



SOURCE-SINK LANDSCAPE PATTERN
ANALYSIS AND ITS APPLICATIONS

源汇景观格局分析 及其应用

陈利顶 等 著



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

源汇景观格局分析及其应用

陈利顶 等 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书针对景观格局分析与生态过程研究中存在的问题,基于作者多年来的研究成果而完成,全书共分7章。第1章解读了源、汇的基本概念及其在大气环境科学、水环境科学和保护生物学中的内涵和应用,以及源汇景观内涵;第2章基于源汇景观概念和洛伦兹曲线,论述了源汇景观格局分析的思路和方法;第3章基于野外多尺度模拟实验和定位观测,论述了源汇景观的性质、效应及其转化特征;第4至第6章结合典型区研究,分别探讨了源汇景观格局分析在养分流失、非点源污染风险及水土流失危险等方面的应用;第7章以江汉水系典型流域为典型区,论述了源汇景观格局的特征及其产沙效应。

本书可为从事景观生态学、地理科学和环境科学的教学人员与科技工作者提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

源汇景观格局分析及其应用 / 陈利顶等著. —北京: 科学出版社, 2015

ISBN 978-7-03-046762-1

I. ①源… II. ①陈… III. ①景观学—生态学—研究 IV. ①Q149

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 303924 号

责任编辑: 马 俊 / 责任校对: 郑金红

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 北京铭轩堂广告设计有限公司

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>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年2月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016年2月第一次印刷 印张: 14

字数: 330 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前言

作为生态科学、地理科学和环境科学之间的综合性交叉学科,景观生态学(landscape ecology)一词自从1939年由德国的Troll提出以来,得到了快速发展,尤其是随着Fragstats软件的开发,选取景观格局指数开展景观格局分析成为过去20年来景观生态学研究十分活跃的领域。然而,由于景观格局指数本身缺乏生态学意义,许多时候仅给出了特定地区景观格局指数的变化,解释这些景观格局指数大小及其变化的生态学意义往往很难,由此导致运用景观指数开展景观格局分析受到了质疑。景观格局分析的目的不是停留在景观格局指数的计算,而是从看似无序的景观要素中,发现潜在的生态学规律,确定产生和控制景观格局的主控因子及其形成机制,探讨区域景观格局优化的途径和方法。揭示景观格局与生态过程的关系,建立具有生态学含义的景观格局分析方法成为目前景观生态学深化研究的瓶颈。

源、汇是学术界使用非常普遍的词汇,源是指起源、源头、源地和事物发生的地方;汇是指事物消散、灭亡的地方,是物质消失、不见的地方。源与汇是相对的,在特定条件下可以互相转化,有源就有汇,源、汇之间可以彼此消长。在大气环境科学中,源是指大气污染物产生和起源的地方,汇是指大气污染物降解、削减和消失的地方;源解析就是要探讨大气污染物的来龙去脉。在水环境科学中,源是指进入水体的所有污染物的来源,包括固体的和液体的,既可以是来自于陆地上的污染物,也可以是来自于水体的污染物;既可以是具有明确位置信息的点源,也可以是缺乏明确位置、时间特征的面源;汇则是指可以对污染的水体起到净化作用的过程和物质单元。源、汇的概念在保护生物学领域也具有重要地位,尤其是在复合种群的动态研究和濒危物种保护中,斑块的源、汇性质和动态联系成为决定一个复合种群生存与灭绝的关键。

将源汇的概念引入景观生态学研究,从生态功能角度,将景观类型从源、汇角度进行再分类。“源”景观是指在具体的生态过程研究中,可以促进生态过程发展与正向演变的景观类型或单元,“汇”景观是指那些可以阻止或延缓生态过程发展与正向演变的景观类型。从物质与能量平衡角度,“源”景观就是在事件的发生过程中,该景观单元上的物质能量的输出要大于输入,即有物质能量流出了该景观单元,补充到其周边的景观单元中;“汇”景观是针对特定的生态学过程,发生在该景观单元上的物质和能量的输入量大于输出量。源汇景观概念提出的目的在于探讨具有生态学意义的景观格局分析方法,其特点是在开展景观格局分析时,明确待研究的生态学过程,从“源”、“汇”功能角度,重新定义景观类型。源汇景观理论的提出,是从一个新的视角,解读了景观类型的含义及其在景观格局分析方面的应用价值,为解决景观格局与生态过程关系研究中的难点及困境提供了一个新的思路。

本书是在作者研究团队多年来对景观生态学的系统思考和研究成果的基础上所完成,全书共7章。第1章解读了源、汇的基本定义及其在大气环境科学、水环境科学和

生物保护中的内涵和应用特点，以及源汇景观概念的背景和潜在应用领域；第 2 章结合源汇景观概念，基于洛伦兹曲线理论，从不同侧面论述了开展源汇景观格局的一些设想和具体方法；第 3 章结合野外小区、坡面和小流域多尺度模拟实验和定位观测结果，论述了源汇景观的性质、效应及其动态变化特征；第 4 章以我国东北黑土区典型小流域为重点研究区，基于野外地表水质观测结果，探讨了源汇景观理论在定量评价养分流失方面的应用价值；第 5 章以海河流域上游作为典型研究地区，结合地表水质监测指标，论述了源汇景观理论在非点源污染风险评价中的应用；第 6 章针对黄土高原地区水土流失风险，讨论了源汇景观理论在水土流失危险性评价中的应用；第 7 章以丹江口水库上游地区作为典型研究地区，论述了源汇景观格局的特征及其产沙效应。

