

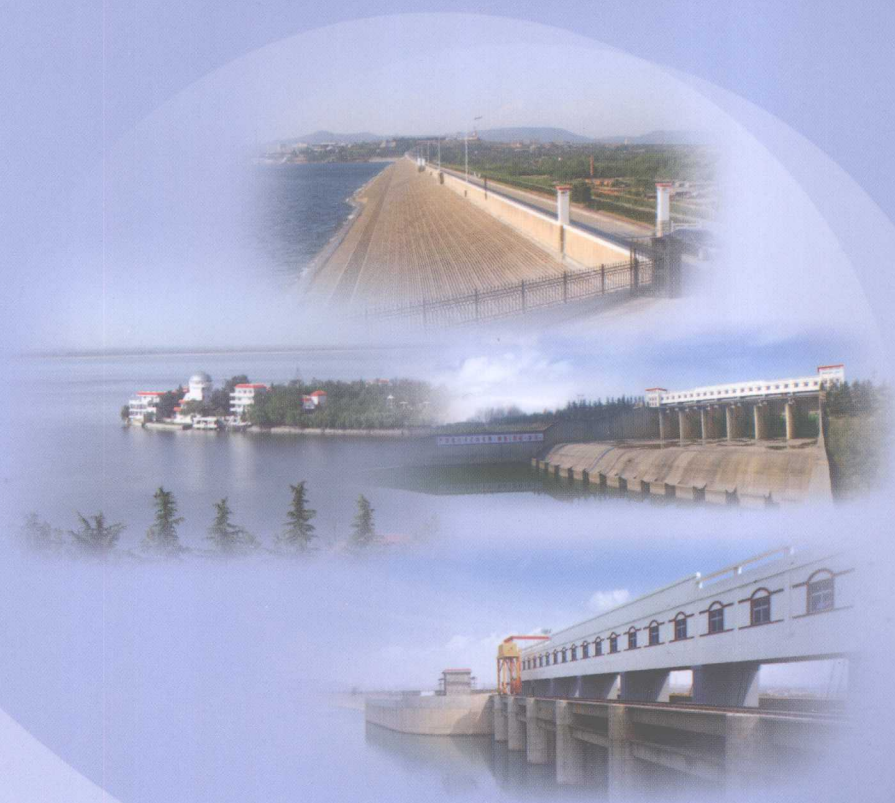
BAIGUISHAN SHUIKU

YOUHUA DIAODU

白龟山

水库优化调度

主编 田庆贺 马朝运



黄河水利出版社

要 容 内

白龟山水库优化调度

主 编 田庆贺 马朝运

副主 编 田庆贺 马朝运 力 丁永昌

编 副主编 王 森 慕西安 春雨 黄志伟

李付 田 力 丁永昌 杜琴 张国臣

马朝运 鲁朝显 王银山 徐章耀

图 书 在 版 目 录 (CIP)

白龟山水库优化调度 田庆贺 马朝运 编 黄河水利出版社

水利出版社, 2008.1

ISBN 978-7-80734-110-9

I. 白... II. ①田... ②马... III. 水库调度—最佳

IV. TV692.1 平市 市 图 书 在 版 目 录 (CIP)

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第171299号

出 版 社 黄 河 水 利 出 版 社

社 址 河 南 省 郑 州 市 金 水 路 11 号

电 话 0371-66056940

发 行 单 位 黄 河 水 利 出 版 社

印 刷 厂 0371-66056940

印 刷 厂 0371-66056940

E-mail: hslpc@126.com

承 印 单 位 黄 河 水 利 委 员 会 印 刷 厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 10.25

黄 河 水 利 出 版 社

字 数 246 千 字

印 次 2008 年 1 月 第 1 次 印 刷

印 次 2008 年 1 月 第 1 次 印 刷

定 价 25.00 元

书 号 ISBN 978-7-80734-110-9

内 容 提 要

本书以编者多年来的科研及水库运行管理实践为基础,从理论分析、数学模型、算法程序及应用实践等方面,对白龟山水库优化调度研究及成果的实际运用效果作了全面阐述。本书的内容包括水库概况、洪水预报数学模型、单库调度、梯级水库联合调度、汛限水位动态控制等。可供水利工程设计、运行管理人员和大专院校相关专业师生参考。

田庆贺 田朝运 主 编
王 森 主 编
田 庆 贺 主 编

图书在版编目(CIP)数据

白龟山水库优化调度/田庆贺,马朝运主编. —郑州:黄河水利出版社,2008.1

ISBN 978-7-80734-110-9

I. 白… II. ①田… ②马… III. 水库调度-最佳化-平顶山市 IV. TV697.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 171566 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940

传真:0371-66022620

E-mail: hhsclbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:10.25

字数:246 千字

印数:1—1 000

版次:2008 年 1 月第 1 版

印次:2008 年 1 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-80734-110-9/TV·469

