

河溪近自然评价 ——方法与应用

● 高甲荣 冯泽深 高阳 刘瑛 等 合著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

责任编辑：武丽丽 朱双林

封面设计 | 北京瑞兴文化艺术中心 / 冯强
Tel: (010) 68545821
E-mail: art@waterpub.com.cn
www.waterpub.com.cn / art

ISBN 978-7-5084-7556-1



9 787508 475561 >

销售分类：水利教材 / 水资源评价

定价：30.00 元

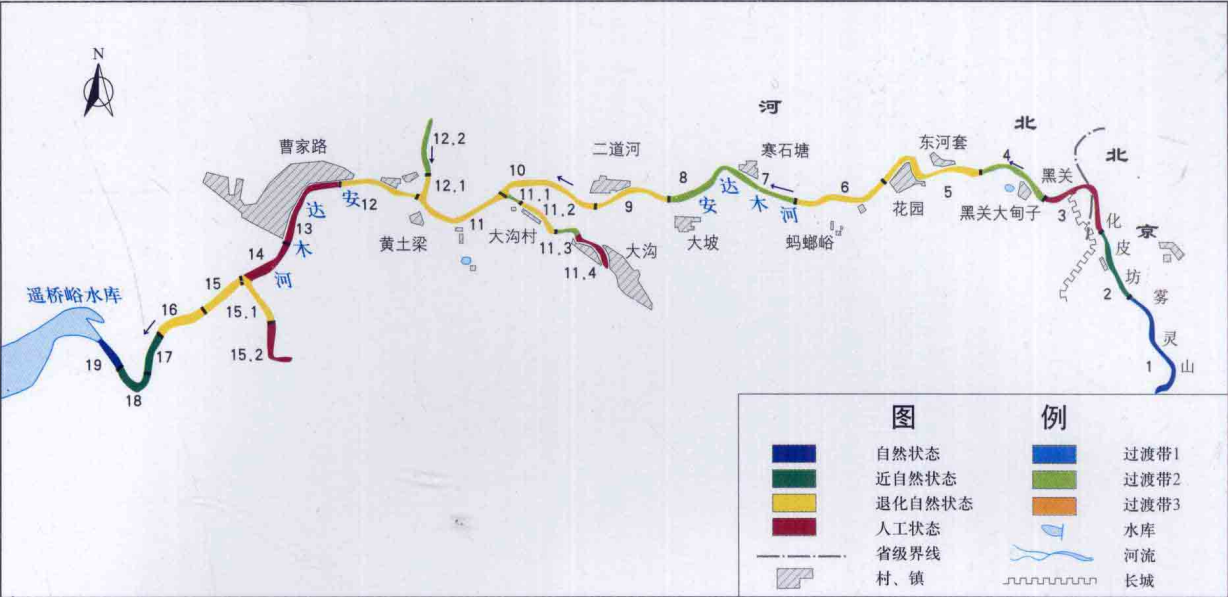


图5 安达木河近自然性状况评价图

Figure 5 The segmented diagrammatic sketch about near-natural degrees of Andamu River

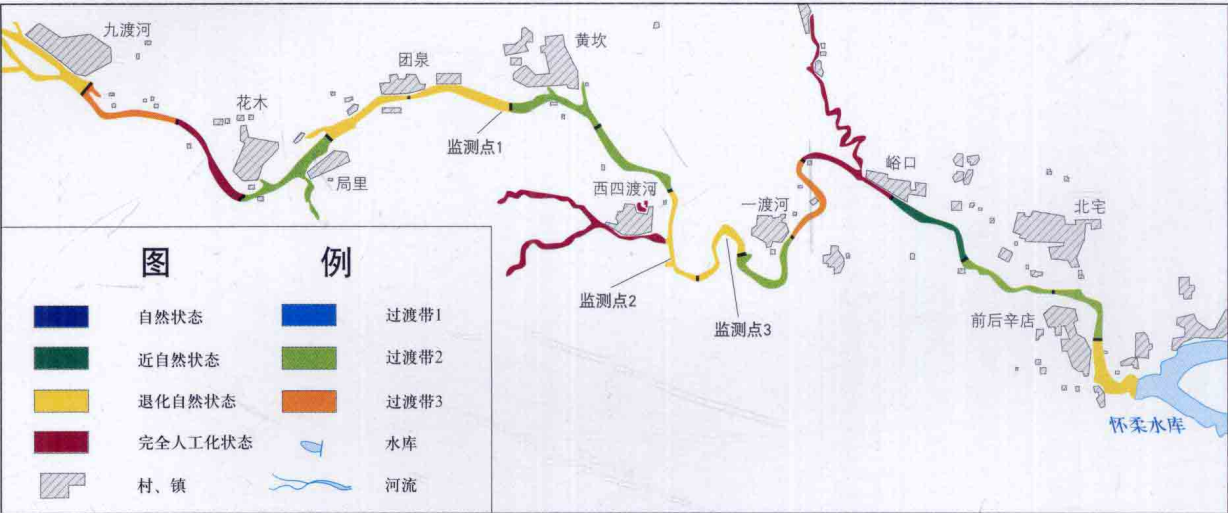
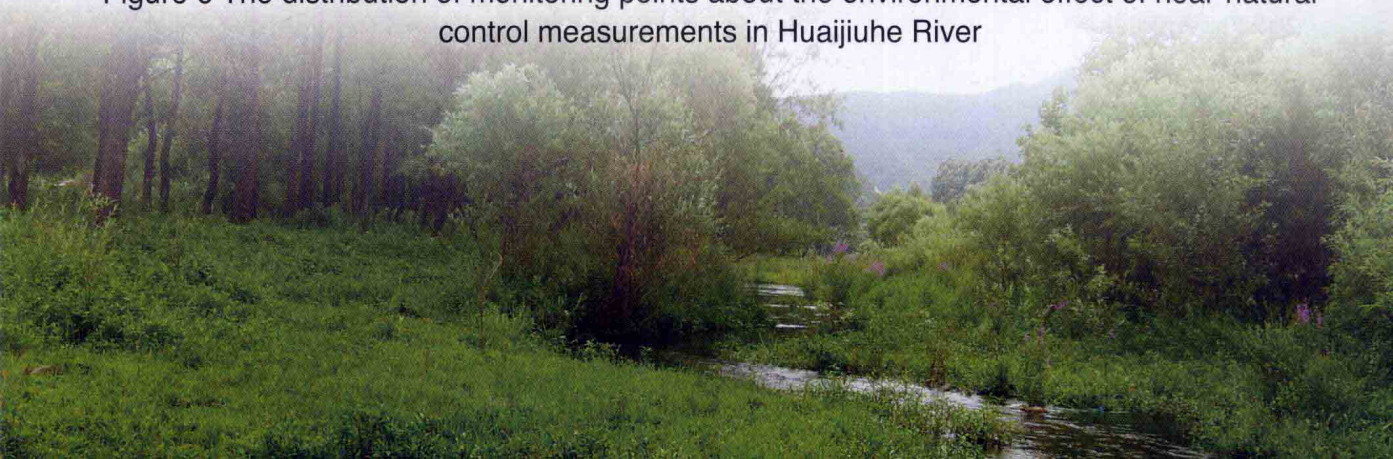


