

WEIHELIOUYU SHUIZILYUAN

KONGJIAN BIANYI TEZHENG YANJIU

渭河流域水资源空间变异 特征研究

严宝文 李 扬 冯小庆 方 立 著



黄河水利出版社

渭河流域水资源空间变异特征研究

严宝文 李 扬 冯小庆 方 立 著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书从 GIS 和分形理论在水资源研究中的进展分析入手,研究了渭河干支流各主要水文站的旬、月和年径流过程的分形特征,建立了径流过程分维数与流域生态环境状况之间的定量关系。分时段对渭河关中段中部选取典型井进行了地下水质和水位空间变异特征的研讨。主要包括:国内外研究历史与现状、渭河流域径流过程分形特征研究、渭河关中段地下水水质空间分异特征、渭河关中段地下水位动态及其分形特征研究。

本书适合水文与水资源工程、环境工程、农业水土工程等领域的科技工作者参考使用,也可作为高等院校相关专业本科生和研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

渭河流域水资源空间变异特征研究/严宝文等著. —郑州:
黄河水利出版社,2011. 12
ISBN 978 - 7 - 5509 - 0152 - 0

I. ①渭… II. ①严… III. ①渭河 - 流域 - 水资源 -
空间 - 变异 - 研究 IV. ①TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 249205 号

策划编辑:李洪良 电话:0371-66024331 邮箱:hongliang0013@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail: hhsclchs@126.com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:787 mm × 1092 mm 1/16

印张:9.5

字数:175千字

印数:1—1 000

版次:2011年12月第1版

印次:2011年12月第1次印刷

定价:35.00元

前 言

水资源是指与人类社会用水密切相关而又能不断更新的淡水,包括地表水、地下水和土壤水。受特殊地理位置的制约,我国水资源地区分布极不均匀,水资源分布与土地资源和生产力布局不相匹配,加之气候变化和人类活动对下垫面条件的影响,近年来我国水资源情势发生了显著变化,大部分地区水资源量明显减少,而地表水资源的污染问题多年来难以解决。同时受到现有工程调蓄能力、供水保障程度的限制,水资源供需矛盾日益严重。为了维持经济社会的发展,又不得不大量开采地下水,导致地下水开采量亦呈持续增长趋势。

水资源系统是一个复杂的系统,地表水和地下水两种水资源形式以及它们的构成要素的时空变化具有高度的非线性特点。以 GIS 为技术平台,运用分形理论对水资源系统演化的非线性规律进行研究,可从复杂的水资源系统运动中发现其内在的、有序的、确定性的规律,更全面地揭示水资源动力系统的复杂运动特征。

渭河流域具有悠久的古代文明,是中华民族文明历史的摇篮,也是我国最早利用和改造水资源体系的地区,其水资源时空分布特征及其空间变异特点直接关系到该区域人民生活质量的高低和流域内社会、经济的可持续发展。因此,运用新的理论与方法对该流域的地表水和地下水资源要素的空间分异特征展开研究,是具有理论与实践双重意义的重要课题。

本书在综合分析了 GIS 和分形理论在水资源空间变异特征研究中的研究进展之后,着眼于渭河流域生态环境状况的改善与生态环境建设的需要,以径流序列的分形研究为依据,运用 GIS 中的分维数计算工具 Hawth's Analysis Tools,对渭河干流和两岸主要支流年、月、旬不同时段径流过程分维数的计算研究,建立径流过程分维数与流域生态环境状况的关系,获得评判研究区域生态环境状况的分形学量化指标。

本书选取宝鸡峡灌区咸阳段五个县(区)作为研究对象,使用 ArcGIS 9.2 软件对研究区监测井地下水水质进行空间分析,获得主要指标分类等级的一系列图表成果,直观地表达了研究区水质指标在几年间的变化;综合运用 ArcGIS 9.2 软件和分形理论求取研究区不同年段逐旬地下水位过程线的分维数和同期降水量分维数,对研究区内若干典型观测井的地下水位过程线及其分维数的变化规律进行研究,分析了研究区地下水位动态的分形特征和空间分异特征,同时探讨了降水量分形特征与地下水位分形特征的关系。

