

长江

CHANGJIANG SANXIA
SHUILI SHUNIU
SHUILIXUE WENTI YANJIU

三峡水利枢纽 水力学问题研究

◎ 周胜 周赤 才君眉 等编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

CHANGJIANG SANXIA
SHUILI SHUNIU
SHUILIXUE WENTI YANJIU

长江三峡水利枢纽 水力学问题研究

周胜 周赤 才君眉 等编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书介绍了长江三峡水利枢纽单项工程技术设计阶段水力学研究的主要成果,内容包括:泄洪建筑物与厂房总体布置;施工导流方案确定;泄水建筑物具体布置与下游消能防冲;表孔体型与长短闸墩方案比较;深孔体型与防水流空化空蚀及掺气减蚀措施;导流底孔长、短管方案比选、体型及截流水头;电站进水口流态与水头损失;下游高导墙的流激振动等。这些主要研究成果已被设计采纳,较好解决了工程实际问题。

本书可供从事水利水电工程设计、科研和管理等工作的技术人员参考,也可作为有关院校师生的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

长江三峡水利枢纽水力学问题研究 / 周胜等编著.

北京:中国水利水电出版社,2006

ISBN 7-5084-3575-3

I. 长... II. 周... III. 三峡—水利枢纽—水力学

IV. TV632.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 008987 号

书 名	长江三峡水利枢纽水力学问题研究
作 者	周胜 周赤 才君眉 等编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266(总机)、68331835(营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 9.25 印张 181 千字
版 次	2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	25.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

《长江三峡水利枢纽水力学问题研究》

编写人员

中国水利水电科学研究院

周 胜 刘之平 郭 军 孙双科

长江水利委员会长江科学院

周 赤 杨 淳 朱光淬 金 峰

清华大学水利水电工程系

才君眉 黄继汤 马吉明 刘天雄

序

长江三峡水利枢纽是目前世界上规模最大的水利工程，其中水电站装机容量近期为 18200MW，为世界之最，远期将增加到 22400MW。大坝等建筑物总混凝土方量达 2600 万 m^3 ，泄水建筑物最大泄流量达 $110430\text{m}^3/\text{s}$ ，泄洪总功率约达 1 亿 kW，截流设计最大流量为 $9010\text{m}^3/\text{s}$ ，都是世界上最大的。因此，在设计施工中遇到了许多新问题，很多难点是前人所没有遇到的。

长江三峡工程下游是广大的汉江平原，从武汉至宁滬，都是我国最重要的工商业区、农业区和人口密集地区。因此，三峡工程对我国国民经济的发展和国家的安全稳定至关重要，绝不允许发生任何问题。

长江水利委员会承担了三峡工程的设计工作，经过几十年的努力，作出了很好的设计。国务院三峡工程开发总公司组织全国上百名专家，成立了技术设计审查组，下分 10 个专题审查小组，分别审查各重要的设计问题。其中，大坝审查组负责审查的泄水建筑物布置、型式、尺寸、重要细部和闸门型式等是历次讨论的重点。电站审查组负责审查的电站进水口设计也是重点之一。

我很荣幸被聘为大坝设计审查组成员，几乎参加了所有大坝审查组的会议，也参加了电站审查组的部分会议。在审查讨论中遇到问题时，常常委托国内许多高水平的科研单位和大专院校进行专题研究试验，他们写出了许多高水平的试验研究报告。中国水利水电科学研究院、长江水利委员会长江科学院、清华大学水利水电工程系等众多单位的许多专家、教授参加了试验研究工作，取得了大量成果，为设计审查提供了科学依据。我深深感到，这么多专家教授花了多年时间，做了这么多高水平的工作，完全应该写成专著，既可留给后人，也可向国内外同行们交流。为此，清华大学水利水电工程系离退休人员创办的清华华同科技开发咨询公司资助和组织了本书的编写与出版工作。

