

# 热敏性能对洒水喷头控火效能影响的试验研究

杨丙杰 李毅

**摘要：**为研究不同热敏性能洒水喷头的动作性能、控火效能以及对建筑空间的保护性能，在安装高度分别为 3m 和 8m 的情况下，采用快速响应喷头和特殊响应喷头进行了 4 次足尺实体火试验，喷头公称动作温度均为 68℃，响应时间指数（RTI）分别为  $35 (\text{m}\cdot\text{s})^{1/2}$  和  $65 (\text{m}\cdot\text{s})^{1/2}$ 。结果表明，各种试验条件下，洒水喷头均能及时动作，且喷头动作后均能提供足够的消防保护，并有效将火势控制在限定区域内。采用快速响应喷头较特殊响应喷头约提前 20% 动作，且火场环境最高温度、顶板结构最高温度、热释放速率和货物烧损率均较特殊响应喷头低。安装高度越高，热敏性能对洒水喷头控火效能的影响越明显。

**关键词：**热敏性能；快速响应喷头；特殊响应喷头；环境温度；顶板结构温度；热释放速率；货物烧损率

## 0 引言

自动喷水灭火系统中，喷头集自动探测、自动启动并实施灭火于一身，是系统最为重要的组件之一，喷头动作的快慢直接关系到系统能否成功控火、灭火。热敏性能是喷头感温释放元件对火场温度反应快慢的总称，是衡量喷头动作灵敏度的最重要指标，通常用响应时间指数（RTI，Response Time Index）表示。按照响应时间指数的不同，喷头可分为快速响应喷头、特殊响应喷头和标准响应喷头，其中，标准响应喷头由于热敏性能较差已不再使用。

目前，国内研究人员尚未针对不同响应时间指数的洒水喷头对控火效能的影响开展过深入的研究。现行国家标准《自动喷水灭火系统设计规范》

（GB50084-2001，2005 年版）中规定了不同火灾危险等级场所的系统设计参数，见表 1<sup>[1]</sup>，但规范中对快速响应喷头的规定与其他类型的喷头一致，没有考虑热敏性能对喷头控火效能的影响。虽然快速响应喷头在我国已有 10 多年的应用历史，但考虑到价格等因素，目前普及率仍较低<sup>[2]</sup>。

表 1 民用建筑和工业厂房的系统设计参数

火灾危险等级	净空高度/m	喷水强度/L · (min · m <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>	作用面积/m <sup>2</sup>	
轻危险级	≤8	4	160	
中危险级		I 级		6
		II 级		8
严重危险级		I 级	12	260

	II级		16	
--	-----	--	----	--

在国外,美国自动喷水灭火系统协会(NFSA)、工厂联合保险商实验室(FM global)和一些喷头制造厂商曾联合开展不同热敏性能喷头控火性能的对比试验。试验共进行了12次,其中,快速响应喷头RTI分别为26~43 (m·s)<sup>1/2</sup>,标准响应喷头RTI分别为141~232 (m·s)<sup>1/2</sup>,喷头RTI的比值为1:5.40。在12次试验中,快速响应喷头动作6~11个,平均动作8.3个,标准响应喷头动作7~25个,平均动作14个<sup>[3]</sup>。美国消防协会技术委员会从1996年开始决定推荐采用快速响应喷头<sup>[4]</sup>,美国《自动喷水灭火系统安装标准》(NFPA 13—2010)规定,顶板高度不超过3m的轻、中危险级场所采用快速响应喷头时,系统作用面积可减少40%;当顶板高度不超过6m时,作用面积可减少25%,如图1所示<sup>[5]</sup>,但标准中并未说明是相较于哪种热敏性能喷头的作用面积。英国《固定式灭火系统-自动喷水灭火系统-设计、安装和维护标准》(BS EN12845:2009)中没有明确规定快速响应喷头的设置要求,但规定除干式系统和预作用系统不得采用快速响应喷头,以及仓库货架内应采用快速响应喷头外,其他场所均可采用<sup>[6]</sup>。

