

文章编号:1001-4179(2015)07-0067-05

岷江上游水电开发对河道减脱水的影响研究

穆 羽^{1,2}, 徐 佩¹, 傅 斌¹, 李 明^{1,2}

(1. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:通过对岷江上游水电站以及受影响河道的实地调查,建立了河道减脱水评价指标,分别对岷江干流、一级支流及二级支流河道的减脱水情况进行了分析。在对减脱水河道分析的基础上,分析了调查断面距电站坝址的距离、电站类型、电站装机容量、电站调节性能与河道减脱水的关系。结果表明:水电开发引起河道减脱水现象已非常严重,各级支流上游都有不同程度的断流现象,以二级支流最为严重;河道减脱水严重程度随距电站坝址的距离增加呈减小的趋势;电站的类型、调节性能与河道减脱水存在明显的相关性,而装机容量对河道减脱水的影响不大。在制定流域水电开发以及河流生态系统恢复规划时,应考虑电站类型、调节性能对河道减脱水的影响。

关 键 词:减脱水;水资源安全;岷江上游;水电开发

中图法分类号:TV213

文献标志码:A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.07.018

岷江上游作为四川省规划最早的水电能源基地,水电开发密度大且多为引水式开发电站,缺乏良好的调节性能,生态环境问题最突出的表现为存在坝下减脱水的河流生态系统被破坏及流域生态环境的恶化^[1-12]。探讨岷江上游水电开发对河道减脱水的影响可为河流生态系统修复、流域生态环境改善、水资源安全评价等研究提供一定的参考。

本文利用电站调查数据和枯水期河道断面实测数据,引入评价河道减脱水的指标:裸露比 K 值和 L 值,探讨枯水期各级流域受电站影响下河道减脱水情况,并通过统计分析讨论电站与河道减脱水的关系。研究结果可为水电站最小生态流量控制、电站的综合调度、环境影响评价提供科学依据。

1 研究区概况

岷江上游地区是指岷江流域都江堰以上区域,包括汶川县、理县、茂县、黑水和松潘,流域范围与 5 县的

行政辖区基本重合。岷江干流总长约 340 km,流域面积约为 2.3 万 km²,年平均降水量在 500~850 mm,年降水量的 80% 集中在 6~11 月;年平均气温为 5℃~15℃,自东南向西北呈递减趋势。岷江上游生态系统脆弱易变且复杂多样,是长江上游生态屏障重要的组成部分,也是成都平原重要的水源地。流域受大气环流和特殊地形的影响形成非地带性的干旱河谷气候,加之水土流失严重,生态环境极其脆弱,被列为中国西南地区生态环境退化最严重的区域之一。

据不完全统计,整个岷江流域上游有上百座电站,上游水电开发主要集中在干流和杂谷脑河、黑水河、渔子溪、草坡河、小姓沟和寿溪几大支流,总装机容量超过 5 000 MW。我国现行《水利水电枢纽工程等级划分及设计标准》将水电站分为 5 等:装机容量大于 750 MW 为 I 等大(一)型水电站,250~750 MW 为 II 等大(二)型水电站,25~250 MW 为 III 等中型水电站,0.5~25 MW 为 IV 等小(一)型水电站,小于 0.5 MW

收稿日期:2014-09-25

基金项目:国家自然科学基金项目“三峡库区农户生计与生态系统服务耦合关系与调控机制研究”(41371539);中科院成都山地所“一三五”方向性项目“基于资源环境安全的岷江上游可持续性 & 空间调控研究专题-岷江上游水电开发对水资源安全的影响”(Y2K2110110)

