

文章编号:1006 - 7639(2003) - 03 - 0021 - 08

# 河西内陆河流域的水循环特征

高前兆

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,甘肃 兰州 730000)

**摘要:**本文主要从分析我国西北内陆水循环主要环节出发,揭示河西内陆河流域水循环在山区形成水资源、在平原散失水资源和在人工绿洲产生水循环二元结构,以及水量相互转化和联系的特征;对山区消耗水量,走廊盆地人工绿洲建设引起的地表水与地下水转化的变化及其消耗水量的增加,以及下游水分亏缺等问题作了评价;还对山区与平原绿洲及其之间的局地水循环,西部开发实施黑河和塔里木河综合治理中实现良性循环和传递流域水循环整体概念等问题进行了讨论。

**关键词:**水循环;特征;河西内陆河流域

中图分类号:P339

文献标识码:A

## 1 西北内陆区水循环特征

河西内陆河流域地处我国西北干旱区和青藏高原边缘的内陆盆地,自东向西分属石羊河、黑河和疏勒河三个流域,大致位于  $37^{\circ}17' \sim 42^{\circ}48' N$ 、 $93^{\circ}23' \sim 104^{\circ}12' E$ ,是我国西北内陆区的一部分。由于内陆河流域四周为高山高原的地理环境,形成了干旱地带独具特色的水循环系统,按其进入的盆地和汇水洼地划分,构成一个个相对独立的内陆河流域或水系,水资源在流域的水循环中形成、运移、转化和消耗。

中国西北与中亚诸国相连的内陆河区位于亚欧大陆腹地,也是地球上北半球最大的一块内陆区,这里不仅有着陆地上从高山冰雪带到封闭的盆地干旱带的内陆陆地水循环,而且还受不同季风环流的影响,参与空中的全球水循环<sup>[1~2]</sup>。这里的水循环主要环节为:

**水汽输送:**刘国伟先生对中国区域上空水汽收支进行过较深入研究<sup>[3]</sup>,以 1983 年为依据,计算西北区有  $3647.7 \text{ km}^3$  水汽输入,并有  $3354.6 \text{ km}^3$  水汽输出,即 85.6% 水汽输出境外;在区内年总蒸发量中,平均只有 7.2% 重新以降水返回地面<sup>[4]</sup>。根据 1981~1986 年西北内陆上空的水气输送平均计算<sup>[4]</sup>,得出水汽输入为  $4489.7 \text{ km}^3$ ,而输出为  $4348.$

$7 \text{ km}^3$ ,净收入量为  $141 \text{ km}^3$ ,按内陆区总蒸发水量计算,进入水汽循环水量约为  $400 \text{ km}^3$ ,则有  $541 \text{ km}^3$  的水汽净收入。按现有多年平均降水量等值线图计算,每年西北内陆区降水量约为  $550 \text{ km}^3$ ,基本与本区的水汽净收入量接近。这样,可以得到西北内陆区水汽输送参与全球水循环及内陆陆地水循环概念框图(图 1)。

**降水:**输送入境的水汽与本地水汽在合适的条件下才形成降水。由于受地形台升和地理位置的影响,高山降水多于平原,盆地周边多于盆地腹地,迎风坡多于背风坡。所以高山是干旱区的“湿岛”,在高山地区形成多降水中心,成为河流的发源地。尽管山地面积仅占 1/3,但平均每年降落在山区的降水量估算有  $400 \text{ km}^3$ ;内陆盆地成为低降水极值中心。尽管降水少,但由于面积较大,降水总量约有  $150 \text{ km}^3$ 。

**冰川运动:**每年降落在山区的一小部分降水,估算有  $23 \text{ km}^3$ ,作为固体水库 - 冰川的补给,贮蓄在高山地区。据 20 世纪 80 年代统计<sup>[5]</sup>,西北内陆盆地周围共有冰川面积  $2.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,冰川储量折合水量约  $2500 \text{ km}^3$ 。这是一种固体径流。高山冰川在运动的同时,受暖季气温和降水的影响,每年在 6~9 月消融,推算多年平均每年有  $23 \text{ km}^3$  冰川融水补给西北干旱区的河流径流。由于全球升温的效应,

收稿日期:2003 - 08 - 04;改回日期:2003 - 09 - 12

基金项目:国家自然科学基金重大研究计划(90102003)、中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1 - 10 - 03)资助。

