

联系梁对电站分层取水进水口流态影响的试验研究

薛阿强, 杜 兰

(长江科学院 水力学研究所, 武汉 430010)

摘要:在大型电站分层取水进水口1:30大比尺模型上,对每层叠梁门进行了最小淹没水深的试验,发现位于水流表层的联系梁对进口流态具有明显的消涡作用,每层叠梁门运行水位只要位于相应的联系梁底面以上,进口流态均可满足要求。水流表面离联系梁越近,联系梁的消涡作用越大;反之,水流表面离联系梁距离越大,则淹没度对进口流态起主要作用了。进水口体形是决定进口流态的基础,联系梁布置恰当,对消涡可起到关键作用。对电站进水口联系梁的布置具有指导意义,对其它建筑物的消涡措施具有借鉴作用。

关键词:分层取水进水口;叠梁门;联系梁;最小淹没水深;进口流态

中图分类号:TV131.63

文献标志码:A

文章编号:1001-5485(2013)08-0010-04

1 研究背景

某大型电站单机容量1000 MW,总装机容量16000 MW。每年3—7月为电站分层取水运行时间。根据生态水温控制要求,水库分层取水水位范围765~795 m。每孔门槽设置6层叠梁门,单节门高6 m,叠梁门顶、底高程分别为770,734 m,叠梁门槽与备用拦污栅槽共用;联系梁间距为7 m,净距为5.5 m,见图1。单节叠梁门高与联系梁间距较匹配。分层取水除了取表层温水外,每层叠梁门的运行,须满足进口流态要求,以保证机组的运行安全。因此须试验出每层叠梁门的最小淹没水深对应的水位,为电站分层取水运行提供科学依据。

对电站进口段体形进行优化后,再安装叠梁门,发现进水口前联系梁的安装高程是影响进口流态的关键因素。为此,在有无叠梁门情况下,进行了大量的不同高程联系梁对进口流态影响的试验研究,取得了一系列规律性的成果。该成果对同类工程联系梁的布置或其它建筑物的消涡措施具有借鉴作用。

联系梁是联接拦污栅和进口面的结构梁,型式包括纵梁、横梁和人字梁等。目前国内外对电站进水口联系梁的研究较少,公开资料不多见,电站进水口最小淹没深度戈登公式($S = cv\sqrt{d}$)中也没有考虑联系梁的影响。王友亮等^[1]对三峡电站进水口人字梁的不同顶面高程(132,131 m)进行过试验研究,在最低运行水位135 m条件下,顶面高程132 m比131 m人字梁对降低进口表面漩涡强度和频率的

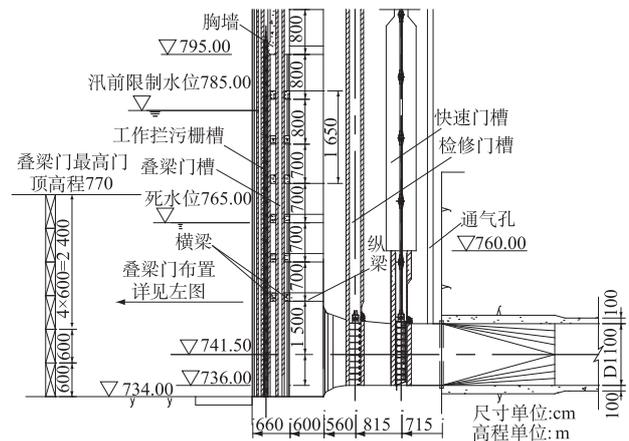


图1 拦污栅和叠梁门纵剖面图
Fig.1 Longitudinal profile of the trash rack and stoplog gate

作用更明显。王久晟等^[2]根据试验结果得出,消涡梁尽量靠近水面,可以基本消除漩涡;如采用浮排,则浮排随表面环流缓慢旋转,漩涡被破坏。施祖辉等^[3]针对不同的行近流速,探讨了3种消涡梁的消涡效果,但对不同高程消涡梁没有进行详细研究。

2 模型布置

本模型共安装了3台进水口管道,模拟的范围包括进水渠长度120 m,拦污栅段、胸墙、进口段、检修门井、快速闸门井、通气孔、渐变段至水轮机进口。模型进水渠宽度为3台机组的宽度,两侧面及底板安装塑料挡板,使进水渠的行近流速相似。模型比尺 $L_r = 30$,则边壁糙率比尺为 $30^{1/6} \approx 1.76$ 。原型进水口段砼

