

何学洲, 向运川, 王杨刚, 等. 全球地质矿产数据库质量控制体系建立与应用 [J]. 中国地质, 2015, 42(2): 737-744.

He Xuezhou, Xiang Yunchuan, Wang Yanggang, et al. The quality control of global geological mineral database[J]. Geology in China, 2015, 42(2): 737-744(in Chinese with English abstract).

# 全球地质矿产数据库质量控制体系建立与应用

何学洲<sup>1,2</sup> 向运川<sup>2</sup> 王杨刚<sup>2,3</sup> 李娜<sup>2</sup> 元春华<sup>2</sup>

(1. 国家地理信息系统工程技术研究中心, 湖北 武汉 430074; 2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;  
3. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

**摘要:**全球地质矿产建库数据资料涉及众多来源、多种存储格式、不同语种和多级尺度, 保证建库数据质量是提供优质信息服务能力的关键。在全面分析国外地质矿产数据与资料特点的基础上, 系统阐述了全球地质矿产数据库建设流程、建库标准规范、质量控制机制和质量检查方法。通过应用表明, 全球地质矿产数据库建设的质量控制体系具有较强的实用性和广泛的推广性, 在国外地质矿产数据库建设中具有一定的借鉴意义和推广价值。

**关键词:**全球地质矿产; 空间数据库; 质量控制; 地理信息系统

中图分类号: P628<sup>+.4</sup> 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2015)02-0737-08

## The quality control of global geological mineral database

HE Xue-zhou<sup>1,2</sup>, XIANG Yun-chuan<sup>2</sup>, WANG Yang-gang<sup>2,3</sup>, LI Na<sup>2</sup>, YUAN Chun-hua<sup>2</sup>

(1. *National Engineering Research Center for Geographic Information System, Wuhan 430074, Hubei, China*; 2. *Development Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China*; 3. *School of Earth Sciences and Resources, China university of Geosciences, Beijing 100083, China*)

**Abstract:** Global geological mineral database involves different sources, multiple storage formats, lots of languages and different scales, and hence the quality of data is the key to the capability of information service for the society. During the database construction, project group compiles a standard document, establishes a quality control mechanism, programs a quality check software and forms a new data quality control pattern. This paper focuses on the quality control mechanism of database construction, the data quality content and the method of quality inspection technology.

**Key words:** global geological mineral; geo-spatial database; quality control; geographic information system

**About the first author:** HE Xue-zhou, male, born in 1982, engineer, doctor candidates, majors in cartography and geographic information systems and engages in the study of mapping, geodatabase construction and geo-design; E-mail: hexuezhou2001@163.com.

收稿日期: 2014-08-30; 改回日期: 2014-11-26

基金项目: 中国地质调查局地质调查与评价项目“全球主要矿产资源分布与潜力分析研究”(1212011120327)和国外矿产资源风险勘查基金项目(06200015)联合资助。

作者简介: 何学洲, 男, 1982年生, 博士生, 工程师, 地图学与地理信息系统专业, 主要研究方向为地图制图、空间数据库建设及地理信息系统设计与应用; E-mail: hexuezhou2001@163.com。

全面掌握国外地质特征和矿产资源分布情况,开展国外地质矿产信息采集及整合,是贯彻落实中国矿产资源“走出去”战略,保障中国矿产资源安全、为政府制定全球矿产资源战略提供信息支撑、为“走出去”地勘单位提供信息服务和降低投资风险的重要举措。2003—2013年间,中国地质调查局发展研究中心依托地质调查与评价和国外矿产资源风险勘查等项目,承担了全球矿产资源信息系统建设工作,并通过系统不断加强和完善全球地质矿产数据库的建设,进一步收集了全球重要成矿带、国家及重点地区的地质矿产相关数据资料,并覆盖了全球大部分主要资源国家,目前建库数据总量达13 TB。

数据是全球矿产资源信息系统对外提供服务能力的关键,可以说数据质量是数据库建设的“生命线”,数据质量控制是建库中不可缺少的重要环节<sup>[1-3]</sup>。国内地质矿产数据库建设在数据质量控制方面做出了卓有成效的工作,开展了大量的技术研究<sup>[4-6]</sup>,但相关技术并不能满足全球地质矿产数据库质量控制要求,需根据境外地质矿产数据自身特点建立相关的质量检查标准、体系及技术方法。本文在介绍全球地质矿产数据建库流程的基础上,重点介绍数据库建设中所开展的数据质量控制机制、检查内容和检查技术方法。

