

文章编号: 1671-6612 (2023) 02-240-05

通透性吊顶镂空率对 消防喷头控火性能影响的数值模拟研究

邹超 袁中原 雷波

(西南交通大学机械工程学院 成都 610031)

【摘要】 采用三维数值模拟方法,研究了通透性吊顶的镂空率对消防喷头控火性能影响规律。结果表明:通透性吊顶会使喷头水量分布产生向喷头下方中心位置的聚集效应,从而影响喷头的控火性能;增大 1.3 倍喷头水量后,在单个喷头保护范围的边缘位置,吊顶镂空率小于 70%时喷头控火性能比无吊顶时要差,而吊顶镂空率达到 70%以上时,喷头的控火性能与无吊顶时基本相同。

【关键词】 通透性吊顶;消防喷头;控火性能;数值模拟

中图分类号 X924.4/TU892 文献标识码 A

Numerical Simulation Study on the Influence of Hollow Rate of Ceiling on Fire Control Efficiency of Fire Sprinkler

Zou Chao Yuan Zhongyuan Lei Bo

(School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031)

【Abstract】 In this paper, the three-dimensional numerical simulation method is adopted to study the influence of the hollow rate of the gird ceiling on the fire control efficiency of the fire sprinkler. The results show that the gird ceiling will make the water flow of the sprinkler concentrate to the center under the sprinkler, thus affecting the fire control efficiency of the sprinkler. After increased 1.3 times of the water flow, at the edge of the protection range of the sprinkler, when the hollow rate of gird ceiling is lower than 70%, the sprinkler fire control efficiency is worse than that without the gird ceiling. While when the hollow rate of gird ceiling is more than 70%, the sprinkler fire control efficiency is almost the same as that without the gird ceiling.

【Keywords】 gird ceiling; fire sprinkler; fire control efficiency; numerical simulation

0 引言

随着我国经济的快速发展,大量地铁站台、购物商场等建筑如雨后春笋般出现。此类建筑通常采用通透性吊顶对建筑顶部进行装修,对建筑顶部的各类管道和线路起到一定遮挡和装饰的作用。通常消防喷头会安装在通透性吊顶上方,通透性吊顶可能对消防喷头启动以及控火性能造成不利影响。

李宁宁^[1]等通过实验对安装在格栅上下方的火灾探测器响应情况与格栅镂空比(即镂空率)间

的关系进行了研究。结果表明:镂空比小于 15%时格栅吊顶下方的探测器先报警,镂空比为 15%~30%是格栅吊顶上下方探测器出现交叉报警,镂空比大于 30%时格栅上方探测器先报警。李厚强^[2]通过数值模拟的方式对通透性吊顶内上下喷式喷头的设计有效性进行研究,结果表明:安装通透性吊顶后喷头启动将变慢,且会启动更多的喷头当喷头启动后,因为通透性吊顶对喷头水量的阻挡、分隔等影响,势必将严重削弱喷头的控火性能。张凯

作者简介:邹超(1998-),男,在读硕士研究生, E-mail: 1813834879@qq.com

通讯作者:袁中原(1983-),男,博士,副教授, E-mail: zhongyuan.yuan@home.swjtu.edu.cn

收稿日期:2022-02-07

[3]通过实验对安装通透性吊顶后喷头的水量分布进行研究,得出安装通透性吊顶后,以喷头为中心,半径 1m 内的范围内,喷头的喷水强度出现了不同程度的增大,而在半径 1.2m 之后的喷水强度则将小于无吊顶时的工况的结论;吴海燕[4]则通过实验得到不同形式的通透性吊顶对喷头水量分布影响程度也不同的结论;岳海玲[5]、吴海燕[6]等就安装格栅吊顶后消防喷头的灭火性能进行试验研究,结果表明格栅吊顶对消防喷头控火性能的削弱十分明显。《自动喷水灭火系统设计规范》GB 50084-2017 规定:装设通透性吊顶的场所,系统喷水强度应按规范内规定值的 1.3 倍进行设计[7]。但高兵等[8,9]通过试验得到结论:即使喷头水量增大 1.3 倍,消防喷头的控火性能仍然难以达到未安装吊顶时的控火性能。

目前,人们主要研究了通透性吊顶对消防喷头保护范围内某一火源位置控火性能的影响,缺乏对喷头整个保护范围内控火性能受通透性吊顶影响的相关研究。而实际上通透性吊顶会对喷头保护范围内不同位置控火性能造成不同的影响。

