

# 亚洲地下水资源与环境地质系列图及 GIS 系统结构

董 华<sup>1</sup>, 程彦培<sup>1</sup>, 倪增石<sup>1</sup>, 张发旺<sup>1\*</sup>, 黄志兴<sup>1</sup>, 田廷山<sup>2</sup>, 赵继昌<sup>2</sup>, 高 昀<sup>1</sup>, 刘 坤<sup>1</sup>, 张健康<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄 050061; 2. 中国地质环境监测院, 北京 100081)

**摘要:**“亚洲地下水资源及环境地质系列图件”(1:800万)属于洲际尺度图件,包括亚洲水文地质图、亚洲地下水资源图、亚洲地热图和亚洲地下水环境背景图等。针对全球变化、能源危机、资源短缺、环境恶化地质灾害频发的状况,特别是水资源安全保障与地质环境优劣更是直接影响亚洲地区可持续发展,编制上述图件,意义十分重大。亚洲地下水资源及环境地质系列图件,是在亚洲地下水资源及环境地质综合研究基础上,全面分析了国际国内近年来地下水资源与环境地质方面的编图模式,用编制系列图的系统理念,研究制订适合亚洲特点的编图内容及编图方法。应用GIS信息平台,构建亚洲地下水资源与环境GIS系统结构下的数据库,以反映亚洲地下水资源及环境地质时空特征分布规律,为亚洲各国和跨国的自然资源开发利用,水资源规划和地质环境保护防灾减灾,提供科学依据。

**关键词:** 亚洲;地下水资源与环境;GIS;系统结构

**DOI:** 10.3724/SP.J.1047.2011.00770

## 1 引言

能源危机、资源短缺、环境恶化、地质灾害频发,严重威胁着亚洲国家乃至全球生存环境与经济的可持续发展,特别是水资源安全保障与地质环境优劣,更是直接影响亚洲地区可持续发展。1987年我国编制了“中国水文地质图”(1:400万)<sup>[1]</sup>;1992年编制了“中国地下水诱发危害图”(1:600万)<sup>[2]</sup>;1997年编制了“亚洲水文地质图”(1:800万)<sup>[3]</sup>;2006年编制了“中国地下水资源图”(1:400万)和“中国地下水环境图”(1:400万)<sup>[4-5]</sup>;2008年编制了“亚洲中部及邻区地质图”(1:2500000)等。国际上2004年至2006年UNESCO—IHP、(BGR)编制“世界地下水资源图”(1:2500万)<sup>[6-11]</sup>等。这些图件的相继问世,在国际地学界引起巨大反响。本次编制的“亚洲地下水资源及环境地质系列图”(1:800万),是在深入分析对比亚洲各国地下水资源与环境及相关研究现状的基础上,编制了符合亚洲实际应用的编图大纲,用简洁明了的图形语言展现亚洲主要地下水与环境规律,实现与国际同类研

究成果接轨,在编图内容和表现形式上体现出亚洲的地下水资源与环境特点。

## 2 亚洲地下水资源及环境地质系列制图内容及方法

### 2.1 亚洲地下水资源及环境地质系列图编制原则

(1)技术规范统一协调原则:采用统一的编图大纲,制订适合亚洲地下水资源及环境地质特点的编图内容及表示方法,统一编图单元划分,分区编图和汇总协调相结合;

(2)国际编图技术与亚洲地下水与环境特点相结合的原则:借鉴已出版的国际编图成果,特别是美国和欧洲等国家地下水资源与环境地质成果的编图模式,同研究亚洲地下水资源与环境问题特点相结合;

(3)技术创新与传统编图技术相结合原则:在深入分析研究以往地下水资源与环境地质编图技术方法的基础上,采用国际先进技术,又统筹考虑资料不平衡问题,兼顾资料缺乏、研究程度较低的

