

青藏高原湖泊动态变化的地球卫星 遥感监测及地球动力学分析

胡东生^{1,2,5}, 张华京³, 徐冰⁴, 张国伟⁵, 李世杰⁶,
彭渤¹, 王伟铭⁷, 陈诗越⁸, 徐士进⁹, 田新洪⁵

(1. 湖南师范大学资源环境科学学院, 长沙 410081; 2. 淮海工学院空间信息科学系, 海洋资源环境应用技术研究发展中心, 连云港 222001; 3. 湖南师范大学化学化工学院, 长沙, 410081; 4. 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 226071; 5. 西北大学大陆动力学国家重点实验室, 西安 710069; 6. 中国科学院南京分院, 南京 210008; 7. 中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008; 8. 山东聊城大学城市环境系, 聊城 255000; 9. 南京大学地球科学系, 南京, 210000)

[摘要] 利用遥感数据对观测对象的可逆及追踪的记录特性, 对青藏高原腹地苟鲁措湖泊进行了20余年(1985—2005年)的连续监测, 建立了长时相观测记录及连续变化序列, 破译了湖水自然演化过程的自组织耗散结构及运动现象, 采用系统吸引子及分形分维演绎刻划了湖泊随机演化过程及运动轨迹, 从而阐明了青藏高原湖泊动态变化的地球动力学机制及运动过程, 为科学认识大陆湖泊记录的气候环境响应事件及全球变化分析提供客观自然的变化信息。

[关键词] 地球卫星遥感监测; 湖泊自然随机演化过程; 系统耗散结构及吸引子分形; 青藏高原腹地

[中图分类号] P56.37; P56.455; P56.523 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)05-0033-12

1 前言

青藏高原是当今世界上最高的高原, 是东亚季风气候形成与强化的关键因素, 对中国大陆的气候变化及过程有重要的影响^[1-5], 是国际地球科学领域长期关注的地方及学科前沿发展的热点论坛。经过50余年的考察和研究, 地质地貌、生物生态、气象气候等学科积累了丰富的资料。从上个世纪70年代以来, 青藏高原古气候、古地理、古环境等学科的研究一直兴盛不衰, 冰川、砂楔、树轮、石笋、孢粉、黄土、湖泊等载体记录的信息及材料为高原第四纪环境演变过程提供了有力的支持^[6,7], 普遍认为高原环境对中国气候、东亚季风以及全球变化具有明显的启动及激活效应^[8], 对未来气候变

化及预警信号有敏感的指示功能。

20世纪80年代中期以来全球气温显著增高, 由此可能使部分地区的局地气候发生变化, 甚至可能改变部分地区的生活条件和人居环境, 引起了世界各国政府及学术界的高度重视。80年代后期, 中国大陆也发生冰川后退、湖水下降、河流萎缩、沙漠扩展、尘暴增强等现象, 于是气象学及地理学等学术界的学者首先提出中国气候预期变暖的演变趋势。90年代以来, 全球气象气候灾害及自然环境灾难事件等的发生频率及受灾程度都有大幅度的上升, 学术界普遍认定全球气温的增温趋势是不可避免和不可逆转的。进入21世纪以来, 一些学者基于自己的研究并以此追求较大的学术覆盖度, 将全球气温的增温率与未来100年平均上升3℃逐次

[收稿日期] 2005-09-06; **修回日期** 2006-03-01

[基金项目] 国家可可西里综合科学考察基金项目(D200024)及淮海工学院自然科学基金项目(KK01056)联合资助课题

[作者简介] 胡东生(1951-), 男, 甘肃天水市人, 教授, 从事地球资源环境和遥感地质学与地球动力学及全球变化等方面的研究

修改为4.5℃,5.6℃,甚至修订为8~9℃。过去100年地球气温平均上升了0.3~0.6℃,全球海平面平均上升了18cm;未来100年地球平均气温跃升为3℃以上还要大幅度飙升,全球海平面预计可以上升18~30m以上,如此发展下去地球绝大部分地区将不再适合人类居住,其全球效应的后果将是不堪设想的。地球未来气候变化果真持续大幅度增温并如此发展下去吗?青藏高原的地质证据是至关重要的。

青藏高原可可西里地区湖泊众多,湖泊度约达0.75,以咸水湖及半咸水湖为多,淡水湖和盐湖数量较少。苟鲁措湖处于可可西里腹部地区,其中心地理位置为:N34°36',E92°27';东距青藏公路—铁路交通线约150km,海拔4665m,湖水面积依据70年代航测地形图测算为23.5km²,1990年6月实测(本文第1作者为实测者)水深为1.2m,平均1.3m^[9]。1998年6月考察时湖水发生干涸(本文第5作者为实测者)^[10],湖表有薄层新生石盐,厚约2~3cm。在短短的几年里苟鲁措湖水出现如此大的变化,大大超出了人们的意料和各种模式的分析。

由于可可西里无人区没有架设野外气象台站及水文观测网络,地面通行极端困难,人力物力投入巨大,为了减少投入提高效率,笔者选择用地球卫星遥感监测技术进行动态分析。经过多方努力在全球卫星影像记录资料数据库中,追踪到1986年以来的连续数据资料,并用定位技术跟踪现今有记录的连续更新数据资料。本项目使用的地球卫星遥感影像资料全部为美国Landsat-5, TM传感器专题材料。

2 方法与讨论

2.1 地球卫星遥感追踪观测及湖水分异

利用全球卫星影像资料数据库的连续记录,下载到1986—2005年期间共244景影像资料数据(见表1),观测密度及时间分辨率平均达到12次/a和1次/月;影像空间分辨率为30m,解译面积误差率<0.1km²。根据大陆干旱地区盐湖演化过程及水化学岩相分异规律的分析,将苟鲁措湖水的连续演化过程划分为4级,其水质由淡至浓依次为:淡化——水面广大开阔,平均面积为19.8km²,水质较均匀无明显的分异现象,湖水矿化度<15g/L;较淡——水面略有缩小,平均面积为19.5km²,水质局部出现分异现象或残留有分异条带,水质矿化度15~50g/L;浓缩——水面收缩明显,平均面积为16.5km²,水化学岩相带分异显著,水质矿化度50~150g/L;浓干——水面干涸,平均面积为16.5km²,湖水干化全湖析盐,水质矿化度150~300g/L。

地球卫星遥感观察及图形斑块测算的成果表明,苟鲁措湖水长期连续变化过程中,其面积变化与水质变化并不是线性的,并不严格按照经典湖泊干化成盐演化理论模式^[11],它处于一种非线性变化及动荡发展的演变趋势。根据长期观测资料及精细数值解译,湖水面积在25.3~13.0km²之间波动变化,其水质的变化与其面积不存在典型的线性关系,也即不存在简单的对应关系。大量观察事实表明,湖面宽阔广大,则不一定必然就是湖水淡化;湖面狭窄瘦小,也不一定必然就是湖水浓干。

