

一种衡量供水系统能耗合理性的新指标*

王圃¹, 陆柯¹, 李江涛², 李肖³

(1. 重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045; 2. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045; 3. 重庆市水务集团, 重庆 401147)

摘要:在努力降低供水系统能耗的同时,提出一个能有效衡量能耗合理性的指标是很重要的。我国现有的单位耗电量指标及综合单位耗电量指标在考核供水系统整体能耗合理性方面缺乏横向可比性。针对这一情况,在分析供水系统输水所需最小能量的基础上提出功效性指标,并通过对该指标的分析,证明该指标具有对不同供水系统整体能耗情况进行对比的功能。

关键词:能耗; 最小能量; 供水系统; 构造性指标; 功效性指标

中图分类号:TU991.35 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2005)03-0076-04

A New Index to Evaluate Rationality of Energy Consumption in Water Supply System

WANG Pu¹, LU Ke¹, LI Jiang-tao², LI Xiao³

(1. Key Laboratory of Eco-Environment in the Three Gorges Reservoir Region of Chongqing University, Ministry of Education, Chongqing 400045, P. R. China; 2. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China; 3. Chongqing Water Supply Group Ltd., Chongqing 401147, P. R. China)

Abstract: It is very important to adopt a new index to evaluate the rationality of energy consumption effectively, at the time to make great effort to reduce the energy consumption in water supply system. Current index of unit electricity consumption and integrated unit electricity consumption to assess the rationality of the energy consumption of the whole water supply system in our country can't be used to compare from landscape orientation. Aiming at the case, an index of efficiency is put forward on the base of analysis of the minimum energy that the water transportation in water supply system needs. According to the analysis of the index, the function to compare the energy consumption of different whole water supply systems of the index is proved.

Keywords: energy consumption; minimum energy; water supply system; structure index; efficiency index

供水企业在供水过程中的能量消耗较大,给水工作者在降低能耗方面做了很多工作。因此,在降低供水过程中能量消耗的同时,提出一个能有效反映供水系统能耗情况的新指标显得十分重要。

我国的大部分城市从20世纪50年代以来均采用 1 m^3 或 1 km^3 水所消耗的电量作为企业单位耗电量的考核指标。这一指标仅考虑了流量大小对能量的影响,而忽略了供水系统各组成部分的空间分布情况(即供水系统中水源,高位水池,用户的空间布置情况)对能量消耗的影响。故该指标不能反映出供水系统在能耗方面的运行效率,也不具有在供水系统间进行能耗情况横向对比的功能。

针对这一情况,有些学者^[1]提出以综合单位电耗指标作为衡量能量消耗合理性的指标。综合单位电耗指标的含义即是1h的时间内,在供水扬程1MPa时供出 1 km^3 水所耗用的电量。这一指标实际上考核的是供水系统中机泵设备的运行效率,以公式表示为:

* 收稿日期:2005-02-28

基金项目:建设部重点项目(2001-45)

作者简介:王圃(1965-),男,重庆人,副教授,博士,主要从事给水工程的优化和节能技术研究。

$$\text{机组综合效率} = \frac{\text{泵输出功率}}{\text{电机输出功率}}$$

由该式可以看出泵输出功率取决于其流量和扬程,而只有通过优化泵^[3]的运行,使工况点处于高效段,才能提高泵的机械效率,降低电机输出功率,达到提高机组综合效率的目的。因此,该指标反映了机泵综合效率的高低,即电能利用率的高低。这一指标的不足是它仅考虑了供水系统中机泵运行的机械磨损,而忽略了管网中水头的损失,以及由于漏水所造成的能量损失。因此,该指标虽然在供水企业的泵站指标考核中具有可比性,但若把它应用于整个供水系统的能耗情况对比中,则显得不够全面。

为了解决这一问题,提出以构造性指标来反映供水系统的空间布置情况对能量消耗的影响,并在此基础上建立功效性指标来反映供水系统整体能量消耗的合理性,使其能够针对不同系统的能耗情况进行对比。下文将就此进行探讨。

1 最小能量

在分析构造性指标及功效性指标之前引入最小能量的原因是它们都建立在最小能量的基础上。最小能量可以定义为:在不考虑水的摩擦损失以及泵站水头损失的前提下,把一定数量的水从水源输送到用户,并保持 60 mH₂O 服务压力,理论上所需的最小能量。最小能量所表示的是用于提升水理论上所需的能量。60 mH₂O 是人为规定的适合于我国国情的平均服务压力。

