

◀专题综述▶

无库式潮汐能发电设备发展及其轴承应用

刘延平, 陈龙, 吕明, 邱明

(河南科技大学 机电工程学院, 河南 洛阳 471003)

摘要:介绍了潮汐能发电设备的结构形式和发展状况, 主要讨论目前已经具备样机的海底风车式和贯流式潮汐能发电机组, 研究了这2种形式的潮汐能发电设备中各部位的轴承应用条件, 并讨论了适用于该工况的轴承结构形式。

关键词:滚动轴承; 潮汐能; 海底风车; 贯流机组

中图分类号:TH133.33;TK79 **文献标志码:**B **文章编号:**1000-3762(2010)11-0046-04

Development of Tidal Power Generating Equipment Without Reservoir and Its Application of Bearings

LIU Yan-ping, CHEN Long, LÜ Ming, QIU Ming

(School of Mechatronics Engineering, Henan University of Science & Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: The structural style and development state of tidal power generating equipment are introduced, and the underwater windmill turbines and tubular turbines which already exist prototypes are mainly discussed. The working conditions of rolling bearings in these two prototypes are researched, and the compatible bearings are selected for specific working conditions.

Key words: rolling bearing; tidal power; underwater windmill; tubular turbines

潮汐能作为一种可再生资源, 蕴藏量大, 运行成本低, 气候依赖性小, 预测性强。世界潮汐能蕴藏量约27亿kW, 可开发的约占2%, 即约5400万kW, 若转换为电能, 年发电量约1.2万亿kW·h, 相当于世界总电量的1/10。调查表明, 我国潮汐能蕴藏量为1.1亿kW, 经济可开发总装机容量为2179万kW, 年发电量624亿kW·h。容量在500kW以上的站点191处, 可开发总装机容量2158万kW。

目前, 潮汐能开发的趋势偏向于大型化, 如俄罗斯计划的美晋潮汐电站设计发电能力为1500万kW·h, 英国塞泣电站为720万kW·h, 加拿大芬地湾电站为380万kW·h。预计到2030年, 世界潮汐电站的年发电总量将达600亿kW·h。目前, 我国在运行的潮汐电站有8座, 分别为江夏潮汐电站、海山潮汐电站、沙山潮汐电站、岳浦潮汐电站、山东白沙口潮汐电站、江苏浏河潮汐电站、福建幸福举潮汐电站和广西果子湾潮汐电站, 总

装机容量为6000kW, 年发电量1000万余kW·h。欧美国家纷纷出台法案大力发展潮汐能的同时, 国家发改委《可再生能源中长期发展规划》在重点发展领域中也提出了积极推进海洋能的开发利用, 制定了到2020年建成潮汐电站装机容量10万kW的目标, 潮汐能发电技术前景非常广阔。

目前成熟的潮汐能发电形式为水库式, 即在海湾或海潮河口建筑堤坝、闸门和厂房, 将海湾或河口与外海隔开围成水库, 并安装机组进行发电。这种潮汐能发电方式存在诸多缺陷: 建立发电厂时的建坝等工程需要巨大投资, 泥沙冲淤问题难以解决, 拦潮坝对水库区生态影响, 海岸侵蚀。

针对水库式潮汐能发电技术的诸多缺陷, 近年欧美国家兴起了无库式潮汐能发电技术。这一技术在欧美国家一兴起就受到了各国的大力支持, 并获得了一定程度的发展, 先后设计开发了海流(seaflow)、托卡多(tocardo)等一系列潮汐能试验样机^[1-3], 并构建了多处样机试验场。无库式潮汐电站无需在入海口建坝, 而是直接在近海浅

水区安装潮汐能机组进行发电。这种发展概念省去了传统潮汐电站土建项目的巨额投资,降低了对气候的依赖,不占用河道,极大地减小了对生态的不利影响。该项目的成功应用将极大地降低潮汐能发电的介入门槛^[4-6]。

1 无库式发电设备的进展

无库式潮汐能发电设备的发电原理突破常规发电的概念,借鉴风能发电原理,同时考虑海流和风的密度等条件的不同设计开发而成,因而此类水轮机结构形式与传统有库式机组的结构形式大不相同。根据机组结构形式不同,目前的潮汐能发电

