

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.22.023

自动喷水灭火系统设计流量计算方法的研究

徐得潜, 钱安贞

(合肥工业大学 土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 《自动喷水灭火系统设计规范》(GB 50084—2017)规定系统设计流量应按最不利点处作用面积内喷头同时喷水的总流量确定。当系统呈对称布置时,可用特性系数法进行管网水力计算。实际工程中大多数自动喷水灭火系统为非对称布置,特性系数法仅能用于最不利支管的水力计算。针对这一问题,对自动喷水灭火系统管网水力特性进行分析,推导出非对称布置时其他支管喷头流量计算公式并采用逐步逼近法精准求解。同时设其他支管的出流为一假想喷头,引入参数 k 、 n ,推导出支管出流量与末端水压的关系,并以此为基础提出简化算法。将两种方法计算结果进行对比分析,验证了简化算法的可行性。

关键词: 自动喷水灭火系统; 设计流量; 非对称布置; 精准算法; 简化算法

中图分类号: TU892 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)22-0130-06

Research on Calculation Method of Design Flow of Sprinkler System

XU De-qian, QIAN An-zhen

(School of Civil and Hydraulic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Code for Design of Sprinkler Systems (GB 50084 - 2017) stipulates that the design flow of the system should be determined by the total flow of the sprinkler within the working area at the most unfavorable point when they are spraying simultaneously. The hydraulic calculation of pipe network can be carried out by the characteristic coefficient method when the system is symmetrically arranged. Most automatic sprinkler systems in practical projects are asymmetrically arranged, which makes the characteristic coefficient method only applicable for the most unfavorable branch pipe. For solving this problem, the hydraulic characteristics of the sprinkler system was analyzed, and formula named precise calculation method, which can be used to calculate flow of the sprinkler in the other branch pipe when system is arranged asymmetrically was deduced. The formula should be used with the assistance of progressive approximation method. Besides, the outflow of the other branch pipe in non-computational pipeline can be assumed as a hypothesis sprinkler. Introducing the parameters " k " and " n " to derive the relationship between outflow and water pressure at the end of the branch pipe, based on which a simplified calculation method was proposed. Through comparing and analyzing the results of the two methods, the feasibility of simplified calculation method can be verified.

Key words: sprinkler system; design flow; asymmetrical arrangement; precise calculation method; simplified calculation method

1 研究背景

自动喷水灭火系统水力计算是其设计的核心,其结果决定水泵设计流量和扬程,进而影响灭火效果和系统投资。目前我国自动喷水灭火系统管道水力计算方法主要为特性系数法,采用调整系数^[1]计算其他支管流量,考虑了水头损失对喷头喷水量的影响,但只适用于管网对称布置情况。针对上述问题,一些学者对自动喷水灭火系统水力计算方法进行了研究。樊建军等^[2]分析了喷头之间的流量比例关系,对特性系数法中的调整系数计算公式进行了改进,结合压力平衡方程提出了适用于非对称布置自动喷水灭火系统设计流量的计算方法。刘晓辉^[3]提出了一种基于质量守恒和能量守恒的试算法,可用于非对称布置管网计算,但计算过于繁琐。基于虚拟节点水压和虚拟节点流量,李雪飞等^[4]提出了非对称布置情况下非最不利配水支管管系特性系数的方法,张伟^[5]提出了简化快速算法。黄海峰等^[6]在支管特性系数计算法中考虑了喷头连接短管水头损失及其几何高差产生的水压对喷头压力的影响,使计算结果更为合理。

上述计算方法均基于舍维列夫公式:

$$i = 1.7346 \times 10^{-13} \cdot q^2 \cdot d_j^{-5.3} \quad (1)$$

式中 i ——管道单位长度的水头损失, $\text{mH}_2\text{O}/\text{m}$

q ——管道流量, L/s

d_j ——管道计算内径, m

即管道沿程水头损失与流量的平方成正比,且特性系数法(包括管系特性系数法)在推导过程中为简化计算,做了近似处理^[1-2]。现行《自动喷水灭火系统设计规范》(GB 50084—2017,以下简称《新规范》)采用海澄-威廉公式计算沿程水头损失:

$$i = 2.8929 \times 10^{-5} \cdot C_h^{-1.85} \cdot d_j^{-4.87} \cdot q^{1.85} \quad (2)$$

