

试论巴丹吉林沙漠地下水库的发现对西部调水计划的影响

陈建生 汪集 *

(河海大学同位素水文研究所,江苏 南京 210098)

[摘要] 提出巴丹吉林沙漠湖泊水来自祁连山冰川积雪的补给,研究结果表明:在祁连山—巴丹吉林沙漠—额济纳盆地之间存在一条“地下河”。根据蒸发量估算出地下水库的动储量达到5亿 m^3/a ,同位素氡和氟利昂测定地下水的补给时间为30年左右,承压地下水水质良好,矿化度仅为0.7g/L。讨论该地下水库的开发利用将对我国河西走廊及其以北的内蒙地区的水资源配置发挥的作用,建议不要修建正义峡水库及其配套的输水渠道工程,并废弃掉中下游的地表水库,向下游的调水量可维持在5~6亿 m^3/a ,将3亿 m^3/a 黑河的水通过输水管道送到石羊河流域,可以考虑停建“引大济西”和“引大济黑”工程,以免在西部水利工程建设上出现高投入、低产出的决策失误,为国家节约数以亿计的公共工程建设资金。

[关键词] 巴丹吉林沙漠,祁连山冰川,地下水,西部调水计划

[中图分类号] F407.9

[文献标识码] A

[文章编号] 1003-9511(2004)03-0028-05

1 额济纳盆地深层承压地下水来自巴丹吉林沙漠

巴丹吉林沙漠位于阿拉善高原,呈现典型大陆性气候,全年盛行西北风、西风,从东向西降水量和相对湿度逐渐减少,蒸发量和风速则逐渐加强。境内地表水系不发育,弱水是唯一的内陆河流,流经巴丹吉林沙漠西北缘最终入索果诺尔湖和嘎顺诺尔湖。巴丹吉林沙区面积约5万 km^2 ,高程在1150~1700m之间,年降水少于40mm。沙区其他范围属温热沙漠气候区,年降雨量50~120mm,年平均风速3.5~4.4m/s,年大风天数30~60d,沙尘暴天数10~20d,年太阳辐射总量约为642~663 kJ/cm^2 。该地区离东南季风区北缘较近,又处于全球西风环流带上。巴丹吉林沙漠突出特征是东西部地区高大沙山密集分布,200~300m高的沙丘常见,个别沙山可达500m,而且都是固定的,笔者经考察发现,高大沙山内部为潮湿状,体积含水率在2%~20%。高大沙丘之间有封闭的144个湖泊,湖泊面积33 km^2 ,现在仍然有水的湖泊为70多个,其中淡水湖泊20多个,其余为咸水湖泊,最大湖泊是诺日图,面积为1.5 km^2 ,水深为16m。古日乃草原位于沙漠的西北缘,

地面高程900~1000m,曾经为古日乃湖,面积达到800 km^2 ,在沙漠边的北缘是拐子湖,地面高程900m左右。近几十年来大湖泊已经消失,留下了将近200个小湖泊。距额济纳旗镇东南40km的天鹅湖曾经是历史上著名的居延泽,它的面积曾经达到800 km^2 ,传说是因为战争额济纳河改道而干涸了。根据笔者的水同位素调查,现在的天鹅湖是靠地下水补给维持的。

在极干旱的巴丹吉林沙漠及其西缘和北缘为什么会存在集中分布的湖泊群?根据计算可知仅诺尔图一个湖泊的地下水的补给量就达到了1.6万 m^3/d ,足以满足当地10万人的生活用水。这么大的补给量来自何处?不少学者先后涉足于巴丹吉林沙漠及其边缘地区对湖泊水的补给源进行调查。20世纪30年代,中国—瑞典西北联合考察团对弱水下流的终端湖进行了考察,20世纪50年代、60年代中国科学院治沙队对巴丹吉林沙漠的自然地理特征和社会经济状况展开过综合调查研究,20世纪80年代末以来,中国科学院原兰州沙漠研究所联合德国格廷根大学、柏林自由大学对巴丹吉林沙漠东南部地区进行了不同线路的数次考察。

