

电站日调节非恒定流对航道整治效果的影响

曹民雄¹, 马爱兴¹, 胡金义²

(1. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029; 2. 长江下游水文水资源勘测局, 江苏 南京 210011)

摘要:我国大部分河流的中上游相继修建了水电枢纽,在恒定流条件下进行的航道整治方案能否适应电站运行后的水流条件变化,这是坝下航道整治必须回答的问题.通过向家坝电站下游近坝段和尚岩滩群航道整治物理模型试验与同比尺船模试验,研究了电站日调节非恒定泄流对坝下航道设计水位、航道流速、消滩与船舶航行情况进行了研究.结果表明:向家坝电站瞬时下泄流量不小于设计最小通航流量,日调节期间坝下各滩险的航道水深满足要求;电站日调节的涨水流速一般稍大于落水期同流量下的流速,并使得航道最大流速稍有增加;电站日调节将引起个别滩段、部分时段的消滩水力指标不能满足要求;电站日调节时船舶上下行的操舵范围与漂角、对岸航速极值范围较恒定流时增大、且涨水期间的操舵范围大于落水期间.

关键词:航道整治;电站日调节;非恒定泄流;通航水流条件;船舶航行;消滩

中图分类号: U617.6

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2011)03-0010-08

内陆河道的水流一般是非恒定的,当一天或者一段时间内的水位、流量变化很小可被近似为恒定水流.恒定流河段内的航道整治往往以代表性流量级(如设计流量、整治流量、最高通航流量等)的整治效果作为标准.但坝下河段来流往往受电站日调节影响,来流过程每天出现涨落变化.在原有恒定流条件下实施的航道整治方案能否适应电站运行后的水流条件变化值得关注.天然来流条件下的滩险整治已经有众多成果^[1-5]可供借鉴,但非恒定流条件下的航道整治研究成果较为少见.本文从向家坝电站下游近坝段和尚岩滩群整治方案受向家坝电站日调节影响下通航条件的变化,分析恒定流条件下航道整治方案的适应性,研究坝下非恒定泄流对航道整治效果的影响.

1 向家坝电站与下游近坝段和尚岩滩群整治方案简介

1.1 向家坝电站简介

向家坝水电站是金沙江下游梯级开发中的最末一个梯级,坝址位于四川与云南交界的水富港以上3 km,是一座以发电为主,兼具航运、防洪、灌溉、生态、拦沙等综合效益的巨型水电站,并对溪洛渡水电站进行反调节.电站于2006年12月26日开工,2008年12月完成了大江截流,计划2012年首批机组发电,2015年完工.

向家坝电站日调节有2种典型日运行工况(开机时间为5 min)^[6]:工况1为设计枯水年电站保证出力的最不利情况,按坝下水位小时变幅小于1.0 m控制;工况2为枯水期各月电站发多年平均出力的一般情况.两工况下泄流量过程接近,其中工况1的最小流量较小(与设计最低通航流量1 200 m³/s一致)、水位较低,选择日调节工况1作为试验条件.利用向家坝至泸州145 km的一维数学模型^[7],计算日调节工况1泄流

收稿日期: 2010-10-10

基金项目: 西部交通建设科技项目(2004 328 746 39)

作者简介: 曹民雄(1965-),男,江西永新人,教授级高级工程师,博士,主要从事港口航道与工程泥沙研究.

E-mail: mxcao@nhri.cn

条件下滩群进口的流量过程与滩群出口的水位过程见图1,进口的流量过程中最小流量为 $1\,351\text{ m}^3/\text{s}$ (已加入横江的 $50\text{ m}^3/\text{s}$),最大流量为 $5\,621\text{ m}^3/\text{s}$.

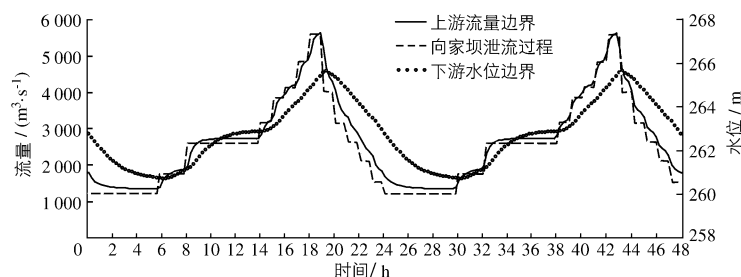


图1 向家坝水电站日调节的滩群进口流量与滩尾水位过程

Fig.1 Process of shoal group entrance discharge and shoal tail water level during daily regulation of Xiangjiaba hydropower station

1.2 向家坝电站下游近坝段和尚岩滩群整治模型试验简介

和尚岩滩群位于长江上游水富港以下 $3.5\sim 11.5\text{ km}$ 河段,即向家坝电站下游 $6.5\sim 14.5\text{ km}$,由马皮包滩、和尚岩滩、二郎滩与栈桥滩组成(图2).试验采用比尺为 $1:140$ 的正态模型,进行了流量分别为 $16\,953$, $8\,378$ 和 $2\,191\text{ m}^3/\text{s}$ 洪、中、枯3级流量的水位、流速平面分布与流向等验证.

