

给水管网动态模拟中水塔水位的计算方法

俞国平 王晓东

提要 在给水管网动态模拟原理的基础上,提出了比较精确的计算水塔水位的方法,并结合算例比较了几种不同算法产生的水塔水位变化的结果。

关键词 管网平差 动态模拟 水塔

给水管网动态模拟的主要过程是根据用户节点 24h 的用水量变化以及泵站内水泵 24h 的开启表连续地进行水力计算,不仅得到节点压力、管段流量、流速等在 24h 内的变化情况,还得到了 24h 内水塔、蓄水池中的水位变化曲线。根据城市给水管网特点,一般以 24h 作为动态模拟的周期,并假定在每小时内用户用水量没有变化。与某单一时刻的水力计算不同,动态模拟的关键是怎样调整水塔或蓄水池中的水位。

1 简单管路中水塔水位的计算

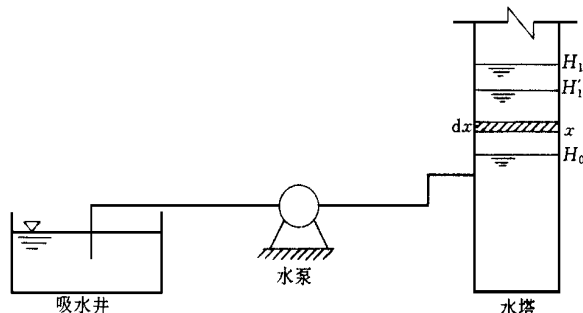


图1 简单管路

简单管路如图1所示。水泵的特性曲线为 $H = H_p - S_p Q^2$, 管路的阻抗系数为 S_l , 某时刻水塔的起始水位为 H_0 , 水塔截面积为 A (m^2), 假定吸水井起始水位保持 0.00m 不变。

按照一般方法,进入水塔的流量(L/s)为:

$$Q = \frac{\sqrt{H_p - H_0}}{\sqrt{S_p + S_l}} \quad (1)$$

1h 后水塔的水位:

$$H_1 = H_0 + 3.6 \frac{Q}{A} \quad (2)$$

而实际上,在 1h 的计算过程中,水塔水位一直在不断变化,并不恒定在初始水位 H_0 , 进入水塔的

流量同样是在不断变化的,水塔水位的变化值不能简单地表示为 $3.6 Q/A$ 。考虑 1h 计算过程中水塔水位变化对进入水塔流量的影响,可建立以下的积分方程:

$$3600 = \int_{H_0}^{H_1} \frac{1000A}{Q_x} dx = \int_{H_0}^{H_1} \frac{1000A}{\sqrt{\frac{H_p - x}{S_p + S_l}}} dx \quad (3)$$

公式(3)计算结果为:

$$H_1' = H_0 + \frac{3.6}{A} \sqrt{\frac{H_p - H_0}{S_p + S_l}} - \frac{1.8^2}{A^2(S_p + S_l)} \quad (4)$$

比较(4)式和(2)式可知,1h 后精确的水塔水位比一般的静态计算方法的结果略低,相差 $1.8^2/[A^2(S_p + S_l)]$ 。假设水泵的特性曲线为 $H = 68 - 0.00015 Q^2$, 管路阻抗为 $S_l = 0.006968$, 水塔起始水位 $H_0 = 62m$, $A = 45m^2$, 一般的静态计算 $H_1 = 64.3227m$, 精确的水位计算 $H_1' = 64.0979m$, 二者相差 0.2248m。

得到精确的水塔水位计算公式(4)后,设法找出某一计算水位 H_c , 使按静态方法计算出的水塔水位变化量与精确计算得到的数值相同。设 $R = \frac{H_c - H_0}{H_1 - H_0}$, 则有方程:

$$\begin{aligned} & \frac{3.6}{A} \sqrt{\frac{H_p - (H_0 + \frac{3.6}{A} \sqrt{\frac{H_p - H_0}{S_p + S_l}} R)}{S_p + S_l}} \\ &= \frac{3.6}{A} \sqrt{\frac{H_p - H_0}{S_p + S_l}} - \frac{1.8^2}{A^2(S_p + S_l)} \end{aligned} \quad (5)$$

推导可得出:

$$R = \frac{1}{2} - \frac{1}{16} \cdot \frac{1}{H_p - H_0} \cdot \frac{3.6}{A} \sqrt{\frac{H_p - H_0}{S_p + S_l}}$$

$$= \frac{1}{2} - \frac{\Delta h}{16(H_p - H_0)} \quad (6)$$

上式中, Δh 为静态计算中的水位变化值, 由于 $\frac{\Delta h}{16(H_p - H_0)}$ 数值较小, 也可近似地取 $R = \frac{1}{2}$ 。

