

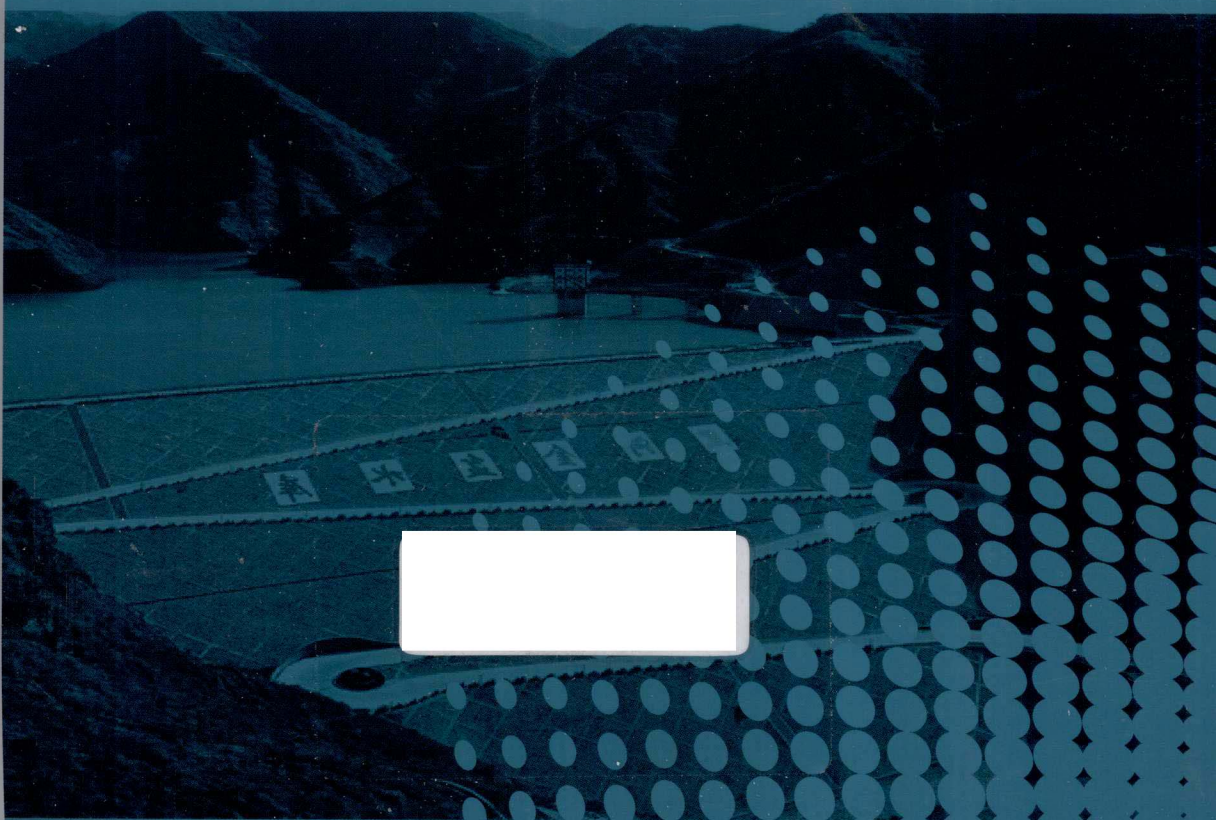
“十二五”
规划重点图书

水利工程除险加固
技术丛书



水库坝体滑坡与 防治措施

李继业 翟爱良 刘福臣 编著



SHUIKU BATI HUAPU YU
FANGZHI CUOSHI



化学工业出版社

“十二五”
规划重点图书

水利工程除险加固
技术丛书



水库坝体滑坡与 防治措施

SHUIKU BATI HUAPU YU
FANGZHI CUOSHI

李继业 翟爱良 刘福臣 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书根据我国最新规范、标准和方法,比较系统地介绍了水库及大坝基本知识、水库坝体滑坡概论、水库坝体滑坡的稳定分析与判断、水库土坝的破坏与抗滑稳定验算、水库滑坡防治工程实例等内容。

本书具有突出的针对性、通俗性、实用性和应用性,不仅可供河道和水库管理者参考,也可作为高等学校水利工程相关专业师生的辅助教材,还可供水库管理、水利水电工程、桥涵、渡河工程及河道管理等相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水库坝体滑坡与防治措施/李继业,翟爱良,刘福臣等编著.
北京:化学工业出版社,2013.1
(水利工程除险加固技术丛书)
ISBN 978-7-122-15627-3

I. ①水… II. ①李…②翟…③刘… III. ①水库-坝体-滑坡-防治 IV. ①TV698.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 246298 号

责任编辑:刘兴春
责任校对:王素芹

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:北京云浩印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19¼ 字数 473 千字 2013 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:80.00 元

