



第十八届全国水动力学 研讨会文集

朱德祥 周连第 邵维文
买买提明·艾尼
侍克斌 穆汉平 武 纲

主编

 海洋出版社

第十八届全国水动力学研讨会文集

Proceedings of the 18th National Conference on Hydrodynamics

朱德祥 周连第 邵维文 买买提明·艾尼
侍克斌 穆汉平 武 钢 主编

《水动力学研究与进展》编委会
中 国 力 学 学 会
中 国 造 船 工 程 学 会
新 疆 大 学
新 疆 农 业 大 学
新疆水利水电勘测设计研究院
新疆风能工程技术研究中心
主 办



海洋出版社

2004年·北京

内 容 简 介

本书是《水动力学研究与进展》编委会、中国力学学会、中国造船工程学会、新疆大学、新疆农业大学、新疆水利水电勘测设计研究院、新疆风能工程技术研究中心联合举办的第十八届全国水动力学研讨会文集，共选收论文 100 多篇。主要反映水动力学基础；计算流体力学；船舶与海洋工程水动力学；水电与河流动力学；海岸、环境与地球物理流体力学；工业流体力学；近代测试设备与技术等方面的新进展、新水平、新面貌，可供有关专业的科研和教学人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

第十八届全国水动力学研讨会文集/朱德祥等主编.
北京: 海洋出版社, 2004.8
ISBN 7-5027-6134-9

I. 第… II. 朱… III. 水动力学—学术会议—文集 IV. TV131.2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 062224 号

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

上海交大印务有限公司印刷 新华书店发行所经销

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月上海第 1 次印刷

开本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 60

字数: 1 400 千字 印数: 1~400 册

定价: 120.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

目 次

大会报告

水利水电工程中的空化与空蚀问题及其研究	吴建华 (1)
黄河下游治理方略及束水攻沙措施浅议	余咸宁(19)
风沙流动与沙纹生成数值模拟分析	
..... 买买提明·艾尼 阿布都克力木·阿布都热合曼 苏白·阿那尔别克(26)	
空气密度对失速型风力机安装角的影响	邓建军(35)
关于交通流的流体力学模型	戴世强 薛郁 雷丽 (39)
复合式油气水分离器研究进展.....	郑之初 郭军 张军,等(49)
小浪底水库运用后黄河下游东坝头~陶城铺河段顺堤行洪可能性及治理对策	
..... 李勇 姚文艺(59)	
建立基于 Web GIS 的风资源分析与评估系统.....	余志 李晓燕 邓院昌(65)
圆柱列在振荡流场中的流动显示及不稳定现象研究	彭晓星 许金造(74)

水动力学基础

声波与表面波干扰的注记	刘应中(80)
高架路入口匝道交织流的分析和控制	雷丽 董力耘 戴世强(88)
一类河流水质污染物弥散逆过程的反演	郑治中 江成顺 沈永明(96)
一类非线性地下水渗流模型的反问题.....	高常忠 宋惠元(103)
误差反传神经网络的气液两相流漩涡信号分析	郭盈 李永光 李崇详,等(111)
Stabilization of traffic flow in an extended car following model	
..... Ge Hong-xia Dai Shi-qiang Dong Li-yun et al. (119)	
Double soliton of SE representing what phenomena in quantum mechanics	
..... Sheng Ping-xing(127)	
填充床中可压缩流体流动与对流反应扩散分析.....	宋颖韬 徐曾和(134)
聚合物分子链在槽流中运动的 DLM/FD 模拟	邵雪明 张征宇 孙光明,等(142)
双螺旋状集中涡的流函数解析表达及其证明.....	刘翔(149)
分层流体中内模式 Kelvin 波幅非单调性变化特征的理论 and 实验研究	
..... 魏岗 尤云祥 苏晓冰(161)	
对本构方程书写形式的探讨	张平 董贤勇 张绍东 李兆敏,等(168)

计算流体力学

- 厄尔尼诺形成和发展机制的数值研究..... 李东辉 张铭 谭言科(173)
- 狭长矩形湾的风潮计算..... 曾一非(182)
- 两种特殊类型水泵 CFD 性能预测方法 朱兵 陈红勋 邹雪莲(188)
- CFD 技术在离心泵优化设计中的应用 阎永强 梁武科 廖伟丽(196)
- MATLAB 在 CFD 中的应用 金凤云 刘小兵 陈冬冬,等(202)
- 伶仃洋盐度层化现象的高分辨率数值模拟研究..... 包芸 任杰(209)
- 数值模拟人工岬角对海岸演变的控制作用..... 王晓纯 王永学 吴今权(217)
- 脉动流速和雷诺应力的理论计算及紊流的产生根源和紊流机制分析
..... 张玉清 张蕴华 张秀玉,等(226)
- 考虑缝隙流模型的轴流泵叶轮内部三维流动 廖伟丽 章延春 柴胜凯,等(235)
- 轴流叶轮内流场的数值计算..... 包艳 代高翔(241)
- 三维方腔自然对流的非结构同位网格数值模拟..... 赖锡军 汪德燿(248)
- 包气带水气二相流数值模型的联立求解方法..... 陈家军 支银芳(255)

