

设计经验

自动喷水灭火系统水力计算方法

樊建军¹, 王 峰², 董 毅¹, 崔艳堂¹, 林 林¹

(1. 广州大学 土木工程学院, 广东 广州 510006; 2 华南理工大学 建筑设计研究院,
广东 广州 510641)

摘 要: 为克服目前自动喷水灭火系统水力计算方法存在的缺陷,根据水力学原理分析了自动喷水灭火系统配水支管上各喷头流量之间的比例关系和水压平衡方程,提出了适于管路及喷头“不规则布置”的自动喷水灭火系统的水力计算方法,可精确计算自动喷水灭火系统的设计流量。

关键词: 自动喷水灭火系统; 水力计算方法; 作用面积; 设计流量

中图分类号: TU998 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000 - 4602(2007)14 - 0033 - 04

Hydraulic Calculation Method of Automatic Fire Sprinkler Systems

FAN Jian-jun¹, WANG Feng², DONG Yi¹, CUI Yan-tang¹, LIN Lin¹

(1. School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China; 2
Architecture Design and Research Institute, South China University of Technology,
Guangzhou 510641, China)

Abstract: A perfect hydraulic calculation method was put forward based on hydraulic analysis of proportionality of sprinklers flow rates and equilibrium equations of water pressure in branch pipes. The method suits the condition that the sprinklers and pipes were mounted irregularly. It also can be used to accurately calculate the design flow of automatic fire sprinkler system.

Key words: automatic fire sprinkler system; hydraulic calculation method; area of sprinkler operation; design flow

1 现行计算方法存在的缺陷

正确进行自动喷水灭火系统的水力计算,对于合理选择加压水泵、保证灭火时的流量及喷水均匀性有重要意义。《自动喷水灭火系统设计规范》(GB 50084—2001)中第 9.1.3 条指出,系统的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^[1],即:

$$Q_s = \frac{1}{60} \sum_{i=1}^n q_i \quad (1)$$

式中 Q_s ——系统设计流量, L/s

q_i ——最不利点处作用面积内各喷头节点的

流量, L/min

n ——最不利点处作用面积内的喷头数

目前,关于自动喷水灭火系统设计流量的计算方法,设计手册和《建筑给水排水工程》中介绍的有作用面积法和特性系数法^[2,3]。作用面积法忽略了管道水头损失对喷头工作压力的影响,假定作用面积内各喷头的喷水量都与最不利点喷头的喷水量相同,系统的设计流量等于最不利点喷头流量与作用面积内喷头数量的乘积,计算结果与实际流量差异较大,仅适于轻、中危险级别的自动喷水灭火系统。特性系数法从最不利喷头开始,依次计算最不利配

水支管上位于作用面积内各喷头的喷水量、管段流量和水头损失,然后按下式计算作用面积内其他配水支管的管段流量,由于考虑了喷头和配水支管之间的水力影响和变化,计算结果比作用面积法接近于实际流量,可用于各类自动喷水灭火系统。

$$Q_i = Q_1 \sqrt{\frac{P_i}{P_1}}$$

(2)

式中 P_1 ——最不利配水支管与配水管连接处的节点水压,MPa
 Q_1 ——最不利配水支管的总流量,L/s
 P_i ——所计算的配水支管与配水管连接处的

节点水压,MPa

Q_i ——所计算的配水支管的总流量,L/s

由水力学原理可知,式(2)仅在配水支管组成完全相同的条件下成立,所以特性系数法只适用于如图 1 所示的“规则布置”情况。然而,在实际工程中,由于被保护范围并非规则的矩形,或为满足喷头与障碍物最小净距的要求而调整个别喷头的位置,管路及喷头在大多数情况下呈“不规则布置”(见图 2),导致特性系数法的应用存在困难。为满足工程设计的实际需求,有必要寻求更为完善的水力计算方法。