长江三峡大坝水力学问题研究，取得了许多有创新意义的成果。由于三峡大坝泄洪流量极大，泄流前缘有限，因此在泄流坝段上设置了三层孔口，即底部的导流底孔、中层的深孔和上部的溢流表孔。三层孔口尺寸都很大，底孔还是跨两个坝段设置的，型式尺寸都很特殊。这种布置，最初是在初步设计审查会议上清华大学张光斗教授提出来的新设想，由于这些新设想安全并有利于施工，因而被长江水利委员会设计院采纳。但这一设想需要完善，有许多新问题需要解决。比如，三层孔口如何互相配合，互不干扰；导流底孔的特大弧形工作闸门怎么布置，是布置在坝内作成短压力管道，还是布置在坝下游出口做成长的压力管道；如何减少空蚀磨损的威胁，如何保证泄流能力，减少截流时的水头落差，保证泄流时流态的稳定性；如何使两层孔口泄流的单宽流量极大时下游消能是安全的，等等。深孔弧形闸门处的孔口宽 7.0m，高 9.0m，底坎以上设计水头 85.0m，校核水头 90.4m，泄槽最高流速将近 40m/s。这样大的孔口如何布置，如何保证其止水的严密可靠，门后不发生空蚀破坏。其泄槽掺气设施是结合闸门止水布置采用突扩、突跌，还是只采用底部掺气跌坎。另外，水电站的进水口（每台机的最大流量近 $1000\text{m}^3/\text{s}$ ）如果采用单孔，闸门尺寸太大，水头也太高，困难很大。如果采用双孔，型式应该怎样，水头损失多少，最小淹没深度应该是多少。所有这些问题都应该给予解决。

长江水利委员会设计院及有关科研单位和院校历时数年，对这些新问题作出了完善的答案，大坝设计审查组的专家们表示满意。设计院依据这些研究成果作出了详细设计，并已付诸实施。这本书汇总了上述研究的一些主要成果，因此可以说是本领域当今中国和世界上高水平的研究成果。我们以有机会参与组织编写出版并向大家推荐此书而感到荣幸，并在此向所有参加研究工作的专家教授们表示感谢和崇高的敬意。

清华华同科技开发咨询公司董事长 谷兆祺
清华大学教授

2006 年 3 月

前言

长江三峡水利枢纽的布置，在初步设计阶段经过充分的论证和比较，最终由国务院三峡工程建设委员会批准了长江水利委员会推荐的布置方案，即在河床中部布置泄水坝段，前沿长度 483m，包括相间布置的 22 个表孔、23 个深孔和 22 个导流底孔；河床两侧布置坝后厂房；左岸布置通航设施；施工期导流与通航采用“明渠通航三期导流方案”。

进入单项工程技术设计阶段，对泄洪表孔、深孔及导流底孔的体型、尺寸和有关水力学问题进行了大量深入细致的试验研究和计算分析。在三峡工程开发总公司技术委员会的主持协调下，在大坝专家组的审查、指导下，经长江水利委员会设计院、长江科学院、中国水利水电科学研究院、南京水利科学研究院、清华大学水利水电工程系、天津大学水资源河港系等多家科研院校共同参与，历时 6 年多，共提出试验研究和计算分析报告 70 余篇，三峡工程开发总公司技术委员会就涉及的有关问题先后组织了 7 次研讨审议会，为表孔、深孔和导流底孔单项技术设计优化和审查打下了坚实的基础。本书详细介绍了这一阶段的水力学研究成果，主要包括以下内容：

