

水利水电科学研究院

科学研究论文集

第 33 集

(水力学、泥沙、冷却水)



水利电力出版社

水利水电科学研究院

科学研究论文集

第 33 集

(水力学、泥沙、冷却水)

水利电力出版社

2041/15

内 容 提 要

本书为水利水电科学研究院水力学研究所、泥沙研究所、冷却水研究所近年来的部分科研成果论文集。共有20篇论文,内容包括:拱坝岸边溢洪道水力特性,快速闸门动水下降持住力;三峡水库悬移质沉积特点和糙率分析,长江口静水絮凝流速,黄河河道排洪,松花江防洪,桑干河卵石来量分析、陕北水利工程泥沙问题,回水末端淤积对航道影响,水库粘性淤积体溯源冲刷,分流后的下游河道,温差射流积分模型和温差三维计算,有冰冻的冷却水运动模型相似准则,冷却塔的通风阻力、塔内气流场及换热数值模拟,模拟潮流的水位流量控制与低流速仪的率定等。

本书可供从事水力学、泥沙、火电(核电)厂冷却水方面的科研、设计、运行管理的工程技术人员和大专院校有关专业师生参考。

水利水电科学研究院
科学研究论文集
第 33 集
(水力学、泥沙、冷却水)

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 13.5印张 302千字 1插图

1990年11月第一版 1990年11月北京第一次印刷

印数001—970册

ISBN7-120-01226-6/TV·414

定价9.55元

编者说明

我院科学研究论文集从1963年8月到1965年7月由中国工业出版社出版了第1~6集,包括有土工、水文、河渠、水工、灌溉、排水、结构、材料等方面的内容。

自1982年起,由水利电力出版社继续出版我院科学研究论文集。已出版了第7~32集,包括有:水力学、冷却水、泥沙、水资源、灌溉、排水、水利史、水力机械、结构、材料、岩土工程、抗震与爆破工程、自动化、计算技术、测试仪器等方面的内容。

本集是我院水力学、泥沙、冷却水三个研究所新近的部分科研成果,包括以下几个方面的内容:

水力学方面:拱坝岸边溢洪道水力特性和快速闸门动水下降持住力的研究。

泥沙方面:三峡水库悬移质淤积特点和糙率分析,长江口静水絮凝沉速试验,黄河河道排洪,松花江防洪,桑干河卵石来量分析,陕北水利工程泥沙问题,回水末端卵石推移质淤积对航道影响,卵石推移质输沙率公式的应用,水库粘性淤积体溯源冲刷,分流后的下游河道等。

冷却水方面:冰冻模型的相似准则,温差射流积分模型,分布杂交法温差三维计算,冷却塔的通风阻力和塔内气流畅及换热数值模拟,潮流模型的水位流量控制和低流速仪率定装置的研制等。

本集由陈椿庭、陈炳新高级工程师审定。

水利水电科学研究院

1988年10月

目 录

编者说明

东风水电站双曲拱坝岸边溢洪道布置及其水力特性·····	铁灵芝 车跃光 幸福仪 (1)
快速闸门动水下降持住力的试验研究·····	哈焕文 郑大琮 (12)
三峡水库悬移质淤积特点及其规律·····	韩其为 何明民 孙卫东 (22)
三峡水库糙率的分析研究·····	秦荣昱 (38)
回水变动区末端卵石推移质淤积规律及对航道影响的试验研究 ·····	吕秀贞 曾庆华等 (54)
长江口泥沙静水絮凝沉速试验研究·····	彭润泽 黄永健 蒋如琴 张振秋 颜 燕 (67)
黄河防洪的策略问题·····	尹学良 (75)
松花江哈尔滨江段防洪问题的试验研究·····	彭瑞善 韦安多 (86)
桑干河石匣里至朝阳寺区间卵石来量的分析计算·····	姜乃森 (97)
陕北水利水保工程泥沙问题考察 ·····	姜乃森 (104)
卵石推移质输沙公式及其应用的初步研究 ·····	彭润泽 常德礼 段志科 白荣隆 朱立阳等 (112)
水库粘性淤积体溯源冲刷试验研究 ·····	徐 伦 (121)
长久分流后下游河道诸因素的变化 ·····	王延贵 (131)
非负气温试验条件下冷却水运动冰冻预报模型的相似准则 ·····	陈惠泉 (144)
温差射流积分模型及在冷却水排水口近区计算的应用 ·····	朱 咸 刘兰芬 (151)
分步杂交法在温差三维水域计算中的应用 ·····	陈凯麒 (164)
干式自然通风冷却塔的通风阻力的试验研究 ·····	赵振国 石金铃 (176)
逆流式自然通风冷却塔塔内气流场及换热的数值模拟 ·····	赵顺安 (182)
一种新的生潮方式——流量水位控制 ·····	李端生 (190)
低流速仪率定装置的研制 ·····	贺益英 李 岩 (201)

COLLECTED RESEARCH PAPERS
Institute of Water Conservancy and Hydroelectric
Power Research (IWHR)

