

利用 DEM 建立香港土壤地体数据库^①

赵玉国¹ 张甘霖^{1*} 周生路² 张 华¹ 骆永明¹ 赵其国¹

(1 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008; 2 南京大学城市与资源学系 南京 210093)

摘 要 完成了香港 SOTER 数据库的建立,采用数字高程模型和其它基础图件,制图过程完全计算机化,使 SOTER 方法更适合于计算机技术的发展和运用,提高工作效率和精度;对 SOTER 在中大比例尺尺度上的应用进行了探索,完善其适用范围和理论体系;以香港作为研究区域,建设基于 SOTER 方法的土壤信息数据库,对于评价该区土壤、环境质量以及生态利用具有意义。

关键词 SOTER;数字高程模型;DEM;土壤信息系统

中图分类号 S159

香港地处热带北缘,面积约 1100 km²,自 20 世纪 50 年代以来经济高速发展^[1],作为世界最大的自由贸易港区之一,其经济地位是关注热点,而对农业和土地利用的研究开展较少,至今香港没有详细的土壤图^[2]。由于人口密集,经济高速发展带来的环境、生态问题日益受到关注,土壤是水、大气、岩石以及生物活动的交互作用带,开展该区的土壤研究,建立土地利用、环境评价目的的土壤环境信息数据库,对本区农业发展和生态环境保护具有重要意义。

香港地区土壤环境信息数据库的建设,采用了 SOTER 的方法。SOTER 是土壤-地体数字化数据库(Soil and Terrain Digital Databases)的简写。是一种集地形地貌、地质状况和土壤类型及属性于一体的现代制图方法^[3]。SOTER 方法论的基础是:通过系统划分具有明确定义和常常重复出现的自然地理区域,利用现代信息技术,建立一个包括数据化的地图单元和它的属性数据的土壤-地体数据库。SOTER 方法以地形、岩性和土壤作为 3 类基础数据,划分“均一”的地形-岩性-土壤单元,即 SOTER 单元,在特定的比例尺意义上单元内部属性是均一的,每一个 SOTER 单元都包含全面的地形、岩性、土壤信息,共 118 个属性^[4]。这些信息通过可以互相关联的地体单元数据库、地体组分数据库、土壤组分数据库、土壤剖面数据库和土层数据库来管理。

由于其单元的相对均一以及数据的完整性,SOTER 在土地资源管理中具有重要的作用,以 GIS

软件为操作平台,以属性数据库为支撑,并开发各种评价模型,既可以为更新世界土壤和土地资源变化的制图提供必要的数据,更重要的是借助模型来评价、预测土壤、土地和环境因子的现状和变化,从而能为科学家、规划者、土地管理者、决策者提供全面翔实的信息^[5]。

在本研究中,从两个角度对 SOTER 方法进行了创新性的尝试和探索。其一是制图方法,采用数字高程模型和其它基础图件,应用 GIS 软件,制图全过程在计算机中实现,以使 SOTER 方法更适合于现代计算机技术的发展和运用,提高工作效率和精度,减少对制图专家的依赖程度;其二是对 SOTER 在中大比例尺尺度上的应用进行了探索,使之从全球、国家级小比例尺到区域中大比例尺规模构成一个完整的系列,完善其适用范围和理论体系^[5]。本文就以上两方面的工作进行介绍,以供讨论与指正。

1 材料与方法

1.1 工作基础

软 件: ARC/INFO for UNIX

ArcView 3.2 with Spatial Analysis and 3D Modules

硬 件: SUN Workstation and PC (ARCMEMSIZE > 100MBytes, GRIDMEMSIZE > 100MBytes)

基础图件: 香港 1:5 万地形图^[6];香港 1:2.5 万地质图^[7];香港 1:5 万植被图^[8];航片:2000 年

^①基金项目:香港浸会大学和国家自然科学基金重点项目(49831004)共同资助。

* 通讯作者, Email: glzhang@issas.ac.cn

2 月 14~16 日拍摄, 航高 20000 英尺左右
野外采样: 2000 年 11~12 月在香港进行了为期 30 余天的野外土壤样品采集和资料收集工作, 在全区范围不同地形、土地利用和母质上采集代表剖面样品 51 个, 表层样品 44 个。

