

城市地下空间火灾风险分析及防范对策

谢振华

中国劳动关系学院安全工程学院, 北京
Email: xie0015@sina.com

收稿日期: 2021年6月30日; 录用日期: 2021年8月2日; 发布日期: 2021年8月27日

摘要

城市地下空间发展速度, 但其安全问题不容忽视。城市地下空间火灾具有不容易被发现、烟气不容易扩散、人员疏散比较困难、灭火和救援难度大等特点, 应采取有效的防范措施。城市地下空间火灾统计分析表明, 地下车库和地下商场是地下空间火灾的主要场所, 主要原因是电气原因。根据安全检查表和事故树分析, 可以确定城市地下空间火灾的风险因素, 据此提出了城市地下空间火灾防范对策。

关键词

地下空间, 火灾风险, 防火对策, 安全检查表, 事故树分析

Risk Analysis and Prevention Measures of Urban Underground Space Fire

Zhenhua Xie

School of Safety Engineering, China University of Labor Relations, Beijing
Email: xie0015@sina.com

Received: Jun. 30th, 2021; accepted: Aug. 2nd, 2021; published: Aug. 27th, 2021

Abstract

Urban underground space develops rapidly, but its safety problem cannot be ignored. Urban underground space fire has the characteristics that fire is not easy to be found and, is not easy to diffuse for smoke, is difficult to evacuate personnel and extinguish the fire and rescue, so effective preventive measures should be taken. The statistical analysis of urban underground space fire shows that underground garage and underground shopping mall are the main places of underground space fire, and the main reason is electrical. According to the safety check list and fault tree analysis, the risk factors of urban underground space fire can be determined, and the preven-

tion measures of urban underground space fire are put forward.

Keywords

Underground Space, Fire Risk, Fire Prevention Measures, Safety Check List, Fault Tree Analysis

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 城市地下空间火灾特点

随着我国经济的快速发展,城市化进程的加快,城市地下空间的开发利用得到了很大的发展,呈现综合化、分层化、深层化的发展趋势[1]。城市地下空间按照功能属性可分为地下交通设施、地下市政公用设施、地下公共服务设施、地下仓储物流设施、地下防灾减灾设施、地下军事设施等类别,与人员活动有关的地下空间一般有地铁、地下通道、地下商场、地下车库、地下办公场所、地下仓库等。

城市地下空间在带来便利的同时,也带来许多潜在的安全风险。火灾风险是城市地下空间的主要风险,常常造成重大的人员伤亡和财产损失。城市地下空间火灾的特点主要有:

(1) 火灾不容易被发现。地下空间出入口及通道相对较少,空气流通性比较差,火灾初期发展缓慢,不容易被发现。但火灾地点和外界空气贯通之后,火势会猛烈增长[2]。

(2) 火灾烟气不容易扩散,危害大。由于地下空间通风不畅,排烟设备效果有限,火灾烟气容易在局部区域聚集,高热烟气也容易发生轰燃。而且由于物质燃烧不充分,烟气中含有的有毒有害气体更多,对人体造成的危害更大。

(3) 人员疏散比较困难。地下空间出入口及疏散通道相对较少,主要靠人工照明的条件较差,烟气的流动方向与人员的疏散方向一致,因此人员在环境、心理条件的作用下很难迅速逃生自救。

(4) 灭火和救援难度大。地下空间由于通道狭窄,浓烟遮挡视线,消防设施不完善,大型灭火救援设备和救援人员难以进入,因此灭火和救援难度大[3]。

2. 城市地下空间火灾统计分析

笔者搜集了2016年到2020年地下空间发生的25场火灾。按地下空间的场所类别,火灾事故的比例如图1所示。

由图1可知,地下车库和地下商场的火灾占比排第一、第二位,是地下空间火灾的主要场所。

分析地下空间火灾的事故原因,电气原因引起的火灾占总事故总数的60%以上,主要由电气线路、电气设备故障引起。按火灾发生的季节划分,冬季发生的事故占50%,是火灾发生的主要季节。其主要原因是冬季天气干燥、寒冷,用电荷载加大。

