

基于 GIS 的北京市再生水回用管网规划研究

信昆仑¹, 贾海峰², 魏 炜², 王 军³, 刘 京³

(1. 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092; 2 清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084; 3. 北京市城市规划设计研究院, 北京 100045)

摘 要: 针对北京市再生水回用管网系统的规划问题,以 GIS 为技术手段,建立了 GeoDatabase 格式的规划数据库,构建了再生水回用管网的 GIS 几何网络模型。基于土地利用规划,提出了利用划分泰森多边形进行节点回用水量统计的方法。结合水力计算模型,对再生水回用管网供水分区划分方案进行调整,并以冬季工况进行了校核。利用管网水质计算模型模拟了冬、夏季工况的余氯衰减情况,并提出了再生水厂出厂水的余氯浓度控制值。

关键词: 再生水; 管网; GIS; 规划

中图分类号: X703 文献标识码: C 文章编号: 1000 - 4602(2007)05 - 0069 - 04

GIS-based Reclaimed Water Network Planning: A Case Study in Beijing Urban Area

XN Kun-lun¹, JIA Hai-feng², WEI Wei², WANG Jun³, LU Jing³

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2 Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3 Beijing Urban Planning and Design Research Institute, Beijing 100045, China)

Abstract: Several GIS-based technologies were applied in reclaimed water network planning in Beijing urban area. All the planning data were stored and processed in a database in GeoDatabase format, and a geometry network model for reclaimed water network was built. Based on the land utilization planning, a method to count the reclaimed water consumption at the network nodes by using Theisson polygons allocated was presented. Based on the hydraulic calculation model, the scheme of area division supplied by the reclaimed water network was regulated and calibrated according to the winter condition. The residual chlorine decline under winter and summer conditions was also simulated using the calculation model of the network water quality, and the minimum concentration of residual chlorine in the final effluent from reclaimed water plant was proposed.

Key words: reclaimed water; pipe network; GIS; planning

城市污水再生回用系统是指非饮用水及非人体直接接触水的供水系统,如冲厕用水、浇洒道路用水和绿化用水等的供水系统。污水的再生回用是缓解城市水资源紧张的有效途径。我国已相继在北京、天津、西安等城市建立了城市污水再生回用示范工程,部分城市已进行了全市范围内的再生水回用管网规划,并已取得了初步的规划成果^[1~4]。目前,

GIS 技术已经广泛应用于水资源管理、流域水环境模拟等领域。GIS 技术的应用,使得规划及建模在对数据的管理和表达上更为精确和容易,具有将数据操作和空间分析融为一体的独特优势,是未来城市基础设施规划的重要工具。

1 再生水回用系统规划的 GIS 数据库

再生水回用系统规划涉及城市街区、土地利用

规划、污水处理系统、再生水回用管网等多项内容,数据量庞大,数据格式多样(GIS 矢量图、栅格图、CAD 规划图),各种数据之间存在着空间或非空间的联系。采用 GeoDatabase 格式的规划数据库进行统一管理,可非常方便地进行用于辅助规划的各种空间分析。再生水回用管网规划的数据库结构见图 1。

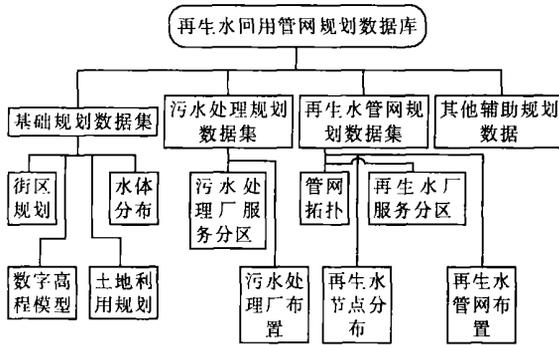


图 1 再生水回用管网规划的 GeoDatabase 数据库结构

Fig 1 Structure of reclaimed water network planning database

数据库中包含以下数据: 基础规划数据,包括街区规划、土地利用规划、水体分布、DEM 等; 污水处理规划数据,包括污水处理厂布置、处理厂服务分区等; 再生水回用管网数据,包括再生水管道布置、管网节点要素、形成的几何网络等; 其他辅助规划数据,包括再生水的工业集中回用点等。

以北京市的电子地图为工作底图,敷设回用水管道,进行管径初步分配,并在 GIS 中生成反映其管道连接关系的几何网络,以此来维护再生水回用网络连接的完整性,消除和修正回用管网中存在的孤立管道、孤立环路等拓扑错误,图 2 为管网及再生水厂的布置情况。



图 2 再生水回用管网系统布置

Fig 2 Layout of reclaimed water network

2 回用水量统计

统计回用水量是确定再生水厂供水规模和再生水管网中管道直径的基础。再生水管网的出流一般分为集中出流和分散出流两大类,工业冷却水、回补水体等属于集中出流;居民冲厕用水、道路浇洒或绿化用水等属于分散出流。