本书第 1 章由陈利顶撰稿；第 2 章由陈利顶和赵新峰、张海萍撰稿；第 3 章由卫伟和余韵撰稿；第 4 章由赵新峰、张海萍和陈利顶撰稿；第 5 章由孙然好、陈利顶和李守娟撰稿；第 6 章由李海防撰稿；第 7 章由史志华撰稿。书稿撰写过程中，还得到了汪亚峰、杨磊和宿梅双的帮助。全书由陈利顶和卫伟统稿。

源汇景观概念的提出时间不长，虽然做了一些理论和案例探讨，但由于景观类型的多功能特性，源汇景观的性质及含义对于不同的生态学过程和研究目的来说差异较大，且随着时间演变，源汇景观性质也会发生改变。为此，基于源汇景观概念需要探讨的问题还有很多。我们希望本书的出版可以起到抛砖引玉的作用，在推动我国景观生态学的发展中起到积极作用。限于作者水平有限，本书不足之处在所难免，敬请读者批评赐教。

作 者

2015 年于北京

目 录

前言

1 源汇景观概念与内涵	1
1.1 源、汇概念	1
1.1.1 源	1
1.1.2 汇	2
1.2 大气环境科学中的源与汇	3
1.2.1 源汇含义	3
1.2.2 源的类型	4
1.2.3 源解析与大气污染控制	5
1.3 水环境科学中的源与汇	6
1.3.1 源和汇含义	6
1.3.2 污染源分类	6
1.3.3 点源和面源的区别与控制	6
1.4 保护生物学中的源与汇	8
1.4.1 复合种群理论	9
1.4.2 生物迁移与扩散中的源与汇	11
1.4.3 生物扩散与复合种群动态	12
1.5 源汇景观概念与特点	15
1.5.1 源汇景观概念	15
1.5.2 源汇景观的特点	17
1.5.3 源汇景观理论及其应用	19
1.6 小结	20
参考文献	21
2 基于源-汇过程的景观格局指数构建	23
2.1 景观空间负荷比指数	23
2.1.1 理论假设	23
2.1.2 因子筛选	25
2.1.3 指数构建原则与方法	25
2.1.4 指数特点与应用前景	28
2.2 景观源汇功能对比指数	29
2.2.1 理论假设	29
2.2.2 因子筛选	30
2.2.3 指数构建原则与方法	30
2.2.4 指数特点与应用前景	31
2.3 景观养分截留功能指数	31
2.3.1 理论假设	32

2.3.2	因子筛选	32
2.3.3	指数构建原则与方法	33
2.3.4	指数的特点与应用前景	35
2.3.5	指数在非点源污染评价中的应用	35
2.3.6	小结	39
2.4	流域景观汇流累积指数	40
2.4.1	理论假设	40
2.4.2	因子筛选	41
2.4.3	指数构建原则与方法	41
2.4.4	指数特点与应用前景	44
2.4.5	案例分析	45
2.4.6	小结	46
2.5	基于景观单元相互作用的景观模型与非点源污染评价	47
2.5.1	理论基础与基本假设	47
2.5.2	基于景观单元相互作用的入河系数计算	48
2.5.3	输入参数与输出结果	51
2.5.4	案例分析	51
2.5.5	小结	56
	参考文献	57
3	“源-汇”景观动态及其水文效应	59
3.1	生物土壤结皮微景观的“源-汇”效应	60
3.1.1	结皮微景观类型的“源-汇”效应	60
3.1.2	结皮微景观格局的“源-汇”效应	70
3.2	地表植被覆盖特征的“源-汇”效应	74
3.2.1	单一植株	74
3.2.2	植被类型的“源-汇”效应	75
3.2.3	植被格局的“源-汇”效应	77
3.3	整地和坡改梯措施的地表水文“源-汇”效应	84
3.3.1	整地措施对降雨入渗和土壤水盈亏的影响	85
3.3.2	整地措施对水蚀“源-汇”动态的影响	87
3.3.3	整地措施对土壤质量改善进程的影响	88
3.3.4	整地措施对生物固碳和植被恢复的影响	89
3.4	降雨特性及其时空格局的水蚀“源-汇”效应	91
3.4.1	不同降雨特征值的“源-汇”效应	92
3.4.2	降雨时空格局的“源-汇”效应	93
3.4.3	极端降雨事件的水文“源-汇”效应	95
	参考文献	97
4	东北黑土区源汇景观格局与养分流失	99
4.1	研究地区概况	99
4.1.1	地理位置	99
4.1.2	自然环境概况	100
4.1.3	社会经济概况	102
4.1.4	典型小流域选择	103

