

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.16.015

建筑屋顶直升机停机坪消防灭火设施设置分析

郭进军¹, 丰汉军¹, 甘起东¹, 贾凯悦¹, 韦翰翔¹, 杨伟²

(1. 广州市设计院集团有限公司, 广东 广州 510620; 2. 上海丰树管理有限公司, 上海 200120)

摘要: 为满足消防救援或交通需要,在建筑屋顶可设置直升机停机坪。通过对比分析国内外相关标准发现,有关建筑屋顶直升机停机坪的消防灭火设施规定均比较简单,且没有明确的统一标准。为此,首先采用层次分析法定性分析其消防安全风险,然后建立数学模型进行定量计算,从而针对不同建筑屋顶和需求确定合适的消防灭火设施。另外,结合相关规范及工程案例,确定了建筑屋顶直升机停机坪各消防灭火设施(消火栓系统、泡沫炮系统、泡沫喷淋系统、防流淌设施)的参数及型式,并对消防水量进行了计算分析。

关键词: 建筑屋顶; 直升机停机坪; 消防灭火设施; 层次分析法

中图分类号: TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)16-0088-06

Evaluation of Fire Extinguishing Facilities at Roof Helipads on Buildings

GUO Jin-jun¹, FENG Han-jun¹, GAN Qi-dong¹, JIA Kai-yue¹, WEI Han-xiang¹,
YANG Wei²

(1. Guangzhou Design Institute Group Co. Ltd., Guangzhou 510620, China; 2. Shanghai Fengshu Management Co. Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: A helipad can be installed on the roof of the building to facilitate fire rescue or traffic needs. Through a comparative analysis of relevant standards both domestically and internationally, it was observed that the regulations regarding fire extinguishing facilities for building roof helipads were relatively simplistic, lacking a clear unified standard. To address this problem, the analytic hierarchy process was employed for qualitative analysis of fire safety risk, followed by the establishment of a mathematical model for quantitative calculation. This enabled the determination of suitable fire extinguishing facilities tailored to different building roofs and requirements. In addition, the parameters and types of fire extinguishing facilities such as fire hydrant system, foam cannon system, foam sprinkler system and anti-flowing facilities for the roof helipad were determined in accordance with relevant regulations and engineering precedents, with the calculation and analysis of fire water quantity.

Key words: building roof; helipad; fire extinguishing facility; analytic hierarchy process

随着经济的发展,城市超高层建筑不断增多,其消防救援对城市防灾能力提出了新的挑战。虽然消防法规并未强制要求所有大厦必须修建屋顶停机坪,但为适应城市对国防、治安、反恐、消防、通信、旅游等的需求,许多超高层建筑在屋顶均设置

了直升机停机坪。在高层建筑应急救援行动中,直升机具有机动灵活、起降条件限制少等特点,能够在空中停留盘旋,具有固定翼消防飞机、消防车无法比拟的优势^[1]。

为了克服地面消防车救援的局限,按《建筑设

计防火规范》(GB 50016—2014)第7.4.1条要求,建筑高度大于100 m且标准层建筑面积大于2 000 m²的公共建筑,宜在屋顶设置直升机停机坪或供直升机救助的设施^[2],即屋顶直升机停靠救援或直升机悬停救援两种方式。显而易见,第1种方式在救援便利性和可靠性方面均优于第2种,故《建筑防火通用规范》(GB 55037—2022)对消防安全要求更高、建筑高度超过250 m的工业与民用建筑,强制要求在屋顶设置直升机停机坪。

笔者所在研究小组通过调研部分建筑屋顶直升机停机坪消防灭火设施的配置情况,发现其设置型式和参数均有区别。为合理设置建筑屋顶直升机停机坪消防灭火设施,并保证设计参数安全可靠,采用科学的方法进行计算分析,以期类似项目提供参考。

1 现行标准规范的相关要求及对比

现行标准规范中直接针对屋顶直升机停机坪的消防要求较少,主要是针对机场的消防要求。

1.1 《航空工业工程设计规范》

《航空工业工程设计规范》(GB 51170—2016),适用范围为航空工业工程(包括民用、军用及其他航空器的机库或厂房),即生产飞机等航空器的车间厂房和停机库等场所。屋顶直升机停机坪在飞机停靠时可以参考机库的消防要求。该规范中针对机库消防灭火设施主要提出飞机燃油试验间、油箱试验和油箱清洗间应设置泡沫灭火系统。由此可以看出,飞机油箱火灾危险性较大,针对含油火灾,配置泡沫灭火设施是最安全有效的。关于泡沫灭火设施的具体参数,该规范未给出具体规定,只要求按现行相关标准执行即可。

