

梯级水电开发对大通河流域洪水过程的影响分析

黄维东¹, 牛最荣¹, 刘彦娥², 王毓森¹

(1.甘肃省水文水资源局,甘肃 兰州,730000; 2.黄河水利委员会水文局,河南 郑州,450004)

摘 要:应用大通河流域实测洪水资料和水利普查数据,定性和定量分析了梯级水电开发对流域洪水过程和洪水特征的影响,建立了梯级水电站数量与洪水涨落率、涨落频次的数学关系模型。结果表明:随着流域水电站数量的增多,洪水过程变化频繁,洪水涨落率增大,涨落频次增多;梯级水电开发使流域最大洪峰流量增大了19.7%~21.5%,最大洪峰传播时间减少了6.1%,而对次洪水总量的影响较小。研究水文过程受人类活动的影响规律,对加强流域水电站统一调度、水能水资源可持续利用和水生态文明建设具有十分重要的意义。

关键词:梯级水电站;洪水过程;洪水涨落率;洪水涨落频次;影响分析;大通河

中图分类号:P333

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2016)04-0058-08

20世纪90年代以来,随着我国经济社会的快速发展,流域水能水资源的开发力度加大,一方面缓解了区域电力、水资源供需矛盾,优化能源结构,改善了偏远地区的生产生活条件,在促进当地经济社会发展中发挥了十分重要的作用。另一方面,在加快流域水能水资源开发中出现了规划管理滞后、资源抢夺、生态破坏等诸多问题,特别是一些地区和企业在流域内修建了许多梯级水电站,由于只注重经济效益和眼前利益,呈现无序开发和缺乏统一调度,致使河道水量变化频繁,出现部分河段断流、生态环境恶化,使下游防洪和用水安全受到严重影响^[1-3]。20世纪90年代以来,大通河流域干支流修建水电站达34座,水电开发在促进区域经济发展的同时,对流域水生态环境产生了严重影响^[4-6]。应用水文监测资料,研究洪水过程受梯级水电站影响的内在规律和量化关系,对研究水文过程受人类活动的影响规律,加强流域水电站统一调度、水能水资源可持续利用和水生态文明建设具有十分重要的意义^[7-9]。因此通过洪水涨落率、涨落频次分析研究洪水过程,建立与梯级水电站数量数学关系,揭示梯级水电开发的水文效应^[10-12]。

1 流域概况

大通河发源于青海省天峻县托勒南山,是黄河的

二级支流、湟水的最大一级支流,流域面积15 130 km²,干流全长560.7 km,天然落差2 793 m,平均比降5‰。流域狭长,两岸支流分布均匀,河流水系呈羽状分布,上游主要支流有唐莫日曲、可可赛河、娘姆作沟、拉巴曲、武松塔拉河、萨拉沟、莱斯图曲、永安西河;中游主要有老虎沟、讨拉沟河、塔里花沟、珠固寺沟、浪土当沟、扎龙沟、金沙峡、水磨沟等;下游河段无较大支流汇入。地形西高东低,山峦起伏,地势高耸。流域多年平均降水量495.3 mm,年蒸发量765 mm,年平均气温-0.3~8.0℃,热量不足,气候较寒冷。

大通河径流来源主要为降水、冰雪融水和地下水补给,多年平均流量88.8 m³/s,年径流量28.01×10⁸ m³,径流年际变化稳定,年内分配主要集中在5~10月,占全年的82.2%~87.9%。流域水资源总量为28.95×10⁸ m³,2010年总供水量6.07×10⁸ m³,其中流域内供水2.12×10⁸ m³,引疏济金工程供水0.33×10⁸ m³,引大入秦工程供水3.62×10⁸ m³,水资源开发利用率为21.0%,水资源开发利用程度相对较低。现有地表水供水工程235座,地下水井68眼,总供水能力2.8×10⁸ m³;集雨工程5 950处,雨水年利用量22×10⁴ m³;梯级电站34座,总装机容量476.4 MW。大通河流域水系及水电站分布见图1。

收稿日期:2015-06-02

基金项目:国家自然科学基金项目(91125015);水利部公益性行业科研专项经费项目(201301083)