在以上研究的基础上,本书还针对性地提出了若干流域生态环境保护和水资源保护的措施建议。

本书得到了陕西省自然科学基金项目(2005D06)、西北农林科技大学 2009 年度基础科研费项目基金(QN2009090)和西北农林科技大学 2009 年度留学回国人员科研启动费项目(Z111020905)的支持和资助。

作者十分感谢西北农林科技大学水利与建筑工程学院水资源与环境工程系全体教师的大力支持和帮助,非常感谢西北农林科技大学水利与建筑工程学院宋松柏教授、王双银副教授给予的关心。在研究过程中,他们在本书研究内容和方法方面提出了许多宝贵意见和建议。感谢黄河水利出版社的同仁为本书出版付出的辛勤劳动。书中参考了我国有关单位和个人的研究成果和文献,均在参考文献中列出,在此一并致谢。

本书由西北农林科技大学严宝文教授、李扬博士、冯小庆硕士负责编写,黄河水利委员会水文局方立工程师参与了部分研究和编写工作,严宝文负责整汇与最后统稿。由于本书研究属水资源与水环境研究的综合性科学问题,研究的理论范畴和时间的跨度都较大,其中许多问题仍在研究和探索阶段,加之作者水平有限,虽经多次修改,但难免有很多不足和缺陷,敬请读者不吝赐教,作者不胜感激。

作 者

2011 年 8 月

目 录

前 言

第 1 章 综 述	(1)
1.1 研究背景	(1)
1.2 研究意义和目的	(4)
1.3 研究内容与方法	(7)
第 2 章 分形理论与 GIS 技术	(11)
2.1 分形理论简述	(11)
2.2 GIS 技术	(19)
2.3 国内外研究进展	(21)
第 3 章 渭河流域径流过程的分形特征研究	(29)
3.1 研究区概况	(29)
3.2 数据处理	(37)
3.3 数据分析	(49)
3.4 小结	(56)
3.5 洛河水系的分形特征研究	(57)
第 4 章 径流过程的分形特征与生态环境的关系	(68)
4.1 径流分维数与流域生态环境的关系	(68)
4.2 小结	(71)
第 5 章 地下水空间分异特征研究区概况	(73)
5.1 简介	(73)
5.2 研究区地理位置	(74)
5.3 气候条件	(74)
5.4 地形地貌条件	(75)
5.5 水资源状况	(77)
第 6 章 地下水资料的前期处理	(78)
6.1 初期资料处理方法	(78)
6.2 水质空间分布分析方法	(80)
6.3 地下水水位分时段逐月平均水位 TIN 表面图层绘制方法	(82)
6.4 地下水水位分维数及降水量分维数计算方法	(83)

第 7 章	研究区地下水水质空间分布特征	(85)
7.1	方法简介	(85)
7.2	研究区地下水水质空间分布特征分析	(86)
7.3	小结	(100)
第 8 章	研究区地下水水位动态及其分形特征研究	(102)
8.1	概述及方法简介	(102)
8.2	研究区地下水水位动态特征分析	(103)
8.3	研究区地下水水位分形特征研究	(118)
8.4	小结	(122)
第 9 章	降水量分形特征及其与地下水水位分形特征关系研究	(124)
9.1	概述及方法简介	(124)
9.2	研究区降水量分形特征研究	(124)
9.3	降水量分形特征与地下水水位分形特征的关系	(127)
9.4	小结	(128)
第 10 章	结论及建议	(130)
10.1	径流分形特征研究结论	(130)
10.2	径流分形特征研究建议和展望	(130)
10.3	地下水分形特征研究结论	(131)
10.4	地下水分形特征研究存在问题及建议	(134)
参考文献		(136)
致 谢		(144)

