

南京水利科学研究院专著出版基金资助

# 水利工程模型 试验量测技术

蔡守允 刘兆衡 张晓红 贾宁一 封志明 编著



海洋出版社

南京水利科学研究院专著出版基金资助

TV131.61

# 水利工程模型试验量测技术

蔡守允 刘兆衡 张晓红 贾宁一 封志明 编著

海洋出版社

2008年·北京

图书在版编目(CIP)数据

水利工程模型试验量测技术/蔡守允等编著. —北京:  
海洋出版社, 2008. 11

ISBN 978 - 7 - 5027 - 7173 - 7

I. 水… II. 蔡… III. 水工模型试验 IV. TV131.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 186243 号

项目策划: 阎 安

责任编辑: 项 翔

责任印制: 刘志恒

海洋出版社 出版发行

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

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京画中画印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 12.5

字数: 400 千字 定价: 68.00 元

发行部: 62147016 邮购部: 68038093 总编室: 62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

# 前 言

我国河流众多,海岸线漫长,类型多样。建国后,尤其是改革开放 30 年来,我国水利水运事业发展十分迅猛,随着葛洲坝水利枢纽工程、三峡工程和黄河小浪底枢纽工程的建设以及我国沿江沿海地区经济的快速发展,各大河流治理的进展程度更快,港口航道建设也取得了前所未有的巨大成就。在近 50 年中,我国先后对长江、黄河等七大水系和洞庭湖、洪泽湖等天然水域均进行了大规模的河道治理和建设工程,在大运河、苏南水网等人工运河也进行了治理工程,同时相应地进行了一大批港口工程的建设。为这些工程的规划、设计和实施均离不开水利工程模型试验,而模型试验研究需要先进的仪器设备,由此水利工程模型试验量测技术得到了快速的发展。

本书是编著者对 2004 年 11 月出版的《河流海岸模型测试技术》一书的补充与完善。在本书中较系统地介绍了水利工程模型试验概况、试验基础设施和设备;同时全面介绍了在水利工程模型试验中的流速测量、流量测量、水位与波高测量、含沙量和泥沙颗粒级配测量、压力测量和地形测量等的专用仪器设备的工作原理、性能特点、应用范围和优缺点;最后介绍了测量误差与数据处理、计算机在模型测试中的应用技术和应用实例。本书为编著者多年来有关水利工程模型试验量测技术研究成果的总结,在保持以往各类量测仪器设备完整的基础上,尽可能多地介绍了当今国内外先进的量测技术、传感技术以及最新的应用于水利工程模型试验的仪器设备。本书可供教学和研究参考。

本书由蔡守允教授级高级工程师、刘兆衡高级工程师、张晓红工程师、贾宁一高级工程师和封志明高级工程师执笔编写,并进行了全书图文处理和校对工作。本书还参考了李昌华、朱伯荣、徐基丰、石怀理、吴宋仁、王振东、张训时、陈永宽等教授的研究成果和论文。在此,编著者向他们以及关心和协助本书出版的同仁表示衷心感谢。

本书获得了南京水利科学研究院专著出版基金的资助。

水利工程模型试验量测技术发展很快,有关这方面的研究也在不断地深入,

书中的一些观点和方法还需在实际应用中进一步检验和完善。由于编著者水平有限、时间仓促,书中可能存在这样和那样的不足,敬请读者批评指正。希望该书的出版能有抛砖引玉之功效!

编著者  
2008年7月

# 目 次

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| 第1章 绪 论 .....               | (1)  |
| 1.1 水利工程模型试验概况 .....        | (1)  |
| 1.2 水利工程模型试验量测技术 .....      | (2)  |
| 1.2.1 水利工程模型试验研究方向 .....    | (3)  |
| 1.2.2 水利工程模型试验常用的仪器设备 ..... | (3)  |
| 第2章 模型试验基础设施与设备 .....       | (5)  |
| 2.1 试验厅 .....               | (5)  |
| 2.2 供水系统 .....              | (6)  |
| 2.3 供电与接地系统 .....           | (6)  |
| 2.4 生潮系统 .....              | (7)  |
| 2.4.1 潮汐箱式 .....            | (8)  |
| 2.4.2 水泵尾门式 .....           | (8)  |
| 2.4.3 双向泵控制流量式 .....        | (8)  |
| 2.4.4 水泵尾门和双向泵组合控制流量式 ..... | (8)  |
| 2.5 生波系统 .....              | (9)  |
| 2.5.1 造波机分类 .....           | (9)  |
| 2.5.2 不规则造波机 .....          | (11) |
| 2.6 生风系统 .....              | (13) |
| 2.7 波浪水槽和水池 .....           | (13) |
| 2.7.1 波浪水槽 .....            | (13) |
| 2.7.2 波浪水池 .....            | (14) |
| 第3章 模型试验流速测量 .....          | (15) |
| 3.1 毕托管流速仪 .....            | (15) |
| 3.2 旋桨流速仪 .....             | (16) |
| 3.2.1 电阻式传感器 .....          | (16) |
| 3.2.2 电感式传感器 .....          | (16) |
| 3.2.3 光电式传感器 .....          | (17) |
| 3.2.4 光电式旋桨流速仪 .....        | (17) |

