

# 中国西北地区生态需水研究(2)

## ——基于遥感和地理信息系统技术的区域生态需水计算及分析

王芳, 王浩, 陈敏建, 王研, 唐克旺

(中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100044)

**摘要:**在西北干旱、半干旱地区,随着人口增长和经济发展,国民经济需水与生态环境需水成为水资源开发利用和生态环境保护的主要矛盾。因此,合理量化生态环境需水是西北水资源优化配置亟待解决的问题。论文着重研究两方面的内容:一是基于植被生长需水的区域分异规律,采用遥感和地理信息系统技术实现生态的空间分区,以生态分区和流域水平衡为基础量化生态需水;二是基于可持续发展的生态模式,确定生态保护目标和生态建设规模,并预测生态需水。

**关键词:**生态需水;遥感;地理信息系统(GIS);生态分区

**中图分类号:**P333      **文献标识码:**A      **文章编号:**1000-3037(2002)02-0129-09

### 1 国内外关于生态需水计算方法研究概况

关于生态需水的计算方法, Gleick 建议水资源管理应当基于合适的模型,依据最新信息给出决策意见。Whipple 建议用先进的计算机技术进行基础分析和系统模拟。陈昌毓<sup>[1]</sup>从生态平衡的角度出发,确定河西走廊各市、县绿洲和农田的生态需水量分别为 400~500mm 和 450~650mm,据此计算出能保持各市县自然生态平衡的适宜绿洲面积。

考虑生态因素的水资源管理模型比较典型的是 SWAT<sup>[2]</sup> (Soil and Water Assessment Tool),该模型是将流域划分成子流域或网格单元,在每一个单元,以水平衡方程耦合泥沙和面源污染物等子模型,用控制结构或 DEM 高程模型实现水和污染物在网格单元之间的运移方向,从而预测水、泥沙、农业化学物质在大型封闭流域的影响。

另外,对生态需水计算有一定借鉴作用的水文模拟模型,比较有代表性的有 SVAT<sup>[3]</sup>、VIC-2L<sup>[4]</sup>等。

### 2 基于遥感与 GIS 技术的区域生态需水计算方法

#### 2.1 利用遥感和 GIS 技术进行生态分区

为了能在空间上反映出生态需水的分异规律,有必要从区域自然地理范围反映气候因素(温度和降水)作用下的西北生态本底;从一定尺度的生态系统反映非气候性水文因素(径流)和人类活动改变了的水文因素对生态的作用;再从土地利用单元一级的范围反映不同水分条件对生态影响的性质和程度。为了统一并且代表研究方向的性质,称之为一级、二级和三级生态分区。

一级生态分区是以区域自然地理的主导分异因素来反映地带性规律,包括山区、平原或高原荒漠区、平原荒漠草原和典型草原区、平原森林草原和森林区。分区界线的确定依据反映地貌的高程等值线和地带性植被分异特征的年降水等值线。分区所用的背景资料是

公开发行的 1:100 万数字高程图和全国第一次水资源评价完成的全国多年平均降水等值线图 (通过桌面数字化仪输入)。利用 ESRI 的 GIS 系列软件 ARC/INFO 将底图通过投影转换、编辑来实现分区 (图 1)。

