

文章编号: 0258-7106 (2014) 05-0921-09

近 40 年来气候变化对青海盐湖及其矿产 资源开发的影响 ——以小柴旦湖为例*

闫立娟^{1,2}, 郑绵平^{1*}, 袁志洁²

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部盐湖资源与环境重点实验室, 北京 100037;

2 中国地质科学院, 北京 100037)

摘 要 青海是中国盐湖主要分布区之一, 蕴藏着丰富的矿产资源。文章以 RS 和 GIS 技术为基础, 从 20 世纪 70 年代、90 年代、2000 年前后、2008~2009 年和 2013~2014 年五期 Landsat 遥感影像中提取了青海面积大于 10 km² 的所有盐湖(不包括干盐湖), 分析了其近 40 年来的变化趋势: 总体上, 盐湖总面积除在 2000 年前后有所减少外, 基本上呈现增加的趋势; 具体而言, 2000 年前后, 萎缩的盐湖主要分布在柴达木盆地; 其他时期均呈现全面扩张的趋势。在全球气候变暖的大背景下, 通过分析青海地区 11 个气象台站的年平均气温、年降雨量和蒸发量数据, 可知青海地区气候呈现了向暖湿方向转型的趋势, 且 2002 年之后更为明显。最后, 以青海省小柴旦湖为例, 分析了湖泊淡化、矿产资源贫化对盐湖资源开发的影响, 具体为: ① 资源开发成本升高、难度加大, 甚至使一些处于工业开发临界品位的盐湖失去开发价值; ② 盐湖淡化条件下, 锂等矿产资源有效提取技术亟待研发; ③ 政府制定矿产资源开发政策时, 需要对气候及盐湖的动态变化过程综合考虑。以上说明, 青海地区的暖湿气候使盐湖大幅度淡化, 给盐湖矿产资源开发带来了新的挑战。

关键词 盐湖; 遥感; 气候变化; 矿产资源; 小柴旦湖; 青海

中图分类号: P611.4; P619.211

文献标志码: A

Influence of climate change on salt lakes in Qinghai Province and their mineral resources exploitation in the past forty years: A case study of Xiao Qaidam Lake

YAN LiJuan^{1,2}, ZHENG MianPing¹ and YUAN ZhiJie²

(1 MLR Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environments, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

Qinghai is the main area with extensive distribution of salt lakes which are rich in mineral resources. The authors extracted information of all salt lakes each of which has an area larger than 10 km² (excluding dry salt lakes) in Qinghai from Landsat of five periods, i. e., the 1970's, the 1990's, around 2000, from 2008 to 2009 and from 2013 to 2014, based on RS and GIS, and then analyzed dynamic changes of these salt lakes. On the

* 本文得到国土资源部公益性科研专项(编号: 201011001)、国家自然科学基金重点项目(编号: 40531002)和中国地质调查局地质调查项目(编号: 1212011120046; 1212010511901)的联合资助

第一作者简介 闫立娟, 女, 1983 年生, 博士研究生, 工程师, 主要从事遥感应用与湖泊环境研究。Email: yanlijuan@126.com

* 通讯作者 郑绵平, 男, 1934 年生, 研究员, 中国工程院院士, 主要从事盐湖学与盐类矿床地质学研究。Email: zhengmp2010@126.com

收稿日期 2014-05-31; 改回日期 2014-08-10。张绮玲编辑。

whole, the total area of these salt lakes increased except in the period around 2000; more specifically, in the period around 2000, salt lakes whose areas decreased were mainly distributed in the Qaidam Basin, whereas in all other periods salt lakes tended to expand. In the background of the global climate warming, the authors analyzed annual mean temperature, annual rainfall and annual evaporation data from 11 meteorological stations of Qinghai, and have reached some conclusions based on the data obtained: in the past forty years, the climate in Qinghai has tended to change into warm wet, especially since 2002. Finally, with the Xiao Qaidam Lake as an example, the influence of lake desalination and mineral resources impoverishment on mineral resources exploitation was analyzed: ① it has caused higher cost and more difficulties, even some salt lakes at the critical-grade level for industrial development will lose their exploitation value; ② under the condition of salt lake desalination, effective extraction technologies of mineral resources such as lithium require development urgently; ③ such a situation may have some impact on the government's policy-decision for mineral resources development, and the establishment of the pre-warning and monitoring system of salt lakes in Qinghai is necessary. Remote sensing with its unique advantages is effective in the investigation and evaluation of salt lake resources in Qinghai under the conditions of bad traffic, fragile ecological environment and high cost of surveying.

Key words: salt lake, remote sensing, climate change, mineral resources, Xiao Qaidam Lake, Qinghai

青海是青藏高原的组成部分,面积 72.12 万 km²。青海高原深居欧亚大陆腹地,多风沙、少降水、蒸发量大,日照时间长,太阳辐射强烈,具有明显的大陆性高原气候特征(郑喜玉等,2002),属高原亚寒带和高原温带气候区(国家地图集编纂委员会,1999)。

青海是中国湖泊主要分布区之一。依据本文 2008~2009 年的遥感解译结果,青海地区面积 1 km² 以上的湖泊有 298 个(图 1),总面积 15 565.79 km²(不包括干盐湖和干涸湖泊),约占中国湖泊总面积的 19%(郑喜玉等,2002;朱大岗等,2007;闫立娟等,2010;2012)。青海是中国主要盐湖产区之一,储有丰富的盐类矿产资源。盐湖是一种“活”的矿床,赋存有石盐、芒硝、天然碱等普通盐类资源,亦有钾盐、镁盐、硝酸(钾)盐和硼盐、锂盐及铷(Rb)、铯(Cs)、铀(U)、钍(Th)等特种盐湖资源(郑绵平等,1989;2009;郑绵平,1999;2001a;2001b)。盐湖中沉积的盐类矿物约达 200 种。目前,人类已经从盐湖中大量开采石盐、碱、芒硝和钾、锂、镁、硼、溴、硝石、石膏和医用淤泥等基本化工、农业、轻工、冶金、建筑和医疗等重要原料。

