



遥感数据质量 对水文过程影响研究

基于地表覆盖遥感数据分类类别及分辨率研究

YAOGAN SHUJU ZHILIANG
DUI SHUIWEN GUOCHENG
YINGXIANG YANJIU

曾春芬·著

东南大学出版社

国家重大科学研究计划(863 重点项目)《全球地表覆盖遥感制图与关键技术研究》之课题《地表覆盖数据在陆面生态水文模型中的应用示范及示范系统》(2009AA122502)
水利部公益性行业科研专项经费项目“长江三角洲地区城市化对洪涝孕灾环境的影响研究”
(No. 40571025)

遥感数据质量对水文过程影响研究

——基于地表覆盖遥感数据分类类别及分辨率研究

曾春芬 著

东南大学出版社
· 南京 ·

内 容 提 要

本书从水文学当前的研究热点出发,对于地表覆盖遥感分类数据对水文过程模拟以及区域地表水资源评估进行了综合探讨性研究,提出一些新的研究思路和方法,具有重要的科学意义和实际应用价值。本书以苏北片区为例,研究地表覆盖遥感分类数据的分辨率对区域地表水资源评估的影响作用;以秦淮河流域为例,研究地表覆盖遥感分类数据分类类别对流域径流模拟的影响作用;以太湖流域为例,研究不同时期不同分辨率地表覆盖遥感分类数据及其变化对流域水文过程模拟的影响作用。

本书可作为地理学、水文学、遥感学、生态学、流域开发与与管理、资源与可持续发展等相关领域的科学研究人员、工程技术人员、管理决策人员及大专院校、科研院所师生使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

遥感数据质量对水文过程影响研究:基于地表覆盖
遥感数据分类类别及分辨率研究 / 曾春芬著. —南京:
东南大学出版社, 2013. 6

ISBN 978-7-5641-4250-6

I. ①遥… II. ①曾… III. ①遥感数据-影响-水文
模拟-研究 IV. ①TP701②P334

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 106290 号

书 名: 遥感数据质量对水文过程影响研究

著 者: 曾春芬

责任编辑: 宋华莉

编辑邮箱: 52145104@qq.com

出版发行: 东南大学出版社

出版人: 江建中

社 址: 南京市四牌楼 2 号 邮 编: 210096

网 址: <http://www.seupress.com>

印 刷: 江苏兴化印刷有限责任公司

开 本: 700 mm×1000 mm 1/16 印张: 11.25 字数: 176 千字

版 次: 2013 年 6 月第 1 版 2013 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5641-4250-6

定 价: 36.00 元

经 销: 全国各地新华书店

发行热线: 025-83790519 83791830



前 言

在全球环境变化问题中,地表覆盖变化是受自然与人类活动综合影响最为显著的要素。地表覆盖变化对地表水文过程的影响是目前的研究热点。地表覆盖遥感分类数据的分辨率与分类类别一直是水文模型模拟精度的主要影响因素之一。RS与GIS的快速发展推动了水文学科的发展,在水文研究中发挥重要的作用,具有重大的科学意义。本书对于地表覆盖遥感分类数据对水文过程模拟以及区域地表水资源评估进行了综合探讨性研究,提出一些新的研究思路和方法,具有重要的科学意义和实际应用价值。

本书以江苏省苏北片区为例,研究地表覆盖遥感分类数据的分辨率对区域地表水资源评估的影响作用;以秦淮河流域为例,研究地表覆盖遥感分类数据分类类别对流域径流模拟的影响作用;以太湖流域为例,研究不同时期不同分辨率地表覆盖遥感分类数据及其变化对流域水文过程模拟的影响作用。主要研究成果如下:

(1) 地表覆盖遥感分类数据变化特征

随着遥感影像分辨率降低,所获取的地表覆盖遥感分类数据的变化主要集中于水田和旱地的面积变化,主要表现是水田面积的大量增加伴随着旱地面积的减少,以及水田面积与水面、城镇用地面积不同程度的转化。随时间推移伴随的是城镇用地面积的增加,反映了城市化进程的影响。其主要表现是城镇面积大量增加伴随着水田面积的大量减少,旱地面积增加而水面面积减少。城市化现象在有些研究区域呈加快的趋势。

