

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.20180015

仲志余, 刘国强, 吴泽宇. 南水北调中线工程水量调度实践及分析[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(1): 95-99, 143. ZHONG ZY, LIU G Q, WU Z Y. Analysis and practices of water regulation in the Middle Route of South to North Water Transfer Project[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(1): 95-99, 143. (in Chinese)

南水北调中线工程水量调度实践及分析

仲志余, 刘国强, 吴泽宇

(长江勘测规划设计研究院, 武汉 430010)

摘要: 南水北调中线一期工程全面通水两年来, 工程安全平稳运行, 输水水质全线达标, 累计从渠首陶岔引水超过 60 亿 m^3 。为更好地优化中线工程的实时供水调度, 有必要对中线工程的水量调度方案、水量调度计划和近两年的水量调度实践进行系统的总结。介绍了南水北调中线水量调度方案、丹江口水库年度可调水量、中线工程年度水量调度计划以及中线工程近两年水量调度实践, 分析了中线工程水量调度带来的效益、工程供水量和实际输水损失, 总结了中线一期工程运行两年来的调水实践及存在的问题, 提出了相应的建议。

关键词: 南水北调中线工程; 水量调度; 可调水量; 受水区; 陶岔渠首

中图分类号: TV 213.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2018)01-0095-05

Analysis and practices of water regulation in the Middle Route of South to North Water Transfer Project

ZHONG Zhiyu, LIU Guoqiang, WU Zeyu

(Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

Abstract: The Middle Route of the South to North Water Transfer Project has been running safely and the water quality along the line was up to standard in the past two years. The total outflow from Taocha canal headwork is more than 6 billion m^3 . In order to optimize the real time water regulation of the Middle Route Project, it is necessary to systematically summarize the water regulation scheme, water regulation plan, and the water regulation practices in the past two years. This paper introduces the water regulation scheme of the project, the annual transferable water volume of Danjiangkou Reservoir, the annual water regulation plan, as well as the water regulation practices of the project in the past two years. It analyzes the water regulation benefits, actual water transfer volume, and water transfer loss of the Middle Route Project. It also reviews the practices of and existing problems in water regulation of the Middle Route Project and proposes corresponding suggestions.

Key words: Middle Route of South to North Water Transfer Project; water regulation; transferable water; water receiving area; Taocha canal headwork

2014年12月12日, 举世瞩目的南水北调中线一期工程顺利实现全线通水, 从此一条新水脉贯通南北, 纵贯长江、淮河、黄河、海河四大流域, 跨越河南、河北、天津、北京四省(市)^[1], 见图1。

中线一期工程全面通水两年以来, 工程安全平

稳运行, 输水水质全线达标。截至2016年12月12日, 南水北调中线工程累计从陶岔引水超过 60 亿 m^3 , 在保障受水区居民生活用水、修复和改善生态环境、促进库区和沿线治污环保、应急抗旱排涝等方面, 取得了显著的社会、经济、生态等综合效益, 有效

收稿日期: 2017-06-15 修回日期: 2017-10-15 网络出版时间: 2018-01-11
网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20180106.0923.012.html>

作者简介: 仲志余(1965-), 男, 江苏泰州人, 教授级高级工程师, 主要从事水利规划、洪水管理等方面的研究。E-mail: zhongzhiyu@cjwsjy.com.cn

通讯作者: 刘国强(1986-), 男, 山东昌乐人, 高级工程师, 博士, 主要从事水资源规划、水资源配置与调度管理等方面的研究。E-mail: liuguoqiang@cjwsjy.com.cn

地破解了华北地区水资源短缺困局,为华北地区经济、社会可持续发展奠定了坚实的水资源基础。

式输水^[3]。在输水过程中,因为蒸发、渗漏或者其他人为因素引起中途非分水原因导致的渠道水量变化,这种非分水原因导致的渠道水量减少称为总干渠输水损失。在制定水量调度计划时应考虑这部分水量损失。在进行中线水量调度时,申报的各分水口门水量需要换算到陶岔渠首后,再进行水量分配。分配完成后,再将各分水口的陶岔水量换算成分水口门水量。受水区各省(市)多年平均口门水量合计为85.4亿 m^3 ,各省(市)口门水量及比例见表2。



