

河工模型量测 与控制技术

吴新生 编著

HEGONG MOXING LIANGCE YU KONGZHI JISHU



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

河工模型量测与控制技术

吴新生 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书介绍了河工模型试验应用电测和计算机测控的量测技术与仪器设备,并较系统地介绍了这些量测设备以及测控系统的工作原理、性能特点、应用范围、操作使用、运行维护,包括近几年兴起的高新技术——虚拟仪器技术、智能检测系统与数据融合技术在河工模型中的应用及实例。本书还简要介绍了长江河工模型试验及量测技术的发展过程、测量误差分析与测量数据处理方法。

本书是编著者多年来对河工模型试验量测与控制技术应用的经验总结,并附有长江科学院河流泥沙研究专业拥有的各种量测仪器与设备的实物图片。

本书可供河工模型试验人员参考,也可供河流泥沙研究专业的师生和水利模型量测仪器的研制人员借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

河工模型量测与控制技术 / 吴新生编著. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2010.3
ISBN 978-7-5084-7290-4

I. ①河… II. ①吴… III. ①河工模型试验—研究
IV. ①TV83

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第037230号

书 名	河工模型量测与控制技术
作 者	吴新生 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 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	184mm×260mm 16开本 14.5印张 344千字
版 次	2010年3月第1版 2010年3月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	40.00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

序



随着河流泥沙研究中的模型试验包括研究泥沙运动基本规律的特性测试、水槽试验和研究河床演变与河道整治的河工模型试验等的不断发展，其相关的量测控制技术也得到了很大的发展，特别是近 20~30 年来更是取得了长足的进步。在我国，规模宏大的河工模型试验大厅不断地兴建，试验设施和测试技术以及量测控制系统越来越先进，河工模型试验取得了丰硕成果，推动了我国水利科研的相关领域在经济社会的可持续发展。

河工模型试验量测与控制技术作为水利水电科学技术的一个分支，所包含的内容十分广泛，涉及多种学科和技术的应用，包括声、光、电磁、力学、机械以及计算机、通信和视频可视化等近代发展起来的高新技术。《河工模型量测与控制技术》一书全面系统地反映了与河工模型试验量测技术有关的各个方面，本书从基础设施、专用设备、量测仪器、测试技术、数据采集、自动控制等方面作了翔实的介绍，体现了理论与实践结合、普及与提高并重的特点。

在以往不少的教科书中，对于模型试验有关设施、仪器、量测技术方面都有涉及，在有关科技文献中也有不少介绍，但全面的、全过程的、全方位的系统介绍，既能注重应用又能反映先进水平的书籍还不多见。本书在总结实践经验的基础上，介绍了新的设备、量测仪器和控制系统，以及近几年兴起的高新技术——虚拟仪器技术、智能检测系统与数据融合技术在河工模型中的应用和实例，反映了当前河工模型试验测控技术的先进性。

本书语言简练、逻辑合理，密切联系实际，易为从事这方面工作者学习和掌握，具有广泛的实用性。本书是编著者通过长期辛劳实践所取得的成果，也是博收众长、集体智慧的结晶。相信本书的出版，将能促进和加强河工模型试验量测与控制技术这一领域的技术交流。

余文晴

2009 年 12 月



前言

我国河流众多，在大江大河的治理与防洪减灾、大型水利水电工程建设等方面，都涉及到河流泥沙与河道整治研究，河工模型试验则是这些科学研究中的一项重要研究手段，涉及到专门的研究技术。河工模型试验离不开量测仪器与设备，历史上传统的量测器具与仪器设备，例如量水堰、水工测针、文德里水计、比托管流速仪等，有着经久耐用、性能稳定等特点，有些至今还在继续应用；但缺点是功效低、操作时劳动强度大，而且有些量测项目仅凭人力已无从着手，尤其是针对那些随机和瞬变的动态量测过程。自从电子测量技术问世以后，河工模型试验的量测控制技术得到了快速发展。从20世纪80年代开始，国内外高精度的先进仪器设备大量应用到河工模型；到20世纪90年代以后，随着计算机技术以及激光、超声、数码摄像、调频调速等诸多高新技术的迅速发展和广泛应用，河工模型试验量测仪器与设备不断更新，量测精度、控制精度和自动化程度大幅度提高，使河流泥沙与河道整治研究手段达到了一个新的水平。

