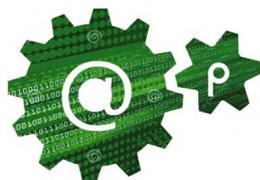


文章编号:1005-4642(2020)08-0036-04



互联网+物理

## 基于 WebGL 的流体力学仿真实验

宋小鹏,何秀锦,古小敏,吴国珊,王斌武

(桂林航天工业学院 能源与建筑环境学院,广西 桂林 541004)

**摘要:**以工程流体力学课内实验为例,探讨使用开发速度快、便于部署、低成本的 WebGL 技术构建线上演示实验,并实现实验的在线设备展示、仿真演示及实验数据收集功能。

**关键词:**WebGL; 线上虚拟实验演示; 流体力学

中图分类号:O4-39;O351

文献标识码:A

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2020.08.007

传统实验课内,实验内容受限于实验设备。而信息时代,虚拟现实的发展弥补了传统实验课的不足,在线虚拟实验可以不受实验场地、学时、人数、设备等条件的影响,甚至成本更低廉。近十几年,越来越多教育工作者探讨虚拟仿真技术在一些实验教学中的应用<sup>[1-7]</sup>。由于早期 Flash 覆盖面广,很多高校探讨使用 Flash 作为工具开发在线虚拟实验<sup>[5-7]</sup>。随着 Adobe 公司对 Flash 技术支持接近尾声,且 Flash 对三维支持不够全面,越来越多的在线虚拟实验使用了 WebVR 技术<sup>[8-14]</sup>。熊燕帆等探讨了 VR 技术在实训教学中的应用<sup>[8]</sup>,罗凯辉<sup>[9]</sup>基于 WebGL 与增强现实技术开发了虚拟化学实验室,何丽<sup>[10]</sup>等探讨了 WebGL 技术在机械制图网络授课中的应用,郭神福<sup>[11]</sup>等基于 WebGL 技术实现了在线高速列车运行虚拟仿真,边金龙<sup>[12]</sup>等利用 WebGL 三维可视化技术实现了交通监控管理系统,冯姣<sup>[13]</sup>等使用 WebGL 框架 Three.js 实现了飞行仿真系统,何博<sup>[14]</sup>等使用 WebGL 技术开展了三维物理模型设计。由于 2020 年的疫情导致线下实验教学中断,一些高校开展了线上虚拟实验<sup>[15-17]</sup>,以贯彻“停课不停学”的指导思想。

但目前基于 VR 头盔/眼睛式设备的线上实验平台成本较高,尚不便于大面积推广,而且开发相关应用及三维建模需使用专业软件,开发周期

长,学习成本较高,不利于疫情期间快速搭建线上虚拟实验平台。在线的基于裸眼虚拟现实的实验平台相对而言更加适合开展线上实验教学。本文以流体力学实验为例,探究利用 WebGL 开发线上裸眼虚拟实验平台。

### 1 WebGL 技术

WebGL (Web Graphics Library) 是一个 JavaScript 的 API,可用于在支持 WebGL 的浏览器中呈现高性能交互式 3D 与 2D 图形,提供了与 OpenGL ES 2.0 接近的程序接口并易于支持硬件加速。)。

由于 HTML5 具备良好的跨平台性能,选择 WebGL 进行三维可视化程序开发,从而规避了不同操作系统,不同设备的适配问题。基于 WebGL 开发的程序,对于学生用户只需要支持 HTML5 标准的浏览器即可开展线上虚拟实验,而对于开发者而言只需要开发一套程序就能够支持在各主流操作系统,同时支持各类主流电脑平板手机。

### 2 流体力学线上演示实验平台的搭建

#### 2.1 实验平台简介

为了培养学生的动手能力,购置了某公司生产的流体力学综合实验台,如图 1 所示。实验台通过恒压水箱,可更换试件管道、回水管、储水箱

收稿日期:2020-05-30;修改日期:2020-06-29

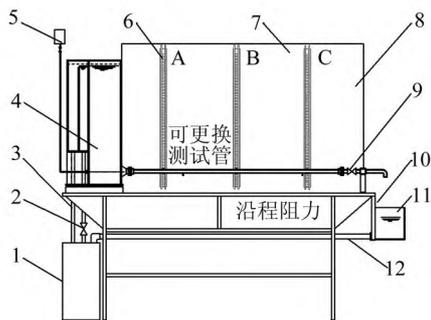
基金项目:教育部首批“新工科”研究与实践项目(能源、电器、核工程类项目群 No.18)