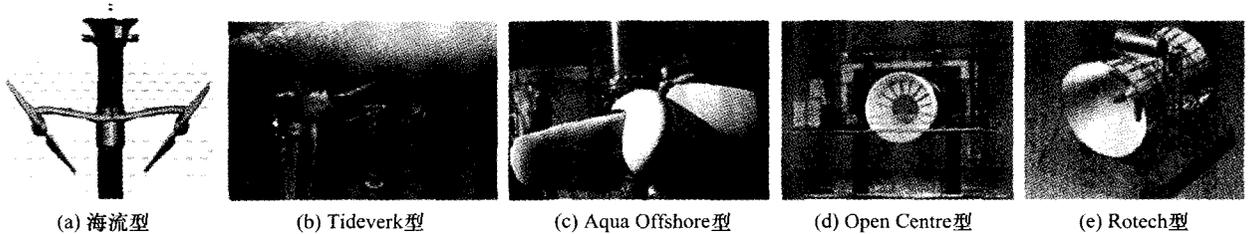


图1 已完成的无库式潮汐能发电机样机^[7]

为便于转子出水维护,“海流”安装时在海底钻孔打桩,建造具有提升机构的竖塔以适应不同深度的海流流速并便于出水维修;为适应海水涨落的变化,竖塔有5~10 m露在海面上。每个竖塔两侧各有一个转子,以节约成本提高潮汐能利用率。与一般的水平轴式风力发电机不同,“海流”的每个转子上有2个叶片,叶片通过变桨轴承与转子连接,通过伺服系统实现桨距控制,桨距角在电动机驱动下随海流变化,避免过载破坏。由于海水流体密度大且装置安装于浅海区,叶片直径仅16 m,以15 r/min速度随海水流动旋转,叶片朝向可以180°转动以实现涨、退潮双向发电的需要。同时机组装有机械刹车系统以便紧急刹车。机组变速箱和发电机构成一个整体单元,浸没在海水中,因此不需要额外的冷却系统,降低了故障率。

图1b是由挪威 Hammerfest Strom 与 Statoil, Rolls - Royce, ABB 4家公司共同设计开发的水平轴风车式发电机(Tideverk)。Tideverk的结构形式与水平轴式风力发电机相同,机组每个转子装有3个叶片,直径15 m,全反桨距控制,可实现涨、退潮发电。Tideverk在海底的受力形式也与水平轴式风力发电机相同,其受力结构如图2所示^[8]。Tideverk在海底的固定方案与“海流”不同,该机组由三角架支撑于海底。首批试验样机已于2007

机组总体可分为2类:水平轴风车式发电机组(图1a~图1c)和贯流式发电机组(图1d及图1e)。

1.1 海底风车式机组

图1a为“海流(seaflow)”风车式发电机组。“海流”是无库式潮汐能设备发展的标志性工程,项目初期投资600万欧元。由MCT公司联合BankInvest, EDF - energy等5家公司共同开发。2003年5月于英国西海岸布里斯托尔海面下20 m深处安装并试验成功,首批装机容量为300 kW/台。最近又安装了1200 kW/台的机组,在流速为2~3 m/s的海水中工作。该机组形状宛如一个风车,由潮水提供动能冲击叶片发电。

年在挪威 Hammerfest 附近的 Kvalsundet 海域安装,单机装机容量为300 kW,为异步发电机。

图1c是荷兰托卡多公司与 Teamwork Technology BV 联合设计开发的水平轴风车式潮汐能发电设备,命名为 Aqua Offshore,于2005年在 Den Oever 下水试验。目前试验的样机桨叶固定,不含变桨距系统。Aqua Offshore 机组有河、海两种类型。河道用机组机架悬浮,叶片直径2~3.5 m,额定功率30~100 kW;近海用机组在重力作用下用锚固定,叶片直径10~15 m,额定功率400~1500 kW。该机组可双向发电,为直驱恒磁场发电机,适用于中深水域,发电电压较高。

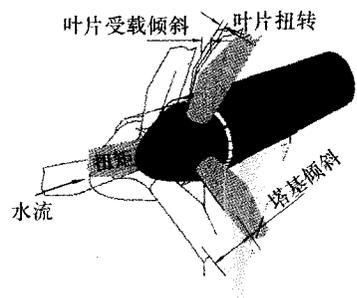


图2 Tideverk 在海底的受力形式

1.2 贯流式机组

在全球都在寻求新能源的背景下,美国海军研究中心支持佛罗里达水电公司于1995年开始设计了一种中心开放式无库容潮汐能发电机组,

如图 1d 所示,并于 2005 年完成了样机制作。样机直径 6 m,单机容量 120 kW,目前在欧洲 Orkney 潮汐能技术中心试验。该机组显著特点是中心开放而无轴及桨叶、采用滑动轮帆型转子,水流贯穿通过有一定斜度的帆叶,带动转子旋转发电,其转子如图 3 所示^[7,9]。发电机和转子轴承设计为整体结构,适于高效直流环绕发电机。该机组适于中深水域,发电电压为中等电压。

