

# 小比例尺制图中河流渐变绘制研究

刘合辉<sup>1,2</sup>, 陶文<sup>3</sup>, 冯涛<sup>1</sup>

(1. 信息工程大学测绘学院, 河南 郑州 450052; 2. 75719 部队, 湖北 武汉 430074; 3. 96633 部队, 北京 100096)

**摘要:**小比例尺制图中河流自动渐变绘制是地图制图研究中的常见问题,也是一个技术难点。该文针对当前河流自动渐变研究实用性较差的现状,提出一种基于河流类树结构的河流自动渐变方法;在研究河流复杂树结构基础上,提出了河流类树结构及其构建方法,并从网结构中搜索出主流和支流、河流的流向以及面状水体的处理,在补充河流上下游出图面的长度后,依据河流渐变率实现河流的渐变绘制,并基于 MapGIS 二次开发,实现了小比例尺地图河流的绘制。结果表明,该算法极大减少了地图制图过程中河流渐变绘制的人工干预,提高了自动化渐变绘制效率,具有可行性。

**关键词:**河系;结构化;类树结构;流向;渐变符号;最大累积量

**中图分类号:** TP391; P208 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-0504(2011)01-0033-05

## 0 引言

河流是主要的基础地理信息之一,也是重要的地性线和地形的基础骨架。小比例尺地图上河流以单线河表示为主,它用由上而下逐渐变粗的渐变线段表示,十分形象地展现了河流的流向和河流的主次分级。手工绘单线河流时,一般采用逐段加粗的方法;计算机绘制单线河,通常模拟这种方法,将河流分成多段,以宽度逐渐增加的方式,台阶式绘制单线河。

在计算机制图中河流渐变的研究方面已有不少研究成果。毋河海等研究了河系树结构的自动建立,给出了河系递归特征的树结构模型<sup>[1]</sup>;艾自兴研究了地理信息系统中的河网平面结构模型及其自动建立<sup>[2]</sup>;郭庆胜从河系的特征进行分析,并自动建立树状河系结构<sup>[3]</sup>;蔡先华研究了台阶式单线河流的绘制算法<sup>[4]</sup>;何忠焕研究了单线河的整体画法<sup>[5]</sup>;张园玉等从树状结构方面研究了河系的自动绘制<sup>[6]</sup>;李丽等采用分段平行线方法实现单线河流渐变符号的绘制<sup>[7]</sup>。同时有不少制图软件也根据制图的实际需求提供了河流渐变的工具,如 MapGIS 可以设计渐变线型符号,1:25 万协同图生产系统提供了自动将单线河生成逐渐变宽的线段组。

虽然在河流绘制研究方面取得了不少成果,但在生产实践过程中,仍然存在不少问题,河流经过渐变处理后,后期修改工作量仍然很大,经常出现明显

的错误。其主要问题表现为:一般的工具只对单条线进行单独的符号化绘制,没有从整体考虑,绘出的河流与实际不符;有些算法虽然考虑了河系的整体性,但与作业中的实际情况不符,不能满足生产应用的需要。如张园玉首先建立河流结构,然后渐变绘制主河流,最后比照主河流的长度绘制支流,这从一定意义上符合地图制图规则;但其前提是所研究的整个流域数据是完整的,而实际制图作业中,数据并非如此完整。例如,单线河流中间或交于双线河或湖泊水系,同时在河流下游河系发育丰富,经常出现河流分叉与合并情况,河系不满足简单的树状结构(图 1)。