作者简介:宋小鹏(1986—),男,广西桂林人,桂林航天工业学院能源与建筑环境学院讲师,博士研究生,研究方向为工业过程数值仿真。

通信作者:何秀锦(1971—),女,河北秦皇岛人,桂林航天工业学院能源与建筑环境学院讲师,硕士,研究方向为能源与环境保护。E-mail:13850062622@126.com



等器件构成了开路循环水系统,其中储水箱中使用潜水泵实现水路循环.恒压水箱由潜水泵不断提供水源,同时结合溢流回水管路共同保持水位恒定,以保障实验过程的基本条件恒定.实验台提供若干测压管,以测量管路中的压力.多年使用经验表明,该实验台能够较好地满足学生实验需求,以培养学生动手能力.



1. 储水箱 2. 上水流量调节阀 3. 溢流回水管  
4. 恒压水箱 5. 溢流板 6. 颜料供给系统 7. 标尺组  
8. 测压管固定背板 9. 流量调节、切断阀 10. 计量水箱  
11. 回水管 12. 实验桌

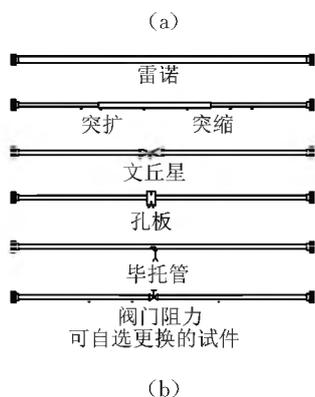


图 1 流体力学综合实验台结构示意图

例如测量局部阻力系数时,可以更换突扩突缩管道,根据测压管数据,流量和管道几何尺寸等数据计算局部阻力系数.同样的方法可以测量沿程阻力系数,验证能量守恒方程等.

### 2.2 虚拟平台架构

虚拟实验平台按逻辑可抽象为 4 层,如图 2 所示.底层为 Web 服务器,提供网页请求服务.第 2 层为 WebGL 引擎,本文选用开源项目 three.js 作为三维引擎.第 3 层基于 WebGL 引擎,创建各类实验器材及三维动画.第 4 层为用户交互层,用于操作虚拟设备进而完成实验操作步骤.



图 2 平台架构示意图

### 2.3 动作步骤设计

为了让线上虚拟实验比较接近真实实验过程,或者实验过程需要特别提醒学生注意事项,实验过程设置了若干个步骤.选择安装或更换实验所需部件,开启总电源开关,开启水泵电源开关,开启阀门,等待各容器水位正常,迭代测压管稳定,记录实验数据,依次关闭系列电源和阀门.

### 2.4 动画设计

设计了一系列动画,以使线上虚拟实验有较好的用户体验.例如开启阀门,阀门旋转;管道内流体流动通过,管道内纹理移动模拟流体流动;开启电源和上水阀门后,潜水泵将水抽到恒压水箱,水位达到可更换管道原件高度时,管道流动动画才开启,同时测压管内液体高度开始上升,直到稳定;设计动画使回水箱液位逐渐上升并保持恒定.同时,可以模拟阀门开度以实现管道内流体的速度调节,实现流体快速、中速、慢速的切换.

## 3 实验演示与数据处理

### 3.1 实验演示

以沿程阻力和局部阻力系数测定说明实验演示.流体在边壁沿程无变化的管道内流动(均匀流)会伴随有能量损失,由流体和管道壁面摩擦力或流体与流体间摩擦力造成的能量损失称作沿程阻力损失;由管道突扩、突缩、阀门等因素引起的能量损失称作局部阻力损失.1)沿程阻力系数测定使用图 1(b)中“雷诺”管道;实验过程中该管道左右两侧布置静压管,根据压差结合达西公式计算局部阻力系数;2)局部阻力系数测定使用图 1(b)中“突扩突缩”管道:如仅测突扩管局部阻力系数,在突扩管布置附近布置 3 个静压管,如图 3 示意,根据测压管读数、管道物理尺寸、流速等参数计算突扩局部阻力系数.

