

海水西调与我国沙漠和沙尘暴的根治

陈昌礼

(中国地质大学, 北京 100083)

[摘要] 提出内陆盆地增加降水量的三项必要和充分条件, 即西风带、高山山脉冷凝作用和广大湿地提供水气源。提出海水西调工程, 从渤海西北海岸提水到大兴安岭南端, 经内蒙古北部到达新疆, 目的是恢复和扩大西北湿地, 治理沙漠和沙尘暴。工程将产生十大经济和生态效益, 其中 4 条效益是不可替代的。

[关键词] 海水西调; 沙尘暴; 湿地; 水气交换系统

近 10 年来我国北方沙尘暴频发, 2000 年的北京就发生扬尘、沙尘暴天气 12 次, 沙漠距北京仅 70 km, 引起国家高度重视, 群众广泛关注。

华北北部和西北严重缺水, 特别是单位国土面积水资源极度贫乏。50 年来几度垦荒造田, 大水漫灌, 修建平原水库, 严重开采地下水, 使地下水位大幅度下降, 导致河流尾间(湿地)退缩和消失。干湖底的盐土是沙尘暴的重要来源, 不仅在我国科学界有共识, 世界科学界更为担忧。中亚的咸海为世界第四大湖, 由于中亚四国大量引水灌溉棉田, 导致入咸海河流断流, 20 世纪 90 年代咸海面积仅为 60 年代 ($64\ 000\text{ km}^2$) 的 $2/3$, 据预测 40 年后咸海将干涸, 成为中亚重要沙尘暴尘源供应区。因此, 积极采取保护、恢复和扩大华北北部和西北湿地是治理沙漠和沙尘暴的根本措施。

本文提出海水西调工程设想, 意图在百年后使我国北方三大沙漠和沙尘暴获得基本治理, 创造一个山川秀美的大西北。

1 湿地退缩、消失是西北沙尘暴的深层次原因

随着全球气候变暖, 加上强化水土资源开发, 世界上许多湿地在退缩和消失。美国消失湿地

30%, 佛罗里达州湿地危在旦夕。卫星图像显示非洲乍得湖水面积仅为 35 年前的 $1/20$ 。我国 50 年来西北湿地退缩和消失更为严重, 著名的罗布泊于 1972 年干涸举世震惊 (1972—1973 年美国发射的国陆地资源卫星拍摄到罗布泊大耳朵)。玛纳斯湖亦于 70 年代干涸。新疆国土资源局报告全疆湖泊面积 50 年代为 $9\ 700\text{ km}^2$, 60 年代为 $8\ 800\text{ km}^2$, 80 年代为 $5\ 505\text{ km}^2$, 90 年代为 $4\ 952\text{ km}^2$ 。最近新疆专门调查并郑重公布新疆湿地面积比 50 年代减少一半。

西北湿地退缩与消失现象如今已得到广泛关注并已广为人知, 这里重点介绍四件具有典型意义并且鲜为人知的事件。

1.1 罗布泊的退缩与消失

70 年代出版地球资源卫星图片集时, 对罗布泊大耳朵影像甚为震惊, 图像反映罗布泊干旱化和退缩消失过程的干湿“周期轮”。今年科研部门又大规模进行罗布泊野外实地调查, 夏训诚计算出大耳朵外圈等高线海拔 780 m, 面积约为 $5\ 350\text{ km}^2$, 湖心(耳孔)面积 450 km^2 。

据樊春立 1985 年研究罗布泊退缩、消失过程: 罗布泊早更新世湖水面积大于 $20\ 000\text{ km}^2$; 1942 年为 $3\ 006\text{ km}^2$; 1962 年为 600 km^2 ; 1972 年干

涸。

据新疆国土资源报告,有历史记载罗布泊面积曾有 $3\,000\text{ km}^2$,50年代为 $2\,006\text{ km}^2$,1972年干涸。罗布泊地区干湿气候周期变化过程恰与大耳朵轮线相吻合。

随着罗布泊的退缩和干涸,祁连山西端水系和湿地也同步退缩与消失。敦煌东的三危山,据山海经记载远古有茂密森林。甘肃肃州新志称为当年有敦煌八景之一的“三危霁雪”至今已完全消失。据姚鲁峰考证,三危山附近有十几个湖沼(见封3:敦煌地区全新世古河道湖泊分布图),其中长宽超过 5 km 者有:十里泽(东西长 25 km ,南北宽 2.5 km ,现今位置黄渠庙南)、大井泽(东西长 15 km ,南北宽 10 km ,现吕家堡)、一所兴湖(东西长 9.5 km ,南北宽 4.5 km ,现玉门关西疏勒河谷)、曲泽(东西长 6.5 km ,南北宽 7.5 km ,现马迷兔西疏勒河谷)和大泽(东西长 5 km ,南北宽 7.5 km ,现黄水坝水库)等湖沼,现今已全部消失^[1]。它们的消失与疏勒河、党河流域逐渐干旱化有关。

1.2 甘肃石羊河下游猪野泽干涸沙化过程

陈梦雄院士呼吁不要使民勤成为第二个罗布泊!其实,现在的民勤已经成为了第二个罗布泊。石羊河有6条支流年径流量 $11.4\times 10^8\text{ m}^3$,据冯绳武研究^[2],石羊河下游民勤地区史前曾有一个与罗布泊大小相当的湖泊,统称猪野泽(见封3:石羊河终端湖存在和消亡变迁)。公元前5世纪至公元前2世纪由石羊河和金川补给,猪野泽东以半个山为界,西临独青山和长沙岭,东西长约 120 km ,此阶段为自然干旱化过程。

公元前2世纪至公元20世纪50年代,由于汉唐明清时代开发,加速了干旱过程,称为自然人工干旱化过程,此时期又可分为3阶段。

第一阶段:猪野泽时期,公元前111年~公元600年,退缩使统一的猪野泽分割为东西两个海子,东海子仍叫猪野泽,西海子称休屠泽,秦汉时期匈奴族建都于屠城,而当时中央政府在休屠泽南建武威县,废于魏晋时期。

