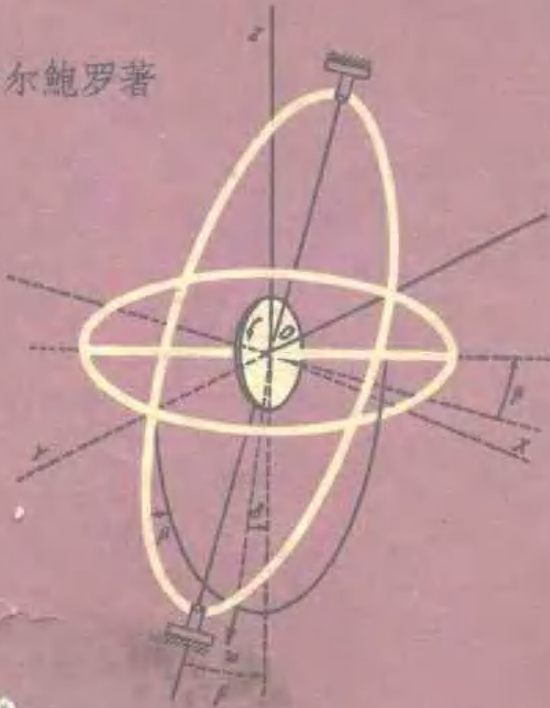
〔美国〕J.B.斯卡尔鲍罗著



陀螺仪理论和应用

国防工业出版社

陀螺仪理論和应用

〔美〕 J. B. 斯卡尔鮑罗著
蔡泰信譯 呂茂烈校

國防工業出版社

1964

內 容 簡 介

本书叙述陀螺仪的实用理論基础及其一般应用。作者引入了陀螺仪运动的近似方程，并利用初等函数求解这些方程，作者在叙述陀螺仪的应用的同时还介紹了陀螺罗盘、陀螺稳定器、振动陀螺仪等的理論基础。书中还附有数字計算例題。

本书适合于高等航空院校特設专业的师生、有关陀螺仪表方面的工程技术人員和科学工作者閱讀。

本书原书名为 The Gyroscope Theory and Applications，原作者是美国詹姆士·斯卡尔鲍罗（James B. Scarborough）。俄譯本书名为：Гироскоп теория и применения，俄譯者为：Ю. И. Коростелева и М. А. Маминой。中譯本是根据俄譯本翻譯出来的。书中对于俄譯本的一些注解作了必要的修改。

ГИРОСКОП ТЕОРИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ

James B. Scarborough

ИЗДАТЕЛЬСТВО ИНОСТРАННОЙ

ЛИТЕРАТУРЫ 1961

*

陀螺仪理論和应用

蔡泰信 譯

呂茂烈 校

*

国防工業出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印刷　　新华书店北京发行所发行

*

787×1092 1/32　印张 8 1/8　186 字

1964 年 5 月第一版　1964 年 5 月第一次印刷　印数：0,001—2,750 册

統一书号：15034 · 735　　定价：（科七）1.40 元

目 录

原序……6

第一篇 陀螺仪理論

第一章 矢量分析的某些基本知識……7
第二章 力学的某些基本原理……22
第三章 陀螺仪理論……39
第四章 陀螺仪理論(續)。重力作用下陀螺仪的运动，重力陀螺……69
历史小記……90

第二篇 陀螺仪应用

第五章 在运动車辆和轉动物体上的陀螺效应……93
第六章 示向陀螺仪、陀螺操纵装置……124
A 陀螺罗盘……124
B 陀螺操纵装置……148
C 某些新型陀螺仪……155
第七章 陀螺稳定器……167
A 陀螺球面摆……167
B 陀螺摆的其他型式……183
第八章 陀螺稳定器(續)。船舶稳定器……192
A 沿直綫航行的船舶……192
B 变向航行的船舶……215
第九章 陀螺稳定器(續)。单軌铁道……223
A 直綫运动……223
B 沿曲綫軌道运动……232
第十章 陀螺理論的天文应用……238
附录 陀螺罗盘和陀螺摆的舒列尔条件……252
参考文献……259

陀螺仪理論和应用

〔美〕 J. B. 斯卡尔鲍罗著
蔡泰信譯 呂茂烈校

国防工业出版社

1964

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

內 容 簡 介

本书叙述陀螺仪的实用理論基础及其一般应用。作者引入了陀螺仪运动的近似方程,并利用初等函数求解这些方程,作者在叙述陀螺仪的应用的同时还介紹了陀螺罗盘、陀螺稳定器、振动陀螺仪等的理論基础。书中还附有数字計算例題。

