闫立娟, 焦叶红.1973—2017年西藏盐湖湖面动态变迁及对气候波动的响应[J]. 盐湖研究, 2024, 32(1):1-9. Yan L J, Jiao Y H. Dynamic changes of saline lakes in Xizang and its response to climate fluctuations from 1973 to 2017[J]. Journal of Salt Lake Research, 2024, 32(1):1-9. DOI:10.12119/j.yhyj.202401001

1973—2017年西藏盐湖湖面动态变迁及对气候 波动的响应

## 闫立娟<sup>1\*</sup>,焦叶红<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院,北京 100037; 2. 山东省煤田地质局第三勘探队,山东泰安 271000)

摘 要:西藏是我国主要盐湖成盐区之一,蕴藏着丰富的矿产资源。应用遥感和地理信息系统技术,从5个时间段的 Landsat遥感影像中提取了西藏面积大于20km<sup>2</sup>的93个盐湖(不包括干盐湖),影像成像时间分别为1973—1977年、 1990年前后、2000年前后、2010年前后和2017年,建立了西藏盐湖空间数据库,并分析了其1973—2017年的变化趋势。 结论为:(1)总体上盐湖总面积呈增加趋势,且2000年之后,盐湖扩张趋势加剧,至2017年,被研究盐湖总面积已增至 1990年前后的1.68倍。(2)从20世纪70年代至90年代,西藏中北部盐湖呈萎缩趋势,其余地区扩张。(3)盐湖湖面变迁 与气候波动密切相关,1971—1990年气温和降雨量波动不大,引起西藏中北部盐湖萎缩的主要原因为冰川和冰雪融水 补给的减少;1991—2017年气温升高降雨量增加、蒸发量减少,导致西藏盐湖呈现全面扩张的趋势。(4)扎布耶盐湖湖 面动态变迁遥感解译结果与扎布耶长期观测站水位观测数据基本一致。1973—2009年其水位整体上呈波动式上升的 趋势,而从2009年开始有所下降。landsat8从2013年开始免费提供多时相的遥感影像,可做西藏盐湖动态变迁的持续 观测。盐湖水深和成分应作为以后重点解决的问题。

关键词:西藏;盐湖;遥感;动态变迁;扎布耶盐湖;水深

中图分类号:P942 文献标识码:A

文章编号:1008-858X(2024)01-0001-09

盐湖变迁对气候有着敏感的响应<sup>[1]</sup>。有"世界屋 脊"之称的青藏高原被誉为"亚洲水塔",与全球气候 变化和亚洲季风密切相关<sup>[2]</sup>。在全球气候变暖的大 背景下,西藏高原的升温速度已远远超过世界平均 水平<sup>[3]</sup>。气候变化对西藏高原的水量平衡产生了直 接影响,尤其对该地区的盐湖资源具有重大意义。

西藏高原面积 120 多万 km<sup>2</sup>,平均海拔 4 000 m 以上<sup>[4]</sup>。高原地表水系纵横交错,十分发育,气候多 变,具有显著的高原气候特征。西藏作为我国主要 的盐湖成盐区之一,矿产资源含量丰富。据本文 2017 年盐湖空间数据库的统计结果,研究区内面积 大于 20 km<sup>2</sup>的盐湖共 93 个,总面积为 8 446.70 km<sup>2</sup>, 占西藏湖泊总面积的 24.5%。西藏盐湖主要集中于 藏北地区,其主要依赖地表径流和冰川补给,这些盐 湖的水化学类型表现出明显的分带特征(图1)。