为了得到通透性吊顶对消防喷头保护范围内控火性能的影响,并总结喷头保护范围内不同位置控火性能随吊顶镂空率的变化规律。本文采用 FDS 软件,对采用通透性吊顶时,消防喷头在其保护范围内控火性能随吊顶镂空率的变化进行数值模拟研究。

1 计算模型与工况

1.1 计算模型

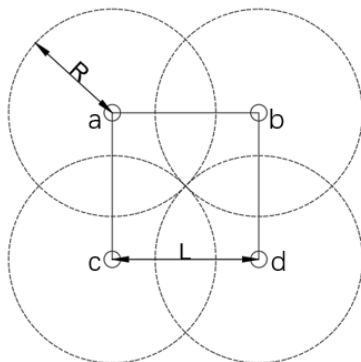


图 1 喷头按正方形布置

Fig.1 The sprinklers are arranged in square

《自动喷水灭火系统设计规范》GB 50084-2017 规定:对于中危险 I 级场所,若喷头按正方

形布置,则喷头间间距应在 1.8~3.6m,喷水强度不低于 $6L/(\min \cdot m^2)$ 。通常采用通透性吊顶的场所一般都属于中危险 I 级场所。本文研究喷头正方形布置的情况,如图 1 所示。其中,abcd 为喷头所在位置, R 为单个喷头保护半径, L 为喷头安装间距。

一般来说,实际的场所的防火分区较大。为了简化计算,取单个喷头保护范围建立数值计算模型,分别设置无吊顶和有吊顶两种模型。本文研究的吊顶形式为铝方管式通透性吊顶,吊顶自身宽 100mm,厚度为 50mm。在实际工程应用当中,通透性吊顶镂空率 ϵ 一般在 30~70%。因此分别设置吊顶间距为 50、100、150、250mm 的通透性吊顶,对应镂空率分别为 33%、50%、59%、70%。喷头安装在顶板下方 100mm 处,距吊顶上表面的高度为 600mm,模型生成情况如图 2 所示。

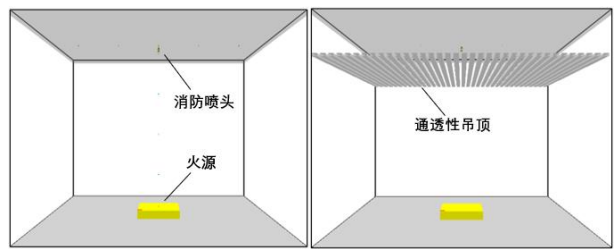


图 2 模型生成图

Fig.2 Diagrams of model generation

如图 3 所示,在喷头的保护范围内分别设置 A、B、C 三个不同位置的火源。中心火源位置 A 位于喷头正下方,边缘火源位置 C 靠近喷头保护范围边缘,中间火源位置 B 位于 A 与 C 中间。观察喷头在不同火源位置的控火性能。

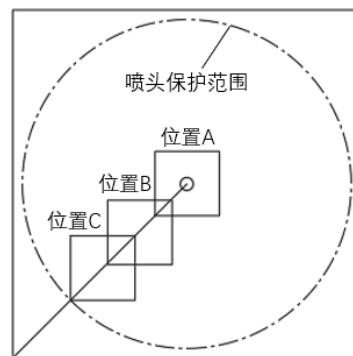


图 3 火源位置设置情况

Fig.3 Setting of fire source position

1.2 模型参数与计算工况

按照规范喷水强度不低于 $6L/(\min \cdot m^2)$, 喷头

间距取 3.6m,即图 1 中矩形 abcd 的边长 L 为 3.6m。每个喷头有 1/4 的水量洒在 abcd 范围内,喷头流量可根据式 (1) [10]计算得到喷头流量 $q \geq 77.8\text{L}/\text{min}$,取 $q=80\text{L}/\text{min}$ 。

$$\frac{1/4 \times 4 \times q}{L^2} \geq 6 \quad (1)$$

喷头采用 $K=80$ 的标准流量喷头,此时需要在 FDS 中设置喷头的工作压力 P ,可按照式 (2) 计算得到:

$$q = K\sqrt{10P} \quad (2)$$

式中: K 为流量系数, $\text{L}/(\text{min} \cdot \text{bar}^{0.5})$; P 为喷头工作压力, MPa。

喷头的工作压力 $P=0.1\text{MPa}$ 。而采用通透性吊顶后,喷头流量 q 增加至 $104\text{L}/\text{min}$,喷头工作压力 P 为 0.17MPa 。

