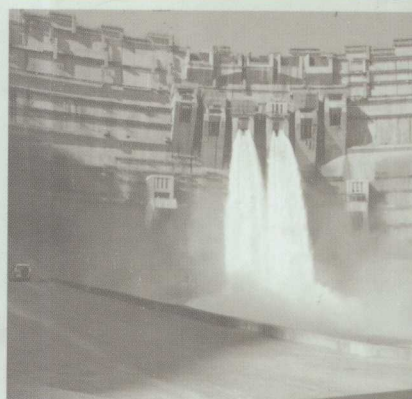


“973” 计划项目 (2003CB415100)
纵向岭谷·通道—阻隔·跨境生态安全(四)

纵向岭谷区 重大工程建设与区域生态 系统变化交互作用

崔保山 杨志峰 董世魁
刘世梁 白军红 刘新会 李绍才◎著



科学出版社
www.sciencep.com

“973”计划项目(2003CB415100)

纵向岭谷·通道-阻隔·跨境生态安全(四)

纵向岭谷区重大工程建设 与区域生态系统变化交互作用

崔保山 杨志峰 董世魁 刘世梁 著
白军红 刘新会 李绍才

X321.2
C967

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系国家重点基础研究发展计划项目“纵向岭谷区生态系统变化及西南跨境生态安全”子课题“纵向岭谷区重大工程建设与区域生态系统变化交互作用”的最新研究成果。书中利用最新资料,通过理论研究、野外考察、室内实验和数值模拟等相结合,系统揭示了我国西南纵向岭谷区重大水电工程及道路工程建设与区域生态系统变化的交互作用机制。全书共分为八章,第一章介绍纵向岭谷区重大工程建设与生态系统多样性变化;第二章至第四章分别探讨了水电大坝影响下的生态系统结构、功能的变化和澜沧江电站建设与流域生态系统变化交互作用;第五章至第七章分别探讨了高速公路建设与生态系统结构、功能多样性变化和公路建设与生态系统多样性变化交互作用;第八章重点探讨了重大工程建设影响下区域生态安全的调控模式,并对水电工程建设影响下的区域生态系统变化进行预测。

本书可供从事生态学、地理学及相关专业的科研人员 and 有关院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

纵向岭谷区重大工程建设与区域生态系统变化交互作用/崔保山等著. —北京:科学出版社,2009

(纵向岭谷·通道-阻隔·跨境生态安全)

ISBN 978-7-03-026226-4

I. 纵… II. 崔… III. 区域环境:生态环境-环境保护-研究-中国
IV. X321.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 230718 号

责任编辑:韩学哲 陈珊珊/责任校对:刘小梅

责任印制:钱玉芬/封面设计:无极书装

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 12 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009 年 12 月第一次印刷 印张:27 1/2

印数:1—1 000 字数:631 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(科印))

总 序

纵向岭谷区(longitudinal range-gorge region, LRGR)是指纵贯我国西南与中南半岛、以南北走向为主的山系河谷区,其形成和演化极大地受到青藏高原隆升的影响,是反映地球演化重大事件的关键区域。这些山系与河谷,对地表自然物质和能量的输送均表现出明显的南北向通道作用和扩散效应、东西向阻隔作用和屏障效应,是我国西南与东南亚极为重要的生态廊道。从我国昌都以南到整个中南半岛的广大区域,这种特殊环境格局的规模及其所展现的“通道-阻隔”作用及其关联效应,在全球独一无二。

我国境内的纵向岭谷区,主要涉及云南省与西藏自治区,该区雄奇的纵向山系、大河,构成了全球独特的高山峡谷景观,成为亚洲大陆生物物种南来北往的主要通道和避难所,拥有北半球的绝大多数生物群落类型和除沙漠与海洋外的各类生态系统,是全球生物多样性最丰富的地区之一和世界级的基因库,也是我国生物多样性保护的关键地区,对研究地表复杂环境系统和生命系统的演变规律具有不可替代性,受到国内外地理学界、生物学界和民族文化界等关注。

纵向山系、河谷特殊环境格局的“通道-阻隔”作用,主导了区内多民族沿河谷展布、在山间盆地聚居的“大分散、小聚居”人居环境格局。区内自然资源种类丰富,但能形成开发规模的优势资源较少,主要有水能资源、水资源、矿产资源、旅游资源。水能资源开发条件好,但投资大、市场远,地方政府难以将其转化为经济优势;水资源量大质优,但地高水低,难以利用;旅游资源市场潜力优势突出,可大规模地开发,目前主要受交通条件制约;大型矿产资源的开采,则受到资金、技术和生态保护的制约;耕地资源稀缺,森林资源局部地区有优势但多属于保护区;气候类型多样但受有限的土地资源制约而难以形成经济优势资源。脆弱和多灾的环境,使该区社会经济的发展受到了严重制约。长期以来,该区一直作为森林、矿产、水电能源等资源输出基地支持国家的建设,过多的短效经济行为,一定程度上导致其环境破坏严重,生态系统退化加剧,自然灾害多发、频发,贫困普遍,保护与发展的矛盾突出。

