

[文章编号] 1002-8528(2008)09-0060-03

自动喷水灭火系统中 喷头间流量关系及设计流量计算

樊建军¹, 方 茜¹, 周 鸿¹, 张立秋¹, 王 峰²

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

[摘 要] 根据水力学原理分析了自动喷水灭火系统各喷头的流量存在的比例关系, 提出了适用于喷头及管路呈不规则布置的自动喷水灭火系统设计流量的确定方法, 并结合示例介绍了具体的水力计算步骤。

[关键词] 自动喷水灭火系统; 作用面积; 喷头; 设计流量

[中图分类号] TU998.13; TU821.6

[文献标识码] A

Discharge of Sprinklers and Calculation Method of Design Discharge in Sprinkler Systems

FAN Jian-jun¹, FANG Qian¹, ZHOU Hong¹, ZHANG Li-qiu¹, WANG Feng²

(1. School of Civil Eng., Guangzhou Univ., Guangzhou 510006, China;

2. Arch. Design and Res. Institute of South China Univ. of Tech., Guangzhou 510641, China)

[Abstract] Based on hydraulic analysis of discharge relationship between sprinklers in sprinkler systems, a new hydraulic calculation method is proposed. It can be used to accurately calculate the design discharge of the system in which sprinklers and pipes may be mounted irregularly.

[Keywords] sprinkler system; area of sprinkler operation; sprinklers; design discharge

1 引 言

至今为止,自动喷水灭火技术是集火灾报警和灭火为一身的最为成功的建筑防火技术。其配水支管喷水设计流量的确定,涉及系统的安全可靠性和经济性,是自动喷水灭火系统水力计算的核心。《自动喷水灭火系统设计规范》(GB50084-2001)(2005年版)^[1]给出了喷头喷水流量计算公式及系统设计流量的逐点计算公式,但没有具体计算步骤。设计手册^[2]和专业教科书^[3]中介绍的计算步骤都是首先计算最不利配水支管上每个喷头喷水流量,然后利用式(1)计算其它配水支管喷水流量:

$$Q_i = Q_1 \sqrt{\frac{P_1}{P_i}} \quad (1)$$

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

由于式(1)仅在配水支管的布置完全相同的条件下成立,所以只适用于“规则布置”的系统。然而,在实际工程中管路及喷头在大多数情况下呈“不规则布置”,因而现有计算方法存在较大误差。为满足工程设计的实际需求,有必要寻求更为完善的设计流量计算方法。

2 同一配水支管上喷头的流量关系

根据水力学原理,自动喷水灭火系统中同一配水支管上各喷头的流量满足以下关系:

$$q_1 = K \sqrt{10 P_1} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} q_2 &= K \sqrt{10 P_2} = K \sqrt{10} \sqrt{P_1 + A_1 l_1 q_1^2} \\ &= \sqrt{1 + 10 K^2 A_1 l_1} \cdot K \sqrt{10 P_1} = \alpha_2 q_1 \end{aligned} \quad (3)$$

[收稿日期] 2007-12-03

[作者简介] 樊建军(1957-),男,工学硕士,教授

[联系方式] gzfj@163.com

$$q_3 = K \sqrt{10 P_3} = K \sqrt{10 P_2} \sqrt{1 + \frac{A_2 l_2 (q_1 + q_2)^2}{P_2}}$$

$$= \sqrt{1 + 10 K^2 A_2 l_2 \left(\frac{1 + \alpha_2}{\alpha_2} \right)^2} \alpha_2 q_1 = \alpha_3 q_1 \quad (4)$$

$$q_4 = K \sqrt{10 P_4} = K \sqrt{10 P_3} \sqrt{1 + \frac{A_3 l_3 (q_1 + q_2 + q_3)^2}{P_3}}$$

$$= \sqrt{1 + 10 K^2 A_3 l_3 \left(\frac{1 + \alpha_2 + \alpha_3}{\alpha_3} \right)^2} \alpha_3 q_1 = \alpha_4 q_1 \quad (5)$$

式中, q 为喷头流量 (L/min); K 为喷头流量系数 (L/min/MPa^{1/2}); P 为喷头工作压力 (MPa); A 为管段比阻 (MPa·s²/m⁷); l 为包含局部阻力折合的当量长度在内的管段计算长度 (m)。

由此得出一般规律:

$$q_n = \sqrt{1 + 10 K^2 A_{n-1} l_{n-1} \left(\frac{1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_{n-1}}{\alpha_{n-1}} \right)^2} \times \alpha_{n-1} \times q_1 = \alpha_n q_1 \quad (6)$$

