

倒天河水库对径流影响的归因分析

张丽¹, 许斌²

¹毕节市倒天河水库管理所, 贵州 毕节

²长江水利委员会长江科学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2023年1月15日; 录用日期: 2023年3月29日; 发布日期: 2023年4月23日

摘要

具有调节能力的水库对径流具有较大的影响, 针对毕节市重要饮用水水源地倒天河水库对径流影响的归因问题, 采用降雨-径流归因分析方法, 以及几种反映径流年内分配的参数, 对倒天河水库运行调度对径流的影响程度展开分析。结果显示, 倒天河水库调蓄作用, 对径流改变的贡献程度占比接近100%, 且对径流的改变, 主要体现在枯水期, 径流的年内分配呈现出趋于更不均匀的态势。结合归因分析、年内分配分析的结果, 倒天河水库与一般水库调度结果有一定差异, 显示倒天河水库运行调度方案有待进一步优化, 需进一步完善枯期下游生态流量的保障措施。

关键词

归因分析, 年内分配分析, 倒天河水库, 毕节市

Attribution Analysis of the Impact to Runoff by the Daotianhe Reservoir

Li Zhang¹, Bin Xu²

¹Daotianhe Reservoir Management Office, Bijie Guizhou

²Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan Hubei

Received: Jan. 15th, 2023; accepted: Mar. 29th, 2023; published: Apr. 23rd, 2023

Abstract

Reservoirs with regulation capacity have a great impact on runoff annual distribution. In view of the impact of Daotianhe Reservoir on the runoff, the important drinking water source in Bijie City, the runoff-precipitation attribution analysis method and some parameters of annual runoff distribution were used to analyze the impact on runoff by the operation and regulation of reservoir. The results show that the contribution of the

作者简介: 张丽, 1988年3月出生, 大学本科, 工程师, 研究方向为水资源管理和节约用水。Email: 286407735@qq.com

文章引用: 张丽, 许斌. 倒天河水库对径流影响的归因分析[J]. 水资源研究, 2023, 12(2): 137-142.

DOI: 10.12677/jwrr.2023.122016

reservoir to the runoff change is nearly 100%, and the changing mainly happens at non-flood season, while the inner-annual distribution of runoff tends to be more uneven. With the analysis results of attribution and inner-annual distribution, the operation of reservoir needs to be further optimized, and the guarantee measures of downstream ecological flow in dry season need to be improved.

Keywords

Attribution Analysis, Annual Distribution Analysis, Daotianhe Reservoir, Bijie City

Copyright © 2023 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

倒天河水库位于毕节市西北部,大坝为浆砌石重力坝,距市区仅 3 km,所在河流为六冲河一级支流白甫河上游,属长江水系,坝址以上集水面积 124 km²,多年平均年径流量 6840 万 m³。倒天河水库于 1957 年建成,坝高 13.5 m,库容 100 万 m³,为小(一)型水库[1]。1964 年,倒天河水库完成扩建,坝高增加至 23.5 m,总库容增至 1020 万 m³,为中型水库。2003 年,为提高下游毕节市防洪标准,保证毕节城区居民饮用水和工农业用水,经除险加固加高后的倒天河水库进行再次扩建,工程于 2010 年 4 月完工。目前,倒天河水库总库容为 1880 万 m³,兴利库容 1280 万 m³,工程任务为防洪、供水、灌溉和发电。加高扩建后的倒天河水库使毕节市达到 50 年一遇防洪标准,亦能够满足毕节城区居民的生产生活用水需求。

倒天河水库在满足毕节市社会经济的同时,也很大程度上改变了下游径流的年内分配情况。而且随着毕节市的不断发展,供水规模日趋增大,倒天河水库下游出现断流的情况也越发明显。倒天河水库在下游径流演变中的贡献程度如何量化,径流的年内分配如何演变等问题的研究,对指导流域水资源的合理开发、利用和配置,指导流域下游生态应急输水的合理调配,恢复和保护流域生态环境,促进当地经济社会可持续发展,具有重要的现实意义。

