

径流还原计算中淤地坝拦蓄水量还原计算方法

张洪波^{1,2}, 俞奇骏^{1,2}, 王 斌^{1,2}, 陈克宇^{1,2}, 顾 磊^{1,2}

(1. 长安大学环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054;

2. 长安大学旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室, 陕西 西安 710054)

摘 要:黄土高原地区淤地坝分布密集,对天然产汇流过程扰动较大,给径流还原或水资源评价带来了极大的影响。因此,研究淤地坝影响下的径流还原计算方法对区域水资源评价或径流设计有重要意义。以黑木头川流域为研究对象,分别采用还原系数法和径流系数法计算了殿市水文站控制产汇流区的淤地坝逐年拦蓄水量,并将两种方法的结果进行对比,论证了还原系数法的适用性。还原系数法的计算结果表明:1971~2007年殿市水文站产流区内的淤地坝平均年拦蓄水量为 $86.21 \times 10^4 \text{m}^3$,与径流系数法计算所得到的拦蓄水量基本一致,相对误差仅为1.36%。同时,研究发现单位控制面积分摊后的拦蓄水量在年际变化上并不显著,基本维持在某一区间内。研究结果表明还原系数法不仅可用于洪水还原,也可较为准确地计算淤地坝影响区的淤地坝拦蓄变量。作为河川径流还原计算方法或淤地坝影响的黄土高原地区水资源评价研究的计算方法之一,可与径流系数法进行交叉验证,进而获得比较准确的淤地坝拦蓄水量。且由于淤地坝年拦水量空间分摊后,单位控制面积的拦水量基本稳定,故在淤地坝上游无明显人类活动的情况下,可据此初估已知或近似区域淤地坝控制流域面积条件下的淤地坝年拦蓄水量,为黄土高原地区今后开展水资源评价和径流预报提供一条简单的途径。

关键词:径流还原;淤地坝;还原系数;径流系数;黑木头川

中图分类号:TV121

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2016)04-0012-07

黄土高原地区黄土层深厚,土质疏松,地形破碎,沟壑纵横,植被稀少,水土流失非常严重,特别是遇到暴雨时,很容易形成高含沙水流^[1],严重影响区域的地质和水文环境,进而诱发地质灾害、河道淤积、洪水泛滥等问题。为了应对水土流失问题,黄土高原地区广泛开展了淤地坝建设,并在区域水土流失治理方面发挥了重要的作用。陕北地区打坝淤地历史悠久,至今仍保存着100多年前的坝地在种植利用。大规模的淤地坝建设主要集中在20世纪60~80年代,因水坠施工技术渐渐成熟,建坝速度和坝体质量均有提高,大量的淤地坝和坝系成为该区域拦泥减洪、控制水土流失的主要工程措施之一^[2]。统计资料显示,截至20世纪90年代末,黄河流域共建有大、中、小型淤地坝10余万座,在拦泥、滞洪、造地、增产及综合利用等方面产生了显

著效益^[3-5]。然而,淤地坝在发挥拦沙等积极作用的同时,也严重扰动了区域的水文循环过程,特别是产汇流过程,水文序列的一致性遭到破坏,给区域水资源评价及涉水工程设计带来了困扰。

近年来,我国许多学者针对淤地坝合理利用这一科学问题,开展了大量研究工作,如淤地坝在水土流失防治中的综合作用,如拦沙、造田、粮食增产等^[6]。研究表明,淤地坝对于黄土高原地区的拦沙淤地方面发挥了关键性的作用,且效益显著。这方面国内的研究成果也较为丰富^[7-9]。对于淤地坝与水文过程的响应关系,国内外也开展了相应的研究。如冉大川^[10-11]等对黄河中游的淤地坝减洪量进行研究,发现1970~1996年淤地坝减洪量占水土保持措施减洪总量的59.3%,其减洪作用十分明显。焦菊英^[12]等对黄土高原丘陵沟壑区

收稿日期:2015-09-08

基金项目:国家自然科学基金项目(51379014)

作者简介:张洪波(1979-),男,辽宁康平人,副教授,博士,主要从事水资源系统工程研究。E-mail:hbzhang@chd.edu.cn

的皇甫川、窟野河、佳芦河、秃尾河、大理河 5 条支流的淤地坝减水效益进行了分析,发现 5 条支流的平均减水效益为 5.74%,坝系的减水效益随着坝地面积占流域面积比例的增加而增加。刘家宏^[13]等基于数字流域模型,提出了一种淤地坝减水效益的评估方法,可解决在淤地坝规划阶段估算减水减沙效益的问题。除了对淤地坝对汛期减洪的研究,周立花等^[10]以绥德县辛店沟为例,分析了淤地坝对控制区域土壤水分的影响,研究论证了淤地坝拦水增加控制区域土壤的含水量,减少地表径流的事实,并指出由于坝地条件不同,其蓄滞水的能力也不同,空间存在差异性。贺顺德等^[11]对淤地坝影响下的水文资料还原方法进行了深入的探讨,提出了还原系数法求解还原流量过程的研究思路。文中作者重点论述了洪峰流量还原计算的过程及结果,但对径流还原并未做充分的探讨。还原系数法对流域径流还原计算的适用性尚无法给出定论。

