

新疆玛纳斯湖近 50 年来的变迁

姚永慧¹, 汪小钦², 周成虎¹, 徐 美³, 张百平¹, 励惠国^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 福州大学福建省空间信息工程研究中心, 福建 福州 350002; 3. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044)

摘要: 利用近 30 年来共 8 期覆盖新疆玛纳斯湖地区的遥感影像 (1972MSS、1976MSS、1989TM、1999ETM、2000CBERS、2001CBERS、2003CBERS 和 2004CBERS), 最新实测的精度达到 1 m 分辨率的地形等高线数据、野外测量数据, 结合 20 世纪 50 年代野外实地调查资料等前人研究成果, 对玛纳斯湖及周围湖泊演化进行了分析。结果表明: 玛纳斯湖并非迁移湖泊而是古玛纳斯湖群的一部分; 玛纳斯湖及周围湖泊自第四纪中期以来一直处于萎缩消亡状态, 新构造运动使古玛纳斯湖群萎缩分裂后, 残留的各小湖泊在近现代也相继萎缩、消亡; 近 50 年来湖泊演化可分为两个阶段: 湖泊萎缩、干涸的逆向演化阶段 (1949 - 1999/2001) 和湖泊恢复的正向演化阶段 (1999/2001 - 至今), 人类活动与气候变化的叠加是湖泊演化的主要驱动力。

关键词: 玛纳斯湖; 湖泊演化; 遥感; 新疆

中图分类号: P343.3; X87 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6791(2007)01-0017-07

玛纳斯湖是天山北部准噶尔盆地的一个重要构造沉降中心, 主要汇集天山北麓玛纳斯河流域的地表径流而形成的内陆湖^[1], 湖区位于 45°40' N ~ 45°57' N、85°40' E ~ 86°15' E。玛纳斯湖的西北侧, 还分布着大、小艾里克湖、阿兰诺尔等几个小湖泊 (图 1)。玛纳斯湖一带属温带大陆性干旱气候区, 年均气温 8.8℃, 年均降水量 63.7 mm, 年均蒸发量 3 110.5 mm。

近 50 年来, 随着新疆玛纳斯河流域绿洲的迅速扩大, 玛纳斯河流域水资源被过度开发利用, 下游尾间玛纳斯湖因入湖水量锐减, 水资源短缺, 迅速萎缩并干涸。该湖是准噶尔盆地荒漠生态系统中重要的环境资源, 又处于盆地的老风口上, 湖泊湿地的丧失, 不仅对周围生态带来毁灭性的打击, 而且干涸的湖底还成为沙尘的物源地。不过, 自 1999 年 9 月以来, 湖泊又得到部分恢复。本文利用 GIS 技术及高分辨率的遥感影像, 辅以气象及水文观测数据, 以水资源变化为主线, 研究玛纳斯湖及其周围湖泊的动态变化, 对实现流域水资源优化调控、协调湖泊流域可持续发展等方面具有重要意义。此外, 关于玛纳斯湖是否为游移湖一直有争议^[2~7], 在遥感影像及高分辨率地形数据的支持下, 对玛纳斯湖地区的地质和水文演化过程进行了分析和概括, 有助于对该内容的认识。

为了研究玛纳斯湖地区湖泊的变化, 收集了 20 世纪 50 年代野外调查资料、玛纳斯河多年水文观测资料及 1999 年实测的玛纳斯湖水文数据, 自 1972 年以来的 2 期多光谱传感系统 (multispectral sensing system, MSS) 影像 (1972、1976 年)、2 期 Landsat (陆地卫星) TM/ETM 影像 (1989、1999 年)、4 期中国-巴西资源卫星 (China-Brazil earth resources satellite, CBERS) 影像 (2000、2001、2003、2004 年), 以及最新实测的精度达到 1m 分辨率的地形等高线数据等。

1 玛纳斯湖的地质和水文基础

1.1 玛纳斯湖的地质基础

玛纳斯湖与其西北侧的大、小艾里克湖、阿兰诺尔均为古玛纳斯湖的一部分, 古玛纳斯湖形成于早更新

收稿日期: 2005-08-29; 修订日期: 2006-01-11

基金项目: 国家自然科学基金杰出青年基金资助项目 (40225004); 国家自然科学基金重点资助项目 (50339050)

