

新疆阿克苏地区深井富锶矿泉水特征及其开发前景研究

廖梓龙^{1*} 高文² 李彬³ 张晶¹ 刘玲⁴

1 水利部牧区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010000

2 新疆阿克苏水务环保集团股份有限公司, 新疆 阿克苏 843000

3 呼和浩特市水资源与河湖保护中心, 内蒙古 呼和浩特 010000

4 阿克苏水质监测有限公司, 新疆 阿克苏 843000

[摘要] 为了调查新疆阿克苏地区地下水的水质和水资源特色, 阿克苏水质监测有限公司 2021~2023 年在新疆阿克苏地区水源地采集深井水水样, 并对其水化学组分进行分析检测。结果发现研究区水源地深井水中富含锶元素, 60 个水源地采集的水样测试结果中锶含量均值为 1.39mg/L, 为国家饮用矿泉水锶元素最低界限指标 ($Sr \geq 0.2\text{mg/L}$) 的 7 倍。将阿克苏水源地深井水和出厂水与当地市场售卖的主要天然饮用水相比, 其锶元素含量远超其他 3 种天然饮用水, 锶元素能够促进骨骼生长发育, 预防和治疗骨质疏松, 人体主要通过食物及饮水摄入锶元素, 因此该水源地生产的天然矿泉水具有广阔的市场前景。

[关键词] 阿克苏; 锶元素; 地下水水质; 天然矿泉水

DOI: 10.33142/hst.v6i12.10953

中图分类号: P641.5

文献标识码: A

Research on the Characteristics and Development Prospects of Deep Well Strontium Rich Mineral Water in Aksu Prefecture, Xinjiang

LIAO Zilong^{1*}, GAO Wen², LI Bin³, ZHANG Jing¹, LIU Ling⁴

1 Research Institute of Water Resources in Pastoral Areas, Ministry of Water Resources, Hohhot, Inner Mongolia, 010000, China

2 Xinjiang Aksu Water and Environmental Protection Group Co., Ltd., Aksu, Xinjiang, 843000, China

3 Hohhot Water Resources and River and Lake Protection Center, Hohhot, Inner Mongolia, 010000, China

4 Aksu Water Quality Monitoring Co., Ltd., Aksu, Xinjiang, 843000, China

Abstract: In order to investigate the water quality and resource characteristics of groundwater in the Aksu region of Xinjiang, Aksu Water Quality Monitoring Co., Ltd. collected deep well water samples from water sources in the Aksu region of Xinjiang from 2021 to 2023, and analyzed and tested their hydrochemical components. The results showed that the deep well water in the water source area of the study area was rich in strontium element. The average strontium content in the water samples collected from 60 water source wells was 1.39mg/L, which is 7 times the minimum limit indicator of strontium element in national drinking mineral water ($Sr \geq 0.2\text{mg/L}$). Compared with the main natural drinking water sold in the local market, the strontium content of deep well water and factory water in Aksu water source area far exceeds the other three types of natural drinking water. Strontium can promote bone growth and development, prevent and treat osteoporosis, and the human body mainly absorbs strontium through food and drinking water. Therefore, the natural mineral water produced in this water source area has broad market prospects.

Keywords: Aksu; strontium element; groundwater quality; natural mineral water

引言

中国新疆南部有一片热土叫阿克苏, 别称白水城, 阿克苏系维吾尔语, 意为“清澈的水”; 顾名思义, 就是指这里的地下水甘甜, 透明。目前, 该地区只有部分针对地下水水位埋深的研究成果^[1-3], 对于其水质特征分析较少^[4-5], 尤其关于饮用水微量元素含量的相关研究较少。本研究以阿克苏水源地深井水为研究对象, 开展饮用水元素含量和分布的调查, 对水源地深井水中锶元素含量进行分析测试, 发现其远超《食品安全国家标准 饮用天然矿泉水》(GB 8537-2018) 中锶矿泉水的界限值 ($Sr \geq 0.2\text{mg/L}$)。锶元素作为人体必需的微量元素, 长期饮用锶矿泉水对人体健康, 尤其是孕妇和胎儿发育健康有显著效果。本文将阿克

