

# 电子江图河流边界随水位变化自动生成技术<sup>①</sup>

崔东旭<sup>1</sup>, 马安进<sup>1</sup>, 王 华<sup>1</sup>, 刘 涛<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(中国卫星海上测控部, 江阴 214400)

<sup>2</sup>(南通航运职业技术学院, 南通 226010)

**摘 要:** 文章首先分析了内河电子江图所显示的河流边界与动态变化的真实河流边界的不一致性给船舶安全航行带来的风险, 然后对电子江图河流边界随水位的涨落而自动改变的方法进行了研究, 提出了两种获取不同水位对应的河流边界矢量的方法和两种水位发布的方式, 并且对提出的方法进行了验证. 具有一定的实用价值.

**关键词:** 电子江图; 河流边界; 水位; 动态生成

引用格式: 崔东旭, 马安进, 王华, 刘涛. 电子江图河流边界随水位变化自动生成技术. 计算机系统应用, 2017, 26(8): 16-22. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/5901.html>

## Automatic Generation Technology of River Boundary Varying with Water Level in the Electronic River Chart

CUI Dong-Xu<sup>1</sup>, MA An-Jin<sup>1</sup>, WANG Hua<sup>1</sup>, LIU Tao<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(China Satellite Maritime Tracking and Controlling Department, Jiangyin 214400, China)

<sup>2</sup>(Nantong Shipping College, Nantong 226010, China)

**Abstract:** First, this article analyzes the navigation risk brought by the difference between the river boundary displayed on the electronic river chart and the real and practical river boundary. Then, the method of the automatic generation technology of the river boundary with the water level is studied. Two methods of obtaining the river boundary vectors corresponding to different water levels and two kinds of water level release methods are proposed, and the proposed methods are verified, which is of practical value.

**Key words:** electronic river chart; river boundary; water level; dynamic generation

### 引言

内河水深较浅, 航道较窄. 由于降水、天气炎热河分蒸发等原因, 河流水位会出现明显的涨落变化, 这样河流边界也会随着水位的变化而变化, 当水位上涨时河流边界变宽, 水位下降时河流边界又随之变窄. 因此电子江图上的河流边界就可能与当前河流的真实边界不一致, 对船舶的安全航行带来一定的风险性. 内河航行的船舶一般吃水较小, 为了节省燃料, 大都会靠近河流边界航行, 尤其对于夜间利用电子江图导航航行的船舶是比较危险的. 如果电子江图所显示的河流边界能够随着水位的变化而变化, 实时动态地显示当前河

流的真实边界, 将利于内河航行船舶的航行安全.

### 1 河流边界的定义

由于水的流态性, 河流水位除了暴涨或暴落之外, 当处于平稳状态时, 水面大致是一个平行于河底的平面. 某一水位下, 河面与河底近似平行关系, 如图 1 所示. 河流边界实际上是不同水位时, 河面与河床两侧斜面梯度的交线. 如果能得到河面在不同水位与河床两侧梯度的交线, 就可以得到不同水位时的河流边界, 进而使电子江图能够根据水位的变化自动改变河流边界, 将大大提高船舶使用电子江图导航航行的安全性.

