

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2021.03.018

柴达木盆地矿泉水资源前景和开发利用条件

党学亚^{1,2,3}, 顾小凡^{1,2,3}, 曾庆铭^{1,2,3}

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 陕西省水资源与环境工程技术研究中心, 陕西 西安 710054; 3. 中国地质调查局干旱-半干旱地区地下水与生态重点实验室, 陕西 西安 710054)

摘要:7 种矿泉水界限指标测试结果显示,柴达木盆地地下水富含多种对人体健康有益的微量元素。其中,锶含量普遍达到饮用天然矿泉水标准(GB8537-2018)要求,局部地段的锶、锂与溶解性总固体,或锶与溶解性总固体同时达标;部分锶达标地段的地下水中锂、锌含量虽未达标但量值较高。与国内外已查明的矿泉水水质对比,其具有锶含量高的特点、多项成分达标的稀缺性品质,以及开发锶型矿泉水、含锂锌的锶型矿泉水、锂锶溶解性总固体复合型矿泉水、锶溶解性总固体复合型矿泉水的良好资源前景。从产销条件看,柴达木盆地大部分地区地下水环境受人为干扰少,基本保持着纯净的天然状态,可供选择的开采靶区多,建厂的场地开阔,同时区内丰富的电力能够提供可靠的生产动力、通达四周的铁路和国道方便产品运输。综合评判认为:柴达木盆地具有开发利用天然饮用矿泉水的资源禀赋及环境条件,长期发展有望成为高品质饮用水产业基地。目前,可在大柴旦、乌兰、都兰、德令哈、格尔木等地 10 处地下水源靶区开展天然饮用矿泉水资源调查评价。

关键词:柴达木盆地;锶;锌;锂;矿泉水;调查评价;开发利用

中图分类号:P641.1

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2021)03-0213-09

Prospect, Development and Utilization of the Mineral Water Resources in Qaidam Basin

DANG Xueya^{1,2,3}, GU Xiaofan^{1,2,3}, ZENG Qingming^{1,2,3}

(1. Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Shaanxi Province Engineering Research Centre of Water Resources and Environment, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. Key Laboratory for Groundwater and Ecology in Arid and Semi-arid Areas, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: The test of 7 kinds of mineral water shows that groundwater from Qaidam Basin is rich in many trace elements beneficial to the health of human body. The content of Sr meets the requirements of drinking water standard (GB8537—2018). In some areas, both Sr and Li-or-Sr TDS have reached the standard; in some other areas where Sr is qualified, the content of Li and Zn is not qualified yet but with higher measurements. Compared with the universal quality standards for mineral water, groundwater from Qaidam Basin has high Sr content, up-to-the-standard composition, and good developing prospect. The groundwater environment in most areas of Qaid-

收稿日期:2020-12-03;修回日期:2021-04-26

基金项目:中国地质调查局项目“柴达木盆地巴音河—塔塔凌河流域 1:5 万水文地质调查”(DD20160291)。

作者简介:党学亚(1967-),男,博士,教授级高工,主要从事水文地质环境地质调查研究,研究方向为地下水资源与环境。E-mail:474767944@qq.com。

am Basin is less disturbed by human beings, and maintains a natural pure state. The preferable mining targets, wide-open space, the electricity supply and the convenient and fast means of transport make it a high-quality drinking water industrial base. At present, the investigation and evaluation can be carried out in groundwater resources of Dachaidan, Wulan, Duran, Delingha, Golmud and 10 other places.

Keywords: Qaidam basin; Sr; Zn; Li; mineral water; investigation and evaluation; development and utilization

饮用天然矿泉水因含有有益于人体健康的微量元素,越来越多地成为了人们健康饮水的重要选择(葛文彬等,2008;曹彩杰,2010)。目前,全球主要有中国、法国、德国、意大利、俄罗斯、美国、奥地利、比利时、西班牙等矿泉水生产国(田廷山,2001;洁,2016),形成了法国的阿尔卑斯山、俄罗斯北高加索山以及中国吉林长白山三大矿泉水产业基地(王卓铭,2011;陈守则等,2013;崔玮,2015)。据不完全统计,中国市场上销售的矿泉水多达百种以上,销售份额较大的有十几种,但高端矿泉水始终以欧洲品牌为主导(罗明薇等,2014)。随着中国东部人口密集区水污染的加重、城市边界向近郊水源地的扩张以及人们对健康的重视,向“梵天净土”拓展水源,开发包括天然饮用矿泉水在内的包装水产品,提供安全、优质的饮水已成为打造品质饮水的新趋势。青藏高原无疑是理想取水之地,已开发出了西藏5100冰川矿泉水和昆仑山矿泉水2个品牌的天然饮用矿泉水(许张乔,2012)。柴达木盆地位于青藏高原之上,区内地下水来自于降水和冰雪融水,无论是盆地的山区还是山前平原都有优质的地下水分布。同时,从盆地众多盐湖地下卤水富含锶、锂可见,区内地下水完全具备形成优质矿泉水的地质和水文地质条件。找到符合国家饮用天然矿泉水标准的地下水将为柴达木循环经济试验区发展绿色矿业经济增添重要的资源支撑。开发矿泉水也将丰富区内矿业经济发展的模式,为资源环境约束趋紧条件下青藏高原的生态保护做出积极贡献。2016~2018年中国地质调查局部署了“柴达木盆地巴音河—塔塔凌河流域1:5万水文地质调查”工作,项目组对格尔木市、德令哈市、大柴旦行委、乌兰县及都兰县境内地下水进行了锶(Sr)、锂(Li)、锌(Zn)、硒(Se)、偏硅酸(H_2SiO_3)、游离二氧化碳(游离 CO_2)、溶解性总固体(TDS)等7种矿泉水界限指标含量检测。依据检测结果,笔者梳理了调查点的水质特征和矿泉水资源

