北京水资源战略——三位一体的海水淡化生态技术

郝晓地,胡沅胜,李会海

(北京建筑工程学院可持续环境生物技术研究发展中心,北京 100044)

摘要:通过对输水成本、供水安全的分析,指出'南水北调'工程未必是从根本上解决北京水资源短缺问题的最佳战略选择。根据生态经济学原理,提出将海水淡化、风力发电、盐业化工三种行业有机结合,集成一种三位一体的生态经济技术。这种战略构想目的在于贯彻全球普遍倡导的可持续经济发展战略以及落实我国目前实施的'循环经济'政策,从而一劳永逸地解决北京水资源的短缺问题。清洁的风电为反渗透海水淡化提供动力需要,反渗透产物不仅仅产生淡水,同时又为海盐等化工生产创造了浓缩液条件,集成这 3 种行业可以形成一种污染物零排放的可持续清洁生产技术。

关键词:南水北调工程;海水淡化;风能发电;海盐生产;反渗透;清洁生产技术

中图分类号:TV213.9　　文献标识码:B　　文章编号:1004-6933(2008)06-0104-04

Beijing water resources strategy: a trinity eco-technology for seawater desalination

HAO Xiao-di, HU Yuan-sheng, LI Hui-hai

(*The R & D Centre for Sustainable Environmental Biotechnology*, *Beijing University of Civil Engineering and Architecture*, *Beijing* 100044, *China*)

Abstract: Cost and security analyses suggest that the South-to-North Water Transfer Project is not the best way to manage the water shortage issues in Beijing. Based on the theory of ecological economics, a trinity technology integrating seawater desalination, wind electric power generation and sea-salt production is proposed. Following the sustainable economic development theory and achieving the cycling economy proposed recently in China, this technology is intended to prevent Beijing from water shortage. Wind electricity can offer power for seawater desalination with reverse osmosis. At the same time, seawater desalination produces concentrated liquid for salt production. In this way, the so-called trinity technology achieves cleaner production without any pollutants discharged.

Key words: the South-to-North Water Transfer Project; seawater desalination; wind electric power generation; sea-salt production; reverse osmosis; cleaner production

北京是一个已具有 1 600 万人口的国际大都市,位于华北大平原的北端,属于温带半干旱半湿润季风区。全市年平均降水量仅 595 mm,且时空分布极不均匀。据资料分析,汛期(6 ~ 9 月)集中了全年 85%的降水量,最大年降水量是最少年降水量的 6 倍。由于降水少,人口多,全市人均水资源量不足 300 m^3,是全国平均值的 1/8,世界平均值的 1/30,远远低于国际公认的人均 1 000 m^3 的缺水下限值,是世界上最严重缺水的地区之一。

随着经济和社会的发展,北京市水资源供需矛盾不断加剧,水资源形势十分严峻[1]。根据 2000 年《北京市水资源公报》,北京市可利用水资源总量为 36.29 亿 m^3,当年总用水量为 40 亿 m^3,总用水量已超出可利用水资源总量。近几年每年缺水均在 4 亿 m^3 左右。预计到 2010 年,全市总需水量下限值为 41.46 亿 ~ 44.40 亿 m^3,枯水年或平水年可利用水资源总量为 33.57 亿 ~ 39.87 亿 m^3,缺水量将达 10 亿 m^3 左右。

基金项目:北京市属市管高等学校人才强教计划资助项目(BJE10016200611)

作者简介:郝晓地(1960—),男,山西柳林人,教授,博士,主要从事污水处理生物脱氮除磷技术、污水处理数学模拟技术、可持续环境生物技术研究。E-mail:haoxiaodi@bicea.edu.cn

为应对北方地区水资源长期呈短缺甚至是危机状态，中央政府经多年论证后实施了规模宏大的南水北调工程。但是，南水北调工程本身是否隐藏着巨大的风险？北京水资源的问题是否只有通过南水北调这样的远距离调水才能得以解决？本文试图从学术角度审视这一问题，并提出对解决北京水资源问题的战略观点与技术思路。

1 南水北调工程

1952年10月30日，毛泽东主席提出"南方水多，北方水少，如有可能，借点水来也是可以的"。南水北调工程的构想由此开始。此后，经50年的野外勘查、测量和论证，在分析比较50多种方案的基础上，形成了南水北调东线工程、中线工程和西线调水工程的基本方案。其中以北京为终点的中线工程从长江支流汉江上的丹江口水库引水，沿伏牛山和太行山山前平原开渠输水，总干线全长1 241.2 km。一期工程于2003年12月30日正式开工。中线工程在项目论证阶段就存有较大疑虑，主要集中在输水成本和供水安全性上。

1.1 输水成本分析

根据公布的南水北调工程立项规划文本，东、中线的目标是实现调水295亿 m^3，规划总投资为1 240亿元(1995年预算价格)，调1 m^3 水到北京的成本为1.54元。这是建立在80%政府拨款、20%银行贷款(偿还期25年，贷款利率6.21%)基础上的最初估算。事实上，《南水北调工程总体规划》规定的政府拨款应占工程总投资的55%，银行贷款应占45%。按国家计委测算，当贷款比例增加到40%时，南水北调干线出口水价将平均提高80%到100%。依此计算，中线调水工程到北京分水出口的水价大概是2.2元/m^3[2]。

从规划到可行性研究，再到实施、竣工，时间跨度长达15年之久。其间，超规划预算的可能性不仅仅有物价因素，更重要的是实施过程中存在着许多不确定和不可预见因素，这往往是导致国内外大型水利工程投资规模较初期预算增加100%到300%的原因所在[3]。对此，国务院南水北调工程建设委员会办公室主任张基尧已于2006年4月26日在郑州公布，进入可行性研究后，南水北调东、中线一期工程投资增加1 010亿元投资，使规划初期预算总投资增加到2 250亿元(增加费用部分用于移民安置、生态环境治理、还贷利息、财务费用、工程深化等方面)[4]。投资成本的重新核算将至少增加1元/m^3 的调水成本。

上述输水成本中并未考虑沿线输水损失和城市配套水利工程。从我国和国际几十个调水工程损失情况看，当一个调水工程超过几百千米以后，因蒸发和渗漏等造成的损失就高到50%[3]。而南水北调工程的距离超过1 000 km，如果将水损失考虑在内，成本显然会进一步增加。另外，城市配套水利工程大约还需要1元/m^3 的输水配套成本[5]。

综上所述，南水北调工程输水成本翻番已成定局。即使根据最保守的估计，输水成本也应该在5元/m^3 以上水平。

1.2 输水安全性分析

除输水成本外，供水安全性将成为南水北调工程不得不面对的一个现实问题。中线工程涉及5个省市，全长1 000多 km。输水沿线不仅面临着复杂的地质条件，而且沿线截污也是十分棘手的问题。因此，沿线地质灾害与潜在的水污染均可能形成对南水北调工程的安全隐患威胁。

1.2.1 水量安全性隐患

中线工程渠道全长1 241 km，渠系构筑物近千座，在工程的规划、设计、建设和运行管理过程始终存在大量不确定的风险因子，如气候、洪水、地震、滑坡、建筑物损坏，甚至存在人为失误和破坏等等不确定因素。南水北调工程系统首先面对水文风险问题。在水文风险中大致有以下几种可能性风险：①旱情风险，尤其是汉江流域与供水区域同时发生旱情，长江流域与供水区域同时发生旱情这两种恶劣情况的风险；②洪水风险，中线工程约穿越大小河流700条，区域超标洪水对干渠输水可能产生不利影响；③水源区和用水区同丰、同枯遭遇。此外，还面对渠坡稳定性、饱和沙土液化、穿越黄河等工程地质风险。从系统分析的角度来看，南水北调工程体系是一个由各类构筑物组成的串联系统，其中任一元件的失效将导致体系的整个失效，从而对国民经济和人民生活造成重大影响。中线工程输水渠系中有梁式渡槽16座、渠道暗渠10座、涵洞式渡槽16座、渠道倒虹吸26座，全部为立交。确保这些关键构筑物的安全可靠是保障供水安全要面对的一个严峻挑战[6]。

1.2.2 水质安全性隐患

如果远距离调来的水在水源或沿线受到了污染而不能达到饮用水水源标准，那么南水北调工程将沦为劳民伤财工程。因此，南水北调工程的关键是防治污染以确保到达北京的是一江清水。然而，长江目前面临的生态污染和沿线的环境状况使人们对这一目标能否顺利实现忧虑重重。另外，从丹江口水库沿中线向北京输水的1000多 km 沿线如果不能有效截污，将使本来就令人忧心忡忡的输水水质雪上加霜[7]。

2　北京水资源战略构想

“开源节流”历来是解决北京水资源短缺问题的一个首要原则。然而，在开源方面的南水北调工程如上所述不仅存在着输水成本问题，而且也存在水量与水质的双重隐患。在此情形下，一直备受专家学者广泛争议的海水淡化解决北京水资源短缺之议题便显得具有较大的竞争力，况且北京地界距渤海湾的最近直线距离还不到 100 km。

诚然，海水淡化技术本身已不存在任何难点。大家对海水淡化争论的焦点问题无外乎它的成本问题、淡化海水后的浓缩液处置问题、能耗以及能耗带来的 CO_2 排放问题等三个方面。针对这些焦点问题，本文试图通过一种技术集成方式将风力发电、海水淡化、盐业化工这三种本来彼此独立的行业集成一体（图 1），形成一种完全符合生态经济的三位一体的清洁生产技术，从而有效解决人们对海水淡化普遍关注的实际问题。

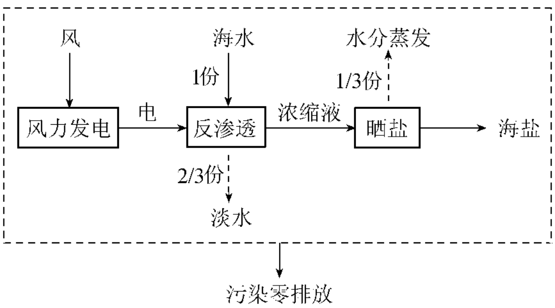

图 1　风力发电、海水淡化、盐业化工三位一体的清洁生产技术构想

目前已经十分成熟的海水淡化技术当属反渗透。以色列、日本、美国、英国、西班牙、法国、澳大利亚等国的反渗透海水淡化技术相当发达，已相继形成了海水淡化产业。目前，以色列使用反渗透海水淡化成本已低至 0.5～0.6 美元/m^3[8]，相当于人民币 3～4 元/m^3。天津市利用低温多效反渗透技术亦在一示范工程中实现了低于 5 元/m^3 的海水淡化成本[9]。其实，5 元/m^3 的海水淡化制水成本与南水北调工程可能超过 5 元/m^3 的输水成本相比已具有相当竞争力，而将清爽可口的淡水以封闭管道输送 100 km 的投资显然比南水北调工程进京后再处理的净水成本要低得多，况且海水淡化后以封闭管道输送的安全性极高。可见，二者相比在价格上的优势已初见端倪。

采用反渗透技术淡化海水约产生 2/3 的淡水，另外 1/3 则形成含盐量极高的浓缩液。浓缩液如果直接排海，量大时可能对海洋水生物生长环境造成不利影响。因此，浓缩液的出路问题的确面临选择。传统海盐生产的实践表明，浓缩液完全有可能被用作为晒盐的进水原料，而且浓缩液实际上已是水分蒸发了一多半的海水，直接用浓缩液晒盐的结果将使海盐生产效率提高近 70%。其实，海水中所含 3.5% 的矿物质是自然界给人类的巨大财富，通过反渗透浓缩法有助于海水中像钾、镁、溴、氯、钠、硫酸盐这些化学物质的提取，这比传统晒盐方式更具有无限应用前景。

反渗透技术的唯一缺陷是能耗较高。如果反渗透利用目前化石燃料提供电力，其结果会导致 CO_2、SO_2 等气体的过多排放。换句话说，传统海水淡化技术实际上是使用一种不可再生的非清洁能源来换取另一种资源。显然，现在的工业化经济模式已不能维持经济的进步。当人们目光短浅地为保持现行经济模式而努力的时候，正在耗尽地球的有限资源，同时也污染着生存的环境。可以说，目前经济繁荣的同时也暗示着现行经济发展模式长远前景将是生态赤字[10]。因此，海水淡化必须结合可再生清洁能源的生产。事实上，沿海一带拥有极其丰富的风力资源，其稳定性和风速远高于陆地，如果采用风力发电无疑能符合可再生清洁能源要求。一般认为，当风速大于或等于 6 m/s 时才适合经济发电。而日本新近发明的垂直叶片风机可以利用各个方向的风，在风速达到 2 m/s 时即可发电（图 2）。因此，渤海湾的风力资源用于发电应不成问题，问题是风力发电设备的投资与风力发电成本。

图 2　日本新近研发的垂直轴风车[12]

根据美国风力发电经验，目前风力发电成本已可下降为 0.03 美元/(kW·h)[10]。欧洲的风力发电最高成本也不过 0.05～0.06 欧元/(kW·h)。我国目前 0.42～0.72 元/(kW·h)[11] 的风力发电成本在没有优惠政策及补贴的前提下，尚无法与火力发电竞争。但随着 2006 年 1 月 1 日我国正式实施《中华人民共和国可再生能源法》后，国家财政已设立可再生能源发展专项资金，将可再生能源的开发利用列为能源发展的优先领域，并安排资金支持相关科技研究和产业化发展。电网企业为收购可再生能源电量而支付的合理的接网费用以及其他合理的相关费

用，可以计入电网企业输电成本，并从销售电价中回收。我国政府高度重视开发利用可再生资源，把可再生能源开发利用作为推动经济社会发展的重大举措必将带来风力发电的春天。

综上所述，将风力发电、海水淡化与盐业化工技术三位集成一体，不论技术还是经济上看完全有可能用于解决北京的水资源短缺问题，这样做的海水淡化综合成本显然比反渗透单纯海水淡化成本要低得多，而且三位一体的技术集成闭合后因符合生态经济原理而不会产生任何治理环境污染的环境成本。如果在天津新区的塘沽传统盐场附近兴建风力发电机组和海水淡化工厂，将淡化后的水以管道方式输送北京，在北京消毒、加压后再送往用户将不失为一种技术、经济、安全方面的战略方式。

4 结 语

南水北调工程不仅输水成本很高，而且还存在着水量和水质双重安全隐患问题。本文提出集成海水淡化、风能发电、盐业化工三位一体的生态经济或清洁生产技术用于战略上解决北京甚至全国的水资源短缺问题。这样做不仅在制水成本上更具有竞争性，而且供水安全性容易得到保障。更重要的是在三位一体技术的闭合循环中物尽其用，不会产生任何废弃物，完全可以做到污染物的零排放。

参考文献：

[1] 吴文桂，陈林涛．用可持续发展思想指导 21 世纪初期首都水资源规划［EB/OL］．（2001-03-14）．http ://www.chinawater.net.cn/20010114/g031408.htm.

[2] 张基尧．在国家计委南水北调工程筹资与改革水价机制工作座谈会上的讲话［EB/OL］．（2002-08-01）．http ://www.mwr.gov.cn/bzzs/20020801/2569.asp.

[3] 雷光春．南水北调的需求与成本分析［EB/OL］．（2006-04-17）．http ://www.cyol.net/cydgn/content/2006-04/17/content_1360705.htm.

[4] 新华网．南水北调东、中线一期工程投资超过 2000 亿元［EB/OL］．（2006-04-27）．http ://news.sina.com.cn/o/2006-04-27/10158803133s.shtml.

[5] 何谦，张庆源，谢晓冬．南水北调项目投资重估北京水价上涨预期增强［N］．经济观察报，2006-02-26(6).

[6] 贾超，刘宁，陈进．南水北调中线工程风险分析的若干工程问题［J］．岩土工程术，2003，26(3)：180-183.

[7] 刘铁军．2010，南水水质能适应北调需要吗？［J］．人与自然，2005，5(11)：98-103.

[8] The Water Commission of Ministry of National Infrastructures. Israel's Water Economy［EB/OL］．（2002-08-10）．http ://www.mfa.gov.il/MFA/MFAArchive/2000_2009/2002/8/Israel-s%20Water%20Economy%20-%20Thinking%20of%20future%20genera # desalination.

[9] 马恒．海水淡化呼之欲出——国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所惠绍棠所长访谈录［EB/OL］．（2005-12-09）．http ://www.gdepb.gov.cn/ztzl/hjzz/zaixian/t20051209_30666.Htm.

[10] BROWN L R. Eco-economy，building an economy for the earth［M］．New York :VW Norton and Company，2001.

[11] 郑玉莹．降低建设成本，发展风力发电［J］．华北电业，2001，17(12)：19-20.

[12] Japan's Economic News［EB/OL］．（2003-06-30）．http ://big5.nikkeibp.co.jp/china/news/mech/200306/mech200306300104.html.

（收稿日期：2007-07-10　编辑：高渭文）

·简讯·

淮北市今年农村饮水安全工程已完成投资 3 232 万元

截至 2008 年 10 月 20 日，淮北市今年农村饮水安全工程已完成总投资 3232 万元，占计划任务的 82.9%，该市烈山区的蔡里村、杜集区的蒋庄村等 7 个村提前喝上优质的"安全水"。2008 年淮北市农村饮水安全工程，计划解决 27 个村 10 万人的农村饮水安全问题，经安徽省发改委、省水利厅、省财政厅下达工程总投资 3 900 万元，其中：中央预算内投资 894 万元，省级投资 1 522 万元，市级配套 554 万元，县(区)级配套 554 万元，群众自筹 376 万元。工程技术人员经过进村现场调查、水源物探、勘测设计等，扎实有效地前期工作为全面开工建设奠定了基础。烈山区的沟西村、蔡里村、董圩村、店孜村、侯沟村，杜集区的蒋庄、窦庄等 7 个村的饮水安全工程建设已完工，并且通水运行，提前喝上了"安全水"。

淮北市按照"统一规划、分步实施、特困优先、民办公助、分级负责"的总体原则，统筹安排解决农村饮水安全问题。在 2005 年解决 1.26 万人饮水安全的基础上，尚有农村饮水不安全人口 40.54 万人，计划用 4 年的时间全部完成。2007 年已经完成 10 万人的农村饮水安全任务，2008 年、2009 年计划每年解决 10 万人农村饮水安全问题，2010 年计划解决 10.54 万人的农村饮水安全问题。淮北市农村饮水安全工程总投资按照每人 390 元计算，其中，中央专项资金每人 176 元，安徽省级投资每人 64.2 元，市级配套每人 55.4 元，县(区)级配套每人 55.4 元，受益群众自筹 39 元。淮北市级配套资金已全额拨付到县区民生专户，有效地促进工程建设进度。

（淮北市水务局　李锋供稿）