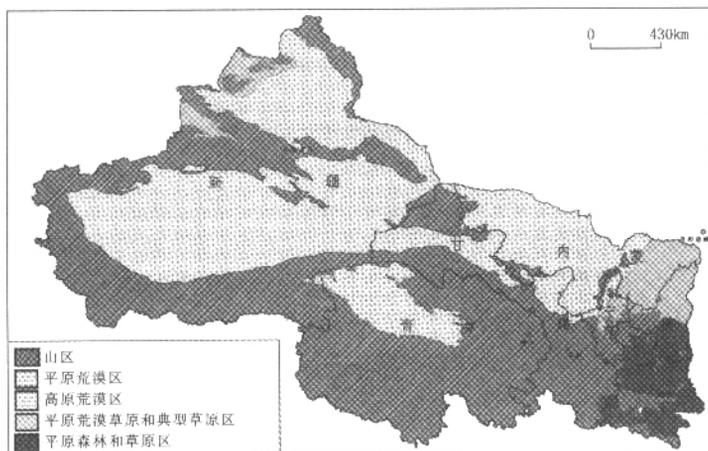


图 1 西北地区一级生态分区图

Fig. 1 Primary ecological zoning of Northwest China

二级生态分区是在一级生态分区的基础上, 展示径流和人类作用下的生态景观。分区类型见表 1。分区图的实现是从土地利用图进行综合信息来完成的。这样做是因为土地利用图不能反应生态需水的分异规律。利用 GIS 软件 ARC/INFO, 从 1:10 万的土地利用数字地图中分别提取反映“人类活动”和“径流作用”因素的土地利用类型, 根据其轮廓趋势作图, 然后根据“人类活动”、“径流作用”影响的先后顺序以及同“一级生态分区”的隶属关系, 用叠加分析来实现 (图 2)。

表 1 二级生态分区类型

Table 1 Types of second class ecological zoning

一级生态分区	山区	平原或高原荒漠区	平原荒漠草原和典型草原区	平原森林草原和森林区
二级生态分区	1 山地未开垦区 2 山地非灌溉农区	1 荒漠地带性区域 (包括高寒荒漠) 2 天然径流作用区 (包括天然绿洲和盐碱地) 3 人工绿洲区	1 草原地带性植被区 2 草原非地带植被区 3 灌溉农区 4 非灌溉农区	1 森林草原和森林地带性植被区 2 水域沼泽区 3 灌溉农区 4 非灌溉农区

三级生态分区是以土地利用单元反映群落水平的生态景观, 分为耕地 (水田、旱地)、林地 (有林地、灌木林、疏林地、其它林地)、草地 (高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地)、水域 (河渠、湖泊、水库坑塘、永久性冰川雪地、滩涂、滩地)、城镇工矿居民用地 (城镇用地、农村居民点、其它建设用地)、未利用土地 (沙地、戈壁、盐碱地、沼泽地、裸地、裸岩石砾地、其它) 6 个一级类型和 25 个二级类型。土地利用图是以 20 世纪 90 年代的 TM 遥感影像为基础资料, 由中科院地理所于“九五攻关重中之重项目”完成, 比例为 1:10 万 (图 3)。三级生态分区就是应用该土地利用图与二级生态分区图叠加分析形成。

