中国农业科学 2014,47(16):3195-3213
Scientia Agricultura Sinica doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2014.16.008

【编者按】土壤学是农业科学基础学科之一。近代土壤学野外调查、定位试验等实证性研究方法的发展曾经对农业与环境科学方法产生深刻影响。近年来随着信息技术的发展，大数据技术在各个领域迅速发展。大数据技术能对庞大信息进行专业化处理和分析，从各类数据中获得新的信息。土壤科学积累并持续产生着海量调查与试验数据，采用大数据方法有利于从多视角了解和精确表征土壤肥力演变过程与环境过程。大数据方法具有的高精度、多要素、大区域尺度、时空维度等特征，使其格外适用于粮食安全、环境安全等现代主题研究，不仅扩展了现代土壤学的内涵与方法，也为农业与环境学科带来了新的启示。土壤学中大数据方法为多学科方法融合而成，主要内容是以科学目标带动数据模型与分析流程设计，方法特征与传统土壤学方法有较大区别。作者在多年研究基础上，较为系统地阐述了土壤时空数据库构建、土壤分类信息修编与整合、海量时空数据分析方法、大数据分析专用工具设计方法。为了使读者系统了解土壤学中大数据方法的主要特征、内容及应用状况，并希冀对此引发出不同的认识与争鸣，本刊特约专题，将 4 篇文章一并刊发。

中国：1：5 万比例尺数字土壤的构建

张维理[1]，张认连[1]，徐爱国[1]，田有国[2]，姚 政[3]，段宗颜[4]

（[1]中国农业科学院农业资源与农业区划研究所/农业部作物营养与施肥重点开放实验室，北京 100081；[2]全国农业技术推广服务中心，北京 100125；[3]上海市农业科学院，上海 201403；[4]云南省农业科学院农业环境资源研究所，昆明 650205）

摘要：【目的】对历史土壤调查结果进行信息抽提与整合近年来得到国际科学界高度重视。高精度土壤时空信息可用于土壤与环境质量评价、耕地保育、抗旱防涝减灾、水土流失防治、面源污染防治、土壤与农产品污染防治等众多领域，是现代科学研究和管理不可或缺的新型基础工具。中国近代进行过多次土壤调查，积累了大量土壤调查资料，已具备构建土壤时空数据库基础条件，但多年来各地调查资料分散存留，丢失损毁严重，未能发挥应有作用。本研究目标是对中国不同时期土壤调查完成的大比例尺土壤图件、具有坐标的土壤剖面点与土壤采样点信息进行收集、提取与整合，构建中国数字土壤图数据库 CDSM（China digital soil maps），以满足科学研究和管理对高精度土壤时空信息的需求。【方法】通过分析中国土壤调查资料状况与国际土壤调查主题变化趋势，完成了 CDSM 数据模型设计，确定了对全国各地土壤调查资料进行信息抽提与整合建库的工作边界。还建立并采用了海量空间数据分析方法和智能化海量空间信息分析软件包 IMAT（Intelligent mapping tools），通过总计 180 多个分段流程的数据处理与分析，完成了对各地异源、异质、异构、异形土壤资料的信息抽提和 CDSM 构建。【结果】CDSM 库收入的土壤资源与土壤质量信息在时间上覆盖了 30 多年，空间覆盖中国全境，要素类型有描述土壤要素地带性分布特征的面图层和描述土壤采样点信息的点图层两种。面图层精度主要为 1：5 万大比例尺。点图层为全国第二次土壤普查（二普）完成的 10 万个剖面和二普后完成的具有地理坐标的土壤剖面采样点和耕层采样点数据。CDSM 规模宏大，能以 100 m×100 m 空间分辨率提供具有时间序列和地理坐标的土壤信息，信息内容既含土壤类型、母质、土体构型、分层质地、机械组成等慢变化土壤信息，也

收稿日期：2013-12-22；**接受日期**：2014-04-15
基金项目：科技部科技基础性工作专项（2006FY120200、2012FY112100）
联系方式：张维理，Tel：010-82108394；E-mail：zhangweili@caas.cn

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

含土壤有机质、氮、磷、钾、酸碱度、中微量元素含量等快变化土壤质量信息，不仅可用于了解土壤质量现势状况，也可用于预测土壤质量变化。【结论】CDSM 库数据模型既能有效收录中国各地 30 多年来进行的各类土壤调查科学记载，实现按时空序列或按主题类型的调用和分析，也便于延展和扩充，可将各地在新一轮土壤调查中完成的土壤采样点信息汇入 S90PT 点图层中。在 CDSM 构建过程中，其阶段性数据产品已为多家科研单位、多个部门应用，今后随着 CDSM 库增补、在时间尺度上的延伸和主题类型上的增加，CDSM 库土壤时空信息将会在各领域有更广泛的应用。

关键词：中国土壤图数据库；时空数据；数据模型；土壤质量；土壤剖面数据

Development of China Digital Soil Maps (CDSM) at 1：50 000 Scale

ZHANG Wei-li[1], ZHANG Ren-lian[1], XU Ai-guo[1], TIAN You-guo[2], YAO Zheng[3], DUAN Zong-yan[4]

([1] *Chinese Academy of Agricultural Sciences, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning/The Ministry of Agriculture Key Laboratory of Crop Nutrition and Fertilization, Beijing 100081*; [2] *National Agricultural Technology Extension and Service Center, Beijing 100125*; [3]*Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403;* [4] *Yunnan Academy of Agricultural Sciences，Institute of Agricultural Environment and Resources, Kunming 650205*)

Abstract:【Objective】High priority has been paid on development of soil geo data base based on soil legacy data by international scientific community in recent years. Temporal and spatial soil information with high resolution, as a new and indispensable tool for researchers and managers, can be applied to soil and environmental quality assessment, arable land conversation, flood and draught mitigation, erosion control, non-point source pollution control, soil and agricultural product pollution control and many other areas. In last decades, several nation-wide soil surveys have been conducted in China. Large number of soil data has been obtained. However, the valuable soil survey data, still in hand drafting map or paper printing format, has been unavailable to researchers and public shares, as the data have been stored at different locations and have not been processed, digitalized and integrated. The purpose of the study is to develop China Digital Soil Maps (CDSM) through extracting soil information from legacy data collected from the whole country. 【Method】Data model of CDSM was constructed by analyzing the characteristics of soil legacy data from different time periods and with consideration of future trends to topics of soil survey. The data model confined the kinds and scopes of information to be extracted and compiled for CDSM. A data treatment working flow was developed, that composed of about 180 separated processes for extracting, analyzing and integrating heterogeneous and massive soil information of different regions and periods. CDSM has been completed by using the methodology for processing massive soil geo data and a computer software program IMAT (Intelligent Mapping Tools) developed in the study. 【Result】CDSM was mainly composed of two kinds of soil geo information. One kind was vector maps of the whole country at 1：50 000 scale with polygon objects to describe soil types, soil organic matter, total nitrogen, available phosphorus, available potassium and pH-value. The second kind was point data of about 100 000 soil profiles and 80 000 plough layer samplings with description of sampling point coordinates, sampling year, and soil physical and chemical properties obtained from soil survey works since 1980s. The information contains both the slow-changing soil features such as soil types, parent material, soil mechanical composition, texture and other morphological features and the fast-changing properties such as concentrations of soil carbon and nutrient concentrations. 【Conclusion】The study shows that the CDSM data model is fit both to accept different kind of legacy data from soil surveys across the country over 30 years and to further extend and expand in future. With the S90PT point layer, information of soil sampling points from the new round soil survey works can be added into CDSM. According to time series, space sequence or thematic order, required soil information of the whole country with a map resolution of 100 m×100 m can be inquired and provided by CDSM. The information has been applied by a number of agricultural, environmental and land resource organizations, divisions and research institutes for knowing current soil quality status and understanding changes in soil and environment quality. Along with the extension in time, space and themes in the future, CDSM spatial and temporal soil information will have broader application in various fields.

Key words: China digital soil maps; spatial and temporal information; data model; soil quality; soil profile data

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

0　引言

土壤是农业的基础，也是陆地生态系统生命过程的基础，直接影响地球上能量与水的交换、生命元素循环和生态系统生产力。土壤类型与土壤质量状况及其分布特征是土壤基本性质之一。土壤调查不仅是了解土壤类型及质量状况的主要方法，也是研究土壤生产力、土壤与环境过程的基本方法。因此，世界各国均十分重视土壤调查，主要发达国家在 20 世纪中期分别完成了全国范围的土壤调查，通过剖面观测和土壤采样，编制了土壤图和土壤剖面数据集，作为农业、环境、经济、社会等不同行业和研究领域的基础科学数据[1-9]。新近的研究还显示，利用土壤成图方法表征土壤资源与质量状况空间分布特征，虽然可以减少土壤调查中的地面采样量，但不能替代土壤调查和地面采样工作[10]。

20 世纪末以来，随着全球性人口和经济快速增长导致的人均土水资源紧缺、污染、气候变化、粮食安全危机，使得科学界对土壤和土壤过程关注度不断提高。关注重点也从了解土壤与环境质量现势状况扩展到弄清质量演变趋势和引致变化的内在机理。土壤圈处于地球大气圈、水圈、岩石圈和生物圈的交汇处，是四大圈层动态交互作用的结果。土壤中生物过程、物质循环过程既活跃，又具有一定的稳定性，适于为阐明生命和环境过程提供线索和证据。进行这类研究，不仅需要了解相关指标现势状况，更需要了解其历史状况。例如，了解土壤肥力演变、环境质量与气候变化驱动因子和发展趋势，需要分析土壤中相关指标如碳氮硫磷等生命元素、污染物含量指标在时空维度上的变化。这意味着，历史上完成的土壤科学记录不能为新的调查所替代。由于这一不可替代性，近年来在国际土壤科学界逐步得到认同的观点是：保存和收集历史上完成的土壤调查结果，构建具有时空维度的土壤信息库是土壤科学研究的重中之重[1, 11-14]。对于土壤时空信息库而言，随着今后新一轮土壤调查的实施，需要对其扩充和添加，而不是更新。

中国与世界主要发达国家，自 20 世纪末以来陆续开始对以往完成的纸质土壤调查结果进行数字化建库，并先后完成了小比例尺土壤图的数字化建库，荷兰、斯洛文尼亚等一些国土面积较小的国家还完成了大比例尺的土壤数字地图数据库[1,11,15-16]。对国土面积大的国家和地区，由于土壤图件数字化工作量庞大，更由于不同地区调查与成图标准差别大难以进行数据整合等问题，完成进度差别很大。如美国目前已完成了覆盖绝大部分州、县的高精度数字土壤（比例尺为 1：10 000—15 000），对极少量土壤调查工作缺失的地区，目前正在采用数字土壤成图方法（digital soil mapping）进行缺区补漏工作[17-18]。欧盟各国则在欧洲土壤局工作网（European Soil Bureau Network）协调下，逐步实施和完成覆盖欧洲的较高精度土壤空间数据库（空间分辨率为 50—100 m）[1,19-20]。英国、澳大利亚、日本等国家也依托各自国家级专业科研院所，在 20 世纪土壤调查基础上，进行数字土壤图的建库[1,11,21-23]。