作者简介:黄维东(1968-),男,甘肃榆中人,教授级高级工程师,主要从事水文水资源研究工作。E-mail:gsdxhwd@163.com

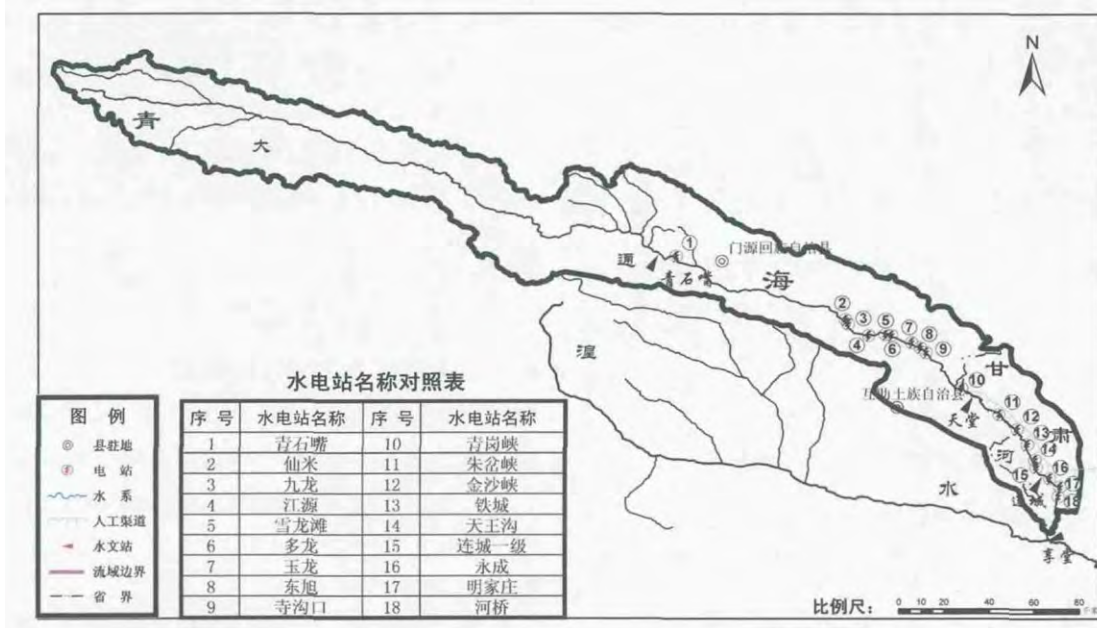


图1 大通河流域水系及水电站分布图

Fig.1 Distribution of the tributaries and hydropower stations in the Datonghe River basin

2 代表站选取及资料代表性分析

大通河从上游到下游设有尕日得、青石嘴、天堂、连城、享堂等5处水文站,均为国家重要水文站,把口站享堂水文站控制流域面积 15 126km²。各站实测资料系列均在 54a 以上,资料精度较高。由于梯级水电站主要分布在青石嘴站以下、连城站以上区间,水电站的调蓄能力较小,对月年径流总量影响较小,水电站群主要影响天堂、连城两站的洪水过程,为此,本次选取青石嘴、天堂、连城、享堂站的实测资料进行代表性分析,重点分析梯级水电站对天堂、连城站洪水过程的影响。主要水文站特征值见表 1。

表1 主要水文站特征值表

Table1 Characteristic values at the important stations

站名	集水面积 / km ²	距河口距离 / km	设站年份	年平均流量 / m ³ ·s ⁻¹	年径流深 / mm
青石嘴	7 893	264	1953	50.6	202.2
天堂	12 574	100	1958	76.7	192.4
连城	13 914	40	1947	83.4	189.0
享堂	15 126	1.9	1940	88.8	185.2

绘制代表站历年平均流量差积曲线(图 2),可以看出,20 世纪 60 年代为平水段,50 年代和 80 年代为丰水段,70 年代和 90 年代以后为枯水段。在历年径流系列中包含有一个平水段、两个丰水段、两个枯水段,从周期性来看,系列具有丰、枯水年交替出现的特点,具有一

定的代表性,资料系列能够满足分析计算的需要。

3 梯级水电站对流域洪水过程的影响分析

3.1 流域梯级水电开发

根据青海、甘肃两省水利普查成果,从 20 世纪 90 年代开始,大通河流域水电开发速度持续加快,至 2012 年已建成梯级电站 34 座(其中连城站以上 30 座),总装机容量 476.4MW,其中干流 24 座、支流 10 座。目前在建的电站有 8 座,总装机容量 199.7MW,其中干流 4 座、支流 4 座。已建成水电站中,30 座为引水式电站,4 座为闸坝式电站,这些水电站库容小,没有调蓄能力,但在洪水期多座电站同时泄水会瞬间加大河道流量,枯水期蓄引水又会使减水河段水量减少,甚至发生断流,因此,梯级电站对河道来水量和生态

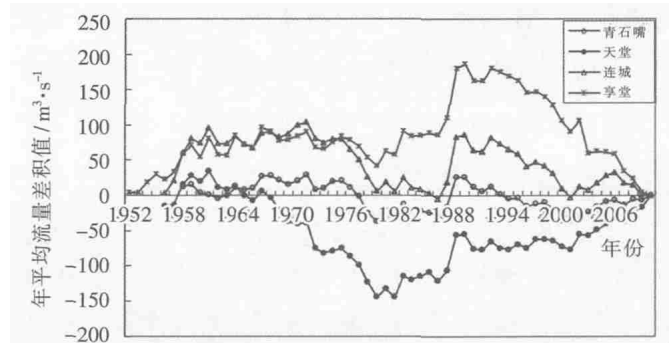


图2 主要代表站历年平均流量差积曲线图

Fig.2 The accumulative difference curve for the average flow at the important stations in the Datonghe River basin

环境影响十分显著。已建成水电站数及装机容量累积变化情况见图3。

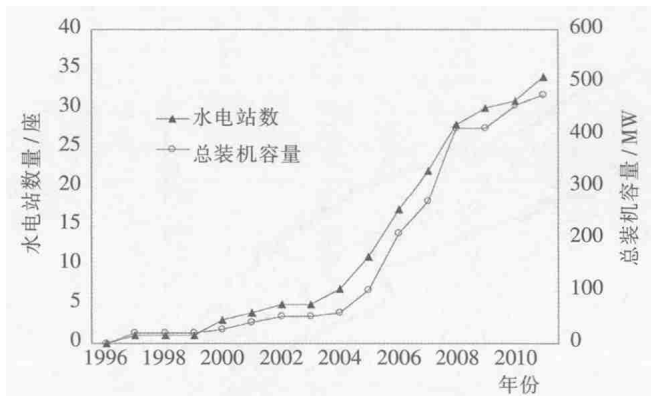


图3 大通河流域水电站数及装机容量累积变化图

Fig.3 The change of the hydropower stations and installed capacity in the Datong River basin