版权所有 违者必究

第一章 水库及大坝基本知识	1
第一节 水库的类型及特性	1
一、水库的类型	1
二、水库的特性	2
第二节 水库的作用与影响	5
一、水库的作用	5
二、水库的影响	6
第三节 我国水库大坝安全现状	9
一、水库大坝安全的重要性	9
二、我国水库大坝安全现状	10
第四节 水库大坝主要病害特点	11
第五节 水库的防洪安全与标准	14
一、水库的防洪标准	14
二、工程等级的划分	14
三、建筑物防洪标准	15
第六节 水库大坝加固技术概况	16
一、土石坝加固技术	17
二、重力坝加固技术	20
三、拱坝加固技术	22
参考文献	23
第二章 水库坝体滑坡概论	24
第一节 水库坝体滑坡的危害与基本特征	24
一、水库滑坡的概述	24
二、水库滑坡的危害	25
第二节 水库坝体滑坡的形成要素与类型	27
一、水库滑坡的基本特征	27
二、水库滑坡产生的条件	28
三、水库滑坡形成要素	30
四、水库滑坡的类型	31
第三节 水库坝体滑坡的调查与勘察	32
一、滑坡调查的主要内容	33
二、滑坡调查的主要方法	33
三、水库滑坡的勘察工作	35
第四节 水库坝体滑坡防治技术的发展	40
第五节 水库坝体滑坡的综合治理技术	41
一、水库坝体渗流控制技术	41
二、土石坝综合防渗技术	44

参考文献	51
第三章 水库坝体滑坡的稳定分析与判断	53
第一节 滑坡稳定性分析概述	53
一、滑坡稳定性分析的重要性	53
二、定性观察分析判断方法	54
第二节 恢复山体极限平衡状态核算	55
一、综合单位黏聚力法	55
二、综合内摩擦角法	56
三、综合 c 法、综合 φ 法	56
第三节 滑坡当前稳定程度的验算	57
一、单一滑面稳定性验算	57
二、折线滑面稳定性验算	59
三、坡脚应力与坡脚岩土强度对比法	59
第四节 动水压力下滑坡稳定计算	60
一、考虑库水位作用条块荷载计算	60
二、有关规范推荐的计算方法	61
第五节 坝体滑坡地震力作用计算	63
第六节 地下水位浸润线的计算	64
一、库水位上升时，地下水位浸润线计算	64
二、库水位下降时，地下水位浸润线计算	65
参考文献	66
第四章 水库土坝的破坏与抗滑稳定验算	67
第一节 水库土坝的破坏形式	67
一、护坡面层的破坏形式	69
二、堤防出险的主要种类	69
第二节 软土地基土坝的抗滑和抗震稳定	74
一、土石坝抗滑稳定改良圆弧法	74
二、软基上堤坝的极限高度	76
三、关于软基上堤坝极限高度计算公式的讨论	77
四、水库土质堤坝的地震惯性力确定	79
五、软土地基堤坝抗震稳定计算	81
第三节 土坝边坡抗滑稳定安全验算	84
一、楔形体滑动土压力平衡法	84
二、滑动计算有限元法	89
三、滑坡危险水位与骤降缓降问题	93
四、坝坡安全系数与强度指标的选用	94
五、水库堤坝控制滑坡的措施	98
第四节 堤坝崩岸的原因及滑坡稳定验算	101
一、堤防崩岸的分类方法	102
二、崩岸险情的判断	104

三、崩岸险情的抢护原则	105
四、崩岸险情的抢护方法	105
五、崩岸险情抢护注意事项	108
第五节 水库土坝的渗流控制	108
一、堤坝工程渗流控制要求	109
二、堤坝工程渗流控制措施	110
第六节 堤坝的沉降量计算	118
一、堤坝与软基的最终沉降	118
二、软土坝基的沉降过程	119
三、渗透力荷载下的软基沉降	120
四、沉降过程的渗流计算法	121
五、沉降导致裂缝的估算	123
参考文献	123
第五章 水库坝体滑坡的防治方法	125
第一节 水库滑坡防治方法概述	125
一、水库建设的负面影响	125
二、水库滑坡防治方法	126
三、水库滑坡防治一般原则	126
四、水库滑坡治理方法分类	127
五、水库滑坡治理工程措施	129
第二节 地表水处理方法	133
一、地表排水处理类型	134
二、地表水汇流计算程序	134
三、地表水的截水沟设计	134
四、地表水的排水沟设计	139
第三节 地下水处理方法	139
一、水库滑坡地下水处理概述	140
二、渗透系数的确定	140
三、滤水沟的设计	141
四、排水隧洞设计	144
五、排水孔的设计	146
第四节 挡土墙防治方法	148
一、抗滑挡土墙的概述	148
二、抗滑挡土墙布置原则与程序	149
三、作用在抗滑挡土墙力的分析	150
第五节 抗滑桩防治方法	162
一、抗滑桩防治方法概述	162
二、抗滑桩设计原则与程序	162
三、抗滑桩的平面布置	163
四、抗滑桩的内力计算	165

五、抗滑桩的结构计算	174
六、抗滑桩的结构构造	175
第六节 锚杆(索)防治方法	176
一、锚固工程概述	177
二、锚杆(索)设计原则与程序	178
三、锚杆(索)的布置	179
四、设计锚固拉力的计算	181
五、锚固体长度的计算	181
六、锚杆(索)结构设计	184
七、锚杆(索)锁定荷载确定	186
八、锚杆(索)防腐设计	187
第七节 卸载与反压防治方法	189
一、卸载与反压方法概述	189
二、卸载与反压程序	191
三、水库滑坡卸载设计	191
四、水库滑坡的反压设计	195
五、卸载与反压后滑坡稳定分析	203
第八节 灌浆加固防治方法	205
一、灌浆加固水库滑坡概述	205
二、灌浆加固设计原则与程序	207
三、静压灌浆加固设计	209
四、“高压旋喷”灌浆加固设计	217
五、深层搅拌灌浆加固设计	223
六、灌浆材料的选择	227
第九节 坡面防护方法	231
一、坡面防护方法概述	231
二、坡面防护设计原则与程序	232
三、植被护坡的设计	233
四、结构护坡的设计	241
第十节 坝坡加固与白蚁防治	245
一、土石坝的坝坡加固与改造	245
二、土石坝白蚁防治措施	247
参考文献	249
第六章 病险水库防治工程实例	250
第一节 坝体滑坡防治工程实例	250
一、工程地质环境条件	251
二、滑坡体稳定分析计算	254
三、滑坡治理方案设计	256
第二节 坝基加固工程实例	259
一、坝基加固工程概况	260