盐湖是一种具有丰富矿产资源的"活"矿床,其 中包含各类普通盐类资源,如石盐、芒硝和天然碱

等。同时,也拥有钾盐、镁盐、硝酸(钾)盐以及硼盐、 锂盐、铷(Rb)、铯(Cs)、铀(U)、钍(Th)等特种盐湖资 源[4-7]。在盐湖中,已发现约200种盐类矿物。目前, 人类已从盐湖中大量开采石盐、碱、芒硝以及钾、锂、 镁、硼、溴、硝石、石膏和医用淤泥等重要原料。这些 原料在基本化工、农业、轻工、冶金、建筑和医疗等领 域具有重要应用价值。据预测,我国硼矿总的资源 潜力约有1亿吨,其中一半在西藏[8]。另外,中国的 盐湖锂资源占据了锂工业储量的85%,而西藏的盐 湖锂资源储量约为350万t,位居全国第一<sup>[6]</sup>。扎布 耶盐湖是一种富含锂的碳酸盐型盐湖,同时还含有 较高的钾、硼、铷、铯、溴等多种矿物元素,这种盐湖 在国内外都是非常罕见的<sup>[9]</sup>。扎布耶盐湖锂资源量以 Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>计为183万t,钾资源量以KCl计为1592万t, B2O3资源量为963万t<sup>[10]</sup>。钾是保证粮食安全的重 要矿产资源,我国对于钾肥的需求呈现出不断增长 的趋势。锂已被认为是21世纪的新矿产资源,预计

收稿日期:2023-08-14;修回日期:2023-09-20

作者简介:闫立娟(1983-),女,博士,工程师,主要研究方向为遥感应用与湖泊环境演化。Email:314219349@qq.com。



(according to the remote sensing interpretation of 2017)

未来其需求量将持续上升,这将进而导致对盐湖资 源需求量的增加。

## 1 数据与方法

### 1.1 遥感数据来源

为了深入研究西藏 1973—2017 年盐湖湖面动 态变化,笔者选取了覆盖研究区的 5 期共 386 景 Landsat 遥感影像,成像时间分别为 1973—1977 年、 1990 年前后、2000 年前后、2010 年前后和 2017 年, 矢量化了盐湖边界信息。遥感影像相关信息如表 1 所示。

表1 青藏高原遥感影像 Table 1 Remote sensing images in Xizang

	0	0	0
时 间	影像	景 数	数据源
1973—1977年	Landsat 1 ~ 3 MSS	82	$(1)^{[11]}$
1990年前后	Landsat 5 TM	76	$(1)^{[11]}$
2000年前后	Landsat 5 ETM	76	$(1)^{[11]}$
2010年前后	Landsat 5 TM	76	2[12]
2017年	Landsat 8 ETM	76	2[12]

### 1.2 盐湖空间数据库的建立

本文对 1973—1977 年、1990 年前后、2000 年前 后和 2017 年的 2 级影像数据用 ENVI 软件进行了预 处理和假彩色合成。对地观测数据共享计划共享的 2010 年后遥感数据为 4 级数据,可直接作为矢量化 的底图(表 1)。

盐湖边界矢量化软件选用 ArcGIS, 空间数据库的投影选用 Asia\_Lambert\_Conformal\_Conic, 中央经 线为 110°, 双标准纬线为 25°和 47°。

### 1.3 气象数据

本文从 https://en.tutiempo.net/climate/china 网站

上选取了西藏 13 个气象站 1981—2017 年的年平均 气温和年降雨量数据,分析了研究区气候变化特征。

## 2 结 果

#### 2.1 西藏盐湖分布和面积统计

根据西藏盐湖空间数据库,参考"青藏高原湖泊 水化学分带图"<sup>[4]</sup>,2017年西藏面积大于20km<sup>2</sup>的盐 湖共93个,总面积为8446.70km<sup>2</sup>。1973—2017年, 西藏面积大于20km<sup>2</sup>的盐湖总面积呈增加的趋势。 2017年西藏面积大于20km<sup>2</sup>的盐湖总面积和1990 年前后、2000年前和2010年前后相比,分别增长了 12.96%、42.30%和60.02%(图2)。2000年之后,暖 湿气候导致西藏盐湖显著扩张。5个时期盐湖分布 如图3所示。其中,2017年面积大于50km<sup>2</sup>的盐湖 共61个,其面积信息见表2。