作者简介: 姚永慧 (1975 -), 女, 湖北安陆人, 博士后, 主要从事遥感地理信息系统和环境变化及其效应研究。

E-mail: yaoyh@reis.ac.cn

世,在第四纪初曾是个规模很大的湖泊^[1,3,4],第四纪中期新疆地区发生的三次区域性构造运动使原来补给该湖的乌伦古河、额尔齐斯河等形成独立的水系,南部的马桥河、呼图壁河等河流也相继脱离了古玛纳斯湖,古湖泊的补给水源急剧减少,在干旱的气候环境下,湖盆水位骤降,于第四纪晚期完全解体,分离出上述几个小湖泊^[1]。从卫星影像图上,古玛纳斯湖的东北角上有一系列的古河道将其与三个泉子谷地连接起来,其北部山区的古河道和冲积扇也证明该湖接受其北部和东北部河流的补给(图1)。周廷儒等^[2]认为将玛纳斯湖周围的古老阶地与阿兰诺尔西岸的砾石沙嘴面联系起来看,可以证明二者在第四纪早期可能属于同一个湖盆并且记录了古湖盆的活动范围;Thomas等^[8]在对玛纳斯湖地区(45°45'N,86°00'E)的钻孔岩芯研究也表明,自晚更新世以来,该区域一直为湖泊环境;根据1999年野外实地考察和地形测量,玛纳斯湖和艾里克湖北侧均有二级古老阶地,这两级阶地的高程分别在280m和270m;这些都表明这些小湖泊曾属于同一个湖泊。另外,这些湖泊都位于280m等高线内,根据地形地貌、物质分异特点,本文确定古玛纳斯湖盆的范围基本以280m等高线为界(图1)。

