

给水管网节点用水量生成器设计*

曹加亮^{1,3}, 谢善斌^{2,3}, 刘遂庆³

(1. 浙江绿城建筑设计有限公司, 杭州 310007;

2. 丹华水利环境技术(上海)有限公司, 上海 200032;

3. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘 要 节点用水量估计是给水管网模型中最重要因素之一, 节点用水量既具有确定性特征, 又具有随机性特征, 有必要对节点用水量进行分析和建模。从实践经验和理论计算相结合角度提出应用重采样技术, 概率密度分布拟合方法, 参数最大似然估计方法确定各节点各时段用水量的概率密度分布函数; 基于该概率密度分布函数, 应用重采样技术可以自动生成节点用水量, 取得满意结果。

关键词 给水管网模型 节点用水量 重采样 概率密度分布拟合 最大似然估计

给水管网模型中, 节点用水量估计对模型校准, 模型预测以及基于模型的工业应用有较大影响。现阶段节点用水量估计主要有两种方法: ①依据管网总用水量历史测量数据, 应用回归分析, 时间序列分析等统计方法对该用水量测量数据进行分析, 并应用一定方法计算用水量的时间分布和空间分布(即节点用水量的时序过程)^[1,2]; ②对用水终端用户或用水器具进行观测, 得到用水事件发生频率, 持续时间, 流量强度等数据, 应用泊松矩形波模型(Poisson Rectangular Pulse)^[3]或者最终用户模型^[4]模拟用户(或用水器具)用水过程, 将各用户(或各用水器具)用水过程汇聚到对应节点, 从而得到该节点用水量过程, 应用该方法可以模拟小时间尺度(秒)和小空间尺度(单个用户)的节点用水量过程。这两种方法分别从宏观和微观的角度对用户用水情况进行分析, 取得比较好的结果。

实际应用中, 用户用水量具有确定性和随机性

双重特征, 方法①不能有效分析节点用水量的随机性; 而方法②需要采集大量用户(或用水器具)的用水数据, 并且需要对用水区域内人口, 用水器具(或用户)分布密度进行估计, 在实际应用中存在较多约束条件和困难。

用户基准用水量(即平均时用水量)具有相对稳定性, 节点用水量不确定性主要体现为用水模式系数的不确定性。文献^[5]给出了用户用水模式系数不确定性分析, 应用概率密度分布函数描述用水模式系数(不)确定性特征, 即相同用水条件下, 同一时段同一类型用户用水模式系数可以不同, 但其服从给定的概率密度分布函数, 传统意义上的用水模式系数可以表述为最大概率用水模式系数或者某种置信度情况下的用水模式系数。基于该观点, 本文提出一种新的节点用水量计算方法, 即节点用水量生成器方法, 按照以下步骤计算节点用水量: ①根据用户用水模式系数概率密度分布函数随机生成(即重采样, 可以应用

* 基金项目: 1. 国家科技支撑计划项目“小城镇饮用水输送系统水质保障技术研究”(2006BAJ08B03)

2. 国家水体污染控制与治理科技重大专项: “饮用水安全区域联动应急技术与示范”(2008ZX07421-006)

MATLAB 统计工具中的随机数发生器或编程实现^[6] 各用户用水模式系数 (同一类型用户用水模式系数可能不同); ②根据用户基准用水量以及步骤①中得到的用水模式系数计算节点用水量; ③根据步骤①, ②多次重采样, 生成节点多种可能用水量, 应用概率密度分布拟合和参数最大似然估计技术 (可以应用 EASYFIT 软件^[7] 或者编程实现) 得到节点用水量概率密度分布函数; ④所生成的节点概率密度分布函数即为节点用水量生成器, 应用重采样技术可以自动生成相应节点用水量, 其满足该节点用水量概率密度分布函数, 具有确定性特征和随机性特征, 可以用于分析管网运行的稳健性和鲁棒性。

