第 13 卷 第 1 期
2001 年 3 月

湖 泊 科 学
JOURNAL OF LAKE SCIENCES

Vol. 13, No. 1
Mar., 2001

格尔木河中下游—达布逊湖段水化学变化特征研究*

谭红兵　刘兴起　于升松　吕亚萍

(中国科学院盐湖研究所,西宁 810008)

提　要　1999 年 8 月对格尔木河—达布逊湖流域进行了系统考察,并对其地表水体取样分析后发现,河水水化学分布空间上从源头至湖中逐渐咸化,表现出明显的地貌分区性特征,且东河段水质异常咸化;时间上河水矿化度总体表现为逐年上升的趋势,湖水则相对稳定.作为流域农牧业发展的水源地和近几年格尔木市移民建设的重点地区,其地表水体水化学的时空异常变化应引起足够的重视.

关键词　格尔木河　达布逊湖　水化学特征

分类号　P342

格尔木河作为察尔汗卤水资源湖——达布逊湖的主要地表水补给源,不论对湖的水量还是盐类资源的补充都有着十分重要的影响,同时格尔河作为柴达木盆地第二大内陆河,是格尔木市数十万人民的生命线,因而研究其水体主要离子与组成的变化特征,对选择和改良农业、工业和生活的用水水源,防治土壤盐泽化和水下建筑物的施工及保护具有重要的意义.本文以 1999 年 8 月对格尔木河水的系统考察和常规化学分析数据为基础,在分析前人研究资料的基础上,阐述了格尔木河中下游—达布逊湖段水化学的时空变化特征及局部出现水化学异常的原因,提出流域今后水资源合理利用的可行性建议.

1　流域概况

格尔木河源于昆仑山主峰布尔汗布达山,出山口后蜿蜒北流最后注入达布逊湖,河长 352km.集水面积 18468km^2.达布逊湖湖体呈东西走向,历年最大面积 1001.04km^2(1989 年 12 月),最大水深 1.02m(1958 年 11 月)[1],基本为一闭流湖,南缘注入该湖的东、西格尔木河是其唯一地表水补给源.

格尔木河流域气候干旱,降水甚微,平均年降雨量仅为 40.2mm,但蒸发强烈,蒸发量高达 3066mm/a[1].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[2],昆仑山降水(雨,冰雪)为格尔木河的主要补给源.就地貌特征而言,由于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,大体可划

* 中国科学院湖沼专项特别支持项目(ZKHZ-04).
收稿日期:1999-11-04;收到修改稿日期:2000-09-16.谭红兵,男,1972 年生,硕士.

分为戈壁、洪冲积扇、洪冲积平原、湖积平原及末端的卤水湖5个地貌单元区(图1).格尔木市以南的戈壁区几乎全为厚厚的洪冲积、风积砂砾石所覆盖,除河道两旁外几乎没有植被生长;而格尔木市以北洪冲积扇区有大片农田人口分布;再往北洪冲积、湖积平原区被厚厚的冲积层粉砂、亚砂土、细砂及近湖缘的淤泥质覆盖,富含盐分,地表常见有白色盐粒析出.