青海地区除赋存有卤水的盐湖外,还有多个规模较大的干盐湖,如察尔汗干盐湖等,主要干盐湖面积已超过 2 万 km²。青海柴达木盆地是我国最重要的钾盐基地,也是硼、锂和盐碱的重要供应地(郑绵平等,2014)。柴达木盆地盐湖的钾盐和镁盐资源紧密共生,钾盐储量 40 143 亿吨,镁盐储量 48 115 亿吨,其中氯化镁储量 31 143 亿吨,硫酸镁储量 16 173 亿

吨。在柴达木盆地西部的其他盐湖中,还有 30 亿吨氯化镁和硫酸镁资源(徐日瑶等,2003)。青海盐湖锂资源储量达 310.04 万吨,仅次于西藏,位列全国第二(郑绵平等,2014)。一方面,随着经济的发展,我国对钾肥的需求量日益增加;另一方面,随着锂资源进入环保产业,未来锂资源的需求量将持续增加,这都会导致对盐湖资源需求量的增加。

在全球变暖的大背景下,1987 年中国西北地区西中部的气候出现了由暖干向暖湿转型的突变。但时至 2002 年,中国西北地区中东部(主要包括青海东北部、甘肃中东部和宁夏)并未发生明显的转型(施雅风等,2003;Shi et al.,2007)。2003 年以后,青海湖等众多湖泊出现了水位上涨的现象。笔者近期的野外调查发现不少盐湖的矿化度显著降低。

本文拟在对青海地区近 40 年来盐湖变化遥感调查的基础上,结合本区气象资料,探讨在全球变暖背景下,青海地区盐湖的演化特征及其对盐湖矿产资源开发的影响。

1 青海盐湖信息提取

1.1 遥感数据来源

为了反映青海近 40 年来盐湖动态变化趋势,本文选取了覆盖青海地区 20 世纪 70 年代、90 年代、2000 年前后、2008~2009 年和 2013~2014 年五期共 62 景 Landsat 遥感影像,从中提取了盐湖边界信息。遥感影像信息见表 1。

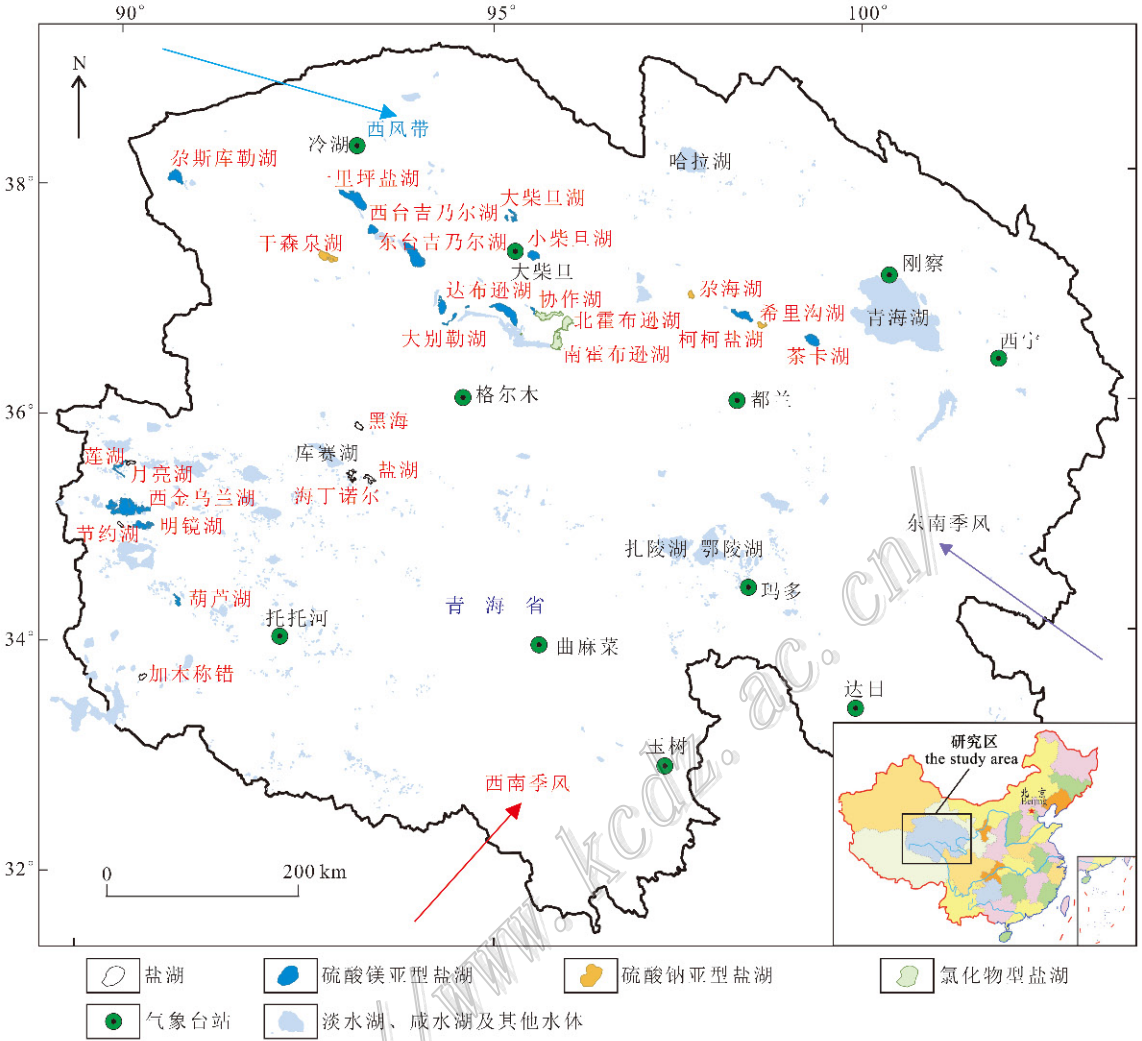


图 1 青海地区湖泊分布图(据本文 2008~2009 年遥感解译结果)

