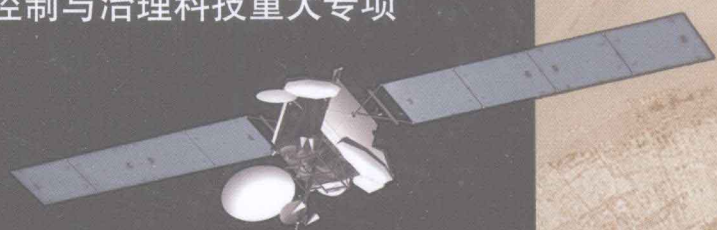
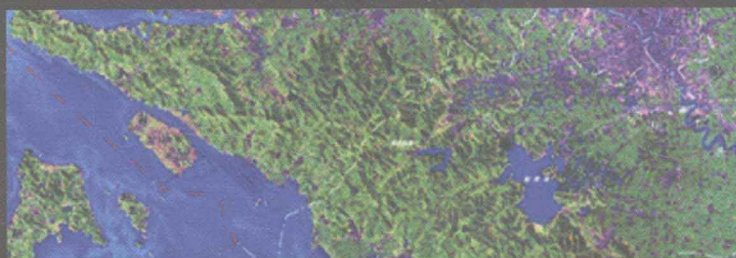


国家“十一五”科技支撑计划项目
国家水体污染控制与治理科技重大专项



基于环境一号卫星的 流域水环境评价和模拟

王 桥 吕 恒 李 硕
郭 飞 李云梅 宋志尧 韦玉春 等 编著



科学出版社

内 容 简 介

流域水环境的遥感评价和模拟是利用遥感技术结合模型模拟技术,对流域内的大型水体水环境状况及流域内的非点源污染情况进行评价和模拟,可为流域的水环境治理提供科学数据和决策支持。本书重点介绍流域内大型水体富营养化、水质参数遥感评价方法、相关水质参数的遥感定量反演方法、流域非点源污染的模拟技术和水质参数扩散模拟技术,并结合实例给出每种方法的数据准备要求、实施技术步骤、参数化方法等。读者可按照书中的具体步骤,把相关方法和模型应用到其他感兴趣区域。最后,本书介绍水环境遥感评价和模拟系统的开发技术和系统功能。

本书可作为遥感专业、地理信息科学专业的本科生和研究生的阅读材料,也可作为环境遥感领域的科技工作者以及环保相关部门工作者的技术指导手册。

图书在版编目(CIP)数据

基于环境一号卫星的流域水环境评价和模拟 / 王桥等编著. —北京: 科学出版社, 2011.7

ISBN 978-7-00-031818-3

I. ①基… II. ①王… III. ①流域—区域水环境—水环境质量评价
②流域—区域水环境—环境模拟 IV. ①X143

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 134756 号

责任编辑: 罗 吉 于 红 / 责任校对: 张小霞

责任印制: 赵 博 / 封面设计: 王 浩

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

*

2011 年 7 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2011 年 7 月第一次印刷 印张: 24 1/2

印数: 1—2 000 字数: 570 000

定价: 68.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

水环境恶化对国民经济的发展产生严重影响和制约,水环境保护和生态建设已上升到国家战略发展的高度,迫切需要相应理论及技术支持。国际上,水环境研究从微观尺度向宏观尺度逐渐拓展,包括的层次更多、范围更广、内容更丰富。从理论上认识水环境演变中各种复杂的物理、化学、生物等过程的客观变化规律,以及水环境对人类活动的响应关系,通过实地监测、物理化学分析、物理模型、数值模拟等各种技术手段分析其变化规律,进而寻找水环境的自然改善和人工调控途径,是水环境基础理论及应用研究的重点内容。

我国的流域水环境污染现象日益突显,严重影响着人们的日常生活和国民经济的发展。治理和管理各种污染水体成为人们日益关注的环境问题。研究水污染过程,探讨水环境演变机制,控制水污染成为政府和科研人员的一大研究目标。研究各种水体的水质问题及污染物的输移扩散规律,可为流域水体水环境整治提供理论依据。随着遥感技术的不断发展,特别是针对环境保护的环境卫星的发射升空,迫切需要利用遥感数据对水环境进行实时、动态、准确的监测和空间分析,为治理和管理各种污染水体提供科学依据。因此,本书将我们近几年来的研究成果进行总结和整理,把相关的模型进行改进和简化,使其更加实用,从而为环保部门应急和决策服务。