定价:26.00 元

- [1] 周国荣. 水库洪水预报控制方法研究[M]. 大连:大连理工大学出版社,2006.
- [2] 程静. 模糊数学在洪水预报中的应用[J]. 大自然探索,1994(30):86.
- [3] 陈永军,王平,陈守煜. 交互式的多目标水库防洪模糊优化调度[J]. 水利管理技术,1993(4):8-11.
- [4] 李军. 模糊决策理论与应用[M]. 大连:大连理工大学出版社,1994.
- [5] 田庆贺. 模糊决策优化原理[M]. 大连:大连理工大学出版社,1990.
- [6] 田庆贺. 模糊决策优化[M]. 大连:大连理工大学出版社,1993.
- [7] 田庆贺,王森. 模糊决策优化原理[M]. 大连:大连理工大学出版社,1990.
- [8] 田庆贺,王森. 水库洪水预报系统的风险分析[J]. 水文,2001,20(2):1-4.
- [9] 田庆贺,王森. 模糊决策优化原理[M]. 大连:大连理工大学出版社,1990.
- [10] 田庆贺,王森. 模糊决策优化原理[M]. 大连:大连理工大学出版社,1990.
- [11] 田庆贺,王森. 模糊决策优化原理[M]. 大连:大连理工大学出版社,1990.
- [12] 魏水平,田庆贺,田力. 河南省白龟山水库洪水调度方案优化[J]. 水利学报,2006,37(4):431-436.
- [13] 田力,田庆贺. 联合防洪补偿调度在梯级水库中的应用[J]. 水利学报,2006,37(4):431-436.
- [14] 魏恒志,田力. 降雨预报误差对水库防洪预报调度的影响分析[J]. 水利学报,2006,37(4):431-436.

《白龟山水库优化调度》编委

主 编 田庆贺 马朝运

副主编 王 森 慕西安 田 力 丁永昌

编 委 刘德波 魏水平 陆春雨 黄志伟

李付长 褚青来 吴社琴 张国臣

马耀辉 鲁朝显 王银山 徐章耀

赵国真

前 言

水库工程既承担着防洪、除涝等确保人民生命财产安全的社会公益性任务,又承担着利用有限的水资源满足工农业生产、城市生活用水需要的任务,所以在防洪和兴利调度运用上相互矛盾又相互依存。其复杂性主要来自于流域内水情、雨情、墒情的随机性,使调度管理所必需的信息难以准确获得;其次,调度的实时性和管理的综合性也使其复杂性加大。如何对水库进行科学调度,使其防洪、兴利均达到最优状态,是一个具有重要理论意义和实用价值的课题。

本书以编者多年来的科研及水库运行管理实践为基础,从理论分析、数学模型、算法程序及应用实践等方面,对白龟山水库优化调度研究及成果的实际运用效果作了系统阐述。

本书共分为5章:第1章主要介绍了水库概况;第2章建立了洪水预报数学模型;第3章介绍了白龟山水库洪水预报调度;第4章介绍了昭-白梯级水库联合防洪优化调度;第5章介绍了汛限水位动态控制。本书具有内容丰富、系统性强、数据翔实、理论与实际相结合、有实际运用效益等特点,是白龟山水库建成40年来几代工程技术人员研究成果的结晶,是水库运行人员实践经验的集成。

本书在编写过程中得到了河南省白龟山水库管理局,河南省水利勘测设计院、大连理工大学土木水利学院水资源教研室、河南省水文水资源局等单位的大力支持和指导。在此,编者谨此致以衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中失当之处在所难免,敬请各位读者批评指正。

编者

2007年8月

目 录

前 言

第 1 章 概 况	(1)
1.1 流域自然地理与水文气象特征	(1)
1.2 水库基本资料	(4)
第 2 章 洪水预报数学模型	(7)
2.1 洪水特性	(7)
2.2 数学模型原理	(7)
2.3 数学模型参数调试	(15)
2.4 实际应用情况	(19)
第 3 章 白龟山水库洪水预报调度	(23)
3.1 总体设计	(23)
3.2 洪水调度中的关键技术	(26)
3.3 交互式洪水预报子系统	(33)
3.4 交互式洪水调度子系统	(40)
第 4 章 昭 - 白梯级水库联合防洪优化调度	(46)
4.1 梯级水库联合防洪调度主要方法及内容	(46)
4.2 昭 - 白梯级水库联合防洪优化调度研究	(49)
4.3 防洪优化调度算例求解	(60)
4.4 昭 - 白梯级水库联合防洪优化调度规则研究	(64)
4.5 结 论	(66)
第 5 章 汛限水位动态控制	(69)
5.1 概 述	(69)
5.2 设计洪水复核及分期洪水分析	(71)
5.3 利用降雨预报信息及洪水预报信息的可行性	(95)
5.4 水库防洪预报调度方式研究	(109)
5.5 汛限水位动态控制约束域确定方法及应用研究	(125)
5.6 汛限水位动态控制方法	(127)
5.7 汛限水位动态控制方案的效益分析	(136)
5.8 白龟山水库汛限水位动态控制的风险分析	(141)
5.9 初步结论	(153)
参考文献	(155)

第1章 概况

1.1 流域自然地理与水文气象特征

1.1.1 自然地理概况

白龟山水库流域现有昭平台、白龟山两座大(Ⅱ)型水库和35座中、小型水库。昭平台、白龟山二库坝址位于淮河流域沙颍河水系沙河干流上。

沙颍河是淮河流域最大支流,发源于伏牛山东麓,在漯河以西流域面积为12 580 km²。昭平台坝址以上为深山区,山峰重叠,地势陡峻。昭平台—白龟山区间(以后简称昭—白区间)为浅山丘陵区,地势逐渐开阔,两岸山岭较低,河道流入冲积台地,比降较缓,为1/800~1/1 200,河床为小碎石及砂,河身弯曲。白龟山水库坝址处地面高程一般为90~92 m,河床高程为86~87 m。

