

事故树分析在汽柴油储罐区安全管理中的应用研究

黄成艺（国家石油天然气管网集团有限公司华南分公司，广州 南沙 511455）

摘要：在石油化工行业的发展中，汽柴油储罐区的安全管理问题备受关注。事故树分析作为有效的安全管理方法，在该领域发挥着重要作用。它从界定分析对象到评估事故风险，为预防事故、优化安全管理提供了系统解决方案。实际应用中，该方法已成功应用于储罐区各方面，有效应对了诸多安全隐患。然而，事故树分析在复杂场景的适应性和结果准确性上仍需提升。未来，需完善事故树分析方法，创新安全管理工具，推动储罐区安全管理持续进步，为石油化工行业安全稳定发展注入更强动力。事故树分析虽有成效，但仍需深入研究，以发挥其更大作用。

关键词：石油化工；汽油储罐；安全管理；事故树

汽柴油储罐区是石油行业的重要组成部分，其中包括了储油罐、输油管道、加油设施等多个方面。但是，在这些设施的运行过程中，由于人为因素、自然因素等原因，可能会导致事故的发生。如果事故处理不当，不仅会严重影响生产经济效益，还会给环境带来严重的污染和人身伤害。因此，汽柴油储罐区的安全管理工作非常重要。目前，事故树分析(FTA)已经成为了国际上广泛应用的一种风险评估和安全管理方法。本文将通过文献综述的方式，介绍事故树分析在安全管理领域的研究现状，以及汽柴油储罐区安全管理中的应用情况。

1 事故树分析基本理论

1.1 事故树分析概述

事故树分析(Fault Tree Analysis, FTA)起源于20世纪50年代的美国航空航天领域，后逐渐发展应用于工业、交通、能源、医疗等多个领域，现已成为一种广泛应用于各领域安全管理和风险评估的定量安全分析方法。该方法通过构建故障树或事故树，对系统中可能导致事故的各种因素进行深入剖析和评估，从而精准识别事故发生的概率和影响。事故树分析的核心思想在于从事事故结果反向推导事故原因，利用树状结构以逻辑关系描述事故发展路径，最终为目标系统制定针对性的安全管理措施提供决策依据。其基本步骤包括制定目标和范围、确定根节点、建立叶节点、制定逻辑关系、计算概率和后果等，旨在降低事故发生概率及减轻其后果。因此，事故树分析对于保障系统安全性和推动安全管理措施的发展具有重要意义。

1.2 事故树分析基本原理

1.2.1 树型结构和事件的定义

事故树分析中的树型结构是系统故障或事故的可

视化表示，它将复杂的故障或事故过程由上至下拆分为一系列相互关联的事件。在这一结构中，每个节点代表一个事件，其中根节点表示系统故障或事故（即顶事件），而叶节点则表示导致事故的最基本元素或条件（即基本事件）。事件在事故树分析中被定义为可能导致事故的元素或条件，它们可分为三类：基本事件、中间事件和顶事件。基本事件是直接导致事故的元素或条件，无需深入分析；中间事件由多个基本事件组合而成，是导致事故的重要因素或条件，需要进一步分析以揭示其潜在原因；而顶事件则是系统故障或事故的最终结果，作为整个事故树的起点，它帮助我们从事事故的结果反向追溯，找出事故发生的根源。这种明确定义的事件和树型结构有助于清晰地理解事故的发展过程，从而采取有效的预防措施，降低事故的发生概率和影响。

1.2.2 事件间的逻辑关系

在事故树分析中，事件之间的逻辑关系起着至关重要的作用，它们决定了事故发生的条件和概率。这些逻辑关系包括与门(AND)、或门(OR)和否定门(NOT)，它们对于事故的演绎和推理具有明确的意义。与门关系表示多个事件必须同时出现才能引发事故，这种关系强调了事件间的相互依赖性和协同作用。相比之下，或门关系则表明只要多个事件中任意一个发生，事故就可能发生，这种关系突出了事故的多样性和复杂性。而否定门关系则是对某个事件的否定，表示该事件的发生不会导致事故，这种关系有助于排除某些非关键因素，进一步聚焦分析的重点。在故障树中，与门、或门和否定门通常分别用方框、圆圈和斜线来表示，这样的表示方法直观地展现了事件之间的逻辑联系，为分析者提供了清晰的事故发展逻辑，从

而有助于更准确地评估和预防事故的发生。

1.2.3 从大事件逆推出小事件的分析流程

事故树分析是一种系统化的方法，旨在通过从事故的根源逐步追溯到其潜在原因，以确保系统的安全。其基本流程始于明确的大事件，即系统故障或事故，然后逐步逆推至小事件，从而全面探究事故发生的可能性。在这一过程中，分析人员需要明确识别中间事件和基本事件，并深入理解这些事件之间的逻辑关系，以构建出精确的故障树或事故树。进一步地，概率和影响程度的计算为分析提供了量化基础，使我们能更准确地掌握每个事件对整体事故的贡献。最终，这些分析结果将为确定必要的安全管理措施提供决策依据，目标明确地降低事故发生的概率及其影响。这一流程体现了事故树分析在安全管理中的重要价值，为预防事故和增强系统安全性提供了有力工具。

