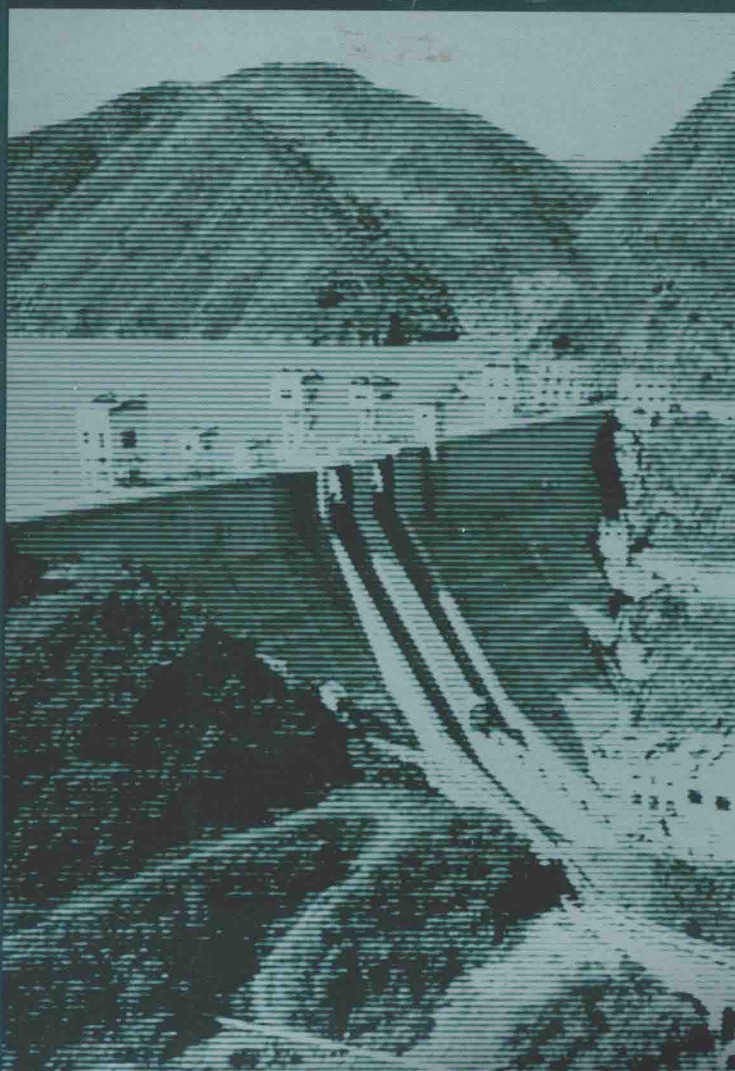


代堂刚 任继周 舒远华 王杰 等 著

渔洞水库 水资源保护研究与应用

YUDONG SHUIKU
SHUIZIYUAN BAOHU YANJIU YU YINGYONG



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

渔洞水库 水资源保护研究与应用

代堂刚 任继周 舒远华 王杰 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书在收集整理相关资料的基础上,对渔洞水库水源区水文情势进行分析和预测,结合水质监测资料对水源区水环境现状进行评价,运用水质模型对水源区各入库河流与水库水体的逐月环境容量进行计算,利用 SWAT 模型模拟了变化环境下水源区水文响应机理,基于 AHP 模糊综合评价模型对水源区的脆弱性进行评价,以此为基础,提出了水源区及水库相关的水资源水环境保护与治理措施。

本书可供从事水文水资源、环境科学、环境生态水文学等学科研究的科研人员以及从事水资源保护、水土保持及环境保护的技术人员阅读参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

渔洞水库水资源保护研究与应用 / 代堂刚等著. --
北京 : 中国水利水电出版社, 2015. 6
ISBN 978-7-5170-3533-6

I. ①渔… II. ①代… III. ①水库—水源保护—研究—昭通市 IV. ①TV697.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第198870号

书 名	渔洞水库水资源保护研究与应用
作 者	代堂刚 任继周 舒远华 王杰 等著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11.25印张 267千字
版 次	2015年6月第1版 2015年6月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	39.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

QIANYAN

城市饮用水水源地作为城市供水的载体,一直以来都受到党和国家的高度重视及社会各界的广泛关注。20 世纪六七十年代以后,气候变化和人类活动对水资源的时空变化的改变和影响逐渐凸显,城市饮用水水源区作为水资源体系中的一个环节,不可避免地也受到气候变化和人类活动的影响,出现了一系列问题,并对城市供水造成了严重的影响。我国 661 个设市城市中,超过 60% 常年供水不足,其中 1/4 严重缺水,水质评价为不安全的设市城市有 122 个,占设市城市总数的 18%。昭通市渔洞水库水源区的水量和水质同样深受人类活动和气候变化的双重影响,水源区内主要河道多个监测断面和水库水体 TN 的浓度全年基本都大于水功能区标准限值,近期还出现 pH 值持续升高、水体透明度下降、叶绿素 a 和藻类成倍增长等环境问题。对于出现的这些问题,昭通市委市政府高度重视,渔洞水库管理局也曾采取过多种措施对渔洞水库水源区水环境进行治理,但效果并不理想,而且水质还有逐步恶化的趋势,渔洞水库的水资源问题已严重威胁到了昭通市的城市供水及附近区域的工农业用水,也将制约整个昭通市的社会经济发展。

