

旋转式明渠流综合实验平台研制与应用

戎贵文, 袁岳, 肖柏青, 许光泉

(安徽理工大学 地球与环境学院, 安徽 淮南 232001)

摘要: 为了培养大学生创新能力和克服单个明渠流实验装置测试内容单一、占地大、成本高等缺陷,在研究传统水力学实验装置和流体运动基本原理的基础上,自主研发开发了一套旋转式明渠流综合实验平台。该实验平台采用旋转方式创造性地将多种明渠水流实验集于一身,能够满足学生在同一实验平台上进行多种常规明渠流实验的需求,从而满足高校综合性、设计性、创新创业训练计划等现代教学的要求。实践表明,该实验平台具有设计巧妙、功能齐全、改造方便等优点,对水利类专业构建创新型人才培养模式有重要意义。

关键词: 明渠流; 实验装置; 创新性实验; 实验平台; 旋转式; 水槽

中图分类号: G642.423 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)05-1008-03

Development and application of comprehensive experiment platform for rotatable open channel flow

RONG Gui wen, YUAN Yue, XIAO Bai qing, XU Guang quan

(College of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: In order to cultivate the innovative ability of college students and overcome the disadvantages in the experiment device of single open channel flow, such as simple experiment content, occupation of large area, and high cost, a comprehensive experiment platform for rotatable open channel flow was developed based on the conventional hydraulic experiment apparatus and basic principle of fluid flow. The experiment platform used the rotatable method to integrate different open channel flow experiments, which can meet the demand of conducting various conventional open channel flow experiments in the same platform, and the demand of modern teaching including the comprehensive, designed, and innovative training plans. The platform has the advantages of perfect design, complete function, and convenient reestablishment, which is of important significance for the cultivation of innovative talents with water conservancy major.

Key words: open channel flow; experiment device; innovative experiment; experiment platform; rotatable mode; flume

天然河道、人工渠道以及水流未充满全断面的管道中的水流都属于明渠流^[1],明渠流是水力学研究的重要内容。水力学实验在水力学学科发展中占有重要地位,是整个水力学理论教学不可替代的环节^[2-3]。然而目前高等学校的水力学实验教学仍存在诸多与现代高等教育理念不相适应之处,例如实验平台不完善、功能单一,一个实验装置只能满足一类实验需要,实验多为演示性、验证性实验,缺乏新意,很难激发学生自主学习与创新的兴趣,不利于培养学生的创新意识和创新能力^[4]。同时,现有的明渠流实验装置存在设备体积大、占用实验室面积多、成本高的不足,致使配置的实验装置台套数都较少,尤其是高校扩招后,传统的明渠实验装置难以满足实验教学和创新能力培养的需要,严重影响工科高校水力学的实验教学和创新驱动^[5]。

本文在研究传统水力学实验装置和流体运动基本原理的基础上,采用旋转方式创造性地将多种水力学明渠流实验集于一身,自主研发了一套旋转式明渠流综合实验平台。该实验平台能够满足学生在同一实验平台上进行多种常规水力学和流体力学实验的需求,能够满足高校创新创业训练计划等现代教学的要求。

1 综合实验平台

1.1 实验平台设计思路

长期以来,受传统观念等方面的限制,水力学实验大多以单一的验证性实验为主,综合设计性实验几乎没有,实验教学缺乏灵活性^[6]。为了促进高等学校转变教育思想观念,改革人才培养模式,强化创新创业能力训练,增强高校学生