2 四种水塔水位的计算方法

根据对简单管路的分析, 可以采用以下四种方法在动态模拟时对水塔水位进行调整。

(1) 传统的静态计算方法 根据水塔的起始水位, 每小时计算一次, 计算之后, 根据进出水塔的水量, 确定下一小时的水塔起始水位, 继续进行计算。

(2) 精确计算方法 根据水塔的起始水位, 在每小时内, 每隔一个较短的时间段 (如 1min) 计算一次, 累计后确定下一小时的水塔起始水位, 继续进行计算。在计算过程中, 用户用水量在每小时内保持不变。

(3) 改进的计算方法一 每小时首先根据水塔的起始水位, 计算水塔的水位变化值 Δh , 然后把起始水位加上 $\Delta h/2$ 作为本小时的计算水位, 重新计算水塔水位变化值 $\Delta h'$, 把起始水位加上 $\Delta h'$ 作为下一小时的水塔起始水位。

(4) 改进的计算方法二 每小时首先根据水塔的起始水位, 计算水塔的水位变化值 Δh , 然后计算 $R = \frac{1}{2} - \text{abs}\left(\frac{\Delta h}{16(H_p - H_k)}\right)$, 其中 H_p 为水泵静扬程加吸水井标高, H_k 为本小时起始水位, 取计算水位 $H_c = H_k + R \cdot \Delta h$, 重新计算水塔水位变化值 $\Delta h'$, 把起始水位加 $\Delta h'$ 作为下一小时水塔起始水位。

3 算例分析

为了确定哪一种方法更适合于实际, 下面我们通过一个小管网的计算对这四种算法加以比较。

3.1 管网基本数据

3.1.1 管网结构

管网结构如图 2 所示, 其中节点 1 为供水泵房, 节点 14 为水塔。水力计算采用巴甫洛夫斯基公式, 管壁粗糙系数采用 0.014。

3.1.2 节点流量

各节点数据如表 1 和表 2 所示。为了节省篇幅, 只给出了节点的平均流量, 而各个节点的流量采

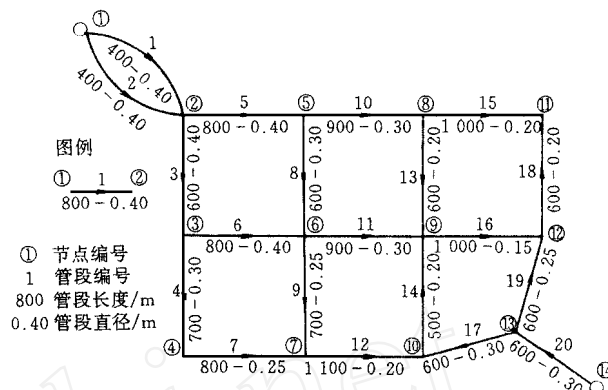


图 2 管网结构

表 1 节点 24h 平均流量/L/s

编号	流量	编号	流量	编号	流量
2	18.055 4	6	16.527 9	10	40.833 3
3	6.944 6	7	14.583 3	11	22.500 0
4	12.222 1	8	10.416 7	12	7.708 3
5	13.333 3	9	25.902 9	13	0.000 0

表 2 节点流量时变化系数/%

编号	变化系数	编号	变化系数	编号	变化系数
00 - 01	1.70	08 - 09	6.00	16 - 17	5.75
01 - 02	1.67	09 - 10	5.84	17 - 18	5.83
02 - 03	1.63	10 - 11	5.07	18 - 19	5.62
03 - 04	1.63	11 - 12	5.15	19 - 20	5.00
04 - 05	2.56	12 - 13	5.15	20 - 21	3.19
05 - 06	4.35	13 - 14	5.15	21 - 22	2.69
06 - 07	5.14	14 - 15	5.27	22 - 23	2.58
07 - 08	5.64	15 - 16	5.52	23 - 24	1.87

用相同的时变化系数。

3.1.3 泵站数据

泵站采用两台水泵, 吸水井水位取 110m, 特性曲线均为 $H = 58 - 0.000\ 125\ Q^2$, 其中 Q 对应流量单位 L/s。开启状态如表 3。

表 3 水泵 24h 开启状态

编号	开启状态																							
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	

