

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2011.02.004

梯级水库运行对黄河上游水文条件的累积影响

张洪波¹, 黄 强², 张双虎³

(1. 长安大学环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054;
2. 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;
3. 中国水利水电科学研究院水资源研究所, 北京 100038)

摘要: 采用水文变异法(RVA)对梯级水库运行引发的在时间和空间上水文条件的累积变异特性进行定量化研究. 研究结果显示: 在时间累积层面, 有龙梯级水库运行较无龙梯级水库运行指标改变更为强烈, 其中 56% 的指标加剧恶化, 且主要集中在极值指标与高流量参数方面; 而在空间累积层面, 沿梯级水库累积方向, 改变程度整体呈减小趋势. 指标体系中 3, 12 m 平均流量, 最小 3, 30, 90 d 流量, 最大 1, 7 d 流量, 基流以及逆转次数等指标发生严重变异, 且对水库空间累积不敏感. 下游综合利用水库对上游水库产生的变异状态有修复作用, 即趋于有利, 而以发电为主的水库对下游水文条件的影响表现为有限趋弊.

关键词: 梯级水库; 水文条件; 累积影响; 水文变异法; 黄河上游

中图分类号: TV697; Q178 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2011)02-0137-06

累积效应或累积影响的概念起源于环境影响评价领域, 主要用于反映当一种活动影响将过去、现在以及将来可预见的活动的影响叠加时, 因累积效应对环境造成的影响^[1]. 累积效应在流域开发活动方面的相关研究最早开展于美国和加拿大, 取得了一些有代表性的研究成果(如 CEA 等), 并形成了定性分析与定量分析结合、微观与宏观结合、过程与状态结合的特点, 在世界范围内被广泛应用. 梯级水电开发是流域开发的主要内容, 也是改变河流原有生态环境格局的关键因素. 国内学者在此方面做了许多研究工作^[1-2], 但采用的方法多侧重主观因素或集中于对大坝的关注, 在定量化研究和梯级水库群累积效应方面研究相对薄弱^[3-4]. 本文以与生态环境系统演变有着紧密联系的河流水文条件作为研究对象, 通过水文变异法(range of variability approach, RVA)对梯级水库运行引发的在时间和空间上水文条件的累积变异进行定量化研究, 并分析由此可能引发的生态环境问题.

1 研究方法

RVA 以天然的、与生态相关的流量特征的统计分析为基础, 从量、时间、频率、延时和变化率 5 个方面的水文特征对河流进行描述, 通过对比不同时间的河流水文条件, 反映河流受水利工程建设及运行的影响程度^[5]. 其中水文特征一般采用水文改变指标(indicators of hydrologic alteration, IHA)来表征.

1.1 水文改变指标

水文改变指标主要以水文条件的量、时间、频率、延时和变化率 5 种基本特征为基础, 根据其统计特征划分为 5 组, 32 个指标(表 1). 其中流量平均减少率、增加率指相邻 2 日流量间的平均减少率及增加率; 逆转次数指河流日流量由增加变成减少或由减少变成增加的次数. IHA 表征的月流量状况、极端水文现象的大小与历时、极端水文现象的出现时间、脉动流量的频率与历时、流量变化的出现频率与变化率等特征参数, 与河流生态系统密切相关^[6-7]. 由于 IHA 具有蕴含生态信息、易采集、表征性强、多参数等特点, 常用来评价水文系统变化的程度及其对生态系统的影响, 尤其适用于受人类活动影响的河流.

