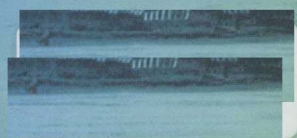


三峡水库上游来水来沙 变化趋势研究

李丹勋 毛继新 杨胜发 张茂德 王兴奎◎著



科学出版社
www.sciencep.com

三峡水库上游来水来沙 变化趋势研究

李丹勋 毛继新 杨胜发 张茂德 王兴奎 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在资料分析、数值计算和试验观测的基础上,系统分析了三峡水库上游来水来沙的特点及变化趋势。基于长江上游径流、泥沙、气温、植被等实测资料,分析了气候的时空变化、植被变化以及水土保持措施等对长江上游干支流水沙变化趋势的影响;建立了分布式流域水文泥沙数学模型,模拟了长江上游支流水沙过程;开发了长河段一维水动力学模型,研究了多库联合调度运行对三峡入库水沙条件的影响;同时进行了推移质运动的室内试验,估算了三峡入库推移质沙量。

本书可供水利工程、泥沙运动力学、水土保持等专业技术人员及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

三峡水库上游来水来沙变化趋势研究/李丹勋等著. —北京:科学出版社, 2010. 7

ISBN 978-7-03-028225-5

I. ①三… II. ①李… III. ①三峡工程—水库泥沙—研究 IV. ①TV145
②TV882. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 128147 号

责任编辑:沈 建/责任校对:郑金红
责任印制:赵 博/封面设计:耕者设计工作室

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>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 7 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2010 年 7 月第一次印刷 印张:20 1/2

印数:1—2 000 字数:398 000

定价:75.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

三峡工程于 1994 年 12 月 14 日正式开工建设,2003 年 6 月 1 日开始蓄水发电,至 2009 年全面完成枢纽建设任务,全面发挥防洪、发电、通航等综合效益。

三峡工程的调度运行与长江上游来水来沙特点密切相关。长江上游流域水量丰沛,年输沙总量大。根据实测资料,宜昌站多年平均径流量 4390 亿 m^3 ,年平均流量 13900 m^3/s ,悬移质输沙量 5.26 亿 t,沙质推移质输沙量 862 万 t。径流主要来自金沙江(包括雅砻江)、岷江(包括大渡河、青衣江)、沱江、嘉陵江(包括涪江、渠江)和乌江,悬移质泥沙主要来源于金沙江和嘉陵江,推移质输沙量较大的主要有金沙江、岷江、嘉陵江和沱江。

在三峡工程的论证和设计过程中,对长江上游的来水来沙特点进行过深入的分析研究。但近年来,影响三峡上游入库水沙条件的一些重要因素发生了显著变化。首先,长江上游的水土保持工作取得了很大的成绩,先后启动的“长江上游水土保持重点防治区”治理工程(1989 年)、“天然林保护工程”(1998 年)和“退耕还林林业重点生态工程”(1999 年)等,对减少流域产沙量效果显著。与此同时,长江上游干支流修建的水库群拦蓄了大量粗沙,据不完全统计,在 1991~2005 年期间,长江干支流新建水库库容近 130 亿 m^3 ,拦蓄泥沙超过 15 亿 t。目前长江上游干支流上正在兴建或拟建一批大型水利枢纽工程,比如金沙江溪洛渡、向家坝、白鹤滩、乌东德,嘉陵江亭子口、草街,岷江瀑布沟等大型水库,这些水库建设标准一般较高,拦沙作用稳定,将对三峡工程的入库水沙条件产生持续影响。

在三峡工程的论证过程中,对入库泥沙条件的研究既没有考虑上游干支流梯级水利枢纽的影响,也没有考虑实施水土保持工程的减沙效益,这与实际状况明显不符。分析表明,自 20 世纪 90 年代以来,长江上游的径流量没有发生显著变化,但输沙量开始显著减少,与工程论证阶段的研究结果相比,三峡水库入库水沙条件已经发生明显变化,并将继续发生较大的改变。因此结合长江上游干支流大型水库建设计划,充分考虑上游干支流水土保持、森林禁伐、退耕还林还草等工程的成效,预测三峡水库入库水沙条件的变化趋势,是十分必要和紧迫的。