4.2 农业景观格局与非点源污染	103
4.2.1 景观类型与非点源污染风险	104
4.2.2 景观空间配置与非点源污染	105
4.2.3 景观模型与非点源污染评价	107
4.3 农业景观制图与源汇景观格局分析	107
4.3.1 农业景观制图与源汇景观分析	107
4.3.2 景观面积累积曲线与源汇景观格局分析	108
4.3.3 景观空间负荷比指数计算	110
4.4 东北黑土典型农业区养分流失风险评价	111
4.4.1 地表水质监测	111
4.4.2 地表水 N、P 污染特征	115
4.4.3 水体 N、P 污染的影响因素	120
4.4.4 典型小流域景观空间负荷比指数与 N、P 流失风险	125
4.4.5 小结	126
参考文献	127
5 海河流域农业非点源污染评价	130
5.1 农业非点源污染来源、形成与危害	130
5.1.1 农业非点源污染来源	130
5.1.2 农业非点源污染迁移与转化	132
5.1.3 农业非点源污染的危害	134
5.1.4 农业非点源污染的影响因素	136
5.2 农业非点源污染危险性评价与控制	137
5.2.1 农业非点源磷污染评价方法	138
5.2.2 景观设计与农业非点源污染控制	139
5.2.3 农业非点源污染控制与管理	141
5.3 海河流域概况与地表水质特征	144
5.3.1 海河流域基本特征	144
5.3.2 海河流域地表水质空间分布特征	146
5.4 源汇景观空间分布及其与非点源污染的关系	148
5.4.1 源汇景观分析与指数计算	148
5.4.2 源汇景观格局指数的表征能力与应用	153
参考文献	155
6 黄土高原典型流域水土流失评价	160
6.1 研究区概况	160
6.1.1 地理位置	160
6.1.2 自然环境特征	161
6.1.3 土地利用和人类活动	163
6.2 景观格局动态变化	163
6.2.1 遥感影像解译	163
6.2.2 源汇景观类型的划分	163
6.2.3 景观格局分布特征	165
6.2.4 景观类型转移特征	168
6.2.5 退耕还林还草发展趋势和动力分析	169

6.3	关川河流域降雨及水土流失特征	170
6.3.1	降雨量时间分布特征	170
6.3.2	流域出水口产流产沙特征	172
6.3.3	水土流失影响因子之间的关系	173
6.3.4	累积降雨量和累积输沙量的关系	174
6.4	关川河流域源-汇景观格局分析与水土流失评价	176
6.4.1	源汇景观指数计算	176
6.4.2	源汇景观格局指数分析	176
6.4.3	“退耕还林还草”前后水土流失特征	177
6.4.4	景观格局演变对水土流失的影响	179
6.5	小结	180
	参考文献	180
7	汉江水系典型流域景观格局与侵蚀产沙效应	183
7.1	研究地区概况	183
7.1.1	自然环境概况	183
7.1.2	社会经济概况	184
7.2	流域基础数据库的建立	184
7.2.1	遥感影像处理	185
7.2.2	数字高程模型	186
7.2.3	土壤数据	187
7.2.4	气象水文数据	187
7.3	分布式水文模型 SWAT 的运用	187
7.3.1	模型预运行	188
7.3.2	模型校准与验证	190
7.3.3	偏最小二乘回归分析	194
7.4	土地利用变化与水沙源汇响应	195
7.4.1	土地利用与径流产沙的源汇时空转化	195
7.4.2	土地利用变化对径流产沙的影响	199
7.5	土地利用格局对侵蚀产沙影响	203
7.5.1	景观格局概述	203
7.5.2	景观格局与侵蚀产沙耦合关系	204
7.6	小结	212
	参考文献	212

1 源汇景观概念与内涵

1.1 源、汇概念

源和汇是日常生活中使用非常普遍的词汇。简言之，源是指起源、源头、源地和事物发生的地方；汇是指事物消散、灭亡的地方，是物质消失、不见的地方。源与汇是相对立的，在特定条件下又是可以互相转化的，有源就有汇，源汇之间又可以互为消长。

1.1.1 源

1.1.1.1 基本含义

字面上，源是水流所发生的地方，如河源、泉源、发源、源远流长、源头；引申后，“源”可以指事物的根由，如来源、资源、渊源、能源、起源、策源地。

“源”具有以下几个方面含义：①形声。从水，原声。“原”有表义作用，意指水源。②同本义，或源也，或委也——《礼记·学记》；祈祀山川百源——《礼记·月令》；犹浊其源而求其清流——《汉书·礼乐志》；岸势犬牙差互，不可知其源——唐·柳宗元《至小丘西小石潭记》。③来源；根源；启生人之耳目，穷法度之本源——《旧唐书·儒学传序》。④又如，源本（根本）；源由（根由）；源起（事物发生的根源）。

