

矿区土地时态特征分析与 时空建模

胡晋山 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

矿区土地时态特征分析与时空建模

胡晋山 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书系统深入地讨论了地下开采引起的矿区土地时空变化的数据模型的表达及其实际应用。

全书共分7章,主要包括:时空数据模型的研究现状与进展,各种时空数据模型的优缺点分析及适用情况;在描述矿区土地时空变化特征的基础上,结合我国现行的土地调查分类方法,针对沉陷土地动态变化进行分类;分析基于特征建模、基于事件建模的相关理论,结合矿区井下开采序列事件、地面破坏序列事件,提出基于特征和事件序列的矿区土地动态变化时空数据模型;通过分析时空推理相关理论及方法,结合现有的开采沉陷预计数学模型,将时间 t 引入开采沉陷预计模型——概率积分法,提出基于时空推理的矿区土地动态复垦时空数据模型;运用面向对象的方法,结合我国大部分矿区坐落在乡镇或村庄,根据矿区采动损害补偿修复的对象,将受采动影响的矿区地表实体划分为点类、线类、面类,提出了基于事件和对象的矿区土地时空数据模型;结合矿区开采实际,对上述三种模型的适应情况运用实例加以验证。

本书可供从事矿区土地规划与复垦、时空数据建模等方向的科技人员参考使用,也可作为高等院校相关专业教师和研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

矿区土地时态特征分析与时空建模/胡晋山著. —

徐州:中国矿业大学出版社, 2013.10

ISBN 978 - 7 - 5646 - 2080 - 6

I. ①矿… II. ①胡… III. ①矿区—土地利用—研究

IV. ①F321.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第242429号

书 名 矿区土地时态特征分析与时空建模

著 者 胡晋山

责任编辑 章 毅 李 敬

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 7.25 字数 176 千字

版次印次 2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月第 1 次印刷

定 价 28.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前言

煤炭是我国最主要的能源,占一次性能源生产和消费的70%左右。煤炭资源开采在对国民经济发展发挥巨大推动作用的同时,也对矿区生态环境安全带来严重负面影响,特别是采煤塌陷破坏了大量耕地,加剧了水土流失和土地荒漠化的进程,恶化了生态环境,严重影响区域可持续发展。

受地下采动影响,矿区地表土地资源信息具有时空动态变化特征,有效地组织沉陷区土地资源的时态数据,方便对历史数据的查询,维持信息的现势性,对土地复垦及规划决策具有重要意义。在矿区,随着地下工作面开采不断向前推进,受开采沉陷影响地表的破坏程度和范围也在逐渐增大,由于矿区地表损害是井下工作面不断向前推进的序列事件所导致的,本书就是在分析现有时空数据模型的基础上,结合开采沉陷引起土地的动态变化特征及矿区地下开采事件提出了矿区土地动态变化的三种时空数据模型组织方法。具体内容主要包括以下五个方面:

(1)系统地总结了现有的时空数据模型,分析了现有的时空数据模型及各种时空数据模型的适用情况。研究表明,其中任何一种数据模型都不能很好地解决矿区土地复垦时空数据库的构建,需要寻求合适的时空数据模型来表达矿区土地动态变化特征。

(2)总结了矿区地面数据的获取途径,在分析矿区土地破坏类型、矿区地表沉陷引起土地质量的演变、采动影响矿区地表特征演变过程及塌陷后土地复垦时空演变的基础上,结合我国现行的土地调查分类方法,针对沉陷土地动态变化进行分类。这一部分内容为进一步研究矿区土地动态变化的时空数据模型奠定了基础。

(3)在分析基于特征建模的相关理论结合矿区土地动态变化特征,基于事件建模的相关理论结合矿区井下开采序列事件、地面破坏序列事件的基础上,针对矿区开采沉陷现场观测资料,提出了基于特征和事件序列的矿区土地动态变化时空数据模型。该模型将井下开采事件与地表破坏事件结合起来,易于研究矿区地表移动规律,提取开采沉陷预计所需的参数,并应用实例构建了矿区土地时空数据库。

(4)通过分析时空推理相关理论及方法,结合现有的开采沉陷预计数学模型,将时间 t 引入开采沉陷预计模型——概率积分法,提出了基于时空推理的矿区土地动态复垦时空数据模型,根据矿区的开采进度计划,确定预计时刻的工作面尺寸,应用开采沉陷预计软件预计出实验矿区未来五年地表开采沉陷范围及受损面积,由不同时刻预计的移动变形曲线分别跟矿区道路、管线、河堤、耕地、村庄房屋图层进行叠加,统计受损范围及受损程度,在此基础上,建立了塌陷区农业、林业、渔业、建筑动态复垦的数据模型并进行相应建库。本部分研究内容为矿区近期征迁规划、土地动态复垦提供必要的理论数据。

