



水利枢纽水动力泥沙模拟

陆永军 毛继新 李国斌 左利钦 著



科学出版社

水利枢纽水动力泥沙模拟

陆永军 毛继新 李国斌 左利钦 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统分析了水利枢纽库区泥沙淤积、坝下河床调整与航道治理等问题,揭示了水库输沙特性与枢纽下泄非恒定流的冲淤机理及河床演变规律,提出了水库泥沙数值模拟与物理模型模拟技术、枢纽下泄非恒定流冲淤数值模拟技术。研究成果已经直接应用于长江、黄河、西江、松花江等河流,并得到三峡、葛洲坝、刘家峡等水利枢纽工程实践的检验。

本书可供从事水利水电工程、港口航道、河道治理及河流动力学等方面研究的科技人员以及高等院校相关专业的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

水利枢纽水动力泥沙模拟 / 陆永军等著. —北京:科学出版社,2018.8

ISBN 978-7-03-056105-3

I. ①水… II. ①陆… III. ①水利枢纽-水动力学-水库泥沙-研究
IV. ①TV145

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 316710 号

责任编辑:陈 婕 赵晓廷 / 责任校对:张小霞

责任印制:张 伟 / 封面设计:蓝 正

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年8月第 一 版 开本:720×1000 B5

2018年8月第一次印刷 印张:24 1/2

字数:480 000

定价:135.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

水电是重要的清洁能源和可再生能源,在我国社会经济发展中具有重要战略意义。进入新世纪以来,我国水电行业进入快速发展期,已建成或正在建设金沙江、黄河上中游、雅砻江、乌江等 12 大水电基地,逐步形成梯级水库群联合调度的局面。水库(枢纽)运行后,库区泥沙淤积是影响水库长期运用与效益发挥的控制性因素之一,而大量水利枢纽在实现防汛和蓄水发电目标的同时,也对枢纽下游河道的水沙输运、冲淤演变与航运条件产生了重要影响。开展水库(枢纽)库区及下游的水沙运动、河床演变规律和模拟技术的研究,对水库综合效益的发挥和河流综合利用具有十分重要的科学和现实意义。

该书是作者长期在枢纽工程泥沙研究方面的总结和提炼。书中提出了水库泥沙运动和枢纽下泄非恒定水沙运动的数学模型和物理模型模拟技术,揭示了梯级水库联合调度下的库区泥沙淤积和下游河床演变及航道条件变化等问题,为梯级水库调度及枢纽下游河(航)道治理提供了科学依据和技术支撑。与该书内容相关的研究成果大都已直接应用于金沙江梯级水库向家坝水电站、溪洛渡水电站、乌东德水电站、长江三峡工程、葛洲坝水利枢纽、黄河刘家峡水库、闽江水口枢纽、西江长洲枢纽、韩江清溪与蓬辣滩枢纽、北江白石窑与飞来峡枢纽、松花江大顶子山枢纽等各类大型水利枢纽工程,得到了工程实践的检验,取得了显著的经济和社会环境效益。

该书的后续和延伸工作陆续得到国家重点研发计划(2016YFC0402103、2016YFC0402108、2016YFC0402307、2017YFC0405206、2017YFC0405903)、国家重点基础研究发展计划(973 计划,2012CB417002)、国家“十二五”科技支撑计划(2012BAB04B03)、国家自然科学基金资助项目(51520105014)和南京水利科学研究院专著出版基金的资助,足以说明该书成果的基础性与前瞻性,期待对学科的发展及重大工程问题的解决提供借鉴。