昭—白区间流域呈扇形,主要河流为沙河。沙河发源于鲁山县石人山主峰东侧,自西向东流。从沙河源头至二郎庙段,河道比降一般在1/40,水流湍急,河宽50~120 m,河床内多为直径0.5~0.6 m的花岗岩砾石,大者可达1~2 m。河槽呈“V”字型。二郎庙以下至下汤区间的比降为1/50~1/340;河槽呈“U”字型,河宽达200 m左右,河床上部为0.1~0.2 m的砾石,向下渐变为较小的砂卵石,沿河阶地常被冲刷崩塌。下汤以下至昭平台一般比降为1/500,河宽达1 000 m,河床砂卵石粒径由粗变细,昭平台坝址以上河道长75 km,落差1 900 m。

昭—白区间,沙河河长约40 km,区间流域面积1 310 km²。

1.1.1.1 昭平台水库以上的主要支流

荡泽河(古称波水),位于沙河北岸,是沙河上游最大支流,长38.5 km,发源于汝阳县黄花岭,流经鲁山县石坡头、曹楼后,注入昭平台水库。

清水河,位于沙河南岸,发源于鲁山县四棵树乡南分水岭,是沙河上游较大的支流,长25.5 km。

玉皇庙河,发源于石人山主峰东侧,于二郎庙汇入沙河,长16 km。

桃岭河,发源于二郎庙乡桃岭高坡,于上汤村西汇入沙河,长14 km。

窄渠沟河,发源于赵村乡小观音山,于宽步口西汇入沙河,长15 km。

1.1.1.2 白龟山—昭平台区间的主要支流

澎河,发源于南召县杨庄乱石顶山,于孙街与大韩庄之间注入白龟山水库,长51.2 km,流域面积209 km²。澎河干流上有中型水库澎河水库一座。

灈河,发源于南召县大东沟,于灈河村西北注入沙河,长25.5 km,流域面积181 km²。

大浪河,发源于宝丰县乱柴沟,于辛集乡程村南汇入沙河,全长41 km,流域面积164 km²。

应河,发源于宝丰县张八桥乡洮洼村南,于平顶山市郊薛庄乡西汇入沙河,全长 27 km,流域面积 164 km²。



图 1.1 白龟山水库流域图

水库下游马湾安全流量为 $2\,850\text{ m}^3/\text{s}$, 漯河铁路桥安全流量为 $3\,000\text{ m}^3/\text{s}$, 周口安全流量为 $3\,000\text{ m}^3/\text{s}$, 漯河以上集水面积超过 $1\,000\text{ km}^2$ 的较大支流有北汝河、澧河。在马湾站沙河南岸有泥河洼滞洪区, 水库与滞洪区联合运用, 使沙河防洪标准达到 20 年一遇。

白龟山水库上游自 1958 年以来共修建了中、小型水库 35 座:中型 2 座,小 I 类 4 座,小 II 类 29 座。其中,昭一白区间 22 座,昭平台水库以上 13 座。昭一白区间总控制面积 353.76 km^2 ,总库容 $1.11 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中兴利库容 $0.37 \times 10^8 \text{ m}^3$,实际灌溉面积 6.56×10^4 亩^①。昭平台水库以上,控制面积 35.5 km^2 ,总库容 $564.3 \times 10^4 \text{ m}^3$,其中兴利库容 $363.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。白龟山水库自然地理、水文气象特征值见表 1.1。

1.1.2 水文气象特征

昭一白区间流域在北纬 $33^{\circ}40' \sim 33^{\circ}50'$,东经 $112^{\circ}50' \sim 113^{\circ}15'$ 之间,位于亚热带暖湿风气候区向暖温带半干旱季风气候区的过渡地带,气象特征具有明显的过渡性和季风性。

① 1 亩 = $6.67 \times 10^{-4} \text{ km}^2$, 余同。

表 1.1 白龟山水库自然地理、水文气象特征值

项目		单位	数值	项目		单位	数值
位置	白龟山水库		北纬 33°40′~33°50′	含沙量	多年平均输沙量	×10 ⁶ m ³	0.98
			东经 112°50′~113°15′		多年平均含沙量	kg/m ³	4.2
河长	发源地		鲁山县石人山	河道比降	河源至沫河口		0.2‰
	沙河总长	km	620		坝址附近		1.25‰~0.83‰
	坝址以上	km	116		坝址以下		0.2‰
	占总长比		17%		七里河		3.5‰
	七里河	km	29		三里河		5‰
	三里河	km	21		澎河		2.5‰
	澎河	km	51.2		大浪河		6‰
	大浪河	km	41		全沙河		0.2‰
	应河	km	27				
	灋河	km	25.5				
坝址至保护地	漯河	km	128	降水	坝址以上均值	mm	900
	马湾	km	89		平均最大值	mm	1 243.8
	岔河	km	57		平均最小值	mm	446.6
	堤郑	km	10		单站最大值	mm	—
					6~9 月占全年的比值		63%
流域面积	沙河全流域	km ²	39 877	蒸发	全流域平均	mm	567
	坝址以上	km ²	2 740		库水面蒸发	mm	1 307
	昭平台以上	km ²	1 430		5~7 月占全年的比值		44%
	澎河以上	km ²	209	风速	最大(实测值)	m ³ /s	24
	澎河—沙河区	km ²	246		风向		冬季为西北风
	灋河	km ²	181		平均	m ³ /s	—
	大浪河	km ²	164	流域径流	平均径流量	×10 ⁸ m ³	8.8
	应河	km ²	164		平均径流深	mm	321.2
	七里河、三里河	km ²	241(161+80)		最大径流量(1964)	×10 ⁸ m ³	22.83
	库区	km ²	105		最大径流深(1964)	mm	833.2
	坝址至保护地	km ²	—		最小径流量(1966)	×10 ⁸ m ³	1.27
					最小径流深(1966)	mm	46.4