(5)应用面向对象的方法,结合我国大部分矿区坐落在乡镇或村庄,根据矿区采动损害补偿修复的对象,将受采动影响的矿区地表实体划分为点类、线类、面类。点类包括:水井、

涵洞、公路桥;线类包括:道路、河流、管线;面类包括:村庄房屋、绿地(包括耕地、树林、果园、菜地)、池塘(湖泊)。在对矿区地表实体分类的基础上提出了基于事件和对象的矿区土地时空数据模型,根据采动过程中获取这些地物的移动变形及对应的修复记录,建立时空动态数据库。该模型的研究对于矿区土地复垦、生态恢复重建,尤其为矿区动态复垦提供了地表动态变化数据的组织方法。

在本书出版之际,我首先感谢我的导师何宗宜教授多年来给予我的指导、培养和帮助,本书的研究工作是在导师的悉心指导下完成的,还要感谢康建荣教授、何万龙教授提出的一些宝贵意见,几位导师严谨的学风使我受益终生,永远难忘。

在本书的写作和出版过程中,得到了江苏师范大学赵长胜教授,以及张连蓬教授、冯遵德教授、王爱生教授、周兴东教授、吴庆忠教授的大力支持和帮助,在此一并向他们表示衷心的感谢。

本书的出版得到了江苏师范大学博士学位教师科研支持项目(11XLR05)的支持。

由于作者水平有限,书中错误和疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

笔 者

2013 年 5 月

目 录

1	绪论	1
1.1	研究背景	1
1.2	本书的研究问题	4
1.3	内容组织	6
2	时空数据模型的基本理论	8
2.1	现实世界的抽象过程	8
2.2	TGIS 的时空观	8
2.3	现有的时空数据模型	11
2.4	现有时空数据模型的比较分析	16
2.5	本章小结	17
3	矿区土地动态变化特征分析	18
3.1	矿区地面数据的获取途径	18
3.2	开采引起的矿区土地损害分析	21
3.3	矿区地面演变过程	24
3.4	矿区土地变化特征分类	26
3.5	本章小结	29
4	基于特征和事件的矿区土地动态变化时空数据模型	30
4.1	基于特征的建模	30
4.2	矿区土地破坏事件	32
4.3	基于特征和事件序列的矿区土地时空数据库设计	35
4.4	本章小结	43
5	基于时空推理的矿区土地复垦时空数据模型	44
5.1	时空推理	44
5.2	开采沉陷预计模型	45
5.3	基于概率积分法平原矿区采动地表移动变形的时空推理	47
5.4	矿区土地动态复垦	52
5.5	实例分析	56

5.6 本章小结.....	69
6 基于对象和事件的矿区土地时空数据模型.....	70
6.1 面向对象的基本概念.....	70
6.2 矿区地表动态变化时空对象.....	71
6.3 基于对象和事件的矿区土地时空数据模型.....	72
6.4 本章小结.....	99
7 结语	100
参考文献.....	102

1 绪 论

煤炭是我国最主要的能源,占一次性能源生产和消费的 70%左右。煤炭资源开采在对国民经济发展发挥巨大推动作用的同时,也对矿区生态环境安全带来严重负面影响,特别是采煤塌陷破坏了大量耕地,使许多农民失去赖以生存的土地,社会矛盾增加,同时加剧了水土流失和土地荒漠化的进程,恶化了生态环境,严重影响区域可持续发展。我国煤炭产量的 95%为井工开采,矿区沉陷是采煤损毁土地的主要表现形式,据不完全统计,我国因煤炭开采,每年破坏的土地约以 200 km² 的速度递增,占全国每年 20 万公顷被破坏土地的十分之一(Hu Zhenqi,1997)。因此矿区沉陷地复垦与生态重建是实现矿区可持续发展的重中之重,当前对矿山环境的治理恢复越来越受到世界各采矿国的普遍重视。

在矿山开采过程中,地面耕地、建筑物、构筑物会不同程度地受到损害,并呈现动态变化特征,因此会产生大量的历史数据。如何有效地组织、处理地表及其附属物的动态变化信息,为矿区土地动态复垦提供可靠数据源,并最大限度地减少采动损害,是矿业部门迫切需要解决的问题。本书就是在分析现有的时空数据模型的基础上,结合矿区土地动态变化特征,尝试选择合适的时空数据模型构建矿区土地动态变化数据库,并与矿区土地复垦结合起来,从理论、技术和应用等多方面对矿区地面信息的组织、管理、存储进行研究,从而为矿区土地复垦及地面防护提供技术支撑。

