

文章编号:1000-582X(2005)11-0125-04

三峡电站汛期调峰对两坝间通航条件影响试验*

舒荣龙¹,陈桂馥¹,杜宗伟¹,文岑²

(1.重庆交通学院西南水运工程科学研究所,重庆 400016; 2.重庆大学工程力学系,重庆 400030)

摘要:三峡电站汛期调峰对两坝间通航条件影响试验研究成果表明:三峡电站汛期调峰具有流量大,流量变幅大,水位波动强等特点,电站调峰过程中两坝间河段沿程流速、比降较枯水期调峰显著增大,对航运的影响更为明显.在三峡电站日均下泄流量 $10\,000\sim 15\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,两坝间河段的航行条件尚能满足万吨级船队的航行要求,但日均流量为 $20\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,两坝间重点滩段的流速、比降,已接近或超过万吨级船队的允许值,船队上行十分困难.

关键词:三峡电站;汛期调峰;通航条件

中图分类号:TV62+2;TV83

文献标识码:A

三峡两坝间(三峡~葛洲坝)河段是连接三峡库区和葛洲坝下游航道的纽带,在长江航运中具有特殊重要意义.两坝间河段长约38 km,河道弯曲,岸壁陡峭,宽窄相间,河床形态复杂,汛期水流湍急,流态紊乱,是长江上游汛期航道条件较差、航行较困难的河段之一.三峡电站在泄洪和日调节时产生的非恒定流,使得两坝间的航行条件更为复杂.为此,在“七五”攻关期间,笔者对三峡电站枯水期负荷日调节和大坝泄洪时两坝间非恒定流特性及其对航运的影响进行了专题研究,研究成果表明:三峡电站枯水期负荷日调节产生的非恒定流为平缓的水面升降运动,其流速比降均小于万吨级船队通航水流标准的允许值,且无明显的碍航流态产生,故对航运影响不大.

为提高三峡电能质量,拟考虑汛期调峰措施,由于汛期调峰流量大,流量变幅大,调峰运行方式与枯水期有较大不同,其对航运的影响如何,应进行充分论证,为此,在重庆交通学院西南水运工程科学研究所原两坝间1:110正态水力学模型上进行了专题试验研究,重点开展三峡电站汛期调峰情况下两坝间的通航水流条件和船模航行试验研究.

1 两坝间河道概况

三峡两坝间河道长约38 km,其中约35 km河段处于西陵峡中,三斗坪至乐天溪为宽谷河段,汛期河宽可达1400 m左右,河槽多呈复式断面,乐天溪至南阳关为峡谷河段,全河段峰回河转,蜿蜒曲折,河岸陡峭,江面狭窄,河床断面多呈“U”形,河宽一般约200~

300 m左右,汛期水流湍急,流态紊乱,泡漩、回流、夹堰随处可见,是长江上游汛期航行条件较差的困难河段之一.

葛洲坝水库蓄水后,两坝间河段处于常年回水区,水位抬高20 m以上,原有滩险大部分被淹没,航道水深增大,流速、比降减小,非汛期航行条件得到极大改善,但葛洲坝电站系一径流式低水头电站,两坝间河道兼具“水库”与“天然河道”双重特性,即非汛期小流量时,呈“水库”特性,汛期大流量时又兼有“水库”与“天然河道”双重特性.

葛洲坝水库蓄水后,两坝间河道受壅水影响,流速减小,比降减缓,当流量 $Q < 10\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,断面平均流速大多在1.0 m/s以下,水面比降小于0.14‰,随着流量增大,由于峡谷河段过水面积增加有限,造成流速、比降迅速增大,两坝间部分滩段表面流速可达4.0 m/s以上,水面比降可达11.0‰,通航条件显著恶化.

2 试验模型及试验方法

2.1 试验模型

两坝间模型上起太平溪,下至葛洲坝,模拟原型河段约44 km,包括三峡库区,三峡、葛洲坝枢纽以及两坝间长约38 km河道(见图1).两坝间整体水力学模型按重力相似准则设计,几何比尺1:110,模型为正态.模型进行了全河段水面线验证及局部河段流速、流向、流态验证,与原型相似性较好,满足电站汛期调峰试验的要求.