苟鲁措积累的20年连续观测资料的统计分析结果为:淡化期平均面积为19.89km²,最大面积为25.3km²,最小面积为14.3km²;较淡期平均面积为19.51km²,最大面积为25.25km²,最小面积为14.3km²;浓缩期平均面积为16.53km²,最大面积为20.02km²,最小面积为13km²;浓干期平均面积为15.55km²,最大面积为22.3km²,最小面积为13km²。

表1 青藏高原苟鲁措湖泊地区地球卫星Landsat-5追踪观察实况材料一览表

Table 1 Earth satellite Landsat-5 track observed the actual condition materials general charts in the Goulucuo Lake area of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau

日期	过境时间 (UTM)	湖泊面积/km ²	水质状况	变化特征
1986-07-30	03:49:50~03:50:15	22.5	较淡	西南边缘有分异条带
1986-10-27	03:40:36~03:41:01	17~18	浓缩	中东部有淡水带
1986-11-03	03:46:31~03:46:57	18~19	浓缩	中东部有淡水团
1986-11-12	03:40:00~03:40:25	16.38	浓干	中东部有淡水团
1986-12-14	03:40:10~03:40:35	15.6	浓干	中东部有淡水团

续表

日期	过境时间 (UTM)	湖泊面积/km ²	水质状况	变化特征
1987-01-22	03: 47: 30~03: 47: 55	15.6	浓干	整体干涸析盐 (干盐滩)
1987-02-07	03: 48: 04~03: 48: 29	17.68	浓干	整体干涸析盐东部有淡水中心
1987-03-04	03: 42: 52~03: 43: 17	17.1	浓干	整体干涸析盐 (干盐滩)
1987-04-21	03: 44: 32~03: 44: 57	17.75	浓干	整体干涸析盐 (干盐滩)
1987-05-14	03: 51: 29~03: 51: 48	14.3	浓干	整体干涸析盐 (干盐滩)
1987-05-30	03: 51: 47~03: 52: 13	15	浓干	整体干涸析盐 (干盐滩)
1987-06-24	03: 46: 10~03: 46: 35	14.95	浓干	整体干涸析盐中东部有淡水带
1987-09-19	03: 54: 32~03: 54: 57	14.95	浓干	整体干涸析盐中东部有淡水带
1987-12-01	03: 49: 46~03: 50: 11	14.3	淡化	未见分异条带
1987-12-17	03: 49: 59~03: 50: 25	17.94	淡化	未见分异条带
1988-01-09	03: 56: 33~03: 56: 58	17.94	淡化	未见分异条带
1988-02-10	03: 57: 08~03: 57: 33	15.02	较淡	西浓东淡环形分异
1988-02-19	03: 51: 05~03: 51: 30	14.3	较淡	西浓东淡环形分异
1988-03-29	03: 57: 38~03: 58: 03	15.02	浓干	东部有淡水中心
1988-04-30	03: 57: 48~03: 58: 13	16.45	浓干	整体干涸析盐
1988-06-01	03: 58: 05~03: 58: 30	17.16	浓干	整体干涸析盐
1988-07-03	03: 58: 16~03: 58: 41	阴云	浓缩	中东部有淡水带
1988-08-13	03: 52: 08~03: 52: 33	20.28	淡化	未见分异条带
1988-09-14	03: 52: 09~03: 52: 35	19.73	淡化	未见分异条带
1988-09-30	03: 52: 03~03: 52: 28	17.75	淡化	未见分异条带
1988-10-16	03: 51: 58~03: 52: 24	16.38	较淡	西部有分异团块
1988-10-23	03: 58: 09~03: 58: 34	15.02	浓缩	中东部有淡水带
1988-11-01	03: 52: 01~03: 52: 27	14.95	浓缩	中东部有淡水带
1988-11-08	03: 58: 12~03: 58: 37	13.65	浓缩	中东部有淡水带
1988-11-24	03: 58: 12~03: 58: 38	13.65	浓缩	中东部有淡水带
1988-12-03	03: 51: 58~03: 52: 23	13.1	浓缩	中东部有淡水带
1988-12-10	03: 58: 01~03: 58: 26	13.65	浓缩	东部有淡水团
1988-12-19	03: 51: 45~03: 52: 10	13	浓缩	中东部有淡水带
1989-01-27	03: 57: 34~03: 57: 59	12~14	浓缩	东部有淡水团
1989-02-28	03: 57: 24~03: 57: 49	12~13	浓干	东部有淡水中心
1989-03-09	03: 50: 57~03: 51: 22	14~15	浓干	整体干涸析盐有淡水点
1989-04-17	03: 56: 37~03: 57: 02	13	浓干	整体干涸析盐有淡水点
1989-05-03	03: 56: 22~03: 56: 47	13.63	浓干	整体干涸析盐
1989-06-04	03: 55: 50~03: 56: 15	18.59	较淡	西浓东淡残留环形分异
1989-08-23	03: 54: 08~03: 54: 33	20.28	淡化	未见分异条带
1989-09-24	03: 53: 20~03: 53: 45	20.93	淡化	水质均匀未见分异条带
1989-10-10	03: 53: 01~03: 53: 27	19.44	淡化	水质均匀未见分异条带
1989-11-11	03: 52: 00~03: 52: 25	20.02	淡化	水质均匀未见分异条带
1989-11-27	03: 51: 33~03: 51: 58	19.44	淡化	水质均匀未见分异条带
1989-12-22	03: 44: 40~03: 45: 05	18.59	淡化	水质均匀未见分异条带