依据《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020 年)》优先主题,科技部在“十一五”国家科技支撑计划中设立了“三峡工程运用后泥沙与防洪关键技术研究”重点项目,其中课题一为“三峡水库上游来水来沙变化趋势研究(2006BAB05B01)”。课题研究的主要目标是在调查分析干支流已建水库拦沙效果、长江上游水土保持生态建设等产沙环境现状的基础上,辨析三峡工程运用后长

江上游水沙变化趋势及其对三峡水库入库水沙条件的影响。

本书是在该课题研究成果的基础上编写而成,全书共分为 11 章。第 1 章为概述。第 2 章论述三峡上游植被变化特点与水保效益分析。第 3~5 章分析了长江上游主要干支流的来水来沙特点及水沙变化的原因。第 6、7 章介绍分布式流域水文泥沙模型的原理及其在长江上游支流的应用。第 8、9 章介绍金沙江一维非恒定流水沙数学模型开发及应用,研究了骨干水库的修建对三峡入库泥沙条件的影响。第 10 章介绍沱江采沙的考察结果。第 11 章介绍长江上游推移质运动基本规律的资料分析和推移质试验研究成果。

鉴于三峡水库上游来水来沙问题的复杂性,加之时间仓促和水平所限,书中疏漏之处在所难免,真诚欢迎读者批评指正。

作 者

2010 年 5 月

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 研究背景	1
1.2 目标及技术路线	2
1.3 主要研究内容	3
1.3.1 实地考察与调查	3
1.3.2 资料的收集、整理与分析	4
1.3.3 数学模型建立、率定与验证	5
1.3.4 数学模型的应用	6
1.3.5 推移质输沙水槽试验及实测资料分析	6
1.4 章节结构	7
第 2 章 长江上游植被变化特点与水土保持效益分析	8
2.1 长江上游植被变化特征	8
2.1.1 标准归一化植被指数	8
2.1.2 数据来源与研究方法	9
2.1.3 长江上游 1982~2003 年 NDVI 季节变化趋势分析.....	11
2.1.4 植被变化驱动因子分析	15
2.1.5 结论	20
2.2 水土流失综合治理探索——以四川省为例.....	20
2.2.1 四川省水土保持概况	20
2.2.2 水土流失综合治理的措施.....	21
2.2.3 水土流失治理成效	22
第 3 章 四川省河流重要控制站水沙变化分析	25
3.1 四川省长江水系河流来水来沙概况.....	25
3.2 典型测站来水来沙分析.....	30
3.2.1 选用的测站	30

3.2.2	流量、含沙量历年变化趋势	31
3.2.3	径流量、输沙量的年内分配	37
3.2.4	径流量、输沙量的地区分布	39
3.3	本章小结	41
3.3.1	年际变化趋势	41
3.3.2	年内分配	42
3.3.3	地区分布	42
第4章	长江上游来水来沙变化特征	43
4.1	长江上游来水来沙概况	43
4.1.1	长江上游来水来沙空间分布概况	43
4.1.2	长江上游来水来沙时间分布特点	45
4.2	长江上游来水来沙空间变化特征	46
4.2.1	长江上游径流量空间变化	46
4.2.2	长江上游输沙量空间变化	47
4.3	长江上游来水来沙时间变化特征	48
4.3.1	长江上游来水来沙年际变化	48
4.3.2	长江上游来水来沙年内变化	75
第5章	长江上游川江支流水沙变化趋势研究	83
5.1	基础资料	83
5.2	控制测站各参数变化的总趋势	86
5.3	各变量的时间变化规律	88
5.3.1	雅砻江流域	88
5.3.2	大渡河流域	96
5.3.3	岷江和嘉陵江李子溪流域	104
5.3.4	渠江上游流域	111
5.4	各变量的空间相关关系	119
5.4.1	降雨量变化的空间相关	119
5.4.2	温度变化的空间相关	121
5.4.3	NDVI变化的空间相关	122
5.4.4	径流系数变化的空间相关	124
5.4.5	含沙量变化的空间相关	126
5.5	结论	127

