



# 甘肃省岷县维新镇锶矿泉水形成机理

闫成云<sup>1)</sup>, 陈立萍<sup>2)</sup>, 刘如珍<sup>1)</sup>, 李爱军<sup>1)</sup>, 张宏星<sup>1)</sup>

1) 甘肃省地质调查院, 兰州, 730000;  
2) 兰州大学城市规划设计研究院有限公司, 兰州, 730000

**内容提要:**通过溯源追踪分析方法对研究区内不同地层锶元素丰度、主要岩土体矿物组成及含锶矿物进行分析,探究流域水体中锶元素的形成原因。研究区板岩类、长石石英砂岩等岩层及碎石土锶含量相对于区域表现为高、较低、较高等特征;板岩类、碎石土等岩土体中主要黏土矿物中元素易被性质相近的锶替代、置换,形成了含锶较高的矿物。降水入渗到岩土体的裂隙、孔隙中,进行溶解、离子交换等水岩反应,水体中溶入较多的  $\text{Sr}^{2+}$ ,形成了锶矿泉水。本文对水源区岩土体矿物成分分析、矿物结构、离子交换和运移的研究方法,对各类矿泉水勘查和形成机理分析有重要的借鉴意义。

**关键词:**甘肃岷县维新镇;丰度;水岩反应;离子;锶

随着社会经济的快速发展,人们对健康生活的认识逐渐提高,使得饮用矿泉水越来越普及,因此促使了各类矿泉水的开发利用。由此,各类矿泉水的相关研究也相应增加。对矿泉水的分布规律、水化学类型、离子含量特征及演化等方面进行了分析,针对不同类型矿泉水对其形成过程、机理等也有相关研究(张俊德,1995;赵广涛等,1996;沈照理等,2002;苏春利等,2003;方展等,2017;单婷婷等,2019;陈远铭,2019)。矿泉水形成机理的研究方法主要通过地质构造特征分析、区域岩土体成分主要元素分析、水体水化学元素分析等方面进行论述,而针对矿泉水形成区母岩地层的溯源追踪分析研究很少。

本文以甘肃岷县维新镇锶矿泉水为研究对象,对锶矿泉水形成区内母岩地层富锶物质溯源分析,通过对区内不同的地层进行其矿物成分(朱雪芹等,2020)、化学结构分析,发现在适当的水文地球化学环境下,入渗到岩土体裂隙、孔隙中的水体在运动过程中进行溶融、离子置换等水岩作用,富锶矿物中的  $\text{Sr}^{2+}$  较多地溶入到水体中,锶含量达到标准要求(中华人民共和国国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局,2018);从而揭示了锶矿泉水的形成机理,为各类矿泉水形成机理的分析与研究具有重要的借鉴意义。

## 1 研究区概况

研究区位于甘肃省岷县的西北部维新镇中南部的元山沟、卓坪沟,属洮河左岸的两个一级支沟,主沟长分别为 11.60 km、14.3 km,面积分别为 27.30 km<sup>2</sup>、36.20 km<sup>2</sup>,总面积 63.50 km<sup>2</sup>。

研究区内出露地层主要为二叠系十里墩组( $P_{1-2sl}$ )、三叠系光盖山组( $T_{2gg}$ )、白垩系磨沟组( $K_1m$ )及第四系等地层。基岩延伸为北西—南东向,与区域构造线方向基本一致。其中,二叠系十里墩组岩性主要为海相碎屑岩、粉砂质板岩、泥质板岩,局部夹灰岩及少量硅质岩,主要分布于两沟流域中下游;三叠系光盖山组为一套含钙细碎屑岩、粉砂质板岩、钙泥质板岩及少量薄层灰岩,分布于两沟流域上游段;白垩系磨沟组为一套陆相碎屑沉积的紫红色中—薄层砂砾岩、细砂岩,分布于卓坪沟的下游沟口段;第四系为含砾粉土、砂、砾卵石等,分布于两沟沟谷段及部分斜坡区、洮河沟谷区(图1)。研究区内赋存地下水,主要类型为基岩裂隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水、第四系松散岩类孔隙水。各流域斜坡区地下水向沟谷、北部下流径流,总体由南向北径流汇入洮河河谷,两条沟谷为相对独立的水文系统(闫成云<sup>①</sup>)。

研究区各类地下水的主要补给来源为大气降

注:本文为甘肃省地质勘查基金项目“甘肃省岷县维新镇矿泉水普查”(编号:2019D-104)的成果。

收稿日期:2023-12-16;改回日期:2024-06-21;网络首发:2024-08-20;责任编辑:李明、章雨旭。Doi:10.16509/j.georeview.2024.08.012

