

文章编号: 1001 - 893X(2011)06 - 0066 - 05

# 双坐标系多参量目标的融合定位\*

王前东

(中国西南电子技术研究所, 成都 610036)

**摘要:** 雷达探测的距离、方位角与目标应答的高度属于两个不同坐标系, 无法使用坐标变换公式进行定位, 为此提出了一种迭代求解方法。首先采用几何法求出雷达探测坐标系的俯仰角初始值, 然后直接利用坐标变换公式给出求解的迭代算法。Matlab 仿真数值实例表明了经度和纬度的定位误差均小于  $0.000\ 02^\circ$ 。

**关键词:** 舰载雷达; 融合定位; 双坐标系; 坐标变换; 迭代原理

**中图分类号:** TN957.52      **文献标识码:** A      doi: 10.3969/j.issn.1001-893x.2011.06.015

## Fusion Positioning of Multi-parameter Target in Double Coordinates

WANG Qian-dong

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

**Abstract:** As the detection distance, azimuth and altitude are in different two coordinates, the positioning of the target can not be realized by coordinate transformation. So, an iterative method is presented for fusion positioning. Firstly, the initial values of elevation of spherical coordinate are solved by geometric arithmetic. Secondly, the iterative scheme is formed by coordinate transformation. A numerical example in Matlab software shows the positioning error of both the longitude and the latitude is less than  $0.00002$  degree.

**Key words:** shipborne radar; fusion positioning; double coordinates; coordinate transformation; iterative principle

## 1 引言

一般对空舰载雷达是三维雷达, 给出目标在舰船球坐标系下的距离、方位角、俯仰角, 三参量属于同一坐标系, 可以用坐标变换公式对目标进行直接定位<sup>[1-3]</sup>。但实际应用中, 常常遇到的舰载雷达是二维雷达, 可以提供目标在舰船球坐标系下的距离、方位角, 不能获得俯仰角; 同时用其它方法可以获得目标在 WGS-84 大地坐标系下的高度, 不能获得经度与纬度。这样在舰载雷达截获目标中构成了由舰船球坐标系下的距离、方位角、WGS-84 大地坐标系下的高度共 3 个坐标组成的双坐标系, 不能直接利用已有的坐标变换公式对目标进行定位, 公开文献没有查到对这种双坐标系进行定位的方法。为

此, 本文提出了一种对双坐标系参量进行融合定位的新方法。

## 2 坐标变换的基础知识<sup>[1-5]</sup>

### 2.1 坐标系定义

要对目标进行定位, 需要利用以下几个常用坐标系与相关参数。

#### (1) WGS-84 直角坐标系

即美国国防部 1984 年世界大地坐标系 (GPS 采用 WGS-84)。其坐标原点是地球质心,  $Z$  轴指向 BIH1984.0 定义的协议地极 (CTP) 方向,  $X$  轴指向 BIH1984.0 的零度子午面和 CTP 赤道的交点,  $Y$  轴和  $Z$ 、 $X$  轴构成右手坐标系。

\* 收稿日期: 2011-03-22; 修回日期: 2011-05-13

(2)WGS - 84 大地坐标系

空间一点  $P$  的大地坐标用大地纬度  $M$ 、大地经度  $L$  和大地高度  $H$  表示。其中  $P$  点的大地子午面和起始大地子午面所构成的二面角  $L$  是  $P$  点的大地经度; $P$  点的法线和赤道面的夹角  $M$  是  $P$  点的大地纬度; $P$  点沿法线到地球球面的距离  $H$  是大地高。

(3)舰船地理坐标系

以舰船质心位置为原点,  $X$  轴正方向指向正东,  $Y$  轴正方向指向正北,  $Z$  轴正方向垂直  $X - Y$  平面向上。

(4)舰船地理球坐标系

方位角为目标在水平面的投影与正北的夹角, 顺时针为正;俯仰角为目标在水平面的投影与目标到原点的连线间的夹角, 向上为正;距离为目标与舰船质心之间的距离。

(5)舰船直角坐标系

以舰船的质心位置为坐标原点,  $X - Y$  平面平行于舰主基准面,  $Y$  轴正方向指向舰艏方向,  $X$  轴正方向指向右舷  $90^\circ$  方向,  $Z$  轴正方向垂直向上。