由于地处元江—红河、澜沧江—湄公河、怒江—萨尔温江和伊洛瓦底江4条国际河流的上游,与缅甸、老挝、越南比邻,与泰国、柬埔寨和印度相近,区域生态系统的变化及跨境影响等问题极为敏感。

近十多年来,在国家的沿边开发开放、与东南亚区域合作和西部大开发等重大战略的实施过程中,随着“澜沧江—湄公河次区域经济合作”、“中国-东盟自由贸易区建设”的推进,该区的经济取得了快速、持久的发展,带动了区域的资源综合开发和大规模基础设施建设,也使该区的生态系统受到空前的扰动,区域及跨境生态安全问题日益凸显,影响广泛。

由于地处边疆、地域封闭、通行困难等原因,该区的综合研究基础一直都较为薄弱。20世纪80年代以来,横断山综合科学考察、青藏高原资源环境研究、澜沧江—湄公河系

列研究等相关研究计划的开展,使该区的基础研究取得了较大的进展。但是,有关纵向岭谷特殊环境格局与生态系统多样性的耦合关系、特殊环境格局中独特“通道-阻隔”作用与生态系统多样性变化的多尺度关联、区域生态系统变化的影响及跨境生态安全维护等科学问题,在区域层面上仍然是多学科交叉研究的空白,远不能满足国家的区域可持续发展、地缘政治经济合作和环境外交的科技需求。

2003~2008年,在国家“973”计划和云南省政府等的支持下,“纵向岭谷生态系统变化及西南跨境生态安全”项目研究团队,围绕“揭示纵向岭谷特殊环境过程及其‘通道-阻隔’作用规律—维护区域生态系统多样性、整体功能、持续利用和健康管理—保障区域及跨境生态安全”主线,有序地开展了科学考察、定位观测、实验测试和模型模拟等研究。

5年的多学科交叉研究,在纵向岭谷区“水-气”循环及其格局形成机制、纵向岭谷地形“通道-阻隔”作用的关键生态和水文效应、关键植物类群和特征指示植物的生理生态及其遗传分化特征与区域环境变化的关联和生物适应机制、大型动物生态行为与生态系统稳定性关联、昆虫跨境入侵和扩散机制、水电工程建设生态效应链、河流生态变化跨境影响及安全调控机制等方面,取得了创新成果。集成这些研究成果,初步构建了纵向岭谷区生态系统多样性变化和跨境生态安全理论框架。同时,结合跨境生态安全与国际区域合作的关联研究、关键国际河流生态变化影响评价、陆疆沿边跨境生态安全维护的多功能生物防护工程建设和跨境生态系统变化监测与评价、陆疆适度开发与保护协调案例、跨境大型洄游鱼类生态安全与调控、跨境昆虫入侵可持续控制、羚牛跨境生境安全评价等,初步构建了纵向岭谷区跨境生态安全综合调控模式(调控体系框架)。

通过对上述成果的进一步集成和提升,撰写了“纵向岭谷·通道-阻隔·跨境生态安全”系列的5部专著:《纵向岭谷区特殊环境格局与生态效应》、《纵向岭谷区生态系统多样性变化与生态安全评价》、《纵向岭谷区典型生态系统变化与稳定性机制》、《纵向岭谷区重大工程建设与区域生态系统变化交互作用》、《纵向岭谷区跨境生态安全与综合调控体系》。该系列专著的出版和大量期刊论文的发表,为亚洲的同类研究提供了新视野。

特别感谢孙枢院士、陈宜瑜院士、孙鸿烈院士、刘鸿亮院士、马福臣研究员、李文华院士、郑度院士、刘昌明院士、滕吉文院士、李泽椿院士、吴德邻研究员、黄鼎城研究员等,给予本项研究的实施和系列专著完成上的大力支持和指导!

首席科学家 何本初

2008年12月28日

前 言

《纵向岭谷区重大工程建设与区域生态系统变化交互作用》是“973”计划项目“纵向岭谷区生态系统变化及西南跨境生态安全”(2003CB415100)五部系列专著中的第四部,内容主要来自项目第四课题“纵向岭谷区重大工程建设与区域生态系统变化交互作用”(2003CB415104)的研究成果。

