

2005

水力学与水利信息学

ADVANCE IN HYDRAULICS
AND HYDROINFORMATICS
IN CHINA

进展

主编 李桂芬 王连祥 李嘉

四川大学出版社



2005 水力学与水利信息学 进展

ADVANCE IN HYDRAULICS
AND HYDROINFORMATICS
IN CHINA

主编 李桂芬 王连祥 李嘉

江苏工业学院图书馆
藏书章

四川大学出版社



责任编辑:王 平 张春燕
责任校对:陈 寒
封面设计:罗 光
责任印制:杨丽贤

图书在版编目(CIP)数据

水力学与水利信息学进展. 2005 / 李桂芬, 王连祥,
李嘉主编. —成都: 四川大学出版社, 2005.9
ISBN 7-5614-3248-8

I. 水... II. ①李... ②王... ③李... III. ①水力
学-文集②信息技术-应用-水利工程-文集
IV. TV-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 109309 号

书名 水力学与水利信息学进展. 2005

作 者	李桂芬 王连祥 李 嘉
出 版	四川大学出版社
地 址	成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行	四川大学出版社
印 刷	郫县犀浦印刷厂
成品尺寸	210 mm×285 mm
印 张	20
字 数	550 千字
版 次	2005 年 9 月第 1 版
印 次	2005 年 9 月第 1 次印刷
印 数	0 001~1 200 册
定 价	68.00 元

版权所有◆侵权必究

◆读者邮购本书, 请与本社发行科
联系。电 话: 85408408/85401670/
85408023 邮政编码: 610065

◆本社图书如有印装质量问题, 请
寄回出版社调换。

◆网址: www.scupress.com.cn

第二届全国水力学与水利信息学学术大会

会议组织

组织委员会

主 任：刘之平

副主任：许唯临 肖白云

委 员：苏祥林 高盈孟 郭 军 唐洪武 李 云
练继建 槐文信 高 菁 张绪进

学术委员会

主 任：李桂芬

副主任：刘树坤 李 嘉

委 员：杨永全 吴建华 林可冀 许士国 黄真理
黄社华 巨 江 李善征 刘韩生 马吉明
陈 刚 徐勤勤 崔广涛

秘书处

秘 书 长：王连祥

副秘书长：吴一红 李克峰 余 挺 孙永娟 李旭东

秘 书：陈秀兰 傅晓英 周茂林

前 言

“第二届全国水力学与水利信息学学术大会”将于 2005 年 10 月 15 日至 17 日在四川省成都市召开，这是继 2003 年 9 月在天津蓟县成功召开了第一届大会后的又一次学术盛会。这个系列大会是由中国水利学会水力学专业委员会、中国水力发电工程学会水工水力学专业委员会和国际水利工程与研究协会(IAHR)中国分会共同发起的，并约定每两年举行一次，以促进两个学会的三个专业委员会之间的交流。本次会议共计收到投稿 118 篇，其中 108 篇论文将分别发表在《水利学报》2005 年第 10 期、《水利水电技术》2005 年第 10 期和四川大学出版社出版的《水力学与水利信息学进展 2005》一书中。这三份成果，充分反映了两年来我国在水利水电工程界在水力学与水利信息学方面的学术研究进展以及新的发展方向。会议还将邀请国内著名专家做主题报告。

我国进入 21 世纪以来，社会经济保持连续快速增长，社会的发展对电力和水资源的需求不断增长。全国大面积的缺电，以及北方地区、沿海大中城市的缺水问题促使我国大力开发水电等其他能源，加快了我国南水北调工程的开工建设步伐。我国近期开工建设和正在设计的一批大型水利水电工程中，出现的许多高难度的水力学问题向科技人员提出了挑战。本届学术大会的主题为“水工水力学新进展”、“水利水电工程安全中的水力学问题”、“长距离输水中的水力学问题”、“水利信息学在水利水电工程中的应用”等。这些内容都切合目前工程建设的需要，这些关键技术问题的解决，对于促进学科的发展、工程技术的完善，确保工程安全，节省工程投资等方面都具有重要的学术价值和经济意义。

专业委员会作为基层学术团体，通过召开学术交流会为广大水利水电科技人员和工作提供了提供了一个学术交流的平台，也为广大青年科技人员提供了一个学习和展现的机会。我们三个专业委员会联手召开学术交流大会，不仅加强了三个专业委员会之间的联系与交流，也将中国的水力学及水利学研究推向世界舞台起到重要的作用。本次大会得到了四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室、中国水电顾问集团成都勘测设计研究院等单位的大力支持，在此表示衷心的感谢；同时，感谢中国水利学会和中国水力发电工程学会对我们专业委员会工作的一贯支持；感谢参加本次大会的来自全国的代表和专业委员会的委员；感谢为本次会议做了大量工作的各位工作人员。