二、坝基加固工程地质	261
三、坝基加固工程设计	261
四、坝基加固施工工艺	262
五、坝基加固施工设备	262
六、高压喷射灌浆施工	263
七、高压喷射灌浆施工质量控制	265
八、加固效果与评价	265
第三节 水库土坝灌浆加固工程实例	266
一、岭澳水库工程概况	267
二、加固前的渗流状态分析	268
三、水库土坝加固灌浆试验	269
四、水库土坝灌浆防渗设计	271
五、水库土坝灌浆施工方法	276
六、灌浆观测分析与效果检查	277
第四节 土坝坝坡加固工程实例	278
一、安徽省广德县卢村水库上游坝坡加固	279
二、辽宁省柴河水库坝坡加固	280
三、云南省松华坝水库加固	281
四、甘肃省巴家咀水库加固	283
五、湖北白莲河水库土石坝加固	286
六、山东岳庄水库坝坡加固	288
七、广西平果县布见水库大坝灌浆加固	289
第五节 土工膜防渗加固工程实例	291
一、浙江长堰水库黏土墙土工膜防渗加固	292
二、陕西石砭峪水库土工膜防渗加固	293
参考文献	296

第一章

水库及大坝基本知识

新中国成立以来，随着经济社会的不断发展，我国水利事业得到了迅速发展，水利工程在国民经济战略中占有越来越重要的地位。截至目前，我国建成各类水库 8.7 万余座，其中大型水库 510 座，中小型水库 8.6 万余座。这些工程在防洪、灌溉、发电、航运、养殖、供水及生态等方面都发挥了巨大的社会效益，并取得了显著的经济效益。

但是，我国水库大多建于 20 世纪 50~70 年代，受当时经济、技术、资料的限制，很多工程建设标准低、施工质量较差，加上经过多年运行及水库管理水平参差不齐，许多水库存在安全隐患问题。为了保证水库的安全运行，并充分发挥其社会效益和经济效益，应当需要加强水库的管理工作，按照中央的部署对所有病险水库进行加固，以达到设计的防洪标准。

第一节

水库的类型及特性

水库是人类在与洪水斗争和水资源开发利用中，创造并应用较多的水利工程。水库的建造历史可以追溯到公元前约 3000 年，古代的水库，由于技术条件的限制，规模一般都比较小。到了近代，随着水利工程技术和水资源开发利用需求的增加，兴建水库的数量和规模都有较快的发展。水库建成后，可起防洪、蓄水灌溉、供水、发电、养鱼等作用，它是通过径流调节对天然水资源进行重新分配的重要措施之一。

我国是兴建水库最早的国家之一，明朝徐光启在《农政全书》卷二十中描述：“水库者，水池也。”，充分体现出水库的最概括定义。但是，随着学科的不断细化，不同的学科对于水库的定义是不同的。

一、水库的类型

（一）水库的概念^[1]

在水利科技和水文学学科中，水库系指在河道、山谷、低洼地有水源或可从另一河道引入水源的地方修建挡水坝或堤堰，形成的蓄水场所；或者是在有隔水条件的地下透水层修建截水墙，形成的地下蓄水场所。

在电力、电力规划、设计与施工学科中，水库系指能拦截一定水量，起径流调节作用的蓄水区域，一般是指河流上建设拦河闸坝后造成的人工蓄水工程。天然湖、泊、洼、淀等可以拦蓄水量为开发水资源服务的，有时又称“天然水库”。

在地理学、水文学学科中，水库系指因建造坝、闸、堤、堰等水利工程拦蓄河川径流而

形成的水体。

一般的解释为水库系指“拦洪蓄水和调节水流的水利工程建筑物，可以利用来灌溉、发电、防洪和养鱼。”它是指在山沟或河流的狭口处建造拦河坝形成的人工湖泊。

（二）水库的类型

水库分类的方法很多，主要有以下几种。

1. 按水库蓄水容量（即库容）的大小，把水库分成大、中、小 3 种类型

（1）大型水库 总库容在 1 亿立方米以上。大型水库又分为两级：大（1）型水库库容大于 10 亿立方米；大（2）型水库库容大于 1 亿立方米而小于 10 亿立方米。

（2）中型水库 总库容在 1000 万立方米以上，1 亿立方米以下。

（3）小型水库 总库容在 10 万立方米以上，1000 万立方米以下。小型水库又分为两级：小（1）型水库，总库容在 100 万立方米以上，1000 万立方米以下；小（2）型水库，总库容在 10 万立方米以上，100 万立方米以下。

