

文章编号:0559-9350(2007)03-0274-08

广义水资源合理配置研究(Ⅲ) —应用实例

赵勇,陆垂裕,秦长海,张金萍

(中国水利水电科学研究院 水资源研究所,北京 100044)

摘要:本文将广义水资源合理配置理论与方法应用于我国宁夏回族自治区,制订了广义水资源配置方案,分析了2010水平年方案集配置结果,并进行生态、经济、环境和水循环响应的量化研究。从一系列方案中优选出合理的推荐方案,通过推荐方案的全口径供需平衡分析,研究不同口径的宁夏区域水资源供需平衡状况。结果表明,该方案能够实现宁夏区域农业用水向工业和生活转移的目标,支撑区域经济系统和生态系统的协调发展。

关键词:宁夏;广义水资源合理配置;水循环响应;生态稳定性

中图分类号:TV213

文献标识码:A

1 宁夏广义水资源合理配置需求

宁夏回族自治区位于黄河中上游,土地总面积6.6万 km^2 ,受自然条件和人类活动的影响,自然地理存在明显的地带分区,从北向南依次为北部引黄灌区、中部扬黄灌区和南部山区。2004年宁夏全区总人口587.7万人,全年国内生产总值460.4亿元,其中,90%以上集中在引黄灌区,宁南山区因水资源短缺等条件限制,虽然耕地多,但粮食产量较少,骨干工业较少。

宁夏可持续发展的主要制约体现在水资源、社会经济和生态环境三方面,而社会经济和生态环境问题与水资源问题密切相关。宁夏引、扬黄灌区降水稀少,蒸发强烈,区域经济社会发展和生态环境维护主要依赖于过境的黄河水量。随着农业灌溉的发展、工业化进程的加快以及人们生活水平的提高,水资源需求越来越大,而引黄指标限制了宁夏对黄河水量的使用,出现了工业用水挤占农业用水、农业用水挤占生态用水的紧张局面,水资源供应不足已经成为制约宁夏经济社会发展的主要瓶颈。在水资源紧张的同时,水资源利用效率很低。宁夏南部山区降水稀少,且无外来水源,饮水安全还未得到有效解决,经济社会发展速度极为缓慢。宁夏的生态环境问题主要是由于对水资源的开发利用不当所造成的,农田大引大排的灌溉方式造成了土地盐碱化;灌溉面积的大量发展导致湖泊萎缩、湿地消失;黄河和排水沟沿岸大量工业和农业废污水排放,恶化了水体质量;对植被的破坏造成水土流失、天然植被大面积退化和土地沙化。

在遵循公平、合理和可持续的原则下,高效合理配置有限水资源是解决宁夏经济生态水资源需求的有效途径。但传统水资源配置的水源不包含半可控的土壤水,无法实现用水紧张情况下高效用水的目标;配置对象不包括天然生态系统用水,无法保证天然生态系统的水资源需求;供、用、耗、排水量分析仅仅利用经验估算,配置结果不精确;在地下水资源的调控中,没有将人工取用地下水与地下水位联系起来;在配置过程中割裂了水资源配置与水循环相互之间的效应,不能反映水资源配置过程中水资源、水循环和生态演变过程。由于传统水资源合理配置在理念和方法上无法解决宁夏面向经济生态系统的水

收稿日期:2006-03-27

基金项目:科技部西部开发重大项目(2004BA901A17)

作者简介:赵勇(1977—),男,安徽灵璧人,博士,主要从事水资源合理调配和高效利用研究。E-mail:zy665@tom.com

资源合理高效利用问题,因此,进行广义水资源合理配置研究,建立与宁夏水资源条件相适应的合理生态保护格局和高效经济结构体系,在经济生态系统之间及其内部合理配置包括降水和土壤水在内的广义水资源,是实现宁夏经济社会发展和生态环境协调稳定的根本出路^[1~3]。

2 宁夏广义水资源合理配置系统

广义水资源合理配置系统是一个水资源—经济社会—生态环境组成的复合大系统^[4],图1为宁夏2000年土地利用图。水资源系统概化是建立广义水资源合理配置模型的基础,将实际的水资源系统概化为由节点和有向线段构成的网络,节点包括重要水库、计算单元和河、渠道交汇点等;计算单元是基本而重要的节点,各种水源的供水都是在计算单元的基础上进行;有向线段代表天然河道或人工输水渠,反映节点之间水流传输关系。根据宁夏区域行政区划、水系工程布局 and 供水、用水等情况,可以将宁夏分为10个分区,各分区按行政区划又进一步划分为多个计算单元,将地级市作为独立计算单元单独计算,全区共划分为39个计算单元(图2)。