本文以榆林地区黑木头川流域为例,拟采用还原系数法对该流域内的淤地坝拦蓄水量进行还原计算,定量分析淤地坝对于河川径流的影响,并通过与径流系数法进行对比,探讨还原系数法在径流还原计算中的适用性。该成果可解决因淤地坝工程规模小、数量多、运行无记录等问题而引发的水文资料还原计算困难问题,可为黄土高原地区淤地坝影响下径流还原及水资源的评价提供理论依据。

1 研究区概况

榆林地区作为黄土高原地区的典型代表,淤地坝建设较为普遍,整个区内建有淤地坝 2 万余座^[12]。由于区内支沟坝系分布众多,来水层层拦截,排水时段和水量少之又少^[13],致使榆林地区河川径流序列的扰动较大,水文资料的一致性较差,给区域水资源评价和工程设计带来了极大的困扰。本文选择的研究区域为黑木头川流域,该流域位于黄河中游河口镇—龙门区间的中段,属北纬带半干旱草原气候,特点是干燥,降水少,日照强。流域地处黄土高原的北缘地带,水土流失严重,是黄土覆盖的丘陵沟壑区。黑木头川发源于横山县韩岔镇韩岔村上游,为无定河中游段右岸一级支流,主河道长 42.2km,流域面积 462.81km²(见图 1)。流域出口的殿市水文站建成于 1958 年 9 月,控制面积 327km²。由于受季风影响,控制流域内降水和径流的年内分配不均,年际变化较大。建站以来,殿市水文站实测最大洪峰流量为 1 140m³/s,实测最大流速为 7.32m/s,最大含沙量

为 1 230kg/m³,多年平均输沙量为 247.7×10⁴t^[14]。

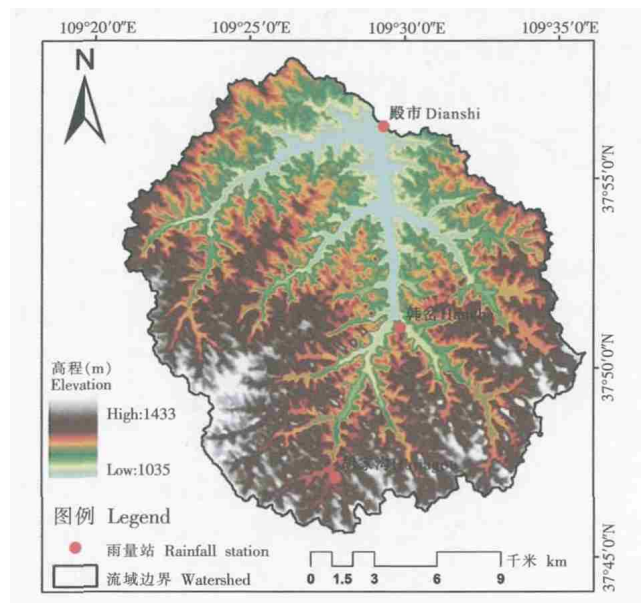


图 1 研究区地理位置、水系及雨量站点分布

Fig.1 Distribution of the river systems and precipitation stations in the study basin

2 数据与方法

2.1 数据来源与整理

资料数据包括:黑木头川流域殿市、韩岔、胡家沟三个雨量站(1956~2007)的降雨资料,资料来源于中国气象数据共享网;殿市水文站径流资料(1956~2007),资料来源于黄委会水文局;淤地坝的设计、建设及运行资料,资料来源于榆林市水利普查成果,流域内农灌、工业生活等用水情况来源于《榆林市统计年鉴》和《陕西省水利统计年鉴》。所收集的资料通过可靠性、代表性审查,可以作为本次研究的基础数据。径流序列的一致性需要还原处理。

2.2 研究方法

淤地坝拦蓄水量主要是指由于淤地坝拦截而未能汇入下游水文站点的水量。与贺顺德所研究的洪水还原不同,洪水还原中可近似认为在洪水短历时期,淤地坝的泄水能力有限且较为固定,淤地坝对洪水基本上为全拦全蓄(或只有少量且固定的泄流);而径流还原的时间尺度较大,淤地坝的排水过程对径流影响非常显著^[5],故本文针对此情况,对径流系数法和还原系数法的基本步骤和参数选取上做了适当的修正。

