

基于化工爆炸事故案例的化工设备 机械基础课程教学改革*

徐坤山, 王文华, 赵 旗, 陈小平, 田 晖

(烟台大学 化学化工学院, 山东 烟台 264005)

[摘要]安全意识培养在高校化工专业人才培养中占有重要地位。将化工设备事故案例融入理论教学中,有助于激发学生的学习兴趣和促进学理论联系实际,同时提高学生的安全意识。文章以化工设备机械基础课程为例,介绍了化工爆炸事故案例在教学中的应用,并探讨了案例教学效果评价方法,以期对相关课程案例教学提供参考。

[关键词]化工爆炸; 事故; 化工设备; 教学改革

Teaching Reform of Fundamental Chemical Process Equipment Course Based on Chemical Explosion Accidents Cases

Xu Kunshan, Wang Wenhua, Zhao Qi, Chen Xiaoping, Tian Hui

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Yantai University,
Yantai, Shandong 264005)

Abstract: Cultivation of safety awareness is important in the talents cultivation of chemical engineering major in colleges. The chemical equipment accident cases are integrated into the course teaching, which is helpful to stimulate students' interest in learning, and promote the link between theory and practice and improve students' safety awareness. In this paper, the case teaching practice of chemical explosion accidents in the course of fundamental chemical process equipment is introduced, and the teaching effect evaluation method is discussed. It is hoped to provide reference for the case teaching of other courses.

Key words: Chemical explosion; Accident; Chemical equipment; Teaching reform

2019年3月22日,习近平对江苏响水“3·21”
爆炸事故作出重要指示,要求全力抢险救援,深刻

吸取教训,坚决防范重特大事故发生。该事故造成
78人死亡。在此之前,2015年8月12日天津滨海

[作者简介] 徐坤山(1981-),男,讲师,博士。

[通信作者] 徐坤山, E-mail: 17911162@qq.com。

* 基金项目:山东省研究生教育联合培养基地建设项目(编号:SDYJD17088);2019年烟台大学教学改革研究项目“基于案例教学及半实物仿真智慧工厂的化工设备教学改革研究”(编号:jyxm2019013)。

新区爆炸事故造成 165 人遇难,2013 年 11 月 22 日山东黄岛输油管线泄漏爆炸事故造成 62 人死亡,事故调查结果均表明人为因素是主要原因^[1-2]。因此,加强化工从业人员安全教育,提高他们的安全意识,对于预防化工爆炸事故发生具有重要意义。

高校化工类专业大多数毕业生会进入化工企业工作。鉴于国内化工爆炸事故频发,高校迫切需要改革现有的教学内容和教学模式,使大学生树立安全意识。将化工安全意识与课堂理论紧密结合,既可以达到安全教育的目的,又可以丰富教学内容、激发学生学习兴趣,达到事半功倍的效果。

化工设备机械基础是化工类专业开设的一门专业必修课,主要讲授化工设备常用材料、化工容器设计及其使用管理等内容,教学目标是使学生掌握化工设备的设计、使用、管理和维护的基本知识和基本技能,逐步培养和深化学生的工程意识,提高学生分析和解决问题的能力。但由于学生力学基础薄弱且缺乏工程现场经验,难以理解所学理论,也不知如何运用,因此学习兴趣不高,学习效果也不理想。鉴于此,我们在新工科背景下,借鉴国内外跨学科课程的教学方法^[3-6],结合化工设备事故案例,对该课程的教学方法和手段进行了改革探索。

一、化工爆炸事故融入教学案例分析的实践

我们以教学内容为主线,以学生能够理解并应用课程知识为目标,将国内外典型的化工设备爆炸案例融入化工设备机械基础课程教学中,以激发学生的学习兴趣,培养学生将所学理论应用到工程实践中的能力,同时提高学生的安全意识。下面以一起气瓶爆炸事故为例,介绍事故融入案例分析的教学过程。

(一)内压薄壁压力容器两向应力知识点

化工压力容器受力分析中的基础内容之一是内压薄壁压力容器的应力分析^[7]。其中,经向应力与环向应力的推导过程及分析计算(见图 1)难度较大,如果采用常规的教学方法,学生会感到枯燥、乏味,也难以理解该知识点。

(二)以化工爆炸事故为切入点的教学

1. 气瓶爆炸事故案例

图 2 所示为气瓶爆炸事故现场,该事故造成

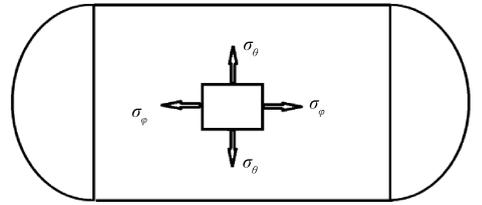


图 1 薄壁圆筒经向应力和环向应力分布

1 名操作工人当场死亡。事故调查发现,由于液化石油气瓶内剩余气体较少,液化气排量减少,操作工人采取用热水加热液化气瓶的方法使液化石油气快速从气瓶内排出。气瓶内的液化石油气吸收热量后转变为气体,在有限的容器内迅速膨胀,致使气瓶内的压力急剧升高,直至超过材料的强度极限,此时气瓶发生爆炸。



