

doi: 10.12029/gc2021Z212

论文引用格式: 母海东, 陈辉, 张志飞, 张斌. 2021. 全国 1:200 000 区域水文地质图空间数据库 [J]. 中国地质, 48(S2): 124-138.

数据集引用格式: 母海东, 陈辉, 张志飞, 张斌. 2021. 中国地质调查局: 全国 1:200 000 区域水文地质图空间数据库 [DB]. 地质科学数据出版系统. DOI:10.35080/data.C.2021.P23; <http://dcc.ngac.org.cn/cn/geologicalData/details/doi/10.35080/data.C.2021.P23>

收稿日期: 2017-12-19

改回日期: 2018-01-02

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目 (121201055 0201) 和南水北调中线干线水体特征与溯源分析研究项目资助。

全国 1:200 000 区域水文地质图空间数据库

母海东¹ 陈辉^{2*} 张志飞³ 张斌⁴

(1. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北石家庄 050061; 2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037; 3. 河北省地质环境监测院, 河北石家庄 050021; 4. 中国地质环境监测院, 北京 100081)

摘要: 全国 1:200 000 区域水文地质图空间数据库以建国后在全国范围内 (本次未在香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾省开展工作) 30 个省开展的 1:200 000 区域水文地质普查工作所取得的区域水文地质普查报告、综合水文地质图等地质资料为数据源, 在制定的“1:200 000 区域水文地质图空间数据库图层及属性文件格式标准”的基础上, 建成了全国性的、大型的区域水文地质学空间数据库。该数据库总共采集、处理了全国范围内 1:200 000 图幅的 1 017 幅全要素综合水文地质图信息, 全部数据量 200 GB。数据库涵盖了以 1:200 000 国际标准图幅为管理单位的水文地质要素空间数据图层, 内容包括: 地理要素 (交通层、水系层、行政区划层等), 基础地质要素 (地层分区层、断裂构造层), 水文地质要素 (地下水类型层、地下水富水性层、地下水迳流模数层, 地下水水质层、水文地质特征层、地下水利用规划层), 专题要素 (综合水文地质柱状图, 水文地质剖面图) 四大类近 30 个要素图层。空间数据库主要采用 MapGIS 地理信息系统格式存储, 形成了目前国内覆盖范围最广、包含信息最完整的区域水文地质图空间数据库成果, 是地质领域全国性最重要的基础信息资源之一。

关键词: 1:200 000; 全国; 水文地质图; 空间数据库; 中国

数据服务系统网址: <http://dcc.ngac.org.cn/>

1 引言

建国以来, 全国已经基本完成 1:200 000 区域水文地质普查工作, 形成了一整套全国范围内的区域水文地质基础信息。区域水文地质图空间数据库的建设一方面是抢救全国范围内区域水文地质普查成果资料的时代需求, 更是创建区域水文地质图空间数据库建设工作指南、普及水文地质专业信息化建设相关知识、培训水文地质专业信息建设人员和完善地质成果信息化建设流程、完善信息化建设质量控制和全面反映区域水文地质

第一作者简介: 母海东, 男, 1972 年生, 教授级高工, 从事水工环信息化综合研究; E-mail: 103871872@qq.com。

通讯作者简介: 陈辉, 男, 1963 年生, 教授级高工, 长期从事水工环信息化建设; E-mail: chenhui@mail.cgs.gov.cn。

特征要素综合空间信息的重大举措。该数据集按照统一的地理信息系统空间数据库标准实施, 主要涉及地理要素、基础地质要素、水文地质要素、水文地质专题要素共四大类近 30 个要素图层。自 1999 年起至 2006 年历经 8 年时间, 共建成 1 017 幅 1:200 000 的国际标准图幅的空间数据库, 为弥补西藏自治区的空白, 还增录入了 6 幅 1:1 000 000 的空间数据。该数据系统是地质领域全国性最重要的基础信息资源之一, 可满足信息发布、专业查询、决策分析及空间计算等 GIS 分析要求 (GIS 分析要求 (陈辉等, 2006))。

1999—2000 年为试点阶段, 中国地质调查局总工办为项目主管部门, 由中国地质调查局发展研究中心和中国地质环境监测院负责组织实施执行。编制了《区域水工环地质图空间数据库建设的流程和工作指南》, 摸索了区域水工环地质专业空间数据库建设的软件、流程、技术路线和质量控制等, 在人员培训、建库流程、标准化普及、质量控制等技术路线做保障的前提下, 为区域水文地质图空间数据库建设的全面开展奠定了坚实的基础。共完成 20 个省 175 个图幅 (1999 年 50 幅、2000 年 125 幅)。

2001—2005 年为分省数据建设阶段, 2001 年 4 月由中国地质调查局发展研究中心和中国地质环境监测院牵头, 在此期间两次重要的“记录”为“十三陵培训中心首次验收”和“银川会议纪要”, 及时对建设标准和指南、成果验收流程和要求进行了补充和完善。分省实施阶段涉及 29 个省 (市), 共 790 幅, 此阶段由中国地质环境监测院受中国地质调查局总工办委托全面负责, 直接对各省下达任务书和负责年度验收。其中, 2001 年 140 幅, 2002—2003 年 386 幅, 2004 年 265 幅, 2005 年主要进行全面的数据资料整理和补充, 开展数据综合工作。对陕南地区、大别山地区 (河南境内)、贺兰山地区 (宁夏境内)、青藏高原 (川西北地区 and 西藏地区)、新疆西北部等地区的数据按照标准图幅的数据组织和管理形式进行了补充完善, 见表 1 空间数据库建设图幅完成情况说明。特别说明的是图幅编号遵照建库指南命名规则 (陈辉等, 2006), 如 E49Z01 可理解为原 1:200 000 图幅编号, 即应为 E-49-(01)。01)。