线索,在比照国内外矿泉水品质的基础上,结合地下水资源量、水文地质条件、交通条件综合评判了矿泉水品质、资源优势及开发利用前景,圈定了可供进一步调查评价的水源地靶区,以期支持柴达木循环经济试验区绿色发展。

1 环境概况及水文地质特征

1.1 环境概况

柴达木盆地面积达 $276.2 \times 10^3 \text{ km}^2$,是由昆仑山、祁连山、阿尔金山三面环抱所形成的一个巨型山间盆地(党学亚等,2019)。盆地山区海拔大致在3200~6880 m,有雪山、冰川、冻土和高山草甸;平原区海拔在2670~3200 m,从山前向盆地中心,地貌形态依次为戈壁砾石带、细土平原带及盐沼平原。盆地矿产资源丰富,素有“聚宝盆”之称。为此,国家在此设立了柴达木循环经济试验区,以推动资源节约集约利用,其中能源和矿产资源开发主要集中在盐沼平原和局部山区,农牧业开发生产主要在山前绿洲带。因地域辽阔,受人类活动影响较小,区内的自然环境总体上保持着天然状态。

1.2 水文地质特征

柴达木盆地多年平均降水量在300 mm以下。平原区降水多在150 mm以下,东南部多,在50~150 mm;西北部少,多在50 mm以下。山区降水量相对较大,可达150~300 mm。降水及冰川、雪山融水不仅为山区的岩溶孔洞裂隙水、火成岩和变质岩基岩裂隙水提供了良好的水源补给,同时也通过河流输入盆地内部,在山前冲洪积平原渗入地下形成了丰富的第四系孔隙水。从山区起源至进入平原区湖泊被蒸腾蒸发,地下水总体经历了2个补给—排泄过程。第一个补给—排泄过程发生在山区,补给水源进入岩石孔洞、溶隙、裂隙或松散层孔隙径流运移,之后以泉水和潜流等形式排泄,汇入山区河

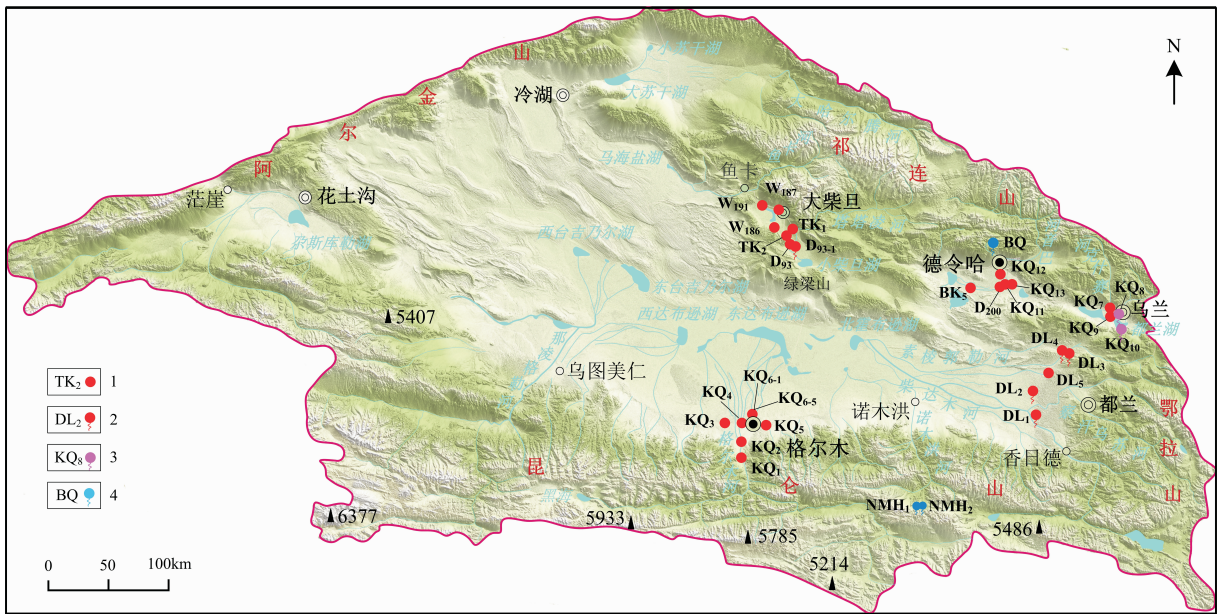
谷成为河水;第二个补径排过程发生在盆地平原区,从河流出山开始,约有50%~90%的河水在山前冲洪积扇区中后部河谷渗入地下,之后向下游径流运移,大部分在戈壁砾石带与细土平原接触带溢出地表,形成泉集河再流入终端湖;未溢出的部分保持潜流进入终端湖泊。整个补径排过程中,地下水与围岩不断进行矿物质交换,累积了多种微量元素。使其中的一部分水质达标,成为天然饮用的矿泉水或具有医疗保健作用的医疗热矿水。

