

格尔木河流域河水钾硼锂元素分布特征 及富集规律

唐启亮¹, 张西营¹, 苗卫良^{1,2}, 李永寿^{1,2}, 李雯霞¹,

王波¹, 薛园¹, 朱广琴¹

(1. 中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:在柴达木格尔木河流域,随着内陆流域水系的产生与地表径流的消亡,从山区至盐湖区钾(K)硼(B)锂(Li)等有益元素的分布可以划分为淋溶-径流区、径流-蒸发区与溶滤-蒸发浓缩富集区3个具有显著特点的水文化学分带。河水中,K、B、Li含量随矿化度升高而升高,且呈正相关关系。在盐湖区,K、B、Li等资源性元素明显富集。研究发现,格尔木河东部主流(秀水河)是格尔木河水中B和Li的主要贡献者。

关键词:格尔木河流域;钾(K);硼(B);锂(Li);分布特征;富集规律

中图分类号: P641.3

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2016)02-0026-07

格尔木河属于柴达木盆地第二大内陆河流,并作为察尔汗卤水资源湖—达布逊湖的主要地表水补给源,不论对盐湖水量还是盐类资源的补充都有着十分重要的影响;同时格尔木河流域水资源、生态、径流变化、水环境地球化学、水化学及同位素等方面前人做了许多工作^[1-8]。本文在前人的基础上,进一步阐述了资源性元素K、B、Li的分布规律、富集特征及主要支流中K、B、Li的贡献率。

1 流域概况

格尔木河源于柴达木盆地西南缘昆仑山冰川,出山口蜿蜒北流,穿越格尔木市后,与源于洪冲积扇缘地下水的格尔木东河一起汇入察尔汗卤水资源湖—达布逊湖,河流总长约352 km,是柴达木盆地第二条大内陆河。格尔木河流域气候干旱,降水甚微,平均年降雨量仅为

40.2 mm,但蒸发强烈,蒸发量高达3 066 mm/a^[9],因而降雨对河湖补给意义不大。同时格尔木河水位普遍高于地下水位,据此次调查,除洪冲积扇区东河段属地下水补给河水外,整个流程区都以河水补给地下水为主。由H、O同位素的分布特征可知^[10],昆仑山降水(雨、雪)为格尔木河的主要补给源。就地貌特征而言,内陆盆地干旱的气候条件,造就了其典型的荒漠化地貌,且以格尔木市为界限,南北地貌景观截然不同,南以沙漠化为主,北以盐碱化为主。据此次野外考察和遥感图解译(图1),格尔木市以南的戈壁几乎全为厚层的洪冲积、风积砂砾石所覆盖,除河道两旁外几乎没有植被生长;格尔木市以北洪冲积扇区有大片农田分布;再往北洪冲积、湖积平原区被厚层的冲积层粉砂、亚砂土、细砂及近湖缘的淤泥覆盖,富含盐分,地表常见有白色盐粒析出^[11]。

收稿日期: 2016-01-04; **修回日期:** 2016-02-01

基金项目: 青海省应用基础研究计划项目(2014-ZJ-704);国家自然科学基金青年基金项目(41303029,41402082)和国家自然科学基金柴达木盐湖化工科学研究联合基金项目(U1407107)

作者简介: 唐启亮(1981-),男,助理研究员,主要从事盐湖地球化学研究。Email:35494194@qq.com。

通信作者: 张西营。Email:xyzchina@isl.ac.cn。

2 研究方法

2.1 野外取样

此次工作以格尔木河流域为主要野外考察区域,自格尔木河西部支流昆仑河的源头(冲积扇前缘出露的地下水)开始采集样品,间隔 5

~10 km,直至达布逊湖南岸(盐湖集团的盐田),共采集格尔木河水样 34 个。其中昆仑河主流 19 个(Gh01 ~ Gh19);格尔木河支流 2 个(Gz01,Gz02);秀水河 3 个(Xs01 ~ Xs03);东格尔木河 4 个(Gh26 ~ Gh29);西格尔木河 6 个(Gh20 ~ Gh25)(图 1)。所有水样现场测其 pH、温度后用聚乙烯塑料瓶封装。