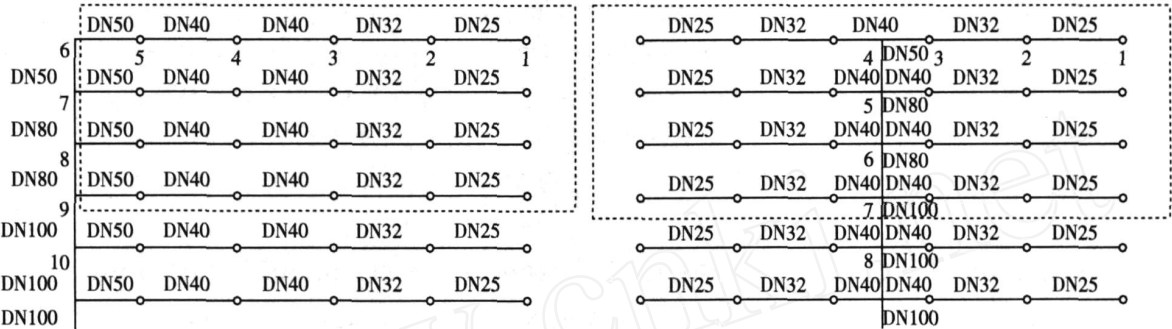


图 1 适用于特性系数法的系统布置

Fig 1 System arrangement suitable for characteristic coefficient method

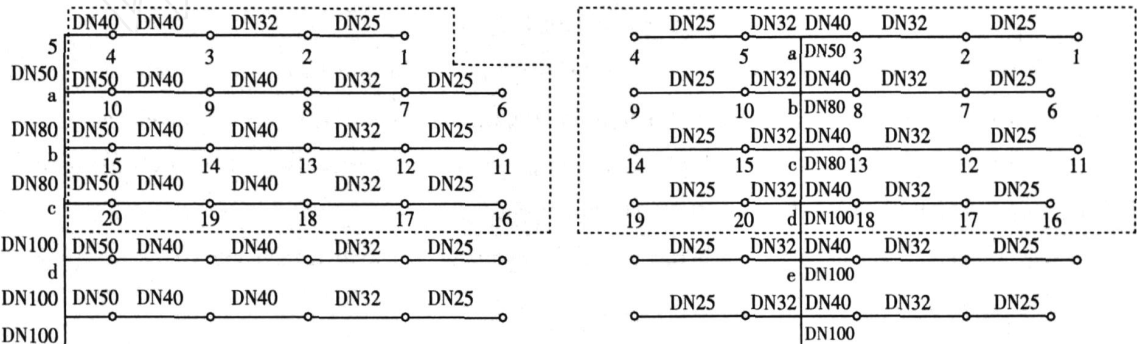


图 2 不适用于特性系数法的系统布置

Fig 2 System arrangement unsuitable for characteristic coefficient method

2 水力计算方法及步骤

2.1 水力计算方法

喷头出流量按下式确定:

$$q = K \sqrt{10P}$$

(3)

式中 q ——喷头出水流量,L/min
 P ——喷头工作压力,MPa
 K ——喷头的流量系数

每米管道的水头损失应按下式计算:

$$i = 0.000107 \frac{v^2}{d_j^{1.3}} = A Q^2$$

(4)

式中 i ——每米管道的水头损失,MPa/m

v ——管道内水的平均流速,m/s

d_j ——管道的计算内径,取值按管道的内径减 1 mm 确定

A ——管道比阻,(MPa·s²)/m⁷

Q ——管段流量,m³/s

根据水力学原理,同一配水支管上各喷头的出流量满足下列关系式:

$$q_i = \frac{K \sqrt{10P_i}}{60000} = k \sqrt{P_i}$$

(5)

$$q_1 = k \sqrt{P_2} = k \sqrt{P_1 + A_1 l_1 q_1^2} = k \sqrt{P_1} \sqrt{1 + \frac{A_1 l_1 q_1^2}{P_1}} =$$

$$k \sqrt{P_1} \sqrt{1 + A_1 l_1 k^2} = \alpha_2 q_1 \quad (6)$$

$$q_2 = k \sqrt{P_3} = k \sqrt{P_2} \sqrt{1 + \frac{A_2 l_2 (q_1 + q_2)^2}{P_2}} =$$

$$\alpha_2 q_1 \sqrt{1 + 10 A_2 l_2 k^2 \left(\frac{1 + \alpha_2}{\alpha_2} \right)^2} = \alpha_3 q_1 \quad (7)$$

$$q_3 = k \sqrt{P_4} = k \sqrt{P_3} \sqrt{1 + \frac{A_3 l_3 (q_1 + q_2 + q_3)^2}{P_3}} =$$

$$\alpha_3 q_1 \sqrt{1 + A_3 l_3 k^2 \left(\frac{1 + \alpha_2 + \alpha_3}{\alpha_3} \right)^2} = \alpha_4 q_1 \quad (8)$$

$$q_n = \alpha_n q_1 = \alpha_{n-1} \cdot$$

$$\sqrt{1 + A_{n-1} l_{n-1} k^2 \left(\frac{1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \cdots + \alpha_{n-1}}{\alpha_{n-1}} \right)^2} q_1 \quad (9)$$