第二阶段:白亭海时期,或称鱼海子时期,公元600~1800年由于来水减少,河流变成散漫季节性河流,东西海子再次分割为众多季节性湖泊,如称迷回海、白亭海、昌宁海等。

第三阶段:青土湖时期,1840~1950年,上

述湖泊因为水源缺乏而干涸消失。剩下许多以某某井命名的遗址。

1950年以后随着人口增加,石羊河中游红崖山修建平原水库,下游断水。下游民勤农民只好打井浇地,至70~80年代地下水位下降至 200 m 以下,土地严重沙化,农民弃耕南迁,至90年代民勤 $60\,000\text{ hm}^2$ 耕地已沙化 $40\,000\text{ hm}^2$ 。

1.3 黑河流域

黑河是一条贯穿甘肃、内蒙二省区的内陆大河,年径流量 $36.7\times 10^8\text{ m}^3$,甘肃金塔以下称弱水。入内蒙阿拉善盟分二支,东支流名纳为河,西支流名木林河,水流至内蒙边境居延海,分东西二海,东海名苏古诺尔,西海名嘎顺诺尔。汉以后大批内地民众到河西屯垦,在居延海南岸设居延县,魏晋隋唐1000年间开发水利。黑城为西夏遗址。值得介绍的是在金塔以下至居延海之间发育了一个南北长近 200 km ,东西最宽达 150 km 的巨大额济纳旗内陆三角洲,面积达 $30\,000\text{ km}^2$ (见封面),资料记载1819年莺落峡最大流量达 $2\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 。历史上黑河洪水泛滥,冲积出一片巨大内陆三角洲。三角洲东翼与丹吉林沙漠接壤。在卫星图像上反映三角洲与沙漠之间的斗争图像十分清晰。洪水向北补给居延海,向东补给古鲁乃湖,三角洲以古鲁乃湖与巴丹吉林沙漠为界。三角洲地下由砂砾石组成,由于黑河不断补给,其地下水蕴藏丰富,净储量估计在 $1\,000\times 10^8\text{ m}^3$ 以上。三角洲面积和地下水资源量与以色列相当,但因三角洲年年沙尘暴,开发困难。若控制住沙尘暴三角洲将是个好地方。

近20年来黑河流域上下游争水日益剧烈,40年代注入下游有 $12\times 10^8\sim 13\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$,三角洲的胡杨林、梭梭林十分发育,当时胡杨林 $50\,000\text{ hm}^2$,梭梭林 $13.33\times 10^4\text{ hm}^2$,到了1993年注入下游的水仅 $1\times 10^8\text{ m}^3$,使得下游三角洲大批胡杨林和梭梭林枯死,才导致1995年三场沙尘暴。据国家计委潘文灿率团调查,1995年阿拉善三次沙尘暴危害面积 $24\times 10^4\text{ km}^2$,占阿盟总面积88%,其中使得 $33\,700\text{ hm}^2$ 草场中的87.2%急剧沙化,有1000多眼人畜饮水井及17处塘坝受损。由于黑河流域总体上水资源缺乏,单位土地面积水资源量极低,黑河流量全部给中游,走廊也不能全部变为绿洲;全部流量给下游,沙漠也不可能根治。因此必须采取新措施扩大水源才能解决黑河上下游争

水矛盾，从根本上治理巴丹吉林沙漠。

• 1.4 艾比湖的退缩及其三期退缩率的三定则

据新疆国土资源部门对历史调查和多年航空像片的对比，在晚更新世晚期（距今约 2.5 万年），艾比湖水面积曾达 3 000 km²，水深 33 m，湖西岸达到阿拉山口。

20 世纪 50 年代湖水面积退缩到 1 070 km²，水深 2~3 m，此时期也可称为自然水时期。其后历代航片对比结果为 1959 年面积 823 km²，1972 年为 589 km²，1977 年为 518 km²，1987 年为 499 km²，根据以上资料三个不同时期湖水面积退缩率分别为：

200 年前（前史记载）~1950 年：湖水面积退缩率为 0.025 km²/a。

1950 年~1977 年：湖水面积退缩率为 20.4 km²/a，为农业大垦荒时期，其中七一水库修建后湖水面积剧减。

1977~1987 年：湖水面积退缩率为 2.3 km²/a，为农业稳定时期。

由以上三期退缩率可以得出以下认识：

(1) 1950 年前湖水退缩基本是自然干旱化过程。

(2) 1950 年~1977 年间农业大垦荒，灌溉大量用水，湖水面积剧减，其退缩率为自然退缩率的 1 000 倍。其中，平原水库修建实质上是掠夺下游水资源，造成湖面面积剧减。

(3) 1977~1987 年间农业稳定时期退缩率为自然退缩率的 100 倍。

以上特征可以作为西北干旱化自然过程，大垦荒人为干扰修建平原水库期和农业稳定期干旱化过程的三条定则。这三条定则可以作为分析和处理干旱化过程的参照。

2 伊犁盆地水汽交换模式及其启示

我国西北属干旱半干旱地区，某些地方属特干旱地区。当我们考察河西走廊和北天山坡绿洲带时，无不感慨天山、祁连山给这条绿洲所带来的惠泽。试想假如我国西北广大地区没有天山、祁连山的存在并提供丰富水资源，那么甘肃、青海、新疆境内 4 片沙漠将连成一大片，并与中亚及蒙古国沙漠相接，其总面积不少于非洲撒哈拉大沙漠的面积。正因为天山、祁连山的存在，滋润了河西走廊使之成为甘肃粮仓，北天山哺育了新疆 70% 的人

口、工业和经济。反观撒哈拉大沙漠和阿拉伯半岛广袤土地竟无甚高山，更无高山山脉；为此，笔者曾提出大力开发和强化天山、祁连山的“水塔功能”^[3]。

河西走廊年降水量很低且分布不均，自东向西减少：武威 162 mm，张掖 125 mm，酒泉 86 mm，敦煌 40 mm。

祁连山降水量比平原高，但也存在东西递减趋势：冷龙山 700 mm，祁连山 400 mm，大雪山 300 mm，说明大陆性气候使走廊气候愈向西愈干旱，吐哈盆地则属特干旱地区。

