

水库淤积

韩其为 著



科学出版社
www.sciencep.com

水 库 淤 积

韩其为 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是水库淤积方面的专著,共分三篇、十五章。第一篇为水库淤积的基本现象和规律,包括非均匀悬移质不平衡输沙、水库异重流和高含沙量水流、水库淤积形态、推移质淤积、水库排沙与冲刷、淤积与回水的相互作用、变动回水区冲淤、水库淤积的平衡以及糙率及水库干容重确定等。第二篇为水库淤积控制,其中有库容淤积控制、洪水位抬高控制、变动回水区航道控制、坝前泥沙和水流控制及下游河道冲刷控制等。第三篇为水库下游河床冲淤与变形,包括冲淤的一般现象、来水来沙过程改变的作用、含沙量恢复以及河床变形等。

本书体系科学,资料丰富,机理阐述清晰,特别强调理论上的概括,很多内容涉及水库淤积前沿和相关进展,不少内容属于创新。

本书可供水库规划、管理人员,水库淤积、泥沙运动理论科研工作者和大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水库淤积/韩其为著. —北京:科学出版社,2003

ISBN 7-03-010892-0

I. 水… II. 韩… III. 水库淤积 IV. TV145

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 072337 号

责任编辑:杨家福/责任校对:柏连海
责任印制:刘士平/封面设计:张 放

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>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年8月第 版 开本:787×1092 1/16
2003年8月第一次印刷 印张:41 1/4
印数:1-2 000 字数:950 000

定价:85.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈杨中〉)

序

水库淤积(包括下游河床冲刷)是工程泥沙的重要内容之一,同时也涉及泥沙运动力学的一些方面,是河流动力学的一个重要部分。我国对水库泥沙淤积颇为重视,积累了大量实际资料和研究成果,但是缺乏深刻的概括,尚未形成独立的学科分支。韩其为院士多年来在这方面做了大量、深入研究,经过对已有资料及成果进行深入分析、总结和理论研究,撰写的专著《水库淤积》是很必要和及时的。

本专著体系颇为科学,界定了“水库淤积”基本内容,占有的资料丰富,分析深刻,机理阐述清楚,特别强调理论上的概括。本书有不少进展和创新,有很多内容涉及水库淤积研究的前沿,特别表现在以下几个方面。第一,在水库泥沙运动方面对于非均匀沙挟沙能力、非均匀沙不平衡输沙以及挟沙能力级配和有效床沙级配方面做了深入研究,得到了一系列理论成果,并且已用到水库淤积研究和工程泥沙实际。同时对异重流输沙、缓坡时潜入及倒灌淤积也有新的概念和成果。第二,利用非均匀悬移质不平衡输沙关系,解释了悬移质淤积时三角洲的形成,推导了它的各种形态参数和表达及后期的转化。对于锥体淤积形态,也阐述了其条件,推导了出库含沙量及库容淤积过程的简化表达式,它们能概括一些前苏联和我国研究者的成果。第三,对水库推移质淤积做了专门论述,从理论上证实了单独推移质淤积更能形成三角洲;但是与悬移质同时淤积时相互交错,就不可能形成单独的推移质三角洲。第四,对于水库变动回水区冲淤、淤积引起的水位抬高以及非均匀颗粒淤积物干容重的确定和细颗粒淤积物的密实均有理论关系。第五,对水库淤积的平衡、平衡后的冲淤和排沙以及到达平衡的过程等进行了揭示,给出了较全面的概化图形和规律表达。第六,对于水库淤积控制进行了较全面阐述,其中包括库容淤积控制的“水库长期使用”、变动回水区枯水的水深控制以及回水末端淹没控制等。特别是对于我国首创的水库长期使用,加拿大在论证三峡工程可行性报告中就有明确肯定和很高的评价:“平衡坡降和水库长期使用库容的理论在中国已经发展为一种成熟的技术,三峡工程处理全部泥沙的策略就是建立在这个基础之上。世界上没有一个国家像中国一样在水库设计中有那样多的经验,以致使调节库容和防洪库容能无限期地保持。”第七,在水库下游河道冲刷方面,提出了交换粗化的概念和模式,对水库下游挟沙能力级配表达、挟沙能力调整、河型沿程变化对挟沙能力影响以及含沙量恢复机理等在理论上有所进展和新的内容。对水库下游河道演变也做了较深入的论述。