式中 C_h ——海澄-威廉系数,镀锌钢管 $C_h = 120$

因此以上方法不再适用。

基于《新规范》的实施和自动喷水灭火系统管网以非对称布置为主的工程实际,笔者通过对自动喷水灭火系统管网水力计算特性分析,推导出非对称布置时其他支管喷头流量计算公式并采用逐步逼近法精准求解,同时以数理统计理论为基础,通过实例计算分析,提出其他支管流量简化计算方法。

2 精准算法

对图1所示自动喷水灭火系统计算管网,各喷头出流量及通过管段 n 的流量可按下式计算:

$$\begin{cases} H_{n+1} = H_n + 2.8929 \times 10^{-5} C_h^{-1.85} d_n^{-4.87} L_n Q_n^{1.85} \\ q_{n+1} = K \sqrt{H_{n+1}} \\ Q_n = \sum_{j=1}^n q_j \end{cases} \quad (3)$$

式中 H_{n+1} 、 H_n ——分别为节点 $n+1$ 、节点 n 处喷头的工作压力, mH_2O

q_{n+1} ——节点 $n+1$ 处喷头的出流量, L/s

K ——喷头流量系数

L_n ——管段 n 的长度, m

d_n ——管段 n 的计算内径, m

Q_n ——通过管段 n 的流量, L/s

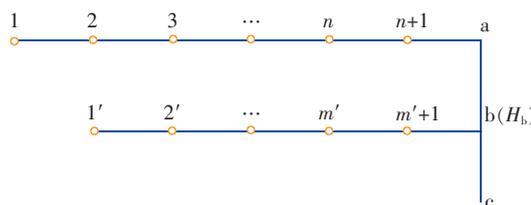


图1 自动喷水灭火系统计算管网示例

Fig. 1 Calculation example of sprinkler system pipeline

对最不利支管(1-a),由于最不利点(节点1)处喷头的工作压力 H_1 已知,可用式(3)求出支管上各喷头的出流量。而对于其他支管(1'-b),必须先算出起点压力 $H_{1'}$ 后,才能计算各喷头出流量。设图1中 b 点水压 H_b 已知,支管 1'-b 上各管段管径为 $d_{m'}$,令 $T_{m'} = 2.8929 \times 10^{-5} C_h^{-1.85} d_{m'}^{-4.87} L_{m'}$,则支管 1'-b 管段 m' 水头损失 $h_{m'}$ 为^[7]:

$$h_{m'} = T_{m'} Q_{m'}^{1.85} = T_{m'} \left(\sum_{j=1}^{m'} q_j \right)^{1.85} \quad (4)$$

则有:

$$\begin{aligned} H_{1'} + T_{1'} q_{1'}^{1.85} + T_{2'} (q_{1'} + q_{2'})^{1.85} + \dots + T_{m'} \\ \left(\sum_{j=1}^{m'} q_j \right)^{1.85} = H_b \end{aligned} \quad (5)$$

由 $q_{1'} = K \sqrt{H_{1'}}$, 可得 $\frac{q_{m'}}{q_{1'}} = \sqrt{\frac{H_{m'}}{H_{1'}}}$, 代入式(5):

$$\begin{aligned} H_{1'} + H_{1'}^{0.85/2} K^{-1.85} [T_{1'} + T_{2'} (1 + \sqrt{\frac{H_{2'}}{H_{1'}}})^{1.85} + \\ \dots + T_{m'} (1 + \sqrt{\frac{H_{2'}}{H_{1'}}} + \dots + \sqrt{\frac{H_{m'}}{H_{1'}}})^{1.85}] = H_b \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{令 } b_{1'} = \sqrt{\frac{H_{2'}}{H_{1'}}} = \sqrt{\frac{H_{1'} + T_{1'} K^{1.85} H_{1'}^{1.85/2}}{H_{1'}}} = \\ \sqrt{1 + T_{1'} K^{1.85} H_{1'}^{-0.075}}, \text{ 则:} \end{aligned}$$

