

中国北方岩溶水系统划分与系统特征

梁永平, 王维泰

中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西桂林 541004

摘 要: 中国北方岩溶水以相对独立单元进行循环, 构成一系列规模不等的岩溶水系统。本文重点阐述两方面的内容: 第一从基本概念出发, 划分出 119 个岩溶水系统, 这些系统以高度开放, 环境质量脆弱, 发育规模大, 资源要素构成多、各要素间转化关系复杂, “水煤共存” 为特点; 第二从岩溶水系统地质结构与岩溶水流场的叠置关系出发, 将 119 个系统归结为 5 种系统模式, 各种模式在分布与发育规模, 岩溶地下水循环、富集, 岩溶地下水流程形态和主要岩溶水文地质环境问题等方面具有鲜明的特征。

关键词: 中国北方; 岩溶水系统特征; 岩溶水系统模式

中图分类号: P641.133; P641.13 文献标志码: A 文章编号: 1006-3021(2010)06-860-09

The Division and Characteristics of Karst Water Systems in Northern China

LIANG Yong-ping, WANG Wei-tai

Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi 541004

Abstract: In northern China, karst groundwater cycles in relatively isolated units and has formed a series of water resource systems on different scales. This paper deals emphatically with problems of two aspects. First, starting with the basic concept, the authors divided the karst groundwater in northern China into 119 systems. These systems are characterized by high openness, vulnerable environmental quality, large dimensions, numerous water resource elements, complex conversion relations of the water resource elements and “water-coal coexistence”. Second, according to the superimposition relationship of geological structures and fluid fields, the authors grouped the 119 systems into 5 different framework models and described their respective distinct characteristics in distribution, development scale, cycling and enrichment regulations, fluid field patterns and main hydro-geological environments.

Key words: northern China; karst groundwater system characteristics; framework types of karst groundwater system

中国北方贺兰山—六盘山以东, 阴山—沈阳以南, 淮河以北, 黄海-郟庐断裂以西的华北地台区内, 分布有 $68.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 碳酸盐岩面积(裸露区 $7.78 \times 10^4 \text{ km}^2$, 覆盖区 $8.74 \times 10^4 \text{ km}^2$, 埋藏区 $51.95 \times 10^4 \text{ km}^2$), 其中蕴藏有 $108.8 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 的岩溶地下水资源(张宗祜等, 2004; 潘军峰等, 2008; 侯光才等, 2008), 据不完全统计, 全区流量大于 $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 的泉水有 130 余处。这些岩溶水以水量大, 动态稳定, 水质良好, 在北方城市供水、工农业生产, 特别在能源

基地建设中发挥着支撑性作用。北方岩溶水主要以相对独立、规模不等的岩溶水系统进行循环, 岩溶水系统控制着岩溶水地下水的循环、分布埋藏与富集规律, 控制着水化学分布特征, 控制着岩溶含水层脆弱性程度以及岩溶水文地质环境问题的类型、发展演化趋势。因此, 多年来北方岩溶水的开发利用与管理多以系统进行, 在一些重要地区, 专门成立“泉域水资源管理处”等机构开展水资源管理。鉴于岩溶水系统在水资源开发利用与管理中的重要

本文由国土资源部公益性行业科研项目“中国北方岩溶区地下水环境问题成因机制与保护对策研究”(编号: 200811022)资助。

收稿日期: 2010-05-07; 改回日期: 2010-08-27。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 梁永平, 男, 1962 年生。研究员。长期从事中国北方岩溶地下水调查与研究。E-mail: lyp0261@sina.com。

性，以系统为对象开展的岩溶水系统划分，边界位置及其水文地质性质，系统结构类型、资源要素构成及其转化关系，岩溶水补、径、蓄、排循环规律，系统对人类开发利用活动响应等工作一直是北方岩溶水研究中的主要内容，开展中国北方岩溶水资源系统划分与特征规律总结具有重要意义。

1 北方岩溶水系统划分

岩溶水系统早期也称“岩溶水盆地”、“岩溶流域”，很多地区因为以典型的岩溶大泉排泄，也称作“岩溶泉域”。其实质是对具有明确边界、连续岩溶含水层、统一岩溶地下水流场、相对独立循环的岩溶地下水汇集体的统称。其汇集范围不仅包括岩溶地下水资源补给范围，同时也包括与岩溶地下水具密切关系的其他类型地下水、地表水可控汇集区。中国北方岩溶水资源系统研究始于 20 世纪 70 年代末到 80 年代初，当时最具代表性的成果是 1982 年

由山西地矿局、水文地质工程地质研究所等单位完成的“山西娘子关泉域岩溶地下水资源评价及其开发利用研究科研报告”，之后结合岩溶水源地勘探开发及水资源评价，以系统思想在局部地区开展岩溶水系统研究的成果层出不穷(卢耀如等, 2006; 贺可强等, 2002)。再经过岩溶所韩行瑞等人的“山西岩溶大泉研究”(韩行瑞等, 1993)，地矿部、中国统配煤矿总公司、冶金部和有色金属总公司联合开展的“中国北方岩溶地下水资源及大水矿区预测、利用与管理研究”(刘启仁等, 1989)，岩溶所及陕西第一水文队的“陕西渭北西部黄土塬隐伏岩溶区地下水开发利用研究”(韩行瑞等, 2002)和地调局组织的“鄂尔多斯盆地地下水勘查”(侯光才等, 2008)等区域性项目成果的完成，华北地台区的岩溶水系统研究基本涵盖了全部区域。通过对前人成果资料的全面分析总结并结合作者多年实践工作积累，将北方岩溶水初步划分为 119 个系统，具体如表 1，图 1。

表 1 中国北方岩溶水系统汇总表
Table 1 Generalized table of karst groundwater systems in northern China