1.1 研究背景

1.1.1 矿区土地破坏与复垦

我国陆地面积约 960 km²,相当于世界陆地面积的 1/5,约占亚洲总面积的 1/4,但我国有 13.5 亿人口,相当于世界人口 69 亿的 19.57%,人均耕地约相当于世界人均耕地的 1/3,人均林地和草地则不足世界的 1/5 和 1/2。因而我国的土地资源相对量少,人均土地资源匮乏。随着国家工业化和建设事业的飞速发展,占用农田、破坏土地和毁林开荒的事例越来越多,据有关部门统计,我国人口约以每年 1 000 万左右的速度增加,而耕地则以每年 500 万~800 万亩(1 亩=10 000/15 m²)的速度减少,全国由于各种人为因素废弃土地约 2 亿亩,而山区采煤土地复垦率仅 6%左右,不足发达国家的 1/8(何万龙,2003)。2007 年国土资源部地质环境司统计我国采煤沉陷土地面积已达到 950 万亩,形成矸石山 2 800 余座,积存煤矸石 36 亿 t,矸石山占地 6.5 万公顷,露天矿挖损土地 1 125 万亩,每采万吨煤沉陷面积 4~5 亩(腾讯网,2007)。为了保护耕地,实现矿山绿色开采生产,必须从技术、规划、资金和管理的角度综合考虑,进一步合理促进矿山安全生产、加大土地复垦的力度。而土地复垦是使耕地和可利用土地保持总量动态平衡、解决人地矛盾的战略措施之一。

“土地复垦”一词是从国外翻译过来的,英文为“reclamation”,中文意思是“恢复”,即指将破坏的地区恢复到近似破坏前的状态,主要包括近似恢复至破坏前的地形、植物以及动物群落也恢复到破坏前的水平。“土地复垦”一词最早称之为“造地复田”、“垦复”、“复耕”等,直到1988年11月国务院颁布了《土地复垦规定》,“土地复垦”一词才被我国确定下来。土地复垦主要以破坏或退化的土地及相应的资源环境问题作为研究对象,其目的是:再生利用土地、恢复生态平衡,使生产建设得到健康发展的同时,土地资源和环境也得以保护和持续利用。因此土地复垦所需处理的数据信息涉及采矿、地质、地理、土地、环境、景观、生态、农林、生物、土壤、地化及社会经济等众多领域(申广荣等,1998)。

胡振琪(2005)在《科技导报》的一篇文章中分析指出:美国和德国是最早开始矿区生态环境修复的国家。1918年,美国印第安纳州的矿业主开始在采空区地表复垦植树,那个期间是自发性修复,《1920年矿山租赁法》明确要求保护土地和自然环境。德国是从20世纪20年代开始修复矿区环境的。20世纪50年代至60年代,许多工业发达国家加速复垦法规的制定和复垦工程的实践活动,比较自觉地进入了科学复垦的时代;70年代以来,矿区生态环境修复集采矿、地质、农学、林学等多学科为一体,已发展成为一门牵动着多行业、多部门的系统工程;80年代以后,发达国家的矿区生态环境治理已步入蓬勃、正常的发展轨道。纵观国外矿区生态修复工作开展较好的国家都有以下特点:除了有健全的法规及政府介入,筹集大量资金用于土地复垦外,重视科学研究及多学科的参与。

1988年国务院颁布《土地复垦规定》,标志着我国土地复垦走上了法制化的轨道。矿区土地复垦是对矿山开采过程造成的挖损、塌陷、压占等土地破坏采取的生态工程措施,使其生态功能部分最大限度地修复的行动或过程。其目标是恢复利用被地下采矿活动所破坏的土地,消除或防治因土地破坏带来的各种危害,力求减轻受害程度、危害范围,有效恢复土地使用价值和生产力。发达国家如美国、德国、加拿大、澳大利亚等矿山土地复垦率已达到50%~70%(张梁,2002),而我国山区煤矿的复垦率仅为6%,平原矿区的复垦率也仅为20%左右(杜培军,2005),远远低于发达国家的土地复垦率。发达国家的土地复垦率较高除了因为制定了相关的法律及政府的高度重视之外,重要的是较早地将GIS、RS等技术引入矿区土地复垦中。矿区土地复垦需处理的数据具有信息量庞大、信息属性及拓扑关系复杂、具有严格的时空意义特点。为此,有关采矿、地质及环境专家早已关心这些复杂的空间数据信息,他们一直在探索快速处理矿区空间数据信息的途径,地理信息系统(Geographic Information System,简称GIS)的出现,为矿区空间地理信息处理提供了极为方便的手段。

1.1.2 矿区土地复垦信息系统

GIS是一种在计算机硬、软件设备支持下,实现地理空间数据的输入、编辑、存储、检索、处理和综合分析的技术系统,是计算机科学、遥感和遥测技术、计算机图形学、图论、测绘学、计算数学、地理学、地质学、系统科学等多学科综合发展的产物。GIS作为目前处理空间数据最有效的工具,已经渗透到各个领域,将GIS技术引入到矿山环境和土地复垦领域的空间数据信息处理中便成为建立矿区土地复垦信息系统的理想工具。