本书的第一章“重大工程建设与生态系统多样性变化”,由崔保山、杨志峰、刘世梁、胡波撰写;第二章“水电大坝影响下生态系统结构变化”,由崔保山、杨志峰、刘新会、胡波、姚维科、魏国良撰写;第三章“水电大坝影响下生态系统功能变化”,由杨志峰、崔保山、魏国良、姚维科、胡波撰写;第四章“澜沧江电站建设与流域生态系统变化交互作用”,由崔保山、杨志峰、姚维科、胡波、翟红娟、魏国良撰写;第五章“高速公路建设与生态系统结构多样性变化”,由崔保山、刘世梁、董世魁、白军红、刘杰、朱建军、赵慧撰写;第六章“高速公路建设与生态系统功能多样性变化”,由崔保山、董世魁、刘杰、朱建军、姚华荣、王娟、赵树青、高丽娜、赵慧撰写;第七章“公路建设与生态系统多样性变化交互作用”,由刘世梁、崔保山、杨志峰、李晓文、温敏霞、袁平撰写;第八章“重大工程建设的生态安全及调控”,由崔保山、杨志峰、董世魁、李绍才、翟红娟、胡波撰写。崔保山、杨志峰对全书进行了统稿。

著 者

2009年6月

目 录

总序

前言

第一章 重大工程建设与生态系统多样性变化	1
第一节 重大工程建设的基本特征	1
一、河流生态系统与水电大坝建设	1
二、高速公路建设的基本特征	14
第二节 重大工程建设与生态系统变化	18
一、水电大坝影响下的生态系统变化	18
二、高速公路建设与生态系统变化	30
第三节 重大工程建设影响下的生态系统变化时空尺度	42
一、水电大坝建设与生态系统时空变化	42
二、高速公路建设与生态系统时空变化	46
第四节 重大工程建设与生态系统变化作用机理	51
一、交互作用机理	51
二、交互作用的模型构建	54
第二章 水电大坝影响下生态系统结构变化	60
第一节 水域生态系统结构的变化	60
一、水文特征变化	60
二、水质特征变化	74
三、生物特征变化	79
第二节 河岸带生态系统结构的变化	91
一、植被结构变化	91
二、土壤结构变化	98
第三章 水电大坝影响下生态系统功能变化	106
第一节 生态系统基本功能的变化	106
一、生态系统的物质循环和能量流动	106
二、大坝对河流生态系统基本功能的影响	106
第二节 生态系统服务功能的变化	109
一、水电大坝对河流生态系统服务功能影响的机理及途径	109
二、河流系统典型生态服务功能变化	109
三、河流系统整体生态服务功能变化	138
第三节 纵向岭谷区典型河段生态系统服务功能变化比较	142
一、河段生态系统服务功能变化研究方法	143
二、河段土地利用特征变化	146
三、河段生态系统服务价值变化及驱动因素	146

四、河段生态系统服务价值构成及变化	151
五、纵向岭谷区不同土地利用类型生态服务功能的单位面积价值	152
第四章 澜沧江电站建设与流域生态系统变化交互作用	153
第一节 交互作用的生态效应链表征	153
一、水电大坝生态效应链的基本理论	153
二、水电大坝生态效应链的构建	158
三、水电大坝生态效应链评价	163
第二节 漫湾电站建设的生态效应	174
一、漫湾电站及库区河段概况	174
二、水生生态效应链分析	176
三、陆地生态效应链分析	180
四、漫湾大坝生态效应链评价	189
第三节 梯级电站建设的生态效应	195
一、梯级电站的陆生生态效应链	195
二、梯级电站的水生生态效应链分析	199
三、已建和在建的梯级水电大坝生态效应链评价	206
第四节 基于 DPSIR 模式的交互作用	207
一、特征要素分析	207
二、情景分析	210
第五章 高速公路建设与生态系统结构多样性变化	213
第一节 公路建设与路域生物组分变化	213
一、路域植物个体变化研究	213
二、路域植物种群变化研究	220
三、路域植被群落变化研究	237
第二节 公路建设与路域土壤环境变化	245
一、路域土壤环境的纵向变化	245
二、路域土壤环境的横向变化	248
三、路域土壤环境的垂向变化	249
四、路域土壤环境变化规律分析	250
第三节 公路建设与区域景观结构变化	252
一、公路建设对景观格局的影响分析	252
二、公路建设对区域景观动态的驱动分析	256
三、公路建设对区域景观格局的影响预测	258
第六章 高速公路建设与生态系统功能多样性变化	261
第一节 基本功能变化	261
一、植物生物量变化	261
二、植物光合速率变化	267
第二节 生态系统服务功能变化	273
一、生态服务功能物质量评估的指标体系及评估方法	274
二、森林生态系统服务功能变化	276