在利用历史土壤调查资料构建土壤时空信息库的研究中，整理和汇总土壤剖面记录，构建具有地理坐标的土壤剖面点信息库受到科学界更大的关注[1,11]。不仅由于剖面点土体构造、成土条件、剖面分层理化性状信息能够为了解成土过程、土壤碳氮循环、环境质量演变提供直接的观测数据，剖面点信息也是利用数字成图方法构建推理模型、表征区域尺度土壤与环境过程的基础[10-11]。在美国土壤分类中，有地域代表性的典型土壤剖面实际上构成了土壤分类系统的最下层级——土系，土系命名多采用典型剖面所代表的地域名[24]。在过去半个世纪中尽管各国完成了大量的剖面调查，由于在较早的土壤调查中尚未使用 GPS 设备，不同地区剖面点采样与剖面调查方法存在差别等问题，各国在构建土壤剖面点数据库上进展差别也很大，如澳大利亚已经完成了含 16 万个具有地理坐标的土壤剖面点数据库[11,21,25]。在美国大比例尺土壤图籍中，基本附有典型土壤剖面土体构造、成土条件、理化性状记录[17-18]。德国在土壤调查中曾完成了 16 万个土壤剖面点的理化性状记载，但至今尚未完成这些剖面点信息的数字化及其坐标定位[11]。欧盟目前对各成员国共享使用的土壤剖面点数据库仅含 4 000 个典型土壤剖面的信息[11,20]。

中国作为人口大国，由于人均土水资源紧缺，导致许多原本不宜农用的土壤被垦为农田，耕地土壤整体质量偏低。近年来建设占地导致全国范围优质耕地被大量占用，中低产田比例上升；高强度农田利用方式造成各地农田土壤肥力质量、健康质量和环境质量下降，对粮食安全、环境安全、食品安全构成威胁。中国环境问题也十分严重，土壤重金属污染、水体富营养化问题突出。土壤既可以是污染物的承受体和“处理工厂”，通过土壤相关过程的作用使其消解，也可以是污染物的排放源或形成源，土壤氮磷排放进入水体会导致水污染，土壤重金属和有机污染物会造成农产品污染。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

面对优质土壤资源下降、环境问题日益严重的形势，构建中国土壤时空信息库，掌握土壤、环境与农产品质量状况及变化趋势，对于国家粮食安全、环境安全、农产品安全和可持续发展具有格外重要的意义。

本研究即是对我国各地完成的大量而珍贵的土壤调查科学资料进行采集、信息抽提、汇总与整合，以构建中国具有时空维度的土壤信息库——中国数字土壤图库（CDSM，China digital soil maps）。在这一过程中，不仅需要了解和研究中国不同地区土壤分类、土壤调查方法、土壤质量评价指标特征及其地域性差异，还需要对异源、异质、异形、异构海量土壤信息进行数字化、信息抽提、整合建库和成图表达。研究内容和采用方法涉及到土壤学、信息与计算机科学、地理信息制图学等多个专业领域。在本文中笔者将重点介绍中国土壤调查科学数据资源状况、CDSM 建设目标、CDSM 数据模型与数据库构建，目的是使读者对中国土壤调查和土壤科学数据基础状况、CDSM 库内容及建库方法有更清晰的了解，促进中国土壤时空信息库的发展及其在不同研究领域和行业的应用。

1 中国土壤调查科学数据资源状况

采用历史土壤调查资料，构建具有时空维度的土壤资源与质量数据库，需要全面了解中国以往进行的土壤调查内容及其存留资料特征。

中国是世界上进行土壤调查最早的国家之一，早在公元前 1 000 多年前就有土壤调查的记载，如《尚书·禹贡篇》一书载有全国土地分九州，根据土壤肥力将土壤分为 3 等 9 级；《周礼》、《管子·地员篇》、《氾胜之书》、《齐民要术》等也都有关于土壤调查和分类知识的记载和总结，较西方发达国家早了将近 2 000 年[26-27]。

中国具有现代科学意义的土壤调查始于 20 世纪，由于本研究更关注可用于构建土壤资源与质量时空数据库的土壤调查，表 1 列出了自 20 世纪中叶以来中国开展的土壤调查产出的土壤图件和土壤采样点记录状况[28-33]。

根据表 1 所列各次土壤调查获得的土壤图件与土壤采样点记录产出，近代中国全国性土壤调查可以分为 3 个时段：

（1）全国第二次土壤普查之前

从表 1 可见，从 19 世纪前叶至全国第二次土壤普查（二普），中国在土壤调查中主要完成了小比例尺的土壤类型图及土壤肥力分区图。这些调查基于发生分类的思想，同时以服务农业生产为主要目的之一，完成了比例尺从 1 500 万至 250 万的土壤图，为中国之后的土壤调查提供了宝贵的借鉴。由于这些调查采用的土壤分类体系和土壤肥力评价指标各不相同，调查产出中也缺少采样点土壤理化性状记载，实际上难以用于构建土壤信息时空数据库。

（2）全国第二次土壤普查

在 1979—1986 年期间开展的二普是中国近代规模最大的、以查清土壤类型与土壤肥力为主要目标的多目标土壤资源综合调查。二普不仅采样密度高，科学性和系统性在中国近代进行的全国性土壤调查中也非常突出。二普由农业部和全国土壤普查办公室统一部署，由国家级专业土壤科研单位在科学层面牵头，百余名长期从事土壤学专业研究的科研工作者组成顾问组，共同制定了全国土壤分类系统和统一的土壤调查技术规程[34-36]，指导并检查各地调查的实施。调查中，各地以 1 万比例尺地形图为工作底图，以乡为调查单元进行野外采样作业，成图则采用分县成图，逐级汇总的方式，地、市级和省级汇总中普遍应用了卫星影像进行土壤分布规律的宏观控制和土壤图的校核，对边远、高寒和无人区则采用遥感技术进行判读解译，填补了在之前土壤调查及成图中上述地区的空白。

在二普土壤类型调查中，各地共挖取土壤观察剖面 500 万余个，记录了 1—2 m 土体各发生层形态和特征，根据土壤分类标准对土壤进行了分类和命名，同时完成了约 10 余万个典型剖面土壤采样，测定了土体分层质地、有机质、大中微量元素养分、酸碱度、阳离子代换量、土壤矿物组成等近百项土壤理化性状。在大量剖面土体观测和采样调查基础上，全国分县完成了 1∶5 万比例尺土壤图绘制，并在分县土种志中，对 10 万余个剖面进行了分层土壤理化性状的记载和描述。至今这些图件与资料是中国最详尽、最具科学价值的土壤资源基础信息，其精度与质量达到许多发达国家土壤资源基础数据（表 2）。

在二普土壤肥力调查中，全国共采集了 200 多万个耕层土壤样本，农区采样密度达到 6—35 hm^2 一个农化样本，林牧区达到 2—6 km^2 一个农化样本。对全部农化样本，分析了土壤有机质、有效氮磷钾、酸碱度含量，部分样本还测定了微量元素含量等。在大量采样和测定基础上，分县完成了 1∶5 万土壤有机质、全氮、有效氮、有效磷含量、有效钾含量和酸碱度分布图的绘制。

二普是中国历史上最全面和系统的一次土壤资源调查，为掌握中国土壤资源数量与质量状况累积了丰

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　近代中国开展的土壤调查及其土壤图件、土壤采样点记录产出[28-33]

Table 1　Soil maps and sampling description from soil surveys in last decades in China

调查时段 Period	主题与范围 Object and covering region	实施部门 Completer	土壤图件与土壤采样点记录产出 Achievements*	存储介质 Storage media
19 世纪前叶—1945 Early 19th century -1945	区域性调查 Regional survey	不同研究者 Researchers	1：1500 万中国土壤区域略图 1：15 000 000 China soil region map 1：840 万中国土壤图 1：8 400 000 China soil map	纸质 Paper
1958—1960	全国第一次土壤普查 The first national soil survey	农业部 Ministry of Agriculture	1：250 万中国农业土壤图 1：2 500 000 China soil map for cultivated land 1：400 万中国农业土壤肥力概图 1：4 000 000 China soil fertility map	纸质 Paper
1979—1986	全国第二次土壤普查（二普） The second national soil survey	农业部 Ministry of Agriculture	全国分县 1：5 万土壤图 1：50 000 Soil maps of counties 全国分县 1：5 万土壤养分含量图 1：50 000 Soil nutrient maps of counties 土壤剖面采样点土壤理化性状 Soil profile physical & chem. features	纸质 Paper
1999—2004	全国植烟土壤养分调查 Soil nutrient investigation of Tobacco cropping regions	中烟公司 China Tobacco Ind. Corp.	采样点土壤养分含量（GPS 定位） Soil nutrient contents of sampling points with geographic coordinate	电子 Digital
1999—2009	全国农用地分等定级调查 State investigating and grading for cultivated land	国土部 Ministry of Land and Resources		
2002—	全国地质元素调查 State geological element investigation	国土部 Ministry of Land and Resources	采样点土壤地质元素含量（GPS 定位） Soil geological element contents of sampling points with geographic coordinate	电子 Digital
2005—	全国农田土壤养分调查 State soil nutrient investigation for cultivated land	农业部 Ministry of Agriculture	采样点土壤养分含量（GPS 定位） Soil nutrient contents of sampling points with geographic coordinate	电子 Digital
2006—	全国污染土壤调查 State investigation for polluted soils	环保部 Ministry of environmental protection	采样点土壤污染元素含量（GPS 定位） Soil pollutant contents of sampling points with geographic coordinate	电子 Digital
2009—2011	中国森林土壤资源概查 State generalized forest soil survey	教育部 Ministry of Education	采样点土壤理化性状（GPS 定位） Soil physical & chem. features of sampling points with geographic coordinate	电子 Digital
2007—	中国土系调查 Investigation for soil series in China	科学院 Chinese Academy of Sciences	土壤剖面采样点理化性状（GPS 定位） Soil profile physical & chem. features with geographic coordinate	电子 Digital

*仅列出调查产出中的全国性土壤图和具有土壤理化性状实测结果的土壤采样点记录。其他类型的调查产出，如：局部地区土壤图、土壤调查评价方法、评价报告等未予列出

Only national soil maps and soil sampling records with soil physical and chemical characteristics were listed in table 1, other achievements from soil survey such as maps of certain regions or reports were not listed