模型上游边界为恒定流的流量或者向家坝电站下泄水流传播到本滩头的流量过程,下边界为滩尾9#水尺相应于恒定流流量的水位或者相应于向家坝电站下泄水流传播到本滩尾的水位过程.滩头的流量过程及滩尾的水位过程由一维数学模型计算提供^[7].试验采用过程控制与数据采集自动化系统,沿程水位由自动跟踪式水位仪采集、表面流速由红外光纤旋桨式流速仪与PIV大范围同步测速系统相结合测量.

1.3 和尚岩滩群整治方案简介

本河段航道现为IV级航道,规划航道等级为III级,尺度为 $2.7\text{ m}\times 60\text{ m}\times 560\text{ m}$ ^[8].航道整治的滩段比降为 3‰ , 1.8‰ , 0.7‰ 时对应的水流速度分别为 2.5 , 3.0 和 3.5 m/s .利用物理模型研究了恒定流条件下滩群的航道整治方案^[9]:马皮包滩清除碍航礁石;和尚岩滩在边滩上新挖航槽,辅以长顺坝,以改善航行条件;二郎滩采取拓宽过水断面以解决水浅流急;栈桥滩清炸礁石与石梁,以拓宽航槽并调整比降(主要工程措施见图2).在设计流量 $1\,250\text{ m}^3/\text{s}$,整治流量 $2\,380\text{ m}^3/\text{s}$ 、汛期平均流量 $6\,450\text{ m}^3/\text{s}$ 和最高通航流量 $12\,400\text{ m}^3/\text{s}$ 的恒定流条件下,从滩头水位降落、航道尺度与通航水流条件的改善程度、工程量与后期维护量等方面比选得到了推荐方案.

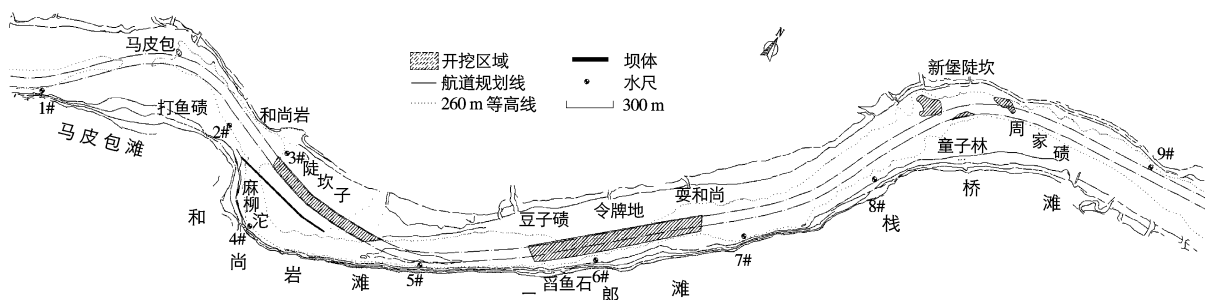


图2 和尚岩滩群及整治方案示意图

Fig.2 Monks Rock shoal group and channel regulation scheme

2 电站日调节对设计水位的影响

电站泄流对航道尺度的影响主要表现在航深的变化,一是随着电站的运行,坝下河床出现冲刷下切,水

位逐年下降,直至达到新的水沙平衡;二是电站日调节运行时,坝下沿程水位波动频繁,谷底水位可能低于恒定流时的设计水位,造成按恒定流整治的浅滩段航深不足^[10],因而电站下游航道整治首先需要考虑电站泄流对设计低水位的影响。向家坝坝下河道地质构造较为稳定、没有大的活动断裂带,河床主要由第四季碎石土和侏罗系中统沙溪庙组岩层组成,河中不时有基岩出露。因而,坝下河床冲刷下切而引起的水位降落不明显,设计水位主要受电站瞬时下泄流量过程的影响。