收稿日期: 2014-12-29 修回日期: 2015-07-12 网络出版时间: 2015-09-24

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150924.2042.023.html>

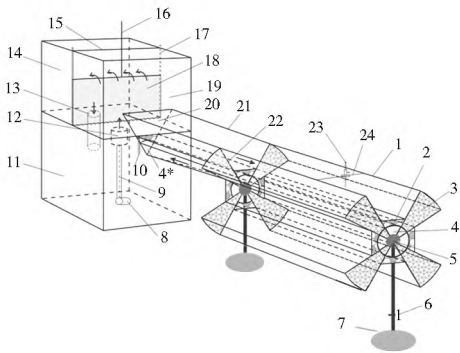
基金项目: 2013年安徽省高等教育振兴计划项目(2013zdjy086);安徽省高等学校省级自然科学研究重点项目(KJ2013A094);国家自然科学基金项目(51579002;51309002);2013年大学生创新创业训练计划项目(201310361127)

作者简介: 戎贵文(1976-),男,山西原平人,副教授,博士生,主要从事实验水力学及计算水力学方面研究。E-mail: gwrong934sx@163.com

的创新能力和在创新基础上的创业能力,培养适应创新型国家建设需要的高水平创新人才,高校要高度重视大学生创新创业训练计划对推动人才培养模式改革的重要意义,重视大学生创新创业训练计划实施的条件建设^[7]。本文设计了一种旋转式明渠流综合实验平台,将传统的多种实验明渠水槽和回水槽通过旋转轴和弧形固定翼连接构成平台的旋转明渠系统,旋转轴通过两端支架支撑,旋转明渠系统主体为四个对称的旋转明渠水槽和四个对称的旋转明渠回水槽,旋转明渠回水槽设置在槽底与旋转轴之间。同时,综合实验平台设计有水箱和固定明渠系统。装置的特殊设计能够实现了一个水箱、一个固定明渠系统和一个旋转明渠系统组成的实验平台上开展多种明渠流实验的目的,不仅节约水泵和水箱,而且节省实验占地面积和空间,符合我国资源节约型社会建设要求。

1.2 实验平台结构

旋转式明渠流综合实验平台由水箱、固定明渠系统和旋转明渠系统三部分组成,见图1。



1-旋转明渠水槽;2 明渠水槽底床;3 水槽固定翼;4 明渠回水槽进口;4 明渠回水槽出口(三角量水堰);5-旋转轴;6-升降阀;7-支架;8 水泵;9 压力管道;10 刻度尺;11-储水箱;12 消能罩;13 溢水回流管;14 溢水过渡箱;15 支架;16 螺旋纹杆;17-挡板滑动槽;18 有机玻璃挡板;19 稳水箱(源头);20 梯形水流出口;21 固定明渠水槽;22 水槽衔接缝(卡槽);23-活动水位测针;24 测针滑动架。

图1 实验平台结构立体图

Fig. 1 Stereogram of experiment platform

水箱为两层、三箱结构,包括下层的储水箱、上层的稳水箱和溢流箱,在储水箱靠近固定明渠水槽一侧的壁面上设有三角量水堰,三角量水堰与固定明渠回水槽出水口连通,在稳水箱靠近固定明渠水槽一侧的壁面上设有梯形出水口,储水箱和稳水箱通过压力管连通,压力管上设有抽水泵,储水箱和溢流箱通过溢水回流孔连通,稳水箱和溢流箱之间通过在挡板活动槽中活动的溢流板分隔,明渠中的流量通过旋转螺旋纹杆调节溢流板高度来控制。

固定明渠系统位于水箱和旋转明渠水槽之间,由固定明渠水槽、固定明渠回水槽构成,固定明渠水槽位于固定明渠回水槽正上方,固定明渠水槽截面为梯形,固定明渠回水槽截面为弧形,固定明渠水槽的进水口一端连接固定在稳水箱的梯形出水口,固定明渠回水槽出水口与储水箱上的三角量水堰连通。

