

# 内陆河流域综合整治的生态恢复与重建技术

高前兆<sup>1</sup>, 钱 鞠<sup>2</sup>, 高雅玉<sup>2</sup>, 王 鹏<sup>3</sup>, 张 钰<sup>2</sup>

(1.中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,甘肃 兰州 730000;  
2.兰州大学资源环境学院水文水资源工程系,甘肃 兰州 730000;  
3.内蒙古自治区水利水电勘测设计院,内蒙古 呼和浩特 010020)

**摘 要:**通过对我国西北内陆河流域的生态系统、水循环、水资源形成与消耗的特点,生态环境的变化以及水环境保护等问题分析,论述了开展内陆河流域综合治理的必要性和紧迫性。结合近期典型流域治理恢复成效,提出内陆河流域综合整治的第二步生态恢复目标。根据内陆河流域的治理实践,参照干旱区供水集水和保水技术,总结了改善下游绿洲水分生态平衡、控制中上游用水与保护河道水环境,防治河道水质盐化与农田排水再利用等生态恢复与重建的技术。最后,为了实现流域生态环境良性循环和水环境质量整体改善,提出了现阶段要加强水环境监测保护和生态补偿建设的任务。

**关键词:**生态恢复与重建技术;综合整治;水环境保护;内陆河流域

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2011)01-0059-07

## 前言

目前我国江河、湖泊普遍受到人类开发利用水资源活动的巨大影响,特别在我国的内陆河流域,尽管在上游山区河道能保持自然供水、水质可达Ⅱ类标准;但一进入平原地区,受引水灌溉影响,河道渠化、地表水与地下水频繁转化,河道水环境发生明显变化,并在大中城市附近和工矿下游已出现河水和地下水的污染;反映在下游河道出现间歇性流水甚至断流、河水矿化度升高、地下水水位持续下降,终端湖干涸,引起严重的沙漠化和土壤盐碱化等问题,尤其是近期沙尘暴和盐尘频频袭击下风侧数百乃至上千公里的人类生存环境。尽管西北地区人口相对较少,经济发展相对东部滞后,但现今正处在城市化和工业化快速发展阶段,而且,河流水环境状况不容乐观。在水量上,拦蓄和引流灌溉已经改变了水资源的分配格局,城镇和工业用水迅速增长,目前仍未改变经济发展用水严重挤占生态用水的局面;在水质上,一方面农业面污染和工业城镇点污染还未得到有效控制,使河水和地下水遭受到各类污染,另一方面河道径流减少和枯水加剧,使水环

境容量急剧减小,既造成可利用水资源的短缺,又直接威胁着饮用水的安全和人民的健康,还危及工农业生产和生物产品安全。

为此,我国政府实施西部大开发决策时,制定了生态环境战略方针,开展塔里木河、黑河、渭河等典型流域的综合整治,从2007年起又扩展到石羊河流域治理。根据内陆河流域的河流生态系统特点和水循环规律,制定了流域治理的生态恢复有限目标,以生态水利工程建设为导向,实施流域水资源统一分配、调度和管理,充分利用自然之力,采用人为引导和控制人类用水行为,实现了中上游对下游地区生态用水应急输水拯救,使台特马湖和东居延海出现有部分湿地和积水,下游盆地的地下水正在得到补充,地下水水位在上升,使濒临毁灭的塔里木河下游绿色走廊和黑河下游的额济纳绿洲恢复出现了转机。现将流域综合整治、河流生态系统恢复、水环境保护、绿洲生态环境重建和生态维护技术总结如下,并结合现阶段实际,对流域水环境动态监测、水环境保护政策制定,以及涉及可持续发展的生态补偿机制和保障体系,提出建议,以便实现流域生态环境良性循环和水环境质量的整体改善。

收稿日期:2009-11-20

基金项目:中国科学院重要方向项目(KZCX2-YW-127);国家自然科学基金项目(40661002)

作者简介:高前兆(1942-),男,江苏常州人,研究员,博士生导师,主要从事寒旱区水文水资源研究。E-mail:gaqz@lzb.ac.cn

## 1 内陆河流域河流生态系统与水循环水资源形成消耗特点

### 1.1 内陆河流域的河流生态系统

内陆河流域是分布在西北内陆盆地一个完整的流域生态系统,它以流域内地表径流和地下径流为脉络,构成一个完整的生态功能单元。根据流域自然地理过程的一致性和人类开发活动的深度,可以把内陆河流域看作由上游山地亚生态系统、中游山前平原人工绿洲亚生态系统、下游人工与天然绿洲亚生态系统以及外围沙漠与戈壁荒漠亚生态系统组成。

上游山地亚生态系统位于河源,由中山和高山组成,主峰可达盆地周围的山脉主峰,一般在5 000~7 000 m以上,高山四季严寒、终年积雪;并有现代冰川分布共计22 250条<sup>[1]</sup>,冰川面积 $2.80 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,折合水量 $2.54 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,平均冰川融水量 $255 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ;在天山北坡、阿尔泰山南坡和祁连山东端北坡2 700~3 500 m有水源涵养林带分布,其余山区仅有山地灌木、草地,也可涵养水源;山地坡陡谷深、蒸发较小,年降水量可达200~700 mm,是流域水资源的形成区,多年平均河川径流量 $1.180 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,通过源于山区的河流水系进入山前平原。