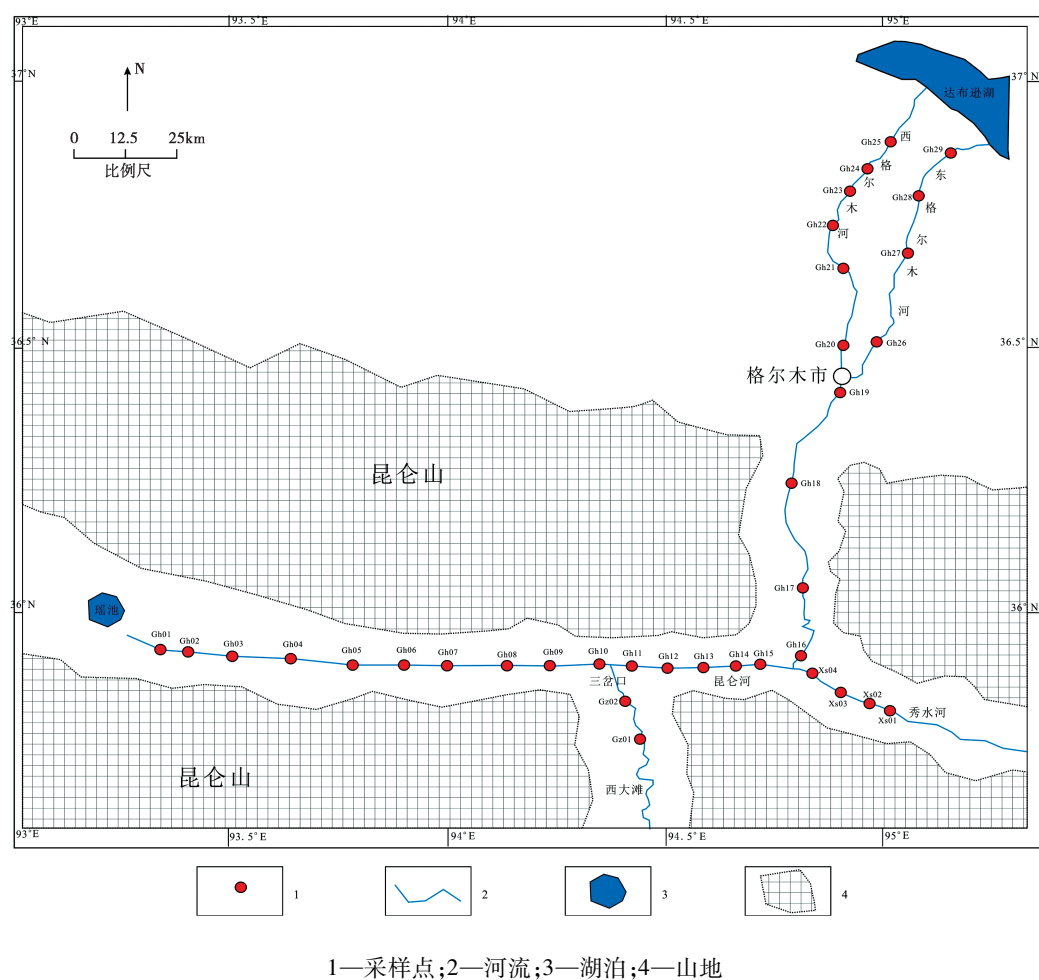


图 1 格尔木河流样品采集点

Fig. 1 Sampling points along Golmud river

2.2 样品分析

对这些水样的钾(K)硼(B)锂(Li)资源性元素进行了测试,仪器为电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-AES)。K、Li、B 的检测限分别为 0.04 mg/L、0.01 mg/L 和 0.042 mg/L。测试在中国科学院青海盐湖研究所完成。