2 样品采集与分析测试

2.1 样品采集

根据柴达木盆地的水文地质条件和自然环境条

件,项目在格尔木市、德令哈市、大柴旦行委、乌兰县及都兰县境内选取了30个地下水点进行采样,包括3个产出于山区碳酸盐岩的泉水,2个产出于内部平原区火成岩断块山裂隙的泉水,25个产出于山前冲洪积平原和冲湖积平原第四系砂层、砂卵砾石层或含泥砂卵砾石层的井水或泉水进行采样,时间主要在2017年4月~2018年9月,共采集水样34件(图1、表1)。其中,KQ₆₋₁与KQ₆₋₅、TK₁₋₁与TK₁₋₂、TK₂₋₁与TK₂₋₂分别取自3眼水文地质勘探井的上层和下层地下水;对DL₅点第一次检测出现的Zn达标这一不寻常情况,于2019年12月再次进行了采样复检。水样采用2.5L塑料壶在出水口灌装。灌装前洗净样壶,满装后盖封,再用胶带进一步密封壶口并及时交付资质单位检测。



1. 第四系井水采样点及编号;2. 第四系泉水采样点及编号;3. 火成岩泉水采样点及编号;4. 岩溶泉水采样点及编号

图1 柴达木盆地矿泉水采样点分布图

Fig.1 Distribution map of mineral water sampling in Qaidam Basin

2.2 分析测试

检测工作主要由青海省水文地质工程地质环境地质调查院检测中心完成,DL₅复检样由陕西工程勘察研究院水土测试中心完成,执行的标准为GB/T8538.4.38-2008、GB/T8538.4.32.3-2008、GB/T8538.4.39-2008、GB/T8538.4.8.2-2008、GB/T8538.4.35.1-2008、GB/T8538.4.24.2-2008、GB/T8538.4.18.1-2008、GB/T8538.4.25.1-2008、GB/T8538-2016。

3 结果与讨论

3.1 结果

表1中的34件样品检测结果显示:Li达标的32个,达标率91%;锂达标的1个,Zn达标者1个,TDS达标的5个,H₂SiO₃、游离CO₂、Se未达标,其中,①Sr含量在0.33~2.47mg/L,量值普遍较高。②Li在诺木洪河源头的1#岩溶泉水达标,含