《说文解字》中没有“源”字，“源”在《说文解字》中写作“𣶒”，或作“原”，意思是“水泉之本也”，即“泉水的源头”之意。后来才加上三点水写作“源”。

1.1.1.2 与“源”有关的常用词组与成语

源泉：水源，比喻事物的根源；艺术的和心智的源泉。源头：水流的发源处，比喻事物的本源。源（原）委：原由曲衷，形容事情发生的原因。源源：如同水流一样源源不断，形容“多”的意思。

穷源溯流：源，河流发源的地方；溯，逆流而上。原指逆流而上探寻河流的源头。现比喻探究和追溯事物的缘由。

世外桃源：原指与现实社会隔绝、生活安乐的理想境界。引申为环境幽静、生活安逸的地方，或借指一种空想的脱离现实斗争的美好世界。

溯流穷源：溯，意为逆流而上，往河流上游寻找发源的地方，比喻寻求事物发生的根源。亦作“溯流求源”。

探本穷源：探，求索；本，树根；穷，探寻；源，水源。寻找树根水源。比喻探求、追溯事物的根本。亦作“探本溯源”。

讨流溯源：指深究事物的源流本末，意指要根据事物发展演变过程寻找发生的原因。

源泉万斛：比喻文思涌溢，写起文章来不用思考，即可出口成章。

源远流长：因源头远而流程长，指传统或历史长久；言其所学之正，源远流长也。

追本溯源：本，根本；溯，探求。追究根本，探索源头，比喻追寻根源。

1.1.2 汇

1.1.2.1 基本含义

汇与源是相对的，有名词和动词之分，其词义较为多样。

(1) 作为名词，其含义有以下几个方面：①形声。从匚(fāng)，筐子，淮声。本义为：盛器。②同本义。汇，器也。——《说文解字》。段玉裁注：“谓有器名汇也”。③用外币或该国货币兑换的票据，如外汇、内汇。④收集、分类和分送各种信息或其他需要广泛分送的情况或项目，如总汇。⑤物：大量吸收某种物质的器件或系统。

(2) 作为动词，汇有以下几个方面含义：①河流会合。汇涌(汇集涌流)，汇粹(荟萃、会集、聚集)，汇濊(水流深广的样子)。②迂回，围绕。东汇泽为彭蠡。——《书·禹贡》。传：“回也”。③又如，汇行(绕道行走)。④期汇票、付账等付款形式送或寄钱给某人或某处。例如，给家里汇钱、汇款；汇票庄(即票号，私人经营的金融流通机构，略同于今日的民营银行)；汇信(由银行汇款所附的信件)。

1.1.2.2 与“汇”有关的常用词组与成语

具有名词和动词两种形式，与“汇”有关的常用词组如下。

汇报：综合材料向上级(或群众)报告、汇报工作。汇编：把各种来源的书面材料或项目汇编成一部大书，汇总编辑成的书籍或文件，农业或自然科学方面最佳书目的汇编，或者把用符号语言写成的计算机程序自动转换为机器语言形式。汇兑：邮电局或银行根据委托人的要求，把钱汇寄给收款者汇兑业务。汇合：水流会合，两条河流汇合成为一个湖，或者与……合在一起，和他的朋友汇合。汇划：即以汇兑方法划付款项。汇集：将大多数选票汇集起来。汇款：把款汇出，或者寄汇给另外某人或某地的一笔款项，收到一笔汇款；与汇寄含义雷同。汇流：水体朝向一点的流动，或者在三维流动中，流体自各个方向均匀地流向一点的空间流动；在二维流动中，流体自垂直于一直线的各方向均匀地流向该直线的平面流动。汇拢：把分散的东西集中、聚集、聚合，如三股人群汇拢在一起。汇注：交汇灌注/汇编集注。汇总：把资料、票据、数据等汇集到一起；把材料汇总上报。

融汇(会)贯通：把各方面的知识和道理融化汇合，得到全面透彻的理解。出自秦牧《艺海拾贝·独创一格》：“郑板桥学习任何东西，都在继承优秀传统的基础上融汇贯通，发扬创造性”。

目别汇分：指分门别类。出自明·宋濂《丽水黄府君墓铭》：“习五经约知其说，尤深于《易》，旁通诸家言，目别汇分，咸得其统绪”。

渊淳泽汇：比喻事物的集聚汇合。出自明·胡应麟《少室山房笔丛·九流绪论中》：“汉兴，董贾诸人，渐趋醇朴，一代文章，垂复古始，淮南又群集浮华，网罗淫僻，渊淳泽汇，萃为此编”。

1.2 大气环境科学中的源与汇

1.2.1 源汇含义

顾名思义,源就是大气污染物产生和起源的地方;汇就是大气污染物降解、削减和消失的地方。即源是大气污染物的来路,汇是大气污染物的去路。在大气污染的形成过程中,不同污染物的源和汇有所不同,需要区别对待。例如,大气中甲烷的源一般认为有两个:自然源和人为源。甲烷的自然源主要包括反刍动物和一些昆虫的肠发酵及淹水土壤中有机物的厌氧分解;其人为源主要包括物质燃烧、天然气泄漏及垃圾填埋场。甲烷的汇则主要是指甲烷在大气传输过程中被氧化分解为其他化合物的过程。目前在大气环境科学中,更多关注的是温室气体和大气颗粒物的源汇定量解析。