然而天山情况大不相同，恰与祁连山相反，自西向东年降水量递减，西天山年降水量 800 mm，北天山中段 600 mm，东段 400 mm，特别是西天山的巩乃斯山区年降水量达到 1 000 mm，山区保持茂密原始森林，山中自然美景犹如九寨沟。在大沙漠腹部居然有年降水量 1 000 mm 的奇迹，不能不引人深思。文献[3]仅从高山有冷凝作用出发，指出天山海拔升高 100 m，年降水量增加 10~20 mm。这种海拔与降水量关系实际是低温与降水量关系，提出西天山 7 月平均气温等值线图每降低 1℃，年降水量增加 80~120 mm。指出为增强山区降水，人所能及者只有在山区保护森林，植树造林，消灭宜林荒山，以降低荒山的地面温度从而增加降水量。

然而回过头来，我们再次观察西祁连大雪山海拔 5 483 m，山不谓不高，气温不谓不低，但降水量不过 300 mm。所以本文重点从水气源角度讨论增加降水，最终根治沙漠和沙尘暴。西天山与西祁连山海拔相似，而年降水量相差三倍，其主要原因在于二山水气供应量差别甚大，西天山水气供应量充足，西祁连山水气供应量不足。

伊犁盆地地貌特征是南北天山向西开口，盆地向西张开双臂，海纳由西风带从咸海，巴尔喀湖以及中亚农田蒸发的水气。由于西风带的推动，西天山几乎可以全年接受西域水气汇聚南北天山及巩乃斯山，冷凝降水再由伊犁河反馈流向巴尔喀什湖，形成一套比较稳定的地区内的水气交换良性循环系统。而祁连山随着罗布泊退缩干涸，大雪山接纳水气逐渐减少，因而年降水减少。

我们再比较伊犁河与北京境内潮白河与永定河有关数据：

伊犁河汇水面积约 60 000 km²，年径流量 170

$\times 10^8 \text{ m}^3$;

潮白河汇水面积约 $18\,000 \text{ km}^2$, 年径流量 $18.4 \times 10^8 \text{ m}^3$;

永定河汇水面积 $43\,000 \text{ km}^2$, 年径流量 $17.8 \times 10^8 \text{ m}^3$;

潮白、永定河汇水总面积约 $60\,000 \text{ km}^2$, 年径流量 $36.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

潮白、永定二河靠近海洋, 而伊犁河地处西北干旱地区腹地, 潮白、永定二河与伊犁河汇水面积相近, 而伊犁河径流量为潮白、永定二河总径流量的近5倍, 当然, 巩乃斯山海拔比潮白永定河源山地海拔高2.5倍, 但也因水汽交换系统差异所致, 伊犁盆地向西开口全年接纳水气, 加之高山冷凝。而潮白、永定二河位于黄河海河地区, 水汽交换十分不稳定。黄河海河平原及京津地区依靠太平洋高压, 将海洋水气顶推进大陆, 与西风带冷空气交汇降水。在黄河海河京津地区平原交汇则在潮白永定二河山区降水。太平洋高压与西风带双方强力交汇形成本地区强降水过程。太平洋高压强劲, 而西风带势弱则水气向西推进至黄土高原降水, 则黄河海河平原干旱。以上对比分析得出结论为地处西北沙漠腹地具备以下三条件即可获得丰沛降水。

(1) 具有高山山脉的冷凝作用。西北山区降水云层最佳高度 $1\,400 \sim 1\,800 \text{ m}$ 。

(2) 具有充足的水气源供给。有充足水气源供给的高山降水丰沛, 缺少水气源供应同样高山则降水稀少。

(3) 具有稳定的、合适的风向和风速。稳定的风速和风向将水源地蒸发的水气源不断向高山冷凝输送。

以上三条件在西北内陆地区是降水的必要而充分条件。我国西北有许多地貌单元和大气条件能满足以上三条件, 应当予以充分利用, 从而更大地发挥天山、祁连山及其他高山的“水塔功能”。由于气候长期持续干旱化过程, 湿地严重退缩, 内陆水汽交换单元严重缺少水气供应源。因而本文提出海水西调工程, 以大量补充西北已消失的湿地并予以扩大, 从而充分满足内陆水汽交换三条件。

3 海水西调渠道基本走向

今年许多科研部门对三条沙尘暴路径进行野外调查, 得出一条重要共识, 即沙尘暴治理是长期任务, 这意味着向沙尘暴作斗争要打持久战, 要几代

人战斗下去, 才能打出一个山川秀美大西北江山。

从长远角度看植树造林基本条件是要有年降水量 $200 \sim 300 \text{ mm}$, 或地下水位深度不超过 10 m , 或附近有水资源可引用。我国华北北部和西北单位面积水资源量极度缺乏, 为了充分满足其绿化充分条件, 我们提出海水西调工程, 以海水代替淡水作生态水, 注满和扩大干涸的湿地, 镇压沙尘暴的尘源, 利用西北蒸发量大的天然条件使海水蒸发, 以汇入高山冷凝, 增加降水, 满足灌溉, 从而外圍内攻北方三大沙漠。

海水西调路线基本走向是从渤海西北海岸提水到达大兴安岭南端和燕山西北角之间谷地, 海拔最高约 $1\,000 \text{ m}$, 年引水量 $1\,000 \times 10^8 \sim 2\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$, 引水渠道总长约 $5\,000 \text{ km}$, 跨大兴安岭南端向西端基本自流, 渠道大致走向: 经内蒙跨过集二线铁路线, 经由内蒙后山, 进入居延海, 再向西入新疆, 分三支: 一支入北疆, 一支入吐哈盆地, 一支入罗布泊 (见封3: 海水西调渠道走向示意图)。海水西调工程可分三期进行。

