旋流竖井泄洪洞减压试验研究

姚 军
(重庆市水利电力建筑勘测设计研究院,重庆 400020)

摘 要:通过减压试验对某工程旋流竖井泄洪洞单体进行了相关模型研究,采用水听器以及动态数据采集系统对竖井各测点泄洪时进行了空化噪声采集,将声压级差作为水流初生空化的一个判断标准,并计算了各测点的水流空化数,验证了竖井的抗空蚀空化能力及泄洪安全。

关键词:旋流竖井;减压试验;方法与原理;测点布置;结果分析
中图分类号:TV651.1 +3;TV131.61 +7 **文献标识码**: B **文章编号**:1001-2184(2015)06-0184-04

0 前 言

旋流竖井泄洪洞由于其布置灵活、修建难度较低且消能率较高等突出特点,成为一种较优的泄洪消能建筑物[1-5]。沿程壁面的空化特性是控制旋流竖井设计与泄洪安全的关键性指标,工程上一般采用空化数来对其抗空化空蚀能力进行判定。

关于旋流竖井的泄洪安全问题,通常采用具有一定比尺的常压模型试验结合数值模拟的方法对其进行研究,但是由于工程原型位置海拔高程通常与试验区相差较大,这就造成了二者的外界大气压不相似,从而对实验结果造成误差,尤其是对外界大气压变化较为敏感的空化数,常压试验往往不能得到比较满意的结果。

本文针对常压模型试验无法准确模拟外界大气压的问题,结合某工程旋流竖井泄洪洞,将其单体模型置于能够精确控制外界气压的减压箱中,从而实现对外界气压的完全模拟。通过在竖井沿程安装测量噪声的水听器对竖井壁面空化噪声进行测量,进而得到声压级曲线并以之判定空化的发生,同时计算了各测点的水流空化数,从而对旋流竖井的抗空化空蚀能力进行准确的定量描述。

1 试验方法与原理

减压试验对空化的判别一般采用以噪声测试为主、结合空化数判别和目测的方法。空化云的观测和判别在基础研究中常常被采用,但在具体工程的模型试验中却变得非常困难,因此,目测法在本试验中仅作为参考。本试验对空化的判别采用噪声测试法和空化数判别法相结合进行。

通过对噪声频谱的分析可判别空化的发生,因空化的发生将导致声压级的突然增加,有明显的峰值产生[6-8]。经验表明,空化发生时的声压级较之相应频率的背景声压级(即不发生空化时的声压级)高5 dB ~ 10 dB 以上。声压级的计算公式为:

$$SPL = 20\lg \frac{P}{P_{ref}} \qquad (1)$$

式中 SPL 为声压级(dB);P 为所测得的声压(μPa);P_{ref}为参考声压(μPa),试验中取1μPa

噪声频谱曲线具有一定的随机性,在本次试验中,噪声频谱曲线采用50 次采样得到的历史平均值。关于空化初生的噪声判别标准,关键是临界值的确定,本试验中声压级差临界值的取值采用较严格的标准,即$(\triangle SPL)_{\max} = 5$ dB。

同时,工程设计中一般用水流空化数是否小于初生空化数来判断是否发生空化。对于某一过水建筑物,只要获得了不同真空度下的空化特性,就可以根据空化初生时的有关参数计算出该结构物的初生空化数,水流空化数的计算公式为:

$$\sigma = (h_0 + h_a - h_v)/(v_0^2/2g) \qquad (2)$$

式中 h_0 为计算断面处的时均动水压力水柱高(m)h_a 为计算断面处的大气压力水柱高(m);h_v 为水的汽化压力水柱高(m);$v_0^2/2$ g 为计算断面的平均流速水头(m)

