

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2011.05.017

应用纹理分析识别 SAR 海上溢油图像

徐 青¹,郑 汲¹,程永存^{2,3},纪棋严¹

(1.河海大学海岸灾害及防护教育部重点实验室,江苏 南京 210098 ;2.丹麦技术大学国家空间研究所,哥本哈根 2800 ;
3.卫星海洋环境动力学国家重点实验室,浙江 杭州 310012)

摘要 :以渤海 ENVISAT ASAR 图像为例,采用基于灰度共生矩阵的纹理特征分析方法,计算油膜和 2 种类油膜(近海自然表面膜和低风速区)的纹理特征量.结果表明:对比度、方差、熵、相关性、相异性 5 种纹理特征量可用于识别油膜和类油膜,但对于不同类型的类油膜,用于区分它们和油膜的纹理特征量是不同的.因此,类油膜的分类对区分油膜与类油膜是十分必要的.
关键词 :图像识别;合成孔径雷达;溢油;纹理特征;灰度共生矩阵
中图分类号 :TN957.52 文献标志码 :A 文章编号 :1000-1980(2011)05-0569-06

海上溢油污染是常见的海洋污染之一,对海洋生态系统以及沿海城市的环境与经济发展都带来了极大的危害,因此,各国都非常重视对海上溢油监测的研究.工作在微波波段的主动式成像雷达-合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)能穿透云雾,具有全天时与全天候监测地球的能力,已被广泛应用于海上溢油监测^[1-5].由于海面油膜能够造成 Bragg 波的衰减,进而降低海面粗糙度,因此在 SAR 图像上一般表现为较暗的图像特征.但是,能够在 SAR 图像上造成暗区的还有其他一些海洋、大气现象,如海洋自然表面膜、上升流、低风速区等,这就给油膜的识别带来了难度^[6-7].因此,必须找出一些具有代表意义的特征量来区分油膜和上述类油膜.

目前,主要采用基于灰度共生矩阵的纹理特征分析方法来区分油膜和类油膜.纹理是在图像上表现为灰度或者颜色分布的某种规律性.由于纹理是灰度在空间位置上反复出现而形成的,因而在图像空间上相隔某距离的两像元之间会存在一定的灰度关系,也就是图像中灰度具有空间相关特性.灰度共生矩阵是通过研究灰度的空间相关特性来描述纹理的常用方法.目前的研究对于 SAR 图像上的暗区只是单纯将之分为油膜和类油膜,而由于类油膜有很多种,其纹理特征量很有可能不同,不能把他们完全归为一类进行分析.本文基于灰度共生矩阵方法,利用 SAR 溢油图像,得到能够区分油膜和不同类油膜(近海自然表面膜和低风速区)的纹理特征量.

1 数 据

本文选择了 1 幅 2007 年 1 月 16 日 02 点 20 分(世界时)获取的欧洲环境卫星 ENVISAT ASAR(advanced synthetic aperture radar)溢油图像(图 1),图像覆盖区域为渤海(118°24'11" E ~ 119°51'01" E, 38°10'11" N ~ 39°20'20" N),像元大小为 8 314 × 8 823,工作模式为 VV 极化方式,工作波段为 C 波段,空间分辨率为 30 m × 30 m,重访问时间为 35 d.



图 1 20070116T02 20 UTC
渤海 ENVISAT ASAR 原图像
Fig. 1 ENVISAT ASAR image over
Bohai Sea acquired
at 02 20 UTC on 16 January, 2007

2 基于灰度共生矩阵的纹理特征

如图 2 所示,灰度共生矩阵就是计算 θ 方向上相隔 d 像元距离的一对像素灰度值分别为 i 和 j 的像元(i, j)出现的概率^[8]:

$$p = p_{ijdl} \quad (i, j = 0, 1, 2, \dots, l-1) \tag{1}$$

式中: p_{ijdl} ——灰度分别为 i 和 j , 距离为 d 且在 θ 方向上的像素对出现的次数; l ——影像的灰度级数.