表 1 空间数据库建设图幅完成情况说明

原始数据源分类	空间数据库图幅编号
1:200 000 完整图幅	E49Z01、E49Z02、E49Z03、E49Z04、E49Z07、E49Z08、E49Z09、E49Z13、E49Z14、E49Z15、F47Z02、F47Z06、F47Z11、F47Z12、F47Z17、F47Z18、F47Z22、F47Z23、F47Z24、F47Z30、F48Z01、F48Z02、F48Z03、F48Z04、F48Z05、F48Z06、F48Z07、F48Z08、F48Z09、F48Z10、F48Z11、F48Z12、F48Z13、F48Z14、F48Z15、F48Z17、F48Z18、F48Z23、F48Z24、F49Z01、F49Z02、F49Z03、F49Z04、F49Z05、F49Z06、F49Z07、F49Z08、F49Z09、F49Z10、F49Z11、F49Z12、F49Z13、F49Z14、F49Z15、F49Z16、F49Z17、F49Z18、F49Z19、F49Z20、F49Z21、F49Z22、F49Z23、F49Z26、F49Z27、F49Z32、F49Z33、F50Z01、F50Z02、F50Z03、F50Z04、F50Z07、F50Z08、F50Z09、F50Z13、G47Z05、G47Z06、G47Z11、G47Z12、G47Z16、G47Z17、G47Z18、G47Z22、G47Z23、G47Z24、G47Z27、G47Z28、G47Z29、G47Z30、G47Z32、G47Z33、G47Z35、G47Z36、G48Z01、G48Z02、G48Z03、G48Z04、G48Z05、G48Z06、G48Z07、G48Z08、G48Z09、G48Z10、G48Z11、G48Z12、G48Z13、G48Z14、G48Z15、G48Z16、G48Z17、G48Z18、G48Z19、G48Z20、G48Z21、G48Z22、G48Z23、G48Z24、G48Z25、G48Z26、G48Z27、G48Z28、G48Z29、G48Z30、G48Z31、G48Z32、G48Z33、G48Z34、G48Z35、G48Z36、G49Z01、G49Z02、G49Z03、G49Z04、G49Z05、G49Z06、G49Z07、G49Z08、G49Z09、G49Z10、G49Z11、G49Z12、G49Z13、G49Z14、G49Z15、G49Z16、G49Z17、G49Z18、G49Z19、G49Z20、G49Z21、G49Z22、G49Z23、G49Z24、G49Z25、G49Z26、G49Z27、G49Z28、G49Z29、G49Z30、G49Z31、G49Z32、

续表 1

原始数据源 分类	空间数据库图幅编号
1:200 000完 整图幅	G49Z33、G49Z34、G49Z35、G49Z36、G50Z01、G50Z02、G50Z03、G50Z04、 G50Z05、G50Z06、G50Z07、G50Z08、G50Z09、G50Z10、G50Z11、G50Z12、 G50Z13、G50Z14、G50Z15、G50Z16、G50Z17、G50Z18、G50Z19、G50Z20、 G50Z21、G50Z22、G50Z23、G50Z24、G50Z25、G50Z26、G50Z27、G50Z28、 G50Z29、G50Z30、G50Z31、G50Z32、G50Z33、G50Z34、G50Z35、G51Z01、 G51Z02、G51Z07、G51Z13、H48Z03、H48Z04、H48Z05、H48Z06、H48Z08、 H48Z09、H48Z10、H48Z11、H48Z12、H48Z14、H48Z15、H48Z16、H48Z17、 H48Z18、H48Z19、H48Z20、H48Z21、H48Z22、H48Z23、H48Z24、H48Z26、 H48Z27、H48Z28、H48Z29、H48Z30、H48Z31、H48Z32、H48Z33、H48Z34、 H48Z35、H48Z36、H49Z01、H49Z02、H49Z03、H49Z04、H49Z05、H49Z06、 H49Z07、H49Z08、H49Z09、H49Z10、H49Z11、H49Z12、H49Z13、H49Z14、 H49Z15、H49Z16、H49Z17、H49Z18、H49Z19、H49Z20、H49Z21、H49Z22、 H49Z23、H49Z24、H49Z25、H49Z26、H49Z27、H49Z28、H49Z29、H49Z30、 H49Z31、H49Z32、H49Z33、H49Z34、H49Z35、H49Z36、H50Z03、H50Z04、 H50Z05、H50Z06、H50Z07、H50Z08、H50Z09、H50Z10、H50Z11、H50Z12、 H50Z13、H50Z14、H50Z15、H50Z16、H50Z17、H50Z18、H50Z19、H50Z20、 H50Z21、H50Z22、H50Z23、H50Z24、H50Z25、H50Z26、H50Z27、H50Z28、 H50Z29、H50Z30、H50Z31、H50Z32、H50Z33、H50Z34、H50Z35、H50Z36、 H51Z01、H51Z02、H51Z07、H51Z08、H51Z09、H51Z13、H51Z14、H51Z15、 H51Z19、H51Z20、H51Z21、H51Z25、H51Z26、H51Z27、H51Z31、H51Z32、 I46Z05、I47Z04、I47Z05、I47Z06、I47Z07、I47Z08、I47Z09、I47Z11、I47Z12、 I47Z13、I47Z14、I47Z20、I47Z22、I48Z01、I48Z02、I48Z04、I48Z05、I48Z06、 I48Z10、I48Z11、I48Z12、I48Z17、I48Z18、I48Z21、I48Z25、I48Z26、I48Z33、 I48Z34、I48Z35、I48Z36、I49Z01、I49Z02、I49Z03、I49Z04、I49Z05、I49Z07、 I49Z08、I49Z09、I49Z11、I49Z12、I49Z13、I49Z14、I49Z15、I49Z16、I49Z17、 I49Z18、I49Z22、I49Z23、I49Z24、I49Z27、I49Z28、I49Z29、I49Z30、I49Z33、 I49Z34、I49Z35、I49Z36、I50Z01、I50Z02、I50Z03、I50Z04、I50Z05、I50Z06、 I50Z07、I50Z08、I50Z09、I50Z10、I50Z11、I50Z12、I50Z13、I50Z14、I50Z15、 I50Z16、I50Z17、I50Z18、I50Z19、I50Z20、I50Z21、I50Z22、I50Z23、I50Z24、 I50Z25、I50Z26、I50Z27、I50Z28、I50Z29、I50Z30、I50Z31、I50Z32、I50Z33、 I50Z34、I50Z35、I50Z36、I51Z01、I51Z13、I51Z19、I51Z25、I51Z31、I51Z32、 J43Z04、J43Z05、J43Z06、J43Z10、J43Z11、J43Z12、J43Z17、J43Z18、J43Z23、 J43Z24、J43Z30、J44Z19、J44Z20、J44Z25、J44Z26、J44Z27、J44Z28、J44Z29、 J44Z34、J44Z35、J46Z10、J46Z11、J46Z12、J46Z13、J46Z16、J46Z17、J46Z18、 J46Z20、J46Z22、J46Z23、J46Z24、J46Z27、J46Z28、J46Z29、J46Z30、J46Z35、 J46Z36、J47Z01、J47Z03、J47Z04、J47Z05、J47Z06、J47Z09、J47Z11、J47Z12、 J47Z16、J47Z17、J47Z18、J47Z19、J47Z20、J47Z21、J47Z22、J47Z23、J47Z24、 J47Z25、J47Z26、J47Z27、J47Z28、J47Z29、J47Z30、J47Z31、J47Z32、J47Z33、 J47Z34、J47Z35、J47Z36、J48Z01、J48Z02、J48Z03、J48Z04、J48Z05、J48Z07、 J48Z08、J48Z10、J48Z11、J48Z13、J48Z16、J48Z17、J48Z18、J48Z21、J48Z22、 J48Z23、J48Z24、J48Z25、J48Z27、J48Z30、J48Z31、J48Z34、J48Z35、J48Z36、 J49Z01、J49Z02、J49Z03、J49Z04、J49Z05、J49Z06、J49Z07、J49Z08、J49Z09、 J49Z10、J49Z11、J49Z12、J49Z13、J49Z14、J49Z15、J49Z16、J49Z17、J49Z18、 J49Z19、J49Z20、J49Z21、J49Z22、J49Z23、J49Z24、J49Z25、J49Z26、J49Z27、 J49Z28、J49Z29、J49Z30、J49Z31、J49Z32、J49Z33、J49Z34、J49Z35、J49Z36、 J50Z01、J50Z02、J50Z03、J50Z04、J50Z05、J50Z07、J50Z08、J50Z09、J50Z10、 J50Z11、J50Z12、J50Z13、J50Z14、J50Z15、J50Z16、J50Z17、J50Z20、J50Z21、 J50Z22、J50Z23、J50Z24、J50Z25、J50Z26、J50Z27、J50Z28、J50Z29、J50Z30、 j50z32、J50Z33、J50Z34、J50Z35、J50Z36、J51Z02、J51Z03、J51Z04、J51Z05、 J51Z07、J51Z08、J51Z09、J51Z13、J51Z19、J51Z20、J51Z21、J51Z25、J51Z26、 J51Z27、J51Z31、J51Z32、K43Z29、K43Z30、K43Z35、K43Z36、K44Z03、