|       |                     |      |
|-------|---------------------|------|
| 3.2.5 | LGY—Ⅱ型智能流速仪         | (17) |
| 3.2.6 | LGY—Ⅲ型多功能智能流速仪      | (18) |
| 3.3   | 旋桨流速流向仪             | (20) |
| 3.3.1 | 旋桨式流速流向仪            | (20) |
| 3.3.2 | CSY—Ⅲ型旋桨式流速流向仪      | (22) |
| 3.4   | 热阻式流速仪              | (26) |
| 3.4.1 | 热阻式流速仪工作原理          | (26) |
| 3.4.2 | 热阻式流速仪传感器           | (27) |
| 3.4.3 | 热阻式流速仪(热线流速仪)       | (27) |
| 3.4.4 | 热线流速仪               | (29) |
| 3.5   | 电磁流速仪               | (29) |
| 3.5.1 | 电磁流速仪工作原理           | (30) |
| 3.5.2 | VM-801HA型电磁流速仪      | (30) |
| 3.5.3 | P-EMS电磁流速仪          | (31) |
| 3.5.4 | FLO-MATE 2000型电磁流速仪 | (32) |
| 3.6   | 声学多普勒流速仪            | (33) |
| 3.6.1 | 声学多普勒流速仪工作原理        | (33) |
| 3.6.2 | 声学多普勒流速仪组成          | (34) |
| 3.6.3 | 声学多普勒流速仪应用          | (35) |
| 3.7   | 激光流速仪               | (37) |
| 3.8   | 粒子图像测速系统            | (39) |
| 3.8.1 | 粒子图像测速系统简介          | (39) |
| 3.8.2 | VDMS流场实时测量系统        | (40) |
| 3.8.3 | POWerview立体PIV系统    | (42) |
| 第4章   | 流量测量                | (44) |
| 4.1   | 量水堰                 | (44) |
| 4.1.1 | 三角堰                 | (44) |
| 4.1.2 | 矩形堰                 | (45) |
| 4.1.3 | 复式堰                 | (46) |
| 4.2   | 压差式流量计              | (46) |
| 4.2.1 | 文杜里水计               | (46) |
| 4.2.2 | LGB型标准孔板管道流量计       | (47) |
| 4.2.3 | 托巴管流量计              | (47) |

|       |                              |      |
|-------|------------------------------|------|
| 4.3   | V 锥流量计 .....                 | (48) |
| 4.3.1 | V 锥流量计工作原理 .....             | (48) |
| 4.3.2 | V 锥流量计优点 .....               | (50) |
| 4.4   | 浮子流量计 .....                  | (52) |
| 4.4.1 | 浮子流量计工作原理 .....              | (52) |
| 4.4.2 | 浮子流量计特点 .....                | (54) |
| 4.4.3 | 金属管浮子流量计 .....               | (54) |
| 4.5   | 电磁流量计 .....                  | (56) |
| 4.5.1 | 电磁流量计工作原理 .....              | (56) |
| 4.5.2 | 电磁流量计转换器 .....               | (58) |
| 4.5.3 | IFM 型系列和 K300 型系列电磁流量计 ..... | (59) |
| 4.5.4 | LDG 型电磁流量计 .....             | (59) |
| 4.5.5 | LD 型系列电磁流量计 .....            | (60) |
| 4.5.6 | E - mad E 型电磁流量计 .....       | (61) |
| 4.6   | 涡轮流量计 .....                  | (61) |
| 4.7   | 涡街流量计 .....                  | (62) |
| 4.7.1 | 涡街流量计工作原理 .....              | (62) |
| 4.7.2 | FFM63 智能涡街流量计 .....          | (62) |
| 4.8   | 超声波流量计 .....                 | (64) |
| 4.8.1 | 超声波流量计工作原理 .....             | (64) |
| 4.8.2 | 超声波流量计特点 .....               | (66) |
| 4.8.3 | 1010 系列时差式超声波流量计 .....       | (67) |
| 4.8.4 | ZCL - 1 系列智能超声波流量计 .....     | (68) |
| 4.8.5 | SP - 2 系列智能超声波流量计 .....      | (69) |
| 4.8.6 | TDS - 100 型超声波流量计 .....      | (70) |
| 4.8.7 | ADFM 声学多普勒流量计 .....          | (71) |
| 4.8.8 | 超声波测流的新技术和新动向 .....          | (71) |
| 4.9   | 其他流量计 .....                  | (73) |
| 4.9.1 | 容积式水量计(水表) .....             | (73) |
| 4.9.2 | TSK 档板式流量计 .....             | (74) |
| 4.9.3 | 水量计时器 .....                  | (74) |
| 4.9.4 | DSJ 系列电脑水量计 .....            | (74) |
| 第 5 章 | 模型试验水位与波高测量 .....            | (75) |

|       |                        |       |
|-------|------------------------|-------|
| 5.1   | 水位测针 .....             | (75)  |
| 5.2   | 水位仪 .....              | (76)  |
| 5.2.1 | 跟踪式水位仪 .....           | (76)  |
| 5.2.2 | 探测式水位仪 .....           | (77)  |
| 5.2.3 | 振动式水位仪 .....           | (77)  |
| 5.2.4 | 光栅式水位仪 .....           | (78)  |
| 5.3   | 波高仪 .....              | (79)  |
| 5.3.1 | 电阻式波高仪 .....           | (79)  |
| 5.3.2 | 电容式波高仪 .....           | (79)  |
| 5.3.3 | 计算机波高测量系统 .....        | (81)  |
| 5.4   | 水位计 .....              | (84)  |
| 5.4.1 | 压力式水位计 .....           | (84)  |
| 5.4.2 | WYG-Ⅱ型水位采集系统 .....     | (85)  |
| 5.4.3 | WL400 压力式水位计 .....     | (85)  |
| 5.4.4 | 超声水位计 .....            | (86)  |
| 5.4.5 | AWMS16 型超声水位测量系统 ..... | (87)  |
| 5.4.6 | 其他水位计 .....            | (88)  |
| 第6章   | 模型试验含沙量和泥沙颗粒级配测量 ..... | (89)  |
| 6.1   | 含沙量测量 .....            | (89)  |
| 6.1.1 | 烘干称重法 .....            | (89)  |
| 6.1.2 | 比重瓶法 .....             | (89)  |
| 6.1.3 | 光电测沙仪 .....            | (90)  |
| 6.1.4 | CYS—Ⅲ型智能测沙颗粒分仪 .....   | (91)  |
| 6.1.5 | 红外光电测沙仪 .....          | (94)  |
| 6.1.6 | 同位素测沙仪 .....           | (95)  |
| 6.1.7 | 激光测沙仪 .....            | (96)  |
| 6.1.8 | 其他测沙仪 .....            | (98)  |
| 6.2   | 泥沙颗粒级配测量 .....         | (100) |
| 6.2.1 | 光电颗粒分仪 .....           | (100) |
| 6.2.2 | 音波震动式粒度仪 .....         | (100) |
| 6.2.3 | 离心沉降式颗粒分仪 .....        | (101) |
| 6.2.4 | 激光粒度仪 .....            | (102) |
| 6.2.5 | LS-CWM 型激光粒度仪 .....    | (104) |