1987~1995年 Mebus A Geyh 和顾慰祖等发现该

[基金项目] 国际原子能机构资助项目(CPR/8/015)河海大学院士基金资助项目

[作者简介] 陈建生(1955—),男,江苏泗阳人,教授,博士,博士生导师,主要从事同位素水文学、渗流理论与探测技术研究。

* 汪集 先生为中国科学院院士。

地区的地下水的 $\delta D \sim \delta^{18}O$ 关系平行于降水线,与黑河水不同,指出其地下水的成因不明。^[1]顾慰祖、杨小平等人进行了环境同位素和水化学分析后指出,古日乃草原、额济纳旗盆地、拐子湖的地下水都来自于巴丹吉林沙漠地下水的补给。^[1-2]武选民等人对额济纳盆地的地下水进行了分类,研究结果表明,地下水位(压)总体上依次由高变低,说明地下水存在着由下向上的越流,即第二承压含水层流向第一承压含水层,第一承压含水层流向其上的潜水含水层,最终在潜水含水层中以垂向蒸发蒸腾的形式消失于大气之中。^[3]杨小平根据氦同位素分析结果,提出了浅层地下水年龄都较年轻的观点,这些地下水的年龄都不超过100年,但都大于30年左右。^[2]

长期以来,虽然很多科研人员对于黑河流域水资源的问题进行了大量的研究,但迄今为止,对于额济纳盆地地下水的补给关系仍然没有调查清楚。大部分人认为祁连山的降水形成径流后都汇入了黑河,龙首山是天然的隔水边界,很多研究人员在测定额济纳旗地下水年龄时采用了 ^{14}C 技术,由于没有考虑额济纳盆地的地下水经过了碳酸盐岩地层,水中的 ^{14}C 在运动过程中曾与碳酸盐岩中的 ^{12}C 发生了同位素交换(分馏),交换量远远大于 ^{14}C 的衰变量,错误地将额济纳盆地的地下水确定为“没有侧向补给的古化石水”,^[4]认为黑河是额济纳盆地唯一的水源补给,深层地下水是由浅层地下水补给的,额济纳盆地的地下水属于“古代水”,^[4]补给周期达到3000~13000年。在这些学术研究结论基础上,国家有关部门做出了加大对额济纳旗的调水计划,并限制开采深层地下水,提倡大力开采浅层地下水。

一般都认为黑河断流是造成额济纳旗一带生态环境恶化的主要原因。但研究发现,额济纳盆地与古日乃草原存在多含水层结构,额济纳盆地承压水的水头高于潜水位约60m,^[3-4]笔者计算得出地下水沿着断层和喀斯特岩溶通道的流速很快,每天可以达到50~60m,但由承压水越流补给潜水时遇到渗透系数小的相对隔水层,越流补给的速度很缓慢,每年的补给速率只有几米,于是就出现了这种情况:春季冰冻后潜水位上升,随着春耕抽取地下水潜水位下降,夏秋季潜水位最低,每年12月份停止抽取地下水,致蒸发量降低后,水位又逐渐回升。武选民等的研究发现,这种季节性的周期水位变化并不因为断流而发生大的改变。^[5]诺果索尔湖(东居延海)自流井的水来自于基岩承压水,流量终年不变,基本上不受断流影响。

额济纳盆地地下水侧向径流的补给主要是平原东南部巴丹吉林沙漠潜水补给的,补给量约1.4~

1.5亿 m^3/a ,以多年平均降水量42mm计,入渗系数取0.1,补给面积按3.4万 km^2 计算,整个平原区年降水平均补给量为1.428亿 m^3/a 。^[6]对降雨入渗补给是有争议的,关键是入渗系数的选取,0.1的入渗系数是根据降雨量等于蒸发量减去地表径流量与侧向潜水补给量之和估算出来的,笔者经测定地下水中的 δD 、 $\delta^{18}O$ 同位素发现,额济纳盆地的降雨基本上对绿洲之外的戈壁地区的地下水是没有贡献的,这部分“降水量”实际上是来自基岩承压水的越流补给,所以笔者估计目前额济纳盆地侧向补给的地下水总量为2.5~2.8亿 m^3/a 。