### 3.2 数据处理

实验完成后在主界面生成虚拟实验数据,根据实验数据即可进行数据处理,如图 3 所示。

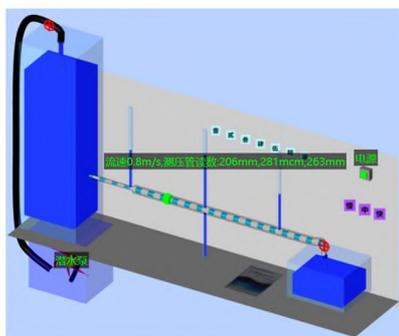


图 3 线上仿真实验示意

为了根据图 3 中虚拟实验数据,计算突扩局部阻力系数,将图中的主要元件简化为图 4。其中管道内体积流量  $Q$  可测,  $p$  表示压强,  $g$  和  $\rho$  分别表示重力加速度和流体密度。  $d_1$  和  $d_2$  是突扩前后的管道直径;点 2 位于点 1 和点 3 的中间,  $v_1$ ,  $v_2$  和  $v_3$  分别是对应点的流速;  $h_1$ ,  $h_2$  和  $h_3$  分别是测压管高度。假设突扩管局部损失水头为  $h_j$ ,  $h_f$  表示沿程损失的水头,如点 1 到点 2 间的沿程损失水头表示为  $h_{f12}$ 。

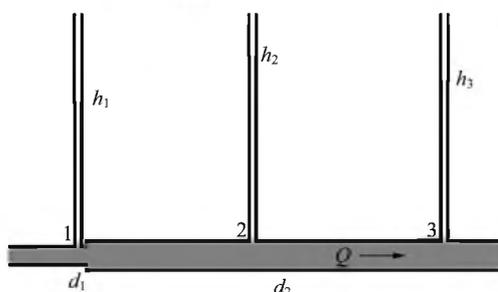


图 4 突扩局部阻力计算

根据伯努利方程,得到

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_j + \rho g h_{f12} =$$

$$p_3 + \frac{\rho v_3^2}{2} + \rho g h_j + \rho g h_{f13},$$

整理可得突扩局部阻力系数为

$$h_j = \frac{p_1 - p_3}{\rho g} + \frac{v_1^2 - v_3^2}{2g} - h_{f13},$$

其中各截面速度可以根据流量和相应管道截面积计算,压力可以根据测压管道测得,  $h_{f13} = 2h_{f23}$ , 而  $h_{f23}$  可根据测压管高度相减得到,最终可以计算得到局部阻力系数。

### 4 结束语

线上实验平台使得学生能够通过一系列操作步骤和动画演示加深对实验原理的理解。而基于 WebGL 的线上实验平台易于开发和部署,在疫情期间的有效快速配合理论课。对线上虚拟实验数据的处理,同样也能对学生掌握理论知识有较强的促进作用。线上虚拟实验可用于预习实验,通过虚拟实验平台的手动操作步骤,动画演示,学生能够更好预习和理解实验内容。

### 参考文献:

- [1] 宁铤,庞玮,陈峻,等. 大学物理仿真实验在教学实践中的应用[J]. 大学物理实验,2012,25(3):110-111.
- [2] 林海峰,熊飞兵,王逸平. 基于虚拟仿真的大学物理实验教学教学改革[J]. 中国教育信息化,2017,409(22):91-93.
- [3] 蒋逢春,吴杰,石开,等. 大学物理实验及仿真在线课程建设的实践[J]. 物理与工程,2017,27(S1):150-153.
- [4] 秦景良,李昆霖,简宇虹. 虚拟仿真技术在大学物理实验教学中的应用[J]. 广西民族大学学报(自然科学版),2011,17(3):97-100.
- [5] 张晓玲. 基于 FLASH 技术的大学物理仿真实验的研究[D]. 武汉:华中师范大学,2007.
- [6] 罗湘南. 基于 Flash 的仿真实验课件交互功能设计[J]. 中国科技信息,2006(13):258-259.
- [7] 蔡旭红,邓文彬,骆伟球,等. FLASH 在示波器实验教学中的应用[J]. 物理与工程,2006,16(1):29-31.
- [8] 熊燕帆,何锡武. VR 技术在工业网络技术专业实训教学中的应用研究[J]. 电子元器件与信息技术,2020,4(2):167-168.
- [9] 罗凯辉. 基于 WebGL 与增强现实技术的教学辅助系统的设计与实现[D]. 北京:北京邮电大学,2018.
- [10] 何丽. WebGL 技术在机械制图慕课建设中的应用[J]. 中国现代教育装备,2020(5):47-49.
- [11] 郭神福,赵孔阳,王孝龙,等. 基于 WebGL 的高速列车在线运行及沿线虚拟地理环境仿真[J]. 铁道科学与工程学报,2020,17(3):573-581.
- [12] 边金龙,周伟健,曹晓强. 交通监控管理系统中互联网 WebGL 三维可视化技术的应用[J]. 中国交通信息化,2020(3):130-133.
- [13] 冯皎,刘志勤,黄俊,等. 基于 Three.js 的飞行仿真系统设计[J]. 计算机测量与控制,2020,28(2):216-219.