本书共分4章,第1章讲述流域大型水体的富营养化遥感评价和水质遥感分级方法,介绍水质参数遥感定量反演的基本原理,并以不同流域的大型水体太湖、巢湖和滇池为例,阐述有关富营养化相关水质参数的遥感定量反演方法。重点阐述悬浮物、叶绿素a、总氮、总磷等水质参数的遥感定量反演方法,并结合实例给出各种参数的反演方法和技术流程。第2章主要介绍流域非点源污染的分布式模拟技术,在分析流域非点源污染类型及特征的基础上,对一些典型的流域非点源污染模型结构、适用性进行较为系统的分析,通过SWAT模型在江西潦水河流域氮磷迁移过程的模拟实例,对非点源污染分布式模拟的空间离散化和参数化方法进行系统总结。第3章主要介绍水体污染物扩散模型构建与模拟技术。首先,在分析湖泊水体运动基本特征的基础上,对水体水动力模型与水体污染物扩散模型构建、对模型求解方法进行系统介绍,并构建能够反映入湖河口污染物定量排放与生物降解作用的太湖风生流模型;然后,对模型模拟的空间离散、三维数据场空间数据组织与不规则数据场三维可视化进行重点介绍,并以太湖湖流模型模拟数据为实例,实现湖体流场与污染物(总磷、总氮)浓度场的三维可视化表达。第4章是关于水环境遥感监测系统设计和开发的内容,包括环境一号等国产卫星和多源遥感数据的大型水体环境的遥感数据处理技术、水环境参数定量反演技术、遥感评价技术,给出系统的架构、数据流和业务流、系统的主体功能和接口,以及系统的典型界面,重点讨论业务流、数据流和系统功能设计。

本书主编写分工如下:第1章由王桥、吕恒、李云梅、金鑫、尹斌、王彦飞、张红、

刘忠华、徐祎凡、陆超平、马万泉编写；第2章由李硕编写；第3章由郭飞、宋志尧、张卓、王舒、周良辰编写；第4章由韦玉春编写。本书插图由徐昕、查桂红、赖正清、余淑娟、孙晓鹏校绘，统稿由王桥、吕恒完成。

水环境遥感评价和模拟系统由中国科学院遥感应用研究所、中煤地质工程总公司北京地质调查分公司、南京师范大学和环境保护部卫星环境应用中心联合开发。在此，感谢张兵、郁建林、李俊生、吴远峰等在系统实现中所做的大量工作。

感谢南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室闫国年教授、黄家柱教授和蒋建军副教授给予本书的宝贵意见；感谢中国科学院南京地理与湖泊研究所太湖生态系统研究站、安徽省环境监测中心、昆明市环境监测中心和江苏省环境监测中心在野外采样中所给予的大力支持和协助；感谢南京师范大学遥感技术与应用专业的研究生参加野外采样和分析工作。此外，在项目研究以及本书的写作过程中，还有许多专家学者提出了宝贵建议，在此一并表示感谢！

王 桥

2011年4月10日

目 录

前言

1 流域大型水体遥感评价技术	1
1.1 流域大型水体遥感评价技术路线	1
1.1.1 水环境评价方法	1
1.1.2 遥感水环境评价方法	3
1.1.3 大型水体遥感评价技术路线图	4
1.2 环境一号卫星及其预处理	5
1.2.1 环境一号卫星系统总体方案	6
1.2.2 环境一号卫星数据预处理	22
1.3 太湖、巢湖、滇池星地同步实验	44
1.3.1 研究区概况	46
1.3.2 固有光学量观测	48
1.3.3 表观光学量观测	63
1.3.4 水质参数浓度测量	73
1.4 大型水体环境质量遥感评价指标反演技术	81
1.4.1 水质参数遥感定量反演基本原理	81
1.4.2 叶绿素 a 遥感定量反演技术	95
1.4.3 悬浮物浓度遥感定量反演技术	116
1.4.4 TN 和 TP 遥感定量反演技术	136
1.5 大型水体环境质量遥感评价方法	146
1.5.1 富营养化遥感评价方法	146
1.5.2 水质遥感评级方法	153
1.5.3 结合地面监测数据的天地一体化遥感评价方法	161
1.6 长时间序列的太湖、巢湖、滇池水环境遥感评价	165
1.6.1 长时间序列水体富营养化状态遥感评价分述	167
1.6.2 长时间序列水环境质量等级遥感评价	188
参考文献	208
2 流域非点源污染模拟技术	218
2.1 流域非点源污染特征和类型	219
2.1.1 非点源污染特征	219
2.1.2 非点源污染类型	219

2.2	流域非点源污染模型	221
2.2.1	流域模型分类及评价	222
2.2.2	分布式流域模拟	224
2.2.3	流域非点源污染模型概述	226
2.2.4	SWAT 模型介绍	232
2.2.5	SWAT 模型的河道演算组件	236
2.3	流域非点源污染分布式模拟实例研究	238
2.3.1	研究区概况及研究工作技术路线	238
2.3.2	空间离散化方案设计和实现	239
2.3.3	空间参数化方案设计和实现	242
2.3.4	模拟结果验证与分析	256
2.4	SWAT 模型系统集成	264
2.4.1	SWAT 模型输入数据的组织结构分析	264
2.4.2	基于.NET 框架的 SWAT 模型集成系统设计和开发	266
	参考文献	270
3	水体污染物扩散与模拟技术	272
3.1	湖泊水体运动的基本特征	272
3.1.1	风生流的形成机理	272
3.1.2	风生流流速的垂向分布	274
3.2	湖泊水流动力模型	275
3.2.1	三维数学模型	275
3.2.2	准三维数学模型	276
3.2.3	紊流模型	277
3.2.4	定解条件	279
3.2.5	数值模拟	280
3.2.6	基于 DIS 法的三维全隐数值计算模式	283
3.2.7	基于 Untrim 的二维数值计算模式	287
3.3	水体污染物扩散模型	289
3.3.1	污染物在水流中的扩散输运	290
3.3.2	污染物在水流中的降解和衰减	291
3.3.3	水污染物扩散方程	291
3.3.4	定解条件和求解方法	291
3.4	太湖三维湖流模型的建立	292
3.4.1	太湖区域环境特征	292
3.4.2	太湖湖流三维污染扩散模型	294

