

doi:10.7522/j.issn.1000-0240.2013.0174

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. [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.]

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

黄维东, 牛最荣, 马正耀, 李计生, 王毓森

(甘肃省水文水资源局, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 根据水文观测和引水与水电开发资料, 分析了大通河流域水能水资源开发利用现状及其对河流水文过程与生态环境的影响. 结果表明: 由于区域用水和跨流域引水, 使大通河中下游河道的水量减少, 水环境容量减小, 其中, 青石嘴、天堂、连城(二)站 3—11 月平均流量分别减少 0.6%~9.6%、0.5%~3.8%、1.7%~52.9%. 自 1994 年引大入秦工程建成跨流域引水后, 连城(二)站年径流量开始减少, 1994—2010 年平均径流量比 1977—1993 年减少了 5.7%; 引大济湟工程建成通水后, 加上引大入秦和引疏济金工程, 引水总量将达到 $12.33 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占大通河多年平均径流量 $28.16 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的 43.8%, 对河川径流的影响十分显著. 至 2011 年, 大通河上已建成梯级电站 34 座, 洪水期电站同时泄水会瞬间加大河道流量, 枯水期蓄引水又使减水河段水量减少. 梯级水电站群无序蓄放水使洪水过程由天然的平稳状态转变为人工干预的剧烈变化状态, 上下游洪峰不对应, 对下游地区的防洪安全产生极大威胁. 过度的水能水资源开发, 使大通河中下游部分自然河段出现淹没、断流, 水生物和两岸的植物萎缩, 水环境污染加重, 对生态环境产生负面影响. 建议实行流域水资源统一管理, 对梯级电站下泄水量统一调度, 在减水河段预留必须的生态基流, 确保河道内外生态用水; 加强河道水位、流量、泥沙、水环境、水生物监测, 为流域防汛、水资源管理、生态环境保护等提供决策依据.

关键词: 大通河流域; 水能水资源开发; 水生态与洪水; 影响分析

中图分类号: P343.9 **文献标识码:** A

0 引言

随着社会经济的迅速发展, 人类活动对生态环境的影响日趋加剧, 以牺牲环境换取经济快速增长的做法已经付出了高昂的代价. 中共十八大已经把生态文明建设放在了突出地位, 水生态文明是生态文明建设的重要组成部分, 水是生命之源、生产之要、生态之基. 随着人类活动的加剧, 水资源短缺、水质污染、河道断流枯竭、生物多样性丧失等水环境问题日益突显, 水生态文明面临极大挑战^[1-2]. 特别是过度无序的水能水资源开发, 对河流的健康带来许多负面影响, 产生的水文效应、防洪影响、水生物和岸滩植物的萎缩、水环境退化等不容乐观^[3]. 20 世纪 90 年代开始, 大通河流域先后建成

了引大入秦、引疏济金等跨流域调水工程, 调出水量逐年增加, 同时梯级电站开发迅速加大, 对流域水生态环境的影响日趋加重, 类似的水能水资源开发利用情况在黄河上游水源形成区较为普遍. 为此, 分析了近期内大通河流域水能水资源开发对中下游水生态环境的影响, 提出了加强流域水资源和洪水的统一调度, 保护河流生命健康, 这对促进黄河上游水资源的可持续利用和水生态文明建设具有重要意义^[4-5].

1 流域概况

大通河是黄河的二级支流, 是湟水河的一级支流, 发源于青海省天峻县托勒南山, 自西北向东南流经青海省的天峻、祁连、刚察、海晏、门源、互

收稿日期: 2013-02-06; 修订日期: 2013-09-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(91125015)资助