<sup>①</sup> 收稿时间: 2016-11-29; 采用时间: 2017-01-04

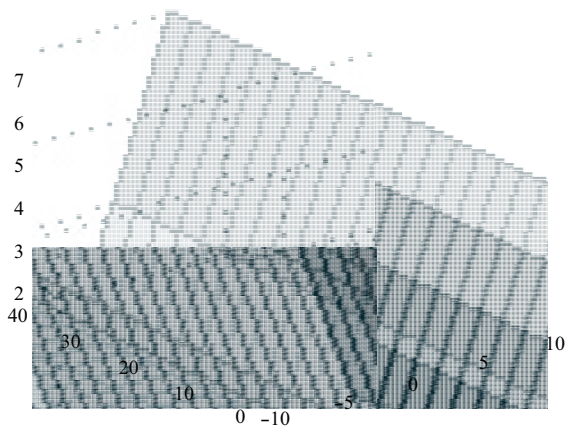


图1 某一水位下河面与河底近似平行关系

## 2 研究现状

国内的电子江图发展的较晚. 长江航道的电子江图是国内比较成熟的电子江图, 其水位的更新方式为航道部门在官方网站上定期发布水位的变化信息, 江图用户通过登录官方网站查阅所在航道的当前水位, 然后自行计算航道水深. 江图的更新方式也是定期更新, 更新周期较长, 具有一定的自主性. 而航道的宽度与到水位和河床的地形高程有关, 目前的电子江图并不能实时更新航道宽度.

## 3 河流边界获取

### 3.1 河流边界获取的主要方式

航行基准面是河流绘图的基准面, 它是平行于河底的曲面. 不同河段的航行基准面不同, 随着河底比降的变化而变化. 因此, 在水位较为平稳的涨落变化或者水位不变的情况下, 河面近似平行于航行基准面.

在测量水深时, 可以利用 RTK 测得河底高程, 该高程是相对于国家高程基准面的, 在较小范围内, 国家高程基准面是一个平面, 而河床底部可能是沿着河流方向倾斜的斜面. 因此可以将测深仪测得的河床高程减去航行基准面高程(设计水位), 得到与航行基准面相关的相对高程. 然后利用生成的相对高程生成沿着河床纵向近似平行于河底的等高线. 而河流水深也相对于航行基准面的值, 因此, 在不同水位时, 可以得出与水位相对应的水深和等高线的关系, 将这种对应关系存储起来, 随着水深的变化, 就可以通过数据库中的对应关系自动生成河流边界.

图2是河床的侧面投影, 河床沿着水流方向有一定的比降变化. 测深仪测得的原始河床高程生成的沿

着河床纵向的等高线(线1与线3), 与国家高程基准面平行, 而河面(线2)是近似平行于河底的平面. 由此可见, 原始高程等高线并不能反映河流边界线的变化.

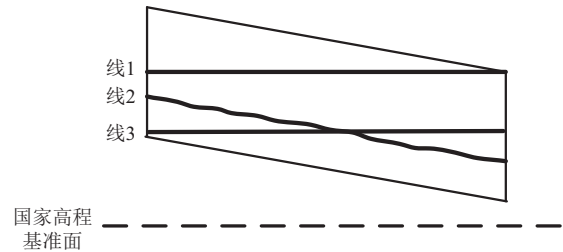


图2 原始的高程生成的等高线与河面的关系

由于航行基准面是近似平行于河底的曲面, 如果将测深仪测得的相对于国家高程基准面的河床绝对高程减去航行基准面高程, 生成一个关于航行基准面的相对高程, 再利用相对高程生成沿着河床纵向的等高线, 这样的等高线就会代表不同水位时的河流边界线(线4与线5).

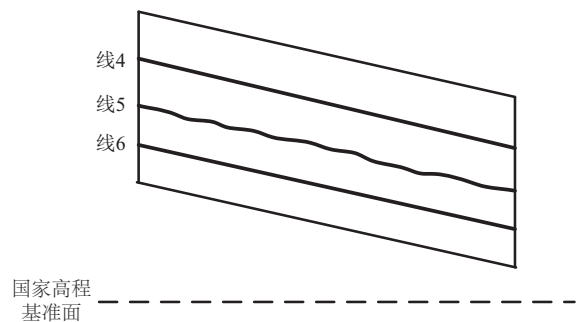


图3 相对高程生成的等高线与河面的关系

图4为一个河段内相对高程沿着河床纵向生成的等高线示意图. 不同高程得到的等高线近似平行于河底, 当水位变化时, 河面与河床的交线正好就是相关的等高线.

