

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtk.2018.0095

左其亭,王妍,陶洁,等.南水北调中线水源区水文特征分析及其水资源适应性利用的思考[J].南水北调与水利科技,2018,16(4):42-49. ZUO Q T, WANG Y, TAO J, et al. Hydrological characteristics and adaptive utilization of water resources in water source area of the Middle Route of South to North Water Diversion Project[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(4): 42-49. (in Chinese)

南水北调中线水源区水文特征分析及其 水资源适应性利用的思考

左其亭^{1,2}, 王妍¹, 陶洁^{1,2}, 韩春辉¹, 王鑫¹

(1. 郑州大学 水利与环境学院, 郑州 450001; 2. 郑州大学 水科学研究中心, 郑州 450001)

摘要: 南水北调中线调水工程是为了解决华北地区缺水问题而采取的特大型调水工程, 水源区地理特征是调水水量和水质的基础。然而, 从目前的研究现状看, 对水源区边界、面积、河流长度等主要特征参数和水资源特征系统梳理不足, 水资源利用仍存在问题。基于此, 从地理学的角度, 借助地理信息技术和统计学方法, 结合实地调研, 对南水北调中线水源区主要特征参数进行系统梳理; 分析和总结水资源特征、水资源开发利用演变过程以及存在的问题; 基于水资源适应性利用理论, 结合南水北调中线水源区实际, 提出其水资源适应性利用的研究思路和战略措施建议。研究成果对保障南水北调中线可持续调水、支撑水源区水资源开发利用和协同管理提供技术支撑。

关键词: 南水北调中线调水工程; 水源区; 特征参数; 水资源开发利用; 水资源适应性利用

中图分类号: TV 213.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2018)04-0042-08

Hydrological characteristics and adaptive utilization of water resources in water source area of the Middle Route of South to North Water Diversion Project

ZUO Qiting^{1,2}, WANG Yan¹, TAO Jie^{1,2}, HAN Chunhui¹, WANG Xin¹

(1. School of Water Conservancy & Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. Center for Water Science Research, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The Middle Route of South to North Water Diversion Project is a major water diversion project to alleviate the water crisis in North China, and the geographical characteristics in its water source area are important for ensuring the quantity and quality of the diverted water. However, the current research is inadequate on the main characteristic parameters such as boundary, area, and river length of the water source area or on the water resources characteristics. There are still some problems in water resources utilization. In view of this, we systematically teased out the main characteristic parameters of the water source area in the Middle Route of South to North Water Diversion Project from the geographical perspective by using geographic information technology, statistical methods, and field investigation. We analyzed and summarized the characteristics of water resources, the development and utilization process of water resources, and the existing problems thereof. In view of the reality of the water source area of the Middle Route of South to North Water Diversion Project, we put forward a research approach and strategic measures on adaptive utilization of water resources based on the theory of adaptive utilization of water resources. The results will provide technical supports for ensuring sustainable water diversion in the Middle Route of South to North Water Diversion Project and for development, utilization and collaborative management of water resources in the water source area.

收稿日期: 2017-10-09 修回日期: 2018-04-24 网络出版时间: 2018-05-23
网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20180522.1113.002.html>

基金项目: 国家自然科学基金(51779230; 51509222; 51709238); 郑州大学重大科技项目培育基金(2015ZDPY01)

Funds: National Natural Science Foundation of China (51779230; 51509222; 51709238); Cultivation Fund for Major Science and Technology Projects of Zhengzhou University (2015ZDPY01)

作者简介: 左其亭(1967-), 男, 河南固始人, 教授, 博士生导师, 主要从事水文学及水资源方面研究。E-mail: zuoqt@zzu.edu.cn

Key words: Middle Route of South to North Water Diversion Project; water source area; characteristic parameters; water resources development and utilization; adaptive utilization of water resources

受人类活动和气候变化的影响,水系统特征会发生或多或少的变化,比如,气温、蒸散发、降水量的增加或减少,同时也会引起径流过程和特征参数的变化。水资源的开发利用必须要适应这些变化,缓解其带来的不利影响,以应对因环境变化带来的水系统变化。南水北调中线工程作为我国一项特大型调水工程,在极大程度上解决了华北区域的水资源短缺问题,了解水源区的水资源情况及主要特征有利于保障调水工程的顺利开展。因此,理清南水北调中线水源区的主要特征参数及水资源开发利用问题,开展变化环境下的水资源适应性利用研究具有重要的现实意义和实际应用价值。