## 1 资料来源及建库流程

### 1.1 资料来源及特点

全球地质矿产数据库的建库数据主要依托我国“走出去”的地勘单位和矿业企业,进行全面系统地收集全球、大洲、国家及重要成矿带层次的相关数据资料,途径主要包括国际合作交换、公开出版物购买、网站下载以及参加国际会议所收集获取等。

数据资料以基础地质矿产和勘查开发数据资料为主,内容涉及地质、矿产、物探、化探、矿权、构造、地理地形、遥感、矿业法律法规、投资法、外汇管理等方面;地质、矿产图件数据比例尺覆盖范围以1:2万~1:100万比例尺数据为主;数据格式包括数字和纸质等介质的矢量、栅格、文档、图书、图件等类型,其中具有空间特性的数据以几何图形关联属性的形式用GIS数据进行表达,划分为点、线、面、注记四个大类,如地质体使用面状表达、断层使用线状表达、钻孔使用点状表达,地层年代和岩石属性则通过属

性驱动的注记进行表达;数据资料涵盖了西班牙语、俄语、德语、法语、丹麦语、波兰语、冰岛语、保加利亚语等21个语种。

### 1.2 建库流程

根据境外地质矿产数据资料生产加工特点,为规范所收集的数据资料,满足“走出去”企事业单位对数据资料的应用需求,设计了操作性强、任务明确的矢量化、文字资料及影像数据三种不同的生产建库流程,指导建设生产格式规范、内容丰富、表达统一的数据产品。图1为全球地质矿产数字化建库流程。

## 2 质量控制体系

全球地质矿产建库的质量控制体系从技术与管理2个方面入手,技术上强化手段与方法,力争提高生产作业效率与检查的准确性;管理上,从制度与机制切入,保证制度健全流程规范。质量控制体系如图2所示。

### 2.1 统一数据模型

数据模型是数据资料物理存储的逻辑抽象,其包含了数据结构、数据操作以及完整性约束条件等内容,是数据库建设的基础框架<sup>[7]</sup>。建立准确、完善、表达统一的数据模型,直接关系到数据库建设的质量,是衡量数据库的标准,也是决定数据资料后期应用的关键。

全球地质矿产数据库借鉴了现有国土资源部和中国地质调查局建库与质量控制的相关标准,结合境外地质矿产数据自身特点,并以Geodatabase为存储模型,建立了矢量数据、表格数据、影像数据和文本资料多种类型结构与非结构共同存储的数据模型,创造性地提出将沉积岩、变质岩、火成岩归并到一个要素类中表示,便于建立拓扑关系及后期的服务应用<sup>[8]</sup>。在模型的基础上,编写了《全球地质矿产数据库建库指南》文档,作为数据库建设的指导性标准供建库单位参照建库。该指南中详细说明了要素集应包含的要素类内容,每个要素类应具有字段属性、字段名称、字段长度、约束条件、是否翻译,各表间关系、属性域以及拓扑定义等内容。

