第26卷 第3期 Vol. 26, No. 3
2009年3月 海洋开发与管理 March 2009

贝塞尔法确定直线领海基线坐标的算法

孙运道 逄金锋

（中国海监北海总队维权执法支队 青岛 266033）

摘 要 本研究参考贝塞尔（Bessel）大地主题正反解的思路，论述了如何确定直线基线上任一点的大地经纬度坐标的方法，并用大量数据来验证，在此基础上进一步探讨领海外边界的推导思路。

关键词 领海基点；领海基线；直线基线；大地主题正反解；方位角；大地线长度

领海基线是一个国家测算其领海区域的基准线，中华人民共和国领海基线采用直线基线法划定，由相临基点之间的直线连线组成。1996年5月15日，中华人民共和国发表声明，宣布了大陆领海的部分基线和西沙群岛的领海基线，公布了两批共77个直线基点[1]，中华人民共和国将从这些直线基线开始，测算其领海、毗连区、专属经济区和所主张的其他海域的宽度。由于不同的海域，在国际法上的法律地位是不同的，准确确定领海、毗连区、专属经济区的内外边界对海上的维权执法有着重要的意义。在实际巡航维权执法过程中，根据现有的直线基点，确定领海基线上的其他点的大地坐标，往往需要借助电子海图等专业的软件来进行，不仅受软件版权和成本等方面的影响，而且需要有一定的软件操作技术和必要的数据支持，不易推广。下面就参考大地主题正反解的方法来推导直线领海基线上的任意一点坐标。

1 计算

选取任意一段基线来分析（图1），起点P_1（B_1，L_1）；终点P_3（B_3，L_3）的经纬度已知，待求点P_2（B_2，L_2）在大地线P_1P_3上，所以方位角$\angle PP_1P_3$=方位角$\angle P\ P_1P_2=A_1$，纬度B_2已知，求经度L_2。

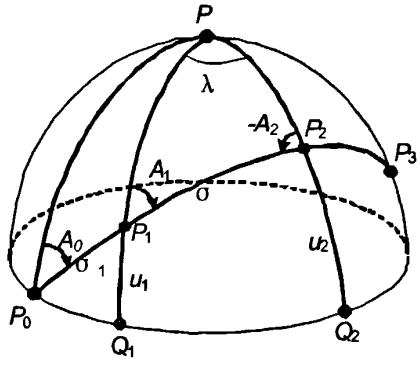

图1

1.1 参照贝塞尔（Bessel）法大地主题求解

根据贝塞尔法大地主题正（反）解[2]的方法，按照如下步骤计算。

1.1.1 计算基线（大地线）方位角

首先根据贝塞尔法大地主题反解法，计算出大地线P_1P_2方位角A_1，限于篇幅本研究步骤从略。

1.1.2 计算归化纬度

本例中纬度B_1B_2已知，所以

$$W_1 = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B_1} \tag{1}$$

$$\sin u_1 = \frac{\sin B_1 \sqrt{1 - e^2}}{W_1} \tag{2}$$

$$\cos u_1 = \frac{\cos B_1}{W_1} \tag{3}$$

$$W_2 = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B_2} \tag{4}$$

$$\sin u_2 = \frac{\sin B_2 \sqrt{1 - e^2}}{W_2} \tag{5}$$

$$\cos u_2 = \frac{\cos B_2}{W_2} \tag{6}$$

1.1.3 计算辅助函数

$$\sin A_0 = \cos u_1 \sin A_1 \tag{7}$$

$$\cos^2 A_0 = 1 - \sin^2 A_0 \tag{8}$$

$$A = b\left(1 + \frac{k^2}{4} - \frac{3k^4}{64} + \frac{5k^6}{256} - \cdots\right) \tag{9}$$

$$B = b\left(\frac{k^2}{8} - \frac{k^4}{32} + \frac{15k^6}{1024} - \cdots\right) \tag{10}$$

$$C = b\left(\frac{k^4}{128} - \frac{3k^6}{512} + \cdots\right) \tag{11}$$

$$k = e'^2 \cos^2 A_0 \tag{12}$$

$$\alpha = \left(\frac{e^2}{2} + \frac{e^4}{8} + \frac{e^6}{16} + \cdots\right) - \left(\frac{e^4}{16} + \frac{e^6}{16} + \cdots\right)\cos^2 A_0 + \left(\frac{3e^6}{128} + \cdots\right)\cos^4 A_0 + \cdots \tag{13}$$

$$\beta = \left(\frac{e^4}{32} + \frac{e^6}{32} + \cdots\right)\cos^2 A_0 - \left(\frac{e^6}{64} + \cdots\right)\cos^4 A_0 \tag{14}$$