#### 2.2 盐湖湖面变迁

本文详细分析了西藏 2017 年面积大于 20 km<sup>2</sup> 的 93 个盐湖在 5 个不同时期的变化情况,如图 4 所 示。从 1973—1977 年至 1990 年前后,有 37 个盐湖 面积减少,萎缩湖泊主要集中在西藏中北部,其余地 区呈现扩张的趋势(图 4A)。1990 年前后至 2000 年 前后,盐湖总面积增加了 12.45%。有 75 个盐湖面积 增加,有 18 个盐湖面积减小,且变化率较小。西藏 盐湖的扩张趋势已基本显现(图 4B)。

从 2000 年前后至 2010 年前后, 盐湖总面积已由 5 935.68 km<sup>2</sup> 增加至 7 477.39 km<sup>2</sup>。这段时期内, 有 85 个盐湖面积增加, 仅有 8 个盐湖面积略有减少。 总体来看, 全区盐湖呈现全面扩张的趋势(图 4C)。 2017 年, 盐湖总面积已增至 8 445.70 km<sup>2</sup>, 面积增加 的盐湖 90 个, 只有 3 个盐湖面积减小(图 4D)。

		Tab	ā de 2 Dynamic	医してい 1973—20 changes of salii	ne lakes with are	sas larger than :	50 km <sup>2</sup> in in Xiz	ang during 197	'3-2017		
비	東	20世纪	170年代	20世纪	190年代	20004	年前后	2010:	年前后	201	17年
17-5-	现石	面积/km <sup>2</sup>	日期	面积/km <sup>2</sup>	日期	面积/km <sup>2</sup>	日期	面积/km <sup>2</sup>	日期	面积/km <sup>2</sup>	日期
-	多格错仁	,	1	373.46	1992-09-30	395.48	1999-08-25	476.00	2009-08-28	503.05	2017-10-21
2	多尔素洞错	366.65	1976-12-19	360.41	1990-05-29	393.04	2000-10-07	476.31	2009-08-05	494.69	2017-09-28
3	多格错仁强错	ı		200.83	1990-11-12	211.50	1999-08-25	343.20	2009-08-28	429.89	2017-10-21
4	达则错	256.3	1976-12-06	250.75	1992-09-30	244.58	2000-10-30	291.73	2010-05-27	324.52	2017-10-21
5	碱水湖	80.5	1976-11-17	56.46	1992-10-12	102.05	1999-09-22	170.13	2010-09-28	245.69	2017-10-01
9	扎布耶茶卡	140.75	1976-11-16	219.93	1989-10-22	246.28	2000-10-28	245.87	2009-09-18	206.59	2017-10-19
7	玛尔盖茶卡	41.3	1977-03-03	32.85	1990-11-03	84.01	1999-09-17	148.87	2009-07-18	191.3	2017-10-12
8	其香错	ı		149.38	1990-05-29	157.62	1999-09-19	181.75	2009-08-05	187.47	2017-09-28
6	依布茶卡	ı		150.80	1990-11-03	164.80	2001-09-22	178.72	2008-10-03	183.95	2017-10-12
10	羊湖	74.8	1973-12-12	62.37	1992-10-21	68.85	2000-11-04	111.61	2009-07-16	165.75	2017-10-26
11	雅根查错	64.8	1976-12-19	102.50	1990-05-29	113.72	2000-10-07	137.43	2009-08-05	160.87	2017-09-28