目前,国内外有关环境变化对流域、水文、水资源利用的影响方面开展了大量的研究工作^[4]。关于南水北调中线水源区的水资源开发利用方面,国内学者主要是从水质、水量和水资源调度三个方面开展的。如封光寅等^[5]、金旻等^[6]分析了丹江口库区水质及水源区的气候变化趋势,对选择合理的水量调度方式提供参考;刘勇等^[7]、冉笃奎等^[8]对丹江口水库的径流量进行模拟与预测,为水资源调度提供依据。在水资源适应性利用研究上,国内外主要集中于从宏观层面进行分析,如Lempert等^[9]、Pahl-Wostl C^[10]针对环境变化引起的水资源脆弱性,提出对水资源进行适应性管理,笔者^[11]在文中阐述了水资源适应性利用的概念、原理、理论机理等,以及在治水实践中的应用前景。从目前的研究情况来看,对南水北调中线水源区的基础研究尚有

不足,对水源区的边界、面积、河流长度等主要特征参数和水资源特征缺乏系统梳理;水资源适应性利用以理论方面的研究居多,对其具体的应用指导还很有限。

因此,本文基于地理信息技术,从DEM数据中提取出南水北调中线水源区边界,界定其范围,系统梳理主要特征参数;并对水源区进行分区,介绍各分区水资源特征,及水资源开发利用情况;结合水源区实际,利用水资源适应性利用理论,提出可行的对策方案,以满足调水及用水要求。

1 南水北调中线水源区范围及特征参数确定

1.1 数据来源与方法

本文基于来自地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>)的DEM数据资料,该数字高程资料分辨率为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$,并以实地调研为手段,结合地理信息系统和统计学方法^[12],通过ArcGIS软件技术提取河网水系。在此基础上,进一步统计得到流域主要特征参数,并根据遥感影像和实际情况对统计结果进行修正,确定得出南水北调中线水源区主要特征参数和水系参数,包括水源区范围、面积、出口断面位置、河流长度、集水面积等,为南水北调中线水源区的相关研究工作提供基础的数据支撑。

1.2 流域范围确定

南水北调中线工程水源区(以下简称“水源区”)主要为汉江流域丹江口以上地区,涉及甘肃、陕西、



图1 南水北调中线水源区范围

Fig. 1 The water source area of the Middle Route of South to North Water Diversion Project

河南、四川、重庆、湖北六省(市),包括汉中、商洛、宝鸡、安康、十堰、南阳、三门峡、洛阳等地市。其核心水源区位于丹江口库区,地处丹江与汉江的汇合处,选取丹江口水库出口作为水源区出口断面位置(111°29′33″E, 32°33′10″N),基于DEM数据,遵照水系完整性原则,利用ArcGIS中的水文分析模块提取流域边界,见图1。流域边界地理坐标位置位于106°5′30″-111°32′50″E, 31°24′54″-34°11′13″N,经统计得到水源区总集水面积为95 387.9 km²,占汉江整个流域面积的60%。其中陕西省境内的集水面积为63 648.9 km²,湖北省境内集水面积为21 381.3 km²,河南省境内集水面积为7 267.3 km²,分别占水源区总集水面积的66.73%、22.41%和7.62%,其他三省(市)境内集水面积较小,共3 090.4 km²,占总面积的3.24%。

1.3 主要特征参数

水源区属于亚热带半湿润季风气候区,河流大多分布在山地丘陵中,多年平均气温为14℃;多年平均降水量为849.5 mm(1961-2013年)^[13],相比全国降水平均水平,水源区降水较为充沛,属于相对丰水地区,但区域内降水分布较为不均,全年大部分降水集中在6月-9月;水源区多年平均径流量约为411亿m³,是汉江中下游的2倍多,约占整个汉江干流的70%^[14]。

水源区内河流水系较为发育,大小支流众多,有近5 900条,河流流域面积在100~1 000 km²之间的有210多条,超过1 000 km²的有20条左右^[15],汉江的两条最大支流——丹江和堵河的流域面积均

在10 000 km²以上。在1961年-2013年期间,丹江口水库年均入库流量约1 152亿m³/s,其中,汉江流域占64%,堵河占11%,丹江及其他小支流占25%^[16]。此外,水源区内还建有喜河水库、石泉水库、安康水库、石门水库等较大型水利工程。为定量确定水源区主要特征参数,本文通过采取实地调研等措施,并基于获取的DEM数据,利用ArcGIS软件提取出水源区的水系图,在此基础上,对水源区内主要干支流的河长、集水面积、地理位置坐标等特征参数分别进行统计,统计结果见表1。

