

高坝泄洪雾化模型试验研究

黄国情^{1,2}, 吴时强², 陈惠玲²

(1. 河海大学 环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要: 泄洪雾化是近20多年来水电工程中出现的一个新课题, 现在的高坝具有落差大、泄洪流量大、河谷狭窄等特点, 雾化问题突出, 雾化水流的研究已成为高坝建设中新的水力学关键技术问题之一。为了正确预测高坝泄洪雾化雨强分布, 根据二滩、安康、岩滩和小湾等工程的泄洪雾化物理模型试验和原型观测雾化资料, 得出了用物理模型来研究高坝泄洪雾化的规律, 并据此设计溪洛渡水电站泄洪雾化模型, 试验得出溪洛渡水电站不同工况下的雾化雨强分布, 为工程防护提供了科学依据。

关 键 词: 高坝; 雾化; 物理模型; 相似率

中图分类号: TV131

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2008)04-0091-04

Model test studies of atomized flow for high dams

HUANG Guo-qing^{1,2}, WU Shi-qiang², CHEN Hui-lin²

(1. College of Environmental Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: The atomized flow is a new subject in recent twenty years. The newly-constructed high dams are characterized by high water head, large discharge flow, narrow gorges and severe atomization. Therefore, the research on the atomized flow has become a key technical problem in the field of high dam hydraulics. In order to estimate the distribution of atomized rainfall density of the high dam with high water head, the prototype observed data and the model test data from the Ertan, Ankang, Yantan, Xiaowan Hydropower Stations are analyzed in the study, with the result showing that atomization caused by high dams must be studied by using physical models. And atomization model for the Xiluodu Hydropower Station is designed at last. From model tests the distribution of atomized rainfall density of the Xiluodu Hydropower Station is obtained, thus laying a scientific basis for project protection in the future.

Key words: high dam; discharge-induced atomization; model test; similarity ratio

随着我国水电事业的发展, 尤其是西部开发战略的实施, 愈来愈多的高坝建于狭窄河谷之中。这些工程具有泄量大、水头高、泄洪总功率大的特点, 在泄流过程中必将产生严重的雾化问题, 这不仅会影响坝后交

收稿日期: 2008-02-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50579084)

作者简介: 黄国情(1974-), 男, 江西临川人, 硕士研究生, 主要从事环境水力学研究。E-mail: gqhuang@nhri.cn

通、边坡稳定,增加电站附近电器保护工作量,还会对下游生态环境带来不利影响,如泄洪雾化引起枢纽下游某个区域内能见度降低,湿度增大,温度等的变化,这些现象已越来越多地引起人们的关注和重视^[1]. 物理模型试验能较准确地反映原型的雾化情况,其提供的物理参数也更加全面、可信,且比较直观,也便于研究雾化灾害的防治措施. 泄洪雾化现象成因十分复杂,它既牵涉到泄水建筑物泄流水力学问题,与流量大小、水头及消能型式等有关,同时,当下泄水流雾化后与空气接触,水中掺气,气中含水,形成二相流流场,增加了研究难度. 过去曾有人从解析解途径研究雾化现象^[2-5],分析推导了一些数学模式. 实际上,数值求解需要雾源量等参数,需通过试验和原型观测来解决. 陈惠玲等^[6-10]进行了多个工程泄洪雾化研究,积累了丰富的资料. 针对二滩、安康、岩滩和小湾等工程的泄洪雾化影响问题,进行过物理模型试验研究,目前二滩、安康、岩滩等工程已经建成并进行了泄洪雾化原观,根据原观资料进行反馈分析. 本文应用反馈分析的相关规律,设计溪洛渡水电站泄洪雾化物理模型,对雨区范围、雨强分布(平面及空间分布)、雨雾区大小进行预测,便于研究雾化灾害的防治措施.

1 模型设计

泄洪雾化模型试验是将泄洪水工模型和雾化模型合二为一,它既要保证常规水力学试验的重力相似条件,还要考虑反映水流跃离水面控制的表面张力的韦伯数 We . 乌江渡雾化系列模型、二滩几种比尺雾化模型以及安康、东风雾化试验总结表明,当模型 $We > 500$ 时,模型降水量与原型有一定指数关系,雨区范围也可以用几何比尺关系来推算(见图1),图中左半部分是 $Lr-n$ 关系,每个点代表一种比尺模型与原型的关系.