12	振泉湖	55.11	1977-03-03	22.43	1990-11-03	35.81	1999-09-17	87.61	2009-09-27	154.23	2017-10-28
13	邦达错	110.9	1977-03-06	108.90	1991-10-17	113.58	2001-10-20	132.12	2009-08-15	152.44	2017-10-08
14	达瓦错	113.1	1976-11-15	109.14	1990-11-10	105.50	2000-10-28	116.45	2009-09-27	133.43	2017-10-19
15	向阳湖			93.16	1990-11-12	89.77	1999-09-17	118.97	2009-08-12	126.56	2017-10-21
16	龙舟湖	35.12	1977-03-03	39.16	1990-11-03	41.19	1999-09-17	76.65	2009-07-18	123.15	2017-10-12
17	泽错	109.03	1976-11-20	115.41	1991-10-17	116.17	2000-10-08	118.82	2009-05-18	121.95	2017-09-13
18	结则茶卡	105.38	1977-02-17	106.37	1991-10-17	108.40	2001-10-20	112.53	2009-08-15	115.89	2017-10-08
19	朝阳湖			107.76	1990-11-03	101.51	1999-09-17	118.90	2009-07-18	115.77	2017-10-12
20	仓木错	76.25	1976-11-16	83.97	1990-11-17	100.70	2001-10-22	104.39	2009-09-18	110.44	2017-10-26
21	洞错	91.45	1976-11-16	80.06	1990-11-10	86.26	2000-10-28	105.59	2009-09-27	109.87	2017-10-19
22	龙木错	99.07	1977-02-17	99.77	1991-10-17	100.96	2001-10-20	103.85	2009-08-15	107.56	2017-10-08
23	错尼	63.71	1977-03-03	54.52	1990-11-03	57.84	1999-09-17	98.81	2009-07-18	105.55	2017-10-12
24	班戈错	41.40	1977-02-28	103.81	1990-06-30	108.78	1999-09-19	131.83	2010-08-08	103.45	2017-09-28
25	若拉湖	67.94	1976-12-02	48.25	1990-11-12	62.01	1999-08-25	90.76	2009-08-12	103.18	2017-10-21
26	鄂雅错	59.43	1976-12-19	58.99	1992-09-30	59.89	1999-08-25	87.75	2009-08-28	102.17	2017-10-21
27	拉果错	91.89	1976-11-16	94.12	1990-11-17	92.69	2000-10-28	95.20	2009-09-18	97.08	2017-10-26
28	诺尔玛错	71.69	1977-01-07	69.51	1992-09-30	70.10	2000-10-30	80.96	2010-05-27	96.79	2017-10-21
29	玛尔果茶卡	15.94	1977-03-03	82.75	1990-11-03	89.28	1999-09-17	90.56	2008-10-03	93.17	2017-10-12
30	涌波错	56.65	1977-03-03	52.51	1990-11-10	55.88	2001-07-11	63.01	2009-09-27	92.71	2017-10-03
31	杜佳里湖	0.00	1977-01-07	33.27	1992-09-30	38.23	1999-09-19	81.32	2010-08-08	86.15	2017-10-21

