

# 高层塔楼办公标准层的性能化防火设计

黄鑫, 倪照鹏, 杨丙杰, 谢天光

(公安部天津消防研究所, 天津, 300381)

**摘要:** 针对目前高层塔式办公楼防火设计时经常遇到的办公标准层防火分区建筑面积超过规范要求的问题, 结合典型的工程案例, 提出了性能化防火设计的解决方法。在设计火灾场景和人员疏散场景的基础上, 采用计算机软件对火灾发展和人员疏散的过程进行了仿真模拟, 并对比了按解决方案设计环形疏散走道和不设计环形疏散走道的差别, 论证了性能化防火设计方案的可行性, 为类似项目的防火设计提供参考。

**关键词:** 高层塔楼; 办公标准层; 性能化防火设计; 防火分区; 安全疏散

## 0 引言

随着经济水平的不断进步, 城市用地的日趋紧张, 以及现代办公对效率和环境的要求不断提高, 高层现代办公建筑在各地不断涌现, 且建筑高度也在不断增加。根据“国际高层建筑与城市住宅委员会”于 2010 年 7 月 1 日的公布结果, 我国内陆建筑高度在 300m 以上的规划、在建及建成的超高层建筑有 38 座, 其中上海中心大厦的高度达到 632m, 而这些超高层建筑主要是作为办公室使用。现代高层办公建筑基本为塔式建筑, 各办公层的建筑布局基本相同, 中部为核心筒, 四周为办公区。为了给租赁方自由设计的空间, 特别是作为开敞式办公室使用的便利, 办公区通常不再使用实体墙划分为多个房间, 因而大多数的高层办公建筑将办公层每层作为一个防火分区设计, 内部不再划分防火分区。由于塔式办公楼的核心筒占据面积较大, 且高度越高, 核心筒占的比重越大, 因此高层办公建筑的单层建筑面积往往超过  $2000\text{m}^2$ , 相应的办公标准层的防火分区建筑面积将不能满足现行《高层民用建筑设计防火规范》的要求, 是高层办公建筑防火设计中经常遇到的一个难点。本文采用性能化防火设计的方法针对此问题提出了相应的解决方案, 并通过数值仿真模拟对解决方案的可行性进行了论证。

## 1 性能化防火设计方案

建筑内部划分防火分区的主要目的是将火灾的蔓延范围限制在一定区域内,

以此控制火灾的规模和强度，同时增加人员疏散的安全性，减小消防队员灭火救援的难度。因此，对于高层塔楼办公标准层防火分区建筑面积超过现行规范要求的问题，所采取的性能化防火设计方案应能保证办公标准层发生火灾后可能的过火面积与规范要求的防火分区的过火面积基本相同，且人员能够在危险来临前疏散至安全的区域。针对此设计目标，提出性能化防火设计方案如下：

(1) 高层塔楼办公标准层的核心筒内主要为电梯、电梯间、楼梯间、设备间和卫生间，这些区域可燃物少、无人长时间停留且使用实体墙分隔成了多个小空间，火灾危险性较小。建议核心筒部位，包括周边设置的设备间、储藏间等，采用防火墙及甲级防火门与相邻区域进行分隔，以将火灾限定在办公区域内，同时也有助于防止火灾和烟气通过电梯井向其他层蔓延。除去核心筒后办公区的建筑面积应小于  $2000\text{m}^2$ ，以使得火灾的可能过火面积与规范的要求相同。

(2) 为使得人员能够尽快撤离着火区并防止疏散路径及疏散楼梯的入口被火灾封堵，核心筒周边应设置宽度不小于  $1.40\text{m}$  的环形疏散走道，将核心筒与办公区分隔开。为阻止火灾和烟气蔓延至疏散走道，走道的隔墙应砌至屋面板底部，隔墙可采用实体墙或防火玻璃，耐火极限不应低于  $1.00\text{h}$ 。

(3) 为使得人员能够尽快进入相对安全的疏散走道，办公区应尽量多开一些通往疏散走道的出口，建议数量不少于 4 个，总宽度不小于疏散楼梯宽度的 2 倍。

(4) 为保证疏散走道的安全，疏散走道内应按规范的要求设置自动喷水灭火系统、机械排烟系统和火灾自动报警系统，并应采用不可燃材料进行装修。

(5) 相关试验研究表明，快速响应喷头比标准响应喷头动作快，能减少火灾损失 20%，将最大热释放率降低 45%，环境温度降低 25%。因此，办公层内自动喷水灭火系统的喷头均应采用快速响应喷头。