3.2 水电站对流域洪水过程的影响分析

本次分析主要选取大通河流域受水电站影响的干流代表站历年最大洪水资料,分析水电站建设前、后洪水过程变化的差异性,定量分析洪水涨落率、涨落频次与梯级水电站规模的关系。点绘水电站建设前、后期天堂、连城站年内最大的一场洪水过程线(图4),水电站建设前的1990年洪水过程变化相当平稳,一般出现3~5次洪峰过程;到2000年流域内建成水电站仅3座,代表站的洪水过程总体平稳,个别时段受电站蓄放水影响呈现陡涨陡落的特征,两站分别出现15次、59次洪峰过程;到2005年建成水电站11座,代表站的洪水过程总体较为平稳,局部时段受电站蓄放水影响呈现陡涨陡落的特征,涨落频次增多,出现34次、50次洪峰过程;至2012年连城站以上流域已建成水电站30座,代表站的洪水过程变化十分剧烈,峰形呈现锯齿状,出现51次、361次洪峰过程。正是梯级水电站人为蓄放水,使天然的洪水过程由平稳状态转变为剧烈变化状态,而且随着水电站的增多,这种影响显著增加,对下游连城站的影响比上游天堂站更大。

4 水电站对洪水特征的影响分析

4.1 梯级电站数量与洪水涨落率关系分析

为了进一步定量分析水电站对洪水涨落速度的影响程度,建立梯级电站数量与洪水涨落率的关系模型。以单位时间内洪水流量的变化量表示洪水的涨落率^[13]。洪水涨落率可用下式表示:

$$q = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{Q_i - Q_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \quad (1)$$

式中: q 为洪水涨落率; ΔQ 为时段流量变化量; Δt 为时段; Q_i 、 Q_{i-1} 为时段末、时段初流量; t_i 、 t_{i-1} 为时段末、时段初时间。

选取天堂、连城站1985年、1990~2012年历年包括最大洪水在内的一场连续洪水过程,大通河每年最大的洪水过程一般持续10~20d左右。计算洪水过程各时段洪水流量的涨落率,分上涨和回落两种情况统计,上涨率为正数,回落率为负数,统计每年典型洪水过程各时段上涨率和回落率的平均值和最大值,见表2。从表中可以看出,天堂、连城站洪水上涨率、回落率的平均值、最大值随着水电站数量的增加而总体呈现增大趋势。

点绘天堂、连城站洪水平均涨落率(q)~水电站数(n)关系如图5所示,拟合洪水平均涨落率与水电站数量的关系式如下:

天堂站平均上涨率 q_{TZ} 和回落率 q_{TL} 分别为:

$$q_{TZ} = 12.121e^{0.1113n} \quad (2)$$

$$q_{TL} = 0.0541n^2 - 5.9467n + 2.1422 \quad (3)$$

连城站平均上涨率 q_{LZ} 和回落率 q_{LL} 分别为:

$$q_{LZ} = 16.232e^{0.0824n} \quad (4)$$

$$q_{LL} = 0.0085n^2 - 4.4753n - 1.6711 \quad (5)$$

洪水平均涨落率与水电站数量相关关系较好,相关系数在0.806~0.907之间。

点绘天堂、连城站洪水最大涨落率(q_{max})~水电站数(n)关系如图6所示,建立洪水最大涨落率与电站数量的关系式如下:

天堂站最大上涨率 q_{TZmax} 和回落率 q_{TLmax} 分别为:

$$q_{TZmax} = 71.467e^{0.1528n} \quad (6)$$

$$q_{TLmax} = -0.9647n^2 - 28.792n + 2.1916 \quad (7)$$

连城站最大上涨率 q_{LZmax} 和回落率 q_{LLmax} 分别为:

$$q_{LZmax} = 168.93e^{0.0834n} \quad (8)$$

$$q_{LLmax} = 1.9616n^2 - 92.306n + 35.36 \quad (9)$$

洪水最大涨落率与水电站数量相关关系较好,相关系数在0.700~0.845之间。

综上所述,洪水涨落率受水电站数量的影响,二者相关关系总体较好,但个别年份数据点突出,这主要与当年来水情况、水电站数量增加情况有关,如2011年最大洪水较正常年份偏小,洪水变化相对平稳,涨落率明显偏小;2006年后水电站数量增加很快,洪水变化更为复杂,个别年份洪水涨落率出现偏大现象。

根据表2数据分析,1996年以前,天堂、连城站以上尚未建水电站,天堂站洪水平均涨落率分别为每小时 $13\text{m}^3/\text{s}$ 、 $-5\text{m}^3/\text{s}$,连城站洪水平均涨落率分别为每小