2.2.1 径流系数法

径流系数法是径流还原计算和水资源评价过程中对淤地坝拦蓄水量还原较为常用的一种方法。其基本思路:

$$W_{yt}=P_y \times \alpha \times F_y / 10 \quad (1)$$

式中: W_{yt} 为研究区内淤地坝拦蓄水量, 10^4m^3 ; P_y 为淤地坝控制区的年(月)平均降水量, mm; α 为淤地坝控制区域的平均径流系数, 可通过降雨径流关系计算或查阅地方径流系数等值线图获得; F_y 为淤地坝控制的面积, km^2 。

2.2.2 还原系数法

还原系数法是贺顺德提出的在水文资料还原计算时, 还原淤地坝拦蓄水量的一种方法^[11]。根据还原系数法的基本思路, 本文提出了还原系数法应用于径流还原中淤地坝拦蓄水量计算的方法与步骤, 以黑木头川流域为例, 具体计算步骤如下:

(1) 根据黑木头川流域的水系特点、淤地坝的分布情况以及雨量站的位置, 利用 ArcGIS 对流域进行泰森多边形分区, 计算每个降水分区的面积 B_i , 同时根据已得到的黑木头川流域总面积 B 计算每个分区的面积权重:

$$G_{B_i} = B_i / B \quad (2)$$

(2) 根据降水资料, 计算每个雨量站的年降雨量, 并统计整个流域内各站年降雨量累加和 P , 然后分别计算各个降水分区的年降雨量 P_i 的权重 P_{B_i} (这样处理主要是为了不重复计入空间面积的影响):

$$P_{B_i} = P_i / P \quad (3)$$

(3) 统计每个降水分区内淤地坝的总控制面积 F_i , 总设计库容 V , 计算每一年度淤地坝的有效库容 V_i 。计算每个降水分区的还原系数 C_i :

$$C_i = (F_i / B_i) \times (V_i / V) \quad (4)$$

考虑到淤地坝运行资料缺乏严重, 很难获得每年淤地坝的淤积量, 故文中做如下假定: 小型坝 5 年淤满、中型坝 10 年淤满, 且假定各淤地坝每年的淤积量相同。大型坝和骨干坝一般均有排水设施, 不再统计范围内。

(4) 考虑到分区面积及降雨量的双重影响, 本文假定两者对流域年径流还原系数的贡献率是相同的, 从而减小了降雨的时空分布不均匀对还原系数计算造成的误差。故可得到黑木头川流域的年径流还原系数 C 的计算公式:

$$C = C_i \times (C_{B_i} + P_{B_i}) / 2 \quad (5)$$

(5) 计算淤地坝拦蓄的水量: 贺顺德提出淤地坝拦蓄水量还原时, 采用 $W_{\text{还原}} = W_{\text{实测}} \times C$, 但经初步计算, 由于淤地坝-水文站区间中存在大量的引用水, 致使上述公式计算结果在本研究中并不理想, 故本文采用公式(6)来计算淤地坝拦蓄水量。

$$W_{\text{还原}} = (W_{\text{实测}} + W_{\text{其它}}) \times C \quad (6)$$

式中: $W_{\text{实测}}$ 为殿市水文站实测径流量, 10^4m^3 ; $W_{\text{其它}}$ 为

除淤地坝拦蓄之外的其他用水量, 10^4m^3 , 其他用水量数据来源于水利年鉴或通过统计年鉴等相关资料乘以定额^[16-18]获得。

2.2.3 计算时段与参数选取

(1) 计算时段选取。根据井涌^[19]的研究成果, 殿市水文站实测径流的突变点年份为 1970 年, 故本文主要对 1970 年以后的年拦蓄水量进行还原。

(2) 径流系数的获取。统计结果显示: 殿市水文站控制流域内的径流系数呈现较为明显的年际变化, 因此选用单一的径流系数进行还原计算显然是不合适的。故为了获得更为准确的淤地坝拦蓄水量的年际过程, 本文以 1956~1970 年为基础序列, 建立径流系数与降水的 RBF 模型^[20], 并结合 1971~2007 年的降水过程, 推估出 1970 年后不同年份的径流系数。

(3) 淤地坝控制面积的确定。由于淤地坝存在排水与不排水两种运行方式, 排水淤地坝的拦蓄水量通过排水措施后均汇入河川径流中, 且在月尺度上影响不显著。故认为在径流还原计算中, 不应将排水淤地坝纳入计算范畴, 而应重点考虑中小型淤地坝中的不排水坝。因此, 本文在淤地坝控制面积上主要计入了不排水淤地坝的控制区域。