编号	系统名称	面积(km ²)	岩溶地下水补排条件	系统结构模式
—1	千里山北端岩溶水系统*	505.05	降水入渗; 泉水排泄	走向型
—2	千里沟泉域岩溶水系统*	203.79	降水入渗; 泉水排泄	走向型
—3	岗德尔山岩溶水系统*	358.19	降水入渗; 潜流排泄	单斜顺置型
—4	拉僧庙泉域岩溶水系统*	1913.07	降水入渗; 河流渗漏, 潜流补给; 泉水排泄, 人工开采	走向型
—5	伊克尔泉域岩溶水系统	57.70	降水入渗; 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采	单斜顺置型
—6	南寺泉域岩溶水系统*	190.38	降水入渗; 泉水排泄, 潜流排泄	断块及其他型
—7	黑山岩溶水系统*	639.86	降水入渗; 潜流排泄	断块及其他型
—8	太阳泉域岩溶水系统*	2162.82	降水入渗; 泉水排泄, 蒸发排泄	走向型
—9	萌城泉域岩溶水系统*	676.20	降水入渗; 泉水排泄	走向型
—10	平凉-彭阳岩溶水系统*	3154.78	降水入渗, 河流渗漏, 水库渗漏; 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采	走向型+单斜顺置型
—11	华亭-马峡岩溶水系统*	300.87	降水入渗; 泉水排泄, 人工开采	走向型
—12	神泉泉域岩溶水系统	321.24	降水入渗; 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采	断块及其他型
—13	水沟泉域岩溶水系统	425.05	降水入渗; 泉水排泄, 潜流排泄	单斜逆置型
—1	天桥泉域岩溶水系统*	13382.78	降水入渗, 河流渗漏, 水库渗漏; 泉水(潜流)排泄, 人工开采	单斜顺置型
—2	柳林泉域岩溶水系统*	8509.52	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 人工开采	单斜顺置型
—3	雷鸣寺泉域岩溶水系统*	366.97	降水入渗; 泉水排泄, 人工开采	单斜顺置型
—1	周公庙泉域岩溶水系统	140.91	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采	单斜逆置型
—2	龙岩寺泉域岩溶水系统	868.16	降水入渗, 河流渗漏, 水库渗漏; 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采	单斜逆置型
—3	烟霞洞泉域岩溶水系统	158.55	降水入渗, 河流渗; 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采	向斜-盆地型
—4	筛珠洞泉域岩溶水系统*	338.42	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采	单斜逆置型
—5	扶风-礼泉岩溶水系统	1494.93	潜流补给, 降水入渗; 潜流排泄, 人工开采	断块及其他型
—6	袁家坡泉-温汤泉-灋泉域岩溶水系统*	5834.95	降水入渗, 河流渗漏, 水库渗漏; 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采	单斜逆置型
—7	吴王泉域岩溶水系统	1756.76	降水入渗; 泉水(潜流)排泄, 人工开采	断块及其他型
—8	韩城岩溶水系统*	761.90	降水入渗, 河流渗漏, 水库渗漏; 泉水(潜流)排泄, 人工开采	走向型
—9	禹门口泉域岩溶水系统*	1132.09	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 人工开采	单斜逆置型