中游经过长期改造,已建成连片的人工绿洲亚生态系统,灌溉面积扩大,约为新中国成立初期的2~3倍,主要进行农业种植,居民点林立,人口密度可达70~1 000人/ $\text{km}^2$ ;除有一些属中小城市景观外,主要为渠、路、田、林网覆盖,目前已消耗流域产生的70%以上水源;河道渠化,地表水与地下水相互转化,泉水流量减少,余水经干流汇入下游盆地。

下游一般为伸展入沙漠戈壁中的天然和人工绿洲半岛,大型河流可以穿越沙漠形成绿色走廊;河流成为干旱地区输水生命线,周围多为有河岸植被分布的天然绿洲,并有沙丘穿插其间;河水最后进入终端湖,有时形成积水湖泊,一些中小河流直接消失于沙漠,形成天然绿洲。这里的绿洲以消耗水资源来维系生存,并与荒漠生态系统进行艰苦的抗衡,当然也保护着人类生存和发展的环境;若下游一旦失去水源,毫无疑问将被沙漠所吞并。

内陆河下游外围均为沙漠和戈壁包围,成片相连,并有零星残山分布,主要为沙漠、戈壁景观,覆盖流动沙丘、半固定沙丘和固定沙丘及砂砾戈壁,并与退化的绿洲沙漠化土地融合,仅能生长稀疏的梭梭、柽柳、柠条、沙拐枣、白茨等灌木、半灌木植被,这里降水不到

100 mm,潜在蒸发高达几十倍,水分十分缺乏,属于土地生产力低下荒漠亚生态系统。

流域内山地亚生态系统、山前平原人工绿洲和天然绿洲亚生态系统、荒漠亚生态系统,以河流为纽带相互联系在一起,不仅以河道水流为介质进行物质、能量传输和交换,而且还通过地下水流和敞开空气流进行不停息的交换,传输有时是单向的,有时是双向的,维持流域生态平衡和各亚系统之间的相互制约关系,并与流域外各类陆地生态系统相互依存(见图1)。

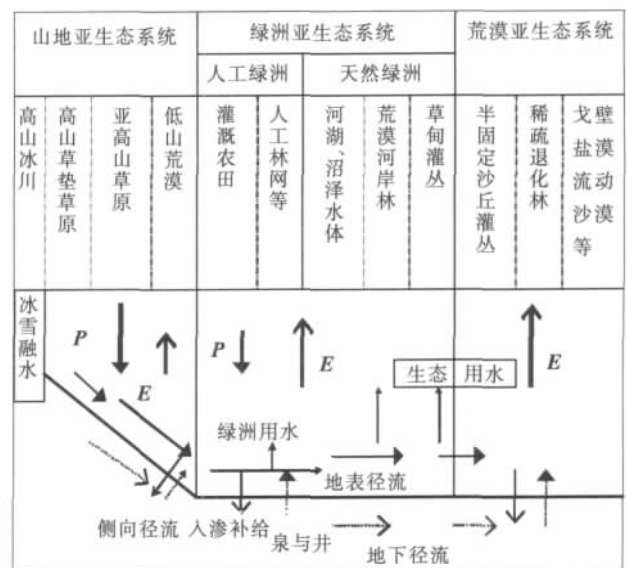


图1 内陆河流域水资源与生态系统的关系

Fig.1 The relationship between water resources and ecosystem in inland river basins

### 1.2 水循环水资源形成与消耗特点

内陆水循环与外流河水循环相比,河水流入干旱的封闭盆地,形成了一个个封闭的陆地水循环系统,按照内陆河流域或水系,水资源在流域上游山区的水循环中形成,在广阔平原的陆地水循环中散失,并在山前平原受人类活动进行强烈地表水与地下水的转化<sup>[2]</sup>。

#### 1.2.1 水资源在山区水循环中形成

内陆河上游山区为径流形成区,这里海拔较高,地形切割,人类活动稀少;高山发育的冰川每年夏季消融,形成冰川径流,成为多数河流的源头;山地坡陡、降水较多形式多样,经植被截留、地表径流和壤中流转化,即形成降雨径流和季节性积雪融水径流,并迅速汇集于河道;还有一部分降水和径流在山坡和河谷入渗地下,随地形和地质条件变化,流入河道成为基流,极小部分成为深层流。因此,地表径流随山溪河流沿程增

加,到达出山口时,河川径流达到最大。根据河西内陆河研究<sup>[3-4]</sup>,可以得到水资源形成的水文过程(见图2)。在山区地表水资源形成转化的同时,山区降水与径流还支撑着山地亚生态系统。这样,出山地表水资源来源可分为山区降雨径流、冰雪融水径流、地下水基流三部分。降落在山区的降水,约有20%~35%产流,流入河道形成地表径流。

