

庆祝中国科协成立
三十周年论文选

海洋开发工程技术 论文集

(下)



《全国海洋开发工程技术交流会》秘书处 编

海 洋 出 版 社

目 录

四、海洋能源利用及开发

- 111. 海洋能发电及其展望.....刘鹤守 金鼎华 (661)
- 112. 对称翼型透平及其在海洋波浪能转换中的应用.....高祥帆 余志 (665)
- 113. 珠江口千瓦级波力试验电站的设计与施工.....张小刚 余志 郑文杰 (670)
- 114. 航标灯用波力发电装置研究的进展.....梁贤光 高祥帆 蒋念东 冯满枝 (674)
- 115. 我国近十年来潮汐能利用述评.....赵雪华 (680)
- 116. 采取革新措施降低潮汐电站建设造价.....李玉璧 (685)
- 117. 万千瓦级潮汐电站机组的选型.....乐汉卿 (689)
- 118. 江厦潮汐试验电站一、二号双向贯流式水轮发电机组.....葛祖恬 (698)
- 119. 我国小型潮汐电站建设道路初探.....王传崑 (702)
- 120. 论开发利用我国潮汐能源的经济性.....李振荣 (708)
- 121. 潮汐电站双向贯流式水轮机水力损失的研究.....陈新方 兰天辉 (714)
- 122. 关于潮汐能经济合理开发的设想与探讨.....左兆熙 (721)
- 123. 单向脉动气流波力涡轮模拟试验装置及其试验研究.....黄仁龙 屠仁涌 (725)
- 124. 解决潮汐电站间歇性发电的技术经济问题.....郭成涛 (731)

五、海洋地质地貌及地震

- 125. 我国东部沿海开放带形成条带地域分异和发展方向.....钟功甫 (735)
- 126. 近海沉积土的微结构分类在工程地质评价中的应用.....高国瑞 (741)
- 127. 略谈南海珠江口盆地不稳定地质因素类型.....冯文科 刘宗惠 (746)
- 128. 中国近海海域地震活动特性.....汪素云 时振梁 环文林 (749)
- 129. 海底地震滑坡—浊流对工程的危害评价及对策.....郭安宇 (754)
- 130. 地震及波浪荷载作用下海洋土液化的预测.....刘颖 (759)
- 131. 近海海底含砂土地地震稳定性和液化势的数值分析.....王天颂 (765)
- 132. 海洋石油平台的地震危险性分析.....常向东 环文林 冯启民 (770)
- 133. 渤海地震活动的特征.....环文林 汪素云 常向东 武宜英 李群 (776)
- 134. 海洋底质工程物理特性的声学判别.....梁元博 卢博 (783)
- 135. 用极低频电磁波探测海底砂藏、地质和岩石圈.....陈芸 (788)
- 136. 多台地震仪分时控制系统——设计思想部分.....梁传正 (792)
- 137. 锰结核的生长与沉积环境的关系.....罗尚德 王蕾 黄奕普 (795)
- 138. 浪控三角洲的沉积及其岸线动态的探讨——以南渡江三角洲

为例.....王宝灿 章可奇 黄卫凯 (806)

- 139. 研究沉积动力环境新方法的应用及结果.....丛友滋 (811)
- 140. 利用海上反射波法记录进行海洋浅层地质结构普查.....杨和乃 (814)

六、水下工程潜水技术及防腐

- 141. 关于水下工作系统的若干问题.....杨士衷 (818)
- 142. 300米氮氮氧模拟饱和潜水科学实验.....石中暖 (822)

143. 船用惰性气体系统静电灾害的研究.....俞大忠 (824)
144. 国外海底管道防护技术.....张国光 方轼红 陈茜 (830)
145. 海底输油管道的耦联振动.....袁祥忠 梁政 (834)
146. 当前海底工程和潜水技术需要着重解决的问题.....张智魁 (840)
147. 超过例外氧暴露时限的空气巡回潜水实验中若干生理功能的
观察.....陈宝松 荆岩林 郑继昌 (845)
148. 潜水作业深度的限制因素.....荆岩林 陈宝松 (850)

七、环境工程及环境污染

149. 黄渤海海洋工程的海冰环境评价.....许殿元 (852)
150. 烟台市城市污水排海方案及排污海域自然环境条件分析.....张瑞安 董以芝 (860)
151. 关于渤海海域环境污染对渔业危害的初步探讨.....李金娜 (866)
152. 南海油田开发对广州环境的影响及其环境保护对策.....俞绍枬 (870)
153. 珠江河口开发工程中的环境评价问题.....赵焕庭 (875)
154. 沿海核工程排污的放射学影响评价.....邹本川 (880)
155. 基于可靠度的海洋环境条件设计标准优化
选择.....刘德辅 施建刚 周志刚 张一帆 (884)

八、海洋测量及仪器

156. 高精度水深数字化器.....关志和 (889)
157. SGP高分辨力旁视声纳及其在海洋工程中的
应用.....林振德 张元炳 佃岳武 蔡汉添 罗观祥 谢文运 (892)
158. 鱼探仪作用距离预报方法.....赵日昌 (897)
159. 数字式声纳的计算机辅助设计.....李启虎 (901)
160. 851型声像声纳和361型小型多波束测深
声纳.....朱维庆 尹东源 黎名炜 林向真 李淑芳 (906)
161. 海洋开发的新型仪器—DZF型自动测风站技术.....王华忠 (911)
162. SY—1型水层深度遥测仪.....粘宝卿 付仰大 (914)
163. HFB—IA型海洋浮标站资料可靠性问题的探讨.....许富祥 (919)
164. 自适应卡尔曼滤波在水下跟踪定位系统中的应用.....王宏伟 (924)
165. 声学遥测大洋锰结核技术的进展.....廖云和 (933)
166. 一种多频FSK技术及其应用.....杭汝衡 孟龙 (938)
167. 利用遥感资料分析斯里兰卡西南海岸的侵蚀和低地泛滥问题.....恽才兴 (942)
168. 海洋渔业资源微波遥感技术研究.....陈新生 (948)
169. 海水的pH值与沉积物对放射性核素吸附性能的关系探讨.....尹毅 仲维妮 (952)
170. 卡尔曼滤波在海洋地球物理勘探测量定位中的应用研究.....匡善龙 (957)
171. 水声定位系统测量的原理方法.....赵明才 翟国君 (963)
172. 遥感技术在海洋调查中的应用.....李铁芳 易建春 (969)
173. 我国海上通信及其发展战略.....何晓印 张仆欠 (974)
174. 海洋工程中海浪资料的分析及其应用.....王言英 (978)