(6) 为方便普通办公人员对早期火灾进行扑救，建筑的室内消火栓箱内应配置消防软管卷盘。

图 1 是高层塔楼办公标准层性能化防火设计方案的示意图。

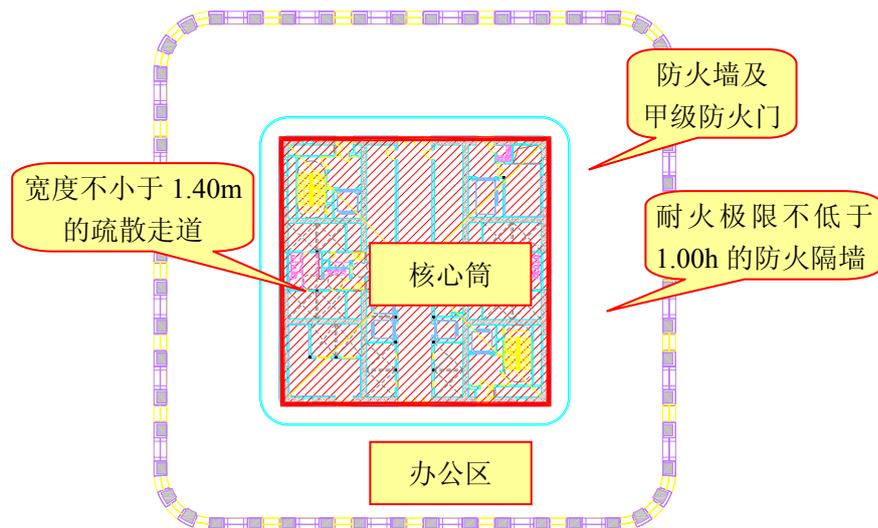


图 1 高层塔楼办公标准层性能化防火设计方案示意图

## 2 方案的可行性论证

### 2.1 分析方法及判定标准

#### (1) 火灾蔓延

火灾的蔓延方式有火焰接触、延烧、热传导、热辐射等。当可燃物为离散布置时，热辐射是一种促使火灾在室内及建筑物间蔓延的重要形式。当火灾烟气达到足够的温度时，其产生的热辐射强度将会引燃周围可燃物，从而导致火灾的蔓延。根据相关试验，可燃物品被引燃所需的最小热流为  $10\text{kW}/\text{m}^2$ ，约相当于烟气层的温度达到  $360^\circ\text{C} \sim 400^\circ\text{C}$  时的状态。本报告将设定火灾场景，通过 FDS 模拟软件计算得到火源所在防火区域之外的其它防火区域的烟气层最高温度。如果烟气层温度高于  $360^\circ\text{C}$ ，则认为火灾将通过热辐射在防火区域间进行蔓延。

#### (2) 人员安全疏散

对于人员安全疏散的设计目标，主要应满足人员在火灾环境下能安全疏散到建筑的室内外安全区域的性能要求。在建筑消防安全性能化评估实践中，首先应设定合理的火灾场景，使用 FDS 模拟软件对设定火灾场景下的火灾烟气、温度等参数进行计算，得到人员可用疏散时间  $T_{ASET}$ ；再根据设定火灾场景设置相应的人员安全疏散场景，并利用人员安全疏散模拟软件对设定疏散场景下的人员疏散情况进行计算，得到人员必需疏散时间  $T_{RSET}$ ；最后证明  $T_{ASET} > T_{RSET}$  是否成立。若  $T_{ASET} > T_{RSET}$ ，则可以认为在设计的设定火灾场景条件下，使用人员能在火灾产生的不利因素影响到生命安全以前全部疏散到安全区域；反之，则应判定

现防火设计方案不能满足人员安全疏散的要求，需要进行修改。

## 2.2 设定火灾场景

本文选择了某一典型的高层办公塔楼作为分析对象，该塔楼办公标准层的建筑面积为  $2500\text{m}^2$ ，其中核心筒的建筑面积为  $600\text{m}^2$ ，办公区域的建筑面积为  $1990\text{m}^2$ 。由于办公标准层的核心筒和疏散走道内可燃物数量少，发生火灾的概率小，火灾危险性低，因此设定火灾场景的火源位置取在火灾发生概率和火灾危险性大的办公区内，同时考虑火灾发生在某个通往疏散走道的出口附近，导致该出口无法使用的不利情形。为了对环形疏散走道的效果进行评估，同时设计了未设置环形疏散走道的火灾场景进行对比分析。设有环形疏散走道时，通往走道的出口数量为 4 个，宽度为疏散楼梯宽度 2 倍。图 2 显示了 2 种情况下的设计火源位置。