水动力学试验与测试技术

- 带孔螺旋管的油水分离实验研究 周永 郑之初 张军,等(263)
- 钱塘江下沙大桥桥墩局部冲刷试验研究..... 伍冬领 史英标 周建炯(273)
- 深水重力波的浅化实验..... 罗宜基 潘森森 许金造(279)
- 长距离输水、输气管道壁面涂料减阻机理的实验研究 王瑞新 柴雅彬 姜楠(287)
- 尾矿库溢水塔泄流动力特性试验研究 崔莉 马媛玲 孙会,等(294)
- 泄水闸挑流排架流激振动试验研究..... 陈先朴 余志良(304)
- 消力池尾坎受力特性试验研究..... 孙会 崔莉 王庆国(313)
- 酸岩反应动力学试验研究..... 曾晓慧 钟双飞 郭大立(320)
- 姜唐湖退水闸工程水工模型试验研究..... 杨兴菊(327)
- 气幕式消波系统模型试验相似关系探讨 王国玉 王永学 李广伟,等(333)
- 跃变分层流体中潜体运动形成内波的测试方法及分析 徐锋 张军 赵峰,等(341)
- 思贤溜水利枢纽溜内水闸试验研究 黄智敏 江涌 陆汉柱,等(350)
- 围压下喷嘴空化起始能力的实验研究..... 易灿 李根生 张定国(357)
- 一种新型冲洗式沉沙池的设计研究 刘焕芳 宗全利 李强,等(365)
- 水轮机模型试验台测试系统的研究 秦小辉 周兵 陈次昌,等(372)

黄河小北干流放淤试验工程引水闸引沙效果试验研究 姜乃迁 王德昌 宋莉莹,等(378)

船舶与海洋工程、海岸工程水动力学

- 两层流体中水面漂浮方箱的水波散射问题 尤云祥 缪国平 程建生,等(385)
- 船舶在规则波中航行时附加阻力计算的数值方法 孙伯起 缪泉明 杨显成,等(394)
- 黏性流体中船行波的 Airy 函数渐近解 吴云岗 陶明德(406)
- 机电式船模转动惯量调节架的研制 张承懿 王磊 姚美旺(411)
- 三维浅海潮流模型及其混合有限分析解法 姜国强 陶建华 槐文信(418)
- V 形贯底式防波堤防浪效果的解析研究 程建生 缪国平 王景全,等(427)
- 浅水浮式生产储油系统(FPSO)二阶波浪力数值仿真研究 王磊 彭涛 王敏声(434)
- 喷水推进器系泊推力计算与实验对比研究 王敬 郭刘洋 兰小平(444)
- 4 万吨级成品油船线型优化试验研究 周占群 胡平 杨波,等(451)
- 斜向随机波浪作用于半圆形防波堤单位堤长上的波浪力 王丽勤 张宁川 俞聿修,等(459)
- 集装箱船螺旋桨设计探讨 胡平 郭永崧 杨波,等(467)
- 水面舰船尾流气泡特征的持续性研究 陈伯义 朱江江(474)
- 随机波浪对不同接岸型式码头上部结构的冲击作用研究 任冰 王永学(481)
- 涌潮遇高坝等凸出建筑物时的壅高计算 陈来华 陈森美(493)
- 中国沿海舰船性能试验波浪环境特征分析 郁俭华 金明(499)
- 深海洋集矿机·输送软管多体系统计算机仿真的数学模型 何永森 高宇清 刘邵英(505)
- 黄骅港沿堤流的研究 吴明阳 冯玉林(511)
- 高速三体船研究综述 郇云 卢晓平 董祖舜(521)
- 两改形设计船前体形状对阻力性能影响的研究 郇云 卢晓平 仲晨华(528)
- 系泊系统非线性动力学特性的时域仿真研究 杜度 张旭 马骋,等(535)
- Study on prediction method of steady hydrodynamic performance of POD propulsion Ma Cheng Qian Zhengfang Zhang Xu, et al. (547)

工业与环境流体力学

微流控芯片式全分析系统流动特性的研究 林建忠(564)