图6 怀九河河溪近自然治理环境效应监测点分布

Figure 6 The distribution of monitoring points about the environmental effect of near-natural control measurements in Huaijiuhe River



河溪近自然评价 ——方法与应用

高甲荣 冯泽深 高阳 刘 瑛
吕 晶 娄会品 王颖 陈子珊 等 合著
王 芳 王 敏



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以河溪生态系统为研究对象,从基本概念到基本理论,从技术方法到环境效应,系统地诠释了河溪近自然评价的理论、方法、应用。全书共10章,重点论述了河溪近自然评价的内涵、河溪近自然治理的理论与技术以及在北京郊区河溪生态整治中的应用。

本书适用于从事水土保持、水利工程、生态规划、环境管理等专业的科研人员与教学人员阅读,也适合于从事河道管理、生态环境建设的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

河溪近自然评价:方法与应用 / 高甲荣等著. --
北京:中国水利水电出版社, 2010.6
ISBN 978-7-5084-7556-1

I. ①河… II. ①高… III. ①河流—生态系统—评价
IV. ①X321

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第100244号

审图号:GS(2010)510号

书 名	河溪近自然评价:方法与应用
作 者	高甲荣、冯泽深、高阳、刘瑛等合著
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 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 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	北京市地矿印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 12.25印张 296千字 2插页
版 次	2010年6月第1版 2010年6月第1版印刷
印 数	0001—2000册
定 价	30.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

目前,河溪退化已被公认是一个全球性的生态环境问题,受到国际社会的普遍关注。我国有近 2/3 的河溪受到不同程度的人类活动干扰,北京地区河溪状况更令人担忧。随着国民环境意识、生态观念的增强以及生活水平的提高,社会对退化河溪生态系统进行生态修复或自然修复的要求越来越迫切。传统河溪治理工程的重点是河溪输水的经济性,核心是工程的安全性和耐久性,技术模式则为裁弯取直、断面均一化、渠道化,不仅忽视了治理工程对生物及其生态环境的影响,而且未考虑到河溪也是具有生命化的生态系统。其结果使河溪自然特征逐渐消失、生物多样性减少、生态服务功能降低、河溪自净化和自我恢复能力降低、河溪水体污染加重。如何评价河溪现状、恢复河溪生态系统功能,是当前亟待解决和关注的重要问题之一。

河溪近自然评价是以对河溪生态系统的分析为基础的。通过提取河溪生态系统中的本质特征,在充分考虑科学家、水行政管理者以及普通公众之间对河溪功能知觉差异的基础上,对河溪生态系统的现状、治理及其效应进行评价。因此,河溪近自然评价是河溪整治方案制定与选择的重要依据。有关河溪生态系统评价已经在很多国家展开,国内外已有多个评价指标体系及模型,但北京郊区河溪生态系统具有其特殊的生态地貌特征,应用已有的河溪生态评价模型所取得的结果,往往与实际情况有较大的差异,从而影响到河溪近自然治理技术措施的制定。