本书首先回顾了长江河工模型试验及量测技术的发展过程，针对相关量测控制技术和设备的进步，在介绍河工模型试验应用电测技术和计算机测控技术以来的量测技术与仪器设备基础上，较为系统地介绍了这些量测仪器设备的使用与维护，重点是对流量、流速、水位、波高、地形、含沙量、泥沙颗粒分析等专用仪器设备以及测控系统的工作原理、性能特点、应用范围、操作使用、运行维护等几个重要方面，包括近几年兴起的高新技术——虚拟仪器技术、智能检测系统与数据融合技术在河工模型中的应用及实例，作了较为全面的阐述；在最后部分对测量误差分析与测量数据处理方法也作了一些介绍。

本书是编著者多年来有关河工模型量测技术、电测仪器设备应用的经验总结。在编著过程中引用了国内同行有关模型试验测试技术书籍中的一些成果与内容，并增添了新技术及新设备的内容。书中附有长江科学院河流泥沙研究专业拥有的各种量测仪器与设备的实物图片，可供河工模型试验人员参考，也可供河流泥沙研究专业的师生和水利模型量测仪器的研制人员借鉴。

中国水利水电科学研究院房纯纲教授、长江科学院余文畴教授对全书进行了审定；长江科学院河流研究所很多专业技术人员对本书的编写提出了宝贵意见，本书图片资料中的图 1.1、图 2.2、图 13.31 由贾海提供，图 3.4、图 3.6、图 3.7、图 3.15 由范北林提供，并有几张图片引自参考文献，由袁莉对其进行了扫描复制。在此，编著者向他们表示衷心的感谢。

由于电子技术、计算机技术及其他高新技术发展迅速，河工模型量测控制技术方面的应用研究也随之不断深入，量测仪器与设备也在不断更新与发展，书中的一些方法和经验还需要在实际应用中进一步检验和完善。由于编著者水平有限，书中存在许多不足之处，敬请读者批评指正。

编著者

2009 年 12 月

目 录

陈寿明 主编

序

前言

第1章 绪论	1
1.1 河工模型试验概况	1
1.2 长江河工模型的发展过程	2
1.3 河工模型量测与控制技术概述	5
第2章 模型试验基础设施	7
2.1 试验场地与大厅	7
2.1.1 试验大厅	8
2.1.2 简易式工棚	8
2.1.3 泥沙分析室	9
2.2 供水系统	10
2.2.1 水泵房的设置	11
2.2.2 供配水管路	12
2.2.3 回水渠	13
2.2.4 蓄水池	13
2.3 供沙系统	13
2.3.1 搅拌池	13
2.3.2 沉沙池	14
2.3.3 机械式加沙设备	15
2.3.4 孔口箱加沙设备	15
2.3.5 循环管道加沙设备	16
2.3.6 螺杆泵变频调速加沙设备	16
2.3.7 脉宽调速轨道车加沙机设备	17
2.4 供电系统	17
2.5 接地系统	18
第3章 模型试验专用设备	20
3.1 水槽	20
3.1.1 固定水槽	21