综上所述,《水库淤积》这本专著内容颇为新颖、全面,理论概括水平颇高,已使水库淤积由定性描述在向定量表达过渡。另一方面,书中有一些探索,对促进学术研究、引导后续工作也有一定价值。总之这是一本很好的水库淤积方面的专著,对我国水库淤积研究和工程泥沙问题解决将有很大意义。

韩其为院士系自学成才。一方面他接触的实际现象、资料多,而且是作为有心人去深

入研究、分析、领会。另一方面,他在基础理论方面颇为扎实,重视数学、力学及河流动力学在泥沙运动和水库淤积方面的应用。以这两者作为基础,加上他的创造性研究和吸取他人成果的精华,在水库淤积方面汇集成本书绝不是偶然的。我与他认识 40 余年,自从他来我所在的学院进修之后,我们逐渐由熟识转变为深交。对本书的出版,我由衷地表示高兴。

中国工程院院士 谢 肇 衡

2003 年 7 月 20 日

前 言

水库淤积是水库泥沙淤积的简称。它是工程泥沙的重要课题,也是泥沙运动力学的内容之一。中华人民共和国成立后,我国修建了大量水库,泥沙淤积已成为一个普遍问题,不仅建成的水库要面对淤积带来的各方面的负效应,就是尚未兴建的大型水库也必须对未来淤积的情况做出研究和预报,以满足可行性论证的要求。而水库淤积的各种现象又是与水库中泥沙运动包括悬移质、推移质以及浑水异重流密切联系的,并且这时的泥沙运动状态与冲积性河道和平衡条件有着相当差别,它不仅提供了在淤积条件下、同时也提供了在冲刷条件下(包括水库内冲刷和它引起的下游河道的冲刷)即不平衡程度很高时的泥沙运动现象。这些现象将引导泥沙运动理论研究的深入。事实上,正是水库淤积规律的探索,推动了非均匀悬移质不平衡输沙的研究。可见,水库淤积不仅依赖于泥沙运动理论已有成果的应用,同时也能提出和扩大泥沙运动理论研究的范畴。正因为如此,水库淤积不仅对工程泥沙有重要的实际意义,同时在泥沙运动理论方面也有很大价值。

由于我国泥沙多,而水库淤积对经济效益影响大,所以国家对泥沙研究颇为重视。首先在实际水库泥沙淤积观测方面开展了大量工作,积累了丰富资料;通过对这些资料的分析,观测、研究人员掌握了有关水库的特性,有的已在一定程度上指导其水库运用,以控制其淤积;与此同时泥沙研究人员更进一步转向研究其共同规律和理论基础。因此,水库淤积的研究在我国得到了不断发展和提高,从总体看目前在国际上已处于领先水平。

鉴于以往水库淤积作为一门学科,基本上是描述性的,为满足工程和学科需要,亟待向定量发展。加之我国的实际资料和研究具有良好基础,因此作者从 20 世纪 60 年代起即结合水库淤积的实际,不间断地进行了水库淤积规律的研究,以期将水库淤积推向一个新的阶段。为此我们先后开展了二十余个专门问题研究,涉及了水库淤积的各个方面,包括非均匀悬移质挟沙能力和不平衡输沙、水库异重流、水库淤积形态的理论基础、水库排沙、库容淤积过程、淤积与回水的相互作用、变动回水区的冲淤、水库淤积的平衡以及淤积物干容重及其变化和水库糙率确定等。其次,对水库的库容控制、淤积引起洪水抬高的控制、变动回水区的航道控制、下游河道冲刷控制等也做了不少研究。此外在下游河道冲淤和变形方面的有关问题也取得了相应的成果。本书就是在这些专题研究的基础上汇集而成的一本专著。当然,水库淤积是异常复杂的,它的内容需要不断补充和提高,理论需要不断加强;本书介绍的只是水库淤积由定性描述向定量论证过渡的一个阶段。