2. 分析方法

2.1. 归因分析方法

径流形成的一个重要原因即降雨,而环境的变化(人类活动、气候变化)会对径流形成过程产生影响,这种影响前后的降雨径流关系图上,其拟合曲线会有一些的差别。受影响前后,相同降雨在降雨径流关系曲线的径流深差值,可以一定程度上反映人类活动对径流的影响;而在同一条降雨径流曲线上,受影响前后的降雨拟合出的径流深差值,可以一定程度上反映气候条件变化对径流的影响[2]。基于降雨径流关系的归因分析方法,具有一定的物理基础,且能够直观的反映变化情况,模型易于构建,所需的水文资料相对容易获取。因此,本文选择基于降雨径流关系的归因分析方法对径流变化情况进行归因分析。

首先假定受影响前的径流形成过程和降雨没有受到干扰,受影响后的降雨径流过程受到环境变化的影响。分别用函数 $R_1 = f_1(P)$ 、 $R_2 = f_2(P)$ 表示受影响前、后的降雨径流关系,并优先采用对数进行拟合,从而避免可能存在的拟合函数交叉的情况,拟合效果评价则采用拟合误差进行判断。 $P_{1均}$ 、 $P_{2均}$ 为受影响前、后的降雨序列均值。依据 $R_1 = f_1(P)$,由 $P_{1均}$ 插值得到 R_1 ;依据 $R_2 = f_2(P)$,由 $P_{2均}$ 插值得到 R_2 ;其差值 $\Delta R = R_2 - R_1$ 即环境变化前后造成的径流变化总量,是由气候变化(ΔR_q)和人类活动(ΔR_d)综合作用的结果,因此, $\Delta R = \Delta R_q + \Delta R_d$ 。

再依据 $R_1 = f_1(P)$, 由 P_2 插值得到 R'_2 ; 依据 $R_2 = f_2(P)$, 由 P_1 插值得到 R'_1 , $\Delta R_q = R'_2 - R_1$ (或 $\Delta R'_q = R_2 - R'_1$) 即表示由气候变化而造成的径流变化量, $\Delta R_d = R_2 - R'_2$ (或 $\Delta R'_d = R'_1 - R_1$) 即表示由人类活动造成的径流变化量。综上可以得出, 受影响前后气候变化、人类活动对径流变化的贡献率分别为 $(\Delta R_q + \Delta R'_q)/2\Delta R$ 、 $(\Delta R_d + \Delta R'_d)/2\Delta R$ 。

2.2. 年内分配分析方法

本文选取不均匀系数(C_v)、集中度(C_d)、集中期(D)等年内分配指数[3], 对径流序列的年内分配进行分析。径流年内分配不均匀系数(C_v)越大表示年内分配越不均匀、愈集中。其计算公式如式(1)所示。

$$C_v = \sigma/\bar{R}, \bar{R} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} R_i, \sigma = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (R_i - \bar{R})^2} \quad (1)$$

式中: R_i 为年内各月水文要素值($i=1,2,3,\dots,12$), 为年内月平均值。

将一年中 12 个月看作向量, 水文序列的值为向量的长度, 所处月份为向量的方向, 即假定所有月份均占据了 30° 的空间, 方位角 i 设定为 $15^\circ, 45^\circ, \dots, 345^\circ$, 即可将向量的长度分解为 x 和 y 两个方向上的分量, 然后将两个方向上的分量进行合成, 如式(2)所示。

$$R_x = \sum_{i=1}^{12} R_i \cos \theta_i, R_y = \sum_{i=1}^{12} R_i \sin \theta_i, R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (2)$$

集中度(C_d)、集中期 D 计算公式如式(3)所示, C_d 反映了集中期径流量占年总径流量的比例, D 近似表示了一年最大径流量出现的时间。

$$C_d = R / \sum_{i=1}^{12} R_i, D = \arctan(R_y/R_x) \quad (3)$$

3. 水文测站及数据概况

采用降雨径流归因分析方法主要用到研究区域的降水、径流资料, 依据毕节市倒天河水库大坝加固扩建工



Figure 1. Distribution of main hydrological stations of Daotian River
图 1. 倒天河水文站点分布图