3 格尔木河流域 K、B、Li 的水化学特征

格尔木流域水系均发源于山区。水体在形成径流、排泄(散失)的运动过程中,对 K、B、Li 进行溶解、水解、搬运及堆积的水文化学作用,沿流域方向一般形成较明显径向水平分带规

律;沿流域上、中、下游,水体中的资源性元素 K、B、Li 含量均表现出明显的逐渐增大趋势,增加幅度分别为 $K^+ = 0.94 \sim 25.08 \text{ mg/L}$, $B^{3+} = 0.02 \sim 2.42 \text{ mg/L}$, $Li^+ = 0.01 \sim 0.22 \text{ mg/L}$, 同流域水体盐分的空间分异呈相同规律(表 1)。K、B、Li 的这种水平径向分带规律,反映出该流域以蒸发浓缩为主的地球化学成因类型,并由此可以依这种分异性划分出溶滤—径流、蒸发—径流和淋溶—蒸发浓缩富集等 K、B、Li 迁移与富集的 3 个水文地球化学分带型。溶滤—径流地带型一般分布于山区,含钾、硼、锂矿物经风化由大气降水淋溶呈离子态或络合态,随水流向下迁移;蒸发—径流地带型,分布于山前倾斜坡地的上、中部,潜水中的离子随地下径流迁移,并对围岩中的 K、B、Li 进行溶滤;淋溶—蒸发浓缩富集带,分布于流域中下游冲积细土

地带及终端尾间区,经过蒸发浓缩作用,在尾间盐湖区各类组分不断富集,使资源性元素 K、B、Li 含量明显增高。

3.1 K、B、Li 元素的空间变化关系

格尔木河流域上游(Gh01 ~ Gh10),高程逐渐降低,水体 pH 变化很小,K、B、Li 含量有所增大,但变化并不显著;格尔木河流域中游(Gh11 ~ Gh15),高程逐渐降低,水体 pH 变化很小,K、B、Li 含量有所增大,变化并不显著;格尔木河下游流域(Gh16 ~ Gh29),高程继续降低,水体 pH 略有变大,而 K、B、Li 含量显著增大。总体而言,K、B、Li 含量随格尔木河流向而逐渐增大,这与河水流经的岩石性质及深部地下水补给有关。

表 1 格尔木河水的 K、B、Li 元素含量

Table 1 K, B and Li contents of samples from Golmud river

mg/L

样品编号	高程/m	pH	TDS	元素含量		
				B	K	Li
Gh01	4 441	8.35	107	0.03	0.94	0.01
Gh02	4 383	8.62	521	0.24	3.01	0.02
Gh03	4 280	8.45	390	0.17	2.88	0.02
Gh04	4 204	8.42	519	0.28	3.44	0.03
Gh05	4 107	8.42	506	0.24	3.00	0.03
Gh06	3 989	8.43	481	0.24	3.17	0.03
Gh07	3 903	8.52	444	0.21	2.80	0.01
Gh08	3 822	8.54	440	0.20	2.94	0.02
Gh09	3 759	8.41	461	0.30	3.49	0.02
Gh10	3 710	8.43	519	0.30	3.76	0.03
Gh11	3 678	8.43	470	0.30	3.46	0.03
Gh12	3 591	8.40	479	0.29	3.54	0.03
Gh13	3 565	8.44	485	0.29	3.42	0.03
Gh14	3 436	8.46	534	0.31	4.20	0.03
Gh15	3 421	8.39	497	0.28	3.03	0.04
Gh16	3 294	8.25	824	1.02	4.96	0.06
Gh17	3 128	8.31	635	0.93	4.41	0.05
Gh18	3081	8.11	603	1.00	4.25	0.05
Gh19	2 891	8.27	600	1.00	4.40	0.05
Gh20	2 806	8.38	579	0.93	4.03	0.05
Gh21	2 762	8.36	621	0.89	4.55	0.06
Gh22	2 735	8.23	624	0.86	4.79	0.05

