



消防安全现状评估技术与方法

第一节 消防安全现状评估常用方法

一、安全检查表法

（一）基本概念

在安全系统工程学科中,安全检查表是最基础最简单的一种系统安全分析方法。它不仅是为了事先了解与掌握可能引起系统事故发生的所有原因而实施的安全检查和诊断的一种工具,也是发现潜在危险因素的一个有效手段和用于分析事故的一种方法。

系统地对一个生产系统或设备进行科学的分析,从中找出各种不安全因素,确定检查项目,预先以表格的形式拟定好用于查明其安全状况的“问题清单”,作为实施时的蓝本,这样的表格就称为安全检查表。

（二）安全检查表的形式

1. 提问式

检查项目内容采用提问方式进行,提问式一般格式见表 3-1 和表 3-2。

表 3-1 ×××安全检查表(提问式 1)

序号	检查项目	检查内容(要点)	是“√”,否“×”	备注
检查人		时间		直接负责人

表 3-2 ×××安全检查表(提问式 2)

序号	检查项目			是“√”,否“×”	备注
检查人		时间		直接负责人	

2. 对照式

检查项目内容后面附上合格标准,检查时对比合格标准进行作答,对照式一般格式见表 3-3。

表 3-3 ×××安全检查表(对照式)

类别	序号	检查项目	合格标准	检查结果	备注
大类分项	编号	检查内容		“合格”打“√” “不合格”打“×”	

(三) 安全检查表的内容和要求

安全检查表的要求包括以下几个方面。

- (1) 应按专门的作业活动过程或某一特定的范畴进行编制。
- (2) 应全部列出可能造成事故的危险因素,通常从人、机、环境、管理四方面考虑。
- (3) 内容文字要简单、明了、确切。

(四) 安全检查表的作用

安全检查表的作用包括以下几个方面。

- (1) 根据不同的单位、对象和具体要求编制相应的安全检查表,可以实现安全检查的标准化和规范化。
- (2) 使检查人员能够根据预定的目的去实施检查,避免遗漏和疏忽,以便发现和查明各种问题和隐患。
- (3) 依据安全检查表检查,是监督各项安全规章制度的实施,制止“三违”的有效方法。
- (4) 安全检查表是安全教育的一种手段。
- (5) 检查表是主管安全部门和检查人员履行安检职责的凭证,有利于落实安全生产责任制,便于分清责任。
- (6) 安全检查表能够带动广大干部职工认真遵守安全纪律,提高安全意识,掌握安全知识,形成全员管安全的局面。

(五) 安全检查表的编制依据

安全检查表的编制依据包含以下几个方面。

1. 有关法律、法规、规章、标准、规程、规范及规定

为了保证安全生产,国家及有关部门发布了一些安全生产的法律、法规、规章、安全标

准及文件,这是编制安全检查表的一个主要依据。为了便于工作,有时可将检查条款的出处加注明,以便能尽快统一不同的意见。

2. 国内外事故案例及行业经验

前事不忘,后事之师,以往的事故教训和生产过程中出现的问题都曾付出了沉重的代价,有关的教训必须记取。因此,要收集国内外同行业及同类产品行业的事故案例,从中发掘出不安全因素,作为安全检查的内容。国内外及本单位在安全管理及生产中的有关经验,自然也是一项重要内容。

编制时,应认真收集以往发生的事故教训及使用中出现的問題,包括同行业及同类产品生产中事故案例和资料,把那些能导致发生工伤或损失的各种不安全状态都一一列举出来,此外还应参照对事故和安全操作规程等的研究分析结果,把有关基本事件列入检查表中。

3. 通过系统安全分析确定的危险部位及防范措施是制定安全检查表的依据

结合本单位的经验及具体情况的基础上进行系统安全分析得出的科学结论(确定的危险部位及防范措施)。系统安全分析的方法可以多种多样,如预先危险分析、可操作性研究、故障树等。

由管理人员、技术人员、操作人员和安技人员一起,共同总结本单位生产操作的实践经验,系统分析本单位各种潜在的危险因素和外界环境条件,从而编制出完美的检查表。

4. 相关的科学技术研究成果可作为制定安全检查表的依据

在现代信息社会和知识经济时代,知识的更新很快,编制安全检查表必须采用最新的知识和研究成果。包括新的方法、技术、法规和标准。

(六) 安全检查表的编制方法

安全检查表的编制一般采用经验法和系统安全分析法。

1. 经验法

找熟悉被检查对象的人员和具有实践经验的人员,以三结合的方式(工人、工程技术人员、管理人员)组成一个小组。依据人、物、环境的具体情况,根据以往积累的实践经验以及有关统计数据,按照规程、规章制度等文件的要求,编制安全检查表。

2. 系统安全分析法

根据编制的事故树的分析评价结果来编制安全检查表。通过事故树进行定性分析,求出事故树的最小割集,按最小割集中基本事件的多少,找出系统中的薄弱环节,以这些薄弱环节作为安全检查的重点对象,编制成安全检查表。

还可以通过对事故树的结构重要度分析、概率重要度分析和临界重要度分析,分别按事故树中基本事件的结构重要度系数、概率重要度系数和临界重要度系数的大小,编制安全全检查表。

(七) 安全检查表的编制与实施

1. 确定系统

确定系统是确定出所要检查的对象。检查的对象可大可小,它可以是某一工序,某个

工作地点,某一具体设备等。

2. 找出危险点

这一部分是制作安全检查表的关键,因检查表内的项目及内容都是针对危险因素而提出的,所以,找出系统的危险点至关重要。在找危险点时,可采用系统安全分析法及经验和实践等分析寻找。

3. 确定项目与内容编制成表

根据找出的危险点,对照有关制度、标准法规、安全要求等分类确定项目,并写出其内容,按检查表的格式制成表格形式。

4. 检查应用

放到现场实施检查时,要根据要点中所提出的内容,逐一地进行核对,并作出相应回答。

5. 整改

如果在检查中,发现现场的操作与检查内容不符,则说明这一点已存在事故隐患,应该马上给予整改,按检查表的内容实施。

6. 反馈

由于在安全检查表的制作中,可能存在某些考虑不周的情况。所以在检查应用过程中,若发现问题应马上向上汇报、反馈,进行补充完善。

(八) 安全检查表的优缺点及注意事项

1. 安全检查表的优点

(1) 安全检查表能够事先编制,可以做到系统化、科学化,不漏掉任何可能导致事故的因素,为事故树的绘制和分析做好准备。

(2) 可以根据现有的规章制度、法律、法规和标准规范等检查执行情况,容易得出正确的评估。

(3) 通过事故树分析和编制安全检查表,将实践经验上升到理论,从感性认识上升到理性认识,并用理论去指导实践,充分认识各种影响事故发生的因素的危險程度(或重要程度)。

(4) 安全检查表按照原因实践的重要顺序排列,有问有答,通俗易懂,能使人们清楚地知道哪些原因事件最重要,哪些次要,促进职工采取正确的方法进行操作,起到安全教育的作用。

(5) 安全检查表可以与安全生产责任制相结合,按不同的检查对象使用不同的安全检查表,易于分清责任,还可以提出改进措施,并进行检验。

(6) 安全检查表是定性分析的结果,是建立在原有的安全检查基础和安全系统工程之上的,简单易学,容易掌握,符合我国现阶段的实际情况,为安全预测和决策提供坚实的基础。

2. 安全检查表的缺点

- (1) 只能做定性的评价,不能定量。
- (2) 只能对已经存在的对象评价。
- (3) 编制安全检查表的难度和工作量大。
- (4) 要有事先编制的各类检查表,有赋分、评级标准。

3. 使用安全检查表时的注意事项

- (1) 应用安全检查表实施检查时,应落实安全检查人员。

企业厂级日常安全检查,可由安全技术部门现场人员和安全监督巡检人员会同有关部门联合进行。车间的安全检查,可由车间主任或指定车间安全员检查。岗位安全一般指定专人进行。检查后应签字并提出处理意见备查。

- (2) 为保证检查的有效定期实施,应将检查表列入相关安全检查管理制度,或制定安全检查表的实施办法。

(3) 应用安全检查表检查,必须注意信息的反馈及整改。对查出的问题,凡是检查者当时能督促整改和解决的应立即解决;当时不能整改和解决的应进行反馈登记、汇总分析由有关部门列入计划安排解决。

- (4) 应用安全检查表检查,必须按编制的内容,逐项、逐内容、逐点检查。有问必答、有点必检,按规定的符号填写清楚。为系统分析及安全评价提供可靠准确的依据。

(九) 案例分析

××厂为做好汽车库防火,拟制定安全检查表。

- (1) 确定系统——“手持灭火器”安全检查表。

当系统确定以后,就应针对所确定的系统,通过标准法规、经验教训、安全要求等,找出系统的危险点。

- (2) 找出危险点。

- ① 数量不够。
- ② 放置位置不当,难于被人看到。
- ③ 通往灭火器的通道不畅通。
- ④ 灭火器失效。
- ⑤ 灭火器选型不当。
- ⑥ 大家不熟悉灭火器的操作。
- ⑦ 禁止使用的灭火器类型未更换。
- ⑧ 未在所规定的地点都配上灭火器。
- ⑨ 有可能冻结的灭火器未采取防冻措施。
- ⑩ 用过的或损坏的灭火器未更换。
- ⑪ 工作人员不知道自己工作区域内的灭火器放置位置。
- ⑫ 车库内无必备的灭火器。

(3) 确定项目与内容,编制成表,见表 3-4。

表 3-4 手持式灭火器安全检查表

序号	检 查 项 目	是“√”,否“×”	备注
1	手持灭火器的数量足够吗?		
2	任何人都能迅速看到灭火器吗?		
3	通往灭火器的通道畅通无阻吗?		
4	每个灭火器都有有效的检查标志吗?		
5	灭火器对所要扑灭的火灾适用吗?		
6	每个人都熟悉灭火器的操作吗?		
7	禁止使用的四氯化碳灭火器已被其他类型灭火器更换了吗?		
8	在规定的所有地点都配备灭火器了吗?		
9	灭火剂有可能冻结的灭火器采取防冻措施了吗?		
10	能保证用过的或损坏的灭火器及时地更换吗?		
11	每个人都知道自己工作区域内灭火器放置何处吗?		
12	汽车库内有必备的手持灭火器吗?		