Academia Sinica, Ministry of Water Resources
and Electric Power

Vol. XXX III, Hydraulics, Sedimentation
and Cooling Water

Contents

The Hydraulic Characteristics of Spillways of Dongfeng Hydropower Station	<i>Tie Lingzhi Che Yaoguang Zhang Fuyi</i> (11)
Experimental Studies on Hold Force Exerted on A Fast-Velocity closing Downwards Intake Gate for Hydropower Plant under Flowing Water Conditions	<i>Ha Huanwen Zheng Daqiong</i> (21)
The Characteristics of the Suspended Load Deposition in Three Gorges Reservoir	<i>Han Qiwei He Mingmin Sun Weidong</i> (37)
A Study on Roughness Coefficient of Three-Gorges Reservoir on the Yangtze River.....	<i>Qin Rongyu</i> (52)
Experimental Study on Characteristics of Gravel Bed Load Transport and Deposition and Its Impact on Navigation Channel in Fluctuated Backwater Region of a Reservoir.....	<i>Lu Xiuzhen Zeng Qinghua</i> (66)
Experimental Study on Settling Velocity, in Quiescent Water, of Flocculated Sediment in the Yangtze Estuary	<i>Peng Runze, Jiang Ruqin, Huang Yongjian, Zhang Zhenqiu, Yan Yan</i> (74)
On the Strategy of Flood Control of the Yellow River.....	<i>Yin Xueliang</i> (85)
Experimental Study on Flood Control Problem in the Harbin Reach of the Songhua River.....	<i>Peng Ruishan Wei Anduo</i> (96)
An Analysis and Estimation on Gravel Load of the Sanggan River from the Reaches between Shixiati and Chaoyangsi Station.....	<i>Jiang Naisen</i> (103)
Investigation on Sediment Problems of Water and Soil Conservation Engineering in Northern ShanXi Province.....	<i>Jiang Naisen</i> (111)
A Preliminary Study on Gravel Bed Load Transport Formula and Its Application.....	<i>Peng Runze Chang Deli Duan Zhike Bai Ronglong Zhu Liyang</i> (120)

An Experimental Study on the Upstream-ward Erosion of the Cohesive Sediment in Reservoir	<i>Xu Lun</i> (129)
The Change of River Factors in Downstream Reach of Diversion Work after Long Period Diversion	<i>Wang Yangui</i> (143)
Similarity Criteria of Physical Modelling of Freezing Prediction of Cooling Water Circulation under Non-negative Air Temperature Experimental Condi- tions	<i>Chen Huiquan</i> (150)
An Integral Model of Buoyant Jet and Its Application in the Near Field of Cooling Water Projects.....	<i>Zhu Xian Liu Lanfen</i> (163)
The Application of the Hybrid Method of Fractional Steps in Three-dimensional Domains	<i>Chen Kaiqi</i> (175)
Experimental Study on the Air Flow Resistance in Natural Draught Dry Cooling Towers	<i>Zhao Zhenguo Shi Jinling</i> (181)
A Numerical Simulation of Air Flow Field and Heat Exchange in Natural Draft Counterflow Cooling Tower	<i>Zhao Shunan</i> (189)
A New Tidal Generation System with Flow Rate and Water Level Controls	<i>Li Ruisheng</i> (200)
An Improvement of Calibration Flume for Miniature Current Meters	<i>He Yiyi Li Yan</i> (208)

东风水电站双曲拱坝岸边溢洪道 布置及其水力特性

铁灵芝 车跃光 章福仪

【提要】东风水电站挡水建筑物为双曲拱坝，最大坝高168m，最大泄洪量为14200m³/s。由于河谷狭窄、地质条件差，采用坝身与岸边联合泄洪布置。岸边两条溢洪道和泄洪隧洞宣泄总流量的60%。两条溢洪道均采用两次收缩，出口向河心偏转10°角的窄缝式消能工，在一次收缩段中部设一道掺气槽。本文介绍此种溢洪道出口水流的扩散特性，出口两侧边墙动水压力增大和分布规律及收缩段上通气槽的特性。由于采用窄缝式挑坎，水流纵向扩散较长，侧墙时均压力最大值为该处总水头的63%，脉动压力系数略大于一般急流边壁值，为2.4%~4.4%。

一、前言

峡谷河道高拱坝大流量泄洪，在河床地质条件较差的情况下，为防止水流在坝下过于集中冲刷，采用坝身与岸边泄洪建筑物联合泄洪布置，使水流适当地顺河纵向拉开，减轻河床冲刷并避免岸坡及坡脚遭受冲刷，以确保岸坡及坝肩的稳定，对拱坝来说是极为重要的。

东风水电站双曲拱坝最大坝高168m，河谷狭窄（枯水期河面宽约50m），最大泄洪流量14200m³/s。坝下地质条件较差，有抗冲刷能力很差的九级滩页岩出露及横穿河床的F₁断层，允许冲刷流速约3m/s。据此情况，推荐采用坝身与岸边泄洪建筑物联合泄洪布置。坝身设三个中孔及两个表孔，射流落水区在九级滩页岩出露的上游，左岸岸边设两孔岸边溢洪道及一条泄洪隧洞，射流落水区在九级滩页岩及F₁断层的下游。坝身与岸边泄洪建筑物泄量的分配比例为40%与60%。

我所用1:100比尺整体模型及两个1:50比尺局部模型分别对内、外侧两条岸边溢洪道的布置、掺气防蚀设施的设置位置、体型及为防止射流冲刷岸坡而带有突然转折的窄缝式挑坎的水力特性等问题进行了系统的试验研究，本文对其中的一些问题进行了探讨。

二、岸边溢洪道的布置

岸边溢洪道可以泄放大流量，比较经济可靠，但要求有合适的地形，便于布置，无高边坡开挖，地质条件好。高堆石坝和高土石坝采用岸边溢洪道布置方式的较多。高拱坝也常采用岸边溢洪道宣泄大流量。国外坝高大于120m的双曲拱坝中，以伊朗坝高200m的卡