第1章 综 述

1.1 研究背景

1.1.1 非线性科学的发展

20 世纪 70 年代以来,以混沌、分形及孤子理论为主体的非线性科学的问世,引发了对复杂性问题的研究,使人们逐渐认识到非线性因素是这种复杂性问题的集中表现。通过单一的一维非线性映射,发现倍周期分叉现象的普适常数和时间演化中趋向混沌并出现奇异吸引子等非线性问题的共同特点。由此启发人们突破不同学科的局限性,研究不同学科存在的非线性问题的共性,从而形成了综合性、交叉性相结合的前沿学科——非线性科学,被誉为 20 世纪自然科学的“第三次革命”(陈予恕,1992;刘式达和刘式适,1989;魏诺,2004)。科学家们认为:非线性科学的研究不仅具有重大的科学意义,而且具有广泛的应用前景,它几乎涉及自然科学和社会科学的各个领域,并正在改变人们对于现实世界的传统看法。在非线性科学的研究中,已涉及对确定性与随机性、有序与无序、偶然性与必然性、量变与质变、整体与局部等范畴和概念的重新认识,它将深刻地影响人类的思维方式。非线性理论及其应用是当今世界范围内的一个极富挑战性的研究课题,具有广阔的应用前景。

作为非线性科学研究的前沿,分形理论从 20 世纪 70 年代中期由 Mandelbrot 创立以来,在许多领域得到了广泛应用(冯平和冯炎,1993;李后强和艾南山,1992)。世界在本质上是非线性的,而分形是非线性特征的几何表现,因此分形性是大自然的一种基本属性。分形理论承认世界的局部可能在一定的条件、过程的某一方面(形态、结构、功能、信息、时间、能量等)表现出与整体相似的特征,它承认空间维数的变化可以是离散的整数也可以是连续的分数,因而扩展了人们的视野。

1.1.2 水文现象的分形特性

水文现象随时间而变化,一般称为水文过程。大量实测资料表明,实际的水文过程既受到确定因素的作用,又受到随机因素的作用(丁晶和侯玉,1988),是

非常错综复杂的非线性过程。但是不管水文过程如何复杂,一般地说,与其他自然现象一样,表现在水文现象上面总具有它的非线性、随机性和确定性、相似性(方崇惠和锥文生,2005;金保明,2008)。

水文过程具有随机性和非线性,主要是受到水文过程形成和演变过程中的许许多多随机因素的影响,如径流(流量)过程的形成和演变中,受到降水量的大小、时间及空间分布的随机性影响,受到下垫面的地形、地势、地质、植被、湖泊、土壤及其含水量等众多随机因素影响。因此,随机的径流(流量)过程表现出非线性的分形理论特征(陈腊娇和冯利华,2006)。

与此同时,水文过程又受确定性因素的影响,突出表现在过程中年、季节甚至日等周期性变化。如日、旬、月径流(流量)过程明显存在以年为周期的变化。这是由于影响水文过程的主要因素——气候因素存在以年为周期的季节变化,这种水文过程局部(年际间)与整体(长系列)的关系对分形理论来说,即称为水文过程年际间的自相似性。

因此,日、旬、月径流过程年内分布等水文现象具有确定性与相似性、随机性与非线性,与分形理论研究的对象一致,可应用分形理论研究。

1.1.3 地下水资源开发面临的问题

地下水资源是水资源的重要组成部分,是构成并影响生态环境的重要因素,在经济社会可持续发展中具有重要地位。地下水具有水质好、分布广、供水延续时间长等优点,相比地表水来说往往是更为宝贵的供水水源,尤其在干旱、半干旱地区,是主要甚至唯一的可用水源。在世界各国供水量中,地下水占很大比例,如丹麦、利比亚、沙特阿拉伯与马耳他等国均占 100%,圭亚那、比利时和塞浦路斯等国占 80%~90%,德国、荷兰与以色列占 67%~75%,苏联占 24%,美国占 20%。美国 1/3 的水浇地依赖地下水灌溉。苏联地下水开采量达 700 m^3/s ,其中 1/3 用于城市供水,1/3 用于农田灌溉(朱济成,2007)。

据勘察,目前我国地下水资源的总量达 8 700 亿 m^3/a ,占全国平均水资源总量(28 000 亿 m^3/a)的 31% 左右,其中能够直接开发利用的每年约 2 900 亿 m^3 。我国南方和北方地区的地下水资源分布不平衡,北方 15 个省(市、区)和苏北、皖北地区的地下水资源量约有 3 000 亿 m^3/a ,约占北方水资源总量的一半;南方各省(市、区)的地下水资源量约有 5 000 多亿 m^3/a (朱济成,2007)。我国地下水资源的分布同地表水一样,都呈现南多北少的特点。

