

竖轴水轮机式潮流能发电装置开发 现状与发展趋势

马勇, 张亮, 马良, 陈展

哈尔滨工程大学海洋可再生能源研究所, 哈尔滨 150001

摘要 世界能源日趋紧张, 而环境污染不断加剧。潮流能作为清洁无污染的绿色可再生能源, 具有储量大、分布广、可预测性强、环境污染小等特点, 开发利用潮流能对缓解能源紧张、降低环境污染具有重要的现实意义。潮流能利用的主要形式是利用潮流能发电装置发电, 其原理是: 潮流冲击水轮机, 将潮流水平流动的动能转换为水轮机的机械能, 水轮机经机械传动装置, 带动发电机发电, 将机械能转换为电能。潮流能发电装置根据水轮机结构形式的不同, 分为水平轴式、竖轴式和横轴式。与水平轴水轮机式和横轴水轮机式潮流能发电装置相比, 竖轴水轮机式潮流能发电装置具有适应流向性强, 适合大规模阵列布置等特点, 具有独特的应用优势。本文针对竖轴水轮机式潮流能发电装置, 阐述发电装置的开发现状, 分析不同结构形式发电装置的特点, 指出竖轴水轮机式潮流能发电装置的发展趋势和关键技术, 为竖轴潮流能发电装置的理论研究与工程应用提供参考和借鉴。

关键词 发电装置; 潮流能; 竖轴水轮机; 开发现状; 发展趋势

中图分类号 TM612

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.12.011

Developing Status and Development Trend of Vertical Axis Turbine-type Tidal Current Energy Power Generation Device

MA Yong, ZHANG Liang, MA Liang, CHEN Zhan

Institute of Ocean Renewable Energy System, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China

Abstract Energy shortage and environment pollutes aggravate ceaselessly all over the world. As a green clean pollution-free renewable energy, tidal current energy has characteristics such as large reserves, wide distribution, predictability, little environmental pollution, etc. Development and utilization of tidal energy has important practical significance to ease the energy shortage and reduce the pollution of the environment. The main form to utilize tidal energy is to generate power, this paper studies the vertical axis turbine-type tidal current energy power generation device, describes the present development situation of the power generation device which could be divided into three kinds, namely the floating structures, the seabed piled structures and the sit seabed structures, analyzes the characteristic of different structural forms of the power generation device, pointed out the development trend and key technology of the power generation device. This paper will provide reference for theory study and engineering application of the vertical axis turbine-type tidal current energy power generation device.

Keywords power generation device; tidal current energy; vertical-axis hydraulic turbine; development situation; development trend

0 引言

世界能源日趋紧张, 而环境污染不断加剧, 因此开发利用新能源^[1-3]成为缓解能源紧张, 降低环境污染的有效途径。潮流能作为清洁无污染的绿色可再生能源, 具有储量大、分

布广、可预测性强、环境污染小等特点^[3-5], 利用潮流能发电已成为新能源发电技术领域最为活跃的分支, 对缓解能源紧张、降低环境污染具有重要的现实意义。

潮流能发电装置根据水轮机旋转轴与来流方向和海平

收稿日期: 2012-02-28; 修回日期: 2012-03-15

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2008BAA15B04); 中央高校基本科研业务费专项 (HEUCF110132)

作者简介: 马勇, 讲师, 研究方向为海洋能利用, 电子邮箱: mayong02@hrbeu.edu.cn

面的位置关系,分为竖轴水轮机式、横轴水轮机式和水平轴水轮机式。横轴水轮机式潮流能发电装置与竖轴水轮机式潮流能发电装置相似,只是水轮机的放置方式不同,因为受到使用限制,常被竖轴水轮机式潮流能发电装置所代替。水平轴水轮机式潮流能发电装置技术发展最为成熟,已有兆瓦级项目,如英国 MCT 公司开发的 SeaGen 潮流能发电装置^[6]、Atlantis Resources Co 公司开发的 AK-1000TM 潮流能发电装置^[7]、爱尔兰 OpenHydro 公司开发的 Open Centre 潮流能发电装置^[8]等,其中,英国的 SeaGen 潮流能发电装置已经并网发电,实现商业化运营。

