

陕北地区水资源及其可利用量计算分析

吴喜军^{1,2}, 李怀恩¹

(1. 西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048; 2. 榆林学院 建筑工程系, 陕西 榆林 719000)

摘要: 为了缓解陕北地区水资源短缺与社会经济发展的矛盾, 对该地区水资源及可利用量进行了研究。分析了陕北地区水资源的基本特点及利用现状。采用地表水资源量减去河道内生态基础流量和汛期下泄洪水量的方法, 计算了陕北地区的地表水资源可利用量和水资源可利用总量, 总结了二者的分布特征, 并讨论了其它水资源的利用现状及未来趋势。研究结果表明, 陕北地区水资源可利用量很少, 仅有 $1.6 \times 10^9 \text{ m}^3$, 利用率也只有 40%, 水资源及其可利用量主要分布在榆林地区。

关键词: 陕北地区; 水资源量; 水资源可利用量; 地表水

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)02-0296-05

中图分类号: TV213.9

Water Resources and Its Availability in Northern Shaanxi Province

WU Xi-jun^{1,2}, LI Huai-en¹

(1. Key Laboratory of Northwest Water Resources and Ecological Environment of

Ministry of Education, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2. Department of Construction Engineering, Yulin College, Yulin, Shaanxi 719000, China)

Abstract: Water resources and their availability were studied in order to alleviate the increasing tension between available water resources and water demands from socio-economic development in Northern Shaanxi Province. We analyzed the characteristics of water resources and usages in Northern Shaanxi Province, then calculated the surface available water resources and total available water resources by deducting river ecological basic flow and flood discharge from surface water resources. We also summarized spatial distribution patterns of the available water resources and discussed the current usage and future trends of the other water resources. The total capacity of water resources was low in the study area, accounting for approximately $1.6 \times 10^9 \text{ m}^3$. More importantly, the available rate was as low as 40%. The available water resources mainly presented in Yulin area.

Keywords: Northern Shaanxi Province; water resources; available water resources; surface water

在全球气候变化、大规模经济开发等多重因素交织下, 我国的水资源情势正在发生着新的变化, 因此全国水资源综合规划要求进行水资源可利用量的分析估算^[1]。水资源可利用量既是综合规划区域水资源的节约、配置、开发、利用和治理措施的条件, 又是进行水资源承载力分析的基础^[2]。陕北地区是我国主要的能源化工基地, 其水资源短缺、水利设施不足, 但是近年工业用水增加明显, 水资源供需矛盾日益尖锐^[3]。陕北地区“十二五”期间规划修建一批水利设施, 对该地区水资源可利用量进行科学的分析计算,

可为水资源配置, 协调生活、生产和生态用水提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

陕北地区包括陕西省的榆林市和延安市, 该区拥有丰富的煤炭、石油和天然气资源, 是国内少有的资源富集区。该区面积为 $8.03 \times 10^4 \text{ km}^2$, 海拔 900~1 500 m, 是黄土高原的中心部分。陕北地区干旱少雨, 水资源严重短缺, 属温带干旱半干旱大陆性季风

收稿日期: 2012-02-28

修回日期: 2012-05-10

资助项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项“渭河水污染防治专项技术与示范”(2009ZX07212-002-003-004); 陕西省自然科学基金资助项目(2011JM5004); 陕西省教育厅科技计划项目(12JK0489)

作者简介: 吴喜军(1979—), 男(汉族), 陕西省榆林市人, 博士研究生, 讲师, 主要从事水资源保护及非点源污染方面的研究。E-mail: wxj0826@163.com。

通信作者: 李怀恩(1960—), 男(汉族), 陕西省商南县人, 教授, 博士生导师, 主要从事生态水文与水资源保护等方面的研究与教学工作。E-mail: huaienl@yahoo.com。

气候。多年平均降水量为 454.3 mm, 全年 65% 的降水集中在 7—9 月, 在空间分布上表现为由南向北降水量呈递减趋势。径流变化规律和特点与降水基本一致, 但年际变化没有降水显著。径流时空分布不均导致水资源地域上和时间内分布的不均匀性。