作者简介:闫成云,男,1973年生,高级工程师,长期从事水资源循环勘查研究;Email:956693185@qq.com。

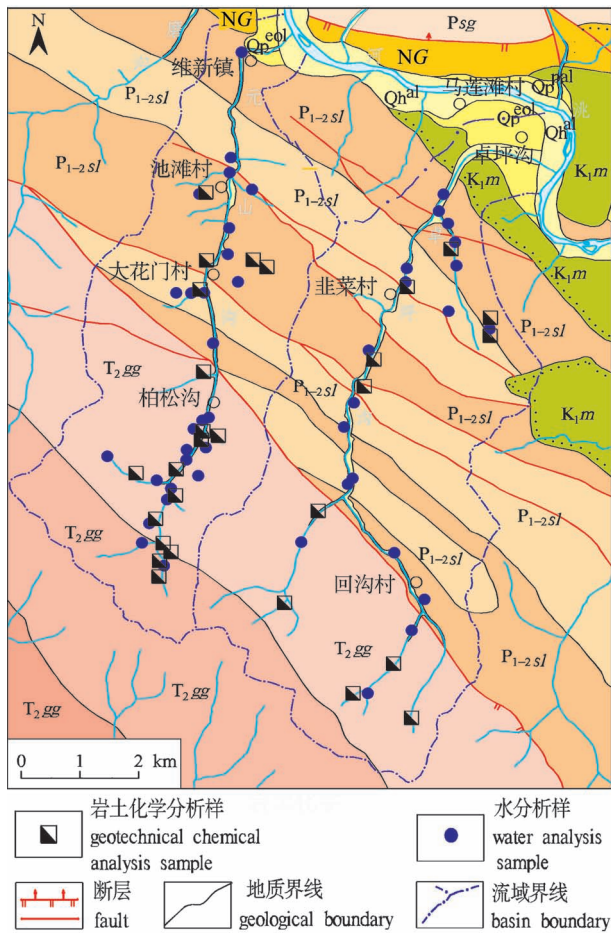


图1 甘肃省甘肃岷县维新镇地质图和采样点图

Fig. 1 Geological map and sampling locations of the Weixin Town, Minxian County, Gansu Province

$Q_h^{pal}$ —全新统砂、砂砾石、粉土;  $Q_p^{pal}$ —更新统砂、砂砾卵石、含砾粉土;  $Q_p^{col}$ —更新统风成黄土; NG—新近系甘肃群泥岩、泥质砂岩;  $K_1m$ —下白垩统磨沟组砂岩、砾岩;  $T_2gg$ —中三叠统光盖山组钙质板岩、泥质粉砂质板岩、长石石英砂岩; Psg—二叠系石关组钙质板岩、泥质粉砂质板岩;  $P_{1-2sl}$ —中一下二叠统十里墩组粉砂质板岩夹长石石英砂岩、钙质石英砂岩、砂岩

$Q_h^{pal}$ —Holocene sand, sand gravel, silt;  $Q_p^{pal}$ —Pleistocene sand, sand gravel, gravel silt;  $Q_p^{col}$ —Pleistocene Series loess; NG—Neogene Gansu Group, mudstone, muddy sandstone;  $K_1m$ —Lower Cretaceous Mogou Formation, sandstone, conglomerate;  $T_2gg$ —Middle Triassic Guanggaishan Formation, calcareous slate, pelitic silty slate, feldspathic quartz sandstone; Psg—Permian Shiguan Formation, calcareous slate, pelitic silty slate;  $P_{1-2sl}$ —Lower—Middle Permian Shilidun Formation, silty slate interbed with feldspathic quartz sandstone, calcareous quartz sandstone, sandstone

水,通过地表岩土体的裂隙、孔隙入渗,沿裂隙、孔隙从地势高处向地势低处渗移运动,进入含水层后向斜坡下部渗流,以泉水或地下径流形式补给沟谷地

下水;各支沟地下水总体由南向北汇入主沟,以地下径流的形式向下游排泄,局部也形成少量泉水,最后汇入沟谷地表水(大部分由地下水转化);少部分消耗于蒸发,大部分汇入卓坪沟、元山沟沟谷,向北部下游排泄,最终汇入洮河。

## 2 地层锶元素丰度特征

### 2.1 三叠纪地层锶元素丰度特征

研究区内三叠纪地层主要为泥质板岩、粉砂质板岩。该类岩层表层采样岩矿分析统计表明,其锶(Sr)元素含量最高 313  $\mu\text{g/g}$ ,最低 129  $\mu\text{g/g}$ ,算术平均值(下同)为 202  $\mu\text{g/g}$ (表1)。研究区同一区域内岩层平均锶含量为 93.35  $\mu\text{g/g}$ ,其中泥盆纪大草滩组的砂岩、石英砂岩等锶含量平均为 44.37  $\mu\text{g/g}$ ;石炭纪巴都组钙质板岩、石英砂岩、千枚岩等锶平均含量为 110.92  $\mu\text{g/g}$ ;石炭纪下关组细砂岩等锶平均含量为 112.92  $\mu\text{g/g}$ ;三叠纪隆务河群岩层锶平均含量为 192  $\mu\text{g/g}$ (秦祐阳<sup>①</sup>)。对比可知,研究区内三叠纪地层锶元素含量相对普遍较高,为其他地层的 1.79~4.55 倍。