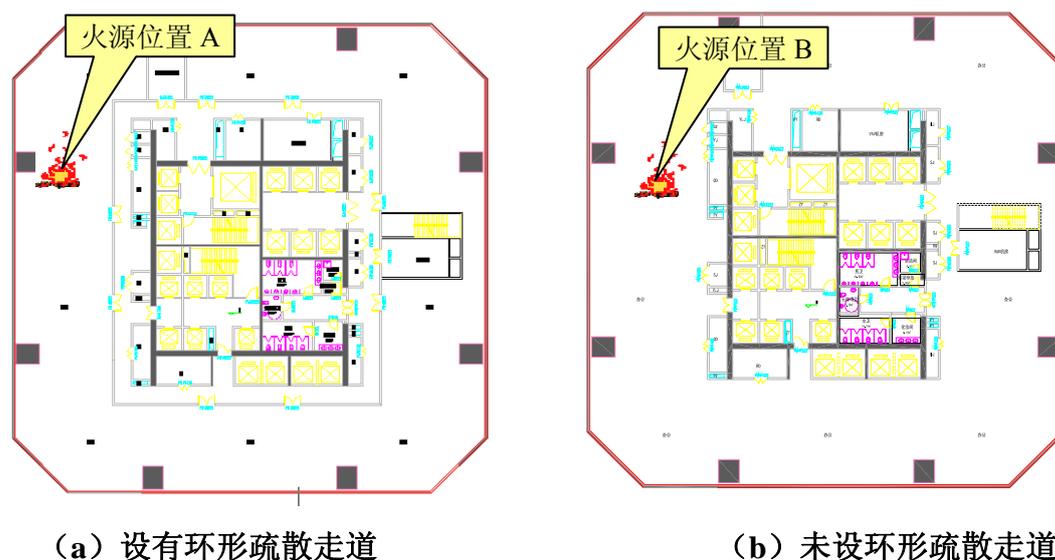


图 2 办公标准层火源位置示意图

由于目前还未有机构对办公室真实火灾的热释放速率增长曲线进行过测量，因此性能化防火设计中通常将设计火灾的热释放速率按  $t^2$  火考虑。根据美国标准技术研究院（NIST）曾进行的一组办公家具组合单元的火灾试验结果，本文将办公标准层的火灾设计为按快速  $t^2$  火发展，其火灾增长系数为  $0.04689 \text{ kW/s}^2$ 。

办公标准层按规范要求需设计自动喷水灭火系统，当自动喷水灭火系统有效启动时，可认为火灾热释放速率将不再增加。自动喷水灭火系统的动作时间可以运用 NIST 开发的计算机应用软件 DETACT-T<sup>2</sup> 模型确定。根据计算得到的喷头动作时间，就可以按  $t^2$  火的发展曲线确定该时刻的火灾热释放速率。另外，考虑

到 DETACT-T<sup>2</sup> 模型在计算时进行了一些简化和假设，本文在确定火灾最大热释放速率时考虑了 1.5 倍的安全系数。若自动喷水灭火系统失效，则需要专业消防人员进行扑救，考虑到我国消防队员在接警后 5min 到达火场，并在火灾发生后 10min 开展有效的灭火战斗并控制火势的发展。因此，在自动喷水灭火系统失效时，本报告假定在此种情况下办公层的火灾最大热释放速率为  $Q=at^2=0.04689 \times 600^2=16873$  (kW)，约 16.9MW。

考虑机械排烟系统和自动喷水灭火系统失效的不利情形，本文选择了 6 个具有代表性的设定火灾场景进行计算分析，见表 1。

**表 1 火灾场景分析汇总表**

设定火灾场景	火灾区域	火源位置	火灾增长系数 (kw/s <sup>2</sup> )	机械排烟系统	自动灭火系统	火灾规模 (MW)
A11	办公标准层 (设有环形疏散走道)	A	0.04689	有效	有效	1.2
A10				有效	失效	1.2
A00				失效	失效	16.9
B11	办公标准层 (未设环形疏散走道)	B	0.04689	有效	有效	1.2
B10				有效	失效	1.2
B00				失效	失效	16.9

