

家用喷头洒水分布性能试验研究

杨丙杰 沈贺坤 赵永顺

摘要：为研究家用喷头的洒水分布性能，在喷头安装高度为 3.0m、安装间距分别为 3.0m 和 3.5m 的情况下，选用 4 种不同的供水流量，分别采用流量系数为 $K-70$ 和 $K-98$ 的家用喷头，以及流量系数为 $K-80$ 的标准喷头进行了 18 次洒水分布性能对比试验。结果表明，在相同的供水流量下，喷头洒水分布均匀性和集水率只与安装间距有关，与工作压力无线性关系。喷头间距越大，家用喷头的洒水分布均匀性越差，而标准喷头的洒水分布均匀性越好，但无论何种安装间距，家用喷头的洒水分布均匀性均优于标准喷头；喷头间距越大，集水率越高，但由于有湿墙性能要求，家用喷头的集水率低于标准喷头。

关键词：家用喷头；标准喷头；洒水分布性能；均匀性；集水率；设置要求

0 引言

随着我国现代化进程的快速发展，人居环境发生很大变化，高级住宅、公寓越来越多，居住面积、空间高度大大增加，居室功能细化。易燃、可燃装饰材料的大量使用，大量家用电器的使用，线路负荷的增加等，使得居住空间的火灾隐患大大增加。自从 2010 年“11.15”上海大火发生后，住宅消防安全就成为了社会关注的角度，社会各界纷纷为高层住宅的消防安全出谋划策。

现行国家标准《住宅建筑规范》(GB 50368-2005)规定，35 层及 35 层以上的住宅建筑应设置自动喷水灭火系统^[1]。《高层民用建筑设计防火规范》(GB50045-95, 2005 年版)规定，建筑高度超过 100m 的高层建筑及其裙房，除游泳池、溜冰场、建筑面积小于 5m² 的卫生间、不设集中空调且户门为甲级防火门的住宅的户内用房和不宜用水扑救的部位外，均应设自动喷水灭火系统^[2]。上海市地方规范《住宅设计标准》(DGJ 08-20-2007, 2011 年版)也规定，十层及以上或建筑高度超过 27m 且不超过 100m 的住宅，其每层的公共部位应设置自动喷水灭火系统，100m 以上的住宅，每层除建筑面积小于 5m² 的卫生间外，其他所有部位应设置自动喷水灭火系统^[3]。

家用喷头是安装在居住建筑和其他类似居住空间内，用于保护人员疏散的一种快速响应喷头。在特定温度下，其通过热敏元件动作自动打开封闭的出水口，使水以特定的形状和流量喷洒到设计区域内^[4]。家用喷头适用于居住建筑等人居

型场所，其作用是在火灾初期迅速启动喷洒，防止火灾扩大及蔓延，降低火场温度，减少烟气产生，为人员疏散提供更多的时间。因此，家用喷头具有 3 个特征：

1) 适用于居住场所；2) 用于保护人员逃生；3) 具有快速响应功能。

我国国家标准《自动喷水灭火系统设计规范》在 2008 年局部修订时，参照国外标准和规范的规定，增加了家用喷头的应用要求，包括设置场所和安装要求等^[5]。布水均匀性和集水率是衡量喷头洒水分布性能的主要指标，为了更好的确定家用喷头的具体设置要求，探索家用喷头与其他类型喷头主要性能参数的区别，笔者分别采用家用喷头和标准喷头开展了 18 次洒水分布性能的对比试验，以定量确定工作压力、布置间距等因素对喷头洒水分布性能的影响，以更为科学合理地应用其技术要求、优化设计参数，并为规范的制订提供支撑，从而更为有效地保护人身和财产安全，并降低次生灾害的影响^[6]。

1 应用研究现状

1.1 家用喷头的应用研究现状

1976 年，美国联邦应急管理局（USFA/FEMA）开始资助居住场所的自动喷水灭火系统应用研究，FM Global、Battelle Columbus 实验室、Johns Hopkins 大学应用物理实验室以及 Jensen、Schirmer 等人陆续开展了诸如“居住场所既有自动灭火技术研究”、“低费用住宅自动喷水灭火系统的发展”、“低费用家用自动喷水灭火系统性能规定”以及“家用自动喷水灭火系统灭火性能试验”等研究计划^[7]。