## 第1期

闫立娟,等:1973—2017年西藏盐湖湖面动态变迁及对气候波动的响应

3

猫久	20世名	己 70 年代	20世刻	己 90 年代	2000	年前后	2010	年前后	20	17年
Ŧ	面积/km <sup>2</sup>	日期								
度错	58.14	1976-12-02	58.60	1992-09-30	55.94	1999-08-25	75.71	2009-08-28	83.16	2017-10-21
水湖	22.19	1976-12-02	16.70	1990-11-12	31.97	1999-08-25	70.03	2009-08-12	79.11	2017-10-21
彦错	45.85	1976-12-02	51.91	1992-09-30	54.20	1999-08-25	71.31	2009-08-28	76.94	2017-10-21
孔茶卡	·	·	40.10	1990-11-03	54.79	1999-09-07	67.39	2008-10-03	76.56	2017-10-12
徹湖	61.09	1977-03-06	62.28	1992-10-12	62.36	2001-10-20	70.05	2010-09-28	75.85	2017-10-08
大茶卡	21.29	1977-03-03	59.96	1989-10-22	68.94	2000-10-28	69.61	2009-09-27	75.09	2017-10-19
<b>扩</b> 茶卡	32.97	1976-12-19	24.01	1990-05-29	40.57	2000-10-07	66.80	2009-08-28	74.21	2017-09-28
い遡	34.68	1976-11-17	33.87	1989-10-29	39.74	2001-09-20	51.68	2009-07-16	72.87	2017-10-26
条错	ı	ı	0.00	1989-10-29	28.49	2001-09-20	52.32	2009-07-16	71.78	2017-10-17
]翁错	61.85	1977-03-06	46.85	1992-10-23	66.09	1999-11-09	73.31	2010-09-28	70.79	2017-10-17
E利湖	ı	·	ı	ı	23.49	2002-05-27	31.47	2009-09-27	70.50	2017-10-03
5驼湖	63.13	1977-03-06	63.24	1992-10-12	63.97	2001-10-20	67.17	2010-09-28	66.69	2017-10-08
;恰错	·	ı	54.72	1992-08-31	55.26	1999-09-19	73.96	2009-08-30	69.37	2017-10-07
「泉湖	·	ı	26.72	1989-10-29	78.18	2001-09-20	69.96	2009-07-16	68.79	2017-10-26
育梅湖	13.39	1976-12-02	30.75	1990-11-12	24.15	1999-09-17	38.83	2009-08-12	68.38	2017-10-28
身雨湖	ı	ı	38.61	1990-11-03	50.46	1999-09-17	55.34	2010-03-28	67.84	2017-10-28
(布错	62.23	1977-03-03	61.11	1990-11-10	60.82	2000-09-26	64.98	2010-09-26	67.38	2017-10-19
达尔错	35.06	1976-12-19	36.98	1990-05-29	40.52	2000-10-07	59.54	2009-08-05	67.07	2017-09-28
〔仁错	57.73	1977-03-03	65.75	1990-11-10	67.02	2000-09-26	66.22	2010-09-26	66.36	2017-10-19
]木错	29.09	1976-12-19	19.61	1992-09-30	30.85	2000-08-08	56.71	2009-08-28	63.28	2017-10-21
創山湖	42.89	1976-12-02	31.31	1990-11-12	26.46	1999-08-25	52.24	2009-08-12	63.22	2017-10-21
仓茶卡	15.27	1976-12-06	40.00	1990-11-17	18.42	1999-11-09	21.80	2010-09-28	62.82	2017-10-17
和平错	39.72	1976-11-17	35.21	1989-10-29	60.47	2001-09-20	58.94	2009-07-16	58.77	2017-10-17
内屋错	135.22	1977-03-06	38.05	1992-10-23	37.04	1999-11-09	56.43	2010-09-28	57.56	2017-10-17
₹沃错温	36.15	1976-12-02	30.17	1992-09-30	36.82	1999-08-25	51.49	2009-08-28	56.66	2017-10-21
玛尔错	ı	ı	39.81	1990-11-17	43.21	2000-10-28	47.36	2009-07-16	54.77	2017-10-26
考里错	54.33	1977-02-15	53.35	1990-11-17	53.15	2001-10-22	53.69	2009-09-18	53.83	2017-10-17
<b>ド</b> 岛湖	ı	ı	27.69	1992-09-30	32.67	2000-11-04	45.62	2009-08-28	52.36	2017-10-21
言环湖	ı	ı	33.23	1992-09-30	38.39	1999-09-07	46.70	2009-07-18	51.47	2017-10-12
孔茶卡	21.26	1976-12-02	43.84	1992-09-30	43.28	1999-08-25	49.71	2009-08-28	51.23	2017-10-21

笙 32 卷

5



图3 西藏5个时期盐湖分布图 Fig. 3 Distribution of saline lakes in Xizang in five different periods



in Xizang during 1973-2017

### 2.3 气候波动

气候波动及其带来的影响已成为科学研究的热 点。在过去的近百年中,全球气候有明显变暖的趋 势<sup>[13]</sup>,并仍在继续,全球平均温度升高了0.85°C<sup>[14]</sup>。 本文根据西藏13个气象站的年平均气温和年平均 降雨量数据,分析了西藏 1981—2017 年气温和降雨 量变化特征。