- [14] 何博,王祖源,万昆. 基于 WebGL 的三维物理模型设计与开发[J]. 中国教育信息化,2016(3):75-79.
- [15] 蒋逢春,吴杰,张艳萍,等. “停课不停学”背景下大学物理实验及仿真在线开放课程的实践与拓展[J]. 物理实验,2020,40(4):42-46.
- [16] 熊永红,肖利霞,谢柏林,等. 新冠肺炎疫情下教书育人的探索与实践[J]. 物理实验,2020,40(4):27-30.
- [17] 唐艳妮,李雪琴,赵云芳,等. 疫情中的大学物理实验线上教学探索[J]. 物理实验,2020,40(5):31-35.

## Online demonstration experiment of fluid mechanics based on WebGL

SONG Xiao-peng, HE Xiu-jin, GU Xiao-min, WU Guo-shan, WANG Bin-wu

(School of Energy and Building Environment, Guilin University of  
Aerospace Technology, Guilin 541004, China)

**Abstract:** Taking in the class experiment of engineering fluid mechanics as an example, the online demonstration experiment based on WebGL technology had been developed with fast development, easy deployment and low cost, which had realized the functions of online equipment display, demonstration and data collection.

**Key words:** WebGL; online demonstration experiment; fluid mechanics

[责任编辑:郭 伟]

(上接 35 页)

- [7] Reguer S, Mocuta C, Thiaudière D, et al. Combination of X-ray synchrotron radiation techniques to gather information for clinicians [J]. *Comptes Rendus Chimie*, 2016,19(11/12):1424-1431.
- [8] Mera M F, Rubio M, Pérez C A, et al. SR  $\mu$ XRF and XRD study of the spatial distribution and mineralogical composition of Pb and Sb species in weathering crust of corroded bullets of hunting fields [J]. *Microchemical Journal*, 2015,119:114-122.
- [9] Gong Xuepeng, Lu Qipeng, Song Yuan. Mechanical design and performance evaluation of KB mirror system for the ARPES beamline at SSRF [J]. *Precision Engineering*, 2016,46:166-176.
- [10] Li Yaran, Dong Jianjun, Xie Qing, et al. Development of a polar-view Kirkpatrick-Baez X-ray microscope for implosion asymmetry studies [J]. *Optics Express*, 2019,27(6):8348-8360.

## X-ray microfocus optical system based on KB configuration

WANG Xin, CHEN Liang, XU Jie, MU Bao-zhong

(School of Physics Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** The grazing incidence X-ray focusing system with high collected efficiency was developed aimed at the demand of X-ray fluorescence analysis. The configuration of point-to-point KB focused system with long object distance and short image distance was proposed, and the optical structure of the KB system was designed. The solid angle of the system was  $4.5 \times 10^{-6}$  sr. According to the optical structure, the Pt film of the mirrors was designed to achieve high reflectivity for 6.4 keV X-ray, and the collected efficiency was about  $2 \times 10^{-6}$ , which was about an order of magnitude higher than that of the pinhole with 100  $\mu$ m diameter. Based on the established system, the X-ray focusing experiments were carried out, and the X-ray microfocus spots with high brightness were obtained.

**Key words:** KB focusing; collected efficiency; grazing incidence; X-ray fluorescence analysis

[责任编辑:任德香]