作者简介:穆 羽,男,硕士研究生,研究方向为生态遥感。E-mail:myry1375@126.com

通讯作者:徐 佩,女,副研究员,主要从事流域生态与管理的研究。E-mail:xupe@imde.ac.cn

的电站为Ⅴ等-小(二)型水电站。本文根据水电站实际调查情况,同时为便于分析说明,现将Ⅰ、Ⅱ等统称为大型水电站,Ⅳ、Ⅴ等统称为小型水电站,即将其分为大型、中型和小型3类,选择岷江上游干流天龙湖电站至太平驿电站间河段、岷江一级支流杂谷脑河、岷江二级支流孟屯河分别讨论干流、一级支流和二级支流河道减脱水情况。岷江上游水系及电站分布见图1。

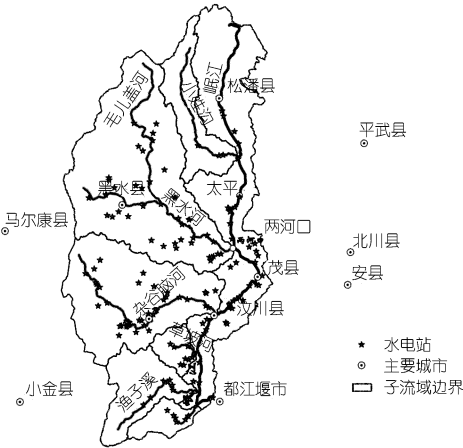


图1 岷江上游水电站分布示意

2 资料与方法

2.1 水电站的选择

本研究所使用的水电站数据为2013年5月实地调查数据,共涉及电站21座:岷江干流太平驿至天龙湖段电站7座,岷江一级支流杂谷脑河电站10座,二级支流共有电站4座,其中孟屯河3座电站,毕棚沟1座电站。具体情况见表1。

2.2 调查点的选择

2.2.1 断面选点原则

受调查时间的限制,本文只进行了枯水期河道调查。在电站坝址下游处选择断面,作为该电站下游河道减脱水起点;在厂房上游处选择断面作为终点,厂房弃水口下游选择最后一个断面作为对照点;在坝址与厂房间根据河道宽度变化、支流汇入等情况适当选择调查点断面。特殊的跨流域引水电站(如回龙桥电站)、引上一电站尾水的电站(如金龙潭电站)等终点及对照点处断面要根据实际情况设立。调查断面的分布见图2。

选取对照点的目的是为了比较枯水期同一河段上受电站影响与不受电站影响河道的差异。通过实地调查发现,在电站厂房弃水口下游100 m处,河道水面基本恢复正常,可以视为未受电站影响的自然状况,因此

在每个电站都设置相应的对照断面。未跨流域引水的水电站对照点设立在厂房弃水后下游100 m左右,跨流域引水电站对照点设立在水流汇入后100 m左右。

表1 电站调查情况

电站名称	投产时间	类型	装机容量/ MW	调节性能	所属流域
太平驿	1994	低闸引水	260	无	岷江干流
福堂	2004	低闸引水	360	日调节	岷江干流
姜射坝	2006	低闸引水	12.8	无	岷江干流
铜钟	2001	低闸引水	5.7	日调节	岷江干流
吉鱼	2005	低闸引水	10.2	无	岷江干流
金龙潭	2006	低闸引水	180	无	岷江干流
天龙湖	2004	低闸引水	180	周调节	岷江干流
桑坪(威州)	2007	低闸引水	7.2	无	岷江一级支流
下庄	1958	低闸引水	4.8	日调节	岷江一级支流
古城	2010	低闸引水	180	日调节	岷江一级支流
薛城	2011	低闸引水	138	日调节	岷江一级支流
甘堡	1990	低闸引水	25.5	无	岷江一级支流
理县	1995	低闸引水	33	不完全日调节	岷江一级支流
红叶二级	2002	低闸引水	90	日调节	岷江一级支流
狮子坪	2010	坝式(高堆石坝)	195	不完全年调节	岷江一级支流
芦杆桥	2015	拦河坝,坝高8m	25	无	岷江一级支流
米亚罗	2012	拦河坝,坝高15m	15	无	岷江一级支流
三道桥(孟屯河)	1997	底格栏栅	3.2	无	岷江二级支流
回龙桥(孟屯河)	2004	低闸引水、底格栏栅	50	无	岷江二级支流
仔达(孟屯河)	2010	拦河坝,坝高6m	36	无	岷江二级支流
红叶一级(毕棚沟)	1997	低闸引水	17	无	岷江二级支流

