

Preliminarily Analyze the Water and Sediment Characteristics of Baihetan Reservoir

Chang Peng, Qixiang Ran, Yanrong Ping

Bureau of Hydrology & Water Resources Survey of the Upper Yangtze River, Chongqing
Email: shushulingjiechang@163.com

Received: Dec. 15th, 2017; accepted: Dec. 29th, 2017; published: Jan. 5th, 2018

Abstract

In the past, the analysis of the water and sediment characteristics in the Jinsha River, mainly aims at the overall analysis of the trunk stream in the downstream of Jinsha River, rather than the single analysis on water and sediment characteristics in a certain period of downstream river. In recent years, affected by changes of climate and watershed underlying surface conditions, and the influence of water storage operation on cascade hydropower stations in Jinsha River, river water and sediment characteristics also had a series of new changes. Therefore, it is necessary to analyze the characteristics of water and sediment in the reservoir section of the proposed Baihetan hydropower station at present. This paper is starting from this demand, based on the existing data, in Baihetan Hydropower Station Reservoir area of the object. In addition to focusing on the main stream reach, the analysis of the tributary of the reservoir is also included, and by choosing the Baihetan reservoir area located in a storage library control station, outbound control station and tributary control station, using the methods of hydrological mathematical statistics and comparative analysis, taking Baihetan reservoir reach as the object to summarize the basic characteristics of the river water and sediment analysis over the years and adopting conventional hydrological mathematical statistics method and comparative analysis method, the coming water and sediment characteristics in Baihetan reservoir reach over the years have been systematically analyzed, finding out the specific time node of water sediment characteristics and analyzing the causes of change. In conclusion, with current commonly used hydrological statistics method and comparative analysis method, this paper used the existing hydrological data to make systematic analysis on river water and sediment characteristics, laying good foundation for optimizing the operation and management methods of Baihetan reservoir, comparing the change influences and predicting the change trend of water and sediment characteristics after the operation of Baihetan reservoir.

Keywords

Hydropower Development, The Lower Reaches of Jinsha River, Baihetan Reservoir, Characteristics of Water and Sediment

白鹤滩库区河段水沙特性初步分析研究

彭 畅, 冉启香, 平妍容

作者简介: 彭畅(1985.2-), 籍贯重庆, 工程师, 工程硕士, 从事水文分析、水文测验技术研究及管理工作。

摘要

过去在对金沙江进行水沙特性分析时, 大多主要针对金沙江下游河段干流进行整体分析, 未单独对下游某一段河道进行水沙特性分析。而近年来, 受气候、流域下垫面条件变化, 以及金沙江梯级水电站蓄水运行等影响, 河道水沙特性也发生一系列新的变化, 因此有必要在现阶段对拟建白鹤滩水电站库区河段的水沙特性进行分析研究。本文正是从这种需求出发, 基于现有资料, 以拟建白鹤滩水电站库区河段为对象, 除关注干流河段外, 还加入库区所含支流河段的分析, 通过选择白鹤滩库区所在河段入库控制站、出库控制站以及支流控制站, 采用常规的水文数理统计和对比分析等方法, 从入库、出库及区间来水来沙变化情况三个方面对白鹤滩库区所在河道历年来的来水来沙特性进行系统分析, 找出水沙特性变化的具体时间节点并分析变化原因等。为优化白鹤滩水库运行和管理方式、对比水库建成投入使用后河道水沙特性变化影响, 以及为预测白鹤滩水库建成投入使用后出入库水沙变化趋势奠定一些基础。

关键词

水电开发, 金沙江下游, 白鹤滩水电站, 水沙特性

Copyright © 2018 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

1. 引言

正在建设中的白鹤滩水电站是金沙江下游干流河段梯级开发的第二个梯级电站, 具有以发电为主, 兼有防洪、拦沙、改善下游航运条件和发展库区通航等综合效益[1]。白鹤滩水电站库区所在河段的来水来沙条件将直接影响白鹤滩水库的调度运行, 且白鹤滩电站的投入使用将改变河道的边界条件, 使下游河道的水沙条件发生较大变化, 对下游溪洛渡水电站的运行及下游河道的健康状况都有着巨大影响[2]。本文通过对现状条件下白鹤滩水电站所在河段水沙特性展开分析研究, 为优化白鹤滩电站运行管理方式、对比水库建成投入使用后河道水沙特性变化影响, 以及为预测白鹤滩水库建成投入使用后出入库水沙变化趋势奠定一些基础。

从收集的其他资料文献看出, 过去在对金沙江水沙特性分析时, 所选资料系列时间久远, 对近年水沙特性分析不多, 且主要针对金沙江下游河段干流, 未单独对某一段河道进行水沙特性分析。近年来, 受气候、流域下垫面条件变化, 以及金沙江中上游梯级水电站陆续建成蓄水运用等影响, 加之 2013 年 5 月溪洛渡水电站开始初期蓄水, 2013 年白鹤滩水电站主体工程正式开工建设[3], 金沙江下游河道水沙特性出现了一些新变化, 河道水沙特性也发生一系列变化。因此有必要在现有环境状态下单对白鹤滩库区的水沙特性进行分析研究。本文以白鹤滩库区为对象进行近年出入库水沙特性分析, 除关注干流水沙特性外, 还进一步分析了库区所含支流的水沙特性。基于现有资料基础上采用数理统计、对比分析等方法, 从白鹤滩出库和入库径流、泥沙的年际、年内变化方面入手, 详细分析白鹤滩库区所在河道历年水沙特性; 通过径流量与输沙量的双累积水沙相关关系曲线对比, 找出水沙特性变化的具体时间节点并分析变化原因。

2. 流域水沙概况

白鹤滩库区内洪水是在金沙江上游融雪(冰)径流的基础上,加金沙江中下游暴雨洪水所形成,且以暴雨洪水为主。每年5月开始降雨逐渐增多,一般雨区自上游向下游移动发展。库区内洪水一般发生在6月下旬至10月中旬,尤以7~9月最集中。

金沙江攀枝花以下为金沙江下游,区域内地质构造复杂,极易形成滑坡、泥石流[4]。巧家地区华电站年均输沙模数 $365 \text{ t/km}^2\cdot\text{a}$, 向家坝(屏山)站年均输沙模数 $454 \text{ t/km}^2\cdot\text{a}$ 。攀枝花-华弹区间输沙模数为 $1896 \text{ t/km}^2\cdot\text{a}$ (不含雅砻江), 华弹-向家坝(屏山)区间输沙模数约为 $2105 \text{ t/km}^2\cdot\text{a}$, 是金沙江流域主要产沙区[5]。