日调节期间坝下各时刻沿程瞬时水面线不同(图3),因向家坝电站瞬时下泄流量 $1\,200\text{ m}^3/\text{s}$ 不小于设计最小通航流量,因而日调节期间坝下沿程瞬时水面线的下包络线均高于恒定流时沿程设计水面线(图3),日调节期间坝下各滩险的航道水深满足要求。

3 电站日调节对通航水流条件的影响

3.1 对航道流速的影响

向家坝电站日调节工况下坝下流量沿程逐渐坦化、最大流量沿程减小、流量变化幅度沿程减小,坝下流速随流量增加而增大^[11]。向家坝电站日调节情况下选取个别流量级的航道中心线沿程纵向表面流速见图4(其中(+)为涨水期间的流量、(-)为落水期间的流量, V_y 为航道纵向流速、 V_x 为横向流速),可见沿程流速大小与流量大小成正比、且涨水流速一般稍大于落水期同流量下的流速,但各处流速大小与流量大小及断面形式有关。

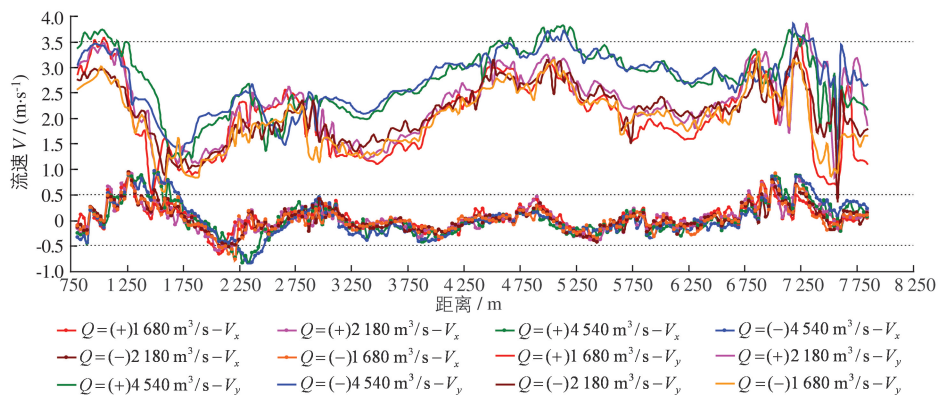


图4 电站日调节整治推荐方案的航道中心线沿程流速分布

Fig. 4 Velocity distribution of channel centerline for some discharges in the station daily regulation's recommended scheme

本河段航道整治推荐方案在恒定流 $Q=1\,330$ 与 $2\,180\text{ m}^3/\text{s}$ 时的航道中心线沿程纵向表面流速一般不超过 3.5 m/s ^[9];但日调节情况选取同流量时对应的航道中心线沿程流速出现大于 3.5 m/s 的流速区(图4与表1), 3.0 m/s 的流速区长度都有所增加,可见电站日调节使得航道最大流速稍有增大。其原因在文献[12]中进行了分析:下泄流量增加时,随泄水波峰前瞬间比降增加的同时,水流速度相应增加;下泄流量减小时,沿程水面比降与流速随退水波的谷底而减小。

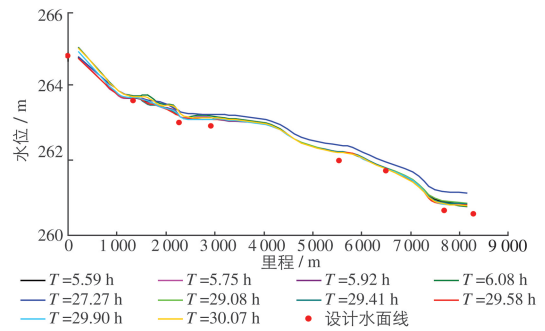


图3 日调节期间坝下各时刻沿程瞬时水面线与设计水面线比较

Fig. 3 Comparison of the instantaneous water surface and the designed water surface during daily regulation

表1 航道整治推荐方案恒定流与日调节工况的大流速区长度及比降比较

Tab.1 Comparison between the length and slope of large velocity in channel recommended regulation scheme under the condition of daily regulation with steady flow