西藏气温基本上呈持续升高的趋势。2011—2017年,西藏年平均气温为4.62°C。那曲站年平均 气温最低,为0.63°C。各个气象站的升温幅度不同, 狮泉河升温幅度最快,为0.69°C/10a。2001—2017年, 其升温明显快于其它时期。西藏的年平均气温变化 曲线如图 5A 所示。

西藏降雨量呈现东多西少、南多北少的区域性 分布特征。13个气象站1981—1990年、1991—2000年、 2001—2010年、2011—2017年的年平均降雨量如表3 所示。其中,8个气象站的年平均降雨量有所增加, 拉萨站增加最多。总体上,西藏降雨量呈波动式增 长的趋势,但增加量不大。

与降雨量相比,西藏的蒸发量较大,其变化对盐 湖水量平衡的影响相对明显。据梁斌等的研究,西 藏的蒸发量呈明显减小的趋势<sup>[15]</sup>,且西部变化明显 大于东部<sup>[16]</sup>。蒸发量的显著减少,降低了盐湖水量 的散失。



Fig. 5 Average annual temperature(A), annual precipitation (B), annual evaporation (C) variations in Xizang

表3 西藏13个气象站1981—2017年年平均气温和年平均降雨量变化特征

	1 au	ne 5 Temp				veatilet static		uning 1961-2	.017
		1981-	-1990年	1991-	-2000年	2001-	-2010年	2011-	-2017年
序号	名称	年平均 气温/℃	年平均 降雨量/mm	年平均 气温/℃	年平均 降雨量/mm	年平均 气温/℃	年平均 降雨量/mm	年平均 气温/℃	年平均 降雨量/mm
1	狮泉河	0.47	77.13	1.19	83.22	2.01	66.24	2.24	97.38
2	班戈	-0.31	345.91	0.06	329.39	0.73	365.67	0.90	390.11
3	那曲	-0.84	438.34	-0.48	522.51	0.34	490.07	0.63	557.16
4	申扎	0.40	329.43	0.80	336.00	1.25	406.69	1.24	378.03
5	日喀则	6.96	436.46	7.12	514.50	7.81	453.19	7.86	445.56
6	拉萨	8.20	379.79	8.62	507.43	9.55	479.14	9.71	518.31
7	定日	3.05	291.79	3.60	393.68	4.26	324.43	4.07	277.01
8	隆子	5.84	320.19	5.97	392.70	6.39	323.17	6.23	288.48
9	帕里	0.48	494.22	0.37	474.35	1.23	481.81	1.13	532.56
10	索县	2.13	610.98	2.27	561.60	3.16	657.40	3.31	691.40
11	丁青	3.80	582.86	3.80	772.91	4.48	662.43	4.49	715.95
12	昌都	7.82	519.23	7.86	567.76	8.45	507.30	8.50	490.41
13	林芝	8.85	702.47	9.32	818.25	9.81	699.97	9.74	721.58

### 3 讨论

### 3.1 盐湖变迁对气候波动的响应

1971-2017年,西藏盐湖整体上呈现扩张的趋势,这与气候波动密切相关。同期研究区气候变化特征表现为气温明显升高,降雨量小幅增加,蒸发量明显减少。

西藏盐湖多为内陆湖,主要补给源为地表径流、 大气降雨、冰雪融水、泉水和地下径流。西藏冰川总 面积 35 000 km<sup>2</sup>,占我国冰川总面积的 37.39%。 1990年以后的气温升高使冰川面积大幅退缩,这大 大增加了以冰雪融水为补给源的盐湖的水量补给。 对于整个研究区而言,西藏中部和北部盐湖主要以 冰川、冰雪融水和地表径流为主要补给源。1971— 1990年,气温和降雨量波动不大,引起这些地区盐湖 萎缩的主要原因为冰川和冰雪融水补给的减少; 1991—2017年,气温和降雨量增加、蒸发量减少,导 致西藏盐湖呈现全面扩张的趋势。