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

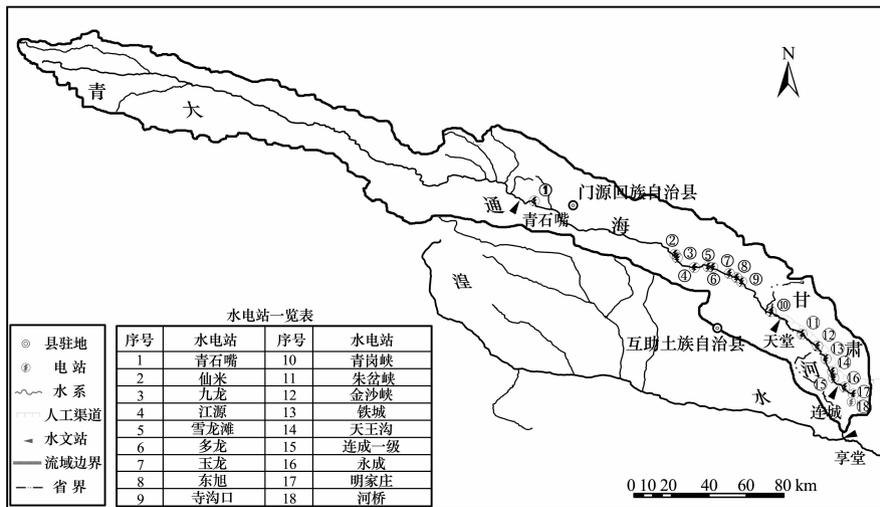


图1 大通河流域水系和水电站分布

Fig. 1 Water system in the Datong River basin

助、乐都、民和以及甘肃省的天祝、永登、红古等 11 个县(区), 在民和县享堂镇汇入湟水(图 1). 大通河流域地处青藏高原东北部边缘, 其范围介于 $98^{\circ}30' \sim 103^{\circ}15' E$, $36^{\circ}30' \sim 38^{\circ}25' N$ 之间, 流域面积 $15\,130\text{ km}^2$, 干流全长 560.7 km , 平均比降为 5% . 流域呈一狭长地带, 地形西北高、东南低, 山脉海拔大都在 $4\,500\text{ m}$ 左右, 其中, 冷龙岭最高海拔达 $5\,254\text{ m}$. 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; 中游支流主要有老虎沟、讨拉沟河、塔里花沟、珠固寺沟、浪士当沟、扎龙沟、金沙峡、水磨沟等; 下游河段无较大支流汇入. 其水系分布如图 1 所示.

大通河流域属黄河上游水源形成区, 水汽主要来源于印度洋孟加拉湾上空的西南暖湿气流, 祁连山巨大的高度具有拦截水汽的优越条件. 河川径流主要由降水、冰雪融水和地下水补给构成, 年径流深上游大于下游, 青石嘴站以上、青石嘴-天堂站区间、天堂站以下区域年径流深分别为 201 mm 、 170 mm 、 168 mm . 洪水一般由汛期降水形成, 大规模的水电开发之前, 洪水过程平稳有序, 上下游洪峰对应, 洪水过程与降水过程变化一致. 自修建了许多水电站之后, 水电站群蓄泄水致使洪水过程陡涨陡落, 上下游洪峰不对应, 经常形成人造洪峰, 对下游防洪安全造成威胁. 大通河流经深山峡谷, 水流落差大, 水能资源丰富, 但生态环境脆弱. 气候特点是冬长夏短, 冰冻期长, 气候严寒, 年降水量较多, 雨热同季, 热量不足. 流域多年平均降

水量 495 mm , 水面蒸发量 765 mm (E601 蒸发器), 多年平均气温 $-0.3 \sim 8.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 门源气象站全年日照时间在 $2\,486\text{ h}$ 以上. 主要自然灾害有春旱、霜冻、冰雹和洪水灾害等.

截止 2010 年底, 全流域总人口 48.07×10^4 人, 其中, 城镇人口为 11.28×10^4 人, 城镇化率仅为 23.5% . 国内生产总值 79.6×10^8 元, 工业增加值 38.36×10^8 元. 有耕地面积 $7.4233 \times 10^4\text{ hm}^2$, 其中农田有效灌溉面积 $2.314 \times 10^4\text{ hm}^2$. 粮食总产量为 $9.64 \times 10^4\text{ t}$, 粮食作物主要有小麦、青稞、洋芋、玉米等, 经济作物主要为油菜、豆类、蔬菜等.

2 水能水资源开发利用

2.1 区域供水分析

大通河流域水利工程开发较晚, 至 2010 年底, 流域内各类供水工程总供水能力 $2.8 \times 10^8\text{ m}^3$. 其中, 地表水供水工程建成 235 座, 现状供水能力 $2.64 \times 10^8\text{ m}^3$; 地下水井 68 眼, 现状供水能力 $0.16 \times 10^8\text{ m}^3$; 集雨工程 5 950 处, 雨水年利用量 $22 \times 10^4\text{ m}^3$. 流域内已建成跨流域调水工程 2 处, 分别为引大入秦工程和引疏济金工程. 引大入秦工程是将大通河水引至甘肃中部秦王川等地区的灌溉工程, 设计灌溉面积 $5.733 \times 10^4\text{ hm}^2$, 设计引水流量 $32\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 设计年引水量 $4.43 \times 10^8\text{ m}^3$. 引大入秦工程 1994 年建成通水, 目前灌溉面积发展到 $2.81 \times 10^4\text{ hm}^2$, 年引水量增加到 $3.62 \times 10^8\text{ m}^3$, 截至 2012 年累计引水 $26.24 \times 10^8\text{ m}^3$. 随着兰州新区用水量的加大, 将会达到设计引水量. 引疏济金工

程是通过修建硫磺沟引水枢纽将水引至金昌市,设计引水流量 $16.6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 年引水量 $0.4 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2003 年建成通水. 流域内在建工程主要是引大济湟工程, 在大通河上游修建石头峡水利枢纽引水进入湟水上游的宝库河, 设计总库容 $9.7 \times 10^8 \text{ m}^3$, 引水量 $7.5 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其主要任务是调节大通河来水过程, 解决湟水干流地区缺水问题. 引大济湟工程建成通水后, 对调节洪峰、确保下游防洪安全将发挥重要作用, 加上引大入秦和引硫济金工程, 引水总量将达到 $12.33 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占大通河多年平均径流量 $28.16 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的 43.8%, 对河川径流的影响十分显著, 特别是对枯水期径流影响更大.