滩 段	恒 定 流				日调节循环工况1			
	流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	大流速区长度/ m		比降/ ‰	流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	大流速区长度/ m		比降/ ‰
		3.0 m/s	3.5 m/s			3.0 m/s	3.5 m/s	
马皮包滩	1 330	43.57		0.75	1 351	83.36	36.79	0.80
和尚岩滩				0.42				0.31
二郎滩				0.28		106.7		0.27
栈桥滩		110.88		0.64		201.14	63.78	0.82
总 计		154.45				291.2	100.57	
马皮包滩	2 180			0.59	2 180	156.08	58.91	0.83
和尚岩滩				0.28				0.29
二郎滩		265.21		0.27		257.49		0.32
栈桥滩		187.52		0.55		212.73	83.93	0.97
总 计		452.73				626.3	142.84	
马皮包滩	6 450	293.89		0.38	5 621	230.62	33.33	0.54
和尚岩滩				0.19				0.26
二郎滩		311.74	44.03	0.28		331.73	50.21	0.38
栈桥滩		353.06		0.29		345.69	39.54	0.66
总 计		958.69	44.03			908.04	123.08	

3.2 对消滩的影响

在恒定流航道整治方案研究阶段,向家坝电站日调节泄流范围(1 250 ~ 5 621 m^3/s)内整治后各滩基本消滩^[9].下面以马皮包滩段为例,分析电站日调节时各滩段的比降与水流速度变化及日调节时的消滩情况.

马皮包滩设置有3处水尺,在日调节工况下各水尺间比降、航道中心线纵向流速随时间变化见图5,可见滩段比降与航道中心线纵向流速随来流过程而变化、纵向流速随下泄流量的增大而增加.临1~临1'水尺间部分时段消滩指标不能满足要求;CS9#、CS10#流速超过3.5 m/s约2~3 h,滩段比降超过0.7‰,因而有2~3 h、约130 m滩段没有达到消滩指标的要求.临1'~临2水尺间虽CS11#有约3 h流速大于3.5 m/s,但比降较小.CS11~15#断面间均满足消滩指标.其余滩段日调节工况下的消滩情况见表2,可见电站日调节将引起个别滩段的部分时段消滩水力指标不能满足要求.

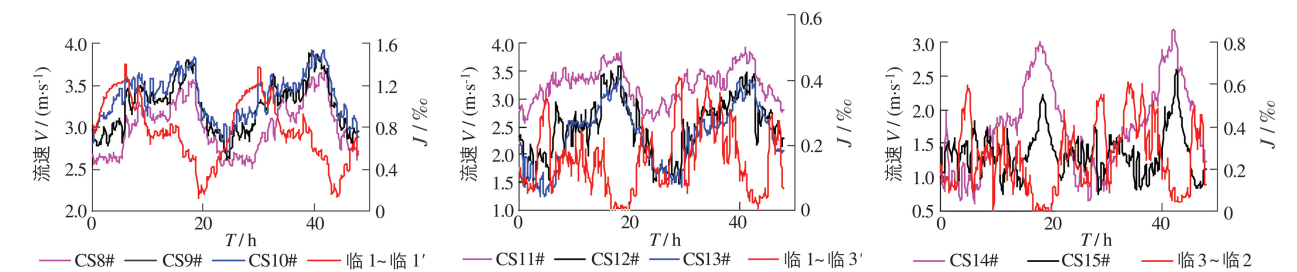


图5 马皮包滩比降、航道中心线纵向流速随时间变化
Fig. 5 Mapibao shoal's slope and channel centerline velocity changing with time

表2 日调节工况下各滩的消滩情况

Tab.2 The shoals' rapids abating under the condition of daily regulation

滩 段	消 滩 情 况
马皮包滩	有2~3 h,约130 m滩段(CS9#~CS10#)没有达到消滩要求
和尚岩滩	均满足消滩要求
二郎滩	在16:30—19:00时段,约50 m滩段(CS42#)没有达到消滩要求
栈桥滩	在06:45—11:20时段,约50 m滩段(CS64#)和在6:05—9:41时段、约123 m滩段(CS67#~CS68#)没有达到消滩要求

4 对船舶航行的影响

4.1 试验条件

试验采用双桨双舵船型,尺度为 $112.00\text{ m} \times 19.30\text{ m} \times 4.45\text{ m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 吃水),排水量达 $6\,185\text{ m}^3$,船模比尺与河工模型比尺(1:140)一致,船模采用遥控自航(图6). 试验中上水航行的船舶车速(静水航速)为 4.5 m/s ,下水航行 4.0 m/s (已换算至实船值,下同). 船模舵角可在左 $35^\circ \sim$ 右 35° 范围内无级操舵,但为了船舶安全航行,规定舵角限在 $\pm 25^\circ$,最小对岸航速限值为 0.4 m/s .