温室气体的源(**greenhouse gas source**)是指向大气中排放温室气体的物理单元或过程,既包括一些可以明确识别来源的点源,如工厂排放,也包括一些很难识别的面源,如农田排放和大面积的居民取暖排放。一般认为,工厂里生产过程所产生的温室气体都是源,例如,锅炉制冷过程中使用的化学试剂、使用的电耗等。温室气体的汇(**greenhouse gas sink**)是指从大气中削减温室气体的物理单元或过程,一般常见的就是植被对温室气体的吸收,通过人工措施对温室气体进行降解、吸收的过程,也是温室气体的主要汇。

CO₂的源与汇:大气中 CO₂ 被陆地和海洋中的植物所吸收,然后通过生物学或地质学过程及人类活动干预,又以 CO₂ 的形式返回大气层中,形成了碳在地球表层的循环。碳在大气、海洋和陆地生态系统(包括植物和土壤)这 3 个碳库之间进行着 CO₂ 的连续交换,从源到汇,又从汇到源,在源-汇转变过程中,支持着生命系统的演变与发展。目前已经确定的与人类活动有关的 CO₂ 源主要有 3 个:化石燃料燃烧、水泥生产和土地利用变化;此外,一些自然的地质过程也会释放大量的 CO₂,如火山喷发、岩石风化过程。海洋和陆地生态系统通过植物吸收大气中的 CO₂,成为 CO₂ 的主要碳库,目前在研究碳循环与碳平衡过程中,通过人工措施,将 CO₂ 进行固定、封存也是 CO₂ 的重要汇。

N₂O 的源与汇:N₂O 的源主要包括自然源(海洋、草原、森林等)和人为源(硝酸、己二酸生产、土壤耕作、生物体燃烧等)。N₂O 的自然源主要是由土壤呼吸释放引起,在 IPCC 出版的全球温室气体排放报告中指出:全球 N₂O 排放总量为每年 16.2 tg^①,其中,热带森林和温带森林土壤排放的 N₂O-N 量分别为 3.0 tg/a 和 1.0 tg/a,两者之和约占全球 N₂O 排放总量的 24.7%;总体而言,全球 N₂O 排放源的 57%来自于土壤呼吸释放。海洋则是 N₂O 的另一个重要源,大量调查显示在低价氧化物存在的水面下的海洋地区可能代表了大气 N₂O 的一个重要源。

目前,对大气 N₂O 的源与汇均缺乏一个准确的认识,无论是排放总量还是各个源的排放量精度均存在一定的误差。陈冠雄等(2003)研究表明,植物排放 N₂O 不仅是一个普遍存在的自然现象,而且其排放量可达到与土壤排放相当的水平,因而植物可能是未知大气 N₂O 的一个重要排放源,而目前对陆地生态系统 N₂O 排放的估算中一般未将植物

① tg,质量单位“太克”,1tg=10⁹kg。后同。

的排放考虑进去。

CH₄的源和汇：大气中 CH₄的源也可以按照是否为人类所直接参与而分为自然源和人为源。前者主要包括湿地、白蚁、海洋等，一般占总排放源的 30%~50%；后者主要包括能源利用、垃圾填埋、反刍动物、稻田和生物体燃烧等，占总排放源的 50%~70%。目前全球由自然源和人为源释放的 CH₄ 分别为 160 tg/a 和 375 tg/a，但对单个 CH₄ 源年排放量的估计还存在不准确性。全球天然湿地的 CH₄ 排放量约占总释放量的 20%，随着全球变暖，微生物活动增强，天然湿地的释放量可能会进一步加大。稻田是 CH₄ 的另一个重要源，但到目前为止对稻田 CH₄ 排放量的估算存在较大的不确定性。除了大气中每年增加 30 tg CH₄ 以外，大气 CH₄ 的汇主要是与 OH 自由基(·OH)在对流层大气中的氧化反应(470 tg/a)，少量 CH₄ 向平流层输送(40 tg/a)和被干燥土壤吸收(30 tg/a)，因此全球大气中 CH₄ 汇的大小为 (560±100) tg/a。土壤也是大气 CH₄ 的一个重要汇。据估计，全球好气土壤所消耗的大气甲烷的量约为每年 30 tg，占总汇的 6%左右，其中温带常绿阔叶林土壤的甲烷消耗量约占土壤吸收甲烷总量的 37% (Le Mer and Roger, 2001; Bodelier and Laanbroek, 2004; Steudler et al., 1989)。好气的自然土壤如森林土壤、草原土壤等都可能具有吸收大气中 CH₄ 的作用，即使是冻原和沼泽土，在无水层覆盖时也具有吸收作用。