对于分散出流,采用 GIS 关于划分泰森多边形的方法,首先确定管网各节点的供水范围,再将各节点供水范围与北京市土地利用规划图进行图层叠加,对每个多边形区域内的各种土地利用面积进行分类统计,并以一定的折算系数换算为有效使用面积,除防护绿地外,其他各类土地利用类型均以一定比例考虑公共绿地面积,以便统计浇洒绿地的回用水量;对于居住区、公共建筑区则还需按照其所在位置给定相应的建筑物容积率(实际空间使用面积与土地利用面积的比值),最后根据各类用水定额统计用水量并求和,作为该节点的总用水量^[5]。各种土地利用类型的用水定额见表 1。

表 1 各类土地利用类型的用水定额

Tab 1 Water rations for different land uses

土地利用类型	折算系数	公共绿地面积比例 / %	夏季用水定额 (L · m ⁻² · d ⁻¹)	冬季用水定额 (L · m ⁻² · d ⁻¹)
居住区用地	1	30	3	3
公共建筑用地	1	35	3	3
工业用地	0.6	35	1.2	1.2
仓储用地	0.1	35	1.2	1.2
公共绿地	1	75	2	0.6
防护绿地	0.95		1	0.3
道路	0.65	35	1.5	1.5

对于集中出流,水体回补部分直接从再生水厂就地回补至邻近的水体,不参与管道输送;工业回用水则作为集中流量将其直接累加至所在的节点。

3 服务分区

再生水厂向城市再生水管网供水时,其服务分区的划分与其作为污水处理厂时进行污水收集的服务范围有所不同。污水处理厂一般位于其服务范围的下流,若按原有服务分区进行再生水供水,为满足末端节点的压力要求可能造成服务分区内管网压力普遍过高的情况。北京市区内存在多个污水处理厂,所以可利用水厂之间的相互协调对再生水的供水分区进行重新划分。再生水厂供水分区的划分原则为:

尽量避免由地面高程低的再生水厂向地面

高程高的区域供水;

供水边界尽可能结合自然水体边界和行政分区进行划分;

供水服务分区内的再生水需水量应与分区内的供水能力相匹配;

再生水服务分区之间应有管道连接以保证供水安全;

对于管网中地面高程过高的区域可考虑增设加压泵站。

根据以上原则,对原有污水厂的服务分区进行调整并将之作为再生水厂的服务范围,结合地形及行政区划边界,除五里坨再生水厂由于位于山地地区作为独立分区外,利用 GIS 的要素合并功能将再生水管网重新划分为 4 个子区域(见图 3),区域之间通过阀门形成弱连接,以保证整个管网的供水安全性。



图 3 再生水厂服务分区划分

Fig 3 Divisions of reclaimed water network

4 管网水力计算

在 GIS 环境中引入管网水力计算模型来实现对管网进行水力计算的功能。水力计算模块基于 EPANET 2.0 提供的计算工具箱 EPANET Toolkit, 主要进行了数据输入、输出代码的重写, 将原模型中通过数据文件读、写数据的方式改为直接读取再生水回用管网 GeoDatabase 数据的方式, 计算完毕后再将结果写回数据库。对再生水厂回用水规模的计算结果见表 2。

通过管网水力计算, 对各再生水厂的供水扬程进行相应调整, 以满足最不利点的自由水头 150 kPa 的规划设计要求。其中, 由于第 4 子区域的再生水回用量大且区域内的高程差距较大, 而再生水厂又大都位于地势较低的地区, 造成供水扬程过高,

因此在该区域中部增设加压泵站, 以降低再生水厂的供水压力, 在确保供水可靠性的前提下降低运行成本。

表 2 再生水厂规划回用水规模

Tab 2 Planning capacity of reclaimed water plants

水厂名称	远景建设规模 ($m^3 \cdot d^{-1}$)	管网回用水量 ($m^3 \cdot d^{-1}$)	夏季最大水体回补量 ($m^3 \cdot d^{-1}$)	再生水回用率 /%
卢沟桥	80 000	70 000	10 000	100
小红门	600 000	300 000	0	50
郑王坟	220 000	178 000	22 000	91
方庄	40 000	40 000	0	100
吴家村	70 000	40 000	30 000	100
第六水厂	170 000	170 000	0	100
高碑店	1 000 000	280 000	0	28
田村路	20 000	20 000	0	100
五里坨	45 000	40 000	0	89
酒仙桥	200 000	176 000	4 000	90
东坝	75 000	45 000	0	60
门头村	5 000	5 000	0	100
万泉庄	100 000	100 000	0	100
北小河	100 000	78 000	22 000	100
清河	550 000	300 000	0	81.8
北苑	70 000	35 000	0	50
肖家河	20 000	0	20 000	100
首钢	50 000	50 000	0	100
合计	3 415 000	1 927 000	108 000	59.6

注: * 表示冬季不向再生水管网中供水。

经过计算调整后, 管网中水压分布较为均匀, 管道压力均位于合理范围内。采用冬季工况(绿地浇洒、河湖补水量减少, 部分再生水厂减少供水量)进行校核计算, 结果表明规划方案合理, 满足设计要求。