第 6 章 长江上游分布式水文泥沙数学模型研究	129
6.1 模型综述	129
6.2 坡面水文过程及坡面侵蚀数学物理描述	131
6.2.1 坡面单元的概化	131
6.2.2 植被冠层降雨截流模型	132
6.2.3 积雪融雪计算模型	134
6.2.4 蒸散发计算模型	134
6.2.5 饱和-非饱和土壤水分运动模型	135
6.2.6 坡面径流模型	136
6.2.7 坡面产输沙模型	137
6.3 沟道汇流及泥沙演进模型	141
6.3.1 沟道汇流模型	141
6.3.2 沟道泥沙侵蚀输移模型	143
6.4 模型参数说明	144
第 7 章 分布式水文泥沙模型在长江上游的应用	146
7.1 遂宁水土保持试验站径流小区坡面模型	146
7.1.1 径流小区概况	146
7.1.2 径流小区数据	147
7.1.3 坡面模型参数率定和验证	149
7.2 解家湾小流域模型	160
7.2.1 解家湾流域概况	160
7.2.2 解家湾流域数据	161
7.2.3 小流域模型参数率定和验证	164
7.3 赵家祠流域分布式水文泥沙模型	169
7.3.1 赵家祠流域概况	169
7.3.2 赵家祠流域数据	170
7.3.3 模型参数率定和验证	177
7.4 镇江关流域分布式水文泥沙模型研究	184
7.4.1 镇江关流域概况	184
7.4.2 镇江关流域空间数据	184
7.4.3 气象资料数据	187
7.4.4 径流过程与泥沙侵蚀过程模拟与验证	189

7.5 结论	198
第8章 金沙江一维非恒定流水沙数学模型研究	199
8.1 金沙江流域概况	199
8.1.1 金沙江流域是长江泥沙的主要来源区	199
8.1.2 金沙江下游是主要产沙区	200
8.2 金沙江一维非恒定流输沙数学模型	202
8.2.1 数学模型基本方程及解法	202
8.2.2 非恒定流计算	203
8.2.3 支流汇入断面	205
8.2.4 不平衡输沙方程求解	206
8.2.5 悬移质计算辅助方程	206
8.2.6 卵石推移质计算方程	209
8.3 非恒定流输沙数学模型的验证	211
8.3.1 库区模型验证	211
8.3.2 河道模型验证	216
第9章 上游干支流新建水库群对三峡水库入库水沙条件的影响	222
9.1 金沙江梯级水电站概况	222
9.1.1 乌东德水电站	223
9.1.2 白鹤滩水电站	224
9.1.3 溪洛渡水电站	224
9.1.4 向家坝水电站	224
9.2 金沙江梯级乌东德水电站泥沙淤积计算	225
9.2.1 计算条件	225
9.2.2 1961~1970年系列计算结果	227
9.2.3 1991~2000年系列计算结果	229
9.3 金沙江梯级白鹤滩水电站泥沙淤积计算	232
9.3.1 计算条件	232
9.3.2 1961~1970年系列计算结果	233
9.3.3 1991~2000年系列计算结果	237
9.4 金沙江梯级溪洛渡水电站泥沙淤积计算	239
9.4.1 计算条件	239
9.4.2 1961~1970年系列计算结果	240

9.4.3	1991~2000 年系列计算结果	244
9.5	金沙江梯级向家坝水电站泥沙淤积计算	246
9.5.1	计算条件	246
9.5.2	1961~1970 年系列计算结果	247
9.5.3	1991~2000 年系列计算结果	250
9.6	水库下游河道冲淤演变计算	253
9.6.1	计算条件	253
9.6.2	1961~1970 年系列计算结果	253
9.6.3	1991~2000 年系列计算结果	255
9.7	三峡水库入库水沙条件研究	257
9.7.1	1961~1970 年系列结果	257
9.7.2	1991~2000 年系列结果	259
9.7.3	亭子口水利枢纽对寸滩站沙量影响	262
9.7.4	结论	263
第 10 章	沱江采沙调查	265
10.1	沱江采沙量调查	265
10.1.1	沱江概况	265
10.1.2	沱江采沙考察简介	265
10.1.3	各河段采沙量	266
10.1.4	采沙影响分析	270
10.2	应用图像处理技术采集卵石几何参数	270
10.2.1	引言	270
10.2.2	系统构成	271
10.2.3	误差分析	275
10.3	小结	276
第 11 章	长江上游推移质运动规律研究	277
11.1	概述	277
11.2	高精度水槽输沙率实验	277
11.2.1	实验内容	277
11.2.2	实验成果分析	281
11.3	寸滩站卵石推移质运动特性研究	286
11.3.1	寸滩站收集资料概况	286

