

高层建筑火灾系统脆弱性影响因素分析

曹树楠, 李 华, 陆军平, 杨宏刚

(西安建筑科技大学 材料与矿资学院, 陕西 西安 710055)

摘要:为完善高层建筑火灾管理系统,建立高层建筑火灾系统脆弱性影响因素多级递阶结构模型。从设计、物、人、管理等方面分析了系统脆弱性的影响因素;利用 DEMATEL 计算出影响因素的四项相关度值,分析了相关影响因素的内在联系和传播路径方向;利用 ISM 建立影响因素的层次结构。在得出该系统脆弱性影响因素内在联系和层次关系的基础上,找出高层建筑火灾脆弱性的根源。

关键词:高层建筑;消防系统;DEMATEL;脆弱性;ISM

中图分类号:X924.4, TU998.13 **文献标志码:**B

文章编号:1009-0029(2018)08-1130-03

高层建筑火灾具有爆发的不确定性、事故的连锁性、时间的紧迫性、环境的特殊性、救援的艰难性、事态的严重性、影响的深远性等特性。高层建筑火灾系统脆弱性的研究,将有助于减少经济损失、人员伤亡、社会影响。

近年来,与建筑火灾有关的研究主要是运用结构分析法、系统科学法、管理与数学工具等对建筑火灾风险因素层次关系进行研究。

利用 DEMATEL 方法计算出相关高层建筑火灾系统影响因素之间的相关度值,可以体现影响因素之间的内在联系和因果传递关系;利用 ISM 法对影响因素进行层次划分,可直观地体现出影响因素的内在联系和层次结构,精确、深层次分析高层建筑火灾系统脆弱性的根源,并为增强系统的免疫力而提出更具有针对性、精确性的建议。

1 DEMATEL/ISM 理论

DEMATEL(Decision Making Trial and Evaluation Laboratory)方法直译为决策试验与评价实验室,该方法通过系统中各个影响因素之间的逻辑关系与直接影响矩阵,计算出每个因素对其他因素的影响程度、被影响度、中心度、原因度。DEMATEL 通过矩阵演算与变换可明确影响因素之间的内在联系,并寻找出影响系统的根源因素。

ISM(Interpretive Structure Modeling)方法直译为解释结构模型,通过矩阵演算与变换将系统内影响因素之间的模糊关系变得更具有结构性、层次性,并尝试构造一个多级递阶的结构模型,使其更具有解释功能。

DEMATEL 和 ISM 相结合的方法将有助于明确系统内多层次的影响因素之间的内在联系,并形成有层次、结构化的影响因素模型,使其更具有解释功能,并可寻找出根源因素。

利用 DEMATEL 和 ISM 相结合的方法构建高层建筑火灾脆弱性影响因素结构模型,运算步骤如下:

(1)对于高层建筑火灾系统进行相关信息的收集并且分析,同时确定出影响系统脆弱性的因素,对影响因素之间的关系进行评估分析,通过评估得到直接影响矩阵,见式(1)。

$$X_d = \begin{bmatrix} 0 & m_{12} & \cdots & m_{1n} \\ m_{21} & 0 & \cdots & m_{2n} \\ \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\ m_{n1} & m_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: m_{ij} 为因素 i 对因素 j 的直接影响。

(2)对矩阵 X_d 进行归一化处理,得到矩阵 $X=X_d/\lambda$, λ 计算见式(2)。

$$\lambda = \text{MAX} \left(\sum_{j=1}^5 X_{1j}, \sum_{j=1}^5 X_{2j}, \sum_{j=1}^5 X_{3j}, \sum_{j=1}^5 X_{4j}, \sum_{j=1}^5 X_{5j} \right) \quad (2)$$