(6)舰船甲板球坐标系

方位角为目标在舰主基准面的投影离舰艏方向的夹角;俯仰角为目标在舰主基准面的投影与目标到原点的连线间的夹角, 向上为正。

(7)艏向角

舰船艏艉线在地理水平面内的投影与真北的夹角。

(8)纵摇角

舰船艏艉线相对于地理坐标系在其垂直面内的摇摆角。

(9)横摇角

舰船坐标系相对于地理坐标系在其肋骨面内的摇摆角。

2.2 单坐标系坐标变换

单坐标系坐标变换步骤如下。

(1)从舰船甲板球坐标距离、方位角、俯仰角组成的目标位置  $S_0 = [r \quad \alpha \quad \theta]'$ , 到舰船甲板直角坐标位置  $S_1 = [x_1 \quad y_1 \quad z_1]'$  的坐标变换

$$\begin{cases} x_1 = r \cos \theta \sin \alpha \\ y_1 = r \cos \theta \cos \alpha \\ z_1 = r \sin \theta \end{cases} \quad (1)$$

(2)从舰船直角位置  $S_1 = [x_1 \quad y_1 \quad z_1]'$  到舰船地理直角位置  $S_2 = [X_2 \quad Y_2 \quad Z_2]'$  的坐标变换

设舰船的姿态为横摇角  $\gamma$ 、艏向角  $\beta$ 、纵摇角为  $\epsilon$ , 令

$$A_1 = \begin{bmatrix} \sin \epsilon \sin \beta \sin \gamma + \cos \beta \cos \gamma & \cos \epsilon \sin \beta & -\sin \epsilon \sin \beta \cos \gamma + \cos \beta \sin \gamma \\ \sin \epsilon \cos \beta \sin \gamma - \sin \beta \cos \gamma & \cos \epsilon \cos \beta & -\sin \epsilon \cos \beta \cos \gamma - \sin \beta \sin \gamma \\ -\cos \epsilon \sin \gamma & \sin \epsilon & \cos \epsilon \cos \gamma \end{bmatrix} \quad (2)$$

则有变换:

$$S_2 = A_1 S_1 \quad (3)$$

(3)目标由舰船地理位置  $S_2 = [X_2 \quad Y_2 \quad Z_2]'$  到地心坐标位置  $S_3 = [X_3 \quad Y_3 \quad Z_3]'$  的坐标变换

设舰船在地心坐标下的位置为  $S_0 = [X_0 \quad Y_0 \quad Z_0]'$ , 设舰船 WGS - 84 大地坐标经度为  $l$ 、纬度为  $m$ 、高度为  $h$ , 令

$$A_2 = \begin{bmatrix} -\sin l & -\cos l \sin m & \cos l \cos m \\ \cos l & -\sin l \sin m & \cos m \sin l \\ 0 & \cos m & \sin m \end{bmatrix} \quad (4)$$

则有变换:

$$S_3 = A_2 S_2 + S_0 \quad (5)$$

(4)目标由 WGS - 84 地心直角坐标  $S_3 = [X_3 \quad Y_3 \quad Z_3]'$  到 WGS - 84 大地坐标即经度  $L$ 、纬度  $M$ 、高度  $H$  的变换

$$\begin{cases} L = \arctan \frac{Y_3}{X_3} \\ M = \arctan \left[ \frac{Z_3}{\sqrt{X_3^2 + Y_3^2}} \left( 1 - \frac{e^2 N}{(N + H)} \right)^{-1} \right] \\ H = \frac{\sqrt{X_3^2 + Y_3^2}}{\cos M} - N \end{cases} \quad (6)$$

在上式中, 求  $M$  和  $H$  的迭代方法是: 迭代开始时, 设:

$$\begin{cases} N_0 = a \\ H_0 = \sqrt{X_3^2 + Y_3^2 + Z_3^2} - \sqrt{ab} \\ M_0 = \arctan \left[ \frac{Z_3}{\sqrt{X_3^2 + Y_3^2}} \left( 1 - \frac{e^2 N_0}{(N_0 + H_0)} \right)^{-1} \right] \end{cases} \quad (7)$$

随后, 每次迭代按下述公式进行:

$$\begin{cases} N_i = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 M_{i-1}}} \\ H_i = \frac{\sqrt{X_3^2 + Y_3^2}}{\cos M_{i-1}} - N_i \\ M_i = \arctan \left[ \frac{Z_3}{\sqrt{X_3^2 + Y_3^2}} \left( 1 - \frac{e^2 N_i}{(N_i + H_i)} \right)^{-1} \right] \end{cases} \quad (8)$$