**收稿日期:** 2011-06-01; **修回日期:** 2011-11-28.

**基金项目:** 中国地质调查局亚洲地下水资源与环境地质编图项目(1212010813090)资助。

**作者简介:** 董华(1953-),男,汉族,河北抚宁人,教授级高工,主要从事地下水资源与环境地质及其编图方面的研究工作。

E-mail: donghua05003@163.com

\* **通讯作者:** 张发旺(1965-),男,汉族,河北深州人,研究员,博士生导师,主要从事矿山水文地质、污染水文地质、地下水资源效应等方面研究。E-mail: fawangzhang@sina.com

地区,图面整体协调一致;

(4)科学性与实用性相结合的原则:以充分表达亚洲地下水资源与环境科学问题为基础,结合目前地下水与环境工作需求,如地下水类型四分法,含水层多层结构标识等,引导科学解决实际问题。

(5)增进学术交流与促进学科发展的原则:即通过编图工作增进国际间的交流和地下水资源与环境学科发展。

2.2 编图主要内容及表示方法

2.2.1 亚洲水文地质图

原有“亚洲水文地质图”,由中国编制完成,1997 年出版。本次编图是在已有“亚洲水文地质图”基础上修编。目前,洲际地质图逐渐在更新,随着区域地层的修订,地下水赋存类型也需要相应的调整。新编“亚洲水文地质图”(图 1)是在原来地下水 3 大赋存类型的基础上,增加了“裂隙孔隙水”类型,新划分出地下水 4 大赋存类型,即:松散岩类孔隙水、碳酸岩盐岩溶水、碎屑岩类裂隙孔隙水和其他岩类裂隙水。并按富水程度作出分级,并对多层结构孔隙水、隐伏岩溶水和裂隙孔隙水盆地做出反映,强调冻融作用对地下水补给的影响。代表性标识地下水天然露头岩溶大泉(100L/S)、暗河等主要的地下水特征。根据含水层的富水程度以钻孔单位涌水量或泉水流量的常用值分 5 级表示(表 1)。亚洲地下水主要为大气降水形成,气候类型与地下含水空间是地下水循环交替主控条件,故在图面上配置有亚洲气候类型附图。

表 1 含水层的富水程度一览表

Tab. 1 Water yield capacity of the aquifers

富水程度	极强	强	中等	弱	极弱
单位涌水量 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$	$>30$	$10 \sim 30$	$5 \sim 10$	$1 \sim 5$	$<1$
泉水流量 $\text{m}^3/\text{h}$	$>60$	$30 \sim 60$	$10 \sim 30$	$5 \sim 10$	$<5$

2.2.2 亚洲地下水资源图

地下水资源是指储存于地下岩层之中,其质和量具有一定利用价值的地下水;它服从于大陆水循环,通过补给、径流、排泄的运动形式,循环交替,具有可更新等特点。以地下水开发为目的,可把地下水资源划分为天然补给资源和开采资源(图 2)。大气多年平均降水量作为镶图予以表示。

地下水天然补给资源量,统一采用天然补给(径流)模数( $10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ )(将补给强度  $\text{mm}/\text{a}$  换



图 1 亚洲水文地质图

Fig. 1 Hydrogeological Map of Asia



图 2 亚洲地下水资源图

Fig. 2 Groundwater Resource Map of Asia

算成统一的地下水天然补给(径流)模数  $10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ ),主要由大气降水入渗组成。根据地形地貌、多年平均降水量、水文、包气带岩性、含水层介质的入渗补给条件不同,作出地下水入渗系数分区,采用水均衡方法和水文分割法进行地下水资源评价,同时,考虑了地表水与地下水的转换关系,在平原盆地的地表水补给区作出评价,特别是在西伯利亚平原岗地的季节性冻结层的冻融交替融水补给量明显。从地下水流运动连续性划分为:(1)平原、山间盆地松散沉积连续含水层;(2)丘陵、山地基岩断续含水层;(3)其他零星含水层。地下水天然