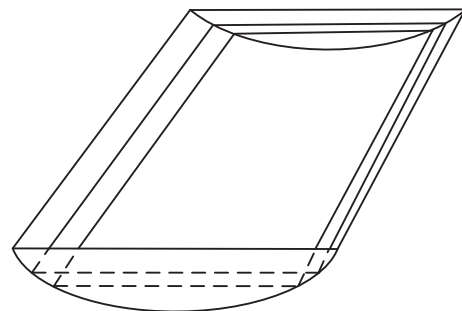


图4 河床纵向相对高程等高线示意图

### 3.2 测量船工作水位以上河床边界获取

由于测深仪是在河流的某一水位测量河床高程,因此在水面以上的部分测深仪是无法测量的.当上涨时,在未测量的部分就无法得知河床边界的变化.因此,需要用某种方法解决这个难题.

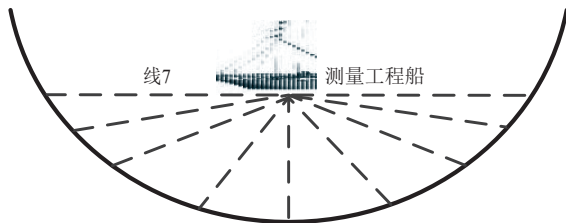


图5 测量船测量河床范围示意图

如图5所示为某河段的一个横剖面,水平线7表示测量工程船当前工作水位,测量工程船只能测得蓝线部分的河床高程,而红线部分是无法测量的.

本文提出利用遥感技术解决该问题的方式.遥感技术是20世纪60年代发展起来的一项新兴技术,由于遥感技术能够快速获得大范围地面数据的最佳手段,具有探测范围广、信息量丰富、更新时间快,以及实时性和动态性的特点,利用遥感技术来提取水体等地理信息,进行大范围的资源调查与研究,对研究区进行动态监测等得到了广泛研究<sup>[1]</sup>.因此可以利用遥感技术对河流边界进行提取,得到对应的河流边界的地理位置.由于遥感图像都会对应当时的拍摄日期,我们可以根据时间获得当时水位站的观测记录,这样可以得到与水位对应的河流边界.此时应该注意一点,在进行河流边界提取时,必须包括历年记录的最高水位对应的遥感图像和测量时间段内水位最低时的遥感图像,只有这样才能与等高线得到的河流边界进行无缝衔接<sup>[2]</sup>.

这里用 Arcgis 进行遥感图像的边界提取.由于遥感图像提取完河流边界以后,生成的河流边界是一个带有经纬度坐标的矢量线段,因此这很方便在电子航行图上与河流进行叠加显示.

利用 Arcgis 提取河流边界主要分为以下几个步骤.

#### 3.2.1 不同水位河流遥感图像的获取

遥感图像有很多种,有卫星遥感,雷达遥感等等.本课题利用谷歌地球上提供的卫星图片进行验证.如图6与7所示.图6为高水位遥感图像,图7为低水位遥感图像.