表1 水文改变指标参数特征对河流生态系统的影响

Table 1 Parametric characteristics of IHA indices and their effect on river ecological system				
内容	指标序号	单位	IHA	对生态系统的表征
各月流量	1 2 ... 12	m ³ /s	各月份流量平均值	满足水生生物的栖息地需求、植物对土壤含水量的需求、具有较高可靠度的陆地生物的水需求、食肉动物的迁徙需求 以及对水温、含氧量的要求
年极端流量	13 ,14 ... 22	m ³ /s	年最大、最小 1 ,3 ,7 ,30 , 90 d 流量平均值	满足植被扩张、河流渠道地貌和自然栖息地的构建 ,河流和滞洪区的养分交换 ,湖、池塘、滞洪区的植物群落分布的需要
	23	m ³ /s	基流	
年极端流量发生时间	24 25	d	年最大、最小 1 d 流量发生时间	满足鱼类的洄游产卵、生命体的循环繁衍、生物繁殖期的栖息地条件、物种的进化需要
高、低流量的频率及延时	26 27	次	每年发生低流量、高流量的次数	产生植被所需的土壤湿度的频率和大小 ,满足滞洪区对水生生物的支持、泥沙运输、渠道结构、底层扰动等的需要
	28 29	d	低流量、高流量平均延时	
流量变化改变率及频率	30 31	%	流量平均减少率、增加率	导致植物的干旱 ,促成岛上、滞洪区的有机物的诱捕 ,低速生物体的干燥胁迫等行为
	32	次	每年流量逆转次数	

1.2 评估方法

RVA 是建立在分析 IHA 基础上的 ,以未受水利设施影响前水文指标的自然变化状态为基准 ,通过统计 32 个 IHA 建库前后的变化 ,分析河流受人类干扰后的改变程度 .具体判别方法为 :如果水利设施建成后受影响的水文指标值落在设定阈值内的比例与水利设施建设前的比例相当 ,则表示水利设施建设与运行对河流的影响轻微 ,仍然保有自然的流量变化特征 ,但若受影响的水文指标值落于设定阈值内的比例远大于或小于水利设施建设前的比率 ,则表示水利设施运行已经改变了原有河流的流量变化特性 ,此改变将可能进一步对河流生态水文系统产生严重的负面影响 .

评估阈值的设定是决定评估有效性的关键 ,应以生态方面受影响的资料为依据 .由于资料缺乏 ,本文设置以各指标 75% 和 25% 保证率对应的值作为各个指标的上下限 ,这与 Connell 等提出的中度干扰假说 (intermediate disturbance hypothesis ,IDH)基本符合 .

1.3 河流整体水文改变程度的计算

单一 IHA 的改变度

$$D_i = \left| \frac{Y_{oi} - Y_f}{Y_f} \right| \times 100\%$$

(1)

其中

$$Y_f = rY_T$$

式中 : D_i ——第 i 个 IHA 的改变度 ; Y_{oi} ——第 i 个 IHA 在水利设施建设后仍落于 RVA 阈值内的年数 ; Y_f ——水利设施建设后 IHA 预期落于 RVA 阈值内的年数 ; r ——水利设施建设前 IHA 落于 RVA 阈值内的比例 .若设置 75% 25% 为阈值范围 ,则 r 可取 50% ; Y_T ——水利设施建设后受影响流量数据的总年数 .

设定 :若 D_i 值介于 0 ~ 33% 间 ,则属于无或低度改变 ;若 D_i 值介于 33% ~ 67% 间 ,则属于中度改变 ;若 D_i 值介于 67% ~ 100% 间 ,则属于高度改变 .整体水文改变度以 D_0 表示^[8-9] :

$$D_0 = \left(\frac{1}{32} \sum_{i=1}^{32} D_i^2 \right)^{0.5}$$

(2)

权重选取或设计是水文整体改变度计算的关键问题 .由于不同水文指标引发的生态环境问题不同 ,若采用层次分析法或专家打分法 ,依据研究对象表现的生态问题对指标体系进行权重设计 ,则可能存在片面放大已有水文指标变异程度 ,而忽视其他潜在生态环境威胁的缺陷^[10] .因此 ,本文在整体改变度的计算中进行了等权重设计 .

2 实例研究

为了反映梯级水库运行对下游水文条件的累积影响 ,采用 RVA 分别对梯级水库运行引发的在时间和空间层面的累积变异进行定量化研究 .时间层面主要考虑梯级水库对同一断面在不同时间区段产生的影响 ,而空间层面则考虑同一时间区段内梯级水库不同空间分布下产生的累积影响 .