与水平轴水轮机式相比,竖轴水轮机式潮流能发电装置具有适应流向性强、适合大规模阵列布置等特点,有着独特的应用优势^[9-10],近年来受到许多国家的重视,目前处于理论研究和实验示范的快速发展阶段。本文针对竖轴水轮机式潮流能发电装置,阐述发电装置的开发现状,分析不同结构形式发电装置的特点,指出竖轴水轮机式潮流能发电装置的发展趋势和关键技术,为竖轴潮流能发电装置的理论研究与工程应用提供参考和借鉴。

1 竖轴水轮机式潮流能发电装置分类与开发现状

竖轴水轮机式潮流能发电装置的基本组成包括竖轴水



图 1 “万向 I”号潮流能电站

Fig. 1 “Wanxiang I” tidal current energy power station

英国的海王星再生能源公司^[14](Neptune Renewable Energy)作为一家著名的竖轴水轮机式潮流能发电装置开发公司,其研究的 Neptune Proteus 潮流能发电装置也是一款漂浮式潮流能发电装置。如图 3 所示,该装置加设了导流罩,导流罩带有导叶可改变流向减小反向力矩,提高获能效率。导流罩两侧挂有浮体,为发电装置提供浮力。

中国海洋大学和机械科学研究总院也共同研制了一款基于竖轴水轮机的漂浮式潮流能发电装置^[15],见图 4。该发电装置采用双浮体升降式结构,潮流能的获取装置为柔性叶片竖轴水轮机,其获能原理类似帆翼。柔性叶片为三角形,具有自适应性,能充分利用升力效应和阻力效应,提取潮流能,具有较高的转矩系数和获能系数,在任意转角位置都能自启动。该装置于 2008 年 12 月在青岛胶南斋堂岛水域成功完成测试,见图 5。

轮机、载体和发电机 3 部分。根据载体形式的不同,竖轴水轮机式潮流能发电装置分为漂浮式、坐底式和桩基础式 3 种。

1.1 漂浮式潮流能发电装置

漂浮式潮流能发电装置基本组成包括竖轴水轮机、载体、发电机、锚泊系统。载体设计成趸船、双体船、箱形结构或其他形式浮体。

世界上第一个漂浮式潮流能实验装置——“万向 I”号 70kW 漂浮式潮流能电站由哈尔滨工程大学于 2002 年 1 月建造完成,安装于浙江省岱山县龟山水道,见图 1。该装置的载体为双鸭首式船型,搭载水轮机、发电机和控制系统;锚泊系统由 4 只重力锚块、锚链和浮筒组成;水轮机采用竖轴可调角直叶片摆线式双转子机型,水轮机主轴输出端安装液压及控制系统进行调速,将机械能转换为稳定的压力能和稳定的输出转动,带动发电机工作,并具有蓄电池充电控制、并网控制和相关的保护功能^[11-12]。

同期的意大利阿基米德桥公司^[13](Ponte di Archimede, PDA) 于 2003 年在墨西哥湾投运了首台 120kW Kobold 型漂浮式潮流能发电装置,该装置的水轮机为被动变偏角式直叶片竖轴水轮机,水轮机直径 6m,高 5m,装置发电接入当地电网,这是世界上第一个接入电网的基于竖轴水轮机的漂浮式潮流能发电装置(图 2)。



图 2 Kobold 型潮流能发电装置

Fig. 2 Kobold tidal current energy power device

最近,哈尔滨工程大学又在国家科技支撑计划项目支持下,完成了 150kW 潮流能实验电站的设计和建造。该发电装置为漂浮式潮流能发电装置,采用双体船式载体结构、锚泊定位、双转子、竖轴直叶固定偏角水轮机,拟在浙江省舟山市岱山县示范运行。

1.2 坐底式潮流能发电装置

坐底式潮流能发电装置基本组成包括基座、支撑结构、竖轴水轮机和发电机。支撑结构与基座连成一体,坐于海床上,水轮机安装在支撑结构上,在潮流的作用下运行带动发电机发电。

哈尔滨工程大学在国家 863 计划支持下,于 2005 年在浙江省舟山市岱山县建成并运行了世界首座基于竖轴水轮机的坐底式潮流能发电装置——“万向 II”号 40kW 坐底式潮流能实验电站^[16]。该电站分为水上部分和水下部分,水上部分包