1 节点用水量分析

节点用水量可表示为:

$$D_{s,t} = \sum_{k=0}^{k=K} (d_k * m_{k,t})_s \quad (1)$$

其中: $D_{s,t}$ 表示 S 节点 t 时段的节点用水量; d_k 表示 S 节点供水的第 k 类用户基准用水量; $m_{k,t}$ 表示第 k 类用户 t 时段用水模式系数值; K 为 S 节点供水的用户类型总数;

d_k 可以应用 GIS 系统将用户营业收费 (或水表节点读数) 数据绑定到对应模型节点, 并做相应均值处理得到^[2], 该值具有稳定性, 体现用水量确定性特征, 其值与时刻 t 无关, 只与用户用水类别以及用户空间位置 (节点号) 相关。

用水量具有随机性, $m_{k,t}$ 为一个区间范围, 而不仅仅是一个值^[5], 文献^[5] 给出了 $m_{k,t}$ 概率密度分布函数的计算方法。根据 $m_{k,t}$ 的概率密度分布函数, 应用重采样 (随机数发生器)^[6] 技术, 可以自动生成用水模式系数值。这样, 根据方程 (1) 就可以计算节点用水量 $D_{s,t}$ 值。

2 节点用水量生成器设计

根据以上分析, 节点用水量生成器设计步骤如下:

①应用 GIS 系统将用户营业收费 (或水表节点读数) 数据绑定到对应模型节点 s 上, 并进行均值

处理, 计算 s 节点 k 类型用户平均小时基准水量 d_k ($k=0 \cdots K$)。

②根据文献^[5] 所述方法, 计算用户用水模式系数概率密度分布函数。

③根据步骤②中所得到的用户用水模式系数概率密度分布函数, 应用重采样技术^[6], 自动生成 k 类型用户 t 时段用水模式系数 $m_{k,t}$; 并根据步骤①中所得到的节点 k 类型用户基准水量 d_k , 应用 (1) 式计算 t 时段 s 节点用水量 $D_{s,t}$ 。

④不断重复步骤③, 得到用水模式系数多次采样下 s 节点 t 时段用水量, 可以绘制成 s 节点 t 时段用水量概率密度分布柱状图。

⑤假定 s 节点 t 时段用水量符合某种概率密度分布; 对 s 节点 t 时段用水量进行概率密度分布拟合, 计算相关概率密度分布参数; 并进行相应参数最大似然估计和假设检验, 接受或者拒绝原假设; 生成 s 节点 t 时段用水量概率密度分布函数 (可以应用 EASYFIT 软件实现^[7] 或编程实现)。

⑥不断重复步骤③~⑤, 计算各节点各时段用水量概率密度分布函数及相应分布函数参数 (最大似然估计)。

⑦步骤⑥中所得到的各时段各节点用水量概率密度分布函数即是节点用水量生成器, 应用重采样技术^[6], 即可自动生成各节点用水量, 所生成节点用水量满足该节点该时段的概率密度分布函数规则, 既体现了节点用水量的确定性规则, 也体现了节点用水量的随机性规则。

3 实例分析

实例为 SZ 市工业园区^[5], 园区中各类型用户各时段用水模式系数概率密度分布函数按照文献^[5] 中所述方法计算, 节点各类型用户基准用水量根据营收系统得到^[2], 下面以管网中 S 节点 T 时段用水量概率密度分布函数计算为例来说明节点用水量生成器设计, 表 1 为根据文献^[5] 计算方法得到的 S 节点 T 时段各类型用户用水特征 (包括基准水量和用水模式系数概率密度分布函数)。

表 1 S 节点 T 时段各用户类型用水特征

用户用水类型	基准水量	T 时段用水模式系数 概率密度分布函数	T 时段用水模式系数 概率密度分布函数 参数
类 1	20	均匀分布	min=1.0 max=1.5
类 2	15	高斯分布	$\mu=1.5, \sigma=0.4$
类 3	25	高斯分布	$\mu=1.2, \sigma=0.3$

