

学术论文

海水西调是西北和华北北部可持续发展的需要

陈昌礼

(中国地质大学, 北京 100083)

[摘要] 着重讨论第三、第四纪以来, 特别是人类历史记载以来自然干旱化进程是缓慢而深刻的并且是不可逆转的等问题。进一步认识西北和华北北部三套面向西北迎风八字形高山冷凝系统的地利条件, 恰逢今年3.20跨国沙尘暴事件, 重点提出拯救阿拉善和额济纳旗的调水措施。文章还回答了四点质询。结论指出欲缓解或局部逆转西北干旱化进程唯有海水西调, 这是西北可持续发展的基础。

[关键词] 海水西调; 可持续发展; 沙尘源; 干旱化

[中图分类号] X22; P425.5⁺5; P74 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)01-0048-08

自从笔者在“海水西调与我国沙漠和沙尘暴的根治”^[1] (以下简称“前文”)一文中, 提出海水西调工程具有十大效益。今年又恰逢3.20跨国沙尘暴, 半年以来应邀作了多场学术报告和专题报告, 对该文有较热烈反应。有关质疑的问题集中于海水西调盐碱化怎么解决? 耗能大户能源何处来? 资金何处出? 蒸发的水气全跑了怎么办? 北方冬季运行问题, 等等。这四个问题笔者在前文^[1]中已经作了论证。本文将在其基础上深入讨论几个重大问题并回答四个质疑问题。

1 自然干旱化过程的深刻性

前文^[1]重点讨论近50年来人为影响导致湿地退缩和干枯从而加速沙漠化并加强了沙尘暴的发生, 本文则侧重讨论自然干旱化进程的深刻性。地质学界认为中亚的干旱化原因为地中海的闭合, 中亚只剩里海, 塔里木盆地和艾丁湖原是古地中海的一部分。中国黄土乃是俄罗斯送给中国人民的礼物, 黄土的形成年代有200—1 000万年。我国沙漠化研究几十年来取得的共识是, 我国沙漠化有三个时期: 早第三纪、晚第三纪和第四纪; 研究表明腾格里沙漠下伏第三纪古沙丘。而浑达善克和科尔

沁沙漠下伏湖河相沉积物, 沙漠底层C₁₄测定年代为7 000—5 000年。科尔沁沙漠和浑达善克沙漠古为科尔沁大草原和锡林格勒大草原, 内蒙古东南部至辽宁、吉林西部是近50年来土地沙漠化最迅速的地带。以下将从时间和空间两个方面讨论自然干旱化进程的的缓慢、深刻和持久性。

从时间方面看, 据王飞跃研究^[2], 腾格里沙漠东部吉兰泰盐湖就是整个干旱化进程的较完整的记录。吉兰泰盐湖归阿拉善左旗管辖。王飞跃采用美国雷达卫星图像透过部分沙层, 解译出盐湖有三道湖堤完整地记录了130 ka以来气候变化过程, 测算出三道湖堤的年代分别为:

1) 内堤形成时代为11—5 ka BP。螺壳化石测定C₁₄年在1万年左右, 内堤形成于全新早期, 堤宽100 m。

2) 中道堤形成时代为40—25 ka BP。中道堤由7条子堤所组成, 中道堤宽4 500 m, 中内堤距6 500 m。

3) 外堤形成时代为130—75 ka BP。外堤有2条子堤残迹, 外堤宽8 000 m, 中外堤距5 000 m。

从以上王飞跃提供的数据粗略计算吉兰泰盐湖各时期自然退缩率分别为:

[收稿日期] 2002-06-14; 修回日期 2002-08-22

[作者简介] 陈昌礼(1931-)男, 江苏泰州市人, 中国地质大学教授

1) 内堤稳定期自然退缩率为 16.7 m/ka ; 中堤为 300 m/ka ; 外堤为 14.5 m/ka 。

2) 中内堤间干旱期自然退缩率为 464 m/ka ; 中外堤间干旱期为 143 m/ka 。

3) 中堤的 7 条子堤干湿周期平均为 2.14 ka ; 子堤平均每周期退缩距为 643 m 。

空间分布见图 1。图像中间有一条南西—北

东东向的黑色宽带反映的是从非洲撒哈拉大沙漠经阿拉伯半岛，再经中亚，进入我国新疆、内蒙古直刺东北。这条黑色宽带就象一把匕首，直刺雄鸡般的中国版图的后背和鸡脖，看来快要刺穿鸡脖，并有不断向南扩张的趋势。这种趋势预示着整个内蒙古东西带都有罗布泊化的可能。读了这幅亚非沙漠化形势图不能不令人感到危机紧迫。

