

用模糊集合观点讨论水团的有关概念

李凤岐 苏育嵩 王凤钦 喻祖祥

(山东海洋学院, 青岛)

提要 本文将划分水团的基本原则, 概括为水团内部特征的相对均一性及其与外部海水的明显差异性。用模糊集合观点讨论了水型、水团和水系等有关概念。提出了用模糊集合观点定义水团及其核心、本体、边界与混合区的建议, 并以1979年8月黄海和东海表层为例, 给出了各水团的隶属函数。计算了其核心、本体、边界、混合区及贴进度, 按其模糊性排出了顺序。

一、关于水团概念、定义的回顾与认识

在海洋学中, 几乎从研究的起步就用到了水团的概念。1770年Franklin研究湾流水及至Книлович 1905年分析巴伦支海中的大西洋水等, 就是很好的例证^[1,6]。Helland-Hansen (1916)^[1,7,10,12,13,1]将“水团”这一专用术语首先引入了海洋学中, 但当时尚未给出明确的定义。Defant 1929年首次给水团以明确定义^[1,6]。Sverdrup等1942年对水团、水型的阐述以及对大洋水团研究的丰硕成果, 至今仍被尊为权威^[9,10,12,14,15]。1947年, Дбровольский又进一步定义:“水团是指在大洋的某一确定区域——源地——内形成的较大水体, 它具有独特的理化特征和生物特征; 这些特征几乎是长期恒定而连续分布的, 并作为水团这一综合整体的组成部分随水团而集体移动”^[1,16]。水团定义的其他叙述形式还很多^[9,10,13,14,17]。我国的海洋工作者对水团定义也进行了探讨^[1,1-3], 尤其对浅海水团及其形成、变性问题作了不少研究^[4-8]。纵观水团定义的演化, 大洋水团都以其理化生物特征的均一性和保守性为最主要的标准; 而浅海水团对此种均一性和保守性的要求则需相应降低; 变性水团的保守性更差。水团内部的所谓均一性, 亦是相对于它和周围海水有明显差异而言的。综上所述, 我们认为: 海洋中的水团乃是内部具有相对均一性, 且与外部海水有明显差异的连续分布的宏大水体。所谓内部的相对均一性, 是指同一个水团内的海水, 其源地或形成机制相近, 理化生物特征相对均匀, 随时间变化的趋势大体一致(以下简称“内同性”); 而相对于外部海水在这些特征上的明显差异, 简称为“外异性”。同时具备内同性和外异性的连续分布的宏大水体, 便可与周围的海水划分开来而称为一个水团。

二、模糊集合与水团的有关概念

模糊集合论已在各门学科中得到广泛的应用^[5,6], 我们用以讨论了有关水团的一些概念。

- 1) 文献[14]、[16]谓 Helland-Hansen (1918) 导入温-盐图解, 且未注所引文献。文献[11]虽亦谓1918年, 但显然是指所引文献刊出时间, 而该文献的原文则是1916年发表的。
- 2) 徐斯, 1959。略谈水团定义。海洋普查通讯 8: 18—20。
- 3) 山东海洋学院海洋系, 1974。海况分析讲义, 61—62页。
- 4) 山东海洋学院海洋系, 1980。水团分析及预报讲义, 2—4页。

收稿日期: 1984年3月9日。

(一) 论域和水体元

将研究海域记为论域 X , 它包含了无数的水体元。研究时, 取有限个 (如 n 个) 水样进行测量研究, 亦即可把水样作为水体元。一个水体元的性质可用一组 m 个观测值 (甚至还可扩充为包含源地、时间等非观测值的数量化参数) 来描述。写成矢量形式, 第 i 个水体元即

$$\mathbf{x}_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{im}) \quad (1)$$

它映射于 m 维测值空间中便对应于一个点。经典水团分析工具温-盐图解, 便是测值空间 $m = 2$ 的特例。水体元与论域的关系可写为

$$X = \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3, \dots, \mathbf{x}_n\} \quad (2)$$