根据国务院批复的《黄河流域水资源总体规划》, 大通河流域水资源总量为 $28.95 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2010 年总供用水量 $6.07 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中, 流域内供水 $2.12 \times 10^8 \text{ m}^3$, 向流域外供水 $3.95 \times 10^8 \text{ m}^3$, 水资源开发利用率为 21.0%. 流域外供水中, 引硫济金工程供水 $0.33 \times 10^8 \text{ m}^3$, 引大入秦工程供水 $3.62 \times 10^8 \text{ m}^3$. 总耗水量为 $5.38 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中, 流域内耗水量 $1.43 \times 10^8 \text{ m}^3$, 流域总耗水率 18.5%. 根据《黄河取水许可总量控制指标细化方案》, 大通河流域地表水可耗损总量为 $6.68 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中, 青海省 $2.88 \times 10^8 \text{ m}^3$, 甘肃省 $3.8 \times 10^8 \text{ m}^3$. 目前实际耗水量已占许可指标的 80.5%, 可见今后区域经济社会发展用水受到一定的限制.

2.2 梯级水电开发

大通河流域水电开发起始于 20 世纪 90 年代末, 2003 年后开发速度持续加快, 至 2011 年已建成梯级电站 34 座, 总装机容量 476.4 MW, 其中, 干流上 24 座、支流上 10 座. 目前正在建的电站有 8 座, 总装机容量 199.7 MW, 其中, 干流上 4 座、支

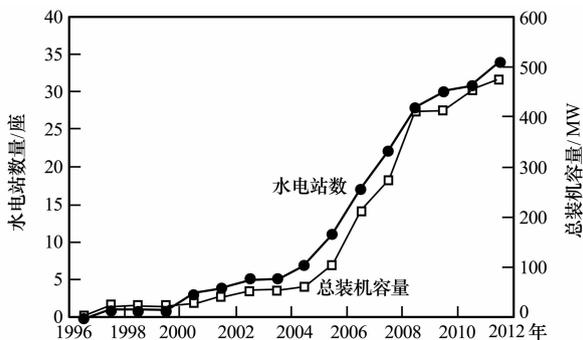


图2 大通河流域水电站数量及装机容量累积变化
Fig. 2 Variations of cumulative number of hydropower stations and installed capacities in the Datong River basin

流上 4 座. 已建成水电站数及装机容量累积增加情况见图 2.

已建成水电站中, 30 座为引水式电站, 4 座为闸坝式电站, 均在河道上修建拦水坝抬高水位, 将水流通过山洞或渠道引至下游发电, 或者直接利用闸坝形成的水流落差发电. 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, 梯级电站对河道的水量影响十分显著.

3 水能水资源开发对河流水文过程与水生态的影响分析

3.1 区域用水对水资源的影响

对大通河流域按上、中、下游分区, 上游青石嘴站以上取用水量 $0.4375 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占流域总用水量 $6.07 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的 7.2%; 中游青石嘴站至天堂站取用水量为 $0.7474 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占 12.3%; 下游天堂站至入湟水口用水量 $4.890 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占 80.5%. 上、中、下游及全流域水资源开发利用率分别为 1.5%、2.6%、16.9%、21.0%. 按照省份, 青海省用水量 $0.8765 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占流域总用水量的 14.4%; 甘肃省用水量 $5.20 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占流域总用水量的 85.6%. 青海、甘肃水资源开发利用率分别为 3.0%、18.0%.

3.2 区域用水对径流的影响

点绘上下游站历年径流累积值相关曲线(图 3), 可以看出, 青石嘴-天堂区间用水量较少, 上下游站历年径流量变化基本一致; 天堂-连城区间, 自引大入秦工程 1994 年建成跨流域引水后, 连城(二)站年径流量开始减少, 1994-2010 年平均径流量 $25.43 \times 10^8 \text{ m}^3$ 比 1977-1993 年平均径流量 $26.96 \times 10^8 \text{ m}^3$ 减少了 5.7%^[6-7].