(2) 地表覆盖遥感分类数据分辨率对地表水资源评估的影响

地表覆盖遥感分类数据分辨率对水资源分区、水资源估算有较大的影响,变化比例从0.7%~105.2%不等。特殊干旱年($P=95\%$),两种分

分辨率下的产流结果差异显著,多个水利分区差异在 50%以上;一般干旱年($P=75\%$)的变化率与平水年($P=50\%$)的变化率基本在 20%以下。

将基于不同分辨率地表覆盖遥感分类数据模拟输出的地表水资源量的模拟结果与《江苏省水资源调查评价》的多年平均地表水资源量评估结果相比较,基于 10 m 分辨率地表覆盖遥感分类数据模拟的地表水资源量与《江苏省水资源调查评价》的结果拟合度较高。其次,相同分辨率情况下,平水年模拟结果与多年平均结果差异最小,拟合度最高。一般干旱年其次,特殊干旱年拟合度较差。

相同水文情景下,模拟的地表水资源量随着地表覆盖遥感分类数据分辨率的降低呈减小的趋势;主要的产流变化是水田和城镇产流的增加伴随着旱地产流与水面产流的减少。其中,以水田产流的增加较显著,旱地产流减少较为显著。降雨量的多少是影响产流量总量多少的主要影响因素,而分辨率变化导致下垫面统计变化是产流过程及其变化的主要影响因素。

(3) 地表覆盖遥感分类数据分类类别对水文模拟的影响

随着遥感影像土地利用分类体系分类类别的增加,模拟的年均流量下降。分辨率的变化对流域的月均流量模拟有较明显的影响作用。随着地表覆盖遥感分类数据分辨率降低,模拟的月均流量洪峰值升高。基于不同土地利用分类类别地表覆盖遥感分类数据模拟输出的流域月均流量结果显示,地表覆盖遥感分类数据的土地利用分类类别对水文模拟的影响比地表覆盖遥感分类数据分辨率的影响小;基于不同时期地表覆盖遥感分类数据的模拟结果显示,随着时间的推移模拟的月均流量洪峰值升高。根据多年日模拟结果,随着分类体系的变化,流域的出口断面流量全年 2/3 的日模拟结果变化较小,全年 1/10 的日模拟结果变化达 5%以上,最大差额为 $31.6 \text{ m}^3/\text{s}$,达出口断面流量的 12.64%。

基于不同土地利用分类类别的地表覆盖遥感分类数据模拟输出的结果之间的差异较明显。土地利用分类类别对区域径流的影响作用大小与土地利用类别对水循环影响作用大小成正相关关系。在将土地利用类别分为 4 类、5 类、12 类的对比性研究中发现,将土地利用类别分为 4 类的模拟结果与将土地利用类别分为 5 类的模拟结果之间的差距比将土地利用类别分为 5 类的模拟结果与将土地利用类别分为 12 类的模拟结果之间的差距大,相差一个量级。分析认为,4 类分类体系与 5 类分类体系主

要变化是4类分类体系将草地林地作为1类土地利用类别,5类分类体系将草地林地分为草地、林地2类土地利用类别,这样的分类差别对产汇流计算有一定的影响作用。而分为12类更细的分类类别主要的变化是树木种类细分,细分的土地利用类别间的产汇流机制差异较小,此类土地利用类别细分对水文模拟结果影响较小。因此,地表覆盖遥感分类数据在水文的应用中,从影响水文过程的下垫面产汇流结构特征出发,若进一步细分类别适用性会更好。

