

• 管网设计与运行 •

# 供水管网漏损评价指标筛选与计算实例

张现国<sup>1</sup> 汪慧贞<sup>1</sup> 王俊岭<sup>1</sup> 韩伟<sup>2</sup> 李爽<sup>2</sup>

(1 北京建筑工程学院,北京 100044; 2 北京首创股份有限公司,北京 100028)

**摘要** 通过比较国际水协、世界银行、澳大利亚、葡萄牙以及我国现行的漏损水量评价指标,分析供水管网漏损影响因素,探讨了漏损评价指标的筛选,并举例计算,为我国建立与国际接轨的供水绩效管理评价体系提供技术支持。

**关键词** 供水管网 漏损评价 系统漏损指数 评价指标

## 0 前言

20 世纪 90 年代以来,漏损控制和评价一直是全球供水行业研究的热点,国际水协(International Water Association,IWA)、世界银行开发的国际供水与污水处理绩效管理网络(The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities,IBNET)、澳大利亚等国家或协会组织分别建立了评价各自漏损状况的绩效指标。我国一直采用百分比的方式来评价管网漏损,其客观性与国际上普遍应用的管网漏损评价指标存在较大差异。

供水管网漏损评价指标筛选与规范的基础是水量平衡分析。2000 年,IWA 在总结英国、澳大利亚等国家供水管网运行与管理经验的基础上提出了供水管网水量平衡。简单而言,系统供水总量可分为收费水量和无收入水量,无收入水量包括免费供水量和漏损水量,漏损水量又可细分为管理损失水量和物理漏失水量。管理损失水量是指由于客户服务、计量误差、管理缺失所损失的水量,主要是执行管理制度不够严格或管理制度缺位所致;物理漏失水量是指在通常运行状态下,供水管网的设施、设备、管件、连接处产生的漏失水量,主要受一些客观因素影响<sup>[1]</sup>。

## 1 供水管网漏损指标

### 1.1 IWA 指标

IWA 组织世界上 20 多个国家的专家开展供水管网漏损调查研究,以水平衡为基础提出了“不可避免物理漏失”(Unavoidable Annual Real Losses,

UARL)、“物理漏失量”(Technical Indicator Annual Real Losses,TIRL)等漏损指标和评定管网漏损程度的“设施漏损指数”指标(Infrastructure Leakage Index,ILI),如表 1 所示<sup>[2]</sup>。

表 1 IWA 漏损评价指标

| 指标名称  | 计算公式                              | 单位                      |
|-------|-----------------------------------|-------------------------|
| 漏损量   | 漏损水量/[连接点数量×(评估期/365)]            | m <sup>3</sup> /(连接点·a) |
|       | 漏损水量/[管网干管长度×(评估期/365)]           | m <sup>3</sup> /(km·a)  |
| 管理损失率 | 管理损失水量/产销差水量×100%                 | %                       |
| TIRL  | (物理漏失水量×1 000)/[连接点数量×(运行时间/24)]  | L/(连接点·d)               |
| 物理漏失量 | (物理漏失水量×1 000)/[管网干管长度×(运行时间/24)] | L/(km·d)                |
| ILI   | TIRL/UARL                         | 无                       |
| 产销差率  | (系统供水量-售水量)/系统供水量×100%            | %                       |
|       | (无收入水量×平均水价)/运营成本×100%            | %                       |

注:计算公式中,物理漏失水量单位为 m<sup>3</sup>/d,其他水量单位为 m<sup>3</sup>/a,评估期单位为 d,运行时间单位为 h。

从 IWA 指标的计算公式看,有计算管理性损失的指标,有计算物理性漏失的指标,还有计算产销差水量的指标。从指标单位看,有百分比、水量/(连接点·时间)、水量/(长度·时间)和无量纲 4 种(见表 1)。IWA 漏损评价指标分类清晰、完整,可应用于供水系统中各个环节不同角度的评价。

### 1.2 IBNET 指标

IBNET 漏损指标主要应用于世界银行资助的

国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07419-006)。

发展中国家的漏损评价。由于发展中国家的漏损管理控制相对落后,管理损失水量和物理漏失水量处于同样突出的地位,因此分子均采用供水量与售水量之差,而没有区分管理损失水量和物理漏失水量,但分母设置上考虑了连接点和管道长度的影响,如表 2 所示<sup>[3]</sup>。

表 2 IBNET 漏损评价指标

| 指标名称 | 计算公式                         | 单位                                       |
|------|------------------------------|------------------------------------------|
| 产销差率 | (供水量—售水量)/连接点数量              | $\text{m}^3/(\text{连接点} \cdot \text{a})$ |
|      | (供水量—售水量)/管网干管长度             | $\text{m}^3/(\text{km} \cdot \text{a})$  |
|      | (供水量—售水量)/供水量 $\times 100\%$ | $\%$                                     |

