

The Analysis of Rainfall Threshold of Hongjiadu Hydropower Station Area in the Wujiang River Basin

Yuewen Hu¹, Jie Qin², Xiaoling Xia³, Tingyan Ji³, Hongli Wang³

¹Guizhou Province Meteorological Information Center, Guiyang Guizhou

²Meteorological Bureau of Xifeng County, Guiyang Guizhou

³Guizhou Province Meteorological Service Center, Guiyang Guizhou

Email: gzqxkjhyw@163.com, ttt2220@sina.com

Received: Jan. 14th, 2015; accepted: Jan. 28th, 2015; published: Feb. 4th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

Abstract

In this paper, the Hongjiadu Hydropower Station's daily inflow, reservoir water level and area rainfall data are used to do the correlation analysis and multiple regression calculation, aiming at the two key inflows of 500 m³/s and 1000 m³/s of the power station. The study gives the rainfall threshold of the power station area. Results show that the reservoir water level of Hongjiadu Hydropower Station is closely related to reservoir inflow. When the inflow is more than 500 m³/s, water level rises significantly. Power station reservoir inflow best correlates with yesterday's flow; the correlation coefficient R² reaches 0.778. The correlation coefficient of reservoir inflow with cumulative area rainfall before ten days, and with yesterday's area rainfall is 0.697 and 0.333 respectively. Area rainfall threshold shows that: when yesterday's flow is relatively little, more area rainfall is needed to form the flow of 500 m³/s or 1000 m³/s; when yesterday's flow is relatively much, little area rainfall is needed to form the flow of 500 m³/s or 1000 m³/s.

Keywords

Hongjiadu Hydropower Station Inflow, Area Rainfall, Threshold Index

乌江流域洪家渡水电站面雨量阈值指标分析

胡跃文¹, 秦杰², 夏晓玲³, 吉廷艳³, 王红丽³

作者简介: 胡跃文(1964-), 男, 贵州, 高工, 主要从事应用气象业务及相关研究。

¹贵州省气象信息中心, 贵州 贵阳

²贵阳市息烽县气象局, 贵州 贵阳

³贵州省气象服务中心, 贵州 贵阳

Email: gqzkjhyw@163.com, tttt2220@sina.com

收稿日期: 2015年1月14日; 录用日期: 2015年1月28日; 发布日期: 2015年2月4日

摘要

本文利用2008~2012年乌江流域洪家渡水电站逐日入库流量、库水位和面雨量资料进行了相关分析和多元回归计算, 针对电站500 m³/s和1000 m³/s两个关键入库流量, 研究给出了该电站流域面雨量阈值指标。结果表明: 洪家渡水电站库容水位涨落与入库流量密切相关, 入库流量大于500 m³/s时, 水位上涨明显; 电站入库流量与前日流量相关性最好, 相关系数R²达0.778, 入库流量与前十日累积面雨量、前日面雨量相关系数R²分别为0.697和0.333; 面雨量阈值表明, 前日入库流量相对较小时, 需要较大的面雨量才有可能形成500 m³/s或1000 m³/s的流量, 而前日入库流量相对较大时, 仅需要相对较小的面雨量就有可能形成500 m³/s或1000 m³/s的流量。

关键词

洪家渡水电站, 入库流量, 面雨量, 阈值指标

1. 引言

洪家渡水电站位于乌江上游北源支流的六冲河下游(图 1), 电站水库是乌江梯级水电站具有多年调节能力的龙头水库。河流发源于贵州省西北部的赫章县, 自西北向东南流经纳雍、大方、织金、黔西四县



Figure 1. The geographical position of Hongjiadu Hydropower Station
图 1. 乌江流域洪家渡水电站地理位置

和清镇市,于黔西县化屋基与乌江南源三岔河汇合后称为乌江。流域处于云贵高原东斜坡上,西高东低,平均海拔高程 1734 m,干流全长 273.43 km,总落差 1293.5 m,流域面积 10,874 km²,水库正常蓄水位 1140 m,相应库容 44.97 亿 m³。