### 2.3 火灾和烟气蔓延的模拟计算

本文运用目前消防安全工程界常用的火灾动力学模拟软件 FDS 对设定的火灾场景的火灾烟气扩散情况进行模拟计算，以判断火灾是否会蔓延出办公区，并得到人员可用疏散时间。影响人员可用疏散时间的性能参数包括能见度、温度、CO 浓度等，表 2 显示了本文所取的各项参数的危险判定指标。

**表 2 影响人员安全的性能参数的极限值**

参数	极限值	本报告采用值
2m 高度处的能见度 (m)	>5	>5
2m 高度处的温度 (°C)	<60	<60
2m 高度处的一氧化碳浓度 (ppm)	<1000	≤500

FDS 模型按照建筑的实际尺寸建模，计算网格尺寸为 0.2m×0.2m×0.2m，环境温度为 23°C，不考虑环境风的影响。FDS 软件的模拟计算结果见图 3~图 5 及表 3。

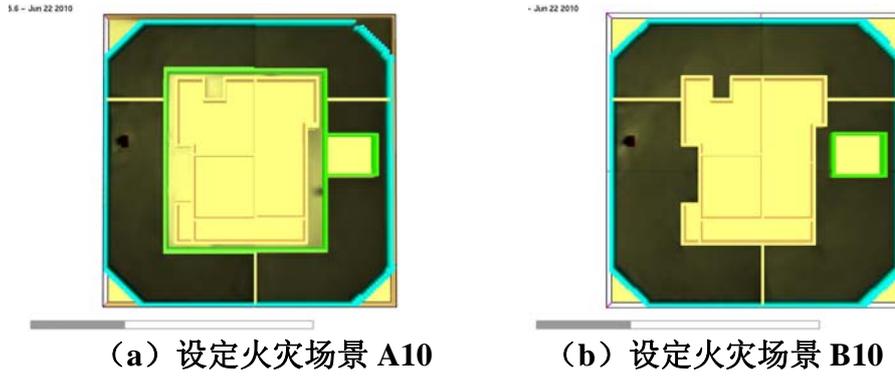


图 3 烟气蔓延计算图

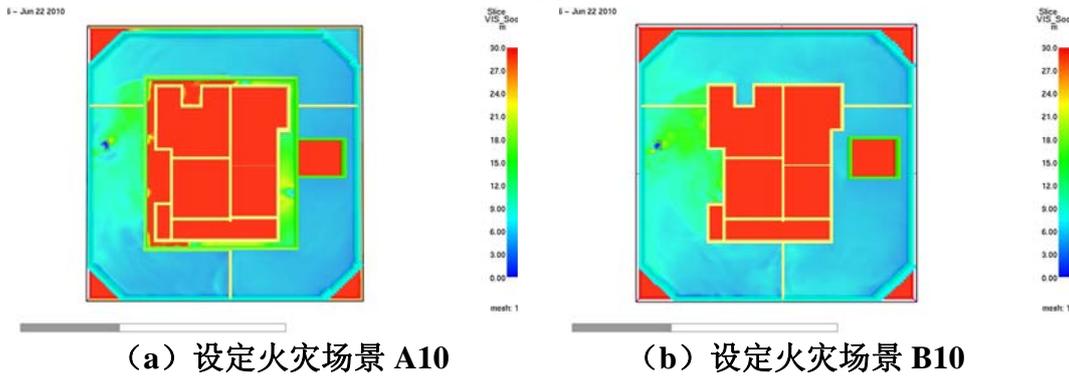


图 4 2m 高度处的能见度分布云图

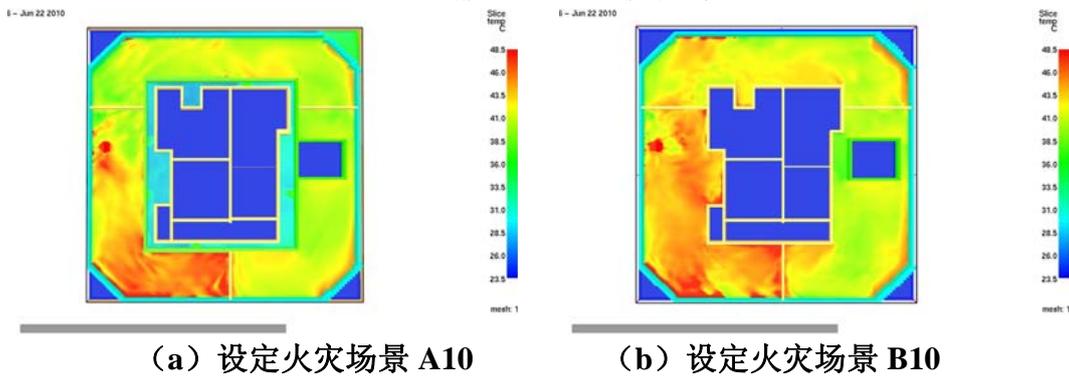


图 5 2m 高度处的温度分布云图

表 3 各设定火灾场景计算所得的 TASET

设定火灾场景		A11	A10	A00	B11	B10	B00
T <sub>ASET</sub> (s)	至办公区出口	810	430	280	—	—	—
	至楼梯间入口	>1200	690	450	830	460	370

根据模拟计算结果，可知：

(1) 办公区内的烟气层下降至距地面 2m 高度处后将通过疏散门进入环形疏散走道内，设定火灾场景 A11、A10 和 A00 对应的烟气进入疏散走道的时间为 270s、250s 和 220s，延缓了疏散走道内的人员受烟气的影响。

(2) 环形疏散走道能够很好的阻隔热量，当办公区内的温度达到 280℃ 时，环形疏散走道内的温度仅为 62℃，远小于火灾发生蔓延的温度 360℃，因此火灾