3. 安全检查表

对地下空间的安全状况进行全面、系统的安全检查,是预防火灾事故和减少事故损失的主要手段。根据对大量地下空间火灾事故的统计分析,火灾事故的主要原因包括电气安全、消防设施、安全管理三个方面,涉及可燃物、点火源、火灾扑救、应急救援等方面。本文根据消防安全有关的法律法规、技术

标准、文献资料，应用安全系统工程理论、火灾防范理论及实践，编制了地下商场火灾安全检查表，如表 1 所示。

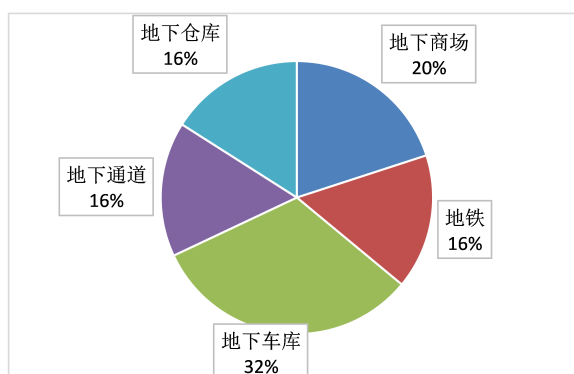


Figure 1. Proportion of fire places in underground space
图 1. 地下空间火灾场所比例

Table 1. Safety check list for underground mall fire
表 1. 地下商场火灾安全检查表

| 序号 | 项目 | 安全检查内容 | 标准要求 | 得分 | | 备注 |
|----|------|--------------------------------------|------------------------|----|----|----|
| | | | | 标准 | 实得 | |
| 1 | | 电气设备负荷是否符合规定 | 经计算符合要求 | 5 | | |
| 2 | | 电气设备选择是否完善 | 按标准选择 | 5 | | |
| 3 | | 电气线路敷设是否符合防火防爆要求 | 符合设计要求 | 10 | | |
| 4 | 电气安全 | 消防电气设备是否采用单独的电源电路，切断生产和生活用电是否能保证消防用电 | 有独立的消防供电 | 5 | | |
| 5 | | 开关，插座和照明设备附近有可燃物时，隔热和散热的防火措施是否完善 | 有可靠的防火措施 | 5 | | |
| 6 | | 商场内的剩余电流动作电气火灾监控系统是否设置完善 | 按要求设置 | 5 | | |
| 7 | | 配电室是否符合相关规定 | 符合配电室设计规范 | 5 | | |
| 8 | | 是否按标准划分防火分区 | 依据《建筑设计防火规范》 | 5 | | |
| 9 | | 安全出口、疏散出口及通道是否符合要求 | 安全出口、疏散出口及通道的数量、宽度符合要求 | 10 | | |
| 10 | | 防火门、卷帘门是否符合消防要求 | 防火门及卷帘门的数量、开闭符合要求 | 5 | | |
| 11 | | 火灾报警系统的设置是否完善 | 按规定设置手动、自动火灾报警系统 | 10 | | |
| 12 | 消防设施 | 灭火器的配置是否符合要求 | 灭火器的数量、种类、质量、放置等符合要求 | 10 | | |
| 13 | | 室内消火栓系统是否符合要求 | 按标准设置消防水池、消火栓管网、消火栓 | 5 | | |
| 14 | | 商场中的自动灭火系统是否完善 | 依据《建筑设计防火规范》 | 5 | | |
| 15 | | 消防通信和应急广播系统设置是否完善 | 按要求设置并灵敏有效 | 5 | | |
| 16 | | 消防应急照明系统是否完善 | 独立设置，位置符合要求，保证照明时间 | 5 | | |