式(2)中的 h_0 及 v_0^2 通过常压模型及数值计算结果得到,h_a 及 h_v 为减压试验时的相应参数。

收稿日期:2015-09-17

2　测点布置与试验工况

根据数值计算成果,竖井段流速最大的部位位于 2 760 高程附近,该高程以下的竖井段被水流充满,边壁压强相对较大,故在该高程布置一水听器(3 号水听器),涡室段与收缩段连接处(1 号水听器)、收缩段与竖井段连接处(2 号水听器)及压坡段顶部(4 号水听器)。水听器置于专用水听器盒内,水听器盒紧贴模型边壁,测试时水听器盒内注满水,以保证传声效果良好。图 1 为水听器位置图。

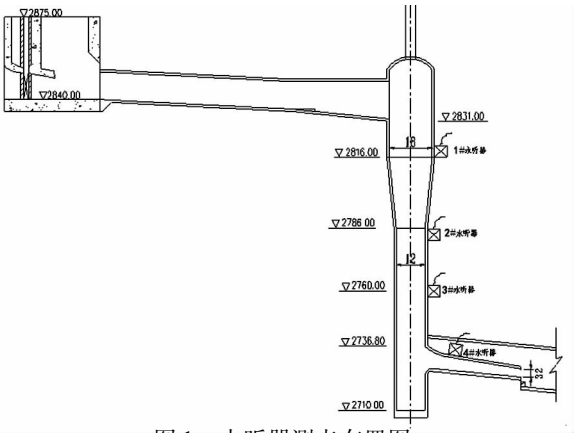


图 1　水听器测点布置图

由于本次试验工况为校核水位工况及正常水位工况,试验时逐渐改变减压箱中的真空度,用噪声测试系统实时监测、记录不同真空度(含相似真空度)下竖井内部水流噪声,再对噪声数据进行分析,进而对空化与否进行判断。表 1 为各工况水温、气压等环境参数及试验工况表。

3　试验结果分析

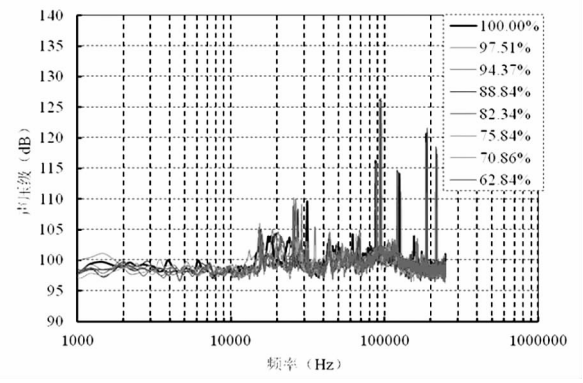
图 2 与图 3 分别为正常水位与校核水位泄洪,不同测点在不同相对相似真空度下的噪声频谱曲线,图中的黑线(正常工况相对相似真空度为 100% 时的曲线;校核工况黑线为相对相似真空度为 100.22% 时的曲线,该曲线对应的水流空化数比原型值小,属于超相似情况)为空化相似条件下的噪音频谱曲线。

可以看到:4 个测点在相似真空度时,噪音频率在 100k ~ 160k 区间段的最大声压级差小于 5dB,且现场未观察到空化泡,表明这些测点在相似情况下未发生空化,即原型水流在正常与校核水位泄洪时,涡室段、收缩段、竖井段及压坡段均不会发生空化;并且在正常工况下相对相似真空度小于 75.84% 时才开始发生空化,而校核工况下则是当相对相似真空度小于 88.84% 时就开始发生空化,这表明相同的旋流竖井体型可以在更高的海拔高程(气压更低)位置进行修建而不会出现空化空蚀破坏。

