

超大城市综合体消防联动系统设计优化

张雪祁¹ 朱必镛² 方波³ 姚历³

(1. 绿城东方建筑设计有限公司, 浙江 杭州 310012;

2. 浙江久正工程检测有限公司, 浙江 杭州 310012;

3. 北京利达华信电子有限公司杭州分公司, 浙江 杭州 310016)

摘要: 超大城市综合体项目建筑功能复杂、占地面积及火灾荷载大, 线路敷设距离长。发生火灾后, 火灾蔓延速度快, 人员疏散逃生难, 灭火救援难度大, 极易造成重大人员伤亡和财产损失。结合超大城市综合体火灾自动报警系统现状, 从市场主流品牌火灾自动报警设备产品性能参数进行分析, 根据 GB 50166—2019 火灾自动报警系统施工及验收标准^[1] 第 4.2.3 条的规定, 提出“控制时序”这个新的术语及“控制时序”解决方案, 供消防专家、同行借鉴及讨论。

关键词: 超大城市综合体; 消防联动控制逻辑; 控制时序; 解决方案

Control logic and time sequence of fire linkage in mega complex project

ZHANG Xueqi¹ ZHU Biyong² FANG Bo³ YAO Li³

(1. Greentown Oriental Architectural Design Co., Ltd., Hangzhou 310012, China;

2. Zhejiang Jiuzheng Engineering Testing Co., Ltd., Hangzhou 310012, China;

3. Beijing Leader Huaxin Electronic Co., Ltd., Hangzhou Branch, Hangzhou 310016, China)

Abstract: The mega complex project normally comes with multiply programs. The occupy area is large, the fire load is high, and the cable running distance is quite long. When there is a fire, the fire will spread quickly and it is difficult for people to escape and extinguish the fire, which is very easy to lead to heavy casualties and property losses. Combined with the current situation of fire automatic alarm system in complex project, with analysis on parameter and performance of some main brands of fire automatic alarm devices in the market, and according to the provisions of section 4.2.3 of code GB 50166—2019 the construction and acceptance standard of fire automatic alarm system^[1], we invent a new term called "control time sequence" and provide a proposal called "control time sequence", as reference to firefighting experts and peers and for the discussion.

Key words: mega complex project; control logic of fire linkage; control time sequence; solution

0 引言

建筑火灾的起火原因多, 且为突发性。火灾过程一般分为五个阶段: 初始、发展、猛烈、下降和熄灭。根据统计资料显示, 1/3 的案例中消防队到达现场时火灾已经燃烧 10 min 以

上。此时火灾有 61.2% 已经处于发展阶段或猛烈燃烧阶段。

因此在火灾初期从阴燃到达到爆炸性下限形成轰燃前的 3~5 min 内, 如何保证大楼内业主、人员及时疏散和形成防火、防排烟分区是确保人身安全的重要措施。

超大城市综合体由于联动设备较多,负载较大、线路敷设距离长,根据实际工程案例,直流电源线路敷设距离达到 400 m 以上,起动的受控消防设备多,会造成线路末端电压为直流 22.8 V 及以下,模块可能发生拒动或弹跳,需就地增加直流电源数量或限制单个直流电源的供电半径、供电输出范围和增大电源线缆截面积。

报警区域按地上单个防火分区最大允许建筑面积 5 000 m²/地下室汽车库单个防火分区按最大 4 000 m²(单个防火分区超过 4 000 ~ 5 000 m²需按专家论证)计算,按 2 个总线回路、控制模块数按最大 150 个配置,应着眼于多长时间下保证系统有效启动。

1 超大城市综合体火灾自动报警系统设计现状

根据公安部公消【2016】113 号^[2]文件,总建筑面积大于 10 万 m²超大城市综合体(不包括住宅和写字楼部分的建筑面积,集购物、旅店、展览、餐饮、文娱和交通枢纽等两种或

两种以上功能于一体项目)。囿于联动系统较多、线路敷设距离长及物业管理需求,火灾自动报警系统形式需采用集中报警控制系统或控制中心报警系统,设置一个或多个消防控制室。在系统设计时,很多设计师并未考虑到火灾自动报警产品性能、线路电压损失和控制时序等方面的因素,对发生火灾时系统稳定性有诸多不利影响。