(4) 不同分辨率地表覆盖遥感分类数据对水文过程模拟结果的影响
地表覆盖遥感分类数据的分辨率对流域水位过程模拟结果有显著影响作用。基于不同分辨率地表覆盖遥感分类数据计算得到的产流结果差异较大。地表覆盖遥感分类数据分辨率差异越大,模拟输出的水位差值越大。分辨率引起的计算差异随着降雨量的增加而增加,存在累计叠加的效应。降雨和下垫面分辨率对产流计算结果均有显著影响作用。基于分辨率较高的地表覆盖遥感分类数据模拟输出的产流量比基于分辨率较低的地表覆盖遥感分类数据模拟输出的产流量高。相同分辨率基础下,随着时间推移和城市化进程引起的地表覆盖变化下模拟输出的研究区产流量呈增加趋势。随着降雨量的增加,基于同一年内不同分辨率的下垫面数据计算出的产流差异也增大。

相同水文条件下,基于分辨率较高地表覆盖遥感分类数据模拟输出的流域水位也较高。基于不同分辨率地表覆盖遥感分类数据模拟输出的研究区水位计算对比研究发现,基于30 m分辨率地表覆盖遥感分类数据模拟输出的水位与基于调查统计地表覆盖数据模拟出的水位之间的差异最大,其最大变化幅度为8.7%(丰水年常州站);基于10 m与300 m分辨率地表覆盖遥感分类数据模拟输出的水位差异其次,其最大变化幅度为7.43%(丰水年常州站);基于30 m与300 m分辨率地表覆盖遥感分类数据计算输出的水位最大变化幅度为5.94%(丰水年无锡站)。相同分辨率变化情况下,丰水年情势下计算出的水位差距在三种水文情景计算结果中最大。因此,利用遥感数据进行相关研究时,为了更接近真实情况,计算结果应做相应的校正。

地表覆盖变化及降雨对流域水文过程的影响作用。模拟结果显示,降雨量的多少是水位过程整体高低的主要影响因素。整体趋势上,丰水年($P=20\%$)情景下模拟的水位最高,平水年($P=50\%$)情景下模拟的水

位其次,枯水年($P=90\%$)情景下模拟的水位最低。其中,丰水年的水位起伏最大,且大部分时间都比其他两个典型年的水位高,尤其是在汛期。平水年水位过程起伏较小,全年一半以上水位比枯水年的水位高。枯水年的水位少数时段比平水年水位高。由此可见,除了降雨量等水文条件外,其他因素对水位过程有一定的影响。丰水年地表覆盖遥感分类数据的水文响应比枯水年的水文响应更显著;其次,地表覆盖遥感分类数据的变化对水位过程有一定的影响。总体趋势是随着城市化进程地表覆盖的变化,水位整体呈升高的趋势。每个站点起伏变化有异,变化幅度在 $0.33\%\sim 6.45\%$ 之间。

本书首次探讨基于共享途径可获取的地表覆盖遥感分类数据分辨率对地表水资源量评估以及地表水文过程模拟的影响作用,对水文模拟及水资源评估中正确使用和选择地表覆盖遥感分类数据空间分辨率具有参考价值,为地表覆盖遥感分类数据更好地应用于水文研究提出新的探索途径。笔者进行不同土地利用分类类别的地表覆盖遥感分类数据变化对水文模拟影响研究,提出应用于水文的遥感影像土地利用分类标准的主要衡量指标,对合理选择地表覆盖数据分类精细程度具有指导意义。基于不同保证率水文情景和不同时期地表覆盖变化的水文过程模拟,分析降雨与地表覆盖变化对流域水文过程影响作用,为流域水文要素研究提出新的研究思路和研究方法,具有创新性与科学性。

本书系国家重大科学研究计划(863 重点项目)《全球地表覆盖遥感制图与关键技术研究》之子课题《地表覆盖数据在陆面生态水文模型中的应用示范及示范系统》(2009AA122502)、水利部公益性行业科研专项经费项目“长江三角洲地区城市化对洪涝孕灾环境的影响研究”(No. 40571025)等项目的综合研究成果。

