

东海外缘碎屑矿物的物源解释——基于 BP 神经网络的判别分区*

林晓彤^{1,2} 杜树杰¹ 李巍然²

(¹ 中国海洋大学计算中心 青岛 266003)

(² 中国海洋大学海洋地球科学学院 青岛 266003)

摘要 对取自长江、黄河三角洲和东海 230 个表层沉积物样的重矿物资料进行人工神经网络分析。结果表明,东海外缘(外陆架和冲绳海槽)沉积物具有明显的分区特征,并与不同的物源影响密切相关。外陆架、陆坡和西部槽底的碎屑物主要来自长江;冲绳海槽中轴线以东主要受槽底火山和岛坡物源控制;黄河物源扩散的影响局部可达 26°20' N 线以北的陆架、陆坡和槽底区。

关键词 BP 神经网络,碎屑矿物,物源,东海

中图分类号 P736.21 **文献标识码** A **文章编号** 1000-3096(2003)11-0075-06

1 研究区位置

研究区位于东海外缘中部,包括外陆架和冲绳海槽,地理坐标范围 25°51' ~ 29°20' N, 124°40' ~ 128°40' E (图 1)。

东海是西北太平洋的边缘海,西边由中生代酸性火山岩和变质岩组成的隆起带从浙、闽东部伸入东海海底与朝鲜半岛的岭南地块相接,东边的琉球岛弧由上新世~第四纪的火山岩及古~中生代变质岩和第三纪地层组成。呈 NE~SW 向的陆架外缘隆起带西南经钓鱼岛与台湾东部褶皱山脉相连,东北经鸟岛和五岛列岛延至日本九州,主要为中新世火山岩和花岗岩。

东海西部宽阔的大陆架,最大宽度 640 km,向南变窄,海底北缓南陡,平均坡度 42‰。陆架坡折处水深 140~160 m,东部冲绳海槽长 1 200 km,宽约 140~120 km,北浅南深,最大水深 2 332 m。海槽北端与南黄海海槽相通,槽坡地形复杂,槽底海底火山锥众多^[1-4]。

东海的流系比较复杂。黑潮经台湾与那国岛之间的通道进入东海后,向东北流,在 30°N, 128°E 附近,主流折向东,横穿冲绳海槽流入西太平洋。向西的两股分支暖流,黄海暖流和对马暖流分别进入黄海和日本海。东海沿岸流夏季流向台湾海峡,冬季与台湾暖

流会合,在长江口外与苏北岸外的黄海沿岸流聚汇成小环流。

东海内陆架主要分布泥质粉砂和粉砂质泥,西北部苏北浅滩与老黄河口沉积物相邻。外陆架沉积大面积的含贝壳细砂和中细砂。冲绳海槽的北部和中部分别为有孔虫砂-粉砂-泥和粉砂质泥沉积;南部分布泥质粉砂,岛坡沉积物多为粗碎屑的砂和砂砾^[1-5]。

东海沉积物的来源和扩散一直是沉积学家关注的热点,现已基本查明了陆源和火山-岛源的影响范围,但对大陆具体物源很少涉及^[6-13]。重矿物已经广泛应用于碎屑沉积物源判别^[6-15]。本文根据东海外缘表层重矿物资料的人工神经网络分析,探讨了长江、黄河和外来碎屑物扩散对东海外缘区沉积的影响。

* 国家自然科学基金项目 40076013 号。

第一作者:林晓彤,出生于 1967 年,硕士,工程师,目前在研课题:东部陆缘末次冰期沉积物源示踪和贡献研究。电话:0532-2032976, E-mail:zhlin@mail.ouc.edu.cn

收稿日期:2003-08-13;修回日期:2003-08-31

2 样品和研究方法

2.1 样品

矿物端元样品分别取自黄河干道、分流河道、潮间带和水下三角洲以及长江河道和三角洲,共162个。68个表层样采自东海外陆架-冲绳海槽区,水深多在100~1500 m之间,个别样品不到100 m或超过2000 m(图1)。样品经水析分离后选取极细砂粒级(125~63 μm),经烘干、过筛、缩分后在三溴甲烷重液(CHBr_3 ,密度2.887)中分离得重矿物部分,再采用体视镜和偏光油浸相结合的方法鉴定矿物种属,并计算其含量^[7,9]。