图1 南水北调中线一期工程路线

Fig. 1 The route of the first stage of the Middle Route of South to North Water Transfer Project

作为世界上线路最长的调水工程,南水北调中线工程的调度运行受到世界关注。水量调度作为中线工程运行管理的重要内容,涉及水量预测、计划、分配和监督执行。为更好地优化中线工程的实时供水调度,有必要对中线工程的水量调度方案、水量调度计划和近两年的水量调度实践进行系统的总结。

1 中线工程水量调度方案

在进行南水北调中线工程规划时,将丹江口水库、汉江中下游及受水区作为一个整体进行供水调度及调节计算,得出近期多年平均可调水量97亿 m^3 ,有效调水量95亿 m^3 (其中含河南省刁河灌区6.0亿 m^3)^[2]。受水区各省(市)多年平均陶岔分配水量及比例见表1。

表1 受水区各省(市)多年平均陶岔水量分配

Tab. 1 Annual average water allocation from Taocha for each water receiving province

省(市)	多年平均/亿 m^3	水量分配比例(%)
河南	37.7	39.7
河北	34.7	36.6
北京	12.4	13.0
天津	10.2	10.7
合计	95.0	100

中线工程总干渠线路长,采用以明渠为主的方

表2 受水区各省(市)多年平均口门水量分配

Tab. 2 Annual average water allocation at the outlet for each water receiving province

省(市)	多年平均/亿 m^3	水量分配比例(%)
河南	35.9	42.0
河北	30.4	35.6
北京	10.5	12.3
天津	8.6	10.1
合计	85.4	100

2 中线工程年度水量调度计划

在实际调度运行中,根据丹江口水库当年蓄水量和预测来水以及湖北省用水计划确定陶岔年度可调水量,制定每年的中线水量调度计划^[4]。在正常情况下,陶岔年度可调水量的分配按照各省(市)多年平均分配水量的比例分配。当丹江口水库预测来水频率大于75%且小于95%,视受水区各省(市)缺水程度,可向缺水严重地区适当倾斜,优先保障受水区生活用水需求^[5]。

2.1 丹江口水库年度可调水量

在编制南水北调中线一期工程年度水量调度计划时,必须先确定中线工程可调水量,即丹江口水库陶岔渠首的年度可调水量,丹江口水库供水调度原则如下。

(1) 丹江口水库以防洪、供水为主要任务,结合发电、航运等发挥综合利用效益。

(2) 运行水位:正常蓄水位170m(吴淞高程,下同);汛期限制水位夏季(6月21日至8月20日)为160m,秋季(9月1日至9月30日)为163.5m;死水位150m;极限消落水位145m。

(3) 供水调度:在满足汉江中下游用水需求条件下,按丹江口水库来水、库水位,结合受水区需调水量进行调度。按库水位高低,分区调度。

(4) 当库水位低于150m时,若丹江口水库来水大于350 m^3/s ,汉江中下游和清泉沟按80%需水量供水,丹江口水库下泄流量不小于490 m^3/s ;若

丹江口水库来水小于 $350 \text{ m}^3/\text{s}$, 下泄流量按 $400 \text{ m}^3/\text{s}$ 控制。

长江水利委员会综合考虑汉江来水预测、丹江口水库蓄水情况、湖北省提供的汉江中下游及清泉沟用水计划建议, 根据丹江口水库调度图和分区调度规则, 提出丹江口水库年度陶岔可调水量和调度过程。为确保丹江口水库一直有水可调, 并使供水过程尽量均匀稳定, 避免忽大忽小, 同时统筹考虑水

源区与受水区用水要求, 对计算得出的年度陶岔可调水量和调度过程进行适当调整, 得到调整之后的丹江口水库可调水量成果, 报送水利部, 并抄送受水区各省(市)水利(水务)厅(局)、丹江口水库运行管理单位和南水北调中线总干渠管理单位。