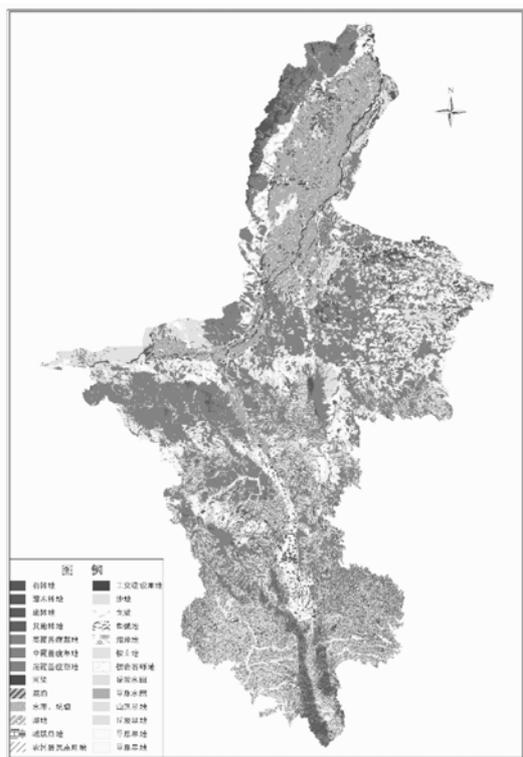


图1 宁夏2000年土地利用

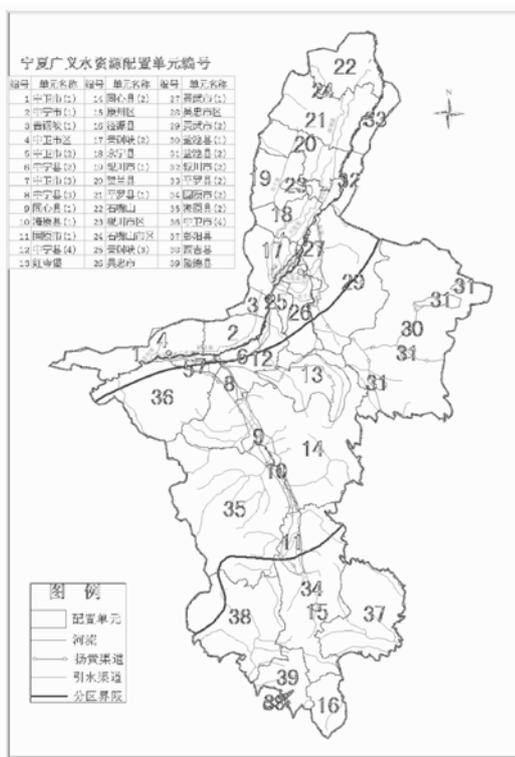


图2 宁夏水资源系统网络

3 广义水资源合理配置方案研究

3.1 方案设置依据 宁夏广义水资源合理配置目的是通过协调生态环境和社会经济两大系统之间以及系统内部的用水关系,实现经济社会和生态环境的和谐发展。广义水资源配置问题的核心内容可以概括为:(1)区域社会发展模式问题,主要指以区域水资源分配为纽带的社会公平、经济发展和生态保护三者之间的协调方式;(2)在某一发展模式下,水资源支持下的区域社会经济和生态环境各主要指标所能达到的发展程度;(3)在具体发展模式和特定资源条件下的区域水资源的有效配置方式。

广义水资源合理配置是由工程措施和非工程措施组成的体系来实现的,水资源配置方案的设置与生成实质上是不同配置措施进行组合的过程,对于宁夏广义水资源配置方案生成有较大影响的调控措

施可以归为4类:(1)区域水资源调控的基本准则。国家分配给宁夏多年平均可耗用黄河水资源量为40亿 m^3 ,并视黄河来水丰枯变化进行同比例增减调配;(2)区域经济社会发展方略。经济社会发展的速度、规模,以及发展方向将决定着区域用水结构和用水量;(3)用水模式的影响,主要包括用水结构和用水水平,包括行业用水比例、行业用水产出、节水方案和节水水平等;(4)重大工程的建设与布局。水资源配置方案生成的过程就是在此四维向量空间中寻优的过程^[5~9]。