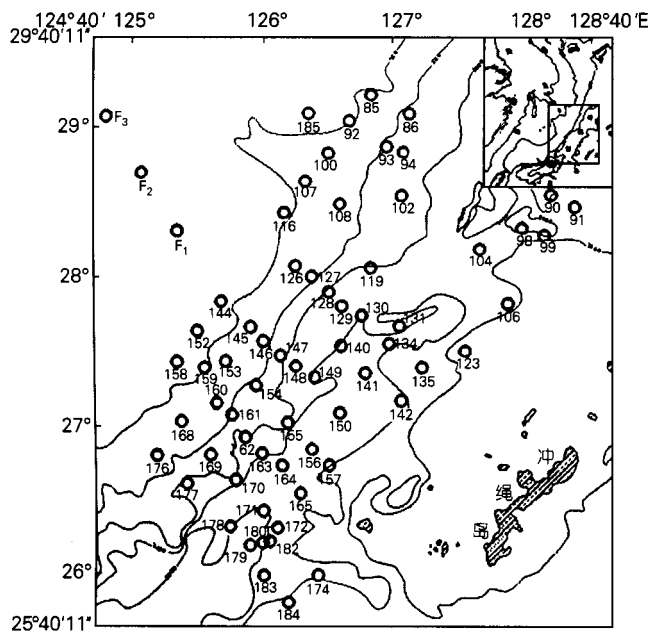


图1 研究区位置及取样站位

Fig.1 Study area discussed in this paper and sampling stations

2.2 研究方法

人工的神经网络是一种抽象的数学模型。它简化、抽象地模拟人脑功能的某些特性,可以用它来解决一些用传统方法难以解决的问题,在海洋沉积物数据的处理方面有广泛的应用^[10,16]。本文所采用的BP神经网络是一种多层前馈神经网络,它的权值的调整是采用反向传播的学习算法。通过长江、黄河碎屑矿物量值作为训练数据的输入输出样本集对其进行训练,逐步调整网络的权值和阈值,从而建立一个抽象的模型,并完成给定的输入输出的映射关系。训练网络所采用的BP算法是Levenberg-Marquardt优化的学习规则^[17,18]。其权值的调整率为:

$$\Delta W = (J^T J + \mu I)^{-1} J^T e$$

其中 J 为误差对权值微分的 Jacobian 矩阵, e 为误差向量。

变量 μ 是一个自适应调整的标量,它决定学习是根据梯度法还是牛顿法来完成。当 μ 的值很大时,Levenberg-Marquardt 式中的项 $J^T J$ 可以忽略,学习过程主要根据 $\mu^{-1} J^T e$ 项,上式接近于梯度法;当 μ 的值很小时,上式即为 Gauss-Newton 法。

以标准输出值(即神经元 I 和神经元 II)的中值点 0.5 作为判别不同物源的依据。黄河、长江端元样品的标准输出值分别为 [0 1] 和 [1 0], 并根据海区样品网络输出值与端元标准输出值的最小平均距离 (< 0.5) 判别物源。最小平均距离 > 0.5 为黄河和长江以外的物源。用训练后所得的网络模型,对海区表层样品进行仿真输出,并编绘平面分区图。

表1 人工神经网络长江黄河端元训练数据

Tab.1 The training data of BP artificial neural network of the end-members from Changjiang and Huanghe

数据来源	输入值							合计	输出	
	磁铁矿	钛铁矿	云母类	闪石类	辉石类	绿帘石	楣石	百分比	神经元 I	神经元 II
长江河道(13个样)	0.4	3.2	32.6	24.2	2.0	8.0	0.5	70.9	1	0
长江河道(11个样)	0.7	6.1	15.1	33.4	2.5	13.3	1.0	72.1	1	0
长江三角洲(4个样)	0.33	2.61	1.28	39.54	1.64	24.84	0.33	70.6	1	0
黄河河道(12个样)	5.75	5.44	31.80	25.34	4.58	14.11	2.28	89.3	0	1
黄河潮间带(116个样)	0.53	1.21	60.97	17.46	1.15	6.44	0.85	88.6	0	1
黄河水下三角洲(21个样)	0.43	0.37	78.49	11.70	0.45	2.15	0.50	94.1	0	1

