

海洋划界等比率线方法*

元哲起

(国家海洋信息中心, 天津 300171)

本文主要讨论等比率线产生算法, 介绍了等比率线的性质及在不同类型海域中如何产生等比率线。并对等比率线的迭代逼近方法进行了详细的描述。结合实例对本算法进行了评价验证。

1958年《大陆架公约》对海岸相向或相邻国家间大陆架的划界做了专门规定, 海岸相向或相邻国家间的大陆架疆界“应由这些国家之间的协定予以确定, 在无协定的情况下, 除根据特殊情况另定疆界线外, 疆界线是一条其每一点与有关国家测算领海宽度的基线距离相等的中间线。”这明确了中间线划界为海洋划界的方法之一。但是, 世界上海洋及海岸的地理特征千差万别, 加之各国的历史和政治情况不同, 要想由一种划界方法解决世界上所有情况的海洋划界是不现实的。截止到1982年, 在大约376个需要确定界线的海域中, 约有258个需要召开划界会议, 这就证明中间线划界方法有其局限性。

国际上自70年代末期, 就实现了用计算机技术确定海洋中间线。1985年, 美国马里兰大学地理系制图服务实验室研制出了“计算机自动产生等距离水域分界线”软件。为了满足各方面的情况, 也为了更好地达成海洋划界协议, 荷兰的W·兰格利于1985年提出按等比率方法公平分配海洋区域, 但也未能详尽地描述怎样去实现等比率划界。

一、等比率界线的定义

等比率线是有关划界国家按照协商确定的比例划分海域所形成的海上分界线。该线上的每一点距有关国家测算领海宽度的基线的最近距离之比, 应当同有关国家商定的比例相一致。等比率线方法是在中间线方法的基础上产生和发展起来的。它比中间线方法更灵活、更方便。由于该方法考虑了众多因素, 因而较容易获得使各方满意的结果。

二、特殊情况下的等比率线形状

1. 两点之间的等比率线

为方便起见, 选取两个特殊点, $A(0,4)$ 和 $B(0,0)$, 如图1所示。有一动点 P , 到 A 点的距离 $|PA|$ 和到 B 点的距离 $|PB|$ 之比为 $k:1$, 由两点距离公式得:

收稿日期: 1990年4月5日。

* 本文是在国家海洋信息中心倪轩副研究员的指导下完成的, 并得到了武汉测绘科技大学费立凡副教授的大力帮助, 在此表示感谢。

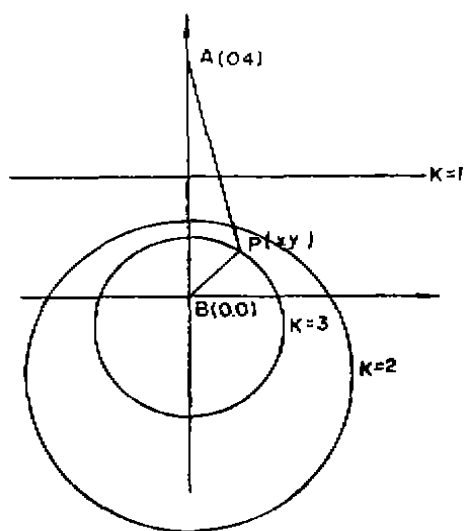


图1 两点之间等比率线图

2. 点和直线间的等比率线

为方便起见, 选取点 $A(0, 4)$ 和 $y = 0$ 直线。有一动点 $P(x, y)$, 到 A 点之距离 $|PA|$, 与 P 点到直线 $y = 0$ 之间距离 D 之比为 $k:1$ (图 2), 由两点间距离公式可知:

$$\frac{|PA|}{|D|} = \frac{\sqrt{(x-0)^2 + (y-4)^2}}{y} \quad (4)$$

$$|PA| : |D| = k : 1$$

展开化简得:

$$x^2 + y^2 - k^2 y^2 - 8y + 16 = 0 \quad (5)$$

对式 (5) 因式分解化简得:

$$\frac{x^2}{\frac{16k^2}{1-k^2}} + \frac{\left(y - \frac{4}{1-k^2}\right)^2}{\frac{16k^2}{(1-k^2)^2}} = 1 \quad (6)$$

当 $k = 1$ 时, 由式 (5) 可得:

$$x^2 = 8(y-2) \quad (7)$$

式 (7) 符合抛物线标准方程, 所以, 当点和直线等比率线的比率为 $1:1$ 时, 其等比率线为抛物线。

当 $k > 1$ 时, 式 (6) 中 $\frac{16k^2}{1-k^2} < 0, \frac{16k^2}{(1-k^2)^2} > 0$, 符合双曲线标准方程, 所以, 当 $k > 1$ 时, 等比率线为双曲线。