3.1.2	活动水槽	21
3.1.3	波浪水槽与波浪水池	22
3.1.4	量测仪器检定专用水槽	24
3.1.5	水槽的供水、供沙系统	25
3.2	生潮系统	25
3.2.1	气压式潮水箱	25
3.2.2	可变溢流式	26
3.2.3	双向泵式	26
3.2.4	可变溢流和双向泵组合控制式	26
3.3	造波系统	27
3.3.1	造波机	27
3.3.2	造波系统的潮流模拟装置	29
3.4	生风系统	30
3.5	河工模型断面板排序系统	30
第4章	流量测量与控制	32
4.1	量水堰	32
4.2	差压式流量计	34
4.3	电磁流量计	34
4.4	涡轮流量计	37
4.5	水表流量计	37
4.6	超声波流量计	39
4.6.1	时差法测量原理	39
4.6.2	多普勒法测量原理(频差法)	40
4.6.3	超声波流量计的基本性能	40
4.7	流量的自动控制	41
第5章	水位测量与控制	44
5.1	水位测针	44
5.2	跟踪式水位仪	45
5.3	探测式水位仪	48
5.4	光栅式水位仪	49
5.5	压力式水位仪	50
5.6	超声波水位仪	51
5.7	电阻式波高仪	52
5.7.1	基本原理与电路分析	52
5.7.2	水流泡漩检测	53
5.8	电容式波高仪	55
5.9	水位自动测量与控制系统	58

5.9.1	水位自动测量系统	58
5.9.2	水位自动控制系统	59
第 6 章	流速与流向测量	60
6.1	毕托管流速仪	60
6.2	旋桨流速仪	61
6.2.1	电阻式旋桨流速仪	61
6.2.2	光电式旋桨流速仪	62
6.3	旋桨式流速流向仪	64
6.4	热线热膜流速仪	65
6.5	电磁流速仪	67
6.6	超声多普勒流速仪	67
6.7	激光流速仪	69
6.8	粒子图像流场测速系统	70
第 7 章	模型地形测量	74
7.1	电阻式地形仪	74
7.2	光电式地形仪	76
7.3	超声波地形仪	77
7.4	跟踪式地形仪	78
7.4.1	三维地形测量系统的组成	80
7.4.2	三维地形测量系统的主要性能	81
7.4.3	三维地形测量系统的人机界面	81
第 8 章	含沙量和颗粒级配的测量与控制	84
8.1	光电测沙仪	85
8.1.1	光电测沙仪的电路原理及结构	85
8.1.2	含沙量的测定	86
8.2	超声波测沙仪	87
8.2.1	反射式超声波测沙仪	87
8.2.2	衰减式超声波测沙仪	88
8.2.3	超声波浓度测量仪	88
8.2.4	综合液体浓度仪	89
8.3	电磁浓度计	90
8.4	光电颗粒分析仪	90
8.5	声波振筛式颗粒分析仪	91
8.5.1	声波振动式全自动筛分粒度仪	91
8.5.2	RPS 型系列电动式音波筛分仪	92
8.6	离心沉降式颗分仪	93

8.6.1	测量原理	93
8.6.2	BT—1500 离心沉降式粒度分布仪	94
8.6.3	CG—1 离心沉降式粒度分布测定仪	95
8.7	激光粒度分析仪	95
8.7.1	仪器结构及工作原理	95
8.7.2	激光粒度分析的特性	95
8.7.3	MS—2000 型激光衍射粒度分析仪	97
8.8	颗粒图像处理仪	99
8.8.1	仪器的组成与测量原理	100
8.8.2	性能与特点	101
8.8.3	BT—1600 图像颗粒分析系统	101
8.8.4	Winner100 动态颗粒图像分析仪	102
8.9	超声粒度分析仪	103
8.9.1	沉降式超声颗粒分析仪	103
8.9.2	超声衰减粒度仪	103
8.10	颗粒级配的在线自动检测	104
8.11	含沙量的自动控制	105
8.11.1	均—浑水系统的含沙量自动控制系统	105
8.11.2	循环管道的含沙量自动控制系统	106
8.11.3	螺杆泵调速加沙控制系统	106
第 9 章	水温测量	108
9.1	静水温度测量	108
9.2	多点水流温度测量	108
9.2.1	温度传感器	108
9.2.2	计算机水流多点测温系统	110
第 10 章	电子测量及其在河工模型试验中的应用	113
10.1	电子测量方法及传感器	113
10.1.1	电子测量的内容与特点	113
10.1.2	测量方法及仪表的功能	114
10.1.3	测量仪表的基本性能	115
10.1.4	传感器	117
10.2	电子仪器常用的测量电路	119
10.2.1	电桥电路	119
10.2.2	RC 正弦波振荡器	124
10.2.3	运算放大器	125
10.2.4	仪器放大器	126
10.2.5	信号的隔离与滤波电路	127