表 2 东海外缘表层样品人工神经网络输出表

Tab.2 The data - out from BP artificial neural network analysis

样号	网络输出		与长江源训练输出	与黄河源训练输出	最小 平均距离	来源 判识
	神经元 I	神经元 II	[1 0]的平均距离	[0 1]的平均距离		
长江河道(13 个样)	1 .0066	0 .0033	0 .0049	1 .0017	0 .0049	○
长江河道(11 个样)	1 .0000	- 0 .0001	0 .0001	1 .0001	0 .0001	○
长江三角洲(4 个样)	1 .0028	0 .0011	0 .0019	1 .0009	0 .0019	○
黄河河道(12 个样)	- 0 .0086	1 .0002	1 .0044	0 .0044	0 .0044	●
黄河潮间带(116 个样)	- 0 .0156	0 .9952	1 .0054	0 .0102	0 .0102	●
黄河水下三角洲(21 个样)	0 .0067	1 .0023	0 .9978	0 .0045	0 .0045	●
85	- 0 .4997	1 .8652	1 .6825	0 .6825	0 .6825	▲
86	1 .3323	- 0 .1701	0 .2512	1 .2512	0 .2512	○
90	- 1 .2207	1 .7747	1 .9977	0 .9977	0 .9977	▲
91	- 1 .2192	1 .7740	1 .9966	0 .9966	0 .9966	▲
92	1 .1841	- 0 .1476	0 .1659	1 .1659	0 .1659	○
93	0 .8379	0 .1396	0 .1509	0 .8492	0 .1509	○
94	1 .3222	- 0 .2221	0 .2722	1 .2722	0 .2722	○
98	- 1 .2207	1 .7747	1 .9977	0 .9977	0 .9977	▲
99	- 1 .2207	1 .7747	1 .9977	0 .9977	0 .9977	▲
100	0 .5637	0 .2614	0 .3489	0 .6512	0 .3489	○
102	0 .5657	0 .1130	0 .2737	0 .7264	0 .2737	○
104	- 1 .2207	1 .7747	1 .9977	0 .9977	0 .9977	▲
106	- 1 .2207	1 .7747	1 .9977	0 .9977	0 .9977	▲
107	0 .8979	0 .0358	0 .0690	0 .9311	0 .0690	○
108	0 .1002	1 .1431	1 .0215	0 .1217	0 .1217	●
116	- 0 .2024	1 .0324	1 .1174	0 .1174	0 .1174	●
119	1 .2652	- 0 .1413	0 .2033	1 .2033	0 .2033	○
123	- 1 .2207	1 .7747	1 .9977	0 .9977	0 .9977	▲
126	- 0 .7141	1 .4696	1 .5919	0 .5919	0 .5919	▲
127	- 0 .1900	1 .2378	1 .2139	0 .2139	0 .2139	●
128	1 .3219	- 0 .1633	0 .2426	1 .2426	0 .2426	○
176	- 0 .2305	1 .1134	1 .1720	0 .1720	0 .1720	●
177	1 .0771	- 0 .0685	0 .0728	1 .0728	0 .0728	○
178	0 .9118	0 .1671	0 .1277	0 .8724	0 .1277	○
179	1 .0078	0 .0648	0 .0363	0 .9715	0 .0363	○
180	1 .1200	0 .0151	0 .0676	1 .0525	0 .0676	○
182	0 .7399	0 .2359	0 .2480	0 .7520	0 .2480	○
183	- 1 .2198	1 .7743	1 .9971	0 .9971	0 .9971	▲
184	- 0 .1511	1 .2315	1 .1913	0 .1913	0 .1913	●
129	1 .1898	- 0 .0968	0 .1433	1 .1433	0 .1433	○
130	1 .1957	- 0 .1183	0 .1570	1 .1570	0 .1570	○
131	- 1 .2177	1 .7735	1 .9956	0 .9956	0 .9956	▲
134	0 .7022	0 .4740	0 .3859	0 .6141	0 .3859	○
135	- 1 .2207	1 .7747	1 .9977	0 .9977	0 .9977	▲
140	1 .3705	- 0 .1850	0 .2778	1 .2778	0 .2778	○
141	1 .2269	- 0 .1166	0 .1718	1 .1718	0 .1718	○
142	- 1 .2180	1 .7736	1 .9958	0 .9958	0 .9958	▲
144	0 .6491	0 .1801	0 .2655	0 .7345	0 .2655	○