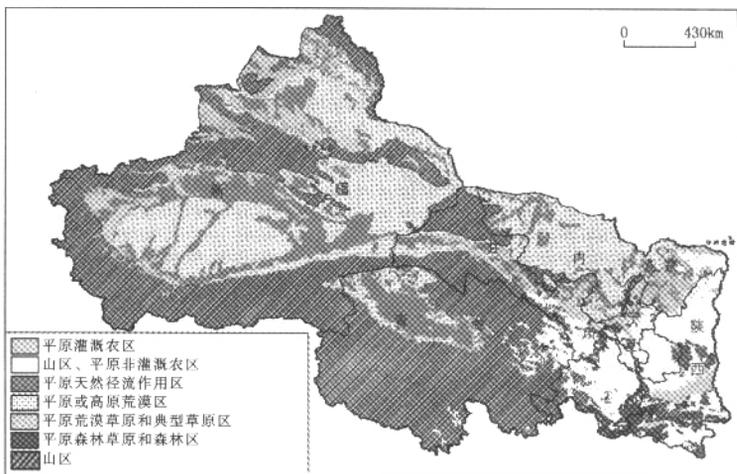


图 2 西北地区二级生态分区图

Fig. 2 Secondary ecological zoning of Northwest China

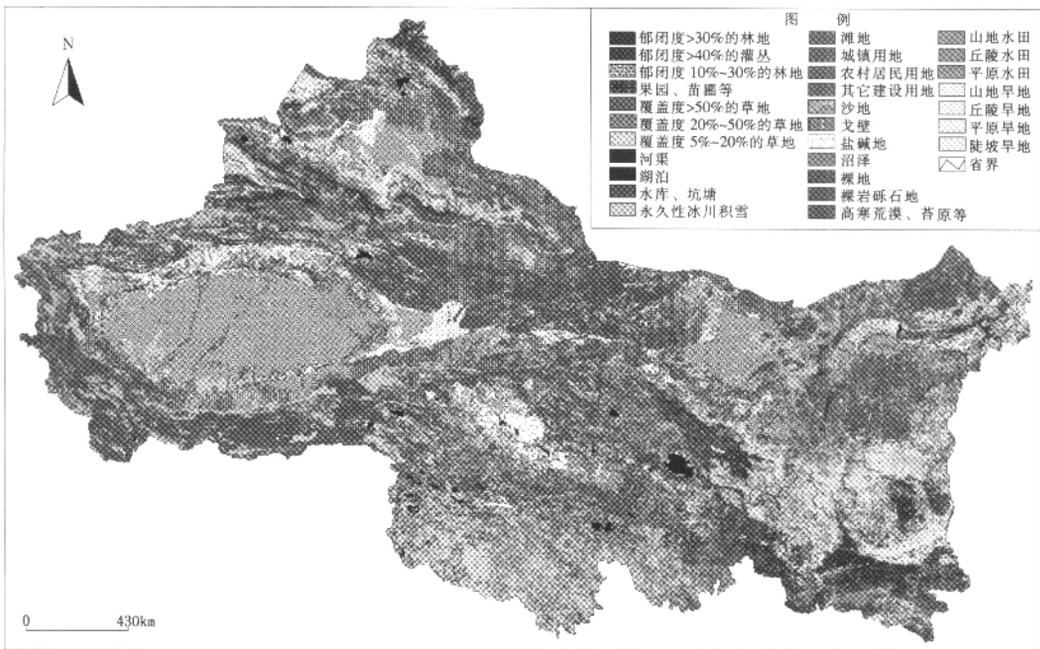


图 3 西北地区 20 世纪 90 年代土地利用图

Fig.3 Land use map of Northwest China in the 1990s

### 2.2 生态分区与水资源分区空间对应关系

水是生态系统中重要的环境因子，同时又是人类生存发展所必需的资源之一，生态与水资源是同一空间存在的两个层面，二者相互作用、相互影响。生态与水资源的空间对应关系可以通过生态分区与水资源分区空间对应关系逐级分析 (图 4)。

生态一级分区与水资源分区空间对应关系可以反映出流域的生态本底，即流域所处的地带性植被类型。如塔里木河流域的生态本底是荒漠，伊犁河流域的生态本底是草原。了解流域的生态本底，对流域生态的总体情况有一总的概念，不会盲目希望未来总体的生

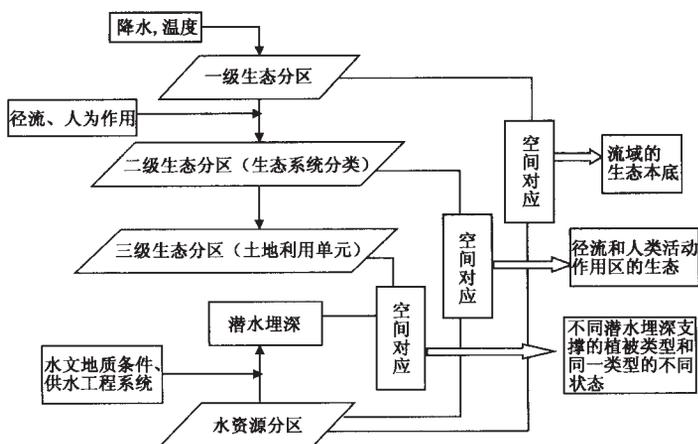


图4 生态分区与水资源分区空间对应关系框图

Fig. 4 Space relationship of ecological zoning and drainage basins

态情况发生根本性的改变。同时，对于不同的生态本底，水资源开发利用考虑的生态问题有所不同，比如在塔里木河流域，考虑比较多的是河湖萎缩和植被退化，当然也包括次生盐渍化，而在伊犁河流域，更关心的是次生盐渍化、河谷林恢复或水污染。

生态二级分区与水资源分区的空间对应关系可以反映出径流和人类活动对本底生态的改变。其中径流的存在才使荒漠中有绿洲，使典型草原和荒漠草原上有建群种不是针茅类的草甸和森林，有人类的作用才有改变了自然生态结构的农田等人工生态。正是在这一级上的对应关系，才可以明确水资源开发利用对生态的影响范围，以及改变土地利用结构对径流的影响范围。

生态的三级分区与地下水埋深的空间对应关系可以反映出在径流的作用区中不同地下水埋深支撑不同的群落类型或同一群落的不同状态，从而预测水资源开发利用对生物群落的变化。在这一级上的对应关系为流域规划、生态恢复等比较具体的管理工作奠定了基础。