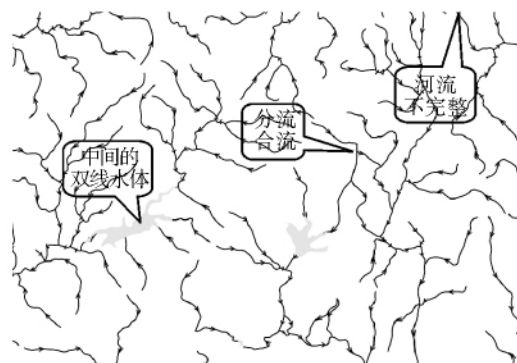


图 1 单线河中的双线河、分流与合流  
Fig. 1 Double-river, split and merge and of single-river

针对以上问题,有必要进一步研究与完善中小比例尺制图水系要素的自动绘制问题,本文从水系结构树的完善与构建、渐变绘制的改进和在 MapGIS 中生产实践几个方面展开讨论。

收稿日期:2010-10-14; 修订日期:2010-12-07

基金项目:国家自然科学基金(41001313)

作者简介:刘合辉(1974-),男,博士研究生,工程师,主要研究方向为地理信息工程。E-mail:gis\_seek@126.com

### 1 河系的类树状结构自动建立

河系是指在一个集水区内各条河道相互连通而成的网络,区域所有河系构成了区域河网,它以模型的形式表示河网的分布及其位置关系。所有基于河网的分析与应用都是在河流结构化基础上进行的,因此河系结构化研究是河网研究与分析的基础,要进行河流渐变绘制首先要构建河网结构。本文在分析河网结构的基础上用类树结构将复杂的河网分解成简单的网状结构,并给出了河网的构建步骤与方法。

#### 1.1 河系结构分析

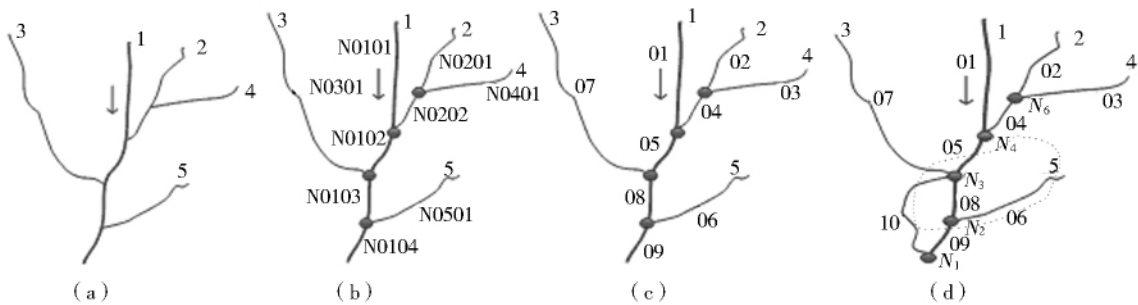


图 2 河系的结构  
Fig. 2 The structure of river network

1.1.2 编码结构 针对简单对象结构的不足,对这种方式进行改进,以河段表示河网。河段是指两交点间的一段河流,对各河段的层次级别进行编码,不但包含河流的整体特性,还有分级信息,同时用拓扑关系表述了河流间的网络关系,通过这些编码能够快速提取完整的河流和整个河网<sup>[8]</sup>。如图 2b 所示,河段由 5 位编码组成,第 1 位表示河系编号,第 2、3 位表示河流编号,第 4、5 位表示在支流中顺次位置,通过这些简单的编码可以提取整个河系、各条支流以及主流间的相邻汇聚关系。如果以河流的长度进行等级划分,依据图中编码可以建立图 3 的层次结构。

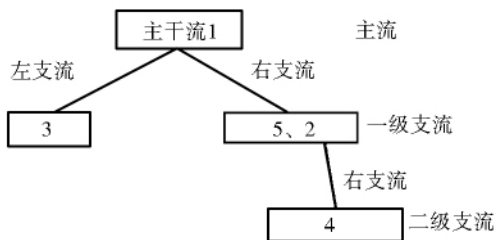


图 3 河流的层次结构  
Fig. 3 The hierarchy of the river

1.1.3 河段结构 编码结构虽然能够很好表示河网,但前提是在数字化过程中或后期人为地控制了河网的层次结构,对数字化或数据有特殊的要求,而

河系结构化研究较早,一般认为河流是天然完整的、有明确意义的地理实体,是一个水量汇集完整系统,用树状结构对其进行表示。根据对河系的理解及其应用需求的不同,在地图数据库中,河系结构的表述也是千差万别。