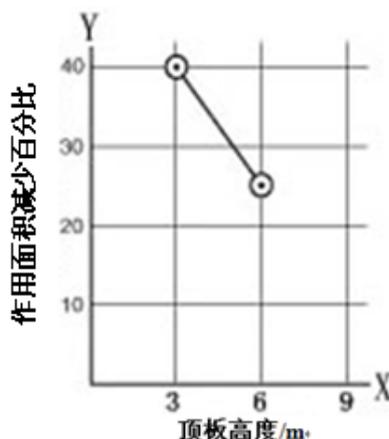


图1 快速响应喷头作用面积减少百分比

为研究热敏性能对喷头控火效能的影响,笔者分别在3m常规安装高度和8m最不利安装高度的情况下,采用快速响应喷头和特殊响应喷头进行了4次试验研究,喷头公称动作温度均为68℃,RTI分别为35 (m·s)<sup>1/2</sup>和65 (m·s)<sup>1/2</sup>,喷头RTI的比值为1:1.86,以定量确定不同热敏性能洒水喷头的动作性能,控火效能以及对建筑空间的保护性能,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<sup>[7]</sup>。

## 1 试验部分

## 1.1 试验设备

试验在公安部天津消防研究所试验基地燃烧体验馆进行。该馆长 117.7m，宽 40.5m，总容积为 102846.6m<sup>3</sup>，馆内建有 33m×33m 的大型升降吊顶，可在 3~24m 范围自由调节。吊顶顶部设有数据采集系统，安装在吊顶上的现场总线系统通过 PROFIBUS-DP 总线与总控制室的数据采集处理系统相连接，可同时对安装 100 只喷头的系统试验测试，并可实现试验数据的实时监测、处理、分析、记录。试验设备如图 2 所示。

## 1.2 试验场地布置情况

### 1.2.1 供水管网及喷头布置

试验采用环状供水管网，双向供水，供水干管管径为 DN200，配水管管径 DN50，安装喷头的 4 根配水支管管径为 DN25，每根可安装 4 个喷头，配水管与配水支管之间通过弯头转换连接，供水管网布置如图 3 所示，系统供水压力为 0.10MPa。

试验采用 K-80 下垂型快速响应喷头或特殊响应喷头，热敏元件直径分别约为 3mm 和 5mm，其广泛应用于规范规定的各种轻危险等级和中危险等级场所。每次试验均布置 16 个，按 4×4 布置，喷头间距为 3m，喷头溅水盘与顶板的距离为 140mm。

### 1.2.2 燃料布置

试验燃料采用标准燃烧物组合，其单体由瓦垅纸箱、聚苯乙烯塑料杯、纸隔板和木托盘组成。其中，瓦垅纸箱规格为 500mm×500mm×500mm，纸箱内装有聚苯乙烯塑料杯，塑料杯用厚度为 4mm 的纸隔板隔离，按 5×5×5 布置，木托盘规格为 1000mm×1000mm×13mm，标准燃烧物单体重 6.39kg。

标准燃烧物组合共 4 组，每组 4 个单体，放置在木托盘上，组间距 0.15m，如图 4 所示，均匀布置在 4 只喷头围合范围内，点火位置位于 4 只喷头正下方<sup>[8-9]</sup>。标准燃烧物组合火灾热释放速率约为 3.6MW，如图 5 所示，其火灾增长系数约为  $\alpha=0.020\ 56\ \text{kW/s}^2$ ，介于中速火和快速火之间<sup>[10]</sup>。

