

中文引用格式:袁凡雨,米琴,陈杰,等. 基于事故树分析的重大事故隐患评判方法[J]. 中国安全科学学报, 2025, 35(6): 37-41.
英文引用格式:YUAN Fanyu, MI Qin, CHEN Jie, et al. Evaluation method for major accident hazards based on accident tree analysis[J].
China Safety Science Journal, 2025, 35(6): 37-41.

基于事故树分析的重大事故隐患评判方法^{*}

袁凡雨¹高级工程师, 米琴^{**2}工程师, 陈杰³工程师, 校康明⁴高级工程师
(1 四川安信科创科技有限公司, 四川 成都 610046; 2 四川省安科技术咨询有限公司,
四川 成都 610046; 3 中国融通医疗健康集团有限公司, 四川 成都 610218;
4 上海化工研究院有限公司, 上海 200062)

中图分类号:X921

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.06.1414

【摘要】 为提高重大事故隐患判定标准的精准性,提出一种基于事故树分析(ATA)的重大事故隐患评判方法,该方法通过系统运用风险矩阵和事故树分析等评价工具,通过事故风险分级确定高风险以上事故,以此作为顶上事件进行ATA,运用布尔代数规则简化事故树,从而获得诱发事故发生的各基本事件的结构重要度排序;按照“二八定律”找出结构重要度最高的前20%的基本事件,以此确定可导致事故发生的核心事件,并作为重大事故隐患进行精准管控;通过高层建筑火灾进行实例验证。结果表明:通过ATA,火灾自动报警系统失效在高层建筑火灾事故树中结构重要度最高,应判定为高层建筑重大火灾事故隐患条款,故基于ATA的重大事故隐患评判方法可有效确定重大事故隐患判定内容。

【关键词】 事故树分析(ATA); 重大事故隐患; 评判方法; 事故风险分级; 高层建筑火灾

Evaluation method for major accident hazards based on accident tree analysis

YUAN Fanyu¹, MI Qin², CHEN Jie³, XIAO Kangming⁴

(1 Sichuan Anxin Technology Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610046, China; 2 Sichuan Anke Technology Consulting Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610046, China; 3 China Rong Tong Medical and Healthcare Group Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610218, China; 4 Shanghai Research Institute of Chemical Industry Co., Ltd., Shanghai 200062, China)

Abstract: In order to enhance the precision of the criteria for identifying major accident hazards, an evaluation method for major accident hazards based on ATA was proposed. This method systematically applied evaluation tools such as the risk matrix and accident tree analysis to determine high-risk and above accidents through accident risk classification and used as the top event for ATA. The accident tree was simplified using Boolean algebra rules to obtain the ranking of the structural importance of each basic event that could induce the accident. According to the "80/20 Rule", the top 20% of basic events with the highest structural importance were identified to determine the core events that could lead to the accident, which were then regarded as major accident hazards for precise control. A case study on high-rise building

* 文章编号:1003-3033(2025)06-0037-05; 收稿日期:2025-02-16; 修稿日期:2025-04-17

** 通信作者:米琴(1991—),女,四川巴中人,硕士,工程师,主要从事工贸安全生产管理方面的工作。E-mail:153915416@qq.com。

fires was conducted for validation. The results demonstrate that the failure of the automatic fire alarm system has the highest structural importance in the fire accident tree of high-rise buildings through ATA. It should be judged as a major fire hazard clause of high-rise buildings. Therefore, the evaluation method for major accident hazards based on accident tree analysis can effectively determine the criteria for identifying major accident hazards.

Keywords: accident tree analysis (ATA); major accident hazards; evaluation method; accident risk classification; high-rise building fires

0 引言

重特重大事故易造成严重的人员伤亡和重大经济损失,遏制重特重大事故的关键在于结合事故规律特点,抓住关键时段、关键地区、关键单位、关键环节^[1]。若关键时段、关键地区、关键单位、关键环节失控,并发展成重大事故隐患,则易导致重、特重大事故发生。明确各行业、领域重大事故隐患判定标准是有效开展隐患排查治理工作的前提。开展重大事故隐患评判方法的研究,对制定重大事故隐患评判标准,精准排查和消除重大事故隐患,遏制和防范重特重大事故的发生具有重要意义。

诸多学者开展了重大事故隐患评判方法的研究,曹杨等^[2-3]探讨了海洋石油事故隐患分类与分级、重大事故隐患判定标准的制定依据、选取范围以及编制原则等;贺泰霖^[4]根据法律法规行业标准,统计分析事故案例,结合专家组讨论,完成油气储运重大事故隐患的认定原则和油气储运各生产板块的重大事故隐患判定规范。上述研究对重大事故隐患的评判主要依靠参与者的水平,对信息收集的完整性、过程分析的全面性依赖度高,评判结果主观性较强。目前,还比较缺乏系统、准确评判重大事故隐患的方法。

