

doi:10.11918/j.issn.0367-6234.2015.06.006

区域供水管网盲源分离漏失量研究

高金良¹, 李娟娟¹, 郑成志¹, 张昭君^{2,3}, 阮 婷^{2,3}, 庄永伟¹

(1.哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 150090 哈尔滨; 2.广东粤海控股有限公司, 518021 广东 深圳;
3.广东粤港供水有限公司, 518021 广东 深圳)

摘 要: 目前,国际上对漏失量化理论研究较少,建立的管网漏失模型多为估算反推微观模型,未能求出供水管网整体精确的物理漏失水量,无法对供水管网漏失现状进行评价,为此,基于供水管网漏失专用实验平台进行不同用户、不同漏点、不同特性管网的漏失模拟,并将盲源分离理论应用到供水管网漏失分离中,对实验管网获取的在线监控数据用快速独立分量分析算法(FastICA)进行处理,成功分离出漏失量.为供水行业制定有针对性的供水管理及技术措施,降低漏失量、提高管网控漏水平提供依据.

关键词: 供水管网; 漏失实验模拟; 盲源分离; 快速独立分量分析

中图分类号: TU991. 33 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2015)06-0033-05

Study on leakage of regional distribution network using blind source separation

GAO Jinliang¹, LI Juanjuan¹, ZHENG Chengzhi¹, ZHANG Zhaojun^{2,3}, RUAN Ting^{2,3}, ZHUANG Yongwei¹

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China;
2. Guangdong Holdings Limited, 518021 Shenzhen, Guangdong, China; 3. Guangdong Yue Gang Water Supply Co., Ltd., 518021 Shenzhen, Guangdong, China)

Abstract: At present, study on the theory of quantify leakage is few internationally, and the establishment of water supply network leakage model is used more for estimating microscopic model but not used for calculation of whole physical leakage in water supply network. This paper modeled leakage of different consumers, different characteristics of leakage by water supply network leakage experimental platform. The theory of blind source separation was applied to leakage separation, and the data obtained from on-line monitor system was processed by fast independent component algorithm to get leakage separation. This provides powerful basis for taking measures of water supply network management, reduces leakage and improves level of controlling leakage.

Keywords: water distribution network; leakage experiment simulation; blind source separation; fast independent component analysis

城市给水管网中的产销差水量包括未收费合法用水、表观漏损和物理漏损;漏损水量包括表观漏损和物理漏损.表观漏损是由于用户水表计量不准确、收费或财务错误、未经授权的非法用水等损失的水量.物理漏损是配水管网漏失及城市蓄

水设备渗漏及溢流到外界的水量.供水管网中漏损水量占产销差的比例及物理漏失占漏损水量的比例至今未能准确计算.进行压力调度控制、漏点快速抢修及对长期服役的管网进行改造均是控制漏损的措施,但是针对各城市的产销差和漏失现状采取哪种针对性的控漏措施尚不明确,制约了供水管网降漏水平的提高.各地供水管道的现场实际情况复杂,小区域管网的漏失特征难以准确掌握,造成缺乏有效的针对性控漏措施.国际上常用的计算漏失量的方法并不能从根本上降低漏损率^[1],而且需要很多的流量计观测漏失量和用水量,消耗大量

收稿日期: 2014-04-20.
基金项目: 国家自然科学基金(51278148); 欧盟第七框架“玛丽·居里行动”计划(PIRSES-GA-2012-318985); 广东省教育部产学研结合项目(2011A090200040).
作者简介: 高金良(1971—),男,副教授.
通信作者: 高金良, gjl@hit.edu.cn.

关闭,分别对不同用水模式的用户、不同面积比的漏口、不同特性的管网进行漏失模拟,用流量计对管网流量进行计量,采用体积法计量用水量与漏失量.

2.3.2 用水量和漏失量独立性验证

在给水管网漏失模拟实验室中,将节点 6、7、10、11 作为供水管网用户用水量的接入点,分别标记为用户 25#、26#、27#、28#,从节点接出来的用户如图 2 所示.