船模对比试验的水流条件有恒定流与非恒定流,恒定流的流量分别为 $3\,000$ 和 $5\,000\text{ m}^3/\text{s}$,对应下游尾门的控制水位分别为 264.22 和 266.34 m . 非恒定流的试验控制过程见图7,流量由 $3\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 增至 $5\,000\text{ m}^3/\text{s}$,再由 $5\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 降至 $3\,000\text{ m}^3/\text{s}$.

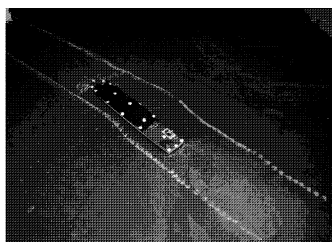


图6 船模遥控自航情况

Fig.6 The remote-control self-propelled model ship

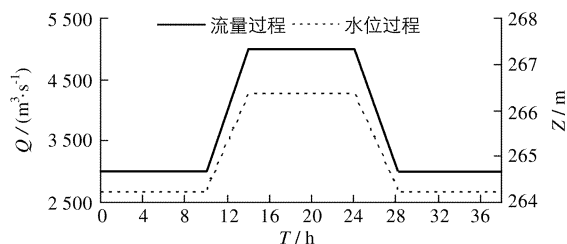
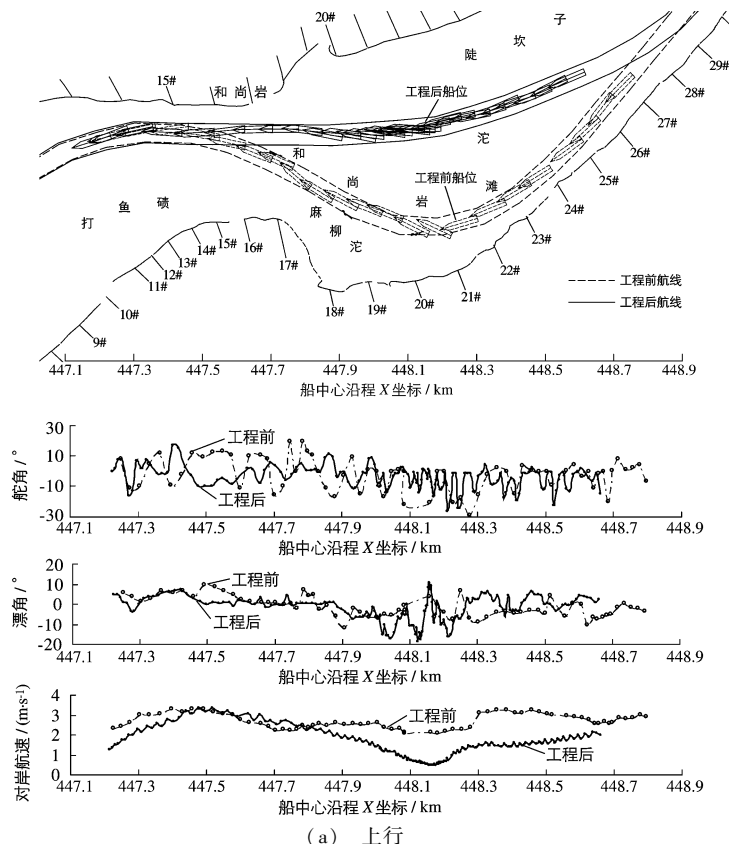


图7 非恒定水流的水位与流量控制过程

Fig.7 Water level and flow control process of unsteady flow

4.2 恒定流航行试验

由于试验滩段较长,分为4个航段分别进行船模试验:马皮包滩-和尚岩滩航段、二郎滩上航段、二郎滩下航段和栈桥滩航段. 流量为 $3\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,马皮包滩-和尚岩滩航段工程前后船舶上、下行航行参数变化见图8.