---

|                                      |              |
|--------------------------------------|--------------|
| 6.2.6 Mastersizer 2000 激光粒度分析仪 ..... | (104)        |
| <b>第7章 模型试验压力测量 .....</b>            | <b>(107)</b> |
| 7.1 压力传感器 .....                      | (107)        |
| 7.1.1 应变片式压力传感器 .....                | (107)        |
| 7.1.2 压电式压力传感器 .....                 | (108)        |
| 7.1.3 总力传感器 .....                    | (109)        |
| 7.2 计算机压力测量系统 .....                  | (110)        |
| 7.2.1 传感器和测量系统 .....                 | (110)        |
| 7.2.2 测量系统应用 .....                   | (111)        |
| 7.3 应力应变测量 .....                     | (112)        |
| 7.3.1 动态电阻应变仪 .....                  | (112)        |
| 7.3.2 钢弦应变仪 .....                    | (113)        |
| 7.4 六分量测量 .....                      | (114)        |
| <b>第8章 模型试验地形测量 .....</b>            | <b>(116)</b> |
| 8.1 光电式地形仪 .....                     | (116)        |
| 8.2 电阻式地形仪 .....                     | (116)        |
| 8.3 超声波地形仪 .....                     | (116)        |
| 8.4 跟踪式地形仪 .....                     | (117)        |
| 8.5 超声地形自动测量系统 .....                 | (117)        |
| 8.6 其他地形测量仪 .....                    | (118)        |
| <b>第9章 测量误差与数据处理 .....</b>           | <b>(119)</b> |
| 9.1 测量误差及其发展 .....                   | (119)        |
| 9.1.1 测量的概念 .....                    | (119)        |
| 9.1.2 测量的发展 .....                    | (119)        |
| 9.2 测量误差的基本概念 .....                  | (120)        |
| 9.2.1 误差的定义 .....                    | (120)        |
| 9.2.2 误差产生的原因 .....                  | (121)        |
| 9.2.3 误差的分类 .....                    | (122)        |
| 9.3 测量准确度的质量概述 .....                 | (125)        |
| 9.4 数理统计基本理论 .....                   | (127)        |
| 9.4.1 基本概念 .....                     | (128)        |
| 9.4.2 随机变量及其分布 .....                 | (128)        |
| 9.4.3 统计分布的特征值 .....                 | (130)        |

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 9.5 常见误差分布 .....             | (132) |
| 9.5.1 正态分布 .....             | (132) |
| 9.5.2 其他常见误差分布 .....         | (133) |
| 9.5.3 常用的统计量分布 .....         | (135) |
| 第10章 计算机测试技术 .....           | (138) |
| 10.1 计算机接口技术 .....           | (138) |
| 10.1.1 计算机接口功能 .....         | (138) |
| 10.1.2 常用接口 .....            | (139) |
| 10.1.3 串行通信接口技术 .....        | (140) |
| 10.2 计算机测试系统信号的输入 .....      | (142) |
| 10.2.1 输入通道含义 .....          | (142) |
| 10.2.2 输入通道的结构类型 .....       | (142) |
| 10.2.3 信号调节 .....            | (144) |
| 10.3 信号拾取和放大 .....           | (145) |
| 10.3.1 信号拾取方法 .....          | (145) |
| 10.3.2 模拟信号放大 .....          | (146) |
| 10.3.3 信号的隔离和滤波 .....        | (148) |
| 10.4 数字量的输入 .....            | (151) |
| 10.4.1 开关量的输入 .....          | (151) |
| 10.4.2 脉冲量的输入 .....          | (152) |
| 10.5 模/数(A/D)转换技术 .....      | (152) |
| 10.5.1 模拟信号与数字信号特点 .....     | (153) |
| 10.5.2 模/数转换过程 .....         | (153) |
| 10.5.3 模/数转换原理 .....         | (155) |
| 10.5.4 模/数转换器及其与单片机的接口 ..... | (157) |
| 10.6 数据采集系统设计 .....          | (158) |
| 10.6.1 数据采集系统的结构 .....       | (158) |
| 10.6.2 单片机数据采集系统 .....       | (158) |
| 10.7 计算机控制系统 .....           | (160) |
| 10.7.1 计算机控制系统的组成 .....      | (160) |
| 10.7.2 计算机控制系统的硬件 .....      | (162) |
| 10.7.3 计算机控制系统的软件 .....      | (162) |
| 10.8 模型试验智能化、数字化、网络化系统 ..... | (163) |

---

|        |                           |       |
|--------|---------------------------|-------|
| 10.8.1 | 试验数据采集和控制系统 .....         | (163) |
| 10.8.2 | 共用接口系统 .....              | (164) |
| 10.8.3 | 网络系统 .....                | (164) |
| 10.8.4 | 共用数据库系统 .....             | (165) |
| 10.8.5 | 分析研究应用系统 .....            | (165) |
| 10.9   | 计算机测控系统应用于模型试验 .....      | (165) |
| 10.9.1 | 泥沙试验厅宽水槽控制系统 .....        | (165) |
| 10.9.2 | 泥沙试验厅变坡水槽控制系统 .....       | (169) |
| 10.9.3 | 变坡水槽水沙测量调控系统 .....        | (172) |
| 10.9.4 | 中央控制系统和软件 .....           | (177) |
| 10.9.5 | 泥沙试验厅监测监控系统 .....         | (180) |
| 10.9.6 | 三峡工程坝区泥沙模型试验测量与控制系统 ..... | (181) |
| 参考文献   | .....                     | (185) |

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 水利工程模型试验概况

我国位于太平洋西岸,有着广阔的大陆架,南北跨越 30 多个纬度,海岸线及岛屿岸线达 18 000 km 和 14 000 km,海岸类型及岸线资源丰富,分布着沙质、粉沙质及淤泥质及基岩海岸,侵蚀型海岸与淤长型海岸并存。沿海经济在我国国民总产值中超过 70%,随着经济的发展,海岸带经济在我国国民经济中所占的比例越来越重。但是,随着现代化建设的高速发展,人口的急剧膨胀以及人们物质文化生活水平的极大提高,保护海岸资源,保护海洋环境及生态,对我国的国民经济已显得越来越重要。