旋转明渠系统主体为四个对称的旋转明渠水槽和四个对称的旋转明渠回水槽。如图2所示,相邻的明渠水槽和明渠回水槽之间通过 30° 弧形固定翼和旋转轴连接,旋转明渠

回水槽设置在槽底与旋转轴之间,旋转轴两端通过支架支撑。明渠水槽和明渠回水槽之间是明渠试验水槽底床,每个明渠水槽的槽底末端均设置有许多出水孔,出水孔与明渠回水槽进口相通,在明渠水槽和明渠回水槽右端设有挡水板。在旋转明渠系统靠近固定明渠系统的一端设有用于密封衔接的橡皮圈和卡扣。旋转明渠系统每次旋转 90° 后,其中一个旋转明渠水槽恰好与固定明渠水槽完全吻合,明渠通过橡皮圈和卡扣密封衔接后连接为一个整体,相应的回水槽也连接为一整体,并与水箱相通组成一个可循环系统。旋转明渠水槽底坡可调节 $1^\circ \sim 5^\circ$,不同的旋转明渠水槽中设置不同类型的水工建筑物。旋转明渠上的活动水位测针用来测量明渠中的水位。通过储水箱外壁的刻度尺读数和三角量水堰流公式^[8]计算明渠水流流量。

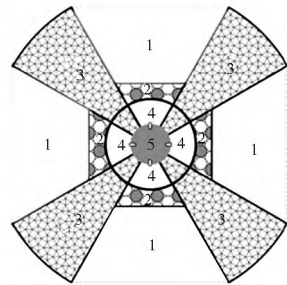


图2 旋转明渠横截面

Fig. 2 Cross section of rotatable open channel

1.3 实验平台功能

1.3.1 开展常规明渠流实验

利用该综合实验平台提供的水箱、固定明渠系统和旋转明渠系统,学生在此实验平台上进行简单改装,即可完成常规性明渠流实验和测量实验^[5,9,11]。

在水力学中,把顶部溢流的泄水建筑物称为堰,过堰的水流,当没有受到闸门控制时为堰流。堰流的特点是水流的上方为仅受重力作用而降落的连续变化的光滑曲面,水流的下方受到堰体型的控制。堰流的过流能力与堰的体型有很大的关系,不同体型的堰,其堰上水流的形态也不同。在某一条旋转明渠水槽中分批设置不同体型的薄壁堰、实用堰和宽顶堰,能够开展矩形薄壁堰流实验、三角形薄壁堰流实验、曲线型实用堰流实验、折线型实用堰流实验、宽顶堰流实验以及宽顶堰的堰顶水深实验。

在水利工程中,为控制过堰流量,常在堰顶安装闸门,当过堰的水流受到闸门控制时为闸孔出流。闸孔出流的特点是水流上方受闸门控制形成不连续变化的曲面,水流下方受到堰体型的控制。影响闸孔过流能力的主要因素不仅有堰的体型,还有闸门的型式和控制方式。为了观察闸孔出流现象,可以在另一条旋转明渠水槽中分批设置平板闸门和弧形闸门,开展平板闸门流量实验、弧形闸门流量实验。

圆柱绕流问题是研究流体绕物体流动的典型水动力学问题。通过实验测量实际流体绕圆柱流动时的表面压强分布规律,能够更好地帮助学生理解圆柱绕流中的前后驻点、最小压强点、压强系数特征,观察圆柱后部发生的流动分离现象。在第三条旋转明渠水槽中设置不同数量、不同布局的

圆柱, 可以开展圆柱绕流实验。

水跃和水跌是明渠非均匀流中常见的急流与缓流过度的急变流。当明渠中的水流由急流过渡到缓流时, 会产生一种水面突然跃起、剧烈旋滚的水跃现象, 常发生于泄水建筑物的下游; 当处于缓流状态的明渠水流遇到陡坡或突然扩大的渠道断面时, 水面会迅速降落产生一种由缓流向急流过渡的水跌现象。在第四条旋转明渠水槽设置潜坝或跌坎, 观察明渠的水跃和水跌现象。