### 2.2 二叠纪地层锶元素丰度特征

(1)研究区内二叠纪地层主要为泥质板岩、粉砂质板岩、长石石英砂岩为主。依据板岩类岩层表层采样岩矿分析统计,其锶(Sr)元素含量最高 215  $\mu\text{g/g}$ ,最低 140  $\mu\text{g/g}$ ,平均 170  $\mu\text{g/g}$ (表1);与区域总体相比较,二叠纪板岩类地层中锶含量地质背景值较高。

(2)对研究区内水文地质勘查孔中所采集的泥质板岩、粉砂质板岩、长石石英砂岩等岩样岩矿测试分析统计,其锶(Sr)元素含量最高 207  $\mu\text{g/g}$ ,最低 119  $\mu\text{g/g}$ ,平均 156  $\mu\text{g/g}$ (表1)。与同类地层的表层相比,较深层位的二叠纪地层锶含量没有显著的差异;与区域总体比较,该类地层较深层位的锶含量地质背景值也较高。

(3)研究区内二叠纪地层的长石石英砂岩表层采样岩矿分析统计,其锶(Sr)元素含量最高 135  $\mu\text{g/g}$ ,最低 45.9  $\mu\text{g/g}$ ,平均 88  $\mu\text{g/g}$ (表1)。与区域上总体比较,研究区内该类地层中锶含量地质背景值较低。

### 2.3 第四纪地层锶元素丰度特征

研究区内中上游区域部分较缓斜坡地带分布有较多的黄土状粉土与碎石土(含砾土),该类地层表层采样岩矿分析统计,其锶(Sr)元素含量最高 202  $\mu\text{g/g}$ ,最低 131  $\mu\text{g/g}$ ,平均 172  $\mu\text{g/g}$ (表1);具有较

高的含量,说明该类地层中锶含量地质背景值较高,与哇儿沟幅(1:5万)水系沉积物元素地球化学统计中锶元素具有一定的浓集效应,表现为弱富集结论相一致。

综上,研究区两沟流域的三叠纪板岩类地层锶元素含量相对高,二叠纪板岩类、第四纪土层中锶元素含量相对较高,具有高、较高的锶含量地质背景值;二叠纪中长石石英砂岩中平均锶含量明显低,地质背景值较低。以上结果表明区域地层锶含量高则区内水体中锶含量也高具有良好对应性(刘庆宣

等,2004),如卓坪沟流域的西沟、回沟2个支沟区上游基岩主要为三叠纪板岩地层,部分斜坡区带分布黄土状粉土、碎石土等,由该区带汇集的支沟内的水锶含量达标,而卓坪沟流域大部分为二叠系板岩、长石石英砂岩分布区,该区段内的地表水、地下水锶含量虽较高( $\rho=0.2\sim 0.4\text{ mg/L}$ ),但均未达标(食品安全国家标准饮用天然矿泉水(GB 8537-2018),锶质量浓度 $\geq 0.4\text{ mg/L}$ );元山沟流域中、上游各支沟区段为三叠系板岩地层,各支沟及主沟汇集的地表水、地下水锶含量均达标。

表1 甘肃省岷县维新镇不同地层中锶含量分析表

Table 1 Strontium content in different strata in Weixin Town, Minxian County, Gansu Province