从表中可以看出,水源区内丹江和堵河是汉江流域的两条最大支流,其河流长度分别为382.62 km、320.43 km,集水面积分别为16 136.36 km²、12 450.33 km²,分别占汉江流域的16.92%和13.05%。而汉江作为长江最长的一条支流,在水源区内的集水面积为95 387.9 km²,河长为938.70 km,占汉江干流总长的59%,汉江起源于陕西省境内宁强县,有南源、中源、北源三个源头,其中南源为位于勉县的玉带河,中源则为位于宁强县北蟠冢山的漾水,位于留坝县的沮水为北源。本文根据由DEM数据得到的水源区范围图,选取沮水为汉江流域的河源。水源区中北部水系分布较南部更为密集,支流较多且长,其中北部的支流由西向东包括褒河、湑水河、酉水河、子午河、旬河、金钱河、丹江等;南部支流由西向东主要有玉带河、牧马河、任河、岚河、堵河等。为了横向对比主要干支流径流量大小,查阅有关文献,列出1970-2005年期间的区内主要河流多年平均径流量值^[13-14, 17-18],见表1。

表1 水源区内主要干支流特征参数

Tab. 1 Characteristic parameters of main branches in the water source area

河流名称	入汉江处坐标	河长/km	集水面积/km ²	多年平均径流/亿m ³
汉江	/	938.70	95 387.90	411.00
褒河	106°55′42″E, 33°06′41″N	175.32	3 930.03	13.46
湑水河	107°23′22″E, 33°08′59″N	167.24	2 335.38	10.98
酉水河	107°46′46″E, 33°11′50″N	110.92	975.87	4.32
子午河	107°59′20″E, 33°10′41″N	158.25	2 981.81	12.26
旬河	109°23′04″E, 32°49′59″N	214.42	6 322.03	20.89
金钱河	110°01′16″E, 32°52′27″N	174.79	5 647.54	19.92
丹江	111°29′41″E, 32°33′21″N	382.62	16 136.36	18.90
牧马河	107°48′05″E, 33°01′35″N	115.22	2 794.17	16.19
堵河	110°38′39″E, 32°47′19″N	320.43	12 450.33	61.80
玉带河	106°30′20″E, 33°07′09″N	88.09	1 079.54	2.73
岚河	108°50′49″E, 32°34′60″N	155.32	2 129.54	13.88
任河	108°31′40″E, 32°31′34″N	205.33	4 901.57	30.13

2 南水北调中线水源区水资源开发利用问题

2.1 分区水资源特征

根据全国水资源分区,汉江上游的丹江口库区以上地区为一个水资源三级区。为了便于对各区域水资源特征进行分析,需要对水资源进行分区。由图1可看出,汉江与丹江为调水水源(丹江口水库)

的主要组成部分,而汉江主要流经汉中、安康市和十堰三市,丹江主要流经商洛、南阳二市,因此,本文按照水资源三级分区套地级市行政分区的原则将该水源区划分为五个分区,见图2。其中,1区为汉江汉中区、2区为汉江安康区、3区为丹江商洛区、4区为汉江十堰区、5区为丹江南阳区,表2显示了水源区内各分区的水资源特征。

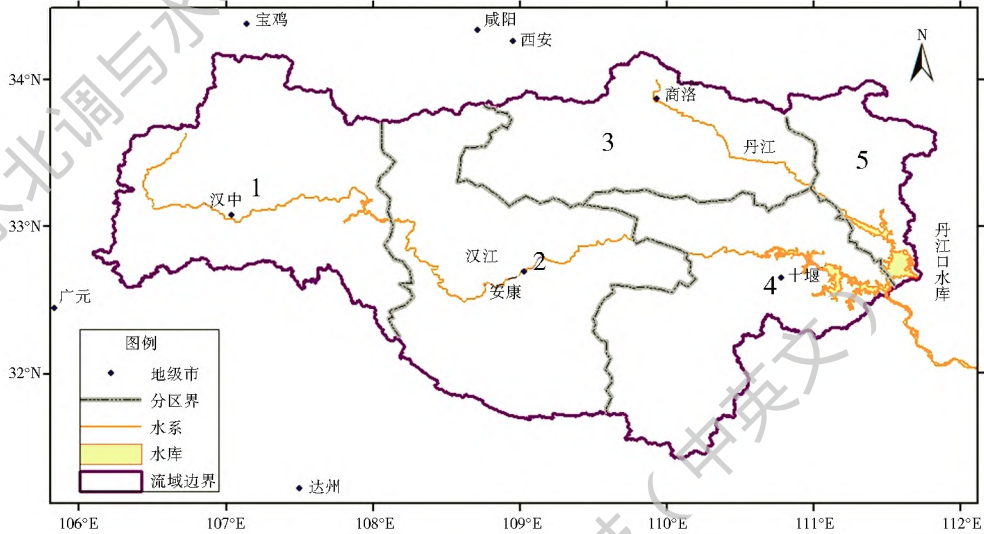


图2 南水北调中线水源区分区

Fig. 2 The partition map of water source area of the Middle Route of South to North Water Diversion Project