(二) 水型、水团和水系概念的讨论

1. 水型 (Water type)

文献 [1] 在研究浅海水团时定义: “水型是指温、盐度均匀, 在 $T-S$ 图解上仅用一个点子表示的水体”。一个水体元必对应于温-盐图解上的一个点, 而温、盐值与其相同的其他水体元, 映象也必重合于此点。可见温-盐 (亦可推广为 m 维) 图解上一个点所代表的水型, 乃是性质完全相同的水体元的集合。此即水型的普通集合定义。

水型也可以视为 X 中的一个模糊子集 \underline{T} , 其性质由隶属函数

$$\begin{aligned} \mu_{\underline{T}}: X &\rightarrow [0, 1] \\ \mathbf{x} &\mapsto \mu_{\underline{T}}(\mathbf{x}) \end{aligned} \quad (3)$$

来描述。

实际上因同一水型中所含全部水体元的性质皆相同, 即

$$\mathbf{x}_i = \mathbf{x}_j \quad (\forall \mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j \in \underline{T}) \quad (4)$$

故其退化为普通子集 T , 即

$$\nu_T(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 & \mathbf{x} \in T \\ 0 & \mathbf{x} \notin T \end{cases} \quad (5)$$

因而, 一个水型的性质, 可用其中的一个水体元来代表。换言之, 即可用一个水体元代表一个水型。传统的水团分析实际上早即如此^[7,9,10,12,14,15,17], 我们在后面的讨论中, 也沿用了此观点。

2. 水团 (Water mass)

综合文献 [9, 10, 12—17] 的观点, 很容易给出水团的普通集合定义: 水团是性质相近的水型的集合。在实际分析中, 上述各文及文献 [1—4]、[8] 的作者, 事实上即是按式 (4)、(5) 直接考虑水体元可否集合为水团。

由于一个水团中的不同水体元性质并不一定相同, 故用模糊集合来定义水团更优越。

即把研究海域中的一个水团 A , 定义为 X 中的一个模糊子集 $A = \int_X (\mu_A(\mathbf{x})/\mathbf{x})$, 其性质由隶属函数

$$\begin{aligned} \mu_A: X &\rightarrow [0, 1] \\ \mathbf{x} &\mapsto \mu_A(\mathbf{x}) \end{aligned} \quad (6)$$

来刻划。对 X 中的任一水体元 x_i ，可计算出 $\mu_A(x_i)$ 的值，此即 x_i 对水团 A 的隶属度。

至此，有两点需要指出：

(1) 依式 (4)、(5) 水型的模糊集合与普通集合是等价的。水团则不然，因水团几无完全均一者^[10]。特别是用普通集合讨论水团的交混区时会遇到困难。如图 1， ω 是水团

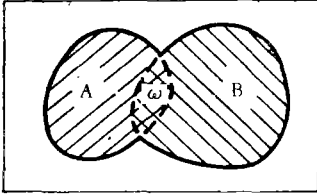


图 1 A 与 B 的交混区

A, B 的交混区，依集合的运算，应有 $\omega = A \cap B$ ，但在海洋中实际混合的结果，则变性为既不属于 A 也不属于 B 的混合水。交运算既不成立，集合的运算律大都随之而不能用了。模糊集合则可较好地解决这一问题。

(2) 划分水团的内同性与外异性原则，在模糊集合定义中并未提到。这一问题留待讨论核心、本体和边界时予以解决。

3. 水系 (Water system)

文献 [10] 列举了划分水系的多种方法，国内有关书刊文章也常使用“水系”一词，但理解往往并不一致。参照文献 [10] 等一些提法及国内的习惯，我们建议水系的普通集合定义为：水系是符合一个给定条件的水团的集合。所谓“一个给定条件”，指明划分水系不是考察水团的所有 m 项特征，而仅考察一项特征是否相近；从传统习惯看，更侧重于考察温、盐两者之一。