二、预先危险性分析法

(一) 基本概念

预先危险性分析也称初始风险分析,是安全评估的一种方法。预先危险性分析(Preliminary Hazard Analysis,PHA)是一种起源于美国军用标准安全计划要求的方法,主要用于对危险物质和装置的主要区域等进行分析,包括设计、施工和生产前,在一个系统或子系统(包括设计、施工、生产)运转之前,首先对系统中存在的危险性类别、出现条件、导致事故的后果进行分析,其目的是识别系统中的潜在危险,确定其危险等级,防止危险发展成事故。

预先危险分析可以达到以下四个目的。

- (1) 大体识别与系统有关的主要危险。
- (2) 鉴别产生危险的原因。
- (3) 预测事故发生对人员和系统的影响。
- (4) 判别危险等级,并提出消除或控制危险性的对策措施。

预先危险分析方法通常用于对潜在危险了解较少和无法凭经验觉察的工艺项目的初期阶段。通常用于初步设计或工艺装置的研究和开发,当分析一个庞大的现有装置或受环境所限无法使用更合适的方法时,常优先考虑 PHA 法。

(二) 预先危险性分析的评价步骤

- (1) 通过经验判断、技术诊断或其他方法调查确定危险源(即危险因素存在于哪个子

系统中),对所分析系统的生产目的、物料、装置及设备、工艺过程、操作条件以及周围环境等进行详细的调查了解。

(2) 根据经验教训及同类行业生产中发生的事故(或灾害)情况,对系统的影响、损坏程度,类比判断所要分析的系统中可能出现的情况,查找能够造成系统故障、物质损失和人员伤害的危险性,分析事故(或灾害)的可能类型。

(3) 对确定的危险源分类,制成预先危险性分析表。

(4) 转化条件,即研究危险因素转变为危险状态的触发条件和危险状态转变为事故(或灾害)的必要条件,并进一步寻求对策措施,检验对策措施的有效性。

(5) 进行危险性分级,排列出重点和轻、重、缓、急次序,以便处理。

(6) 制定事故(或灾害)的预防性对策措施。

在分析系统危险性时,为了衡量危险性的大小及其对系统破坏性的影响程度,一般将预先危险性分析及各类危险性划分为四个等级,见表 3-5。

表 3-5 危险性等级的划分

级别	危险程度	可能导致的后果
I	安全的	不会造成人员伤亡及系统损坏
II	临界的	处于事故的边缘状态,暂时还不至于造成人员伤亡、系统损坏或降低系统性能,但应予以排除或采取控制措施
III	危险的	会造成人员伤亡和系统损坏,要立即采取防范措施
IV	灾难性的	造成人员重大伤亡及系统严重破坏的灾难性事故,必须果断排除并进行重点防范

(三) 预先危险性分析格式

1. 预先危险性分析的基本格式

预先危险性分析可采用表格形式进行归纳。所用表格格式以及分析内容,可根据预先危险性分析的实际情况确定。此处介绍两种预先危险性分析的基本格式。

(1) 预先危险性分析工作的典型格式表

预先危险性分析工作的典型格式表,见表 3-6。其编制过程是:第一,要了解系统的基本目的、工艺过程、控制条件及环境因素等;第二,将整个系统划分为若干个子系统(单元);第三,参照同类产品或类似的事故教训及经验,查明分析单元可能出现的危险或有害因素;第四,确定可能出现危险的起因;第五,提出消除或控制危险的对策,在危险不能完全有效控制的情况下,采用损失最少的预防方法。

表 3-6 预先危险性分析工作的典型格式

地区(单元): _____ 会议日期: _____ 图号: _____ 小组成员: _____					
意外事故	阶段	原因	后果	危险等级	对策
简要的 事故名称	危害发生的阶段,如生产、试验、运输、维修、运行等	产生危害 的原因	对人员及 设备的危害		消除、减少或控制危害的措施

(2) 预先危险性分析工作表的通用格式

预先危险性分析工作表的通用格式,采用固定项统计格式,便于计算机管理,见表 3-7。表中所标注的数字为固定统计项。

表 3-7 预先危险性分析工作表的通用格式

系统—1 子系统—2 状态—3 编号: 日期:				预先危险性分析表			制表者:	制表单位:
潜在危险	危险因素	触发事件 (1)	发生条件	触发事件 (2)	事故后果	危险等级	防范措施	备注
4	5	6	7	8	9	10	11	12

表 3-7 中各栏目的填写内容:在栏目 1 中填入所要分析的子系统归属的车间或工段的名称;在栏目 2 中填入所要分析的子系统的名称;在栏目 3 中填入子系统处于何种状态或运行方式;在栏目 4 中填入子系统可能发生的潜在危害;在栏目 5 中填入产生潜在危害的原因;在栏目 6 中填入导致产生“栏目 5 危险因素”的那些不希望发生的事件或错误;在栏目 7 中填入使“栏目 5 危险因素”发展成为潜在危害的那些不希望发生的错误或事件;在栏目 8 中填入导致产生“发生事故的条件栏目 7”的那些不希望发生的时间及错误;在栏目 9 中填入事故后果;在栏目 10 中填入危险等级;在栏目 11 中填入为消除或控制危害可能采取的措施,其中包括对装置、人员、操作程序等方面的考虑;在栏目 12 中填入有关必要说明的内容。

2. 预先危险性分析改良格式

表 3-8 是预先危险性分析的一种改良表格形式。火灾风险定性评估的最终结果以风险等级表征。火灾风险等级确定主要是针对那些易发生火灾的关键部位,确定出减少和清除发生的可能性及发生后损失的最佳方法。表 3-9 和表 3-10 摘录自澳大利亚/新西兰防火标准 AS/NZS 4360,分别给出定性后果分级和频率分级,由定性后果和频率的等级可以得到定性风险矩阵,见表 3-11。

表 3-8 预先危险性分析表格形式

1	2	3	4	5	6	7	8	9
引发火灾事故的子事件	运作形式	故障模式	概率估计 (基于经验)	危害状况	影响分析	危险等级	预防措施	确认

表 3-9 结果的定性分析

等 级	描述词	描述词的详例
1	无关紧要	无人受伤,低经济损失
2	较小	患者急救处理,中等经济损失
3	中等	伤者需要医疗救护,较大经济损失
4	较大	伤者较多,很大的经济损失
5	灾难	有人死亡,巨大的经济损失

表 3-10 概率的定性分析

等 级	描述词	详 述
A	基本确定	在大多数情况下会发生
B	很可能	在大多数情况下不可能发生
C	可能	在某一时刻会发生
D	不太可能	在某一时刻可能会发生
E	几乎不可能	异常情况下会发生

表 3-11 定性风险矩阵模型

可能性	造成后果				
	无关紧要 1	较小 2	中等 3	较大 4	灾难 5
A	H	H	N	N	N
B	M	H	H	N	N
C	L	M	H	N	N
D	L	L	M	H	N
E	L	L	M	H	H

注：N——风险极大，需要立刻采取行动；H——风险性高，需要引起上级的高度重视；M——中等风险性，需要指定人员负责处理；L——低风险性，需要日常定期维护管理。

三、事故树分析方法

（一）基本概念

事故树分析(Fault Tree Analysis, FTA)又称故障树分析,是安全系统工程最重要的分析方法之一。该方法是一种演绎推理法,由事故树演绎推理事故过程和原因的评估方法。这种方法把系统可能发生的某种事故与导致事故发生的各种原因之间的逻辑关系用一种称为事故树的树形图表示,通过对事故树的定性定量分析,找出事故发生的主要原因,为确定安全对策提供可靠依据。事故树评估方法是具体运用运筹学原理对事故原因和结果进行逻辑分析的方法。事故树分析方法先从事故开始,逐层次向下演绎,将全部出现的事件,用逻辑关系联成整体,将能导致事故的各种因素及相互关系,作出全面、系统、简明和形象的描述。

事故树分析的目的:①查找事故原因,以避免或减少事故的发生。②对导致灾害事故的各种因素及逻辑关系作出全面、简洁和形象的描述。③便于查明系统内固有的或潜在的各种危险因素,为设计、施工和管理提供科学依据。④使有关人员、作业人员全面了解和掌握各项防灾要点。⑤便于进行逻辑运算,进行定性、定量分析和系统评价。

事故树定义:树是一个无圈的连通图,事故树是从结果到原因描绘事故发生的有向逻辑

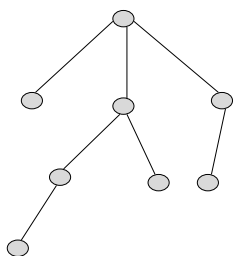


图 3-1 事故树的结构示意图

辑树,形似倒立着的树。“根部”(顶点)表示系统的某一事故;“树杈”(中间节点)表示事故的中间原因;“梢”(叶节点)表示事故发生的基本原因;树中的节点具有逻辑判别性质,用不同逻辑门表示。如图 3-1 所示。

