

QUYU SHUIZIYUAN SHUIHUAJING BAOHU
LILUN YU SHIJIAN

区域水资源水环境保护 理论与实践

代堂刚 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

区域水资源水环境保护 理论与实践

代堂刚 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



内 容 提 要

本书结合云南省昭通市自然地理、人类活动、社会经济状况,针对水资源水环境保护中存在的问题,从水资源的科学利用、防洪减灾、水资源水环境的保护与治理等方面进行分析研究。本书绝大部分内容是在作者学术报告编制及科研项目研究的基础上提炼而成,是为解决区域内水资源水环境保护等方面的问题开展的工作和研究,有较强的针对性和实用性,可为类似地区提供借鉴。

本书可供水资源水环境保护与治理、水土保持及环境保护方面的技术人员及相关专业的科研、科技工作者和管理人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

区域水资源水环境保护理论与实践 / 代堂刚著. —
北京: 中国水利水电出版社, 2015.6
ISBN 978-7-5170-3532-9

I. ①区… II. ①代… III. ①区域资源—水资源—资
源保护②区域水环境—环境保护 IV. ①TV213.4②X143

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第198874号

书 名	区域水资源水环境保护理论与实践
作 者	代堂刚 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 12.75印张 302千字
版 次	2015年6月第1版 2015年6月第1次印刷
定 价	46.00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

水是生命之源、生产之要、生态之基。水资源是事关国计民生的基础性自然资源和支撑经济社会可持续发展的战略性经济资源，也是生态环境保护 and 建设中的重要控制性要素。水资源保护是为维护水量、水质、水生态的功能与资源属性，防止水源枯竭、水污染和水生态系统恶化，所采取的技术、经济、法律、行政等措施。随着经济建设的发展，人类对水资源的需求越来越大，对水环境的影响也日渐突出，水质性缺水已成为制约国民经济发展的瓶颈。随着人类发展和社会进步，人们越来越意识到水资源水环境的保护对人类生存和经济发展都起着至关重要的作用。

本书收集笔者 2009—2014 年间在省级以上刊物发表的学术性论文共 32 篇。其中，在云南省水利厅主办的《云南水利水电》等刊物上发表论文 9 篇，荣获云南省水利学会颁发的二等奖论文 1 篇；在水利部长江水利委员会主办的《人民长江》上发表论文 4 篇；在水利部长江水利委员会水文局等主办的《水资源研究》刊物上发表论文 15 篇；在河海大学等主办的《水资源保护》刊物上发表论文 2 篇；在湖北省环境保护局主办的《环境科学与技术》刊物上发表论文 1 篇。论文涉及以下内容：区域水文及水质特性研究、城市洪涝与水库设计洪水及溃决影响分析、地表水功能区水质现状分析与水资源质量调查评价、各类模型或软件在水资源水环境保护中的应用探讨等。绝大部分资料是笔者在从事学术性报告编制及科研项目研究时的第一手资料，为当地水资源水环境保护和政府部门制订水资源水环境保护措施提供科学依据。

在撰写论文时，部分论文的合作者对论文做了大量的分析计算工作或审阅工作，主要合作人员有云南省水利水电科学研究院的王杰，云南省水文水资源局昭通分局的任继周、刘林贵、宋昭义、马清华等，本书的出版均已得到了所有论文合作作者的同意与支持，在此向他们表示衷心的感谢。由于笔者理论水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请各界读者和专家不吝赐教。



2015 年 2 月

目 录

前言

灰色系统关联法在渔洞水库水质评价中的运用探讨.....	1
渔洞水库径流区污染负荷入库总量分析.....	6
灰色系统聚类法在渔洞水库水质评价中的应用	13
渔洞水库水质现状及主要污染因子恶化分析	20
彝良县城洪涝风险与防洪现状分析	23
林口水库溃坝计算及影响范围分析	29
渔洞水库水质变化成因分析及对策建议	34
渔洞水库总氮含量偏高的成因及其治理对策	39
渔洞水库水质现状及水环境保护建议	43
21 世纪前 10 年昭通市地表水功能区水资源质量调查评价	47
云南渔洞水库水源区污染物空间分布研究	58
渔洞水库水文变化情势研究	65
渔洞水库径流区水质状况分析	76
昭通市水功能区水质现状分析与评价	82
林口水库设计洪水分析计算	91
昭通市横江流域水环境质量现状评价及其水质变化趋势分析	97
昭通市横江流域水环境质量评价.....	103
季节变化对渔洞水库水质的影响.....	110
渔洞水库 pH 值超标的成因分析及其处理措施	116
运用季节性 Kendall 检验数学模型分析渔洞水库水质变化趋势	120
渔洞水库氮磷趋势分析.....	125
Excel 自定义“万能直线内查”函数在水文水资源工作中的运用	129
均值质控图在水环境监测工作中的运用探讨.....	133
Excel 函数在水质特征值年统计表中的运用	137
花生壳软件在水资源质量分析评价系统中的应用.....	140
渔洞水库及其尾水瓜寨河水质调查与治理措施.....	142
横江流域水环境质量综合评价方法探讨.....	149