例如仅考察水温，世界大洋的水团就可分为冷水环流系和暖水环流系。前者是大洋中层、深层、底层及高纬海域表层、次表层各水团的集合；后者则是大洋中、低纬度海域表、次层各水团的集合。在我国浅海水团的分析中，常用“沿岸水系”与“外海水系”之称谓，就是仅考察盐度而划分的。前者指受大陆径流冲淡以低盐为显著特征的各水团的集合，后者则指受径流影响小而相对高盐的诸水团的集合。

正由于仅考察一项特征，故可越过水团的概念（水团通常如在温-盐图解上划分那样，至少是同时考察温、盐两项特征），直接建立水系与水体元的关系。将水系定义为 X 中的模糊子集 S ，其隶属函数可写为

$$\begin{aligned} \mu_S: X &\rightarrow [0, 1], \\ A &\mapsto \mu_S(A^{(k)}|g) \end{aligned} \quad (7)$$

式中 $k = 1, 2, \dots, l$ ，为 X 中所含水团的个数； g 表示一个给定的条件，也可写为

$$\begin{aligned} \mu_S: X &\rightarrow [0, 1] \\ x &\mapsto \mu_S(x) = \mu_S(x|g) \end{aligned} \quad (8)$$

对水团模糊集合定义所讨论的两个问题，水系也类似，亦留待后面解决。

4. 水型、水团、水系三种集合的关系

从集合观点看，这是三个相互联系但又是层次不同的概念。其关系可表示如下：

$$\left. \begin{aligned} \text{海水实体: } & \text{水体元} \subseteq \text{水型} \subseteq \text{水团} \subseteq \text{水系} \subseteq \text{研究海域全部水体} \\ \text{集合形式: } & x \subseteq T \subseteq A \subseteq S \subseteq X \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

从要求的条件看，水系最少，只要一种特征相近即可；水团趋严，在传统的水团分析中，至少是同时考察温、盐两项特征；水型最严，必需 m 项特征完全对应相等。

有些文章同时考察两项以上特征而划分水系，如高（低）温、高（低）盐水系之类的提

法,其实这不是水系,而是水团或是水团的归并。文献[1—4]、[8—12], [14, 15, 17]中许多水团的划分,就是仅依据温、盐两项特征的。

本文认为,仅因盐度低而划出的沿岸冲淡水,就应称水系而不宜称水团;在我国沿岸水系中若再考虑温度等其他特征,就可进一步划出鲁北沿岸水团、苏北沿岸水团和江浙沿岸水团。

(三) 关于核心、边界及混合区的讨论

1. 水团的核心

在模糊数学中把 A 的截集 A_1 称为 A 的核^[5,6]。这里 A_1 是一个普通子集,其特征函数为

$$\nu_{A_1}(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 & \mu_A(\mathbf{x}) = 1 \\ 0 & \mu_A(\mathbf{x}) < 1 \end{cases} \quad (10)$$

由于水团的内同性是相对的,故总有一部分水体最能代表该水团的特征,这就是水团的核心^[6]。Wüst 的核心法虽把起始点定为 $100\% = 1$,但并非只把这一点作为核心^[12-16]。文献[1]在定核心时也不是取极值点,鉴此并循统计的观点,把隶属度大于 0.9 者 $A_{0.9+}$ 作为相应水团的核心,看来是可取的,尤其在浅海变性水团分析中似更合理与必要。

2. 水团的边界和本体

模糊数学中把支集 $\text{supp } A = \{\mathbf{x} | \mu_A(\mathbf{x}) > 0\} = A_{0+}$ 与核的差集 $\{A_{0+} - A_1\}$,作为模糊子集的边界^[6]。在海洋水团分析中对此亦应作相应调整。因按上述提法,是把“核”外从稍有变性到完全变性的所有水体统统作为边界,显然这不是水团分析中“水团边界”的含意。参照文献[1], [17]的观点,把隶属度大于 0.5 者作为水团的本体,小于 0.5 者作为显著变性区,而以等于 0.5 者为边界,看来是合理的,且与浓度混合理论的观点相呼应。亦即,把 A 的截集 $A_{0.5+}$ 定义为水团 A 的本体,其特征函数为

$$\nu_{A_{0.5+}}(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 & \mu_A(\mathbf{x}) > 0.5 \\ 0 & \mu_A(\mathbf{x}) < 0.5 \end{cases} \quad (11)$$