全书共分为六章,具体章节安排如下:第一章绪论;第二章地表覆盖数据的差异与变化特征;第三章地表覆盖遥感数据分辨率对水资源评估的影响——以江苏省苏北片区为例;第四章地表覆盖遥感数据的分类类别对流域径流量的影响,以秦淮河流域为例;第五章地表覆盖变化及其分辨率对水文过程研究的影响——以太湖流域为例;第六章研究成果与展望。首先,我要衷心感谢的是导师王腊春教授在选题、研究开展以及最后撰写等方面都给予了悉心的指导和关怀!在本书研究与撰写过程中,得到了南京大学国际地球系统科学研究所居为民教授的鼎力支持,为研究

提供所需数据及学术指导,特此表示衷心的感谢!一并感谢中国科学院地理与湖泊研究所的老师们在研究中给予的支持与帮助!史运良教授、许有鹏教授、都金康副教授、张兴奇副教授、胡维平研究员、姜加虎研究员、梁忠民教授、刘凌教授等都为本书提出了很多宝贵的意见,在此深表感谢!感谢柳艺博、吕春光、朱敬芳等在地表覆盖数据的整理、统计方面提供的帮助!感谢赵华清、荣洁、冷辉、宋丹丹、李娜、胡玮等在研究过程中给予的帮助,谢谢你们!

由于作者水平与时间限制,本书目前只是初步成果,许多方面还有待进一步深入分析和完善,书中不妥之处敬请读者批评指正。

曾春芬
2013年4月

目 录

1 绪 论	1
1.1 研究背景、选题目的与研究意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 选题目的	2
1.1.3 研究意义	3
1.2 地表覆盖变化水文效应研究进展	4
1.2.1 地表覆盖变化的水文响应研究进展	4
1.2.2 RS 与 GIS 支撑下水文研究进展	8
1.2.3 地表覆盖数据分辨率与分类体系水文响应研究进展	18
1.2.4 问题与展望	19
1.3 研究内容和技术路线	20
1.3.1 研究内容	20
1.3.2 技术路线	21
2 地表覆盖数据的差异与变化特征	23
2.1 数据来源	23
2.2 遥感影像分辨率引起的地表覆盖遥感分类数据差异	24
2.2.1 苏北片区的地表覆盖遥感分类数据概况	24
2.2.2 秦淮河流域地表覆盖遥感分类数据概况	32
2.2.3 太湖流域地表覆盖遥感分类数据概况	35
2.3 不同时期地表覆盖变化特征	41
2.4 本章小结	42

3	地表覆盖遥感数据分辨率对水资源评估的影响——以江苏省苏北片 区为例	43
3.1	典型研究区概况与资料情况	43
3.1.1	江苏省苏北片区概况	43
3.1.2	水文资料	47
3.2	水资源估算模型	48
3.2.1	水面产流模式	48
3.2.2	城镇产流模式	49
3.2.3	水田产流模式	49
3.2.4	旱地产流模式	50
3.3	模型模拟与结果	51
3.3.1	地表水资源模拟结果	51
3.3.2	地表水资源评估的影响因素	54
3.4	本章小结	63
4	地表覆盖遥感数据分类类别对流域径流量的影响——以秦淮河流域 为例	65
4.1	典型研究区概况与资料情况	65
4.1.1	秦淮河流域概况	65
4.1.2	水文资料等基础资料	66
4.2	SWAT 模型数据库建立	67
4.2.1	SWAT 模型水文模块基本原理	67
4.2.2	SWAT 模型数据库建立	67
4.3	模型模拟结果与结论	73
4.3.1	SWAT 模型模拟与校准	73
4.3.2	不同土地利用分类体系地表覆盖遥感分类数据的模拟 结果	75
4.4	本章结论	81
5	地表覆盖变化及其分辨率对水文过程研究的影响——以太湖流域为 例	83
5.1	典型研究区概况与资料情况	83