鉴于此,笔者提出一种基于事故树分析 (Accident Tree Analysis, ATA) 的重大事故隐患评判方法,明确评判工作流程和方法,通过风险矩阵进行事故风险分级,并将高风险以上事故作为顶上事件,进行 ATA,从而找出事故发生的原因和途径,定量计算各基础事件的结构重要度,确定重大事故的关键影响因素,以期对重大事故隐患评判提供一定的参考。

1 重大事故隐患评判流程

参考《安全生产事故隐患排查治理暂行规定》^[5],重大事故隐患是指可能导致重大人员伤亡或重大经济损失,危害大、整改难度大,必须及时整

治的事故隐患。评判重大事故隐患分为 2 个步骤:

1) 进行风险分级,确定重大风险源。综合分析企业可能造成重大人员伤亡或重大经济损失的关键装置、关键环节等,确定风险分级,将 IV 级 (高风险) 以上风险源确定为重大风险源。

2) 根据风险分级的结果,以 IV 级 (高风险) 以上风险可能导致的事故作为顶上事件进行 ATA,依据结构重要度,评判出重大事故隐患,并采取经济有效的措施,降低事故发生的概率 g , 防止发生重、特重大事故。重大事故隐患评判工作流程如图 1 所示。

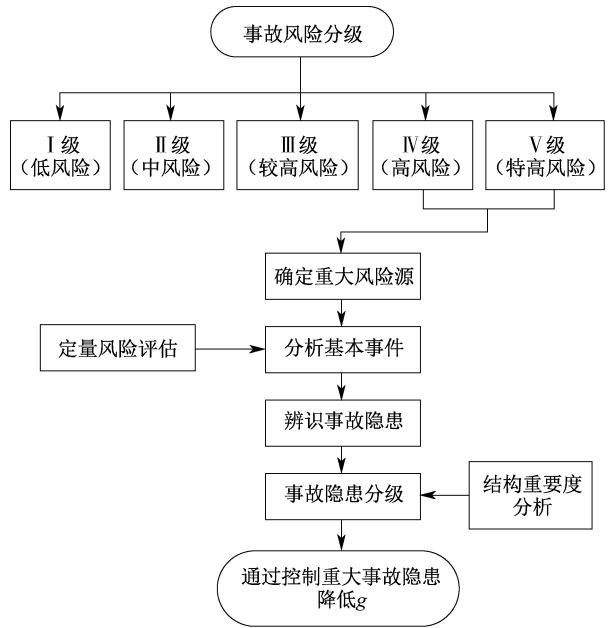


图 1 重大事故隐患评判工作流程
Fig. 1 Workflow for evaluating and judging major accident hazards

2 事故风险分级

事故风险分级是指定性和定量分析系统存在引起事故的潜在能力大小,得出系统发生事故的可能性及其事故损失程度,分别确定其风险级别,以便实施分级管控。事故风险分级用事故隐患易发性 P 和事故隐患损失程度 S 指标来衡量,具体采用风险

矩阵法确定事故风险等级。

2.1 事故隐患易发性 *P* 指标

P 指标的确定需要选择适用的定性、定量风险评估方法进行科学判定,具体可采用事故统计分析方法、事件树分析等方法。以事故发生的可能性来表征事故隐患易发性等级^[6-7],见表 1。

表 1 事故隐患易发性 *P* 指标等级
Table 1 Probability indicators of accident hazards levels (*P*)

<i>P</i> 指标	等级确定参考依据
不易发生	极不可能发生[该行业、领域在固定周期内(≥10 年)未曾发生过类似事故]
偶尔发生	较小可能发生,但不经常[该行业、领域在固定周期内(6~10 年)曾经发生过类似事故]
时有发生	可能发生,发生频次较高[该行业、领域在固定周期内(3~5 年)曾经发生过类似事故]
经常发生	相当可能[该行业、领域在固定周期内(1~2 年)曾数次发生类似事故]

2.2 事故隐患损失程度 *S* 指标

结合《生产安全事故报告和调查处理条例》^[8]确定事故等级,参照其事故分级标准确定 *S* 指标,并结合四川的地域特点和重大事故发生频率的实际情况,*S* 指标等级见表 2。

表 2 事故隐患损失程度 *S* 指标等级
Table 2 Severity indicators of accident hazards levels (*S*)