1.3.2 开展设计性明渠流实验

实验设计训练是培养学生创新精神、创新能力和创新思维的有效手段, 该综合实验平台具有开展水力学相关的设计性、创新性明渠流实验的功能。如, 在旋转明渠系统中, 布置模型沙进行泥沙推移(跳跃、滚动、滑动)运动和悬移运动等观察实验和量测实验^[12], 设置丁坝、顺坝或锁坝开展水工整治建筑物附近流场、自由水面变化和紊动现象等观察实验^[13], 布置水草开展植被水流运动特性实验^[14, 15], 增加消能工开展底流消能、挑流消能和面流消能等消能演示实验^[16], 修改溢流堰剖面形状开展坝体优化等探索性实验, 在明渠水槽中布置弯道开展弯道水流运动综合实验^[17]。学生通过自行设计、改造和加工模型, 能够激发自身的主动性、积极性和创造性, 能够从自身所长与兴趣出发, 积极参与实验实践活动, 在探索、研究、创新的实践训练过程中, 提出自己的观点与见解。

2 实验平台使用模式与实践

2.1 实验平台使用模式

在综合实验平台的使用过程中, 坚持“开放式、启发式”实验模式, 最大限度地发挥学生的主动性、能动性和创造性, 促进学生主动探索性学习, 提高学生的学习兴趣。实验平台的使用模式可归纳如下。(1) 使用前, 教师提出实验目的和要求, 学生自行拟定实验方案、设计实验思路。这一阶段注重培养学生的独立思考能力和创新设计能力。(2) 使用中, 学生独立摸索实验平台水箱、固定明渠系统和旋转明渠系统各组成部件的功能和使用方法, 根据拟定的实验方案、实验思路亲自动手实施, 必要时, 允许学生自己制作、改装相应的部件进行探索性实验。这一阶段注重培养学生的动手能力和实践能力。(3) 使用后, 学生独立从实验数据和实验现象中分析相关实验的水动力特性, 查阅国内外相关实验资料, 撰写实验报告, 并做实验成果汇报。这一阶段注重培养学生的分析能力和表达能力。对有创新性的实验成果, 教师鼓励和指导学生撰写学术论文, 在学术刊物上发表或在学术会议上交流。

2.2 实验平台应用实践

综合实验平台建成以来, 先后开展了一系列的综合性、设计性和创新性实验研究, 取得了非常理想的教学成果。许多师生在此实验平台上进行了“曲线型实用堰剖面设计实验”、“折线型实用堰剖面设计实验”、“平板闸门流量实验”、“弧形闸门流量实验”和“明渠水跃和水跌实验”等自主创新性实验, 完成了多篇毕业设计和毕业论文。目前, 学生正在该实验平台上进行智能化操作的探索研究。

3 结语

本文介绍了由水箱、固定明渠系统和旋转明渠系统组成的旋转式明渠流综合实验平台, 通过旋转和对接方式将不同的明渠水槽及相应的明渠回水槽与同一个固定明渠系统贯通, 实现了仅在一个水箱、一个水泵提供水源的前提下进行一系列明渠水流自主创新设计实验研究的目的, 克服了传统明渠流实验装置功能单一、占地面积大、建设成本高等缺点, 为水力学传统基础实验教学向综合性设计性实验教学转变提供了新思路。具有系统灵活、改造方便、水资源节约、功能强大和适应性强等特点, 有重要的实用价值及推广应用前景。

参考文献(References):

