

岩溶地下水流系统和 同位素地球化学研究

王怀颖 袁志梅 王瑞久 等著

地 质 出 版 社

岩溶地下水流系统和 同位素地球化学研究

王世昌 王世昌 王世昌 王世昌

地质出版社

岩溶地下水流系统和同位素 地球化学研究

王怀颖 袁志梅 王瑞久 等著

地 质 出 版 社

(京)新登字 085 号

内 容 简 介

本书选编了 80 年代中至 90 年代初在我国以山西为中心的能源基地岩溶地下水流系统研究的两个实例。在传统水文地质工作基础上利用同位素技术的“标识性”和“记时性”的两大特点,配合水化学研究指出了解决复杂的岩溶地下水流系统水文地质问题的方向。本书对区域水流系统的分布、边界、补径排特征、地表水与地下水相互转化关系、岩溶地下水运动速度、储存时间等课题进行了深入的探讨,除对该区岩溶水资源评价、开发利用提供了科学依据外,对同类地区的岩溶水研究也有重要的参考价值。

本书可供生产、科研、教学等领域的广大水文地质、岩溶地质工作者参考和借鉴。

岩溶地下水流系统和同位素 地球化学研究

王怀颖 袁志梅 王瑞久 等著

*

责任编辑:高天平
地质出版社出版发行
(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷
(北京海淀区学院路 29 号)
新华书店总店科技发行所经销

*

开本:787×1092 1/32 印张:3.625 字数:77000
1994 年 7 月北京第一版·1994 年 7 月北京第一次印刷
印数:1—500 册 定价:3.00 元
ISBN 7-116-01561-2/P·1261

前 言

有关地下水流系统的近代发展，其指导思想或思路不外乎以下几点：

——1940年哈伯格在《地质学》杂志上发表了“地下水运动”一文，文中明确提出了地下水流系统的概念，并用剖面形式作了表达。继后，60年代托思又做了大量研究工作。

——本世纪60年代在大西洋城召开的美国地质学会会上，马克赛提出了“含水层系统已经在用三种不同分析方法进行研究：（1）水动力学，利用势的分布系统；（2）水文地球化学，运用水质参数；（3）水热学，运用温度分布及其梯度。所以现有水文地质问题的复杂性，正需要把各个方面的研究汇总到一个单独功能系统的概念中去”。

——本世纪70年代，卡斯塔尼认为详细的地质、水动力学以及水文化学的综合研究可以产生一个含水层和水文地质盆地的概念模型。

思路之重要在于它指出了一种工作方向，但具体方法也是必需的，否则就会陷入可望而不可及的境地。在研究方法方面，地质学和水动力学，可以认为是传统的技术。随着计算机技术的发展，方法正在不断改进。水热学的应用因受一些测试技术和其它条件的限制，进展仍然缓慢。而解决水文地质问题的环境同位素和地球化学技术原理，在本世纪70年代已臻成熟，以1974、1978年二次同位素水文学国际会议的文集作为代表。

上面马克赛提出的“汇总”以及卡斯塔尼认为的“综合

研究”，都期待有一些方法和过程去完善和补充。国内这方面的研究工作，始于1980年的太原西山岩溶水系统和山西娘子关泉储量估算的研究，以及1983年的邯邢地区和太原东山岩溶水的同位素和地球化学研究。这些成果就是在上述有关的文献资料基础上进行探索和研究。后来这方面技术在国内同行中得到了推广。值得一提的是，1983年后许多科研单位云集太原地区工作，使同位素技术得到了广泛应用和新的发展。

通过十余年的工作，笔者认为，开展地下水系统的研究方法，其物质基础主要有二方面：一方面是地质背景材料，包括物探、钻探、测井等资料，另一方面是地下水的测试数据，包括水位、水量、水温、水化学、环境同位素等。其理论基础和工作程序包括二个方面：