过渡性表现为沙河南部雨水偏多,沙河北部雨水偏少。季风性表现为流域内气候受季风的影响强烈,四季分明,冬季受蒙古高压控制,多西北风,气候干燥,天气寒冷;夏季受西太平洋副热带高压控制,多东南风,降水较为集中。气象变化受季风影响,夏季 6 月以后,热带暖湿气团内移,受西部和南部高山的屏障,极易产生暴雨,是河南省常遇暴雨中心地区。多年平均降水量 900 mm,年内分配极不均匀,60%集中在汛期 6、7、8 三个月。年际变化较大,最大

值和最小值可差 5 倍。年平均温度约为 14°C , 最低温度达 -18°C , 最高温度可达 42°C 。年平均相对湿度约为 70%, 年水面蒸发量为 $900\sim 1\,100\text{ mm}$ 。本流域由于暴雨和地形条件, 洪水暴涨暴落, 极易造成灾害。

1.2 水库基本资料

1.2.1 白龟山水库

白龟山水库位于淮河流域沙颍河水系沙河干流上, 坝址位于河南省平顶山市西南郊, 距平顶山市中心 9 km , 它和上游相距 51 km 的昭平台水库形成梯级水库, 是一座集防洪、城市供水、农业灌溉为一体的大(II)型综合利用水利工程。水库控制流域面积 $2\,740\text{ km}^2$, 其中昭一白区间流域面积 $1\,310\text{ km}^2$ 。该水库兴建于 1958 年, 防洪标准按 100 年一遇设计, 2 000 年一遇校核, 总库容 9.22 亿 m^3 。水库下游有平顶山、漯河、周口等重要城市及平舞、焦枝、京广铁路, 107 国道和京深、南平洛、许平南高速公路等国家交通要道。漯河以下的豫皖平原是国家重要粮棉产区, 水库工程的安全直接关系到下游豫皖两省人民生命财产的安危, 工程地理位置极为重要。

1.2.1.1 工程布置

白龟山水库枢纽工程由拦河坝、顺河坝、北副坝、拦洪闸、泄洪闸、南干渠渠首闸和北干渠渠首闸、拦河坝及顺河坝导渗降压等工程组成。

拦河坝位于九里山与泄洪闸之间, 其起点桩号 $0+000$ 位于坝北头九里山坡, 终点桩号 $1+545.35$ 位于泄洪闸左侧。

顺河坝起点桩号 $0+000$ 位于泄洪闸右侧, 其坝轴线沿沙河右岸一级阶地, 先东西走向, 约在 $12+700$ 号桩处折向西南, 终点桩号 $18+016.5$ 。

北副坝位于水库上游左岸薛庄镇附近, 沿平顶山市新城区纬四路和经十四路修建。

拦洪闸位于拦河坝桩号 $0+102.95\sim 0+122.60$ 之间, 由闸门房、闸孔和移动式平面钢闸门组成。

泄洪闸位于拦河坝、顺河坝之间, 原白龟山岩基上, 为 7 孔带胸墙的开敞式闸, 单孔净宽 11.0 m , 分离式底板。闸室段设 7 孔弧形钢闸门、检修桥、交通桥、启闭机操纵室及工作室等; 上游有防渗铺盖及翼墙; 下游有泄槽及两级消力池、海漫防冲槽等。

南干渠渠首闸位于顺河坝 $9+434$ 号桩处, 闸轴线与顺河坝坝轴线斜交, 交角 80° 。主要担负农业灌溉任务。闸室上部为竖井, 竖井顶部设启闭机操纵室; 下游有消力池等。

北干渠渠首闸为灌溉兼泄洪闸, 位于北坝头上游约 500 m , 朝向北方的山坳处。主要担负农业灌溉及泄洪任务。闸室段设有 3 孔弧形钢闸门、检修桥、交通桥、启闭机操纵室及工作室; 上游有翼墙; 下游有消力池、海漫等。

拦河坝导渗降压工程位于拦河坝下游坝脚排水沟东侧, 由降压井、导渗廊道、明渠及尾水渠组成。

顺河坝导渗降压工程位于顺河坝 $12+700$ 号桩以东坝段下游坝脚排水沟及防汛公路南侧, 由 347 眼降压井和暗涵、导渗降压沟、尾水渠管涵组成。

1.2.1.2 主要技术指标

1.2.1.2.1 规划指标

(1)死水位 97.5 m,相应库容 $0.66 \times 10^8 \text{ m}^3$;

(2)兴利水位 103.0 m,相应库容 $3.02 \times 10^8 \text{ m}^3$;

(3)防洪起调水位 102.0 m,相应库容 $2.40 \times 10^8 \text{ m}^3$;

(4)100 年设计水位 106.19 m,相应库容 $5.53 \times 10^8 \text{ m}^3$;

(5)2000 年校核水位 109.56 m,相应库容 $9.22 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