基于 SWAT 模型的云南渔洞水库土壤侵蚀研究 155

云南渔洞水库水源区生态脆弱性研究..... 161

云南渔洞水库水质特性研究与现状评价..... 169

云南渔洞水库汇流区水环境容量及污染物分析..... 185

渔洞水库生物群落结构分析与水环境保护措施..... 192

灰色系统关联法在渔洞水库水质评价中的运用探讨*

摘要: 运用灰色系统关联法对渔洞水库 2012 年入库、瓜寨、库中央、居乐、库前 5 个监测点的 pH 值、溶解氧、TN、IP、COD_{Mn} 进行关联度评价, 并与水利部 2005 年下发的《重点城市主要供水水源地水资源质量旬报编制规定》中讲述的综合水质指数法、2012 年云南省水资源保护规划领导小组办公室下发的云南省水资源保护规划工作大纲中附录 3《城市饮用水源地水质安全状况评价技术细则》所评价的结果进行比较, 评价结果一致, 渔洞水库水质均为 1 级, 所以, 灰色系统关联法运用于水质评价, 结果是可信的。灰色系统关联法不仅可以弥补综合指数法未能给出不同断面不同水质级别之间的序关系或隶属度信息, 而且在计算上要较模糊数学方法简单, 值得推广。

关键词: 灰色系统关联法; 水质评价; 渔洞水库

1 概述

渔洞水库是一座以农业灌溉为主的综合利用的国家大(2)型水利工程, 位于昭通城西北 23km, 金沙江流域横江支河洒渔河正源的居乐河上, 控制流域面积 709km², 水库地势自西北向东南倾斜, 山岭陡峻, 河谷深切, 形成山间峡谷地形, 流域平均宽度 8.8km, 平均高程 2241m。总库容 3.64 亿 m³。正常蓄水时水库面积为 12.9km², 回水长度 16.9km, 其中大坝顶长 225.5m, 宽 12m, 坝高 88m, 坝顶海拔高度 1988m, 最大水深 85.0m, 属深水型水库。

2007 年 11 月云南省水环境监测中心昭通市分中心开展了对渔洞水库入库、瓜寨、库中央、居乐、库前 5 个监测点多达 38 个水质参数的监测, 至今已收集了 5 年的水质监测数据。根据对渔洞水库 5 个监测点多年的监测资料分析, 选用 pH 值、溶解氧、TN、TP、COD_{Mn} 这 5 个较为敏感指标, 运用灰色系统关联法对渔洞水库现状水质进行综合评价。

2 灰色系统关联法

2.1 灰色系统关联法优点

通过分析比较发现, 灰色系统关联法不仅可以弥补综合指数法未能给出不同断面不

* 本文发表于《云南水利水电》, 2013 年第 2 期。

同水质级别之间的序关系或隶属度信息，而且在计算上要较模糊数学方法简单，概念也比较直观。所以，采用灰色系统关联法对 5 个水质监测站点 2012 年年均值水质参数进行评价，再利用面积加权法计算流域总体水质情况，最终达到水环境质量现状综合评价的目的。

就水质问题而言，灰色系统理论可看作水质监测样本值与不同水质标准接近度的某种距离分析和聚类判别。在区域水质评价中，显然存在一定的不清晰概念（如污染程度的轻重）和信息不全（如实测污染浓度分布资料不全）等问题，这些正是灰色系统理论要研究的课题。

2.2 水质评价

渔洞水库现有 5 个待分级评价的断面，每个断面选 5 项被评价的单项水质指标，它们可以排列为以下一个样本矩阵，单位为 mg/L，pH 值（无量纲）。

pH 值	溶解氧	COD _{Mn}	TP	TN	站名
8.13	9.4	1.7	0.036	0.970	入库
8.12	8.8	1.8	0.035	0.891	瓜寨
8.12	8.8	1.4	0.020	0.822	库中央
8.06	9.1	1.5	0.021	0.855	居乐
7.96	8.9	2.1	0.015	0.894	库前

(1)

将其对应的《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）水质标准浓度列为以下矩阵[单位同式（1）]：

pH 值	溶解氧	COD _{Mn}	TP	TN	水质类别
6~9	7.5	2	0.01	0.2	I 类
6~9	6	4	0.025	0.5	II 类
6~9	5	6	0.05	1.0	III 类
6~9	3	10	0.1	1.5	IV 类
6~9	2	15	0.2	2.0	V 类

(2)

对式（1）、式（2）进行归一化处理，归一化有两个目的：一是将元素化为无量纲；二是使元素值转变为 [0，1] 内的数。为了达到这一目的，不妨做个规定：I 类水水质标准在 $S_{P \times n}$ （ P_n 为水质标准的分类数， n 为被评价单项水质指标的项数）中的对应元素为 1，V 类水质标准在 $S_{P \times n}$ 中对应元素为 0，1 - P 类之间的水质标准在（0，1）之间。采取的归一化方法可以用分段线性变换。