作者简介:高前兆(1942 - ),男,江苏常州人,研究员,博士生导师,主要从事寒区旱区水文水资源方面研究。

高山区也很敏感,相应引起冰川减薄和退缩,近期对面积较小的冰川影响较大,并影响冰川融水对河流的补给。

**径流:**山区降水约有 25%~40%可形成河水、泉水和湖水,与冰川融水径流汇合成为河川径流的补给源,成为平原地区人类直接开发利用的地表水

资源。山溪径流从河源到出山口沿程增加,据统计每年向平原地区输送的地表径流约  $150 \text{ km}^3$ 。流入平原的河水受山前水文地质条件影响,大量入渗,并供沿途人类引用和植物吸收消耗,不断减少。在黄河和额尔齐斯河下游约有  $40 \text{ km}^3$  地表水流出区外。

**入渗:**渗入地下的一部分地表水和降水,进入内

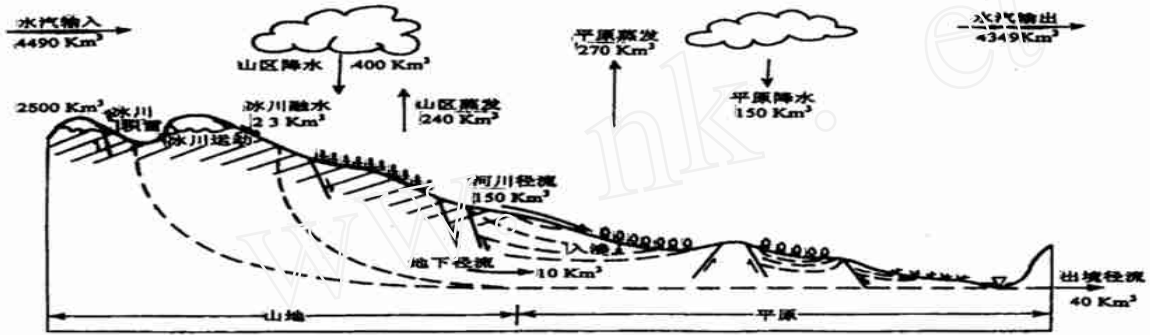


图1 中国西北内陆水循环示意图

Fig. 1 Schematic diagram of inland water cycle in Northwest China

陆盆地的地下水循环,并经历多次地表水和地下水转化;山区大部分降水和坡面径流经土壤水转化,可直接满足植被生长,部分渗入地下汇流河谷,受前山带地质地形条件影响,大部分成为基流流出山口;还有小部分通过潜流、侧向径流进入平原地区,与这里的降水入渗补给,形成平原地区不与地表水补给重复计算的地下水径流,约计有  $10 \text{ km}^3$ 。另外,在平原地区,还有河道、水库、渠道、农田、湖泊和排水等入渗补给,形成由地表水转化的地下水,构成平原地区的地下水径流。

**蒸发蒸腾:**蒸发是内陆水循环中最重要的过程。通过水面、地下水和地表蒸发,可使大量的水分散失在开敞的水文循环之中;另外植物根系可以从土壤中吸收可观水量,并通过蒸腾汽化大量水分。这种蒸发、蒸腾损失在内陆地区占到总降水量的 80%以上,因此也是内陆生态系统中水循环最为积极的因素。在山区蒸发散失约 60%的水分,即有  $240 \text{ km}^3$ ;平原蒸发蒸腾的水量达  $270 \text{ km}^3$ 。

## 2 河西内陆河流域水资源在陆地水循环中转化的特点

与外流河水流入海洋相比,内陆河水流进入干旱封闭盆地,形成了一个封闭的陆地水循环系统,按照内陆河流域或水系,水资源具有在流域上游山

区的水循环中形成,在广阔平原的陆地水循环中散失,在人工绿洲的水循环二元结构的特征<sup>[6]</sup>。

**山区水循环形成水资源:**内陆河上游山区为径流形成区,由于这里海拔较高和地形切割,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、降水较多并形式多样,经植被截留、地表径流和壤中流转化<sup>[7]</sup>,除消耗于蒸发和植被蒸腾外,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,同时还有一部分降水和径流在山坡和河谷盆地入渗地下,随地形、地质条件变化出流进入河道,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。以河西内陆河流域水资源形成为例,根据获得的多年平均数据,可以得到水资源形成的水文过程示意图(图2)。在山区地表水资源形成转化同时,山区的降水与径流还支撑着山地生态系统。这样,出山地表径流可分为山区降水径流、冰川融水径流、地下水基流三部分补给。从山区总降水量分析,只有 5%~10% 降落在冰川区作为维持冰川物质平衡,这部分降水除消耗蒸发外,受气温的调节,每年其中约有一半降水与消融的冰川水补给河流,形成冰川径流;降落在山区其余地区的降水,约有 20%~30%可直接产流,形成地表径流汇集河道,成为平原的地表水资源。