三、湿地生态系统服务功能变化	289
四、农田生态系统服务功能变化	294
第三节 生态系统服务功能价值变化	298
一、区域生态系统服务功能变化	299
二、公路网络对区域生态系统服务功能的影响	300
第七章 公路建设与生态系统多样性变化交互作用	313
第一节 公路建设与生态系统变化作用评价	313
一、生态系统适宜性	313
二、生态承载力评价	316
三、景观健康与生态风险评价	321
四、生态补偿机制	326
第二节 公路网络与区域生态系统变化交互作用	330
一、公路网络与区域景观要素相关性	330
二、公路网络对河流湿地生态系统变化交互作用	332
第三节 公路网络与生态系统分布的相关性及其尺度效应	345
一、公路网络和地形因子与生态系统分布的相关性	345
二、公路网络和地形因子与生态系统分布相关性的尺度效应	347
三、公路网络和地形因子对生态系统分布的影响特征及其尺度效应	350
四、公路网络对生态系统变化的影响阈值分析	354
第八章 重大工程建设的生态安全及调控	360
第一节 生态安全调控模式	360
一、工程方案选择	360
二、植被恢复重建与选择	371
三、生态廊道开辟	386
四、生境替代与生态补偿	388
五、生态护坡	390
第二节 水电工程建设与区域生态安全预测	395
一、不同水电梯级开发情景下的生态效应预测	395
二、不同水电梯级开发情景下的区域生态脆弱度预测	402
三、河流生态系统整合性变化预测及调控	408
参考文献	412
附录	426

CONTENTS

Preface to series

Preface

Chapter 1 Major engineering project and ecosystem diversity changes	1
1 Basic characteristics of engineering project	1
1.1 River ecosystem and hydropower station construction	1
1.2 Basic characteristics of high way construction	14
2 Major engineering project construction and ecosystem changes	18
2.1 Ecosystem changes in the influence of hydropower station construction	18
2.2 High way construction and ecosystem changes	30
3 Spatio-temporal scale of ecosystem changes in the influence of major engineering project construction	42
3.1 Hydropower station construction and spatio-temporal changes of ecosystem	42
3.2 High way construction and spatio-temporal changes of ecosystem	46
4 Interaction between major engineering project and ecosystem changes	51
4.1 Interaction mechanism	51
4.2 Interaction model	54
Chapter 2 Ecosystem structure change in the influence of hydropower station construction	60
1 Changes of aquatic ecosystem structure	60
1.1 Hydrological characteristics change	60
1.2 Water quality characteristics change	74
1.3 Biological characteristics change	79
2 Riparian ecosystem structure change	91
2.1 Riparian vegetation structure change	91
2.2 Riparian soil structure change	98
Chapter 3 Ecosystem function changes in the influence of hydropower station	106
1 Ecosystem basic function change	106
1.1 Material cycle and energy flow of ecosystem	106
1.2 Influence of hydropower station to basic function of river ecosystem	106
2 Changes of ecosystem service function	109
2.1 Influence mechanism and approach of hydropower station to river ecosystem service function	109
2.2 The typical service function change of river ecosystem	109
2.3 The Integrated service function change of river ecosystem	138
3 Comparison of ecosystem service function of typical river section in LRGR	142
3.1 Study method	143

3.2	Characteristics change of river section land use	146
3.3	Change of river section ecosystem service function value and its drives	146
3.4	Value structure of river section ecosystem service and its change	151
3.5	Ecosystem service function per unit area of different land use type in LRGR	152
Chapter 4 Interaction between Lancang river hydropower station and river ecosystem change		
1	Ecological effect chain of interaction	153
1.1	Basic theory of ecological effect chain	153
1.2	Structure of ecological effect chain	158
1.3	Ecological effect chain evaluation	163
2	Ecological effect of Manwan dam	174
2.1	Introduction of Manwan and reservoir river section	174
2.2	Aquatic ecological effect chain analysis	176
2.3	Terrestrial ecological effect chain analysis	180
2.4	Evaluation of Manwan ecological effect chain	189
3	Ecological effect of cascade hydropower station construction	195
3.1	Terrestrial ecological effect chain of cascade hydropower station	195
3.2	Aquatic ecological effect chain of cascade hydropower station	199
3.3	Ecological effect evaluation of built and building cascade hydropower station	206
4	Interaction based on DPSIR framework	207
4.1	Characteristic factors analysis	207
4.2	Scenario analysis	210
Chapter 5 High way construction and ecosystem structure diversity change		
1	Road construction and biological component change alongside road region	213
1.1	Study of vegetation individual change	213
1.2	Study of vegetation population change	220
1.3	Study of vegetation community change	237
2	Road construction and soil environment change	245
2.1	Longitudinal change of soil environment	245
2.2	Transversal change of soil environment	248
2.3	Vertical change of soil environment	249
2.4	Rule of soil environment change	250
3	Road construction and regional landscape structure change	252
3.1	Analysis of the influence result from road construction to landscape pattern	252
3.2	Drive analysis of influence result from road construction to landscape pattern	256
3.3	Forecast of influence result from road construction to landscape pattern	258
Chapter 6 High way construction and ecosystem function diversity change		
1	Basic function change	261
1.1	Vegetation biomass change	261
1.2	Vegetation photosynthetic rate change	267

