

文章编号:1001-909X(2009)02-0111-08

海岛风能海水淡化组合体系研究

任典勇¹, 施慧雄²

(1. 宁波海洋开发研究院, 浙江 宁波 315040; 2. 宁波市海洋与渔业研究院, 浙江 宁波 315012)

摘要:利用风能作为海水淡化的动力能源是目前较新颖的研究课题,国际上报道的还不多。根据东南沿海丰富的海岛风能资源和海岛缺淡水的现状,就如何利用洁净能源——风能和从降低海水淡化成本的角度出发,研究如何将风力发电与海水淡化装置进行组合。通过对不同功率的离网型和并网型风力发电机技术特征的分析,设计了风能发电与不同规模海水淡化装置的组合,研究表明,30 t/d 以下的海水淡化装置可以利用储能电池把风能聚集起来,作为海水淡化的动力能源,大于30 t/d 的海水淡化装置必需并网。该研究还以宁波市象山县高塘岛为实例,在测得该岛风能效益时间表的基础上,设计了以不同功率的离网型风力发电机与300 t/d 和500 t/d 的海水淡化装置相配套,并对制水成本进行了分析。研究表明,如果不计投资利息,500 t/d 的海水淡化装置产水的单位成本为2.77 元/t, 间歇性生产(单纯的风力发电制水)产水的单位成本为1.43 元/t,有望低于市政供水价格。

关键词:风力发电;海水淡化;组合;产水成本

中图分类号: TM315

文献标识码: A

0 引言

空气是地球赋予人类的宝贵财富,空气流动变成风,空气无时无刻在流动,从这个意义上说,风力发电是人类用之不竭的无污染可再生能源,也是洁净能源。利用洁净的能源是人类社会文明进步的表现、是科学技术的发展、是环保理念的体现,也是一个地区环保的重要指标。风力发电与火力发电相比,不排放二氧化碳,不会污染环境;与核电相比,不需燃料费用,没有安全问题,而且见效快,设备安装容易,发电立竿见影,基本不需要维修。因此,风力发电将在我国可再生能源结构中占有举足轻重的地位。

我国东南沿海是风能资源比较丰富的区域,风能密度为200~300 W/m²,大多数海岛都可满足建设风电项目的基本气象条件。根据有关资料,全年平均风速为5 m/s出现的时间在4 000 h 以上的风电就可取得较大经济效益^[1]。宁波市沿海年平均风速为5.6 m/s(4 级);全年10.8 m/s(8 级)以上风速持续的

平均时数为6 110.4 h(254.6 d),最多年份为6 912 h(288 d),最少年份为5 184 h(216 d);全年17 m/s(10 级)以上大风持续的平均时数为2 373.6 h(98.9 d),最少年份为1 608 h(67 d);其中可供风力发电的5~17 m/s 风速全年持续的时数约为4 800 h(200 d 左右)。我国东南沿海大多数海岛缺水、缺电,从目前经济技术条件和成本效益角度出发,利用我国东南沿海丰富的风能资源为反渗透海水淡化提供能源是最经济的方式。

1 离网型与并网型风电的技术特征

1.1 离网型风电

离网型风电机组是指15 kW 以下、独立运行、户用、用蓄电池储能的风力发电机组。它可作为沿海缺电、缺水的海岛地区小型海水淡化的动力能源。

离网型风力机单台装机容量约为100 W~10 kW,一般不超过15 kW。它由风力发电机、充电器和数字逆变器构成。风力发电机由机头、转体、尾翼、叶片组

收稿日期:2007-06-10

作者简介:任典勇(1954-),男,浙江象山县人,教授级高级工程师,主要从事海洋环境工程研究。

成。叶片用来接受风力并通过机头转为电能；尾翼使叶片始终对着来风的方向从而获得最大的风能；转体能使机头灵活地转动以实现尾翼调整方向的功能；转动的机头是永磁体，定子绕组切割磁力线产生电能。因风量不稳定，故小型风力发电机输出的是13~25 V的交流电，须经充电器整流，再对蓄电池充电，使风力发电机产生的电能变成化学能，然后用有保护电路的逆变电源，把电瓶里的化学能转变成交流220 V市电，才能保证稳定供电^[2]。

