

泾河中游现代洪水痕迹调查对实测洪水的校核

查小春^{1,2}, 黄春长¹, 庞奖励¹, 古明兴³

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 2. 中国科学院 黄土高原土壤侵蚀

与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 陕西省水文水资源勘测局, 陕西 西安 710068)

摘要:通过对泾河流域实地调查,在泾河中游景村水文站上下游发现了 3 处非常明显的 4 次洪水痕迹。结合实地走访,资料查阅等,准确确定了 4 次洪痕的对应年代,并通过弯道超高水位的计算,以及水位—流量关系和比降法模型模拟,推算出了这 4 次洪痕对应的流量,与实测洪水资料相比较,流量基本接近,误差分别在 1.42%~4.21% 和 -2.13%~3.16% 之间。研究表明,为了提高水文测量的精度,可以借助河岸遗留的洪水痕迹校核实测洪峰流量,同时也可作为历史洪水调查和缺乏水文观测站数据的流域以洪痕推算特大洪峰流量提供科学的依据。

关键词:泾河中游;洪水痕迹;实测洪水;校核

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)03-0149-05

中图分类号: P332, TV122

Flood Discharges Reconstructed by Flood Level Marks on Cliff Faces in Middle Reaches of Jinghe River

ZHA Xiaochun^{1,2}, HUANG Chunchang¹, PANG Jiangli¹, GU Mingxing³

(1. College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710068, China)

Abstract: 4 flood level marks on the cliff faces were observed in upper and lower Jingcun hydrology gauge station in the middle reaches of Jinghe River, Binxian County. Through local interview and consult data, the ages of the 4 flood level marks were determined accurately. Then their peak discharges were quantitatively figured out by the hydrology principle of flood level discharge and slope-area method and the errors were estimated to be 1.42%~4.21% and -2.13%~3.16%, respectively, compared to the flood data observed. The result showed that the flood level marks on the cliff faces in river channel could check the flood data observed and the extreme floods could also be figured out by the flood level marks in the drainage basin where was short of the flood data observed.

Keywords: the middle reaches of Jinghe River; flood level mark; flood data observed; flood discharge reconstructed

洪水是危及人们生命财产和国家经济的重大灾害之一^[1]。准确掌握洪水资料对防洪减灾、基础设施建设、水资源开发调度等都具有十分重要的意义。如今,随着全球气候的变暖,全球性降水分布发生了很大的变化,有些地区极端天气气候事件出现的频率和强度随之也在增加,导致突发性洪水灾害频繁出现^[2]。我国“98”三江洪水和 2003 年陕西渭河水灾造成的损失和影响如今依然记忆犹新^[3-5]。突发性洪水灾害的频现,不仅可以造成严重的社会经济损失,也

给一些水文站点准确测量洪峰流量带来了严峻的考验。例如水文测站的浮标、流速仪等洪水测验工具可能会被突发性特大洪水冲走,或者周围建筑物、桥梁等的修建会对测流的精度带来很大的影响等等,这些都影响到水文观测资料的准确性。但是洪水灾害的出现,往往会在河流岸边遗留下泥沙、水印、杂草等痕迹,或者群众设置的指水碑,以及其它一切能够代表洪水位所能到达位置的标记物等等,这些记录洪水的痕迹,均很好地记录了洪水的水文学特征^[6]。本

收稿日期: 2008-09-08

修回日期: 2008-12-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(40771018); 陕西省自然科学基金项目(2006D01); 中国科学院黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金(10501-176); 陕西师范大学优秀科技预研项目(200702001)资助

作者简介: 查小春(1972-),男(汉族),陕西省南郑县人,博士,副教授,主要从事资源开发与环境演变方面的研究。E-mail: zhaxch@snnu.edu.cn。

文根据泾河中游景村水文站附近调查的现代洪水痕迹,对泾河流域实测洪水进行了校核,其结果可为现代河流实测洪水流量进行校正,也为历史洪水调查和缺乏水文观测站点的流域以洪痕推算特大洪峰流量供科学的依据。