第一期工程, 海水跨过大兴安岭南端与燕山东北角之间的谷地进入内蒙东部, 注入达来诺尔和查干诺尔, 将二湖连成一片, 形成面积达 $2\,000 \sim 3\,000 \text{ km}^2$ 的统一新湖, 需要10年时间。达来诺尔实际上已成咸水湖, 仅在补给河流入湖区有微咸水, 水中有鱼和鸟类, 为不破坏达来诺尔生态, 可在入湖上游洼地截留淡水形成新湖, 以保持原生态系统。

第二期工程, 从达来一查干人工海水湖向西跨过集二线铁路, 沿内蒙后山 (即阴山、大青山、狼山以北) 东西向槽地, 大致沿北纬 42° 中蒙边境我方一侧西行绕过狼山进入巴丹吉林沙漠北沿拐子湖 (海拔 970 m), 向西进入居延海 (海拔 920 m), 用30年时间扩大拐子湖和居延海, 成为 $2\,000 \sim 5\,000 \text{ km}^2$ 水面, 以不淹没黑城为限。加上集二线经后山至拐子湖长约 $1\,000 \text{ km}$ 串珠状槽地河湖宽度 $2 \sim 10 \text{ km}$ 计, 集水总面积达 $5\,000 \text{ km}^2$ 。

第三期工程, 注满居延海以后, 水面达到海拔 $1\,000 \text{ m}$, 再引水绕过甘肃西北角与蒙古国边界内侧, 即甘肃马鬃山西北倾伏端与蒙古国库库山南坡之间槽地我方一侧海拔约 $1\,050 \text{ m}$, 提水 50 m 。绕过马鬃山分三支。

北支, 进入北疆盐池—三塘湖—一线北西向槽地, 再向西进入玛纳斯湖 (原面积 577 km^2) 和艾

比湖（现水面海拔189 m），水面积约5 000 km²。

中支，绕过马鬃山转向西南进入马鬃山与东天山喀尔力克山之间北东向槽地，向西南注入吐哈盆地，哈密海拔约500 m，吐鲁番海拔约200 m，艾丁湖海拔-550 m，此段可设梯级站，回收电能，以哈密海拔500 m计和吐鲁番海拔200 m计至少可注满哈密、吐鲁番两个盆地。总面积1 000 km²。

南支，由马一库槽地向南跨过兰新铁路线和102国道到达罗布泊，罗布泊大耳朵外圈海拔780 m，面积5 350 km²，湖水历史上曾达20 000 km²。而海拔1 000 m的等高线围成面积达70 000 km²，与渤海面积相当。进入罗布泊之前的槽地，在沿途选择一些低地注水形成沿线串珠状洼地，特别是安西风口附近洼地，以减缓安西风口风速。

海水西调工程有两大优点：一是总长5 000 km渠道沿线，所经之处几乎全是荒漠地，东端长150 km，宽10~50 km提水段也是辽西山区人烟稀少，有助于山区群众就业和外迁。二是渠道跨过大兴安岭向西基本自流，最终三大尾间分别是艾比湖（现水面海拔189 m），艾丁湖（-550 m），罗布泊（海拔700 m），个别地方还可建梯级电站以回收电能，以上勾画出海水西调工程引水渠道大致走向。

4 各地区水汽交换系统

我国西北蒸发量大，海水西调造出总面积 10×10^4 km²的若干湖泊湿地。按西北地面水库实际水面蒸发量计 10×10^4 km²水面年蒸发量可达 $1\,000 \times 10^8 \sim 2\,000 \times 10^8$ m³，由合适风力推向冷凝山区，降水形成径流，反回山区及平原入尾间湖泊湿地，再蒸发，形成良性水汽交换循环系统。

4.1 阿拉善—祁连山水汽交换系统

阿拉善—祁连山水汽交换系统是海水西调工程中规模最大的水汽交换系统。该系统内包括水汽源供应方和水气受纳方。

水汽源供应方：从狼山向西各水体依次为内蒙拐子湖、居延海、东疆盐池—三塘湖、吐哈盆地、安西洼地和罗布泊，形成北西半环水体。总面积约50 000 km²，年蒸发量约 $500 \times 10^8 \sim 1\,000 \times 10^8$ m³海水。

水气受纳方：主体为贺兰—祁连山脉，形成东水气受纳冷凝半环形山脉，分4个层次：

主层次：内蒙桌子山（海拔2 049 m），宁夏

石咀北山（2 058 m），贺兰山（3 554 m），中卫南山（2 356 m），甘肃景泰北山（2 958 m），跨过鸟鞘岭后入祁连山脉，自东向西有武威南大黄山（3 976 m），祁连山（5 547 m），镜铁山（5 206 m），大雪山（5 481 m），三危山（1 919 m）。

外围：若水气向南逃逸，外围有青海托勒山（4 823 m），疏勒南山（5 836 m）等继续接纳，降水后补给黑河与大通河。

内侧：有甘肃河西走廊北山山系，自东向西有阿拉古山（1 682 m）、大红山（1 929 m）、龙首山、黎合山等北大山（1 800~2 300 m）、西有马鬃山（2 584 m）、马庄北山（1 932 m），新疆黑山梁（1 450 m）等。

再内侧：巴丹吉林和腾格里沙漠中心有雅布赖山（1 530 m，山脉长约1 600~2 300 m）。

贺兰—祁连山南东半环是主要水气接纳系统。充沛水气在西风和西北风徐徐推动下向贺兰—祁连山凝聚，贺兰山西坡和祁连山北坡将有更大降水量，特别是西祁连山区降水量将以2~3倍增加。50年后，河西走廊三条主要河流量年径流量预测可达 $80 \times 10^8 \sim 100 \times 10^8$ m³。

4.2 北天山水汽交换系统

恢复玛纳斯湖，扩大艾比湖并由引水形成东疆盐池—三塘湖串珠状河湖系统，总水面积达5 000 km²。将大大增加北天山北坡夏季降水量，特别是北天山东段博格达山（5 445 m），向东至喀尔力克山（4 925 m）的东西长约500 m北坡的降水量。山口以北与湖水南岸之间将全部变为绿洲。

