

## 成果与方法

# 沂源土门岩溶发育机理与 含水系统的水文地球化学特征

程秀明<sup>1</sup>, 史忠民<sup>2</sup>, 李传磊<sup>1</sup>

(1. 山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014; 2. 山东省第七地质矿产勘查院, 山东 临沂 276006)

**摘要:**山东沂源土门岩溶含水系统, 位于半干旱半湿润气候带。区内山青、水秀、洞密、林茂、古文化璀璨。别具特色的三水转化关系使区内大气降水、地表水、岩溶地下水的化学成分及空间变化颇具规律。来自岩溶含水系统边界以外变质岩分布区的外源水和大气降水渗入地下, 对系统内的碳酸盐岩具有较强的溶蚀能力, 当达到饱和甚至过饱和时又以泉水的形式溢出地表流出系统外。在漫长的地质岁月中, 溶蚀—溢出—再溶蚀—再溢出, 周而复始, 于是形成了沂源土门别具一格的岩溶地貌景观。

**关键词:**水文地球化学特征; 岩溶; 沂源土门

**中图分类号:** P641.134; P641.3 **文献标识码:** A

位于鲁山南坡沂河源头的土门裂隙岩溶含水系统, 因其山青、水秀、洞密、林茂、古文化璀璨, 被 IGCP-299 项目选为国际岩溶对比重点研究地区之一。历经多年的野外调查和室内研究, 发现土门岩溶发育机理与裂隙岩溶含水系统的水文地球化学特征关系密切。

## 1 系统内地质构造概况

本区出露的地层主要有新太古代泰山岩群变质岩, 古生代寒武纪碎屑岩夹碳酸盐岩, 奥陶纪碳酸盐岩及新生代第四系, 从南向北、由老到新依次出现, 古生代地层倾向 N, 倾角  $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。

区内历经构造运动, 断裂发育, 北部有松仙岭—大坡断裂; 南部有芦芽店断裂、刘家洞断裂、陡起峪断裂; 东部有上五井断裂; 中部有九会断裂等。宏观看本区呈向 N 倾斜的单斜式构造地堑 (图 1, 图 2)。

## 2 系统边界特征

本系统是一个北部、西部以松仙岭—大坡断裂为隔水边界; 南部以芦芽店断裂、刘家洞断裂、陡起峪断裂为隔水边界; 东部以上五井断裂为隔水边界的

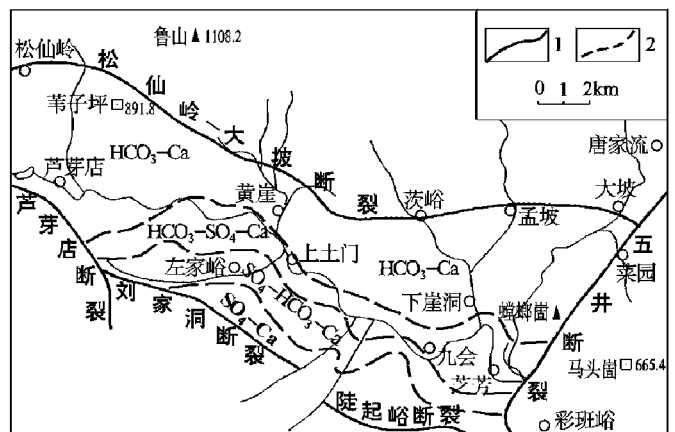


图 1 沂源县土门地区岩溶水水化学类型图

1 - 断裂; 2 - 水化学类型界线

相对封闭的独立水文地质系统 (图 2)。

## 3 水文地球化学特征

### 3.1 化学成分及空间变化规律

本区大气降水—变质岩区河水—碳酸盐岩分布区河水中的 8 大离子, 除 K 离子含量略有变化外, 其余 7 大离子含量及矿化度都有明显逐渐升高的趋势, 总硬度、总碱度也逐渐升高, pH 值增大 (表 1)。