本书在国内外相关研究的基础上,从河溪的结构决定功能的理念出发,提出了河溪生态系统的四维空间结构与其不同的社会功能。在河溪连续体理论与生态恢复理论的基础上,诠释了河溪近自然治理的概念及内涵,阐述了目前国内外在河溪近自然评价、河溪近自然治理技术以及措施实施后期管理方面所取得的研究成果。通过分析北京河溪整治中所存在的问题,明确了河溪近自然评价的思路与程序。从景观生态学、水文学、地貌学和社会学的角度,提出了河溪近自然治理的原则和模式。在总结国内外各种评价指标体系的基础上,建立了北京郊区河溪近自然评价指标体系和评价模型,并应用于北京市怀柔区怀九河和密云县安达木河遥桥峪水库上游河段的近自然评价,

运用河溪环境决策支持系统 (SEDSS) 实现了评价模型的程序化。在河溪近自然等级划分的基础上, 针对不同的近自然等级河段采取了 12 种参考性的近自然治理措施, 并对怀九河采用不同治理措施的河段进行对比监测, 探讨各种措施所产生的环境效应。

本书是作者在多年从事河溪近自然恢复研究、对已发表学术论文进行总结以及野外相关调查所取得研究成果的基础上完成的。本书以北京郊区河溪生态系统为研究对象, 系统地论述了河溪近自然评价的有关理论及其在河溪近自然治理中的应用。全书共 10 章, 重点论述了河溪近自然评价的指标体系、模型和方法, 评价指标体系的实例应用、评价模型的优化和程序化、河溪近自然治理措施体系及其环境效应。特点是理论与实践相结合、方法与应用相互依托, 可操作性强, 可为北方地区河溪生态修复提供理论依据与技术参考。

本书在完成过程中, 关君蔚 院士、王礼先教授、朱金兆教授、周心澄教授、余新晓教授、朱清科教授、贺康宁教授、赵廷宁教授、丁国栋教授、齐实教授、杨海龙教授给予热情的帮助和指导, 并提出了许多宝贵意见; 北京市怀柔区水务局寇忠泰高级工程师、段红祥工程师在试验设计、野外调查和数据分析中给予了大力支持和帮助; 奥地利维也纳农业大学 Hans Wolfgang Weinmeister 教授、Florin Florineth 教授、Hanspeter Rauch 博士、Stangl Rosemarie 博士在研究中提供了许多富有建设性的意见和建议; 北京市水务局段淑怀高级工程师和怀柔水务局水土保持监测站魏志刚站长在资料收集中给予了热情帮助, 在此对他们表示衷心的感谢。同时, 感谢我的研究生团队高阳、刘瑛、冯泽深、陈子珊、吕晶、娄会品、王颖等, 以及在外业调查和室内数据处理中提供大力支持和协助的本科生。

本书的研究工作得到国家自然科学基金“北京地区河溪自然性评价及近自然恢复机理研究”(40771128)、北京市自然科学基金“北京地区典型河溪生态系统环境效应及其调控机理”(8062022) 以及科技部国际科技合作项目“土壤生物工程措施在北京市怀柔区河道治理中的应用”(2009DFA32490) 的资助。

作者在河溪近自然评价方面做了一些探索, 取得了一些成果, 但由于评价本身就包含主观价值, 加之作者水平有限, 书中不足之处在所难免, 敬请读者批评指正。

高甲荣

2010 年 1 月于北京

前言

绪论	1
0.1 研究背景与意义	1
0.2 研究内容与技术路线	1
0.3 研究发展趋势	3
第1章 河溪生态系统的结构与功能	5
1.1 河溪与河溪生态系统	5
1.2 河溪的结构	7
1.3 河溪的功能	11
第2章 河溪生态系统研究进展	15
2.1 河溪生态系统理论	15
2.2 河溪近自然评价国内外研究进展	17
2.3 河溪近自然治理技术研究进展	19
2.4 河溪近自然管理研究进展	25
第3章 北京河溪现状与分析	28
3.1 北京河溪概况	28
3.2 北京市河溪存在的问题	37
3.3 北京河溪生态治理及限制条件	38
3.4 未来的发展趋势	41
第4章 河溪近自然评价理论基础	45
4.1 思想起源	45
4.2 理论基础	46
4.3 河溪近自然评价的内涵	48
4.4 河溪近自然评价及其特点	49
4.5 河溪近自然治理的原则及目标	52
第5章 河溪近自然评价方法	54
5.1 国外河溪评价体系	54
5.2 国内河溪评价体系	59

第6章 河溪近自然评价应用	94
6.1 京郊怀九河近自然评价	94
6.2 京郊安达木河近自然评价	115
第7章 河溪近自然评价模型的优化与程序化	124
7.1 近自然评价模型的确立	124
7.2 评价模型的优化	124
7.3 评价模型的程序化	133
第8章 河溪近自然恢复措施体系	138
8.1 河溪近自然生态治理技术措施的概念	138
8.2 河溪近自然治理技术措施的恢复目标	139
8.3 河溪近自然治理技术措施的规划设计原则	140
8.4 河溪近自然技术措施的模式	141
8.5 河溪近自然治理技术措施的材料	142
8.6 河溪水质近自然恢复措施	144
8.7 河溪形态近自然恢复措施	146
第9章 河溪近自然恢复的环境效应及后期维护	158
9.1 河溪近自然治理的环境效应监测	158
9.2 河溪近自然治理的后期维护	167
9.3 项目后期管理和维护的立法依据	168
第10章 结论与建议	171
10.1 结论	171
10.2 建议	173
参考文献	175
附图 北京郊区河溪部分常见大型无脊椎底栖生物图录	186