11.3.2	寸滩站各水力参数的相互关系	289
11.3.3	寸滩站推移质输沙特性	290
11.3.4	小结	294
11.4	朱沱站卵石推移质运动特性研究	295
11.4.1	朱沱站收集资料概况	295
11.4.2	朱沱站各水力参数的相互关系	295
11.4.3	朱沱站推移质输沙特性	296
11.5	卵石推移质输沙率研究	299
11.6	推移质数量估计	302
11.6.1	朱沱站推移质数量估计	302
11.6.2	寸滩站推移质数量估计	303
11.7	结论	306
结语		308
参考文献		313

第 1 章 概 述

1.1 研究背景

三峡工程于 1994 年 12 月 14 日正式开工建设,2003 年 6 月 1 日开始蓄水发电,至 2009 年全面完成枢纽建设任务,开始全面发挥防洪、发电、通航等综合效益。

三峡工程的调度运行与长江上游来水来沙特点密切相关。长江流域水量丰沛,年输沙总量较大,泥沙来源复杂。根据实测资料,宜昌站多年平均径流量 4390 亿 m^3 ,多年平均悬移质年输沙量 5.26 亿 t,沙质推移质年输沙量 862 万 t。

在三峡工程的论证和设计过程中,对长江上游的来水来沙特点进行过深入的分析研究。但近年来,影响三峡上游入库水沙条件的一些重要因素发生了显著变化。首先,长江上游的水土保持工作取得了很大的成绩。以四川省为例,从 1989 年开始启动“长江上游水土保持重点防治区”治理工程,在金沙江下游、嘉陵江中下游开展大规模的水土保持重点防治工作,先后在 1300 多条小流域开展了水土流失综合治理,累计初步治理水土流失面积超过 2 万 km^2 ,治理区的土壤侵蚀量明显减少。自 1998 年 9 月开始实施“天然林保护工程”,全面停止工程区内天然林的商品性采伐,对工程区内的近 3 万亩森林进行有效管护,同时建设公益林 5200 万亩。自 1999 年 10 月开始实施“退耕还林工程”,重点在江河源头、河谷两岸生态脆弱地区及盆周山区坡耕地垦殖强度大、水土流失严重的地区开展退耕还林、还草和荒山造林。截止到 2007 年底,已累计完成退耕还林近 2700 万亩。随着三大工程的长期实施,土壤侵蚀和水土流失状况持续得到改善,长江上游流域产沙量将不断减少。

长江上游干支流已建大量水库,拦减粗沙,减少了河道输沙量。据不完全统计,长江上游干支流在 1990 年以前修建的水库库容约 120 亿 m^3 ,大型水库不足 50%。在 1991~2005 年期间,又新建同等规模的水库库容,以大型水库为主;初步估算,在这 15 年中水库共拦沙超过 10 亿 m^3 。在未来的 20 年间,将在金沙江溪洛渡、向家坝、白鹤滩、乌东德,雅砻江锦屏一期、二期,嘉陵江亭子口、草街,岷江瀑布沟等修建大型水库群。由于大型水库的建设标准一般较高,拦沙作用稳定,将使三峡水库的入库泥沙呈现明显减少的趋势,水沙的相关关系也将发生持续变化。

在三峡工程的论证过程中,既没有考虑上游干支流兴建梯级水利枢纽的影响,

也没有考虑实施水土保持工程的减沙效益。目前三峡工程已全面完成建设任务,为优化枢纽调度,全面发挥防洪、发电、通航等综合效益,需要根据实际情况的变化,研究三峡水库入库水沙条件的特点,预测未来变化趋势。依据《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020年)》优先主题,科技部在“十一五”国家科技支撑计划中设立了“三峡工程运用后泥沙与防洪关键技术研究”重点项目,共设五个课题,其中课题一“三峡水库上游来水来沙变化趋势研究(编号:2006BAB05B01)”由国务院三峡工程建设委员会办公室负责组织实施。课题研究由清华大学总负责,参加单位有中国水利水电科学研究院、重庆交通大学、四川省水利厅(水文水资源勘测局和水土保持局)。