当 $k < 1$ 时, 式 (6) 中 $\frac{16k^2}{1-k^2} > 0, \frac{16k^2}{(1-k^2)^2} > 0$, 符合椭圆标准方程, 当 $k < 1$ 时, 等比率线为椭圆。通过以上两种特殊等比率线可以看出, 变化复杂的海洋等比率线可以用不同的弧

$$\frac{|PB|}{|PA|} = \frac{\sqrt{(x-0)^2 + (y-0)^2}}{\sqrt{(x-0)^2 + (y-4)^2}} \quad (1)$$

$$|PB| : |PA| = 1 : k$$

展开化简后得:

$$x^2 + y^2 + \frac{8}{k^2-1}y - \frac{16}{k^2-1} = 0 \quad (2)$$

把式 (2) 化简得:

$$(x-0)^2 + \left(y + \frac{4}{k^2-1}\right)^2 = \left(\frac{4k}{k^2-1}\right)^2 \quad (3)$$

由式 (3) 得出, 无论 k 取何值 ($k=1$ 除外), P 点的轨迹为一圆, 圆心坐标 $\left(0, -\frac{4}{k^2-1}\right)$, 半径 $\left|\frac{4k}{k^2-1}\right|$ 。由此可以得出, 两点之间的等比率线为一圆 ($1:1$ 时, 等比率线是一条直线)。

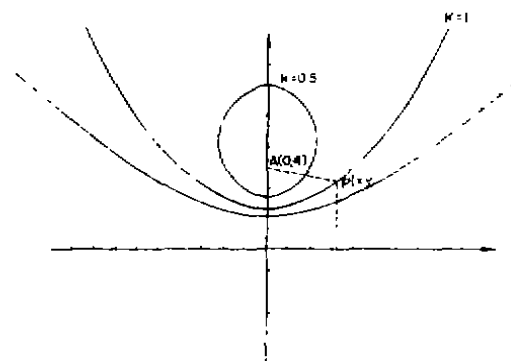


图2 点和直线间的等比率线

线和直线段组成。

三、海洋划界中区域类型及处理

前面的两个例子只是等比率线的特殊情况,可以用数学方法求解。对于复杂的海域,就无法解决。为此,笔者设计出了计算机等比率线的模拟逼近算法。

海洋划界区域类型,一般可以归结为海岸相向和海岸相邻两种。海域类型不同,等比率线的起始点选取方式也不同。

1. 海岸相向型的起始点的选取

绘制等比率线的第一个问题是选取起始点。海岸相向国家等比率线的起始点一般选在两国基线距离最近点的连线上。而基线距离最近点可用循环计算求出。如图3所示。假设A侧 A_1 点到B侧 B_1 点之间距离最近,过 A_1 点作B侧基线垂线 A_1B_2 ,过 B_1 点做A侧基线的垂线 B_1A_2 ,比较 A_1B_2 、 A_1B_1 、 B_1A_2 长度,取其最小者的两个端点,做为计算起始点的条件点。假设为 B_1 、 A_2 两点,根据所给定的等比率线的比率 k ,和点 $A_2(xA_2, yA_2)$ 、 $B_1(xB_1, yB_1)$,可以计算等比率线起始点 O 的坐标:

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= (xB_1 \times k + xA_2) / (1 + k) \\ y_0 &= (yB_1 \times k + yA_2) / (1 + k) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