1.1.1 简单对象结构 在早期的地图数据库,为满足地图数字化各辅助制图的实际需求,以单个河流为实体,建立河流数据库,同时在库中辅助描述同一河网中各河流间的关系,一般沿河流进行数字化,将同一河流完整表示,但关系不很明了,很适合早期的数字化和机助制图作业。如图 2a 所示,河系由支流 1、2、3、4、5 组成网络。

实际作业过程中,为加快作业进度,所考虑的因素并非如此周到,所形成的数据仅仅是能够连接成网的各河段数据集合,并无层次与顺序关系。这种没有分级和顺序河段组成的网状结构是松散的河网结构,它可对数据实时地更新和修改,可以通过算法对河流与河系网络进行提取。如图 2c 所示,只表示整个河系由 9 条河段连接而成以及各河段间的拓扑关系。

1.1.4 类树结构 以上几种结构只是表述了河系的简单河网结构,河网的实际情况要复杂得多,特别是经过水利工程改造后的河道和河流下游的水网地带;如图 2d 中支流 10 是 08、09 平行河流,这种河系不再是简单的树状结构,但整体上特别是河流中上游还是满足树结构的要求。为此,提出类树的网络结构,由其主线组成一棵河流汇聚树,在河流出现向下分流的节点,插入另一棵结构子树,由所有不能在主结构树中表示的河流网中生成,依此推理,形成多级树相互连接的网络,而每个单元又是一个完整的树,树与树间有主次依赖关系,有接入点和汇合点。因此树可能只包含河网中的一条河段,如图 2d 所示,若 10 的长度比 08、09 长度之和短,则其子树只由 10 一条河段组成,它也可能是另一个复杂的河系,包含自己的下一级树。一般在上下级树间有接

入点,通过接入口点与上级树关联,也可能与上级树有汇合点,如图 2d 中 10 与 09 汇合。

在河网类树结构中,每棵树中,每个节点上游只有一条河段,只有一个交节点,但可以有多个树节点,这样,将河网分解成一个具有嵌套与关联的简单树结构,在结构的顶层树中,通过嵌入子树将原本复杂的网络简单化,而嵌入子树可以是最简单的树状结构,也可以是包含有子树的复合结构,从而整个河网是一个多级子树按一定层次关系结合而成的嵌套树。它将河网复杂结构在不同层面上进行了化简,同时又可以实现节点间、节点与树间、树与树间的分析,进而实现对整个河网的分析。

## 1.2 河系类树结构的自动建立

实际地图生产实践中,河系数据是以河段结构存储的,如 100 万基础数据库,要实现水系的绘制,必须先构建河系的编码结构,再建立河系的层次结构。

1.2.1 河段方向的确立 要建立河系树,首先要确立各河段的方向,只有方向正确,才能建立正确的河系树。方向的确定有两种方法,最简单的是在数字化时,按河流的方向或反方向采集要素,这样在数据库中河流方向是确定的;另一方法是在不知方向的情况下,根据河流的自然特性,一般认为支流在汇入点与主河道成锐角相交<sup>[6]</sup>,根据这个规则,可以从源头向下计算分析。如图 4,从  $L_1$  开始, $L_2$  与  $L_1$  夹角  $a$  小于  $90^\circ$ ,因此  $L_2$  的方向与  $L_1$  相同,都汇聚  $N_2$ ;  $L_4$  与  $L_1$  夹角大于  $90^\circ$ ,方向不同, $L_4$  离开  $N_2$  流向  $N_1$ ,同理  $L_3$  流向  $N_1$ 。