(二) 事故树的符号及其意义

事故树采用的符号包括事件符号、逻辑门符号和转移符号三大类。

1. 事件符号

事件符号示意图如图 3-2 所示。

(1) 矩形符号。表示顶上事件或中间事件,即需要向下分析的事件。顶上事件一定要明确定义,不能笼统、含糊。如图 3-2(a)所示。

(2) 圆形符号。表示基本原因事件。即最基本的不可再向下分析的事件,一般表示缺陷事件。如图 3-2(b)所示。

(3) 屋形符号。表示正常事件,即系统在正常状态下发挥正常功能的事件,如图 3-2(c)所示。

(4) 菱形符号。有两种含义:①省略事件,即没有必要详细分析其原因尚不明确的事件;②二次事件,即来自系统之外的原因事件,如图 3-2(d)所示。

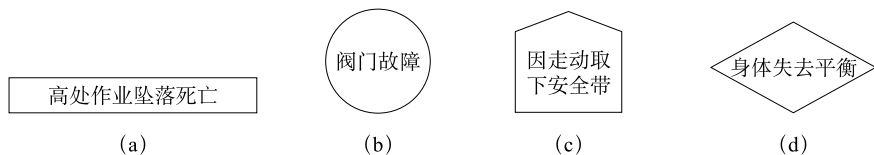


图 3-2 事件符号示意图

上述圆形符号、屋形符号、菱形符号表示的事件都属于基本事件,不必再向下分析。

2. 逻辑门及其符号

逻辑门及其符号如图 3-3 所示。

逻辑门是连接各事件并表示其逻辑关系的符号。

(1) 与门(AND gate)。表示输入事件 $E_1, E_2, \dots, E_n$ 都发生时,输出事件 A 才发生。如图 3-3(a)所示。其逻辑表达式为:

$$A = E_1 \cdot E_2 \cdots E_n \text{ (逻辑乘)}$$

(2) 条件与门。表示输入事件 $E_1, E_2, \dots, E_n$ 同时发生,且满足条件 α 时,事件 A 发生。如图 3-3(b)所示。其逻辑表达式为:

$$A = E_1 \cdot E_2 \cdots E_n \cdot \alpha$$

(3) 或门(OR gate)。表示输入事件 $E_1, E_2, \dots, E_n$ 中任意一个发生时,输出事件 A 就会发生。如图 3-3(c)所示。其逻辑表达式为:

$$A = E_1 + E_2 + \cdots + E_n \text{ (逻辑和)}$$

(4) 条件或门。表示输入事件 $E_1, E_2, \dots, E_n$ 任一事件发生,还必须满足条件 β 时,输出事件 A 才会发生。如图 3-3(d)所示。其逻辑表达式为:

$$A = (E_1 + E_2 + \dots + E_n) \cdot \beta$$

(5) 限制门。逻辑上的一种修饰符号,即当输入事件 E 发生且满足事件 α 时,才产生输出事件 A 。如图 3-3(e)所示。其逻辑表达式为:

$$A = E \cdot \alpha$$

其他逻辑门还有:非门、排斥或门、优先与门、表决门等。

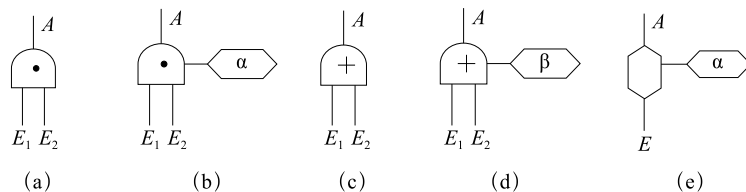


图 3-3 逻辑门及其符号示意图

3. 转移符号

转移符号示意图如图 3-4 所示。

表示部分树的转入和转出。主要用在:①当故障树规模很大,一张图样不能绘出树的全部内容,需要在其他图样上继续完成时。②整个树中多处包含同样的部分树。

(1) 转出符号。表示故障树的这部分向其他部分转出。如图 3-4(a)。

(2) 转入符号。表示来自于“转出”相对应的转入。如图 3-4(b)。

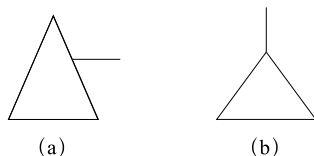


图 3-4 转移符号示意图

三角形内应标出向何处转出或何处转入。有多处转移时,三角形内要对应标明数码。

(三) 事故树分析的步骤和优点及应用

1. 事故树分析的步骤

(1) 编制故障树

- ① 确定所分析的系统,即确定系统所包括的内容及其边界范围。
- ② 熟悉所分析的系统,即熟悉系统的整体情况。
- ③ 调查系统发生的各类事故,收集、调查所分析系统或其他同类系统过去及现在发生的所有事故以及将来可能发生的事故。
- ④ 确定事故树的顶上事件,综合考虑事故发生的频率和事故损失的严重程度这两个参数来确定。
- ⑤ 调查与顶上事件有关的所有原因事件。
- ⑥ 事故树作图。从顶上事件起,逐级分析各自的直接原因事件,用逻辑门连接上下层事件,直至所要求的分析深度,最后就形成一株倒置的逻辑树形图。图 3-5 给出了初期灭火失败的事故树分析图。

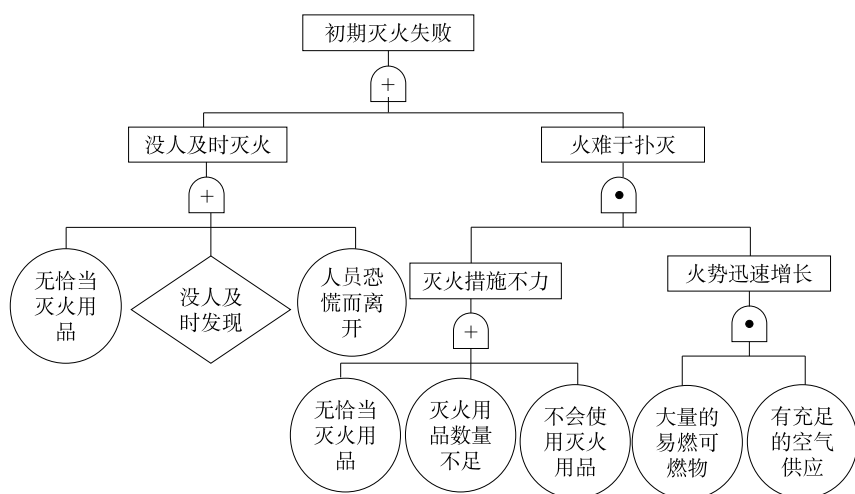


图 3-5 初期灭火失败的事故树分析图

(2) 事故树定性分析

① 利用布尔代数化简事故树,求取事故树的最小割集或最小径集。

② 进行结构重要度分析。

(3) 事故树定量分析

① 确定各基本原因事件的发生概率。

② 计算事故树顶上事件发生概率,并验证计算结果的正确性。

③ 进行概率重要度和临界重要度分析。

(4) 制定事故预防对策

根据分析结论并结合本企业的实际情况,制订具体、切实可行的预防措施。

2. 事故树分析的优点及应用

(1) 优点

① 既能找到引起事故的直接原因,又能揭示事故发生的潜在原因,本质原因。

② 逻辑性强,灵活性高,适应范围广。

③ 既可定性分析,又可定量分析。

④ 简单适用,宜于推广。

(2) 应用

可用来分析事故,特别是重大恶性事故的因果关系。可进行事故的调查分析、系统的危险性评价、事故的预测、安全措施优化决策、系统安全性设计等很多方面。

(四) 事故树的定性分析

1. 割集和最小割集

在事故树中,我们把引起顶上事件发生的基本事件的集合称为割集,也称截集或截止集。一个事故树中的割集一般不止一个,在这些割集中,凡不包含其他割集的,叫作最小

割集。换言之,如果割集中任意去掉一个基本事件后就不是割集,那么这样的割集就是最小割集。所以,最小割集是引起顶上事件发生的充分必要条件。

简单的事故树,可以直接观察出它的最小割集。但是,对一般的事故树来说,就不易判断,对于大型复杂的事故树来说就更难。这时,就需要借助某些算法,并需要应用计算机进行计算。求最小割集的常用方法有布尔代数法、行列法、矩阵法等。

用布尔代数法计算最小割集,通常分三个步骤:①建立事故树的布尔表达式。②将布尔表达式化为析取标准式。③化析取标准式为最简析取标准式。

化简最普通的方法是当求出割集后,对所有割集逐个进行比较,使之满足最简析取标准式的条件。但当割集的个数及割集中的基本事件个数较多时,这种方法不但费时,而且效率低。所以常用素数法或分离重复事件法进行化简。

最小割集在事故树分析中起着非常重要的作用,归纳起来有三个方面。

(1) 表示系统的危险性。最小割集的定义明确指出,每一个最小割集都表示顶上事件发生的一种可能,事故树中有几个最小割集,顶上事件发生就有几种可能。从这个意义上讲,最小割集越多,说明系统的危险性越大。

(2) 表示顶上事件发生的原因组合。事故树顶上事件发生,必然是某个最小割集中基本事件同时发生的结果。一旦发生事故,就可以方便地知道所有可能发生事故途径,并可以逐步排除非本次事故的最小割集,而较快地查出本次事故的最小割集,这就是导致本次事故的基本事件的组合。显而易见,掌握了最小割集,对于掌握事故的发生规律,调查事故发生的原因有很大的帮助。

(3) 为降低系统的危险性提出控制方向和预防措施。每个最小割集都代表了一种事故模式。由事故树的最小割集可以直观地判断哪种事故模式最危险,哪种次之,哪种可以忽略,以及如何采取措施使事故发生概率下降。

2. 径集与最小径集

在事故树中,当所有基本事件都不发生时,顶上事件肯定不会发生。然而,顶上事件不发生常常并不要求所有基本事件都不发生,而只要某些基本事件不发生,则顶上事件就不会发生。这些不发生的基本事件的集合称为径集,也称通集或路集。在同一事故树中,不包含其他径集的径集称为最小径集。如果径集中任意去掉一个基本事件后就不再是径集,那么该径集就是最小径集。所以,最小径集是保证顶上事件不发生的充分必要条件。

求最小径集的方法一般采用对偶树法。根据对偶原理,成功树的顶上事件发生,就是其对偶树(事故树)顶上事件不发生。因此,求事故树最小径集的方法是首先将事故树转换成其对偶的成功树,然后求出成功树的最小割集,即是所求事故树的最小径集。

将事故树变为成功树的方法是将原事故树中的逻辑或门改成逻辑与门,将逻辑与门改成逻辑或门,并将全部事件变成事件补的形式,这样便可得到与原事故树对偶的成功树。

最小径集在事故树分析中的作用与最小割集同样重要,主要表现在以下两个方面。

(1) 表示系统的安全性。最小径集表明,一个最小径集中所包含的基本事件都不发生,就可防止顶上事件发生。可见,每一个最小径集都是保证事故树顶上事件不发生条件,是采取预防措施,防止发生事故的一种途径。从这个意义上来说,最小径集表示了系统的安全性。

(2) 选取确保系统安全的最佳方案。每一个最小径集都是防止顶上事件发生的一个方案,可以根据最小径集中所包含的基本事件个数的多少、技术上的难易程度、耗费的时间以及投入的资金数量,来选择最经济、最有效地控制事故的方案。