表2 水源区内各分区的水资源特征

Tab. 2 The characteristics of water resources in each zone

区号	分区名称	所含市区	面积/km ²	多年平均降水/mm	多年平均水资源量/亿 m ³	多年平均气温(°C)
1	汉江汉中区	汉中市、宝鸡市	23 654. 11	905. 30	146. 25	13. 64
2	汉江安康区	安康市、重庆市	26 123. 32	900. 10	106. 55	14. 40
3	丹江商洛区	商洛市	16 748. 21	758. 00	44. 20	13. 50
4	汉江十堰区	十堰市、神农架林区	21076. 04	899. 00	84. 98	15. 20
5	丹江南阳区	南阳市、洛阳市	7 786. 22	823. 60	20. 60	15. 40

由表2可知,汉江汉中区以汉中市为主,包括汉中的汉台区及勉县、留坝、佛坪、城固、西乡、洋县六县全境,略阳、宁强二县的东部,南郑县北部,镇巴县东北部以及宝鸡市的太白县和凤县东部。所辖面积为23 654. 11 km², 占总面积的 24. 80%, 在1971–2010年期间,区域多年平均降水量、水资源量和气温分别为950. 30 mm、146. 25 亿 m³、13. 60 °C。

汉江安康区以安康市为主,包括安康市的宁陕、旬阳、汉阴、石泉、白河、镇坪、平利、岚皋、紫阳等九县和汉滨区全境,以及重庆市的城口县北部。所辖面积为26 123. 32 km², 占总面积的 27. 39%, 1971–2010年期间,区域内多年平均降水量、水资源量和气温分别为900. 10 mm、106. 55 亿 m³、14. 40 °C。

汉江十堰区以十堰市为主,包括十堰市下辖的

丹江口市、张湾区、郧阳区、茅箭区以及竹山、郧西和竹溪三县,还包含房县西部和神农架林区西北部的部分区域。所辖面积为21 076. 04 km², 占总面积的 22. 10%, 1971–2010年期间,区域多年平均降水量、水资源量和气温分别为899. 00 mm、84. 98 亿 m³、15. 20 °C。

丹江商洛区以商洛市为主,包含商洛市的商州区以及镇安、丹凤、商南、山阳和柞水五县。所辖面积为16 748. 21 km², 占总面积的 17. 55%, 1971–2010年期间,区域多年平均降水量、水资源量和气温分别为758. 00 mm、44. 20 亿 m³、13. 50 °C。

丹江南阳区以南阳市的淅川、西峡二县为主,还包括三门峡市的卢氏县南部以及洛阳市的栾川县西部的小部分区域。所辖面积为7 786. 22 km², 占总面积

积的8.16%，1971—2010年期间，区域多年平均降水量、水资源量和气温分别为823.60 mm、20.60 亿 m³、15.40 ℃。

2.2 水资源开发利用演变过程

(1) 建国前，农业灌溉是水源区内最主要的水资源开发利用模式。历史上，汉江上游流域处于十分关键的军事地理位置，对水源区工农业发展与水利建设影响颇深，为此，兴建了山河堰（位于褒河）和高堰、杨镇堰、五门堰（位于渭水河）等一些较为重要的水利枢纽工程。到解放前夕，水源区内主要建设有褒惠渠、汉惠渠、消惠渠等灌溉工程。其中，在1939年，开始修建汉惠渠，并于1944年建成，该工程引汉江水灌溉沔县、褒城两县。褒惠渠也于1939年开始兴建，到1942年完成了该工程的大部分。1940年，开始进行消惠渠的修建，并于1948年竣工。

(2) 20世纪50—70年代，水源区内逐步兴建了大批水利工程与设施。1955年，完成了强家湾水库的建设，该工程是陕西省内最早修建的水库。作为南水北调中线工程的核心水源地——丹江口水库于1958年9月开始修建，初期工程于1974年全部完成，位于长江支流汉江流域上游，是汉江上最大的水库。1968年10月，丹江口水库发电机组开始逐步投入使用，为江汉平原及华中地区工农业正常生产生活需求提供了可靠的保障。1969年，开始石门水库灌区的修建，历经4年多，已于1973年竣工。