中国水力发电工程学会
协会水工水力学专业委员会

主任：刘之平

中国水利学会
水力学专业委员会

主任：刘增坤

国际水利工程与研究
中国分会

主任：李桂芳

2005 年 9 月

目 录

1 水工水力学新进展

V 型宽尾墩水力特性研究	(3)
黄河寺沟峡水电站厂顶泄洪试验研究	(8)
向家坝水电站泄洪消能试验研究	(16)
低水头、大单宽流量、低弗氏数泄洪消能特性研究	(22)
低水头闸坝消力池体型研究	(26)
保水堰水力特性研究	(31)
顶部跌流型宽尾墩在平班水电站中坝的应用及其效果	(36)
掺气坎挟气能力分析及其原型观测	(42)
水布垭枢纽放空洞工作闸门区突扩跌坎体型的试验研究	(48)
掺气坎模型挟气能力的临界条件	(54)
掺气坎模型的缩尺效应	(61)
三峡工程引航道通航水流数值模拟研究	(68)
泄洪闸弧形闸门流激振动原型观测与运行调度研究	(75)
黄河小北干流放淤模型试验与十八户放淤原型成果对比分析	(83)
泄洪雾化的影响及其分区和分级防护初探	(89)
50m/s 流速量级含沙水流磨蚀试验	(95)
V 形直壁式量水槽在矩形渠道中的应用研究	(99)
泄洪消能与环境保护	(103)

2 水利水电工程安全中的水力学问题

高坝大流量底流消能工程设计运行实践经验总结分析	(111)
浅谈胸墙式泄洪闸体型与泄流量关系	(121)
西气东送穿黄工程施工期遭遇大洪水时对黄河河势的影响	(126)
长洲水利枢纽船闸运行水力学研究	(131)
北京张坊水源工程水工建筑物与净水构筑物的结合	(138)

3 长距离输水中的水力学问题

冬季冰盖下输水渠道的断面设计	(145)
美国跨流域调水工程的供水管理问题	(150)
胶东调水工程离心泵站优化设计与初运行控制	(154)
大流量 PCCP 输水管阻力测试提高精度的保证措施	(161)
泵站取水建筑物的主要水力学问题	(166)
多功能水泵控制阀的水锤防护特性及其应用	(171)
浅谈多功能水泵控制阀在长距离输水管路中的作用	(174)

伊利诺斯州河流曼宁糙率系数的估算	(176)
新型可调式减压阀在广西玉林市城北水厂中的应用	(180)
软密封闸阀性能测试及选用	(184)

4 水利信息学在水利水电工程中的应用

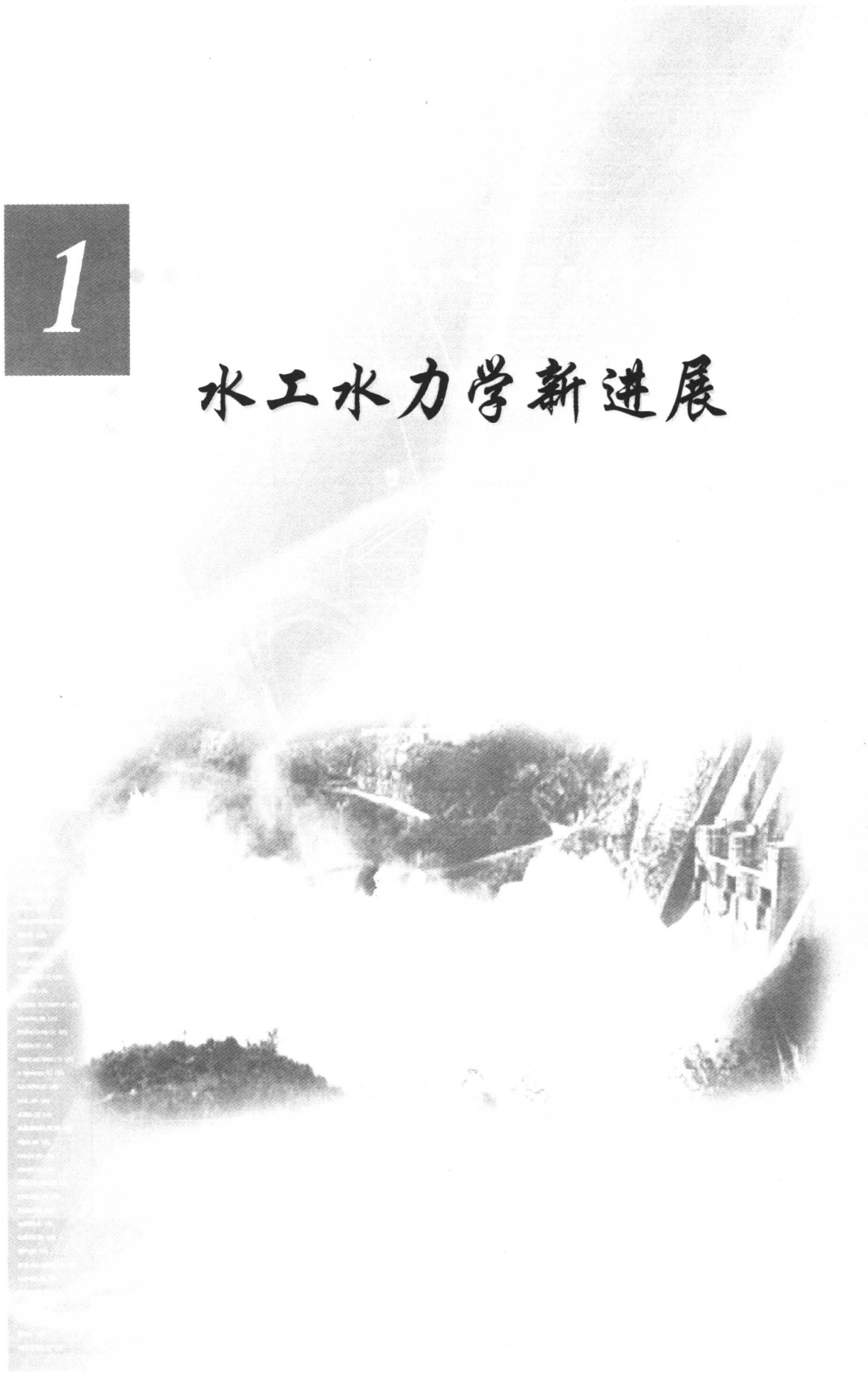
基于水利广域网的实时水雨情数据库系统的设计与初步实现	(191)
三峡工程泥沙信息系统设计	(195)
尼尔基枢纽北引渠首河段流场数值模拟研究	(200)
多级洞塞消能的三维数值模拟	(205)
龙抬头式泄洪洞突扩突跌体型优化的数值模拟	(211)
电厂温排水条件下河流水温的数值模拟	(216)
盐城发电厂温排水数值模拟计算	(221)
悬沙运动的快速特征有限元模型	(226)
水环境数字实验室的构架与实现途径	(233)
基于 ArcGIS 的蓄滞洪区蓄水模拟理论和方法	(238)
虚拟现实技术在建立南水北调北京段视景仿真系统中的应用	(244)
洪口水电站泄洪雾化数学模型研究	(249)
气泡羽流中由气相流速 PTV 数据估算液相流场	(254)
基于投影寻踪网络算法的资产损失率预报模型研究	(261)