$$b_{m'} = \sqrt{\frac{H_{m'+1}}{H_{1'}}} = \sqrt{\frac{H_{m'} + T_{m'}(q_{1'} + q_{2'} + \dots + q_{m'})^{1.85}}{H_{1'}}} = \sqrt{b_{m'-1}^2 + K^{1.85} T_{m'} H_{1'}^{-0.075} (1 + b_{1'} + \dots + b_{m'-1})^{1.85}} \quad (7)$$

将式(7)代入式(6),解得:

$$H_{1'} = H_b / \{ 1 + K^{1.85} H_{1'}^{-0.075} [T_{1'} + T_{2'} (1 + b_{1'})^{1.85} + \dots + T_{m'} (1 + b_{1'} + \dots + b_{m'-1})^{1.85}] \} \quad (8)$$

由于上式等号右边含有 $H_{1'}$, 无法直接求解, 故采用逐步逼近法求解:

① 根据最不利支管和其他支管喷头及管段布置情况, 初设 $H_{1'}$, 计算 $b_{m'}$ ($m' = 1', 2', \dots, m' - 1$), 代入式(8)计算出该支管起点水压, 记为 $H_{1'}'$;

② 若 $|H_{1'}' - H_{1'}| < \varepsilon$, 令该支管起点水压为 $H_{1'}'$, 依次计算该支管各喷头出流量, 计算结束。否则, 令 $H_{1'} = H_{1'}'$, 转步骤③;

③ 计算 $b_{m'}$ ($m' = 1', 2', \dots, m' - 1$), 由式(8)重新计算出 $H_{1'}'$, 返回步骤②。

由于式(8)等式右边的包含 $H_{1'}$ 的项为 $H_{1'}^{-0.075}$, 对 $H_{1'}$ 的变化敏感性很小, 因此只要 $H_{1'}$ 初始值大致合理, 只需迭代 2~3 次即可取得较高的精度。

运用上述方法即可准确求出自动喷水灭火系统

内任一喷头的出流量及系统设计流量。

3 简化算法

将其他支管配水支管的出流看作一个假想喷头, 其流量 Q 与支管末端水压 H 满足下式:

$$Q = k \cdot H^n \quad (9)$$

式中 k ——假想喷头流量系数

n —— H 的指数

因喷头工作水压与其流量的平方成正比, 而管道沿程水头损失却与其流量的 1.85 次方成正比, 故 k, n 值无法直接推导, 需对不同喷头数、不同布置形式的配水支管, 分别假设起始喷头 2 个工作水压并计算末端水压及支管总流量, 代入式(9)解出 k 和 n , 并分析 k, n 与喷头数及布置形式之间的变化规律。

先对喷头流量系数 $K = 80$ 的配水支管进行研究, 该种喷头主要应用于轻、中危险级场所。管径设计参照《新规范》表 8.0.9, 《新规范》规定轻、中危险级场所每根配水支管控制的标准流量洒水喷头数量不应超过 8 个, 因此选取喷头数为 1~8 的配水支管进行计算分析, 表中 L 为喷头的布置间距, L 的取值参照《新规范》表 7.1.2。为使喷洒范围的分布尽量均匀, 将位于支管末端的喷头与干管的距离设为 $L/2$ 。则不同布置情况的 k, n 值计算结果见表 1。