(五) 事故树的定量分析

1. 计算事故树顶上事件的发生概率

事故树的定量分析首先是确定基本事件的发生概率,然后求出事故树顶上事件的发生概率。求出顶上事件的发生概率之后,可与系统安全目标值进行比较和评价,当计算值超过目标值时,就需要采取防范措施,使其降至安全目标值以下。

基本事件的发生概率包括系统的单元(部件或元件)故障概率及人的失误概率等,在工程上计算时,往往用基本事件发生的频率来代替其概率值。

设有事件 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 与顶上事件的发生是“或门”连接,且相互间是独立的,则顶上事件的发生概率为

$$P(A_1 + A_2 + \dots + A_n) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P(A_i)]$$

设有事件 $A, B, \dots, N$ 与顶上事件的发生是“与门”连接,且相互间是独立的,则顶上事件的发生概率为

$$P(ABC \dots N) = P(A) \cdot P(B) \cdot P(C) \dots P(N)$$

若事件 A, B 与顶上事件的发生是“与门”连接,且 A, B 互为条件,则顶上事件的发生概率为

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B|A) = P(B) \cdot P(A|B)$$

2. 结构重要度分析

从事故树结构上分析各基本事件的重要程度,即分析各基本事件的发生对顶上事件的发生所产生的影响程度。结构重要度分析经常采用一种简化算法,即假定各基本事件的发生概率都相等,每个基本事件对顶上事件发生的贡献程度。

结构重要度分析可采用两种方法:①求结构重要系数。②利用最小割集或最小径集判断重要度。前者精确,但烦琐;后者简单,但不够精确。

由于 n 个事件两种状态的组合数共有 2^n 个。把 X_i 作为变化对象,其他事件的状态保持不变的对应组共 2^{n-1} 个。在这些组中共有多少对应组是第二种情况,这个比值就是该事件 X_i 的结构重要系数 $I(i)$,用公式表示为

$$I_{\varphi}(i) = \frac{1}{2^{n-1}} \sum [\varphi(1_i, x) - \varphi(0_i, x)]$$

四、事件树分析方法

(一) 基本概念

事件树分析(Event Tree Analysis, ETA)起源于决策树分析(DTA),它是一种按事

故发展的时间顺序由初始事件开始推论可能的后果,从而进行危险源辨识的方法。事件树分析也称为事故过程分析,其实质是利用逻辑思维的规律和形式,分析事故的起因、发展和结果的整个过程。

事件树分析法是一种时序逻辑的事故分析方法,它以一起初始事件为起点,按照事故的发展顺序,分成阶段,一步一步地进行分析。每一事件可能的后续事件只能取完全对立的两种状态(成功或失败,正常或故障,安全或危险等)之一的原则,逐步向结果方面发展,直到达到系统故障或事故为止。它既可以定性地了解整个事件的动态变化过程,又可以定量计算出各阶段的概率,最终了解事故发展过程中各种状态的发生概率。

(二) 事件树分析法的作用

(1) ETA 可以事前预测事故及不安全因素,估计事故的可能后果,寻求最经济的预防手段和方法。

(2) 事后用 ETA 分析事故原因,十分方便明确。

(3) ETA 的分析资料既可作为直观的安全教育资料,也有助于推测类似事故的预防对策。

(4) 当积累了大量事故资料时,可采用计算机模拟,使 ETA 对事故的预测更为有效。

(5) 在安全管理上用 ETA 对重大问题进行决策,具有其他方法所不具备的优势。

(三) 事件树的编程序

1. 确定初始事件

事件树分析是一种系统地研究作为危险源的初始事件如何与后续事件形成时序逻辑关系而最终导致事故的方法。正确选择初始事件十分重要。初始事件是事故在未发生时,其发展过程中的危害事件或危险事件。可以用两种方法确定初始事件:①根据系统设计、系统危险性评价、系统运行经验或事故经验等确定。②根据系统重大故障或事故树分析,从其中间事件或初始事件中选择。

2. 判定安全功能

系统中包含许多安全功能,在初始事件发生时消除或减轻其影响以维持系统的安全运行。常见的安全功能列举如下。对初始事件自动采取控制措施的系统,如自动停车系统等;提醒操作者初始事件发生了的报警系统;根据报警或工作程序要求操作者采取的措施;缓冲装置,如减振、压力泄放系统或排放系统等;局限或屏蔽措施等。

3. 绘制事件树

从初始事件开始,按事件发展过程自左向右绘制事件树,用树枝代表事件发展途径。首先考察初始事件一旦发生时最先起作用的安全功能,把可以发挥功能的状态画在上面的分枝,不能发挥功能的状态画在下面的分枝。然后依次考察各种安全功能的两种可能状态,把发挥功能的状态(又称成功状态)画在上面的分枝,把不能发挥功能的状态(又称失败状态)画在下面的分枝,直至到达系统故障或事故为止。事件树编制过程如图 3-6 所示。

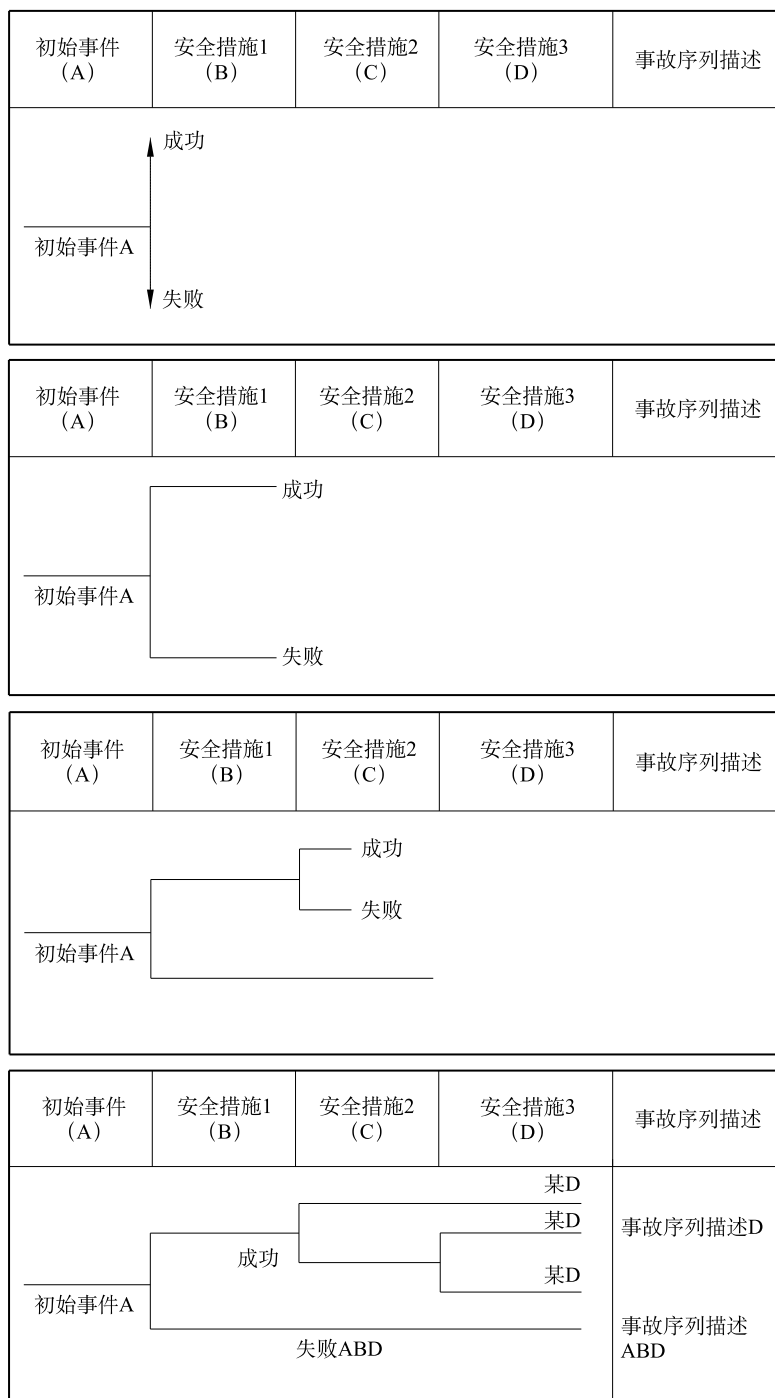


图 3-6 编制事件树过程

4. 简化事件树

在绘制事件树的过程中,可能会遇到一些与初始事件或与事故无关的安全功能,或者

其功能关系相互矛盾、不协调的情况,需用工程知识和系统设计的知识予以辨别,然后从树枝中去掉,即构成简化的事件树。

在绘制事件树时,要在每个树枝上写出事件状态,树枝横线上面写明事件过程内容特征,横线下注明成功或失败的状况说明。

(四) 事件树的定性分析

事件树定性分析在绘制事件树的过程中就已进行,绘制事件树必须根据事件的客观条件和事件的特征做出符合科学性的逻辑推理,用与事件有关的技术知识确认事件可能状态,所以在绘制事件树的过程中就已对每一发展过程和事件发展的途径做了可能性的分析。

事件树画好之后的工作,就是找出发生事故的途径和类型以及预防事故的对策。

1. 找出事故连锁

事件树的各分枝代表初始事件一旦发生其可能的发展途径。其中,最终导致事故的途径即为事故连锁。一般地,导致系统事故的途径有很多,即有许多事故连锁。事故连锁中包含的初始事件和安全功能故障的后续事件之间具有“逻辑与”的关系,显然,事故连锁越多,系统越危险;事故连锁中事件越少,系统越危险。

2. 找出预防事故的途径

事件树中最终达到安全的途径指导我们如何采取措施预防事故。在达到安全的途径中,发挥安全功能的事件构成事件树的成功连锁。如果能保证这些安全功能发挥作用,则可以防止事故。一般地,事件树中包含的成功连锁可能有多个,即可以通过若干途径来防止事故发生。显然,成功连锁越多,系统越安全,成功连锁中事件树越少,系统越安全。

(五) 事件树的定量分析

事件树定量分析是指根据每一事件的发生概率,计算各种途径的事故发生概率,比较各个途径概率值的大小,做出事故发生可能性序列,确定最易发生事故的途径。一般地,当各事件之间相互统计独立时,其定量分析比较简单。当事件之间相互统计不独立时,则定量分析变得非常复杂。这里仅讨论前一种情况。