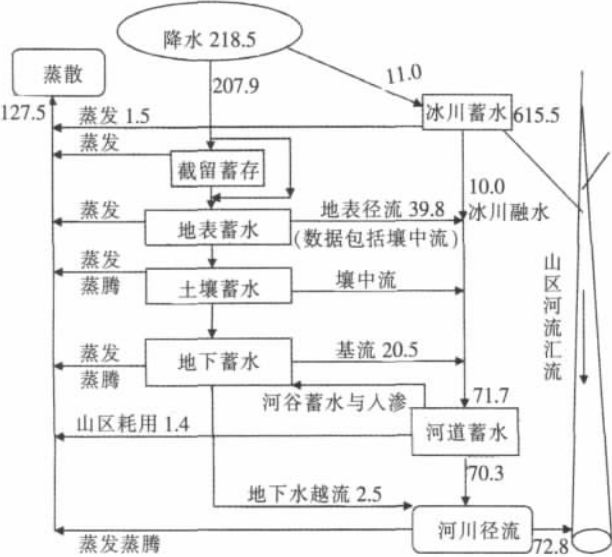


图2 河西内陆河流域山区水资源形成水文过程示意图  
(图中数字为水量 $\times 10^8\text{m}^3$ )

Fig.2 The hydrological process which is the formation of the water resources in the mountain area of the inland river basins of Hexi corridor  
(The number in figure is water amount unit  $1 \times 10^8\text{m}^3$ )

1.2.2 水资源在平原水循环中散失

径流出山后以地表水与地下水两种形式相互转换,尽管平原区也有降水,但仅有少量入渗补给地下水,由于受水文地质和气候条件影响,不能形成地表径流;并伴随着人类开发利用,沿水流不断地渗漏进入地下和蒸发蒸腾向空中散失,最终消耗掉山区形成的全部水资源<sup>[5]</sup>。平原地区的中上游山前地带,在天然条件下,流经透水性极强的山前冲洪积扇,河水会大量入渗补给地下水,河川径流沿程减少,其补给量取决于河床的水文地质条件、流量和流程,一般在未修建人工取水设施之前,补给地下水的量可以达到出山径流量的60%。盆地由河道入渗、山前侧渗和少量降水入渗补给的地下水,主要以潜水的形式向下游流泄,并在冲积扇缘以泉水形式溢出,汇集成泉流入河道,在盆地内再度转化为地表水,有的甚至还可进入下一级盆地转化消耗。流进盆地的河川径流和地下水的部

分支撑着人类活动最强烈的人工绿洲亚生态系统;在河流下游和人工绿洲的周边地区,属于地表和地下径流的排泄、积累和蒸发散失区,水资源支撑天然绿洲、内陆湖泊水域和低湿地亚生态系统;在河流尾间与天然绿洲周边及下游广大荒漠地区,属于水分严重稀缺的无流区,仅依靠极为有限的降水和大气凝结水,支撑着这里的脆弱荒漠亚生态系统。

1.2.3 山前平原人工绿洲对河流水循环有明显影响

在干旱地区人类开发利用水资源建设人工绿洲,在河道上筑坝拦水、修建水库、在两岸开渠引水,以致形成如现今中游地区的河道渠化,改变了水流与河道、积水湖泊的关系,改变了地表水和地下水的转化路径,也改变了原有的地下水所赋存的环境。这在流域内天然水循环的框架下,形成了取水-输水-用水-排水-回归等环节构成的地表水流侧支循环;在绿洲里人工开采地下水,采用引流泉水、打井提水,甚至回补或截引地下含水层,也构成地下水流的侧支循环<sup>[6]</sup>。以石羊河流域东部的武威盆地为例<sup>[7]</sup>,进入20世纪90年代,人工引蓄地表水和提引地下水侧支水循环已占了主要地位(见图3),而且已在武威盆地年超采地下水近 $10^8\text{m}^3$ 。尽管也是消耗山区形成的水资源,但是由于受到绿洲里人类活动利用强度影响,以及大规模改变土地覆盖,使流域中下游地表水流和地下水补给、排泄发生巨大变化,而且这种取水-用水-排水过程中,还产生明显的流域水文效应。流域人工侧支水循环的形成和发展,一方面增加了人工供水量,另一方面使天然状态下的地表径流量和地下径流量不断减少,水质受到人类活动影响,导致了平原的水资源系统的变化,也使

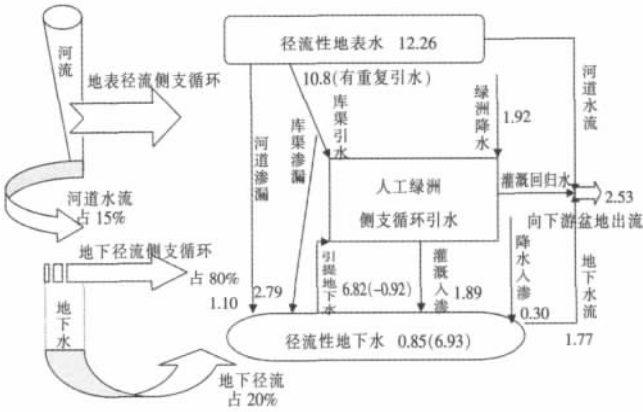


图3 平原人工绿洲水循环侧支循环结构示意图  
(以石羊河武威盆地20世纪90年代为例)