2 解决问题思路

2.1 明确超大型城市综合体火灾自动报警消防联动控制方式

根据 GB 51348—2019 民用建筑电气设计标准^[3]第 13.3.1 条,对于集中报警系统和控制中心报警系统,宜采用集中与分散相结合的火灾自动报警及联动控制方式。

2.2 消防联动控制报警设备产品性能参数需求

经查某主流品牌报警设备设计手册及排烟阀产品样本,基于正常工作环境温度: -40~55 ℃,工作环境相对湿度: ≤95%(40±2)℃(无凝露)条件下,性能参数如表 1 所示。

表 1 消防报警设备及排烟阀性能参数

Tab. 1 Performance parameter of fire alarm equipment and smoke exhaust valve

序号	设备名称	工艺参数
1	单输入/输出模块(I/O)	① 工作电压: DC 22~26 V; ② 工作电流: <19 mA(空载启动), <4 mA(静态); ③ 输出信号参数: 有源 DC 24 V/2 A
2	双输入/输出模块(I/O)	① 工作电压: DC 22~26 V; ② 工作电流: <30 mA(空载启动), <1.5 mA(静态); ③ 输出信号参数: 有源 DC 24 V/1 A
3	消防广播输出模块(用于≤120 V 音频信号/60 W)	① 工作电压: DC 22~26 V; ② 工作电流: <10 mA(空载启动), <10 mA(静态)
4	火灾声光警报器(编码型)	① 工作电压: DC 22~26 V; 工作环境温度: -10~50 ℃; ② 工作电流: <25 mA(报警), <0.8 mA(静态)
5	联动直流电源(30 A)	① 电源输入: AC 220 V(187~242 V); 工作环境温度: 0~40 ℃; ② 联动输出: DC 24~27 V; ③ 额定输出功率: 962 W
6	消防联动控制器	当联动控制器接收到烟温感等火灾报警信号后,在 3 s 内发出联动启动信号,并在发出启动信号 10 s 内接收反馈信号。联动控制器应能接收触发器件的火灾报警信号,显示报警区域,发出火灾报警声、光信号,其中光信号应保持至消防联动控制器复位。控制器可对特定的控制输出功能设置延时,按每 5 s 一个间隔(即 5 s 前、10 s 和 15 s),且延时时间不超过 10 min,每次增加的延时时间不应超过 1 min
7	常闭排烟阀 PYF SDc-K	电动执行机构额定工作电流: ≤0.7 A; 额定工作电压: DC 24 V; 瞬动,不计入长期工作

备注: 空载启动是指不接外控设备的情况下。

结论:

1) 静态时线路工作电流较小,在报警系统正常工作时,I/O 模块联动输出瞬动运行电流及声光报警器持续运行电流较大。如系统无法正常工作,如机械故障常闭防火阀无法开启、断路器无法脱扣会造成线路持续运行电流较大。

2) 结合同一个防火分区及相邻防火分区内最大设施设备的消防供电线路负荷、敷设距离、消防直流电源的额定容量和模块有效运行时间,分时启动就显得非常必要。

2.3 解决线路电压损失

线路电压损失允许范围内线缆敷设长度估算,根据 19DX101-1 建筑电气常用数据^[4],表 3.26 不同电压降 DC 24 V 及直流线路负荷矩,其中电压降为 5%的直流线路负荷矩如表 2 所示。

表 2 线路标称电压 DC 24 V 电压压降 5%下直流线路负荷矩
Tab. 2 Load moment of DC line under 5% voltage drop of line nominal voltage DC 24 V

截面积/mm ²	铜				
	导体工作温度 60 ℃ 单相 cos φ=1 及直流				
	1.5	2.5	4	6	10
负荷矩/(W·m)	1 083	1 805	2 888	4 332	7 220

注: Δu 为 5%。

正常情况下(供电可靠且消防设施设备均能接收联动信号动作),在已知线路直流电流的情况下,利用负荷矩 PL 可估算出对应负载的供电距离,计算公式为

$$L = \frac{PL}{UI}$$

联动直流电源额定输出电流 30 A,输出工作电压为 DC 24~27 V,按 3 路配电输出,每路 8~10 A 计,每路供电最大 150 个直流负载,确保末

端电压为 DC 22.8 V 及以上,线路计算电流按 I=1 A 计入(暂不考虑瞬时设备运行电流)。不同截面积主干电缆直流铜缆敷设长度(上式中的供电距离)L 估算如表 3 所示。