在年内分配上, 引硫济金工程跨流域引水使青石嘴、天堂站月平均流量减少. 其中, 青石嘴站 3-11 月平均流量减少 0.6%~9.6%; 天堂站 3-11 月平均流量减少 0.5%~3.8%; 引硫济金和引大入秦工程跨流域引水使连城(二)站 3-11 月平均流量减少 1.7%~52.9%. 3 个水文站 3 月份流量影响最大, 一直到 8 月份随着河流来水量增加对流量的影响减小, 9 月份以后随着河流来水量减少对流量的影响增大, 并且对下游连城(二)站影响较大, 上游青石嘴次之, 中游天堂站最小. 随着区间用水和跨流域调水的增加, 河道流量和水环境容量减小,

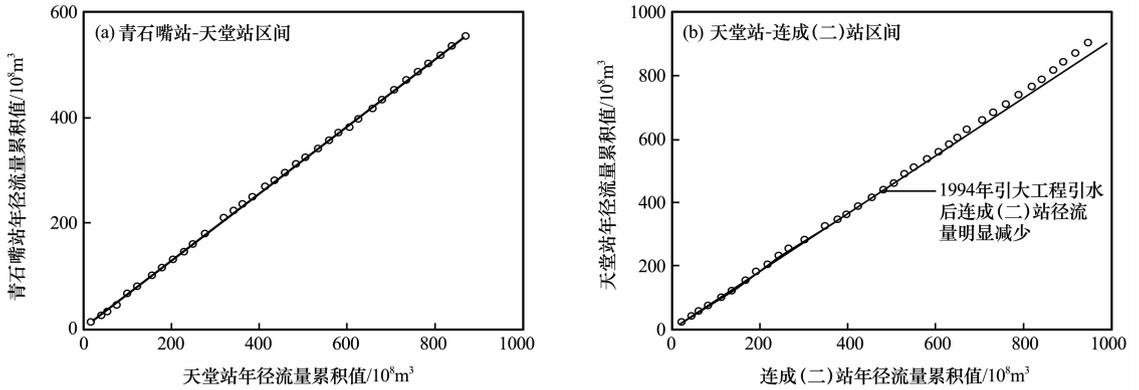


图 3 大通河上下游站径流累积值相关

Fig. 3 Correlations between cumulative runoffs at the upper and lower stations of the Datong River

表 1 大通河已建工程引水量与代表站流量对比

Table 1 A comparison of the diverted water amounts and discharge flows at the representative stations of Datong River

分 项	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
引大入秦工程引水量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	0.0	0.0	12.3	21.1	29.6	23.8	7.4	2.4	2.2	22.6	13.0	0.0	11.3
引硫济金工程引水量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	0.0	0.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.0	0.8
引水量占青石嘴站流量/%	0.0	0.0	9.6	2.9	1.5	1.0	0.6	0.7	0.8	1.6	4.1	0.0	1.6
引水量占天堂站流量/%	0.0	0.0	3.8	1.7	1.0	0.7	0.5	0.5	0.6	1.1	2.2	0.0	1.0
引水量占连城(二)站流量/%	0.0	0.0	52.9	42.3	34.0	20.5	4.2	1.7	1.8	27.5	32.2	0.0	14.1

在建的引大济湟工程建成通水后,将会对中下游河道产生更大的影响^[8].大通河已建工程引水量对代表站流量的影响见表 1.

3.3 梯级电站开发的水文效应

梯级电站对流域洪水过程影响较大.点绘水电站建设前、中、后期代表站天堂和连城(二)站的典型洪水过程见图 4,水电站建设前的 1995 年洪水过程变化相当平稳;到 2005 年建成水电站 11 座,代表站的洪水过程峰形总体平稳,局部时段受电站蓄放水影响呈现陡涨陡落的特征;至 2011 年已建成水电站 34 座,代表站的洪水过程变化十分剧烈,峰形呈现锯齿状.正是梯级水电站群人为蓄放水,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^[9-10].以每小时流量的增减量表示洪水的涨落率,天堂站 1995 年、2005 年、2011 年洪水上涨率最大值分别为 39.3 、 126 、 $745 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,回落率最大值分别为 -8.5 、 -114 、 $-235 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,连城(二)站 1995 年、2005 年、2011 年洪水上涨率最大值分别为 60 、 171 、 $191 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,回落率最大值分别为 -30 、 -58.8 、 $-199 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,可见,随着水电开发力度的加大,洪水的涨落率明显

增大.以 2011 年 8 月 13-31 日洪水过程为例,天堂、连城(二)站总体上有 2 次大的洪峰过程,但受电站蓄放水的影响,天堂站连续涨落 32 次,其中,16 日 14:00-24:00,电站蓄水量 $301.7 \times 10^4 \text{ m}^3$,河道流量由 $515 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 减少至 $166 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;17 日 02:00-03:30 电站泄水量 $80.6 \times 10^4 \text{ m}^3$,流量由 $166 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 急增至 $614 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;连城(二)站连续涨落 25 次,其中,15 日 04:00-05:45,电站泄水量 $222.9 \times 10^4 \text{ m}^3$,河道流量由 $483 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 急增至 $827 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,05:45-08:00 电站蓄水量 $346.9 \times 10^4 \text{ m}^3$,流量减少至 $389 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

梯级电站对河流年最大洪峰流量有一定影响.天堂、连城(二)站历年最大洪峰流量对照见图 5.2005 年以前天堂-连城区间尚无水电站,上下游最大洪峰流量对应关系较好,洪峰量级接近;2005 年以后区间修建了朱岔峡、金沙峡、铁城、天王沟、连城一级等 5 座电站,上下游最大洪峰流量对应关系变差,下游连城(二)站洪峰流量明显大于上游天堂站,主要是水电站遇到上游发生暴雨洪水时,同时加大库区泄洪,致使下游洪峰流量猛然增大.