175. 应用卫星系统传输海洋遥测浮标数据 许玉崑 (987)
176. 水下遥测系统的新进展 冉 彬 (991)
177. 航空遥感冰情调查在海洋工程中的应用 刘春厚 (995)
178. 用于海底工程测量的边角自动测量仪 刘基余 (1000)
179. 海洋观测技术的发展 李允武 (1004)

九、海水淡化

180. 海水淡化技术对保护水源和开发新水源的作用 石 松 (1008)
181. 沿海地区供水的技术对策和工程范例——沙仔
全国第一个民用电渗析咸水淡化站的开发 李仲钦 (1012)
182. 日产百吨级海水淡化多级闪蒸装置及其在海洋开发中的应用前景 王世昌 (1016)
183. 西沙日产200吨电渗析海水淡化装置的运行情况 石松 陈培祺 宋德政 (1020)

十、海洋生物工程及水产

184. 大型海藻养殖利用的现状及其前景 陈家鑫 索如瑛 (1025)
185. 国内外海洋捕捞的现状, 趋势和发展我国海洋捕捞的对策
..... 中国水产科学研究院东海水产研究所 (1029)
186. 沿海大型港湾水产开发利用设想 刘恬敬 刘 卓 (1041)
187. 关于对虾养殖业中应用工程措施问题的探讨 吴 敬南 (1045)
188. 海水增殖育苗室设计初探 邱银生 张国盛 黄广璜 (1048)
189. 应用生态工程的原理发展我国浅海渔业 夏世福 (1051)
190. 充分利用有利条件发展江蓠人工栽培事业 刘 思 俭 (1055)
191. “诺阿图象在对马渔场分析中的应用研究”综合报告 高崇义 (1063)
192. 海洋生物控制工程技术 章之蓉 谢瑞生 (1076)
193. 海藻资源的开发利用 张燕霞 范晓 (1081)
194. 渤海红海藻 *Condylactis* sp. 活性成分生化性质的初步研究
..... 张亚雄 陆章铿 范振环 (1087)
195. 应用治疗性洗液—CKJ治疗海洋生物螫伤的研究 张亚雄 陆章铿 范振环 (1091)

十一、摘 要

1. 设计波周期的推算方法 董吉田 (1095)
2. 人凿海港 刘学先 (1095)
3. 地形对比法和定量分析在黄河海港选址及工程地貌条件评价中的应用
..... 耿秀山 (1096)
4. 黄河海港浅滩动态地貌特征 李培英等 (1096)
5. 海底工程地质钻机在海洋开发与工程建设中的作用 牛作民 (1097)
6. 海南岛地区旅游资源的开发 李建生 (1098)
7. MLR—5型水位计记录的处理及零点订正 高焕臣 (1098)
8. 海面水准发现中国高程基准面的错误 刘天珍 (1099)
9. 中国沿海港口工程的设计潮位 刘天珍等 (1100)
10. 管状结构T、K、Y型结头超声波检验 论 述 高振来 (1101)

11. 浅海边际油田早期生产系统方案的新探索	谭学启 (1101)
12. 水下直接涂装技术	续守诚 (1102)
13. 南汇东滩促淤方式和速度的探讨	陆道成 (1102)
14. 用单色光测定悬移质泥沙	叶善纬 (1103)
15. 国产水下涂料对宝钢码头钢桩现场维护实验结果	刘雪娟 (1103)
16. 嵎岬岛附近海区波浪特征分析	鄧鉴章 (1104)
17. 海洋开发工程与传感器	陈维仁 (1105)
18. 试论我国水下检测与维修技术发展战略	顾林声 (1105)
19. 直立式防波堤不规则波波浪力的试验研究	康海贵 (1106)
20. 石臼港新建工程含煤污水处理设计总结	黄显清 (1107)
21. 罐装卤虫卵加工厂设备及其工艺技术	蔡含筠 (1107)
22. 上海市滨江沿海围涂造地有关问题的改步探讨	赵承建 (1108)
23. 水声跟踪系统可潜式海洋系泊系统的初步设计	李远林 (1108)
24. 打捞“济远”舰技术初探	张智魁等 (1109)
25. 自升式钻井平台结构固有模态的计算及地震反应的谱分析	汪庠宝 (1109)
26. 黄河口三角洲沿岸地基及海底不稳定性研究	郑继民 (1110)
27. 堡镇边滩发生发展对崇明电厂的影响	徐海根 (1110)
28. 外伸喇叭口气柱式波能发电装置的流体动力特性	陶尧森 (1111)
29. 长江口南汇潮滩促淤工程研究	徐海根 (1112)
30. 遥感技术在海洋开发工程中的若干应用	石济元 (1113)
31. 淤泥质海岸港口疏浚回淤泥土排放环境容量的确定	虞志英 (1113)
32. 微波定位岸台站位的设计及站位座标的变换	徐永良 (1114)
33. 近期海南岛港口建设发展方针的探讨	柳仁铤 (1115)
34. 有潮河段、港湾二维污染场数值预报研究	陈金泉 (1115)
35. 深海压力容器设计	于克哲 (1116)
36. 我们海岸带资源开 发展望	陈吉余 (1116)
37. 海冰 荷载作用下平台的动力响应	孟昭瑛 (1117)
38. 有潮河及海湾灾害性水位数值预报模型及其在海洋开发中的应用	陈金泉 (1117)
39. 河口、海湾污染物数值预测和对策研究及其在协调海洋开发与环 境保护中的应用	陈金泉等 (1118)
40. 聚能波 流电站可行性研究	袁渭贤 (1119)
41. 日本高见岛高温电渗析海水淡化概况	撒应福 (1119)
42. 黄河口区风暴潮与预防对策	刘凤树等 (1120)
43. 新疆沙漠电渗析苦咸水淡化车研制	陈培祺等 (1120)
44. 全国沿海潮位特性及其在海港工程上的应用	刘凤树 (1121)
45. 南海台风波浪推算初探	容志明 (1121)
46. 江夏潮汐试验电站设计与研究	李振荣 (1122)
47. 压缩空气在海洋工程中的妙用	王钦健 (1122)
48. 再谈潮汐能经济合理开发问题	左兆熙 (1123)