Fig. 1 Distribution of lakes in Qinghai area (based on the remote sensing interpretation of 2008~2010)

表 1 覆盖青海地区的遥感影像

Table 1 Remote sensing images of Qinghai area

时间	影像	级别	景数	数据来源
20 世纪 70 年代	MSS	2	14	①
20 世纪 90 年代	TM	2	12	①
2000 年前后	ETM	2	12	①
2008~2009 年	TM	4	12	②
2013~2014 年	ETM	2	12	②

注：①—USGS, 2012；②—中国科学院观测与数字地球科学中心，2013。

1.2 盐湖空间数据库的建立

本文对来自 USGS 网站的 2 级影像数据进行了预处理和假彩色合成。中国科学院观测与数字地球科学中心提供了部分 4 级数据，可直接作为矢量化的底图(表 1)。

湖泊矢量化软件选用 ArcGIS。建立盐湖空间数据库时，投影坐标选用 Asia-Lambert-Conformal-Conic，中央经线为 110°，双标准纬线为 25°和 47°。

盐湖名称及水化学类型参考 1:10 万地形图和“青藏高原湖泊水化学分带图”(郑绵平等, 1989)。

1.3 青海地区盐湖分布和统计

依据“青藏高原湖泊水化学分带图”(郑绵平等, 1989)，结合 2008~2009 年遥感解译资料，青海地区面积大于 10 km² 的盐湖共 28 个(不包括干盐湖；因湖泊参考的水化学资料为 1985 年以前的，现在盐湖数量和分布情况可能会有一定变化)。青海地区盐湖主要分布在柴达木盆地和可可西里(图 1, 表 2)。

20 世纪 70 年代，28 个盐湖的总面积为 1788.42 km²；至 20 世纪 90 年代，略有增加；至 2000 年前后，

表 2 青海地区面积大于 10 km² 的盐湖近 40 年来动态变化
Table 2 Dynamic changes of salt lakes each of which has an area larger than 10 km² in Qinghai in the past forty years

编号	盐湖名称	20 世纪 70 年代		20 世纪 90 年代		2000 年前后		2008~2009 年		2013~2014 年	
		面积/km ²	影像时间	面积/km ²	影像时间	面积/km ²	影像时间	面积/km ²	影像时间	面积/km ²	影像时间
1	西金乌兰湖	382.78	1976.11.12	299.34	1994.12.18	321.65	2001.09.24	413.94	2009.08.05	458.65	2014.04.13
2	达布逊湖	271.45	1973.12.22	288.95	1989.05.13	52.21	2000.08.10	231.65	2009.10.03	366.04	2013.09.28
3	一里坪盐湖	63.24	1972.09.30	84.13	1992.07.30	0.00	2001.10.28	251.09	2008.09.28	293.61	2013.09.10
4	南霍布逊湖	8.12	1973.12.22	49.20	1989.05.13	45.36	2001.10.21	134.85	2009.10.03	229.56	2013.09.28
5	协作湖	0.00	1973.12.26	30.27	1989.05.13	0.00	2000.08.10	128.41	2009.10.03	162.95	2013.09.28
6	盐湖	36.25	1976.11.11	39.74	1991.10.09	35.57	2001.01.13	45.34	2009.10.10	139.51	2013.08.02
7	涩聂湖	75.53	1972.09.30	56.69	1990.08.19	46.54	2001.10.28	89.35	2009.10.10	138.96	2013.10.21
8	杂斯库勒湖	102.50	1972.10.02	116.02	1990.11.05	119.49	2000.11.08	135.28	2009.05.01	138.85	2013.11.04
9	明镜湖	98.05	1976.11.12	65.39	1994.12.18	81.25	2001.09.24	97.92	2009.08.05	126.30	2013.08.16
10	茶卡湖	10.21	1977.02.22	129.15	1990.08.30	135.63	2000.06.14	119.02	2009.07.17	118.00	2013.09.14
11	西台吉乃尔湖	139.22	1972.09.30	138.83	1992.07.30	28.42	2001.10.28	68.87	2009.10.10	109.75	2013.10.21
12	北霍布逊湖	92.26	1973.12.26	223.20	1989.05.13	54.08	2001.10.21	109.52	2009.10.03	98.36	2013.09.28
13	东台吉乃尔湖	251.73	1972.09.30	260.12	1990.08.19	195.70	2001.10.28	270.54	2009.10.10	97.47	2013.10.21
14	小柴旦湖	50.54	1973.12.22	56.95	1989.05.13	44.59	2001.10.21	83.60	2009.10.03	96.18	2013.09.28
15	柯柯盐湖	2.39	1977.06.29	81.19	1990.08.30	101.22	2000.06.14	121.80	2009.07.17	88.83	2013.09.14
16	大柴旦湖	-	-	38.81	1990.08.19	22.38	2000.08.10	45.64	2009.10.03	72.77	2013.09.28
17	海丁诺尔	32.80	1976.11.11	32.90	1991.10.09	22.38	2001.01.13	36.13	2009.10.10	54.46	2013.08.02
18	洼湖	0.00	1976.11.30	20.47	1989.11.12	26.24	2000.10.07	40.84	2009.05.01	48.79	2013.12.06
19	大别勒湖	0.00	1973.12.22	0.00	1989.05.13	20.82	2001.10.28	23.21	2009.10.10	46.95	2013.10.21
20	希里沟湖	0.00	1977.06.29	47.80	1990.08.30	24.27	2000.06.14	36.14	2009.7.17	46.55	2013.09.14
21	黑海	38.75	1976.11.11	38.71	1991.10.09	38.85	2001.01.13	38.66	2009.10.10	39.29	2013.08.02
22	葫芦湖	22.86	1976.11.12	23.88	1994.12.18	31.64	2001.09.24	34.28	2009.08.05	38.69	2014.05.24
23	尕斯库勒湖	0.00	1977.06.29	29.25	1988.06.20	28.95	1999.09.23	33.75	2009.08.09	36.75	2013.09.14
24	甘森泉湖	40.01	1983.12.26	70.32	1992.07.30	54.53	2002.05.15	120.41	2008.09.28	35.11	2013.09.10
25	加木称错	30.57	1973.06.10	28.66	1990.05.29	29.03	2001.09.24	33.19	2009.08.05	34.57	2014.04.22
26	月亮湖	27.72	1976.11.30	26.19	1990.11.05	23.19	2000.10.07	30.03	2009.05.01	33.71	2013.12.06
27	节约湖	0.00	1976.11.12	10.87	1994.12.18	17.98	2001.09.24	17.04	2009.08.05	17.21	2013.08.16
28	南海丁诺尔南	11.44	1976.11.11	10.75	1991.10.09	10.44	2001.01.13	11.09	2009.10.10	13.65	2013.08.02