1.2 《军用永备直升机场场道工程建设标准》

《军用永备直升机场场道工程建设标准》(GJB 3502—1998)适用范围为军用永备直升机场相关工程。其中,对于屋面军用直升机场,提出了设置排油沟和设置喷嘴喷水或泡沫剂的灭火要求。这说明直升机场有必要考虑飞机油类防流淌措施及配置自动灭火设施以有效扑灭初期火灾,也说明泡沫类灭火剂安全可靠。

1.3 《民用直升机场飞行场地技术标准》

《民用直升机场飞行场地技术标准》(MH 5013—2014)是民航行业标准,适用范围最贴合建筑屋顶直升机停机坪。其中,高架直升机场包括建筑物顶

部直升机场。该标准中救援和消防章节规定了直升机场消防安全方面的技术要求,其中主要规定了泡沫剂灭火的相关技术参数,包括灭火剂量、喷射率等,并根据直升机尺寸进行了消防安全分类。但是,该标准仅针对高架直升机场的消防安全要求并未考虑建筑物本身的安全要求。而对于建筑屋顶直升机停机坪,应结合建筑安全和直升机停机坪安全两方面综合考虑,设置合适的消防灭火设施。

1.4 《直升机场》

《国际民用航空公约》附件14《机场》第Ⅱ卷《直升机场》为国际民航关于直升机场的规定,较详细地规定了直升机场(表面/地面直升机场和高架直升机场)的相关要求(包括消防要求),对灭火剂的最小量也作了规定,但对于高架直升机场未考虑其建筑本体相关安全要求。该标准将直升机消防分为三类:H1类,直升机全长(包括尾梁和旋翼)<15 m;H2类,15 m≤直升机全长<24 m;H3类,24 m≤直升机全长<35 m。国内屋顶高架直升机停机坪最大起降质量为6 t,直升机全长不超过14 m,一般为业主交通运输功能需要建造(即H1类别);超过此范围的直升机除非军、民航主管部门认为起降是安全的,否则不得在屋顶高架停机坪上起降,此种情况一般为消防救援功能需要建造(H3类不允许在建筑屋顶起降,故消防救援一般考虑H2类)。

1.5 NFPA标准

发达国家的消防标准有美国NFPA标准和FM标准、英标BS防火标准等。上述标准对直升机停机坪的防火规定较少,只有美国NFPA418直升机场标准有相关要求:无人使用建筑屋顶直升机可不设泡沫灭火系统,H1类别可采用泡沫灭火器,其余直升机场采用低倍数泡沫灭火系统(没有专业培训人员的采用固定式系统),其泡沫液设计浓度为4.1 L/(min·m²),灭火时间为10 min,保护面积为整个停机坪范围,其中固定式泡沫系统的配置包括四周固定喷嘴和不少于两个旋转泡沫炮;停机坪设0.5%~2%的排水坡度。

综合上述分析可知,除了美国NFPA418直升机场标准的规定略微详细些,对于建筑屋顶直升机停机坪消防灭火设施有一定参考意义,其他标准的规定均比较零散,缺乏系统性和对具体参数的规定,特别是关于综合考虑建筑物本身的消防安全和不同屋顶直升机停机坪功能采用不同消防措施安全

方面的要求,国内外标准均没有详细规定。鉴于此,拟通过对消防系统的必要性计算分析,梳理出建筑屋顶直升机停机坪消防灭火设施配置的系统性要求,同时对各系统的具体参数给出合适的建议,以供其他类似项目参考。

2 消防安全风险分析及措施建议

2.1 消防安全风险分析

直升机装满汽油,相当于一个可怕的“燃烧弹”。若直升机在建筑屋顶发生故障或坠毁,将引发极具危害性的火灾和爆炸,进而对建筑本身安全造成很大威胁。发生火灾的原因主要有以下几方面:一是燃油可能发生泄漏而满地流淌,遇到火源即可形成可燃液体流散火灾,如果燃油火势凶猛,短时间可使飞机受热面机身损坏,也可引起油箱爆炸;二是直升机电气系统引起火灾,直升机供电线路和电气设备密集,当供电出现绝缘老化、漏电或接触不良、短路等情况,都有可能产生电火花或电弧,从而引燃可燃物而发生火灾;三是静电引发火灾,燃油尤其是航空煤油受冲击时最容易产生静电,蒸汽在气管内高速流动或由阀门、缝隙高速喷出时可产生气体静电,液体和固体摩擦也会产生静电,这些静电累积可能会达到很高的电位,高电位的静电泄放时会产生火花,从而引发火灾;四是人为或建筑屋顶物品引起火灾,吸烟、用火不慎、人为纵火等均可能引发建筑屋顶可燃物和直升机发生火灾。