- [1] 赵昕, 张晓元, 赵明登, 等. 水力学[M]. 中国电力出版社, 2009. (ZHAO Xin, ZHANG Xiaoyuan, ZHAO Mingdeng, et al. Hydraulics [M]. China Electric Power Press, 2009. (in Chinese))
- [2] 张志昌. 水力学实验[M]. 机械工业出版社, 2006. (ZHANG Zhichang. Hydraulic experiments [M]. Mechanical Industry Publishing House, 2006. (in Chinese))
- [3] 艾翠玲. 水力学实验教程[M]. 化学工业出版社, 2011. (AI Cui Ling. Hydraulic Experimental Course [M]. Chemical Industry Press, 2011. (in Chinese))
- [4] 赵明登, 曾玉红, 魏文信, 等. 水力学综合性设计性创新性实验系统研究与应用[J]. 高等理科教育, 2010, 94(6): 115-117. (ZHAO Mingdeng, ZENG Yurong, HU Aiwenn, et al. Research and Application of Hydraulic Experiment System of Comprehensiveness and Innovation [J]. Higher Education of Sciences, 2010, 94(6): 115-117. ((in Chinese))
- [5] 贺五洲, 陈嘉范, 李春华. 水力学实验[M]. 清华大学出版社, 2004. (HE Wuzhou, CHEN Jiavan, LI Chunhua. Hydraulic experiments [M]. Tsinghua University Press, 2004. (in Chinese))
- [6] 史文海, 李校兵. 水力学综合性设计性实验教学改革探索[J]. 温州大学学报: 自然科学版, 2007, 28(5): 57-60. (SHI Wenhai, LI Xiaobing. Teaching reform exploration of hydraulics general designable experiment [J]. Journal of Wenzhou University · Natural Sciences, 2007, 28(5): 57-60. ((in Chinese))
- [7] 教育部. 关于做好“本科教学工程”国家级大学生创新创业训练计划实施工作的通知[EB]. 教高函[2012]5号. (The Ministry of Education. The Notice about the Implementation of College Students Innovation and Enterprise Training Plan on "Undergraduate Teaching Project" [EB]. Teach High Letter [2012] No. 5. (in Chinese))
- [8] 李炜. 水力计算手册[M]. 中国水利水电出版社, 2006. (LI Wei. Hydraulic Calculation Handbooks [M]. China Water Conservancy And Hydropower Press, 2006. (in Chinese))
- [9] 杨小亭, 冯彩凤, 李琼. 水力学实验[M]. 中国水利水电出版社, 2008. (YANG Xiaoting, FENG Caifeng, LI Qiong. Hydraulic Experiments [M]. China Water Conservancy And Hydropower Press, 2008. (in Chinese))
- [10] 陈艳霞, 高建勇, 钱波. 水力学实验[M]. 中国水利水电出版社, 2012. (CHEN Yanxia, GAO Jianyong, QIAN Bo. Hydraulic experiments [M]. China Water Conservancy And Hydropower Press, 2012. (in Chinese))

(下转第 1015 页)