矿区土地复垦信息系统是一个涉及社会科学、地质学、采矿学、农学、林学、环境学和生态科学的复杂体系。在矿山开采活动中,岩层移动波及地表使得矿区土处于动态变化过程

中,矿区地表涉及的信息不仅具有地理空间位置,还有多种属性信息。长期以来,人们对采煤塌陷土地生产力下降机理仅停留在定性的描述上,无法准确确定土地质量在时间和空间上的退化程度。因此,矿区生态恢复需要对采煤塌陷区进行动态监测,准确掌握土地退化程度和时空变异规律。随着 GIS 技术向各领域的不断渗透,将 GIS 技术结合 GPS、RS 应用于矿区土地利用调查、选择土地复垦技术措施、评价土地复垦经济效益、合理确定土地征用、赔偿费用标准等方面越来越受到国家及相关部门的重视。

目前,我国将 GIS 引入开采沉陷的可视化与采后治理还只是初步阶段(杜培军等, 2003),国外一些发达国家在 20 世纪 90 年代就开始了将 GIS 技术引入到矿区资源调查及土地复垦等领域,如 Davidson 等(1990)利用 GIS 空间分析的叠合功能,调查美国伊利诺伊州南部地区传统房柱式开采废弃矿的沉陷位置及沉陷对上部土地、基础设施的潜在破坏影响。Younos 等(1993)在 GIS 环境下,运用通用土壤侵蚀方程来建模分析预测美国弗吉尼亚西南地区现存的废弃矿山土地土壤侵蚀情况,Darmody(1994)在研究季节性、水平面高度、坡度等影响土壤沉陷灵敏性的有关因素的基础上,结合 GIS 技术,建立了一个有关美国伊利诺伊州长期开采对农业用地沉陷敏感性及其农作物产量影响的预测模型。Krige(1996)将 GIS 引入采矿环境工程调查,从空间上研究探索了适于矿产资源进一步开发的景观类型,国内陈秋计(2005)基于 ArcView 开发了矿区土地复垦信息系统;谢宏全(2003)针对矿区土地复垦空间数据库设计了 E—R 模型;王慎敏(2008)借助 GIS 技术,将地形图等高线进行栅格化处理,并根据得到的数据生成复垦区的三维地形模型;胡晋山(2009, 2010)应用 ArcEngine 尝试了对矿区开采沉陷与土地复垦信息系统的设计与开发。

在矿区土地复垦中,需要处理大量的历史数据,随着地下采煤工作面的不断向前推进,矿区地面会产生开裂、下沉、积水等现象。因此受开采沉陷的影响,地表的破坏是一个时空动态变化过程,组织、处理、表达、管理这些历史数据,需要时空数据库支持。时空数据模型是时空数据库的核心,因此,对矿区地面时空数据模型的研究不但具有理论意义,而且对于矿区地面防护、矿区生态治理颇具应用价值。

1.1.3 时态地理信息系统

时态地理信息系统(Temporal Geographic Information System,简称 TGIS)是具有处理地理要素随时间变化的特征,更加完整地表达和模拟地理世界的系统。近年来,时空数据模型和时态空间数据库新技术有机地、交互地组织时间维和空间维的数据,推动着 GIS 向动态、多维化方向发展。TGIS 的研究核心问题在于如何高效地管理空间、属性和时间三维一体化数据,即建立一种合适的时空数据模型,以便有效地组织管理、表达地理实体的空间、属性和时态语义关系。

从现有的文献来看,由于时空变化语义的复杂性和时间维表达的特殊性,目前仍无被普遍接受的通用时空数据模型,也没有较为成熟的 TGIS 基础平台,当前实用的 GIS 系统很多仍是静态或准静态的。尤其是近二十年来,全球变化研究、全球可持续发展战略的实施以及空间信息技术的迅速发展,地理时空数据呈几何级数般的增长。快速有效地组织、存储、管理和应用海量、实时的地理时空数据,也对时态地理信息系统技术提出了更高的挑战。

矿山开采引起地表沉陷是矿区土地动态变化的主要原因,随着煤炭的开采,沉陷区的范围不断扩大,破坏程度也逐渐升级,因此,沉陷地土地资源信息具有时空动态变化特征。有

效地组织沉陷区土地资源的时态数据,方便对历史数据的检索查询,维持矿区土地信息的现势性,对土地复垦规划决策具有重要意义。基于 TGIS 建立矿区土地复垦信息系统,可以将沉陷土地的时态信息有效地进行组织管理,方便矿区土地信息历史和现状信息的更新与检索,为矿区土地复垦研究提供技术支持。我国采煤区大多处于农村或乡镇,在矿区开采实践中,矿区地面会产生错综复杂的时态信息,矿区土地复垦信息系统需要时空数据库将这些信息有机地进行管理,而时空数据模型则是时空数据库的核心,因此需要建立合适的时空数据模型来处理矿区采动地表动态时空信息。