表 2　中国与一些发达国家土壤调查与土壤图精度比较[11,37-39]

Table 2　Comparison of resolutions of soil maps accomplished in different counties

国家 County	土壤图比例尺 Soil map scale	完成情况 Accomplishment
中国 China	1：50 000	基本完成 Basically accomplished
美国 USA	1：12 000－24 000	基本完成 Basically accomplished
加拿大 Canada	1：50 000—500 000	基本完成 Basically accomplished
澳大利亚 Australia	1：100 000—250 000	完成农区 Agricultural area
法国 France	1：100 000—250 000	39%地区 Covering 39% area
德国 Germany	1：5000—1：200 000	完成 Accomplished
英国 England	1：63 000	基本完成 Basically accomplished
荷兰 Netherlands	1：50 000	完成 Accomplished
日本 Japan	1：50 000	基本完成 Basically accomplished

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

富的科学资料，其中土壤资源的慢变化性状，如成土过程、成土条件、土壤类型、土体构造、土壤机械组成、土壤质地、母质等，时效性长，CRT 值（土壤性状响应时间）达上千年，可长久使用。而土壤资源的快变化性状，如土壤碳含量、氮磷钾养分含量、紧实度、耕层厚度等，是构建土壤信息时空数据库，了解土壤肥力与环境质量演变的重要科学依据。

（3）全国第二次土壤普查之后

从表 1 可见，二普之后的全国性调查主要以对土壤功能性状的调查为主，如农业部在测土配方施肥项目中开展的全国农田土壤养分调查属于土壤肥力质量调查，环保部开展的全国污染土壤调查与土壤环境质量相关。二普之后，中国虽然也有一些以土壤分类为目标的土壤资源科学调查，如中国森林土壤资源概查、中国土系调查，但调查规模、采样密度均无法与二普相比。二普之后全国性土壤调查的另一个主要特征是 GPS 定位技术的采用。中国在全国植烟土壤养分调查中最早采用了 GPS 定位技术，对 2 万多个农田土壤采样点进行了坐标定位。此外，二普之后对土壤调查结果的保存，如对土壤采样点记录和图件的保存，存贮介质由纸质转为计算机等电子介质。

纵观中国近代历次土壤调查，可以看出，二普之前，中国土壤调查的主要内容与土壤分类相关，调查方法以观测性调查和定性评价为主，极少有土壤采样和土壤理化性状分析测试。二普之后，土壤调查重点转为土壤肥力与环境质量调查，调查方法也转为主要通过采样点土壤理化性状等量化指标对土壤肥力和土壤污染状况进行评价。处于这一变化转折点的二普，在总结之前国内外土壤调查经验基础上，不仅完成了中国迄今为止最为详尽的土壤分类调查，也首次在全国范围进行了较高密度的土壤采样调查，开启了中国用量化的土壤理化性状指标了解土壤资源与土壤质量状况的时代。

二普所获土壤调查成果既含有中国目前最全面和系统的土壤类型信息，也含有比较全面的、定量化的土壤肥力质量信息。二普存在的问题是：产生的图件和土种志等工作成果主要分散留存在各地，特别是信息量丰富的大比例尺土壤图件为手工绘制，数量很少，30 年来随着机构变动，各地图件与资料丢失、损毁严重，对其收集已刻不容缓。此外，对于构建时空数据库而言，二普资料还存在以下问题：

第一，二普完成的图件和土壤剖面采样点土壤理化性状资料为纸质，需要完成工作量庞大的纸质图件和资料的数字化工作。

第二，二普产生的图件与土种志为分县完成，一方面，各地技术水平不同导致图件地理坐标短缺、投影、幅面不同；另一方面，中国幅员辽阔，不同地区成土条件、土壤类型差异大也造成全国各地区土壤理化性状难以采用完全相同的测试方法和分级指标，构建全国土壤资源时空数据库，需要解决对异源、异质、异构、异形土壤信息的提取与整合问题。

第三，二普时尚未应用 GPS 技术，分县土种志所记载的 10 余万个土壤剖面无坐标信息。如前所述，剖面点科学记载作为第一手土壤调查资料，不能为遥感信息、模拟数据等替代，是了解成土过程和研究土壤与环境质量演变必不可少的基础信息。而具有地理坐标的土壤剖面信息是构建推理模型，进行土壤功能制图的基础数据，为此需要研究和建立剖面采样点地理坐标匹配方法，以生成具有地理坐标的土壤剖面空间数据库。

在系统收集了分散存留各地的大比例尺土壤图件和资料之后，解决上述问题就成为构建中国土壤信息时空数据库的关键。实际上，由于世界各主要发达国家大规模土壤调查实施时间上普遍早于中国二普，以上 3 个问题不仅是中国二普资料存在的问题，也是各主要发达国家在利用历史土壤调查科学记录构建具有时空维度的土壤信息库遇到的共性问题。

2 CDSM 建库目标

CDSM 目标是收入中国各地自二普以来完成的土壤调查科学数据，构建具有时空维度的全国土壤资源信息库。

CDSM 库由土壤类型信息库与土壤质量时空信息库共同组成。在土壤类型信息库中，通过对全国分县完成的大比例尺土壤图、土种志及土壤调查资料的抽提、整理和整合，建立中国 1∶5 万比例尺土壤类型图数据库，该库将收入全国详尽土壤类型、分布及土壤属性信息，成为中国重要的自然资源基础图件之一。CDSM 库土壤质量时空信息库的建库目标是收入并提供具有时空维度的土壤质量原始科学记载与采样分析结果。中国土壤质量时空数据库更类似于收入气象观测结果的气象数据库。对于了解气象条件或进行气象过程预报预测而言，具有地理坐标和时间序列维度的气温、降水量、蒸发量等气象实测数据必不可少。而了解土壤质量现势状况或对土壤质量变化进行预测，也需要具有地理坐标和土壤采样时间信息的土壤理化

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

性状实测数据。由此，CDSM 库数据模型不仅要容纳过去 30 年来中国不同地区土壤质量调查结果，还要能够容纳未来可能进行的土壤质量调查和采样分析结果。今后，随着中国新一轮土壤质量调查的展开和对本库的补充，中国将有能力为全国各地提供具有时间序列和地理坐标的土壤理化性状科学数据，供农业、环境、经济等领域应用。CDSM 库土壤质量时空信息库对入库土壤调查数据的 3 个基本要求为：第一，数据属于土壤理化性状实测数据；第二，数据具有地理坐标，包括通过 GPS 获得的经纬度坐标或通过土壤理化性状分布图获得的空间坐标；第三，数据具有土壤采样调查时间记录。

3　CDSM 数据模型

CDSM 数据模型（Conceptual data model）在此作为 CDSM 库特征的抽象，用于落实建库目标，表达建库指导思想，确定对异源、异质、异构、异形、不同时段土壤调查资料进行信息抽提、整理和整合建库的工作内容与边界，界定 CDSM 库结构、命名与标准。在本研究中，通过研究中国在以往土壤调查中存留的土壤科学记录、土壤图件、典型剖面资料与耕层土壤采样点资料特征，分析国际近代土壤调查特征和发展趋势，比较国内外高精度基础地理信息数据模型，最终确立 CDSM 数据模型示于表 3。

3.1　数据模型组成

CDSM 数据模型由土壤类型信息、土壤质量信息及基础地理信息 3 大类空间数据组成。

3.1.1　土壤类型信息　土壤类型信息主要收入土壤类型及分布、成土条件、土体构造、母质等土壤类型与成土过程相关信息，由土壤类型图层（SOIPY）和土壤剖面点图层（SOIPT）组成。其中，SOIPY 层根据对二普分县完成 1：5 万土壤类型图的抽提、整合生

表 3　中国 1：5 万比例尺土壤图数据库（CDSM）数据模型

Table 3　CDSM data model

信息类型 Info type	调查时段 Years	层名 Map layer	层类型 Layer type	层描述 Layer description	属性表名 Attrib. table	表描述 Table description
土壤类型信息 Soil types	1978—1986	SOIPY	多边形 polygon	土壤类型 Soil types	SOIPY	土壤属性表 Soil attribute table
					GRT	土类属性表：土类成土条件、典型特征 Attribute table for soil great group
					SUB	亚类属性表：亚类成土条件、典型特征 Attribute table for soil subgroup
					GEN	土属属性表：土属成土条件、典型特征 Attribute table for soil genus
					SPE	土种属性表：土种成土条件、典型特征 Attribute table for soil specie
		SOIPT	点 point	土壤剖面点 Soil profile	SOIPT	土体构造、剖面特征 Morphological features of soil pedon
土壤质量信息 Soil quality data	1978-1986	SOMPY	多边形 polygon	土壤有机质含量 Organ. matter cont.	SOMPY	有机质含量分级表 Grades and range of organ. matter cont.
		SNTPY	多边形 polygon	土壤全氮含量 Total nitrogen cont.	SNTPY	土壤全氮含量分级 Grades and range of total nitrogen cont.
		SNAPY	多边形 polygon	土壤有效氮含量 Avail. nitrogen cont.	SNAPY	土壤有效氮含量分级 Grades and range of avail. nitrogen cont.
		SPAPY	多边形 polygon	土壤有效磷含量 Avail.phosphorus cont..	SPAPY	土壤有效磷含量分级 Grades and range of avail. phosphor cont..
		SKAPY	多边形 polygon	土壤有效钾含量 Avail. potassium cont..	SKAPY	土壤有效钾含量分级 Grades and range of avail. potassium cont..
		SPHPY	多边形 polygon	土壤酸碱度 pH value	SPHPY	土壤酸碱度分级表 Grades and range of pH value
		SOIPT	点 point	土壤剖面点 Soil profile	S80PT	剖面点分层土壤理化性状 Physic. & chemic. characteristics of soil profile
	1990 后 1990-	S90PT	点 point	1990 年后采样点 Samplings after. 1990s	S90PT	采样点土壤理化性状 Physic. & chemic. characteristics of soil samples
辅性信息：基础地理信息图层，含政区，水系，居民地，地貌、道路 Complementary info: basic geographical information map layers, including administrative region, water, residence, terrain, road						

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

成，含 5 个属性表，土壤属性表（SOIPY）为本图层主属性表，描述本图层空间对象代表的土壤类型。土类（GRT）、亚类（SUB）、土属（GEN）、土种（SPE）4 个属性表与主属性表挂接，分别收入空间对象代表的本层级土壤类型及其隶属的高层级土壤类型的成土条件及土壤类型典型特征信息。