- 统中的应用[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2004, 44(12): 1634-1637. (JIE Yurxin, HU Tao, LI Qingyun, et al. Application of an analytical hierarchy process in the comprehensive safety assessment system of Yangtze River levee[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2004, 44(12): 1634-1637. (in Chinese))
- [3] 雷鹏, 肖峰, 张贵金. 基于 AHP 的堤防安全评价系统研究[J]. 人民黄河, 2013, 35(2): 108-110, 113. (LEI Peng, XIAO Feng, ZHANG Guojin. Study of levee safety assessment system based on AHP[J]. Yellow River, 2013, 35(2): 108-110, 113. (in Chinese))
- [4] 田林钢, 靳聪聪, 巴超. 改进的模糊层次分析法在海堤工程安全评价中的应用[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2013, 46(3): 317-320, 327. (TIAN Lirgang, JIN Congcong, BA Chao. Application of improved fuzzy AHP to safety evaluation of seawall engineering[J]. Journal of Wuhan University: Engineering Edition, 2013, 46(3): 317-320, 327. (in Chinese))
- [5] 殷丹, 石凤君, 赵淑杰. 河道堤防工程安全综合性评估[J]. 水利科技与经济, 2013, 19(1): 1-3. (YIN Dan, SHI Fengjun, ZHAO Shujie. Safety comprehensive assessment of river levee engineering[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2013, 19(1): 1-3. (in Chinese))
- [6] 刘纯义, 陈诚, 孙小艺. 黄河下游堤防安全评价指标的系统研究[J]. 人民黄河, 2006, 28(8): 11-12. (LIU Chunyi, CHEN Cheng, SUN Xiaoyi. System research on the safety evaluation index of the Lower Yellow River levee[J]. Yellow River, 2006, 28(8): 11-12. (in Chinese))
- [7] 蔡新, 严伟, 李益, 等. 灰色理论在堤防安全评价中的应用[J]. 水力发电学报, 2012, 31(1): 62-66. (CAI Xin, YAN Wei, LI Yi, et al. Grey theory in comprehensive evaluation of dyke safety risk[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2012, 31(1): 62-66. (in Chinese))
- [8] 顾冲时, 汪自力, 刘成栋. 堤防工程安全评估专家赋权模型[J]. 岩土力学, 2006, 27(12): 2099-2104. (GU Chongshi, WANG Zili, LIU Chengdong. Experts' weight model assessing embankment safety[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(12): 2099-2104. (in Chinese))
- [9] 连惠萍, 吴伟. 堤防工程安全评估研究分析[J]. 黄河水利职业技术学院学报, 2007, 19(4): 30-32. (LIAN Huiping, WU Wei. Research and analysis of dyke engineering safety evaluation[J]. Journal of Yellow River Conservancy Technical Institute, 2007, 19(4): 30-32. (in Chinese))
- [10] GB 50286-2013, 堤防工程设计规范[S]. (GB 50286-2013, Code for design of levee project[S]. (in Chinese))
- [11] SL 435-2008, 海堤工程设计规范[S]. (SL 435-2008, Code for design of sea dike project[S]. (in Chinese))
- [12] DB44/T 1095-2012, 堤防工程安全评价导则[S]. (DB44/T 1095-2012, Guidelines on levee safety evaluation[S]. (in Chinese))

(上接第 1010 页)

- [11] Ichisa Nezu, Michio Sanjou. PIV and PTV Measurements in Hydro Sciences with Focus on Turbulent Open channel Flows [J]. Journal of Hydro environment Research, 2011, 5(4): 215-230.
- [12] 肖洋, 黄振萍, 唐立模, 等. 恒定流中泥沙运动速度实验[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(2): 113-115. (XIAO Yang, HUANG Zhengping, TANG Limod, et al. Experiments on velocity of sediment movement in steady flow [J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2012, 10(2): 113-115. (in Chinese))
- [13] 戎贵文, 魏文礼, 刘玉玲, 等. 涌潮作用下丁坝附近水流运动特性的数值模拟研究[J]. 水利学报, 2012, 43(3): 296-301. (RONG Guowen, WEI Wenli, LIU Yuling, et al. Study on flow characteristics near spur dikes under tidal bore [J]. Shuili Xuebao, 2012, 43(3): 296-301. (in Chinese))
- [14] Li Yiping, Wang Ying, Animb Desmond Ofofu, etc. Flow Characteristics in Different Densities of Submerged Flexible Vegetation From an Open channel Flume Study of Artificial Plants [J]. Geomorphology, 2014, 204: 314-324.
- [15] CHEN Shichin, KUO Yiming, YEN Hsiachia. Effects of Submerged Flexible Vegetation and Solid Structure Bars on Channel Bed Scour [J]. International Journal of Sediment Research, 2012, 27(3): 323-336.
- [16] 秦翠翠, 杨敏, 董天松. 跌坎消力池水力特性试验研究[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(6): 119-122. (QIN Cuicui, YANG Min, DONG Tiansong. Hydraulic characteristics of the stilling basin with drop sill [J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2011, 9(6): 119-122. (in Chinese))
- [17] 陈启刚, 钟强, 李丹勋, 等. 明渠弯道水流平均运动规律试验研究[J]. 水科学研究进展, 2012, 23(3): 369-375. (CHEN Qigang, ZHONG Qiang, LI Danxun, etc. Experimental study of open channel flow in a bend [J]. Advances in Water Science, 2012, 23(3): 369-375. (in Chinese))