

# 供水管网背景漏失指数研究

代焕芳<sup>1</sup>, 刘书明<sup>2</sup>, 吴雪<sup>2</sup>

(1. 福建省环境保护设计院有限公司, 福建 福州 350012; 2. 清华大学 环境学院, 北京 100084)

**摘 要:** 管线漏损水量的大小与管网特征、压力等均有关,常用的基于百分比的漏损评价指标,如漏损率、漏失率、产销差率等,表征的是某一特定管网条件下的漏损或漏失水量占供水量的百分比,不宜用于不同管网系统间的漏损水平的比较。针对此情况,分析了国际上应用广泛的供水管网漏失指数 (ILI),选取 Y 市 19 个计量分区的数据进行分析,探讨 ILI 在我国的适用性,并通过多元线性回归分析法对 ILI 进行改进,提出了适合我国楼宇计量分区和平房计量分区的真实漏损水量评价指标——供水管网背景漏失指数 (BLI)。BLI 考虑了管网的管长、用户连接个数、管网平均压力,不受供水总量的影响,能够反映管网的真实漏损水平,适用于不同系统间的比较。

**关键词:** 供水管网; 漏损评价指标; 漏失指数; 背景漏失指数

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)11-0059-04

## Research on Background Leakage Index for Water Distribution System

DAI Huan-fang<sup>1</sup>, LIU Shu-ming<sup>2</sup>, WU Xue<sup>2</sup>

(1. Fujian Environmental Protection Design Institute Co. Ltd., Fuzhou 350012, China; 2. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** Pipe characteristics and operating pressures have major impacts on water losses. Commonly applied performance indicators, such as water leakage rate, real loss rate and uncharged water rate, are water losses as percentages of the system supply volume. These indicators can be utilized for specific systems, but are inappropriate for national or international comparisons. The applicability of infrastructure leakage index (ILI) in China was studied through analysis of data from 19 metered districts in city Y. Background leakage index (BLI) was developed based on ILI using multiple linear regression for both building and bungalow. BLI considered the length of pipe network, the number of user connections and the average pressure of pipe network, and it was not affected by the total amount of water supply. BLI could reflect the real leakage level of pipe network and was suitable for comparison among different systems.

**Key words:** water distribution system; water leakage performance indicator; infrastructure leakage index (ILI); background leakage index (BLI)

目前,我国用于评价管网漏损水平的指标主要有产销差率、漏损率、漏失率等。由于管线的漏损水

量大小与管网特征、压力等均有关,这类基于百分比的评价指标仅能表征某一管网条件下的漏损情

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07201002)

通信作者: 刘书明 E-mail: shumingliu@tsinghua.edu.cn

况,不宜用于评价不同水司的漏损水平与漏损措施取得的效果<sup>[1]</sup>。为了推出能对各水司漏损情况横向比较的指标,国际水协在2000年提出了供水管网漏失指数(ILI)的概念。供水管网漏失指数(ILI)是当前的真实漏失水量(CARL)与不可避免真实漏失水量(UARL)的比值,表示的是管网漏失量可降低空间的大小<sup>[2]</sup>。

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad (1)$$

$$UARL = (A \times L_m + B \times N_c + C \times L_p) \times P \quad (2)$$

式中:UARL为不可避免漏失水量或可能达到的最小漏失水量,L/(用户支管·d);A为18 L/(km主干管·d·mH<sub>2</sub>O),表示单位干管长度、单位压力下不可避免漏失水量是18 L;B为0.8 L/(个用户连接管·d·mH<sub>2</sub>O),表示单个用户连接管、单位压力下不可避免真实漏失水量是0.8 L;C为25 L/(km用户连接管·d·mH<sub>2</sub>O),表示单位用户连接管长度、单位压力下不可避免真实漏失水量是25 L;P为管网平均压力,mH<sub>2</sub>O(1 m水柱产生的压力约为9.8 kPa,下同);L<sub>m</sub>为干管管长;N<sub>c</sub>为用户连接管的个数;L<sub>p</sub>为用户连接管管长,用户连接管指的是建筑红线到用户仪表之间的管段。

