

临朐山旺泉天然苏打水形成机理简析

杨培杰¹, 赵菲¹, 王元波¹, 白兴港²

(1. 山东省地质环境监测总站, 山东 济南 250014; 2. 临朐县国土资源局, 山东 潍坊 262600)

摘要: 临朐山旺泉苏打水赋存于临朐群牛山组蜂窝状玄武岩中, 水质优良, 开发前景广阔, 该文利用高压反应釜模拟实际地层条件下水岩平衡反应, 同时辅以同位素分析, 矿物 X-射线衍射分析等手段, 结合当地特殊的水文地质背景, 系统地阐明了苏打水形成机理。

关键词: 天然苏打水; 山旺泉; 形成环境; 水岩平衡; 临朐山旺

中图分类号: P641

文献标识码: B

引文格式: 杨培杰, 赵菲, 王元波, 等. 临朐山旺泉天然苏打水形成机理简析[J]. 山东国土资源, 2016, 32(5): 51-54.

YANG Peijie, ZHAO Fei, WANG Yuanbo, etc. Primary Analysis on Forming Mechanism of Natural Soda Water in Shan-wang Spring in Linqu County[J]. Shandong Land and Resources, 2016, 32(5): 51-54.

山旺泉天然苏打水产地位于临朐县城东南 4 km 的甘石沟村北, 处于沂沭断裂带西侧沂山凸起内的营子断裂和七贤断裂两平行断层相夹的地堑构造内, 含水层为临朐群中新世牛山组蜂窝状玄武岩, 水质优良, 资源量动态稳定, 具有良好的开发利用前景。该文通过同位素分析、X 射线衍射分析、水岩平衡实验等手段, 结合产地地质、水文地质条件, 综合分析天然苏打水形成机理。

1 区域地质概况与水文地质特征

苏打水产地周边沉积地层发育, 出露地层包括寒武纪长清群、九龙群, 中生代青山群八亩地组, 新生代古近纪五图群, 新近纪临朐群, 第四纪山前组、沂河组^[1]。产地范围内新近纪临朐群覆盖在古近纪五图群之上, 东部以断层与泰山岩群太平顶组、寒武纪长清群、九龙群接触, 上部覆盖第四纪山前组^① (图 1)。

1.1 地下水赋存特征

临朐群牛山组玄武岩, 是新生代火山活动产生的, 上部和底部均致密不透水, 与古近系内部其他层位及上覆第四系之间基本无水力联系, 中部蜂窝状

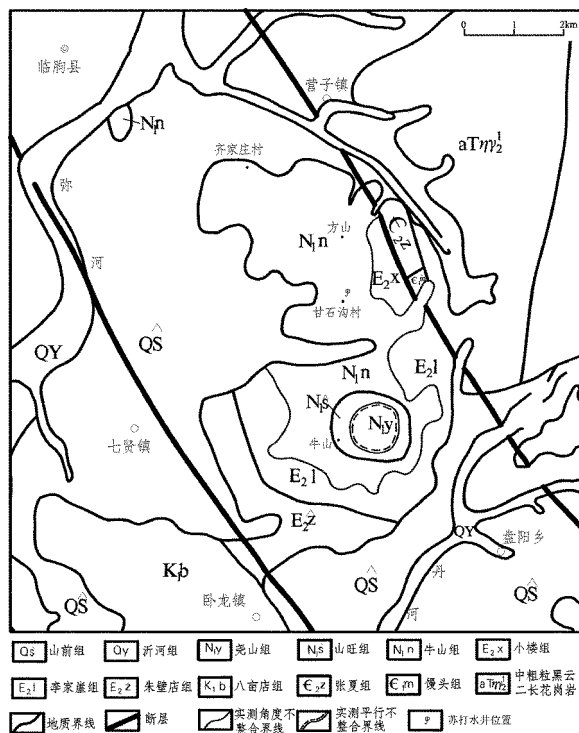


图 1 山旺泉苏打水产地地质简图

玄武岩孔隙裂隙发育, 与南部牛山地区的临朐群尧山组和山旺组玄武岩联通, 形成了一个相对独立的水文地质单元^[2]。

收稿日期: 2015-01-13; 修订日期: 2015-11-15; 编辑: 陶卫卫

作者简介: 杨培杰 (1988—), 男, 山东费县人, 工程师, 主要从事水文地质、工程地质、环境地质工作; E-mail: sddhypj@163.com

①山东省地质调查研究院, 1:20 万临朐、淄博、沂水幅区域地质调查报告, 1996 年。

1.2 地下水补给来源

据主开采井及周边相同层位开采井 D 和 O¹⁸ 同位素测定结果(表 1),经研究对比,4 个水样中 δD 和 δO¹⁸ 的值在克雷格标准降水直线 δD=8δO¹⁸+10 附近(图 2),说明该区地下水流体主要补给来源为大气降水。