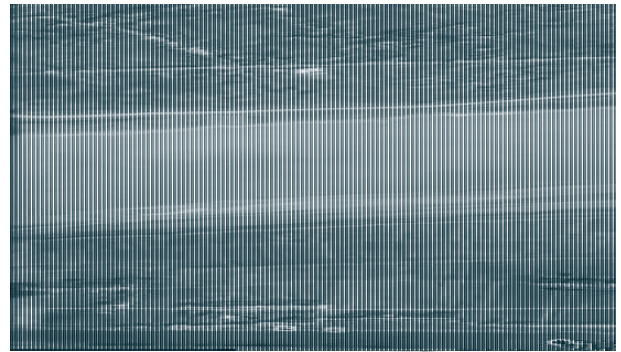


图6 高水位遥感图像

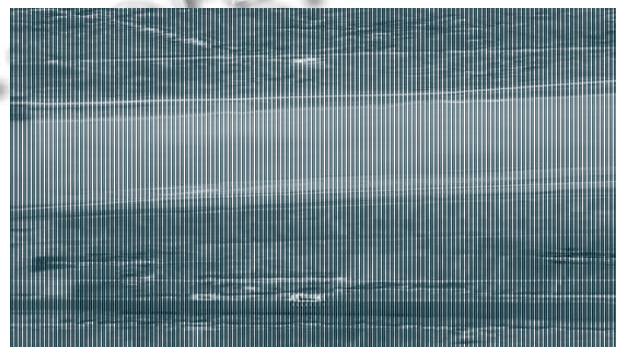


图7 低水位遥感图像

#### 3.2.2 图像配准

由于截取的遥感图像没有显示正确的经纬度坐标,因此需要对遥感图像的地理位置进行配准.遥感图像的配准一般选取几个显著的控制点,这些控制点在图上能够均匀分布.

由于两遥感图像同属一个地理位置,所以配准坐标相同.配准后的图像如图8和图9所示.地理配准坐标如表1所示.

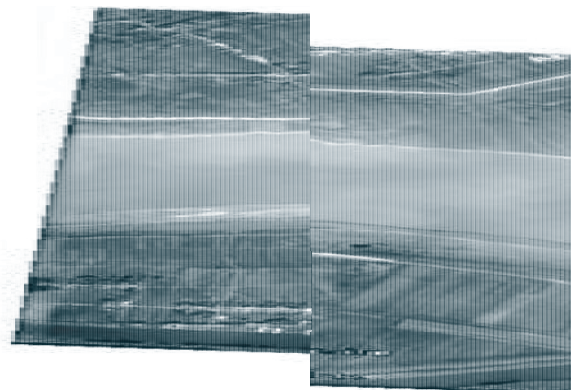


图8 配准后高水位遥感图像

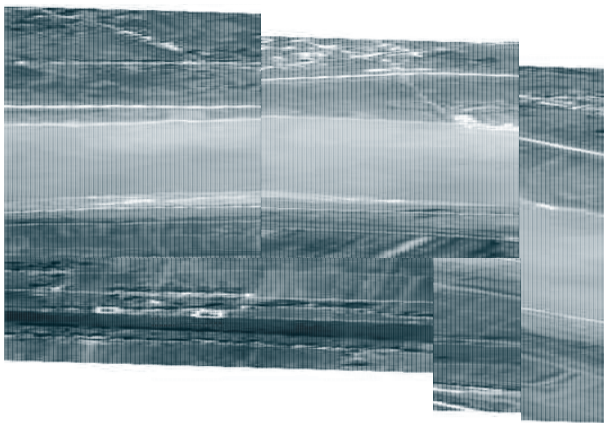


图9 配准后低水位遥感图像

表1 遥感图像地理配准坐标

遥感图像地理配准控制点坐标				
序号	控制点配准前坐标		控制点配准后坐标	
	经度	纬度	经度	纬度
1	295.881381	-191.243106	116.187741	29.837481
2	973.708897	-98.329502	116.230763	29.838433
3	402.025638	-3.202491	116.195400	29.847730
4	234.745954	-611.133146	116.182433	29.816015