本书适合于高等航空院校特設专业的师生、有关陀螺仪表方面的工程技术人員和科学工作者閱讀。

本书原书名为 The Gyroscope Theory and Applications, 原作者是美国詹姆士·斯卡尔鲍罗 (James B. Scarborough)。俄譯本书名为: Гироскоп теория и применения, 俄譯者为: Ю. И. Коростелева и М. А. Маминой。中譯本是根据俄譯本翻譯出来的。书中对于俄譯本的一些注解作了必要的修改。

ГИРОСКОП ТЕОРИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ
James B. Scarborough
ИЗДАТЕЛЬСТВО ИНОСТРАННОЙ
ЛИТЕРАТУРЫ 1961

*

陀螺仪理論和应用

蔡泰信 譯

呂茂烈 校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印刷　　新华书店北京发行所发行

*

787×1092 1/32　印张 8 1/8　186 字

1964 年 5 月第一版　1964 年 5 月第一次印刷　印数: 0,001—2,750 册

統一书号: 15034 · 735　　定价: (科七)1.40 元

目　录

原序 …………………………………………………………………………6

第一篇　陀螺仪理論

第一章　矢量分析的某些基本知識 …………………………………7
第二章　力学的某些基本原理 ……………………………………22
第三章　陀螺仪理論 ………………………………………………39
第四章　陀螺仪理論(續)。重力作用下陀螺仪的运动，重力陀螺……69
　　历史小記 ………………………………………………………90

第二篇　陀螺仪应用

第五章　在运动車辆和轉动物体上的陀螺效应 ……………………93
第六章　示向陀螺仪、陀螺操纵装置 ………………………………124
　　A　陀螺罗盘 ……………………………………………………124
　　B　陀螺操纵装置 ………………………………………………148
　　C　某些新型陀螺仪 ……………………………………………155
第七章　陀螺稳定器 ………………………………………………167
　　A　陀螺球面摆 …………………………………………………167
　　B　陀螺摆的其他型式 …………………………………………183
第八章　陀螺稳定器(續)。船舶稳定器 ……………………………192
　　A　沿直綫航行的船舶 …………………………………………192
　　B　变向航行的船舶 ……………………………………………215
第九章　陀螺稳定器(續)。单軌铁道 ………………………………223
　　A　直綫运动 ……………………………………………………223
　　B　沿曲綫軌道运动 ……………………………………………232
第十章　陀螺理論的天文应用 ……………………………………238
附录　陀螺罗盘和陀螺摆的舒列尔条件 …………………………252
参考文献 ……………………………………………………………259

原　　序(节譯)

編写本书的目的在于严格地、系統地叙述陀螺仪的数学和力学方面的理論，以及其重要的应用。书中主要研究陀螺仪理論的基本原理。对于陀螺仪的結构方面，除了对其中有助于說明基本原理的部件之外，就不論及了。

把摩擦减到最小限度，是属于現代陀螺仪設計和装配中的一个問題，因此，本书不研究摩擦对陀螺仪运动的影响。不可避免的摩擦，可由維持陀螺仪匀速轉动的馬达所克服。

我认为，最好是用矢量来叙述陀螺仪的数学理論及其应用，因此全书都采用了矢量法，并假定讀者尚未熟悉矢量分析，故在第一章中专門叙述了矢量分析的基本知識，以便于后面各章的应用。

本书采用了右手坐标系，因为它对陀螺仪的研究有許多优点。

陀螺仪运动最一般的完整而精确的数学表达式是无法得到的。为了得到可以解釋和求解的方程，必須采用近似法。在进行近似簡化时，查明了这种近似的实质，并在許多情形下，还通过一些具体数字例題来說明这种近似法所引起的誤差是无关紧要的。

在准备写这本书时，我研究了許多有关这个問題的著作，其中最主要的已列于本书末尾的参考文献中。

詹姆士·斯卡尔鲍罗

1957 年 8 月

第一篇　陀螺仪理論

第一章　矢量分析的某些基本知識

叙述陀螺仪的理論、特性和应用最好是用矢量法。因此，本章专門叙述矢量分析的基本概念。

1　标量与矢量　在物理学中通常遇到两种量：即只有大小的量，以及既有大小又有方向的量。我們把第一种量称为**标量**（无向量），而把第二种量称为**矢量**（向量）。比重、温度以及电位都是标量的例子。力、速度以及加速度则是众所周知的矢量的例子。矢量还可以用来确定位置。这种矢量称为势矢量或矢徑。