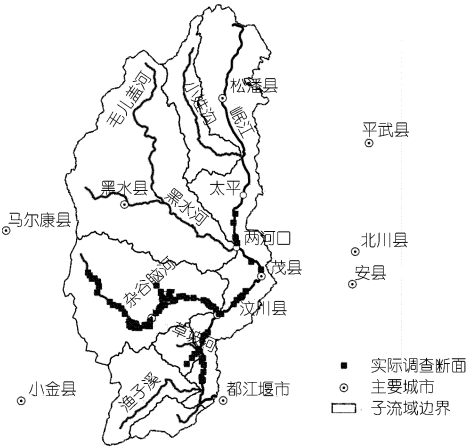


图2 调查断面分布

2.2.2 调查指标及方法

调查指标主要有调查点经纬度、海拔、水面宽度、河岸宽度等,均为2014年3月枯水期岷江上游断面实测数据。通过GPS测定调查点的经纬度,使用激光测距仪测量断面间的距离,确定水面宽度和河岸宽度作为建立指标的基础数据。使用激光测距仪测量两岸间的距离,通过计算得出河岸宽度。在同一断面位置上,测定河道内水面与两边河床接触的裸岩边缘的距离,通过计算得出水面宽度。

2.3 减脱水评价指标

根据断面调查点的选择及实测情况,厂房下泄水流汇入后对照点处的河段为已恢复枯水期正常水量的正常河道,受同一电站影响的河道断面与该电站对照点处的河道断面进行比较作为判断减脱水河段的基础。基于以上考虑,使用裸露比 K 值和 L 值两个指标来判断并评价河道减脱水情况。

裸露比值 K 可作为判断河道减脱水的第一个指标,其计算公式为 (河岸宽度 - 水面宽度)/水面宽度。选择裸露河床宽度与河岸宽度之比作为衡量河道减脱水的减脱水指数。对照点处的 K 值能从一定程度反映枯水期正常河道。通过统计分析,可得调查电站对照点处 K 值标准差为 0.405 ± 0.048 ,初步认为 $K \leq 0.4$ 为枯水期正常河段;而关于河道脱水断流没有统一的定义,现场调查发现当 K 达到特定值时,河道内流量减少,已经不能保持连续性。为了评估河道减脱水程度,也为了便于讨论分析,定义裸露比值 $K \geq 0.8$ 时为脱水断流河段;而当 $0.4 < K < 0.8$ 为减水河段。

考虑到各级河流形状的变化、实测的误差、 K 值的拟合度以及特殊河道情况,引入同一电站下各断面 $K1$ 值与对照点 $K2$ 值的比值 L 作为判断河道减脱水的第 2 个指标,这样可以排除掉在拟合中各断面 K 值均大于 0.4,但坝址下游和厂房下游 K 值并无多大变化的情况。例如芦杆桥电站 2013 年建成但还未投产,虽然有的断面处 K 值大于 0.4,但与对照点 K 值接近并且比值 L 均小于 1,这种情况并不是受电站开发而造成的河道减脱水情况,故其下游河道应为正常河段。甘堡电站断面 2 处断面 K 值小于 0.4 (由于在终点上游 500 m 处有支流汇入,导致 K 值从 0.6 减少到 0.28),但对照点处正常河道 $K < 0.05$,几乎完全无裸露河床 (断面 2 处的 L 值 = 7.3125,已经超过 7 倍),故甘堡电站坝址到厂房处均为减脱水河道。具体情况见表 2。