注：盐湖位置及水化学类型见图 1；表中所列为 2013~2014 年面积大于 10 km² 的青海盐湖；- 代表遥感影像缺失。

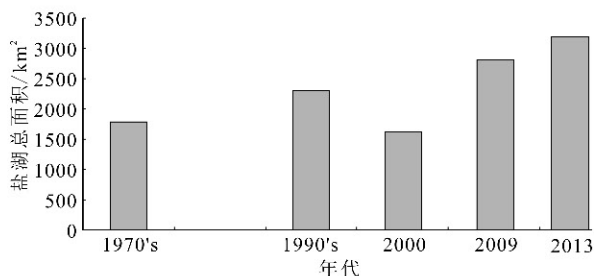


图2 近40年来青海地区面积大于10 km²盐湖总面积变化情况

Fig. 2 Dynamic changes of total salt lakes of Qinghai each of which has an area larger than 10 km² in the past 40 years

总面积略低于20世纪70年代水平;而到2008~2009年,盐湖总面积迅速增加;到2013年,青海地区盐湖总面积已增至3181.52 km²,较20世纪70年代增加了77.90%。总体上,暖湿气候导致青海地区盐湖大幅度扩张(图2)。

2 盐湖动态变化分析

本文对青海地区面积大于10 km²的28个盐湖,逐个分析了其在五个不同时期的变化情况(图3)。

20世纪70年代至90年代,盐湖总面积增加了28.48%。面积减少的盐湖有8个,面积增加的盐湖有20个。面积减少的盐湖主要分布在青海地区西南部(图3a)。

20世纪90年代至2000年前后,盐湖总面积减少了29.83%。2000年前后青海地区盐湖的总面积已略低于20世纪70年代,只有位于青海地区西部的9个盐湖面积是增加的,柴达木盆地内的盐湖基本上呈现萎缩的趋势(图3b)。

2000年前后至2008~2009年,青海地区盐湖显著扩张,面积增加了73.75%,已远远大于其他3个时期。只有4个盐湖面积减小,且变化率均比较小(图3c)。

至2013年,青海地区盐湖扩张的趋势仍在持续,盐湖总面积较2008~2009年增加了379.94 km²(图3d)。

由上可知,在气候变暖变湿环境的影响下,青海地区盐湖总体上是呈现扩张的趋势;2000年之后,扩张速度明显加快。

3 青海地区气候变化特征

青海位于我国西北地区,处于青藏高原东北部,是气候变化的敏感区(杨东等,2013)。青海气候特点以高寒干旱为主,是典型的大陆性高原气候,区内受高原季风的影响。此外,柴达木盆地受西风带的影响,青海地区西南部受西南季风的影响,东南部受东南季风的影响。已有研究表明,近年来青海地区气候有明显增暖增湿的趋势(汪青春等,2007;陈晓光等,2009;郝振纯等,2010;Rangwala et al., 2010; You et al., 2010; Li et al., 2012)。本文通过对中国气象科学数据共享服务网提供的青海地区11个气象台站1971~2012年的年平均气温、降雨量数据和1971~2003年的蒸发量数据(中国气象局等,2013)进行分析,探讨了近40年来青海地区气候变化特征。

3.1 气温

对青海地区11个气象台站(图1)1971~2012年的年平均气温数据相加取平均值,其变化趋势如图4所示。近40年来青海地区气温呈明显上升的趋势,1971~1986年的平均气温为0.93℃,而2001~2012年的平均气温已升至1.81℃。1998年之后,增温趋势更为明显。

3.2 降雨量

对青海地区11个气象台站1971~2012年的年平均降雨量数据相加取平均值,其变化趋势如图5所示。近40年来青海地区降雨量呈明显增加的趋势,1989年降雨量最大,1990年降雨量骤减,但之后一直呈上升的趋势。1971~1986年的年平均年降雨量为286.39 mm,而2001~2012年的年平均年降雨量已升至314.02 mm。尤其是2002年之后,降雨量一直保持在比较高的水平。

3.3 蒸发量

因中国气象科学数据共享服务网提供的共享数据中的蒸发量(小型)只到2003年,本文结合前人研究成果,分析了青海地区近40年来蒸发量变化趋势。对青海地区11个气象台站1971~2003年的年平均蒸发量数据相加取平均值,其变化曲线如图6所示。青海地区蒸发量呈明显减小的趋势(刘敏等,2009;李景鑫等,2013)。