<i>S</i> 指标	等级确定参考依据(伤亡人数或经济损失)
一般损失	3 人以下死亡,或 10 人以下重伤,或 1 000 万元以下直接经济损失
较大损失	3 人(含)以上 10 人以下死亡,或 10 人(含)以上 50 人以下重伤,或 1 000 万元(含)以上 5 000 万元以下直接经济损失
重大损失	10 人(含)以上 30 人以下死亡,或 50 人(含)以上 100 人以下重伤,或 5 000 万元(含)以上 1 亿元以下直接经济损失
特别重大损失	30 人(含)以上死亡,或 100 人(含)以上重伤,或 1 亿元(含)以上直接经济损失

2.3 事故风险分级

风险是事件发生的概率与事件相关联的后果(通常是不利的)的函数,风险的数学表达式为:风险=概率×后果^[9]。文中可用以下公式描述:

$$R = P \times S \tag{1}$$

式中 *R* 为事故风险。

事故风险等级从低到高为 I 级(低风险)、II 级(中风险)、III 级(较高风险)、IV 级(高风险)、V 级

(特高风险),见表 3。

表 3 事故风险分级风险矩阵
Table 3 Risk matrix evaluation table for accident risk classification

<i>P</i>	<i>S</i>			
	一般损失	较大损失	重大损失	特别重大损失
不易发生	I	I	I	II
偶尔发生	I	I	II	III
时有发生	I	II	III	IV
经常发生	II	III	IV	V

3 重大事故隐患评判方法

3.1 评判方法选取

评判方法的选择要有针对性,应根据不同类型的事故风险源采取不同的方法。根据国内外现有或成熟的方法、标准和模型,评判方法可选择专家评议法、层次分析法^[10]、ATA 法等。文中选取 ATA 来确定重大事故隐患指标。

3.2 绘制事故树

依据事故风险分级结果,以 IV 级(高风险)、V 级(特高风险)的事故作为顶上事件 *T* 进行 ATA,*A*₁、*A*₂ 作为中间事件,*X*₁、*X*₂、*X*₃、*X*₄ 作为导致顶上事件发生的基本事件,绘制事故树^[11],如图 2 所示。

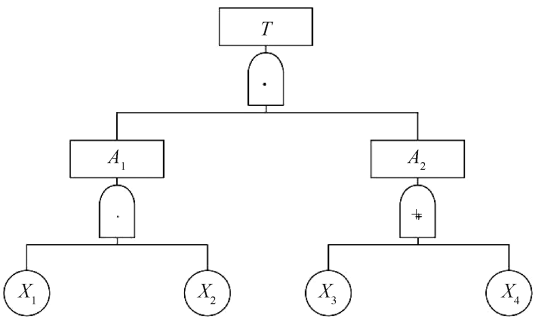


图 2 ATA

Fig. 2 ATA

3.3 求事故树最小割集

运用布尔代数法简化顶上事件的逻辑关系,求事故树最小割集。

$$T = A_1 A_2 = X_1 X_2 (X_3 + X_4) = X_1 X_2 X_3 + X_1 X_2 X_4$$

因此,得到该事故树的 2 个最小割集:{*X*₁,*X*₂,*X*₃},{*X*₁,*X*₂,*X*₄}。每个最小割集都是顶上事件发

生的一种可能渠道,求出最小割集就可掌握事故发生的可能性^[12]。

3.4 结构重要度分析

结构重要度分析是从事故树结构上分析各基本事件的重要程度,即在不考虑各基本事件的发生概率,或假定各基本事件的发生概率都相等的情况下,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^[13]。

按下式计算结构重要度系数^[14]：

$$I_{(i)} = \sum K_i (1/2)^{n-1}, X \in K \quad (2)$$

式中： $I_{(i)}$ 为基本事件 X_i 的重要度系数近似判别值； K_i 为包含 X_i 的(所有)割集； n 为基本事件 X_i 所在割集中基本事件个数。

3.5 重大事故隐患评判

1) 重大事故隐患评判。在基本事件 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 中,按照二八定律^[15]找出结构重要度最高的前 20% 的基本事件,即认为是可能导致重大人身伤亡或重大经济损失,且必须及时整治的事故隐患,并评判为重大事故隐患。

2) 通过采取经济有效的措施,及时清零重大事故隐患,可有效降低顶上事件发生概率 g ,控制 g 小于可容许风险 g_0 ,以满足个人风险和社会风险的要求,防止重、特大事故的发生。