1 研究区河段和环境概况

泾河是黄河的二级支流,也是渭河的最大支流,位于东经 $106^{\circ}14' - 108^{\circ}42'$,北纬 $34^{\circ}46' - 37^{\circ}19'N$,发源于宁夏回族自治区泾源县老龙潭,流经甘肃省平凉、泾川,陕西省长武、彬县、永寿、淳化,于陕西省高陵县陈家滩与渭河汇合。干流全长 455.1 km,总流域面积 $45\,421\text{ km}^2$,多年平均径流量为 $2.14 \times 10^9\text{ m}^3$ 。流域属大陆性季风气候,年均气温 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,年均降水量 550 mm,且季节分配不均,主要集中于夏季 7、8 两月,极易产生历时短、强度大的特大或较大暴雨,形成暴涨暴落、灾害性大的洪水过程。其突发性强,破坏性大,给当地人们的生产和生活带来巨大影响,严重制约和破坏该地区的经济发展^[7]。泾

河洪水猛烈,全流域水土流失极为严重,年均含沙量 141 kg/m^3 ,年均输沙总量 $3.09 \times 10^8\text{ t}$,最大含沙量为黄河的 3 倍多,达 $1\,430\text{ kg/m}^3$,年均输沙模数 $7\,150\text{ t/km}^2$ 。

景村水文站地处彬县新堡子乡景村,具有 1963 年建站以来详细的实测洪水数据序列。该站位于东经 $108^{\circ}08'$,北纬 $35^{\circ}00'$,控制流域面积 $40\,281\text{ km}^2$,河道平均比降 2.65‰,年平年径流总量 $1.697 \times 10^9\text{ m}^3$ 。河段以上大部分为黄土丘陵沟壑区,少部分为土石山区,植被较差,水土流失严重。通过对泾河中游景村河段的实地调查,分别在距泾河景村水文站上游 1 km 处的水白村附近河段左岸 JH-SBC、下游 2.8 km 处的旧村河段右岸 JH-JC 和 4.6 km 处的曹村河段右岸 JH-CC 发现有清晰、完整的洪水痕迹(见表 1)。其中 JH-SBC 和 JH-CC 有 4 次洪水痕迹,均位于泾河岸边的黄土陡坎上,而 JH-JC 处只有 2 次洪水痕迹,位于泾河右岸、旧村台地下的基岩陡坎上,这 3 处洪痕保存完整,界限清晰(图 1),为校核泾河洪水提供了有力的证据。

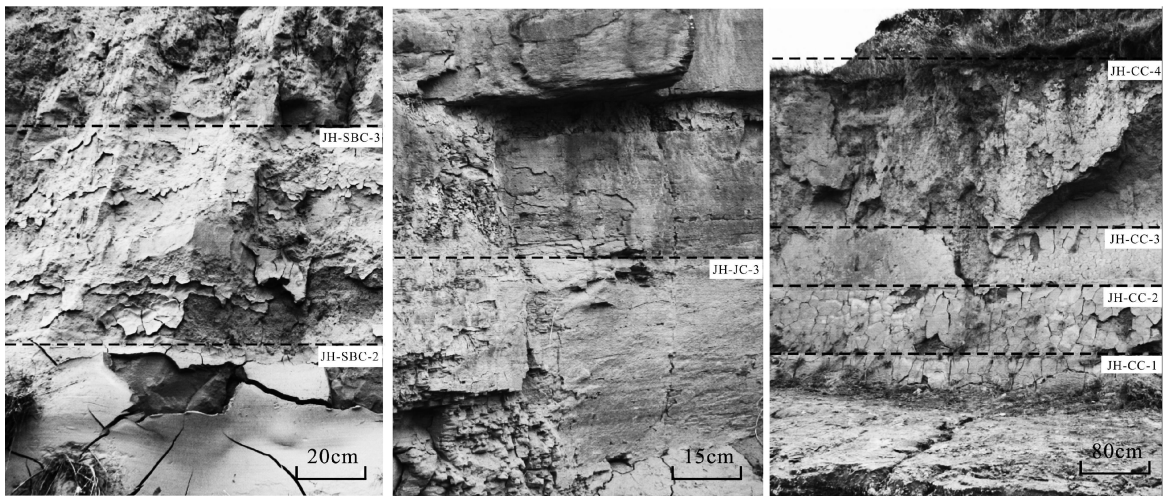


图 1 泾河中游彬县段 JH-SBC, JH-JC 和 JH-CC 地点洪痕图片

2 泾河洪痕年代确定

河流洪水位的调查、考证,在整个洪水调查与洪峰流量推算工作中具有特殊和重要的地位。由于洪痕是指某地某年河流最大洪水浸淹后留下的最高洪水痕迹点,是推求洪水位的依据,因此,对洪迹调查获得的该次洪水的洪水位,不仅是历史洪水调查考证的重要依据和方法^[6],而且也现代洪水的校核提供了重要的证据。