作者在总结以往研究成果的基础上,采用了水源区实地调查、水文情势、水质特性分析方法,摸清其陆、空、水三特性,为渔洞水库及其径流区水资源的治理及保护提供了真实、可靠的数据支撑。

全书共分为 9 章。第 1 章提出了本书编写的背景、目的、研究方法和内容;第 2 章通过实地调查对渔洞水库及其径流区所处地理位置、自然环境状况及社会经济状况做了详细阐述;第 3 章根据已有水文监测资料分析了渔洞水库及其径流区的水文情势,主要包括不同高程、不同时间和空间的降雨量、径流量、泥沙及水库出入水量变化特性;第 4 章利用 SWAT 水文模型,研究变化环境下渔洞水库的径流和土壤侵蚀模数变化,从而为渔洞水库的水资源保护提供依据;第 5 章根据已有水质监测资料分析研究了渔洞水库及其径流区水质现状及主要污染物的发展趋势;第 6 章对渔洞水库及其径流区主要污染物进行了分析、计算,对超过环境容量的污染物提出了具体的逐月削减量;第 7 章分析、计算了各种污染物的来源、时空分布及总量;第 8 章建立水源区脆弱性评价指标体系,基于 AHP 的模糊综合评价模型对渔洞水库径流区的生态环境

进行了脆弱性评估；第9章根据第2~第8章研究成果，提出了相应的水资源保护治理措施，为其他相似水源区水资源保护治理提供参考。本书是作者对渔洞水库及其径流区长期调查、监测、分析、研究成果的总结，其中有些内容是作者参加水利部公益性行业科研专项《高原盆地城市水源地脆弱性诊断研究》（201001058）项目的研究成果，还有一些容容来自作者的相关论文和科研成果。

本书在撰写过程中得到了云南省水文水资源局昭通分局吉永贵、云南省水利水电科学研究院黄英两位专家型领导的大力支持；另外，云南省水文水资源局昭通分局陈大友、宋昭义、戚琼仙、申开旭、王绍志、刘志勇、施宝寿、李炜、郎学友、张娅玮、谢开荣、马燕、肖军、戴方，云南省水利水电科学研究院张雷、段琪彩，云南省昭通市渔洞水库管理局朱磊、熊永英等不同程度的参与了本书资料的收集、整理、分析、计算及校核、审稿工作，提出了许多宝贵的意见和建议，在此表示感谢；同时对作者所引用的参考文献的作者及疏漏的引文作者也一并致谢。本书的出版得到云南省水利厅的大力支持和云南省水文水资源局昭通分局的资助。

由于作者水平有限，在编写过程中难免存在不当之处，敬请读者和有关专家给予批评指正。

作者

2015年6月

目 录

MULU

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 国内外研究进展	2
1.2.1 城市水源地保护研究	2
1.2.2 变化环境下的水文响应研究	4
1.2.3 水体环境容量研究	4
1.2.4 水资源脆弱性研究	5
1.3 研究的目的及意义	6
1.4 研究内容	6
1.5 研究方法及技术路线	6
第 2 章 研究区概况	8
2.1 渔洞水库水源区概况	8
2.1.1 地理位置	8
2.1.2 地质、地貌	9
2.1.3 气候	9
2.1.4 土壤、植被	9
2.1.5 水土流失状况	10
2.1.6 水资源概况	11
2.2 社会经济概况	12
2.2.1 行政区划及人口	12
2.2.2 土地利用状况	12
2.2.3 农业经济概况	17
第 3 章 渔洞水库水源区水文情势	18
3.1 降水	18
3.1.1 站点资料处理及配置	18
3.1.2 年降水量与高程的关系	18
3.1.3 降水量空间分布	19
3.1.4 降水量年内变化	20
3.1.5 降水量年际变化	20
3.1.6 降水量丰枯周期	21