绪 论

0.1 研究背景与意义

河溪是人类活动最密集的地方，是陆地生态系统的重要组成部分。我国具有几千年的治河历史，因而大多数的自然河溪都在不同程度上经过了人工改造或受到人工干扰。同样，北京郊区的河溪生态系统也因注重防洪、蓄水的水利工程，极大地破坏了河溪生态系统的自然属性，从而影响河溪生态系统休憩、景观等生态服务功能的正常发挥。因此，如何恢复和维持一个具有良好功能的河溪生态系统已成为近年国际水资源管理的重点。我国科学家和水行政管理工作者相继开展了河溪生态治理等有关方面的研究，河溪近自然治理已经成为水资源管理的新趋势，特别是作为北京饮用水发源地的北京郊区，河溪更成为生态治理的重中之重。在过去的十几年，北京市水环境主管部门在河溪生态系统的保护和修复方面进行了很多有益的探索，很多科研单位针对一些关键科学技术问题也开展了多项研究工作，在河溪水质调查、采用生物措施进行河溪污染防治、河溪生态系统修复及示范工程建设等方面，均取得了很多有价值的成果。

河溪近自然评价理论和方法旨在从河溪生态系统整体出发，对河溪水文、地质地貌、生态等方面的状况进行充分理解和综合评估，从而为河溪适应性管理提供基础资料和信息反馈，促进河溪的可持续发展（Karr, 1999；郭培章，2000；肖风劲，2002；杨荣金，2004；董哲仁，2005a，2005b）。由于目前我国河溪生态系统的整体发展刚刚起步，不合理的水资源利用、水质恶化以及水体功能退化等生态环境问题日趋突出；已有污染防治和工程治理难以有效应对水环境领域所存在的问题，社会经济发展、人类需求对水环境和生态的更高要求；传统基于理化参数的水质评估已难以综合反映河溪系统的生态完整性和时空差异。因此，从河溪保护和恢复角度出发进行河溪近自然性研究，构建基于“河溪分类、生态评价、管理目标”的河溪近自然评价指标体系，以改进和完善河溪评价和管理，显得十分重要和迫切。

0.2 研究内容与技术路线

0.2.1 研究目标

目前实际水流改变的程度已经超出了人们所要求的水流状况，即超出了可持续发展的界限。然而人们往往不能很清楚地确定这种限制，不能确定恢复到什么程度才算是河溪的理想状态。河溪近自然评价的目标就是确定一个水流近自然恢复的限制，从而重新平衡河溪的各项功能在人类需求和自然需求之间的配置，使河溪恢复到最接近自然的状况。

针对河溪生态系统的复杂性、不确定性以及自然河溪的系统性、动态性等特点，系统诠释河溪近自然的概念、内涵和表征因子及其尺度差异特征；基于河溪生态系统的结构和功能、河溪近自然的基本特征等，探讨河溪近自然评价的理论基础、关键问题及其评价原

则、目标和模式；从主要手段、基本程序、关键方法等多角度构建河溪近自然评价指标体系，并尝试其在目标、尺度与程序角度优化评价模型；以北京郊区河溪为实例，从河溪近自然性的视角审视北京地区河溪自然性状况及河溪近自然治理项目的有效性。以期能够为北方地区正在广泛开展的河溪保护与近自然治理工作提供理论和方法指导，并为河溪管理寻求有效的技术途径和管理手段。

0.2.2 研究内容

从定性的角度，明确河溪近自然性的概念及内涵，分析北京地区河溪现状与未来的发展趋势。从定量的角度，构建河溪近自然性综合评价指标体系及评价模型，并在北京郊区两条河溪进行了实例研究。借助河溪环境决策支持系统实现了评价模型的程序化。采用 Pearson 相关性分析和典型对应分析 (CCA) 对评价模型进行优化处理，通过评价因子的筛选，构建北京河溪近自然性评价的基本框架。在此基础上，针对不同近自然等级的河溪提供了 12 种参考性的近自然治理技术措施，并对怀九河采取不同治理措施的河段进行环境效应的监测，包括增湿、降温、提高人体舒适度、恢复植物多样性等因子的观测。最后提出了治理项目后期的管理维护及立法依据的补充建议。具体研究过程如图 0.1 所示。