在我国,地下水对居民生活、工农业生产和城乡建设起着重要的作用。在北方大多数河流干涸的地区和南方远离河流的地区,都依赖地下水作为主要的水源。对我国 181 座大中型城市的统计显示,采用地下水供水的城市有 60 多座,

占1/3以上;采用地下水与地表水联合供水的城市有40多座,占1/5以上。特别是在地表水缺乏的北方地区,地下水对于解决城市供水的作用更为重要,如华北地区27个主要城市的地下水开采量占城市总用水量的87%。目前,北京、沈阳、西安、大连等城市地下水的日开采量均达到了100万 m^3 以上。据统计,现在我国城市和工业地下水使用量已超过150亿 m^3/a ,约占全国地下水年开采总量的20%以上。在地面水源不足、降雨较少的干旱地区,开发利用地下水已成为水利建设的一个重要方面,是农业生产上抗旱保丰收的必要手段。北方17个省(市、区)目前已有农业机井200多万眼,每年开采地下水超过400亿 m^3 ,占全国地下水年开采总量的50%以上,灌溉农田面积为1.7亿亩^①以上(朱济成,2007)。

20世纪80年代以来,我国地下水资源开发利用规模迅速扩大。目前,全国地下水年供水量为1039亿 m^3 ,占总供水量的18.4%,全国661个城市有400多个将地下水作为重要供水水源(高而坤,2007)。然而,我国地下水资源主要分布在长江以南的南方地区,由于干旱和地表水资源相对缺乏,地下水资源量仅占我国地下水资源总量的1/3的北方地区,却是我国地下水开采量最大的地区。特别是西北地区,超采地下水现象分布广、程度深,情况十分严重。

地下水大规模过量开发和保护滞后带来了两个突出问题,即地下水水位的持续下降和地下水污染的日趋加剧。

长期超采导致的地下水位大幅度下降,会导致泉水断流、水源枯竭,甚至造成地裂缝,以及土壤盐渍化、湿地消失、植被退化、土地沙化等环境问题,对城市基础设施构成严重威胁,在干旱少雨的西北地区,生态环境因此愈加恶劣。目前,全国地下水超采区已从20世纪80年代初的56个发展到164个,超采面积从8.7万 km^2 扩展到18万 km^2 ,年超采地下水117亿 m^3 ,深层地下水超采43亿 m^3 。地下水超采造成水位持续下降,形成大面积降落漏斗。长江三角洲平原区、环渤海、河北平原、东南沿海平原、河谷平原和山间盆地因超采地下水发生了不同程度的地面沉降,全国地面沉降面积已超过6万 km^2 ,损失巨大。地下水超采还加剧了土地沙化和荒漠化趋势,引发了沿海地区的海水入侵。

同时,全国平原区浅层地下水中约有26%的面积受到不同程度的人为污染,面积约达51万 km^2 ,其中IV类污染区占13.4%,V类污染区占12.7%,太湖流域、辽河、淮河、海河区污染最为严重。1998~2006年,全国2/3城市地下水水质普遍下降,300多个城市由于地下水污染造成供水紧张(国土资源部,2008),危及人民群众的饮水安全和身体健康。

由此可见,随着人类对地下水资源掠夺式的开采利用和保护滞后导致的地

①1亩=1/15 $\text{hm}^2 \approx 666.67\text{m}^2$ 。

面沉降、地下水水质恶化等现象日趋严重,而地下水的空间分布形态和变化规律受人为影响也越来越大。因此,加强对地下水的重要性和保护地下水的必要性的认识,并在目前地下水的人为影响不断增加的情形下,进一步掌握地下水时间和空间上的分布特征及其变化规律,了解其水质变化情况,对于今后合理开采地下水、保护地下水资源及地下水的优化配置管理有着重要的意义。

1.2 研究意义和目的

1.2.1 研究意义

水文系统是一个复杂的系统,水文要素的时空变化具有高度的非线性特点。一方面,它是地球大气圈环境内相互作用和依赖的若干水文要素组成的具有水文循环与演化功能的整体;另一方面,它又受地球及宇宙自然力的作用及来自人类的不同程度的生产活动的影响,从而形成了水文系统复杂的演化规律(刘昌明,1997)。根据水文要素变化的非线性特点,引进新的分析途径是十分必要的。