（1）对于 BOD₅、重金属毒物等指标，它的数值愈大、污染就愈重的特点，可采用下列变换方法：

$$b_i(k) = \frac{S_P(k) - S_i(k)}{S_P(k) - S_1(k)}, i=1,2,\cdots,P; k=1,2,\cdots,n$$

(3)

式中： $b_i(k)$ 为中间类（II ~ IV 类）水质标准的归一化处理值； $S_P(k)$ 为水质标准中 P 类（V 类）标准值； $S_i(k)$ 为水质标准中中间类标准值； $S_1(k)$ 为水质标准中 1 类（I 类）标准值。

$$a_j(k) = \begin{cases} 1, & X_j(k) \leq S_1(k), j=1, 2, \dots, m (m \text{ 为流域内水质监测断面}) \\ \frac{S_p(k) - X_j(k)}{S_p(k) - S_1(k)}, & S_p(k) > X_j(k) > S_1(k) \\ 0, & X_j(k) \geq S_p(k) \end{cases} \quad (4)$$

式中: $a_j(k)$ 为实测值归一化处理值; $X_j(k)$ 为水质监测数据实测值。

(2) 对于溶解氧等水质指标数值愈大, 污染程度愈轻的因素, 可采用下列两式确定和矩阵列元素的变换:

$$b_i(k) = \frac{S_i(k) - S_p(k)}{S_1(k) - S_p(k)} \quad (5)$$

$$a_j(k) = \begin{cases} 1, & X_j(k) \geq S_1(k) \\ \frac{X_j(k) - S_p(k)}{S_1(k) - S_p(k)}, & S_p(k) < X_j(k) < S_1(k) \\ 0, & X_j(k) \leq S_p(k) \end{cases} \quad (6)$$

(3) 对 pH 值, 则可按下列两个状态变换, 即

$$b_i(k) = \begin{cases} 1, & 6 \leq S_i(k) \leq 9 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

$$a_j(k) = \begin{cases} 1, & 6 \leq S_j(k) \leq 9 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

运用 Excel 软件对式 (1)、式 (2) 进行归一化处理, 即

pH 值	溶解氧	COD _{Mn}	TP	TN	站名	变量
1.0	1	1	0.86	0.57	入库	a_1
1.0	1	1	0.87	0.62	瓜寨	a_2
1.0	1	1	0.95	0.65	库中央	a_3
1.0	1	1	0.94	0.64	居乐	a_4
1.0	1	0.99	0.97	0.61	库前	a_5

(9)

pH 值	溶解氧	COD _{Mn}	TP	硝酸盐氮	水质类别	变量
1	1.00	1.00	1.00	1.00	I 类	b_1
1	0.73	0.85	0.92	0.83	II 类	b_2
1	0.55	0.69	0.79	0.56	III 类	b_3
1	0.18	0.38	0.53	0.28	IV 类	b_4
0	0.00	0.00	0.00	0.00	V 类	b_5

(10)

计算各监测站点归一化处理的绝对差 ($a_j - b_i$) 得式 (11) ~ (15)。

1) 入库归一化处理绝对差 ($a_j - b_i$):

$$\begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.14 & 0.43 \\ 0.00 & 0.27 & 0.15 & 0.06 & 0.26 \\ 0.00 & 0.45 & 0.31 & 0.07 & 0.02 \\ 0.00 & 0.82 & 0.62 & 0.34 & 0.29 \\ 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.86 & 0.57 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{I类} & a_1 - b_1 \\ \text{II类} & a_1 - b_2 \\ \text{III类} & a_1 - b_3 \\ \text{IV类} & a_1 - b_4 \\ \text{V类} & a_1 - b_5 \end{matrix} \quad (11)$$

2) 库前归一化处理绝对差 $(a_j - b_i)$:

$$\begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.01 & 0.03 & 0.39 \\ 0.00 & 0.27 & 0.15 & 0.05 & 0.22 \\ 0.00 & 0.45 & 0.30 & 0.18 & 0.06 \\ 0.00 & 0.82 & 0.61 & 0.45 & 0.34 \\ 1.00 & 1.00 & 0.99 & 0.97 & 0.61 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{I类} & a_5 - b_1 \\ \text{II类} & a_5 - b_2 \\ \text{III类} & a_5 - b_3 \\ \text{IV类} & a_5 - b_4 \\ \text{V类} & a_5 - b_5 \end{matrix} \quad (12)$$

计算各监测站点归一化处理的关联离散函数 $[1 - (a_j - b_i)]/[1 + (a_j - b_i)]$ 得式 (13)