ILI计算公式中的参数是基于欧洲管网特征、通过组成成分分析法获得的,即根据单位管长或用户连接下的明漏、暗漏和背景漏失水量进行计算得来的,其是否适用于我国供水管网,值得商榷。

### 1 供水管网漏失指数在我国的适用性

图1展示了英国和我国城市管网和用户的连接情况。从该角度来讲,国内外建筑模式、管网结构不同,用户连接管的个数计算无法确定,ILI指标在我国不宜直接应用。

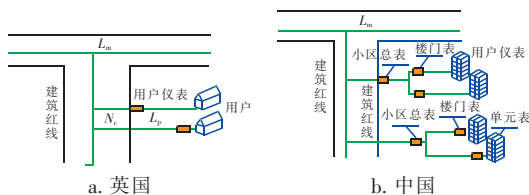


图1 英国和我国供水管网与用户的连接示意

Fig. 1 Connection of water supply network and users in Britain and China

欧洲的建筑模式多为独门独户,即平房,1个用户连接管对应1个用户,用户连接管个数即为户表个数。而在我国,城镇当中的建筑模式大多是多层

公寓楼,每个用户连接管对应多个用户。在计量区内既有小区总表、楼门表,还有单元表、用户表等,用户连接管的个数对应的统计方式存在多种选择。

选取实际管网的数据,以验证ILI在我国的适用性。研究选取我国Y市的6个楼宇计量分区的数据,分别以小区总表个数、楼门表个数、单元表个数作为用户连接个数N<sub>c</sub>。计算ILI值,如表1所示。

表1 我国楼宇计量分区的ILI值

Tab. 1 ILI value of building metrological partitions in China

楼宇计量分区	漏损率/%	供水管网漏失指数 ILI		
		ILI1	ILI2	ILI3
LY1	4	121.7	74.76	46.13
LY2	4	181.0	97.83	58.18
LY3	4	174.4	122.45	81.18
LY4	4	106.5	97.41	89.15
LY5	4	106.9	50.25	30.11
LY6	4	144.9	56.64	30.81

注: ILI1是以小区总表个数作为用户连接个数计算的ILI值;ILI2是以楼门表个数作为用户连接个数计算的ILI值;ILI3是以单元表个数作为用户连接个数计算的ILI值。

各管网的ILI值均远大于国际ILI评定表中的D级标准(ILI>16),所反映的管网漏损水平为极差级,此时控制产销差和管网漏损非常重要,而事实上Y市的漏损管理水平已经达到我国的先进水平,表明计算出的ILI值是不可靠的,ILI指标在我国不宜直接应用。

### 2 供水管网背景漏失指数(BLI)的建立

基于供水管网漏失指数的概念,本研究提出了对供水管网漏失指数进行改进的指标——供水管网背景漏失指数(BLI),供水管网漏失指数是管网漏失水量与不可避免漏失水量的比值,其中不可避免漏失水量是当管网达到一个较为理想的状况时得到的不可避免的漏失水量,包括背景漏失水量、不可避免的暗漏、不可避免的明漏。而当管网达到一个更为理想的状况,其漏失水量仅包括不可避免的背景漏失水量(UABL),此时计算管网漏失水量与不可避免背景漏失水量的比值,即为背景漏失指数。

$$BLI = \frac{CARL}{UABL} \quad (3)$$

根据不可避免的漏失水量公式,可假设不可避免的背景漏失水量同样与干管长度、用户连接个数、用户连接管长、管网压力存在一定的线性关系。

$$UABL = (a \times L_m + b \times N_c + c \times L_p) \times P \quad (4)$$

## 2.1 研究方法

采用回归分析的方法,分别统计不可避免的背景漏失水量、干管长度、用户连接个数、用户连接管长及管网压力并进行回归,得到参数 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 值。

