

# 自动喷水灭火系统水力计算方法比较分析

杨 丙 杰

(公安部天津消防研究所, 天津 300381)

**摘要** 结合国内外标准规范的规定,分析了自动喷水灭火系统水力计算方法和计算公式的应用现状,对水力计算方法和计算公式进行了比较,并对现行《自动喷水灭火系统设计规范》(GB 50084—2001,2005年版)中的相关条款进行了说明,提出系统水力计算应采用精确计算法和海澄-威廉公式。

**关键词** 自动喷水灭火系统 水力计算 管道估算法 精确计算方法 海曾-威廉公式

水力计算是自动喷水灭火系统的核心部分,正确、合理的水力计算对保证系统正常运行、确保系统具有最佳的经济性和适用性具有重要作用。

## 1 国内外标准规范的规定

### 1.1 NFPA 13 的规定

美国《自动喷水灭火系统安装标准》(NFPA 13—2010)规定系统水力计算方法有 2 种,管道估算法(pipe schedule)和精确计算法(hydraulic calculation),这两种计算方法相互独立,各自成为一个体系,不能用其中一种方法来校验另一种方法的计算结果。

#### 1.1.1 管道估算法

管道估算法主要是通过被保护场所的危险等级、系统的保护面积以及管网高度等信息,用经验确定系统的总水量和供水压力,并根据喷头数确定配水管道管径。由于自身的局限性及精确计算法的不同

断普及,目前管道估算法应用较少。

管道估算法仅适用于轻危险级和中危险级场所,并有如下限定条件:

(1) 管道估算法仅适用于既有建筑的改、扩建系统。

(2) 保护面积  $\leq 465 \text{ m}^2$  的场所;当保护面积  $> 465 \text{ m}^2$  仍采用此方法时,喷头最小工作压力应为  $0.34 \text{ MPa}$ ,如表 1。

表 1 水力计算(管道估算法)供水要求

设置场所 火灾危险 等级	系统最小工作压力/MPa		系统流量 /L/min	供水持续 时间/min
	保护面积 $\leq 465 \text{ m}^2$	保护面积 $> 465 \text{ m}^2$		
轻危险级	$0.10 + P$	$0.34 + P$	1 893~2 839	30~60
中危险级	$0.14 + P$	$0.34 + P$	3 218~5 678	60~90

注:①数据摘自美国消防协会标准 NFPA 13—2010《自动喷水灭火系统安装标准》;②P 为静压,系统最高喷头与报警阀组高差引起的压力损失,单位 MPa。

与气压罐组成气压给水系统。

## 6 结语

水泵的高效区可以从水泵铭牌及样本中获得。采用变频调速,扩展了水泵的高效区,满足水泵在高效区运行的要求。采用多台变频的运行方式,保证每台水泵在高效区运行。根据建筑物的用水特点,确定调速泵的台数。如浴室、洗衣房、食堂、办公楼、商场等建筑,泵站可采用单台调速泵;如住宅、集体宿舍、旅馆、医院、高校等建筑,泵站可采用多台调速泵。采用多台变频的运行方式,保证供水工况的连续性,不出现间断区。小流量泵流

量采用  $(0.2 \pm 0.05)Q$ ,气压罐容积以此流量来计算。

## 参考文献

1 姜乃昌. 泵与泵站. 第 5 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007

※ 通讯处: 210096 南京四牌楼 2 号

电话: (025)83793178 - 161

E-mail: LiuJun@seu.edu.cn

收稿日期: 2010-03-25

修回日期: 2010-10-26

(3) 仅适用于采用流量系数  $K=80$  标准喷头的系统,配水管道控制的标准喷头数如表 2 所示。

表 2 配水管、配水支管控制的  $K=80$  标准喷头数(单位:只)

管径/mm	钢管		铜管	
	轻危险级	中危险级	轻危险级	中危险级
25	2	2	2	2
32	3	3	3	3
40	5	5	5	5
50	10	10	12	12
65	30	20	40	25
80	60	40	65	45
100	100	65	115	75