3.2 水平年与水文频率选择 宁夏广义水资源合理配置采用不同来水频率的典型年月调节计算方法,以反映区域水资源供需的特点和规律,现状年为2000年,重点规划水平年为2010年。黄河来水频率考虑50%和75%两种来水频率,宁夏可消耗黄河水资源量分别为40亿 m^3 和32亿 m^3 ,引黄灌区、扬黄灌区和南部山区农业需水和生态需水计算只考虑50%降雨频率情况。

3.3 2010水平年配置方案设置 根据宁夏水资源配置现状,结合不同水平年的相关规划,分别对水资源配置主要影响因子进行可能的组合,得到配置方案的初始集,采用人机交互的方式排除了初始方案集中大量的代表性不够和明显较差的方案,最终得到水资源合理配置方案集,2010水平年宁夏广义水资源合理配置重点分析了4套方案。

方案一为一次平衡方案,即以外延式用水需求增长与区域耗用水进行平衡分析。设置此方案用以说明加强控制区域人口增长、进行工农业结构调整、节水、小流域治理等措施的必要性。方案二为推荐方案,此方案全区人口增长率为14.2%,全区城镇化率达到45.0%,GDP增长率为10.6%,三产结构为10.9:51.3:37.8;新增灌溉面积4.7万 hm^2 ,水稻和套种面积分别减少3.3万 hm^2 和7.7万 hm^2 ,宁东工业供水和太阳山工业供水分别达到一期规划供水能力;南部山区泾河调水工程主要保证人畜饮水安全,并考虑南部山区小流域治理和人畜饮水安全工程的实施;控制重点城市地下水使用,以地表水置换工业取用的地下水,按照地下水分质供水的要求,优水优用。方案三为大幅度增加灌溉面积方案,在方案二的基础上,平原区灌溉面积增加3.7万 hm^2 ,扬黄灌溉面积增加3.0万 hm^2 ,以比较灌溉面积扩大对水资源合理配置的影响。方案四是灌区续建配套和节水改造力度较小的方案,目的在于比较灌区治理节水改造的变化对水资源合理配置的影响。

4 2010水平年全口径供需平衡分析

水资源供需平衡分析是水资源合理配置的核心内容,传统水资源供需平衡分析的缺陷,使得其无法分析包括天然生态需水在内的广义水资源需求与供给的平衡关系,广义水资源配置提出的全口径供需平衡指标分为三层:传统供需平衡、地表地下耗水供需平衡和广义水资源供需平衡。2010水平年供需平衡分析包括4个方案集的对比分析和推荐方案的全口径供需平衡分析。

4.1 方案集配置结果的对比分析 2010水平年不同方案水资源合理配置结果见表1所示。对应于未来不同的经济社会和水资源规划,其需水情况将有巨大的差异,通过灌区续建配套节水改造、调整种植结构等措施,区域需水节水的效果十分显著。不考虑节水(方案一)、弱节水(方案四)和强节水(方案二)分别比现状年增加9.0亿 m^3 和减少2.0亿 m^3 、11.4亿 m^3 ,高强度节水、大幅度增加灌溉面积方案(方案三)需水总量比现状年减少3.6亿 m^3 。

由于可消耗黄河水资源量和灌溉高峰引水量的限制,方案一在引扬黄灌区和南部山区的缺水率都比现状增加,区域消耗黄河水资源量比现状年增加3.3亿 m^3 ,超过了宁夏可消耗黄河水资源量指标。方案二情况下消耗黄河水资源量为36.5亿 m^3 ,与现状年同频率情况下耗水量基本持平,由于采取小流域治理等措施,南部山区有效降雨利用量增加,缺水情况有了较大程度的缓解。虽然采取了大力节水措施,方案三在农业灌溉引水高峰期依然缺水2.3亿 m^3 ,总需水量比现状年有所减少,但全区消耗黄河水资源量增加了3.6亿 m^3 ,超过宁夏可消耗40亿 m^3 的黄河水资源量指标。方案四为节水力度较小的方案,农业灌溉引水高峰期将有一定幅度的缺水,南部山区缺水率为15.1%,农业需水减少6.9亿 m^3 ,但宁夏全区消耗黄河水资源量将增加1.8亿 m^3 。

表1 2010年50%频率方案集配置结果(单位:亿 m³)