补给模数( $10^4 \text{ m}^3 / \text{km}^2 \cdot \text{a}$ ),分为: $<10$ 、 $10 \sim 20$ 、 $20 \sim 30$ 、 $30 \sim 50$ 、 $>50$  五级。按地下水系统(或自然单元分区)反映地下水天然资源数量、开采资源量。

地下水系统是地下水资源评价的时空载体,用系统理念对地下水资源形成、分布的数量及其时空变化加以研究。地下水系统是以洲际尺度的构造、气候地貌和地下水类型及流场为主要划分依据。编图过程中,各国家(地区)凡是有地下水资源评价数据的以评价结果赋值,进行汇总。对于没有评价数据的国家和地区,通过遥感解译手段,气象资料,以大气降水净补给地下水的强度( $\text{mm/a}$ )作出评价,汇编时换算成统一的地下水天然补给模数( $10^4 \text{ m}^3 / \text{a} \cdot \text{km}^2$ )。

### 2.2.3 亚洲地热图

地热分区是按地热形成的地质类型与分布特征进行划分:(I)现代火山型地热区;(II)隆起断裂型地热区;(III)沉积盆地型地热区(图3)。图面显示主要控热构造及大地热流值;具有代表性热水(井、泉)分布点,按出露划分为:大于 $60^\circ\text{C}$ 热水, $60 \sim 40^\circ\text{C}$ 为温热水,小于 $40^\circ\text{C}$ 或高于当地平均气温 $10^\circ\text{C}$ 为温水,重要的热矿水的化学成分、温度、流量信息;与地热密切相关的火山(包括现代活动火山、休眠火山和较老火山)等。

### 2.2.4 亚洲地下水环境背景图

地下水环境是一个庞大的多层次、多目标、多因素影响并相互交融的动态体系。地下水在其循环过程中,不仅是量变还是质变,都要经历漫长的水岩作用演变过程,水—岩和水—土相互作用,相互关联的水文地球化学系统,从而构成基本的地下水环境背景。然而,人类社会活动对地下水也产生巨大影响,使地下水环境更为复杂多变,研究范畴既有地域性,还具有时效的可变性特点。

地下水环境背景图主要依据地下水形成演变的水文地球化学作用进行分区(图4)。分区主要考虑气候分带、水气运移,在不同水岩相互作用下地下水化学组分的分解→溶滤→迁移→混合→蒸发→盐化累积,水质环境背景的特征规律。第一图层表示水文地球化学作用类型分区;第二层面表示地下水质量、土地荒漠化与土壤盐渍化分布,对于人类强烈开采地下水引起的区域性持续水位下降作出警示。

地下水质量主要参照世界卫生组织“饮用水水质准则”和中国国家“生活饮用水卫生标准”(GB



图3 亚洲地热图

Fig. 3 Geothermal Map of Asia



图4 亚洲地下水环境背景图

Fig. 4 Groundwater Environment Background Map of Asia

5749-2006),当溶解性总固体(TDS)水平大于约 $1\,000\text{mg/L}$ 时,饮用水的口感发生明显变化并越来越不好。本次编图按饮用水容忍程度,确定地下水总溶解固体含量(TDS)小于 $1\,000\text{mg/L}$ 为淡水,大于 $1\,000\text{mg/L}$ 为咸水作为划分依据,表示咸水区域性分布。荒漠化指由于人为和自然因素的综合作用,使得干旱、半干旱甚至半湿润地区自然环境退化(包括盐渍化、草场退化、水土流失、土壤沙化、狭义沙漠化、植被荒漠化等以某一环境因素为标志的具体的自然环境退化)的总过程。其中土壤盐渍化单独列出表达,以作警示。



3 GIS 系统结构与数据库

3.1 构建 GIS 信息平台

建立数据标准,可根据数据类型的差异、时间阶段的划分,建立不同的分项数据库标准,最后集成为一个完善的数据库标准体系,建立了基于 MapGIS 软件的“文件系统”亚洲地下水资源与环境地质电子地图,应用 ArcGIS 按数据类型和属性进行基础数据库录入,实现数据信息平台运行,MapGIS 与 ArcGIS 相互接转,实现了我国地质制图应用软件 MapGIS 与国际通用的 ArcGIS 系统接轨(图 5)。