式(11)体现了水团定义中的内同性原则,即隶属度大于 0.5 的水体元,认为符合内同性而划入本体;式(12)则对应于外异性,即隶属度小于 0.5 者因其变性大而划于水体本体之外。处于 $\{A_{0+} - A_{0.5+}\}$ 的水体是水团本体之外的显著变性区。

上述提法能较好地描述以下的变性全过程:水团有明确的核心,从核心向外渐有变性,经本体至边界变性愈来愈大,出边界之后到显著变性区,变性更甚,终至完全丧失水团的初始特征。

3. 混合区(带)

用普通集合难于处理混合区,用模糊集合则不难。由于隶属函数可在 0, 1 之间取值,这样正可表示水体元因混合变性而对原属水团隶属度的变化。当其隶属度降至 0.5 以下时便不再属于原水团。故可定义:对参与混合的各水团的隶属度均小于 0.5 的水体元的集合,为水团之间的混合区(带)。这样定义混合区既有明确的物理意义,又不影响交运算及其他运算律。

混合区往往形成良好的渔场,而中心渔场又常偏在混合区的某一侧^[2-4]。故对混合区

的水体,还可依其对各水团隶属度的不同,进一步划分和分析,这对寻求中心渔场有所裨益。

三、实例分析

以文献 [4] 对黄海、东海水团的分析为基础,为使讨论简明,只取 8 月份表层作为示例。

(一) 各水团的隶属函数

表层有三个水团(系): 东海混合水 E 、大陆沿岸水 F 和黄海混合水 Y , 分别视为模糊子集 \underline{E} , \underline{F} , \underline{Y} , 建立其隶属函数(建立的根据于另文¹⁾详细讨论,这里只述其概要,而重点放在有关概念的分析讨论上)。

论域 X : 黄海、东海调查海域的表层海水 [$23.5(^{\circ}\text{C}) \leq \theta \leq 30.5(^{\circ}\text{C})$, $24.0 \leq s \leq 34.5$]。

1. 黄海混合水 \underline{Y}

隶属函数为钟形,可写作

$$\mu_{\underline{Y}}: X \rightarrow [0, 1]$$

$$\mathbf{x} \mapsto \mu_{\underline{Y}}(\mathbf{x}) = \exp[-(\mathbf{x} - \mathbf{a})\mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{a})'] \quad (13)$$

式中 $(\mathbf{x} - \mathbf{a})'$ 为 $(\mathbf{x} - \mathbf{a})$ 的转置, \mathbf{B}^{-1} 为 \mathbf{B} 的逆; 当只取水温 (θ)、盐度 (s) 时 $\mathbf{x} = (\theta, s)$, 而 $\mathbf{a} = (a_{\theta}, a_s)$ 为水团的重心(可依统计方法求得); \mathbf{B} 可写为

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} D_{\theta} & 0 \\ 0 & D_s \end{bmatrix}$$

其中 D_{θ} , D_s 分别为水温、盐度的方差,可依模糊统计^[5]并综合分析者的经验而求得。因此

$$\mu_{\underline{Y}}(\mathbf{x}) = \exp\left[-\frac{(\theta - a_{\theta})^2}{D_{\theta}} - \frac{(s - a_s)^2}{D_s}\right] \quad (14)$$

式中 $a_{\theta} = 27.0(^{\circ}\text{C})$, $a_s = 31.0$,

$$D_{\theta} = \begin{cases} 7.4 & \text{当 } \theta \geq 27.0(^{\circ}\text{C}) \\ 23.0 & \text{当 } \theta < 27.0(^{\circ}\text{C}), \end{cases} \quad D_s = \begin{cases} 0.92 & \text{当 } s \leq 31.0 \\ 1.46 & \text{当 } s > 31.0 \end{cases}$$