5 其 他

三峡工程生态与环境监测和保护	(273)
梯级水电站群出线方式对电力系统安全和电站效益影响研究	(281)
北京市南水北调水量调配与供水系统方案设想	(286)
橡胶坝数值模拟及坝袋制作新工艺	(292)
水电工程施工索赔分析	(297)
基于委托代理的工程监理寻租行为博弈分析	(301)
百泉断流成因及复喷对策研究	(306)
降雨入渗对岩质边坡的稳定影响分析	(309)
附录 1 水利学报	(314)
附录 2 水利水电技术	(315)

1

水工水力学新进展



V 型宽尾墩水力特性研究

曾 华¹ 许唯临² 田 忠

¹ 四川大学高速水力学国家重点实验室, 四川成都, 610065, zenghua1981@tom.com

² 四川大学高速水力学国家重点实验室, 四川成都, 610065, xuweilin@mail.sc.cninfo.net

摘 要 基于重力坝表孔泄洪的水槽实验, 研究了 V 型宽尾墩和 X 型宽尾墩的泄流流态和临底流速。在不同泄流量和下游水深条件下, 对不同体型的 V 型宽尾墩进行了比较分析。结果表明: 该消能工除了具有常规宽尾墩的水流特点外, 还具有窄缝挑流的水力特性。通过急剧的纵向拉开, 不仅增大了池内的消能效果, 还大大降低了临底流速, 将水舌挑出到下游远离坝脚处, 减轻了下泄水流对下游河床的冲刷(特别是在下游水位比较低时), 有利于水垫塘底板和坝基的稳定。

关键词 V 型宽尾墩 纵向扩散 临底流速 消力池

1 前 言

坝工设计中, 泄洪消能是非常重要的研究课题, 它不仅影响整个水工枢纽的布置, 还影响工程量与投资。我国对高坝的泄洪消能, 大部分采用挑流消能、挑流加底孔联合消能、底流消能等形式, 对中低坝采用面流消能。这些消能形式可以起到一定的消能效果, 但是往往很不理想, 常常出现冲刷深度超过实际深度、坝基不稳定、水溅及严重雾化等问题。宽尾墩是我国首创的一种新型消能工^[1], 利用墩部的急剧加厚, 使得过水断面收缩, 导致水流在坝面产生收缩射流, 改变了入池水流条件, 加大了水流入池前的能量消耗, 从而改变了原有的消能机理及消能过程。目前我国已将这种消能设施与挑流、底流、戽池式消能工相结合应用于许多工程, 如岩滩、隔河岩、水东、五强溪、安康, 取得了很好的效果, 解决了窄河谷、深尾水、大流量的消能防冲难题。