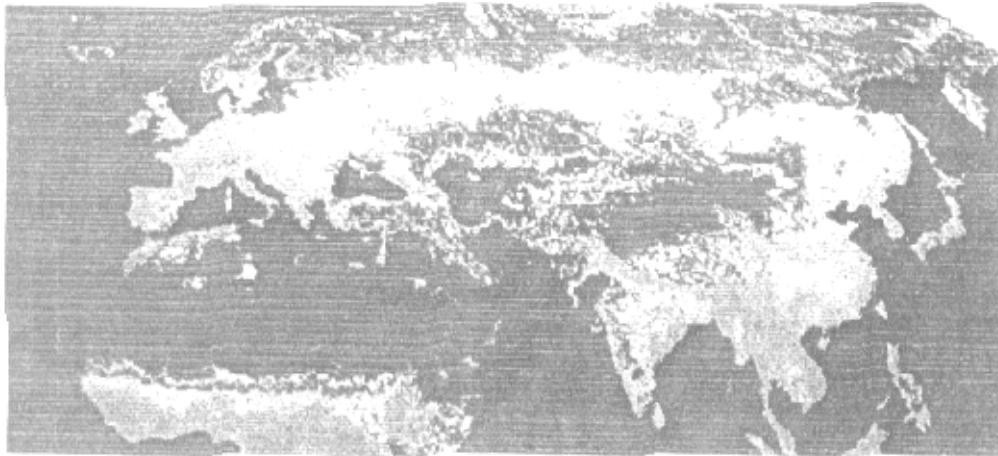


图 1 亚欧非植被分布卫星图像

Fig. 1 Of cover: space images of distribution of desert in Asia-Africa

2 冷凝系统的再认识

2000 年笔者曾撰文“强化天山和祁连山的水塔功能”^[3]，2001 年提出西北增雨的三条必要和充分条件，即西风带、高山冷凝系统和海水西调^[1]，本文将进一步强调认识冷凝系统的的重要性。西欧的自然条件优良在于她具有大西洋暖流和阿尔卑斯山的水塔功能，她哺育了莱茵河及多瑙河，以及山区美丽的湖泊；青藏高原是亚洲的水塔。反之撒哈拉大沙漠和阿拉伯半岛以及中亚饥饿大草原都是没有高山，更无高山山脉。撒哈拉大沙漠虽有大西洋相伴，因无高山山脉，也无济于事。

我国伊犁盆地为面向西开口的八字形盆地，南北天山相夹，山区年降水 800 mm ，东有巩乃斯山为后背，年降水 1000 mm ，是沙漠中的奇迹。去年有关阿富汗新闻报道费尔干纳盆地，位于乌孜别克斯坦、塔吉克斯坦和吉尔吉斯斯坦三国交界处，盆地向西开口，盆地东西长约 300 km ，南北宽达 170 km 。锡尔河从盆地流出注入咸海。在这个面积不大的盆地内却拥有 1000 多万居民，占整

个中亚地区人口的 20%，盆地人口密度比我国江南水乡的人口密度都高。另外中亚五国的城镇人口几乎都集中在帕米尔高原的西麓，而我国南疆由于帕米尔高原阻挡西来水气，使塔里木盆地极度干旱；从地理学观点看塔里木盆地处于“雨阴”地区，盆地又被四周高山所包围，盆地干旱化进程加速。因此古丝绸之路和古丝绸之路的消失应当说主要由于不可逆转的、缓慢而深刻的自然干旱化进程所致。一旦到了面临需要立法“谁砍一棵树，宰谁一头牛”的年代，人们实际上已无回天之力了。

前文^[1]提出西北和华北北部有 7 个水汽交换系统，从地貌宏观地看，该地区可归纳为三套面向西北开口的八字形高山山脉冷凝系统，它们是：第一套，北天山（东西走向）—阿尔泰山（南北走向）；第二套，祁连山（东西向）—贺兰山（南北向）；第三套，狼山、燕山（东西向）—大兴安岭南段（南北向）。这三套北西向开口的高山冷凝系统恰处于西风带的所谓“雨阳区”，也就是高山迎风面。这三套八字形“雨阳区”高山冷凝系统，古代曾经拥有众多湖泊沼泽；由于长期地质历史时期、人类

历史时期缓慢而深刻的干旱化进程，特别是近50年来强烈人工影响，这些湖泊大量退缩和消失。海水西调的目的就在于使这些退缩和消失的湿地从我们这代人开始，经五代子孙，也就是100年的调水恢复，基本上达到汉、唐时代的湿地水平，才能较好地发挥这三套高山冷凝系统的巨大潜在作用，缓解和部分逆转西北干旱化进程。总之一句话，撒哈拉沙漠有水（大西洋）无山，我国西北有山无水，而山不可调，水却可调。如果没有丰富的水气源供给，这三套八字形高山冷凝系统也只能是“等白了少年头空悲泣”！