——各种技术方法的基本原理及其推理解释的多解性。

所谓多解可以理解为某种测试数据和地质背景之间的‘相容’，在平面上表现为一种范围而不是相交点。

——在各种方法的推理解释结果之间归纳出“相容”范围，当然范围越小越好。这在一定程度上反映了研究成果的水平。

本书向读者提供了两项研究成果，晋陕蒙接壤地区黄河谷地岩溶地下水同位素和水化学研究与太原东山岩溶地下水的同位素和地球化学研究。这二项研究实例充分体现了上述“地下水流系统”的思路和研究方法。

作 者

1993年8月

目 录

前言

太原东山岩溶地下水的同位素及地球化学研究..... (1)

一、区域地质及水文地质背景..... (1)

二、同位素水文地质 (10)

三、水文地球化学研究 (18)

四、地下水流系统划分 (34)

晋陕蒙接壤地区黄河谷地岩溶地下水同位素和水化学

研究 (39)

一、自然地理、地质和水文地质背景 (39)

二、岩溶水与黄河水的环境同位素研究 (51)

三、岩溶地下水和黄河水水化学研究 (77)

四、结论..... (105)

致谢..... (108)

主要参考文献..... (109)

太原东山岩溶地下水的同位素 及地球化学研究

一、区域地质及水文地质背景

(一) 自然地理概况

研究区包括太原盆地北段及东山地区,面积约 6000km²。其范围西至太原盆地西缘;东至孟县、寿阳一带;北至系舟山北麓;南至交城、榆次一带。研究区西与太原西山相接,北邻忻县盆地,东北与五台山脉相连,东与娘子关岩溶地下水系相邻(见图 1-1)。

区域总地势是东、西高,中部低。东、西部山区海拔标高大多在 1300m 以上,最高山峰海拔标高分别为 2041m(玉石窑山)和 2023m(天翅脑)。两山区间所夹的太原盆地标高仅 800—900m。

区内最大的常年河流为汾河和滹沱河。汾河横切太原西山,并穿过太原盆地。峙头以上河水在灰岩河段渗漏补给岩溶地下水,峙头至兰村段排泄岩溶水。兰村水文站多年平均年径流量为 $6.3 \times 10^8 \text{m}^3$,河水位最低标高为 808m。滹沱河穿过忻县盆地后,切过太原东山的东北角,在甲子湾—南庄一段切割灰岩。沿线有岩溶大泉出露,河水排泄五台山区及太原东山的岩溶水。河水位标高为 640—730m,南庄水文站多

年平均年径流量为 $6.98 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

本区属内陆半干旱气候，多年平均气温为 $8.1-8.7^\circ\text{C}$ 。年降雨量为 $460-500\text{mm}$ ，年降水量的 70% 以上，集中在 7—9 月份。

(二) 出露地层及其含水特征

太古代、元古代、古生代、中生代及新生代地层均有出露，其层序、厚度、主要岩性如表 1-1 所示。

巨厚的前寒武系变质岩系，组成本区结晶基底，出露于研究区以北和东北边，含风化裂隙潜水，沟谷多小泉，一般流量小于 1L/s ，大者可达 $1-3\text{L/s}$ 。寒武系地层出露在系舟山北坡和研究区东北边缘，其中上统含岩溶裂隙水，泉流量一般小于 10L/s 。兴道、李家庄泉流量较大，达 150L/s 左右。下统砂页岩相对隔水，泉水常沿其顶面溢出。奥陶系中统碳

表 1-1 太原地区地层简表

地 层 单 元				厚 度 (m)	主 要 岩 性
界	系	统	组		
新 生 界	第四系			156—435	粘土、砂质粘土夹砂、砾层。粘土夹砾石及钙质结核
	第三系			25—1800	粘土夹砾岩透镜体，砂、泥岩夹石膏及泥灰岩
中 生 界	三叠系	中统	二马营组	586	长石砂岩、砂质泥岩、泥岩
		下统	和尚沟组	139—163	含钙质泥岩、砂质泥岩夹长石砂岩
			刘家沟组	461—521	长石砂岩夹粉砂岩、砂质页岩