续表 1

编号	系统名称	面积(km ²)	岩溶地下水补排条件	系统结构模式
—10	龙子祠泉域岩溶水系统*	2199.32	降水入渗; 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采	单斜逆置型
—11	古堆泉域岩溶水系统*	458.20	降水入渗; 泉水排泄, 人工开采	断块及其他型
—12	中条山岩溶水系统*	1496.59	降水入渗; 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采	断块及其他型
—13	郭庄泉域岩溶水系统*	5640.92	降水入渗, 河流渗漏, 泉水排泄, 矿坑排水, 人工开采	单斜顺置型
—14	霍泉泉域岩溶水系统*	1372.13	降水入渗; 泉水排泄, 人工开采	单斜顺置型
—15	洪山泉域岩溶水系统*	585.91	降水入渗, 河流渗漏, 泉水排泄, 矿坑排水, 人工开采	单斜顺置型
—16	跑马神泉-峡口泉域岩溶水系统	361.69	降水入渗; 泉水排泄	单斜逆置型
—17	晋祠泉域岩溶水系统*	2027.52	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 矿坑排水, 潜流排泄, 人工开采	单斜顺置型
—18	兰村泉域岩溶水系统*	2418.88	降水入渗, 河流渗漏, 水库渗漏; 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采	单斜顺置型
—19	马圈泉域岩溶水系统*	854.40	降水入渗; 泉水排泄, 人工开采	单斜逆置型
—20	神头泉域岩溶水系统*	4811.12	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 人工开采	单斜逆置型
—1	坪上泉域岩溶水系统	2690.89	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 人工开采	向斜-盆地型
—2	水神堂-七里河泉域岩溶水系统*	4646.77	降水入渗; 泉水排泄, 人工开采	向斜-盆地型
—3	城头会泉域岩溶水系统	1669.42	降水入渗; 泉水排泄, 人工开采	向斜-盆地型
—4	涑源泉域岩溶水系统	1198.32	降水入渗; 泉水排泄, 人工开采	向斜-盆地型
—5	水磨槽泉域岩溶水系统*	1089.50	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 人工开采	向斜-盆地型
—1	娘子关泉域岩溶水系统*	7196.19	降水入渗, 河流渗漏, 水库渗漏; 泉水排泄, 人工开采, 潜流排泄	单斜逆置型
—2	辛安泉域岩溶水系统*	10850.62	降水入渗, 河流渗漏, 水库渗漏; 泉水排泄, 人工开采	单斜逆置型
—3	东风湖泉域岩溶水系统	836.38	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 人工开采	单斜逆置型
—4	三姑泉域岩溶水系统*	2574.93	降水入渗, 河流渗漏, 水库渗漏; 泉水排泄, 人工开采, 潜流排泄	单斜逆置型
—5	延河泉域岩溶水系统*	2772.88	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 人工开采	单斜逆置型
—6	太行山散泉区岩溶水系统	2768.68	降水入渗; 泉水排泄, 潜流排泄	单斜逆置型
—1	威州泉域岩溶水系统*	2228.85	降水入渗, 河流渗漏, 水库渗漏; 泉水排泄, 人工开采, 矿坑排水	单斜逆置型
—2	石鼓(十股)泉域岩溶水系统*	1019.12	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 人工开采, 矿坑排水	单斜顺置型
—3	邢台百泉泉域岩溶水系统*	4508.62	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 人工开采, 矿坑排水	单斜顺置型
—4	黑龙洞泉域岩溶水系统*	1996.48	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 人工开采, 矿坑排水	单斜顺置型
—5	珍珠泉域岩溶水系统*	453.09	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 人工开采, 矿坑排水	单斜顺置型
—6	小南海泉域岩溶水系统*	961.04	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 人工开采, 矿坑排水	单斜顺置型
—7	石门寺泉域岩溶水系统	567.07	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 人工开采水	单斜逆置型
—8	许家沟泉域岩溶水系统*	363.53	降水入渗, 河流渗漏, 水库渗漏; 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采, 矿坑排水	单斜顺置型
—9	辉县百泉泉域岩溶水系统	1194.94	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采	单斜顺置型
—10	九里山泉域岩溶水系统*	1462.66	降水入渗, 河流渗漏, 侧向补给; 泉水排泄*, 潜流排泄, 人工开采, 矿坑排水	单斜顺置型
—1	滏池岩溶水系统*	740.40	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 人工开采	走向型
—2	新安岩溶水系统*	734.18	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 人工开采, 矿坑排水	走向型
—3	宜洛岩溶水系统*	215.58	降水入渗; 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采, 矿坑排水	断块及其他型
—4	偃龙岩溶水系统*	566.18	降水入渗; 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采, 矿坑排水	单斜顺置型
—5	茱巩岩溶水系统*	544.13	降水入渗; 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采, 矿坑排水	单斜顺置型
—6	超化泉域岩溶水系统*	619.59	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采, 矿坑排水	向斜-盆地型
—7	临汝岩溶水系统*	683.04	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 人工开采, 矿坑排水	断块及其他型
—8	妙水寺泉域岩溶水系统*	92.72	降水入渗; 泉水排泄, 人工开采, 矿坑排水	走向型
—9	石羊关泉域岩溶水系统*	277.39	降水入渗; 泉水排泄, 人工开采, 矿坑排水	走向型
—10	柏树嘴泉域岩溶水系统*	715.60	降水入渗; 泉水排泄, 人工开采, 潜流排泄, 矿坑排水	单斜顺置型
—11	平顶山岩溶水系统*	326.54	河流渗漏, 降水入渗, 人工开采, 矿坑排水	向斜-盆地型
—1	一亩泉泉域岩溶水系统	2107.84	降水入渗, 河流渗漏; 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采	单斜顺置型
—2	上清水泉泉域岩溶水系统*	116.37	降水入渗; 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采	走向型
—3	鱼股洞泉域岩溶水系统*	100.34	降水入渗; 泉水排泄	走向型