本书在编写过程中特别注意三点,即实际现象的描述、内在机理的揭露和规律的定量表达。对于暂时无法定量的规律也尽可能准确地描述。对于某些现象难以取得全面的实际资料,则利用经过验证、较为可靠的数学模型计算成果,以了解全过程,弥补实际资料的不足。

本书的编写早在 20 世纪 70 年代末即着手进行。当时长江水利委员会总工程师杨贤溢、长江科学院河流研究室主任唐日长、长江水利委员会水文局总工程师向治安给予了大力支持。丹江口水文总站总工程师董中均、杨克诚也给予了多方支持和协助。王玉成、向

熙珑两位高级工程师参加了本书第二、三章及十三、十四、十五章的部分资料的分析。对杨贤溢总工、唐日长主任及上述几位好友,表示衷心感谢。我到中国水利水电科学研究院后,在本书有关专题研究和书稿编写方面,院、所领导,尤其是匡尚富副院长、胡春宏所长也给了大力支持和帮助,深表感谢。由于研究的不断深化,专题研究内容不断增加,直到 20 世纪末才完成全部专题研究。经过最近两年的汇总和对早期写出部分的补充、修改,总算完成了本书。在 20 余年水库淤积研究和本书编写过程中,我的夫人何明民教授级高工自始至终给予支持和鼓励,并认真核对了全部稿件,还参加了大部分研究工作。钟正琴女士为本书的底稿打印和绘图付出了大量的劳动,特深表感谢。

武汉大学谢鉴衡院士一直支持本书的编写,对作者完成本书给予了很大的帮助和鼓励。

限于理论水平,本书的缺点和差错在所难免,敬请读者指正。

目 录

序

前言

绪论	1
0-1 水库的泥沙淤积	1
0-2 国内外水库淤积的严重性	1
0-3 水库淤积引起的问题	2
0-4 我国水库泥沙淤积研究的成就和进展	4
0-5 水库淤积的理论体系	11
0-6 本书的主要内容和进展	12
参考文献	18

第一篇 水库淤积

第一章 非均匀悬移质不平衡输沙	27
1-1 不平衡输沙现象	27
1-2 悬移质不平衡输沙的基本方程	30
1-3 非均匀沙平衡输沙的条件及挟沙能力	35
1-3-1 平衡输沙的条件及挟沙能力基本关系	35
1-3-2 不同输沙状态挟沙能力讨论	37
1-3-3 实用的挟沙能力公式	40
1-4 含沙量沿程变化	43
1-4-1 不平衡输沙基本方程简化	43
1-4-2 恢复饱和系数	43
1-4-3 均匀沙含沙量沿程变化规律	47
1-4-4 非均匀沙含沙量沿程变化规律	50
1-5 悬移质级配变化的规律	55
1-5-1 悬移质级配变化的一般方程	55
1-5-2 淤积时悬移质级配的分选	57
1-5-3 明显冲刷时悬移质级配的变化	62
1-5-4 微冲微淤下悬移质级配的变化	65
1-6 床沙级配变化规律	67
1-6-1 明显淤积时床沙级配的变化	67
1-6-2 明显冲刷时床沙级配的变化	69
1-7 床沙质与冲泻质划分问题	70