表 2 芦杆桥电站和甘堡电站情况

电站名称	调查点类型	水面宽度/ 河岸宽度/		裸露比	L 值
		m	m	K 值	
芦杆桥电站	减脱水起点	14.6	14.6	0	0
	调查点	10	17	0.412	0.592
	调查点	15	26	0.423	0.976
	减脱水终点	14	19	0.263	0.607
	对照点	13.6	24	0.433	1.000
甘堡电站	减脱水起点	20	50	0.600	15.600
	减脱水终点	23	32	0.281	7.313
	对照点	25	26	0.038	1.000

综上所述,满足受电站影响的河道减脱水条件为: $K > 0.4$, $L > 1.5$ 或 $0.2 < K < 0.4$, $L > 2$ 。

2.4 电站与减脱水的关系

选择引起河道减脱水的电站从不同方面讨论水电站与河道减脱水的关系。通过统计分析讨论电站的装机容量、类型、调节性能与 K 值的关系,以及调查断面 K 值与断面距电站坝址距离的关系,揭示电站与河道减脱水的关系。

3 研究结果

3.1 河道减脱水状况

通过电站下游各断面 K 值和 L 值分析河道减脱水情况,可确定枯水期受电站影响的河道减脱水长度。研究发现,二级支流减脱水程度比干流和一级支流更加严重;同一级流域内上游的减脱水程度比中下游严重。

3.1.1 岷江上游干流

受太平驿电站、福堂电站、铜钟电站、金龙潭和天龙湖电站影响,岷江干流调查段枯水期河道减脱水总长度达到 51.49 km;吉鱼电站和姜射坝电站均开闸放水,故下游无减脱水情况。干流调查段上游至中游、下游, K 值有整体减小的趋势,反映上游减脱水情况比中下游更加严重,上游甚至出现了河道脱水断流。

3.1.2 岷江一级支流——杂谷脑河

岷江上游一级支流杂谷脑河流域受梯级电站分布的影响,枯水期从上游米亚罗电站至桑坪电站汇入干流处,河道减脱水情况明显,但还未出现脱水断流河道,这与电站枯水期开闸放水及众多小型支流汇入有关,龙溪沟、毕棚沟等大支流汇入对 K 值变化影响明显,可以减缓减脱水河道程度,但河道减脱水性没有改变。减脱水河道总长度为 78.19 km,上游地区减脱水比中下游地区严重。

3.1.3 岷江二级支流

主要选择一级支流杂谷脑河的支流毕棚沟和孟屯河,调查毕棚沟红叶一级电站和孟屯河三道桥、回龙桥和仔达电站。

枯水期二级支流中孟屯河支流受 3 电站影响减脱水总长度为 19.71 km,毕棚沟支流受红叶一级电站影响的减脱水长度为 5.7 km。二级支流受电站的影响出现大面积断流河道,减脱水程度比干流和一级支流严重。

3.2 河道减脱水距坝址距离的分析

研究结果表明: K 值与断面距坝址距离呈极显著负相关关系,断面距电站坝址距离的越大,裸露比 K 值整体上越小,减脱水程度有所减缓,即受同一电站影

响的河道上游减脱水程度大于下游。这种情况与支流的汇入有关,支流的汇入对减脱水情况有所缓解,但对河道减脱水的性质影响不大。下面分别选择古城电站、红叶一级电站进行说明(图 3)。

古城电站调查点 2 和 3 处的 K 值大于 0.8,河道减脱水严重,属于脱水断流河道;调查点 4 处有杂谷脑河一级支流龙溪沟汇入, K 值减小但仍大于 0.4,龙溪沟水流汇入后随距离不断增加,调查点 5(终点)处的 K 值已小于 0.4,故受电站影响的减脱水河道长度为起点断面到终点断面的距离为 16.7 km。

红叶一级电站属于跨流域引水电站,坝址位于杂谷脑河支流毕棚沟上,厂房位于杂谷脑河干流上游。故受红叶一级电站影响的减脱水河道起点为红叶一级电站坝址,终点在毕棚沟支流与杂谷脑河干流汇入口上游,对照点在汇入口下游。红叶一级电站调查断面 1,2,3 的 K 值在 0.8 左右,属于完全脱水断流河段,支流汇入后 K 值有所减小,但减脱水现象依然明显。