续表 1

编号	系统名称	面积(km ²)	岩溶地下水补排条件	系统结构模式
—4	黑龙江泉域岩溶水系统*	346.81	降水入渗, 泉水排泄	走向型
—5	玉泉山泉域岩溶水系统*	826.24	河流渗漏, 降水入渗, 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采, 矿坑排泄	单斜顺置型
—6	高庄-甘池泉域岩溶水系统	1237.13	降水入渗, 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采	单斜顺置型
—7	万佛堂-马刨泉域岩溶水系统*	191.59	降水入渗, 泉水排泄	走向型
—8	公乐亭泉域岩溶水系统	312.06	降水入渗, 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采	单斜顺置型
—9	林南-下仓岩溶水系统*	710.42	降水入渗, 越流排泄, 人工开采	向斜-盆地型
—10	唐山岩溶水系统*	3019.71	降水入渗, 越流排泄, 人工开采, 矿坑排泄	向斜-盆地型
—11	潘桃峪泉域岩溶水系统*	90.36	降水入渗, 泉水排泄, 人工开采	向斜-盆地型
—1	平阴岩溶水系统	1624.53	降水入渗, 越流补给, 越潜流排泄, 人工开采	单斜顺置型
—2	趵突泉域岩溶水系统	1768.51	降水入渗, 河流渗漏, 泉水排泄, 人工开采	单斜顺置型
—3	郭店岩溶水系统*	855.07	降水入渗, 泉水排泄, 越(潜)流排泄, 人工开采	单斜顺置型
—4	明水泉域岩溶水系统*	922.48	降水入渗, 泉水排泄, 越(潜)流排泄, 人工开采	单斜顺置型
—5	洋水泉域岩溶水系统*	1753.34	降水入渗, 河流渗漏, 泉水排泄, 矿坑排泄, 人工开采	单斜顺置型
—6	旧县岩溶水系统	586.11	降水入渗, 越流补给, 泉水排泄, 越(潜)流排泄, 人工开采	单斜顺置型
—7	肥城岩溶水系统*	1337.14	降水入渗, 越(潜)流排泄, 矿坑排泄, 人工开采	向斜-盆地型
—8	芦泉泉域岩溶水系统	372.17	降水入渗, 泉水排泄, 越(潜)流排泄, 人工开采	单斜顺置型
—9	军屯岩溶水系统	686.98	降水入渗, 越潜流排泄, 人工开采	向斜-盆地型
—10	郭娘娘泉域岩溶水系统*	653.95	降水入渗, 泉水排泄, 矿坑排泄, 人工开采	单斜顺置型
—11	源泉泉域岩溶水系统*	1062.81	降水入渗, 河流渗漏, 泉水排泄	单斜顺置型
—12	老龙湾泉域岩溶水系统*	894.92	降水入渗, 泉水排泄, 人工开采	单斜顺置型
—13	西长旺泉域岩溶水系统	2542.77	降水入渗, 潜流排泄, 人工开采	单斜逆置型
—14	楼德泉域岩溶水系统*	461.30	降水入渗, 泉水排泄, 矿坑排泄, 人工开采	单斜顺置型
—15	新汶岩溶水系统*	423.63	降水入渗, 河流渗漏, 水库渗漏, 泉水排泄, 人工开采, 矿坑排泄	走向型
—16	东西崖岩溶水系统	774.64	降水入渗, 泉水排泄, 人工开采	向斜-盆地型
—17	巨野-嘉祥岩溶水分布区*	1884.19	降水入渗, 潜流排泄, 人工开采	单斜顺置型
—18	郭里集岩溶水系统*	1215.08	降水入渗, 越(潜)流补给, 泉水排泄, 越(潜)流排泄, 人工开采	单斜顺置型
—19	曲阜岩溶水系统	610.63	降水入渗, 人工开采, 潜流排泄	单斜顺置型
—20	泗水岩溶水系统*	355.03	降水入渗, 河流渗漏, 人工开采, 潜流排泄	单斜顺置型
—21	泉林泉域岩溶水系统*	433.50	降水入渗, 泉水排泄, 人工开采	单斜顺置型
—22	平邑岩溶水系统	595.65	降水入渗, 河流渗漏, 泉水排泄, 人工开采	单斜顺置型
—23	蒙阴-垛庄岩溶水系统	1096.50	降水入渗, 人工开采, 泉水排泄, 潜流排泄	单斜顺置型
—24	沂南岩溶水系统	950.40	降水入渗, 泉水排泄, 人工开采	单斜顺置型
—25	官桥岩溶水系统*	201.52	降水入渗, 泉水排泄, 人工开采	断块及其他型
—26	羊庄泉域岩溶水系统*	777.16	降水入渗, 泉水排泄, 人工开采	向斜-盆地型
—27	费县岩溶水系统*	1133.71	降水入渗, 越流排泄, 人工开采	单斜顺置型
—28	临沂岩溶水系统	1083.03	降水入渗, 泉水排泄, 人工开采	单斜顺置型
—29	十里河泉域岩溶水系统*	741.32	降水入渗, 河流渗漏, 泉水排泄, 人工开采	向斜-盆地型
—30	峄城岩溶水系统	550.34	降水入渗, 河流渗漏, 人工开采, 潜流排泄	向斜-盆地型
—31	苍山岩溶水系统	1408.93	降水入渗, 人工开采, 潜流排泄	断块及其他型
—1	徐州岩溶水分布区*	1819.35	降水入渗, 河流渗漏, 泉水排泄, 人工开采, 矿坑排泄	断块及其他型
—2	淮北岩溶水系统*	2074.46	降水入渗, 河流渗漏, 泉水排泄, 人工开采, 矿坑排泄	断块及其他型
—1	辽阳岩溶水系统	789.12	降水入渗, 河流渗漏, 潜流排泄, 人工开采	向斜-盆地型
—2	本溪岩溶水资源区*	949.09	降水入渗, 河流渗漏, 泉水排泄, 人工开采, 矿坑排泄	向斜-盆地型
—1	复州湾岩溶水系统	1435.31	降水补给, 河流渗漏, 泉水排泄, 人工开采, 矿坑排泄	断块及其他型
—1	北大泉泉域岩溶水系统*	135.51	降水入渗, 泉水排泄, 人工开采, 矿坑排泄	走向型
—2	五层山岩溶水系统*	87.11	降水入渗, 潜流排泄, 人工开采	单斜顺置型
—3	大磨山岩溶水系统*	54.91	降水入渗, 潜流排泄, 人工开采	向斜-盆地型
—4	芝麻珍珠泉域岩溶水系统	234.99	降水入渗, 泉水排泄, 潜流排泄, 人工开采	单斜顺置型