黄河中游地区,由于洪水期间含沙量大,因而洪水过后会在固定建筑物或河岸边留有明显的黄色洪水痕迹,可以清楚地显示某次洪水的洪水位,这为

洪痕的调查提供了非常好的场所。位于黄土高原地区的泾河流域,地表植被长期以来受人为活动干扰严重,水土流失严重,是一条含沙量较大的多沙河流,在汛期的 7、8 两月,多年平均含沙量可占到多年平均含沙量的 79.15%。而且,高含沙量持续时间较长,经常出现流量已经降到 $200\text{ m}^3/\text{s}$ 以下时,含沙量还高达 300 kg/m^3 以上的情况^[9-10]。

因此,高含沙量突出特征的泾河,洪水过后就会在沿河流岸边和固定建筑物(桥墩、房屋等)上留下黄色的洪水痕迹。在泾河中游景村河段岸边的黄土陡坎上发现的 4 次洪水痕迹即清楚地代表了泾河中游的 4 次洪水。

通过野外实地调查和走访当地老人得知,这4次洪水痕迹均为泾河流域发生的4次现代洪水留下的痕迹。根据当地60~70岁老人的现场指认,最高的洪水痕迹(JH-SBG-4, JH-CG-4和JH-CG-4)为发生在20世纪60,70年代的大洪水,当时的洪水在JH-JC位置把河流左岸台地上树木淹没,淹没位置到达左岸早饭头村的房基部位,下面的3次洪水痕迹,则为最近几年发生的洪水痕迹。由此,基本确定了4次洪水痕迹的年代范围是在1960年代之后的洪水事件。

泾河流域洪水资料记载表明^[11-13],泾河流域在1966年和1977年发生过两次特大洪水:1966年7月21—22日,泾阳、礼泉、彬县、长武等降暴雨,历时31.2 h,泾阳降水量94.2 mm,泾河河水猛涨,张家山水文站站洪峰流量为7 520 m³/s,景村站洪峰流量为8 150 m³/s,这次洪水使泾惠渠大坝被毁,沿岸各县受灾;1977年全陕西省遭受了严重的暴雨洪水灾害,7月4—6日,延河、洛河、泾河以及嘉陵江、汉江发生了一次大面积的暴雨,泾河上游、延河、清涧河均出现大暴雨,延安市受灾最为严重,在泾河景村水站洪峰流量达6 190 m³/s,泾河大水使两岸群众被洪水围困。由此可见,调查的最高洪痕可能为1966年或1977年特大洪水遗留下的洪水痕迹。

一般来说,河流洪水流量越大,对应的洪水位就越高,洪水过后在河流岸边遗留下的洪水痕迹也就越高。而且,大洪水流量对应的高水位洪痕往往会把前几次发生的、流量比较小的低水位洪水遗留下的洪水痕迹冲刷掉或覆盖住。根据景村站实测水位流量资料(图2),1963—2006年景村水文站实测洪水流量从大到小排列在前5位的年份分别为1966,1977,2003,2004和2005年,对应的洪水位分别为822.34,824.38,823.8,819.1和818.2 m。其中1966年洪峰流量为8 150 m³/s,远高于1977年的6 190 m³/s洪峰流量,但是其洪水位低于1977年的洪水位。其原因在于位于曹村下游大约9 km处的枣渠水电站滚水坝,在1969与1977年之间建成,抬高河床高程,造成河床淤积,影响到上游的景村水文站断面河床高程。景村水文站大断面测量数据也表明,1966年洪水河床大断面高程值为808.54 m,比1977年特大洪水河床大断面高程值810.23 m低,因此1966年洪水在岸边遗留下的洪水痕迹,因河床的抬高,就被1977年的洪水的洪痕覆盖或冲刷掉了,野外调查的最高洪水痕迹即为1977年特大洪水遗留下的洪水痕迹,对应的洪痕为JH-SBG-4, JH-JG-4, JH-CG-4。1977年最高洪痕之下的洪痕,从上向下就依次为2003,2004和2005年3次洪水在河流岸边遗留下洪水痕迹。