(3) 20世纪80—90年代，水源区开始重视水资源综合利用和水污染防治工作。1988年水电部递交了《汉江上游干流梯级开发规划报告》，1993年10月长江水利委员会编制了《汉江夹河以下干流综合利用规划报告》。1994年1月，水利部审查并通过了长江水利委员会提出的《南水北调中线工程可行性研究报告》。至此，水源区内流域干流兴建大量水利枢纽工程，将深刻改变水源区内流域水资源形势。1996年修订的《水污染防治法》促进了流域管理模式的转变，通过结合行政区域管理，对解决水源区内流域健康问题及人水矛盾提供支撑。

(4) 21世纪以后，水资源循环利用及可持续利用的思想在水源区内水资源开发利用中的地位愈发突出。为缓解南水北调中线工程调水产生的各种负面作用，2009年在汉江中下游开展了四项治理工程的建设。2010年12月，作为长江中下游水污染防治“十一五”规划中四个专项计划之一，水利部进一步实施了汉江流域水污染防治计划，力图控制流域的水污染状况，并缓解南水北调中线工程带来的水环境影响。2012年，又通过并实施了《丹江口库区及上游水

污染防治和水土保持“十二五”规划》，以科学调整水资源利用方案的手段来进一步强化污染的防治管理。为缓解我国北方地区的用水矛盾，缩小用水缺口，2014年12月，南水北调中线工程实行全线通水。

2.3 水资源开发利用现状及存在的问题

建国后，我国对汉江上游水资源展开了大规模的开发利用，取得了显著的成效，并逐步建成以堤防为主，干支流水库联合拦蓄的防汛救灾体系。1974年完成了丹江口水利枢纽初期工程的全部建设，总装机容量达90万kW，为汉江流域最大的水电站。此外，又建有喜河、石泉、安康、黄龙滩、石门等较大型水利工程。很大程度地缓解了水源区的防洪抗旱问题，并发挥出了一定的发电、灌溉、航运等效益。

然而，对水源区的开发利用及丹江口水库的建设在促进各地经济社会发展的同时，也带来了大量的生态环境和水资源问题，而这些问题的集中凸显和日益尖锐，不仅限制了水资源的可持续利用，也对整个水源区的调水工作造成了不利影响：

(1) 影响汉江中下游的用水情况。南水北调中线工程的建设不仅会改变流域内的水文地貌特征，也可能改变河流的天然径流模式和年内分配特点^[1]，同时中线调水还造成了汉江水位的持续偏低，从而对汉江中下游的水资源利用造成了不利影响。随着人们生活水平的提高及经济的快速发展，水源区内工业和农业用水不断挤占中下游地区的生活用水和生态需水，使得汉江流域中下游可利用水资源数量呈逐年降低的趋势。

(2) 水污染情况日益严重。区域内面源污染情况较为严重，由于农业生产过程中化肥、农药的不合理使用，生活垃圾以及家畜粪便等随地表径流进入河网，对水体水质造成一定的影响；此外，区域内点源污染没有得到有效控制，其治理情况同样堪忧，部分地区的生活污水和工业废水往往未经处理即直接排入河道，加之排污口的不合理设置，使区域内水体水质受到严峻威胁。这些都会加重水源区内流域的水污染情况，导致区域可用水量及可调水量减少，影响当地居民生活。

3 南水北调中线水源区水资源适应性利用研究思路与建议

3.1 研究水资源适应性利用的必要性

随着人类活动的加剧和经济社会的快速发展，各种水利枢纽工程大量兴建，特别是南水北调中线工程的实施，使得原始的自然平衡遭到破坏，导致极

端气候事件频繁发生,各地的旱涝灾害也层出不穷,水系统受气候和流域水文特性及人类活动等影响日益严重,要保障水资源的循环利用及可持续利用,必须针对这些变化而做出适应性的调整,在保持水资源承载力不退化的同时,使其处于可接受的范围之内。因此,将水资源适应性利用(adaptive utilization of water resources,简称AUWR)定义为一种在遵循自然规律和社会发展规律的前提下,适应人类活动、气候变化等环境变化,同时保障水系统良性循环的水资源利用方式^[11]。

在人类活动影响方面,水系统与社会经济系统、人文生态系统息息相关、互相交织,人类活动虽然促进了社会经济的发展,给人民生活带来了便利,但与此同时,对水系统和生态环境也产生了一定的消极影响。南水北调中线工程的开展和调水量的不断累积增加,以及水源区周边居民产生的生活污水、农业污水,一些工厂和企业排放的工业污水都流入丹江口库区,导致丹江口水库的水质下降,不仅影响着调水工程的实施,使得可调水量减少,也对水源区内河流的健康及流域生态环境产生着威胁,并在一定程度上减少了汉江下游流域的水量。传统的水资源开发利用模式无法避免地会对水源区的生态环境产生一定的负面效应,为了缓和用水矛盾,解决汉江下游居民的用水减少,应当根据不同情况及时调整水资源利用方式,以适应人类活动带来的水系统变化,使调水后的社会经济发展、水资源利用和自然环境保护都处于互相适应、和谐共处的稳定关系。