现行《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)只要求屋顶直升机停机坪设置消火栓系统,而在实际项目中只设消火栓系统的屋顶直升机停机坪较少,一般会另外设置泡沫炮、泡沫喷淋等系统;另外直升机发生火灾时油会流淌,是否设置防止油流淌的设施也对建筑消防安全有较大影响。

2.2 消防灭火设施的必要性分析

为合理确定建筑屋顶直升机停机坪的消防灭火设施设置,需要结合定性分析与定量计算进行综合考虑。可采用层次分析法进行计算分析,层次分析法是一种实用的多准则决策方法,适用于分析和评估多准则、多目标的复杂问题^[3]。通过构造判断矩阵标度,验证判断矩阵的一致性^[4],使用线性加权模型计算屋顶直升机停机坪的消防风险值,实现对建筑屋顶直升机停机坪消防灭火设施设置必要性的评估。

前述几种火灾因素为第一层次,记为C1,则C1-1表示燃油泄漏,C1-2表示电气火灾,C1-3表示静电火灾,C1-4表示人为火灾。该研究初步确定其必要性相对关系如下: $C1-3 \approx C1-2 > C1-1 > C1-4$,在此基础上打分取平均值,进一步确定火灾因素的判断矩阵及向量计算结果,具体如表1所示。

表1 不同火灾因素的防火必要性向量权重计算结果

Tab.1 Calculation results of vector weights of fire prevention necessity for different fire factors

项目	C1-1	C1-2	C1-3	C1-4	四维向量	向量权重
C1-1	1	1/3	1/4	5	0.803	0.145
C1-2	3	1	1/2	6	1.732	0.313
C1-3	4	2	1	7	2.736	0.494
C1-4	1/5	1/6	1/7	1	0.263	0.048

在第一层次目标下,第二层次为具体灭火措施,记为C2,则C2-1表示消火栓系统,C2-2表示泡沫炮系统,C2-3表示泡沫喷淋系统,C2-4表示防流淌措施。同样采取打分取平均值的方法,分别计算出4种火灾因素下各灭火措施效果判断矩阵及向量权重,具体如表2、3所示。

表2 燃油泄漏因素的灭火措施向量权重计算结果

Tab.2 Calculation results of vector weight of fire extinguishing measures for leakage factor

项目	C2-1	C2-2	C2-3	C2-4	四维向量	向量权重
C2-1	1	1/3	1/5	1/3	0.386	0.074
C2-2	3	1	1/4	1	0.931	0.178
C2-3	5	4	1	4	2.991	0.571
C2-4	3	1	1/4	1	0.931	0.178

注: 燃油泄漏因素的灭火措施相对性关系为 $C2-3 > C2-4 = C2-2 > C2-1$ 。

表3 电气因素的灭火措施向量权重计算结果

Tab.3 Calculation results of vector weights of fire extinguishing measures for electrical factors

项目	C2-1	C2-2	C2-3	C2-4	四维向量	向量权重
C2-1	1	3	4	5	2.783	0.539
C2-2	1/3	1	2	4	1.278	0.247
C2-3	1/4	1/2	1	2	0.707	0.137
C2-4	1/5	1/4	1/2	1	0.398	0.077

注: 电气因素的灭火措施相对性关系为 $C2-1 > C2-2 > C2-3 > C2-4$ 。

静电因素、人为因素与电气因素各灭火措施效果判断矩阵结果一致。

上述3个四阶判断矩阵的检验系数CR值计算结果分别为0.056、0.036、0.027,均小于0.1,说明3

个判断矩阵输入的数据逻辑关系正确可行,其计算的权重可行。

不同火灾因素的指标权重 W 表示为:

$$W = \{0.145 \quad 0.313 \quad 0.494 \quad 0.048\} \quad (1)$$

各火灾因素下不同灭火措施的权重矩阵 R 表示为:

$$R = \begin{Bmatrix} 0.074 & 0.178 & 0.571 & 0.178 \\ 0.539 & 0.247 & 0.137 & 0.077 \\ 0.539 & 0.247 & 0.137 & 0.077 \\ 0.539 & 0.247 & 0.137 & 0.077 \end{Bmatrix} \quad (2)$$