3.1.4 水塔数据

水塔面积取为 50m², 为了充分区分四种计算方法的差异, 不限制其最高和最底水位。

3.1.5 计算参数

表4 四种算法水塔水位比较 / m

算法	时间/h											
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
1	161	163.257 9	164.744	165.602 2	165.942 7	164.444 3	161.926 4	159.302 2	156.822 3	154.546 4	153.132 8	153.428 6
2	161	162.916 2	164.245 7	165.116 7	165.602 3	164.587 5	162.436 6	160.043 4	157.698 7	155.493	154.025 9	154.040 9
3	161	162.875 7	164.176 7	165.032 9	165.520 1	164.598 4	162.504 4	160.141 5	157.812 3	155.613 2	154.140 5	154.124 3
4	161	162.891 9	164.201 5	165.058 8	165.5406 6	164.588 2	162.451 9	160.075 2	157.745 7	155.551 6	154.089 7	154.087 2

算法	时间/h											
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	153.494 4	153.539 6	153.570 6	153.381	152.819 9	152.039 5	151.348 7	151.217 1	152.176 4	154.688	157.331 5	159.451 6
2	153.930 9	153.851	153.792 9	153.57	153.035 1	152.301 5	151.633 9	151.447 2	152.232 4	154.460 9	156.853 4	158.819 6
3	153.994 3	153.899 1	153.829 2	153.601 1	153.068	152.338 5	151.672 8	151.479 6	152.245	154.446 9	156.814 8	158.761 9
4	153.967	153.879 1	153.814 6	153.590 3	153.059 4	152.331 2	151.666 6	151.474 9	152.242 3	154.450 8	156.826 4	158.778 8

算法二计算间隔时间为 1min。

3.2 计算结果比较

四种算法计算结果见表 4、表 5 及图 3。

表5 四种算法计算时间比较/s

算法	计 算 时 间										平均时间
1	1.19	1.19	1.19	1.20	1.21	1.20	1.23	1.20	1.20	1.21	1.202
2	4.27	4.32	4.18	4.31	4.22	4.28	4.20	4.31	4.23	4.36	4.268
3	1.28	1.25	1.26	1.26	1.25	1.25	1.27	1.24	1.24	1.25	1.255
4	1.25	1.25	1.26	1.26	1.27	1.26	1.27	1.26	1.25	1.24	1.257

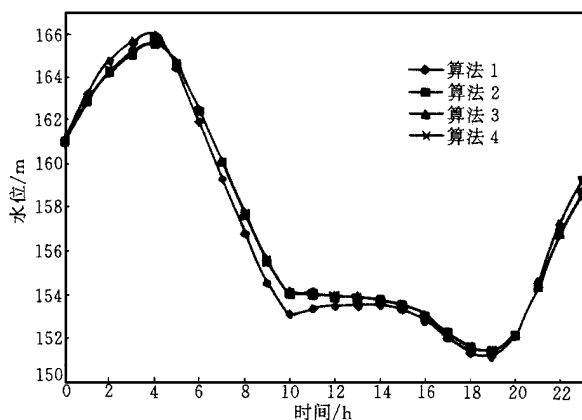


图3 四种算法水塔水位变化曲线

3.3 计算结果分析

由计算结果可以看出,算法 2、算法 3 和算法 4 计算结果非常相近,从变化曲线上来看,几乎看不出什么差别,只能从数据表格中反映出一定的差距。而利用算法 1 计算时,水塔的水位变化范围明显大于后两者。从计算时间来看,算法 2 的计算时间最长,算法 1 的耗时最短,算法 3 和算法 4 计算时间比

算法 1 略长。由于测试管网较小,每次平差计算耗时太少,主要时间都用于程序的输入输出过程中,所以四种算法的计算时间不是很悬殊。

在四种计算方法中,第一种是现在比较常用的方法,在各种计算程序中广泛采用;第二种为理论计算方法,计算量巨大,没有实际使用价值;第三种为美国肯塔基大学的 Linda Oimsbee 提出的一种计算方法,计算量较小,计算结果比较准确;第四种计算量与方法三相当,但计算结果更为准确。

4 结论

由以上的对比分析可以看出,算法 1 的计算量最小,但计算结果偏于保守,在设计管网时可以优先采用,以提高管网的可靠性;算法 2 的计算结果最为准确,但计算量最大,计算时间过长,不适合于实际使用;算法 3 和算法 4 计算量较小,计算时间也较短,能够在准确性和计算时间之间达到平衡,特别是算法 4 应该作为我们进行动态模拟最佳选择。

参考文献

- 1 严煦世,赵洪宾. 给水管网理论与计算. 北京:中国建筑工业出版社,1986
- 2 彭永臻,崔福义. 给水排水工程计算机程序设计. 北京:中国建筑工业出版社,1994
- 3 许仕荣,邱振华. 给水管网的计算理论与电算应用. 长沙:湖南大学出版社,1997
- 4 严煦世,范瑾初. 给水工程. 北京:中国建筑工业出版社,1995

○作者通讯处:200092 上海市同济大学环境科学与工程学院
电话:(021)65982697
收稿日期:1999-8-13