

GIS 环境下污水管网设计流量的快速计算

孟令奎 边馥苓 刘玉贤

(武汉测绘科技大学信息工程学院, 武汉市珞喻路 39 号, 430070)

摘要 针对 GIS 环境下污水管网设计问题, 提出了一种快速计算管段设计流量的方法——递归方法。分析了递归的原理、链式表的建立以及递归算法的具体实现等, 并以实例阐述了递归计算的各个步骤。

关键词 GIS; 污水管网; 设计流量; 递归; 链式表

分类号 TU 992; TP 391

本文结合 GIS 技术在城市污水管网设计中的具体应用, 针对管段设计流量计算复杂、准确率低等问题^[1], 提出了一种快速简捷的递归计算方法, 旨在为管网的设计提供计算管段设计流量的切实有效的途径和方法。

1 GIS 环境下污水管网的数据组织

GIS 技术为污水管网的设计提供了有效的数据管理和组织手段^[2]。以 ARC/INFO 为例, 在污水管网这种空间型系统中, 一般以矢量数据结构 and 关系模型来组织管网的几何数据与属性数据 (包括几何数据之间的拓扑关系)。几何数据主要包括管网的各种图形要素信息, 如管段 (弧段)、检查井 (节点)、污水泵站 (点状地物)、污水处理厂 (点状地物) 等的几何坐标。属性数据是几何数据的属性描述信息, 如管段类型、级别、管径、流量、检查井标高、类型等等。

涉及设计流量计算的管网数据主要是弧段数据, 其属性信息一般包括管段起止节点号、左右多边形 (哑值)、内部标识码、用户标识码、管长、类型、级别、埋深、本段流量、设计流量、坡度等。为了描述和分析的需要, 属性信息中的本段流量包含了本段集中流量。

2 递归运算原理

污水管网是一种重力流的枝状结构网络, 整个网络可抽象为由若干有向树构成的森林。对于每棵有向树而言, 根节点表示污水处理厂, 叶节点为污水收集节点, 内节点 (除根节点和叶节点以外

的节点) 是污水运输节点, 同时也可能是污水收集节点 (当有本段流量时), 树枝代表污水管道 (段), 树的方向性表现在污水是从叶节点 (或内节点) 逐级往下游管段和节点流动, 直至到达根节点的。

假设管网中节点编号集为 SN, 管段编号集为 SP, 叶节点编号集为 SN_{leaves}, 映射关系 F_{nodes} 和 T_{nodes} 分别表示取管段的起节点和终节点编号。容易得到:

$$SN_{leaves} \subset F_{nodes}(SP) \subset SN$$

$$T_{nodes}(SP) = SN - SN_{leaves}$$

若任一管段 i 的设计流量和本段流量分别以 $Q(i)$ 和 $Q_b(i)$ 表示, 则管段设计流量的递归计算有如下形式:

$$1) Q(i) = Q_b(i) \quad \text{iff} \\ \forall i \in SP, \exists F_{nodes}(i), \in F_{nodes}(i) \in SN_{leaves}$$

$$2) Q(i) = Q_b(i) + \sum Q(k) \quad \text{iff} \\ \forall i \in SP, \exists F_{nodes}(i), \in F_{nodes}(i) \in T_{nodes}(SP) \wedge \forall k \in SP, \exists T_{nodes}(k) \text{ and } F_{nodes}(k), \in (T_{nodes}(k) \in T_{nodes}(SP) \wedge F_{nodes}(k) \in SN \wedge (T_{nodes}(k) = F_{nodes}(i) \vee ARC(F_{nodes}(k) \rightarrow F_{nodes}(i)) \in SP))$$

其中, ARC 表示两节点所连成的管段的编号。

3 链式表的建立

3.1 链式表的内涵

建立链式表的目的是将污水管网的物理形态进一步抽象为管段与管段、管段与节点相关信息的逻辑和量化关系, 以便进行有效的递归运算。其

构成主要包含以下项目:

- ① 本段索引号 (链式表的元组顺序号);
- ② 本段 ID (属性信息中的管段内部标识码);
- ③ 父管段索引号 (本段相邻的下游管段在链式表中的索引号);
- ④ 本段 FN (属性信息中本段起始节点号);
- ⑤ 本段 TN (属性信息中本段终止节点号);
- ⑥ 本段流量 (属性信息中本段流量, 包含本段集中流量);
- ⑦ 本段设计流量 (属性信息中本段设计流量);
- ⑧ 本段子管段数 (本段相邻上游管段个数, 递归控制参数);
- ⑨ 计算未完成标志 (递归控制参数)