离网型风力发电机组的调向装置大部分是上风向尾翼调向。调速装置采用风轮偏置和尾翼铰接倾斜式调速、变桨距调速机构或风轮上仰式调速。功率较大的机组还装有手动刹车机构，以确保风力机在大风或台风情况下的转动安全。风力发电机组配套的逆变控制器，除可以将蓄电池直流电转换成交流电的功能外，还具有保护蓄电池过充、过放、交流卸荷、过载和短路保护等功能，以延长蓄电池的使用寿命。目前较常见的小型风电机及其参数见表1。

表1 典型小风力机参数
Tab.1 Parameter of typical small wind turbine

型号	150 W	200 W	300 W	500 W	1 000 W	2 000 W	5 000 W
额定功率/W	150	200	300	500	1 000	2 000	5 000
最大输出功率/W	200	250	400	700	1 200	2 600	6 000
叶片数	3	3	3	3	3	3	3
风轮直径/m	2	2.2	2.5	2.7	3.2	4.8	5.8
启动风速/(m·s ⁻¹)	3	3	4	4	4	4	5
额定风速/(m·s ⁻¹)	6	6	7	8	9	9	10
风轮额定转数/(r·min ⁻¹)	450	450	400	400	375	250	200
支架高度/m	5.5	5.5	6	6	6	10.5	10.5
质量/kg	70	75	150	175	200	1 000	1 200
调速方式	定桨距气动偏限速,人工保护					电动,手动保护	
充电控制	整流,不配逆变器			蓄电型/配逆变器输出交流220 V			

1.2 并网风电

风力发电能顺利并入一个地区或有电海岛电网的电量，主要取决于电力系统对供电波动反应的能力。风力发电机在并网和大小发电机切换时产生的瞬间电流，对电网会造成冲击，这种冲击随着风力发电机组单机容量的增大而增强。过大的冲击不仅引起电力系统电压的大幅下降，并且可能对发电机和机械部件(塔架、桨叶、增速器等)造成损坏。如果并网冲击时间持续过长，还可能使系统瓦解或威胁其它挂网机组的正常运行，影响电网的供电质量和稳定性。只有当电网的容量比发电机的容量大得多时(≥25倍)，发电机联网时的冲击电流才可以忽略不计。因此，必须进一步提高风力机的并网技术，将并网冲击电流限制在允许的范围之内。

风力发电机一般有两种：一是三相同步发电机；二是异步发电机。这两种风电机在并网时各有优势，相比较而言，异步发电机更有利于并网。风力发电系统中采用的异步发电机并网方法有以下几种：(1)直

接并网。这种并网方法要求在并网时发电机的相序与电网的相序相同，当风力驱动的异步发电机转速接近同步转速时即可自动并入电网；自动并网的信号由测速装置给出，而后通过自动空气开关合闸完成并网过程。这种并网方式在直接并网时会出现较大的冲击电流及电网电压的下降，因此这种并网方式只适用于异步发电机容量在百千瓦级(55 kW)以下、而电网容量较大的情况。(2)降压并网。在异步发电机定子与电网之间串接电阻或电抗器或者接入耦变压器，以达到降低并网合闸瞬间冲击电流幅值及电网电压下降的幅度。因为电阻电抗器等元件要消耗功率，在发电机并入电网后进入稳定状态时，必须将其迅速切除。这种并网方式适用于百千瓦级以上、容量较大的机组。(3)通过晶闸管软并网。这种并网方式是在异步发电机定子与电网之间通过每相串入一直双向晶闸管连接起来，三相均由晶闸管控制，双向晶闸管的两端与并网自动开关K₂的动合触头并联(图1)。