49. 唐山沿岸海区海水、底质和生物中六六六和DDT 的残留规律的调查研究.....	张晓敏 (1123)
50. 海洋声波层析法——一种新的测量手段.....	竺维丽 (1124)
51. 南海珠江口盆地×区土工资料及评价.....	陈俊仁等 (1124)
52. 人防工程在海洋开发中的应用.....	何宝珣 (1125)
53. 发展近海旅游事业的一个尝试——谈大连海上乐园的设计.....	张怀慧 (1125)
54. 带孔直墙箱式消波装置模型试验研究.....	李林普 (1126)
55. 一种用于短波传输的纠错方法.....	陈韶滨 (1127)
56. 改进常用采水器来采集各种小体积水样.....	周福根 (1127)
57. 用于海洋调查的微孔滤膜技术参数的测定.....	周福根 (1128)
58. 吊浮沉箱的受力分析.....	贾海虹 (1128)
59. 锚杆基础在水下浅复盖层基岩上使用的探讨.....	钱自立 (1129)
60. 5000型卫导系统与阿戈·玛西兰无线电定位系统的联机及精度对比.....	刘宇明 (1129)
61. 海洋大地测量水声定位系统.....	李广建 (1130)
62. 双船底拖网曳网的计算和设计.....	余显炜 (1131)
63. 快中子辐射对虾的生物效应研究.....	洪秀云 (1131)
64. 波浪组合绕射和折射计算中的杂交元法.....	张黎帮 (1132)
65. 论西北非近海水产资源及其开发.....	丘书院 (1132)
66. 莱州湾海区水质光谱研究.....	蒋本和 (1133)
67. 水下湿式焊接.....	许正名 (1133)
68. 价值工程在疏浚测量中的应用.....	郭文伟 (1134)
69. 关于桩群波浪力模型试验资料的分析.....	刘书攻 (1134)
70. 环境引起的海上建筑物的振动.....	杨国金 (1135)
71. 海洋平台原型实验—模型实验—结构分析.....	陈祥涂 (1135)
72. 渤海海水特征.....	张涛等 (1136)
73. 近岸海底土质测量仪—圆锥贯入仪简介.....	张淑芝 (1136)

海洋能发电及其展望

刘鹤守

金鼎华

(中国科学院广州能源研究所)

(国家科委海洋专业组——学科组办公室)

海洋有丰富的能源,包括大陆架的石油、海水含铀、海面太阳辐射热等。但现代概念海洋能(Ocean Energy)只指海洋特有的、依附于海水的可再生自然能源,如潮汐、海水温差、波浪、潮流、海流和海水盐差能等。根据联合国教科文组织出版物的估计,全球海洋能理论可再生的总量为766亿千瓦,技术允许利用功率为64亿千瓦,后一数字为目前世界发电装机总容量两倍强。

早期人类利用潮汐、潮流直接驱动机械做功。20世纪以来,海洋能发电成为一些西方工业国家开发的项目。70年代在石油危机的刺激下,各发达海洋国家加快研究步伐,取得进展。目前,潮汐发电及小型波浪发电已付诸实用,蕴量丰富且能提供基荷的温差发电进入工程试验,难度大的盐差发电仍处在研究初始阶段。本文综述海洋能发电技术和世界各国研究开发实绩,最后展望其前景。

一、海洋能发电技术

(一) 潮汐发电 在潮差大的海湾入口或河口筑坝,构成水库。堤坝两侧因潮汐周期性涨落形成水位差,可以驱动水轮发电机组。潮汐发电技术类似水电,不同的在于水头低(只数米)且作周期性变化。海中截流筑坝,是其技术难点之一。一般用围堰法。另一沉箱法:在干船坞建造沉箱,浮运到站址安设,可免于现场施工。值得一提的,我国福建大官坂用排水砂并处理软基,也是筑坝一项成功技术。机组要适应潮汐低水头、大流量的水力特性,必要时具有多种功能(如双向发电、排水、泵水蓄能等)。新型的机组有:灯泡贯流式将机组安在流道中的灯泡状壳体内,全贯流式只水轮机安在流道,而发电机转子附着在水轮机桨叶周边,定子安在流道之外。这两种机型结构紧凑,可以降低机组和土建造价。此外,还有适应潮汐周期性的电站最佳运行、水库防淤排淤以及工程防腐防附着等技术。