### 2.2 建立编图符号库系统

全球地质矿产数据库建设内容涉及境外地质矿产数据资料,我国现有的编图标准与图例符号系统无法满足建库需要,且也不符合建库目标国编

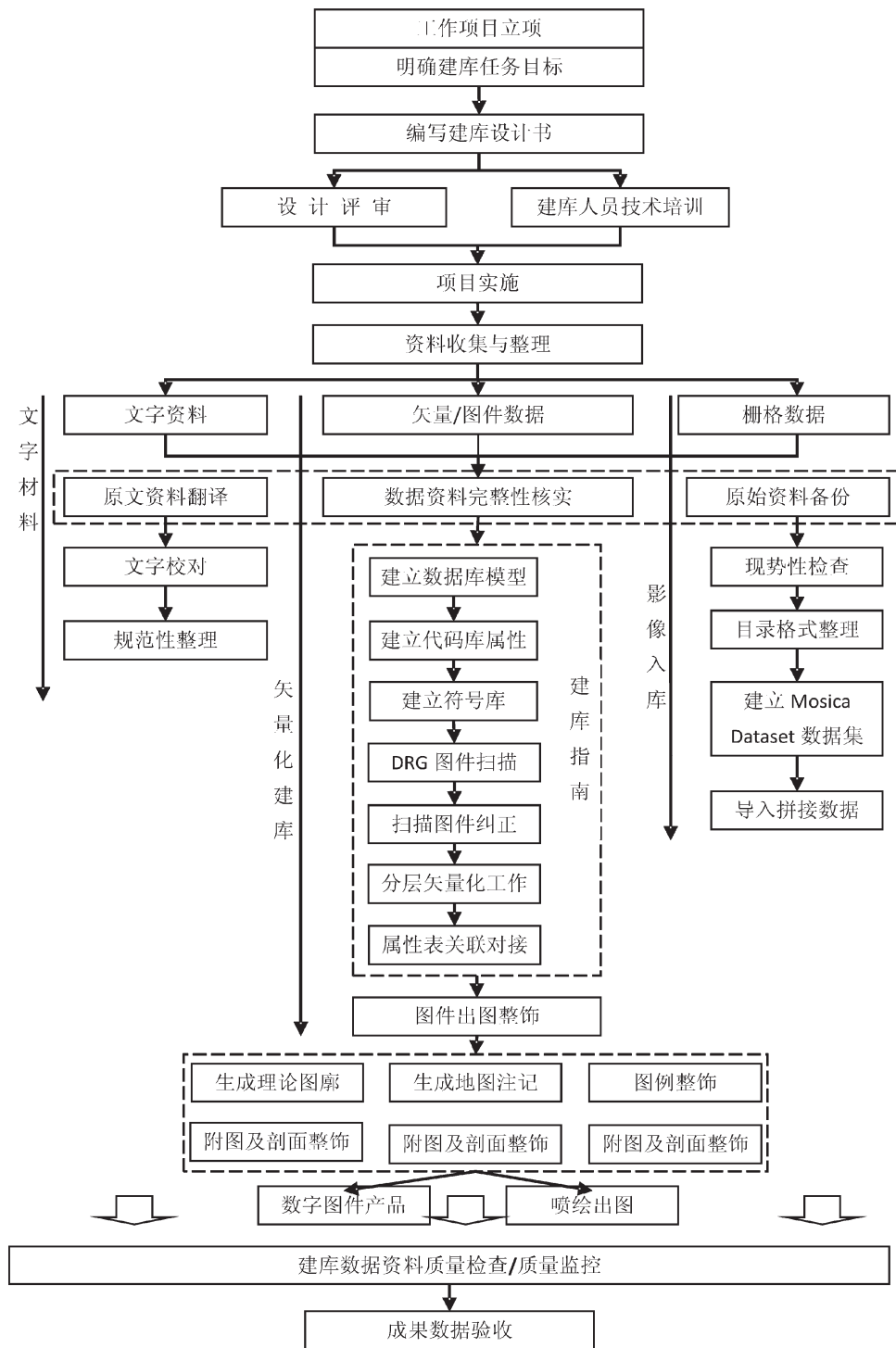


图1 全球地质矿产空间数据库建设数字化生产流程

Fig.1 The work flow of the database construction

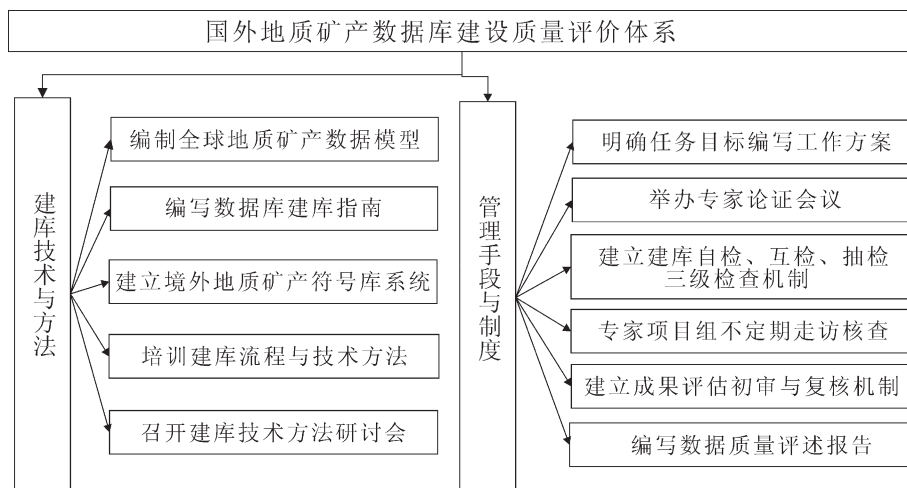


图2 全球地质矿产数据库建设质量控制体系

Fig.2 The network of the quality control

图、读图习惯。在系统梳理了境外图件符号系统的同时,分析了年代地层用色体系、三大岩用色及填充样式和其他构造、矿种及地理底图等内容的表达方式,发现大多国家符号体系存在很大异同,同一类岩性、地层所使用的符号各成体系。