续表 1:

样品编号	高程/m	pH	TDS	元素含量		
				B	K	Li
Gh23	2 724	8. 40	666	0. 86	4. 99	0. 06
Gh24	2 720	8. 50	667	0. 89	5. 14	0. 05
Gh25	2 708	8. 23	673	0. 92	5. 38	0. 06
Gh26	2 764	7. 82	1 095	1. 83	12. 12	0. 11
Gh27	2 709	8. 07	2 073	2. 42	25. 08	0. 22
Gh28	2 691	8. 52	1 404	1. 70	15. 39	0. 14
Gh29	2 674	8. 52	1 675	1. 82	18. 76	0. 16
Gz01	4 207	8. 45	374	0. 06	3. 18	0. 03
Gz02	4 108	8. 44	339	0. 48	2. 62	0. 06
Xs01	3 463	8. 76	747	2. 23	5. 00	0. 07
Xs02	3 417	8. 73	741	2. 13	4. 33	0. 07
Xs03	3 349	8. 73	749	2. 14	4. 37	0. 07

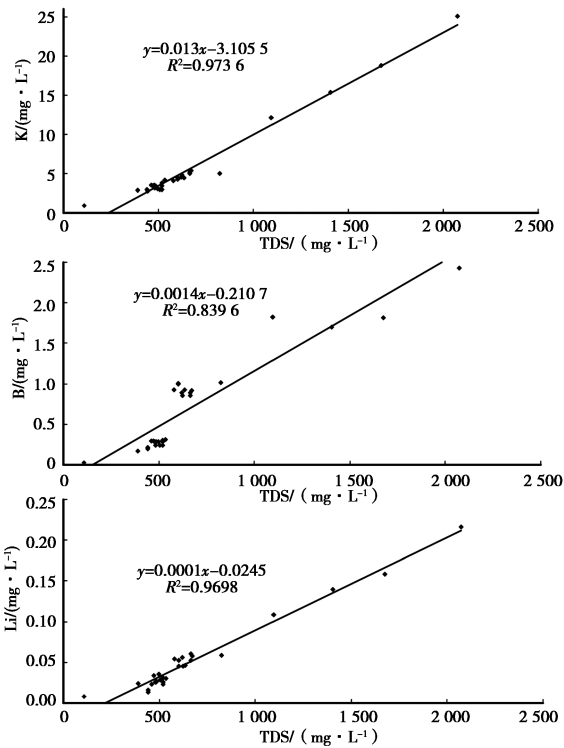


图 2 矿化度与 K、B、Li 含量关系

Fig. 2 Relationships of salinity with the content of K, B and Li

3. 2 K、B、Li 与 TDS 的变化关系

根据测试结果,TDS 的变化范围在107. 2 ~

2 073. 4 mg/L,根据 TDS 的高低可将格尔木河天然水划分淡水(TDS < 1 000 mg/L),占采样比例的 83%;微咸水(1 000 mg/L < TDS < 3 000 mg/L)^[12],所占比例为 17%。当格尔木河水 TDS > 1 000 mg/L,河水微咸,而 K、B、Li 含量明显升高,几乎是其余样品含量的 2 倍;说明在流域下游冲积细土地带及终端尾闾区,在蒸发浓缩作用下,K、B、Li 含量变化较大。从图 2中可以看出格尔木河水的矿化度和 K、B、Li 之间表现为线性正相关关系,说明整个流域物理化学作用以风化溶滤、水—岩作用以及蒸发—浓缩为主。