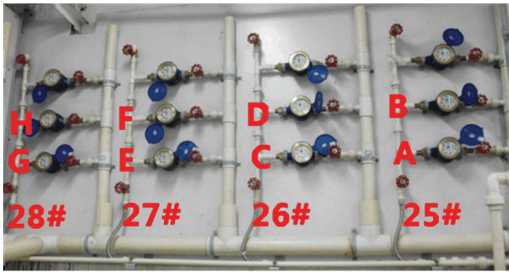


图 2 用水点与漏点示意

为了验证漏失量和用水量的独立性,将 25# 中的 A 流量计作为漏点,观测 8 组用水量值和漏失量值,结果见表 1.

表 1 用水量和漏失量值 $L \cdot s^{-1}$

组数	漏失量	用水量	总水量
1	0.436	0	0.436
2	0.427	0.218	0.645
3	0.434	0.326	0.645
4	0.428	0.483	0.911
5	0.425	0.821	1.246
6	0.433	0.903	1.336
7	0.423	0.965	1.388
8	0.436	1.225	1.661

通过卡方独立性检验验证得用户用水量与漏失量之间相互独立.

2.3.3 用水量非高斯性验证

以实验室供水管网为平台,改变管网特性,分别实测 1#、2#供水管网实际用水量分布,结果见表 2.

表 2 1#、2#供水管网用水量分布 $L \cdot s^{-1}$

组数	1#管网用水量	2#管网用水量
1	0	0.359
2	0.427	0.596
3	0.831	0.849
4	1.207	0.699
5	0.952	0.545
6	0.619	0.990
7	0.668	1.160
8	1.066	1.336
9	1.034	1.038
10	1.359	0.742
11	1.157	1.109
12	0.630	1.419

通过计算管网的峭度值得用户用水量呈非高斯性.

3 应用盲源分离理论分离漏失量

区域供水管网漏失量盲源分离问题仅依靠观测到的流量或压力信号分离漏失量,若缺少一定的先验知识通常无解.为使漏失量盲源分离问题可求解,做如下假设^[10]:1)用水量与漏失量是均值为零的实随机变量,用水量与漏失量之间相互独立,且二者中最多只允许一个符合高斯分布;2)采集流量信号的数目大于或等于用水量和漏失量信号的数目^[11];3)混合矩阵 A 为列满秩矩阵,即 A 的逆矩阵 A^{-1} 存在.

快速独立分量分析算法(FastICA)是在独立分量分离算法的基础上提出的快速分离信号的算法,其目标函数为非高斯性最大化.迭代算法采用固定点原理^[2],每次从观测信号中分离出一个独立成分.在上述假设的条件下,给出混合矩阵 A 的唯一解,实现漏失量的提取.

将快速独立分量分析算法用于管网的漏失分离中.首先,对采集的管网实测流量信号进行归一化、白化处理,并将其作为输入值,利用 FastICA 对流量信号进行分离得到分离用水量趋势;其次,以分离用水量和管网压力为输入值,通过建立水量平衡方程,反复调整并计算管网节点流量,求解幅值不确定性问题以得到分离用水量的值;最后,将总水量和分离用水量作为已知值,差值法求得分离漏失量的值.漏失量快速独立分量分析算法步骤见图 3.