2.1 同一断面的时间累积影响

在黄河干流上,龙羊峡、刘家峡水库群是一个颇具代表性的梯级水库.在龙羊峡水库(1985 年建成)建成以前,刘家峡水库采取的是单一水库运行方式,龙羊峡水库建成后龙刘联合调度,极大地发挥了梯级水库的联合补偿作用.本文通过研究龙羊峡、刘家峡两库不同主导时段对下游河流生态水文系统的影响,定量分析无龙(羊峡)梯级水库(刘家峡、盐锅峡水库)运行和有龙(羊峡)梯级水库(龙羊峡、刘家峡、盐锅峡、八盘峡水库)运行 2 种不同水库组成模式对下游河流生态水文系统的累积影响和潜在规律.

采用 RVA 对刘家峡下游控制站兰州断面的实测水文过程进行分时段统计分析,在时段划分上重点体现不同运行方式对断面水文条件的影响.除了水库运行方式,龙羊峡、刘家峡以上及区间的用水也是影响下游水文条件变化的因素,必须给予考虑.通过对该河段用水历史序列进行分析,发现用水在 1975—2000 年间增长不大,仅占来水量的 6.2%,对河流水文条件影响较小.因此,结合水库不同运行方式的作用时间,设定 1975 年以前为天然状态,1975—1985 年为无龙梯级水库运行阶段,1986 以后为联合调度阶段,即有龙梯级水库运行阶段.通过评价可得到不同水库组合模式下的 RVA 结果,如图 1 所示.计算结果显示,无龙梯级水库运行和有龙梯级水库运行对下游水文特性的影响是不同的.无龙梯级水库运行阶段,与自然态相比,发生中度改变以下的指标有 23 个,占指标总数的 71%,而有龙梯级水库运行(龙刘联调)后中度改变以下的指标只有 14 个,较无龙梯级水库运行期减少近 40%.可见,随着梯级水库联合调度对水资源调蓄能力的增强,水库累积效应显著,水文条件的改变愈加强烈.在 32 个指标中,由龙刘联合运行而引发改变程度加剧(较单库运行)的指标有 18 个,占指标总数的 56%,改变程度减小的有 7 个,占指标总数的 22%,其余 7 个未发生明显变化.发生加剧变化的 18 个指标主要是极值指标与高流量参数.

对比两组指标变化,不难发现无龙和有龙梯级水库运行对下游各水文指标的影响是有差异的.表 2 列出了不同水库运行模式下,受影响最为强烈的几个水文指标.

从表 2 可以看出,无龙梯级水库运行主要改变下游枯水季流量、中长尺度最小流量、延时以及逆转次数,这主要是由于刘家峡主导运行期防洪能力有限,更多承担着下游宁蒙灌区补水和发电的任务,补枯作用显著所致.而龙刘联合运行后则主要对汛期的高流量和最大极值流量、频率和延时、基流和逆转次数产生了较强烈的影响.究其原因,龙刘联合运行后调蓄能力和防洪能力大大增强,大流量的水流过程(如洪水)被拦蓄在库中,造成部分水文特征缺失,从而引发相关水文指标的强烈变动,低流量指标因补枯作用深受影响.同时,由于龙刘两库运行隶属电力部门管理,受保证出力和调峰、调频需求的影响,水库的流量变化较自然态更为频繁,逆转次数增加幅度较大,这在 2 种运行模式的评估结果中均表现较为明显.

结合水文条件蕴含的生态意义,可以判断梯级水库运行方式改变后(即水文条件变异由枯季径流、逆转次数、低流量脉冲、最小极值等方面转变为最大极值流量、基流、逆转次数、高流量脉冲和汛期径流),可能由于最大极值(洪峰)和高流量脉冲的缺失和变小,使河道和滞洪区之间的养分输运不畅,影响滞洪区水生生物与周边植被的生长以及生物繁殖期内的行为过程和栖息环境.同时,频繁流量逆转也会对有些植物和有机物的生长产生较大的影响.除了负面的影响,梯级水库运行也对流域生态产生有益的作用,如增大河流基流,就会极大地满足枯水期下游水生生物的栖息地需求、植物对土壤含水量的需求以及对水温、含氧量要求等,对生态水文系统的安全和健康有着重要的意义^[11-12].