续表

日期	过境时间 (UTM)	湖泊面积/km ²	水质状况	变化特征
1990-01-23	03: 43: 39~03: 44: 05	18.2	淡化	水质均匀未见分异条带
1990-01-30	03: 49: 37~03: 50: 02	19.11	淡化	水质均匀未见分异条带
1990-02-24	03: 42: 39~03: 43: 04	17.75	淡化	水质均匀未见分异条带
1990-03-28	03: 41: 34~03: 41: 59	19.8	淡化	水质均匀未见分异条带
1990-04-04	03: 47: 37~03: 48: 02	23.1	淡化	水质均匀未见分异条带
1990-05-06	03: 47: 45~03: 48: 11	23.1	淡化	水质均匀未见分异条带
1990-06-07	03: 47: 46~03: 48: 12	22	淡化	水质均匀未见分异条带
1990-06-23	03: 47: 45~03: 48: 11	19.8	淡化	水质均匀未见分异条带
1990-07-02	03: 41: 34~03: 41: 59	22	淡化	水质均匀未见分异条带
1990-08-19	03: 41: 22~03: 41: 47	22	淡化	水质均匀未见分异条带
1990-09-04	03: 41: 15~03: 41: 40	25.3	淡化	水质均匀未见分异条带
1990-10-13	03: 47: 12~03: 47: 37	20.28	淡化	水质均匀未见分异条带
1990-11-14	03: 47: 05~03: 47: 31	20.28	淡化	水质均匀未见分异条带
1990-12-09	03: 40: 43~03: 41: 08	21.84	淡化	水质均匀未见分异条带
1991-01-17	03: 47: 54~03: 48: 20	18.7	淡化	水质均匀未见分异条带
1991-02-02	03: 48: 09~03: 48: 34	18.7	淡化	水质均匀未见分异条带
1991-03-22	03: 49: 08~03: 49: 33	18.7	淡化	水质均匀未见分异条带
1991-04-07	03: 49: 21~03: 49: 46	18.7	淡化	水质均匀未见分异条带
1991-04-23	03: 49: 37~03: 50: 02	19.8	淡化	水质均匀未见分异条带
1991-05-09	03: 49: 56~03: 50: 22	22.28	淡化	水质均匀未见分异条带
1991-06-10	03: 50: 24~03: 50: 49	23.66	淡化	水体较大与苟弄措有水道相连
1991-07-12	03: 50: 48~03: 51: 13	21.8	淡化	水质均匀未见分异条带
1991-07-21	03: 44: 49~03: 45: 14	20.28	淡化	水质均匀未见分异条带
1991-08-22	03: 45: 00~03: 45: 25	19.11	淡化	水质均匀未见分异条带
1991-08-29	03: 51: 15~03: 51: 41	18	淡化	水质均匀未见分异条带
1991-09-14	03: 51: 29~03: 51: 54	19	淡化	水质均匀未见分异条带
1991-09-30	03: 51: 34~03: 51: 59	19	淡化	水质均匀未见分异条带
1991-10-09	03: 45: 28~03: 45: 53	20	淡化	水质均匀未见分异条带
1991-10-16	03: 51: 44~03: 52: 10	19	淡化	水质均匀未见分异条带
1991-10-26	03: 45: 32~03: 45: 57	19	淡化	水质均匀未见分异条带
1991-11-01	03: 51: 43~03: 52: 08	19	淡化	水质均匀未见分异条带
1991-11-10	03: 45: 37~03: 46: 02	19.11	淡化	水质均匀未见分异条带
1991-11-26	03: 45: 43~03: 46: 08	20	淡化	水质均匀未见分异条带
1991-12-03	03: 52: 02~03: 52: 28	17.3	较淡	西端有浓卤分异团块
1991-12-19	03: 51: 56~03: 52: 21	15.6	较淡	西端有浓卤分异团块
1992-02-21	03: 51: 44~03: 52: 10	23.4	淡化	水质均匀未见分异条带
1992-08-15	03: 50: 10~03: 50: 35	24.3	较淡	有分异中部较浓西南边缘较淡
1992-11-12	03: 42: 48~03: 42: 53	16.9	淡化	水质均匀未见分异条带
1993-01-06	03: 49: 07~03: 49: 33	17.7	淡化	水质均匀未见分异条带
1993-03-11	03: 49: 45~03: 50: 11	17.7	较淡	西部有分异团块

续表

日期	过境时间 (UTM)	湖泊面积/km ²	水质状况	变化特征
1993-04-28	03: 50: 02 ~ 03: 50: 27	17.2	浓缩	东部有淡水团
1993-05-14	03: 50: 04 ~ 03: 50: 29	15	浓缩	中东部有淡水团
1993-06-15	03: 50: 06 ~ 03: 50: 32	13.65	浓干	全湖浓缩析盐
1993-06-24	03: 43: 53 ~ 03: 44: 18	15.73	浓缩	中东部有淡水团
1993-07-17	03: 50: 00 ~ 03: 50: 25	阴云	浓缩	中东部有淡水团
1993-08-18	03: 49: 59 ~ 03: 50: 25	14.95	浓缩	中东部有淡水团
1993-09-03	03: 49: 57 ~ 03: 50: 23	21	淡化	水质均匀未见分异条带
1993-11-06	03: 49: 39 ~ 03: 50: 04	23.66	淡化	水质均匀未见分异条带
1993-11-22	03: 49: 31 ~ 03: 49: 56	20	淡化	水质均匀未见分异条带
1993-12-24	03: 49: 18 ~ 03: 49: 44	20	浓干	全湖浓缩析盐有表层卤水
1994-01-02	03: 43: 01 ~ 03: 43: 26	21.84	淡化	水质均匀未见分异条带
1994-01-25	03: 48: 51 ~ 03: 49: 10	22.3	浓缩	西南边缘有浓卤水分异条带
1994-02-26	03: 48: 28 ~ 03: 48: 53	22.5 ~ 24.3	较淡	西南边缘有浓卤水分异条带
1994-03-14	03: 48: 14 ~ 03: 48: 39	23.4	较淡	西南边缘有浓卤水分异条带
1994-03-30	03: 47: 59 ~ 03: 48: 24	25.2	较淡	西南边缘有浓卤水分异条带
1994-04-15	03: 47: 39 ~ 03: 48: 04	20.28	较淡	西南边缘有浓卤水分异条带
1994-05-20	03: 34: 59 ~ 03: 35: 24	16.38	浓干	中央有淡水中心
1994-06-02	03: 46: 48 ~ 03: 47: 13	22 ~ 23.4	淡化	水质均匀未见分异条带
1994-07-13	03: 39: 38 ~ 03: 40: 03	17.94	浓缩	中东部有淡水带
1994-08-05	03: 45: 09 ~ 03: 45: 34	16.38	浓缩	中东部有淡水团
1994-08-21	03: 44: 46 ~ 03: 45: 12	19 ~ 20	浓缩	东部有淡水团
1994-09-22	03: 43: 57 ~ 03: 44: 22	21 ~ 22	较淡	西部有残留浓缩分异条带
1994-10-24	03: 42: 58 ~ 03: 43: 23	17 ~ 18	浓缩	东部有淡水团
1994-11-09	03: 42: 24 ~ 03: 42: 49	15.6	浓缩	东部有淡水中心
1994-11-25	03: 41: 51 ~ 03: 42: 16	17.16	浓缩	中东部有淡水团
1994-12-27	03: 40: 51 ~ 03: 41: 16	17.47	浓缩	东部有淡水中心
1995-01-05	03: 34: 21 ~ 03: 34: 46	17.16	浓缩	东部有淡水中心
1995-02-13	03: 39: 02 ~ 03: 39: 27	17.16	浓干	整体干涸析盐
1995-03-17	03: 37: 45 ~ 03: 38: 10	17.16	浓干	整体干涸析盐
1995-04-02	03: 37: 05 ~ 03: 37: 31	17.16	浓干	整体干涸析盐
1995-05-29	03: 28: 23 ~ 03: 28: 49	17.25	浓干	整体干涸析盐
1995-06-05	03: 34: 14 ~ 03: 34: 39	15.02	浓干	整体干涸析盐东部有淡水点
1995-07-07	03: 32: 48 ~ 03: 33: 13	18.72	浓干	整体干涸析盐周边有淡卤侵入
1995-08-17	03: 24: 45 ~ 03: 25: 10	19.11	较淡	西浓东淡、北浓南淡
1995-08-24	03: 30: 36 ~ 03: 31: 02	18.72	浓缩	中东部有淡水带
1995-09-18	03: 23: 13 ~ 03: 23: 38	23.4	淡化	水质均匀未见分异条带
1995-10-11	03: 28: 12 ~ 03: 28: 38	20.28	淡化	水质均匀未见分异条带
1995-11-28	03: 27: 27 ~ 03: 27: 52	19.5	淡化	水质均匀未见分异条带
1995-12-30	03: 27: 27 ~ 03: 27: 52	17.16	淡化	水质均匀未见分异条带
1996-02-09	03: 26: 26 ~ 03: 26: 51	17.94	淡化	水质均匀未见分异条带