表1 柴达木盆地矿泉水测试结果一览表
Tab.1 Test data of mineral water in Qaidam Basin

序号	样号	样点位置及水点性质	单井 涌水量 (m ³ /d)	降深 (m)	泉流量 (m ³ /d)	采样日期 (年/月/日)	限量指标实测值(mg/L, 黑体字为达标项)						游离 CO ₂
							Li	Sr	Zn	H ₂ SiO ₃	Se	TDS	
1	KQ ₁	格尔木南山口检查站北井水	1 303	0.30		2017/4/9	0.03	0.86	<0.002	10.6	<0.000 25	612	0
2	KQ ₂	格尔木阳光翰满光电厂井水	3 600	1.55		2017/4/9	0.03	0.92	0.012	9.29	<0.000 25	621	0
3	KQ ₃	格尔木机场西侧 Z1 井水	5 835	1.73		2017/4/9	0.04	0.96	<0.002	10.6	<0.000 25	624	0
4	KQ ₄	格尔木机场路边公园井水	4 544	4.28		2017/4/9	0.02	0.69	<0.002	13.2	<0.000 25	550	0
5	KQ ₅	格尔木郭镇红柳村国道林灌井水	4 233	26.97		2017/4/9	0.03	0.88	<0.002	16.1	<0.000 25	754	2
6	KQ ₆₋₁	格尔木北 5 层勘探井上层水	1 203	0.56		2017/4/9	0.02	0.89	<0.002	16.1	<0.000 25	567	0
7	KQ ₆₋₅	格尔木北 5 层勘探井下层水	1 311	0.39		2017/4/9	0.03	0.95	0.004	13.8	<0.000 25	497	2
8	KQ ₁₁	尕海镇防护林灌溉井水	2 880	3.57		2017/4/13	0.01	1.30	0.006	11.9	<0.000 25	901	3.99
9	KQ ₁₂	德令哈消防中队林灌井水	2 400	4.51		2 017/5/19	0.01	0.76	0.002	12.1	<0.000 25	927	1.93
10	KQ ₁₃	尕海镇尕海村灌溉井水	1 960	2.87		2017/5/19	0.01	1.27	0.002	14.6	<0.000 25	972	1.93
11	D ₂₀₀	巴音河下游一棵树井水	2 450	3.79		2017/5/17	<0.01	0.68	<0.002	14.5	<0.000 25	673	3.86
12	BK ₅	巴音河下游左岸勘探井水	2 214	20.95		2017/5/13	<0.01	1.00	<0.002	20.5	<0.000 25	694	3.86
13	BQ	德令哈柏树山岩溶泉水			1 676	2016/9/11	0.01	0.48	<0.01	8.46	<0.001	603	8.45
14	NMH ₁	诺木洪河源头雪山 1# 岩溶泉水			172.8	2018/9/28	0.32	1.25	<0.002	/	<0.000 25	2 822	92.2
15	NMH ₂	诺木洪河源头雪山 2# 岩溶泉水			129.6	2018/9/28	0.09	0.68	0.005	/	<0.000 25	1 300	65.6
16	DL ₁	香日德巴颜河泉集河源头泉水			138.24	2018/9/20	0.03	0.84	0.002	/	<0.000 25	492	4.1
17	DL ₂	都兰德马高速东 300 处泉水			25.92	2018/9/20	0.08	1.46	<0.002	/	<0.000 25	538	0
18	DL ₃	乌兰金子海湖东 5.2km 处泉水			51.84	2018/9/21	0.05	1.06	0.002	/	<0.000 25	776	0
19	DL ₄	乌兰金子海湖西南 2.2km 泉水			>129.6	2018/9/21	0.01	1.07	0.002	/	<0.000 25	758	2.05
20	DL ₅	乌兰卜浪沟翻浆滩井水	240			2018/9/21	0.04	2.20	0.228	/	<0.000 25	634	2.05
21						2019/12/26	0.05	2.47	0.034	11.7	/	700	2.20
22	KQ ₇	乌兰赛什克沟口泉水			4 896	2017/4/11	<0.01	0.72	<0.002	10.9	<0.000 25	448	2
23	KQ ₈	乌兰赛什克火成岩断块山泉水			1 230	2017/4/11	0.01	1.63	0.002	14.5	<0.000 25	1 381	2
24	KQ ₉	乌兰赛什克都兰湖西自流井水	9 936	10.65		2017/4/11	0.02	1.39	0.006	18.4	<0.000 25	840	2
25	KQ ₁₀	乌兰县都兰湖南岸火成岩泉水			13 046	2017/4/11	0.06	2.74	0.004	15.5	<0.000 25	2 392	2
26	TK ₁₋₁	塔塔凌河 1# 勘探井上层水	4 319.57	2.18		2019/1/20	0.09	0.68	0.006	9.28	<0.000 25	508	2.02
27	TK ₁₋₂	塔塔凌河 1# 勘探井下层水	1 816.08	4.70		2019/1/22	0.09	0.58	0.001	7.72	<0.000 25	398	2.02
28	TK ₂₋₁	塔塔凌河 2# 勘探井上层水	4 737.05	4.74		2018/11/3	0.06	0.40	<0.002	8.74	<0.000 25	280	1.98
29	TK ₂₋₂	塔塔凌河 2# 勘探井下层水	4 651.69	3.84		2018/12/5	0.06	0.56	<0.002	11.2	<0.000 25	228	1.98
30	D ₉₃	绿梁山南侧泉水			>129.6	2018/7/11	0.03	1.39	0.006	17.7	<0.000 25	962	0
31	D ₉₃₋₁	绿梁山南侧牧民井水	1 200			2018/7/11	0.04	0.97	0.008	/	<0.000 25	1 162	2.09
32	W ₁₈₆	大柴旦大华化工厂东南 约 2.5km 处井水	348	4.97		2018/10/15	0.06	0.33	0.002	/	<0.000 25	320	2.05
33	W ₁₈₇	大柴旦镇饮用水源地井水	1 060	0.89		2018/10/15	0.15	0.33	<0.002	/	<0.000 25	252	2.05
34	W ₁₉₁	柴旦镇大柴旦湖西	1 650	0.47		2018/10/16	0.10	0.64	<0.002	/	<0.000 25	282	2.05