1.2 研究方法

SOTER 的建立包括空间数据库和属性数据库两个部分。

传统 SOTER 空间数据库建立过程是: 用地形图作为基础图件, 读取等高线信息, 勾画地形体单元, 在地形体单元图上套合岩性图, 最后套合土壤图^[4]。在进行制图综合时, 岩性服从地形边界、土壤服从岩性边界, 逐级控制。最后经过野外校核, 形成 SOTER 单元图。全过程基本为手工完成, 在 SOTER 单元图完成后才输入计算机由 GIS 软件管理。该过程可用图 1 表示。

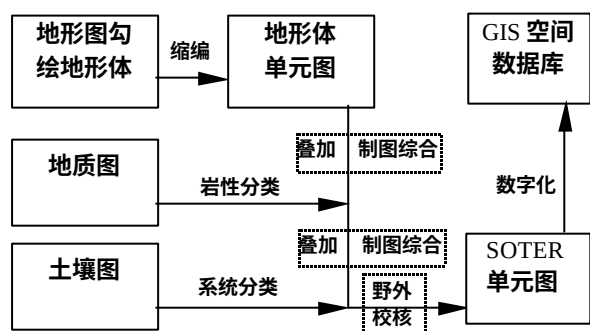


图 1 SOTER 空间数据库建立程序

Fig. 1 Procedures of SOTER spatial database

在建立空间数据库的同时采集地形、岩性和土壤信息建立地体、地体组分、地体组分数据、土壤组分、剖面、发生层数据库等 6 个属性数据库^[4]。收集气象资料建立气候数据库, 主要包括长期物候观测的温度、降雨记录等。

香港土壤调查工作基础薄弱, 没有出版的土壤图, 本研究另一目的是通过地形—岩性图的叠加, 产生 SOTER 单元图 (制图综合过程谨慎处理, 防止有效界限的丢失), 再根据剖面资料, 制作香港土壤图, 本文主要讨论 SOTER 数据库建设的有关问题。

2 几个相关问题的改进和讨论

2.1 地体单元计算机提取

SOTER 标准最初是为 1:100 万比例尺制定的, 在这样的尺度上, 完全用 DEM 数据获取地形体信息是不合适的。首先是 DEM 原始数据缺乏, 精度

不够, 一些复合地形和区域地貌信息会丢失; 即使 DEM 数据精度足够高, 数据量和运算量又过于庞大, 难以实现地形体数据的计算机提取。但对于区域 SOTER 数据库的建立, DEM 数据的精度能够满足提取地形信息的需要, 运算量也实际可行。根据 SOTER 空间数据库的建立原则, 完全计算机化的实现主要存在两个限制, 其一是地体单元的计算机提取, 其二是有限制规则的制图综合过程在计算机中的实现^[9, 10]。另外, 删格数据转化为矢量数据时图面不够平滑美观。

在本研究中地形体的获取采用了 DEM 方式, 首先对原始图件进行扫描半自动矢量化, 从地形图上获得间距为 50m 的全港等高线, 和 135 个独立高程点, 在 ARC/INFO 下生成 DEM 数据, 由 DEM 数据派生坡度删格数据, 由删格数据转为矢量图斑, 经过制图综合处理, 获得坡度矢量图。

香港地区面积小, 但起伏较大, 最高海拔接近 1000m, 东西南北向仅几十千米, 岛屿众多。所以在建立地形体数据库时还必须考虑地形破碎程度, SOTER 规则中以地势强度^[4]作为限制因素。地势强度信息也通过 DEM 提取, 将全区划分为若干个地势强度单元格 (每个单元格 $1\text{km}^2 \times 1\text{km}^2$), 在 ARC/INFO 下计算单元格内最高点与最低点高差, 生成地势强度矢量基础图, 然后进行分类合并和平滑处理^[11]。

将坡度图与地势强度图叠加, 进行类别组合、制图综合后, 得到地貌单元样图。在样图上选取 20 个检查区, 用航片进行立体观察, 并与原始地形图对照, 均符合制图要求。至此, 完成地貌单元图的制备, 保留有效图斑 700 余个。

2.2 弧段平滑

原始等高线是 50m 间距, 生成 DEM 时像元取值太低并不会提高精度, 但如果取值过高, 采用增加节点平滑处理方式时会导致边界严重偏离, 产生误差太大, 同时会造成大量无意义的间隙图斑^[11] (见图 2); 理论上, 删格像素取值越低, 平滑处理效果越好, 但运算量太大, 对计算机的要求也更高。经过多次重复比较, 像元采用 $15\text{m} \times 15\text{m}$, 平滑参数取 30m。也就是采用减少节点的方式进行平滑处理 (图 3), 不会产生间隙图斑, 弧段偏离误差也在精度允许范围内, 这样从精度和图面效果上均能满足特定比例尺的要求 (如图 4 所示)。