1. 各发展途径的概率

各发展途径的概率等于自初始事件开始的各事件发生概率的乘积。

2. 事故发生概率

事件树定量分析中,事故发生概率等于导致事故的各发展途径的概率和。

定量分析要有事件概率数据作为计算的依据,而且事件过程的状态又是多种多样的,一般都因缺少概率数据而不能实现定量分析。

3. 事故预防

事件树分析把事故的发生发展过程表述得清楚而有条理,对设计事故预防方案,制定事故预防措施提供了有力的依据。

从事件树上可以看出,最后的事故是一系列危害和危险的发展结果,如果中断这种发展过程就可以避免事故发生。因此,在事故发展过程的各阶段,应采取各种可能措施,控制事件的可能性状态,减少危害状态出现概率,增大安全状态出现概率,把事件发展过程引向安全的发展途径。

采取在事件不同发展阶段阻截事件向危险状态转化的措施,最好在事件发展前期过程实现,从而产生阻截多种事故发生的效果。但有时因为技术经济等原因无法控制,这时就要在事件发展后期过程采取控制措施。显然,要在各条事件发展途径上都采取措施才行。

(六) 事件树分析应用实例

天然气泄漏遇到点火源会着火,引发火灾甚至是燃爆事故。具体分析如图 3-7 所示。

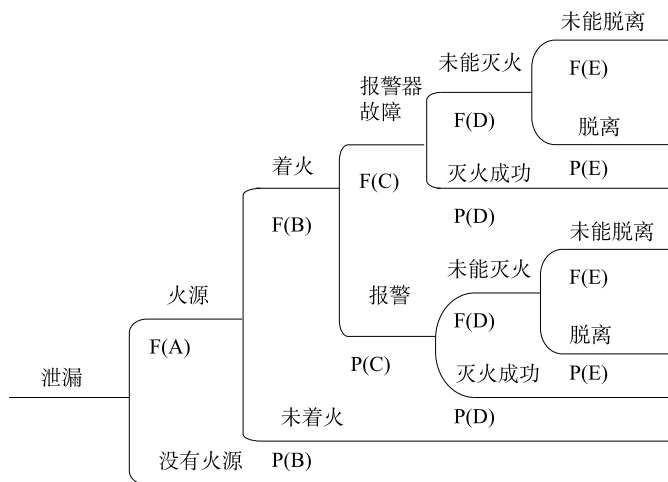


图 3-7 天然气泄漏着火事件树分析示意图

五、专家评分综合评估法

专家评分综合评估法的基本步骤:首先建立消防安全评估指标体系,然后根据不同层次评估指标的特性,选择合理的评估方法,按照不同的风险因素确定风险概率(评分值);根据各风险因素对评估目标的影响程度,进行定量或定性的分析和计算,确定各风险因素的风险等级。

(一) 构建评价指标体系

火灾风险评估的过程,就是探索各影响因素之间动态变化的过程。在这些影响因素之间,既有有利因素,也有不利因素。火灾风险评估的结果就是不利因素与有利因素动态博弈的结果。消防安全涉及许多因素,评估指标体系的构建,就是最大限度地确定这些影响因素,以及综合考虑各种影响因素之间的相互作用。风险评估的核心问题是建立评估

指标体系问题,评估指标体系的构建是否科学、合理,直接关系到评估的信度和效度。因此,构建评估指标体系或确定影响因素是火灾风险评估的首要工作。

(二) 风险因素量化及处理

考虑人的判断能力的不确定性和个体的认识差异,评分值的设计采用一个分值范围,由参加评估的团队人员运用集体决策的思想,根据所建立的指标体系,按照对安全有利的情况,进行了评分,越有利得分越高,从而降低不确定性和认识差异对结果准确性的影响。然后根据模糊集值的统计方法,通过计算得出统一的结果。

(三) 模糊集值统计

对于评估指标 u_i ,专家 p_j 依据其评估标准和对该指标有关情况的了解给出一个特征值区间 $[a_{ij}, b_{ij}]$,由此构成一集值统计系列: $[a_{i1}, b_{i1}], [a_{i2}, b_{i2}], \dots, [a_{ij}, b_{ij}], \dots, [a_{mq}, b_{mq}]$,见表 3-12。

表 3-12 评估指标特征值的估计区间

专家 \ 评估	评 估 指 标					
	u_1	u_2	$\dots$	u_j	$\dots$	u_m
p_1	$[a_{11}, b_{11}]$	$[a_{21}, b_{21}]$	$\dots$	$[a_{j1}, b_{j1}]$	$\dots$	$[a_{m1}, b_{m1}]$
p_2	$[a_{12}, b_{12}]$	$[a_{22}, b_{22}]$	$\dots$	$[a_{j2}, b_{j2}]$	$\dots$	$[a_{m2}, b_{m2}]$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
p_j	$[a_{1j}, b_{1j}]$	$[a_{2j}, b_{2j}]$	$\dots$	$[a_{jj}, b_{jj}]$	$\dots$	$[a_{mj}, b_{mj}]$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
p_q	$[a_{1q}, b_{1q}]$	$[a_{2q}, b_{2q}]$	$\dots$	$[a_{jq}, b_{jq}]$	$\dots$	$[a_{mq}, b_{mq}]$

则评估指标 u_i 的特征值可按下式进行计算,即

$$x_i = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^q [b_{ij}^2 - a_{ij}^2] / \sum_{j=1}^q [b_{ij} - a_{ij}] \quad (3-1)$$

式中: $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, q$ 。

(四) 指标权重确定

目前,国内外常用评估指标权重的方法主要有专家打分法(即 Delphi 法)、集值统计迭代法、层次分析法等、模糊集值统计法。下面介绍采用专家打分法确定指标权重,这种方法是分别向若干专家(一般以 10~15 名为宜)咨询并征求意见,来确定各评估指标的权重系数。

设第 j 个专家给出的权重系数为 $\lambda_{1j}, \lambda_{2j}, \dots, \lambda_{ij}, \dots, \lambda_{mj}$ 。

若其平方和误差在其允许误差 ϵ 的范围内,即

$$\max_{1 \leq j \leq n} \left[\sum_{i=1}^m \left(\lambda_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} \right)^2 \right] \leq \epsilon \quad (3-2)$$

则

$$\bar{\lambda} = \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \lambda_{1j}, \dots, \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \lambda_{ij}, \dots, \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \lambda_{mj} \right) \quad (3-3)$$

为满意的权重系数集。否则,对一些偏差大的 λ_i 再征求有关专家意见进行修改,直到满意为止。

(五) 风险等级判断

根据基本指标的分值范围,可以通过下述公式计算上层指标的风险分值。

$$x_i = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^q [b_{ij}^2 - a_{ij}^2] / \sum_{j=1}^q [b_{ij} - a_{ij}] \quad (3-4)$$

式中: $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, q$ 。

最终应用线性加权方法计算火灾风险度,即

$$R = \sum_{i=1}^n W_i \times F_i \quad (3-5)$$

式中: R ——上层指标火灾风险;

W_i ——下层指标权重;

F_i ——下层指标评估得分。

根据 R 值的大小可以确定评估目标所处的风险等级。

(六) 风险分级

在设定量化范围的基础上结合中华人民共和国公安部 2007 年下发的《关于调整火灾等级标准的通知》中的火灾事故等级分级标准,可将火灾风险分为四级。见表 3-13。

表 3-13 风险分级量化和特征描述

风险等级	名称	量化范围	风险等级特征描述
I 级	低风险	(85,100]	几乎不可能发生火灾,火灾风险性低。火灾风险处于可接受的水平,风险控制重在维护和管理
II 级	中风险	(65,85]	可能发生一般火灾,火灾风险性中等。火灾风险处于可控制的水平,在适当采取措施后可达到接受水平,风险控制重在局部整改和加强管理
III 级	高风险	(25,65]	可能发生较大火灾,火灾风险性较高。火灾风险处于较难控制的水平,应采取措施加强消防基础设施建设和完善消防管理水平
IV 级	极高风险	[0,25]	可能发生重大或特大火灾,火灾风险性极高。火灾风险处于很难控制的水平,应当采取全面的措施对建筑的设计主动防火设施进行完善,加强对危险源的管控,增强消防管理和救援力量

火灾风险分级和火灾等级的对应关系如下。

(1) 极高风险,特别重大火灾、重大火灾。特别重大火灾是指造成 30 人以上死亡,或者 100 人以上重伤,或者 1 亿元以上直接财产损失的火灾。

重大火灾是指造成 10 人以上 30 人以下死亡,或者 50 人以上 100 人以下重伤,或者 5 000 万元以上 1 亿元以下直接财产损失的火灾。

(2) 高风险/较大火灾。是指造成 3 人以上 10 人以下死亡,或者 10 人以上 50 人以下重伤,或者 1 000 万元以上 5 000 万元以下直接财产损失的火灾。

(3) 中风险/一般火灾。是指造成 3 人以下死亡,或者 10 人以下重伤,或者 1 000 万元以下直接财产损失的火灾。

(七) 确定评估结论

根据评估结果,明确指出建筑设计或建筑本身的消防安全状态,提出合理可行的消防安全意见。

(八) 风险控制

根据火灾风险分析与计算结果,遵循针对性、技术可行性、经济合理性的原则,按照当前通行的风险规避、风险降低、风险转移以及风险自留四种风险控制措施,根据当前经济、技术、资源等条件下所能采用的控制措施,提出消除或降低火灾风险的技术措施和管理对策。

六、其他火灾风险评估方法简介

(一) NFPA101M 火灾安全评估系统

火灾安全评估系统(FSES)是 20 世纪 70 年代美国国家标准局火灾研究中心和公共健康事务局合作开发的。FSES 相当于 NFPA101 生命安全规范,主要针对一些公共机构和其他居民区,是一种动态的决策方法,它为评估卫生保健设施提供一种统一的方法。

该方法把风险和安全分开,通过运用卫生保健状况来处理风险。五个风险因素:患者灵活性、患者密度、火灾区的位置、患者和服务员的比例、患者平均年龄,并因此派生了 13 种安全因素。通过专家打分法,让火灾专家给每一个风险因素和安全因素赋予相对的权重。总的水平以 13 个参数的数值计算得出,并与预先描述的风险水平比较。