表 1 不同布置情况其他支管 k, n 值

Tab.1 K and n of other branch pipe with different arrangement

其他支管喷头数 L/m	k					n				
	轻危险级		中危险级			轻危险级		中危险级		
	4.5	4.4	4.0	3.6	3.4	4.5	4.4	4.0	3.6	3.4
1	0.401 0	0.401 4	0.403 0	0.404 6	0.405 4	0.502 9	0.502 8	0.502 6	0.502 3	0.502 2
2	0.774 5	0.775 8	0.780 9	0.786 2	0.788 8	0.504 8	0.504 7	0.504 3	0.503 9	0.503 8
3	1.085 4	1.088 4	1.101 0	1.114 1	1.120 8	0.508 3	0.508 1	0.507 6	0.507 0	0.506 7
4	1.359 3	1.364 3	1.385 1	1.407 0	1.418 4	0.510 9	0.510 8	0.510 1	0.509 5	0.509 1
5	1.674 2	1.680 5	1.706 4	1.734 1	1.748 5	0.511 1	0.511 0	0.510 4	0.509 8	0.509 5
6	1.996 0	2.003 5	2.034 5	2.067 7	2.085 1	0.511 2	0.511 0	0.510 5	0.509 9	0.509 6
7	2.266 9	2.276 1	2.314 5	2.355 7	2.377 4	0.512 2	0.512 0	0.511 5	0.510 9	0.510 5
8	2.484 2	2.495 6	2.543 1	2.594 3	2.621 5	0.513 7	0.513 6	0.513 0	0.512 3	0.512 0

由表 1 可知:①喷头数一定时, k 随布置间距的增大而减小, n 随喷头间距的增大而增大, 但变化幅度都较小。②喷头数不同但喷头间距相同时, k, n 随喷头数的增大而增大。③轻危险级、中危险级 I 级(布置间距为 4.0 m 和 3.6 m)、中危险级 II 级(布置间距为 3.6 m 和 3.4 m)情况下 n 值变化区间分别为 0.502 8~0.513 7、0.502 3~0.513 0、0.502 2~

0.512 3, 各危险级下最小值与最大值的绝对误差分别为 0.010 9、0.010 7、0.010 1, 相对误差分别为 2.17%、2.13%、2.01%; k 值变化区间分别为 0.401 0~2.495 6、0.403 0~2.594 3、0.404 6~2.621 5, 最大值与最小值绝对误差分别为 2.094 6、2.191 3、2.216 9, 相对误差分别为 522.34%、543.75%、547.92%。④不同危险级情况下 k, n 值

相差较小,因此在以下讨论中归为一类。

喷头数和喷头间距均会影响配水支管的 k 、 n 值,若根据具体喷头数和喷头间距逐个求出 k 和 n 值,计算量大。因此,可对不同喷头数和不同喷头间距的其他支管采用统一的 k 值或 n 值,以简化计算,便于工程应用。 k 值变化区间大,不宜取一定值,否则会产生较大误差。从式(9)拟合精度及易于计算角度,选择 n 为定值, k 则随喷头数和喷头间距变化而变化,但在计算中可约掉。

为计算其他支管流量,先给定该支管起始工作压力 H_1 ,用式(3)计算出支管末端水压 H' 及流量 Q' ,设沿最不利支管计算的末端水压为 H ,则该支管流量 Q 按下式计算:

$$Q = Q' \left(\frac{H}{H'} \right)^n \quad (10)$$

其中 n 值的确定方法有以下两种:

① 对相同喷头数的配水支管, n 为一定值。

设喷头数为 i 时,配水支管的 n 值为 n_i 。因 Q 为 H 的非线性函数,将支管总流量的实际值 $Q_{i,j}$ 和与理论值 $Q'_{i,j}$ 分别取对数,以两个对数差值的平方和最小为目标函数,建立 n 值优化模型:

$$\begin{cases} \min f_i = \sum_{j=1}^5 (\ln Q_{i,j} - \ln Q'_{i,j})^2 \\ Q_{i,j} = k_{i,j} H^{n_{i,j}} \\ Q'_{i,j} = k_{i,j} H^i \end{cases} \quad (11)$$

式(11)中 $k_{i,j}$ 和 $n_{i,j}$ 按表1取值; H 为配水支管的末端水压,可在合理范围内对每个支管假设一个值; i 为喷头数, $i=1,2,\dots,8$; $j=1,2,\dots,5$,对应的布置间距分别为 3.4、3.6、4.0、4.4、4.5 m; n_i 为未知参数,由式(11)解得。