(3)计算综合影响矩阵 $T=X+X^2+\cdots=X(I-X)^{-1}$, I 表示单位矩阵。

(4)求系统脆弱性影响因素间的影响度、被影响度、中心度、原因度。设总关系矩阵 T 的行之和、列之和分别用向量 D 和向量 R 表示,则影响度为 D ,被影响度为 R ,中心度为 $R+D$,原因度为 $D-R$ 。原因度反映了各个影响因素之间的关联程度,原因度大于 0 说明该因素应该是被重点关注的因素,原因度小于 0 则为结果因素。原因因素是影响系统的关键因素。中心度反映了各个影响因素的重要程度,中心度越高说明该影响因素越重要。

(5)计算高层建筑火灾系统脆弱性的邻接矩阵,见式(3)。

$$W = T + I \quad (3)$$

(6)根据邻接矩阵 W 确定可达矩阵 H ,根据实际情况设定阈值 r ,当 $w_{ij} \geq r$, $h_{ij}=1$;反之, $h_{ij}=0$ 。

2 高层建筑火灾脆弱性影响因素分析

2.1 火灾设计因素

火灾的设计因素是指以建筑火灾的设计规范为依据,从建筑构件、防火墙、防护间距、防护区的分布、材料的耐火性等因素进行评估。若是以上因素与设计的不符合,将使建筑火灾系统存在本质的缺陷。

2.2 物的因素

该系统物的因素主要指消防相关设备设施,包括灭火设施、火灾监测设施、疏散设施、防火设施。疏散设施指疏散方案、疏散路线、疏散楼梯的宽度、出口数量以及位置、疏散标志等的合理性;灭火设施、火灾监测设施、防火设施指这些设备的运行状态、分布位置、可操作性是否合理。

2.3 人的因素

本文中的人包括设计人员、使用人员、维护人员,人的因素主要有不安全的心理和不安全的行为。人的不安全心理是指由于内、外环境的影响产生了不安全的行为。其中,设计人员的不安全行为是指不严格按照设计规范进行火灾系统设计;维护人员的不安全行为包括了违章操作、防护不到位;使用人员的不安全行为包括了对设备的使用不规范、疏散路线不熟悉等。

2.4 管理因素

系统管理因素主要是指建筑物管理、人员管理、消防制度管理、消防目标管理、消防教育管理、设施管理等方面的管理水平。影响火灾系统管理水平的因素有制度执行、消防教育、管理理念、定期维修。其中,定期维修主要是针对火灾监测设备、灭火设备、防火设备、疏散设备进行工作状态的检查和维护,使其保持良好的运行状态。管理理念包括制度的制定、执行方式、人财物的配给等。消防教育一是对专职人员进行培训,使其操作规范;二是对建筑内的常驻人员进行消防宣传和消防演练。制度的执行是指在制度完善的基础上,对制度的贯彻程度。

根据以上的高层建筑火灾系统脆弱性的特征,归纳总结了14个该系统的脆弱性影响因素,如图1所示。

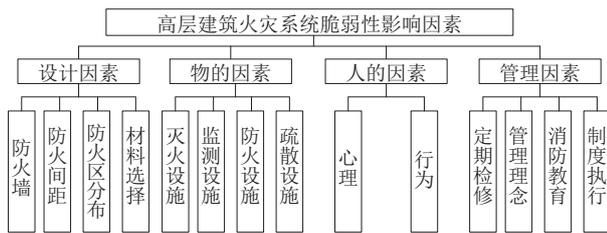


图1 高层建筑火灾系统脆弱性影响因素架构

3 系统脆弱性影响因素的相关性的分析

在调研消防专家的基础上,对以上14个影响因素进行打分,0表示影响因素之间无直接关系,1表示影响因素之间关系较弱,2表示影响因素之间关系中等,3表示影响因素之间关系较强,得到直接的关系矩阵,见式(4)。

$$X_d = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 3 & 3 & 3 & 3 & 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