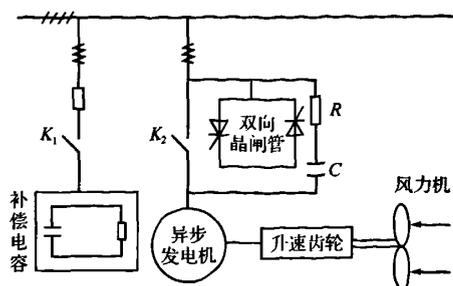


图1 异步发电机经晶闸管软并网原理图

Fig.1 Schematic diagram juxtapose asynchronous dynamotor and thyistor

接入双向晶闸管的目的是将发电机并网瞬间的冲击电流控制在允许的限度内。其并网过程如下:当风力发电机组接收到由控制系统内微处理机发出的起动命令后,先检查发电机的相序与电网的相序是否一致,若相序正确,则发出松闸命令,风力发电机组开始起动。当发电机转速接近同步转速时(约为99%~100%同步转速),双向晶闸管的控制角同时由180°到0°逐步打开;与此同时,双向晶闸管的道通角由0°到180°逐渐增大,此时并网自动开关K₂未动作,动合触头未闭合,异步发电机即通过晶闸管平稳地并入电网;随着发电机转速继续升高,电机的滑差率渐趋于零,当滑差率为零时,并网自动开关动作,动合触头闭合,双向晶闸管被短接,异步发电机的输出电流将不再经双向晶闸管,而是通过已闭合的自动开关触头流入电网,在发电机并网后,应立即在发电机端并入补偿电容,将发电机的功率因素提高到0.95以上^[3]。

这种软并网的特点是通过控制晶闸管的导通角,将发电机并网瞬间的冲击电流值限制在规定的范围内(一般为1.5倍额定电流以下)从而得到一个平滑的并网暂态过程。

研究表明^[4],采用双向晶闸管的软切入法,使异步发电机并网,可以得到一个平稳的并网过渡过程而不会出现冲击电流。从理论上讲,电网系统中风电容量占20%,并不存在很大的技术问题。如某乡镇变电所的容量是5000 kW,在该乡镇建立一个1000 kW以下的风力发电场,并网时,首先不会对该乡镇的电网造成太大的影响,其次是在并网技术上也简单得多。

2 风电场的造价成本及经济概算

目前风电场造价成本约为8000~9000元/kW,

机组(设备)占造价成本的75%左右,基础设施占造价成本的20%,其它占造价成本的5%。风能利用时间在2700~3200 h的,其风电成本约为0.30元/kW^[5],另外风电场运行成本费用很低,建设周期短。风电场一旦建成,就能很快和较长持续时间产生经济效益(一般风电场机组寿命为25 a)。

国家政策重点扶持发展新能源和洁净能源。《可再生能源法》为可再生能源的发展提供最有效的法律保障;风力发电减半征收增值税,优先无条件上网,上网电价优惠等政策都有利于加快风电的发展,为风电投资提供先决条件和可靠保障。

在投资回收期,假设:(1)风电场造价成本为8500元/kW;(2)上网电价(并网收购电价,不含税价)为0.6元/kW;(3)运行小时数(风能利用时间)为3000 h;(4)上网(并网)损耗为5%;(5)风电场运行费用为每kW电年收入的10%;(6)风电场运行年限以20 a计。

1 kW风电的年收入为运行时数×上网电价×效率(扣除上网损耗及运行费用),即(3000×0.5%)×0.6元/kW×10%≈1539元/(a·kW)。投资回收期(a)为风电场造价成本/年千瓦发电收入,即(8500元/kW)·(a·kW/1539元)=8500 a/1539≈5.52 a≈6 a。