气象条件对水电站安全生产影响重大,降水形成的面雨量大小将直接影响水电站入库流量,并直接影响着电站的发电能力和经济效益。因此,针对电站地理位置、库容量、水文特性分析面雨量与入库流量关系,给出面雨量阈值指标,为电力调度和电站生产管理提供参考,以保障电力安全运营。

研究显示,降水和人类活动是影响流域径流量变化的主要因素[1]-[4]。对于乌江流域的研究表明[5]-[8],乌江流域径流变化与降水之间关系密切,同时下垫面和人类活动也对年径流量的变化产生一定影响。面雨量是某一确定区域给定时段内面平均雨量的大小,是影响入库流量的主要因素。

本文利用 2008~2012 年乌江流域洪家渡水电站逐日入库流量、库水位和面雨量资料进行相关分析和多元回归计算,针对电站关键入库流量,研究确定电站辖区面雨量阈值指标,为电站安全生产提供依据,更好地服务于乌江流域经济社会。

2. 资料及方法

本文资料来源于贵州乌江水电开发有限责任公司,资料包括洪家渡水电站流域 2008~2012 年逐日面雨量、库水位、入库流量等。

利用 SPSS 软件中多元回归分析功能计算洪家渡水电站流域面雨量和其他因子对入库流量的影响关系,建立回归方程,同时,针对电站入库流量关键值,分析给出面雨量阈值指标。

多元线性回归分析是指建立因变量与多个自变量之间的回归关系函数表达式,关系式表达如下:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k$$

其中, Y 为因变量,本文中为入库流量, X_1, X_2, \dots, X_k 为自变量,本文中分别表示前日面雨量、前 10 日累积面雨量和前日入库流量, a 为常数项, b_1, b_2, \dots, b_k 为回归系数。

某一时刻的入库流量除了与前日面雨量和前日流量相关外,与前期累积面雨量也有很好的相关性,主要原因是雨量降落地面并汇集到河流形成流量的过程需要一定时间,也就是说电站入库流量的大小相对于流域面雨量来说具有时间上的滞后性,所以除了选取前日面雨量和前日流量作为自变量外,还选取前 10 日累积面雨量作为自变量进行回归分析。

3. 洪家渡水电站水文基本特征

由于洪家渡水电站位于乌江流域的最上游,其入库流量受上游人为因素影响不大。因此,通常情况下,该电站库容水位的涨落除与发电状况有关外,更主要与降雨产生的入库流量密切相关。

洪家渡水电站坝址 5 年平均流量 111 m³/s,最大流量 1696.4 m³/s。对比分析入库流量和坝上水位数据,可以发现,多数情况下,入库流量大于 500 m³/s 时,水位上涨明显(图 2)。5 年中共有 65 天入库流量超过了 500 m³/s,平均每年约为 11 天,其中,2008 年 11 月 2~8 日由于泄洪原因,水位出现下降的情况,其余 57 天水位上涨显著,平均涨幅为 1.25 米,最高涨幅达 3.06 米。入库流量超过 1000 m³/s 时,水位涨幅平均为 2.07 米,但出现水位超过 1000 m³/s 的情况不多,5 年中仅有 13 天。

面雨量的大小是影响入库流量的主要因素。分析表明,面雨量大于 10 毫米时,次日流量与当日流量相比,将出现明显的增长,占总数的 90%。增长幅度与前日流量、前日面雨量、前期累积面雨量(前 5 日或前 10 日累积面雨量)密切相关。

5 年中共出现 18 次入库流量达 500 m³/s 以上的脉动过程(表 1),多数情况下,一次脉动过程持续 1~3 天,占 78%,最长持续了 19 天,出现在 2012 年 7 月 12~30 日。