项目		方案一	方案二	方案三	方案四	
传统供需平衡结果	需水量	93.60	73.24	80.97	82.64	
	供水量	总需水量	93.60	73.24	80.97	82.64
		地表水供水量	80.40	67.26	72.73	75.67
	地下水供水量	6.79	5.69	5.84	5.81	
	缺水率	6.41	0.29	2.40	0.67	
消耗黄河水量	平原区消耗水量	总缺水率(%)	7.8	0.5	3.4	0.9
		总缺水率(%)	6.9	0.4	3.0	0.8
		天然生态耗水量	4.09	3.57	3.46	3.69
		生活工业耗水量	4.06	3.87	3.87	3.87
	消耗黄河水量	农田耗水量	27.03	24.81	27.49	26.19
		总耗水量	35.18	32.24	34.81	33.75
	扬黄区消耗水量	农田耗水量	3.53	3.00	3.96	3.31
		生活工业耗水	0.42	0.39	0.39	0.39
	消耗水量	总耗水量	3.95	3.39	4.35	3.70
		农田耗水量	0.53	0.53	0.53	0.53
消耗水量	生活工业耗水	0.33	0.31	0.31	0.31	
	总耗水量	0.87	0.84	0.84	0.84	
全区消耗黄河干流水量		39.14	35.63	39.16	37.45	
全区消耗黄河水量		40.00	36.47	40.00	38.29	

方案集配置结果表明:(1)依靠外延式增长,将不利于可持续发展;(2)通过采取节水措施,宁夏区域农业用水向工业和生活转移的目标可以实现,能够支撑区域经济系统和生态系统的协调发展;(3)依靠现有水资源,即使采取大力节水措施亦不能支撑宁夏区域大幅度增加灌溉面积;(4)不加大节水力度将难以维持区域经济社会的健康良好发展。

4.2 推荐方案传统水资源供需平衡分析 传统供需平衡分析是研究生活、工业、农业和人工生态水资源需求及可控水资源供给量之间的平衡,其缺水率表明人工供水与人工需水之间的缺口。2010水平年传统水资源供需平衡分析结果见表2。随着保证率较高的生活、工业需水量大幅度增加,在灌溉高峰期将出现工业和农业用水竞争的情况,农业将出现少量缺水。随着东山坡引水工程的实施和南部山区小流域综合治理,南部山区缺水情况有所缓解。从供水水源组成分析,全区地下水供水5.7亿 m³,地表供水量66.8亿 m³,其中引黄灌区为61.5亿 m³,扬黄灌区为3.8亿 m³。银川市和大武口区实现1.2亿 m³和0.4亿 m³工业地表水替代地下水,全区工业地表水使用量增加到4.6亿 m³。

表2 推荐方案50%频率传统水资源供需平衡(单位:亿 m³)

统计	县市	需水量			供水量				缺水率			缺水率(%)			
		生活	工业	农业	人工生态	地表供水	地下供水	污水回用	生活工业	农业	生态	总缺水率	农业	总缺水率	
地市	中卫市	0.28	0.52	10.50	0.01	10.53	0.72	0.01	0.03	0.00	0.05	0.00	0.05	0.5	0.5
	银川市	0.64	3.94	25.56	0.15	28.09	1.88	0.29	0.09	0.00	0.03	0.00	0.03	0.1	0.1
	石嘴山市	0.24	1.94	11.41	0.15	12.44	1.19	0.07	0.10	0.00	0.03	0.00	0.03	0.3	0.2
	吴忠市	0.38	1.72	13.40	0.02	14.09	1.32	0.07	0.05	0.00	0.04	0.00	0.04	0.3	0.2
	固原市	0.32	0.26	1.80	0.00	1.65	0.58	0.00	0.02	0.00	0.15	0.00	0.15	8.3	6.3
分区	北部平原区	1.21	7.49	57.71	0.33	61.85	4.41	0.44	0.24	0.00	0.11	0.00	0.11	0.2	0.2
	扬黄灌区	0.33	0.64	3.62	0.00	3.80	0.71	0.00	0.04	0.00	0.05	0.00	0.05	1.4	1.1
	南部山区	0.32	0.25	1.33	0.00	1.17	0.57	0.00	0.02	0.00	0.14	0.00	0.14	12.1	7.5
合计		1.87	8.38	62.66	0.33	66.81	5.69	0.44	0.30	0.00	0.30	0.00	0.30	0.5	0.4