SOIPT 层收入了二普中完成的约 10 万个土壤剖面。该层属性表则用于描述剖面土体构型、母质、植被及其他土壤类型与成土过程相关信息。如前所述，具有地域代表性剖面采样点记载不仅是进行土壤分类的基础，还是对土壤成土条件、土体构造以及土壤理化性状的客观描述。土壤剖面点母质、土体构造特征以及土壤剖面分层理化性状是土壤的本质性状，不易受土壤分类系统变化的影响。

土壤类型及其分布特征为气候、生物、母质、地形和时间五大成土因素作用结果，其变化也受成土因素影响，与土壤质量性状相比，土壤类型变化速度更为缓慢。这也意味着土壤类型信息时效性较长。在国际范围，目前只有部分发达国家拥有基本覆盖全境的 1∶5 万比例尺土壤类型信息。

3.1.2 土壤质量信息 土壤质量主要指土壤肥力、土壤环境与土壤健康质量。如前所述，由于土壤质量与人类生活关系更密切，实际上，人类对土壤质量及变化的关注度要远超过对土壤类型以及成土过程的关注，土壤质量不仅是土壤资源的重要组成，也是土壤科学的主要研究内容。在 CDSM 数据模型中，为构建具有时空维度的土壤质量数据库，按中国土壤调查数据资源特征，将土壤质量数据划分为两大时段。

第一时段为 1978—1986 年期间全国在二普中获得的土壤肥力质量信息。本时段含 6 个面图层和 1 个点图层，为 1∶5 万土壤有机质、土壤全氮、土壤有效氮、土壤有效磷、土壤有效钾含量、土壤酸碱度分布图和土壤剖面点图层。在 CDSM 数据模型中，将二普获得的土壤质量信息单独列为一个时段，一方面由于二普完成的耕层土壤养分调查结果存留资料主要为纸质图件，数字化后形成矢量面图层，在数据格式上与二普后土壤调查产出主要为 GPS 定位采样点信息有较大区别；另一方面则由于二普在时间上正处于中国改革开放初期，土壤调查结果可以反映中国在农用化学品投入量较低、农业生产水平较低、环境污染问题也较少时期的土壤质量状况。本时段列入的土壤剖面点图层（SOIPT）与在土壤类型信息所列土壤剖面点图层的空间对象相同，但挂接的属性表不同。在土壤质量信息中，属性表 S80PT 主要收入了剖面分层养分含量等土壤肥力相关理化性状。

第二时段仅含 1 个点图层 S90PT，用于收入二普之后在不同类型土壤调查中获得的有 GPS 坐标定位的土壤采样点信息。通过在 S90PT 点图层中设置采样年份、采样分层类型码和土壤质量指标类型码，可以进行按年份、按样点采样分层类型和按土壤质量指标类型的收入和调用（表 4）。

3.1.3 辅助信息 CDSM 数据模型中辅助信息采用中国测绘部门完成的水系、居民地、地貌、政区和道路数据，均为对成土过程及土壤质量有直接影响或对了解土壤区域分布必不可少的基础地理信息要素（表 5）。

3.2 数据模型特征

应用 CDSM 数据模型进行建库的实践表明，这一数据模型适合于对中国不同地区在不同时段、采用不同土壤理化分析方法完成的土壤调查原始记载与成果进行信息抽提和汇总。CDSM 数据模型在实际应用中显示出以下特征：

3.2.1 适用于保留土壤调查数据原始记载 应用 CDSM 数据模型，目前已收入了二普完成的 1 700 个县的土壤图与土壤养分图、全国 2 000 多个县约十万个土壤剖面分层采样测试结果，收入了二普之后不同

表 4 1990 年后采样点图层 S90PT 中空间对象的分类

Table 4 Types of spatial objects in point map layer S90PT for soil samplings after 1990

图层名 Map layer	属性表 Attribute table	属性表字段名 Data	字段释义 Data description
S90PT	S90PT	_ID	空间对象 Spatial object
		SYEA	采样年份 Sampling year
		SDEP	采样分层类型码，如：耕层、剖面分层 Codes for sampling layering, such as plough layer sampling or profile sampling
		SQUA	土壤质量指标类型码：土壤肥力指标、土壤污染指标、环境指标等 Codes for types soil quality indicates such as soil fertility indicates, pollutant indicates or environment indicates

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 5　CDSM 数据模型中辅助信息图层

Table 5　Complementary map layers of CDSM

要素类型 Info type	层名 Map layer	层类型 Layer type	层描述 Layer description
居民地 Residence	RESNT	面线 Polygon, line	居民地 Residence
	RESPT	点 Point	居民点 Residential point
水系 Water	HYDNT	面线 Polygon, line	水系 Water
	HYDLK	线点 Line, point	水系 Water
地形 Terrain	TERLK	线点 Line, point	地貌 Terrain
政区 Administrative region	BOUNT	面线 Polygon, line	境界 Boundary
道路 Road	RAILK	线点 Line, point	铁路 Railway
	ROALK	线点 Line, point	公路 Public roads

部门和行业在不同时段完成的数万个采样点土壤质量调查结果，通过将零散存放于全国各地土壤调查原始记载的抽提、整合与汇总，CDSM 数据模型能有效地使中国 30 多年来的土壤调查科学记载系统再现，进行按时空序列或按主题类型的调用和分析。

3.2.2　数据模型易于延展和扩充　CDSM 数据模型目前含 9 个图层、14 个属性表，数据结构简洁。二普之后全国性土壤调查所获采样点理化性状记录均并入 S90PT 点图层。在未来，随着新一轮全国性土壤调查的完成，GPS 定位土壤采样点理化性状观测记录的增加，土壤质量指标类型的增加，也可以根据采样点土壤质量指标类型，生成多个主题更加专一的点图层，如土壤肥力、土壤环境与土壤健康质量采样点图层。

3.2.3　便于与中国高精度基础地理信息链接　本数据模型空间数据、属性数据组织方式和图层命名方式参照国家基础地理信息数据结构与命名方式，使得土壤要素与水系、居民地、地貌和政区等专题要素辅助信息易于合并使用，既方便查看对成土过程及土壤质量有直接或间接影响的辅助要素信息，也有益于今后对 CDSM 中基础地理信息的更新或添加。

4　土壤海量信息、提取与整合建库方法

采用异源、异质、异形分县土壤图件、分县土种志与采样点资料构建具有时空维度的全国大比例尺土壤资源信息数据库，不仅要完成数量庞大的纸质资料数字化、地图图件地理校正、矢量化等基础技术工作，还需要完成土壤类型审定、土壤空间要素审核、分类与赋码、图层与图幅标准化、剖面点坐标匹配、整合建库、地图视图表达等多种类型的研究与分析任务，整个流程含数百个分段流程，不同分段流程相互关联、并行或交错展开。而在对海量空间信息进行数据加工与分析操作时，要对数以亿计的数据条目进行提取、编审、赋码、函数命名、属性数据挂接、筛选与表达，仅需要保存的关键节点数据量超过 30TB。整个过程不仅数据加工工程量浩大，专业与技术难度也非常大，利用主流数据库软件包与地理信息系统软件包采用传统人工建库方法将难以在可控时间内完成这一工作。本研究中，通过采用海量空间数据提取、整合与制图表达方法[40]和与该方法配套的海量空间信息分析与地图制图软件包 IMAT[41]，以智能化、自动化和人机交互方式完成了 CDSM 库构建。

5　CDSM 数据库构建

依照 CDSM 数据模型和各地土壤调查数据资源状况，CDSM 数据库构建分为 4 项任务，分别为：分县土壤图数字化与整合建库、分县土壤养分图数字化与整合建库、土壤剖面信息数字化、提取与整合建库、二普之后土壤采样点信息提取与整合建库。由于每项任务工作目标、资料存储介质不同，数据整理、提取、整合技术流程与难点也不尽相同。

5.1　分县土壤图的数字化、信息提取与整合建库

分县土壤图数字化信息提取与整合建库流程从分县纸质图件与资料登记、构建元数据到汇入 1：5 万全国土壤图库总计需要完成 70 多个分段流程的数据加工处理。在总流程中，每个分段流程均有其特定的科学或技术目标、特定的数据整理与分析方法以及特定的输入、输出数据要求。将总流程分解为多个分段流程的主要优点是在建库过程中，便于进行人机交互式的、土壤科学家与数据库操作员交互式的数据分析，从而实现在科学目标引领下的数据整理与整合建库，而这一点对异源、异质、异构、异形海量土壤空间信息的提取、整合与制图表达十分重要[18]。为说明土壤

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

图数字化与整合建库过程，将各分段流程进行逻辑合并后示于图 1。从图 1 可见，整个流程在逻辑上可划分为以下 4 段：

5.1.1 原始纸质土壤图矢量化与土种志数据库化 分县纸质土壤图件和土种志在分别完成资料来源、内容、产生背景、获取方式等信息元数据构建后，土壤图进入矢量化流程，土种志进入数据库化流程。1∶5 万纸质土壤图经过图件扫描、地理校正、矢量化、数据与图层标准化、投影转换等数据处理，首先生成分县矢量土壤图数据。分县土壤图所显示土壤类型的成土条件、母质、植被、土体构造特征等土壤类型成土过程相关信息均记载于分县土种志中，在进行图件矢量化同时，需要对分县土种志进行数字化和数据库化处理，提取出与分县土壤类型图相关联的土壤类型属性信息。

5.1.2 分县土壤图空间数据逻辑结构标准化 对于异源、异质海量空间信息整合建库而言，本段各项数据分析与处理十分关键，需要通过土壤科学家与数据库操作员交互式工作方式，进行多项在科学目标引导下的数据提取、整理、整合与分析。

在利用第一阶段工作成果完成分县矢量土壤图数据与源于分县土种志土壤类型属性信息挂接后，首先采用源于土种志土壤类型属性信息对源于分县矢量化土壤图中的土壤类型信息进行审核、校验。这是由于分县 1∶5 万比例尺纸质土壤图，经过 30 年存放，资料残破、变形较大，土壤类型标注模糊。初审后，利用 IMAT 系统提供模糊判断、智能纠错、地理分析统计判断、多空间要素逻辑判断等分析功能进行复审[41]。之后再通过多名土壤专家联合编审方式，根据中国国标发布的土壤分类系统对各分县土壤图土壤类型名进行终审与编修。对土壤分类系统编修的基本原则已有另文详述[42]，这里不再叙述。完成对分县土壤图土壤要素全部空间对象及其属性信息的审核、修订、分类与赋码后，最终生成逻辑结构统一的分县土壤图数据[40]。