表 1 地下水流体同位素测定结果

样品 编号	样品 名称	取样位置		测定结果(10 ⁻³)	
		取样井编号	位置	δD	δO ¹⁸
NS001	水样	KC01	厂区东北角	-68	-9.1
NS002	水样	JC01	厂区东南	-66	-9.1
NS003	水样	MO1	甘石沟村	-65	-8.7
NS004	水样	MO2	西黄埠村	-66	-8.9

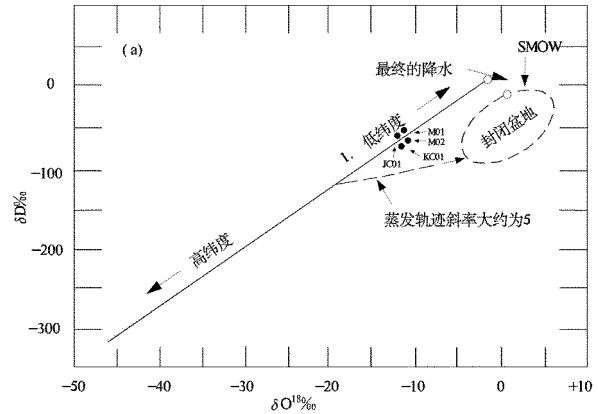


图 2 δD 和 δO¹⁸ 与标准雨线对比图

1.3 地下水补径排特征

该区地势南高北低,苏打水产地位于水文地质单元北部径流排泄区,补给区为南部环牛山分布的山旺组和尧山组地层。牛山顶部平坦开阔,上覆第四系厚度小,基岩风化破碎严重,有利于降水汇集并沿裂隙渗入^[3],降水入渗后,受底部致密玄武岩阻隔,沿牛山组中部蜂窝状玄武岩通道向方山方向运移,并最终受新近纪五图群泥页岩相对隔水地层阻隔,在有利地段大量富集。受地势及构造条件影响,地下水埋深总体分布规律是南浅北深,方山附近最大埋深超过 100 m。

2 地下水化学成分特征

该区地下水 pH 在 8.4~8.7 之间,属弱碱性水,水中阳离子主要为 Na⁺,阴离子主要为 HCO₃⁻ 和 CO₃²⁻,矿化度 551.70~581.66 mg/L,水化学类型为 HCO₃-Na 型。NaHCO₃ 含量在 381.50~459.04 mg/L 之间,达到国际苏打水界限指标^[4],同时地下水中

还含有丰富的对人体有益的微量元素,偏硅酸、锶等含量均接近矿泉水命名标准(表 2)。

表 2 主要指标测试结果

测试日期	测试单位	相关指标测试结果(mg/L)			
		Na ⁺	HCO ₃ ⁻	偏硅酸	锶
2011/5/31	山东省地质环境监测总站	155.00	304.04	27.16	<0.10
2011/10/11	济南矿产资源监督检测中心	90.84	295.02	25.23	0.22
2011/11/21	国家地质实验测试中心	67.5	314.00	28.10	0.35
平均值		104.45	304.35	26.83	-

天然苏打水补给来源为大气降水,其中并不含丰富的离子成分和微量元素,因此推断,苏打水的形成是在特定的地质环境下,地下水运移过程中,与围岩相互促进和共同作用的结果。

3 苏打水形成环境

3.1 物理环境

苏打水的运移及赋存均在玄武岩孔隙裂隙中,处于一个相对封闭的环境,水温在 15.67~15.73℃ 之间,相对稳定。方山开采井水位埋深 100 m 左右,作为主要含水层的蜂窝状玄武岩分布于 190~220 m 深度,因此地下水运移及赋存于压强近似为 1 MPa 的高压环境中。

3.2 化学环境

为查明苏打水中成分来源,需确定围岩的矿物成分,通过矿物 X-射线衍射分析方法(图 3),岩石矿物成分以方解石、沸石类和蒙脱石为主,相对含量分别为 38%,24%和 23.5%。主要成分为 SiO₂,含量在 46.42%左右,化学成分总体上为高钙、钠,低镁、钾。