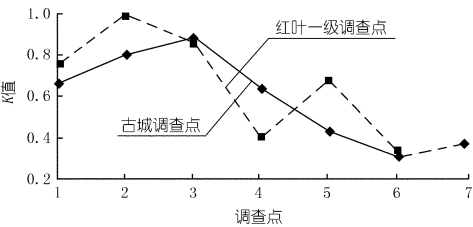


图 3 K 值与距坝址距离关系

3.3 水电开发与河道减脱水的关系

选择引起河道减脱水的电站,通过统计分析电站的装机容量、类型、调节性能与 K 值的关系,探讨不同装机容量、不同类型电站、不同调节性能的电站对河道减脱水的影响情况,为电站的开发、调度、运行提供参考。结果见表 3。

表 3 电站特性与河道减脱水关系统计结果

项目	皮尔逊	双侧检验	样本数/ 个
	相关系数	显著性	
装机大小	0.087	0.501	62
电站类型	0.253	0.02	62
调节性能	0.337	0.007	62

装机容量是电站建设规模和电力生产能力的主要指标之一,讨论其与 K 值的关系,可掌握电站规模与河道减脱水程度的关系。分析结果表明, K 值与装机容量不显著相关,河道减脱水受电站规模装机量的影响不明显,有些大型电站下游河道减脱水情况甚至比小型电站更轻。

选取低闸引水式、拦河坝式以及底格栏栅式三种类型,研究电站类型与 K 值的关系,可以分析不同电

站类型导致河道减脱水程度的大小。分析结果表明, K 值与电站类型呈显著正相关,底格栏栅式电站对河道减脱水情况影响最严重,其次是拦河坝电站,最后是低闸引水式电站。岷江上游底格栏栅电站主要分布在二级支流(一级支流黑水河和杂谷脑河的支流),导致二级支流河道减脱水情况最严重,甚至出现大范围脱水断流河道。

选择同为干流的低闸引水式电站研究了调节能力与 K 的关系。结果表明, K 值与电站调节性能呈显著正相关,无调节性能的电站 K 值对河道减脱水的影响小于有调节性能的电站。

4 结论与讨论

(1)岷江上游梯级电站的开发造成了大面积的河道减脱水现象,上游干流天龙湖至太平驿段减脱水河道共长 51.49 km;一级支流杂谷脑河米亚罗至桑坪段减脱水河道总长 78.19 km;二级支流孟屯河受仔达、回龙桥和三道桥电站影响,河道减脱水长度为 19.71 km,毕棚沟红叶一级电站河道减脱水长度为 5.7 km。由此可以看出岷江上游河道的减脱水状况已处于非常严重的情况,多数河段甚至出现脱水断流,严重破坏了下游河流生态系统,对于岷江上游原生的近 40 种鱼类都是灭顶之灾^[13]。

(2)河道上游减脱水情况比中下游严重。受梯级水电开发的影响,岷江上游甚至出现脱水断流,中下游由于不断有支流汇入,减脱水情况有所减缓;对同一电站而言,距坝址距离越远,受影响河道减脱水情况越小。但受各梯级电站累积蓄水影响,有限的支流水量很难改变河道减脱水的状况,因此进行减脱水河道的治理以及河流生态系统修复都应从源头出发,从水电站本身开始。

(3)河道减脱水情况与上游水电站类型、调节性能有一定的相关性,与电站的装机容量相关度不大。岷江上游水电站主要以引水式电站为主,基于成本等考虑,小型支流多为底格栏栅式开发,导致本来水量不多的小型支流出现大面积断流,河道泥沙淤积、生态环境恶化。大型干、支流上的水电站多为低闸引水式,虽未造成河道大面积断流但改变了坝下游水文情势,破坏了水生生态环境。故应根据电站的特性进行电站开发、调度、运行。