4.3 吐哈盆地水汽交换系统

吐哈盆地以500 m等高线圈出哈密湖，以200 m等高线圈出以艾丁湖为中心的吐鲁番湖，总面积1 000 km²以上。吐哈盆地属特干旱气候区，吐哈湖形成后，大量蒸发水气主体部分将由西北风推向西祁连山，部分水气在大气振荡与环流作用下聚向博格达山（5 445 m）—喀尔力克山（4 925 m）山脉南坡，及阿拉沟上游水源山地，增加盆地北侧和西边山区降水，增加吐哈盆地淡水资源，1 000 km²的吐哈湖将大大改善吐哈盆地火焰山特别干旱气候，可以改变气象学对吐哈盆地气候分区等级，摘掉火焰山帽子。

4.4 罗布泊水汽交换系统

罗布泊水汽交换系统对改善地区水资源状况特别显著，注入罗布泊水体可有四个面积范围，即湖

心 450 km^2 , 大耳朵外圈 $5\,350 \text{ km}^2$, 历史上曾有过的 $20\,000 \text{ km}^2$, 以及注满海拔 $1\,000 \text{ m}$ 等高线围容面积 $70\,000 \text{ km}^2$ 。不同水体面积不同量的水气供应量, 就有不同的降水量, 罗布泊水气主要向西推动向甘肃大雪山 ($5\,481 \text{ m}$)、大通沟北山 ($4\,115 \text{ m}$)、阿尔金山 ($5\,798 \text{ m}$), 新疆且孜木塔格山 ($6\,973 \text{ m}$)、箭峡山 ($6\,201 \text{ m}$) 及且末南山 ($5\,810 \text{ m}$), 再汇同吐哈盆地和北天山东段盐池—三塘湖水气, 将大大加大雪山—阿尔金山降水量, 从而可消灭库木塔格沙漠。更多水气还进入柴达木盆地和青海高原, 增加青海降水量和减缓三江源头中的长江、黄河源头干旱化过程。冬季在强东北风推动下, 大量水气涌向昆仑山北坡, 增加昆仑山降水量, 惠及和田和且末。

4.5 达来查干湖—燕山水汽交换系统

本段以达来—查干湖水湖为水气供给源, 由北风、西北风推向东南山脉, 其中有大兴安岭西坡, 和老图山的大光顶 ($2\,067 \text{ m}$), 大马群山长城一带 ($1\,800 \sim 2\,300 \text{ m}$), 张北东山花皮岭, 张北西山 ($1\,681 \text{ m}$), 山西大同北山 ($2\,334 \text{ m}$)。以及内侧 (北侧) 低山山系。北风推动夏季蒸发水气与海洋水气在山区交汇增加北坡降水量。

4.6 内蒙后山水汽交换系统

此段基本上沿北纬 42 度线。以东西长 500 km 串珠状河湖水体面积约 $1\,000 \sim 2\,500 \text{ km}^2$, 供给水气, 推向阴山山脉、大青山和狼山 ($2\,364 \text{ m}$), 白云西山 ($1\,608 \text{ m}$), 从而增加阴山山脉北坡降水。从低山逃逸水气将在西风冷空气与海洋水气交汇在山前土默的平原。

每个独立水汽交换系统皆可视为一座超级海水淡化工厂, 工程总体则可视超大型海水淡化工厂。

5 工程效益

海水西调工程是一项充分认识西北沙漠整治和沙尘暴治理的长期性和艰巨性而提出的百年工程, 一项真正的世纪工程。工程分三期。建成百余个提水站矩阵, 建成百余水库目的是避开入海主河道, 并确保安全和防止海水渗漏。但需每年消耗一条黄河水电能。然而这项工程是举世无双的超高级生态工程, 基本治理西北方三大沙漠, 和最大限度地压低沙尘暴, 调节北方全线气候, 改善沿线生态环境, 发展调水工程沿线经济特别是提水区工业走廊

和沿河养殖业, 经分析, 海水西调工程有十大效益。

5.1 10 万 km^2 干湖尘源被海水永远镇压

海水西调工程造成沿线各河湖系统水体总面积 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$, 使内蒙北部和西北干湖注满, 恢复和扩大内蒙及西北沙尘暴尘源供应区湿地。以海水代替淡水作为生态水, 以海水代替淡水注入干湖, 镇压尘源实属明智有效之举。

由于海水注满湖区, 提高湖泊周边地下水位, 从而顶托南部山脉降水流入湖区的淡水, 使湖区和南山之间绿洲增加单位面积水资源量。例如艾丁湖严重蒸发量原来是由东天山南坡和中天山阿拉沟淡水补给得以维持。引入海水后, 艾丁湖扩大成吐鲁番湖, 原来维持艾丁湖补给的淡水水源可以改为吐哈盆地工农业和生活用水。从而提高绿洲单位土地面积水资源量。 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 湖水周边顶托地下淡水面积至少将增加 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

5.2 增加降水量

增加内蒙北部和西北地区年降水量是海水西调工程的主要目的。从伊犁水汽交换模式可以看出, 在内蒙北部和西北广大地区具备冷凝山脉和夏季缓缓的稳定向风和风力, 若再补充充足的供蒸发的水源, 必将大大增加各水汽交换单元山区降水量。其中受益最大的是天山—祁连山北坡, 特别是天山东中和祁连山中西段, 其中尤以祁连山西至阿尔金山之间, 降水增加幅度最大。同时, 会增加走廊北山和走廊平原降水量。

5.3 扩大绿洲和治理沙漠

增加降水量最终目的是扩大内蒙北部和西北绿洲。估计工程启动 50 年后使每年径流量将增加一倍, 在罗布泊水面达到 $5\,000 \text{ km}^2$ 的 10 年后, 疏勒河和党河径流量将增加 $5 \sim 10$ 倍, 走廊北山将逐步绿化, 整个走廊将变成类似关中平原的美景。届时将有 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 径流量流入额济纳三角洲, 最终进入居延海和古鲁乃湖, 走廊北山绿化后也将发挥一定的冷凝作用, 增加北山降水, 形成径流, 从北山北坡流入巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠。贺兰山西坡增雨后流入腾格里沙漠东翼, 根据朱震达调查^[4], 巴丹吉林沙漠内部共有内陆小湖 144 个, 水面面积通常在 $0.5 \sim 1 \text{ km}^2$, 矿化度一般在 1 g/L 左右。王涛进一步调查, 对水质进行分析证明, 这些面积为 1 km^2 小湖泊水源乃是大气降水补给沙漠内部潜水。因巴丹吉林沙漠东部和南部年降水量为