根据表 1 中的各类型用水模式系数概率密度分布函数，应用重采样方法^[6]分别对类 1，类 2，类 3 用水类型的用水模式系数进行自动抽样试验，抽样次数取 200 次，抽样结果如图 1，图 2，图 3 所示，根据表 1 数据和抽样生成的模式系数值，应用方程（1）计算，得到 S 节点 T 时段用水量，并根据第 3 节中步骤④，步骤⑤所述方法，绘制 S 节点 T 时段用水量概率密度柱状图，以及进行相应的概率密度分布函数拟合和参数最大似然估计，具体成果如图 4 所示。

图 4 中 S 节点 T 时段用水量概率密度分布函数为高斯分布函数，参数最大似然估计为 $\mu=78.0596$ ， $\sigma=9.59812$ 。图 5 为用水量累积概率分布图，拟合效果良好。应用下述 3 种假设检验方法检验该分布拟合：Kolmogorov-Smirnov 检验，P 值为 0.9939，检验统计量计算值为 0.02917，小于显著性水平为 0.05 的临界值 0.09603；Anderson-Darling 检验，检验统计量计算值为 0.18709，小于显著性水平为 0.05 的临界值 2.5018；Chi-Squared 检验，P 值为 0.93531，检验统计量计算值为 2.3877，小于显著性水平为 0.05 的临界值 14.067。这些检验都不能拒绝该高斯分布假设，因此，可以接受该假设，用该高斯分布表示 S 节点 T 时段用水量的概率密度分布函数，表达其用水量特征。根据该概率密度分布函数，应用重采样技术^[6]，可自动生成节点用水量，图 6 为应用重采样技术自动生成的 S 节点 T 时段用水量，从这个意义上来说，可以认为该节点用水量概率密度分布函数就是一个节点用水量生成器。比较图 4 和图 6（这两个图都表示 S 节点 T 时段用水量特征），这两个图大致相同，但又不尽相同，这正体现了用水量的确定性特征和不确定性特征：其概率密度分布函数是相同的，但是每次采样的结果一般不同。

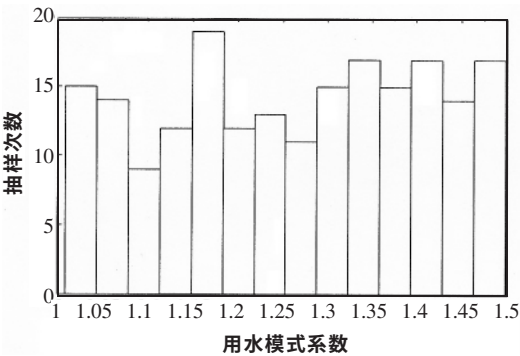


图 1 类 1 用水模式系数抽样 (抽样次数 200 次)

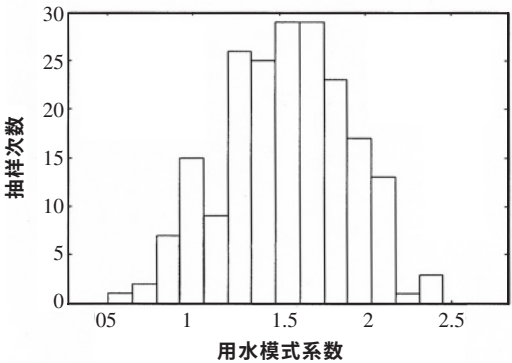


图 2 类 2 用水模式系数抽样 (抽样次数 200 次)

