

# 新能源苦咸水淡化研究

## ——以甘肃省为例

王 刚

(江苏省宏观经济研究院,南京 210013)

**[摘要]** 基于“973”非并网风电的研究成果,提出将该技术应用于淡水资源短缺、但苦咸水丰富地区(甘肃省)的建议。继而,从能耗和节能减排的角度,分析了该系统大规模成功应用后的效益优势,并提出推广这种技术的对策建议。

**[关键词]** 非并网;新能源;苦咸水;淡化

**[中图分类号]** TK89 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2015)03-0045-05

### 1 甘肃省淡水资源严重短缺

甘肃是我国水资源严重短缺省份之一,全省80%以上地区属于干旱、半干旱区,降水稀少,降水多集中在7—9月,且多为暴雨洪水,绝大部分难以利用。甘肃人均自产水资源量 $1\ 150\ \text{m}^3$ ,不到全国平均水平的一半,平均每亩土地水资源量 $378\ \text{m}^3$ ,约为全国平均水平的 $1/4$ 。水资源在地域分布也极不平衡,省内黄河流域人口和国民经济收入均占全省的70%,但自产水资源不到全省的一半,人均水资源不到全省的一半,亩均只有 $244\ \text{m}^3$ 。2010年,全省需水量达到了 $1.560\ 3\times 10^{10}\ \text{m}^3$ ,而缺水量达34.5%。农业用水、城市用水、人畜用水全面告急<sup>[1,2]</sup>。

甘肃省不仅资源型缺水,而且水质型缺水也相当严重,尤其是在水资源极其紧张的中东部干旱地区,存在大量的因天然矿化度极高而无法直接利用的苦咸水。如祖厉河、马莲河等河流,矿化度一般大于 $2\ 000\ \text{mg/L}$ 。水质型缺水进一步加剧了这些地区的缺水程度,导致相当数量的人口饮水困难,对经济社会可持续发展造成不利影响<sup>[3]</sup>。

### 2 甘肃省苦咸水分布及淡化现状

#### 2.1 苦咸水分布

甘肃省苦咸水及高氟水的分布具有明显的地带性,与区域气候、水文循环条件及水资源量具有密切关系,绝大部分分布于内陆河流下游及黄河流域中东部黄土高原干旱、半干旱地区。

分布于内陆河流的地区主要分布在流域下游的水盐聚集区、尾间湖,以浅层地下水为主;黄河流域主要分布在中东部干旱、半干旱黄土高原地区,范围大致为:北部与腾格里沙漠边缘及宁夏南部戈壁荒漠区接壤,南部以渭河及泾河干流为界,西至乌梢岭,东达甘陕边界,而且这一分布带被从中楔入的六盘山局部湿润区和另类地质构造带阻断,最终形成了在六盘山西部以祖厉河为中心,东部以马莲河为中心的东西两个苦咸水区域。整个区域包括兰州、定西、白银、天水、平凉、庆阳等6个地市,区域总面积达 $4.53\times 10^4\ \text{km}^2$ 。主要苦咸水河流有:黄河干流区的祖厉河,渭河流域北岸支流秦祁河、大咸河、散渡河、葫芦河,洮河流域的东峪沟以及泾河

**[收稿日期]** 2014-12-10

**[基金项目]** 国家科技支撑计划“兆瓦级非并网风电海水淡化系统研发及先导性示范”(2013BAB08B04)

**[作者简介]** 王 刚,1979年出生,男,重庆云阳县人,助理研究员,主要研究方向为新能源多元化利用、产业经济;E-mail:wg@zjzw.net

流域的马莲河等,年径流在 $1\times 10^5\text{ m}^3$ 以上的河流共有29条。高氟水的分布大致与苦咸水的分布区域一致<sup>[4,5]</sup>。

## 2.2 苦咸水淡化现状

多年以来,甘肃省水利部门一直十分重视苦咸水淡化技术的应用和推广,解决了上百万人吃水难的问题,有效地改善了人民生活和健康,促进了经济发展。随着科学技术的进步和经济实力的增强,近年来,国家、甘肃省对苦咸水淡化工作的重视程度越来越高,苦咸水淡化工艺也不断得到改进。2006年甘肃省膜科学技术研究院利用新研制成功的反渗透淡化技术,在宁县建成每天可淡化3 000 t苦咸水的淡化站,淡化站运行后,脱盐率为98.6%,彻底解决了宁县县城1.6万人的生活和生产用水,成为当时我国西部地区最大的苦咸水淡化站,同时也给西北缺水地区解决供水问题提供了成功范例。2010年12月甘肃省投资1.81亿元,在环县建设一个苦咸水淡化示范工程,新打机井93眼,新建净化站93座,配套苦咸水淡化设备93套,工程的实施有效解决了环县境内11个乡镇、138个行政村、16.45万人的饮水安全问题。目前,全省在建和立项的苦咸水淡化工程多达数十个,总投资规模超过20亿元。