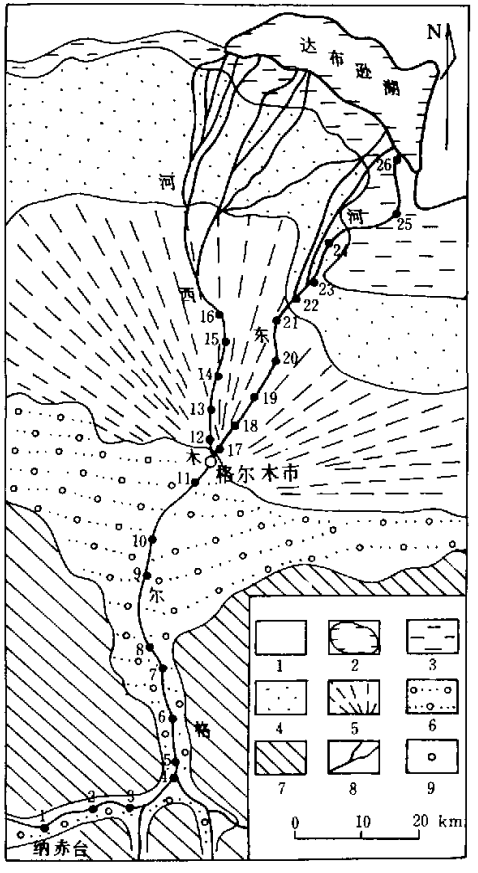

图1 格尔木河—达布逊湖段地貌分区及采样位置图
1.盐滩;2.卤水湖;3.湖积平原;4.洪冲积平原;
5.洪冲积扇;6.戈壁;7.山地丘陵;8.河流;9.采样点
Fig.1 Geomorphic zoning and sample site of Golmud River-Dabsan Lake field

2 研究方法

2.1 野外考察取样及实验分析

此次考察,以格尔木河中下游为主线,南至昆仑山前缘的纳赤台(图1),北至达布逊湖.选样地点以主河道中心为主,格尔木市以南因地貌类型单一大约以10km间隔采样,以北地貌类型复杂,同时又因格尔木市及其以北人类活动的影响,故而加密样点,大约以5km为间距采取,总计26个.所有水样现场测其比重、温度后用塑料瓶封装及时运回.达布逊湖水因1992年同一季节中国科学院盐湖研究所已作过系统取样分析,横穿全湖8条剖面,共计采取表层湖水样品26个[1],此次未取样分析.样品分析均采用常规分析法,个别含量低的元素(如K等)用原子吸收火焰法测定.分析计算结果如表1.

3 水化学空间变化特征

从此次格尔木河沿程26个水样的化学分析结果可见,从起点纳赤台(1号点)到末端达布逊湖整个流程区,其水化学特征表现出明显的地貌差异性,就矿化度而言,总体上从发源地到湖中逐渐增高,但从其空间变化规律来看,又可按地貌单元划分为5个区2个亚区(图2).

3.1 各分区水化学特征

Ⅰ.戈壁区(1-11号样点):矿化度基本变化在400mg/L左右,平均438.317mg/L,离差系数13.09%,变化不大,属低矿化度区,按矿化度分类属于超淡水,按硬度分类(Mg^{2+}、Ca^{2+}毫摩尔浓度之和),平均仅1.900mmol/L,属微硬水.具体各种化学组分含量变化,除Cl^-变化较大,离差系数为46.2%外,其余离子变化都相对不大.将主要化学组分根据其阴阳离子含量相对大小(摩尔浓度与其