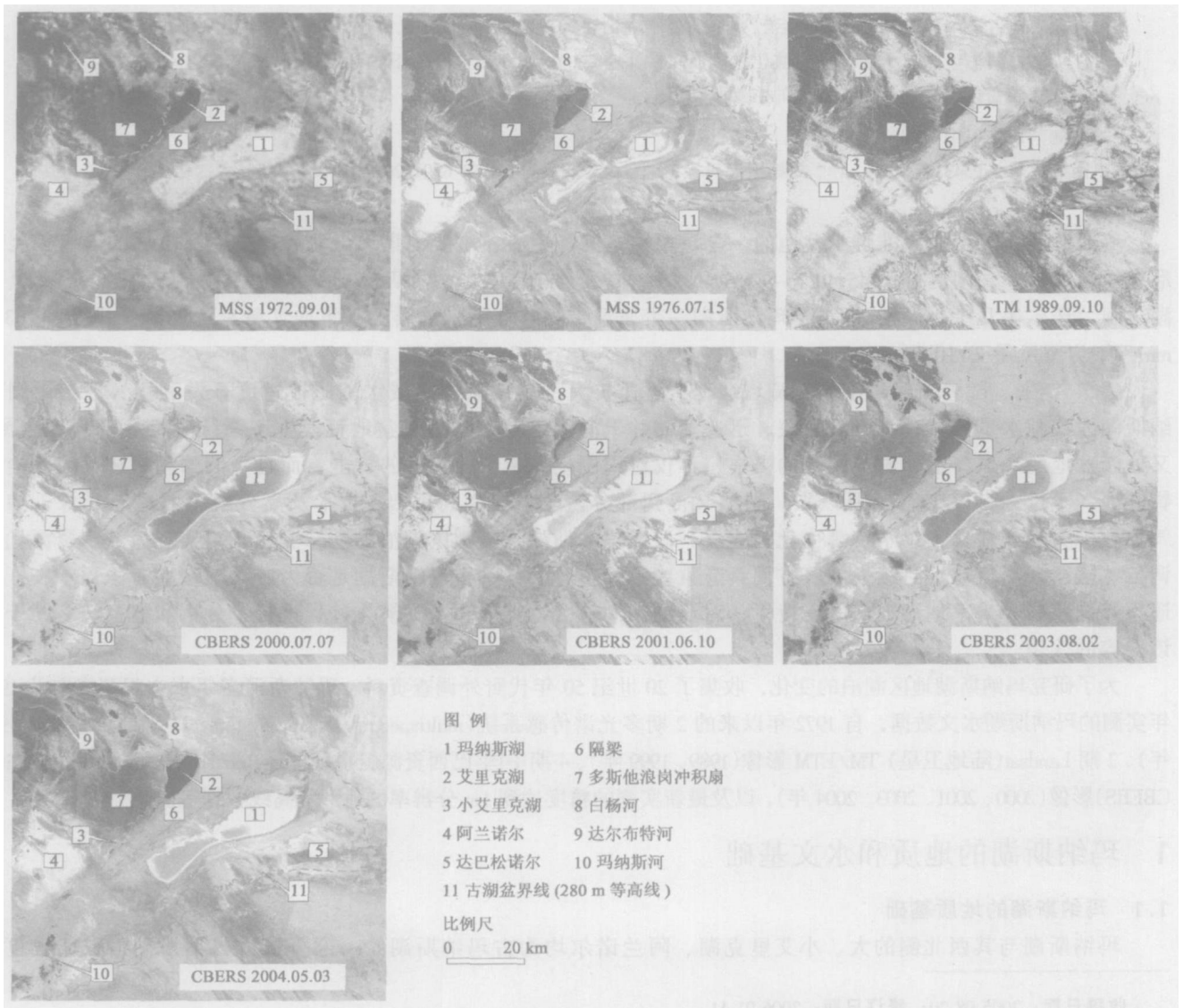


图1 玛纳斯湖地区遥感影像系列图

Fig.1 Remote sensing imageries of Manas lake region

玛纳斯河在 1915 年前主要注入阿兰诺尔，之后改道流入玛纳斯湖^[6,9~13]。新构造运动尤其是克乌大断裂西盘的抬升，使阿兰诺尔上升，玛纳斯河河口以南的高度迅速降低；同时，进入阿兰诺尔的河水携带大量泥沙，使湖底和河流尾间处逐渐增高，水流下泄不畅^[3]，玛纳斯河被淤塞，1915 年玛纳斯河向东北改道。大拐西部玛纳斯河较早隔梁的西南端倾伏于玛纳斯河的下流河口处(图 2)，河口的高程在 269 m 左右，阿兰诺尔的海拔约为 261~263 m，而玛纳斯湖的湖底高程约 247 m，湖面高程 253~255 m，明显低于阿兰诺尔；玛纳斯河下游支流主要流向玛纳斯湖，仅在 269 m 处的小垭口处有一条支流流向阿兰诺尔。阿兰诺尔还接受发源于准噶尔西部山地的达尔布特河及一些季节性的小溪流补给，艾里克湖则主要有白杨河补给(图 1)。

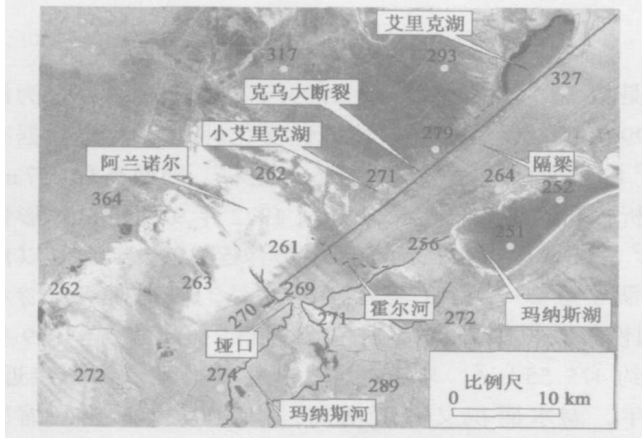


图 2 阿兰诺尔、玛纳斯湖与玛纳斯河的相互关系图
Fig.2 Relationship between Alan Luoer and Manas lake

以上分析表明，玛纳斯湖曾经是古玛纳斯湖群的一部分、并非迁移湖泊，是原伊赫拉克湖盆接受玛纳斯河河水注入形成的尾间湖。

1.2 玛纳斯湖的水文基础

根据 1954 - 2000 年玛纳斯河上游肯斯瓦特站与下游红山嘴站的资料分析，玛纳斯河多年平均径流量约 12.99 亿 m³，1960 - 1969 年、1970 - 1979 年、1980 - 1989 年和 1990 - 1999 年年平均径流量分别为 13.42 亿 m³，12.01 亿 m³，12.42 亿 m³ 和 14.10 亿 m³(图 3)。分析表明，玛纳斯河年径流量基本上以 20 年为周期发生周期性变化，20 世纪 50~60 年代为丰水期，距平累积曲线呈上升趋势；70~80 年代为枯水期，距平累积曲线呈下降趋势；进入 90 年代后，距平累积曲线又转为上升趋势，河流水量进入丰水期，尤其是 1996 年以后，玛纳斯河水量较多年平均径流量多 20%~48%(图 3)。但根据 1990 - 2000 年的历年径流量及沿河各灌区水渠引水分配情况来看，玛纳斯河地表水的绝大部分被利用，引水后的河水流量微乎其微，考虑到蒸发、下渗及沿途的河道损失(按 70%的损耗计算)，理论上平均每年能到达玛纳斯湖的径流量不足 0.4 亿 m³(表 1)。