传统的确定性方法或随机性方法都有一定的局限性。而非线性科学和水文科学的结合,则产生了一个新的研究领域。运用分形理论对水文系统演化的非线性规律研究,可从复杂水文系统运动中发现其内在的、有序的、确定性规律,更全面地揭示水文动力系统的复杂运动特征。由于该方面的研究尚处于初级阶段,认识还不够深入,需要研究和解决的问题很多。因此,开展非线性理论及其应用的研究,从分形角度去认识水文系统的演变规律,对于丰富水文学研究的内容、推动水文科学的发展具有重要的现实意义和科学价值。

随着现代科学技术的不断进步,水文预测的理论和方法得到了很大的发展,而随着非线性科学的发展,人们对时间序列的复杂性有了新的认识和借助手段,试图用分形理论来揭示径流的预测规律,也是水文预测发展的方向。这将为流域水资源的可持续利用和合理调配提供科技支持,必将对水资源系统的经济、高效、安全运行提供决策支持,使其产生巨大的经济、社会效益和生态环境效益。

分形理论主要研究自然界的不规则现象及其内在规律,为描述复杂几何形体指明了方向。它把传统的确定论思想与随机论思想结合在一起,使人们对于诸如布朗(Brown)运动、湍流(Turbulence)等大自然中的众多复杂现象有了更加深刻的认识,并且在材料科学、计算机图形学、动力学等多个学科领域中被广泛应用,称为非线性科学研究的一个十分重要的分支。分形一般指整体的组成部分与整体以某种方式相似的形态,其理论的精髓就是自相似性。这种自相似性不局限于几何形态的相似而具有更广泛的深刻的含义。它的局部与整体在多方

面具有统计意义的相似性。衡量自相似性的定量参数就是分维数,即其自由度。分形主要从探索部分出发来确定整体的性质,就是一种对自然界从部分到整体的一种认识。在水文中存在很多的自相似性,例如流域水系是一种分枝形态,大流域和小流域的水系在一定程度上存在着自相似性,因此水系就可以是一种分形,这是流域几何形态方面特征要素的分形。就时间而言,水位、流量、含沙量过程线在一定范围内具有分形特性,水文过程线是随时间变化的、连续的过程线,其复杂性在统计意义上来说,整体的复杂性是由于部分的复杂所体现、反映的。因此,可以通过分形理论来分析水文过程的复杂性,并用分维数对其过程线的复杂程度进行定量的描述。

径流过程的变化特性是水文分析的重点之一。径流过程是一种复杂的水文现象,表现出强烈的非线性特征,要完整而准确地描述这样一种复杂的非线性过程,传统的欧氏几何显得力不从心。目前评价流量过程线时大多仅采用过程线的一些特征值(如峰、总量、平均值)来评价,无法对这些过程线全局或局部作连续的、全面的评价,即缺乏真正意义上的“过程”概念。近年来的研究表明,日径流、多日径流以及年径流序列在一定的时间尺度上呈现自相似性,具有明显的分形特征。而任何一个流域中,日径流和多日径流以及年径流序列存在着各种不同的周期,由于这些周期反映的均是气候和地形植被状况的影响,具有相同或相似的成因,因此各种不同的周期之间应当具有某种相似性联系,即符合分形理论提出的分形基本特征——自相似性和自仿射性。因此,分形可以从新的角度认识径流过程的变化特性,如再结合过程线的峰、总量等指标特征,对径流过程线的评价会更加全面、科学。

分维数可以反映径流过程线的复杂程度,根据森林水文学研究成果,森林覆盖率对河川径流有很大的调节作用,森林植被能够涵养水源,减少洪水流量,增加枯水期流量(王礼先和张志强,2001)。植被覆盖率高,对径流的调节作用增强,使径流过程线趋于平缓,变得简单,径流过程的分维数将变小,而植被覆盖率的大小又是一个地区生态环境优劣的重要指标。一般来说,植被覆盖率高,生态环境优良,反之生态系统脆弱(余姝萍等,2005)。此外,地表岩性、地面坡度等要素也决定着生态系统的结构并且对区域径流过程产生直接的影响。由此可见,径流分维数是区域生态环境的综合结果,一定程度上可以表征一个地区的生态系统状态。