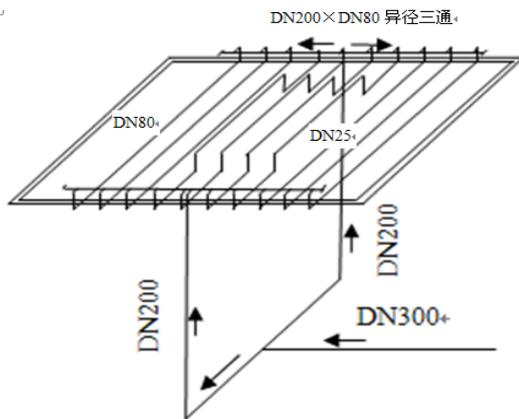


图2 试验设备

图3 供水管网布置



图4 试验燃料布置

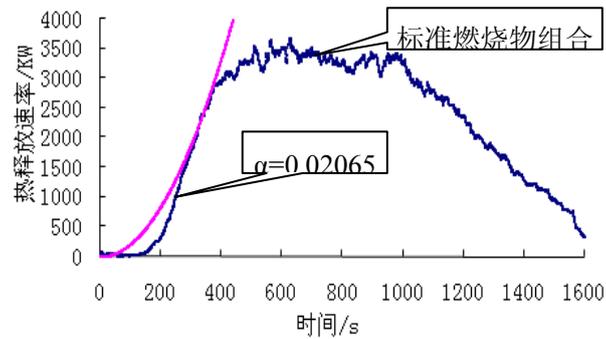


图5 标准燃烧物组合火灾热释放速率随时间变化曲线

### 1.3 试验过程描述

试验 1：顶板高度为 3m，喷头 RTI 为  $35 \text{ (m}\cdot\text{s)}^{1/2}$ 。点火后初期，火势发展较慢；点火后 20s 时，火焰高度上升至 0.6m，与燃料齐平；47s 时火焰高度约 1.0m；63s 时火焰高度约 1.5m；105s 时火焰高度约 2.5m。118s 时第一只喷头动作，120s 和 127s 时相继有 2 只喷头动作。喷头动作后，能够很快穿透火羽流，淋湿周围燃料，火势被限制在不到  $1\text{m}^2$  的范围内，没有向外蔓延。试验用时 10min，共动作了 3 只喷头，烧损了约 3/4 个货品，试验过程及货物烧损情况如图 6 所示。



(a) 点火初期



(b) 第一只喷头动作





(c) 第二、三只喷头动作

(d) 火势得到有效控制



(e) 火势被成功控制

(f) 货物烧损情况



图 6 试验过程

试验 2：顶板高度为 3m，喷头 RTI 为  $65 \text{ (m}\cdot\text{s)}^{1/2}$ 。喷头动作前的火势发展情况同试验 1 基本相同，150s 时第一只喷头动作，158s 和 202s 时第 2、3 只喷头动作。喷头动作后，能够很快穿透火羽流淋湿周围燃料，火势被限制在不到  $1\text{m}^2$  的范围内，没有向外蔓延。

试验 3：顶板高度为 8m，喷头 RTI 为  $35 \text{ (m}\cdot\text{s)}^{1/2}$ 。点火后初期，火势发展较慢；35s 时火焰高度上升至 1.0m；63s 时火焰高度约 1.5m；90s 时火焰高度约 2.0m；105s 时火焰高度约 2.5m；168s 时第一只喷头动作，169s 和 176s 时第 2、3 只喷头动作。喷头动作后，火势被限制在不到  $2\text{m}^2$  范围内，没有向外蔓延。

试验 4：顶板高度为 8m，喷头 RTI 为  $65 \text{ (m}\cdot\text{s)}^{1/2}$ 。点火后初期至第一只喷

头动作前，火势发展规模同试验 3 基本一致；210s 时第一只喷头动作，随后在 212s~216s 内相继有 3 只喷头动作。喷头动作后能够很快淋湿周围燃料，但由于喷头动作时间较试验 3 延迟，因此，燃烧范围较大，但在喷头动作后火势被限制在不到 2m<sup>2</sup> 范围内，没有向外蔓延。

## 2 试验结果分析

4 种试验条件下，喷头均能有效启动，且喷头动作后均能穿透上升火羽流，并淋湿周围可燃物，有效将火势控制在限定区域内，没有向外蔓延和再增长。图 7 为试验 1 的 3 只动作喷头的温度变化曲线，由图 7 可知，喷头动作后，附近温度急剧下降到环境温度，并在随后的时间内一直维持在环境温度，火势没有增长，系统控火成功。