金沙江流域水文站点分布较多较广,本文收集了乌东德站、华电站、攀枝花站、桐子林站、宁南站、尼格站、小江站7个站至2014年的长系列水文资料进行分析,如表1。

3. 入库站水沙特性分析

白鹤滩水电站上接乌东德水电站,采用乌东德水电站控制出口站乌东德站作为白鹤滩水电站入库控制站。

乌东德站年径流量多年均值为 1149 亿 m^3 ,从图1看出,各年年径流量有一定变化,变化幅度在20%左右,主要是水文随机过程的一种波动,无明显趋势性变化。从图2看出,乌东德站所在河段主汛期在7~9月,洪峰多出现在7月,汛期(6~10月)径流量占全年总量的70%左右,该比例近年来有所变化,但未表现出规律性。

由于乌东德站输沙量数据系列较短,本文通过分析上游干流攀枝花站和支流雅砻江桐子林站输沙情况,以了解白鹤滩水库上游控制站来沙变化规律[6]。

通过对攀枝花站和桐子林站的输沙量统计及点绘攀枝花站累积径流量与累积输沙量关系曲线(图3)看出,白鹤滩库区上游干流攀枝花站年输沙量和径流量的点据较集中,相关关系较好。1991~2010年间同径流量下输沙量较1990年前略有增加,至1998年该趋势仍得以保持,2005年左右同径流量下输沙开始减少,分析原因主要是水土保持工作的展开,输沙量转为减少。2010年后由于上游水电站陆续投入使用,使得清水下泄,同径流量下输沙量大幅减少。2014年较1991~2010年均值减少87.4%。

支流雅砻江年输沙量波动较大,但无明显趋势性变化,年径流量各年间变化较小,年均输沙量约为1420万t。

4. 出库水沙特性分析

白鹤滩水文站位于白鹤滩坝址上游附近,是2014年由华电站下迁至坝址下游改为白鹤滩站,因白鹤滩站资料系列较短,故仍采用华电站资料分析白鹤滩库区出库水沙特性。

从表2和图4看出,华电站径流量近年来变化较小,无趋势性变化,主要表现为随机波动变化。河段年内

Table 1. Data sheet of every station in Baihetan reservoir area

表1. 白鹤滩库区各站资料情况一览表

河流	站名	控制流域面积比例	资料系列	
			流量	泥沙
金沙江	攀枝花		1965~2014	1966~1968, 1970~2014
金沙江	乌东德站		2003~2014	2014
金沙江	华电站		1956~1962, 1964~2014	1956~1962, 1964~2014
雅砻江	桐子林站	95%	2006~2014	2006~2014
黑水河	宁南站	85%	1964~1990, 2006~2014	1964~1990, 2006~2014
普渡河	尼格站	99%	2009~2014	2009~2014
小江	小江站	72%	1964~1966, 1974~1989	-

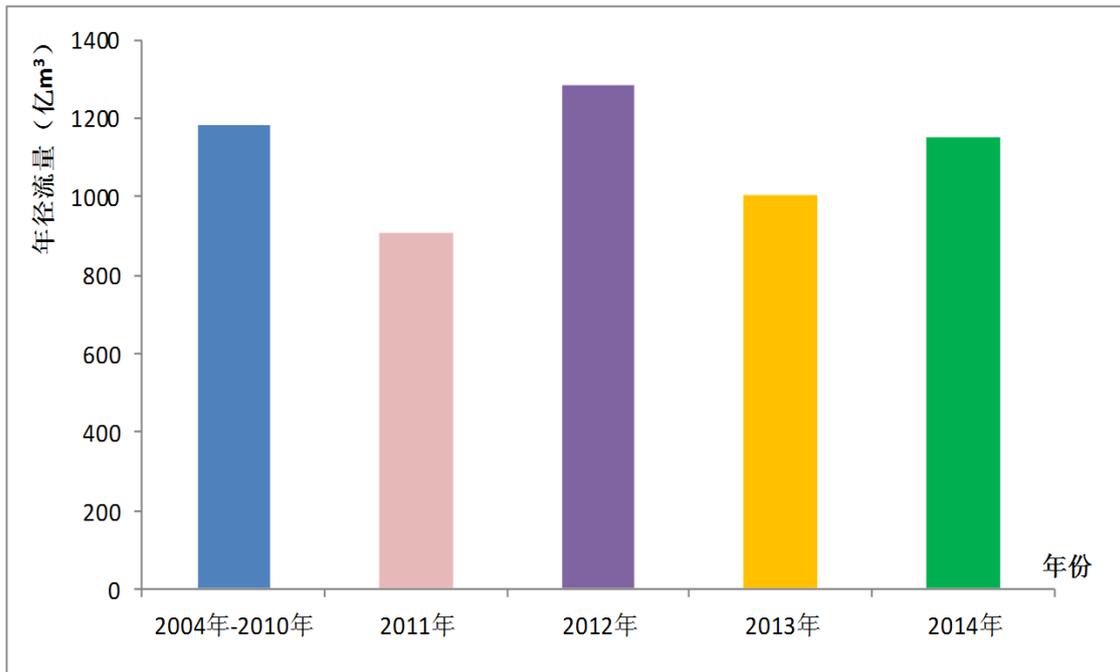


Figure 1. The runoff multi-year comparison chart of Wudongde hydrological station