最小能量可以通过以下的公式计算:

$$E_{\min} = 0.00273 \times QHg$$

式中: E_{\min} 为最小能量,kWh; Q 为所输送水的质量,m³/年; H 为用户水头与水源水头的标高差,m; g 为重力加速度,m/s²;0.00273为J与kWh的换算系数。

为了计算的简便性,引入潜能这一概念。潜能即是把一物体从海平面垂直提升至其所在海拔高度,理论上所需的能量。所以最小能量可以通过计算用户标高上水所具有的潜能与水源标高上水的潜能之差,再加上维持 60 mH₂O 服务压力所需的能量来获得。即:

$$E_{\min} = E_{pv} - E_{pq} + E_{nd}$$

$$\text{其中: } E_{pv} = 0.00273 \sum_{i=1}^n Q_{vi} H_{vi};$$

$$E_{pq} = (0.00273 \sum_{i=1}^m E_i H_{Ei}) / (1 + pv/100);$$

$$E_{nd} = 0.00273 \times 60 \times \sum_{i=1}^n Q_{vi}$$

式中: E_{pv} 为用户标高上年用水量的潜能,kWh; E_{pq} 为水源标高上年供水量的潜能,kWh; E_{nd} 为维持服务水头所需的能量,kWh; pv 为年漏水量占年供水量的百分比; Q_{vi} 为第 I 个用户的年用水量,m³/年; H_{vi} 为第 I 个用户的海拔高度,m; Q_{Ei} 为第 I 个水源的年供水量,m³/年; H_{Ei} 为第 I 个水源的海拔高度,m; n 为用户的数量; m 为水源的数量。

上式计算中所用到的数据都可以从供水系统的历史数据中得到。

2 构造性指标 I_1

构造性指标可以通过下式来计算:

$$I_1 = E_{\min} / Q_v$$

式中: Q_v 为年总耗水量,m³/年。

构造性指标代表的是由供水系统构造所决定的输送单位数量水理论上所需的最小能量。与单位耗电量指标相似,该指标也不能反映供水系统耗电的合理性问题。

3 功效性指标 I_2

功效性指标可以通过下式来表示:

$$I_2 = E/E_{\min}$$

式中: E 为供水系统实际的年耗电量(仅包括输、配水系统中所消耗的能量,而不包括水处理等其它能量消耗)。

I_2 反映的是供水系统整体上实际能量消耗的效率。必须说明的是上式仅适用于所有的原水都是泵送的情况。由于我国的地形地貌的多样性,有必要对上式进行变换。令 FE_{\min} 代表输送通过泵站提升的那一部分水所需的最小能量。它可以通过与 E_{\min} 相似的方法求得。对于多水源且同时存在重力流和压力流供水方式的供水系统,我们很难确切地知道具体某一用户的水是来自哪一个水源的。这可以通过以下的方法解决:

$$FE_{\min} \cong FE_{pv} - FE_{pq} + FE_{nd}$$

其中: $FE_{pv} = E_{pv} \times Q_{Ep}/Q_E$; $FE_{nd} = E_{nd} \times Q_{Ep}/Q_E$; $Q_E = Q_{Ep} + Q_{Eq}$

式中: FE_{pv} 来自于泵站的那部分耗水在用户标高上的潜能; FE_{pq} 来自于泵站的那部分耗水在水源标高上的潜能; FE_{nd} 为维持来自泵站的那部分耗水的服务压力所需的能量; Q_E 为供水系统的年供水量; Q_{Ep} 为通过泵站输送的年供水量; Q_{Eq} 为通过重力流输送的年供水量。

FE_{\min} 与 E_{\min} 的区别在于 FE_{\min} 仅考虑了输送来自于泵站的那部分耗水所需的能量,而对高位水源的能量情况不加考虑。这与实际的情况相符(即高位水源的供水并不消耗电能),使得其对供水系统能耗合理性的分析更具代表性。经过上述的分析, I_2 的表达式可以转变为: $I_2 = E/FE_{\min}$ 。该指标在考虑了流量、供水系统空间分布等因素对能量消耗影响的基础上,从整体上考虑了泵站的运行效率、给水管网中的水头损失以及由于水量漏失等因素对能耗合理性的影响。因此, I_2 可以在不同的供水系统中进行能耗合理性的比较。这一点将在下文中得到进一步的阐述。