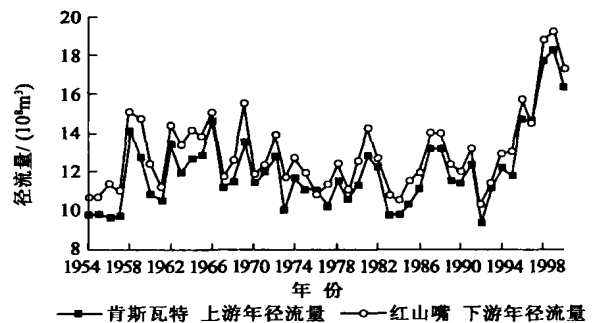


图 3 玛纳斯河历年径流量变化曲线
Fig.3 Change of annual runoff volume of Manas river

表 1 1990 - 2000 年玛纳斯河年径流量及各渠引水配置

亿 m³

Table 1 Annual runoff volume and water assignment of Manas river from 1990 to 2000

项目	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	平均
全河来水	11.94	13.19	10.3	11.31	12.94	13.03	15.71	14.59	18.76	19.21	17.26	-	-	-	14.39
全河配出	11.15	12.14	9.69	10.57	11.92	12.20	14.36	13.48	16.99	17.52	15.78	-	-	-	13.26
剩余水量	0.79	1.05	0.61	0.74	1.02	0.83	1.35	1.11	1.77	1.69	1.48	-	-	-	1.13
入湖径流量(70%损耗)	0.24	0.31	0.18	0.22	0.31	0.25	0.40	0.33	0.53	0.50	0.44	-	-	-	0.34
夹子河水库放水量	0	0	0	0	0	0	2.28	-	2.61	7.91	1.12	0.78	5.24	1.46	3.06

根据玛纳斯河多年放水的统计资料。

2 近 50 年来玛纳斯湖及周围湖泊的演化

2.1 玛纳斯湖的变化过程

玛纳斯湖近 50 年来的变化可分为两个阶段：第一阶段是从 20 世纪 50 年代至 1999 年，这一阶段表现为湖泊迅速萎缩并干涸；第二阶段为 1999 年后，玛纳斯湖自 1999 年恢复以后水域呈波动性变化(图 1、表 2)。据有关资料及文献统计^[3]，玛纳斯湖 20 世纪 50 年代还有 550 km² 的水面面积，平均水深 6 m 左右，湖面高程 257 m，容积约 40 亿 m³。据我国 20 世纪 60 年代初的航测地形图分析，玛纳斯湖已经干涸；从 1972 年 9 月的 MSS 影像上来看，玛纳斯湖湖心还有少量水体，但面积也只有 7 km² 左右；从 1976 年的 MSS 影像至 1999 年 9 月以前(图 1)，玛纳斯湖里都没有水体分布，至此玛纳斯湖完全干涸了近 20 年；直至 1999 年 9 月，玛纳斯河上游水库因洪水溃坝，大量洪水重新注入玛纳斯湖，湖泊湿地得到恢复。根据 1999 年的实测资料，玛纳斯湖 1999 年的湖底高程在 247 m 左右，湖面高程 255 m 左右，湖水面积约 475.55 km²，与 20 世纪 50 年代的湖水面积接近；但从 2000 - 2001 年，湖水面积又出现递减的趋势；2003 年，湖水面积又有所增加，但 2004 年又出现缩减(表 2)。因此，可推测玛纳斯湖在近几十年来，演变成一个间歇性湖泊，当洪水期或补给河流中上游水量有富余时，该湖可被水充填，但水面很浅，一般可持续 3 ~ 4 年。

2.2 周围湖泊的变化过程

阿兰诺尔又名艾兰湖、阿雅尔淖尔，根据大量的文献资料^[9~12]，它在 20 世纪初是一个规模很大的湖泊，据《新疆全省舆图》(1909 年)量算，湖水面积约 759.438 km²，并且是玛纳斯河的主要汇集地。1915 年玛纳斯河改道后，阿兰诺尔失去大部分水源补给，水位骤减，至 20 世纪 50 年代阿兰诺尔的湖泊面积还有 238 km²，但至 60 年代末干涸^[5]。从历年来的卫星影像资料来看，70 年代后阿兰诺尔一直是一个干湖盆(图 1、表 2)。