直至  $(M_i - M_{i-1})$  和  $(H_i - H_{i-1})$  小于某一所要求的

限值为止。例如,在保证  $H$  的计算精度为  $0.001\text{ m}$  和  $M$  的计算精度为  $0.000\ 01''$  的情况下,一般仅迭代 4 次左右。

如果高度  $H$  已知,则坐标变换变为

$$\begin{cases} L = \arctan \frac{Y_3}{X_3} \\ M = \arctan \left[ \frac{Z_3}{\sqrt{X_3^2 + Y_3^2}} \left( 1 - \frac{e^2 N}{(N + H)} \right)^{-1} \right] \end{cases} \quad (9)$$

在上式中,求  $M$  迭代方法是:迭代开始时,设:

$$\begin{cases} N_0 = a \\ M_0 = \arctan \left[ \frac{Z_3}{\sqrt{X_3^2 + Y_3^2}} \left( 1 - \frac{e^2 N_0}{(N_0 + H)} \right)^{-1} \right] \end{cases} \quad (10)$$

随后,每次迭代按下述公式进行:

$$\begin{cases} N_i = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 M_{i-1}}} \\ M_i = \arctan \left[ \frac{Z_3}{\sqrt{X_3^2 + Y_3^2}} \left( 1 - \frac{e^2 N_i}{(N_i + H_i)} \right)^{-1} \right] \end{cases} \quad (11)$$

(5)从 WGS - 84 大地坐标即经度  $L$ 、纬度  $M$ 、高度  $H$  到 WGS - 84 地心直角坐标  $S_3 = [X_3 \ Y_3 \ Z_3]'$  的变换

$$\begin{bmatrix} X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N + H) \cos M \cos L \\ (N + H) \cos M \sin L \\ [N(1 - e^2) + H] \sin M \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 M}} \quad (13)$$

式中,  $e$  为椭球第一偏心率,  $a$  为椭球长半径,  $N$  为椭球卯酉圈曲率半径。

(6)目标由地心坐标位置  $S_3 = [X_3 \ Y_3 \ Z_3]'$  到舰船地理位置  $S_2 = [X_2 \ Y_2 \ Z_2]'$  的坐标变换

设舰船在地心坐标下的位置为  $S_0 = [X_0 \ Y_0 \ Z_0]'$ , 设舰船 WGS - 84 大地坐标经度为  $l$ 、纬度为  $m$ 、高度为  $h$ , 令

$$A_2^{-1} = \begin{bmatrix} -\sin l & \cos l & 0 \\ -\cos l \sin m & -\sin l \sin m & \cos m \\ \cos l \cos m & \cos m \sin l & \sin m \end{bmatrix} \quad (14)$$

则有变换:

$$S_2 = A_2^{-1}(S_3 - S_0)$$

(7)从舰船地理直角位置  $S_2 = [X_2 \ Y_2 \ Z_2]'$  到舰船直角位置  $S_1 = [x_1 \ y_1 \ z_1]'$  的坐标变换

设舰船的横摇角、艏向角、纵摇角分别为  $\gamma$ 、 $\beta$ 、 $\epsilon$ , 令

$$A_1^{-1} = \begin{bmatrix} \sin \epsilon \sin \beta \sin \gamma + \cos \beta \cos \gamma & \sin \epsilon \cos \beta \sin \gamma - \sin \beta \cos \gamma & -\cos \epsilon \sin \gamma \\ \cos \epsilon \sin \beta & \cos \epsilon \cos \beta & \sin \epsilon \\ -\sin \epsilon \sin \beta \cos \gamma + \cos \beta \sin \gamma & -\sin \epsilon \cos \beta \cos \gamma - \sin \beta \sin \gamma & \cos \epsilon \cos \gamma \end{bmatrix} \quad (15)$$

则有变换:

$$S_1 = A_1^{-1} S_2$$

(8)从舰船直角坐标位置  $S_1 = [x_1 \ y_1 \ z_1]'$  到舰船球坐标位置  $S_0 = [r \ \alpha \ \theta]'$  的坐标变换

$$\begin{cases} r = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2} \\ \alpha = \arctan(x_1/y_1) \\ \theta = \arcsin(z_1/r) \end{cases} \quad (16)$$