### 3.2.3 河流边界提取

高水位与低水位的河流边界提取效果图如图10、11所示。

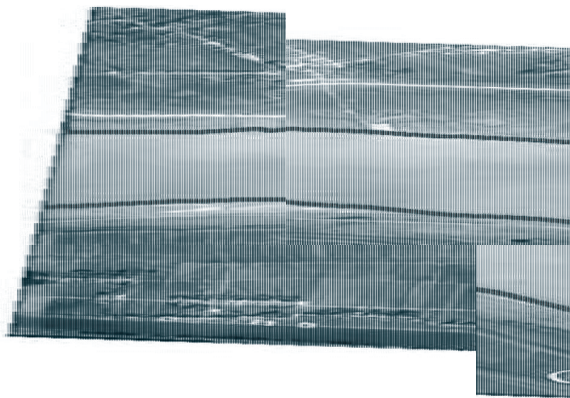


图10 高水位遥感图像河流边界提取效果

将高水位与低水位提取的矢量河流边界都放在高水位遥感影像上的效果如图12所示。

河流边界矢量线对比如图13所示。

## 4 河流边界内插

### 4.1 河流边界内插概述

在对不同水位的遥感图像进行河流边界提取后，

就可以初始得到工程测量船测量不到河床与水位的对应的河流边界线。这时获取的边界线可能是在未测量到的范围内的一个比较粗的梯度。如果多次采取这种方法得到任意水位时的河流边界线太过费时费力，肯定是不现实的。这时可以采用曲线间获取中心线的算法进行内插，这样任何水位时期的河流边界就可以轻松的获取。河流边界内插示意图如图14所示，图中虚线为内插边界。

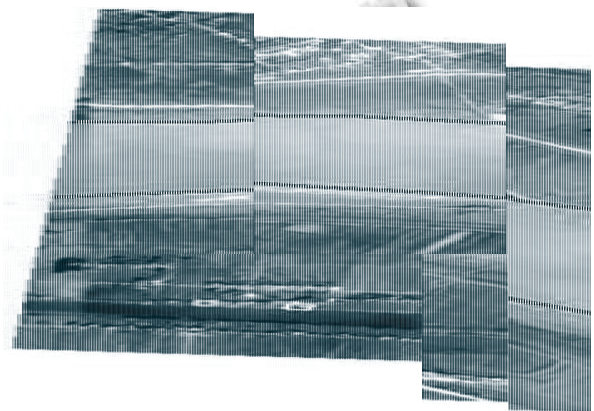


图11 低水位遥感图像河流边界提取效果

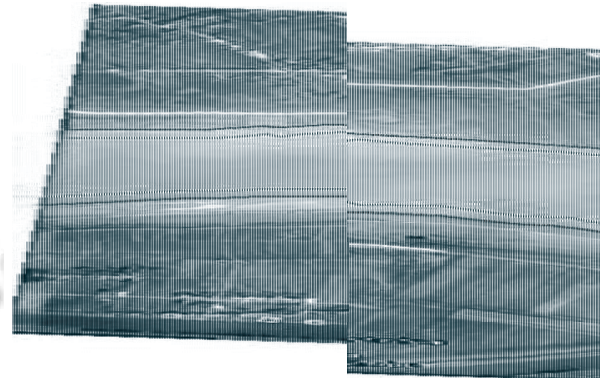


图12 高水位与低水位河流边界对比

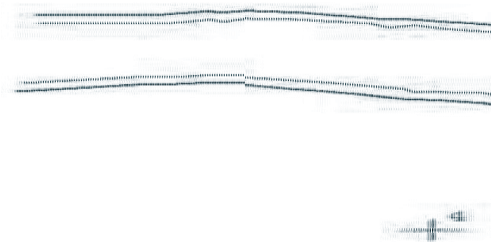


图13 河流边界对比矢量图



图 14 河流边界内插示意图

#### 4.2 河流边界内插算法

文章基于单位圆滚动追踪算法进行界河边界线的内插. 单位圆滚动追踪算法是一种计算曲线间中心线的矢量算法具有形态上较为光滑、位置较为精确的特征, 因此适合界河电子江图数据库的存储, 适合界河边界线的内插<sup>[3]</sup>.

单位圆滚动追踪算法主要依据于曲线的下述性质. 如图 15 所示, 点 P 为曲线 L 的任一内点, 曲线 C 为环绕 P 的凸多边形边界曲线, 当点 P 离曲线 C 上任一点距离的最大值 Rmax 小于一定数值  $\xi$  时, 曲线 L 与 C 相交并有两个交点.