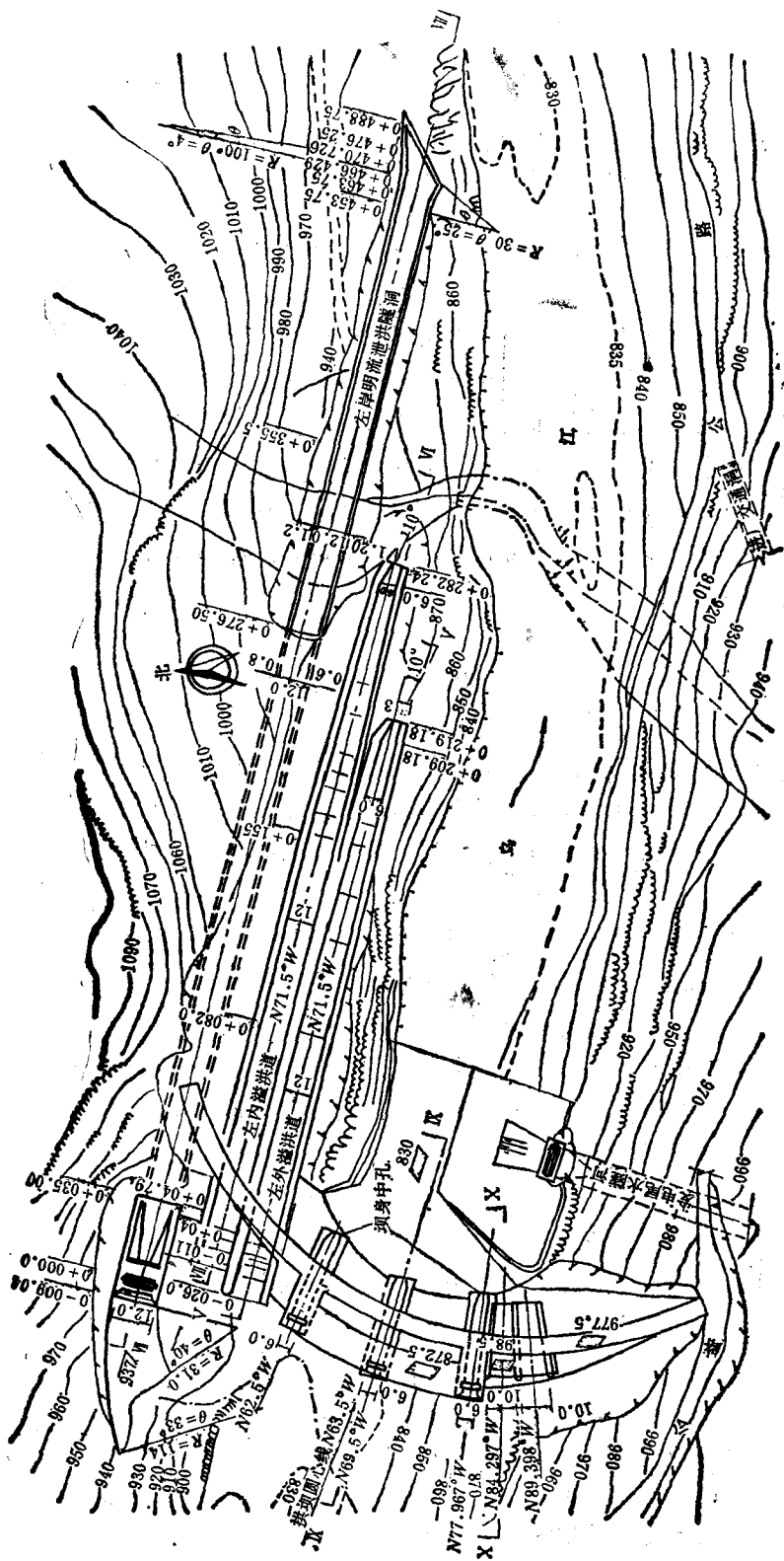


图 1 推荐的枢纽布置

比尔 (Reza Chah Kabir) 及墨西哥坝高133m的诺维洛 (ElNovillo) 两拱坝的泄洪流量最大, 分别为 $16200\text{m}^3/\text{s}$ 及 $12000\text{m}^3/\text{s}$, 都采用了岸边溢洪道布置。

岸边溢洪道出口多采用鼻坎挑流消能, 一般其出射水流多与河道斜交, 对狭窄河谷来说, 很易造成泄小流量时射流冲刷本岸, 泄大流量时射流冲刷对岸的结果, 给岸坡防护带来很大的困难。

东风水电站左岸两孔岸边溢洪道由两条平行的泄水道组成 (见图1), 中间设4m厚的隔墙。两孔进口孔口尺寸均为 $12\text{m} \times 18\text{m}$, 用弧形闸门控制。为了减少开挖量, 泄水道沿程依地形布置。因而两泄水道在 $i=0.01$ 缓坡段的高程相同, 从渥奇段开始则为外侧溢洪道以较大坡度降至较低高程, 至挑坎处较内侧溢洪道高程低23m。同时, 为减少高边坡开挖量, 参照西班牙阿尔门德拉 (Almendra) 拱坝左岸溢洪道布置的经验, 东风岸边溢洪道的宽度, 在进口及缓坡段均为12m, 从渥奇段起始断面开始宽度收缩至反弧段末端为6m, 又在出口窄缝式挑坎段 (10m长) 从6m收缩至3m宽。并为使射流落入河床中心部位, 将窄缝式挑坎的轴线向右 (向河心方向) 偏转 10° 角, 底板为水平。

这个布置方案大大减少了开挖量, 且水流流态好, 河床冲刷浅, 在各级水位下两岸岸坡均无冲刷现象。须特别重视的是窄缝式挑坎纵向扩散射流雾化仍较严重, 对右岸的进厂道路须注意加以防护, 对露天的电器设备亦宜加以防护。电厂尾水出口布置在中孔射流落水区的上游, 试验结果表明, 泄洪时该处水面平稳, 无壅水及冲淤现象。