1.1.4 计算球面长度σ

$$\sin u_2 = \sin u_1 \cos\sigma + \cos u_1 \cos A_1 \sin\sigma \tag{15}$$

$$\cos\sigma = \sqrt{1 - \sin^2 \sigma} \tag{16}$$

由式（15）和式（16）得出：

$$\sin\sigma = \frac{\cos u_1 \sin u_2 \cos A_1}{\sin^2 u_1 + \cos^2 u_1 \cos^2 A_1} \pm \frac{\sin u_1 \sqrt{(\sin^2 u_1 - \sin^2 u_2 + \cos^2 u_1 - \cos^2 A_2)}}{\sin^2 u_1 + \cos^2 u_1 \cos^2 A_1} \tag{17}$$

$\sin\sigma$的符号由其角度所在的象限来确定

1.1.5 计算经度差改正数δ

对于我国的领海基线而言，δ的影响很微小，一般在千分之三度之内，精度要求不高的话，可以将其近似为0。这里我们使用代入接近法对L_2进行修正，即先令$\delta = 0$计算出目的经度L_2后，再按照1.1.7进行经度修正。

1.1.6 计算待求点的大地经度坐标

$$\lambda = \arctan\left[\frac{\sin A_1 \sin\sigma}{\cos u_1 \cos\sigma - \sin u_1 \sin\sigma \cos A_1}\right] \tag{18}$$

$$L_2 = L_1 + \lambda - \delta \approx L_1 + \lambda \tag{19}$$

1.1.7 经度值修正

由1.1.6得到L_2后，代入大地主题反解法公式计算出P_1P_2之间的大地线长度S，然后再根据大地主题正解法计算出经度差改正数δ，代入公式$L_2 = L_1 + \lambda - \delta$得出修正后的经度$L_2'$，经计算，对我国的领海基线得计算结果，其误差降低到千分之一秒以内。

2 算例

这里我们从高、低纬度区域选取两段基线来计算分析。

选取我国纬度较高，且最长的一段基线，第8个基点达山岛Pt_8（35°00.2′N，119°54.2′E），和基点9麻菜珩Pt_9（33°21.8′N，121°20.8′E）之间的直线基线为例来推算。我们在基线Pt_8 Pt_9之间等纬度间隔选取6个点，其经度值是递增的，算例见表1。

选取我国纬度较低的一段较长的基线，第31个基点大帆石Pt_{31}（21°27.7′N，112°21.5′E），基点32七洲列岛Pt_{32}（19°58.5′N，111°16.4′E）之间的直线基线为例来推算。我们在基线Pt_{31} Pt_{32}之间等纬度间隔选取5个点，其经度值是递减的，算例见表2。

表 1　算例 1

测试点编号	理论值 P_1P_3方位角 A_1 = 143.410 387				本例计算值 采用克拉索夫斯基椭球体参数 a = 6 378 245.00 m b = 6 356 863.018 773 05 m P_1P_3 方位角 A_1 = 143.410 387					误差
	纬度/度 B	经度/度 L	δ /度	大地线距离 $S=P_1P_2$ /km	已知纬度 /度 B_2	求得经度 /度 L_2	代入法修正经度/度 L_2'	代入法求得 δ/度	代入法求得 $S=P_1P_2$ /km	经度差 $(L-L_2)$ /s
起点 P_1	35.003 333	119.903 333	—	—	—	—		—	—	—
1	34.750 000	120.131 003	0.000 515 3	34.972 9	34.750 000	120.131 519	120.131 003 3	0.000 515 7	35.001 0	0.000 108
2	34.500 000	120.353 939	0.001 022 9	69.427 1	34.500 000	120.354 963	120.353 939 3	0.001 023 7	69.482 9	0.000 108
3	34.250 000	120.575 182	0.001 529 7	103.824 3	34.250 000	120.576 714	120.575 183 1	0.001 530 9	103.907 8	0.000 396
4	34.000 000	120.794 763	0.002 035 7	138.165 7	34.000 000	120.796 801	120.794 763 7	0.002 037 3	138.276 7	0.000 252
5	33.750 000	121.012 713	0.002 540 9	172.452 3	33.750 000	121.015 257	121.012 714 1	0.002 542 9	172.590 8	0.000 396
6	33.500 000	121.229 062	0.003 045 3	206.685 1	33.500 000	121.232 111	121.229 063 3	0.003 047 7	206.851 1	0.000 468
终点 P_3	33.363 333	121.346 667	0.003 320 7	225.376 7	—	—		—	—	—

