

青藏高原盐湖的形成与分布*

杨 绍 修

(中国科学院盐湖研究所·西宁)

提要 青藏高原是现代盐湖最发育的地区之一。盐湖集中分布于干燥度很大的羌塘和柴达木盆地两地区。这些高原地区具备成盐的优良条件: 1.受断陷控制的封闭性内陆湖盆; 2.晚更新世—现代持续的干旱气候; 3.富含成盐元素的各种天然水流, 特别是富含硼、锂、铷、铯等的地下热水的长期补给。这些条件决定着盐湖的规律性分布。

盐湖是指含盐量大于 50g/L (3.5%) 或有盐类析出的天然湖泊而言, 藏语称为“茶卡”(译音), 意为盐的世界。因赋存可利用的元素和盐类矿物, 而列为有经济价值的一类湖泊。

青藏高原湖泊星罗棋布(图1)。其中, 盐湖的类型繁多, 以卤水中富含硼、锂、铷、铯、铀、钍、钾、稀土、氡和析出巨量石盐、芒硝、硼酸盐、天青石等固体矿产而著

表 1 青藏地区湖泊统计

Tab.1 Lake Statistics of Qinghai-Xizang Region

类型	项 目	地 区		
		青海省	西藏自治区	两区合计
淡水湖	数量(个)	224	467	691
	数量比(%)	61.71	46.61	50.58
	面积(km ²)	2600	3700	6300
	面积比(%)	12.93	13.95	13.52
半咸—咸湖	数量(个)	108	315	423
	数量比(%)	29.75	31.44	30.97
	面积(km ²)	8000	16000	24000
	面积比(%)	39.80	63.34	51.48
盐湖	数量(个)	31	221	252
	数量比(%)	8.54	21.95	18.45
	面积(km ²)	9500	6025	15525
	面积比(%)	47.26	22.71	33.30
湖泊总计	数量(个)	363	1003	1366
	面积(km ²)	20100	26525	46625
	占全区面积(%)	2.79	2.25	2.45

说明: 1.表中仅统计面积大于 1km²的湖泊(含盐湖)。

2.按含盐量(g/L)将湖泊分为: 盐湖>50, 咸水湖 35—49, 半咸水湖 1—34, 淡水湖<1。

* 本文承蒙陈克造研究员、唐 渊副研究员审阅, 胡金泉同志清绘部分图件, 特致谢意。

称；而其数量也相当可观，据统计^①，仅西藏和青海两省（区）共计有湖泊 1366 个，其中盐湖 252 个，占湖泊总数 18.45%。在 252 个盐湖当中，青海有 31 个，全集中于柴达木盆地；西藏有 221 个，其中 214 个分布于羌塘（藏北）（表 1）。