5.1.1	太湖流域概况	83
5.1.2	水文资料	88
5.2	太湖河网水文模型的建立	89
5.2.1	降雨产流模块	89
5.2.2	山丘及平原汇流模块	91
5.2.3	河网水流运动模块	91
5.2.4	概化结果	93
5.2.5	产流量计算	93
5.3	代表站点水位模拟验证结果	96
5.3.1	水位模拟验证结果	96
5.3.2	分区交换水量模拟验证结果	97
5.4	基于地表覆盖遥感分类数据的太湖流域水文过程模拟对比研究	99
5.4.1	基于不同分辨率地表覆盖遥感分类数据的流域产流模拟结果	99
5.4.2	基于不同分辨率地表覆盖遥感分类数据流域水文过程模拟结果	105
5.4.3	基于相同地表覆盖遥感分类数据降雨对流域水文过程的影响	111
5.4.4	基于不同时期地表覆盖遥感分类数据对流域水文过程模拟结果	112
5.5	本章结论	113
6	研究成果与展望	117
6.1	主要研究成果	117
6.2	创新点	120
6.3	研究展望	121
	参 考 文 献	122
	附录	140

1 绪论

1.1 研究背景、选题目的与研究意义

1.1.1 研究背景

水是生命的源泉,是人类生存与社会发展均不可缺少的物质基础。水文学也因此成为国际地球科学发展里的一个重要方面^[1]。水文水资源是地球科学的重要分支之一。它是一门研究水的起源、分布、循环等变化规律及其与地理环境、人类活动之间相互关系的科学^[2-3]。随着社会发展以及城市化进程的加快,用水矛盾越来越突出,水文学研究需要解决的问题越来越复杂。遥感技术在水文学中的广泛应用,推动了水文学的研究发展,但遥感技术如何更好地推动水文学发展是亟待研究的学术问题。

2005年由“国际水文科学协会(IAHS)”主持召开了第七届国际水文科学大会^[2]。从20世纪70年代到现在,国际相关组织(如IHP、WCRP、IGBP、GWSP等)实施了一系列国际水科学计划,旨在通过促进不同学科交叉发展的途径来研究全球环境变化与人类活动影响下的水资源循环与水问题^[4]。环境的变化对水资源循环的影响研究成为了21世纪水科学的研究热点之一^[1]。国际水文学研究的趋势是日益重视人类活动对水文情势的影响以及与环境相互作用等领域的研究^[3]。

地表覆被研究是一个跨地理学、生态学和环环境学三门学科的交叉学科,其基础性很强,也是地理学研究中地形、水文、土壤和生物等要素相互作用最强烈的地球表层科学综合研究领域^[5]。地表覆被变化是影响气候、生态的重要驱动力,受到国际组织及学者们的高度关注。土地利用/覆被的变化,改变地球表面物理特征,影响与气候直接有关的地表与大气之间能量、水分和动量交换过程^[5,6],从而影响地表水文过程^[7]。地表覆

盖变化作为全球环境变化的下垫面影响因素,成为全球环境变化的重要研究内容之一,近年来受到国内外学者们的高度关注,其研究取得了瞩目的成果^[8]。地表覆盖变化是“变化环境”的主要表现之一,直接体现和反映了人类活动的影响水平^[9]。研究结果表明:地表覆盖变化体现了人类活动的干扰程度,是水文变化的主要驱动要素之一^[10,11],是直接或间接影响水文过程的第二个主要边界条件^[12],最终将对流域生态、水土资源合理配置、城市防灾减灾及区域社会经济可持续发展等方面产生显著的影响作用^[13]。地表覆盖变化水文响应的研究成为目前甚至未来几十年的研究热点之一^[4]。如何更有效地揭示地表覆盖变化对水文过程的影响,是目前亟待解决的问题。

遥感技术在水文学中的广泛应用,极大地拓宽了水文学研究的领域,并促进水文学更深一步的研究。但是因为遥感信息的分辨率的影响以及水文学自身问题的复杂性^[14],遥感水文的应用产生了一些困难和问题,影响了遥感在水文研究中的应用。总而言之,遥感技术的发展为水文尺度问题的研究提供了新的技术手段,为遥感水文应用增添了新的亮点,使水文学迈上新的台阶^[15,16]。