括控制系统、数据采集及监测系统、蓄电装置等,水下部分包括载体、竖轴水轮机、机械增速系统和发电机等。电站载体采用双导流箱式基座结构,依靠自重以及基座与海底的摩擦来抵抗工作时的阻力和倾覆力矩,用锚链作为安全储备及维修时电站浮起的约束限位。潮流能转换装置采用可变角竖轴直叶 H 型双转子水轮机。电站在实验运行期间经历了大潮的考

验,运行良好。见图 6 和图 7。

典型的基于竖轴水轮机的坐底式潮流能发电装置还有加拿大蓝能(Blue Energy)公司开发的双转子 2×250kW 坐底式潮流能发电装置^[17],如图 8 所示。该发电装置的竖轴水轮机叶片呈圆周分布,与转轴平行,水轮机通过齿轮增速箱与上部发电机相连。水轮机转子置于导流罩中。

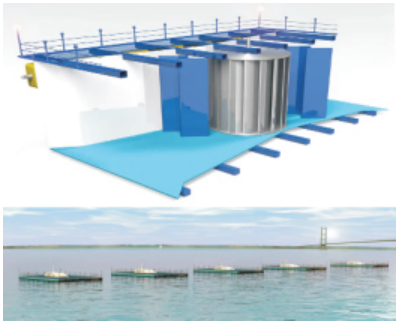


图 3 Neptune Proteus 潮流能发电装置
Fig. 3 Neptune Proteus tidal current energy power device

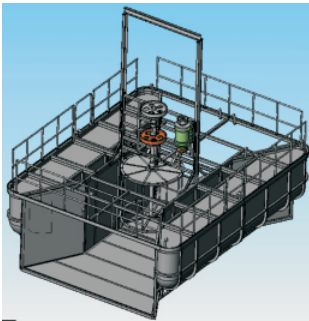


图 4 中国海洋大学漂浮式潮流能发电装置结构示意图
Fig. 4 Structure diagram of floating tidal current energy power device on Ocean University of China



图 5 中国海洋大学漂浮式潮流能发电装置海试图
Fig. 5 Photo of sea test of floating tidal current energy power device on Ocean University of China

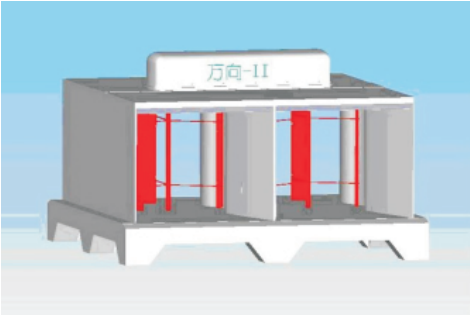


图 6 “万向 II”号潮流能电站效果图
Fig. 6 Effect drawing of "Wanxiang II" tidal current energy power station



图 7 “万向 II”号潮流能电站实物图
Fig. 7 Photo of "Wanxiang II" tidal current energy power station

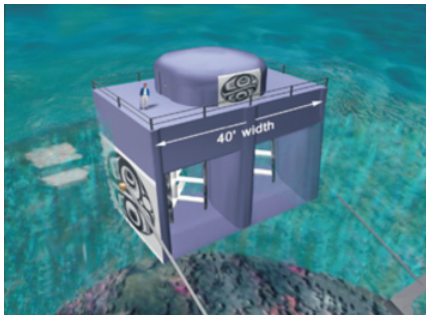


图 8 蓝能公司 2×250kW 潮流能发电装置
Fig. 8 Effect drawing of 2×250kW tidal current energy power device of Blue Energy Company

1.3 桩柱式潮流能发电装置

桩柱式潮流能发电装置基本组成包括支撑桩柱、竖轴水轮机和发电机,支撑桩柱需要打入海底固定。

目前,桩柱式潮流能发电装置主要基于水平轴水轮机,基于竖轴水轮机的应用还比较少,典型的有韩国于 2007 年在 Uldolmok 水道完成的 1MW 的潮流能电站,该电站采用网状塔架结构支撑,三叶竖轴螺旋形固定叶片水轮机^[18]。