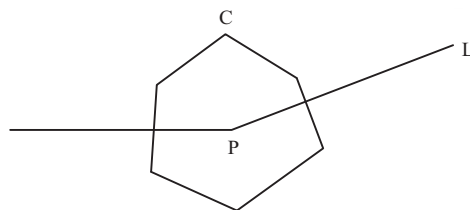


图 15 曲线与多边形性质示意图

在该性质基础上建立中心线生成的单位圆滚动追踪算法, 原理如下: 如图 16 所示, 曲线 L 为  $L_1$ 、 $L_2$  的中心线, L 由点  $P_0, P_1, \dots, P_n$  构成, 设通过追踪法获得的当前追踪点为  $P_i$ , 为继续追踪 L 的下一构成点  $P_{i+1}$ , 以  $P_i$  为圆心,  $R=|P_{i-1}P_i|$  为半径画圆, 在圆周上可搜索到两个满足中心线条件(与  $L_1$  和  $L_2$  的最小距离相等)的点, 其中不与  $P_{i-1}$  重合的点即为 L 的下一构成点  $P_{i+1}$ .

以  $P_{i+1}$  为当前追踪点重复执行上述过程, 当不能找到新的构成点时终止追踪过程. 这里, 点 P 到曲线的距离定义为曲线上任意一点到点 P 距离的最小值<sup>[4]</sup>. 图 16 中  $P_{i+1}C$  与  $P_{i+1}D$  距离相等,  $P_{i+1}$  即为满足条件的搜索点.

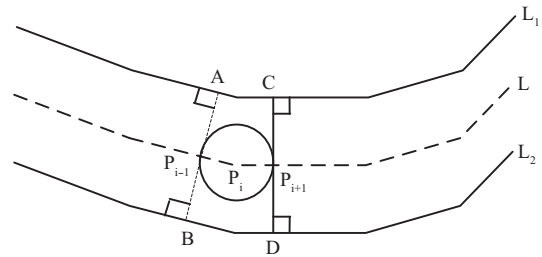


图 16 单位圆内插原理图

算法的实现步骤如下:

(1) 变量定义与初始化. 包括单位圆半径 R, 中心线上点的数量 PointNum 和点的坐标数据(利用点结构的数组 P[] 保存), PointNum 置初值为 0.

(2) 设置搜索起点和终点. 设  $L_1$  的两端点分别为  $P_{11}, P_{12}$ ;  $L_2$  的两端点分别为  $P_{21}, P_{22}$ ; 计算  $P_{11}, P_{21}$  的中点  $P_S, P_{12}, P_{22}$  的中点  $P_E$ .

(3) 从点  $P_S$  向  $L_1, L_2$  的反方向作垂线并获得与  $P_S$  距离为 R 的点 A, 并设置点 A 为搜索起点,  $P_S$  为第 2 点( $P[0]=A, P[1]=P_S, PointNum=2$ ). 这里点 A 仅是为搜索中心线各点而补充的一点, 搜索完毕时需剔除该点. 如图 17 所示.

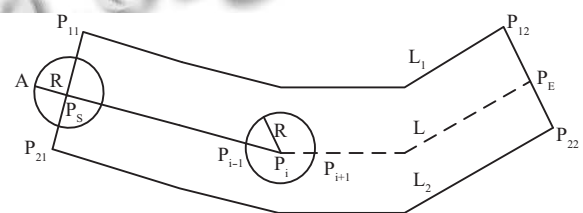


图 17 单位圆滚动内插过程示意图

(4) 以  $P[PointNum-2]$  为当前点, 在以该点为圆心、R 为半径的圆周上搜索满足中心线条件且与前一搜索点  $P[PointNum-3]$  不重合的点 Q, 以 Q 作为当前搜索点的后继点  $P[PointNum-1]$ , 同时令 PointNum 的值加 1.