海洋内波与海底地形相互作用的简化模型 I——坐标变换的构建	张庆华 曲媛媛(578)
单流束户用热量表的流量测量技术探讨	杜广生 刘正刚 郭兰兰,等(584)
浅水环境中含污染物横向射流三维浓度分布特性研究.....	樊靖郁 张燕 王道增(590)
嵌套模式对渤海湾潮致余流的高分辨率模拟.....	王悦 吴德星 林霄沛(597)
表面水波在泥浆体底床上传播时的衰减变化.....	齐鹏 侯一筠(603)
低渗透油藏垂直裂缝井地层压力分布研究	尹洪军 刘宇 付春权,等(610)
热水供热系统动态水力分析.....	李锐(615)
Thermal properties in unsaturated porous textiles with phase change materials (PCM)	Zhu Qing-yong(621)
计算渗流量的一种简易方法.....	蔡晓英 朱军(629)
油污染物在港湾中扩散传输的计算.....	陈虹(634)
地震探测法在水下工程地质勘测的应用.....	谢新明(640)
Statistical analysis of surface hydrography and circulation variations in the north of South China Sea	Cui Maochang Wu Lingjuan(645)
高压旋转射流解除井下防砂管柱的堵塞	黄中伟 李根生 纪宏博,等(660)
滑油和淡水介质传热装置设计研究	周跃华 陈森 黄剑斌(667)
斜流式水轮机转轮设计理论研究	张礼达 余波 陈冬冬,等(671)

水利水电和河流动力学

黄河下游水流挟沙力级配计算方法探讨.....	韩巧兰 张启卫 许登霞(677)
畛河推移质输沙量预估计算.....	王艳平 张俊华 李书霞(683)
黄河下游凌汛期艾山以上河段封冻槽蓄及开冻泄流特性分析	刘月兰 李会安 李皓冰(688)
黄河下游游荡性河道萎缩过程中断面形态的调整.....	侯志军 常温花 李岩(695)
河道整治工程对黄河下游游荡性河段影响的试验研究.....	刘燕(701)
东溪水闸消能防冲试验研究.....	陈灿辉 钟勇明(708)
新三义寨引黄工程泥沙条渠淤积特性计算分析	杨明 程秀文 钱意颖,等(715)
温州瓯江功能区划调整分析研究.....	张舒羽 程杭平(720)
基本不影响潼关高程的三门峡水库蓄水位探讨.....	林秀芝 苏运启 许登霞(727)
磨子潭水库泄洪洞空化、空蚀问题 原因分析与探讨	葛国兴 王久晟 西汝泽(734)
潼关高程演变分析.....	侯素珍 王平 楚卫斌(741)
河流水力学参数及其统计误差的估计	李艳红 邵兰竹 梁田,等(748)
水布垭水利枢纽施工渡汛水力学研究.....	谢波 韩继斌 黄国兵(753)
广州新光大桥工程行洪纳潮影响评价	黄东 郑国栋 黄本胜,等(759)

韶关湾头电站模型试验及枢纽布置中若干问题探讨	
.....	丘宜平 薛丽金 林美兰,等(768)
剑潭水利枢纽布置方案研究	邱静 黄本胜 杜涓,等(773)
Abbott 六点中心格式应用研究与探讨	郑国栋 荣小红 黄东(781)
浅谈游荡性河道整治局部工程布局之优化.....	张清 江恩惠 曹永涛(789)
伊洛河发生大洪水对入汇区黄河局部河段河势的影响	
.....	董年虎 孙振谦 赵新建,等(795)
沁河下游河道过洪能力分析	孙振谦 董年虎 苏运启(801)
渭河入黄汇流区河势演变对潼关高程的影响分析.....	高际萍 王国栋 郭伟(807)
从三峡工程截流看水力学跟踪预报试验研究	郭红民 车清权 柏林,等(813)
三峡工程下游基坑清挖优化研究.....	朱红兵 刘珊燕(822)
2003 年潼关高程变化分析	张翠萍 李玉山 伊晓燕(828)
2003 年黄河下游兰考、东明滩漫滩情况分析	王卫红 李小平(834)
黄河下游河床边界条件变化对排洪能力的影响.....	陈孝田 吴国英 顾志刚(841)
2003 年黄河下游的来水来沙及河道调整	张晓华 尚红霞 苏运启(847)
小浪底水库调水调沙试验期间黄河下游冲淤效果分析.....	尚红霞 申冠卿(855)
皂市水利枢纽泄洪消能水工模型试验研究.....	陆虹 徐汉珍 陈端(862)
出砂储层流固耦合渗流数值模拟.....	王正茂 阎存章 刘明新(868)

水利水电工程中的空化与空蚀问题及其研究

吴建华

(河海大学, 江苏南京, 210098; E-mail: jhwu@hhu. edu. cn)

摘要 在水利水电工程中, 空化空蚀一直作为一个重要的问题被进行研究。这些问题主要包括空泡溃灭的形式、空蚀的性质, 空化与空蚀的相关性、空化与其噪声的相关性、空化噪声与水力参数的关系、临界空化的噪声判断、空化改善状况的噪声判别, 空化比尺效应的种种影响, 如雷诺数 Re 、脉动压力 p' 、水中含气量和气核尺寸、水体的抗拉强度和表面粗糙度等, 空化声学量测的一些条件, 空蚀评价的指标等等, 本文试图对近年来水利水电工程中的空化空蚀研究的进展作一评述, 对今后的研究提一点个人粗浅的看法。