1-7-1 床沙质与冲泻质具有统一的挟沙能力规律	71
1-7-2 床沙质与冲泻质应同时处于饱和或非饱和	77
1-7-3 划分床沙质与冲泻质是否必要	79
参考文献	81
第二章 水库异重流及高含沙量水流	83
2-1 水库异重流	83
2-1-1 水库异重流的现象	83
2-1-2 异重流的稳定流动	85
2-1-3 水库异重流的形成及潜入和持续的条件	88
2-1-4 异重流的输沙规律	95
2-2 异重流淤积与排沙	100
2-2-1 异重流的淤积	100
2-2-2 异重流的排沙	105
2-3 异重流的倒灌及淤积	108
2-3-1 倒灌异重流形成	108
2-3-2 倒灌异重流流量沿程衰减	110
2-3-3 异重流倒灌长度	111
2-3-4 倒灌异重流含沙量沿程变化及淤积	113
2-3-5 淤积厚度沿程分布	115
2-4 水库高含沙水流	117
2-4-1 高含沙水流的特性	117
2-4-2 流动特性	119
2-4-3 输沙特性	120
2-4-4 高含沙紊流的挟沙能力	121
2-4-5 高含沙水流在水库淤积中的作用和利用问题	124
参考文献	129
第三章 水库淤积形态	131
3-1 水库淤积形态的分类及表示方法	131
3-1-1 水库淤积形态的分类及特性	131
3-1-2 水库淤积形态的纵向表示方法	132
3-2 水库三角洲淤积	141
3-2-1 水库淤积的三角洲趋向性	141
3-2-2 三角洲的形态特征	149
3-3 三角洲推进及形成条件	159
3-3-1 三角洲的推进	159
3-3-2 三角洲的形成条件	160
3-4 锥体淤积	167

3-4-1	明流时锥体淤积	168
3-4-2	浑水水库的锥体淤积	177
3-4-3	异重流倒灌时形成的倒锥体	178
3-5	带状淤积体及三种淤积形态的相互转化	178
3-5-1	带状淤积体	179
3-5-2	三种淤积体的相互转化	183
3-6	水库淤积横剖面	185
3-6-1	单纯淤积	185
3-6-2	冲淤交替后的横断面形态	187
	参考文献	188
第四章	推移质淤积	190
4-1	推移质稳定不平衡输沙	190
4-1-1	推移质稳定不平衡输沙方程	190
4-1-2	不平衡输沙方程的解	194
4-2	推移质输沙能力	197
4-2-1	非均匀沙低输沙率公式	197
4-2-2	非均匀沙输沙率的结构式	201
4-3	推移质淤积现象	210
4-3-1	推移质的易淤性	211
4-3-2	推移质淤积的纵向形态	211
4-3-3	淤积过程中的分选	213
4-3-4	悬移质向推移质的转化	214
4-3-5	推移质淤积的横向分布	217
4-3-6	淤积与冲刷的交错性	217
4-4	推移质单独淤积的三角洲趋向性及淤积的纵剖面	217
4-4-1	推移质单独淤积的三角洲趋向性	217
4-4-2	推移质单独淤积的三角洲形成的分析	223
4-4-3	非均匀沙及不平衡输沙对于三角洲形成的影响	225
4-4-4	推移质淤积三角洲的确定	229
4-5	悬移质淤积平衡后推移质淤积纵剖面	233
4-5-1	粗颗粒泥沙起动流速	234
4-5-2	满足河相关系时起动平衡纵剖面	235
4-5-3	河宽沿程不变时起动平衡纵剖面	239
4-5-4	推移质淤积数量及过程	241
4-5-5	坝前水位变化大时的淤积纵剖面	244
4-6	水库淤积过程中推移质与悬移质交错淤积的纵剖面	247
4-6-1	交错淤积时推移质淤积纵剖面	247