4 I_1 、 I_2 在具体例子中的应用

该例子中供水系统的构造见图 1。

图中供水系统的服务人口为 2 000 人,平均耗水量为 400 L/d·人,其中有 1/4 的原水总量来自于高位水源,有 3/4 的原水总量来自于地下水并通过泵站加压。高位水池的海拔高度为 490 m,有一半人口位于海拔 400 m 的标高上,而另一半人口位于海拔 440 m 的标高上,地下水的水位为 370 m。水泵的平均效率为 0.5,管网水头损失的能量校正系数为 1.05,漏水量占总用水量的 20%。则 I_2 的计算如下:

$$Q_v = 0.4 \times 2\,000 \times 365 = 292\,000 \text{ m}^3/\text{年}$$

$$E \approx [2.73 \times 10^{-3} \times \frac{3}{4} \times 292\,000 \times 1.2 \times (490 - 370) \times 1.05] / 0.5 = 180\,740 \text{ kWh}$$

$$E_{\min} = 0.002\,73 [146\,000 \times (400 + 60) + 14\,600 \times (440 + 60) - (219\,000 \times 370 + 73\,000 \times 490)] \\ = 63\,800 \text{ kWh}$$

$$FE_{\min} = 0.002\,73 [(14\,600 \times 460 + 14\,600 \times 500) \times 0.75 - 219\,000 \times 370] = 65\,800 \text{ kWh}$$

$$I_1 = 63\,800 / 292\,000 = 0.22 \text{ kWh}$$

$$I_2 = 180\,740 / 65\,800 = 2.75$$

由以上的计算可以看出 I_2 的计算是很简便的。必须指出的是该例中各参数的假定仅是为了分析

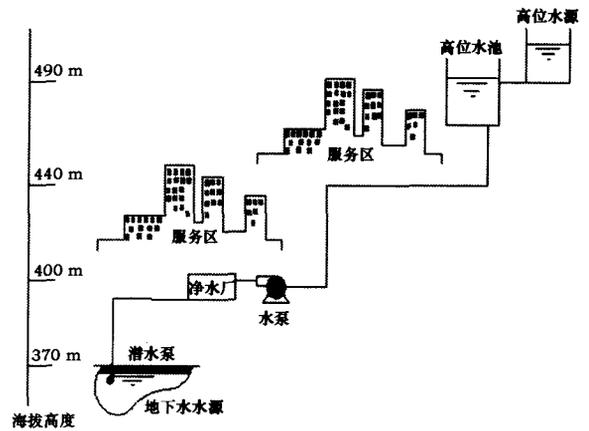


图 1 供水系统构造示意图

I_2 的简便性。在实际的计算中, E 可以由供水系统一年的抄表度数之和求得; 各水源的年供水量及年平均水位, 用户的年平均服务水头, 以及高位水池的年平均水位等可以通过供水企业的 SCADA 系统获得; 而用户的年用水量及所处的地形标高可以通过管网的水力模型及 GIS 系统获得。因此, 计算 I_2 中各数据的获得在实际计算中也是方便可行的。

5 对功效性指标的进一步分析

在上述的例子中, 为了分析的方便假设供水系统的所有供水都经过泵站加压。则有:

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{0.00273 \times BV \times (1 + pv/100)(hd - hs)Qv}{\eta} \\
 &= \frac{0.00273 \times BV \times (1 + pv/100) [(hd - hs)/(hv - hs + 60)] \times (hv - hs + 60)Qv}{\eta} \\
 &= \frac{BV \times (1 + pv/100) [(hd - hs)/(hv - hs + 60)] \times E_{\min}}{\eta} \\
 I_2 = E/E_{\min} &= \frac{BV \times (1 + pv/100) [(hd - hs)/(hv - hs + 60)]}{\eta}
 \end{aligned}$$

式中: hd 为高位水池的平均水位; hs 为地下水水源的平均水位; hv 为用户所处的海拔高度; BV 为管网水头损失的能量校正系数; η 为水泵的平均效率。

从以上的分析可以得出 I_2 的影响因素有: (1) 管网中的水头损失; (2) 管网的漏水量; (3) 供水系统的空间构造; (4) 水泵的运行效率。

可见 I_2 综合考虑了这些对能量消耗产生影响的因素, 具有在不同供水系统中进行能耗合理性对比的功能。因此, 相对于单位耗电量指标及综合耗电量指标来说, 功效性指标是一个更值得推广和广泛采用的指标。

参考文献:

- [1] 赵新民, 张忠祯. 衡量供水系统能耗合理性的指标[M]. 城市供水行业 2000 年技术进步发展规划. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993.
- [2] 王圃, 汪志贤. 城市供水系统的节能与优化[J]. 重庆建筑大学学报, 2002, 24(4): 53 - 59.
- [3] 王圃, 王力. 城市水厂二泵站中水泵的选择[J]. 重庆建筑大学学报, 2004, 26(1): 89 - 92.