表 3 线路标称电压 DC 24 V 电压压降 5%下直流铜缆敷设长度估算
Tab.3 Estimation of laying length of DC copper cable under 5% voltage drop of line nominal voltage DC 24 V

截面积 /mm ²	铜最长敷设距离 L				
	导体工作温度 60 ℃ 单相 cos φ=1 及直流				
	1.5	2.5	4	6	10
敷设长度 L/m	47	79	126	190	316

注: Δu 为 5%。

考虑设备工作电压范围、线路敷设距离及线路压降,按 350 m 为最远敷设距离(表中电线路电压按 24 V,实际可达到 27 V 左右,线路敷设距离可放宽至 350 m),直流供电主干电源电缆截面积按 4~10 mm² 设置。需要注意的是,设计需考虑非正常情况下(主机联动响应后,因机构原因排烟口无法开启及 DC 24 V 分励脱扣线圈故障无法动作)直流电源供电能力,建议体量较大的单体,直流电源干线回路根据负载供电能力采用放射式供电或采用就地设置联动直流电源的方式。

2.4 编制控制时序方案

根据 GB 50116—2013 火灾自动报警系统设计规范^[5]和 GB 16806—2006 消防联动控制系统^[6],在火灾报警后经逻辑确认(或人工确认),消防联动控制器应在 3 s 内按设定的控制逻辑向各相关受控设备发出联动控制信号,接收相关设备的联动反馈信号并显示。

根据现行规范,火灾确认后,消防设施设备动作的响应时间要求如表 4 所示。

由表 4 可知,国家规范对不同的消防设施设备及系统有着不同的响应时间要求。

表 4 消防联动系统及消防设施设备动作响应时间
Tab. 4 Action response time of fire linkage system and fire equipment

系统及设备名称	消防联动系统正常联动时间	消防设施设备正常工作时间	国家规范条文
消防联动控制器	≤3 s 设定的控制逻辑向各相关受控设备发出联动控制信号,并接受相关设备的联动反馈信号并显示	—	GB 50016—2013 第 4.2.1 条 ^[1]
防烟系统	≤15 s 联动开启常闭加压送风口和加压送风机 ≤15 s 联动开启相应防烟分区的全部排烟阀、排烟风机和补风设施、电动挡烟垂壁	—	GB 51251—2017 第 5.3.1 条 ^[7]
排烟系统	≤30 s 自动关闭与排烟无关的通风、空调系统 ≤60 s 或小于烟气充满储烟仓时间内联动自动排烟窗开	—	GB 51251—2017 第 5.2.3 条及 5.2.5 条、5.2.6 条 ^[7]
消防给水及消火栓系统	消防水泵接到起泵信号到水泵正常运转的自动启动时间≤2 min	机械应急启动时,应确保消防水泵在报警后≤5.0 min 正常工作	GB 50974—2014 第 11.0.2 条及 11.0.3 条 ^[8]
消防应急照明和疏散指示系统	① 高危险场所灯具应急点亮的响应时间≤0.25 s; ② 其他场所灯具应急点亮的响应时间≤5 s; ③ 具有两种及以上疏散指示方案的场所,标志灯光源点亮、熄灭的响应时间≤5 s	由发生火灾的报警区域开始,顺序启动全楼全楼疏散通道的消防应急照明和疏散指示系统,系统全部投入应急状态的启动时间≤5 s	GB 51309—2018 第 3.2.3 条 ^[9] 和 GB 50016—2013 第 4.9.2 ^[1] 条

3 消防联动控制系统联动控制逻辑及控制时序解决方案

3.1 联动控制时序原则

本文根据 GB 50166—2019 火灾自动报警系统施工及验收标准^[1]第 4.2.3 条规定,引入“控制时序”这个新的术语,编制相关联动控制逻辑设计文件和受控设备控制时序原则,使工程安装单位在系统调试前,对控制类设备进行联动编程及对控制类手动控制单元控制按钮或按键进行编码设置,并核查控制逻辑和控制时序是否符合系统联动控制逻辑设计文件的规定。