总收入(效益)为20 a×1539元/a=30780元。投资利润率为30780元/8500元=362%。

3 海岛风能海水淡化的组合体系

海岛风能海水淡化的组合体系配置见表2。

离网型风力发电机匹配蓄电池的计算公式为

$$C = (3.28 \sim 3.75) \times \frac{\text{最长无风期用电时数}(h) \times \text{平均负荷容量}(W)}{\text{蓄电池串连电压}(220 V)} \quad (1)$$

例如,5 kW风力发电机在有效风速发电时,若把每天8 h的发电能都存在蓄电池内,则蓄电池的容量应为

$$C = (3.28 \sim 3.75) \times 8 \times 5000 / 220 = (596.4 \sim 681.8) (A \cdot h) \quad (2)$$

一般厂方设计的每组电池为2 V、储量为600 A·h,一般常用电压为220 V,即220 V电压需要110个电池组,其储量为600 A·h×110=6.6万A·h。

每组电池(2 V)的体积为301 mm×175 mm×331 mm=0.01744 m³,因2块电池为一组,110个电池组的体积为0.01744 m³×2×110=3.84 m³。

表2 海岛风能海水淡化的组合体系配置
Tab.2 Combination table of island wind and seawater desalination

日产量/(t·d ⁻¹)	10	20	30	50	100	200	300	500	1 000	
海水淡化功率/kW	5	8	12	15	25	50	75	120	220	
风电场/kW	高网型	5	10	15						
	并网型				20	50	75	100	150	250
电池储量/(万 A·h)	6.6	13.2	21.0							
储能电池	体积/m ³	3.84	6.09	6.79						
	质量/kg	4 565	7 425	19 030						
工程造价 /万元	淡化装置	16	22	31	53	98	186	341	446	820
	风电场	5	10	15	20	50	75	100	150	250
	风电组合	22	32	46	75	148	261	441	596	1 070

从表2中可以看出,日产量为30 t/d以下的水淡化装置,可以利用储能电池把风能聚集起来作为海水淡化的动力能源,不需并网。而日产量大于30 t/d的海水淡化装置必需并网,其主要因素有:(1) 储能电池体积太大,质量太大,操作不便;(2) 电池多层叠加串联,工作效率不高;(3) 不利于安全和维护。

4 实例分析

以宁波市象山县高塘岛为例,对该岛的风能和水资源状况进行不同规模的风能海水淡化组合配置和设计进行比较。

4.1 高塘岛的水资源状况

高塘岛是宁波市的第二大岛,面积为58 km²,总人口约为2万,经济结构以农业为主、渔业和工业为副。由于地理的局限性,岛上没有再建水库的条件,现有水库和河网蓄水量为460万 m³,降雨复蓄量约为100万 m³,总计贮水能力为560万 m³/a,扣除工农业用水(约500万 m³/a)和养殖业用水(约250万 m³/a),实际每年用水缺口为190万 m³,抗旱能力只有40 d。可供高塘岛居民生活用水的水库蓄水量约为47万 m³,有时供水量还不足40万 m³。人均生活用水资源量仅为20 m³/a,即55 L/(人·d)。在干旱年份,可供高塘岛居民生活用水量仅为13 L/(人·d)。随着城市化进程的加快,城乡工农业和服务业迅速发展以及人们生活水平不断提高,在节约用水的基础上,城乡人口的用水标准也将逐步提高。据预测,2010年为210 L/(人·d),2030年为250 L/(人·d)。按照上述人均生活用水指标预算,高塘岛生活用水资源量缺口较大。若按200 L/(人·d)的用水标准测算:

丰水期(3个月)生活用水资源量缺口为26万 m³,枯水期(9个月)生活用水资源量缺口为40万 m³;在干旱年份,生活用水资源量缺口为105万 m³。解决高塘岛缺水问题的主要办法有:一是从陆上运水上岛或铺设管道输水上岛,但两者成本太高,前者的“吨水成本”达10元左右,而后者不但工期较长,且旱季难以保证供水;二是在岛上建立反渗透海水淡化站,以目前海水淡化的“吨水成本”不到5元计算,应在可接受的范围内。第二种办法不仅可以缓解高塘岛居民生活用水问题,而且可以为高塘岛的经济发展提供基础保障。