续表

日期	过境时间 (UTM)	湖泊面积/km ²	水质状况	变化特征
1996-03-03	03: 34: 10~03: 34: 35	19.5	淡化	水质均匀未见分异条带
1996-04-04	03: 36: 13~03: 36: 39	18.59	淡化	水质均匀未见分异条带
1996-05-06	03: 38: 09~03: 38: 34	19.11	淡化	水质均匀未见分异条带
1996-05-31	03: 33: 24~03: 33: 49	20.93	淡化	水质均匀未见分异条带
1996-07-09	03: 41: 39~03: 42: 05	20.28	淡化	水质均匀未见分异条带
1996-08-10	03: 43: 21~03: 43: 47	23.4	淡化	水质均匀未见分异条带
1996-09-27	03: 45: 57~03: 46: 23	18.59	淡化	水质均匀未见分异条带
1996-10-29	03: 47: 35~03: 48: 01	21.13	淡化	水质均匀未见分异条带
1996-11-14	03: 48: 20~03: 48: 46	20.28	较淡	西南边缘有浓缩分异条带
1996-12-16	03: 49: 51~03: 50: 17	18.72	浓缩	西南边缘有浓缩分异条带
1997-01-01	03: 50: 37~03: 51: 02	16.45	浓缩	西南边缘有浓缩分异条带
1997-02-18	03: 52: 46~03: 53: 12	17.16	浓缩	西南边缘有浓缩分异条带
1997-03-06	03: 53: 25~03: 53: 51	15.6	浓缩	东部有淡水带
1997-04-16	03: 48: 45~03: 49: 10	15.02	浓干	中东部有淡水中心
1997-05-09	03: 55: 44~03: 56: 10	17.94	浓干	东部有淡水团
1997-06-10	03: 56: 52~03: 57: 17	15.6	浓干	中东部有淡水中心
1997-07-28	03: 58: 30~03: 58: 55	18.59	浓干	中央有淡水团
1997-08-06	03: 52: 37~03: 53: 02	17.75	浓干	中央有淡水团
1997-08-22	03: 53: 07~03: 53: 32	16.38	浓干	整体干涸析盐
1997-09-14	03: 59: 58~04: 00: 23	16.45	浓干	整体干涸析盐
1997-09-30	04: 00: 26~04: 00: 51	17.16	浓干	东部有淡水团
1997-10-25	03: 54: 56~03: 55: 21	16.38	浓干	东部有淡水团
1997-11-01	04: 01: 18~04: 01: 44	15.73	浓干	东部有淡水团
1997-12-12	03: 56: 07~03: 56: 32	16.9	淡化	水质均匀未见分异条带
1997-12-19	04: 02: 27~04: 02: 52	16.9	浓缩	东部有淡水带
1998-01-04	04: 02: 50~04: 03: 15	15.6	浓干	整体干涸析盐
1998-01-20	04: 03: 10~04: 03: 36	15	浓干	整体干涸析盐
1998-02-14	03: 57: 32~03: 57: 57	14.3	浓干	整体干涸析盐
1998-02-21	04: 03: 50~04: 04: 16	13.59	浓干	整体干涸析盐
1998-03-18	03: 58: 04~03: 58: 29	17.94	浓干	整体干涸析盐
1998-04-26	04: 04: 43~04: 05: 08	15	浓干	整体干涸析盐
1998-05-05	03: 58: 41~03: 59: 06	15	浓干	整体干涸析盐
1998-06-13	04: 05: 28~04: 05: 53	15	浓干	整体干涸析盐
1998-07-31	04: 05: 56~04: 06: 22	19.44	浓缩	中东部有淡水带
1998-08-16	04: 06: 03~04: 06: 29	20.93	较淡	西南部有边缘浓缩带
1998-09-17	04: 06: 23~04: 06: 48	21.13	淡化	水质均匀未见分异条带
1998-10-28	04: 00: 17~04: 0: 043	22.75	淡化	水质均匀未见分异条带
1998-11-20	04: 06: 38~04: 07: 03	20.02	淡化	水质均匀未见分异条带
1998-12-06	04: 06: 33~04: 06: 58	19.44	淡化	水质较均匀未见分异条带
1998-12-22	04: 06: 38~04: 07: 03	20.28	淡化	水质较均匀未见分异条带