南水北调中线一期工程自 2014 年 12 月 12 日正式通水以来, 丹江口水库各年度陶岔可调水量见表 3。

表 3 丹江口水库各年度初始情况、来水情况、可调水量及水位情况

Tab. 3 Initial condition, inflow forecast, transferable water volume, and water level of Danjiangkou reservoir each year

供水年度	初始水位/m	死水位 150 m 以上蓄水量/亿 m^3	极限消落水位 145 m 以上蓄水量/亿 m^3	水文预报年度来水/亿 m^3	陶岔渠首可调水量/亿 m^3
2014-2015	159.0	61.07	86.82	327.11	76.20
2015-2016	153.2	19.51	45.26	401.93	58.71
2016-2017	153.0	18.20	43.95	244.38	45.88

注: 初始水位为每年 11 月 1 日 8:00 水位。

从表 3 可以看出, 在丹江口水库调度规程指导下, 丹江口水库年度可调水量不仅与水库年度初始水位、蓄水情况有关, 也与未来一年的预测来水量有关。近年来汉江来水连续偏枯, 在保障北方供水情况下, 丹江口水库蓄水不多, 年度可调水量有所下降。

2.2 中线工程年度水量调度计划

为实现中线一期工程供水目标, 发挥工程效益, 需要在保障防洪安全、工程运行安全的前提下, 统筹配置汉江流域水资源和受水区水资源, 采取科学、合理、有效的调度措施, 编制和落实中线年度水量调度计划。

《南水北调工程供用水管理条例》规定: 长江水利委员会提出南水北调中线工程年度可调水量, 于每年 10 月 15 日前报送国务院水行政主管部门, 并抄送有关省、直辖市人民政府和南水北调工程管理机构。南水北调中线工程受水区省、直辖市人民政府水行政主管部门于每年 10 月 20 日前根据年度可调水量提出年度用水计划建议, 报送国务院水行政主管部门, 并抄送有关流域管理机构和南水北调工程管理机构。

南水北调中线工程年度水量调度计划编制流程如图 2 所示。在编制年度水量调度计划时, 需按《南水北调中线一期工程可行性研究总报告》中的输水损失计算方法, 将经复核后的各省(市)分水口门用水计划转换成陶岔水量, 形成各省(市)的需水量。总干渠输水损失系数计算公式如下: $Q_{损} = 1 - 0.999860051^L$ (L 为分水口门至陶岔渠首的距离, km)。然后按照《南水北调中线一期工程水量调度方案(试行)》明确的可调水量分配方法, 统筹考虑丹江口水库可调水量、水源

区和受水区的水情工情、各省(市)的配套工程建设情况和缺水程度、各省(市)年度用水计划建议、上年度水量调度计划执行情况、南水北调中线一期工程运行情况, 按照以下原则分配年度陶岔可调水量。

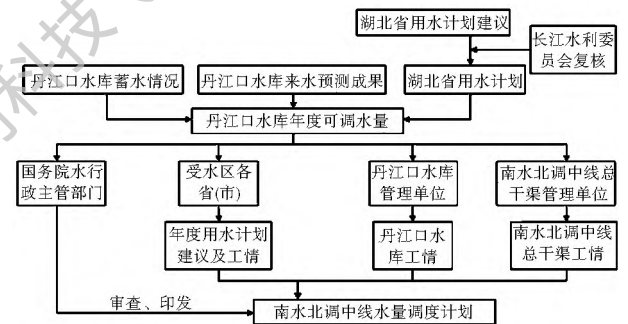


图 2 南水北调中线年度水量调度计划编制流程

Fig. 2 Compilation procedure for the annual water regulation plan of the Middle Route of South to North Water Transfer Project

(1) 在供水量充足及保证供水安全的前提下, 充分考虑各省(市)用水需求; 在可供水量不足的情况下, 各省(市)年度分配水量宜小于各省(市)多年平均分配水量。

(2) 丹江口水库正常来水情况下, 按照各省(市)多年平均分配水量的比例分配; 当丹江口水库预测来水频率大于 75% 且小于 95%, 优先保障城市生活用水, 视受水区各省(市)缺水程度, 向缺水严重地区适当倾斜。