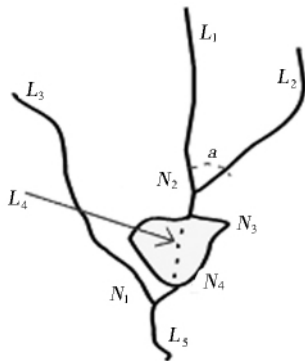


图 4 单线河方向  
Fig. 4 The direction of single-river

1.2.2 河系树的建立 河系树建立的基本算法是找出河网的主流,并找出与主流有关(相交)的各直接支流,同样依此方法,在各支流中继续找主流,最后找出各级主流及其间的关系,形成河系结构树。

(1) 支流最大累积量的统计。在找主流过程中,基本算法是节点支流最大汇聚量或长度的递归计

算,支流到各源头的汇聚量是指节点至该源头所有河段长度或汇聚量之和,取其中最大量作为节点的支流最大累积量。为计算方便,设计如下结构:

```
Node{节点
    Int ID; 节点标识
    Double Cumulation; 支流最大累积量
    Int NextSideID; 最大支流段
    List ConjointSides; 相关联段集
}
```

递归计算方法如下:

```
Double GetMaxCumulation(node){
    1) 找出一相关段  $L_1$  的另一节点  $N_2$ 
    2) 累积量  $S_1 = L_1$  的长 + GetMaxCumulation( $N_2$ )
    3) 依此计算所有相关累积量  $S_n$ 
    4) 取最大量  $S_i$  计为  $node$  的最大支流累积量
    5) 计  $NextSideID = L_i$ , 返回  $S_i$ 
}
```

如图 2d, 节点  $N_1$  的最大支流是  $L_{10}$ , 最大支流累积量为:  $L_{10} + L_{05} + L_{01}$ 。

(2) 主流的提取。通过节点支流最大累积量的统计,各节点同时记录了支流最大累积量的河段,该河段就是通过该节点向上游查找主流时所选取的河段,依此河段向上游继续查找,即可提取整条主流。在完成主河流的抽取后,所有与主河流相交而没有被选取的河段作为下一次主河流选取的源头,依此方法递归进行下去,完成所有河流的抽取,形成多条完整的主流和支流,通过支流的流出点与主河流的相交关系以及左右位置关系建立河系的层次结构。

(3) 子树的建立。以上河流类树网建立后,并不是所有的河段都能到达源头,如  $L_{08}$  (图 2d), 始于  $N_2$  终于  $N_3$ , 在树建立过程中,要考虑这种环状河流以及没有形成环但有两处下游节点的情况。对于环状河流,先在环所涉及的河段内计算最大累积量,选取最大支流参与树的计算,而其它没有参与的河段,单独参与树的构建,所有树建立完成后,再处理主树与子树的关系,在主树控制表中加入子树,并设置树的入口与出口,为树的分析与计算留出接入点。如图 2d 中虚线范围内的  $L_{08} L_{09} L_{06}$  构成一棵子树,在计算累积量时,支流  $L_{08}$  的累积量应加上节点  $N_3$  在主河流树网中计算的最大支流累积量,这样主流就是  $L_{08}$ , 支流是  $L_{06}$ ,  $N_2$  和  $N_3$  分别是支树与主树的接入点。

## 1.3 面状要素的处理

小比例尺地图中虽然单线河占主要地位,但由于自然条件和水利工程的影响,在单线河中间部位经常出现面状水体,如水库和湖泊等(图 1、图 4),在提取单线河进行结构处理时,不能获得完整的河系,

如图 4 中就会出现两个单独河系结构。为了完整表示单线河水系结构,通常抽取双线水体的中轴线转化为单线河进行处理,如图 4 中  $L_4$  就是由两段单线河和一段水库的中心线组成。为了计算简单,通常取其一半边线代替中轴线,取其中较短的一半。若有多个支流与其相交,则要延长其末端与添加的替代单线河流相交打断处理。