注: *代表系统内分布煤系地层。

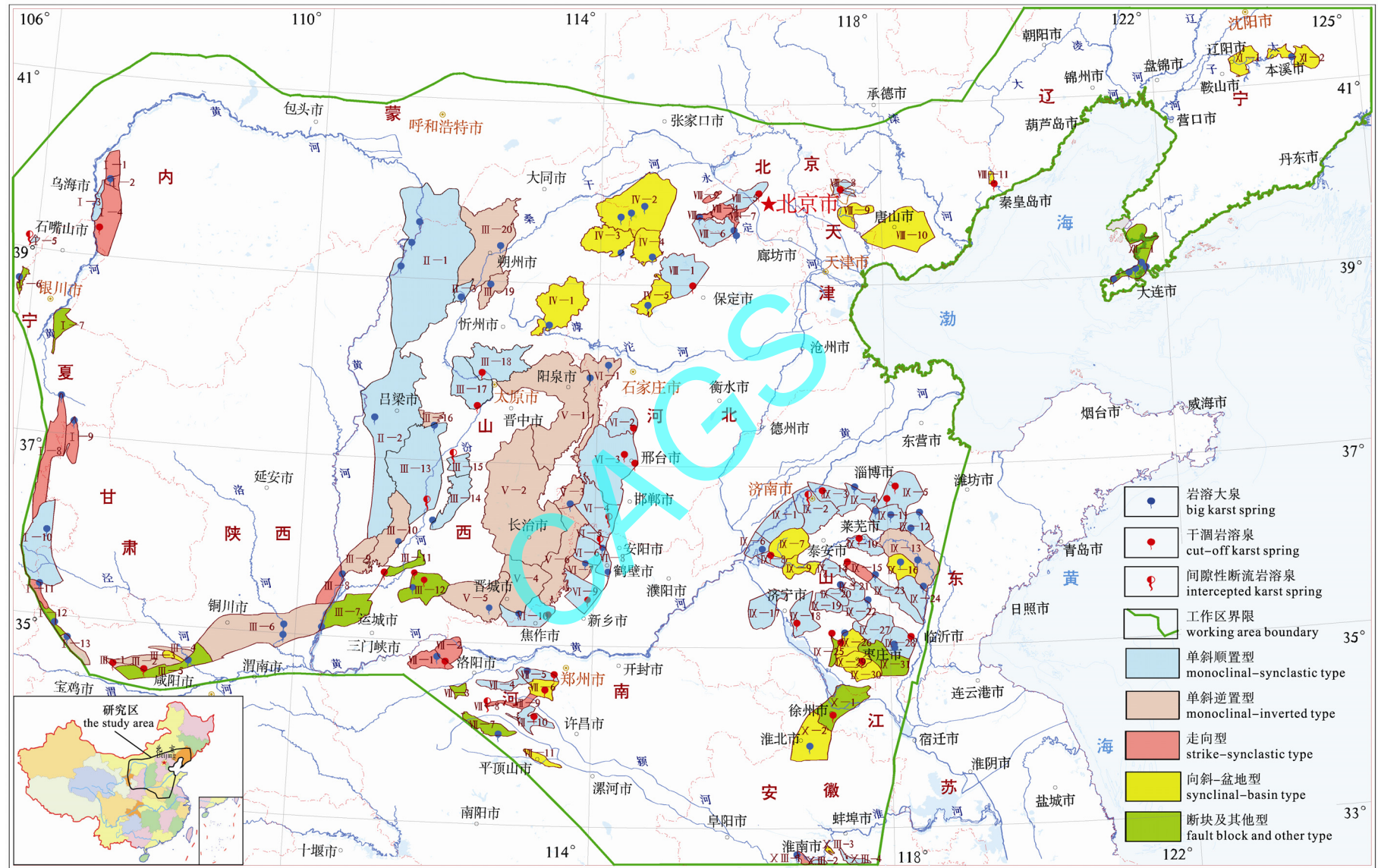


图 1 中国北方岩溶水系统与结构模式分布图

Fig. 1 Distribution of karst groundwater systems and framework models in northern China

岩溶水系统划分所采用的方案大同小异，但由于工作目的以及空间尺度不同有所差异。有些方案强调系统的级别，从而出现了大系统、系统以及子系统的概念；而另一些则注重于岩溶含水层系统，其边界划分主要关注岩溶含水层的分布埋藏而忽略与岩溶水密切相关的其他水资源类型的补排关系。本次划分没有考虑具有从属关系的系统级别，从岩溶水系统的概念出发进行划分，强调岩溶水边界和补排关系的明确，岩溶含水层的连续、岩溶地下水流场的统一、岩溶水系统水资源要素的有机关联程度等要素。在岩溶水系统定名中，以岩溶泉水为主要排泄的系统按照代表性泉水名称定名，如：某某泉域岩溶水系统；而主要以非岩溶泉水(如侧向潜流、垂向越流)排泄的系统则按照地名定名，如：“某某地名岩溶水系统。系统划分过程中除隔水边界、地下分水岭边界外，还采用了以下边界：

- 地表分水岭边界。一些岩溶水系统内地表河流成为重要岩溶地下水补给源，当这些地表流域范围可控(不能比岩溶含水层系统大)且超出由岩溶含水层所确定的边界范围时，将地表流域划入岩溶水系统，将流域分水岭确定为地表分水岭边界。
- 岩溶含水层深埋滞流性边界。本次划分一般将碳酸盐岩含水层埋藏深度达到 1000 m、岩溶地下水循环缓慢的地带，确定为滞流性边界。
- 潜流边界。相对阻水但仍有一定量通过的边界。
- 推测边界。由于勘探、研究程度较低，一些不能确定具体位置或不能确定其水文地质性质的边界。

2 北方岩溶水系统特征

从宏观出发，中国北方岩溶水系统最鲜明的特征表现在以下几个方面：

2.1 系统规模大

全区 119 个系统(表 1)平均为 1452.46 km²，最大的系统为跨越晋、陕、蒙三省区的天桥泉域岩溶水系统，总面积 13383 km²，全区岩溶水系统面积大于 10000 km² 的有 2 个、5000~10000 km² 的 4 个、1000~5000 km² 的 44 个、100~1000 km² 的 64 个、小于 100 km² 的 5 个。

2.2 系统水资源构成多，转化关系复杂

由于北方岩溶水系统发育规模大且具有高度开放性，多数岩溶水系统内往往同时存在包括大气降水、地表水、松散层孔隙地下水、碎屑岩裂隙地下

水和岩溶地下水等多种水资源要素，各水资源要素间存在直接或间接的复杂转化关系。以娘子关泉域水资源系统为例，系统总面积 7196 km²，岩溶水不仅接收奥陶系碳酸盐岩裸露区降水入渗补给，同时桃河、温河、南川河、松溪河、清漳河在系统上游碎屑岩区地表产流进入下游碳酸盐岩区后对岩溶水形成渗漏补给，各河上游碎屑岩区河谷冲洪积层孔隙含水层在进入碳酸盐岩区后通过地下潜流形成对岩溶水的补给，而西部晚古生代及中生代碎屑岩区裂隙地下水(包括采煤排出地表的矿坑水)排入河谷后，到下游碳酸盐岩段与地表水一道形成对岩溶地下水的间接渗漏补给(图 2)。

归纳全区岩溶水系统中岩溶水与系统内其他主要水资源要素间的转化关系简述如下。

2.2.1 岩溶水与地表水间的关系

在 119 个系统中存在大量地表水渗漏补给。在鄂尔多斯盆地周边 22 个系统中，河流渗漏段的总长度达到近 400 km(梁永平等, 2006)。横跨晋、陕、蒙 3 省区的天桥泉域的岩溶水系统，黄河自内蒙古喇嘛湾流入泉域后，自北向南穿过天桥岩溶地下水系统，流长 190 km，径流过程中与岩溶地下水形成了三种补排关系：第一种关系从泉域北界入口至偏关欧犁嘴，长 60 km，黄河接受东岸岩溶