全球气温升高会促使大洋海水热膨胀、陆地冰川消融,而导致全球海平面上升,可能使我国沿海地区遭受严重灾害。我国工农业发达、人口密集的地区多位于海岸带,即使海平面上升 0.5 m,也会带来严重后果。近 50 年中国沿海海平面上升有加速趋势,并造成海岸侵蚀和海水入侵。未来气候变化仍将造成中国沿岸海平面持续上升,发生台风和风暴潮等自然灾害的几率增大,海岸侵蚀导致灾程度加重;滨海湿地、红树林和珊瑚礁等典型生态系统损害程度也将加大。因全球变暖,热带海洋温度升高,西太平洋地区生成台风的概率可能增加。敏感性分析表明,当全球气温升高 1.5℃时,西北太平洋台风发生频率可能增加 2 倍左右,在我国登陆的台风将增加 1.76 倍。与此相应,风暴潮在沿海地区的发生频率和强度都会有所增加,对海堤、港口、核电站等大中型海岸工程的影响越来越大,其造成的损失占到整个自然灾害损失的 1/3 以上。

我国幅员辽阔,既是一个海洋大国,又是一个大陆国家,河流众多,类型多样,江河流域面积在 1 000 km<sup>2</sup> 以上的河流就有 1 500 多条,这些河流流域约占全国面积的 2/3。然而,我国大多数河流因种种原因尚缺乏完全彻底的治理,山区河流水情复杂,平原河道河势不稳,冲淤变化剧烈,水流含沙量较大。

因此,全面规划、综合治理、合理开发、统一管理是现代水利工程的重要研究内容,大量的实际工程与理论问题急需进行专题研究。例如,航道整治与河流水资源综合利用的关系、不同类型河道整治原则、整治技术参数与方案措施的确定、各类整治建筑物的绕流、冲刷及其稳定性、新型整治工程技术的开发、河口海岸防洪与水土资源综合利用、海岸风暴潮灾害防治对策等课题都迫切需要进行科学研究。

早在 20 世纪 30 年代中期,我国就成立了“中央水工试验所”,开始了水利工程的科学研究工作。但是真正全面开展这一方面的研究工作还是在解放以后。

新中国成立后,尤其是改革开放 30 年来,我国水利水运事业发展十分迅猛,各项水利、水运工程建设兴起,随着葛洲坝水利枢纽工程、三峡工程和黄河小浪底枢纽工程的建设以及我国沿江沿海地区经济的快速发展,各大河流治理的进展程度更快,港口航道建设也取得了前所未

有的巨大成就。我国先后对长江、黄河等七大水系和洞庭湖、洪泽湖等天然水域均进行了大规模的河道治理和建设工程,对大运河、苏南水网等人工运河也进行了治理工程,同时相应地进行了一大批港口工程的建设。为这些工程的规划、设计和实施,围绕长江及其支流的航道整治和港口工程进行了多项泥沙研究工作,包括大量关于水流泥沙问题的试验研究和计算分析工作,取得了丰硕的研究成果,积累了丰富的经验,河流海岸治理和工程泥沙研究作为一个学科得到较快地发展。早在 20 世纪 50 年代,就围绕塘沽新港回淤问题、钱塘江河口治理、长江及其支流的治理及其港口航道工程以及黄河泥沙问题进行了多项泥沙研究工作。

20 世纪 70 年代以后,结合长江葛洲坝枢纽的建设,重点对枢纽泥沙淤积问题开展了相关的工作;结合连云港扩建工程中防淤减淤措施,开展了淤泥质海岸航道港池回淤研究;改革开放以后,针对三峡工程、黄河小浪底枢纽工程和长江口深水航道工程、连云港、洋山港、黄骅港等港口工程、珠江崖门口航道工程、汉江和湘江、西江、黄河等内河航道工程进行了科技攻关,对诸多泥沙问题进行了大规模的理论研究和试验研究。这些研究工作不仅为许多工程项目的规划设计和施工提供了科学依据,而且对学科理论的完善作出了贡献,造就了一大批泥沙研究方面的知名学者和经验丰富的工程技术人员,使得我国在模型试验理论和试验技术方面成绩斐然,在泥沙基础理论研究和河海治理工程应用技术研究上整体处于国际先进水平,尤其是在泥沙物理模拟技术上处于国际领先地位。例如,对多项泥沙基本理论问题进行了全面深入的研究,提出了极具学术价值的成果,如高含沙水流的理论研究成果在国际上具有较大的影响;创立了全沙模型相似理论,并成功建立了全沙模型,成功开发了悬沙、底沙输移综合模拟的试验技术,物理模型试验设备和量测仪器方面也有所创新和发展。另外,近年来在泥沙数学模型和利用高新技术方面也有了长足的发展,有关成果已成功地应用于解决多项重大工程的泥沙问题,进入了世界较先进水平的行列。通过水利工程模型试验,不但解决了国民经济建设中大量的工程技术难题,也发展了我国的模型试验理论与技术,建立了一批研究基地,培养和造就了一大批水利专家和中青年科研人员。

欧美发达国家河流海岸治理和开发建设大都在 20 世纪 60 年代之前,近几十年来,他们针对这方面的专题研究不是很多,主要是在结合河流海岸综合开发利用与治理、工程建设与生态环境保护以及有关专项技术等方面进行了相关的工作。在研究手段上,则在数学模型模拟计算和 3S 等高新技术等方面处于领先地位。同时,在新工程材料及其施工技术方面也有不少新成果。

从国际上发达国家情况看,为解决水科学与水工程问题,均设有装备精良、人员素质很高的综合性水利研究机构,如美国陆军工程兵团水道实验站、荷兰 Delft 水力研究所、丹麦 DHI 水力研究所、英国 Wallingford 水工实验室、法国夏都国立水力研究所、日本运输省港湾研究所、俄罗斯国立水文研究院、德国卡尔斯鲁尔联邦水工研究所等等,这些研究机构均建立了各种试验水槽,应用了各类先进的测量仪器。