图2 高塘岛海水淡化试点工程拟建位置图
Fig.2 Location map of the proposed seawater desalination project in Gaotang island

4.2 高塘岛海域的水质条件

高塘岛与石浦以石浦港隔海相望,石浦港海水盐度受石浦及周边陆缘径流影响较大,冬季盐度平均为24.27,夏季盐度平均为23.26,年变幅不大,盐度垂直分布均匀。由于高塘岛周围受石浦港海水低盐度交混的影响,海水盐度亦较低,低盐度海水可降低反

渗透海水淡化的成本(一般远离大陆的海岛周边海水的盐度为31~34,对其进行反渗透海水淡化的成本较高)。考虑到取水口水质应不受排污影响,海水淡化厂厂址初步选择在高塘岛南端的小乌岩(图2),相对于宁波沿海海域而言,小乌岩处海域的海水清澈,悬浮物含量低,海水水质受污染程度小(表3)。

表3 高塘岛小乌岩海域的水质

Tab.3 Water quality of the Xiaowuyan sea areas, Gaotang island

盐度	电导率/ ($\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1}$)	悬浮物质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总铁质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	COD质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	硝酸盐质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	亚硝酸盐质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	氨氮质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	活性磷质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
24.81	20.6	6.03×10^{-2}	2.37	1.40	0.314	4.21×10^{-3}	1.62×10^{-2}	3.38×10^{-2}

鉴于宁波市地处东海海域,浮游生物量较大、海水混浊度稍高,为了保证反渗透膜的进水条件,在海水淡化中除采用常规的预处理和反冲洗工艺外,还可采用全膜法预处理工艺和高性能膜法预处理组件的新工艺、新技术。

4.3 风能的气象条件

拟建风电场的小乌岩面向大海,风力资源丰富,根据石浦气象站测定的高塘岛2001~2003年风速持续时数如表4所示。

表4 2001~2003年高塘岛风速的持续时数

Tab.4 Hours of sustained wind speed in Gaotang island in 2001~2003

风速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	2001年持续 时数/h	2002年持续 时数/h	2003年持续 时数/h	年平均持续 时数/h
5~10	4 147	4 037	4 528	4 237
5~17	4 271	4 195	4 594	4 353

表4数据表明,全年风力发电天数为180d左右(扣除5m/s以下风速不能带动风机发电和17m/s以上风速的强风或台风的天数),全年可供风力发电的风速持续时数不低于4000h,能满足风能海水淡化的气象条件。

4.4 岛内的电力设施

高塘乡电力设施齐全,现有变电所的容量为5000kW。如在高塘岛上设立1000kW以下的风力发电场,完全可以通过晶闸管软并网技术并网,并

网时所产生的瞬间冲击电流在允许的范围内。上网价格将根据国家和宁波市相关部门的政策待定。

4.5 拟建的风力发电场规模

按照我国人均生活用水指标,结合高塘岛人口增长率和岛上自然缺水的状况,为避免一次性投资过大,设计了两套建设方案进行类比:方案一为拟建日产500t级的反渗透海水淡化厂,配套建设一座150kW的风力发电场;方案二为拟建日产300t级的反渗透海水淡化厂,配套建设一座100kW风力发电场。

4.5.1 方案一的资金概算

拟建日产500t级的反渗透海水淡化厂,日产淡化水量为500t(15°C),淡化水的含盐量为25000~30000mg/L,符合国家饮用水的水质标准,总溶解固体低于500mg/L,水回收率为35%~40%;方案一合计总投资为596.9万元^[5]。