因现行国家规范中对时序控制无明确条文约定,经查 NFPA72—2019 国家火灾报警及信号规范(NFPA72, National Fire Alarm and signaling Code, 2019 edition^[10]),正向报警程序操作应符合以下要求(见该规范 23.8.1.2):

1) 为了启动正向报警程序操作,应在发出报警后 15 s 内由专业培训的人员在火灾控制单元上

对选择用于正向报警程序的自动火灾探测装置的信号进行确认。

2) 如信号在 15 s 内未被确认,应根据建筑物疏散或搬迁计划自动立即启动通知信号和远程控制信号。

3) 如果启动正向报警程序操作,受过培训的人员应具有长达 180 s 的报警调查阶段,以评估火灾状况并重置系统。

4) 如果报警调查阶段中系统未复位,应根据建筑物疏散或搬迁计划自动立即启动通知信号和远程控制信号。

5) 如果在调查阶段启动第二个用于正向报警程序的自动火灾探测器,应根据建筑物疏散或搬迁计划自动立即启动通知信号和远程控制信号。

6) 如启动其他火警触发装置,应根据建筑物疏散或搬迁计划自动立即启动通知信号和远程控制信号。

3.2 联动控制时序表

在火灾报警后经逻辑确认(或人工确认),消防

联动控制器按预设的控制时序启动相应消防系统（设施）。联动控制时序表如表 5 所示。

表 5 火灾确认后消防联动控制时序
Tab. 5 Fire linkage control sequence table after fire confirmation

标准	联动对象	备注
火灾确认第一阶段	一、疏散通道和区域设备 1) 排烟风机启动，联动打开报警点位置所在的防烟分区的电动排烟阀、其余防烟分区位置的电动排烟阀关闭同时开启补风机。 2) 正压风机启动，电动打开报警点位置所在的疏散通道和区域的电动正压送风阀或吹开正压送风百叶风口；打开防超压泄压阀。 3) 电动排烟窗开启：需形成防烟分区的电动通风窗关闭。 4) 手动或联动启动正压送风阀，应能启动正压送风风机。 5) 停止空调系统送风，关闭电动或自动 70℃防火阀。 6) 投入疏散通道和区域照明、疏散指示专用回路或应急电源。	
	二、形成防火分区防烟分区 1) 竖向、水平防火卷帘一步动作。 2) 关闭防火分隔用的电动常开防火门，防火分区内不同使用单位共用疏散通道上的常闭防火门失电打开；防火分区内门禁开启。 3) 水幕系统充水、放水，形成水幕。 4) 电动挡烟垂壁下降至指定位置。	
火灾确认第二阶段	三、其他系统 1) 启动雨淋系统(即预作用开式系统)。 2) 关闭燃气装置的电动供气阀。 3) 打开预作用闭式喷水灭火系统管道排气阀和进水电动阀。 4) 打开干式系统有压管道快速排气阀前的电动阀和进水电动阀。 5) 气体灭火系统、泡沫灭火系统在接收到首次报警信号后，应启动设置在防护区内的火灾声光报警器；接收到第二个联动触发信号后，应关闭防火门门窗。停空调系统通风及管路上电动防火阀，启动气体灭火装置、泡沫灭火装置不大于 30 s 的延迟喷射时间 1) 非消防照明报警区域视需要在消防水泵起泵前切断。 2) 消防电梯和非消防电梯皆降至首层或转换层，按需缓停自动扶梯。接收反馈信号。 3) 全楼消防广播投入运行，背景音响强切至消防广播状态；遥控开启扩音机，传声器能播音。 4) 泵类启动(消防栓泵、喷淋泵和清水-泡沫泵等)，反馈启动信号；打开管路电动排气阀。 5) 自动启动其他固定灭火系统，反馈启动信号；独立式固定灭火系统，应有信号发报警信号至消控中心。 6) 连通警报装置，警铃(蜂鸣器、声光报警器)与消防广播交替动作。 7) 随时手动启动(如有)相关部位的固定灭火系统。 8) 喷头开启后，水流指示器、压力开关和水力警铃动作，反馈信号。 9) 带闭式喷头的传动管传递火灾信号，启动泡沫喷淋系统。 10) 气体灭火装置、泡沫灭火装置发出喷射阶段指示气体喷洒的火灾声光报警器、系统动作。 11) CO ₂ 灭火系统两个独立的信号启动、系统动作	标准状态下； 非误报； 非反常动作； 非人为误动作
	火灾报警+人工确认火灾： 1) 任一只探测器动作+消防按钮动作。 2) 任一只探测器动作+水流指示器动作。 3) 任一只探测器动作+压力开关动作。 4) 任两只不同类型探测器动作，(如温感+烟感；烟感+红外线；烟感+火焰；烟感+线缆式等)。 5) 各类喷头动作。 6) 任一只探测器动作+人工确认火灾发生(如：手动开启电动排烟阀、电动正压送风阀或固定灭火系统)	