1.2 本书的研究问题

1.2.1 研究目标

矿区土地动态变化具有显著的时空特征,因此研究矿区土地变迁需借助 TGIS 的理论和方法。在 TGIS 的研究中最基本的就是时空数据模型的研究,时空数据模型是地理信息科学中的基本研究对象。余江峰等(2005)指出好的时空数据模型可以方便地表达时空过程,便于时空数据的管理、操作和再利用,使时空数据库能够应付不断变化的、多样的应用需求,并使相关的地理信息系统的灵活性和可扩展性得到增强,而差的时空数据模型往往对时空数据库的适用范围产生很大的限制,减弱时空数据库对应用需求变化的适应能力,使时空数据的管理、操作和利用成本大大增加。

有关时空数据模型的研究,在 20 世纪 70 年代末期兴起,国外 Hagerstrand 最早于 1970 年提出了空间—时间立方体模型,Armstrong(1988)、Langran(1988)、Woboy(1990)、Peuquet(1995)、Wilcox(2000)等提出了一系列时空数据模型。国内陈军(1995,2000)、龚建雅(1997)、舒红(1997)、林广发(2002)、陆锋(2001)、李小娟(2002)、尹章才(2003)、崔伟宏(2004)等学者在该领域也相继做了细致的研究,取得了一定的成果。他们提出的具有代表性的时空数据模型主要有序列快照模型、基态修正模型、空间—时间立方体模型、面向对象的时空数据模型、基于特征的时空数据模型、基于事件的时空数据模型以及基于图论的时空数据模型等,有关这些时空数据模型的具体分析将在第 2 章中阐述。上述模型在表达数据的时空特性方面各有优劣,但都为时空数据模型的研究及 TGIS 的建立做出了一定的贡献。从现有的时空数据模型表达的各种方法可以看到,有关理论层面和概念模型的研究偏多,距离实际应用还相差较远。事实上,有关时空数据表达、时空地理数据库的建立以及时态 GIS 的研究等方面仍然存在很多问题,具体表现在以下两方面:

(1) 目前大部分模拟地学现象的时空数据模型空间信息和时态特征彼此独立,两者并没有紧密结合在一起。

对象的空间模型往往偏重于其几何特征,时态模型侧重于对象特征的变化,而空间属性和时态属性是密切联系的,如在矿区井下开采过程中,地表处于动态下沉,地表的移动变形与工作面开采位置、尺寸相关,还与地形、开采深度、开采厚度等多种采矿地质因素密切相关。

(2) 无法表达地学现象的连续变化,如降雨、开采沉陷等。

现有模型一般对离散变化的现象处理得比较好,有的模型采用微小时段间隔的方法来

模拟连续的变化。地学现象离散化表达的原因有两个:一是由于数据采集往往是离散的,另外计算机系统本身也是用离散的方式来表达数据的,因此如何在离散和连续中间进行权衡取舍是需要考虑的一个问题。

由于 TGIS 的复杂性和特殊性,加上时空数据库本身的研究没有突破性进展,当今还不能找到一种适合于各种情况的通用时空数据模型,比较合理的方法就是根据应用领域的特点,从已有的时空数据模型中选择出具有实际可操作性的模型,并对其进行必要地扩展,从而研究开发可运行的 TGIS 应用系统。

本书就是在分析现有的时空数据模型的基础上,结合矿区土地动态变化特征,寻求合适的时空数据模型构建采煤沉陷地的时空数据库,并依此进行矿区土地复垦及生态恢复重建。

1.2.2 主要内容

在矿区开采沉陷中,随着井下的不断开采,位于采空区的上覆岩层会断裂、垮落,逐渐波及地表,当开采范围逐渐增大时,地表塌陷的面积也会愈来愈大。本书在分析矿区土地变化特征的基础上,提出了开采沉陷影响下的矿区土地动态变化的三种时空数据模型,并设计了相应的数据库,具体内容如下:

(1) 分析当前现有的时空数据模型,寻找适合表达开采沉陷区土地动态变化的时空数据模型。

(2) 分析矿区土地动态变化特征实例,对沉陷地进行了分类,以便表达矿区土地动态变化特征。

(3) 在上述两项研究的基础上,研究适合表达矿区土地动态变化的时空数据模型。具体思路如下:

① 提出基于特征和事件的矿区土地动态变化时空数据模型。

矿井工作面的不断开采推进是序列事件,而矿区的地表从轻微破坏到小面积破坏乃至大面积塌陷、积水也是序列事件;位于采空区上方的地表先后呈现裂缝、下沉、积水、耕地的荒芜等现象是矿区地表破坏特征。鉴于事件易于表示矿区土地破坏过程,而特征易于描述受采动影响的土地动态变化的现象,以及矿区地表移动观测站记录的地表位移、地面损害等较为详细的第一手现场资料,因此构建基于特征和事件序列的时空数据模型,来分析采动过程中地表土地利用类型的变化过程,从而为矿区土地利用动态监测、研究地表移动规律、获取地表移动参数奠定基础。