3.2 径流	22
3.2.1 径流量空间分布	22
3.2.2 径流量年内变化	23
3.2.3 径流量年际变化	24
3.2.4 径流量丰枯周期	24
3.3 泥沙	25
3.4 各水质监测断面流量及单位线的推求	26
3.4.1 水质监测站点概况	26
3.4.2 各水质监测断面流量	28
3.4.3 各水质监测断面径流单位线	30
3.5 出入库水量计算	39
3.5.1 出库水量计算	40
3.5.2 入库水量计算	45
第4章 变化环境下渔洞水库水文响应研究	53
4.1 SWAT 水文模型	53
4.1.1 SWAT 模型概述	53
4.1.2 SWAT 模型的特点	55
4.1.3 SWAT 模型原理	55
4.2 基于 SWAT 的渔洞水库模型构建	62
4.2.1 空间数据库建立	63
4.2.2 土地利用空间分布数据	65
4.2.3 土壤属性数据	67
4.2.4 土地利用属性数据	70
4.2.5 气象属性数据库建立	70
4.3 水文响应单元划分	76
4.4 模型输入文件创建	76
4.5 模型模拟方法选择	76
4.6 模型参数敏感性分析	77
4.6.1 LH-OAT 方法简介	78
4.6.2 SWAT 模型参数敏感性分析结果	79
4.7 SWAT 模拟与验证	79
4.7.1 模型率定与验证判别方法	80
4.7.2 径流模拟与验证结果	80
4.8 气候变化条件下渔洞水库水文响应	82
4.8.1 IPCC 气候情景下水源区水文响应	82
4.8.2 气温和降水变化敏感性分析	86
4.8.3 土地利用变化背景下水文响应	87

4.9 变化环境下渔洞水库土壤侵蚀	89
4.9.1 气候变化情景下水源区土壤侵蚀	90
4.9.2 土地利用变化对水源区土壤侵蚀的影响	90
第5章 渔洞水库水环境现状	93
5.1 径流区水质现状	93
5.1.1 龙树河	93
5.1.2 其他入库河流	94
5.1.3 水化学类型评价	94
5.1.4 入库河流河长达标率评价	95
5.2 水库水环境状况	95
5.2.1 水质变化规律分析	95
5.2.2 水库水质综合评价	105
5.2.3 水库生物及其结构现状	108
5.3 主要污染因子趋势分析	111
5.3.1 径流区河流污染因子趋势分析	111
5.3.2 水库水体污染因子趋势分析	112
第6章 渔洞水库水环境容量	115
6.1 计算指标	115
6.2 基础资料	115
6.3 水环境容量计算	116
6.3.1 计算模型	116
6.3.2 计算边界条件	119
6.3.3 环境容量分析	122
第7章 渔洞水库径流区面源污染分析	134
7.1 农村农业面源污染	134
7.1.1 污染物负荷计算参数	134
7.1.2 农村生活污水污染物负荷计算	135
7.1.3 农村生活垃圾污染物负荷计算	136
7.1.4 人禽粪便污染物负荷计算	136
7.1.5 农田化肥流失污染物负荷计算	137
7.1.6 农田固体废弃物污染物负荷计算	137
7.2 水土流失污染物负荷	138
7.3 水源区面源污染物负荷分析	138
7.3.1 各污染源贡献比例分析	138
7.3.2 污染物空间分布分析	139

第 8 章 渔洞水库水源区系统脆弱性评价	142
8.1 水源区系统脆弱性的概念与内涵	142
8.1.1 脆弱性的概念	142
8.1.2 脆弱性的内涵	143
8.2 水源区脆弱性评价指标体系建立	144
8.2.1 评价指标体系建立的原则	144
8.2.2 脆弱性指标体系的建立	145
8.3 水源区脆弱性评价	146
8.3.1 基于 AHP 的模糊综合评价模型	146
8.3.2 评价等级划分及评价指标标准	150
8.3.3 评价指标权重的确定	151
8.3.4 隶属度函数的建立	152
8.3.5 基于 AHP 的模糊综合评价	154
第 9 章 渔洞水库径流区水资源保护措施	156
9.1 径流区水土流失治理	156
9.1.1 径流区水源涵养林建设	156
9.1.2 径流区小流域综合治理	157
9.2 径流区面源污染治理	158
9.2.1 农村环境整治	158
9.2.2 农田面源污染整治	158
9.2.3 生态产业调整	159
9.3 河库水体净化措施	160
9.3.1 入库河流河口区湿地建设	160
9.3.2 无公害水产养殖	160
9.3.3 科学调度水资源	161
9.4 建立水源区生态补偿制度	161
9.4.1 补偿原则及政策依据	162
9.4.2 生态补偿的主体与生态补偿的对象（受体）	162
9.4.3 水源区生态补偿的额度	163
9.4.4 生态补偿的途径与方式	164
9.5 加强水源区管理	165
9.5.1 完善现有管理条例	165
9.5.2 加强管理者能力建设	165
9.5.3 完善水源区预警监测	166
9.5.4 加强宣传教育	166
主要参考文献	168