水资源评价起始于 19 世纪末期,一开始称为流域水量统计工作。1977 年联合国在马德普拉塔召开的世界水会议决议中,强调水资源评价是保证水资源持续开发和管理的的前提。此后,20 世纪 90 年代的“新德里宣言”、“都柏林宣言”以及“21 世纪议程”等均强调水资源评价的重要性^[17]。这标志着水资源评价研究成为全球关注的研究热点^[17]。国际水文计划从第四个阶段开始,日益强调和重视水资源的调查和评价。“3S”技术在很多学科上的应用推动了学科发展,其应用于水资源评估是否适用,其发展给水资源评估造成的影响如何,是值得钻研的科研问题。

1.1.2 选题目的

1) 选题目的

地表水文过程的模拟与水资源评估是水文学科的重要研究领域,同时也是关系民生的科学问题。传统研究方法在资料获取方面难度较大,花费高、耗时长,并且大范围的研究区域难度更大。遥感技术的应用,能快速、经济、大量地获取相关数据,为地表水文过程的模拟和水资源评估提供有力支撑。但是,基于现有的遥感影像分辨率及不同分类体系土地

利用分类类别差异以及水科学的复杂性,遥感在水文方面的应用产生了困难和问题,并限制了遥感在水文学科的适用性。目前相关应用研究,一方面采取的是根据课题要求解译遥感影像获取所需数据,这样费力耗时,且常常重复性劳动;同时水文学研究者相应技能不如遥感、GIS 方面的学者,并不一定能取得满意的结果。另一方面,运用其他人现有的地表覆盖遥感分类数据,往往存在适用性问题而影响模拟数据的准确性。因此,本书基于易于通过共享获取的不同分辨率与不同土地利用分类类别的地表覆盖遥感分类数据,进行地表覆盖遥感分类数据分辨率、分类类别对水文过程模拟及水资源评估的影响研究。一方面探讨可通过共享获取的不同分辨率与不同土地利用分类类别地表覆盖遥感分类数据在水文研究方面的适用性,另一方面探讨水文研究对地表覆盖遥感分类数据的分辨率与分类类别的敏感性和要求,为水文研究的地表覆盖遥感分类数据选取提供参考。同时,通过此研究反馈出水文应用对遥感数据的要求,使遥感专家们在进行相关研究时更清楚水文学应用对遥感数据的需求,可推动遥感和水文学的学科交叉发展。

2) 研究区选定

江苏省社会经济发展迅速,地表覆盖变化较大,河网水系密布,满足选题的研究区条件。在该区域进行相关应用性研究具有学术意义与实际应用价值,但全江苏省范围过大,于是本书选择该区域研究基础较好的三个研究区,分别属于苏北、苏中、苏南不同地区,综合反映地表覆盖遥感分类数据在江苏省的应用效果。基于研究的实用价值与研究基础,本书选取包括南水北调干线受水区区域在内的江苏省苏北片区为研究区,评价地表覆盖遥感分类数据分辨率对地表水资源评估的影响;选取城市化快速发展的太湖流域为研究区,基于河网水文模型进行地表覆盖遥感分类数据分辨率流域水文过程模拟的影响以及地表覆盖变化的区域水文效应研究;选取已有 SWAT 模型成功应用的秦淮河流域为研究区,采用 SWAT 模型分析不同土地利用分类类别对区域径流模拟的影响作用。

1.1.3 研究意义

在全球环境变化问题中,地表覆盖变化是自然与人文过程交叉最为密切的要素^[18-24]。地表覆盖变化对地表水文过程的影响研究是目前的研究热点,处于研究领域前沿^[25-39]。基于不同时期地表覆盖遥感分类数据探讨