3.5	模型空间离散	297
3.5.1	基本概念	298
3.5.2	特征约束	299
3.5.3	初始网格剖分	301
3.5.4	拓扑检查与冗余处理	302
3.5.5	优化处理	303
3.5.6	太湖模型网格生成	304
3.6	三维数据场空间数据组织	305
3.6.1	网格结构的数据场空间组织形式	305
3.6.2	支持三维可视化的数据集单元类型	306
3.6.3	支持科学计算及三维可视化的离散体元	308
3.6.4	体元各要素拓扑关系定义	308
3.6.5	属性数据	309
3.7	污染扩散模拟不规则数据场三维可视化	310
3.7.1	概述	310
3.7.2	三维空间不规则数据场可视化方法	311
3.7.3	三维空间不规则数据场可视化基本流程	311
3.7.4	太湖污染扩散模型浓度场可视化	312
3.7.5	太湖污染扩散模型矢量场可视化	318
3.7.6	太湖污染扩散模拟及其动态表达	322
	参考文献	328
4	水环境遥感监测系统设计和开发	331
4.1	系统设计	331
4.1.1	软件架构	331
4.1.2	总体结构设计	332
4.1.3	功能结构	333
4.1.4	软硬件环境	334
4.1.5	其他	335
4.2	业务流设计和数据流设计	338
4.2.1	业务流设计	338
4.2.2	操作模式设计	340
4.2.3	数据流设计	341
4.2.4	系统专题产品	347
4.3	系统功能设计	349
4.3.1	自动化生产	349
4.3.2	文件处理	349

4.3.3	数据预处理	350
4.3.4	水质参数反演	353
4.3.5	水环境评价	356
4.3.6	水体污染扩散模拟	357
4.3.7	非点源污染遥感监测	358
4.3.8	成果发布	359
4.4	接口和数据设计	360
4.4.1	接口设计	360
4.4.2	数据设计	361
4.5	系统界面和运行示例	366
4.5.1	图像定标和预处理	367
4.5.2	水质参数反演、评价和扩散模拟	372
4.5.3	专题制图	379
	参考资料	381

1 流域大型水体遥感评价技术

1.1 流域大型水体遥感评价技术路线

流域大型水体，如大型湖泊、水库、河流等，是人类赖以生存的重要水资源。它不仅是工业、农业、养殖业，以及生活用水的主要水源，同时还具有维持生物多样性，调节气候、地表径流、净化水质等功能。但是，目前我国大多数内陆水体污染严重，如五大淡水湖泊，其氮、磷等营养盐含量已经大大超出了富营养化标准(田永杰等，2006；王婷等，2007；张巍等，2002)。因此，内陆大型水体的治理工作受到国家和各级政府的高度关注，而内陆大型水体的水环境监测则是整个治理过程中非常重要的环节。

1.1.1 水环境评价方法

目前对水环境评价的方法主要有指数法、分级评分法，以现代数学理论为基础的模糊综合评价法、灰色系统方法、主成分分析法等，以计算机技术为基础的人工神经网络方法、加速遗传算法等。

1.1.1.1 指数法

指数法是最早也是应用最广泛的水环境监测评价方法，主要分为单因子指数法和多因子指数法。单因子指数法是根据监测数值与标准值的比值，依据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)规定，当水体中有一种评价指标超标时，则认为该水体超标。但是由于各单项指标的评判结果是独立的，且大部分指标是不相关的，所以直接利用单因子指数进行评价具有明显的缺陷。多因子指数法以监测数据与评价标准之比作为分指数，然后通过数学综合运算得出一个综合指数。综合指数的基本形式有代数叠加型、均值型、加权型、加权均值型、几何均值型、幂指数型、向量模型、均方根型、极值型等。该评价法计算简单，方便易行，但存在如下缺点：均权叠加法忽略了超标污染因子和环境富集残存大的污染因子对环境污染贡献大的特点；加权叠加法需要确定合适的权重值，而在污染项对环境贡献大小及作用机理不十分清楚的情况下合适的权重值是难以准确确定的。依据对分指数的处理不同，指数法又可以分为不同的指数形式，主要有豪顿(Horton)水质指数、布朗(Brown)水质指数、普拉特(Prati)水质指数、尼梅罗(Nemerow)指数、罗斯(Ross)水质指数、黄浦江污染指数等。

