

设计经验

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.10.008

EXCEL 迭代计算在自动喷水灭火系统水力计算中的应用

余小明

(广州华森建筑与工程设计顾问有限公司, 广东 广州 510045)

摘 要: 自动喷水灭火系统的水力计算相对较为复杂,有些需借助专业软件进行计算,然而随着新版《自动喷水灭火系统设计规范》(GB 50084—2017)的实施,水力计算方法舍弃旧版《自动喷水灭火系统设计规范》(GB 50084—2001)舍维列夫公式,采用海澄—威廉公式,原有的一些简便计算方法也无法适用。以往的一些计算方法,大都根据管网末端最不利点喷头开始计算,最终得出系统所需要的压力及流量,而采用 EXCEL 迭代计算可以根据系统管道压力值,得出所选任意区域的喷头及管段流量值,并可根据相关计算结果,优化喷头的布置。

关键词: 迭代计算; 自动喷水灭火系统; 水力计算; 喷水强度; 作用面积; 喷淋管径; 设计流量

中图分类号: TU892 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)10-0041-06

Application of EXCEL Iterative Calculation in Hydraulic Calculation of Automatic Sprinkler System

YU Xiao-ming

(Guangzhou Watson Architectural and Engineering Design Consultant Co. Ltd., Guangzhou 510045, China)

Abstract: The hydraulic calculation of automatic sprinkler system is relatively complex; some of which need to use professional software for calculation. However, with the implementation of the new version of *Code for Design of Sprinkler Systems* (GB 50084 - 2017), the hydraulic calculation method abandoned the Shevirev formula of old version of *Code for Design of Sprinkler Systems* (GB 50084 - 2001) and adopted the Hazen-Williams formula, some of the original simple calculation methods could not be applied. Previous calculation methods always based on the most unfavorable point nozzle at the end of the pipe network, the pressure and flow rate of the system are calculated. The EXCEL iterative calculation can be used to calculate the flow rate of the nozzle and pipe section in any selected area according to the pressure value of the pipe system, and according to the calculation results, optimize the layout of the nozzle.

Key words: iterative calculation; automatic sprinkle system; hydraulic calculation; water spray strength; action area; spray pipe diameter; design flow

自动喷水灭火系统水力计算相对较为复杂,有些需借助专业软件进行计算,张凤娥等^[1]曾借助 EPANET 软件模拟计算,得出的系统设计压力值要

较旧版喷淋规范《自动喷水灭火系统设计规范》(GB 50084—2001)舍维列夫公式计算的偏大 6.75%,系统设计流量偏大 2%,新喷规《自动喷水

灭火系统设计规范》(GB 50084—2017)采用海澄-威廉公式较舍维列夫公式计算得出的水头损失更小,若此时还借助 EPANET 模拟计算,得出的误差将更大。

针对自动喷水灭火系统水力计算,《建筑给水排水设计手册》(上册)中采用管系特性系数计算对称性布置管段流量,即把一个相同类型布置管道简化成一个大复合喷头来计算,一方面好多喷淋布置不规则,无法做到对称布置,该方法计算有一定的局限性;另一方面按照新的水力计算公式,管系特性系数计算方法,在压力相差较大的情形下,得出的计算结果是不太准确的。

采用 EXCEL 迭代计算可以有效地利用新的水力计算公式,操作也简单方便,同时可针对任意不规则喷头布置计算,也可以根据末端的压力值,倒推计算任意区域的喷头或管段流量。

1 新旧水力计算公式对比

按照规范^[2],喷头流量计算公式如下:

$$q = K \sqrt{10P} \quad (1)$$

式中 q ——单个喷头流量, L/min

P ——喷头工作压力, MPa

K ——喷头流量系数

旧版规范水头损失采用舍维列夫公式:

$$i = 0.0107 \times \frac{V^2}{d_j^{1.3}} \quad (2)$$

式中 i ——管道的单位长度水头损失, kPa/m

V ——管道的平均流速, m/s

d_j ——计算管道内径, mm

新版规范修正采用海澄-威廉公式:

$$i = 6.05 \left(\frac{q_g^{1.85}}{C_h^{1.85} d_j^{4.87}} \right) \times 10^7 \quad (3)$$

式中 q_g ——管道设计流量, L/min

C_h ——海澄-威廉系数

根据式(1)、(2),不难得出,管道的水头损失以及喷头的末端工作压力,均与流速的平方成正比,按旧规范采用管系特性系数计算方法是合理的;然而按式(1)、(3),新规范管道的水头损失和流速的平方不再成正比,利用管道特性系数法计算喷淋管道流量亦不太准确。