苏水源地深井水和出厂水与其他水源地深井水及当地市场售卖的主要天然饮用水进行水质对比, 并对富锶矿泉水的开发利用前景进行讨论。

1 研究区概况

阿克苏地区位于我国新疆维吾尔自治区南部, 天山山脉东南部, 塔里木盆地北缘, 总面积 13.25 万 km^2 , 全地区八县一市、兵团农一师及所属十六个团场分布在地区境内^[1]。全地区总人口 214 万, 其中少数民族人口占 75%, 由 13 个少数民族组成, 是一个以维吾尔族为主体的多民族聚居地区。阿克苏地区地形总体上呈现北高南低、西高东低, 地形起伏很大。阿克苏地区位于亚欧大陆腹地, 属典型的暖温带大陆性干旱气候特征, 降水较少, 蒸发量大,

气候干燥，日照充足，昼夜温差大，无霜期较长。根据阿克苏气象站资料，多年平均降雨量 75mm 左右，主要降雨时段集中在 5~9 月，常年日照时间高达 2868h，地表蒸发较为强烈，多年平均蒸发量约为 2100mm；年平均气温在 10.8℃，冻土层深度 40~60cm，全年风速较小。

阿克苏地区地层发育齐全，从太古界至新生界均有出露，山区多出露古老地层，以古生界发育最多，盆地周边及基底、低山丘陵山前多有第三系分布；盆地及山前平原第四系发育齐全，厚度大，均为陆相沉积^[6]。阿克苏地区是新疆水资源最为丰富的地区之一，阿克苏地区地下水含水层主要是单一巨厚潜水含水层，第四系岩性沉积规律由山前单一砂砾石、卵砾石逐步向下游过渡为粗砂、中粗砂、细砂、粉砂土、黏土，潜水埋深约 5~50m^[4]。地下水流向与地表径流保持一致，均由西北流向东南，地下水排泄方式以垂向上的人工开采以及潜水蒸发蒸腾为主^[7]。水源地位于阿克苏地区典型山前冲洪积平原，地下水的主要来源是托木尔峰的冰川雪融水，托木尔峰是天山山脉的最高峰，海拔 7443.8m。托木尔峰常年冰雪覆盖，是一座天然的固体水库，每年夏季气温上升，高山冰雪融化，冰雪溶水顺着山壁慢慢汇集到塔里木河，冰雪融水对河流流量的补给最大可占河流流量的 60%以上。因此，塔里木河是南疆阿克苏地区的“母亲河”，天山以南的绿洲基本都是依靠塔里木河水灌溉。

2 采样与分析方法

2021~2023 年阿克苏水质监测有限公司在阿克苏市依干其镇及温宿南部交汇的水源地采集了 60 个深井水水样和 2 个出厂水水样、在阿克苏地区温宿县水源地采集了 11 个深井水水样和 1 个出厂水水样，以及阿克苏市场售卖的 3 种天然饮用水，一起送至阿克苏水质监测有限公司进行测试分析，测试方法采用《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750.1~13-2006)和《食品安全国家标准 饮用天然矿泉水检验方法》(GB 8538-2022)中的相关水质指标的检验方法，其中钾、钙、镁、锂、锶等元素采用电感耦合等离子体质谱法，氟化物、硫酸盐、氯化物、硝酸盐等采用离子色谱法，偏硅酸采用硅钼黄光谱法。利用舒卡列夫分类法对水源地 55#深井水进行水化学分类，并将其与阿克苏市场售卖的主要天然饮用水进行水质对比；利用 origin 软件绘制地下水水化学组分变化趋势图。

3 天然水化学特征分析

3.1 水化学组分基本特征

本文以阿克苏水源地 55#深井水为例，分析研究区深井水的水化学组分，从表 1 可以看出，该深井水的物理性质与感官性质良好，pH 值为 8.12，呈弱碱性；总硬度为 316.4mg/L，无色透明、无味无嗅。该深井水中阳离子主要以 Ca²⁺和 Mg²⁺为主，阴离子主要以 HCO₃⁻和 SO₄²⁻为主，采用舒卡列夫分类法可以得知该水源地深井水的水化学

类型为 HCO₃·SO₄-Mg·Ca 型水。该深井水中锶元素含量为 2.0889mg/L，是国家饮用矿泉水标准 (Sr≥0.2mg/L) 的 10 倍多，其他微量元素如锂含量为 0.0098mg/L，偏硅酸含量为 14.31mg/L 均处于适中，对人体健康有益。