这时如何判断圆周上的点为满足中心线条件的点就成为一个难点. 需指出的是, 本文中的“单位圆”仅为叙述上的方便, 并非数学意义上的单位圆. 在上述过程

中,从单位圆上搜索中心线上的后继点是其中的一个关键步骤.典型的计算方法是,以角度为循环变量,初值为0,终值为 $2\pi$ ,并按一定的递增步长判定圆周上的各对应点.当递增步长为 $1^\circ$ 时,需对360个点进行判定,计算量较大且难以精确逼近目标点,为此本研究中采用以下计算方案:

①计算向量  $P_i P_{i+1}$  与 X 轴的夹角 $\theta$ .

②将圆周等间距划分为 N 段(N 在 4~10 之间即可),第 i 段对应的角度范围为 $[(i-1)2\pi/N, i2\pi/N]$ .

③计算各点离  $L_1$  和  $L_2$  的最小距离  $D_1, D_2$ , 其距离差值  $D_1-D_2$  保存到数组  $D[]$  中.

④对圆周上的各段进行判断,若  $D[i] \cdot D[i+1] < 0$ , 且点  $P_{i+1}$  不在该段范围内(利用角度判断), 则搜索的后继点  $P_{i+1}$  位于该段内, 对应的角度范围为 $[\theta_1, \theta_2]$ .

⑤在 $[\theta_1, \theta_2]$ 范围内利用牛顿迭代法逼近目标点,直到目标点与  $L_1$  和  $L_2$  的距离差值在设定容差范围时终止.迭代原理如下: 设点  $P_0$  是角度为 $\theta$ 时圆周上的对应点,  $D_1(\theta), D_2(\theta)$  分别表示  $P_0$  到  $L_1, L_2$  的距离, 目标函数  $D(\theta) = D_1(\theta) - D_2(\theta)$ . 如图所示, C 为目标函数曲线, 其起止点分别为  $P_1, P_2$ . 不难获得  $P_1 P_2$  与横轴的交点及对应 $\theta$ 值, 计算  $D(\theta)$  并与  $D(\theta_1), D(\theta_2)$  进行比较, 当  $D(\theta_1) \cdot D(\theta) < 0$  时以  $[\theta_1, \theta]$  作为新的计算区间,  $D(\theta_2) \cdot D(\theta) < 0$  时以  $[\theta, \theta_2]$  作为新的计算区间, 重复上述过程直至  $D(\theta)$  小于设定容差时终止迭代过程. 如图 18 所示.

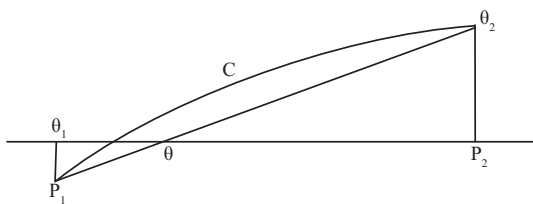


图 18 牛顿迭代法示意图

(5)重复执行步骤 4, 当点 Q 与搜索终止点  $P_E$  的距离小于 R 时终止追踪过程.

### 4.3 算法验证

高水位与低水位河流边界内插矢量线如图 19 所示. 由于编程水平有限, 内插效果还不够平滑.

## 5 河流边界自动生成流程

### 5.1 河流边界线矢量生成

(1)生成测深仪可以测量的水面以下河流边界线.

利用河床绝对高程减去航行基准面得到相对高程, 然后生成河流纵向的相对高程等高线, 这个等高线为不同水位时水面与河床的纵向交线, 即相对高程等高线生成的河流边界线.