图 2 气瓶爆炸事故案例

2. 爆炸事故案例与理论相结合

从图 2 可见,主裂纹方向为纵向(轴向)。根据断裂力学理论可知,裂纹扩展方向与拉应力方向垂直,因此可以推断环向应力大于经向应力。教师以此事故为切入点,引导学生思考:为什么主裂纹方向是纵向,而不是环向?带着这个问题,教师可带领学生对环向应力和经向应力进行推导计算。

首先计算环向应力:在内压薄壁圆筒上取单位厚度的半圆环为研究对象,如图 3 所示。单位厚度在水平方向上的力平衡式为

$$2t\sigma_{\theta} = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} pR \sin\alpha d\alpha \quad (1)$$

计算可得,环向应力为

$$\sigma_{\theta} = \frac{pD}{2t} \quad (2)$$

然后计算经向应力:以内压薄壁圆筒上的半圆筒为研究对象,如图 4 所示。水平方向上的力平衡式为

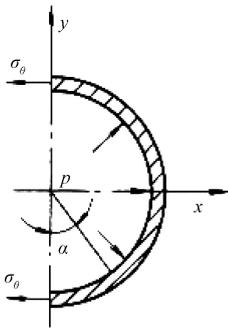


图3 环向应力平衡示意图

$$\pi D t \sigma_{\varphi} = \frac{\pi}{4} D^2 p \quad (3)$$

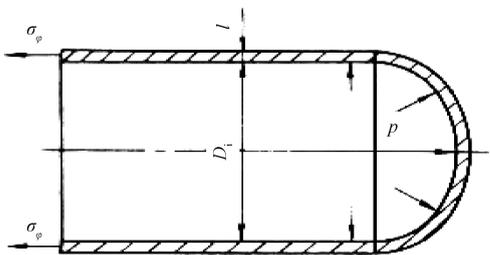


图4 经向应力平衡示意图

计算可得,经向应力为

$$\sigma_{\varphi} = \frac{pD}{4t} \quad (4)$$

对比分析可以发现,环向应力是经向应力的2倍。这一结论可明确解释气瓶爆炸中主裂纹方向为纵向的原因。

为进一步证实上述结论的正确性,教师可利用耐压试验过程中的气瓶开裂现象(见图5)进行说明:当气瓶承受的内部压力超过材料许用应力时,气瓶开裂,主裂纹方向为纵向,试验证明了环向应力大于经向应力。理论教学中引入气瓶爆炸事故案例,有助于激发学生的兴趣,培养学生应用理论知识分析实际问题的能力。同时,该案例分析有助于提高学生的安全意识,使其规范化工设备操作行为,从而减少事故发生率。



图5 环向应力平衡示意图

二、适合开展案例教学的其他内容

在案例分析的基础上,教师还可以针对课程中的其他内容开展案例教学:一是在讲解外压圆筒失稳的解决方案时,对增加材料厚度的方法与增加加强圈的方法进行对比分析,研究提高筒体承受外压强度的方法;二是在讲解塔设备承受的载荷时,利用弹性比较大的塔设备模型,现场展示几种载荷作用在塔上共同发挥作用的效果;三是通过设计案例讲解换热管温差应力与工作压力作用后换热管受力方向的判定。总之,在化工设备机械基础课程教学中充分设计和开展案例教学,可以显著提升教学效果。

三、案例教学效果评价方法

案例教学效果可以采用以下三种方式进行评价:一是定期向学生发放调查问卷,了解学生对案例教学的感受;二是邀请同行业教师和教学督导进入课堂,对课堂教学效果进行评价;三是通过最终的考试成绩评价案例教学的效果。

四、结语

将化工设备爆炸事故案例引入课堂教学,一方面可以实现理论联系实际,使学生学会用理论知识分析工程实际问题,激发学生的学习兴趣;另一方面可以提高学生的安全意识,使其在今后的工作岗位上牢记安全红线,预防事故发生。

(文字编辑:孙昌立)

参考文献:

- [1] 吴旭正. 特种设备典型事故案例集(2005—2013)[M]. 北京:化学工业出版社, 2015: 57-75.
- [2] 徐坤山, 仇性启, 魏仁超, 等. 压力容器原始制造缺陷危害性分析[J]. 机械设计与制造, 2015(11): 21-25.
- [3] 陆国栋, 李拓宇. 新工科建设与发展的路径思考[J]. 高等工程教育研究, 2017(3): 20-26.
- [4] 林致诚, 刘少雪. 高等学校课程综合化的三种模式[J]. 厦门大学学报(哲学社会科学版), 2002(3): 123-128.
- [5] 郭德红, 李论. 美国大学跨学科课程的开发及启示[J]. 北京教育(高教版), 2015(9): 78-80.
- [6] 杭文, 何杰, 毛海军. “问题驱动”教学法在跨学科课程“运输经济学”教学中的应用[J]. 中国大学教学, 2012(9): 72-74.
- [7] 喻健良, 王立业, 刁玉玮, 等. 化工设备机械基础[M]. 7版. 大连:大连理工大学出版社, 2017: 65-70.