

BIM 和 AR 在境外炼化工程 HSE 风险管理中的应用

秦松华, 刘 强*

(中国海洋大学工程学院, 山东 青岛 266100)

摘要:以4个境外炼化工程重大事故为例,分析事故原因,建立了BIM和AR技术在境外炼化工程设计、施工和运行阶段HSE风险管理中的应用流程,并结合HSE风险管理理论,对BIM和AR技术在境外炼化工程HSE风险管理中的应用进行了分析;最后建立了BIM和AR在境外炼化工程HSE风险管理中应用的实现流程。研究证明,BIM和AR技术的应用在境外炼化工程HSE风险管理中能够有效控制HSE风险因素,从而减少风险事故的发生。

关键词:建筑信息模型;增强现实;境外炼化工程;HSE;风险管理

中图分类号:F283

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2016)10-0011-05

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2016.10.004

The integrated application of BIM and AR in HSE risk management of overseas refinery chemical engineering

QIN Song-hua, LIU Qiang*

(College of Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Taking four major accident typical cases of overseas refinery chemical engineering as examples, the causes of accidents are analyzed. The application processes of BIM and AR are established in design, construction and operation phases of overseas refinery chemical engineering. The application of BIM and AR in HSE risk management is analyzed based on the theory of HSE risk management. The implementation flow of integrated application of BIM and AR is established in HSE risk management of overseas refinery chemical engineering. The study shows that in overseas refinery chemical engineering HSE risk management, the integrated application of BIM and AR can control HSE risk factors effectively and reduce risk accidents.

Key words: building information modeling; augmented reality; overseas refinery chemical engineering; HSE; risk management

境外项目面临着比境内项目更为复杂的环境,国际业主要求也更为苛刻,再加上新建炼化装置生产规模大、工艺技术复杂、质量安全风险高、建设周期长等特点^[1],境外炼化工程项目需要更高的管理水平。20世纪80年代以后,逐渐形成了一系列安全管理的方法。20世纪90年代以后,西方的一些大型石油公司把健康、安全和环境(HSE)管理思想融入到企业管理体系中,开发出一套科学、完整、规范的HSE管理体系^[2],现已被国际石油界广泛接受和使用。境外炼化工程HSE管理体系的核心是风险管理,只有在项目的各个阶段准确地识别和评价风险,并采取有效的措施管理和控制风险,减少各类事故的发生,才能实现HSE管理的目标。但是,由于境外炼化工程规模庞大,结构复杂,管线众多,对HSE风险管理水平的要求较高,仅仅通过对设计图纸的三维想象,很难准确地识别和控制风险因素,顺利地地完成各项工作。建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)和增强现实(Augmented

Reality, AR)技术以三维可视化、实时交互的优点弥补了境外炼化工程HSE风险管理的这一缺陷。通过介绍和分析BIM和AR技术在境外炼化工程设计、施工和运行阶段HSE风险管理中的应用,发现BIM和AR可以提高境外炼化工程HSE风险管理的效率和有效性,更好地实现项目的目标。

1 BIM 和 AR 概述

BIM是以三维数字技术为基础,集成了工程全寿命周期的各种相关数据的工程数据模型,是对工程项目设施实体和功能特性的数字化表达^[3],是对工程项目全过程进行管理和优化的过程、方法和技术。BIM可以通过三维碰撞和施工方案模拟等技术,提前发现项目方案中的冲突和碰撞,降低风险发生的概率,优化项目管理,以节约成本、控制工期、提升质量。目前,BIM技术的应用主要集中在商业住宅、办公建筑等领域,而在工厂规划、工厂的全生命周期管理方面的应用还比较少^[4]。

AR 是智能混合现实的一部分,是在传统的虚拟现实(Virtual Reality, VR)基础上发展起来的一种新型计算机应用与人机交互技术,是情景智能化最有力的表现形式^[5],AR 已经在建筑、设计、施工行业以及制造和维修、培训、医学、3D 视频会议、计算机辅助教学、娱乐和旅游等领域得到了一定的应用^[6]。与 VR 是在完全虚拟的环境中不同,AR 是一种虚实融合的技术,它是把计算机产生的虚拟信息和场景无缝地叠加到现实世界的场景中,以一种最直观和最自然的方式实现用户与环境之间的交互,从而提高了用户对虚拟模型的感知能力。