## 2.3 基于生态分区和流域水循环的区域生态需水计算

### 2.3.1 生态分区与水资源分区叠加分析确定流域各级生态分区的面积及其需水类型

通过叠加分析确定流域每一块土地面积及其隶属的生态分区，从而确定其生态需水类型（表2）。

### 2.3.2 从潜水蒸发和生物生产量确定生态耗水标准

对于单纯靠降水支撑的地带性植被，不可控生态耗（需）水用生物生产量及其水分利用率来确定。其中生物生产量的确定是根据国家“八五”科技攻关项目“北方草地草畜平衡的动态监测”研究成果之一，草地生产力的区域分异与地面监测研究中有关各类型草地上生物量的统计结果，高盖度草地生物量干重定额取  $243.6 \text{ g/m}^2$ ，沼泽、滩地  $243.6 \text{ g/m}^2$ ，中盖度草地  $128.9 \text{ g/m}^2$ ，低盖度草地  $71.3 \text{ g/m}^2$ ，有林地和灌木林  $306.5 \text{ g/m}^2$ ，荒漠、戈壁等盖度小于5%的难利用土地生产力定额  $14.3 \text{ g/m}^2$ 。水分利用率为  $1.05 \sim 10.05 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{mm}^{[5]}$ ，本次计算是根据各重点研究区的山区总蒸发量，反推山区各种植被水分利用率均值，对没有山区总蒸发量的流域，用相近条件流域山区的水分利用率代替。

水面蒸发定额，采用全国水资源评价中各站点的E601蒸发值，分别计算每一个三级流域山区和平原的平均水面蒸发值。由降水和径流共同支撑的非地带性植被，其可控生态耗（需）水通过计算不同植被类型对应的潜水蒸发量来确定，不可控生态耗（需）水计算

所在地区的降水量。潜水蒸发定额见表 3。

### 2.3.3 基于流域降水平衡和水资源平衡分析计算生态需水

降水平衡分析是以流域为单位研究不可控生态耗水(外流区包括经济耗水)与水资源

表 2 生态分区与生态需水类型关系表

Table 2 Relationship of ecological zoning and types of ecological water requirements

一级生态区	二级生态区	三级生态区	生态需水类型
山区	未开垦区	所有土地利用类型	不可控生态需水
	非灌溉农区	所有土地利用类型	不可控生态需水
平原或高原荒漠区	荒漠地带性区域(包括高寒荒漠)	所有土地利用类型	不可控生态需水
	天然径流作用区(包括天然绿洲和盐碱地)	林地、高中和部分低盖度草地、水域、沼泽 其它土地利用类型	可控、不可控生态需水 不可控生态需水
	人工绿洲区(灌溉农区)	林地、高中和部分低盖度草地、水域、沼泽 其它土地利用类型	可控、不可控生态需水 不可控生态需水
平原荒漠草原和典型草原区	草原地带性植被区	所有土地利用类型	不可控生态需水
	草原非地带植被区	林地、高盖度草地、水域、沼泽 其它土地利用类型	可控、不可控生态需水 不可控生态需水
	灌溉农区	林地、高盖度草地、水域、沼泽 其它土地利用类型	可控、不可控生态需水 不可控生态需水
	非灌溉农区	所有土地利用类型	不可控生态需水
平原森林草原和森林区	森林草原和森林地带性植被区	所有土地利用类型	不可控生态需水
	水域沼泽区	水域、沼泽	可控生态需水
	灌溉农区	水域、沼泽 其它土地利用类型	可控生态需水 不可控生态需水
	非灌溉农区	所有土地利用类型	不可控生态需水

