

## 海上搜寻区域确定的计算机辅助方法

胡志武, 毕曙光, 耿鹤军

(上海海事大学 商船学院, 上海 200135)

**摘要:**为提高海上搜救的准确性和效率,通过计算海流、风生流、风压差等对搜寻目标的影响,预测搜寻基准,并考虑位置总或然误差、可用搜寻力量和覆盖因数等,对搜寻辅助系统中的关键部分——搜寻区域确定进行研究,建立搜寻区域确定模型,编制相应计算机辅助程序.实例验证该方法的准确性.

**关键词:**海上搜救; 搜寻区域; 搜寻基点; 计算机辅助方法

**中图分类号:** U676.8; N945.12; TP391.75

**文献标志码:** A

### Computer-aided method for determining maritime search area

HU Zhiwu, BI Shuguang, GENG Hejun

(Marine Merchant Collage, Shanghai Maritime Univ., Shanghai 200135, China)

**Abstract:** In order to improve the accuracy and efficiency of maritime search and rescue, a computer-aided search area model is set up. In this model, the search datum is determined by computing the influence of sea current, wind current and leeway to search objects, and the search area is determined by considering total probable error of position, available search effort, coverage factor, etc. Finally, the above computing processes are translated into computer algorithm and a computer-aided program was compiled for determining the search area. The validity of the proposed approach is verified by a sample case.

**Key words:** maritime search and rescue; search area; search datum; computer-aided method

### 0 引言

海上搜寻在整个搜救系统中是最昂贵、最危险和最复杂的部分,涉及很多计算问题.国际海事组织鼓励有条件的国家开发搜寻辅助系统或程序,利用计算机强大的计算功能辅助制定搜寻计划.

国外相关研究机构和企业对海上搜寻流程和搜寻理论进行深入细致的研究,开发出一些海上搜寻辅助系统软件并得到运用,如美国的 POSSE 系统、SARMAP 系统,加拿大的 CANSARP 系统,法国的 MOTHY 系统以及英国的 SARIS 系统等.

国内这方面的研究起步较晚,近年来有一些研

究成果<sup>[1-4]</sup>发表.其中,文献[3]利用 POM 模式模拟计算东中国海 8 个主要分潮的潮汐和潮流,建立东中国海的表层潮流数值预报模式,并利用潮流预报模式和 ECCO 大洋环流模式的计算结果,在只考虑潮流和准定常海流的情况下,编程实现海上漂浮物漂移轨迹追踪软件.然而,这些研究都有一定的局限性,尤其是考虑海上目标漂移的影响因素时,往往偏重于某一方面,缺少实用价值.

文献[5,6]强调搜救任务的组织性和系统性,并在第 2 卷《任务协调》中介绍漂移的预测以及搜救方法的选择,为搜寻工作提供一定的理论指导,但对搜寻漂移物的位置预测仅作概略分析,并在方法

收稿日期:2007-10-10 修回日期:2008-03-10

基金项目:上海市重点学科建设项目(T0603)

作者简介:胡志武(1971—),男,湖南双峰人,副教授,博士,研究方向为海上交通工程、船舶安全管理,海上搜救和航海教育等.

(E-mail) zwhu@mmc.shmtu.edu.cn

上予以示意,缺乏可操作性.为全面考虑确定海上搜寻区域所涉及的影响因素,增强研究成果的实用价值,本文严格以文献[5,6]为指南,对搜寻辅助系统中的关键部分——确定搜寻区域进行研究.首先归纳海面平均风、总水流和风压差矢量的算法,据此预测搜寻基准;然后对基于位置总或然误差和搜寻力量最佳分配的搜寻区域确定技术进行总结;最后将计算过程转化为算法编制辅助程序,并通过实验验证辅助程序的准确性.