表 2(续)

样号	网络输出		与长江源训练输出	与黄河源训练输出	最小 平均距离	来源 判识
	神经元 I	神经元 II	[1 0]的平均距离	[0 1]的平均距离		
145	0.4735	0.3388	0.4327	0.5674	0.4327	○
146	0.8636	0.0767	0.1066	0.8935	0.1066	○
147	0.8708	0.1135	0.1214	0.8787	0.1214	○
148	0.7660	0.1326	0.1833	0.8167	0.1833	○
149	- 0.2624	1.0876	1.1750	0.1750	0.1750	●
150	- 0.5751	0.1142	0.8447	0.7305	0.7305	▲
152	0.5933	0.2605	0.3336	0.6664	0.3336	○
153	0.4516	0.3582	0.4533	0.5467	0.4533	○
154	- 0.5580	1.3803	1.4692	0.4692	0.4692	●
155	0.9947	0.1394	0.0724	0.9277	0.0724	○
156	0.2190	0.1980	0.4895	0.5105	0.4895	○
157	0.1254	0.8354	0.8550	0.1450	0.1450	●
158	- 0.1400	0.9445	1.0423	0.0978	0.0978	●
159	1.3541	- 0.1698	0.2620	1.2620	0.2620	○
160	0.7327	0.3762	0.3218	0.6783	0.3218	○
161	1.4032	- 0.1900	0.2966	1.2966	0.2966	○
162	- 0.2750	1.3631	1.3191	0.3191	0.3191	●
163	- 0.1837	0.6769	0.9303	0.2534	0.2534	●
164	- 0.5592	0.7301	1.1447	0.4146	0.4146	●
165	- 0.1891	1.2935	1.2413	0.2413	0.2413	●
168	1.2073	- 0.1198	0.1636	1.1636	0.1636	○
169	1.3927	- 0.1810	0.2869	1.2869	0.2869	○
170	1.1704	- 0.0943	0.1324	1.1324	0.1324	○
171	1.3938	- 0.1964	0.2951	1.2951	0.2951	○
172	- 0.8703	1.6399	1.7551	0.7551	0.7551	▲
174	- 0.7202	1.5421	1.6312	0.6312	0.6312	▲
185	- 0.6444	1.6332	1.6388	0.6388	0.6388	▲
F1	1.3953	- 0.1875	0.2914	1.2914	0.2914	○
F2	0.5705	0.2465	0.3380	0.6620	0.3380	○
F3	0.6580	0.2335	0.2878	0.7123	0.2878	○

○:长江物源; ●:黄河物源; ▲:外来物源。

3 结果与讨论

根据训练后得到的网络模型,对海区表层样进行仿真输出(表 1,表 2),并编绘平面分区图(图 2)重矿物 BP 神经网络分区格局明显受地形地貌因素控制,并可以划分出 3 个物源影响区。

I 区 长江物源影响遍及研究的大部分海区,水深从 60~2 000 m,范围 125°~127°E,26°~29°N,38 个站样的平均的最小平均距离为 0.231 6,变化范围 0.036 3(179 站)~0.489 5(156 站),主要位于陆架-陆坡区,影响可达槽底。根据分布水深北浅南深的变化特征,揭示长江物源向东扩散的影响有自北向南增

强的趋势。

II 区 黄河物源影响主要沿外陆架呈斑块状断续分布,水深一般不超过 120~200 m 等深线,但在久米岛西北的 26°20'~27°20'N 海区向海槽扩散,水深超过 1 500 m,13 个站样平均的最小平均距离为 0.225 5,变化范围 0.097 8(158 站)~0.469 2(154 站)。