~式 (15), 即

3) 入库关联离散函数 $[1 - (a_j - b_i)]/[1 + (a_j - b_i)]$ 函数详解:

$$\begin{bmatrix} 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.76 & 0.40 \\ 1.00 & 0.57 & 0.73 & 0.89 & 0.59 \\ 1.00 & 0.38 & 0.53 & 0.86 & 0.97 \\ 1.00 & 0.10 & 0.24 & 0.50 & 0.55 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.07 & 0.27 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{I类} & [1 - (a_1 - b_1)]/[1 + (a_1 - b_1)] \\ \text{II类} & [1 - (a_1 - b_2)]/[1 + (a_1 - b_2)] \\ \text{III类} & [1 - (a_1 - b_3)]/[1 + (a_1 - b_3)] \\ \text{IV类} & [1 - (a_1 - b_4)]/[1 + (a_1 - b_4)] \\ \text{V类} & [1 - (a_1 - b_5)]/[1 + (a_1 - b_5)] \end{matrix} \quad (13)$$

4) 库前关联离散函数 $[1 - (a_j - b_i)]/[1 + (a_j - b_i)]$ 函数详解:

$$\begin{bmatrix} 1.00 & 1.00 & 0.98 & 0.95 & 0.44 \\ 1.00 & 0.57 & 0.74 & 0.90 & 0.64 \\ 1.00 & 0.38 & 0.54 & 0.69 & 0.89 \\ 1.00 & 0.10 & 0.24 & 0.38 & 0.50 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.01 & 0.24 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{I类} & [1 - (a_5 - b_1)]/[1 + (a_5 - b_1)] \\ \text{II类} & [1 - (a_5 - b_2)]/[1 + (a_5 - b_2)] \\ \text{III类} & [1 - (a_5 - b_3)]/[1 + (a_5 - b_3)] \\ \text{IV类} & [1 - (a_5 - b_4)]/[1 + (a_5 - b_4)] \\ \text{V类} & [1 - (a_5 - b_5)]/[1 + (a_5 - b_5)] \end{matrix} \quad (14)$$

5) 用 Excel 软件计算出渔洞水库各水质监测点综合评判的关联矩阵 $R_{5 \times 5}$:

$$\begin{matrix} & \text{入库} & \text{瓜寨} & \text{库中央} & \text{居乐} & \text{库前} & \text{水质类别} \\ \begin{bmatrix} 0.832 & 0.843 & 0.877 & 0.875 & 0.875 \\ 0.756 & 0.770 & 0.790 & 0.771 & 0.771 \\ 0.747 & 0.729 & 0.690 & 0.698 & 0.698 \\ 0.476 & 0.465 & 0.440 & 0.444 & 0.444 \\ 0.069 & 0.062 & 0.047 & 0.051 & 0.051 \end{bmatrix} & \text{I类} \\ & \text{II类} \\ & \text{III类} \\ & \text{IV类} \\ & \text{V类} \end{matrix} \quad (15)$$

从式 (15) 可以看出, 5 个监测点的关联度在 I 类水质类别栏最接近于 1, 所以 5 个监测点的水质类别均为 I 类。各监测点的关联度不等于 1 而只接近于 1 的原因是各监测点的 TN 为 III 类并接近 IV 类标准值所致。

3 方法探讨

灰色系统关联法评价结果与目前工作中使用的水利部 2005 年下发的《重点城市主要供水水源地水资源质量旬报编制规定》中讲述的综合水质指数法、2012 年云南省水资源保护规划领导小组办公室下发的云南省水资源保护规划工作大纲中附录 3《城市饮用水源地水质安全状况评价技术细则》所评价的结果一致,渔洞水库水质均为 1 级,所以,灰色系统关联法运用于水质评价,结果是可信的。灰色系统关联法不仅可以弥补综合指数法未能给出不同断面不同水质级别之间的序关系或隶属度信息,而且在计算上要较模糊数学方法简单,值得推广。

参 考 文 献

- [1] 陆铭锋,徐彬,杨旭昌.太湖水质评价计算方法及近年来水质变化分析[J].水资源保护,2008,24(5).
- [2] 陈晓宏,江涛,陈俊合.水环境评价与规划[M].北京:中国水利水电出版社,2007:47-54.
- [3] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局.GB 3838—2002 地表水环境质量标准[S].2002.
- [4] 彭启文,张祥伟.现代水环境质量评价理论与方法[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [5] 水利部.重点城市主要供水水源地水资源质量旬报编制规定[Z].2005.
- [6] 云南省水资源保护规划领导小组办公室.云南省水资源保护规划工作大纲[Z].2012.