3.3 适用范围

适用于大型及超大型公共建筑，不适用于生产和贮存火药、炸药、弹药和火工品等场所设置的火灾自动报警系统逻辑时序控制设计。

4 工程实例：控制时序校验及系统优化

杭州西湖区 2020 年已建某大型城市综合体(建筑面积 23 万 m²，其中地上 13 万 m²，地下 10

万 m^2 ，业态包括商业、办公、美术馆及多功能厅)，地址点数 17 376 个点，消防控制室内配置 7 台报警主机(每台主机 16 个回路/每路 180 个点)，7 台联动外控直流电源(LD5803E 输出 30 A)。火灾自动报警及消防联动控制系统调试中，其中以线路敷设距离最远的一栋办公单体 C2 楼为模板，对其直流电源消防负载及系统控制时序进行校验。

建筑技术经济指标：C2 楼总建筑面积为 7 944.28 m^2 ，标准层建筑面积为 822.22 m^2 ，11F，一类高层，楼高 43 m。C2 楼火灾自动报警系统。地址点数 835 个，直流电源供电负载数(含 I/O 模块及声光报警器)为 138 个，其中声光报警器数量为 40 个，线路持续计算电流最大按 1 A 计。

外控直流电源干线规格校核：消防消控室沿负一层地下室消防桥架至 C2 楼最高一层(11F)竖井报警线路敷设距离为 271 m+42 m=313 m，消防控制室至 C2 楼竖井直流电源干线采用 10 mm^2 的铜芯电缆(线)，查表 3，直流电源主干线缆规格可以满足线路压降要求。

消防联动控制系统调试：消防施工单位编程时，未考虑到分时控制要求，模拟地上第 10F 为

着火层，控制室主机设为自动挡，该层两个独立的报警触发装置组合报警，经主机逻辑确认(或人工确认)后，主机联动全楼普通照明切除，点亮应急照明，电梯迫降，卷帘下降，打开着火层及上下两层正压送风口及走道排烟口，启动屋顶防排烟风机且同时启动全楼声光报警器或消防广播，此时测量最高一层(11F)主干直流电源线路电压最小值为 20.3 V(静态下测量线路末端电压为 24 V)。故线缆截面满足传输线径前提下，消防设备若和全楼声光报警同时启动会影响线路的压降。

优化：根据表 5，对上述控制时序进行优化调整，控制时序流程简图如下图所示。

根据逻辑时序流程图，在时序控制的第一阶段，测量 C2 楼最高一层(11F)主干直流电源线路末端电压最小值为 23.3 V>22.8 V，满足最大负荷同时启动状态下消防联动的正常工作电压。根据表 4 及下图，时序控制的第一阶段按 3 s 以内主机发出命令，第二阶段按延时 5~15 s 由主机发出命令执行。