程可行性研究报告等资料,本次共收集到倒天河流域徐花屯水文站的实测降雨资料、毕节水文站的实测径流和降雨资料,以及倒天河水库坝址断面的设计径流(天然径流)资料,位置如图1所示。

表1列出已经收集到的资料系列概况,分析说明如下:

1) 受影响时段划分

根据倒天河水库大坝加高的工程进程,2007年主体工程已经基本完工,并开始对上、下游径流量产生影响;受其蓄水影响,2007年徐花屯水文站予以撤销,下迁至下游响水滩,更名为毕节水文站。因此,本文以2007年为时间节点,对收集到的资料进行时段划分,即1986~2006年为受影响前时段,2008~2019年为受影响后时段。

2) 降水序列使用分析

降水序列需采用面雨量资料序列。根据《水文站网规划技术导则》(SL 34-2013)对降水量站的布设要求,面雨量站平均单站面积不宜大于200 km²,荒僻地区可适当放宽。考虑到倒天河上游区域基本全部为山区地带,且徐花屯站、毕节站的控制面积均未超过200 km²,因此,以徐花屯站、毕节站的实测降雨量序列作为面雨量序列,能够满足相关导则要求。

3) 径流序列使用分析

径流序列需全部统一至倒天河水库坝址断面进行分析。根据毕节站、倒天河水库坝址的控制面积相差较小,仅为7%左右,其间并无较大支流汇入,因此,可以采用水文比拟法,将毕节站的径流序列缩放推算至倒天河水库坝址处。

综上,此次以2007年为节点,以倒天河水库坝址处为计算断面,以徐花屯水文站降水序列、倒天河水库坝址径流序列为受影响前的降水、径流序列;以毕节站降水序列、毕节站推求的倒天河水库坝址径流序列为受影响后的降水、径流序列;开展倒天河水库对径流影响的归因分析。

Table 1. Basic information of data series collected

表1. 收集资料序列的基本信息表

断面位置	控制面积(km ²)	资料序列起止年份(年)	径流、降水序列长度(年)
徐花屯站	81.8	1986~2006 降水序列	31
倒天河水库坝址	124	1986~2006 径流序列	31
毕节站	133	2008~2019 降水、径流序列	12

4. 径流影响归因分析

采用降雨径流关系归因分析方法,利用对数曲线对受影响前后的降水、径流深序列进行拟合,并对成因进行分析,降雨径流拟合结果如图2所示,归因分析结果如表2所示。

从归因分析的结果可以看出,受倒天河水库加高以后水库运行调度的影响,受影响后的径流深变化均来自水库的影响(接近100%)。该贡献程度为长系列的均值,为了进一步明确水库在年内分配中的影响作用,本文进一步对径流的年内分配变化进行分析。分别计算受影响前、后径流深序列的不均匀性 C_v 、集中期 D 、集中度 C_d 如图3所示。

从图3(a)中可以看出,经过倒天河水库的调蓄作用后,径流的不均匀性系数 C_v 有明显的上升态势,其均值从调蓄作用前的0.89,上升至调蓄作用后的1.50,涨幅明显。因此,可以得出,倒天河水库调蓄后,径流丰枯月份水文要素值相差更加悬殊,年内分配趋向于不均匀。从图3(b)中可以看出,经过倒天河水库的调蓄作用后,

径流的集中期 D 均值从调蓄作用前的 201.96, 下降至调蓄作用后的 201.20, 稍微有所下降, 但与调蓄前基本持平。因此, 可以得出, 倒天河水库受到库容、来水条件等的限制, 对于最大月径流的调蓄作用比较有限。从图 3(c) 中可以看出, 经过倒天河水库的调蓄作用后, 径流的集中度 C_d 有明显的上升态势, 其均值从调蓄作用前的 0.46, 上升至调蓄作用后的 0.66, 涨幅明显。因此, 可以得出, 倒天河水库调蓄后, 径流在集中期内下泄的水量, 比调蓄前有所上升, 即汛期下泄水量增加, 而枯期下泄水量减少。