表 3 潜水蒸发定额表

Table 3 Quota of groundwater evaporation

潜水蒸发定额依据	年降水 10~40mm、水面蒸发 1800~2000mm、冬小麦需水量 650~750mm	年降水 40~60mm、水面蒸发 1400~1800mm、冬小麦需水量 550~650mm	年降水 50~100mm、水面蒸发 1100~1400mm、冬小麦需水量 450~550mm	年降水 100~200mm、水面蒸发 950~1100mm、冬小麦需水量 350~450mm	荒漠草原和典型草原区年降水 200~500mm、水面蒸发 800~1000mm、冬小麦需水 300~400mm
	土地利 用类型(三级生态分区)				
	400	371.4	350	300	250
	280	249.4	220	199.5	100/0
	120	99.8	70	-	-
	600	500	420	350	300
	600	509.4	420	350	300/200
	250	221.8	200	150	50/-
	80	57.4	40	-	-
滩涂、滩地	1 200	1 109.7	930	840	650
沼泽地(盖度>60%)	1.05 倍水面蒸发	1.05 倍水面蒸发	1.05 倍水面蒸发	水面蒸发	水面蒸发
使用定额值的流域	东疆三流域、柴达木盆地西部	黑河下游、南疆南部诸流域、塔河流域、柴达木盆地东部、疏勒河	黑河上中游、南疆北部诸流域(塔河除外)	石羊河、北疆诸流域(伊犁、额敏除外)、宁夏部分	伊犁河流域、额敏河流域、宁夏部分

的对比关系。水资源平衡分析是以流域为单元研究可控生态耗水与国民经济耗水的对比关系。通过平衡分析,不仅可以校正生态耗需水的计算结果,更重要的是从降水平衡分析中可以直接计算出山丘区生态建设用水对水资源总量的影响;从水资源平衡中可以协调生态需水与国民经济用水矛盾,以此调整生态保护目标、生态建设和国民经济发展规模。

计算公式:

$$P = E_{uncotr} + R_{availa}$$

$$P_m = E_{m-uncotr} + R_{m-availa} + W_{m-leave-c}$$

$$P_p = E_{p-uncotr} + R_{p-availa}$$

$$R_{availa} = W_{economy} + E_{cotr} + E_{invali} + W_{leave-b} - W_{enter-b} + W_{p-leave-c} - W_{enter-c}$$

$$E_{uncotr} = \sum A_i \times Q_{NPP} \times \mu_i$$

$$E_{cotr} = \sum A_i \times EV_i$$

式中  $P$ ——流域总降水量 ( $m^3$ );  $P_m$ ——流域山区降水量 ( $m^3$ );  $P_p$ ——流域平原区降水量 ( $m^3$ );  $R_{availa}$ ——流域有效水资源量 ( $m^3$ );  $R_{m-availa}$ ——流域山区有效水资源量 ( $m^3$ );  $R_{p-availa}$ ——平原区有效水资源量,在干旱区指补给灌区的降水和凝结水量 ( $m^3$ );  $E_{uncotr}$ ——流域不可控生态需水量,包括高寒区无法利用的水资源量 ( $m^3$ );  $E_{m-uncotr}$ ——流域山区不可控生态需水 ( $m^3$ );  $E_{p-uncotr}$ ——流域平原区不可控生态需水 ( $m^3$ );  $E_{cotr}$ ——流域可控生态需水 ( $m^3$ );  $E_{invali}$ ——流域平原区无效消耗水资源量 ( $m^3$ );  $W_{economy}$ ——流域国民经济用水 ( $m^3$ );  $W_{leave-b}$ ——补给其它流域的水量(包括自然补给或人工引水) ( $m^3$ );  $W_{enter-b}$ ——从其它流域补给的水量(包括自然补给或人工引水) ( $m^3$ );  $W_{p-leave-c}$ ——流域从平原区出境水量,可利用的水量 ( $m^3$ );  $W_{m-leave-c}$ ——流域从山区直接出境的水资源量,不可开发利用的水量 ( $m^3$ );  $W_{enter-c}$ ——入境水资源量 ( $m^3$ );  $A_i$ —— $i$ 类植被利用面积 ( $m^2$ );  $Q_{NPP}$ —— $i$ 类植被的净第一性生产力,就是单位面积、单位时间内干物质重 ( $g/m^2 \cdot a$ );  $\mu_i$ —— $i$ 类植被水分利用系数,表示单位土地面积上生产的干物质与蒸散耗水之比 ( $g/kg$ );  $EV_i$ —— $i$ 类土地利用类型的潜水蒸发或水面蒸发 ( $mm$ )。

### 3 西北重点地区现状生态耗水

#### 3.1 不可控生态耗水与降水平衡分析

研究现状不可控生态(外流区包括经济)耗水与水资源的对比关系有助于明确流域的生态质量、降水量与水资源量之间的关系,为生态环境评价与准确量化生态建设需水奠定基础。西北5个重点研究区的现状不可控生态耗水以及降水平衡分析见表4。