4.3 推荐方案耗水供需平衡分析 耗水供需平衡是研究包括天然和人工系统的可控地表、地下水资源需求与消耗的可控地表、地下水之间的平衡,对于宁夏来说,主要用于分析区域消耗黄河水资源量与黄河水量指标限制的关系。宁夏地表、地下水资源是指周边地表、地下水、黄河干流水源和降雨产生的地表、地下水资源,宁夏地表、地下水耗水供需平衡分析见表3。宁夏全区消耗地表、地下水资源量为41.1亿 m³,主要为当地降雨产生的4.7亿 m³地表、地下水量和36.4亿 m³黄河水量。因此,在2010年50%

频率配置下,区域耗水总量能够得到满足,仅存在灌溉高峰期缺水情况。按照消耗黄河水量对象分类,农业消耗 29.4 亿 m³,工业生活消耗 4.6 亿 m³,生态消耗 2.5 亿 m³,消耗黄河水资源量组成情况如图 3 所示。

表 3 宁夏全区消耗地表及地下水资源量(单位:亿 m³)

分类统计	消耗地表地下水资源量	消耗黄河水资源量						小计
		经济系统		生态系统				
		农田灌溉	工业生活	未利用地	天然林地	天然草地	湖泊湿地	
中卫市	5.95	4.48	0.39	0.13	0.07	0.14	0.04	5.26
银川市	16.92	11.69	2.02	0.19	0.09	0.19	0.65	14.82
石嘴山市	9.02	6.31	0.94	0.11	0.06	0.18	0.26	7.87
吴忠市	7.91	5.96	0.86	0.09	0.5	0.14	0.09	7.18
固原市	1.34	0.98	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	1.34
北部平原区	36.92	25.90	3.94	0.52	0.27	0.65	1.04	32.31
扬黄灌区	3.39	3.00	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	3.39
南部山区	0.84	0.53	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84
合计	41.14	29.43	4.63	0.52	0.27	0.65	1.04	36.47

注:扬黄灌区和南部山区耗水量仅考虑农田和城乡工业与生活消耗水量,以下同。

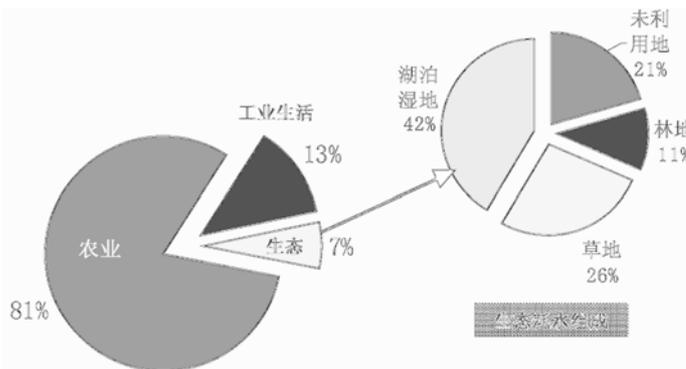


图 3 推荐方案宁夏全区消耗黄河水资源量组成

4.4 推荐方案广义水资源供需平衡分析 广义水资源供需平衡研究包括天然需水在内的广义水资源需求和包括土壤水在内广义水资源供给之间的平衡,包含的水资源为当地降雨、周边地表及地下来水和黄河水资源等全部水源,需求对象包括生活、工业、农业、人工生态和天然生态系统,广义水资源供需平衡的水资源供给量为配置方案下区域经济生态系统消耗的蒸发蒸腾量,广义水资源需求量为生活、工业、农业和人工生态系统的广义水资源需求量,以及满足特定目标的天然生态需水量。广义水资源供需平衡从配置水源和配置对象两方面,全口径的分析了区域各种水源和耗水对象,可以更好地预测和分析区域水资源供需状况。现状年 50% 频率下,生态稳定性评价结果为 0.7,属于良好稳定状态,因此研究选取此种情况下天然生态耗水量作为维持区域生态稳定的生态需水量。推荐方案 50% 频率的广义水资源供需平衡见表 4。宁夏广义水资源需求总量为 56.9 亿 m³,广义水资源供给量为 56.1 亿 m³,广义水资源缺水总量为 0.83 亿 m³,其中农业生产缺水 0.30 亿 m³,生态系统缺水 0.52 亿 m³。