**平原区水循环散失水资源:**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

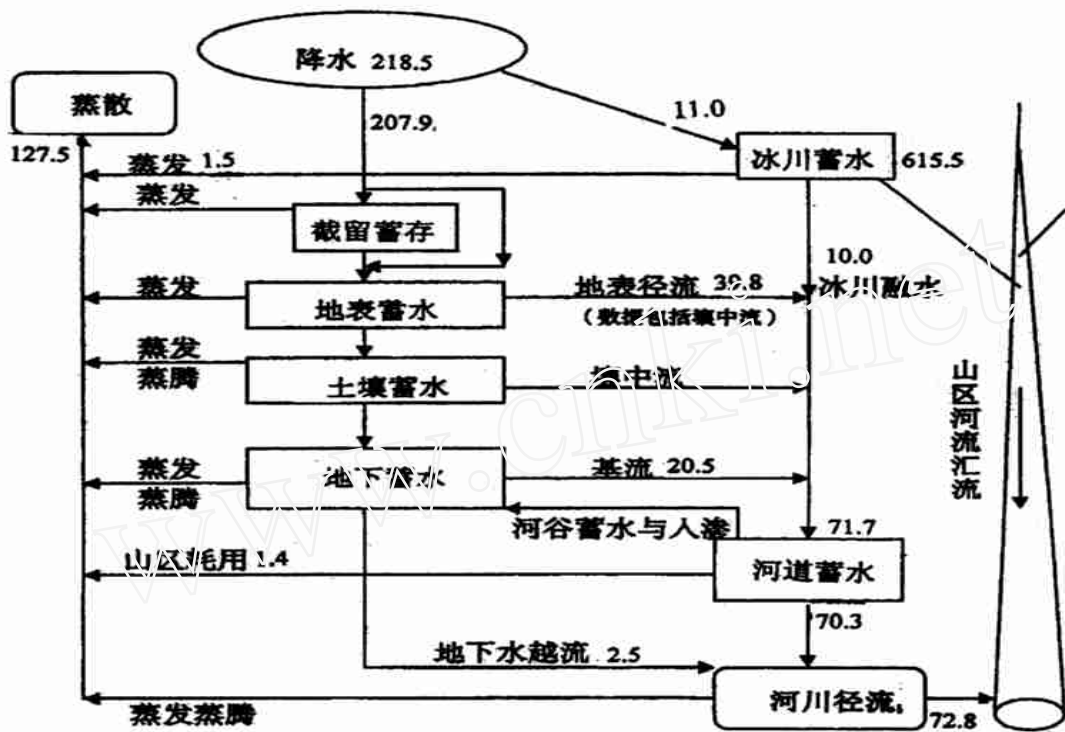


图 2 河西内陆河流域山区水资源形成水文过程示意图(图中的水量单位为  $\times 10^8 \text{m}^3$ )

Fig. 2 Sketch map of hydrological process in water resources formation in mountainous regions of the Hexi inland river basins(water volume  $\times 10^8 \text{m}^3$ )

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,随水流不断地渗漏进入地下,或蒸发蒸腾散失于空中,最终消耗掉山区形成的全部水资源。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地质地貌条件、流量和流程,一般在没有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%及以上。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,汇集泉沟流入河道,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大部分支撑着人类活动最强烈的人工生态系统;在河流下游和人工绿洲的周边地区,属于地表径流和地下径流的排泄、积累和蒸发散失区,水资源支撑了天然绿洲、内陆湖泊水域和低湿地生态系统<sup>[8]</sup>;在天然绿洲外围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生态系统。

人工绿洲的水循环二元结构<sup>[9]</sup>: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,也构成地下水流侧支循环。以黑河流域东部的张掖盆地为例,进入20世纪90年代,人工引蓄地表水的侧支水循环已占主要地位,提引地下水也达到了较大程度(图3)。尽管这与在天然状态下平原地区蒸发消耗掉水量一样,都是所形成的全部水资源,但是由于受到绿洲里人类活动的强度土地利用和城市化影响,以及大范围的改变地貌和植被分布,使流域中下游地表水流和地下水补给、排泄发生相应的明显变化,而使人类取水-用水-排水过程中的蒸发和渗漏,直接影响到流域的中下游地区水文特性。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,导致平原的水资源系统的变化,也导致了平原天然绿洲生态系统与人工生态系统的相应变化。结果使中游地带水资源转化垂直方向加