2 已知管道压力计算流量

如何在知晓末端管道压力的情况下,求解所选管段的流量,如图1所示,已知 P_1 , 求 1a-1 管段及

喷头流量。

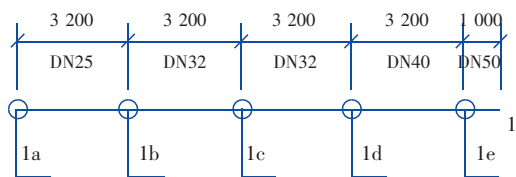


图1 1a-1 管道喷头布置

Fig. 1 Spray layout of 1a-1 pipe

手动的计算可以参照管系特性系数做法,首先赋值 1a 喷头压力 P_{1a} 任意值,再根据 1a 的压力值求解出整个管段的流量,以及 1 点的压力值 P_1' ,然后按照式(4)重新赋予一个 1a 喷头新的压力值 P_{1a}' ,根据 1a 末端压力值,重复计算得出 1 点的压力值 P_1'' ,如此反复多次计算,确保最终得出的 1 点压力值与 P_1 一致,则最后一次计算出来的喷头和管段的流量值就是所需的数据。

$$P_{1a}' = P_{1a} \times \frac{P_1}{P_1'} \quad (4)$$

3 利用 EXCEL 已知压力值计算流量

EXCEL 默认不开启迭代计算,未开启状态下,循环引用公式会显示出错,其迭代计算可以在其软件,文件选项,公式中打开,勾选后默认 100 次迭代计算运行,并设置 0.001 误差范围。以图1为例,假设 1 处喷头压力为 0.4 MPa,利用 EXCEL 迭代计算方法(见表1),首先将式(1)、(3)代入表1中,并完善其他水力计算公式,相关计算公式不再详述, C_h 按照镀锌钢管取值 120。待一切公式输入完毕后,重点如下:

① 首先在 1a 处压力值(C4 栏)输入任一数(可默认选 0.1 或 0.05);

② 其次在 1a 终点水压处(L4 栏)输入公式 = C4 * C14/L13;

③ 最后在 C4 栏输入公式 = L4。

以上公式数据必须依次输入,否则会引起计算出错。

最终算得的数据 1-1e 管段为 10.13 L/s,且计算 1e-1 管段的终点压力为 0.4 MPa,与设定的压力值一致,说明计算方法是正确的。

实际上可以反复调整 1 处的压力值(C14 栏),可以自动计算出各喷头及管段的流量压力情况。特别地当初始赋值为 0.1 MPa 时得出的流量为 4.92 L/s。按照管系特性做法,入口压力由 0.1 MPa 变为

0.4 MPa,计算出来的流速应该为 2 倍,而按照新的威廉公式在相同流量状况下,所需要的压力值略微减少。

表 1 自动喷水灭火系统水力计算

Tab. 1 Hydraulic calculation of automatic sprinkler system

节点/ 管段	特性 系数 K	H/MPa	节点流量 $q/(L \cdot s^{-1})$	管段流量 $Q/(L \cdot s^{-1})$	管径 DN/ mm	流速/ $(m \cdot s^{-1})$	管段长度 L/m	管段当 量/m	水力坡度/ $(kPa \cdot m^{-1})$	水头损失/ MPa	终点水压/ MPa
1a	80	0.148	1.62								0.148
1a-1b				1.62	25	3.31	3	0.8	6.408	0.024	0.173
1b	80	0.173	1.75								
1b-1c				3.38	32	4.20	3	1.8	7.458	0.036	0.209
1c	80	0.209	1.93								
1c-1d				5.30	32	6.59	3	2.1	17.184	0.088	0.296
1d	80	0.296	2.29								
1d-1e				7.60	40	6.05	3	2.7	11.275	0.064	0.361
1e	80	0.361	2.53								
1e-1				10.13	50	5.16	3	3.1	6.474	0.039	0.400
1		0.400									

4 最不利及有利区域喷淋管径优化布置

根据规范,轻中危险场所中配水支管、配水管控制的标准喷头数量见表 2,实际上表 2 只是允许管径的上限值,以中危险等级为例,中危险 I 与中危险 II 级喷水强度都不一致,理论上控制的喷头数量也有所区别。

表 2 轻中危险等级喷水管控制的标准喷头个数

Tab. 2 Number of nozzle controlled by spray pipe in light and medium dangerous grade