1.2.1.2.2 工程规模及主要特性

拦河坝的坝型为均质土坝,上游坡率为 1:6.0~1:2.5,下游坡率为 1:3.5~1:2.0,坝顶长度为 1 545.4 m、宽度为 7 m,最大坝高为 24 m,坝顶高程为 110.4 m,防浪墙顶高程为 111.6 m。

顺河坝的坝型为均质土坝,上游坡率为 1:6.0~1:2.5、下游坡率为 1:3.0~1:2.0,坝顶长度为 18 016.5 m,最大坝高为 16.26 m。其中,桩号为 0+000~8+000 的坝段坝顶高程为 110.7~110.8 m,防浪墙顶高程为 111.9~112.0 m,坝顶宽度为 6 m;桩号为 8+000~8+040 的坝段坝顶高程由 110.8 m 降至 110.4 m;桩号为 8+040~17+500 的坝段坝顶高程为 110.4 m;防浪墙顶高程为 111.6 m,坝顶宽度桩号为 8+000~13+480 的坝段为 6 m、桩号为 13+480~13+500 的坝段由 6.0 m 过渡到 4.0 m、桩号为 13+500~17+500 的坝段为 4 m;桩号为 17+500~18+016.5 的坝段为重力式浆砌石挡土墙,墙顶高程为 111.6 m、顶宽为 0.4 m、墙高为 2.8 m。

北副坝的坝型为黏土心墙坝,坝顶长度为 3 275 m,坝顶宽度为 8 m,最大坝高为 4.6 m,坝顶高程为 110.0 m(结合平顶山市新城区建设,按微地形处理)。

拦洪闸为移动式平面钢闸门,闸门尺寸 6 m×2.6 m(宽×高),闸底板高程为 109.0 m。

泄洪闸为带胸墙的开敞式闸,闸室内设有 7 孔 11 m×10 m(宽×高)弧形钢闸门,闸底板高程 92.0 m,最大泄量 $7\,105 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

北干渠渠首闸为带胸墙的开敞式闸,闸室内设有 3 孔 5 m×3.5 m(宽×高)弧形钢闸门,闸底板高程为 94.0 m,设计灌溉引水流量为 $120 \text{ m}^3/\text{s}$,泄洪流量为 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

南干渠渠首闸为涵洞式结构,闸室内设有 2 孔 2 m×3 m(宽×高)的潜孔式平面定轮钢闸门,闸底板高程为 95.0 m,设计灌溉引水流量为 $35 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

1.2.1.3 主要经济指标

(1)兴利效益——白龟山水库兴利库容 $3.02 \times 10^8 \text{ m}^3$,年均提供工业及生活用水量可达到 $1.5 \times 10^8 \sim 2.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

(2)灌溉效益——设计灌溉面积 50×10^4 亩。

(3)防洪效益——白龟山水库总库容 $9.22 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中防洪库容 $6.82 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。防洪标准可以达到 2 000 年一遇,对保护下游的防洪安全将起到重要作用,社会效益十分显著。

1.2.2 昭平台水库

昭平台水库位于淮河流域沙颍河水系沙河干流上,坝址位于河南省平顶山市鲁山县城以西 12 km,它和下游相距 51 km 的白龟山水库形成梯级水库。昭平台水库控制流域面积

1 430 km², 水库最大库容为 6.85×10^8 m³, 是以防洪、灌溉为主, 兼顾养殖、发电及工业供水等综合利用的大(Ⅱ)型水利工程。工程设计标准按 100 年一遇洪水设计, 5 000 年一遇洪水校核。

1.2.2.1 工程布置

昭平台水库建筑物由主坝、副坝、主溢洪道、非常溢洪道、输水洞等工程组成。

大坝的坝型为黏土斜墙砂壳坝, 防浪墙顶高程为 183.0 m, 坝顶高程为 181.8 m, 坝顶长度为拦河坝 2 315 m、副坝 923 m, 坝顶宽为 7.0 m, 最大坝高为 35.5 m。

主溢洪道位于尧沟。堰顶高程为 164.0 m, 泄洪闸 5 孔 10 m × 11 m, 最大泄量为 4 290 m³/s。

非常溢洪道位于杨家岭。堰顶高程为 169.0 m, 泄洪闸 16 孔 10 m × 9 m, 最大泄量为 9 152 m³/s。

输水洞的进口高程为 150.0 m, 出口高程为 149.18 m, 直径为 3.5 m, 最大泄量 141 m³/s。

1.2.2.2 主要技术指标

- (1) 死水位 159.0 m, 相应库容 0.36×10^8 m³;
- (2) 兴利水位 174.0 m, 相应库容 3.94×10^8 m³;
- (3) 防洪起调水位 169.0 m, 相应库容 2.32×10^8 m³;
- (4) 100 年设计水位 177.6 m, 相应库容 5.36×10^8 m³;
- (5) 5 000 年校核水位 180.94 m, 相应库容 6.85×10^8 m³。

第2章 洪水预报数学模型

2.1 洪水特性

白龟山水库流域处于南、北气候的过渡地带,属于半湿润地区,汛期经常发生大强度的暴雨,且降雨时空分布不均。昭一白区间流域是从山区过渡到平原,下垫面情况比较复杂,且由于其是由山区、丘陵区和平原组成的,所以支流较多、植被较差。南部支流澎河上建有澎河中型水库,控制面积为 209 km^2 ,占昭一白区间面积的 $1/6$,其调节作用对流域洪水影响较大。此外,流域内还有很多坑、塘、堰、坝,暴雨形成洪水既有蓄满产流,又有超渗产流;流域面积呈扇形,暴雨强度大,汇流速度快、时间短,汇流特性受降雨时空分布、走向、净雨强度等影响明显。根据本流域的具体特性,考虑模型要反映主要影响因素,结构简单合理,参数较少,物理意义明确,适应性强,随着资料的积累和人类活动影响、下垫面变化,能够补充和改进。拟定采用蓄满产流与超渗产流结合的产流模型和模式单位线汇流模型。昭一白区间流域暴雨资料齐全,较大的入库洪水过程可用水库水位和泄流过程反推。从水文资料分析,可以用于建立洪水预报数学模型。