续表 1

原始数据源 分类	空间数据库图幅编号
1:200 000完 整图幅	K44Z04, K44Z05, K44Z06, K44Z12, K44Z16, K44Z17, K44Z18, K44Z19, K44Z20, K44Z21, K44Z22, K44Z23, K44Z24, K44Z25, K44Z26, K44Z27, K44Z28, K44Z29, K44Z30, K44Z31, K44Z32, K44Z33, K44Z34, K45Z01, K45Z02, K45Z03, K45Z04, K45Z05, K45Z06, K45Z07, K45Z08, K45Z09, K45Z10, K45Z11, K45Z12, K45Z13, K45Z14, K45Z15, K45Z16, K45Z17, K45Z18, K45Z19, K45Z20, K45Z21, K45Z22, K45Z23, K45Z24, K45Z26, K45Z27, K45Z28, K45Z34, K45Z35, K46Z01, K46Z03, K46Z04, K46Z05, K46Z07, K46Z08, K46Z09, K46Z10, K46Z11, K46Z13, K46Z14, K46Z15, K46Z16, K46Z17, K46Z18, K46Z19, K46Z20, K46Z24, K46Z29, K46Z30, K46Z34, K46Z35, K46Z36, K47Z13, K47Z14, K47Z17, K47Z18, K47Z19, K47Z20, K47Z23, K47Z24, K47Z25, K47Z26, K47Z29, K47Z30, K47Z31, K47Z34, K47Z35, K47Z36, K48Z16, K48Z17, K48Z18, K48Z19, K48Z20, K48Z21, K48Z22, K48Z23, K48Z24, K48Z25, K48Z26, K48Z27, K48Z28, K48Z29, K48Z31, K48Z32, K48Z33, K48Z34, K48Z35, K49Z04, K49Z05, K49Z06, K49Z09, K49Z10, K49Z11, K49Z13, K49Z14, K49Z15, K49Z16, K49Z17, K49Z19, K49Z20, K49Z21, K49Z24, K49Z26, K49Z30, K49Z34, K49Z35, K49Z36, K50Z01, K50Z03, K50Z04, K50Z05, K50Z06, K50Z09, K50Z10, K50Z11, K50Z12, K50Z13, K50Z14, K50Z15, K50Z16, K50Z17, K50Z19, K50Z20, K50Z21, K50Z22, K50Z23, K50Z24, K50Z25, K50Z26, K50Z27, K50Z28, K50Z30, K50Z31, K50Z32, K50Z33, K50Z34, K50Z35, K51Z01, K51Z02, K51Z03, K51Z04, K51Z05, K51Z06, K51Z07, K51Z08, K51Z10, K51Z11, K51Z13, K51Z14, K51Z15, K51Z16, K51Z17, K51Z18, K51Z19, K51Z20, K51Z21, K51Z22, K51Z23, K51Z24, K51Z25, K51Z26, K51Z27, K51Z28, K51Z29, K51Z30, K51Z31, K51Z32, K51Z33, K51Z34, K51Z35, K51Z36, K52Z10, L44Z11, L44Z12, L44Z17, L44Z18, L44Z23, L44Z24, L44Z28, L44Z29, L44Z30, L44Z34, L44Z35, L44Z36, L45Z07, L45Z13, L45Z19, L45Z25, L45Z31, L45Z34, L45Z35, L45Z36, L46Z31, L46Z32, L49Z28, L49Z29, L49Z30, L49Z34, L49Z35, L49Z36, L50Z11, L50Z12, L50Z15, L50Z16, L50Z17, L50Z18, L50Z19, L50Z20, L50Z21, L50Z22, L50Z23, L50Z24, L50Z25, L50Z26, L50Z27, L50Z28, L50Z29, L50Z30, L50Z32, L50Z33, L50Z34, L50Z35, L50Z36, L51Z03, L51Z04, L51Z05, L51Z06, L51Z10, L51Z11, L51Z12, L51Z16, L51Z17, L51Z18, L51Z21, L51Z22, L51Z27, L51Z28, L51Z29, L51Z30, L51Z32, L51Z33, L51Z34, L51Z35, L51Z36, L52Z05, L52Z06, L52Z11, L52Z12, L52Z15, L52Z16, L52Z17, L52Z18, L52Z19, L52Z20, L52Z21, L52Z22, L52Z23, L52Z24, L52Z25, L52Z26, L52Z27, L52Z28, L52Z29, L52Z30, L52Z33, L52Z34, L52Z35, L52Z36, L53Z01, L53Z02, L53Z03, L53Z07, L53Z08, L53Z09, L53Z13, L53Z14, L53Z20, L53Z26, M50Z21, M50Z22, M50Z23, M50Z24, M50Z26, M50Z27, M50Z30, M50Z36, M51Z23, M51Z24, M51Z25, M51Z30, M51Z33, M51Z35, M51Z36, M52Z25, M52Z31, M53Z32, M53Z33, M53Z34, J50Z32, J49Z36, H50Z01, J50Z31, K50Z18, J50Z06, K50Z36, I49Z06, I49Z10, K50Z29, J50Z19, K46Z02(共931幅)
1:500 000 补充图幅	G47Z34, J48Z28, M45Z35, M45Z34, M45Z33, M45Z32, F47Z03, M45Z28, F47Z04, J48Z29, F47Z05, M45Z27, H47Z03, F47Z09, H47Z12, H47Z11, H47Z10, H47Z09, H47Z06, H47Z24, H47Z04, H47Z30, I48Z19, I48Z20, I48Z22, I48Z23, I48Z24, L45Z08, I48Z29, H47Z05, H48Z07, H48Z25, I47Z21, H48Z13, I47Z26, I47Z27, I47Z28, H47Z18, I47Z32, I48Z30, I47Z33, I47Z34, I47Z35, I47Z36, H48Z02, H48Z01, H47Z36, I47Z30, L46Z07, I48Z31, L45Z22, I48Z28, L45Z24, L45Z28, L45Z29, L45Z17, L46Z01, L45Z18, L46Z13, L46Z19, L46Z25, L46Z26, F47Z16, F47Z10, L45Z30, L45Z03, I48Z32, I49Z19, I49Z20, I49Z25, L45Z23, L45Z02, L45Z16, L45Z04, L45Z05, L45Z06, L45Z09, L45Z10, L45Z11, L45Z12, I49Z31, I49Z26, I49Z21, H50Z02, K51Z09, I49Z32(共86幅, 空间数据按1:200 000图幅管理)
1:1 000 000 精度	H-44普兰幅、H-45日喀则幅、G-45亚东幅、G-46错那幅、H-46拉萨幅、H-47昌都幅, (共涉及131幅1:200 000图幅, 空间数据按1:200 000图幅管理)