公称管 径/mm	控制的喷头数/个	
	轻危险级	中危险级
25	1	1
32	3	3
40	5	4
50	10	8
65	18	12
80	48	32
100	—	64

设计中,可以将最不利区域喷头的管径相应规范值增大,进而减少整个系统的压力值,而相对管道入口区域喷头的管径相应减少,以确保整个系统的任何一区域喷水灭火流量均衡。

根据规范要求,各配水管入口不宜大于 0.4 MPa,计算上可以考虑在划定最不利喷淋区域后,其沿线主管根据该限定值进行管径赋值。具体的可以根据最不利点的喷头距管道入口(水流指示器位置)距离,大致计算出喷头的平均管道水头损失[如

式(5)所示],考虑最不利区域管件较多,局部水头损失参照喷淋规范附录 C 当量长度,根据多种布置方式得出,最不利区域局部水头损失均超过 80% 沿程水头损失。

$$i = 1\,000 \times \frac{P_0 - P - P_L}{1.8l_1} \quad (5)$$

式中 P_0 ——系统入口压力,MPa
 P ——最不利处喷头压力,MPa
 P_L ——主管水头损失,m
 l_1 ——最不利区域管道长度,m

以图 2 喷淋布置为例,喷水强度按中危险 II 考虑,最不利作用面积区域管线长度为 21.2 m,其中最不利区域至水流指示器管段长度为 90 m;而最有利区域管线长度为 14.4 m,其中最有利区域至水流指示器长度为 8.4 m,相关计算步骤如下:

① 入口压力取 0.4 MPa,作用面积按 160 m² 计,平均喷水强度为 8 mm/min,在已知管径的情况下,根据式(3),不难求出最不利区域及最有利区域的主管水损;

② 再根据式(5),可以得出单位长度的水头损失;

③ 将单位长度的水头损失代入式(3),反算出各管径控制的流量;

④ 根据控制的流量及平均流量,向下四舍五入,计算出对应管径控制的喷头数量,具体结果如表 3 所示。

同样地,代入最有利区域的管段长度等资料,则对应喷头控制的流量如表 4 所示,特别指出,最有利区域的主管管径及长度应根据最不利区域计算后确定。

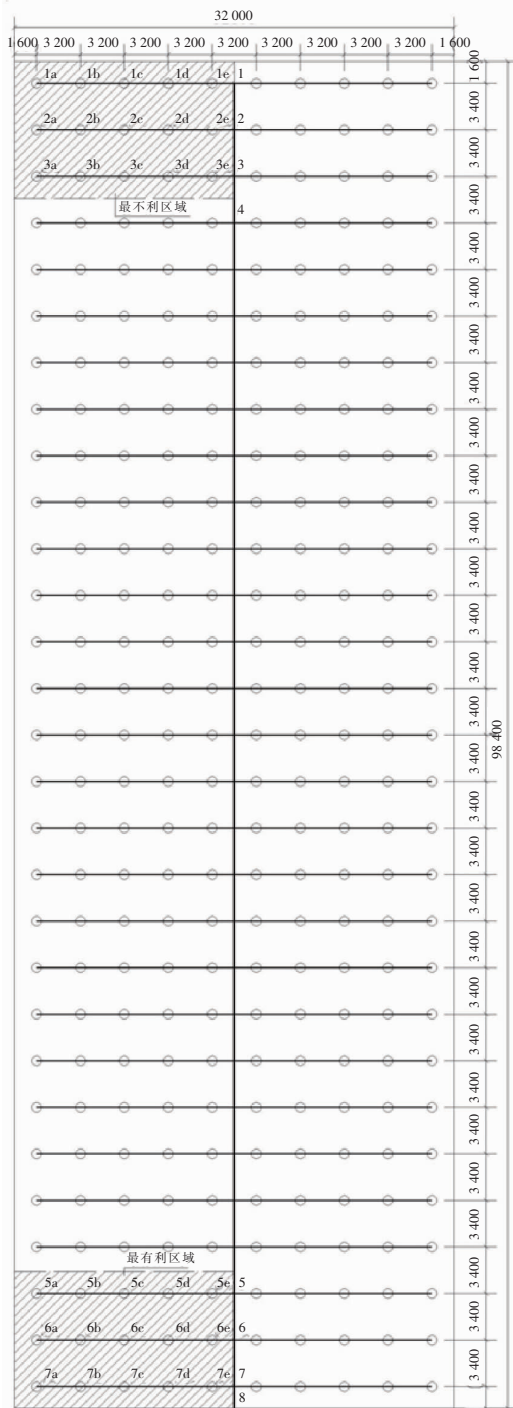


图 2 某中危险 II 场所喷淋布置

Fig. 2 Spray pipe layout of a site of a medium dangerous II grade

表 3 最不利区域喷头管径及流量

Tab. 3 Spray pipe diameter and flow in the most unfavorable area

序号	管径/mm	控制流量/ (L · min ⁻¹)	计算喷头/个	规范喷头/个
1	25	96.22	1	1
2	32	184.28	2	3
3	40	331.59	4	4
4	50	596.63	7	8
5	65	1 190.30	14	12
6	80	2 056.07	24	32
7	100	3 699.54	43	64