第1章 绪 论

1.1 研究背景

气候变化和人类活动正在改变或影响着水资源的时空变化,人类发展已面临着水资源短缺、水生态环境恶化、极端气候事件频发等一系列问题(郝振纯,2011)。受气候变化和人类活动的影响,近50年来我国六大江河(长江、黄河、珠江、松花江、海河、淮河)实测径流量均呈下降趋势。未来气候变化将加剧我国水资源的年际变化和年内的分配不均,由此导致局部区域水资源短缺、供水不足、水生态恶化、城市防洪形势严峻等一系列问题(郝振纯,2011;张建云,2010;夏军,2010)。云南省也深受气候变化的影响,2009年至今全省降水量表现出持续偏少趋势,更加凸显了云南省水资源的供需矛盾,使全省国民经济遭受了巨大的损失。

由气候变化和人类活动影响产生的一系列水资源问题,将首先表现为对地表水资源的影响,而在我国,多数省份的生产生活供水还是以地表水为主,水库是其中最主要供水水源。随着经济社会的发展,水库功能逐渐由发电、防洪、灌溉向城乡生活供水转变,特别是城市供水越来越依赖于大中型水库,其调蓄能力对缓解城市供水矛盾发挥着不可替代的作用。随着上述影响加剧,水库水资源问题日益突出,一方面,我国661个设市城市中,超过60%常年供水不足,其中1/4严重缺水,全国4555个城市饮用水水源地中,1233个水量不合格。另一方面,我国重要江河湖泊水质未有明显改善,局部还继续恶化,如太湖、滇池、巢湖、淮河等,水库水质明显下降,有1/3的重要供水水库达到了富营养化水平,一些重要的大型供水水库还出现蓝藻水华,如官厅水库因水质恶化已退出了向北京市的供水。如何最大程度确保供水安全,已成为我国城市化发展中面临的基础性和战略性课题,也是近年来水资源水环境研究中的热点和难点问题。

渔洞水库位于云南省东北部的昭通市,对解决本地区农田的灌溉起到了非常重要的作用,是昭通地区脱贫致富的重要水利措施之一。与全国其他水库相比,渔洞水库水源区具有明显的高原盆地特征,水库修建于高原山体间,众多短源性山溪小河穿过山间盆地,将地表径流汇入水库,形成独特的山、盆地、村镇、水库相互作用的生态景观。这样独特的生态景观格局使得渔洞水库补水形式单一、水体流动性差,且水库径流区内的污染物都集中汇集于水库水体,导致渔洞水库在下闸蓄水之后逐渐出现TN超标、pH值持续升高、水体透明度下降、叶绿素a和藻类成倍增长等环境问题。渔洞水库管理局也曾通过向水库内投放花、白鲢鱼来净化水质,但效果并不理想,而且水质还有继续下滑趋势。渔洞水库的水资源问题已严重威胁到了昭通市的城市供水



和工农业生产的用水。

可见,弄清渔洞水库水质现状、气候和人类活动双重作用对水源区水沙变化的影响、水库水体环境容量并诊断水源区脆弱性现状可以对水源区的保护治理提供理论依据,也对推动整个昭通市的社会稳定、国民经济的持续发展具有举足轻重的作用。

1.2 国内外研究进展

1.2.1 城市水源地保护研究

1.2.1.1 国外水源地保护

国外一些发达国家对城市水源地的保护工作始于19世纪中期,对城市水源地的保护主要是从以下几个方面来开展。

(1) 制定严格完善的法律体系保障水源地。在法律上重视对水源地保护是国外对水源地保护的一个重要方面。加拿大于1987年颁布了《联邦水政策》,制定了水资源管理与保护的两个根本目标,分别为“保护和提高水质”和“科学高效地开发和管理水资源”(Davies J M, 2003)。美国对于水环境开发利用与管理保护的立法非常丰富与完善,其主要法律为《安全饮用水法》和《清洁水法》。美国的水资源保护法律体系建立了美国联邦与州政府及其他相关部门在水源地保护工作中分工明确的管理体制,实行以地方行政区域为主、联邦与区域相结合的水源地管理模式(王伟中, 2007)。

(2) 水源地安全质量管理与保护方面的制度。俄罗斯政府对水资源管理实行流域综合管理制度(李蓉, 2007),水源区内要求采取最经济环保的科技来对新建建筑物进行设计,在水利工程进行选择和设计时,要尽最大限度地减少对水环境安全的危害。通过资源税和排放费等途径,强制水资源使用和受益者为水利工程的建设支付一定的费用。鼓励工矿企业采用能够降低水耗量和节约水资源的现代工业设备和设施,并利用科技手段加强对雨水利用、污水回用资源化等非传统水源的利用,并改善供水管道设施,降低水资源浪费和不必要的损失,提高水资源利用率。美国也实行统一的水资源管理,包括水质、水量及水生态环境安全等各个方面的综合统一管理体制,这样使得水资源的开发利用及保护的整体属性得到了维护(巩莹, 2010)。另外,美国的饮用水水源地保护计划对饮用水的划分有具体的实施指导,并在保护区划分完成后调查保护区内可能对饮用水水质安全造成影响的所有已经存在的和潜在的污染源及有危险的活动,然后利用排序或者污染分级方法指出每种风险的威胁程度,并制定出相应的污染源清单,以便采取相应的措施降低甚至解决潜在风险,最后向全体市民进行信息公开,公布最后的水源评价结果。