三、岸边溢洪道窄缝挑坎的水力特性

1. 出口射流扩散

东风水电站左岸内、外侧溢洪道挑流水舌形态基本相同 (见图2)。内侧溢洪道四种

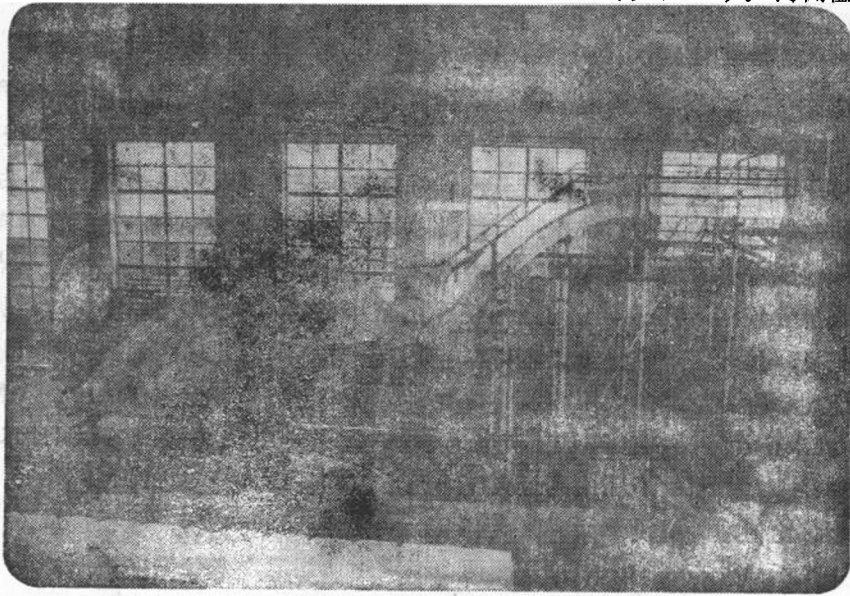


图2 左岸外侧溢洪道设计水位挑流形态图

水位的水舌上、下缘轨迹线见图3,由图可见其下缘轨迹不随上游水位改变而变化。四种水位水舌的纵向扩散长度均较长,校核水位最长为124.5m,其纵向扩散长度有随水舌下落高度增加而减小的趋势。从图3还可看出四种水位均由于窄缝的作用使出射角从底板附近的 0° 变化到水面处的 45° 。经计算与实测值相比较得知,水舌纵向扩散长度基本等于出口水舌从不同高程(从挑坎底板到水面高20余米)以基本相等流速分别按 0° 挑角与 45° 挑角射出之挑距差。从而可得出两点结论:

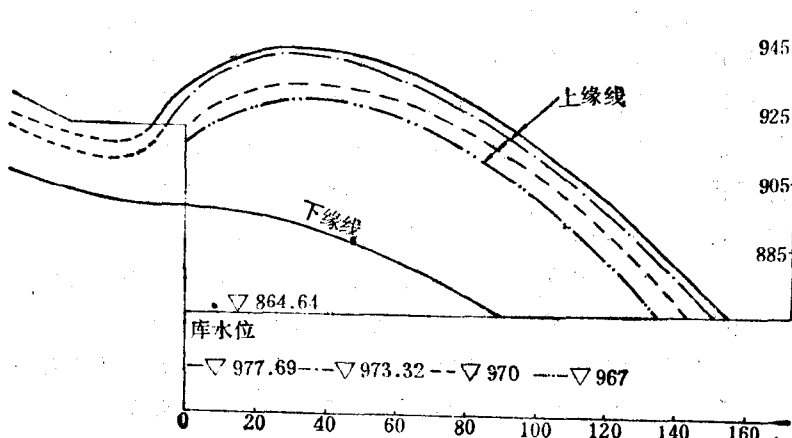


图3 射流轨迹(单位:m)

(1) 挑坎高程越近水面越好,纵向扩散距离大,单位长度流量小,有利于消能。

(2) 可按常规挑距计算方法计算 0° 挑角与 45° 挑角之挑距差来估计窄缝挑坎的纵向扩散长度。

2. 窄缝段边墙时均压力分布

东风水电站左岸内,外侧溢洪道窄缝式出口段布置如图4所示。由于窄缝段轴线向右偏转 10° 角,段内为三元水流,其两侧边墙受力不对称。左外溢洪道模型测得进口水面为凹曲线,与断面中心处水深 h 作比较,校核与设计水位左边墙进口水深分别为 $1.44h$ 与 $1.29h$,右边墙为 $1.26h$ 与 $1.16h$ 。窄缝段内两侧边墙水面线的变化见图5与图6。

外侧与内侧溢洪道模型分别以2.0m与2.5m间距在出口两侧边墙上布置测点,分别用扫描阀和测压管量测了其时均压力值。按所测压力值绘制的出口边墙等压线图见图5与图6。由图可见,虽然两个溢洪道长度不等,反弧半径不同,出口高程相差23m,但出口边墙的等压线图形很相似,最大压力值的位置亦相同。左外溢洪道左边墙校核水位最大压力值 P_{max} 为648.44kPa,设计水位 $P_{max}=570.94kPa$,分别占该处总水头(不计水头损失)的63%与55%。左内溢洪道相应的最大压力值占总水头比值为60.3%与56.3%,两者很接近。右边墙该比值左外溢洪道为58%~46%,左内为53%与47%,也很接近。

为研究其压力分布规律,根据所测两个溢洪道两组泄洪水位共四组压力数据点绘出左、右边墙垂向三个断面($x/l=0.05, 0.4, 0.8$)及水平向三个剖面($y/h=0.05, 0.4,$