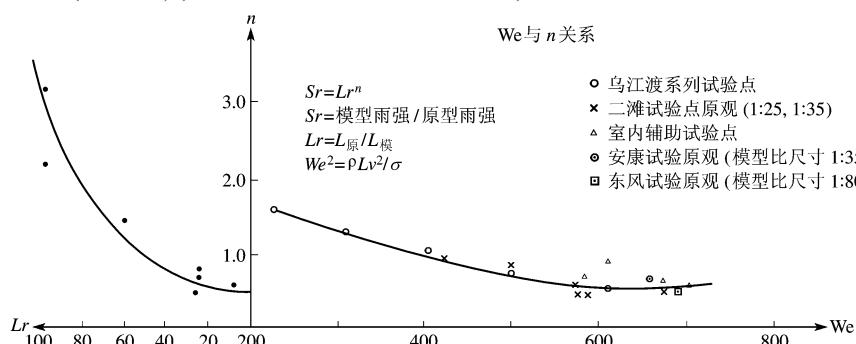


图1 Lr 、 We 与 n 的关系

Fig. 1 Relationships between Lr , We and n

二滩水电站在“七五”科技攻关研究时,进行过 1:25、1:35 比尺的局部雾化模型试验,20 世纪 90 年代又进行了原观. 由于当时雾化试验测量雨强、雨量的手段(重量法)分辨率较低,雨强为零和接近零的量测精度不够,所以选用雨强大于 10 mm/h 的分布状态作为对比. 分析结果表明,雨区形状除山坳影响之外,比较一致,选择水力条件和空间坐标相近点的雨强对比可见,所推导的关系式是可靠的.

本文以溪洛渡电站某设计方案为研究对象,坝高 273 m,泄流量大,泄流孔(包括表孔、深孔)挑流鼻坎高程均较高,而且挑流水体、空中流程长,跌落能量大,均会加剧泄流雾化,用已有的 1:125, 1:150 整体水力学试验以及 1:60 泄洪洞模型测量资料来推算水舌曲率半径,然后估算水舌表面韦伯数. 计算结果见表 1.

根据已积累的试验经验和取得的研究成果,只有当雾化模型泄水流表面 $We > 500$,测取的雾化参数才可以按上述规律换算. 从表 1 可见,当模型比尺为 1:80 时,雾化就可以满足试验条件,但考虑到低水位时 We 会有所降低,综合各方面因素,最后确定长度比尺 $Lr = 60$,相应流速比尺 $Vr = Lr^{0.5} = 7.75$,流量比尺 $Qr = Lr^{2.5} = 27\ 885.48$,雾化降雨量的比尺通过图 1 确定 n 值.

除大雨量采用重量法外,大部分采用分辨率较高的滴谱法,该方法的基本原理是,将适当大小的滤纸放于泄洪雾化现场中,滤纸上涂有化学试剂,若雾化雨滴落在滤纸上,就会在滤纸上留下雨滴斑痕,滤纸上斑点

直径和空中雨滴直径之间存在一定的关系,由此可以得到各测点区域雨滴大小的分布特征——雨滴谱,根据雨滴谱即可计算出雾化降雨量和降雨强度.该方法精确度和灵敏度较高,适用于在雨量较小的区域内进行测量.

表 1 不同比尺的模型水舌表面 We
Tab. 1 Value of We on jet surface of different model tests

泄洪建筑物	比 尺		
	1 : 30	1 : 60	1 : 80
表 孔	2618	1309	982
深 孔	1814	907	680
泄洪洞	1634	817	612

2 试验成果分析

2.1 工程概况

溪洛渡水电站是以发电为主,兼有防洪、拦沙、漂木及航运等综合效益,具有季调节能力,并可为下游电站进行梯级补偿的特大型水电站.水电站装机容量 1 200 万 kW,年发电量 543.8 亿 kW · h,最大坝高 273 m,正常蓄水位下总库容 115.7 亿 m³.溪洛渡水电站枢纽由拦河大坝(为混凝土双曲薄拱坝)、泄洪建筑物、引水发电建筑物及过木设施等组成,泄水建筑物坝身孔口设有 7 个表孔孔口尺寸(12.5 m×16.0 m)、8 个中孔(孔口尺寸 5 m×8 m)及 5 条泄洪洞,坝身泄洪能力约占校核洪水流量的 60%.溪洛渡电站消能型式采用“分散泄洪、分区消能”的布置型式,由坝身孔口和两岸泄洪洞共同承担泄洪任务.