样品号	地点	岩性	Sr ( $\mu\text{g/g}$ )	时代	样品号	地点	岩性	Sr ( $\mu\text{g/g}$ )	时代
三叠纪板岩					水文地质勘查孔岩层				
WYK01	回沟村南约200m沟道左岸	泥质板岩	132	$T_2$	WYK16	大花门村柏松沟社南约100m	泥质板岩	159	$P_{1-2}$
					平均			170	
WYK02	西沟村三社西南沟道左岸	泥质板岩	178	$T_2$	WK02 YK01	池滩村南约300m元山沟勘查孔,38.1~38.3m	泥质板岩	207	$P_{1-2}$
WYK06	大花门村石东沟中游沟岸	泥质粉砂质板岩	163	$T_2$	WK03 YK01	池滩村北约300m元山沟勘查孔,39.5~41.0m	长石石英砂岩	177	$P_{1-2}$
WYK07	大花门村元山沟上游	泥质板岩	313	$T_2$	WK03 YK02	池滩村北约300m元山沟勘查孔,47.0~47.6m	泥质板岩	152	$P_{1-2}$
WYK08	大花门村柏松沟社南约100m沟岸	泥质板岩	189	$T_2$	WK04 YK01	李子村石咀社卓坪沟勘查孔,21.2~21.6m	粉砂质板岩	119	$P_{1-2}$
WYK18	大花门村牧场社南700m	泥质板岩	324	$T_2$	WK04 YK02	李子村石咀社卓坪沟勘查孔,46.8~47.5m	泥质板岩	127	$P_{1-2}$
WYK19	元山沟上游桥水沟沟口左岸	泥质板岩	188	$T_2$	平均			156	
WYK24	大花门村南元山沟上游主沟左岸	板岩	129	$T_2$	二叠纪长石石英砂岩				
WYK25	维新镇元山沟上游左岸无名支沟	板岩	174	$T_2$	WYK03	李子村一社东100m	长石石英砂岩	58.9	$P_{1-2}$
WYK26	元山沟左岸石板沟	板岩	165	$T_2$	WYK10	大花门村上湾社上湾沟沟道	长石石英砂岩	93.5	$P_{1-2}$
WYK27	元山沟上游牧场社沟右岸	板岩	214	$T_2$	WYK12	池滩村小石湾东100m	长石石英砂岩	135	$P_{1-2}$
WYK28	大花门村柏松沟社南元山沟右岸	板岩	212	$T_2$	WYK14	池滩村六社左岸支沟中游	长石石英砂岩	60.6	$P_{1-2}$
WYK29	大花门村柏松沟社柏松沟左岸	板岩	245	$T_2$	WYK15	韭菜村东卓坪沟支沟沟口	长石石英砂岩	135	$P_{1-2}$
平均			202		WYK17	扎哈村西北扎哈沟岸	长石石英砂岩	45.9	$P_{1-2}$
					平均			88	
二叠纪板岩					第四纪地层				
WYK04	回沟村南约200m沟道左岸	含炭泥质板岩	140	$P_{1-2}$	WYK20	回沟村卓坪沟上游左岸斜坡	黄土状粉土	202	Q
WYK05	西沟村三社西南沟道左岸	粉砂质板岩	159	$P_{1-2}$	WYK21	回沟村回沟支沟上游右支沟	碎石土	196	Q
WYK11	大花门村石东沟中游沟岸	含炭泥质板岩	215	$P_{1-2}$	WYK22	西沟村头岔门社西沟上游斜坡	碎石土	131	Q
WYK13	大花门村石东沟下游约100m	泥质板岩	175	$P_{1-2}$	WYK23	扎哈村南斜坡耕地	黄土状粉土	160	Q
					平均			172	

表 2 甘肃省岷县维新镇的泥质板岩矿物组成含量统计表  
Table 2 Statistical table of mineral composition and content of argillaceous slate form Weixin Town, Minxian County, Gansu Province

泥质板岩矿物成分	含量 (%)
黏土矿物	65~73
石英	4~12
绢云母	2
绿泥石	1
铁质等	<1

表 3 甘肃省岷县维新镇的硅化泥质板岩矿物组成含量统计表

Table 3 Statistical table of mineral composition and content of silicified argillaceous slate form Weixin Town, Minxian County, Gansu Province

碎块细分矿物	含量 (%)	基质细分矿物	含量 (%)
黏土矿物	58~65	石英	23~27
石英	3~5	方解石	2
绢云母、绿泥石	2	褐铁矿	<1

### 3 主要岩土体矿物组成及含锶矿物

#### 3.1 板岩类矿物组成及含锶矿物

##### 3.1.1 板岩矿物组成

依据维新镇的薄片鉴定结果统计,泥质板岩岩石主要矿物为黏土矿物(为隐晶质、泥晶质,少量部分重结晶为绢云母和绿泥石)、石英、绢云母、绿泥石、铁质等,其含量百分比统计如表 2。

硅化泥质板岩由碎块和基质组成。其中碎块所占比例为 65%~75%,由黏土矿物、少量粉砂级的石英、绢云母和绿泥石等组成;基质所占比例为 25%~35%,由石英、方解石和褐铁矿等组成。其各成份含量百分比统计如表 3。

##### 3.1.2 板岩中含锶矿物

甘肃岷县维新地区板岩的矿物组成中,黏土矿物含量高,主要由蒙脱石、伊利石组成,部分含绿泥石等,这些矿物中的铝、镁、钙、钾、钠等离子在一定的环境条件下,可由锶、铁、锰、铜等离子置换,而化学性质、原子半径较为相近的锶离子更多地参与了置换(梅傲霜,2020),形成相对富含锶矿物。如蒙脱石化学分子式为  $(Al_2Mg_3)Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$ ,伊利石化学分子式为  $(KNaCa_2)_m(AlMg)_4(SiAl)_8O_{20}(OH)_4nH_2O$ ,两物质中的 Ca、Mg、K、Na、Al 等元素部分可被 Sr、Fe、Mn、Ba、Cu、Zn 等元素置换,则研究区内板岩成为锶含量相对较高的岩层。