III 区 沿冲绳海槽中轴线以东槽底和岛坡呈 NE 向延伸,14 个站样平均的最小平均距离 0.937 4,变化范围 0.631 2~0.997 7,碎屑物来自琉球弧和冲绳海槽的火山岩,验证了前人的研究结论^[7-9,13],但外陆

架区北部只有 3 个样品,其平均的最小平均距离只有 0.6377,变化范围 0.5919 ~ 0.6825,两者差值十分明显。从分布上看,它们分别位于截然不同的地形地貌单元,前者的水深超过 1000 m,后者不足 200 m,这说明其物质来源不同,西北陆架-陆坡区无论从站位数还是从分布范围来看仍以长江物源占据绝对优势,又有别于长江、黄河物源,可能受老黄河口^[19,20]和南黄海物质^[21]沿外陆架向南扩散的影响,但未超过 28°N 线。显然外陆架区受到黄海碎屑物质向南输入的影响。可能沿陆架外缘搬运过程中,随着长江物源的混合、稀释、增强而形成分散的不同形状和大小的斑块。

4 结论

(1) 资料的人工神经网络分析可以有效地判别海区碎屑沉积物的来源。
 (2) 人工神经网络重矿物分析所得的分区结果揭示了具有不同矿物特征的碎屑物源的影响范围和搬运、扩散趋势。
 (3) 东海外缘表层碎屑沉积物是多种来源的,长江物源占有绝对优势,影响外陆架-陆坡区,直至冲绳海槽西部槽底;琉球弧和槽底火山活动的碎屑物分布于槽底中东部和岛坡区;黄河和南黄海东部的物源对东海 26°30'N 以北的局部区域有一定的影响。

参考文献

- 秦蕴珊,赵一阳,陈丽蓉,等.东海地质.北京:科学出版社,1987.4-7,19-20,31-34
- 翟世奎,干晓群.冲绳海槽海底热液活动区玄武岩的矿物学和岩石化学特征及其地质意义.海洋与湖沼,1995,26(2):115-123
- 李巍然,杨作升,张保民,等.冲绳海槽南部橄榄拉斑玄武岩研究.海洋与湖沼,1997,28(6):665-672
- 李巍然,杨作升,王永吉,等.冲绳海槽火山岩岩石化学特征及其地质意义.岩石学报,1997,13(4):538-550
- 许东禹,刘锡清,张训华,等.中国近海地质.北京:地质出版社,1997.12-17,42-43,96
- 陈丽蓉,徐文强,申顺喜.东海沉积物的矿物组合及其分布特征.科学通报,1979,15:709-712

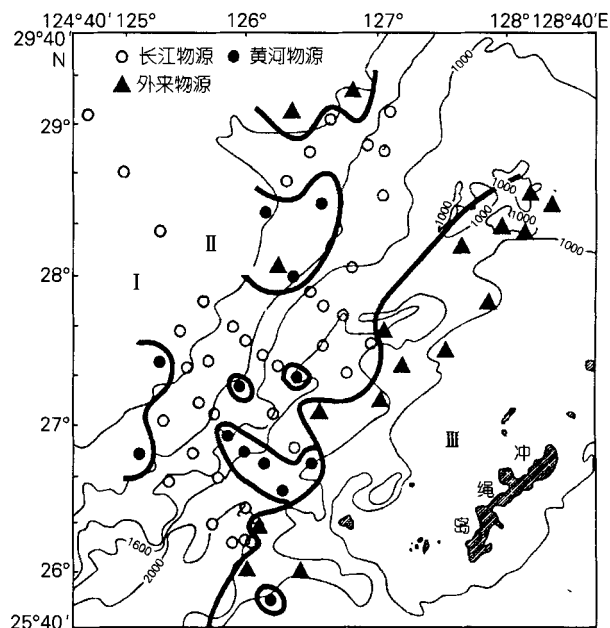


图 2 东海外缘表层重矿物物源神经网络分区

Fig. 2 Map of the heavy minerals provinces on outer margin of the East China Sea by BP artificial neural network analysis