1.2.2 源的类型

(1) 根据大气污染物产生的动力可以将源分为自然源和人为源。自然源是指没有受到人类活动干扰的由自然生态系统变化产生的物质，如土地利用变化、土壤呼吸、植被生长释放的温室气体均属于自然源；人为源是指因人类生产活动所产生的化学物质，如化工生产过程中释放的化学污染物、化学物质输送过程中泄露的化学污染物，以及因不适当的人为活动诱发的化学污染物，如汽车运行过程中排放的汽车尾气、引起的路面粉尘等。

(2) 根据大气污染物的形成方式可以将源分为点源和面源。点源是指具有明确的、可以识别的污染物的来源方式，如产生温室气体的工厂。点源的控制相对较为容易，其一可以通过关闭生产过程从源头上来实现减排，达到控制污染物排放的目的，目前在大气污染控制中，实施更多的就是这种方式；其二是可以通过一些人工技术措施从大气污染物的排放路径上进行控制和削减，目前使用比较多的是在城市街道两侧设置植被绿化带、增加湿地景观等。面源是指大气污染物的排放途径不明确，或无法准确识别，如植物生长过程中排放的温室气体、汽车运行过程中排放的温室气体、居民燃烧取暖过程中排放的温室气体，由于缺乏明确的污染物排放源，在治理上较为困难。

(3) 根据大气污染物在库内和库外的转换与循环特点可以分为内源和外源。一般来说，地表表层可以分为大气圈、水圈、生物圈和岩石圈。内源是指污染物的产生仅发生在同一个圈层，如大气中 CO 氧化转变成 CO₂ 的过程，N₂O 氧化转换为 NO₂ 的过程，虽然从元素平衡的角度其物质量没有发生变化，但是作为不同的存在形式，其化学性质发生了根本变化，由此将带来不同的生态系统响应。在上述过程中，CO 就是 CO₂ 的源，相应的 CO₂ 就是 CO 的汇。外源是指大气污染物直接来源于其他圈层或库，发生了跨界传输和变化，由此将会影响原来的物质平衡，如因为人类活动中大量化石燃料燃烧排放大量 CO₂ 进入大气圈层，其结果是直接引起了大气 CO₂ 浓度的升高，导致温室效应增强，

那么人类活动中的化石燃料燃烧就成为大气中 CO_2 浓度升高的外源。

1.2.3 源解析与大气污染控制

源解析就是利用数理统计分析或者定量分析模型,通过比较大气中污染物的物理化学成分与潜在的污染物源区的物理化学成分,查明大气污染物的来龙去脉,以及不同来源对大气污染的贡献程度。许多研究表明,我国当前空气污染特征已经从传统的煤烟型污染向“复合型”污染转变,通过源解析辨识大气污染物的源对于控制大气污染至关重要。一般来说,来源不同的颗粒物/大气污染物,其化学组成具有显著的差异,因此确定各种来源区的化学成分谱和标识物成为大气污染物源解析的重要依据。目前对于大气颗粒物的解析研究开展了许多工作。随着颗粒物监测技术和源解析受体模型的发展,可以获得各种污染源排放的颗粒物、环境大气颗粒物的质量浓度和详细的化学组成信息,包括离子组成、元素成分、有机碳和元素碳,以及分子水平的颗粒有机物等。在此基础上,采用数学上的多元统计分析方法,结合当地城市的地理条件、气象条件、经济结构特点和污染源的调查结果进行综合性分析,就有可能对城市污染状况、污染程度、污染来源的类型和贡献做出科学的判断(胡敏等,2011)。由此为制订科学有效的大气污染控制对策提供科学依据。

颗粒物源解析技术中的受体模式就是通过分析大气颗粒物化学成分和物理特征来推断污染物来源,估算各类污染源贡献率的方法(胡敏等,2011)。目前在大气污染源解析研究中使用的具体模型和方法包括:化学质量平衡模型、正定矩阵分解模型、主因子分析法等。化学质量平衡模型是在确定了对颗粒物有贡献的各类源的详细化学组分(源谱)基础上,计算各类源对受体颗粒物浓度的贡献值。其优点在于原理简单、明确,但对源谱的依赖性强,需要建立完整、准确且不断更新的源谱信息库。正定矩阵分解模型可以在没有颗粒物来源的详细化学组分信息的情况下,在大样本量的数据基础上,利用约束条件同时解析出各类源的源谱和贡献。但其不能对源谱相似的源进行区分,且使用过程相对复杂,需要有经验的使用者识别判断,对使用者的要求较高。主因子分析法是通过研究多个指标相关矩阵的内部依赖关系,减少变量维数,用少量的变量解释整个现象。但其需要与其他方法相结合使用,才能得到各类源的绝对贡献值,如排放清单或者扩散模型等。