注: 区域管道平均水损为 6.26 kPa/m。

表 4 最有利区域喷头管径及流量

Tab. 4 Spray pipe diameter and flow in the most favorable area

序号	管径/mm	控制流量/ (L · min ⁻¹)	计算喷头/个	规范喷头/个
1	25	136.67	1	1
2	32	261.76	3	3
3	40	470.99	5	4
4	50	847.47	9	8
5	65	1 690.72	19	12
6	80	2 920.48	34	32
7	100	5 254.89	61	64

注: 区域管道平均水损为 11.98 kPa/m。

对比表 3、表 4 中的数据不难发现,最不利区域的喷头计算数量要较规范要求的上限较小,而最有利区域的计算喷头数量要较规范要求的上限较高。喷头的布置数目根据最不利区域以及最有利区域进行区分对待,通过变换管径,自动做到喷淋系统的局部减压,进而使得整个防火分区内的喷头流量较为均衡。

5 利用 EXCEL 迭代计算流量及压力要求

根据喷淋规范要求,需确保系统作用面积内的任意 4 个喷头范围内的平均喷水强度,轻中危险等级不低于规范要求的喷水强度 85%,严重危险和仓库危险等级不低于规范要求的限值。手动赋值计算过程中,也较为繁琐,但通过 EXCEL 迭代计算,可以大大简化。

以图 2 为例,参照表 3 设置最不利区域喷淋管径,按照中危险 II 级考虑,则具体计算步骤如下:

① 初始赋值 1a, 求出 1a - 2 管道流量及压力;

② 利用 EXCEL 迭代计算,参照表 1 计算方法已知 2 处压力值,求出 2a-2 管道流量及压力值;

③ 得出 3 处的压力值,再求 3a-3 的流量,进而得出整个系统的流量;

④ 根据最不利处的 4 个喷头流量,求出最不利 4 个喷头的平均喷水强度,以及与规范值的误差,最不利处的 4 个喷头的平均喷水强度可以利用 EXCEL 公式计算,如表中 H44,输入 = AVERAGE (SMALL(D4:D35,1),SMALL(D4:D35,2),SMALL(D4:D35,3),SMALL(D4:D35,4)) * 15 * 60/160;

⑤ 根据最不利 4 个喷头喷水强度不低于规范要求的喷水强度 85%,反算 1a 所需的压力值,输入 $L4 = \text{POWER}(L37 * 0.85/D37,2) * C4$;

⑥ 在 C4 中输入 L4 计算值,多次迭代计算,当 $L4 = C4$ 时,停止迭代计算,求出整个系统的流量、压力值;

⑦ 计算结果如表 5 所示(为节省篇幅,相对表 1 隐藏了部分数据),系统设计流量为 21.65 L/s,平均喷水强度为 8.1 L/(min · m²),系统压力为 0.598 MPa。