图 8 和图 9 为 4 次试验中喷头的动作时间和喷头动作时喷头处的温度对比图，由图可知，快速响应喷头较特殊响应喷头提前动作约 20%左右，且快速响应喷头动作时喷头处的温度均较特殊响应喷头低，安装高度为 3m 时，使用快速响应喷头较使用特殊响应喷头分别降低 23.6%、18.9%和 28.8%；安装高度为 8m 时，前 3 只动作的喷头分别降低 1.5%、6.8%和 23.2%。正是因为快速响应喷头能在较短时间内开放，因此可有效降低火场环境温度和顶板结构温度，避免火灾对建筑结构的影响和对人身的危害<sup>[11]</sup>。图 10 为 4 次试验中火源正上方顶板结构的温度变化曲线，由图 10 可知，在 3m 和 8m 安装高度下使用快速响应喷头较使用特殊响应喷头顶板结构最高温度分别降低 37.9%和 7.8%。

喷头热敏性能的提高，带来的不仅有上述优势，通过计算试验后的货物烧损程度发现，当安装高度为 3m 时，使用快速响应喷头较特殊响应喷头在火灾热释放速率和货物烧损率分别降低 38.1%和 62.5%；当安装高度为 8m 时，二者分别降低 36.0%和 20.0%。

4 次试验中，喷头的动作个数相差较小，这是因为试验中第一只喷头均能及时启动，并能有效控火，使得环境温度很难再驱使更多的喷头动作。另外，由于试验中采用的喷头的热敏性能相差不大，在安装高度较低时，热敏性能对于系统作用面积的影响较小，但当安装高度升高后，热敏性能的差别得以体现。试验结果汇总见表 2。