其中, ① 为顺序累加结果; ③, ⑦ ~ ⑨ 的内容由初始化链式表时自动计算或设置; 其它各项的内容直接由属性信息中提取。

3.2 链式表的初始化

链式表初始化是递归计算的前提。设污水管网中共有 n 个管段, 对于第 i 个管段, ID 号以 $ID(i)$ 表示。相应地, 本段流量、设计流量、FN、TN、父管段索引号、子管段数及计算未完成标志分别用 $Q_b(i)$ 、 $Q(i)$ 、 $FN(i)$ 、 $TN(i)$ 、 $F_index(i)$ 、 $C_number(i)$ 、 $Unfinished(i)$ 表示。

初始化主要包括 5 个步骤:

1) 建立一个索引号为 0 的虚元组, 各属性项预赋 0 值。该虚元组对应的虚管段作为各个根节点对应管段的父管段, 虚管段的设计流量为整个污水管网的设计流量。以虚管段作为连接的纽带, 可将整个污水管网抽象为一棵完整的树, 而不是各个树组成的森林。由于污水的最终流向是流入水体, 因而可将水体视为一个大的污水收集节点, 而将各个污水处理厂及通向水体的管道视为一个大污水处理厂和一根大管道 (即虚管段)。

2) 以元组为单位从污水管网属性信息中提取相关数据分别填入链式表的 ID 项、FN 项、TN 项和 Q_b 项中。填满 4 项后, 链式表的索引号递增一次 (从 1 开始), 直至所有管段的信息提取。填满为止 (共 n 个元组)。

3) 预置链式表中的 Q 项内容为对应的 Q_b 项内容, F_index 项和 C_number 项的内容全部为 0, $Unfinished$ 项内容全部为 1 (包括虚元组)。

4) 搜索所有原根节点, 并将节点标识号置 0, 使其均作为虚管段的起始节点。算法如下:

```
for i=1 to n step 1
  if  $\neg (\exists j \in [1, n], \in TN(i) = FN(j))$ 
```

```
then TN(i) = 0
```

5) 建立管段之间的父子关系, 即计算每个管段的 F_index 和 C_number 值。算法如下:

```
for i=1 to n step 1
  if  $\exists j \in [0, n], \in TN(i) = FN(j)$ 
    then  $F\_index(i) = j, C\_number(i) = C\_number(j) + 1$ 
```

4 递归算法分析

递归算法包括主调用和递归调用两个过程。主调用给出递归入口的判定条件, 递归调用完成设计流量的递归计算。两种过程的算法描述分别如下:

1) 主调用 (mainprog)

```
L1 for i=1 to n step 1
  if  $C\_number(i) = 0 \wedge Unfinished(i) = 1$  then recursion(i)
```

2) 递归调用 (recursion(i))

```
L2 Unfinished(i) = 0
L3 Findex = F_index(i)
L4  $Q(Findex) = Q(Findex) + Q(i)$ 
L5  $C\_number(Findex) = C\_number(Findex) - 1$ 
L6 if  $C\_number(Findex) = 0$ 
  then recursion(Findex)
  else return to last recursion or mainprog
```

各行的具体含义是:

L1— 从链式表的 1 号元组开始搜索子管段个数为 0 且 $Unfinished$ 为 1 的元组 (设为 i 号元组), 进入递归调用, 以求算该元组对应管段的设计流量。若子管段个数不为 0, 说明子管段设计流量未知, 因而无法计算本段设计流量, 不能递归求解, 需寻找其它管段作为入口; 若标志 $Unfinished$ 为 0, 说明本段设计流量已通过递归调用求出, 因此毋需进行递归调用。

L2— 置本次递归参数 i 对应的元组标志 $Unfinished$ 为 0。该元组对应的管段设计流量将通过递归调用求出。

L3— 置临时变量 $Findex$ 为本次递归参数 i 对应管段的父管段索引号。

L4— 将本次递归参数 i 所对应的管段的设计流量累加到其父管段的设计流量上。

L5— 由于 L4 的缘故, 父管段的子管段数目应减少一个。

L6—条件判断。若父管段的子管段数目已经为 0,说明它的设计流量为已知,因而应将其作为本段管段,通过递归调用将对应的设计流量累加到它的父管段设计流量上;否则,父管段的设计流量尚未全部计算出来,只能通过其它相应子管段的计算结果而定,因而应退出本次递归调用,返回上一级递归调用或主调用。