统计平滑处理前后面积误差: 面积越大, 平滑处理前后误差越小, 面积 $< 0.2\text{km}^2$ 的图斑, 平滑前后

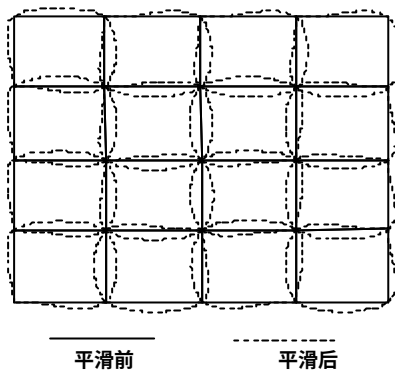


图 2 增加节点平滑效果示意图

Fig. 2 Sketch Map of Smoothing Effect after Adding Nodes

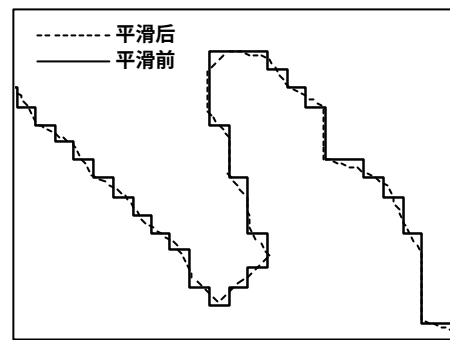


图 3 删除节点平滑效果示意图

Fig. 3 Sketch Map of Smoothing Effect after Reducing Nodes

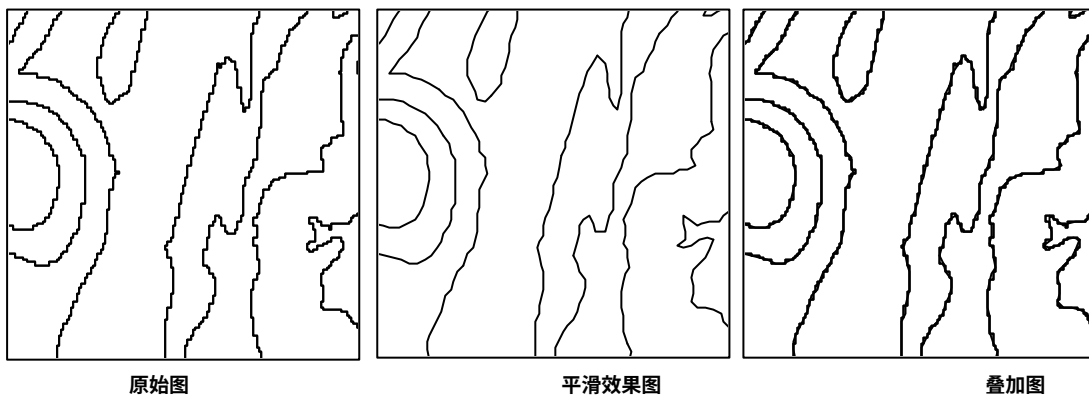


图 4 DEM 像元为 15 m × 15 m 时平滑效果比较

Fig. 4 Smoothing Effect with 15 m × 15 m DEM Cell

误差 $<10^{-3}$, 1km^2 以上的图斑, 误差 $<10^{-6}$ 。

2.3 制图综合

在 ARC/INFO 中, 通过对弧段属性的定义, 实现 SOTER 的定向控制原则, 即岩性边界服从地形边界。叠加过程中产生的大量细碎图斑, 选择 area/parameter <90 的小图斑 (以近似圆形计算, $\delta r^2/2\delta r=r/2$, 半径为 180m), 进行相邻合并, 该过程通过 AML 程序进行多次重复运算实现, 相邻的概念首先是空间相邻, 然后是属性相邻。编写 AML 程序的目的是比较与某细碎图斑空间相邻的多个图斑, 选择属性最相近的与之合并。其算法依次为选择、比较、更改、合并。完成该步工作后图斑数量由 6500 个减少到 1200 个。至此, 完成 SOTER 空间数据库建设。

2.4 属性数据库

属性数据库建设仍保留 SOTER 的组织方法, 采用关系数据库结构, 建立地体、土壤、剖面 and 土层等 4 个文件, 之间通过关键字连接。但在小比例尺 SOTER 建立中, 强调地体组分和土壤组分, 把