1.3 事故树分析在汽柴油储罐区安全管理中的应用

事故树分析在汽柴油储罐区安全管理中的应用具有显著的实际意义和价值。其不仅具备全面性、可视化和量化的优势，能够全方位地考察各种可能导致事故的因素，并以直观的图形展示复杂的事故因果关系，还能精确计算事故概率和影响程度，为安全管理提供准确依据。在实际应用中，事故树分析可以被用于某石油化工企业的汽柴油储罐区，通过明确大事件、识别中间事件和基本事件，构建事故树，计算概率和影响程度，并采取针对性安全管理措施，从而全面评估潜在风险，助力企业制定有效安全管理策略，确保储罐区的运营安全。因此，事故树分析可谓是汽柴油储罐区安全管理中的一把利器，值得企业和管理者充分重视和应用。

2 汽柴油储罐区安全管理现状

2.1 储罐区安全管理现状

汽柴油储罐区作为石油石化行业的核心区域，其安全管理现状直接关系到工业生产的安全与稳定。然而，在现实中，储罐区存在着不少安全隐患和管理问题。物理安全方面，尽管大部分储罐区在围墙、大门等基础设施上做得相对完善，但仍有少数储罐区因各种原因存在设施建设不足的问题，尤其是泄漏控制系统普遍老化，这就为泄漏事故的发生埋下了隐患。从制度安全角度看，虽然大部分储罐区已有相对完备的安全制度，但执行过程中仍存在诸多漏洞，例如有操作人员缺乏必要的从业资格证书，这无疑增加了事故发生的风险。再者，技术安全方面也不容乐观，设备老化、工艺流程不完善等问题在一些储罐区中屡见不

鲜，而员工安全教育和培训的不足更是雪上加霜。因此，我们必须高度重视汽柴油储罐区的安全管理现状，并积极采取措施解决这些安全隐患和管理问题，以确保工业生产的顺利进行。

2.2 存在的安全隐患和管理问题

在汽柴油储罐区中，安全隐患和管理问题不容忽视。物理安全方面，一些储罐区围墙、大门等设施建设仍未完善，而且围范边缘和道路附近的树木可能阻碍视线，给安全管理带来盲区。同时，设备老化、泄漏控制系统不足等问题也构成实质风险。制度安全方面，虽然许多储罐区拥有完备的制度，但执行力度不够，管理人员对制度执行的监督缺失，导致员工可能出现旷工、迟到或不遵守规程的情况，进一步增加了风险。技术安全方面，储罐区技术水平差异大，设备老化、工艺流程缺陷以及人员培训不足等技术性问题，成为威胁储罐区安全的关键因素。这些问题亟待解决，以确保储罐区的安全与稳定。

2.3 储罐区安全管理建议

为了提高储罐区的安全管理水平，专业角度提出以下建议：必须完善物理安全设施，包括加强围墙、大门以及泄漏控制系统的建设，这些设施的有效性和完备性能够显著降低事故发生的概率。另外需要严格执行安全制度，管理人员应加强对制度执行的监督，确保所有工作人员都能严格遵守操作规程，同时建立制度执行考核机制，以提高制度执行的力度和效果。还需提高技术安全水平，包括提升设备技术水平、优化工艺流程以及加强人员安全教育和培训等方面的工作。通过这些措施，可以全面提高储罐区的安全管理水平，确保储罐区的安全生产和运营，从而保障人民群众的生命财产安全，实现石油石化行业的可持续发展。

3 案例研究

汽油属 3.1 类易燃液体，同时属甲类火灾危险性物质，极易发生火灾爆炸事故。

3.1 火灾爆炸事故树分析

从图 1 通过计算可知，该事故树最小割集数目有 150 个，最小径集数目有 5 个，为了方便分析，根据其最小径集数对该事故树进行定性分析。

3.2 求事故树最小径集

利用布尔代数法求得该事故树的最小径集如下：

$$J_1 = \{X_1, X_2, X_5, X_6, X_7\}$$

$$J_2 = \{X_1, X_3, X_5, X_6, X_7\}$$

$$J_3 = \{X_1, X_4, X_5, X_6, X_7\}$$

$$J_4=\{X_8\}$$

$$J_5=\{X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}, X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}, X_{25}\}$$

$$J_5=\{X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}, X_{21}, X_{26}, X_{27}, X_{28}\}$$