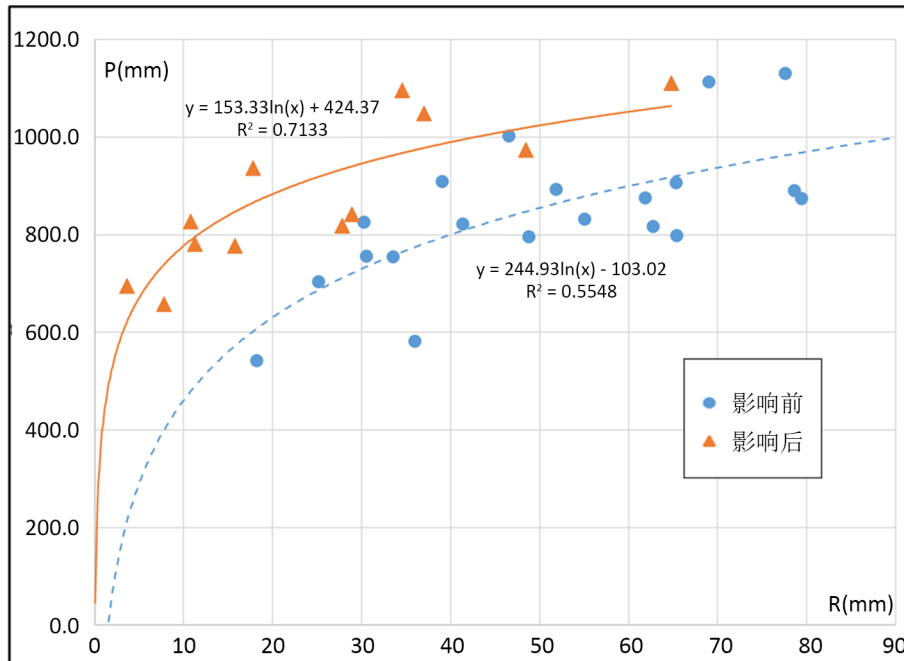
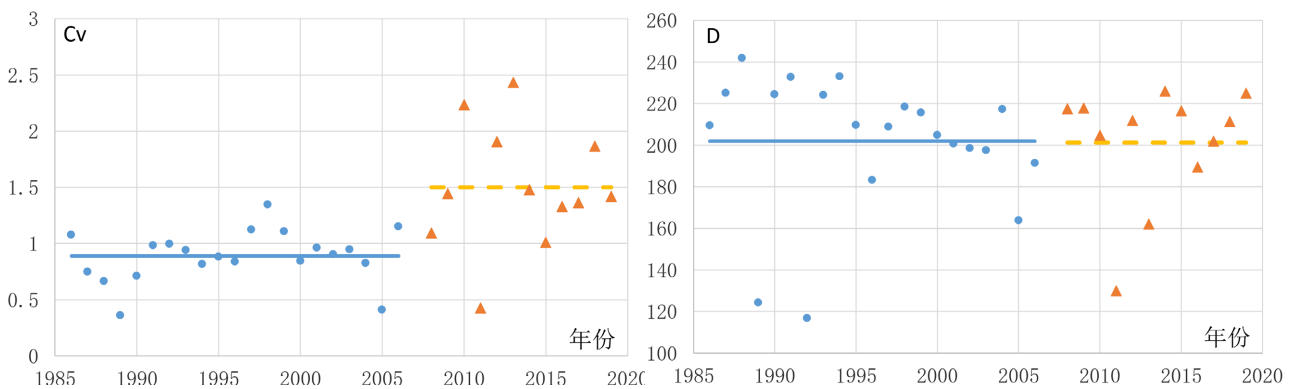


Figure 2. Fitting curve of runoff and precipitation before and after the influence
图 2. 受影响前后降雨径流拟合关系曲线

Table 2. Results of attribution analysis results of runoff series before and after the influence