图 1. 乌东德站径流量多年变化对比图

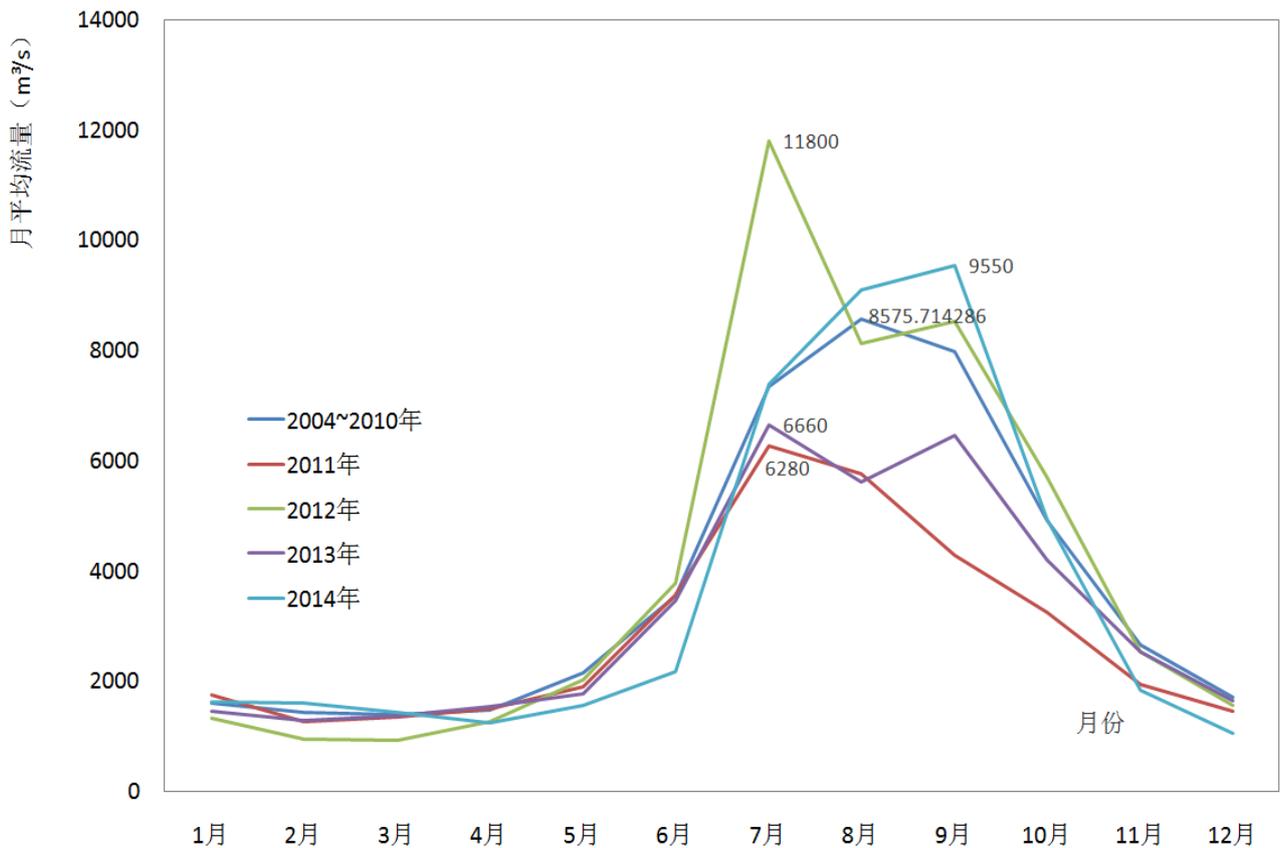


Figure 2. The flow duration curve of Wudongde hydrological station

图 2. 乌东德站流量过程线图

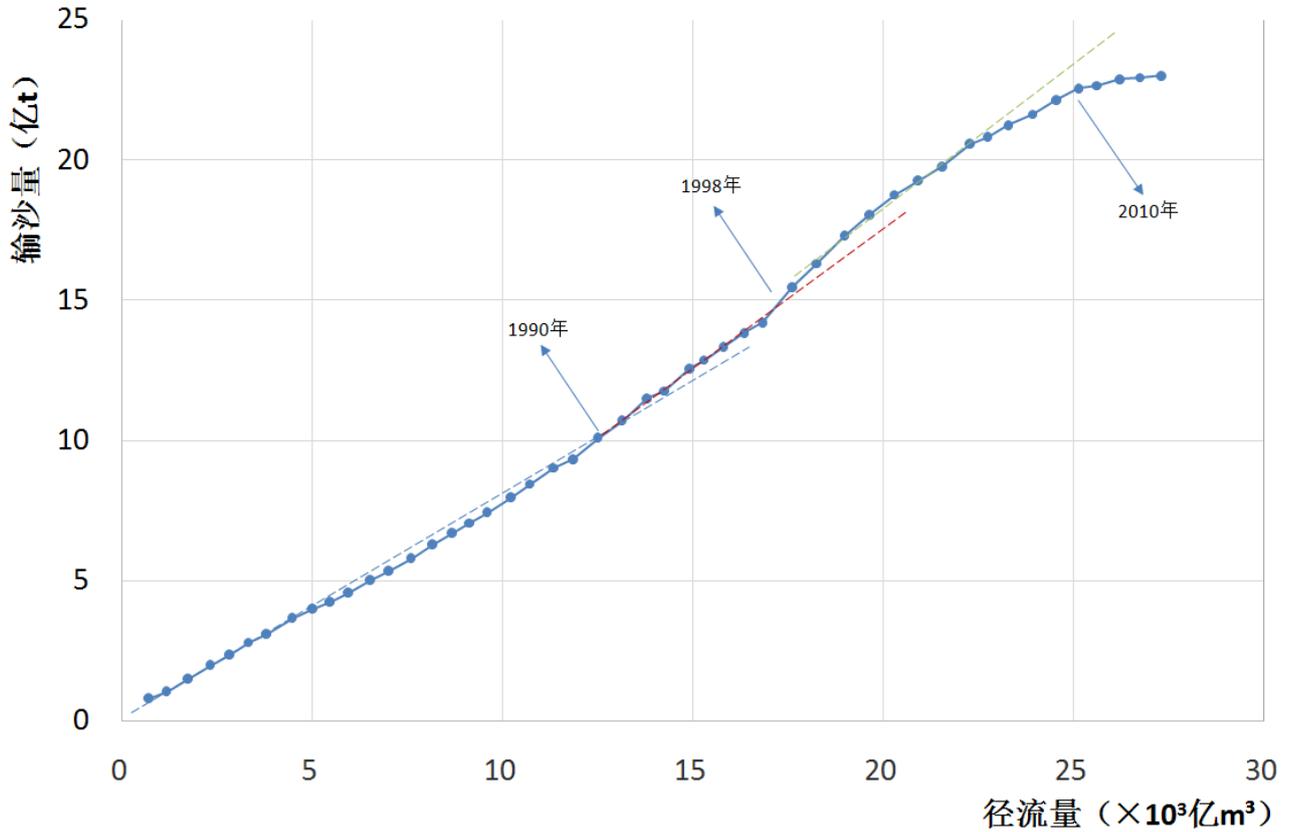


Figure 3. The correlation curve of accumulated runoff and sediment in Panzhihua hydrological station
 图 3. 攀枝花站累积水沙相关曲线图

