

文章编号: 1005—8893 (2005) 01—0020—04

气相泄漏扩散模式实验模型的设计研究^{*}

邵 辉, 施志荣, 王凯全

(江苏工业学院 环境与安全工程系, 江苏 常州 213016)

摘要: 模型实验研究是安全工程研究的重要方法, 是对不允许重现的安全事故重要的补充模拟手段。实验模型是保证模型实验研究的重要条件。根据气相泄漏扩散模式的研究目的, 综合现实系统的基本属性和行为关系, 应用模型设计的基本原则, 充分考虑实验模型的相似性、简单性、多样性和有效性, 研究、设计和构建了江苏工业学院气相泄漏扩散模式实验模型平台。该实验模型平台具有较大几何尺寸、可组合、示踪自动检测、实验功能强等特点, 可根据对气相泄漏扩散的研究目的, 设计出不同的模型实验方案, 为流体泄漏扩散模式的研究提供了良好的研究手段。

关键词: 实验模型; 系统映射; 示踪自动检测; 模型组合设计

中图分类号: X 928

文献标识码: A

石油化工、油气储运等生产过程中的火灾、爆炸和人员中毒事故很多是由于物料的泄漏所引起。正确掌握物质泄漏后的泄漏量、泄漏速度、扩散范围、泄漏物的浓度分布等技术参数, 对现场救援, 实施泄漏现场控制, 最大限度地降低事故损失是非常重要的。

然而, 泄漏扩散过程是一个随机的湍流运动过程, 需要一系列实际(实测)参数的支持, 才能可靠的确定泄漏的扩散模式。在现实中泄漏事故是很难重现的(灾难性的泄漏事故也是不允许重现的), 已往的研究工作都是根据扩散模式的假说, 应用已发生的事故案例进行模拟求解。但存在计算模拟求解的条件不充分, 有时甚至有错误的问题。因为许多事故案例的发生条件、事故过程都是根据事故结果倒推的, 因此带有很大的主观性和片面性。为解决这一问题, 作者提出了应用泄漏扩散实验模型进行泄漏扩散过程研究的设想。

1 实验模型的设计思想^[1]

实验模型既要源于现实, 又要反过来指导实际

工作, 其设计研究思想可用图 1 表示。

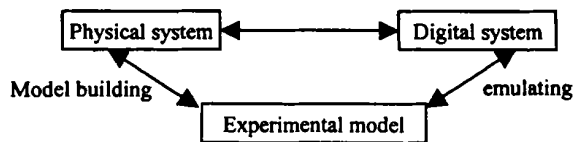


图 1 实验模型的设计思想

Fig. 1 Design and research thought of experimental models

实际系统就是现实世界的某部分, 它具有独立行为规律, 是相互联系又相互作用的对象的有机组合, 它包括了实体、属性和活动 3 个要素。根据研究的需要, 选取了江苏某油气储运系统和上海某石化系统为实验模型的实际原型系统。

实验模型是实际系统的映射, 能够在模型上进行相关的实验、收集与实际系统有关的信息和描述系统。建立实验模型必须完成建立模型结构和提供数据这两项基本内容。建立模型结构时要确定系统的边界, 要鉴别系统的实体、属性和活动。提供数据要使包含在活动中的各个属性间有确定的关系。

数字系统就是应用仿真技术能够真实地体现实验模型所具有的内涵, 对实验模型的行为进行处理

* 收稿日期: 2005—02—16

基金项目: 江苏省高校自然科学基金研究计划项目 (KJB620028); 中央与地方共建高校 2003 年油气储运工程专项资助

作者简介: 邵辉 (1955—), 男, 安徽寿县人, 教授, 国家注册安全工程师, 硕士研究生导师, 常州市人民政府安全生产专家组专家。

分析, 并与实际系统的行为进行比较, 最终上升到理论高度指导实际系统。

2 实验模型的构造

2.1 建造实验模型的基本原则

2.1.1 目的及实验模型目标与系统结构的关系

该实验模型的研究目的就是研究泄漏扩散模式。由于实际系统的千差万别, 引起泄漏的原因、泄漏的方式、泄漏的条件等因素也各不相同, 因此在进行模型结构设计时充分考虑了这些因素, 采用动态、组合式设计方式。

2.1.2 实验模型应有的特性

(1) 相似性。实验模型与实际系统在属性上具有相似的特性与变化规律, 也就是实际系统与模型之间具有相似的物理属性或数学描述。要符合基本的几何相似、运动相似、动力相似和模型相似准则(即牛顿相似定律)。

(2) 简单性。从研究的实用角度出发, 在进行模型设计和构造时必须对实际系统进行简化。忽略那些次要因素和某些非可测变量。只要能满足实验研究的需要, 模型越简单越好。

(3) 多样性。实际系统是由许多实体组成, 根据研究的目的, 要收集与实际系统相关的不同信息而构建不同的实验模型系统。所以构造的实验模型应能满足不同研究目的而组合成多样的模型实验系统。