2 钙华与化石同位素分析证实地下水来自祁连山前的深大断裂构造

为了调查清楚沙漠湖泊水的来源,笔者于2003年6月对巴丹吉林沙漠及其周边地区的泉水、井水、河水与降水进行了调查,采集了100多个水样进行了 δD 、 $\delta^{18}O$ 、T和水化学分析,实验结果表明民乐县、龙首山、阿拉善右旗水源地、巴丹吉林沙漠湖泊、古日乃草原、拐子湖和额济纳盆地的泉水、井水都位于蒸发线上。根据降水中同位素的高程效应,笔者计算出地下水补给源区的降水的补给高程超过4000m。因为笔者采集的水样来自泉水口,在泉水涌出的极短过程中不会发生明显的蒸发,承压地下水是不会蒸发的,也就是说这些地下水在入渗到地下之前就已经进行了长时间的蒸发,于是笔者怀疑巴丹吉林沙漠湖泊水可能来自于祁连山雪水的补给,雪水在融化入渗前由于升华作用使雪水中的重同位素富集。在湖泊群下部的基岩中可能存在一条强渗漏通道(地下河)^[7-8]。通过水同位素 δD 与 $\delta^{18}O$ 分析发现,石羊河水的平均补给高程比黑河高800m以上,实际上补给石羊河的祁连山老龙岭的高程(5000m)低于补给黑河的走廊南山的高程(5346m),也就是说,走廊南山的冰川融雪很大一部分并未补给到黑河。

为了证实上述假设,笔者分别于2003年6月和9月进入沙漠腹地,共考察了10个不同的湖泊。同年6月份,笔者在巴丹吉林沙漠湖泊群东部的诺尔图和苏木巴润吉林湖泊中发现了钙华,随后在9月份又在西部的伊和吉格德湖泊中发现了另一处钙华。钙华一般位于湖中心,直径3~10m,高出湖面1m左右,钙华中间存在上升泉,水量超过1L/s;笔者在湖泊旁边沙丘上找到的植物化石(根状结核), ^{14}C 测定钙华与化石的年龄在4000~27000年之间;由于钙华和化石中的 $\delta^{13}C$ 值很反常,为0.3175%,既不是大气成因的($\delta^{13}C$ 为-0.7%),也

非来自土壤(-2.5%)故怀疑CO₂的起源可能来自深部地幔,也就是说地下水经过了祁连山前的深大断裂构造。在呼资吉浪已经干涸的湖底,也发现了大量的根状结核,厚度达到1~2m,¹⁴C测定的年龄为(8543±172)a。通过对钙华和化石的同位素分析发现,有来自地幔的CO₂和³He,⁸⁷Sr/⁸⁶Sr证明地下水经过了海相沉积地层,从而证实了地下水参与了深循环。地热调查发现,在祁连山北侧地层的温度偏高,这是由于深部循环的地下水顺着山前的深大断裂构造将深部的热能传递到上部地层的结果。根据同位素数据还可以得出,沙漠中地下水源头的降水补给高程比黑河水高1000m以上,另外在巴丹吉林沙漠及其下游的泉水和地下水中的氢氧重同位素都显示为强蒸发,这说明大气降水在入渗地层之前就受到了很强的蒸发作用,只有常年的积雪满足这个条件。于是笔者推断:祁连山走廊南山的冰川积雪融化后渗入地层并汇入了祁连山前的深大断裂构造中,地下水顺着断层由西向东流,在民乐县一带转向北流,顺着深部断层和喀斯特地层补给到阿拉善右旗东边,然后进入巴丹吉林沙漠,在沙漠中以上升泉的形式涌出地面,形成众多的海子(湖泊),高大沙山的形成实际上与这条地下河的关系极为密切。在额济纳旗进行的石油钻探中发现,在1500m深处涌出的地下水的温度很高,水质很好,笔者怀疑该孔正好钻在渗漏通道上。