4-6-2 推移质淤积两阶段的叠加	255
参考文献	258
第五章 水库排沙与冲刷	260
5-1 壅水排沙	260
5-1-1 壅水排沙的控制方程	260
5-1-2 壅水排沙时出库含沙量、拦沙率与排沙比	263
5-2 水库溯源冲刷	272
5-2-1 剖面为直线时的溯源冲刷	275
5-2-2 纵剖面为曲线时的溯源冲刷	281
5-2-3 水位连续下降的溯源冲刷	288
5-2-4 冲刷剖面为高次多项式时的溯源冲刷	291
5-2-5 溯源冲刷纵剖面的偏微方程求解	297
5-3 敞泄排沙	305
5-3-1 敞泄排沙已有的研究	305
5-3-2 敞泄排沙的机理及主要方程	306
5-3-3 敞泄排沙的简化公式	309
5-3-4 敞泄排沙的挟沙能力公式	313
参考文献	315
第六章 淤积与回水的相互作用	317
6-1 回水曲线方程的积分及特性	318
6-1-1 回水曲线方程及其积分	318
6-1-2 回水曲线的特性	322
6-1-3 回水末端	325
6-2 淤积引起的回水抬高	327
6-2-1 淤积引起的回水抬高的一般特性	327
6-2-2 淤积引起回水抬高的例子	334
6-3 对淤积抬高回水其它问题的讨论	338
6-3-1 糙率变化时水位的抬高	338
6-3-2 流量变化时淤积引起的回水抬高	340
6-3-3 坝前水位升降时淤积引起的回水抬高	341
参考文献	342
第七章 变动回水区冲淤	344
7-1 变动回水区的冲淤条件	344
7-1-1 变动回水区的回水影响	344
7-1-2 壅水程度对滩槽流速分布的影响	347
7-2 变动回水区的淤积特点	350
7-2-1 卵石推移质淤积段特点	351

7-2-2	粗沙、砾石推移质淤积段的特点	355
7-2-3	中、细沙推移质淤积段特点	357
7-2-4	悬移质淤积段特点	359
7-3	消落冲刷与充水冲淤	359
7-3-1	充水冲刷与充水淤积	360
7-3-2	消落冲刷	362
7-4	变动回水区河势特点及河型转化	369
7-4-1	变动回水区河势特点	369
7-4-2	河型转化	374
	参考文献	376
第八章	水库淤积的平衡	377
8-1	水库淤积的相对平衡及由空库至平衡的淤积过程	377
8-1-1	水库淤积的相对平衡	377
8-1-2	由空库至平衡时其它因素变化	381
8-2	水库淤积初步平衡后水库泥沙运动及冲淤的特点	385
8-2-1	初步平衡后水库的继续淤积及冲淤变化机理	385
8-2-2	径流水库年内冲淤	386
8-2-3	具有防洪目标的水库的年内冲淤	388
8-2-4	淤积初步平衡后水库对含沙量的调整	389
8-3	悬移质相对平衡纵、横剖面及第一、二造床流量	391
8-3-1	水库的造床特点	391
8-3-2	悬移质相对平衡纵剖面及第一造床流量	394
8-3-3	河槽相对平衡横剖面及第二造床流量	398
8-4	最终保留库容和淤积量及淤积过程	401
8-4-1	最终保留库容	401
8-4-2	总库容及概化关系	404
8-4-3	槽库容淤积过程	406
8-5	滩库容淤积过程	407
8-5-1	滩库容近似分布	407
8-5-2	滩库容淤积过程	409
	参考文献	412
第九章	糙率及干容重确定	414
9-1	淤积物的干容重及其变化	414
9-1-1	淤积物初期干容重	415
9-1-2	淤积物稳定干容重	418
9-1-3	淤积物密实及干容重变化	419
9-1-4	粗、细沙混合时淤积物(或床沙)干容重	427
9-1-5	水库淤积物密实的计算	431
9-2	水库淤积与河道冲刷时糙率的确定	433