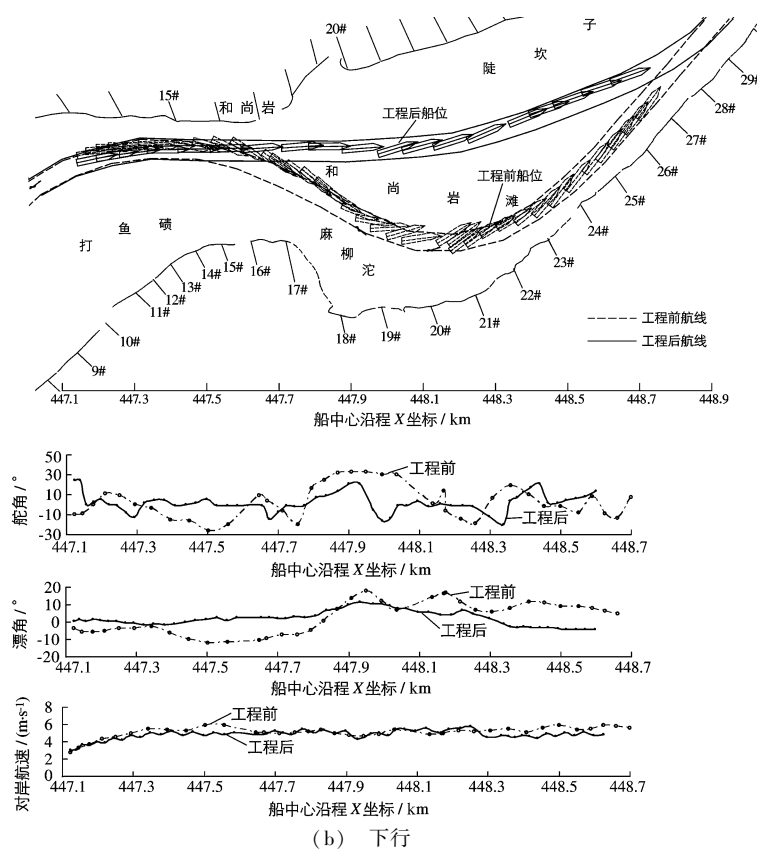


图8 马皮包滩-和尚岩滩航段工程前后船舶上下行航行参数

Fig. 8 Variations of the ship sailing up and down parameters before and after regulation in Mapibao and Monk Rock shoals

可见船舶上行时对岸航速与航道纵向流速成反比,操舵过程影响了航迹线、进而影响到船舶的漂角.各航段上、下行船舶航行的舵角、漂角等参数极值范围见表3,可见上行船舶顶流而上,需要不断调整船位、操舵较为频繁、船舶的漂角较大,但上行船舶的舵效较好、操舵范围相对较小;而下行船舶顺流而下、对岸航速较大、舵效较差,因而一旦船位出现偏航迹象、往往需要操大角度舵,操舵范围相对较大.

4.3 非恒定流航行试验

对非恒定流的航行,每一航段分别进行了9次下行、6次上行试验,每次从不同的时刻开始下行或上行.统计各航段船舶航行舵角、漂角等参数的极值范围(表3),可见船舶上下行舵角、漂角、对岸航速极值范围的变化规律与恒定流基本一致;船舶上行的操舵范围与对岸航速范围相对较小、漂角极值相对较大.但非恒定流变化过程中,上下行操舵范围与漂角、对岸航速极值范围较相应恒定流时增大、且涨水期间的操舵范围大于落水期间,上行的对岸航速一般涨水期间大于落水期间.

表 3 恒定流与非恒定流各航段的漂角、舵角极值范围

Tab. 3 The range of the extreme drift angle and helm angle under steady and unsteady flow conditions