1.2 研究方法与数据来源

通过收集的数据资料, 首先分析该区水资源的基本特点和利用现状; 其次利用多年平均地表水资源量减去河道内生态基础流量和汛期下泄洪水量, 作为地表水资源可利用量^[4], 地下水补给量与可开采系数之积作为地下水可利用量, 在此基础上计算各地区及主要河流的水资源可利用量, 总结其特点及规律; 最后分析了其它水资源的利用情况及未来趋势, 为陕北地区的水资源合理配置和节水型社会建设提供参考依据。本研究数据来源于《陕西省水利统计资料》和《陕西省水资源综合规划》, 并且参考了《陕西省水功能区划》等资料。由于数据来源不一致, 所以有些数据可能会出现一些偏差。

2 陕北地区水资源分布特征及利用现状

2.1 水资源基本特点及存在问题

(1) 水资源总量不足, 区域分布不均。陕北地区多年平均水资源总量为 $4.04 \times 10^9 \text{ m}^3$, 其人均水资源量为 718 m^3 、单位面积平均水资源量为 $5\ 505 \text{ m}^3$, 分别不足全国平均水平的 $1/3$ 和 $1/5$, 且年际变化大^[5]。由于降雨的原因, 陕北地区水资源的变化趋势是东南部较多, 西北部偏少。特别是毛乌素沙漠一带降水在 $200 \sim 400 \text{ mm}$, 水资源的存在形式主要为地下水。

(2) 地表水轻度污染, 河流含沙量大。根据 2010 年陕西省环境状况公报, 无定河、延河和榆溪河均属轻度污染, 几个监测断面均为 IV 类水质, 北洛河属重度污染。陕北地区是黄土高原主要的水土流失区域, 河道、水库淤积严重, 径流含沙量平均约为 150 kg/m^3 , 最大可达 $1\ 700 \text{ kg/m}^3$ 。

(3) 地表水源工程调蓄能力差, 地下水供水比重偏高。2010 年陕北地区的供水量为 $9.37 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中蓄水工程供水量为 $1.20 \times 10^8 \text{ m}^3$, 不足总供水能力的 13%, 是陕西省平均水平 (26%) 的 $1/2$ ^[6]; 地下水供水占到 40%, 与陕西省平均水平相当, 但低于关中地区。

(4) 用水存在浪费, 节水尚有潜力。陕北地区工业属于初级加工, 重复利用率在 40% 左右, 万元 GDP 用水定额远高于沿海地区; 农业灌溉水利用系数为 0.50, 低于全国平均水平; 城市供水管网陈旧, 漏失率较大。所以, 从工业、农业和生活用水来看, 陕北地区节水还有很大的潜力。

(5) 生态用水不足, 环境不断恶化。陕北地区 2001 年基本没有河道外生态用水, 即使 2010 年也只有 $7.72 \times 10^6 \text{ m}^3$, 远远不能满足生态需求; 延河、窟野河等多条河流不同程度断流, 陕西省最大的内陆湖红碱淖, 近 6 a 水位下降了 3 m, 湖面年均退缩了 400 hm^2 , 该地区的荒漠化呈扩大的趋势。

(6) 入黄径流和输沙量明显减少。与多年平均值相比, 陕北地区入黄流量由 $3.50 \times 10^9 \text{ m}^3$ 减少为 2000 年后的 $2.00 \times 10^9 \text{ m}^3$, 减少了 40%, 入黄输沙量由 $3.7 \times 10^8 \text{ t}$ 减少为 $1.8 \times 10^8 \text{ t}$, 减少了 50%。2000 年后陕北地区平均每年减少的入黄流量约占黄河龙门站多年平均流量的 5%, 但减少的输沙量占到了 25%^[7], 可见减沙效果明显, 这主要是水土保持的效果^[8]。由于黄河水量使用配额的限制, 陕北地区目前几乎没有使用黄河干流水, 在该地区水资源可利用量计算中也不包括黄河干流。

总之, 陕北地区资源性缺水、工程性缺水、污染性缺水等问题并存, 严重威胁和制约着该地区社会经济的持续稳定发展。

2.2 陕北地区地表水的空间分布

陕北地区的水资源构成分为地表水和地下水, 其中地表水的主要来源是降水。表 1 为陕北地区的降水量和地表水资源量^[9]。

表 1 陕北地区年径流量

地区	计算面积/ km^2	多年平均降水量		多年径流量		径流系数
		降水量/ 10^8 m^3	降水深/ mm	径流量/ 10^8 m^3	径流深/ mm	
榆林	43 578	171.65	394	18.46	42	0.11
延安	36 712	193.13	526	12.90	35	0.07
合计	80 290	364.79	454	31.36	39	0.09