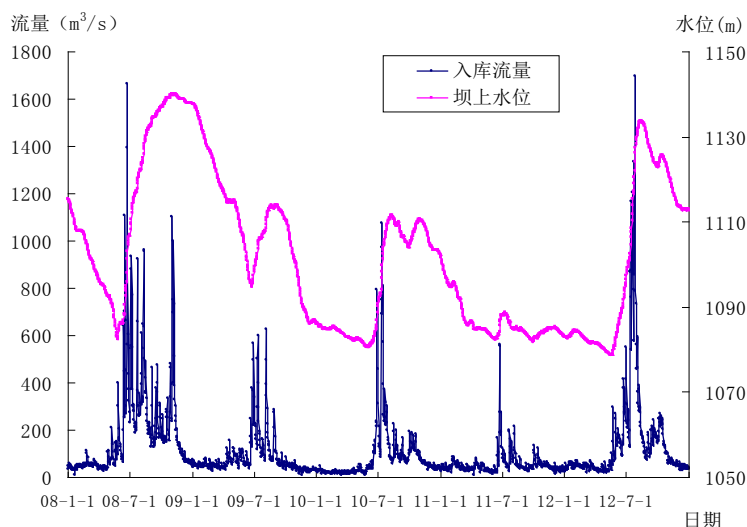


Figure 2. Hongjiadu Hydropower Station daily inflow and water level evolution curve of 2008-2012

图 2. 2008~2012 年洪家渡水电站逐日入库流量和水位演变曲线

Table 1. Hongjiadu Hydropower Station 500 m³/s flow pulsation start date and area rainfall

表 1. 洪家渡水电站 500 m³/s 流量脉动开始日期及面雨量

脉动起始日期	入库流量 m ³ /s	前日库流量 m ³ /s	前日面雨量 mm	前十日累积面雨量 mm	脉动持续天数 d
2008-6-12	643.256	201.972	25.2	61.1	1
2008-6-15	701.668	252.176	38.5	100.9	3
2008-6-21	564.468	270.645	20.8	101.8	5
2008-7-1	548.314	233.983	29.1	109.9	3
2008-7-5	937.728	374.338	29.1	95.0	3
2008-7-22	921.817	210.69	52.4	75.2	2
2008-8-3	612.158	435.818	8.7	61.0	1
2008-8-8	544.584	317.952	17.3	69.5	6
2008-11-2	1105	395.601	24.8	81.0	3
2008-11-6	1000.518	398.097	24.7	70.7	3
2009-7-11	503.014	297.36	30.4	58.3	2
2009-8-4	628.475	94.165	43.2	69.6	1
2010-6-28	792.632	238.628	23.4	81.0	2
2010-7-10	971.325	107.264	61.8	76.9	6
2011-6-23	561.914	46.338	49.7	84.5	2
2012-6-30	552.95	315.94	15.3	74.2	1
2012-7-12	871.774	202.521	42.1	77.9	19
2012-8-1	592.185	460.824	14.4	110.3	1

入库流量达 1000 m³/s 的脉动过程较少出现, 5 年中共出现 9 次(表略), 一次脉动过程一般持续 1 天, 最长持续 3 天。

4. 洪家渡水电站面雨量阈值指标

将洪家渡水电站入库流量分别与前日流量、前日面雨量和前十日累积面雨量进行相关分析，绘制散点图(图 3)，结果表明，洪家渡水电站入库流量与前日流量相关性最好，相关系数 R^2 达 0.778，入库流量与前十日累积面雨量相关性次之，相关系数 R^2 为 0.697，入库流量与前日面雨量相关性较差，相关系数 R^2 仅为 0.333。

通过 SPSS 软件建立洪家渡水电站入库流量与前日流量、前日面雨量和前十日累积面雨量的回归关系表达式为：

$$Y = -0.625 + 11.24ARO + 0.172ART + 0.762F$$

其中，ARO 表示前日面雨量，ART 表示前十日累积面雨量，F 表示前日流量。回归方程的 R^2 值达 0.901。

根据洪家渡水电站安全生产要求，500 m^3/s 和 1000 m^3/s 入库流量是该电站安全生产的两个关键值。为此，针对这两个关键流量值，通过上述回归方程可以计算出不同条件下的面雨量值，形成该电站面雨量阈值指标。表 2 是 500 m^3/s 入库流量对应的面雨量阈值指标。