9-2-1 水库蓄水后淤积前的糙率	433
9-2-2 水库淤积平衡后的糙率确定	441
9-2-3 淤积与冲刷过程中糙率的变化	455
参考文献	458

第二篇 水库淤积控制

第十章 水库淤积控制	461
10-1 淤积引起的回水位抬高控制	461
10-1-1 淤积引起的回水位抬高将增加淹没	461
10-1-2 淤积引起回水位抬高的确定	462
10-1-3 洪水位抬高的控制	468
10-2 坝前区泥沙淤积与水流条件控制	470
10-2-1 坝区河势控制	470
10-2-2 排沙和排泄异重流设施	472
10-2-3 水轮机及其它引水口的防沙	474
10-2-4 坝区通航建筑物泥沙淤积及水流控制	478
10-3 水库对下游河道冲淤的控制	481
10-3-1 下游河道减淤控制	481
10-3-2 下游河道冲刷数量的控制	483
10-3-3 下游河道造床流量变化及人造洪峰的作用	485
10-3-4 水库拦粗排细的作用	486
参考文献	487
第十一章 水库长期使用	489
11-1 水库淤积控制的发展过程和水库长期使用的提出	489
11-2 水库长期使用的原理、可行性及合理性	491
11-2-1 长期使用的原理	491
11-2-2 水库长期使用在技术上的可行性	493
11-2-3 水库长期使用在经济上的合理性	496
11-3 长期使用水库的保留库容	498
11-3-1 淤积末端在正常蓄水位以下时水库横剖面保留面积及保留库容	499
11-3-2 淤积末端在正常蓄水位以上时水库横剖面保留面积及保留库容	502
11-4 推移质淤积	503
11-4-1 悬移质下段淤积长度未知	503
11-4-2 悬移质下段淤积长度已知	505
11-5 三峡水库长期使用分析	506
11-5-1 平衡坡降及第一造床流量的确定	506
11-5-2 第二造床流量及平衡时断面形态的确定	508

11-5-3	淤积及保留库容的确定	509
11-5-4	悬移质淤积过程的计算	511
11-5-5	推移质淤积纵剖面及过程	512
参考文献		514
第十二章	水库航道控制	516
12-1	水库的航运问题	516
12-1-1	水库变动回水区航道的改善	516
12-1-2	变动回水区航道存在的问题	517
12-2	变动回水区航道改善及河段碍航原因的分析	520
12-2-1	建库后水库变动回水区的航道从全局看有所改善	520
12-2-2	变动回水区出现个别碍航点的原因	520
12-2-3	变动回水区碍航浅滩的性质及碍航程度与淤积物组成有明显关系	521
12-2-4	影响变动回水区航道的决定性因素——水库运用方式	522
12-3	变动回水区航道控制	523
12-3-1	变动回水区航道控制调度	524
12-3-2	航运控制水位的确定	527
参考文献		529

第三篇 坝下游河床演变

第十三章	水库下游河床演变的基本现象和水沙过程改变对河床变形的影响	533
13-1	水库下游河床变形的基本现象	533
13-1-1	下游河床的冲淤	533
13-1-2	下游河道冲淤过程中床沙的粗细化现象	539
13-1-3	下游河床变形特点	544
13-1-4	水力因素变化	549
13-2	水沙过程的改变对下游河道的作用	552
13-2-1	来水过程改变对河床演变的作用	552
13-2-2	来沙过程的改变对河床演变的作用	558
13-2-3	河床边界条件的变化及其对河床演变的影响	560
参考文献		561
第十四章	水库下游河道含沙量恢复	563
14-1	水库下游河道冲刷及含沙量恢复的机理	564
14-1-1	水库下泄低含沙水流引起下游河道冲刷	564
14-1-2	泥沙沿程变细引起冲刷分析	566
14-1-3	水力因素沿程增加时引起的冲刷	566
14-1-4	水力因素沿程有所减弱时床沙变细导致的冲刷	567
14-2	冲刷过程中挟沙能力的调整	568

14-2-1	冲刷过程中挟沙能力调整概述	568
14-2-2	挟沙能力级配及有效床沙级配的表达	573
14-2-3	挟沙能力级配公式的近似应用及有关问题讨论	579
14-3	挟沙能力沿程变化及调整	582
14-3-1	河型、河性沿程改变引起的挟沙能力沿程变化	582
14-3-2	前期冲刷引起挟沙能力的沿程变化	588
14-3-3	床沙级配沿程变化引起挟沙能力的变化	595
14-3-4	含沙量沿程恢复计算应注意的问题	602
	参考文献	607
第十五章	水库下泄清水期间下游河床变形特点和机理	608
15-1	床面形态特征	608
15-1-1	局部推移质淤积三角洲	609
15-1-2	带状沙垄与新月形沙垄	611
15-2	洲滩的演变	613
15-2-1	河漫滩及江心洲的演变特点	613
15-2-2	江心滩演变的特点	613
15-2-3	边滩演变的特点	620
15-2-4	浅滩演变的特点	621
15-3	主槽演变	622
15-3-1	挟沙能力调整	623
15-3-2	横断面形态调整	623
15-3-3	纵剖面形态的调整	625
15-3-4	曲率半径的调整	626
15-4	河床变形特点	626
15-4-1	分汊河型	626
15-4-2	顺直(微曲)型河道演变特点	631
15-4-3	弯曲河型演变特点	632
15-5	河型转化问题	634
15-5-1	不同河型转化的可能性	635
15-5-2	研究河型转化应注意的几个问题	637
15-5-3	河型转化分析的实例	640
	参考文献	642