② 提出基于时空推理的矿区土地动态复垦时空数据模型。

井下开采之前,应首先要对即将开采的工作面引起地表及其附属物的损害进行地表移动预计,估算受损范围及面积,从而提前做好应急、防护措施。概率积分法是经典的地表移动预计方法,将时间 t 引入该预计方法中,实现对采动地表不同时间段的移动变形的预计,在此基础上设计了采煤塌陷区农业用地、林业用地、渔业用地、建筑用地动态复垦时空数据模型,并根据实例建立了相应的数据库。本部分研究为矿区预计受损区域土地动态复垦、近期或远期征迁规划提供了理论依据。

③ 提出基于对象和事件的矿区土地时空数据模型。

应用面向对象的方法将矿区受损地表及其附属物进行分类,将矿区地表实体分为三种类型——点类、线类、面类,由于三种类型的地面实体破坏修复不同,所以结合井下开采事件

对地表主要的损害对象——涵洞、道路、河堤、管线、耕地、民房、湖泊等实体进行了时空建模。本部分的研究为矿区动态复垦提供理论及数据。

1.2.3 研究特色

当前我国土地复垦治理一般都是在沉陷地基本稳定、土地已遭严重破坏、沉陷地已发生大面积积水的情况下进行的,即先破坏,后治理。这样的复垦治理不仅复垦工程难度大,复垦工程施工困难,而且复垦的农田质量较差,致使整个复垦工程费用高、效益低。而矿区土地动态复垦呼声较高,即在地面塌陷未积水之前,通过地表沉陷时空推理和土地复垦规划设计,对即将形成的沉陷地进行预先复垦治理。而矿区动态复垦需要获取采动过程中大量的土地变化时空数据,这些数据的组织的核心是时空数据模型,前面提及的任何一种已有数据模型解决矿区土地利用动态变化过程,都显得乏力。由于矿区土地变化特征实例与矿区一系列地面、井下序列事件密切相关,平原矿区地下采动会造成地面塌陷、积水,而山区矿区的地表移动更为复杂,采动影响会诱发山体滑坡、泥石流等地质灾害,本书在分析已有的时空数据模型的基础上结合矿区地表动态变化实践提出将沉陷区土地变化特征与井下开采及地面破坏事件建立联系,针对矿区采动不同阶段及研究目标的不同,应用理论与实践相结合构建矿区土地复垦时空数据模型,并用实例验证了各种时空数据模型的适用情况。

(1) 在未开采之前,应用基于时空推理模型组织矿区地面数据,据此来分析塌陷范围及程度,从而为地面预先防护提供理论数据。

(2) 对于较为详细的地表移动观测资料,应用基于特征和事件的时空数据模型来组织矿区地面数据,从而便于研究地表移动规律,提取矿区开采沉陷参数,为矿区生态恢复提供借鉴。

(3) 在地表沉陷过程以及沉陷稳定后,针对土地复垦及修复对象,应用基于对象和事件的时空数据模型组织矿区地表受损对象,实现矿区土地动态复垦。

1.3 内容组织

本书的章节及内容安排如下:

第1章,绪论:简述研究背景、研究目标、研究内容以及各章节的安排。

第2章,时空数据模型的基本理论:分析当前国内外有关时空数据模型已有的研究成果,以及各种时空数据模型的优缺点及适用情况,针对矿区土地动态变化的特殊性,指出已有的任何一种时空数据模型都不能较好地组织矿区土地动态变化数据,需要寻求合适的矿区土地变化的时空数据模型。

第3章,矿区土地动态变化特征分析:总结了矿区地面数据的获取途径,在分析矿区土地破坏类型、矿区地表沉陷引起土地质量的演变、采动影响矿区地表特征演变过程及塌陷后土地复垦时空演变的基础上,结合我国现行的土地调查分类方法,针对沉陷土地动态变化进行分类。本章的内容为后续章节进一步研究矿区土地动态变化的时空数据模型奠定了基础。

第4章,基于特征和事件的矿区土地动态变化时空数据模型:地下开采事件和地表破坏事件是造成地表土地动态变化的原因,将引起矿区土地动态变化的事件划分为井下事件和

地面事件,随着地下工作面不断地向前推进看,地下开采事件是序列事件,采矿引起的地面损害事件滞后于地下开采事件,也是序列事件,针对矿区地表移动观测及调查资料,结合矿区土地动态变化特征,提出基于事件和特征的矿区土地时空数据模型,并构建了相应的数据库。

第5章,基于时空推理的矿区土地复垦时空数据模型:系统分析了现有的开采沉陷预计数学模型,将时间 t 引入开采沉陷预计模型——概率积分法,根据矿区的开采进度计划,确定预计时刻的工作面尺寸,应用开采沉陷预计软件预计出某矿区未来五年地表开采沉陷范围及受损面积,由不同时刻预计的移动变形曲线分别跟矿区道路、管线、河堤、耕地、村庄房屋图层进行叠加,统计受损范围及受损程度。在此基础上,根据矿区土地复垦类型,提出了农业用地、林业用地、渔业用地、建筑用地的动态复垦时空数据模型,并用实例加以验证。