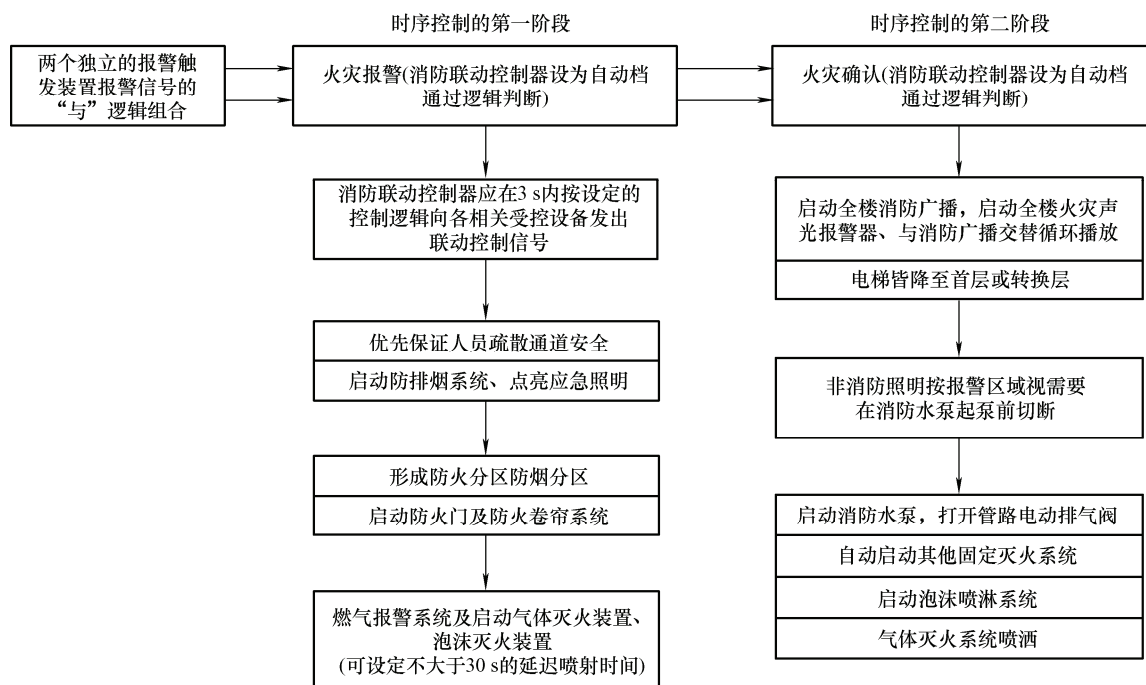


图 控制时序流程简图

Fig. Control sequence diagram

由此推算,按地上单个防火分区最大允许建筑面积 5 000 m²/地下汽车库单个防火分区最大允许建筑面积 4 000 m²(单个防火分区超过 4 000~5 000 m²需经专家论证)计,根据实际工程经验及厂家性能参数,火灾自动报警系统按 2 个总线回路、设备及控制模块数按 150 个配置,直流电源 30 A 供电最多 450 个 I/O 模块,正常情况下如采用上述时序控制,系统应能在 30 s 内启动相应联动设备,确保系统的正常运行。

5 结束语

合理及合规的消防电气设计能有效预防和减少火灾危害,保证消防设施正常安全可靠运行。本文针对超大型公共建筑项目,依据国家现行火灾自动报警系统施工及验收标准要求,编制火灾自动报警系统消防联动控制逻辑和控制时序原则,以确保火灾场景下联动系统的正常运行。

因现行国家火灾自动报警系统设计规范及建筑设计防火规范中,对超大城市综合体项目并无明确控制时序标准,及火灾报警和火灾确认的标准,也期望本文的观点起到一点抛砖引玉的作用,及早得到新版国家规范条文的支持。**EA**

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 火灾自动报警系统施工及验收标准: GB 50166—2019 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2019.
- [2] 中华人民共和国公安部. 公消【2016】113 号 加强超大城市综合体消防安全工作的指导意见[A]. 公安部消防局, 2016.4.

- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑电气设计标准: GB 51348—2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [4] 中国建筑标准设计研究院. 建筑电气常用数据: 19DX101-1[S]. 北京: 中国计划出版社, 2019.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 火灾自动报警系统设计规范: GB 50116—2013[S]. 北京: 中国计划出版社, 2013.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 消防联动控制系统: GB 16806—2006 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑防排烟系统技术标准: GB 51251—2017[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 消防给水及消火栓系统技术规范: GB 50974—2014[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 消防应急照明和疏散指示系统技术标准: GB 51309—2018[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
- [10] National fire alarm and signaling code: NFPA 72—2019[S].

作者简介:



张雪祁

张雪祁(1971—),女,本科,高级工程师,主要研究方向为供配电设计。

(收稿日期: 2021-02-11)