

技术总结

## 广州市小区居民夜间合法用水量研究

刘晓飞<sup>1</sup>, 刘肃<sup>1</sup>, 何元春<sup>1</sup>, 麦华景<sup>1</sup>, 尹德才<sup>2</sup>, 李露<sup>2</sup>, 余健<sup>2</sup>

(1. 广州市自来水公司, 广东 广州 510600; 2. 湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410082)

**摘要:** DMA小区内无收益水量类型较多,分析困难,确定居民夜间合法用水量是对其类型准确分离的关键。因此,采用统计学方法分析了广州8个居民小区夜间合法用水量,其样本总体月平均值介于2.85~3.47 L/(户·h)之间,年平均值为3.27 L/(户·h)。夜间合法用水量 $Y$ 与日用水量 $X$ 之间存在较好的线性相关性,据此可计算未装智能远传水表的DMA小区居民夜间合法用水量,从而为小区漏损控制奠定基础。

**关键词:** 居民夜间合法用水量; DMA小区; 产销差; 漏损控制

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)09-0045-05

## Analysis of Residential Nighttime Water Consumption in Guangzhou

LIU Xiao-fei<sup>1</sup>, LIU Su<sup>1</sup>, HE Yuan-chun<sup>1</sup>, MAI Hua-jing<sup>1</sup>, YIN De-cai<sup>2</sup>, LI Lu<sup>2</sup>,  
YU Jian<sup>2</sup>

(1. Guangzhou Water Supply Co., Guangzhou 510600, China; 2. College of Civil Engineering,  
Hunan University, Changsha 410082, China)

**Abstract:** There are many types of non-revenue water consumption in a District Metered Area (DMA), which is difficult to analyze. The key to accurately assess the non-revenue water consumption is to determine the residential nighttime water consumption (RNWC). The statistical analysis of RNWC in eight residential subdivisions showed a monthly average of 2.85–3.47 L/h per household and an annual average of 3.27 L/h per household. Further studies indicated that the linear correlation between the RNWC and the residential daily water consumption was prominent, which could be used to calculate the RNWC in the DMA where intelligent water meters were not installed. Therefore, the leakage control in DMA could be achieved more conveniently.

**Key words:** residential nighttime water consumption; DMA; non-revenue water consumption; leakage control

长期以来,居高不下的漏损率和产销差率是我国供水企业面临的一个主要问题。鉴于此,我国一些城市开始采用分区计量区域(DMA)技术作为产销差及漏损控制的重要手段<sup>[1~3]</sup>。DMA于20世纪80年代首先由英国提出,通常指的是有一个或者几

个进水口,具有独立的永久性供水边界,并能准确计量供水量和售水量的独立供水区域。国际水协(IWA)将DMA小区内无收益水量分为3类:①未收费的合法用水量;②表观漏损量;③物理漏损量<sup>[4]</sup>。目前,我国很多供水企业仍难以对无收益水

量按类型进行分离计量,给漏损和产销差控制造成了较大困难。

为解决上述问题,供水企业可从两方面开展工作:一是对供水区域内居民户水表抽样校定误差,并且加大偷盗水稽查力度;二是测定供水区域内有代表性的居民夜间合法用水量,运用夜间最小流量法确定物理漏损。在这两种方法中,第一项工作量大,且效果不佳,只有第二项操作简单,效果较好<sup>[5]</sup>。

夜间最小流量(MNF)指的是一日内流量变化曲线处于最低时段时所对应的平均流量。用监测到的MNf减去夜间合法用水量(LNF),即可得到夜间物理漏损量(NNF)<sup>[4,5]</sup>。

NNF确定后,即可结合监测到的小区进水压力推算出全日物理漏损量。因此,测算LNF对确定小区物理漏损具有重要意义。

## 1 居民夜间合法用水量

### 1.1 居民夜间合法用水量统计

在英国,DMA区域夜间最小流量通常出现在夜间2:00—4:00。这个时段用户用水最少,漏损量占夜间流量的比值最大<sup>[4,6]</sup>。不同地区夜间流量最小时段会有所不同,通过分析广州居民小区24 h用水量变化可以确定广州地区夜间流量最小时段,如图1所示。