（4）至于总库容在 10 万立方米以下的，一般称为山塘式塘坝。

2. 根据水库所在地区的地貌、库床及水面的可将水库分为四类

（1）平原湖泊型水库 在平原、高原台地或低洼区修建的水库。形状与生态环境都类似于浅水湖泊。形态特征水面开阔，岸线较平直，水库弯道较少，底部平坦，岸线斜缓，水深一般在 10m 以内，通常无温度跳跃层，对发展渔业具有优良性能。如山东省的峡山水库、河南省的宿鸭湖水库。

（2）山谷河流水库 建造在山谷河流间的水库。形态特征库岸陡峭，水面呈狭长形，水体较深但不同部位差异极大，一般水深 20~30m，最大水深可达 30~90m，上下游落差大，夏季常出现温度跳跃层。如重庆市的长寿湖水库、浙江省的新安江水库等。

（3）丘陵湖泊型水库 在丘陵地区河流上建造的水库。形态特征介于以上两种水库之间，库岸线较复杂，水面分支很多，库弯道较多，库底比较复杂，具有发展渔业良好性能。如浙江省的青山水库、陕西省的南沙河水库等。

（4）山塘型水库 在小溪或洼地上建造的微型水库，主要用于农田灌溉，水位变动很大。江苏省溧阳市山区塘马水库、宋前水库、句容的白马水库，安徽广德县和郎溪县这种类型的水库较多，主要用于灌溉农田。

水库工程又可以按照开发建设的目标，分为灌溉水库，城镇、乡村供水水库，防洪水库，发电水库等。开发目标是多项的，称为综合利用水库，往往是以一个目标为主，结合其他目标的利用。例如，以灌溉为主，结合防洪、发电；或以发电为主，结合灌溉、城镇供水等。

我国最大的水库是长江三峡水库，总面积 1084km²，范围涉及湖北省和重庆市的 21 个县市，175m 正常蓄水位高程，总库容 393 亿立方米；浙江省最大的水库是新安江水电站水库，控制流域面积 10442km²，占新安江流域面积的 89.4%，水库具有多年调节性能，设计正常高水位 108m，相应面积 580km²，水库总库容为 220 亿立方米。

二、水库的特性

水库作用发挥得如何与水库的特性有密切的关系。水库的特性主要包括水库的集水面

积、水库的特征水位、水库的特征库容、水库的特征曲线。

（一）水库的集水面积

在河道上修建水库后，水库的大坝和堤防工程就控制了坝址以上河道流域面积内的来水，这部分流域面积就是水库的集水面积。简单地讲，水库集水面积就是水库大坝上游的流域面积。在求水库的集水面积时，首先要确定本流域与外流域的分水岭确定流域的边界，然后再通过外业测量和内业计算，才能求得水库的集水面积。

水库集水面积的大小、形状、地形坡度、下垫面条件以及集水面积内降雨和蒸发量的大小等因素，决定着水库的这一重要特性，也包括水库的规模、建筑物和配套建筑物的型式、规模、几何尺寸等。

（二）水库的特征水位

水库在规划设计与运行的管理中，通常会选择若干个作为设计和控制运用条件的特征水位，如图 1-1 所示。水库的特征水位就是指根据任务要求，水库在各种不同时期的水文情况下，需控制或允许达到的各种库水位，它是反映水库工作状况的水位。这些特性水位可以反映水库的规模、效益与运用方式，常常要通过经济分析和综合比较选定。

水库的特征水位在一般情况下主要包括：正常蓄水位、死水位、防洪限制水位、防洪的高水位、设计洪水位和校核洪水位。

（1）正常蓄水位 水库在正常运用情况下，为满足兴利要求在开始供水时应达到的水位，称为正常蓄水位，又称为正常高水位、兴利水位设计蓄水位。正常蓄水位的大小不仅决定水库的规模、效益和调节方式，也在很大程度上决定水工建筑物尺寸、型式和水库淹没损失，是水库最重要的一项特征水位。

（2）死水位 水库在正常运用情况下，允许消落到的最低水位，称为死水位，也称为设计低水位。死水位应通过综合技术经济比较和分析选定。其原则是：①使水电站的保证出力

和年发电量在既定的正常蓄水位的条件下接近最大值；②考虑防洪及其他综合用水部门如灌溉、航运等对水库最低水位的要求；③要注意低水位时水轮机运行工作情况和闸门制造条件等限制因素；④注意泥沙淤积对水库水位的影响。

（3）防洪限制水位 水库在汛期允许兴利蓄水的上限水位，也是水库在汛期防洪运用时的起调水位，称为防洪限制水位。防洪限制水位的拟定，关系到防洪和兴利的结合问题，要兼顾两方面的需要。如汛期内不同时段洪水特征有明显差别时，可考虑分期采用不同的防洪限制水位。

（4）防洪的高水位 水库遇到下游防护对象的设计标准洪水时，在坝前达到的最高水位，称为防洪的高水位。只有当水库承担下游防洪任务时才需确定这一水位。此水位可采用相应下游防洪标准的各种典型洪水，按拟定的防洪调度方式，自防洪限制水位开始进行水库调洪计算求得。