航段	航向	恒定流				非恒定流				
		流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	最大舵角/ ($^\circ$)	最大漂角/ ($^\circ$)	对岸航速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	过程	航向	最大舵角/ ($^\circ$)	最大漂角/ ($^\circ$)	对岸航速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
马皮包滩 至和尚岩 滩航段	上行	3 000	-17.27 ~ 17.30	-10.66 ~ 14.58	0.55 ~ 3.33	涨水	上行	-17.1 ~ 20.7	-15.16 ~ 14.83	0.18 ~ 3.04
		5 000	-14.60 ~ 19.63	-16.07 ~ 11.40	0.87 ~ 2.65		下行	-31.7 ~ 34.7	-16.29 ~ 23.55	3.07 ~ 6.80
	下行	3 000	-19.14 ~ 18.08	-10.25 ~ 3.49	4.41 ~ 5.85	落水	上行	-16.0 ~ 19.2	-15.53 ~ 15.92	0.04 ~ 2.90
		5 000	-23.90 ~ 32.50	-12.48 ~ 12.38	5.21 ~ 6.94		下行	-30.9 ~ 24.5	-12.81 ~ 24.91	3.32 ~ 6.64
二郎滩 上航段	上行	3 000	-13.23 ~ 15.50	-7.95 ~ 5.90	1.69 ~ 3.54	涨水	上行	-16.2 ~ 15.7	-10.30 ~ 8.62	1.52 ~ 3.64
		5 000	-8.67 ~ 10.67	-9.77 ~ 8.89	1.37 ~ 2.66		下行	-20.6 ~ 20.1	-11.80 ~ 5.91	4.48 ~ 7.76
	下行	3 000	-13.90 ~ 15.83	-6.55 ~ 3.80	5.48 ~ 7.33	落水	上行	-15.5 ~ 15.9	-8.81 ~ 11.23	1.38 ~ 3.70
		5 000	-18.10 ~ 16.07	-9.56 ~ 7.41	5.55 ~ 7.86		下行	-18.2 ~ 17.3	-13.81 ~ 7.94	4.44 ~ 8.04
二郎滩 下航段	上行	3 000	-9.87 ~ 11.27	-5.89 ~ 11.10	1.10 ~ 2.75	涨水	上行	-18.5 ~ 18.2	-12.25 ~ 14.32	0.93 ~ 2.65
		5 000	-10.03 ~ 10.10	-5.66 ~ 9.28	1.17 ~ 2.55		下行	-12.3 ~ 15.6	-17.08 ~ 11.43	5.00 ~ 8.43
	下行	3 000	-9.05 ~ 11.80	-8.26 ~ 1.60	6.53 ~ 7.43	落水	上行	-11.5 ~ 14.7	-9.98 ~ 11.34	0.70 ~ 2.92
		5 000	-11.37 ~ 17.20	-10.35 ~ 1.16	5.99 ~ 7.47		下行	-10.1 ~ 16.2	-15.44 ~ 1.28	5.18 ~ 8.52
栈桥滩 航段	上行	3 000	-13.67 ~ 12.67	-11.98 ~ 9.88	0.83 ~ 2.33	涨水	上行	-17.6 ~ 19.0	-19.52 ~ 11.74	1.38 ~ 2.43
		5 000	-10.23 ~ 9.13	-12.91 ~ 5.10	1.53 ~ 2.55		下行	-20.5 ~ 23.2	-6.50 ~ 16.97	5.04 ~ 7.57
	下行	3 000	-16.17 ~ 16.53	-1.38 ~ 10.33	6.12 ~ 7.27	落水	上行	-17.3 ~ 15.2	-14.2 ~ 15.55	0.50 ~ 2.69
		5 000	-13.90 ~ 17.73	-0.12 ~ 9.76	6.80 ~ 7.35		下行	-19.4 ~ 20.5	-2.13 ~ 17.73	4.68 ~ 7.76

注:表中负值表示舵角或漂角为“左”,正值表示舵角或漂角为“右”。

5 结 语

通过向家坝电站下游近坝段和尚岩滩群航道整治物理模型试验与同比尺船模试验,研究了电站日调节非恒定泄流对坝下航道设计水位、航道流速、消滩与船舶航行情况进行了研究,主要结论如下:(1)向家坝电站瞬时下泄流量不小于设计最小通航流量,日调节期间坝下沿程瞬时水面线的下包络线均高于恒定流时沿程设计水面线,坝下各滩险的航道水深满足要求。(2)电站日调节的涨水流速一般稍大于落水期同流量下的流速,但各处流速大小与流量大小及断面形式有关,一般电站日调节使得航道最大流速稍有增加。(3)电站日调节将引起个别滩段、部分时段的消滩水力指标不能满足要求。(4)电站日调节时坝下船舶上下行舵角、漂角极值范围的变化规律与恒定流基本一致:船舶上行的操舵范围相对较小、漂角极值相对较大。但非恒定流的上下行操舵与漂角、对岸航速极值范围较相应恒定流时增大、且涨水期间的操舵范围大于落水期间。(5)电站日调节峰谷对船舶航行参数的影响规律有待进一步深入研究。

参 考 文 献:

- [1] 三结合编写组. 山区航道整治[M]. 北京:人民交通出版社, 1975. (Writing Group of Three Combinations. Channel regulation of mountainous rivers[M]. Beijing: China Communication Press, 1975. (in Chinese))
- [2] 长江航道局. 川江航道整治[M]. 北京:人民交通出版社, 1997. (Changjiang Waterway Bureau. Channel regulation of Chuanjiang River[M]. Beijing: China Communication Press, 1997. (in Chinese))
- [3] JTJ 312-98, 航道整治工程技术规范[S]. (JTJ 312-98, Technical code of regulation works for navigation channel[S]. (in Chinese))
- [4] 长江航道局. 航道工程手册[M]. 北京:人民交通出版社, 2004. (Changjiang Waterway Bureau. Waterway engineering handbook[M]. Beijing: China Communication Press, 2004. (in Chinese))
- [5] 曹民雄, 蔡国正. 山区河流急流滩险航道整治技术研究[M]. 北京:人民交通出版社, 2006. (CAO Min-xiong, CAI Guo-zheng. Study on the regulation of waterway with rapids in mountainous rivers[M]. Beijing: China Communication Press, 2006. (in Chinese))
- [6] 陈振宏. 金沙江向家坝水电站可行性研究报告[R]. 长沙:国家电力公司中南勘测设计研究院, 2004. (CHEN Zhen-