(二) SIA81 法

SIA81 法是 20 世纪 60 年代首先在瑞士发展起来的,1965 年首次公开出版,向外正式推行,迄今已修改过多次。在 1984 年,出版的《火灾风险评估法 SIA DOC81》,又称为 Gretener 法。这个方法在瑞士和其他几个国家受到很好的认可和欢迎。此方法可作为快速评估法,用于评价大型建筑物可选方案的火灾风险。因为,此方法考虑了保险率和执行规范,所以它是最重要的火灾风险等级法之一。

FRAME(Fire Risk Analysis Method for Engineering)方法是在 Gretener 法的基础

上发展起来的,是一种计算建筑火灾风险的综合方法,它不仅以保护生命安全为目标,而且考虑对建筑物本身、室内物品及室内活动的保护,同时也考虑间接损失或业务中断等火灾风险因素。FRAME 方法属于半定量分析法,用于新建或者已建的建筑物的防火设计,也可以用来评估当前火灾风险状况以及替代设计方案的效能。

FRAME 方法基于以下五个基本观点。

- (1) 在一个受到充分保护的建筑中存在着风险与保护之间的平衡。
- (2) 风险的可能严重程度和频率可以由许多影响因素的结果来表示。
- (3) 防火水平也可以表示为不同消防技术参数值的组合。
- (4) 建筑风险评估是分别对财产(建筑物以及室内物品)、居住者和室内活动进行评估。
- (5) 分别计算每个隔间的风险及保护。

FRAME 方法中火灾风险定义为潜在风险与接受标准和保护水平的商。需要分开计算潜在风险,接受标准和保护水平。主要用途有,指导消防系统的优化设计;检查已有消防系统的防护水平;评估预期火灾损失;折中方案的评审和控制消防工程师的质量。

(三) Entec 消防风险评估法

英国 Entec 公司研发“消防风险评估工具箱”,解决了两个问题:①评估方法的现实性,是否能在一定的时限内达到最初设定的目标。经过对环境、毒品管理、海事安全等部门所使用的各种风险评估方法进行广泛考察之后,研究人员认为如果对这些方法加以适当转换,就可以通过不同的方法对消防队应该接警响应的不同紧急情况进行评估。②建立了社会对生命安全风险可接受程度的指标。

首先应该在全国范围内,对消防队应该接警响应的各类事故和各类建筑设施进行风险评估,得到一组关于灭火力量部署和消防安全设施规划的相关国家指南。对于各类事故和建筑设施而言,由于所采用的分析方法、数据各不相同,所以对于国家级水平上的风险评估设定了一个包括四个阶段的通用的程序。

- (1) 对生命和/或财产的风险水平进行估算。
- (2) 把风险水平与可接受指标进行对比。
- (3) 确定降低风险的方法,包括相应的预防和灭火力量的部署。
- (4) 对不同层次的灭火和预防工作的作用进行估算,确定能合理、可行地降低风险的最经济有效的方法。

相关国家指南确定后,才能提供一套评估工具,各地消防主管部门可以利用这些工具在国家规划要求范围内,对当地的火灾风险进行评估,并对灭火力量进行相应的部署。该项目要求针对以下四类事故制定风险评估工具:住宅火灾;商场、工厂、多用途建筑和民用塔楼这类人员比较密集的建筑的火灾;道路交通事故一类危及生命安全、需要特种救援的事故;船舶失事、飞机坠落等重特重大事故。

(四) 火灾风险指数法

瑞典 Magnusson 等人提出了另一种半定量火灾风险评估方法——火灾风险指数法

(fire risk index method)。该方法最初是为评价北欧木屋火灾安全性而建立的,从“木制房屋的火灾安全”项目发展演化而来,子项目“风险评估”部分由瑞典隆德大学承担,目标是建立一种简单的火灾风险评估方法,可以同时应用于可燃的和不可燃的多层公寓建筑。此方法就是“火灾风险指数法”。

(五) 基于抵御和破坏能力的建筑火灾风险评价

1. 抵御和破坏能力风险分析方法

抵御和破坏能力风险分析方法也被称作能力和脆弱型风险评价方法,国际公共安全评估框架存在能力与脆弱性评估两方面,基于能力与脆弱性视角的国际公共安全评估框架,可归纳为三大类:

- (1) 单纯评估脆弱性的框架,如 DRI 等。
- (2) 单纯评估能力的框架,如 COOP 等。
- (3) 综合评估能力与脆弱性两方面的框架,如 DRMI 等。

将能力和脆弱性分析方法引入建筑火灾风险评价体系中,对于目前建筑消防状况而言,社会的快速发展决定了消防安全系统的脆弱性和消防能力的动态失衡。所以,应对抵御力量和破坏力量进行综合分析,设计可根据社会发展动态调整的公共消防评价体系。

2. 确定指标权重

通过对比分析,采用模糊数学和层次分析、检查表等方法,确定各指标所占权重的大小。

3. 建筑火灾风险判定

用线性加权模型分别计算破坏力量和抵御力量的分值,见式(3-6):

$$V = \sum_{i=1}^n W_i F_i \quad (3-6)$$

式中: V ——破坏力量或抵御力量的分值;

W_i ——各级指标的权重;

F_i ——最基层指标的分值。

通过比较破坏力量和抵御力量的分值判断评价对象的火灾风险。设 R = 破坏力量/抵御力量, R 的大小与火灾风险的关系可用表 3-14 表示。

表 3-14 R 与火灾风险分级标准

R	风险等级
<0.4	低风险
$0.4 \sim 0.8$	较低风险
$0.8 \sim 1.2$	中等风险
$1.2 \sim 1.6$	较高风险
>1.6	极高风险

通过破坏力量与抵御力量的比值 R ,可以得到评价对象的火灾风险水平,针对不同的火灾风险等级,可以进行火灾风险特征描述,采取不同的应对措施。

（六）火灾风险评估的试验方法

火灾风险评估的试验方法可以作为火灾风险评估的重要手段,一般可以考虑对评价目标的相关子系统的运行效果进行测试。如通风排烟系统;在地铁、隧道等大型公共建筑内进行通风效果的测试;人员流量的统计等。火灾试验方法可归纳为实体试验、热烟试验和相似试验等。

实体试验模拟研究在火灾科学的烟气流动规律、燃烧特性、统计分析以及数值模型验证等研究领域具有重要意义。对既有的评价目标进行实验测试是最理想的研究方法。然而,由于许多大型公共建筑实体试验的复杂性、对安全的敏感性以及巨大实验投入的限制,火灾风险评价中实体试验的开展受到很大的制约。

实体试验尽管最为有效,但限于实体火灾试验往往具有破坏性,为达到近似体现火灾效果,热烟试验得到更为广泛的应用。热烟试验是利用受控的火源与烟源,在实际建筑中模拟真实的火灾场景而进行的烟气测试。该试验是以火灾科学为理论基础,通过加热试验中产生的无毒人造烟气,呈现热烟由于浮力作用在建筑物内的蔓延情况,可用于测试烟气控制系统的排烟性能,各消防系统的实际运作效能以及整个系统的综合性能等。

火灾风险评价中,试验手段除了实体试验和热烟试验外,相似试验也是重要的技术途径之一。与原型相比,尺寸一般都是按比例缩小(只在少数特殊情况下按比例放大),所以制造容易,装拆方便,试验人员少,较之实物试验,能节省资金、人力和时间。

第二节 区域消防安全现状评估技术要求

一、区域消防安全现状评估的目的

当前,我国城市人口数量剧增、高层建筑林立、地下空间纵横交错、交通车辆密布、燃气管线密集等问题日益凸显,致使传统性和非传统性火灾因素不断增加。这些因素决定了城市的火灾风险将不断增大,发生重大火灾事故的风险迅速增加,事故的危害性成倍增大,对城市经济与社会可持续发展的影响越来越强。特别是一些重特大火灾事故的发生,不仅给人民的生命财产造成巨大损失,而且给经济建设和社会稳定造成严重危害。因此,研究区域火灾风险评估方法,对城市安全及社会稳定具有重大的现实意义。

区域火灾风险评估旨在分析区域的火灾风险因素及其影响的权重,针对不同的火灾风险提出有效的预防和控制措施,将城市火灾风险降低,对科学规划消防基础设施建设、优化消防力量配备、指导日常消防安全检查、提高消防指挥的科学性和有效性、减少火灾损失、

促进城市社会经济协调发展具有重要意义。它是解决诸多难题和挑战的有效途径之一。

对区域进行火灾风险评估是分析区域消防安全状况,查找当前消防工作薄弱环节的有效手段。根据不同的火灾风险级别,部署相应的消防救援力量,建设消防基础设施,使公众和消防员的生命财产的预期风险水平与消防安全设施,以及火灾和其他应急救援力量的种类和部署达到最佳平衡,为今后一段时期政府明确消防工作发展方向、指导消防事业发展规划提供参考依据。

二、区域消防安全现状评估的原则

(一) 系统性原则

评估指标应当构成一个完整的体系,即全面地反映所需评价对象的各个方面。为此应按照安全系统原理来建立指标体系。该指标体系由几个子系统构成,且呈一定的层次结构,每个子系统又可以单独作为一个有机的整体。区域火灾风险评估指标体系应力求系统化、理论化、科学化,所包含的内容力求广泛,应能涉及影响区域火灾的各个因素,既包括内部因素,也包括外部因素,还包括管理因素。

(二) 实用性原则

评估指标必须与评价目的和目标密切相关。开展区域火灾风险评估指标体系的研究,是为了更好地用于指导防火实践,是为实践需求服务的。因此,它既是一个理论问题,又必须时刻把握其实用性。

(三) 可操作性原则

构建区域火灾风险评估指标体系要有科学的依据和方法,要充分收集资料,并运用科学的研究手段。评估指标体系应具有明确的层次结构,每一个子指标体系应相对独立,建立评估指标体系时需注意风险分级的明确性,以便操作。