对于给定的系统,因为 K 、 A_i 、 l_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 均为常数,所以 α_i 也等于常数。式(6)表明:同一配水支管上任一喷头的出流量取决于末端喷头的流量及下游各管段的直径和计算长度,并与末端喷头的流量保持固定不变的比例,因而适当增大管段直径(降低 A 值)有利于提高系统喷水的均匀性。

3 不同配水支管上喷头的流量关系

图1为自动喷水灭火系统水力计算图,系统中任一配水支管都满足压力平衡方程:

$$P = P_1 + A_1 l_1 q_1^2 + A_2 l_2 (q_1 + q_2)^2 + \dots + A_n l_n (q_1 + q_2 + \dots q_n)^2 \quad (7)$$

将式(6)代入式(7),并注意到 $P_1 = \frac{q_1^2}{10 K^2}$,得:

$$P = \left[\frac{1}{10 K^2} + A_1 l_1 + A_2 l_2 (1 + \alpha_2)^2 + \dots + A_n l_n (1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n)^2 \right] q_1^2$$

$$= \varphi q_1^2 \quad (8)$$

式中 φ 为与 K 、 A_i 和 l_i 有关的常数 (MPa·s²/m⁶)。

对于作用面积内最远端两条配水支管的交点,如图1的a点,以下等式成立:

$$P_a = \varphi_{1-a} q_1^2 = \varphi_{5-a} q_5^2 \quad (9)$$

在给定的系统中,各配水支管的 φ 值保持不变。式(9)表明:两条支管末端喷头流量随节点水压

变化而变化,但相对比值保持不变。

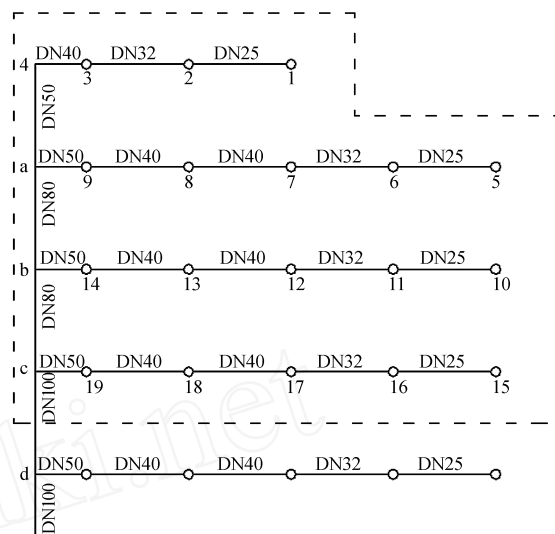


图1 自动喷水灭火系统水力计算图

对于作用面积内由最远端算起的第3条配水支管与配水管的交点,如图1的b点,下式成立:

$$P_b = P_a + A_{a-b} l_{a-b} (q_1 + \dots + q_3 + q_5 + \dots + q_9)^2$$

$$= \varphi_{1-a} q_1^2 + A_{a-b} l_{a-b} \times \left[\left(1 + \frac{q_2}{q_1} + \frac{q_3}{q_1} \right) + \left(1 + \frac{q_6}{q_5} + \dots + \frac{q_9}{q_5} \right) \frac{q_5}{q_1} \right]^2 q_1^2$$

$$= \varphi_{1-b} q_1^2$$

$$= \varphi_{5-a} q_5^2 + A_{a-b} l_{a-b} \times \left[\left(1 + \frac{q_2}{q_1} + \frac{q_3}{q_1} \right) \frac{q_1}{q_5} + \left(1 + \frac{q_6}{q_5} + \dots + \frac{q_9}{q_5} \right) \right]^2 q_5^2$$

$$= \varphi_{5-b} q_5^2 \quad (10)$$

由式(6)可知,式(10)中两个圆括号内分别是两条配水支管 α 值之和;由式(9)知,

$$\frac{q_1}{q_5} = \sqrt{\frac{\varphi_{5-a}}{\varphi_{1-a}}}$$

故 φ_{1-b} 和 φ_{5-b} 也是只与 K 、 A_i 和 l_i 有关的常数。

结合式(8)和式(10)可得:

$$P_b = \varphi_{1-b} q_1^2 = \varphi_{5-b} q_5^2 = \varphi_{10-b} q_{10}^2 \quad (11)$$

对于呈树状布置的自动喷水灭火系统,上述节点水压与节点后各配水支管末端喷头流量之间的等式关系可以推至上游任意节点。由此可得出结论:自动喷水灭火系统作用面积内所有喷头的出流量随管网起端压力而变化,但始终保持恒定的比例关系。当调整节点水压使某个喷头的流量改变之后,其它喷头的流量和系统设计流量也按比例改变。