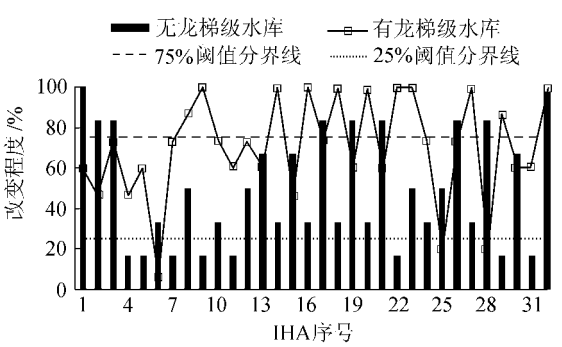


图 1 不同水库组成模式下兰州断面水文指标的改变程度
Fig. 1 Variation of IHA at Lanzhou station under different reservoir compositions

表 2 不同水库组成模式下改变强烈的水文指标
Table 2 Strongly changed IHA under different reservoir compositions

影响指标排序	无龙梯级水库运行	有龙梯级水库运行
1	1 月流量	最大日流量
2	逆转次数	基流
3	低流量延时	逆转次数
4	低流量次数	高流量之次数
5	最小 7、30、90 d 流量	高流量平均延时
6	2 月、3 月流量	8 月流量

2.2 不同断面的空间累积影响

除了时间上的累积, 梯级水库运行过程在空间方向上引发的水文条件的累积变异也是客观存在的. 1997 年以前, 黄河上游兰州断面以上水库依次分布有龙羊峡(1986 年建成)、刘家峡(1975 年建成)、盐锅峡(1970 年建成)、八盘峡(1980 年建成). 为了研究断面水文条件对梯级水库增加的响应结果, 应用 RVA 对同一时间段(1986—1997 年)内龙羊峡下游贵德站、刘家峡下游小川站、盐锅峡下游上迳站以及八盘峡下游兰州站的水文条件变异情势分别进行分析, 旨在分析梯级水库在不同空间分布下和不同类型的水库运行方式下引发的水文条件的累积效应. 同样忽略区间用水的影响.

由图 2 可知, 贵德断面受龙羊峡调节运行的影响, 发生了较大程度的改变, 整体改变度高达 81.8%, 所有水文指标中发生高度变异的占了 3/4, 说明龙羊峡作为多年调节水库, 调蓄能力较强, 联合运行后, 根据下游补偿要求相机供水, 致使下游贵德断面的水文条件发生强变异. 小川断面相比贵德断面变异程度有所减小, 整体改变度为 72.0%, 高度改变指标的比例下降为 59%, 而中度改变指标相比贵德提高了近 2 倍. 可见, 受区间入流和龙刘两库补偿调节累积作用的影响, 小川断面的水文变异较贵德要弱, 中低改变比例有所提高. 说明龙刘两库联合运行削减了龙羊峡水库单库运行产生的变异影响. 这与上一节同一断面的时间累积影响的结果是截然不同的. 对于无龙(1975—1985 年)和有龙(1986—1997 年) 2 个时间段而言, 有龙梯级水库联合运行较无龙梯级水库运行变异更强烈, 而对于有龙时间段而言, 龙刘梯级水库联合运行较龙羊峡单独运行产生的变异结果有所减弱. 上迳断面与小川断面的整体变异结果相近, 整体改变度为 68.6%, 表明盐锅峡水库对刘家峡水库下泄流量的调节影响不大. 这与盐锅峡与刘家峡水库的供水要求相近有关. 兰州断面受龙、刘、盐、八 4 库联合调节的影响, 其中八盘峡水库主要以发电为主. 将上迳断面与兰州断面进行对比, 发现发生高度改变的比例一致, 但中低部分有所差别, 其中部分上迳断面的低度变异指标在兰州断面转变为中度改变, 整体改变程度为 74.7, 较上迳断面略大. 说明径流通过八盘峡水库调节后, 水文条件的整体变异程度没有大的变化, 高度改变指标持平, 而中度变异指标比例略有提升. 可见径流式发电水库运行对水文条件的影响呈现出有限趋弊的特性.