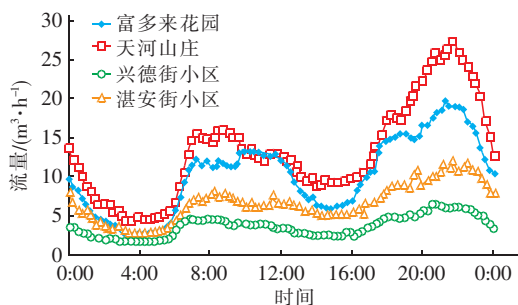


图1 广州市DMA小区24 h流量变化

Fig. 1 Change of water consumption of DMA in Guangzhou during 24 h

由图1可知,富多来、天河山庄等4个小区夜间流量最小时段均出现在夜间3:00—5:00。据此,选取该市8个装有远传智能水表的居民小区,每个小区户数在900~4 000户之间,总户数约为17 000户,所用的远传智能水表可读取0.1 L的水量。调取这些小区一年内夜间3:00—5:00流量监测值(剔除了夜间用水量大于200 L/h的异常用户,这部分用户占总户数的0.09%),统计分析其夜间合法用

水量,其结果见表1。可知,8个小区夜间合法用水量月平均值在2.85~3.47 L/(户·h)之间,年平均值为3.27 L/(户·h);同一小区不同月份居民夜间合法用水量总体较平稳,个别月份居民夜间合法用水量受气候以及节假日影响会与总体趋势有差异。例如,2月份广州气温较其他月份相对较低,且又恰逢春节,大量务工人员回乡探亲,致使2月份的居民夜间合法用水量相对较低。另外,对节假日总体居民夜间合法用水量统计发现,元旦当天其数值会达到最大值,春节期间其数值处于最小值,其余节假日较平稳,无明显变化;而不同小区在同一月份其居民夜间合法用水量却存在较大差异。

表1 居民小区夜间合法用水量

Tab. 1 Residential nighttime water consumption

L·户<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>

项目	南国花园	荔湾广场	金碧新城	金碧花园	中环广场	云景花园	环市西苑	龙锦大厦	样本总体
1月	4.86	3.58	3.31	3.27	1.94	2.85	2.40	2.25	3.06
2月	4.71	3.12	2.72	2.83	2.38	2.66	2.32	2.07	2.85
3月	4.93	3.71	3.10	3.12	2.77	2.73	2.42	2.31	3.14
4月	4.65	3.70	3.45	3.52	2.64	2.96	2.49	2.47	3.24
5月	4.85	3.96	3.60	3.63	2.69	3.15	2.69	2.66	3.40
6月	4.24	3.83	3.65	3.53	2.84	3.02	2.90	2.77	3.35
7月	4.31	4.09	3.44	4.07	2.87	3.11	2.81	2.81	3.44
8月	4.14	4.34	3.56	3.50	2.95	2.98	2.67	2.86	3.38
9月	4.19	4.27	3.41	3.73	3.01	3.17	2.88	2.89	3.44
10月	4.37	4.79	3.31	3.75	2.94	2.99	2.80	2.81	3.47
11月	4.17	4.47	3.34	3.43	3.23	2.97	2.74	2.66	3.37
12月	3.86	3.97	3.15	3.18	2.90	2.65	2.52	2.49	3.09
平均	4.44	3.99	3.34	3.46	2.76	2.94	2.64	2.59	3.27

造成差异的因素很多,其中一个因素是夜间不用水的户数占总户数的百分数。按照0、0~1、1~2、2~4、4~8、8~16、16~32、32~64、64~200 L/户对小区夜间用水进行分段统计分析后发现,夜间合法用水量较大的小区,夜间不用水户数占总户数的百分数较小,而夜间合法用水量较小的小区,夜间不用水户数占总户数的百分数较高,见图2。可知,夜间3:00—5:00期间有超过50%的用户不用水,其中南国花园最低(50.83%),金碧花园为58.10%,环市西苑最高(62.25%),样本总体中夜间不用水用户占总户数的百分数为53.13%。与此相对应,南国花园夜间合法用水量最高,为4.44 L/(户·h),环市西苑夜间合法用水量最低,其值为2.64 L/(户·h)。金碧花园用户比例处于中段,因此夜间

流量处于中间位置,其值为 3.46 L/(户·h)。

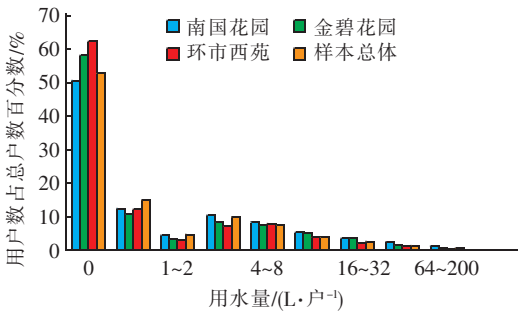


图 2 居民夜间流量分段统计  
Fig. 2 Segmented statistical of residential nighttime water consumption