根据《建筑给水排水工程》[11]中给出的喷头最大保护半径 R 计算公式 (3):

$$L = 2R \cos 45^\circ \quad (3)$$

计算得到单个喷头的最大保护半径 $R=2.55\text{m}$,模型尺寸则根据单个喷头的最大保护半径适当增大,长宽设置为 $5.4\text{m} \times 5.4\text{m}$,高度设置为 4.3m 。

火源设置为油池火,采用复杂热解模型,燃料为正庚烷,相关热物性参数如表 1 所示。根据《建筑防烟排烟系统技术标准》GB 51251-2017[12]:公共场所的火灾热释放速率在喷淋有效启动时设置不应小于 2.5MW 。取油池尺寸大小为 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 时,火源热释放速率约为 3MW ,符合标准要求。

表 1 正庚烷热物理参数

燃料名称	材料性质	数值
正庚烷	密度 (kg/m^3)	684
	比热 ($\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$)	2.24
	导热系数 ($\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)	0.17
	燃烧热 (MJ/kg)	44.2
	蒸发温度 ($^\circ\text{C}$)	98.5

模拟计算工况设置分为两组,分别是无吊顶组和有吊顶组。无吊顶组设置 4 个计算工况:分别为 3 个火源位置有喷淋工况和 1 个无喷淋油池自由燃烧工况。有吊顶组研究了 4 种吊顶通透率、3 个火源位置、2 个喷头流量 ($80\text{L}/\text{min}$ 、 $104\text{L}/\text{min}$) 等情况下,共设置了 24 个计算工况,工况参数设置如表 2 所示。

表 2 工况参数设置

工况编号	有、无喷淋	有、无通透性吊顶	火源位置	镂空率%	喷头流量 L/min
工况 1	无	无	A	—	—
工况 2-4	有	无	A、B、C	—	80
工况 5-10				33	
工况 11-16	有	有	A、B、C	50	80、104
工况 17-22				59	
工况 23-28				70	

模型采用多重网格,吊顶区域网格大小为 $0.05\text{m} \times 0.05\text{m} \times 0.05\text{m}$,其他区域网格大小为 $0.1\text{m} \times 0.1\text{m} \times 0.1\text{m}$,总网格数为 166212。模型四周采用开放边界,室内初始压力为大气压,初始风速 $0\text{m}/\text{s}$,初始温度为 20°C 。

喷头采取手动开启方式,于模拟开始 150s 时开启。

2 喷头控火性能评价指标

喷头对火灾的影响主要体现在两个方面:一是扑灭火灾;二是抑制火灾,延缓火灾的发展。通常情况下,喷头启动后短时间内很难将火灾直接扑灭,更多的是抑制火灾。本文将采用火源位置的喷水强度和火源热释放速率两个指标来评价喷头的控火性能。

(1) 喷水强度

喷头启动后,当液滴与火焰接触时,液滴能迅速与火焰进行热交换并汽化吸热,降低火焰的温度。喷水强度是指单位时间内到达火源表面单位面积上的平均水量,喷水强度越大,喷头的控火性能越好。喷水强度可根据式 (4) 计算:

$$I = \frac{\Delta m \times 60}{\Delta t \times \rho_w \times A} \quad (4)$$

式中: I 为喷水强度, $\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$; Δm 为某一段时间内水量增量, kg ; Δt 为时间增量, s ; ρ_w 为水的密度,取 $1\text{kg}/\text{dm}^3$; A 为火源表面积, m^2 。

(2) 热释放速率

热释放速率是指单位时间内火源所释放的热量。热释放速率越大意味着火灾危险程度越高,越容易引燃周围可燃物。因此可以通过观察喷头启动后火源热释放速率的变化来判断此时喷头的控火性能。

3 结果与讨论

3.1 喷水强度

喷头水量稳定后的水量分布情况如图 4 所示, 从图 4 (a) 可以看到, 无吊顶时, 喷头水量分布比较均匀, 覆盖范围较大; 从图 4 (b) 则可以看出, 安装通透性吊顶后, 吊顶对喷头的水量产生了聚集效应, 使得喷头水量主要集中在喷头的中心位置, 喷头的水量分布均匀性与覆盖范围明显减小。