Continued

| | | | |
|----|---------------------------------|----------------------|-----|
| 17 | 通风排烟系统设置是否符合要求 | 保证通风、排烟有效 | 5 |
| 18 | 应急疏散标志是否符合要求 | 满足数量要求、位置合理、指示明确 | 10 |
| 19 | 是否按规定设置专门的消防安全管理机构或人员 | 按消防安全法律法规设置 | 5 |
| 20 | 是否建立有完善的消防管理制度 | 有完整的消防管理制度文件并严格执行 | 5 |
| 21 | 员工上岗前和工作期间是否进行过培训, 员工是否具备四项消防能力 | 按消防安全法律法规开展教育培训 | 10 |
| 22 | 安全管理 动火、用电、用气等的安全管理是否符合规定 | 有专门的审批管理制度、落实安全措施 | 5 |
| 23 | 防火巡查、检查是否符合规定 | 防火巡查、检查的内容、频次、效果符合要求 | 5 |
| 24 | 是否有完善的应急管理 | 有应急预案, 并按要求组织应急演练 | 5 |
| 总分 | | | 150 |

注: 得分 140 分以上为优, 130 分以上为良好, 120 分以上为合格。

根据安全检查进行严格检查, 可以获得某个地下商场火灾安全状况的实际得分, 并确定安全等级。根据安全检查表的结果, 可以有针对性地采取有效措施消除火灾事故隐患, 防止事故的发生。

4. 事故树分析

运用安全检查表可以确定地下空间的总体安全状况, 但不能从根本上解决火灾预防问题, 需要对地下空间进行更深入的分析 and 评估, 找出火灾的间接原因和本质原因[4] [5]。因此, 对地下空间火灾发生的原因、火灾初期灭火失败、人员疏散失败、应急救援失败等, 可以进行事故树分析, 找出事故的主要原因及因果关系, 采取有针对性的预防措施。下面以地下商场火灾发生的原因、火灾初期灭火失败为例说明。

4.1. 地下商场火灾发生原因事故树分析

地下商场火灾发生原因的事故树如图 2 所示。

通过事故树分析, 可以得到基本事件的结构重要顺序为:

$$I(1) = I(16) > I(2) = I(3) = I(4) = \dots = I(15)$$

因此, x_1 和 x_{16} 是最重要的火灾事故原因, 地下空间应尽可能减少可燃、易燃物质的量; x_2 到 x_{15} 的重要度都是一样的, 应认真查找这些火灾事故的原因, 做到消除或有效控制。

4.2. 地下商场火灾初期灭火失败事故树分析

地下商场火灾初期灭火失败的事故树如图 3 所示。

通过事故树分析, 可以得到基本事件的结构重要顺序为:

$$I(9) = I(10) = I(11) = I(12) > I(1) = I(2) = I(3) = \dots = I(8)$$

因此, x_9 、 x_{10} 、 x_{11} 、 x_{12} 是最重要的基本事件, 即建筑防火能力不够是事故的主要原因; $x_1 \sim x_8$ 是第二位的, 应保证消防设备能够起作用、灭火人员具备灭火能力。

5. 城市地下空间火灾防范对策

根据安全检查表和事故树分析的结果, 针对城市地下空间火灾的特点, 可以采取如下防范对策:

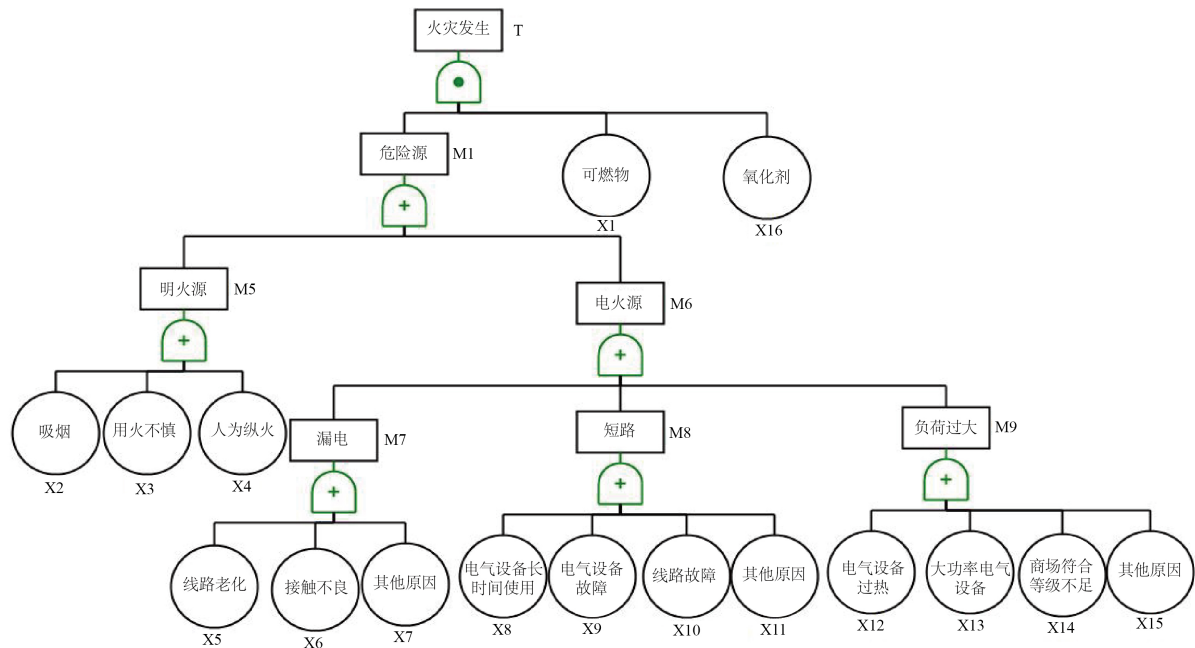


Figure 2. Fault Tree of occurrence reason for underground mall fire
图 2. 地下商场火灾发生原因事故树

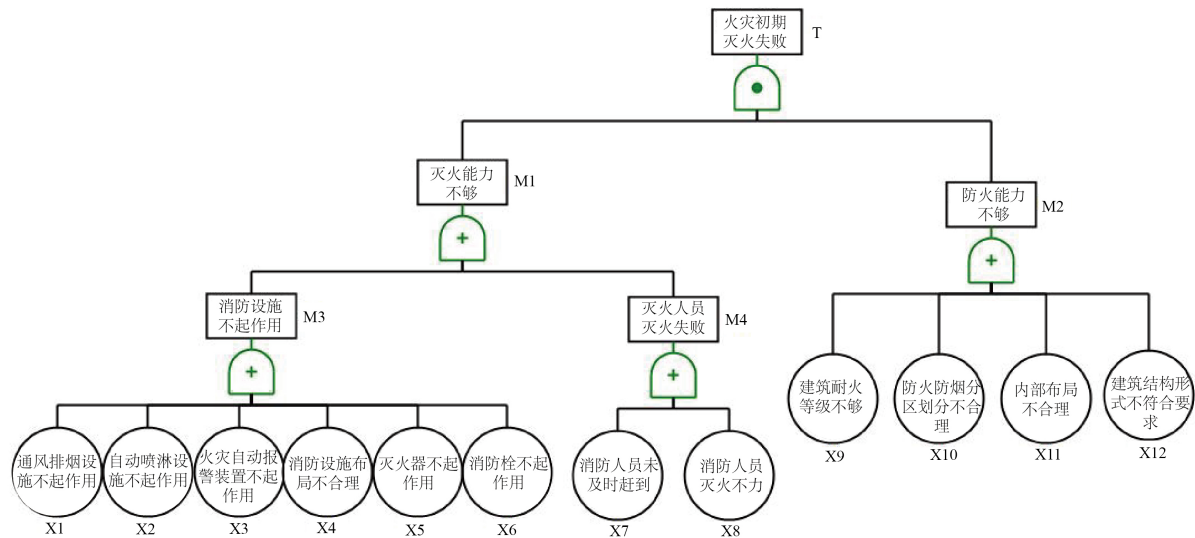


Figure 3. Fault Tree of initial fire extinguishment failure for underground mall fire
图 3. 地下商场火灾初期灭火失败事故树

(1) 加强城市地下空间的规划。制定、完善地下空间消防安全法律法规，做到有法可依。城市规划部门要严格控制 and 审查地下空间的规划及设计，做好地下空间建筑的防火设施设计。地下空间应尽可能有更多的出入口直接通往地面应急避难场所，地下避难场所应设置为下沉式广场或可以自然采光的开敞式广场，地下空间内应禁止存放、使用或售卖易燃易爆物品。