第6章,基于对象和事件的矿区土地时空数据模型:将矿区地面损害及修复的实体按照面向对象的方法进行分类,分别分为点类、线类和面类,分别分析三种类型对象在地下采动损害过程中及矿区土地复垦中的时空数据模型,并用实例加以验证。

第7章,结语。

2 时空数据模型的基本理论

2.1 现实世界的抽象过程

传统的 GIS 将时间作为属性数据来处理,因此多数 GIS 仅仅描述了数据的一个时间切片,地理实体随时间变化的过程则被忽略,而世间万物是不断变化发展的,模拟和表达不断发展变化的地理世界是 TGIS 的目的,如图 2-1 所示。例如在纳入时态的土地复垦信息系统中,井下工作面尚未开采之前(T_1 时刻)对应的地表是耕地;当井下工作面开采一定面积之后(T_2 时刻),部分耕地下沉,成为不稳定塌陷地;随着工作面的不断开采,在 T_3 时刻,采区正上方地表会成为季节性积水区。

在 TGIS 设计过程中,首先要对现实世界进行抽象,即对地理实体及其关系在概念、逻辑和物理三个层次上进行表达。在概念层,采用更加抽象的形式,用对象来表达现实世界,可将现实世界抽象为点、线、面。如在矿区受损地面,水井用点来表示,用时间来表示不同时间段其受损情况;村庄道路用线来表示;用时间来描述其不同时间段遭破坏或修复的情况;耕地用多边形来表达,用时间来描述不同的时间段其面积的变化。在逻辑层,从现有的文献来看主要有五种数据模型表达实体间的关系,即传统的三种数据库模型——层次、网状、关系型模型,面向对象数据模型和目前常用的实体—关系(E—R)模型。在逻辑层次上,数据库设计人员必须决定如何存储几何信息及属性信息,考虑字段的类型、属性的长度、时间的表达方式。在物理层,数据存储在硬件设备上,即应用计算机科学及地理信息等相关理论与方法将数据库的逻辑模型借助于数据库软件系统在物理存储设备上加以实现,从而建立一个具有较好性能的物理数据库。

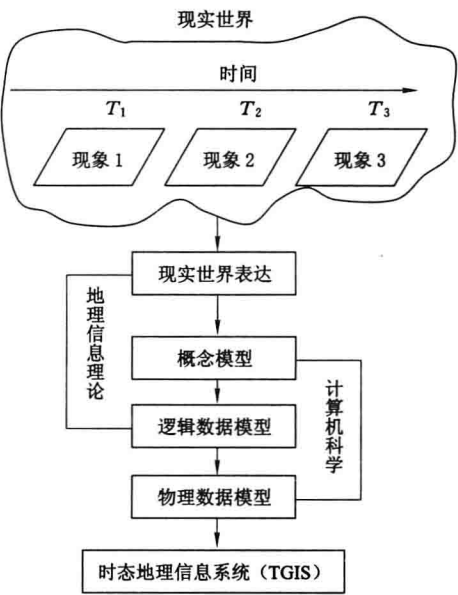


图 2-1 时态地理信息的抽象过程

在物理层,数据存储在硬件设备上,即应用计算机科学及地理信息等相关理论与方法将数据库的逻辑模型借助于数据库软件系统在物理存储设备上加以实现,从而建立一个具有较好性能的物理数据库。

2.2 TGIS 的时空观

地理信息大致上可以分为空间数据、时间数据和属性数据三类。TGIS 实现的关键问题是时间和空间的集成。时态 GIS 能够跟踪和分析随时间变化的空间、非空间信息,故也被称为 4D GIS,即加上时间维的 4 维 GIS。以下介绍几个时态相关的基本概念。

2.2.1 时间的相关概念

(1) 时间

时态 GIS 有两种基本时间类型:有效时间和事务时间(Langran,1989)。有效时间,也称物理时间、数据库时间,指事件在现实中发生的时间。事务时间,即逻辑时间,事件发生、发展或终止的时间,指事件被记录在数据库中的时间。有效时间一般早于事务时间,但对于未来事件或预测事件则有效时间有可能晚于事务时间。

时间的表达主要有离散的、紧致的和连续的三种结构。徐志红(2005)指出离散的时间表示和自然数相似,每一个时刻之后都有一个后继者;紧致的时间表示和有理数相似,在两个时刻中间都可插入一个时间点;连续的时间和实数类似,对于任何两时间点之间总能找到第三时间点位于两者之间。从现有的 TGIS 时间表达方式来看,基本上均采用离散的时刻(时间粒度)表示时间。