## 1 搜寻基准预测

通常有2类力量使搜寻目标产生移动或漂移:风和流.为计算搜寻目标的位置,必须估算出风压差和总水流矢量的大小和方向,并根据矢量叠加原理计算漂移的方向和速度,预测搜寻基准.

### 1.1 海面平均风

海面平均风是指一段时间内(通常是漂移时间内)风速矢量的加权平均值.用海面平均风计算风生流和风压差.

海面平均风的速度

$$V_{ASW} = \frac{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n V_{SW_i} t_i \sin \theta_{SW_i}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n V_{SW_i} t_i \cos \theta_{SW_i}\right)^2}}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

式中: $V_{SW_i}$ 是第*i*个时段测得的海面风速,  $\theta_{SW_i}$ 是第*i*个时段测得的海面风方向;  $t_i$ 是第*i*个时段海面

实际作用时间.

$$\text{设 } X = \sum_{i=1}^n V_{SW_i} t_i \cos \theta_{SW_i}, Y = \sum_{i=1}^n V_{SW_i} t_i \sin \theta_{SW_i},$$

则海面平均风的方向

$$\theta_{ASW} = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right), X > 0, Y > 0;$$

$$\theta_{ASW} = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) + 360^\circ, X > 0, Y < 0;$$

$$\theta_{ASW} = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) + 180^\circ, X < 0.$$

在计算风生流与风压差时要使用下风方向

$$\theta_{ASW-} = \theta_{ASW} \pm 180^\circ$$

### 1.2 总水流

在海面模式下,总水流等于风生流与海流的矢量和.

#### 1.2.1 风生流

风生流  $C_w$  是风持续作用在水面上形成的,风对形成当地风生流的实际影响不很清楚,一般假设经过6~12h同一风向的持续风力作用就能形成风生流.过去48h影响最大,因此计算从遇险时间到搜寻基准时间的每一报告时间组风生流时,需要计算过去48h海面平均风的影响.将漂移期间各个报告时间组的风生流进行合成获得风生流.

设  $V_{C_{w_k}}$  表示48h内第*k*个报告时间组风生流矢量的大小,  $\theta_{C_{w_k}}$  表示第*k*个报告时间组风生流矢量的方向,则

$$V_{C_{w_k}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n [V_{SW_i} d_i \sin(\theta_{SW_i} + c_i)]^2 + \sum_{i=1}^n [V_{SW_i} d_i \cos(\theta_{SW_i} + c_i)]^2}$$

$$V_{C_{w_k}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n [V_{SW_i} d_i \sin(\theta_{SW_i} + c_i - 360^\circ)]^2 + \sum_{i=1}^n [V_{SW_i} d_i \cos(\theta_{SW_i} + c_i - 360^\circ)]^2}, \theta_{SW_i} + c_i > 360^\circ$$

式中: $\theta_{SW_i}$ 为第*i*个报告时间组的风向;  $V_{SW_i}$ 为第*i*个报告时间组的风速;  $c_i$ 为第*i*个报告时间组的风向和流向的关系因数;  $d_i$ 为第*i*个报告时间组的风速和流速的关系因数,设

$$X = \sum_{i=1}^n V_{SW_i} d_i \cos(\theta_{SW_i} + c_i)$$

$$Y = \sum_{i=1}^n V_{SW_i} d_i \sin(\theta_{SW_i} + c_i), \text{ 则}$$

$$\theta_{C_{w_k}} = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right), X > 0, Y > 0$$

$$\theta_{C_{w_k}} = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) + 360^\circ, X > 0, Y < 0$$

报告时间组的风生流矢量;  $V_{C_{w_j}}$  表示第*j*个报告时间组风生流矢量的大小;  $\theta_{C_{w_j}}$  表示第*j*个报告时间组风生流矢量的方向,则

$$C_w = \sum_{j=1}^m (C_{w_j})$$

$$V_{C_w} = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^m V_{C_{w_j}} \sin \theta_{C_{w_j}}\right)^2 + \left(\sum_{j=1}^m V_{C_{w_j}} \cos \theta_{C_{w_j}}\right)^2}$$