3. 3 K、B、Li 在格尔木河东部主流和西部主流的变化特征

格尔木河发源于昆仑山北坡,上游分东西两大支流,东支为雪水河,西支为昆仑河。在戈壁区(16 ~ 19 号样点)中 16 号样点之前,另一条格尔木河东部主流(秀水河)进入补给。以 16 号样点为汇入点,分别对格尔木河东(秀水河)、西(昆仑河)两个主流的河水样品进行了分析。为了更好地进行对比,以两主流汇流处为中心点,向东、西主流的上游及汇流处主河道下游各选取了 3 个采样点求其平均值,以此来评价戈壁区东、西主流对格尔木河河水化学组

表 2 格尔木上游东部主流和西部主流河水的 K、B、Li 含量
Table 2 Content of K, B and Li in the eastern mainstream water, western mainstream water and Golmud River water

河 流	pH	TDS	K	B	Li
西部主流	8.43	0.51	3.55	0.29	0.03
东部主流	8.74	0.75	4.57	2.17	0.07
格尔木河	8.22	0.69	4.54	0.98	0.05

分及察尔汗盐湖成盐物质的贡献,统计数据见表 2。

从表 2 数据可以看出,东部主流(秀水河)河水中的 K、B、Li 含量都比西部主流要高。东部主流中的 B 比西部主流高 7 倍, Li 的含量也多 1 倍;东、西主流河水中的 K 含量相差不大,东部主流稍高在东部主流汇入之后,格尔木河的矿化度(TDS)明显增加。考虑到河流发育在地热活动强烈地区,深部热液的补给应该是使河水中具有较高离子含量的成因。上述数据表明,格尔木河东部主流(秀水河)是格尔木河流主要化学组分最为重要的贡献者(主要是 B 和 Li 等, K 的贡献率两者相似),也是察尔汗盐湖成盐物质的主要来源。

格尔木河在进入格尔木市区之后又分为东、西两河,并与诸多泉集河并行继续向北径流动,最终注入达布逊湖。格尔木东河与格尔木西河河水中的 K、B、Li 也存在含量差异,格尔木西河河水中 K 的平均含量为 4.81 mg/L, B 的平均含量为 0.89 mg/L, Li 的平均含量为 0.06 mg/L;而格尔木东河河水中 K 的平均含量为 17.84 mg/L, B 的平均含量为 1.94 mg/L, Li 的平均含量为 0.16 mg/L。两者存在差异,这是因为格尔木西河属淡水,矿化度平均为 638.15 mg/L,类型没有变化;而格尔木东河已属半咸水,矿化大都高于 1 000 mg/L,水型即从碳酸盐型转化为氯化物型。两河汇集的达布逊湖已演化为一卤水资源湖,平均矿化度为 326 283 mg/L,是河水的 300 多倍,已属极浓卤水类,且 K、B、Li 都在湖中富集成矿。

4 结论与建议

从格尔木河水化学变化特征看,因河水流动过程中不断从河岸沉积物中淋滤各种化学组分,而流域植被稀少,富集消耗的量很少,因而这些常量可溶化学组分总体上从山前到湖滨矿化度增高;再加上流域期间溶滤—径流、蒸发—径流和淋溶—蒸发浓缩等 3 种地球化学作用的影响,使得资源性元素 K、B、Li 含量增高。格尔木河水的矿化度和 K、B、Li 之间表现为线性正相关关系,说明整个流域物理化学作用以风化—溶滤、水—岩作用以及蒸发—浓缩为主。对格尔木河上游来说,东部主流(秀水河)是格尔木河流主要贡献者(尤其是 B 和 Li)。K、B、Li 元素浓度的变化在其到达达布逊湖水入口时形成了一高度富集区,这与整个柴达木盆地盐湖 K、B、Li 资源的形成过程是一致的,即为柴达木湖盆是在特定气候环境、地质构造条件下长期演化的结果。

鉴于盐湖中资源性元素 K、B、Li 的相关共存性及高度富集,在开发 K 资源的同时,也应考虑利用 B、Li 等与其密切相关资源的综合利用。应采取有效合理的措施保护格尔木河水流域,使 K、B、Li 等资源性元素得到有效长期利用。