解出的其他支管 n_i 值为 0.502 5 ~ 0.512 9。为验证计算精度, H 分别取 13、16、18、20、22 mH₂O,绝对误差均值和相对误差均值的变化范围分别为 0.008 2 ~ 0.012 9 L/s、0.131 5% ~ 0.158 4%,且误差随着 H 的增大而有所增大。

② 对不同喷头数的配水支管, n 为一定值。

同理可得 $n_0 = 0.508 7$ 。各配水支管流量的绝对误差均值和相对误差均值的变化范围依次为 0.038 4 ~ 0.060 5 L/s、0.752 6% ~ 0.907 2%,误差随着 H 的增大而有所增大。

对比以上两种方法的计算结果可知,方法一计算结果误差更小,但方法二在计算流量时,对其他支

管各种喷头数均采用统一的 n 值计算,计算简便,计算精度能满足实际工程要求。综合考虑计算的简易性和结果的精准性,采用方法二作为简化算法。

以上计算中涉及的配水支管控制的喷头数均按《新规范》确定,笔者适当改变配水支管控制的喷头数,分析由此产生的管道流速变化及对 n 值的影响,计算结果见表2。

表2 配水支管控制的喷头数、 n 值及管道流速

Tab. 2 Number of sprinkler, n and velocity in branch pipe

方案	一	二	三	四	五	六
喷头数/个	DN25		1	1	1	1
	DN32	1	1	2	3	3
	DN40	1	2	3	3	4
	DN50	3	4	5	5	6
	DN65	5	6	7	8	8
	DN80	7	8	8		
	DN100	8				
n	0.502 0	0.504 0	0.506 1	0.507 3	0.508 4	0.508 7
支管平均流速/(m·s ⁻¹)	1.49	2.16	2.75	3.02	3.37	3.56

由表2可知, n 值随着支管平均流速的增大而增大,最大值为 0.508 7,均值为 0.506 0,将它们分别代入式(10)计算配水支管的流量并对结果进行比较,两者差值不超过 0.1 L/s,可知 n 值在一定范围内的变动对流量计算结果的影响较小。因此在工程设计中,可取表2中 n 的均值计算配水支管流量,以适用不同布置情况的支管。即当喷头流量系数为 80 时,任一配水支管的 n 值都为 0.506 0。

《新规范》规定,严重危险级或仓库危险级场所宜采用流量系数为 115 的洒水喷头,且每根配水支管控制的喷头数量不应超过 6 个。选取喷头数分别为 1~6 的配水支管,给定不同的布置间距和起点工作压力,同理可得 $n=0.506 6$ 。

4 计算实例

4.1 精准算法

图2为4种中危险I级自动喷水灭火系统管网非对称布置形式,喷头均采用正方形布置,间距为 3.6 m,作用面积 168.48 m²,共有 13 个喷头。计算内径见表3,系统最不利喷头处压力为 0.1 MPa, $K=80$ 。采用精准算法对这4种系统进行水力计算,系统设计流量及平均喷水强度计算结果见表4,喷头出流量及工作压力计算结果见表5(1 mH₂O ≈ 10 kPa)。