高速城市化区域的地表覆盖变化的水文响应,对区域水资源利用与可持续发展意义重大。地表覆盖遥感分类数据的分辨率、分类类别是水文模型模拟精度的主要影响因素之一。其研究对水文问题有重要的作用,因此具有重大的科学意义^[14]。国内外到目前为止开展了很多地表覆盖变化的水文效应、环境效应方面的研究^[40-47],但往往只是证实了地表覆盖变化对水文与水环境产生影响^[48-56],而量化地描述地表覆盖变化的影响作用的研究,特别是遥感影像的分辨率与分类类别引起地表覆盖遥感分类数据变化对水文模拟结果的影响研究比较少见^[57-59]。本书从水文学研究当前的研究热点出发,基于不同保证率水文资料 and 不同时期地表覆盖遥感分类数据进行了地表覆盖遥感分类数据的分辨率、分类类别对水文模拟的影响以及降雨与地表覆盖变化对流域水文过程影响的综合探讨性研究,尝试提出一些新的研究思路和方法,具有较强的学术开拓和科学创新意义。

其次,水资源评估是水资源利用的基础,是水资源可持续开发与管理的依据^[17],也是区域经济发展和人民生活的重要保障。降水是水资源量变化的主导因素之一,而人类活动影响造成的流域下垫面条件变化对水资源量的影响也相当重要。“3S”技术的发展,为获取流域下垫面变化情况提供了方便,但其准确性会影响水资源评估的精度。因此,本书基于不同分辨率的地表覆盖遥感分类数据,研究“3S”技术对水资源评估准确性的影响,为该地区水资源供需与总量控制提供基础依据,具有极强的科学意义与实际应用价值。

1.2 地表覆盖变化水文效应研究进展

1.2.1 地表覆盖变化的水文响应研究进展

1) 地表覆盖变化研究进展

“3S”技术的发展,为土地利用/覆被数据的获取提供了方便,推动了土地利用/覆被的研究。土地覆被是指覆盖地面的自然物体和人工建筑物,反映的是地球表面情况^[59-71]。土地利用是指人类对土地自然属性的利用方式和状况,它反映的是人类活动^[59,72-76]。地表覆盖变化不仅改变地球的表面反照率和存贮碳的能力,还影响物质的循环和能量的分配^[8]。地表覆盖变化与全球变暖、环境污染、生物多样性减少、水土大量流失、土地的荒漠化等环境问题息息相关,也是全球环境变化的主要体现和原因

之一^[8,60-63]。1995年,国际科学联合会的“国际生物圈计划”和国际社会科学联合会的“国际全球环境变化人文因素计划”两大国际计划一起拟定和发表了“LUCC 科学研究计划”,并将此计划列入核心项目^[8]。1996年,在荷兰举行的国际会议上提出了与地表覆盖变化研究有关的5个框架问题和3个重点研究领域^[60,64]。之后,引发了地表覆盖变化研究热潮,其他国际组织和国家也启动相关研究项目,取得了一系列成果^[8,77-88]。

(1) 地表覆盖时空变化研究

研究者们通常采用GIS的空间叠加分析功能来评价与分析研究区地表覆盖的变化,基于土地利用类型转换矩阵的计算可以确定其相互的转换情况^[8,65,66]。邵怀勇等^[67]建立了转出速度、转入速度、综合动态度、状态指数等模型,应用遥感和GIS技术及数理统计学的方法,深入而全面地研究了三峡工程实施十年间开县地表覆盖变化的过程。高照良等^[68]利用景观格局数量指标算法,并运用马尔可夫链转移矩阵研究不同时段土地利用/覆被的时空变化以及变化趋势。杨桃等^[69]的研究结果显示:长岭县的土地利用变化总趋势是耕地、林地和盐碱地面积不同程度的增加,草地面积的大量减少,并伴随着日益加剧的沙化和盐碱化。邹滨等^[70]全面分析了通榆县22年来地表覆盖类型的时空景观变化特征。其中研究区地表覆盖在时序上也呈现出草地迅速减少、重度盐碱地大面积增加的趋势;在空间景观上呈现出耕地、草地、林地高度破碎与重度盐碱地高度集聚的特征。