2005—2006年为数据综合阶段,数据综合项目由中国地质环境监测院总体负责,河北省地质环境监测总站组织实施,参加单位包括陕西、山东、河南、四川、黑龙江省、内蒙古自治区地质调查院和监测总站。对历年的工作报告、工作设计、元数据、数据提交格式、完成图幅分布情况、空白图幅、重复图幅和边角图幅、对各省历年汇交的和复核的数据成果进行筛选和规范化整理,最后形成统一的综合数据库,形成了分省和全国为单元的元数据集,详见表2数据库(集)元数据简介。

表2 数据库(集)元数据简介

条目	描述
数据库(集)名称	全国1:200 000区域水文地质图空间数据库
作者信息	母海东, 中国地质科学院水文地质环境地质研究所 陈 辉, 中国地质调查局发展研究中心 张 斌, 中国地质环境监测院 张 媛, 河北省地质环境监测院 宋 丽, 河北省地质环境监测院
语种	中文
数据时间范围	1999—2006年
地理区域	全国范围
数据格式	*.xlsx, *.mpj, *.wl, *.wt, *.wp, *.jpg, *.xml, *.txt, *.e00
数据量	200 GB
数据服务系统网址	http://dcc.ngac.org.cn
数据库(集)组成	全国1:200 000区域数字水文地质图空间数据库,以建国后1:200 000区域水文地质普查最新的成果资料为数据源,数据集范围共涉及到29个省(市、自治区)的1 017幅1:200 000标准图幅,(整幅924幅,跨省接缝图幅93幅。特别指出的是秦岭、贺兰山、川西北和新疆西北部分地区采用的是1:500 000区域水文地质普查资料,但空间数据是按1:200 000标准图幅建立的,此类共涉及到86幅)。另外,对于西藏自治区同时应用了6幅1:1 000 000的原始资料,数据集精度为1:1 000 000,采用的是按1:200 000图幅进行切割管理,共涉及到131个1:200 000图幅,本次未在香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾省开展工作。综上,本次建库工作共涉及到全国范围内1 148个1:200 000标准图幅。 数据集内容包括图幅基本地理、地层、断层、地下水类型、地下水富水性、水化学、地貌、水文地质特征点(钻孔、泉、水源地、地下水流向、火山口等)、水文地质特征线(含水岩组分区和埋深界线、富水性分区界线、导水系数、渗透系数、分水岭、地下水流场、富水断层等)和柱状图、图面装饰图层等信息。 数据集共涉及到空间图层21类,共有图层数33 949层,总共图元数12 973 779个。MapGIS (*.wl, *.wt, *.wp, *.mpj)矢量数据为全要素图、1954(北京)投影空间图层、无投影(单位度)空间图层,数据量150 GB。 *.Jpg原始数据源扫描图,数据量45 GB。 *.xlsx数据字典、*.xml和*.txt元数据、*.e00过程数据等总数据量为5 GB

为实现数据的综合性应用,在全面完成空间数据的基础上,开发了用于管理目标的以标准图幅为建库单元的地质图空间数据库地理信息系统平台,以MapGIS 6.5为地理信息系统开发平台,采用MS ADO 2.0作为数据库引擎,数据库格式支持MS-ACCESS(MDB)数据库,主要功能包括:工作程度管理功能、图幅数据浏览功能、数据分发、元数据浏览和检索功能以及数据库质量检查辅助功能。

2 数据采集与处理方法

2.1 选取数据源

区域水文地质图空间数据库建设以在全国开展1:200 000区域水文地质普查成果为基础数据源,该项成果由原地质矿产部组织实施,自建国以来,共在28省(市、区)开展工作,资料时间自20世纪50年代到90年代末期,最早1958年(黑龙江省),最迟2000年(华北平原),以70—80年代开展的工作最为广泛,完成单位主要为各省的水文地质工程地质大队、地质院校和原基建工程兵水文部队。文部队。

在东部较发达的省份存在较新的区域水文地质普查成果资料,因此在时间上以选择最新成果资料为宜,如河北省在20世纪50年代开展了第一次区域水文地质普查,但在1985—1995年期间又开展了第二轮的区域水文地质普查资料,因此本次选择较新的成果资料作为本次建库的数据源。

部分省份(主要指东部平原)结合经济发展开展的是专业性的区域水文地质工作,但其反映的是该区域的最新水文地质情况,因此选择本部分资料作为数据源。如天津市开展地面沉降形成的区域水文地质资料,华北平原开展的地下水资源调查与评价形成的1:200 000深、浅层水文地质图。地质图。

对于部分地区由于受地形和经济发展限制未开展1:200 000精度的区域水文地质普查(如河南大别山地区、陕西渭南地区、新疆东北部、四川东北部等区域,未专门形成1:200 000区域水文地质普查成果,但经过调查其当时开展工作时的精度为1:200 000,只是形成成果图件为1:500 000,满足建库要求,因此采用的是1:500 000区域水文地质普查成果资料。在西藏自治区未专门开展过1:200 000区域水文地质普查,只存在1:1 000 000的区域水文地质普查资料,因此在西藏采用的是1:1 000 000的资料。另外,在黑龙江省由于少部分资料年代长久,破损严重,无法读取使用,本次未作选择。重,无法读取使用,本次未作选择。

对于部分邻国界省份存在联测图幅,其中在华北地区(北京、天津、河北、山西、山东)和海南省、上海市是按行政单元或水文地质单元开展工作并成图。

所有引用的原始资料中包括1:200 000原始资料涉及931幅,1:50万原始资料涉及86幅,1:1 000 000原始资料(西藏自治区范围)涉及131幅。所有原始资料均经过省级以上主管部门的验收和认可,资料翔实可靠,大多数为正规出版图件,年代较早开展工作的存在个别手工图成果。图成果。

2.2 单图幅数据采集

2.2.1 矢量化

(1) 图件扫描

为确保数据精度,要求全部采用扫描矢量化,而不采用数字化仪矢量化。图件扫描要求用彩色扫描,分辨率300 DPI。扫描原图要尽可能使用新图。对于自由分幅图件可进行分幅扫描,对于原始资料为薄膜图的则分别进行扫描。扫描图件要进行精度检查和角度校正,对角线的误差不超过2 mm。