选取我国Y市的19个计量分区为研究对象,并按建筑模式特点将研究区域分为平房计量分区和楼宇计量分区。UABL的统计基于最小夜间流量的监测和用户夜间用水量的估算得到。选取连续31d的每日最小夜间流量均值作为计量分区的最小夜间流量值,居民用户的夜间用水量根据夜间冲刷用水量估算,非居民用户夜间用水量主要通过远传水表获得。Y市不同管径数据存储在智慧水务系统中,管径范围为15~1400 mm,根据干管管径和用户连接管管径分别计算干管管长和用户连接管管长。

对于平房计量分区,1个用户连接管对应一个用户,其入户管径为15~20 mm,入户管长平均约为10 m,其干管管长为管径>20 mm的管线的管长,其用户连接管个数即为用户水表个数。

对于楼宇计量分区,1个用户连接管对应多个用户,小区总管管径大约为200 mm,小区内连接楼门表的管径大约为80 mm,连接单元表的管径大约为50 mm,干管管长和用户连接管管长根据用户连接管起止节点的选择计算管径范围。

我国坐便器冲刷用水量标准( $Q_s$ )为不大于8 L/次,根据南非水研究委员会的标准夜间每小时大概有6%的人会上厕所,按照每户3人,则居民用户夜间用水量( $Q_{NZ}$ )按照用户数( $N_H$ )估算,见式(5)。

$$Q_{NZ} = 3 \times 6\% \times Q_s N_H \quad (5)$$

非居民用户夜间用水量通过远传水表获得。楼宇计量分区,其用户连接个数和干管管长根据后续分析进行确定。各计量分区的平均压力均为28 m,由于用户连接管长和用户连接个数完全相关,故在进行回归时不考虑用户连接管长。

## 2.2 平房计量分区背景漏失指数建立

通过SPSS软件对平房计量分区背景漏失水量

与干管管长和户表个数分别进行相关性分析,其相关系数分别为0.974、0.945,相关性显著,因此得到背景漏失水量与干管管长和户表个数的回归方程,其 $R^2 = 0.96$ ,显著性水平 $< 0.05$ ,拟合结果良好。由于用户连接管管长( $L_p$ )与用户连接管个数( $N_c$ )存在完全相关关系,回归时舍去用户连接管管长( $L_p$ )这一参数,得到回归方程如下:

$$UABL = (0.053 \times L_m + 0.00028 \times N_c) \times P \quad (6)$$

## 2.3 楼宇计量分区背景漏失指数的建立

运用SPSS软件对背景漏失水量、干管管长、小区总表个数、楼门表个数、单元表个数进行相关性分析,其相关性和相关系数显著性水平如表2所示。

表2 楼宇计量分区背景漏失水量与管长和水表数的相关性

Tab.2 Relativity of background water leakage with pipe length and water meter number in building metrological partitions

项 目	背景漏失水量	
	Pearson 相关性( $r$ )	显著性(双尾检验)
干管管长	0.881*	0.020
小区总表个数	0.884*	0.019
楼门表个数	0.504	0.308
单元表个数	0.563	0.245
注: *表示在置信度(双侧)为0.05时,相关性是显著的。		

由表2可知,与背景漏失指数相关性显著的变量是干管管长和小区总表个数,因此选择小区总表个数作为用户连接管个数,由于用户连接管管长与用户连接管个数存在完全相关关系,回归时舍去用户连接管管长这一参数,得到回归方程如下:

$$UABL = (0.222 \times L_m + 0.343 \times N_c) \times P \quad (7)$$

方程的 $R^2 = 0.84$ ,显著性水平 $\text{sigF} = 0.04 < 0.05$ ,拟合结果良好。

## 3 结果与讨论

### 3.1 背景漏失指数在平房计量分区的应用

为了验证平房计量分区背景漏失指数模型的实用性,选取3个平房计量分区分别计算其背景漏失指数,结果如表3所示。

表3 平房计量分区的背景漏失指数

Tab.3 BLI of bungalow metrological partitions

平房计量分区	$L_m/\text{km}$	$N_c/\text{个}$	压力 $P/\text{m}$	$\text{CARL}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	$\text{UABL}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	漏损率/%	BLI
PF11	7.742	222	28	60.45	13.29	4	4.57
PF12	99.547	2635	28	170.01	169.12	4	1.01
PF13	58.632	1157	28	196.65	96.40	4	2.04