则由式(2)可得 $\lambda=21$ 。进一步计算可得高层建筑火

灾脆弱性影响因素关系的归一化矩阵 X 和影响矩阵 T 。考察矩阵 T 中元素,计算每个影响因素的影响度、被影响度及中心度与原因度,见表1所示。

表1 高层建筑火灾系统脆弱性影响因素的相关度值

| 因素 | 被影响度 R_i | 影响度 D_i | 原因度 $D_i - R_i$ | 中心度 $D_i + R_i$ | 排序 |
|---------------|------------|-----------|-----------------|-----------------|----|
| a_1 防火墙 | 0.237 2 | 0.423 6 | 0.186 4 | 0.660 8 | 10 |
| a_2 防火间距 | 0.237 2 | 0.364 1 | 0.126 9 | 0.601 3 | 11 |
| a_3 防火区的分布 | 0.237 2 | 0.364 1 | 0.126 9 | 0.601 3 | 11 |
| a_4 材料的耐火性 | 0.296 1 | 0.250 0 | -0.046 1 | 0.546 1 | 12 |
| a_5 灭火设施 | 0.531 5 | 0.228 3 | -0.303 2 | 0.759 8 | 8 |
| a_6 火灾监测设施 | 0.769 9 | 0.153 8 | -0.616 2 | 0.923 7 | 6 |
| a_7 防火设施 | 0.699 0 | 0.153 8 | -0.545 2 | 0.852 7 | 7 |
| a_8 疏散设施 | 0.769 9 | 0.306 3 | -0.463 7 | 1.076 2 | 5 |
| a_9 人的心理 | 0.581 0 | 0.636 9 | 0.056 0 | 1.217 9 | 3 |
| a_{10} 人的行为 | 0.909 5 | 0.565 8 | -0.343 8 | 1.475 3 | 2 |
| a_{11} 定期检修 | 0.168 1 | 0.230 6 | 0.062 5 | 0.398 7 | 13 |
| a_{12} 管理理念 | 0.490 5 | 0.663 4 | 0.172 9 | 1.154 0 | 4 |
| a_{13} 消防教育 | 0.168 1 | 0.535 6 | 0.367 5 | 0.703 7 | 9 |
| a_{14} 制度执行 | 0.176 7 | 1.395 6 | 1.218 8 | 1.572 3 | 1 |

中心度的数值大小表示了各个影响因素之间的相关度的高低,依照中心度值的大小,制度执行、人的行为、人的心理、管理理念、疏散设施、火灾监测设施、防火设施、灭火设施、消防教育、防火墙、防火间距、防火区的分布、材料的耐火性、定期检修的相关度依次递减。制度执行的影响度为1.395 6,被影响度为0.176 7,说明在系统脆弱性影响因素中,制度的执行主要是影响其他因素。中心度值第二的是人的行为,其影响度为0.565 8,被影响度0.909 5,位居第一,说明在该系统脆弱性影响因素中最易受影响的是人的行为。因此,通过对人的行为进行消防训练和教育,对增强系统脆弱性起着系统性的推动作用。直接关系矩阵表明人的不安全行为的根源有防火墙、防火间距、防火区的分布、人的心理、定期检修、管理理念、消防教育、制度执行,其中制度的执行对之影响较大。

当脆弱性影响因素的中心度和原因度都是正数且极其接近,说明对该系统脆弱性的影响较大,中心度和原因度分别在横轴两侧,说明其容易受其他因素影响,对该系统脆弱性的影响最小,如图2所示。