## 1.2 水利工程模型试验量测技术

我国“863 计划”的第一建议人、中国科学院王大珩院士,在他就加强量测仪器和设备的研究向中国科学院的报告中指出,诺贝尔奖获得者中有 70% 以上是与量测仪器、量测技术和研究设备的发展密切关联的。没有先进的量测仪器、量测技术和试验设备,科学技术工作就不可

能有新的发现和突破。水利事业也是如此,不管是兴利还是除害,也不管是水利工程建设还是管理,都越来越需要水利量测技术和仪器设备的创新与发展来支撑。

随着水利事业的发展,大型水利工程日益增多,在建和待建的大型水利工程由于工程本身的重要性和复杂化,需要解决的技术难题越来越多。解决生产中重大技术难题的重要手段之一是物理模型试验。然而在一些重要的模型试验中,如果没有先进的量测仪器和量测技术以及这些量测技术的联合运作,就不可能得到高质量的研究成果,因此水利工程模型试验量测技术已成为不可或缺的技术手段。

为适应这一发展形势,从事水利工程模型试验量测技术的工程技术人员和研究工作者从深度和广度两个方面开展了大量的工作,通过多种测试技术的集成和整合解决复杂的工程技术难题,并紧密结合实际研究开发新仪器和新技术,为水利工程建设、水利工程管理和基础研究等提供新技术、新仪器、新设备和先进的自动化管理系统,为我国水利、水电、水运事业的重要基础研究、高技术发展和社会公益研究提供可靠的科学依据,为我国国民经济的可持续发展提供强有力的支撑。

### 1.2.1 水利工程模型试验研究方向

- (1) 水流泥沙运动基本理论;
- (2) 河流整治及河床演变理论;
- (3) 河口治理及河口动力学;
- (4) 海岸利用及海岸动力学;
- (5) 波浪理论与防浪建筑物;
- (6) 工程泥沙及河流动力学;
- (7) 河流海岸生态环境;
- (8) 河口海岸防灾减灾;
- (9) 水沙资源调控与利用;
- (10) 潮汐能和波浪能利用;
- (11) 近海和深水工程。

### 1.2.2 水利工程模型试验常用的仪器设备

为使上述研究内容得以顺利开展,除利用数学模型以外,大多需借助于建立在不同类型的大型试验厅内的物理模型来完成。利用一些专用设备模拟出自然状况中的潮汐、波浪、水流等动力,在缩小比尺的物理模型中将自然状况中的现象进行真实的复演,再利用一系列专有仪器将所采集到的各种数据进行整理与分析。根据模型试验的研究结果,为工程的实施提供科学的依据。

水利工程模型试验常用的仪器设备和量测技术有:模型试验基础设施和专用设备有试验厅、供水系统、供电与接地系统、生潮系统、生波系统、波浪水槽和水池等。

模型试验流速测量的仪器设备主要有毕托管流速仪、旋桨流速仪(电阻式旋桨传感器、电感式旋桨传感器、光电式旋桨传感器、光电式旋桨流速仪、LGY-Ⅱ型智能流速仪、LGY-Ⅲ型多功能智能流速仪等)、旋桨流速流向仪(旋桨式流速流向仪、CSY-Ⅲ型流速流向仪)、热阻式流速仪(热阻式流速仪、热线流速仪)、电磁流速仪(VM-801HA型电磁流速仪、P-EMS电

磁流速仪、FLO - MATE2000 型电磁流速仪)、声学多普勒流速仪、激光流速仪、粒子图像测速系统(VDMS 流场实时测量系统、POWVIEW 立体 PIV 系统)等。

模型试验流量测量的仪器设备主要有量水堰(三角堰、矩形堰、复式堰)、压差式流量计(文杜里水计、LGB 型标准孔板管道流量计、托巴管流量计)、V 锥流量计、浮子流量计、电磁流量计(IFM 型系列和 K300 型系列电磁流量计、LDG 型电磁流量计、LD 型系列电磁流量计、E - mad E 型电磁流量计)、涡轮流量计、涡街流量计、超声波流量计(1010 系列时差式超声波流量计、ZCL - 1 系列智能超声波流量计、Sp - 2 系列智能超声波流量计、TDS - 100 型超声波流量计、ADFM 声学多普勒流量计)、其他流量计(容积式水量计、TSK 档板式流量计、水量计时器、DSJ 系列电脑水量计)等。

模型试验水位与波高测量的仪器设备主要有水位测针、水位仪(跟踪式水位仪、探测式水位仪、振动式水位仪、光栅式水位仪)、波高仪和波高测量系统(电阻式波高仪、电容式波高仪、计算机波高测量系统)、水位计(压力式水位计、WYG - II 型水位采集系统、WL400 压力式水位计、超声水位计、AWMS16 型超声水位测量系统、其他水位计)等。

模型试验含沙量和泥沙颗粒级配测量的仪器设备主要有含沙量测量(烘干称重法、比重瓶法、光电测沙仪、CYS - III 型智能测沙颗粒分仪、红外光电测沙仪、同位素测沙仪、激光测沙仪、其他测沙仪)、泥沙颗粒级配测量(光电颗粒分仪、声波震动式粒度仪、离心沉降式颗粒分仪、激光粒度仪、LS - CWM 型激光粒度仪、Mastersizer 2000 激光粒度分析仪)等。

模型试验压力测量的仪器和传感器主要有压力传感器(应变片式压力传感器、压电式压力传感器、总力传感器)、计算机压力测量系统、应力应变测量(动态电阻应变仪、钢弦应变仪)、六分量测量等。

模型试验地形测量的仪器设备主要有光电式地形仪、电阻式地形仪、超声波地形仪、跟踪式地形仪、超声地形自动测量系统、其他地形测量仪等。

模型试验测量误差与数据处理技术主要内容有测量误差及其发展(测量的概念、测量的发展)、测量误差的基本概念(误差的定义、误差产生的原因、误差的分类)、测量准确度的质量概述、数理统计基本理论(基本概念、随机变量及其分布、统计分布的特征值)、常见误差分布(正态分布、其他常见误差分布、常用的统计量分布)等。