10.2.6	计数器测频与数码显示	130
10.3	虚拟仪器技术及应用	135
10.3.1	虚拟仪器用于自动化检测的背景	135
10.3.2	虚拟仪器的基本概念及特点	135
10.3.3	虚拟仪器的构成	136
10.3.4	虚拟仪器的分类	138
10.3.5	虚拟仪器的硬件系统	139
10.3.6	虚拟仪器的软件系统	139
10.3.7	在河工模型测控方面的应用实例	141
10.3.8	虚拟仪器的发展趋势	143
第 11 章	智能检测系统与数据融合	145
11.1	智能检测系统的基本结构	146
11.1.1	智能检测系统的硬件	146
11.1.2	智能检测系统的软件	147
11.2	分机连接与接口系统	147
11.2.1	分机的连接	147
11.2.2	接口系统	148
11.3	数据融合的原理与应用	149
11.3.1	数据融合的原理	149
11.3.2	数据融合的结构	149
11.3.3	数据融合系统的构成	151
11.3.4	数据融合的关键技术	153
11.3.5	数据融合系统的应用与存在问题	154
11.4	智能检测应用实例与展望	156
11.4.1	基于数据融合的温排水模型加热池温度测控系统	156
11.4.2	多传感器算术平均值与分批估计的数据融合方法	157
11.4.3	水温测量数据融合计算	158
11.4.4	Fuzzy+PID 温度控制方法	159
11.4.5	智能检测系统发展展望	160
第 12 章	测量误差与数据处理简介	161
12.1	测量的概念	161
12.1.1	测量	161
12.1.2	测量结果	161
12.1.3	测量方法	161
12.2	误差的基本概念及其分类	162
12.2.1	讨论误差的意义	162
12.2.2	误差的基本概念	163

12.2.3	测量误差的主要来源	164
12.2.4	误差的性质及其分类	165
12.3	误差分析及处理	166
12.3.1	随机误差	166
12.3.2	疏失误差处理	169
12.3.3	系统误差	171
12.4	试验数据处理	174
12.4.1	有效数字的处理	174
12.4.2	等精度测量结果的数据处理	175

第 13 章 模型自动量测控制系统应用实例 178

13.1	长江葛洲坝工程泥沙模型量测控制系统	178
13.1.1	长江葛洲坝水利枢纽工程泥沙模型简介	178
13.1.2	测控系统简介及仪器设备配置	179
13.2	长江三峡水利枢纽工程坝区泥沙模型量测控制系统	180
13.2.1	长江三峡水利枢纽工程坝区泥沙模型简介	180
13.2.2	测控系统简介及仪器设备配置	181
13.3	三峡工程库尾泥沙模型量测控制系统	181
13.3.1	三峡工程库尾泥沙模型简介	181
13.3.2	测控系统简介及仪器设备配置	181
13.4	南水北调中线穿黄模型量测控制系统	182
13.4.1	南水北调中线穿黄模型简介	182
13.4.2	穿黄模型检测与控制自动化系统	183
13.4.3	系统试验控制效果	185
13.5	潮汐模型直流脉宽调速生潮控制系统的研制及应用	187
13.5.1	模型潮汐控制方案及生潮方式	187
13.5.2	直流脉宽调速系统的工作原理及其特点	188
13.5.3	生潮系统的控制软件	189
13.5.4	潮汐模型简介及生潮控制系统的应用	190
13.6	深圳河潮汐模型生潮设备与数据自动采集系统	190
13.6.1	深圳河潮汐模型试验简介	190
13.6.2	模型生潮控制系统	191
13.6.3	水位、流速、河床地形测量	193
13.7	河工模型温排水试验测控设备的研制与应用	194
13.7.1	温排水模型测控设备的系统组成及工作原理	194
13.7.2	软件的设计	196
13.7.3	模型试验应用及成果分析	197
13.8	长江防洪模型量测控制系统	198