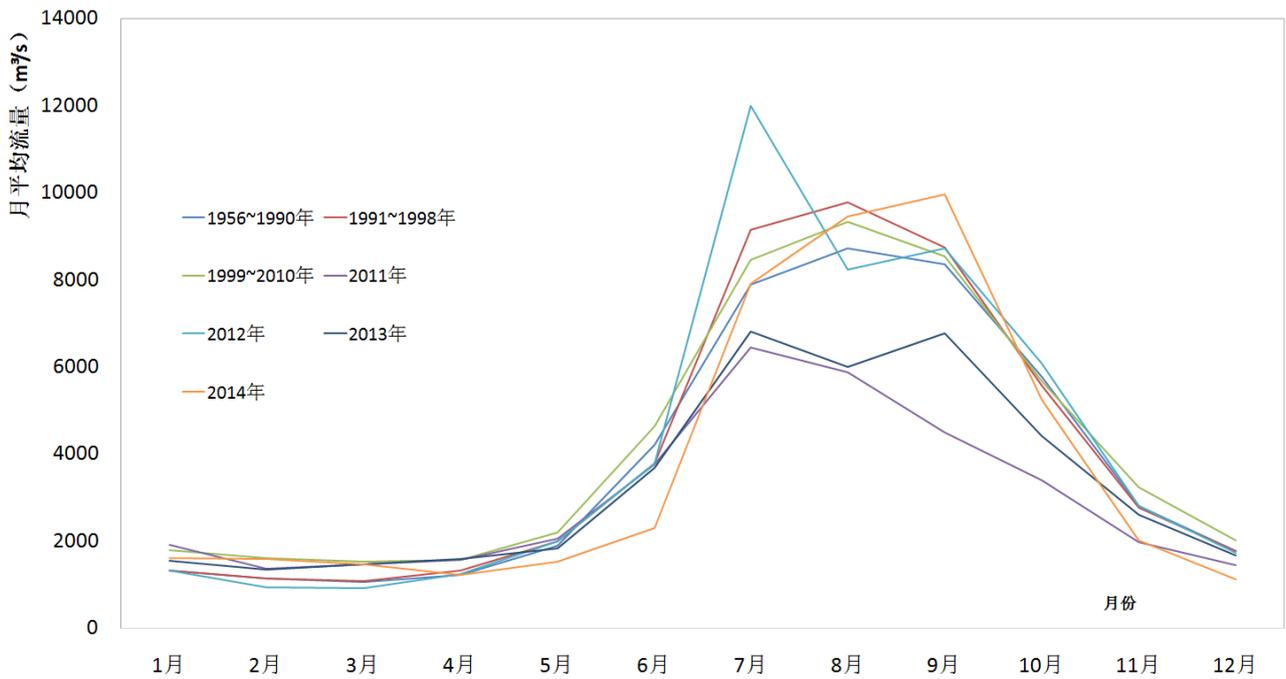


Figure 4. The flow duration curve of Huatan hydrological station
 图 4. 华电站流量过程线图

分配汛期、非汛期径流量占全年的百分比并未发生较大变化,汛期径流量约占全年水量 75%,非汛期约占 25%。从白鹤滩库区范围内上下游站洪枯比对比可知,乌东德站 2006 年来洪枯比均值为 16.2,最大最小分别为华电站多年来洪枯比在 15 左右,均未表现出趋势性变化。库区内洪枯比沿程减小。

从表 2 和图 5 看出华电站近年来汛期输沙量占全年的百分比持续减少,非汛期输沙量占全年的百分比持续增加,但汛期输沙量占全年的百分比仍保持在 90%以上,非汛期在 10%以下,输沙仍较集中。

通过累积水沙相关曲线(图 6)和表 2 可以看出来沙年际变化较大,近年沙量不断减小。华电站 1990 年左右同径流量下输沙量开始增加,1991~1998 年间华电站年均输沙量呈增加的趋势,平均增多 32.54%,主要是由于期间金沙江段人类活动影响加大,水流含沙量增加。1998 年后同径流量下输沙量骤减,较 1990 年前减少 13.61%,较 1991~1998 年均值减少 34.82%,除上游二滩水电站的修建使得雅砻江一部分泥沙在库区内淤积外,主要还是由于对水土保持的越来越重视,使得区间产沙量减少。至 2010 年后由于上游金安桥、阿海等水电站的陆续投入使用,同径流量下输沙量进一步减少。2011 年水量较枯,同时受金安桥水电站蓄水影响,输沙量较 1990 年前均值减少 73.6%,2012 年、2014 年年输沙量较 1990 年前均值分别减少 30.8%和 59.59%。

5. 库区主要支流水沙特性

5.1. 黑水河

黑水河是金沙江白鹤滩库区内左岸一级支流,位于金沙江下游四川省凉山彝族自治州境内,河口距白鹤滩坝址约 33 km。干流河长 174 km,流域面积 3596 km²。黑水河河口上游约 25 km 处设有宁南水文站,集水面积 3074 km²控制流域面积的 85% [6]。据收集到的宁南站多年资料看来,黑水河汛期为 6~10 月,与金沙江干流一致,汛期水量占全年水量的 70%左右,输沙高度集中在汛期,沙峰多出现在 7 月,见图 7 和图 8。

1990 年前宁南站多年年平均径流量为 21.40 亿 m³,多年年输沙量为 413 万 t。2006 年以来,多数年份年径流量在 20 亿 m³左右变化,输沙量变化范围则较大。2008 年、2012 年径流量明显偏大,分别偏多 27.43%、32.62%,同年输沙量则分别偏多 136.56%、173.61%,见表 3。

从宁南站多年水沙相关关系图(图 9)中可以看出:宁南站年输沙量和径流量的点据较为散乱,相关关系较差,特别是中大水时,输沙量变化幅度较大,尤其是 2008 年和 2012 年分别发生了地震和泥石流,导致沙量大幅增加。较 1964~1990 年相比,2006 年后宁南站水沙相关关系尚未发现明显变化。

从表 4 看出支流黑水河与干流的来水来沙关系。黑水河宁南站集水面积占干流华电站集水面积的 7.89%,1964~1990 年间宁南站年均径流量占华电站的 17.43%,2006 年以来,该比例有一定变化,但变化幅度较小。

Table 2. The runoff and sediment discharge multi-year change correlation table of Huatan hydrological station

表 2. 华电站径流量和输沙量多年变化对比表

时间段	年径流量(10 ⁸ m ³)	年输沙量(10 ⁴ t)	年径流量变化率(%)	年输沙量变化率(%)
1956~1990 年	1219	16,900	-	-
1991~1998 年	1278	22,400	+4.84%	+32.54%
1999~2010 年	1333	14,600	+9.35%	-13.61%
2011~2014 年	1126	7100	-7.63%	-57.99%
2011 年	945.6	4460	-22.43%	-73.61%
2012 年	1315	11,700	+7.88%	-30.77%
2013 年	1048	5400	-14.03%	-68.05%
2014 年	1197	6830	-1.80%	-59.59%