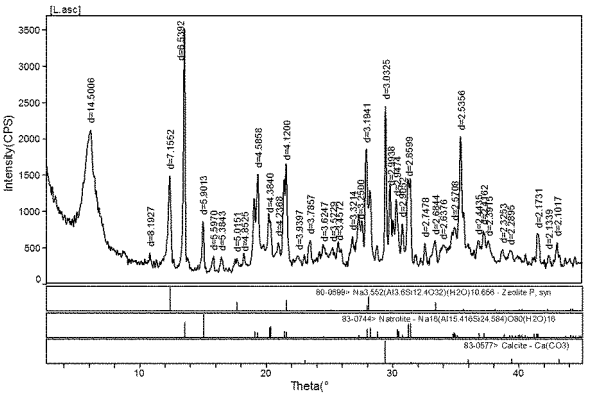


图 3 矿物 X-射线衍射分析图谱

4 苏打水形成机理分析

4.1 实验过程

为了对苏打水的形成机理进行科学论证,进行了模拟实际地层条件的水-岩平衡实验,旨在查明自然条件下水岩相互作用机理。

首先,实际条件的模拟是该次实验的前提,主要有 3 个基本要求:①模拟 1 MPa 的高压环境;②模拟实际水温的近似恒温环境;③模拟地下水径流条件。为了满足上述 3 个要求,选择高压反应釜为实验仪器^[5],实验过程中釜内压力设定为 1 MPa,温度设定在 16±1℃,釜内配备搅拌装置每 24 h 开启 12 h,转

速 60 r/min,使岩样与水充分接触,并使溶液随反应进行混合均匀。

其次,实验样品的选择与处理,岩石样品为牛山组蜂窝状玄武岩(即苏打水赋存地层岩石),实验初始水样为纯净水。岩石样品经研钵研磨,粒径≤0.075m,为避免水中离子的影响,对水样进一步去离子化处理,pH 值为 7.0,水岩按质量比 30:1 的最佳比值放入。

4.2 实验结果

实验开始至结束期间共取水样 10 次,根据样品分析结果列于表 3 中,从表 3 中可以看出:

表 3 实验水样分析结果

含量		取样时间(h)									
(mg/L)		65	120	160	191	216	262	313	374	433	493
pH		9.33	9.41	9.51	9.49	9.36	8.91	8.81	8.76	8.72	8.66
微量 元素	偏硅酸	5.92	6.57	12.79	17.34	18.87	20.96	22.17	23.42	23.36	23.47
	Ti	0.08	0.08	0.23	0.37	0.40	0.43	0.49	0.58	0.61	0.64
	Sr	0.03	0.04	0.04	0.04	0.12	0.04	0.05	0.05	0.06	0.04
阴 离 子	CO ₃ ²⁻	31.36	39.81	42.25	43.95	45.54	45.84	46.35	47.56	49.82	50.01
	HCO ₃ ⁻	82.96	89.06	102.48	112.85	139.08	154.33	156.77	154.94	157.38	158.60
	F ⁻	0.64	0.81	0.28	0.02	0.48	0.16	0.21	0.25	0.30	0.32
	Cl ⁻	19.54	19.67	12.77	18.41	18.07	18.55	18.77	18.21	20.01	21.05
	SO ₄ ²⁻	0.76	0.77	0.67	0.76	0.71	0.79	0.81	0.82	0.78	0.90
	Br ⁻	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.12
阳 离 子	Na ⁺	22.5	28.63	31.94	37.64	44.6	68.01	68.72	69.06	70.21	70.30
	K ⁺	19.49	18.64	4.19	9.20	14.25	20.29	15.63	20.91	19.12	20.44
	Al ³⁺	0.75	0.58	0.93	1.02	1.37	1.17	1.21	1.26	1.26	1.29
	Ba ²⁺	0.02	0.02	0.02	0.01	0.10	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
	Ca ²⁺	2.70	2.12	2.23	2.20	2.27	2.66	2.86	2.52	3.35	2.00
	Mg ²⁺	2.12	1.65	2.29	2.68	2.24	2.19	2.09	2.92	2.22	2.24

(1)随着时间推移,水中微量元素及阴阳离子浓度不断增加,在实验开始 493 h 后,作为主要研究对象的 NaHCO₃、偏硅酸含量就达到了较高水平,pH 稳定在 8.70 左右,这充分证明围岩是苏打水重要物质来源。

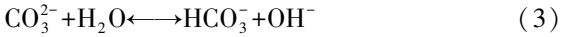
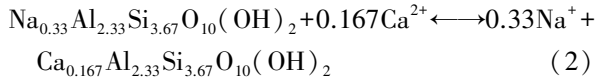
(2)实验开始后 pH 上升明显,在 160 h 达到最大,这主要是因为 CO₃²⁻、HCO₃⁻ 等离子可溶性强,第一次取样时就达到较高值,并发生 HCO₃⁻+H₂O \longleftrightarrow H₂CO₃+OH⁻反应,水中 pH 值不断升高;第四次取样开始,pH 逐渐下降,到 493 h 为 8.66,这主要是因为 H₂SiO₃ 溶解度较小,析出过程较慢,随着时间的推移,水中 H₂SiO₃ 不断增加,导致 pH 下降。