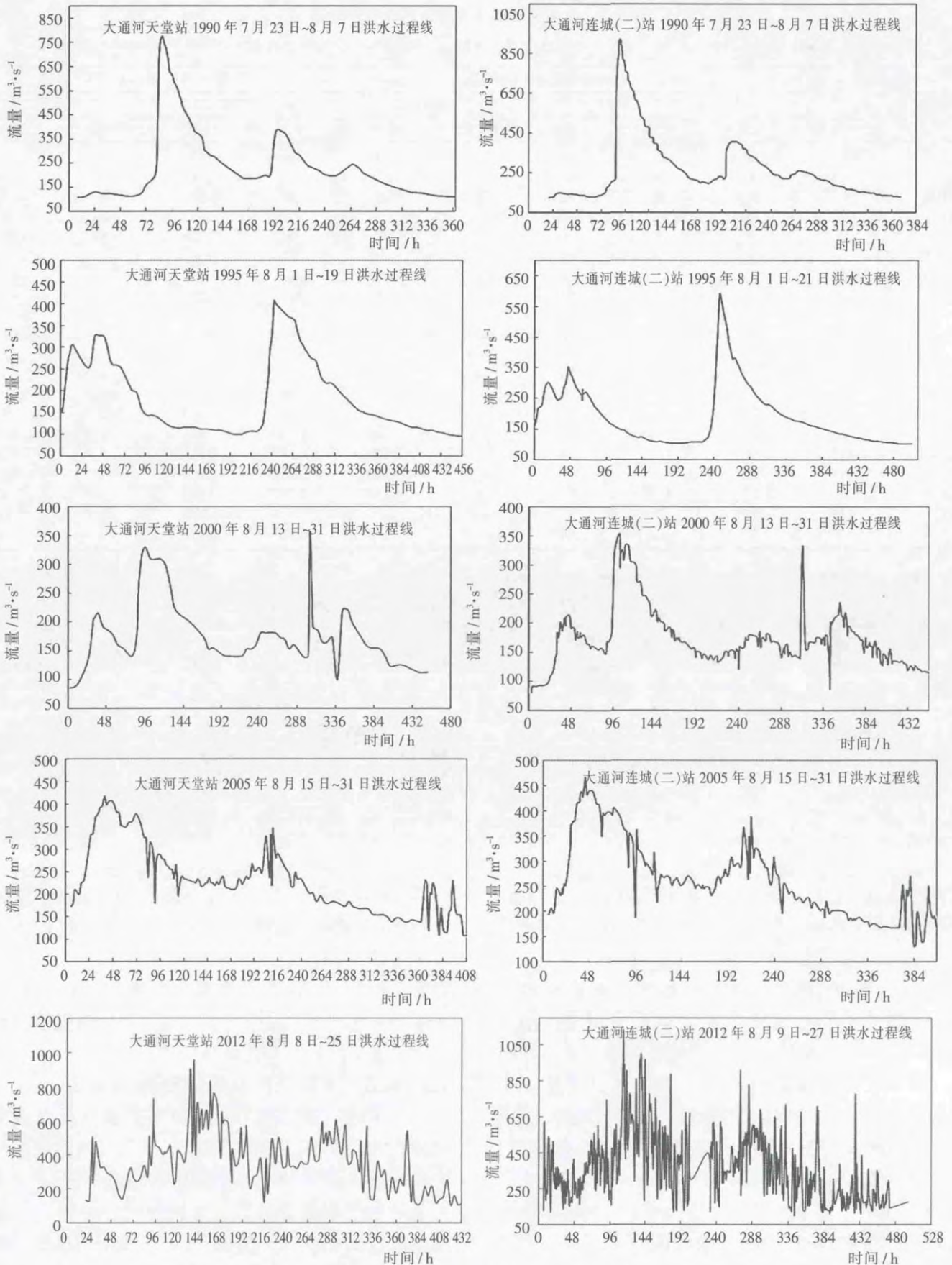
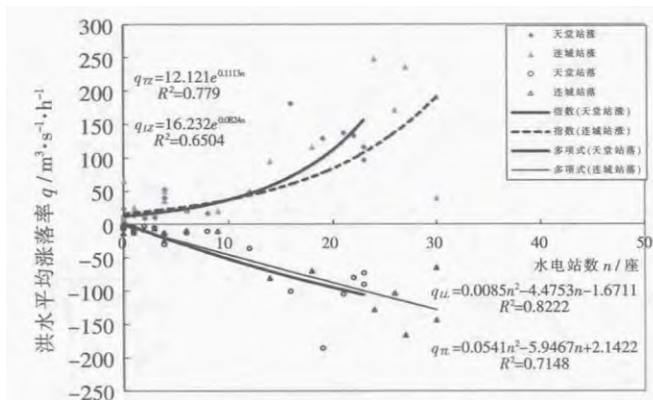


图4 大通河主要代表站典型洪水过程线图
Fig.4 The flood hydrographs for the important stations in the Datonghe River basin

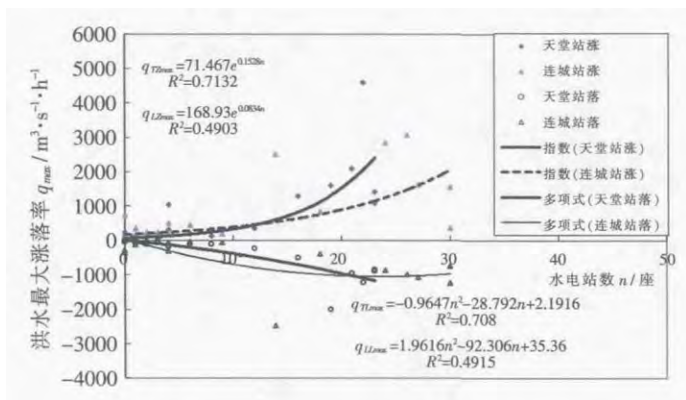
表2 代表站洪水涨落率与水电站数对照表

Table2 The flood fluctuation at rate of the important hydrometry stations and the number of the hydropower stations