3.4 梯级电站对下游防洪的影响

大通河在甘肃省会城市兰州的上游,是黄河干

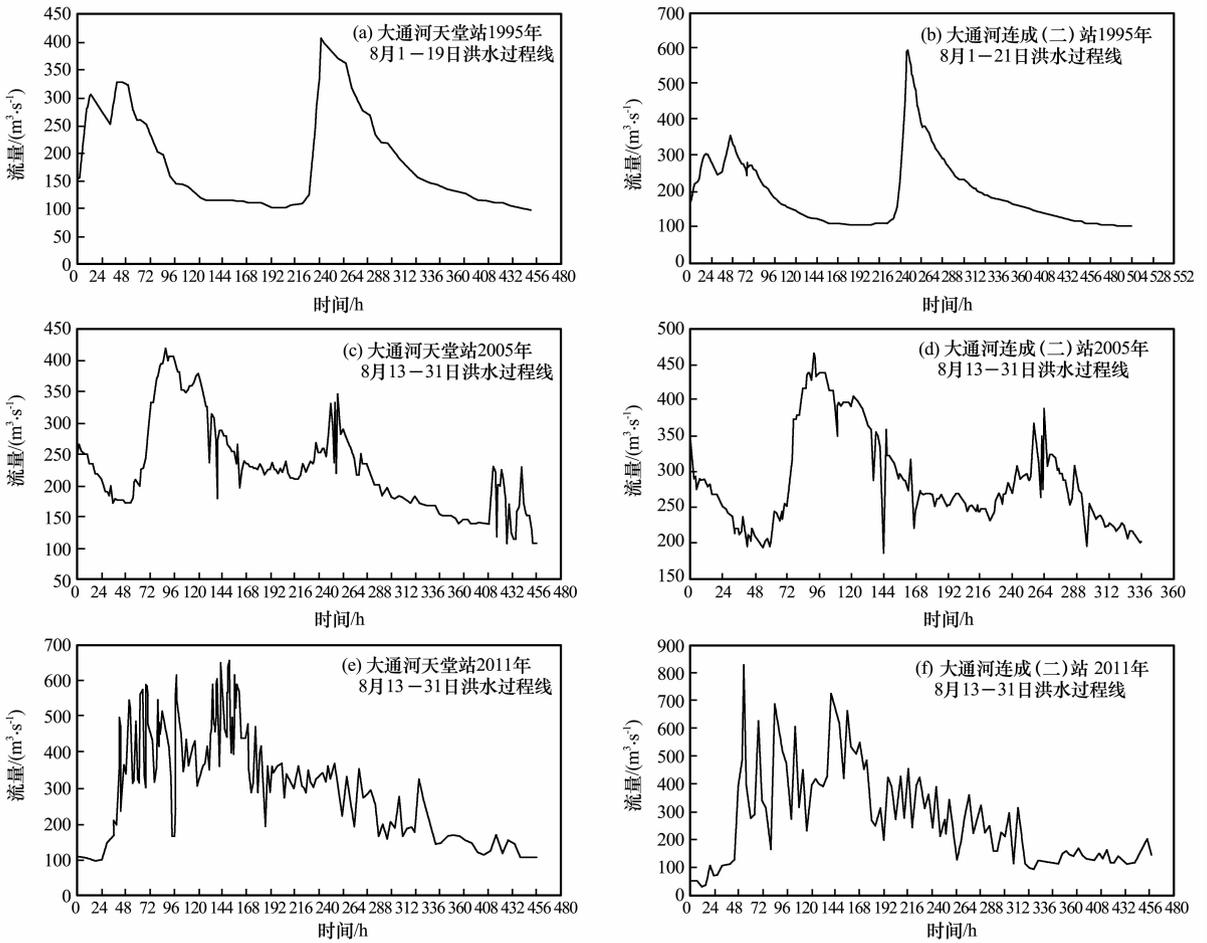


图 4 大通河主要代表站典型洪水过程

Fig. 4 Flood hydrographs at the major representative stations of Datong River

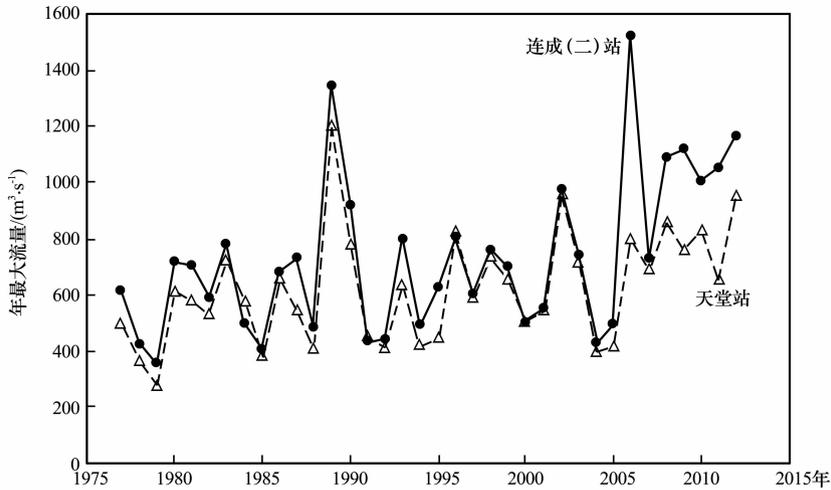


图 5 大通河上下游站历年最大洪峰流量对比

Fig. 5 Variations of the largest peak discharges at the upper and lower sections of Datong River

流刘家峡水库至兰州段最大的二级支流，流域面积占刘家峡-兰州区间面积的 37.1%，为此，大通河的洪水对下游的防汛至关重要。水电站修建前大通河流域的洪水主要由暴雨形成，流域内植被良好，

加之流域狭长，对洪水起到调蓄作用，天然的洪水过程平稳有序^[11]。由于梯级电站的迅速开发，使河流的水情变化加剧，梯级水电站群目前缺乏统一调度，无序蓄放水使河流洪水过程极不稳定，呈现陡

涨陡落的急剧变化态势, 给水文监测和水情预测预报带来极大困难. 特别是上游发生特殊水情时, 一些电站为了自身的安全同时提闸泄水, 致使自然洪峰与人工洪峰叠加, 同时遭遇下游突发性洪水时, 对下游地区的防洪安全产生极大威胁^[12]. 枯水期电站蓄引水致使河道断流, 河床外露, 洪水期又加大泄洪, 对河道的间歇性冲刷严重, 影响河道的稳定性, 对防洪产生不利影响.

3.5 水能水资源开发对河流生态环境的影响

过度的水能水资源开发, 使大通河的自然河段出现淹没、断流现象, 致使河道内的水生物和两岸的植物严重萎缩, 部分保护区森林植被、自然景观受到一定影响, 产生次生的地质灾害等^[13-14]. 历史上大通河干支流鱼类资源较为丰富, 据统计, 流域内有鱼类 8 种, 1 目 2 科 5 属, 全部为土著种类. 目前, 河源头至武松塔拉, 天然河道较长, 保留了原有鱼类栖息地; 武松塔拉至仙米河段, 受电站大坝

阻隔、水文情势变化的影响, 鱼类生境条件发生了一定变化, 土著鱼类种类和数量减少; 仙米至入湟水口, 梯级开发集中, 形成了多个长距离的减脱水河段, 加上大坝的阻隔等影响, 河流的生态环境发生了显著变化, 土著保护鱼类趋于灭绝^[15]. 水电站蓄水致使大通河部分河段断流, 见图 6.