式中 l ——包括局部水头损失折合的当量长度在内的管段计算长度, m

60 000——流量单位 L/min 与 m^3/s 的换算系数

1、2、3、 $\cdots$ 、 n ——从配水支管末端开始计数的喷头、管段编号

对于给定的系统布置,因 A_n 、 l_n 和 k 均为常数,所以 α_n 也等于常数,表明同一配水支管上各喷头的出流量保持固定不变的比值。

自动喷水灭火系统中任一配水支管都必须满足水压平衡方程,见下式:

$$P = P_1 + A_1 l_1 q_1^2 + A_2 l_2 (q_1 + q_2)^2 + \cdots +$$

$$A_n l_n (q_1 + q_2 + \cdots + q_n)^2 \quad (10)$$

式中 P ——配水支管与配水管连接点的压强, MPa

将式 (5) 和式 (9) 代入式 (10) 并简化, 得:

$$P = \Phi \cdot q_1^2 \quad (11)$$

式中 Φ ——与 A_n 、 l_n 和 k 有关的系数,

$$(\text{MPa} \cdot \text{s}^2) / \text{m}^6$$

当配水支管与配水管连接点的压强已知时,由式 (9) 和式 (11) 即可求出各喷头的流量。对于布置情况相同的配水支管,因 A_n 、 l_n 和 k 完全相等, Φ 值也相等。由式 (11) 可知喷头流量与配水管节点水压的平方根成正比,在求出某一配水支管各喷头的流量及配水管的节点水压后,可按此关系求出相同

布置方式的其他配水支管对应喷头的流量。

2.2 计算步骤

进行自动喷水灭火系统水力计算时,应按以下步骤进行:

① 确定作用面积 (如图 1、图 2 中虚线以内的面积);

② 选择最不利配水支管;

③ 按照与特性系数法相同的方式,从最不利点喷头 (见图 2 左侧的 6 点及右侧的 1 点) 开始,依次计算最不利配水支管各喷头的流量、管段流量和管段水头损失,至第二条配水支管 (见图 2 左侧的 1~a, 右侧的 4~a) 与配水管的连接点 (图 2 中的 a 点), 确定连接点的水压;

④ 计算第二条配水支管的 α_n 、 Φ 值, 求出各喷头流量和管段流量;

⑤ 计算配水管流量、水头损失, 确定下一条配水支管与配水管的连接点 (图 2 中 b、c、d 等) 的水压;

⑥ 重复第 ④、第 ⑤ 步, 直到求出作用面积内所有喷头的流量;

⑦ 确定设计流量;

⑧ 计算作用面积以外配水管和配水干管的水头损失, 选择加压设备。

3 示例

计算图 2 左侧中危险 II 级自动喷水灭火系统的设计流量。已知配水支管上喷头间距为 3.1 m, 配水支管间距为 2.8 m, 配水支管始端喷头至配水管的距离为 1.55 m, 喷头流量系数为 80。

3.1 水力计算结果

① 确定作用面积

作用面积为图 2 中虚线所包围的面积, 大小等于喷头个数乘以每个喷头的保护面积, 则有: $S = 19 \times 3.1 \times 2.8 = 164.92 \text{ m}^2$, 符合规范要求。

② 选择最不利配水支管

因喷头 6 至节点 a 比喷头 1 至节点 a 的管路长、喷头数多, 故为最不利配水支管。

③ 最不利配水支管计算

喷头 6 的流量等于喷水强度乘以保护面积: $q_6 = 8 \times (3.1 \times 2.8) = 69.44 \text{ L/min}$; 喷头 6 的工作压力: $P_6 = 0.1 \left(\frac{q_6}{K} \right)^2 = 0.1 \left(\frac{69.44}{80} \right)^2 = 0.075 \text{ MPa}$; 为

简化计算,局部水头损失折合的当量长度近似按实际管长的 20%考虑,依次计算各管段的水头损失,结果见表 1。

表 1 最不利配水支管的水力计算结果

Tab 1 Results of hydraulic calculation of unfavorable

branch pipe

管段编号	6~7	7~8	8~9	9~10	10~a
管段比阻 / (MPa · s ² · m ⁻⁷)	6 669. 36	1 717. 17	508. 82	508. 82	151. 76
管段长度 /m	3. 1	3. 1	3. 1	3. 1	1. 55
管段流量 / (L · s ⁻¹)	1. 16	2. 55	4. 18	5. 98	8. 10
水头损失 /MPa	0. 033 2	0. 041 4	0. 033 1	0. 067 8	0. 018 5
注: 节点 6~a 的喷头压力根据式 (5) 计算, 有: $P_7 = 0. 109 \text{ MPa}$, $P_8 = 0. 150 \text{ MPa}$, $P_9 = 0. 183 \text{ MPa}$, $P_{10} = 0. 251 \text{ MPa}$, $P_a = 0. 269 \text{ MPa}$; 根据式 (3) 可计算出各喷头的流量, $q_7 = 83. 52 \text{ L/min}$, $q_8 = 97. 98 \text{ L/min}$, $q_9 = 108. 22 \text{ L/min}$, $q_{10} = 126. 74 \text{ L/min}$ 。					