宽尾墩消能的关键之一是宽尾墩体型的选择。随着坝工建设的蓬勃发展, 各具特色的宽尾墩体型陆续出现。我国刘永川对多种墩型的实验研究表明^[2]: 侧墙垂直型宽尾墩, 工程措施简单, 效果显著, 较适应于大流量工程, 是常用的型式; 侧墙倾斜型宽尾墩, 可以适应各种流量的变化、对改善小流量的扩散和掺气效果显著; 贴角型宽尾墩闸室水面低, 纵向扩散效果好, 水冠小, 是适应流量变化、节省工程量的最优体型, 可以用于大中型工程; 带小挑坎型宽尾墩, 对增加水舌底部掺气效果显著, 当薄拱坝下接消力池时, 对保护坝面, 加强消能有效果; 当泄洪建筑物下游有弯道或是为了调整下游河道沿横向宽度的流量分布时, 可以采用不对称型宽尾墩, 工程措施简单可靠, 消能效果好。近来又新提出了 X 型和翼型宽尾墩^[3]。X 型保持了传统宽尾墩的优势, 增加了坝面的过水面积, 当小流量过流时, 水流经坝面过流, 充分发挥了坝面的消能作用, 避免了 Y 型宽尾墩最不利的工况; 当大流量过流时, 过堰水流分成两部分, 通过下部开口过流, 对上部宽尾墩纵向拉开的水舌产生上托作用, 减小了宽尾墩过流时坝面出现的负压, 避免了水流集中对坝面的冲蚀作用, 但是纵向拉开不够, 临底流速比较大。笔者提出了 V 型宽尾墩, 比较研究了 V 型宽尾墩和 X 型宽尾墩的泄流流态与临底流速。

2 实验研究

2.1 实验模型几何参数

实验采用有机玻璃水槽, 模型设三个溢流表孔, 净宽 14 cm, 两种形式的宽尾墩的出口收缩比均为 0.3, 即出口宽度为 4.2 cm。各体型尺寸及布置如图 1 所示。

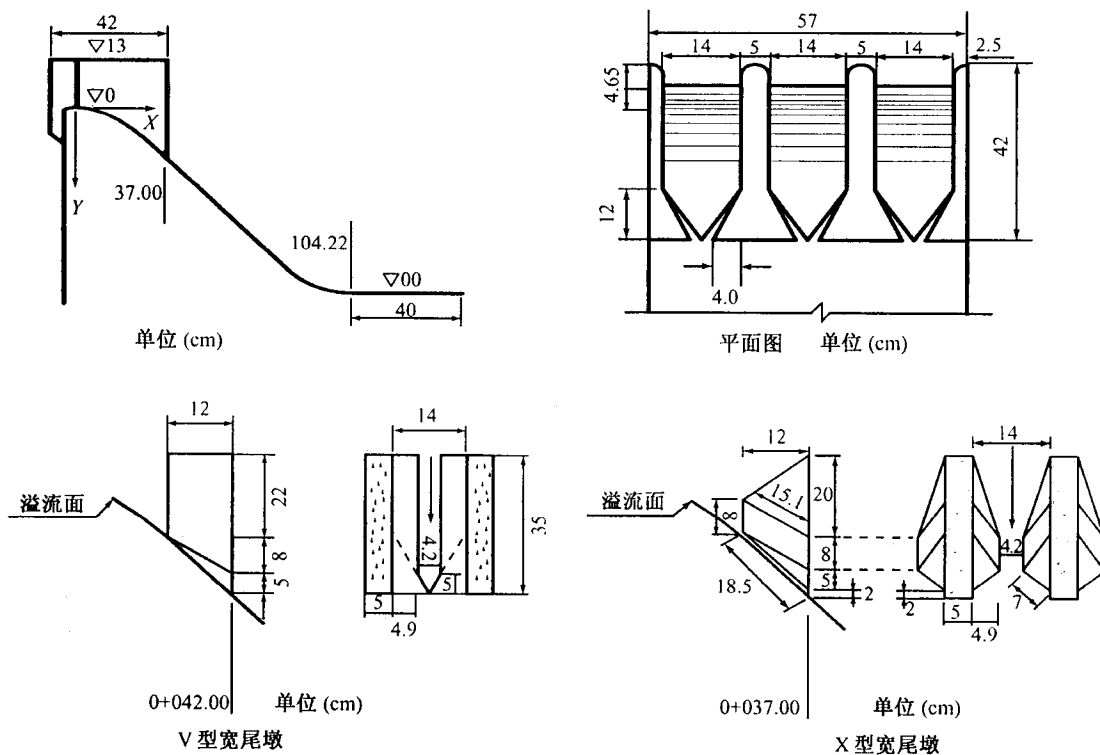


图 1 模型布置及宽尾墩体型

2.2 测点布置及测量工况

流速测量采用重庆西科机电技术开发公司生产的 HD-4B 型电脑旋浆流速仪, 律定出的每秒脉冲数—流速($n-v$)直线方程的均方差小于或等于 1.5%。每组试验均测量三股水舌流进水垫塘后的流速, 测点布置如图 2 所示。