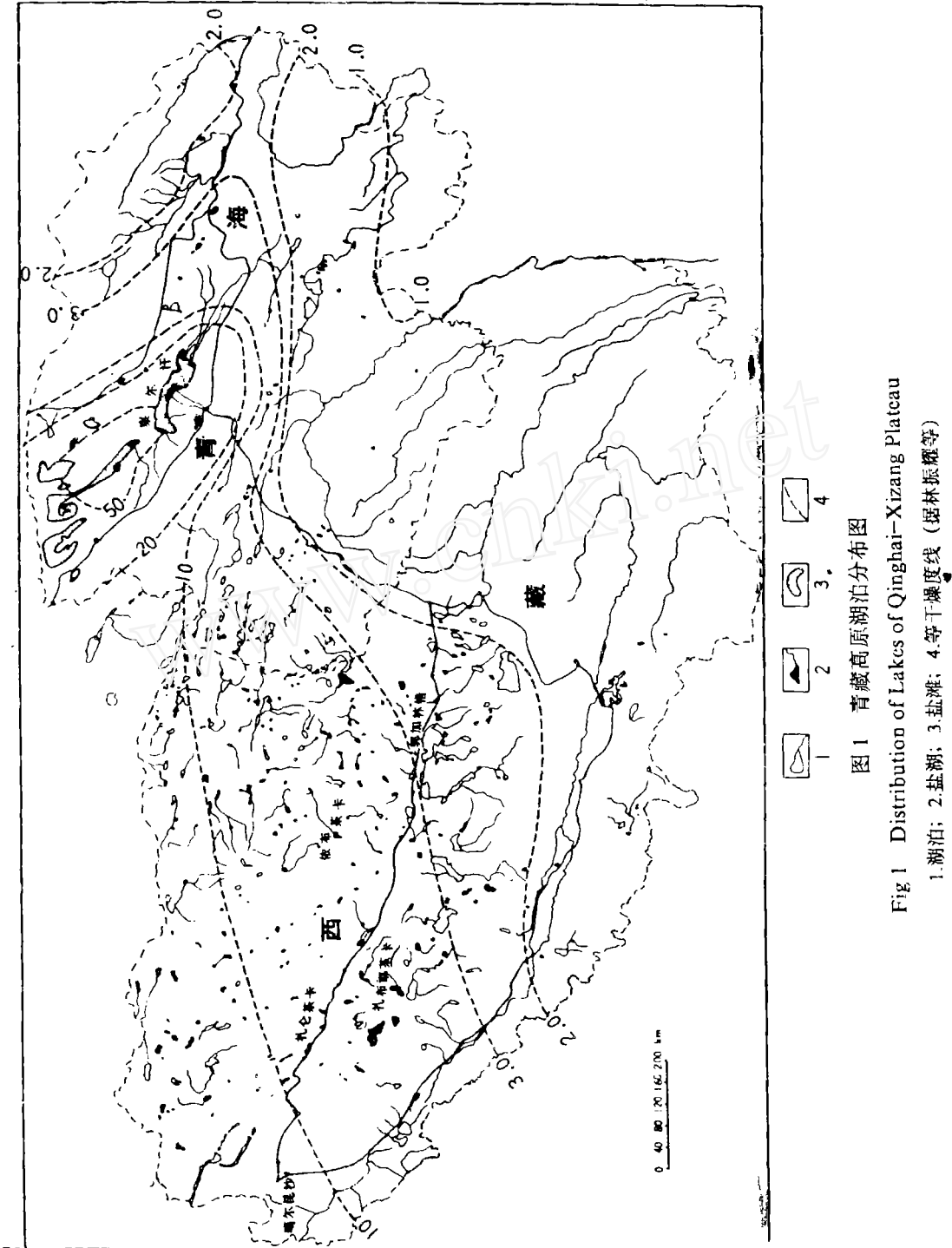


图 1 青藏高原湖泊分布图
Fig.1 Distribution of Lakes of Qinghai-Xizang Plateau

1. 湖泊；2. 盐湖；3. 盐滩；4. 干湖度线（据林振耀等）

^①中国科学院青海盐湖研究所，西藏高原湖泊类型一览表（1980），青海高原湖泊类型一览表（1981）。

一、盐 湖 形 成

正象其他内陆盐湖一样，青藏盐湖是在封闭性汇水盆地中，富含成盐元素的水体在干旱为主的气候条件下长期演化和反复淡化与浓缩过程中产生的。其形成条件如下：

(一) 受构造断陷控制的封闭性湖盆

根据目前的认识，青藏高原是由不同时代的地块自北而南依次拼贴而成。自始新世以来，由于冈瓦纳大陆向北推移，使该区整体隆起，导致高原的形成。又由于高原内部差异性抬升，沿着深大断裂（地体交界处）及其次一级断裂，发育为数众多的断陷盆地或宽展裂谷，为盐湖的形成提供了湖盆条件。

柴达木大型断陷盆地，面积 120000km²，形成于侏罗纪。周围的祁连山、阿尔金山和昆仑山三大山系向盆地推复、逆冲，与其呈断层接触。中生代沉积物厚达数千米^[1]，表明边缘高山剧烈隆起与盆地快速沉降这种差异性抬升的补偿关系。柴达木古湖就位于此大型内陆断陷盆地之中，继而又在构造运动和有利气候影响下，经迁移、解体和浓缩蒸干，成为今日所见的呈串珠状分布的盐湖、干盐滩群（图 2）。