## 2 河流基于类树状结构的渐变绘制

在完成河流类树结构后,河流主流与支流的层次关系全部融于结构中,河流的流向与河流的汇合关系也全部表述清晰,即可进行河流渐变的绘制。在制图作业中,单线河流的绘制用渐变线表示,从上游到下游宽度由细变粗,一般从 0.1 mm 变至 0.4 mm,直到汇入双线水体,支流也是由细到粗,与高一级河流相交,一般其末端不应比上一级河流相交部位粗,即支流的宽度不大于主流的宽度。要在计算机中自动实现河流的绘制,主要从河流首尾宽度、河流打断处理、特殊情况处理等方面入手。

### 2.1 河流首尾宽度的确定

河流的起始宽度一般是相等的(0.1 mm),而河流的等级与长度的不同决定了各河流的末端宽度不同,因此主要是确定各河流的终点宽度。通常先确定主流的宽度,通过粗细变化算法,按主河流粗细的变化速率,以支流长度与主流长度之比来确定各支流的末端宽度。这样河流变化就比较自然,同时也满足支流不宽于主流的原则。如果支流的源头不完整,则利用这种方法显然不合理,其源头和末端都过细,为此补充其上至源头的长度,将不完整部分按局部处理,分别计算其起始点和末端的宽度。

### 2.2 河流渐变绘制

渐变的绘制与河流粗细变化的快慢有关,最简单的是均匀变化,另一种是非均匀变化,在河源和下游粗细变化较快,在中游变化减慢。一般将每条河流按长度分成 1:3:1 的 3 段,每部分用相同的步长进行渐变,达到两端变化快中间变化慢的效果<sup>[6]</sup>。在确定各段始点、终点的宽度后,每段内部用同一步长进行绘制,其方法有台阶增量法<sup>[4]</sup>、角平分线的渐粗(细)线算法<sup>[4]</sup>和渐变符号法。其符号样式如图 5 所示。

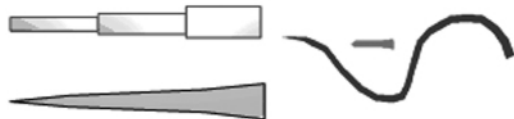


图 5 单线河渐变绘制  
Fig. 5 The gradual drawing of single-river

### 2.3 特殊处理

在处理河系结构网时,河网中双线水体用单线要素替代,在进行渐变处理后,对于这些水体相交的部分应做去除处理。如果存在子树的结构,其处理会稍加复杂,主流按上述方法进行处理,而子树中的支流,其主流的长度及对照计划长度变化比率应按河流结构中的主流进行计算,也就是同一图幅的长度变化率应相同。子树与主树相交的河流其流入点的宽度应不大于主河流的宽度。

## 3 应用举例

在分省交通图生产过程中,从 1:100 万地形数据库中提取水系河流数据,生产 1:70 万至 1:200 万地图,河流中间穿杂有少量面状水体,在图幅边上有河流截断情况,水系表示不完整,若要用手工方式进行编辑非常费时且指标不易掌握,因此本文主要解决这方面的问题,实现制图作业的自动化处理。

系统基于 MapGIS API 开发类库,用 VC++ 进行二次开发,主要利用 CPrjEditView、CPrjListView、BaseGisTool 3 个类分别构建程序的编辑视图窗口、图层控制窗口和自定义交互工具,完成整个 GIS 工程的基本构建。利用 GetCurLayer(int &LayerNo, CString LayerName) 获取当前选定的水系图层,用 GetAtt(short ai, PLN, long Index, CATT\_STRU\*\* stru, char\*\* att) 逐一获取每条记录的属性,从属性中提取目标类型码,系统只处理河流目标。对于要处理的目标,利用 GetLin(short ai, long i, D\_DOT\*\* dat, long\* llen, LIN\_INFO\* linf) 获取河流的几何坐标和符号信息。将提取的河流目标信息加入河流处理功能模块,利用拓扑关系形成河流与节点间的连接关系,并构建河流类树结构,从结构中搜索出河流的主支流层次关系,通过交互工具补充结构中河流的上下游长度,从中计算出河流的最大长,据此计算出河流的渐变率;然后从源头开始,按先主流后支流的顺序,以及各河流宽度的变化将其打断,形成一组新的线段集,用 AppendLin(short ai, D\_DOT\* dat, long llen, LIN\_INFO\* lInfo) 将线段集添加到新的图层中,并在 lInfo 设定各线段相应的宽度及其它图形参数;最后,将形成的线段目标与河流面状目标叠加裁剪处理,以消除单线河穿过水面的情况。图 6 为处理后的河流在 MapGIS 中的制图效果。