量为 0.32 mg/L,其他地段未达标,但大柴旦塔塔凌河平原—鱼卡谷地一带含量达到 0.06~0.15 mg/L,接近标准值。③Zn 在乌兰卜浪沟 DL₅ 首样中含量为 0.228 mg/L,达标;复检样含量为 0.034 mg/L,未达标,但明显高出其他水点,谨慎考虑认定为不达标。④TDS 含量在 228~2 822 mg/L,达标水点为诺木洪河源头雪山的 2 个岩溶泉水、乌兰赛什克村火成岩断块山泉水、都兰湖南岸火成岩泉水及大柴旦绿梁山南侧的第四系泉水;其余水点的 TDS 均小于 1 000 mg/L,在塔塔凌河平原低至 220~400 mg/L。⑤H₂SiO₃ 含量为 7.72~20.5 mg/L,均未达标。⑥游离 CO₂ 含量均低,未达标,但诺木洪河源头雪山的 2 个岩溶泉水达到 65.6~92.2 mg/L,明显高出其他水点。⑦Se 含量均小于 0.000 25 mg/L,未达标。

3.2 讨论

3.2.1 矿泉水品质与水源条件

全球矿泉水资源较为丰富。中国已查明的矿泉水水源达 3 500 处以上(宁波等,2010;许张乔,2012)。据文献资料(韩凤财,1994;张洁萍,1995;刘永林等,2013;吴立新,2014;郑勇等,2015;董海胜等,2016;廖先远等,2017;苏春田等,2017;新华社,2017;杨章贤,2018;多晓松,2018;崔云祥等,2018;敬海霞等,2018;张援军等,2018;王佳武,2019;苏宏建等,2019):最常见的是 Sr 型矿泉水(表 2),Sr 含量多在 0.2~2.5 mg/L。其次是 H₂SiO₃ 型矿泉水。其三是 TDS 型矿泉水。最少的是 Li、Zn、Se、游离 CO₂ 型矿泉水,其资源稀缺水源数量为个位数,其中:Li 含量为 0.2~1.76 mg/L,目前达标的地下水出现在西藏 5100 矿泉水水源地以及新疆乌鲁木齐水磨沟和于田县、山西天镇县、河北沧州、山东淄博、安徽芜湖的个别地段;Zn 含量为 0.23~1.39 mg/L,达标的地下水仅出现在捷克萨奇苦味矿泉水源地及安徽滁州的琅琊区和霍山县局地;Se 含量为 0.01~0.04 mg/L,达标的地下水仅出现在陕西紫阳县、石泉县、汉滨区及河南洛宁县局地;游离 CO₂ 达标的地下水仅出现在法国巴黎水以及黑龙江五大连池、安徽芜湖和滁州局地。比较可见,柴达木盆地地下水具有独特的品质特征:①Sr 含量高于或与其他地区相当,大柴旦塔塔凌河冲洪积扇、鱼卡河谷地地下水 Sr 含量相对稍低,但 Li 含量相对较高,同时低硫酸盐、低氯化物、低硬度、低矿化度,口感较

好,是非常难得的饮水水源;素棱郭勒河与柴达木河源头沙漠地带的地下水,高 Sr 的同时 Li、Zn 含量较高,这显著提升了区内矿泉水的品质。②Li 达标的诺木洪河源头 1[#] 岩溶泉,Sr 和 TDS 也同时达标,并含有较多的 CO₂ 气体,与西藏 5100 冰川矿泉水类似且有独特之处。综上认为,区内地下水具有开发 Sr 型矿泉水、含 Li 或含 Zn 的 Sr 型矿泉水,以及 Li-Sr-TDS 复合型、Sr-TDS 复合型矿泉水的资源前景。

对矿泉水开发而言,按目前国内外的生产状况,一般中型水源地的水量(日产水能力 $10 \times 10^3 \sim 50 \times 10^3 \text{ m}^3$)即可满足要求。据实地调查以及王永贵等 2008 年完成的《柴达木盆地地下水资源及其环境地质问题调查评价报告》、党学亚等 2019 年完成的《柴达木盆地地下水调查报告》,各井水样点地段地下水的补给和储存条件良好,基本处在单井涌水量 3 000~5 000 m³/d 的强富水区能够建设中型以上水源地的富水地段;泉水采样地段地下水多以泉群形式产出,单泉流量多在 100 m³/d 以上。因此,区内开发矿泉水有充足的水源保障。

3.2.2 矿泉水产业动向与市场前景分析

2019 年 4 月 17~18 日中国饮料工业协会天然矿泉水分会在海口召开第十三次会员大会,以“呵护自然、品位天然”为主题,积极布局新水源、增加产能、扩大容量成为饮料行业的新动能,生产高端矿泉水已逐渐成为趋势(许张乔,2012)。目前,中国销售的大部分为普通矿泉水,少数为高端矿泉水,二者的价格相差悬殊。公认的高端矿泉水基本标准是资源的稀缺性和水源环境纯洁性,即水源品质独特和水源环境天然洁净无污染(王卓铭,2011;罗明薇等,2014;现代营销(经营版)编辑部,2016)。如西藏 5100 冰川矿泉水、昆仑山矿泉水、湖北芙丝矿泉水、黑龙江五大连池矿泉水,以及法国巴黎水、依云矿泉水、意大利圣培露矿泉水均占有这两方面的优势。柴达木盆地地下水具备的稀缺品质和几乎天然的环境状态,无论是开发普通矿泉水还是开发高端矿泉水均有突出的资源环境优势。如果能形成产业,并加以长期开发,柴达木有望成为中国继长白山之后又一高品质饮水产业基地。从发展趋势看,把矿泉水列入柴达木盆地的矿产资源开发利用规划符合饮料行业新动能要求,依托矿泉水发展绿色矿业经济前景广阔。