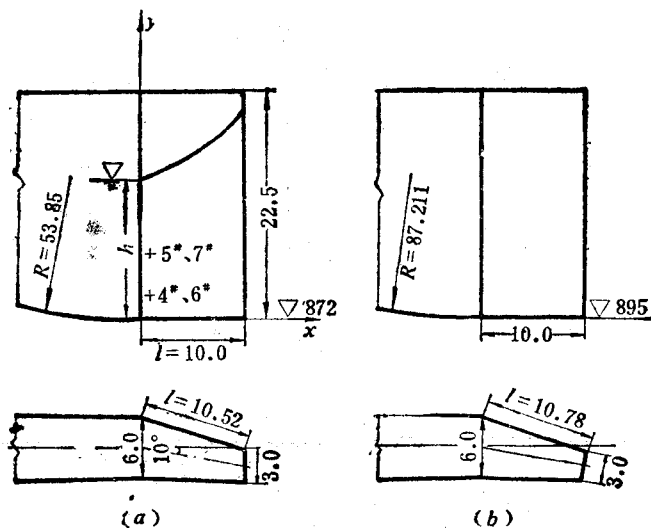


图 4 溢洪道窄缝出口段型式及脉动压力测点

(a) 左岸外侧溢洪道; (b) 左岸内侧溢洪道

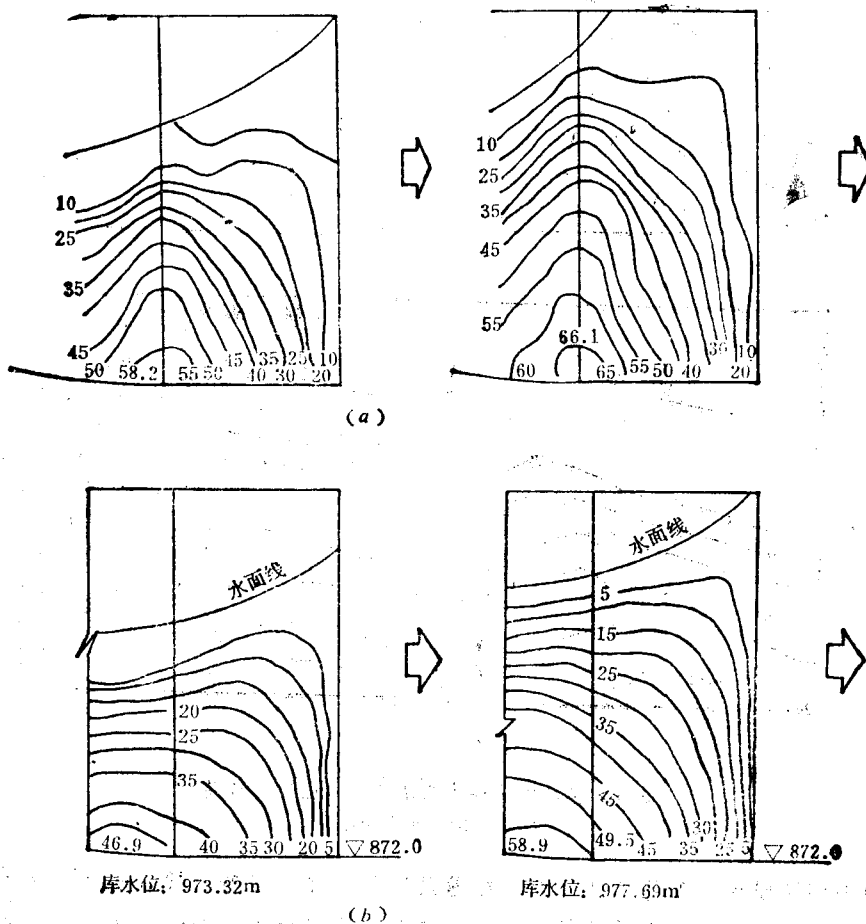


图 5 左岸外侧溢洪道出口段边墙等压线图

(a) 左边墙; (b) 右边墙

0.8) 的相对压力值与相对水深的关系见图 7、图 8 (x , y , l 如图 4 所示, h 为进口断面边墙水深)。由图 7、8 可见, 四组测值基本落在一条曲线附近, 偏差值 (除右边墙 $x/l=0.05$ 断面两组设计水位与校核水位测值有系统偏差约为总水头的 6% 以外) 均较小。从图 7、8 还可看出, 窄缝段边墙垂向压力分布从进口至 $x/l=0.8$ 断面大部分是抛物线型分布; $x/l=0.8$ 以下近于三角形分布; 出口为矩形分布。这是由于两个溢洪道的窄缝出口段均直接布置在反弧段后面造成的, 其大部分压力增值是由反弧曲率引起的。水平向压力分布左、右边墙略有不同, 左边墙基本为三角形分布, 右边墙仍为抛物线型, 可能是由于右边墙略有外折, 流线曲率影响较左边墙更复杂的缘故。