1980 年，通过一系列项目研究，USFA/FEMA 对于住宅自动喷水灭火系统的总目标是：对于 1 到 2 户家庭及移动房屋，能够建立起低费用、高效率的自动喷水灭火系统，并且，每年这些场所可减少 4175 人员死亡，可减少 16100 人员受伤以及可减少 2.4 亿美元直接财产损失。

目前，我国尚未有家用喷头的产品和应用案例，一些生产厂商已研制出家用喷头的产品样机。国外如 Tyco、Viking 等生产厂商陆续研制生产了相关产品，并应用成熟。常见的家用喷头有流量系数 K-42、K-60、K-70、K-80、K-98 等 5 种类型，如图 1 所示，安装方式有直立型、下垂型和边墙型。



a) K-70



b) K-98

图 1 家用喷头

在产品应用方面,我国国家标准《自动喷水灭火系统 第 15 部分 家用喷头》GB5135.15 已于 2009 年 6 月 1 日起实施。美国《自动喷水灭火系统安装标准》NFPA-13(2010 年版)规定,家用喷头可安装住宅单元及相邻的走道内,并规定住宅单元除普通住宅外,还包括宾馆客房、宿舍、用于寄宿和出租的房间、护理房(供需要有人照顾的体弱人员居住,有医疗设施)及类似的居住单元等。并规定系统设计喷水强度最小为 $4\text{mm}/\text{min}$,提供喷头的保护面积为 140m^2 或 4 个喷头的保护面积,以及供水时间不少于 60min 等^[8]。

1.2 喷头洒水分布性能的试验研究情况

国内外学者在研究过程中,均未考虑多只喷头相互作用以及喷头安装间距对洒水分布均匀性的影响。如美国 W.K.Chow 和 L.C.Shek 等人曾对口径为 15mm 的下垂型玻璃球洒水喷头的喷水强度分布开展了试验研究。结果表明,在一定的喷头工作压力和安装高度下,喷水强度随着径向距离和方位角的不同而不同,喷水强度分布具有不均匀性。

中国科学技术大学徐晓玲等人以公称口径为 15mm 的下垂型喷头为例,测量了单只喷头洒水分布的均匀性,建立了包含各主要影响喷水强度分布因素的喷水强度模型,并从模型参数的随机性出发,采用蒙特卡洛方法进行随机模拟,分析了喷水强度的概率分布特性,结果表明,喷水强度分布的不均匀性随工作压力的增大而减弱,喷水强度的概率分布特性受径向距离影响,随径向距离的增加,喷水强度出现较小值的概率增大^[9]。

2 洒水分布性能试验

2.1 试验场地及布置

试验在公安部天津消防研究所试验基地洒水分布实验室进行,实验室面积为 $12.0\text{m}\times 12.0\text{m}$,其中吊顶面积 $7.0\text{m}\times 8.5\text{m}$,吊顶可采用液压控制进行升降,高度

可根据试验要求在 3.0~7.0m 范围内任意调节。吊顶上可安装 5 只喷头，喷头间距可在 2.5m、3.0m、3.5m 等范围下调节。

实验室内集水盒尺寸为 500mm×500mm，可根据要求进行多种组合，如图 2 所示。数据采集系统洒水分布性能测试装置可电动及手动控制、自动采集、自动记录、自动数据处理，试验场地可用于自动喷水灭火系统洒水喷头、水雾喷头、早期抑制快速响应（ESFR）喷头和扩大覆盖面积洒水（EC）喷头等喷头的洒水分布性能试验，洒水分布性能测试装置如图 3 所示。

