

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.21.017

超大流量闭式洒水喷头的研制及性能测试

李 毅, 杨丙杰, 王健强, 田立伟
(应急管理部天津消防研究所, 天津 300381)

摘 要: 针对传统洒水喷头用于高大空间场所时存在流量特性系数小、水滴穿透上升火羽流场困难等缺陷,通过对洒水喷头关键指标的分析及性能测试,研制了我国首个流量特性系数 $K \geq 400$ 的超大流量闭式洒水喷头,并开展了流量特性系数、密封性能、洒水分布性能和水滴冲力等不同指标的试验研究。结果显示,喷头主要性能指标符合《自动喷水灭火系统》(GB 5135)系列标准的要求,工作压强对喷水强度均匀性的影响较大,而喷水高度则对水滴冲力的影响较大。

关键词: 超大流量喷头; 流量特性系数; 密封性能; 洒水分布性能; 水滴冲力

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)21-0120-04

Development of Extra Large Orifice(ELO)Closed Sprinkler and Its Performance Test

LI Yi, YANG Bing-jie, WANG Jian-qiang, TIAN Li-wei

(Tianjin Fire Science and Technology Research Institute of MEM, Tianjin 300381, China)

Abstract: When the traditional spray sprinkler is used in high clearance space, there are some defects such as small flow characteristic coefficient and water droplets hard to penetrate the rising fire plume flow field. Through the analysis and performance testing of the key indexes of sprinkler, the first extra large orifice (ELO) closed sprinkler with flow coefficient K over 400 was developed, and performance testing such as flow characteristic coefficient, sealing performance, sprinkler distribution performance and water droplet impulse was carried out. The main indicators of sprinkler met the requirements specified in *Automatic Sprinkler System* (GB 5135) series standards. The working pressure had a great influence on the uniformity of sprinkler intensity, while the height of sprinkler had a great influence on the water droplet impulse.

Key words: extra large orifice (ELO) sprinkler; flow characteristic coefficient; sealing performance; sprinkler distribution performance; water droplet impulse

洒水喷头是自动喷水灭火系统的重要组成部分之一。目前,在我国洒水喷头的系列产品中,适用于民用建筑的洒水喷头以流量特性系数 $K-80$ 、 $K-115$ 为主, $K-161$ 喷头在部分高大空间场所及工业建筑中有所应用。高大空间场所具有净空高度高、使用功能复杂且可燃物数量及类型众多等特点,由于通风

条件良好,一旦发生火灾会引发大面积蔓延甚至是立体燃烧,净空高度的提高延缓了喷头的启动时间,在相同的火灾危险等级下,需要更大的喷水强度弥补喷头的延迟启动。传统洒水喷头的流量特性系数小、水滴穿透上升火羽流场困难,当喷水强度增大时所需的工作压强较大,进一步降低了水滴冲力。尤

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFC0807605)

其当用于高大空间场所时,穿透上升火羽流场的能力进一步下降,灭火能力大幅减弱。

基于上述原因,《自动喷水灭火系统设计规范》(GB 50084—2017)规定,用于高大空间场所的特殊应用喷头,流量特性系数 K 应不小于161,且应具有较大的水滴粒径,并通过标准火灾试验进行验证。相关研究表明,当净空高度为12 m时,采用 $K-115$ 的喷头已无法实施有效控火;当净空高度为18 m时,喷头的流量特性系数 K 应至少为161。因此,当自动喷水灭火系统的保护高度进一步增大时,目前我国民用建筑普遍采用的 $K-80\sim K-161$ 喷头已无法满足上述要求,亟需研发更大流量的洒水喷头,以弥补传统洒水喷头的缺陷。

国外开展了超大流量洒水喷头的研制及性能测试工作,例如美国Tyco公司研制了 $K-400$ 和 $K-480$ 洒水喷头,主要用于储物高度超过12 m的高架仓库自动喷水灭火系统,以及用于干式系统和预作用系统中。在喷水均匀性和喷水强度方面,国内不少学者也开展了大量研究。如陈民等^[1]、杨丙杰等^[2]研究了喷头间距和工作压强对不同类型喷头布水均匀性的影响;徐晓玲等^[3]以传统下垂型喷头为基础,分析了喷水强度概率分布特性对控火性能的影响;张驰等^[4]研究了净空高度对喷头喷水强度的影响。之前的研究均是以 $K-80$ 或 $K-115$ 喷头为基础,研究了影响喷水强度和喷水均匀性的主要因素。基于此,笔者通过对超大流量闭式洒水喷头关键指标的分析,研制了超大流量闭式洒水喷头,并开展了基于新型洒水喷头的关键性能测试,以更好地适应高大空间场所自动喷水灭火系统初期火灾的防控需求^[5]。