大通河的矿化度、总硬度自上游向中下游呈增大趋势, 上游矿化度约为 $250 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 到河口增至 $400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右, 总硬度由 $150 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右增至 $250 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右. 大通河全年评价河段长为 218.1 km, 中上游水质良好, 属于 II 类水质的河段长为 160.9 km, 占评价河段长的 74%; 属 IV 类水质的河段长为 57.2 km, 占评价河段长的 26%. IV 类水质主要发生在枯水季节下游地区工业、人口集中的连城至窑街河段^[16]. 经监测分析, 大通河中下游 COD 和氨氮现状年入河量分别为 $410 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $42.1 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, 现状纳污能力分别为 $9\ 309 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 和

(a) 水电站坝下河段



(b) 水电站下游减脱水河段



(c) 连城水文站测验河段



图 6 水电站蓄水致使大通河部分河段断流

Fig. 6 Photos showing the Datong River behind a hydropower station, some segment water reduced and some segment water blocked owing to water storage

223 t·a⁻¹, 2020年后限制排污量分别为1 234 t·a⁻¹和131 t·a⁻¹.可见,COD和氨氮的年排放量在限排指标之内.

4 对策措施与讨论

(1) 实行流域水资源统一管理,严格水电开发审批手续,取缔违规水利水电工程建设.由于大通河上游为青海地界、下游为甘肃地界,中游为两省界河,水电开发分属两省审批管理,大多数为私营企业开发,管理调度难度大.建议由流域机构对水资源、水电工程项目等实行统一管理,确保流域可持续开发利用.