3 治理跨国沙尘源

今年3月20日一场跨国沙尘暴，风起西伯利亚，19日沙起额济纳旗，20日到达北京，次日跨海进入韩、日等国。海水西调是对治理额济纳旗沙尘源的重要而有效的措施。一方面，以 5000 km^2 面积的海水水面镇压居延海的细盐土尘；另一方面，蒸发水气推向祁连山，冷凝降水，形成地面径流，首先滋润河西走廊，然后流入额济纳旗。

3.1 河西走廊受益最大

河西走廊东西长1000 km，宽50 km总面积约 11.1 km^2 ，人口400万。由于走廊干旱，面积是费尔干纳盆地的2.5倍，人口却是它的 $1/2.5$ 。盆地由南北两山脉相夹，盆地向西开口。从地貌上看由三条水系构成为三个阶梯盆地：

1) 由疏勒河水系形成的敦煌-张掖第一阶梯盆地，南有大雪山（海拔5483 m）、阿尔金山（5798 m），北有马鬃山（2584 m）、红柳河南山（2013 m），并以镜铁山（5205 m）为后背，流域总面积（甘肃境内）约 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。所谓安西风

口就是因为安西地区恰恰位于此盆地的大门口，如同长江三峡的夔门一样。

2) 黑河流域形成第二阶梯盆地，南有祁连山（5547 m），北有藜合山（2080 m）-龙首山（2000~2500 m），并以胭脂山（3976 m）为后背，流域面积 $7.68 \times 10^4 \text{ km}^2$ （正义峡以上）；

3) 石羊河流域为第三阶梯盆地，南有冷龙山（4843 m），北有长岭山（2954 m），以乌鞘岭（毛毛山海拔4070 m）为后背，流域总面积 $4.16 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

海水西调工程的提出是受了我国伊犁盆地的启示，西天山年降水量800 mm，巩乃斯山年降水量高达1000 mm，盆地内年降水量也达到300 mm，在中亚沙漠腹地是个奇迹，追其原由乃因西天山八字形朝西开口，西风带送来大量水气，进入西天山高山冷凝系统，从而获得丰富的降水量。河西走廊三个阶梯盆地同样面向西开口，只要西边罗布泊恢复汉唐时代的水面积，河西走廊三阶梯盆地的山区也会带来丰富的降水量。

海水西调50年后在阿拉善和河西走廊的西北围形成拐子湖-居延海-三塘湖-哈密湖-罗布泊总面积约 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 水面，特别是恢复罗布泊 $2.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 水面原貌每年可将 $500 \times 10^8 \sim 1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 海水蒸发为水气，在夏秋季节，缓慢西北风徐徐推动下进入祁连山-贺兰山冷凝系统，特别是河西走廊三个阶梯盆地将大大增加山区降水量。伊犁河汇水面积约 $6 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，径流量 $170 \times 10^8 \text{ m}^3$ ；若以伊犁河流域汇水面积和径流量之比 $28.8 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{m}^2$ 为参考系数，预测河西走廊三条水系调水100年后可能达到的径流量，如表1。

表1 河西走廊三水系径流量预测表

Table 1 Prediction of runoff of three rivers in Hexi Corridor Area

| 站名 | 伊犁河 | 疏勒河 | | 黑河 | | 石羊河 | |
|---------------------------|--------|-------|-------|-------|------|------|------|
| | （参考水系） | 党城湾 | 昌马峡 | 水沟 | 莺落峡 | 沙沟寺 | 四沟嘴 |
| 汇水面积/ 10^4 km^2 | 6 | 1.4 | 1.3 | 0.7 | 1.0 | 0.15 | 0.15 |
| 原有径流量/ 10^8 m^3 | 170 | 3.16 | 9.94 | 6.41 | 15.5 | 3.11 | 3.79 |
| 预测径流量/ 10^8 m^3 | 170 | 39.62 | 36.79 | 19.81 | 28.3 | 4.25 | 4.25 |
| 增加倍数 | 1 | 12.5 | 3.7 | 3.1 | 1.8 | 1.4 | 1.1 |

* 此行数字根据甘肃省国土资源图集

由表1可见河西走廊三条水系在调水后预测总径流量达到 $133 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，比原来 $42 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$

年增加了3倍以上。其中，1) 大雪山（当前年降水量仅300 mm）受益最大，党河（党城湾站）后

按伊犁河地区产水系数计算，预测将来径流量，增加了大约12.5倍，可以大大地改善疏勒河流域特别是安西地区的极端干旱状况。2) 黑河流域径流量增加2~3倍后，莺落峡站平均径流量比以往增加近2倍，是规定放水量的4倍。可以为下游额济纳旗三角洲注入 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 水资源。3) 海水西调以后，河西走廊盆地内部将和伊犁盆地相似，盆地年降水量将从50~200 mm普遍增加到300 mm。到了那个年代，河西走廊水资源将可以自给自足，使河西走廊变成陕西关中平原那样富饶。