不会通过热辐射的方式蔓延至环形疏散走道内。

(3) 不设置环形疏散走道的情况下，由于办公区面积更大，相应的蓄烟空间更大，因此其人员的可用疏散时间要长于设置了环形疏散走道的办公区。若办公区通往环形疏散走道的疏散门数量和宽度不足，将不能体现疏散走道的优势，甚至会比不设疏散走道时更危险。

## 2.4 人员必需疏散时间的模拟计算

人员的必需疏散时间可以简化为三个阶段：报警时间  $T_A$ 、响应时间  $T_R$  和疏散行走时间  $T_M$ 。即人员的必需疏散时间  $T_{RSET}$  可按公式 (1) 计算：

$$T_{RSET} = T_A + T_R + 1.5 \times T_M \quad (\text{公式 1})$$

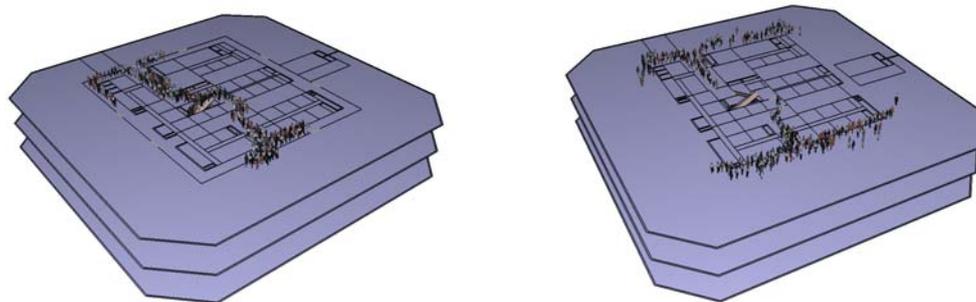
(1) 报警时间  $T_A$ 。报警时间是指从火灾发生到火灾自动报警系统报警这段时间。采用感烟火灾探测器时通常能在火灾发生后 30s~60s 探测到火情。另外，办公区内的人员通常处于清醒状态，火灾在发生的初始阶段就能被周围人员发现，因此可将报警时间保守确定为 60s。

(2) 响应时间  $T_R$ 。人员响应时间是指人员接收到警报之后到疏散行动开始之前的这段时间间隔。不同场所的人员响应时间不同，统计表明，火灾时人员的响应时间与建筑内采用的火灾报警系统的类型有直接关系。对于建筑内的人员处于清醒状态，且熟悉建筑物及其报警系统和疏散措施的办公楼，当设有火灾应急广播时，人员响应时间可确定为 60s。

(3) 疏散行走时间  $T_M$ 。疏散行走时间可以借助人员疏散软件 PathFinder 进行疏散模拟分析得出。根据设定的火灾场景，建立 2 个不同的疏散场景分别对应有环形疏散走道和无环形疏散走道的情况。办公区的人员数量按使用面积  $10\text{m}^2/\text{人}$  计算。由于在实际疏散过程中，还存在一些不利于人员疏散的不确定性因素，因此有必要对模拟计算出的行走时间考虑 1.5 倍系数的安全补偿。图 6 和表 4 显示了模拟计算的结果。