特为此作序以鼓励之。

南京水利科学研究院 院长
中国工程院 院士
英国皇家工程院外籍 院士

张健云

2017 年 11 月

前 言

人类活动中,影响范围最大、对河流干扰最为深远的当属修建水库等枢纽工程。目前,我国已建成或正在建设金沙江、黄河上中游、雅砻江、乌江等 12 大水电基地,逐步形成由多个调节性能较好的水库组成梯级水库群联合调度的局面。水电资源是清洁能源,为我国社会经济发展有突出贡献。梯级水库的建设和调度对水能的充分利用、航道连通性的改善和供水保证率的提高等有很大作用。但泥沙淤积问题是影响水库长期运用与效益发挥的关键因素之一,梯级水库泥沙问题更加复杂,这就需要及时开展梯级水库群水沙运动与河床演变规律研究,为梯级水库联合调度提供参考。同时,水和大量泥沙被截留在水库,改变了坝下游河段的来水来沙过程,引起下游河流的再造床作用,可能出现河床整体下切、滩槽演化、侧向冲刷和主流摆动的现象,引起支流侵蚀基准面变化和汉道分流分沙变化等问题,对防洪、航运、灌溉、滩地利用等很多方面带来了一系列的影响。因此,开展水库及下游的水沙运动、河床演变规律和模拟技术的研究,对水库调度管理及枢纽下游河(航)道治理具有十分重要的科学和现实意义。

作者长期致力于水库泥沙淤积、枢纽下游河床演变与航道治理研究,通过大量原型调查和科学试验,完成了近百项科研课题,分析了水库及下游河道水沙过程、水沙输移机制和泥沙冲淤演变规律,开发了水利枢纽水沙运动的数学模型和物理模型模拟技术,揭示了梯级水库联合调度下的库区泥沙淤积和下游碍航等问题,提出了水库多目标联合调度和枢纽下游航道治理的原则、方法及措施。这些研究成果大都已直接应用于金沙江梯级水库向家坝水电站、溪洛渡水电站、乌东德水电站、长江三峡工程、葛洲坝水利枢纽、黄河刘家峡水库、西江长洲枢纽、韩江清溪及蓬辣滩枢纽、北江白石窑及飞来峡枢纽、松花江大顶子山枢纽等各类大型水利枢纽工程,并得到了工程的成功实践,取得了显著的经济和社会环境效益。

本书是在水利枢纽水动力泥沙模拟技术成果的基础上,通过系统总结提炼而成。全书共 8 章,主要内容及撰写人员如下:第 1 章绪论,由陆永军、毛继新、李国斌、左利钦、刘益、马驰等执笔;第 2 章梯级水库泥沙淤积与河床演变,由毛继新、耿旭执笔;第 3 章水利枢纽下泄非恒定流与河床演变,由陆永军、高亚军、李国斌执笔;第 4 章梯级水库泥沙数值模拟技术,由毛继新、关见朝执笔;第 5 章水利枢纽下泄非恒定流冲淤数值模拟技术,由陆永军、左利钦、王志力执笔;第 6 章水库(枢纽)泥沙物理模型模拟技术,由李国斌、高亚军执笔;第 7 章水利枢纽变动回水区和坝区泥沙淤积及影响,由李国斌、高亚军执笔;第 8 章水利枢纽下游河床冲淤与航道

治理,由陆永军、李国斌、左利钦等执笔;全书由陆永军、毛继新、李国斌、周耀庭、左利钦统稿与审校。

需要特别说明的是,本书涉及研究成果是在南京水利科学研究院、中国水利水电科学研究院等多家单位的共同努力下完成的,参加研究的还有南京水利科学研究院的陆彦、莫思平、季荣耀、刘怀湘、李寿千、黄廷杰、邹春蕾、蒋来等,清华大学的陈稚聪、邵学军等,中国水利水电科学研究院的方春明等。此外,在水利枢纽水动力泥沙模拟技术研究过程中,中国长江三峡集团有限公司、交通运输部西部交通建设科技项目管理中心、长江航道局、广东省航道局、黑龙江省航务管理局等诸多单位与同仁给予了大力支持和配合,在此表示诚挚的感谢。

本书的出版得到了国家重点研发计划(2016YFC0402103、2016YFC0402108、2016YFC0402307、2017YFC0405206、2017YFC0405903)、国家重点基础研究发展计划(973 计划,2012CB417002)、国家“十二五”科技支撑计划(2012BAB04B03)、国家自然科学基金资助项目(51520105014)和南京水利科学研究院专著出版基金的资助,谨此表示感谢。