(3) 运用经济财政手段保护水源地安全。美国对水源地权益尤其是经济利益的协调与维护十分完善(Pires M, 2004)。美国《安全饮用水法》中允许各州建立饮用水循环基金计划,基金由联邦政府拨款与州政府拨款共同筹集,以帮助公共供水系统筹集饮用水供水基础设施建设所需要的费用。国外一些国家逐步使污水处理成为产业并走向市场,大力推进公私合作伙伴关系(PPP,即Public and Private and Partership),通过私人部门与公共



部门合作以生产和交付公共服务的一种方法。让私人企业和资金进入到公共事业中来,可以解决一些如污染处理基础设施建设的资金不足、运营管理成本过高、运营效率低下、人力和技术资源有限以及来自行政体制的影响问题,加强对环境污染的治理与保护效率。法国通过对流域中的水污染排放征收污染排放税,确保了流域委员会的稳定充足的资金来源。另外,国外通过对水价的制定和控制,运用经济手段鼓励人们节约用水,从而减少污水产生量,以达到保护水资源的目的。日本水价实行按供水管管径和用水量累进计算水费的方法收费。

(4) 饮用水地污染治理与质量评价。国外对于城市水源地的污染治理方面有着完整的污染治理体系。许多国家基本控制了点源污染对水源地的危害。发达国家对面源污染研究主要集中在对面源污染机理、污染危害程度及面源污染模拟模型的开发与应用,并根据研究结论制定出可实际操作的面源污染控制与管理方案。其中美国政府通过政策制定、税收鼓励、技术指导等途径,运用工程和非工程两种手段,对污染实施从源头控制到传播途径削减及最后的末端治理的全过程管理。非工程措施包括对农业土地实行测土施肥,合理使用农药化肥,免耕或者少耕土地,采取节水灌溉措施,减少水土与养分流失,并制定相关政策激励引导农民实行生态农业种植,从源头上减少污染的产生;工程措施主要有人工湿地技术、草地缓冲带及植被过滤带等。丹麦制定了杀虫剂与水行动规划以促进生物多样性,减少营养物质的流失。奥地利为了减少农业化肥的使用量,从1986年开始对化肥征收一定的税收。芬兰规定使用杀虫剂必须登记。国外在对水源地污染进行全面防治的同时还不断加强对水源地生态系统的环境评价,以检验各种污染控制措施的成效并迅速根据实际情况调整污染控制措施。荷兰开发了水资源管理的决策分析系统来对全国的水资源进行分析评价,该系统根据用户的不同类别进行水管理政策划分,并指出不同的管理措施对各个不同部门的影响。

1.2.1.2 国内水源地保护

我国从20世纪80年代初开始对全国河流进行水质规划研究和湖泊、水库富营养化调查。此后,逐步开始了对水源地的保护工作和研究,并先后颁布了多部法律法规,如《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国水污染防治法》《地表水环境质量标准》等,这些法律法规为饮用水源地环境保护工作提供了法律保障。其中,《中华人民共和国水污染防治法》于2008年2月28日进行了重新修订,修订后该法律进一步完善了饮用水源保护区的分级管理制度,明确规定了饮用水源保护区划定部门和争议解决机制。

技术研究方面,国内学者贺涛等利用数值模型法、类比经验法和GIS辅助法对水库型饮用水水源保护区进行了划分,对不同类型水库的饮用水源保护区划分适用性方法进行了研究(2009)。针对水污染排放、河口潮汐往复流特征和水环境特点,卢士强等利用污染物最大流动距离法确定了潮汐河口水库型水源地的保护范围(2009)。姚玲爱等对广东省茂名市重要供水水源地高州水库2009年、2010年春季发生的水华进行分析,发现该水库蓝藻水华暴发的主要原因可能是较高的水体稳定性、水温回升、氮磷营养化水平接近水华暴发阈值等(2011)。柴福鑫等构建了集城市水资源实时评价、预报、管理与调度等功能于一体,面向用水户的城市水资源实时调度与管理整体模型,并给出了水资源实时预警



指标、等级、审批权限与发布流程,为城市水资源科学管理和优化调度提供了重要依据(2009)。

1.2.2 变化环境下的水文响应研究

气候变化和人类活动改变了水文循环过程,影响着水资源系统的结构与功能,将对人类的水资源开发利用带来新的挑战。基于气候变化和人类活动影响的水文响应研究对水资源规划和管理具有重要意义,许多国际重大研究计划都把水文过程对全球变化的响应研究列为重要研究领域。随着分布式水文模型的不断改进和完善,基于模型的变化环境下水文响应研究取得了长足的进步,但全球气候变化对复杂区域水文水资源的影响仍然是一个亟待解决的科学问题。