表 1　格尔木河中下游—布达逊湖段主要水化学成分分析计算结果

Tab.1　Analytical and calculated results of hydrochemistry of Golmud River

分区	样品号	比重	矿化度(mg/L)	离子含量(mg/L)								硬度(mmol/L)
				Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	
Ⅰ	1	1.001	406.050	52.414	3.868	24.20	31.83	51.689	39.514	19.383	183.152	1.804
	2	1.001	405.124	55.773	3.488	18.85	39.14	58.674	43.629	21.664	164.605	1.750
	3	1.002	405.871	52.062	3.764	24.39	32.90	56.928	44.864	18.243	172.719	1.824
	4	1.001	560.347	76.536	3.103	39.91	43.86	162.751	14.283	20.523	199.381	2.735
	5	1.005	453.614	59.788	4.055	24.67	38.53	64.262	53.920	15.963	192.426	1.975
	6	1.001	376.736	53.577	3.397	21.25	30.46	60.421	45.688	20.523	141.421	1.635
	7	1.002	496.575	83.280	3.774	17.92	36.55	65.310	58.036	7.981	223.724	1.650
	8	1.000	429.997	55.824	3.479	23.46	38.08	64.612	47.746	15.963	180.834	1.915
	9	1.001	450.138	68.148	3.788	35.57	19.95	79.629	69.560	22.804	150.695	1.960
	10	1.001	475.163	69.020	4.288	23.93	41.27	78.232	61.740	22.804	173.879	2.015
	11	1.006	361.873	40.667	4.752	15.43	41.42	36.322	44.191	17.103	162.287	1.660
平均		1.002	438.317	60.645	3.796	24.507	35.817	70.803	47.563	18.45	176.829	1.900
离差(%)		0.18	13.09	20.39	11.96	37.85	18.83	46.2	30.07	23.10	13.06	16.23
Ⅱ$_1$	12	1.006	381.641	50.460	4.437	20.32	32.75	43.307	45.276	22.804	162.287	1.635
	13	1.000	496.323	66.983	4.605	27.71	39.60	76.486	66.679	11.402	202.858	2.128
	14	1.000	541.086	77.770	5.087	30.21	42.19	87.313	72.853	22.804	202.859	2.295
	15	1.003	599.339	133.749	4.061	20.79	35.94	186.500	55.154	18.243	144.899	1.750
	16	1.001	512.897	73.138	4.665	31.69	35.33	84.519	67.091	18.243	198.222	2.185
平均		1.002	506.257	80.42	4.571	26.144	37.162	95.625	61.411	18.700	182.225	2.003
离差(%)		0.25	15.79	39.23	8.14	20.27	8.82	56.2	11.07	24.99	14.77	14.15
Ⅱ$_2$	17	1.000	864.868	155.751	8.993	56.26	36.71	221.076	108.251	22.804	255.022	3.23
	18	1.001	1830.858	403.331	7.238	107.25	54.83	591.632	295.940	18.243	352.394	5.778
	19	1.001	2353.569	574.125	16.583	127.21	46.61	847.284	382.788	22.804	336.165	6.393
	20	1.001	2909.828	689.358	25.966	182.54	44.02	1075.695	402.956	62.711	426.582	8.605
	21	1.001	2956.160	708.203	13.902	179.12	50.87	1077.790	443.710	49.028	433.537	8.635
平均		1.001	2183.057	506.154	14.536	130.476	46.608	762.695	326.729	35.118	360.740	6.528
离差(%)		0	39.78	45.52	50.93	40.44	14.80	47.59	40.171	55.93	20.32	34.43
Ⅲ	22	1.000	1090.5858	221.431	10.202	61.99	45.69	308.738	185.632	26.224	230.679	3.690
	23	1.000	958.657	194.908	7.757	58.01	34.27	269.273	144.472	25.084	224.883	3.240
	24	1.000	930.632	174.846	7.881	50.53	51.94	233.998	175.342	22.804	213.291	3.373
平均		1.000	993.292	197.062	8.613	56.843	43.967	337.336	168.482	24.707	222.951	3.435
离差(%)		0	8.60	11.86	15.99	10.24	20.38	25.50	12.71	7.05	3.97	6.73
Ⅳ	25	1.001	1007.438	177.120	11.203	55.43	70.52	257.049	275.368	22.804	137.944	4.037
	26	1.000	1823.812	396.450	20.729	123.60	69.30	770.099	353.976	45.608	44.049	6.811
平均		1.001	1415.625	286.785	15.966	89.515	69.910	513.574	314.672	34.206	90.996	5.425
离差(%)		0	40.78	54.08	42.19	53.85	1.23	70.64	17.66	47.14	72.96	36.17
平均	达布	1.221	326283	58198	13070	38356	691	210334	5105	－	787	－
离差(%)	逊湖	0.20	5.85	8.65	10.89	13.10	19.83	6.28	5.62	－	10.92	－

化合价的比值),按阿列金分类[3],其水型为 C_{II}^{Na}型,即碳酸盐类钠组Ⅱ型水.