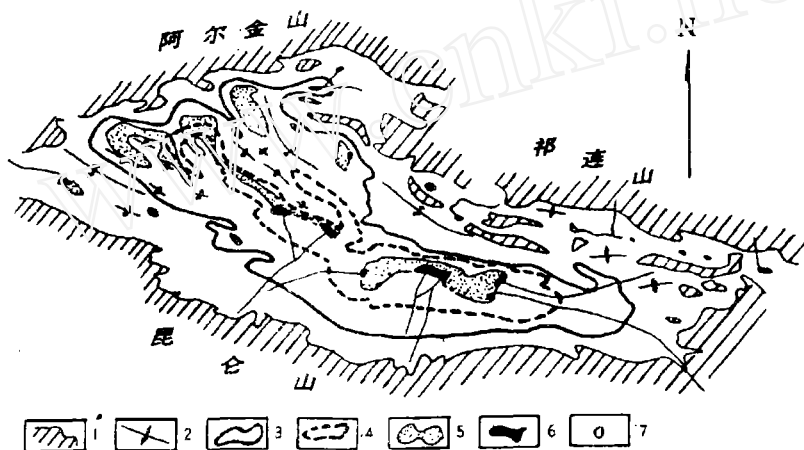


图 2 柴达木断陷盆地湖域变迁图*

Fig.2 Changes in lakes of Qaidam Fault Basin

1.古老山系；2.上新统背斜构造；3.更新世早期柴达木古湖湖域；4.更新世晚期柴达木古湖湖域；5.干盐湖；6.盐湖；7.湖泊

* 按陈克造原图改编

在羌塘亦出现被高山分割的众多的封闭性断陷盆地。如位于黑阿断裂带上的札仓茶卡断陷盆地，晚更新世时为一汇集内流水系的大湖泊，演化至今，成为一群串珠状排列的小盐湖。（图 3）

值得指出的是，尽管高原地形大部分接近于老年期准平原化状态，但直至今，这些接受沉积的断陷盆地与其周围遭受侵蚀的高山，仍然保留着一定的高差（图 4）。自图 4 可见，现今湖面高度与邻近的雪山冰峰高度相差较大，如冈底斯山与昂拉仁错高度相差 3315m，玛尔果茶卡与玛依岗日高度相差 1456m，柴达木盆地比祁连山冰峰低 3022m，比

昆仑山冰峰低 4179m。被冰雪覆盖的高山，为盆地提供丰富的融雪化冰水。由于岩石又易受到风化和淋滤，为含盐水体的良好供给区域，因此，低凹的盆地是接受这些含盐水体的风化物质及其析盐的理想单元。