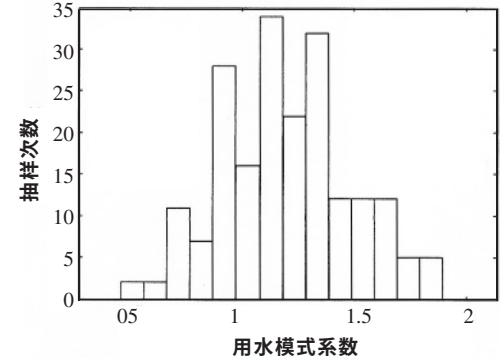


图 3 类 3 用水模式系数抽样 (抽样次数 200 次)

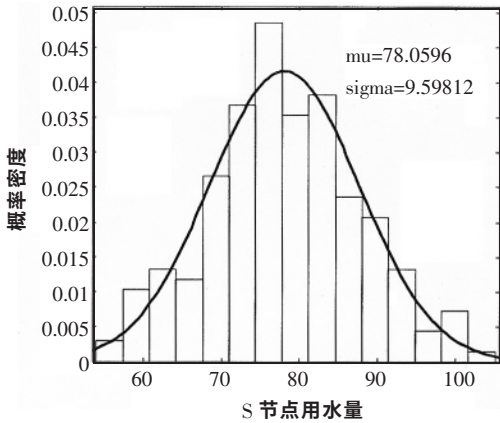


图 4 S 节点 T 时段用水量概率密度分布函数拟合图

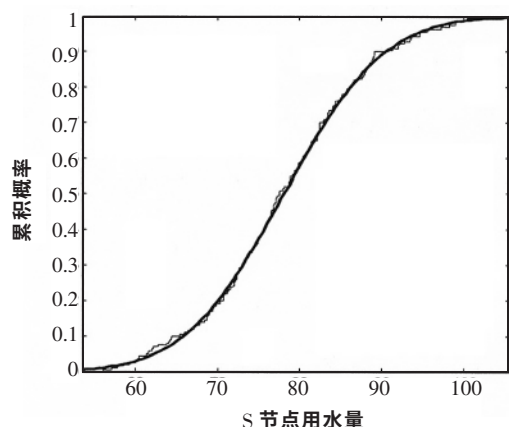


图5 S节点T时段用水量累积概率分布函数拟合图

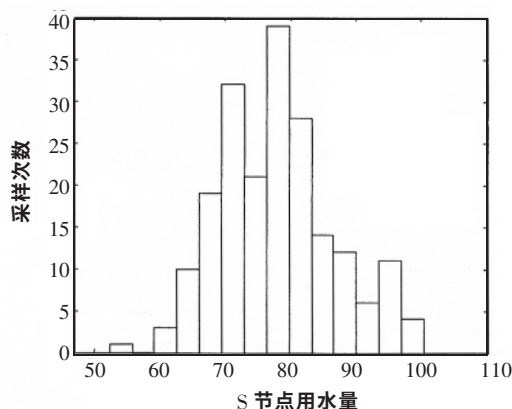


图6 S节点T时段用水量重采样图(采样次数200)

4 3种节点用水量模型比较与分析

①前言中所述方法①模型更倾向于是一种“设计”水量模型,所生成节点用水量是节点某种“设计”状态下的用水量,相当于本模型中的节点时段最大概率用水量(在本实例分析中S节点T时段最大概率用水量为78.0596)概念,其不考虑节点用水量可能的波动,如:其不能给出特定置信度(90%,95%等)条件下的节点用水量变化范围,该方法对于相同的输入数据,其预测水量是相同的。

②前言中所述方法②以及本模型是一种“随机”水量模型,即使是相同的输入数据,其预测水量一般也不相同,但是要满足节点用水量概率密度分布规则,这两种用水量模型可以作为节点水量发生器,用于测试和确认管网设计方案或运行方案的可靠性和鲁棒性,以及发现管网运行管理中可能存在的问题。