表1 泾河中游彬县段JH-SBC和JH-CC地点洪痕勘测结果

洪痕	高于常水位/m	实测龟裂泥片厚度/cm	洪痕	高于常水位/m	实测龟裂泥片厚度/cm
JH-SBG-4	4.4	0.2	JH-CG-4	4.2	0.5~1.5
JH-SBG-3	2.5	0.4~0.8	JH-CG-3	3.2	1.0~1.5
JH-SBG-2	1.9	0.8~1.4	JH-CG-2	2.2	1.4~4.0
JH-SBG-1	1.1	1.3~2.2	JH-CG-1	0.9	2.0~4.0

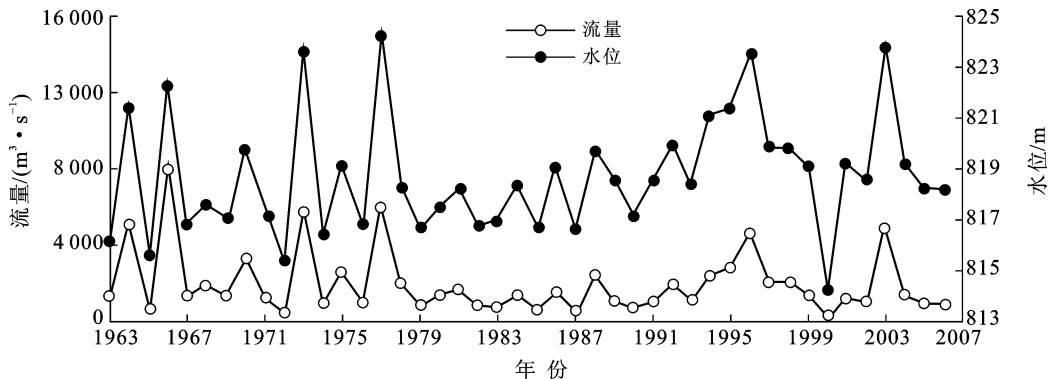


图2 泾河景村水文站1963—2006年实测年最大洪峰流量和水位曲线

3 泾河洪痕流量计算及校核

3.1 洪痕水位的确定

为了能较准确推算出洪峰流量,调查洪水的河段

一般应选择在校顺直的河段,这样可以避免因受水流弯道的影响而使水位偏高或偏低。但是,JH-SBC, JH-JC和JH-CC的3个调查河段的洪水痕迹均位于河流的弯道上。由于弯道上水流作曲线运动而产生

离心力,受离心力作用,水流自凸岸趋向凹岸,使凹岸水体增高,在过水断面上就形成横比降(如图 3 所示),使得河流的凸凹岸水位存在差值,即超高水位 ΔH 。因此,在计算洪峰流量时,必须考虑河流弯道产生的超高水位 ΔH ,而且应将超高水位换算成断面平均水位,依此来推算洪痕所对应的流量。由水流离心力作用产生的超高水位 ΔH 计算公式^[6]为。

$$\Delta H = \frac{V^2 B}{gR}$$

式中: V ——断面平均流速(m/s); B ——水面宽(m); R ——弯道中心曲率半径(m),一般取凸岸与凹岸曲率半径平均值; g ——重力加速度。

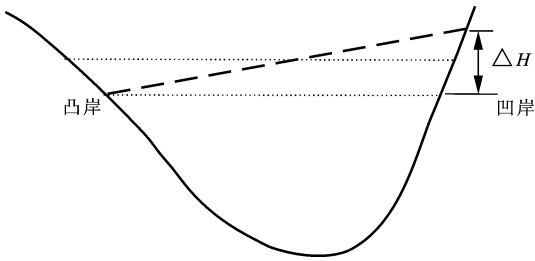


图 3 弯道河段水面线及超高水位 ΔH 示意图^[6]

JH-SBC, JH-JC 和 JH-CC 的 3 处洪痕均位于泾河弯道上,而且只在泾河河岸的一侧调查到洪水痕迹。结合 4 次洪水水面宽度和 JH-SBC, JH-JC, JH-CC 的 3 处弯道中心曲率半径,计算出 1977 年,2003 年,2004 年和 2005 年 4 次洪水的超高水位 ΔH 的结果见表 2。