续表

日期	过境时间 (UTM)	湖泊面积/km ²	水质状况	变化特征
1999-01-07	04: 06: 39 ~ 04: 07: 04	18.72	淡化	水质较均匀未见分异条带
1999-02-08	04: 06: 46 ~ 04: 07: 12	17.16	淡化	水质均匀未见分异条带
1999-04-13	04: 06: 19 ~ 04: 06: 44	16.9	浓干	中央有淡水团
1999-05-15	04: 06: 05 ~ 04: 06: 31	18.59	淡化	水质均匀未见分异条带
1999-06-16	04: 05: 33 ~ 04: 05: 58	18.72	较淡	西南边缘有浓缩分异条带
1999-07-02	04: 05: 23 ~ 04: 05: 49	20.28	淡化	水质均匀未见分异条带
1999-08-28	03: 58: 45 ~ 03: 59: 10	阴云	淡化	水质均匀未见分异条带
1999-09-20	04: 04: 12 ~ 04: 04: 37	19.44	较淡	西北-西南边缘有浓缩分异条带
1999-10-06	04: 04: 12 ~ 04: 04: 37	16.38	较淡	西部有分异团块
1999-12-09	04: 02: 42 ~ 04: 03: 07	18.72	较淡	西部有分异团块
1999-12-25	04: 02: 42 ~ 04: 03: 07	17.94	较淡	西部有分异团块
2000-01-10	04: 02: 36 ~ 04: 03: 02	18.72	淡化	水质较均匀未见分异条带
2000-02-27	04: 01: 06 ~ 04: 01: 32	19.5	淡化	水质较均匀未见分异条带
2000-03-14	04: 01: 17 ~ 04: 01: 42	19.5	淡化	水质较均匀未见分异条带
2000-04-15	04: 02: 07 ~ 04: 02: 33	17.88	淡化	水质较均匀未见分异条带
2000-05-10	03: 57: 06 ~ 03: 57: 31	17.16	较淡	水质较均匀未见分异条带
2000-06-27	03: 58: 04 ~ 03: 58: 29	17.16	较淡	水质较均匀未见分异条带
2000-07-13	03: 58: 24 ~ 03: 58: 49	18.2	浓干	中东部有淡水带
2000-07-20	04: 04: 40 ~ 04: 05: 06	17.16	浓干	东部有淡水中心
2000-08-30	03: 59: 22 ~ 03: 59: 47	20.28	较淡	西部有小面积浓缩分异条带
2000-09-22	04: 05: 53 ~ 04: 06: 18	15.21	浓干	东部有淡水中心
2000-10-08	04: 06: 05 ~ 04: 06: 30	17.75	浓干	整体干涸析盐
2000-11-09	04: 06: 26 ~ 04: 06: 51	20.02	浓缩	西浓东淡
2000-11-25	04: 06: 47 ~ 04: 06: 12	18.72	浓缩	西浓东淡
2000-12-27	04: 07: 17 ~ 04: 07: 43	15.02	浓干	中东部有淡水带
2001-01-12	04: 07: 25 ~ 04: 07: 50	17.16	浓干	中东部有淡水带
2001-02-06	04: 01: 26 ~ 04: 01: 51	15.78	浓干	中东部有淡水带
2001-02-13	04: 07: 36 ~ 04: 08: 01	15.02	浓干	中东部有淡水带
2001-03-26	04: 01: 35 ~ 04: 02: 00	16.38	浓干	东部有淡水中心
2001-04-11	04: 01: 19 ~ 04: 01: 44	16.9	浓干	整体干涸析盐
2001-05-29	04: 01: 43 ~ 04: 02: 08	16.38	浓干	整体干涸析盐
2001-06-30	04: 01: 46 ~ 04: 02: 11	18.72	浓干	中东部有淡水团
2001-07-23	04: 07: 56 ~ 04: 08: 21	18.72	浓干	中东部有淡水团
2001-08-08	04: 07: 55 ~ 04: 08: 20	19.44	较淡	西部有小面积卤水分异条带
2001-09-09	04: 07: 46 ~ 04: 08: 11	17.94	淡化	水质较均匀未见分异条带
2001-10-27	04: 07: 21 ~ 04: 07: 46	20.28	淡化	水质较均匀未见分异条带
2001-11-21	04: 00: 55 ~ 04: 01: 20	21.84	淡化	水质较均匀未见分异条带
2001-12-14	04: 07: 03 ~ 04: 07: 28	20.28	淡化	水质较均匀未见分异条带
2002-01-15	04: 06: 39 ~ 04: 07: 04	18.59	淡化	水质较均匀未见分异条带
2002-01-31	04: 06: 28 ~ 04: 06: 54	18.59	浓干	整体干涸析盐

续表

日期	过境时间 (UTM)	湖泊面积/km ²	水质状况	变化特征
2002-02-16	04: 06: 06 ~ 04: 06: 31	19.44	淡化	水质较均匀未见分异条带
2002-03-20	04: 05: 40 ~ 04: 06: 05	21.97	较淡	北淡南浓分异条带
2002-04-05	04: 05: 25 ~ 04: 05: 50	21.97	浓干	整体干涸析盐
2002-05-07	04: 04: 42 ~ 04: 05: 08	20.28	淡化	水质较均匀未见分异条带
2002-06-24	04: 03: 37 ~ 04: 04: 02	18.2	淡化	水质较均匀未见分异条带
2002-07-26	04: 02: 54 ~ 04: 03: 19	21.84	淡化	水质较均匀未见分异条带
2002-08-27	04: 01: 54 ~ 04: 02: 19	20.93	淡化	水质较均匀未见分异条带
2002-09-28	04: 01: 08 ~ 04: 01: 33	20.28	浓干	整体干涸析盐
2002-10-14	04: 00: 33 ~ 04: 00: 58	19.44	淡化	水质较均匀未见分异条带
2002-11-24	03: 53: 07 ~ 03: 53: 32	23.86	淡化	水质较均匀未见分异条带
2002-12-01	03: 59: 10 ~ 03: 59: 35	20.03	淡化	水质较均匀未见分异条带
2003-01-02	03: 59: 41 ~ 04: 00: 07	18.59	淡化	水质较均匀未见分异条带
2003-02-19	04: 00: 44 ~ 04: 01: 09	19.44	淡化	水质较均匀未见分异条带
2003-03-23	04: 01: 32 ~ 04: 01: 57	20.28	淡化	水质较均匀未见分异条带
2003-04-24	04: 02: 22 ~ 04: 02: 48	21.84	较淡	西浓东淡
2003-05-10	04: 02: 43 ~ 04: 03: 08	20.93	浓干	整体干涸析盐
2003-06-27	04: 03: 41 ~ 04: 04: 06	19.44	淡化	水质较均匀未见分异条带
2003-07-29	04: 04: 16 ~ 04: 04: 41	18.59	淡化	水质较均匀未见分异条带
2003-09-08	03: 58: 48 ~ 03: 59: 14	20.93	淡化	水质较均匀未见分异条带
2003-10-17	04: 05: 31 ~ 04: 05: 56	21.13	淡化	水质较均匀未见分异条带
2003-11-27	03: 59: 54 ~ 04: 00: 19	19.5	淡化	水质较均匀未见分异条带
2003-12-20	04: 06: 15 ~ 04: 06: 40	21.84	淡化	水质较均匀未见分异条带
2004-01-21	04: 06: 24 ~ 04: 06: 49	20.28	淡化	水质较均匀未见分异条带
2004-02-06	04: 06: 28 ~ 04: 06: 53	20.28	淡化	水质较均匀未见分异条带
2004-03-25	04: 06: 41 ~ 04: 07: 06	19.44	较淡	西浓东淡
2004-04-26	04: 07: 36 ~ 04: 08: 01	17.94	淡化	水质较均匀未见分异条带
2004-05-12	04: 08: 04 ~ 04: 08: 29	18.59	淡化	水质较均匀未见分异条带
2004-06-06	04: 02: 35 ~ 04: 03: 01	20.28	淡化	水质较均匀未见分异条带
2004-08-16	04: 10: 38 ~ 04: 11: 03	19.66	淡化	水质较均匀未见分异条带
2004-09-01	04: 11: 04 ~ 04: 11: 29	18.72	淡化	水质较均匀未见分异条带
2004-10-19	04: 12: 10 ~ 04: 12: 35	18.59	淡化	水质较均匀未见分异条带
2004-11-04	04: 12: 30 ~ 04: 12: 55	16.93	淡化	水质较均匀未见分异条带
2004-11-20	04: 12: 43 ~ 04: 12: 38	16.50	淡化	水质较均匀未见分异条带
2004-12-06	04: 13: 07 ~ 04: 13: 33	14.25	淡化	水质较均匀未见分异条带
2004-12-15	04: 07: 07 ~ 04: 07: 32	17.33	淡化	水质较均匀未见分异条带
2004-12-22	04: 13: 24 ~ 04: 13: 50	15.11	淡化	水质较均匀未见分异条带
2004-12-31	04: 07: 21 ~ 04: 07: 46	14.04	淡化	水质较均匀未见分异条带
2005-01-07	04: 03: 36 ~ 04: 14: 01	18.29	淡化	水质较均匀未见分异条带
2005-01-16	04: 07: 32 ~ 04: 07: 57	17.10	淡化	水质较均匀未见分异条带