由表 1 可以看出, 陕北南部的延安地区降水深大于北部榆林地区, 但是径流深却相反, 榆林地区的径流系数大于延安地区, 这主要是因为榆林地区位于该

区域内大部分河流的中下游, 例如窟野河, 无定河等, 降水在上游对河道地下水的部分补给只有在下游才能出现, 所以造成榆林地区的径流系数较高; 而延安

地区则相反,其位于区内最大河流北洛河的上游,降水对地下水的部分补给只有在下游铜川地区才出现。也有部分原因是由于延安地区降水量损耗大于榆林地区。陕北地区的径流分布,表现出自东部地区向西部地区减小的规律,东部的榆溪河、秃尾河及窟野河中、下游地区,地处暴雨中心,同时又得到沙区丰富的地下水补给,径流系数较高(0.30),年径流深可高于100 mm。由此向西,年径流深逐渐减小,在定边县内陆区,年径流深仅有10 mm^[10]。陕北地区平均径流系数为9%,远小于陕西省30%的平均值。

为了利用地表水资源,“十一五”期间,陕北地区续建完成李家梁、瑶镇、采兔沟等水库。在“十二五”期间,将建成朱盖沟水库和王圪堵水库等项目,充分开发无定河、秃尾河等,新建供水工程50处;加快推进黄河大泉引水工程和延川黄河引水工程,确保能源化工基地的用水需求。

2.3 陕北地区水资源的构成及分布

本研究中的地下水资源,是指储存于饱水带岩石空隙中,积极参与地下水体循环,可以逐年更新,且矿化度 ≤ 2 g/L的浅层地下水。根据我国《地下水质量标准》^[11],其中矿化度 ≤ 1 g/L的为地下淡水,适用于各种用途;矿化度1~2 g/L的为地下微咸水,适用于农业和部分工业用途。

由表2可以看出,陕北地区多年平均水资源总量为 4.04×10^9 m³,其中地表水资源 3.14×10^9 m³,地下水资源 2.14×10^9 m³。20世纪80—90年代由于是枯水年,而且大范围的水土保持措施开始实施,由图1窟野河近50 a来的径流量变化可以看出,陕北地区的水资源量大幅减少。虽然2000年以后降水有所恢复,但是由于陕北能源化工基地的建设,该地区地表水资源量仍然比较低,其中地表水维持在 2.20×10^9 m³,地下水为 1.90×10^9 m³,总量为 2.70×10^9 m³,比多年平均值减少了34%(图2)。

表2 陕北地区多年平均水资源量 10^9 m³

地区	地表水	地下水	重复量	总量
榆林	1.85	2.03	0.80	2.67
延安	1.29	0.51	0.44	1.36
合计	3.14	2.14	1.24	4.04

榆林地区的地表水占陕北地区的60%,但地下水占到了75%,水资源总量是延安地区的两倍。陕北地区地下水资源主要分布在黄土高原北部边缘的风沙草滩区,广大南部的黄土区和丘陵山区地下水最为贫乏,一般无开采价值。因此可以说陕北的水资源,特别是地下水资源大部分储藏在了榆林地区。