5 算 例

下面以一个简例说明递归计算的过程。

设污水管网中有两个子网,原始管网及抽象化管网分别如图 1a和 1b所示($n= 10$) 图中 $P\times\times\times$ 表示管段编号为 $\times\times\times\times$, $N\times\times\times$ 表示节点编号为 $\times\times\times\times$ 。

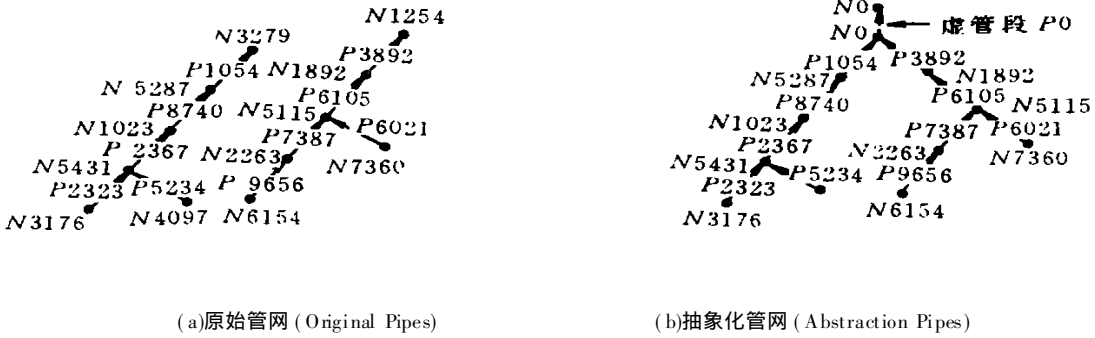


图 1 污水管网示意图

Fig. 1 Sewage Pipe Diagrammatic Sketch

设各管段的本段流量分别为 (L/s):
 P1054 10 P8740 11 P2367 12
 P2323 13 P5234 14 P3892 15
 P6105 16 P7387 17 P6021 18
 P9656 19

上述管段信息在其属性表中的位置 (以元组为单位)是随机的,因此在链式表中,这些管段的元组位置也是随机的。假设有一种随机存放的管段信息,它在链式表中的位置以及该链式表的建立过程如表 1所示。其中,上标 \times)表示相应项的

取值在建立链式表的第 \times 步中经计算或重新设置后发生了变化(最终取值由箭头所指)。

表 2~表 5分别表示 $i= 3, 6, 8, 9$ 时的递归计算结果。其中,斜体数字表示计算过程中发生变化的值 $i= 1, 2, 4, 5$ 和 7 时,因不满足递归条件,故不进行任何计算

表 5中, $C_number(0) = - 1$ 表示整个管网的递归计算结束,管网的设计流量已经全部计算出来。显然, $i= 10$ 时的递归计算已不需要。

表 1 链式表的建立过程

Tab. 1 Establishment Process of Chained List

Index	ID	F_index	FN	TN	Q_B	Q	C_number	Unfinished
0	0	0	0	0	0	0	0→ 2 ⁵⁾	0→ 1 ³⁾
1	8 740	0→ 4 ⁵⁾	1 023	5 287	11	11	0→ 1 ⁵⁾	1
2	6 105	0→ 10 ⁵⁾	5 115	1 892	16	16	0→ 2 ⁵⁾	1
3	5 234	0→ 7 ⁵⁾	4 097	5 431	14	14	0	1
4	1 054	0	5 287	3 279→ 0 ⁴⁾	10	10	0→ 1 ⁵⁾	1
5	7 387	0→ 2 ⁵⁾	2 263	5 115	17	17	0→ 1 ⁵⁾	1
6	9 656	0→ 5 ⁵⁾	6 154	2 263	19	19	0	1
7	2 367	0→ 1 ⁵⁾	5 431	1 023	12	12	0→ 2 ⁵⁾	1
8	6 021	0→ 2 ⁵⁾	7 360	5 115	18	18	0	1
9	2 323	0→ 7 ⁵⁾	3 176	5 431	13	13	0	1
10	3 892	0	1 892	1 254→ 0 ⁴⁾	15	15	0→ 1 ⁵⁾	1

表 2 $i=3$ 时的计算结果 (递归次数: 0)Tab. 2 The Computing Results ($i=3$, Recursive Step 0)