3.2 拯救阿拉善

今年3月20日一场跨国沙尘暴提出一种认识：“风起西伯利亚，沙起额济纳旗。”全国注意力更加集中阿拉善，联合国环境署官员和专家称阿拉善为人类生存禁区之一，国人呼吁，若干年后阿拉善将变成罗布泊。我国治理沙尘暴，阿拉善是重要目标之一。今年3月3—4日阿盟就陆续出现沙尘暴天气，比往年提前20 d；19日，一场跨国沙尘暴风起西伯利亚，早晨8时额旗天空晴朗，近午起风，13时38分达到高潮，一直到19时36分，风势渐弱，但锋头已东去华北地区，并飞向日韩两国。这次沙尘暴遍及阿拉善盟80%地区，最高风力9级，最大风速23 m/s。21日午后又是狂风大作，腾格里沙尘直扑贺兰山，16时沙尘暴最强，能见度从300 m降至10 m，瞬间1~5 m。

阿拉善盟位于内蒙古西部，狼山、贺兰山以西，全盟面积 $27 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，人口20万，85%的地区是戈壁和沙漠。全盟管辖三个旗，这三个旗就是全盟仅有三片小绿洲。三个旗分别拥有巴丹吉林和腾格里沙漠以及额济纳旗戈壁。

额济纳旗位于内蒙古最西部，面积 $11.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，几乎涵盖了整个额济纳三角洲，人口1.6万，首府达来呼布位于黑河下游弱水的东支一片绿洲之上，黑河补给滋养了大片胡杨林和梭梭林。黑河断流，居延海干枯，东西居延海内表面物质70%是粒径小于0.063 mm的粉尘，五级风就能产生沙尘暴。《中国工程科学》2001年第10期的封面卫星图像是9月份收录的，这时候应是沙尘暴的淡季，但是图像上长10~50 km的小沙尘暴几乎比比皆是。因为整个三角洲普遍分布着片状和点状的白色干盐湖，难怪“风起西伯利亚，沙起额济纳旗”。今年3月20日的跨国沙尘暴，尘源主要来自额济纳旗。黑河20世纪40年代从莺落峡注入

下游流量有 $12 \times 10^8 \sim 14 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，而1993年只有 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，导致1995年三次特大沙尘暴，1996年，国家组织相关部委和专家分别于6月和8月进行调查，其结论是三次沙尘暴危害面积 $24 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占阿拉善盟总面积88%，有87.2%的草场急剧沙化，1000多眼人畜饮水井及17处塘坝受损。

从20世纪90年代初至今几乎年年不断有媒体呼吁、并有中央有关部门和众多院士多次调查，提交调查考察报告，强烈要求拯救阿拉善；十几年来集中一点，就是要求黑河放水；终于在2001年，在黄委的协调下，规定从莺落峡放水 $7 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。为了拯救阿拉善每年仅仅放水 $7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 是远远不够的。唯一有效的办法就是海水西调。海水西调工程祁连山降水增幅最大，收益最大的要算河西走廊和阿拉善两块地方。这两块地方西北有拐子湖—居延海—三塘湖—哈密湖—罗布泊一线总面积约 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 水面，每年可将 $500 \times 10^8 \sim 1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 海水蒸发为水气；推向东南贺兰山—祁连山冷凝系统。一方面，额济纳旗三角洲北缘海水西调注满10 000 km²扩大了的居延海等；另一方面，从莺落峡往三角洲每年注入 $28.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，为40年代注水量的2倍，是当前规定放水量的4倍。夏季洪水流量将大大超过18世纪的历史最高流量（据记载，1819年经莺落峡最大流量达到 $2300 \text{ m}^3/\text{s}$ ，比嘉陵江平均径流量 $2120 \text{ m}^3/\text{s}$ 还要大），古鲁乃斯湖也将恢复为淡水湖；三角洲本地年降水量将从平均80 mm增加到150 mm，三角洲平均每平方公里水资源量将达到 $10 \times 10^4 \sim 15 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，到那时额济纳旗可以整体变为胡杨林和梭梭林保护区，额济纳旗全部绿化将成为可能。