经分析,白龟山水库流域与大伙房水库主支苏子河流域的水文气象特征(如降水、蒸发、径流)、流域形状、下垫面状况等较相似,详见表 2.1。所以,白龟山水库洪水预报方案,选用了大伙房流域模型。

表 2.1 白龟山与苏子河流域水文气象、自然地理特征比较

流域名	流域面积 (km^2)	河流长度 (km)	年均降水量 (mm)	年均蒸发量 (mm)	年均流量 (m^3/s)	河道比降 ($\%$)	下垫面特征
白龟山	2 740	116	900	1 100	13.4	1.2	半湿润、山区、植被良好
苏子河	2 012	132	812	1 100	18.2	2.3	半湿润、山区、植被良好

2.2 数学模型原理

该流域模型由两部分组成:一是十参数蓄满、超渗产流模型,引用双层入渗曲线进行扣损计算并以抛物线描述表层蓄水量和下层渗率的分布状况;二是以模糊模式识别单位线作为洪水过程计算的汇流模型,模型参数随降雨分布及累积净雨而变,模型参数多半在满足其物理意义的前提下确定,部分用优选法选定或试错法确定。

2.2.1 产流模型

其极值为表层蓄水容量 S_0 ;下层土壤中的张力水蓄量称为下层蓄水量 U_a ,其极值为下

层蓄水容量 U_0 ; 地下水表层土壤中的张力水蓄量与植物截流、填洼储存合称为表层蓄水量 S_a , 蓄水层的蓄水量以 V_a 表示, 其极值为地下水库蓄水容量 V_0 。按照流程图(见图 2.1) 下渗产流的过程是: 先从流域平均雨强, 即时段雨量 P 中扣除雨间蒸发量 E_D , 其剩余量为净雨强 P_E 。

$$P_E = P - E_D$$

$$E_D = K_c \times E_R / C$$

式中: K_c 为流域蒸发能力与大水体蒸发量 E_R 的比值; C 为一日降雨观测的时段数。由 P_E 扣除不透水面积上的直接径流量 Y_0 , 其剩余量为净渗雨强 P_c , 即

$$P_c = P_E - Y_0 = P - E_D - Y_0$$

$$Y_0 = g \times P_E$$

式中: g 为不透水面积占全流域面积的比值。

然后, 从 P_c 中扣除表层缺水量 $(S_0 - S_a)$, 其剩余量定为下渗强度 R , 即

$$R = P_c - (S_0 - S_a)$$

再由 R 中扣除流域平均总下渗率 f 值, 其剩余部分为表层流量 Y_u , 并定义 R 与 Y_u 之差为下层下渗强度 R_c , 即

$$R_c = R - Y_u$$

当 $R_c > f$ 时, 按 $R_c = f$ 。

下层下渗强度扣除下层土壤缺水量后的剩余量为地下水库下渗强度 R_L , 即

$$R_L = R_c - (U_0 - U_a)$$

因下层土壤缺水量空间分布不均匀, 只有缺水量得到满足的流域上, 才有地下水库下渗, 若全流域达到田间持水量, 才有全流域地下水库下渗。引用下层下渗率 f_u , 从 R 中扣除 f_u , 得总径流量 Y (指表层与地下径流), Y 扣除 Y_u 得 Y_L , 则地下径流量为