④ 支管 1~a 的计算

按式 (5)~(9) 计算 α_2 、 α_3 、 α_4 , 有: $\alpha_2 = 1. 20$, $\alpha_3 = 1. 41$, $\alpha_4 = 1. 56$; 将式 (5) 和式 (9) 代入式 (10) 计算喷头 1 至节点 a 的 ϕ 值, 有: $\phi = 175. 606. 21 \text{ (MPa} \cdot \text{s}^2 \text{) / m}^6$ 。根据式 (11) 计算喷头 1 的流量, 有: $q_1 = (P_a / \phi)^{1/2} = 74. 31 \text{ L/min}$, 根据 α_2 、 α_3 、 α_4 计算喷头 2~4 的流量, 有: $q_2 = 89. 20 \text{ L/min}$, $q_3 = 104. 85 \text{ L/min}$, $q_4 = 115. 83 \text{ L/min}$ 。

⑤ 管段 a~b 的计算

该管段比阻为 $12. 07 \text{ (MPa} \cdot \text{s}^2 \text{) / m}^7$, 管长为 $2. 8 \text{ m}$, 总流量等于 9 个喷头流量之和, 即 $Q_{ab} = 14. 5 \text{ L/s}$, 由式 (4) 可计算得出该管段的水头损失 $i = 0. 008 5 \text{ MPa}$, 则节点 b 的水压 $P_b = 0. 278 \text{ MPa}$ 。

⑥ 支管 11~b 的计算

因喷头 11 至节点 b 的布置与喷头 6 至节点 a 的布置完全相同, 可直接按比例关系计算喷头 11~15 的流量。 $P_b / P_a = 1. 016$, 则有: $q_{11} = 70. 53 \text{ L/min}$, $q_{12} = 84. 67 \text{ L/min}$, $q_{13} = 99. 52 \text{ L/min}$, $q_{14} = 109. 94 \text{ L/min}$, $q_{15} = 128. 69 \text{ L/min}$ 。

⑦ 管段 b~c 的计算

管段 b~c 的流量等于 14 个喷头流量之和, 即 $q_{bc} = 22. 72 \text{ L/s}$, 水头损失 $i = 0. 029 \text{ MPa}$, 则 c 点水压 $P_c = 0. 299 \text{ MPa}$ 。

⑧ 支管 16~c 的计算

直接按比例关系求出喷头 16~20 的流量。 $P_c / P_a = 1. 075 5$, 则有: $q_{16} = 73. 14 \text{ L/min}$, $q_{17} = 87. 80 \text{ L/min}$, $q_{18} = 103. 20 \text{ L/min}$, $q_{19} = 114. 01 \text{ L/min}$, $q_{20} = 133. 45 \text{ L/min}$ 。

⑨ 确定设计流量

按式 (1) 计算系统的设计流量: $q_s = 31. 25 \text{ L/s}$ 。

3. 2 讨论

计算示例中, 所有喷头的流量均大于喷头 6 的流量, 说明最不利配水支管选择正确。对于不易直接判断最不利配水支管的系统布置, 如果计算过程中出现某配水支管末端喷头的流量小于所选最不利配水支管末端喷头的流量, 说明最不利配水支管选择错误, 应以该配水支管作为最不利配水支管重新进行计算。重新计算时, 因 α_n 、 ϕ 值保持不变, 只需根据配水管节点水压新计算值与原值的比例调整喷头流量即可。

对于喷头布置不在同一高程的系统 (如斜屋面等), 用式 (3) 计算喷头流量时, 需在节点水压值的基础上增 (减) 所计算喷头与最不利喷头的高程差产生的水压差。

4 结论

提出的自动喷水灭火系统水力计算方法, 概念清晰, 理论完善, 克服了现有计算方法存在的误差较大或应用条件受局限的缺陷, 既可用于闭式自动喷水灭火系统, 也可用于各类开式自动喷水灭火系统。利用该计算方法可得到作用面积范围内各喷头流量的准确值, 便于计算任意 4 个喷头围合范围内的平均喷水强度, 以校核喷水强度的合理性。

水力计算步骤具有明显的规律性和重复性, 既可编制计算机程序计算, 也可采用 Excel 电子表格计算, 用于不同系统的水力计算时, 只需调整管径、管长等原始数据, 计算简便。

参考文献:

[1] GB 50084—2001, 自动喷水灭火系统设计规范 [S].
[2] 核工业第二研究设计院. 给水排水设计手册 (第 2 册): 建筑给水排水 (第 2 版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
[3] 王增长. 建筑给水排水工程 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.

电话: 13392659161

E - mail: gzfjj@163. com

通讯地址: 510006 广州大学城外环西路 230 号 A207 信箱

收稿日期: 2007 - 01 - 29