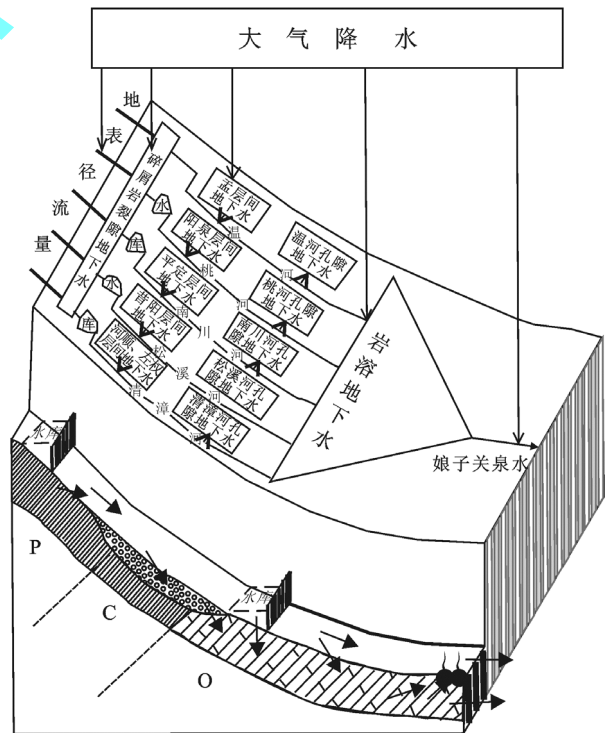


图 2 娘子关泉域岩溶水系统各水资源要素转化关系示意图
Fig. 2 Sketch map of component elements and transformation relations in Niangziguan karst groundwater system

地下水补给并向西岸渗漏;第二种关系为欧犁嘴向南至河曲路铺段,碳酸盐岩出露段长约15 km,黄河水位均高出两岸岩溶地下水位,河水渗漏补给岩溶地下水;第三段从河曲龙口到保德天桥水库段,岩溶地下水通过碳酸盐岩露头段向上顶托排泄,补给黄河水。

2.2.2 岩溶水与松散层孔隙水间的关系

汾渭地堑两侧多数岩溶地下水系统多由于山前断裂带相对阻水出露,这些系统岩溶水为非全排性系统,部分岩溶地下水要越过断裂带进入盆地形成对松散层含水层的潜流补给。例如渭北地区扶风-礼泉岩溶水系统和袁家坡泉-温汤泉-潼关泉域岩溶水系统部分岩溶水越过南侧礼泉-双泉-临猗断裂边界形成渭河谷地南部岩溶热水的重要补给源;禹门口泉域岩溶水系统在张吴一带、龙子祠泉域岩溶水系统在土门一带都有潜流进入盆地孔隙含水层的岩溶水;霍泉泉域岩溶水系统在广胜寺出露泉水后还有 $0.1\text{ m}^3/\text{s}$ 潜流量进入下游盆地;北部神头泉域岩溶水系统的神头泉本身是从朔县盆地松散层中出流;太原兰村泉域山区岩溶地下水是盆地松散层西张水源地、北固碾水源地的重要补给源。

燕山山前的一亩泉域岩溶水系统、玉泉山泉域岩溶水系统、甘池泉域岩溶水系统、天津公乐泉域岩溶水系统同样存在岩溶水向山前平原松散层的潜流排泄。而唐山岩溶水系统,天然条件下岩溶地下水向上越流补给上覆松散层孔隙地下水,由于岩溶地下水开采和采煤疏干,使岩溶地下水形成漏斗,两类地下水补排关系发生逆转,孔隙地下水向下越流补给岩溶地下水。

鲁中多数岩溶水系统以及徐淮地区岩溶水对上覆松散层含水层存在侧向潜流与向上垂向越流补给;而在鲁中东部的平阴岩溶水系统、旧县岩溶水系统、郭里集岩溶水系统,岩溶水则接收松散层孔隙水的向下越流补给。

2.2.3 岩溶水与煤系地层构造裂隙水间的关系

太行山东南侧的岩溶水系统,山前断裂使中奥陶统与石炭—二叠系煤系地层直接对接,岩溶水与煤系地层中碳酸盐岩夹层含水层以及碎屑岩裂隙含水层形成补排关系。

系统内岩溶地下水与其它水资源类型间各种形式的补排关系所体现出的开放性决定了其环境质量比较脆弱的基本特征。

2.3 多数为“水煤共存”系统

在119个系统中,有83个系统中含有煤系地层(表1)。区内最重要的岩溶含水层为寒武—奥陶系碳酸盐岩,华北地台在中奥陶世后期,整体抬升为陆

地并经历了1亿多年的风化剥蚀过程,到中石炭世后,进入了海陆交互的成煤期,沉积了石炭—二叠纪煤系地层,使得煤系地层与中奥陶统碳酸盐岩呈不整合接触,一般下层煤与岩溶含水层的垂直距离为20~60 m,构造裂隙、陷落柱、采煤过程中形成的裂隙等通道以及矿坑排水进入碳酸盐岩区的渗漏使岩溶水与煤系地层地下水间产生直接或间接的联系,构成了“水煤共存”系统。这些系统内的煤矿开采对岩溶水在数量和质量方面均会产生不同程度的影响。例如矿坑污水排放进入碳酸盐岩渗漏区造成岩溶水的污染问题,由于采煤产生地表下垫面改变使得产流性质发生变化,从而影响到下游对岩溶水渗漏补给量的大小;特别值得指出的是采矿发生突水事故,沟通了岩溶水与坑道的联系,使得坑道空间系统成为岩溶水的循环空间,矿坑将成为岩溶水永久污染源。采矿对岩溶水的影响不仅发生在采矿期间,而且会发生在闭坑以后。