可见,湖水演化过程不仅取决于补给水系水量,而且还取决于空间蒸发机制。流域补给水系水量的变化主要受湿润指数的控制,与天然降水量及实际蒸发量等因素有关系^[12]。空间蒸发机制的变化主要受干旱指数的控制,与太阳辐射及大地热流等因素也有关系。这二者同时可以用区域气候的长期变化过程来表述,即表现为湿润期和干旱期的间歇变化,能够对应于流域水体的丰水年和枯水年。通过遥感监测与实验分析的数据同化处理,苟鲁措湖水在长期演变中,水量及水质的变化受丰水年与枯水年的影响是显著的;丰水年对应于湖泊的淡化阶段,根据水量和水质的盈亏程度可分为淡化期与较淡期;枯水年对应于湖泊的浓缩阶段,根据水量和水质的浓缩程度可分为浓缩期与浓干期。

基于上述事实,将苟鲁措湖水长期演化序列表述为2个大的阶段和4个小的期次,即淡化阶段和浓缩阶段,淡化阶段包括淡化期和较淡期,浓缩阶段包括浓缩期和浓干期。

淡化阶段趋势值:平均面积 19.7 km^2 ,最大面积 25.25 km^2 ,最小面积 14.3 km^2 。淡化期趋势值:平均面积 19.89 km^2 ,最大面积 25.3 km^2 ,最小面积 14.3 km^2 ;较淡期趋势值:平均面积 19.51 km^2 ,最大面积 25.2 km^2 ,最小面积 14.3 km^2 。

浓缩阶段趋势值:平均面积 16.54 km^2 ,最大面积 21.16 km^2 ,最小面积 13 km^2 。浓缩期趋势值:平均面积 16.53 km^2 ,最大面积 20.02 km^2 ,最小面积 13 km^2 ;浓干期趋势值:平均面积 16.55 km^2 ,最大面积 22.3 km^2 ,最小面积 13 km^2 。

2.2 湖水自组织耗散结构及涨落现象

将苟鲁措湖泊长期观测数据采用数值时段均化处理,并同时进行了湖水自然随机演化序列的叠加分析,系统自组织耗散结构的特点便凸显出来。在系统组织演化过程中^[13],系统脱离原始混沌状态(初级平衡态),经过涨落分叉等逐级分异的自组织作用向有序方向(高级平衡态)发展,其涨落现象及分叉过程的阈值表现如下:系统一级均化阈值涨落初始起点(A级分叉点)为 18.12 km^2 (平均面积);二级阈值正涨落(A-1级分叉点)为 19.70 km^2 (平均面积),二级阈值负涨落(A-2级分叉点)为 16.54 km^2 (平均面积);系统一级最大扩散阈值涨落初始起点(B级分叉点)为 23.21 km^2 (平均面积),二级阈值正涨落(B-1级分叉点)为 25.25 km^2 (平均面积),二级阈值负涨落(B-2

级分叉点)为 21.16 km^2 (平均面积);系统一级最小收敛阈值涨落初始起点(C级分叉点)为 13.65 km^2 (平均面积),二级阈值正涨落(C-1级分叉点)为 14.30 km^2 (平均面积),二级阈值负涨落(C-2级分叉点)为 13.00 km^2 (平均面积)。

系统一级均化阈值及A级分叉点可用来评价湖水的长期及长年的变化趋势,二级阈值及A-1级和A-2级分叉点可分别评价正负涨落环境中的次级涨落现象即表征湖水演化趋向及分异过程。系统一级最大扩散阈值涨落初始起点(B级分叉点)用来评价湖水的中期及年内的变化趋势,二级阈值及B-1级和B-2级分叉点可分别评价正负涨落环境中的次级涨落现象即表征在不同条件下湖水最大扩容及分异程度。系统一级最小收敛阈值涨落初始起点(C级分叉点)用来评价湖水的短期及季节的变化趋势,二级阈值及C-1级和C-2级分叉点分别评价正负涨落环境中的次级涨落现象即表征湖泊在不同背景的最小容积及分异端点。

系统自组织涨落变化中,进入一级均化阈值(A级分叉点)是湖水随机统计态势,其运动越过阈值系统正向演化,湖水向淡化阶段方向发展;随着湖水的淡化浓度及趋势依次出现较淡期和淡化期;越过阈值系统负向演化,湖水向浓缩阶段方向发展,随着湖水的浓缩浓度及趋势依次出现浓缩期和浓干期。进入一级最大扩散阈值(B级分叉点)是湖泊接受物质流的多元态势(包括水力、风力、辐射等),其运动越过阈值系统正向演化,表现湖水淡化阶段的高位水面;其运动越过阈值系统负向演化,表现湖水浓缩阶段的最大范围。进入一级收敛阈值(C级分叉点)是湖水消耗及物质聚集的终结态势,其运动越过阈值系统正向演化,表现湖水淡化阶段的低位水面;其运动越过阈值系统负向演化,表现湖水浓缩阶段的最小范围。

苟鲁措湖水自然演化过程中的系统自组织涨落及分叉逐级分异过程及多级耗散结构表述如下:

均化A级结构:控制区域气候水文趋向,对应的一级阈值分辨是否进入丰水期或枯水期;次级分叉点控制长时期年内实际降水丰度趋向,对应的二级阈值分辨是否发展为淡化阶段或浓缩阶段。

扩散B级结构:控制流域集水幅度取向,对应的一级阈值分辨是否变化为湿润期或干旱期;次级分叉点控制水文年内降水幅度及补给速度,对应的二级阈值分辨是否溶解淡化或饱和析盐。

收敛 C 级结构：控制降水消耗方式及蒸发力变化，对应的一级阈值分辨是否处于均匀降水或持续干旱；次级分叉点控制补给丰沛或补给贫乏。

2.3 湖泊分形吸引子及运动过程

大陆封闭盆地湖水的变化状况是区域环境综合影响的产物，其自然随机演化过程和系统自组织耗散结构的涨落及分叉过程受多重环境因子的控制。自然界的系统演化是复杂的，不能用单一模式将其固化，也不能用数模方法机械地描述。事实证明，天然湖水演化中，线性发展的是少数特例，是湖泊形成以后没有水量补给的死水湖泊，线性发展的趋向表现为物质耗尽及反应中心消除；非线性发展是多数，是湖泊形成后尚存在水量补给的活水湖泊，非线性发展的趋向受到系统吸引子行为的控制^[14]。

系统的分形演化可描述自然过程的演变情景^[15]，利用苟鲁措湖水自然随机演变过程中的分异作用和自组织耗散结构及涨落分叉变化态势求其系统演化过程的分形维数，其通式为： $D = \ln N(\epsilon) / \ln(1/\epsilon)$ 。其中： ϵ 是系统观察单元尺度， N 是系统测度单元数量。为了对取得的海量数据进行系统敛合处理，将苟鲁措观测资料数值向量空间用直角坐标系作为初始状态情景，并用多重分形维数表述其过程的演变状态情景，其运算结果示如表 2。

表 2 苟鲁措湖水演变过程的分形维数

Table 2 Fractal dimension of the lake water develop process in the Goulucuo Lake

演化阶段	S_x/km^2	S_{\max}/km^2	S_{\min}/km^2
淡化期	19.89	25.3	14.3
较淡期	19.51	25.2	14.3
浓缩期	16.53	20.02	13
浓干期	16.55	22.3	13
演化阶段($f' \rightarrow Y$)	D_x (均化维数)	D_{\max} (扩散维数)	D_{\min} (收敛维数)
淡化期	0.464	0.429	0.521
较淡期	0.467	0.430	0.521
浓缩期	0.494	0.463	0.540
浓干期	0.494	0.447	0.540
演化阶段($f' \rightarrow X$)	D_x (均化维数)	D_{\max} (扩散维数)	D_{\min} (收敛维数)
淡化期	0.367	0.340	0.413
较淡期	0.370	0.340	0.413
浓缩期	0.392	0.367	0.428
浓干期	0.391	0.354	0.428

注： S_x —平均面积； S_{\max} —最大面积； S_{\min} —最小面积

系统演变过程的纵向坐标 ($f' \rightarrow Y$) 向量表征湖水区域演化阶段及总体发展趋势，系统演变过程的横向坐标 ($f' \rightarrow X$) 向量表征湖水局部演化时期及时段变化态势，而且二者都存在双向演化（正向和负向）的能力，表明系统的能量流的通道反馈是畅通完整的，意味着系统景观初始态未受人类活动干扰的影响。苟鲁措湖水演化过程的分形维数向量变化表明，系统吸引子的行为具有较强的活泼性，但是已经出现明显的分异特征，具备奇异吸引子的行为属性。系统奇异吸引子正向演化，数值向量向扩散方向发展，分形维数趋向于零，即 $D \rightarrow 0$ ，其极端状态是没有能量交换的死水湖，其链反应过程的最终途径发生系统转型表现为线性终止。系统奇异吸引子负向演化，数值向量向收敛方向发展，分形维数趋向于整数，即 $D \rightarrow 1$ ，其极端状态变异为平庸吸引子的行为属性，是一种饱和或超饱和的物相环境即干盐湖状态，其链反应过程的最终途径仍表现为非线性终止。

苟鲁措湖水分形维数的系统演绎途径及吸引子行为的分析表明，湖水区域演化过程已具定向性向着浓缩阶段发展，其逆向发展的几率仅为 0.006（即 6/1 000），但其正负向演化的差值比较小（ S_x 为 0.027； S_{\max} 为 0.025； S_{\min} 为 0.019）；湖水局部演化过程也初步具有定向性向着浓缩期及浓干期发展，其逆向发展的几率为 0.072（即 72/1 000），其正负向演化的差值也比较小（ S_x 为 0.021； S_{\max} 为 0.020； S_{\min} 为 0.015）。也就是说，苟鲁措湖泊长期演化响应区域气候环境的变化，具有丰水期与枯水期的动荡变化，但其总趋势朝着湖水浓缩的方向发展；同样，苟鲁措湖泊短期演化响应流域气象条件的变化，具有洪水期与干旱期的动荡变化，但其总趋势也朝着湖水浓干的方向发展。系统吸引子的活泼行为表明，湖泊演化过程已经脱离初始混沌态进入自组织有序发展，并具有分叉发展的演变特点，其正负向变化的随机概率还比较大，吸引子属性已经分异成熟具备奇异吸引子的特征，其运动轨迹具有涨落动态变化现象，表现为正负（正向频率略大于负向频率，或 $+ \geq -$ ）交替动荡变化中的正向演化过程。

3 结论

全球进入 20 世纪末至 21 世纪初气象气候灾害频发，受灾面积增大，受灾人口增多，受到人们的

普遍关注。针对中国大陆异常气候的变化,有一些学者根据区域气象气候变幅增大资料提出了气候转型变化的信号^[16],也有一些学者根据历史气候演变过程提出气候波动变化的态势^[17]。根据全国湖泊水量变化统计及其历史演变过程的预测研究,自然条件下湖泊水量水位与区域气候环境的变化是一致的^[18]。经过20余年的地球卫星遥感监测及其地球动力学分析证明,青藏高原腹地湖泊演化过程已经出现定向性,由初始混沌状态进入自组织有序发展过程,具有分叉(三级分叉)演化的特点,由于系统吸引子的行为活泼(奇异吸引子)激发演化序列出现涨落现象及正负交替的运动态势,但是保持系统正向演化过程的趋势已经形成,并突显出不可逆转的长期发展的态势。

苟鲁措湖泊演化的这种态势表明,青藏高原腹地自然环境及演变过程尚处于基本未受人类干扰或免遭长期干扰的境况,湖水自然随机演化序列具有丰水期(淡化阶段)与枯水期(浓缩阶段)的长期变化和具备淡化期、较淡期与浓缩期、浓干期的短期变化的特点以及系统总体正向动荡发展的特征,通过系统演化阈值逐级分叉及自组织耗散结构机制控制着湖水变化及水质分异的基本运动态势。