1 性能指标分析

影响高大空间场所自动喷水灭火系统控火、灭火性能的因素很多,如安装高度、火灾危险等级、设计基本参数等。但就洒水喷头而言,主要有密封性能、水滴冲力和洒水分布的均匀性等。密封性能决定喷头开启后密封件是否出现沉积现象,其影响喷头出水和使用年限;水滴冲力则由喷头的出水口径决定,与水滴粒径及喷水高度有关;喷水均匀性则通过溅水盘的合理设计改变喷水状态,进而使其在保护范围内的布水更加均匀。

密封性能:传统喷头通常采用普通橡胶O型圈

作为密封材料。但橡胶圈易磨损、耐化学腐蚀性且抗气体渗透性能差,容易出现老化黏连现象,导致在低水压条件下,喷头密封座不脱落,从而影响喷水。本研究采用了新型密封材料,该材料集合了传统橡胶O型圈和橡胶材料的优点,具有良好的弹性和化学稳定性,而且抗气体渗透性良好。同时,通过试验分析了其耐腐蚀性能、密封性能和对喷头启动性能的影响。

流量特性系数:流量特性系数是衡量喷头喷水量的重要指标。通过对喷头尺寸、性能参数的分析,总结了喷头出水口径与流量系数之间的关系,计算出流量特性系数 $K\geq 400$ 喷头所需的出水口径,并在此基础上开展了流量特性系数性能测试。

洒水分布性能:在 $K-363$ 洒水喷头的基础上,通过适度增加溅水盘直径,并改变溅水盘齿槽尺寸及分布状态,设计出了新型溅水盘,以更好地保证布水的均匀性。

水滴冲力性能:通过开展相同喷水强度下,不同类型洒水喷头在不同喷水高度和工作压强下的对比试验,研究了影响水滴冲力性能的主要因素。

2 结果与讨论

2.1 密封性能分析

密封性能试验按照《自动喷水灭火系统 第22部分:特殊应用喷头》(GB 5135.22—2019)的规定进行。将喷头安装在试验装置上,使管路充满清水,排除管路中的空气,以 (0.10 ± 0.025) MPa/s的速率使水压由0升至3.00 MPa,并保持3 min,然后降压至0;再在5 s内使压强从0升至0.05 MPa,保持15 s后,以 (0.10 ± 0.025) MPa/s的速率使水压升至1.00 MPa。采用该密封材料喷头进行耐腐蚀试验、环境试验和启动性能试验后发现,喷头在整个试压过程中未出现渗漏,且密封材料在喷头开启后未出现黏连和沉积现象。

2.2 流量特性系数分析

流量特性系数测试参照《自动喷水灭火系统 第1部分 洒水喷头》(GB 5135.1—2019)的规定进行。将4只喷头除去框架和溅水盘后安装在试验装置上,试验压强从0.10 MPa升至1.00 MPa,并每间隔0.10 MPa测量1次喷头的出水流量。不同试验压强下,喷头的出水量及流量特性系数见表1。可知,超大流量洒水喷头的平均流量特性系数约为

413.6,理论偏差为3.4%,符合考核指标要求。

表 1 喷头流量特性系数测试结果

Tab.1 Test results of sprinkler flow characteristic coefficient			
进口压强/MPa	喷水量/(L·min ⁻¹)	流量特性系数	理论偏差/%
0.10	402.25	402.25	0.6
0.20	595.65	420.09	5.0
0.30	722.19	416.96	4.2
0.40	839.27	419.64	4.9
0.50	934.57	417.95	4.5
0.60	1 012.89	413.51	3.4
0.70	1 087.69	411.11	2.8
0.80	1 163.24	411.27	2.8
0.90	1 234.85	411.62	2.9
1.00	1 301.19	411.47	2.9