表 2 可以看出，在前日流量相同条件下，前十日累积面雨量的大小变化对面雨量阈值的改变较小，仅为 1~2 mm。因此可以对前日流量相同条件下的面雨量阈值进行简单处理，即不考虑前十日累积面雨量变化情况，将前日流量相同条件下面雨量阈值计算平均，可以绘制入库流量分别达到 500 m^3/s 和 1000 m^3/s 时需要的面雨量阈值图(图 4)。

从图 4 可以看出，前日入库流量相对较小时(如 200 m^3/s)，需要较大的面雨量(29.3 mm)才有可能形成

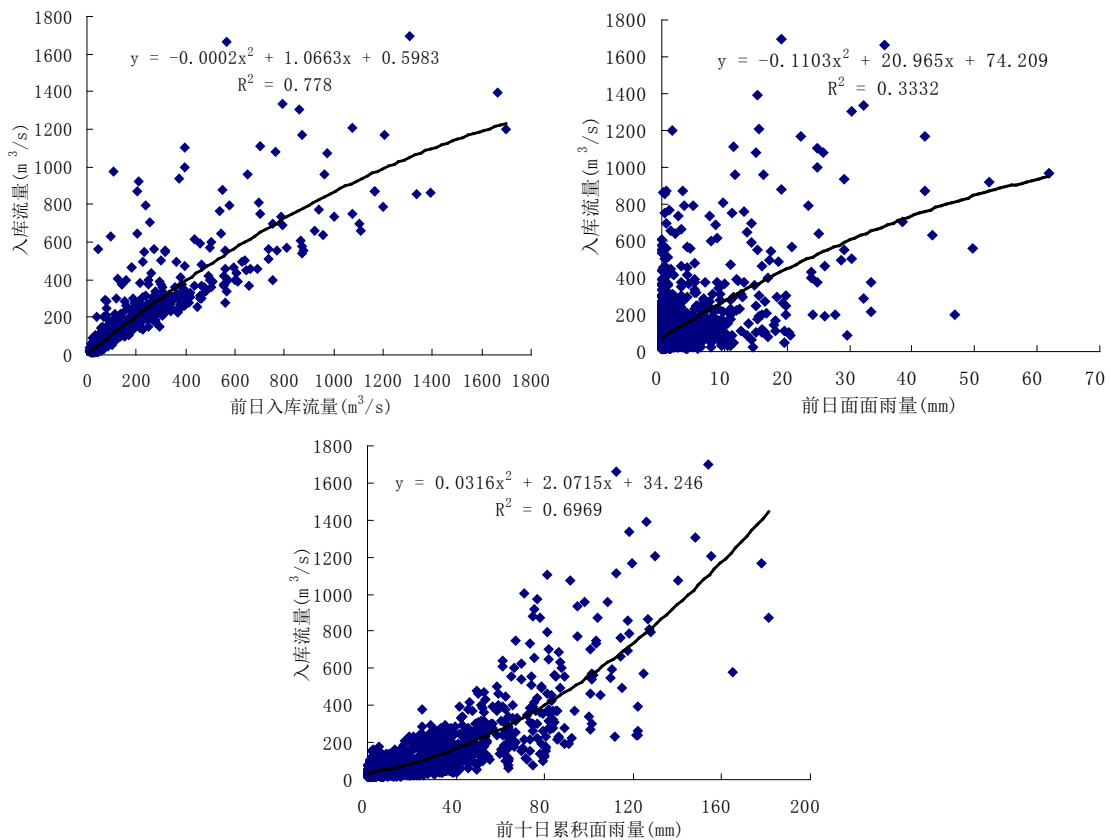


Figure 3. The relation curve between the inflow and three factors of Hongjiadu Hydropower Station

图 3. 洪家渡水电站入库流量与三个因子的关系曲线

Table 2. The correspondence between Hongjiadu Hydropower Station 500 m³/m inflow and area rainfall
表 2. 洪家渡水电站 500 m³/s 入库流量对应的面雨量阈值指标