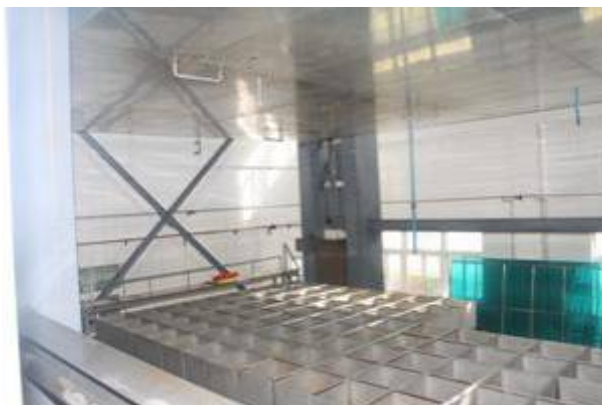


图 2 试验管路及集水盒布置



图 3 洒水分布性能测试装置

2.2 试验方案

试验分别采用流量系数为 K -70、K -98 的家用喷头和 K -80 的标准喷头，下垂安装，喷头溅水盘与顶板距离为 275mm，顶板与集水盒上缘的距离为 3.0m。4 只喷头围合范围内均匀布置集水盒，试验期间所有门窗关闭且无强制通风，试验前实测各种喷头的流量系数。

试验供水流量以标准喷头在工作压力分别为 0.05、0.10、0.15 和 0.20MPa 时对应的流量为基础，以此确定各次试验的供水流量，每次试验取 4 只喷头，同时喷水，喷水时间为 5min。试验共进行 18 次，试验方案如表 1 所示。

表 1 洒水分布性能试验方案

Table 1. Test condition of water distribution character

试验序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
喷头类型	标准喷头				家用喷头								标准喷头		家用喷头			
流量系数	K-80				K-70				K-98				K-80		K-70		K-98	
实测流量系数	80.47				68.19				98.32				80.47		68.19		98.32	
工作压力 (MPa)	0.05	0.10	0.15	0.20	0.07	0.14	0.20	0.26	0.05	0.07	0.10	0.13	0.10	0.15	0.14	0.20	0.07	0.10
喷头流量 (L/s)	0.94	1.33	1.63	1.88	0.94	1.33	1.63	1.88	1.15	1.33	1.63	1.88	1.33	1.63	1.33	1.63	1.33	1.63
喷头间距	3m×3m												3.5m×3.5m					
集水盒数量	36 个, 6×6 布置												49 个, 7×7 布置					

2.3 试验结果分析

表 2 为 K -70 家用喷头在工作压力为 0.07MPa，安装间距为 3m×3m 的情况下，设 A_i 为各集水盒的喷水强度，经计算可得，5min 喷水后的实际喷水量为：

$$\sum_{i=1}^{36} A_i \times 0.25m^2 \times 5 \text{ min} = 200.00L$$

集水率为：

$$\frac{200L}{0.94L/s \times 5 \text{ min} \times 60s/\text{min}} = 70.8\% ;$$

系统实际喷水强度为：

$$\frac{200L}{5 \text{ min} \times 9m^2} = 4.44L/\text{min} \cdot m^2 ;$$

其喷水强度均匀性方差为：

$$S = \frac{1}{36} \sum_{i=1}^{36} (A_i - 4.44)^2 = 1.06。$$

表 2 K -70 家用喷头各集水盒的喷水强度/L·(min·m²)⁻¹

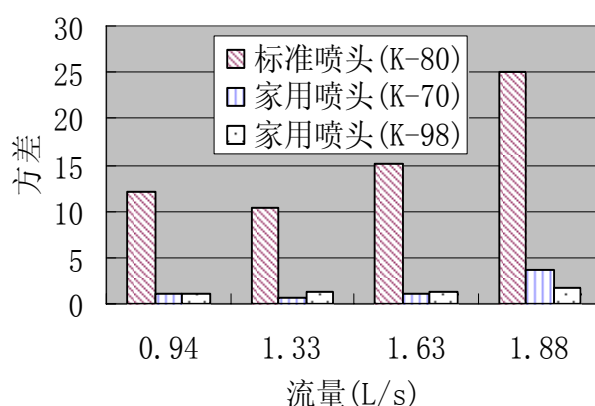
5.57	4.83	4.09	4.61	4.00	6.30
5.83	5.74	3.69	4.46	4.52	6.43
5.22	4.00	3.89	3.81	4.39	5.63
3.89	2.67	2.81	2.91	3.44	5.65
3.96	3.65	3.19	3.15	4.07	6.20
5.39	4.35	3.46	3.74	4.89	5.57