2.3 洒水分布性能分析

洒水分布性能测试参照《自动喷水灭火系统 第22部分:特殊应用喷头》(GB 5135.22—2019)的规定进行。试验地点为自动喷水灭火系统全尺寸火灾试验平台,在平台下方布置4只下垂型喷头,间距为3 m×3 m。同时,在4只喷头围合范围内布置36只集水盒,集水盒尺寸为500 mm×500 mm。测试时,预先调节喷头的工作压强,稳定2 min后开始采集数据,试验期间门窗洞口全部关闭。

为更好地研究安装高度、工作压强等对喷水均匀性的影响^[6],在喷头安装高度分别为18.0、22.0 m,工作压强分别为0.05、0.07和0.10 MPa条件下,开展5组洒水分布性能试验。表2为超大流量洒水喷头在安装高度为22.0 m、工作压强为0.10 MPa下的喷水量,试验共进行2 min。经计算,喷头理论收集水量应为827 L,集水盒实际收集到的水量为508.65 L,集水率约为61.5%,实际喷水强度为28.2 L/(min·m²),无低于平均喷水强度50%的集水盒,均匀性方差约为28.52^[7]。

表 2 超大流量洒水喷头喷水量

Tab.2 Water spray volume of ELO sprinkler L						
集水盒编号	1	2	3	4	5	6
A	9.75	14.65	20.40	16.05	13.90	15.05
B	10.85	13.35	15.10	15.20	14.85	15.55
C	10.50	11.15	13.15	14.80	15.75	15.50
D	9.75	10.90	12.75	14.95	17.05	15.70
E	8.65	10.85	12.90	15.50	17.30	17.15
F	10.05	14.70	14.75	14.90	17.15	18.10

5组洒水分布试验的结果见表3。可知,无论安装高度是18.0 m还是22.0 m,喷头布水的均匀性均较理想^[8]。5组试验均未出现低于平均喷水强度50%的集水盒,并且喷头的实际集水率大多在50%~60%之间。但提高工作压强后,喷头布水的均匀性会变差。另外,提高安装高度后,喷水量受喷水下落过程中气流的影响,会稍许变差,但影响不显著^[9]。

表 3 超大流量洒水喷头布水试验结果

Tab.3 Water distribution test results of ELO sprinkler							
喷头安装高度/m	工作压强/MPa	理论集水量/L	实际集水量/L	集水率/%	实际喷水强度/(L·min ⁻¹ ·m ⁻²)	低于平均喷水强度50%的集水盒个数	均匀性方差
18.0	0.07	620	363.6	58.6	20.2	0	8.99
	0.10	827	482.95	58.4	26.8	0	12.06
22.0	0.05	585	320.40	54.8	17.8	0	8.67
	0.07	620	349.58	50.5	19.4	0	9.32
	0.10	827	508.65	61.5	28.2	0	28.52

2.4 水滴冲击力性能分析

在喷水强度分别为32和36 L/(min·m²)、安装高度分别为2.5和22.0 m的工况下,开展了K-161和K-404洒水喷头的水滴冲击力测试,结果见表4。

表 4 不同类型洒水喷头的水滴冲击力

Tab.4 Water droplet impulse of different spray sprinklers			
喷头类型	安装高度/m	水滴冲击力/Pa	
		喷水强度为32 L/(min·m ²)	喷水强度为36 L/(min·m ²)
K-161	2.5	25.6	28.4
	22.0	13.5	17.8
K-404	2.5	18.3	21.6
	22.0	14.5	19.8

从表4可知,当安装高度为2.5 m时,喷水强度对水滴冲击力的影响较大。这是由于喷水下落的距离较小,喷水强度的增大使得喷水的初始速度较大。因此,无论是K-161喷头,还是K-404喷头,其在2.5 m高度处的水滴冲击力均大于22.0 m时的。当提高喷水高度后,空气阻力对水滴下落过程的影响较为明显,且水滴粒径越小,该影响越显著。对于K-404喷头,当喷水强度为32、36 L/(min·m²)时,水滴冲击力分别降低20.8%和8.3%;而对于K-161喷

头,相应的水滴冲力分别降低47.3%和37.3%。而且,受火场中火羽流场对喷头水滴下落的影响,水滴冲力会进一步降低,这也再次验证了高大空间场所更适宜采用大流量洒水喷头。