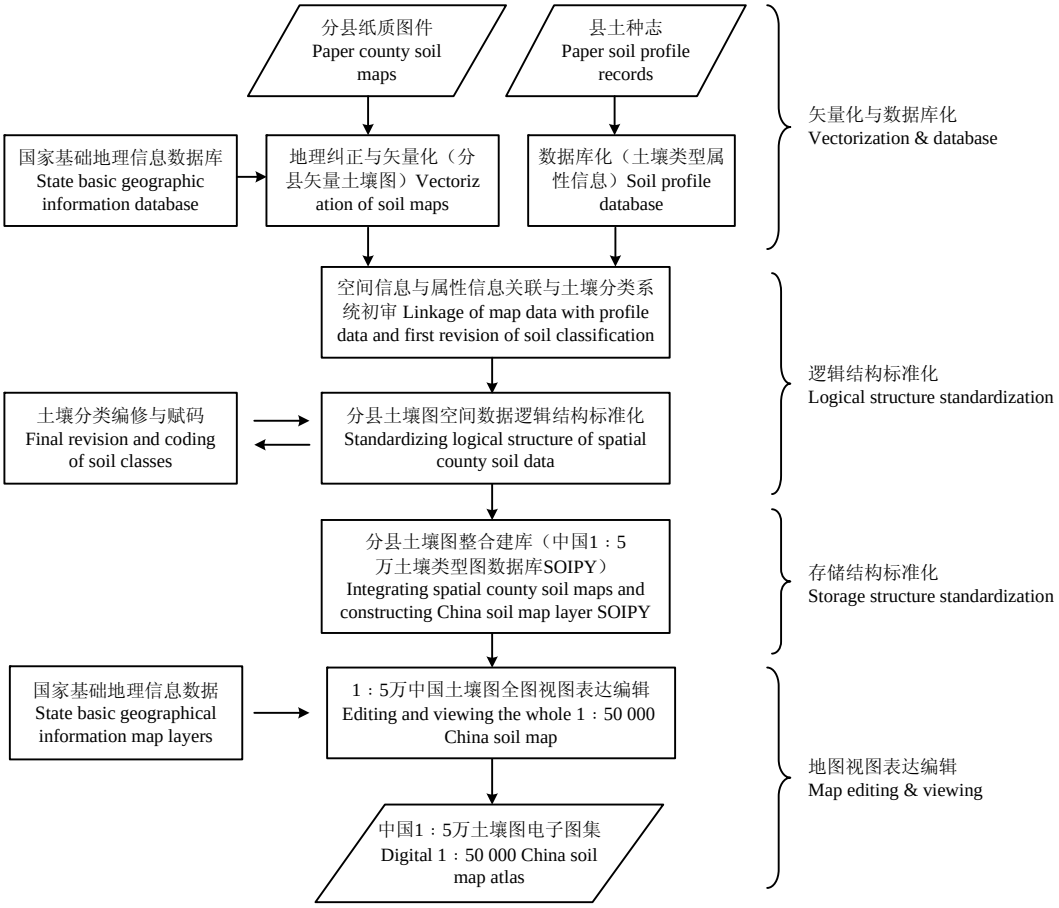

图 1 分县土壤图数字化与整合建库流程

Fig. 1 Working flow for digitalizing and integrating soil maps of different counties

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

5.1.3　分县土壤图存储结构标准化　在完成分县土壤图逻辑结构标准化后，利用 IMAT 工具中分幅变换等功能模块，将分县土壤图数据库合并为以 5 万标准分幅为地图数据基本存储单元的全国土壤类型图数据库，至此，不含辅助信息的全国土壤类型图图层 SOIPY 已经完成。

5.1.4　土壤图的视图表达编辑　本段工作目标是利用之前完成的土壤类型图层和源于国家基础地理信息库的政区、水系、居民地、地貌、道路等土壤图制图辅助信息图层，进行可视化土壤图的成图表达，即完成可供绘图仪纸质输出或直接用于屏幕显示的中国 1：5 万土壤图电子图集。在进行全图各分幅图制图表达时，通过采用海量空间数据制图表达方法[18]和智能化地图制图软件包 IMAT[19]，能按照各分幅图所在区域土壤类型和土壤图辅助信息地理要素特征，进行人机交互式的、差异化及智能化的空间要素筛选，土壤类型颜色渲染、制图符号与注记表达。至此分县土壤图的数字化与整合建库过程结束。图 2 显示了经过整合建库后最终完成的中国 1：5 万土壤图分幅图样图。

5.2　分县土壤养分图的数字化与整合建库

分县 1：5 万土壤养分图包括土壤有机质、全氮、有效氮、有效磷、有效钾含量图以及酸碱度分布图共 6 个图层。6 个图层的整合建库流程基本相同，每个图层从纸质图件登记、构建元数据、信息提取到完成全国图库整合及视图表达均需要进行 50 余项分段流程操作。在对各分段流程进行逻辑合并后，其逻辑分段与土壤图整合建库流程相似（图 1），也可分为纸质图件矢量化、分县养分图空间数据逻辑结构标准化、存储结构标准化以及养分图视图表达 4 段。在 4 个逻辑分段中，仍然是第二段和第四段是整个流程的难点。

中国由于地域广阔，各地自然条件与农业生产条件差异大，导致土壤养分含量状况差别也很大。不同地区不仅土壤养分含量量化分级标准不同，土壤有效

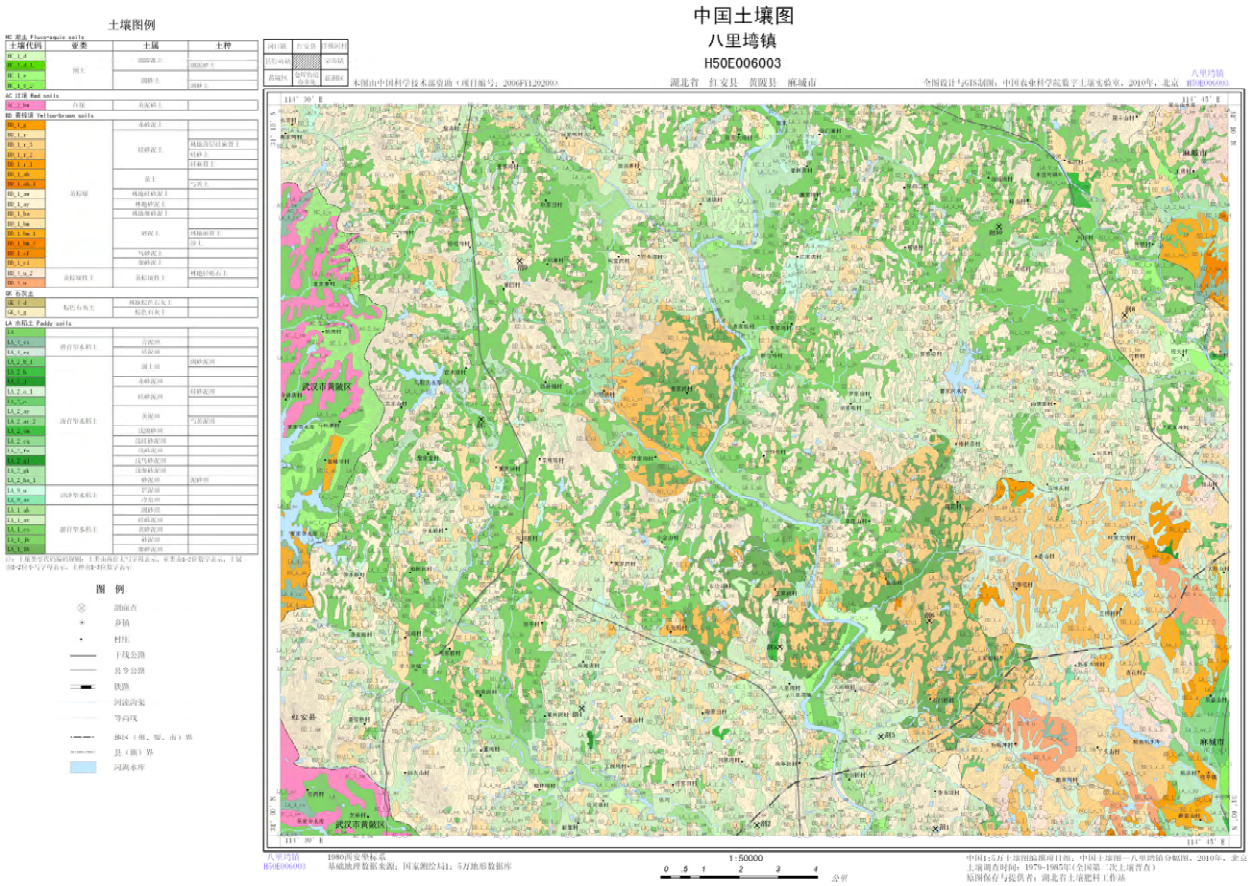

图 2　中国 1：5 万土壤图电子图集中分幅图样图

Fig. 2　Sub-map example of soil map of china at 1：5 000 scale

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

养分浸提方法与测试方法也不相同。浸提剂和测试方法不同，土壤养分含量的物理意义与农学意义不同。例如，对于土壤有效磷的测定，中国大部分地区采用 Olsen P 法，但也一些酸性土壤地区采用 Bray P 法。以土壤有效磷含量评价作物磷养分丰缺状况，Olsen P 法丰缺指标通常为 5—10 mg P·kg^{-1}，Bray P 法则为 15—30 mg P·kg^{-1}。土壤有效钾和酸碱度也有多种浸提剂与测试方法。因而，在第二逻辑分段中，需要根据各地区测试方法与量化分级指标的异同，为各分县土壤养分图空间对象进行浸提测试方法与分级指标的分类与赋码，最终生成逻辑结构统一的分县土壤养分图数据库。这里仍然可以采用 IMAT 软件包提供的功能模块，进行人机交互式的、智能化的分类与赋码。

在完成分县养分图逻辑结构标准化后，通过采用 IMAT 软件包可直接进行存储结构的标准化，即：完成全国土壤养分图的整合，生成不含辅助信息的全国土壤有机质含量图层 SOMPY、全氮含量图层 SNTPY、有效磷含量图层 SPAPY、有效钾含量图层 SKAPY 和酸碱度含量图层 SPHPY。

在第四逻辑分段中，采用智能化地图制图软件包 IMAT，可加入国家基础地理信息库的政区、水系、居民地、道路等地图制图辅助信息图层，并进行可视化大比例尺全国土壤养分图的成图表达。在成图中，可根据土壤养分浸提测试方法、土壤养分分级标准异同，进行同质合并、多测试方法与多分级系列的并列表达，并完成土壤养分含量分布图的颜色渲染、图例与注记表达，最终生成可供绘图仪纸质输出或直接用于屏幕显示的中国 1∶5 万比例尺各土壤养分图全图。