关键词 水利水电工程, 空化, 空蚀, 综述

1 前言

R. F. Froude, S. W. Barneby, 和 C. Parsons 在研究汽船螺旋桨性能变坏的原因时, 首次提出并使用“cavitation”空化这一名词, 已有 110 年的历史了。1895 年 C. Parsons 建造了世界上第一个水洞研究空化^[1]。

空化核的存在和环境压力场的作用是空化发生的两个必不可少的条件^[2]。长期以来, 科学家们从水质(主要研究空化的机理和空化的诱因)、结构物的体型(主要研究其具有良好的环境压力和避免空化的发生)和材料(主要研究抗空蚀材料)等方面对空化和空蚀进行了深入的研究, 从船舶螺旋桨、航空发动机、水力机械和水工建筑物等诸多领域, 在机理和减免空化空蚀等方面都取得了长足的进展^[3~8]。

尽管如此, 在水利水电工程中, 空化空蚀仍然时有发生, 并且严重危害过水建筑物的安全运行, 比如, 1959—1973 年安徽磨子潭水库泄洪洞在运行 510h 后, 在进口交汇点附近靠闸门的边墙、顶部和中墩空蚀破坏严重(见图 1)^[9]; 1972 年 5 月 6 日, 刘家峡泄洪洞泄洪, 历时 315.4h, 流速约为 40m/s, 泄量在 260~287m³/s, 反弧段及下游底板空蚀严重, 一区: 0.3~0.5m, 二区: 3.5m, 三区: 190m 的底板几乎全部毁坏, 基岩被淘(见图 2)^[10]; 1987~1989 年, 龙羊峡泄洪洞运行约 7137h, 最大流速 36m/s, 空蚀破坏严重, 左边墙最大深度 2.5m, 面积 177.4m², 混凝土 174.4m³; 右边墙最大深度 0.7m, 面积 104m², 混凝土 42.3m³; 底板 0.4m, 面积 98.6m³, 混凝土 29.4m²(见图 3)^[10]; 四川省映秀湾水电厂渔子溪电站水轮机, 在运行中导叶、抗磨板等部位空蚀破坏严重, 致使机组的大修期被迫由 4 年改为 2 年, 单机检修费高达 60 万元,

全厂 11 台机组,检修一次费用高达 660 万多元,并且严重影响电力生产,造成巨大的经济损失^[11]。在水利水电工程中,空化空蚀仍然严重威胁着工程的安全运行,加深对其破坏机理的认识,研究有效的减免空化空蚀的技术措施是重要的。本文将从空化机理、空化比尺效应、空化量测技术、空蚀评价等关键技术和当前空化空蚀研究的有关问题等方面对近年来国内外的研究情况作一简单的综述。