1. 泄水坝段的整体水力学研究

整体水力学研究的主要任务是，确定枢纽总泄流能力，分析与改善在后期导流提前发电期间和永久运用期泄洪坝段的下游流态、消能防冲措施以及运行调度等问题。

2. 表孔、深孔、导流底孔的体型研究

三峡工程泄水孔口多，22 个表孔、23 个深孔、22 个底孔分三层重叠布置，结构复杂。

(1) 表孔研究含体型优化、长短隔墩布置方案选择等。

(2) 深孔的运行水头较高,运用频繁,是三峡工程最重要的泄水建筑物,研究历时也最长。研究内容有长、短压力管方案比选,体型优化,以及掺气设施的调研与试验研究等。

(3) 三峡导流底孔运行水头高,孔口尺寸大,进口高程低,有沙石磨损和水流空化空蚀问题。截流期和提前发电期体型布置上有矛盾,运行条件差,流态复杂。研究内容有长、短压力管方案比选,体型优化,流态改善,合理运行调度以及底孔封堵水力学问题等。

3. 电站进水口研究

三峡电站装机容量大,为了多发电,必须尽量改善进水口体型,以减少水头损失。研究内容有单孔和双孔进水口体型优化,水头损失大小,最小淹没水深以及破漩措施等。

4. 厂、坝导墙水弹性模型试验研究

主要研究高导墙在泄洪情况下的动力反应。

长江三峡水利枢纽是世界上最大的水利水电工程,水头高,泄洪流量大,前缘布置紧张,施工期导流与通航问题突出,出现的水力学问题多。本书主要介绍单项技术设计阶段所遇到的水力学问题及研究成果。这些成果为优化设计提供了科学依据,其主要研究成果已被设计采纳,较好地解决了工程实际问题。

本书由清华同科技开发咨询公司董事长、清华大学谷兆祺教授组织和资助编写,由中国水利水电科学研究院、长江科学院、清华大学水利水电工程系密切合作完成。在编写过程中,曾得到三峡工程开发总公司技术委员会程山副主任、李钧浩总工、魏永辉总工、长江水利委员会陈际唐总工、天津大学水资源河港系崔广涛教授以及其他有关人士的指导和帮助,在此一并致谢。

希望本书对水利水电工程设计、科研和工程管理等技术人员有所裨益,并为有关院校师生提供参考。

编著者

2006年3月

目录

序

前言

第 1 章 概述	1
1.1 三峡水利枢纽的泄水建筑物	1
1.2 泄水建筑物的总体布置研究	1
1.3 深孔的水力学问题研究	2
1.4 表孔的水力学问题研究	2
1.5 导流底孔的水力学问题研究	3
1.6 水电站进水口的水力学问题研究	3
1.7 其他水力学问题研究	4
1.7.1 厂坝高导墙的流程振动问题	4
1.7.2 深孔闸门的止水问题	4
参考文献	5
第 2 章 泄洪坝段泄水建筑物布置	6
2.1 枢纽布置方案	6
2.2 洪水标准与泄洪运用要求	8
2.2.1 洪水标准	8
2.2.2 泄洪运用要求	9
2.3 泄水建筑物布置	11
2.4 三期导流底孔布置及泄流能力	12
2.4.1 施工导流方案比选	12
2.4.2 导流底孔的任务及运用条件	13
2.4.3 导流底孔布置与泄流能力	14
参考文献及参考资料	15
第 3 章 泄洪消能整体模型试验研究	16
3.1 简述	16