2	Ecosystem service function change	273
2.1	Index system and analysis method of material evaluation of ecosystem service function	274
2.2	Forest ecosystem service function change	276
2.3	Wetland ecosystem service function change	289
2.4	Farmland ecosystem service function change	294
3	The changes of ecosystem service functions value	298
3.1	Regional ecosystem service function change	299
3.2	The influence of road network to regional ecosystem service function	300
Chapter 7	Interaction between road construction and ecosystem diversity change	313
1	Assessment of interaction between road construction and ecosystem change	313
1.1	Ecosystem suitability	313
1.2	Ecosystem capacity assessment	316
1.3	Landscape health and ecological risk assessment	321
1.4	Ecological compensation strategy	326
2	Interaction between road network and regional ecosystem change	330
2.1	Correlation between road network and regional landscape factors	330
2.2	Interaction between road network and river ecosystem change	332
3	Correlation between road network and ecosystem distribution and its scale effect	345
3.1	Correlation between road network & landform factors and ecosystem distribution	345
3.2	The scale effect of correlation between road network & landform factors and ecosystem distribution	347
3.3	Influence of road network and landform factors to ecosystem distribution and its scale effect	350
3.4	Influence threshold analysis of road network to ecosystem change	354
Chapter 8	Ecological safety of major project construction and its adjustment	360
1	Ecological safety adjustment pattern	360
1.1	Selection of project strategy	360
1.2	Rebuild and selection of vegetation restoration	371
1.3	Ecological corridor construction	386
1.4	Habitat substitution and ecological compensation	388
1.5	Ecological slope protection	390
2	Hydropower station construction and regional ecosystem safety forecast ...	395
2.1	Forecast of ecological effect under different scenes of cascade hydropower station construction	395
2.2	Forecast of regional ecological vulnerability under different scenes of cascade hydropower station construction	402
2.3	Forecast of the change of river ecosystem integrity and its adjustment	408
References		412
Appendix		426

第一章 重大工程建设与生态系统多样性变化

第一节 重大工程建设的基本特征

纵向岭谷区具有独特的地形地貌特征，其雄奇的纵向山系、大河构成了全球独特的高山峡谷景观，是亚洲大陆生物物种南来北往的主要通道和避难所，拥有北半球绝大多数生物群落类型和除沙漠与海洋外的各类生态系统，同时具有资源富集、生态脆弱、灾害频发和环境退化等诸多特点。随着西部大开发战略的进一步实施，该区经济发展迅猛，开发建设活动日益增多，生态环境受到了巨大扰动，生态系统多样性正面临着严重威胁。探讨该区重大工程建设的生态效应对解决该区生态建设中的关键科学问题具有重要作用。

纵向岭谷区河流众多，水能丰富，对其进行合理开发已经成为缓解我国能源压力、促进当地经济发展的重要举措。目前，该区有已经建成的澜沧江漫湾电站和大朝山电站，正在建设的小湾电站、景洪电站和糯扎渡电站，以及纳入规划的 25 个电站，其中包括澜沧江流域的溜筒江、佳碧、乌弄龙、托巴、黄登、铁门坎、功果桥、小湾、漫湾、大朝山、糯扎渡、景洪、橄榄坝、勐松等 14 个梯级水电大坝；怒江流域的松塔、马吉、鹿马登、福贡、碧江、亚碧罗、泸水、六库、石头寨、赛格、岩桑树等 11 个梯级水电大坝。水电大坝建设是该区重点发展的重大工程项目，建设数量多，涉及范围广，同时又关系到东南亚多国、多边的利益关系，严重威胁区域生态安全和生物多样性，已经成为当前国内外关注的焦点。

同时，纵向岭谷区由于特殊的自然环境特征，使得其在交通运输方式上具有鲜明的特点：修建铁路难度巨大；空运发达，但受运量和运价的限制，空运并不能承担主要运输任务；该区河流众多、水运便利，但河道位置的限制作用也使其难以满足区域整体发展的需要；公路特别是高速公路才是该区目前乃至今后主要的交通运输方式。《云南省交通规划》（2004）提出：在未来 10~20 年将重点建设以“三横”、“三纵”、“九大通道”为主的高速公路网。因此，公路建设特别是高速公路建设已经也必将成为纵向岭谷区当前和未来一定时期内最重要的人类活动之一。

一、河流生态系统与水电大坝建设

水利水电建设作为人类改造自然的伟大工程促进了人类文明的繁衍和发展。同时，水电开发影响了河流水文情势使得自然河流生态系统受到外界因素的胁迫，诱发了一系列生态环境问题，如河流断流、湖泊萎缩、河口生态环境恶化、水体功能下降、水量不足和水污染等。作为重大工程建设的承载主体，河流生态系统的结构和功能特征及变化能够有效反映水电大坝建设的影响以及恢复属性。对其进行深入剖析，可为重大工程建设与生态系统变化交互作用提供重要的基础支撑。