5 宁夏广义水资源合理配置响应分析

5.1 广义水资源配置生态稳定响应 现状年 50% 频率的宁夏平原区各县绿洲生态稳定性状况均处于良好状态,2010 水平年推荐方案与现状年相比,在引水量减少的同时,由于渠系衬砌和田间平整等措施

提高了水利用效率,地下水入渗补给量减少,地下水位降低,对植被群落盖度产生不利影响。与此同时,单位面积水资源量的减少和生态缺水率的提高也对绿洲生态稳定性产生不利影响。在评价的 10 个县市中,2010 水平年 50%频率所有县市的综合评价价值均处于 0.61~0.67 之间,全区的综合评价价值为 0.66,绿洲生态稳定性仍处于良好状态。配置方案三的情况下,平原区综合评价价值为 0.63,绿洲生态稳定性状况虽然仍处于良好状态,但同频率下的平原区生态稳定性状况较现状年有明显下降。

表 4 推荐方案 50%频率广义水资源供需平衡结果(单位:亿 m³)

分类统计	广义水资源需求量						广义水资源供给量						广义水资源缺水量			广义水资源缺水率(%)					
	农田灌溉	工业生活	未利用地	天然林地	天然草地	天然湖泊湿地	农田灌溉	工业生活	未利用地	天然林地	天然草地	天然湖泊湿地	农田灌溉	天然林地	天然草地	天然湖泊湿地	农田灌溉	天然林地	天然草地	天然湖泊湿地	
地 市	中卫市	6.2	0.4	1.1	0.3	0.7	0.1	6.2	0.4	1.1	0.3	0.6	0.1	0.05	0.02	0.08	0	0	7.3	12.2	2.8
	银川市	15.3	2.1	1.7	0.4	0.9	1.4	15.3	2.1	1.7	0.4	0.8	1.4	0.03	0.04	0.14	0.02	0.2	9.3	15.3	1.3
	石嘴山市	8.3	1.0	0.9	0.3	0.9	0.6	8.2	1.0	0.9	0.3	0.8	0.6	0.03	0.04	0.15	0.01	0.4	12.5	16.4	1.0
	吴忠市	8.5	0.9	0.8	0.2	0.7	0.2	8.5	0.9	0.8	0.2	0.6	0.2	0.04	0.01	0.04	0	0.4	3.6	6.6	1.9
	固原市	2.4	0.4	0	0	0	0	2.2	0.4	0	0	0	0	0.15	0	0	0	6.3	0	0	0
分 区	引黄灌区	33.9	4.1	4.5	1.3	3.2	2.3	33.8	4.1	4.5	1.2	2.8	2.3	0.11	0.11	0.4	0.03	0.3	8.6	13.1	1.3
	扬黄灌区	5.3	0.5	0	0	0	0	5.2	0.5	0	0	0	0	0.09	0	0	0	1.7	0	0	0
	南部山区	1.6	0.3	0	0	0	0	1.5	0.3	0	0	0	0	0.11	0	0	0	6.7	0	0	0

5.2 广义水资源配置经济效益响应 2010 水平年配置方案共涉及到 7 个方面重要工程,根据工程实际发生规模和配水量确定不同方案的费用和成本,计算不同方案的国民经济效益费用流量,利用国民经济效益费用流量表可以计算出所有方案的国民经济评价,除了方案二以外,其它方案内部收益率均未达到 12% 的标准,经济效益较差,从经济角度来看,方案二为经济可行方案。

5.3 广义水资源配置的水循环响应

5.3.1 南部山区水循环通量变化 2010 水平年宁夏南部山区规划了若干水土保持工程,水平梯田、退耕、植树、种草、淤地坝以及谷坊、沟坊等水土保持措施必将对区域的水循环规律产生影响,流域综合治理的水土保持措施可以拦蓄径流、增加地下水和土壤水的补给,在洪水季节还可以起到削峰填谷的作用。2010 水平年推荐方案情况下,南部山区小流域治理措施将减少地表水资源量 0.51 亿 m³,其中,0.26 亿 m³ 转化为地下水,0.25 亿 m³ 转化为土壤水,减少的地表水资源量主要用于农业生产和天然生态蒸发消耗,能够缓解干旱缺水地区生态和生产状况,提高地表水资源的有效利用。