③与方法②相比,本模型优点在于所需数据量

少,不需要采集大量用户(或用水器具)的用水数据,也不需要用水区域内人口,用水器具(或用户)分布密度进行估计,只需要测量一定数量特征用户的用水数据,进行分析,得出其用水模式的概率密度分布函数,然后再结合水司GIS系统中的营收数据(用于计算基准用水量的空间分布),即可计算节点用水量概率密度分布函数;由于所需数据量较少(其与方法所需数据量相同,但是方法的分析结果没有包含用水量的不确定性特征,产生一定的信息损失),在实践中可行性强,具有应用价值,

④本模型也可以作为一种“设计”水量模型使用,根据要求产生所需的各种“设计”水量(最大概率用水量,95%置信度峰值用水量等),如:在设计管网运行方案时以节点最大概率用水量作为管网运行设计水量,然后,优化管网运行规划,再应用本模型随机产生节点用水量对该方案进行测试和微调,以实现管网运行的鲁棒性最优化^[8]。

⑤本模型同时具有方法模型的设计性特征和方法②模型的随机性特征,所需数据量较少,包含信息量大,实践可行性强,这是本模型主要优点。

5 结论与建议

(1)节点用水量概率密度分布函数可用于自动生成节点用水量,所生成的节点用水量既具有确定性特征,又具有随机性特征,符合用户用水的实际情况;可以应用假设检验方法,应用节点用水量概率密度分布函数判断节点用水量是否合理,判断在某种置信度情况下节点是否存在异常用水。

(2)可以应用节点用水量生成器自动生成各节点用水量,校验管网运行方案的安全性,并对可能的安全薄弱点采取相应措施,使管网运行更为安全稳健。

参考文献

- 1 Ormsbee, L. E. and K. E. Lansey (1994). "Optimal-Control of Water-Supply Pumping Systems." Journal of Water Resources Planning and Management-Asce 120 (2): 237-252.
- 2 周玉文, 谢善斌, 汪明明 应用GIS和聚类分析技术计算给水管网节点用水量[J] 北京工业大学学报, 2008,34 (11): 1145-1148.
- 3 Buchberger, S. G. and Wells, G. J.L(1996). Intensity, duration and frequency of residential water demands, J. Water Res. Pl., 122(1), 11-19.

- 4 Blokker, E. J. M. and J. H. G. Vreeburg (2005) Monte Carlo simulation of residential water demand: A stochastic end-use model, Anchorage, AK, United states, American Society of Civil Engineers.
- 5 谢善斌, 金波, 刘遂庆 基于不确定性度量的给水管网用户用水模式分析 [J] 中国给水排水, 2011.27 (7): 59-62.
- 6 朱晓玲, 姜浩 任意概率分布的伪随机数研究和实现 [J] 计算机技

术与发展, 2007.17 (12): 116-118.

7 <http://www.mathwave.com/easyfit-distribution-fitting.html>.

8 http://en.wikipedia.org/wiki/Robust_optimization.

△作者通讯处: 310007 浙江省杭州市西湖区玉古路 168 号浙江武术交流中心大厦 12F 浙江绿城建筑设计有限公司



太阳能污泥干化设备引领环保污泥处理潮流

在工业发达的国家和地区, 市政污泥的后处理成为越来越严重的问题。采用带机或离心机进行机械性脱水处理, 市政污泥的固含量最高只能达到 30%DS。若想进一步提高污泥固含量, 只能采取热干化处理工艺, 这一过程需要大量热能。而利用太阳能进行干化处理, 只需少量辅助电能, 操作费用极低。在进行太阳能干化处理时, 污泥被输入温室干化车间, 有规律地进行翻泥处理, 最后作为干化颗粒输出, 污泥体积可以缩减 70%—80%, 并且市政污水处理厂的运转费用大大降低。

太阳能污泥干化设备原理

污泥干化意味着将污泥中的液态水分转化成蒸汽进入空气, 为了克服或消除各种水分的结合力, 必输入能量形成蒸发驱动力。这里的蒸发驱动力是指污泥中水蒸发压力和空气水蒸发压力之间的差值。太阳能干化装置的主要目的是通过太阳辐射能量和空气非饱和程度, 将污泥水蒸发出来。太阳能干化设备主要是通过以下技术手段来实现:

(1) 尽可能多地让太阳辐射能直接到达污泥表面, 通过污泥吸附转化成热能;

(2) 尽可能多地通风, 使大量非饱和空气在污泥表面上流动, 带走污泥中的水分。

太阳辐射能在黑色污泥表面大量被吸附, 导致污泥内部温度升高, 污泥和环境空气之间的水蒸发能力差也会相应变大。空气中的水分必须尽快从干化温室排出, 以保证在空气内的反向水蒸发能力不会上升太快。水分随着空气以水雾等形式排出室外, 单位时间内向室外排出的水分与季节有关。从 3 月至 1 月排出的水分约占全年总量 70%, 而在冬季排出水分约占总量的 30%。太阳能自然干化污泥的最高固含量可达到 09%D S 以上, 这一点与其他热干化工艺没有差别。德国的统计数据表明, 在纯太阳能干化情况下, 平均每年水蒸发能力为 800kg/m。

太阳能干化设备的构造

太阳能干化设备主要由温室、翻泥机、通风设备、测试仪器和电控系统等部分组成。具体描述如下, 柏油地板或水泥地板与普通马路的构造完全一样, 干化车间的左右两侧, 各建造高度约 20cm 的轨道, 用于阻拦污泥, 同时在侧墙上安装翻泥机行走轨道。

以温室形式建造透光大棚, 覆盖材料可以采用含气薄膜, 塑料阳光板或单层安全玻璃。在正常运转情况下, 干化车间的端墙可通过拉门完全打开透气。

太阳能干化装置的核心部件为翻泥机, 可以沿整个干化车间的宽度前进后移, 并对污泥进行 360 整体旋转翻抛, 翻泥机具有污泥翻滚, 污泥切割! 污泥混合和污泥运输等多种功能。翻泥滚筒的转速可以自由设置, 并根据气象条件进行时间控制设置。

通风系统由一些环风工艺鼓风机组成。根据“有风时晾衣快”的原则, 将未饱和的热空气吹到污泥表面, 同时打断污泥表面形成的饱和冷空气层, 形成混流效应。此外, 在干化车间的侧墙下部开孔, 暖房上部设置天窗, 使整个干化车间形成热导流通风系统。

整套通风系统和机械性翻泥系统由电脑控制, 全自动运转。在干化车间的各处设置温度, 湿度传感器和太阳光辐射强度仪。根据外部气象条件的变化, 控制系统会自动切换相应的动作模块, 使通风系统和翻泥系统在干化车间内按最佳方式运转操作。此外, 在干化车间的房顶配置气象站, 监测风速和降雨情况, 同时控制天窗的打开和关闭。

太阳能污泥干化处理经济性分析

干化处理后产生的干泥颗粒, 其热值相当于褐煤, 普通热干化处理工艺中, 必须消耗大量化石燃料才能将污泥中的水分蒸发而使污泥得到干化处理, 所需要的单位能耗为 800—1200kw/t 蒸发水; 而采用太阳能装置进行污泥干化处理时, 能耗可降低至 20—30kwh/t 蒸发水。

工艺的核心是利用廉价太阳能和地热能 (或污水) 进行污泥干化, 成本低。干化后的污泥可用于锅炉掺烧, 也可填埋或作为其他用途。如果焚烧比之直烧或利用烟气干化更环保, 运行成本更低。无论直接掺烧还是利用锅炉尾气干化其运行都是负效益需要增加燃料成本, 而利用太阳能干化污泥几乎不需要成本, 干化后的污泥热值能达到 2000 大卡左右, 可以和垃圾或煤碳一起掺烧进锅炉焚烧, 可大量节省燃料。低碳环保、经济效益和社会效益巨大。

(摘自 www.c-water.com.cn, 2012-4-26)