年份	水电站数/座		平均涨落率 / $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$				最大涨落率 / $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$			
			上涨率		回落率		上涨率		回落率	
	天堂	连城	天堂	连城	天堂	连城	天堂	连城	天堂	连城
1985	0	0	5	6	-5	-2	14	17	-21	-7
1990	0	0	23	64	-7	-14	224	726	-53	-290
1995	0	0	12	12	-2	-5	39	60	-9	-30
1996	0	0	11	9	-6	-5	123	74	-43	-26
1997	1	1	14	15	-5	-8	130	339	-58	-52
1998	1	1	17	16	-5	-10	71	165	-24	-48
1999	1	1	12	24	-8	-13	35	317	-33	-120
2000	2	2	8	13	-2	-9	108	226	-41	-98
2001	3	3	9	15	-6	-6	37	232	-30	-30
2002	4	4	39	34	-16	-13	300	221	-169	-68
2003	4	4	52	48	-30	-25	1 030	486	-198	-320
2004	6	6	20	20	-13	-10	171	428	-100	-41
2005	8	9	15	19	-11	-10	126	171	-114	-59
2006	12	14	48	93	-36	-82	352	2 485	-224	-2 480
2007	16	18	181	115	-101	-70	1 270	830	-505	-395
2008	19	24	129	248	-186	-129	1 580	2 817	-2 000	-880
2009	21	26	137	171	-105	-104	2 080	3 055	-960	-999
2010	22	27	133	235	-80	-166	4 588	1 607	-1 213	-1 077
2011	23	30	95	38	-73	-65	1 070	354	-885	-1 235
2012	23	30	115	190	-91	-144	1 403	1 542	-845	-739

图5 代表水文站洪水平均涨落率(q)-水电站数(n)关系图Fig.5 Relationship between the magnitude of flood fluctuation (q) at the important hydrometry stations and the number of hydropower stations (n)

时 $23\text{m}^3/\text{s}$ 、 $-7\text{m}^3/\text{s}$; 1997~2005 年两站以上建成水电站近 10 座, 天堂站洪水平均涨落率分别为每小时 $21\text{m}^3/\text{s}$ 、 $-11\text{m}^3/\text{s}$, 连城站洪水平均涨落率分别为每小时 $23\text{m}^3/\text{s}$ 、 $-12\text{m}^3/\text{s}$, 比尚未建水电站时涨落率均增加了 2 倍; 2006~2012 年两站以上建成水电站 10 余座, 天堂站洪水平均涨落率分别为每小时 $120\text{m}^3/\text{s}$ 、 $-96\text{m}^3/\text{s}$, 连城站洪水平均涨落率分别为每小时 $156\text{m}^3/\text{s}$ 、 $-109\text{m}^3/\text{s}$, 比尚未建水电站时上涨率增加了 7 倍和 9 倍, 回落率增加了 17 倍和 19 倍。可见梯级水电站数量对洪水的涨落率影响十分显著, 而且对洪水回落的影响要比上涨的影响大, 主要反映了洪水上涨速度较快、水电站为了自

图6 代表水文站洪水最大涨落率(q_{\max})-水电站数(n)关系图Fig.6 Relationship between the maximum flood fluctuation at the important hydrometry stations (q_{\max}) and the number of hydropower stations (n)

身安全会尽量下泄来水, 对上涨率影响相对较小, 而回落期间水情相对平稳、水电站一般会加大蓄水发电致使河道下泄水量骤减的事实^[14]。

4.2 梯级电站数量与洪水涨落频次关系分析

为了进一步定量分析水电站数量对洪水涨落变化频次的影响程度, 建立梯级电站数量与洪水涨落频次的关系模型^[15]。在一场连续的洪水过程中, 洪水涨落变化的频繁程度或者说洪水的稳定性可用流量的涨落频次 N 表示。一般情况下, 一场天然的洪水如果只有一次洪峰过程, 流量从上涨到回落, 涨落变化频次 N 为 1; 如果有 2 次洪峰过程, 流量从上涨到回落、从回

落到上涨、再从上涨到回落,涨落变换频次 N 为 3;如果有 m 次洪峰过程,涨落频次 $N=2m-1$ 。因此,洪水涨落频次 N 的计算方法可归纳如下:

(1)直接统计洪峰次数 m ,用下式计算:

$$N=2m-1 \quad (10)$$

(2)可用相邻两个时段涨落率 q 的正负号来判断,即当相邻两个时段的流量同时增大或同时减小时, q_{i-1} 、 q_i 同号,涨落频次为 0;当相邻两个时段的流量一个增大、一个减小时, q_{i-1} 、 q_i 异号,涨落交替次数为 1;当相邻时段的流量相同时, $q_i \times q_{i-1} = 0$, 这时要判断时段 i 前后的 q_{i-1} 与 q_{i+1} 符号,二者同号涨落频次为 0,二者异号涨落交替次数为 1。一场洪水涨落变化频次总数 N 可用下式计算:

$$N = \sum_{i=1}^p N_i$$

$$\begin{cases} q_i \times q_{i-1} < 0 \text{ 时}, N_i = 1 \\ q_i \times q_{i-1} > 0 \text{ 时}, N_i = 0 \\ q_i \times q_{i-1} = 0, \text{ 且 } q_{i-1} \times q_{i+1} < 0 \text{ 时}, N_i = 1 \\ q_i \times q_{i-1} = 0, \text{ 且 } q_{i-1} \times q_{i+1} \geq 0 \text{ 时}, N_i = 0 \end{cases} \quad (11)$$