不易划出明确界限的类型在组分表中以大约比例的形式表示。制图本身就是一个综合过程, 无论在多大比例尺规模上, 总是存在取舍和综合过程, 但在随着比例尺的增大, 分辨率的提高, 其干扰程度越来越小, 组分的出现频率也随之降低, 在香港 SOTER 单元划分过程中, 只有少数单元添加了土壤组分。

2.5 比例尺

SOTER 方法是针对 1:100 万比例尺制定的, 因此在单元划分标准方面对区域尺度而言过于粗略, 如地体的划分等级需要增加、级别之间的差异需进一步细分。针对有关划分标准作了修正, 主要包括主地形体的定义、坡度的等级、岩性的分级等, 这些修正标准参照实际情况, 特别是其可能的评价意义^[5]。

随着比例尺的增大, SOTER 单元的高级成分如地形体, 逐渐失去其重要性, 在制图区域很小的情况下, 单纯地形体不可能具有足够的分辨能力, 而 SOTER 单元的低级成分将更具重要性^[12,13], 所以

在本研究中,地形分级在 1:100 万地形体分级标准的结构控制下,把 SOTER 区域地貌分级提升到亚主地形级别。

为保证与 SOTER 整体规则的有效衔接,主地形仍按 1:100 万 SOTER 的标准划分,分 4 级:平地、坡地、陡坡地、复合地形^[4]。同时增加主地形亚类(表 1),用来对坡度和地势强度进一步细分,以满足可能的应用需求。在主地形类别里继续划分 2 级地形,用来描述其不同的海拔高度和发生环境,以

表 1 香港 STEOR 地形单元分级指标
Table 1 Landform Units of HongKong SOTER

主地形	坡度 (%)	地势强度	亚主地形
平地(L)	<2	<100m/km	L1
	2~5	<100m/km	L2
	5~8	<100m/km	L3
坡地(S)	8~15	<300m/km	S1
	15~30	<300m/km	S2
陡坡地(T)	30~60	>300m/km	T1
	>60	>300m/km	T2
复合地形(C)	8~30	可变参量	C1
	>30	可变参量	C2

平地为例,分为平原、高原、低洼地、山麓平原以及谷底平原等^[9,14]。在此之所以不把主地形亚类与 2 级地形合并,是因为合并后类别太多,过于烦琐,操作和应用均不方便。而作为两个属性项目同时保留,既可以针对不同评价目的进行组合评判,也可以独立运算,这些过程在 GIS 平台和数据库操作系统中都是方便和成熟的。

在小比例尺 SOTER 单元中,常常包含几个地体组分和土壤组分,而在中大比例尺 SOTER 图上,这些组分可以划出具体的界线,独立成为 SOTER 单元,随着比例尺的增大,SOTER 单元更趋向于对土壤实体的描述。不同类型交错分布、界线难以划分的情况出现越少,在大屿山岛北端以及青衣岛,侏罗纪凝灰岩和酸性岩墙母质呈细条状交错分布,不宜独立成为 SOTER 单元,所以各增加了一个土壤组分。

2.6 岩性分类

根据香港地区岩性分布情况和 SOTER 规则,全港分为 3 大类 14 个岩性类别^[4],其中增加人为填土类别(表 2)。

3 结 语

本研究初步说明,完全基于 GIS 软件平台,应

表 2 香港 SOTER 岩性分类

Table 2 Lithology Classification of HongKong SOTER

火成岩	沉积岩	疏松物质
花岗岩	白云质粉砂岩夹燧石层	粉砂、砂、砾石
石英二长岩	红色砾岩	填土
酸性岩墙	砂岩夹粉砂岩	
花岗闪长岩	泥岩夹砂岩	
凝灰岩	石墨粉砂岩	
安山质凝灰岩和熔岩	石英砂岩夹砾岩	

用数字高程模型数据产生中大比例尺区域地貌类型图,再通过与地质图的叠加,建立 SOTER 空间数据库是可行的。本研究采用了数字化等高线的方法获得 DEM 数据,随着我国地理信息产业的发展以及政府部门在基础地理信息数据库建设工作上的推进,可以直接购买相应精度的 DEM,或者数字化的等高线数据,这样,SOTER 空间数据库的建设周期将更快捷。

基于 SOTER 方法论的香港土壤基础信息数据库的建立,为该区域的土壤利用、土地管理、环境影响评价等多方面提供基础数据支撑,同时也为 SOTER 在区域规模推广应用方面进行了探索和研究,这将有助于推进土地的可持续利用与科学管理,在防止土壤退化、保护生态环境等方面有广泛的应用前景。