(3) 水量分配过程中综合考虑受水区水库蓄水及当地水资源状况、各省(市)地方配套工程建设、年度调度计划落实程度、水量消纳目标实施进度等因素。

(4) 供水过程应尽可能均匀稳定。当陶岔月可调水量不能满足受水区月用水需求时, 根据陶岔供

水能力,按各省(市)合理需水量比例分配可调水量;当陶岔月可调水量大于受水区月用水需求时,按输水工程实际供水能力适当增供水。

同时,在进行供水调度时,要统筹协调水源区、受水区和汉江中下游用水,不损害水源区原有用水利益。受水区要结合中线一期工程供水,加大与当地水库的联合调度运用,合理配置当地水、外调水。按照中线总干渠及分水口门的过流能力等工程运行参数进行供水调度,可能出现冰情的渠段要充分考虑冰期输水能力。

3 中线工程水量调度实践

南水北调中线一期工程自2014年12月12日正式通水,全面通水两年以来,工程运行平稳,水质全线达标,发挥了巨大的社会、经济和生态综合效益。截至2016年10月底,陶岔渠首累计供水量为60.10亿 m^3 (表4),各分水口门累计供水量为55.85亿 m^3 ,其中河南省、河北省、北京市、天津市口门累计供水量分别为20.83亿 m^3 、4.39亿 m^3 、18.16亿 m^3 、12.46亿 m^3 (表5),占受水区口门累计分水量的比例分别为

37.3%、7.9%、32.5%和22.3%^[6]。

表4 陶岔渠首计划和实际调水量
Tab. 4 The planned and actual water diversion volume from Taocha canal headwork

2014-2015年			2015-2016年			截至2016年10月底累计供水量/亿 m^3
计划供水/亿 m^3	实际供水/亿 m^3	完成比例(%)	计划供水/亿 m^3	实际供水/亿 m^3	完成比例(%)	
40.60	21.67	53.4	45.09	38.43	85.2	60.10

中线一期工程自2014年12月12日正式通水运行以来,陶岔渠首累计供水量超过60亿 m^3 ,惠及北京、天津、河北、河南4省市4700万人,成为许多城市的主力水源,在保障受水区居民生活用水,修复和改善生态环境等方面取得了实实在在的社会、经济和生态等综合效益。北京的北调水占城区生活日供水量近七成,中心城区供水安全系数由1.0提高至1.2,地下水埋深回升0.53m,向城市河湖补水近2亿 m^3 ,河湖水质明显改善;天津14个行政区的市民喝上北调水,从单一“引滦”水变为双水源保障,城市水环境得到改善;河北四条配套输水干渠全部建成通水,37个县区受益;河南累计分水超20亿 m^3 ,36个县区受益。

表5 受水区各省市口门水量

Tab. 5 The planned and actual water diversion volume of each water-receiving province at water-diverting outlets

省(市)	2014-2015年度			2015-2016年度			截至2016年10月底累计实际供水量/亿 m^3
	计划供水/亿 m^3	实际供水/亿 m^3	完成比例(%)	计划供水/亿 m^3	实际供水/亿 m^3	完成比例(%)	
河南	20.09	7.38	36.7	13.11	13.45	102.6	20.83
河北	4.63	0.83	18.0	6.36	3.56	56.0	4.39
北京	8.18	7.11	86.9	11.22	11.05	98.5	18.16
天津	3.88	3.34	86.1	8.56	9.12	106.5	12.46
合计	36.78	18.66	50.7	39.25	37.19	94.8	55.85

中线一期工程2015-2016年度受水区实际供水量为37.19亿 m^3 ,接近首个调水年度实际调水量18.66亿 m^3 的两倍。受水区河南、河北、北京、天津四省(市)2014-2015年、2015-2016年口门实际供水量和2016-2017年度口门计划供水量见图3。可以看出,中线一期工程通水运行以来,受水区各省(市)供水量总体上呈逐年上升趋势,北京市和天津市的供水量已达到甚至超过多年平均设计供水量,河北、河南供水量与多年平均设计供水量尚有较大差距。