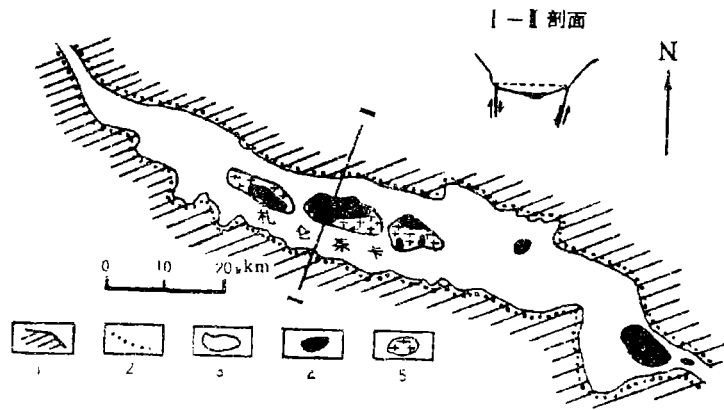


图 3 西藏札仓茶卡断陷盆地湖域变迁图

Fig.3 Changes in Zancang Caka Fault Lake Basin of Xizang

1.山系; 2.更新世晚期湖域; 3.现成盐湖湖域; 4.湖水; 5.盐类沉积。

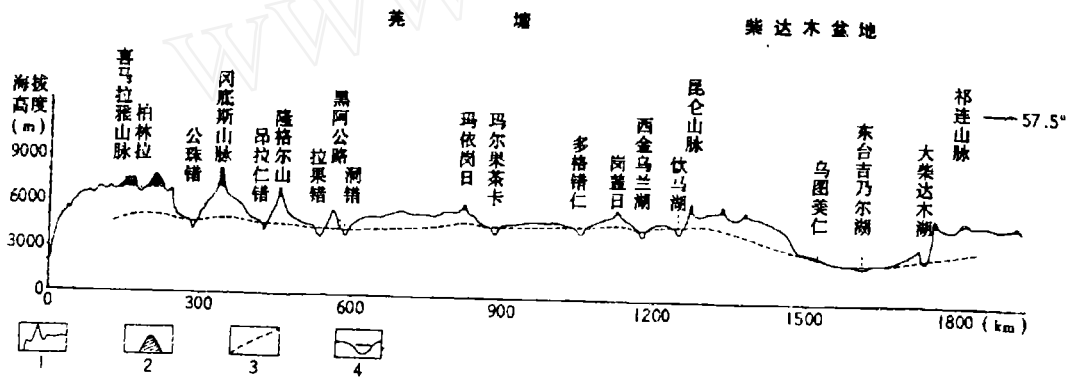


图 4 青藏高原湖盆地形趋势剖面图

Fig.4 Height difference between lakes and around mountains in Qinghai-Xizang Plateau

1.高原地形; 2.冰川与雪被; 3.高原侵蚀基准面; 4.湖盆

(二) 晚更新世以来持续的干旱气候

1.现代盐湖分布区的气候特征

现代盐湖集中分布的羌塘和柴达木盆地，分别属于高原寒带、亚寒带干旱气候区与高原温带极度干旱气候区，其气候特征如表所示（表 2）^[2, 3]。这些地区气候最显著的特征是干燥度大，柴达木盆地可达 50。而且，在盆地的盐湖及干盐滩周围为戈壁、沙漠、沙丘及风蚀雅丹地形，出现的植物以麻黄、蒿、藜、白刺为主，属典型的荒漠草原植被景观。

2.盐湖形成期间的气候特征

(1) 湖域变迁提供的信息 湖域的扩大与退缩,是降雨量和蒸发量强度通过水文条件的变化引起的结果。因而,湖域的变迁演化能反映出古气候干湿变化状况。作者在 1987 年

表 2 青藏高原盐湖分布区气候特征

Tab.2 Climatic Features of Salt Lake Area in Qinghai-Xizang Plateau

气候特征		地 区	羌 塘	柴达木盆地
气 温	海拔高度 (m)		4400-5000	2700-3200
	最 高 (℃)		23.0	
	最 低 (℃)		-36.8	
	年平均 (℃)		-0.9	2-4
	年平均气压 (hpa)			725
	年降水量 (mm)		50-268.8	20-50
	年蒸发量 (mm)		2065.7-2300.0	3000-3200
	蒸发量/降水量		7-23	40-100
	干燥度		2.4-15	3.5-50.0
	年平均相对湿度 (%)		< 35	
年日照时数		3000-3200	3200-3600	
太阳能总辐射 (J)		7.96×10^5		
气候区划		高原寒带、亚寒 带干旱气候区	高原温带极度 干旱气候区	