2. 东海混合水 \underline{E}

隶属函数类上可写为

$$\mu_{\underline{E}}: X \rightarrow [0, 1]$$

$$\mathbf{x} \mapsto \mu_{\underline{E}}(\mathbf{x}) = \exp\left[-\frac{(\theta - a_{\theta})^2}{D_{\theta}} - \frac{(s - a_s)^2}{D_s}\right] \quad (15)$$

式中 $a_{\theta} = 29.2(^{\circ}\text{C})$, $D_{\theta} = 0.6$,

$$a_s = \begin{cases} 33.5 & \text{当 } 33.0 < s \leq 33.5 \\ s & \text{当 } s > 33.5 \end{cases} \quad D_s = \begin{cases} 1.46 & \text{当 } s \leq 3.30 \\ 0.36 & \text{当 } s > 3.30 \end{cases}$$

1) 李凤岐等,从水团混合变性过程看水团隶属函数的建立(将刊于《海洋学报》8卷2期)。

3. 大陆沿岸水 F

其实质为水系，仅考虑盐度即可。又考虑到 $s < 29.0$ 的水体元一般都公认属于沿岸水，故将 $s < 29.0$ 者统统划为 F 的核心，即有

$$\mu_F: X \rightarrow [0, 1]$$

$$x \mapsto \mu_F(x) = \mu_F(x|s) = \begin{cases} 1 & \text{当 } s \leq 29.0 \\ \exp\left[-\frac{(s - 29.0)^2}{1.46}\right] & \text{当 } s > 29.0 \end{cases} \quad (16)$$

其示意变化如图 2。

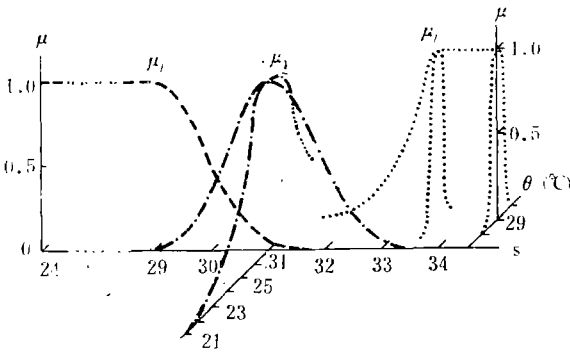


图 2 E, F 和 Y 隶属函数的图象

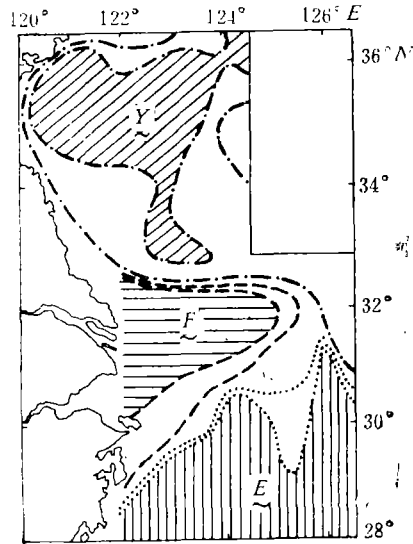


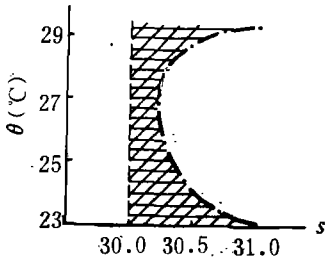
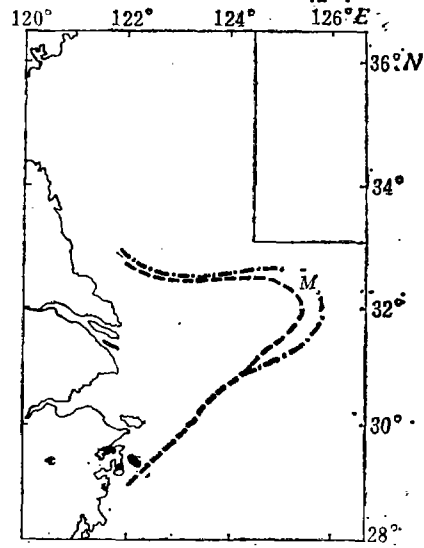
图 3 E, F, Y 的分布(1979. 8. 表层)