渔洞水库径流区污染负荷入库总量分析*

摘要:通过对渔洞水库径流区面源污染的调查,选定 COD、TN、TP 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 四个敏感指标,并进行分析、计算,最终得出渔洞水库全流域入库污染负荷总量 COD、TN、TP 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 分别为 2573.70t/a、428.22t/a、39.80t/a 和 142.73t/a。

关键词:渔洞水库; 负荷总量; 分析

渔洞水库是昭通市昭阳区、鲁甸县两县(区)的重要饮用水源,是昭阳区、鲁甸县两县(区)人民的母亲库。由于水库径流区居住着 12 万人口,人们为了满足日益增长的物质文化生活的需要,在 709km^2 的流域面积上过度开垦、施肥、养殖,导致渔洞水库水质受到严重污染。

2012 年渔洞水库首次出现了中度富营养,全库中度富营养率为 3.3%。从入库到库前 TN 严重超标,超标率达到 41.7%。全年 TN、TP 超标现象严重,整个库区水质呈恶化现象。

本文选用 4 个敏感指标 COD、TN、TP 和 $\text{NH}_3\text{-N}$,对渔洞水库径流区展开面源污染调查与其入库总量分析,并与水库 II 类水质目标相结合,用污染物总量与其对应的纳污能力相比较,得出超过水体承载能力的指标,为政府相关部门科学治理渔洞水库水环境提供参考。

1 区域概况

昭通市渔洞水库位于云南省滇东北,昭阳区西北部(见图 1),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。最高处位于铁厂乡滴水村臭水梁子,海拔 3111.4m,是居乐河的发源地,最低处为水库水面,海拔 1985m。

根据卫星影像判读,径流区水土流失面积为 410.46km^2 ,占流域面积的 57.89%,主要以中度侵蚀和轻度侵蚀为主。其中,强度侵蚀 60.2km^2 ,占全流域总面积的 8.49%;中度侵蚀面积 218.43km^2 ,占全流域总面积的 30.81%;轻度侵蚀面积 131.84km^2 ,占全流域总面积的 18.59%。强度侵蚀主要集中分布在龙树河流域的龙树乡、水磨镇两个乡镇;中度侵蚀主要分布在新街乡和水磨镇,以及接近水库区域的苏甲乡。据测定每年流入渔洞库区的泥沙高达 108 万 t;径流区多年平均含沙量高达 $2.88\text{kg}/\text{m}^3$,为全市之最,最高时泥沙与水的比例达 2:8,属中沙河流。水库纵向为三角洲淤积形态,悬移质中的