渭河流域具有悠久的古代文明,渭河在陕西境内塑造和滋养的关中平原,是中华民族文明历史的摇篮,其生态环境的好坏直接关系到该区域人民生活质量的高低,也严重影响着流域内社会、经济的可持续发展。长期以来,该地区生态环境趋于恶化,流域径流过程也日趋复杂,如何将该区域径流分维数与生态环境联系起来,建立两者的定性定量关系,是生态水文学研究的一个方向。

而咸阳市位于渭河流域的关中腹地,地形以川原阶地为主,土地肥沃,有悠久的灌溉历史,属于暖温带大陆性季风气候,年平均降水量为 567.9 mm,年降水总量为 58.6 亿 m^3 ,既低于全国平均水平,也低于全省平均水平。咸阳市降水的年内时空分布不均,降水集中在夏秋(初)两季,冬季、春季以及秋末干旱少雨,每年 12 月至次年 3 月降水量很少,仅占到全年降水量的 14% ~ 20%,农业用水要求很难得到满足;同时,咸阳市降水年际变化显著,旱涝交替和连续干旱等灾害时有发生,对农作物的生长极为不利。

渭河干流流经研究区南部,河流侧向补给渭河沿岸附近的地下水,但是范围较小。关中地区潜水补给主要来源于降水入渗,其次是灌溉垂直入渗补给和少量河流侧向补给;承压水的补给来源则只有河流侧向补给及依靠上部潜水越流下渗。按研究区的情况来看,降水入渗补给几乎是唯一的地下水补给来源,而根据咸阳市的降水量实际情况,其年降水量既低于全国平均水平,也低于全省平均水平,而且年内分布不均,年际变化大,对于农业用水的要求很难满足,更难以满足工业生产和人民生活用水的需要。因此,咸阳市成为了全省唯一的工业、生活全部依赖地下水的城市。

但是,在降水量本身都很难满足研究区用水需求的情况下,补给地下水的量更是少之又少,加上长期过度开采地下水,已经导致研究区地下水位 20 年来持续下降,尤以咸阳市区为甚,目前已经形成了 4 个大型降落漏斗区,面积总计 52.37 km^2 。

随着研究区工农业生产的发展和人民生活水平的提高,需水量逐年递增,地下水过度开采的情况还在继续,降落漏斗还在持续扩大,由此引发的水质恶化、地面沉降、地裂缝、建筑裂缝等环境地质问题依然不断加剧。

因此,为了缓解研究区地下水水位不断下降的现状,也为了改善其地下水水质因超采而不断恶化的情况,揭示研究区地下水的时空变异规律,了解其分布状况并分析其水质变化,是实现研究区地下水资源可持续利用和区域可持续发展的前提。但到目前为止,国内有关地下水时空变异特征的研究还比较薄弱,大多集中在地下水水质方面,采用分形理论和地理信息系统对地下水水位时空变异的研究还不多见,研究也不够全面和深入。

针对此类问题,本研究选取宝鸡峡灌区咸阳段五个县(区)作为研究对象,利用 ArcGIS 9.2 软件和分形理论求取不同年段逐旬地下水位过程线的分维数,对研究区内若干典型观测井的地下水位过程线及其分维数的变化规律进行研究,分析了研究区地下水水位动态的分形特征和空间分异特征;同时还计算了研究区同期降水量的分维数,分析了降水量分形特征与地下水水位分形特征的关系;此外,还使用 ArcGIS 9.2 软件对研究区监测井水质进行空间分析,获得主要