### 3 基于迭代原理的双坐标系目标融合定位

#### 3.1 融合定位的迭代方法

设已知舰船的姿为横摇角  $\gamma$ , 艏向角  $\beta$ , 纵摇角为  $\epsilon$ , 设舰船在地心坐标下的位置为  $S_0 = [x_0 \ y_0 \ z_0]'$ 。利用坐标变换步骤(1)~(4), 可以求出目标由舰船甲板球坐标位置  $S_0 = [r \ \alpha \ \theta]'$  到 WGS - 84 大地坐标的经度  $L$ 、纬度  $M$  的坐标变换。设其中求解经度  $L$  的复合函数为

$$L = f_{\gamma\beta\epsilon x_0 y_0 z_0}^1(r, \alpha, \theta) \quad (17)$$

设求解纬度  $M$  的复合函数为

$$M = f_{\gamma\beta\epsilon x_0 y_0 z_0}^2(r, \alpha, \theta) \quad (18)$$

同理, 可以用坐标变换步骤(5)~(8)求出目标由 WGS - 84 大地坐标的经度  $L$ 、纬度  $M$ 、高度  $H$  到舰船甲板球坐标系下的俯仰角  $\theta$  的坐标变换。设求解俯仰角  $\theta$  的复合函数为

$$\theta = f_{\gamma\beta\epsilon x_0 y_0 z_0}^3(L, M, H) \quad (19)$$

利用公式(17)~(19), 可以求出俯仰角  $\theta$  满足如下方程:

$$\theta = f_{\gamma\beta\epsilon x_0 y_0 z_0}^3(L, M, H) = f_{\gamma\beta\epsilon x_0 y_0 z_0}^3(f_{\gamma\beta\epsilon x_0 y_0 z_0}^1(r, \alpha, \theta), f_{\gamma\beta\epsilon x_0 y_0 z_0}^2(r, \alpha, \theta), H) \quad (20)$$

此方程可以记为如下形式:

$$\theta = g_{r, \alpha, H}(\theta) \quad (21)$$

式中,  $g_{r, \alpha, H}$  为  $f_1, f_2, f_3$  的复合函数, 根据此方程容易知道求俯仰角  $\theta$  的一般迭代方法:

$$\theta_{n+1} = g_{r, \alpha, H}(\theta_n) \quad (22)$$

#### 3.2 几何法求迭代初值

假定地球为一球体, 半径为  $R$ , 球心为  $O$ 。目标

$P$  的高度为  $H$ , 目标距离舰船  $M$  的距离为  $r$ , 如图 1 所示。

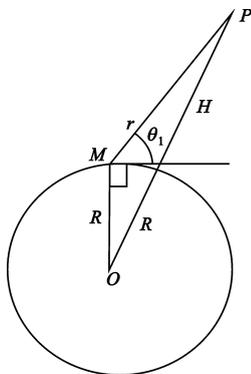


图 1 几何法示意图

Fig.1 Schematic diagram of the geometry arithmetic

在三角形  $OPM$  中可以求出目标在舰船地理球坐标系下的俯仰角  $\theta_1$  满足如下方程:

$$\sin\theta_1 = \frac{R^2 + r^2 - (R + H)^2}{2rR} \quad (23)$$

设舰船的横摇角、纵摇角分别为  $\gamma, \epsilon$ , 从舰船甲板球坐标系下的方位角为  $\alpha$ 、俯仰角为  $\theta$ , 则有如下方程<sup>[3]</sup>:

$$\sin\theta_1 = \cos\epsilon \cos\gamma \sin\theta + (\sin\epsilon \cos\alpha - \cos\epsilon \sin\gamma \sin\alpha) \cos\theta \quad (24)$$

联合公式(23)、(24)可求出俯仰角初值  $\theta$ 。

### 3.3 融合定位的求解步骤

迭代开始时, 利用公式(23)、(24)求出  $\theta$  的初值, 代入距离  $r$ 、方位角  $\alpha$ , 利用坐标变换(1)~(4)与舰船位置和姿态参数, 可以求出目标的经度  $L_0$ 、纬度  $M_0$ ; 随后, 令  $i = i + 1$ , 每次迭代按下述公式进行:

(1) 代入经度  $L_i$ 、纬度  $M_i$ 、高度  $H$ , 利用坐标变换(5)~(8)可以求出俯仰角  $\theta_{i+1}$ ;

(2) 代入距离  $r$ 、方位角  $\alpha$ 、俯仰角  $\theta_{i+1}$ , 利用坐标变换(1)~(4)可以求出经度  $L_{i+1}$ 、纬度  $M_{i+1}$ ;