表4 现状不可控生态耗水与降水平衡关系 ( $\times 10^8 m^3$ )

Table 4 Balance of uncontrollable ecological water consumption and precipitation

重点研究区	全流域				山区		平原区		
	流域总降水 ( $10^8 m^3$ )	流域总不可控生态耗水 ( $10^8 m^3$ )	流域总水资源 ( $10^8 m^3$ )	流域总不可控生态耗水 比流域总降水(%)	流域总水资源 比流域总降水(%)	山区不可控生态耗水 比流域总降水(%)	山区不可控生态耗水 比流域总降水(%)	平原区不可控生态耗水 比流域总降水(%)	平原区不可控生态耗水 比流域总降水(%)
新疆	2587.5	1689	857.3	67	33	1275.0	50	414.0	16
河 疏勒河	163.0	139.9	22.8	86	14	99.0	61	40.9	25
西 黑河	164.0	125.0	41.1	76	24	78.0	47	47.0	29
石羊河	89.9	72.5	17.5	81	19	43.5	49	29.1	32
柴达木盆地	298.7	246.7	52.0	83	17	195.6	57	51.2	26
宁夏	151.4	139.6	11.7	92	8	102.4	67	37.2	25
陕西黄河流域	722.3	598.6	123.8	83	17	137.9	19	460.7	64

注:外流区(宁夏和陕西黄河流域)不可控生态耗水中包括用于作物生长的经济耗水。

在内陆河流域,总降水中大约有 50% 的降水消耗在山区,用于维持山区植被的生长;15%~30% 的降水用于维持平原区地带性荒漠植被的生长,所以,内陆平原区的生态本底质量比较差;20%~35% 形成径流,用于维持绿洲生态和经济的发展。而在半干旱、半湿润的陕西黄河流域,山区植被(包括作物)生长耗水约占总降水的 20%,平原区地带性植被(包括被开垦为农田)的耗水是降水总量的 60% 多,生态本底质量相对较好。

### 3.2 可控生态耗水与水资源平衡分析

研究现状可控生态耗水(狭义的生态耗水)与水资源平衡关系,可以分析生态与经济用水的比例关系,以及水资源利用中存在的问题,为协调生态保护目标与国民经济发展规模奠定基础,西北重点研究区的可控生态耗水与水资源的平衡关系见表 5。

表 5 现状可控生态耗水与水资源平衡关系 ( $\times 10^8 \text{m}^3$ )

Table 5 Balance of controllable ecological water consumption and water resources

流域分区	水资源						生态耗水		经济耗水	盐碱地耗水	耗水合计
	当地产水	入境水	出境水	高原山区未开发利用水*	平原区有效利用水	人工间接支撑生态耗水	天然生态耗水	总生态耗水			
北疆	430.1	26.1	227.5		228.6	31.2	76.8	108.0	108.5	11.9	228.4
东疆	27.4				27.4	2.8	7.9	10.7	16.7		27.4
南疆	399.9	62.0	16.1	20.9	424.9	56.8	146.9	203.7	198.4	21.0	423.1
新疆总计	857.3	88.1	243.7	20.9	680.9	90.7	231.6	322.3	323.6	32.9	678.8
(%)						13	34	47	48	5	100
疏勒河	22.8			4.3	18.5	2.2	6.9	9.1	9.5		18.6
黑河	41.1				41.1	6.2	10.1	16.3	24.8		41.1
石羊河	17.5				17.5	1.8	0.8	2.7	14.7		17.4
河西合计	81.4				77.1	10.2	17.8	28.1	49.0		77.0
(%)						13	23	36	64		100
柴达木盆地	52.0				52.0	0.5	45.9	46.4	5.6		52.0
(%)						1	88	89	11		100
内陆区合计	990.6	88.1	243.7	20.9	810.0	101.5	295.3	396.8	378.2	32.9	807.9
(%)						13	36	49	47	4	100
宁夏	11.7			5.0	6.8	7.2	2.4	9.6	32.6		42.2

注:未开发利用的水资源是指羌塘高原、苏干湖水系和宁夏南部山区的水资源,主要被生态所用,不参与水资源平衡分析。

内陆河流域扣除出境水量和高原山区无法利用的水量后,平原区有效利用水资源  $810 \times 10^8 \text{m}^3$ , 可供区内国民经济和生态环境消耗利用。其中,国民经济包括工业、农业和生活,共耗水  $378.2 \times 10^8 \text{m}^3$ , 占有效利用水资源量的 47%, 生态总耗水  $396.8 \times 10^8 \text{m}^3$ , 占有效利用水资源量的 49%。