表 1 阿克苏水源地深井水水化学指标检测结果

序号	检测项目	55#深井水	生活饮用水标准	饮用天然矿泉水标准
1	色度/度	<5	≤15	≤10
2	浑浊度/NTU	<0.5	≤1	≤1
3	臭和味	无	无异臭、异味	无异味、无异味
4	肉眼可见物	无	无	无
5	pH	8.12	6.5~8.5	-
6	铝 (mg/L)	0.009	≤0.2	-
7	铁 (mg/L)	<0.05	≤0.3	-
8	锰 (mg/L)	<0.004	≤0.1	≤0.4
9	铜 (mg/L)	<0.002	≤1.0	≤1.0
10	锌 (mg/L)	<0.005	≤1.0	≥0.20
11	氯化物 (mg/L)	27.57	≤250	-
12	硫酸盐 (mg/L)	65.27	≤250	-
13	溶解性总固体 (mg/L)	598	≤1000	≤1000
14	总硬度 (以 CaCO ₃ 计) (mg/L)	316.4	≤450	-
15	氨氮 (mg/L)	<0.02	≤0.5	-
16	钾 (mg/L)	16.28	-	-
17	钙 (mg/L)	192.3	-	-
18	钠 (mg/L)	30.8	≤200	-
19	镁 (mg/L)	70.2	-	-
20	硝酸盐 (以 N 计) (mg/L)	0.40	≤10	≤45
21	亚硝酸盐 (以 N 计) (mg/L)	<0.001	≤1.0	≤0.1
22	氟化物 (以 F 计)	0.51	≤1.0	≤1.5
23	锂 (mg/L)	0.0098	-	≥0.20
24	锶 (mg/L)	2.0889	-	≥0.20
25	偏硅酸 (mg/L)	14.31	-	≥25.00
26	硒 (mg/L)	<0.0004	≤0.01	0.01~0.05

进一步分析该水源地 60 个深井水和 2 个出厂水中锶元素和总硬度指标含量 (表 2)，发现深井水中锶元素含量为 0.6~3.11mg/L，均值为 1.39 mg/L，总硬度为 135.2~435mg/L，均值为 308.36mg/L；出厂水中锶元素含量为 1.17~1.2mg/L，均值为 1.19 mg/L，总硬度为 263.7~294.1mg/L，均值为 278.9mg/L。水源地深井水中主要富含锶元素，其中最低含量 (0.6mg/L) 也超过《食品安全国家标准 饮用天然矿泉水》(GB 8537-2018) 中锶矿水的界限值 (Sr≥0.2mg/L)，这与顾新鲁等人^[8]在分

析新疆天然矿泉水成因类型时得出的天山南麓地区存在单一锶型矿泉水结论一致。

表 2 阿克苏水源地深井水和出厂水中锶元素和总硬度指标统计 (单位: mg/L)

统计值	深井水		出厂水	
	锶	总硬度	锶	总硬度
最小值	0.6	135.2	1.17	263.7
最大值	3.11	435	1.2	294.1
均值	1.39	308.36	1.19	278.9
标准差	0.65	146.24	-	-
变异系数	46.69%	47.42%	-	-

3.2 水化学组分时间和空间变化规律

收集到 2023 年 4~11 月阿克苏水源地出厂水水质检测报告,从表 3 中可以看出,出厂水的色度、浑浊度、臭和味、肉眼可见物、pH、铝、铁、锰、铜、锌、氨氮等指标均无明显变化,运用 origin 软件对出厂水中溶解性总固体、总硬度、氯化物、硫酸盐、硝酸盐和氟化物等指标随着时间的变化趋势进行分析,从图 1 可以看出,除溶解性总固体外,其他各指标稍有波动,但变化不大;溶解性总固体变化范围为 418~589mg/L,均值为 499.5mg/L,出厂水水化学组分随时间变化总体呈现稳定状态。

进一步计算阿克苏水源地深井水中锶元素和总硬度的变异系数来分析水化学组分空间变异程度(表 2),结果显示深井水中锶元素的变异系数为 46.69%,总硬度的变异系数为 47.42%,均属于中等空间变异性,说明阿克苏水源地深井水水化学组分空间变化不大。