1.2 目标及技术路线

本书的核心研究内容是分析三峡水库入库水沙条件的变化特点及原因,并预测未来发展趋势,即在调查分析干支流已建水库拦沙效果、长江上游水土保持生态建设等产沙环境现状的基础上,辨析三峡工程运用后长江上游水沙变化趋势及其对三峡水库入库水沙条件的影响。

主要研究目标有以下几方面:

- (1) 探讨十几年来三峡水库上游来水来沙的总体特征,预测发展趋势。
- (2) 从各支流降雨径流关系和含沙量的变化探讨气候的时空变化及其对产流产沙的影响。
- (3) 开发长河段、多支流一维水动力模型,研究多库联合运行和调度对川江干流河道泥沙输移、河道演变、航运及三峡水库入库水沙条件的影响。
- (4) 建立径流小区、封闭小流域及沟道的产流、产沙及汇流模型,以调查数据、实测资料和遥感影像解译信息进行验证,研究水土保持的减沙效益。
- (5) 进行室内试验,探讨卵石推移质的运动机理,验证各经典的推移质输沙率公式,选取适应床面卵石部分可动、部分不动的川江河流特点的公式,估算三峡水库入库的推移质沙量。

为实现总体目标,重点从以下几个方面开展研究:

- (1) 根据一级支流长系列的径流量资料,分析气候变化的周期性影响和空间变化,从含沙量的变化分析下垫面的变化趋势。
- (2) 分别建立径流小区、封闭小流域及沟道的产汇流模型,重点研究水土保持的减沙效益,并为河道水动力模型提供进口条件。
- (3) 开发长河段一维水动力模型,研究多库联合运行和调度对川江干流河道泥沙输移、河道演变、航运及三峡水库入库水沙条件的影响。
- (4) 进行推移质运动规律的室内试验,采用大量的原型观测资料验证和选取合