3.2.3 生产和交通运输条件

柴达木盆地土地广人稀,矿泉水开发可选择的水源靶区多,建厂选址较容易。同时,丰富的水能、光能和风能发电可为设施建设和产品生产提供可靠的动力保障。加之,青藏铁路、格(尔木)敦(煌)铁路、格(尔木)库(尔勒)铁路,以及国道 G109、G3011、G315 和西宁至格尔木、德令哈与大柴旦高速公路构成的交通网络四通八达,便于产品运输。故柴达木开发矿泉水具有良好的产运条件。

3.2.4 水源靶区与开发利用建议

根据采样地段的水文地质条件、环境状况和地下水资源量,目前区内可圈定 10 处水源靶区开展天然饮用矿泉水调查评价,其中,大柴旦塔塔凌河冲洪积扇、鱼卡河谷地为含 Li 的 Sr 型矿泉水靶区;德令哈柏树山,乌兰县的都兰湖南岸、都兰湖西岸、金子海,都兰县柴达木河源头的铁奎滩沙区,格尔木冲洪积扇西翼格茫公路北侧等地段为单纯的 Sr 型矿泉水靶区;素棱郭勒河中游翻浆滩为含 Li、Zn 的 Sr 型矿泉水靶区;都兰县诺木洪河源头雪山岩溶泉水出露地段为含 CO₂ 的 Li-Sr-TDS 复合型矿泉水靶区。考虑交通、电力设施和市场等因素,建议:首先在交通和电力保障好的大柴旦塔塔凌河平原、鱼卡谷地以及素棱郭勒河中游翻浆滩开展调查评价;其次是在德令哈柏树山,乌兰县的金子海、都兰湖周边,柴达木河源头铁奎滩沙区、格尔木冲洪积扇西翼、诺木洪河源头雪山等地开展调查评价。同时,根据柴达木盐湖卤水和那棱格勒河流域地下水富 Li 的情况(韩凤清,2001;马东旭等,2009;展大鹏等,2010;乜贞等,2010;董启伟等,2018),建议及早在盆地西部地区开展 Li 矿泉水专项调查,进一步发掘稀缺矿泉水资源。

4 结论

(1)柴达木盆地地下水 7 种矿泉水界限指标除 Se 外均其余 6 种均有检出,Sr、Li、TDS 三种组分达标,是宝贵的水资源,并有望成为发展绿色矿业经济的重要资源。

(2)柴达木盆地地下水的稀缺性品质显著。水

中 Sr 含量普遍达标且量值高,并有 1 处泉水 Li 达标,多个处地段 Li、Zn 含量较高,具有开发 Sr 型矿泉水、含 Li 或含 Zn 的 Sr 型矿泉水以及 Sr-Li-TDS 复合型、Sr-TDS 复合型矿泉水的资源前景。

(3)柴达木盆地地下水突出的品质优势、良好的水源条件及环境优势,为生产高端矿泉水提供了理想的水源保障,长期开发,有望打造成中国的高品质饮水产业基地。

(4)笔者为矿泉水开发提供了水源靶区,实际开发尚需在其基础上,按照《天然矿泉水资源地质勘查规范》(GBT13727-2016)开展调查评价。

(5)建议在盆地西部地区开展 Li 矿泉水调查评价,进一步发掘稀缺矿泉水资源,增加柴达木盆地的矿泉水资源优势和价值。

致谢:感谢杨炳超、犹香智、王倩等同事在样品采集和送检测试工作中付出的劳动。

参考文献(References):

- 曹彩杰. 长白山矿泉水产业发展现状与对策研究[J]. 商业经济,2010,349(5): 99-117.
- 陈守则,单红之. 长白山矿泉水产业集群发展对策探析[J]. 长春工业大学学报(社会科学版),2013,25(5): 5-7.
- 崔玮. 饮自然之水思泉之源[J]. 中国林产业,2015,(2): 78-79.
- 崔云祥,冯娟,胡德勇. 贵州台雄天然矿泉水特征与开发利用[J]. 四川地质学报,2018,38(2): 307-309.
- CUI Yunxiang, FENG Juan, HU Deyong. Characteristics and Development of Drinking Natural Mineral Water in Taixiong Guizhou [J]. Acta Geology Sichuan,2018,38(2):307-309.
- 党学亚,常亮,卢娜. 青藏高原暖湿化对柴达木水资源与环境的影响[J]. 中国地质,2019,46(2): 359-368.
- DANG Xueya, CHANG Liang, LU Na. The impact of climatic warm-wet of the Tibetan Plateau on the water resources and environment in Qaidam Basin [J]. Geology in China,2019,46(2): 359-368.
- 党学亚,顾小凡,姜军,等. 柴达木盆地地下水调查研究[R]. 中国地质调查局西安地质调查中心,2019.
- 董海胜,赵伟,钟悦,等. 不同品牌天然矿泉水主要矿物元素分析与比较[J]. 航天医学与医学工程,2016,29(6):

423-427.