## 2.3 苦咸水淡化能耗分析

近年来,通过技术引进和自主创新,我国海水淡化成本逐渐在降低,但目前海水淡化、苦咸水淡

化综合成本仍在 $4\sim 5\text{ 元}/\text{m}^3$ ,每吨水的能源消耗在 $4\text{ kW}\cdot\text{h}$ ,占综合成本的30%以上。我国是能源消耗大国,能源供给主要以化石能源为主,在调整产业结构、转变经济发展方式的大背景下,为了控制能耗需求的过快增长和减少温室气体排放,海水淡化和苦咸水淡化技术的应用一直谨慎缓慢推广。但在淡水供需矛盾越来越突出的今天,特别是如甘肃省这类严重缺水的地区,不得不规划建设大规模苦咸水淡化工程,以缓解淡水资源的不足。据专家估计,到2020年甘肃省苦咸水淡化处理能力将提升到每天 $5\times 10^4\sim 1\times 10^5\text{ m}^3$ ,每年有 $3\times 10^7\text{ m}^3$ 的淡水是由苦咸水转化而来,如此大的苦咸水淡化处理容量将产生巨大的能源需求,对能源供给是一大挑战。

## 3 (风、光、网)多能源协同供电系统理论

国家“973”基础研究项目“973非并网风电大规模应用”突破传统思维定式,在非并网风电多能源协同供电应用于海水淡化方面进行了积极探索,取得了一系列科研成果。该系统基本原理是风电不接入电网、直接用于海水淡化等高载能负载。这种可再生能源应用模式,有效解决了风电上网的难题,对电网不造成任何影响,且可独立运行控制,实现可再生能源100%利用。如果把这种新技术大规模成功应用于苦咸水淡化,将会带来较高的经济效益和环境效益(见图1)<sup>[6,7]</sup>。

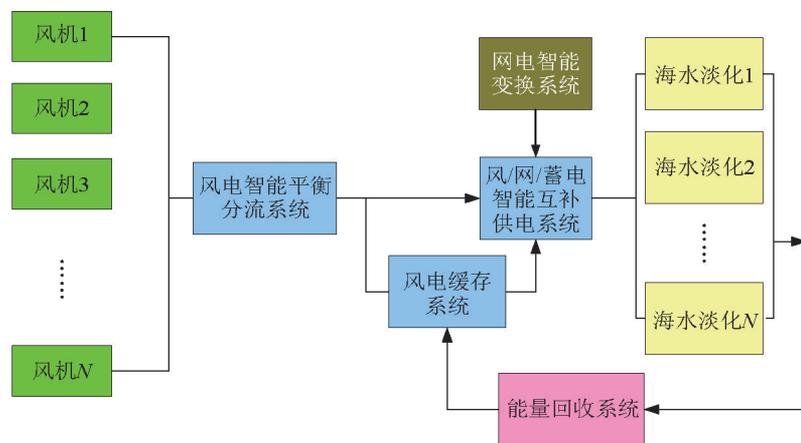


图1 非并网风海水淡化系统结构图

Fig. 1 The system tree of desalination based on non-grid-connected wind power

## 3.1 系统概况

2007年3月,“大规模非并网风电系统的基础研

究”申报国家“973”计划并获得立项,2007年开始进行大规模非并网风电海水淡化的方案设计,2008年

进行相关理论研究。2009年先后完成2效和3效低温多效海水淡化试验平台的试制,使用风电作为海水淡化装置唯一能源,并将封闭式循环热于低温蒸发和多级高效闪蒸相结合的海水淡化装置。2009年开展非并网风电应用于膜法海水淡化系统研究,在完成工艺设计和理论计算的基础上,于2010年2月成功设计和制造日产5 t的实验装置。2010年4月与加拿大自然科学基金基金会风能战略研究团队和加拿大Wentor Technologies Inc. 风电企业进行大规模非并网风电水淡化国际合作研究,研发一种既可以独立供电又可以风网蓄协调,风电100%全部应用,淡化水产量大于100 t/d的工业性生产成套装置。2010年10月完成组合式塔式结构的设计,反渗透膜垂直排列,并成功研制日产淡水100 t风电海水淡化成套设备,为改变海上风电场输电上岸为输淡水上岸,解决大规模海水淡化点源污染问题奠定基础。

### 3.2 示范工程

大丰示范项目系统设计为:1台30 kW风机及1台10 kW风机给一台日产淡水100 t膜法海水淡化设备供电,设备额定功率为16 kW。在示范工程中,该系统的组成设备主要包括:非并网风机、新型海水淡化设备、风网蓄智能协调控制系统、风电缓存系统等。所有设备由国家“973”计划风电项目组和中加国际合作项目组设计。南京大学江苏省非并网风电与高载能工程实验室研发了基于物联网技术的非并网风电海水淡化监控系统,并参与了非并网风电与高载能耦合系统的软件设计与开发,原理如图2所示。