4 设计流量计算方法及示例

计算图 1 所示自动喷水灭火系统的设计流量,其火灾危险等级为中危险级。已知喷头呈正方形布置,间距 3m,配水支管始端喷头至配水管的距离为 1.5m,喷头流量系数为 80。为简化计算,局部阻力系数折合的当量长度均按实际管段长度的 20% 考虑。计算结果见表 1。

表 1 自动喷水灭火系统水力计算结果

配水支管 1~a					
节 点	1~2	2~3	3~4	4~a	
比阻(MPa s ² /m ⁷)	6669.36	1717.17	508.82	151.76	
计算长度(m)	3.6	3.6	1.8	3.6	
α	1.19	1.40	1.47	—	
φ(MPa s ² /m ⁶)	135870.23				
喷头流量(L/min)	87.51	104.53	122.39	128.79	
配水支管 5~a					
节 点	5~6	6~7	7~8	8~9	9~a
比阻(MPa s ² /m ⁷)	6669.36	1717.17	508.82	508.82	151.76
计算长度(m)	3.6	3.6	3.6	3.6	1.8
α	1.19	1.40	1.54	1.85	—
φ(MPa s ² /m ⁶)	215760.79				
喷头流量(L/min)	69.44	82.95	97.12	107.05	128.41
配水支管 10~b					
节 点	10~11	11~12	12~13	13~14	14~b
比阻(MPa s ² /m ⁷)	6669.36	1717.17	508.82	508.82	151.76
计算长度(m)	3.6	3.6	3.6	3.6	1.8
α	1.19	1.40	1.54	1.85	—
φ(MPa s ² /m ⁶)	215760.79				
喷头流量(L/min)	70.68	84.43	98.85	108.96	130.70
配水支管 15~c					
节 点	15~16	16~17	17~18	18~19	19~c
比阻(MPa s ² /m ⁷)	6669.36	1717.17	508.82	508.82	151.76
计算长度(m)	3.6	3.6	3.6	3.6	1.8
α	1.19	1.40	1.54	1.85	—
φ(MPa s ² /m ⁶)	215760.79				
喷头流量(L/min)	73.50	87.80	102.80	113.31	135.92
配水管 a~c					
节 点	a~b		b~c		c~d
比阻(MPa s ² /m ⁷)	12.07		12.07		—
计算长度(m)	3.6		3.6		—
管段流量(L/s)	15.47		23.70		32.25
水头损失(MPa)	0.0104		0.0244		—
节点水压(MPa)	0.2890		0.2994		0.3238

具体计算过程如下:

(1) 划定作用面积(图 1 中虚线所围面积, $3 \times 3 \times 18 = 162\text{m}^2$);

(2) 利用式(6)和式(8)计算各配水支管的 α_n 和 φ 值;

(3) 对作用面积内最远端两条配水支管(图 1 中管线 1~a 和管线 5~a)的 φ 值进行比较,选定 φ 值较小的一条(管线 5~a)作为最不利配水支管;

(4) 根据喷水强度要求,确定最不利配水支管末端喷头(喷头 5)的流量(等于喷水强度乘以喷头保护面积),利用式(9)求出另一配水支管末端喷头(喷头 1)的流量,利用式(6)求出两配水支管其它喷头流量;

(5) 利用式(9)求出两配水支管交点(图 1 中 a 点)的水压;

(6) 将已计算配水支管全部喷头的流量相加,得到配水管(图 1 中管段 a~b)的流量,计算水头损失,确定下一节点(图 1 中 b 点)的水压;

(7) 利用式(11) 求出作用面积内由最远端算起的第三条配水支管(图 1 中管线 10~b)末端喷头(喷头 10)的流量,利用式(6)求出该配水支管其它喷头的流量;

(8) 类似第(6)步求出配水管下一节点(图 1 中 c 点)的水压,类似第(7)步求出下一配水支管各喷头的流量;

(9) 重复第(8)步直到求出作用面积内所有喷头的流量,将全部喷头的流量相加得到系统的设计流量。

5 结论与讨论

(1) 同一配水支管上任一喷头的出流量取决于末端喷头的流量及下游各管段的直径和计算长度,并与末端喷头保持固定不变的比值,适当增大管段直径有利于提高系统喷水的均匀性。自动喷水灭火系统作用面积内所有喷头的出流量随配水管压力而变化,但始终保持恒定的比例关系,当调整某个喷头的流量之后,系统的设计流量按比例改变。

(2) α_n 和 φ 值的计算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,只需调整管段比阻、计算长度等原始数据,十分方便。布置完全相同的配水支管其 α_n 、 φ 的值均相等,可简化计算。

(3) 现有设计计算方法只适用于规则布置的自动喷水灭火系统,本文提出的设计计算方法可用于不规则布置的自动喷水灭火系统。

(下转第 90 页)