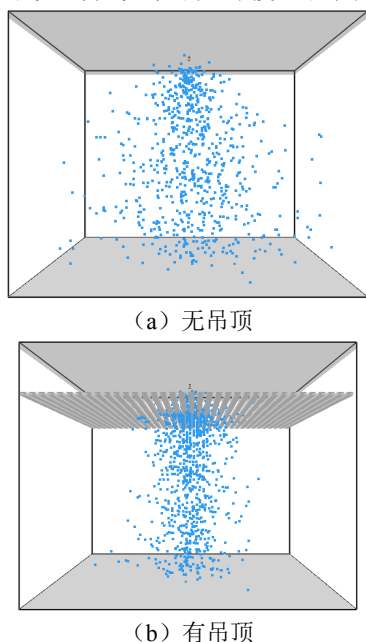


图 4 无、有吊顶情况下喷头水量分布

Fig.4 Water distribution of sprinkler without and with gird ceiling

表 2 是不同火源位置处喷水强度的计算结果。从表 2 可见, 无论有、无吊顶, 喷水强度分布均是中心位置 A 最大、中间位置 B 次之、边缘位置 C 最小。在喷头流量为 80L/min 的情况下, 与无吊顶工况相比, 安装通透性吊顶后位置 A 处喷水强度显著增加, 位置 B 处变化不大, 而位置 C 明显减小。这表明通透性吊顶对喷头的水量分布产生了从边缘向中心的“聚集效应”。随着吊顶镂空率的增大, 这种聚集效应的程度相应减弱。水量分布的聚集效应将削弱喷头在边缘位置的控火性能。从表 2 的计算结果也可以看出, 按规范将喷头水量增大 1.3 倍后, 各种镂空率下不同火源位置处的喷水强度也相应增加, 但镂空率小于 70% 时, 边缘位置 C 处的喷水强度仍小于无吊顶时的工况; 吊顶镂空率为 70% 时, $I=2.8L/(min \cdot m^2)$, 大于无吊顶工况的 $2.6L/(min \cdot m^2)$ 。

表 2 不同位置喷水强度

Table 2 Water density at different fire source positions

火源位置	$\epsilon \%$	$I L/(min \cdot m^2)$	
		$q=80L/min$	$q=104L/min$
A	33	45.7	60.0
	50	36.3	48.0
	59	30.9	40.5
	70	25.9	32.9
	无吊顶	8.5	—
B	33	5.5	7.1
	50	6.3	8.2
	59	5.5	7.2
	70	4.8	5.6
	无吊顶	6.2	—
C	33	0.6	0.8
	50	1.1	1.4
	59	1.6	2.1
	70	2.2	2.8
	无吊顶	2.6	—

3.2 热释放速率

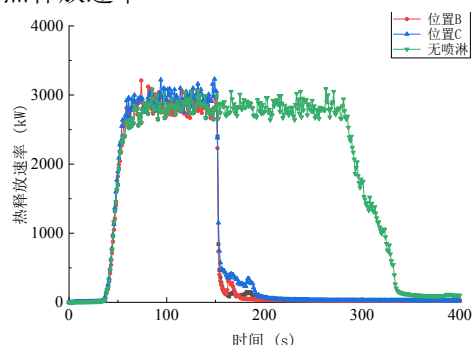


图 5 无吊顶时不同火源位置热释放速率变化

Fig.5 Heat release rate changes at different fire source positions without gird ceiling

图 5 是无吊顶时不同火源位置热释放速率随时间变化曲线图。从图可以看到无喷淋时火源在大概 70s 时热释放速率达到最大值接近 3MW, 以 3MW 稳定燃烧近 200s 后, 于 350s 燃料燃烧殆尽, 火源热释放速率下降达到最低值。而有喷淋 ($q=80L/min$) 的工况, 喷头于 150s 启动后, 三个位置处火源的热释放速率均迅速下降, 喷头控火性能良好。但可以看到位置 C 处火源热释放速率达到最低值的时间要略长于 A、B 两处。

当喷头流量 q 分别为 80 和 104L/min 时, 计算得到不同吊顶镂空率下边缘位置 C 处的火源热释

放速率变化曲线,如图6所示。从图6(a)可见,当喷头流量为80L/min时,与无吊顶工况相比,各个吊顶镂空率下喷头启动后火源热释放速率下降速度均有所减慢。吊顶镂空率为33%和50%时,火源热释放速率将分别保持在2400kW和360kW稳定燃烧;吊顶镂空率为59%和70%时,火源热释放速率降至最低值的时间也明显延长。从图6(b)可见,喷头流量增大至104L/min后,各个吊顶镂空率下,火源热释放速率下降速度有所加快。吊顶镂空率为33%、50%和59%时,火源热释放速率均不同程度地比无吊顶工况要慢,表明喷头控火性能受到削弱;吊顶镂空率为70%时,火源热释放速率曲线变化情况与无吊顶工况基本一致,表明控火性能基本相同。