2. 海岸相邻型起始点的选取

海岸相邻国等比率线的绘制,其起始点为两国基线相交点(如图4中的 O 点)。

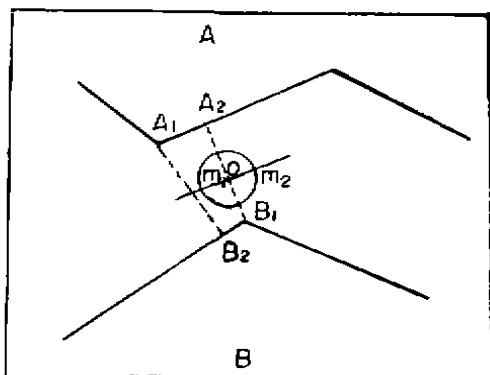


图3 相向国等比率线起始点的选取和跨出示意图

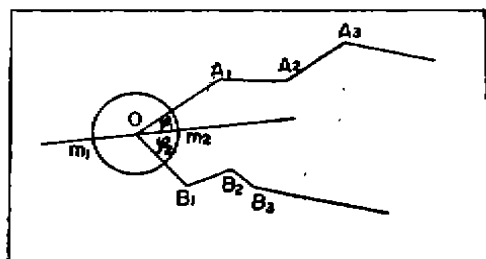


图4 相邻国等比率线起始点的选取和跨出示意图

3. 等比率线的跨出

(1) 海岸相向型等比率线的跨出 如图3,以起点 O 为圆心,以逼近等比率线的线段长度 R 为半径做圆,与过 O 点且垂直于 A_2B_1 的直线 l 交于 m_1 、 m_2 两点,取其中一点为试验跨步点,另一点为反方向试验跨步点。假设首先取 m_2 点。①计算 m_2 点到A侧基线最小距离和 m_2 点到B侧基线最小距离;②比较是否小于容许误差,若符合条件将此点吸收进入等比率线,若不符合,根据下面介绍的等比率线逼近方法调整跨步方向。

(2) 海岸相邻型等比率线的跨出 如图4,首先计算出 $\angle A_1OB_1$,按给定等比率线比率 k ,作直线 l ,将 $\angle A_1OB_1$ 分为 φ_1 、 φ_2 。

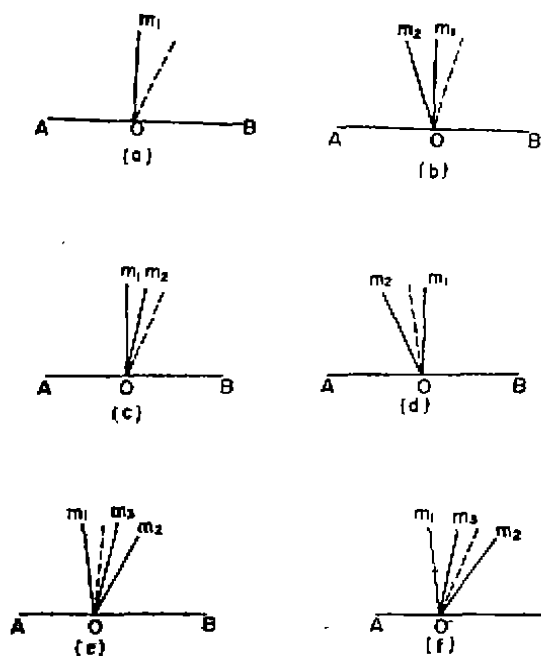


图5 等比率线跨步方向调整的6种情况

情况1(图5a) m_1 为第一个试验点,虚线为等比率线,调整后线段 Om_1 增加角度 $\Delta\varphi(1^\circ \leq \varphi \leq 10^\circ)$ 。可出现5种情况(图5b、c、d、e、f)。

情况2(图5b) Om_1 加角度 $\Delta\varphi$ 后,到达 Om_2 。此时, $E_1 > 0$ 、 $E_3 > 0$ 或 $E_1 < 0$ 、 $E_3 < 0$,并且 $E_2 < E_4$ 。所以 Om_1 增加角度后,不是向等比率线靠近而是偏离等比率线更远,重新调整角度, Om_1 减去 $\Delta\varphi$ 。

情况3(图5c) Om_1 加角度 $\Delta\varphi$ 后,到达 Om_2 。此时, $E_1 > 0$ 、 $E_3 > 0$ 或 $E_1 < 0$ 、 $E_3 < 0$,并且 $E_2 > E_4$ 。所以 Om_1 调整到 Om_2 ,是逐步向等比率线靠近,再调整角度时, Om_2 加 $\Delta\varphi$ 。

情况4(图5d) Om_1 加角度 $\Delta\varphi$ 后,到达 Om_2 。此时 $E_1 > 0$ 、 $E_3 < 0$ 或 $E_1 < 0$ 、 $E_3 > 0$ 。再调整角度时,作 $\angle m_1 Om_2$ 角平分线。

情况5(图5e) 在情况4的基础上,做 $\angle m_1 Om_2$ 角平分线后,到达 Om_3 ,再调整角度时,做 $\angle m_1 Om_3$ 角平分线。

情况6(图5f) 在情况4的基础上,作 $\angle m_1 Om_2$ 角平分线,到达 Om_3 ,再调整角度时,作 $\angle m_2 Om_3$ 角平分线。

按照上述方法,不断调整逼近角度,直到满足精度为止。

5. 等比率线的跨步调整

等比率线的跨步调整问题,前面已有初步介绍,下面就整个搜索过程中的跨步点的调整与前进,做简单介绍。如图6,假设O点是等比率线上第一点, $A_1 B_1$ 为两国基线最近距离连线,过O点做 $A_1 B_1$ 垂线,并和以O为圆心,以逼近长度为半径所做圆有两个交点,取 m_1 点,