项目组利用目前使用广泛的 FontCreator 和 SymbolEditor 两款符号编辑软件,基于 TrueType 的矢量符号库,设计研制了地质、矿产、地理、物化探等不同专业类别、覆盖较为全面的符号库,符号库涉及点、线、面(填充)符号共计 3000 余个,建设了我国首个涵盖了国内、国外大部分的图例符号的较为全面的符号库系统。通过建立境外地质矿产符号库系统,各建库单位在生产中根据制图内容直接引用符号库即可完成图件符号渲染工作,统一了制图符号样式标准,有效地保证了地图产品的制作质量,为境外地质图件的编制与展示提供了标准的符号基础。

### 2.3 研发质量检查辅助软件

空间地理信息质量检查软件能够有效地对空间数据进行自动质量检测,并已经在各个行业有较为广泛应用,如国家基础数据库更新项目中研制了“规则-模型-方案”的体系架构的质量检查软件,为基础测绘数据库更新提供了操作灵活自动化质量检查系统<sup>[9]</sup>。由于不同行业间数据模型存在较大差异,检查软件并不适用于每个行业的质量检查管理工作,尤其不能拿来主义套用在全球地质矿产数据库中多元、异构复杂的数据进行质量检查。

全球地质矿产数据质量检查软件本着 3 点原则进行设计:(1)提高检查自动化程度;(2)建立便捷的质量检查环境;(3)灵活小巧,无需安装。基于以上 3 点原则,检查软件采用单机运行的模式,在 Esri 公司的 ArcGIS 平台下使用 C# 语言对 COM 组件进行实现,搭建了组件式的软件平台系统<sup>[10-11]</sup>。

质量检查软件主要实现了以下几个方面的自动化检查:(1)建库数据目录结构检查;(2)空间数据库数据模型检查,主要包括要素集名称、要素类名称、空间参考、所属字段名称、字段类型、字段约束、字段长度等;(3)图件工程文件(MXD)与数据源对应一致性检查;(4)建库数据属性内容完整性检查,包括需要填写的必填项是否填写完整、属性内容是否符合规则库约束等;(5)空间几何要素图形检查,检查是否自相交、是否遗失、是否为简单对象等。利用质量检查软件进行质量检查是一种辅助检查手段,检查后软件会以错误列表的形式提示建库人员出现了问题记录 ID 以及出现问题的原因,便于生产人员追溯检查数据的具体情况,起到辅助检查的作用。

### 2.4 形成三级检查验收机制

三级质量检查机制是从管理角度抓落实,制定了严格的数据质量检查与验收方案,形成了建库生产小组自检、生产单位初审和项目组检查验收三级检查机制。包括:(1)建库生产小组自检。生产作业小组内部相互检查,做到作业员自查、作业员相互检查和作业小组内抽查三种检查方式,且作业员

每天建立工作日志和备份;(2)建库生产的主管单位(省地调院)成果初审。在建库完成后,所在主管单位负责对建库成果数据进行内部验收,合格后方可向项目组申请提交建库成果验收;(3)项目组对提交的成果进行一次检查和一次复核的成果验收。项目组组织专家对提交的成果按照不同的建库类型(矢量化、图件、综合)进行专题检查,对于不合格的或存在问题的建库成果将被退回生产单位,修改后再次进行成果的二次复核。

### 3 质量检查的内容

空间数据的生产建库本身存在很大的不确定性,尤其是对原始资料进行加工得到的二次成果,其自身就存在几何与属性约束不确定性、位置数据不确定性、属性数据不确定性、时域数据不确定性、逻辑不确定性、数据的不完整性等问题<sup>[12-13]</sup>。全球地质矿产数据库建设质量检查从数据特点入手,主要对数据进行以下几个方面内容的检查。表1列出了质量检查中主要的检查项。

#### 3.1 地理信息空间数据检查

针对矢量化建库的空间地理信息数据进行几何与属性两个方面的检查:

(1)几何检查。矢量数据是对DRG进行数字化后得到的,由于DRG数据是二次产品,所以几何位置精度很难保证在原始数据测量采集的精度范围内,因此,在几何精度的检查主要针对配准校正检查方差是否满足要求,并与原图DRG进行套合比对。对于几何要素来讲,同时检查几何要素对象自身是否存在自相交、是否为简单对象、数字化点序是否正确等。

(2)拓扑关系检查。除检查不能有悬挂点、伪节点、自相交、回头线等问题外,全球库的拓扑检查需要结合地质体、地质界线的关系以及矿体的分布特征和产状处理好地质与地理要素间的拓扑关系。如地质体不能有空隙、地质界线不能自相交等。

(3)数据的完整性与逻辑一致性检查。检查数字化地质体、矿产等要素对象是否有缺失,要素类是否符合要求等;矿种、岩性、时代描述是否符合值域的约束,代码是否完整,属性字段长度、类型是否与规范一致。

(5)坐标基准检查。境外数据坐标参考种类繁

多,仅非洲国家使用的基准面就有1950年欧洲基准(ED50),阿丁丹基准(ADINDAN)和1950年弧基准(ARC50);参考椭球包括克拉克1880、克拉克1880修正及WGS84,投影方式主要是UTM和LAMBERT正轴等角割圆锥投影。因此需要核实作业单位所使用的坐标基准是否为国际通用,与其他坐标系统正常转换,并保证数字化数据精度与元数据一致。

#### 3.2 喷绘图件检查

进行成果图件与原始图件综合对照检查,包括图面效果、整饰内容和说明书的检查。

(1)主图要素表达效果检查:对地理底图、沉积岩、变质岩、火成岩、地质构造、主要矿产及相关的注记等要素的表达效果进行图面综合检查。查看压盖关系是否正确、符号表达是否符合制图规范内容,重点检查加工后与原图的一致性。

(2)图外制图整饰部分检查:图外整饰包括图例、剖面图、制图说明及其他的整饰内容,主要检查图外整饰部分是否与主图内容相对应,以及制图说明检查翻译后的内容是否表达准确。

(3)说明书检查:对说明书的内容进行核实,与地质图相互对照检查,判断图面表达与说明书阐述内容是否一致;检查说明书翻译的内容,尤其是专业部分的翻译是否准确。

#### 3.3 收集资料与元数据检查

除矢量化数据建库外,作业单位同时收集整理了部分遥感数据、矿业法规、勘查开发等相关的资料。首先检查合同书规定的资料清单是否收集提交,然后根据不同的数据类型进行检查。遥感数据主要检查数据分辨率和现势性,过低分辨率和较早的影像对地质解译是无用处的;矿业法规、勘查开发等材料大多为pdf、word等格式的文字材料,主要对文字清晰度、出版时间是否较新、影像数据现势性是否较强等内容进行检查。

元数据是建库数据的描述性数据。元数据检查由作业单位建库完成后主要对填写的数据项进行判断是否遗漏,检查是否符合项目组规定,并核实各项元数据内容是否与建库数据相符合。