(4)引入裸露比 K 值和 L 值两个指标反映河道减脱水程度,取得了较好的结果。但考虑到数据精度、样本量大小及其它影响河流水量的因素,本文仅是对河道减脱水的量化标准进行了初步探讨。另外,水文情势是一个动态的变化过程,不同时期 K 值和 L 值的取

值范围是有所差别的,本研究限于调查时间的限制,只研究了具有代表性的枯水期河道受电站影响的减脱水情况,后续还有待深入研究。

参考文献:

[1] 张继业,伍钧,王应军.四川天全白沙河流域小水电梯级开发的景观要素影响研究[J].四川农业大学学报,2007,25(1):82-87.

[2] Williams G P, Wolman M G. Downstream effects of dams on alluvial rivers[M]. Washington DC: US Government Printing Office, 1984.

[3] Kondolf GM. PROFILE; hungry water; effects of dams and gravel mining on river channels[J]. Environmental management, 1997, 21(4): 533-551.

[4] 俞平. 水电开发的环境效益及问题[J]. 甘肃水利水电技术, 2006, 42(1): 41-44.

[5] 程根伟,麻泽龙,范继辉. 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.

[6] 何文学,李茶青. 从改善水流流态角度谈富营养化治理[J]. 浙江水利水电专科学校学报, 2003, 15(4): 27-29.

[7] Westergaard H, Adkins A. Deformation of earth's surface due to weight of Boulder Reservoir[J]. US Bur Reclamation, Tech Mem, 1934, 422: 34.

[8] 侯保灯,朱晓旭,梁川. 岷江上游典型河段水电梯级开发水环境累积影响[J]. 人民长江, 2010, 41(7): 32-37.

[9] 包广静. 怒江流域怒江州段水电开发生态环境的影响[J]. 人民长江, 2011, 42(7): 91-94.

[10] 何林芝,李冰冻. 浅析黑河塘水电站减脱水河段内流态分布特征[J]. 中国水运(下半月), 2010, 2: 049.

[11] 黄小雪,姜跃良,蒋红,等. 流域梯级开发中河道生态环境需水量研究[J]. 水力发电学报, 2007, 26(3): 110-114.

[12] Kibler K M, Tullos D D. Cumulative biophysical impact of small and large hydropower development in Nu River, China[J]. Water Resources Research, 2013, 49: 1-15.

[13] 李红清,雷明军,李德旺,等. 长江上游水电开发生态制约及其适应性分析[J]. 人民长江, 2014, 45(15): 1-6.

(编辑:常汉生)

Impact of hydropower development in upper reaches of Minjiang River on flow reducing of river reaches

MU Yu^{1,2}, XU Pei¹, FU Bin¹, LI Ming^{1,2}

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Based on the field investigation of hydropower stations in the upper reaches of the Minjiang river and the affected reaches, we established a evaluation indicator system of the flow reducing reaches(or dried reaches), and analyzed the flow reducing(or dried) conditions of the mainstream, first tributary and second tributary of the river. According to analysis results, we discussed the relationship of the flow reducing (or dried) condition and the distance from the investigation section to the dam site, power station type, installation capacity and adjustment ability. The results show that the flow reducing reaches (or dried reaches) caused by the hydropower development is very serious in this region; discontinuous flow phenomenon of different degrees appear at all levels of the upstream tributaries, especially in the secondary tributary; and the reducing reaches (or dried reaches) is less serious as the distance from the dam site increases; the type and regulation performance of power stations are obviously related with the flow reducing reach (or dried reach), but the installed capacity has no influences. So it is necessary to take account of the impacts of power station's type and regulation performance when formulating a basin hydropower development and river ecological recovery plan.

Key words: flow reducing reaches(or dried reaches); water resources safety; upper reaches of Minjiang River; hydropower development