4.5.2 方案一的制水成本

海水淡化属于水资源的开发建设工程,世界各国对水资源工程的政策差别很大。在我国,包括地表水、地下水的淡水资源尚未被作为有限资源来实现商品化,因此目前无法直接与市政供水费作比较。海水淡化的主要成本是能源(电能)的费用(一般占总成本的50%~60%),如果利用风力发电为海水淡化提供能源,淡化水的价格有望低于市政供水价(不计投资回收)。海岛地区用海水淡化配置风力发电解决其能源是最经济的一种方式。表5和表6分别为高塘岛500t级海水淡化工程使用电网电与使用配置风力发电的造水成本。

表5 高塘岛海水淡化方案一使用电网电的吨水成本
Tab.5 One ton of water cost using grid electricity in seawater desalination scheme 1 in Gaotang island

成本组成	吨水费用/元	计算方法
电费	2.92	0.73×4
投资利息	1.38	$(4\ 269\ 000 \times 5.3\%) \div (500 \times 365 \times 90\%)$
膜更换	0.30	$250\ 000 \div (500 \times 365 \times 90\% \times 5)$
维修费	0.23	$(2\ 559\ 000 \times 1.5\%) \div (500 \times 365 \times 90\%)$
化学试剂、易耗品	0.15	
人工与管理费	0.49	$(20\ 000 \times 4) \div (500 \times 365 \times 90\%)$
吨水总成本	5.47	

表5中有关计算数据的依据:装置生产能力为 $500\text{ m}^3/\text{d}$;工程投资为426.9万元;投资年利率为5.3%;装置开工率为90%(天数);电费成本(现工业用电价)为0.73元/(kW·h);单位产水能耗为 $4.0\text{ (kW}\cdot\text{h)/t}$;维修费占总投资的1.5%;装置及配套设施的平均使用寿命为20a;反渗透膜元件的平均使用寿命为5a;反渗透膜元件的更换费用为25万元^[6];化学试剂和易耗品的费用为0.15元/t;人工4人(包括管理人员)的人工费为20000元/(a·人);作为海水淡化试点工程,如果完全由国家投资建设,不计投资利息,淡化吨水的成本价为4.09元。

表6 高塘岛海水淡化方案一使用配置风力发电的吨水成本
Tab.6 One ton of water cost using wind power in seawater desalination scheme 1 in Gaotang island

成本组成	吨水费用/元	计算方法
电费	1.32	$(500 \times 4 \times 0.73) (365 \times 90\% - 180) \div (500 \times 365 \times 90\%)$
投资利息	1.93	$(5\ 969\ 000 \times 5.3\%) \div (500 \times 365 \times 90\%)$
膜更换	0.30	同表5
维修费	0.51	$(5\ 969\ 000 \times 1.4\%) \div (500 \times 365 \times 90\%)$
化学试剂、易耗品	0.15	同表5
人工与管理费	0.49	同表5
吨水总成本	4.70	

表6的计算依据是风力发电年平均时间为180d,总投资为596.9万元,其余同表5。

同样的如果不计投资利息,产水的单位成本为2.77元/t。间隙性生产(单纯的风力发电制水)产水的单位成本为1.43元/t。

4.5.3 方案二的资金概算

拟建立日产300t级的反渗透海水淡化厂,设计依据与方案一的相同;方案二合计总投资为440.2万元。

4.5.4 方案二的制水成本

高塘岛使用配置风力发电,日产300t淡水,需建立一个100kW的风电场。设立2台各50kW的风力机组所需经费为120万元(包括基础设施等)。目前风电场的造价成本:机组(设备)为85万元,占造价成本的71%左右;基础设施为28万元,占造价成本的23%;调试及其它费用为7万元,占造价成本的6%。风能利用小时数约为4300h。表7和表8分别为高塘岛300t级海水淡化工程使用电网电与使用配置风力发电的造水成本。

表7 高塘岛海水淡化方案二使用电网电的吨水成本
Tab.7 One ton of water cost using grid electricity in seawater desalination scheme 2 in Gaotang island