80~110 mm, 王涛以年降水 50 mm 计算, 每 16 km² 沙区可汇聚 1 km² 湖水。结论是, 每个小湖及周围可储淡水 80×10⁴ t。王涛认为沙山是大气降水的储存体。一旦调水成功, 扩大居延海和古鲁乃湖; 增加北山降水量, 增加北山北坡入沙漠径流, 同时也可使沙漠区内降水量略有增加。则巴丹吉林、腾格里和通古斯三大沙漠在外围内攻的形势下, 百年后将获得基本治理。

5.4 巨大环境效益

本工程启动后 100 年当中内蒙北部和西北增加降水, 增加径流至少可创造出 100×10⁴ km² 的新绿洲, 这 100×10⁴ km² 新绿洲将吸收大量的 CO₂, 将对解决全球变暖这一世界首要环境问题作出巨大贡献!

5.5 超大型海水淡化工厂

每年调入 1 000×10⁸~2 000×10⁸ m³ 海水, 增加降水, 50 年后各地区各单元总降水量将增 500×10⁸~1 000×10⁸ m³/a, 这实际上是一个世界上唯一的超大型海水淡化工厂。以一条黄河电能淡化 500×10⁸~1 000×10⁸ m³ 淡水, 真正实现了海水淡化大规模产业化。虽然海水西调发挥生态功能主要是, 但海水淡化的经济效益也很大。

5.6 改善内蒙北部和西北气候

海水西调工程每年调 1 000×10⁸~2 000×10⁸ m³ 海水充分蒸发, 必将大大改善水道沿线内蒙北部和新疆气候, 尤以吐哈盆地最为明显, 若注满吐哈盆地 1 000 km² 湖水后, 夏季火焰山气候将得到极大改善。内蒙北部气候也将获得明显改善, 冬季将提高平均气温, 大大有利于锡盟与乌盟畜牧业。

5.7 促进渤海海水循环

渤海是一个被山东、辽东半岛包围着的内海, 自我循环能力极差, 估计渤海水循环一次需千年。近年来渤海污染十分严重, 海水西调工程启动后, 渤海每年从西北角被抽走海水 1 000×10⁸~2 000×10⁸ m³, 将有 1 000×10⁸~2 000×10⁸ m³ 黄海海水又从东南角流入渤海替换, 促成渤海海水大循环, 必将大大改善渤海水质, 从而改善渤海水水环境。渤海海水大循环是海水西调工程的生态和经济效益, 不可估量, 且不可替代。

5.8 发展沿线养殖业

海水西调工程每年调水 1 000×10⁸~2 000×10⁸ m³, 总长度 5 000 km, 形成面积 10×10⁴ km², 串珠状河湖水系统, 可以大力发展沿河海水养殖

业。有利于内蒙和新疆牧民向渔民转型, 从而找到一条大规模致富奔小康之路, 使原来不毛之地变成渔村, 甚至渔民城镇, 并可缓融草原压力。沿线至少可以发展提水站矩阵水库养殖区; 内蒙东部达来诺尔一查干诺干湖海水养殖区; 内蒙西部拐子湖一居延海海水养殖区; 玛纳斯湖——艾比湖海水养殖区; 吐哈盆地海水养殖区; 罗布泊海水养殖区等 6 片规模养殖区。

此外沿河还有许多串珠状洼地形成的小型海水养殖区。应当指出, 这些养殖区不必顾虑由于海水强蒸发浓缩增加海水含盐度而不利养殖, 因为所调海水常年流动, 虽然有蒸发, 但又不断获得补充, 海水最终点为艾比湖、吐哈湖和罗布泊, 而这三个湖泊区真正浓缩成高含盐湖水则要等到百年以后, 因为头一个百年湖水还处在不断扩大过程中, 浓缩影响不会太大。

5.9 创建提水站工业走廊经济带

从渤海西北角到内蒙东南边界, 有 150 km 长度在辽宁西部山区, 可建成长 150 km, 宽 10~50 km, 总面积 1 500~7 500 km² 山区提水站工业走廊经济带。每个提水站包括工作人员、配套服务人员、家庭及周边农民将建成万人小镇, 百余个提水电站则可建成超过 100 万人口的提水站工业走廊, 从而带动山区经济发展。除直接为提水电站服务水电业外, 还可以发展养殖业, 旅游业和山区种植业。

5.10 国境防火墙和防疫墙

海水西调引水河湖水系横亘于内蒙北部边境内侧, 内蒙段东西长约 3 000 km, 宽度 2~10 km 形成一条自然防火墙。冬春季节可以自然阻隔蒙古国草原大火, 确保我方草原安全; 形成一条自然的防疫墙, 阻隔蒙古国牲畜疫情向南蔓延。其经济和生态安全意义也是十分重大的。

6 工程三大问题分析

海水西调工程是一项百年工程, 是一项世纪工程, 是一项投资大效益更大的超级生态工程。其投资最大项是东端百余个中小型提水电站和水库建设。这项技术与投资在我国目前已是可行, 50 年来仅燕山山脉已建成大中小水库 1 700 余座。提水达海拔 1 000 m, 向西几乎全部沿自然渠道自流。调水工程西端各湖海拔分别为: 内蒙拐子湖 (970 m)、居延海 (920 m), 新疆艾比湖 (现水面 189

m), 艾西湖 (-550 m), 罗布泊 (外圈 780 m)。引水渠道全长 5 000 km, 所经之处皆为荒漠。仅东端提水站阵长 150 km, 宽 10~50 km, 地处总面积 1 500~7 500 km² 的辽西山区, 人口稀少, 且工程上马有助于促进山区群众就业和搬迁。如果 20 年以后上马, 届时国力更强, 技术更高, 启动本项目实属易事。然而本项目仍有三大问题需要提出讨论, 以便尽快取得共识。