(2) 制定大通河流域防洪预案,对梯级电站的下泄水量实行统一调度,避免无序蓄放水形成人造洪峰,给下游人民生命财产带来安全隐患.在减水河段预留必须的生态基流,确保河道内外生态用水,依据《建设项目水资源论证导则(试行)》(SL/Z322-2005),北方河流生态基流指标原则上不应小于多年平均流量的10%,枯水时段不应低于同期流量均值的20%.为鱼类等水生生物预留洄游通道,防止河流水生物灭绝.

(3) 大通河流域水资源开发利用率为21.0%,水资源开发利用程度相对较低,考虑甘肃和青海两省今后经济社会发展需求,根据流域水资源承载能力,按照用水总量、用水效率、纳污能力三条红线控制的要求,适度开发利用、节约保护水资源,确保区域经济社会的可持续发展^[17].

(4) 加强流域生态环境监测.进一步提高对水生态的自动化监测水平,对河道水位、流量、泥沙、水环境、水生物进行全方位监测,为流域防汛、水资源管理、生态环境保护等提供决策依据^[18].

(5) 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,促进黄河流域生态文明建设.

(6) 随着区域经济社会发展对水资源需求的加大,特别是在西北缺水地区,实施跨流域调水工程是解决水资源供需矛盾的重要途径.但对水资源的时空分布规律产生了一定影响,使调出水河流量减少,而调水高峰期通常又是河流枯水季节.为此,调水方案应考虑调出水流域的生态环境问题,

通过修建蓄水工程等措施,对水量进行调节,统筹考虑用水、防洪、生态环境保护等问题.

参考文献(References):

- [1] Cheng Guodong, Xiao Honglang, Xu Zhongmin, *et al.* Water issue and its countermeasure in the inland river basins of Northwest China—A case study in Heihe River basin[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2006, **28**(3): 406—413. [程国栋,肖洪浪,徐中民,等.中国西北内陆河水问题及其应对策略——以黑河流域为例[J]. *冰川冻土*, 2006, **28**(3): 406—413.]
- [2] Jia Baoquan, Xu Yingqin. The conception of the eco-environmental water demand and its classification in arid land—Taking Xinjiang as an example[J]. *Arid Land Geography*, 1998, **21**(2): 8—12. [贾宝全,许英勤.干旱区生态用水的概念和分类——以新疆为例[J]. *干旱区地理*, 1998, **21**(2): 8—12.]
- [3] Dong Guangqian, Gao Xincan. Indexes of ecosystem health evaluation[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2012, **34**(1): 196—200. [董光前,高新才.评价生态系统健康的指标[J]. *冰川冻土*, 2012, **34**(1): 196—200.]
- [4] Yang Tao, Hui Xiujuan, Xu Yunfeng. Discussion on river ecosystem health as assessment for watershed management[J]. *Environmental Protection Science*, 2009, **35**(5): 52—54. [杨涛,惠秀娟,许云峰.用于流域管理的河流水生态系统健康评价初探[J]. *环境保护科学*, 2009, **35**(5): 52—54.]
- [5] Wang Changjian, Zhang Xiaolei, Du Hongru, *et al.* Comprehensive evaluation and analysis on the water resources carrying capacity levels in the Kaidu-Kongqi River basin[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2012, **34**(4): 990—998. [王长建,张小雷,杜宏茹,等.开都河-孔雀河流域水资源承载力水平的综合评价与分析[J]. *冰川冻土*, 2012, **34**(4): 990—998.]
- [6] Niu Zuirong, Zhao Wenzhi, Chen Xuelin, *et al.* Study of the water resources characteristics in the mid-west sub-water systems of the Heihe River[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2010, **32**(6): 1194—1201. [牛最荣,赵文智,陈学林,等.黑河流域中西部子水系水资源分布特征研究[J]. *冰川冻土*, 2010, **32**(6): 1194—1201.]
- [7] Zhang Lijie, Zhao Wenzhi, He Zhibin, *et al.* The characteristics of precipitation and its effects on runoff in a small typical catchment of Qilian Mountains[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2008, **30**(5): 776—782. [张立杰,赵文智,何志斌,等.祁连山典型小流域降水特征及其对径流的影响[J]. *冰川冻土*, 2008, **30**(5): 776—782.]
- [8] Yao Xingrong, 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. [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.]