- DONG Haisheng, ZHAO Wei, ZHONG Yue, et al. Analysis and Comparison of Main Mineral Elements in Different Brands of Natural Mineral Water [J]. Space Medicine & Medical Engineering, 2016, 29(6): 423-427.
- 董启伟, 范增林, 陈金牛, 等. 青海柴达木盆地东台吉乃尔湖锂、硼、钾矿床水文地质特征[J]. 中国锰业, 2018, 36(4): 95-101.
- DONG Qiwei, FAN Znnnglin, CHEN Jinniu, et al. Hydrogeological characteristics of the Lithium, Boron and Potassium deposits in the Jintaier Lake, Dongtai, Qaidam Basin, Qinghai [J]. China's Manganese Industry, 2018, 36(4): 95-101.
- 多晓松. 河北滦平大兴沟高锶饮用天然矿泉水特征初步评价[J]. 地质学刊, 2018, 42(2): 339-343.
- DUO Xiaosong. Preliminary research on the characteristics of Sr-rich drinkable mineral water in Daxinggou, Luanping County, Hebei Province [J]. Journal of Geology, 2018, 42(2): 339-343.
- 葛文彬, 徐志文, 蒋俊, 等. 饮用天然矿泉水的保健作用[J]. 四川地质学报, 2008, 28(2): 166-168.
- GE Wenbing, XU Zhiwen, JIANG Jun, et al. Health protection function of drinking natural mineral water [J]. Acta Geological Sichuan, 2008, 28(2): 166-168.
- 韩凤财. 塞北雪(锂-锶-偏硅酸)珍贵天然矿泉水[J]. 华北地质矿产杂志, 1994, 9(4): 365-368.
- HAN Fengcai. Saibei Snow top-quality natural mineral water rich in Lithium, Strontium and Metasilicate Water in Tianzhen [J]. Journal Geology & Mineral Resources North China, 1994, 9(4): 365-368.
- 韩凤清. 青藏高原盐湖 Li 地球化学[J]. 盐湖研究, 2001, 9(1): 55-61.
- HAN Fengqing. The geochemistry of Lithium in salt lake on Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Journal of Salt Lake Research, 2001, 9(1): 55-61.
- 洁. 浅析国外矿泉水产业现状[J]. 福建轻纺, 2016, (12): 20-22.
- 敬海霞, 黄江华, 葛旭, 等. 安徽省舒城县柳抱泉天然饮用矿泉水水质特征及成因分析[J]. 地下水, 2018, 40(4): 43-85.
- 廖先远, 胡雨柔. 青海曲海天然饮用富锶型矿泉水形成机制分析[J]. 四川地质学报, 2017, 37(4): 592-595.
- LIAO Xianyuan, HU Xue rou. Genetic mechanism for the Sr-rich mineral water in Quhai, Qinghai [J]. Acta Geologica Sichuan, 2017, 37(4): 592-595.
- 刘永林, 雒昆利, 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.
- LIU Yonglin, LUO Kunli, NI Runxiang, et al. High quality natural Li-rich and Sr-rich drinking-water in Yutian County, Xinjiang and its development prospect [J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28(12): 2150-2158.
- 罗明薇, 朱莹, 梁峰. 天津高档水市场现状研究—以西藏 5100 冰川矿泉水为例[J]. 商业经济, 2014, 447(6): 42-98.
- 马东旭, 马海州, 高东林, 等. 西台吉乃尔盐湖矿区地下卤水钾、镁、锂、硼的时空变化特征[J]. 盐湖研究, 2009, 17(3): 17-22.
- MA Dongxu, MA Haizhou, GAO Donglin, et al. Temporal and spatial variation characteristics of K, Mg, Band Li of Underground Brine in West Taijinar Mining Area [J]. Journal of Salt Lake Research, 2009, 17(3): 17-22.
- 宁波, 吴威, 孙明哲, 等. 矿泉水市场的现状及发展动向[J]. 农产品加工, 2010, 214(7): 76-78.
- NING Bo, WU Wei, SUN Mingzhe, et al. The Status and Developments of Mineral Water Market [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2010, 214(7): 76-78.
- 乜贞, 卜令忠, 郑绵平. 中国盐湖锂资源的产业化现状——以西台吉乃尔盐湖和扎布耶盐湖为例[J]. 地球学报, 2010, 31(1): 95-101.
- NIE Zhen, BU Lingzhong, ZHENG Mianping. Lithium resources industrialization of salt lakes in China: a case study of the Xitaijinaier Salt Lake and the Zabuye Salt Lake [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, 31(1): 95-101.
- 苏春田, 张发旺, 夏日元, 等. 湖南新田发现大型富锶矿泉水及机理研究[J]. 中国地质, 2017, 44(5): 1029-1030.
- SU Chuntian, ZHANG Fawang, XIA Riyuan, et al. A study of the water-rock interaction of large rich Sr mineral spring in Xintian, Hunan Province [J]. Geology in China, 2017, 44(5): 1029-1030.
- 苏宏建, 杨瑞, 多晓松, 等. 承德市矿泉水资源分布规律及其