(二) 海洋温差发电 低纬度海域表层与底层水有温度差,用同于热机的原理可以发电。实用的热力循环有闭路循环(中间介质法)和开路循环(闪蒸法或扩容法)。海面的热水通过热交换器使闭路里的工质如氨蒸发或直接在部分真空的闪蒸器蒸发,推动汽轮机发电,排气由海底冷水冷凝。这种热机在常温、低压下工作,部件强度要求不高;但海洋温差很小(约 20°C),热力效率只有2.5%,要取得一定数量的电力,其进出冷、热水量很大,相应的热交换器、汽轮机以及冷、热水管也很庞大。冷水管是海洋温差发电特有技术;实用规模的管径可达10米以上,长度为1000米左右,这么长的管子在海中经受风浪、潮汐和海流的作用力各异,其选材、制造、运输、联接、固定及维护修理均非常规工程。此外,设置在海上的电站还有平台或浮体建造、深海锚泊、电力输送等技术。

(三) 波浪发电 海水受风力作用,以波浪形式传播能量。接受能量并转换为电力

的方法甚多,按中间转换不同区分,主要有三种形式:气动式、液压式、水库式。气动式以气流能为中间转换,可以较简单的结构(例如空腔水柱、空气室、空气透平)实现使缓慢的波浪运动转换增速,成为最常采用的方式。近年创新采用对称翼型叶片转子空气透平,适应波浪引起的往复气流,减低了常规透平的导叶和阀门。波能毕竟是分散的,(较大波高不过3米),为对波能强化,采取利用收敛槽的反射聚集、利用半潜式圆穹形“坝礁”或设置变化水深的水下透镜形平台的折射聚集、设置“前港”、多气室或用相位控制法调整波能接受体振荡频率使与来波共振的共振聚集等方法。此外,波浪发电还有水工建筑物构筑(岸式)、浮体、平台制造及其系泊、输电(海上式)、贮能等工程技术。

(四) 潮流、海流发电 海水水平方向流动的能量,可用同于风力机的原理转换为电能。通常在水流中设置水平轴或垂直轴转子。和风力不同在:潮流、海流流速较低(最大不过7节),但海水密度比空气大800倍,故一般能流密度仍比风大,同样功率的转子可以比风力机的小些。不利条件是海中设置比陆上难,且易和航运发生矛盾。

(五) 海洋盐差发电 入海口淡水与海水有盐度差,若隔着一层半透膜,则其两侧存在渗透压力差(理论值为240米水头),水可以从淡水侧向海水侧渗透,利用一定设施如水轮发电机或浓淡电池等可提取能量。高质量的渗透膜是其技术的关键。

由上所见,海洋能发电利用船舶和海洋工程技术实现其特定的功能;而其能量转换系统,又利用了火力发电、水力发电、风力发电及输配电等能源工程技术,并变通适应了海洋能自身的分散、多变特性和地理分布。它是融合海洋技术和能源技术的一门新专业。

二、国外研究开发实绩

(一) 法国 是开发海洋能最早的国家。十九世纪末叶以来,达松瓦尔、克劳德等人先后提出温差发电原理并在美、非进行海上试验。1967年,政府投资建成朗斯潮汐电站,采用灯泡贯流水轮发电机组,总装机容量24万千瓦,年实际发电量5亿度,是目前世界上最大的潮汐能和海洋能电站。1978年以来,法国开始新一轮海水温差发电研究,目标在太平洋领地塔希提岛上建一5000千瓦陆基电站等。

(二) 美国 是开发海洋能耗资最多的国家。重点在海洋温差发电,十来年研究费用近2亿美元。1979年在夏威夷海面试验一WINI—OTEC漂浮式海洋温差发电装置,毛功率50千瓦,净输出约15千瓦,在世界上首次从海洋热能中获得有实用意义的动力。其后,在容量为1000千瓦的OTEC—1试验船上对冷水管及换热器等系统进行海上试验。1981年以来,美国在夏威夷从事研建40000—50000千瓦闭路循环陆基、大陆架型示范电站和165千瓦开路循环发电装置以及试验冷水管等工作。

(三) 日本 60年代研制成功航标灯用波力发电装置,成为首先实现商品化的波浪发电项目,至今生产共1500台以上。70年代以来,进行了装机1000千瓦的“海明”号消波发电船,以及装机40千瓦的沿岸式波力发电装置试验。“海明”号取得年发电19万度实绩,实现海上浮体向陆地小规模送电。80年代以来,在瑙鲁岛试验一100千瓦装机容量陆基海洋温差发电装置,1982年在琉球群岛试验一50千瓦装机容量利用发电厂温排水作为热源的温差发电装置,目前温差发电研究计划在继续进行中。

(四) 英国 70年代以来重点放在波能发电上,从事了10余种型式的研究试验,最著名

的有索尔特鸭式、蚌式、NEL振荡水柱等。最近拟在苏格兰西海岸研建装机容量60千瓦的多频率振荡水柱气动式波力发电装置。此外,对塞汶河口建设大型潮汐电站一直在进行着旷日持久的论证,在潮流发电上也作过研究。

(五) 挪威 1985年在岛屿上建起两座波力电站:一为带前港的振荡水柱气动式,装机500千瓦;另一为收缩波道水库式,装机350千瓦。是世界波浪发电实用化迄今最为瞩目的成就。挪威正在向太平洋岛国推销其技术。

(六) 加拿大 早年与美国共同论证开发芬地湾潮汐能源。1984年在安纳波利斯——罗耶尔建成装机容量为2万千瓦的潮汐中间试验电站,采用全贯流机组,为下一步总装机容量380万千瓦的芬地湾电站作机组验证。此外,也进行过潮流发电的研究。

(七) 苏联 1968年在基斯拉雅湾用沉箱法建设一座装机400千瓦的潮汐电站。目前正在进行装机4万千瓦的科尔斯卡雅电站的设计,还对装机10万千瓦的白海潮电站作论证等。

(八) 第三世界各国 印度、印度尼西亚、象牙海岸、牙买加等国在筹建海洋温差发电站,印度等国在筹建潮汐发电站,毛里求斯、斐济等国筹建波力发电站。

三、中国的海洋能资源及其电力开发

中国东临太平洋,海域辽阔,海岸线漫长,岛屿众多,拥有一定的海洋能资源。初步估算,各种形式的海洋能蕴藏量总功率为4—5亿千瓦。就地理分布而言:华东陆岸宜于开发潮汐能,沿海岛屿宜于开发波浪能、潮流能,南海及台湾沿岸宜于开发海洋热能。