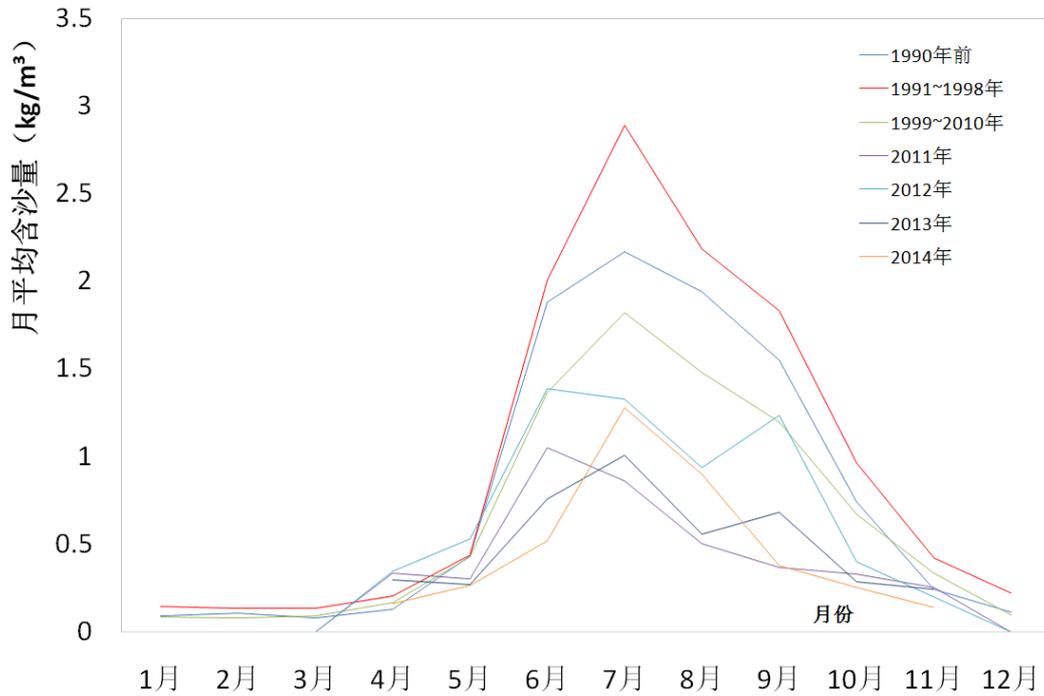


Figure 5. The sediment concentration process curve of Huatan hydrological station
 图 5. 华弹站含沙量变化过程图

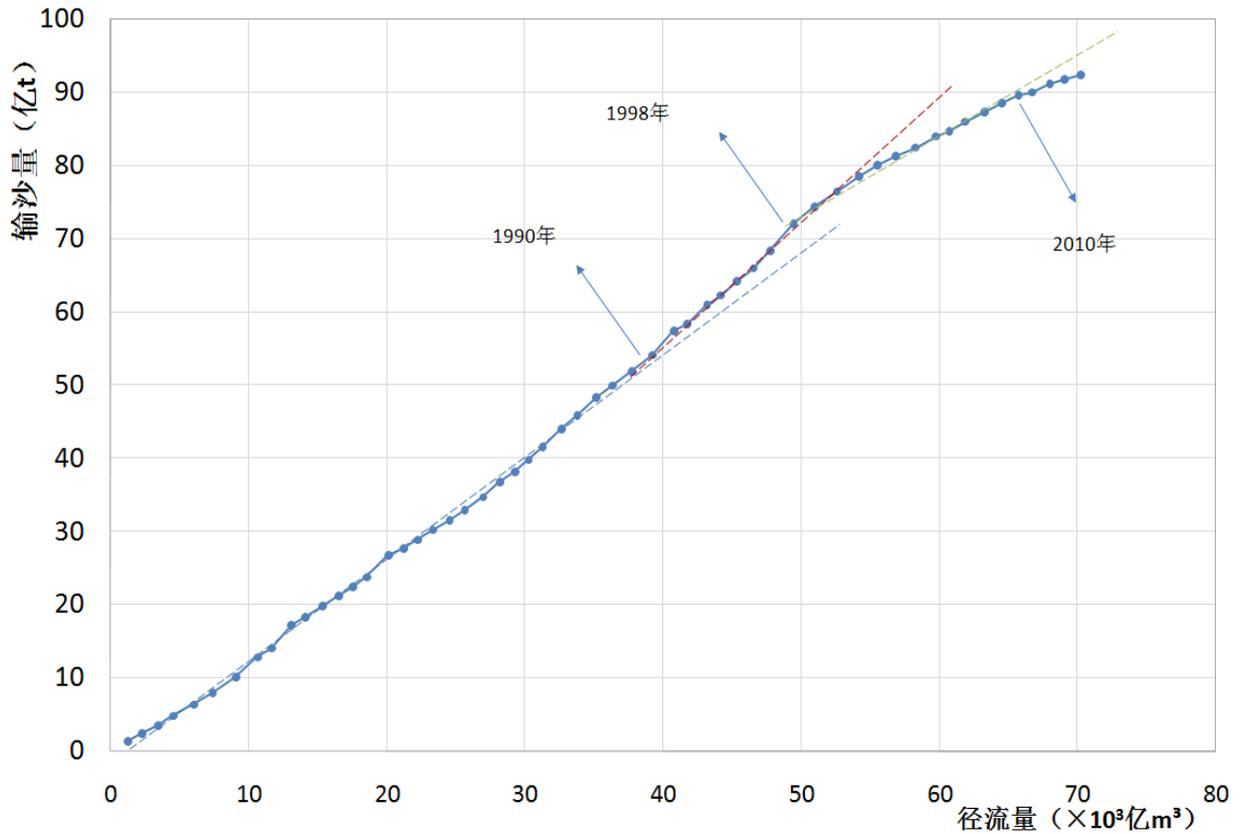


Figure 6. The correlation curve of accumulated runoff and sediment in Huatan hydrological station
 图 6. 华弹站累积水沙相关曲线图

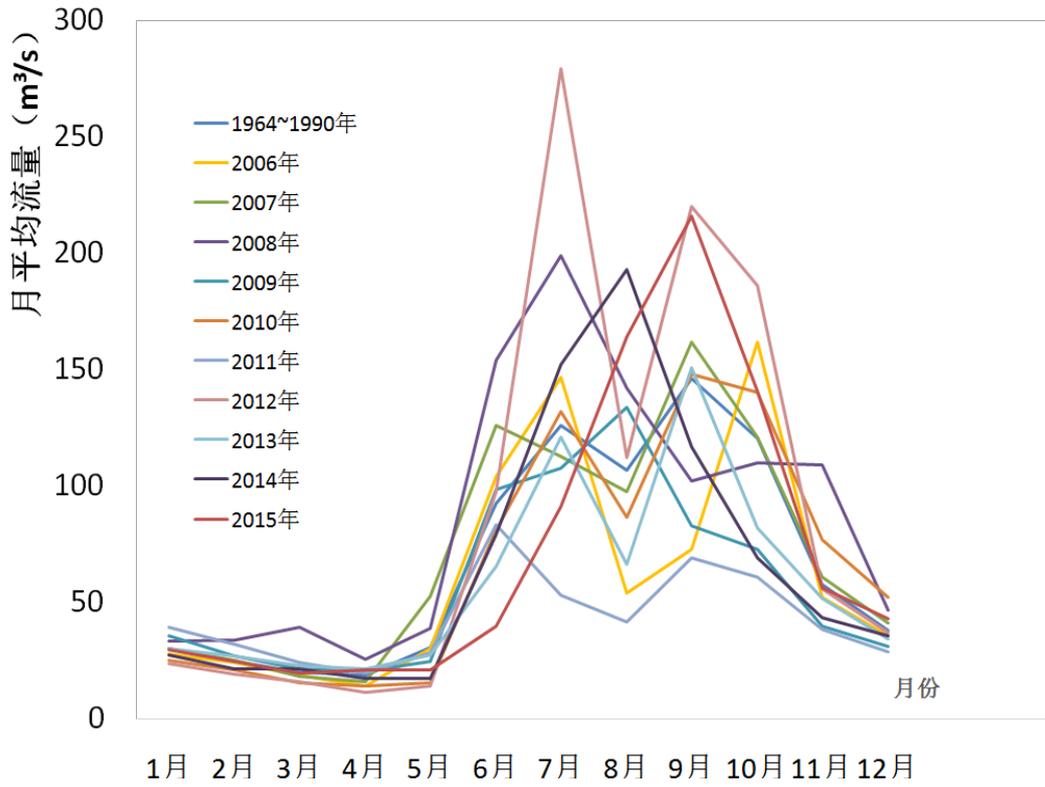


Figure 7. The flow duration curve of Ningnan hydrological station
 图 7. 宁南站流量过程线图