Index	ID	F_index	FN	TN	Q_B	Q	C_number	Unfinished
0	0	0	0	0	0	0	2	1
1	8 740	4	1 023	5 287	11	11	1	1
2	6 105	10	5 115	1 892	16	16	2	1
3	5 234	7	4 097	5 431	14	14	0	0
4	1 054	0	5 287	0	10	10	1	1
5	7 387	2	2 263	5 115	17	17	1	1
6	9 656	5	6 154	2 263	19	19	0	1
7	2 367	1	5 431	1 023	12	26	1	1
8	6 021	2	7 360	5 115	18	18	0	1
9	2 323	7	3 176	5 431	13	13	0	1
10	3 892	0	1 892	0	15	15	1	1

表 3 $i=6$ 时的递归计算结果 (递归次数: 1)Tab. 3 The Computing Results ($i=6$, Recursive Step 1)

Index	ID	F_index	FN	TN	Q_B	Q	C_number	Unfinished
0	0	0	0	0	0	0	2	1
1	8 740	4	1 023	5 287	11	11	1	1
2	6 105	10	5 115	1 892	16	52	1	1
3	5 234	7	4 097	5 431	14	14	0	0
4	1 054	0	5 287	0	10	10	1	1
5	7 387	2	2 263	5 115	17	36	0	0
6	9 656	5	6 154	2 263	19	19	0	0
7	2 367	1	5 431	1 023	12	26	1	1
8	6 021	2	7 360	5 115	18	18	0	1
9	2 323	7	3 176	5 431	13	13	0	1
10	3 892	0	1 892	0	15	15	1	1

表 4 $i=8$ 时的递归计算结果 (递归次数: 2)Tab. 4 The Computing Results ($i=8$, Recursive Steps 2)

Index	ID	F_index	FN	TN	Q_B	Q	C_number	Unfinished
0	0	0	0	0	0	85	1	1
1	8 740	4	1 023	5 287	11	11	1	1
2	6 105	10	5 115	1 892	16	70	0	0
3	5 234	7	4 097	5 431	14	14	0	0
4	1 054	0	5 287	0	10	10	1	1
5	7 387	2	2 263	5 115	17	36	0	0
6	9 656	5	6 154	2 263	19	19	0	0
7	2 367	1	5 431	1 023	12	26	1	1
8	6 021	2	7 360	5 115	18	18	0	0
9	2 323	7	3 176	5 431	13	13	0	1
10	3 892	0	1 892	0	15	85	0	0

表 5 $i=9$ 时的递归计算结果 (递归次数: 4)
Tab. 5 The Computing Results ($i=9$, Recursive Steps 4)

Index	ID	F_index	FN	TN	Q_B	Q	C_number	Unfinished
0	0	0	0	0	0	145	-1	0
1	8 740	4	1 023	5 287	11	50	0	0
2	6 105	10	5 115	1 892	16	70	0	0
3	5 234	7	4 097	5 431	14	14	0	0
4	1 054	0	5 287	0	10	60	0	0
5	7 387	2	2 263	5 115	17	36	0	0
6	9 656	5	6 154	2 263	19	19	0	0
7	2 367	1	5 431	1 023	12	39	0	0
8	6 021	2	7 360	5 115	18	18	0	0
9	2 323	7	3 176	5 431	13	13	0	0
10	3 892	0	1 892	0	15	85	0	0

参 考 文 献

- 1 重庆建筑工程学院.排水工程(上册,第二版).北京:中国建筑工业出版社,1987.
- 2 李德仁,龚健雅,边馥苓.地理信息系统导论.北京:测绘出版社,1993.

Fast Computation of Designed-discharge of Sewage Pipe System under GIS Environment

Meng Lingkui Bian Fuling Liu Yuxian

(School of Information Engineering, W TU SM, 39 Luoyu Road, Wuhan, China, 430070)

Abstract As a key stage in planning and designing the urban sewer system, computing the pipeline designed-discharge is very critical and time-consuming to the planner and designer. Traditionally, there are two problem-solving alternatives, i. e. the artificial tabular computation and the programming computation. It is obvious that the efficiency and precision in tabular method is very low, and high efficiency may also be impossible with programming method if no well-defined data structure and data models are employed. With the rapid progress and wide application of geographic information systems (GISs), however, an advanced GIS-based technique breeds new approaches. In this paper, we use GIS as the basic supporting environment and present an analysis model for fast computation of the pipeline designed-discharge in which a recursive algorithm is involved. The algorithm is based on a so-called chained list composed of nine items whose major initial contents are transferred directly from the arc attribute table (AAT) arranged by ARC/INFO, one of the famous GIS softwares. Also, the recursive principles, the establishment of the chained list and the implementation of the recursion, etc. are analyzed in detail. Meanwhile, an example is given to view the recursive procedures.

Key words GIS; sewage pipe system; designed-discharge; recursion; chained list