Fig. 3 Structure of collateral cycling of water cycle about artificial oases  
(The Wuwei basin of the Shiyang river in 1990s was taken as the example)



天然绿洲生态与人工生态发生相应变化。结果使中游水资源转化垂直方向加强,向空中蒸发消耗水量增加;使下游水平方向径流减少,造成下游河道和内陆终端湖泊萎缩、地下水位下降、沙漠化等环境退化。

## 2 流域综合整治的紧迫性

在 20 世纪后半期,随着我国西北地区的社会经济发展和水资源开发利用,先后出现内陆河下游河道断流和湖泊干涸,特别是居延海、罗布泊和台特马湖等内陆湖泊干涸,直接关系到下游的生态环境失去平衡,国际上在中亚咸海造成巨大的生态灾难,土地退化、盐碱化、沙漠化不断蔓延和扩张,沙尘暴频频袭击,使本来脆弱的生态环境更加不堪重负,以致使塔里木河下游绿色走廊和额济纳绿洲告急。罗布泊和居延海出现的问题,实际上是内陆河流域水资源开发利用的问题。曾在 20 世纪 70 年代提出“限制上游、控制中游、保证下游”的设想,长期以来由于开发治理主要集中于上游修建引水枢纽和平原水库,并以增引地表水为目的,无干流控制性输水工程,任凭河水流泄和过度利用,不仅造成中游水资源浪费,而且使泄放给下游水量急剧减少,造成终端湖干涸,地下水源枯竭,下游河道断流,沿岸胡杨林大量死亡,使几千年形成的南疆绿色走廊濒临绝境和额济纳绿洲萎缩。尽管在中上游开辟了大片灌溉农田,获得一定收益,但这是挤占了生态环境用水,也造成局部水环境恶化,以牺牲中下游的生态环境为代价的,而且已显露出对灌区耕作和当地农牧民造成极大威胁,沙漠化和沙尘暴的肆虐,已成为阻碍这些地区经济发展的一大因素<sup>[8]</sup>。

在内陆地区,绿洲与水相连是以流域为单元共存的,水资源是流域生态系统中连接上下游最为关键的活跃因素,也是极宝贵而有限的资源。水环境的变化必然导致其他自然因素发生与其相应的变化,干旱地区很多环境问题都是由于水资源利用不当产生的,合理利用水资源是内陆河流域土地开发的前提和生态环境保护的根本。为此,开展流域整治是内陆河流域一项紧迫和艰巨的任务。除了加强流域规划和治理,发展节水和合理开发地下水外,防治河流水质盐化和污染极为重要<sup>[9]</sup>。一方面多数河流在出山口以上,因人类活动强度不大,河流水质是属于矿化度 0.5g/L 以下的优质水,部分也属矿化度不到 1g/L 的淡水,可达Ⅰ、Ⅱ级水标准;随着流程增加,到山前平原通过蒸发渗漏和上排下灌影响,水的矿化度不断升高,部分河流可以满足Ⅲ、Ⅳ

级水。但有些河流及河段,如塔里木河干流、孔雀河、克孜河和河西内陆河下游段,河水矿化度可达 1~2g/L,并在春夏之交枯水季节更差,如塔里木河干流上段可达 5~6g/L;同时在河道流经的城镇和工矿段,灌溉农田回归水和污水排放,已出现河水污染,在枯水季节可超出水功能区划要求达到Ⅲ、Ⅳ级水的标准,有时为Ⅴ级水或劣Ⅴ类水,根据新疆和甘肃河西走廊河道监测,主要为有机污染,但也有重金属污染。

根据传统的水资源开发利用,一方面使灌溉面积不断扩大,经济发展用水需求增大,资源消耗急剧增加,水资源需求矛盾日益突出;另一方面受到全球气候变暖和生态环境恶化等影响,已造成流域内可利用水资源数量和质量不断下降,人均水资源占有量急剧减少,合理安排生态、生活和生产用水已成为必需,这也突出了内陆河流域的生态地位和生态综合整治的重要意义。为此,在本世纪初由国务院批准和水利部立项,实施重大举措,开展塔里木河和黑河流域的综合整治。

## 3 流域综合整治的生态恢复目标与近期典型流域治理恢复成效

国务院批准对塔里木河和黑河流域的近期综合治理,以强化流域水资源统一管理、调度和优化配置,以生态水利工程建设为重点,通过实施对下游的生态输水,达到恢复下游的受损河流生态系统,同时对上游进行节水改造、整治干流河道,开展退耕还林还草和保护封育天然林,合理开发利用地下水等一系列措施,来增加汇入下游河道及终端湖湿地的水量,确保生态环境用水,以自然恢复下游流水的水分生态平衡,使恶化的生态环境趋势得到逆转,达到整个流域水资源可持续开发利用,使人水和谐和生态环境得到改善。