三、区域消防安全现状评估的内容

分析区域范围内可能存在的火灾危险源,合理划分评估单元,建立全面的评估指标体系。

对评估单元进行定性及定量分级,并结合专家意见建立权重系统。

对区域的火灾风险做出客观公正的评估结论。

提出合理可行的消防安全对策及规划建议。

四、区域消防安全现状评估范围

整个区域范围内存在火灾危险的社会面、建筑群和交通路网。

五、区域消防安全现状评估流程

区域火灾风险评估可按照以下六个步骤来进行。

（一）信息采集

在明确火灾风险评估的目的和内容的基础上,收集所需的各种资料,重点收集与区域安全相关的信息,包括评估区域内人口、经济、交通概况、区域内消防重点单位情况、周边环境情况、市政消防设施相关资料、火灾事故应急救援预案、消防安全规章制度等。

（二）区域火灾风险识别

火灾风险源一般分为客观因素和人为因素两类。

1. 客观因素

(1) 气象因素引起火灾。火灾的起数与气象条件密切相关,影响火灾的气象因素主要有大风、降水、高温以及雷击。

(2) 电气引起火灾。在全国的火灾统计中,由各种诱因引发的电气火灾一直居于各类火灾原因的首位。根据以往对电气火灾成因的分析,电气火灾原因主要有以下几种。

- ① 接头接触不良导致电阻增大,发热起火。
- ② 可燃油浸变压器油温过高导致起火。
- ③ 高压开关的油断路器中由于油量过高或过低引起气体爆炸起火。
- ④ 熔断器熔体熔断时产生电火花,引燃周围可燃物。
- ⑤ 使用电加热装置时,不慎放入高温时易爆物品导致爆炸起火。
- ⑥ 机械撞击损坏线路导致漏电起火。
- ⑦ 设备过载导致线路温度升高,在线路散热条件不好时,经过长时间的过热,导致电缆起火或引燃周围可燃物。
- ⑧ 照明灯具的内部漏电或发热引起燃烧或引燃周围可燃物。

(3) 易燃易爆物品引起火灾。爆炸一般是由易燃易爆物品引起。可燃液体的燃烧实际上是可燃液体蒸气的燃烧。柴油属于丙类火灾危险性可燃液体,其闪点为 $60\sim 120^{\circ}\text{C}$,爆炸极限为 $1.5\%\sim 6.5\%$ 。柴油的电阻率较大,易于积聚静电。柴油的爆炸可分为物理爆炸和化学爆炸。如果存放柴油的油箱过满,没有预留一定的空间,则在高温环境下,柴油受热膨胀发生爆炸。另外,如果油箱密封不严,造成存放的柴油泄漏挥发,或油箱内的柴油蒸气向外挥发,在储油间内的柴油蒸气达到其爆炸极限的情况下,遇到明火、静电或金属撞击形成的火花时,都会产生爆炸。

2. 人为因素

(1) 用火不慎引起火灾。用火不慎主要发生在居民住宅中,主要表现:用易燃液体引火;用液化气、煤气等气体燃料时,因各种原因造成气体泄漏,在房内形成可燃性混合气体,遇明火产生爆炸起火;家庭炒菜时油锅过热起火;未完全熄灭的燃料灰随意倾倒引燃

其他可燃物;夏季驱蚊,蚊香摆放不当或点火生烟时无人看管;停电使用明火照明,不慎靠近可燃物,引起火灾;烟囱积油高温起火。

(2) 不安全吸烟引起火灾。吸烟人员常常会出现随便乱扔烟蒂、无意落下烟灰、忘记熄灭烟蒂等不良吸烟行为,可能会导致火灾。据美国加利福尼亚消防部门试验,烧着的烟头的温度范围从 288°C (不吸时香烟表面的温度) 到 732°C (吸烟时香烟中心的温度)。有的资料还介绍,一支香烟停放在一个平面上可连续点燃 24min。

(3) 人为纵火。

(三) 评估指标体系建立

在火灾风险源识别的基础上,进一步分析影响因素及其相互关系,选择出主要因素,忽略次要因素,然后对各影响因素按照不同的层次进行分类,形成不同层次的评估指标体系。区域火灾风险评估,一般分为二层或三层,每个层次的单元根据需要进行进一步划分为若干因素,再从火灾发生可能性和火灾危害等方面分析各因素的火灾危险度,各个组成因素的危险度是进行系统危险分析的基础,在此基础上确定评估对象的火灾风险等级。

区域火灾风险评估可选择以下几个层次的指标体系结构。

1. 一级指标

一级指标一般包括火灾危险源、区域基础信息、消防力水平和社会面防控能力等。

2. 二级指标

二级指标包括客观因素、人为因素、城市公共消防基础设施、灭火救援能力、消防管理、消防宣传教育、灾害抵御能力等。

3. 三级指标

三级指标包括易燃易爆危险品、燃气管网密度、加油加气站密度、电气火灾、用火不慎、放火致灾、吸烟不慎、温度、湿度、风力、雷电、建筑密度、人口密度、经济密度、路网密度、重点保护单位密度、消防车通行能力、消防站建设水平、消防车通道、消防供水能力、消防装备配置水平、消防员万人比、消防通信指挥调度能力、多种形式消防力量、消防安全责任制落实情况、应急预案完善情况、重大隐患排查整治情况、社会消防宣传力度、消防培训普及程度、多警联动能力、临时避难区域设置、医疗机构分布及水平等相关内容。

(四) 风险分析与计算

根据不同层次评估指标的特性,选择合理的评估方法,按照不同的风险因素确定风险概率,根据各风险因素对评估目标的影响程度,进行定量或定性的分析和计算,确定各风险因素的风险等级。

(五) 确定评估结论

根据评估结果,明确指出建筑设计或建筑本身的消防安全状态,提出合理可行的消防安全意见。

（六）风险控制

根据火灾风险分析与计算结果,遵循针对性、技术可行性、经济合理性的原则,按照当前通行的风险规避、风险降低、风险转移以及风险自留四种风险控制措施,根据当前经济、技术、资源等条件下所能采用的控制措施,提出消除或降低火灾风险的技术措施和管理对策。

六、注意事项

进行区域火灾风险评估时,应注意收集相关消防基础设施建设的情况,如消防站、市政消防水源等。

根据住房和城乡建设部和国家发改委联合发布的《城市消防站建设标准》(建标152—2011)标准的要求,消防站建设“普通消防站不宜大于 7km^2 ;设在近郊区的普通消防站不应大于 15km^2 。也可针对城市的火灾风险,通过评估方法确定消防站辖区面积”,为确保城市服务经济发展和市民生活的功能实现,新建消防站应重点布局在人口稠密区、产业功能区、新城和副中心以及消防设施相对薄弱的城乡接合部和农村地区。随着消防部门职能的拓展,还应加强消防站对于高层救援、交通事故救援、化学灾害抢险、危险品事故处理、地震和建筑物倒塌等紧急事件的处置能力。因此,进行区域火灾风险评估时,及时了解消防站等基础设施的建设情况,既有助于合理安排消防站布局,又可通过评估确定消防站辖区面积,有利于推进消防站的建设。

我国市政消防水源建设普遍处于滞后的状态,主要原因是市政消火栓建设是根据市政道路建设和供水管网铺设确定的,缺乏明确的规划和建设标准。进行火灾风险评估时,可将消防水源建设作为评价指标之一,可解决远郊区县村庄和住宅小区绝大部分没有规划建设公共消防水源,消防水源匮乏的问题,杜绝“扑救小火建筑内部有设施,扑救大火室外无水源”的现象。

第三节 建筑消防安全现状评估技术要求

一、建筑消防安全现状评估的目的

建筑火灾风险评估的目的,是指通过各种手段和方法,消除或减少建筑中存在的不安全因素,当建筑发生火灾或在意外发生火灾时能够保证人员及时、安全撤离,尽快扑救火灾,降低火灾损失,提高建筑的安全程度。按照建筑消防安全管理工作方式的不同,可以分为一般目的和特定目的的评估。

所谓一般目的的评估,是指建筑的所有者、使用者自身出于提高建筑的消防安全程度

的需要,采取建筑火灾风险评估方法,更为精细地管理建筑消防安全问题。其内容主要包括两点。

(1) 查找、分析和预测建筑及其周围环境存在的各种火灾风险源,以及可能发生火灾事故的严重程度,并确定各风险因素的火灾风险等级。

(2) 根据不同风险因素的风险等级,根据自身的经济和运营等承受能力,提出针对性的消防安全对策与措施,为建筑的所有者、使用者提供参考依据,最大限度地消除和降低各项火灾风险。

所谓特定目的的评估,是指建筑的所有者、使用者根据消防法规的要求,必须进行的建筑火灾风险评估。特定目的评估时,消防部门通常会提出一系列要求,有时也会制定参照的方法和标准。它除了包含一般目的的评估内容外,对所有者、使用者的经济和运营承受能力的判定需要与消防主管部门进行协商。对于存在高风险的建筑,消防主管部门可以根据情况采取停产、停业、停止运营等强制措施。

二、建筑消防安全现状评估的原则

在建立建筑火灾风险评估指标体系时,一般遵循如下原则。

(一) 科学性

指标体系应能够全面反映所评估建筑火灾风险的各主要方面,必须以可靠数据资料为基础,采取科学合理的分析方法,最大限度地排除评估人主观因素影响和干扰,以保障分析评估的质量。

(二) 系统性

实际的分析对象往往是一个复杂系统,包括多个子系统。因此,需要对评估对象进行详细剖析,研究系统与子系统间的相互关系,最大限度地识别被评估对象的所有风险,这样才能评估它们对系统影响的重要程度。

(三) 综合性

系统的安全涉及人、机、环境等多个方面,不同因素对安全的影响程度不同。因此,分析方法既要充分反映评估对象各方面的最重要功能,又要防止过分强调某个因素而导致系统失去平衡。风险评估应综合考虑各方面的情况,对于同类系统应采用一致的评估标准。

(四) 适用性

风险评估的方法要适合被评估建筑的具体情况,并应具有较强的可操作性。所采用的方法要简单、结论要明确、效果要显著。若设定的不确定因素过多,计算过于复杂,导致使用部门难于理解和应用,反而得不到好的效果。