(二) 水团(系)的核心、本体和边界

依式(14)一(16)可计算出各水团(系)的核心、本体和边界、复原叠绘于大面图上即如图 3。与文献[4]之图 3 对比，拟合良好。有趣的是： E 的核心部分向北分为两支，明显地体现出对马与台湾暖流的影响； Y 的核心在黄海南部缩成一盲枝状，乃是沿岸水和黄海暖流余脉影响的缘故。

(三) 水团(系)的交与混合区

在水团的模糊子集之间，可以进行并、交、余等运算，且在水团分析中能有相应的物理解释。例如 F 和 Y 的交 $F \cap Y$ ，即指 F 和 Y 互相混合影响所及的水体。这部分水体中混合最充分者即 F 和 Y 的混合区，其水体因变性剧烈，对该两水团(系)的隶属度均已小于 0.5。该混合区 M 中的水体元温、盐值必落于图 4 的影线区域。 M 在海区中的分布见图 5。

图4 E 和 Y 混合区中水体元的温、盐值图5 E 和 Y 的混合区

(四) 用贴进度衡量水团之间的相近程度

许多文献都指出 Y 具有 E 和 F 的混合水的性质^[1-4,8], 但没有指明 Y 比较起来更相近于 E 还是 F 。由贴进度则可给出定量的回答。用欧氏距离定义的贴进度^[5]可依下式计算:

$$(\underline{Y}, \underline{F}) = 1 - \frac{1}{p} \sum_{r=1}^p [\mu_Y(x_Y) - \mu_F(x_Y)]^2 \quad (17)$$

$$(\underline{Y}, \underline{E}) = 1 - \frac{1}{p} \sum_{r=1}^p [\mu_Y(x_Y) - \mu_E(x_Y)]^2 \quad (18)$$

为简便只取盐度计算, 在 24.0—34.5 之间, 令步长 0.5 可算得: $(\underline{Y}, \underline{F}) = 0.37$, $(\underline{Y}, \underline{E}) = 0.74$ 。即从盐度看 Y 对 E 比对 F 更为贴进, 这说明黄海混合水受外海高盐水的影晌比沿岸水要大一些。

(五) E, F 和 Y 模糊性的比较

E, F 和 Y 都是模糊子集, 那么, 谁最模糊呢? 我们知道, 隶属度恰为 0.5 时无法判定归属, 最为模糊。若依上述贴进度的定义, 分别计算 E, F, Y 对 $z \equiv 0.5$ 的贴进度, 与 z 最贴进者则最模糊。仍只取盐度计算, 可得: $(\underline{E}, z) = 0.76$, $(\underline{F}, z) = 0.78$, $(\underline{Y}, z) = 0.80$ 。因此, 按模糊性可排序为 $Y > F > E$ 。这一结论是容易解释的, 因为模糊性缘于水团的变性, 而与均一性和保守性相对立。 E 之所以模糊性最小, 是因为在这三个水团(系)中, 它受大陆影响最小, 且有黑潮水为其后源, 有助于其高温、高盐特征的保持, 故变性较少, 相对均一性最强。至于 F , 受大陆影响固然强, 但这种影响的主要效应, 尤其是径流的注入, 也正是有助于其低盐特征的保持; 盐度愈低表明水系的低盐特征愈明显, 因此, 尽管其盐度并不均一, 但水系低盐特征却很明显。唯独 Y 不仅没有后源, 反而

受 E , F “两面夹击”: F 使其低盐之侧降盐, E 使其高盐之侧增盐。综合效应使 Y 难趋均一, 故其模糊性居三者之首。

小 结

用模糊集合观点讨论水团有关概念并进行水团分析, 本文仅是初试, 但已显见其可行性与优越性。示例之所以仅用温、盐资料, 一为循传统水团分析的习惯, 二为计算与解说方便; 若能将水色、化学及生物等资料综合考虑, 估计效果会更好。