3 结论

① 通过开展0.1~1.0 MPa不同压强下的流量测试发现,超大流量闭式洒水喷头($K \geq 400$)的平均流量特性系数约为413.6,偏差约为3.4%,符合考核指标的要求。

② 不同喷水高度和压强下的洒水分布试验表明,低于平均喷水强度50%的集水盒个数均为0,布水均匀性较好,且工作压强越低,布水均匀性越好。当提高安装高度时,受下落过程中气流的影响,喷水量会稍许变差,但影响不显著。

③ 水滴冲力与喷水压强和喷水高度有关,但对于高大空间场所,在相同喷水强度下,安装高度对水滴冲力的影响要远大于工作压强。

参考文献:

- [1] 陈民,沈贺坤,赵永顺. 自动喷水灭火系统喷水强度均匀性试验研究[J]. 消防科学与技术, 2013, 32(4): 400-402.
CHEN Min, SHEN Hekun, ZHAO Yongshun. Experimental study on water density uniformity of spray sprinklers[J]. Fire Science and Technology, 2013, 32(4): 400-402(in Chinese).
- [2] 杨丙杰,沈贺坤,赵永顺. 家用喷头洒水分布性能试验研究[J]. 安全与环境学报, 2012, 12(5): 174-177.
YANG Bingjie, SHEN Hekun, ZHAO Yongshun. Experimental study of water-spray distributive feature of the residential sprinklers [J]. Journal of Safety and Environment, 2012, 12(5): 174-177(in Chinese).
- [3] 徐晓玲,姚斌,王汉杰,等. 自动喷水灭火系统喷水强度概率分布特性及其控火性能研究[J]. 火灾科学, 2009, 18(3): 154-162.
XU Xiaoling, YAO Bin, WANG Hanjie, et al. Water density probability distribution and fire control capability of sprinkler system [J]. Fire Safety Science, 2009, 18(3): 154-162(in Chinese).
- [4] 张驰,张勤,张智. 净空高度对自动喷水灭火系统喷水强度的影响探讨[J]. 给水排水, 2011, 37(3): 140-143.
ZHANG Chi, ZHANG Qin, ZHANG Zhi. Discussion on

the effects of clearance height on sprinkler system watering intensity[J]. Water & Wastewater Engineering, 2011, 37(3): 140-143(in Chinese).

- [5] 杨丙杰,李毅,王健强,等. 超高空间公共建筑自动喷水灭火技术试验研究[J]. 给水排水, 2021, 57(9): 89-93.
YANG Bingjie, LI Yi, WANG Jianqiang, et al. Experiment study on sprinkler systems for commercial buildings in high-clearance occupancy [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 57(9): 89-93 (in Chinese).
- [6] 杨建,何能. 自动喷水灭火系统水力计算公式解析及高大净空场所设计[J]. 给水排水, 2021, 47(6): 116-122.
YANG Jian, HE Neng. The sprinkler systems analysis of hydraulic calculation and its design in high headroom space [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(6): 116-122(in Chinese).
- [7] 余小明. EXCEL迭代计算在自动喷水灭火系统水力计算中的应用[J]. 中国给水排水, 2020, 36(10): 41-46.
YU Xiaoming. Application of EXCEL iterative calculation in hydraulic calculation of automatic sprinkler system [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(10): 41-46(in Chinese).
- [8] 杨丙杰,王健强,范亚坤,等. 特殊应用喷头喷水强度均匀性试验研究[J]. 消防科学与技术, 2021, 40(9): 1364-1366.
YANG Bingjie, WANG Jianqiang, FAN Yakun, et al. Experiment study on spray density uniformity of special application sprinkler [J]. Fire Science and Technology, 2021, 40(9): 1364-1366(in Chinese).
- [9] 张轩轩,牛国庆,李埏志,等. 不同火灾规模下隧道水幕线性喷水强度的研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2018, 14(9): 164-170.
ZHANG Xuanxuan, NIU Guoqing, LI Xuanzhi, et al. Study on linear spray intensity of water curtain in tunnel under different fire scales [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2018, 14(9): 164-170(in Chinese).

作者简介:李毅(1976—),男,湖北浠水人,大学本科,研究员,主要从事自动灭火技术、固定灭火系统等研究工作。

E-mail: liyi@tfri.com.cn

收稿日期: 2021-01-17

修回日期: 2021-03-30

(编辑:任莹莹)