与上述三类竖轴水轮机式潮流能发电装置不同,哈尔滨工程大学于近期提出一种半潜式潮流能发电装置设想,该类装置载体具有小水面,半潜于水中,通过压载水调节升沉,装置具有较好的抗风浪性能,水轮机及发电机组运行稳定,方便维护与检修。

2 发电装置特点分析

2.1 漂浮式潮流能发电装置

漂浮式^[19-21]潮流能发电装置的优点是:(1) 结构简单,对船厂的制造技术要求不高,制造成本低;(2) 安装运输方便,载体和机组在船厂利用常规设备组装后,用拖船拖到预定站址系泊固定;(3) 平台甲板宽敞,便于发电机组的布置和人员的操作;(4) 维护检修方便,发电设备在水面以上便于检修,后期管理和维护费用低。缺点是:(1) 对航道交通造成一定影响;(2) 受海上风浪影响,装置运行的稳定性和安全性差。

2.2 坐底式潮流能发电装置

坐底式^[16,22]潮流能发电装置的优点是:(1) 适用于浅海区域;(2) 发电机组位于水面以下,受海面上风浪影响小,结构

稳固;(3)不影响航道上水面船舶交通。缺点是基座以及机组安装和检修时施工技术要求 and 费用高。

2.3 桩柱式潮流能发电装置

桩柱式^[23-26]潮流能发电装置的优点是:(1)结构稳定,在风浪流作用下桩柱不发生运动,水轮机发电机组搭载于桩柱上运行稳定;(2)水轮机组及发电机组为可升降结构,方便装置维护与检修。缺点是:(1)海上打桩和安装的技术要求较高,需要使用较大设备,费用昂贵;(2)不适合深海海域应用;(3)对航道交通造成一定影响;(4)水轮机组及发电机组可升降设计,机构复杂,技术要求高,设计、建造费用昂贵。

实际应用中,应综合考虑海域水深、海况、航运、海底地质、地貌、经济能力和技术条件等,选择合适的潮流能发电装置形式。目前国内外研究和应用较多,技术相对成熟的是漂浮式潮流能发电装置。

3 发展趋势

3.1 商业化趋势

竖轴水轮机式潮流能发电装置与其他发电装置一样,其产生和发展的根本目的是为了满足不同人类生产和生活的用电需求,随着技术的不断成熟,它将与水电、火电、核电等装置一样,走上商业化发展道路。

3.2 大型化趋势

目前竖轴水轮机式潮流能发电装置的研究与应用还停留在实验示范阶段,为了实现商业化发展即大功率、高效地发电,发电装置大型化,尤其是核心部件水轮机和支撑载体大型化是发展趋势之一。

3.3 集群化规模发展趋势

实现竖轴水轮机式潮流能发电装置商业化规模发展,除了采取单机大型化的方式以外,还可以采取集群化模式,即在潮流能丰富海域,布置多组潮流能发电装置,集中并网供电,实现电能的规模化生产。

4 关键技术

为了实现竖轴水轮机式潮流能发电装置的商业化、大型化、集群化的应用与发展,必须进一步开展理论与技术研究,解决一些关键技术。

(1) 高效可靠的潮流能发电装置开发设计技术

高效可靠的潮流能发电装置是潮流能利用发展的基础,包括开发性能高效、运行稳定的竖轴水轮机以及与之相配套的高性能搭载平台。如近期发展起来的基于螺旋型叶片的潮流能发电装置、基于柔性叶片的潮流能发电装置以及半潜式潮流能发电装置等。

(2) 发电装置性能的数值模拟与试验预报技术

竖轴水轮机、载体以及水轮机、载体与外部环境耦合作用下发电装置发电性能、水动力性能的数值模拟与试验预报是竖轴水轮机式潮流能发电装置工程应用的难点和关键,需要深入研究发电装置性能的数值模拟与试验预报技术。

(3) 潮流能发电装置的加工制造技术

潮流能发电装置浸没于海水环境,长期受到海水腐蚀、泥沙冲击以及海洋浮游生物的附着与腐蚀,研究适合潮流能发电装置应用的抗腐、抗冲刷、防海洋浮游生物附着的工程材料是未来潮流能发电装置商业应用需要解决的关键技术之一。另外,随着装置大型化发展,大型水轮机及搭载平台的加工制造技术也是潮流能发电装置商业应用的关键。