Ⅱ.洪冲积扇区,又可划分为两个亚区:

Ⅱ$_1$.洪冲积扇区西河段(12－16 号样品):矿化度平均 506.257mg/L,离差系数 15.79%,

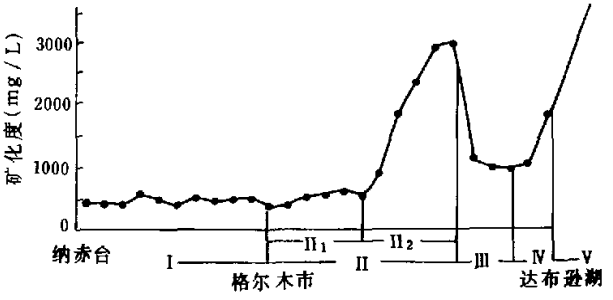

图2 格尔木河中下游段水体矿化度空间变化曲线

Fig.2 Changes of mineralization in the middle and lower reaches of Golmud River

变化较小.虽比戈壁区稍高,但仍属淡水,硬度平均值为2.003mmol/L,分类上同戈壁区属微硬水.至于具体化学组分,仍为Cl^-含量变化最大,离差系数为56.2%,其余离子变化都很小(10%左右).水型同戈壁区,即C_{II}^{Na}型水.由此可见,格尔木西河水从山前穿戈壁区到冲洪积扇区化学组分含量相对稳定,矿化度变化小,水型没有变化.

II_2.洪冲积扇区东河段(17-21号样品):该区域水化学特征出现显著的异常变化(图2),5个采样点除17号点外,其余矿化度都高于1000mg/L,离差系数39.78%,变化较大,平均2183.057mg/L,是II_1区的4倍多,分类上已属半咸水类.平均硬度为6.528mmol/L,离差系数34.42%,变化大,属极硬水.化学组分含量变化上除Ca^{2+}、HCO_3^-含量离差系数较小以外(14.8%、20.32%),其余各种离子含量变化都很大,离差系数大于30%,表现出明显的化学不稳定性.至于水型已突变为Cl_{III}^{Na}型水,即从碳酸盐型转化为氯化物型.

Ⅲ、Ⅳ.洪冲积平原区、湖积平原区(22-24号样品属洪冲积平原区,25-26号属湖积平原区):由于自22号样品以后均属格尔木东河主流或支流水,所以水化学基本与II_2区洪冲积扇东河段相似,但矿化度均极II_2区高,在洪冲积平原区大体为900-1000mg/L,平均为993.272mg/L,又转变为淡水类.而湖积平原区两个样品都大于1000mg/L,平均1415.625mg/L,仍属半咸水类,但相对于II_2区咸度还是较低.如按硬度分类,洪冲积平原区属硬水,而湖积平原区仍为极硬水.具体化学组分含量变化前者相对稳定,矿化度、硬度变化很小,离差系数都基本在10%左右,后者只有两个样品,变化较大.从水型变化上看,前者微有变化,转为Cl_{II}^{Na}型水,而后者仍为Cl_{III}^{Na}型水.

Ⅴ.河口—达布逊湖:根据前人已有的资料分析[1],达布逊湖已演化为一卤水资源湖,平均矿化度326283mg/L,是河水的300多倍,已属极浓卤水类.从表面各主要离子的含量变化看,矿化度离差系数只有5.85%,其余具体组分含量变化都在10%左右,属极均匀和均匀型,水型属Cl_{III}^{Mg}型水,从河水的Na组变为Mg组,说明湖中Mg^{2+}的富集.

3.2 格尔木河中下游水化学成分变化的相关性特征

至于格尔木河水中主要组成成分变化的相关性特征,从分析的26个样品8种主要组成离子的相关系数看(表2),阴阳离子Na^+-Cl^-,Mg^{2+}-Cl^-之间具有显著的正相关性(相关系数分

别为 0.993,0.991),其次,Na^+-SO_4^{2-},Mg^{2+}-SO_4^{2-} 之间也具有较高的正相关性(相关系数大于 0.95),表明河水中溶解的化学物质主要为 NaCl、$MgCl_2$,其次为 Na_2SO_4、$MgSO_4$ 等盐类. 另外,格尔木河水的矿化度和硬度之间也表现为线性正相关关系(图 3),相关系数为 0.986,相关方程为