此外,南国花园地处珠江新城核心区,各类基础设施较为完善,户均居住面积在 130 m<sup>2</sup> 以上,住户生活水平较高,可能也是造成其夜间用水量较多的原因;而环市西苑地处荔湾老城区,户均居住面积较小,卫生设备完善程度相对较低,因而其户均夜间用水量较小。由于夜间用水量受多方面因素的影响,而所能获取的信息有限,故难以准确分析其大小。

根据相关报导<sup>[3]</sup>,英国、加拿大、马来西亚、澳大利亚的夜间用水量分别为 1.8~2.5、3.5、1.08 L/(户·h),德国和奥地利为 0.6 L/(人·h)。我国深圳市也做过类似研究,得出其平均值为 3.0 L/(户·h)<sup>[6]</sup>,该值与同处南方的广州市 8 个小区夜间平均合法用水量为 3.27 L/(户·h) 比较接近。

总之,居民夜间合法用水量受气候、生活习惯、户均人数、生活水平等多种因素的影响,不同国家的夜间用水量存在显著差异。分析广州 8 个不同小区居民夜间合法用水量可知,生活习惯和气候相近的同一城市的不同区域其夜间用水量也存在较大差异。因此,应该因时因地确定居民夜间合法用水量。初步分析小区平均住房面积和所处地理位置可知,户均人数和生活水平或许是影响广州不同小区夜间合法用水量显著差异的主要因素。

1.2 统计误差分析

图 3 为环市西苑、南国花园、金碧花园和样本总体在不同区间段的居民夜间合法用水量情况。可知,这 3 个小区和样本总体的区间用水量数据分布均大致符合正态分布模型,因此可依据数理统计原理<sup>[7]</sup>对这 3 个小区和样本总体的居民平均夜间合法

用水量进行误差分析,结果见表 2。

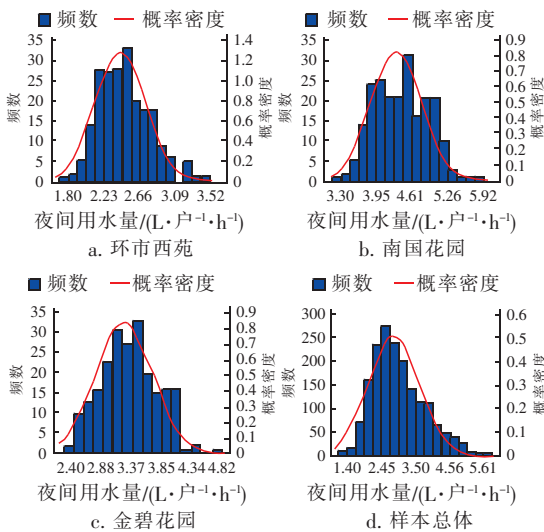


图 3 居民夜间合法用水量情况  
Fig. 3 Residential nighttime water consumption  
表 2 居民夜间合法用水量误差分析

Tab. 2 Error analysis of residential nighttime water consumption

项 目	南国花园	金碧花园	环市西苑	样本总体
平均数 $\bar{X}$	4.44	3.46	2.64	3.27
标准差 $S$	0.491	0.472	0.311	0.783
方差 $S^2$	0.241	0.223	0.097	0.613
标准误差 $\sigma$	0.033	0.032	0.021	0.019
观测数 $n$	311	313	313	2 504
$\frac{S}{\sqrt{n}}t_{\frac{\alpha}{2}}(n-1)$	0.055	0.052	0.035	0.031
置信区间宽度 $B$	0.110	0.104	0.070	0.061
$B : \bar{X}/\%$	2.48	3.01	2.65	1.87

由表 2 可知,南国花园、金碧花园和环市西苑的居民夜间平均合法用水量以及由样本总体算得的居民夜间平均合法用水量的置信区间宽度均不超过 0.110 L/(户·h),变动幅度均很窄,小于 3.5%,因此,表 1 的数据可作为各小区居民夜间合法用水量计算值。

2 居民夜间用水量与日用水量之间的关系

2.1 建立回归方程

基于统计学原理,分析居民日用水量与居民夜间合法用水量的关系。调取智能水表远传数据,计算居民日用水量,见表 3。将表 1 与表 3 中数据一一对应绘成  $X-Y$  散点图。结果表明,居民夜间合法用水量  $Y$  与日合法用水量  $X$  有较好的相关性,其关系见式(1)。

$$Y=0.006\ 9X+0.284\ 6 \tag{1}$$

式(1)可由相关系数 $r$ 、假设检验统计量 $F$ 和显著性水平 $P$ 等3个统计量进行检验<sup>[7,8]</sup>。应用统计软件SPSS计算,可得 $r=0.79$ ;  $F=156.11 > F_{0.05}$ ;  $P < 0.05$ 。上述结果表明,居民日用水量与居民夜间合法用水量之间呈现较显著的线性相关关系。因此,当缺乏居民夜间合法用水量资料时,可应用式(1)计算居民夜间合法用水量。