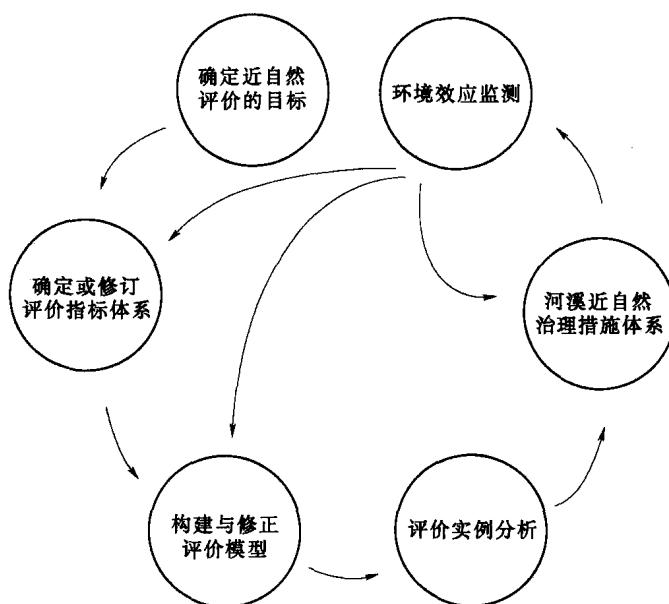


图 0.1 具体研究过程图

Figure 0.1 The details of research content

0.2.3 研究方法与技术路线

在国内外现有研究成果的基础上，以景观生态学、水力学理论为基础，分析总结河溪近自然性的概念及内涵。在野外全面调查基础上，收集历史数据、现场数据，分析北京地区河溪现状。在选择参考河溪的（无人为干扰或人为干扰较小的河溪）基础上，根据河溪的近自然特征，运用层次分析法和模糊综合评价法相结合，建立河溪近自然评价指标体

系。评价指标的选择采用专家咨询法、频率统计法、理论分析法等进行筛选。通过将该评价指标体系进行实例研究，并用聚类方法验证，证明该体系具有实用性。在分析国内外近自然治理技术及研究成果的基础上，归纳凝练适合北京地区河溪的近自然治理模式及治理材料的选择。通过分析治理措施的环境效应，引出后期管理中存在的问题，提出相应的解决方案。研究技术路线如图 0.2 所示。

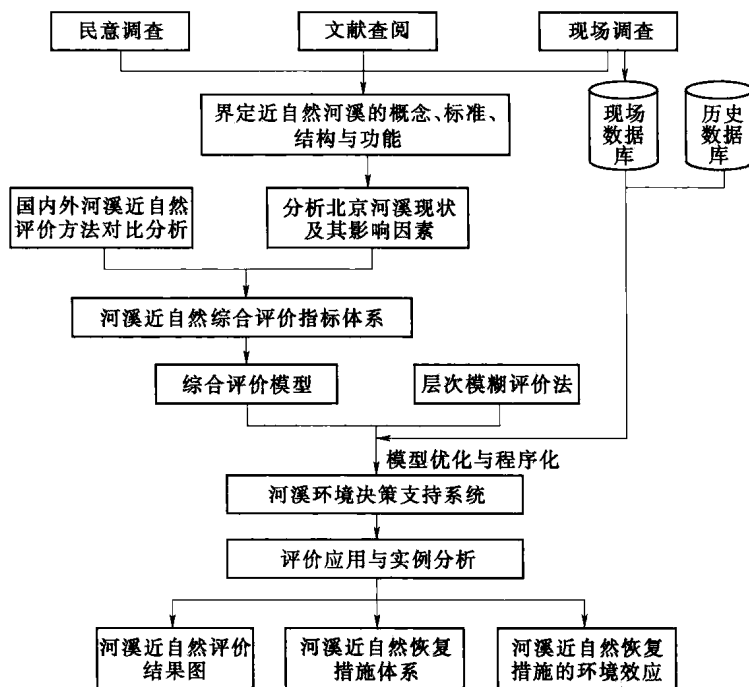


图 0.2 研究技术路线图

Figure 0.2 Technic flow of the research

0.3 研究发展趋势

河溪是一个特殊的复合生态系统，具有空间尺度的差异。影响河溪自然特征的因素较多，包括地形、水文、气象、地质等因素，通常用一般的方法是很难统筹兼顾考虑的。因此，河溪近自然性的研究应该以完整的河溪为研究对象，从多方面、多角度，借助现代计算机技术，以现代数学、生态学、水力学等科学理论为依据，对河溪的自然性状况进行有效的评估，使河溪生态系统能与周围环境相互协调，共同发展，有效地促进其生态稳定与结构稳定。未来的河溪近自然评价研究呈现以下研究趋势：

1. 河溪近自然概念及内涵有待进行进一步定性研究

目前，对河溪近自然的理解比较多元化。河流近自然的概念、定义，众说纷纭，难以统一，以至于至今仍能清晰揭示河溪近自然所应符合的规则和标准。研究多侧重于对其评价方法的选择和制定，却并未能从其自身以及社会需求出发对其概念和内涵加以明确界定和说明。河流近自然性概念的模糊和不确定性不仅限制河溪近自然性评价及其方法体系

的发展,也将在一定程度上影响该方法在河溪管理等实际应用领域的发展。

2. 河溪近自然评价理论基础研究及方法学仍需进一步深入

尽管利用水文特征、水质理化参数、河岸带状况、河流形态结构以及生物群落指标等进行综合的河流近自然评价已经基本达成共识,但有关于水质参数、水文特征、形态结构等生境因子与生物群落结构之间复杂的关联机制、河溪近自然性表征因子对人类活动干扰程度的响应和反馈等,目前仍处于初步探讨阶段,仍缺乏系统和综合的研究;此外,在评价方法方面,目前国内外仍未能建立针对不同尺度、功能定位、城市化影响下具有针对性的评价体系,尤其是国内在郊区河溪评价方法构建和标准化方面仍有待于进行持续深入的研究。