### 1.3 部分国家指标

#### 1.3.1 澳大利亚指标

澳大利亚漏损指标比较接近 IWA 指标,具有较好的可比性,如表 3 所示。从 2006~2007 年澳大利亚城市供水绩效报告可以看出,物理漏失量指标已普遍应用于澳大利亚供水企业的漏损评价,但 ILI 的应用仍有待进一步提高<sup>[4]</sup>。

表 3 澳大利亚漏损评价指标

| 指标名称  | 计算公式        | 单位                                       |
|-------|-------------|------------------------------------------|
| 物理漏失量 | 漏损水量/连接点数量  | $\text{m}^3/(\text{连接点} \cdot \text{a})$ |
|       | 漏损水量/管网干管长度 | $\text{m}^3/(\text{km} \cdot \text{a})$  |
| ILI   | TIRL/UARL   |                                          |

#### 1.3.2 葡萄牙指标

葡萄牙采用的漏损评价指标虽然比较单一,但也抛弃了以百分比为单位的评价方式。基本可以满足本国的评价要求,如表 4 所示<sup>[5]</sup>。

表 4 葡萄牙水量漏损评价指标

| 指标名称  | 计算公式        | 单位                                    |
|-------|-------------|---------------------------------------|
| 管网漏损量 | 漏损水量/管网干管长度 | $\text{L}/(\text{km} \cdot \text{h})$ |

### 1.4 中国指标

到目前为止,我国供水管网漏损评价指标历经了几次调整,1998 年建设部下发了关于实行“城市供水产销差率”统计指标的通知,要求以“产销差率”替代“损失率”作为企业考核指标。2002 年建设部首次制定供水管网漏损控制和管理的行业标准《城市供水管网漏损控制及评定标准》(CJJ 92—2002),其中定义了“产销差率”、“漏损率”和“基本漏损率”,但没有区分管理损失和物理漏失。虽然定义了与管

长和时间相关的漏损评价指标,但是至今我国供水统计年鉴仍以供水的百分比作为统计指标,如表 5 所示<sup>[6]</sup>。

表 5 我国漏损评价指标

| 指标名称  | 计算公式                           | 单位                                    |
|-------|--------------------------------|---------------------------------------|
| 产销差率  | (供水量—售水量)/供水量 $\times 100\%$   | $\%$                                  |
| 漏损率   | (供水量—有效供水量)/供水量 $\times 100\%$ | $\%$                                  |
| 有效供水率 | 有效供水量/供水量 $\times 100\%$       | $\%$                                  |
| 漏损量   | 单位管道长度( $DN \geq 75$ )单位时间漏水量  | $\text{L}/(\text{km} \cdot \text{h})$ |

## 2 供水管网漏损指标筛选

### 2.1 影响因素

供水管网的漏损实际上由管理损失(虚假漏损)和物理漏失(实际漏损)构成。管理损失的影响因素有水表选择不当、计量仪表误差、计量仪表失准、计算误差、非法用水管理制度等;物理漏失的影响因素有管道长度、管材、管径、管龄、埋深、供水时间、运行压力、环境温度、外力负荷、地质条件和施工质量等<sup>[7]</sup>。

一般来说,评价指标计算时包含的影响因素越多,评价就越接近真实,但同时分析也就越复杂。根据 IWA 提出的 UARL 计算经验公式<sup>[8]</sup>:

$$UARL = (18Lm + 0.80Nc + 25Lp) \times P \quad (1)$$

式中  $UARL$ ——管网不可避免物理漏失水量,  $\text{L}/\text{d}$ ;

$Lm$ ——评价区域内供水管道长度,指从送水泵至连接点之间所有管道的长度,  $\text{km}$ ;

$Nc$ ——评价区域内连接点数;指从主管网连接到用户计量点或阀门的管线连接点个数,通常一个引入管对应一个连接点,若干用户共用一个入户管则为一个连接点<sup>[9]</sup>,个;

$Lp$ ——评价区域内引入管长度,指将室外给水管引入建筑物或由市政管道引入至小区给水管网的管段长度<sup>[10]</sup>,  $\text{km}$ ;

$P$ ——评价区域内供水管网平均压力,  $\text{m}$ 。

从式(1)可看出:

(1) 在 24 h 连续供水条件下,管道长度、连接点数、运行压力对管网物理漏失的影响比环境温度、外

力负荷、地质条件等因素大。

(2) 管网漏损主要发生在用户端处,而在供水管道中所占比例较低。

## 2.2 指标单位分析

### 2.2.1 百分比单位

在只考虑供水管网漏损的主要影响因素条件下,比较各漏损评价指标的优缺点,如表 6 所示。由表 6 可以看出,以水量百分比为单位的评价指标主要依赖于水量,没有包含管长、连接点、及压力这 3 个主要影响因素,不利于漏损管理与控制决策。

表 6 漏损指标影响因素比较

| 名称           | 单位                   | 影响因素  |       |      |
|--------------|----------------------|-------|-------|------|
|              |                      | 供水管长度 | 连接点数量 | 运行压力 |
| 漏损率/<br>产销差率 | 水量/水量 $\times 100\%$ | 否     | 否     | 否    |
| 物理漏<br>失量    | 水量/(户 $\cdot$ 时间)    | 否     | 可能    | 否    |
|              | 水量/(连接点 $\cdot$ 时间)  | 否     | 是     | 否    |
|              | 水量/(供水管长 $\cdot$ 时间) | 是     | 否     | 否    |

### 2.2.2 其他单位

选取我国 15 个省市的 252 个大、中、小供水企业(供水能力在 1 万 $\sim$ 270 万  $\text{m}^3/\text{d}$ )2009 年的统计年鉴数据进行统计学分析,得出水表个数、供水管长度及漏损量之间的简单相关关系。水表个数、供水管长两个统计指标与漏损量的相关系数分别为 0.83 和 0.72。尽管前者相关性略强于后者,但相关性区分度不明显,主要原因是水表个数与供水管长之间也存在一定的相关性(相关系数为 0.79)。

为了更合理、更可靠地描述水表个数与漏损量之间的内在相关性,再对统计数据进行偏相关分析。偏相关分析是指在分别控制水表个数和供水管长中的一个变量条件下,考察另两个特定变量的净相关关系<sup>[11]</sup>。在控制水表个数条件下,供水总管与漏损量的偏相关系数为 0.19,而在控制供水管长条件下,水表个数与漏损量的偏相关系数为 0.60。由此可见水表个数与漏损量二者的内在相关程度明显强于供水管长与漏损量的相关程度。

在我国水表个数、连接点数虽常常不相等,但二者之间存在一定的比例关系,所以水表个数与漏损量之间的相关性间接反映了连接点对于评价漏损的

重要性。另外,鉴于以水量/(连接点 $\cdot$ 时间)作为漏损指标单位能更加客观地反映供水管网漏损情况,IWA 也将其作为计算 URAL 规范单位<sup>[12]</sup>。因此漏损指标计算单位宜选用水量/(连接点 $\cdot$ 时间)。

### 2.3 漏损指标筛选

从 IWA、IBNET、澳大利亚、葡萄牙以及我国现行的漏损水量评价指标来看,各指标代表的意义各不相同:产销差率是指产销差水量与供水总量的比率,计算简单,它以水量的形式直接反映了企业的经济效益,适用于评价供水企业的财务评价;漏损率是指漏损水量与供水总量的比率,计算中扣除了免费水量,但没有区分管理漏损和物理漏损,它近似反映了输配水管网系统的漏损状况,适用于评价管网输配水性能;物理漏失量是指单位时间内单位管线长度上的水量漏损,计算复杂,它真实、客观地反映了供水管网的漏损情况,适用于评价供水系统的水资源浪费程度。三者均具有自身纵向可比性和一定条件下的横向可比性。而 IWA 建议的 ILI 可以反映出在具有良好设施管理基础条件下物理漏失控制提升的潜力和空间,可实现不同企业、地域和国家之间的横向比较和控制潜力评价,值得借鉴。

## 3 ILI 计算实例

选用 2003 年我国某市实行 DMA(District Meter Area)区域划分的某区域进行实例试算,此区基础数据如表 7 所示<sup>[13]</sup>。

表 7 某市某 DMA 区域基础数据

| 基本数据                          | 数值      |
|-------------------------------|---------|
| 管网平均压力/m                      | 28      |
| 管道长度( $DN>50$ )/km            | 474.76  |
| 管道长度( $DN\leq 50$ )/km        | 216.40  |
| 水表( $DN>15$ )/块               | 22 881  |
| 水表( $DN\leq 15$ )/块           | 129 669 |
| 供水量/ $\text{m}^3/\text{d}$    | 199 908 |
| 售水量/ $\text{m}^3/\text{d}$    | 157 788 |
| 物理漏损水量/ $\text{m}^3/\text{d}$ | 24 773  |
| 漏损率/%                         | 17.75   |
| 产销差率/%                        | 21.07   |

鉴于我国当前没有确定连接点标准定义和相关统计,也缺少水表误差因素和建筑物密度数据,试算

时做以下合理假设:

(1) 12 块水表( $DN \leq 15$ )一个连接点,其他每个水表为一个连接点。

(2)  $DN50$  以上管道长度为  $Lm$ ,入户管平均长度为 40 m。

(3) 户表平均误差为  $-1.5\%$ <sup>[14]</sup>。

$TIRL = \text{物理漏损水量} / 1.015 = 24\ 406\ 896.55$  (L/d)。

由式(1)计算得,  $UARL = 1\ 937\ 091.24$  (L/d)。

$ILI = TIRL / UARL = 12.6$

IWA 统计认为,  $ILI \leq 2.0$ , 表明其漏损管理控制水平优良;  $ILI$  值为  $2.0 \sim 8.0$ , 说明其漏损管理控制良好;  $ILI \geq 8.0$ , 即其漏损管理控制有较大提升空间<sup>[15]</sup>。

此 DMA 区域 21.07% 的产销差率和 17.75% 的漏损率距 12% 漏损率(《城市供水管网漏损控制及评定标准》)只有 6 个百分点,但通过对  $ILI$  值分析可知,该区域的漏损控制还有较大的提升空间。

#### 4 结论及建议

(1) 本文在 2009 年水协统计年鉴和某 DMA 小区 2003 年的数据基础上,主要探讨了漏损评价指标的筛选和  $ILI$  实例计算方法的应用。

(2) 国内对城市供水管网漏损控制尚缺乏具体量化管理措施和相关参数数据库,漏损管理和评价指标计算方法仍不够清晰,连接点定义尚不明确。采用规范统一的漏损评价指标可为深化漏损的理解和建立与国际接轨的供水绩效管理体系提供基础。

(3) 《城市供水管网漏损控制及评定标准》自颁布以来,该标准指导供水行业不断提高管网漏损控制技术水平,已取得了良好的效果。但随着漏失探测、定位等仪器的不断升级,分区装表计量检漏、夜间流量分析、压力管理、管网维修与更换、水表更换等技术管理的进步,以百分比为单位的产销差率和漏损率将不能科学地反映管网漏损情况,以水量/(连接点·时间)为单位的漏损指标和  $ILI$  指标值得借鉴。

(4) 水量平衡分析是供水管网水量漏损指标筛选与评价的基础,正确分析判断漏损影响因素和形

成原因是有效管理和控制漏失的首要环节。建议基于 IWA 水量平衡尽快建立和完善适用于我国的供水水量平衡分析规范。

#### 参考文献

- 1 韩伟,花文胜,谭绍仲. 强化水量损失管理促进可持续发展. 城镇供水, 2009, (2): 67~68
- 2 Helena A, Hirner W, Baptista J M. Performance indicators for water supply services. second edition. london: IWA publishing, 2006. 30~45
- 3 IBNET toolkit. IBNET indicator definitions. [http://www. ib-net. org/](http://www.ib-net.org/), 2009
- 4 National Performance Framework 2006—2007 urban performance reporting indicators and definitions, a handbook for WSAA members. 2007
- 5 Marques R C, Monteiro A J. Application of performance indicators in water utilities management—a case-study in Portugal. Water Science and Technology. IWA Publishing, 2001, 44(2-3): 95~102
- 6 CJJ 92—2002 城市供水管网漏损控制及评定标准
- 7 马婷婷,田昊平. 供水产销差率的影响因素分析及控制措施. 山西建筑, 2007, 33(33): 182~183
- 8 刘遂庆. 供水管网漏损评定标准及其控制的关键技术. 给水排水, 2008, 34(11): 1~3
- 9 Helena A, Hirner W, Baptista J M. Performance indicators for water supply services. second edition. london: IWA publishing, 2006. 143
- 10 GB 50015—2003 建筑给水排水设计规范
- 11 严丽坤. 相关系数与偏相关系数在相关分析中的应用. 云南财贸学院学报, 2003, 19 (3): 80
- 12 Lambert A, Brown T G, Takizawa M, et al. A review of performance indicators for real losses from water supply systems. AQUA, 2000, 48(6): 8
- 13 张志明. 供水管网漏损控制分区装表计量技术与应用: [学位论文]. 上海: 同济大学, 2006. 38~51
- 14 周振兴. 水表运行过程中计量性能变化及准确度分析研究. 中国计量, 2009, (9): 68~70
- 15 Lambert A, Brown T G, Takizawa M, et al. A review of performance indicators for real losses from water supply systems. AQUA, 2000, 48(6): 13

✉ 通讯处: 100044 北京市西城区展览馆路 1 号

电话: 13436715785

E-mail: saigo\_zhang@hotmail.com

收稿日期: 2010-05-31

修回日期: 2010-10-21