然后,结合 JH-SBC, JH-JC 和 JH-CC 常水位高程、超高水位 ΔH ,即可计算出 1977 年,2003 年,2004 年和 2005 年 4 次洪水的水位。对洪水的水面线分析表明,4 次洪水的水面线与景村水文站实测洪水位对比关系合理,无异常现象,说明河流的洪水痕迹完全

能够代表洪水到达位置的标志,也完全可以作推求洪水水位的依据。

3.2 洪痕对应洪水流量的计算

目前,国内外多种水文模型和方法来推算洪水流量,而黄河流域洪水调查考证表明^[6,14],凡是在水文站附近的调查河段有调查水位的,一般都采用水位—流量关系法来推算洪水流量。景村水文站位于 JH-SBC, JH-JC 和 JH-CC 洪痕之间(图 1),实测大断面数据表明河流断面变化不大,因此首先采用水位—流量关系法推断洪痕对应的洪峰流量。同时,在 JH-CC 处的峡谷地带选择河流过水断面,采用比降法推算了 JH-CC 洪痕对应的洪峰流量。

(1) 水位—流量关系法。景村水文站具有 1963 年至 2006 年的实测流量和水位,而且序列连续。水位—流量关系式为

$$Q = 4.419 \times (H - z)^{2.783}, \quad R = 0.9997$$

式中: Q ——洪峰流量(m^3/s); H ——洪水位(m); z ——断流水位(m)。

根据景村水文站水位—流量关系式,结合推算出的洪痕水位,推算出 JH-SBC, JH-JC 和 JH-CC 洪痕 1977, 2003, 2004 和 2005 年对应水位的洪峰流量(表 2)。由表 2 可知,根据洪水位推算的 1977 年,2003 年,2004 年和 2005 年洪痕流量与实测流量比较,流量基本接近,误差在 1.42%~4.21% 之间。

(2) 比降法。在洪痕 JH-CC 下游约 50 m 的峡谷地带选择河流过水断面,采用比降法推算 JH-CC 洪痕的洪水流量,采用的比降法公式为

$$Q = 1/nAR^{2/3}S^{1/2}$$

式中: Q ——洪峰流量(m^3/s); n ——河道糙率系数; A ——过流断面面积(m^2); R ——水力半径(m); S ——水面比降。

表 2 泾河彬县 JH-SBC, JH-JC 和 JH-CC 河段洪痕水位—流量法计算结果

年份	洪痕编号	洪痕距常水位高程/m	纠正超高水位 ΔH /m	洪痕水位/m	水位—流量关系推算		实测流量 $Q/(\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	误差/%
					$Q/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	均值		
1977	JH-SBG-4	4.2	1.22	826.03	6430			
	JH-JG-4	4.6	0.16	817.70	6210	6320	6190	2.10
	JH-CG-4	4.4	1.10	813.10	6310			
2003	JH-SBG-3	3.2	1.10	824.97	5160			
	JH-JG-3	2.6	0.11	815.70	4930	4990	4920	1.42
	JH-CG-3	2.5	0.88	811.09	4870			
2004	JH-SBG-2	2.2	0.86	824.27	1530			
	JH-CG-2	1.9	0.29	810.17	1390	1460	1410	3.55
2005	JH-SBG-1	0.9	0.56	823.05	1050			
	JH-CG-1	1.1	0.17	809.33	930	990	950	4.21

由于泾河流经黄土高原, 土壤侵蚀严重, 河流含沙量高, 参照《水力学》中天然河道糙率系数 n 的取值原则^[15], 选择糙率系数 $n=0.030$ 。利用比降法推算出 JH-CC 洪痕 1977, 2003, 2004 和 2005 年对应水位

的洪峰流量见表 3。由表 3 可知, 比降法推算出的 JH-CC 洪痕 1977, 2003, 2004 和 2005 年的流量与实测流量比较, 流量基本接近, 误差在 $-2.13\% \sim 3.16\%$ 之间。