现今塔里木河下游绿色走廊的恢复和额济纳绿洲生态改善,已成为中国西部开发、实施环境战略的一个重要标志<sup>[10-11]</sup>。自 2001 年国务院批准实施近期综合治理以来,时间已过去了 9 年。在塔里木河上,2001~2004 年主要靠博斯腾湖丰水期输水,2004~2007 年遭遇阿克苏河的丰水,靠上游源流节水和干流堤防工程向下游输水,通过沿老河道自然流淌恢复,已使断流 30 多年的下游河道流水、形成尾间湖季节性积水,实现了第一阶段的治理目标。需要提出的是这种生态输水使沿河两岸地下水得到了补充,并改变

了受水区域的生态条件,对下游河湖区生态恢复起到了积极作用<sup>[12]</sup>。在黑河流域,通过实施中下游水资源定量分配方案,在中游退耕还林还草与退水,开展节水型社会建设,基本保障和稳定对下游的供水,使东河下游林草生态得到了水分补给,并正在逐步恢复,还使东居延海有了多年的积水,这也是黑河流域实现综合整治目标的重要一步。

但是,随着时间推移,靠自然恢复的速度较慢,通过已恢复的下游河道与相依存的绿色植被带发挥防沙治沙的效应还很有限;而且,向下游泄放水量仍受到山前用水增加的威胁,在下游恢复生态还会出现反复。为了使这项世纪初实施的生态环境建设工程能尽快达到预期目标,仍需要巩固流域整治成果,在总结这几年生态输水经验和河道生态系统恢复与重建技术基础上,针对全流域生态环境建设和河流生命健康继续制定第二步目标。把实现流域水环境保护和恢复作为重要目标,即为维护上游山区水源稳定、水塔安全和水质保障;中游控制各种污染、保障输水畅通和水环境达标;下游继续恢复植被生态、防治水质盐化和维护生态稳定为标志;这样可为全国的水体污染控制、生态修复和资源节约型、环境友好型社会建设提供有利支撑。

#### 4 流域水环境生态恢复与重建技术

在内陆河流域生态恢复取得阶段性成果的同时,需要认真总结经验,特别是流域水环境生态恢复与重建技术,并为达到实现更高的目标提供成功技术和经验。为此,根据我国内陆河流域近年来的流域整治实践,参照干旱区供水集水保水技术<sup>[13]</sup>,结合今后流域水环境保护和水资源可持续开发利用,拟出以下几项主要技术总结如下:

##### 4.1 增加对下游泄放淡水,改善下游绿洲水分生态平衡技术

根据内陆河下游伸入干旱荒漠环境的特点,原有的终端湖泊、湿地及相连的绿色植被和土地资源,是荒漠生态系统中极为脆弱的天然绿洲。过去,曾在历史上靠中上游来水维持有较大的内陆水体,并在其补给维持的地下水位支撑下,保持下游绿洲长存不衰,为人类文明做出了巨大贡献。然而,一旦这里失去水分供给,湖泊干涸和地下水位下降,直接造成土地旱化,稀疏植被随即枯亡,区域水热平衡就会严重失调,大量太阳辐射能转化为空气动能,使疏松

的地表物质遭受强烈的风蚀和堆积,不仅在冷空气袭击时成为沙尘暴源地,而且转眼就可形成裸露的戈壁和荒芜的沙丘,土地失去生产力。

这种下游地区的生态平衡是靠一定的水分来维持的,可见,采取增加对下游的泄放水量,改善下游绿洲的水分生态平衡成为成败的关键。为此,在实施塔里木河和黑河流域的综合治理时,把保障输送一定水量作为一项极为明确的任务。尽管已连续9年对塔里木河下游绿色走廊生态输水,黑河流域也实施了相继10年的定量分水,可促进下游河道的地表水与地下水流动,并使每年得到地表淡水补充,表现出地面河道与水系得到恢复、尾间湖积水显现、地下水位呈持续上升变化,湖泊生态植被得到生态改善,使受损的下游水系统得到初步修复。

但是,这种对下游的输水还不稳定,必须采取立法和强制措施,成为永久性输水。同时,还要保障供水,加强对内陆河下游湖泊湿地的生态保护;强化对中上游输送符合水质要求的水量监测和管理,保护来之不易的下游河道和湖泊的水环境,完善我国内陆河流域改善下游生态和水环境的技术系统,并推广到其他内陆河地区,为流域生态恢复提供经验和应用技术。

##### 4.2 控制中上游用水,维护河道输水功能和改善河道水环境技术

内陆河流域中游是人类活动强度最大,开发利用和消耗水资源最主要区域,不仅使现有河道渠化,而且把河水一出山口就引入水库和灌溉渠道,造成人工侧支水循环超过自然的水循环,使自然河流非连续化。同时,中游地区农业灌溉集中,居民集居,中小城镇多位于河旁,工矿企业也多利用河流水源优势设立,随着城市化和工业化发展,城市供水和工业用水正在迅速增加,相应的供水水源扩大,排水系统要与河道和地下水连接,废物和污水无疑对河流水环境造成更大负荷。这样,既对中游地区河道水环境产生明显影响,也对其下游地区河水和地下水环境造成巨大压力。在实施内陆河流域整治中,着重注意了控制中上游用水,保护河道输水功能和改善中游河道水环境及相关技术应用。这些主要包括节水型社会建设和农业节水灌溉、城镇与工业污水处理和控制排放、河道整治和水环境监测等项技术。