表 2. 受影响前后径流序列归因分析结果

时段	拟合公式	R^2 (%)	径流变化贡献率(%)	
			气候变化	人类活动
影响前	$y = 244.93 \ln(x) - 103.02$	55.48	0	100
影响后	$y = 153.33 \ln(x) + 424.37$	71.33	0	100



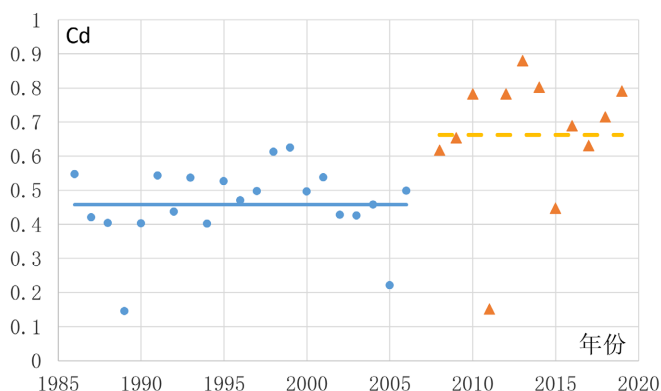


Figure 3. The value of C_v , D and C_d at the Xuhuatun and Bijie horological stations

图 3. 徐花屯及毕节站径流序列的不均匀性(C_v), 集中期(D)和集中度(C_d)

5. 结论与讨论

本文采用基于降雨径流关系的归因分析方法, 并结合径流不均匀系数(C_v)、集中度(C_d)、集中期(D)等年内分配参数, 对倒天河水库影响下的径流归因及年内分配情势进行了分析, 主要结论如下:

1) 通过对受影响前后的降雨径流关系进行拟合并计算变化的贡献率, 发现倒天河水库对径流变化的贡献程度约为 100%。

2) 通过不均匀系数(C_v)的计算, 受倒天河水库调蓄作用的影响, 径流的年内分配呈现出趋于更不均匀的态势, 即汛期径流与枯期径流的比值成加大的趋势。这种趋势与一般水库削峰补枯的调蓄作用不太相同。

3) 通过集中度(C_d)和集中期(D)的计算, 倒天河水库的调蓄并未明显改变最大月径流的调蓄作用, 且汛期下泄水量加大, 枯期下泄水量减少。可能是山区河流来水较快, 水库调蓄作用有限等原因导致的。

综上所述可以得出, 倒天河水库对下游径流的影响, 总体上的贡献程度接近 100%, 其中对枯期下泄流量的影响要大于对汛期的影响程度。针对上述分析结论, 下一步倒天河水库在运行调度的过程中, 其运行调度方案有待进一步优化, 具有年调节能力的倒天河水库, 应尽可能在汛期末尾多蓄水量, 减少汛期泄水, 增加枯期泄水, 并完善枯期下游生态流量的保障措施。

基金项目

国家自然科学基金项目资助项目(51809009)。

参考文献

- [1] 吴擎文. 毕节市倒天河水库大坝加高扩建工程设计要点[J]. 黑龙江水利科技, 2014, 42(1): 129-130.
WU Qingwen. Design key points of dam heightening and expansion project of Daotianhe Reservoir in Bijie City. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2014, 42(1): 129-130. (in Chinese)
- [2] 谢平, 刘媛, 杨桂莲, 等. 乌力吉木仁河三级区水资源变异及归因分析[J]. 水文, 2012, 32(2): 39-43.
XIE Ping, LIU Yuan, YANG Guilian, et al. The attribution analysis of water resources alteration in the third grade Wulijimu-renhe. Hydrology, 2012, 32(2): 39-43. (in Chinese)
- [3] 胡彩霞, 谢平, 许斌, 等. 基于基尼系数的水文年内分配均匀度变异分析方法——以东江流域龙川站径流序列为例[J]. 水力发电学报, 2012, 31(6): 7-13.
HU Caixia, XIE Ping, XU Bin, et al. Variation analysis method for hydrologic annual distribution homogeneity based on Gini coefficient: A case study of runoff series at Longchun Station in Dongjiang River Basin. Journal of Hydroelectric Engineering, 2012, 31(6): 7-13. (in Chinese)