限于作者水平,书中难免存在欠妥之处,敬请读者批评指正。

符 号 表

A	过水断面面积
A_m	断面混合层面积
A_{bk}	第 k 组泥沙引起的河床变形
A_b	河床总变形
ΔA	断面冲淤面积
B	河宽
B_k	稳定河宽
B'	推移质有效输沙宽度
ΔB	断面展宽
$\sqrt{B}/h$	河槽宽深比
C	小扰动波速
C_R	动态波速
$C_{\#k}$	第 k 组泥沙含沙量
D	泥沙的直径
D_L	第 L 组泥沙颗粒粒径
d_{50}	床沙中值粒径
f	柯氏力系数
g	重力加速度
g_{bL}^*	第 L 组推移质的单宽输沙率
H	水深
H_m	模型垂向尺度
H_p	原型垂向尺度
Δh	水位差
$\Delta h'$	虚冲刷厚度
Δh_0	参加冲刷分选的床沙层厚度
i_0	河床坡度
J	水面坡度
k	冲泻质与床沙质的分界粒径
K_0	挟沙能力系数
K_2	天然河道不均匀沙分组推移质输沙校正系数

L_m	模型平面尺度
L_p	原型平面尺度
L_s	泥沙非平衡调整长度
M	床沙总组数
n	曼宁糙率系数
N	悬移质总组数
p'	床沙孔隙率
P_1	床沙中可悬颗粒所占百分数
$P_{1,L}$	有效床沙级配
$P'_{1,L}$	实际第 L 组床沙级配
P_{SL}^*	第 L 组悬移质相应的挟沙能力所占百分数
$P_{b,L}$	第 L 组推移质所占百分数
P_{mL}	第 L 组床沙所占百分数
$P_{4,L}^*$	第 L 组悬移质挟沙能力所占百分数
$P_{4,L,0}$	进口断面第 L 组悬移质所占百分数
$P_{4,L}$	第 L 组悬移质所占百分数
$P_{1,L,1}$	第 L 组床沙所占百分数
q	单位长度河道的旁侧入流
$q_b(L)$	均匀沙推移质单宽输沙率
$Q(x_0, t)$	水流下泄过程
$Q(x_0, t_0)$	河道基流量
Q	流量
Q_i	流量变化率
Q_j	旁侧集中入流
Q^{up}	流出汉点流量
Q^{down}	流入汉点流量
$Q_{b,L}$	非均匀沙的推移质输沙率
Q_{dk}	第 k 组泥沙输沙率
$Q_t^*{}_k$	第 k 组泥沙的输沙能力
Q_{dk}^*	水流中粒径为第 k 组泥沙的挟沙能力
S	断面平均含沙量
S^*	断面平均挟沙能力
S_0	底坡源项
S_f	摩擦阻力项
S_L^*	第 L 组泥沙的挟沙能力

S_{bL}	床面推移层的含沙浓度
S_{bL}^*	第 L 组推移质的挟沙能力
$S^*(\omega)$	全部悬移质挟沙能力
$S^*(\omega_{11})$	床沙中能够被掀起部分计入的挟沙能力
$S^*(L)$	第 L 组泥沙的均匀挟沙能力
t	泥沙颗粒间的空隙
u_*	摩阻流速
u	垂线平均流速在 x 方向的分量
v	垂线平均流速在 y 方向的分量
V_p	原型平均流速
$V_{b,L}$	作用在颗粒上的底部流速
ΔZ	滩槽高差
Z	水位
ω	泥沙颗粒沉速
ω_k	第 k 组泥沙沉降速度
$\omega_{1,L}$	第 L 组泥沙的特征速度
α	泥沙恢复饱和系数
α_L	第 L 组泥沙的含沙量恢复饱和系数
α_{bL}	第 L 组推移质悬沙的恢复饱和系数
β	床沙级配所占的权重
γ	水的容重
γ_s	淤积物干容重
$\gamma_{\text{稳}}$	密实稳定干容重
δ	水分子厚度
δ_1	薄膜水厚度
ϵ	泥沙紊动扩散系数
ξ_p	原型阻力系数
θ	隐式求解系数
λ	淤积百分数
λ^*	冲刷百分数
$\lambda_{q_b(L)}$	无因次均匀沙推移质单宽输沙率
λ_H	垂直比尺
λ_L	平面比尺
λ_V	流速比尺
λ_n	糙率比尺