（5）设计洪水位 水库遇到大坝的设计洪水时，在坝前达到的最高水位，称为设计洪水

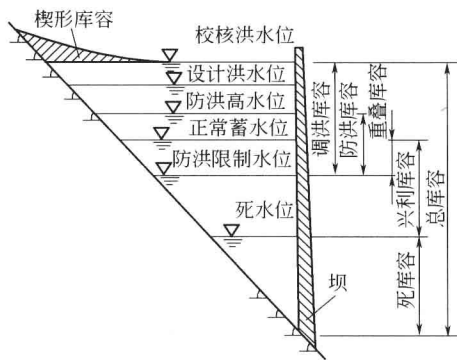


图 1-1 水库特征值示意

位。它是水库在正常运用情况下允许达到的最高洪水位，也是挡水建筑物稳定计算的主要依据，可采用相应大坝设计标准的各种典型洪水，按拟定的调度方式，自防洪限制水位开始进行调洪计算求得。

(6) 校核洪水位 水库遇到大坝的校核洪水时，经水库调洪后，在坝前达到的最高水位，称校核洪水位。它是水库在非常运用情况下，允许临时达到的最高洪水位，是确定大坝顶高及进行大坝安全校核的主要依据。此水位可采用相应大坝校核标准的各种典型洪水，按拟定的调洪方式，自防洪限制水位开始进行调洪计算求得。

(三) 水库的特征库容

水库的特征库容是指相应于水库特征水位以下或两特征水位之间的水库容积。主要包括死库容、兴利库容、防洪库容、调洪库容、重叠库容和总库容。

(1) 死库容 死库容是指死水位以下的水库容积，也称为垫底库容，位于水库的最低部分。它不起调节的作用，只是为保证水库上、下游有一定的兴利水位差，营造库区生态环境以及蓄存淤积泥沙和水产养殖等目的而预留的库容。

(2) 兴利库容 正常蓄水位至死水位之间的水库容积称为兴利库容，也称为调节库容。用以调节径流，提供水库的供水量。

(3) 防洪库容 防洪库容是指为了削减洪峰、防止下游洪水灾害而进行水库径流调节所需的库容，一般是指汛期坝前限制水位以上到设计洪水位之间的库容。防洪库容主要用以控制洪水，满足水库下游防护对象的防洪要求。

(4) 调洪库容 调洪库容指校核洪水位至防洪限制水位之间的水库容积。调洪库容主要用以拦蓄洪水，在满足水库下游防洪要求的前提下保证大坝安全。

(5) 重叠库容 重叠库容是指正常蓄水位至防洪限制水位之间的水库容积。这部分库容既可用于防洪，也可用于兴利。防洪库容与兴利库容完全重叠时，正常蓄水位即为防洪的高水位。防洪库容与兴利库容完全分开时，正常蓄水位即为防洪限制水位。

(6) 总库容 校核洪水位以下的水库容积称为总库容。它是一项表示水库工程规模的代表性指标，可作为划分水库等级、确定工程安全标准的重要依据。

(四) 水库的特性曲线

在河流某一断面上筑坝，坝体的高度越高，水库的水面面积就越大，水库的库容也就越大。而在河道不同的断面，相同的坝体高度，其相应的面积和库容也是不同的，这是库区内地形不同所致。也就是说，坝址不同，水库特性曲线就不同。所以水库特性曲线是反映水库地形特征的曲线。水库特性曲线是水库规划、设计和水库调度不可缺少的基本资料^[2]。

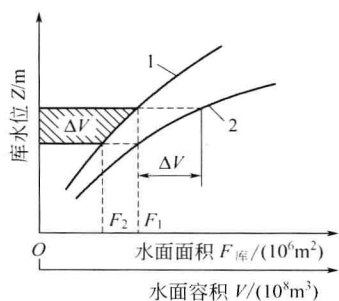


图 1-2 水库容积特性和面积特性

1—水库面积特性；2—水库容积特性

水库特性曲线是指水库水位与水面面积的关系曲线和水库水位与库容的关系曲线。水库的水面面积和容积是水库的两个重要特征数值，常用水库水位与水面面积关系曲线表示一座水库的水位与水面面积的对应关系；用水库的水位与库容关系曲线表示水库的水位与库容的对应关系，如图 1-2 所示。这两种曲线所反映的都是水库库区的地形特性，它们也是规划水库和设计水库组成建筑物的重要依据，是水库建成后进行调度控制运用的主要资料。

第二节

水库的作用与影响

水库具有防洪、发电、灌溉、供水、航运、维护生态等多种功能，是调控水资源时空分布、优化水资源配置的重要工程措施，是江河防洪体系不可替代的重要组成部分，是维系国民经济发展的重要基础设施。截至 2010 年，我国已建各类水库 8.7 万余座，其中大型 544 座、中型 3259 座，水库总库容 7064 亿立方米。全国水库防洪保护范围内约有 3.1 亿人口、132 座大中城市、0.32 亿公顷农田；水库年供水能力约 5000 亿立方米，其中为城市供水达 200 多亿立方米，近百座大中城市的居民生活和工业用水的全部或部分依靠水库供水；由水库提供灌溉水源的耕地约 0.16 亿公顷，占总灌溉面积的 1/3。

水库是我国在防洪中广泛采用的工程措施之一。在防洪区上游河道适当位置兴建能调蓄洪水的综合利用水库，利用水库库容拦蓄洪水，削减进入下游河道的洪峰流量，达到减少或避免洪水灾害的目的。水库的作用是改变江河的自然面貌、兴利除害、发挥水资源的综合效益。水库不仅可以重新分配径流，减免水灾和旱灾，同时还可以利用蓄水和抬高的水位进行灌溉、发电、航运、给水、养殖和旅游等^[3]。但是，任何事物都具有其相反的方面，会对水库产生一些不利影响，在规划和设计中应当引起高度重视。