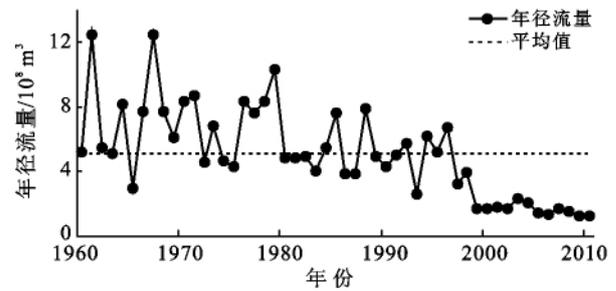


图1 窟野河温家川站1960—2010年径流量变化

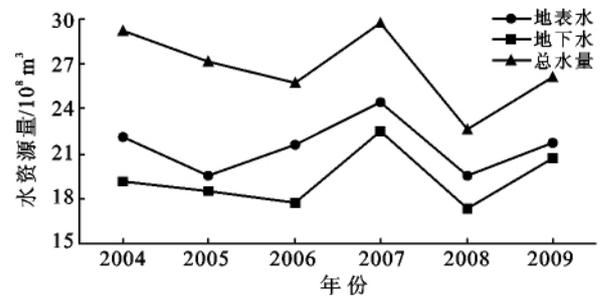


图2 陕北地区2004—2009年水资源量变化

2.4 水资源利用现状

随着2000年以后能源化工基地的建设,陕北地区用水量由 7.35×10^8 m³增加到2010年的 9.35×10^8 m³,增加了近30%(图3);其中主要是工业用水,由 7.90×10^7 m³增加到 2.05×10^8 m³,增加了近2倍;地下水由2001年的 2.91×10^8 m³增加到2010年的 3.69×10^8 m³,和总用水量的增长速度相差不多。但是到2007年以后用水量增加缓慢,这主要是受陕北水利工程供水能力的限制,使得一批工业项目不能上马,严重的影响了陕北能源化工基地的建设,节水措施也起了一定的作用。

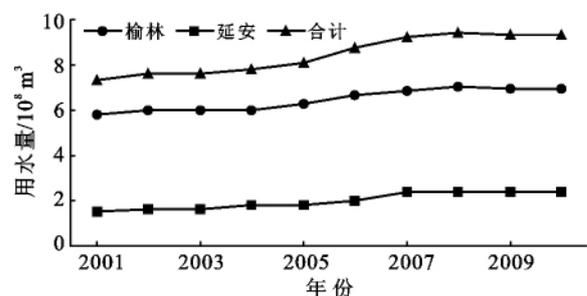


图3 陕北地区2001—2010年用水量变化

3 陕北地区水资源可利用量分析

3.1 水资源可利用量计算方法

水资源可利用量是指在可预见的时期内,在统筹考虑生活、生产和生态环境用水的基础上,通过经济合理、技术可行的措施,在流域水资源总量中可一次

性利用的最大水量^[12]。水资源可利用量包括地表水可利用量与地下水可开采量,其估算可采取两者相加再扣除重复计算量。两者之间的重复计算量主要是平原区浅层地下水的渠系渗漏和田间入渗补给量的开采利用部分。估算公式为^[13]:

$$W_{\text{可利用总量}} = W_{\text{地表水可利用量}} + W_{\text{地下水可开采量}} - W_{\text{重复量}} \quad (1)$$

$$W_{\text{重复量}} = \rho(W_{\text{渠渗}} + W_{\text{田渗}})$$

式中: ρ ——可开采系数。

地表水资源量包括不可以被利用水量和不可能被利用的水量。不可以被利用水量是指不允许利用的水量,以免造成生态环境恶化及破坏,即必须满足的河道内生态基础流量。不可能被利用水量是指受种种因素和条件的限制,无法被利用的水量,即超出工程最大调蓄能力和供水能力的洪水量^[14]。可以采用多年平均地表水资源量减去不可以被利用的河道内生态基础流量和不可能被利用的汛期下泄洪水量,得出多年平均地表水资源可利用量。利用公式(2)计算^[15]:

$$W_{\text{地表水可利用量}} = W_{\text{地表水资源量}} - W_{\text{河道内生态基础流量}} - W_{\text{洪水弃水}} \quad (2)$$

该方法一般用于北方水资源紧缺地区,本研究利用该方法计算陕北地区地表水资源可利用量。河道内生态基础流量主要是指维持河道基本功能的流量,包括防止河道断流、保持水体合理的自净能力、河道冲沙输沙以及维持河湖水生生物生存的水量等。计算河道生态基础流量的简单方法是按照天然流量的一定比例来确定。

汛期水量中除一部分可供当时利用,还有一部分可通过工程蓄存起来供今后利用外,其余水量即为汛期不可能利用的洪水量。将流域汛期的径流量减去流域能够调蓄和耗用的最大水量,剩余的水量即为汛期不可能利用下泄洪水量。其中汛期径流量可采用地表水资源的一定百分比来计算,水库蓄水量和地表水用水量都可以从《陕西水利统计年鉴》中查到,从各年数据中选择最大者。