强,向空中蒸发消耗的水量增加;使下游地带水平方向径流减少,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。

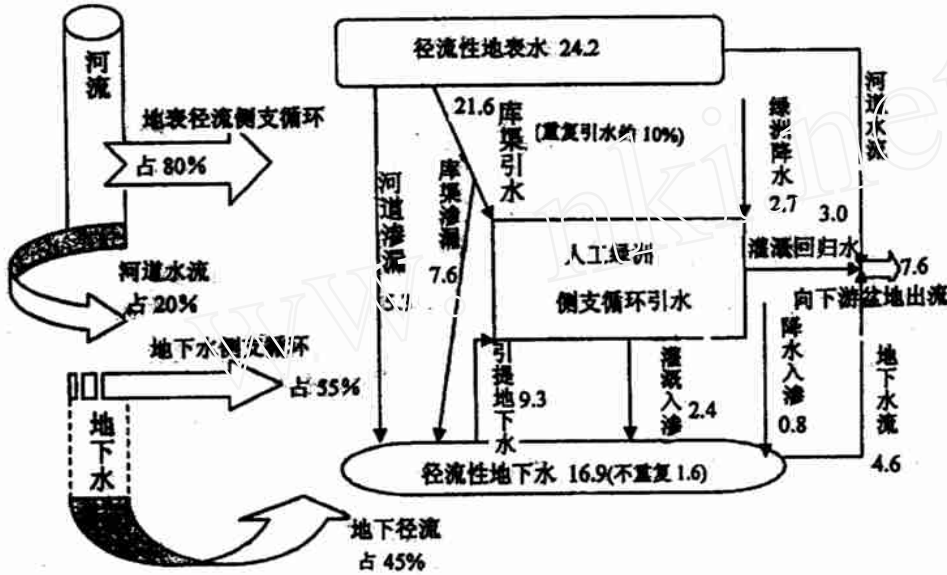


图3 平原人工绿洲的侧支水循环结构图  
(以黑河张掖盆地 20 世纪 90 年代为例,水量  $\times 10^8 \text{ m}^3$ )

Fig. 3 Side branch structure in water cycle of artificial oasis of plains

(Taking the Zhangye basin in the Hei river stem in 1990 's as an example , water volume  $\times 10^8 \text{ m}^3$ )

### 3 山区到平原的水量转化特征

#### 3.1 山区的水量消耗

祁连山的降水影响着山区地表径流、冰雪融水对河流的补给,并直接控制着河西内陆河的水文情势。由于山区降水较河西走廊平原丰富,因而成为河西地区每年得以更新的地表水资源来源。根据气象、水文多年观测资料,河西走廊平原的东部石羊河流域,多年平均降水量为 100 ~ 250mm,中部黑河流域为 80 ~ 200mm,西部疏勒河流域为 50 ~ 120mm;结合冰川考察资料,在祁连山东段石羊河流域降水为 250 ~ 750mm,降水量随高程增加为 25 ~ 40mm/100m;在中段黑河流域山区降水为 200 ~ 600mm,降水随高程增加 10 ~ 25mm/100m;西段疏勒河流域山区降水量仅 120 ~ 350mm,降水随高程增加只有 5 ~ 10mm/100m。参照河西地区降水量多年平均等值线图及河西水土资源调查的流域各类生态面积<sup>[9]</sup>,按现有冰川面积<sup>[10]</sup>统计估算(表 1),整个河西内陆河流域总降水量达 390 亿  $\text{m}^3$ ,在祁连山区有 218.5 亿  $\text{m}^3$ ,其中在河源冰川区降落 6.15 亿

$\text{m}^3$ ,平原降水计 171.4 亿  $\text{m}^3$ (表 2)。

祁连山区既是径流的形成区,也是水量消耗的重要区。控制山区径流的是降水、蒸发和地表径流的转化,从山区的降水 - 径流的分析,降水除了形成径流以外,还要满足山地灌木、森林和草场生长的生态需水,其余的水量消耗于山区的蒸发。在高山冰川区降落在冰川上的水量,除在粒雪线以上的降水补给冰川外,其余的降水每年在夏季作为一部分冰川融水径流出流,按冰川区水文观测资料,蒸发损失的水量约占年降水的 20% ~ 25%;降水补给形成的冰川,受山区太阳辐射和气温变化影响,经冰川运动和消融,维持冰川的物质平衡,部分转化为融水径流,并在年内和年际调节着河川径流。