一、水库的作用

1. 防洪减灾

防洪减灾是水库最主要的作用。在汛期洪水到来时，水库可以拦（滞）蓄存一定标准的河流洪水，削减洪水流量的峰值，通常称为滞洪削峰，对下游河道洪水的流量加以控制，使之保持在安全可靠范围内，对下游河道工程和沿岸地区可以起到显著的防洪减灾作用。

2. 城乡供水

在天然的情况下，河流的来水在各年之间和一年内的各个不同时段之间都有较大的变化，它与人们的用水在时间和水量分配上经常存在着较大的矛盾，兴建水库对来水进行调节，是解决这种矛盾的主要措施。

在河流来水较多时，利用水库把一部分水蓄存起来，然后根据各部门用水需要适时适量地供水，这样可以有效地解决农业灌溉和城市供水方面的需求。例如，安徽省水库工程的供水量，已占全省总用水量的 30% 左右。中山市长江水库 2010 年实现供水达 3010 万立方米，年供水总量创下历史新高，比去年增加了近 1 倍。

3. 水力发电

水库兴建后，由于大坝蓄水抬高河道的水位，形成较大的水位势能，可以在适当的位置修建水力发电站，将水的势能转化为电能，为国民经济建设和人们的生活提供电能。水电不仅是一种环保和可以再生的能源，而且在我国的电源构成中占有重要地位。

2011 年我国的发电装机容量达 10.6 亿千瓦，居世界第二位。至 2011 年年底，我国水电装机容量已达到 2.2 亿千瓦，居世界第一位，其比重已达到 20.8%。据国家电网公司统计，2011 年全国水力发电量 6205 亿千瓦时，是我国发电量的重要组成部分。预计“十二五”期间，我国将新增水电装机容量 8000 万千瓦，至 2020 年，我国水电装机容量将达 4 亿

千瓦左右。

4. 航运交通

水库闸坝的修建,抬高了水库上游河道的水位,延长了坝址以上河道的深水区域,同时也扩大了水域面积,这样使原来不能通航的区域可以通航,原来能够通航的区域提高了通航的能力,并且也改善了通航的条件。例如,三峡工程蓄水后,航道变宽变深,通航能力达到万吨级,往来船舶可以上下行分道航行,三峡水上运输快速发展。目前,从三峡大坝至重庆的600多千米水域,已成为长江航运线上的“高速公路”;同时还使大宁河、香溪等中小支流的通航里程增加约550km。

5. 水产养殖

修建水库后,一般都会伴随有水域面积和水域空间的扩大,利用这些良好的水面和水体,可以开展和拓展水生动植物种植养殖,产生巨大的经济效益。我国水库的水质良好,是极佳的淡水养殖水体,其可养殖的水面面积占我国可养殖面的30%以上。据2011年全国渔业经济统计公报统计,2011年水库养殖面积1851.88千公顷,比2010年增加56.30千公顷;2011年水库的淡水鱼总产量达到223万吨,占全国淡水鱼总产量的17.7%。

6. 生态环境

水库对生态环境具有一定的作用。水库兴建后,由于水面面积和空气湿度的改变,可以改善区域内的生态环境,为区域水土资源的利用创造有利条件。同时,水库工程的修建和蓄水后,自然环境的巨大变化,通常会产生新的人文和自然景观,可以充分利用这些条件,发展水上、工程旅游和库区生态环境资源利用项目,带来可观的经济效益、社会效益和生态效益,因此兴建水库是综合利用水资源的有效措施之一。

二、水库的影响

由于我国水资源分布时间、空间具有明显的不均匀性,水库的建设开发在我国经济建设过程中一直处于非常重要的地位。但是,水库建设在带来巨大社会效益和经济效益的同时,其潜在的负面影响也逐步显露出来,如河流枯竭、泥沙淤积、生态恶化、物种减少等。随着公众生态意识的日益提高,水库建设对生态环境的影响受到越来越多的关注。因此,通过对水库的影响进行评价,提出有效地应对措施,将有利于减少工程实施对生态环境的不利影响,保护区域生态系统健康,持续地发挥其功能,能更好地协调处理水库建设与生态环境保护的关系,建设生态健康水库,实现人与自然的和谐共处,实现社会的可持续发展^[4]。

(一) 修建水库对河流形态的影响

河流自身的健康也是需要用水来维护的,否则就不成其河流,一定的“河道内用水”才能保持河槽的相对稳定。水库拦蓄影响河道行水,以至不能满足河槽相对稳定的最低要求,并且大坝下泄的河水剥蚀下游河床与河岸,使靠近坝址下游的河道偏移、河床淤深、异常的淤积物聚集等会造成下游河道萎缩,降低其行洪能力。同时大坝蓄水对河流流量的调节,使河道流量的流动模式发生变化。

水库筑坝使沿水流方向的河流非连续化,水面线由天然的连续状态变成为阶梯状,使河流片段化。河流片段化的形成或加剧,使流动的河流变成了相对静止的人工湖泊,流速、水深、水温结构及水流边界条件等都发生了重大的变化。