(2) 地表覆盖变化模拟模型研究

常用于预测地表覆盖变化的数量的相关模型主要有:随机模型、优化模型、着重于过程的模型等^[82];用于研究空间变化的模型通常是基于地表覆盖变化和驱动因子之间的经验性定量关系以及与动态模拟相结合的模型,主要有土地利用及其效应转变的模型、元胞自动机(CA)模型、土地利用及其影响模型^[83]、土地利用/覆被长期变化预测模型等^[84]。杨梅等^[85]着重分析了土地利用与土地覆被变化的驱动力机制及其模型研究的国内外进展,并总结了各个模型的特点及其适用范围,在这里不一一具体阐述。很多学者采用模型模拟地表覆盖变化。例如,Clarke等^[86]模拟了美国旧金山地区的城市发展;White等^[87]运用约束性CA模型成功模拟了辛辛那提土地利用的变化;Li X等^[89]进行了东莞市的城市扩张系列研究。CA-Markov模型不仅具有CA模型的模拟复杂空间变化能力

还具备 Markov 模型的长期预测优势。因此它既提高了预测精度,还可以有效地模拟空间变化,有较强的科学性与实用性。刘淑艳等^[90]利用该模型进行了黄土高原流域的土地利用未来时空变化模拟。

2) 地表覆盖变化的水文响应研究进展

目前的研究结果表明,在短时间尺度上,地表覆盖变化是水文变化的主要驱动要素之一^[10,91]。地表覆盖变化改变了地表植被的截留量、地表蒸发及土壤水分的入渗能力,进而对流域的水文情势、产汇流机制以及水量平衡产生影响^[92-96],进而对水文过程产生影响。王腊春等^[45]、许有鹏等^[95]、王艳君等^[57]、刘敏等^[97]等都对接江三角洲地表覆盖变化的水文响应做了一些研究。尽管研究区域和研究方法不同,但研究结论都表明地表覆盖变化是导致径流量变化的主要因素之一。近年来,地表覆盖变化的水文效应研究已成为国际水文研究的前沿和重点^[96]。Bronstert 等(2002)总结了影响水文过程与水文循环的土地利用变化/覆被因素,得出的结论是:在区域尺度上影响水文过程的主要因素为植被变化、河道水网的改变、农业开发活动、道路建设以及城镇化等^[4,93]。本书针对各类下垫面变化的水文响应分别总结地表覆盖变化水文响应的研究进展。

(1) 城镇化水文响应研究

不透水面积变化的水文响应是城镇化的水文响应的主要表现。城镇化对下垫面的影响就是不透水面积大量增加^[94]。城镇化是影响水文过程最主要的地表覆盖变化表现之一^[93]。伴随着城镇化进程的不断加快、经济的发展与人口的迅猛增长,城镇及其周围区域的其他土地利用类型均不同程度地转变为城镇用地,这就使得不透水面积急剧增加。这些变化均非常显著地影响雨水的截留、下渗、蒸发等水文要素以及产汇流过程^[13,47,98,99],影响流域的水资源循环过程,导致径流系数变大、洪峰流量增大、汇流时间缩短、洪水波形更尖陡、基流量减少等情况发生,加大了洪涝灾害发生的频率和强度^[100-103]。20 世纪 60 年代起,国外就开始了城镇化水文响应的相关研究。Leopold 等^[104]陆续展开城镇化对洪水过程的影响研究,结果表明城镇化发展使洪峰流量达到未开发时的 2~5 倍,迟滞时间是开发之前的 1/2~1/5,且城镇化流域洪水发生更为频繁。Hammer^[105]和 Hollis^[106]的研究成果均表明,流域内的不透水面积比例达 10%或以上时,会对流域水文过程产生重要的影响。Brun 和 Band^[107]对城镇化导致流域径流过程变化的研究,表明当不透水面积比例超过