1.1.1.2 分级评分法

分级评分法以《地面水环境质量标准》(GB3838-83)和《污染水质分级》为参考依据规定每一级别对应参数的分值，各项参数分值相加为总分值，再根据总分值进行水质级

别分级。该方法克服了以单个评价指标因子为基本评价单元划分水质的局限性,较指数法前进了一步。但是该法的缺点是评价等级不连续。因为总分值是以 16 项评价指标为计算依据的,如果评价指标不足 16 项,则评价结果只能根据分析确定,因而这类方法只适用于粗略的水质评价。

1.1.1.3 模糊综合评价法

模糊综合评价法是利用模糊数学的原理进行水环境质量综合评价的方法之一,是通过确定实测样本序列与各级标准序列间的隶属度来确定水质级别的方法。该方法首先考虑参加评价的各项因子在总体中的地位,为其配以适当的权重,确定隶属函数;然后,经过模糊矩阵复合运算,求得综合隶属度;最后,根据综合隶属度来划分水质类别,进而得到综合评价结果。由于水环境中存在大量不确定性因素,水质级别、分类标准都是一些模糊概念,因此模糊数学在水质综合评价中迅速得到广泛应用。李祚泳等(1993)将模糊贴近度用于湖泊富营养化评价;陈守煜等(2005)将模糊模式识别理论和人工神经网络理论相结合应用于水质评价;郑成德将模糊模式识别理论应用于环境质量评价中;孙蕾(2000)应用模糊数学中模糊聚类的最大矩阵元法和模糊相关分析法对水质进行分析、聚类 and 评价。该法的典型代表有模糊综合评价法、Hamming 贴近度法、模糊概率法等。由于水环境污染程度与水质分级相互联系并存在模糊性,而且水质变化是连续的,模糊综合评价法在理论上具有一定的合理性。

1.1.1.4 灰色系统方法

灰色系统理论可看做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。应用于水质综合评价的灰色系统方法有灰色聚类法、灰色贴近度分析法、灰色关联评价方法等。灰色聚类法通过建立与隶属函数相似的白化函数进行灰色聚类,确定所有断面综合水质的级别;灰色贴近度分析法是对灰色聚类法的改进,将聚类函数的确定由分段、分斜率计算改为分段、共斜率计算,并用共斜率的方法来确定聚类元素与其理想子集的贴近程度,从而确定其所属类别;灰序列关联评价方法的实质为灰色系统中多个序列(离散数列)之间接近度的序化分析,这种接近度称为数列间的关联度。与模糊综合评价法相同,灰色评价法由于体现了水环境系统的不确定性,在理论上是可行的;其缺点同样是权重计算方法的不准确性将导致水质评价结果的不准确。

1.1.1.5 主成分分析法

水质系统是由多维因子(各种污染物含量、指标变量)组成的复杂系统,因子间具有不同程度的相关性。主成分分析法是一种基于统计学理论,对高维变量系统进行最佳综合与简化的方法。主成分分析方法应用于水质的综合评价之中,计算较为简便。通过主成分分析,可以找出影响某一环境质量的几个综合指标,这些指标值包含主要的污染物信息。这些信息既彼此独立,又能够反映主要问题,可以有效排除不相关指标的影响,具有较好的客观性。

1.1.1.6 人工神经网络方法

人工神经网络方法为客观评价水质级别提供了可能。目前应用最为广泛且较为成功的人工神经网络模型是 BP 网络模型。BP 网络模型的基本原理是利用最陡坡降法使误差函数最小化,误差逆传播是 BP 网络的核心。利用 BP 网络进行水环境质量评价,只需把水质分级标准作为样本进行,用训练结束后的权值和阈值即可对样本进行评价。

1.1.1.7 加速遗传算法

目前采用加速遗传算法进行水质评价的方法有基于遗传算法(AGA)的 Shepard 相似评价模型、基于 AGA 的投影寻踪评价模型、基于 AGA 的逻辑斯谛曲线(LOG)评价模型、基于遗传算法的模糊综合评价方法等。各类水质评价模型建模样本和检验样本依据评价标准随机产生。

1.1.2 遥感水环境评价方法

传统上对于水环境的评价一般采用实地测量配合采集水样带回实验室分析的方法。测量的项目一般包括水温、SD、生物需氧量(BOD)、化学需氧量(COD)、总氮(TN)、总磷(TP)、叶绿素 a (Chl-a)浓度以及各类重金属含量等参数,然后利用相关的模型进行评价。传统的评价方法能够较为准确地测定当时所测位置的水质情况,即点源数据,但是无法同步获取整个水域的信息,所以代表性和可靠性不足,并且需要耗费大量的人力物力。