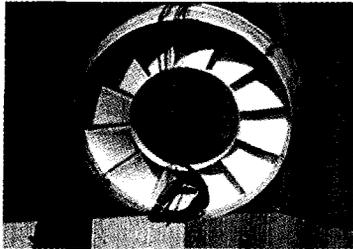


图 3 Open Centre 发电机转子

英国 Lunar Energy 公司联合 E. ON 公司于 2007 年设计开发了一种新型水平轴双向发电潮汐能透平机(Rotech),见图 1e, Rotech 已在 Glasgow 大学试验成功。Rotech 机组外壳为一喇叭口状管道,直径 15 m,长 19.2 m,以捕获更多的潮水并提高水流速度。机组设有偏航系统,调整机组方向,使海流垂直冲击叶片,提高水轮机效率。机组高度模块化,可单独吊起检修和维护,如图 4 所示^[10]。该机组固定时靠配重的重力作用置于海底,水轮机直径 11.5 m,单机容量 1 MW,适于水深 40 m 的深水水域,发电电压为中低电压。

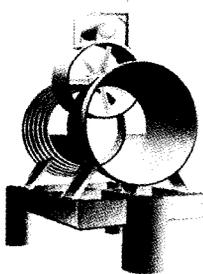


图 4 Rotech 潮汐能机组吊装图

2 轴承的应用

无库式潮汐能发电机组一般安装于 20 ~ 40 m 的海底,适应的海水流速约 2 ~ 3 m/s,机组用轴承的工作环境温度较低,转速约 15 r/min,大部分都会受到轴向、径向、倾覆力矩的联合作用,受力状况复杂。

2.1 海底风车式机组

“海流”在运行过程中由水流驱动桨叶,带动

转子转动,增速箱增速并最终驱动发电机发电,其结构简图如图 5 所示。连接桨叶片与轮毂的变桨轴承为转盘轴承。没有潮水冲击力时,变桨轴承受到桨叶片的重力与海水浮力的合力作用;当海水冲击叶片时,桨叶片将承受附加水平力以及由冲击力引发的附加力矩作用;当海水的冲击力足以驱动“海流”运转后,变桨轴承本身绕着风车的轴线旋转,则径向力按正弦规律周期性变化。除以上正常受力外,海水冲击力的波动、涨退潮变化等因素都将加剧变桨轴承受力复杂程度^[8,11]。

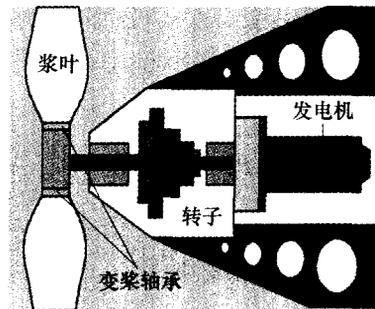


图 5 “海流”结构简图

“海流”的增速箱由德国 Jahnel - Kestermann 设计制造。箱体紧凑,由一级行星齿轮和两级螺旋齿轮和一个空心主轴组成,电缆通过滑环单元穿过空心轴与轮毂相连,实现测量和桨距控制。负载最大的第 1 级齿轮副的载荷由不少于 8 个小行星轮共同承担,用活动销钉组装,保证各行星轮的载荷的均衡。负载较小的第 2 级齿轮的载荷由 5 个小行星轮承载。转子轴承除需要承受较大的径向力以外,还需要承受叶片传递的轴向力,因而多采用能同时承受轴向载荷与径向载荷的圆锥滚子轴承。已制造的样机就采用双列圆锥滚子轴承。

2.2 贯流式机组

中心开放式的贯流机组不采用滚动轴承,而是采用滑动轴承。但水平轴式贯流机组中间存在主轴,所以采用滚动轴承作为支承。Rotech 内部轴承布置尚未见报道。依据 Rotech 的样机结构,其主轴轴承的应用情况可借鉴贯流式水轮机轴承的应用^[12-15]。

贯流式水轮机轴承通常采用三支点单悬臂结构、双支点单悬臂结构和双支点双悬臂结构。三支点单悬臂结构(图 6)转子位于发电机轴承与推力轴承之间,水轮机轴承位于转轮上游侧。三支点单悬臂结构可承受较大载荷,有利于提高轴系的刚度,主轴受力状态好,但此种结构安装调整困难。双支点单悬臂结构(图 7)将发电机推力轴

承与发电机导轴承合并为发电组合轴承,发电机转子位于发电组合轴承与水轮机导轴承之间,水轮机转轮位于水轮机导轴承下游侧,适用于中等容量机组,在工地调整轴系较方便,因而降低了机组成本。双支点双悬臂结构(图8)将发电机推力轴承与发电机导轴承合并为发电组合轴承,位于发电机转子下游侧,水轮机转轮位于水轮机导轴承下游侧,双支点双悬臂结构缩短主轴长度使机组结构紧凑,便于轴承的维护和检修,是目前已广泛采用的结构形式。