令  $i = i + 1$ , 重复上述过程直到满足所需精度。

## 4 Matlab 软件仿真试验结果

设舰船位置经度为  $l = 120$ , 纬度为  $m = 20$ , 高度为  $h = 0$ , 舰船的横摇角、艏向角、纵摇角分别为  $\gamma = 10, \beta = 10, \epsilon = 5$ , 距离  $r = 50\ 000$ , 方位角  $\alpha = 330$ , 仿真结果如表 1 所示。

表 1 定位误差  
Table 1 Positioning error

俯仰角 $\theta/(^\circ)$	高度 $H$ /m	经度误差 $/(^\circ)$	纬度误差 $/(^\circ)$	俯仰角误差 $/(^\circ)$
0	$6.138\ 4 \times 10^3$	0	0	0
3	$8.724\ 2 \times 10^3$	$7.047\ 8 \times 10^{-8}$	$1.105\ 1 \times 10^{-7}$	$8.983\ 1 \times 10^{-5}$
6	$1.128\ 6 \times 10^4$	$3.525\ 5 \times 10^{-8}$	$6.064\ 9 \times 10^{-8}$	$3.772\ 1 \times 10^{-5}$
9	$1.381\ 5 \times 10^4$	$2.136\ 1 \times 10^{-8}$	$3.910\ 4 \times 10^{-8}$	$1.974\ 3 \times 10^{-5}$
12	$1.630\ 7 \times 10^4$	$1.513\ 6 \times 10^{-7}$	$2.898\ 1 \times 10^{-7}$	$1.234\ 5 \times 10^{-4}$
15	$1.875\ 4 \times 10^4$	$1.122\ 0 \times 10^{-7}$	$2.223\ 0 \times 10^{-7}$	$8.209\ 5 \times 10^{-5}$
18	$2.114\ 9 \times 10^4$	$1.050\ 5 \times 10^{-7}$	$2.138\ 6 \times 10^{-7}$	$6.988\ 1 \times 10^{-5}$
21	$2.348\ 5 \times 10^4$	$5.332\ 1 \times 10^{-7}$	$1.109\ 7 \times 10^{-6}$	$3.259\ 9 \times 10^{-4}$
24	$2.575\ 8 \times 10^4$	$2.216\ 4 \times 10^{-6}$	$4.698\ 6 \times 10^{-6}$	$1.256\ 9 \times 10^{-3}$
27	$2.795\ 9 \times 10^4$	$7.799\ 6 \times 10^{-6}$	$1.679\ 7 \times 10^{-5}$	$4.135\ 4 \times 10^{-3}$

从表 1 可以看出: 真实的俯仰角从  $0^\circ$  增加到  $27^\circ$  时, 本文的坐标变换经度与纬度定位误差小于  $0.000\ 02^\circ$ , 俯仰角误差小于  $0.005^\circ$ , 能满足定位需求。

## 5 结论

本文针对二维舰载雷达目标的坐标定位问题进行了探索, 利用舰船球坐标系下的距离、方位角、WGS-84 大地坐标系下的高度共 3 个坐标组成的双坐标系, 详细推导了相应的坐标定位过程, 并用 Matlab 软件进行了仿真验证。仿真结果表明: 坐标变换经度与纬度定位误差小于  $0.000\ 02^\circ$ , 俯仰角误差小于  $0.005^\circ$ 。

本文采用的是迭代法, 该方法可以推广应用到其它双坐标系中多参量的定位。实际应用中, 该方法计算量较大, 应根据实际需要进行调整, 如减少迭代次数以减少计算量, 或优化迭代初始值和增加迭代次数以提高定位精度等。

### 参考文献:

[1] 曹正才. 舰载雷达常用稳定方式坐标变换[J]. 雷达与对抗, 2010, 30(1): 47-52.  
CAO Zheng-cai. The commonly used coordinate transformation of stabilization modes for shipborne radars [J]. Radar & ECM, 2010, 30(1): 47-52. (in Chinese)  
[2] 杨帆, 李强, 王卫疆. 坐标转换在机载预警雷达情报关联中的应用[J]. 空军雷达学院学报, 2010(4): 28-31.