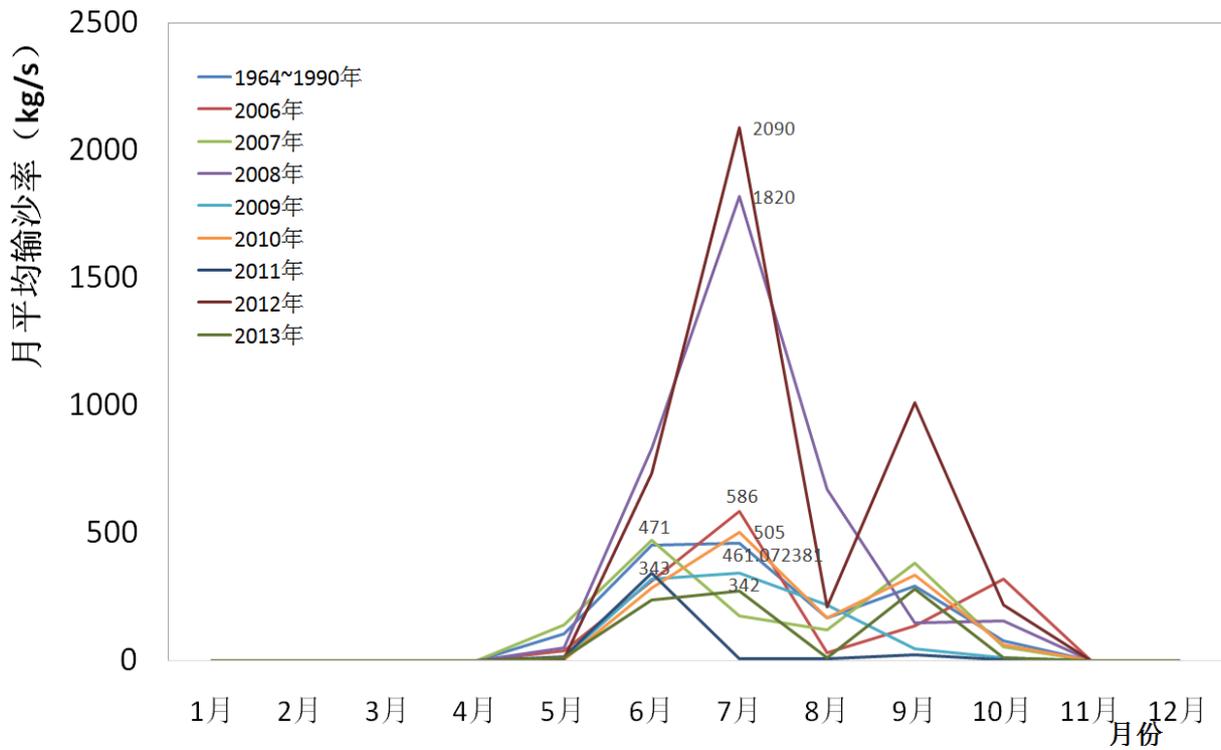


Figure 8. The sediment transport rate process curve of Ningnan hydrological station
 图 8. 宁南站输沙率过程图

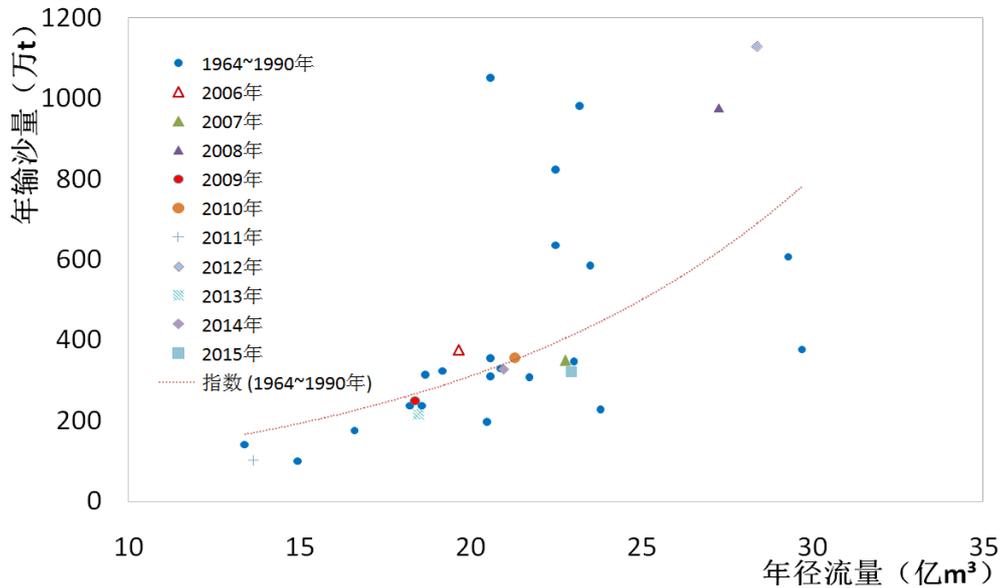


Figure 9. The correlation curve of runoff and sediment in Ningnan hydrological station
图 9. 宁南站水沙相关关系图

Table 3. The Ningnan hydrological station multi-year statistical tables of runoff and sediment
表 3. 宁南站多年水沙量统计表

时段	径流量(亿 m ³)	变化率	输沙量(万 t)	变化率
1964~1990 年	21.40		413	
2006 年	19.65	-8.18%	376	-8.96%
2007 年	22.78	6.45%	350	-15.25%
2008 年	27.27	27.43%	977	136.56%
2009 年	18.40	-14.02%	251	-39.23%
2010 年	21.30	-0.47%	358	-13.32%
2011 年	13.64	-36.26%	103	-75.06%
2012 年	28.38	32.62%	1130	173.61%
2013 年	18.47	-13.69%	217	-47.46%
2014 年	20.98	-1.96%	328	-20.58%

注：“变化率”为相对 1964~1990 年均值变化。

Table 4. The comparison table of runoff and sediment transport ratio between Ningnan and Huatan hydrological station
表 4. 宁南站、华弹站径流量比和输沙量比对照表