3. 河溪近自然评价及其实践应用的拓展

作为河溪管理的重要评估方法和手段,其在河溪管理中的关键作用已经基本受到认同,但如何将其更好地引入河溪管理,包括对介入时间、评估方式、主要环节及其反馈调整机制等的明确和说明目前尚未开展,将河溪近自然评价纳入河溪管理的全过程,开展系统性的案例研究仍较为缺乏;同时目前研究多侧重于以河段、生境为研究对象,综合性的以河溪或流域为整体加以评估尚不多见,这在一定程度上限制了河溪评价对相应河溪管理的指导作用。因此开展综合性的河溪近自然理论、方法和案例研究,将为相关领域研究提供借鉴,有利于在中国推广河溪近自然的理念、方法,并为案例区域的生态修复和水生态保护提供科学的决策依据。

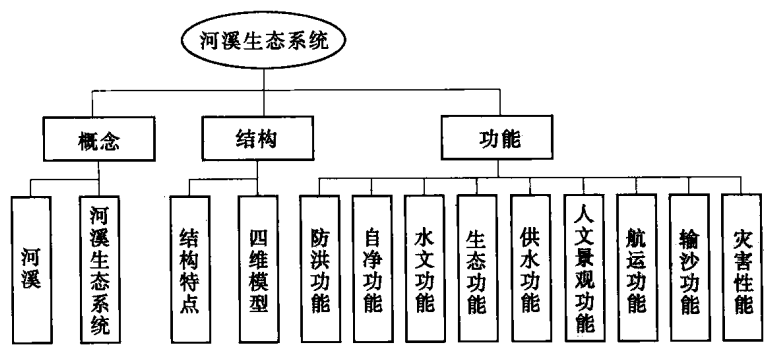
4. 结合 3S 技术进行全面研究与评价

利用 3S 技术,将各种基础数据、数学模型、评价模型及相关的计算方法集成到 GIS 中,利用 3S 技术研究大尺度的河溪生态系统的结构稳定与生态稳定状况。以 GIS 为基础,建立河溪近自然恢复监测、评价及预警系统。

第 1 章 河溪生态系统的结构与功能

本章对河溪与河溪生态系统的概念、结构和功能进行了介绍。河溪由降水径流形成，其水文特征包括水流的补给、径流在空间和时间上的变化、洪水的形成和运动情况、枯水特性、河溪的冻结以及河床泥沙运动情况等。河溪生态系统是一定空间内由生物与非生物成分通过物质循环、能量流动和信息的交换而相互作用、相互依存所构成的一个生态学功能单位，其四个基本组成部分为生产者、消费者、还原者和非生物环境。

河溪生态系统具有四维空间结构及各类物种在数量方面的分布特征。结构决定功能，即河溪生态系统具有生物生产、景观娱乐、物质输送与能量循环等方面的各种功能。



1.1 河溪与河溪生态系统

1.1.1 河溪

关于河溪 (stream) 的定义,《辞海》(1979) 中解释为“沿地表线形低凹部分集中的经常性或周期性水流。较大的称为河 (或江), 较小的称为溪”, 溪是“山间的流水”。发源于山地, 流经平原地区的河溪可称为“河溪”。河溪 (stream) 是人类活动最密集的地方, 河溪生态系统是流域中最具生命力和变化的景观形态, 是流域中最理想的生境走廊, 国际上早在 20 世纪 50 年代就开始将河溪看作一个综合生态系统加以研究 (Kenneth, 2003; 高甲荣, 1999, 2002)。作为陆地水环境中的最基本组成单位, 根据 Strahler 的分级体系, 河溪是指流域面积较小, 一般隶属河溪 1、2 级支流的小型水体 (small water body) (吴兆录, 2001; 伍正诚, 1985; 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会, 1981; 唐涛, 2002; 南京大学地理系、中山大学地理系, 1978; Strahler, 1952; Theinhardt et al, 1999)。Strahler 的分级方法如图 1.1 所示, 各个河溪按自上而下分为 1 级、2 级、……, 主流向河源延伸的顶端不再分枝的部分作为第一级河溪, 这样所有最小的不分枝的支流都作为第一级河溪, 两条第一级河溪相汇以后所形成的河溪作为第二级河溪, 汇合了两条第二级河溪的作为第三级河溪, 依此类推。不同级别的河溪汇合时, 不增加汇合后河溪的级别, 例如第四级河溪与第二级河溪交叉, 其交点下游仍是第四级河溪。级别最高的河溪指靠近河口的一段河溪, 而不是指干流的全长 (董哲仁, 2007)。