* 收稿日期:2005-04-20

作者简介:舒荣龙(1954-),男,四川苍溪人,重庆交通学院副研究员,主要从事航道整治及水利枢纽工程研究工作.

2.2 试验方法

采用实体模型水力学试验和船模航行试验相结合的方法研究三峡电站汛期调峰运行情况下在两坝间河道产生的非恒定流特性及其对航运的影响,开展此项试验研究的主要前提之一,是必须采用高精度的自动化控制和测试系统,以便正确生成三峡电站调节和葛洲坝电站反调节引起的非恒定流状态,并迅速准确采集和处理非恒流变化过程中的各种水力要素。

三峡和葛洲坝两电站的泄流过程采用重庆西南水运工程科学研究所研制的 SX-1 型微机流量~水位自动控制系统进行可视化控制,该仪器通过国内同行专家鉴定,于 1994 年获得交通部科技进步奖,并达到

如下技术参数,流量测试精度为 0.5,流量自动跟踪精度为 1%,水位测试精度为 ±0.1 mm,水位自动跟踪精度 < 0.5;试验过程中全程同步观测两坝间沿程各测站的流速和水位变化,流速采用 HD-4 型电脑流速仪;水位采用 CS-24 型多点超声水位仪进行观测;船模按 1:110 比例制作,观测试验过程中自航船模的各种航态(用车、用舵、航迹、航速、漂角等)。

2.3 测站布置

流速和水位测站主要设置在两坝间河段影响航运的关键部位和航行条件比较复杂的困难河段(见图 1)。各测站设置流速、水位测点各一个,均布置在船舶航线上,以观测电站调峰过程中航线上的水位和流速变化。

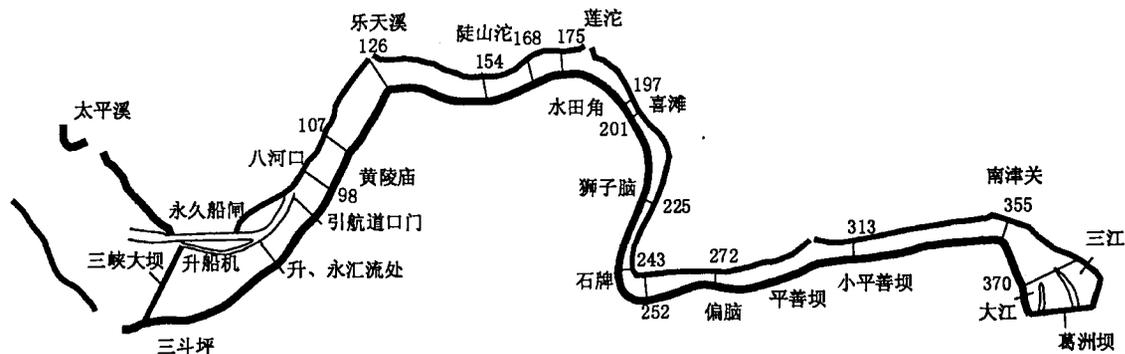


图 1 两坝间河段模型及观测断面布置图

2.4 通航水流标准

本试验根据两坝间各通航设施的作用特点和对水流条件的要求,分别采用不同的通航水流标准:航道采用万吨级船队汉渝直达允许的流速、比降并结合流态进行分析判断(见表 1);而船闸、升船机、港口、锚地等航运设施则主要按水位日变幅和小时变率进行分析论证。

表 1 万吨级船队汉渝直达允许最大流速、比降表

允许最大局部比降/‰	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
允许最大表面流速/m·s ⁻¹	2.6	2.5	2.3	2.1	1.9

3 三峡电站汛期调峰试验主要成果

3.1 试验方案

本课题主要研究三峡电站汛期调峰在两坝间河段产生的非恒定流特性及其对航运的影响,包括航道、船闸、升船机、港口、锚地等。为尽可能减小两坝间的非恒定流波动,同时保证两坝间的调蓄量不致增加或减少过多,葛洲坝坝前水位不能过高或过低,葛洲坝反调节泄流方式必须与三峡电站泄流过程相适应,从而达到对三峡电站泄流过程进行削峰填谷的目的。试验方案由三峡电站不同日平均流量级(10 000、15 000、20 000 m³/s)和不同日调峰容量(600、800、1 000 万 kW)与葛洲坝电站反调节共组成 10 个方案。