- YANG Fan, LI Qiang, WANG Wei - jiang. Application of Coordinate Transformation too Intelligence Correlation of Airborne Early Warning Radar[J]. Journal of Air Force Radar Academy, 2010(4): 28 - 31. (in Chinese)
- [3] 方成一, 王振旺. 舰载雷达天线电子稳定方程的推导方法[J]. 雷达与对抗, 1999(2): 68 - 74.
- FANG Cheng - yi, WANG Zhen - wang. Derivation of electronic steadiness equations of ship - borne radar[J]. Radar & ECM, 1999(2): 68 - 74. (in Chinese)
- [4] 常军. 机载雷达目标的大地坐标定位[J]. 电讯技术, 2003, 43(2): 97 - 100.
- CHANG Jun. Positioning of Airborne Radar Targets in 54 Coordinate[J]. Telecommunication Engineering, 2003, 43(2): 97 - 100. (in Chinese)

- [5] 吴顺君, 梅晓春. 雷达信号处理和数据处理技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- WU Shun - jun, MEI Xiao - chun. Radar signal processing and data processing[M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2008. (in Chinese)

### 作者简介:

王前东(1977—), 男, 四川西充人, 2004年于四川大学获硕士学位, 现为工程师, 主要从事情报数据融合处理研究。

WANG Qian - dong was born in Xichong, Sichuan Province, in 1977. He received the M. S. degree from Sichuan University in 2004. He is now an engineer. His research direction is data fusion in intelligence system.

Email: wangqiandong@sohu.com

## 《电讯技术》征稿启事

《电讯技术》(月刊)创刊于1958年, 由中国西南电子技术研究所主办, 系国内外公开发行的、理论与应用相结合的综合性和电子专业科技刊物, 为中文核心期刊。目前, 已被英国 IEE《科学文摘(SA)》INSPEC、美国《剑桥科学文摘(CSA)》、波兰《哥白尼索引(IC)》等国外知名数据和国内多个中文数据库收录。

本刊主要刊登涉及下列应用方向和技术领域的述评、论文、新概念新技术新产品介绍:

- 电子系统工程
- 通信
- 导航
- 识别
- 飞行器测控
- 卫星应用
- 雷达
- 信息战
- 共性技术(包括天线、射频电路、信号处理、信息处理、监视与控制、时间与频率、先进制造、电磁兼容等)。

本刊栏目有: 系统总体技术、信号与信息处理技术、计算机、网络及其应用技术、信道技术、先进制造技术、基础技术、述评与展望。

欢迎业内学者、专家及科技人员踊跃投稿。

### 来稿要求及注意事项:

(1) 文稿务必主题明确, 论述合理, 逻辑严谨, 数据可靠, 叙述清楚, 文字精炼。内容应保守国家机密, 并提供所在单位的保密审查证明, 引用他人作品应给出来源。

(2) 文稿一般不应超过 6 000 字, 综述稿不超过 8 000 字。稿件应附英文题名、作者名、单位名、摘要和关键词, 基金项目应注明项目编号。中文题名一般不超过 20 个汉字, 必要时可加副标题。

(3) 摘要应包括目的、方法、结果和结论四要素, 即用简洁的语言说明文章要解决的问题, 主要工作过程及所采用的技术手段和方法, 研究所获得的实验数据、结果及其意义。篇幅以 200 ~ 300 字为宜。

(4) 关键词以 3 ~ 8 个为宜。为便于文献检索, 应尽可能根据《中国图书馆分类法(第四版)》提供中图分类号。

(5) 文中涉及的物理量和计量单位应符合国家有关标准。计量单位请用 GB3100 - 3102 - 93《量和单位》规定的法定计量单位。注意区分各物理量符号的文种、大、小写、正斜体(矢量和矩阵用黑斜体)、上、下角标等。

(6) 插图和表格只给出必要的, 且应有图题和表题。插图最好采用计算机制作。照片以黑白为佳, 也可采用扫描的电子文档(精度高于 400 dpi, tif、jpg、psd 等格式均可)。

(7) 文稿中引用他人的成果, 务请写明原作者姓名、题名、来源, 一并在参考文献中给出, 并在正文中相应位置进行标示, 否则责任由来稿人自负。参考文献只择主要的, 未公开发表的文献请勿列入参考文献。书写格式请参见 GB/T 7714 - 2005 文后参考文献著录规则。

(8) 投稿邮箱: dianxunjishu@china.com, 并尽量同时提供 Word 和 pdf 文档, 无需另寄打印稿。来稿请注明作者详细通信地址、联系电话和有效电子邮箱, 并注明拟投栏目。

(9) 本刊编辑部将在 3 个月之内对来稿作出取舍, 如逾期未收到处理意见或刊用通知, 作者有权对稿件另行处理。稿件一经刊用, 本刊将酌情从优支付稿酬并赠送当期样刊, 本刊支付的稿酬中已包含作者著作权使用费。请勿一稿多投, 否则后果自负。