指标分类等级的一系列图表,直观地表达了研究区水质指标在几年间的变化。

水质时空分异特征的研究对于探寻地下水污染的来源以及判别污染程度有直接的意义;水位动态的时空分异特征研究对于全面把握地下水资源变化及其自然、人为影响,构建地下水实时监测体系有直接的促进作用。本研究深化了分形理论和 GIS 方法在地下水时空变异特征研究方面的应用,将 GIS 方法用于地下水水质指标的等级划分,形象直观,且有精确的地理坐标支持,对于每一个具体的点,数据的积累和对比都是准确的,若未来研究需要与目前研究成果进行对比,可以避免偏差较大的问题。这样,就可以使分析结果不受不同等级标准的制约,客观准确地反映研究区水质指标的分布状况;此外,本研究采用描述无序自然现象规律性的分形理论,并结合空间分析功能强大的 ArcGIS 9.2 软件,分析研究区地下水位及其分维数的变化规律,并进行面上分布的可视化表达,同时分析研究区降水量的分形特征并研究其对地下水位分维数的影响程度,研究成果对有效提高成果的科学性和普遍适用性能够产生积极作用,同时,研究方法的应用方式和研究结论也可以为研究区的地下水管理及污染治理提供更为科学、准确的依据,从而达到控制研究区地下水超采现象、防止降落漏斗进一步扩大和水质继续恶化的目的。

1.2.2 研究目的

着眼于渭河流域生态环境状况的改善与生态环境建设的需要,以径流序列的分形研究为依据,通过运用 GIS 工具,对渭河干流和主要支流不同旬、月份和不同时段径流过程分维数的分析研究,建立径流过程分维数与流域生态环境状况的关系,获得评判研究区域生态环境状况的分形学量化指标,为流域生态环境建设方案设计奠定基础。

同时,针对国内外采用分形理论、地统计学理论和 GIS 结合方法研究地下水位的实例较为少见的情况,本研究结合分形理论和 ArcGIS 软件对地下水水位变动的时空分布及其分形特征进行了进一步探讨,以期更加准确直观地描述地下水水位变动的空间分异特征,为研究区地下水资源的评价和优化配置提供有效依据。

1.3 研究内容与方法

1.3.1 研究内容

1.3.1.1 渭河径流过程分形特征及其与生态环境状况的关系

本书通过计算渭河流域 9 个水文站(包括林家村、魏家堡、华县、秦安、张家

山、湫头、黑峪口、马渡王、罗敷堡)年、月、旬径流分维数,分析相应水文站旬、月径流序列分形特征关系,探寻渭河流域径流分形特征与流域生态环境状况之间的关系,并将分维数引入径流预测模型,达到通过上游支流站径流资料预测下游干流站径流的目的,以实现基于分形理论的年径流预测,为水资源优化配置及生态环境建设奠定基础。

研究的主要内容包括:

(1)各水文站年、月、旬径流分维数计算。选取渭河干流林家村、魏家堡、华县,北岸支流秦安、张家山、湫头,南山支流黑峪口、马渡王、罗敷堡为研究对象,以 ArcGIS 9.2 为研究平台,根据各站径流资料,计算其年、月、旬径流分维数,并对相关数据进行分析。

(2)径流分维数与区域生态环境之间的关系研究。计算华县站 1971 ~ 1980 年、1981 ~ 1990 年、1991 ~ 1999 年三个典型时段的月径流过程分维数,以此代表渭河流域相应时段分形特征。

研究流域年径流分维数与其上游区域森林覆盖率、植被覆盖率及林草地、耕地总面积占流域面积百分比之间的关系,以探寻流域径流序列分维数与生态环境状况的关系。

1.3.1.2 典型区地下水空间分异特征研究

(1)地下水特征参数与 ArcGIS 软件的技术嵌合研究。即研究如何将地下水监测井的相关要素(如测井位置、高程等)和地下水特征参数(如地下水水位、水质指标值、分维数等)导入 ArcGIS 中,并创建图层及各种分类地图,使研究成果直观精确地描述研究区地下水空间分布特征。

(2)研究区地下水水质空间变异特征研究。通过对研究区水质监测井的各项水质指标值在 ArcGIS 软件中进行 IDW 插值分析,对比不同年份地下水化学成分的变化,分析其空间变异特征;将水质分布与国家标准对照,简要评价研究区地下水水质等级。

(3)研究区地下水水位空间变异特征研究。通过对研究区典型监测井水位的分析得出不同年段研究区地下水水位的变动特征;使用 ArcGIS 软件与 AutoCAD 结合求取研究区地下水水位分维数及各分区降水量分维数,分析地下水水位的空间变异特征和分形特征。