在 1:100 万比例尺规模上,SOTER 已经规定了一套完整的理论体系,当应用到更大比例尺度上时,完全套用原有规则是不适用的,但更改规则也会产生新的问题,本研究就该方面进行了尝试,一定会存在问题与错误,相信随着该数据库的应用,将逐步发现并修正这些缺憾,进一步完善 SOTER 方法论。

致 谢 在研究与成文过程中,得到了中国科学院南京土壤研究所潘贤章先生、中国土地勘测规划院李宪文博士的指导与帮助,杨金玲、阮心玲等同志也参与了部分图形编辑工作,在此深表感谢。

参考文献

1 叶汇,林慧玲. 关于香港人口的分布与其土地利用问题的意见. 热带地理, 2000, 20(1): 12~15

2 龚子同. 香港土壤与土壤科学特点. 土壤, 1998, 30 (1): 121~124

3 Oldeman LR, Engelen VWP. A world soils and terrain digital database(SOTER)—an improved assessment of land resources. Geoderma, 1993, 60: 309~325

4 FAO. Global and National Soil and Terrain Digital Database(SOTER). World-soil-resources-report, 1995

- 5 吕成文, 骆国保等. SOTER 的建立与发展. 土壤通报, 1999, 30(专辑): 42~44
- 6 香港地政总署. 香港特别行政区地形图 (第 11 版). 1999
- 7 香港土木工程署土力工程处. 香港地质图. 1995
- 8 世界自然 (香港) 基金会. 香港植被图. 1993
- 9 龚子同. 面临新世纪挑战的土壤地理学. 土壤, 1999, 31 (5): 236~243
- 10 周慧珍. 海南岛土壤与土地数字化数据库及其制图. 北京: 科学出版社, 1994
- 11 美国环境系统研究所. ARC/INFO, 1988
- 12 张明, 张洪业等. 利用已有资料建立京津唐 1:50 万 SOTER 数据库的实践与问题讨论. 土壤通报, 1999, 30 (专辑): 32~34
- 13 GESSLER PE, MOORE ID, et al. Soil-landscape modeling and spatial prediction of soil attributes. INT. J. Geographical information systems, 1995, 9: 421~432
- 14 孙丹峰, 李红. 土壤土地数据库 (SOTER) 在我国土地资源数据库建设中的应用研究. 土壤通报, 2001, 32 (2): 53~56

CREATION OF SOIL AND TERRAIN DATABASE OF HONGKONG WITH DEM

Zhao Yuguo¹ Zhang Ganlin¹ Zhou Shenglu² Zhang Hua¹ Luo Yongming¹ Zhao Qiguo¹

(1 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008;

2 Department of Urban and Resource Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu, 210093)

Abstract The spatial data of SOTER database in HongKong were established based on digital elevation model and other maps exclusively handled by using GIS software. This can make SOTER methodology more suitable with modern technology. The rules of SOTER methodology are discussed in the article, and some of them applied to regional level are brought forward, which contributes to establishment of a whole series of SOTER methodology for application both at global and national level and at regional level. The SOTER database of HongKong can provide detailed information for the evaluation of soil quality, environment quality and the sustainable landuse management in this region.

Key words SOTER, Digital elevation model, DEM, Soil information system

973 项目“长江、珠江三角洲地区土壤和 大气环境质量变化规律与调控原理”启动

以中国科学院、教育部为依托部门、以中国科学院南京土壤研究所为依托单位的国家重点基础研究发展规划(973)项目“长江、珠江三角洲地区土壤和大气环境质量变化规律与调控原理”已于日前启动。该项目以改善环境质量、保障农产品安全和人体健康为目标,阐明长江三角洲(沪苏杭)、珠江三角洲(广深珠)地区大气和土壤复合污染现状、形成过程与机制,揭示主要污染物在农田生态系统中中和土/气、土/水、土壤/作物等界面间的迁移、转化和积累规律、通量及其生态环境效应,创建大气二次污染控制、土壤污染修复和农产品污染削减与预警的理论与方法,提出区域宏观污染控制对策和环境质量调控战略,为国家改善该地区土壤、大气环境质量和保障农产品安全提供科学依据,为我国中、西部乃至东南亚地区未来的环境保护和可持续发展提供理论、方法和途径,同时使我国区域环境科学研究在国际上占有一席之地。该项目的首席科学家是中国科学院南京土壤研究所研究员骆永明同志,中国科学院院士赵其国为学术指导专家,下设 11 个课题,由北京大学、浙江大学、中国环境科学研究院等 10 家单位共同承担。