在境外炼化工程的 HSE 风险管理过程中,BIM 和 AR 技术的结合具有非常明显的优势。首先,BIM 可以为 AR 用于工程指导提供所需的虚拟模型和数据^[7];其次,AR 可以实现 BIM 模型在境外炼化工程中的可视化表达。BIM 和 AR 技术的结合应用可以弥补 HSE 风险管理直观性和量化性不强的缺陷,可

以使境外炼化工程项目在方案设计阶段更好地预测辨识 HSE 风险,在施工阶段实时控制 HSE 风险与减少事故,在交付与运行阶段监控处置 HSE 风险保证安全运行。因此,本文建立了 BIM 和 AR 在境外炼化工程设计、施工和运行阶段 HSE 风险管理过程中的应用流程,并且建立了 BIM 和 AR 结合应用的实现流程,以弥补现有的境外炼化工程 HSE 风险管理的不足,更好地实现境外炼化工程设计、施工和运行阶段的 HSE 风险控制。

2 境外炼化工程重大事故典型案例分析

炼化工程一旦发生事故,将会造成重大的人员伤亡和财产损失,还会对周围环境带来十分恶劣的影响,境外炼化工程的几个重大事故案例分析概述如表 1 所示,其中印度博帕尔(Bhopal)农药厂事故、瑞士山德士(Sandoz)化工厂事故引用自刘强等的研究论文^[8]。

表 1 境外炼化工程重大事故案例

发生时间与地点	人员伤亡	财产损失	后果及环境影响
印度美国所属联碳公司博帕尔农药厂 1984 年异氰酸甲酯泄漏事故	8000 人死亡,50 万人中毒或者失明	28 亿美元	世界工业界最大惨案
主要原因分析			
人的不安全行为:设计欠缺、操作失误、维修失灵和忽视上岗培训			
物的不安全状态:为降低成本使用廉价的剧毒化工原料,没有使用原要求的化工原料;储罐容积过大,没有采用小型容器分开储存;管道严重腐蚀,产生泄露,而且 4 年缺乏正常维修;缺乏规章制度,无安全体系,安全预警系统和冷却系统处于关闭状态			
瑞士巴塞山德士公司 1986 年 11 月,化工染料仓库发生大火	3 人死亡,5 人受伤	20 亿美元	大量有毒化学溶剂流入莱茵河,造成莱茵河严重污染,其中约有 30 t 水银流入河道
主要原因分析			
人的不安全行为:电焊火花引发火灾;救火操作失误;水枪喷洒化工厂产品,使得大量有毒化学溶剂通过污水下水道或者地表径流入莱茵河			
物的不安全状态:剧毒化工原料在仓库中没有清单与管理措施;企业没有对剧毒化工产品建立安全措施与应急预案			
印度 HPCL 炼油厂 1997 年液化石油气爆炸	60 多人死亡	1.5 亿美元	威胁附近 200 万居民的安全
主要原因分析			
人的不安全行为:维修人员发现泄露后没有采取措施;发现管线腐蚀问题,没有引起重视;没有事故救援应急预案			
物的不安全状态:厂区没有消防水源,现场没有消防泡沫装置;餐厅和办公楼距离炼油装置太近			
英国石油公司(BP)所属美国德克萨斯州炼油厂火灾爆炸事故	15 人死亡,180 人受伤	15 亿美元	美国作业场所近 20 年间最严重的灾难
主要原因分析			
人的不安全行为:夜班操作员无视蒸馏塔进料超过标准,将警戒关掉;开入的白色小车未关闭引擎,司机久离未归			
物的不安全状态:蒸馏塔进料过程中,排液控制阀未开;可燃液体蒸发形成蒸汽云,小货车引擎火花点燃蒸汽云			