式中: $m$ 为漂移期间的报告时间组数,设

$$M = \sum_{j=1}^m V_{C_{w_j}} \cos \theta_{C_{w_j}}, N = \sum_{j=1}^m V_{C_{w_j}} \sin \theta_{C_{w_j}}, \text{ 则}$$

$$\theta_{C_w} = \arctan\left(\frac{N}{M}\right), M > 0, N > 0;$$

1.2.2 海流

海流  $C_s$  是洋面大范围海水的定向流动. 遇险区域处于离岸 25 n mile 以外或水深大于 100 m 时才考虑海流, 接近水面的海流是搜寻计划人员的主要关注点. 海流可以在现场直接测算出, 也可以通过计算机输出模式和水文图表获得. 海流是 1 个合成

$$V_{C_{TW}} = \sqrt{(V_{C_s} \cos \theta_{C_s} + V_{C_s} \cos \theta_{C_s})^2 + (V_{C_s} \sin \theta_{C_s} + V_{C_s} \sin \theta_{C_s})^2}$$

$$\text{设 } X = V_{C_s} \cos \theta_{C_s} + V_{C_s} \cos \theta_{C_s},$$

$$Y = V_{C_s} \sin \theta_{C_s} + V_{C_s} \sin \theta_{C_s}, \text{ 则}$$

$$\theta_{C_{TW}} = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right), X > 0, Y > 0;$$

$$\theta_{C_{TW}} = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) + 360^\circ, X > 0, Y < 0;$$

$$\theta_{C_{TW}} = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) + 180^\circ, X < 0.$$

1.3 风压差

风压差(LW)是指风作用于水面上的船体部分使船舶沿着风向漂移. 水上和水下的船体形状会影响风压差的大小, 并使船舶稍微偏离下风向.

设风压差的方向角为  $\theta_{LW}$ , 风压差的大小为  $V_{LW}$ , 则

$$\theta_{LW} = \theta_{ASW} - \alpha, V_{LW} = V_{ASW} \cdot \gamma$$

式中:  $\theta_{ASW}$  为下风方向;  $\alpha$  为风压偏离角;  $V_{ASW}$  为海面平均风速的大小;  $\gamma$  为风压漂移率.  $\alpha$  和  $\gamma$  可以查文献[5,6]的附表获得.

风压差也可以通过以下经验公式<sup>[7]</sup>求取:

$$V_{LW} = \begin{pmatrix} 0.068 & 0 \\ 0.048 & 5 \end{pmatrix} \sqrt{\frac{A}{B}} V_{ASW}$$

式中:  $A$  为搜寻目标水面上的投影面积;  $B$  为水面上的投影面积;  $V_{ASW}$  为海面平均风速度的大小, kn. 风压中心高的船舶, 风压因数为 0.068; 风压中心低的救生艇, 风压因数为 0.048 5. 对于常见类型船舶也可直接运用经验值, 如大型船舶风压因数为 0.03, 渔船风压因数为 0.04, 大游艇风压因数为 0.05, 小游艇风压因数为 0.06 等.

1.4 风压偏离基准

计算出总流压差和风压差后, 便可通过计算确定基点, 见图 1.

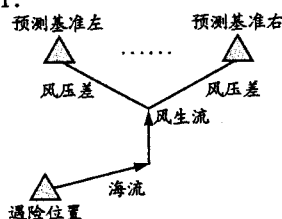


图 1 基点的确定

矢量, 通常取一定时段内(如 1 年)观测所得到的平均值, 但是海流并非经常处于稳定状态, 所以要谨慎使用海流平均值.

1.2.3 总水流

设总水流  $C_{TW}$  的大小为  $V_{C_{TW}}$ , 方向为  $\theta_{C_{TW}}$ , 则

利用矢量叠加计算出漂移速率和漂移方向, 从而确定最近距离  $d_{min}$  和最远距离  $d_{max}$ , 预测基准左和预测基准右的中间位置  $D_{minimax}$  即为基点.