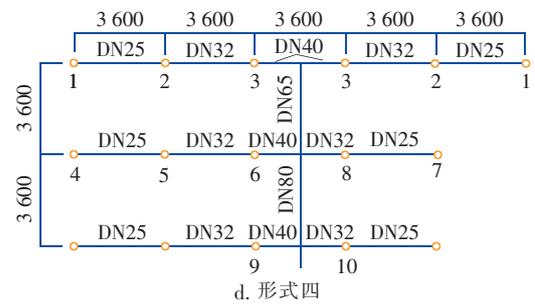
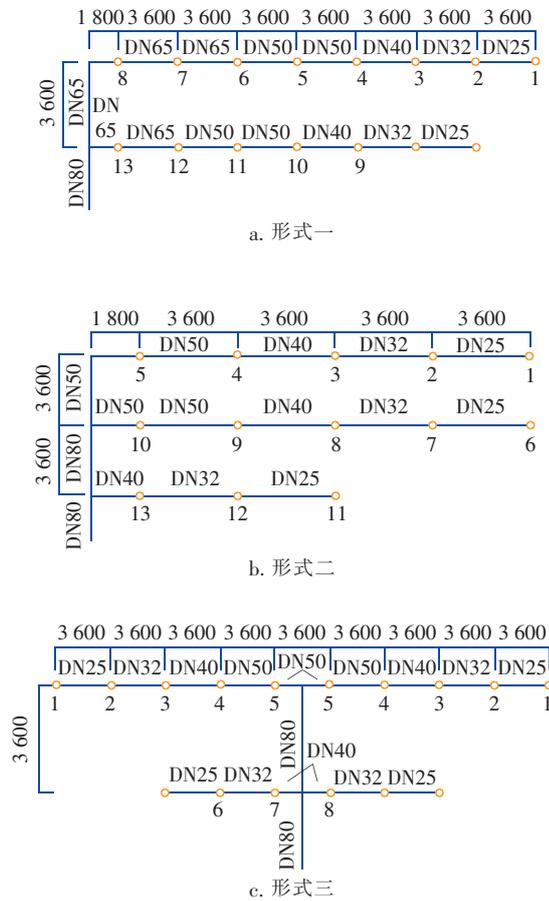


图 2 自动喷水灭火系统管网非对称布置形式

Fig. 2 Sprinkler system with asymmetrical arrangement

表 3 镀锌钢管计算内径

Tab. 3 Calculation inner diameter of galvanized steel pipe

mm

公称直径	25	32	40	50	65	80
计算内径	26.0	34.8	40.0	52.0	67.0	79.5

表 4 系统设计流量及平均喷水强度

Tab. 4 Design flow and average spray intensity

管网布置形式	a	b	c	d
系统设计流量/(L·s ⁻¹)	21.136	19.815	19.696	18.820
平均喷水强度/(L·min ⁻¹ ·m ⁻²)	7.527	7.057	7.014	6.702
4 个喷头保护面积 内平均喷水强度/ (L·min ⁻¹ ·m ⁻²)	最大值	8.071	7.573	7.131
	最小值	6.705	6.458	6.705

表 5 配水管网喷头出流量及工作压力计算结果

Tab. 5 Calculation results of outflow and work pressure of sprinkler in pipeline

喷头编号	喷头出流量/(L·s ⁻¹)				工作压力/mH ₂ O			
	a	b	c	d	a	b	c	d
1	1.328	1.328	1.328	1.328	10.000	10.000	10.000	10.000
2	1.413	1.413	1.413	1.413	11.313	11.313	11.313	11.313
3	1.486	1.486	1.486	1.486	12.526	12.526	12.526	12.526
4	1.566	1.566	1.566	1.349	13.897	13.897	13.897	10.310
5	1.604	1.604	1.604	1.434	14.582	14.582	14.582	11.660
6	1.662	1.376	1.612	1.509	15.659	10.733	14.735	12.907
7	1.686	1.463	1.637	1.421	16.114	12.134	15.190	11.440
8	1.718	1.539	1.653	1.510	16.739	13.428	15.491	12.926
9	1.702	1.621		1.574	16.424	14.892		14.049
10	1.715	1.660		1.568	16.679	15.623		13.943
11	1.728	1.497			16.937	12.701		
12	1.756	1.590			17.487	14.339		
13	1.770	1.672			17.763	15.850		

根据《新规范》,上述系统内任意作用面积内的平均喷水强度不应低于 6 L/(min·m²),最不利点内任意 4 个喷头范围内的平均喷水强度不应低于规定值的 85%。表 5 中各系统作用面积内平均喷水强度及任意 4 个喷头喷洒范围内平均喷水强度均大

于规定值。管网布置(c)和(d)的系统设计流量满足要求且喷水均匀性优于(a)、(b)两种形式,在可能的情况下,管网应采用中央布置形式。

4.2 简化算法

为验证简化算法的合理性,现分别用 $n =$

0.506 0和 $n=0.5$ 的简化算法计算图2各系统设计流量,并与精准算法对比,计算结果见表6。

表6 不同算法系统设计流量对比

Tab.6 Comparison of design flow between different calculation methods $L \cdot s^{-1}$