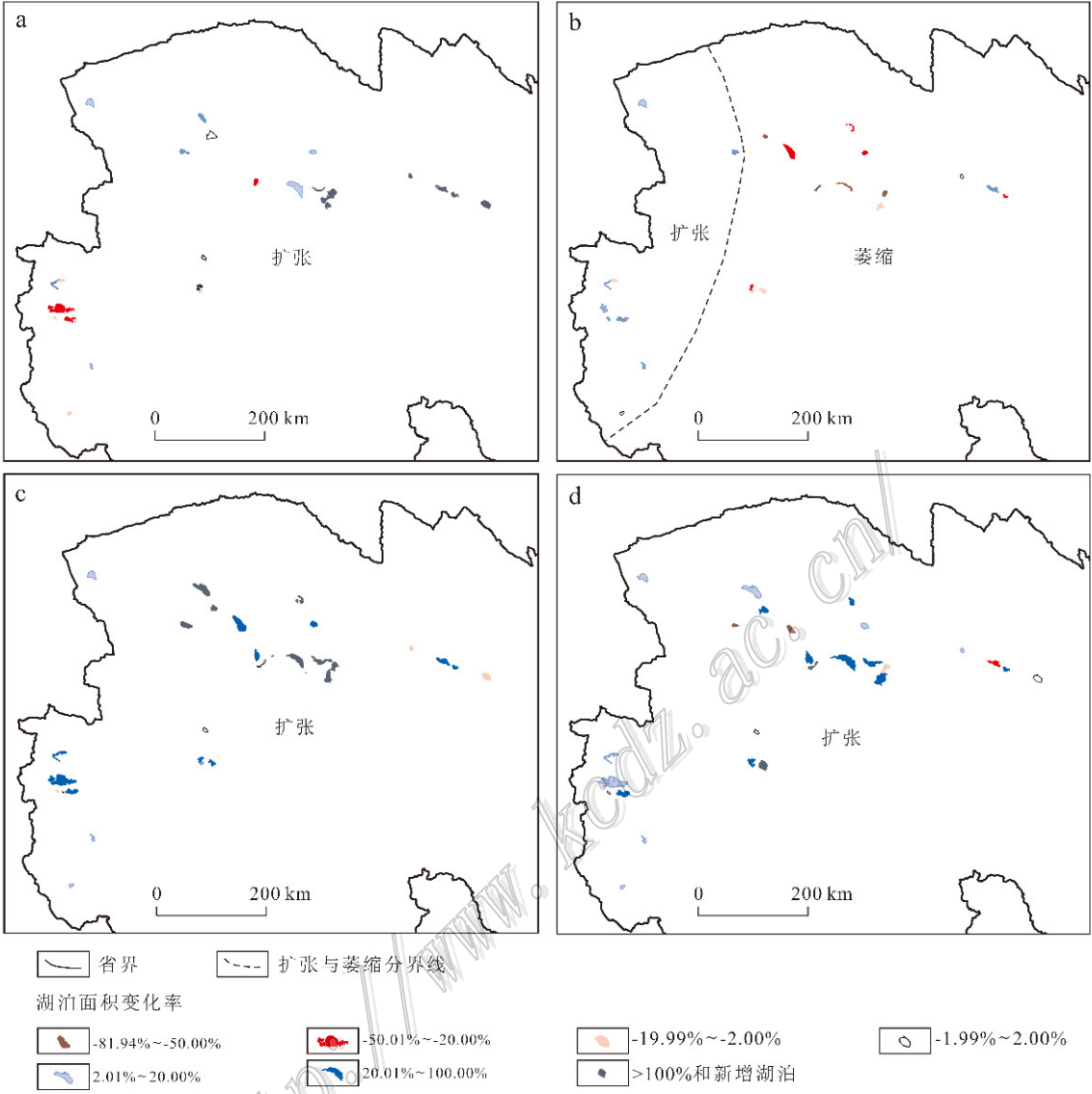


图 3 青海地区盐湖近 40 年来动态变化

a. 20 世纪 70 年代至 90 年代盐湖面积变化, 盐湖面积变化率 = $(\text{area}(1990's) - \text{area}(1970's)) / \text{area}(1970's)$; b. 20 世纪 90 年代至 2000 年前后盐湖面积变化, 盐湖面积变化率 = $(\text{area}(2000) - \text{area}(1990's)) / \text{area}(1990's)$; c. 2000 年前后至 2010 年前后盐湖面积变化, 盐湖面积变化率 = $(\text{area}(2010) - \text{area}(2000)) / \text{area}(2000)$; d. 2010 年前后至 2013 年前后盐湖面积变化, 盐湖面积变化率 = $(\text{area}(2013) - \text{area}(2010)) / \text{area}(2010)$

Fig. 3 Dynamic changes of salt lakes in Qinghai in the past 40 years

a. Salt lake changes from 1970's to 1990's, change rate of salt lake area = $(\text{area}(1990's) - \text{area}(1970's)) / \text{area}(1970's)$; b. Salt lake changes from 1990's to around 2000, change rate of salt lake area = $(\text{area}(2000) - \text{area}(1990's)) / \text{area}(1990's)$; c. Salt lake changes from around 2000 to around 2010, change rate of salt lake area = $(\text{area}(2010) - \text{area}(2000)) / \text{area}(2000)$; d. Salt lake changes from around 2010 to 2013, change rate of salt lake area = $(\text{area}(2013) - \text{area}(2010)) / \text{area}(2010)$

在全球气候变暖的大背景下,青海地区气候出现了由暖干向暖湿方向转型的趋势,尤其是 2002 年之后,这种趋势明显加剧。气温升高导致大量冰川融化,河流补给量增加。1956~2003 年,祁连山中段的 910 条冰川面积共缩小了 21.7% (陈辉等,

2013),这使以冰川融水为补给源的湖泊水量增加。另外,降雨量的增加使以地表径流和大气降雨为补给源的湖泊扩张。蒸发量的减小降低了湖泊水量的散失,有利于湖泊扩张。

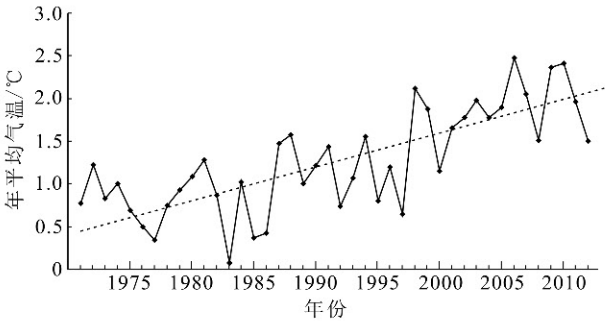


图 4 青海地区 1971~2012 年平均气温变化曲线
Fig. 4 Changing curve of annual mean temperature from 1971 to 2012 in Qinghai area