5.3.2 扬黄回归水量变化 现状年,宁夏已经建设了红寺堡、固海、盐环定扬黄灌区,总灌溉面积已经达到 5.5 万 hm²,根据国家农业发展战略,为了宁夏南部山区生态移民,还将进一步扩大扬黄灌溉面积。宁夏大规模的扬黄灌溉工程必将对区域的产水规律产生影响,水资源的总量以及地表水、地下水、土壤水等各组成部分也将发生变化,灌溉回归水量也将发生变化,对于区域水资源消耗具有一定的影响。扬黄回归水量模拟表明:未来灌溉面积和灌溉水量都将增加,但回归水量增加幅度较小(表 5)。

表 5 不同水平年扬黄水量及其回归量

	灌溉面积 ? 万 hm ²	引水量 ? 万 m ³	灌溉水入渗补给量 万 m ³			地下水储蓄量 ? 万 m ³	回归水量 ? 万 m ³
			渠系水补给量	田间灌溉水补给量	总补给量		
2000 年	5.5	31650	4073	2294	6367	1094	5273
2010 年	8.1	36238	4222	2832	7054	1627	5426

5.3.3 宁夏平原区水循环响应 平原区水循环系统是一个已经适应了自然和人工复合作用的相对稳定的系统,未来随着各种配置措施的落实,实行大面积、大规模的节水措施,以及农业用水向工业和生活用水进一步转移,宁夏平原区水循环变化趋势将发生显著变化(表 6),水循环强度将大幅度减弱,地表水、土壤水和地下水的交换量也逐渐减弱,地下水位降低,潜水蒸发减少,主要表现为:(1)平原区引黄水量将大幅度减少,从现状年的 75.3 亿 m³ 减少到 2010 年的 58.5 亿 m³;(2)区域总蒸发耗水量将小幅度

的减少,平原区灌溉面积略有增加,农业蒸散发消耗水量将持续减少,生活工业耗水将迅速增加,天然生态耗水将呈下降的趋势,其中,未利用地和草地的潜水蒸发消耗减少将十分明显;(3)平原区引排水量将迅速减少,排水沟水量的组成将发生巨大变化,灌溉排水亦将急剧减少,地下水排水将大幅度减少,生活工业排水增加,大引大排的现象将发生显著变化;(4)地下水补给与消耗都将发生显著变化,地下水入渗量将大量减少,区域潜水蒸发和地下水排泄到排水沟水量将大量减少,引黄灌区侧排入黄河的水量也将明显减少,而地下水人工开采利用将有所增加;(5)相对于现状年情况,地下水埋深值均有不同程度的增加,非灌溉期平原区地下水枯期埋深增加 0.18m,灌溉期地下水埋深增加 0.41m;(6)天然生态赖以维持的地下水补给将减少,通过人工补水的方式增加湖泊供水,能够基本保持区域湖泊总水面的稳定,但湖泊补给水源将由天然补给逐渐向人工补给转移,零星分布的湖泊将由人工补给的大型人工湖泊所代替。

表 6 宁夏平原区水循环要素变化(单位:亿 m³)

分项	现状年	2010 水平年	分项	现状年	2010 水平年
引黄灌溉水量	75.3	58.5			
总蒸发消耗量	49.6	48.8	区域入渗总量	27.9	21.4
区域水资源消耗量			地下水补给量		
农田蒸发消耗量	34.3	32.5	渠系入渗补给量	15.1	10.4
天然生态消耗量	13.3	12.2	农田入渗补给量	11.1	9.5
生活工业消耗量	1.7	3.9	其它补给	1.7	1.5
排水沟总水量	41.7	29.2	潜水蒸发量	12.8	9.2
排水沟地下水排泄补给	8.5	5.6	地下水消耗量		
排水量生活工业补给	3.9	4.8	地下水排入排水沟	8.5	5.6
农田与降雨补给	29.4	18.8	地下水排入黄河	1.9	1.5
			人工开采量	4.3	4.8

5.4 广义水资源配置水环境响应 根据污水排放量的预测,污水排放总量以及主要污染物排放量仍呈逐年增加趋势,尤其是银川和石嘴山地区。除陶乐渡口至石嘴山黄河水厂取水口河段外,黄河干流各功能区水环境纳污能力整体呈下降趋势,其中对 COD 的纳污能力平均减少 12%。黄河干流各水平年污染物控制结果表明,未来不同水平年,各功能区污染物入河量呈逐年增加的趋势,而排放控制量变化不大,且整体上 COD 的入河量要比氨氮的入河量大几倍;未来排水沟污染物进入量逐年增加,排放控制量逐年减少,排放消减量也逐年增加。