表 4 甘肃省岷县维新镇的长石石英砂岩矿物组成含量统计表

Table 4 Statistical table of mineral composition and content of feldspathic quartz sandstone from Weixin Town, Minxian County, Gansu Province

长石石英砂岩矿物成分	含量 (%)
石英	66~78
硅质岩屑	1~2
长石	10~18
其他岩屑	1~2
填隙物	5~20
铁质	<1

方解石主要成份为碳酸钙,化学式为  $CaCO_3$ ,其中的 Ca、Mg 元素的部分也易被 Sr 等替换,也成为  $SrCO_3$  等富含锶的矿物之一,成为水体中锶来源的地层中的基础物质(年秀清,2018;田小林,2021)。

#### 3.2 长石石英砂岩矿物组成及含锶矿物

(1)长石石英砂岩矿物组成:长石石英砂岩由碎屑、填隙物及铁质组成。其中碎屑由石英、长石、岩屑、白云母等组成;填隙物由微晶石英、碳酸盐矿物、绢云母和绿泥石等组成;铁质主要沿裂隙呈脉状或星点状分布。各成分含量百分比统计如表 4。

(2)长石石英砂岩含锶矿物:长石石英砂岩中长石含量较高,长石中的钾、钠、钙等离子易被锶、铁、锰、镁等离子替代,形成含锶矿物。填隙物中的绢云母、绿泥石等矿物,其中的铝、钾离子可被锶、镁、钙、钡、铁等离子替换,也成为含锶的矿物。如钾长石、钠长石、钙长石化学分子式分别为  $KAlSi_3O_8$ 、 $NaAlSi_3O_8$ 、 $CaAl_2Si_2O_8$ ,其中的 K、Na、Ca 等元素的部分易被 Sr 等置换,部分形成  $SrAl_2Si_2O_8$  等含锶矿物(周锦铭,1992)。

### 4 水体中锶的形成

研究区两沟流域中、上游主要发育板岩类岩层、长石石英砂岩岩层,大部分区段为岩层出露区,少部分区段被黄土、碎石土覆盖。地表岩层风化强烈,节理、裂隙发育;土层松散,孔隙发育。岩土体渗透性较好,具有良好的地下水活动场所。

研究区元山沟中上游区段水源形成区域,地表降水入渗后,表层岩土体的孔隙、裂隙等为地下水运移提供了运动的通道与储存的空间;在这些场所内,降水入渗后与周围岩土体接触、融合,并与岩土体中的各种矿物发生着复杂的水岩反应,矿物中离子充分地溶融入水体中,形成了水文地球化学系统。在

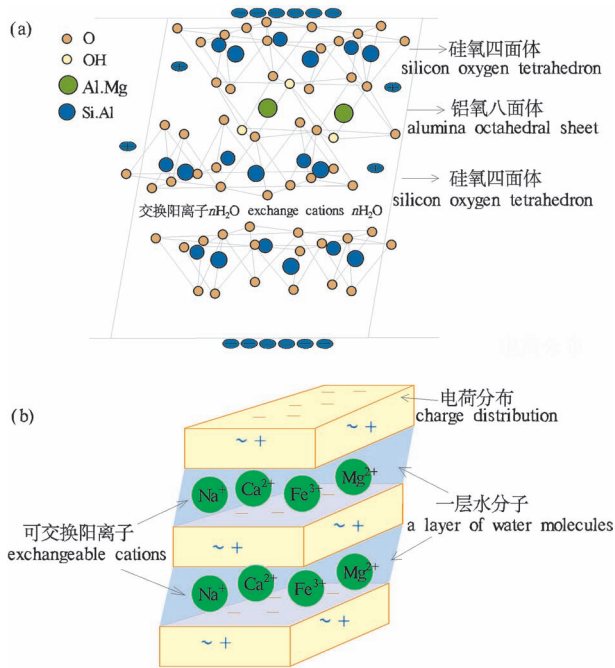


图2 蒙脱石晶体结构及其阳离子交换示意图

Fig. 2 Crystal structure and cations exchange schematic diagram of montmorillonite

(a) 蒙脱石晶体结构图; (b) 蒙脱石“三明治”结构图  
(a) Crystal structure diagram of montmorillonite; (b) sandwich structure of montmorillonite

此过程中,地层岩土体中黏土矿物中的蒙脱石、伊利石、绢云母、绿泥石等,其他矿物方解石、长石、碳酸盐矿物等与二氧化碳及水体进行淋滤、溶解、离子交换等反应,径流溶滤的过程使水体中溶入了地层中的众多矿物质(张贵等,2021)。如蒙脱石的3层片状“三明治”结构,有较强的吸附与离子交换(宁林等,2004),有利于阳离子溶入到水体中(图2)。