虽然水文变异在整体上呈现出一定的宏观规律, 但具体指标的变化却是不同的. 通过对同一时间段不同指标空间变异序列的分析(表 3), 可发现在不同空间断面上, 相对稳定的指标有 3 月、6 月和 12 月平均流量, 最小 3、30、90 d 流量, 最大 1、7 d 流量, 基流以及逆转次数, 且除 6 月平均流量外均处于高度改变状态, 可见这些发生严重改变的水文指标主要受制于水库蓄丰补枯和相机发电放水的影响, 对水库数量和空间位置的变化反映则不敏感. 研究表明, 随着梯级水库空间累积变化, 8—10 月平均流量、最小 1 d 流量发生时间、高低脉冲数量与延时以及平均减少率等指标发生了较大变异. 其中平均流量的变异呈马鞍形分布, 表明龙刘两库联

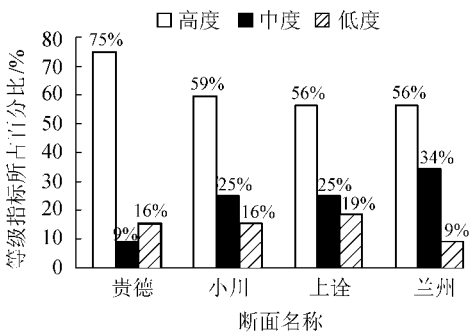


图 2 不同断面改变度分布
Fig. 2 Distribution of variation degrees of IHA at different stations

表 3 不同断面水文指标的改变程度																
Table 3 Variation of IHA at different stations																
断面	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	最小 1d 流量	最小 3d 流量	最小 7d 流量	最小 30d 流量
贵德	●	●	●	○	◎	○	●	●	●	●	◎	●	●	●	●	●
小川	●	●	●	◎	●	○	●	○	◎	●	○	●	◎	●	●	●
上迳	●	●	●	◎	◎	○	◎	◎	○	○	○	●	◎	●	◎	●
兰州	◎	◎	●	◎	◎	○	●	●	●	●	◎	●	◎	●	◎	●
断面	最小 90d 流量	最大 1d 流量	最大 3d 流量	最大 7d 流量	最大 30d 流量	最大 90d 流量	基流	最小发生时间	最大发生时间	低流量次数	低流量延时	高流量次数	高流量延时	增加率	减少率	逆转次数
贵德	●	●	●	●	●	●	●	○	◎	●	○	●	○	●	●	●
小川	●	●	●	●	●	◎	●	●	○	◎	○	◎	○	●	○	●
上迳	●	●	●	●	●	◎	●	●	○	○	●	○	●	●	●	●
兰州	●	●	◎	●	◎	●	●	●	○	●	●	○	●	◎	◎	●

注：●表示高度改变；◎表示中度改变；○表示低度改变。

合调度后,汛后期水文条件有所恢复,但下游盐锅峡、八盘峡水库因发电要求而汛后蓄水,导致9月和10月平均泄流量较少。受梯级水库累积作用的影响,水文指标中的最小1d极值出现的时间较自然状态差异较大,且沿水库增加方向具有递增趋势,年内落点波动范围广,在枯水期呈现不规则状态。高、低脉冲的数量及延时受水库群累积作用影响较为明显。随水库空间累积变化,大体趋势呈现出高低脉冲次数增加、而平均延时渐短的态势。