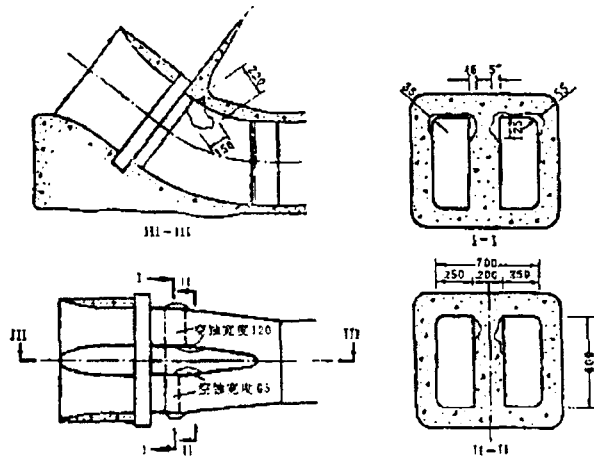


图 1 安徽省磨子潭水库泄洪隧洞进口段空蚀破坏

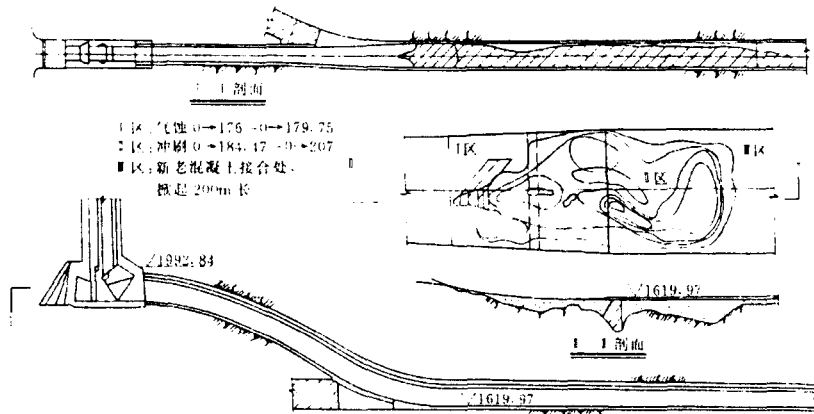


图 2 刘家峡泄洪洞空蚀破坏

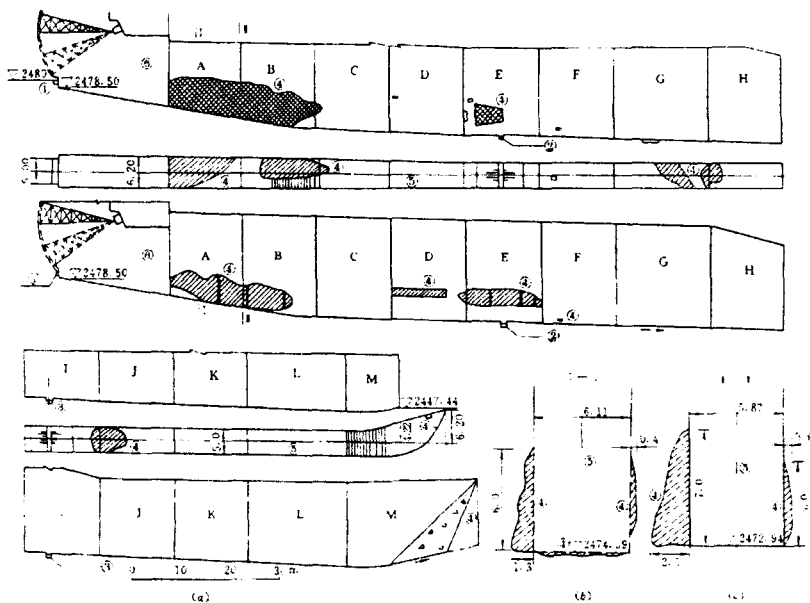


图3 龙羊峡泄洪洞的空蚀破坏

2 空化机理研究的热点问题

2.1 空泡溃灭形式及其水力特性

水中气核是空化存在和发生的内因,关于气核有许多核模型,但至今公认的还是1947年由 E. N. Harvey 提出的固壁缝中含有寄生气体的空泡模型^[12]。空蚀——空泡对固壁的作用可用微射流和反微射流模型来描述,从1944年 M. Kornfeld, L. Suvarov^[13]提出空泡在固壁附近形成射流的可能性至今的60年中,对空泡的这种微射流进行了众多的研究,其中 C. L. Kling, F. G. Hammitt^[14]和 W. Lauterborn, H. Bolle^[15]等用高速摄影和理论计算均证实射向壁面的微射流的存在,且射流速度高达170~230m/s。空泡产生微射流的模型主要有附着壁面的半球型空泡、空泡移入压力梯度区和空泡近边壁溃灭几种方式(见图4),空泡对固壁材料的空蚀破坏表现为一种复杂的交变力的作用,在一些条件下,空泡内的最大压力可达 $1.3 \times 10^9 \text{N/m}^2$ (约为 1.3×10^4 大气压)^[16],尽管作用到固壁表面其作用力会有所衰减,但仍然表现为对材料的一种巨大的破坏力,所以,空蚀破坏的危害是非常大的^[17]。

2.2 空化噪声与空化空蚀的相关性

空化与其噪声密切相关^[18~21],1986年, S. C. Li 等人^[23]提出了“空化脉动压力场”,认为空化噪声是该场变化的一个重要组成部分,加深了对于空化噪声与空化空蚀关系的认识。P. L. Lush 和 B. Angell, S. P. Hutton 和 S. A. Fry 等人,通过缩放型、圆柱型及三角型等结构的空化源对软铝材料空蚀破坏的研究,提出了空化噪声声压级(SPL)与用重量损失率(WLR)



图4 空泡溃灭模式

表示的材料空蚀强度之间的关系^[23],即

$$\ln WLR = \frac{n}{10} SPL + c \quad (1)$$

式中 c 为待定系数; n 为相关系数;它与空化源类型及试验方法有关。P. L. Lush 和 B. Angell 的资料表明,空化数相等时, $\bar{n} = 1.23$;流速相等时, $\bar{n} = 1.29$;其它情况下, $\bar{n} = 1.11$ 。他们认为, n 值是符合统计规律的,其均值略大于 1.0。

2.3 空化噪声与水流参数的相关性

在以空化噪声的大小表征水流空化强度的情况下,人们研究了空化噪声与空化数 K 、空化噪声与流速 v 、空化噪声与流量 Q 以及空化噪声与雷诺数 Re 等的关系,图 5 和图 6 是 C. S. Martin 在研究阀门空化问题时,得到的空化噪声声压级 SPL 与空化数 K 、空化噪声声压级 SPL 与流速 v 的关系,可以看到,空化噪声声压级 SPL 与空化水流的水力参数有较好的相关性^[24]。