边壁糙率约为0.014,则要求模型相应的糙率为0.008,用有机玻璃制作模型,边壁糙率为0.008,可满足进口段边壁糙率的相似要求。模型雷诺数可达 4.32×10^5 ,可满足模型与原型漩涡的相似要求。

3 叠梁门最小淹没水深试验成果

在分层取水范围765~795 m,需试验出6层叠梁门的最小淹没水深水位,各叠梁门最小淹没水深试验方法为:水位渐变下降,观察进水口、通仓段和引水渠的流态,直至流态不能满足要求,则进口流态满足要求的最低水位对应的水深为该叠梁门的最小淹没水深。一般要试验4~8个水位,才能试验出最小淹没水深对应的水位。试验流量各水位均相同,为 $548 \text{ m}^3/\text{s}$ 。主要成果如下。

(1) 1层、2层叠梁门:在最低水位765 m,进口流态均为浅表游离型微涡,流态较好,可满足要求。

(2) 3层叠梁门,共试验了4个水位:768.5, 766.7 m水位,进口流态均可满足要求;765, 764 m水位,进口水流湍急,紊动较大,出现了较大的漩涡,挟带气泡进入流道,进口流态均不能满足要求。因此,最小淹没水深对应的试验水位为766.7 m,该水位在第3层联系梁顶面高程766.5 m上附近,见表1,取766.5 m。

表1 各联系梁顶面、底面高程和叠梁门最小淹没水深水位比较表

Table 1 Comparison among the minimum submergence depth levels at the connection beam's top and bottom and the stoplog m

联系梁或叠梁门层数	联系梁高程		叠梁		
	顶面	底面	门顶高程	最小淹没水深水位	最小淹没水深
第3层	766.5	765.0	752.0	766.5	14.5
第4层	773.5	772.0	758.0	773.0	15.0
第5层	780.5	779.0	764.0	780.0	16.0
第6层	788.5	787.0	770.0	788.0	18.0

(3) 4层叠梁门,共试验了7个水位:781, 776, 775.4, 774.8 m水位,进口表面均为游离型漩涡;774.8 m水位离第4层联系梁顶面773.5 m近些,水流较平顺,几乎没有漩涡;772 m水位,水流从进水渠通过栅墩时,开始有跌水现象发生,水流紊动加大,有翻花,游离型漩涡,不时有单个气泡进入流道;769.8, 768.8 m水位,进口水面紊动较大,漩涡强度大,有连续的散粒气泡进入流道。

从上述试验结果看出,满足进口流态要求的最低水位应高于772 m,可低于773.5 m,取773 m。

(4) 5层叠梁门,共试验了8个水位:785.2,

783.2, 780.8, 779.8 m水位,进口表面均为游离型漩涡,进口流态可满足要求;779.0, 777.8 m水位,这2个水位下降至第5层联系梁底面(779.0 m)和第4层顶面(773.5 m)之间,水面脱离了第5层联系梁,而离第4层联系梁顶面又较远,因而均出现了较大的漩涡,漩涡频率较高,机组应尽量避免在该水位运行;776.6, 774.2 m水位,水位降低,有大量的散粒气泡进入流道。从上述试验结果看出,满足进口流态要求的最低水位为779.8 m,取780 m。

(5) 6层叠梁门,共试验了8个水位:795, 790.5, 788 m水位,进口流态很好,几乎没有漩涡;786.7, 784.5 m水位均位于第6层联系梁底面(787 m)和第5层联系梁顶面(780.5 m)之间。水面脱离了第6层联系梁,而离第5层联系梁顶面又较远,因而均出现了较大的漩涡,并且有单个气泡进入流道;782, 780.5, 777.5 m水位,随着叠梁门顶淹没水深的减小,出现进口表面水流湍急;与横梁拍打,水流不太稳定;大量气泡进入流道等水力现象。从上述试验结果看出,满足进口流态要求的最低水位为788 m。以上系列试验成果可发现共同规律:3层至6层叠梁门,进口流态从满足要求到不满足要求,均处在联系梁的底面;水位位于联系梁内或以上,进口流态可满足要求,水面脱离了该联系梁的底面,即会出现较大的漩涡;水位再降低,有散粒气泡进入流道。

从图1中看出,795 m高程以下共布置了6层联系梁,与6层叠梁门的数目相同,可使每层叠梁门与每层联系梁相对应。将联系梁顶、底面高程,叠梁门顶高程,最小淹没水深及对应的水位,汇总于表1。从表1中看出,3层至6层叠梁门,最小淹没水深水位均处在相应联系梁内或顶面附近,说明位于水流表层的联系梁具有明显的消涡作用;最小淹没水深为14.5~18 m。