另外一种估算源贡献的方法是将扩散模型和源清单相结合,计算某个点源或者某一类源的贡献。这种方法的优点是可以获得空间的来源分布特征,不像受体模型只能对受体点的贡献进行研究。另外,这种方法还在情景分析或者分析控制措施效果方面具有优势。但是这种方法需要的源排放清单具有很大的不确定性,特别是对一些人为无组织排放源、天然源和二次细粒子源参数难以确定。整体来讲,受体模型和扩散模型各有特点,它们的结合能用于改进源清单及评价模型对每个源的模拟情况。

在大气污染源解析研究中,经常采用主因子分析法对大量观测数据进行统计分析,在不损失主要信息的前提下,将一些具有复杂关系的变量归结为数量较少的几个公共因子,而这些公共因子往往就代表了大气颗粒物的来源。

1.3 水环境科学中的源与汇

1.3.1 源和汇含义

源：在水环境污染中，源就是指进入水体的所有污染物的来源，包括固体的和液体的，既可以是来自于陆地上的污染物，也可以是来自于水体的污染物；既可以是具有明确位置信息的点源，也可以是缺乏明确位置、时间特征的面源。一般来说，水环境污染的源主要包括：工厂生产排放的污水、城市居民生活排放的生活污水、农田流出的化肥农药残留污水，以及由于水土流失带来的大量含有污染物的颗粒物。

汇：是指可以对污染的水体起到降解作用的过程和物质单元。一般来说，水体中的污染物可以由水体中的动植物吸收，也可以通过水体中悬浮物的沉淀减少和降解。这些水体中的动植物、河流底泥就成为水环境污染物的重要汇。

1.3.2 污染源分类

对于水体污染来说，污染源可以有各种各样的分类方法，一般包括如下几种。

(1) 根据污染物属性进行分类：有物理污染源、化学污染源、生物污染源（致病菌、寄生虫与卵），以及同时排放多种污染物的复合污染源。

(2) 根据污染源空间分布方式进行分类：有点源污染（如城市污水和工矿企业与船舶等废水排放口）、线源污染（如输油管道、污水沟道，以及公路、铁路等）和面源污染（如农田中的农药、化肥等）。

(3) 根据污染物类型进行分类：有汞污染源、酚类污染源、热污染源、放射性污染源、重金属污染源等。

(4) 根据受纳水体进行分类：有地面水污染源、地下水污染源、大气水污染源、海洋水污染源等。

(5) 根据污染源排放持续时间进行分类：有连续性污染源、间断性污染源和瞬时性污染源。连续性污染源又可分为连续均匀性污染源和连续非均匀性污染源。

(6) 根据污染源的流动性特征进行分类：有固定污染源和流动污染源。固定污染源数量多、危害大，是造成水污染的最主要污染源。

(7) 根据导致水污染的人类活动进行分类：有工业污染源、农业污染源、交通运输污染源和生活污染源。其中，工业污染源是造成水污染的最主要来源。工业门类繁多，生产过程复杂，污染物种类多、数量大、毒性各异、不易净化，对水环境危害最大。

1.3.3 点源和面源的区别与控制

1.3.3.1 点源与面源污染的区别

一般意义上，水的污染源可以分为点源、面源和内源三大类。点源概念起源于最开始的污染治理，主要是针对工业污染和生活污水排放；与面源污染相比，点源污染具有

明确的排放来源，容易识别和控制，常常是指大、中型企业和大、中型居民点在小范围内的大量工业污水和生活污水的集中排放。相对而言，那些缺乏明显排污口的污染源都被称为面源污染，这应该是两个概念最初的内涵。但是随着对环境污染治理的逐步深入，实际工程中遇到越来越多的案例难以简单划分，不同方面的人士也根据需要对各种污染源给出了不同的划分方法。

从环境科学角度，点源污染是那些有明确范围、集中排放进入水体的污染源，主要由人为控制，包括工业排放和城市污水管网。而面源污染则是从较大范围内分散进入水体的污染源，主要受降雨、渗漏、大气沉降等自然条件控制，包括农业污染、地表侵蚀污染等。从环境工程治理角度，点源污染主要通过修建污水处理设施进行集中治理，而对于面源污染则需要采取最佳管理措施（best management practice, BMP）尽量减少污染产生，与此同时，可以通过一些生态工程措施，从污染物的传输路径上进行拦蓄、分流、疏导和截留，降低面源污染物进入目标保护水体的风险。例如，目前在河流岸边种植的植被带，在水库的库尾地区设置的湿地景观，均是为了截留来自于流域上游的养分流失。

对环境管理而言，点源污染和面源污染的区别在于目前社会经济条件下，是否可以通过努力加以控制。例如，在我国，小城镇和村庄污染都被认为是面源污染，因为我国目前的经济条件没有能力对这些污染源进行控制。而在美国，大多数村镇都建有污水处理设施，实现了对污染源的控制排放，因此这部分污染源都被归为点源污染。