年份	径流量比(宁南/华弹)	输沙量比(宁南/华弹)	集水面积比(宁南/华弹)
1964~1990 年	17.43‰	23.33‰	
2006 年	20.08‰	53.87‰	
2007 年	19.77‰	27.34‰	
2008 年	19.83‰	75.15‰	
2009 年	14.31‰	20.24‰	
2010 年	17.71‰	34.10‰	7.98‰
2011 年	14.42‰	23.09‰	
2012 年	21.58‰	96.58‰	
2013 年	17.62‰	40.19‰	
2014 年	17.53‰	48.02‰	

1964~1990 年间宁南站年均输沙量占华电站的 23.33‰，2006 年以来，该比例有较明显的提升。

5.2. 普渡河

普渡河为白鹤滩库区右岸的一级支流，位于云南省中部，金沙江下游地区，河口距白鹤滩坝址约 143 km。普渡河全流域面积 11,751 km²，河长 346 km，总落差 1943 m，干流平均比降约 5.38‰。年输沙量约为 149 万 t。普渡河河口控制站为尼格站，建于 2009 年，断面以上控制面积为 11,634 km²，占全流域面积的 99%。根据尼格站的径流资料，普渡河汛期为 6~10 月，与金沙江干流一致，汛期水量占全年水量的 70%左右。从尼格站年输沙过程来看，黑水河输沙集中在汛期，汛期沙量占全年沙量的 95%左右，沙峰多出现在 6 月，见图 10 和图 11。

根据尼格站 2009~2014 年水沙相关资料(表 5)，2009~2014 年间尼格站年平均径流量为 13.96 亿 m³，年均输沙量为 56.5 万 t。点绘尼格站 2009~2014 年水沙相关关系图(图 12)，各年点据较为散乱，暂无明显相关关系。

Table 5. The Nige hydrological station multi-year statistical tables of runoff and sediment

表 5. 尼格站多年水沙量统计表

时段	径流量(亿 m ³)	输沙量(万 t)
2009 年	17.64	74.8
2010 年	12.20	82.3
2011 年	9.153	30.9
2012 年	12.02	64.9
2013 年	12.42	52.3
2014 年	20.33	33.5
均值	13.96	56.5