13.8.1	量测控制系统的组成	199
13.8.2	流量自动控制系统	200
13.8.3	水位自动测量系统	201
13.8.4	水位自动控制系统	201
13.8.5	流速流态测量系统	202
13.8.6	加沙自动控制系统	204
13.8.7	动床模型地形自动测量系统	204
13.8.8	防洪模型影像监控系统	206
13.8.9	泥沙分析仪器	206
13.8.10	系统应用效果	207
13.9	基于变频调速的潮汐模拟系统设计与应用	208
13.9.1	深圳河口潮汐模型简介	208
13.9.2	变频调速潮汐模拟系统	208
13.9.3	生潮机械系统	208
13.9.4	自动控制系统	209
13.9.5	试验结果与分析	212
13.10	长江口综合整治模型量测控制系统的设计	213
13.10.1	长江口综合整治模型简介	213
13.10.2	量测控制系统的功能需求	213
13.10.3	系统的总体设计与构成	214
参考文献		218

第 1 章 绪 论

1.1 河工模型试验概况

模型试验是科学试验中一项重要的研究方法与专门技术,应用甚广。河工模型试验是运用河流动力学知识,根据水流和泥沙运动的力学相似原理,模拟与原型相似的边界条件和动力学条件,研究河流在天然河流情况下或在有水工建筑物的情况下水流结构、河床演变过程和工程方案效果的一种方法^[1]。

河流模拟是预测河流演变过程的重要手段,它包括了数值模拟和河工模拟(简称数模和河工模型)两个部分,是一项专门研究水流和泥沙运动以及河床演变的技术。数模和河工模型在科研及工程实践上得到广泛应用,特别是进入 21 世纪后,随着计算机技术的迅猛发展,数模的应用到达一个崭新的阶段。根据数理方程利用数学模型使用电子计算机进行计算的方法,在河流问题的研究中获得了广泛的应用与发展,具有迅速、准确、能节约大量人力、物力与时间的显著优点。与物模相比,国际上一些发达国家在数模的应用上已居于领先地位。尽管如此,目前物模在重大水利工程及科研方面的应用仍有不可替代的作用,如在河槽形态的发展中不能适当的简化以及问题的三维性质占有十分重要的地位时,或在试验范围内水流通过重要的水工建筑物情况下,难以用数理方程表达时,数学模型仍然不能代替物理模型。在许多情况下,常采用数学模型与物理模型相结合的研究方式,以求得问题的解决,例如,在长江葛洲坝和三峡枢纽工程的泥沙问题的研究中,就大量地采用两者相结合的方法^[1,2]。

我国河流上建有越来越多的大、中型水利工程,如长江的三峡、南水北调、防洪与河道整治等工程,以及各种港口码头、航道、取排水设施、滩涂开发利用等,这些水利工程建设将显著改变河流原有的水文情势及生态环境,包括水文泥沙条件、河床演变、航道安全、生物物种和河流湿地等一系列的显著变化。作为一个复杂而又特殊的自然综合体,河流在自然情况下以及在修建建筑物后所发生的演变过程,对人类生产活动影响甚大。为了保障防洪安全、维护河流资源的综合利用,保护生态与环境,人们通过研究预测与治理来制订工程规划,并进一步控制河床演变过程。

大多数河床演变和河道整治影响的变形过程都非常复杂,往往很难直接用分析研究和计算方法求解,而利用模型试验则可能直接方便地观测到。因为河工模型试验可以模拟一定的空间与时间范围内天然河流的某些演变过程或预测修建工程后的发展趋势。因此,近一个世纪以来,这种解决工程问题的手段越来越多地被加以利用,模型试验的理论与技术也得到了一定的发展。如,天然河流和水库上、下游河床的冲淤变化问题、河道整治建筑物或桥墩附近的局部冲刷问题、海岸港口或河口整治的泥沙问题、水力枢纽和电站机组的