### 3.2 以扎布耶盐湖为例

扎布耶盐湖位于西藏日喀则地区仲巴县境内, 距拉萨约1100km,湖面海拔为4422m,盐湖卤水 的水化学类型属于碳酸盐型。扎布耶盐湖分为南湖 和北湖,南湖已成为半干盐湖,该盐湖已发育成为一 个盐矿床,其中固相和液相共存<sup>[9]</sup>。扎布耶盐湖中的 锂盐和硼砂规模巨大,钾盐规模较大,且品位极高。 此外,卤水中还含有多种特种元素,这使得该矿床具 有非常优良的工业开发价值<sup>[3]</sup>。 扎布耶盐湖的主要补给河流有东北方向的罗具 藏布、东南方向的脚布曲以及西部的浪门嘎曲,这些 河流均为季节性河流。湖内分布着数以百计的泉 眼,他们是扎布耶盐湖另一个重要的淡水补给来源。 扎布耶西北部地区为高耸的龙格尔山脉,其冰雪融 水通过浪门嘎曲补给扎布耶北湖(图6)。



Fig. 6 Remote sensing image of Zabuye Salt Lake, Tibet (time: 2014-09-09)

1990年,中国地质科学院盐湖与热水资源研究 发展中心在西藏扎布耶盐湖建立了长期观测站。本 文在遥感和实地调查的基础上,结合长期观测数据, 分析了扎布耶盐湖湖面的动态变迁。根据1990— 2009年水位观测数据,扎布耶北湖水位整体上呈上 升的趋势,然而从2009年5月之后开始下降(图7)。 根据文本遥感解译结果,在1976—2009年扎布耶北 湖面积呈扩张的趋势,之后开始萎缩,与观测数据基 本保持一致。2009年以后的面积减小与扎布耶盐湖 的开发密切相关。





4 结 论

1) 1973—2017 年间西藏面积大于 20 km<sup>2</sup>的盐湖(不包括干盐湖)总面积呈增长的趋势。2000 年之后,盐湖扩张趋势加剧,至 2017 年盐湖总面积已增加至 20 世纪 90 年代的 1.68 倍。

2) 从 20 世纪 70 年代至 90 年代,西藏中北部盐 湖呈萎缩趋势,其余地区扩张;从 20 世纪 90 年代开 始,西藏湖泊呈现全面扩张的趋势。盐湖湖面变迁 与气候波动密切相关,1971—1990 年气温和降雨量 波动不大,引起这些地区盐湖萎缩的主要原因为冰 川和冰雪融水补给的减少;1991—2017 年气温和降 雨量增加、蒸发量减少,导致西藏盐湖呈现全面扩张 的趋势。

3) 扎布耶盐湖湖面动态变迁遥感解译结果与长 期观测站水位数据基本一致。1973—2009年, 扎布 耶盐湖水位整体上呈上升的趋势, 然而从 2009年开 始下降, 这与扎布耶盐湖的开发密切相关。

2013年, landsat8 成功发射后, 免费提供多时相的遥感影像, 可做西藏盐湖动态变迁的持续观测。 目前关于盐湖水深和成分的研究还相对较少, 应作 为以后重点探讨的问题。