在气候变化影响方面,目前国内外愈发重视气候变化的影响,而降水、气温等气候潜在变化和极端气候事件的发生相对影响着水资源量、蒸发量和可用水量等水资源特征参数。而降水及潜在蒸发量等气候因素的变化是导致水源区流域径流量多少的关键性因素,对可调水量的动态变化起着十分重要的作用,严重影响着受水区的水资源分配情况。如果对处理气候变化下的水文和水资源利用影响准备不足,可能无法保证水源区的供水、能源生产、生态和环境用水得到有效满足^[20],使丹江口水库的供水及水力发电等都会面临更大的风险。水资源的开发利用应当根据气候变化影响下的调水量变化而随时进行调整,在保证水源区内居民生活生产用水的同时,解决受水区的缺水问题,并逐渐缓解对汉江下游径流的影响。因此,必须对水资源进行适应性利用和管理,针对未来可能的气候变化趋势,及时做出调整,开展科学合理的适应性对策研究,来缓解气候变化给水源区带来的水资源和能源短缺、洪水干旱风

险和环境功能退化等水资源问题。

3.2 水资源适应性利用的研究思路

水资源适应性利用是一个复杂的系统工程,需要遵循自然规律和人类社会发​​展规律,不能随意地、无规则地去适应环境变化。本文应用人水和谐理论和水资源可持续利用理论,并以此为理论基础和依据,以人水系统为研究对象,将水资源适应性利用的研究思路分为关键影响因子识别、水资源适应性利用评估、方案优选与制定三方面,如图3,仅仅是水资源适应性利用研究的一些思考。

(1) 关键影响因子识别。

对人水关系的相关性,及人水系统之间的相互作用机理展开分析,掌握人水关系的演变规律和过程,在此基础上,找出影响人水系统和人水关系的重要因素,并识别关键影响因子,结合水资源可持续性利用和人水和谐的评判准则量化方法,进一步研究得出水资源适应性利用的评判准则和指标。

(2) 水资源适应性利用评估。

为了合理制定水资源适应性利用方案,在此之前,需要对环境变化下水资源适应性利用的整体水平和效果进行定量评估。首先基于影响因子的识别和评价指标的确定,构建其评价指标体系,然后研究计算水资源适应性利用测度,评估其利用水平高低。

(3) 方案优选与制定。

想要解决如何适应未来环境变化趋势,减少对人水系统的影响,必须提供相应的水资源适应性利用优选方案。最优水资源利用或管理方案的选择大多需要通过建立水资源优化配置模型来实现,基于此,可以通过进行水资源适应性利用评估,分析不同变化条件下的可调控因素,进一步建立水资源适应性利用优化配置模型,来对水资源利用进行规划,得到最为合适的水资源适应性利用方案。

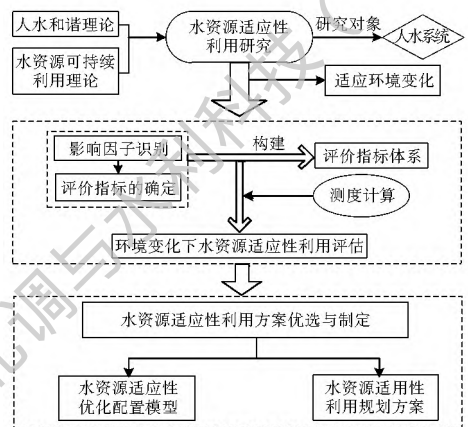


图3 水资源适应性利用研究思路图

Fig. 3 The research approach for adaptive utilization of water resources

3.3 对南水北调中线水源区水资源适应性利用的建议

(1) 需要进一步加强研究工作。

文中仅对水资源适应性利用的研究思路作了初步讨论,缺乏丰富的理论体系和方法,还需要根据水源区的实际用水及调水情况,在定性的基础上进行量化研究,进一步加强理论方法的研究与应用,研究出具体可行的评判准则、量化评估方法、调控方法等,找出影响最大的变化因素,及时进行有效调控,并根据研究结果合理制定用水方案及政策,提出相应调整后的水资源利用方案,以适应各种环境变化,缓解其带来的不利影响。