表 2 近 50 年来玛纳斯湖及周围湖泊的面积变化

km²

Table 2 Changes for Manas lake area in last 50 years

周围湖泊	20 世纪 50 年代末	1972	1976	1989	1999	2000	2001	2003	2004
玛纳斯湖	550	7.08	0	0	475.55	289.5	70.66	220.87	99.83
阿兰诺尔	238	0	0	0	0	0	0	0	0
艾里克湖	41	37.49	43.43	27.42	7.12	0	31.96	56.26	56.57
小艾里克湖	8.8	8.95	6.55	0	0	0	0	1.6	1.78

大、小艾里克湖近 50 年来的变化也可以分为两个阶段，第一阶段为 20 世纪 50 年代末至 2001 年初，这一阶段也表现为湖泊萎缩、干涸的变化过程；第二阶段为 2001 年 5、6 月份以后至今，这一阶段表现为湖泊逐渐恢复(图 1、表 2)。据《新疆全省舆图》(1909 年)^[10]量算，艾里克湖上世纪初的面积约为 229.241 km²；据台湾省(1964)编制的北疆地图(该图反映 20 世纪 40 年代的情况)，艾里克湖的面积约为 82.425 km²；据 1956 - 1957 年的水文调查资料^[14]，艾里克湖平水期的平均水深约 7.62 m，湖水面积约为 41 km²；1960 年后，湖面出现萎缩；从 1972 年至 1976 年，艾里克湖水体面积有一个小的涨幅，1976 年的面积为 43.43 km²；从 1976 年至 2000 年，艾里克湖湖水面积逐渐缩减，并于 2000 年全年干涸。从 2001 年至今，艾里克湖逐渐得到恢复，2004 年的湖水面积达到 56.57 km²。小艾里克湖的变化趋势与艾里克湖的类似，不同的是：2001 年以前，小艾里克湖的萎缩、干涸过程较艾里克湖快，干涸的时间也比较长(约 20 年)；2001 年后的恢复过程却较艾里克湖慢，至 2004 年，小艾里克湖的湖水面积也仅有 1.78 km²(表 2)。

2.3 玛纳斯湖的变化与河流水量变化具有同步性

从玛纳斯湖水体面积变化的趋势来看，它与玛纳斯河水量变化具有同步性，20 世纪 70 ~ 80 年代玛纳斯河水量由 50 ~ 60 年代的丰水期转为枯水期，玛纳斯湖也逐渐干涸，1996 年以后，玛纳斯河进入丰水期，玛纳斯湖也于 1999 年得到恢复。这种趋势表明湖泊水体面积变化与河流水量之间有密切关系，而且受河水水量周期性变化的影响。选择入湖水量、源流径流量、降水及陆面蒸发等影响湖泊变化的环境因素，以玛纳斯河流域夹子河

水库 1990 - 2003 年向玛纳斯湖的放水量作为入湖水量样本(表 1), 以 1959 - 2000 年玛纳斯河下游红山嘴水文站的年径流量作为源流径流量样本, 以靠近湖区的克拉玛依气象站 1959 - 2000 年降水及 1993 - 2001 年蒸发数据作为湖区降水及蒸发样本, 选取相应年份的湖泊面积构成样本对, 利用二元 Spearman 秩相关系数对湖泊面积变化与以上各环境因子间的关系进行量化, 全部统计分析过程在 SPSS 软件包上完成。分析结果表明, 湖泊面积变化与其上游夹子河水库放水量(入湖水量)、源流径流量呈显著正相关, 与湖区降水量相关性不显著, 与湖区蒸发量呈负相关, 但相关性不显著(表 3)。

表 3 湖泊面积与各环境因子的相关系数

Table 3 Spearman's coefficient of bivariate correlation analysis between lake area and environment factors

项目	入湖水量 (N=12)	源流径流量 (N=27)	降水量 (N=27)	蒸发量 (N=9)
相关系数	0.595 *	0.502 **	0.563	- 0.287
相应临界值	0.576 *	0.487 **	0.381 *	0.666 *