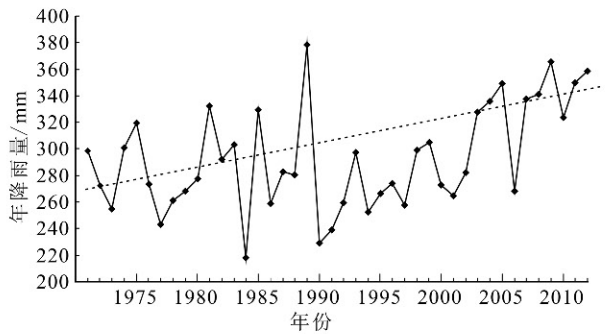


图 5 青海地区 1971~2012 年年降雨量变化曲线
Fig. 5 Changing curve of annual rainfall from 1971 to 2012 in Qinghai area

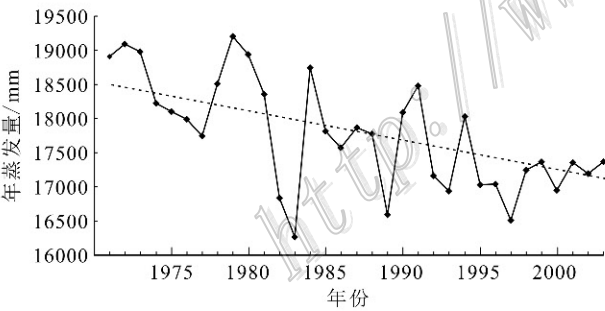


图 6 青海地区 1971~2003 年年蒸发量变化曲线
Fig. 6 Changing curve of annual evaporation from 1971 to 2003 in Qinghai area

4 盐湖淡化对其矿产资源开发的影响——以小柴旦湖为例

小柴旦湖位于海西蒙古自治州大柴旦镇境内，湖区北距大柴旦镇 60 km，交通方便。卤水有湖表卤水和晶间卤水，以湖表卤水为主。湖表卤水矿化度 339.1 g/L，密度为 1.2265 kg/m³，pH 值 7.8，盐

湖水化学类型为硫酸镁亚型(郑喜玉等,2002)。
小柴旦湖为富硼盐湖，不仅卤水含硼量高，同时也广泛分布着硼酸盐沉积(孙大鹏等,1988)。湖表卤水中 $\rho(\text{B}_2\text{O}_3)$ 为 $2.830 \times 10^3 \sim 4.790 \times 10^3 \text{ mg/L}$ ，一般为 $3.500 \times 10^3 \sim 4.000 \times 10^3 \text{ mg/L}$ 。在垂直方向上，湖水下部的 B_2O_3 含量略高于上部(曹文虎等,2004)。晶间卤水赋存于湖底的石盐层中，矿化度为 350~360 g/L， $\rho(\text{B}_2\text{O}_3)$ 为 $51\,000 \times 10^3 \text{ mg/L}$ (陈敬清等,1980)。另外，小柴旦湖石盐储量 $0.04 \times 10^4 \text{ t}$ ，芒硝储量 $0.11 \times 10^4 \text{ t}$ ， MgCl_2 储量 $45.5 \times 10^4 \text{ t}$ ， LiCl 储量 $0.2 \times 10^4 \text{ t}$ ， K_2SO_4 储量 $6.18 \times 10^4 \text{ t}$ (秦俊法,2013)。

4.1 近 40 年来小柴旦湖面积及其矿化度的变化

图 7 为 1973~2013 年五个不同时间段中小柴旦湖的假彩色合成遥感影像，其面积一直呈现扩张的趋势。1973 年 12 月 22 日的面积为 50.54 km²，至 2013 年 9 月 28 日，面积已扩张至 96.18 km²，几乎增至 1973 年的 2 倍。盐湖水量的增加会直接导致湖水矿化度降低，离子浓度降低。1980 年，小柴旦湖表卤水的矿化度为 339.10 g/L，而至 2011 年已降至 160.00 g/L(表 3)。

笔者用荷兰 Avantes 公司生产的 AvaSpec 便携式光谱仪，对不同浓度卤水进行了光谱测试。研究表明，高浓度卤水的反射率明显高于淡水，且反射率与湖水的含盐量(矿化度)成正比。反映在遥感影像上，其亮度逐渐增加，色调由深到浅。许多盐湖因矿化度较高且不均匀，形成环带状色带(白朝军等,2004)。TM、ETM 的第 2 波段对矿化度有很好的反映。图 8 分别为小柴旦湖 1989 年、2001 年和 2009 年遥感影像第二波段进行处理后的影像，2009 年湖体的灰度值明显高于前两景影像，说明矿化度的降低导致了光谱反射率的降低，遥感影像很好的反映了盐湖矿化度的变化。遥感有快捷、覆盖全的特点，且现在 Landsat 8 已免费共享。这对交通条件差、生态环境脆弱、调查成本高的青海地区，遥感因其自身

表 3 小柴旦湖表卤水物理化学特征
Table 3 Physical and chemical characteristics of lake surface brine of the Xiao Qaidam Lake

时间	矿化度/(g/L)	密度/(kg/m ³)	数据来源
1980 年	339.10	1.2265	郑喜玉等,2002
1991 年	279.12	1.186	孙大鹏,1991
2011 年	160.00	—	Wang et al., 2013