内陆河流域人工绿洲生态耗水(灌溉林草耗水计入经济耗水中,这里只计算因灌溉抬高水位间接支撑的生态耗水)  $101.5 \times 10^8 \text{m}^3$ , 加上国民经济耗水  $378.2 \times 10^8 \text{m}^3$ , 人工绿洲耗水  $479.7 \times 10^8 \text{m}^3$ , 占有效利用水资源量的 60%。在人工绿洲内部,国民经济耗水占 79%, 灌溉支撑生态耗水占 21%。

内陆河流域天然生态耗水平均占有效利用水资源量的 36%, 但是各流域相差比较大,石羊河流域仅 5%; 而柴达木盆地高达 88%, 主要消耗于湖泊和盐生草甸; 南、北疆及疏勒河接近平均数; 东疆、黑河为 25% 左右。

盐碱地无效耗水主要集中在艾比湖周边、塔里木河干流中游北岸和阿克苏流域东部,约  $33 \times 10^8 \text{m}^3$ , 占有效利用水资源量的 4%, 无数耗水可以通过河道整治、灌区改造等措施部分利用。2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

宁夏平原灌区位于黄河干支流,天然生态耗水  $2.4 \times 10^8 \text{m}^3$ , 占自产水资源量的 37%。

国民经济耗水量大,为  $28 \times 10^8 \text{m}^3$ , 工农业及其支撑的生态耗水共计  $35 \times 10^8 \text{m}^3$ 。根据平衡分析, 现状年耗黄河水  $35.4 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

#### 4 西北重点地区生态保护目标与生态需水

根据现状存在的问题和未来近中期发展需求, 按照可持续发展的生态保护与生态建设模式确定生态保护与生态建设目标, 在此基础上, 用近似水土规划的方法来预测生态需水。首先以水资源总量平衡为约束, 基于现状 1:10 万的遥感土地利用图, 调整人工绿洲区内部结构, 必要的开发以减少人工绿洲区灌溉间接支撑的生态, 不轻易侵占天然绿洲或天然径流维持的过渡带; 优先开发降水量大、天然生态本底好的地区, 如伊犁河流域。同时, 考虑中低产田改造、国务院分水方案、跨流域引水以及河道整治工程等。预测以 2020 年为目标年份, 内陆区只做平原区可控生态需水 (以下简称生态需水) 预测, 外流区黄河流域只做不可控生态需水的初步预测。

新疆生态需水  $320 \times 10^8 \text{m}^3$ , 比现状少  $2 \times 10^8 \text{m}^3$ 。天然生态需水  $243 \times 10^8 \text{m}^3$ , 比现状多  $12 \times 10^8 \text{m}^3$ , 其中北疆的艾比湖流域  $25 \times 10^8 \text{m}^3$ , 比现状多  $4 \times 10^8 \text{m}^3$ , 以维护湖面及其周边生态建设需水; 额尔齐斯河与伊犁河流域因人口发展需要, 天然生态需水量为  $21.8 \times 10^8 \text{m}^3$ , 比现状减少  $11 \times 10^8 \text{m}^3$ ; 天山北麓东段及准噶尔盆地考虑引水沿途补给天然生态, 需水  $28 \times 10^8 \text{m}^3$ , 比现状多  $7 \times 10^8 \text{m}^3$ ; 额敏河流域维持现状, 需水  $6.8 \times 10^8 \text{m}^3$ 。东疆维护现状天然生态, 需水  $7.8 \times 10^8 \text{m}^3$ 。南疆塔里木盆地为确保塔里木河下游大西海子以上河段不断流, 并通过人工供水维持大西海子水库以下  $200 \text{km}^2$  左右的绿色走廊不消失, 需水  $154 \times 10^8 \text{m}^3$ , 比现状多  $7 \times 10^8 \text{m}^3$ 。由于调整人工绿洲内部结构, 以实现小而精的绿洲发挥最大经济效益, 所以, 人工绿洲生态需水  $76 \times 10^8 \text{m}^3$  (不包括灌溉林草需水, 因灌溉林草有经济效益, 其需水计入经济需水中), 比现状年少  $15 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