三、建筑消防安全现状评估的内容

分析建筑内可能存在的火灾危险源,合理划分评估单元,建立全面的评估指标体系。

对评估单元进行定性及定量分级,并结合专家意见建立权重系统。

对建筑的火灾风险做出客观公正的评估结论。

提出合理可行的消防安全对策及规划建议。

四、建筑消防安全现状评估的流程

(一) 信息采集

在明确火灾风险评估的目的和内容的基础上,收集与建筑安全相关的各种资料,包括建筑的地理位置、使用功能、消防设施、演练与应急救援预案、消防安全规章制度等。

(二) 建筑火灾风险识别

衡量火灾风险的高低,不但要考虑起火的概率,而且要考虑火灾所导致的后果严重程度。

1. 影响火灾发生的因素

可燃物、助燃剂(主要是氧气)和火源是物质燃烧三个要素。火灾是时间和空间上失去控制的燃烧,简单说就是人们不希望出现的燃烧。因此,可以说可燃物、助燃剂、火源、时间和空间是火灾的五个要素。

消防工作的主要对象就是围绕这五个要素进行控制。控制可分为两类:对于存在生产生活用燃烧的场所,即将燃烧控制在一定的范围内,控制的对象是时间和空间;对于除此之外的任何场所,控制不发生燃烧,控制的对象是燃烧三要素,即控制这三要素同时出现的条件。

在非燃烧必要场所,除了生产用可燃物存放区域以外,可燃物贯穿于穿、住、行、用等日常生活的各个方面,因此无法完全消除可燃物,只能对可燃物进行控制。可燃物控制的目标,就是将可燃物限制在一定的范围内,包括可燃物的数量和存在场所,控制的重点是易燃物质。控制的效果越好,发生火灾的可能性就越小,造成人员生命、财产损失后果严重性就越低,火灾风险也越小。氧气作为助燃剂,是真正的无所不在,人们根本无法控制,所能控制的是可作为助燃剂的强氧化剂。火源与人们的生产生活密切相关,也是人们最容易控制的要素,因此,这也是火灾控制的首要任务。在燃烧必要场所,只要燃烧在我们预想的时间和空间中进行,就不会发生火灾。在时间和空间的控制中,也包含着对燃烧三要素的控制,它受燃烧三要素的影响。从以上分析可以看出,在这三要素之中,受人的主观能动性影响最大的是火源。正如前所述,火灾是不能完全避免的,也就是说,由于各种因素的影响,总会有火源突破控制,导致火灾的发生。

2. 影响火灾后果的因素

在发生火灾之后,人们希望能够在第一时间发现,并发出警报,提示人员疏散,采取初步灭火措施,并向公安消防机构报警。对于规模相同的初起火灾,对于其火灾危险来说是相同的,但是由于后续步骤的不同,所存在的火灾风险也是不同的。例如,由于警报失效,未能及时发现,导致小火酿成大火;疏散通道不畅,指示标志不明,人员大量伤亡;着火场所无灭火设施,未能有效地进行初期控制,火灾大规模蔓延;消防队伍未能及时到场、灭火设备质量无法满足要求、消防队伍技能受限等,都会导致火灾损失加大,从而提高火灾风险。

火灾风险表达式中的后果,在不同阶段会有不同的表现形式。通常可分为以下几种情形。

(1) 在物质着火后,不考虑各种消防力量的干预作用,只根据物质的物理性质和周边环境条件(如通风状况、燃料数量、环境温度、燃烧时间)等自然状态下的发生发展过程,来确定火灾产生的后果。

(2) 在物质着火后,考虑建筑物内部自动报警、自动灭火和防火隔烟等筑消防设施的功能,单位内部人员的消防意识、初期火灾扑救能力、组织疏散能力,以及单位内部可能拥有的消防队伍的灭火救援能力,根据这些因素的共同作用效率,来确定火灾生产的后果。

(3) 在物质着火后,除了上述建筑消防设施功能和单位相关人员能力外,还考虑在初期火灾扑救失败之后,外部的消防力量(如消防部队、专职消防队、义务消防队等)进行干预,投入灭火救援工作,根据这些因素共同作用的效率,来确定火灾产生的后果。

3. 措施有效性分析

消防安全措施有效性分析一般可以从以下几个方面入手。

(1) 防止火灾发生。建筑防火的首要因素是防止火源突破限制引起火灾。引起火灾的原因主要包括电气引起火灾、易燃易爆物品引起火灾、气象因素引起火灾、用火不慎引起火灾、不安全吸烟引起火灾、违章操作引起火灾、人为纵火等。当建筑中存在这些火灾风险因素时,相应的控制措施是否有效需要详细分析。

(2) 防止火灾扩散。防止火灾扩散的措施通常都包括在建筑被动防火措施里面,包括建筑耐火等级、防火间距、防火分区、防火分隔设施等是否满足设计、使用要求。

(3) 初期火灾扑救。火灾发生后,人们希望第一时间发现并及时扑灭火灾。在有人在场的情况下,由于火灾会发生刺鼻的气味,人们一般能够很快发现,正确地使用人工报警装置和灭火器材将会发挥重要的作用。对于一些特定的场所,设置的火灾自动探测报警系统、自动灭火系统、防排烟系统等系统是否完好、有效极大地影响着建筑的消防安全。

(4) 专业队伍扑救。由于各种原因,有时无法及时将火灾消灭在初期状态,导致火灾扩散蔓延,形成大规模的火灾,这时候就需要专业队伍进行扑救。专业队伍包括经过专业训练的义务消防队、专职消防队和消防部队。建筑物是否具有扑救条件以及专业队伍距离建筑的距离、队伍的消防装备、训练情况、人员配备等因素都需要仔细进行分析。

(5) 紧急疏散逃生。安全疏散设施的目的是使人能从发生事故的建筑中,迅速撤离到安全场所(室外或避难层、避难间等),及时转移室内重要的物资和财产,同时,尽可

能地减少火灾造成的人员伤亡与财产损失,也为消防人员提供有利的灭火救援条件。因此,如何保证安全疏散是十分必要的。建筑物中的安全疏散设施,如楼梯、疏散走道和门等,是依据建筑物的用途、人员的数量、建筑物面积的大小以及人们在火灾时的心理状态等因素综合考虑的。因此要确保这些疏散设施的完好有效,保障建筑物内人员和物资安全疏散,减少火灾所造成的人员伤亡与财产损失。

(6) 消防安全管理。消防安全管理包括消防安全责任制的落实;消防安全教育、培训;防火巡查、检查;消防(控制室)值班,消防设施、器材维护管理;火灾隐患整改,灭火和应急疏散预案演练,重点工种人员以及其他员工消防知识的掌握情况,组织、引导在场群众疏散的知识和技能等内容在内的宣传教育和培训等。

建筑消防安全措施涉及的内容非常广泛,上述内容只是一个简要的介绍,在实际评估中,应根据建筑的结构形式、使用功能等具体情况进行仔细的分析。

(三) 评估指标体系建立

在火灾风险识别的基础上,进一步分析影响因素及其相互关系,选择出主要因素,忽略次要因素,然后对各影响因素按照不同的层次进行分类,形成不同层次的评估指标体系。建筑火灾风险评估,一般分为二层或三层,每个层次的单元根据需要进行进一步划分为若干因素,再从火灾发生的可能性和火灾危害等方面分析各因素的火灾危险度,各个组成因素的危险度是进行系统危险分析的基础,在此基础上确定评估对象的火灾风险等级。

(四) 风险分析与计算

根据不同层次评估指标的特性,选择合理的评估方法,按照不同的风险因素确定风险概率,根据各风险因素对评估目标的影响程度,进行定量或定性的分析和计算,确定各风险因素的风险等级。

(五) 风险等级判断

在经过火灾风险因素识别、建立指标体系、消防安全措施有效性分析等几个步骤之后,对于评估的建筑是否安全,其安全性处于哪个层次,需要得出一个评估结论。根据选用的评估方法的不同,评估结果有的是局部的,有的是整体的,这需要根据评估的具体要求选取适用的评估方法。

(六) 风险控制措施

经过评估之后,建筑的总体评估结果可能会是属于极高或高风险,也可能属于中风险及以下。通常情况下极高风险和高风险超出了可接受的风险水平,需要采取一定风险控制措施,将建筑的火灾风险控制在所能接受的风险水平以下。常用的风险控制措施包括风险消除、风险减少、风险转移。

(1) 风险消除。风险消除是指消除能够引起火灾的要素,也是控制风险的最有效的方法。由于空气无处不在,因此主要可行的措施是消除火源和可燃物。例如,不在可燃物附近燃放烟花、电焊作业时清除附近的可燃物。

(2) 风险减少。在建筑的使用过程中,经常会出现需要在有可燃物的附近进行用火、电焊等存在引起火灾可能性的情况,这时既不能消除火源,也不能清除可燃物。为了减少火灾风险,需要采取降低可燃物的存放数量或者安排适当的人员看管等措施。

(3) 风险转移。风险转移是指与他人共同分担可能面对的风险。对于建筑物而言,风险转移并不能消除或降低其面临的风险,但是对于建筑所有者或使用者而言,通过风险转移可以降低其面临的风险。风险转移主要通过建筑保险来实现。

五、注意事项

(一) 做好与现行技术规范衔接

根据建筑的建设时间不同,其适用的设计规范也会有所不同,这使得在评估中经常会遇到一些老旧建筑的指标参数与现行规范的不一致。如果按照建设时参照的技术规范,这些指标参数是满足消防安全要求的。但是随着时间的推移以及科学技术的进步,许多规范会进行相应的修订,如果参照现行规范,则有可能不满足消防安全要求。当遇见这种情况时,应做好与现行技术规范的衔接,涉及的指标参数要参照现行的技术规范进行评估。

(二) 确认特殊设计建筑的边界条件

一些建筑由于规范未能完全涵盖,或者由于采用新技术、新材料,或者由于使用功能的特殊要求导致不能完全按照现行规范进行建筑消防设计,而是采用性能化消防设计的方法对这些建筑进行特殊设计。按照相关参数进行性能化设计及专家论证后,可以认为这些建筑满足规范规定的基本安全要求。但是这种合规的特殊设计必须满足一定的条件,即特殊设计时选用的参数始终保持与设计时的一致。如果建筑在投入使用后其中的参数发生了变化,则会对该建筑的消防安全造成不利影响。对这些建筑进行评估时,要确认特殊边界条件参数的发生变化情况。