表 5 最不利区域喷淋水力计算

Tab.5 Hydraulic calculation of spraying in the most unfavorable area

节点/ 管段	节点压力 H/ MPa	节点流量/ (L · s ⁻¹)	管段流量/ (L · s ⁻¹)	管径 DN/mm	流速/ (m · s ⁻¹)	管段长 度/m	水头损 失/MPa	终点水 压/MPa
1a	0.077	1.17						0.077
1a-1b			1.17	25	2.38	3.2	0.014	0.091
1b	0.091	1.27						
1b-1c			2.44	32	3.04	3.2	0.022	0.113
1c	0.113	1.42						
1c-1d			3.86	40	3.07	3.2	0.018	0.131
1d	0.131	1.52						
1d-1e			5.38	40	4.28	3.2	0.035	0.166
1e	0.166	1.72						
1e-1			7.10	50	3.61	1.6	0.017	0.183
1-2			7.10	65	2.14	3.4	0.004	0.187
2a	0.079	1.18						0.079
2a-2b			1.18	25	2.41	3.2	0.014	0.093
2b	0.093	1.29						
2b-2c			2.47	32	3.07	3.2	0.022	0.115
2c	0.115	1.43						
2c-2d			3.90	40	3.10	3.2	0.018	0.133
2d	0.133	1.54						
2d-2e			5.44	40	4.33	3.2	0.036	0.169
2e	0.169	1.73						
2e-2			7.17	50	3.65	1.6	0.018	0.187
2-3			14.27	80	2.84	3.4	0.010	0.197
3a	0.083	1.22						0.083
3a-3b			1.22	25	2.48	3.2	0.015	0.098
3b	0.098	1.32						
3b-3c			2.54	32	3.16	3.2	0.023	0.122
3c	0.122	1.47						
3c-3d			4.01	40	3.19	3.2	0.019	0.141
3d	0.141	1.58						
3d-3e			5.59	40	4.45	3.2	0.038	0.179
3e	0.179	1.78						
3e-3			7.38	50	3.76	1.6	0.019	0.198
3-4			21.65	80	4.31	3.4	0.021	0.219
4-8			21.65	100	2.76	86.6	0.079	0.298

续表5 (Continued)

节点/管段	节点压力 H /MPa	节点流量/ $(L \cdot s^{-1})$	管段流量/ $(L \cdot s^{-1})$	管径 DN/mm	流速/ $(m \cdot s^{-1})$	管段长度/m	水头损失/MPa	终点水压/MPa
8-指示器							0.020	0.318
指示器-报警阀			21.65	100	2.76	50	0.045	0.363
报警阀-水泵			21.65	100	2.76	150	0.135	0.498
标高差								0.100
水泵扬程								0.598

注：设计喷水强度为 8.0 mm/min ，最不利4个喷头喷水强度为 6.8 mm/min ，实际喷水强度为 8.1 mm/min 。

6 复核计算最有利区域的喷头流量

根据消防泵曲线,水泵的输出流量增加,则相应的输出压力会减少,很明显,当火灾发生在最有利区域处时,流量会较最不利区域加大,水泵的输出压力则会减少,假设水泵输出压力仍为工作压力 0.598 MPa 时,可利用迭代计算出此区域的流量上限值。参照表5计算,调整5-5a等支管管径,主管5-8段按照DN100选取,并复核控制管内流速不大于 10 m/s ,因篇幅所限,直接写出最有利区域的流量为 23.16 L/s 。

假设整个系统全按规范上限值选取,得出相应的计算数据对比(见表6),明显地,通过计算表3、4得出的系统所需流量、扬程较小,水量不均匀系数也较小。当在高大净空场所或严重危险等级、仓库危险等级时,得出的数据对比则会更加明显。

表6 两种喷淋管径布置方式对比

Tab.6 Comparison of two types of spray pipe arrangement

管径布置	最不利流量/ $(L \cdot s^{-1})$	最有利流量/ $(L \cdot s^{-1})$	工作压力/MPa	不均匀系数
计算表格布置	21.65	23.16	0.598	1.07
规范上限布置	22.74	25.51	0.663	1.12

7 结语

① 根据喷淋规范的水力公式修正,管系特性系数法不再适用于喷淋的水力计算。

② 采用EXCEL迭代计算,可以根据末端压力值,自动求解整个管段所需的流量值。

③ 利用EXCEL迭代计算,可复核最不利分区4个喷头流量满足规范要求,并根据该数值,反向求解系统所需的流量及压力值。

④ 喷淋管道的标注,建议区分对待,可以利用EXCEL简要计算所需区域的喷头管径,适当加大最不利区域管道喷头管径,减小最有利区域喷头管径,

可使得管道所需流量值减小,压力降低,系统不均匀系数减小,尽量满足均衡出流要求。

参考文献:

- [1] 张凤娥,田海龙,陈龙飞. EPANET在自动喷淋系统设计中的应用[J]. 中国给水排水,2009,25(14):36-39.
Zhang Feng'e, Tian Hailong, Chen Longfei. Application of EPANET to design of automatic fire sprinkler system [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(14):36-39 (in Chinese).
- [2] GB 50084—2017, 自动喷水灭火系统设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2017.
GB 50084-2017, Code for Design of Sprinkler Systems [S]. Beijing: China Planning Press, 2017 (in Chinese).



作者简介:余小明(1983-),男,江西广丰人,本科,高级工程师,注册公用设备工程师,广州华森建筑与工程设计顾问有限公司副总工程师,从事建筑给排水、海绵城市、绿色建筑等领域设计及研究工作。

E-mail: yxm28@126.com

收稿日期:2019-03-05