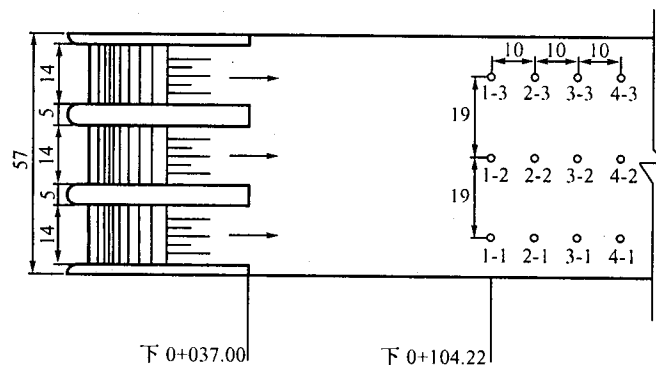


图 2 临底流速测点布置图

2.3 各工况不同宽尾墩的比较

本实验采用两种宽尾墩进行比较,即 V 型宽尾墩和 X 型宽尾墩。针对每种体型进行了两组实验,试验工况见表 1。

表 1 试验工况

工况	宽尾墩类型	墩尾位置(cm)	堰顶水头(cm)	水垫塘水深(cm)
1	X 型	下 0+37.00	13	25
2	X 型	下 0+37.00	18	34.78
3	V 型	下 0+42.00	13	25
4	V 型	下 0+42.00	18	34.78

3 实验结果

3.1 泄流流态

V 型宽尾墩形成的水舌挑射进入水垫塘,主流在水垫塘中逐渐扩散,并伴有强烈的掺气。当上游水位较低,堰顶水头较小时,收缩段产生强迫水跃,发生强烈旋滚且极不稳定,在水平方向上不断振荡,在纵向激起断续的水股。当上游水位较高时,出墩水流在纵向急剧拉开,成高而薄的雄鸡尾状(见图 1),并且由于冲击波的影响。在出口部分产生水冠,水冠以大于 45° 的角度抛出,随着堰顶水头增大,水舌落点离坝脚愈远(见图 2 和图 3)。X 型宽尾墩形成的水股沿着堰面流动,并与挑出的水舌在反弧段处交汇,其主流位于水垫塘底部,在小流量、低水位时形成远趋式水跃(见图 4)。