(4) 海上施工技术

竖轴水轮机式潮流能发电装置正向着商业化趋势发展,装置有大型化和集群化规模发展的趋势。对于漂浮式潮流能发电装置,锚泊定位将是其关键技术;对于坐底式潮流能发电装置,大型发电装置的海上安装,特别是起吊维修将是其关键技术;对于桩柱式潮流能发电装置,海底打桩,尤其是大水深打桩将是其关键技术。

(5) 电力变换技术

潮流能发电装置发电电压、电流及功率波动较大,需要通过电力变换装置使发出的电能形式上与现有用电设备的要求相匹配,在品质上满足用户的需求,如何采用电力电子开关器件构造合适的电力变换装置是解决上述问题的关键,尤其是潮流能发电装置集群化规模发展以后,多机组并网将使得电力变换技术更加复杂。

5 展望

潮流能是一种清洁无污染的绿色可再生能源,对缓解当前能源紧张、降低环境污染具有重要的现实意义。但是,潮流能发电装置及技术,尤其是基于竖轴水轮机的潮流能发电装置及技术还处于实验示范阶段,要实现规模化、商业化开发利用,还需在潮流能发电装置开发设计、性能数值模拟与试验预报、发电装置的加工制造、海上施工、电力变换等技术方面开展深入研究,获得技术突破,使潮流能资源更好地为人类所利用。

参考文献 (References)

- [1] 杨丽辉. 新能源概览[J]. 发电设备, 2001(4): 36-39.
Yang Lihui. *Power Equipment*, 2001(4): 36-39.
- [2] 汤天浩. 新能源与可再生能源的关键技术与发展趋势[J]. 电源技术应用, 2007, 10(2): 60-64.
Tang Tianhao. *Power Supply Technologies and Applications*, 2007, 10(2): 60-64.
- [3] Assessing environmental effects of tidal turbines [EB/OL]. [2011-12-10]. http://www.redorbit.com/news/science/1965240/assessing_environmental_effects_of_tidal_turbines/.
- [4] Tidal current power development in Korea [EB/OL]. [2011-11-11]. <http://pemsea.org/eascongress/international-conference/pr>.
- [5] 吕忻, 郭佩芳. 我国潮流能资源开发评述 [J]. 海洋湖沼通报, 2011(1): 26-30.
Lv Xin, Guo Peifang. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2011 (1): 26-30.
- [6] Thake J. Development installation and testing of a large scale tidal current turbine[R]. London: IT Power, 2005.