(2) 图形矢量化

在图形扫描并处理完毕后,确定系统库,首先编制图例,并根据图例编制所有点、线、面图元的参数表。包括线型库、图案库、注释参数、子图库,并确定各种图素存放

的图层位置。一般1~15层为地理图层、16~30层为水文地质专业图层、30~50层为其他辅助图层。

图形矢量化要求采用扫描矢量化,原则上不采用数字化仪矢量。放大倍数:10~15倍为宜。按实体要素进行矢量化,一般采用交互矢量。矢量化软件采用MapGIS 6.5以上版本。点要素矢量化时要求还原显示状态,在矢量化直接录入对应子图,以完全符合原扫描图中的点图元位置为宜,线要素矢量化时要求选择下或右为输入基线,对于水系要素要求由上游致下游的方式进行,复杂线型如不整合线沿主线向前录入。图形数字化既不能丢失也不能重复录入图形要素,所有要素在一个综合图层中按一定的图层顺序进行数字化录入。河流、海岸线、水库、断层、地层界线、水文地质界线、富水性界线、其他界线。

在图形矢量化的基础上,①对点线进行全方面的完整性检查,保障图元不存在多余、遗漏和缺失。②在还原显示状态下,查看图元的位置是否准确,查看图元的色系和参数是否准确。③对点线图元打印纸介质,由水文地质专业人员进行全面检查,并进行修改。在此特别强调,因为点线编辑是最基础的环节,因此该过程质量控制十分重要,一定要进行严格的自检、互检和抽检,要确保与原图完全一致才能转入下道工序,否则返回第一步进行修补。

由于不同MapGIS版本的差异,因此不采用直接生成1:200 000标准图框,而采用的是经纬网生成标准图框,用于误差校正。在扫描图件上采集校正控制点,直接应用MapGIS的误差校正功能,将点线文件校正到自动生成的标准图框中。对综合图层进行整体拓扑处理,参与整体拓扑的图层包括面状水体、地下水富水性、地下水类型、基础地层(包括断层切割)、地下水水质,对于居民地真形、综合柱状图和剖面图不作拓扑不作拓朴处理。

2.2.2 属性库建设

(1) 空间图层分层

面状图元处理:依次为地下水富水性、地下水类型、基础地层、地下水水质。对于由于整体拓扑的区图层根据其对应的地质或水文地质界线进行合并编辑,并进行拓朴检查。

面状水体图层:直接提取,对于支流水体要与主水系建立伪弧段。

地下水类型和富水性图层:水体作为水文地质专业图层的重要组成部分,在水文地质面状图层,对于水体部分有2种情况:①水体在同一水文地质专业分区范围内,将其合并;②水体跨2个以上水文地质分区而无法区分的部分保留其水体,但在属性录入时要标注成水体。对于存在覆盖型的富水性和地下水类型,按多层结构处理。

地质体:对于穿过地质体的断层对地质体进行切割处理,水体进行掏空处理。

对于点状图元,直接按类别进行分层,其中水文地质特征点全部放于一层。行政驻地如果存在行政区轮廓不做子图处理,只反映无法用行政区轮廓表示的行政地。

对于线状图元在数字化分层后要编辑处理,主要是因在全要素图编录过程中存在避让的问题,因此对于线状图元要进行线拓朴处理。即该连的要连、该断的要断,该建结点要建结点。

对于等高线由于避让注释而产生的断点进行连接、对于断崖等进行保留,同时要要进行500点打断处理。

对于交通线由于避让注释和城区要进行连接、对于公路、铁路、航道等可放于同一

层处理,但不建结点。行政区界线均放于一层,需建立结点。

水系由于避让注释而产生的断线要进行连接,对于图中出现的伪节点要通过查阅相关的地理底图进行处理,水系一定要建结点,同时要注意水系的方向性。

水文地质特征线全部放于一层,但不同类线元之间不建结点。

地层界线和断层界线分别建立图层,均要建立结点。对于切割地层的断层同时作为地层界线处理。

内图框直接从自动生成的标准图框中提取。

对于分层后的文件要进行完整性检查,否则重新分层。

(2) 属性编辑

根据模型中的标准属性结构进行属性结构录入,对于由于标准中的字段长度不能够满足属性录入时,可适当加大属性长度,但不要修改属性类型,对于修改部分要在建库报告中加以详细说明。

(3) 属性录入

首先编制属性卡片,在保障属性卡片正确的情况下才可保障属性内容的完整性和准确性。

对于水文地质专业图层要由水文地质专业人员进行属性内容整理,主要是涉及到地下水富水性图层、地下水类型图层、地下水水质图层、地质体图层、水文地质特征界线图层、水文地质综合柱状图。对于具有共性的同一类属性可根据参数情况编制成一类,但要在属性卡片中详细说明,不必针对每个图元进行编录。

对于点状图元直接在属性库管理中进行录入即可,不必编录属性卡片。

对于能直接从图面中读取的属性内容不必编制属性卡片,但在保障属性内容正确性时要对所有属性内容打印并进行全面检查。

在属性录入时,录入规则按模型的规则定义执行。

属性录入中的代码参照建库指南中提供的数据字典,如果字典内无法满足,可参照 GB/T 9649 地质矿产术语代码,在靠大类的基础上进行增加,但在建库工作报告中要作备案处理。

2.3 数据综合

数据综合是在各省已建空间数据库的基础上,建立全国区域水文地质空间数据库,建立可动态更新的支持多图幅管理的空间数据库系统,数据综合全面覆盖了工作指南的完善、单图幅数据的完整性、概念性和逻辑性的统一、按中国地质调查局新的元数据标准编制单图幅元数据和整体元数据,并最终将各省历年生产的海量数据建成统一化、标准化、规范化并易于服务的数据产品,为新开展的国土资源大调查工作提供有效的数字化信息。确切的说,数据综合工作贯穿历年的数据生产过程,也是整个数据库建设中的重要组成部分,其主要目的是全面的确保数据质量的完整性和可靠性,图1记录了数据综合的详细流程。

数据综合的另一重要任务是要对空白区进行统计,力求建成覆盖全国范围内的国家级区域水文地质图空间数据库,即在各省汇报本省范围内存在区域水文地质普查成果资料的前提下,对未完成数字化建设的空白区进行统计,针对整幅空白区和边角遗留问题,补充部分1:500 000的资料,主要涵盖河南省大别山地区、陕西省渭南地区、新疆维吾尔自治区东北部、四川省东北部、西藏自治区等区域。