2.4 空化噪声判断空化状态

应用空化声测方法判断空化状态是空化研究中的一种常用的手段和方法。图 7 是小浪底 1 号孔板泄洪洞初生空化数 K_i 的声学量测的成果,图 7(a)和图 7(b)是在不同孔板方案时的泄洪洞空化噪声的功率谱,其中曲线 1 是其背景噪声的功率谱,曲线 3 表示系统的初生空化状态,图 7 中可见,随着减压试验研究中,流速的加大、或者环境压力的减小到某一临界状态,系统发生初生空化,空化噪声急剧增加,通常认为,当空化噪声声压级 SPL 比背景噪声声压级

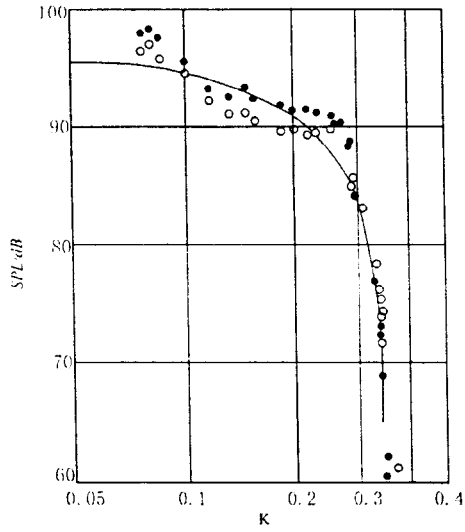


图5 空化噪声声压级 SPL 与空化数

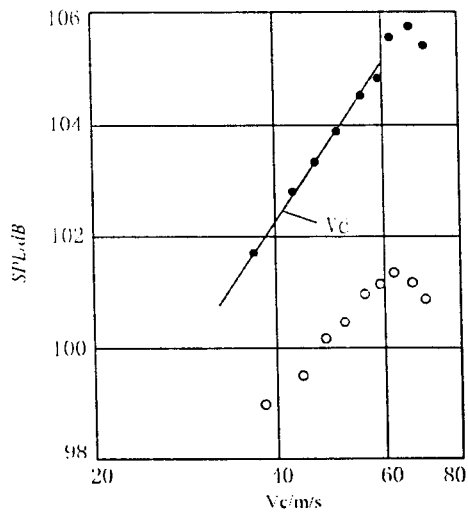


图6 空化噪声声压级 SPL 与流速 v 的关系

SPL 提高到 8~10dB 时,就认为系统达到初生空化状态^[25,26]。

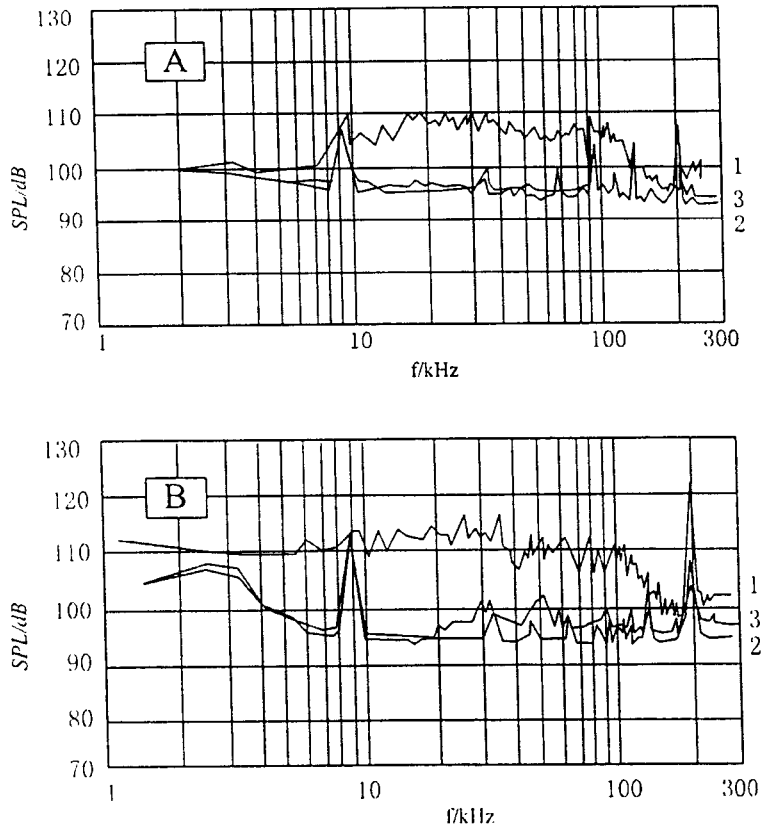


图7 小浪底1号孔板泄洪洞初生空化数的声学量测

图8是Y. Ukon用1/3倍频程测量的船舶螺旋桨叶片空化噪声的频谱图^[27],分析叶片在不同的通气情况下的降噪效果,当通气量从0.1L/min到2.9L/min逐步增加时,空化噪声明显下降,叶片呈无空化状态。