在几何上，矢量可用一端标有箭头的直綫段（矢）来表示，箭头标明矢量的方向。矢量的大小和方向就是由矢的長度和指向表示的。

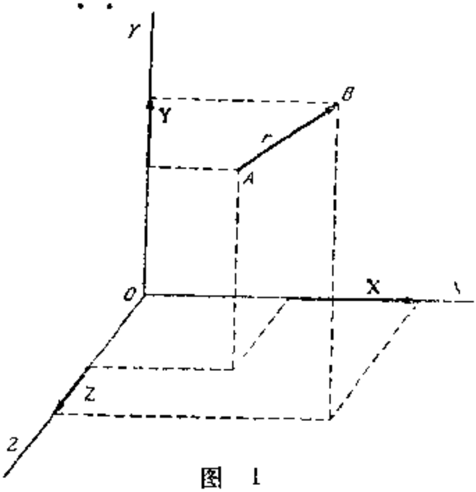


图　1

在图1上表示出矢量 $\overrightarrow{AB}$，也可以用字母 **r** 表示。矢量 **X**、**Y** 和 **Z** 是矢量 $\overrightarrow{AB}$ 在各坐标軸上的分量。

在印刷上，矢量用一个粗体字母表示，或者用矢量两端的那两个字母并在其上加箭头表示（如图1中 $\overrightarrow{AB}$）。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

矢量可以用任何一个常数或标量来乘除，結果仍是矢量。例如 $3\mathbf{r}$，$\dfrac{\overrightarrow{AB}}{l}$等也是矢量，其方向分别与 $\mathbf{r}$、$\overrightarrow{AB}$ 等相同或相反，这取决于乘数或除数的正負号。

如果两个矢量具有同样的大小和方向，则这两个矢量相等。

2 矢量的几何加法与减法 为了求出两个矢量的几何和，应該从第一个矢量的末端作出第二个矢量，然后再从第一个矢量的始端到第二个矢量的末端作出有向綫段。这样得到的矢量，就是这两个矢量的几何和。如图 2 所示，$\overrightarrow{AC}$ 是矢量 $\overrightarrow{AB}$ 与

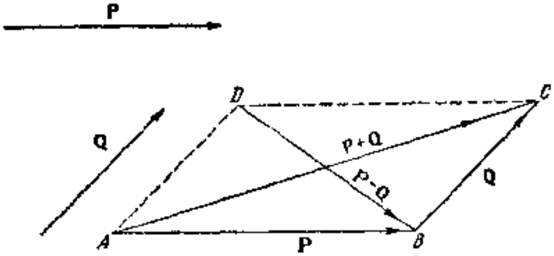


图 2

$\overrightarrow{BC}$ 的几何和或矢量和。这两个矢量的加法可用下列任一等式表示：

$$\overrightarrow{AB}+\overrightarrow{BC}=\overrightarrow{AC}, \tag{2.1}$$

或

$$\mathbf{P}+\mathbf{Q}=\mathbf{R}。 \tag{2.2}$$

两个矢量的几何差可用下法得到：把应减的矢量变为負向（即在这矢量前加負号——中譯者），然后与另一个矢量相加。例如

$$\mathbf{P}-\mathbf{Q}=\mathbf{P}+(-\mathbf{Q})。 \tag{2.3}$$

从图 2 可看出，矢量是按平行四边形法則相加和相减的：平行四边形的一条对角綫表示了矢量和，而另一条对角綫則表示

了矢量差。

两个以上矢量的几何和也可按两个矢量的求和法求得，即把第一个矢量的末端作为第二个矢量的始端，把第二个矢量的末端作为第三个矢量的始端，如此类推。所有矢量的几何和，就是从第一个矢量的始端到最后一个矢量的末端所作出的矢量，如图 3 所示。