注: *表示在 0.05 显著水平的计算值和临界值, **表示在 0.01 显著水平的计算值和临界值。

3 近 50 年来玛纳斯湖地区湖泊变化的驱动力分析

从上述湖泊变化过程分析来看, 近 50 年来玛纳斯湖地区湖泊群的变化大致可以分为两个阶段: 第一阶段是自上世纪 50 年代末期至 1999 年(玛纳斯湖、阿兰诺尔)或 2001 年(大、小艾里克湖); 第二阶段是自 1999 年(或 2001 年)至今。前一阶段主要表现为湖泊萎缩、干涸的逆向演化阶段, 后一阶段则表现为湖泊逐渐恢复的正向演化阶段; 并且湖泊的变化与玛纳斯河水量变化具有同步性。

3.1 湖泊水资源短缺的环境背景

从上述湖泊群的地质和水文基础来看, 过去 50 年里, 湖泊水资源总体演化趋势是逐渐萎缩。全新世以来新疆气候向暖干的趋势发展, 准噶尔盆地内的蒸发量远远大于降水量, 基本不形成地面径流; 盆地内的这些湖泊都依赖发源于周围山地的河流补给。在现代人类活动大规模干预之前, 湖泊环境仍得到维持, 如 20 世纪 50 年代以前, 虽然各湖泊在不断咸化, 但均有水体分布。据 1957、1958 年玛纳斯河下游小拐站的水文资料^[14], 当年注入玛纳斯湖的径流量约 3 亿 m^3 左右, 这部分水量基本上能在年蒸发量 3 000 mm 左右的情况下, 维持玛纳斯湖的水位; 但在 20 世纪 60 年代, 玛纳斯河下游断流, 该水文站也被撤消。

3.2 人类活动强烈干预了流域绿洲发展与水资源利用

人类活动对主要源流流域土地资源的大规模开发和过度利用水资源是玛纳斯湖及周围湖泊萎缩、干涸的主要原因。从图 4 可以看出, 过去 50 年里, 玛纳斯河流域人口、绿洲和耕地迅速增长, 20 世纪 60~80 年代增长

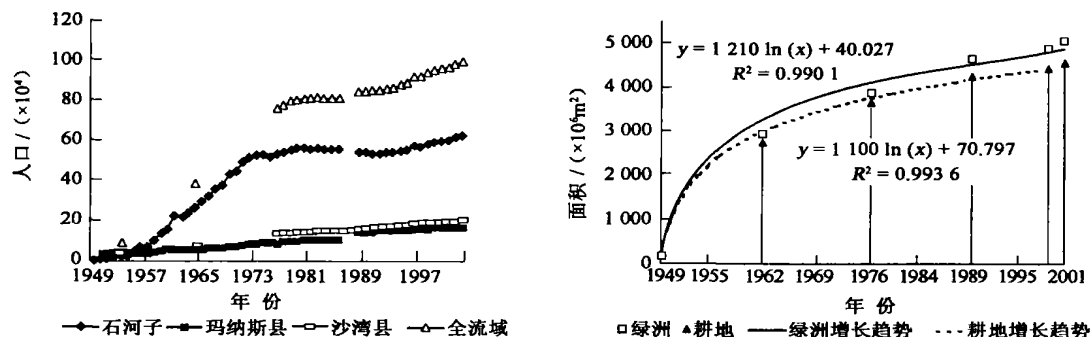
图 4 玛纳斯河流域近 50 年人口、绿洲及耕地面积变化^[15]

Fig. 4 Changes of population, oasis and cultivate land in Manas catchment in last 50 years

最快, 这一时期恰逢 70~80 年代河流的枯水期。1962 年在玛纳斯河流域开垦并建成了玛纳斯灌区, 流域内绿洲迅速扩张, 绿洲面积由 1949 年的 156.385 km^2 扩张到 2001 年的 5 042.076 km^2 ^[15](图 4)。众所周知, 水是干旱区绿洲得以存在、发展的关键。在开垦灌区的同时, 沿玛纳斯河修建了大量的水利工程引水灌溉, 其中修建水库 15 座, 总库容量 4.68 亿 m^3 ; 机电井 1 221 眼; 灌区设计年引水量达 13.5767 亿 m^3 , 而玛纳斯河的平均年径流

量仅有 12.99 亿 m^3 ，也就是说，自 1962 年玛纳斯灌区建成以后，玛纳斯河的全部水量还不能保证灌区的需求。湖泊在水源短缺、降水稀少的干旱气候背景下蒸发强烈，迅速萎缩并最终形成干涸的荒漠景观。从表 1 也可以看出，即使在 1990 年以后，即玛纳斯河进入下一个丰水期后，各灌区引水后玛纳斯河的剩余水量也微乎其微，几乎不能到达玛纳斯湖。