为了进一步分析梯级水库空间累积的影响,对不同断面间的指标变化进行对比,发现龙刘水库联合运行阶段,改变下游水文条件的主要是龙羊峡水库,而刘家峡水库的反调节作用对水文条件影响较小。由表3可见,相比贵德断面,小川断面的跨级变化指标有12个(趋好8个,趋避4个),其中跃级变化3个(趋好2个,趋弊1个)。泄流经盐锅峡调蓄后,下游水文条件发生了一定变化,跨级变化11个(趋好7个,趋避4个),其中跃级指标4个(趋好3个,趋避1个),主要集中在汛末流量、高低脉冲延时以及平均减少率上。八盘峡作为径流式日调节水库,其调蓄能力有限,引发的跨级变化指标有13个(趋好6个,趋弊7个),跃级3个(趋好0个,趋弊3个)。可见在梯级水库的空间累积效应上,下游的综合利用水库对上游水库所产生的变异状态有修复的作用,即趋于有利,而以发电为主的水库对下游水文条件的影响是趋弊的,但从整体上看,趋弊的程度有限。

从水文指标的生态含义分析,黄河上游梯级水库运行可能引发河流生态系统稳定性变差、河道地貌及自然栖息地的构建作用不足等问题,且由于最大极值(洪峰)变小,河岸滩养分输运通道缺失,可能影响滞洪区水生生物与周边植被的生长,对生态系统不利。但水库为保障供水和最小发电要求而引发的基流增大会极大改善枯水期河道生态环境,满足水生生物和河道植被在枯水期的生存需求,对保障生态系统安全尤为重要。空间累积效应引发了水文指标在空间上的差别变异,尤其是汛期水量、最小极值发生时间和高流量脉冲等指标。由于高脉冲流量延时较短,可能使河流对滞洪区水生生物的支持、泥沙运输、渠道结构、底层扰动等功能的满足程度下降,同时由于极值发生时间的不稳定,可能对生物特别是鱼类的回游产卵和繁殖等行为产生影响。但从整体上看,水文条件在累积作用下是大体趋利的,因此黄河上游梯级水库累积对生态系统的影响也是趋于正面的,但个别生态隐患客观存在,在河流生态保护过程中必须给予重点关注。

3 结 论

a. 梯级水库的时间累积效应表现为:有龙梯级水库联合运行较无龙梯级水库运行产生的影响更大,累积效应明显。

b. 水库的空间累积效应显示:沿着梯级水库累积方向,水文变异的整体程度呈减小趋势;下游的综合利用水库对上游水库所产生的变异状态有修复的作用,即趋于有利,而以发电为主的水库对下游水文条件的影响呈有限趋弊态势。

c. 累积效应在具体指标上呈现出如下规律:(a)部分指标对水库累积不敏感,主要与水库蓄丰补枯或相机供水发电等操作的模式影响;(b)沿累积方向,8—10月平均流量、最小1d流量发生时间、高低脉冲数量与延时以及平均减少率等指标改变较大。

d. 本文分析忽略了区间用水,而实际上小川断面和兰州断面区间伴有汇流和引水,这对确定的累积影响的结果肯定是有影响的。

参考文献:

- [1] 徐福留,卢小燕,周家贵,等.大型水利工程环境影响评价指标体系及模糊综合评价[J].水土保持通报,2001,21(4):10-15.
(XU Fu-liu, LU Xiao-yan, ZHOU Jia-gui et al. Indicators and fuzzy cluster method for comprehensive environmental impact assessment of large scale water conservancy engineering[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, 21(4): 10-15. (in Chinese))
- [2] 蒋国政,韩小波.汉江中下游干流梯级开发环境影响特点分析[J].水电站设计,1998,14(4):86-88.(JIANG Gu-zheng, HAN Xiao-bo. Analysis on environmental effect from cascade reservoir development on Han river[J]. Design of Hydroelectric Power Station, 1998, 14(4): 86-88. (in Chinese))
- [3] 杨丽虎,陈进,常福宣.梯级水库对生态系统基流的累积影响[J].武汉大学学报(工学版),2007,40(3):22-26.(YANG Li-hu, CHEN Jin, CHANG Fu-xuan. Cumulative effects of multi-reservoirs on ecological base flow[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2007, 40(3): 22-26. (in Chinese))
- [4] 李兰,李亚农,袁旦红,等.梯级水电工程水温累积影响预测方法探讨[J].中国农村水利水电,2008(6):86-90.(LI Lan, LI