4.3 机理分析

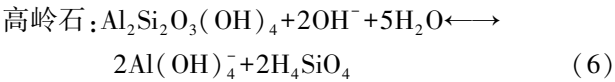
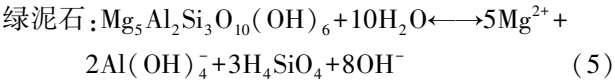
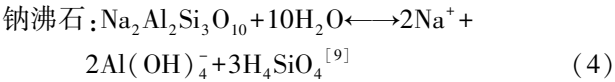
根据实验过程中水样 pH 及各类组分变化情况,结合围岩矿物成分,综合分析水岩平衡反应的机理如下:

围岩中方解石本身不易溶^[6],遇水发生缓慢的交换反应(式 1),但另一种矿物蒙脱石为亲水性,阳离子交换能力强,蒙脱石中的 Na⁺ 交换水中 Ca²⁺,形成不易溶的钙蒙脱石^[7](式 2),促使方解石交换反应不断进行,水中 CO₃²⁻、Na⁺ 浓度不断增加,但是 CO₃²⁻ 只有在 pH>8.7 的环境中才能大量存在,否则 CO₃²⁻ 与 H₂O 将发生平衡反应^[8](式 3),导致水中 HCO₃⁻ 浓度增加,pH 升高。





同时随着时间的推移,其他水岩反应不断发生(公式 4,5,6),水中的 H_4SiO_4 含量不断增加:



由于实验室的水岩反应条件与实际地层条件必然存在一定差异,因此试验结果与苏打水化验结果存在一定差别,但是可以验证水岩反应确实是水中的 HCO_3^- , H_4SiO_4 含量的主要原因,因此可以推断天然苏打水的形成是水岩相互促进、共同作用的结果。

5 结 论

同位素分析确定了苏打水补给来源,X-射线衍射分析确定围岩矿物成分,最后通过水岩平衡实验验证了苏打水是水岩相互作用的结果,结合苏打水

运移和赋存条件可知,山旺泉苏打水的形成是降雨入渗后沿蜂窝状玄武岩运移通道径流过程中,地下水与围岩之间不断进行水岩交换作用,溶解了重碳酸钠等主要矿物,使水中 NaHCO_3 含量大于 340 mg/L,因此苏打水的形成是玄武岩特殊的岩性条件与其所处的水文地质条件相互作用的结果。

参考文献:

[1] 张增奇,刘明渭.山东岩石地层[M].北京:中国地质大学出版社,1996.
[2] 胡玉禄,白兴港.山东省天然苏打水的首次发现及其地质特征[J].山东国土资源,2013,29(1):1-4.
[3] 李春山.山东临朐新生代玄武岩盆地地质-水文地质条件的初步分析及资源开发建议[J].山东地质,1988,3(2):24-26.
[4] 谷宏.苏打水的研究现状及功能分析[J].农业科技与装备,2010,(1):65-66.
[5] 张建文.高温高压模拟平台控制技术[D].浙江大学,2004:29-31.
[6] 闫志为.硫酸根离子对方解石和白云石溶解度的影响[J].中国岩溶,2008,27(1):24-31.
[7] 高海英,杨仁斌,堇道新.蒙脱石的吸附行为及其环境意义[J].农业环境科学学报,2006,25(S1):438-442.
[8] 沈照理.水文地球化学基础[M].北京:地质出版社,1993.
[9] 齐进英,江绍英.碱性玄武岩晶洞中钠沸石的矿物学研究[J].硅酸盐学报,1982,(4):48-51.

Primary Analysis on Forming Mechanism of Natural Soda Water in Shanwang Spring in Linqu County

YANG Peijie¹, ZHAO Fei¹, WANG Yuanbo¹, BAI Xinggang²

(1. Shandong Monitoring Center of Geological Environment, Shandong Jinan 250014, China; 2. Linqu Bureau of Land and Resources, Shandong Linqu 262600, China)

Abstract: Shanwang spring natural soda water occurred in vesicular basalt rocks in Niushan formation of Linqu group. Its water quanlity is good and has vast exploitable prospect. In this paper, by using high pressure reaction kettle, actual forming conditions of water and rock reaction balance has been simulated. At the same time, with the Isotopic analysis, X-ray diffraction analysis and other means, combining with local special hydrological and geological background, the formation mechanism of soda water has been introduced systematically.

Key words: Natural soda water; forming environment; balance between rock and water; Shanwang spring in Linqu county