$$Y_L = K_w \times R_L$$

式中: K_w 为 Y_L 与 R_L 的比值, $0 \leq K_w \leq 1$ 。

产流分水源计算后, 用数学化的经验单位线分别求地下与表层径流过程, 叠加求出总出流过程。

产流的计算过程是按模型概化流程图(见图 2.1), 先从流域平均雨强, 即时段雨量 P 中扣除雨间蒸发量 E_D , 其剩余量为净雨强 P_E 。

2.2.1.1 表层扣损计算与下渗曲线

2.2.1.1.1 表层扣损计算

表层各点蓄水量在流域上空间分布是不均匀的, 假定用 $a-1$ 次抛物线来描述, 如图 2.2 所示。

由上式, 得

$$S_a = \int_0^{S_m} (1 - S/S_m)^{a-1} dS$$

由上式, 得

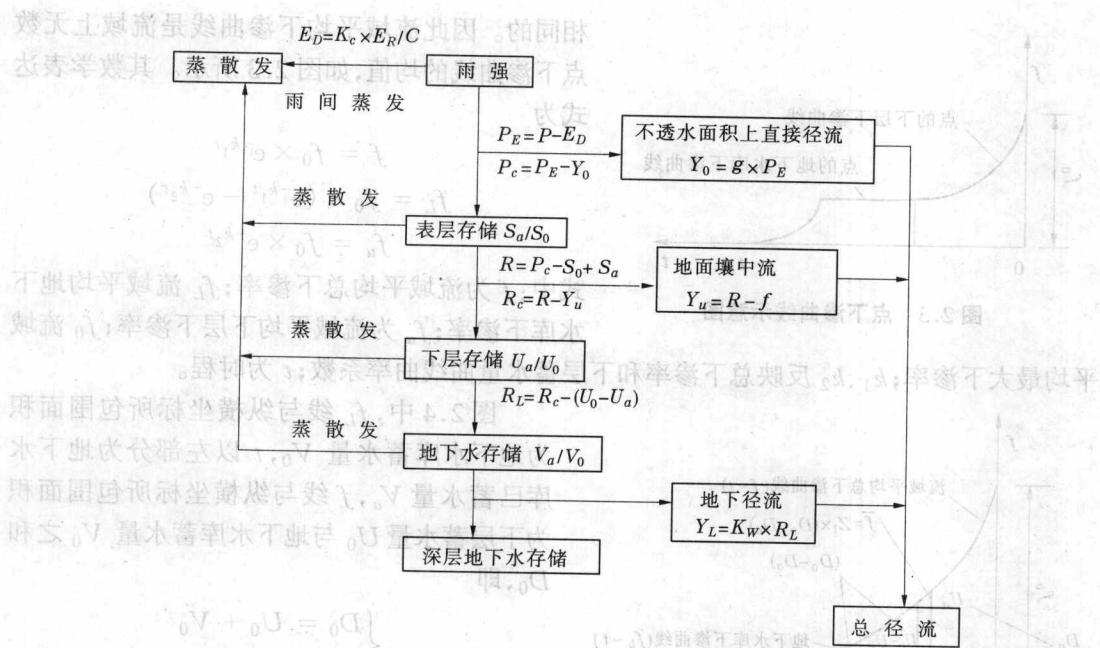


图 2.1 模型概化流程

注:图中, S_0 为表层蓄水容量; U_0 为下层蓄水容量; D_0 为下层蓄水容量与地下水库蓄水量(V_0)之和; g 为不透水面积占全流域面积之比值; K_c 为流域蒸散发能力与大气体蒸发量的比值; A 为表层蓄水容量曲线形状参数; B 为下渗率抛物线分配曲线形状参数; K 为下层下渗曲线率。

当 $S_M = S_m$ 时

$$S_a = S_0$$

$$S_M = a \times S_0$$

$$S_m = a \times S_0 \times [1 - (1 - S_a/S_0)^{1/a}]$$

在 S_m 至 $S_m + P_c$ 区域积分解得

$$R = P_c + S_a - S_0 + S_0 \times (1 - \frac{S_m + P}{S_M})^a$$

当 $S_m + P_c \geq a \times S_0$ 时,得

$$R = P_c - (S_0 - S_a)$$

当 $S_m + P_c < a \times S_0$ 时,得

$$R = P_c + S_a - S_0 + S_0 \times (1 - \frac{S_m + P}{a \times S_0})^a$$

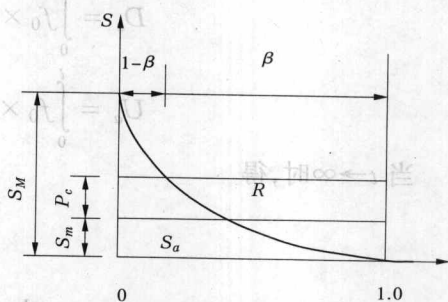


图 2.2 表层蓄水容量分配曲线

式中: β 为已蓄满面积占全流域面积百分数; S 为表层点蓄水量, S_m 为相应于 S_a 点蓄水量; S_a 为表层流域平均蓄水量; S_M 为表层点最大蓄水量; a 是曲线形状参数; S_0 为表层蓄水含量; P_c 为净渗雨强; P 为净雨强。

当 S_a, a 已定,由上式根据 P_c, S_a 可求下渗强度 R 。

2.2.1.1.2 下渗曲线

假定各点下渗曲线如图 2.3 所示,各点下渗曲线的最大初渗率 f_0 及最大历时 t_M 是不

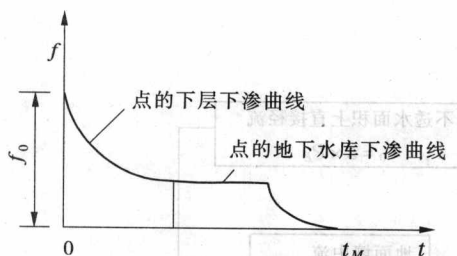


图 2.3 点下渗曲线示意图

相同的。因此流域平均下渗曲线是流域上无数点下渗曲线的均值,如图 2.3 所示。其数学表达式为

$$\begin{aligned} f &= f_0 \times e^{-k_1 t} \\ f_L &= f_0 \times (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) \\ f_u &= f_0 \times e^{-k_2 t} \end{aligned}$$

式中: f 为流域平均总下渗率; f_L 流域平均地下水水库下渗率; f_u 为流域平均下层下渗率; f_0 流域平均最大下渗率; k_1 、 k_2 反映总下渗率和下层蓄水量曲线曲率系数; t 为时程。