3.2 三峡电站汛期调峰过程中两坝间河道的水位变化

试验观测表明:三峡电站汛期调峰过程中两坝间水位变化与三峡电站下泄流量过程,葛洲坝反调节方式有关,即与两坝间水库的调蓄水量变化有关,其规律是水量变化越大,水位变化就越大,反之亦然。各方案 22:00-23:00 两坝间水量增加最大,此时各测站的水位出现最高值,而 7:30-9:30 两坝间水量减小最多,各测站在这一时段内均出现全天水位最低值(见图 2)。受葛洲坝壅水影响,各方案最大水位日变幅均发生在葛洲坝上游近坝河段南津关,最大小时变率分别发生在三峡电站下游的黄陵庙和葛洲坝枢纽上游的南津关(见表 2)。同时,升船机下闸道和永久船闸下闸首也因建筑物的阻挡而出现局部壅水现象。

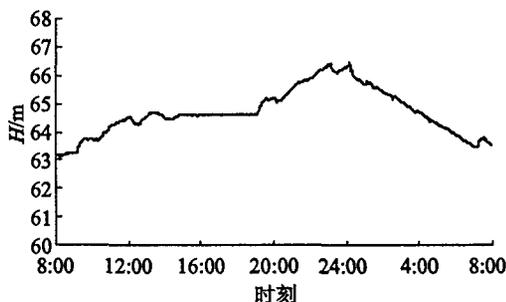


图 2 方案 3 三峡下引航道口门水位-时间过程线

表2 三峡电站汛期调峰各方案主要水力指标对比表

方案	日均流量 /m ³ ·s ⁻¹	日调峰容量 /MW	水位日变幅		小时变率		最大流速		最大比降 /‰
			最大值 /m	位置	最大值 /m	位置	流速值 /m·s ⁻¹	位置	
1	10 000	8 000	3.86	南津关	1.02	黄陵庙	1.91	水田角	1.52
2	15 000	8 000	3.60	南津关	0.83	南津关	2.56	水田角	1.55
3	20 000	8 000	3.07	南津关	0.66	南津关	2.93	水田角	1.59
4	20 000	8 000	1.77	南津关	0.80	南津关	3.13	水田角	2.00
1a	10 000	8 000	3.81	南津关	0.92	黄陵庙	1.89	水田角	1.56
2a	15 000	8 000	3.55	南津关	0.76	南津关	2.50	水田角	1.52
5	10 000	10 000	4.14	南津关	1.00	黄陵庙	1.95	水田角	1.81
6	15 000	10 000	4.03	南津关	0.94	南津关	2.66	水田角	1.86
7	10 000	6 000	3.66	南津关	0.75	黄陵庙	1.60	水田角	1.08
8	15 000	6 000	3.39	南津关	0.68	南津关	2.29	水田角	2.89

3.3 三峡电站汛期调峰过程中两坝间河道的流速和比降变化

三峡电站汛期调峰过程中两坝间河道的流速、比降变化与两电站的调节方式,泄流量大小,流量变幅及河道边界条件等密切相关,流速变化过程与三峡电站泄流过程相类似,仅流速峰值出现时间略迟后于下泄流量峰值时间,在调节过程中水面坡降也处于不断变化之中,其最大比降和最大流速发生的时间相同,均为9:00~11:00和19:00~21:00(见图2和图3),最大流速均发生在水田角滩段(见表2)。

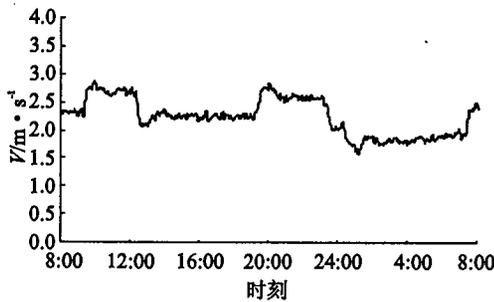


图3 方案3水田角流速-时间过程线

综上所述,电站日调节过程中产生的非恒定流是一种波动现象,三峡电站泄流产生的顺涨波和顺落波自坝址向下游推进,受河道沿程阻力的影响不断衰减;而葛洲坝电站反调节产生的逆涨波和逆落波在向上传递的过程中,同样受河道沿程阻力影响而不断衰减;顺、逆波大约在两坝间中部遭遇,相互碰撞,波能进一步消耗。因而该段水位变幅相对较小,而近坝水域受两电站调峰泄流的影响,其水面波动和水位变幅均较大,成为两坝间水位变幅最大的部位,小时变率同水位变幅一样,具有相似的变化规律。而最大流速出现在水位变幅相对较小的水田角滩段。