表 3 为各次试验的结论汇总表，由表 3 可知，当喷头间距由 3.0m 增大 3.5m

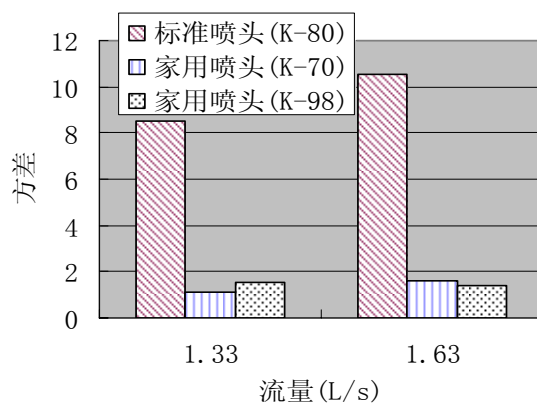
时，标准喷头的布水均匀性提高，而家用喷头的布水均匀性变差，说明家用喷头更适宜在较小的喷头间距下安装，而标准喷头的安装间距范围较大。图 4 为相同流量下喷头洒水分布的均匀性方差对比图，由图 4 可知，无论喷头间距如何，标准喷头的均匀性方差在 8.5~25.5 之间，而家用喷头的布水均匀性方差则在 1.0~3.7 之间，远优于标准喷头，主要是由于家用喷头的功能是保护火场环境，利用其洒水分布均匀性的优点，降低火场中 CO、CO₂ 等有毒有害气体的百分比，为人员疏散创造便利条件。

喷头的工作压力会显著影响喷头洒水分布均匀性，以 K-70 家用喷头为例，在喷头布置间距为 3m 的情况下，当工作压力不超过 0.20MPa 时，其均匀性方差为 0.6~1.2，而当工作压力为 0.26MPa 时，其均匀性方差上升到 3.6，因此在应用时 K-70 家用喷头的工作压力不宜超过 0.20MPa，同理，K-80 标准喷头的工作压力不宜超过 0.15MPa。

图 5 为在安装间距为 3.0m 时，喷头洒水分布均匀性随工作压力的变化曲线，由图 5 可知，洒水分布均匀性与喷头的工作压力并无直接的线性关系，这是由于喷头的工作压力只对水滴粒径起决定性作用。



a) 喷头间距为 3.0m



b) 喷头间距为 3.5m

图 4 相同流量下喷头洒水分布均匀性方差

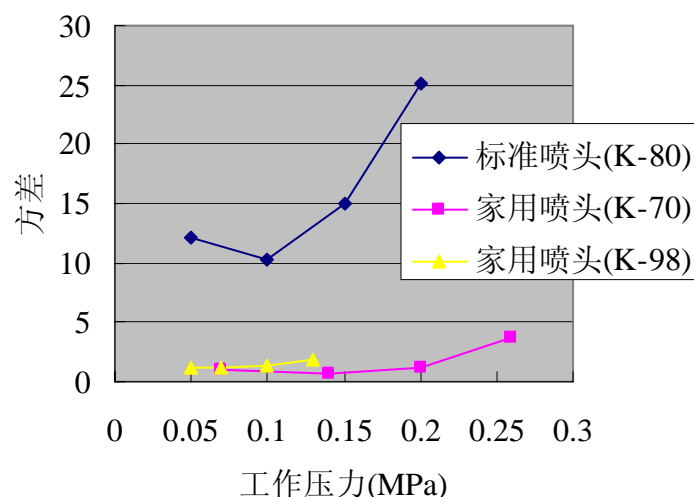


图5 喷水洒水分布均匀性随工作压力变化曲线

在集水率方面，由表3可知，无论喷头间距如何，标准喷头的集水率最好，其集水率在94%以上，而家用喷头的集水率较差，约为40%~85%。图6为相同流量下的喷头洒水分布图，标准喷头的布水范围较窄，而家用喷头的布水曲线较为平坦，这主要是由于2种类型喷头的功能决定的，因为标准喷头的主要功能是控火，其目的是淋湿周围可燃物，防止火灾向外蔓延，而家用喷头除具有控火功能外，还具有湿墙性能，即防止火势沿墙壁蔓延，以有效保护火场环境。现行国家标准《自动喷水灭火系统 第15部分 家用喷头》GB5135.15规定，家用喷头应连续打湿试验室四周的墙面，且打湿部位距吊顶的距离不应大于711mm^[10]。因此，其约有15%~60%的水量喷洒到墙面上。