近十余年,中国对海洋能电力开发做了许多踏实的工作,取得一定成绩。举其要者:

具有现代技术水平的江夏潮汐试验电站于1985年建成,安装自行设计制造双向灯泡贯流式机组5台,总容量为3200千瓦。至此,中国共有7座潮汐电站在运行,总装机容量为9330千瓦。潮汐发电在中国新能源和可再生能源发电按装机容量仅次于地热发电,其小规模型式受到世界同行注意。目前,座落在福建平潭幸福洋利用围垦工程堤坝的潮汐电站即将竣工,装机容量1280千瓦。为更大规模地利用潮汐,福建选出连江大官坂、浙江选出三门湾健跳港为站址,正分别进行万千瓦级潮汐中间试验电站可行性论证。

70年代以来,曾先后在中国南北水域6处进行不同型式的灯浮波浪发电试验。1985年中国科学院广州能源研究所研制成功航标灯浮用带对称翼型空气透平的波浪发电装置,其性能达到世界先进水平,迄1987年投放中国海域使用已有25台。目前,在浙、闽、粤等省,还继续进行岸式波力试验电站的论证和研建。

潮流发电方面,1978年在浙江舟山海域进行过8千瓦潮流发电机组试验。近年,哈尔滨、青岛等地陆续在研究中。

温差发电方面,广州开展“雾滴提升循环”和“开式海洋热能转换循环”两项研究,并于1986年建立一套开式海洋热能转换实验室装置。台湾与日本合作于1982年在实际海域曾作过2千瓦温差发电试验。近年,正为计划建立一座装机4万千瓦的示范电站进行勘探、论证等前期工作。

盐差发电方面,1985年,西安研制成一浓度差能发电实验室装置。

应该看到,限于国力和起始基础,中国海洋能发电在技术上、规模上比世界各发达海洋国家还有较大的差距。

四、展 望

(一) 海洋能量大、可以再生,直接取自自然,没有或很少环境污染,这是它的优点。但它发生在海洋环境,而且能流密度小、品位低,有几种海洋能不稳定,因而转换装置较为庞大复杂,工程投资也大。即使技术上过关了,经济上也难与常规能源匹敌,这是海洋能发电面临的基本问题。只有在常规能源短缺,或其发电费用过大或人类宁愿用较高代价换取干净环境时,海洋能才有可能大规模开发利用。

(二) 为提高海洋能发电的经济竞争力,大致有以下三个方面的对策:

1. 选择设在常规能源短缺或昂贵的地点场所。如各国海洋温差和波浪发电站址大多设在海岛。在导航设施、海洋观测设施及其他孤立海洋作业站台,海洋能发电具有生命力。

2. 使海洋能装置和电站用途多样化、发挥多种经济效益。如温差发电兼可淡化海水,深层海水可用于养殖、空调、冷冻食品,电力就地用于海水化工和采矿工业。波力发电装置可兼作防波堤。潮汐电站水库兼营海水养殖,堤坝便利交通等。

3. 继续在科技上探索借鉴、创新,以求降低工程造价和发电成本。

因此不排除在局部地区、特定用途下海洋能因其经济吸引力而取代常规能源。何况在某些非经济因素(如政治、军事方面)和长期经济因素(国际合作)影响下,即使其投资费用比常规能源稍高也是可取的。有时投资费用虽高,而发电费用并不高。

(三) 在今后若干年油价下跌时期,海洋能商业发电站兴建可能放缓,但其研究、试验以及方案论证、实型验证工程将会继续进行。

(四) 本世纪末二十一世纪初,预期海洋能发电技术日臻成熟,而常规能源价格上涨。当其价格达到一定数字时(据估计:石油每桶价高于25—35美元,海洋温差发电是合算的),大中型海洋能电站可望逐个依次在条件成熟地区兴建,包括苏联、加拿大、英国的百兆、千兆瓦级潮电站、大洋岛屿的十兆、百兆瓦级海洋温差电站和兆瓦级波力发电站。

(五) 中国在本世纪内建设相当规模商业性电站在技术上和经济上还不具备条件。但为追踪国外技术,并尽可能结合实用、研建典型的、中小规模的、有科研和技术意义的中间电站和试验装置并为此进行勘测、科研、试验和论证工作则是有价值的,也是国力所能承受的。不排除若干有商业价值的海洋能发电技术进入市场。就中国海洋能发电的远景而言,也将会和世界各国那样是广阔的。

对称翼型透平及其在 海洋波浪能转换中的应用

高祥帆 余 志

(中国科学院 广州能源研究所)

一、前 言

为着开发利用蕴藏量丰富的波浪能,英、美、日、挪威等各国自70年代起投入了大量的人力物力,研究波浪能转换技术及转换装置。我国在70年代也进行了这方面的研究。在众多的波能转换装置中,最有前途的当属气动式波能转换装置,目前已达到实用阶段。气动式波能转换是指利用气室将波浪能转换成空气动能,然后再利用透平将其转换成旋转机械能,其中空气透平是实现转换的关键。

目前用于气动式波能转换装置的空气透平主要有两类:一类是带整流阀门的常规透平,如早期用于日本航标灯用波力发电装置和“海明”消波船的冲动式透平以及英国NEL防波堤波力发电装置采用的反击式透平;另一类是无整流阀门的新型透平,如七十年代由英国贝尔法斯特女王大学的威尔斯教授发明的对称翼型空气透平和由美国海军学院的麦克密克教授发明的相对旋转双轮空气透平等。其中,对称翼型透平由于结构新颖,性能突出在波能转换装置的研究中发展最为迅速。