6 宁夏广义水资源合理配置战略分析

6.1 广义水资源配置主要结论 通过宁夏广义水资源合理配置多方案全口径供需平衡模拟、生态稳定性响应、经济响应、水循环响应和水环境响应分析,可以选取 2010 水平年合理的配置方案,得到广义水资源合理配置结论:(1)宁夏产业用水结构不合理,农业是用水大户,并且农业内部种植结构也不尽合理,高耗水作物种植比例很大;(2)宁夏未来水资源配置下的缺水形势仍十分严峻。在采取各种节水措施,并严格控制灌溉面积后,一般年份基本满足需水要求,但是在干旱年份,全区缺水仍十分严重;(3)宁夏耗水节水潜力远小于取用水节水潜力,2010 年农业取用水节水量为 21.2 亿 m³,耗用水量仅节约了 2.74 亿 m³;(4)地下水位降低,天然生态耗水将有下降的趋势,未来生态缺水严重,生态稳定性亟待提高;(5)水污染排放形势仍不容乐观,水环境纳污能力逐年下降;(6)确定效益良好的骨干水利工程框架。

6.2 主要战略措施 宁夏平原区是宁夏回族自治区政治经济中心,未来发展以控制灌溉面积、调整种植结构和产业经济结构为主,在保持生态稳定的基础上大力节水,将农业节水量转移到生活和工业,支撑区域经济社会的快速发展,减少虚拟水的外流;扬黄灌区以提高扬黄水的效益为主;南部山区主要通过小流域综合治理,提高当地水资源承载能力,减少移民人口。主要建议如下:(1)调整产业用水结构,实现农业用水向工业用水转移;(2)全面推进宁夏节水型社会建设;(3)严格控制灌溉面积发展;(4)调整宁夏耗用黄河水量过程;(5)加大生态补水,维护绿洲生态稳定;(6)合理确定移民数量,进一步提高南部山区

的水资源承载能力;(7)工业用水实现由地表水供水逐渐替代开采地下水;(8)构建合理的骨干水利工程布局框架。

参 考 文 献:

- [1] 王浩,陈敏建,秦大庸.西北地区水资源合理配置与承载能力研究[M].郑州:黄河水利出版社,2003.
- [2] 裴源生,赵勇,王建华.流域水资源实时调度研究[J].水科学进展,2006,(3):395—401.
- [3] 贾仰文,王浩,倪广恒.分布式流域水文模型原理与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2005.
- [4] 裴源生,赵勇,张金萍.广义水资源合理配置理论研究(I)[J].水利学报,2007,38(1):1—7.
- [5] 赵勇,陆垂裕,肖伟华.广义水资源合理配置模型研究(II)[J].水利学报,2007,38(2):163—170.
- [6] 赵勇,裴源生,于福亮.黑河流域水资源实时调度模型系统研究[J].水利学报,2006,37(1):82—88.
- [7] 沈振荣,张瑜芳,杨诗秀.水资源科学实验与研究——大气水、地表水、土壤水、地下水相互转化关系[M].北京:中国科技出版社,2000.
- [8] 许迪,蔡林根,茆智.引黄灌区节水决策技术应用研究[M].北京:中国农业出版社,2004.
- [9] 裴源生,王建华,罗琳.南水北调对海河流域水生态环境影响分析[J].生态学报,2004,24(10):2115—2123.

Study on rational deployment of generalized water resources III . Application

ZHAO Yong, LU Chui-yu, QIN Chang-hai; ZHANG Jin-ping

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

Abstract: The rational deployment model of generalized water resources proposed by the authors is applied to work out the water deployment scheme for Ningxia Autonomous Region. The scheme set for 2010 water resources level is carefully analyzed and the quantitative responses of water recycling to ecological, economy, environment are studied. The best scheme is selected and the overall balance of water supply and water demand for this scheme is analyzed. Furthermore, the balance status of water supply and water demand on different levels are studied. The result shows that the implementation of the recommended scheme will ensure the realization of the objective of transforming agricultural water use to industrial and domestic use and realize the harmonic development of economy and eco-system in this region.

Key words: generalized water resources; rational deployment; response of water recycling; stability of ecosystem

(责任编辑:王成丽)