3 岩溶水系统模式特征

岩溶水系统模式作为区域岩溶水文地质学的内容,脱胎于早期的蓄水构造。基于基岩地下水勘探开发的需要,早在20世纪70年代,刘光亚先生对基岩地下水各种蓄水构造进行过系统研究(刘光亚等,1979),后来廖资生教授从地质结构与岩溶泉水排泄条件方面对北方岩溶水蓄水构造基本类型进行过阐述(廖资生等,1978)。1989年开展的“中国北方岩溶地下水资源及大水矿区预测、利用与管理研究”项目中(于浩然等,1989),韩行瑞研究员在考虑环境因素(指气候、降水、岩溶含水层分布埋藏、地表水、地形地貌等)和地质结构因素基础上将北方岩溶水系统划分出11个模式,这种划分方案虽然考虑因素比较全面,但因考虑因素复杂,分类结果多,同时也使得特点不突出而难于推广应用。因此在本世纪初开展的“鄂尔多斯盆地地下水勘查”项目中,从岩溶水系统的地质结构与岩溶水流场的叠置关系两大要素出发,作者将鄂尔多斯盆地周边岩溶水系统归结为“顺置式”、“逆置式”、“平行置式”、“平行叠置式”和“碎块式”5种岩溶水系统模式(梁永平等,2005)。这一成果在2005年开展的“山西省岩溶泉域水资源保护”项目中进行了推广应用。本次划分是在此方案基础上,考虑整个北方岩溶水系统模式类型,并进行了部分修改后确定的。其模式类型归为:“单斜顺置型”、“单斜逆置型”、“走向型”、“向斜-盆地型”和“断块及其他型”5种(本方案除掉“平行叠置式”,增加了“向斜-盆地型”)。在具体划分过程中,对同

时具有两种结构模式类型特征的系统，以其最接近的类型进行归类，而对研究程度低或暂时还难于归类的都划入了“断块或其他型”。最终划分结果见表1、图1。各种系统模式结构，岩溶地下水循环、富集特点及岩溶水文地质环境问题简述如下。

3.1 “单斜顺置型”系统特征

- 系统岩溶含水层倾角较缓，呈一单斜结构；
- 岩溶地下水总体流向与地层倾向相同，地下水流程形态多呈向主排泄点汇流的扇形；
- 降水入渗补给是系统岩溶地下水最重要的补给来源；
- 典型“单斜顺置型”系统由隔水顶板阻水形成的溢流泉，岩溶水排泄较为集中；
- 岩溶地下水在奥陶与煤系地层接触面一带富集，大型系统往往在这一带形成岩溶地下水强径流带；
- 完整的“单斜顺置型”系统下游分布大面积石炭-二叠煤系地层承压区，是煤矿突水风险最大的一种类型。

“单斜顺置型”系统在北方分布最普遍，总数量达到49个，系统平均面积1565 km²。主要分布在吕梁山西侧、太行山前、豫西及鲁中南地区。

3.2 “单斜逆置型”系统特征

- 系统岩溶含水层倾角较缓，呈一单斜结构；
- 岩溶地下水总体流向与地层倾向相反，地下水流程形态多呈向主排泄点汇流的扇形；
- 降水入渗补给和河流入渗补给共同构成系统岩溶地下水的主要补给来源；
- 典型“单斜逆置型”系统由隔水底板(很多系统为相对隔水的下奥陶统)阻水形成的侵蚀下降泉，

岩溶水排泄相对较为分散；

- 岩溶地下水在奥陶系与煤系地层接触面一带富集，大型系统往往在这一带形成岩溶地下水强径流带；
- 完整的“单斜逆置型”系统上游大面积分布石炭-二叠煤系地层，采煤形成的矿坑排水将通过下游河流渗漏段形成对下游岩溶水的补给，采煤活动对岩溶水质和量影响明显。

“单斜逆置型”系统的特点在许多方面与“单斜顺置型”系统是相反的。在北方分布系统总数量19个，平均面积在各类型中最大，为2595 km²。主要分布在太行山西侧、汾渭地堑西北一侧。

3.3 “走向型”系统特征

- 系统岩溶含水层倾角较陡，呈一单斜结构；
- 岩溶地下水总体流向与地层走向平行，地下水流程形态多呈矩形；
- 系统补给方式相对单一，一般为降水入渗补给，碳酸盐岩出露面积小，补给量有限；
- 典型“走向型”系统一般在沿岩溶含水层走向的倾伏端以泉水形式排泄，排泄点比较集中；
- 石炭-二叠煤系地层分布在系统一侧，部分系统存在煤矿突水问题。

“走向型”系统主要分布在构造变形强烈的鄂尔多斯盆地西缘南北古脊梁带地区、燕山地区、淮南地区和豫西地区。系统总数17个，一般系统构成面积较小，平均541 km²。

3.4 “向斜-盆地型”系统特征

- “向斜-盆地型”系统是由比较完整的小型断陷盆地或向斜构造构成的系统；
- 地下水流与地表水流具有向盆地中心汇集的

表2 岩溶水系统模式特征汇总表
Table 2 Characteristics of framework models

系统模式 内容	单斜顺置型系统模式	单斜逆置型系统模式	走向型系统模式	向斜-盆地型系统模式
系统规模	大-小	大	小	中等
含水层结构	单斜	单斜	单斜	向斜或构造盆地
岩溶水流向	与地层倾向一致	与地层倾向相反	与地层走向平行	不定
地下水流程形态	扇形	扇形	矩形	同心圆
泉水成因	隔水顶板接触溢流	隔水底板侵蚀下降	接触(或侵蚀)溢流泉	含水层侵蚀溢流泉
岩溶水富集	排泄区富集	与隔水顶板接触面富集	排泄区富集	排泄区富集
水动力分区	补给-径流-排泄-承压滞流区	补给-径流-汇流-排泄区	补给-径流-排泄-承压滞流区	补给-径流-排泄区
天然主要补给源构成	降水入渗	河流渗漏、降水入渗	降水入渗	降水入渗
主要岩溶水文地质环境问题	矿坑突水、泉水流量干涸	泉水流量衰减、水质污染	泉水干涸、矿坑突水	水质污染
系统数量	49	19	17	20

一致态势,地下水流场形态平面上呈同心圆状;