水体中溶入了主要的阴离子为  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  等;同时也溶入了阳离子  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  等;这些组成了水体中主要矿物质离子,形成的地下水化学类型以重碳酸钙镁型为主。

另外,水体中也溶入了其他微量元素离子,如  $\text{Sr}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Li}^{2+}$ 、 $\text{Se}^{2+}$ 、 $\text{Br}^-$ 、 $\text{SiO}_2$  等物质,因本研究区内主要的岩石矿物中含锶相对较高,且其离子化学性质与钙、镁等离子等相近,则矿物中离子交换过程中溶入水中的锶离子也相应地较高(苏春田,2018;赵博,2020),且其质量浓度达到了 0.4 mg/L 以上,最终形成了水化学类型为重碳酸钙镁型的锶矿泉水(张彦林等,2020)。如研究区元山沟上游(WQ07)基岩裂隙水矿化度为 0.182 g/L,锶质量浓度为

0.80 mg/L;中游沟谷探井(WJ29)孔隙水矿化度为 0.376 g/L,锶质量浓度为 0.54 mg/L;下游池滩村沟谷民井(WJ04)孔隙水矿化度为 0.593 g/L,锶质量浓度为 0.52 mg/L。水化学类型均为  $\text{HCO}_3^-$ — $\text{Ca}^{2+}$ · $\text{Mg}^{2+}$  型。

## 5 结语

(1) 研究区内三叠纪板岩类地层锶元素含量相对高,二叠纪板岩类、第四纪土层中锶元素含量也相对较高,较高的锶含量地质背景值,为矿泉水的形成提供了物质基础。

(2) 研究区内主要岩层板岩、黏土矿物中的蒙脱石、伊利石,填隙物中的绢云母、绿泥石,各类长石等这些矿物中的镁、钙、钾、钠、铝等离子在一定的环境条件下,被类同的锶、铁、锰、铜、锌等离子置换,化学性质相近的锶离子更多地参与了置换,形成相对富含锶的矿物。

(3) 地表降水渗入到表层岩土体的孔隙、裂隙中,与周围岩土体中的各种矿物发生着复杂的水岩反应,矿物中的各离子充分溶融入水体中,因含锶矿物较多,锶离子溶入水体中也较多,形成了锶矿泉水。

(4) 从查明水资源形成区的富含锶的岩石层岩性及矿物特征,统计其主要组份,剖析主要含锶矿物的结构,分析水文地球化学环境下主要特征元素的交换运移过程,揭示了锶矿泉水形成的机理。这种追索本源、分析矿物结构、离子交换和运移的方法,对各类矿泉水勘查和形成机理分析有重要的借鉴意义。

## 注 释 / Notes

- ① 闫成云,李爱军,褚广博等. 2020. 甘肃省甘肃岷县维新镇天然饮用矿泉水勘查报告. 兰州: 甘肃省地质调查院.
- ② 秦祐阳,郭颂清,朱文戈等. 2009. 甘肃下拉地地区矿产远景调查说明书(1:5万哇儿沟幅). 兰州: 甘肃省地质调查院.

## 参 考 文 献 / References

- (The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)
- 陈远铭. 2019. 秦莱盆地含锶矿泉水的分布特征及成因. 导师: 郭华明. 北京: 中国地质大学(北京)硕士学位论文: 1~52.
- 单婷婷,徐世光,范柱国,阮巍. 2019. 昆明西山偏硅酸矿泉水特征及形成机理. 昆明理工大学学报(自然科学版), 44(2): 39~47.
- 方展,卞建民,孙晓庆,田旭鹏. 2017. 吉林省抚松县矿泉水形成机理及模拟过程. 科学技术与工程, 17(14): 39~44.
- 刘庆宜,王贵玲,张发旺. 2004. 矿泉水中微量元素富集的地球化学环境. 水文地质工程地质, 31(6): 19~23.
- 梅傲霜. 2020. 铜陵金属矿山水下环境特征及污染物运移数值模