#### 参考文献:

- Yan L J, Zheng M P. Influence of climate change on saline lakes of the Tibet Plateau, 1973-2010[J]. Geomorphology, 2015, 246: 68-78.
- [2] Kang S C, Xu Y W, You Q L, et al. Review of climate and cryospheric change in the Tibetan Plateau [J]. Environmental Research Letters, 2010, 5: 1-8.
- [3] IPCC. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5), Climate Change 2013: The Physical Science Basis[R]. Cambridge:Cambridge University Press, 2013.
- [4] 郑绵平,向军,魏新俊,等.青藏高原盐湖[M].北京:北京科学 技术出版社,1989.
- [5] 郑绵平,卜令忠.盐湖资源的合理开发与综合利用[J].矿产保 护与利用,2009,(1):17-22.
- [6] 郑绵平.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,2014.
- [7] 郑绵平,刘喜方.青藏高原盐湖水化学及其矿物组合特征[J].
  地质学报,2010,84(11):1585-1600.
- [8] 唐尧,熊先孝,陈春琳,等.硼资源开发利用现状及我国硼资 源发展战略浅析[J].化工矿物与加工,2014,(1):21-24.
- [9] 乜贞,卜令忠,刘建华,等.我国盐湖钾盐资源现状及提钾工 艺技术进展[J].地球学报,2010,31(6):869-874.
- [10] 曹文虎,吴蝉.卤水资源及其综合利用技术[M].北京:地质出版社,2004.
- [11] USGS. USGS Global Visualization Viewer [EB/OL] [2012-05-08]. http://glovis.usgs.gov/.
- [12] 中国科学院对地观测与数字地球科学中心.对地观测数据共 享计划[DB/OL].[2019-05-25]. http://ids.ceode.ac.cn/.

- [13] Yu Y, Pi Y Y, Yu X, et al. Climate change, water resources and sustainable development in the arid and semi-arid lands of Central Asia in the past 30 years[J]. Journal of Arid Land, 2019, 11 (1):1-14.
- [14] 闫立娟. 气候变化对西藏湖泊变迁的影响(1973—2017)[J]. 地球学报,2020,41(4):493-503.
- [15] 梁斌,齐实,李智勇,等.青藏高原湖泊面积动态变化及其对

气候变化的响应[J]. 山地学报, 2018, 36(2): 206-216.

- [16] 徐宗学, 巩同梁, 赵芳芳. 近40年来西藏高原气候变化特征分析[J]. 亚热带资源与环境学报, 2006, 1(1): 24-32.
- [17] Wang Y S, Zheng M P, Yan L J, et al. Influence of the regional climate variations on lake changes of Zabuye, Dangqiong Co and Bankog Co salt lakes in Tibet [J]. Chinese Geographical Science, 2019, 29(11):1895-1907.

# Dynamic Changes of Saline Lakes in Xizang and Its Response to Climate Fluctuations from 1973 to 2017

YAN Lijuan<sup>1\*</sup>, JIAO Yehong<sup>2</sup>

(1. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, China; 2. Coal Geological Bureau in Shandong in the Third Exploration Team, Taian, 271000, China)

Abstract: Xizang is one of the main saline lake distribution areas in China. The surface extents of 93 saline lakes, with the area larger than 20 km<sup>2</sup>, in the study area were delineated from Landsat images obtained in 1970's, 1990's, around 2000, around 2010, and 2017 based on RS and GIS. The dynamic changes of these lake surface areas from 1970's to 2017 were analyzed. The results were as followed: (1) The total surface areas of these saline lakes increased by 68% during 1990's to 2017; (2) during 1970's to 1990, saline lakes with area decreasing mainly distributed in the northern and middle parts of Xizang. Since 2000, most lakes have expanded; (3) Dynamic changes of saline lake areas are closely related to climate fluctuations. From 1971 to 1990, there were few temperature and rainfall fluctuations, and the decrease of glacier and snowmelt water supply caused the shrinkage of saline lakes in the northern and middle parts of Xizang. From 1991 to 2017, the temperature and rainfall increased while the evaporation decreased, leading to the overall expansion of saline lakes in Xizang. (4) The remote sensing interpretation of Zabuye Salt Lake areas are basically in agreement with the long-term data on water level from the monitoring station. From 1973 to 2009, the water levels of Zabuye Salt Lake showed an overall upward trend, and then, declined. Landsat 8 provides free multi-temporal remote sensing images from 2013, which can be used for continuous observation of the saline lake dynamic changes in Xizang. The change of areas and chemical compositions of saline lakes should be highlighted in the future research.

Key words: Xizang; Saline lake; Remote sensing; Dynamic changes; Zabuye Salt Lake; Depth