图9是凌国增等人在研究葛洲坝2号船闸反弧输水阀门空化在不同部位通气时,减蚀效果的空化噪声功率谱,图9(a)是未通气时的空化噪声谱图,图9(b)是阀门在开度为0.6时,在门楣通气的空化噪声谱,可见,在门楣通气以后,阀门空化明显减弱^[28]。

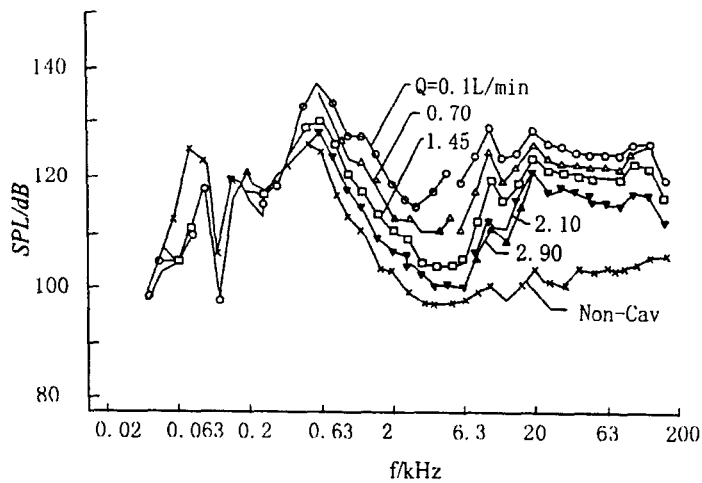


图8 叶片空化通气降噪效果

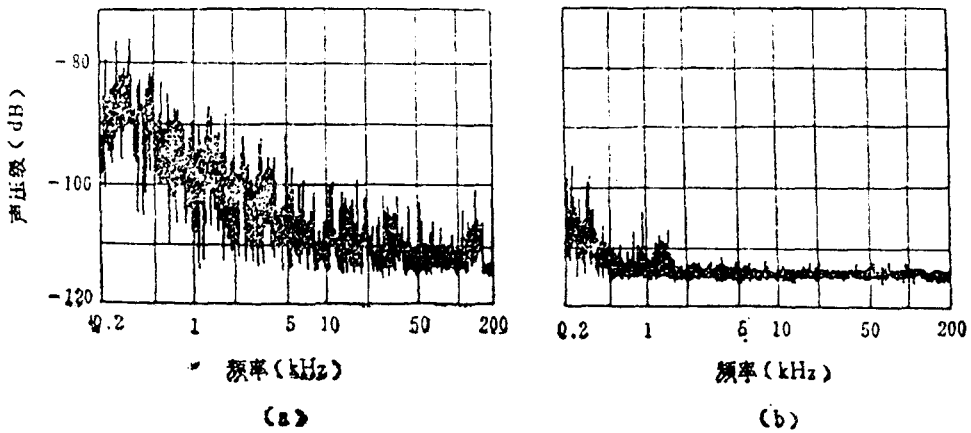


图9 阀门开度为0.6时未通气和在门楣通气的噪声谱

3 空化比尺效应研究

与普通水力模型试验不同,空化模型试验存在着一系列的比尺效应,如空化初生,它受到雷诺数 Re 、韦伯数 We 、流速 u_0 、压力 p 和脉动压力 p' 等的影响;同时还受到水质如含气量、气核尺寸和数量、水的抗拉强度等的影响。讨论空化比尺效应的目的是为了确定原型的初生

空化数。在进行空化水流模型试验时,考虑比尺效应的初生空化数的式子是:

$$K_{\mu} = \eta K_m \quad (2)$$

式中 K_{μ} 为原型水流的初生空化数; K_m 是模型水流的初生空化数; η 是比尺效应的校正系数。 η 系数可根据系列试验求得。这样通过模型的 K_m 作比尺效应校正可以引伸到原型 K_{μ} 。

3.1 雷诺数 Re 对初生空化数 K_i 的影响

对一系列不同尺寸的绕流体进行了空化试验,这些绕流体包括前部有圆头和流线型圆柱体两类。研究表明,各种不同尺寸绕流体的水流初生空化是不同的。即使同一个尺寸的绕流体,由于流速的不同,初生空化数 K_i 也不相同。这项研究得出了初生空化数 K_i 与雷诺数 Re 的关系曲线(见图 10),当雷诺数 Re 增加时,或模型尺寸增大,则初生空化数 K_i 增加^[29]。