3 计算结果与讨论

3.1 淤地坝拦蓄水量计算

(1) 降水分区及面积权重。应用 ArcGIS 软件将研究区分为 3 个降水分区, 如图 2 所示。

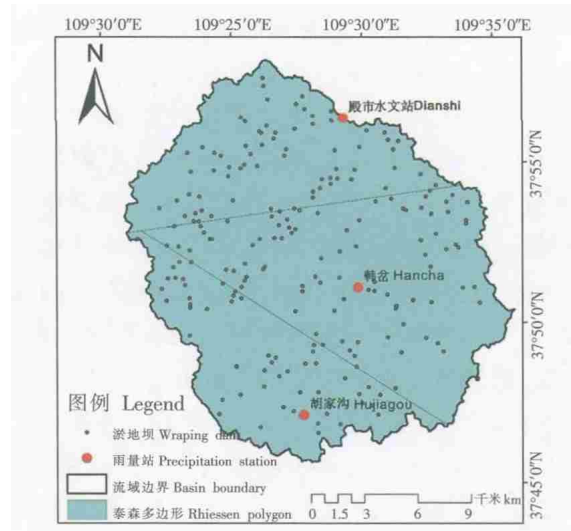


图 2 研究区淤地坝分布

Fig.2 Distribution of the warping dams in the study basin

根据分区成果, 计算每个降水分区的面积及所占研究区总面积的权重, 计算结果如表 1。

表1 降水分区的面积权重
Table1 The area weight of the precipitation zones

降水分区	殿市	韩岔	胡家沟
面积/km ²	92.13	146.66	88.21
权重/%	28	45	27

(2)雨量权重。根据每个降水分区的代表站点的逐年降雨量,分别计算各降水分区代表站年降雨量占研究区降水量累加和的雨量权重,计算结果如表2所示。

表2 降水分区代表站逐年降雨量及其权重
Table2 The annual precipitation and weight at the representative stations in the precipitation zones

年份	殿市		韩岔		胡家沟	
	降雨量/mm	雨量权重/%	降雨量/mm	雨量权重/%	降雨量/mm	雨量权重/%
1971	259.2	32.93	276.2	35.09	251.7	31.98
1972	243.7	35.86	218.8	32.20	217.0	31.93
...
2007	466.0	29.71	600.2	38.26	502.5	32.03

(3)计算各降水分区的还原系数。根据各降水分区的面积以及淤地坝库容变化,应用公式(4),计算各降水分区的还原系数,结果如表3。

表3 各降水分区还原系数计算结果 (%)
Table3 The calculation results of the reduction coefficient for the precipitation zones (%)

年份	殿市	韩岔	胡家沟
1971	3.30	3.69	2.73
1972	2.92	5.68	2.83
...
2007	1.18	0.97	0.56

(4)淤地坝拦蓄水量计算。将各降水分区的还原系数、面积权重、雨量权重,分别带入公式(5),即可计算得到整个研究区的总还原系数,再乘以殿市站的实测径流量及其他用水量之和,即可计算出研究区域内淤地坝总拦蓄水量见表4。

表4 淤地坝还原水量计算结果
Table4 The calculated reduction water from the warping dams in the study basin

年份	还原系数 /%	实测径流量 /10 ⁴ m ³	其他用水量 /10 ⁴ m ³	还原水量 /10 ⁴ m ³	年份	还原系数 /%	实测径流量 /10 ⁴ m ³	其他用水量 /10 ⁴ m ³	还原水量 /10 ⁴ m ³
1971	9.72	1247.88	226.93	143.30	1990	1.04	1059.24	187.06	12.93
1972	11.43	964.78	248.76	138.68	1991	0.69	959.33	314.61	8.82
1973	18.15	1211.22	160.64	248.95	1992	0.62	1544.67	199.08	10.76
1974	22.94	1166.91	212.31	316.36	1993	0.48	890.69	241.84	5.48
1975	21.93	1128.00	194.09	289.94	1994	0.36	2153.20	202.13	8.53
1976	21.40	1042.98	240.58	274.70	1995	0.24	988.34	255.99	3.00
1977	20.60	1437.84	39.39	304.36	1996	0.12	1146.55	265.83	1.74
1978	17.98	1240.36	165.07	252.72	1997	0.02	1050.95	303.24	0.24
1979	16.87	1115.77	292.40	237.50	1998	0.51	1090.86	271.84	6.93
1980	14.18	969.77	270.68	175.95	1999	1.16	1043.56	308.66	15.68
1981	12.29	1358.64	219.91	193.95	2000	1.06	496.01	429.10	9.82
1982	9.17	1286.96	228.65	138.94	2001	0.93	932.02	310.47	11.50
1983	6.41	1247.62	258.39	96.53	2002	0.80	661.86	316.00	7.81
1984	4.55	1324.12	158.23	67.45	2003	0.69	451.38	313.52	5.25
1985	3.24	1233.58	173.65	45.65	2004	0.58	1155.82	395.24	9.00
1986	2.04	1030.92	260.51	26.31	2005	0.45	677.71	452.29	5.10
1987	2.25	1027.90	237.19	28.52	2006	0.32	1432.80	333.99	5.64
1988	1.77	1608.60	189.69	31.78	2007	2.71	897.00	340.71	33.51
1989	1.33	962.57	263.84	16.30					