卫星遥感技术作为一种大范围、高效的对地观测手段,能够获取研究区域的瞬时同步数据,在水环境质量评价和监测中体现了强大的优势。在现有的研究中,国内外普遍采用的数据源是 Landsat/TM 数据、MODIS 数据等,如杨一鹏等(2007)采用 Landsat/TM 数据对太湖富营养化状态进行了评价;祝令亚(2006)利用 MODIS 数据构建了一个湖泊水质遥感检测体系;段洪涛等(2006)通过分析查干湖水体水质参数与其高光谱反射特征之间的响应关系,采用单波段与波段比值等算法分别建立了湖水水质的高光谱定量反演模型,同时结合修正营养状态指数(TSI_M)模型,针对水质参数的实验室数据和光谱模型模拟数据,对查干湖富营养化程度进行了监测和评价,并进行了验证;Geoffrey 等(2009)采用 MODIS 数据对 Malawi 湖的水质参数进行了反演。但是, Landsat/TM 数据较长的时间分辨率对于水体这种具有流动性和不稳定性研究对象来说,具有难以克服的缺陷;而 MODIS 数据较低的空间分辨率也使得它在被运用到内陆水体的监测时存在很大的局限性。我国于 2008 年 9 月 6 日发射了环境一号卫星,该卫星包含 2 颗小卫星,其搭载的多光谱 CCD 传感器具有 4 个波段,空间分辨率为 30m。一方面,与具有相似参数的 Landsat/TM 数据相比,其 2 天的时间分辨率大大增强了数据获取的可能性,也使得对内陆湖泊进行长时间的连续评价成为可能;另一方面,与具有高时间分辨率的 MODIS 数据相比,其较高的空间分辨率使其能够更加准确地反演地面参数并体现其空间变化规律。因此,环境一号卫星 CCD 数据是目前进行水环境质量监测较为理想的数据。

目前,由于受到遥感反演的水质参数指标的种类的限制(可有效反演的水质参数主要有叶绿素 a、SD),在对比分析了各类水环境评价方法的基础上,遴选较为成熟且应用广

泛的指数法对研究区水环境进行评价。采用已有数据、野外采集数据和室内分析测试数据、环境一号卫星等遥感数据建立高精度水环境参数反演模型,结合确定水环境评价方法对流域内大型水体进行水环境质量和富营养化评价。

1.1.3 大型水体遥感评价技术路线图

根据遥感技术可有效反演的水质参数构建大型水体遥感评价技术路线。整个技术路线分为两大部分:一部分是只通过遥感影像数据对水环境质量进行评估;另一部分则是通过遥感影像结合地面实测数据对水环境进行评价。大型水体遥感评价技术路线图如图 1-1 所示。

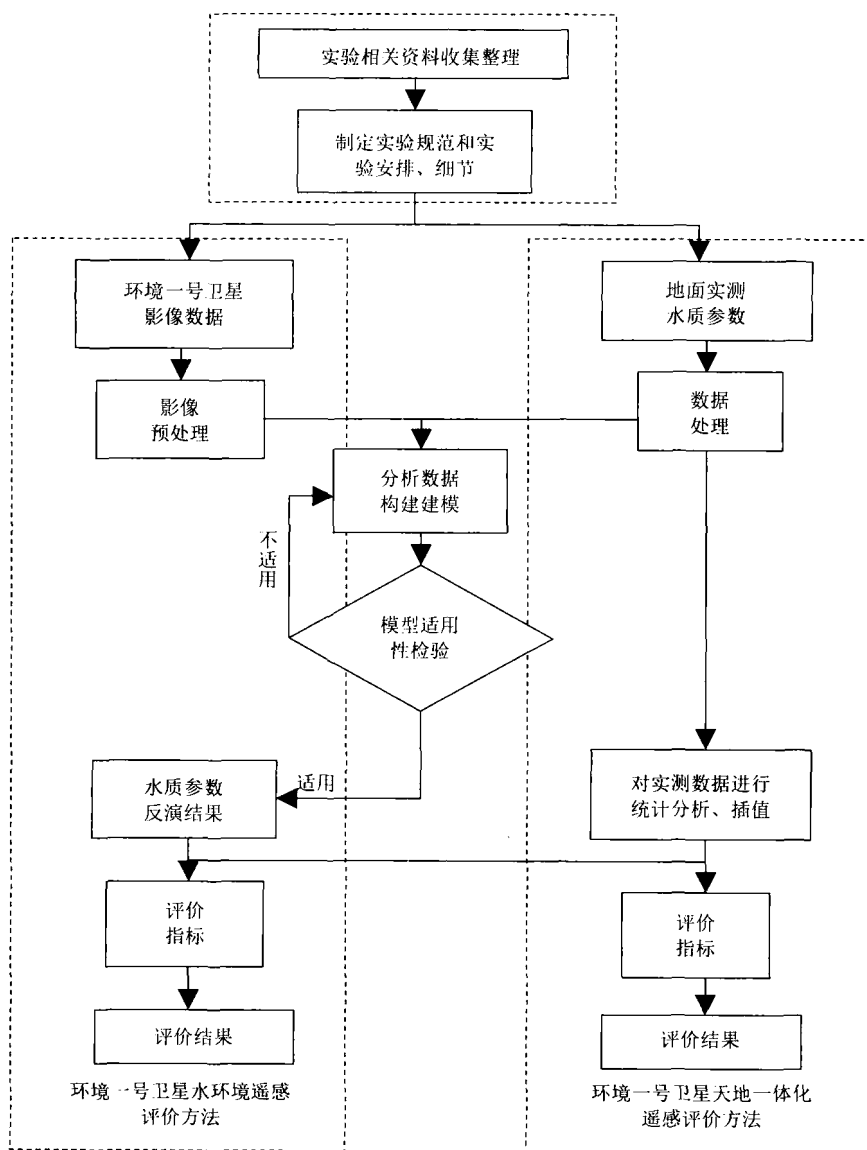


图 1-1 大型水体遥感评价技术路线图

评价的技术路线:

(1) 数据源:本实验采用的数据源为环境一号卫星的多光谱数据和高光谱数据以及地面采集的高光谱数据。

(2) 数据处理:由于水体本身为弱反射体,其信息更容易受到大气、平台姿态以及仪器设备稳定等方面的影响,所以在使用遥感影像前要对数据进行处理。处理过程主要包括辐射校正和几何校正两个步骤。

(3) 水环境参数反演:使用获取的各类数据采用经验模型、半经验/分析模型、分析模型进行。经验模型一般是通过建立光学测量值与地面监测的水质参数之间的统计关系来计算水质参数值;半经验/分析模型是根据非成像光谱仪测量的水质参数光谱特征,选择估算水质参数的最佳波段或波段组合,然后应用一定的数据方法建立遥感数据与水质参数间的定量关系;分析模型是从物理机制出发,利用生物光学模型描述水质参数与离水辐亮度之间的关系,同时,通过辐射方程建立水体中水质参数的固有光学特性与离水辐亮度之间的关系,从而反演水体中的水质参数。

(4) 水环境质量评价:采用指数法结合通过遥感数据反演的水环境参数对水环境质量进行评价,主要包括两个方面:水质等级评价和水体富营养化评价。水质等级评价主要是根据《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)为标准,结合遥感反演的水环境参数,采用指数法对研究区的水质状况进行评价;水体富营养化评价则根据综合营养指数法结合遥感反演的水环境参数对研究区水体的富营养化状态进行评价。此外,针对传统的遥感技术可监测水质参数较少这个缺陷,采用地面实测数据结合遥感反演结果的天地一体化评价方法对研究区水质状况进行监测评价。

(5) 评价结果输出:主要有文字报表和专题图。其中,文字报表主要包括水质评价、富营养化状态评价、水华暴发预警分析以及各种水质参数的分析等;专题图主要有水质评价专题图、富营养化状态专题图、水质参数分布状态图、蓝藻水华暴发专题图等。

1.2 环境一号卫星及其预处理

我国环境卫星遥感应用需求分析表明,为对我国生态破坏和环境污染进行大范围、全天候和全天时动态监测,对生态环境质量变化的过程全面反映,对其变化趋势进行预测,必须要发展我国自己的环境卫星系统。

1998年,国家环境保护总局与中国国际减灾委员会(国家减灾委员会)共同提出“环境与灾害监测预报小卫星星座系统”建设方案;2002年,国防科工委正式将“环境与灾害监测预报小卫星星座”命名为“环境一号卫星”(代号HJ-1),并列人民用航天“十五”计划和《中国的航天》白皮书民用卫星发展重点。

环境一号卫星系统建设的主要任务是利用我国自主小卫星星座,形成对我国生态环境和灾害遥感监测的能力,为我国环境保护与防灾减灾提供遥感信息与技术支撑,全面提高我国环境和灾害信息的获取、处理和应用的水平。

考虑到我国现有的技术基础、未来的技术发展和财政支撑能力,该星座采用分步实施战略进行建设:先期发射两颗光学小卫星和一颗合成孔径雷达小卫星组成“2+1”星座,初步形成对我国环境与灾害监测能力;然后再建立由4颗光学小卫星和4颗合成孔径雷达小卫星组成的“4+4”星座,实现对我国及周边国家、地区的环境与灾害的动态监测。

2002年9月,国务院正式同意“环境与灾害监测预报小卫星星座”立项;2008年9月6日,环境一号卫星“2+1”星座中的两颗光学小卫星(HJ-1A和HJ-1B)“一箭双星”发射成功;2009年完成在轨测试;2009年3月30日正式交付卫星用户使用。

环境与灾害监测预报小卫星星座发展目标是在现有“2+1”基础上(2颗光学星+1颗雷达星),推动卫星星座后续卫星的论证、建造与发射,争取早日实现由4颗光学卫星和4颗雷达卫星组成的“4+4”小卫星星座,实现对灾害与环境的全天时、全天候监测。

2011年:在“2+1”环境与灾害监测预报小卫星星座基础上,再发射1颗S波段合成孔径雷达卫星,形成在轨“2+2”星座,具备对国内及周边地区优于36h的重访观测能力,实现对灾害和环境的大范围、动态、全天候、全天时的监测能力以及灾情和污染破坏状况的普查能力。

2012年:发射2颗光学卫星和2颗S波段合成孔径雷达卫星,形成在轨“2+4”星座,具备对全球任一地区优于24h的高时效重访观测能力,实现对灾害和环境的大范围、动态、全天候、全天时的监测能力以及灾情与污染破坏状况详查、风险评估能力。