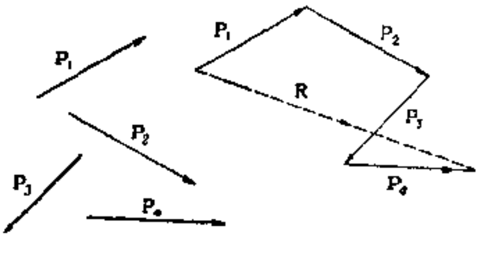


图 3

3 矢量的解析加法 若干个矢量的总和，即它們的合成矢量，也可以用解析法确定。为此，先把各矢量分解为沿直角坐标軸的分量，并分別求出这些分量(各矢量在每个坐标軸上的投影)的代数和，然后应用解析几何的方法求出合成矢量的大小和方向。例如，設矢量 $\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \mathbf{P}_3, \cdots, \mathbf{P}_n$ 与直角坐标軸所成的夾角分别为 $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1; \alpha_2, \beta_2, \gamma_2; \cdots; \alpha_n, \beta_n, \gamma_n$，便可写出：

$$\left.\begin{aligned} \Sigma \mathbf{X} &= \mathrm{P}_1 \cos \alpha_1 + \mathrm{P}_2 \cos \alpha_2 + \cdots + \mathrm{P}_n \cos \alpha_n; \\ \Sigma \mathbf{Y} &= \mathrm{P}_1 \cos \beta_1 + \mathrm{P}_2 \cos \beta_2 + \cdots + \mathrm{P}_n \cos \beta_n; \\ \Sigma \mathbf{Z} &= \mathrm{P}_1 \cos \gamma_1 + \mathrm{P}_2 \cos \gamma_2 + \cdots + \mathrm{P}_n \cos \gamma_n。 \end{aligned}\right\} \tag{3.1}$$

合成矢量的大小等于

$$R = \sqrt{(\Sigma X)^2 + (\Sigma Y)^2 + (\Sigma Z)^2}, \tag{3.2}$$

而矢量 R 与各坐标軸所成的夾角为：

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= \arccos \frac{\Sigma X}{R}; \\ \beta &= \arccos \frac{\Sigma Y}{R}; \\ \gamma &= \arccos \frac{\Sigma Z}{R}。 \end{aligned}\right\} \tag{3.3}$$

4 坐标单位矢量 i, j, k 在許多情形下，通过坐标系的单位矢量来表示較为合理。如图 4 所示，符号 **i** 代表沿 x 軸的单

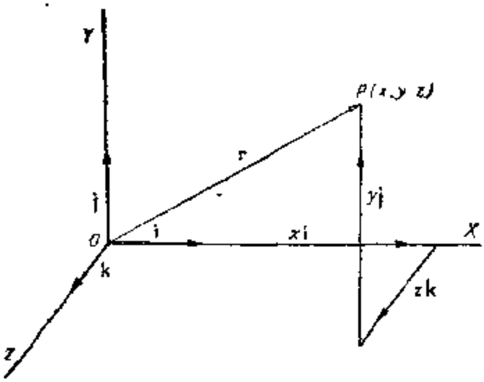


图 4

位矢量，**j** 代表沿 y 軸的单位矢量，而 **k** 代表沿 z 軸的单位矢量，**r** 代表由坐标原点到点 $P(x, y, z)$ 所作出的矢量，即点 P 的矢徑，在这种情形下，矢量 **r** 在各坐标軸上的分量是矢量 $x\mathbf{i}$、$y\mathbf{j}$ 和 $z\mathbf{k}$。因为每个矢量等于其分量的几何和，所以可以写出

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}。 \tag{4.1}$$

如果 r_x、r_y、r_z 或 r_1、r_2、r_3 表示矢量 **r** 在各坐标軸上的投影，那末 **r** 可以写为下列任一种形式：

$$\mathbf{r} = r_x\mathbf{i} - r_y\mathbf{j} + r_z\mathbf{k}, \tag{4.2}$$

或

$$\mathbf{r} = r_1\mathbf{i} + r_2\mathbf{j} + r_3\mathbf{k}。 \tag{4.3}$$

有时也把矢量 **r** 写为$[\mathbf{r}_x, \mathbf{r}_y, \mathbf{r}_z]$的形式。

现在来研究 **p** 和 **q** 这两个矢量。它們可以写为

$$\mathbf{p} = p_1\mathbf{i} + p_2\mathbf{j} + p_3\mathbf{k},$$

$$\mathbf{q} = q_1\mathbf{i} + q_2\mathbf{j} + q_3\mathbf{k},$$

式中 p_1、p_2、p_3 和 q_1、q_2、q_3 分别是 **p** 和 **q** 在直角坐标系各軸上

的投影。把 $\mathbf{p}$ 和 $\mathbf{q}$ 相加，我們得到

$$\mathbf{p}+\mathbf{q}=(p_1+q_1)\mathbf{i}+(p_2+q_2)\mathbf{j}+(p_3+q_3)\mathbf{k}。\qquad (4.4)$$