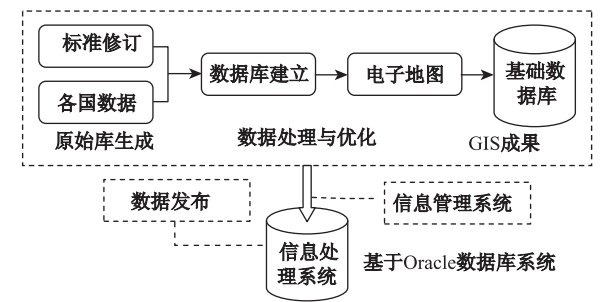


图 5 GIS 信息平台  
Fig. 5 GIS information system

3.2 GIS 信息系统结构

构建 GIS 信息系统及 ArcGIS 数据库 1 套,编辑 MapGIS 数字地质地理底图及专业要素图件。

(1)基础图层结构(表 2)

表 2 亚洲图基础数据库图层一览表

Tab. 2 Map layers of basic database of Asia

数据库	ArcGIS 图层名称	数据类型	MapGIS 对应文件名
基础数据库	咸水湖	面	咸水湖. WP
	居民点_字	点	居民地. WT
	山岛屿_字	点	山、岛屿. WT
	岛_点	点	岛. WT
	岛_线	线	岛. WL
	岛_面	面	岛. WP
	州界	线	边界. WL
	沙漠	面	沙漠. WP
	河流	线	河流. WL
	河流_字	点	河. WT
	沼泽	线	沼泽. WL
	海_字	点	海. WT
	海岸线	线	海岸线. WL
	湖	线	湖. WL
	湖_字	点	湖. WT
	珊瑚	点	珊瑚. WT
	珊瑚符合	线	珊瑚. WT
	经纬度	线	经纬网. WL
	经纬度_字	点	经纬网. WT
	运河	线	运河. WL

(2)专业图层结构(表 3-6)

表 3 亚洲水资源数据库图层一览表

Tab. 3 Map layers of water resources database of Asia

数据库	ArcGIS 图层名称	数据类型	MapGIS 对应文件名
亚洲地下水资源数据库	地下水资源类型	面	地下水资源类型. WP
	地下水补给模数分区	面	专业-J. WL
	冻结层分布范围	面	专业-J. WL
	大气降水补给充沛区域	面	专业-J. WL
	大气降水补给匮乏区域	面	专业-J. WL
	具供水意义的深层地下水	面	专业-J. WL

表 4 亚洲水质数据库图层一览表

Tab. 4 Map layers of water quality database of Asia

数据库	ArcGIS 图层名称	数据类型	MapGIS 对应文件名
亚洲水质数据库	水质分区	面	水质分区. WL
	地下水环境	面	地下水环境. WP
	常年冻结环境界线	面	常年冻结环境界线. WL
	常年冻结环境界线	面	常年冻结环境界线. WL
	水文地球化学作用分带	线	水质分带. WL
	水文地球化学作用分带	面	水质分带. WL

表 5 亚洲水文地质图数据库图层一览表

Tab. 5 Map layers of hydrogeological map database of Asia

数据库	ArcGIS 图层名称	数据类型	MapGIS 对应文件名
亚洲水文地质图数据库	地下水类型	面	地下水类型. WP
	裂隙孔隙水	点	裂隙孔隙水. WT
	下伏含水岩类	面	双层结构. WL
	地下水流界线	面	地下水流界线. WL
	地下水水质	面	地下水水质. WP

表 6 亚洲地热质图数据库图层一览表

Tab. 6 Map layers of geothermal database of Asia

数据库	ArcGIS 图层名称	数据类型	MapGIS 对应文件名
亚洲地热图数据库	地热构造	线	地热构造. WL
	地热类型	线	地热类型. WL
	地热类型区	面	地热类型区. WP
	大地热流值	点	Excle
	大地热流	线	大地热流. WL
	热水井	点	Excle
	温泉	点	Excle
	火山	点	Excle