考察西藏札仓茶卡断陷湖盆时,在其南侧山腰上发现古湖岸线遗迹,它由一米宽的基岩阶地组成,上铺一层薄的磨园度好的砾石,这种砾石与札仓茶卡湖中的砾石形态、成分相似。经黄麒等¹⁴C测定,湖底砾石所在层位的年令为距今 15400 ± 16 年前,由此推测古岸线形成于更新世晚期。该古岸线沿山脊等高线延伸几十公里,高出现今湖面 30m。据此线圈出的更新世晚期古湖形态与断陷盆地边界一致。可见,当时湖域辽阔,水质较淡。然而,今日盐湖的面积大为缩小,且仅局部存在湖水¹⁴。此外,据陈克造对柴达木古湖岸线的研究¹⁵,如按照 2800m 高湖面来恢复更新世早期的湖泊范围,湖域面积为 60000km^2 ,相当于断陷盆地面积的一半;再按海拔 2700m 绘出的更新世晚期(约距今 30000 年前)古湖形态则呈狭长形,湖域面积仅 15000km^2 ,相当于前者面积的 $1/4$ 。至今所见,则是分布零星和面积更小的干盐滩,以及存在于山前和干盐滩周边的盐湖(图 2)。上述湖域由大到小、湖水由淡变浓的变迁演化进程,反映了晚更新世至全新世时期,该区气候从湿润向干旱演变的总趋势。

(2) 盐湖沉积物类型及其孢粉组合提供的信息 在盐湖沉积剖面中,一方面,就沉积物类型看,由卤水浓缩析出的盐层可代表干旱气候期的产物,而因洪水泛滥带来的粉砂、粘土甚至砾石构成的碎屑岩层则代表湿润气候期的产物;另一方面,通过沉积物中的孢粉组合可以恢复湖区古植被的状况。因此,盐湖沉积剖面中上述两个方面均记录了古气候干湿变化的信息。

根据察尔汗干盐滩 2022 孔剖面(图 5)和达布逊湖剖面(图 6)沉积物的研究,以及杜乃秋等对察尔汗靠近达布逊湖岸的 CK1/81 孔的孢粉组合研究¹⁶,结合年代测定数据¹⁷,可将柴达木盆地中部更新世—全新世的气候划分为几个时期:

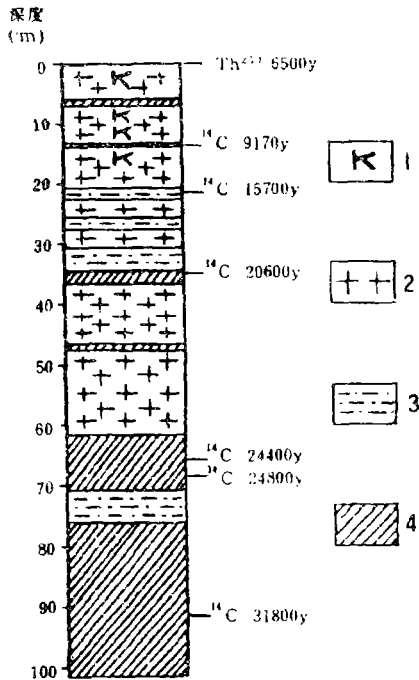


图5 察尔汗干盐滩 2022 孔剖面

Fig.5 Profile of Core 2022 of Qahar Playa Flat

1.钾盐; 2.石盐; 3.粉砂; 4.粘土及淤泥

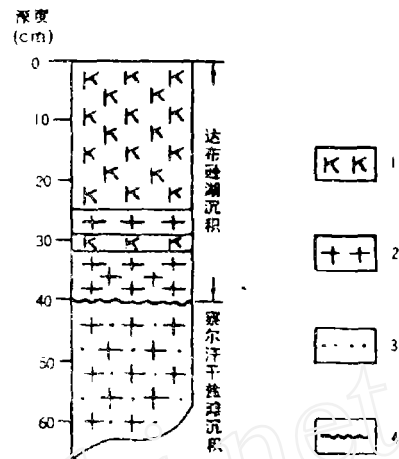


图6 达布逊湖 88-2 孔剖面图

Fig.6 Profile of Core 88-2 of Dabsan Lake

1.光卤石; 2.石盐; 3.粉砂; 4.溶蚀面

①湿润期。约距今 4000—25000 年前。此期沉积物见于 2022 孔井深 61.88—101.32m 处 (图 5), 上部为土黄色、深灰色淤泥粘土与碳酸盐粘土、粉砂互层, 下部为灰、黑色淤泥层, 常见碳化植物碎片, 在与其同层位的 CK1/81 孔井深为 52.31—41.50m 的粘土与黑色淤泥中, 以乔木植物、水生植物、湿生植物和蕨类植物孢粉含量较高, 反映在未成盐阶段, 降雨量增加, 湖域扩展, 湖水较淡, 气候温暖湿润。