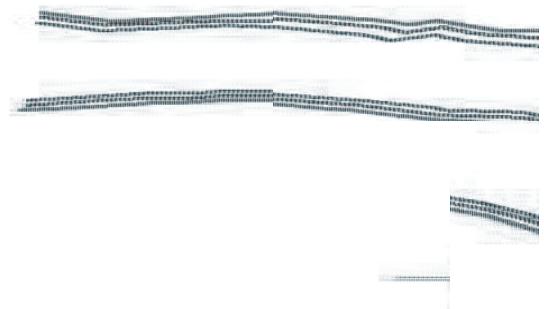


图 19 高水位与低水位河流边界内插矢量图

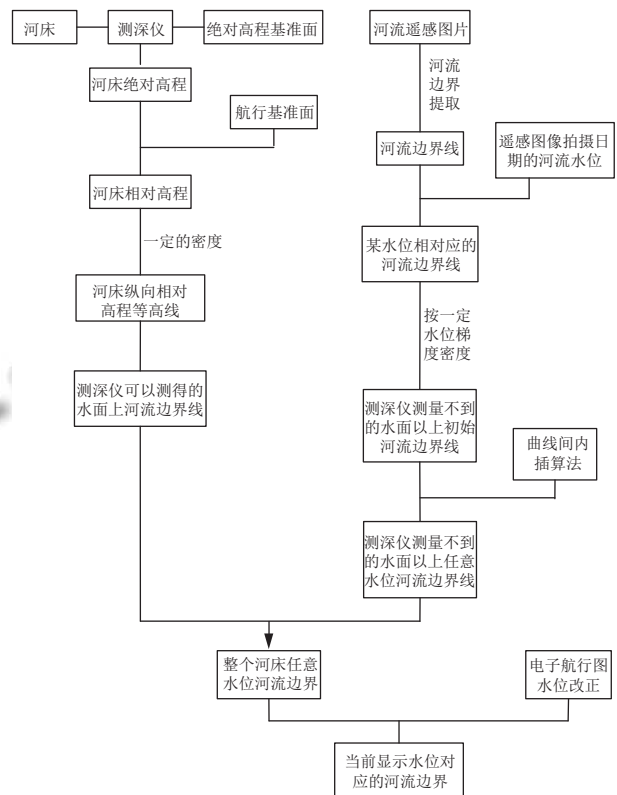


图 20 河流边界随水位自动变化关系图

(2)生成测深仪测量不到的水面以上的河流边界线. 由于测深仪只能测量水面以下的河床高程, 因此对于水面以上的河床部分, 我们采用河流遥感图像进行

河流边界提取,然后同时观测遥感图像拍摄时的水位,得到相关水位下的河流边界线,生成一定水位密度的初始河流边界.然后再利用曲线内插的方式,得到任意水位的河流边界线.

将提取的不同水位的河流边界矢量存储在电子江图数据库中.

## 5.2 水位信息发布

航道部门定时获取水位信息,然后通过一定方式发送到用户终端.发送方式主要有以下两种.

(1)江河在城市内陆,被移动数据信号所覆盖,因此可以通过移动网络发送到用户终端<sup>[4]</sup>.

(2)北斗导航系统与其他卫星导航系统的不同之处是用户之间可以发送120字的短报文通信.可以利用北斗系统发送水位信息.

## 5.3 河流边界自动生成

用户接收到水位信息时,就从数据库中获得对应水位河流边界,显示在电子江图界面上.

## 6 结束语

电子江图的河流边界与真实的河流边界不一致,对于使用电子江图导航定位的船舶,尤其是夜间航行的船舶具有一定的危险性,文章对电子江图根据实际水位自动改变河流边界线进行了研究,有较大的实践意义.

### 参考文献

- 1 周敏. 干旱区季节性河流和田河中下游侧向渗漏遥感研究 [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2013.
- 2 Schott JR, Barsi JA, Nordgren BL, *et al.* Calibration of Landsat thermal data and application to water resource studies. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 78(1-2): 108-117.
- 3 杨得志, 王杰臣, 闫国年. 一种自动生成曲线间中心线的算法. *测绘通报*, 2002, (3): 58-60.
- 4 马雪松, 李茵, 路俊维, 等. 舰船网络节点移动路由协议研究及其算法改进. *舰船科学技术*, 2016, (6): 130-132.