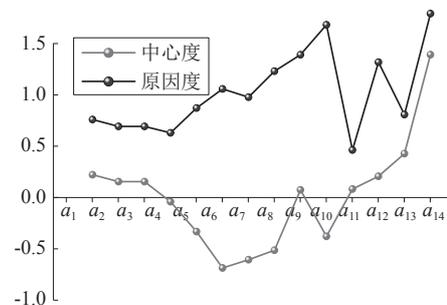


图2 高层建筑火灾脆弱性影响因素曲线图

在影响因素的邻接关系矩阵基础上,计算出了高层建

筑火灾系统脆弱性的邻接矩阵 W 。取阈值 $r=0.1$, 计算得到可达矩阵 H 。

经计算分析得知, 高层建筑火灾系统脆弱性影响因素具有多级递阶的特点。该模型可分为 4 个层次, 各级影响因素集为: 第一层次 $L_1=\{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_{10}, a_{11}\}$; 第二层次 $L_2=\{a_8, a_9\}$; 第三层次 $L_3=\{a_{12}, a_{13}\}$; 第四层次 $L_4=\{a_{14}\}$ 。在上述分析的基础上, 构建了高层建筑火灾系统脆

弱性影响因素的多级递阶结构模型, 如图 3 所示。

图 3 更加直观化、明朗化、简单化地描述了影响因素之间的层次关系和内在联系。在高层建筑火灾系统脆弱性影响因素中, 材料的耐火性、防火墙、防火间距、防火区的分布、火灾监测设施、防火设施、定期检修、灭火设施、人的行为是造成系统脆弱性的直接影响因素, 这些因素是高层建筑火灾事故发生的主要诱因; 疏散设施和人的心理通

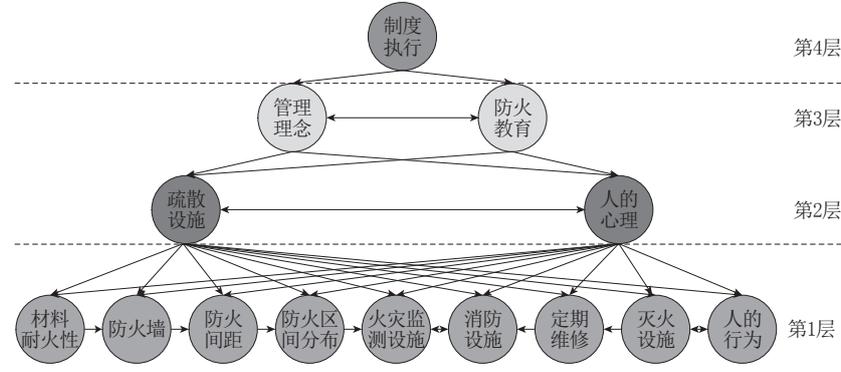


图 3 高层建筑火灾系统脆弱性影响因素多级递阶结构有向图

过第一层的因素间接地造成高层建筑火灾事故, 起到一个“动力传导”的作用。同理, 第三层也是起到“动力传导”的作用, 第四层是系统崩溃的根源, 起驱动作用。

4 结论

利用 DEMATEL 法, 对高层建筑火灾系统脆弱性的影响因素的相关度值进行了计算分析, 计算得到的影响度和被影响度值可明确系统脆弱性影响因素的内在联系和传播路径方向; 由中心度数值能够判断该系统脆弱性的影响因素之间相关度的高低, 并得出该系统脆弱的根源是管理制度执行力弱; 利用 ISM 法对该系统脆弱性的影响因素进行了结构模型化, 在此基础上, 构建了高层建筑火灾系统脆弱性的影响因素 DEMATEL/ISM 多级递阶结构模型, 该模型既揭示了系统脆弱性影响因素的内在运行机制、传播路径方向、相互作用关系、根源问题; 又阐释了影响因素之间的层次、结构关系。

参考文献:

[1] 陆梦. 基于DEMATEL与ISM集成方法的水上交通系统脆弱性影响因素研究[J]. 上海海事大学学报, 2014, 35(1):18-22.
 [2] 王粟. 基于灰色关联分析的高层建筑火灾风险评估[J]. 中国安全生产科学技术, 2013, 9(8):83-89.
 [3] 丁敏, 崔琳. 基于灰色层次分析的高层建筑火灾隐患评估[J]. 消防科学与技术, 2010, 29(2):158-162.
 [4] 刘爱华, 施式亮, 吴超. 基于模糊模式识别的模糊综合评价在高层建筑火灾危险评价中的应用[J]. 中国安全科学学报, 2005, (11):103-107.
 [5] 卢兆明, 胡宝清, 陆君安, 等. 高层建筑火灾风险灰关联评估[J]. 武汉大学学报(工学版), 2004, (5):62-66.
 [6] 胡忠日, 孙迎霞, 方正. 高层建筑火灾危险性模糊综合评估初探[J]. 消防科学与技术, 2003, 22(5):354-356.
 [7] 石龙, 张瑞芳, 谢启源, 等. 改进层次分析法在公共建筑火灾风险分析