## 4 结语

在小比例地图生产实践中,通过河流渐变绘制技



图 6 河流渐变处理效果  
Fig. 6 The effect of the river gradual drawing

术的研究与开发,能快速建立河流的层次结构,并形成满足地图出版的符号化数据,大大提高作业效率,满足制图要求。但在制图实践中,由于数据质量不一,河流在汇合点切入角度通常不能满足流向计算要求,出现河流流向判断错误,主要是在计算流向时没有利用其它相关因素进行综合判断,这一问题需

要在下一步的工作实践中进一步研究和改进。

#### 参考文献:

- [1] 毋河海. 自动综合的结构化实现[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1996, 21(3): 277-283.
- [2] 艾自兴. 地理信息系统中的河网平面结构模型及其自动建立[J]. 四川测绘, 1995, 18(2): 75-79.
- [3] 郭庆胜. 河系的特征分析和树状河系的自动结构化[J]. 地矿测绘, 1999(4): 5-9.
- [4] 蔡先华. 单线河流的绘制算法[J]. 测绘通报, 1997(11): 8-10.
- [5] 何忠焕. GIS符号库中复杂线状符号设计技术的研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2004, 29(2): 132-134.
- [6] 张园玉, 李霖. 树状河系自动绘制的结构化实现[J]. 测绘通报, 2006(2): 62-64.
- [7] 李丽, 王结臣, 沈定涛, 等. 单线河流渐变符号的绘制方法[J]. 测绘通报, 2008(1): 64-67.
- [8] 郭庆胜, 黄远林. 树状河系主流的自动推理[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2008, 33(9): 978-980.

### Study on Gradual-Change Protract of Rivers in Small Scaled Cartography

LIU He-hui<sup>1,2</sup>, TAO Wen<sup>3</sup>, FENG Tao<sup>1</sup>

(1. Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450052;  
2. 75719 Troops, Wuhan 430074; 3. 96633 Troops, Beijing 100096, China)

**Abstract:** It is technologically difficult that the automatic gradual change drawing of rivers in the small scale cartography. For the impractical of the status quo, a gradual change drawing algorithm of river based on treelike structure is put forward in this paper. After a thorough study of the complex structure of river, a treelike structure of rivers and its constructing methods is introduced, and also its searching method of main stream and branch of a river in network structure, the flow of the river, the process of area water. After complement the up and downstream part of the river that is out of the map, the making of the small-scale map is realized based on further development of MapGIS. The results indicate that this algorithm greatly reduces the manual intervention in the river gradual change cartography process as well as improving the platting efficiency.

**Key words:** river networks; structured approach; tree-like structure; flow direction; gradual-change symbol; maximum of cumulation

(上接第 32 页)

### Study on the Discrete Processing and Extraction of Runoff in a Watershed

LI Bin-bing, CHAO Yang

(Department of Information Technology of the Armed Police Engineering College, Xi'an 710086, China)

**Abstract:** By means of discrete processing to the small watershed, the source, confluence point, outlet, single runoff and junction runoff was defined based on elements of set theory. And the algorithm to simulate the hydrology and erosion prediction in watershed was proposed. The algorithm solved the problem of outlet and circulation determinant which were the difficulty of current commercial software. The algorithm have simple, effective and practical characteristic. The application of the method to Loess hilly-gully regions demonstrated its high applicability.

**Key words:** small watershed; runoff; hydrology simulation