地 层 单 元				厚 度 (m)	主 要 岩 性
界	系	统	组		
古 生 界	二叠系	上统	石砭峰组	90—150	长石砂岩、砂质页岩、页岩及泥岩互层
			上石盒子组	200—300	
		下统	下石盒子组	130—180	
	石炭系	上统	山西组	26—100	砂页岩夹煤层
			太原组	60—120	砂页岩夹煤层及 3—4 层石灰岩
		中统	本溪组	20—55	铝土岩、页岩夹透镜状灰岩
			峰峰组	85—110	灰岩、泥灰岩、角砾状灰岩夹石膏层
	奥陶系	中统	上马家沟组	150—220	灰岩、豹皮灰岩、下部泥灰岩夹石膏层
			下马家沟组	150—220	灰岩、豹皮灰岩、白云质灰岩夹泥质白云岩
		下统	亮甲山组 冶里组	120—190	含燧石、结晶白云质灰岩、底部为页岩
	寒武系	上统	崮山组 长山组 凤山组	140—220	巨厚层白云岩夹泥质条带状灰岩、竹叶状灰岩
		中统	徐庄组 张夏组	150—250	鲕状灰岩、泥质条带状灰岩及白云质灰岩
		下统	馒头组 毛庄组	23—90	石英砂岩、页岩
太古、元古界					变质岩、石英岩及花岗岩侵入体

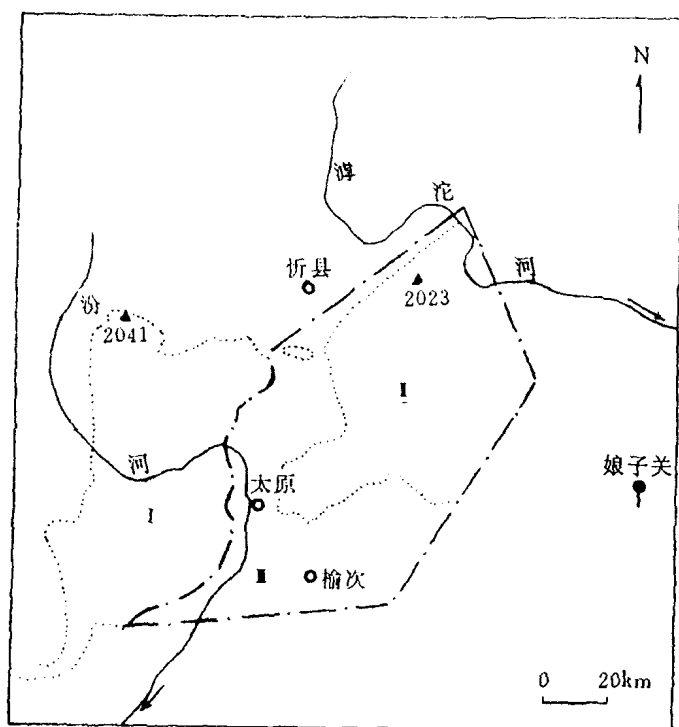


图 1-1 研究区位置图

I—太原西山；II—太原东山；III—太原盆地；

(---示研究范围)

酸盐岩，含丰富的岩溶裂隙水，流量 $1\text{m}^3/\text{s}$ 的大泉都出自此层；兰村—晋祠、岗底—枣沟一带单井出水量达 $500\text{--}5000\text{m}^3/\text{d}$ ，是区内主要含水层位。它在东山地区大片露出地面，面积约 700km^2 。石炭—二叠系煤系和砂页岩，主要出露于太原东山山前，含层间裂隙水，透水性弱，泉流量仅 $0.1\text{--}1\text{L}/$

s, 钻孔单位涌水量介于 $0.0002\text{--}0.67\text{t/h}\cdot\text{m}$ 之间。三叠系砂岩含裂隙水, 分布在榆次附近, 地表多泉水, 流量一般为 $0.1\text{--}1\text{L/s}$, 大者可达 10L/s 。以沅涡附近富水性最佳, 沅涡泉群总流量达 63.2L/s , 开采井的出水量都在 $5000\text{m}^3/\text{d}$ 以上。第四系松散层含孔隙潜水和承压水, 主要分布在盆地, 单井出水量大者达 $1000\text{m}^3/\text{d}$ 以上, 小者仅 $10\text{--}20\text{m}^3/\text{d}$ 。