本文介绍对称翼型透平的基本原理,特性和设计参数的选择,并介绍对称翼型透平在海洋波浪能转换装置中的应用和发展。

二、对称翼型透平的原理

对称翼型空气透平是70年代随波浪能转换装置的研究而发展起来的一种新颖的透平。这种透平最突出的一点是适应波浪起伏变化,可在往复交变气流作用下单方向旋转做功,不需要阀门整流系统。这种透平由沿轮壳均布的若干翼型对称、安装角为零的直叶片构成,工作原理如图1所示。图中 V 为气流速度; U 为叶片旋转的切向速度; W 为气流与叶片的相对气流速度; α 为气流与叶片的相对攻角。在正反向气流作用下,叶片上总有一个向前的切向力 T ,转轮在 T 的作用下旋转做功,驱动发电机发电。

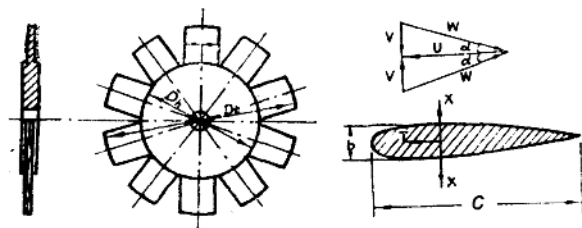


图1 对称翼型透平的结构及工作原理图

三、对称翼型透平的特性

由于对称翼型透平是在正反向交变气流作用下工作的, 转轮从起动到高速旋转, 气流与叶片的相对攻角 α 在 90° 到 0° 范围内变化。图2为对称翼型透平串联翼栅气动特性曲线。图中 C_x 为轴向力系数, 轴向力(X)由轴承来承受; C_t 为切向力系数, 切向力(T)驱动转轮旋转对透平性能影响较大。

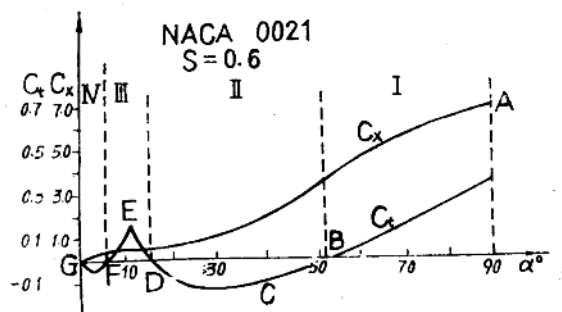


图2 对称翼型透平翼栅气动特性曲线

从图2可看到切向力系数 C_t 随攻角 α 变化的曲线。A点为转轮刚起动时, 即 $\alpha = 90^\circ$ 时, 起动切向力系数。在AB段切向力系数 $C_t > 0$, 转轮自起动时旋转。随着转轮转速上升, 攻角 α 逐渐减少, 在BCD段切向力系数为负值, 转轮在惯性作用下继续旋转, 只有当转轮在AB段加速得到足够的转速, 转轮才能冲过BCD阻尼区进入工作区DEF。FG为气流换向工作区, G点相当于正反向气流交变的瞬间, 气流速度为零, $\alpha = 0^\circ$, 转轮工作点应在EF段, α 在 10° 左右, 在这一范围工作较稳定。

根据简单叶素理论的推导, 对称翼型透平输出功率为,

$$N_o = \int_{r_h}^{r_l} C_t \frac{1}{2} \rho W^2 C dr Z U \quad (1)$$

输入功率为,

$$N_i = \int_{r_h}^{r_l} \left(\frac{Z}{2\pi r} C_x \frac{\rho W^2}{2} C + \frac{\rho V^2}{2} \right) 2\pi r dr V \quad (2)$$

透平的效率为,

$$\eta = \frac{N_o}{N_i} \quad (3)$$

在上述公式中 r_l 为轮壳半径, r_h 为转轮外圆半径, ρ 为空气密度, C 为翼型弦长, Z 为叶片数量。由于转轮的工作转速较高, 在速度三角形中 V 较小, 若不计动能项 $\frac{1}{2} \rho V^2$, 并假定气流速度 V 随转轮径向半径 r 呈线性变化, 将公式(1)和(2)分别积分, 代入公式(3),

得透平的效率,

$$\eta = \frac{C_t}{C_x} \operatorname{ctg} \alpha \quad (4)$$

对称翼型透平串联翼栅的风洞试验表明,对称翼型透平的效率多大于45%。英国贝尔法斯特女王大学的模型试验表示,对称翼型空气透平的效率为45%,并认为转轮直径大的透平,在雷诺数较高时效率可达80%。日本海洋科学技术中心研制的串联对称翼型透平,直径为1.337米,效率可达50—70%。

由于对称翼透平正常工作时的气流相对攻角 α 较小,所以透平具有较高的工作速度,而且在整个周期里转速保持基本稳定。这一特性正是人们感兴趣的,它可以将低速的波浪运动直接转变为高速度旋转的机械能,不需要任何增速机构。

又因为对称翼型透平的翼型对称,叶片平直与旋转方向平行,在往复交变气流作用下,即使当气流速度为零时,旋转的透平不会起鼓风作用,气动损失较小。与常规的带喷嘴的冲动式和带导叶的反击式透平相比较,对称翼型透平的综合性能较优。加之常规透平需要整流阀门,增加了气动损失,很显然,对称翼型透平在往复交变气流工况下的效率可以高于常规透平。

四、对称翼型透平设计参数的选择

由于对称翼型透平与常规透平的工况截然不同,所以设计方法也不相同。各国波能专家对此有过不同的推导公式,但没有成熟规范的设计方法。目前我们采用的方法是,首先通过透平模型试验,对几何参数的配合进行优选,然后根据相似准则和等效转换的方法进行放大设计。

转轮模型试验研究过程中几何参数的选择原则是:

1. 对称性翼型,相对厚度大的翼型有利于转轮自起动;
2. 叶片的稠密度,稠密度大的透平气动特性硬,有利于转轮自起动,但稠密度太大影响过流量,出力小;
3. 轮壳比,转轮轮壳与转轮外圆的直径比决定叶片的长度。随着转轮起动加速旋转,叶片上气流的相对攻角 α 逐渐减少,当外圆周叶片上气流的相对攻角 α 进入阻力区时,靠近轮壳的叶片上气流的相对攻角 α 仍在切向力系数为正的区,正切向力有助于转轮越过阻尼区加速到工作区;
4. 转轮外径,转轮外径大,切向力在叶片上产生的力矩大,有助于转轮自起动,但转轮外径太大,转轮的工作转速低。外径小的转轮配转速较高的发电机。

在设计对称翼型空气透平时,还要考虑透平与波能转换装置的整个能量转换系统的匹配关系,因为透平在系统中类似一个旋转阻力器,对气室中的振荡水柱有反作用,在不同的波况(波高和波周期)透平性能不同。进一步提高对称翼透平的性能可以采用以下两个措施:

① 在对称翼型透平进出口处加固定导叶,导叶的几何参数如图3所示,可以稳定流场提高透平出力;

② 在透平与气室之间装一个调相阀门,如图4所示,控制阀门开闭时间可以加宽透平对波周期的响应范围,在长周期时特别有效,透平出力可增加2.5到3倍。

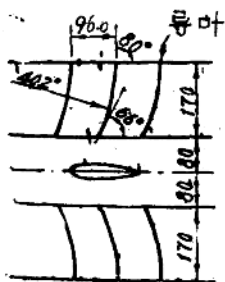


图3 固定导叶布置图

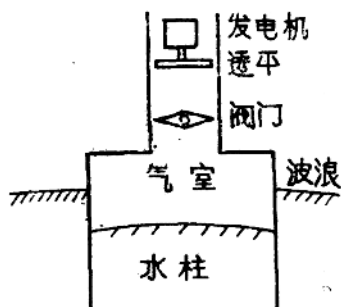


图4 调相阀门布置图

五、对称翼型透平的应用和发展

七十年代初受石油危机刺激各国政府鼓励发展新能源，海洋波浪能是令人瞩目的可替代能源之一。英国的研究规模最大，比较成熟的索尔特鸭的波能转换效率达90%以上，已做过兆瓦级的设计，但终因转换装置结构复杂，投资成本过高而在经济上失去吸引力。因此，如何使转换装置简单、高效、可靠，降低单位造价就成为各国波能研究人员努力的目标。而对称翼型空气透平不需要阀门整流，结构简单，运行可靠，一经问世就引起了各国波能研究人员的极大兴趣，几乎所有气动式的波能转换装置最终设计都采用对称翼型的空气透平。

1975年，英国贝尔法斯特女王大学波能小组的威尔斯教授发明了对称翼型空气透平，1978年首次将一个直径为1.36米的对称翼型空气透平安装在直径为4.5米浮体上，发电机输出功率为45千瓦。从那时起该小组成员一直在研究这种透平，已经成功地用在航标灯用波力发电转置上，最近正在苏格兰西海岸研建60千瓦多频率振荡水柱的波能发电转置。

日本“海明”消波船第一期试验采用带一系列阀门的冲动式空气透平，阀箱庞大，共有阀门1000多个，海上试验期间有10%的阀门被损坏。不久日本购买了英国对称翼型透平的专利，由富士电力公司制了一台由两个直径为1.3米的对称翼透平串联的装置，在由良附近建造的一座岸式振荡柱水腔体上进行试验，在冬季的几个月里输出功率可达40千瓦。“海明”消波船第二期试验也改为采用带对称翼型空气透平的波力发电装置，整个体积仅为原来有阀装置的 $\frac{1}{4}$ 。

挪威在卑尔根市附近海岛上利用天然地形建成振荡水柱式波力发电站，采用对称翼型透平，额定功率为500千瓦。1985年秋并入地方电网正式向海岛供电，成为当今世界第一座实用的波力发电站，据估计每度电成本为5便士，可与燃煤电站竞争。

英国考文垂(兰切斯特)理工学院研制的“海蚌”式波力发电装置亦采用对称翼型透平。该装置漂浮在海面，由中空的脊梁和可折叠的软袋组成，对称翼透平装在空腔与软袋之间的导管里。该装置在尼斯湖做过1/10的模型试验，目前准备把这种软袋式的装置用于低水头水流发电，计划在英国中部德文斯特河上建造一座设计水头为2.75米，容量为150千瓦的水电站。

我国研究的波力发电装置多数是气动式，透平的类型亦有多种。广州能源研究所从1980年起开始研究对称翼型空气透平，南京航空学院、上海交大、华南工学院也对这种透平做过

研究。我国现有对称翼透平的设计规模比较小,一般为一几十瓦到几千瓦,主要用于航标灯电源及海岛小型电站。广州能源研究所在1984年研制成功的BD101型航标灯用波力发电装置与日本带冲动式透平的TG—103型波力发电装置在同一试验条件下进行比较,结果表明:BD 101型装置峰值功率大,特性平坦,响应波周期宽,而且结构简单,重量也轻。

国内外研究的实例表明,对称翼空气透平的出现使气动式波能转换装置日趋完善,推进了海洋波浪发电的实用化。

六、结束语

新能源的开发利用,只有在能源价格昂贵时才有发展前途,当前石油供应趋于平和,大规模利用波浪能目前不大可能。但一些特殊用途的小型波力发电装置和向孤立海岛供电的中小型波能由于对用户有吸引力还在研究发展之中,预计会有广阔的市场。对称翼型透平在近10年内有了迅速的发展,被证实用于波能转换装置中有较多的优越性。对称翼型透平不但可以用于波能转换装置,还可以开发利用河川和潮汐等低水头的水能,因此有必要深入地研究和发 展对称翼型透平。