3.2 三期导流深、底孔联合运行情况及下游冲刷	16
3.2.1 导流底孔总体布置优化	17
3.2.2 三期截流水位落差	17
3.2.3 深、底孔联合运行泄流能力	19
3.2.4 导流底孔明流段流态	19
3.2.5 泄洪坝段上、下游流态及消能防冲	20
3.3 正常运用期深、表孔联合泄洪的消能防冲	21
参考资料	23
第4章 表孔的水力学研究	24
4.1 表孔的基本情况	24
4.2 堰面曲线和门槽布置与体型优化	24
4.3 表孔采用长、短闸墩布置方案比较	28
4.3.1 长科院表孔长、短闸墩布置方案的试验研究	28
4.3.2 水科院表孔采用短闸墩布置方案的试验研究	29
4.4 表孔泄流能力	30
参考文献及参考资料	30
第5章 深孔的水力学研究	31
5.1 深孔的基本情况	31
5.1.1 深孔的任务和运用要求	31
5.1.2 深孔的型式	31
5.2 有关深孔的设计、计算和试验研究	34
5.2.1 深孔短管不设掺气设施方案的研究	34
5.2.2 深孔短管设掺气设施方案的研究	37
5.2.3 深孔长管方案的研究	45
5.2.4 关于深孔弧门止水问题的调查分析与试验研究	48
5.3 深孔各方案的综合评价	50
5.4 深孔体型终结方案的水工模型试验	51
5.4.1 深孔的泄流能力	52
5.4.2 水流流态	52
5.4.3 通气量与掺气浓度	52
5.4.4 时均压强分布	55
5.4.5 底板的冲击脉动压强	55
5.4.6 终结方案的空化特性分析	55
参考文献及参考资料	57
第6章 导流底孔的水力学研究	59

6.1	导流底孔的设计过程	59
6.1.1	导流底孔的任务	59
6.1.2	初步设计推荐的三期导流度汛方案	59
6.1.3	单项工程技术设计三期导流度汛方案的形成过程	60
6.2	导流底孔短有压管方案的研究	60
6.2.1	短管的体型	60
6.2.2	明流泄槽段的体型	61
6.2.3	截流水位落差研究	62
6.2.4	泄流能力	65
6.2.5	明槽流态及出口水流衔接问题	66
6.2.6	下游消能及冲刷	68
6.2.7	底孔短管推荐方案的水力学试验成果	72
6.3	导流底孔长有压管方案的研究	74
6.3.1	长管方案的体形优化	74
6.3.2	推荐的长管方案水力学试验结果	76
6.4	导流底孔长、短管方案的比较和长管方案的选定	80
6.5	导流底孔超设计水位条件下的水流特性研究	81
6.5.1	超设计水位泄流能力和压强分布	82
6.5.2	流速分布	85
6.5.3	减压试验	87
6.5.4	下游流态及冲刷	89
6.5.5	超设计水位试验小结	92
	参考文献及参考资料	93
第7章	厂坝导墙水弹性模型试验研究	95
7.1	简述	95
7.2	导墙的水弹性模型试验及成果分析	95
7.2.1	模型设计	95
7.2.2	导墙模态水弹性模型试验、数值计算与分析	97
7.2.3	导墙脉动荷载试验	100
7.2.4	导墙泄洪振动响应试验与分析	100
7.2.5	导墙泄洪振动安全性的评估	101
	参考资料	102
第8章	电站进水口水力学研究	103
8.1	基本情况	103
8.1.1	简述	103

8.1.2 单、双孔进水口原设计方案	104
8.2 单、双孔进水口模型设计、布置及试验工况	106
8.2.1 模型试验要求及试验工况	106
8.2.2 模型设计与布置	107
8.3 单、双孔进水口原设计方案的研究成果	111
8.3.1 进水口前流态	111
8.3.2 水头损失	112
8.3.3 压力管道内的压强分布	118
8.4 单、双孔进水口优化方案及研究成果	120
8.4.1 单孔进水口优化方案及研究成果	120
8.4.2 双孔进水口优化方案及研究成果	125
8.5 单、双孔进水口各方案水力特性综合评述及分析	128
8.5.1 单、双孔进水口各方案水力特性综合评述	128
8.5.2 单、双孔进水口各方案水力特性对比分析	130
8.6 小结	133
参考文献及参考资料	134

第 1 章 概 述

1.1 三峡水利枢纽的泄水建筑物

三峡大坝坝顶高程 185.0m。按千年一遇洪水设计，万年一遇洪水加大 10% 校核。设计洪水位 175.0m，设计泄洪流量 $69800\text{m}^3/\text{s}$ ；校核洪水位 180.4m，校核泄洪流量 $102500\text{m}^3/\text{s}$ ；正常蓄水位 175.0m。