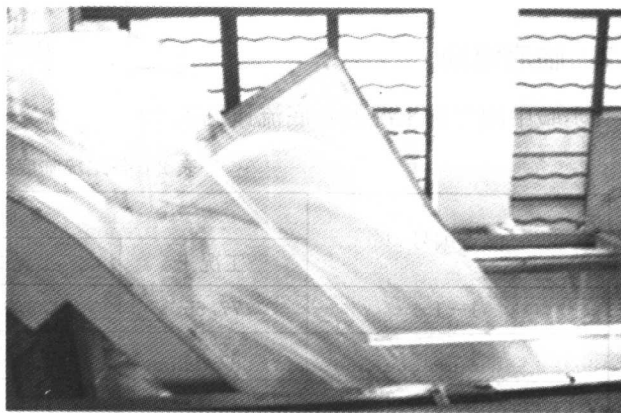


图 1 工况 3 下泄流态侧视图

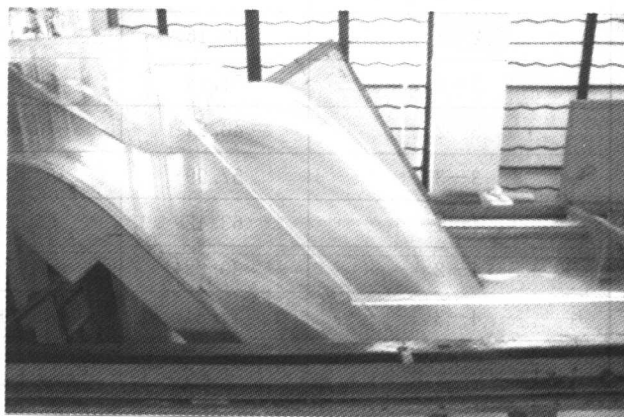


图 2 工况 4 下泄流态侧视图

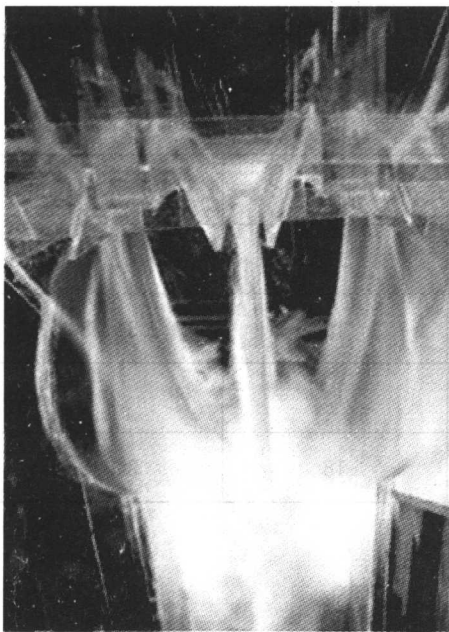


图 3 工况 3 俯视图

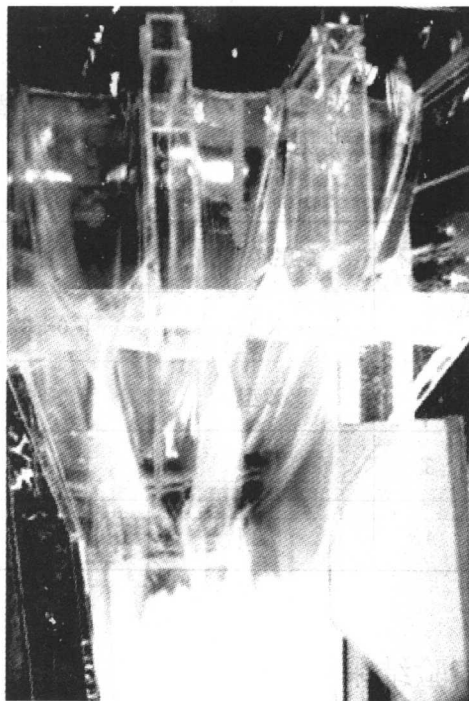


图 4 工况 1 俯视图

3.2 临底流速

实验中测得各工况的临底流速见表 2。

表 2 各工况临底流速

测点编号	临底流速(cm/s)			
	工况 1	工况 2	工况 3	工况 4
1-1	77.65	123.93		
1-2	56.53	147.11		
1-3	71.15	113.3		
2-1	50.18	88.74	22.72	23.71
2-2	47.66	86.13	28.99	17.21
2-3	40.16	95.24	18.89	21.95
3-1	51.74	59.59	23.94	11.93
3-2	40.24	73.67	15.22	14.3
3-3	57.99	57.15	17.44	12.01
4-1	63.42	69.92	10.17	12.01
4-2	30.22	102.21	14	10.02
4-3	41.84	88.74	12.47	10.05
最大流速(cm/s)	77.65	147.11	28.99	23.71

通过比较可以发现：当堰顶水头为 13 cm 时，实测的 V 型宽尾墩的最大临底流速比 X 型宽尾墩的小 63%；当堰顶水头为 18 cm 时，实测的 V 型宽尾墩的最大临底流速比 X 型宽尾墩的小 84%。V 型宽尾墩降低水垫塘临底流速的作用十分显著，其原因是 V 型宽尾墩形成的水舌挑射进入水垫塘，主流在水垫塘中逐渐扩散，因此临底流速较小；X 型宽尾墩形成的水股沿着堰面流动，水舌纵向拉开不够，致使主流位于水垫塘底部，甚至在小流量、低水位时形成远趋式水跃，故水垫塘临底流速较大。

4 结 论

实验表明，V 型宽尾墩在保持传统宽尾墩的优点的同时，吸收了窄缝消能工的优点，大大降低了临底流速，减轻了对下游河道的冲刷，提高了消能效果。随着研究的深入，V 型宽尾墩在体型设计和水力特性等方面将会更加完善。

参考文献

- [1] 吴持恭. 水力学：下册. 第 2 版. 北京：高等教育出版社，1996
- [2] 李建中，宁利中. 高速水力学. 西安：西北工业大学出版社，1994. 220~232
- [3] 南晓红. 新型宽尾墩在索风营水电站的应用与研究 [A]. 水利学报，2003，8：49~57

黄河寺沟峡水电站厂顶泄洪试验研究

汪 振¹ 贺立强¹ 牛争鸣¹ 张宗孝¹ 张卫君²

¹西安理工大学, 西安, 710048, wangzhen9901@126.com ²西北水利水电勘测设计研究院

摘 要 在狭窄河谷修建水电站, 采用厂顶泄洪的布置形式, 可以较好地处理泄水建筑物与电站厂房布置争位的矛盾, 充分利用原河床宽度泄洪, 使洪水较顺利地导入原河床主河槽, 使枢纽布置紧凑, 工程量减少。但采用这种布置形式, 厂顶溢流与电站过流相互作用与影响, 水力特性较复杂, 在我国还缺乏较多的工程实践。本文结合寺沟峡水电站模型试验研究, 给出这种布置形式的电站的过流能力、上下游流态、时均压强和建筑物脉动压强及流速场分布等水力特性的试验研究结果, 并表明了这种布置形式的电站下游流速叠加后沿垂线出现的均匀化、表孔水舌潜入点下移、底部回旋区减小、下游消能区水跃对电站正常发电的影响较小, 但河床覆盖层回淤的问题值得注意。