适的推移质公式,估算三峡水库入库的推移质沙量。

对三峡水库上游来水来沙的总体趋势、气候变化、水土保持、水利工程和推移质运动等专题分别进行研究。研究的总体思路如图 1-1 所示。

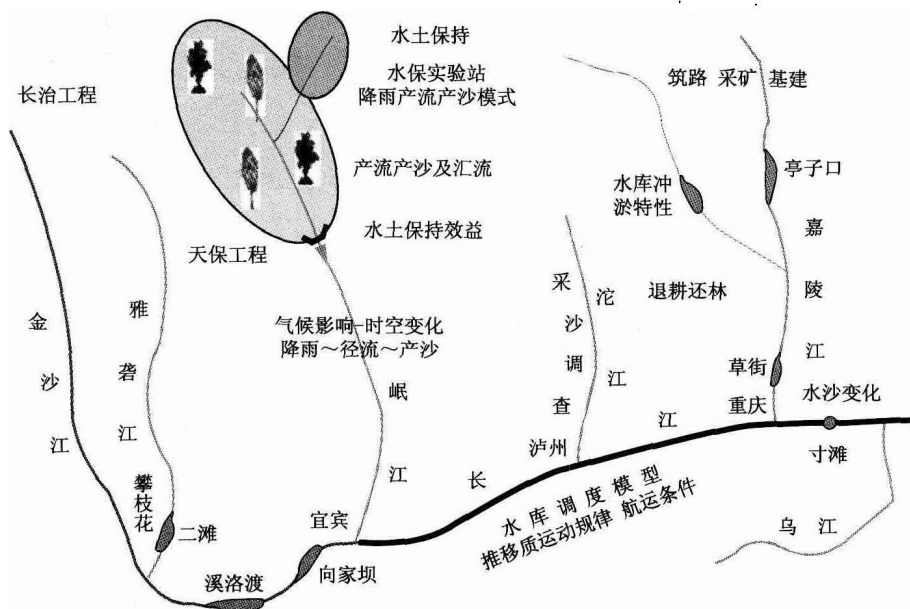


图 1-1 研究技术路线示意图

1.3 主要研究内容

1.3.1 实地考察与调查

研究组成员历时十天,行经四川和甘肃两省,行程 2000 多公里,对岷江和嘉陵江进行了全方位的查勘。嘉陵江是三峡水库主要的悬移质泥沙来源区,而岷江的卵石推移质来量很大。随着社会经济的发展,对嘉陵江和岷江的水电开发力度不断加大,已建、在建水库拦截了大量泥沙;同时随着岷江和嘉陵江流域天然林保护工程建设的深入,水土保持措施的减沙效果日益显现,产沙和输沙条件已发生较大程度的改变。因此选择岷江和嘉陵江作为考察的对象具有非常强的针对性。

对沱江采砂状况进行了详尽的调查。从内江、资中、资阳、简阳、金堂等五个县市的河道管理部门收集了河道采砂的管理、规划等第一手资料,并乘船实地考察了沱江资中段的河道采砂现状(图 1-2),采访了众多一线采砂企业和从业人员,对河道采砂量有了比较可靠的估计,完成了沱江采砂调查报告。



图 1-2 沱江采沙调查

多次到遂宁水土保持试验站进行考察,收集了其在过去 20 多年的所有观测资料,和其建立了良好的合作关系,委托试验站对 2008 年汛期的典型降雨和产沙过程进行了观测,并派博士生驻站配合观测,获得了详细的资料。

对吉安河小流域的地形、水文、气象、植被等进行了综合考察,为建立小流域产流产沙模型奠定了基础。5·12 地震以后,嘉陵江支流和岷江流域的植被受到极大的破坏,产流、产沙特性发生了根本性的变化,需要进行专项研究。

地震发生后,结合抗震救灾工作,对长江上游的相关流域进行了多次现场查勘。四川省水土保持局对震后的水土保持进行了规划,四川省水文局加强了观测体系的恢复和观测。

1.3.2 资料的收集、整理与分析

全面收集、整理了长江上游流域的水文泥沙、气候气象、植被状况、水库建设等大量实测资料,并进行了分析。主要包括:

(1)长江上游行政区划、地理地质等基本情况。

(2)长江上游干流和主要支流把口站 1956~2003 年长系列年径流量和输沙量资料,对比分析了不同水文分析方法的适用性。

(3)长江上游两个典型小流域(岷江白沙河和嘉陵江吉安河)的三个水文站、14 个雨量站 1956 年 1 月~2006 年 12 月逐日降雨、径流、含沙量资料,以及对应于典型洪水过程的降雨、流量和含沙量摘录表,为建立、率定和验证模型提供了基础条件。

(4)长江上游典型水保研究小区遂宁水土保持试验站 1984~2007 年多年观测资料(降雨、气温、径流、泥沙等),在 2008 年夏季加密观测了每一场降雨的径流、泥沙过程,并对泥沙进行了采样分析。

(5)典型水库(黑龙滩水库)的淤积情况,2008 年观测了四次典型降雨过程的含沙量及泥沙级配等。

(6)典型河段(沱江中下游、嘉陵江中下游)河道采砂量的现状及未来规划。

(7)长江上游气候(气温)和植被资料:1982~2003年逐月气温和标准归一化植被指数 NDVI 资料;分析了长江上游植被变化及与气候(气温)、耕作面积的耦合关系。

(8)长江上游干流及主要支流的水库建设情况及调度运行方案;分析了水库拦沙特性。

(9)收集并分析了长江上游干支流河道的推移质输沙资料,包括长江干流寸滩站和支流岷江都江堰内江站多年实测推移质输沙资料,检验了常见的推移质输沙公式,改进了爱因斯坦推移质公式,可用于川江推移质输沙量的估算。