参 考 文 献

- [1] 毛汉礼、任允武、万国铭, 1964. 应用 T-S 关系定量地分析浅海水团的初步研究。海洋与湖沼 6(1):1—22。
- [2] 李凤岐、苏育嵩、喻祖祥, 1983. 聚类分析在浅海变性水团分析中的试验。海洋学报 5(6):675—686。
- [3] 苏育嵩, 1980. 划分变性水团边界的温盐点聚对照法与东海西部海区变性水团的分析。海洋学报 2(1):1—16。
- [4] 苏育嵩、喻祖祥、李凤岐, 1983. 聚类分析法在浅海水团分析中的应用及黄、东海变性水团的分析。海洋与湖沼 14(1): 1—13。
- [5] 汪培庄, 1983. 模糊集合论及其应用。上海科学技术出版社, 1—3, 14—16, 34—53, 91—93 203—345 页。
- [6] 楼世博、孙章、陈化成, 1983. 模糊数学。科学出版社, 8—12, 18—22, 27—34, 94—102 页。
- [7] 普劳德曼, J., 1953 (毛汉礼译, 1956)。动力海洋学。科学出版社, 114—115, 143 页。
- [8] 赫崇本、汪圆祥、雷宗友、徐斯, 1959. 黄海冷水团的形成及其性质的初步探讨。海洋与湖沼 2(1):11—15。
- [9] 佐佐木忠義暨修, 1971. 海洋開発。海洋開発センター出版局, 东京。第 2 卷, 131—132 页。
- [10] 増沢讓太郎, 1977. 海洋物理。海洋科学基礎講座 IV。东海大学出版会, 东京。20—24 页。
- [11] Defant, A., 1961. Physical Oceanography. Pergamon Press, New York. Vol. I, pp. 202—218.
- [12] Dieterich, G., K. Kalle, W., Krauss, et al, 1980. General Oceanography an introduction. 2nd. A Wiley-Interscience Publication John Wiley, New York. pp. 233, 460—565.
- [13] Fairbridge, R. W., 1966. The Encyclopedia of Oceanography. Encyclopedia of Earth Sciences Series, Vol. I. Reinhold Publishing Corporation, New York. pp. 970—975.
- [14] Pikard, G. L., 1979. Descriptive Physical Oceanography. 3-rd (SI) ed. Pergamon Press, New York. pp. 110—111.
- [15] Sverdrup, H. U., M. W. Johnson, and R. H. Fleming, 1949. The Oceans, Their Physics, Chemistry, and General Biology. Prentice-Hall, Inc, New York. pp. 141—146, 605—755.
- [16] Добровольский, А. Д., 1961. об определении водных масс. Океанология. 1(1):12—24.
- [17] Тимофеев, В. Т., В. В., Понов, 1962. Косвенные Методы Выде-Ления и Анализа Водных Масс. Гидромет. Изд. Ленинград. стр. 5, 196—236.

DISCUSSION OF SOME CONCEPTS OF THE WATER MASS BY THE THEORY OF FUZZY SETS

Li Fengqi, Su Yusong, Wang Fengqin and Yu Zuxiang
(*Shandong College of Oceanology, Qingdao*)

ABSTRACT

The fundamental principles of differentiating the water masses may be summarized as the inner relative homogeneity, the outer obvious heterogeneity with others in characteristics. Based on the theory of fuzzy sets, the concepts of the water type, water mass and water system are dealt with. A proposal applying the theory of fuzzy sets to defining the water mass and its core, independent area, boundary and mixing area is put forward.

As an example, the membership functions of the surface water masses in the Huanghai Sea and the East China Sea in August 1979 are made. Their cores, independent areas, boundaries, mixing areas and the approach degrees between different water masses are calculated respectively. The order among different water masses is ranged according to their fuzzy degrees.