关键词 厂顶溢流 流态 脉动压强 流速分布

1 工程概况

寺沟峡水电站位于甘肃省永靖县与积石山县交界处, 属黄河干流上游龙羊峡—青铜峡河段梯级开发规划的第6个梯级电站。电站坝址位于寺沟峡峡谷进口以下12.5 km处的塔坪村, 上距大河家水电站29.5 km, 尾水与刘家峡水电站水库回水衔接; 下距已建刘家峡水电站44.5 km, 距甘肃省兰州市135 km。工程主要任务是发电, 总装机容量为 5×48 MW, 电站等别为Ⅲ等中型工程, 主要建筑物级别为3级, 次要建筑物为4级, 临时建筑物为5级。水库正常蓄水位1748.00 m, 总库容 4.794×10^7 m³, 具有日调节性能。

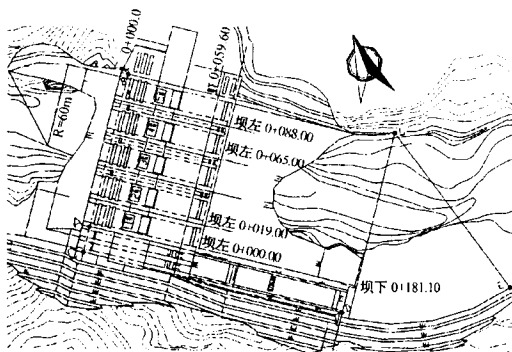


图1 寺沟峡水电站平面布置示意图

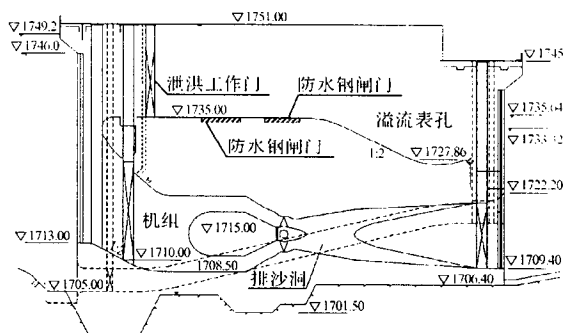


图2 寺沟峡水电站坝身剖面示意图

寺沟峡水电站枢纽工程主要建筑物包括河床式厂房、厂顶泄洪表孔、泄洪底孔、排沙底孔及挡水副坝等建筑物, 平面布置及坝身剖面图分别如图1和图2所示。最大坝高65.0 m, 坝顶高程1751.0 m, 防浪坪高1.2 m, 坝顶全长151.00 m。枢纽布置自左至右依次有左岸挡水副坝、厂内泄流式电站厂房(泄洪表孔)、泄洪底孔、右岸挡水副坝等建筑物。建筑物为混凝土重力坝。

河床式厂房和厂顶五个13 m×12 m的泄洪表孔布置在原河床中部, 进口堰顶高程1735.0 m, 出口底坎高程1727.86 m; 两孔5.0 m×8.5 m的泄水底孔布置在1#机组坝段的

右侧，进口底板高程 1730.0 m；三孔排沙底孔分别布置在 2[#]、3[#] 和 4[#] 机组坝段左侧边墩的底部，孔口尺寸 2.5 m×3.5 m，进口底板高程为 1705.00 m，出口底板高程为 1715.00 m。

河床式电站厂房位于主河道上，共布置了五台贯流机组，厂房坝段为一机一缝，无排沙底孔机组坝段宽度各为 18 m，有排沙底孔机组坝段宽度各为 23.5 m，五台机组坝段共计宽度为 106.5 m，机组段顺水流方向长度为 71.6 m，依次为进水口、电站厂房、尾水副厂房及尾水平台。

2 模型设计与量测

模型按重力相似准则设计，模型比尺为 1：80。为了掌握表孔堰面、泄槽、消力池等过流壁面压强分布，在其轴线上共布置了 71 个测压孔。鉴于该种厂顶溢流泄洪存在对厂房共振破坏的隐患，所以在表孔堰面、泄槽、闸墩、电站尾水管上下壁、闸门、边墩过流壁面布置了 23 个脉动测压孔，在表孔下游水舌入水点的消能护坦区过流壁面共布置了 7 个脉动测压孔。为了详细分析电站进出口的流速场的变化，在各泄水建筑物及电站的一定范围内布置了较为密集的流速测点。

试验所进行的组次见表 1。

表 1 模型试验工况

组次	运行情况	库水位 (m)	下游水位 (m)	计算泄流量(m ³ /s)				
				泄洪表孔	泄洪底孔	排沙孔	电站机组	总泄量
1	校核洪水	1749.2	1735.56	5×998	2×534	3×94		6340
2	设计洪水	1748	1733.5	5×871.6		3×97	3×335	5654
3	设计洪水	1748	1733.5	4×871.6	2×505.5	3×97	3×335	5793
4	设计洪水	1748	1732.5	5×871.6		3×99	3×335	5660
5	30 年洪水	1748	1732.11	3×871.6	2×505.5	3×107	2×335	4617
6	10 年洪水	1748	1730.67	2×871.6	2×330 局开	3×107	3×335	3730
7	3 年洪水	1748	1729.23		2×505.5	3×117	4×335	2702
8	正常发电	1748	1727.59			3×117	4×335	1691
9	冲沙运用	1744	1728.37	2×522.2	2×395	3×107		2155.4
10	冲沙运用	1744	1729.95	4×522.2	2×395	3×107		3199.8