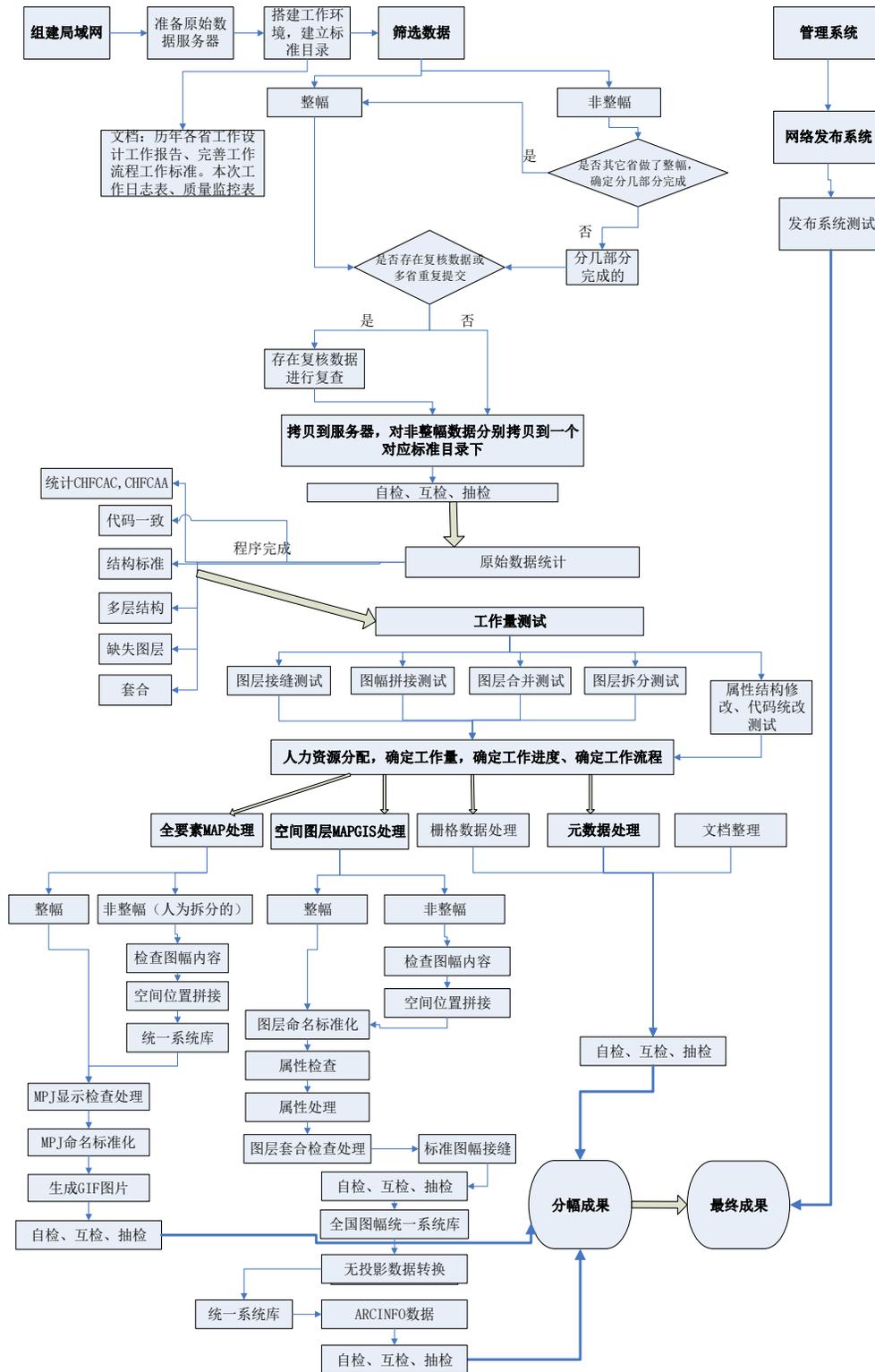


图1 数据综合实施流程图

3 数据内容描述

3.1 数据集构成

区域水文地质图空间数据库建设的核心是数据。有效组织数据，使建立起来的空间数据库能够完整地表达客观水文地质现象，方便用户使用和进行空间分析，关键是基于

数据模型的数据集的体现。1:200 000 区域水文地质图空间数据库数据模型, 基于可获得的技术平台及其概念与技术, 是应用模型和组织模型的统一。数据集中采用经典数据模型, 将区域水文地质图中的各种要素以点、线、面的形式抽象成若干专题图层, 包括图形信息、拓扑关系和属性描述信息(杨东来等, 2001; 邬伦等, 2005; 孔金玲等, 2005)。本次数据集由3部分组成: 实体、图层、属性。

实体: 与地理空间位置或特征相关联的对象, 既具有几何位置, 又具有拓扑关系。实体类别有点、线、多边形、注记等。

点状实体: 水文地质特征点(钻孔、泉、集水建筑物等)、产状、地下水水质点、高程点、居民地、环境地质点等。

线状实体: 水文地质特征界线(水文地质剖面线、水文地质单元界线、盆地界线等)、地下水类型界线、地下水富水性界线、地质界线、断层线、单线河流、交通、境界线等。

多边形实体: 地下水类型、地下水富水性、地下水水质、柱状图等。

注记: 主要是水文地质特征点、矿化度、地质代号、产状、断层、河流等注记, 不具有属性。

各类实体的集成组成全要素综合水文地质图。

图层: 图层用以区分空间实体类别, 是属性一致的水文地质实体或特征相同的地理因子在空间分布的集合。不同类的水文地质要素、基础地质要素和基础地理要素以不同的图层形式表述。

属性: 通过统一的结构、编码等描述水文地质要素空间实体的特征。属性是关系型的数据表格, 在 MapGIS 中空间图元和其对应的属性数据存放在同一文件中, 也可统称为内部属性。而在 PC ArcInfo 的 coverage 是根据点、线、多边形的不同分别存放在对应的 DBF 文件中。

具有属性的同一类的实体(点、线、多边形)组成图层, 同一图层内的实体具有拓扑关系, 不同图层间的实体不具有拓扑关系, 图层间具有空间一致性。

结合图层和属性定义和水文地质专业特点的特殊性, 将水文地质特征点要素和水文地质特征界线要素均按同一类图层进行, 将具有多层结构的水文地质多边形要素(地下水类型和富水性图层)按多图层进行处理。

3.2 空间图层结构及属性内容

图层划分主要是从水文地质专业应用角度出发, 特别是地下水资源评价和规划的应用(陈辉等, 2001; 翁晓鹏等, 2005; 胡金星等, 2003)。根据水文地质要素(实体)特征以及组成实体的点线面特征, 划分不同的图层并建立相应的属性结构。在图层的划分中, 注意了同一实体的多义性问题, 如一条地层线在地层图层中为地层界线, 同时也可以出现在富水性图层中作为富水性界线; 再比如面状水体, 在面状水体中为一单独图层, 在富水性图层和地层分区中同时应用。为确保出现在不同图层中的相同弧段在空间位置上的一致性, 采用综合图层编辑处理, 通过空间运算(提取)产生派生图层的方法。数字水文地质图根据专业内容特点划分以下具有属性的空间图层(表3)。