3.2 计算步骤

根据收集到的资料,按照上述方法计算出陕北各地区地表水资源可利用量,计算结果详见表 3。计算步骤为:(1) 确定河道内生态基础流量。根据国内外的研究成果和作者对渭河生态基流的研究^[16],可将陕北地区河道生态基流定为多年平均径流量的 20%。(2) 汛期径流量。根据对陕北地区的径流统计,将每年 7—10 月定为汛期,而汛期 4 个月流量约为年径流量的 60%。(3) 汛期地表用水量。因为用水量一般比较平均,而汛期为 4 个月,所以汛期的地

表用水量为全年地表用水量的 1/3。(4) 汛期下泄洪水量。采用汛期径流量减去水库蓄水量和汛期地表用水量,其中水库蓄水和汛期地表用水选择各年统计资料中的最大值,本研究为 2010 年。(5) 按照公式(2),采用多年平均地表水资源量减去河道内生态基础流量和汛期下泄洪水量,得出多年平均地表水资源可利用量。

表 3 陕北地区地表水资源可利用量计算 10^8 m^3

地区	生态基流	洪水弃水	水库蓄水	汛期地表用水	地表水可利用量
榆林	3.69	3.37	4.42	1.37	9.48
延安	2.58	4.90	1.16	0.50	4.24
合计	6.27	8.27	5.58	1.87	13.72

由表 3 可以看出,陕北地区地表水资源可利用率低,主要原因是汛期洪水弃水太多,达到了 $8.27 \times 10^8 \text{ m}^3$,增加地表水可利用量的主要途径之一就是减少汛期洪水弃水,该途径可通过新建水库和大量微型蓄水工程来实现。即使在陕北地区暂时无法利用,如果能够和黄河干流洪峰错开,陕北地区的这些洪水弃水也可以成为黄河干流的可利用水资源^[17]。

3.3 地下水可开采量

浅层地下水可开采量是指在经济合理,技术可行且利用后不会造成地下水位持续下降、水质恶化、地面沉降等环境地质问题的情况下,允许从地下含水层中取出的最大水量。

在浅层地下水已经开发利用的地区,多年平均浅层地下水实际开采量、地下水位动态特征、现状条件下总补给量等 3 者之间关系密切相关、互为平衡,通过对区域水文地质条件分析,依据地下水总补给量、地下水位观测、实际开采量等系列资料,进行模拟操作演算,确定出可开采系数,进而计算区域的地下水可开采量:

$$Q_{\text{可采}} = \rho Q_{\text{总补}} \quad (3)$$

根据查阅的相关资料并计算^[9],陕北地区的多年平均地下水补给量为 $1.04 \times 10^9 \text{ m}^3$,平均可开采系数为 0.55,所以陕北地区的地下水可开采量为 $5.71 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中北部的榆林可开采量为 $4.58 \times 10^8 \text{ m}^3$,地下水可开采模数为 $3.76 \sim 6.43 \times 10^4 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

3.4 水资源可利用量

通过计算,可以得出陕北地区的水资源可利用总量。从表 4 可以看出,陕北地区的地表水、地下水及水资源的可利用总量分别是 $1.37 \times 10^9 \text{ m}^3$, $5.71 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $1.61 \times 10^9 \text{ m}^3$,现阶段可以满足陕北地区的用水需求,但是由于分布不均,局部地区水资源可利

用量仍是非常短缺。据预测,2015年陕北地区的需水量将达到 $1.50 \times 10^9 \text{ m}^3$,2020年将达到 $2.40 \times 10^9 \text{ m}^3$,届时,陕北地区只能通过黄河干流调水才能满足需求。陕北地区水资源可利用量与水资源的空间分布规律基本相同,榆林占到了70%,水资源可利用率为40%,远小于关中地区的60%,这和国内相关的计算结果很接近^[18],陕北地区仍有通过工程措施增加水资源可利用量的潜力。

表 4 陕北各行政区水资源可利用量

地区	地表水/ 10^8 m^3	地下水/ 10^8 m^3	重复量/ 10^8 m^3	总量/ 10^8 m^3	可利 用率
榆林	9.48	4.58	2.76	11.30	0.42
延安	4.24	1.12	0.57	4.79	0.35
合计	13.72	5.71	3.33	16.09	0.40