式中: p 为时段数; q_{i-1} 、 q_i 、 q_{i+1} 为三个相邻时段 $i-1$ 、 i 、 $i+1$ 的涨落率。

一场天然的洪水一般有 3~5 次洪峰过程,由于水电站的干扰,洪水过程变得更为复杂,涨落变化频繁,涨落频次 N 随着水电站数量 n 的增加而增多。涨落频次 N 与水电站数 n 的关系式可表达如下:

$$N=f(n) \quad (12)$$

统计分析代表站以上水电站数与该站历年最大洪水涨落频次见表 3,可知随着水电站数量的增多,洪水涨落频次呈增多趋势。

点绘代表站洪水涨落频次与水电站数的关系如

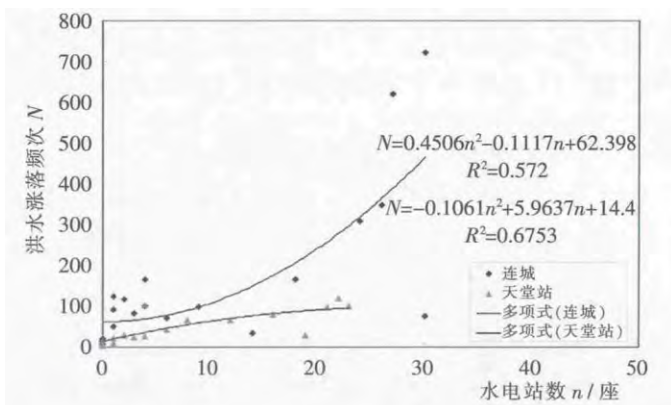


图 7 代表水文站洪水涨落频次(N)与水电站数量(n)关系图

Fig.7 Relationship between the flood fluctuation frequency (N) at the important hydrometry stations and the number of the hydropower stations (n)

表3 洪水涨落频次与水电站数对照表
Table3 The flood fluctuation frequency at the important hydrometry stations and the number of the hydropower stations

年份	天堂站		连城站	
	水电站数/座	涨落频次	水电站数/座	涨落频次
1985	0	5	0	14
1990	0	9	0	8
1995	0	10	0	16
1996	0	15	0	21
1997	1	23	1	93
1998	1	11	1	125
1999	1	7	1	51
2000	2	29	2	117
2001	3	25	3	83
2002	4	27	4	101
2003	4	103	4	167
2004	6	43	6	71
2005	8	67	9	98
2006	12	66	14	34
2007	16	80	18	165
2008	19	29	24	309
2009	21	98	26	347
2010	22	121	27	620
2011	23	102	30	77
2012	23	101	30	721

图7所示,分别拟合天堂、连城站的洪水涨落频次 N 与水电站数 n 的关系式:

$$\text{天堂站: } N = -0.1061n^2 + 5.9637n + 14.4 \quad (13)$$

$$\text{连城站: } N = 0.4506n^2 - 0.1117n + 62.398 \quad (14)$$

洪水涨落频次与水电站数的相关关系总体较好,相关系数在 0.756~0.822 之间,但个别年份数据点突出,这主要与当年来水、水电站数量增加情况有关,如 2003 年最大洪水较正常年份偏大,洪水涨落频次明显偏多,2011 年最大洪水较正常年份偏小,洪水涨落频次明显偏少。

根据表 3 数据分析,1996 年以前,天堂、连城站以上尚未建水电站,洪水涨落频次平均为 10 次、15 次;1997~2005 年两站以上建成水电站在 10 座以内,洪水涨落频次平均为 37 次、101 次,比尚未建水电站时涨落频次增加了 4 倍和 7 倍;2006~2012 年两站以上建成水电站 10 余座,洪水涨落频次平均为 85 次和 325 次,比尚未建水电站时涨落频次增加 9 倍和 22 倍。可见,梯级水电站数量对洪水的涨落频次影响十分显著。

4.3 对流域洪峰流量及次洪总量的影响分析

天堂、连城站历年最大洪峰流量见图 8,可见两站的最大洪峰流量历年呈增大趋势,特别是梯级水电开发后两站的最大洪峰流量加大,而且对应关系变差。水电开发以前的 1977~1996 年,天堂、连城站历年最大洪峰流量平均值分别为 $568\text{m}^3/\text{s}$ 和 $629\text{m}^3/\text{s}$,水电开发以后的 1997~2012 年,两站的最大洪峰流量平均值

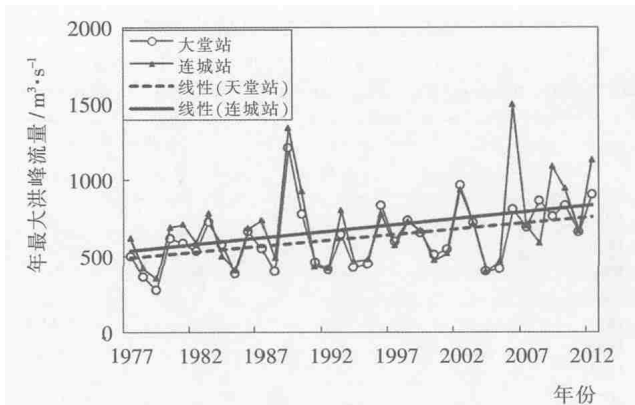


图8 大通河上下游站历年最大洪峰流量对比

Fig.8 Variation of the largest peak discharges at the upper and lower sections of the Datonghe River