前日流量 m ³ /s	前十日累积面 雨量 mm	500 m ³ /s 流量面雨 量指标 mm	前日流量 m ³ /s	前十日累积面 雨量 mm	500 m ³ /s 流量面 雨量指标 mm	前日流量 m ³ /s	前十日累积面 雨量 mm	500 m ³ /s 流量面 雨量指标 mm
	50	30.3		50	23.5		50	16.7
	60	30.1		60	23.3		60	16.6
	70	30.0		70	23.2		70	16.4
	80	29.8		80	23.0		80	16.3
	90	29.7		90	22.9		90	16.1
	100	29.5		100	22.7		100	16.0
200	110	29.4	300	110	22.6	400	110	15.8
	120	29.2		120	22.4		120	15.7
	130	29.1		130	22.3		130	15.5
	140	28.9		140	22.1		140	15.4
	150	28.7		150	22.0		150	15.2
	160	28.6		160	21.8		160	15.1
	170	28.4		170	21.7		170	14.9
	180	28.3		180	21.5		180	14.8
	50	26.9		50	20.1		50	13.4
	60	26.7		60	20.0		60	13.2
	70	26.6		70	19.8		70	13.1
	80	26.4		80	19.7		80	12.9
	90	26.3		90	19.5		90	12.8
	100	26.1		100	19.4		100	12.6
250	110	26.0	350	110	19.2	450	110	12.4
	120	25.8		120	19.1		120	12.3
	130	25.7		130	18.9		130	12.1
	140	25.5		140	18.8		140	12.0
	150	25.4		150	18.6		150	11.8
	160	25.2		160	18.5		160	11.7
	170	25.1		170	18.3		170	11.5
	180	24.9		180	18.2		180	11.4

500 m³/s 的流量，而前日入库流量相对较大时(如 450 m³/s)，仅需要较小的面雨量(12.4 mm)就有可能形成 500 m³/s 的流量。同样，前日入库流量在 500 m³/s 时，需要较大的面雨量 53.5 mm 才有可能形成 1000 m³/s 的流量，而前日入库流量为 950 m³/s 时，仅需要相对较小的面雨量 26.4 mm 就有可能形成 1000 m³/s 的流量。

5. 小结

- 1) 洪家渡水电站库容水位的涨落除与发电状况有关外，更主要与降雨产生的入库流量密切相关，入

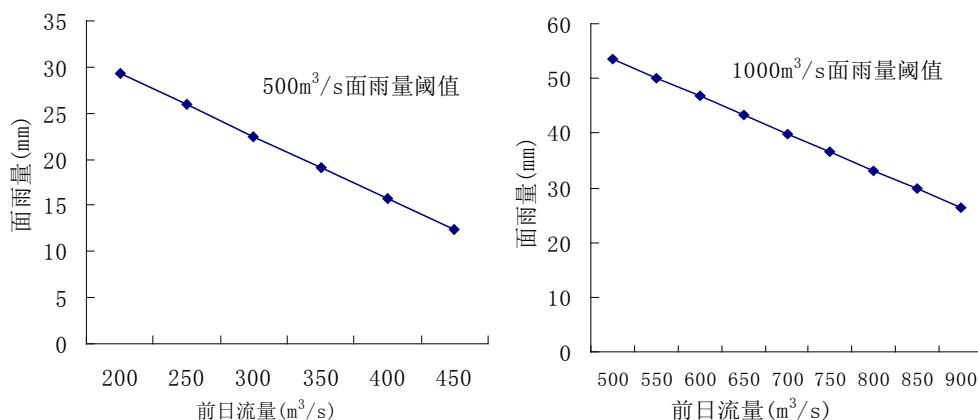


Figure 4. Area rainfall threshold curves of Hongjiadu Hydropower Station
图 4. 洪家渡水电站面雨量阈值曲线

库流量大于 $500 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 水位上涨明显。面雨量大于 10 毫米时, 次日流量与当日流量相比, 将出现明显的增长, 增长幅度与前日流量、前日面雨量、前期累积面雨量密切相关。