泄水建筑物主要集中在主河床泄洪坝段，全长 483m，分为 23 个坝段，每个坝段长 21m。以 23 个深孔作为主要的和经常的泄洪设施，设置在每个坝段的中部，进口底高程 90.0m，为有压短管接明流泄槽型式，短管出口尺寸为 $7\text{m} \times 9\text{m}$ ，明流泄槽出口为挑流消能。在两个相邻坝段之间的上部，跨缝布置泄洪表孔，每孔净宽 8m，堰顶高程 158.0m，共 22 孔。表孔主要参与宣泄百年以上洪水，兼作高水位排泄漂浮物使用。在表孔正下方设置 22 个三期施工导流底孔，进口底高程中部 4~19 号孔为 56.0m，两侧边孔为 57.0m，采用有压长管型式，其出口尺寸为 $6\text{m} \times 8.5\text{m}$ ，使用期为 3 年，用后封堵回填。

泄洪坝段的左右两侧为厂坝导墙坝段，其上各设一个排漂中孔，进口底高程均为 133.0m，孔口尺寸相同，为 $10\text{m} \times 12\text{m}$ ，型式均为有压短管式。其中左导墙坝段排漂孔沿导墙设置长泄槽，断面尺寸为 $10\text{m} \times 12\text{m}$ ，出口为挑流消能。右导墙坝段共有 2 个坝段，其中左坝段为重力式，设排漂孔，挑流消能；右坝段连接右导墙。

由上述可见，三峡水利枢纽的泄水建筑物共有 23 个深孔（ $7\text{m} \times 9\text{m}$ ），22 个表孔（净宽 8m），2 个排漂中孔（ $10\text{m} \times 12\text{m}$ ），22 个导流底孔（ $6\text{m} \times 8.5\text{m}$ ）。其永久泄洪建筑物并考虑 24 台发电机组过流，总泄流能力在 175.0m 水位时可达 $97090\text{m}^3/\text{s}$ ，在 180.0m 水位时，可达 $110430\text{m}^3/\text{s}$ ，充分满足泄洪要求^[1,2,3]。

1.2 泄水建筑物的总体布置研究

泄水建筑物的布置对整体枢纽布置影响很大。首先，各泄水建筑物的泄流能力及总泄流能力必须满足设计要求，同时，在截流期间还必须满足截流落差的要求；其次，必须明了在各种运行工况下水流对下游的冲刷、对两岸淘刷以及对电站尾水波动、航道水流稳定的影响等状况，并研究改善水力学条件的有效措施。

上述问题主要在各个整体水工模型试验中完成，必要时又辅以较大比尺的局

部水工模型试验,研究在各种运用条件下,总泄流能力及下游流态、河床冲刷、导墙基础淘刷等问题。这些工况包括各种泄水建筑物单独运用;施工期深孔与底孔联合泄洪;运用期深孔与表孔联合泄洪等。经过对各种工况下的上游进口流态,泄洪建筑物出口流态,下游水流流态,截流落差、流速分布,回流大小,动床演变等水流现象的观测分析,提出了许多改善措施。

经过多年的工作,目前采用的泄水建筑物布置方案能够满足各种运行工况泄量的要求,并留有余地;各泄水建筑物的进口型式、出口型式、消能方案等经过多次调整,互相匹配,流态稳定;两侧设置的左、右导墙,可以防止泄洪对电站尾水的不利影响,右侧导墙基础设置的混凝土防冲墙可以防止回流淘刷。

1.3 深孔的水力学问题研究

深孔是三峡水利枢纽最主要的泄洪通道,千年一遇以下洪水,主要由深孔宣泄,在防洪限制水位 145.0m 时,深孔泄量占总泄量的 68%,在设计洪水位 175.0m 时,深孔泄量占总泄量的 70%。同时,深孔还担负着三期导流及围堰挡水发电期间的度汛任务。总之,深孔的过水历时长,使用频繁,工作水头高且变幅大。