在高寒裸露山区,降水量相对丰富,蒸发能力较弱,尽管无植被生长,但产流率高,年降水的 75% 左右可以转化为径流,径流系数可达 0.75。因此在祁连山径流等值线上,东段石羊河流域上游高山出现有 500mm 的闭合线;在黑河流域上游东部为 400mm 的闭合线,西部为 300mm,在祁连山阴坡林带分布区,降水量为 350 ~ 500mm,径流系数为 0.3

~0.4,约有 40%~50%的降水消耗于蒸发。在那些不能满足乔木林生长的降水量和热量条件的山坡,仅生长灌木林和耐干草本;所以在疏勒河上游闭合径流等值线仅为 200mm,降水已不能满足乔木林

生长条件,仅生长灌木、草类;至中低山带,随降水量的减少,植被变得稀疏,甚至裸露,相对径流系数仅为 0.05~0.2,即有 80%~95%的降水损失于蒸发蒸腾。

表 1 河西各流域各类土地面积与降水(包括黑河下游土地) km<sup>2</sup>

Tab. 1 Areas of different types of lands and annual precipitation in three river basins of Hexi Region

流域各类土地面积	石羊河流域/ P	黑河流域/ P	疏勒河流域/ P	河西地区/ P
上游山区 冰川	51.89/ 650mm	391.11/ 550mm	813.71/ 450mm	1 256.71/
冰川区	70.65/ 650mm	712.78/ 550mm	1 057.22/ 450mm	1 840.65/
乔木林地	720 / 450mm	822 / 450mm		1 542/ 450mm
灌木林地	1 061/ 350mm	2 223/ 300mm	7 087/ 250mm	10 371/ 270mm
山地	10 338/ 457.2mm	29 194/ 360.2mm	34 946/ 172.6mm	74 478/ 148.1mm
小计/ 平均 P	11 110/ 428.4mm	30 407/ 352.9mm	35 760/ 177.8mm	74 020/ (218.49)
中下游平原山地	1 178/ 150mm	3 379/ 150mm	9 968 / 80mm	14 525
盐碱地	-	19 / 120mm	45 / 70mm	64
戈壁	6 752 / 150mm	49 335 / 70mm	45 883 / 60mm	101 970
沙丘地	11 005 / 100mm	9 936 / 100mm	4 207 / 50mm	25 148
人工绿洲	6 489 / 130mm	5 521 / 120mm	1 255 / 70mm	13 265
天然绿洲	284 / 120mm	8 981 / 60mm	2 042 / 50mm	11 307
小计/ 平均 P	30 079/ 132.2mm	100 459/ 73.3mm	67 305/ 74.2mm	201 176/ 98.8mm
合计面积	41 147	130 985	103 065	275 196
平均降水深	212.3mm	138.1mm	118.0mm	141.7mm

表 2 河西各流域生态区降水量估计 (  $\times 10^8 \text{ m}^3$  )

Tab. 2 Annual precipitation estimation in the ecological zones of three river basins of Hexi Region

流域	石羊河流域	黑河流域	疏勒河流域	河西内陆河流域
上 冰川	0.34	2.15	3.66	6.15
冰川径流区	0.53	4.51	5.47	11.0(+5%吹雪)
游 森林	3.24	3.70	0.00	6.94
山 灌木林	3.71	6.67	17.71	28.09
地 山区计	47.60	107.32	63.57	218.49
中 人工绿洲	8.44	6.62	0.88	15.94
下 天然绿洲	0.34	5.39	1.02	6.75
游 盐碱地	-	0.02	0.03	0.05
平 戈壁	10.12	34.53	27.53	72.18
原 沙丘地	11.00	9.94	2.10	23.04
平原计	39.76	73.60	58.08	171.44
合计	87.36	180.92	121.65	389.93

### 3.2 河西走廊盆地地表水与地下水转化的变化

在内陆河平原区,河水-地下水相互转化,是中下游陆地水循环运动的一个重要组成部分。由于河西内陆河穿越有 2~3 排盆地,这种转化可以重复 2~3 次<sup>[11]</sup>。在未受人类影响的水循环转化过程中,河水可以到达下游终端湖,并淤积大量湖水;在第一循环带受人类开发大量耗水时,就减少了第二和第三循环带的水量,造成下游湖泊干枯、地下水下降和亏缺。

以黑河流域为例,平原地区存在着三个循环带:即为发源于祁连山的河流首先进入张掖、酒泉盆地的第一循环带,在山前洪积扇群带强烈补给地下水,成为南盆地的地下水主要补给源,到扇缘和细土平原,