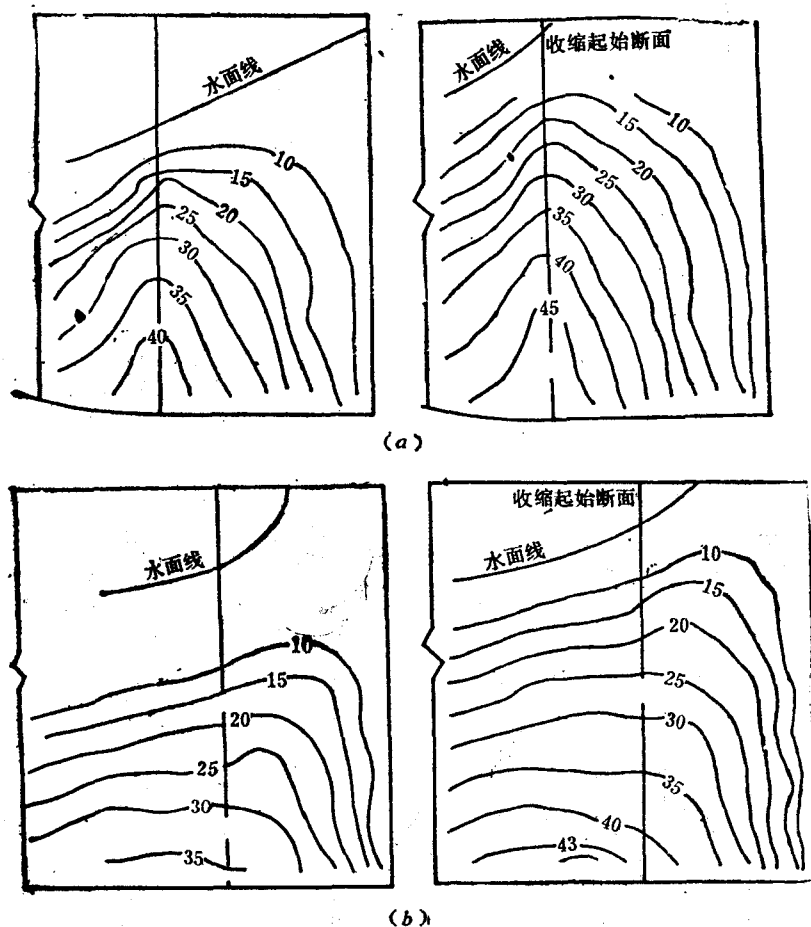


图 6 左岸内侧溢洪道出口段边墙等压线图
(a) 左边墙; (b) 右边墙

这种类型的挑坎, 如已知总水头、流量及进口尺寸, 可按一般溢流面流速系数公式定出 φ 值后估算进口水深, 然后按图 7、8 的关系, 用求分条压力值再累加起来的方法估算出两侧边墙的总时均水压力。