(2) 控制地下空间的建筑装修等材料。地下建筑材料要具有一定耐火性，保证构件钢筋保护层厚度，提高建筑物耐火等级。装饰材料应尽可能为不燃或耐火材料，应使用不燃材料紧紧填满管道周围的空隙，

管道穿过防火墙或设有一类防火门的隔墙时应采取防火措施。应合理控制摆放商品种类, 尽量减少易燃可燃物品存储量。

(3) 严格做好分区设置。防火分区的设置必须符合《建筑设计防火规范》(GB 50016)的相关要求, 将营业区与仓储区、设备控制机房区与办公辅助区、地下层与地面层之间划分为独立单元, 并局部采取相关防火、灭火措施。地下空间应按照《建筑防烟排烟系统技术标准》(GB51251)的要求规划防烟分区, 采取排烟风机等强制性手段将烟排至室外, 防止烟气任意蔓延扩散, 为人员安全疏散提供时间保证。

(4) 完善消防设施设备。根据《建筑设计防火规范》, 设置并完善手动和自动火灾报警系统、消防给水系统、自动喷水等自动灭火系统、防排烟系统、消防应急照明和疏散指示系统、消防供电系统, 配备灭火器等消防设备, 加快智能火灾探测、新型消防机器人等新技术、新设备的应用。尤其是动火灾报警系统、消防应急照明和疏散指示系统, 能及时、有效指导人员疏散。

(5) 强化疏散通道的设置。适量增加疏散通道数量和宽度, 使人们能更迅速地撤离现场, 也有利于消防人员的灭火救援。疏散通道应设置于清晰醒目的位置, 并尽可能避免曲折、高低错落, 便于提高疏散效率。增加地下空间中的消防电梯, 方便残疾人无障碍疏散。

(6) 加强消防安全的宣传教育。加强地下空间电气安全的宣传教育, 不私接电线, 禁止使用大功率违规电器。加强普及宣传消防知识的力度, 增强公众的消防安全意识, 组织相关的消防安全知识培训, 提高自救、互救能力。

(7) 加强消防安全监管。消防监督管理部门应落实消防安全责任, 加强地下空间消防安全的监督检查, 及时发现问题并处置, 建立消防安全档案。地下空间的使用单位应当依法落实消防安全责任制, 配备专职或兼职消防安全管理人员, 建立健全消防管理制度, 严格进行消防安全检查, 开展消防安全教育培训, 制定有针对性的灭火和应急疏散预案, 并保证最少每半年进行一次消防演练。

6 结论

(1) 城市地下空间火灾具有火灾不容易被发现、火灾烟气危害大、人员疏散比较困难、灭火和救援难度大等特点, 地下车库和地下商场火灾是地下空间火灾的主要场所, 主要原因是电气原因。

(2) 通过安全检查表可以全面了解地下空间火灾安全风险状况, 采用事故树分析可以找出地下空间火灾的根本原因。

(3) 城市地下空间火灾的防范应采取综合措施, 包括源头治理、风险管控、隐患排查治理、应急救援、安全监管等多个方面。

基金项目

中国劳动关系学院校级科研项目(21XYJS013)、贵州省科技支撑项目(黔科合支撑[2021]一般 526)支持。

参考文献

- [1] 李慧. 地下空间建筑火灾成因及防灾方法探究[J]. 建筑工程技术与设计, 2018, 12(5): 785.
- [2] 王飞. 地下空间火灾风险及对策分析[J]. 军民两用技术与产品, 2017(20): 183+247.
- [3] 马曲侃. 地下空间火灾的特征与消防救援[J]. 建筑工程技术与设计, 2017, 11(7): 1325.
- [4] 贺俊杰, 杨君涛, 王曦. 城市轨交联通型地下空间火灾风险评估研究[J]. 消防技术与产品信息, 2018, 31(10): 5-9+35.
- [5] 王寓霖, 阳富强. 基于熵权物元可拓模型的地下空间火灾安全评价[J]. 安全, 2019, 40(1): 54-56+61.