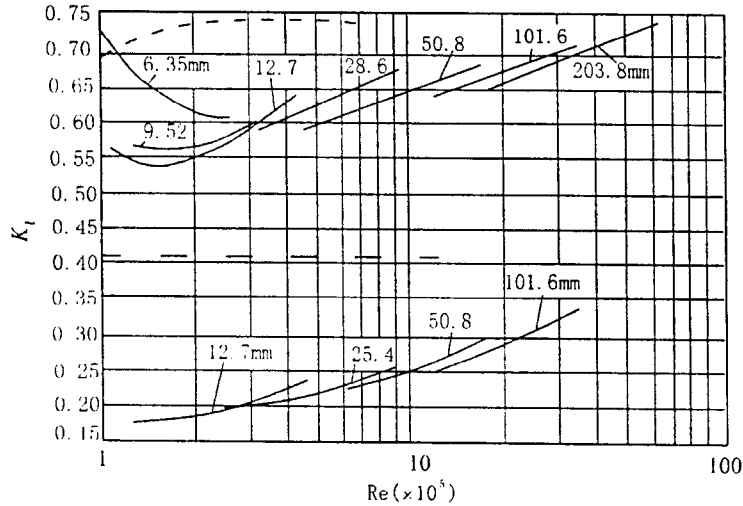


图 10 流线型圆柱体水流的初生空化数 K_i 与雷诺数 Re 的关系

3.2 脉动压力 p' 对初生空化数 K_i 的影响

一些研究者,如 Lochi 和 Arndt,研究了脉动压力的频率和空泡的自振频率之间的关系,得出了脉动压力的比尺效应^[29]。

我们知道,当外界压力降至某一临界值 p_c 时,气核便失去稳定而迅速增大形成空泡。从一个微小气核增大到能见的空泡所需的时间,这个时间称之为特征时间 t_c ,表示为:

$$t_c = \sqrt{\frac{\rho R_c}{\sigma}} \quad (3)$$

式中 R_c 为临界气泡半径; σ 为水的表面张力。临界压强 p_c 为

$$p_c = \frac{4\sigma}{3R_c} \quad (4)$$

当 p_c 为已知时,即可求得 R_c 的值。此时如果脉动负压的周期小于此特征时间 t_c ,也就是作用在气核上负压的时间来不及促使气核生长到可见的空泡。如果模型按佛汝德数准则设计,并且模型比尺过小,那么模型上脉动压力的周期远小于原型上的周期,气核来不及生长到可见的空泡,将产生比尺效应。在原型中可见到的空泡,而在模型中将观察不到。

3.3 水中空气含量和气核尺寸数量分布的影响

在正常情况下,水中是含有空气的,一部分空气溶解于水,另一部分呈微小的自由气核形式存在于水中。水中的空气含量随着周围压力和温度变化,当压力增大时,水中的空气含量就会增加;压力降低时,空气含量也将之减少。而温度的影响则相反。水中空泡的产生是由于水中局部压力降低使水中的气核膨胀,部分溶解于水中的空气扩散到气核内促使气核膨胀。无疑空化与水中自由空气气核存在的数量、尺寸和溶于水中的空气含量有密切的联系。J. F. Ripkin 在水洞中,对具有 1.5 标准圆头的流线型绕流体进行了试验,在一定流速时测得了水中含气量,并测得了初生空化数 K_i 与空气含量的关系。试验证明,初生空化数 K_i 与空气含量的关系很大(见图 11),它们因含气量不同,初生空化数 K_i 在同一水流速度下可相差两倍^[29]。当水流通过绕流体,跌坎或突扩段时,都会形成较大的涡旋和分离水流。由于这些涡旋和分离水流相对于水流的主流来说水流速度较慢,因此会产生扩散空化,它对空气含量是敏感的。如果原型和模型含气量不同,扩散空化将是不同的,所得的初生空化数 K_i 也将不同,这样也会产生了比尺效应。

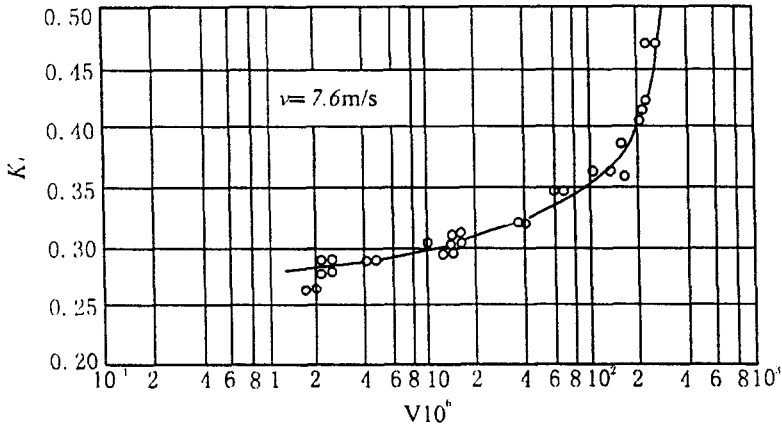


图 11 直径为 1.6cm 圆头圆柱体上空气含量变化与初生空化数 K_i 关系

3.4 水的抗拉强度的影响

A. Keller, Yang Zhiming^[30] 和夏维洪^[31] 等人认为,对于同一个结构体型,由于水质的不