(三) 区域构造

太原地区位于云中—五台隆起、吕梁隆起和沁水坳陷三者之间。按构造差异, 可分出太原西山、太原东山和太原盆地三个地段 (图 1-2)。

太原西山 总体为一复式向斜构造。汾河以北灰岩出露, 以东西走向的小断层、褶皱为主; 汾河以南大多被巨厚的碎屑岩层覆盖, 大川河以东, 以走向北东、北东东向断层、褶皱最发育; 灰岩顶面标高介于 $600\text{--}1000\text{m}$ 之间; 大川河以西发育有走向南北的逆冲断层和褶皱, 灰岩出露于向斜西缘, 西社断层以东灰岩深埋, 顶面标高低于 600m , 凹陷最深处灰岩顶面标高又低于 -200m 以下 (图 1-3)。

太原东山 位于沁水向斜北缘, 属系舟山断褶带中段, 由一些走向北东的断裂、褶皱组成。北段系舟山断裂密集, 形成一个规模大的断裂破坏带, 向南以褶皱为主, 以白家庄向斜和南端的大威山—杨坪望背斜规模最大。寒武—奥陶系灰岩大面积出露, 仅在山前煤矿区有石炭—二叠系地层覆盖, 并发育有一系列近东西走向的断层束, 灰岩顶面标高多在 600m 以上。

太原盆地 为一新生代断陷盆地, 沉积有 $150\text{--}2200\text{m}$ 厚的新生界松散层。其西侧以交城、晋祠等大断裂与西山为界, 断距多超过 500m , 其中交城断裂规模最大, 最大断距可

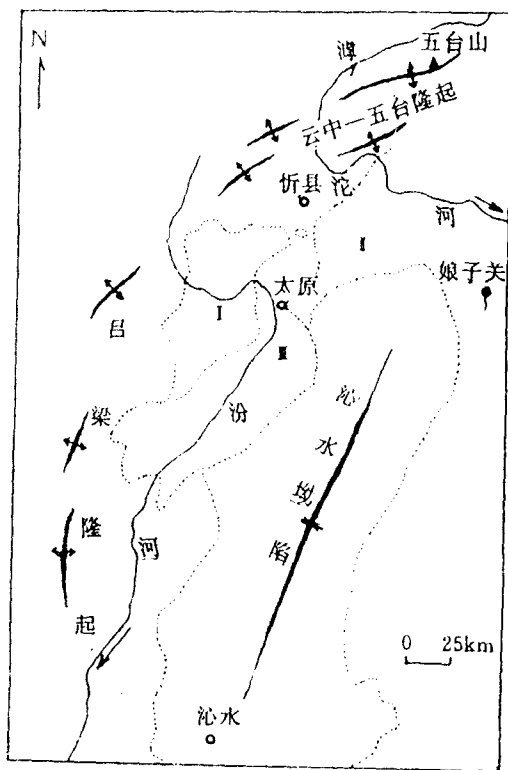


图 1-2 区域构造略图

I—太原西山；II—太原东山；III—太原盆地

达 4000m。根据钻探和物探资料，盆地内发育有一组近东西走向的断层，组成一些地垒、地堑式构造，使下伏基岩由北向南埋藏加深，并依次出现奥陶系、石炭-二叠系、三叠和侏罗系。这组断裂中以三给地垒南侧的清徐—使赵断层最大。地