以通用一个1:200 000的标准图幅为例, 其属性内容主要包括要素类型名称和属性结构要素。

要素类型主要指空间图层的标准化分层及命名, 包括: 图幅基本信息、地理底图基

表3 区域水文地质图空间图层分层说明表

图类	图层类型	图层主分类编码	图层子分类编码	备注
图幅基本信息		T		
边框(内图框)	线元		21	内图框
地理底图信息		L		
河流	线元		21	
湖泊或水体	面元		23	
交通	线元		41	
境界	线元		61	
等高线	线元		71	
高程点	点元		72	
地貌类型	面元		75	
居民地	面元		31	真形
城镇(政府所在)	点元		69	
特殊地物点	点元		79	
特殊地物线	线元		80	
基础地质		D		
地层分区	面元		21	
地层界线	线元		23	
断裂	线元		29	
地层产状	点元		31	
水文地质		S		
地下水类型	面元		11~19	多层结构
地下水富水性	面元		21~29	多层结构
地下水水质	面元		41	矿化度
地下水水质	点元		43	超标点
地下水水质	面元		42	超标范围
水文地质特征点	点元		51	特征点
水文地质特征线	线元		61	特征线
地下水利用规划	面元		81	
水文地质专题图		Z		
综合水文地质柱状图地层层序	面元		21	

本信息、高程要素、地层界线、地层分区、断层、地层产状、地下水类型、地下水富水性、水文地质特征点、水文地质特征界线、地下水水质。

属性结构要素是指各空间图层的属性专业内容。其中：图幅基本信息：地形图编号、图名、比例尺、坐标系统、高程系统、左经度、右经度、上纬度、下纬度、成图方法、调查单位、图幅验收单位、评分等级、完成时间、出版时间、资源来源、数据采集日期；地理底图基本信息：图元编号、图元类型、图元名称；高程要素：图元编号、图元类型、图元名称、高程值；地层界线：图元编号、接触关系、描述；地层分区：图元编号、地层单位名称、地层单位符号、岩石名称、岩石颜色、岩石结构、岩石构造、地层厚度；断层：图元编号、断层性质、断层名称、断层走向、断层面倾向、断层面倾

角、断层水力特性；地层产状：图元编号、产状类型、倾向、倾角；地下水类型：图元编号、地下水类型、地下水类型名称、含水层分组；下水富水性：图元编号、富水等级、单位、涌水量、径流模数单位、径流模数、泉流量单位、泉流量、含水层类型；地下水水质：图元编号、图元名称、地下水化学类型、超标项、超标值、评价标准。地下水利用规划：图元编号、图元类型、图元名称、单位、允许开采量；水文地质特征点：图元编号、图元类型、图元名称、图元特征；水文地质特征界线：图元编号、图元类型、图元名称、图元特征。

3.3 数据字典

在本次工作开展之初未建立专门的数据字典库，只是在项目标准中对于部分字段的水文地质专业代码给予了说明，各省在项目执行过程中为保障信息的完整性，对于图层内容、属性字段和字段代码3方面均做了很多补充，虽然专业内容类同，但表示方法、实现形式各异，对于一个全国性的水文地质专业的大型空间数据库在服务 and 应用方面尚未达到规范统一的程度，因此在数据综合阶段，结合各省历年来数据库建设中关于图形分层、图层字段代码的说明和属性内容代码的说明，在《地质矿产术语分类代码标准》(GB/T 9649-88)和《国土基础信息数据分类代码》(GB/T 13923-92)的基础上编制并完善了水文地质专业空间数据库建设数据字典，其主要内容包括图层说明表、字段说明表和代码说明表。

图层说明表：主要是一个标准的区域水文地质普查成果图件中应包括的各类图层的说明表。

字段说明表：针对具有空间属性的图层的属性字段的定义，包括图层名称、字段名称、字段中文含义、字段类型、字段长度和数据精度。

代码说明表：由于我国的地域广阔，水文地质条件复杂、水文地质要素各异，限于当时的区域水文地质普查工作历时阶段较长，而《综合水文地质图编图方法与图例》规范在1993年才正式出版，因此在实际的综合水文地质图中出现了多个在[GB/T 9649-88]中元无法表示的水文地质特征要素，因此本次数据字典在属性代码项上进行了补充。对于基础地质部分的代码说明，参照地质图空间数据库建设代码说明。

具体内容已编入到“1:200 000区域水文地质图空间数据库建设工作指南”中。

4 数据质量控制与评估

空间数据库建设过程步步衔接紧凑，每一阶段的成果质量均直接影响到下一个阶段的数据质量。因此数据质量控制过程的每个环节均十分重要，见图2数据质量控制流程图。

4.1 建库资料质量控制

在数据库建设之前对所选区域的水文地质普查情况进行详细的资料收集，并对资料情况进行详细的说明。总体原则要以能够全面反映工作区水文地质普查程度的1:200 000最新资料为原则。

4.2 数据采集阶段质量控制

数据采集阶段在质量控制过程中所出现的问题应进行全面修改和完善，并经复检通过后方可进入下一个工作环节(杨东来等, 2001; 母海东, 2008)。

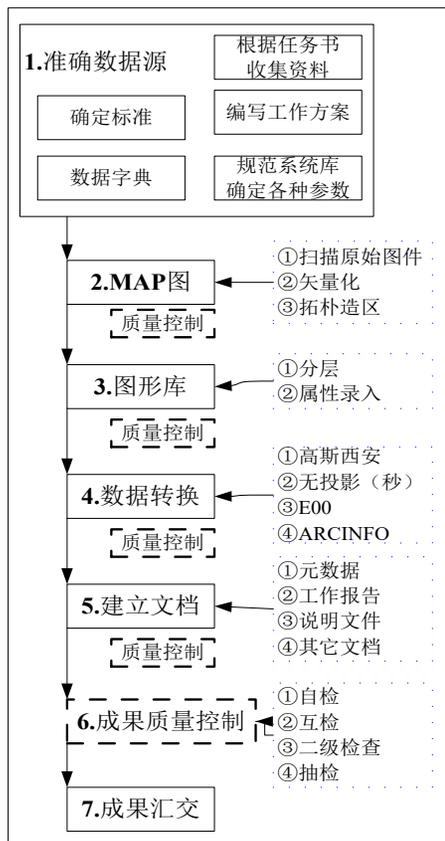


图2 数据质量控制流程图

(1) 数字化图形质量

① 图面精度：数据库建设工作中采用正式出版水文地质图或经审查的编稿原始薄膜原图，由于各种原因图件本身在精度上存在一定误差，通过工程扫描仪对每幅图进行彩色或灰度扫描(扫描仪经校正，精度为0.1~0.2 mm)，并根据图件质量，分辨率采用300 DPI，扫描形成的光栅文件能够达到误差允许范围。

② 矢量化精度：在进行数字化时，要求将光栅文件放大10~30倍，采用还原状态下的人工矢量方式，对于双线型矢量线采用下基线和右基线，其他单线型的使矢量线居于栅格中间，以保证图形精度与原图的误差不大于0.01 mm，使数字化的图件能够达到要求。

③ 对于点线矢量化后的图件打印出图进行自检、互检和抽检，以确保图元的完整性、位置的准确性、压盖关系等逻辑一致性，而后再进行拓朴造区。

④ 校正精度：利用MapGIS软件生成标准的理论图框。采用国际标准分幅的6度带高斯-克吕格北京坐标系为参照系，通过采集的控制校正点，将内图框的4个角点和每个公里网的交差点均作为误差校正点采集，每个图幅的误差校正点不少于13个，在数字化软件提供的误差校正功能中进行图形校正，使最终图件校正控制点误差进行控制，其中边线误差小于0.01 mm，对角线误差小于0.02 mm。