2013年:发射2颗光学卫星,形成在轨“4+4”星座,具备对全球任一地区优于12h的高时效重访观测能力,实现对灾害和环境的大范围、动态、全天候、全天时的监测能力以及灾情与环境污染破坏状况详查、风险评估与预警能力。

1.2.1 环境一号卫星系统总体方案

1.2.1.1 卫星总体方案

为满足环境监测高重访周期的要求,并顾及卫星发展成本和技术实现,采用小卫星星座构建环境一号卫星系统。卫星系统建设分步实施,目前已建立由两颗光学小卫星(HJ-1A、HJ-1B)和一颗合成孔径雷达小卫星(HJ-1C)组成的卫星星座系统。

总体技术性能要求:可见光空间分辨率集中在30~100m,红外空间分辨率在150~300m;需要多个谱段并具有较高的光谱分辨率;三颗卫星配合获得较高的时间分辨率,观测重访周期为48~96h;除有足够的观测幅宽外还应具备全天时、全天候的监测能力。据此,A星光学有效载荷为两台宽覆盖多光谱可见光相机和一台超光谱成像仪,B星光学有效载荷为两台宽覆盖多光谱可见光相机和一台红外相机,C星有效载荷为合成孔径雷达,如图1-2和图1-3所示。

宽覆盖多光谱可见光相机形成对大型水体环境、区域空气环境和宏观生态环境的大范围、动态监测;超光谱成像仪满足对环境地物高光谱成像的要求;红外扫描仪形成对秸秆焚烧、城市热岛、水体热污染、辐射污染、土壤污染等监测能力;S波段合成孔径雷达形成生态环境全天候、全天时成像的能力。

环境一号卫星(HJ-1A、HJ-1B、HJ1-C)总体构成包括卫星平台和有效载荷两部分。每颗卫星的平台包括八个分系统：结构和机构、测控、星务管理、姿轨控、电源、总体电路、热控和天线。有效载荷包括数传、宽覆盖多光谱可见光电荷耦合元件(CCD)相机(A、B星都有)、超光谱成像仪(仅A星有)、Ka通信试验分系统(仅A星有)、红外相机(仅B星有)和S波段合成孔径雷达(C星有)。