在距离伊和吉格德湖泊西部边缘200m的沙丘边坡上,挖了一个1m深的井,有地下水渗出。经过考察和研究,笔者还发现,沙漠表面的年蒸发量大于凝结水量和年降雨量,所以降水补给和凝结水补给地下水和湖泊的观点是不成立的。^[8]

祁连山的隆起使地层发生断裂,在山前形成了多条深大断裂,断裂构造沿着东西方向延伸数千千米,通过测定南丰乡深层地下水中的³He/⁴He值,发现该值比大气值高出40%,也就是说有部分³He是来自地幔,深大断裂仍然活动,正是由于这种特定的地质构造,笔者推断走廊南山的冰川融雪水并没有汇入黑河,而是汇入了深大断裂并沿着断层向东流,冰川融水在民乐县一带进入碳酸盐岩层中,通过碳酸盐岩层中的集中喀斯特地层中渗漏通道流向下游巴丹吉林沙漠地区。

3 温度升高是造成黑河下游湖泊消失的最根本原因

研究发现,古日乃湖、拐子湖、巴丹吉林沙漠湖泊群的补给都是来自于地下水,同位素数据显示这些地下水与黑河水来自不同的补给源。^[8]所以,上述

湖泊的干涸原因与嘎顺诺尔湖和索果诺尔湖是不同的,主要是近50年来全球变暖所致。额济纳旗及其周边地区的平均温度1960年以来上升了1.6℃,张掖市和鼎新县分别升高了0.9℃和1.1℃,祁连县升高了0.4℃,造成蒸发蒸腾量大幅度增加。^[6]降水量近40多年来总趋势是增加的,从20世纪60年代到90年代,祁连县、张掖市、鼎新县、额济纳旗平均年降水量分别增加了15.6%、14.2%、2.0%、22.6%。而且海拔越高,降水量越多,增量越大。20世纪90年代降水量虽比20世纪80年代减少,但仍比20世纪六七十年代有所增加。黑河经过莺落峡水文站的流量自20世纪60年代以来变化不大,在15.8亿m³/a左右,经过正义峡的流量在20世纪50年代为12.06亿m³/a,20世纪60年代为10.65亿m³/a,20世纪70年代为10.55亿m³/a,20世纪80年代为10.99亿m³/a。1990~1997年的8年平均年径流量仅7.34亿m³/a,比20世纪50年代减少了4.72亿m³/a,减少了39%。^[6]所以额济纳旗绿洲范围的缩小,嘎顺诺尔湖与索果诺尔湖的消失与黑河的流量的减少是直接的关系。但必须看到,随着温度的升高,蒸发量将大大增加,即便仍然维持以前10亿m³/a的流量,也不可能将生态环境恢复到20世纪50年代的水平。另外,古日乃湖、拐子湖、天鹅湖和巴丹吉林沙漠的部分湖泊干涸与黑河断流是没有关系的,同位素数据显示这些湖泊完全是靠来自巴丹吉林沙漠的地下水进行补给的。

4 人类活动对黑河流域生态环境的影响

古日乃草原和拐子湖地区的牧民介绍,20世纪50~70年代是每隔3~4年就下一场大雨,20世纪80~90年代是10年一场大雨,自从20世纪90年代以来的十多年间,古日乃地区未下过一场大雨,目前地表植被生长完全依靠地下水,草场退化非常严重。由于温度升高,面积800km²的古日乃湖泊已经退化为约200个小湖泊,拐子湖在20世纪80年代初湖水面积还很大,水深达到5~6m,现在大湖泊已经消失。古日乃草原现有1000多牧民,拐子湖的居民人口只有300人左右,巴丹吉林沙漠中的牧民不足100人。牧民都是以放牧为生,基本上不存在对水资源有影响的生产活动。