4 重大事故隐患评判方法应用举例

4.1 事故风险分级

综合分析近年来的高层建筑火灾事故, P 指标可判定为经常发生, S 指标可判定为可能出现重大以上损失,其事故风险等级为Ⅳ级以上,即构成重大风险源。

4.2 重大隐患评判示例

以高层建筑重特大火灾事故为顶上事件,进行 ATA^[16-18],如图 3 所示。

1) 求最小割集。结构函数： $T=A_1A_2=(X_1+X_2)(X_2A_5+X_6X_7)=(X_1+X_2)(X_2X_3+X_2X_4+X_2X_5+X_6X_7)=X_1X_2X_3+X_1X_2X_4+X_1X_2X_5+X_1X_6X_7+X_2X_3+X_2X_4+X_2X_5+X_2X_6X_7$ (等幂律)= $X_2X_3+X_2X_4+X_2X_5+X_1X_6X_7+X_2X_6X_7$ (吸收律)。此事故树的最小割集为： $\{X_2, X_3\}$ 、 $\{X_2, X_4\}$ 、 $\{X_2, X_5\}$ 、 $\{X_1, X_6, X_7\}$ 、 $\{X_2, X_6, X_7\}$ 。

由最小割集可知:以上 5 个基本事件的集合能够引起顶上事件的发生。

2) 计算结构重要度:

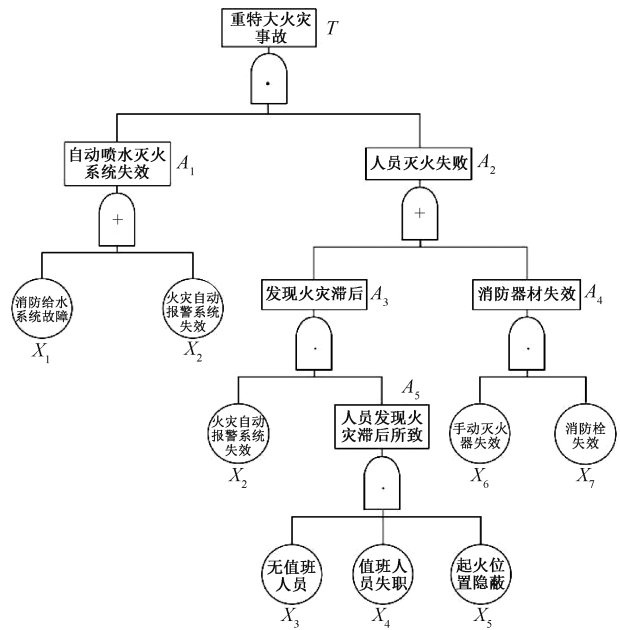


图 3 高层建筑火灾事故树
Fig. 3 Fault tree analysis of high-rise building fire incidents

$$I_{(1)} = \frac{1}{2^{3-1}} = \frac{1}{4}$$
$$I_{(2)} = \frac{3}{2^{2-1}} + \frac{1}{2^{3-1}} = \frac{7}{4}$$
$$I_{(3)} = I_{(4)} = I_{(5)} = \frac{1}{2^{2-1}} = \frac{1}{2}$$
$$I_{(6)} = I_{(7)} = \frac{1}{2^{3-1}} + \frac{1}{2^{3-1}} = \frac{1}{2}$$

各基本事件的结构重要度从高到低为火灾自动报警系统失效 $I_{(2)} >$ 手动灭火器失效 $I_{(6)} =$ 消防栓失效 $I_{(7)} =$ 无值班人员 $I_{(3)} =$ 值班人员的失职 $I_{(4)} =$ 起火位置隐蔽 $I_{(5)} >$ 消防给水系统故障 $I_{(1)}$ 。因此,结构重要度最高的前 20% 中,火灾自动报警系统失效对顶上事件影响大,且为必须及时整治的事故隐患,评判为重大事故隐患。

根据《重大火灾隐患判定方法》(GB 35181—2017),旅馆、公共娱乐场所、商店、地下人员密集场所未按国家工程建设消防技术标准的规定设置自动喷水灭火系统或火灾自动报警系统,应判定为重大火灾事故隐患。说明文中所提重大事故隐患评判方法具有一定的科学性和有效性。