1.3.2 研究方法

1.3.2.1 分形理论

分形维数是分形理论中对非规则、破碎的分形(刘式达和刘式适,1995;张济忠,1995;Mandelbrot,1977)客体进行定量刻画的重要参数,是传统欧氏几何维

数的推广,它表征了分形体的复杂程度。在分形的应用中,分形维数是一个统称,有很多的定义方式,如 Hausdorff 维数、盒维数、相似维数、信息维数、关联维数等,但迄今还没有出现适合所有事物的维数定义。就某一种分形维数的定义而言,它对有些对象是适用的,对另一些对象则可能不适用,例如 Hausdorff 维数是分形几何的理论推导,但只有一小类规则的具有严格自相似性的分形(纯数学分形)才具有 Hausdorff 维数,对实际应用中的很多分形而言,Hausdorff 维数和相似维数都是难以计算的,所以要区别对待,物适其用。日径流过程的分形往往表现出某种随机性和尺度性,即仅在特定的尺度范围内从统计的角度上表现出分形特征。

分维数说明了径流量在时间上分布的不规则性及其随时间变化的复杂程度。由于对径流过程性质研究的着眼点不同,计算其分形维数有多种方法。

第一种方法是计算流量过程线的分形维数,通过计算流量过程线的分形维数来间接地反映径流过程的分形特征,实际上它刻画了流量过程线变化的复杂程度,一般地都是采用盒子数法来计算分形维数(丁晶和刘国东,1999)。

第二种方法是 C-P 算法(Crassberger, P 和 Procaccia, I, 1983),它着眼于径流过程的混沌特征,对一个混沌过程其相空间的吸引子为一分形,通过计算吸引子的分形维数来反映径流过程动力行为的分形特征(傅军等,1995)。

第三种办法是研究径流过程的频谱特征,其能谱与频率之间存在负幂律关系,通过幂律指数与分形维数的关系计算其分形维数(李贤彬,1999)。

此外还包括赫斯特系数法、自相关系数法等都是着眼于径流过程性质的不同侧面而提出的计算方法。

研究表明,盒维数能较好地揭示径流过程变化的复杂程度,适用于径流过程分形特征的描述。丁晶等学者(1999)也认为,在流量过程分维计算中,计盒法为最好。所以该文采用盒维数来计算径流过程的分形。

盒维数是针对连续模型提出的,是一个具有广泛应用的维数,其数学定义如下:

设集合 $A \subset E^n$, E^n 为 n 维欧式空间, $N(\delta, A)$ 表示覆盖集合 A 所需的直径最大为 δ 的集合的最少数目,得到盒维数 $D_B(A)$ 定义为:

$$D_B(A) = - \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\ln N(\delta, A)}{\ln \delta} \quad (1-1)$$

1.3.2.2 地理信息系统方法

地理信息系统即 GIS (Geographic Information System) 系统,是一门综合性学科,已广泛应用于不同领域。地理信息系统是用于输入、存储、查询、分析和显示地理数据的计算机系统,可以分为以下五部分:

(1) 人员, 是 GIS 中最重要的组成部分。开发人员必须定义 GIS 中被执行的各种任务, 开发处理程序。熟练的操作人员通常可以克服 GIS 软件功能的不足, 但是相反的情况就不成立。最好的软件也无法弥补操作人员对 GIS 的一无所知所带来的负作用。

(2) 数据, 精确的可用的数据可以影响到查询和分析的结果。

(3) 硬件, 硬件的性能影响到处理速度、使用是否方便及可能的输出方式。

(4) 软件, 不仅包含 GIS 软件, 还包括各种数据库、绘图、统计、影像处理及其他程序。

(5) 过程, GIS 要求明确定义, 一致的方法来生成正确的可验证的结果。

GIS 属于信息系统的一类, 不同之处在于它能运作和处理地理参照数据。地理参照数据描述地球表面(包括大气层和较浅的地表下空间)空间要素的位置和属性, 在 GIS 中有两种地理数据成分: 空间数据, 与空间要素几何特性有关; 属性数据, 提供空间要素的信息。

总之, GIS 是一个基于数据库管理系统(DBMS)的分析和空间对象的信息系统, 以地理空间数据为操作对象是地理信息系统与其他信息系统的根本区别。