则4种灭火措施风险权重向量 A 表示为:

$$A = W \cdot R = \{0.4716 \quad 0.2369 \quad 0.1999 \quad 0.0916\} \quad (3)$$

由此可对4种灭火措施进行排序: $C2-1 > C2-2 > C2-3 > C2-4$ 。

2.3 消防灭火设施配置建议

由上述计算结果可知,消火栓配置的必要性最高,可以看出消火栓系统是灭火的基础要求。其次是泡沫类灭火设施,因为仅设普通消火栓对扑救燃油火灾功效极低,故配备泡沫系统来压制此类火灾才是行之有效的措施。而泡沫炮系统的灭火剂量足够大,是保证有效灭火的关键;泡沫喷淋系统可以扑灭初期火灾,故其必要性相对较低。必要性最低的是防流淌措施,因为此措施主要是防止流淌引发火灾蔓延。

按照功能,建筑屋顶直升机停机坪主要包括消防救援功能的超高层屋顶直升机停机坪和交通运输功能的屋顶直升机停机坪两种情况,其中消防救援功能要求更高。结合前述屋顶直升机停机坪的消防风险和系统可靠性计算分析,并参考 NFPA 标准,对消防灭火设施配置建议如下:对一般建筑屋顶直升机停机坪,建议配置消火栓+泡沫炮设施;而对于消防救援功能的超高层屋顶直升机停机坪,为更好地保障救援安全,建议配置消火栓+泡沫炮+泡沫喷淋+防流淌设施(对于高度超过 250 m 的建筑,从安全性角度考虑,要严格配齐4种设施)。

3 消火栓系统

3.1 消火栓水量

屋顶消火栓对于停机坪有两种作用:火灾时灭火及扑救明火后的冷却用水。结合屋顶停机坪布置面积,一般需考虑配备两支消火栓水枪用于直接

灭火,消火栓水量不低于 10 L/s。

3.2 消火栓系统布置

停机坪消火栓的供水方式一般分为两种:一种是设置独立的消防水泵向屋顶直升机停机坪消火栓专门供水,使其自成系统;另一种是将停机坪消火栓供水管道直接接入室内消火栓供水环管,使停机坪消火栓成为室内消火栓系统的一部分。第1种方式,系统可靠性固然提高,但是由于需要单独设置水泵、铺设供水管道,因而工程造价将大大提高,所以很少有人采用。而第2种方式,室内消火栓系统的供水流量、水压经过调整均能满足停机坪消火栓的供水要求,而且施工难度不大、工程造价增加不多,所以是最常用的供水方式。当采用第2种供水方式时,停机坪消火栓供水管可以就近接入室内消火栓系统最上端的水平环管段。

为保证停机坪消火栓工作的可靠性,其供水管道应布置为环状,且接至室内消火栓系统的供水管不应少于两根,当其中一根供水管发生故障时,另一根供水管可以保证停机坪消火栓的全部消防用水量。停机坪消火栓往往设置于紧靠停机坪的女儿墙等处,具体如图1所示。

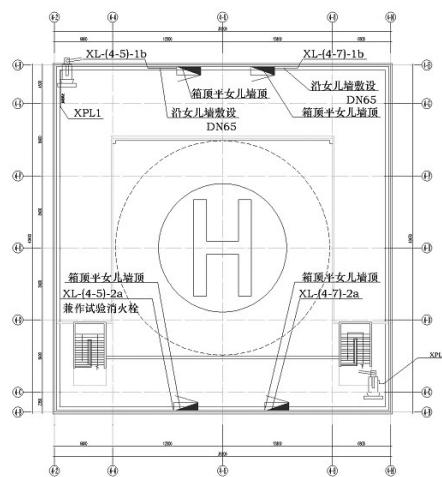


图1 屋顶直升机停机坪的消火栓布置

Fig.1 Layout of fire hydrants on roof helipad

4 泡沫炮系统

4.1 泡沫炮系统水量

用于直升机停机坪的泡沫炮参考现行规范,应符合《固定消防炮灭火系统设计规范》(GB 50338—2003)适用范围^[5]。按该规范的4.2.1条,消防炮的布置不少于两门,且其射流需同时达到保护范围内的任何区域;按4.2.2条,室外配置的泡沫炮额定流