### 4 质量检查技术方法

全球地质矿产数据库建库工作由于数据的复杂性,总体上采用了软件自动检查、人机交互验证检查

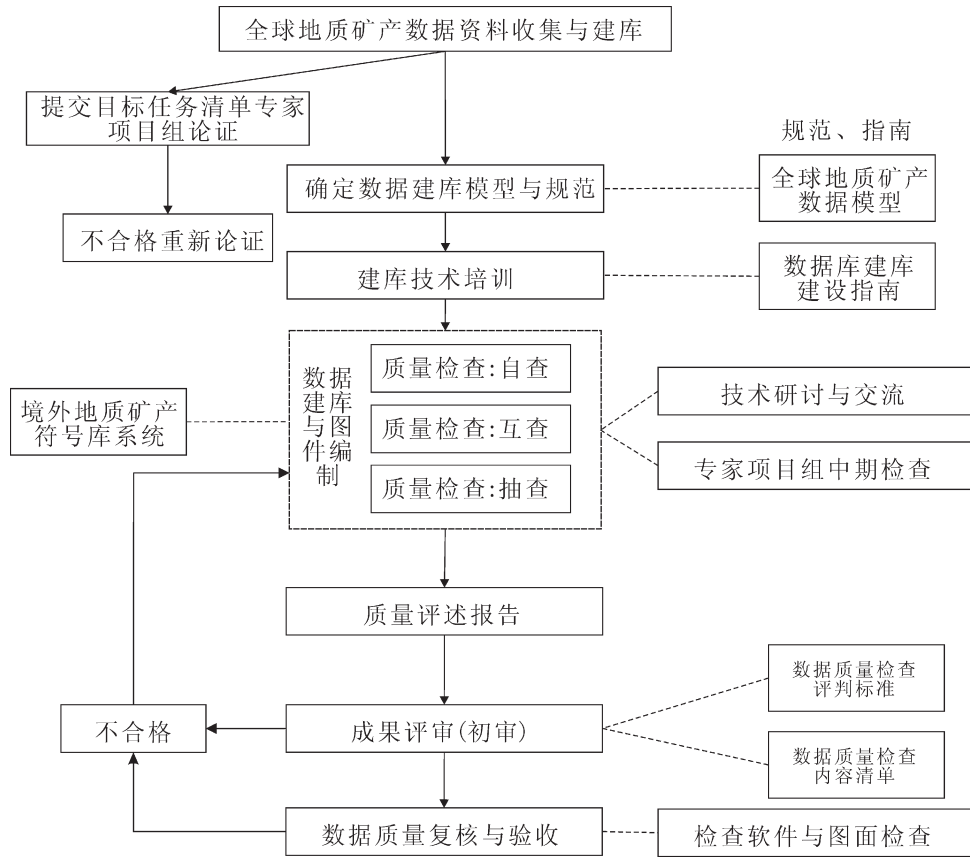


图3 全球地质矿产数据资料质量检查流程  
 Fig.3 The work flow of the quality control

和人工综合检查,三种检查方法相互结合能够有效地避免采用单一的检查方式带来的粗差和局限性。

#### 4.1 质检软件自动检查

利用软件对空间地理信息数据库结构与内容属性进行自动检查。检查人员指定数据目录后,软件会对指定的目录结构是否符合要求、空间数据库版本是否正确、空间参考是否遗漏、字段相关定义是否准确、属性内容是否符合填写规范等内容进行扫面检查,最终以问题列表的方式提交给检查人员,从而实现自动化、大批量数据的整体性检查,旨在提高检查效率和辅助性参考。

#### 4.2 人机交互查验

自动化检查方法虽然效率高、操作简单,但由于检查软件是基于检查规则的,缺乏专业推断知识,所以检查出来的并不一定是问题,需要检查人员结合问题到数据中进行对照检查,才能进一步判断是否为真正的问题。例如同一个地质现象由于地域性特点,在不同地区成因是不同的,需要与地

质工作相结合作才能准确的把握数据的真实性。因此,自动化的检查软件是为人机交互检查提供辅助结果,由质检人员到数据中进行检验核对,进一步核实不能确定的内容。

#### 4.3 图件资料人工综合检查

纸质喷绘图件由图面专家组进行图面综合检查验收。图面专家组对喷绘成图的各类图件进行综合判断,重点检查图面表达、符号系统、地层时代、岩石类别等表达或翻译上的问题。与人机交互检查方法不同,图件综合检查对作业单位提交的图件进行概数抽查,抽查比例一般在总数的50%~65%,且重点检查图件的地质与矿产部分内容。根据图件的综合检查发现一般图件存在两个问题:一是图面符号关系处理不得当,没有遵照原图的表达效果进行处理,如注记编绘位置不理、地质体用色等问题;第二类问题是由于翻译水平与专业所限,建库工作中对专业词汇理解掌握不足,出现外文翻译存在遗漏或错误等问题。