2 搜寻区域确定

2.1 位置总或然误差

2.1.1 遇险位置或然误差

遇险位置或然误差( $e_x$ )由遇险船舶航行定位误差( $e_{FP}$ )和遇险船舶航迹推算误差( $e_{DR}$ )构成,  $e_x = e_{FP} + e_{DR}$ . 其中,  $d$  为遇险船舶最后 1 次定位位置至遇险位置的估算航行距离, n mile;  $\alpha$  为遇险船舶推算误差率.

2.1.2 漂移总或然误差

漂移速度总或然误差( $e_{DV}$ )由风致漂速或然误差(因表面平均风或然误差引起的漂移速度或然误差)( $e_{ASWDV}$ )、总水流或然误差( $e_{C_{TW}}$ )、风压或然误差( $e_{LW}$ )等构成.

$$DV_e = \sqrt{e_{ASWDV}^2 + e_{C_{TW}}^2 + e_{LW}^2}$$

式中的总水流或然误差( $e_{C_{TW}}$ )包含海流的或然误差( $e_{C_s}$ )和风生流的或然误差( $e_{C_w}$ ),  $e_{C_{TW}} = \sqrt{e_{C_s}^2 + e_{C_w}^2}$ .

漂移总或然误差( $e_D$ )等于漂移速度总或然误差( $e_{DV}$ )乘以漂移时间( $t$ ).

$$e_D = e_{DV}t$$

2.1.3 位置总或然误差

搜寻理论把遇险位置或然误差( $e_x$ ), 漂移总或然误差( $e_D$ )以及搜寻设施位置或然误差( $e_Y$ )的影响定义为位置总或然误差( $e$ ),  $e = \sqrt{e_D^2 + e_x^2 + e_Y^2}$ .

如果忽略遇险后幸存者的移动, 则

$$e = \sqrt{e_x^2 + e_Y^2}$$

位置总或然误差可衡量搜寻基准的不确定性和搜寻设施准确执行其搜寻指派区域的能力, 因而是决定搜寻区域大小的重要因素.

搜寻设施位置或然误差( $e_Y$ )由搜寻设施航行定位误差( $e_{FP}$ )和搜寻设施航迹推算误差( $e_{DR}$ )构成, 通常仅考虑搜寻设施航行定位误差, 故:  $e_Y = e_{FP}$ .

## 2.2 最佳搜寻因数选择

### 2.2.1 可用搜寻力量

每个搜寻设施的可搜寻范围( $Z$ )等于其搜寻速度( $V$ )、搜寻有效时间( $T$ )和修正后扫视宽度( $W_c$ )之积: $Z = VTW_c$ .

多个搜寻设施联合起来的可搜寻范围( $Z_{TA}$ )等于每个搜寻设施可搜寻范围之和

$$Z_{TA} = \sum_{i=1}^n V_{a_i} T_{a_i} W_{a_i}$$

式中: $n$ 为派出搜寻设施的数目; $V_{a_i}$ 为第 $i$ 个可用搜寻设施的搜寻速度; $T_{a_i}$ 为第 $i$ 个可用搜寻设施的搜寻有效时间; $W_{a_i}$ 为第 $i$ 个可用搜寻设施修正后的扫视宽度.

### 2.2.2 范围相对因数

为确定搜寻区域,在以搜寻基准为中心的范围将可搜寻范围与搜寻目标可能区域作比较.范围相对因数( $Z_r$ )是这类比较的基础,它等于可搜寻范围占可能区域的百分比, $Z_r = Z_r / f_z$ .其中, $f_z$ 是范围因数.对于基点基准, $f_z$ 是位置总或然误差( $e$ )的平方 $f_{zp} = e^2$ ;对于基准线,范围因数等于位置总或然误差( $e$ )与基准线长度( $L$ )之积, $f_{zl} = eL$ .