- 岩溶地下水一般沿盆地中部或向斜轴部的河流富集排泄,排泄点分布比较分散;

- 岩溶地下水与松散层孔隙地下水及地表水间存在较为复杂的补排关系,农业施肥容易对其造成污染。

全区划出“向斜-盆地型”系统共 20 个,平均面积 1201 km²。主要分布在太行山与燕山山脉接壤区,燕山山前,太子河流域,在鲁中山区也有少量分布。

3.5 “断块及其他型”系统特征

岩溶含水层多成数量不等的平缓的断块产出,系统补排关系多样,难于归纳出明显特点的一些系统。这类系统全区共有 14 个,平均面积 1014 km²。

归纳以岩溶泉水为主要排泄形式的前 4 种岩溶水系统模式的主要特征,如表 2。

4 结论

1. 中国北方初步划分出 119 个相对独立循环的岩溶水系统。

2. 中国北方岩溶水系统以发育规模大,资源要素构成多、转化关系复杂,水煤共存为特点。

3. 北方岩溶水系统可概括为“单斜顺置型”、“单斜逆置型”、“走向型”、“向斜-盆地型”和“断块及其他型”5 种系统结构模式。各种系统结构模式岩溶水在循环、富集,岩溶水文地质环境问题等方面具有鲜明的特色。

系统结构模式与系统环境质量脆弱性、岩溶地质环境问题发展演化间存在着内在的联系,系统结构模式的分类将在系统岩溶水文环境问题的成因机制分析研究中发挥重要作用。

参考文献:

- 韩行瑞,梁永平,时坚. 2002. 中国西北黄土地区典型岩溶地下水系统研究[M]. 桂林: 广西师范大学出版社.
- 韩行瑞,鲁荣安,李庆松. 1993. 岩溶水系统—山西岩溶大泉研究[M]. 北京:地质出版社.
- 侯光才,张茂省,刘方. 2008. 鄂尔多斯盆地地下水勘查研究[M]. 北京:地质出版社.
- 梁永平,韩行瑞,段光武. 2006. 鄂尔多斯盆地周边岩溶地下水研究[R]. 西安:西安地质矿产研究所.
- 梁永平,韩行瑞,时坚,尹力河. 2005. 鄂尔多斯盆地周边岩溶地下水系统模式及特点[J]. 地球学报, 26(4): 365-369.
- 廖资生. 1978. 北方岩溶的主要特征和岩溶储水构造的主要类型[M]. 北京:地质出版社: 56-61.
- 刘光亚. 1979. 基岩地下水[M]. 北京:地质出版社.
- 刘启仁,张凤岐,秦毅苏. 1989. 中国北方岩溶地下水资源评价及预测研究[R]. 北京:地质矿产部.
- 卢耀如,张凤娥,刘长礼,董国榜,张云. 2006. 中国典型地区岩

- 溶水资源及其生态水文特性[J]. 地球学报, 27(5): 393-402.
- 贺可强,刘炜金. 2002. 鲁中南岩溶水资源综合类型及合理调蓄研究[J]. 地球学报, 23(4): 369-374.
- 潘军峰,张江汀,梁永平. 2008. 山西省岩溶泉域水资源保护[M]. 北京:中国水利水电出版社.
- 于浩然,韩行瑞. 1989. 中国北方岩溶分布及发育规律研究[R]. 北京:地质矿产部.
- 张宗祜,季烈荣. 2004. 中国地下水资源[M]. 北京:中国地图出版社.

References:

- HAN Xing-rui, LIANG Yong-ping, SHI Jian. 2005. Research on typical karst groundwater system at loess region in northwest China[M]. Guilin: Guangxi Normal University Press(in Chinese).
- HAN Xing-rui, LU Rong-an, LI Qing-song. 1993. Karst Groundwater System-Resarch on big springs in Shanxi[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- HOU Guang-cai, ZHANG Mao-sheng, LIU Fang. 2008. Groundwater Investigations and Research of Ordos Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- LIANG Yong-ping, HAN Xing-rui, DUAN Guang-wu. 2006. Karst Groundwater research around Ordos basin[R]. Xi'an: Xi'an Institute of Geology and Minerals Resources(in Chinese).
- LIANG Yong-ping, HAN Xing-rui, SHI Jian, YIN Li-he. 2005. The Karst Groundwater System in the Peripheral Area of Ordos Basin: Its Patterns and Characteristics[J]. Acta Geoscientica Sinica, 26(4): 365-369(in Chinese with English abstract).
- LIAO Zi-sheng. 1978. The Main Characteristics of karst groundwater and Its Primary Storage Structure Types in Northern China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- LIU Guang-ya. 1979. Bedrock Groundwater[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- LIU Qi-ren, ZHANG Feng-qi, QIN Yi-su. 1989. The Assessment and Prediction of Karst Groundwater Resource in Northern China[R]. Beijing: Ministry of Geology and Mineral Resources(in Chinese).
- LU Yao-ru, ZHANG Feng-e, LIU Chang-li, TONG Guo-bang, ZHANG Yun. 2006. Karst Water Resources in Typical Areas of China and Their Eco-hydrological Characteristics[J]. Acta Geoscientica Sinica, 27(5): 393-402(in Chinese with English abstract).
- HE Ke-qiang, LIU Wei-jin. 2002. The Comprehensive Type Classification and Proper Adjustment of Karst Water Resources in the Central-South Region of Shangdong Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 23(4):369-374(in Chinese with English abstract).
- PAN Jun-feng, ZHANG Jiang-ting, LIANG Yong-ping. 2008. Karst Water Resource Protection of Shanxi Province[M]. Beijing: China Water Power Press(in Chinese).
- YU Hao-ran, HAN Xing-rui. 1989. The Distribution and Development Discipline of Karst Region in Northern China[R]. Beijing: Ministry of Geology and Mineral Resources(in Chinese).
- ZHANG Zong-hu, LI Lie-rong. 2004. Groundwater resource of China[M]. Beijing: SinoMaps Press(in Chinese).