表1 数据质量内容检查项  
Table 1 Quality check contents of data

检查内容	指标	检查项	描述
数据完整性	缺失、多余	项目组规定的各种比例尺空间数据、属性数据、元数据、投影参数、纸图、文档资料等内容。	要求的空间数据、属性(表格)数据、元数据和文档资料数据无缺失和多余。内容包括: 1. 空间数据的地理覆盖范围完整、数据内容无缺失,无多余图层(必选图层不可缺失、可选图层根据实际情况确定、增加图层必须说明)、空间实体无缺失和多余; 2. 元数据和属性数据的数据表、记录和数据项无缺失和多余; 3. 制图数据完整,如符号、注记等无多余与缺失,图廓整饰是否完整; 4. 文档资料符合任务书要求,收集地质矿产资料是否齐全。
逻辑一致性	概念一致性	要素类、属性表间关系,属性字段的名称、类型、长度和约束条件	空间数据的要素分层(如要素层名称和几何特征)、属性(表格)数据结构(如属性表名、字段长度、字段类型和约束条件等)与《全球地质矿产数据库建设指南》保持一致;
	值域一致性	属性表格的数值型数据项的值	表与表、表与层等逻辑关系符合标准要求。值应符合值域范围的要求;
	格式一致性	图层名、数据文件名以及文档文件名等空间数据格式和属性数据格式等	图层、元数据、属性(表格)、文档等文件的命名符合标准要求;空间数据、属性(表格)数据、文档数据的格式与《全球地质矿产数据库建设指南》中的要求一致。
	拓扑一致性	空间数据拓扑关系	是否按规定建立拓扑关系,建立的拓扑关系是否正确,如线状实体相交建立结点、多边形封闭、不存在多余标识点、悬挂节点、坐标点重叠、线和弧段自相交等问题、有向线要素的方向正确。
空间定位	数学基础	坐标系、投影方法	各比例尺空间数据坐标系是否为原图投影;投影方式的选择及参数的设置要正确。
	校正精度	校正方法,校正控制点数目与分布的合理性,校正后数据符合精度要求。(包括影像校正和矢量数据校正)	校正控制点数目不少于4个,应尽量覆盖全图,应均匀分布,图形四个角点应首先选取。校正后精度符合标准要求,图廓点、坐标网点误差、图廓边长误差和对角线误差不得超过范围值。
	数据采集或转换精度	图形扫描精度;分辨率、变形程度 矢量化精度:采集点坐标、线坐标的空间位置误差,线圆滑程度 转换精度:转换过程中空间实体的位置、要素、属性内容和精度;	图形扫描分辨率和变形程度满足要求;矢量数据采集过程中严格按标准并依比例尺采集各图层要素,并表示准确;转换精度:要求数据转换过程中点、线、面实体无遗漏和多余,要求转换前控制点和转换后控制点坐标保持一致,要求数据转换过程中实体的属性内容不丢失、精度不降低;影像数据在格式转换过程中,应保证图像分辨率不降低。
属性数据准确性	定性属性正确性	定性属性	定性属性的描述要正确,如矿区、岩石类型的描述。
	定量属性准确度	定量属性	定量属性的属性值、计量单位正确,翻译内容是否准确。
图面整饰规范性	符号规范性	符号表达、符号与符号压盖关系 点、线、面符号表达是否合理	线划质量,线划是否圆滑自然,连续清晰,线型和线划粗细设置是否符合原图;没有原图的数据是否满足出图的相关要求;要素符号是否正确,尺寸是否符合相关标准要求;检查各要素关系是否合理,是否有重叠压盖现象;
	注记规范性	注记	名称、注记是否正确,位置是否合理,指向是否合理,字体是否符合规定;
	图廓整饰规范性	图廓内、外容整饰	符号、注记是否压盖重要地物或点状物;图面配置、图廓内外整饰是否符合规定,是否美观;
现势性	数据源现势性	数据源完成的时间	数据源完成的时间、介质、质量是否满足规定要求;
	数据现势性	数据完成时间、数据更新程度、更新频度和最后更新时间	数据是进行局部更新还是全面更新,数据更新的周期和最后时间

## 5 结束语

基于数据驱动和面向对象数据行为的 Geodatabase 建库技术和质量检查方法,是全球地质矿产数据库建设技术上的一项新的尝试,也是实现高效数据管理,规范数据结构,统一数据格式,保障数据质量的重要手段。建库中从技术入手,通过技术培训、研发质检软件多个环节提高建库效率,解决了传统作业的自动化程度低的问题;从管理手段,建立了三级质量控制机制,做到责任到人、逐级监管,建立了规范化的数据验收流程,有效地保证了数据质量。全球地质矿产数据库建设质量检查方法与相关规范,对于境外地质矿产相关数据库的建设与数据质量检查具有一定的指导意义,并且已经在行业内其他单位进行了推广使用,本项工作对于服务中国矿产资源“走出去”战略具有重要和深远的意义。