可見，几个矢量的几何和可以通过单位坐标矢量用类似的方法表示出来。

5 两个矢量的数量积 如前所述，矢量可以用常数和标量来乘或除，并且其乘积或商总是沿原矢量作用綫的矢量。至于矢量与矢量相乘，問题就完全不同了。現在我們先討論一下这个問題。

对于两个矢量，有两种不同的乘积：数量积与矢量积。两个矢量 $\mathbf{a}$ 与 $\mathbf{b}$ 的数量积定义如下：

$$\mathbf{a}\cdot\mathbf{b}=ab\cos\theta, \qquad (5.1)$$

式中 θ 是矢量 $\mathbf{a}$ 与 $\mathbf{b}$ 之間的夹角（图5）。由此可見，两个矢量的数量积是标量。

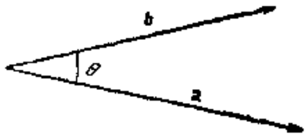


图 5

乘积 $a\cos\theta$ 是矢量 $\mathbf{a}$ 在矢量 $\mathbf{b}$ 上投影的长度，而 $b\cos\theta$ 是矢量 $\mathbf{b}$ 在矢量 $\mathbf{a}$ 上投影的长度；因此，两个矢量的数量积等于其中任一个矢量的长度乘上另一个矢量在其上的投影。

如果矢量 $\mathbf{a}$ 与 $\mathbf{b}$ 彼此垂直，那末 $\theta=90°$，$\cos\theta=0$ 即 $\mathbf{a}\cdot\mathbf{b}=0$。所以，两个矢量彼此垂直的条件为它們的数量积等于零。

如果 $\mathbf{a}$ 与 $\mathbf{b}$ 彼此平行，那末 $\theta=0$，$\cos\theta=1$，即 $\mathbf{a}\cdot\mathbf{b}=ab$。其特例是：

$$\mathbf{a}\cdot\mathbf{a}=a^2。\qquad (5.2)$$

由等式(5.1)可得，

$$\mathbf{a}\cdot\mathbf{b}=\mathbf{b}\cdot\mathbf{a}, \qquad (5.3)$$

也就是說，数量积中因子的順序是无关紧要的。

单位坐标矢量之間的数量积具有下列关系式（这些关系式很重要，应該記住）：

$$\left.\begin{aligned}&\mathbf{i}\cdot\mathbf{i}=\mathbf{j}\cdot\mathbf{j}=\mathbf{k}\cdot\mathbf{k}=1;\\&\mathbf{i}\cdot\mathbf{j}=\mathbf{i}\cdot\mathbf{k}=\mathbf{j}\cdot\mathbf{k}=0。\end{aligned}\right\}\tag{5.4}$$

现在指出，分配定律对两个矢量的数量积是正确的。我們研究矢量 $\mathbf{a}$ 和另外两个矢量 $\mathbf{b}$ 与 $\mathbf{c}$。要求证明

$$\mathbf{a}\cdot(\mathbf{b}+\mathbf{c})=\mathbf{a}\cdot\mathbf{b}+\mathbf{a}\cdot\mathbf{c}。\tag{5.5}$$

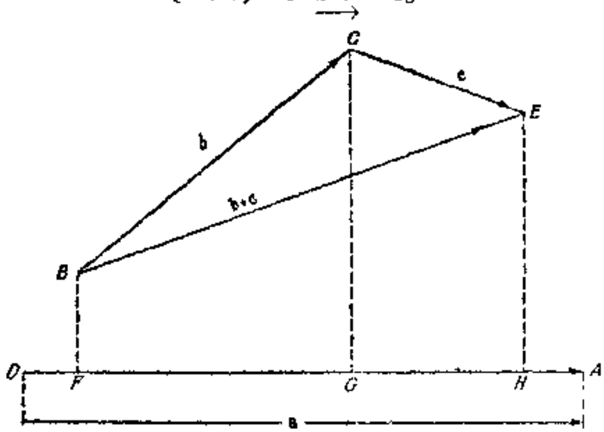


图 6

证明　在图 6 中表示出矢量 $OA=\mathbf{a}$ 以及另外几个矢量在其上的投影，可以写出

(a) $\mathbf{a}\cdot(\mathbf{b}+\mathbf{c})=\overline{OA}\cdot\overline{FH}$;