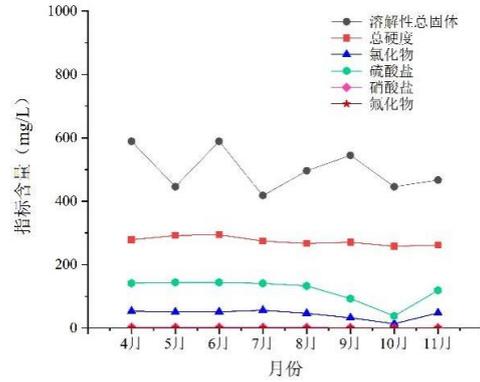


图 1 阿克苏水源地 2023 年 4~11 月出厂水溶解性总固体、总硬度、氯化物、硫酸盐、硝酸盐和氟化物含量变化图

3.3 与其他水源地及当地售卖饮用水对比

为了确定阿克苏水源地锶元素含量水平,对阿克苏地区另一个水源地——温宿县水源地 11 个深井水和 1 个出厂水进行采样分析(表 4),结果显示温宿县水源地深井水中锶元素含量为 0.51~1.22mg/L,均值为 0.75mg/L,总硬度为 137.8~263.7mg/L,均值为 187.24mg/L;出厂水中锶元素含量为 0.68mg/L,总硬度为 177.8mg/L。阿克苏水源地深井水与温宿县水源地相比锶元素和总硬度均较高,阿克苏水源地具有明显的锶元素富集特征(图 2)。

根据《食品安全国家标准 饮用天然矿泉水》(GB 8537-2018),饮用天然矿泉水是指从地下深处自然涌出或经钻井采集的,含有一定量的矿物质、微量元素或其他成分,在一定区域未受污染并采取预防措施避免污染的水,在通常情况下,其化学成分、流量、水温等动态指标在天

表 3 阿克苏水源地 2023 年 4~11 月出厂水水化学指标检测结果

序号	检测项目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
1	色度/度	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
2	浑浊度/NTU	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
3	臭和味	无	无	无	无	无	无	无	无
4	肉眼可见物	无	无	无	无	无	无	无	无
5	pH	7.7	7.51	7.83	7.47	7.3	7.42	7.11	7.65
6	铝 (mg/L)	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008
7	铁 (mg/L)	0.0175	<0.3	<0.3	<0.3	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
8	锰 (mg/L)	<0.00006	<0.002	<0.004	<0.1	<0.1	0.00879	<0.1	<0.1
9	铜 (mg/L)	0.00013	<0.002	<0.002	<0.2	<0.2	<0.00009	<0.2	<0.2
10	锌 (mg/L)	0.02	<0.005	<0.005	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
11	氯化物 (mg/L)	53.16	50.64	50.85	56.16	46.82	32.43	13.9	47.7
12	硫酸盐 (mg/L)	141.54	144.29	144.26	141.26	133.06	92.93	38.3	119
13	溶解性总固体 (mg/L)	589	446	589	418	496	545	446	467
14	总硬度 (以 CaCO ₃ 计) (mg/L)	278.6	292.3	294.3	274.6	266.8	270.7	258	262
15	氨氮 (mg/L)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.08	<0.02	<0.02	<0.02
16	硝酸盐 (以 N 计) (mg/L)	2.72	3	2.96	2.44	1.93	1.42	0.68	1.51
17	氟化物 (以 F 计)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.5

然周期波动范围内相对稳定。矿泉水一般可以分为九大类型：锶矿泉水、偏硅酸矿泉水、锌矿泉水、锂矿泉水、硒矿泉水、溴矿泉水、碘矿泉水、碳酸矿泉水和盐类矿泉水。

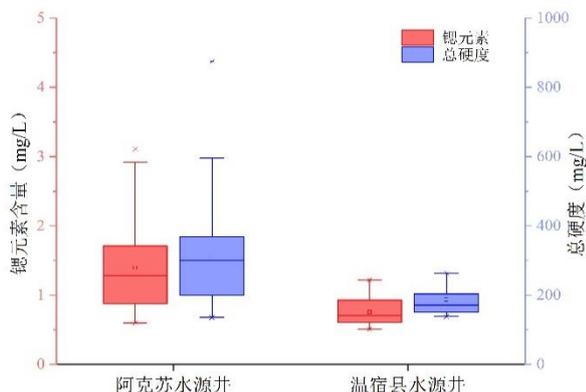


图2 阿克苏水源地与温宿县水源地锶元素和总硬度含量对比

表4 温宿县水源地深井水和出厂水中锶元素和总硬度指标统计(单位: mg/L)

统计值	深井水		出厂水	
	锶	总硬度	锶	总硬度
最小值	0.51	137.8	-	-
最大值	1.22	263.7	-	-
均值	0.75	187.24	0.68	177.8