管网布置形式		a	b	c	d
简化 算法	$n=0.5060$	21.153	19.808	19.706	18.826
	$n=0.5$	21.127	19.798	19.694	18.817
精准算法		21.136	19.815	19.696	18.820

由表6可知, $n=0.5$ 时的简化算法计算得出的设计流量偏小, $n=0.5060$ 时的简化算法更为合理。《新规范》规定沿程水头损失与管道流量的1.85次方成正比,但与旧规范规定的沿程水头损失与流量的平方成正比相差较小,且新旧规范喷头工作水压与流量的平方成正比未变,因此式(9)中的 n 必在 $1/2 \sim 1/1.85$ 即 $0.5 \sim 0.5405$ 之间,且靠近0.5,取 $n=0.5060$,此时对应的管道平均流速约为 2.75 m/s 。由于系统(b)中部分非计算管段的流速较小,仅为 $1 \sim 2 \text{ m/s}$,因此代入 $n=0.5060$ 计算流量的误差绝对值比 $n=0.5$ 时更大,但仍在误差允许范围内,因此简化算法具有较好的适用性。

5 结论

以《新规范》中水头损失公式的改变为背景,提出了其他支管流量精准算法和简化算法。通过计算分析和实例验证,得出以下结论:精准算法计算精度高,但计算公式较为复杂。为使其具有更好的应用性,应编程上机计算,以提高计算效率;简化算法计算简便,已知支管末端水压即可求出支管流量,精度较高,便于实际工程应用。

参考文献:

- [1] 王增长,高羽飞. 建筑给水排水工程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
Wang Zengzhang, Gao Yufei. Building Water Supply and Sewerage Engineering[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010 (in Chinese).
- [2] 樊建军,王峰,董毅,等. 自动喷水灭火系统水力计算方法[J]. 中国给水排水,2007,23(14):33-36.
Fan Jianjun, Wang Feng, Dong Yi, et al. Hydraulic calculation method of automatic fire sprinkler systems [J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(14): 33-36 (in Chinese).
- [3] 刘晓辉. 自动喷水灭火系统水力计算-应用试算法

[J]. 工程建设与设计,2013(3):86-88.

Liu Xiaohui. Applied trial method for hydraulic calculation of automatic sprinkler system [J]. Construction & Design for Project, 2013(3): 86-88 (in Chinese).

- [4] 李雪飞,玄津. 自动喷水灭火系统管系特性系数法的探讨[J]. 中国给水排水,2013,29(5):46-49,54.
Li Xuefei, Xuan Jin. Discussion on piping characteristic coefficient in hydraulic calculation of sprinkler system [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(5): 46-49, 54 (in Chinese).
- [5] 张伟. 自动喷淋灭火系统非对称布置管段设计流量确定方法浅论[J]. 湖南城建高等专科学校学报,2000,9(1):38-39.
Zhang Wei. An initial research on method of deciding designing flow of pipelines arranged asymmetrically in an automatically spraying fire-extinguishing [J]. Journal of Hunan Urban Construction College, 2000, 9(1): 38-39 (in Chinese).
- [6] 黄海峰,袁建平. 自动喷水灭火系统支管特性系数水力计算法[J]. 给水排水,2009,35(5):193-197.
Huang Haifeng, Yuan Jianping. Hydraulic calculation method for range pipe characteristic coefficient for fire protection sprinkler system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2009, 35(5): 193-197 (in Chinese).
- [7] 徐得潜. 自动喷水灭火系统喷水强度及均匀性研究[J]. 化工给排水设计,1996(1):29-33.
Xu Deqian. Study on spray intensity and uniformity of sprinkler systems [J]. Design of Chemical Water and Wastewater, 1996(1): 29-33 (in Chinese).



作者简介:徐得潜(1960-),男,安徽池州人,博士,教授,从事给水排水工程优化规划与经济运行、建筑给水排水工程理论与技术等研究。

E-mail: xudeqian60@163.com

收稿日期:2019-10-08