- 拟. 导师: 蔡绪贻. 北京: 中国地质大学(北京)硕士学位论文; 1~68.
- 年秀清. 2018. 柴达木盆地西部富锶地层的地球化学特征及其地质意义. 导师: 韩凤清. 北京: 中国科学院大学博士学位论文; 1~98.
- 宁林, 苟开元, 刘美林, 曾纪术, 陆瑶, 周翔, 方志杰. 2004. 黏土矿物蒙脱石晶体的种类及其结构分析. 广西科技大学学报, 31(3): 76~81.
- 沈照理, 王焰新. 2002. 水—岩相互作用研究的回顾与展望. 地球科学, 27(2): 127~133.
- 苏春利, 李义连, 王焰新. 2003. 深圳市东湖矿泉水形成机理探讨. 地质科技情报, 22(4): 85~90.
- 苏春田, 聂发运, 邹胜章, 赵光帅, 罗飞, 黄奇波, 巴俊杰, 李小盼, 梁嘉鹏, 杨杨. 2018. 湖南新田富锶地下水水化学特征与成因分析. 现代地质, 32(3): 554~564.
- 田小林. 2021. 贵州夜郎坝构造盆地富锶矿泉水成因及赋存特征研究. 地下水, 44(1): 49~52.
- 张贵, 张华, 王波, 张文望, 高瑜, 何绕生, 周翠琼, 彭淑惠. 2021. 滇东岩溶高原矿泉水类型及地质控制. 地球学报, 42(3): 333~340.
- 张俊德. 1995. 河北饮用天然矿泉水基本特征与形成机理初步探讨. 华北地质矿产杂志, 10(4): 430~436.
- 张彦林, 丁宏伟, 付东林, 黄增保, 李爱军, 闫成云, 金霞. 2020. 甘肃省锶矿水的富集环境及其形成机理研究. 中国地质, 47(6): 1688~1701.
- 赵博. 2020. 小滦河上游流域地下水中偏硅酸、锶、硒元素富集规律研究. 导师: 武雄. 北京: 中国地质大学(北京)硕士学位论文; 1~72.
- 赵广涛, 曹钦臣, 孙悦鹏. 1996. 崂山花岗岩地区含锶、偏硅酸矿泉水的形成机理. 青岛海洋大学学报, 26(2): 239~245.
- 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 2018. 食品安全国家标准 饮用天然矿泉水(GB 8537-2018). 北京: 标准出版社.
- 周锦铭. 1992. 卧龙饮用含硅矿泉水化学成分的成因. 四川地质学报, 12(3): 249~252.
- 朱雪芹, 刘文波, 李志明, 刘文波, 陈坦, 任玉祥, 邵海, 王龙凤. 2020. 承德地区天然含锶矿泉水空间分布及特征分析. 水文地质工程地质, 47(6): 65~73.
- Chen Yuanming. 2019. Distribution Characteristics and Genesis of Strontium-Containing Mineral Water in Tailai Basin. Supervisor: Guo Huaming. Beijing: Master's Thesis of China University of Geosciences (Beijing); 1~52.
- Fang Zhan, Bian Jianmin, Sun Xiaoqing, Tian Xupeng. 2017. Mineral water formation mechanism and process modeling in Fusong County, Jilin Province. Science Technology and Engineering, 17(14): 39~44.
- Liu Qingxuan, Wang Guiling, Zhang Fawang. 2004. Geochemical environment of trace element strontium enriched in mineral water. Hydrogeology and Engineering Geology, 31(6): 19~23.
- Mei Aoshuang. 2020. Numerical Simulation of Groundwater Environment Characteristics and Pollutant Transport in Tongling Metal Mine. Supervisor: Cai Xuyi. Beijing: Master's Thesis of China University of Geosciences(Beijing); 1~68.
- Ministry of Health, P. R. China, Standardization Administration, P. R. China. 2018. National Standard for Food Safety Natural mineral water for drinking(GB 8537-2018). Beijing, Standard Press.
- Nian Xiuqing. 2018. Geochemical Characteristics and Geological Significance of Strontium-Rich Strata in Western Qaidam Basin. Supervisor: Han Fengqing. Beijing: Doctoral Thesis of University of Chinese Academy of Sciences; 1~98.
- Ning Ling, Gou Kaiyuan, Liu Meiling, Zeng Jishu, Lu Yao, Zhou Xiang, Fang Zhijie. 2004. Clay minerals montmorillonite crystals and their structure analysis. Journal GuangXi University of Science and Technology, 31(3): 76~81.
- Shan Tingting, Xu Shiguang, Fan Zhuguo, Ruan Wei. 2019. Characteristics and formation mechanism of metasilicate mineral water in Xishan of Kunming. Journal of Kunming University of Science and Technology(Natural Science Edition), 44(2): 39~47.
- Shen Zhaoli, Wang Yanxin. 2002. Review and outlook of water—rock interaction studies. Earth Science, 27(2): 127~133.
- Su Chunli, Li Yilian, Wang Yanxin. 2003. Mechanism of form discussion of Donghu mineral water in Shenzhen City. Geological Science and Technology Information, 22(4): 85~90.
- Su Chuntian, Nie Fayun, Zou Shengzhang, Zhao Guangshuai, Luo Fei, Huang Qibo, Ba Junjie, Li Xiaopan, Liang Jiapeng, Yang Yang. 2018. Hydrochemical characteristics and formation mechanism of strontium-rich groundwater in Xintian Country, Hunan Province. Geoscience, 32(3): 554~564.
- Tian Xiaolin. 2021. Genesis and occurrence characteristics of strontium-rich mineral water in Yelangba Tectonic Basin, Guizhou Province. Ground water, 44(1): 49~52.
- Zhang Gui, Zhang Hua, Wang Bo, Zhang Wenjun, Gao Yu, He Raosheng, Zhou Cuiqiong, Peng Shuhui. 2021. Mineral water types and geological control in Karst Plateau of Eastern Yunnan Province. Acta Geoscientica Sinica, 42(3): 333~340.
- Zhang Junde. 1995. Physical feature and forming mechanism of drinking natural mineral water in Hebei Province. Journal Geology and Mineral Resources North China, 10(4): 430~436.
- Zhang Yanlin, Ding Hongwei, Fu Donglin, Huang Zengbao, Li Aijun, Yang Chengyun, Jin Xia. 2020. Study on enrichment environment and formation mechanism of strontium mineral water in Gansu province. Geology in China, 47(6): 1688~1701.
- Zhao Bo. 2020. Study on Enrichment Law of Metasilicate, Strontium and Selenium in Groundwater in the Upper Watershed of Xiaoluan River. Supervisor: Wu Xiong. Beijing: Master's Thesis of China University of Geosciences(Beijing); 1~72.
- Zhao Guangtao, Cao Qinchen, Sun Yuepeng. 1996. Formation mechanism of strontium and metasilicic acid-bearing Mineral water in the Laoshan mountain granitoid area. Journal Geology of Ocean University of Qingdao, 26(2): 239~245.
- Zhou Jinming. 1992. Origin of chemical composition of the drinking siliceous mineral water in Wolong. Journal of Sichuan Geology, 12(3): 249~252.
- Zhu Xueqin, Liu Wenbo, Li Zhiming, Chen Tan, Ren Yuxiang, Shao Hai, Wang Longfeng. 2020. Spatial distribution and characteristic analysis of natural strontium mineral water in Chengde area. Hydrogeology and Engineering Geology, 47(6): 65~73.

