

基于 GIS 的污水回用管网节点用水量统计方法

信昆仑¹ 孙俊楠¹ 贾海峰¹ 刘京² 王军²

(1 清华大学环境科学与工程系,北京 100084; 2 北京市城市规划设计研究院,北京 100045)

摘要 在 GIS 环境中,对城市土地利用规划栅格图进行分类,并对导入的污水回用管网 CAD 图形构建几何网络,通过几何网络中的节点划分泰森多边形确定节点供水区域范围,分类统计各节点供水区域内的土地利用面积,根据分别对应的回用水定额,进行回用水量统计计算,为污水回用系统规划提供依据。

关键词 GIS 污水回用 用水量

GIS based calculation of node flow in wastewater reusing network

Xin Kun - lun¹, Sun Jun - nan¹, Jia Hai - feng¹, Liu jing², Wang jun²

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Beijing Urban Planning and Design Research Institute, Beijing 100045, China)

Abstract: The atlas of urban land utilization planning is imported into the GIS and classified. Also the CAD drawn wastewater reusing network plan is imported and the geometric network is built with GIS tools. The service subdivisions of wastewater reuse for each node will be decided by the Thiessen Polygons, which are formed on basis of those nodes in the network. Within these subdivisions, the areas of all types of land are counted, and referred to the standard of all types of wastewater reuse, the flow of wastewater reuse are calculated. This gives data support for wastewater reusing system planning.

Keywords: GIS; Wastewater reuse; Water flow

0 引言

污水回用是缓解城市水资源紧张状况的重要途径之一,同时也可有效保护生态环境。目前美国的南加利福尼亚地区和日本的东京、名古屋以及以色列、南非等地区的污水回用应用已经取得了较大的成功^[1~6]。我国的污水回用起步于“六五”规划时期,并率先在一些城市进行了系列的试验及工程性应用^[7],目前较为成功的有北京、天津、青岛、大连、西安等城市^[4,5,8]。值得注意的是,大多数的污水回用还局限于特殊用途(比如工业冷却水)或者小范围的生活杂用(如饭店、宾馆的小型回用水系统),经深度处理后的城市污水通过整个城市范围内的污水回用管网进行市政及工业回用尚无实例。然而,对于

我国北方缺水形势严峻的城市,大规模的污水回用需求已经变得非常迫切。

如何基于地理信息系统(Geographical Information System,以下简称 GIS),并根据污水回用的性质统计污水回用规划管网中各个节点污水回用水量,为正确规划污水处理厂及合理分配管网管径打下基础是本文的主要讨论内容。

1 土地利用类型与污水回用量的关系

1.1 污水回用的主要对象

由于用于回用的是城市污水处理厂的二级处理或者深度处理出水,因此其回用的范围也受到一定程度的限制,回用污水的主要用途有如下几种:

(1)市政杂用:道路喷洒、浇洒绿地、居民冲厕;

(2)工业用水:主要用作工业冷却水及对水质要求不高的行业;

北京市规划建设委员会资助项目(0050237)。

(3)河湖补给:补给到城市内的非饮用水源水体满足如景观、娱乐等各项水域功能;

(4)农业灌溉:经过适当处理的污水处理厂出水可用于农业、林业灌溉;

(5)其他:洗车等行业用水。

从污水回用量上看,市政方面的道路喷洒、浇洒绿地以及工业回用、农业灌溉可能是回用污水的主要去向,因此,正确统计规划范围内的各种利用类型的土地使用面积是正确统计管网回用水量的基础。

1.2 土地利用的分类方法

土地利用的分类是进行回用水量统计的基础,不同的土地使用性质对于回用水的使用定额标准也显然不同。目前规划设计部门中关于土地利用方面的资料大都以图纸或者 AutoCAD 格式的电子图为主。为使土地利用图与管网规划图相互关联,并充分利用 GIS 的强大空间分析功能进行处理,需首先将土地利用规划图导入 GIS。由于文中使用的是经过扫描后的城市土地利用规划图纸,因此在导入 GIS 系统并经过几何校正后,还要对该栅格图层进行要素分类,按照栅格图中的颜色特征区分土地利用类别。

为正确提取土地利用类型信息,本文依据规划部门土地利用远景规划图中确定的土地利用类型(见图 1,由于制版原因,图中原有颜色特征在此用不同灰度示意,其他图同),执行监督分类(Supervised Classification),所谓监督分类即人为参与控制下而非 GIS 系统进行自动分类,这里采取根据图例颜色属性,划分每种类别的颜色范围阈值,然后利用各种分类规则对形成的栅格图进行分类提取,最终形成与规划图例相一致的土地利用分类图层(见图 2)。

2 规划管网的导入与校正

2.1 空间转换(Spatial Transformation)

规划管网图通常也是基于 AutoCAD 平台,需要将规划管网的 CAD 图形文件导入 GIS 系统作为一个图层。导入规划管网图后,首先需要为该图层定义与已有的土地利用、城市街区图层相一致的坐标系,从而便于图层之间的关联与分析。另一方面,所导入的规划管网图层比例设置也并不与已有图层一致,定义坐标系后还需要对其进行空间转换和进一步的空间校正。市政管道一般情况下都是沿着道