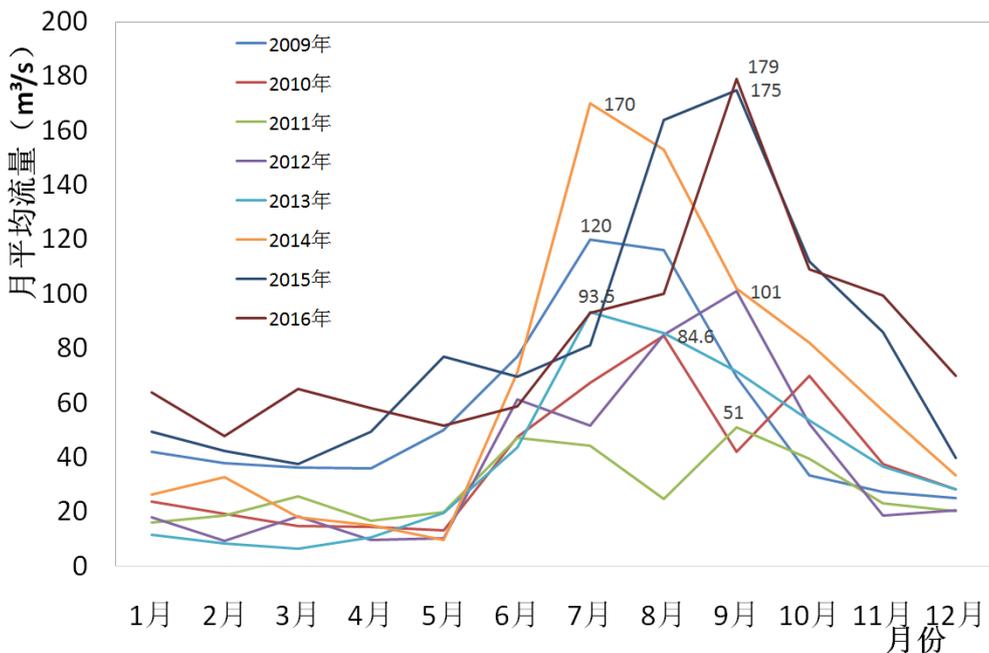


Figure 10. The flow duration curve of Nige hydrological station

图 10. 尼格站流量过程线图

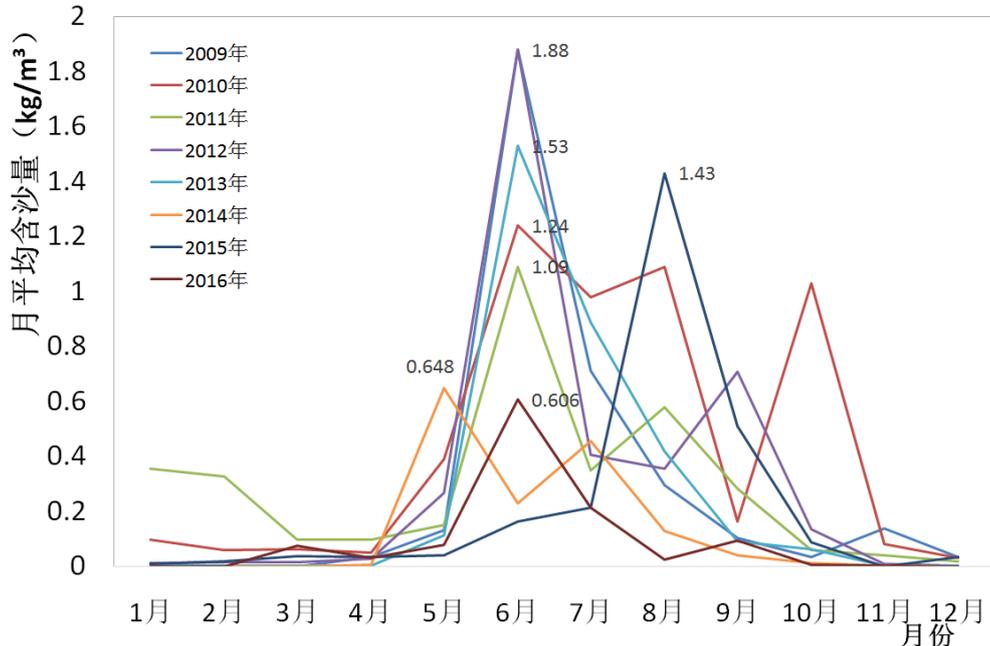


Figure 11. The sediment concentration process curve of Nige hydrological station

图 11. 尼格站含沙量过程线图

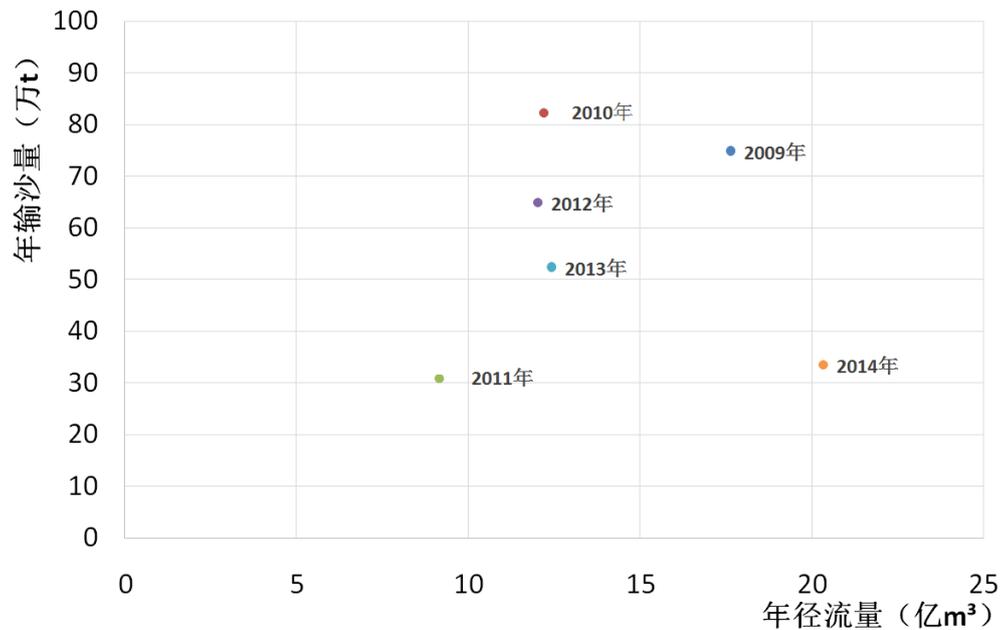


Figure 12. The correlation curve of runoff and sediment yield in Nige hydrological station

图 12. 尼格站水沙相关关系图

5.3. 小江

小江为库区右岸一级支流,河口距白鹤滩坝址约 93 km。小江河口控制站小江水文站,控制流域面积的 72%。小江长 134 km,流域面积约 3120 km²,天然落差约 1510 m,多年平均流量约 51 m³/s,水能理论蕴藏量 25.6 万 KW。流域内植被稀少,有 50 多条泥石流冲沟,是著名的泥石流频繁暴发地区。

小江上曾设有小江水文站,位于云南省东川市绿茂镇河里湾村,控制流域面积 2241 km²,占小江流域面积

72%。目前小江水文站因故已被撤销,下游没有合适的水文控制站。根据小江站 1964~1966 年、1974~1989 年径流资料,小江年均径流量为 10.4 亿 m^3 ,占华弹站径流量的 8.53%,小江站集水面积占华弹站的 4.97%。

5.4. 以礼河

以礼河为库区右岸一级支流,河口距白鹤滩坝址约 57 km。入汇口距离白鹤滩坝址约 57 km。以礼河全长 120 km,流域面积 2558 km^2 ,年均输沙量约为 160 万 t。以礼河上游会泽县钟屏镇毛家村建有世界第二、全国最大的土坝—毛家村水库大坝,库容 5.53 亿 m^3 ,库区回水长 30 km。目前以礼河上已经建成了 4 座梯级电站,装机容量 32.15 万 kw,年平均发电量 16 亿 kwh,其开发程度占全河水电蕴藏量的 96% 以上,是长江支流中水电资源利用得最充分的河流之一。以礼河出口无控制水文站。

6. 主要结论

1) 白鹤滩库区入库华东德站各年年径流量有一定变化,无明显趋势性变化。上游干流攀枝花站年输沙量和径流量相关关系较好。2010 后同径流量下输沙量大幅减少。支流雅砻江年输沙量波动较大,但无明显趋势性变化,年径流量各年间变化较小。

2) 白鹤滩库区出库华弹站径流量近年来变化较小,无趋势性变化,库区径流在时间上分配不平衡程度沿程减小。华弹站输沙量呈现先增加后减少的趋势,2010 年后输沙量进一步减少,年内分配上,近年来汛期输沙量占全年的百分比持续减少,但仍保持在 90% 以上,输沙仍较集中,但水沙相关关系较差。

3) 库区支流黑水河年径流量在 21 亿 m^3 左右,多年来无趋势性变化。黑水河输沙量占华弹站的比例近年来有一定提升。宁南站水沙相关关系较差,中高水时输沙量变幅较大,输沙高度集中在汛期。

4) 库区支流普渡河尼格站年均径流量和输沙量分别为 13.96 亿 m^3 、56.5 万 t,暂无明显水沙相关关系。

参考文献 (References)

- [1] 郭为民. 开发金沙江水能资源优化我国能源配置格局[J]. 科技情报开发与经济, 2004, 14(8): 74-75.
GUO Weiming. Developing the hydro-energy resources of Jinshajiang River and optimizing Chinese energy distributing configuration. Sci/Tech Information Development & Economy, 2004, 14(8): 74-75. (in Chinese)
- [2] 黄川, 娄霄鹏, 刘元元. 金沙江流域泥沙演变过程及趋势分析[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2002, 25(1): 21-23.
HUANG Chang, LOU Xiaopeng and LIU Yuanyuan. Analysis of the sediment development and trend in Jinshajiang river drainage area. Journal of Chongqing University (Natural Science Edition), 2002, 25(1): 21-23. (in Chinese)
- [3] 童思陈, 周建军. 金沙江中下游梯级优化开发模式探讨[J]. 水力发电学报, 2007, 6(2): 7-11.
TONG Sichen, ZHOU Jianjun. Optimized scheme proposed for the exploitation mode for the middle and lower reaches of Jinsha river. Journal of Hydroelectric Engineering, 2007, 6(2): 7-11. (in Chinese)
- [4] 柴宗新, 范建容. 金沙江下游侵蚀强烈原因探讨[J]. 水土保持学报, 2001, 15(5): 14-17.
CAI Zongxin, FAN Jianrong. Strong erosion and formation in lower reaches of Jinsha river. Journal of Soil and Water Conservation, 2001, 15(5): 14-17. (in Chinese)
- [5] 陈媛, 王顺久, 王国庆, 王文圣. 金沙江流域径流变化特性分析[J]. 高原山地气象研究, 2010, 30(2): 26-29.
CHEN Yuan, WANG Shunjiu, WANG Guoqing and WANG Wensheng. Runoff variation characteristics analysis on Jinsha River. Plateau and Mountain Meteorology Research, 2010, 30(2): 26-29. (in Chinese)
- [6] 长江水利委员会. 三峡工程水文研究[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1997.
Changjiang River Water Resources Commission. Hydrology of the Three Gorges Project. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1997. (in Chinese)