} = \mathbf{a} \times \mathbf{b} \times \mathbf{c}$  不一定成立

(2) 证明：因为  $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2$  不共线，取该平面任意向量  $\mathbf{c} = \lambda\mathbf{v}_1 + \mu\mathbf{v}_2$  ,

则  $(\mathbf{a} - \mathbf{b})\mathbf{c} = (\mathbf{a} - \mathbf{b})(\lambda\mathbf{v}_1 + \mu\mathbf{v}_2) = \lambda(\mathbf{av}_1 - \mathbf{bv}_1) + \mu(\mathbf{av}_2 - \mathbf{bv}_2) = \mathbf{o}$

故  $(\mathbf{a} - \mathbf{b}) \perp \mathbf{c}$

由  $\mathbf{c}$  的任意性得  $\mathbf{a} - \mathbf{b} = \mathbf{0}$

所以  $a = b$

(3) 证明：假设  $r \neq 0$

由题意得， $r \cdot a - r \cdot b = 0$

得  $a = b$

同理得： $a = c, b = c$

这与  $a, b, c$  不共面矛盾

故  $r = 0$

## §1.5 向量积

1. A
2. A

3.  $\mathbf{a} \times \mathbf{b} = (2\mathbf{m} - \mathbf{n}) \times (4\mathbf{m} - 5\mathbf{n})$

$$\begin{aligned} &= 8(\mathbf{m} \times \mathbf{m}) - 10\mathbf{m} \times \mathbf{n} - 4\mathbf{n} \times \mathbf{m} + 5\mathbf{n} \times \mathbf{n} \\ &= -6\mathbf{m} \times \mathbf{n}. \end{aligned}$$

$$|\mathbf{a} \times \mathbf{b}| = 6|\mathbf{m} \times \mathbf{n}| = 3\sqrt{2}.$$

4. 因为  $\mathbf{a} \times \mathbf{b} = \begin{pmatrix} 3 & -1 \\ -2 & 3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -1 & 2 \\ 3 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 1 & -2 \end{pmatrix}$

$$= (7, -7, -7).$$

(1) 令  $\mathbf{m} = (7, -7, -7)$

则  $\mathbf{c} = \frac{\mathbf{m}}{|\mathbf{m}|} = \left( \frac{7}{7\sqrt{3}}, -\frac{7}{7\sqrt{3}}, -\frac{7}{7\sqrt{3}} \right)$

$$= \left( \frac{1}{\sqrt{3}}, -\frac{1}{\sqrt{3}}, -\frac{1}{\sqrt{3}} \right)$$

(2)  $\mathbf{c} = \lambda(\mathbf{a} \times \mathbf{b}) = (7\lambda, -7\lambda, -7\lambda)$

$$\mathbf{c} \cdot \mathbf{d} = 10$$

所以  $\lambda = \frac{5}{28}$

$$\text{所以 } \mathbf{c} = \left( \frac{5}{4}, -\frac{5}{4}, -\frac{5}{4} \right)$$

5. 易证

$$\begin{aligned} 6. \quad & (\mathbf{a} - \mathbf{d}) \times (\mathbf{b} - \mathbf{c}) \\ &= \mathbf{a} \times (\mathbf{b} - \mathbf{c}) - \mathbf{d} \times (\mathbf{b} - \mathbf{c}) \\ &= \mathbf{a} \times \mathbf{b} - \mathbf{a} \times \mathbf{c} - \mathbf{d} \times \mathbf{b} + \mathbf{d} \times \mathbf{c} \\ &= \mathbf{c} \times \mathbf{d} - \mathbf{b} \times \mathbf{d} - \mathbf{d} \times \mathbf{b} + \mathbf{d} \times \mathbf{c} \\ &= \mathbf{0} \end{aligned}$$

所以  $\mathbf{a} - \mathbf{d}$  与  $\mathbf{b} - \mathbf{c}$  共线.