λ_{t_1}	水流运动时间比尺
λ_Q	水流流量比尺
λ_{V_0}	起动流速比尺
λ_P	推移质输沙率比尺
λ_{P_*}	推移质输沙能力比尺
λ_{t_2}	推移质冲淤时间比尺
λ_{γ_0}	泥沙干容重比尺
λ_w	泥沙沉降速度比尺
λ_{s_*}	水流挟沙能力比尺
λ_s	含沙量比尺
λ_{t_3}	河床冲淤时间比尺
λ_{V_e}	异重流速度比尺
ν_t	紊动黏性系数
$\varphi(x)$	河床形态因子
ψ	偏心系数

目 录

序	
前言	
符号表	
第1章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 国内外研究概况	3
1.2.1 水库泥沙淤积与防治	3
1.2.2 枢纽下游河床演变与治理	5
1.2.3 水动力泥沙及河床演变模拟	10
参考文献	12
第2章 梯级水库泥沙淤积与河床演变	19
2.1 径流变化特征	19
2.1.1 单库运行	19
2.1.2 联合运行	27
2.2 水库输沙特性	32
2.2.1 梯级水库输沙特性	32
2.2.2 梯级水库联合运行的影响	37
2.3 水库淤积与河床演变	38
2.3.1 水库淤积变化	38
2.3.2 淤积形态与演变	46
2.3.3 水库排沙调度	50
参考文献	56
第3章 水利枢纽下泄非恒定流与河床演变	58
3.1 径流特性变化	58
3.1.1 径流变化一般特性	58
3.1.2 枢纽调节引起的日内流量变化	60
3.2 枢纽下泄非恒定流传播规律	73
3.2.1 日调节波的衰减	73
3.2.2 附加比降	75
3.2.3 水位流量关系	76

3.2.4 日调节波变形	77
3.3 泥沙输移特性变化	79
3.4 枢纽调节引起的下游河床演变规律及水位降落	84
3.4.1 枢纽下游断面形态调整	84
3.4.2 枢纽下游纵比降调整	88
3.4.3 河势与浅滩演变规律变化	95
3.4.4 河床平面形态变化及河道稳定性分析	97
3.4.5 日调节波对河床演变的影响	99
3.4.6 枢纽下游同流量水位降落	100
参考文献	102
第4章 梯级水库泥沙数值模拟技术	103
4.1 梯级水库水沙数值模拟研究进展	103
4.2 一维非恒定水沙数学模型	105
4.2.1 数学模型基本方程及解法	105
4.2.2 悬移质计算重要参数	108
4.2.3 卵石推移质计算方法	113
4.3 数学模型的验证	115
4.3.1 三峡水库验证	115
4.3.2 溪洛渡与向家坝水库验证	120
4.4 金沙江下游梯级水库模拟计算	122
4.4.1 乌东德水库泥沙数值模拟计算	123
4.4.2 白鹤滩水库泥沙数值模拟计算	126
4.4.3 溪洛渡水库泥沙数值模拟计算	130
4.4.4 向家坝水库泥沙数值模拟计算	133
参考文献	136
第5章 水利枢纽下泄非恒定流冲淤数值模拟技术	138
5.1 水沙数值模拟研究进展	138
5.1.1 一维水沙数学模型	138
5.1.2 二维水沙数学模型	140
5.1.3 三维水沙数学模型	144
5.2 一维非恒定水沙数学模型	146
5.2.1 基本方程	146
5.2.2 初始条件和边界条件	147
5.2.3 基本方程的离散	147
5.2.4 关键问题的处理	149