由以上案例分析得知,境外炼化工程的事故主要是由人的不安全行为和物的不安全状态造成的,这也是炼化工程项目 HSE 风险管理中的核心所在。在设计阶段,设计单位应考虑到施工和运行过程中

的 HSE 风险因素,尽量使设计方案更加科学和可行,减少后期出现设计变更的情况;在施工阶段,不仅要考虑到施工过程本身的 HSE 风险因素,还要考虑到运行过程中的 HSE 风险因素,并且做好施工中

风险监督工作;在运行阶段,要做好风险管理工作,监控 HSE 风险因素状态,保证境外炼化工程安全运行。总之,BIM 和 AR 技术的结合应用可以在境外炼化工程的各个阶段预测和识别人的不安全行为和物的不安全状态,对 HSE 风险进行更加有效的管理。BIM 可以建立三维模型,实现各参与方在各个阶段的协同工作,有效地促进境外炼化工程项目全生命周期的 HSE 风险管理,避免出现信息孤岛;AR 可以针对 BIM 模型实现增强现实的效果,使项目各参与方更加直观真实地了解项目,这对境外炼化工程各阶段的 HSE 风险管理起到良好的推进作用。

3 BIM 和 AR 在境外炼化工程 HSE 风险管理中的应用流程

3.1 BIM 和 AR 在设计阶段的应用流程

在设计阶段,主要从预防和准备层面对境外炼化工程 HSE 风险因素进行描绘,利用 BIM 模型发现在施工阶段和运行阶段可能出现的 HSE 风险因素,并且不断地优化设计方案,同时更新和完善 BIM 模型;在工程的关键控制点和复杂结构处,利用 AR 技术更直观可视化地了解和分析 BIM 模型。设计阶段的 BIM 和 AR 应用流程如图 1 所示。

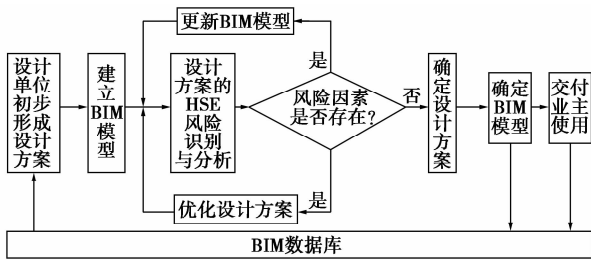


图 1 BIM 和 AR 在设计阶段的应用流程

设计阶段在境外炼化工程的全生命周期中占有重要地位,设计阶段不仅决定了工程结构、材料设备、工艺要求等,甚至规定了工程的施工方法^[9],这些活动的科学性和合理性决定了接下来的施工阶段和运行阶段的质量和安。因此,在设计阶段,设计单位要严格遵守安全环保的法律法规,按照“安全第一”的原则,充分考虑施工条件和运行时的工艺流程,预测和识别施工阶段和运行阶段由于人的不安全行为和物的不安全状态带来的风险,确保设计方案的安全合理性。形成初步设计方案并建立初步的 BIM 模型以后,对设计方案中 HSE 风险因素进行识别与分析,发现设计中的不安全因素,不断地优化设计方案并更新和完善 BIM 模型。在工程的关键控制点和复杂结构处,利用 AR 技术调用该结构的 BIM 三维模型,以方便设计人员可以更直观地分析设计方案,发现方案的不足并修改方案,所有修改后的模型和数据都实时反馈到 BIM 模型中。不断进行这个过程,直到设计方案相关的 HSE 风险因素处于可控制范围内,然后把最终的设计方案和 BIM 模型交给业主。

3.2 BIM 和 AR 在施工阶段的应用流程

在境外炼化工程的施工阶段,施工队伍庞杂,涉及专业众多,再加上场地有限,容易由于人的不安全行为导致安全事故,另外还要保证施工质量,防止出现因装置和管道质量不合格而导致运行阶段发生事故的情况。施工中利用 BIM 模型,不断识别和分析可能产生 HSE 事故的风险因素,进行实时的监控和管理,以减少事故的发生;AR 可以在工程的关键控制点和复杂结构中实时指导施工。BIM 和 AR 在施工阶段的应用流程如图 2 所示。