另外, 陈克造在该湖东缘南霍布逊湖东南 40km 处发现贝壳层^[5], 经鉴定有介形类: 玻璃介 *Candona sp.*、斗星介 *Cypridopsis sp.*、双瘤湖花介 *Limnocythere binoda Huang*; 瓣鳃类: 湖兰蚬 *Corbicula largillierti Philippi*、河兰蚬 *Corbicula fluminea Müller*; 腹足类: 白小旋螺 *Cyraululus albus (Müller)*、椎实螺 *Lymnaca sp.*。上述化石均属淡水至微咸水湖滨沼泽相或河溪相产物。贝壳年令值与察尔汗 2022 孔井深 96m 处¹⁴C 年令值 (31800 ± 2000a.B.P.) 相当。这一发现进一步证实本期气候属湿润性质。

②干旱期。距今约 25000—15000 年前。沉积物见于察尔汗 2022 孔井深 20.70—61.88m, 开始出现石盐沉积, 表明湖泊已进入盐湖阶段。孢粉组合以旱生、盐生小灌木和草本植物和麻黄蒿、藜和白刺的孢粉占绝对优势。反映气候从此时起逐渐变干。

值得指出的是, 在察尔汗 2022 孔井深 61.88m 以上的盐湖沉积物中, 盐层与粉砂粘土层呈间互层出现, 形成石盐层—粉砂粘土层—石盐层的韵律, 说明以长期干旱为主体的气候中, 时有短暂的湿润气候间歇性出现, 即存在小的气候波动现象。

③极度干旱期。约距今 15000—6500 年前。沉积物见于察尔汗 2022 孔表层至 20.7m 井深处, 以出现钾盐为特征, 钾盐是盐湖发展到晚阶段——干自析阶段的产物。此时湖水干涸, 湖域成为干盐滩, 表明气候极度干旱。

本期的时代上限取决于表层盐壳年令。由于只测定了孔深 13.38—13.78m 处含粉砂的粘土层的¹⁴C 年令。因此, 本文引用了黄麒用铀系法测得的表层盐年令数据——²³⁰Th6500 ± 2200 年^[7]。

④相对湿润的干旱期。约 6500 年前至今。6500 年前以后, 在察尔汗干盐滩的周边, 有河水补给或潜水溢出的地段, 形成了 9 个不大的水湖 (图 1), 它们都是由于溶蚀作用产生的新生湖^[8]。另外, 在该干盐滩北缘, 由于地下潜水的溶蚀 (沿断层、裂隙带) 形成一系列的喀斯特溶洞和溶塘 (地形低凹的溶蚀区)。上述事实表明, 本期降雨量略有增高, 气候相对湿润。但是, 在新生的达布逊湖北岸的沉积剖面中, 仍有石盐和钾盐的沉积。故总的来看, 气候虽比前期湿润些, 但仍然是干旱的。这种气候一直持续至今。

(三) 充足的盐分补给

成盐元素主要是随着水体被带入湖泊中来的, 因此, 盐湖形成要有富含成盐元素的水体补给。而大量的盐类资源的形成则以长期的、不断的和富含成盐元素的水体补给为前提。

注入高原湖泊中的各种水体均富含各种成盐元素 (见表 3)。可见, 水是维持湖泊生命和提供成盐元素的主要载体。青藏盐湖中的水主要来自大气降水^[9]。在青藏高原上, 大气降水大部分以冰川形态储存下来, 据统计, 柴达木盆地周围高山冰川面积达 1358.46km², 冰川水的总储量 1135 × 10³m³。其他降水成为地表径流 (河流) 或地下潜流方式汇入湖泊之中。部分降水下渗至深部升温并溶滤岩石中的各种组份成为热 (温、沸) 泉, 再沿断裂上升从湖盆中心或边缘涌出补给湖泊。