绪 论

0-1 水库的泥沙淤积

河流上修建水库后,库内即发生淤积。大量的资料表明,不论大、中、小型水库,在含沙量不是很高的条件下,只要水库有所蓄水,坝前水位有所升高,便会发生泥沙的大量淤积。产生淤积的实质,显然是由于水位升高,过水面积加大,流速减缓,从而使挟沙能力降低所致。

由于挟沙能力与流速的高次方成比例,因此过水面积的些许改变,常引起挟沙能力大幅度变化。如果泥沙组成均匀,若横断面为梯形,边坡系数为 5,原河道水深 h_0 与底宽 b 之比为 1/100,则当水深加大 1 倍时,挟沙能力只有原来的 1/17.7;而当水深加大 2 倍时,则挟沙能力只有原来的 1/98.6。可见,由于水位的壅高,水力因素的减弱幅度是很大的,这便是只要水库有所蓄水,库内即产生大量淤积的原因。

当然,实际的泥沙组成是不均匀的,由于淤积,悬移质级配就会逐渐变细,致使平均沉速减小,这反过来就限制了挟沙能力进一步降低,这是问题的一个方面。问题的另一方面是,即使令坝前挟沙能力非常小,但是由于在淤积过程中含沙量常大于挟沙能力(所谓超饱和输沙),所以出库含沙量仍有一定数量,因此对于大河上的水库,要使泥沙全部淤下,而下泄清水也是很难的。显然,水库水位壅高,流速减小降低挟沙能力是主导方面,而沉速减小加大挟沙能力和淤积时的超饱和输沙则是派生的,因此这两方面的影响是不可能抵消的,故而水库总是淤积的。反之泥沙全部淤下也是很难的。

从上述分析可见,水库中的悬移质淤积,涉及泥沙粗细变化引起的挟沙能力调整以及不平衡输沙的影响,其现象是很复杂的,这是一方面。另一方面随着时间变化,导致淤积的发展,水库地形改变也会影响到挟沙能力和含沙量变化,加之异重流产生和运行等,使水库悬移质淤积异常复杂。此外还有推移质淤积,以及淤积引起的水位抬高和抬高的水位引起的再淤积等,增加了水库淤积研究的难度。从学科发展而言,以往的水库泥沙淤积基本属于描述性阶段。

0-2 国内外水库淤积的严重性

大约在 20 世纪 20 年代以后,由于综合利用水库大量修建,水库淤积问题逐渐显得严重。美国^[1]在 20 年代以后开始修建的综合利用水库总库容为 $5000 \times 10^8 \text{m}^3$,每年淤积损失 $12 \times 10^8 \text{m}^3$ 。其中 1935 年以前兴建的水库中,完全淤废的占 10%,损失库容 $3/4 \sim 1/2$ 的占 14%,损失库容 $1/2 \sim 1/4$ 的占 33%。

日本河流较短,坡降较大,含沙量虽不大,但由于库容一般较小,淤积速率仍较快。据统计^[1](1912~1972 年),库容大于 10^6m^3 、坝高 15m 以上的水库 265 处,已平均损失库容