$$硬度(mmol/L) = 0.0027 \times 矿化度(mg/L) + 0.6843$$

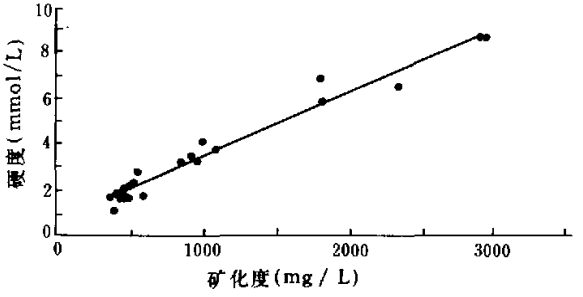

图 3　矿化度—硬度变化关系图

Fig.3　Relationship of mineralization and degree of hardness

表 2　格尔木河中下游主要水化学组成离子相关系数表

Tab.2　Corrilation of main chemical component in Golmud river

	Na^+	K^+	Mg_{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-
K^+	0.868							
Mg^{2+}	0.985	0.892						
Ca^{2+}	0.485	0.574	0.510					
Cl^-	0.993	0.895	0.991	0.528				
SO_4^{2-}	0.953	0.892	0.952	0.666	0.955			
CO_3^{2-}	0.785	0.853	0.839	0.372	0.819	0.745		
HCO_3^-	0.753	0.465	0.715	0.079	0.687	0.608	0.449	

矿化度和硬度之间较好的正相关性表明,格尔木河水水化学特征主要受控于非地带性因素(地貌、地质岩性条件)影响,地带性因素(降水量等)作用次之.

3.3　水化学空间变化的原因

从格尔木河水化学变化特征看,因河水流动的过程中不断从河岸两旁沉积物中淋滤出各种化学组分,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、硬度增高.至于不同分区具体化学组分含量变化,西河比东河稳定,水型没有出现大的变化.原因是西河水量大,流速快,河流分支少,同时流过的区域地貌类型单一,沿程都是以河水补给地下水为主,没有受其它类型水体的扰动,含量自然相对稳定.从整个流程水化学变化来看,最显著的异常区是洪冲积扇区东河段($Ⅱ_2$ 亚区),该亚区矿化度、硬度、水型都发生了突变,化学组分含量变化也极不稳定,出现此异常的直接原因,根据此次考察及刘永宏的研究资料[4],该河段地层含盐量(地层土壤含盐量每百克 0.329－0.870g)及浅层潜水矿化度

(1008mg/L)都比较高,而河流在此亚区流速极缓,分支多,与地下浅埋潜水融会贯通、因而有充分的时间溶解周围地层盐分,导致区域水质变咸,硬度增加,除此之外,开阔面状、浅层河流强烈的蒸发浓缩也是水体变咸的原因.而当河流缓缓流过此亚区之后,进入洪冲积平原区(Ⅲ区),因东河水与西干渠引来的西河水相汇,矿化度、硬度基本介于$Ⅱ_1$亚区和$Ⅱ_2$亚区之间,兼具二者水化学特征.至于湖积平原区(Ⅳ区)矿化度又升高,水质变咸,主要受达布逊湖水的影响.当湖水高涨外溢时,极浓的湖水(平均矿化度326283mg/L)漫上湖积平原,湖水退后,盐分沉积于淤泥中,河水在流动过程中不断侧蚀两岸,由于土壤-水体存在盐度梯度,大量的可溶性盐分进入河水,使其硬度增大.至于河流入口——达布逊湖(Ⅴ区)能成为目前状态的盐湖,主要因其本身是一干盐湖基础上生成的溶蚀湖,然后又在极为干旱的气候环境下经过漫长的蒸发浓缩演化而成.