SWAT (Soil and Water Assessment Tools) 是美国农业部 (USDA) 农业研究局 (ARS) 1994 年开发的面向大中流域、长时间尺度的分布式流域尺度模型,可用来有效模拟流域气候变化对水文循环的影响 (Arnold 等, 1998)。SWAT 模型已经广泛应用于世界不同区域,主要针对人类活动、气候变异或其他因素对大范围降水的影响进行直接评价,或是对非点源污染关键区进行识别、对非点源污染进行模拟,或是对模型未来应用的实用性进行探测性评价,较好地满足了使用者的需要 (Gassman 等, 2010)。SWAT 模型在流域水量平衡、长期地表径流以及日平均径流模拟等方面得到了广泛应用 (郝芳华等, 2006)。国内大量研究采用 SWAT 模型模拟气候和土地利用变化对流域水文循环影响,特别是为大尺度复杂流域应用提供了基础:如海河流域 (王中根等, 2008; 李建新等, 2010)、黄河流域 (李志等, 2009; 程磊等, 2009)、淮河流域 (竹磊磊等, 2010) 等。应用 SWAT 模型可以定量分析气候和土地利用变化会对流域水文的影响。在梭磨河流域应用 SWAT 模型对气候波动和土地覆被变化对流域径流的影响进行评价,结果表明 20 世纪 60—90 年代气候波动引起的梭磨河流域的径流变化约占 $3/5 \sim 4/5$,而土地覆被变化引起的梭磨河流域的径流变化约占 $1/5$ (陈军锋等, 2004)。在青海湖布哈河流域 SWAT 模型的应用研究结果证明,该流域过去几十年中气候变化是导致径流减少的主要原因 (刘吉峰等, 2007)。SWAT 模型通过预先设计或结合其他模型模拟和评价气候变化和人类活动对流域水文循环的影响。如 Stonefelt 等 (2000) 和 Fontaine (2001) 的相关研究采用 SWAT 模型耦合气候变化情景,模拟研究 CO_2 浓度变化等气候因子变化对植被生长以及径流量的影响。

1.2.3 水体环境容量研究

20 世纪六七十年代以后,随着自然资源的耗竭和一些全球性环境事件的爆发,在全球范围内展开了关于地球承载力、环境承载力等问题的广泛讨论和研究,人们开始反思并逐步认识到人类活动与自然生态系统的相互制约、相互作用的关系。环境容量的概念正是在这种浪潮中被提出,并应用于实际的环境管理与规划之中,研究的手段也日趋多样化,其中利用计算机建立起来的水质模型的兴起使环境容量的概念从定性描述转向定量计算。1989 年,美国 Environmental Protection Agency (EPA) 推出了 QUAL2E 模型。这是一维水质模型,它全面考虑了河流自净的机理,可用于预测多种污染物在水体中的衰减变化。之后,又开发出了具备进行不确定性分析功能的 QUAL2E-UN-CAS 模型。随着应



用深化和开展, 计算模型从一维发展到二维、三维乃至多维, 模型涵盖的内容也越来越丰富, 水动力模型、底泥释放机理、面源污染、大气污染等因素逐渐融入到环境容量计算中(许仁义, 2006)。

在环境容量计算方面国内学者也做了大量研究, 胡守丽等利用一维动态水动力与水质数学模型, 结合浓度场叠加原理与线性优化模型, 计算深圳河的环境容量, 并讨论河口潮汐、排污口位置、截污能力限制等因素对环境容量的影响(2006)。向军采用二维水质模型, 选择化学需氧量、氨氮作为污染指标, 对柳州市柳江进行环境容量计算(2006)。袁弘任运用河流水质模型对蓄水后三峡水库水功能区的环境容量进行计算(2004)。史晓新等运用二维数学模型进行太湖环境容量动态模拟, 得到了太湖环境容量总量和逐月环境容量量值(2008)。徐智廷等通过对临沂市水功能区基本情况的分析和对一维 S-P 水质模型的概化, 建立水体中污染物排放与接纳水体水质之间的关系, 在现状和规划的水质目标、设计水量、水质背景条件、排污口位置及排污口排放方式的前提下, 定量分析计算水功能区的环境容量(2007)。

1.2.4 水资源脆弱性研究

自 20 世纪 60 年代 Albinet 和 Margat 提出“脆弱性”这一科学术语以来, 脆弱性研究已从最初的自然灾害领域, 逐步扩大到横跨资源环境和社会经济领域, 特别是在 20 世纪 90 年代以来, 脆弱性研究呈快速增长的趋势(Janssena, 2006)。