### 参考文献(References):

- [1] 商瑶玲,王东华,刘建军,等.国家基础地理信息数据库质量控制技术体系建立与应用[J].地理信息世界,2012,(1):13-17.  
Shang Yaoling, Wang Donghua, Liu Jianjun, et al. Study on quality control of fundamental geographic information data [J]. Geomatics World, 2012, (1): 13-17 (in Chinese with English abstract).
- [2] 姜作勤.数据质量研究与实践的现状及空间数据质量标准[J].国土资源信息化,2004,(3):23-28.  
Jiang Zuoqin. Research and practice of data quality and the status of spatial data quality standard[J]. Land and Resources Informatization, 2004, (3): 23-28(in Chinese).
- [3] 陈玉兰,何翠云.广西1:5万数字地质图空间数据库的质量监控[J].广西科学院学报,2009,25(3):206-209.  
Chen Yulan, He Cuiyun. The quality control of the space database of Guangxi 1:50000 digital geologic map[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2009, 25(3): 206-209 (in Chinese with English abstract).
- [4] 诸云强,朱少春,刘海川.土地利用数据质量检查方法研究与实现[J].国土资源科技管理,2008,25(6):66-71.  
Zhu Yunqiang, Zhu Shaochun, Liu Haichuan, et al. Research and implementation of land use data quality checking methods [J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2008, 25(6): 66-71 (in Chinese with English abstract).
- [5] 张书波. GIS在土地利用数据质量检查中的应用研究[J].国土资源信息化,2010,(2):37-44.  
Zhang Shubo. Application of GIS in quality inspection of land use data [J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2010, (2): 37-44 (in Chinese with English abstract).
- [6] 左群超,杨东来,宋越,等.中国矿产资源潜力评价成果数据质量控制及方法技术[J].中国地质,2013,40(4):1314-1328.  
Zuo Qunchao, Yang Donglai, Song Yue, et al. The data quality control and technique of the mineral resources potential evaluation in China[J]. Geology in China, 2013, 40(4): 1314-1328(in Chinese with English abstract).
- [7] 徐立,陈晓慧,赵斌彬,等.空间数据模型发展综述[J].信息工程大学学报,2012,13(3):370-375.  
Xu Li, Chen Xiaohui, Zhao Binbin, et al. Review of spatial data models [J]. Journal of Information Engineering University, 2012, 13 (3): 370-375 (in Chinese with English abstract).
- [8] DD2006-07,中国地质调查局.地质调查技术标准:地质数据质量检查与评价[S].第一版,2006.  
DD2006-07, The China Geological Survey. Geological Survey Technique Standard: Geological Data Quality Checking and Evaluation, First edition[S]. 2006 (in Chinese).
- [9] 刘建军.基础地理信息数据质量检查软件的设计探讨[J].测绘通报,2010,(11):18-21.  
Liu Jianjun. Study of software design for quality check of fundamental geographic information data [J]. Geomatics World, 2010, (11): 18-21 (in Chinese with English abstract).
- [10] 韩坤英,张庆合,丁孝忠,等.中国1:100万地质图数据库管理系统的设计与应用[J].中国地质,2010,37(4):1215-1223.  
Han Kunying, Zhang Qinghe, Ding Xiaozhong, et al. The design and application of the management system for 1:1 000 000 geological map database of China[J]. Geology in China, 2010, 37 (4): 1215-1223(in Chinese with English abstract).
- [11] 王杨刚,李玉龙,王新春,等.基于GIS的地质项目管理系统研究与实现——以战略性矿产远景调查专项项目管理系统为例[J].中国地质,2010,37(2):542-549.  
Wang Yanggang, Li Yulong, Wang Xinchun, et al. Research and realization of the geologic projects management system based on GIS: A case study of the strategic mineral prospect survey projects management system[J]. Geology in China, 2010, 37(2): 542-549 (in Chinese with English abstract).
- [12] 史文中.空间数据与空间分析的不确定性原理[M].北京:科学出版社,2005.  
Shi Wenzhong. Principle of Modelling Uncertainties in Spatial Data and Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2005(in Chinese).
- [13] 郭伦,承继成,史文中,等.地理信息系统数据的不确定性问题分析[J].测绘科学,2006,31(5):13-17.  
Wu Lun, Cheng Jicheng, Shi Wenzhong, et al. Data uncertainties in geographic information system [J]. Science of Surveying and Mapping, 2006, 31(5): 13-17 (in Chinese with English abstract).