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &= \varphi \times k / (1 + k) \\ \varphi_2 &= \varphi - \varphi_1 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

式中 φ 为 $\angle A_1 O B_1$ 的角度。

然后以O点为圆心,以逼近等比率线的线段长度R为半径作圆,与直线l相交两点 m_1 、 m_2 ,选取伸向海洋一交点,然后根据等比率线逼近方法,去调整、逼近。

4. 等比率线的迭代逼近

实践证明,第一个试验点跨出后,一般不符合条件,需调整跨步方向。跨步方向的调整通常可出现6种情况(图5)。整个逼近过程由下列四个变量控制,即:

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= D_1 \times k - D_2 & E_3 &= D_3 \times k - D_4 \\ E_2 &= |E_1| & E_4 &= |E_3| \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

其中 E_1 、 E_2 为 m_1 点控制量, E_3 、 E_4 为 m_2 点控制量, D_1 、 D_2 分别是 m_1 点到A侧和B侧的最近距离, D_3 、 D_4 分别是 m_2 点到A侧和B侧的最近距离, k 是等比率线的比率。

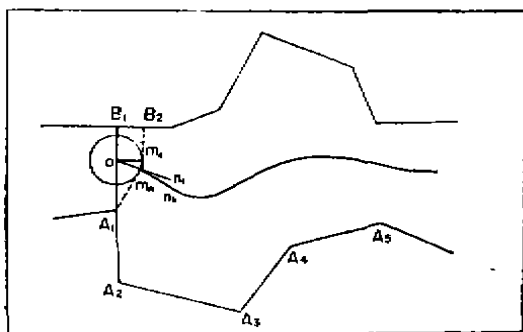


图6 等比率线的跨步点调整

然后搜寻 m_1 点到两基线的最短距离,假设为 m_1B_1 和 m_1A_1 ,比较 $|m_1A_1| \times k - |m_1B_1|$ 是否小于容许差? 然后按照前面介绍的等比率线逼近法则,去逼近等比率线,直到调整到 m_1 点,吸收 m_1 点进入等比率线,延伸 Om_1 到达 n_1 点,再重复上述方法,直到终点;然后再反方向搜索逼近,到达另一方向的终点,确定等比率线的全过程结束。对于海岸相邻情况,只搜索逼近到这一边终点即告结束(图6)。

四、试验结果及评价

本程序调试完成后,用几幅模拟的和实际岸线图做了划界试验,图7是两幅模拟图所得结果。结果表明,计算机自动生产等比率线有以下几方面的优点:(1)解决了手工过去不能绘制等比率线问题;(2)计算机绘制等比率线速度快、精度高;(3)可以存储与再

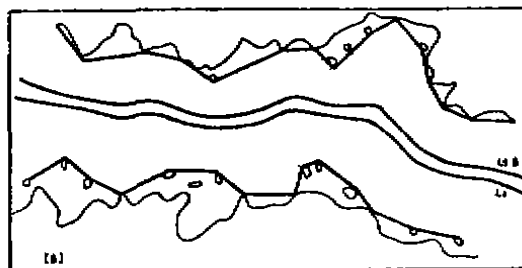
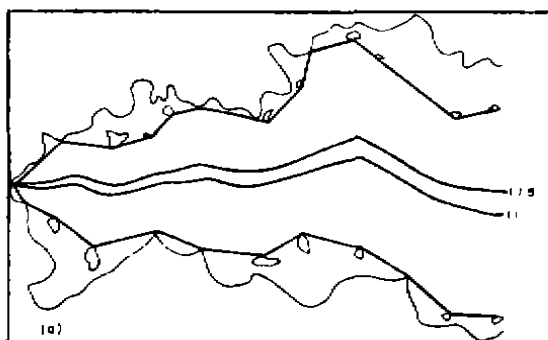


图7 等比率线模拟图

(a) 幅面 $30 \times 40 \text{ cm}^2$; 逼近步长 0.5 cm , 逼近精度 0.05 cm , 绘制时间, 0.5 h ;

(b) 幅面 $25 \times 40 \text{ cm}^2$, 逼近步长 1 cm , 逼近精度 0.05 cm , 绘制时间, 20 min .

现;(4)能以不同比例、不同幅面、不同形式输出结果;(5)能与面积量算、资源分析评价结合,快速产生分析结果。

PROPORTIONAL LINE METHOD OF DELIMITATION OF MARITIME

Yuan Zheqi

(National Marine Data and Information Center, SOA, Tianjin)

ABSTRACT

The algorithm of proportional line is introduced and its function discussed. It is illustrated how to automatically draw the proportional line in different maritime cases. The alternate gradual method of proportional line is described in detail. The algorithm is evaluated and tested with examples.