节水型社会建设与农业灌溉节水技术,从干旱区水资源与生态环境可持续发展的总体来看,节约用水

是根本出路,而且目前的农业用水占总用水量的80%以上,有的流域可达95%以上;城镇和工业用水增加要靠节水满足,随社会水平提高,还要提高和改善生活用水;为改善人类生存环境,迫切需要增加长期被挤占的生态用水量;同时由于西北经济发展滞后,水资源利用效率和效益低下,浪费水现象还很普遍,而流域淡水资源有限。为此,要以资源水利的治水思路,根据水资源限制以供定需,走节水型社会建设道路。农业灌溉节水已通过多年实践,在节水灌溉技术到节水制度管理上取得了明显进展,已使节水走进千家万户,人人树立节水意识,节约每滴水;在城镇和工矿,实施循环用水和无水工艺,污水资源化,大大降低了城市供水和万元产值用水,并有效减少废水排放。这些节水技术对控制中游地区的用水起到了一定作用。但是,目前中游的耗水量仍在增加,节水还有潜力,仍需要从调整用水结构、加强水管管理来减少水消耗,走出有中国特色的减少资源消耗的节水道路。

城镇与工业污水处理和控制排放技术,这些年来也越来越受到重视,加上人们认识到中游地区位于平原地区的上游,河流和地下水一旦遭到污染,影响很快扩展到下游,并需要很长时间才能恢复。所以,一些城市完善了排水系统,修建污水集中处理厂,进行统一处理,达标排放,或处理后用于绿化和农业灌溉;工业污水处理主要采用新工艺减少用水或实施工业循环用水,不仅减少废水排放,而且可减少供水量,减轻水资源压力。城镇和工业废水处理技术在我国发展也较快,但运用到内陆地区还有一个过程。现今城市用水和人畜产生的废水逐年增加,尽管对耗水性工业进行了控制,但工业用水也在迅速增加,加上欠发达地区人才和资金困难,目前仍需要加强对实用和低成本处理技术研究。因此,对内陆区地下水和河流环境监测极为重要,以环境容量限排控污,将成为今后水环境改善的关键。

像塔里木河干流一样,内陆河中游河道的一个重要生态功能,就是保障河道输水畅通,保障流域完整性,为下游输送生命之水。受中游人工渠网发展影响,一些中游河道干涸和废弃,但一旦洪水来临,最安全的是泄水进入河道;同时,原有河道仍有维持区域生态平衡的作用,需要进行疏通,进行生态河道整治,如在塔里木河干流上修建生态闸,清理平原水库和加固河堤;在黑河下游修建输水渠、清除河道拦

水坝和下游修建控制水闸等;已为下游输水起到了明显作用,也为河道两侧生态植被改善创造了有利条件。但是,还有一些地区没有引起对中游河道的重视,往往成为废物和废水倾倒场所,出现的多起重废水污染,不仅引起下游饮用水源污染和水质超标,危及人体健康和农产品安全,而且造成伤害下游生命的严重事件。

#### 4.3 防治河流水质盐化,强化农田排水再利用技术

内陆河水受山前平原灌溉入渗转化为地下水,再通过盆地地下水调节,在潜水溢出带出流,一般地下水矿化度要高于地表水,增加地下水汇注河道,一定程度使上中下游河水产生变化,使河水矿化度升高,但这种自然的变化仍可以保持河道水质符合淡水范围。当人类开发利用山前平原土地时,往往受干旱区的强烈蒸发影响,特别在潜水位浅埋带,多属盐碱滩地,需要排水或洗盐才能耕种;即使在地下水位较深处开发利用土地,干旱区非灌不植,灌溉不注意排水或灌排不畅,就可引起灌区地下水位持续上升,土壤发生次生盐碱化;还有不注意灌溉水质,或采用咸水灌溉造成泄流。这样,造成河道水质盐化,不是由于排水洗盐、灌排系统规划不合理造成,就是灌溉区漫灌引起地下水位上升、土壤盐碱化,使上层地下水盐化,再把农田排水泄入自然河流和湖泊,引起河道水质盐化,特别在枯水季节,大量地下水和灌溉回水进入河道,往往造成河流水质急剧恶化。这是内陆河由人类不合理开发利用土地产生的水环境变化,严重的造成枯水季河水无法利用,同时还影响下游河道及地下水水质。

因此,在流域整治和灌区改造中,注重以流域为单位,合理布局排水排盐出路,开挖排水渠形成排水系统,统一解决排水出路,使来水有源,去水有路,灌排分离,不把农田排水泄入河道和湖泊;在排水不畅地区,就近排入低洼地、盐碱滩、老河道、戈壁和沙漠;在地形坡度较小、自流排水困难地区,可设立扬排;并重视节水灌溉,从根本上减少灌溉回归水量。

农田排水可以再利用,在我国沙漠地区的胡杨和柽柳具有很高耐盐能力,在塔里木河阿拉尔地区,从阿克苏绿洲的塔南干排水矿化度高达5g/L以上,引入塔里木河古河道后,不仅改善了沿河两岸土壤水分条件,使胡杨、柽柳恢复了生机,生长繁茂;根据各种作物和植物抗盐性能,咸水还可再利用来增加绿色植被。