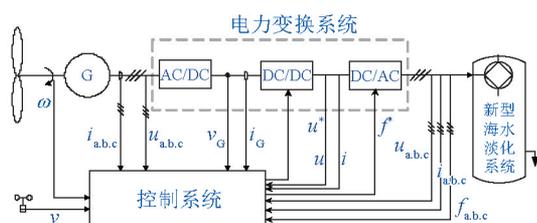


图2 大规模风电海水淡化系统控制原理图

Fig. 2 The system control schematic diagram of the non-grid-connected diverse application of large-scale offshore wind power

### 3.3 系统运行

系统安装、调试后,整体运行达到预期效果,在风网智能协调供电模式取得成功,本套系统又进

行了风电独立供电海水淡化试验。为此,针对反渗透(RO)膜对风电这种波动的电源高度敏感性,容易造成机械疲劳,缩短RO单元寿命,项目组创新研发、设计并安装了智能耦合系统(具有自学习、自适应功能)和风电缓存系统。通过配置不大于系统额定功率20%的风电缓存系统,在风电功率较小时,风电与缓存系统协调供电,维持系统稳定运行,既减小了风电波动对RO膜的影响,又避免了设备频繁开停机对设备的损害,同时风电利用效率在原有基础上提高30%以上。监控系统实时测量数据表明,风速在9 m/s时,仅30 kW风机运行,智能耦合系统实现了风电功率、蓄电功率和负载功率的动态平衡,风电独立系统运行稳定,产水量为2.8 t/h,负载功率为10 kW,单位吨水能耗为3.6 kW·h,基本维持不变。所生产的淡化水清澈透明,电导率为16  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ ,经大丰市疾控中心检测和自来水公司检验,各项指标均达到国家饮用水标准。此外,系统还测试了两台风机协调控制,为下一步大规模多风机协调应用奠定基础。

## 4 多能源系统应用于苦咸水淡化

### 4.1 可行性分析

甘肃省内可再生能源丰富,风能资源储量为 $3.395 \times 10^7$  kW,技术可开发量为 $2.667 \times 10^7$  kW,太阳能总辐射值约为4 700~6 350 MJ/m<sup>2</sup>。这些宝贵的自然资源是甘肃大力发展可再生能源电力的前提和基础。自2003年以来,甘肃省的风电装机容量平均保持50%以上的年增长率,2011年风机装机总容量达5 409 MW。面对电力消耗节节攀升,电荒、油荒一次又一次袭来,节能减排主要寄希望于风电产业,但现实情况却远非人们预测的那么乐观。近年来,不仅在甘肃,在全国范围内风机利用率不高、风电不能上网、弃风空转等现象普遍存在,一直影响风电产业的健康发展,投入与利润不匹配也严重挫伤了风电开发商的投资积极性。在我国,一方面是不得不靠煤电来满足大部分电能需求,另一方面是风能资源白白浪费,无论是从经济效益,还是环境效益来考虑都令人感到叹息。

为了破解以上难题,可以考虑在甘肃省境内开展可再生能源多元化应用,即非并网风(光)电多能源系统应用于苦咸水淡化等高耗能负载。前期“973”非并网风电的研究,对风能多元化利用进行了积极的探索,取得了很多有价值的研究成果,其

先期示范工程安全、可靠,经济效益明显。甘肃省内许多缺水地区,苦咸水量大且风能资源、太阳能资源丰富,再加上风能和太阳能具有天然的互补性,如果能够成功将风电、太阳能协同直接向苦咸水淡化工程供电,不会对电网造成冲击,不但可以破解风电上网的难题,而且可能解决风电外送的问题。