(10)长江上游地区近 30 年水土保持建设的基本情况和未来规划资料。

1.3.3 数学模型建立、率定与验证

1. 坡面产流产沙机理模型

以遂宁水土保持试验站的实测资料为基础,研究了坡面产流产沙机理模型,为建立水沙综合模型提供了基础。该模型以美国农业部农业研究实验室开发的 TOPAZ 划分的元流域作为计算单元,先进行单元的产流产沙计算,然后在与这些元流域的对应的河网内进行汇流和泥沙输移计算。同一坡面单元内的下垫面条件不一定相同,需根据土地利用方式、土壤类型和植被类型的各种组合将坡面归类为单一的植被、土壤、土地利用方式。坡面单元模型是分布式水沙综合模型的核心,由植被截留模型、地表水模型、土壤水模型、泥沙侵蚀模型等构成,所涉及的水文过程有蒸散发、下渗、地表径流、壤中流、潜水出流,水力过程有侵蚀产沙、泥沙输移。降雨经过坡面植被截留和土壤入渗损失后,多余雨量形成坡面产流,入渗后的壤中流和地下水在坡脚出流后,与坡面流一同汇入沟道中。

2. 沟道小流域分布式产汇流水文模型

建立了嘉陵江支流吉安河小流域和岷江支流白沙河小流域的分布式产汇流模型。以吉安河小流域为例,其流域面积为 697.5km^2 ,干流河长 65km ,多年平均流量 $4.02\text{m}^3/\text{s}$,最大流量 $525\text{m}^3/\text{s}$ 。通过 TOPAZ 将基于数字高程模型(digital elevation modal, DEM)的流域进行划分,采用地理信息系统 GIS 平台生成河网,将流域土壤类型、土壤深度、土壤属性、NDVI 和植被覆盖率等空间资料栅格化,建立了沟道小流域分布式产汇流模型,利用实测的气象资料(降雨量、气温和太阳辐射量等)和水文泥沙数据,对模型进行了率定和验证,取得了预期结果。

3. 岷江镇江关以上流域水文泥沙模型

建立了岷江镇江关水文站以上流域的水文泥沙数学模型。该流域地处青藏高原

原东北缘、川西高原的主体部位,是岷江的发源地区,流域面积 4486km^2 。选择 1993 年、1996 年和 1998 年作为率定期,采用的计算步长为 1800s ,通过调整参数使直接径流模拟值与实测值吻合,得到模拟的径流过程;将径流参数率定后的参数直接应用于 2000 年和 2001 年的径流模拟,对模型进行验证;泥沙率定期为 1993 年、1996 年和 1998 年,验证期为 2000 年和 2001 年。

4. 一维非恒定流水沙数学模型

建立了金沙江下游河段一维非恒定流水沙数学模型,应用最新的地形资料和实测水沙系列,对模型进行了率定和验证。通过三峡水库库区及金沙江下游屏山一寸滩河道冲淤计算验证,表明建立的数学模型能够较好地模拟水库库区及水库下游河道冲淤演变规律,为进一步研究金沙江梯级水库修建后三峡水库入库水沙条件的变化奠定了基础。

1.3.4 数学模型的应用

在综合分析金沙江下游乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝梯级水库及水库下游河道水沙条件的基础上,利用一维非恒定非平衡数学模型,对金沙江梯级水库建成后三峡水库入库沙量的变化进行了探讨。

1.3.5 推移质输沙水槽试验及实测资料分析

采用高精度、多功能的水槽对不同水流强度、不同级配的推移质进行系统的试验,研究卵石运动主要参数的变化和输沙规律,探讨清水冲刷的卵石运动机理。收集整理寸滩、朱沱原型观测资料,分析寸滩和朱沱卵石运动规律。根据高精度室内实验成果和寸滩原型观测资料,检验爱因斯坦公式、格拉夫公式、雅林公式、梅叶彼得公式、恩格隆公式和拜格诺公式的精度和适用范围,推荐适用于川江条件的卵石推移质公式。以 1991~2000 年水文系列为基础,估算三峡上游朱沱和寸滩卵石推移质的数量组成。

通过实地考察与调查、水文泥沙资料收集与分析、数学模型计算、室内模型试验等手段,取得的主要成果有:

- (1) 分析得到了长江上游植被 NDVI 的变化特点。
- (2) 总结了水土流失综合治理措施,分析评价了水保效益。
- (3) 掌握了长江上游主要干支流来水来沙特点,并对内在原因进行了剖析。
- (4) 分析了长江上游推移质输沙特点,对推移质输沙量进行了估计。
- (5) 探讨了金沙江梯级水库建成后三峡水库入库沙量的变化特点。