I. 长江物源影响区; II. 黄河物源影响区; III. 岛弧物源影响区

- 陈丽蓉.东海的矿物组合.东海地质.北京:科学出版社,1987.38-60
- 王先兰,马克俭,陈建林,等.东海海底表层沉积物中的碎屑矿物及其地质意义.海洋地质与第四纪地质,1984,4(3):43-54
- 林振宏,吕亚男,高学民,等.冲绳海槽中部表层沉积物的重矿物分布和来源.青岛海洋大学学报,1996,26(3):361-368
- 高学民,林振宏,刘兰,等.冲绳海槽中部表层沉积物的成因矿物学研究.青岛海洋大学学报,2000,30(1):165-172
- 孟宪伟,王永吉,吕成功.冲绳海槽中段沉积地球化学分区及其物源指示意义.海洋地质与第四纪地质,1997,17(3):37-43
- 孟宪伟,杜德文,陈志华,等.黄河流域泛滥平原细粒沉积物 ⁸⁷Sr/ ⁸⁶Sr 空间变异的制约因素及其物源示踪意义.地球化学,2000,29(6):562-570
- 杜德文,孟宪伟,王永吉,等.沉积物物源组成的定量判别方法及其在冲绳海槽的应用.海洋与湖沼,1999,30(5):532-539
- Diekmann B, Kuhn G. Provenance and dispersal of glacial-marine surface sediments in the Weddell Sea and

- adjoining areas, Antarctica: Ice-rafting versus current transport. *Marine Geology*, 1999, 158(1-4): 209-231
- 15 Lihou J C, Mänge - Rajetzky M A. Provenance of the Sardonada Flysch, eastern Swiss Alps: example of high resolution heavy-mineral analysis applied to an ultrastable assemblage. *Sedimentary Geology*, 1996, 105: 141-157
- 16 李双成, 郑度. 人工神经网络模型在地学研究中的应用进展. *地球科学进展*, 2003, 18(1): 68-75
- 17 李强, 赵伟. *MATLAB 数据处理及应用*. 北京: 国防工业出版社, 2001.
- 18 楼顺天. 基于 MATLAB 的系统分析与设计——神经网络. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1998. 12-14
- 19 林晓彤, 李巍然, 时振波. 黄河物源碎屑沉积物的重矿物特征. *海洋地质与第四纪地质*, 2003, 23(3): 17-21
- 20 杨守业, 李从先, 张家强. 苏北滨海平原全新世沉积物物源研究. *沉积学报*, 1999, 17(3): 458-463
- 21 王昆山, 石学法, 林振宏. 南黄海和东海北部陆架重矿物组合分区及来源. *海洋科学进展*, 2003, 21(1): 31-40

ZONATION OF DETRITAL SEDIMENTS DISTRIBUTION ON THE OUTER EAST CHINA SEA — DETERMINED BY USING BP ARTIFICIAL NEURAL NETWORK ANALYSIS

LIN Xiao-Tong^{1,2} DU Shu-Jie¹ LI Wei-Ran²

(¹ Computer Center, Ocean University of China, Qingdao, 266003)

(² Marine Geoscience College, Ocean University of China, Qingdao, 266003)

Received: Aug., 13, 2003

Key Words: BP Neural Network Analysis, Detrital mineral, Sediment provenance, East China Sea

Abstract

Detrital mineral data of 230 surface sediment samples in Changjiang River (Yangtze River) and Huanghe (Yellow River) Deltas, and Outer East China Sea were analysed by BP Artificial Neural Network. It shows that surface detrital sediments in Outer East China Sea (including the outer shelf and the Okinawa Trough) are in three clear zones related to different provenances. Sediments on outer shelf, slope and Okinawa western trough bottom are derived mainly from Changjiang River; these on the east side of the Okinawa axisline are from volcanogenic sources in Ryukyu Island Arc; and beyond north line of N20°20', sediments on shelf, slope and trough are from Huanghe River.

(本文编辑: 刘珊珊)