表 3 泾河彬县段 JH-CC 地点洪痕比降法水文计算结果

年份	洪痕编号	洪痕水位/m	断面面积 A/m^2	水力半径 R/m	糙率系数 n	比降 $S/\%$	推算流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	实测流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	误差/ %
1977	JH-CG-4	813.10	985.83	7.05	0.030	2.65	6 220	6 190	0.48
2003	JH-CG-3	811.09	834.02	6.38	0.030	2.65	4 870	4 920	-1.02
2004	JH-CG-2	810.17	325.84	3.79	0.030	2.65	1 380	1 410	-2.13
2005	JH-CG-1	809.33	257.78	3.31	0.030	2.65	980	950	3.16

由此说明, 在一些河流通过野外考察发现的洪水痕迹可以采用一定的水文计算公式推算出洪痕对应的洪峰流量, 同时也说明在当前全球气候变化下, 为了提高水文测量的精度, 对于突然出现的特大洪水灾害, 可以借助洪水过后在河岸遗留的洪水痕迹对实测流量进行校正; 或者在一些历史洪水调查和缺乏水文观测站点的流域, 为了修路、建筑等工程设施防洪减灾的需求, 也可以借助河岸洪痕推算特大洪峰流量, 依此揭示河流大洪水事件发生的规律, 为有效地开发利用水资源, 提高水文计算精度提供科学依据。

4 结论

全球气候的变暖, 使得全球范围内降水变率增大, 由此引发的洪水灾害频繁出现, 对于一些流域的水文观测站点带来严峻的考验。泾河流域是气候变化的敏感区, 降水季节分配不均, 极易产生历时短, 强度大的特大暴雨, 形成洪水灾害。同时, 泾河为一条含沙量较大的多沙河流, 洪水过后就会在沿河流两岸留下清晰的洪水痕迹。

根据河岸遗留的 4 次现代洪水痕迹, 结合实地调查和老人的回忆, 以及洪痕形成的规律, 判断为泾河 1977, 2003, 2004 和 2005 年的洪水痕迹, 然后对洪痕水位的计算, 通过水位—流量关系法和比降法水文模型, 分别计算出了这 4 次洪痕的流量, 与实测量洪水资料的对比, 流量基本接近, 误差分别在 $1.42\% \sim 4.21\%$ 和 $-2.13\% \sim 3.16\%$ 之间, 说明了洪痕很好地记录了突发性性的水文学特征, 可为现代河流突发性特大实测洪水流量进行校正, 也可为历史洪水调查和缺乏水文观测站点的流域推算特大洪峰流量供科学的依据。

[参 考 文 献]

- [1] 彭广, 刘立威, 刘敏, 等. 洪涝[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 1-12.
- [2] 施雅风. 全球和中国变暖特征及未来趋势[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(2): 1-10.
- [3] 张玉环, 李周. 大江大河水灾防治对策的研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004: 36-37.
- [4] 向华龙, 沈珠江. 渭河下游渭南入黄段的防汛抗洪: 兼论应废弃黄河三门峡水利枢纽工程[J]. 科技导报, 2004(2): 3-5.
- [5] 张育生. 渭河流域洪水分析[J]. 甘肃水利水电技术, 2005, 41(4): 345-346.
- [6] 史辅成, 易元俊, 慕平. 黄河历史洪水调查、考证和研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002: 42-123.
- [7] 陕西师大地理系《咸阳市地理志》编写组. 陕西省咸阳市地理志[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1991: 73-86.
- [8] 冉大川. 泾河流域水沙特性及减水减沙效益分析[J]. 水土保持通报, 1992, 12(5): 20-28.
- [9] 王兮之, 索安宁, 洪军, 等. 黄土高原泾河流域水沙特征分析[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 22-25.
- [10] 王小艳, 高建恩, 安梦雄. 泾河水沙基本特性分析[J]. 西北水资源与水工程, 2001, 12(3): 21-24.
- [11] 《陕西省历史自然灾害简要纪实》编委会. 陕西省历史自然灾害简要纪实[M]. 北京: 气象出版社, 2002: 40-79.
- [12] 陕西省减灾协会. 陕西省重大自然灾害综合研究与防御对策[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1993: 66-67.
- [13] 黄河流域及西北片水旱灾害编委会. 黄河流域水旱灾害[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1996: 121-123.
- [14] 查小春, 黄春长, 庞奖励. 关中西部漆水河全新世特大洪水与环境演变研究[J]. 地理学报, 2007, 62(3): 291-300.
- [15] 郭维东, 裴国霞, 韩会玲. 水力学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005: 240-244.