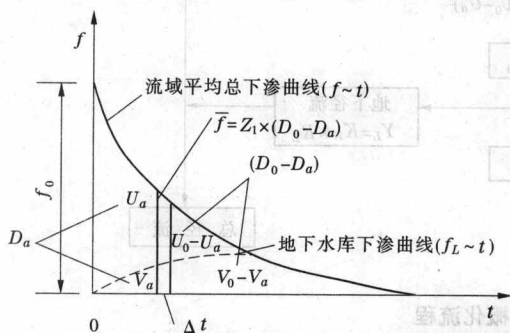


图 2.4 流域平均下渗曲线

图 2.4 中, f_L 线与纵横坐标所包围面积为地下水水库蓄水量 V_0 , t 以左部分为地下水水库已蓄水量 V_a , f 线与纵横坐标所包围面积为下层蓄水量 U_0 与地下水水库蓄水量 V_0 之和 D_0 , 即

$$\begin{cases} D_0 = U_0 + V_0 \\ D_a = U_a + V_a \end{cases}$$

为推导时段径流计算公式, 先由图 2.4 推导出 Δt 时段平均总下渗率 $\bar{f}$ 与 D_a 的关系式, 以及时段平均下层下渗率 $\bar{f}_u$ 与 U_a 的关系, 即

$$D_a = \int_0^{\Delta t} f_0 \times e^{-k_1 t} dt = \frac{f_0}{k_1} (1 - e^{-k_1 \Delta t})$$

$$U_a = \int_0^{\Delta t} f_0 \times e^{-k_2 t} dt = \frac{f_0}{k_2} (1 - e^{-k_2 \Delta t})$$

当 $t \rightarrow \infty$ 时, 得

$$D_0 = f_0 / k_1$$

$$U_0 = f_0 / k_2$$

$$k_1 = k_2 \times U_0 / D_0$$

$$e^{-k_1 t} = 1 - D_a / D_0$$

$$e^{-k_2 t} = 1 - U_a / U_0$$

Δt 时段的流域平均总下渗量 $\bar{f}$ 与流域平均下层下渗量 $\bar{f}_u$ 分别为

$$\bar{f} = \int_t^{t+\Delta t} f_0 \times e^{-k_1 t} dt = \frac{f_0}{k_1} \times e^{-k_1 t} \times (1 - e^{-k_1 \Delta t})$$

$$\bar{f}_u = \int_t^{t+\Delta t} f_0 \times e^{-k_2 t} dt = \frac{f_0}{k_2} \times e^{-k_2 t} \times (1 - e^{-k_2 \Delta t})$$

解得

$$\bar{f} = (D_0 - D_a) \times (1 - e^{-\frac{k_2 \times U_0}{D_0} \times \Delta t})$$

$$\bar{f}_u = (U_0 - U_a) \times (1 - e^{-k_2 \Delta t})$$

令

$$Z_1 = 1 - e^{-\frac{k_2 \times U_0}{D_0} \times \Delta t}, Z_2 = 1 - e^{-k_2 \Delta t}$$

式中: Δt 为单位时段长。则可得

$$\bar{f} = Z_1(D_0 - D_a)$$

$$\bar{f}_u = Z_2(U_0 - U_a)$$

D_a 是 U_a 的函数, 进一步求得

$$D_a = D_0 \times [1 - (1 - U_a/U_0)^{\frac{k_1}{k_2}}]$$

且有

$$D_a = D_0 \times [1 - (1 - U_a/U_0)^{\frac{U_0}{D_0}}]$$

2.2.1.2 径流计算

为描述时段平均总下渗率与平均下层下渗率在流域上分布的不均匀, 引用抛物线分配曲线(见图 2-5)。

数学表达式为

$$\alpha_1 = 1 - (1 - \frac{f}{F_1})^{B-1}$$

$$\alpha_2 = 1 - (1 - \frac{f}{F_2})^{B-1}$$

式中: α_1 为地面壤中流 Y_u 的径流系数; α_2 为 $Y = Y_u + Y_L$ 的径流系数; f 为点下渗率; F_1 为流域内点最大的总下渗率; F_2 为流域内下层点最大下渗率; B 为分配曲线形状系数。

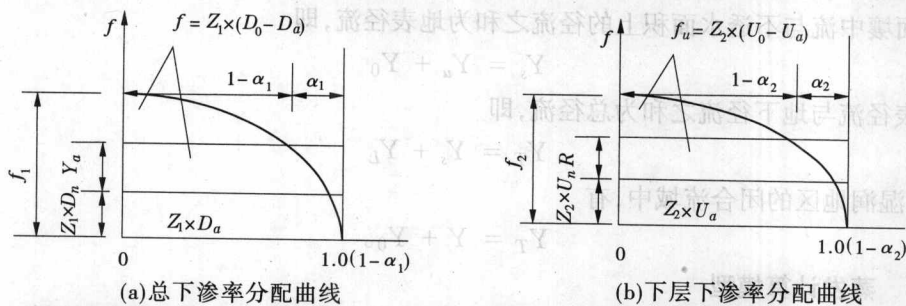


图 2.5 时段平均下渗率流域分配曲线

注: 图中, D_n 为相应于 D_a 的点总蓄水量; U_n 为相应于 U_a 的下层点蓄水量。

2.2.1.2.1 径流计算

由图 2.5(b), 可得

$$Z_2 \times U_n = \int_0^{Z_2 \times U_n} (1 - f/F_2)^{B-1} df \quad (2.1)$$

当 $Z_2 \times U_n = F_2$ 时, $Z_2 \times U_n = Z_2 \times U_0 \times B$, 有

$$F_2 = Z_2 \times B \times U_0 \quad (2.2)$$

求得

$$U_n = B \times U_0 \times [1 - (1 - U_a/U_0)^{\frac{1}{B}}] \quad (2.3)$$