额济纳旗绿化的特殊意义。沙尘暴形成的一个重要原因乃是因为风起西伯利亚，如若狂风恰好中午前后到达额济纳旗，沙漠戈壁地面升温特快，地面形成一股上升气流，浮托和加速西北风。额济纳旗全面绿化以后，不仅镇压住整个额济纳旗 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的盐土沙尘源，也不仅因为胡杨林阻挡近地表的西北风暴；更重要的是由于林地反射率(14%~15%)比沙漠戈壁的反射率(20%~40%)低，加上乔灌林大量吸收太阳能转化为生物能，使林地地温比沙漠戈壁地温低得多；对西北风暴起阻滞和吸纳作用，从而既降低地面风速也降低高空风速。资料和民谣都证明了，在沙漠戈壁地区西泊利

亚风暴一旦中午前后到达, 沙尘暴必然强化。1993年5月5日在河西走廊及内蒙古西部“55黑风暴”的发生过程很有规律, 那天早8时额旗风和日丽, 风速只有1~2 m/s, 10时20分突然西北狂风大作, 11时04分形成沙尘暴, 风速20 m/s, 11时巴丹吉林沙漠风速12 m/s的大风, 到达阿拉善左旗时能见度降到0 m, 那天沙漠所专家在金川市郊专门录像, 当时沙尘暴来临前瞬间沙尘暴前锋象乌黑一面墙, 高达300 m, 下为黑色, 中上为红黄色; 16时到达金川市, 最大风速34 m/s, 是黑风暴的中心。全区19时风速渐渐降低。为此气象系统专门召开了“55黑风暴”研讨会, 认为大多数沙尘暴和黑风暴都具有这种规律, 早8时的短期预报最为重要。武威民间谚语:“大风不过午, 过午大捣鼓”, “早风午不住, 定能刮倒树”等等。由此可见, 阿拉善特别是额济纳旗广泛分部的干盐湖是跨国沙尘暴的主要尘源。借助于西伯利亚狂风, 发生于当地时间11~19时具有普遍规律性。因而, 额济纳旗绿化以后对于抑制以细粒盐土粉尘为主的跨国沙尘暴, 具有特别重要意义。

4 四个问题及其对策

海水西调工程效益很大, 但是也存在不少问题需要解决并提出相对应对策。前文^[1]发表以后应邀作了多场报告, 所提出的问题集中于沿线盐碱化问题; 能源和资金投入问题; 水气损失问题; 冬季运行问题, 等等。关于这四个问题在前文以有相当的篇幅作了论述, 本文将从西北可持续发展的基本国策的高度作进一步讨论。

4.1 盐碱化问题

由于本项海水西调工程线路主要经过北纬42度完全荒漠化的东西向洼地, 可以认为基本上不存在盐碱化问题, 也因该文篇幅太长, 因此关于盐碱化问题只在文中相应的部分作了简短说明, 现集中予以讨论。

1) 提水段海水渗漏问题。从渤海西北角提水经辽宁到内蒙古之间有约150 km的山区提水段, 由于是海水, 就存在海水渗漏的问题。本项工程提水方案并不是借用经某条入海河流, 也由于本项工程调水量 $1000 \times 10^8 \sim 2000 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 其流量相当于2~3条黄河的径流量, 燕山东段的哪条入海河流都担负不了, 而且要大量移民; 本方案是采用某些河流的支流, 支流人口稀少, 在这些支流上修

建若干阶梯小型水库, 以某条支流当作本项引水工程渠道的横截面, 支流长度就是提水渠道的宽度。这样一来可以任意扩大提水流量; 这种支流阶梯小水库的模式, 可以推广从低海拔到高海拔的若干支流上修建成从低到高(最高海拔1100 m)的水库群, 从而总体构成阶梯状中小水库矩阵。修建这种中小型水库我国目前技术完全成熟, 以小水库为主构成的中小型水库群比较安全, 若某支流的某个小水库一旦有渗漏, 该支流的下级水库将会收容, 若某支流最下一级水库发生渗漏, 就以现在的技术完全可以检测出导电的海水渗漏点, 并予以堵漏。

2) 高原引水渠道盐碱化问题。本工程提水进入内蒙古高原以后基本自流, 沿途几乎完全流经干枯盐碱洼地, 基本上不存在盐碱化问题, 特别是从二连至居延海东西沿北纬42度线长约1500 km皆为盐湖洼槽地貌; 相反, 由于海水填充干盐湖洼地具有顶托两岸地面和地下淡水的功能, 从而增加了两岸单位面积的淡水资源量, 只要两岸不过量开发地下水, 就不会引发海水入侵。可以完全节省出调水前仅作生态水用的淡水, 节水量约等于地面和地下径流量的1/3。