量不宜小于48 L/s。

按照图1所示的直升机停机坪的布置,为保护停机坪区域,根据泡沫炮设计射程公式[见式(4)],泡沫炮参数取值如下:射程为55 m,流量为48 L/s,额定工作压力为0.8 MPa,则布置两门泡沫炮即可满足保护整个停机坪区域的要求。根据设计流量公式[见式(5)],泡沫炮系统的流量为96 L/s。

$$D_p = D_{p0} \sqrt{\frac{P_c}{P_0}} \quad (4)$$

式中: D_p 为泡沫炮的设计射程,m; D_{p0} 为泡沫炮在额定工作压力时的射程,m; P_c 为泡沫炮的设计工作压力,MPa; P_0 为泡沫炮的额定工作压力,MPa。

$$Q_p = Q_{p0} \sqrt{\frac{P_c}{P_0}} \quad (5)$$

式中: Q_p 为泡沫炮的设计流量,L/s; Q_{p0} 为泡沫炮的额定流量,L/s。

《固定消防炮灭火系统设计规范》中对泡沫炮系统的混合液连续供给时间未作具体规定,需要参考《泡沫灭火系统技术标准》(GB 50151—2021)中的要求,该标准中5.2.7条对A、B类火灾及综合管廊或电缆隧道火灾时混合液连续供给时间分别作了规定,3种情况供给时间最长的为A类固体火灾,需要不少于25 min。直升机停机坪发生火灾时,为A类和B类混合火灾,以A类为主,故供给时间最少取25 min。

4.2 泡沫液流量

泡沫液有水成膜和氟蛋白两种,为满足环保要求,一般采用水成膜泡沫液,混合比有3%和6%两种。混合比为6%时,在系统流量为100 L/s下,计算得出泡沫液流量为6 L/s。供给时间不少于25 min,则泡沫罐储存的泡沫液体积不少于9 000 L。

4.3 泡沫炮系统设计

每门泡沫炮均设置对应的电控阀,可以现场一对一控制泡沫炮的喷射方向,并控制泡沫炮水泵的启停。在消防控制中心和消防泵房内均可以手动控制泡沫炮水泵的启停。按照前述方法计算泡沫罐需要储存的泡沫液体积,火灾时泡沫液通过比例混合器与水混合后供应至屋顶设置的泡沫炮处喷出灭火。泡沫炮系统流量较大,由于供给泡沫液,相应的消防管道在有条件时应尽量选用防腐效果较好的不锈钢管。泡沫炮水泵以及配套系统建议

独立设置。

5 泡沫喷淋系统

5.1 泡沫喷淋系统原理

前述几种针对直升机停机坪的消防灭火系统均为手动灭火系统,需要现场人员判断火情及时操作灭火。针对屋顶直升机停机坪的特点,一般在火势形成后比较容易发现火情,从而及时操作灭火系统。但在火灾初期,特别是由静电因素引发的火灾,此时如果能针对油箱火灾初期进行自动灭火控火,则可有效阻止火势变大。而最有效的方式就是自动泡沫喷淋系统,喷泡沫后再喷水冷却可以防止复燃。其原理与在车库设置的泡沫-水喷淋系统类似。

5.2 泡沫喷淋系统参数

直升机发生火灾时,泡沫喷淋灭火的主要目的是针对油箱初期油类火灾进行灭火控火,防止爆炸。参考《泡沫灭火系统技术标准》(GB 50151—2021)中泡沫喷淋的水力计算,停机坪油箱处面积远小于标准中的作用面积(465 m²),故作用面积可以按照实际油箱面积考虑取20 m²,根据喷头保护面积布置5个即可满足要求,其流量不大于10 L/s。另外,参考该标准中6.1.3条,泡沫混合液连续供给时间不少于10 min,采用水成膜泡沫液,按6%混合比,则泡沫液体积不小于360 L。泡沫液与水连续供给时间不少于60 min,则消防水池的有效容积为36 m³。

5.3 泡沫喷淋系统设计

泡沫喷淋系统平面布置如图2所示。

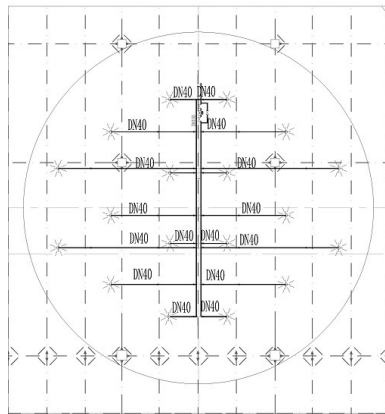


图2 屋顶直升机停机坪泡沫喷淋系统平面布置

Fig.2 Layout of foam spray system on roof helipad

由于泡沫喷淋系统的流量较小,泡沫液储存罐

的容积也不大,可以从建筑本身喷淋泵处单独设喷淋管供至停机坪处。在停机坪处设置小型泡沫液储存罐及配套比例混合器,泡沫液储存罐后采用防腐效果较好的不锈钢管接至停机坪处喷淋头。为防止平时喷头阻碍,参考王秋丽的实用新型专利《建筑屋顶直升机停机坪配套多功能消防系统》,采用弹出式喷头。