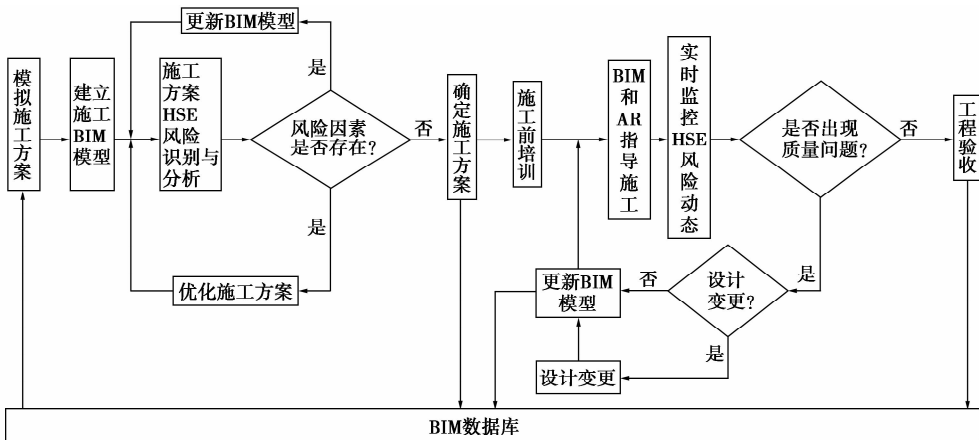


图 2 BIM 和 AR 在施工阶段的应用流程

在境外炼化工程的施工阶段,安全管理难度非常大,而且设备和工艺流程的安全合格对项目的运行阶段具有非常重要的影响。首先,施工单位模拟施工方案,包括施工场地布置、设施设备采购和放置、施工工艺和流程以及事故应急预案等,利用 AR 技术增强现实和实时交互的特点,把 BIM 模型直观形象地展示在项目各参与方面前,以便各参与方审查施工方案,识别和分析施工方案中 HSE 风险因素,并且采取措施控制和减少 HSE 风险,不断优化施工方案直到相关风险因素处于可控制的范围内,并把确定后的施工方案和相关数据存储在数据库中,方便以后调用。然后,针对施工过程中的关键控制点和复杂结构,提取相应的 BIM 模型,制定出相应的施工工序并做成模拟动画,利用 AR 技术把模拟动画或者三维模型叠加到真实环境中^[10],对施工人员进行教育和培训。在施工过程中,实时监控 HSE 风险动态,并在遇到关键控制点或者复杂结构时,利用 AR 技术把 BIM 模型和施工相关

注意事项直观地展现在工人面前,指导工人按照流程和要求施工,防止出现质量问题和安全事故。发生问题时,各参与方借助 BIM 模型和 AR 技术,分析产生问题的原因,变更设计方案或者采取其他措施处理事故,同时更新完善 BIM 模型,并将结果反馈到 BIM 数据库中。不断进行这个过程,直到施工阶段结束,完成工程验收。

3.3 BIM 和 AR 在运行阶段的应用流程

运行阶段由于现场场地有限、工艺复杂、现场管理要求高,是境外炼化工程事故高发的阶段,这个阶段发生事故带来的人员和财产损失以及对环境带来的影响也是最大的。在运行阶段,首先模拟运行方案,利用 BIM 和 AR 技术对运行方案中 HSE 风险因素进行识别和分析,不断优化运行方案,直到运行方案合乎 HSE 管理的要求。在项目运行过程中实时监控风险状态,发现问题时借助 BIM 和 AR 技术进行处理,并继续运行过程,BIM 和 AR 在运行阶段的应用流程如图 3 所示。