- [7] Atlantis Resources Corporation. [EB/OL]. [2011-10-1]. <http://www.atlantisresourcescorporation.com/the-atlantis-advantage/atlantis-technologies/ak-series.html>
- [8] Openhydro Ltd. [EB/OL]. [2011-11-11]. <http://www.openhydro.com/home.html>
- [9] Khan M J, Bhuyan G. Hydrokinetic conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal application: A technology status review [J]. *Applied Energy*, 2009, 86(10): 1823-1835.
- [10] 戴军, 单忠德, 王西峰, 等. 潮流水轮机的研究进展 [J]. 可再生能源, 2010, 28(4): 130-133.
Dai Jun, Shan Zhongde, Wang Xifeng, et al. *Renewable Energy Resources*, 2010, 28(4): 130-133.
- [11] 朱典明, 李凤来, 张亮. 70kW 潮流实验电站[R]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2002.
Zhu Dianming, Li Fenglai, Zhang Liang. 70kW tidal current energy experiment power station [R]. Harbin: Harbin Engineering University, 2002.
- [12] 李凤来, 张亮, 张洪雨. 70kW 潮流电站水轮机研究 [R]/国家 863 科技报告. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2000.
Li Fenglai, Zhang Liang, Zhang Hongyu. Research of turbine of 70kW tidal current power station [R]/National 863 Technical Report. Harbin: Harbin Engineering University, 2000.
- [13] Ponte di Archimede International [EB/OL]. [2011-12-11]. http://www.pontediarchimede.com/language_us/.
- [14] Tidal Technology-The Neptune Proteus NP1000 [EB/OL]. [2011-12-11]. http://www.eptunerenwableenergy.com/tidal_technology.php.
- [15] 王树杰. 柔性叶片潮流能水轮机水动力学性能研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
Wang Shujie. Study on hydrodynamic performances of a tidal current energy conversion device with flexible blade turbine[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009.
- [16] 盛其虎, 罗庆杰, 张亮. 40kW 潮流电站载体设计 [C]/中国可再生能源学会海洋能专业委员会第一届学术讨论会文集. 北京: 中国可再生能源学会, 2008: 159-168.
Sheng Qihu, Luo Qingjie, Zhang Liang. Design on the carrier of 40kW tidal current power station[C] //The first seminar collection of China Association for Ocean Energy. Beijing: China Renewable Energy Society, 2008: 159-168.
- [17] Blue Energy Canada Inc [EB/OL]. [2011-12-20]. <http://www.bluenergy.com/>.
- [18] 刘强. 海洋潮流能发电系统的并网型逆变器设计研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2010.
Liu Qiang. Research on design of the grid-connected inverter for the tidal energy generation system [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2010.
- [19] 荆丰梅, 盛其虎, 张亮. 漂浮式潮流电站总体设计 [C]/中国可再生能源学会海洋能专业委员会第三届学术讨论会文集. 北京: 中国可再生能源学会, 2010: 1-7.
Jing Fengmei, Sheng Qihu, Zhang Liang. Overall design of floating tidal current power station [C]/The third seminar collection of China Association for Ocean Energy. Beijing: China Renewable Energy Society, 2010: 1-7.
- [20] 张洋. 漂浮式潮流电站锚泊系统的设计和计算[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2004.
Zhang Yang. The Design and the calculation of the mooring system of the floating tidal power station [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2004.
- [21] 曹浩. 130kW 漂浮式潮流电站锚泊系统设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2007.
Cao Hao. The mooring system design of 130kW floating tidal current power stations[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2007.
- [22] 梁永超. 浅海坐底式平台设计中影响平台起浮的几个问题 [J]. 中国海洋平台, 2003, 18(1): 16, 42-43.
Liang Yongchao. *China Offshore Platform*, 2003, 18(1): 16, 42-43.
- [23] Douglas C A, Harrison G P, Chick J P. Life cycle assessment of the Seagen marine current turbine [J]. *J Engineering for the Maritime Environment*. 2008, 222(1): 1-12.
- [24] European Commission. SEAFLOW-World's first pilot project for the exploitation of marine currents at a commercial scale. Report EUR21616 under Contract JOR3-CT98-0202 [R]. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2005.
- [25] Fraenkel P L. Power from marine currents [J]. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 2002, 216(A1): 1-14.
- [26] Fraenkel P L. Tidal current energy technologies [J]. *IBIS*, 2006, 148(S1): 145-151.

(责任编辑 马骁骁)

·科学共同体介绍·

中国环境科学学会

中国环境科学学会(Chinese Society For Environmental Sciences)成立于 1978 年,是国家一级学会,也是我国环境学科最高学术团体和我国目前规模最大的环保科技社团组织。学会在管理体制上实行环境保护部和中国科学技术协会双重领导,国家环保行政主管部门的历届主要领导或分管领导李超伯、李景昭、曲格平、解振华、叶汝求、王玉庆先后担任中国

环境科学学会 1—6 届理事会理事长。

中国环境科学学会由全国环境科技工作者、环境工程技术人员、环境教育工作者和环境管理工作(统称环境科技工作者)志愿结合组成。现有全国会员 42000 余名。学会下设 7 个工作委员会、15 个分会及 13 个专业委员会。

中国环境科学学会主办世界湖泊大会、两

岸四地论坛、两岸高峰论坛等国际、国内学术活动,主办《中国环境科学》、《环境与生活》、《安全与环境学报》等学术刊物。

中国环境科学学会 2012 年 1 月 8 日在北京召开第七次全国会员代表大会,选举原国家环保总局副局长王玉庆为第七届理事会理事长,任官平为秘书长。

(责任编辑 秦政)