3.2 计算结果的合理性检验

将通过还原系数法计算得到的淤地坝拦蓄水量与传统径流系数法得到的淤地坝拦蓄水量进行比较,如表5所示。

表5 还原系数法和径流系数法计算的拦蓄水量对比 (10^4m^3)

Table5 The calculated water from the warping dams by reduction coefficient and runoff coefficient methods (10^4m^3)

年份	还原系数法	径流系数法	年份	还原系数法	径流系数法
1971	143.30	91.95	1990	12.93	18.20
1972	138.68	97.19	1991	8.82	9.75
1973	248.95	280.98	1992	10.76	10.83
1974	316.36	198.64	1993	5.48	6.66
1975	289.94	284.42	1994	8.53	8.41
1976	274.70	273.41	1995	3.00	3.88
1977	304.36	276.72	1996	1.74	2.01
1978	252.72	335.85	1997	0.24	0.18
1979	237.50	201.77	1998	6.93	8.19
1980	175.95	179.51	1999	15.68	13.96
1981	193.95	212.45	2000	9.82	13.11
1982	138.94	141.15	2001	11.50	17.23
1983	96.53	87.72	2002	7.81	13.95
1984	67.45	80.87	2003	5.25	12.88
1985	45.65	56.75	2004	9.00	8.53
1986	26.31	30.19	2005	5.10	5.65
1987	28.52	37.27	2006	5.64	5.55
1988	31.78	33.51	2007	33.51	69.64
1989	16.30	17.92			

通过计算分析发现,还原系数法得到的多年平均拦蓄水量为 $86.21 \times 10^4 \text{m}^3$,而径流系数法得到的多年平均拦蓄水量为 $85.05 \times 10^4 \text{m}^3$,两者的相对误差 1.36%。通过绘图(见图3)进一步比较发现,两种方法计算得到的拦蓄水量的年际变化较为一致,遂可认为还原系数法在淤地坝拦蓄水量的计算上是适用的,且还原系数法综合考虑了降水、淤地坝控制面积、淤地坝库容变化以及其在空间上的分布,考虑形成因素更多,物理机制也更清楚。与径流系数法交叉验证,可获得更为可靠的拦蓄水量计算结果。

3.3 拦蓄水量的关联因素分析

通过对淤地坝拦蓄水量计算成果的分析,发现淤地坝拦蓄水量在年际变化上差异比较大。殿市站控制区内淤地坝拦蓄水量的最小年份发生在1997年,拦蓄水量仅为 $0.24 \times 10^4 \text{m}^3$;最大发生在1974年,拦蓄水量

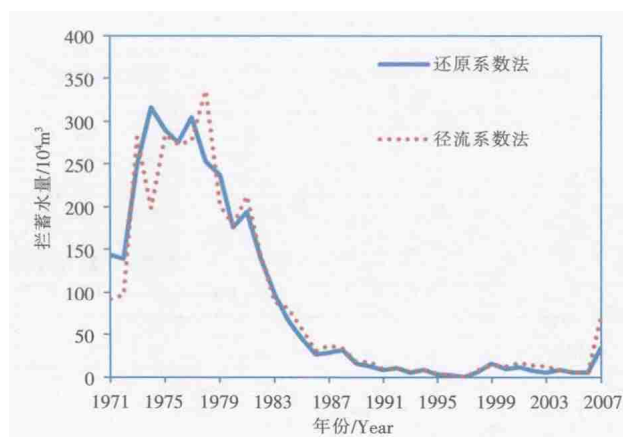


图3 还原系数法和径流系数法计算的拦蓄水量对比
Fig.3 The calculated water from the warping dams by reduction coefficient and runoff coefficient methods