20.63%,有5座水库已淤满。

至于气候干旱、暴雨强度大、水土流失较严重的国家和地区,水库淤积尤其严重。例如,据前苏联41座中亚地区灌溉及发电水库统计^[1],坝高6m以下的灌溉水库,淤满年限为1~3年,坝高7~30m的发电、灌溉水库,淤满年限为3~13年。再如,据1960年统计,阿尔及利亚的大型水库库容损失率(年淤量比总库容)约为1.2%,中型水库(库容 $0.1 \times 10^8 \sim 0.5 \times 10^8 \text{m}^3$)库容损失率为1.8%。据1969年统计,印度^[1]大于 $10 \times 10^8 \text{m}^3$ 的水库共21座,总蓄水量为 $1260 \times 10^8 \text{m}^3$,库容损失率平均为0.5%~1.0%,有的可达2.0%。

我国在历史上主要发展堰塘和灌溉引水,兴建大中型水库的历史较短,除东北少数水库外,中华人民共和国成立前基本上是空白。成立后我国人民发扬自力更生、艰苦奋斗的精神,到1972年,全国已建成^[2]坝高在15m以上的水库12517座,其中库容大于 $1 \times 10^8 \text{m}^3$ 的大型水库254座, $1000 \times 10^4 \sim 1 \times 10^8 \text{m}^3$ 的中型水库1307座,库容在 $1000 \times 10^4 \text{m}^3$ 以下的小型水库10956座。由于我国黄河流域和北方一些河流含沙量很高,水库淤积颇为严重。特别是20世纪50年代和60年代初期运用的水库,由于缺乏控制淤积的经验,尤其如此。例如山西对全省43座大、中型水库进行统计^[3],水库总库容为 $22.3 \times 10^8 \text{m}^3$,到1974年已损失31.5%,即损失 $7 \times 10^8 \text{m}^3$,平均每年损失 $0.5 \times 10^8 \text{m}^3$ 。据陕西省1973年统计^[4],全省 $100 \times 10^4 \text{m}^3$ 以上水库192座,总库容 $15 \times 10^8 \text{m}^3$,已损失31.6%,即损失 $4.7 \times 10^8 \text{m}^3$,其中1970年以前建成的120座水库已损失其库容53.3%,有43座水库完全被淤满。

0-3 水库淤积引起的问题

水库发生淤积后,不仅会明显地影响其效益的发挥,而且会产生一些新的问题,因此水库淤积对国民经济建设、全面建设小康社会有一定影响,所以深入了解水库淤积引起的各种问题是很有需要的。

水库淤积引起的问题,可概括为六个方面。

(1) 由于淤积使兴利库容和防洪库容不断损失,导致水库综合效益降低。水库综合效益,在很大程度上决定于兴利库容和防洪库容。它们的损失,将使防洪、发电、通航、灌溉以及养殖等效益的发挥大受限制,其中的某些甚至丧失殆尽。例如山西镇子梁水库^[5]到1972年汛期,已损失库容60%,灌溉面积减少一半,使水库防洪标准从百年一遇的洪水降低到二十年一遇的洪水。宁夏青铜峡水库^[6]初期运用仅5年,就损失库容86.9%,水库调蓄能力大为降低,灌溉用水和发电备用水量都感到不足。马莲水库^[7]1958年兴建,库容 $680 \times 10^4 \text{m}^3$,由于淤积库容损失太快,1958~1967年平均年淤淤积 $92.64 \times 10^4 \text{m}^3$,曾于1965年和1975年两次加高大坝共5m,使库容达 $2047 \times 10^4 \text{m}^3$,从而弥补了损失。

(2) 淤积上延引起淹没与浸没。泥沙淤积的结果,加大了水库的坡降,使库内水位不断抬高,因而使回水和它引起的再淤积不断上延,即出现水库淤积“翘尾巴”现象。这就使库内水位普遍抬高,从而引起对城市、工厂、矿山、农田的淹没以及对农田的浸没;例如内蒙三盛公枢纽^[8],由于泥沙淤积,水库回水范围由1962年的30km发展到1971年的43km以上。山西镇子梁水库,运用以来由于淤积上延多次追加对淹没、浸没的赔偿,总额达水库建设投资的1.8倍^[5]。另一方面,如果要控制“翘尾巴”,减少淹没和浸没,就必须降