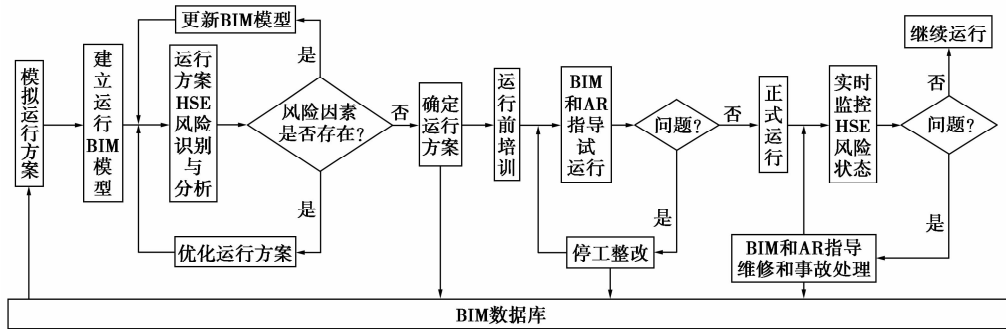


图 3 BIM 和 AR 在运行阶段的应用流程

在境外炼化工程的运行阶段,首先模拟运行方案,包括厂区内布置、生产工艺流程、设备设施放置、废料的处理和应急救援预案等,利用 BIM 和 AR 技术把运行方案形象直观地展示出来,识别和分析运行方案中人的不安全行为和物的不安全状态风险因素,采取措施处理 HSE 风险因素,不断优化运行方案,并反馈到 BIM 数据库中。确定运行方案之后,针对运行过程中尤其需要注意的关键控制点以及发生爆炸等事故时的逃生救援方案,调用 BIM 模型,制定三维动画,借助 AR 技术对工人和管理人员进行教育和培训。在试运行阶段,利用 AR 技术调用 BIM 模型在现场指导工人各个工序的工艺和流程,发生问题时,指导工人按照安全规定和工艺要求处理问题,确保工人操作合乎规范,直到整改后可以正式运行。在炼化工程运

行过程中,利用 BIM 模型实时监控 HSE 风险动态,定期对设备设施进行检修和维护,防止设备设施因为腐蚀发生泄漏甚至爆炸,并把得到的信息反馈到 BIM 数据库中;借助 AR 技术,定期进行模拟事故处理演练,以训练工人快速规范地应对事故,减少二次伤害。在维修过程中和发生火灾、爆炸等事故时,利用 AR 技术在现场指导工人,防止工人因为错误的操作和非防爆设备的错误使用引起更大事故,造成更多的损失。

4 BIM 和 AR 结合应用的实现流程

BIM 和 AR 在境外炼化工程 HSE 风险管理中的应用重点在于把 BIM 模型和 AR 技术有效地结合,它的实现流程可以分为 BIM 准备、AR 实现和实际应用 3 个阶段,实现流程如图 4 所示。

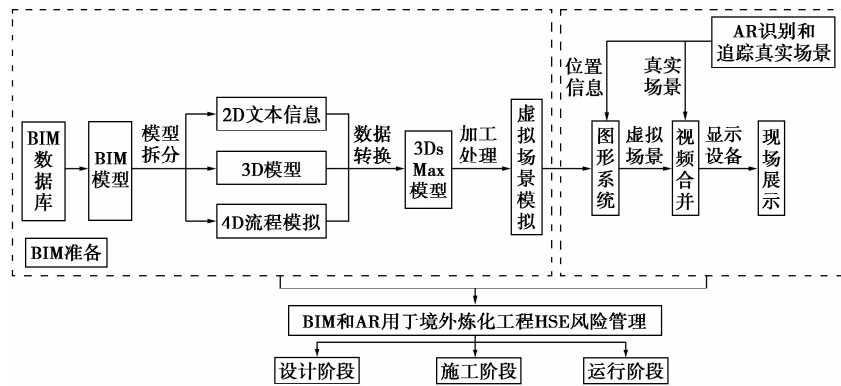


图4 BIM和AR的实现流程

(1) BIM 准备。在项目开始之前,需要收集大量与境外炼化工程项目相关的资料和类似已完工项目的资料,并将这些信息储存在 BIM 数据库中。在设计、施工和运行阶段,各参与方完成自己的方案设计,建立和更新完善 BIM 模型,并把所有的数据及时反馈到 BIM 数据库中。把 BIM 模型拆分为各专业模型,并在需要时把专业 BIM 模型导入到 3DsMax 软件中进行加工处理,得到可供 AR 实现阶段调用的虚拟场景。