在二普中，中国一部分省、市、自治区还完成了耕层土壤微量元素含量分布图，包括土壤铁、锰、铜、锌、钼、硼 6 个微量元素，成图比例尺以 1∶100 万比例尺为主。在进行土壤养分图的信息抽提与整合建库时，本研究还采用同样方法，完成了各分省土壤微量元素含量图的矢量化和整合建库。

5.3 土壤剖面信息数字化与整合建库

在二普完成的 2 000 多册分县土壤志中，含有典型土壤剖面成土条件、土体构造以及土体分层土壤理化性状的详细记载，这是对土壤本质性状的客观描述。将土壤剖面信息从纸质分县土种志中提取出来，最后形成具有地理坐标的全国土壤剖面点图层需要经过 60 余个分段流程的数据处理。对各分段进行逻辑合并后可划分为图 3 所示 4 段。

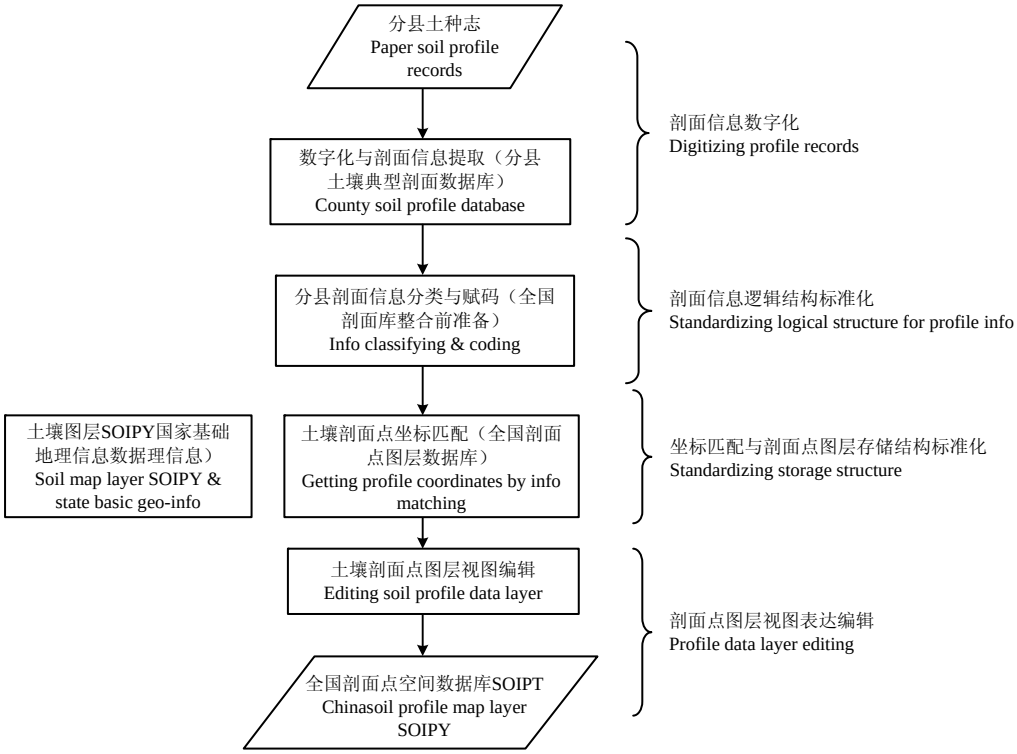

图 3 分县土壤剖面的数字化与整合建库流程

Fig. 3 Working flow for digitalizing and integrating soil profile data of different counties

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

5.3.1　分县剖面信息数字化与信息抽提　分县土壤志经过扫描、图片处理、文字识别与数据录入等过程，生成可编辑电子图书。再从分县土壤志电子图书中提取出每个典型剖面的采样地点信息、剖面点母质、植被等成土条件、土体构造、肥力特征以及剖面分层理化性状，完成分县典型剖面数据库。

5.3.2　剖面信息逻辑结构标准化　在本逻辑分段中，主要是根据各地区剖面土壤理化性状浸提测试方法与量化分级指标的异同，对各分县剖面库进行测试方法与分级指标的分类与赋码，为全国剖面库信息提取、整合做准备。采用 IMAT 软件包，能够进行人机交互式的剖面库编辑、审核、多维库管理与结构重组。本段还需要完成典型剖面的赋码与赋名，在全国典型剖面点空间数据库中，典型剖面命名使用了采样点地名与当地土壤名复合的方式生成，若土种志中无关于该剖面代表当地土壤名的记载，则仅用采样点地名命名。例如：湖北建始县细沙乡火龙村-红泥土、河南扶沟县菲园刘村-黑老土。

5.3.3　土壤剖面点坐标匹配与剖面点图层存储结构标准化　分县土壤志中典型剖面均没有地理坐标记载，但是能提取出关于采样点地点的详细记录，如乡镇名、村名、母质、海拔高程、土类、亚类、土属、土种名等。而从 1：5 万土壤类型图 SOIPY 和 1：5 万基础地理信息数据库也能提取出上述信息。通过多类型要素匹配方法，能使无空间坐标的土壤剖面从 1：5 万土壤类型图和基础地理信息数据库中获得其空间坐标。在 1：5 万比例尺空间数据库中空间对象分辨率可达到 100 m×100 m 精度（表 6），折合为 1 hm^2，而在选择、确定典型剖面采样点点位时，通常要求其所代表的土壤类型在面积上能代表采样点周围 100 亩以上的土壤，通过这种匹配方法获得的点位对实际采样点点位有较高代表性。

表 6　制图比例尺与空间分辨率

Table 6　Cartographic scale and spatial resolution

地图比例尺 Cartographic scale	像素边长 Pixel size	标称空间分辨率 Nominal spatial resolution	
1：5000	5 m×5 m	10 m×10 m	0.01 hm^2
1：20000	20 m×20 m	40 m×40 m	0.16 hm^2
1：50000	50 m×50 m	100 m×100 m	1 hm^2
1：250000	250 m×250 m	500 m×500 m	25 hm^2
1：1000000	1 km×1 km	2 km×2 km	400 hm^2
1：2000000	2 km×2 km	4 km×4 km	1600 hm^2

通过 IMAT 软件包，可设置、选择匹配要素类型和数目，进行模糊度设置，完成智能化的采样点地点信息提取和坐标匹配。在完成土壤剖面点坐标匹配后，可利用 IMAT 软件包功能将分县土壤剖面点数据直接转成全国剖面点图层数据。

5.3.4　剖面点图层视图表达编辑　在完成全国剖面点图层数据后，需要利用 IMAT 软件包中土壤采样点陆域类型检验模型对土壤剖面所在的陆域类型进行最后的自动判别、检验和修正，利用 IMAT 软件包中土壤采样点点位顺序标识模型，按地图图面从左上角至右下角的顺序，对土壤剖面顺序赋码，以便在读图时易于找到剖面点在图面上的位置[19]。在图面剖面点较多时，这一功能十分重要。至此全国剖面点图层 SOIPT 完成。

5.3.5　剖面点图层属性表特征　SOIPT 点图层主要特征是其空间对象是以多维关键字段（Key）关联方式与多个属性表挂接。表 7—10 中分别列出了与 SOIPT 点图层挂接的 1—4 维属性表的样表片段。采用这种多维表数据结构，易于进行不同类型土壤剖面属性信息的管理，也便于区别和追溯土壤理化性状测试方法与量化分级指标的异同。在剖面点一维土壤属性信息表中收入了与剖面点 ID 直接关联的信息，如剖面名称、剖面点经纬度坐标、成土条件、土体构造特征与肥力特征等（表 7）。在剖面点二维土壤分层理化性状信息表中收入了与剖面点各分层关联、采用相同测试方法的土壤理化性状信息，如：土壤有机质、全氮、全磷含量等（表 8）。在剖面点三维土壤分层理化性状信息表中收入了与剖面点各分层关联、但采用不同测试方法的土壤理化性状信息，如：土壤酸碱度（表 9）。在剖面点四维土壤分层理化性状信息表中收入了与剖面点、剖面土层分层、土壤测试方法、土壤理化性状分级标准共计 4 维关键字段关联的土壤理化性状信息，如剖面点各土层机械组成（表 10）。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表7 剖面点一维土壤属性信息表[43-44]

Table 7 One-dimensional information of soil profile

剖面名 Profile name	点坐标 Profile coordinates	成土条件 Soil forming conditions	土体构造特征 Profile morphological feature	肥力特征 Profile fertility feature	土壤类型 Soil type
河南扶沟县柴岗乡翟楼村-黄土 Henan Fugou county-Chaigangxiang Zhailoucun-yellow soil	E114.25 N34.09	缓岗地貌，地势较高，成土母质为河湖相沉积物 Slight slope upland, fluviolacustrine sediment parent material	通体质地轻壤，土色为黄色，熟化程度中等，土体中石灰反应强度不一，剖面下层有明显碳酸钙淀积后形成假菌丝 All horizons light texture, yellow, moderate maturation, varying intensity of calcareous feature, having pseudo mycelium at lower horizon	耕性较好，通透性较好，保水保肥性能一般，适宜种植小麦、棉花、大豆和烟叶等作物 Good tillage property, good permeability, medium water and nutrient holding capacity, suitable for the cultivation of wheat, cotton, soybeans and tobacco	褐土土类、潮褐土亚类、二潮黄土土属、黄土土种. Cinnamon soils (great group), fluvo-aquic cinnamon soil (subgroup), refluvo-aquic loess (soil genus), yellow soil (soil specie, local soil type)
湖北建始县细沙乡火龙村-红泥土 Hubei Jianshi County-Xishaxiang Huolong cun-red clay soil	E109.91 N30.85	低山谷，石灰岩母质 Low valley, limestone parent material	表层黄化而心土层仍具红色土层。土层较深，土体构型为 A-B-C，心土层有铁锰胶膜或结核，土壤呈酸性反应，质地粘重，底层紧实，孔隙度小，结构性差 Yellow surface soil layer and red subsoil layer, deep soil horizon, A-B-C profile pattern, having iron-manganese cutan in subsoil layer, acidic reaction, sticky texture, tight bottom, small porosity, poor soil structure	物理性黏粒 62.1%，容重 1.4 以上，物理性不良，土壤通透性差，宜耕期短，耕性差，不耐干旱。虽保肥能力较强，但有机质与养分含量低，发老苗不发小苗 Physical clay 62.1%, bulk density above 1.4, poor physical properties, poor soil permeability, poor tillage property and short time for tillage, drought intolerant, high nutrient holding capacity and low nutrient and organic matter content, Seedling sensible and more appropriated for crops in late growing period	红壤土类、黄红壤亚类、石灰岩黄红壤土属、红泥土土种 Red soils (great group), yellowish red soils (subgroup), limestone yellowish red soils (soil genus), red clay soil (soil specie, local soil type)