4 船模航行试验

4.1 模型船队及试验航段

1) 模型船队:选用两种顶推船队进行试验,即:2640HP+9×1 000 t甲板驳,载重9 445 t,船队尺度为:271.87 m×32.25 m×2.9 m(长×宽×吃水),静

水航速3.155 m/s;2640HP+6×1 000 t甲板驳,载重6 425 t,船队尺度为196.67 m×31.84 m×2.9 m(长×宽×吃水),静水航速3.567 m/s。

2) 试验航段:选择两坝间重点部位及困难航段进行船模航行试验,即三峡下引航道口门区,水田角,喜滩,石牌及葛洲坝电站上引航道口门区等五个航段。

4.2 船模航行试验方案

选择四个有代表性的方案进行船模航行试验,即三峡电站日均流量为10 000 m³/s,日调峰容量800万kW(方案1a);三峡电站日均流量15 000 m³/s,日调峰容量800万kW(方案2);三峡电站日均流量20 000 m³/s,日调峰容量800万kW(方案3);三峡电站日均20 000 m³/s,日调峰容量800万kW(方案4)。

4.3 船模试验成果

船模试验表明:在三峡电站汛期调峰过程中,船队航行难度增大,尤以方案3和方案4影响最显著(图4)。由于水田角河段流速、比降较大,石牌河段航道弯急,万吨级船队在该两处航行非常困难,航行安全难以保证。至于喜滩、三峡船闸下引航道、葛洲坝船闸上引航道等航段的航行难度亦有所增大。

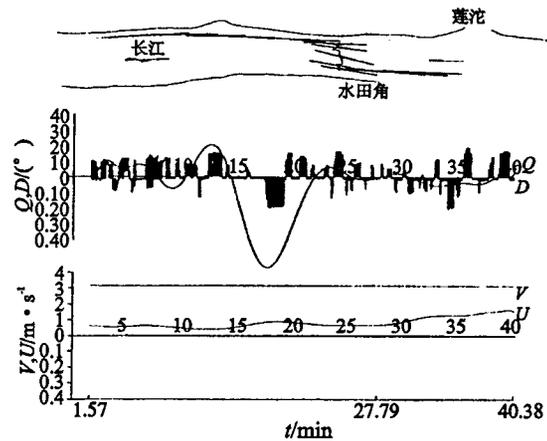


图4 汛期调峰水田角船模航行试验图

5 三峡电站汛期调峰对两坝间通航条件影响分析

在三峡电站汛期调峰过程中,由于调峰流量大,流量变幅大,其产生的非恒定流波动较枯水期调峰更为强烈,河道流速、比降增大,流态变差,各方案最大水位日变幅在3.07~4.14 m/d之间,最大小时变率在0.66~1.02 m/h之间,滩段最大表面流速为1.6~3.13 m/s,最大比降为1.08‰~2.89‰。汛期调峰对两坝间通航条件的影响远大于枯水期调峰。

5.1 水位波动对两坝间通航设施通航条件的影响

5.1.1 水位波动对引航道水深的影响

电站调峰过程中水位波动程度直接影响到船闸引航道的航深尺度,试验表明:各方案三峡船闸下引航道口门瞬时最低水位为62.76~63.83 m(下引航道底高程为56.5 m),故调峰过程中瞬时最小航深为6.26 m;葛洲坝三江上引航道口门瞬时最低水位为62.06~

62.76 m(上引航道底高程为55.0 m),瞬时最小航深为7.06 m,均满足设计航深要求。

5.1.2 水位波动对升船机运行的影响

受通航建筑物局部壅水影响,三峡升船机下闸首附近水位波动强烈,各方案水位小时变率在0.96~1.97 m/h之间,由于水位波动较大,造成升船机承船箱与下游水位对接困难,对船舶安全进出升船机带来明显影响。