(2) AR 实现。利用追踪设备和传感器得到所需的真实场景的位置信息和视频信息,把位置信息导入到图形系统中,找到该位置上的虚拟场景。该虚拟场景与追踪设备和传感器得到的真实场景进行合成,通过显示设备就可以看到虚实融合的场景,实现增强现实的效果。

(3) 实际应用。在境外炼化工程设计、施工和运行阶段的 HSE 风险管理中,针对关键控制点和复杂结构,调用 BIM 模型,制成三维动画等,借助 AR 技术展示出来,用于分析方案、员工培训和指导实际的施工和运行流程。在项目的各个阶段,信息储存在 BIM 数据库中,为各个参与方共享,并且在每一个阶段,BIM 模型的修改和完善都要实时更新到 BIM 数据库中,以便在下一阶段调用时使用。

5 结语

由于境外炼化工程的复杂性以及发生事故的严重性,提高 HSE 风险管理水平、降低 HSE 风险事故发生的概率显得尤为迫切。本文针对境外炼化工程 HSE 风险因素,把 BIM 和 AR 技术引入到 HSE 风险管理中,建立了 BIM 和 AR 在境外炼化工程设计、施工和运行阶段 HSE 风险管理中的应用流程,并分别

对 BIM 和 AR 在各个阶段的应用流程进行了分析和阐述。BIM 和 AR 技术在境外炼化工程 HSE 风险管理中具有连续性、直观性和可视化的优点,能够有效地提高 HSE 风险管理的水平,真正地实现境外炼化工程项目信息化和可视化管理。但是,由于 AR 户外技术还不成熟,再加上开发成本的限制,AR 在境外炼化工程中的应用受到限制,未来的研究应该关注于这一方面。

参考文献

- [1] 徐良. 境外炼化工程项目质量管理的探讨[J]. 化工设计, 2014, 24(4): 38-41.
- [2] 戴颂文. 国外 HSE 管理体系的应用状况及发展趋势[J]. 当代石油石化, 2009, 07: 31-33, 50.
- [3] 焦安亮, 张鹏, 侯振国. 建筑企业推广 BIM 技术的方法与实践[J]. 施工技术, 2013, 42(1): 16-19, 64.
- [4] 陆剑锋, 李文赫, 蔡春明. 基于 BIM 的工厂规划信息管理系统的设计和开发[J]. 工程管理学报, 2015, 29(6): 11-16.
- [5] Masoud Gheisari, Shane Goodman, Justin Schmidt, et al. Exploring BIM and mobile augmented reality use in facilities management[J]. Construction Research Congress, 2014: 1941-1950.
- [6] Wang Xiangyu, Martijn Truijens, Hou Lei, et al. Integrating augmented reality with building information modeling: Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry[J]. Automation in Construction, 2014, (40): 96-105.
- [7] 王廷魁, 胡攀辉. 基于 BIM 与 AR 的施工指导应用与评价[J]. 施工技术, 2015, 44(6): 54-58.
- [8] 刘强, 江涌鑫, 齐玉宏, 等. 境外石化工程项目中健康、安全与环境风险管理 with 案例分析[J]. 现代化工, 2009, 29(10): 80-85.
- [9] 郭笃魁. 基于 BIM 的石化项目油品储运安全管理研究[D]. 上海: 华中科技大学, 2013.
- [10] 王廷魁, 胡攀辉, 杨喆文. 基于 BIM 和 AR 的施工质量控制研究[J]. 项目管理技术, 2015, 13(5): 19-23. ■