为 $690\text{m}^3/\text{s}$ 和 $753\text{m}^3/\text{s}$, 分别增大了 21.5% 和 19.7%; 两站的最大洪峰传播时间则由 3.96h 减少到 3.72h, 减少了 6.1%; 两站历年最大洪水总量见图 9, 可见次洪水总量的变化基本一致, 部分年份上下游站水量呈现不平衡, 主要是区间有引大入秦工程跨流域引水所致。综上所述, 梯级水电站对洪峰流量和洪水传播时间有一定影响, 但由于自身库容较小, 调序作用有限, 对洪水总量的影响较小。

5 结论

(1) 大通河流域水电开发起始于 20 世纪 90 年代, 2003 年后开发速度持续加快, 至 2012 年已建成梯级电站 34 座, 总装机容量 476.4MW, 这些水电站对流域水文过程的影响十分显著, 在洪水期多座电站同时泄水会瞬间加大河道流量, 枯水期蓄引水又会使河道水量减少, 甚至发生断流, 对天然径流过程的干扰增加, 对流域下游防洪安全构成严重威胁, 对水资源可持续利用产生不利影响。

(2) 建立梯级水电站数量与流域洪水涨落率数学关系, 相关关系较好, 平均涨落率与电站数量相关系数在 0.806~0.907 之间, 最大涨落率与电站数量相关系数在 0.700~0.845 之间。结果表明, 随着水电站数量的增多, 洪水涨落率增大, 洪水过程由平稳变为陡涨陡落。

(3) 建立梯级水电站数量与流域洪水涨落频次数学关系, 相关关系较好, 相关系数在 0.756~0.822 之间。结果表明, 随着水电站数量的增多, 洪水涨落频次增多, 洪水过程涨落变得极为频繁。

(4) 1997~2005 年天堂、连城站以上建成水电站近 10 座, 两站的洪水涨落率比尚未建水电站时均增加了 2 倍, 洪水涨落频次增加了 4 倍和 7 倍; 2006~2012 年

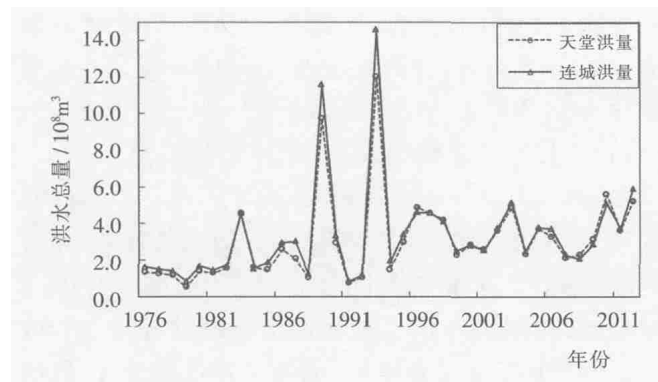


图9 大通河上下游站历年最大洪水总量对比

Fig.9 Variation of the largest flood volume at the upper and lower sections of the Datonghe River

建成水电站 10 余座, 两站的洪水上涨率比尚未建水电站时增加了 7 倍和 9 倍, 回落率增加了 17 倍和 19 倍, 洪水涨落频次增加了 9 倍和 22 倍。可见梯级水电站数量对洪水的涨落率影响十分显著, 而且对洪水回落的影响要比上涨的影响大, 主要反映了洪水上涨速度较快, 水电站为了自身安全会尽量下泄来水, 对上涨率影响相对较小, 而回落期间水情比较平稳, 水电站一般会加大蓄水发电致使河道下泄水量骤减的事实。

(5) 梯级水电开发使天堂、连城站的最大洪峰流量加大, 而且对应关系变差, 1997~2012 年, 两站的最大洪峰流量平均值较尚未建水电站时分别增大了 21.5% 和 19.7%; 两站的最大洪峰传播时间则由 3.96h 减少到 3.72h, 减少了 6.1%; 但由于自身库容较小, 调蓄作用有限, 两站的次洪水总量变化基本一致。

(6) 黄河上游区为水源涵养区和生态环境脆弱区, 对水能水资源的开发利用一定要考虑流域的承载能力和河流的环境容量。类似于大通河的问题在洮河、大夏河、湟水等流域都普遍存在, 为此, 国家应把黄河上游区水能水资源开发利用上升到生态战略的高度, 进行整体规划、严格审批、统一管理, 促进黄河流域水生态文明建设。

参考文献:

- [1] 黄祖亚, 蔡品彦. 水口水电站对闽江水环境影响的研究 [J]. 水文, 2001, 21(z1): 46-49. (HUANG Zuya, CAI Pinyan. Research on water environment influence of Minjiang river due to the Shuikou hydropower station [J]. Journal of China Hydrology, 2001, 21(z1): 46-49. (in Chinese))
- [2] 姚兴荣, 丁宏伟, 沈永平等. 黑河干流拟建水利工程对下游生态环境的影响分析 [J]. 冰川冻土, 2012, 34 (4): 934-941. (YAO Xinrong, DING Hongwei, SHEN Yongping, et al. Influence analysis of the proposed water conservancy project in the trunk stream on ecological environment in the lower reaches of Heihe river [J]. Journal of