- Ya-nong ,YUAN Dan-hong ,et al. An approach to prediction method of cumulative impact of water temperature on the cascade hydropower project[J]. China Rural Water and Hydropower 2008(6) :86-90.(in Chinese))
- [5] RICHTER B D ,BAUMGARTNER J V ,BRAUN D P ,et al. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network[J]. Regulated River Research and Management ,1998 ,14(4) :329-340.
- [6] ROSENBERG D M ,MECULLY P ,PRINGLE C M. Global-scale environment effects of hydrological alterations :introduction[J]. BioScience 2000 50(9) :746-751.
- [7] SUEN J P ,HERRICK E E ,EHEART J W. Eco-hydrologic indicators for rivers of northern Taiwan[C]//ASCE/EWRI World Water and Environmental Resources Congress. Salt Lake City Utah 2004 :1-9.
- [8] SHIAU J T ,WU Fu-chun. Feasible diversion and instream flow release using range of variability approach[J]. Journal of Water Resources Planning and Management 2004 ,130(5) :395-404.
- [9] SHIAU J T ,WU Fu-chun. Compromise programming methodology for determining instream flow under multi-objective water allocation criteria[J]. Journal of American Water Resources Association 2006 42(5) :1179-1191.
- [10] 张洪波 ,王义民 ,黄强 ,等. 基于 RVA 的水库工程对河流水文条件的影响评价[J]. 西安理工大学学报 ,2008 ,24(3) :262-267.(ZHANG Hong-bo ,WANG Yi-min ,HUANG Qiang ,et al. Effects of reservoir engineering based on RVA upon river flow regime[J]. Journal of Xi 'an University of Technology 2008 24(3) :262-267.(in Chinese))
- [11] 张洪波 ,辛琛 ,王义民 ,等. 宝鸡峡引水对渭河水文规律及生态系统的影响[J]. 西北农林科技大学学报 :自然科学版 ,2010 ,38(4) :226-234.(ZHANG Hong-bo ,XIN Chen ,WANG Yi-min ,et al. Influence of drawing water to Baojixia irrigation area on hydrologic regularity and ecosystem of Weihe River[J]. Journal of Northwest A & F University :Natural Science Edition 2010 38(4) :226-234.(in Chinese))
- [12] 刘兰芬. 河流水电开发的环境效益及主要环境问题研究[J]. 水利学报 ,2002(8) :121-128.(LIU Lan-fen. Study on beneficial and harmful effects to environment for hydroelectric development of river basin[J]. Journal of Hydraulic Engineering 2002(8) :121-128.(in Chinese))

Cumulative effects of operation of cascade reservoirs on hydrological conditions in upper reaches of Yellow River

ZHANG Hong-bo¹ , HUANG Qiang² , ZHANG Shuang-hu³

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

2. Key Lab of Northwest Water Resources and Environment Ecology of MOE , XAUT , Xi'an 710048 , China ;

3. Department of Water Resources , China Institute of Water Resources and Hydropower Research , Beijing 100038 , China)

Abstract: The range of variability approach (RVA) was used to study the quantitative cumulative variation of hydrological conditions in time and space caused by the operation of cascade reservoirs. It was shown that from the time aspect , the variation of hydrological indices with the operation of Longyangxia Reservoir was severer than that without the operation of it and 56% of them were worse , including parameters of extreme values and high flow discharges. From the space aspect , the overall level of the variation of the hydrological indices had a decreasing tendency along the accumulative direction of the cascade reservoirs. However , some indices of the average flows in March and December , the minimum flows in 3 , 30 and 90 days , the maximum flows in 1 and 7 days , the basic flows and the numbers of hydrological reversals had serious variation and were not sensitive to the space cumulative change of the reservoirs. Through a comparative analysis , conclusion are drawn that the downstream reservoirs can restore the impact from the upstream ones , but the reservoir objected to generate power will make the hydrological conditions be worse at a limited degree.

Key words : cascade reservoir ; hydrological condition ; cumulative effect ; range of variability approach ; upper reach of Yellow River