4 结语

本文是在中国地质调查局“亚洲地下水资源与环境地质编图”项目,中国地质科学院水文地质环

境地质研究所“亚洲地下水资源及地质环境系列图”编制工作基础上编写的,该系列图的编制,应用了亚洲各国及国际上最新的研究成果,文献、图件资料,系亚洲水文地质环境地质界共同研究成果的结晶。地下水及其环境与人类生存发展息息相关,随着研究的不断深入、认识水平的提高,洲际地质环境系列图方面编图还有待积极的探索。

#### 参考文献:

- [1] 焦淑琴,戴喜生. “中国水文地质图”(1 : 4 000 000) [M]. 北京:中国地图出版社,1988.
- [2] 焦淑琴,戴喜生,董华,等. “中国地下水诱发危害图”(1 : 6 000 000)[M]. 北京:中国地图出版社,1992.
- [3] 张宗祜 主编. 亚洲水文地质图(1 : 8 000 000)[M]. 北京:地质出版社,1997.
- [3] 张宗祜,秦毅苏 主编. 中国地下水资源图(1 : 4 000 000) [M]. 北京:中国地图出版社,2006.
- [4] 张宗祜,孙继朝 主编. 中国地下水环境图(1 : 4 000 000) [M]. 北京:中国地图出版社,2006.
- [5] 李廷栋 主编. 亚洲中部及邻区地质图(1 : 2 500 000) [M]. 北京:地质出版社,2008.
- [6] Groundwater Resources of the World(1 : 25 000 000). UNESCO-IHP(BGR). 2006.
- [7] Geohydrological map of India (1 : 2 000 000). 2005.
- [8] groundwater resources of the world (1 : 25 000 000). 2007.
- [9] Hydrogeology of Mongolia (1 : 1 000 000). 1996.
- [10] Geological map of thailand (1 : 2 500 000). 1987.
- [11] Hydrogeological map of indonesia (1 : 2 500 000). 1983.

## Groundwater Resources and Environmental Geology Serial Maps of Asia and the GIS System Structure

DONG Hua<sup>1</sup>, CHENG Yanpei<sup>1</sup>, NI Zengshi<sup>1</sup>, ZHANG Fawang<sup>1</sup>, HUANG Zhixing<sup>1</sup>, TIAN Tingshan<sup>2</sup>, ZHAO Jichang<sup>2</sup>, GAO Yun<sup>1</sup>, LIU Kun<sup>1</sup>, ZHANG Jiankang<sup>1</sup>

(1. *Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang 050061, China;*

2. *China Institute of Geological Environment Monitoring, Beijing 100081, China*)

**Abstract:** “Serial maps of groundwater resource and environmental geology of Asia”(at scale of 1:8 000 000), including Hydrogeological Map of Asia, Groundwater Resources Map of Asia, Geothermal Map of Asia and Groundwater Environment Background Map of Asia, has been completed based on the research of groundwater resource and environmental geology and overall analysis of mapping pattern of groundwater resource and environmental geology in recent years at home and abroad. The compilation of series maps is of great significance at present for issues over global climate change, energy crisis, resource shortage and environment deterioration and frequent geological hazards we are facing, especially under the condition that water resource safe guarantee and geological environment directly affect the sustainable development in Asia. The mapping content and method suitable for Asia has been developed in consideration of systematical concept of compiling serial maps. The serial maps reflect spatio-temporal characteristics and distribution regularities of groundwater resource and environmental geology in Asia with the simple graphic language, and with application of GIS information system. The serial maps constitute a database of groundwater resource and environmental geology in Asia so as to provide scientific basis for trans-boundary exploitation and utilization of natural resources, planning of water resource, protection of geological environment and disaster reduction.

**Key words:** Asia; groundwater resource and environment; GIS; system structure