(2) 深化水源区水资源利用与保护。

目前水源区水资源的开发利用情况较为严重,由此也引发了一系列的水问题和生态环境问题,使得人水和谐关系会受到越来越大的破坏。因此,必须对水资源的开发利用进行适应性调控,利用合适的调控方法对各种重要的影响因子进行科学调控,使得调水后水资源开发利用和经济社会发展能恢复新的和谐关系。必须根据具体调整后的水资源适应性利用方案进行开发,绝对不能随意和过度开发,要基于人水和谐的原则,满足开发条件,在保证适宜的调水量分配的同时,减少人类活动对水资源的破坏,推进水资源合理高效利用,深化水资源保护,使供水和需水相适应,确保开发与保护相协调。

(3) 提前做好适应性利用对策。

在人类活动和气候变化条件下,特别是针对水源区的调水情况及其带来的各种影响,必须要对水源区水资源开发利用进行适应性调整,根据各种潜在的环境变化因素,进行合理预测。尤其要注重了解调水前后产生的各种不同情况,根据以往的相似经历进行推测和预算,制定出不同条件下的水资源适应性利用规划,做到对于可能发生的不利事件能够及时地进行预警。保障在开发利用水源区水资源的过程中,提前做好针对性的措施以及相应的适应性利用对策,科学调整水资源利用方案,使人水和谐达到环境变化下的新平衡。进一步减少中线水源区调水对汉江水位持续偏低所带来的消极影响,并使中下河段的生态、航运、灌溉、供水条件等得到一定程度的改善,

4 结语

本文主要对南水北调中线水源区范围进行界定,并统计主要参数特征,然后对水源区进行划分,并对各分区的降水、气温和水资源量等特征进行梳

理。同时,基于对水源区水资源开发利用状况的系统研究,分析了当前亟待解决的关键问题,进一步提出了水资源适应性利用的概念和研究思路。并在了解水源区实际情况的前提下,提出合理的水资源适应性利用的建议,有助于水源区的开发利用,促进人水和谐发展。但文章仅是针对水资源适应性利用的有关思考进行了简单的介绍,还缺乏进一步的系统深入研究。期待进一步结合实际来研究适合的定量方法,提出具体的水资源适应性利用方案。

参考文献(References):

- [1] VAN VLIET M T H, VAN BEEK L P H, EISNER S. Multi model assessment of global hydropower and cooling water discharge potential under climate change[J]. *Global Environmental Change*, 2016, (40): 156-170. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2016.07.007.
- [2] 刘昌明, 刘小莽, 郑红星. 气候变化对水文水资源影响问题的探讨[J]. *科学对社会的影响*, 2008(2): 21-27. (LIU C M, LIU X M, ZHENG H X. Discussion on the influence of climate change on hydrology and water resources[J]. *Impact of Science on Society*. 2008(2): 21-27. (in Chinese))
- [3] 夏军, 刘春葵, 刘志雨, 等. 气候变化对中国东部季风区水循环及水资源影响与适应对策[J]. *自然杂志*, 2016(3): 167-176. (XIA J, LIU C Z, LIU Z Y, et al. Impact of climate change and adaptive strategy on terrestrial water cycle and water resources in East Monsoon Area of China[J]. *Chinese Journal of Nature*. 2016(3): 167-176. (in Chinese)). DOI: 10.3969/j.issn.0253-9608.2016.03.002.
- [4] HERRERA-PANTOJA M, HISCOCK K M. Projected impacts of climate change on water availability indicators in a semi arid region of central Mexico[J]. *Environmental Science & Policy*. 2015, (54): 81-89. doi: 10.1016/j.envsci.2015.06.020.
- [5] 封光寅, 李身渝, 林云发, 等. 南水北调中线水源区水环境变化趋势分析[J]. *人民黄河*, 2006, 28(8): 44-45. (FENG G Y, LIN S Y, LIN Y F, et al. Analysis of the water environment change trend in water source area of the middle route of the south to north water diversion project[J]. *Yellow River*, 2006, 28(8): 44-45. (in Chinese))
- [6] 金旸, 徐岩, 王彤彤, 等. 南水北调中线水资源调度复杂性对策研究[J]. *中国水利*, 2013(20): 4-8. (JIN Y, XU Y, WANG T T, et al. Complexity and countermeasure study on water allocation of Middle Route of South-North Water Transfer Project[J]. *China Water Resources*, 2013(20): 4-8. (in Chinese))
- [7] 刘勇, 王银堂, 陈元芳, 等. 丹江口水库秋汛期长期径流预报[J]. *水科学进展*, 2010, 21(6): 771-778. (LIU Y, WANG Y T, CHEN Y F, et al. Long-term runoff forecasting for autumn flooding seasons in Danjiangkou reservoir based on analyzing the physical causes[J]. *Advances in Water Science*, 2010, 21(6): 771-778. (in Chinese)). DOI: 10.14042/j.cnki.32.1309.2010.06.010.
- [8] 冉笃奎, 李敏, 武晟, 等. 丹江口水库中长期径流量的多模型预