泥沙防护问题、渠系的泥沙问题等,都可借助于河工模型试验进行研究。20世纪70年代以后,我国水利科研单位及一些大专院校对长江、黄河、珠江、淮河等诸多河流的泥沙问题进行了大量的基本理论和试验研究工作,模型试验技术迅猛发展,特别是在泥沙问题研究上整体处于国际领先水平,泥沙模型模拟技术处于国际领先地位。与此同时,物理模型试验设备和量测仪器不断创新和发展^[3,4]。目前,河工模型试验仍是研究河道水流泥沙运动与河床演变的重要手段之一。

长江水利委员会长江科学院作为长江治理开发研究的重要技术支撑力量,长期从事水流泥沙运动规律、河流湖泊演变与整治、水利枢纽工程泥沙问题、调水工程泥沙问题、河流开发利用、潮汐河口治理、河流模拟技术和理论、涉水工程防洪评价、环境泥沙问题及水利血防技术的研究,河道治理规划、防洪规划和流域规划研究,以及河道整治工程技术等方面的研究,进行了大量的河工模型试验工作,取得了丰富的模型试验研究技术经验和丰硕的成果。

1.2 长江河工模型的发展过程

长江开展河工模型试验始于1935年,由中央水工试验所先后进行了长江中下游马当河段整治模型试验、镇江水道整治模型试验。1944~1945年又进行了长江上游的筲箕背和小南海两滩险河段整治工程的模型试验。

1949年后,随着长江水利工程建设的发展,为搞好长江流域的规划设计提供科学依据,河工模型试验研究很快提到议事日程上来。1950年长江水利委员会与武汉大学合作,开展荆江分洪工程河工模型试验,进行冲刷试验研究,并开始筹建试验研究机构,于1956年正式成立长江水利水电科学研究所(即长江科学院,以下简称长科院)。经过半个世纪的发展,长科院现已成为长江河流泥沙试验研究的重要机构。此外,在沿江各省的科研部门和大专院校设立了多达10余个相应的研究机构^[5]。

20世纪50年代,长科院先后建立了三斗坪至城陵矶河段变态模型、三斗坪至宜昌河段正态模型,下荆江系统裁弯模型及气流模型,进行了三峡电站下游日调节不稳定流对航行条件影响试验、宜都大桥桥址选择试验、裁弯线路比较试验、扩大荆江泄量试验、三峡防护工程试验和水槽波浪试验。20世纪60年代结合重点河段防洪与整治,开展了荆江河段、荆北放淤工程,下荆江裁弯工程及汉江裁弯工程等模型试验;结合河段规划和工矿码头选址进行了镇扬河段及汉江淝河口码头等整治试验;结合三峡工程开展了库尾大模型试验(与武汉水利电力学院合作),为研究荆江蜿蜒形河流的演变规律和成因,开展了自然河工模型试验。与此同时,南京水利科学研究所(以下简称南科院)、重庆西南水运科学研究所(以下简称西南所)也结合长江干支流河段和重点浅滩的整治,开展了一系列模型试验。

20世纪70年代,随着葛洲坝水利工程的兴建,为解决枢纽布置、泥沙处理、航道整治、泥沙过机等问题,长科院、南科院、西南所、清华大学、中国水利水电科学研究院(以下简称水科院)、武汉水利电力学院(以下简称武汉水院)等建了4座坝区模型,1座库尾模型及一些水槽断面模型共同研究上述问题。实践证明了葛洲坝水利枢纽工程泥沙问



题的处理取得了很好的效果。

20 世纪 80 年代以来,围绕三峡工程论证与建设,提出了许多新的泥沙问题,包括库尾淤积对航道、港口码头、洪水位的影响;坝区泥沙冲淤规律及其对枢纽与通航设施的影响及对策等研究。长科院、南科院、西南所、清华大学、水科院、武汉水院、天津水运工程科学研究院、长江航道局等单位分工合作,以不同的比尺、不同的模型沙,分别做了 3 座枢纽模型、9 座库尾模型和几座坝下游不同河段的模型,取得了大量的科研成果,保证了三峡工程建设的需要。由于模型类型丰富,不同重率和不同粒径的模型沙的研制与应用,以及先进的模型量测仪器、控制设备、计算机自动化系统的大量应用,使得模型理论与实践得到了进一步的提高和发展。