(2) 时间粒度

时间粒度亦称时间尺度。计算机总是用离散的形式来表示一切随时间连续改变的事物。若以固定时间粒度对地理实体的状态进行采样,显然时间粒度越小对状态变化的描述越精确,但相应地增加了数据采集费用及计算机内存开销。时间粒度与数据冗余、系统复杂性三者之间的关系如图 2-2 所示。图 2-2 中平衡点 C 所对应的粒度并不是固定的,可因具体应用问题的不同而变化,而且当应用系统有特别要求时,在数据冗余与系统效率之间可有一定程度的取舍。事实证明,不恰当的粒度划分将弱化对象的结构完整性,因此也无法表达变化的地理实体的真实现象。

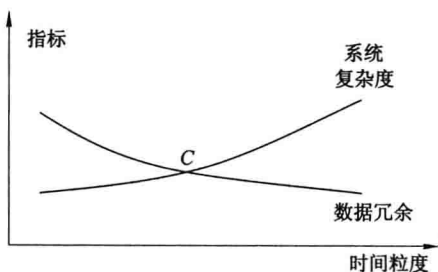


图 2-2 时间粒度与数据冗余、系统复杂性三者之间的关系(据林广发等修改,2002)

时间跨度的长度依赖于事件的起止时间,也依赖于量测时间的颗粒度。所以实际上往往根据需要选取适当的时间粒度,如在矿区开采沉陷中,当局部矿体被采出后,采空区上覆岩层会弯曲、垮落,波及地表,为了研究矿区地表移动变形规律,往往要在某些工作面上方地表布设地表移动观测站,当采空区范围达到一定面积之后,地表移动活跃,即地表移动变形较剧烈,观测时间间隔(时间粒度)一周或两周一次,而在开采结束后,观测时间间隔(时间粒度)则相对较长,一般为 1~2 个月观测一次。

(3) 时间戳

时间戳,亦称时间标记、时间标签,即将时间看做地理实体的一个属性。王长缨(2006)指出用时间戳表达时变的地理现象的方法有两种:一种方法是采用一个时间戳标记事件发生的时间,这样数据冗余小且记录没有空值,但要查询时间区段时需要进行较多额外的计

算,故应答时间较长。另一种方法是对每个状态各用一个时间戳来标记,比如可以用 since 和 until 来标记一段状态区间。这样可以提高对时间区段的查询检索效率,但某些情况下可能会出现空值或伪值使计算变得复杂化。

(4) 时间类型

时间可分为绝对时间和相对时间,绝对时间是相对于计时始点的距离,如“2012 年 4 月 10 日”;而相对时间是指时间差,即两时间点之间的间隔,如“两年”。在矿区地表动态变化过程中,地表开始移动时间是绝对时间,而地表移动持续时间则为相对时间。

2.2.2 空间的相关概念

任何地理实体都存在于一定的空间位置和时间点上,时间反映了地理事件发生的先后次序,空间则表现了地理实体的一种伸展特性(空间结构、形态等)。

(1) 空间特征

空间特征是 GIS 系统所要处理和表达的核心内容,是地理实体的空间位置及其相互关系。地理实体的空间特征由其位置、形状等几何特征表达。

(2) 空间特征构成

① 位置

地理实体的空间定位需要一个参考系统,即定位框架,在测绘学领域由平面控制网和高程控制网组成。当前我国三种大地坐标系并存,一是 1954 北京坐标系,二是 1980 西安坐标系,三是 CGS2000 坐标系。

② 几何对象

在地理信息系统中,现实世界的实体可被抽象表达为四种类型:点、线、面和体,如下水道井盖、路灯可以用点来表示,公路、河流、铁路用线来表示,耕地、行政区用多边形(面)来表示,一座楼房用体来表示。

③ 维数

区分时空信息系统和非时空信息系统的一个标准就是“多维性(multidimensionality)”,即系统支持的维数。传统的 GIS 是二维或 2.5 维的,目前 3D GIS 的研究也日渐成熟,4D GIS 是指支持三维空间和至少一个时间维的地理信息系统。

(3) 空间关系

陈述彭(1999)指出空间关系是地理空间实体之间存在的一些具有空间特性的相互关系。空间关系分为三类:度量关系、顺序关系、拓扑关系,如图 2-3 所示。

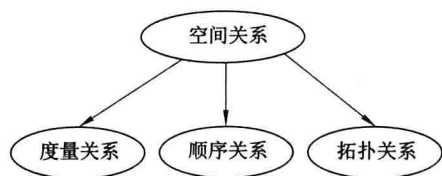


图 2-3 空间关系的基本类型(据陈述彭,1999)

① 度量关系

度量关系是指空间对象之间的距离关系,可用周长、面积、距离等来衡量,也可以用与距离概念相关的术语,如远近等进行定性描述。

② 顺序关系

顺序关系描述空间实体之间在空间上的排列次序,如实体之间的上、下、前、后、左、右和东、南、西、北等方位关系。