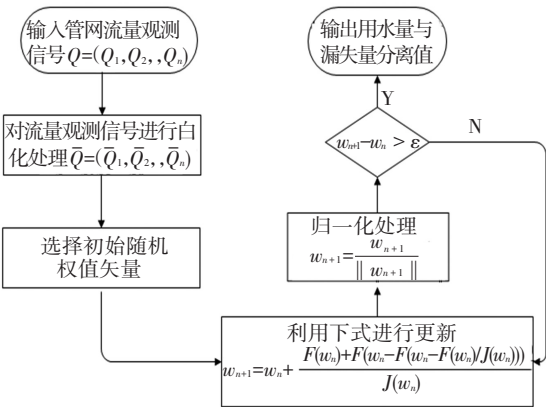


图 3 漏失量快速独立分量分析算法

4 漏失分离数据处理

以单水源环状管网漏点、调节用户水量 12 次为例进行漏失量的分离.采用 SCADA 在线数据库记录供水管网漏失实验平台管道流量,观测信

号 1 代表部分用水量,2 代表总供水量,测得的 3 728 组数据如图 4 所示。

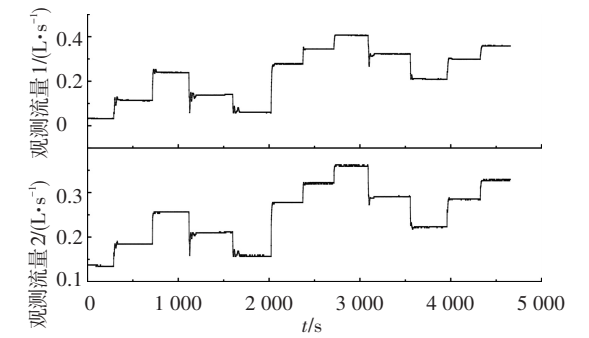


图 4 流量计观测信号

在漏失实验平台漏失模拟实验中,选取有代表性的 4 个节点作为压力监测点,为简化漏失模型,以 4 个压力监测点压力值的平均值作为供水管网漏失实验平台的平均压力.节点的压力结果见图 5.

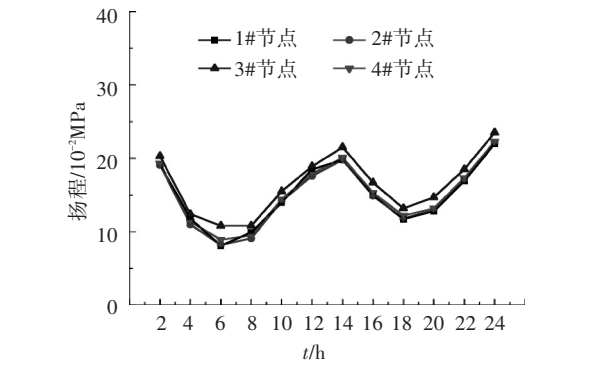


图 5 漏失平台压力监测点压力数据

根据盲源分离理论,对混合信号进行分离前需要对信号进行预处理,即零均值化处理和白化处理.将编写的漏失量快速独立分量分离算法源代码导入供水管网漏失分离软件,对预处理后的信号进行漏失分离.供水管网漏失量快速独立分量分离程序界面见图 6.



图 6 供水管网漏失分离软件界面

经过分离软件的分离得到分离用水量与混合信号的趋势,结果见图 7.

考虑到分离信号 2 与真实用水量变化趋势相同,认为分离信号 2 为用水量分离值,分离信号 1 中包含系统噪音与漏失量等混合信号。

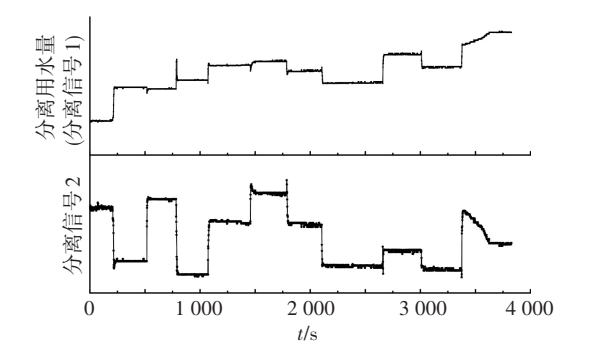


图 7 分离用水量与分离信号趋势

在盲源分离理论的常规应用领域中,经过分离算法分离得到的信号变化趋势即为源信号的估计值,不需要考虑幅值问题.而对于供水管网漏失分离,幅值即为管网实际的漏失水量与用水量,需要确定分离用水量的幅值.充分考虑管网漏失特性,将漏失模型嵌入幅值优化模型,采用遗传算法多次迭代优化用水量幅值求解相关参数.将实验室管网平均压力、管网总流量作为已知值,漏失系数、漏失指数作为漏失模型的未知量;分离用水量作为已知量,幅值平移量、幅值比例系数作为用水模型的未知量,通过建立水平衡方程,优化求解漏失系数、漏失指数、幅值平移量、幅值比例系数.水平衡方程如下:

$$\begin{cases} Q_i = Q_{y_i} + Q_{l_i}, \\ Q_{y_i} = (a_i + x)y, \quad i = 1, 2, 3, \dots, 12. \\ Q_{l_i} = k_i H_i^\beta. \end{cases}$$

式中: a_i 为分离用水量各工况平均值; x 为分离用水量幅值处理平移量; y 为分离用水量幅值处理比例系数(L/s); β 为漏失指数; H_i 为管网平均压力(MPa); Q_i 为管网总流量(L/s); Q_{y_i} 为管网分离用水量(L/s); Q_{l_i} 为管网实际漏失量(L/s).