5 再生水回用管网水质模拟

再生水水质是公众关注的敏感问题, 经过管网的运输, 再生水水质可能会发生进一步变化。为模拟规划管网中的水质变化, 需计算管网中各节点的水龄。节点水龄是指再生水由水厂流至指定节点所花费的时间, 是反映管网中水质变化的一个重要指标。根据规划管网的节点用水量及管网分区情况, 分别计算冬、夏季工况下的节点水龄。在当前所规划的 DN400 以上的管网中, 夏季的节点最高水龄为 18.8 h, 冬季的则达 68 h, 其原因在于冬季绿地浇洒、水体回补等用水量减少, 管网中再生水量随之减少, 管道内再生水流速降低, 导致节点水龄显著延

长。

根据文献资料,市政杂用的再生水出厂时的余氯浓度应保持在 $1 \sim 3 \text{ mg/L}$ ^[6,7],分别以 $1, 3 \text{ mg/L}$ 作为出厂水余氯浓度,根据文献中关于余氯衰减的反应动力学常数 k_b (水体衰减系数)、 k_w (管壁衰减系数)并结合再生水的出厂水质,对管网中的余氯衰减情况进行模拟。夏、冬季工况下管网中余氯浓度随节点水龄的变化情况如图 4、5 所示。

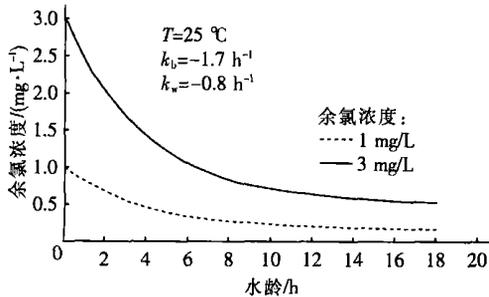


图 4 夏季工况时管网余氯衰减情况

Fig 4 Simulation of chlorine decline in summer

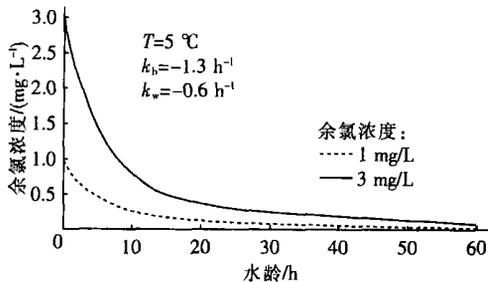


图 5 冬季工况时的余氯衰减情况

Fig 5 Simulation of chlorine decline in winter

由图 4、5 的模拟结果可知,余氯在再生水管网中的衰减相当迅速。由于管网末梢的管道直径一般在 50 mm 以下,相应的节点水龄会进一步延长,余氯在 $\text{DN}400$ 以下的管道中会出现持续衰减,为保证再生水的水质,再生水的出厂水余氯浓度在夏季应控制在 3 mg/L 以上,在冬季则应控制在更高的水平上。

6 结论

以 GeoDatabase 作为支持再生水回用管网规划的数据模型,可以将街区、土地利用规划、污水处理厂规划等大量相关数据信息集中存储,并通过

坐标转换存储在统一的空间坐标系统下,极大地方便了各类规划数据的管理。

基于土地利用规划和泰森多边形划分的节点回用水量统计方法可以快速、准确地对管网中各节点的再生水回用水量进行统计,具有较高的实用性。

将 GIS 与水力计算模型相结合,对管网进行分区,并以夏、冬季典型工况进行水力计算,对于高程相差较大的区域,采用设置增压泵站的方式来降低水厂的供水压力,减少运行费用。

由于冬季用水量显著减少,造成管网中再生水流速降低、节点水龄显著增大,管网中的余氯消耗也随之增大,为保证再生水回用系统的供水水质,冬季工况下应适当加大出厂水的余氯浓度。

参考文献:

- [1] 金兆丰,王健. 我国污水回用及发展趋势 [J]. 环境保护, 2001, (11): 39 - 41.
- [2] 武晋生,张鸿涛. 污水回用系统规划研究概论 [J]. 环境保护, 1999, (12): 40 - 42.
- [3] 周军,王佳伟,应启锋,等. 城市污水再生利用现状分析 [J]. 给水排水, 2004, 30(2): 12 - 17.
- [4] Wang B, Wang L. Case studies on municipal wastewater reclamation and reuse in China [J]. Water Sci Technol: Water Supply, 2003, 3(3): 117 - 124.
- [5] 信昆仑,孙俊楠,贾海峰,等. 基于 GIS 的污水回用管网节点用水量统计方法 [J]. 给水排水, 2004, 30(8): 100 - 103.
- [6] Funamizu N, Iwamoto T, Takakuwa T. Decline of residual chlorine in artificial stream flow sustained by reclaimed wastewater: field study in Sapporo [J]. Water Sci Technol: Water Supply, 2003, 3(3): 79 - 84.
- [7] Kiene L, Lu W, Lóí Y. Relative importance of the phenomena responsible for chlorine decay in drinking water distribution systems [J]. Water Sci Technol, 1998, 38(6): 219 - 227.

电话: (021) 65985869

E-mail: xkl@tongji.edu.cn

收稿日期: 2006 - 11 - 01