深孔采用坝内有压短管接明流泄槽型式。短管出口最大流速达 35m/s,存在水流空化和空蚀的可能,因此明流泄槽体形设计和掺气减蚀方案选择成为主要的研究课题。与此相关的是选择适当的弧门型式,既要有良好的水封性能,又要使水流顺畅,防止闸门振动和水流空化空蚀。

深孔上述问题的研究,主要从以下两个方面进行:①改善泄槽底板的曲线型式,提高水流空化数,避免发生空蚀;②设置跌坎掺气减蚀或在短管出口结合高压弧门水封布置,采用突扩突跌型式,进行掺气减蚀。

经过大量大比尺的常压和减压水工模型试验、数值模拟计算、国内外运行资料的调研,以及对闸门和结构布置要求等方面的综合分析,进行了反复比较,最后选定设置跌坎作为掺气减蚀的基本方案,并取得较为满意的结果^[4]。

1.4 表孔的水力学问题研究

表孔主要任务是配合深孔参与百年以上洪水的泄洪,并利用少量表孔排泄漂浮物,虽然运用机会较少,但表孔泄流能力高,超泄能力大,是三峡水利枢纽安全运行的重要保障。

表孔的水力学问题研究,除了堰面曲线和门槽位置与型式的优选之外,还着重研究了每孔之间隔墩型式对水流流态、下游河床冲刷等影响问题,提出采用全

隔离的长隔墩方案还是部分隔离的短隔墩方案,经过试验研究,并考虑到导流底孔采用长有压管方案后,结合布置弧形闸门与启闭机的需要,最终决定采用挑流鼻坎向上游移动的长隔墩方案。

1.5 导流底孔的水力学问题研究

导流底孔承担三期截流期间的导流任务,设计截流流量 $9010\text{m}^3/\text{s}$,截流水头不超过 3.5m 。截流之后,用来调节上游水位与泄流量,保护土石围堰基坑安全施工,满足下游通航条件。在围堰挡水发电期间,导流底孔与深孔联合运用,承担度汛任务,调节库水位,不超过碾压混凝土围堰顶高程 140.0m 。底孔的运用期为3年,之后全部封堵回填。

导流底孔位置很低,进口底高程 56.0m ,运用水头高,变幅大,又与深孔相间、跨缝布置,因此,无论从水力设计、结构设计、泥沙磨损,还是施工封堵回填问题,都很复杂。经过大量的试验研究和论证,底孔的设计得到了充分的优化。

导流底孔的水力学问题,主要是截流落差、有压段后的明流段流态、沿程流速高可能引起水流空化空蚀以及泥沙磨损等问题的妥善解决。由于底孔位置较低,下游水位较高,对于截流期间低水位 ($69.0\sim 71.0\text{m}$) 和围堰挡水发电期间高水位 ($135.0\sim 140.0\text{m}$),一般体形难以使水位变化全过程中所有流态都能满足设计要求。

针对导流底孔的任务,主要研究了短有压管和长有压管两类方案。经过试验研究优化的短管方案和长管方案,对截流水位落差、泄流能力、流态等均能满足设计要求,但长管方案水力学条件较好,再综合分析结构安全、施工便利以及对枢纽整体布置的影响等因素,最终采用了比较满意的长管方案,并增设反勾式检修闸门,以确保日后检修和顺利下门封堵底孔。

1.6 水电站进水口的水力学问题研究

三峡水电站共安装26台机组,单机容量 700MW ,总装机容量 18200MW 。采用坝后式厂房,分别布置在河床泄洪坝段两侧。机组额定水头 80.6m ,年平均发电量 846.8 亿度。从机组进口至蜗壳,流道全长约 150m ,引水管直径 12.4m ,设计单机引用流量 $966.4\text{m}^3/\text{s}$ 。