表 2　算例 2

测试点编号	理论值 P_1P_3方位角 A_1 = 214.668 797				本例计算值 采用克拉索夫斯基椭球体参数 a = 6 378 245.00 m b = 6 356 863.018 773 05 m P_1P_3 方位角 A_1 = 214.668 797					误差
	纬度/度 B	经度/度 L	δ/度	大地线距离 $S=P_1P_2$ /km	已知纬度 /度 B_2	求得经度 /度 L_2	代入法修正经度/度 L_2'	代入法求得 δ/度	代入法求得 $S=P_1P_2$ /km	经度差 $(L-L_2)$ /s
起点 P_1	21.461 670	112.358 330	—	—	—	—		—	—	—
1	21.250 000	112.202 219	-0.000 454 9	28.486 0	21.250 000	112.201 764	112.202 219 3	-0.000 455 3	28.512 9	0.000 108
2	21.000 000	112.018 554	-0.000 991 7	62.104 5	21.000 000	112.017 561	112.018 553 7	-0.000 992 7	62.163 1	-0.000 108
3	20.750 000	111.835 649	-0.001 528 2	95.695 4	20.750 000	111.834 118	111.835 647 6	-0.001 529 6	95.785 8	-0.000 504
4	20.500 000	111.653 491	-0.002 064 2	129.259 4	20.500 000	111.651 423	111.653 539 1	-0.002 116 1	132.509 6	0.017 316
5	20.250 000	111.472 066	-0.002 599 7	162.796 9	20.250 000	111.469 462	111.472 064 2	-0.002 602 2	162.950 6	-0.000 648
终点 P_3	19.975 000	111.273 330	-0.003 188 4	199.658 0	—	—		—	—	—

从算例 1 和算例 2 的结果可以看出，经修正过的结果 L_2，其误差精度达到了千分之零点五秒之内，其中有一个点误差较大（表 2 第 4 点），但是经计算其理论误差距离约为 -5.344 9 米，基本上能满足我们的要求，从而也证明本方法是切实可行的。

3 计算领海外界限的思路

根据文献［3］和［4］可知，直线基线法下领海外界边界往往由两种边界线组成，一种是同基线平行的直线；另外一种就是以某基点为圆心的圆弧曲线边界，下面我们来说明推导思路，限于篇幅本研究不做公式推导和算例计算。图2是领海内外界限的划分示意图，其中线段 Q_1Q_2，Q_2' Q_3，Q_3 Q_4为直线领海外边界；弧线 $Q_2Q_iQ_2'$ 为圆弧曲线领海外边界。

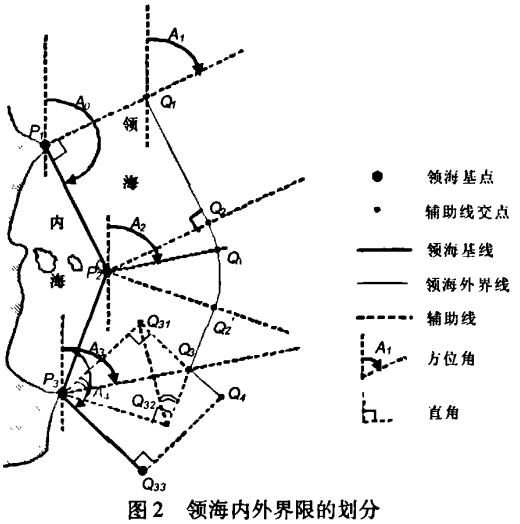

图2 领海内外界限的划分

3.1 同基线平行的直线外边界基点的推导思路

（1）辅助点 Q_1、Q_2、Q_2'、Q_4的确定方法相同，以 Q_1为例：过 P_1作 P_1P_2，的垂线交领海外边界于 Q_1点，易得出垂线 P_1Q_1的方位角 $A_1 = A_0 - 90°$，这样已知起点 P_1点的经纬度，P_1Q_1的起始方位角 A_1，P_1Q_1距离 $S = 12$ 海里[3]，根据大地主题正解可得出 Q_1的经纬度，同理可得 Q_2、Q_2'、Q_4的经纬度。

（2）对于 Q_3而言，它是相邻两组领海内外边界平行线 P_2P_3，Q_2' Q_{32}和平行线 P_3Q_{33}，$Q_{31}Q_4$的外交点，P_3，Q_{31}，Q_3，Q_{32}四点共圆，由图示几何关系可以求出 P_3Q_3的方位角 A_3，然后根据大地主题正解，就可以推算出 Q_3的经纬度。

3.2 圆弧曲线外边界任意点的推导思路

弧线 $Q_2Q_iQ_2'$ 是以 P_2为圆心的一段圆弧，其半径为12海里，提供任意的方位角 A_2，我们就可以根据大地主题正解的原理推算出弧线 $Q_2Q_iQ_2'$ 上任一点 Q_i的经纬度。

4 结束语

利用本研究介绍的方法，可以求解直线法领海基线上任一点的经纬度坐标；通过算例验证来看，其求解结果是比较准确的。同理，该方法还可以推广到毗连区乃至专属经济区的边界坐标计算上。这对我们的海上维权执法提供了重要的理论数据支持。本法的缺点是数据的计算较为复杂，但可以利用电脑编程来自动计算，缩短求解过程。

参考文献：

［1］ 中华人民共和国政府关于中华人民共和国领海基线的声明［S］. 1996－05－15.
［2］ 孔祥元，郭际明，刘宗泉. 大地测量学基础［M］. 武汉：武汉大学出版社，2006：136－150.
［3］ 中华人民共和国领海及毗连区法［S］. 1995－02－25.
［4］ 联合国海洋法公约［S］. 1982－12－10.