⑤ 拓朴造区：结点搜索/裁剪半径参数设为0.0001，坐标点间最小距离参数设为0.0001。

⑥ 全要素图全面质量检查：对进行拓朴造区后的图件进行全面图面整饰，打印三校图进行自检、互检和抽检。

(2) 属性卡片质量

在数据采集过程中需水文地质专业人员填制大量的属性卡片,以供微机操作人员入库。在填制属性卡片之前,水文地质专业人员详细阅读了地质图及说明书,对空间数据库指南中所规定的属性结构、属性内容做详尽的了解,统一填制所选建库图幅内各地质要素的认识,属性表填制完成后,进行100%的自检与互检。录入属性过程多数采用根据参数赋属性的方法,录入完成后,将属性库中属性打印输出,与手填属性表进行校对,既可检查出录入属性及图形错误,又可检查出手填属性表的错误。卡片数据尽可能准确、真实、全面地反映各图层地质信息。

(3) 空间数据库质量

图层的公共线套合精度、TIC点精度、水系方向及结点关系、文件命名、文件格式是否规范等各方面进行检查,由地质专业人员对图面精度、矢量化精度、属性文件图层建立是否完整、属性内容录入是否正确及属性一致性等进行互检和质检。详见质量验收章节详细说明。

4.3 组织机构及人员保障

数据建设过程中,在中国地质调查局总工办、中国地质调查局发展研究中心和中国地质环境监测院的统一指导下,30个省(市)的地质调查院和地质环境监测总站近千人参加了此项工作。正是由于得到了有效的组织和人员保障,项目才得以顺利实施并取得高质量的数据回报。

4.4 数据质量评估

全国“1:200 000区域水文地质图空间数据库建设”,形成了与原始资料完全吻合的电子版全要素综合水文地质图,建立了正确的空间数据库建库工作方法、流程及技术路线、质量控制流程、数据字典和元数据,提交的空间数据库具有较好的数学基础与空间精度,空间数据库标准化程度较高,图元录入质量较好;图形分层正确,拓朴一致性好、逻辑一致性、结点关系正确;具有较好的属性精度、代码一致性,图元编码正确,属性与图元对应较好;数据标准化符合“区域水文地质图空间数据库建设工作指南”要求,数据内容与原始资料吻合程度高,均符合国家有关技术规定和标准的要求,质量优良可靠。重点控制内容涵盖以下3个方面。

(1) 完整性:包括以单图幅为单位的MapGIS格式的全要素水文地质图、MapGIS格式的高斯-北京和无投影形式的空间图层,ArcInfo格式数据、E00数据、JPEG数据,元数据按中国地质调查局2005版格式进行编录、工作报告、工作设计、工作日志。数据格式完整,空间图层符合区域水工环建库标准且完整一致。全要素图图形整饰与原成果图件色系符合《综合水文地质图图例及色标标准》(GB/T 14538-93),图元完整一致。

(2) 逻辑一致性:数据库结构统一符合建库标准,属性值录入方法录入一致,数据存贮目录一致、命名符合标准,多边形拓朴关系正确,公共线与多边形套合,水系方向性录入正确,线状实体拓朴关系正确。空间图层空间位置符合对应的数学基础(1:200 000比例尺、高斯-克吕格投影,1954北京坐标系),数据字典统一。

(3) 准确度:资料收集齐全程度:达98%以上;以全国水文地质资料馆馆藏资料条目数据为依据,符合程度都是100%;数字化图形质量:图件扫描:300 dpi,扫描误

差 ≤ 0.2 mm; 图形矢量化: 系统定位点位、长度及间距误差 ≤ 0.2 mm, 符合精度要求。图形库质量: 图形文件名和图形数据库中对应字段名正确率 100%, 数字化图件面图层正确率 100%, 扫描原图的图廓边长误差 $\leq 1.2\%$, 栅格图像图廓边长相对误差 ≤ 0.1 mm, 数据采集误差 ≤ 0.08 mm, 拓朴后相对误差 ≤ 0.1 mm, 图形校正后图廓边长误差 ≤ 0.1 mm, 属性表错误率 $\leq 4\%$, 其他错误率 $\leq 2.5\%$ 。总之, 图形库图面内容与原始图件一致, 符合制图要求, 图层完整合理, 拓扑关系正确, 图层套合准确, 图素参数设置合理, 图素质量高, 实体完整性好; 图示、图例、标注齐全正确, 符合要求。

5 结论

1:200 000 区域水文地质空间数据库建设工作, 是一项庞大的系统工程。数据库的建设地理信息系统和空间数据库技术, 建立了区域水文地质图要素由传统的纸介质存储向空间数据表达的技术转化过程中的数据模型, 结合 MapGIS 软件从技术方法上重点解决了区域水文地质图空间数据库建设过程中的数据完整性、逻辑一致性、元数据、数据字典的规则实现问题, 为全面开展的区域水文地质空间数据库建设具有较强的指导作用。

致谢: 在数据库的建设中得到了中国地质调查局总工办、中国地质调查局发展研究中心和中国地质环境监测院及 29 个省(市)的地质调查院和地质环境监测总站的建设人员的大力支持, 在项目实施过程中自然资源部信息中心、中国地质大学中地公司、全国地质资料馆、中国地质科学院水文地质环境地质研究所、天津地调中心、武汉地调中心、沈阳地调中心、西安地调中心、成都地调中心、南京地调中心都给予了大力支持, 在此对参加单位和协助单位的辛勤劳动表示衷心感谢。

参考文献

- 陈辉, 张斌, 母海东, 曾青石, 陈君, 薛群威. 2006. 1:20 万全国区域水文地质图空间数据库建设工作报告 [R]. 全国地质资料馆.
- 陈辉, 张斌, 曾青石. 2001. 区域水文地质图图层及属性文件格式标准 [M]. 中国地质调查局.
- 胡金星, 潘懋, 宋扬, 马照亭. 2003. 空间数据库实现及其集成技术研究 [J]. 计算机应用研究, 20(3): 12-14.
- 孔金玲, 王文科, 杨泽元, 麦柳妍. 2005. 基于 GIS 的水文地质空间信息系统研究与应用 [J]. 地理与地理信息科学, 21(4): 25-26.
- 母海东. 2008. 区域水文地质图空间数据库建设规则研究 [D]. 中国地质科学院, (5): 70-76.
- 翁晓鹏, 王文科, 曹建成, 孔金玲, 乔晓英. 2005. 水文地质空间信息系统的设计与实现 [J]. 测绘与空间地理信息, 28(5): 110-121.
- 邬伦, 刘瑜, 张晶. 2005. 地理信息系统: 原理、方法和应用 [M]. 科学出版社, 101-110.
- 杨东来, 肖志坚, 李军, 李超岭, 李景朝, 田文辉, 解立业. 2001. 地质图空间数据库工作指南 2.0 版 [R]. 全国地质资料馆.