在输水损失方面,根据调水实践统计,2014年12月-2015年10月,陶岔渠首实际供水量21.67亿 m^3 ,口门实际供水量18.66亿 m^3 ,输水损失约为13.9%;2015年11月-2016年10月陶岔渠首实际供水量38.45亿 m^3 ,口门实际供水量37.03亿 m^3 ,输水损失约3.7%。目前中线总干渠实际输水损失率年度变化较大。随着中线工程输水年数的增加,

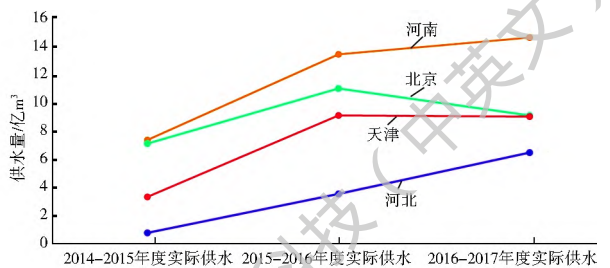


图3 受水区各省(市)近几年供水量情况

Fig. 3 Water diversion volume of each water-receiving province at water-diverting outlets in recent three years

实际输水损失率数据的积累,将有助于分析和修正中线总干渠输水损失计算方法。

为进一步发挥南水北调中线一期工程供水效益,受水区各省市应加快配套工程建设进度,理顺供水体制机制,同时不断提高汉江来水预报水平,加强汉江梯级水库群的联合调度。

4 中线工程水量调度存在问题及建议

4.1 工程供水量有待进一步增加

2016年中线工程供水量已达到设计供水量的39%，但与设计供水量还有较大差距。主要原因有：(1)南水北调配套工程尚未全部完成。部分节点、难点工程尚未完工，一些县市的地表水厂限于资金困难、占地征迁等问题，尚未建成投入运行。(2)当地水与中线水水价有差别，用户认为中线水费负担重。水厂以上配套工程贷款和社会融资占比较高，入水厂水价高于现行水厂原水水价，水价涨幅过大，群众从心理和经济上难以接受，市县补贴水价压力大。(3)新水源的切换和适应有一个过程，需要一个过渡期。目前沿线部分城镇供水绝大部分采用地下水，制水工艺简单、成本较低，切换引江水需新建地表水厂，改进制水工艺，需要一个过程。(4)供水体制机制需要进一步完善。用足用好江水是一项复杂的系统工程，是受水区用水方式、水资源配置、利益调整的一场重大变革，必须综合运用法律约束、经济引导和行政推动等手段，建立激励引导和惩罚倒逼机制。

建议由国家水行政主管部门协调沿线省市加快南水北调配套工程建设，提高消纳引江水能力，进一步理顺供水体制机制，到2024年实现全面达效，充分发挥中线供水效益。

4.2 渠道输水损失有待进一步率定和研究

陶岔渠首枢纽供水水量由陶岔渠首下游约100m处的总干渠流量计计量，各省(市)收到的水量由分水口门流量计统计，通过总干渠流量计数据和各分水口门流量计数据可以分析计算中线总干渠实际输水损失。2014年12月—2015年10月中线总干渠实际输水损失率为13.9%，2015年11月—2016年10月为3.7%，与中线工程规划设计成果差异较大。随着调水年数增加，实际输水损失数据的积累，建议进一步分析中线总干渠不同渠段在不同输水流量下的输水损失，科学、合理地确定输水损失计算方法，为水量计划编制提供科学依据。

4.3 中线工程水费征收困难

2015—2016年丹江口水库陶岔渠首累计供水量为38.45亿 m^3 ，供水运行总体平稳有序。按国家发改委2014年12月发布的南水北调水价政策⁷⁾，中线水源工程应收水费约16.15亿元。截至2016年10月底，实收金额约为6.96亿元，实收比例为43.1%。中线水源工程和总干渠工程运行维护资金不能及时足额落实，导致目前中线水源工程和总干