(一) 河流生态系统结构与功能

河流生态系统结构是指河流各组成因素在时空连续尺度上的排列组合方式、相互作用形式以及相互联系规则,是河流生态系统构成要素的组织形式和秩序。河流生态系统功能主要指与能量流动和物质循环相关的整个河流生态系统的基本功能。结构与功能息息相关,生态系统结构的变化也会导致生态系统功能某些方面的相应改变,同样生态系统功能的变化会引起系统内结构组分的相应变化(King, 1993)。

1. 河流生态系统结构分析

(1) 河流生态系统空间和组分结构

根据河流生态系统的空间分布特征,其空间结构分布包括纵向、横向以及垂向3个方面,纵向分布主要是指沿河流流向的分布;横向分布主要是指从河流中心到河岸带边坡高地的分布;垂向分布主要是指从河流水面到河床基底的分布(图1-1,图1-2)。

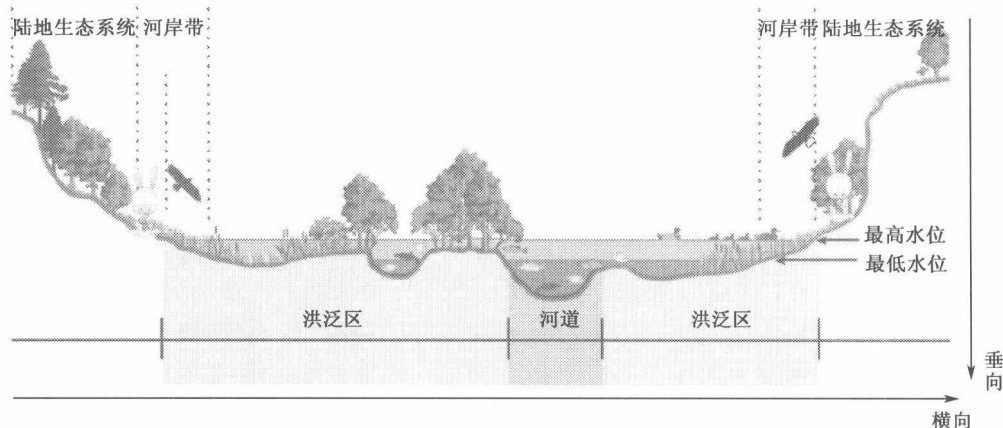


图 1-1 河流生态系统横向结构分布

Fig. 1-1 The transverse structure of river ecosystem after dam construction

从横向结构上看,河流生态系统可分为高地、河岸带和河流连续体3个子系统。其中,高地是流域的汇流区,包括森林生态系统、草原生态系统、荒漠生态系统、农田生态系统等诸多类型;河岸带属于水陆交错带,包括河岸边交错带、湖周交错带、河口三角洲交错带等,是具有丰富生物多样性的生态交错带;河流连续体是流域中狭长网络状系统,包括河流的干流及其各级支流,以及与河流连通的湖泊、水库、湿地等,它是流域中的廊道系统,起着连通流域内各生态系统的作用(邓红兵等,1998)。

从流域生态系统组分结构上可以把河流生态系统分为水体、河道、河漫滩、通河湿地、人工湿地及功能保护区等6部分。水体是河流生境以及生物组成的决定因素,也是受河流水电大坝建设影响最为直接的承载体,水体的动态流动在不同空间尺度上改变了栖息地以及河道的形状与复杂性,自然流动的水体维系着河流物质生产、能量流动以及信息传递等基本功能的发挥;河漫滩主要是指河流非汛期露出水面,而汛期淹没在水面以下的河道两侧的带状区域,完备的河漫滩栖息地对于维系流域生物多样性起着十分重