计算机在模型测试中的应用技术主要有计算机接口技术(计算机接口功能、常用接口、串行通信接口技术)、计算机测试系统信号的输入(输入通道含义、输入通道的结构类型、信号调节)、信号拾取和放大(信号拾取方法、模拟信号放大、信号的隔离和滤波)、数字量的输入(开关量的输入、脉冲量的输入)、模/数(A/D)转换技术(模拟与数字信号特点、模/数转换过程、模/数转换原理、模/数转换器及其与单片机的接口)、数据采集系统设计(数据采集系统的结构、单片机数据采集系统)、计算机控制系统(计算机控制系统的组成、计算机控制系统的硬件、计算机控制系统的软件)、模型试验智能化、数字化、网络化系统(试验数据采集和控制系统、共用接口系统、网络系统、共用数据库系统、分析研究应用系统)、计算机测控系统应用于模型试验(泥沙试验厅宽水槽控制系统、泥沙试验厅变坡水槽控制系统、变坡水槽水沙测量调控系统、中央控制系统和软件、泥沙试验厅监测监控系统、三峡工程坝区泥沙模型试验测量与控制系统)等。

## 第2章 模型试验基础设施与设备

水利工程模型试验基础设施与设备有:试验厅、供水系统、供电系统、生潮系统、生波系统、生流系统、生风系统、波浪水槽和水池等。

### 2.1 试验厅

水利工程模型试验一般均在室内进行,避免受自然条件的限制和天气变化的影响,同时便于仪器、仪表的使用和保管。试验厅的规模主要取决于该试验厅将来所承担的试验项目、固定设备的种类及其数量,同时考虑中远期发展的需要,留有一定余地。对于波浪水池,要求试验厅的跨度较大,在水池中不应有立柱等构件。试验厅净空高度不宜过低,除满足导光、通风等要求外,还要考虑专用设备的安装和使用要求,此外,还要考虑摄影、录像等方面的特殊要求<sup>[5]</sup>。

南京水利科学研究院设在南京铁心桥的试验研究基地占地约 2.7 ka 如图 2-1 所示,号称世界之最的长江三峡工程回水变动区模型试验厅(长逾 800 m,宽度超过 20 m)(图 2-2)、交通部港口航道泥沙工程重点实验室和水利部河流海岸泥沙工程重点实验室的大型泥沙基本理论模型试验厅(图 2-3)、长江三峡工程坝区模型试验厅(图 2-4)、海洋模型试验厅(图 2-5),以及数十座模型试验厅均建于此。