从环境法律上，点源污染和面源污染的区别在于是否需要申请排污许可证。在美国《清洁水法案》（Clean Water Act）的实施过程中，随着环境技术的进步和法规的改进，越来越多的污染源被要求申请排污许可证，因此很多原来的面源污染都逐渐被归为点源污染。例如，美国国家环境保护局（Environmental Protection Agency, EPA）现在规定建筑工地必须采取最佳管理措施，并且申请雨洪排放许可（storm water permit），因此这些原来的面源污染在法律上被规定为点源污染。又如，规模化畜禽养殖场，曾经被归为面源污染，随着处理技术的进步，前几年美国规定一定规模以上的动物饲养操作（animal feeding operation, AFO）必须采取污染控制措施，申请排污许可，因此这部分污染源也被归为点源污染。

对于特定的污染源，由于认识角度不同，有可能归为不同类别，如城市雨洪冲刷带来的污染，从环境科学研究和工程治理角度，应该被归为面源污染，但是根据美国《清洁水法案》规定，凡是在城市市政管理区域内，都应该申请市政雨污合流（combined sewer overflow, CSO）或市政雨污分流（municipal separate storm sewer system）排污许可，因此在法律上被归为点源污染。

1.3.3.2 源解析与水污染控制

地表水水质影响着人体的健康和水生态系统健康，已经成为一个敏感的社会问题。为削减进入水体的污染物，切实有效地控制河流和水体的污染，污染源解析越来越受到科技工作者和环境管理者的关注和重视。污染源解析一般通过监测污染源和地表水体样品的物理和化学性质，定性识别对地表水体有贡献的污染源，并定量计算各类污染源的贡献率，估计主要贡献因子对地表水质的污染程度，从而为制订科学合理的水污染控制对策提供参考依据。

近年来，我国河流污染日益突出，河流面临着有机污染物、重金属、农药等污染物

所带来的污染压力。控制和消除河流污染源是防止水污染的根本措施。因此,了解水环境污染物来源是切实有效地控制河流污染、保障环境安全和农业可持续发展的重要前提,而用于判定污染物来源的源解析方法也就越来越受到科技工作者和政府的高度重视。流域河流污染源解析就是识别流域内河流污染物及其来源的因果对应关系,以便提出减少和控制河流污染物输入的途径和措施,是流域水生态健康与环境安全管理研究的重要内容之一。苏丹等(2009)综述了应用于水环境污染源解析的主要理论方法和应用模型,并提出了针对水环境中不同类型污染物的污染源解析方法。除了大气污染源解析中常用的化学质量平衡模型、正定矩阵分解模型、主因子分析法可以应用到水污染源解析中外,成分与比值法也经常在水环境污染源解析中使用。

应用主成分分析和多元线性回归方法可有效地预估地表水质和生态系统的状态,识别破坏水体的潜在污染因子,多元统计方法是研究水质空间变化和识别污染源的有效工具。主成分分析方法可由尽可能少的原始数据解释较多的信息,尤其是在此基础上发展起来的绝对主成分因子(APCS)分析方法,将APCS分析和多元线性回归综合创建的绝对主成分多元线性回归分析(APCS-MLR),是一种较为有效的方法,可应用于量化计算河流水体的污染源贡献率,推导每个污染因子的来源及贡献率。赵洁等(2013)利用2009~2010年的地表水体理化监测数据,采用主成分分析(PCA)和APCS-MLR方法,在分区基础上分析了辽河流域9种理化因子的空间分布和污染源特征。通过主成分分析,根据变量的因子载荷与采样点的因子得分,识别出了污染地表水体的天然和人为污染源信息。

根据污染物产生途径的差异,可以将其进入环境的途径进行分类,根据每一种途径独特的成分和比值进行污染物源解析。该方法在流域水环境多环芳烃(PAH)定性源解析中应用较多。

随着其他学科的发展,新的方法也不断被应用于源解析领域的研究(陈海洋等,2011;苏丹等,2009)。而且随着方法的逐步成熟,混合方法已经成为必然趋势,混合方式也趋于多元化。通过定量方法筛选出特征污染物,开展污染源解析,是进行环境质量评估、环境风险评价、污染物削减的重要依据,也是切实有效地控制污染、保障环境安全的重要前提。

化学质量平衡模型和非负约束因子分析模型是污染源解析中较为有效的两种方法,各自具有特定的应用优势,但同时也都存在一定的应用局限性。通过非负约束因子模型与化学质量模型的耦合应用,充分利用非负约束因子模型反推出线性无关的主要污染源指纹图谱,再利用成熟的化学质量模型得出较为精准的污染源贡献率,可以得到较为准确、合理的应用解。应用实例表明,与单独利用因子模型比较,耦合模型得出的因子载荷矩阵、因子得分矩阵与实际情况更为吻合,污染源贡献率计算更为准确。

以上所述方法有的已经成为水环境污染源解析非常有用的手段,有的刚刚被引用到源解析中,对于推动水环境污染的源解析起到了积极作用。

1.4 保护生物学中的源与汇

源汇是保护生物学领域中非常重要的概念,尤其在复合种群研究与濒危物种保护中,源汇成为衡量复合种群是否可以共存与可持续下去的重要概念。复合种群理论已经成为保护生物学中最为重要的理论之一,成为研究自然界物种动态和濒危物种保护不可或缺