河西走廊疏勒河流域的发展将扩大人工绿洲, 挤占天然绿洲或天然绿洲与荒漠的过渡带约  $335 \text{km}^2$ , 因此, 天然生态需水  $6 \times 10^8 \text{m}^3$ , 比现状少  $0.4 \times 10^8 \text{m}^3$ ; 人工绿洲生态需水  $2 \times 10^8 \text{m}^3$ , 比现状略多; 流域生态总需水  $8.3 \times 10^8 \text{m}^3$ , 比现状年略少一些。黑河流域为保持下游内蒙古额济纳旗的生态平衡, 执行国务院分水方案, 生态总需水  $18.6 \times 10^8 \text{m}^3$ , 比现状多  $2.3 \times 10^8 \text{m}^3$ ; 其中人工绿洲生态基本维持现状, 需水  $6.4 \times 10^8 \text{m}^3$ , 天然生态需水  $12.2 \times 10^8 \text{m}^3$ , 比现状多  $2.1 \times 10^8 \text{m}^3$ 。石羊河流域为恢复建设下游民勤地区生态环境, 生态总需水  $4.3 \times 10^8 \text{m}^3$ , 比现状增加  $1.6 \times 10^8 \text{m}^3$ ; 其中天然生态需水  $4.3 \times 10^8 \text{m}^3$ , 比现状多  $3.5 \times 10^8 \text{m}^3$ ; 人工绿洲维持现状生态, 需水  $1.8 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

柴达木盆地自然环境恶劣, 应当严格保护草场, 同时对已有灌溉区进行盐碱地治理, 提高单产, 为长江、黄河源头地区的牧业发展提供饲料粮, 减轻水源地草场的过度放牧压力, 总体上强调维护现状生态, 生态总需水  $46.4 \times 10^8 \text{m}^3$ , 其中天然绿洲生态需水  $45.9 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

宁夏和陕西应加强水土流失区的治理, 宁夏南部山区同时配合移民、雨水直接利用与坡改梯工程, 使当地水资源生态建设就地利用。陕北黄土高原沟壑区以小流域为单元实施水土保持建设, 同时保护关中盆地各大城市的水源地。如果按流域计算, 水土流失区主要分布在黄河流域, 《全国生态环境建设规划》2020 年黄河流域新增水土流失治理面积  $13.2 \times 10^4 \text{km}^2$ , 以水土保持各项工程的效益实测分析资料为依据, 计算黄河流域不可控生态需水增加  $42 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

#### 参考文献:

- [1] 陈昌锦. 河西走廊实际水资源及其确定的适宜绿洲和农田面积[J]. 干旱区资源与环境, 1995, 9(3): 122-128. <http://www.cnki.net>
- [2] Arnold J G, Srinivasan R, et al. Large area hydrologic modeling and assessment Part I: model development[J]. *Journal of*

- the American Water Resources Association*, 1998, 34: 73~89.
- [3] Srinivasan R, Arnold J G, *et al.* Large area hydrologic modeling and assessment Part II: model application[J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 1998, 34: 91~101.
- [4] Lohmand D, Raschke E, *et al.* Regional scale hydrology: 1. Formulation of the VIC-2L model coupled to a routing model [J]. *Hydrology Sciences Journal*, 1998, 43(1): 131~141.
- [5] 吴钦存 杨文治. 黄土高原植被建设与持续发展[M]. 北京: 科学出版社, 1998.

## A study of ecological water requirements in Northwest China Part II : Application of remote sensing and GIS

WANG Fang, WANG Hao, CHEN Min-jian, WANG Yan, TANG Ke-wang

(Department of Water Resources, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

**Abstract:** The conflict between ecological water requirements and economic water demand has become critical in arid and semi-arid areas with population growth and economic development. This paper presents a mathematical model based on techniques of remote sensing (RS) and Geography Information System(GIS).Results have been achieved as follows:(1)ecological zoning based upon the RS and GIS technology reflects the mechanism of water requirement; (2)regional mathematical model on ecological water requirements was developed based on ecological zoning and water cycle of drainage basins;and(3)targets of ecological protection and scale of ecological construction was identified based on ecological protection and restoration mode coupled with experts comments as well as prediction of ecological and economic water requirements.

**Key words:** ecological water requirement; ecological zoning; water circulation; remote sensing; Geography Information System