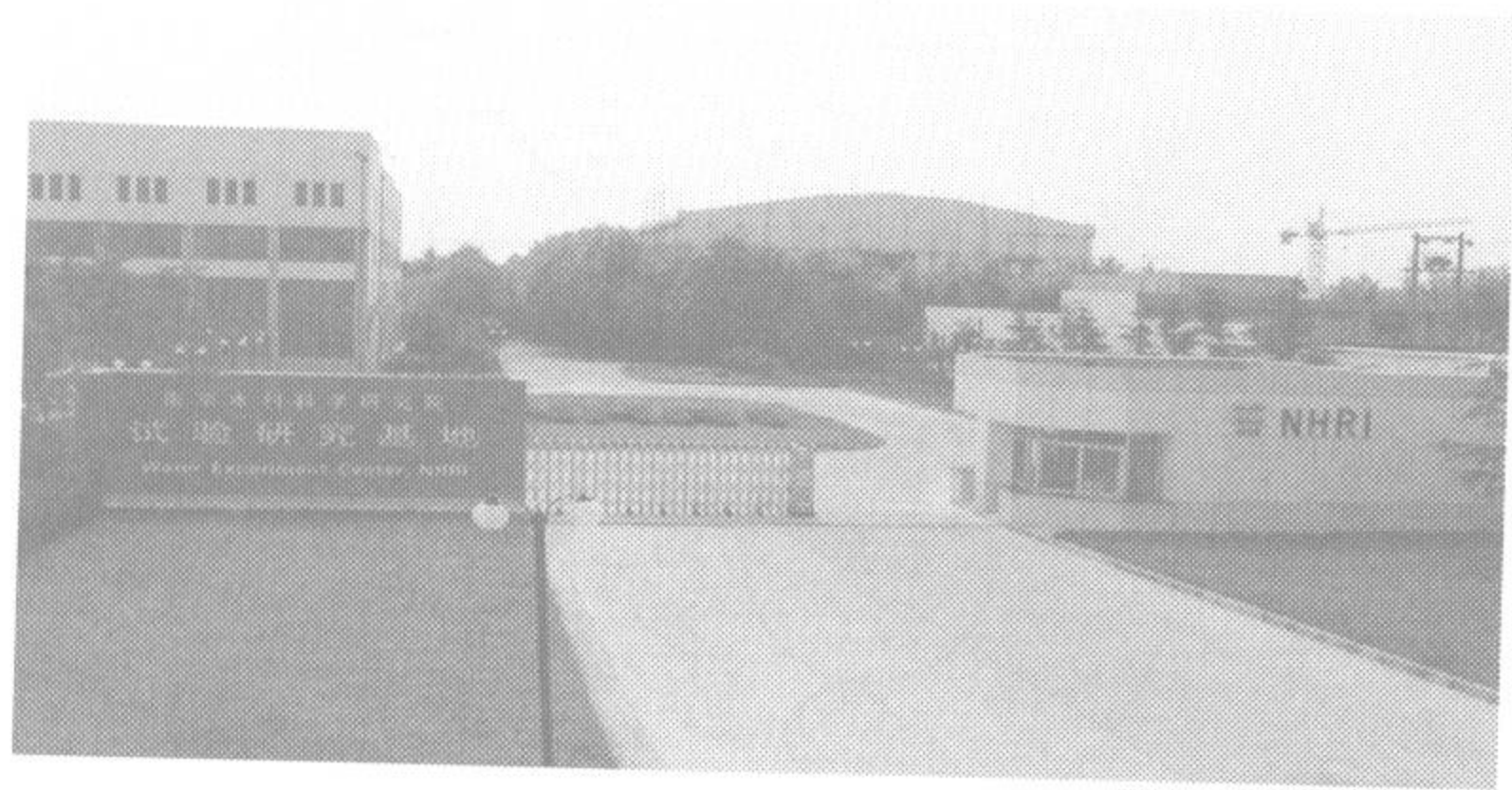


图 2-1 模型试验研究基地

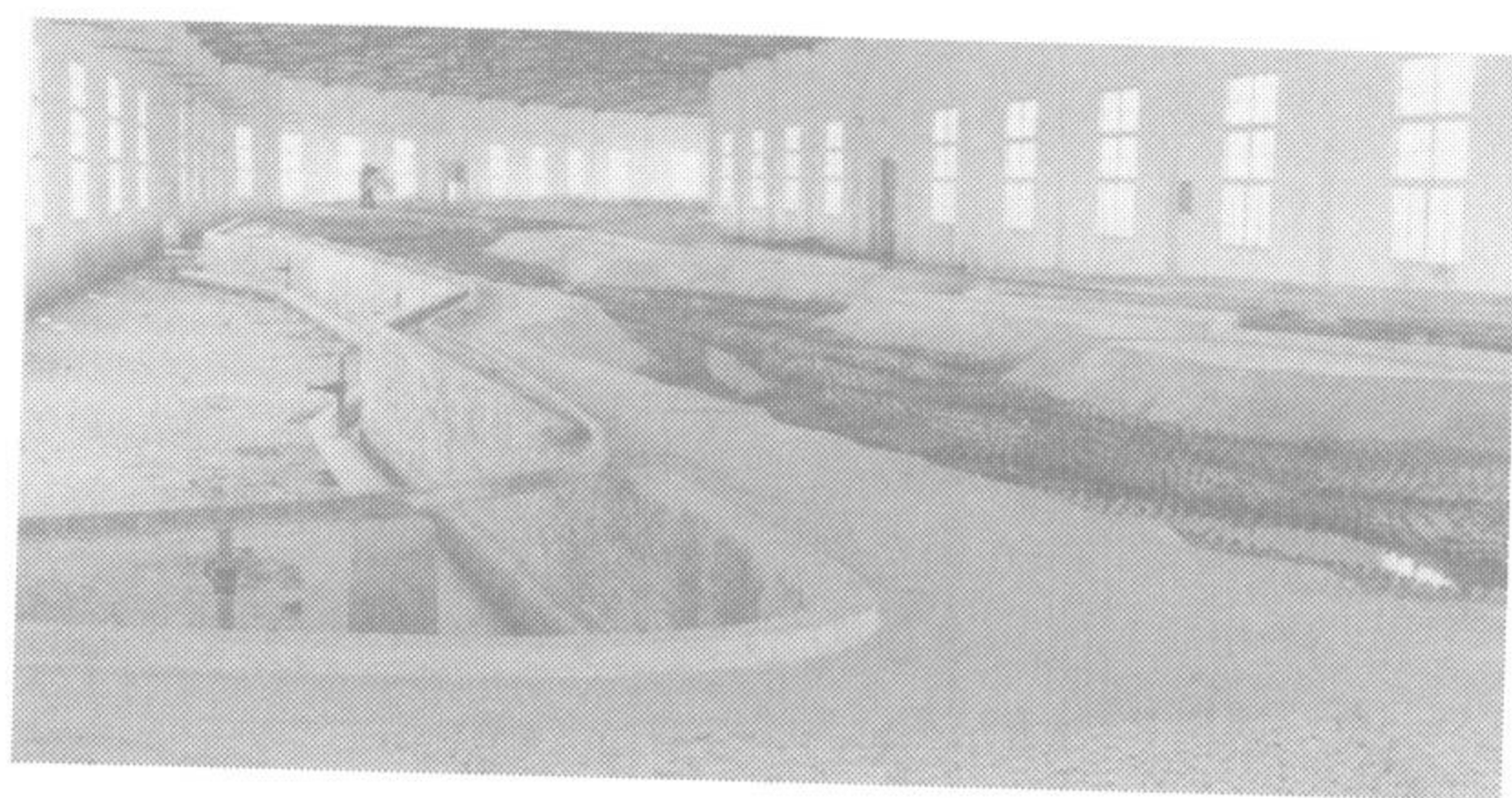


图 2-2 长江三峡工程回水变动区模型试验厅