* 本文发表于《云南水利水电》,2014 年第 3 期。

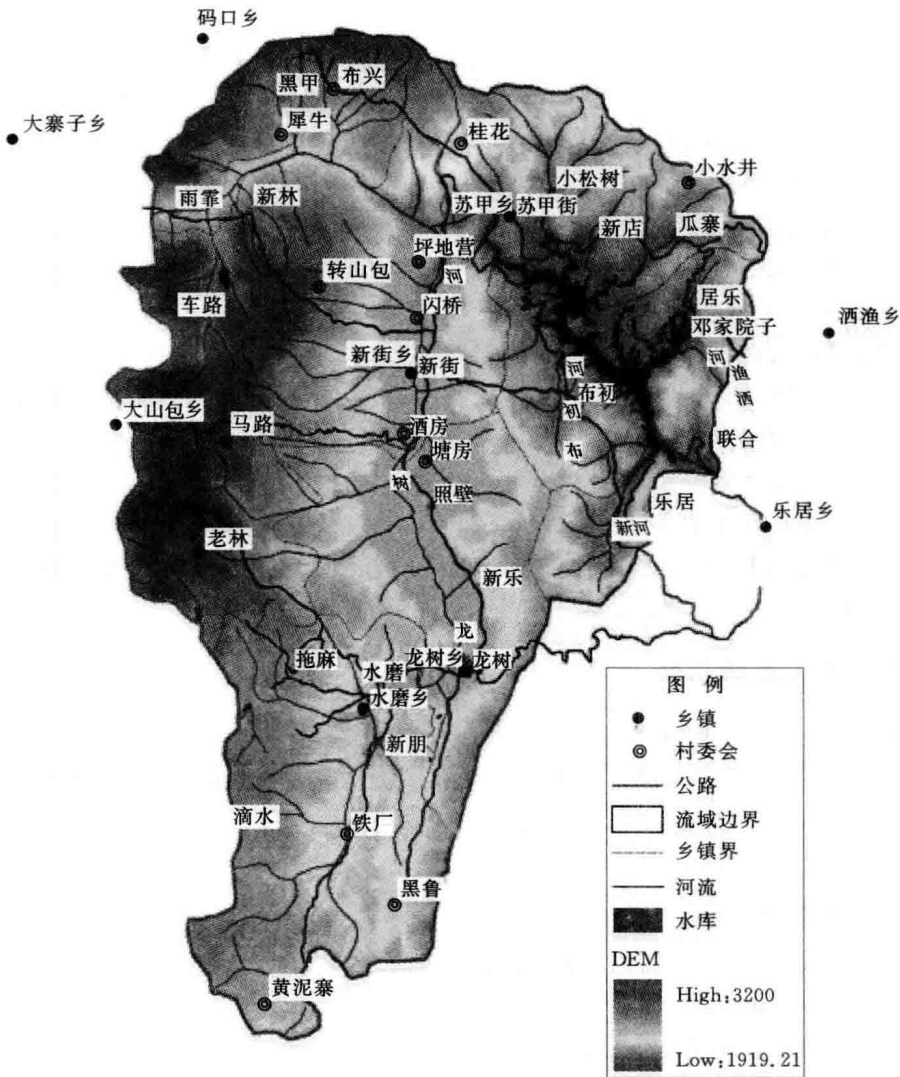


图1 渔洞水库流域图

40%不能被异重流带走，淤积为三角洲尾部。

渔洞水库属金沙江水系横江支流洒渔河，水库地势自西北向东南倾斜，山岭陡峻，河谷深切，水库正常蓄水位位于黄海高程 1985m 时，水面面积 12.9km²，库岸线长 132.8km，控制流域面积 70912.9km²，流域平均宽度 11.94km，平均高程 2241m。水库最大水深 86m，平均水深 40m，总库容 3.64 亿 m³（其中死库容 0.53 亿 m³，调节库容 2.87 亿 m³，调洪库容 0.38 亿 m³）。

渔洞水库径流面积大，集水面积与水库面积的比值（即水库补给系数）为 52.25，水库主要靠雨水、河流、区间坡面漫流补给，主要入库河流有拦河、底罗河、龙树河、布初河、瓜寨河、居乐河、新河。

渔洞水库径流区涉及昭阳区、鲁甸县、永善县 3 个县，乐居乡、洒渔乡、大山包、大寨子乡、苏甲、新街、龙树、水磨、码口 9 个乡镇，33 个行政村，径流区共有农户

27869 户, 115588 人。

径流区流域面积 1063531 亩, 折合 709km^2 , 以农业用地和林业用地为主, 占总面积的 68%, 其中农业用地总面积 131.87km^2 , 现有林业用地总面积 236.8km^2 。

流域内 2010 年实有耕地面积 198804 亩, 人均拥有耕地面积 1.72 亩, 其中昭阳区年末实有耕地面积 48973 亩, 鲁甸县年末实有耕地面积 141941 亩, 永善县年末实有耕地面积 7890 亩。蔬菜播种面积达 39709 亩, 总产量为 17782.247t, 主要为白菜和圆白菜。粮食作物主要为玉米、马铃薯、大豆、荞子、燕麦等作物。除粮食作物外, 当地还生产林产品, 其主要为花椒、板栗、核桃。

根据流域综合统计年报, 流域内耕地化肥施用量为 12054.117t/a , 其中, 以磷肥和氮肥为主, 磷肥施用量为 5639.271t/a , 占施肥总量的 46.8%, 其次是氮肥, 用量为 5617.102t/a , 占施肥总量的 46.6%。总体而言, 流域内化肥施用量较高。

渔洞水库流域畜禽养殖以圈养为主, 流域内猪出栏 97236 头, 年末存栏 120320 头; 牛出栏 12795 头, 年末存栏 2234 头; 羊出栏 26405 只, 年末存栏 15177 只; 家禽出栏 111540 只, 年末存栏 66426 只。从畜禽养殖的分布状况来看, 畜禽养殖主要集中在流域内鲁甸县境内。

2 面源污染及负荷总量

根据调查, 渔洞水库面源污染主要来自于农村农业面源污染和水土流失, 农村农业面源污染主要包括农村生活污水、农村生活垃圾、农村畜禽养殖废物、农田化肥流失、农田固体废弃物污染。

2.1 面源污染

2.1.1 污染物计算公式

(1) 农村生活污染物入河量。农村生活污染物入河量 $W_{\text{生1}}$ 为

$$W_{\text{生1}} = W_{\text{生1p}} \beta_2$$

式中: $W_{\text{生1p}}$ 为农村生活污染物排放量; β_2 为农村生活污染物入河系数。

其中, 农村生活污染物排放量 $W_{\text{生1p}}$ 为

$$W_{\text{生1p}} = N_{\text{农}} \alpha_1$$

式中: $N_{\text{农}}$ 为农村人口数; α_1 为农村生活排污系数。

(2) 农业面源污染物入河量。农业面源污染物入河量排污系数法计算公式为

$$W_{\text{农}} = W_{\text{农p}} \beta_4 \gamma_1$$

式中: $W_{\text{农p}}$ 为农田污染物排放量; β_4 为农田入河系数; γ_1 为修正系数。

其中, 农田污染物排放量 $W_{\text{农p}}$ 为

$$W_{\text{农p}} = M \alpha_3$$

式中: M 为耕地面积; α_3 为农田排污系数。

(3) 畜禽养殖污染物入河量。畜禽养殖污染物入河量 $W_{\text{畜禽}}$ 为

$$W_{\text{畜禽}} = W_{\text{畜禽p}} \beta_5$$

式中: $W_{\text{畜禽p}}$ 为畜禽养殖污染物排放量; β_5 为畜禽养殖污染物入河系数。

其中，畜禽养殖污染物排放量 $W_{\text{畜禽}p}$ 为

$$W_{\text{畜禽}p} = \delta_1 t N_{\text{畜禽}} \alpha_4 + \delta_2 t N_{\text{畜禽}} \alpha_5$$