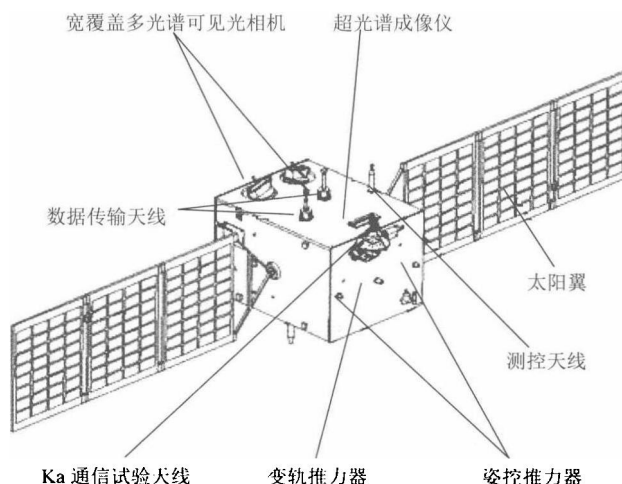


图 1-2 HJ-1A 卫星飞行状态

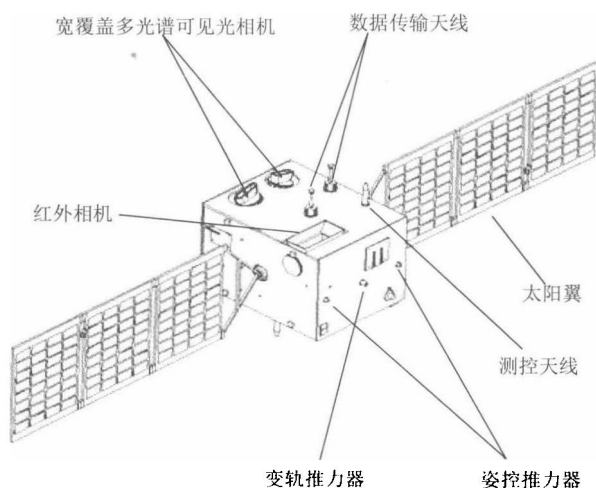


图 1-3 HJ-1B 卫星飞行状态

1.2.1.2 环境卫星轨道设计

“环境与灾害监测预报小卫星星座”A星、B星在同一轨道面内，呈 180° 相位(通过升交点时刻A星在前)，可见光探测可完成对地重复观测2天的观测能力，高光谱探测通

过侧摆可形成 4 天的重复观测能力, 红外探测可形成 4 天的重复观测, 见图 1-4, 图 1-5。
标称轨道参数如表 1-1 所示。

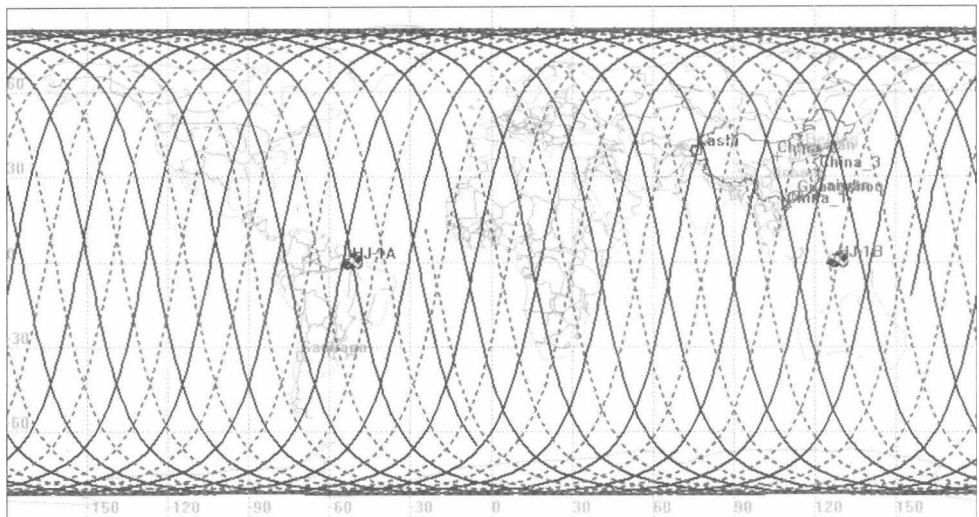


图 1-4 HJ-1A、HJ-1B 标称轨道的星下点轨迹

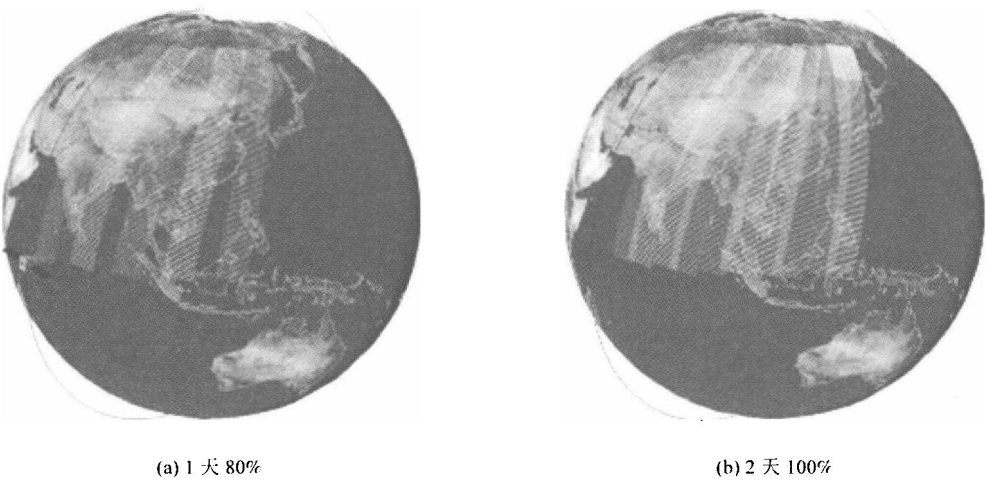


图 1-5 HJ-1A/B 卫星对国土覆盖情况

表 1-1 标称轨道参数

参数项目	参数
轨道高度/km	649.093
半长轴/km	7020.097
轨道倾角/(°)	97.9486
轨道周期/min	97.5605

续表

参数项目	参数
每天运行圈数	14+23/31
回归(重复)周期/d	31
回归(重复)总圈数/圈	457
降交点地方时	10:30AM
轨道速度/(km/s)	7.535
两星相位差/(°)	180

1.2.1.3 卫星主要技术指标

卫星主要技术指标如表 1-2 所示。

表 1-2 卫星主要技术指标

项目	子项目	A 星	B 星
轨道	类型	太阳同步	
	高度	649.093km	
	交点地方时	降交点地方时 10:30 AM±30min	
重量/kg	整星	473	496
	平台干重	286.27	286.90
	有效载荷	167.88	186.37
尺寸	本体	1.432m × 1.100m × 0.953m	
	包络	Φ2.0m × 1.545m	
	展开后跨度	7.44m	
数传	发射频率	X 波段	X 波段
	码速率	120Mbit/s	60Mbit/s
	压缩比	CCD 4 : 1; 超光谱仪 1.64 : 1	CCD 4 : 1
	存储器容量	16Gbit	16Gbit
姿轨控	模式	对地三轴姿态稳定	
	指向精度	俯仰、滚动 ≤ 0.4° 偏航 ≤ 0.5°	
	指向稳定度	三轴 ≤ 0.01°/s	
	探测精度	俯仰、滚动 ≤ 0.2° 偏航 ≤ 0.3°	
测控	体制	USB+GPS	
	上行码速率	2Kbit/s	
	下行码速率	4096 bit/s	
	GPS 定位精度	20m(1σ)(三轴)	
	GPS 时间精度	优于 1μs	
星务管理	指令条数	直接指令 46 条 间接指令多于 100 条	
	遥测路数	多于 1000 路	