除葛洲坝工程及三峡工程外,20 世纪 70 年代以来,随着社会经济的迅速发展,长科院还进行了其他枢纽模型、河道综合整治模型、航道整治模型、桥渡模型、电站取水口模型、港口码头模型、洲滩利用模型、长江口整治模型、基础研究模型及防洪模型等试验,取得了大量的试验研究成果,为各项工程的建设提供了大量的依据,保证了各项工程的顺利实施,促进了长江流域的经济发展。

据统计,新中国成立后到 20 世纪末,为研究长江流域内河流泥沙问题,长科院先后建造模型 107 座,模型种类涉及气流模型、自然模型、定床模型、动床模型、推移质模型、悬移质模型及包括卵石、沙质推移质和悬移质的全沙模型、潮汐模型。其中,枢纽模型 15 座,河段综合整治模型 37 座,长江大桥模型 20 座,电厂取水口或码头模型 11 座。20 世纪 90 年代初,长科院在总结河工模型经验的基础上,编制了 SL 99—95《河工模型试验规程》,这是我国河流泥沙领域内河工模型技术方面的首个规程^[6],被水利部批准为中华人民共和国水利行业标准。与此同时,模型试验方法和测试技术也在不断改进。

20 世纪 50 年代,长科院就开始研制小型旋浆流速仪,并以自制的数字流速计数器取代从日本进口的指针式示波仪;70 年代又研制了测淤仪、泡淤仪、跟踪式水位计、流速流向仪、光电测沙仪等,并引进了工业自动化 DDZ 型仪表,进行测量系统以及试验过程的一些自动控制;80 年代,引进了美国的光电颗粒分仪、日本的光电流速流向仪,将超声波技术应用于模型地形测淤,实现了水位、流量、含沙量的自动调节与控制;90 年代,长科院与华中理工大学合作,研制了潮汐模型直流脉宽调速生潮控制系统;2002 年,进行了河工模型温排水试验测控设备的研制与应用,在安庆电厂、马鞍山电厂等多个温排水模型试验中取得了较好的应用效果;2004~2008 年,又先后进行了基于变频调速的潮汐模拟系统设计及应用、变频调速双向泵的潮汐模拟系统设计,在大型的、宽口门(宽边界)的河口潮汐模型上得到了较好的应用。

综上所述,长江的河工模型试验工作,在理论上发展到比较完善、在实践上得到广泛应用还是最近 30 年的事。长江河工模型试验,经历了从一般的河道整治试验到大型的综合的浑水全沙模型试验的过程。它的主要成就就在于首先从河流的基本现象出发,在宏观上运用地质、地貌、地理学和水文学知识,对于不同特性的河段从河型成因、水流泥沙运动特点入手,用水力学、流体力学、河流动力学以及河床演变学的理论知识分析研究不同类型的工程泥沙问题,使河工模型的模拟理论在理论上和应用方面都取得了较大的进展。

2005 年 12 月底,长科院所承担的的世界银行贷款项目——长江防洪模型开始试验放

水，历时一年多兴建的世界上最大的防洪实体模型正式投入使用。模型大厅建筑面积约 70000m^2 ，其中干流试验大厅约 50000m^2 ，洞庭湖大厅约 20000m^2 ；实体模型模拟范围从湖北枝城至螺山长江干流段，全长约 380km ，包括其间的主要支流、洞庭湖湖区及部分湘、资、沅等尾间河段；模型设计平面比尺为 $1:400$ ，垂直比尺 $1:100$ 。图 1.1 为长江防洪模型试验大厅。图 1.2 为长江防洪模型。



图 1.1 长江防洪模型试验大厅



图 1.2 长江防洪模型