额济纳绿洲位于内蒙古自治区最西部的黑河末端,总面积11.46万km²,额济纳是一个以蒙古族土尔扈特部落后裔为主体的蒙古族聚居的牧业区和少数民族边境旗,总人口仅1.57万人,其中农牧业人口3500人,额济纳旗的生态生活用水量为5.33亿m³/a,近50年来莺落峡的流量变化不大,保持在

15.8 亿 m^3/a 左右。从笔者最近的研究成果来看, 额济纳旗的地下水除了黑河的补给外, 另有一个很强的地下水侧向补给源, 所以说维持生态环境并不是仅仅依靠地表的入境水, 地下水也发挥了极其重要的作用。笔者上面分析过, 很多湖泊并非是黑河补给, 湖泊的消失与温度升高有更为直接的关系。自 20 世纪 90 年代以来由于蒸发量的增加和工农业的发展, 中游地区的用水量增加了, 黑河输送到下游的水量呈减少趋势, 而下游蒸发量的急剧增加使得供需矛盾更加突出。

近 40 年来黑河中游的平均温度也升高了 1°C [6], 蒸发量的增加使耗水量同步增加了, 如果在这种情况下还要恢复到 20 世纪 90 年代输送到下游的水平, 那么中游的水资源将会严重缺乏。自从加大向下游的输水量后, 中游为了解决缺水的矛盾, 在大力开发地下水, 地下水位已经下降了十几米甚至更多, 使开采的成本加大, 中游水资源短缺的矛盾更加突出, 另外, 过量地开采地下水已经造成深部含水层的污染。

黑河的总流量只有 15.8 亿 m^3/a , 如果调往下游 10 亿 m^3/a , 则相当于黑河 $2/3$ 的水量, 黑河上游有 120 万人口, 人均用水量为 $1.14 \text{ m}^3/\text{d}$, 但其中包括了农业用水。实施调水后, 上中游地区就只有大力抽取地下水, 使地下水水位持续下降, 而且使浅层水的水质变差, 深部的水源受到污染危害。

再来看看黑河流域下游的额济纳旗地区, 由于蒸发量的增加以及黑河断流的影响, 当地居民大力开发地下水, 由于深层水越流补给浅层需要较长的时间, 限制开采深层地下水而倡导大力开采浅层地下水的后果造成了额济纳盆地浅层地下水位的下降, 从而加剧了胡杨林等植物的死亡。浅水的水质普遍较差, 矿化度达到 $3 \sim 4 \text{ g/L}$, 根本不能饮用, 用浅层水灌溉农田则更加剧的土壤的盐碱化。

5 建议废弃中下游水库并停建正义峡水库及输水渠道

国家加大向额济纳旗调水的决定是鉴于该地区生态环境的恶化而做出的。人们普遍认为黑河是额济纳旗地区唯一的补给源, 增加调水量的目的是要改变或恢复额济纳旗的生态环境, 将水调往诺果索尔湖和嘎顺诺尔湖的目的是想恢复昔日的生态环境, 使地表水渗入地下补给地下水, 但是由于这两个湖属于湖相沉积, 湖底的渗透性很小, 笔者估算垂直渗透速度每年不足 1 m , 90% 以上的水被无效蒸发了。

为了减少输水渗漏损失和将水集中使用, 水利

部门决定修建正义峡水库, 并在鼎新县下游修建输水渠道, 以避免地表水的渗漏, 在农业需要水、但黑河上游的水量又偏少的季节, 就可以将正义峡水库的水通过渠道快速地调往额济纳旗需要用水的草原和农田, 减少河道的渗漏。但中下游水库的蒸发损失是巨大的, 占蓄水量的 30% , 正义峡水库每年的蒸发量就高达 $0.5 \text{ 亿 m}^3/\text{a}$ 。