（二）水库建设对河流水文特性的影响

水库拦断江河后，对天然河流的水文情势产生了一定的影响。这种水文变化主要表现在河流流量、河流水位、地下水水位变化等。影响最大的是多年调节型水库，影响相对较小的是日调节型水库。水库水位的变化与天然江河大不相同，这取决于不同类型的调节方式，以防洪为主要目标的水库，其水位的变化在季节上与天然河流是相反的，水位变幅较大，汛期水库处于低水位运行；在汛末蓄水，水库处于高水位运行。与天然情况相比，增加了江河枯水期流量，减少了丰水期流量，尤其对洪峰流量有明显的削减作用，提高了下游防洪标准。同时，还可以提高下游工业生产和农业灌溉的用水保证率，增加水电站的保证出力。

由于流域内的地表水与地下水有着密切的水力联系，河流水文条件的改变也会影响到地下水的水位、水质等。坝址上游水库蓄水使其周围地下水水位抬高，从而扩大了水库浸没范围，导致土地的盐碱化和沼泽化。同时，拦河筑坝也减少了大坝下游地区地下水的补给来源，致使地下水水位下降，大片原有地下水自流灌区失去自流条件，从而降低了下游地区的水资源利用率，对灌溉造成不利影响。

（三）水库建设对河流水质的影响

水库蓄水后，一方面吸纳了流域汇流带来的污染物，另一方面原来流动的水体滞留在库内，这些变化使得库区水质发生了变化。拦河筑坝改变了河流的水动力特性，河流因建坝而经历的化学、物理和生物变化会极大地改变原有水质状况，主要表现为水库水体盐度增高、水库水温分层、库中藻类繁殖加剧等。

（1）盐度的变化 大坝拦水以后会形成面积广阔的水库，与天然河道相比，大大增加了曝晒于太阳下的水面面积。在干旱地区炎热气候条件下，库水的大量蒸发会导致水体盐度的上升。此外，坝址上游土地盐渍化会影响地下水的盐度，通过地下水与河流的水力交换，又会影响河流水体的盐度。

（2）温度的变化 通常，从水库深处泄出的水，夏天比河水水温低，冬天比河水水温高；而从水库顶部附近出口放出的水，全年都比河水水温高。

（3）藻类的变化 大坝在截留沉积物的同时也截留了营养物质。这些营养物质使得水库水体更易发生富营养化现象。在气温较高时，藻类可能会在营养丰富的水库中过度繁殖，使水体散发出难闻的气味。

（四）水库对于库区生物的影响

水库建成后，库区生态环境发生了巨大的变化，水库淹没区由原来的陆地生态环境变成水生生态环境。天然植物被淹没，原来的自然河流变成深水型水体。这种变化影响了库区水生和陆生动植物种类、数量和分布。

（1）对陆生植物和动物的影响 库区的淹没和库区永久性的水库水电工程建筑物对其范围内的陆生植物和动物会造成直接破坏，除此之外，局部气候的变化，土壤沼泽化、盐碱化等也会对动植物的种类、结构及生活环境造成影响。

（2）对水生生物的影响 水库淹没区和浸没区原有植被的死亡，以及土壤可溶盐都会增加水体中氮磷的含量，库区周围农田，森林和草原的营养物质随降雨径流进入水体，从而形成富营养化的有利条件。这些条件有利于浮游生物、底栖动物及底生长植物的生长繁殖，喜欢流水生活和静水生活的鱼类的数量将在水库内增加，而对适应于急流中生活的鱼类，如体形细长、善于游泳或有吸盘等吸附构造的鱼类，将不能在库内存活。此外，水库大坝的修

建,会隔断某些逆流产卵的鱼类的回游通道,影响这些鱼的繁殖。

(五) 水库引发的地质灾害

水库蓄水投入运行后所遭受的破坏主要有渗漏、滑坡和开裂,其中渗漏最为主要,其他两种事故也与渗漏作用有关。渗漏分管涌、流土、接触冲刷和接触流土四种渗流破坏类型。根据产生部位和原因的不同,渗漏主要有以下几种类型。

(1) 下游坝坡渗漏 浸润面从下游坝坡出逸,致使坝坡湿润或沼泽化。这种现象一般发生在均质坝或混合土料坝型中。过高的浸润面将增加滑坡的可能性;另外,在渗流的长期作用下,以及自然条件(温度、降雨等)的影响,坝坡土的抗剪强度将减小,从而引起局部渗透破坏,导致坝坡滑塌。

(2) 坝后地面出现砂沸、砂环、泉涌、管涌或沼泽化 对表层为透水性较小的粉细砂、淤泥或壤土,其下为强透水的砂砾石或砂层的成层地基,若坝后没有采取排水减压(减压井、沟)措施,或虽有排水设施但滤层级配不良或施工质量差,造成排水设施被堵塞,则此种地层的渗流出流坡降往往是较大的。当出流的坡降大于表层土的临界坡降时,坝后地面即出现砂沸、砂环、泉涌等破坏现象。对单一地层,若防渗设施质量不高或渗流出口无排水滤层保护,在坝后地面也易产生砂沸或管涌。

(3) 各种接触部位渗漏 在坝体与坝基或岸坡、坝体与刺墙、防渗墙或涵管(刚性体)、两种不同粒径土的界面、防渗设施与破碎基岩等之间的各种接触部位,由于设计和施工等多方面的原因,往往易成为渗漏的捷径,并引起接触冲刷而导致坝的失事。如岳城水库就是由于砾石和中细砂之间层间系数过大,不满足滤层要求,使得中细砂涌入排水管,并在暗管上部坝坡出现塌坑一处。