达 $316.36 \times 10^4 \text{m}^3$,而多年平均年拦蓄水量 $86.21 \times 10^4 \text{m}^3$,极值比达到 1300。究其原因主要是受到了淤地坝实际运行数量、不排水淤地坝比例以及降水量的影响。为了进一步分析淤地坝拦蓄水量的关联因素,本文将淤地坝拦蓄水量与控制流域面积、库容变化、降水量等分别做了相关分析,结果显示淤地坝拦蓄水量仅与淤地坝的实际控制面积表现出了较好的相关特征(如图4)。图4为淤地坝拦蓄水量与控制面积的年际变化曲线,由图不难看出,两者的趋势较为一致,相关系数达到 0.993,表明这两者间的相关关系较好。

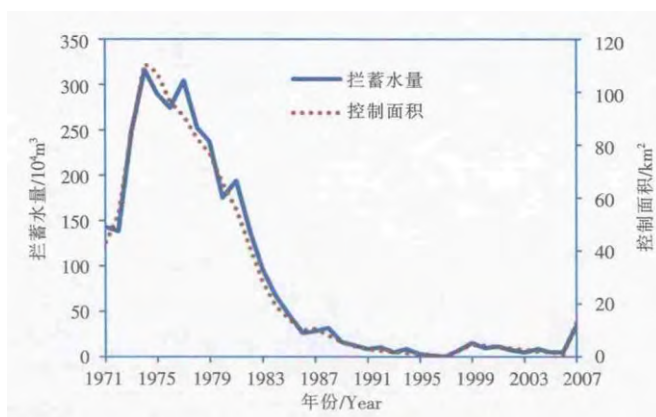


图4 淤地坝拦蓄水量与控制面积关系图
Fig.4 The impounded water and catchment area controlled by the warping dams

进一步绘制单位控制面积上的淤地坝拦蓄水量的年际变化曲线(见图5),发现将殿市产流区内淤地坝的拦蓄水量平摊至淤地坝控制面积后,单位控制面积的拦蓄水量并未随着淤地坝数量及其控制面积的变化而大幅改变,而是基本稳定于某一区间内。从而我们可大胆的推论,在淤地坝上游无明显人类活动的情况下,

可依据单位控制面积拦蓄水量(殿市站单位控制面积 $3.15 \times 10^4 \text{m}^3$),在已知区域淤地坝控制流域面积条件下,即可初步得到淤地坝的拦蓄水量。若将这种方法推广到陕北地区,乃至整个黄土高原地区,对简化黄土高原地区的淤地坝拦蓄水量的计算将具有积极的意义。

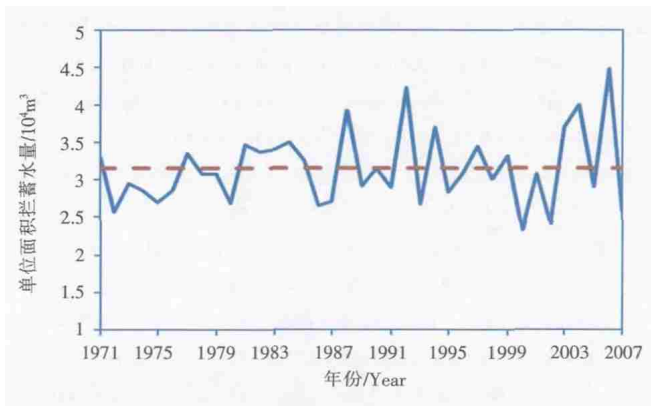


图5 淤地坝单位控制面积拦蓄水量

Fig.5 Impounded water pre unit area controlled by the warping dams

4 结论

(1) 还原系数法综合考虑了流域内淤地坝控制面积、有效库容、降雨量及其空间分布等多个驱动因素,物理意义明确,且资料获取容易,计算步骤简单。通过与径流系数法结果的验证,表明该方法计算结果可靠,可用于黄土高原地区淤地坝拦蓄水量的计算。

(2) 还原系数法应用于径流还原中的拦蓄水量计算,不同于洪水还原,需要对淤地坝的排水是否进行调查,确定准确的淤地坝控制面积后,方可使用。

(3) 通过还原系数获取拦蓄水量的过程中,建议使用还原地表取水后的径流值作为基础值,以避免区内取水对计算结果造成影响。

(4) 淤地坝拦蓄水量与其控制面积呈现较好的相关关系。对年拦蓄水量进行空间分摊后,单位控制面积拦蓄水量基本稳定于某一区间内,并未随着淤地坝数量及其控制面积的变化而大幅改变。故本文认为在淤地坝上游无明显人类活动的情况下,可依据这一单位拦蓄水量,在已知区域淤地坝控制流域面积条件下,粗估淤地坝的年拦蓄水量。

参考文献:

[1] 冉大川,李占斌,申震洲,等.泾河流域淤地坝拦沙对降雨的响应分析[J].西安理工大学学报,2010,26(3):249-254. (RAN Dachuan, LI Zhanbin, SHEN Zhenzhou, et al. The soil-saving dam retain sand respond to rainfall in Jinghe River basin [J]. Journal of Xi'an

University of Technology, 2010,26(3):249-254. (in Chinese))

- [2] 张汉雄. 陕北黄土丘陵区淤地坝的规划和利用模式及效益评价[J]. 水土保持研究, 1994,(1):75-81. (ZHANG Hanxiong. Silt-trap dam planning and use model and benefit assesment in Loess hilly-gullied area of the north part of Shaanxi [J]. Research of Soil and Water Conservaion, 1994,(1):75-81. (in Chinese))
- [3] 冉大川,罗全华,刘斌,等. 黄河中游地区淤地坝减洪减沙及减蚀作用研究[J]. 水利学报, 2004(5):7-13. (RAN Dachuan, LUO Quanhua, LIU Bin, et, al. Effect of soil-retaining dams on flood and sediment reduction in middle reaches of Yellow River[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004,(5):7-13. (in Chinese))
- [4] 高季章,曹文洪,汪小刚. 新时期淤地坝规划设计中的若干技术问题探讨[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2003,(1):9-16. (GAO Jizhang, CAO Wenhong, WANG Xiaogang. Research on some technical issues in the plan and design of check-dams [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2003,(1):9-16. (in Chinese))
- [5] 方学敏,万兆惠,匡尚富. 黄河中游淤地坝拦沙机理及作用[J]. 水利学报, 1995,(10):49-53. (FANG Xuemin, WAN Zhaohui, KUANG Shangfu. Mechanism and effect of silt-arrest dams for sediment reduction in the middle Yellow River basin[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1995,(10):49-53. (in Chinese))
- [6] 李敏. 淤地坝在黄河中游水土流失防治中的作用 [J]. 人民黄河, 2003,25 (12):25-27. (LI Min. Function of warping dams in prevention and management of soil and water loss in the middle Yellow River[J]. Yellow River, 2003,25(12):25-27. (in Chinese))
- [7] 戴静,王彬,刘世海. 黄土高原地区生态淤地坝效益分析探讨—以陕西延安地区为例[J]. 水土保持研究, 2007,14(5):371-373. (DAI Jing, WANG Bin, LIU Shihai. Studies on the benefit of the silt-retention dam of the Loess plateau—a case study of Yan'an area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007,14(5):371-373. (in Chinese))
- [8] 曾茂林,朱小勇,康玲玲,等. 水土流失区淤地坝的拦泥减蚀作用及发展前景[J]. 水土保持研究, 1999,6(2):126-133. (ZENG Maolin, ZHU Xiaoyong, KANG Lingling, et al. Effects of sediment reduction and erosion control and development prospects of warping dam in water and soil loss areas [J]. Research of Soil and Water Conservation, 1999,6(2):126-133. (in Chinese))
- [9] 汪亚峰,傅伯杰,侯繁荣,等. 基于差分 GPS 技术的淤地坝泥沙淤积量估算 [J]. 农业工程学报, 2009,25 (9):79-83. (WANG Yafeng, FU Bojie, HOU Fanrong, et al. Estimation of sediment volume trapped by check-dam based on differential GPS technique [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009,25(9):79-83. (in Chinese))
- [10] 周立花,延军平,徐小玲,等. 黄土高原淤地坝对土壤水分及地表径流的影响—以绥德县辛店沟为例 [J]. 干旱区资源与环境, 2006,20(3):112-115. (ZHOU Lihua, YAN Pingjun, XU Xiaoling, et, al. Effects of soil saving dams on soil water content and runoff in Loess plateau—case study on Xindian watershed in Suide country [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,