又以泉水形式出露地表,转换成为地表水,完成第一次循环;接着通过走廊北山的峡口进入金塔和鼎新盆地,又开始第二次循环,然后流出甘肃省进入内蒙古额济纳盆地,流向居延海完成第三次循环。根据 20 世纪 70 年代的计算,黑河流域各河流入河西走廊的地表径流,在第一循环带有 64.3%的地表水通过河渠渗漏转化为地下水,而在盆地中下部在这部分地下水中又有 54.7%以泉水形式溢出成为地表水流入河流,这部分水量大部分进入第二循环带,其中又有 21.3%的地表水转化为地下水;从鼎新盆地出口进入第三循环带,地表径流仅有  $9.82 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,其中约有一半,即 44.9%转化为下游盆地的地下水。这种转化

关系经 80 年代到 90 年代,已发生较大变化(表 3), 尽管出山地表径流变化不大,但在第一循环带由河水转化为地下水的转化率已有明显变化,地下水补给减小,泉水出流持续减少,加上人工绿洲侧向分支循环作用,消耗水加大,使得进入第二循环带的河水

大为减少;这样,也直接影响到减少进入第三循环带的河水,造成下游盆地地下水补给量成倍减少,洪水期淡水补给更少,使得下游水质逐渐变劣。而下游盆地的原有植被仍需耗水,地下水补给亏缺,致使地下水水位连续下降、地下水水循环减缓。

表 3 黑河流域平原地表水与地下水转化的变化

Table. 3 Transformation between surface water and groundwater in the plain region of Hei River Basin

20 世纪年代	第一次循环						第二次循环			第三次循环		
	地表径流量 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	地下水	地下水	泉水	地下水	泉水	地表径流量 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	地下水	地下水	地表径流量 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	地下水	地下水
	河、渠渗漏量 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	占地表径流 %	出流量 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	占地下水 %	占流入盆地地表水 %	占流入盆地地表水 %	河、渠渗漏量 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	占地表径流 %	占流入盆地地表水 %	河、渠渗漏量 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	占地表径流 %	占流入盆地地表水 %
70 年代 *	39.2	25.2	64.3	13.8	54.7	86.1	16.0	3.4	21.3	9.82	4.4	44.9
1981 - 1985	37.8	23.3	61.7	11.2	46.7	77.8	14.4	3.2	22.2	8.36	3.7	44.2
90 年代	37.3	20.9	56.0	10.1	43.6	73.7	13.7	3.1	22.6	5.62	1.9	33.8

\* 采用文献<sup>[10]</sup>资料,地表径流可能偏大。

盆地地表水向地下水转化,随着人工绿洲的建设,灌溉面积扩大,引水渠口从平原河道向山前上移,并在中小河流上修建拦蓄水库,使得从河道引流率达到 60% ~ 80%,甚至更高,加上山前平原河道渠化,原有河道成为弃洪泄水道,地下水补给由原来河道渗漏占总补给量的 60%,相应减少到不足 40%,或更少,不仅使盆地地下水补给量大减,而且还使地下径流减缓和水头降低;同时,随地表引水侧支循环成为主导,渠、库和农田入渗成为盆地地下水主要补给源;而地下水开发,也加大了地下水的侧支

循环,使地下水消耗增加;并且,随着渠道防渗和农田灌溉节水率的提高,地下水入渗补给量还会减少,使平原地下水处在人类活动的影响之中。反映河西走廊盆地消耗地表径流的过程,可以从河流出山水量扣除向下游盆地泄放的水量来近似推算。为此选择武威盆地以西营河、杂木河与东大河的出山水量之和,减除以红崖山水库向下游出流作为代表;以黑河的黑河和梨园河出山水量,减去张掖盆地出口正义峡的出流,近似代表张掖盆地耗水;采用昌马河出山水量与盆地出口的双塔堡出流之差,作为西部代