5 结 论

1) 文中提出一种基于 ATA 的重大事故隐患评判方法,该方法系统运用风险矩阵、ATA 等手段定

性定量分析高风险以上事故,找到易导致事故发生的决定性事件,并将其设定为重大事故隐患。

隐患评判方法,该方法可提高重大事故隐患评判的准确性。

2) 相较于纯粹依赖人员经验、水平的重大事故

参 考 文 献

- [1] 国务院安委会办公室印发《标本兼治遏制重特重大事故工作指南》[J]. 中国应急管理, 2016(4): 50-51.
- [2] 曹杨, 胡忠前, 吕松松, 等. 海洋石油重大事故隐患判定标准依据探析[J]. 天然气与石油, 2021, 39(4): 110-116.
CAO Yang, HU Zhongqian, LYU Songsong, et al. Study on the identification basis of potential hazards in major offshore oil incidents[J]. Natural Gas and Oil, 2021, 39(4): 110-116.
- [3] 曹杨. 我国海洋石油事故隐患分类与分级研究[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(增1): 42-46.
CAO Yang. Classification and gradation of hidden dangers of offshore oil in China[J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(S1): 42-46.
- [4] 贺泰霖. 油气储运事故隐患的辨识分析及管控方法研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2016.
HE Tailin. Identification analysis and control methods of accident potential hazards in oil and gas storage and transportation[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2016.
- [5] 原国家安全生产监督管理总局. 安全生产事故隐患排查治理暂行规定[EB/OL]. (2007-12-28). https://www.mem.gov.cn/gk/zfxgkpt/fdzdgknr/gz11/200712/t20071228_405675.shtml.
- [6] 李倩. 上海市重大事故隐患分级评价方法的研究[C]. 全国第二次安全科学技术学术交流大会论文集, 2002: 236-240.
- [7] 万古军. 基于风险值的中国石化安全风险量化分级管控[J]. 安全、健康和环境, 2018, 18(1): 40-43.
WAN Gujun. Quantitative and classified control of SINOPEC safety risk based on risk value[J]. Safety Health & Environment, 2018, 18(1): 40-43.
- [8] 中华人民共和国国务院. 生产安全事故报告和调查处理条例[EB/OL]. (2007-04-09). <https://flk.npc.gov.cn/detail2.html?ZmY4MDgwODE2ZjNlOTBiZDAxNmY0MWEyYjI2ODAyM2Y>.
- [9] GB/T 23694—2024, 风险管理 术语[S].
GB/T 23694—2024, Risk management: vocabulary[S].
- [10] 张明广, 蒋军成. 基于层次分析法的重大危险源模糊综合评价[J]. 南京工业大学学报: 自然科学版, 2006, 28(2): 31-34.
ZHANG Mingguang, JIANG Juncheng. Application of analytical hierarchy process in hazard degree assessment of major hazard installations[J]. Journal of Nanjing Tech University: Natural Science Edition, 2006, 28(2): 31-34.
- [11] 张梦欣. 安全评价师(第2版)[M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2010: 134.
- [12] 韩光, 赵春雪, 宋晨. 一种基于最小割集的故障树分析模型研究和算法实现[J]. 中国管理信息化, 2021, 24(20): 180-183.
- [13] 陈耀华. 故障树分析法在项目安全风险评估中的应用[J]. 价值工程, 2014, 33(9): 142-144.
CHEN Yaohua. Application of fault tree analysis in project safety risk assessment[J]. Value Engineering, 2014, 33(9): 142-144.
- [14] 焦航翀. 事故树分析在基坑支护工程施工预防失稳坍塌中的应用[J]. 市政技术, 2015, 33(2): 188-191.
JIAO Hangchong. FTA application for collapse prevention in foundation pit protection[J]. Journal of Municipal Technology, 2015, 33(2): 188-191.
- [15] 崔政斌, 刘炳安, 周礼庆. 安全生产十大定律与方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2017: 8-10.
- [16] 张召冉, 谷宗贺, 张远悦. 基于事故树的高层建筑火灾分析及预防研究[J]. 山西建筑, 2024, 50(7): 188-190.
ZHANG Zhaoran, GU Zonghe, ZHANG Yuanyue. Analysis and prevention of high-rise building fire based on fault tree analysis[J]. Shanxi Architecture, 2024, 50(7): 188-190.
- [17] 郑乐. 高层建筑火灾风险分析及对策研究[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(10): 72-76.
ZHENG Le. Risk analysis of high-rise building fire and its countermeasures[J]. China Safety Science Journal, 2009, 19(10): 72-76.
- [18] 王燕, 尹盼盼, 沈梦露. 基于事故树的铁路客运站火灾风险因素分析[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(增1): 44-47.
WANG Yan, YIN Panpan, SHEN Menglu. Fire risk factors analysis of large railway passenger station based on fault tree analysis[J]. China Safety Science Journal, 2019, 29(S1): 44-47.

作者简介: 袁凡雨 (1984—), 男, 四川南充人, 硕士, 高级工程师, 主要从事企业安全生产管理及事故预防研究等工作。E-mail: yuanfanyu@vip.qq.com。