当某一区域需要重复搜寻时,确定最佳搜寻因数要用到相对因数累加值( $Z_{rc}$ ),等于所有范围相对因数之和加上下一计划可搜寻范围相对因数

$$Z_{rc} = Z_{r-1} + Z_{r-2} + Z_{r-3} + \dots + Z_{r-\text{nextsearch}}$$

其中, $Z_{r-i}$ 是第 $i$ 次搜寻的范围相对因数.

### 2.2.3 最佳搜寻因数

根据相对因数累加值,利用文献[5,6]提供的最佳搜寻因数曲线选择最佳搜寻因数 $f_s$ .

## 2.3 搜寻区域确定

最佳搜寻半径等于最佳搜寻因数( $f_s$ )乘以位置总或然误差( $e$ ), $R_0 = ef_s$ .

基点周围的最佳搜寻区域由下列步骤获得:计算下一搜寻范围相对因数( $Z_r$ ),计算范围相对因数累加值再加上下一搜寻行动的范围相对因数,利用 $Z_{rc}$ 和有关图表查出最佳搜寻因数( $f_s$ ),从而得到最佳搜寻半径( $R_0$ ),并以左右预测基准位置为中心、 $R_0$ 为半径分别画出最佳搜寻区域圆,作2个圆的外切矩形即可得搜寻区域,见图2.一旦确定最佳搜寻区域,计划人员就可推算出最佳覆盖因数、相应的发

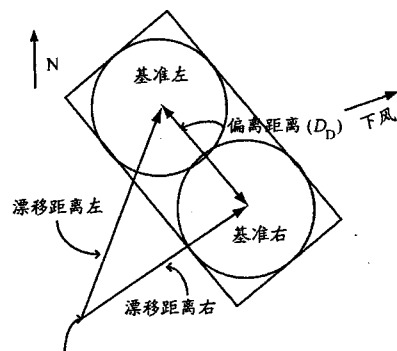


图2 风压偏离基准区域

## 3 计算机辅助搜寻区域确定

在确定搜寻区域的过程中涉及很多计算,单靠人工计算,其速度和准确性相当有限.笔者参考文献[5,6],对搜寻区域确定技术进行算法实现,并通过VC编程实现搜寻区域确定的辅助程序.

### 3.1 计算机辅助搜寻系统界面

搜救指挥人员启动程序,在界面中输入相关的遇险信息、环境信息和搜救资源信息,程序通过计算自动生成搜寻基准的位置信息以及搜寻区域的信息,供搜救指挥人员参考.

### 3.2 系统功能演示

(1)遇险信息设定.遇险信息包括遇险船舶的船名或呼号、遇险位置、遇险时间以及关于遇险船舶的航行定位误差、推算误差率和推算距离信息.

本案例发生于2007年8月12日2145Z,渔船“SAMPLE”播发1条无线电求救信号,船长报告三机停止工作和船舶正进水,但没有立即沉没的危险要求救助.船上2145Z的推算船位为北纬 $31^{\circ}12'$ ,东经 $125^{\circ}30'$ .通信在初始要求救助后中断.

(2)海面风资料设定.输入信息来源为观测预报.

(3)总水流与风压信息.海流信息根据观测者查表获得,直接填入.本案例采用观测得到的海流信息方向为真方向 $075^{\circ}$ ,速度 $0.8$  kn.风生流、风压信息为程序根据所设定的算法计算得出.

(4)或然误差设定.其中4项需要直接输入,1项由程序计算得出.4项包括风致漂速或然误差;其余4项包括总水流或然误差、遇险位置或然误差、搜寻设施或然误差和位置总或然误差的计算结果用于搜寻区域大小的计算.本案例设定的风致漂速或然误差、海流速或然误差、风生流或然误差和风压或然误差均为 $0.3$ .