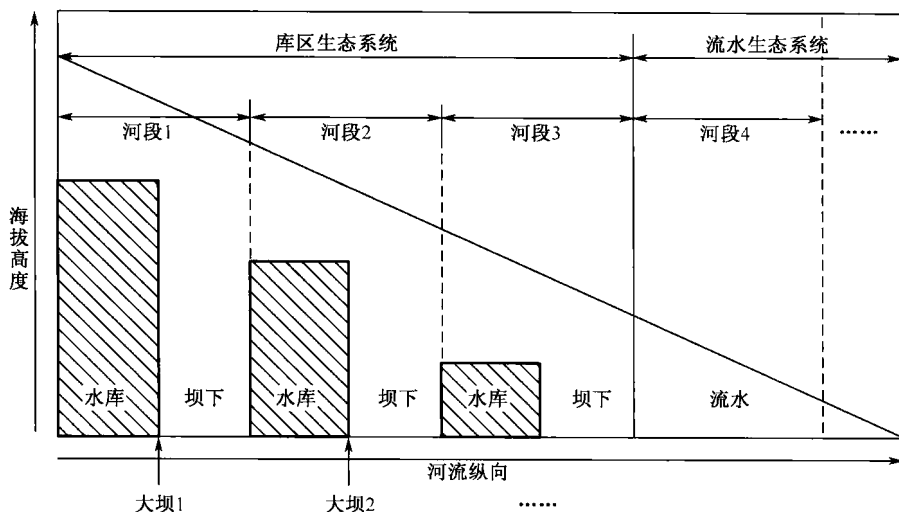


图 1-2 河流生态系统纵向结构分布

Fig. 1-2 The longitudinal structure of river ecosystem after dam construction

要的作用，对于山地河流而言，河漫滩不发育，宽度较小，但因山地河谷比较狭窄，洪水期的水位较高，所以它的相对高度比平原河流的河漫滩要高；通河湿地主要是指与河流相通的湿地，其与河流进行水资源的周期性更替，如湖泊、沼泽湿地等，对于高山峡谷河流而言，通河湿地类型较少；人工湿地主要是指各种人为水利构筑物，包括蓄水库、水力发电站、拦水坝等，人工湿地不属于自然河流的结构范畴，是影响流域生态系统演变的重要因子；功能保护区主要是指为流域内具有特殊功能或价值的区域而划分的专属区域，包括各种国家动植物保护区、水源地保护区等，由于其特殊的属性，且受水电大坝影响较为直接，故将其与通河湿地以及人工湿地并列。

(2) 河道形态与补给特征

河道按流域形态分为五段，包括河源、上游、中游、下游和河口，其中，上游、中游、下游河段特征分别为：上游河谷呈“V”字形，河床多为基岩或砾石，比降大，流速大，下切力强，流量小，水位变幅大；中游河谷呈“U”字形，河床多为粗砾，比降较缓，下切力不大但侧蚀显著，流量较大，水位变幅较小；下游河谷宽广，呈“V”字形，河床多为细沙或淤泥，比降很小，流速也很小，水流无侵蚀力，流量大，水位变幅小。

河道按照地理形态分为游荡型河段、窄深型河段、调整性/过渡性河段、弯曲线河段，其中游荡型河段泥沙淤积较多，输沙效率偏低；窄深型河段水流速度较大，易产生冲刷，输沙效率较高；调整性/过渡性河段介于上述二者之间；弯曲线河段河道弯曲度较大，沿岸河道冲刷较大，澜沧江小湾段河道弯曲系数比较大，属于此种类型。

按照河流的补给可分为降水补给型河流、融水补给型河流、湖泊和沼泽补给型河流、地下水补给型河流以及混合式补给型河流，河流多是混合式补给型河流，但以降水补给为主。

2. 河流生态系统功能分析

河流生态系统功能是系统在相互作用中所呈现的属性,它表现了系统的功效和作用。从系统本身来看,功能是以“流”的形式表现出来的,流域生态系统即为物流、能流、信息流的交换和融合过程,具有能量平衡与传递、物质传输和循环(水、沙、盐分、营养物质)、生物多样性维持、信息传递等功能。河流生态系统功能包括基本功能与服务功能,其中,基本功能主要是指物质循环、能量流动以及信息传递,而服务功能主要包括供水及相关功能、物质生产功能、生态支持功能、调节功能和娱乐旅游功能等方面。

(1) 供水及相关功能

河流最基本的服务功能是向自然界生物的生存繁衍和人类生活生产提供充足的洁净水源,使得生命得以延续。水电工程建设在一定程度上提高了河流的蓄水和供水功能。从全球水资源来看,修建大坝在减慢和减少水从陆地向海洋转移的速度和数量、一定程度上缓解海平面上升问题、保持陆地水资源的蓄存量等方面起到了积极的作用,可以部分抵消由于灌溉(地下水开采和地表水转移)、采伐森林、湿地排干和填埋等人类活动造成的陆地水资源的减少(Sahagian, 2000)。从人类生存需求来看,在干旱季节和干旱年份,水库充当了极好的水源缓冲器,有效保证了居民常年的生活和生产用水。

(2) 物质生产功能

河流生态系统的物质生产功能由3个子系统(河道水域、河岸带以及周边陆域)的产品产出组成,主要包括鱼类、林草产品和农牧产品等。水电开发除可在库区发展养殖增加水产品产出外,对下游以及河岸陆域的物质生产功能多产生负面影响。洪水和干旱是河流水文的重要组成部分,自然的、间断的干旱能够提高鱼类的耐受能力,加快鱼类的优胜劣汰,对鱼类的分布和多样化有重要影响。特别是较大的洪水能够明显地更新生态系统,刺激鱼类产卵,加快营养物质补充(Rinne and Stefferud, 1999)。河岸带林草产品和陆域农牧产品是河流生态系统物质产出的重要组成部分。