既然笔者已经初步查明, 黑河不是额济纳盆地地下水唯一的补给源, 就应该利用“地下河”来输水, 利用这个没有蒸发损失的“地下水库”来取代正义峡水库和诸多小水库的功能。笔者已初步探明, 基岩中的强渗漏通道位于额济纳旗镇的东南方向, 通道经过了天鹅湖, 仅天鹅湖目前的泉水量可达到 $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$, 总动储量不少于 $5 \text{ 亿 m}^3/\text{a}$ 。深部的承压水水质良好, 矿化度仅在 0.7 g/L , 完全可以代替正义峡水库和输水渠道的功能, 不但可以节约大量的建设资金, 而且每年可以使无效蒸发的 3 亿 m^3 水资源得到开发利用, 这在极端干旱的西部是极其宝贵的资源。由于承压水头比潜水位高 $50 \sim 60 \text{ m}$, 在地面高程低于 940 m 的较低洼处, 有可能形成自流井, 所以抽水的成本是比较低的。额济纳旗大幅度加大地下水开采的结果, 会降低承压水头, 使上游的湖泊(巴丹吉林沙漠湖泊群、天鹅湖等)的水位下降, 湖泊的面积减小, 沙山中的含水量减小, 从而使无效蒸发量大大减少, 使流入咸水湖泊的泉水得到很好的利用。

另外, 酒泉卫星发射基地生活用水和生产用水都是依靠抽取地下水, 但对鼎新县一带的河道衬砌或在那里修建输水渠道后, 这个地区的地下水就没有补给来源了, 水位将持续下降, 形成一个大的漏斗, 目前基地浅层水的矿化度已经达到 $2 \sim 4 \text{ g/L}$, 缺少补给源后水质将会继续恶化, 造成深部含水层水质的恶化。修建输水渠道实际上是一种浪费, 因为地表水通过河道渗漏到地下后进入到了含水层中, 补给了沿河两岸的地下水, 进入地下的水实际上比留在水库中的水安全得多, 因为它的蒸发量很小。河道渗漏后虽然到达额济纳旗的水量减少了, 但是这部分水并没有损失掉, 因此, 笔者认为修建输水渠道避免河道渗漏是不可取的。当然修建输水渠道的另一个目的是在最缺水的季节将正义峡水库的水调到额济纳旗绿洲, 实际上只要充分发挥地下水的作用和基岩中强渗漏通道的功能就完全可以达到这个目的, 用好有限的水资源。所以, 应在额济纳旗开发深层地下水, 将优质的深层地下水用于生活和灌溉。如果这部分水不开采出来, 也会补给到沙漠中的湖泊(包括咸水湖泊)中白白地被无效蒸发掉, 所以应该开发利用这个地下水库, 使它能够发挥最大

的经济效益。

减少无效蒸发将是水利部门下一步工作的重点,一定要废弃掉中下游的水库。例如,酒泉卫星发射基地的东风水库面积 10 km^2 ,库容 3000 万 m^3 ,该地区的蒸发量高达 4000 mm/a ,也就是说每年东风水库的无效蒸发量达到 0.40 亿 m^3 。由于水库远离生活区 20 km ,所以根本起不到调节气候的作用,建议废弃掉。可以考虑在生活区内修建护城河来调节局部的气候环境,这样即可以改造环境,又避免了大量宝贵的水被无效蒸发。此外,正义峡水库蓄水后,还要增加无效蒸发量 $0.5 \text{ 亿 m}^3/\text{a}$ 。有关决策机关应对此有所考虑。