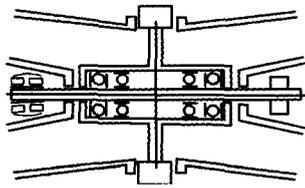


图6 三支点单悬臂结构

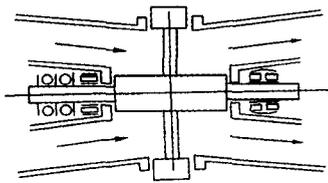


图7 双支点单悬臂结构

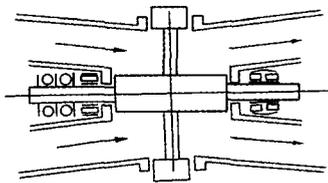


图8 双支点双悬臂结构

贯流水轮机转动部分质量大部分集中于轮缘处,从力矩平衡条件看,作用在轮缘处的不平衡力将数倍放大后作用于轴承上。另外,悬臂结构中均采用了成对安装的大型推力轴承,并且轴承的轴线与水平面平行,受力侧滚动体在滚道自定心作用的影响下保持在正常的工作位置,而非受力侧滚动体下沉,造成滚道偏磨,这种不对称的磨损将加大配对推力轴承的间隙。运行过程中受频繁的正、反向水冲击力也使轴向间隙有增大的趋势。

3 结束语

新能源运动下,国外潮汐能发电技术迅速发展,并且投资和研发力量都有增加的趋势,而我国的潮汐能利用技术仍然局限在库容式的潮汐能发电设备上。综合国外的文献与研究报告,总结了目前已经具备样机的无库式潮汐能发电设备的结构,探讨了这些新型设备上所用轴承的工况条件。

参考文献:

- [1] Brain P, Roger B. System Level Design, Performance, Cost and Economic Assessment—New Brunswick Head Harbour Passage Tidal in—Stream Power Plant [R]. EPRI—TP—006—NB,2006(6):9—106.
- [2] Nicholls L, Rachel F, Turnock. Simulation Based Optimisation of Marine Current Turbine Blades [C]. International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries 2008, Betram, Volker and Rigo, Philippe,2008:314—328.
- [3] Mattarolo G, Bard J, Caselitz P. Control and Operation of Variable Speed Marine Current Turbines Results from a Project Funded by the German Ministry for the Environment [C]. Owemes 2006, Citavecchia, 2006(4):1—10.
- [4] Jeremy T. Development, Installation and Testing of a Large-scale Tidal Current Turbine [R]. IT Power, 2005:1—60.
- [5] Caselitz P, Giebhardt J. Condition Monitoring and Fault Prediction for Marine Current Turbine [J]. Division Energy Conversion and Control Engineering, 2005(8):1—8.
- [6] Jayne S R, Laurent L C. Parameterizing Tidal Dissipation over Rough Topography [J]. Geophys. Research Letters, 2001, 28(5):811—814.
- [7] Fraekel, Petel L. Tidal Current Energy Technologies [J]. Blackwell Synergy, 2006(148):145—153.
- [8] Chen L, Xia X T, Qiu M. Analysis and Control of Fretting Wear for Blade Bearing in Wind Turbine [J]. Applied Mechanics Engineering, 2010, 26—28:167—170.
- [9] Binnie. The Commercial Prospects for Tidal Stream Power [R]. Harwell: Black & Veatch & IT Power Ltd., 2001:44—46.
- [10] Pentland Alliance and Torcardo BV Tidal Energy. Tidal Energy in the Pentland Firth [R]. Torcardo BV Tidal Energy, 2008(12):1—4.
- [11] Chen L, Zhang Y P, Xia X T. Contact Stress and Deformation of Blade Bearing in Wind Turbine [C]. 2010 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, Changsha, 2010(3):833—836.
- [12] Francis A. In The Wake of a Marine Current Turbine [D]. Glasgow: University of Strathclyde, 2006:5—22.
- [13] Wunsch C. Tides and Climate [J]. Nature, 2000, 405:743—744.
- [14] Vanzwieten J, Driscoll F R, Leonessa, et al. Design of a Prototype Ocean Current Turbine—Part I: Mathematical Modelling and Dynamics Simulation [J]. Ocean Engineering, 2006, 33:1485—1521.
- [15] Bahaj A S, Molland A F, Charplin J R, et al. Power and Thrust Measurements of Marine Current Turbines Under Various Hydrodynamic Flow Conditions in a Cavitation Tunnel and a Towing Tank [J]. Renewable Energy, 2007, 32(3):407—426.

(编辑:温朝杰)