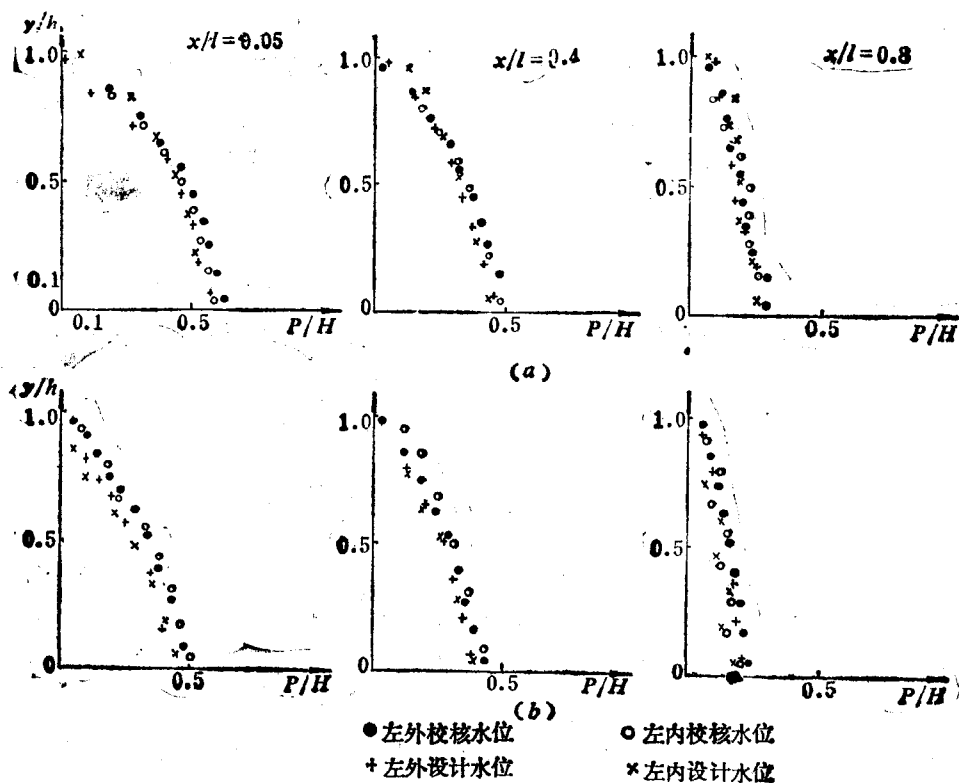


图 7 出口段边墙垂向相对压力值与相对水深关系
(a)左边墙; (b)右边墙

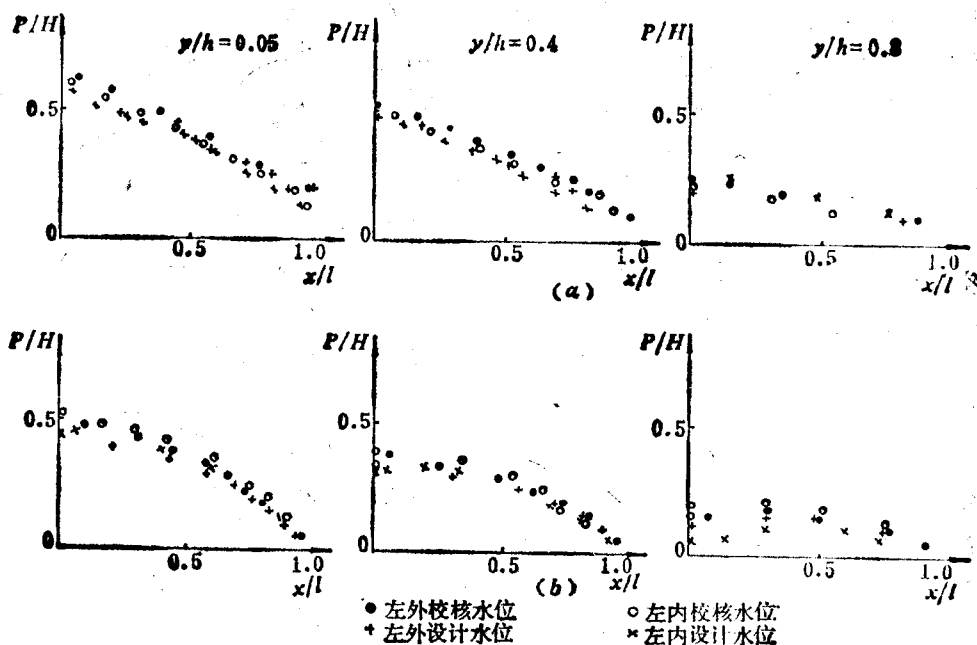


图 8 出口段边墙水平向相对压力值与相对水深关系
(a)左边墙; (b)右边墙

3. 侧墙脉动压力

左岸外侧溢洪道窄缝出口段左、右边墙在时均压力值最大处各安设了两个脉动压力测量点, 见图4。用国产YDW-A微型压力传感器量测了其压力变化波形, 并作了相应的谱分析。得到脉动压力均方根值 σ_{pm} 的变化范围是1.15~2.13m, 分别占总水头的1.5%~2.7%, 脉动压力强度系数为2.4%~4.4%, 略大于一般急流边壁的脉压系数(1%~2%), 但也没有超出紊流边界层3%~5%的范围。

所测水流脉动压力自相关图与功率谱图性状与一般急流边壁类同, 时均能量最大, 没有优势频率。所测测点间脉压值互不相关。由试验结果得知, 脉动压力值较大的点并非时均值最大的点, 故侧墙脉压值可按一般急流边壁脉压系数估算。在考虑正态分布按99.7%概率选取脉压值时, 即相当于脉动压力值按总水头的3%~6%确定。

四、沿程收缩式溢洪道通气槽特性

东风枢纽左岸岸边内、外侧溢洪道均在一次收缩段中部设置了一道通气槽。外侧溢洪道在位于渥奇段高程912.38m处设置一道坎槽联合式通气槽(此处流速31.3m/s), 内侧溢洪道在渥奇段高程921.075m处设置一道挑坎加跌坎式掺气槽(此处流速30.68m/s)。

在沿程收缩的溢洪道上设置通气槽存在的问题是: 在同一水头条件下与等宽溢洪道相比, 单宽流量沿程增大, 通气槽前流佛氏数随上游水位的增加减小较多, 挑坎射流形成的空腔长度较短, 使用常规的挑坎+跌坎+凹槽式通气槽体型(I)[见图9(a)]时, 通气情况良好的运行水头范围减小。内侧溢洪道试验发现坎槽式通气设施在高水位时, 射流底缘空腔长度减少得较多, 水舌冲击底板后形成的回溯水流几乎将通气孔封堵。改变通气槽的几何尺寸(增大坎高 Δ 和挑角 θ), 仍不能使进气顺畅。改用图9(b)所示的挑坎加跌坎式通气设施(II), 并在跌坎后加一反坡减少回溯水流流量, 从而保持进气顺畅, 但进气量增加不显著, 通气孔最大风速为14.14m/s, 设计水位在反弧末端底部测得的掺气浓度为2.8%。

前人的研究成果表明, 坎上流速值及空腔长度对进气量影响较大。在较低佛氏数时, 空腔长度较小, 增加坎高或挑角, 空腔长度几乎不变化, 现有的掺气槽不能满足较低佛氏数时对进气量的要求。

常用的连续式通气槽挑坎, 射流底缘是比较光滑的射流边界, 紊动不强烈。在空腔长度很小时进气量不大。限制了其适用范围。众所周知急流对边界形状的变化极为敏感, 故可改变通气槽挑坎的边界条件以增加射流底缘的紊动强度。出射水流紊动度是射流表面稳定性及空气卷吸机理和卷吸率的主要影响因素。文献[1]对此曾进行过详细的试验研究。当高度紊动, 表面极度粗糙的射流形成时, 由于紊动吸留使大量空气通过扩散以气泡形式分布于水中。为了解决高水位通气槽(即小佛氏数时)进气量不足的问题, 试验中采用了一种小差动通气挑坎(III)[见图9(c)、(d)], 促使射流底缘紊动度增大并增加与空气接触面积, 射流冲击底板后形成的回溯水流旋滚变为高度紊动的小漩涡, 不封堵进气管道。在各级水位下(佛氏数由2.4至5范围), 通气孔进气量大大增加, 最大风速达25.45m/s。图