- 土, 2012, **34**(4): 934—941.]
- [9] Li Yan. Change of river flood and disaster in Xinjiang during past 40 years[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, **25**(3): 342—346. [李燕. 近 40 a 来新疆河流洪水变化[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(3): 342—346.]
- [10] Yan Yuhong, Shen Yongping, Li Yu'an, *et al.* Hydrological feature and flood analysis in Keping River on south slope of Tianshan Mountains, Xinjiang[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, **29**(5): 824—829. [严宇红, 沈永平, 李宇安, 等. 新疆天山南麓柯坪河水文特性与洪水分析[J]. 冰川冻土, 2007, **29**(5): 824—829.]
- [11] Qin Jia, Ding Yongjian, Ye Baisheng, *et al.* Regulating effect of mountain landscapes on river runoff in Northwest China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2011, **33**(2): 397—404. [秦甲, 丁永建, 叶柏生, 等. 中国西北山地景观要素对河川径流的影响作用分析[J]. 冰川冻土, 2011, **33**(2): 397—404.]
- [12] Wan Jintai, Zhang Jianguo, Miao Yan. Analysis of ice jam floods in river basins on the north slope of middle section of Tianshan Mountain, Xinjiang[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, **29**(5): 819—823. [万金泰, 张建国, 苗燕. 新疆天山北坡中段河流冰凌洪水特征分析[J]. 冰川冻土, 2007, **29**(5): 819—823.]
- [13] 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. [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.]
- [14] Tan Yuan, Wang Yajun, Ning Jianzhong. Analysis on the change of the ecological environment in the Bosten Lake area, Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2004, **21**(1): 7—12. [谭元, 王亚俊, 宁建忠. 新疆博斯腾湖水生态环境变化分析[J]. 干旱区研究, 2004, **21**(1): 7—12.]
- [15] Su Hongchao, Bayin Chahan, Pang Chunhua, *et al.* Change in Ebinur Lake area and its impact on eco-environment[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2006, **28**(6): 941—949. [苏宏超, 巴音查汗, 庞春花, 等. 艾比湖面积变化及对生态环境影响[J]. 冰川冻土, 2006, **28**(6): 941—949.]
- [16] Wang Shuanghe, Hu Xinglin, Zhao Zhiwen, *et al.* The spatial pattern of natural hydrochemistry features of the rivers in Gansu Province and its controlling factors[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2010, **32**(2): 373—380. [王双合, 胡兴林, 赵治文, 等. 甘肃省河流天然水化学特征的分布规律及控制因素分析[J]. 冰川冻土, 2010, **32**(2): 373—380.]
- [17] Li Lijuan, Zhang Bo. Study on relative resources carrying capacities and sustainable development for different municipalities of Gansu Province[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2011, **33**(5): 1169—1175. [李丽娟, 张勃. 甘肃省各地区相对资源承载力及可持续发展研究[J]. 冰川冻土, 2011, **33**(5): 1169—1175.]
- [18] Wang Shunde, Cao Xiaoli, Wang Yanguo, *et al.* Strengthen monitoring on Aral ecosystem in Tarim Rive[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2006, **28**(2): 276—282. [王顺德, 曹晓莉, 王彦国, 等. 加强塔里木河阿拉尔生态系统综合监测[J]. 冰川冻土, 2006, **28**(2): 276—282.]

Impact of Hydropower and Water Resources Development on Hydrological Processes and Ecology in the Datong River Basin

HUANG Wei-dong, NIU Zui-rong, MA Zheng-yao, LI Ji-sheng, WANG Yu-sen

(Hydrology and Water Resources Bureau of Gansu Province, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: The Datong River basin is in the water resources forming region in the upper reaches of the Yellow River, where there are rich hydropower resources, good natural vegetation and biology, but the environment is very vulnerable owing to climate change and human activity. The hydropower and water resources development status of the basin is analyzed. It is believed that water quantity in the middle and lower reaches is decreasing caused by regional water use and inter-basin water diversion. Water environment capacity is reducing as well. Average discharge at Qingshizui, Tiantang, Liancheng (II) hydrology stations decreases 0.6%–9.6%, 0.5%–3.8% and 1.7%–52.9% from March to November, respectively. Water use at the upper Tiantang station is less, but it becomes larger from Tiantang station to Liancheng station, with an average runoff flow reducing of 5.7% in 1994–2010 as compared with that in 1977–1993. To 2011, 34 cascade hydropower stations have been built, of which there are 30 of diversion type and 4 of gate dam type. With less capacity and no storage capacity, in flood period hydropower stations drain water at the same time, which will enlarge river discharge instantly;

in low-water period, storage and diversion will reduce the discharge of water, greatly affecting river flow. For disordered storage and drainage of cascade hydropower stations, the flood process changes from natural steady status to artificial intervention status, and the flood peak in upper reaches and lower reaches is inconsistent, as a result, hydrological monitoring and flood forecasting are greatly troubled, which threaten flood control in downstream area. The submergence, discontinuous flow, shrinking of aquatic organisms and plants in both banks and heavier water environment pollution in the middle and lower reaches resulted from excessive hydropower and water resources development negatively impact environment. It is suggested to carry out integrated water resources management, unified control water discharge of cascade hydropower stations, reserve necessary ecological base flow, insure ecological water use, strengthen monitoring of river level, runoff, sediment, water environment and aquatic organisms, in order to provide policy decision basis for river basin flood control, water resources management and environment protection.

Key words: Datong River basin; hydropower and water resources development; water ecology and flood; impact analysis