遗传算法的目标函数为 $Q_i = (a_i + x)y + k_i H_i^\beta$. 采用遗传算法多次迭代优化用水量分离幅值,得到模拟用水量,通过差值法得到模拟漏失量.模拟用水量与真实用水量及模拟漏失量与真实漏失量关系如表 3、4. 可以看出,模拟用水量相对误差范围为 1.51%~16.4%;模拟漏失量相对误差范围为 3.42%~11.87%.采用相似系数作为评价指标,真实漏失量与模拟漏失量相关系数为 0.947,真实用水量与模拟用水量相关系数为 0.929.通过上述相对误差和相关系数评价,认为盲源分离效果较好.

表 3 实际用水量和模拟用水量结果

$t/$ h	实际用水量/ ($L \cdot s^{-1}$)	模拟用水量/ ($L \cdot s^{-1}$)	相对误差/ %
1	0	0.011	—
3	0.372	0.433	16.40
5	0.478	0.412	13.77
7	0.364	0.395	8.47
9	0.864	0.851	1.51
11	1.193	1.102	7.57
13	0.836	0.821	1.79
15	0.421	0.408	2.96
17	0.373	0.360	3.50
19	0.803	0.782	2.67
21	0.533	0.509	4.60
23	1.307	1.222	6.54

表 4 真实漏失量和模拟漏失量结果

$t/$ h	真实漏失量/ ($L \cdot s^{-1}$)	模拟漏失量/ ($L \cdot s^{-1}$)	相对误差/ %
1	0.162	0.173	6.62
3	0.154	0.163	6.05
5	0.130	0.136	4.72
7	0.193	0.212	9.85
9	0.167	0.180	7.81
11	0.142	0.149	4.86
13	0.146	0.151	3.42
15	0.171	0.183	7.28
17	0.173	0.186	7.56
19	0.192	0.214	11.14
21	0.207	0.231	11.87
23	0.156	0.165	5.67

5 结 语

提出一种基于盲源分离方法的供水管网漏失量计算的全新思路.该方法利用快速独立分量分

析算法成功分离出管网流量中的漏失量和用户用水量,并采用相关系数评价分离结果.提出的漏失量盲源分离理论应用于管网漏失分离可行且有效,为下阶段开展降漏工作提供了有力的数据支撑.

参考文献

[1] 张琰. 供水管网漏损分析与漏水量模型建立方法的研究[D]. 天津: 天津大学, 2010.

[2] 毕杨. 基于快速独立分量分析的盲源分离算法研究及应用[D]. 西安: 西安理工大学, 2007:67.

[3] 余先川,胡丹.盲源分离理论与应用[M]. 北京:科学出版社,2011.

[4]周建华, 曲世林, 赵洪宾. 配水管网压力与漏水量关系实验研究[J]. 中国给水排水,2005,8:94-97.

[5] TUCCIARELLI T, CRIMINISI A, TERMINI D. Leak analysis in pipeline system by means of optimal valve regulation[J].Journal of Hydraulic Engineering, 1999, 125(3):277-285.

[6] HIKI S. Relationship between leakage and pressure[J]. Journal of Japan Waterworks Association, 1982(5):50-54.

[7] TABESH M, BURROWS R. Head driven simulation of water supply networks[J]. IJE Transactions A: Basics, 2002,15(1):11-22.

[8] ALMANDOZ J. Leakage assessment through water distribution network simulation [J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2005, 131(6): 458-466.

[9] 李广彪,张剑云,毛云祥.盲源分离中的非高斯性极大准则[J].舰船电子对抗,2005,28(5):33-36.

[10]董晓杰. 基于负熵的独立成分分析算法与应用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.

[11]王明祥. 独立分量分析方法及在图像处理中的应用研究[D]. 上海: 上海大学, 2005:129.

(编辑 刘 彤)