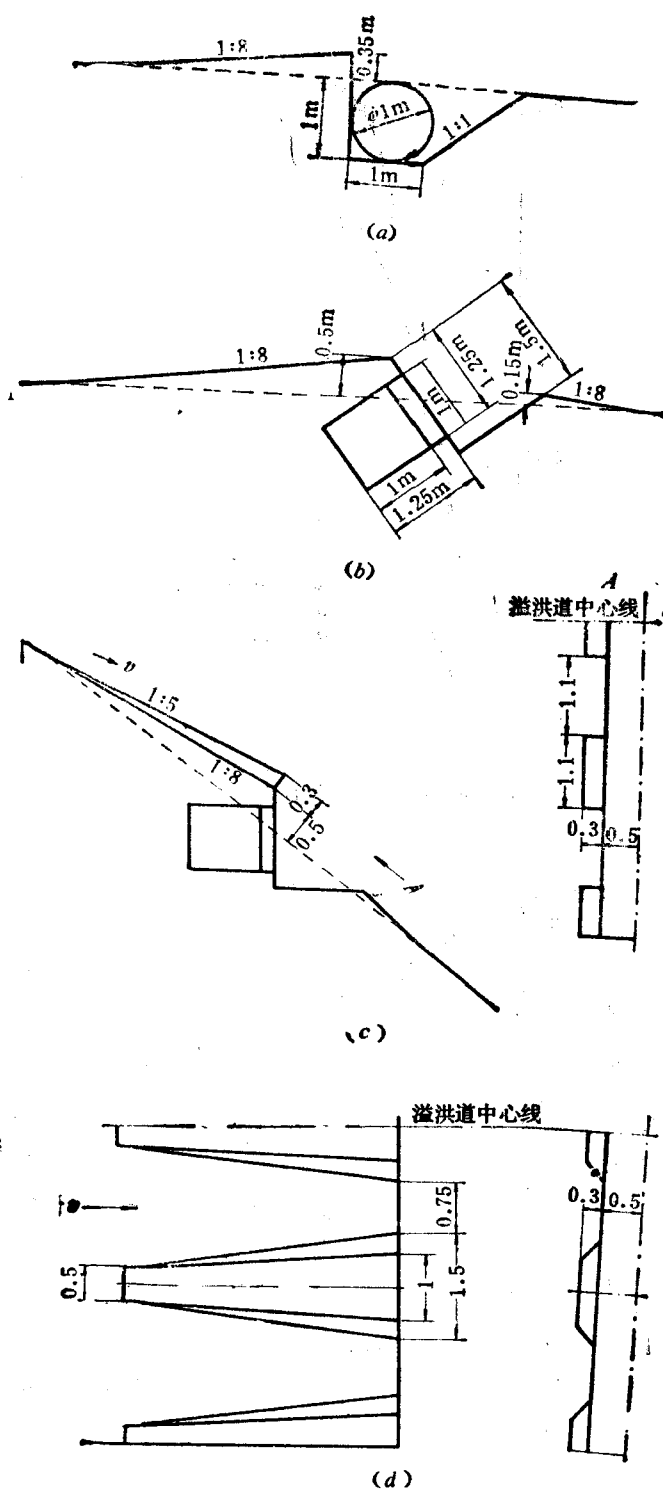


图 9 通气槽体型图

(a) 体型 I; (b) 体型 II; (c) 体型 III—1 (矩形差动); (d) 体型 IV—2 (梯形差动)

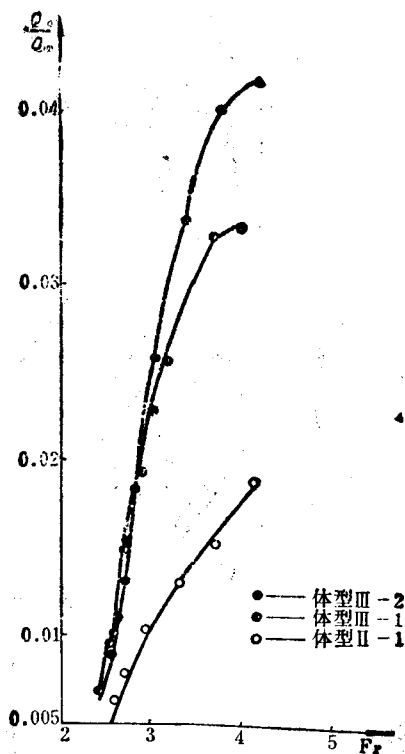
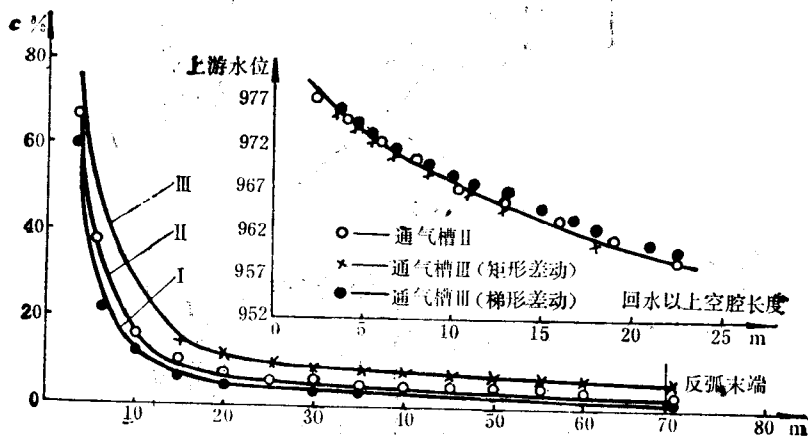
图 10 进气量与 Fr 的关系

图 11 设计水位通气槽后底部掺气浓度沿程变化

10表明当佛氏数小于4时,在同样水流条件下,采用这种新措施气水比增大近一倍。图11中比较了设计水位通气槽后底部掺气浓度的沿程变化。III型掺气坎后底部沿程掺气浓度增大近一倍,反弧末端处掺气浓度达5.9%。图11中还比较了II与III型通气坎后回溯水流以上净空腔长度。由此可以看出,在较高水位(即低佛氏数)时两种通气挑坎后的净空腔长度基本相同。这说明在同样来流条件下,尽管空腔长度相差甚微而进气量有较大增加的原因,是由于射流紊动强度的增大。所以在低佛氏数的水流掺气减蚀设施设计中,关键问题是要