在地表水资源脆弱性评价方面, 国外大多是基于气候变化条件下水资源系统脆弱性的评价。Marc 等建立了基于暴露度、敏感性和适应性的脆弱性评价指标体系, 评价气候变化条件下生态系统和水资源系统的脆弱性(2005)。Mohamed A. Hamouda 等采用“雷达图”法选择 31 个脆弱性评价指标对东尼罗河流域沿岸三个国家水资源脆弱性进行了评价(2009)。James、Troy、Clutter、Timothy、Maarten 等分别就气候变化条件下, 水资源系统的供需平衡、城市化地区的水安全等问题进行了相关的分析研究(2006)。国内水资源脆弱性研究目前多停留在概念和内涵探讨层面。唐国平等认为水资源脆弱性是水资源系统在气候变化、人为活动等的作用下, 水资源系统的结构发生改变、水资源的数量减少和质量降低, 以及由此引发的水资源供给、需求、管理的变化和旱涝等自然灾害的发生(2000)。刘绿柳等参考目前水资源脆弱性研究的成功与不足, 重新定义了宏观水资源脆弱性的概念, 认为水资源系统的脆弱性是水资源系统易于遭受人类活动、自然灾害威胁和损失的性质和状态, 受损后难以恢复到原来状态和功能的性质。将水资源系统的脆弱性分为本质脆弱性和特殊脆弱性, 由 AHP 法确定指标权重, 定量计算了区域水资源系统的脆弱度(2002)。邹君等将地表水资源脆弱性分为自然脆弱性、人为脆弱性、承载脆弱性, 选取 12 个评价指标采用 AHP 法计算了衡阳盆地 7 个县(市)的地表水资源脆弱度(2007)。董四方等则利用大样本数据、投影寻踪、遗传算法、插值型曲线, 建立了新的评价模型——粒子群投影寻踪插值模型(2010)。段顺琼等构建了基于“压力-状态-响应”模式(PRS 模式)的高原湖泊水资源脆弱性评价指标体系, 并选择了 18 个评价指标采用集对高原湖泊水资源脆弱性进行分析评价, 得出了玉溪市湖泊区 2005—2007 年水资源脆



弱性状况 (2011); 冯少辉等结合云南省水资源特征和滇中区域特点, 从水循环领域、社会经济领域和生态环境领域构建了包含 16 个指标的滇中地区水资源脆弱性评价指标体系 (2010)。

1.3 研究的目 的及意义

渔洞水库为昭通市唯一的大型水库, 灌溉面积 32.2 万亩, 目前每年向昭通市供水占整个城市供水的 75% 以上。渔洞水库的水质安全事关整个昭通市的社会稳定和经济发展, 一直以来都受到市委市政府和广大人民群众的高度重视和广泛关注。如何系统认识水库蓄水 15 年来及近期发生的水环境问题; 如何分析水库污染物来源及水库水环境现状; 如何计算径流区内河流和水库环境容量, 明确污染物削减目标; 如何揭示变化环境下渔洞水库水资源效应的响应规律; 如何评价渔洞水库水源区脆弱性, 这些都是渔洞水库保护过程中亟待解决的问题, 也是本书出版的目 的所在, 清楚地认识上述问题可以为渔洞水库保护和管理提供科学的依据。

1.4 研究内容

- (1) 系统分析渔洞水库径流区内降水、径流、泥沙的变化规律和特征。
- (2) 系统评价渔洞水库径流区河流和水库水体的水环境现状, 分析水质变化规律和水生生物现状。
- (3) 利用 SWAT 分布式水文模型模拟变化环境下渔洞水库径流区内水文响应及土壤侵蚀。
- (4) 利用均匀混合模型和狄龙模型计算渔洞水库主要入库河流和水库水体的环境容量, 明确削减目标。
- (5) 从污染源的角度定量分析渔洞水库水源区的污染负荷。
- (6) 基于 AHP 模糊综合评价法对渔洞水库水源区脆弱性等级进行评价。

1.5 研究方法及技术路线

本书在对水源区进行走访调研, 收集气象、水文、水质、土壤植被、经济社会资料的基础上, 分析了径流区水文情势的变化规律和水环境现状, 计算了水源区水体环境容量和污染负荷, 模拟了水源区变化环境下的水文响应效应, 评价了水源区脆弱性等级, 具体技术路线见图 1.1。