注:数据摘自美国消防协会标准 NFPA 13—2010《自动喷水灭火系统安装标准》。

(4) 系统为枝状管网,且配水管道为钢管和铜管。

采用管道估算法计算时不考虑管件的阻力损失,只有在系统中安装有倒流防止器时,才考虑其阻力损失,并将其阻力损失计入系统供水压力内。

### 1.1.2 精确计算法

精确计算法又称逐点计算法,系统设计步骤为:①确定被保护场所的火灾危险等级;②根据规范确定喷水强度和作用面积;③确定作用面积的位置、形状、喷头布置及作用面积内的喷头数;④确定最不利作用面积处喷头的流量和压力;⑤确定同一根配水支管上作用面积内其他喷头的流量和压力;⑥确定作用面积内其他配水支管的流量和压力;⑦按照作用面积内各喷头的计算流量之和确定系统用水量。

精确计算法具有较好的精确性和可追溯性,有利于设计人员对系统进行优化,其计算核心是采用海澄-威廉(Hazen-Williams)公式,如式(1):

$$P_f = \frac{6.05Q^{1.85}}{C^{1.85}d^{4.87}} \times 10^5 \quad (1)$$

式中  $P_f$ ——单位长度的压力损失,bar/m(1 bar = 0.1 MPa);

$Q$ ——管道内水流量,L/min;

$C$ ——管道海澄-威廉系数;

$d$ ——管道实际内径,mm。

海澄-威廉公式只适用于介质是水的情况,不能

用于添加剂系统(大于 151 L)和泡沫系统等其他介质。其中,海澄-威廉系数  $C$  是一个通过试验得到的数据,试验是在一定的流速范围内进行的,研究表明,当流速  $<9.1$  m/s 时,海澄-威廉系数  $C$  和公式的计算误差是可以接受的。另外,温度的变化会影响水的粘性系数,从而改变水的流动状态,最终影响水在管道中流动所产生的压力损失,在水温变化不大时,对海澄-威廉公式的影响可忽略不计,但当水源温度过高时,应采用达西(Darcy-Weisbach)公式。

### 1.2 CEA 4001 的规定

欧盟标准 CEA 4001:2009《自动喷水灭火系统:设计和安装》也规定了 2 种计算方法:预计算法(pre-calculated)和全计算法(fully calculated),类似于 NFPA 13 中的管道估算法和精确计算法。不同的是,预计算法可适用于各种危险等级场所,但对于安装有货架内喷头的仓库危险级场所必须采用全计算法。

预计算法以系统报警阀组为分界点,下游(系统侧)采用预计算法;上游(水源侧)仍按照全计算法进行水力计算。采用预计算法的系统流量和压力要求如表 3 所示。

表 3 轻、中危险等级场所预计算法的压力和流量要求

火灾危险等级	流量/L/min	报警阀组处的压力/MPa	最大流量/L/min	报警阀组处的压力/MPa
轻	225	$0.22+P$		
中 1	375	$0.10+P$	540	$0.07+P$
中 2	725	$0.14+P$	1 000	$0.10+P$
中 3	1 100	$0.17+P$	1 350	$0.14+P$
中 4	1 800	$0.20+P$	2 100	$0.15+P$

注:①数据摘自欧盟标准 CEA 4001:2009《自动喷水灭火系统:设计和安装》;② $P$ 为静压,系统最高喷头与报警阀组高差引起的压力损失,单位 MPa;③火灾危险等级划分与美国 NFPA 13、我国 GB 50084 不同。