表3 居民小区日合法用水量

Tab.3 Residential daily water consumption

$L \cdot \text{户}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$

项目	南国花园	荔湾广场	金碧新城	金碧花园	中环广场	云景花园	环市西苑	龙锦大厦	合计
1月	568	484	431	406	360	445	441	305	430
2月	504	330	342	359	324	390	397	249	362
3月	553	442	402	396	346	423	424	268	407
4月	566	484	431	417	374	447	442	283	430
5月	577	501	443	432	366	460	449	290	440
6月	594	504	455	441	384	474	460	307	452
7月	584	522	450	443	370	475	444	318	451
8月	572	531	453	437	372	464	446	309	448
9月	570	507	439	452	386	466	441	303	445
10月	560	499	414	442	382	452	436	296	435
11月	578	516	427	441	396	465	447	302	446
12月	573	488	411	424	417	445	431	290	435
平均	567	484	425	424	373	451	438	293	432

## 2.2 回归方程的应用

在广州某区,建有3个低层市政直供DMA小区,分别为富多来花园、天河山庄和湛安街小区,这3个小区均未建立任何蓄水构筑物。在这3个小区内,压力计每隔15 min可记录小区进水瞬时压力 $P_i$ 及MNF时刻对应的压力(AZNP),流量计每隔15 min可记录小区供水瞬时流量及MNF。但小区内未装远传智能水表,每月用水量只能抄录,夜间合法用水量难以直接获取,因而小区物理漏损量难以确定。因此,应用夜间合法用水量与户均日用水量之间的回归方程可确定这类小区的物理漏损量,结果见表4。表4中,30 d物理漏损量的计算见式(2)<sup>[9]</sup>。

$$L = \sum_{j=1}^{30} \sum_{i=1}^{96} \frac{24}{196} \times \text{NMF} \left( \frac{P_i}{\text{AZNP}} \right)^{N_1} \quad (2)$$

式中, $L$ 为30 d的物理漏损量, $\text{m}^3$ ;AZNP为发生最小夜间流量时刻的小区平均压力值; $P_i$ 为各时间点对应的实测压力值,1 d内测有96个压力值; $N_1$ 为压力指数,取1.18。

表4 DMA小区基本统计值

Tab.4 Basic statistics of DMA

项 目	富多来花园	天河山庄	湛安街小区
小区户数/户	736	746	465
30 d 供水量/ $\text{m}^3$	7 733	10 423	4 678
30 d 售水量/ $\text{m}^3$	6 557	8 511	3 340
产销差/%	15.21	18.34	28.60
MNF/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	3.06	4.52	2.94
AZNP/MPa	0.362	0.369	0.394
户均日用水量/ $(\text{L} \cdot \text{户}^{-1} \cdot \text{d}^{-1})$	297	380	239
夜间合法用水量/ $(\text{L} \cdot \text{户}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})$	2.33	2.91	1.93
LNF/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	1.71	2.17	0.90
NNF/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	1.35	2.35	2.04
30 d 物理漏损量/ $\text{m}^3$	848	1 639	1 368
30 d 表观漏损量/ $\text{m}^3$	328	273	-30
计量误差/%	5.00	3.21	-0.90

由于表4中所列DMA小区均未发现明显的偷盗水与缺户漏户情况,因此可认为表观漏损计算值即为户表计量误差值。从计量误差值可知,该值与A级水表计量误差( $\pm 5\%$ )基本吻合,在一定程度上验证了式(1)的可应用性。

## 3 结论

① 居民夜间合法用水量是DMA小区开展产销差与漏损控制工作的基础,但该用水量受小区气候、居民生活习惯、户均人数及其生活水平等诸多因素影响。同一城市生活习惯和气候相近,因此初步确定户均人数和小区生活水平可能是影响广州居民小区夜间合法用水量的主要因素。

② 广州市8个DMA小区居民夜间合法用水量月平均值在2.85~3.47  $\text{L}/(\text{户} \cdot \text{h})$ 之间,年平均值为3.27  $\text{L}/(\text{户} \cdot \text{h})$ 。

③ 8个居民小区的夜间合法用水量与日用水量之间存在线性关系,应用其回归方程可较准确得到未装智能远传水表的小区居民夜间合法用水量,以此为基础可应用水量平衡关系估算小区无收益水量,从而确定影响DMA小区产销差的主要因素。

## 参考文献:

- [1] 凌文翠,张涛,强志民,等.北京市二环内供水管网DMA分区方法及安全性分析[J].中国给水排水,2010,26(10):19-23.

(下转第52页)