将阿克苏水源地 60 个深井水和 2 个出厂水中的微量元素与阿克苏地区市场售卖的其他饮用水水质进行对比,可以看出,水源地深井水和出厂水中锶元素含量远超其他在售天然饮用水,根据饮用天然矿泉水国家标准(GB 8537-2018)中的界限指标,锶元素含量超过 0.2mg/L 即可称为锶矿泉水。锶矿泉水饮用起来口感偏咸,可以为人体补充锶元素,人体内 99%的锶存在于骨骼中,仅 0.7%的锶溶解于细胞外液,锶元素对成骨细胞生长有促进作用,并且锶元素可能还与人类长寿有关,中国有名的长寿之乡——广西巴马、新疆和田拉依苏地区人们的饮用水中锶元素含量均较高。

3.4 开发前景

阿克苏地区人烟稀少,水源地位于山前冲洪积平原,含水层厚度大,补给充分,属于地下水富水区域。天然矿泉水的加工工艺并不复杂,若进行合理开发,不会对当地水资源环境造成污染^[9]。阿克苏水源地出厂水与市场主要售卖饮用水相比,具有富含锶元素特征,长期喝锶矿泉水,具有抗氧化抗衰老的功效,对人体有一定的益处。因此,阿克苏水源地具有广阔的富锶矿泉水市场前景,锶矿泉水开发利用具有较大的潜力和价值。

4 结论与展望

锶元素在地壳岩石圈的组成中属微量元素,但在岩石圈上部又是微量元素中丰度值最大的一个元素,广泛分布于自然界^[10],而且人体必需的微量元素,一般通过食物

和饮水摄取。锶对人体的功能主要是与骨骼的形成密切相关,并且具有抗氧化抗衰老功效。阿克苏水源地存在天然富锶矿泉水,锶元素含量(均值 1.39mg/L)为国家饮用矿泉水锶元素最低界限指标($Sr \geq 0.2mg/L$)的 7 倍。将阿克苏水源地深井水与其他水源地相比,锶元素具有明显富集特征;与当地市场售卖的主要天然饮用水相比,其锶元素含量远超其他 3 种天然饮用水。因此,阿克苏水源地具有广阔的富锶矿泉水市场前景,是一个值得开发的锶矿泉水富集区。

[参考文献]

- [1]郭爱军.新疆阿克苏地区地下水监测工作现状及水位动态特征分析[J].地下水,2018,40(2):40-41.
 - [2]王志成.阿克苏河流域地下水埋深现状及对策分析[J].水利规划与设计,2018(1):43-45.
 - [3]王锋,候雅东,刘翠,等.阿克苏地区温宿县地下水超采区评价[J].能源与环保,2022,44(5):107-113.
 - [4]李兴金.阿克苏市地下水资源超采面积分析[J].水利科学与寒区工程,2023,6(6):96-99.
 - [5]普拉提·苏力坦.阿克苏地区主要地下水水质指标变化特征及成因探讨[J].地下水,2023,45(4):69-71.
 - [6]郑哲文,高攀,李志伟,等.南疆阿克苏河流域水文地球化学特征[J].四川地质学报,2021,41(1):131-137.
 - [7]叶含春,徐良,刘学杰.阿克苏地区部分县市地下水作为生活饮用水的水质评价[J].塔里木大学学报,2005(4):15-18.
 - [8]顾新鲁,王占和,曾永刚,等.新疆天然矿泉水成因类型及资源远景区预测[J].新疆地质,2012,30(1):95-98.
 - [9]刘永林,维昆利,倪润祥,等.新疆于田县优质富锂富锶天然饮用矿泉水及其开发前景[J].自然资源学报,2013,28(12):2150-2158.
 - [10]刘庆宣,王贵玲,张发旺.矿泉水中微量元素锶富集的地球化学环境[J].水文地质工程地质,2004(6):19-23.
- 作者简介:通讯作者廖梓龙(1987.11—),男,汉族,广西南宁人,博士,毕业于中国水利水电科学研究院,水利部牧区水利科学研究所高级工程师,研究方向为水文水资源;高文(1973.10—),男,汉族,甘肃武威人,本科,高级工程师,毕业于西安陆军学院,新疆阿克苏水务环保集团股份有限公司党委书记、董事长,研究方向为:水资源持续利用和保护、水资源污染物的研究;李彬(1983.2—)男,内蒙古农业大学,农业水利工程,呼和浩特市水资源与河湖保护中心,科室负责人,水利中级;张晶(1993.10—),女,内蒙古包头人,中国地质大学,水文水资源,水利部牧区水利科学研究所工程师;刘玲(1981.9—),女,江苏徐州人,新疆大学环境工程(水质分析),阿克苏水质监测有限公司经理,从事 23 年水质检验工作和水资源处理和利用。