5.1.3 水位波动对港口作业和锚地锚泊条件的影响

三峡两坝间港口码头主要分布在三峡、葛洲坝坝区,规划锚地在陡山沱和平善坝。三峡电站汛期调峰过程中,水位时涨时落,日变幅达3~4 m/d,由于水位的频繁涨落,给港口码头作业造成不便,对锚泊条件也有一定影响。

5.2 三峡电站汛期调峰对两坝间航运通航水流条件的影响

三峡电站汛期调峰产生的非恒定流造成两坝间河道的流速、比降及流态均处于不断变化之中,由于汛期调峰流量大,流量变幅大,使其河道流速、比降较枯水期调峰时显著增大,回流、水埂、泡漩等碍航流态的强度亦有所增强,从而对船舶航行带来不利影响,当三峡电站日均下泄流量 $20\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时(方案3、4),部分滩段的水流阻力已接近或超过船队推轮的有效推力,如水田角、喜滩等,此时万吨级船队上行十分困难。另外,调峰过程中水流条件的频繁变化,也增大了下行船舶的操纵难度,尤其是通过石牌急弯航段时影响更明显。

6 结 语

1) 三峡电站汛期调峰具有流量大、流量变幅大的

特点,在电站调峰过程中,两坝间河段非恒定流流速、比降均较枯水期调峰有显著增大,泡漩、回流亦更加明显,对航运的影响远大于枯水期调峰。

2) 三峡电站日均下泄流量 $10\,000\sim 20\,000\text{ m}^3/\text{s}$,调峰容量600、800、1000万kW各方案试验表明,三峡船闸下引航道、葛洲坝大江、三江引航道在电站调峰过程中的瞬时最小航深满足航道尺度要求。

3) 三峡电站日均下泄流量 $20\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,在调峰过程中两坝间河段的流速、比降显著增大,局部滩段的水流阻力已接近或超过2640HP推轮的有效推力,万吨级船队上行十分困难。

4) 三峡电站汛期调峰过程中水位波动较大,水面涨落频繁,对两坝间港口的正常作业和船舶锚泊停靠有一定影响。

参考文献:

- [1] 交通部三峡办公室. 长江三峡工程泥沙和航运关键技术研究成果汇编(下册)[R]. 1991.
- [2] 交通部三峡办公室. 长江三峡工程泥沙和航运问题研究成果汇编(IV)[R]. 1999.
- [3] 重庆西南水运工程科学研究所. 三峡电站汛期调峰对两坝间通航条件影响试验报告[R]. 2000.
- [4] 格拉夫,阿廷拉卡. 河川水力学[M]. 赵文谦,万兆惠译. 成都:成都科技大学出版社,1997.
- [5] 交通部西南水运工程科学研究所. 三峡电站负荷日调节非恒定流和大坝泄洪对两坝间航运影响试验研究报告[R]. 1990.
- [6] 重庆西南水运工程科学研究所. 三峡电站汛期汛期调峰两坝船模航行研究报告[R]. 2002.

Experiment Study on the Influence of TGP Regulate Peak Flood to the Navigational Condition Between Two Dams

SHU Rong-long¹, CHEN Gui-fu¹, DU Zong-wei¹, WEN Cer²

(1. Chongqing Southwestern Institute for Water Transportation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400016, China;
2. Department of Engineering Mechanics, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The experiment study on influence of TGP regulation the peak flood to the navigational condition between Two Dams shows: The regulation peak has the characteristic with large discharge, widely discharge variation and water level fluctuant and so on. During the adjust peak, the velocity and slope during two dams are higher than low water evidently, and the influence on navigation is obvious. When the released discharge diurnal average is between $10\,000$ and $15\,000\text{ m}^3/\text{s}$, the navigation condition can meet the requirement of $10\,000\text{ T}$ ship team, but when the discharge exceed $20\,000\text{ m}^3/\text{s}$, the velocity and slope at important bar between two dams are near or over the allowable value, the upward ship team sail difficultly.

Key words: TGP; the regulation peak flood; the navigational condition