收稿日期: 2005-01-06; 修订日期: 2005-07-25; 编辑: 张天祯

作者简介: 程秀明 (1961-), 男, 山东金乡人, 高级工程师, 从事水工环地质勘察评价及研究工作。

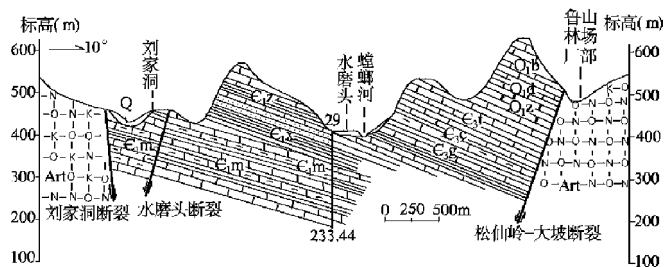


图 2 沂源县土门镇刘家洞村鲁山林场厂部地质剖面图

表 1 沂源土门地区大气降水地表水岩溶地下水水化学特征

离子	每升水中含量(mg)					
	鲁山林场雨水	变质岩区河水	碳酸岩盐区河水	奥灰岩溶地下水	寒武系裂隙岩溶水	
阳离子	K <sup>+</sup>	1.0	1.6	1.4	0.9	1.1
	Na <sup>+</sup>	2.2	9.8	9.1	6.4	4.6
	Ca <sup>2+</sup>	10.1	22.8	76.5	48.0	215.5
	Mg <sup>2+</sup>	2.4	3.6	12.8	9.0	51.3
阴离子	Cl <sup>-</sup>	5.9	11.1	16.8	9.8	7.3
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.5	25.3	83.8	19.2	512.8
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	29.2	50.1	168.8	152.4	240.2
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4.2	5.7	22.4	7.6	7.0
全硬度 mmol/L	0.7132	1.4264	4.8854	3.1381	14.9772	
C(1/2 CaCO <sub>3</sub> )						
总碱度 mmol/L	0.46358	0.92716	2.78148	2.4962	3.9226	
C(1/2 CaCO <sub>3</sub> )						
pH 值	7.0	8.7	8.1	8.0	7.8	
游离 CO <sub>2</sub> (mg/L)	3.4	无	1.7	4.0	6.8	
矿化度 (mg/L)	57.5	132.7	391.60	253.3	1039.8	
取样时间	1990-08	1990-08	1990-08	1990-05	1990-08	
	1990-09	1990-07	1990-08	1990-03	1990-09	
取样地点	鲁山林场厂部	茨峪村东南河中	芝芳桥北50m河中	孟坡夜猫峪机井	龙泉村内机井	

从大气降水—奥灰岩溶水—寒武系岩溶裂隙水，Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 4 大离子含量逐渐增大。K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 离子含量变化不大(稍有波动)。总硬度、总碱度逐渐增大，pH 值略有增大，由中性变为弱碱性，矿化度增大，游离 CO<sub>2</sub> 含量增大。

### 3.2 地层岩性对地下水化学成分形成的影响

土门岩溶区的主要含水岩组为：奥陶系裂隙岩溶含水岩组及寒武系岩溶裂隙含水岩组。大气降水入渗补给奥陶系裂隙岩溶含水岩组之后，形成的岩溶地

下水，其水化学类型一般为低矿化度的 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> Ca 型水，少量为 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> Ca-Mg 型水，其矿化度一般都 < 500 mg/L，总硬度 C(1/2CaCO<sub>3</sub>) 一般 < 3.566 mmol/L，pH 值 7~8.5，水质良好，适宜饮用。

大气降水入渗补给寒武系岩溶裂隙含水岩组之后，形成的岩溶地下水，可分为 2 种情况，一种是下寒武统中的地下水，另一种是中-上寒武统中的地下水，经取样分析，下寒武统地层中的地下水，水化学类型多数为 SO<sub>4</sub><sup>-</sup> Ca 型，矿化度 800~2 210.7 mg/L。全硬度 C(1/2 CaCO<sub>3</sub>) 14.264~35.66 mmol/L，pH 值 7~8.5，一般不宜饮用，下寒武统中的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 离子含量高的主要原因是因为地层中局部含有石膏矿的缘故。中-上寒武统地层中的裂隙岩溶水，其水化学类型一般为 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> SO<sub>4</sub><sup>-</sup> Ca 型水，局部可能受下寒武统中石膏层的影响，变为 SO<sub>4</sub><sup>-</sup> HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> Ca-Mg 型水。其矿化度一般为 500~1 000 mg/L。pH 值 7~8，总硬度 C(1/2 CaCO<sub>3</sub>) 一般为 3.566~10.698 mmol/L，一般不宜饮用。局部丰水期可供饮用。故此，系统内岩溶地下水的水质由南向北逐渐变好，地下水的水化学类型由 SO<sub>4</sub><sup>-</sup> Ca 型渐变为 SO<sub>4</sub><sup>-</sup> HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> Ca 型再渐变为 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> SO<sub>4</sub><sup>-</sup> Ca 型，直至 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> Ca 型(图 1)。

### 3.3 溶蚀能力的计算与判断

隶属半干旱、半潮湿气候带的土门地区，年降水量近 10 a 平均值为 643.12 mm，而岩溶强度则明显超过降水量近似的济南泉域，其主要原因除特定的地形地貌环境外，要归功于丰富的具有溶蚀能力的外源水。依据该区的水质分析资料，将该区的大气降水、外源水(来自变质岩区的风化裂隙水)及系统内的地表水，岩溶地下水的溶蚀能力分别计算如下。