2) 洪家渡水电站入库流量与前日流量相关性最好, 相关系数 R^2 达 0.778, 入库流量与前十日累积面雨量相关性次之, 相关系数 R^2 为 0.697, 入库流量与前日面雨量相关性较差, 相关系数 R^2 仅为 0.333。

3) 针对 $500 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 这两个关键流量, 通过回归计算给出了不同条件下的面雨量阈值指标, 面雨量阈值表明, 前日入库流量相对较小时, 需要较大的面雨量才有可能形成 $500 \text{ m}^3/\text{s}$ 或 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 的流量, 而前日入库流量相对较大时, 仅需要相对较小的面雨量就有可能形成 $500 \text{ m}^3/\text{s}$ 或 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 的流量。

基金项目

公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306059)资助。

参考文献 (References)

- [1] 邓慧平, 李秀彬, 张明, 等. 气候与地表覆被变化对梭磨河流域水文影响的分析[J]. 地理科学, 2001, 21(6): 493-497.
DENG Huiping, LI Xiubin, ZHANG Ming, et al. A study of changes in hydrology resulting from climate and land cover changes in the Suomo Basin. Scientia Geographica Sinica, 2001, 21(6): 493-497. (in Chinese)
- [2] 李丽娟, 姜德娟, 李九一, 等. 土地利用/覆被变化的水文效应研究进展[J]. 自然资源学报, 2007, 22(2): 211-224.
LI Lijuan, JIANG Dejuan, LI Jiuyi, et al. Advances in hydrological response to land use/land cover change. Journal of Natural Resources, 2007, 22(2): 211-224. (in Chinese)
- [3] 孙宁, 李秀彬, 冉圣洪, 等. 潮河上游降水-径流关系演变及人类活动的影响分析[J]. 地理科学进展, 2007, 26(5): 41-47.
SUN Ning, LI Xiubin, RAN Shenghong, et al. The changes of rainfall-runoff relationship and the impacts of human activities in the upper Chao Watershed. Progress in Geography, 2007, 26(5): 41-47. (in Chinese)
- [4] 刘星才, 徐宗学, 占车生, 等. 密云水库入库流量变异性及其影响因素[J]. 水土保持通报, 2011, 31(1): 40-45.
LIU Xingcai, XU Zongxue, ZHAN Chesheng, et al. Variability and potential impact factors of inflows into the Miyun Reservoir. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2011, 31(1): 40-45. (in Chinese)
- [5] 邵骏, 范可旭, 邢建平, 等. 乌江干流年径流变化趋势及成因分析[J]. 水文, 2012, 32(6): 86-91.
SHAO Jun, FAN Kexu, BING Jianping, et al. Variation trend and driving factors of annual runoff in Wujiang River. Journal of China Hydrology, 2012, 32(6): 86-91. (in Chinese)
- [6] 唐洪波, 望建成, 杨建赞, 等. 乌江流域气象、水文特性分析[J]. 贵州水力发电, 2010, 24(1): 6-9.
TANG Hongbo, WANG Jiancheng, YANG Jianzan, et al. Analysis of meteorological, hydrological characteristics of Wujiang Basin. Guizhou Water Power, 2010, 24(1): 6-9. (in Chinese)
- [7] 熊亚兰, 张科利, 杨光傲, 等. 乌江流域降雨和径流的周期变化[J]. 四川农业大学学报, 2010, 28(4): 475-479.

- XIONG Yalan, ZHANG Keli, YANG Guangxi, et al. Periodic changes of the precipitation and runoff in Wu River Watershed. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2010, 28(4): 475-479. (in Chinese)
- [8] 秦年秀, 陈喜, 薛显武, 等. 气候变化对乌江流域水文水资源的影响[J]. *河海大学学报*, 2011, 39(6): 623-628.
QIN Nianxiu, CHEN Xi, XUE Xianwu, et al. Effects of climate change on hydrology and water resources in Wujiang Basin. *Journal of Hohai University (Natural Sciences)*, 2011, 39(6): 623-628. (in Chinese)