4 联系梁对进口流态的影响试验成果

对图1死水位765 m下的2层联系梁(包括纵梁和横梁),在无叠梁门运行(每年的8月至次年2月)工况下,试验出对进口流态的影响程度。上层联系梁顶面距离水面高度和2层联系梁的净距均为5.5 m。将纵梁、横梁的上层和下层分别去掉,以求得每一层纵、横梁对进口流态的影响程度,共进行了5组试验,试验水位、流量组合为765 m, $548 \text{ m}^3/\text{s}$;

(1) 去掉上层纵梁,保留了下层纵梁和2层横梁。该工况进口流态变差,水流紊动增加,漩涡尺度加大,漩涡出现的频率明显增加,漩涡最大直径为

1.5 m (去掉前为 0.9 m), 深 0.9 m (去掉前为 0.6 m), 漩涡持续的最长时间为 44 s, 但没有气泡进入流道。说明上层纵梁对减少漩涡的频率和尺度起了较大的作用。

(2) 去掉上、下层纵梁, 保留 2 层横梁。该工况墩尾更容易出现漩涡, 水流表面紊动仍较大, 漩涡的频率、尺度和进口流态的性质与试验方案(1)相当。说明布置在墩尾的上、下层纵梁对墩尾的漩涡具有一定的消除作用, 但下层纵梁对表面漩涡的影响较小, 原因可能是下层纵梁离水流表面距离较远的缘故。

(3) 去掉上、下层纵梁, 上层横梁, 仅保留下层横梁。去掉上层横梁后, 水流表面紊动减小, 水流变得平缓, 漩涡的频率也有所减少。但阵发性单个漩涡的尺度有所加大, 时间延长, 最大直径为 1.5 ~ 1.8 m, 持续的时间延长到 82 ~ 137 s。说明处在过流断面的横梁, 对水流有阻碍作用, 加大了水流的紊动。

(4) 去掉全部纵梁、横梁。去掉全部横梁后, 水流进一步变得平缓, 漩涡的频率减少, 而单个漩涡强度更强, 时间更长, 单个漩涡最大直径为 1.8 ~ 2.1 m, 持续的时间延长到 220 s。该工况进一步说明了处在主流断面的横梁对水流的阻碍作用, 加剧了水流的紊动。

(5) 去掉下层纵梁、横梁, 保留上层纵梁、横梁。该工况进水口水流平缓, 紊动减小, 没有出现大尺度、长时间的漩涡, 最大漩涡直径约 1 m, 一般漩涡可持续 27 ~ 38 s。该组试验进一步证明了上层纵梁和横梁具有消涡作用。

综上所述, 位于通仓内的上层纵梁离水面较近, 对进口流态具有明显的消涡作用; 下层纵梁距水面较远, 对进口流态影响不明显。位于过流区的上、下层横梁对进口水流有阻碍作用(水头损失约 3 cm), 使漩涡出现的频度增加, 但可破除大漩涡。

配, 布置较合理, 可使每层叠梁门的最小淹没水深较接近。

(2) 位于水流表层的联系梁对进口流态具有明显的消涡作用, 每层叠梁门运行水位只要位于相应的联系梁内或顶面附近, 进口流态均可满足要求; 水位脱离该联系梁的底面, 就会出现较大的漩涡, 进口流态不能满足要求。

(3) 水流表面离联系梁越近, 联系梁的消涡作用越大; 反之, 水流表面离联系梁距离越大, 则淹没度对进口流态起主要作用了。

(4) 该成果对电站进水口联系梁的布置和运行具有指导意义: 当水位一定时, 联系梁可布置在该水面以下附近; 当联系梁高程一定时, 水位可在联系梁底面以上运行, 进口流态即可满足要求。

参考文献:

- [1] 王友亮, 徐诗银, 刘然心. 三峡电站进水口体型优化试验研究[J]. 人民长江, 1996, 27(12): 1-4. (WANG You-liang, XU Shi-yin, LIU Ran-xin. Experimental Study on the Optimization of Inlet Configuration for Three Gorges Power Station[J]. Yangtze River, 1996, 27(12): 1-4. (in Chinese))
- [2] 王久晟, 程观富. 某水库泄洪洞进口消涡梁消涡效果试验研究[J]. 治淮, 2002, 18(5): 35-37. (WANG Jiu-sheng, CHENG Guan-fu. Experimental Study on the Vortex Elimination Effect of the Vortex-Eliminating Beam at the Inlet of a Reservoir Flood Discharging Tunnel [J]. Harnessing the Huaihe River, 2002, 18(5): 35-37. (in Chinese))
- [3] 施祖辉, 陈青生, 周春天. 消涡梁在抽水蓄能电站进水口中的应用[J]. 红水河, 2005, 24(4): 16-19. (SHI Zu-hui, CHEN Qing-sheng, ZHOU Chun-tian. Application of Eddy-eliminating Beam in the Intake of Pumped-storage Power Station[J]. Hongshui River, 2005, 24(4): 16-19. (in Chinese))

5 结 论

(1) 本工程单节叠梁门高度与联系梁间距较匹

(编辑: 陈 敏)

Influence of Connection Beam on the Flow Pattern at the Multi-level Water Intake of Hydropower Station

XUE A-qiang, DU Lan

(Hydraulics Department, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: By using a large-scale 1:30 model of the multi-level water intake of hydropower station, we carried out experiment to research the minimum submergence depth for each stoplog. It was found that the connection beam on

water surface could obviously eliminate the vortex at the inlet. The flow pattern at the inlet could meet the requirement when the operating water level of each stoplog gate is above the bottom of its corresponding connection beam. The closer the connection beam to the water surface, the better the vortex elimination effect is; when the distance of the beam from the water surface increases, the inlet flow pattern is mainly affected by submergence. Inlet configuration is the basic factor which determines the flow pattern, and the proper configuration of connection beam plays a key role in eliminating vortex. The research findings provide guidance for the arrangement of connection beam at the intake of power station, and serve as a reference for other buildings to eliminate vortex.

Key words: multi-level water intake; stoplog gate; connection beam; minimum submergence depth; flow pattern at the inlet

~~~~~  
(上接第 9 页)

## Research Progress of Hydraulics at the Inlet of Multi-level Water Intake of Large Hydropower Station

DUAN Wen-gang, WANG Cai-huan, DU Lan, XUE A-qiang

(Hydraulics Department, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

**Abstract:** Multi-level water intake of hydropower station has been a hot issue in research and construction. Stoplog gate is usually adopted at the inlet of the multi-level intake. Researches in China and abroad on the inlet are reviewed in this paper, and the orientations of future research are proposed: ① since the stoplog gate remarkably increases head loss at the inlet segment by 1-2m, the configuration and the shape of stoplog gate which could help reduce the head loss should be explored; ② stratified water temperature in the reservoir has big influence on the water viscosity, so numerical model which includes the water viscosity variable should be developed to improve the reliability and accuracy of inlet flow field and flow velocity simulation and discharged water temperature prediction; ③ in addition, with the continuous construction and operation of big hydropower stations with multi-level intake, more prototype observation should be carried out.

**Key words:** water inlet of hydropower station; multi-level water intake; stoplog gate; waterhead loss; vortex; water temperature; viscosity

~~~~~

长江科学院水力学研究所新获两项实用新型发明专利

2013 年 4 月和 6 月,由长江科学院水力学研究所发明的“一种泄洪雾化雾源测量装置”和“一种研究泄洪雾化雾源分布规律的装置”技术先后获得中华人民共和国知识产权局颁发的实用新型专利证书。该发明为水利部公益性行业科研专项——“高坝泄洪雾化工程安全及环境影响评价与对策”项目课题研究成果,该项目由长江科学院牵头,南京水利科学研究所、中科院生态环境研究中心、武汉大学、中国水利水电科学研究院协助完成。两项专利的获得表明长江科学院在高坝泄洪雾化科研测试技术领域达到国内领先水平,为课题 2013 年底结题考核指标的完成提供了支撑。

“高坝泄洪雾化工程安全及环境影响评价与对策”项目针对西南高坝泄洪功率大、河谷狭窄、岸坡形态和地质条件复杂等特点,耦合原型工程类比、物理模型和数学模型预测方法,开发泄洪雾化降雨和雾流复合预测技术,建立复杂条件下泄洪雾雨区边坡稳定性以及坝区局部区域雾雨环境影响的定量评价机制,提出泄洪雾化工程安全与环境影响的综合防护措施。该项研究将大大促进泄洪雾化问题的基础研究和工程应用,具有较为重要的科学价值和显著的社会经济效益。

(摘自:长江水利科技网)