式中： δ_1 为畜禽个体日产粪量； t 为饲养期； $N_{\text{畜禽}}$ 为饲养数； α_4 为畜禽粪中污染物平均含量； δ_2 为畜禽个体日产尿量； α_5 为畜禽尿中污染物平均含量。

(4) 农田固体废弃物入河量。农田固体废弃物产排公式为

$$W_{\text{固排}} = \sum_{i=1}^n A \alpha b_i \beta_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

式中： $W_{\text{固排}}$ 表示农田固体废弃物产排量，kg/亩； A 为农田生产植物残体的产生量系数； α 表示农田生产植物残体产生量的排放系数； b_i 表示植物残体中某种污染物负荷的排放量占农田生产植物残体产生量的百分比； β_i 表示植物残体中某种污染物负荷的排放量系数。

2.1.2 污染物计算参数确定

农业农村面源污染物负荷计算，根据云南省污染源普查办公室提供的资料，昭通市农业农村面污染源污染物负荷的计算参数见表 1～表 4。

表 1 农村人均生活污染产排系数

参数	污水产排量 /(L/d)	垃圾产排量 /(kg/d)	COD 产生量 /(g/d)	TN 产生量 /(g/d)	TP 产生量 /(g/d)	NH ₃ -N 产生量 /(g/d)	排放 系数
生活污水	30	—	6.0	0.6	0.09	0.5	0.57
生活垃圾	—	0.351	35.1	1.755	0.702	1.053	0.35

表 2 人禽粪便产生系数

项 目	单位	人	牛	猪	羊	鸡	鸭
粪便产量 /(kg/d)	粪	0.7	15	2	1.23	0.12	0.13
	尿	0.4	10	3.3	0.62	—	—
污染当量 /(g/d)	COD	15	150	60	12.0	1.5	1.5
	TN	1.8	18.3	4	3.1	0.05	0.05
	NH ₃ -N	1.1	2.7	2.4	0.9	0.005	0.005
	TP	0.3	1.5	1	1.1	0.03	0.03

表 3 农田固体废弃物产排系数

参 数	农业生产植物 残体产生量 /[kg/(亩·a)]	固体废弃物 TN 负荷	固体废弃物 NH ₃ -N 负荷	固体废弃物 TP 负荷
产生量系数	1000	1.0%	0.6%	0.4%
排放量系数	0.05	0.025	0.025	0.005

表 4 农田化肥施用量流失系数

参 数	流 失 量		
	TN	NH ₃ -N	TP
流失系数	0.03	0.01	0.004

2.1.3 农村生活污水

据现场调查在径流区范围内村落生活污水的排放方式主要为倾倒在空地,并且村民以使用旱厕为主,农村厕所内的人畜粪便绝大部分都作为农田肥料施用,在这种状况下,农村生活污水在输送过程中通过蒸发、下渗等过程被土壤消纳、沉淀,累积于土壤,部分污染物随降雨流失,经计算主要污染物排放量分别为:COD 155t/a、TN 15.51t/a、TP 2.32t/a、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 12.9t/a。

2.1.4 农村生活垃圾

流域内农村生活垃圾主要污染物排放量分别为 COD 534.63t/a、TN 26.73t/a、TP 10.7t/a、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 16.03t/a,各主要污染物排放量比例与生活污水类似。

2.1.5 人禽粪便污染

流域内畜禽养殖以散养为主。经调查,畜禽粪便绝大多数还田,但是管理相对粗放,部分固体废物和大部分尿液排放于环境中随降雨流失,污染排放量约为产生量的 5%~10%,畜禽粪尿主要污染物排放量分别为 COD 279.19t/a、TN 28.16t/a、TP 5.26t/a、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 12.16t/a。

2.1.6 农田化肥污染

流域内 TN、TP 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 排放量分别为 81.11t/a、4.08t/a、48.67t/a。

2.1.7 农田固体废弃物

流域内农田固体废弃物排放量为 16.52 万 t,主要污染物排放量分别为 TN 55.06t/a、TP 4.41t/a、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 33.04t/a。

2.2 负荷总量分析

2.2.1 农村农业

综上所述,流域农村农业面源污水、COD、TN、TP 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 产生总量分别为 150.18 万 t、4591.42t/a、2668.8t/a、972.45t/a 和 1560.41t/a。对 COD 产生总量贡献最大的污染源是人畜粪便,占总量的 61%,其次是农村生活垃圾和污水,分别占总量的 33%、6%;对 TN 产生总量贡献最大的污染源是农田化肥,占总量的 39%,其次是农田固体废弃物、人畜粪便和农村垃圾,分别占总量的 11%、3%和 3%;对 TP 产生总量贡献最大的污染源是农田固体废弃物,占总量的 91%,其次是人禽粪便和农村垃圾,分别占总量的 6%和 3%;对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 产生总量贡献最大的污染源是农田固体废弃物,占总量的 85%,其次是人禽粪便、农田化肥和农村生活垃圾,分别占总量的 8%、3%和 3%。