5.2.5 模型验证——以两坝间河段水沙验证为例	152
5.3 二维非恒定水沙数学模型	160
5.3.1 控制方程	160
5.3.2 数值计算格式	163
5.3.3 边界条件及动边界技术	166
5.3.4 计算方法	167
5.3.5 关键问题的处理	167
5.3.6 模型验证	170
5.4 三维非恒定水沙数学模型	182
5.4.1 控制方程	183
5.4.2 紊流随机理论模型的参数及特点	185
5.4.3 定解条件	188
5.4.4 水流控制方程的离散及求解	194
5.4.5 模型验证	200
参考文献	211
第6章 水库(枢纽)泥沙物理模型模拟技术	217
6.1 水库泥沙物理模拟研究进展	217
6.2 模型相似律	219
6.2.1 水流定床模型试验	219
6.2.2 推移质泥沙模型	220
6.2.3 悬移质泥沙模型	220
6.2.4 模型设计限制条件	221
6.3 几个关键问题讨论	221
6.3.1 模型变率的限制	221
6.3.2 时间变态	223
6.3.3 悬移质含沙量比尺的选取	224
6.3.4 动床冲淤验证试验	226
6.4 重力相似偏离问题	227
6.4.1 概述	227
6.4.2 模型设计	228
6.4.3 重力相似条件偏离对弯道水流运动的影响	231
6.4.4 重力相似条件偏离对弯道河床变形的影响	233
6.5 常用模型沙密实过程及对起动流速的影响	240
6.5.1 电木粉	240
6.5.2 煤粉	247

6.6 竹粉模型沙的研制	255
6.6.1 物理特性	255
6.6.2 运动特性	257
参考文献	261
第7章 水利枢纽变动回水区和坝区泥沙淤积及影响	264
7.1 长江三峡水库坝区泥沙淤积及对航道影响	264
7.1.1 三峡工程概况	264
7.1.2 模型设计	264
7.1.3 模型验证	270
7.2 黄河刘家峡水库库区末端泥沙淤积及对航道影响	277
7.2.1 刘家峡水库概况	277
7.2.2 模型设计	278
7.2.3 模型验证	281
参考文献	293
第8章 水利枢纽下游河床冲淤与航道治理	294
8.1 金沙江梯级水库下游重点滩段河势及航道条件变化	295
8.1.1 河道概况及泥沙特性	295
8.1.2 向家坝下游二维水沙数学模型的建立与验证	296
8.1.3 金沙江梯级水库下游河道冲淤	298
8.1.4 重点浅滩河势变化及对航道条件的影响	301
8.2 长江葛洲坝枢纽下游水位变化对船闸与航道影响及治理措施	308
8.2.1 近坝段水位变化对通航影响分析	308
8.2.2 宜昌枯水位下降及治理措施	319
8.2.3 胭脂坝护底及坝头保护工程对抑制宜昌枯水位下降的效应	346
8.3 西江中游长洲枢纽下游航道治理措施	350
8.3.1 河道概况及水文泥沙特性	350
8.3.2 长洲枢纽下游水流及河床变形验证	352
8.3.3 长洲枢纽下游界首滩河段整治措施	357
8.3.4 长洲枢纽下游三滩河段整治措施	359
8.3.5 长洲枢纽下泄非恒定流对界首滩及三滩河段航深的影响	362
8.4 松花江大顶子山枢纽下游非衔接段浅滩治理措施	363
8.4.1 河道概况及水文泥沙特性	363
8.4.2 非衔接段浅滩整治中需要考虑的问题	366
8.4.3 大顶子山枢纽下游非衔接浅滩段航道条件分析及整治措施	368
8.4.4 大顶子山枢纽下游非衔接浅滩段整治工程试验成果分析	372
参考文献	376

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

我国能源短缺,水资源的综合开发利用是既定国策。改革开放以来,我国国民经济快速发展,对能源的需求量加大,国家明确提出要加快发展可再生清洁能源,包括水能资源的开发步伐,在长江、黄河、珠江等主要河流干流及其支流上兴建大中型水利枢纽,如葛洲坝、三峡、向家坝、溪洛渡等。另外,为提高航道等级,促进航运发展,在西江、湘江、嘉陵江、赣江、松花江等河流上已建成一系列航电枢纽梯级。可见,为适应社会经济发展的需求,在河流上兴修的水利枢纽越来越多,不受枢纽调节的河流已经极少。由于铁路和公路的修建成本较高,占用较多的土地,所以,发展对环境影响较小、运输成本较低的低碳水运,日益受到各方面的重视。特别是作为国家建设重点的西部地区,蕴藏着丰富的能源、矿产和旅游资源,但由于交通基础设施建设的相对困难和滞后,这些资源至今没有得到很好的开发和利用,也使西部地区的经济发展速度相对缓慢。这些地区多山,铁路、公路建设代价很高,而开发成本较低的水路运输具有得天独厚的自然条件。因此,开发建设水路运输,理应成为改变交通落后局面的首选,它必将有效地带动和促进贫困地区社会经济的可持续发展。