而且检测中发现,表面出现爆裂砖的含铁量较高。一般来说,铁在砖烧制的过程受到高温的作用,会形成稳定的 Fe_2O_3 而变成红色。而对于该工程中所用的砖,由于煤矸石的粉细程度不够,燃烧温度不足,燃烧时间不长,煤矸石中的硫化铁等成分有些没有发生变化。砖在使用过程中受到水和潮湿作用,空气中的 CO_2 溶于水形成碳酸,碳酸中的氢离子与硫化铁反应,形成游离的铁离子,随着砖表面湿度的变化,铁离子会逐渐析出表面,并与氧气发生反应形成氧化铁,在砖表面形成黑色的斑点。因此,砖表面发生黑色斑点主要是氧化铁所致,而表面爆裂脱落则主要是蒙脱石膨胀所致。

取表面出现黑色斑点的砖样,进行吸水率和饱和系数试验,浸泡 24h、煮沸 5h 的吸水率和饱和系数试验结果见表 1。

表 1 浸泡 24h、煮沸 5h 的吸水率和饱和系数

编号	浸泡 24h 吸水率	煮沸 5h 后的吸水率	饱和系数
1	0.132112492	0.134729	0.980583
2	0.128000000	0.133778	0.956811
3	0.136048527	0.142981	0.951515
4	0.125959079	0.131074	0.960976
5	0.135251181	0.146844	0.921053
6	0.133228840	0.134796	0.988372
7	0.129378531	0.136723	0.946281

从表 1 的实验结果看,抽检砖的吸水率满足要求,但饱和系数不满足要求。因为砖的饱和系数较大,说明温度对吸水率的影响不大,长期浸泡的吸水率较高,抗风化能力较差。

4 加固处理

该工程为砌体结构,墙体为承重构件。如果墙体的截面面积削弱和强度不足,将引起墙体的承载能力不足,对结构的安全造成隐患;墙体表面剥落还会引起墙体抹灰层起鼓、开裂和脱落等问题,影响建筑的使用;饱和试验表明墙体的抗风化能力和耐久性较差。因此,应对使用含蒙脱石的砖砌筑的墙体进行处理。

砖中的蒙脱石在没有吸水的情况下是稳定的,不会膨胀引起砖表面爆裂脱落,削弱墙体的截面面积。因此防止砖继续爆裂的主要措施是防止水分和潮湿进入墙体内部。墙体在使用过程中,由于墙体处于的位置不同,水分进入墙体的途径也不同,因此

应根据墙体所处的位置采用相应的处理措施。

对于二层以上客厅、卧室等一般不会直接接触水的墙体,应在墙体表面刷一层防水剂,然后抹钢丝网防水水泥砂浆。施工时应分层施工,并加强养护,防止抹灰层出现收缩裂缝。对于二层以上厨房、洗手间等有可能与水直接接触的墙体,应首先做好防水处理,然后再抹钢丝网防水水泥砂浆。对于底层墙体,由于底层地面返潮有可能对墙体造成较大影响,因此需要采取措施对底层墙体进行加固处理。在墙体上每隔 800 ~ 1000mm 设钢筋混凝土构造柱对墙体进行托换,同时在墙体两侧用 100mm 厚的细石混凝土对墙进行加固。构造柱与外加的细石混凝土层一起施工浇注。墙体抹灰或混凝土加固处理前,应将表面的疏松层用钢丝刷清除干净。

5 结 论

本文通过 XRD 和化学分析,分析了蒙脱石引起砖爆裂的原因及其危害。在砖的生产过程中,煤矸石等掺加物在磨细程度与燃烧温度不够的情况下,其中的矿物成分有部分可能不结晶,容易使成品砖出现爆裂等质量问题,在砖的制作与砌体结构施工过程中应引起足够重视。对于出现问题的砖砌体,应结合工程的具体情况以及砌体所处的位置采取相应的处理对策,才能确保结构的安全、适用与耐久。

[参考文献]

- [1] 黄晓明,潘钢华,赵永利. 土木工程材料[M]. 南京:东南大学出版社,2001. 10, P55 ~ 58.
- [2] GB/T 2542-2003, 砌墙砖试验方法[S].

(上接第 62 页)

(4) 在求出系统喷水的设计流量之后,需要对各配水支管末端喷头的流量进行比较,如原选定的最不利配水支管末端喷头的流量不是最小,则应找出流量最小的喷头(系统实际的最不利喷头),根据喷水强度要求重新确定该喷头流量,并根据该喷头流量增加的百分数对系统设计的流量予以修正。

[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——建筑给水排水. 第二版[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. 第一版[M]. 北京:高等教育出版社,2004.