6.1 百年耗能大户

海水西调工程百余个提水站矩阵一次性投资量虽然不大, 但是第一问题是该项工程几乎每年都需要整条黄河电能供应提水, 百年下去是长期耗能大户。这个问题要考虑投入产出比, 我们从生态和经济两笔账进行分析。

首先是生态账:

(1) 以 10×10^4 km² 海水代替淡水作西北镇压干湖沙源生态水。作用巨大, 无可替代。

(2) 百年后估计年增降水 $500 \times 10^8 \sim 1\,000 \times 10^8$ m³。绿化整个北天山、祁连山北坡平原, 增加产值尚无法估计。

(3) 东部根治科尔沁沙漠和达格善沙漠, 西部治理库木塔格沙漠。百年后基本治理巴丹吉林、腾格里和通古斯三大沙漠, 从而基本控制沙尘暴。

(4) 每年提出 $1\,000 \times 10^8 \sim 2\,000 \times 10^8$ m³ 遭污染的渤海海水, 引入 $1\,000 \times 10^8 \sim 2\,000 \times 10^8$ m³ 黄海水, 促使渤海海水大循环。

(5) 增加绿化国土面积 100×10^4 km², 吸收大量 CO₂, 从而为全球变暖这一世界环境首要问题作出巨大贡献。

(6) 改善内蒙、新疆干燥气候和冬季严寒气候。

以上 6 项生态效益几乎没有任何工程可以替代。

其次算经济账:

(1) 超级海水淡化工厂, 每年提取 $1\,000 \times 10^8 \sim 2\,000 \times 10^8$ m³ 海水, 增加降水 $500 \times 10^8 \sim 1\,000 \times 10^8$ m³, (当前国际上海水淡化水价为 1 美元/升) 每吨淡水消耗为 2 t 海水和 1 000 m 提水电能是值得的。

(2) 建成几片巨大海水养殖区和若干中小海水养殖区, 减轻草原载畜压力, 促使内蒙群众牧转渔, 增加收入, 使大批牧民致富奔小康。

(3) 建成辽西提水电站工业走廊, 可增加百万

人就业。

以上三项经济效益也是巨大的。

6.2 水气损失估计

海水西调工程每年调水 $1\,000 \times 10^8 \sim 2\,000 \times 10^8$ m³, 在 10×10^4 km² 海水湖面积和扩大的绿洲蒸发量大体相当, 因而为维持 10×10^4 km² 水面, 必须在百年之内不间断调水。一个根本问题是蒸发的水气究竟有多少回降于西北地区, 多少量随西风而东逸。对于水气损失的估计是海水西调工程的关键问题, 核心问题。比较精确回答这个问题应当用大型计算机模拟。目前, 我们只能按海水西调人工湖蒸发水气大部分将在西北内陆形成降水得到淡水回收, 少部分随西风东逸进行分析。

(1) 蒸发季节和适当风力的机遇。我国位处北半球西风带, 冬春季节西风西北风强劲。北纬 40 度以北在西伯利亚寒流控制之下, 将带来普遍降雪, 接收北方水气, 由于北方严冬冻土降雪几年无法渗入土壤, 而于化冻前全部融化而蒸发。冬季调水的河湖渠道普遍结冰, 蒸发量极微。夏秋季节北方和西北蒸发量大, 而此时西风和西北风恰恰普遍减弱。真可谓天助我也! 内陆山区最佳降水高度约 1 400~1 800 m, 因此狼山以西各湖河蒸发水汽恰好在西风和西北风徐徐推动下, 进入天山、祁连山形成北坡降水, 从而具有各水汽交换系统内部的良好相对封闭性。伊犁河源山区虽处沙漠腹部却能有 1 000 mm/a 高降水量。天山、祁连山北坡是西北的丰沛的降水带, 此即证明。如有更多水气供应源, 则北坡降水量更大。

(2) 西北属内陆性气候, 内陆性气候的封闭性决定了该地区年降水量相对稳定。新疆国土报告指出, 新疆旱涝变幅比为 1.47, 相对稳定。而东部受海洋性气候影响地区旱涝变幅很大, 首推淮河(蚌埠站)为 23.7, 所以淮河流域经常大涝大旱, 大清河(紫荆关站)为 25.1, 故河北旱涝变幅亦甚大。其次为松花江(哈尔滨站)为 6.9, 永定河(官厅站)为 6.4, 辽河(铁岭站)为 5.2, 黄河(花园口站)为 4.3。新疆旱涝变幅小, 说明西北内陆具有水汽交换相对封闭性, 而我国东部海洋性, 主要受海洋水气影响。海洋水气东挺与西北冷空气交汇, 其交汇强度与交汇地点, 依东西二势强弱均衡势而定。东强西弱向西推进黄土高原, 最远一般不会越过 300 mm 等降水线。内陆蒸发水气随西风东进, 一般也不会越过 300 mm 降水线以东。

海水西调到达西北蒸发后水气基本上在单元内降水，随西风东逸甚少，最远达到 300 mm 降水线。

(3) 西北湖面自然退缩率可作水气东逸指标参考。自然退缩过程实际上已经可以看出内陆地区水气收支逆差。由此可见，海水西调的人工湖面蒸发水气东逸量是不大的。

(4) 逃逸水气中部受益。夏季受东部太平洋高压推阻，西北逃逸水气大都在 300 mm 等降水线以西交锋降水。如此可增加黄土高原、陇东、宁夏、鄂尔多斯高原降水，也属海水西调工程意外收获。如果再东逸至华北平原，只要没有入海就做到了“滴水不漏”。罗布泊水气逃逸至青海高原，增加青海高原降水并改善长江黄河源头干旱化过程，实属超额收益。我们预计内蒙北部、西北年增雨 $500 \times 10^8 \sim 1\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，实际上是承认一半水气东逸海洋。