4 河—湖水化学年际变化特征及原因

从时间跨度上而言,格尔木河水矿化度从20世纪60年代至今总体表现为增高,不断咸化的趋势(图4),这里以能收集到的60、70、80、90年代六个年份的资料,对同一季节(8月份)、同一地点(达布逊湖口)对比分析可以看出,矿化度从1967年开始逐年增高,1999年矿化度比1967年增加了3倍多.80年代初(1984年)至90年代末(1999年)增加幅度尤为显著,其原因主要受盆地持续干旱的气候环境影响和下游河段用水量的增加所致.预计今后如果气候持续干旱,格尔木河水用量进一步增加,水质可能会继续咸化.至于达布逊湖,从1966年到1994年期间9年的资料分析,由于湖水自身的调节作用,卤水的矿化度变化不大(图5),化学组成相对于河水稳定的多,主要原因是卤水已达饱和,如果入湖水量增加,析出的盐类矿物以及高浓度的晶间卤水又会重新溶解、扩散补充进去,因而引起的浓度变化自然不会很大;而相反,如果入湖离子浓度增大、湖水浓缩的话,多余的盐分便会结晶析出,也不会引起湖水浓度大的变化.

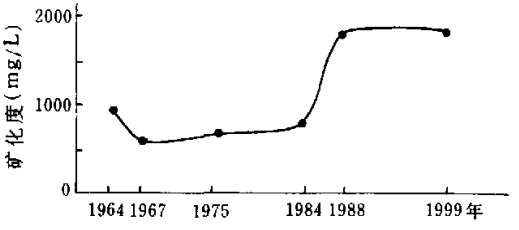

图4 格尔木河水矿化度多年变化趋势

Fig.4 Fluctuation of water mineralization of Golmud river in different years

5 结论和建议

由上所述,格尔木河作为西北地区干旱区河流,其水化学变化具有典型的环境地球化学特征.与我国一些大河如长江相比,矿化度高,最低戈壁区段438.317mg/L,也比长江河源区397.2mg/L稍高,长江最高河段1000mg/L,而格尔木市以北河段除西河区段(506.257mg/L)外,平均矿化度1530.324mg/L,远高于长江最高河段[5].而从柴达木盆地局部来看,不论是以

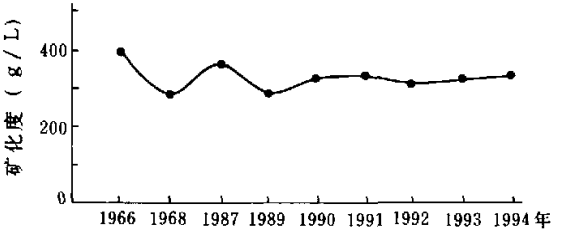

图 5　达布逊湖水矿化度多年变化趋势

Fig.5　Fluctuation of Dabson Lake water mineralization in different years

北的鱼卡河(矿化度平均值 936.65mg/L),以西的乌图美仁河(平均值 689.08mg/L),还是东部的诺木洪河(平均值 982.13mg/L)[6],均以格尔木河水矿化度平均值(1107.310mg/L)最高,表现出构造运动过程中水化学成分由盆地四周向中心迁移的特征.另外,格尔木河水从山前至湖中,矿化度总体呈增高趋势,且表现出明显的地貌分区性,各特征参数变化与地貌类型密切相关,从中上游的碳酸盐钠钙质水(C_{II}^{Na-Ca}),变为下游的氯化物钠质水(Cl_{II}^{Na}-$_{III}$),最后至湖中又转化为氯化物镁质水(Cl_{III}^{Mg}).在洪冲积扇区东河段由于地层本身含盐量高,再加上强烈的蒸发浓缩,导致区域水质咸化,成为整个流程,甚至整个柴达木盆地河水矿化度最高的区段,形成一特征的地球化学障.格尔木西河水化学稳定,而东河水化学组分受控于外围地质环境,类型多变,水质已被咸化.河水中各主要组分之间以及矿化度与硬度之间具有显著的线性正相关关系,反映了非地带性自然因素的影响.从演化来看,格尔木河水矿化度从 20 世纪 60 年代至今,由于气候环境的变化和人为用水量的增加总体表现为上升的趋势,而达布逊湖水由于自身的调节,矿化度多年变化趋势稳定,人为因素影响不大.