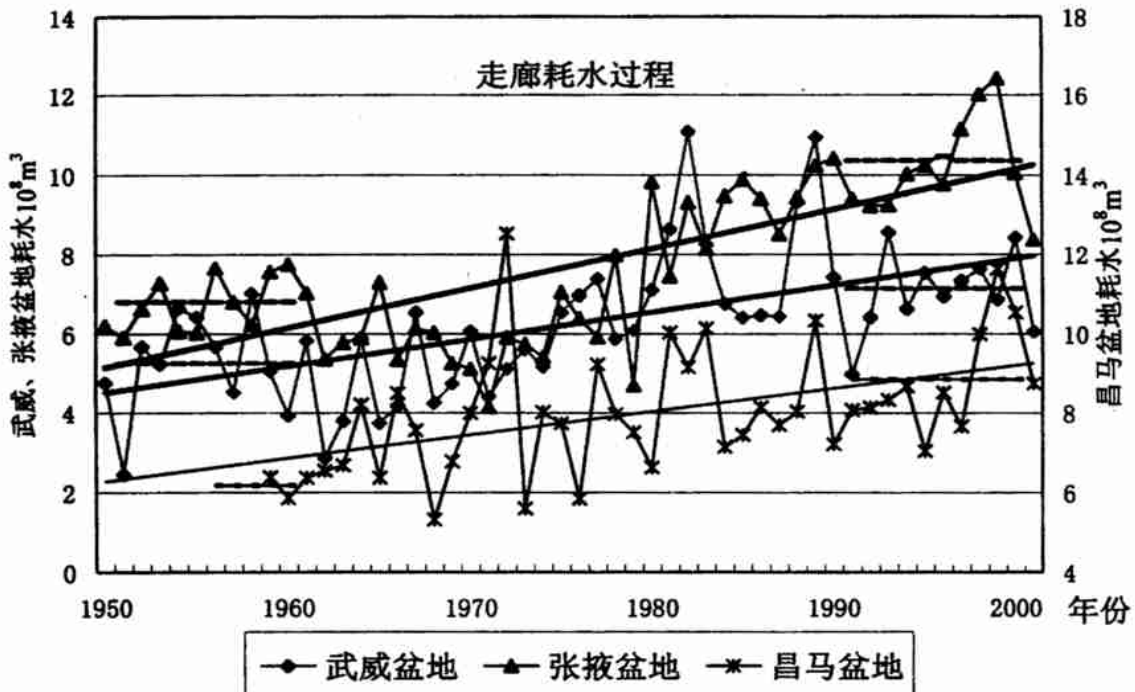


图 4 河西走廊盆地地表水消耗过程

Fig. 4 Surface water consumption processes in the Hexi Corridor basins

表昌马盆地耗水(图 4);可以看出 50a 来走廊盆地所消耗的地表径流一直在增加,20 世纪 90 年代张掖盆地的耗水明显有所增加。

### 3.3 下游的水资源亏缺问题

根据内陆河流域的陆地水循环特点,内陆河下游受中上游开发水资源影响是最严重的。由于拦截泄放至下游的水量,使下游河道成为季节性水道,或完全干涸;并使内陆河终端湖水量减少,乃至枯竭,也改变了流域内水量的区域分配,由于拦蓄山溪河流洪水,减少向下游输送的淡水资源,同时绿洲灌溉和土地开发打破原有土壤盐分平衡,加上灌溉回归水的影响,使下游地区水质咸化,土壤盐碱化;由于减少了河道行水,干枯河床遭受风沙影响,造成风蚀积沙;同时在中下游地区,植被水分平衡要迟缓一段时间,或者为维持植被或绿洲生存迫使开采消耗地下水,结果内陆河末端地区造成地下水位下降,引起区域性植被衰亡,这样就引起下游天然绿洲生态系统急剧退化<sup>[12]</sup>。而且在全球变暖的背景下,助长局地升温,增加蒸发潜能,更加剧这里干燥,使得水分消耗更快。这就形成了内陆河下游地区的水资源恶性循环。

## 4 内陆水循环问题讨论

### 4.1 山前平原局地水汽循环对降水的影响

内陆河流域水资源分配格局的改变,使得原来大量消耗于下游的河川径流量逐步转移到山前平原绿洲,增大的平原绿洲蒸发蒸腾水量,一方面改善了绿洲的局部生态环境,形成绿洲小气候,产生绿洲效应;另一方面,大量蒸发的水汽在临近高山山麓地带向上运动,必将有部分向山区输送;同时,尽管内陆水循环不很活跃,但还有当地水汽也参与内陆水分循环,并形成小部分降水<sup>[13]</sup>。随着全球升温水循环加剧,这种局地水分循环是否会增加这里的降水量?其影响的幅度有多大?这不仅影响到内陆水资源合理利用评价,也会影响西北地区气候向暖湿转型变化的降水增量评价<sup>[14]</sup>。

### 4.2 内陆河流域的水资源良性循环问题

可持续的水资源开发是一个大尺度的界定<sup>[15]</sup>,内陆河流域的径流水资源产生并消失于流域的水循环中。在全球变化中,这里水与土地开发速度非常快,人口增加迅速、城市化、工业化和人类活动等以有害的方式进入水循环连环,以此造成水资源危机、