表8 剖面点二维土壤分层理化性状信息表[1)]

Table 8 Two-dimensional information of soil profile

剖面名 Profile name	土层码 Profile horizon	土层厚度 Horizon thickness (cm)	有机质 organic matter ($g \cdot kg^{-1}$)	全氮 Total N ($g \cdot kg^{-1}$)	全磷（P_2O_5） Total P ($g \cdot kg^{-1}$)
河南扶沟县柴岗乡翟楼村-黄土	A	0—25	10.6	0.61	1.25
Henan Fugou county-Chaigangxiang	B	25—58	3.40	0.30	0.92
Zhailoucun -yellow soil	C	58—100	6.40	0.39	1.13
湖北建始县细沙乡火龙村-红泥土	A	0—19	20.4	1.20	0.40
Hubei Jianshi County-Xishaxiang	B	19—52	18.3	1.10	0.40
Huolongcun-red clay soil	C	52—100	4.10	0.50	0.20

1) 土壤理化性状测试方法相同 Same testing methods for soil chemical and physical features were involved

表9 剖面点三维土壤分层理化性状信息[1)]

Table 9 Three-dimensional information of soil profile

剖面名 Profile name	pH 测试方法 pH testing method	土层码 Profile horizon	pH
河南扶沟县柴岗乡翟楼村-黄土	水浸提	A	8.1
Henan Fugou county-Chaigangxiang Zhailoucun-yellow soil	Water abstracting	B	8.4
		C	8.4
湖北建始县细沙乡火龙村-红泥土	KCl 浸提	A	5.8
Hubei Jianshi County-Xishaxiang Huolong cun-red clay soil	KCl abstracting	B	5.6
		C	5.4

1) 不同地区土壤剖面理化性状测试方法不同 Different testing methods for soil chemical and physical features were involved

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 10　剖面点四维土壤分层理化性状信息 [1)]

Table 10　Four-dimensional information of soil profile

剖面名 Profile name	土壤颗粒分级制 Testing method for soil mechanical composition	土层码 Profile horizon	粒级等级 Particle size grade	粒级大小 Particle size (mm)	百分比 Percent (%)
河南扶沟县柴岗乡翟楼村-黄土 Henan Fugou County-Chaigangxiang Zhailoucun-yellow soil	M1 [2)]	A	1	<0.01	45.85
			2	>0.01	54.15
		B	1	<0.01	48.85
			2	>0.01	51.15
		C	1	<0.01	41.27
			2	>0.01	58.73
湖北建始县细沙乡火龙村-红泥土 Hubei Jianshi County-Xishaxiang Huolong cun-red clay soil	M2 [3)]	A	1	<0.001	22.1
			2	0.001—0.005	19.6
			3	0.005—0.01	10.4
			4	0.01—0.05	33.8
			5	0.05—0.1	14.1
		B	1	<0.001	36.2
			2	0.001—0.005	20.9
			3	0.005—0.01	11.4
			4	0.01—0.05	20
			5	0.05—0.1	11.5
		C	1	<0.001	42.9
			2	0.001—0.005	18.4
			3	0.005—0.01	13.6
			4	0.01—0.05	19.9
			5	0.05—0.1	5.2

[1)] 剖面土壤理化性状测试方法、分级指标均不同。[2)] 土壤颗粒分级制 1：由两个级组成，为：物理性粘粒＜0.01 mm（%）和物理性砂粒＞0.01 mm（%）。[3)] 土壤颗粒分级制 2：5 个级组成，为：黏粒<0.001mm（%）、细粉粒 0.001—0.005 mm（%）、中粉粒 0.0051—0.01 mm（%）、粗粉粒 0.01—0.05 mm（%）、细砂粒 0.05—0.1 mm（%）

[1)] Different testing methods and different grading systems for soil features were involved. [2)] Soil particle size fractionation system 1, composed with 2 grades, particle size <0.01 mm (%) & >0.01 mm (%). [3)] Soil particle size fractionation system 2, composed with 5 grades, particle size <0.001 mm (%), 0.001-0.005 mm (%), 0.0051-0.01 mm (%), 0.01-0.05 mm (%) & 0.05-0.1 mm (%)

5.4　第二次土壤普查之后土壤采样点信息的提取与整合建库

二普后土壤采样点信息基本含 GPS 坐标定位，调查内容主要是采样点土壤质量理化性状量化指标，调查结果有数据库化电子文档，因而对源于不同主题、不同区域的土壤采样点调查结果进行整合建库时，不需进行采样点土壤质量信息的数字化和采样点坐标匹配，故整合建库仅含采样点信息逻辑结构标准化、采样点图层存储结构标准化和采样点图层视图表达编辑 3 个逻辑分段，最终生成二普后土壤采样点图层 S90PT。

与全国剖面点图层 SOIPT 比较，S90PT 点图层数据结构中增加了采样年份、采样分层类型码和土壤质量指标类型码（表 11）,在进行逻辑结构标准化和采样点图层存储结构标准化 2 个逻辑分段中需要增加相关处理，其他数据分析流程与剖面点图层 SOIPT 相似，这里不再赘注。

至目前，S90PT 点图层已经收入了中国自 20 世纪 90 年代以来完成的数万个耕层采样点及少量土壤剖面分层调查结果，这些土壤调查结果分别来自全国植烟土壤调查、一些地区在实施农业部测土施肥项目中完成的农田土壤养分调查和一些科研单位进行的污染土壤调查。建库实践表明，本研究建立和采用的 S90PT 点图层数据模型，能按采样年份、采样土层分层类型和土壤质量指标类型，对异源、异质、不同时段土壤调查结果进行有效的分类汇总；而 S90PT 点图层与多

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 11 S90PT 点图层中采样年份、采样分层类型码与土壤质量指标类型码记录样例

Table 11 Records for soil sampling year, types of sapling depth and soil feature in S90PT point map layer

空间对象 ID （采样点码） Soil sampling ID	东经 East longitude	北纬 North latitude	采样年份 Sampling year	采样分层类型码 Soil depth type code	质量指标类型码 Soil feature type code
1	109.8908	30.5073	2002.3	Ara （耕层 Ploughing layer）	Pol （土壤污染 Soil pollution）
2	129.9915	46.0081	2005.5	Pro （剖面分层 Soil profiles）	Env （环境 Environment）
3	117.0746	39.2984	2010.3	Ara （耕层 Ploughing layer）	Nut （土壤养分 Soil nutrients）
4	110.2919	19.3038	2011.11	Pro （剖面分层 Soil profiles）	Nut （土壤养分 Soil nutrients）

维属性表链接的数据结构，则适用于对源于不同土壤理化性状测试方法与量化分级指标的土壤质量信息进行分类汇总。

6 CDSM 数据库数据清单与共享应用状况

通过对分县大比例尺土壤图件、分县土种志和土壤采样点数据的提取与整合建库，本项研究完成的CDSM 库及相关数据产品清单列于表 12。

从表 12 可见，CDSM 库由 9 大图层组成，每个图层含有一至多个属性表。其中 7 个面图层，具有矢量数据和栅格数据两种数据类型。这些图层通过与国家基础地理信息的复合成图表达，分别生成了 1∶5 万比例尺土壤图（辅助信息为 1∶5 万比例尺国家基础地理信息）和公开版土壤图（辅助信息为 1∶25 万比例尺公开版国家基础地理信息），并以纸质地图和 JPG 电子地图方式输出，能满足不同学科领域和行业对土壤时空基础信息的需求。

CDSM 库是中国第一个体系架构比较完整的土壤时空数据库，也是中国目前最详尽的土壤资源基础数据库。该库收纳了中国自 20 世纪 70 年代末以来在全国范围土壤调查中获得土壤类型与土壤质量科学记载，能以 100 m×100 m 空间分辨率提供具有时间序列和地理坐标的土壤信息。

表 12 CDSM 数据库数据及相关产品清单

Table 12 Product list of CDSM

图层 Map layer	层描述 Layer description	矢量数据 Vector data	栅格数据 Raster data	纸质输出地图 Paper maps	电子图像输出 JPG maps
SOIPY	土壤类型 Soil type	√	√	√	√
SOMPY	土壤有机质含量 Soil organic matter conc.	√	√	√	√
SNTPY	土壤全氮含量 Soil total nitrogen conc.	√	√	√	√
SNAPY	土壤有效氮含量 Soil available nitrogen conc.	√	√	√	√
SPAPY	土壤有效磷含量 Soil available phosphorus conc.	√	√	√	√
SKAPY	土壤有效钾含量 Soil available potassium conc.	√	√	√	√
SPHPY	土壤酸碱度 Soil pH value	√	√	√	√
SOIPT	土壤剖面点 Soil profiles	√			√
S90PT	1990 年后采样点 Soil samplings after 1990	√			√

为满足不同学科领域、行业和部门对土壤资源与质量信息的急迫需求，本着“边建设、边共享、边应用”的原则，在 CDSM 构建过程中，其阶段性数据产品已提供多家科研单位，用于进行大气质量演变、碳氮循环规律、作物适生性分析、水土流失、面源污染防控、土壤肥力演变等方面的研究。CDSM 数据产品还同时提交中国农业、国土、环境、公众教育等多个部门，全国 20 余个省、市、自治区以及 1 000 多个县，为这些部门和地区实施“耕地地力调查”、“水体污染控制与治理”、“测土配方施肥”、“基本农田建设”等国家工程提供了土壤基础信息。

随着CDSM中8个图层SOIPY、SOMPY、SNTPY、SNAPY、SPAPY、SKAPY、SPHPY、SOIPT 对中国全境的逐步覆盖，随着二普之后土壤采样点图层

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

S90PT 的持续扩充，中国在土壤调查中获得的土壤时空信息将会在不同领域有更广泛的应用。

7　结语

中国近代进行过多次土壤调查，积累了大量土壤调查资料，已具备构建土壤时空数据库基础条件，但多年来调查资料分散存留各地，丢失损毁严重，未能发挥应有作用。为构建中国数字土壤图数据库 CDSM，本研究分析了中国土壤调查资料状况与国际土壤调查主题变化及发展趋势，完成了 CDSM 数据模型设计，确定了对全国各地土壤调查资料进行信息抽提与整合建库的工作边界。本研究还建立并采用了海量空间数据分析方法和智能化海量空间信息分析软件包 IMAT，通过总计 180 多个分段流程的数据处理与分析，完成了对各地异源、异质、异构、异形土壤资料的信息抽提和 CDSM 构建。

CDSM 库收入的土壤资源与土壤质量信息在时间上覆盖了 30 多年，空间覆盖中国全境，要素类型有描述土壤地带性分布特征的面图层和描述土壤采样点信息的点图层两种，前者精度主要为 1：5 万大比例尺，后者为有坐标的点数据。CDSM 规模宏大，能以 100 m×100 m 空间分辨率提供具有时间序列和地理坐标的土壤信息，信息内容既含土壤类型、母质、土体构型、分层质地、机械组成等慢变化土壤信息，也含土壤有机质、氮、磷、钾、酸碱度、中微量元素含量等快变化土壤质量信息，不仅可用于了解土壤质量现势状况，也可用于进行土壤质量变化预测。在 CDSM 构建过程中，其阶段性数据产品已被用于大气质量演变、碳氮循环规律、作物适生性分析、水土流失、面源污染防控、土壤肥力演变等不同类型研究工作和多项国家工程。

CDSM 库数据模型结构简洁，含 9 个图层、14 个属性表，既能有效收入中国各地 30 多年来进行的各类土壤调查科学记载，实现按时空序列或按主题类型的调用和分析，也便于延展和扩充，将各地在新一轮土壤调查中完成的土壤采样点信息汇入 S90PT 点图层中。今后，随着 CDSM 库中高精度土壤肥力与环境质量时空信息的不断增加，CDSM 库将会在各个领域将有更广泛的应用。

致谢：刘更另院士、赵其国院士、孙铁珩院士、孙九林院士、刘旭院士对本项研究给予指导，雷秋良、张怀志、武淑霞、冀宏杰、李兆君参与本项研究，在此致以诚挚的谢意！

References

[1] Dobos E, Carré F, Hengl T, Reuter H I, Tóth G. Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities, EUR 22123 EN, 2006: 68.