## 5 水环境监测保护和生态补偿建设

在我国西部大开发进程中,加强内陆河流域的水环境监测和保护,可以巩固已经取得的生态环境改善成果,更重要的是目前仍是局部有所改善,而整体水环境还不容乐观,全球气候变暖在我国内陆也更加敏感,而水环境变化并不是可用眼睛觉察的,还有一些引起水环境变化的机理需要研究,变化动态难以预测,治理难度也在加大;同时受到局部和当前利益的驱动,牺牲环境利益的事件时有发生,生产事故还不可避免,加强水环境的监测和定期评价极为重要,这需要通过国家和地方政府增加投入,重视水环境监测和保护工作。

同时,随着我国经济建设和科学技术发展,对我国水环境保护立法有了创新和进化<sup>[14]</sup>,这使缺水内陆地区开展水环境恢复和保护,迎来了前所未有的机遇。国家已经投入了大量人力、物力和财力开展流域生态环境的整治,并取得了农业节水的实效,除了可满足下游生态环境用水外,还转移部分水进入城镇和工业发展用水,解决农村生活饮水问题;而且,目前采用的政府指导水价,远低于水资源的成本价。这些实际情况,在面临水环境保护和恢复的巨大挑战时,可给水环境保护、恢复和监测,提供资源和资金上的补偿有利条件。目前,有关水环境补偿建设的机制、标准和政策与保障体系仍需要在实践中不断完善,并为水环境保护的可持续发展提供有力保障。

### 参考文献:

- [1] 施雅风. 简明中国冰川目录 [M]. 上海: 上海科学技术普及出版社, 2005:33-178. (SHI Yafeng. Concise Glacier Inventory of China [M]. Shanghai: Shanghai Popular Science Press, 2005: 33-178. (in Chinese))
- [2] 曲耀光. 河西地区地表水与地下水资源的转化及总水资源的计算[J]. 自然资源, 1987, (2):7-15.(QU Yaoguang. Transformation of surface water and groundwater resources and calculation of the total water resources in Hexi region [J]. Natural Resources, 1987, (2):7-15. (in Chinese))
- [3] 高前兆, 李福兴. 黑河流域水资源合理开发利用[M]. 甘肃: 甘肃科学技术出版社, 1991: 1-203.(GAO Qianzhao, LI Fuxing. Case Study of Rational Development and Utilization of Water Resources in Heihe River Basin [M]. Gansu: Gansu Scientific and Technology Press, 1991: 1-203. (in Chinese))
- [4] 高前兆, 仵彦卿. 河西内陆河流域水循环分析 [J]. 水科学进展, 2004, 15 (3):391-396.(GAO Qianzhao, WU Yanqing. Analysis of water cycle of inland river basins in Hexi region [J]. Advances in Water Science, 2004, 15(3): 391-396. (in Chinese))
- [5] 陈隆亨, 曲耀光. 河西地区水土资源及其合理开发利用[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 36-76.(CHEN Longheng, QU Yaoguang. Water and Land Resources and Their Rational Utilization in Hexi Region [M]. Beijing: Science Press, 1992: 36-76. (in Chinese))
- [6] 王浩, 王建华, 秦大庸, 等. 现代水资源评价及水资源学科体系研究 [J]. 地球科学进展, 2002, 17 (1): 12-17.(WANG Hao, WANG Jianhua, QIN Dayong, et al. The study on water resources assessment and subject system of water resources study on modern times [J]. Advance in Earth Science, 2002, 17(1): 12-17. (in Chinese))
- [7] 高前兆, 李小雁, 仵彦卿, 等. 甘肃河西内陆河流域水资源转化分析 [J]. 冰川冻土, 2004, 26 (1):48-53. (GAO Qianzhao, LI Xiaoyan, WU Yanqing, et al. Transformation of water resources in the inland river basins of Hexi region [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, 26(1): 48-53. (in Chinese))
- [8] 高前兆, 屈建军, 王润, 等. 塔里木河下游绿色走廊生态输水对沙化逆转的影响 [J]. 中国沙漠, 2007, 27 (1):52-58.(GAO Qianzhao, QU Jianjun, WANG Run, et al. Impact of ecological water transport to green corridor on desertification reversion at lower reaches of Tarim river [J]. Journal of Desert Research, 2007, 27(1): 52-58. (in Chinese))
- [9] 樊自立. 新疆土地开发对生态与环境的影响及对策研究[M]. 北京: 气象出版社, 1996:175-218.(FAN Zili. Research on the Impact of Land Utilization to Ecology & Environment in Xinjiang and the Correspondent Countermeasures [M]. Beijing: Meteorology Press, 1996: 175-218. (in Chinese))
- [10] 邓铭江. 塔里木河下游应急输水与生态修复监测评估研究[J]. 中国水情分析研究报告, 2004.11 (109):1-9.(DENG Mingjiang. Study on the evaluation for the emergency water deliveries and monitoring of ecological rehabilitation in the downstream of Tarim River [J]. Analysis and Study Report of China Hydrologic Information, 2004, 11 (109): 1-9. (in Chinese))
- [11] 陈亚宁, 李卫红, 徐海量, 等. 塔里木河下游地下水位对植被的影响 [J]. 地理学报, 2003, 58 (4):542-549.(CHEN Yaning, LI Weihong, XU Hailiang, et al. The influence of groundwater on vegetation in the lower reaches of Tarim river [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(4): 542-549. (in Chinese))
- [12] 樊自立. 塔里木河流域资源环境及可持续发展[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 3-30.(FAN Zili. Resources Environment and Sustainable Development in Tarim River Basin [M]. Beijing: Science Press, 1998: 3-30. (in Chinese))
- [13] 高前兆, 李小雁, 俎瑞平. 干旱区供水集水保水技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 1-359.(GAO Qianzhao, LI Xiaoyan, ZU Ruiping. Techniques of Water-Supply, Water-Harvesting and Water-Conservation for the Arid Lands [M]. Beijing: Chemistry Industry Press, 2005: 1-359. (in Chinese))
- [14] 李启家. 我国水环境保护立法的创新与进化 [J]. 环境法电子期刊, 2003, 1:1-10. (LI Qijia. Innovation and development of the water environment legislation in China [J]. Environment Legislation, 2003, 1: 1-10. (in Chinese))
- [15] 王超. 流域水环境综合治理的构想与展望[DB/OL]. www.chinawater.com.cn, 2007.10.30:1-6. (WANG Chao. Conceivable and expectation of comprehensive rehabilitation of watershed water environment [DB/OL]. www.chinawater.com.cn, 2007.10.30:1-6. (in Chinese))