渠工程各项运营管理合同均无法兑现，可能对工程安全运行和足量优质供水带来影响。

建议由相关部门、省(市)和工程单位进行协调，依法依规实现工程水费收入，尽快足额缴纳水费，落实中线水源工程和总干渠工程运行维护资金。

4.4 加强中线水权转让方面的研究

南水北调中线工作是一项跨流域、跨省市的长距离调水工程，由于沿线各省市的自然地理、人口、资源、社会、经济等状况各不相同，因此必然存在流域、城市之间用水矛盾和利益协调问题。目前中线工程沿线各省市经济社会发展水平、中线配套工程建设情况、本地水源情况、对引江水的消纳能力等各不相同，有的区域有富余水量，有的区域则仍存在缺水，因此有必要对中线工程水权转让进行研究和试点，立足中线工程实际，吸收国内外先进经验，提出一套因地制宜、行之有效、科学合理的水权转让机制，以优化水资源配置，提高用水效率。

5 结语

南水北调中线一期工程正式通水以来，工程运行平稳，累计供水量已超过60亿 m^3 ，工程惠及沿线郑州、石家庄、天津、北京等18座大中城市及4000余万居民。受水区河南、河北、北京、天津四省(市)城市供水水量有效提升，供水保证率明显提高，居民用水水质得到较大改善，地下水水位下降趋势得到有效遏制，河湖生态得到有效改善，社会、经济、生态等综合效益同步发挥。

南水北调中线工程通水运行仅两年有余，由于受水区配套工程尚未完全建成运行以及丹江口水库来水持续偏枯等多方面原因，中线工程尚未达到规划设计规模，仍处于运行经验积累期，需要在运行实践总结基础上，结合科学研究，逐步优化改善，不断提高运行水平，确保工程效益充分发挥。

参考文献(References):

- [1] 刘国强, 闫弈博, 王长德, 等. 长距离渠系冰期运行过渡模式研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2012, 45(1): 34-40. (LIU G Q, YAN Y B, WANG C D, et al. Study of transition mode for juxtaposition ice cover formation of long distance canal system [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2012, 45(1): 34-40. (in Chinese))
- [2] 长江勘测规划设计研究院. 南水北调中线一期工程可行性研究总报告[R]. 武汉: 2005. (Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research: General report of feasibility study on the first stage of the Middle Route of South to North Water Transfer Project [R]. Wuhan: 2005. (in Chinese))

(下转第143页)