- 2006,20(3):112-115. (in Chinese))
- [11] 贺顺德,刘立,王文成. 水土保持工程影响地区水文资料还原方法探讨[J]. 人民黄河, 2008,30(12):43-44. (HE Shunde, LIU Li, WANG Wencheng. Discussion on the reduction method of hydrological data in the area influenced by the water and soil conservation works[J]. Yellow River, 2008,30(12):43-44. (in Chinese))
- [12] 姜纯伟,帅启富. 榆林市病险淤地坝问题调查与分析[J]. 陕西水利, 2011,(5):55-56. (JIANG Cunwei, SHUAI Qifu. Investigation and analysis of the dangerous warping dams in Yulin city [J]. Shaanxi Water Resources, 2011,(5):55-56. (in Chinese))
- [13] 刘会源,宋锦霞,牛萍. 黄土高原地区沟道工程的水保作用与防洪功效[J]. 水土保持研究, 2004,11(3):204-207. (LIU Huiyuan, SONG Jinxia, NIU Ping. Analysis of soil and water conservation function and flood control effect of gully dam in the region of Loess Plateau [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2004,11(3): 204-207. (in Chinese))
- [14] 李华孝. 浅析横山县黑木头川河堤防建设方案 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2012,(29):1-4. (LI Huaxiao. Discussion on levee construction of the Heimutou stream in Hengshan county[J]. Urban Construction Theory Research, 2012,(29):1-4. (in Chinese))
- [15] 金栋梁. 水资源径流资料的还原计算 [J]. 水文, 1981,(2):21-27. (JIN Dongliang. Runoff reduction calculation [J]. Journal of China Hydrology, 1981,(2):21-27. (in Chinese))
- [16] 地质矿产部地质工程勘察院. 横山县水资源普查报告[R]. 2009. (Institute of Geological Engineering Survey, Ministry of Geology and Mineral Resources. Water resources census in Hengshan county[R].2009. (in Chinese))
- [17] 陕西省水利水电勘测设计研究院. 陕西省榆林能源重化工基地供水水源规划 [R]. 2001. (Shaanxi Province Institute of Water Resources and Electric Power Investigation and Design. Water supply planning of energy and heavy chemical industry base in Yulin city, Shaanxi province[R]. 2001. (in Chinese))
- [18] 陕西师范大学编写组. 陕西省榆林地区地理志 [M]. 西安: 陕西人民出版社, 1984. (Editorial Group of Shaanxi Normal University. Geography of Yulin Region in Shaanxi Province [M]. Xi'an: Shaanxi People's Press, 1984. (in Chinese))
- [19] 井涌. 无定河径流一致性及人类活动定量影响分析 [A]. 中国水利学会水文专业委员会. 水生态监测与分析论文集[C]. 济南: 山东省地图出版社, 2008:279-283. (JING Yong. Analysis of the runoff consistency of the Wuding River and quantitative effects of human activity [A]. Hydrological Professional Committee of Chinese Hydraulic Engineering Society. Proceedings on Water Ecological Monitoring and Analysis[C]. Jinan: Shandong Provincial Map Press, 2008:279-283. (in Chinese))
- [20] 任磊,岳春芳,何训江. RBF神经网络模型在金沟河流域径流预测中的应用[J]. 水资源与水工程学报, 2011,22(1):94-97. (REN Lei, YUE Chunfang, HE Xunjiang. Application of RBF neural network model to the prediction of runoff in Jingouhe River basin [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2011,22(1): 94-97. (in Chinese))

Calculation Method for Impounded Water by Warping Dam in Natural Runoff Calculation

ZHANG Hongbo^{1,2}, YU Qijun^{1,2}, WANG Bin^{1,2}, CHEN Keyu^{1,2}, GU Lei^{1,2}

(1. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecological Effect in Arid Region of Ministry of Education, Xi'an 710054, China)

Abstract: The warping dams are very widely used in the Loess Plateau to control soil erosion. Unfortunately, they have a strong impact on the natural runoff process and bring enormous influence on water resources assessment and water engineering design while they play an important role in regional water and soil conservation. Therefore, it is of great importance to accurately evaluate regional water resources that how to calculate runoff impounded by the warping dams. The present study applied the reduction coefficient method and runoff coefficient method to calculate the annual water impounded by the warping dams in the Heimutouchuan Watershed (HW). By comparing the computed results of two methods, it explored the suitability and effectiveness of the reduction coefficient method for calculating impounded water in the warping dams. The results show that the average annual impounded water of the warping dams is $862.1 \times 10^3 \text{ m}^3$ in the HW during 1971-2007, which is similar with the result computed by runoff coefficient method with the only 1.36% error. In addition, we noticed something interesting that the impounded water on unit area is roughly stable, namely changing in a small range after dividing the impounded water by the catchment area. The above results indicate that the reduction coefficient method is a sort of efficient calculation method for the water impounded by the warping dams, which can be used to evaluate regional water resources in the Loess Plateau region influenced by the warping dams. When combined with the runoff coefficient method, it may be expected to get a more accurate impounded water. On the side, since the impounded water on unit area is stable in the area without human activities obviously, we can roughly calculate the impounded water by the warping dams only depending on the unit impounded water when the catchment area of warping dams is known in a catchment. It is greatly significant to regional water assessment and runoff forecasting in the Loess Plateau region in the future.

Key words: runoff reduction; warping dam; reduction coefficient; runoff coefficient; Heimutouchuan Watershed