Item	Class Name	Value	Color
1	未分类	1	
2	公共绿地	2	
3	防护绿地	3	
4	果园	4	
5	耕地	5	
6	水域	6	
7	一类住宅	7	
8	二类住宅	8	
9	中小学	9	
10	办公	10	
11	商业金融	11	
12	文化娱乐	12	
13	医疗卫生	13	
14	教育科研	14	
15	社会福利	15	
16	村镇居住	16	
17	公社	17	
18	养殖用地	18	
19	工业用地	19	
20	村镇企业	20	
21	仓储	21	
22	交通	22	
23	市政	23	
24	外事用地	24	
25	安全用地	25	
26	铁路	26	
27	机场	27	
28	道路及其他	28	

图 1 土地利用类型



图 2 土地利用分类图层

路敷设,因此,对于污水回用管网的空间转换与校正也应基于作为基础图层的城市街区图展开。空间坐标的转换公式如下^[11,12]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{new}} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1 + s) \times \begin{bmatrix} 1 & r_x & -r_y \\ -r_x & 1 & r_z \\ r_y & -r_z & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{original}} \quad (1)$$

式中 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ 为 3 个坐标方向上的偏移量, r_x, r_y, r_z 为三个坐标方向上的旋转角度, s 为变换的比例因子。通过选取源图层和目标图层上的参考点,即可求出坐标转换式(1)中的各个参数。

2.2 空间调整(Spatial Adjustment)

进行过空间转换后的管网图层与城市街区图层基本能够相符,但仍然存在污水回用管道与道路偏离的情况(见图 3a),需要对图层在街区图层的参照下进行进一步的空间调整,本文采用 GIS 所提供的空间调整功能对图 3 中箭头线的尾端点(源点)向箭头首端点(目标点)调整,如此经过几次调整后,可以使目标图层与源图层达到满意的符合程度(见图 3b),调整的精度可以通过参考点的调整残差和均方差来衡量(见表 1)。

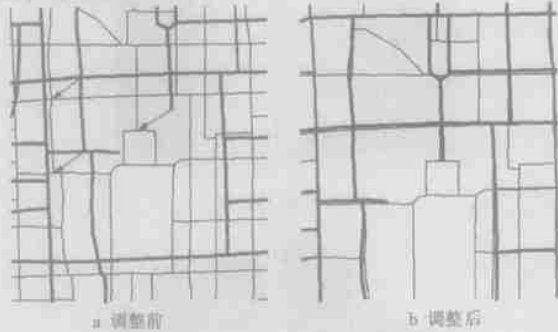


图 3 调整前后示意

3 管网节点污水回用量的计算

3.1 污水回用管网拓扑关系的建立

导入后的管网图层存在的另一问题在于:CAD 下的管网规划图往往仅仅是代表各种管道的线段集合,其中并不存在图形上的几何点。为计算管网各个节点上的回用水量,需要对 GIS 下的管网图层构建几何网络(Geometric Network)以形成管网节点来正确反映管网的拓扑关系。GIS 系统中拓扑的构建基于一系列规则完成,根据管网中的线段要素和其相互间的位置关系,设定用于识别管道相交关系(生成节点)的阈值(tolerance)之后,利用 GIS 系统的几何网络工具即可生成管网关于管道和节点关系的完整拓扑(见图 4)。

3.2 节点供水范围内土地利用面积的分类统计

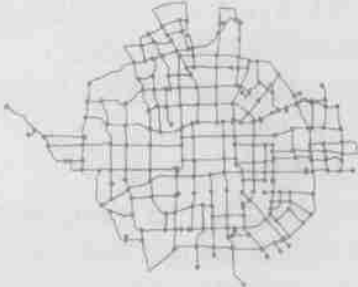


图 4 所生成的几何网络

为统计节点回用水量,须首先确定回用水节点的供水范围。类似于城市给水管网计算模型,节点实际上只是用于管网计算分析的概念模型,目前回用水节点供水范围的确定并无统一标准的方法和依据。本文采用了 GIS 系统关于划分泰森多边形的方法确定各个节点的供水范围,泰森多边形的特性是^[11]:

- (1)每个泰森多边形内仅含有一个离散点数据;
- (2)泰森多边形内的点到相应离散点的距离最近;
- (3)位于泰森多边形边上的点到其两边的离散点的距离相等。

根据以上泰森多边形的特性可以看出,当以污水回用管网节点作为划分泰森多边形的离散点时,所形成的关于管网节点的供水范围区域,比较符合实际的供水情况。特别是,在目前尚无标准或者更为科学实用的污水回用量统计方法的情况下,通过划分泰森多边形来确定污水回用节点的供水区域范围具有较好的可操作性。

所确定的节点供水区域范围成为统计节点用水量的直接依据,通过划分供水区域的多边形图层与上述分类后的土地利用栅格图层进行叠加分析,对每个多边形区域内的各种土地利用类型进行分类统计,确定各个回用水节点所服务的各种土地利用类型的面积(见图 5)。