对于角度 θ , 可以做如下规定:

$$\theta = \begin{cases} 0^\circ & \Delta x = \pm 1, \Delta y = 0 \\ 45^\circ & \Delta x = 1, \Delta y = \pm 1 \\ 90^\circ & \Delta x = 0, \Delta y = \pm 1 \\ 135^\circ & \Delta x = -1, \Delta y = \pm 1 \end{cases} \tag{2}$$

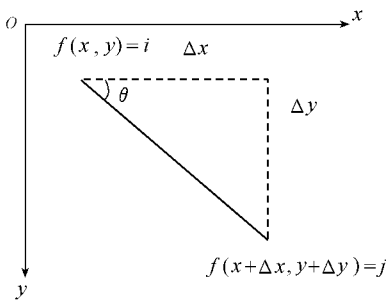


图 2 灰度共生矩阵原理示意图

Fig. 2 Principle sketch of gray level co-occurrence matrix

虽然灰度共生矩阵能揭示图像中的纹理规律, 但不能直接作为图像分类的数字特征, 因此有必要基于灰度共生矩阵定义一些有明显物理意义的, 能对纹理的粗细、走向进行定量描述的统计量. Haralick 等^[9]从灰度共生矩阵中提出了 14 个描述纹理特征的统计量^[10], 在此选用 8 个常用统计量用于纹理分析.

a. 均值(mean)

$$M = 1/mn \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n p_{ijdl}$$

式中 m, n 为灰度共生矩阵的的行列数

b. 对比度(contrast)

$$C_1 = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n (i - j)^2 p_{ijdl}^*$$

式中 p_{ijdl}^* 为 p_{ijdl} 的归一化值.

对比度主要反映了纹理明暗之间对比程度的大小, 较大的值为较粗糙的纹理, 较小的值为较细腻、柔和的纹理. 对比度大的像素对越多, 灰度差越大. 灰度共生矩阵中远离对角线的元素值越大, 对比度越大.

c. 角二阶矩(angular second moment)

$$A_{SM} = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n p_{ijdl}^{*2}$$

角二阶矩是灰度共生矩阵元素值的平方和, 也称为能量, 反映了图像灰度分布的均匀程度和纹理粗细程度. 如果灰度共生矩阵的所有元素值均相等, 则角二阶矩小. 如果其中一些元素值大而其他值小, 则角二阶矩大. 当角二阶矩大时纹理粗, 能量大; 反之, 纹理细, 能量小.

d. 协同性(homogeneity)

$$H = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \frac{p_{ijdl}^*}{1 + (i - j)^2}$$

协同性是衡量局部均匀性的特征向量, 若局部均匀, 则协同性值较大; 反之, 值较小.

e. 方差(variance)

$$V = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n (i - \mu)^2 p_{ijdl}^*$$

其中

$$\mu = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n i p_{ijdl}^{*2}$$

f. 熵(entropy)

$$E = - \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n p^*(i, j) \lg p_{ijdl}^*$$

熵值与纹理的疏密有关. 若图像没有任何纹理, 则该图像的熵值接近零; 若图像充满细纹理, 则该图像的熵值最大; 若图像分布着较少的纹理, 则该图像的熵值较小.

g. 相关性(correlation)

$$C_2 = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \frac{(i - \mu)(j - \mu)}{\sigma^2} p_{ijdl}^*$$

其中

$$\sigma^2 = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n (i - \mu)^2 p_{ij d \theta}$$

相关性是用来衡量灰度共生矩阵的元素在行或列方向上的相似程度.当矩阵元素值均匀相等时,相关值就大,相反,如果矩阵元素值相差很大,则相关值小.如果图像中有水平方向纹理,则水平方向矩阵的相关值大于其余方向矩阵的相关值.

h. 相异性(dissimilarity)

$$D = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n |i - j| p_{ij d \theta}^*$$

相异性是图像像元灰度差异的度量值,差异越大,则图像上地物明暗反差越大,越易识别.

3 结果与分析

在 ASAR 图像上海水表现为质地均匀的灰色背景,油膜和类油膜则表现为暗斑.本文重点研究区分溢油和疑似溢油(即类油膜).对图 1 所示的 ENSIAT ASAR 原始图像进行斑点滤波、几何校正和辐射校正等预处理之后,得到图 3.图 3 下半部分黑色的条带状暗纹为海面溢油,左上角较亮部分为陆地,沿岸线的较暗区域为类油膜(近海自然表面膜),右上角及右下角大块暗斑为类油膜(低风速区).