6 消防水量分析

6.1 消防灭火设施的火灾延续时间

根据前述对各灭火系统的分析,室内消火栓、泡沫炮和泡沫喷淋这3种消防灭火设施的火灾延续时间分别为3 h、25 min、60 min(消火栓系统一般和建筑整体消火栓火灾延续时间一致,最大取3 h)。

6.2 最不利情况的消防水量

根据室内消火栓、泡沫炮和泡沫喷淋这3种消防灭火设施的流量(10、96、10 L/s)及火灾延续时间,计算得到3种消防灭火设施的水量分别为108、144、36 m³。按消防设施配置的分析,对于建议配置消火栓+泡沫炮的建筑,其最大消防水量为252 m³;对于建议同时配置消火栓+泡沫炮+泡沫喷淋的建筑,其最大消防水量为288 m³。

7 防流淌设施

根据前述分析,有消防救援功能的超高层建筑屋顶直升机停机坪建议采取防流淌措施,以避免火势蔓延影响消防救援。一般在停机坪四周设置排水沟收集泄漏燃油,收集后排至集中设置的隔油设施,进行除油处理后再排至市政污水管网。隔油设施配置油渣桶定期清理,以满足环境卫生及环保要求。

8 结论

① 通过消防安全风险分析及消防灭火设施配置必要性计算,根据不同的建筑屋顶直升机停机坪工程情况,配置相应的消防灭火设施,即:对于一般建筑屋顶直升机停机坪,建议配置消火栓+泡沫炮设施;而对于有消防救援功能的超高层建筑屋顶直升机停机坪,建议配置消火栓+泡沫炮+泡沫喷淋+防流淌设施(对于高度超过250 m的建筑,要严格配齐4种设施)。灭火器按现行规范要求配置即可。

② 参考相关标准规范,确定了建筑屋顶直升机停机坪的消防灭火设施参数,可为其他类似屋顶直升机停机坪消防灭火设施的设计提供参考。

参考文献:

- [1] 黎承. 超高层建筑屋顶直升飞机停机坪设置探讨及建议[J]. 工程建设与设计, 2014(8): 90-92.
LI Cheng. High-rise building rooftop helicopter apron discussed and recommendations set [J]. Construction & Design for Engineering, 2014(8): 90-92 (in Chinese).
- [2] 住房和城乡建设部. 建筑设计防火规范:GB 50016—2014 [S]. 北京:中国计划出版社, 2018.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Code for Fire Protection Design of Buildings: GB 50016—2014 [S]. Beijing: China Planning Press, 2018 (in Chinese).
- [3] 李洁, 李强, 杨治成, 等. 基于层次分析法的微型消防站初期火灾处置能力评估[J]. 武警学院学报, 2019, 35(8): 14-18.
LI Jie, LI Qiang, YANG Zhicheng, et al. Assessment of early fire disposal capacity of micro volunteer fire station based on analytic hierarchy process [J]. Journal of the Armed Police Academy, 2019, 35(8): 14-18 (in Chinese).
- [4] 左秋玲, 李景山. AHP-模糊数学模型在高层工业建筑火灾风险评估中的应用[J]. 城市建筑, 2017(11): 25-27.
ZUO Qiuling, LI Jingshan. Application of AHP-fuzzy mathematical model in the fire risk assessment of high-rise industrial buildings [J]. Urbanism and Architecture, 2017(11): 25-27 (in Chinese).
- [5] 建设部. 固定消防炮灭火系统设计规范:GB 50338—2003 [S]. 北京:中国计划出版社, 2003.
Ministry of Construction. Code of Design for Fixed Fire Monitor Extinguishing Systems: GB 50338—2003 [S]. Beijing: China Planning Press, 2003 (in Chinese).

作者简介:郭进军(1979—),男,湖北洪湖人,大学本科,正高级工程师,主要研究方向为建筑及小区给排水与消防灭火系统。

E-mail:56713831@qq.com

收稿日期:2023-04-15

修回日期:2023-10-27

(编辑:刘贵春)