- 报结果分析及综合研究[J]. 水利学报, 2010, 41(9): 1069-1073. (RAN D K, LI M, WU S, et al. Research on multi-model forecasts in mid-long term runoff in Danjiangkou Reservoir[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(9): 1069-1073. (in Chinese)). DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.2010.09.002.
- [9] LEMPERT R J, GROVES D G. Identifying and evaluating robust adaptive policy responses to climate change for water management agencies in the American West[J]. Technol Forecast Soc, 2010, 77(6): 960-974. DOI: 10.1016/j.techfore.2010.04.007.
- [10] PAHL-WOSTL C. Requirements for Adaptive Water Management[M]. Berlin: Springer-Verlag Berlin, 2008.
- [11] 左其亭. 水资源适应性利用理论及其在治水实践中的应用前景[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(1): 18-24. (ZUO Q T. Theory of adaptive utilization of water resources and its application prospect in water management practices[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(1): 18-24. (in Chinese)). DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdk.2017.01.004.
- [12] 左其亭, 罗增良, 石永强, 等. 沙颍河流域主要参数与自然地理特征[J]. 水利水电技术, 2016, 47(12): 66-72. (ZUO Q T, LUO Z L, SHI Y Q, et al. Main parameters and physiographic characteristics of Shaying River Basin[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2016, (12): 110-116. (in Chinese)). DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2016.12.015.
- [13] 夏军, 马协一, 邹磊, 等. 气候变化和人类活动对汉江上游径流变化影响的定量研究[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(1): 1-6. (XIA J, MA X Y, ZUO L, et al. Quantitative analysis of the effects of climate change and human activities on runoff in the Upper Hanjiang River Basin[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(1): 1-6. (in Chinese)). DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdk.2017.01.001.
- [14] 赵欣, 张中旺, 刘超, 等. 南水北调中线工程水源区的环境评价与预测[J]. 安全与环境工程, 2003, 10(4): 5-8. (ZHAO X, ZHANG Z W, LIU C, et al. Environment assessment and prediction for the source water area of Mid-Route Project of Southern Water to the North[J]. Safety and Environmental Engineering, 2003, 10(4): 5-8. (in Chinese)).
- [15] 徐志仿, 徐铜, 蒲前超. 丹江口库区及上游水资源保护与管理[J]. 人民长江, 2011, 42(2): 17-20. (XU Z F, XU T, PU Q C. Protection and management of water resources of Danjiangkou Reservoir area and its upstream basin[J]. Yangtze River, 2011, 42(2): 17-20. (in Chinese)). DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2011.02.016.
- [16] 孙玉君, 李丹华. 南水北调中线工程水源区水质现状分析[J]. 人民长江, 2016, 47(14): 15-18. (SUN Y J, LI D H. Analysis on water quality situation in water sources area of Middle Route Project of S-N Water Diversion[J]. Yangtze River, 2016, 47(14): 15-18. (in Chinese)). DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2016.14.004.
- [17] 严栋飞, 解建仓, 姜仁贵, 等. 汉江上游径流变化趋势及特征分析[J]. 水资源与水工程学报, 2016, 27(6): 13-19. (YAN D F, XIE J C, JIANG R G, et al. Trends and characteristics of runoff for upper Hanjiang River[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2016, 27(6): 13-19. (in Chinese)). DOI: 10.11705/j.issn.1672-643X.2016.06.03.
- [18] 蔡新玲, 孙娴, 乔秋文, 等. 气候变化对汉江上游径流的影响[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(4): 220-224. (CAI X L, SUN X, QIAO Q W, et al. Effects of climate change on runoff volume in the upper reaches of the Hanjiang River[J]. Advances in Climate Change Research, 2008, 4(4): 220-224. (in Chinese)).
- [19] 何大明, 冯彦, 胡金明. 中国西南国际河流水资源利用与生态保护[M]. 北京: 科学出版社, 2007. (HE D M, FENG Y, HU J M. Utilization of water resources and ecological conservation of in the international Rivers, Southwest[M]. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese)).
- [20] K P GEORGAKAKOS, N E GRAHAM, F Y CHENG, et al. Value of adaptive water resources management in northern California under climatic variability and change: Dynamic hydroclimatology[J]. Journal of Hydrology, 2012, (412): 47-65. doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.04.032.