2.2 泄洪雾化分布

溪洛渡雾化试验测取的雨强分布见图 2.雾化来源是表孔、深孔泄水抛洒和水舌入水激溅形成的雾化.

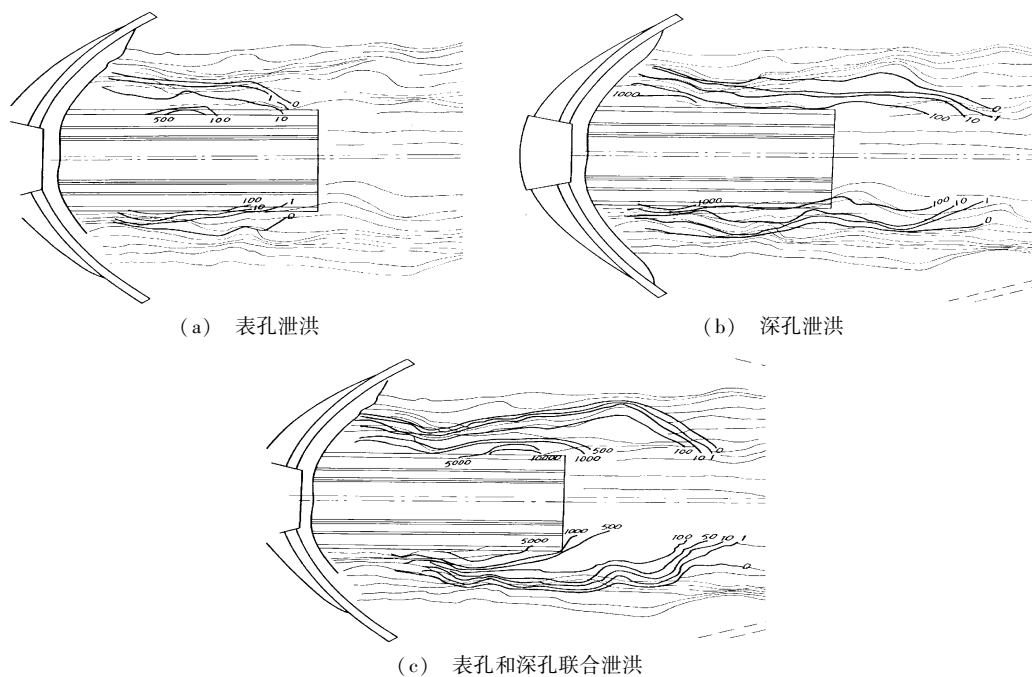


图 2 溪洛渡雨强分布(单位:mm/h)

Fig. 2 Atomization influence scope for the Xiluodu Hydropower Station (unit: mm/h)

可见,坝下 1 000 m 以内受坝体泄洪雨雾影响,其雨区顺河方向达坝下 910 m,两岸可爬至 560 m 高程,

坝肩处可观测到水舌笼罩区雾可升腾过坝顶. 雾区顺河方向达 1 200 m. 溪洛渡水电站坝体的表孔和深孔, 鼻坎高程高, 又采用表孔、深孔水舌, 上下左右撞击消能和水舌扩散消能, 水舌表面水体出现了强烈破碎和抛洒, 水舌高速下落冲击河床水面, 又出现严重激溅. 这两个原因造成坝下雨区大, 雨强也大的雾化局面.