应当指出, 无论是现在还是近期地质年代, 在补给湖泊的各种水体中, 富含硼、锂的热泉 (见表 3) 在本区占有特殊的位置。

二、盐湖分布

青藏现代盐湖分布的现状是在上述特定的形成地质条件下长期演化的结果。从图 1 看出:

1. 盐湖呈串珠状排列, 在柴达木盆地沿北西西—南东东向展布, 而在羌塘主要沿近东西向展布, 均与该区的主要构造线一致。另外, 盐湖的前身——发育在断陷盆地中的湖泊, 如图 2 所示, 它随气候变干和断陷盆地内部抬起不一致 (如产生背斜和穹窿), 又进一步迁移、解体和缩小的演化过程, 亦受构造控制。

2. 盐湖分布于高原上仅有内流水系的羌塘和柴达木盆地之中, 而外流水系的区域, 除了少数特殊环境外, 盐湖是不发育的。这一分布现状受内陆盐湖形成所要求的封闭性湖盆条件支配。

3. 盐湖分布于高原上干燥度大于 2.4—3.5 的地区。在柴达木盆地, 干盐滩发育的地方, 其干燥度可达 20—50。这一特点是由盐湖形成的关键即持续的干旱气候条件所决定的。

表3 青藏高原各种水体的化学成分
Tab.3 Chemical Composition of Various Water Bodies in Qinghai-Xizang Plateau

样号	名称	矿化度 (g/l)	相对 密度	pH	离子含量 (上 mg/l, 中 r-mg, 下 r-mg%)										水化学 类型*							
					Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Li ⁺	B ³⁺		Rb ⁺	Cs ⁺	F ⁻	Br ⁻	I ⁻		
洞雪 -8	洞错南岸降雪	0.017	9.1	3.45	0.20	0.28	0.069	3.80	0	0.5	0.017	6.81	—	0.16	<0.2	<0.4	1.98	<0.30	0.0015	C		
				60.7	2.0	9.3	28.0	45.33	0	7.2	47.5											
				0.12	0.15	1.00	2.05	1.60	0	0.00	17.96	0	1.26									
大柴旦冰碛	0.024	0.00522	0.00384	0.08229	0.10230	0.04513	0	0	0.29434											C		
		2.7	2.0	42.5	52.8	14.7	0	0	85.3													
		64.0	0.10	1.90	7.42	17.86	0	8.55	154.10	0	0											
昆仑山降雪	0.254	0.9952	7.96	2.77	0.00	0.16	0.37	0.50	0	0.28	2.52									C		
		84.0	0.0	4.8	11.2	15.1	0	8.5	76.4													
		121.85	20.4	28.7	13.00	53.5	36.2	63.15	271.90	<0.5	3.13	0.38	<0.4	44.25	<0.30	—						
绒布河 -191	绒布藏布 (注入依布赤卡)	0.6188	8.4	5.299	0.5222	2.361	0.649	1.509	0.754	2.104	4.454									C		
				60.0	5.9	26.7	7.4	17.1	8.5	23.90	50.5											
				144.53	10.76	31.74	51.72	223.37	145.89	11.10	154.13											
曲贡泉水 -76	曲贡泉水	4.3835	7.45	1255.77	148.00	24.9	16.9	520.9	913.6	239.20	1197.00	3.3	20.80	0.75	<0.4	27.31	0.83	0.043	C			
				54.613	3.784	2.049	0.843	14.689	19.325	7.970	19.607											
				89.1	6.2	3.3	1.4	24.0	31.3	13.0	32.0											
油砂山阶地泉水 80-27	油砂山阶地泉水	9.448	0.9968	25.93	1.3	318.9	96.87	1449	4137	173.5	678.2	1.8	0.53						Na			
				112.78	0.03	26.24	4.83	40.86	86.13	5.73	11.11											
				78.38	0.02	18.24	3.36	28.40	59.87	4.00	7.72											
朱温泉水 -203	皱马温泉	1.4225	8.4	385.08	64.60	15.9	16.70	150.4	79.9	207.70	471.80	2.0	9.60	0.56	1.25	132.3	2.14	0.0095	C			
				16.747	1.652	1.308	0.833	4.241	1.664	1.904	7.728											
				81.5	8.0	6.4	6.4	20.7	8.1	33.6	37.6											
羊热 -370	羊八井热水 (钻孔)	1.384	8.5	391.98	66.20	1.69	1.90	538.40	40.30	24.94	130.10	11.0	58.47	1.50	5.93	169.3	1.34	0.10	C			
				17.047	1.693	0.139	0.095	15.183	0.839	0.821	2.131											
				89.9	8.9	0.7	0.5	80.0	4.4	4.4	11.2											
大柴达木热水 (3个样平均值)	大柴达木热水 (3个样平均值)	1.032	0.9959	337.67	3.10	0.32	25.78	343.23	165.17	20.76	138.9	3.33	42.84						C			
				14.688	0.079	0.026	1.286	9.681	3.439	0.692	2.276											
				91.20	0.57	0.17	8.06	60.60	20.96	4.10	14.34											