(4) 有效性。实验模型的有效性是至关重要的, 它是对模型产生的数据与实际系统的数据之间符合程度的度量, 可用下式表示:

模型产生的数据 = ? 实际系统的数据

模型有效性可分为 3 个级别:

复制有效性。把实际系统看作是一个黑箱, 仅在输入输出水平上认识系统。只要模型产生的输入输出数据与实际系统的输入输出数据相匹配, 就认为模型是复制有效。

预测有效性。了解实际系统的内部运行关系和总体结构, 可以由模型实验来获取实际系统未来的状态和行为变化, 就认为模型是预测有效。

结构有效。不但清楚实际系统内部的工作关系, 而且了解其内部分解结构, 可以把实际系统描述为许多子系统相互关联而构成的整体, 这样不但能够重复观察实际系统的行为, 而且能反映实际系统的行为操作过程。这就是结构有效性, 它是模型

有效性最高级别。

2.2 实验模型^[2]

根据研究目的, 所建立的泄漏扩散模式实验模型整体结构如图 2 所示。



图2 实验模型结构系统示意图

Fig. 2 Structure systemic diagrammatic sketch of experimental models

模型由实验区、通风调节系统、示踪剂检测处理系统 3 大部分组成。

(1) 实验模型区。模型设计综合江苏某油气储运系统和上海某石化系统, 按照 1:100 的比例设计构建, 其平面面积为 $5\,020 \times 3\,810\text{ mm}^2$, 模型外罩高 1 200 mm, 其模拟真实空间达 $502 \times 381 \times 120\text{ m}^3$ 。模型中设计有环境地形等自然条件和完整的生产工艺流程装备、设施等系统。模型平台分为行政办公、生产区域、公用工程、各类管道系统等。可根据实验目的, 对模型实验区中的各种环境条件和生产装备、设施等进行重新组合或简化。具体真实的实验模型区参见图 3 所示的照片。

(2) 通风调节系统。通风调节系统的作用就是在模型实验区模拟不同的气体流动状态, 包括风速、方向等。通风调节系统由通风机、风罩、风量调节器等部分组成。在模型实验区中的模拟风速范围 0~1 m/s。其系统参见图 4 所示的照片。

(3) 示踪剂检测处理系统。在模型设计时, 考虑分别用定性和定量的示踪方法来进行泄漏扩散模式的研究。定性示踪方法使用彩色示踪剂(如彩色烟雾等)配合数字摄影像技术进行, 可以考察泄漏物的流动扩散方式和形态。定量示踪方法使用气体示踪剂(考虑到实验室的实验安全等问题, 选用二氧化碳作为示踪剂)配合自动检测系统(选用红外二氧化碳传感器)进行, 可以检测泄漏物质在扩散过程中的浓度分布。示踪剂检测处理系统参见图 5 所示的照片。