我国已建的水利枢纽,除交通运输部组建的航电枢纽外,基本上都是以防洪和发电为目的,所以在设计时也都考虑到通航的要求。但是在建成运行以后,由于实施了水流和泥沙输运过程的调节,原已适应了自然来水来沙过程的天然河道发生了剧烈的变化,出现了许多未预见或比预计程度更大的碍航情况,尤其是承担电力峰荷任务的枢纽,其下游河段出现变化剧烈的非恒定流,给船舶航行、港口码头靠泊增加了许多困难,有时甚至断流,给航行船只的安全带来巨大威胁。以防洪和发电为主要目标的水利枢纽,一般都具有较大的调节库容,在运行过程中必然会明显改变下泄的流量和输沙过程。在运行初期为防洪目的削减洪峰,控制下泄的洪峰流量,此期间入库泥沙大量沉积,下泄的水流几乎接近清水,这样的水流在枢纽下游的原河道上运动,其主要反应是沿程发生严重冲刷,引起滩槽的剧烈变化,对航运条件和滩槽稳定等带来一系列的影响。这样的影响将随着时间的推移逐渐向坝下游推延至数十或上百公里。

可见,大量水利枢纽的建设在实现防洪和蓄水发电的目标取得巨大的经济效

益的同时,也对枢纽下游河道的水沙输运、冲淤演变与航运条件产生了重要影响。鉴于现行的航道整治技术规范基本上是在河流自然的水沙输运状态下总结提炼的,面对水利枢纽下游复杂的水流泥沙过程和冲淤演变状态,策划和部署水利枢纽下游航道治理措施的研究,对于落实“内河航运发展战略”和加快西部地区水路运输建设,无疑是十分正确和及时的。

针对水库变动回水区泥沙淤积、枢纽下泄非恒定流冲淤、枢纽下游航道治理等关键技术难题,以及不同开发阶段的技术需求,南京水利科学研究院、中国水利水电科学研究院、交通运输部天津水运工程科学研究院、清华大学、武汉大学、河海大学等科研院校从 20 世纪 90 年代初期开始就开展了大量的调查勘测和科研论证,完成了百余项科研课题,总结分析了水库及下游河道水沙过程、水沙输移机制和泥沙冲淤演变规律,开发了水库泥沙运动和枢纽下泄非恒定水沙运动的数学模型与物理模型模拟技术,揭示了梯级水库联合调度下的库区泥沙淤积和下游碍航等问题,提出了水库多目标联合调度和枢纽下游航道治理的原则、方法及措施,为水库调度及枢纽下游河(航)道治理提供了科学依据和技术支撑。

本书是在水利枢纽水动力泥沙模拟技术成果的基础上,通过系统总结提炼而成。本书编写思路框图如图 1.1.1 所示。本书内容包括三个层次:首先在国内外研究进展的基础上总结水利枢纽库区泥沙淤积和坝下游下泄非恒定流及河床演变的一般规律;其次在水动力泥沙模拟技术方面,针对库区和水库下游水动力泥沙运动特点,介绍梯级水库库区泥沙数值模拟技术、枢纽下泄非恒定流冲淤数值模拟技术和水库泥沙物理模拟技术;最后在应用实践方面,运用所建的数学、物理模型研究金沙江下游梯级水库泥沙淤积、长江三峡水库坝区泥沙淤积、黄河刘家峡库区泥沙淤积,以及长江向家坝下游泥沙冲淤变化、葛洲坝水利枢纽下游水沙运动与航道