## Formation mechanism of strontium mineral water in Weixin Town, Minxian County, Gansu Province

YAN Chengyun<sup>1)</sup>, CHEN Liping<sup>2)</sup>, LIU Ruzhen<sup>1)</sup>, LI Aijun<sup>1)</sup>, ZHANG Hongxing<sup>1)</sup>

1) *Gansu Provincial Institute of Geologic Survey, Lanzhou, 730000;*

2) *Lanzhou University Institute of Urban Planning and Design Company Limited, Lanzhou, 730000*

**Objectives:** Analysis of the abundance characteristics of strontium elements in study area, the mineral composition of the rocks within the strata identified, and analyzed the chemical structure of the main minerals rich in strontium elements in the minerals. The water seepage into the rock and soil fissures, aqueous rock reactions with strontium-rich minerals. Then, strontium mineral water formed when more strontium elements are dissolve into the water.

**Methods:** Adopting the analysis method of traceability, regional comparative analysis of the abundance characteristics of strontium elements in various strata of rock and soil bodies in the study area, and analysis of strontium-containing minerals within the main rocks. based on the structure of the main strontium-rich minerals, strontium ions therein dissolve into the water by way of substitution with ions similar in nature, and the determination of  $\text{Sr}^{2+}$  reaches the strontium-type natural mineral water standard for drinking purposes.

**Results:** The strontium content in the main strata that in the slate, feldspar quartz sandstone and Quaternary residual slope gravel soil in the study area is high, low, high, etc. relative to the region. The slate has a high clay mineral content, and the main components of clay minerals are montmorillonite and illite, which have high strontium content. The structure of montmorillonite makes it easy for strontium in it to replace and displace with elements of similar nature, and dissolve into the water, forming a water supply with high strontium content.

**Conclusions:** Precipitation infiltrates the surface into the fissures and pores of strontium mineral-rich rock and soil bodies. Minerals undergo aqueous rock reactions such as leaching, dissolution, and ion exchange with carbon dioxide and water. The main anions and cations dissolved in the water are  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ . The strontium content in the rock formation is generally higher, and more  $\text{Sr}^{2+}$  is dissolving into the water, which can reach the standard of strontium-type natural mineral water for drinking. This results in strontium mineral water with a water chemistry type of calcium magnesium bicarbonate.

**Keywords:** Weixin Town Minxian County; abundance; water rock reaction; ions; strontium

**Acknowledgements:** This study was financially supported by Gansu Province Geological Exploration Fund Project (No. 2019D-104 )

**First author:** YAN Chengyun, male, born in 1973, senior engineer, is mainly engaged in water resources cycle exploration research; Email: 956693185@qq.com

**Manuscript** received on: 2023-12-16; Accepted on: 2024-06-21; Published online on: 2024-08-20

**Doi:** 10. 16509/j. georeview. 2024. 08. 012

**Edited by:** LI Ming, ZHANG Yuxu