a) 标准喷头 (K-80)



b) 家用喷头 (K-70)

图 6 相同流量下的喷头洒水分布图

表 3 试验结论

试验序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
喷头类型	标准喷头				家用喷头								标准喷头		家用喷头			
流量系数	K-80				K-70				K-98				K-80		K-70		K-98	
总集水量 /L	282.1	394.7	464.8	548.3	200.0	246.7	343.3	483.1	185.7	189.1	255.8	379.1	405.3	501.9	305.9	399.0	267.2	323.6
集水率 /%	99.9	98.7	94.8	97.0	70.8	61.7	70.0	85.5	53.6	47.2	52.0	67.1	101.3	102.4	76.5	81.6	66.8	66.0
喷水强度 /(L/min· m ²)	6.27	8.77	10.33	12.18	4.44	5.48	7.63	10.73	4.12	4.20	5.69	8.42	6.62	8.2	5.00	6.51	4.36	5.28
喷水强度 平均方差	12.06	10.33	15.06	25.13	1.06	0.66	1.12	3.63	1.14	1.25	1.32	1.80	8.50	10.55	1.10	1.60	1.56	1.38

注：1 集水率为通过集水盒 5min 内收集的水量与单只喷头 5min 喷水量的百分比；

2 喷水强度为通过集水盒收集水量经计算后的实际喷水强度。

3 结论

通过对试验结果的分析，得出以下结论：

1) 在相同流量下，无论喷头安装间距如何，家用喷头的洒水分布均匀性方差约为 1.0~3.7，标准喷头的均匀性方差在 8.5~25.5 之间，家用喷头的洒水分布均匀性远优于标准喷头，但其安装间距范围较标准喷头小。

2) 工作压力会影响喷头的洒水分布均匀性，但无线性关系。在实际应用中，K-80 标准喷头的工作压力不宜超过 0.15MPa，K-70 家用喷头的工作压力不宜超过 0.20MPa。

3) 在相同流量下，无论喷头安装间距如何，标准喷头的集水率最高，均在 94% 以上，而家用喷头由于功能不同，其约有 40%~85% 的水量用于控火，而另外 15%~60% 的水量用于湿墙和保护火场环境。

喷头的洒水分布性能还与安装高度以及安装方式有关,在今后的工作中应开展不同安装高度和安装方式下洒水分布性能的研究,并进行多次测量以减小误差,进一步总结其应用规律。

参考文献:

- [1] GB50368—2005.住宅建筑规范[S].
- [2] GB50045—2001, 2005年版.高层民用建筑设计防火规范[S].
- [3] DGJ08—20—2007, 2011年版.《住宅设计标准》[S].
- [4] 赵雷.住宅火灾解决方案[J].消防科学与技术, 2011, 30 (4): 310-312.
- [5] GB50084—2001, 2005年版.自动喷水灭火系统设计规范[S].
- [6] 杨丙杰, 李毅.热敏性能对洒水喷头控火效能影响的试验研究[J].中国安全科学学报, 2011, 21 (11): 77-82.
- [7] ARTHUR E.COTE. Field Test and Evaluation of Residential Sprinkler Systems: Part I .Fire Technology, 1983, 19 (4): 221-232.
- [8] NFPA 13—2010. National Fire Protection Association Standard. Standard for the Installation of Sprinkler Systems[S].
- [9] 徐晓玲, 姚斌, 王汉杰, 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.
- [10] GB5135.15—2008.自动喷水灭火系统 第15部分: 家用喷头[S].

——本文发表于《安全与环境学报》(2012年第5期)