土地退化、环境污染、并危及经济、社会稳定。这是一个与恶性循环挑战的特殊问题。因此,在复杂的水循环中首要的是考虑水资源循环的环境因素,为此我国政府在西部大开发中,以实施生态环境建设战略来促进可持续发展,并采取一系列重大措施来改善像黑河和塔里木河水资源循环和中下游环境,目前已经出现了转机。但要衡量是否转入良性循环,仍还需要时间和继续努力,如何衡量进入良性循环?还需要提出判断方法和标准,为可持续发展提供科学依据。

### 4.3 增加对内陆水循环整体性认识

在陆地水循环中,由于水与生态环境密不可分,环境又是一面镜子,而与水有关的各种现象又极端复杂,人类在开发利用水资源过程中,都会对水循环各个环节进行干扰,任何干扰都会在水循环内向前扩散,因此需要水文学家、气象学家、环境学家等通力合作,进行深入的研究,给管理和决策者传递有关水循环的整体性认识,预测所产生的后果。若我们能掌握水循环规律、应用完整的水循环概念,也就掌握了制定任何人与环境相互作用的超前对策的关键。

### 参考文献

- [1] Andras Szollosi - Nagy Pierre Najlis, Gunilla Bjorklund. Assessing the world's Freshwater resources [J]. *Nature and Resources*, 1998, 34(1): 8 - 18.
- [2] 高前兆,王润. 中国西北地区的水系统与环境问题[A]. 中国地理学会冰川冻土分会编. 第五届全国冰川冻土大会论文集[C]. 兰州:甘肃文化出版社,1996. 901 - 909.
- [3] 刘国伟. 水文循环的大气过程[M]. 科学出版社,1997. 190 - 226.
- [4] 崔玉琴. 西北内陆上空水汽输送及其源地[J]. *水利学报*, 1994, (9): 79 - 87.
- [5] 杨针娘. 中国冰川水资源[M]. 甘肃科学技术出版社,1991. 115 - 135.
- [6] 聂振龙,郭占荣,焦鹏程,等. 西北内陆盆地水循环特征分析[J]. *地球学报*, 2001, (4): 303 - 306.
- [7] Rodriguez - Iturbe I. Ecohydrology: A hydrologic perspective of climate - soil - vegetation dynamics [J]. *Water Resources Research*, 2000, 36(1): 3 - 12.
- [8] 耿雷华,黄永基,郗连强,等. 西北内陆河流域水资源特点分析[J]. *水科学进展*, 2002, 13(4): 496 - 501.
- [9] 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.
- [9] 陈隆亨,曲耀光. 河西地区水土资源及其合理开发利用[M]. 科学出版社,1992. 36 - 76.
- [10] 康尔泗,程国栋,董正川. 中国西北干旱区冰雪水资源与出山

- 径流[M]. 科学出版社,2002. 8 - 51.
- [11] 李宝兴. 我国西北干旱区地下水资源的合理开发利用[J]. 中国沙漠,1982,2(1):1 - 12.
- [12] 刘恒,钟华平,顾颖. 西北内陆河水资源利用与绿洲演变规律研究 - 以石羊河下游民勤盆地为例[J]. 水科学进展,2001,12(3):378 - 384.
- [13] 林之光. 地形降水气候学[M]. 科学出版社,1995. 51 - 131.
- [14] 施雅风,沈永平,胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型信号、影响和前景初步分析[J]. 冰川冻土,2002,24(3):219 - 216.
- [15] Olli Varis. 水资源开发:恶性与良性循环[J]. 人类环境杂志(Ambio),1999,28(7):599 - 603.

## The Features of Water Cycle in Inland River Basins in Hexi Region

GAO Qian - zhao

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** This paper revealed the formation of water resources in mountain areas, the scatter and disappear of water resources in plain areas and the duality composition in artificial oases and revealed their water transformation features and relationship each other in the water cycle of inland river basins of Hexi Region mainly through analysis of key links in the water cycle of the interior region in Northwest China. Water consumption in mountain areas, transformation between surface water and ground water and consumption increase caused by artificial oases construction in the Hexi Corridor, and water shortage of down streams in inland river basins were also evaluated. Discussions of evaluating local water cycles between mountain and plain areas, achieving a virtuous cycle in comprehensive rehabilitation of Hei River and Tarim River of the West - China development and delivering entire concept of water cycle in a river basin were put forwards finally.

**Key words:** Water cycle; features; the inland basins of the Hexi region