3 试验成果分析

3.1 流量率定

根据试验要求，对表孔、底孔及排沙孔进行了流量率定，过流量试验结果见表 2。由表 2 可以知道，表孔的设计洪水位和校核洪水位过流量分别比初始方案设计值大 0.73% 和 2.02%，范围合理。底孔的设计洪水位和校核洪水位过流量比初始设计值大 4.6%。排沙孔试验值比初始设计值大 13.1%~20.8%。由流量系数公式 $M_{\text{试验}} = \mu \sqrt{1 - \epsilon \frac{e}{H - h}}$ ，计算得三排沙孔的流量系数在 0.832~0.848 之间。底孔与排沙孔试验值较设计值大，是因为模型试验时下游控制水位较远，与底孔和排沙孔出口的设计水位偏差较大所致。从流量率定结果可知，枢纽整体及各泄水建筑物的泄流能力满足设计要求。

表 2 各泄水建筑物泄流量

水位 m	表孔		底孔		排沙孔		
	计算 (m^3/s)	试验 (m^3/s)	计算 m^3/s	试验 (m^3/s)	上下游 水位差 m	计算 (m^3/s)	试验 (m^3/s)
1749.2	4989	5090	1069	1118	13.6	282	357
1749	4870	5000	1059	1108	14.5	291	370
1748	4358	4390	1011	1060	15.5	297	384
1747	3898	3893	960	1004	15.9	321	388
1746	3460	3360	907	949	17.3	321	405
1745	3024	2897	850	888	18.8	351	424
1744	2611	2480	789	823	20.4	351	445

3.2 水流流态

3.2.1 电站上下游流态

上游右岸底孔进口前受到局部地形影响,有较弱的绕流旋涡产生,对右岸泄水建筑物近流不利。试验过程中对该处进行了优化,将山梁削至 1740 m 高程,流态明显改善。五表孔胸腔在设计水位以上对水流有阻滞,试验将其上移 2 m,消除了不利影响。在各试验工况下,厂顶表孔出口水流下游水面衔接自然,流态均较稳定。

当上游库水位 1748.0 m、下游水位从低逐渐变高时,表孔出流各流态典型的水跃高度、潜入点位置及下游如图 3 所示。当下游水位低于 1730.76 m 时,表孔出流为自由挑射状态;达到 1730.76 m 时,水舌下空腔消失,成为附着挑流形式;下游水位上升并处在 1731.30 m~1737.7 m 区间内,流态进入混合面流流态;下游水位继续升高,达到 1738.46 m 以上时,面流淹没,呈现淹没混合流形态,在 1737.7 m~1738.46 m 之间的区域为由混合流向淹没混合流的过渡区。

由此可见,在 10 年洪水位以下,表孔水舌为自由挑流流态;接近 30 年洪水位时,流态已形成稳定的混合面流形态;在此之间流态从自由挑流、附着挑流逐渐过渡到混合面流时,由于混合面流涵盖的范围较大,直至校核洪水,仍属此种流态。

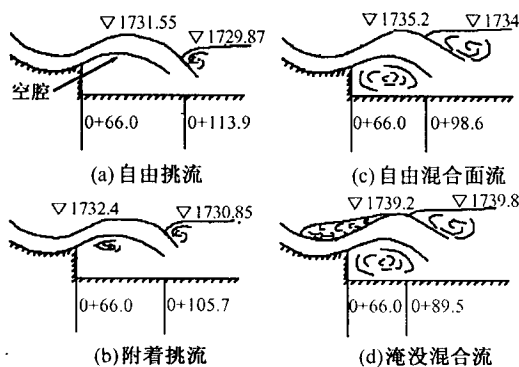


图 3 表孔泄洪下游流态变化系列

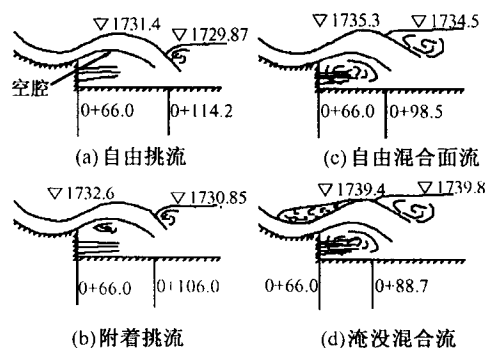


图 4 表孔与电站联合泄洪下游流态变化系列

当上游库水位 1748.0 m、下游水位从低逐渐变高时,表孔与电站在联合泄洪过程中的下游各流态典型的水跃高度、潜入点位置及下游水位如图 4 所示。经观测及对流速分布的分析可知,在水舌落点至电站出口的水面以下区域,存在一定强度和范围的沿水深方向的纵向旋流。另外,排沙孔出口流速较大,其出口附近呈淹没射流的流态,对纵向回流区有顶冲作用,但仅对局部流场有一定的影响。由于电站出流所形成的出流流场和表孔水舌潜入形成的底部