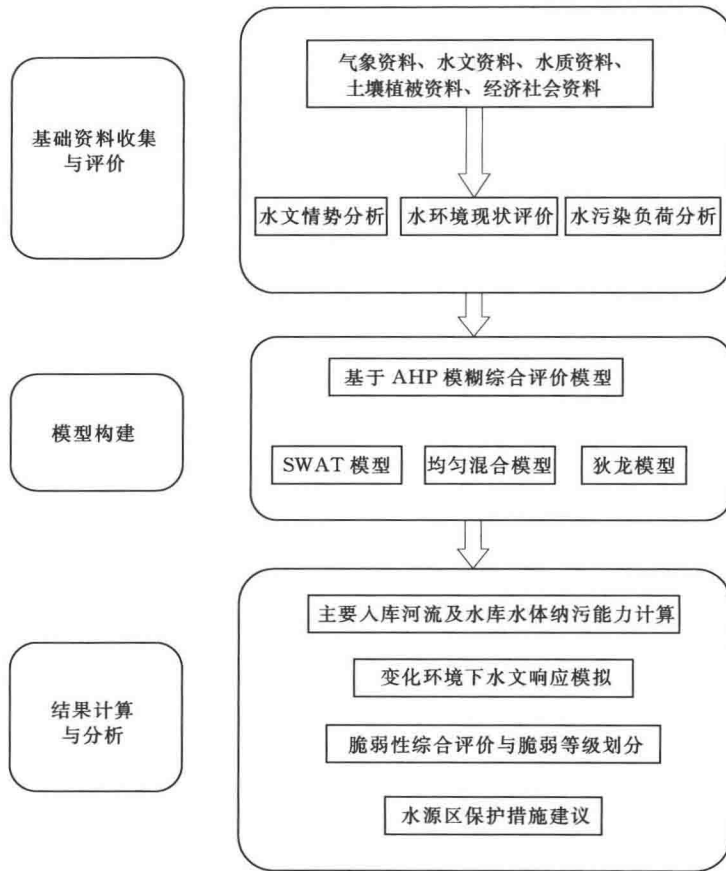


图 1.1 技术路线图

第2章 研究区概况

2.1 渔洞水库水源区概况

2.1.1 地理位置

渔洞水库径流区位于昭通市昭阳区西北部，地理坐标介于北纬 $27^{\circ}10'56''\sim 27^{\circ}37'27''$ 和东经 $103^{\circ}18'29''\sim 103^{\circ}35'30''$ 之间。最高处为铁厂乡滴水村臭水梁子，海拔 3111.4m，最低处为水库水面，海拔 1986m。地理位置见图 2.1。

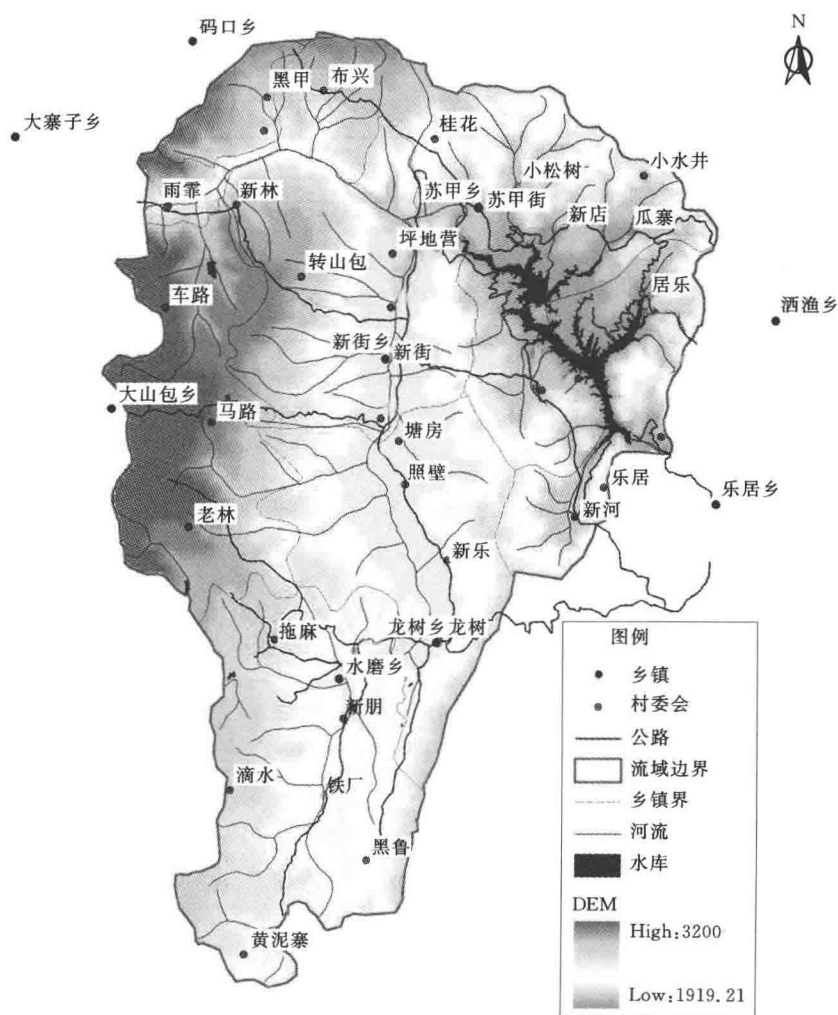


图 2.1 渔洞水库地理位置