(5)搜寻区域位置显示.

预测信息、漂移速度、漂移距离和漂速误差等。

(7) 搜寻信息设定. 搜寻信息包括搜寻计划确定的搜寻基准时间. 所选择搜寻设施的信息包括其搜寻速度、搜寻持续时间和扫视宽度等信息, 修正因数设定根据气象修正因数、观测人员疲劳修正因数和速度修正因数相乘填入, 一般情况下只需考虑气象修正因数。

本案例中的搜寻基准时间是 2007 年 8 月 13 日 1630Z, 搜寻设施为装有 GPS 航行定位系统的四引擎固定翼航空器 2 架, 飞机型号 C-130 (速度 180 kn, 现场持续时间为 3 h)、P-3 (速度 200 kn, 现

场持续时间为 4 h). 当时的搜寻条件是气象能见度 5 n mile, 云层 1 500 ft, 海浪 3 ~ 5 ft, 日出时间 1100Z, 日没时间 2500Z, 设定的修正因数为 0.9。

(8) 搜寻力量信息. 主要用于显示程序计算出的可用搜寻力量、力量因数及相对力量. 输出的相对力量数值将帮助使用者选择有效最佳搜寻因数。

(9) 搜寻区域信息. 包括需要设定的最佳搜寻因数和概率图选择, 以及根据搜寻因数和其他数据计算得出的最佳搜寻半径、最佳搜寻区域和覆盖率等信息。

计算机辅助搜索系统界面见图 3。

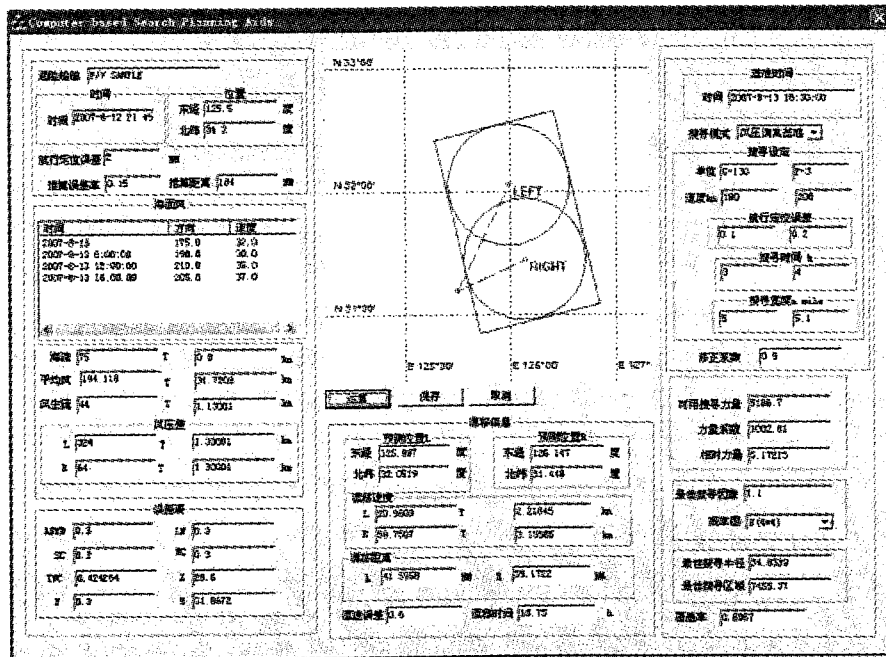


图 3 计算机辅助搜寻系统界面

本次模拟的搜救场景及各项参数均参考文献 [5,6] 的案例, 计算结果与文献 [5,6] 推荐的搜救区域一致, 从而验证辅助程序的准确性。

### 4 结束语

确定搜救区域是开展海上搜救的重要方面之一. 海上环境的复杂性和搜救对象的移动性, 使得海上搜救区域的确定变得复杂. 人工确定搜救区域费

时且不一定准确, 不能很好满足海上搜救的时效性要求, 采用计算机辅助方法进行海上搜救区域的确定可较好地解决该问题. 本文在前人工作的基础上, 充分考虑风、风生流和海流等对搜救对象漂移的影响, 建立较完备的搜救区域确定模型, 编制计算机辅助程序, 并且通过实例验证其准确性. 结果表明, 计算机程序可以减轻搜寻计划人员的计算负担, 使计划过程快速准确地实施。