(4) 混凝土防渗墙渗漏 在一些采用混凝土防渗墙的工程中,一是由于施工技术和质量问题,在墙的搭接处存在张开的缝隙,缝内充填泥浆,从而降低防渗效果;二是由于刚性防渗墙与塑料防渗体的联结部位设计不当,易产生渗漏。如北京的西斋堂水库,混凝土防渗墙的渗漏就是由于墙体段搭接不良引起的。

(5) 坝体裂缝渗漏 一旦坝基或坝体中产生了裂缝,大坝抗渗透破坏能力将显著降低,从而引起渗漏事故。

(6) 岩溶渗漏 由于基岩内存在未经处理的、且与裂隙和断层连通的岩溶,是导致在基岩内产生集中渗漏,冲刷与其接触的防渗体,并使下游覆盖层承受较大的水头,致使发生渗漏破坏。

(7) 绕坝渗漏 坝的两岸山体裂隙、节理发育,或有断层和岩溶,或为透水的第四纪堆积层,则绕坝渗透水流除影响周围挡水体的安全外(例如浸润面过高引起滑坡),对坝体和坝基还产生如下不利影响:抬高岸坡部分坝体的浸润面和坝基的扬压力;在坝体和岸坡的接触面上可能产生接触冲刷。

(六) 水库库区内产生大量淤积

兴建水库后,由于坝体具有挡水作用,使水流进入水库后,流速大大减缓,水流挟沙能力随之降低,必然导致泥沙在库内沿程沉积,从而引起回水抬高和库容减少,不仅缩短水库的使用寿命,而且还会加大上游淹没损失。

上游河道水流输水输沙能力的改变,也会对河道的形态、流态产生一定的影响。同时,水库泥沙的大量淤积,还将影响库区水电站的正常运行,可能造成上游城镇被淹,使沿岸工

程的正常工作条件遭到破坏,淹没或浸没两岸的农田,造成内涝和妨碍通航等方面的影响。

(七) 水库很可能出现诱发地震

如果库区及其周边岩体中,有活动性断裂构造或者现代岩溶性发育,当水库的蓄水达到一定高度,在一定程度上会改变库区的水文地质条件和天然地应力,这样就可能影响库区原有岩石构造的相对稳定性,甚至可能出现诱发地震。

在特定的地区因某种地壳外界因素诱发而引起的地震称为诱发地震。水库诱发地震是指因水库蓄水而诱使坝区、水库库盆或近岸范围内发生的地震。水库诱发地震的主要特点如下。

(1) 震中密集于库坝附近 主要是密集分布于水库边岸几公里到十几公里范围内,或是密集于水库最大水深处及其附近,或是位于水库主体两侧的峡谷区。

(2) 震源极浅,震源体小 水库诱发地震主要发生于库水或水荷载影响范围内,所以震源深度比较浅,多在地下 10km 范围内。由于震源较浅,所以面波强烈,震中烈度一般较天然地震高。由于震源浅且震源体小,所以地震的影响范围小,等震线衰减迅速,影响范围多属局部。

(3) 地震活动峰值在时间上均较水位或库容峰值有所滞后 水位的急剧下降或上升,特别是急剧下降,往往有较强地震产生。

(八) 水库岸坡产生滑坡和塌岸

工程观测充分证明,水库的蓄水和水位周期性变化,将会诱发库岸塌岸和滑坡灾害。水库岸堤可分为土质库岸、岩质库岸和滑坡体库岸三大类,在水库岸堤中存在塌岸和滑坡地质灾害塌岸灾害为侵蚀-剥蚀型及局部的坍塌,库水作用主要表现在波浪冲刷岸坡土体和对土体侵蚀库岸滑坡为牵引式滑坡,水库蓄水是主要诱发因素作用主要表现在降低土体抗剪强度、孔隙水压力和渗透压力三个方面。

水库蓄水岸坡浸水后,会使包括下落地带在内的库内河岸岩土含水量增加,岩土抗剪强度降低,也可能造成原有库岸局部的失稳,进而引起库岸岩土体的塌滑。塌岸地带的房屋、道路和农田可能会遭到破坏,靠近坝库区发生急骤的大规模塌岸所引起的涌浪,往往严重影响工程的施工和运行管理。如涌浪越过土石坝,则可能导致溃坝的严重后果;同时塌岸物质会加剧水库的淤积,造成水库库容的减少,严重影响水库效益的发挥。

第三节

我国水库大坝安全现状

防洪一直是世界上非常棘手的难题,洪水具有发生频繁、破坏能力强的特点。与一般自然灾害(如雪崩、地震、火山爆发等)的地域性不同,洪水对人类生命及生活的影响更为广泛。据有关资料表明世界范围内,1966~1999 年期间主要自然灾害造成的死亡人数统计,可以发现,受洪水影响的人数远远超过其他几种自然灾害影响人数的总和。

一、水库大坝安全的重要性

水库作为重要的水利工程枢纽,在防洪中发挥着巨大的工程效益,承载着人民日常生活及工农业生产的艰巨任务。水库不仅为防汛抗洪调度、确保一方平安做出了巨大贡献,而且