由表3可知,3个平房计量分区的漏损率均为4%,从漏损率指标来看,3个区域的漏损状况相当,且无法判断管网的真实漏损状况如何。3个计量分区的真实漏失水量分别为60.45、170.01、196.65  $\text{m}^3/\text{d}$ ,而背景漏失指数分别为4.57、1.01、2.04。虽然PF12计量分区的漏失水量高于PF11计量分区,但是PF12计量分区的背景漏失指数最低,其漏失水量已几乎不存在可降低的空间;PF13计量分区漏

失水平稍高;PF11计量分区的漏失水量最低,但背景漏失指数最高,其漏失水量可降低的空间最大。由此可以看出背景漏失指数更能够反映管网的真实漏失状况,同时可以适用于不同系统间的比较。

### 3.2 背景漏失指数在楼宇计量分区的应用

为了验证楼宇计量分区背景漏失指数模型的实用性,选取6个楼宇计量分区分别计算其背景漏失指数,结果如表4所示。

表4 楼宇计量分区的背景漏失指数

Tab.4 BLI of building metrological partitions

楼宇计量分区	$L_m/\text{km}$	$N_e/\text{个}$	压力 $P/\text{m}$	$\text{CARL}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	$\text{UABL}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	漏损率/%	BLI
LY1	43.68	23	28	2 859.40	492.61	4	5.80
LY2	19.17	23	28	2 017.20	340.33	4	5.93
LY3	94.06	86	28	9 232.20	1 411.52	4	6.54
LY4	20.18	15	28	1 185.80	269.65	4	4.40
LY5	42.06	40	28	2 541.00	646.01	4	3.93
LY6	2.82	8	28	280.40	94.43	4	2.97

由表4可知,研究的6个楼宇计量分区的漏损率均为4%,而其背景漏失指数却不同,背景漏失指数值与管网真实漏失水量的大小无关,而与其真实漏失水量可降低的空间大小有关,反映了不同计量分区的真实漏失水平的不同,适用于不同系统间的比较。

## 4 结论

① 平房计量分区背景漏失水量与干管管长、户表个数相关性显著,建立了背景漏失水量与干管管长(管径 $>20\text{ mm}$ 的管线)、户表个数、管网平均压力的回归模型,模型拟合效果良好,户表个数对应UABL公式中用户连接管个数的概念。

② 楼宇计量分区背景漏失水量与干管管长、小区总表个数相关性显著,而与楼门表个数、单元表个数相关性不显著,小区总表个数更适合作为对应的用户连接管个数。建立了背景漏失水量与干管管长、小区总表个数、管网平均压力的回归模型,模型拟合效果良好。

③ 建立的供水管网背景漏失指数模型在平房计量分区及楼宇计量分区应用效果较好,相比于漏损率和漏失率指标,其无量纲,考虑了管网的管长、用户连接个数、管网平均压力,不受供水总量的影响,能够反映管网的真实漏失水平,适用于不同系统间的比较。

## 参考文献:

- [1] 代焕芳,刘书明. 国内外供水管网漏损评价指标初探[J]. 给水排水,2016,42(增刊):258-261.  
Dai Huanfang, Liu Shuming. Primary investigation on performance indicators for leakage control in water distribution systems [J]. Water & Wastewater Engineering,2016,42(S1):258-261(in Chinese).
- [2] Lambert A, Brown G, Takizawa M, et al. A review of performance indicators for real losses from water supply systems[J]. AQUA,1999,48(6):227-237.



作者简介:代焕芳(1990-),女,河南安阳人,硕士,工程师,研究方向为供水管网漏损控制。

E-mail:867973121@qq.com

收稿日期:2018-11-12