表 4 人员疏散计算结果

疏散场景	报警时间 $T_A$ (s)	响应时间 $T_R$ (s)	行动时间 $T_M$ (s)	疏散时间 $T_{RSET}$ (s)
设有环形走道	60	60	进入走道：87	进入走道：251
			进入楼梯间：202	进入楼梯间：423
未设环形走道	60	60	进入楼梯间：242	进入楼梯间：483



(a) 设有环形疏散走道 (b) 未设环形疏散走道

图 6 人员疏散过程图

由计算结果可以看出，当设有环形疏散走道时，人员可以较快的进入疏散走道，在走道内排队等候进入楼梯间，而未设环形疏散走道时，人员需要在着火区内排队等候进入楼梯间。此外，设置疏散走道还可以使得人员的排队更有秩序，减少人员的拥挤程度，从而减少人员进入楼梯间的时间。

## 2.5 疏散的安全性判定

通过将模拟计算得到的各设定火灾场景下的环境可提供安全时间 ( $T_{ASET}$ ) 与各疏散场景下人员疏散所需要的时间 ( $T_{RSET}$ ) 进行比较，可以判断出各区域内人员疏散的安全性，如表 5 所示。

表 5 人员疏散安全性判定

火灾位置	火灾场景	环形走道	灭火系统	排烟系统	可用疏散时间 $T_{ASET}$ (s)		必需疏散时间 $T_{RSET}$ (s)	安全性判定
					办公区	走道		
A	A11	有	有效	有效	办公区	810	251	安全
					走道	>1200		423
	A10		有效	失效	办公区	430	251	安全
					走道	690		423
	A00		失效	失效	办公区	280	251	安全
					走道	450		423
B	B11	无	有效	有效	办公区	830	483	安全
	B10		有效	失效	办公区	460	483	不安全
	B00		失效	失效	办公区	370	483	不安全

由表 5 可见，当设有环形疏散走道时，由于办公区设有较多通往走道的疏散门，办公区的人员必需疏散时间较少，而走道相对安全，走道内的人员有较长的可用疏散时间，因此即使灭火系统和排烟系统失效，人员仍然能够安全疏散；当未设置环形疏散走道时，只有在灭火系统和排烟系统均有效的情况下，人员才能

够安全疏散，并且此时 2 个疏散楼梯均能使用，若火灾发生在 1 个疏散楼梯入口附近导致其无法使用，则人员将更难以安全疏散。

### 3 结论

高层塔式办公楼为了满足使用功能上的需要，其办公标准层通常整层设计为 1 个防火分区，对于单层建筑面积超过 2000m<sup>2</sup> 的一类高层建筑，防火分区的建筑面积将超过现行规范的规定。对于扣除核心筒后，办公区建筑面积在 2000m<sup>2</sup> 以内的建筑，本文采取性能化防火设计的理论提出了将核心筒与办公区进行防火分隔，设置环形疏散走道等解决方案。通过设定火灾场景和疏散场景，并进行仿真模拟计算，结果显示火灾能够被限制在办公区域内，并且设置环形疏散走道后能够增加人员疏散的安全性，人员可以在危险来临前到达安全区域。但是需要注意的是办公区通往环形疏散走道的疏散门和宽度一定要足够，以使得人员能够尽快撤离着火区，否则甚至可能增加人员疏散的危险程度。

### 参考文献

- [1] GB 50045-95 (2005 年版)，高层民用建筑设计防火规范[S].
- [2] Peter Thomas, Stephan Grosskopf, 梁吉林等，快速响应喷头评估[J]. 消防技术与产品信息，2006，3: 27~30.
- [3] 王志刚，倪照鹏等，设计火灾时火灾热释放速率曲线的确定[J]. 安全与环境学报，2004，4: 50~54.
- [4] 汪箭，吴振坤，肖学锋等，建筑防火性能化设计中火灾场景的设定[J]. 消防科学与技术，2005，24(1): 38~43.
- [5] ISO/TS 16733:2006，Fire safety engineering-Selection of design fire scenarios and design fires[S].
- [6] 倪照鹏，王志刚，性能化消防设计中人员安全疏散的确证[J]. 消防科学与技术，2003，22(5): 375~378.

——本文发表于 2013 年第 5 期《消防科学与技术》