- hong. Feasibility study report of Xiangjiaba Hydropower Project in Jinsha River[R]. Changsha: China Hydro Central-South Design and Research Institute, 2004. (in Chinese))
- [7] 王志力, 陆永军. 向家坝水利枢纽下泄非恒定流的数值模拟[J]. 水利水电科技进展, 2008(3): 12-15. (WANG Zhi-li, LU Yong-jun. Numerical simulation of unsteady flow in Xiangjiaba Hydropower Project[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2008(3): 12-15. (in Chinese))
- [8] 周冠伦. 长江干线航道发展规划[R]. 武汉: 长江航运管理局, 长江航道局, 2002. (ZHOU Guan-lun. The Changjiang River waterway development plan[R]. Wuhan: Bureau of Changjiang Shipping, Changjiang Waterway Bureau, 2002. (in Chinese))
- [9] 曹民雄, 蔡国正, 王秀红. 长江上游和尚岩滩群航道整治研究[J]. 水利水运工程学报, 2010(3): 1-9. (CAO Min-xiong, CAI Guo-zheng, WANG Xiu-hong. Study on channel regulation of Monk Rock rapids group in the upper reaches of the Yangtze River[J]. Hydro-Science and Engineering, 2010(3): 1-9. (in Chinese))
- [10] 唐银安, 吴学良. 白龙江碧口水电站下泄不稳定流沿程变化及其对下游航道的影响[J]. 水运工程, 1983(2): 16-22. (TANG Yin-an, WU Xue-liang. The change of unsteady flow along the downstream of Bikou hydropower plant in Bailongjiang River and the effect on downstream channel[J]. Port & Waterway Engineering, 1983(2): 16-22. (in Chinese))
- [11] 乐培九, 王永成. 电站日调节泄流对下游航运影响及其防治措施[J]. 水道港口, 2004(增刊): 52-58. (YUE Pei-jiu, WANG Yong-cheng. Influence of release from daily storage plant on the downstream navigation and its preventive measures[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2004(Suppl): 52-58. (in Chinese))
- [12] 曹民雄, 庞雪松, 王秀红, 等. 向家坝电站下游非恒定水沙特性研究[J]. 水利水运工程学报, 2011(1): 28-34. (CAO Min-xiong, PANG Xue-song, WANG Xiu-hong, et al. Experimental study on unsteady flow and sediment characteristic downstream of Xiangjiaba power station[J]. Hydro-Science and Engineering, 2011(1): 28-34. (in Chinese))

Influence of unsteady flow of hydropower station's daily regulation on channel regulation

CAO Min-xiong¹, MA Ai-xing¹, HU Jin-yi²

(1. *Nanjing Hydraulic Research Institute, State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210029, China*; 2. *Lower Reach Bureau of Yangtze Hydrologic and Water Resources Survey, Nanjing 210011, China*)

Abstract: A lot of hydroprojects have been placed along the upper & middle reaches of rivers in China. Whether the channel regulation scheme under steady flow conditions can meet the flow conditions after hydropower station running, it is a question which must be answered in dam's downstream channel regulation. Through the model experiment of the channel regulation and the same scale ship model on Monks Rock shoal group in the downstream of the Xiangjiaba hydropower station, we made a special study of the channel design water level, flow velocity, rapids abating and ship navigation under the condition of unsteady flow during the station's daily regulation. The research results show that the instantaneous discharge of the station is larger than the designed minimum navigable discharge, and the rapids' channel depths meet the requirements of navigation during the daily regulation. The rising flow velocity is slightly larger than the falling one with the same discharge, and the channel's maximum flow velocity increases slightly. The hydraulic parameter of rapids abating will fail to meet the requirements of navigation in some individual beaches and part time. During the daily regulation, the ranges of ship's helm angle and extreme drift angle are larger than those under steady flow, and the steering range during the rising limb is much larger than that during the recession limb.

Key words: channel regulation; hydropower station's daily regulation; unsteady flow; navigation flow condition; ship navigation; rapids abating