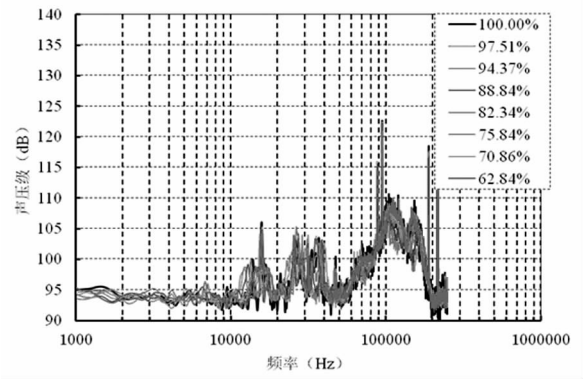
表 1　环境参数及试验工况表

库水位 /m	水温 /℃	实验室大气压 /kPa	箱内相似绝对压力 /kPa	相似真空压 /kPa	真空表读数 /kPa	相对相似真空度 /%
2 865.00 (正常)	14.62	95.65	3.03	92.62	92.62	100
					90.31	97.51
					87.41	94.37
					82.28	88.84
					76.26	82.34
					65.63	70.86
					58.19	62.83
2 870.27 (校核)	14.56	95.68	3.02	92.66	92.86	100.22
					88.14	95.12
					82.32	88.84
					76.3	82.34
					70.27	75.84
					65.66	70.86
					58.23	62.84

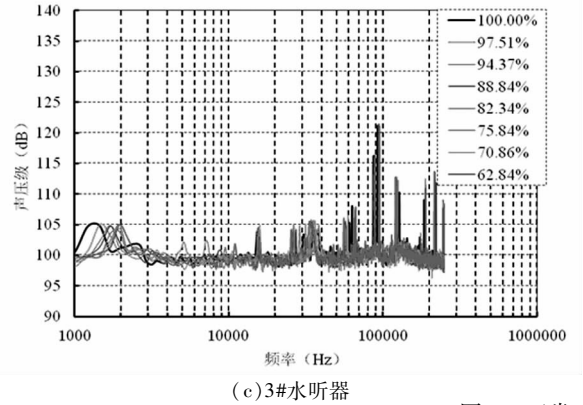
按照(2)式进行计算,得到旋流竖井泄洪洞不同部位的水流空化数及初生空化数(相似情况,校核工况下为超相似 100.22%),结果见表 2。从表中可以看出:涡室段、收缩段、竖井段及压坡段的水流空化数均大于初生空化数,并且还有一定的余裕;竖井段下部水流空化数较小(校核工况为 0.179),但仍大于初生空化数(0.161)。以上成果表明,竖井旋流泄洪洞在原型水流中不会发生空化。