### 参考文献:

[1] 赵怀慈, 黄莎白. 基于 Multi-agent 的海上搜救仿真研究及应用[J]. 计算机工程与应用, 2002(20): 41-43.

[2] 吕刚. 基于 GIS 的海上搜救辅助决策系统研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2005.

[3] 吴中鼎. 海上搜救辅助系统研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2003.

[4] 于卫红, 贾传英. 海上搜救中搜寻区域确定方法研究[J]. 中国航海, 2006(2): 34-37.

[5] 中华人民共和国海事局, 国际海事组织/国际民用航空组织. 国际航空和海上搜寻救助手册[K]. 北京: 人民交通出版社, 2003.

[7] 胡志武, 张秋荣, 顾维国. 遇难船舶漂流轨迹预测技术[J]. 航海技术, 2007(3): 18-21.

(编辑 陈锋杰 廖粤新)

编辑说明: 为使文中使用的量符号标准化, 编者进行技术处理, 具体与文献[5,6]中对应的符号见表1.

表1 文中使用符号与文献[5,6]中对应的符号

文中使用符号	$C_W$	$V_{C_{Wk}}$	$\theta_{C_{Wk}}$	$V_{C_{Wj}}$	$\theta_{C_{Wj}}$	$C_S$	$C_{TW}$	$V_{C_{TW}}$	$\theta_{C_{TW}}$	$e_X$
文献[5,6]对应符号	WC	$V_{WCk}$	$\theta_{WCk}$	$V_{WCj}$	$\theta_{WCj}$	SC	TWC	$V_{TWC}$	$\theta_{TWC}$	X
文中使用符号	$e_{FP}$	$e_{DR}$	$e_{DV}$	$e_{ASWDV}$	$e_{C_{TW}}$	$e_{LW}$	$e_{CS}$	$e_D$	$e$	$e_Y$
文献[5,6]对应符号	$FP_e$	$DR_e$	$DV_e$	$ASWDV_e$	$TWC_e$	$LW_e$	$SC_e$	$D_e$	E	Y

## 上海海事大学师生踊跃捐款抗震救灾

2008年5月12日14时28分, 中国四川汶川地区发生里氏8.0级强烈地震, 造成重大人员伤亡和财产损失. 获知灾情后, 上海海事大学全校师生情系受灾同胞, 踊跃捐款捐物, 以实际行动支援地震灾区.

截至5月27日上午9时, 全校2978名教职员工(含非在编人员)参与捐款活动, 捐款总额达543890元. 此外, 截至5月29日上午, 全校11个党总支(直属支部)和1个分党委共缴纳152993元“特殊党费”支援地震灾区; 截至5月27日, 上海海事大学九三、农工、民盟等党派及民族联成员以其相关身份再次捐款, 总计22440元. 有些教职工不仅在学校捐款, 还在所在的社区、组织和社团积极捐款; 不少师生通过手机、网银和汇款等方式直接向中国红十字会总会和中国扶贫基金会等机构捐款, 表达对灾区人民的爱心.

## 上海海事大学与美国、加拿大3所航海院校签订合作协议

为进一步加强国际交流与合作, 拓展对外交流渠道, 近日, 上海海事大学分别与美国缅因海运学院、美国麻省海运学院和加拿大纽芬兰纪念大学海运学院签订交流与合作协议, 将与上述3所学校在教师互访、学生交流、科研项目合作等领域开展交流与合作.