在利用灰度共生矩阵提取 ASAR 溢油图像的纹理信息时,需要确定计算灰度共生矩阵时的方向、步长以及纹理计算窗口的大小.

3.1 步长和纹理计算窗口

考虑到 ASAR 图像的地面分辨率和 1 个像素尺寸的大小,选择步长 $d = 2$,即对中心像元和与之间隔 1 个像素的像元进行运算和比较,以尽可能更准确地反映地物与周围环境的关系.

在纹理计算窗口的选择上,较小的窗口尺寸有助于保证窗口内像素的同质性,却无法准确有效地描述各类别像素排列的分布规律性;而较大的窗口虽然能够保证同类地物的纹理统计具有代表性,但有可能包含多余的异类地物像素的信息,使介于不同种地物间的像素模糊,造成误分类^[11].同时,较大的计算窗口,计算量也很大,纹理分析耗费的时间也会很长.因此,选择合适的纹理计算窗口非常重要.将 ASAR 溢油图像分离度大小与纹理分析计算所用的时间二者权衡,本文选取分离度较大^[12]且花费时间不是很长的窗口,即 15×15 (像元数)的纹理计算窗口.

3.2 方向

在图 3 所示的油膜和类油膜区域中各取 1 个样本用以试验,计算得到这 2 个样本在不同方向上的各个纹理特征量,如表 1 所示.

表 1 油膜和类油膜在不同方向上的纹理特征量

Table 1 Texture feature values of oil films and look-alikes in different directions

方向 $\theta(^{\circ})$	均值		对比度		角二阶矩		协同性		方差		熵		相关性		相异性	
	油膜	类油膜	油膜	类油膜	油膜	类油膜	油膜	类油膜	油膜	类油膜	油膜	类油膜	油膜	类油膜	油膜	类油膜
0	0.762	0.762	2.872	2.174	0.012	0.050	0.514	0.583	74.298	66.990	4.062	3.994	0.908	0.887	1.385	1.128
45	0.660	0.660	10.894	4.539	0.016	0.034	0.403	0.539	62.903	68.737	4.321	3.742	0.703	0.736	2.598	1.544
90	0.761	0.761	6.405	2.723	0.018	0.030	0.449	0.542	67.681	62.337	4.215	3.841	0.819	0.818	1.995	1.308
135	0.660	0.660	5.059	3.672	0.019	0.032	0.431	0.486	70.804	51.823	4.087	3.722	0.831	0.724	1.888	1.568

根据表 1,可以得到以下结论 (a)对于任意选定的 2 个样本点,无论是油膜还是类油膜,均值、角二阶矩、协同性、方差、熵、相关性和相异性这 7 个纹理特征量在 4 个方向上的变化不是很大,几乎可以不用考虑其方向性.(b)对于对比度,在 4 个方向上的差异较大,方向性比较明显,但都可以较好地地区分油膜和类油膜,所以方向性的影响也不是很大.

因此,总的说来,方向性对纹理特征提取的影响很小,但各个方向上的特征值还是有细微的差别的.在计算纹理特征量时,为了进一步减少方向性的影响,本文对 4 个方向上的纹理特征量进行平均.

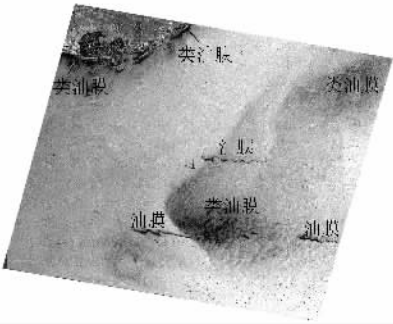


图 3 ENVIAT ASAR 原始图像经过预处理之后的图像

Fig. 3 ENVIAT ASAR image after preprocessing

3.3 纹理特征量筛选

从图3的油膜和类油膜(包括近海自然表面膜和低风速区)对应的典型区域中各选取10个样本,其窗口大小为15×15(像元数),分别计算各个样本对应的纹理特征量,结果见表2。

表2 油膜和类油膜纹理特征量比较

Table 2 Comparison of texture values between oil films and look-alikes									
类别	样本	均值	对比度	角二阶矩	协同性	方差	熵	相关性	相异性
油膜	1	0.711	7.020	0.023	0.439	62.426	4.056	0.625	2.078
	2	0.711	7.356	0.020	0.459	41.068	4.155	0.739	2.039
	3	0.711	5.786	0.018	0.459	88.091	4.142	0.891	1.889
	4	0.711	6.084	0.019	0.436	68.549	4.143	0.849	2.000
	5	0.711	3.972	0.024	0.486	71.941	3.890	0.888	1.607
	6	0.711	7.800	0.016	0.434	76.580	4.330	0.758	2.212
	7	0.711	5.777	0.022	0.468	82.085	4.029	0.645	1.881
	8	0.711	5.053	0.038	0.512	29.609	3.605	0.676	1.616
	9	0.711	7.928	0.015	0.403	89.234	4.394	0.718	2.309
	10	0.711	9.592	0.021	0.435	51.293	4.109	0.538	2.297
	平均	0.711	6.637	0.022	0.453	66.088	4.085	0.733	1.993
近海自然表面膜	1	0.711	8.406	0.016	0.423	71.962	4.347	0.754	2.281
	2	0.711	6.177	0.021	0.452	65.794	4.119	0.689	1.954
	3	0.711	8.937	0.017	0.432	100.384	4.249	0.767	2.293
	4	0.711	8.089	0.019	0.405	82.378	4.211	0.566	2.316
	5	0.711	9.952	0.014	0.396	66.519	4.402	0.507	2.523
	6	0.711	6.027	0.027	0.462	55.609	3.970	0.714	1.909
	7	0.711	10.566	0.014	0.385	106.206	4.419	0.638	2.635
	8	0.711	7.431	0.019	0.427	66.309	4.186	0.598	2.163
	9	0.711	5.146	0.028	0.489	64.833	3.919	0.866	1.760
	10	0.711	8.618	0.019	0.426	69.360	4.218	0.527	2.287
	平均	0.711	7.935	0.019	0.430	74.935	4.204	0.663	2.212
低风速区	1	0.711	6.562	0.028	0.461	35.921	3.906	0.554	1.943
	2	0.711	7.799	0.019	0.431	40.484	4.187	0.667	2.203
	3	0.711	7.797	0.017	0.439	78.609	4.278	0.687	2.185
	4	0.711	8.925	0.014	0.400	108.493	4.400	0.632	2.416
	5	0.711	9.380	0.015	0.397	74.970	4.418	0.619	2.461
	6	0.711	8.394	0.019	0.413	65.923	4.189	0.544	2.312
	7	0.711	6.306	0.019	0.434	81.515	4.096	0.637	2.035
	8	0.711	5.136	0.019	0.458	98.647	4.132	0.777	1.825
	9	0.711	6.296	0.019	0.431	57.992	4.174	0.758	2.049
	10	0.711	9.372	0.016	0.407	65.858	4.324	0.502	2.418
	平均	0.711	7.286	0.018	0.427	70.841	4.210	0.638	2.185

从表2可以看出,油膜和类油膜的目标均值重叠,所以它不能用来区分油膜与类油膜。比较对比度和熵,可以发现油膜的值均低于类油膜。这是因为油膜具有平滑、细腻而不破碎的纹理,而类油膜的纹理比较分散且高度破碎,所以类油膜的对比度比较大。此外,由表2还可以看出近海自然表面膜的对比度比低风速区的要大。这可能是因为低风速区的纹理主要是由低风速引起,起因比较单一,所以纹理分布相对比较均匀、平滑,破碎程度低;而近海自然表面膜可能包含多种物质,其产生的纹理必然不均匀,分散程度很高。对于角二阶矩,油膜的值较类油膜的高,这是因为含有油膜的图像纹理较多,图像灰度变化剧烈,导致灰度分布不均匀。另外,虽然近海自然表面膜和低风速区不是同一类地物,但比起其纹理特征量与油膜的差异,它们自身之间的差异要小的多,说明它们同属于类油膜。

对于各个样本,除了均值以外,其他7个特征量之间的差别较大。如对比度的值分布在4~11之间,角二阶矩则分布在0.01~0.04之间。为了便于比较,必须进行归一化处理,而归一化处理也保证了纹理特征量对分类的贡献相对均衡。

在不失其自身规律的情况下,把各纹理特征量的值转化到0~1之间,采用线性转化方式:

$$b_{ii} = \frac{a_{ii} - a_{iimin}}{a_{iimax} - a_{iimin}}$$

(3)

式中： b_{ti} ——归一化后纹理特征量 t 第 i 个样本的值； a_{ti} ——归一化前纹理特征量 t 第 i 个样本的实际值； $a_{ti\min}$ ——归一化前纹理特征量 t 所有样本中的最小值； $a_{ti\max}$ ——归一化前纹理特征量 t 所有样本中的最大值。

利用式 (3) 对油膜和类油膜对应的各纹理特征量进行归一化处理。为便于比较,将归一化后的纹理特征量扩大 100 倍,如图 4 所示。

从图 4 可以看出:对比度、方差和相关性可以较好地地区分油膜和近海自然表面膜、油膜和低风速区;角二阶矩和协同性可以很好地识别油膜和近海自然表面膜,但不能识别油膜和低风速区;熵和相异性能够区分油膜和低风速区,但不如油膜和近海自然表面膜的区分效果好。总体来说,比起区分油膜和低风速区,这 7 种纹理特征量对油膜和近海自然表面膜的区分效果更好。尽管近海自然表面膜和低风速区都是类油膜,但它们的纹理特征量还是存在一定的差别,且区分油膜和低风速区、油膜和近海自然表面膜的纹理特征量是不同的,说明从类油膜中区分近海自然表面膜和低风速区十分必要。

4 结 语

本文基于灰度共生矩阵方法,对渤海的星载 ASAR 溢油图像进行了纹理特征分析。研究发现,对比度、方差和相关性这 3 种纹理特征量能够较好地用于识别油膜与近海自然表面膜、油膜与低风速区这 2 种类油膜,而熵和相异性更适于识别油膜和近海自然表面膜。

本文以渤海 ENVISAT ASAR 图像为例,分析了油膜与类油膜的纹理特征,后续研究中还需要进一步扩大样本数,并获取更多不同种类类油膜的数据。

根据不同类型油膜的分析可知,其纹理特征量是有差别的,在区分油膜和不同种类的类油膜时应用的纹理特征量也不尽相同。因此,在利用 ASAR 图像进行溢油识别时,需要对类油膜进行分类,以提高 ASAR 图像溢油分类精度。在后续研究中可以把获得的可以区分油膜与类油膜的纹理特征量作为识别系统(比如神经网络)的输入,用计算机自动识别油膜和类油膜。

参考文献:

[1] KERAMITSOGLOU I ,CARTALIS C ,KIRANOUDIS C T. Automatic identification of oil spills on satellite images[J]. Environmental Modelling & Software 2006 21(5) 640-652.

[2] SOLBERG A H S ,DOKKEN S T ,SOLBERG R. Automatic detection of oil spills in ENVISAT ,Radarsat and ERS SAR images[J]. IGARSS2003 2003 4 2747-2749.

[3] MIGLIACCIO M ,GAMBARDELLA A ,TRANFAGLIA M. SAR polarimetry to observe oil spill[J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing 2007 45(2) 506-511.

[4] BREKKE C ,SOLBERG A H S. Oil spill detection by satellite remote sensing[J]. Remote Sensing of Environment 2005 95 1-13.

[5] SOLBERG A H S ,BREKKE C ,HUSOY P O. Oil spill detection in radarsat and envisat sar images[J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing 2007 45(3) 746-755.

[6] 黄晓霞,朱振海. 海洋表面膜特征的 SAR 图像探测[J]. 遥感学报,1999,3(1):48-53.(HUANG Xiao-xia ,ZHU Zhen-hai. Detection of sea surface slick features using SAR image[J]. Journal of Remote Sensing ,1999 3(1) 48-53.(in Chinese))

[7] 马广文,赵朝方,石立坚. 星载 SAR 监测海洋溢油污染的初步研究[J]. 海洋湖沼通报,2008(2):53-60.(MA Guang-wen ,ZHAO Chao-fang ,SHI Li-jian. The study of oil spill detection on the sea surface by sar data[J]. Transactions of Oceanology and Limnology 2008(2) 53-60.(in Chinese))

[8] 容观澳. 计算机图像处理[M]. 北京:清华大学出版社,1998:290.

[9] HARALICK R M ,SHANMUGAM K. Texture features for image classification[J]. IEEE Trans on Sys ,Man and Cyb ,1973 ,SMC-3(6) 610-621.

[10] 周成虎,骆剑承,杨晓梅,等. 遥感影像地学理解与分析[M]. 北京:科学出版社,2001:82-84,238-242.

[11] 谭湘莹,于秀兰,钱国蕙. 一种大小窗口结合的 SAR 图像纹理特征分类方法[J]. 系统工程与电子技术,2000 22(4):15-17. (TAN Xiang-ying ,YU Xiu-lang ,QIAN Guo-hui. A classification method by use of SAR image texture characteristics with combination of

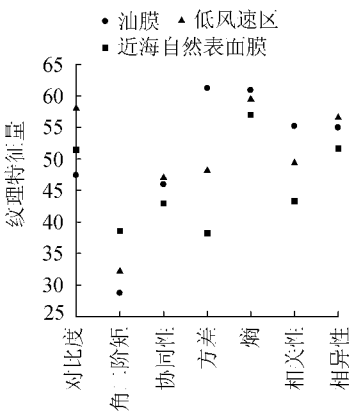


图 4 油膜和类油膜对应的归一化纹理特征量

Fig. 4 Normalized texture feature values of oil films and look-alikes

large and small window[J]. Systems Engineering and Electronics 2000 22(4):15-17. (in Chinese))

[12] RICHARDS J A. Remote sensing digital image analysis[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1999: 240.

Application of texture analysis to identification of oil spills in SAR images

XU Qing¹, ZHENG Ji¹, CHENG Yong-cun^{2,3}, JI Qi-yan¹

(1. Key Laboratory of Coastal Disaster and Defence, Ministry of Education,

Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. National Space Institute, Technical University of Denmark, Copenhagen 2800, Denmark;

3. State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics, Hangzhou 310012, China)

Abstract: Taking the ENVIST ASAR image over the Bohai Sea as an example, the texture characteristics of oil films and two kinds of look-alikes (coastal natural surface film and low wind velocity) were studied using the texture feature analysis method based on the grey level co-occurrence matrix. The results show that the contrast, variance, entropy, correlation, and dissimilarity can be used to distinguish oil films from look-alikes. For different look-alikes, the texture features that are used to distinguish them from oil films are different. Therefore, the classification of look-alikes is very necessary.

Key words: pattern recognition; synthetic aperture radar (SAR); oil spill; texture characteristics; grey level co-occurrence matrix

《河海大学学报(自然科学版)》征订启事

(邮发代号 28-63, CN32-1117/TV, ISSN1000-1980, 双月刊)

《河海大学学报(自然科学版)》是以水资源开发、利用与保护为重点的综合性学术期刊,主要刊登河海大学在水资源、水文、地质、测量、水利工程、水电工程、水运工程、海洋及海岸工程、水工结构、工程力学、水力学及河流动力学、岩土工程、电力工程、电子技术及自动化工程、工业与民用建筑、环境工程、机械工程等学科方面的科研成果、学术论文、学术讨论、研究动态等学术性文章,可供上述有关专业的科技工作者及大专院校师生阅读和参考。

《河海大学学报(自然科学版)》创办于1957年,是全国中文核心期刊、中国科技核心期刊,在国内工程技术界和学术界有较大影响。刊载的文章中,绝大部分为国家科技攻关(重点)项目和各种科学基金资助项目的研究成果,部分达到了国内领先和国际先进水平,为我国水利、水电、水运工程及其他有关工程建设的规划、设计、施工和管理提供了科学理论、方法和具体建议,发挥了较大的社会效益和经济效益,深受工程界和科技界赞许,并获得中国高校精品科技期刊奖以及中国期刊方阵“双效期刊”、江苏省优秀期刊、全国水利系统优秀期刊称号。

《河海大学学报(自然科学版)》每逢单月出版,国内外公开发行,每期定价15.00元,全年6期共90.00元。欢迎广大读者通过全国各地邮政局订阅或直接与编辑部联系。

编辑部地址 210098 南京市西康路1号 《河海大学学报(自然科学版)》编辑部

电话/传真 025-83786343 E-mail: xb@hhu.edu.cn

http://kkb.hhu.edu.cn/web/index_xb.asp?id_id=53