通过对事故树的专业分析，我们可以得知，人为因素是储罐区事故发生的主导原因，其中包括操作失误、疏忽以及不当操作等，这些因素在事故树中占据显著比例。此外，工作人员的安全管理知识和技能水平也会对事故发生造成影响。其次，系统因素是事故的次要原因，涉及储罐区的设计缺陷、设备老化、故障以及维护不足等问题，这些因素直接关乎储罐区的安全性能。再次，环境因素也对事故发生产生一定影响，如自然灾害、气候、电力负载和地震等，虽然它们对事故发生概率影响较小，但对事故的影响程度却较大。最后，技术因素是防控事故的关键，采用现代化设备、更新换代旧有设备以及引入现代化管理方法等技术手段，能有效地遏制储罐区事故的发生。

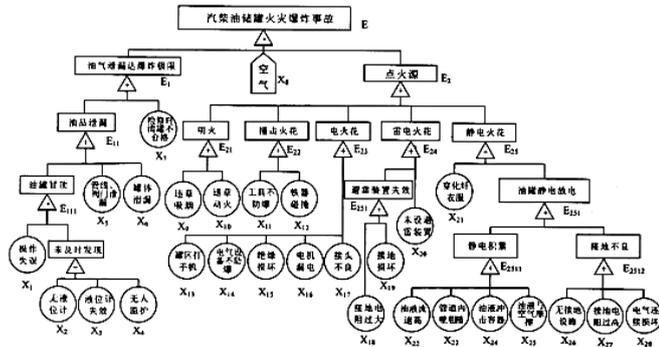


图1 汽柴油储罐火灾爆炸事故树

3.3 基于事故树分析的安全管理改进建议

基于事故树分析的结果，为提升储罐区的安全管理水平，我们提出以下专业建议：首先必须强化人员培训，提升工作人员的安全管理知识和技能，以降低人为因素导致的事故风险；其次，需完善储罐区的防护措施，加强设备维护和更新，提高储罐区的整体安全性能，从而减少系统因素对事故的影响；再者应建立现代化管理体系，利用先进的管理方法和技术手段，提升储罐区的管理效率和安全水平，以适应行业发展的需求；最后还需制定全面、实用的应急预案，加强储罐区的应急救援能力，确保在事故发生时能迅速、有效地响应和处理，从而最大限度地保护人员安全和环境安全。建议的实施将有助于提高储罐区的整体安全水平，确保石油化工企业的稳定和安全运营。

4 应用效果评估

从专业角度来看，对于汽柴油储罐区的安全管理，

事故树分析提供了一种科学且全面的方法，能够深入解析事故的发生逻辑和机理，进而在预防事故上发挥重要作用。基于事故树分析的安全管理方案，包含了完善的安全管理体系、严格的操作规程和标准的应急预案，这些方案在实际应用中大大提升了储罐区的安全管理水平，并有效降低了事故发生的概率。同时，它也使得管理人员能更好地应对突发事件，及时采取有效措施，确保员工和环境的安全。在成本投入方面，尽管建立完备的安全管理体系需要大量的人力和物力投入，但从长远角度看，这些投入都是必要的，并可以通过预防事故来节省企业的经济成本。高科技的应用在现代化管理中是必备的，虽然事故树分析需要较高的技术水平，但这有助于提高管理效率和管理水平。总的来说，本研究的成果对汽柴油储罐区的安全管理有重要的实际意义，并在适当调整后，有望在其他行业和领域得到广泛的应用。

5 结论

从专业角度来看，事故树分析在汽柴油储罐区安全管理中展现出极高的应用价值。通过本文的研究，我们明确了事故树分析能有效识别潜在的事故风险，并为安全管理提供决策依据。该方法能清晰地揭示事故的形成机理，系统地评估各种影响因素，为企业提供有针对性的风险评估。同时，通过对事故树模型的深入解读，我们能设计出有效的安全防控策略，降低事故发生的概率及损失。展望未来，随着技术的进步，事故树分析的应用将更加精确与广泛，不仅局限于汽柴油储罐区，还可应用于其他类型的储罐区。为了进一步提升其效果，未来的研究应聚焦于完善该方法，探索与其他风险管理技术的结合应用，并努力构建一套标准化的储罐区安全管理体系。在这个工业化快速发展的时代，我们有理由相信，事故树分析将在保障储罐区安全运营方面发挥越来越重要的作用。通过不断的研究和实践，我们将为提高储罐区安全管理水平，确保企业和社会的安全可持续发展做出更大的贡献。

参考文献：

[1] 杨晶, 陈晓丽, 吴炜. LNG 加气站槽车泄漏事故树分析 [J]. 2021.
 [2] 王海南. 基于事故树的储油罐区火灾危险性分析 [J]. 广东化工, 2021(2):2.

作者简介：

黄成艺 (1983-)，男，广东化州人，毕业于广东工业大学，本科，信息工程专业，研究方向：安全管理。