(b) $\mathbf{a}\cdot\mathbf{b}=\overline{OA}\cdot\overline{FG}$;

(c) $\mathbf{a}\cdot\mathbf{c}=\overline{OA}\cdot\overline{GH}$。

把(b)和(c)相加，得到

(d) $\mathbf{a}\cdot\mathbf{b}+\mathbf{a}\cdot\mathbf{c}=\overline{OA}\cdot(\overline{FG}+\overline{GH})=\overline{OA}\cdot\overline{FH}$。

因为等式(a)与(d)右端的各項相同，所以

$$\mathbf{a}\cdot(\mathbf{b}+\mathbf{c})=\mathbf{a}\cdot\mathbf{b}+\mathbf{a}\cdot\mathbf{c}。\tag{5.5}$$

有了这个結果以及单位矢量之間的关系式，我們便可以通过矢量 $\mathbf{a}$ 和 $\mathbf{b}$ 的垂直分量表示乘积 $\mathbf{a}\cdot\mathbf{b}$。可以写出

$$\mathbf{a}\cdot\mathbf{b}=(a_1\mathbf{i}+a_2\mathbf{j}+a_3\mathbf{k})\cdot(b_1\mathbf{i}+b_2\mathbf{j}+b_3\mathbf{k})=$$
$$=a_1b_1\mathbf{i}\cdot\mathbf{i}+a_2b_2\mathbf{j}\cdot\mathbf{j}+a_3b_3\mathbf{k}\cdot\mathbf{k}=$$
$$=a_1b_1+a_2b_2+a_3b_3,$$

因为根据等式(5.4)，所有像 $a_1b_2\mathbf{i}\cdot\mathbf{j}$ 等形式的乘积都等于零。因此，我們得到重要关系式：

$$\mathbf{a}\cdot\mathbf{b}=a_1b_1+a_2b_2+a_3b_3。\tag{5.6}$$

6 两个矢量的矢量积 两个矢量 **a** 与 **b** 的矢量积可以定义如下：

$$\mathbf{a}\times\mathbf{b}=(ab\sin\theta)\mathbf{n},\tag{6.1}$$

式中 **n** 是垂直于矢量 **a** 和 **b** 所在平面的单位矢量，θ 为使矢量 **a** 向矢量 **b** 的方向重合所必須轉过的角度(图 7)。因此，两个矢量的矢量积是垂直于这两个矢量所在平面的矢量，其大小等于由这两个矢量为邻边所构成的平行四边形的面积。

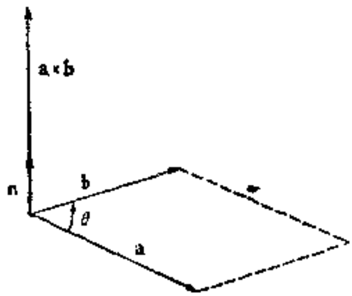


图 7

矢量 $\mathbf{a}\times\mathbf{b}$ 的指向(由箭头标明)决定于下述右螺旋规則：

当按照使矢量 **a** 向矢量 **b** 重合的方向轉动时，矢量 $\mathbf{a}\times\mathbf{b}$ 应該指向右螺旋(例如，小手鉆)前进的方向。由图 7 可見，若螺旋按照使 **a** 向 **b** 重合的方向轉动，則螺旋将向上移动。

現在来研究乘积 $\mathbf{b}\times\mathbf{a}$。这时，若按照使矢量 **b** 向矢量 **a** 重合的方向轉动，則右螺旋将向下移动。进一步說，这时角度 θ 是負值，因为 $\sin(-\theta)=-\sin\theta$，所以

$$\mathbf{b}\times\mathbf{a}=[ba\sin(-\theta)]\mathbf{n}=-(ba\sin\theta)\mathbf{n}=$$
$$=-(\mathbf{a}\times\mathbf{b}),\tag{6.2}$$

这也符合于右螺旋規則。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com