流域农村农业面源污水、COD、TN、TP 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 排放总量分别为 88.88 万 t、968.82t/a、206.57t/a、26.77t/a 和 122.8t/a。对 COD 排放总量贡献最大的污染源是农村生活垃圾,占总量的 55%,其次是人畜粪便和污水,分别占总量的 29%、16%;对 TN 排放总量贡献最大的污染源是农田化肥,占总量的 34%,其次是农田固体废弃物、人畜粪便和农村垃圾,分别占总量的 27%、14%和 13%;对 TP 排放总量贡献最大的污染源是农村垃圾,占总量的 40%,其次是人禽粪便、农田固体废弃物和农田化肥,分别占总量的 20%、16%和 15%;对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 排放总量贡献最大的污染源是农田化肥污染,占总量的 40%,其次是农田固体废弃物和农村生活垃圾,分别占总量的 27%和 13%。

2.2.2 水土流失

为准确核算流域因降雨径流产生的陆地水土流失污染负荷,利用 GWLF (通用流域污染负荷模型) 模型进行流域水土流失污染负荷核算,流域由降雨侵蚀导致的 COD、TN、TP、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 污染负荷分别为 33.02t/a、241.82t/a、1.84t/a、29.1t/a。

2.2.3 污染负荷产生总量

流域废水、COD、TN、TP 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 产生总量分别为 150.18 万 t/a、6394.98t/a、2932.26t/a、990.90t/a 和 1605.29t/a。COD 产生量由大到小的顺序依次是人禽粪便 (44%)、水土流失 (28%)、农村垃圾 (24%)；TN 产生量由大到小的顺序依次是农田固体废弃物 (44%)、人禽粪便 (10%)、水土流失 (9%)、农村生活垃圾 (3%)、农田化肥 (3%)；TP 产生量由大到小的顺序依次是农田固体废弃物 (90%)、人禽粪便 (5%)、农村生活垃圾 (3%)； $\text{NH}_3 - \text{N}$ 产生量由大到小的顺序依次是农田固体废弃物 (82%)、人禽粪便 (8%)、农村生活垃圾 (3%)、农田化肥 (3%)。

2.2.4 污染负荷排放总量

流域废水、COD、TN、TP 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 排放量分别为 88.88 万 t/a、2621.19t/a、454.82t/a、43.31t/a 和 167.68t/a。COD 排放量由大到小的顺序依次是水土流失 (65%)、农村生活垃圾 (19%)、人禽粪便 (10%)、农村生活污水 (6%)；TN 排放量由大到小的顺序依次是水土流失 (56%)、农田化肥 (17%)、农田固体废弃物 (12%)、人禽粪便 (3%)、农村生活垃圾 (3%)；TP 排放量由大到小的顺序依次是水土流失 (40%)、农村垃圾 (24%)、人禽粪便 (12%)； $\text{NH}_3 - \text{N}$ 排放量由大到小的顺序依次是农田化肥 (28%)、水土流失 (27%)、农田固体废弃物 (20%)。

2.2.5 污染负荷入库总量

污染源基本分布在水库沿岸,因此流域污染物入库量计算方法为排放量减去过程消减量和工程削减量。全流域入库污染负荷总量 COD、TN、TP 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 分别为 2573.70t/a、428.22t/a、39.80t/a 和 142.73t/a。COD 入库量主要来自于水土流失 (69%) 和农村生活垃圾 (17%)；TN 入库量主要来自水土流失 (62%) 和农田化肥 (15%)；TP 入库量主要来自于水土流失 (47%) 和农村生活垃圾 (21%)； $\text{NH}_3 - \text{N}$ 入库量主要来自于水土流失 (31%) 和农田化肥 (27%)。污染入库比例见图 2。

3 小结

综上所述,水土流失污染几乎占流域污染来源的一半以上,其中对 COD 排放贡献量由大到小的污染源依次是水土流失 (65%)、农村生活垃圾 (19%)、人禽粪便 (10%)、农村生活污水 (6%)；对 TN 排放贡献量由大到小的污染源依次是水土流失 (56%)、农田化肥 (17%)、农田固体废弃物 (12%)、人禽粪便 (3%)、农村生活垃圾 (3%)；对 TP 排放贡献量由大到小的污染源依次是水土流失 (40%)、农村垃圾 (24%)、人禽粪便 (12%)；对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 排放贡献量由大到小的污染源依次是农田化肥 (28%)、水土流失 (27%)、农田固体废弃物 (20%)。

近十年来,流域地方财政收入、生产总值、人均纯收入都呈增长的态势,平均增长率在 16.79%~37.36%之间,这样的发展速度给水库的水质保护带来巨大的压力,农村农