- 2014, 30(6): 36-60, 45. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1672-0504.2014.06.008.
- [27] 张金屯. 五台山植被类型及分布[J]. 山西大学学报, 1986, (2): 87-91. (ZHANG J T. The vegetation types and their distribution on Wutai mountains in Shanxi province[J]. Learned Periodical Society Shanxi University, 1986, (2): 87-91. (in Chinese))
- [28] HOLBEN B N. Characteristics of maximum value composite images from temporal AVHRR data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1986, 7(11): 1471-1434.
- [29] 何远梅, 姚文俊, 张岩, 等. 黄土高原区植被恢复的空间差异性分析[J]. 中国水土保持科学, 2015, 13(2): 63-69. (HE Y M, YAO W J, ZHANG Y, et al. Spatial variability of vegetation restoration on the Loess Plateau based on MODIS/NDVI[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2015, 13(2): 63-69. (in Chinese) DOI: 10.16843/j.sswc.2015.02.011.
- [30] 王永财, 孙艳玲, 王中良. 1998-2011年海河流域植被覆盖变化及气候因子驱动分析[J]. 资源科学, 2014, 36(3): 594-602. (WANG Y C, SUN Y L, WANG Z L. Spatiotemporal change in vegetation cover and climate factor drivers of variation in the Haihe River Basin 1998-2011[J]. Resources Science, 2014, 36(3): 594-602. (in Chinese))
- [31] 赵安周, 刘宪锋, 朱秀芳, 等. 2000-2014年黄土高原植被覆盖时空变化特征及其归因[J]. 中国环境科学, 2016, 36(5): 1568-1578. (ZHAO A Z, LIU X F, ZHU X F, et al. Spatiotemporal analyses and associated driving forces of vegetation coverage change in the Loess Plateau[J]. China Environmental Science, 2016, 36(5): 1568-1578. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1000-6923.2016.05.043.
- [32] 穆少杰, 李建龙, 陈奕兆, 等. 2001-2010年内蒙古植被覆盖度时空变化特征[J]. 地理学报, 2012, 67(9): 1255-1268. (MU S J, LI J L, CHEN Y Z, et al. Spatial differences of variations of vegetation coverage in Inner Mongolia during 2001-2010[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(9): 1255-1268. (in Chinese))
- [33] 白建军, 白江涛, 王磊. 2000-2010年陕北地区植被NDVI时空变化及其与区域气候的关系[J]. 地理科学, 2014, 34(7): 882-888. (BAI J J, BAI J T, WANG L. Spatiotemporal change of vegetation NDVI and its relations with regional climate in Northern Shaanxi Province in 2000-2010[J]. Scientia Geographica Sinica, 2014, 34(7): 882-888. (in Chinese))
- [34] 刘斌, 孙艳玲, 王中良, 等. 华北地区植被覆盖变化及其影响因素的相对作用分析[J]. 自然资源学报, 2015, 30(1): 12-23. (LIU B, SUN Y L, WANG Z L, et al. Analysis of the vegetation cover change and the relative role of its influencing factors in North China[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(1): 12-23. (in Chinese) DOI: 10.11849/zyzxb.2015.01.002.
- [35] 全莉棉, 曾彪, 王鑫. 2000-2012年山西省不同植被类型物候变化及其对气候变化的响应[J]. 水土保持研究, 2016, 23(02): 194-200. TONG L M, ZENG B, WANG X. Phenological variation of different vegetation types and its responds to climate changes in shanxi province from 2000 to 2012[J]. Research of soil and water conservation, 2016, 23(02): 1255-1268. (in Chinese) DOI: 10.13869/j.cnki.rswc.2016.02.037.
- [36] 穆少杰, 李建龙, 周伟, 等. 2001-2010年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系[J]. 生态学报, 2013, 33(12): 3752-3764. MU S J, LI J L, ZHOU W, et al. Spatiotemporal distribution of net primary productivity and its relationship with climate factors in Inner Mongolia from 2001 to 2010[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(12): 3752-3764. (in Chinese) DOI: 10.5846/stxb201205030638.

(上接第 99 页)

- [3] 刘国强, 王长德, 管光华, 等. 南水北调中线干渠弧形闸门过流能力校核分析[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(1): 24-28. (LIU G Q, WANG C D, GUAN G H, et al. Analysis and check of radial gate conveyance capability on the Middle Route of the South to North Water Transfer Project[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(1): 24-28. (in Chinese))
- [4] 金旻, 徐岩, 王彤彤. 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. 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))
- [5] 中华人民共和国水利部. 水利部关于印发《南水北调中线一期工程水量调度方案(试行)》的通知[Z]. 2014-10-27. (The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China: Notification on issuing water regulation scheme of the first stage of the Middle Route of South to North Water Transfer Project (try out)[Z]. 2014-10-27. (in Chinese))
- [6] 长江勘测规划设计研究有限责任公司. 南水北调中线一期工程 2015-2016 年度水量调度计划实施总结报告[R]. 武汉: 2016. (Changjiang Survey, Planning, Design and Research Co., LTD.: Summary report of water regulation plan from 2015 to 2016 of the first stage of the Middle Route of South to North Water Transfer Project[R]. Wuhan: 2005. (in Chinese))
- [7] 中华人民共和国国家发展改革委员会. 国家发展改革委关于南水北调中线一期工程运行初期供水价格政策的通知[Z]. 2014-12-26. (National Development and Reform Commission: Notification on water supply price policy of the first stage of the Middle Route of South to North Water Transfer Project in the initial operation period[Z]. 2014-12-26. (in Chinese))