(3) 生态支持功能

河流生态系统的生态支持功能表现在河岸的稳固、土壤肥力的维持、水体-土壤-植被之间的营养循环、生物栖息地的提供和生物多样性的维持等方面。河岸带是河流生态系统重要的有机组成部分,对水陆生态系统间的物流、能流、信息流和生物流发挥廊道、过滤器和屏障功能,对于保持物种多样性、拦截和过滤物质流、鱼类的繁育、稳定毗邻生态系统、净化水体等均有重要的现实意义和潜在价值(Gregory et al., 1991)。河流生态系统的生态支持功能还体现在为生物提供栖息地。一些经典的研究表明,生物的消亡与栖息地的破坏密切相关(Ney-Nifle and Mangel, 1999)。栖息地的有效性受水质的直接影响,很显然水体富营养化不利于水生生物群落的生存繁殖。

(4) 调节功能

河流生态系统的调节功能包括通道传输、净化水质、缓解洪涝干旱、土壤肥力维持、植被控制侵蚀以及气候调节等,概括起来可以分为资源的持续供给、环境的持续容纳和自然的持续缓冲三种能力。河道内水体的快速流动通过稀释扩散和生物化学反应对

河流污染物起到了一定的净化作用,是河流生态系统生态支持功能很重要的一个方面。河流生态系统自净服务功能的另外一个重要体现是河岸带植被对来自农业的污染物质的高效截留和过滤吸收作用。相关研究表明,来自农田地表、地下径流携带和降水的氮、磷在河岸带森林植被的滞留量分别为 89% 和 80%。近年来的研究文献资料表明,国际岩石圈-生物圈组织(IGBP)目前开展研究最多的一个新的热点领域是关于河流传输功能的研究。连续流动的河水也是水生生物迁徙的通道,河岸带是水陆交错带,在缓解冲刷、固定河岸、减轻污染等方面也起着过滤、缓冲和屏障等调节作用。

(5) 娱乐旅游功能

随着人类生活水平的提高,人们越来越追求更高层次的精神享受,回归自然是当前旅游发展的重要趋势之一。水是自然界的灵气所在,青山绿水往往给人带来美的享受。因此,河流生态系统的娱乐旅游功能正受到人们更多的重视,此外,其文化、美学和科研功能也不容忽视。

(二) 水电大坝建设的基本特征

水电大坝是指坝高 15m 以上、以蓄水为目的的水工建筑物。满足坝高超过 150m,蓄水量大于 $15 \times 10^6 \text{ m}^3$,水面面积大于 25 km^2 三个条件之一的大坝称为特大(高)坝(McCully, 1996)。从功能方面来看,有灌溉用、供水用、防洪用、娱乐用、发电用、多种用途综合以及其他大坝,但作为水电开发利用的大坝只占 16%,大部分都是特大(高)坝。

1. 典型流域特征分析

随着我国西部大开发战略的进一步实施,西南纵向岭谷区水电大坝建设的热潮引起了国内外的广泛关注。西南纵向岭谷区内国际河流众多,水电大坝建设涉及多国、多边的利益关系,如澜沧江-湄公河纵贯中国的西部和整个中南半岛的腹地,战略位置极其重要。目前重点建设和规划部分包括澜沧江流域(云南)的 14 级水电大坝(图 1-3)以及怒江流域的 11 级水电大坝。怒江的开发问题由于争议颇多,从 2003 年起一直搁置至今,尚未有实质性的进展。

(1) 澜沧江流域特征

云南省境内的澜沧江河段长 1227km,区间流域面积为 $9.02 \times 10^4 \text{ km}^2$,落差 1780m,平均比降 1.45‰,国界处多年平均径流量为 $760 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。澜沧江水系主要由干流和众多的支流组成,流域面积大于 100 km^2 的支流有 138 条,流域面积大于 1000 km^2 的支流有 41 条,较大的支流一般分布在上游和下游。澜沧江支流的特点是落差大,水资源丰富,上、中游降水量少,有雪水补给,水量稳定,下游地处热带、亚热带气候区,降水量大,水量充沛,但缺乏调节水库,以引水式开发为主。

1) 地貌特征:澜沧江流域地处 $94^\circ \sim 102^\circ \text{ E}$, $21^\circ \sim 34^\circ \text{ N}$,地势北高南低,自北向南呈条带状,上、下游较宽阔,中游狭窄,流域平均宽度约为 80km,其中溜筒江-功果桥河段平均宽度仅为 36km,流域内地形起伏剧烈,地形复杂。上源北部与长江上游通天河相邻;西部与怒江的分水岭为他念他翁山及怒山,其中,梅里雪山海拔高达