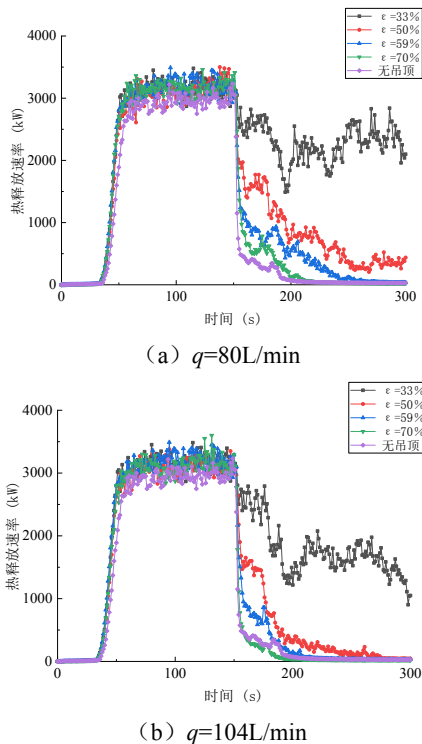


图6 边缘位置C处火源热释放速率变化曲线

Fig.6 Change curves of heat release rate of fire source at position C

4 结论

本文针对一种通透性吊顶采用正方形布置时,喷头在其保护范围内的水量分布和控火性能进行数值模拟研究,得到以下结论:

(1) 与无吊顶工况相比,通透性吊顶会对喷

头的水量产生向喷头中心聚集的聚集效应,使得喷头保护范围中心位置喷水强度增大,而其保护范围中间和边缘位置喷水强度减小。聚集效应的程度会随着吊顶镂空率的增大而减弱,即喷头保护范围中心位置喷水强度随吊顶镂空率的增大而减小、边缘位置喷水强度则随吊顶镂空率的增大而增大。

(2) 增大1.3倍喷头水量后,喷头保护范围内的喷水强度均相应增大。在喷头保护范围的边缘位置,当吊顶镂空率小于70%时,喷水强度和火源热释放速率下降速度仍小于无吊顶工况,喷头控火性能较无吊顶时要差;吊顶镂空率达到70%后,边缘位置喷水强度大于无吊顶工况,控火性能与无吊顶工况基本相同,控火性能随吊顶镂空率的增大而增强。

参考文献:

- [1] 李宁宁,陈南,张天巍. 格栅式吊顶场所火灾探测器安装设计的研究[J].消防科学与技术,2009,28(9):661-664.
- [2] 李厚强. 通透性吊顶内上下喷式喷头设计有效性[J].消防科学与技术,2014,33(2):174-177.
- [3] 张凯. 建筑装修对自动喷水灭火系统中闭式喷头特性及布置影响研究[D]. 邯郸:河北工程大学,2020.
- [4] 吴海燕,郭子东. 格栅类吊顶不同参数变化对喷头布水效果影响的实验研究[J].消防技术与产品信息,2017,(1):17-20.
- [5] 岳海玲,吴海燕. 悬空式格栅类吊顶对喷头灭火效果的影响[J].消防科学与技术,2017,36(8):1087-1090.
- [6] 吴海燕,史海宏. 格栅类吊顶喷头设置位置对灭火性能的影响[J].消防科学与技术,2017,36(3):348-351.
- [7] GB 50084-2007,自动喷水灭火系统设计规范[S].北京:中国计划出版社,2017.
- [8] 高兵,姚斌. 格栅类通透性吊顶对水喷淋控火性能影响的实验研究[J].火灾科学,2008,(4):244-249.
- [9] 高兵,李英,姚斌,等. 格栅类通透性吊顶对自动喷水灭火系统水量分布影响的实验研究[J].火灾科学,2006,(3):184-189.
- [10] 黄秉政. 对通透性吊顶场所自动喷水灭火系统设计的探讨[J].给水排水,2002,(9):76-83.
- [11] 王增长. 建筑给水排水工程(第六版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [12] GB 51251-2017,建筑防排烟规范[S].北京:中国计划出版社,2017.