参考文献(略)

珠江口千瓦级 波力试验电站的设计与施工

张小刚 余志 郑文杰

(中国科学院广州能源研究所)

一、引言

海洋波浪能是最引人注目的海洋能源之一。七十年代以来,世界海洋国家,如英、挪、日、美等大力推进波力发电的研究。波能利用在技术上取得了显著进展,已由实验室走向实用阶段。近年来,对波能利用的研究倾向于发展用于岛屿和海上孤立电气系统的中、小型装置。因为在这些地方常规能源的价格远高于大陆,而波浪资源又极为丰富,正是波浪能的理想用户。

由中科院广州能源研究所牵头,水利水电科研院水力学所和华南工学院联合参加研建的珠江口千瓦级波力试验电站是我国首座波力电站。它不仅将作为波力发电技术研究的海上试验场所,同时也向岛上驻军提供电力补充,具有科研和实用的双重价值。在现有的技术条件下,如何以极为有限的科研经费完成其建造,同时又具有尽可能低的发电成本,一开始就是一个突出的问题。为此,在该电站的设计和建造中,提出了这样两条原则:1、在现有的电站规模条件下,尽可能提高年发电量;2、尽可能借助自然地形和特殊施工技术来降低造价。下面,本文将介绍该电站的总体方案,站址选择,系统设计及电站施工方法并就电站研建中的工程问题进行讨论。

二、总体方案

在众多的波能系统中,振荡水柱型是目前研究最为广泛,技术最成熟的一种。其工作原理为:在波力作用下,气室内水柱受迫作上下振荡运动,从而驱使空气通过空气透平,带动发电机发电。其能量传递过程如图(1)所示。

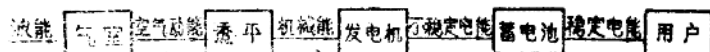


图1 系统能量传递方框图

气动式振荡水柱系统的主要优点是:以空气为波力发电的中间能量转换环节,高速气流易使机组增速,转换效率高;运动部件不与海水直接接触,避免海浪强力冲击,防腐蚀性能好;结构简单可靠,维护方便。

经过对固定空腔型,漂浮空腔型和漂浮中心管型等多种型式的振荡水柱系统进行综合评价与分析,最后选择了带前港的岸式振荡水柱方案。其优点为:不需系泊和海底输电的设施,以现行技术较易实现;便于管理维护和试验操作;一级转换效率高,有一定聚波作用,频率响应范围宽;造价相对便宜。缺点是:来波受削弱;对波向有要求;受潮差影响和岸边

地理条件限制。

电站分期安装3千瓦和5千瓦机组各一台，以研究不同机组单独及联合运行的规律。

三、电站设计

1. 站址选择 在对珠江口许多岛屿进行考查并对若干个可能的站址进行实地测量的基础上，选择了大万山岛洋台角一个阶梯形台地为站址。该址有如下优点：①面临南海开阔洋面，可接受由东至西南向波浪，波能资源丰富；②面向涌浪最多的东南方向；③潮差小；④地形规整，地质为花岗岩，宜于施工和作为基础；⑤距用户较近，约600米，用户条件好有蓄能设备；⑥面对海洋站测波点，可直接利用其波浪数据。前四点正好可弥补岸式电站的弱点。

2. 设计波况的选择 为提高经济效益，将设计波况选在靠近波能分布中心的位置，以求获得较多的电能。根据对1984年全年波浪数据的分析结果，取设计波况为：正负波高 $H=1.5$ 米，平均周期 $T=6.5$ 秒。此时波功率为4.4千瓦/米。

参考港口工程技术规范，该电站定为Ⅲ级建筑物，并要求在重现期均为五十年一遇的13.5米最大波高，12秒平均周期，平均海面以上2.74米高潮位的条件下，电站结构安全。

3. 系统参数选择 至今为止，波能系统的设计尚未有成熟的理论方法，主要还是靠实验模拟来完成参数选择。由于试验条件的限制，通常都只是在等效阻尼下选择气室参数和等效作用下选择透平机组参数。

根据结合站址地形进行的波浪水池系列模型试验结果，并考虑到减少工程量和施工难度的需要，取气室参数为：气室开口宽度4米，纵向深度3米，设计水深4米，前墙浸没深度2米。前港长度约6米，宽度与水深与气室相同。气室设计效率为0.85。

电站采用了七十年代发展起来的，特别适用于波能转换的对称翼型空气透平，它能接受气室中双向往复气流而单向旋转做功，无需整流阀门，因而在结构上简单可靠。根据气室及透平模型试验结果，应用“周期平均作用等效法”，进行透平与气室性能的匹配设计，选择透平参数。透平的设计转速取为发电机的额定转速1500转/分，透平外径3千瓦机组为0.8米，5千瓦机组为0.98米，轮壳比为0.6，设计效率分别为0.52和0.54。

电站选用3千瓦无刷爪极式发电机和5千瓦无刷单相交流同步发电机。这两种电机分别具有结构简单可靠；转子惯量少，利于透平起动；转速适应范围较宽，输出电压稳定；发电效率高等优点。电站还采用蓄电池储能或负荷控制手段解决波力发电出力不稳定的问题。

为了研究波力发电的规律及电站性能，电站还将安装一套较为完备的测试系统，对气室内外波高、波周期、潮位、环境湿度、气压、气室内气压、发电机转速、输出电压、电流、发电量等多项动态参数进行测量并通过统计分析获得电站的各项性能指标。

四、电站施工方法

为避免水下施工，锚固和沉箱浮运等技术复杂，价格昂贵的作业，结合选址考察对站址地形、水文环境、用户和施工条件等多种因素进行分析，提出了用岩坎爆破法结合现浇钢筋混凝土结构的施工方案。该方案的特点是采用如下的施工步骤。