3.5 其它水源的开发利用

其它水源开发利用形式主要有雨水蓄积利用和污水处理再利用。陕北地区由于蒸发量大,在充分利用土壤蓄水的同时,还可考虑在适当低地雨水汇集处建设大型地下蓄水库。根据现状调查,陕北地区污水处理再利用量很少,而且大部分水质没有达标。按照规划,陕北地区的雨水蓄积在2020年将增加到 $2.80 \times 10^7 \text{ m}^3$,而污水回用也将增加到 $1.27 \times 10^8 \text{ m}^3$,合计可新增水资源可利用量 $1.55 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

为维持能源化工基地的可持续发展,陕北地区必须实施节水战略。目前陕北地区的农业、工业等用水效率非常低,节水潜力很大,按照规划目标,在实行节水措施后,陕北地区2020年可节水约 $2.50 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。今后仅靠陕北当地有限的水资源已无能为力,应规划从黄河引水^[19],陕西关中地区“引汉济渭”的实施也为陕北地区从黄河引水提供了可能。已经开始实施的延安市延川县黄河引水工程和榆林地区大泉黄河引水工程等,到2020年完工后将增加 $6.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的引水量。这些措施可有效缓解陕北地区的用水紧张形势。

4 结论

通过水资源可利用量的计算分析可以看出,陕北地区水资源可利用量很少,只有 $1.60 \times 10^9 \text{ m}^3$,可利用率仅为40%,还有增加的潜力,和水资源一样,水资源可利用量主要分布在榆林地区;今后陕北地区增加水资源可利用量的主要途径是通过工程措施减少汛期弃水和从黄河干流引水,通过非工程措施节约用

水。本研究所介绍的水资源可利用量的计算方法也适用于我国北方干旱半干旱地区。

[参 考 文 献]

- [1] 全国水资源综合规划编制工作领导小组办公室. 全国水资源综合规划编制工作文件[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003.
- [2] 张洪刚,张翔,吕孙云,等. 国内外水资源可利用量计算方法概析[J]. 人民长江,2008,39(17):18-20.
- [3] 榆林市水务局. 榆林市水利“十二五”发展规划[R]. 陕西榆林:榆林市水务局,2011.
- [4] 付玉娟,何俊仕,慕大鹏,等. 辽河流域水资源可利用量分析计算[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(1):107-110.
- [5] 邢清枝,任志远,王丽霞,等. 基于生态足迹法的陕北地区水资源可持续利用评价[J]. 干旱区研究,2009,26(6):793-798.
- [6] 陕西省水利厅. 陕西省水利统计年鉴(2001—2010年)[R]. 陕西 西安:陕西省水利厅,2011.
- [7] 水利部黄河水利委员会. 2009年黄河泥沙公报[R]. 河南 郑州:水利部黄河水利委员会,2010.
- [8] 任碧琴,高照良. 陕北地区淤地坝建设对项目区及黄河水资源的影响分析[J]. 水土保持研究,2004,11(4):189-191.
- [9] 陕西省水利厅. 陕西省水资源综合规划[R]. 陕西 西安:陕西省水利厅,2009.
- [10] 陕西省地方志编纂委员会. 陕西省志:黄土高原志[M]. 陕西 西安:陕西人民出版社,1995.
- [11] 国家技术监督局. GB/T14848—93 中华人民共和国地下水质量标准[S]. 北京:国家技术监督局,1993.
- [12] 水利部水利水电规划设计总院. 水资源可利用量估算方法(试行)[S]. 北京:水利部水利水电规划设计总院,2004.
- [13] 曲炜. 西北内陆干旱区水资源可利用量计算研究[D]. 上海:河海大学,2005:12-18.
- [14] 胡彩虹,吴泽宁,高军省,等. 区域水资源可利用量研究[J]. 干旱区地理,2010,33(3):404-410.
- [15] 杜晓舜,夏自强. 洛阳市水资源可利用量研究[J]. 水文,2003,23(1):14-17.
- [16] 吴喜军,李怀恩,董颖,等. 基于基流比例法的渭河生态基流计算[J]. 农业工程学报,2011,27(10):154-159.
- [17] 王秀杰,练继建. 近43年黄河上游来水来沙变化特点[J]. 干旱区研究,2008,25(3):342-347.
- [18] 王建生,钟华平,耿雷华,等. 水资源可利用量计算[J]. 水科学进展,2006,17(4):549-553.
- [19] 员学锋,汪有科,吴普特,等. 陕西省水资源态势及可持续利用策略[J]. 干旱区研究,2005,22(4):448-453.