[2] Sumner M E. *Handbook of Soil Science*. CRC Press, 1999: H542, H67.

[3] Soil Survey Staff. *Soil Survey Laboratory Geographic Database Data Use Information*. USDA Miscellaneous Publications, 1995: 1527.

[4] Expert Committee on Soil Survey. *The Canadian Soil Information System (CanSIS): Manual for Describing Soils in the Field*. Land Resource Research Centre, Ottawa, Canada, 1983.

[5] Sumner M E. *Handbook of Soil Science*. CRC Press, 1999: H41-H52.

[6] European Soil Bureau Network. *Soil Atlas of Europe*. Belgium and Italy: European Commission, 2005.

[7] Isbell R F. *Australian Soil Classification (revised edition)*. Canberra: CSIRO Land & Water, 2002: 144.

[8] 李昌华. 日本的土壤分类. 土壤学进展, 1981(5): 15-23.
Li C H. Soil classification of Japan. *Progress in soil Science*, 1981, (5): 15-23. (in Chinese)

[9] 菅野一郎. 1979. 日本土壤分类问题. 周传槐译. 土壤学进展, 1980, (1): 15-23.
Ichiro K. 1979. Problems of soil classification in Japan. Translated by Zhou C H. *Progress in Soil Science*, 1980, (1):15-23. (in Chinese)

[10] McBratney A B, Mendonca Santos M L, Minasny B. On digital soil mapping. *Geoderma*, 2003, 117: 3-52.

[11] Lagacherie P, McBratney A B, Voltz M. *Digital Soil Mapping, An Introductory Perspective*. Amsterdam: Elsevier, 2007: 659.

[12] Boettinger J L, Howell D, Moore A, Hartemink A E. *Digital Soil Mapping Bridging Research, Environmental Application, and Operation*. Springer-Verlag, 2010: 462.

[13] Sanchez P A, Ahamed S, Carré F, Hartemink A E, Hempel J, Huising J, Lagacherie P, McBratney A B, McKenzie N J, Mendonça-Santos M d L, Minasny B, Montanarella L, Okoth P, Palm C A, Sachs J D, Shepherd K D, Vågen T, Vanlauwe T-G, Walsh M G, Winowiecki L A, Zhang G L. Digital Soil Map of the World. *Science*, 2009, 325: 680-681.

[14] McBratney A B, Mendonca Santos M L, Minasny B. On digital soil mapping. *Geoderma*, 2003, 117: 3-52.

[15] Kempen B, Brus D J, Heuvelink G B M, Stoorvogel J. Updating the 1:50,000 Dutch soil map using legacy soil data: a multinomial logistic regression approach. *Geoderma*, 2009, 151:311-326.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[16] Brus D J, Bogaert P, Heuvelink G B M. Bayesian maximum entropy prediction of soil categories using a traditional soil map as soft information. *European Journal of Soil Science*, 2008, 59: 166-177.

[17] USDA. Natural Resources Conservation Service. Soils National Soil Information System (NASIS). http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/cid=nrcs142p2_053552.

[18] USDA. Natural Resources Conservation Service. Web Soil Survey 3.0-New Features. http://websoilsurvey.nrcs.usda.gov/app/NewFeatures.3.0.htm.

[19] Lambert J J, Daroussin J, Eimberck M, Le Bas C, Jamagne M, King D, Montanarella L. Soil Geographical Database for Europe & The Mediterranean: Instructions Guide for Elaboration at Scale 1:1 000 000. Version 4.0. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, EUR 20422 EN, 2003: 64.

[20] European Soil Data Centre. http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/.

[21] CSIRO Land and Water. Australian Soil Resource Information System (ASRIS). http://www.asris.csiro.au/asris.

[22] Cranfield Soil and AgriFood Institute, Cranfield University. LandIS - Land Information System: A soils-focused information system for England and Wales. http://www.landis.org.uk/index.cfm.

[23] Yoshitake K. A computerized soil information system for arable land in Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*, 30(3): 287-287.

[24] Soil Survey Staff. *Soil Taxonomay: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys* (*Second Edition*). Agriculture Handbook No.436. USDA, Washington: Natural Resources Conservation Service, 1999: 871.

[25] National Committee on Soil and Terrain (Australia). *Australian Soil and Land Survey Field Handbook*. *3rd ed*. CSIRO Publishing, 2009.

[26] 王云森. 中国古代土壤科学. 科学出版社, 1980: 217.
Wang Y S. *Soil Science in Ancient China*. Beijing: Science Press, 1980: 217. (in Chinese)

[27] 王云森. 中国古代土壤分类. 土壤学报, 1979, 16(1): 1-8.
Wang Y S. Soil Classification in Ancient China. *Acta Pedologica Sinica*, 1979, 16(1): 1-8.(in Chinese)

[28] 唐近春. 全国第二次土壤普查与土壤肥料科学的发展. 土壤学报, 1989, 26(3): 234-240.
Tang J C. The second national general soil survey and the developments in soil and fertilizer sciences. *Acta Pedologica Sinica*, 1989, 26(3): 234-240. (in Chinese)

[29] 席承藩, 章士炎. 全国土壤普查科研项目成果简介. 土壤学报, 1994, 31(3): 330-335.
Xi C F, Zhang S Y. Brief Introduction on Achievements in National Soil Survey Project Since 1979. *Acta Pedologoca Sinica*, 1994, 31(3): 330-335. (in Chinese)

[30] 萧查理. 中国土壤——中国土壤区域略图(附图). 实业部地质调查所, 1931.
Xiao C L. *Soil of China-Outline Soil Map of China. Institute of Geological Survey*. The Ministry of Industry, 1931. (in Chinese)

[31] 陈恩凤. 中国土壤地理. 上海: 商务印书馆, 1945: 130.
Chen E F. *Soil Geography in China*. Shanghai: the Commercial Press, 1945: 130. (in Chinese)

[32] 农业部全国土壤普查办公室. 中国农业土壤图(1∶250 万), 北京: 农业部全国土壤普查办公室, 1966.
State Soil Survey Office of Agricultural Ministry. Agriculture Soil Map of China at 1∶25 000 000 Scale. Beijing: State Soil Survey Office of Agricultural Ministry, 1966. (in Chinese)

[33] 农业部全国土壤普查办公室. 中国农业土壤肥力概图(1∶400 万), 北京: 农业部全国土壤普查办公室, 1966.
State Soil Survey Office of Agricultural Ministry. Outline Soil Fertility Map of China at 40 000 000 Scale. Beijing: State Soil Survey Office of Agricultural Ministry, 1966. (in Chinese)

[34] 中国土壤学会土壤地理及土壤分类专业委员会. 中国土壤分类暂行草案(1978), 杭州: 浙江人民出版社, 1979.
Soil Geography and Soil Classification Committee of China Soil Science Society. *Provisional Draft for China Soil Classification*. Hangzhou: Zhejiang People's Press, 1979. (in Chinese)

[35] 全国土壤普查办公室. 全国第二次土壤普查暂行技术规程. 北京: 农业出版社, 1979.
State Soil Survey Office of Agricultural Ministry. *The Provisional Technical Direction for the Second National Soil Survey.* Beijing: Agriculture Press, 1979. (in Chinese)

[36] 全国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术. 北京: 农业出版社, 1992.
State Soil Survey Office of Agricultural Ministry. *Techniques for Soil Survey of China*. Beijing: Agriculture Press, 1992. (in Chinese)

[37] Behrens T, Scholten T. Digital soil mapping in Germany-a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169(3): 434-443.

[38] Cranfield Soil and AgriFood Institute, Cranfield University. Soil Classification System for England and Wales. http://www.landis.org.uk/downloads/classification.cfm.

[39] King D, Jamagne M, Arrouays D, Bornand D, Favrot J C, Hardy R, Le Bas C, Stengel P. Inventaire cartographique et surveillance des sols en France. *Etat d'advancement et exemples d'utilisation. E´ tude et Gestion des Sols*. 1999, 6: 215-228.

[40] 张维理. 海量空间数据提取、整合与制图表达方法概要. 中国农业科学, 2014, 47(16): 3231-3249.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Zhang W L. A summary of methodology for extracting, integrating and mapping of massive geo-data. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(16): 3231-3249. (in Chinese)

[41] 张维理. 智能化海量空间信息分析与地图制图软件包 IMAT 设计与构建. 中国农业科学, 2014, 47(16): 3250-3263.
Zhang W L. Design and development of software package Intelligent Mapping Tools (IMAT). *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(16): 3250-3263. (in Chinese)

[42] 张维理, 徐爱国, 张认连, 冀宏杰. 土壤分类研究回顾与我国土壤分类系统的修编. 中国农业科学，2014, 47(16): 3214-3230.
Zhang W L, Xu A G, Zhang R L, Ji H J, Wu S X. Review of soil classification and revision of China Soil Classification System. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(16): 3214-3230. (in Chinese)

[43] 扶沟县农业局. 扶沟土壤. 1986.
Fugou County Agricultural Bureau. Fugou County Soil, 1986. (in Chinese)

[44] 建始县土壤普查办公室. 建始县土壤志. 1986
Jianshi County Soil Survey Office. Jianshi County Soil, 1986. (in Chinese)

（责任编辑　张晶）

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net