根据需要, 也可应用 SF_6 配合 ECD 的检测分析技术, 特别是对人员不易到达地点流体的流动研究, 更具有独特的优越性。该系统由 SF_6 释放装

置、SF₆ 采样装置、日本岛津 GC2010 气相色谱仪（配 ECD）组成。ECD 检测器对卤化物、含磷、硫、氧的化合物、硝基化合物、金属有机物、多环

芳烃等气体有很高的灵敏度和选择性。特别是对多卤化物的色谱分析，其检测灵敏度可达 1 nmol/m³ 以上，检测线性范围约为 10³ ~ 10⁴ [3, 4]。

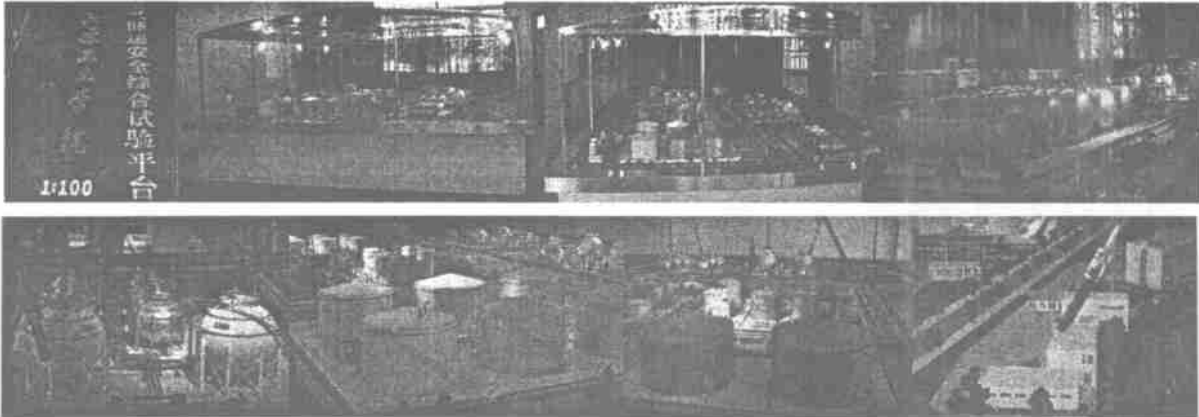


图 3 模型实验区部分照片
Fig. 3 Part of photos in model experimental regions



图 4 通风调节系统的部分照片
Fig. 4 Part of photos in ventilation adjustable systems

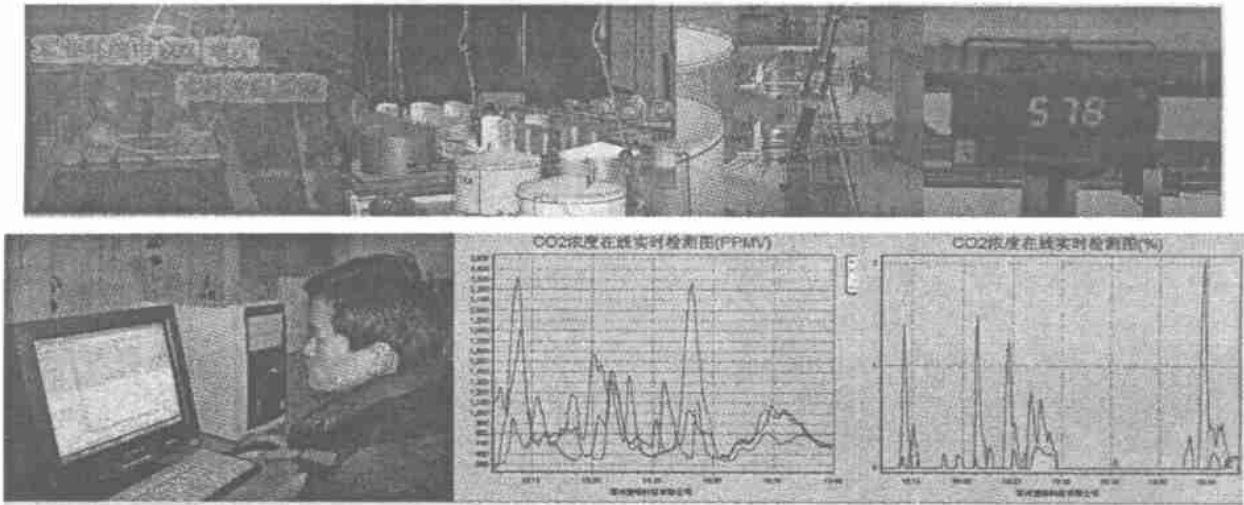


图 5 示踪剂检测处理系统的部分照片
Fig. 5 Part of photos in tracer detective and processing systems

3 结 论

模型实验研究是安全科学技术研究的重要方

法，是对不允许重现的安全事故重要的补充模拟手段。研究设计建造的实验模型能够定性、定量的模拟研究泄漏物质的流动扩散形态和空间浓度分布，为泄漏扩散模式的研究提供了新的研究方法。

已在模型上进行的初步实验测试结果表明, 模型设计较为合理, 可以根据研究的需要设计不同的实验方案。

利用实验模型可以进行相关参数控制实验, 如对物质泄漏量、风速、距离、时间、地面情况 (如建筑、设备、树木等)、泄漏源高度等参数进行不同的控制和组合, 以寻求他们之间的定性或定量关系, 对泄漏事故实施有效的现场控制和应急求援, 具有一定的指导意义。

模型的设计结构、规模及功能在国内还未见过有类似的报道。如何更好的发挥实验模型的效果,

还有待于进一步的研究。

参考文献:

- [1] 王红卫. 建模与仿真 [M]. 北京: 科学出版社, 2002. 5—6.
- [2] 邵辉. SF_6/ClBr 二元示踪技术探测高温火源的实验室研究 [A]. 煤炭高等院校青年科学基金学术研讨会论文集 [C]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1995. 69—75.
- [3] 邵辉. ECD 检测 SF_6 等多卤化合物气体的色谱分析研究 [J]. 江苏石油化工学院, 2002, 14 (1): 7—9.
- [4] 成都科技大学分析化学教研室. 分析化学手册 [M]. 第四册. 上册. 北京: 化学工业出版社, 1984. 26—28.

Study of Model Designs of Gas—Leakage Diffusion Patterns

SHAO Hui, SHI Zhi—rong, WANG Kai—quan

(Department of Environmental and Safety Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China)

Abstract: Studying model experiment is an important method in safety engineering research, which is a main supplementary and simulative resort to non—returned safety accidents. Experimental model is essential for ensuring model research. According to the purposes of the research on gas—leakage diffusion patterns, applying the principles of model designs, in conjunction with the basic attributes and behavior relations in real system, and fully considering the similarity, simplicity, variety and validity of experimental model, the authors have studied, designed and constructed experimental model platform for gas—leakage diffusion patterns of Jiangsu Polytechnic University. This platform is characterized by bigger physical dimensions, assemblage, automatic tracer detection, powerful experimental functions and so on. For different research on gas—leakage diffusion, different model experimental schemes can be designed, which can supply an excellent means for the research.

Key words: experimental prototype; systemic mapping; automatic tracer detection; model unitized designing