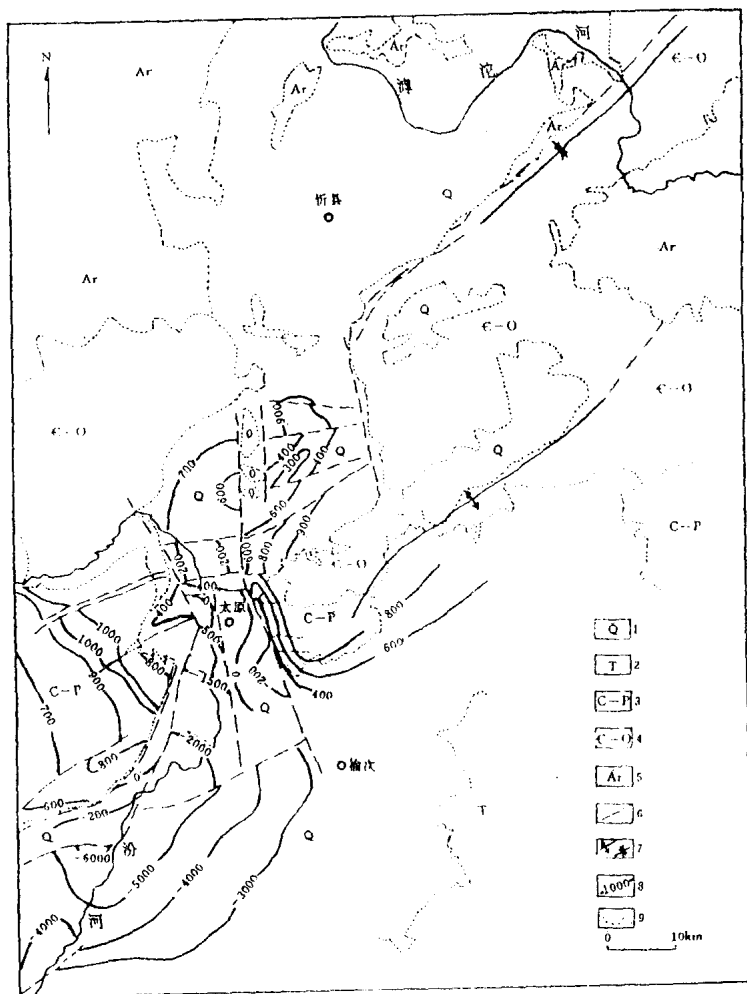


图 1-3 太原地区地质及灰岩顶面等高线图

1—第四系；2—三叠系；3—石炭、二叠系；4—寒武、奥陶系；5—太古、元古界；6—断层；7—背斜、向斜；8—O₂ 顶面等高线；9—地层界线

叠南侧断层倾向南，南盘下落，断距 400—600m，断层以北灰岩的顶面标高为 250—800m 不等，南侧灰岩顶面多低于海平面。清徐—使赵断层倾向南，南盘下落，形成交城—清徐凹陷，灰岩顶面标高多在负 3000m 以下，最深处可达负 5000m 以下。此外，还有亲贤断裂发育在盆地中心，走向近南北，向西倾，西侧下落，断距可达 1000 余米。

大的断裂直接影响到山区和盆地灰岩的连续性。总的看来，三给地垒以北盆地和两山灰岩含水层仍相互联接。地垒以南的灰岩埋藏很深，与两山灰岩含水层完全断开互不连接。

(四) 区域岩溶水的补给、径流和排泄

图 1-4 能概要的反映出太原地区各地灰岩水的渗流特征。

太原西山的岩溶水，受构造和岩体入侵影响，可分为西部地下水系、东部地下水系、地下水滞流区三个部分。西部水系：接受西山向斜西沿降雨补给，部分就地排泄，部分排向文水山前，与东部水系无明显联系。东部水系：接受汾河以北降水和汾河入渗补给，从北西流向南东，在西山山前以岩溶大泉形式排泄。并有部分水侧向补给太原盆地松散层，还有少量水汇向盆地北部的下伏灰岩。

太原东山处于汾河和滹沱河的分水岭地带，受山区降雨补给，部分水由北东流向南西，并汇入太原盆地。另一部分水，向忻县盆地和滹沱河排泄，东霍、黄场峪、大湾等泉是东山岩溶水的天然排泄点，水泉湾泉也有东山水的补给。