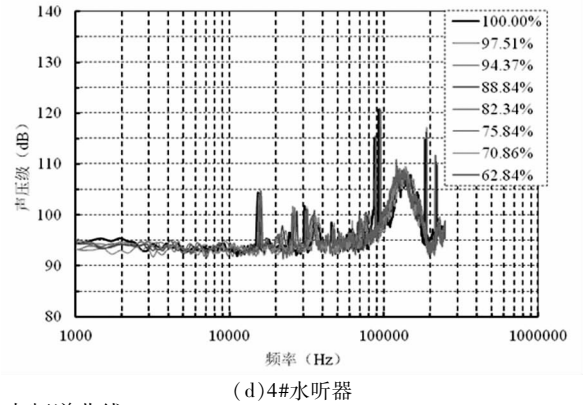
（a）1#水听器



（b）2#水听器

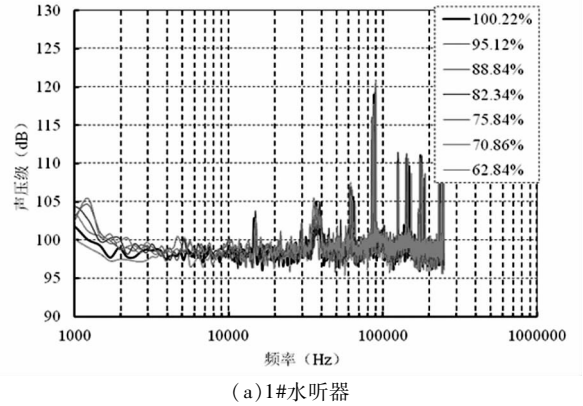


（c）3#水听器

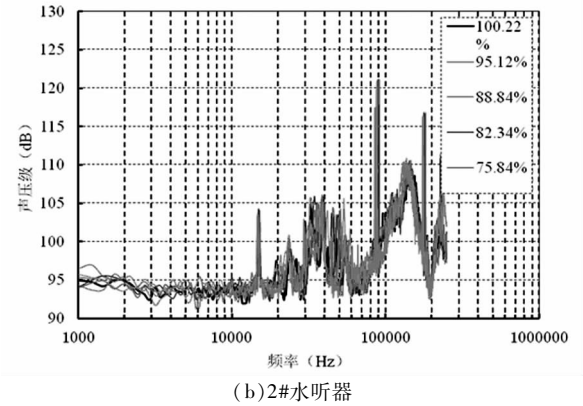


（d）4#水听器

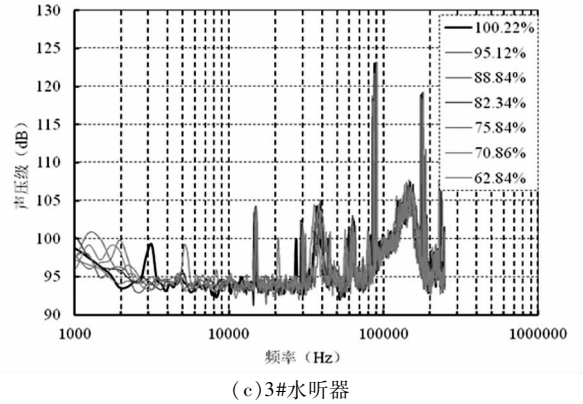
图 2　正常水位噪声频谱曲线



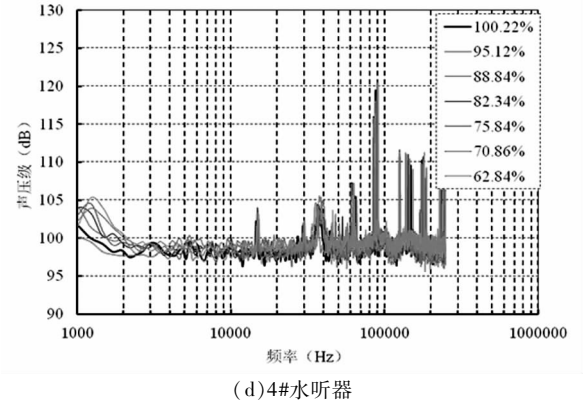
（a）1#水听器



（b）2#水听器



（c）3#水听器



（d）4#水听器

图 3 校核水位噪声频谱曲线

表 2　竖井旋流泄洪洞各部位初生空化数及水流空化数(原型)

库水位 /m	断面高程 /m	h_0 /m	v_0 /m·s^{-1}	初生空化数 σ_i	水流空化数 σ
2 865（正常）	2 814.78	1.65	20.51	<0.396	0.406
	2 785.16	4.74	28.89	<0.268	0.277
	2 762.69	2.58	32.53	<0.163	0.179
	2 737.09	12.30	9.95	<3.803	3.833
2 870.27（校核）	2 814.78	2.10	22.64	<0.311	0.350
	2 785.16	7.35	31.10	<0.271	0.292
	2 762.69	3.30	33.71	<0.161	0.179
	2 737.09	20.25	10.63	<4.558	4.737

4　结　论

通过对某电站旋流竖井泄洪洞减压试验的分析研究,并在测试了正常蓄水位(2 865.00 m)及校核水位(2 870.27 m),涡室段、收缩段、竖井段及压坡段水流噪声的情况下,得出了水流初生空化数,结果表明:

涡室段、收缩段、竖井上段及压坡段的水流空化数均大于初生空化数;由于流速较大,竖井段下部水流空化数较小(校核工况为 0.179),但仍大于初生空化数(0.161),而竖井段下部是竖井最可能发生空化的位置,从空化的角度看,这表明整个旋流竖井泄洪洞能够实现安全的泄洪。

同时表明,旋流竖井泄洪洞在原型水流中不会发生空化,并且由于当地水流空化数距离该位置初生空化数尚有一定余地,且进一步表明相同的旋流竖井体型可以在更高的海拔高程(气压更低)位置进行修建而不会出现空化空蚀破坏,为旋流竖井泄洪洞在更高海拔区域修建提供了可靠的依据。

参考文献:

[1] 刘慧卿,张先起. 坝内单进口旋流式竖井加洞塞组合消能试验研究. 东北水利水电,2003,21:10 - 12.

[2] 牛争鸣, 孙静, 程庆迎. 竖井进流水平旋转内消能泄水道流速分布与消能率的试验研究[J]. 水力发电学报,2003,(1):62 - 69.

[3] 董兴林,高季章,鲁慎吾,等. 导流洞改为旋涡式竖井溢洪道综合研究[J]. 水力发电, 1995, 22(3): 32 - 37.

[4] 巨江,卫勇, 陈念水. 公伯峡水电站水平旋流泄洪洞试验研究[J]. 水力发电学报,2004,23(5):89 - 91.

[5] 陈华勇,邓军,胡静,谢波,刘斌. 竖井旋流泄洪洞洞内流速分布试验研究[J]. 人民长江,2008,39(12):70 - 72.

[6] 严振. 论减压试验的相似性[J]. 水力学报.

[7] 倪汉根. 初生空化数比尺效应的修正[J]. 水力学报.

[8] 王福霞,赵丽,付显威,宋学燕,侯春玉. 空化初生研究综述[J]. 中国石油大学胜利学院学报,

作者简介:

姚　军(1987-),男,侗族,贵州黄平人,毕业于四川大学农业水利工程专业,助理工程师,现任职于重庆市水利电力建筑勘测设计研究院.

(责任编辑:卓政昌)

中国单机容量最大抽蓄电站投产发电—东芝水电创历史里程碑

2015 年 11 月 30 日,由东芝水电设备(杭州)有限公司(简称“东芝水电”)承制的广东清远抽水蓄能电站首台机组圆满完成 15 天试运行,各项技术指标满足规范及合同要求,性能指标优良,机组正式投产发电。作为国内已投产抽水蓄能电站中单机容量最大的电站,此次的成功投产,开创了东芝水电发展历史上的里程碑。水力发电是目前世界上利用最多的环境友好型可再生能源。清远抽水蓄能电站位于广东省清远市清新区太平镇,是国家“十一五”重点工程、广东省重大能源保障项目,也是南方电网公司首个全资建设的国家重点工程。电站总装机容量 128 万千瓦,安装 4 台 32 万千瓦可逆式水轮发电机组,是目前国内已投产抽水蓄能电站中单机容量最大的电站。

四川攀枝花市与华润集团合建银江水电站

据悉,攀枝花市已与华润集团公司达成加快推进银江水电站建设共识,项目推进工作取得突破性进展。近日,攀枝花市委、市政府领导带领市发改委、市财政局等部门人员赴华润集团公司,就双方合作加快推进银江水电站项目建设工作进行协商。在双方坚持不懈地坦诚沟通下,基本达成合作加快推进银江水电站建设共识,银江水电站项目推进工作取得突破性进展。银江水电站是攀枝花市合理开发和有效利用金沙江干流水能资源,变资源优势为经济优势,改善城市生态环境,促进地区经济和社会发展的重大战略工程。目前,该项目已取得金沙江攀枝花河段水电规划报告、金沙江银江水电站建设“路条”等。同时,华润公司与长江勘测设计研究院签订了银江水电站可研阶段勘测设计合同。