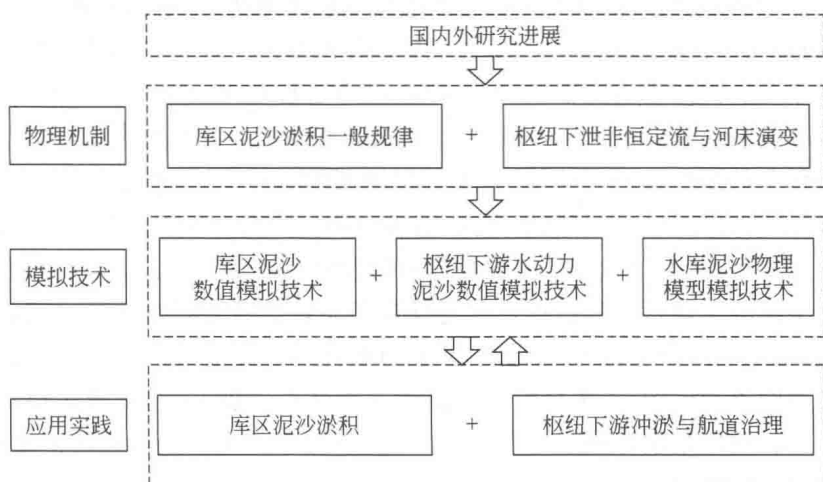


图 1.1.1 编写思路框图

治理、西江长洲枢纽下游水沙运动规律与航道治理、松花江大顶子山下游非衔接段航道治理问题。

1.2 国内外研究概况

各种人类活动中,对河流干扰最为深远、影响范围最大的当属修建水库等枢纽工程。枢纽工程造成水沙条件的变化,使多条河流上均不同程度地发生过各种调整现象,从而受到了学术界的广泛关注(龚国元,1984;Kondolf et al.,1993;卢金友,1994;Xu,1996a,1996b;Wang,1999;Shields et al.,2000;许炯心,2001;夏军强等,2002;施少华等,2002)。据 Graf(1999)统计,全美共有约 75000 座水库,它们对河流径流过程的干扰数倍于全球气候变化的影响,这些水库的总库容能够容纳所有河流每年径流量之和。中华人民共和国成立后,在我国的大江大河上也以前所未有的速度修建了大量水利工程。这些枢纽工程自修建之日起就极大地改变了河流的天然属性,主要是对径流调节和沙量拦截起作用(Evans et al.,1991;仲志余等,1996),尤其对下游河道造成径流、沙量过程两方面的变异,这些变化破坏了河流的平衡,可能引起下游冲积河流的再造床作用,出现河床整体下切、滩槽演化、侧向冲蚀和河道摆动的现象,并且河床下切将引起支流侵蚀基准面变化和汉道分流分沙变化问题,对防洪、航运、灌溉、滩地利用等很多方面带来了一系列的影响(潘庆荣等,1982;Evans et al.,1991;韩其为等,1995;姜加虎等,1997)。

1.2.1 水库泥沙淤积与防治

现代社会中,水库是集防洪、供水、发电和航运等多种功能于一体的综合水利枢纽,在我国经济建设和社会发展中占据重要地位。然而,水库普遍存在泥沙淤积问题(韩其为等,2003),不但威胁水库安全和正常使用,而且增加淹没损失,改变大坝上下游河道的水环境和水生态系统,极大地降低了对水资源的调控及利用功能。

全世界年均库容损失约 450 亿 m^3 ,占水库剩余库容的 0.5%~1%,我国水库年淤损率为 2.3%,高居世界之最(White,2001)。同时,我国是水土流失最严重的国家之一,大量的泥沙进入河道,使以兴利为目标的许多水库淤积严重。

我国水库淤积呈现以下两个特点:①水库淤积现象普遍。无论是北方还是南方,无论是多沙的黄河流域还是含沙量较小的长江、珠江等流域,都不同程度地存在水库淤积问题。②中小型水库淤积问题突出。国内 550 余座有淤积资料的水库统计表明,中小水库的泥沙淤积速率一般比大型水库高出 50%~237%,北方严重水土流失区的中小型水库淤积速率尤甚(谢金明等,2013)。

水库淤积的观测和资料收集是水库淤积研究的基础。我国最早开展的系统性泥沙淤积观测是对 20 世纪 50 年代建成的永定河官厅水库、60 年代初建成的黄河