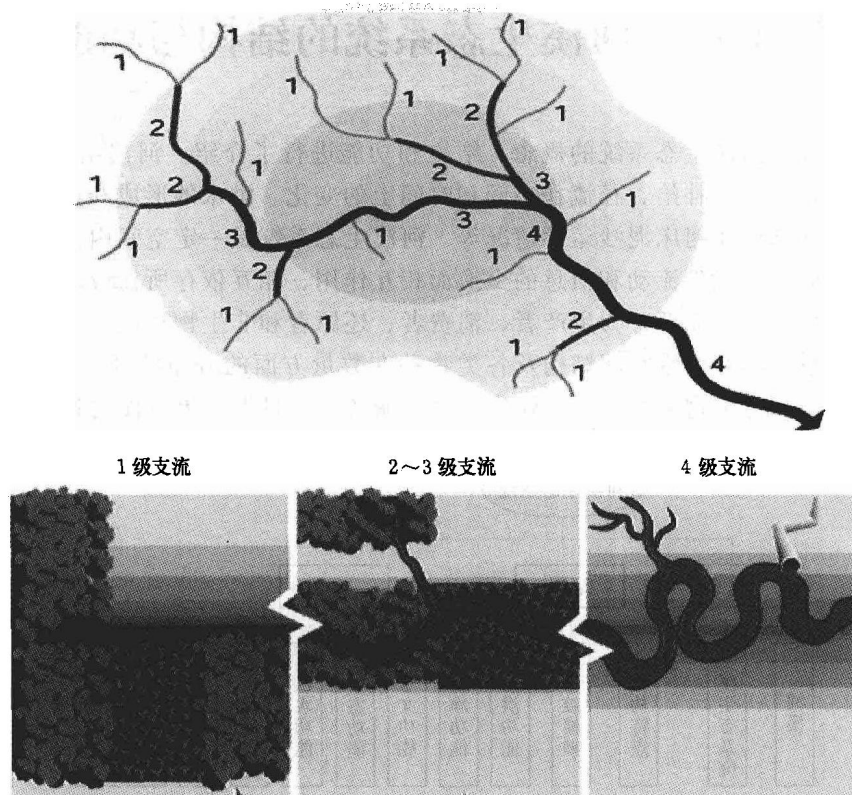


图 1.1 Strahler 分级系统 (引自 Strahler, 1952)

Figure 1.1 Strahler graded system

河溪组成部分包括河道、河岸缓冲带以及所有陆地受影响的地区，其可以分为暂时性河溪 (Ephemeral stream 或 Dry wash stream)、间歇性河溪 (Intermittent stream 或 Wet weather stream) 和常年性河溪 (Perennial stream 或 Live stream) 3 类。暂时性河溪通常是在暴风雨后或春天冰雪消融后产生的短时间流水；间歇性河溪则是在长时间降水后形成的，通常在一年中能维持几个月的时间；而常年性河溪则是指在一年中的绝大部分时间河道中都保持一定水量的流水，其是目前河溪研究的重点对象。

河溪作为淡水鱼、昆虫、浮游生物、水栽植物和两栖动物的重要栖息地，也是鸟类的主要的觅食地，有十分重要的生态功能。其作用类似于遍布人类全身的毛细血管，为各个器官的正常活动提供必要的养分，河溪则是全球生态系统的“毛细血管”：河溪主干 (runs) 和支流 (creeks and branches) 通过水文传输转移陆地有机物质和无机物质，并同时改造自身的形态。河溪作为连接流域上下游的关键桥梁，某一因子的改变将引起整个流域内灌溉系统和生活、生产用水 (Pringle, 1997; Meyer and Wallace, 2001)。此外，有关山区河溪的调查也可以为预测全球变暖提供潜在的参考依据 (Vannote and Sweeney, 1980; Meyer and Wallace, 2001)。

近些年来，由于人为干扰，河溪自然特征正在逐渐消失、生物多样性锐减、生态服务

功能降低、河溪自净化和自我恢复能力消失、水体污染加重。目前，河溪退化已被公认是一个全球性的生态环境问题，受到国际社会的普遍关注（高甲荣，2002）。

1.1.2 河溪生态系统

国际上到 20 世纪 50 年代末才开始真正将河溪看作一个生态系统加以研究（陈吉泉，1996；海热提，2004），近期发展为以着重研究各种自然生态过程运行机制的理论方向和以研究土地利用变化或人类活动方式及其影响河溪自然属性的应用方向（吴兆录等，2001）。一个完整的河溪生态系统由水体（waters）、河岸带（riparian zone）和河滩（flood land）3 部分组成，是河溪内部以及河溪外部所有生物与环境之间不断进行物质循环和能量流动而形成的统一整体，它包括生物群落和无机环境。河溪生态系统的空间结构为鱼类、鸟类、昆虫、小型哺乳类动物以及各种植物提供了良好的生存环境和迁移廊道，是河溪流域可以自我发展和维持平衡的天然宝库。同时，由于河溪与流域发展之间的密切关系，河溪生态系统中还保留着丰富的人类历史文化痕迹。可以认为，河溪生态系统是流域中最具生命力和变化的景观形态，是流域中最理想的生境走廊。然而，近些年来，“河溪退化”已成为当前世界各国普遍面临的一个问题。由于人类活动，特别是大规模作用于河溪的水利工程的建设，造成自然河溪的渠道化及河溪的非连续化，影响河溪的水文和水力条件，改变了天然河水的物理和化学性质，破坏了河溪生态系统的平衡。使河溪生境在不同程度上单一化，引起河溪生态系统不同程度的退化。由于河溪生态系统有着重要的意义，所以研究保护与修复河溪生态系统就成为了生态研究的必然趋势，也将成为社会所关注的热点和生态建设的重点项目。