中的应用[J]. 科学通报, 2009, 54(3):329-336.
 [8] 龙腾腾, 王辉东, 王秋华, 等. 高层建筑火灾事故致因理论模型构建研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(5):16-20.
 [9] 余磊, 李波. 基于熵权的未确知测度理论的高层建筑火灾危险性评价[J]. 安全与环境工程, 2017, 24(1):115-120.
 [10] 朱吉祥, 张礼中, 梁国玲, 等. 基于GIS的信息熵理论在滑坡危险性评价中的应用——以四川省青川县滑坡为例[J]. 安全与环境工程, 2012, 19(3):15-19.
 [11] 卢立红, 张学魁, 商靠定, 等. 信息熵理论在火灾突发事件现场指挥机构设置中的应用[J]. 安全与环境工程, 2011, 18(2):65-69+76.
 [12] 施式亮, 汤广发, 何利文. 基于小波神经网络的建筑火灾预测模型及应用[J]. 铁道科学与工程学报, 2005, (2):34-37.
 [13] 王晓燕, 申桂香, 张英芝, 等. 基于DEMATEL方法的数控装备故障相关性分析[J]. 吉林大学学报(工学版), 2012, 42(S1):100-103.
 [14] 周德群, 章玲. 集成DEMATEL/ISM的复杂系统层次划分研究[J]. 管理科学学报, 2008, 11(2):20-26.
 [15] 申霞, 夏越, 杨校毅, 等. 集成DEMATEL/ISM的煤矿工人违章行为影响因素研究[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(9):145-151.
 [16] 张英芝, 吴茂坤, 申桂香, 等. 基于DEMATEL/ISM的组合机床故障相关性分析[J]. 工业工程, 2014, 17(3):92-96+127.

Analysis of factors influencing the vulnerability of high-rise building fire system

CAO Shu-nan, LI Hua, LU Jun-ping, YANG Hong-gang

(College of Materials and Minerals, Xi'an University of Architecture & Technology, Shaanxi Xi'an 710055, China)

Abstract: In order to improve the high-rise building fire management system, a multi-layer degressive structural model was established to determine the factors that affect the vulnerability of high-

超声波测距技术在火场侦测中的应用研究

李 森, 梁晓歌, 冯春勇, 王淑彦, 宋寅卯

(郑州轻工业学院 建筑环境工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要:提出将超声波测距技术应用于火场环境侦测。介绍超声波测距原理,从理论上分别分析了温度和烟气浓度对超声波传播速度的影响。依托现有成熟的超声波测距设备对其在火场中的适用性进行了实验验证。结果证明,温度对超声波传播速度的影响不能忽略,而烟气颗粒浓度的影响不大;由于温度补偿技术已非常成熟,因此带温度补偿的超声波测距技术适用于火场高温浓烟环境侦测。