成本组成	吨水费用/元	计算方法
电费	2.92	0.73×4
投资利息	1.72	$(3\ 202\ 000 \times 5.3\%) \div (300 \times 365 \times 90\%)$
膜更换	0.40	$200\ 000 \div (300 \times 365 \times 90\% \times 5)$
维修费	0.39	$(2\ 559\ 000 \times 1.5\%) \div (300 \times 365 \times 90\%)$
化学试剂、易耗品	0.15	
人工与管理费	0.81	$(20\ 000 \times 4) \div (300 \times 365 \times 90\%)$
吨水总成本	6.39	

表7有关计算数据的依据:装置生产能力为 $300\text{ m}^3/\text{d}$;工程投资为320.2万元;其余依据与方案一的相同。

作为海水淡化试点工程,如果完全由国家投资建设,不计投资利息,淡化水的成本价为4.67元/t。

表8 高塘岛海水淡化方案二使用配置风力发电的吨水成本
Tab.8 One ton of water cost using wind power in seawater desalination scheme 1 in Gaotang island

成本组成	吨水费用/元	计算方法
电费	1.32	$(300 \times 4 \times 0.73) (365 \times 90\% - 180) \div (300 \times 365 \times 90\%)$
投资利息	2.36	$(4\ 402\ 000 \times 5.3\%) \div (300 \times 365 \times 90\%)$
膜更换	0.40	同表7
维修费	0.39	同表7
化学试剂、易耗品	0.15	同表7
人工与管理费	0.81	同表7
吨水成本	5.43	

表 8 有关计算数据的依据是风力发电时间年平均为 180 d, 总投资为 440.2 万元, 其余同表 7。同样的, 如果不计投资利息, 淡化水的单位成本为 3.07 元/t。

方案一和方案二的比较见表 9。

表 9 方案一和方案二的比较
Tab.9 Comparison of scheme 1 and 2

项目	方案一	方案二
总投资/万元	596.9	440.2
设备投资/万元	255.9	184.2
土建及配套投资/万元	171.0	136.0
风力电场投资/万元	170.0	120.0
电网电吨水总成本/元	5.47	6.39
电网电不计投资利息吨水成本/元	4.09	4.67
配风力电吨水总成本/元	4.70	5.43
配风力电不计投资利息吨水成本/元	2.77	3.07

从表 9 可以看出, 方案一日产水量大、投资量也大, 产水成本略低; 方案二日产水量和投资量均略小, 但产水成本略高。由于该项目依赖政府无偿扶持, 从减少投资和试验示范的角度, 我们倾向于方案二; 但从目前高塘岛的缺水状况和投入产出率来看, 方案一相对更有一点。

5 效益分析

5.1 经济效益

我国的海水淡化研究始于 20 世纪 60 年代, 经过不断探索, 现已成为世界上少数几个掌握这项先进技术的国家之一, 技术和经济性都有了较大提高, 但到目前为止海水淡化发展缓慢, 其最主要原因是单位出水量的成本还是偏高, 据测算, 我国现有的海水淡化厂的吨水综合成本为 6~10 元, 按目前的价格体系还很难为人们所接受, 纯粹的海水淡化工程很难有经济意义上的赢利, 只有向多种利用的方向发展, 才有可能赢利。随着象山县高塘岛连岛工程的建设, 高塘岛将与南田岛、东门岛以及大陆连为一体, 社会和经济必将大幅度发展, 丰富的海岛景观资源也会吸引越来越多的人前往观光旅游, 使水资源的需求量越来越大。海水淡化出来的水质已经可以达到饮用水标准, 超过自来水水质, 通过纯化处理, 可达到纯净水标准。在丰水期可以通过桶装(或瓶装)面市, 以弥补当前淡化水价格普遍偏高的不足。如果把日产 500 t 或 300 t 的淡化水划出 50 t 制作成纯净水, 每天可生产 2 632