湖泊演化过程吸引子的属性及行为受系统环境因子的影响和控制,在自然演化运动态势中,区域气候环境是主要影响条件,即是地球场效关系的一级动力场;流域水文环境是附属影响条件,即是地球场效关系的二级动力场;湖面空间环境是叠加影响条件,即是地球场效关系的三级动力场。湖泊演化过程的控制点受系统运动的阈值所制约,长期监测资料表明,系统演化过程已越过临界点(阈值)进入分异过程,出现了分叉(三级分叉)及自组织涨落现象,系统分形维数也出现了由扩散向收敛的定向发展,受奇异吸引子行为的影响系统发展过程中具有正负双向交替动荡运动的特点,但其长期演化总的定向发展趋势保持不变,具有较强的系统动态稳定性。

地球大陆湖泊演化过程实质上是对自然环境变化的响应过程,自然环境变化就是通过地质载体的各种行为表现出来的,依据区域自然演变原理及其系统行为过程,湖水演化行为就可以表征区域气候环境的变化过程。通过20余年地球卫星遥感自主追踪监测数据及其湖泊系统自然随机演变过程的分析表明,苟鲁措湖水演变行为表征的区域气候环境

是长期缓慢地向干旱化变化的方向发展,并夹杂着间歇性地逆向反应过程,总体表现为干湿交替地缓慢变干的演变过程;即使在系统演化的各个阶段如丰水期与枯水期以及洪水期与干旱期等过程中,也会出现间歇性的逆向变化,局部表现为湿润和干化的动荡演变过程。

综合分析表明,青藏高原腹地湖泊记录的区域气候环境演化是在动荡变化中持续缓慢向干旱化方向发展的趋势,意味着中国大陆气候的长期演变并未出现显著异常和重大转型的自然过程,20世纪80年代后半页湿润期稍微大于干旱期,整个90年代湿润期与干旱期的发生频率基本持平并且其周期趋于变小,进入21世纪初湿润期与干旱期的动荡频率进一步变小并且其幅度剧烈变大,但是从2004年以后已出现交替周期拉大的趋势和迹象,这在全球变化中是一个非常值得注意的自然信号。

参考文献

- [1] 叶笃正,高由禧. 青藏高原气象学[M]. 北京: 科学出版社, 1979
- [2] 施雅风,李吉钧,李炳元. 青藏高原晚新生代隆升与环境变化[M]. 广州: 广东科技出版社, 1998
- [3] 汤懋苍,程国栋,林振耀. 青藏高原近代气候变化及对环境的影响[M]. 广州: 广东科技出版社, 1998
- [4] 丁一汇,村上胜人. 亚洲季风[M]. 北京: 气象出版社, 1994
- [5] 陈隆勋,朱乾根,罗会邦,等. 东亚季风[M]. 北京: 气象出版社, 1991
- [6] 施雅风,孔昭辰. 中国全新世大暖期气候与环境[M]. 北京: 海洋出版社, 1992
- [7] 刘东生, Williams M A J, Dunkerley M L, 等. 第四纪环境[M]. 北京: 科学出版社, 1997
- [8] 叶笃正,陈泮勤. 中国的全球变化预研究[M]. 北京: 地震出版社, 1992
- [9] 胡东生. 可可西里地区湖泊资源调查[J]. 干旱区地理, 1992, (3): 50~58
- [10] 李世杰,李万春,夏威夷,等. 青藏高原现代湖泊变化与考察初步报告[J]. 湖泊科学, 1998, 10(4): 95~96
- [11] Borchert H, Muir O R. Salt deposits, the origin, metamorphism and deformation of evaporites[M]. D. Van Nostrand Company Ltd, London, Princeton, New York, Toronto, 1964
- [12] 陆渝蓉 编著. 地球水环境学[M]. 南京: 南京大学出版社, 1999

- [13] 邹珊刚, 黄麟维, 李继宗, 等. 系统科学[M]. 上海: 上海人民出版社, 1987
- [14] 胡东生. 盐湖地学的研究进展和发展方向[J]. 地球科学进展, 1997, 12(5): 411~414
- [15] 孙震, 吴自勤, 黄昀. 分形原理及其运用[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2003
- [16] 施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土, 2003, 25(3): 219~226
- [17] 张德二. 中国近1000年重大干旱事件[J]. 气象知识, 2004, (6): 36~38
- [18] 王绍武, 董光荣主编. 秦大河总主编. 中国西部环境特征及其演变, 中国西部环境演变评估(第一卷)[M]. 北京: 科学出版社, 2002

Earth Satellite Remote Sensing Monitored and Geodynamic Analysis of the Dynamic Variation of Lakes in the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau

Hu Dongsheng^{1,2,5}, Zhang Huajing³, Xu Bing⁴, Zhang Guowei⁵, Li Shijie⁶,
Peng Bo¹, Wang Weiming⁷, Chen Shiyue⁸, Xu Shijin⁹, Tian Xinhong⁵

(1. *College of Resources Environmental Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China*; 2. *Research Development Center of Ocean Resources Environment Apply Technology, Department of Space Information Sciences, Huaihai Engineering College, Lianyungang, Jiangsu 222001, China*; 3. *College of Chemistry and Chemical Engineering, Hunan Normal University, Changsha 410081, China*; 4. *College of Ocean geosciences, Chinese Ocean University, Qingdao, Shandong 226071, China*; 5. *State Key Laboratories of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an 710069, China*; 6. *Nanjing Branch, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008, China*; 7. *Institute of Geological Ancient Biology of Nanjing, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008, China*; 8. *Department of City Environment, Shandong Liaocheng University, Liaocheng, Shandong 255000, China*; 9. *Department of Geosciences, Nanjing University, Nanjing 210000, China*)

[Abstract] Based on the reversible and tracking record characters of the earth satellite remote sensing data for the observed object, the 20-years(1985—2005) consecutive monitoring on the Goulucuo Lake, located in the hinterland of Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau, was carried out. The long time observation records and the continuous variation sequences were built up. The motion phenomenon and the self-organizing dissipative structure of the natural evolution process of the lake water were deciphered. The random evolution process and the motion locus of the lake were depicted with the employment of the system attractor and the fractal dimension. The motion process and the geodynamics mechanism of the dynamic change of the lakes in Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau region were expounded. The results may provide information for the scientific recognition of the responding events to the climate environment recorded by the inland lakes and global change analysis.

[Key words] monitoring with earth satellite remote sensing; the stochastic process random of the lake's natural evolution; the system's dissipative structure and the attractor's fractal; the hinterland of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau region