

基于模糊聚类理论的海洋环境谱编制技术

张泰峰¹ 张川² 杨晓华¹ 张勇¹

(1. 海军航空工程学院青岛分院航空机械系, 青岛, 266041)

(2. 南京航空航天大学航空宇航学院, 南京, 210016)

摘要:通过卫星遥感数据的反演技术, 获取了相应研究区域内的环境因素数值; 综合考虑海洋环境对结构、装置或系统损伤程度的影响, 确定了研究区域具体影响因素。通过实测数据与反演结果的对比, 验证了反演技术的可行性和方法的可行性。以某海域两年时间的卫星遥感数据为基础, 采用模糊聚类理论对反演数据结果进行分析, 确定聚类数目的最优解, 编制出该片海域的海洋环境谱。

关键词:模糊聚类; 腐蚀; 遥感; 环境谱

中图分类号: V215.5

文献标识码: A

文章编号: 1005-2615(2012)03-0373-06

Compiling of Marine Environment Spectrum Based on Inversion Satellite Remote Sensing Data

Zhang Taifeng¹, Zhang Chuan², Yang Xiaohua¹, Zhang Yong¹

(1. Department of Aero-mechanics, Qingdao Branch of Navy Aeronautic Engineering Academy, Qingdao, 266041, China;

(2. College of Aerospace Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing, 210016, China)

Abstract: Through inversion of the satellite remote sensing data, the values of the environmental factors in the corresponding research area are obtained. By synthesizing the influence of marine environment on damage of the structure, equipment or system, the specific affecting factors in the research area are determined. The inversion results are verified by the measured data. Based on two-year satellite remote sensing data in a certain sea area, the inversion data result is analyzed with the fuzzy clustering theory to determine the optimized solution for clustering number, so as to establish the marine environmental spectrum of that sea area.

Key words: fuzzy cluster; corrosion; remote sensing; environment spectrum

随着亚丁湾护航行动的常态化, 舰载直升机在当地海域气候条件下产生的金属结构腐蚀、非金属结构老化等问题日益突出, 成为影响飞行安全的重要因素。美国海军的统计数字表明: 从1994年到2004年的十年中, 舰载机腐蚀损伤检查、维修时间占综合检查维修时间的36%, 其平均强度为7.27小时/飞行小时。因此高温、高湿、酸性盐雾的海洋环境引起的腐蚀已经成为影响舰载机机体结构和机载设备可靠性的主要因素。

编制出恰当的海洋环境谱是保证舰载机结构

耐久性和机载设备高可靠性的重要工作^[1], 同时也是在实验室条件下评估温度、湿度和盐雾对结构损伤影响程度的基础性工作。传统的船测和站点测量方法由于受到时间地域限制, 编出的环境谱都具有局部性^[2-3], 不能适应舰载机服役环境广阔这一特点。目前许多学者将遥感数据应用于大范围环境数据探测, 并对反演算法进行了相关研究^[4-8], 但是应用于海洋环境分析的成果较少。本文以航天遥感测控数据为基础, 采用模糊聚类理论, 提出一种适用于广泛区域的海洋环境谱编制方法。

1 环境参数的确定

目前的研究成果已经表明,气温升高会影响腐蚀的反应速度^[9-11],也影响水膜的停留时间;同时,在高温、高湿度的条件下,金属腐蚀速度会显著加快,但不同金属或同一金属在不同环境中发生腐蚀的相对湿度临界值也不尽相同;另外,海面上空的风既对吹干水膜起作用,又能将湿气、盐份、污染物吹向结构表面。因此确定编制海洋环境谱所需要选取的卫星遥感数据为:温度、湿度、浪高和风场。通过求出相关参数在所关心海域的强度、持续时间、发生频率及它们的组合作用,编制出研究区域的海洋环境谱(温度谱、湿度谱和盐雾谱)。整体流程如图1所示。

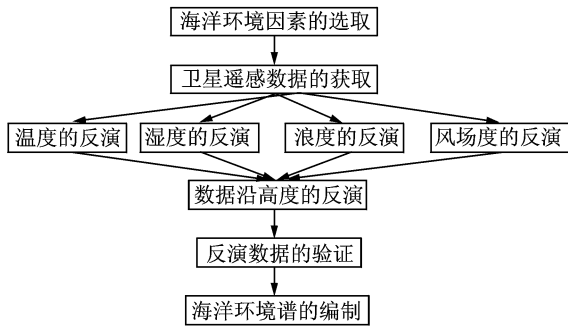


图1 基于反演卫星遥感数据的海洋环境谱编制技术流程

2 卫星遥感数据反演

2.1 大气温、湿度的反演

大气温、湿度廓线能够从总体上反映出大气温度和水汽含量的铅直分布状况。利用美国 NASA 发射的 Terra 和 Aqua 极轨环境卫星所生成的大气温、湿廓线数据,在观测到的辐射数据和反演的大气廓线之间建立起统计关系,通过统计回归方法可以对不同高度的大气温、湿度进行有效的反演^[4-5]。其反演的结果示例如图2、图3所示。

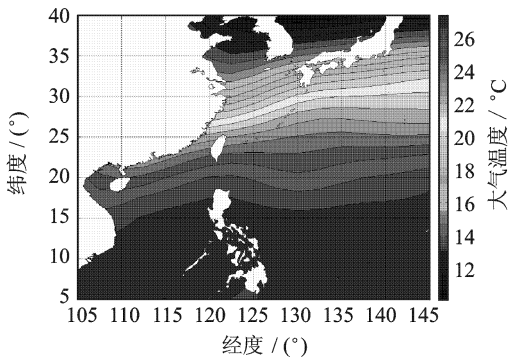


图2 大气温度的反演结果

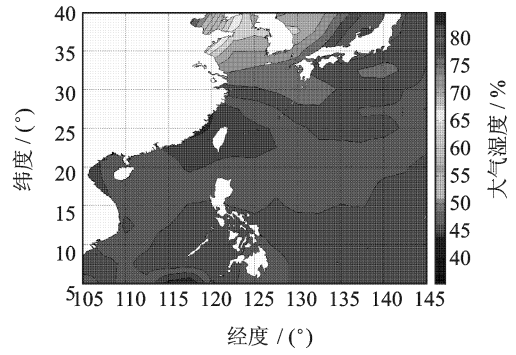


图3 大气湿度的反演结果

2.2 海浪的反演

利用 TOPEX/POSEIDON 高度计两年测高数据,依据数据质量标志,提取规定海域每个周期的沿轨迹各点经过校正的有效波高值(单位:m)。将每个周期(10 d)内沿轨迹数据作网格化插值,得到规则网格(0.2°×0.2°)数据。对两年72景网格化数据,根据时间长短进行分析,结果如图4所示。

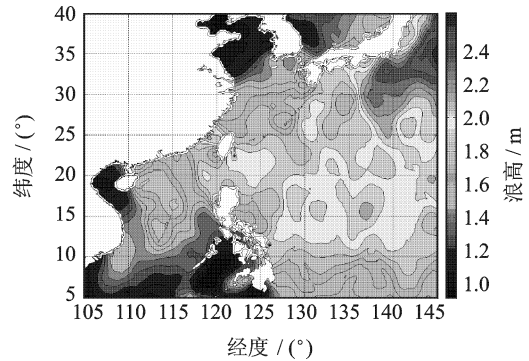


图4 海面浪高的反演结果

2.3 风场的反演

风场的反演利用的是美国 1999 年发射的 QuikSCAT 卫星所生成的卫星数据产品。依据数据质量标志,提取出我国近海每天沿轨迹各点经过校正的有效风速矢量,以 0.25°×0.25°为网格基准,根据下列公式计算任意高度处的风场参数

$$u = (u^*/0.4) \ln(z/z_0) \quad (1)$$

$$z_0 = (0.684/u^*) + 4.28 \times 10^{-5} u^{*2} - 0.443 \quad (2)$$

式中: u^* 为高度 z 处风速 u 对应的摩擦风速; z_0 为高度为10 m处的风速。其反演结果如图5所示。

3 验证

为了验证卫星遥感数据反演的合理性,于2008年9月到11月,在北纬31°41'、东经121°52'及北纬41°4'、东经54°附近海域使用检测仪进行了环境因

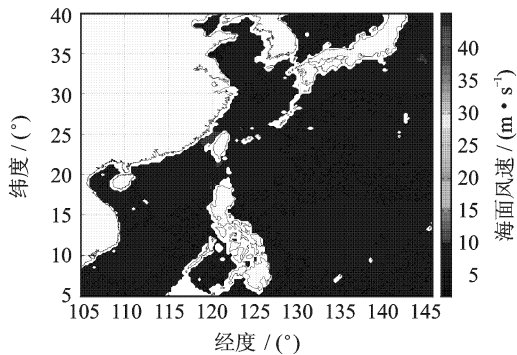


图5 风场的反演结果

素数据的连续测量,获得了相关区域实际的温、湿度实测数据,并与同一时间段同一经纬度卫星遥感数据的反演结果进行了比较验证,其结果如表1所示。对上述结果利用SPSS软件进行分析检验,结果如表2,3所示。从中不难看出,样本的显著性检验值 $t=1.596$,差异性检验值 $P=0.124 > 0.05$,可以接受实测数据和反演数据来自同一母体的假设,反演数据结果是可信的。

表1 实测数据与反演数据的相对误差分析

温度实 测数据	温度反 演数据	相对 误差	湿度实 测数据	湿度反 演数据	相对 误差
20.20	24.16	0.196 040	80.22	82.0	0.022 189
23.40	24.30	0.038 462	82.70	81.8	-0.010 880
22.85	24.24	0.060 832	79.60	83.0	0.042 714
23.60	23.67	0.002 966	79.60	83.7	0.051 508
19.86	23.12	0.164 149	78.65	82.2	0.045 137
21.20	22.75	0.073 113	80.20	80.7	0.006 234
19.60	22.40	0.142 857	80.50	80.0	-0.006 210
21.60	22.11	0.023 611	80.20	79.5	-0.008 730
21.03	21.78	0.035 663	80.00	78.7	-0.016 250
22.22	20.90	-0.059 410	78.90	75.6	-0.041 830
20.30	20.11	-0.009 360	72.50	70.7	-0.024 830
21.30	19.94	-0.063 850	72.00	70.4	-0.022 220
19.90	19.87	-0.001 510	72.00	70.4	-0.022 220

表2 组数据分析结果

组别	样本数	均值	标准差	标准误差
1.00	13	21.312 3	1.361 78	0.377 69
2.00	13	22.257 7	1.645 67	0.456 43

表3 样本检验结果

显著性检验	自由度	差异性检验	平均差
-1.596	24	0.124	-0.945 4
-1.596	23.188	0.124	-0.945 4

4 环境数据的聚类分析

按照上述方法,选取北纬 $5^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 、东经 $105^{\circ} \sim 145^{\circ}$ 范围两年间的卫星遥感数据进行反演。在这片面积近 $2\,000\,000\text{ km}^2$ 的区域,遥感数据给出的数据精度大约是 40 km^2 ,在“一幅数据地图”上大约有 $50\,000$ 个数据点。需要对这些数据进行符合工程需要的再处理。

采用加权模糊聚类分析方法^[12-13],设有 n 个数据样本,依据样本的 m 个指标特征值,按 c 个类别别进行聚类,其模糊聚类矩阵为

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_{c1} & u_{c2} & \dots & u_{cn} \end{bmatrix} = [u_{hj}] \quad (3)$$

式中: u_{hj} 为样本归属于类别 h 的相对隶属度, $h=1, 2, \dots, c$,应满足条件

$$\begin{cases} 0 \leq u_{hj} \leq 1 \\ \sum_{h=1}^c u_{hj} = 1 \\ \sum_{j=1}^n u_{hj} > 0 \end{cases} \quad (4)$$

设类别 h 的 m 个指标特征值为该类的聚类中心,则 c 个类别的指标特征值可用 $m \times c$ 阶模糊聚类中心矩阵 S 来表示

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1c} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \dots & s_{mc} \end{bmatrix} = [s_{ih}] \quad (5)$$

式中: s_{ih} 为类别 h 指标 i 的特征值数。

调用反演后的海面环境数据,指标特征值 $m=4$ (即温度、湿度、浪高、风场),按 $c=4, c=5, c=6$ 对最优模糊聚类矩阵和最优模糊聚类中心矩阵进行求解,结果如图6~8所示。

由于陆地上的环境因素对周边区域的值有一定的影响,因此在陆地和海域的交界区域附近有一定的过渡区。从图6中可以看出,聚类数为4的情况下其过渡区较多,已经与实际地图情况不相符合;图8尽管基本上能够准确地表现出实际中的陆地和海洋,但是计算过程非常长,效率较低。相比较而言,聚类数选择5(见图7)能够比较明显地体现出海域和陆地,无论是从结果的准确度上还是计算效率上看都是可以接受的。由于5类中有1类是陆地,因此实际研究的海域被划聚成了4类。

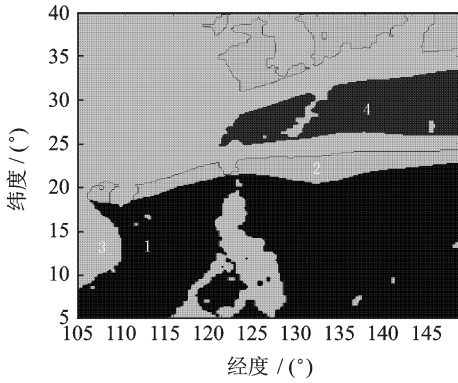


图6 聚类数为4时的计算结果

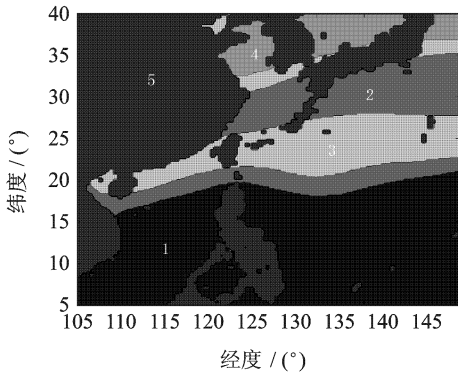


图7 聚类数为5时的计算结果

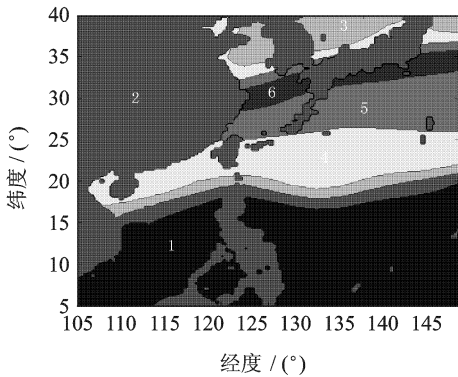


图8 聚类数为6时的计算结果

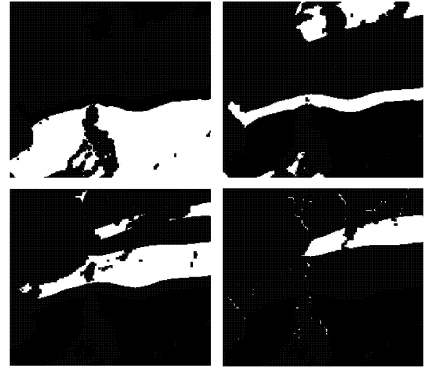


图9 分类海域的数据提取

数据点,对这些数据点按温度和湿度进行选取,其结果如表4所示。

表4 1类区域两年温、湿度总计算点数

$H/\%$	$T/^\circ\text{C}$				
	<20	$20\sim 25$	$25\sim 30$	$30\sim 35$	>35
<65	16	1 703	3 483	206	0
$65\sim 70$	137	15 148	81 693	2 180	0
$70\sim 75$	536	47 526	1 395 934	28 780	0
$75\sim 80$	243	112 702	6 108 061	40 418	0
$80\sim 85$	413	170 736	4 145 469	8 359	0
$85\sim 90$	409	153 155	551 292	358	0
>90	2	50 331	57 190	0	0
总点数	1 756	551 301	12 343 122	80 301	0

将两年中1类区域中满足一定温(湿)度区间的点数除以1类区域的总点数,即可以得到1类区域该温(湿)度区间的分布值(当量天数),如表5所示。综合温、湿度因素的影响,其当量天数的百分比(即温度谱和湿度谱)如表6所示。

表5 1类区域两年温、湿度当量天数

$H/\%$	$T/^\circ\text{C}$				
	<20	$20\sim 25$	$25\sim 30$	$30\sim 35$	>35
<65	0.000 9	0.095 8	0.195 9	0.011 6	0
$65\sim 70$	0.007 7	0.852 2	4.595 7	0.122 6	0
$70\sim 75$	0.030 2	2.673 6	78.529 1	1.619 0	0
$75\sim 80$	0.013 7	6.340 1	343.612 8	2.273 7	0
$80\sim 85$	0.023 2	9.604 9	233.206 0	0.470 2	0
$85\sim 90$	0.023 0	8.615 8	31.013 3	0.020 1	0
>90	0.000 1	2.831 4	3.217 3	0	0
当量天	0.098 8	31.013 8	694.370 0	4.517 4	0

同理,可以得到其他3类区域的温湿度谱,其对比值如图10、图11所示。不难看出,由于1类区域总体上位于低纬度地区,因此其温度谱值中以 $25\sim 30^\circ\text{C}$ 区间为主导(图10),相比较而言,其他几类区域则具有较明显的季节变化特征;而1类区域的湿

5 海洋环境谱的编制

5.1 温、湿度谱的编制

将研究海域划分为4类后,尽管每一类的边界非常复杂,难以用解析函数加以表述,但是通过对每个数据点的坐标值进行记录,每一类海域的环境数据仍然可以准确地提取出来,其提取结果如图9所示(白色区域为每一类海域的数据提取区)。

以图7中1类区域为例,该区域每天有17 776个数据点,两年共有 $17\,776 \times 730 = 12\,976\,480$ 个

表6 1类区域两年温、湿度当量天数(谱)

H/%	T/°C					湿度谱
	<20	20~25	25~30	30~35	>35	
<65	1.232e-6	1.31e-4	2.68e-4	1.589e-5	0	4.14e-4
65~70	1.054e-5	0.001 2	0.006 3	1.679e-4	0	7.68e-3
70~75	4.137e-5	0.003 7	0.107 6	0.002 2	0	0.114
75~80	1.876e-5	0.008 7	0.470 7	0.003 1	0	0.483
80~85	3.178e-5	0.013 2	0.319 5	6.441e-4	0	0.333
85~90	3.150e-5	0.011 8	0.042 5	2.753e-5	0	0.054 4
>90	1.369e-7	0.003 9	0.004 4	0	0	8.30e-3
温度谱	1.353 4e-4	0.042 5	0.951 2	0.006 2	0	—

度谱中75%~85%这一区间的比重要远高于其他区域(图11),但是低湿度(<70%)和高湿度(>85%)的所占的比重则要比其他几类区域少得多。这说明第4类区域相对来说一年中温、湿度变化幅度较少,比较稳定。这是与实际情况相符合的。

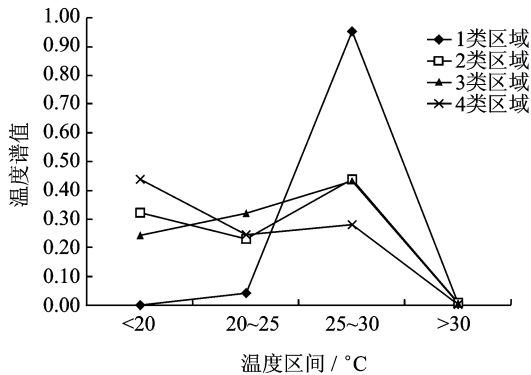


图10 4类区域温度谱值对比

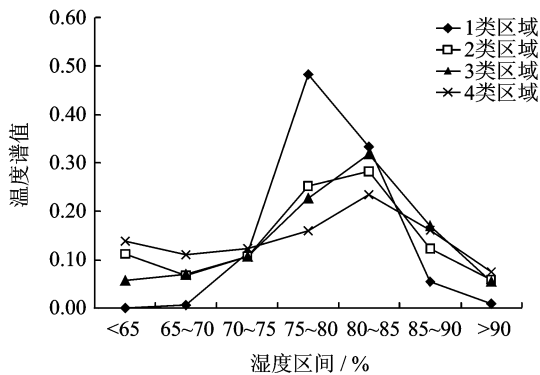


图11 4类区域湿度谱对比

5.2 盐雾谱的编制

实验表明,当湿度达到90%以后,可以认为形成盐雾,因此从4类区域中选择符合条件的数据点计算后即可得到其盐雾谱,其对比值如图12所示。

可以看出,第4类区域的盐雾谱比重要远小于其他区域,这主要是由于其所处的相对稳定的气候

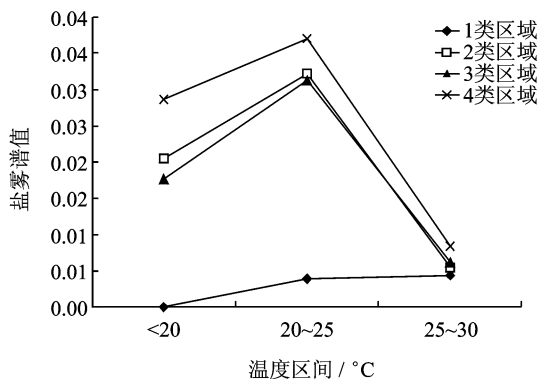


图12 四类区域盐雾谱对比

环境的影响;而其他3类区域则由于季节变化的影响,每年都有一定的时间比重处于盐度较高的环境中,这也是与已有的研究观测结果相一致的^[14]。

6 结 论

(1)通过卫星遥感数据的反演,可以获得较大空间尺度范围内的环境数据,其反演的结果经验证可信度较高,具有较为广泛的适用性。

(2)通过加权模糊聚类分析方法可以有效地解决大区域范围内数据处理的问题。本文的研究结果表明,温度、湿度、浪高和风场的权值对最后加权聚类的分析结果有一定的影响,但是就总体聚类数来看,其最优解为5类。

(3)综合反演的分析结果可以认为,对在2、3、4类区域活动的飞机或其他装设备来说,盐雾的影响相对要突出一些;而在1类区域中其主导影响则以温度和湿度为主。

参考文献:

[1] 军用飞机结构强度规范[M].北京:中国人民解放军总装备部,2008.
 [2] 宋恩鹏,刘文斑,杨旭.飞机内部腐蚀关键部位加速试验环境谱研究[J].航空学报,2006,27(4):646-649.

- Song Enpeng, Liu Wenting, Yang Xu. Study on accelerated corrosion test environment spectrum for internal aircraft structure[J]. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, 2006, 27(4): 646-649.
- [3] 杨洪源, 刘文斑. 民机结构外露关键部位涂层加速腐蚀环境谱研究[J]. *航空学报*, 2007, 28(1): 90-93.
Yang Hongyuan, Liu Wenting. Accelerated corrosion environmental spectra of surface coating of civil aircraft structure[J]. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, 2007, 28(1): 90-93.
- [4] 侯英南, 张佳华, 延昊, 等. 利用卫星遥感资料估算区域尺度空气温度[J]. *气象*, 2010, 36(4): 75-79.
Hou Yingnan, Zhang Jiahua, Yan Hao, et al. Air temperature retrieval from remote sensing data at regional level[J]. *Meteorological Monthly*, 2010, 36(4): 75-79.
- [5] 陈修治, 陈水森, 李丹, 等. 被动微波遥感反演地表温度研究进展[J]. *地球科学进展*, 2010, 25(8): 827-835.
Chen Xiuzhi, Chen Shuisen, Li Da, et al. Progress in land surface temperature retrieval from passive microwave remote sensing data[J]. *Advances Earth Science*, 2010, 25(8): 827-835.
- [6] 何同弟, 李见为, 黄鸿. 基于GA优选参数的SVR水质参数遥感反演方法[J]. *光电工程*, 2010, 37(8): 127-133.
He Tongdi, Li Jianwei, Huang Hong. A method for water quality remote retrieval based on support vector regression with parameters optimized by genetic algorithm[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2010, 37(8): 127-133.
- [7] 郑刚, 彭世揆, 戎慧, 等. 基于KNN方法的森林蓄积量遥感估计和返演概述[J]. *遥感技术与应用*, 2010, 25(3): 430-437.
Zheng Gang, Peng Shikui, Rong Hui, et al. A general introduction to estimation and retrieval of forest volume with remote sensing based on KNN[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2010, 25(3): 430-437.
- [8] 陈军, 温珍河, 付军. 基于分段映射模型的水质参数遥感反演研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2010, 30(10): 2784-2788.
Cheng Jun, Wen Zhenhe, Fu Jun. The application of the subsection mapping retrieval model to water qualities quantitative analysis[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2010, 30(10): 2784-2788.
- [9] Piascik R S. Environmental fatigue in aluminum-lithium alloys[R]. NASA Technical Memorandum 107640, 1992.
- [10] Schmidt C G, Gocker J E, Giovanola J H, et al. Characterization of early stages of corrosion fatigue in aircraft skin[R]. A452703. U. S. Department of transportation: Federal Aviation Technical Center, 1996.
- [11] Smith S H, Christman T K, Brust F W, et al. Accelerated corrosion fatigue test methods for aging aircraft[R]. AFRL-VA-WP-TR-2004-3057, 1991.
- [12] Xiao Huayang, Ding Zhang. Accelerating corrosion test study on galvanized Q345 steel[J]. *Advanced Materials Research*, 2010, 32(10): 139-141.
- [13] 金平, 王国才, 谭晓明. 基于聚类分析的飞机结构局部环境谱编制技术研究[J]. *科学技术与工程*, 2009, 9(18): 5614-5618.
Jin Ping, Wang Guocai, Tan Xiaoming. Research on local environmental spectrum of aircraft structure based on fuzzy cluster analysis[J]. *Science Technology and Engineering*, 2009, 9(18): 5614-5618.
- [14] 李克让. 中国近海及西北太平洋气候[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.