致谢:本项目还得到中国科学院青海盐湖研究所“青年引导基金”项目“柴达木盆地盐湖石盐包体成分及其与钾锂硼富集规律研究”的资助。

参考文献:

- [1] 李健,王辉,黄勇,等. 柴达木盆地格尔木河流域生态需水量初步估算探讨[J]. 水文地质工程地质, 2008, (1): 71 - 75.
- [2] 孔娜,渠涛,谭红兵,等. 柴达木盆地河流同位素分布特征及径流变化[J]. 干旱区研究, 2014, 31(5): 948 - 954.
- [3] 谭红兵,于升松,刘兴起,等. 格尔木河中下游 - 达布逊湖段水化学变化特征研究[J]. 湖泊科学, 2001, 13(1): 43 - 50.
- [4] 尚小刚,黄勇,辛元红,等. 格尔木河流域地下水水化学特征及其演化规律[J]. 青海科技, 2006, (4): 63 - 66.
- [5] Lowenstein T K, Spencer R J, Zhang P X. Origin of ancient potash evaporates: clues from the modern nonmarine Qaidam Basin of western China [J]. Science, 1989, 245 (4922): 1090 - 1092.
- [6] Tan H B, Rao W B, Chen J S, *et al.* Chemical and Isotopic Approach to Groundwater Cycle in Western Qaidam Basin, China [J]. Chinese Geographic Science, 2009, 19 (4): 357 - 364.
- [7] Fan Q S, Ma H Z, Lai Z P, *et al.* Origin and evolution of oil-field brines from Tertiary strata in western Qaidam Basin: constraints from $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, δD , $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{34}\text{S}$ and water chemistry [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2010, 29 (4): 446 - 454.
- [8] Yu J Q, Gao C L, Cheng A Y. Geomorphic, hydroclimatic and hydrothermal controls on the formation of lithium brine deposits in the Qaidam Basin, northern Tibetan Plateau, China [J]. Ore Geology Reviews, 2013, 50: 171 - 183.
- [9] 于升松. 察尔汗盐湖首采区开采过程中钾卤水动态及其预测[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 197 - 204.
- [10] 张彭熹, 张保珍, 洛温斯坦 T K, 等. 古代异常钾盐蒸发盐的成因——以柴达木盆地察尔汗盐湖钾盐的形成为例 [M]. 北京: 科学出版社, 1993: 23 - 51.
- [11] 张彭熹. 柴达木盆地盐湖 [M]. 北京: 科学出版社, 1987: 45 - 92.
- [12] 刘英俊. 元素地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1984.

Distribution Characteristics of K, Li and B and their Enrichments Rule in the Water of Golmud River Drainage Area

TANG Qi-liang¹, ZANG Xi-ying¹, MIAO Wei-liang^{1,2}, LI Yong-shou^{1,2}, LI Wen-Xia¹,
WANG Bo¹, XUE Yuan¹, ZHU Guang-qin¹

(1. Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China)

Abstract: In the Qaidam Golmud River drainage area, with appearance of the inland river system and disappearance of surface runoffs, the distribution of potassium (K), boron (B), lithium (Li) and other beneficial elements from the mountains to the Salt Lake area, along the Golmud River can be divided into three distinctly hydrogeochemical zones: leaching-runoff zone, runoff-evaporation area and filtration-evaporation enrichment zone. The contents of K, B and Li in river waters increase with increasing salinity and there are positive correlations among these elements. The river waters at saline lake area are remarkably enriched in K, B, Li and other resource elements. It is found that the Xiushui River of eastern mainstream of Golmud River is the major contributor to B and Li in waters of Golmud River.

Key words: Golmud River, Potassium (K); Boron (B); Lithium (Li); Distribution characteristics; Enrichment rule