在三给地垒向北，盆地下伏灰岩水的水位近于水平，标高多在 815—816m 之间，水力坡度仅 0.5—1.2‰。沿三给地垒施工的几个水文孔，其灰岩水位表现出东、西两侧较高，中部水位较低，也显示出两侧山区水向盆地汇集。枣沟附近水

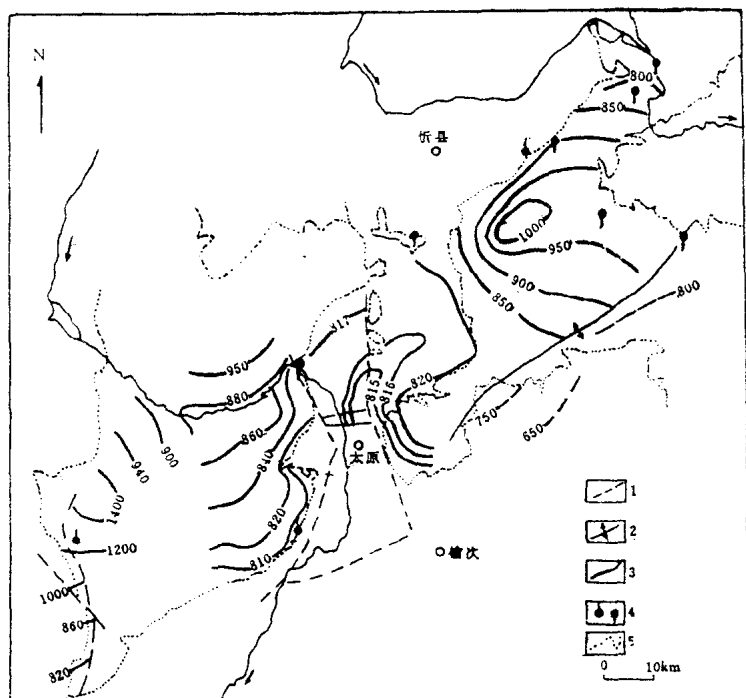


图 1-4 太原地区灰岩水等水位线图

1—断层；2—背斜；3—等水位线；4—岩溶泉；5—地层界线

位最低，低于 815m，可能是东山岩溶水的地下排泄带。从水文地质剖面上分析（图 1-5），东山灰岩含水层与盆地松散层、灰岩接触、枣沟附近谷旦村钻孔的灰岩水位标高为 813.72m，高于当地松散层水位（805.46m），故东山岩溶水可侧向流入盆地松散层和下伏灰岩。

上述特征表明，东山和西山岩溶水的流场各异，并有其

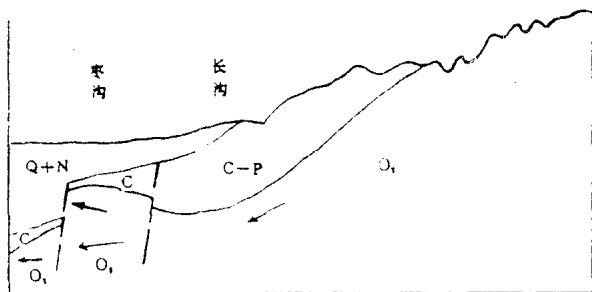


图 1-5 长沟水文地质剖面示意图

各自的补给、径流、排泄系统，理应属于不同的地下水系。在天然状态下，两侧山区水均不会越过盆地相互补给，而只能在盆地北部汇流。三给地垒以南的盆地区没有勘探资料，灰岩水的流场特征还不清楚。但从构造和水文地质条件分析，那里的灰岩含水层深埋，与两山灰岩含水层完全断开不连接，西山水有晋祠泉排泄，而东山水没有发现天然排泄点。故可以认为，两山区灰岩地下水，在三给地垒以南是互不联系的。

二、同位素水文地质

(一) 稳定同位素值的分布特征

1. 取自奥陶系碳酸盐岩含水层的水样
本组样品可以分成三部分进行研究：