### 1.3 GB 50084 的规定

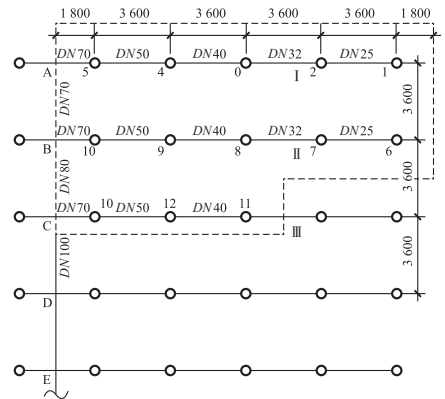
与欧美等国标准相比,我国现行《自动喷水灭火系统设计规范》(GB 50084—2001,2005 年版,以下简称“喷规”)只规定了一种计算方法,即精确计算法。但规范中有部分条款属于管道估算法的内容,如 8.0.6 条“配水管两侧每根配水支管控制的标准

喷头数,轻危险级、中危险级场所不应超过 8 只,同时在吊顶上下安装喷头的配水支管,上下侧均不应超过 8 只。严重危险级及仓库危险级场所均不应超过 6 只。”和 8.0.7 条“轻危险级、中危险级场所中配水支管、配水管控制的标准喷头数,不应超过表 8.0.7 的规定。”

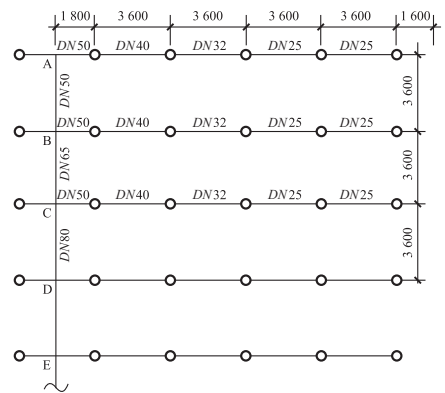
实际上,“喷规”规定 8.0.6 条目的是为了合理分配水量、防止配水管远端与近端的压力差过大;而 8.0.7 条仅用于估算,一是用于在初设中估算管径,二是限制其连接的喷头数,其目的是为了控制管道的长度,以控制管道的沿程水头损失。“喷规”8.0.5 条已明确规定“管道的直径应经水力计算确定”,因此这两条不应作为确定配水管道管径的设计依据,在具体工程设计中更不应简单套用“喷规”表 8.0.7,应按照精确计算法进行水力计算,以确保合理的经济管径和系统水压。

## 2 两种计算方法比较分析

本文以中危险级 I 级场所为例,分别采用管道估算法和精确计算法进行计算,比较两者之间的差异。其中,喷头流量系数  $K=80$ ,喷水强度为  $6 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ ,作用面积不应小于  $160 \text{ m}^2$ ,精确计算法系统作用面积划分如图 1a,水力计算如表 4 和表 5 所示。



a 作用面积划分(精确计算法)



b 管网管径布置(管道估算法)

图 1 两种计算法管网管径布置

表 4 精确计算法支管(管系 I、II)的水力计算

节点	管径 DN/mm	起点压力/MPa	喷头流量/L/min	支管流量/L/min	速度/m/s	水力坡度 /0.01 MPa/m	单位长度水头损失 /0.01 MPa/m
1—2	25	0.100	80	80	2.72	1.01	3.64
2—3	32	0.136	91.91	171.91	3.56	1.24	4.46
3—4	40	0.177	106.43	278.34	3.88	1.09	3.92
4—5	50	0.216	117.58	395.92	3.50	0.66	2.38
5—A	70	0.239	123.88	519.80	2.32	0.19	0.93
A—B	70	0.332		519.80	2.32	0.19	0.68
B—C	80	0.339		1 132.44	3.85	0.43	1.55
C—D	100	0.348		1 488.61			

表 5 精确计算法支管(管系 III)的水力计算

节点	管径 DN/mm	起点压力/MPa	喷头流量/L/min	支管流量/L/min	速度/m/s	水力坡度 /0.01 MPa/m	单位长度水头损失 /0.01 MPa/m
11—12	40	0.177	106.43	278.34	3.88	1.09	3.92
12—13	50	0.216	117.58	395.92	3.50	0.66	2.38
13—C	70	0.239	123.88	519.80	2.32	0.19	0.93
C—D	100	0.332		519.80	2.32	0.19	0.68