- 形成的地球化学条件[J]. 化工矿产地质, 2019, 41 (1): 27-34.
- SU Hongjian, YANG Rui, DUO Xiaosong, et al. Distribution rules and geochemical conditions of mineral water resources in Chengde City[J]. Geology of Chemical Minerals, 2019, 41 (1) : 27-34.
- 田廷山. 中国矿泉水新经济时期的机遇和挑战[J]. 资源产业, 2010, (2): 26-27.
- 王佳武. 陕西省山阳县暖水川饮用天然矿泉水形成条件分析[J]. 陕西地质, 2019, 37 (1) : 90-94.
- WANG Jiawu. Forming conditions of drinking mineral water in Nuanshuichuan of Shanyang County, Shaanxi Province[J]. Geology of Shaanxi, 2019, 37 (1) : 90-94.
- 王永贵, 郭宏业, 李建, 等. 柴达木盆地地下水资源及其环境地质问题调查评价报告[R]. 青海省地质调查院, 2008.
- 王玉功, 陈月源, 王建波. 甘肃省天然矿泉水开发利用现状分析与可持续发展[J]. 甘肃地质, 2009, 18(1) : 60-65.
- WANG Yugong, CHEN Yueyuan, WANG Jianbo. 2009. Development of natural mineral water in Gansu Province [J]. Gansu Geology, 2009, 18(1) : 60-65.
- 王卓铭. 高端矿泉水炼金术[J]. 中国民营科技与经济, 2011, (2): 26-27.
- 吴立新. 淄博市淄川区饮用天然矿泉水赋存条件与形成机理研究[J]. 山东国土资源, 2014, 30(6) : 41-44.
- WU Lixin. Study on occurrence conditions and the formation mechanism of drinking natural mineral water in Zichuan district of Zibo City [J]. Shandong Land Resources, 2014, 30(6) : 41-44.
- 现代营销(经营版)编辑部. 三条水路[J]. 现代营销(经营版), 2016, (12): 62-63.
- 新华社. 洛宁发现罕见高锶富硒矿泉水[J]. 2017-07-19. http://www.xinhuanet.com/local/2017-07/19/c_1121343855.htm.
- 许张乔. 国内高端矿泉水之争——资源基础理论的观点[J]. 产业经济, 2012, 388(1) : 89-92.
- 杨章贤. 安徽省饮用天然矿泉水类型及分布特征研究[J]. 地下水, 2018, 40(5) : 28-31.
- YANG Zhangxian. Study on types and distribution characteristics of natural mineral water in Anhui Province[J]. Groundwater, 2018, 40(5) : 28-31.
- 展大鹏, 余俊清, 高春亮, 等. 柴达木盆地四盐湖卤水锂资源形成的水文地球化学条件[J]. 湖泊科学, 2010, 22(5) : 783-792.
- ZHAN Dapeng, YU Junqing, GAO Chunliang, et al. Hydro-geochemical conditions and lithium brine formation in the four salt lakes of Qaidam Basin [J]. Journal of Lake Science, 2010, 22(5): 783-792.
- 张洁萍. 沧州市沧热2井溴-碘-锂-锶-偏硅酸优质饮用天然矿泉水[J]. 华北地质矿产杂志, 1995, 10(4) : 577-581.
- ZHANG Jieping. Top-quality natural mineral water rich in Br-I-Li-Sr H_3SiO_3 of Cangre No. 2 well in Cangzhou City [J]. Journal Geology & Mineral Resources North China, 1995, 10(4) : 577-581.
- 张援军, 王佳武. 陕南秦巴山区富硒矿泉水形成条件分析[J]. 陕西地质, 2018, 36 (2): 91-96.
- ZHANG Yuanjun, WANG Jiawu. Forming conditions of Se-rich mineral water in Qinba Mountain area of South Shaanxi Province [J]. Geology of Shaanxi, 2018, 36 (2) : 91-96.
- 郑勇, 孙忠伟, 刘涛, 等. 浅谈新疆天然矿泉水的成因类型[J]. 西部探矿工程, 2015, 27(3): 159-174.
- ZHENG Yong, SUN Zhongwei, LIU Tao, et al. Discussion on the genetic types of Xinjiang natural mineral water [J]. Western Prospecting Project, 2015, 27(3): 159-174.