针对上述河湖水化学的变化特征,建议以后该区水资源的开发应优先开发地下水,特别是深层承压水,在地下水开发有困难的条件下,应优先开发利用西河水,尽可能避免直接调用东河水进行农田灌溉和工业生产,这样可使地表水始终作为地下水的补给源而不直接去调用,从而防止如洪冲积扇前缘这样的区域因地下水位上升造成地表盐碱化灾害.同时建议设法清除紧临格尔木市以北洪冲积扇区东河段这一地球化学障,要清除这一屏障,疏通河道,加快流速是关键.如果人工开挖一条固定河道,让四周呈现面状漫流的水集流成河,变成带状快速流过,久而久之,区域富含盐分的地层也会慢慢因盐分溶解带走而减少,既可缓解地下水长期漫过地表导致周围农田盐碱化,又可达到自然净化水质的目的.从达布逊湖卤水资源开采过程中多年矿化度变化特征看,目前的开采量是比较合理的,但将来如果增大开采量,就必须相应的增加补水量.可作为其地表水主要补给源的格尔木河水矿化度已呈逐年上升的趋势,不能过量引用.所以,在考虑扩大生产的同时,如何保护水质,实现可持续性利用,是首要解决的问题.

参 考 文 献

1　于升松等.察尔汗盐湖首采区开采过程中钾卤水动态及其预测.北京:科学出版社,1999.197－204

2　张彭熹,张保珍等.古代异常钾盐蒸发岩的成因——以柴达木盆地察尔汗盐湖钾盐的形成为例.北京:科学出版社,1993.

23 - 51
3 阿列金.水化学原理.北京:地质出版社,1961
4 刘永宏.格尔木冲洪积扇戈壁带石翼上段水质变成的原因.青海地质,1998,(2):45 - 50
5 张立成、董文江等.长江水系河水的地球化学特征.地理学报,1992,47(3):221 - 231
6 张彭熹.柴达木盆地盐湖.北京:科学出版社,1987

Character of Hydrochemistry in Golmud River - Dabsan Lake Water

TAN Hongbing LIU Xinqi YU Shengsong LU Yaping
(*Qinghai Institute of Salt Lake, Chinese Academy of Sciences, Xining* 810008, *P. R. China*)

Abstract

In August, 1999, we investigated Golmud River - Dabsan Lake field and sampled systimatically from surface water along the river from the source - Kunlun Moutian to the end - Dabsan Lake. After that, we analysed the principal chemical composition of the river water and calculated some parameters such as mineralization, and types of hydrochemistry and so on. According to the fluctuation of mineralization along the river from south to north, five different regions may be distinguished: (1) region Ⅰ: gobi; (2) region Ⅱ; alluvial-pluvial fan; (3) region Ⅲ: alluvial-pluvial plain; (4) region Ⅳ: lacustrine plain; (5) region Ⅴ: brine lake, among which region Ⅱ can also be divided into two sub-regions: ($Ⅱ_1$) the part of west river of alluvial-pluvial fan and ($Ⅱ_2$) the part of the east river of alluvial-pluvial fan. From region Ⅰ to region Ⅴ, the mineralization increased as a whole. There appears an abnormal high value in sub-region $Ⅱ_2$, due to the disturbing as the shallow ground water has relatively higher salt content. The ground water level is so shallow as to reach the surface of earth, a great amount of salts were dissolved from soil by shallow phreatic water and then flowed into river, which made primitive fresh river water became half brine, the type of hydrochemistry changed suddenly from $C_{Ⅱ}^{Na}$ to $Cl_{Ⅲ}^{Na}$. From this region toward the lake, the river discharge had no great change except for region Ⅲ. The hydrochemistry of region Ⅳ was nearly the same as in the region Ⅲ except that the mineralization was somewhat lower. As for region Ⅴ, the Dabsan Lake became a brine lake due to its long history of evolution. Origionally the region Ⅴ was a playa as a dissolution basin. Under the condition of extreme arid climate as well as high evaporation a brine lake came into being.

Generally, the hydrochemistry of west river was more stable than that of the east river. The adjustment capacity of west river was better and does not easy to be disturbed by other water. In the long run, future harnessing of water resource should lay stress on the part of the west region, mean while some measures should be taken to keep the half brine water of east river from any further salilization.

Key Words Golmud River, Dabsan Lake, hydrochemistry