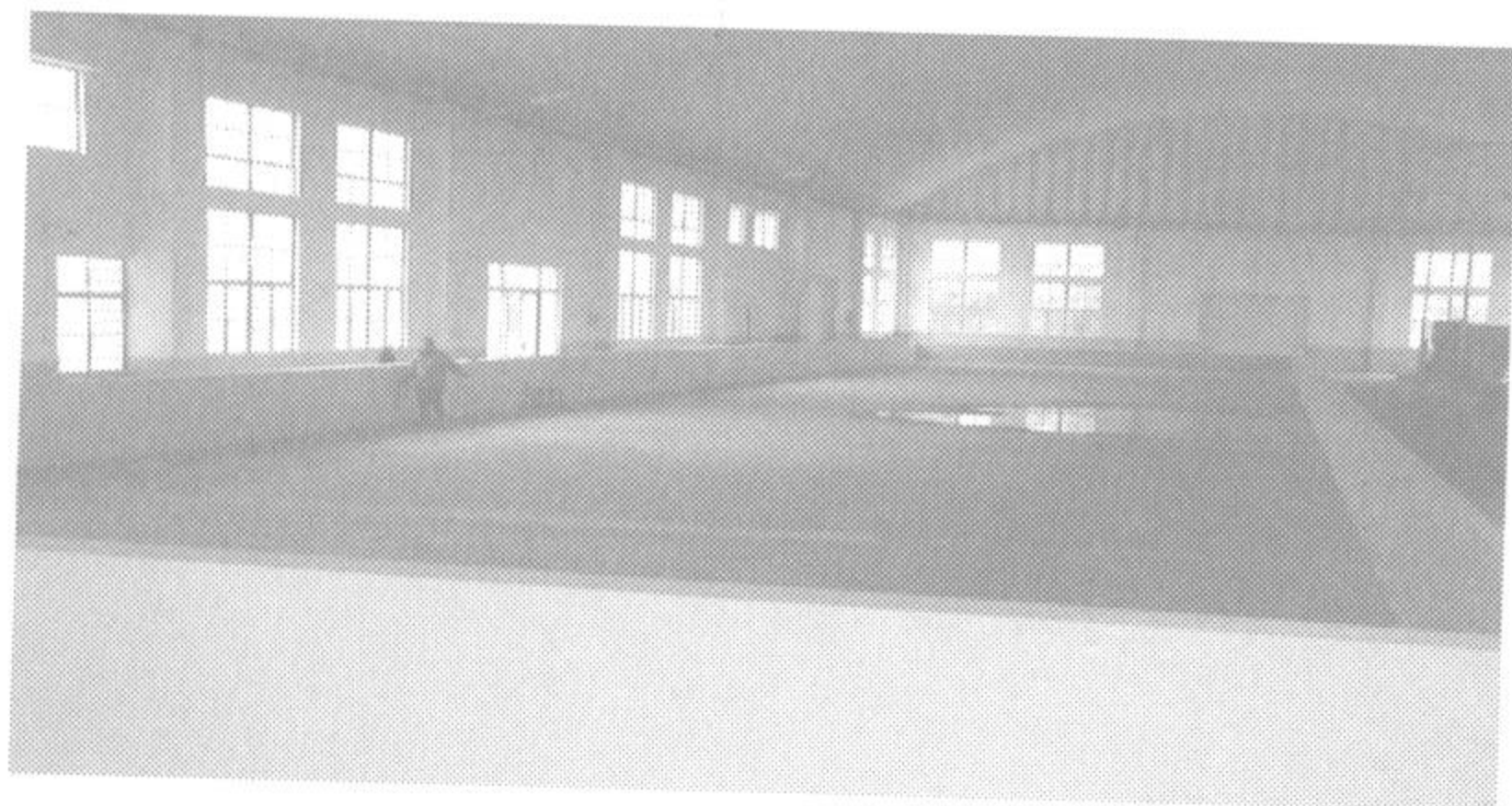


图 2-3 大型泥沙基本理论模型试验厅

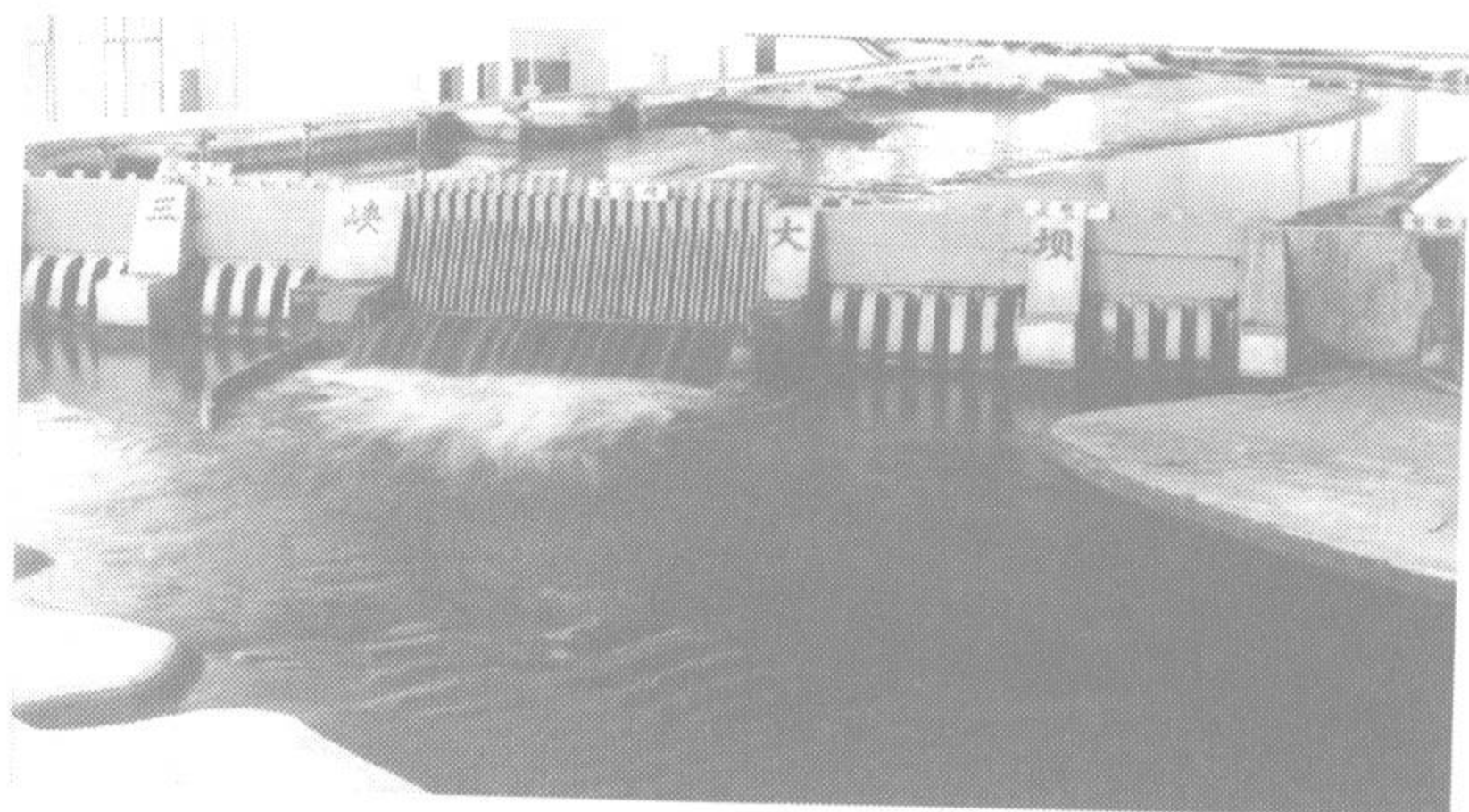


图 2-4 长江三峡工程坝区模型试验厅