同样，20 世纪 80 年代，由于白杨河上、中游乌尔禾平原的灌溉用水及克拉玛依城市的发展，先后在白杨河中、上游修建了白杨河水库、黄羊泉水库，白杨河的地表径流大部分被拦截，艾里克湖的水量开始逐年减少并演变为季节性湖泊。由于艾里克湖没有多余的水补给小艾里克湖，再加上潜水水位的不断下降，从多斯他浪岗的潜水补给量也越来越少，小艾里克湖也因缺水而干涸了近 20 年。而阿兰诺尔则由于玛纳斯河下游断流，无法从其下游的小支流获得补给，再加上大、小艾里克湖也没有多余的水补给，迅速干涸。艾里克湖的变化还与克拉玛依的引水方案密切相关，2000 年 8 月 1 日，克拉玛依引水工程建成并于 2001 年正式开始从额尔齐斯河引水，减少了从白杨河的引水量，并将每年从额尔齐斯河引水量的 1/3 输入白杨河。近几年来，白杨河的水不断流入艾里克湖，使其得到恢复，多余的水量则流入小艾里克湖。从 2004 年的遥感影像上看，阿兰诺尔中有小范围的积水。如果合理调剂玛纳斯河和白杨河的水量，使玛纳斯河下游自小拐以北的下游河道及湿地，大、小艾里克湖得到完全恢复，阿兰诺尔湖泊湿地的恢复也有可能。

3.3 气候变化与近几年来湖泊正向演化具有密切关系

气候变化是近几年来各湖泊逐渐恢复的主要原因之一。前述分析表明，湖泊水体面积的变化与河流水量的周期性变化趋势一致，这与新疆最近气温升高导致冰雪融水及降水增加有密切关系。根据 1951 - 2001 年天山北坡各气象站的观测资料分析，自 1980 年以后，各站的降水量与气温呈同步升高的趋势，而天山北坡降水量及冰雪融水的增大是引起河流径流量增大的直接原因，同时，也对各灌区水资源的需求产生新的影响，平原水库蓄满后多余的水量下泄，例如，夹子河水库自 1996 年开始向下游放水(表 1)，年均放水量约 3.0583 亿 m^3 。

4 讨论与结论

(1) 由玛纳斯湖的地质和水文基础的分析表明，玛纳斯湖并不是一个迁移湖泊，而是古玛纳斯湖萎缩分裂出的几个小湖泊之一。

(2) 近 50 年来玛纳斯湖及周围湖泊的变化大致可以分为两个阶段：第一阶段是自 20 世纪 50 年代末至 1999 年(玛纳斯湖、阿兰诺尔)或 2001 年(大、小艾里克湖)；第二阶段是自 1999 年(或 2001 年)至今。前一阶段主要表现为湖泊萎缩、干涸的逆向演化阶段，后一阶段则表现为湖泊逐渐恢复的正向演化阶段。

(3) 近 50 年来玛纳斯湖的变化趋势与玛纳斯河水量的变化趋势一致，人类活动与气候变化的叠加是湖泊演化的主要原因。

(4) 研究准噶尔盆地内湖泊的变化及其与山地水源之间的联系，实施以盆地平原区湖泊流域水资源为核心的优化调控战略在改善湖泊生态环境、协调湖泊流域可持续发展和协调山地-绿洲-过渡带-荒漠生态系统的协调发展等方面具有重要的生态意义。

在内陆干旱区，湖泊萎缩、干涸后将对该地区的生态环境带来很大的影响，甚至是毁灭性的打击。由于修建大量的人工渠网，流域水量的时空分配、水文状况发生变化，相应地引起很多环境问题，如流域中游灌溉绿洲因不合理灌溉影响，地下水水位上升造成土壤次生盐渍化；而下游地区及中游绿洲外围地带则呈现地下水持续下降等环境问题。此外，准噶尔盆地内的湖泊都处于周围山地的主要风口上，干涸的湖底容易成为沙尘的起源地^[13,16]。最近，克拉玛依市将玛纳斯湖地区划为自然保护区，是在湿地保护与恢复方面迈出的重要一步。

致谢：本项研究是在中国资源卫星中心提供的自 2000 - 2004 年的卫星影像的基础上完成的。在撰写过程中，得到尤联元研究员非常宝贵的意见和建议，新疆石油管理局地调油田技术服务中心刘禹模高级工程师提供了水文资料，在此一并致谢！

参考文献:

- [1] 中国科学院新疆综合考察队. 新疆地貌[M]. 北京:科学出版社, 1978. 217 - 218.
- [2] 周廷儒. 新疆第四纪陆相沉积的主要类型及其和地貌气候发展的关系[J]. 地理学报, 1963, 29(2):109 - 125.
- [3] 郭敬辉, 汤奇成. 新疆水文地理[M]. 北京:科学出版社, 1966. 36 - 41.
- [4] 中国科学院新疆资源开发综合考察队. 新疆第四纪地质与环境[M]. 北京:中国农业出版社, 1994. 206 - 207.
- [5] 杨保, 施雅风. 40~30ka B. P. 中国西北地区暖湿气候的地质记录及成因探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(1):60 - 68.
- [6] 穆桂金, 包安民, 郝杰. 新疆主要尾间湖演变的构造环境[J]. 干旱区地理, 2001, 24(3):193 - 200.
- [7] 程维明, 周成虎, 李建新, 等. 新疆玛纳斯湖景观演化及其生态环境效应[J]. 第四纪研究, 2001, 21(6):560 - 565.
- [8] Thomas E, Rhodes, Françoise Gasse, *et al.* A Late Pleistocene-Holocene Lacustrine Record From Lake Manas, Zunggar (Northern Xinjiang, Western China) [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1996, 120:105 - 121.
- [9] 周世棠, 孙海环. 二十世纪中外大地图[M]. 上海:新学会社, 1906.
- [10] 满铁北支事务局调查室资料系. 新疆全省舆图[M]. 上海:东方学会, 1909.
- [11] 大清帝国全图[M]. 上海:上海商务印书局, 1910.
- [12] 杨小平. 中亚干旱区的荒漠化与土地利用[J]. 第四纪研究, 1998(2):119 - 127.
- [13] 孙湘君, 杜乃秋, 翁成郁, 等. 新疆玛纳斯湖盆周围近 14000 年以来的古植被古环境[J]. 第四纪研究, 1994(3):239 - 248.
- [14] 新疆维吾尔自治区水利厅. 1947 - 1958 年内陆河湖水文资料第 10 卷第 5 册[M]. 乌鲁木齐:新疆维吾尔自治区水利厅, 1960:160 - 170.
- [15] 程维明. 玛纳斯河流域景观格局及其演化研究[D]. 北京:中国科学院地理科学与资源研究所, 2003.
- [16] 岳乐平, 杨利荣, 李智佩, 等. 西北地区干枯湖床沉积粒度组成与东亚沙尘天气[J]. 沉积学报, 2004, 22(2):325 - 331.
- [17] 阎顺. 新疆玛纳斯地区上新世孢粉组合及其意义[J]. 干旱区地理, 1985, 8(2):29 - 34.
- [18] 吴素芬, 何文勤, 胡汝骥, 等. 近年来新疆盆地平原区域湖泊变化原因分析[J]. 干旱区地理, 2001, 24(2):123 - 129.
- [19] 刘春涌, 黄诚. 新疆地质旅游资源类型特征和环境保护[J]. 新疆地质, 2004, 22(4):455 - 456.
- [20] 陈述彭. 陆地卫星影像[A]. 中国地学分析图集[C]. 北京:科学出版社, 1984. 85 - 87.

Changes of Manas lake in the past 50 years in Xinjiang province^{*}

YAO Yong-hui¹, WANG Xiao-qin², ZHOU Cheng-hu¹, XU Mei³, ZHANG Bai-ping¹, LI Hui-guo^{1,2}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Fuzhou University, Fuzhou 350002, China; 3. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

Abstract: The changes of water resources and their influence on environment are key points for arid researches. This paper mainly focuses on the evolvement of Manas lake in Xinjiang, which is based on the remote sensing images from 1972 to 2004 integrated with measured topographical data in 1999 and other materials from 1950s. The results of this research show that (1) Manas lake is a part of old Manas lake group and it is not a migratory lake; (2) there are two periods of the lake evolvement in the past 50 years: from 1949 to 1999/2001 and from 1999/2001 to nowadays, which are respectively corresponding to negative and passive evolvement process of Manas lake; (3) the trend of Lake change is synchronous to the change of Manas river's runoff; and (4) the main driving forces for the lake evolvement in the past 50 years are human activities and climate change.

Key words: Manas lake; lake evolvement; remote sensing; Xinjiang

* The study is financially supported by the National Science Fund for Distinguished young Scholars of China (No. 40225004) and the National Natural Science Foundation of China (No. 50339050).