(下转第 80 页)

### Test on Agricultural Irrigation Water Utilization Coefficient for Liaoning Province

ZHANG Baodong<sup>1,3</sup>, WANG Dianwu<sup>1,2</sup>, LI Song<sup>2</sup>, TANG Leibin<sup>2</sup>

(1. *Shenyang Agricultural University, Shenyang 110000, China;*

2. *Liaoning Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Shenyang 110003, China;*

3. *Water Resources Department of Liaoning Province, Shenyang 110003, China)*

**Abstract:** Using the three methods of spot experiment test in typical region, actual measurement in representative irrigation area and balance analysis of water demand investigation, the agricultural irrigation water utilization coefficient was taken as 0.52~0.59 for Liaoning Province. The coefficient can be supplied for assessing the efficiency of agriculture water, feasibility of developing water-saving agriculture and solving the problems of water resources scarcity.

**Key words:** irrigation water utilization coefficient; test; Liaoning Province

(上接第 34 页)

### Inflow Flood Characteristics of the Three Gorges Reservoir in 2008 and Forecast Assessment

LI Chunhong<sup>1</sup>, WANG Yuhua<sup>2</sup>, WANG Jianping<sup>1</sup>, REN Liliang<sup>3</sup>

(1. *State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China;*

2. *Three Gorges Cascade Dispatching and Communication Center, Yichang 443133, China;*

3. *State Engineering Research Center of Water Resources Utilization and Project Safety, Hohai University, Nanjing 210098, China)*

**Abstract:** Inflow flood characteristics of the Three Gorges Reservoir in 2008 were analyzed, and the error statistics was made according to flood event analysis and continuous automatic forecast. The result shows that the accuracy of on-line hydrological forecasting has reached Grade A in China's Hydrological Information and Forecast Criterion. It also shows that the future rainfall has a strong impact on the forecast results. The accuracy of forecast with future rainfall considered is higher than that without considering future rainfall, and the error of the forecast will increase with the forecast lead time becoming longer.

**Key words:** Three Gorges reservoir; flood; on-line hydrological forecasting; forecast lead time

(上接第 65 页)

### Ecological Restoration and Reconstruction Technology for Inland River Basins

GAO Qianzhao<sup>1</sup>, QIAN Ju<sup>2</sup>, GAO Yayu<sup>2</sup>, WANG Peng<sup>3</sup>, ZHANG Yu<sup>2</sup>

(1. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;*

2. *Department of Hydrology and Water Resources Engineering, Resources and Environment College, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;*

3. *Water Conservancy and Electric Power Design Institute of Inner Mongolia, Huhehaote 010020, China)*

**Abstract:** The necessity and urgency of comprehensive rehabilitation in inland river basins were discussed by analyzing the watershed ecosystem, water cycle, formation and consumption characteristics of water resources, environmental changes and water environment protection in the Northwest China in this paper. The second ecological recovery goal of inland river basins in the comprehensive rehabilitation was put forward combining with the regulation and recovery effect of recent typical basins. Based on the restoration practice in the typical inland river basins and consulting technology of water supply, water harvesting and water saving, the ecological recovery and reconstruction technologies were summered up, which include improving water balance of the downstream ecosystem, controlling water utilization at upper and middle reaches and improving water environment of rivers, preventing salinization of water quality in river courses and reusing farmland drainage water. Finally, in order to realize a good circulation of the watershed eco-environment and improvement of water environment quality, the present tasks of protection and monitoring of water environment and construction of ecological compensation were put forward.

**Key words:** ecological restoration and reconstruction technology; comprehensive rehabilitation; water environment protection; inland river basin