电站进水口水流条件较为复杂,水流经过拦污栅后急剧收缩,水头损失较大,由于电站机组台数较多,且容量大,如能改善进水口型式,减少进水口的水头损失,可充分发挥电站效益,有重大经济意义。

为此项目的,提出了单孔进水口和双孔进水口两类方案。经过对单孔4组和双孔3组不同方案的大比尺(1:30)水工模型试验,优选出进口流态好、水头损失较小、闸门运行安全可靠的一组单孔进水口方案,被设计采用。此项研究成果,使每台机组减少水头损失30cm,每年总发电量可增加1.6亿~3.0亿kW·h,达到了预期的效果^[7]。

1.7 其他水力学问题研究

1.7.1 厂坝高导墙的流激振动问题

三峡泄水建筑物除了上述水力学问题以外,还存在厂坝高导墙的水流激振问题。泄洪坝段的左侧导墙顺水流方向长210m,最大墙高95m,顶厚18m,底厚53.69m,顶部设有10m×12m的排漂孔及其泄槽,槽净宽10m,边墙厚度4m。右导墙最大墙高46.5m,底厚29m。由于泄洪坝段的多孔口泄洪均为挑流消能,泄量大,水流紊动强烈,流态十分复杂,加之左导墙顶部排漂孔泄洪,导墙外侧厂房尾水区水位较低,内外压差产生的侧向压力很大,因此必须研究导墙的结构稳定性、自振特性和流激振动问题。

经过水弹性模型试验和数值计算分析,论证了该导墙设计满足动力稳定性要求,尽管导墙在泄洪时会发生较强的动位移响应,但动应力不超过容许值,由此认为不致发生疲劳破坏。

1.7.2 深孔闸门的止水问题

如前所述,三峡泄洪深孔闸门启闭频繁,如果采用液压伸缩式水封,具有良好的水封效果,相应需采用突扩式出口。但在深孔的掺气减蚀措施研究中,发现突扩方案水流流态较复杂,侧壁水流冲击区之后产生低压区,而掺气效果又较差。据资料分析,在已建的国内外实际工程中,成败都有实例。另外,由于深孔与底孔相间布置,两者门槽间的墙厚仅有3m,如果采用突扩型式,结构布置也很困难。综合上述各种因素分析后认为,采用跌坎掺气方案更加安全可靠。因此决定,相应的闸门止水采用常规型式水封。

常规止水的主要问题在于侧水封与顶水封的衔接处封水能力较弱,经过专项试验研究证明,在模型上尚可以满足80m水头止水的要求,原型如何,仍待进一步研究。

为了可靠起见,有专家建议采用运行措施加以弥补,即在汛期经常水头55~70m之间,操作弧门挡水、泄洪;在非汛期,考虑由上游平板门挡高水位,这就要求配备足够数量的平板检修门。另外对水封的连续性、接头转角的密闭

性、材料的耐磨性等均需作进一步研究。本文对此项研究介绍从略。

参考文献

- 1 陈际唐, 刘宁. 三峡水利枢纽大坝设计. 水力发电, 1996 (5)
- 2 王家柱. 三峡工程设计中的几个重大问题. 中国三峡建设, 1995 (5)
- 3 储传英, 谭承敏, 尹庭伟. 三峡工程的科学研究 (一). 中国三峡建设, 1995 (6)
- 4 廖仁强, 吴效红, 孔繁涛. 三峡工程深孔明流段体形选择. 水力发电, 1997 (12)
- 5 廖仁强. 三峡大坝泄洪深孔长、短管方案比较. 人民长江, 1999 (8)
- 6 刘宁, 胡进华. 三峡工程导流底孔设计研究. 中国三峡建设, 1997 (8)
- 7 石瑞芳, 魏永辉. 三峡水电站进水口型式选择. 中国三峡建设, 1998 (5)
- 8 马吉明, 刘德朝. 三峡水电站进水口试验研究. 中国三峡建设, 1999 (3)