#### 3.3.1 大气降水的溶蚀能力计算<sup>[1]</sup>

计算所需资料见表 2。据文献[1]得出：

表 2 鲁山林场大气降水水质分析资料(mol/L)

离子种类	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
离子含量	0.000026	0.000096	0.000252	0.000099
离子种类	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
离子含量	0.000166	0.000026	0.000497	0.000068

注：大气降水的 pH 值为 7.0。

本区雨水的 K<sub>iap</sub>/K<sub>so</sub> = 0.011，远远小于 1，即雨水中 CaCO<sub>3</sub> 含量远远没有达到饱和状态。故本区大气降水对以方解石为主要矿物成分的碳酸盐岩具有较强的溶蚀能力。

3.3.2 变质岩分布区地下水溶蚀能力分析

表 3 沂源土门镇大坡村民井变质岩风化裂隙水水质(mol/L)

离子种类	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
离子含量	0.000036	0.000670	0.001460	0.000550
离子种类	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
离子含量	0.001197	0.000318	0.00197	0.00082

注:变质岩风化裂隙水 pH 值为 7.1。

取本区系统边界以外的大坡村变质岩风化裂隙水作为外源水的代表进行计算,水质分析资料见表 3。

经计算系统以外的变质岩区的风化裂隙水:

表 4 沂源土门岩溶系统内岩溶水的溶蚀能力分析判断

取样地点	水类型	每升水中离子含量(mol) (10 <sup>-3</sup> )								pH	K <sub>iap</sub> / K <sub>so</sub>
		K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>		
芝芳桥北	地下水	0.036	0.396	1.909	0.527	0.474	0.872	2.767	0.361	8.1	4.69
50m 溢出	岩溶	0.023	0.278	1.198	0.370	0.276	0.199	2.498	0.123	8.0	2.31
孟坡夜猫	地下水	0.033	0.29	1.28	0.39	0.28	0.28	2.43	0.105	7.8	1.51
峪机井	暗河										
下崖洞暗	暗河										
河内 700 m	地下水										

在翠色欲滴风光旖旎的鲁山南沂河源头不足 60 km<sup>2</sup> 的土门碳酸盐岩分布范围内,人可进入的岩溶洞穴有 84 个,分布密度达 1.5 个/km<sup>2</sup>,为北方岩溶洞穴发育最为密集的地区之一。本岩溶系统岩溶景观齐全,有北方罕见的下崖洞地下暗河,也有发育典型的溶蚀洼地,岩溶干谷和岩溶大泉,更值得提及

K<sub>iap</sub>/K<sub>so</sub> = 0.27, 小于 1, 故来自系统以外的水也对系统内的碳酸盐岩具有较强的溶蚀能力。依据本区水质分析资料,按以上的方法,计算得到的系统内的岩溶水其 K<sub>iap</sub>/K<sub>so</sub> 均大于 1, 见表 4。

综上所述,未饱和 CaCO<sub>3</sub> 的大气降水及未饱和 CaCO<sub>3</sub> 的外源水,进入土门岩溶系统后溶解 CaCO<sub>3</sub> · MgCa(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 达到过饱和状态,然后溢出地表(或流出土门岩溶系统外)形成 CaCO<sub>3</sub> 沉积,在漫长的地质岁月中,如此周而复始便形成了沂源土门别具一格的岩溶地貌景观。

的是:人类的祖先“沂源猿人”在四五十年以前就繁衍生息在这里。这里的岩溶景观是非常值得深入研究 and 开发的。

参考文献:

[1] 沈照理,朱宛华.水文地球化学基础[M].北京:地质出版社 1993,5,8-15.

## Mechanism of Karstic Development and Hydro - geochemical Characteristics of Tumen in Yiyuan County

CHENG Xiu - ming<sup>1</sup>, SHI Zhong - min<sup>2</sup>, LI Chuan - lei<sup>1</sup>

(1. Shandong Geo - engineering Institute, Shandong Jinan 250013, China; 2. No. 7 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Linyi 276006, China)

**Abstract:** Water - bearing system in Tumen of Yiyuan county locates in semi - arid - semi - humid climate zone. There are green mountains, beautiful rivers, numerous caves, luxury forests and brilliant and ancient culture in this region. The unique three - water conversion relation causes the chemical composition and spatial variation of atmospheric water, superficial water and karstic groundwater become very regular. Allogenic water from metamorphic rock distribution area which is beyond karstic water - bearing system and atmospheric water infiltrated into surfacem, which has rather strong solution to carbonate rock inside the system. When it reaches saturation or over - saturation, they will spill out of the surface as the form of springs. During the long geological history, solution - spill - resolution - respill form the unique karstic landform at Tumen of Yiyuan county.

**Key words:** Hydro - geochemical characteristics; karst; Tumen in Yiyuan county