关键词:火场;超声波测距;火场侦测

中图分类号:X924.4, TM921 **文献标志码:**A

文章编号:1009-0029(2018)08-1133-03

据统计,超过60%的消防员死亡和20%的消防员受伤是在火灾环境下造成的。研究表明,低能见度、高温、有毒气体是导致消防员伤亡的主要原因。火场低能见度问题已成为消防领域研究的重点和难点。火场环境侦测设备是解决火场低能见度问题的重要途径。近年来,国内外学者已经开始关注火场低能见度问题并积极开展火场环境侦测设备的研发。Kim和Starr采用红外夜视仪与雷达测距仪相结合的方法获取了穿透烟气的物体图像;Kiss和李森依托现有视频监控系統融入图像清晰化算法获取了烟气环境中的清晰化图像;Sales则利用超声波技术设计了烟气环境中的人员跟随机器人;更具代表性的是美国学者

rise building fire systems. First, the factors of vulnerability were analyzed from the aspects of design, object, person and management; then, DEMATEL was used to calculate the four correlation values of the influencing factors, and the direction of causality of the relevant influencing factors was analyzed; the last, ISM was used to establish a hierarchy of influencing factors. Based on the intrinsic connection and hierarchical relationship of the factors that affect the vulnerability of high-rise building fire systems, the root of high-rise building fire vulnerability was identified.

Key words: high-rise building; fire protection system; DEMATEL; vulnerability; ISM

作者简介:曹树楠(1993—),男,湖北人,西安建筑科技大学材料与矿资学院硕士研究生,主要从事安全管理方面的研究,陕西省西安市碑林区雁塔路13号,710055。

收稿日期:2018-03-30

基金项目:国家自然科学基金青年基金资助项目(51504219);郑州轻工业学院博士科研基金项目(2014BSJJ020);河南省科技攻关计划工业领域项目(152102210349)

消防科学与技术 2018年8月第37卷第8期

Starr JW对可应用于火场的侦测设备在真实烟气环境中进行了试验测试。结果表明,各侦测设备在烟气环境中的适应能力基本遵循“波长越长,烟气穿透能力越强,侦测效果越好”的规律,表现最好的三种设备分别为红外热像仪、雷达测距仪和超声波测距仪。相比较,超声波测距仪已在海洋、医疗、金属探伤、距离测量等多个领域得到了广泛应用,技术较为成熟,价格较低廉,并已实现了小型化,适合消防人员随身携带。将超声波测距技术引入火场环境侦测中,是解决当前火场低能见度问题的可行方案。

1 火场参数对超声波测距准确性的影响分析

1.1 超声波测距原理

超声波测距原理是依据渡越时间法(见图1所示),利用超声波发射器向障碍物方向发射超声波并记录发射时刻 T_1 ,超声波遇到障碍物返回,超声波接收器收到反射波并记录接收时刻 T_2 。假设能准确测量出超声波在介质中的传播速度为 c ,根据定时器记录的时间,就可以计算出超声波发射点距障碍物的距离 S ,见式(1)。

$$S=c(T_2-T_1)/2 \quad (1)$$

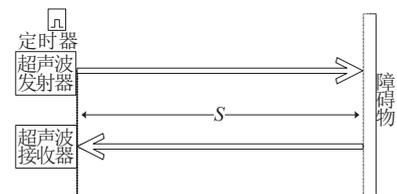


图1 超声波测距原理图

由式(1)可知,影响测距准确度的两个因素分别是传播时间和传播速度。对传播时间引起的误差分析如下:以测距精度要求1mm的场合为例,假设在室温20℃时,超声波的传播速度为340m/s,在忽略传播速度误差的情况下,测距误差为: $S_{\Delta} \leq (0.001/340) \approx 3 \mu\text{s}$ 。假设超声波传播速度是固定的,若将超声波发射和接收的传播时间误差控制在微秒(μs)级,就足以确保超声波测距精度能保持在毫米(mm)级以内。当前快速发展的计算技术已能够解决超声传播时间测量准确度的问题。

而在传播速度方面,由于超声波属于物质波,其传播速度受传播介质的影响较大,尤其是温度的影响。在当前产品化的超声波测距仪中,已将温度补偿融入到产品设计之中。高温是火场的一个重要特征,Sales和Starr在将超声波测距技术引入到火场应用时,同样考虑了温度对测距的影响。然而,除温度以外,传播速度还会受到其他介质