#### 4.2 优势分析

新型多能源非并网风(光)电苦咸水淡化系统将提供一种适应风、太阳能发电特性,风电、太阳能发电100%被利用的苦咸水淡化工业化生产系统,具有良好的经济效益,主要包括以下几个方面:一是苦咸水淡化能耗低且以风电、太阳能为主。非并网风(光)电苦咸水淡化系统能源供给主要以风电、太阳能为主,先进的智能耦合供电控制系统和低温多级高效风电苦咸水淡化新工艺,能够确保风电、太阳能100%得到利用,使苦咸水淡化吨水能耗不受风电波动影响,基本保持不变。先期海水淡化示范工程运行表明,吨水能耗仅需要3.6 kW·h,其中90%以上为风电,这与传统能源供给以网电为主的海水淡化工程相比,能耗成本要低得多,有效降低海水淡化成本;二是解决了风电、太阳能发电上网难的问题。甘肃省风能资源、太阳能资源丰富,近年来风电产业发展迅猛,但由于风能资源分布与负荷中心不匹配、电网建设滞后、以及调节容量不足等不利因素,上网难制约了风电、太阳能发电的发展。即使电网建设能够满足风电、太阳能发电上网的要求,复杂的输变电系统和接入电网等配套工程需要大量的资金(约占整个电场建设费用的30%)。而非并网风(光)电多能源苦咸水淡化系统实现了风电、太阳能发电不上网,突破风电在电网中的比例不超过10%的局限,也不会给电网带来冲击。三是双重优惠政策会进一步降低苦咸水淡化成本。非并网风(光)电苦咸水淡化包括可再生能源发电和苦咸水淡化两个战略新兴产业,这两个产业都是未来我国经济可持续发展的重要战略支撑,国家会从税收、信贷等多方面,将给予苦咸水淡化

产业类似于支持风电、太阳能发电产业的优惠政策。因此,发展非并网风(光)电苦咸水淡化能够享受国家给予的双重优惠政策,这会进一步刺激投资人的热情和降低苦咸水淡化成本。

## 5 对策与建议

我国海水、苦咸水淡化利用虽然发展迅速,但与世界先进的海水、苦咸水淡化利用的国家和地区相比还有一定的差距。目前,非并网风(光)电多能源苦咸水淡化技术,在国际、国内都属首创,在行业内认同度比较低,发展比较缓慢,需要各方的大力支持。一是积极争取国家补助、地方配套资金对非并网多能源苦咸水淡化示范工程给予支持,通过多种融资渠道,争取尽快在甘肃玉门、酒泉地区风能、太阳能丰富且苦咸水丰富的缺水地区建立日产万吨以上的示范工程,引导非并网多能源苦咸水淡化的健康发展;二是由于当前苦咸水淡化成本还较高,多数企业和居民还不愿主动选用淡化水,因此必须在管理体制和技术标准上加快出台政策,让苦咸水淡化水进入市政管网,鼓励用户使用淡化水;三是争取国家的专项科研基金,对该系统进一步优化和改进给予支持;四是加大宣传力度,扩大社会对非并网多能源海水、苦咸水淡化技术的认知程度。

#### 参考文献

- [1] 张亚霞,郭西军,陈国梁. 甘肃水资源现状及其对策研究[J]. 发展,2008(1):62.
- [2] 周兴福. 甘肃水资源供需态势分析研究[J]. 甘肃省经济管理干部学院学报,2004(3):7-11.
- [3] 朱玉萍. 甘肃水资源开发治理现状及对策[J]. 甘肃水利水电技术,2002(4):22,58.
- [4] 王双合,胡兴林,蓝永超,等. 甘肃省苦咸水资源量及时空分布规律研究[J]. 中国沙漠,2009(9):213-220.
- [5] 解建仓,张建龙,朱记伟,等. 马莲河苦咸水来源分析及治理方案[J]. 资源科学,2011(1):79-87.
- [6] 顾为东. 中国风电产业发展新战略与风电非并网理论[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [7] 顾为东. 低温多级高效风电海水淡化方法及其装置[P]. 专利号 ZL200710019522.6.

# Research on brackish water desalination by new energy —Take Gansu Province for example

Wang Gang

(Jiangsu Academy of Macroeconomic Research, Nanjing 210013, China)

**[Abstract]** The paper proposes to apply one new technology base on the research results of “973” project of non-grid-connected wind power to gain freshwater in some areas (such as Gansu Province) which is shortage of freshwater resources, but rich in Brackish water. Then, efficiency advantages of the new technology are analyzed from the perspective of energy consumption and energy conservation. Some suggestions about this application of large-scale technology were put forward.

**[Key words]** non-grid-connected; new energy; brackish water; desalination

---

(上接 13 页)

## The key role of smart load in smart grid system

Shi Yi<sup>1</sup>, Gu Weidong<sup>2</sup>, Shi Jianzhong<sup>2</sup>

(1. School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Jiangsu Academy of Macroeconomic Research, Nanjing 210013, China)

**[Abstract]** This paper brings forward a new concept of “smart load” in accordance with China’s national conditions. It is the internet of things that combines the smart load with smart grid to constitute the “non-grid-connected multi-energy complementary smart grid system”. The core of the system is to transform a large number of energy-intensive industries in China into the “smart loads” that can be adapted to wind power and other renewable energy and huge fluctuations in grid output power through necessary technological innovation, thus providing Chinese government with a new path that can significantly improve the utilization efficiency of power grid and power generation equipment as well as take full advantage of high-efficient and low-cost renewable energy such as wind power pursuant to China’s national conditions.

**[Key words]** non-grid-connected; multi-energy collaborative; smart load; smart grid system