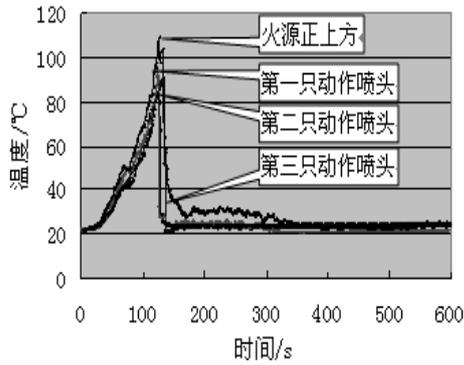


图 7 动作喷头的温度变化曲线

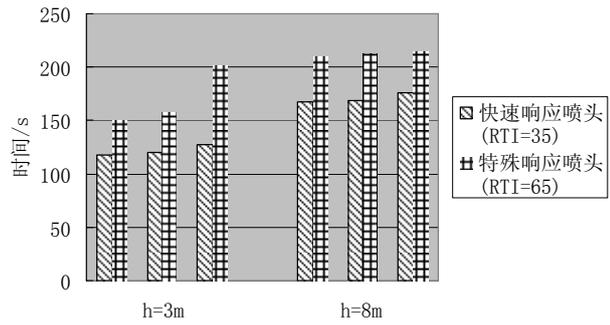


图 8 喷头动作时间对比图

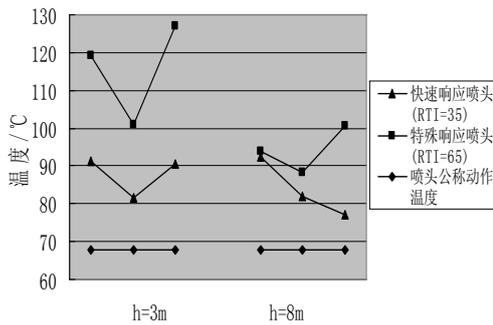


图 9 喷头动作时喷头处的温度

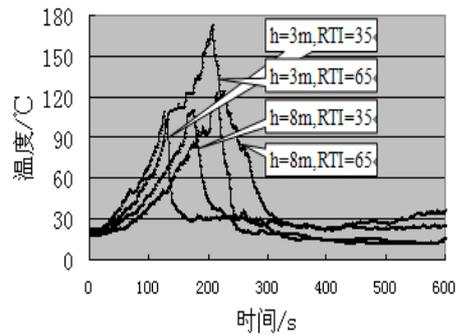


图 10 顶板结构温度变化

表 2 试验结果

试验序号	1	2	3	4
环境温度/湿度	20°C/55%	17°C/30%	21°C/36%	16/51%
动作喷头数/个	3	3	3	4
第一只喷头动作时间/s	118	150	168	210
第二只喷头动作时间/s	120	158	169	212
第三只喷头动作时间/s	127	202	176	215
第四只喷头动作时间/s	—	—	—	216
气流最高温度/°C	129	172	110	122
气流每分钟平均最高温度/°C	107	104	152	79
钢梁最高温度/°C	64	103	71	77
钢梁每分钟平均最高温度/°C	50	92	56	61
喷头动作时的火灾热释放速率/kW	287.5	464.6	582.8	910.7
货物烧损/个	3/4	2	4	5

### 3 结论

通过对试验结果的分析，得出以下结论：

- 1) 4 种试验条件下，不论采用哪种热敏性能的喷头，喷头均能有效启动，且喷头动作后均能穿透上升火羽流，并淋湿周围可燃物，有效将火势控制在限定区域内，没有向外蔓延和再增长。

2) 快速响应喷头较特殊响应喷头提前动作约 20%，且快速响应喷头动作时喷头处的温度均较特殊响应喷头低。

3) 无论哪种安装高度，采用快速响应喷头在顶板结构最高温度、货物烧损率、火灾热释放速率方面均较特殊响应喷头低，其中货物烧损率、火灾热释放速率降低最为明显。

4) 本次试验中，由于 2 类喷头的热敏性能相差不大，在安装高度较低时，热敏性能对于系统作用面积的影响较小，但随着安装高度的增加，快速响应喷头作用面积可适当降低的特点逐渐显现。因此，安装高度越高，热敏性能对洒水喷头控火效能的影响越明显。

喷头的控火效能还与火灾热释放速率密切相关，在今后的工作中应开展不同火灾热释放速率下热敏性能对控火效能的研究，进一步总结其应用规律。

#### 参考文献：

- [1] GB50084—2001，2005年版.自动喷水灭火系统设计规范[S].
- [2] 李毅，杨丙杰.有障碍物场所自动喷水灭火系统喷头布置的应用分析[J].消防科学与技术，2009，28（10）：752-754.
- [3] Vincent B.G., Staviranidis Paraskevas, Kung Hsiang-Cheng.Large-Scale Fire Testing of Fast Response
- [4] 张文华.美国的住宅和快速响应喷头的发展历史[J].消防技术与产品信息，2004（2）：51-52.
- [5] NFPA 13—2010.National Fire Protection Association Standard.Standard for the Installation of Sprinkler Systems[S].
- [6] BS EN12845—2009.Fixed Firefighting Systems-Automatic Sprinkler Systems-Design, Installation and Maintenance[S].
- [7] 高扬，廖鑫.消防水幕对有害气体阻隔效果的试验研究[J].中国安全科学学报，2011，21（5）：77-82.
- [8] GB5135.9—2006.自动喷水灭火系统 第9部分：早期抑制快速响应（ESFR）喷头[S].
- [9] Nam S, Braga A, Kung H C, et al. Fire protection for non-storage occupancies with high ceiling clearances[A].7<sup>th</sup> International Symposium on Fire Safety Science[C].Worcester, Massachusetts, 2004: 51-52.
- [10] 宋波，杨丙杰，刘欣，等.高净空场所自动喷水灭火系统洒水喷头动作时间研究[J].火灾科学，2010，20（3）161-166.
- [11] Thomas Peter, Grosskopff Stephan, 梁吉林，等.快速响应喷头评估[J].消防技术与产品信息，2006（3）：27-29.

——本文发表于《中国安全科学学报》（2011年第10期）