1.2 河溪的结构

结构是生态系统各个要素之间相互联系、相互作用的方式。依靠稳定的结构才能保持系统的相对稳定性，才能在外界干扰下产生恢复力，保持系统的可持续性。同时，生态系统的结构也决定了河溪生态系统的功能。河溪生态系统是具有一定结构和功能的统一体，由生命系统和非生命生境系统两部分组成：生命系统则指生活在河溪生态系统中的各种生物，包括各种植物、哺乳动物、底栖生物以及微生物；非生命生境系统则指河溪生态系统为生活其中的各种生物所提供的环境条件。

1.2.1 河溪结构的主要特点

河溪是发源于山地，流经地势平坦的地区的河流。而平原本身主要是由水流携带的大量物质堆积而成，其后由于水流冲蚀或者构造上升运动原因，河溪微微切入原来的堆积层，形成开阔的河谷，在谷坡上常留下堆积阶地的痕迹。河溪的堆积作用在河口段形成三角洲，三角洲不断地延伸扩大，形成广阔的冲积平原，因此河溪的特点是：①河谷中具有较厚的冲积层，可达几米或几百米；②河谷中多发育有完好的河漫滩，谷坡较为平缓（除局部狭窄河谷外），谷底与谷坡一般没有明显的分界，但不同水位条件下的河床之间仍有明显分界；③河床断面多为 U 形或宽 W 形，较为宽浅；④河岸形态比较规则，但易变化；⑤河溪纵坡面较平缓，常为一条光滑的曲线，比降较小；⑥河型依所处的自然条件可

分为顺直、弯曲、分叉、游荡等河型。它们之间可因条件变化而发生转化，山区较为少见；⑦河床中形成许多微地貌状态，如沙坡等。

1.2.2 河溪四维模型

Vannote 等认为河溪生态系统由源头集水区的第一级河溪起，以下流经第二、第三、第四等级河溪流域，形成一个连续的、流动的、独特而完整的生态系统。其提出的河溪连续体概念对于中小型自然河溪比较适用，可以借助这个概念阐述河溪生态系统结构功能的特点和变化。主要包括：①河溪水文—水力学因子三位连续性。径流的汇集形成了不同级别的支流和干流，在流域范围内河溪水系大体呈树叶叶脉状。在重力作用下水流在地球表面从高程相对较高的地方流向较低的地方一直到达海平面，水体的运动是一种不可逆的单项运动。②河溪生物群落结构连续体。河溪不仅是一个流动的物理系统，也是一个动态的生态系统。生物群落随河溪水文—水力学特征连续性变化也呈现连续体分布。③营养物质流和能量流连续性。河溪的连续性不仅是生物群落分布的连续性，更是生态系统生物学过程的连续性。由于水体具有良好的可溶性，使河溪成为生态系统营养物质输移、扩散的主通道。

在河溪连续体概念的基础上，将河溪生态系统的结构描述为四维系统，即：纵向、横向、垂向和时空尺度上的生态系统。

1.2.2.1 纵向结构

随着物理、化学的变化，河床的形状和生物群落在纵向发生相应的变化。河溪的纵向结构分为3个区域。区域一：上游地区，常有陡峭的倾斜度。沉积物在分水岭的坡面上受到侵蚀，并且被带到下游。上游河溪的特点是水流速度快，急流和瀑布是普遍的水流形态。常被冲刷出一条很深的V形河谷，这也常常是河溪的发源地。区域二：过渡区域或者输送区，接收一部分被冲刷的物质，常表现为一些宽阔的河漫滩和蜿蜒曲折的河道，河谷变得宽阔。区域三：下游地区，倾斜度会变得比较平坦，这也是最初沉积区域，河溪缓缓地穿过宽阔且几乎平坦的河谷。在河口，河溪可能会分为一些独立的水道，流经一些由河溪沉积物形成的三角洲，然后汇入海洋，而这段河溪是研究的重点。

1.2.2.2 横向结构

河溪在横向上，可划分为河道、岸坡及河岸缓冲带3个部分，如图1.2所示。

1. 河道

河道(stream channel)是河溪干流或支流在陆地上水体覆盖的面积(jochen duck-eck)。河道是来水、来沙与河道边界条件相互作用的产物，处于不断地变化过程中：水流与河床之间相互作用，使得河床影响水流结构，水流促使河床变化，两者相互依存，相互制约。河道断面的大小决定了在水流不溢出河堤的前提下，能够经过的水量大小。

河道通常分为河源、上游、中游、下游和河口五个部分，或分为上游、中游、下游三个部分。河源一般在深山地区，而河口是河道的终点，较大的河道流入海洋，较小的河道则汇入湖泊或水库。不同的河道或同一河道的不同河段，其特性是各不相同的，但也有共同点。

山区河溪的河道平面形态十分复杂，河道曲折多变，沿程宽窄不同，急弯卡口比比皆