2.3 雨强分布规律

根据溪洛渡、乌江渡、二滩、安康、岩滩、珊溪泄洪雾化模型所测资料, 以及东风、二滩较为完整的原观资料分析表明, 泄洪雾化雨强平面分布等值线形状近似于椭圆曲线. 从雨强分布特征看出, 在挑流泄洪状态下, 鼻坎非异形和收缩式鼻坎, 其雨区长短轴之比一般为 2~3, 如采用收缩鼻坎(窄缝), 雨区长短轴之比可以高达 7~8, 这是由于挑流被收缩、纵向拉长的原因. 其它异形鼻坎挑流水舌也是由于在空中发生变形而造成长短轴之比有所变化. 当溢流鼻坎横向很长时, 其形状犹如椭圆之中插入矩形, 如三峡水利枢纽泄洪雾化的雨强分布. 归纳上述分析可得, 对于非收缩式鼻坎, 雨区椭圆的长短轴之比可取 2~3; 有异形鼻坎时, 收缩式长短轴之比应大于 3; 在窄缝收缩式消能时, 若水舌纵向拉得较长, 可选 7~8. 深入研究后发现, 以水舌入水点作为椭圆中心, 雨区椭圆法线方向的雨强分布有如下规律, 中心点雨强可以用水舌入水时流量均匀分布在入水的水平断面平面面积上的流量来推算, 在此暂称之为化引雨强. 将各个工程原型和模型所测取的雨强分布资料整理后得出如图 3 所示关系曲线.

图 3 拟合的公式中, x/a 为椭圆轴上的点到雨强中心距离与椭圆短轴长之比, s_0/s 为水舌边缘化引雨强与计算点雨强之比. 利用此关系式可计算出椭圆轴上的雨强值, 从而可以得出平面雨强分布图.

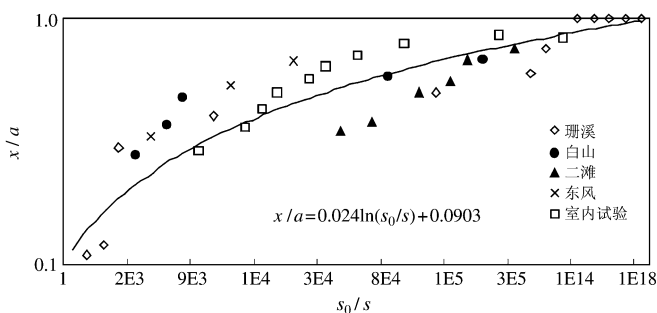


图 3 x/a 与 s_0/s 关系曲线

Fig. 3 Relationship between x/a and s_0/s

3 结 语

通过对二滩、安康、岩滩和小湾等工程的泄洪雾化物理模型试验和原型观测雾化资料, 分析得出当雾化模型泄洪水流表面 $We > 500$ 时, 模型试验值和实测值有良好的指数关系, 测取的雾化参数可以按一定的规律进行换算. 用分析得到的规律设计溪洛渡水电站雾化模型, 得到了溪洛渡水电站下游雾化分布规律, 为下游防护提供科学依据.

参 考 文 献:

- [1] 吴福生. 高坝泄流雾化环境污染原体观测研究[J]. 水科学进展, 1997, (8): 31-36.
- [2] 吴持恭, 杨永森. 空中自由射流断面含水浓度分布规律研究[J]. 水利学报, 1994, (7): 1-11.
- [3] 刘士和, 梁在潮. 平面掺气散裂射流特性[J]. 水动力学研究与进展 A 辑, 1995, (3): 34-39.
- [4] 姜信和. 挑射水舌掺气扩散的理论分析初探[J]. 水力发电学报, 1989, (3): 18-23.
- [5] 姜树海, 陈惠玲. 高坝泄洪下游溅水的模糊推理模式[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 1989.
- [6] 陈惠玲. 小湾水电站泄洪雾化研究[J]. 云南水力发电, 1998, 14(4): 51-55.
- [7] 吴修锋, 吴时强, 周 辉, 等. 湾塘水电站泄洪雾化原型观测[J]. 水利水运工程学报, 2001, (4): 71-74.
- [8] 陈惠玲. 高坝泄流雾化及其影响研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 1990.
- [9] 陈惠玲. 小湾水电站泄洪雾化研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 1995.
- [10] 陈惠玲. 高坝泄洪雾化及其灾害防治[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 1995.