表1 空间调整后的误差分析

点 ID	源点(X)	源点(Y)	目标点(X)	目标点(Y)	残差
1	20 431 582.000 019	4 421 254.499 999	20 430 616.340 498	4 419 080.751 069	4.595 786
2	20 429 478.000 017	4 421 306.000 031	20 428 520.933 968	4 419 137.028 701	4.106 922
3	20 428 438.000 016	4 423 223.500 001	20 427 470.410 831	4 421 050.148 063	15.732 412
4	20 426 472.000 014	4 423 735.500 001	20 425 532.793 165	4 421 563.868 703	3.006 634
5	20 425 506.000 013	4 425 620.999 971	20 424 575.149 900	4 423 444.065 697	2.466 824
6	20 423 490.000 011	4 428 196.500 006	20 422 573.368 906	4 426 013.972 388	1.611 77

注:单位为 m;均方差为 7.108 911 m。



图5 节点服务土地面积分类统计

需要指出的是,在统计土地利用面积时,应考虑除纯绿地之外的其他土地利用类型中所包含的一定的绿地比例。

3.3 回用水量计算

目前各种类型的回用水的定额尚无标准依据,而且与实际的回用水利用率有很大关系,暂时可以参照市政给水设计规范的各类用水定额确定。确定了各种类型的回用水定额以后,分别与各个节点服务范围内对应所服务的土地利用面积相乘,即可初步确定管网节点污水回用水量。

值得注意的是,对于居民及商业、行政办公等建筑类土地,所统计的土地利用面积并不能真实反映该区域内的建筑使用面积,因此仅通过土地利用面积还不能真实反映这些区域内的中水(如冲厕等)使用量,这时需要引入建筑容积率对用水量进行调整,使最终计算值尽可能真实反映该节点区域内的中水使用量(见式2)。

$$Q_i = \sum_j q_j A_{i,j} \lambda_i \quad (2)$$

式中 q_j ——各类用水定额;

$A_{i,j}$ ——节点 i 第 j 类土地使用面积;

j ——土地利用类型索引号;

λ_i ——节点 i 所在区域容积率,且 $\lambda_i = (\text{实际利用面积})_i / (\text{土地统计面积})_i$ 。

此外,为保证供水安全性,避免给居民生活带来影响,采用回用水冲厕应同时考虑一定比例的自来水作为补充。

工业回用水及河湖补给回用水应分别根据工业用水量以及水体补给需水量计算后,累加至规划确定的回用节点。

4 小结

随着水资源和环境保护力度的加大,污水回用将成为缓解城市水资源短缺、保护水环境的重要措施,大规模的污水回用也会逐步增加。

进行大规模污水回用系统规划时,基于 GIS 平台,将城市基础地理信息、土地利用规划、污水回用管网等数据信息集成在一起,并充分利用 GIS 的空间分析、数据统计处理等强大功能,能够较为准确地统计管网中各节点的污水回用量,为进一步的污水回用处理厂和管网建设提供数据支持。

污水回用系统规划虽然与市政管网尤其是给水管网有一定程度的类似,但由于其水质及服务对象的特殊性,在进行污水回用处理厂规划、污水回用管网规划、回用水质影响性分析等方面还有其自身的特点,同时也是一类崭新的技术问题,需要通过不断深入的工程实践并结合先进的科技手段加以解决。

参考文献

- 1 聂梅生. 美国污水回用技术调研技术分析. 中国给水排水, 2001, 17(9): 23-25
- 2 T Asano, M M. Wastewater reclamation and reuse in Japan: overview and implementation examples. Wat Sci Tech, 1996, 34 (11): 219-226
- 3 T Asano. Wastewater reuse and reclamation past present future. Wat Sci Tech, 1996, 33(10): 1-14
- 4 金兆丰, 王健. 我国污水回用及发展趋势. 环境保护, 2001, (11): 39-41
- 5 武晋生, 张鸿涛. 污水回用系统规划研究概论. 环境保护, 1999, (12): 40-42
- 6 马志毅. 城市污水回用概述. 给水排水, 1997, 23(12): 61-63
- 7 周彤. 我国污水回用历程与展望. 21 世纪国际城市污水处理及资源化发展战略研讨会论文集, 北京, 2001
- 8 张景国, 王宝全, 王爱民. 西安市西郊地区污水回用系统应用研究. 中国市政工程, 1996, 6(1): 49-53
- 9 Paul A Longley, M F G, David J Maguire, David W Rhind. Geographical Information Systems: Management Issues and Applications, 1999, 2(2): 957-965
- 10 ErdasImagine Tour Guides. Atlanta, Georgia: Leica Geosystems' GIS & Mapping Division, 2002
- 11 郭仁忠. 空间分析. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2001
- 12 Maling, D.H. Coordinate systems and map projections for GIS. Geographical Information Systems: principles and applications, ed. M F G Maguire D J, D W Rhind. Longman Group UK Ltd. 1991, 1: 135-146

E-mail: skl@tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2004-2-6