桶纯净水, 以每桶 4 元的价格向旅游景点及其石浦周边城区销售, 每天销售额为 10 526 元, 扣除 50 t/d 的成本价(290 元), 每天纯收入约为 10 236 元, 其经济效益和社会效益都相当明显。另外由海水淡化衍生出来的海洋化学物质提取、盐水生物资源开发和旅游景观等产业, 只要利用得当, 极有可能均产生较大的经济效益。

5.2 环境效益

海水淡化主要排放的是浓盐水, 浓盐水的盐度比海水高, 它是否能很快被海水稀释, 就要看排量的大小和海域的水动力状况。就目前高塘岛规划建设的海水淡化厂的排水量对于大海来说微乎其微, 它对海水浓度的影响可以忽略。与其它水源工程和引水工程比较, 海水淡化对环境的影响小得多。在高塘岛无论是开采地下水还是引水, 都有可能对海岛环境造成损害, 而海水淡化如果利用得当, 不仅不会对环境造成影响, 而且还能保护和改善局部环境。

5.3 社会效益

宁波正处在工业化和城市化加速发展的进程中, 对水、电、土地等要素资源需求量逐年增大, 经济发展与资源短缺的矛盾日益突出。水源工程和引水工程建设相对缓慢, 虽然每年都投入大量资金陆续修建了一批水利工程, 但总体上来说, 水源工程建设速度仍不能适应城市规模的不断扩大和经济快速发展的需要, 水资源供需总量之间的缺口仍然较大。推广应用海水淡化对改善沿海地区特别是海岛地区居民的生活质量有重大的现实意义, 也是缓解沿海城市淡水紧缺的有效措施之一。通过项目建设, 可以为宁波市以及周边城市今后海水淡化工程的项目管理、配套政策及相关法规的制订和完善提供依据。

参考文献:

- [1] 高从增, 陈国华, 阮国岭, 等. 海水淡化技术与工程手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2] PTERSEN G, FRIES S, MOBN J, et al. Wind and Solar Powred RO Desalination Units[J]. Desalination, 1981, 39: 125.
- [3] 王长贵, 王新成. 太阳能光伏发电实用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [4] LIBERT J J, MAUREL A. Desalination and Renewable Energies a Few Recent Developments[J]. Desalination, 1981, 39: 363-372.
- [5] 周正立. 反渗透水处理应用技术及膜水处理剂[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [6] 任建新. 膜分离技术及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.

Study on the combining device of wind power generation and seawater desalination

REN Dian-yong¹, SHI Hui-xiong²

(1. *Ningbo Institute of Marine Development & Research, Ningbo 315040, China*; 2. *Ningbo Academy of Oceanology and Fisheries, Ningbo 315012, China*)

Abstract: Using wind energy as a driving force for seawater desalination is a relatively new issue. Based on the fact that it is rich in wind resources while lack of fresh water in the islands off the southeast coast of China, the possibility of combining wind power generation and desalination is studied with an aim to make use of clean energy of wind energy and reduce the cost of seawater desalination. Based on the analysis of the technology features of off-grid and grid-based wind turbine of different power, different schemes of combining wind power generation with different sizes of desalination plant are designed. The study shows that off-grid wind power can be used as the desalination energy when desalination capacity is below 30 t/d, while grid-based wind power is preferable when it is greater than 30 t/d. Gaotang island in Xiangshan County, Ningbo city is taken as an example, several schemes of combining different power off-grid wind turbine with 300 t/d and 500 t/d desalination plant were designed according to the measurements of the wind energy efficiency in the island. Studies show that the unit cost of producing water is 2.77 yuan/t, and the interval unit cost (only wind power is used) is 1.43 yuan/t without considering investment interest, which is expected to be cheaper than the municipal water supply.

Key words: wind power generation; seawater desalination; combination; unit cost of producing water