- Glaciology and Geocryology, 2012,34(4):934-941. (in Chinese))
- [3] 徐涛,魏国孝,李常斌,等. 梨园河梯级电站开发对流域生态环境的影响[J]. 冰川冻土, 2009,31(1):166-174. (XU Tao, WEI Guoxiao, LI Changbin, et al. Impacts of step hydropower development on ecological environment in the Liyuan river basin [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2009,31(1):166-174. (in Chinese))
- [4] 侯天民, 王定晖. 大通河流域水电资源开发对生态环境影响及管理对策[J]. 青海环境, 2007,17(4):164-166. (HOU Tianmin, WANG Dinghui. Influence of the hydroelectric development on ecological environment and its management countermeasures in Datong river basin [J]. Journal of Qinghai Environment, 2007,17(4):164-166. (in Chinese))
- [5] 黄维东,牛最荣,马正耀,等. 大通河流域水能水资源开发对河流水文过程和环境的影响[J]. 冰川冻土, 2013,35(6):1573-1581. (HUANG Weidong, NIU Zuirong, MA Zhengyao, et al. Impact of hydropower and water resources development on hydrological processes and ecology in the Datong river basin [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013,35(6):1573-1581. (in Chinese))
- [6] 刘进琪. 大通河调水对水资源及生态环境的影响 [J]. 水资源保护, 2007,23 (1):22-24. (LIU Jinqi. Influence on water resources and eco-environment due to water transfer from Datong river [J]. Water Resources Protection, 2007,23(1):22-24. (in Chinese))
- [7] 程根伟,麻泽龙,范继辉,等. 西南江河梯级水电开发对河流生态环境的影响及对策[J]. 中国科学院院刊, 2004,19(6):433-437. (CHEN Genwei, MA Zelong, FAN Jihui, et al. Impacts and counterplan of cascade hydropower development to the river ecosystem in southwestern China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2004,19 (6):433-437. (in Chinese))
- [8] 陈超军,张妮. 流域梯级水电开发中的风险管理及保险分析[J]. 水力发电, 2007,33(3):9-12. (CHEN Chaojun, ZHANG Ni. Risk management and insurance analysis of hydroelectric cascade development of river basin [J]. Water Power, 2007,33(3):9-12. (in Chinese))
- [9] 许向宁,葛文彬,黄润秋,等. 梯级水电开发对生态地质环境影响评价的思路与方法初探[J]. 中国地质, 2008,35(2):351-356. (XU Xiangning, GE Wenbing, HUANG Runqiu, et al. Concept and method of assessment of the effect of cascade hydropower development on the ecological geo-environment [J]. Geology in China, 2008,35(2):351-356. (in Chinese))
- [10] 牟燕红. 洮河水梯级开发对径流的影响分析 [J]. 人民黄河, 2011,33(1):37-40. (MU Yanhong. Analysis on influence of multi-stage water power development to the runoff of Taohe river [J]. Yellow River,2011,33(1):37-40. (in Chinese))
- [11] 陈文, 凡炳文. 洮河水电开发对河流热状态响应的研究 [J]. 水文, 2010,30(4):88-91. (CHEN Wen, FAN Binwen. Study on response of hydropower development of Taohe river to river thermal state [J]. Journal of China Hydrology, 2010,30(4):88-91. (in Chinese))
- [12] 刘新有,何大明. 水电开发对河流泥沙特性影响的综合评价方法[J]. 地理学报, 2011,66(7):953-960. (LIU Xinyou, HE Daming. A comprehensive assessment method of hydropower development impact on runoff and sediment change [J]. Acta Geographica Sinica, 2011,66(7):953-960. (in Chinese))
- [13] 郎理民,廖长路,张生稳. 水位流量单值化新方法—稳定流量通式法[J]. 水文, 2011,31(s):161-165. (LANG Limin, LIAO Changlu, ZHANG Shengwen. New single-valued processing of stage-discharge relationship:general steady discharge formula [J]. Journal of China Hydrology, 2011,31(s):161-165. (in Chinese))
- [14] 贺玉琼,李新红,张培青. 水利工程对澜沧江干流水文要素的扰动分析 [J]. 水文, 2009,27 (s):93-98. (HE Yuqiong, LI Xinhong, ZHANG Peiqing. Analysis of perturbation effect of water structures on hydrological factors in main stream of Lancangjiang river[J]. Journal of China Hydrology, 2009,27(s):93-98. (in Chinese))
- [15] 惠俊堂. 马莲河流域“2003·8”暴雨洪水调查分析 [J]. 水文, 2008,28(3): 95-96,85. (HUI Juntang. Investigation and analysis of “2003.8” storm flood in Malian river basin [J]. Journal of China Hydrology, 2008,28(3):95-96,85. (in Chinese))

Effect of Cascade Hydroelectric Development on Flood Process in Datonghe River Basin

HUANG Weidong¹, NIU Zuirong¹, LIU Yane², WANG Yusen¹

(1. Hydrology and Water Resources Bureau of Gansu Province, Lanzhou 730000, China;

2. Hydrology Bureau, YRCC, Zhengzhou 450004, China)

Abstract: The effect of the cascade hydroelectric development on the flood process and characteristics in the Datonghe River Basin was qualitatively and quantitatively analyzed by using the observed flood data and water resources survey data. The mathematical model was established to analyze the relationship between the number of hydropower stations, flood fluctuation rate, and flood fluctuation frequency at the representative hydrometry stations. The results show that the flood process changes frequently, flood fluctuation rate and fluctuation frequency increase along with the number of the hydropower stations increasing. The cascade hydroelectric development makes the maximum flood peak flow increase by 19.7%–21.5%, the flood routing duration decrease by 6.1%, while less effect on the total amount of a flood. The research on the influence regularity of human activities on hydrological process is very significant for strengthening unified dispatching of hydropower stations in a river basin, water sustainable utilization of water resources and water ecological civilization construction.

Key words: cascade hydropower station; flood process; flood fluctuation rate; flood fluctuation frequency; impact analysis; Datonghe River