6.3 冰冻季节运行问题

海水西调工程提水点处于渤海西北角，北纬 40.5 度附近，该段近岸海水有 1~2 个月结冰期。但是提水工程是从水温大于 0℃ 的冰下提取的。提水进入第一级水库，这时水库区水面虽然结冰，但是第二级依然从冰下提水，各级提水过程完全处于封闭状态下的持续运动着的高盐分海水是不会结冰的。跨过大兴安岭南端海拔 1 000 m 自流渠道冬季水面虽然结冰，但是冰下水照常流动。以黑龙江为例，黑龙江流经北纬 50 度高纬度，且为淡水，冬季河面虽然冰冻三尺，但冰下水儿照常流，鱼儿照常游。本工程引的是海水，流量又比黑龙江大多了，且处于北纬 42 度一线，所以不必担心冬季工程停止运行问题。

结论

内蒙北部和西北缺水，单位面积占有的水资源量极度贫乏。50 年来历次水土资源无序开发，使一半的湿地退缩和消失，湖心盐土成了沙尘暴源，这是大西北土地沙漠化和沙尘暴生成深层次的因素。本文提出了海水西调工程，意图百年后北方三大沙漠和沙尘暴得到基本治理，海水西调工程基于沙尘暴的治理是长期任务这一共识。海水西调工程的提出还基于以下四点科学认识：

(1) 西北湿地三种退缩率：自然退缩率、大垦荒退缩率和正常灌溉期退缩率。大垦荒退缩率是自

然期的 1 000 倍，稳定农灌期退缩率是自然期的 100 倍。

(2) 内陆地区具有水汽交换系统三要素即有充足水气供应源，有高山和高山山脉作冷凝系统，和适宜风力、风向。

(3) 内陆水汽交换系统本质上是超级海水淡化工厂。

(4) 以海水代替淡水作为恢复和扩大西北湿地的生态水源，从而镇压湖心盐土沙尘暴源。

本文提出海水西调工程十大效益，其中四条效益是不可替代的：

(1) 海水代替淡水作生态水，注满 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 干湖床，从而镇压沙尘源；

(2) 利用内陆特殊水汽交换系统，大幅增加降水，以海水换取淡水；

(3) 百年后将创造出西北 $100 \times 10^4 \text{ km}^2$ 新绿洲，基本治理北方三大沙漠和沙尘暴；

(4) 促进渤海海水大循环。

本文也提出海水西调工程存在三大问题，并逐一作了论述。三大问题对策的基本论点是：

(1) 海水西调工程虽有百年高耗能，但是从生态和经济效益分析是值得的。

(2) 水气损失估计，即调水量与降水量之比。从四条事实分析后认为调水蒸发之水气基本上在内陆地貌单位内降水反馈土地，向东逃逸量不大。

(3) 严冬季节运行问题。认为北纬 42 度线的海水在封闭状态下可正常运行，文中还指出海水西调工程除东端 150 km 提水矩阵处于辽西山区外，调水渠道向西长 5 000 km 基本自流，渠道所经之处基本上是沙荒土地，也不必动太大工程修筑渠道。

海水西调工程是一项百年工程，是一项世纪工程，投资大，效益更大。有些效益是不可替代的。本文对海水西调工程仅仅提出一个思路和框架。我国西北独特水汽交换系统三要素应予充分利用，以求早日绿化西北。这个框架还需要广泛议论，预计取得共识就需要 20 年。20 年后我国综合国力更强，届时三北防护林工程已经完成，后续工程将需求新水源。海水西调工程效益具有较大滞后性，因此早动工 20 年将早受益 20 年。

本文撰写过程得到王光钙教授协助特此感谢。

(下转第 27 页)

大力测量技术的新进展, 其工程应用的开拓和扩展前景是广阔的。

参考文献

- [1] 沈观林. 应变电测与传感技术在各种工程和领域中的应用[J]. 传感器世界, 1996, (9): 26~34
- [2] 沈久珩. 机械工程测试技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1988. 132~156

- [3] 王文扬. 我国首次研制成功附着式测力传感器[N]. 中国专利报, 1990-01-10(1)
- [4] 沈久珩. 附着式测力传感器[P]. 中国专利: 86105879, 1989-11-15
- [5] 沈久珩. 附着式轧机测力传感器[A]. 工程测试与故障诊断论文集[M]. 北京: 中国科技出版社, 1990. 240~242
- [6] 沈久珩. 以小致大的附着式大力传感器[J]. 中国科技信息, 1998, (8): 27~27

The New Development of Heavy Force Measurement Technique —Adhesion and Super-miniature Type of Heavy Force Sensors

Shen Jiuheng

(Mechanical Engineering Measurement & Testing Institute, North China University
of Technology, Beijing 100041, China)

[Abstract] Heavy force sensor is a kind of high-technology electric information device for heavy equipment. In this paper the purpose, properties and development of heavy force measurement for heavy equipment are described. The physical model of heavy force division measurement mode is discussed. The super-miniature adhesion type of heavy force sensor invented by the author and its engineering application are introduced.

[Key words] heavy equipment; heavy force sensor; supporting type; adhesion type; resistance strain gauge; division measurement

(上接第 21 页)

参考文献

- [1] 姚鲁烽. 敦煌地区历史自然环境与人文环境述要[A]. 西北干旱地区全新世环境变化与人类文明兴衰(自然科学基金资助项目)[C], 北京: 北京地质出版社, 1992

- [2] 冯绳武. 民勤绿洲水系变迁[J]. 地理学报, 1963, 29: 3
- [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] 朱震亚. 中国沙漠概论[M]. 北京: 科学出版社, 1990

Introducing Sea Water from Bohai Sea to West China And Controlling Desert and Sandstorm

Chen Changli

(China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

[Abstract] An advanced way for controlling desert and sandstorm to protect, recover and expand wetland in north and northwest China is proposed in this paper. The necessary conditions for increasing precipitation in inner continental basin contain mainly three aspects: westerlies, high mountains for condensation and broad wetland fog as vapour resources. A scheme of project is envisaged, which introduces sea water from Bohai Sea through north Inner Mengolia to Xinjiang. The target of the project is to recover and expand wetland in north-west China. It will produce economic and ecological benefits in the aspects.

[Key words] introducing sea water from Bohai sea to west China; sandstorm; wetland; vapour exchange system