比较发现,两种计算方法所确定的供水压力基本一致,但采用管道估算法计算的流量是精确计算法的 2.16~3.82 倍(见表 6),因此需要选择较大流量的消防水泵,增加了系统造价。另外,管道估算法没有考虑管网的布置和管件阻力损失,一旦管网的布置复杂或输送距离较远,会造成压力损失过大,可能会出现设计压力不足,系统不能正常工作。因此,管道估算法具有很大的局限性,系统设计很难达到经济性、实用性和合理性。

表 6 精确计算法和管壁厚度法的计算结果比较

方法	供水压力/MPa	系统流量/L/min
精确算法(图 1a)	0.36	1 488.61
管道估算法(管壁厚度法,图 1b)	0.34	3 218~5 678

### 3 水力计算公式的对比分析

“喷规”规定,管道水力计算应采用舍维列夫公式(见式 2)。这与欧美等国标准以及我国 GB 50015—2003《建筑给水排水设计规范》和 GB 50013—2006《室外给水设计规范》等要求采用海澄-威廉公式不同。舍维列夫公式是 1953 年舍维列夫根据其旧铸铁管和旧钢管所进行的试验提出的经验公式,因此该公式主要适用于旧铸铁管和旧钢管。

$$i = 0.000\ 010\ 7 \frac{V^2}{d_j^{1.3}} \quad (2)$$

式中  $i$ ——管道的单位长度水头损失,MPa/m;

$V$ ——管道内水或泡沫混合液的平均流速,m/s;

$d_j$ ——管道的计算内径,m。

为便于比较两公式计算结果的差异,将式(2)除

以式(1),并将  $q_g = \frac{\pi}{4} d_j^2 V$  代入,得:

$$k = 0.000\ 159\ 3 \frac{C^{1.85} V^{0.15}}{d^{0.13}} \quad (3)$$

对于镀锌钢管,取  $C=120$ ,此时:

$$k_1 = 1.118\ 7 \frac{V^{0.15}}{d^{0.13}} \quad (4)$$

对于铜管和不锈钢管,取  $C=130$ ,此时:

$$k_2 = 1.297\ 2 \frac{V^{0.15}}{d^{0.13}} \quad (5)$$

对于 PVC-C 管,取  $C=140$ ,此时:

$$k_3 = 1.487\ 8 \frac{V^{0.15}}{d^{0.13}} \quad (6)$$

结合“喷规”的规定,对管径为 25~200 mm,流速为 2.5~10 m/s 的情况,计算得:对于镀锌钢管, $k_1$  为 1.582 2~2.552 5;对于铜管和不锈钢管, $k_2$  为 1.834 6~2.959 8;对于 PVC-C 管, $k_3$  为 2.104 2~3.394 7。

可见,无论系统采用镀锌钢管、铜管、不锈钢管还是 PVC-C 管,式(2)的计算结果要远大于式(1),若此时还用式(2)计算,势必会造成不必要的浪费。而且,对于镀锌钢管、铜管、不锈钢管和 PVC-C 管,在使用过程中内壁粗糙度增大的情况并不十分明显。因此,宜用式(1)计算。

### 4 结语

水力计算是系统的核心部分,进行设计时需认真按规范规定执行。虽然管壁厚度法和精确计算法是两个相互独立的水力计算方法,但由于管道估算法具有很大的局限性,在系统设计时应按照精确计算法计算。另外,水力计算公式也应采用海澄-威廉公式。为提高工作效率和减少出错概率,最好采用水力计算软件辅助计算。

### 参考文献

- 1 GB 50084—2001,自动喷水灭火系统设计规范. 2005 年版
- 2 NFPA 13—2010 Standard for the installation of sprinkler systems
- 3 CEA4001;2009 Sprinkler systems;planning and installation

※ 通讯处:300381 天津市南开区卫津南路 110 号 消防规范研究室

电话:(022)23387424

E-mail:yangbingjie@tfri.com.cn

收稿日期:2010-07-30

修回日期:2010-09-22