3) 沿渠海水浓缩问题。渤海海水含盐量约23~31 g/L, 相对较低。沿渠虽然不断蒸发但不断流动, 新提海水又不断补充, 有可能保持一般海水的含盐度, 并可供6大养殖场的养殖用水; 即使到达本工程三大尾闾(艾比湖、哈密湖、罗布泊)在100年内它们的水面还在不断扩大和处于冲淡稀释过程。有一个很重要的物理问题应当特别说明的是, 海水中盐的结晶和泥沙的沉淀的物理机制完全不同, 泥沙沉淀是当流速降低时随时可以发生沉淀, 而盐类结晶是必需这种盐类的浓度达到它的饱和度时按不同盐类的不同浓度才结晶, 例如钾盐的结晶几乎要等到盐湖干枯到最后才形成; 而本工程三大尾闾在100年内还在不断扩大, 也就是说100年内三大尾闾内几乎不会发生盐类结晶。

4) 盐类积累问题。由于渤海海水含盐度约23~31 g/L, 那么, 调水 $1000 \times 10^8 \sim 2000 \times 10^8 \text{ t/a}$, 也就是每年向三大尾闾输送 $23 \times 10^8 \sim 60 \times 10^8 \text{ t}$ 盐类, 1000年后累计 $2 \times 10^{12} \sim 6 \times 10^{12} \text{ t}$, 其结晶固体体积为 $1 \times 10^{12} \sim 3 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 等于100 m厚的盐层占地 $10000 \sim 30000 \text{ km}^2$ 。千年以后对三大尾闾而言, 这点沉淀不足为惧, 万年也不算什么; 实际上, 青海省的盐湖都是几十万年, 甚至百

万年的沉淀。

4.2 关于能源和资金问题

前文^[1]已述，本工程有十大效益，其中6条生态效益中有4条是不可替代的： $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 干盐湖被海水永远镇压，根治跨国沙尘源；增加降水量；治理沙漠；发展绿洲吸收 CO₂；改善西北及内蒙古气候；促进渤海海水大循环。渤海海水大循环，每年从渤海抽出高2.6m一层渤海海水，又从黄海进入 $1000 \times 10^8 \sim 2000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 清洁海水，这种海水循环巨大功能是任何其他措施所不能代替的。4条经济效益也是巨大的：发展沿线6大养殖场；创建辽西提水段工业走廊；扩大 $100 \times 10^4 \text{ km}^2$ 绿洲的工农业产值；超级海水淡化场，以西部增加降水 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，而该水实际是 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 海水淡化水，按国际价1美元/t计算，仅此一项产值即达1000亿美元，几乎为我国GDP的1/10，效益不可谓不大！

关于每年耗能投资问题，应该看到，我国在三北防护林带建设，退田还林还草，每年投入几百亿，渤海污染治理投入500亿，等等，都是国家拿钱买生态；今后20年还要不断的投入。20年后我国经济实力更强，环境要求更高，每年投入几百亿应当是可行的，况且，东边投入，西边绿化后会增加产出和税收，经济上也是合理的。我们更要从‘海水西调是西北和华北北部可持续发展的最大措施’的高度来看更是值得。

关于电能供应问题，我国目前电能已经是供大于求^[4]，到2000年底，我国拥有装机容量 $2.5 \times 10^8 \text{ kW}$ ，实际只有 $1.15 \times 10^8 \text{ kW}$ 的装机在发电，即有半数以上电厂处于停产状态；几年后三峡 $1800 \times 10^4 \text{ kW}$ 装机发电，20年后我国水电开发达到 $2.1 \times 10^8 \text{ kW}$ ，而工业产值增长要求产值增长能耗零增长；况且海水西调工程某些地段还可以回收电能。再说西北提供了大量天然气和黄河电力，拿西电买东水，也完全经济合理。

4.3 关于水气东逸问题

关于水气东逸问题在前文^[1]中已有长篇讨论，主要论点：

1) 从西北盆地相对封闭性，新疆旱涝变幅1.45，基本上旱涝保收，而淮河为47，海河37都有大旱大涝的大变幅，证明西北水气相对封闭，总量比较稳定；

2) 湖泊自然退缩率乃是反映西北自然干旱化

过程，实质是反映了水气东逸的速率；

3) 由于海洋与大陆气流的相互推阻，可以认为包头至兰州300mm年降水线是海陆水气交互线，也就是水气东逸的大致东界；

4) 即使水气逃出贺兰山，在黄土高原或华北地区降水也是额外收获，只要没有入海就算‘滴水不漏’。

可以认为，西北水气损失率与湿地自然退缩率相当，也就是西北自然干旱化进程。本文从西北和华北北部湿地自然退缩率就是该地区水气东逸的自然损失率进行分析。海水西调后这个比值也可以认为就是调水后的水气东逸损失率。例如艾比湖的自然退缩率为 $0.025 \text{ km}^2/\text{a}$ ，它就可以被认为是艾比湖的水气自然损失率。公元前1世纪到公元4世纪罗布泊可以认为是基本上处于原始状态，1949年前的罗布泊的自然退缩率也可以被认为代表南疆“雨阴区”的水气的自然退缩率。甘肃民勤古代猪野泽的自然时期退缩率可以被认为猪野泽的水气自然退缩率。阿拉善左旗吉兰泰盐田外围有三道湖堤，其中第二道湖堤内有7条子堤，它们客观地反映了第四纪以来腾格里沙漠中吉兰泰盐湖的自然退缩率，还反映了7条子堤退缩过程中几十万年的干湿气候的7个旋回，平均每旋回2.14 ka，每个子堤距563m，其自然退缩率为300 m/ka。这许多湖泊和盐沼的自然退缩率都客观地反映这些地区的水气损失的缓慢和持久性，因此湿地自然退缩率就是海水西调后的水气损失率。

西北地区另一个特点是：夏秋季蒸发量大，西北风弱，而海洋水气西推能量强劲，因而300mm年降水线可以被认为是水气东逸的大致东界。冬春季西风强劲，但此时蒸发量小，应当说水气损失主要是冬春季少量而已。

海水西调的目的在于恢复西北和华北北部湖泊湿地，百年后形成总面积约 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，可以认为这样的湿地水平大体上达到汉、唐时代的湿地水平。海水西调实质上乃是人工补偿西风带所造成的自然水气损失，如果百年后达到新增人工湿地面积 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，那么西北和华北北部干旱化的趋势就得到缓解，甚至发生了某种程度逆转。总之，海水西调重要结果之一就是人工影响西北和华北北部的水气良性循环。因此认为调水所蒸发的水气会完全逃逸的顾虑是不必要的。

反之，为缓解西北和华北北部的干旱化进程，

更应尽快开始海水西调工程，以人工影响和局部逆转西北和华北北部干旱化进程，这不仅是可能的，而且是必要的。否则，西北和华北地区北部自然和人为双重叠加的水气东逸损失，百年后该地区将加快整体罗布泊化，所以说海水西调工程如果在 21 世纪不动工，那么就为时太晚，对子孙后代欠债就太大了。我们要从西北和华北北部地区久远可持续发展的高度来看海水西调工程。

4.4 冬季运行问题

前文^[1]已经说明，提水与注水都在冰下进行，故在北纬 40~42 度冰下海水流动是不成问题的；黑龙江流经北纬 50 度，且是淡水，冬季虽冰冻三尺却仍然‘水儿照样流，鱼儿照样游’。

凌汛问题。有人提出，海水结冰期与开河期凌汛灾害如何对应？其实在调水渠道上凌汛灾害是基本不会发生的。黄河河套段发生凌汛是因为该段黄河南北跨度在北纬 35~41 度之间南北整整跨过 6 个纬度，因而结冰期南北不同时，开河期南北也不同时，这样以来凌汛便发生了。而海水西调提水入内蒙古后河道基本上沿北纬 40~42 度流动，因而结冰期基本相同，开河期也大体一致，所以说海水西调基本上不会发生凌汛。再说，黄河凌汛发生在人口密集的城镇，如乌海市、磴口市发生凌汛损失严重；而海水西调东西渠道基本上是干枯的盐湖洼地，即使发生凌汛也无关大局；另一方面，海水西调是人工调水，即使在某一段发生凌汛，可在该段加大或减少流量，予以控制和预防凌汛发生或使灾情降低到最低点。

冬季取冰融淡水。在一次报告会上，一位水利学家提醒我说海水西调工程不止十大效益，冬季运行期间可取浮冰淡水。两岸补给的淡水比重较轻一般浮在海水上面，冬季表面淡水首先结冰，咸淡水分离。沿河东西 4 000 km 居民都可在初冬结冰之始凿冰化水，对锡盟、乌盟、阿盟等特别干旱的盟旗缓解淡水紧缺大有帮助。

5 结论

前文^[1]着重叙述和讨论了近 50 年西北和华北北部湿地退缩和消失是我国土地沙漠化和沙尘暴发生的深层次因素；本文则着重于从地质历史和人类历史以来以自然营力为主的西北干旱化过程的长期性，虽然缓慢但却具有深远影响性；而这种干旱化过程基本上是不可逆转的，尽管地质历史和人类历

史长河中有若干湿气候交替，但是总体上的干旱化进程趋势是不会改变的。海水西调之所以需要大流量和持久性，调水 $1000 \times 10^8 \sim 2000 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，历经 100 年，在西北形成大约 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 人工湿地，特别是罗布泊恢复到 $2.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 水面，到那时，古丝绸之路和楼兰古城将复活。就可以认为到那时西北人工湿地已经大体上恢复到汉、唐时代的自然湿地水平。也就是我们可以用 100 年的调水工程，补偿了 2000 年的水气东逸损失，即补偿了 2000 年的自然干旱化进程；从而可使西北和华北北部总体干旱化过程得以缓解和局部逆转。

本文着重提出应当十分重视我国西北和华北北部高山冷凝系统的存在、作用和功能，撒哈拉沙漠和阿拉伯半岛是没有这种地利的。海水西调就是充分利用了这种地利条件。因此能否充分认识和利用这种冷凝系统，能否充分利用这种冷凝系统的巨大功能，是能否创建西北秀美山川的重要基础。

海水西调 100 年后扩大了西北和华北北部绿洲，其中河西走廊和东天山北坡受益最大，特别重要的是拯救了阿拉善，绿化了额济纳。居延海人工海水面积 5000 km^2 ，镇压了干盐湖地表盐土 70% 的粒径小于 0.063 mm 的粉尘，这种粉尘只要 5 级风即可形成沙尘暴，而且这种来自额济纳旗的细颗粒粉尘就是今年 3 月 20 日跨国沙尘暴的主要来源。拯救了额济纳旗，也就是镇压了额济纳旗的沙尘暴源；要拯救整个额济纳旗仅仅放 $7 \times 10^8 \text{ t}$ 黑河水是远远不够的。要拯救阿拉善，海水西调是根本措施，这就是结论。

本文以西北和华北北部可持续发展的高度进一步讨论了海水西调存在的四大问题，即沿渠道盐碱化问题，能源与资金来源问题，水气东逸问题和冬季运行问题。

在本文最后不妨再作一个预测。如果 100 年后我国西北的确看到了海水西调的巨大成果，那时我国国力更强，科技更发达，生态环境要求更高。不妨设想海水西调一条长江的水量，第二个 100 年（即 22 世纪末）后，在罗布泊出现一个 $15 \times 10^4 \text{ km}^2$ 巨大的罗布大海，它的面积超过半个里海（里海面积约 $28 \times 10^4 \text{ km}^2$ ）。这半个里海面积大的大罗布海，每年可将 $1500 \times 10^8 \sim 3000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 海水蒸发为水气，那时丰富的水气一方面在西北风的推动下进入青藏高原，缓解长江黄河源头的干旱化进

程。用长江黄河的电能提水，反过来增加长江黄河流量，从而增加长江黄河的发电量，在广义上说是形成了南北呼应的蓄能电站大系统，太阳能在这套巨大蓄能电站系统中是主要巨大助推力。另一方面，由于塔里木盆地在四周海拔5 000 m的高山包围之中，具有良好的封闭性，水气在东北风的推动下环流四周高山，使盆地四周高山处于“雨阳面”；将大幅度地增加四周高山降雨和积雪，那时巨大干旱的塔里木盆地将变成巨大的类似四川盆地。西北和华北北部的高山冷凝系统的认识的突破，并决心进行海水西调对我国西北和华北北部建设秀美山川有无可估量的意义。为此应将海水西调纳入我国可持续发展的国策之中。200年后，当我们的第十代子孙后代自由翱翔在太空的时候，我国的西北也变

成幸福的好江南。

感谢：本文撰写过程中和进行学术报告时都得到李成尊高级工程师和吴琳博士的协助，在此表示感谢。

参考文献

- [1] 陈昌礼. 海水西调与我国沙漠和沙尘暴的根治 [J]. 中国工程科学, 2001, 3 (10): 13~21
- [2] 王飞跃. 吉兰泰盐湖演变卫星雷达遥感研究 [J]. 国土资源遥感, 2001, (4): 35~39
- [3] 陈昌礼. 大力开发和强化天山、祁连山的水塔功能 [J]. 科技导报, 2000, (8): 33~36
- [4] 方闻. 火电厂何时下课? [J]. 中国科技画报, 2001, (2): 50~53

Introducing Sea Water from Bohai Sea to West China for Its Sustainable Development

Chen Changli

(China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

[Abstract] Sustained and deepened aridization process in northwest China in Tertiary and Quaternary period and time of mankind history is discussed in the paper. The rain-creased function of 3 set high mountain condensation systems in northwest China is recognized once more. A sandstorm happened in March 20 this year in Alxa and Ejin (Qi) areas was very strong and arrived in Jappen and Korea. For saving Alxa area from sandstorm a way of introducing sea water from Bohai to Alxa had been proposed. Four problems are replied in this paper. In conclusion, introducing sea water from Bohai Sea to west China is the best way for sustainable development of west China.

[Key words] introducing sea water from Bohai sea to west China; sustainable development; source of sandstorm; aridization.

更 正

本刊2002年第11期第52页图2的中文图名2前加“图”字；图2b“顺压梯度”系“逆压梯度”之误；图3分图名“逆压梯度”与“顺压梯度”对调。

本刊编辑部