注：—表示数据缺失。

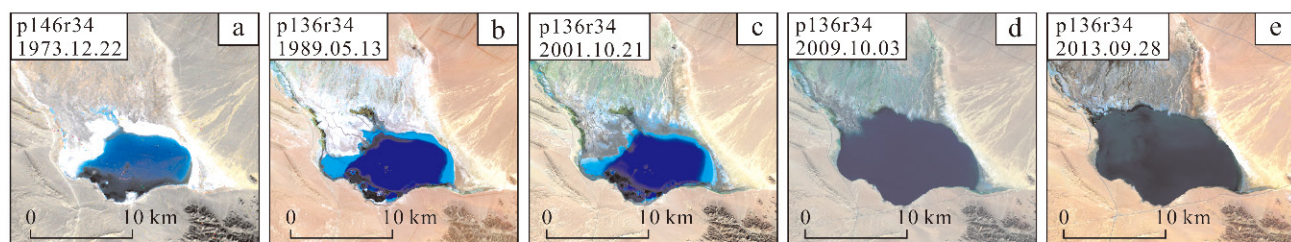


图 7 青海地区小柴旦湖 1973 年(a)、1989 年(b)、2001 年(c)、2009 年(d)和 2013 年(e)遥感影像

Fig. 7 Remote sensing images of the Xiao Qaidam Lake in 1973(a)、1989(b)、2001(c)、2009(d) and 2013(e) from Qinghai area

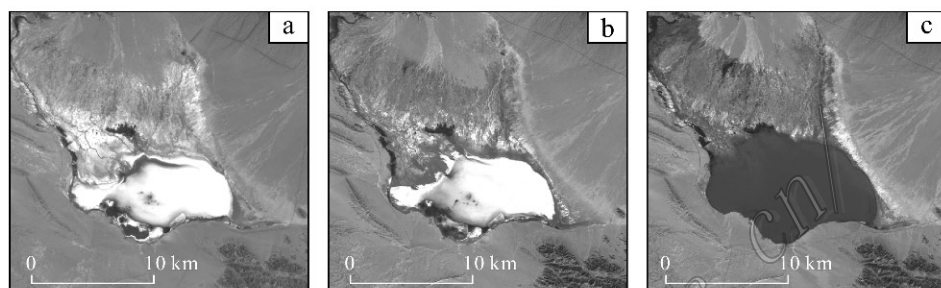


图 8 青海地区小柴旦湖 TM、ETM 2 波段遥感影像

a. 小柴旦湖 1989 年 TM 2 波段影像,与图 7b 为同一景影像; b. 小柴旦湖 2001 年 ETM 2 波段影像,与图 7c 为同一景影像;
c. 小柴旦湖 2009 年 TM 2 波段影像,与图 7d 为同一景影像

Fig. 8 TM and ETM Band 2 images of the Xiao Qaidam Lake in Qinghai area

a. TM band 2 image of the Xiao Qaidam Lake in 1989, it has the same path and row as Fig. 7b; b. ETM band 2 image of the Xiao Qaidam Lake in 2001, it has the same path and row as Fig. 7c; c. TM band 2 image of the Xiao Qaidam Lake in 2009, it has the same path and row as Fig. 7d

的优势在盐湖资源调查和评价中将起到重要作用。

4.2 盐湖淡化对矿产资源开发的影响

从小柴旦湖矿化度的变化可知,在全球气候变暖的影响下,盐湖淡化对其矿化度和离子浓度的影响非常大。这将会给盐湖矿产资源的开发带来新的挑战。

(1) 盐湖淡化导致矿产品位的降低或沉积矿床被溶解。这对于原来品位较高的盐湖,会增加开发成本,拉长生产周期,对固体矿床的开发尤为明显,如 1989 年一场大洪水使中国察尔汗的达布逊北滨沉积多年的光卤石全部消溶(齐文等,2002)。对于一些处于工业临界品位的盐湖,可能因其矿化度的降低而失去开采价值。

(2) 在盐湖大面积淡化,且趋势越来越明显的大环境下,对盐湖资源开发中的技术要求越来越高。在湖泊淡化,矿产资源贫化的条件下,锂等矿产资源有效提取技术亟待研发。

(3) 气候变化会给政府制定青海地区盐湖矿产资源开发政策带来新的挑战,需要有效评估气候及盐湖动态变化趋势,精准分析气候对盐湖矿产品位及其资源开发的影响。

5 结 论

(1) 总体上,青海地区面积大于 10 km^2 的盐湖(不包括干盐湖)总面积除在 2000 年前后有所减少外,近 40 年来,基本上呈现增加的趋势。具体而言,2000 年前后,萎缩的湖泊主要分布在柴达木盆地;其他时期均呈现全面扩张的趋势。

(2) 在全球气候变暖的大环境下,近 40 年来,青海地区气候出现了向暖湿方向转型的趋势。在气候数据上表现为温度升高、降雨量增加和蒸发量减少。2002 年之后,这种趋势明显加剧。气温升高导致青海地区大量冰川消融,有利于以冰雪融水为补给源的湖泊水量增加;降雨量增加使以地表径流和大气降水为补给源的湖泊呈扩张的趋势;蒸发量减小降低了湖泊水量的散失。

(3) 湖泊淡化使青海地区小柴旦湖的矿化度显著降低,湖泊面积的增加和矿化度的降低在遥感影像上有很好的反映。

(4) 盐湖淡化会导致盐湖矿产资源开发成本的增高、难度加大,甚至使一些处于工业临界品位的盐

湖失去开发价值。资源需求的增加和开发难度的增大将形成鲜明的矛盾。在湖泊淡化、矿产资源贫化的大趋势下,锂等矿产资源有效提取技术亟待研发。

(5) 青海盐湖预警及监测系统急需建立。遥感因其自身的优势,在交通条件差、生态环境脆弱、调查成本高的青海地区的盐湖资源调查和评价中将起到重要的作用。

参考文献/References

白朝军,王跃峰,武 萍. 2004. 西藏自治区盐湖矿产资源遥感信息提取方法[J]. 国土资源遥感, (2): 35-38.