* 水化学类型按 M.T.瓦良什科法划分, C——碳酸盐型, Na——硫酸盐型硫酸钠型
 。 离子含量单位: mg/l——毫克/升, r-mg——毫克当量, r-mg%——毫克当量百分数。

4.富含硼、锂等微量元素的盐湖, 往往出现在过去或现在水热活动强烈的地区。

参 考 文 献

- 【1】 杨治林, 柴达木盆地新生代岩相古地理及其演化, 青海柴达木盆地晚新生代地质环境演化, 1-18, 科学出版社, 1986年。
- 【2】 林振耀、吴祥定, 青藏高原气候区划, 地理学报, 36 (1), 1981年。
- 【3】 张彭熹等, 柴达木盆地盐湖, 科学出版社, 1987年。
- 【4】 郑喜玉、杨绍修, 西藏盐湖成分及其成因探讨, 海洋与湖沼, 14 (4), 1983年。
- 【5】 陈克造、J.M. 鲍勒, 柴达木盆地晚更新世盐湖演化, 中国—澳大利亚第四纪学术讨论会论文集, 83-91, 科学出版社, 1987年。
- 【6】 杜乃秋、孔昭宸, 达布逊湖 CK1/81 钻孔孢粉组合及其在地理学和植物学上的意义, 青海柴达木盆地晚新生代地质环境演化, 59-70, 科学出版社, 1986年。
- 【7】 黄麒、蔡碧琴, 察尔汗盐湖沉积物年代学初步研究, 中—澳第四纪学术讨论会论文集, 106-114, 科学出版社, 1987年。
- 【8】 陈克造、杨绍修、郑喜玉, 青藏高原的盐湖, 地理学报, 36 (1), 1981年。
- 【9】 张彭熹, 青藏高原盐湖几个有关地质问题的讨论, 青海柴达木盆地晚新生代地质环境演化, 50-58, 科学出版社, 1986年。

THE ORIGIN AND DISTRIBUTION OF SALT LAKES IN QINGHAI-XIZANG PLATEAU

Yang Shaoxiu

(Qinghai Institute of Salt Lakes, Academia Sinica, Xining, China)

Abstract

Qinghai-Xizang plateau is one of the most developmental modern salt lake regions in the world. The salt lake are distributed mainly in the two districts with a high aridity—Northern Xizang and the Qaidam Basin. This plateau possesses the following excellent conditions for salification; 1, the enclosed inland lake basin controlled by the subsidence of the fault; 2, a sustained dry climate from late pleistocene to the present; 3, a long-term supply for various natural water flows rich in salifiable elements, especially the ground thermal water flows rich in B, Li, Rb, Cs etc. These conditions are the decisive factors for the regular distribution of the salt lakes.