6 开发地下水库、重新审查大通河向河西走廊调水方案以及有关的工程措施

首先来估算一下侧向补给额济纳盆地的地下水量。额济纳盆地承压含水层的面积大于 2 万 km^2 ,多孔介质含水层的厚度平均约超过 150 m ,孔隙率大于 0.1 ,承压水中的同位素氘和氟利昂测定的地下水年龄在 30 年左右,冲积层和洪积层受到基岩承压水补给,大约在地表下 50 m 处存在厚约 $7 \sim 8 \text{ m}$ 的隔水层,隔水层以上为潜水,水质较差,矿化度在 $2 \sim 4 \text{ g/L}$,不能饮用或进行农业灌溉; 50 m 以下的含水层随着钻孔深度的加深水质变好,矿化度小于 1 g/L ,估计优质地下水的静储量大于 2000 亿 m^3 。根据上述估算,侧向补给的地下水量大于 $5 \text{ 亿 m}^3/\text{a}$,所以应该采用这个地下水库来满足生态环境和生活用水的需要。开发地下水库有如下优点:①抽取大量的地下水后将可以降低承压水的水位(目前承压水位高于潜水位),于是又可以降低上游地区地下水的水位,减少巴丹吉林沙漠湖泊群的泉水量,从而减少了无效的蒸发量,保护了水资源。②限制开采浅层地下水后,潜水位的变化幅度减少,有利于植物的生长。③低洼处地下水在冬春季将溢出地表,带来大量的盐分,使土地的盐碱化加重,而当承压水位降低后,潜水接受承压地下水的补给减少,水就不再溢出地表,对改善土壤条件极为有利。④额济纳盆地深层地下水的水质优于黑河水,没有工业和生活污水的污染,适于饮用,进行农业灌溉不会使土地盐碱化。⑤地下水库被开发利用后,可以缩短通过水库调水的周期,避免输水过程中造成的水质污染和浪费,节约灌溉成本。

如果可以开发利用额济纳盆地的地下水库,人们就能从地下水库中获得 $5 \text{ 亿 m}^3/\text{a}$ 以上的优质地下水,可以将正义峡的调水量减少到 $5 \sim 6 \text{ 亿 m}^3/\text{a}$ 。可以将节约下来的 $4 \sim 5 \text{ 亿 m}^3/\text{a}$ 水的一半留在黑河

中游补充当地水源的不足,而将另一半采用输水管道输送到石羊河流域。

为了缓解河西走廊石羊河、民乐县一带缺水的问题,国家启动了“引大济西”工程,即将青海省大通河的水通过隧洞引入河西走廊,工程造价预算达到 10 亿元人民币 ,在 2015 年向石羊河与民乐县和山丹县一带调水 2.5 亿 m^3 。另外国家还准备将大通河的水引入黑河,即所谓“引大济黑”工程。如果水利部门能够采用笔者提出的上述调水方案,则“引大济西”和“引大济黑”工程就都可以不搞,避免国家在西部水利工程上的高投入、低产出。鉴于大通河是补给黄河的,而近年来黄河的水量本来就严重不足,国家启动的“南水北调工程”目的正是为了解决黄河缺水的矛盾。“引大济西”和“引大济黑”工程不仅要耗费巨大的财力物力,而且还要与黄河争水,这是不经济的。

【参考文献】

- [1] 顾慰祖. 阿拉善高原地下水的稳定同位素异常[J]. 水科学进展, 1998(4): 333 ~ 337.
- [2] 杨小平. 巴丹吉林沙漠腹地湖泊的水化学特征及其全新世以来的演变[J]. 第四纪研究, 2002(2): 97 ~ 104.
- [3] 武选民, 史生胜, 黎志恒, 等. 西北黑河下游额济纳盆地地下水系统研究(上)[J]. 水文地质工程地质, 2002(1): 16 ~ 20.
- [4] 武选民, 史生胜, 黎志恒, 等. 西北黑河下游额济纳盆地地下水系统研究(下)[J]. 水文地质工程地质, 2002(2): 30 ~ 33.
- [5] 陈建生, 汪集. 同位素方法研究巴丹吉林沙漠与古日乃草原地下水补给[A]. 见: 中国地球物理学会主编. 中国地球物理 2003[C]. 南京: 南京师范大学出版社, 2003. 642 ~ 643.
- [6] 张武文, 王林, 李德平. 额济纳平原水资源特点与合理利用[J]. 干旱区资源与环境, 2000(增刊): 19 ~ 24.
- [7] 陈建生, 凡哲超, 汪集, 等. 巴丹吉林沙漠湖泊及其下游地下水同位素分析[J]. 地球学报, 2003(6): 497 ~ 504.
- [8] 黄朝迎. 黑河流域气候变化对生态环境与自然植被影响的诊断分析[J]. 气候与环境研究, 2003(1): 84 ~ 90.

(收稿日期 2004-03-19 编辑 梁志建)