曹文虎,吴 蝉. 2004. 卤水资源及其综合利用技术[M]. 北京:地质出版社.

陈 辉,李忠勤,王璞玉,周 平,金 爽. 2013. 近年来祁连山中段冰川变化[J]. 干旱区研究, 30(4): 588-593.

陈敬清,刘子琴,符廷进. 1980. 东台吉乃尔湖间晶卤水 25℃ 等温蒸发与天然蒸发试验[J]. 盐湖研究, (Z1): 71-82.

陈晓光,李 林,朱西德,王振宇. 2009. 青海地区气候变化的区域性差异及其成因研究[J]. 气候变化研究进展, 5(5): 249-254.

国家地图集编纂委员会. 1999. 中华人民共和国国家自然地图集[M]. 北京:中国地图出版社.

郝振纯,江微娟,鞠 琴,李 丽,王加虎,鲁承阳,畅俊杰. 2010. 青藏高原河源区气候变化特征分析[J]. 冰川冻土, 32(6): 1130-1135.

李景鑫,王式功,李 艳,尚可政,相 栋. 2013. 西宁市蒸发量变化特征及影响因素[J]. 干旱气象, 31(3): 497-504.

刘 敏,沈彦俊,曾 燕,刘昌明. 2009. 近 50 年中国蒸发皿蒸发量变化趋势及原因[J]. 地理学报, 64(3): 259-269.

齐 文,郑绵平. 2002. 中国重点盐湖动态变化监测数据库与预警体系[J]. 矿床地质, 21(Z1): 52-2002.

秦俊法. 2013. 论卤盐养生(8)[J]. 广东微量元素科学, 20(11): 23-41.

施雅风,沈永平,李栋梁,张国威,丁永建,胡汝骥,康尔泗. 2003. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 23(2): 152-164.

孙大鹏,王蕴慧,祁海平. 1988. 柴达木盆地大、小柴旦盐湖硼同位素的初步研究[J]. 科学通报, (11): 855-859.

孙大鹏. 1991. 柴达木盆地小柴旦湖硼酸盐的形成[J]. 矿物岩石, 11(4): 57-65.

汪青春,秦宁生,唐红玉,陈 芳,祁如英. 2007. 青海高原近 44 年来气候变化的事实及其特征[J]. 干旱区研究, 24(2): 234-239.

徐日瑶,刘宏专,刘荣义. 2003. 青海盐湖资源综合利用[J]. 盐湖研究, 11(1): 31-40.

闫立娟,齐 文. 2010. 全国盐湖信息共享平台的设计与实现[J]. 盐

湖研究, 18(1): 15-20.

闫立娟,齐 文. 2012. 青藏高原湖泊遥感信息提取及湖面动态变化趋势研究[J]. 地球学报, 33(1): 65-74.

杨 东,王 慧,程军奇,郭佩佩. 2013. 近 50 年青海地区气候变化特征及其与 ENSO 的关系[J]. 生态环境学报, 22(4): 547-553.

郑绵平,向 军,魏新俊,郑 元. 1989. 青藏高原盐湖[M]. 北京:北京科学技术出版社.

郑绵平. 1999. 论盐湖学[J]. 地球学报, 20(4): 395-401.

郑绵平. 2001a. 青藏高原盐湖资源研究的新进展[J]. 地球学报, 22(2): 97-102.

郑绵平. 2001b. 论中国盐湖[J]. 矿床地质, 20(2): 181-189, 128.

郑绵平,卜令忠. 2009. 盐湖资源的合理开发与综合利用[J]. 矿产保护与利用, (1): 17-22.

郑绵平等. 2014. 以锂为龙头,建设西藏世界级“大盐湖产业”[R]. 北京:中国地质科学院矿产资源研究所.

郑喜玉,张明刚,徐 旭,李秉孝. 2002. 中国盐湖志[M]. 北京:科学出版社.

中国科学院观测与数字地球科学中心. 2013. Landsat 8 下载共享系统[OL/EB]. [2013-09-02]. <http://ids.ceode.ac.cn/query.html>.

中国气象局,国家气象信息中心. 2013. 可视化服务[OL/EB]. [2013-05-15]. <http://cdc.cma.gov.cn/kshfw-qihou.do?method=kshfw-show>.

朱大岗,孟宪刚,郑达兴,乔子江,邵兆刚,杨朝斌,韩建恩,余 佳,孟庆伟,吕荣平. 2007. 青藏高原近 25 年来河流、湖泊的变迁及其影响因素[J]. 地质通报, 26(1): 22-30.

Li B F, Chen Y N, Chen Z S and Li W H. 2012. Trends in runoff versus climate change in typical rivers in the arid region of northwest China[J]. Quaternary International, 282: 87-95.

Rangwala I, Miller J, Russell G and Xu M. 2010. Using a global climate model to evaluate the influences of water vapor, snow cover and atmospheric aerosol on warming in the Tibetan Plateau during the twenty-first century[J]. Climate Dynamics, 34: 859-872.

Shi Y F, Shen Y P, Kang E, Li D L, Ding Y J, Zhang G W and Hu R J. 2007. Recent and future climate change in Northwest China[J]. Clim. Change, 80(3-4): 379-393.

Wang H Y, Liu W G, Zhang C L, Jiang H C, Dong H L, Lu H X and Wang J X. 2013. Assessing the ratio of archaeol to caldarchaeol as a salinity proxy in highland lakes on the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Organic Geochemistry, 54: 69-77.

USGS. 2012. USGS Global Visualization Viewer[OL/EB]. [2012-05-08]. <http://glovis.usgs.gov/>.

You Q L, Kang S C, Pepin N, Flügel Wolfgang-Albert and Sanchez-Lorenzo A. 2010. Climate warming and associated changes in atmospheric circulation in the eastern and central Tibetan Plateau from a homogenized dataset[J]. Global and Planetary Change, 72: 11-24.