

## 中国蒙新高原湖区水环境主要问题及控制对策\*

张亚丽, 许秋瑾\*\*, 席北斗, 张列宇  
(中国环境科学研究院, 北京 100012)

**摘要:** 实施“西部大开发”战略的重大决策, 对于平衡中国各区域间的发展位差以及提高整个国家的经济实力具有重要的战略意义。而西部脆弱的生态环境决定了西部大开发中要以生态保护优先的环境保护政策为切入点和立足点, 坚持经济大开发与可持续发展有机结合。本文系统地阐述了中国蒙新湖区在气候变化和人类活动的影响下水环境的主要问题及控制对策, 并以典型湖泊乌梁素海、呼伦湖、博斯腾湖、柴窝堡湖及艾比湖等为例, 综合分析了近几十年来水环境指标的变化情况, 证实了水生态环境的退化趋势, 旨在宏观上把握蒙新湖区湖泊现状特征, 为制定蒙新湖区湖泊资源的合理开发及水环境保护的策略提供理论依据。属于旱半干旱气候特征的蒙新湖区, 目前存在湖泊萎缩、湖泊咸化、水质恶化、水生生物种群结构变化等众多问题, 而中国关于蒙新高原湖区的研究, 虽然有一定研究基础和资料, 但与东部湖区相比明显滞后, 缺乏系统认识。研究气候变化条件下蒙新湖区湖泊水环境质量演变规律和发展趋势; 水利工程调配对区域水动力条件、污染物输移过程的影响及评估水利调度对重要环境因子的影响作用; 选定该湖区特征水环境理化因子, 如矿化度, 研究其对水生生物的影响作用, 以及探索发展适合于干旱半干旱地区特征气候条件影响下的水生态恢复技术应是今后该湖区主要的研究领域和方向。

**关键词:** 蒙新高原湖区; 湖泊; 水环境问题; 控制对策

## Major problems and control measures of water ecological environment in Inner Mongolia-Xinjiang Plateau

ZHANG Yali, XU Qiuji, XI Beidou & ZHANG Lieyu  
(*Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, P. R. China*)

**Abstract:** The policy ‘The development campaign of the western regions’ has great significance for balancing the developing disparities between different regions and improving the economic strength of China. The fragile ecological environment of the western regions determines that ecological protection should be set as the basic point, and that economic development should be combined with sustainable development in those regions. This paper systematically formulates major problems and control measures of aquatic ecosystems in Inner Mongolia-Xinjiang Plateau, where is under the influence of climate change and human activities. We choose Lake Wuliangsu, Lake Hulun, Lake Bosten, Lake Chaiwopu and Lake Ebinur as typical examples and analyze the changes in water ecological status in the recent decades. It is confirmed that the degradation of water ecological environment occurs. This paper aims at understanding the current characteristics of lakes in Inner Mongolia-Xinjiang Plateau and providing theoretical support for reasonable development of lake resources and protection of water ecological environment. At present, lakes in Inner Mongolia-Xinjiang Plateau is arid and semi-arid and there exists many problems, such as lake size shrinking, salinization, sediment, deterioration of water quality and structural changes of aquatic ecosystem. Compared with lakes in east China, the research on the Inner Mongolia-Xinjiang Plateau in our country lacks of systematic knowledge and lagging relatively, although some basic research and information have been developed. In the future, the following fields will be focused on: (1) the evolution and trend of water environmental quality in the Inner Mongolia-Xinjiang Plateau under the influence of climate change; (2) the effect of water allocation on regional hydrodynamic conditions, pollutant transport process and the influence of water scheduling to important environmental fac-

\* 国家环保公益项目(200909048)和国家“十一五”水专项课题(2009ZX07106-001)联合资助。2011-07-22 收稿; 2011-08-26 收修改稿。张亚丽, 女, 1988 年生, 硕士研究生; E-mail: zhangdouli@163.com.

\*\* 通讯作者; E-mail: xuqj@craes.org.cn.

tors; (3) selecting characteristic physical and chemical factors of water environmental in the Plateau, such as mineralization degree, to examine their influence on the aquatic biological communities; (4) exploring aquatic ecological restoration technology which is suitable for arid and semi-arid regions.

**Keywords:** Inner Mongolia-Xinjiang Plateau; lakes; water environmental problems; control measures

西部大开发是世纪之交中国经济社会发展的重大战略性调整,环境战略在西部大开发战略体系中处于根基地位,而湖泊是人类生活和区域发展不可缺少又不可替代的重要环境资源.我国蒙新高原湖区占据十分重要的区位,关系着缩小国家东西部贫富差距以及西部边疆稳定.随着 socioeconomic 发展程度的提高和开发潜力的增大,与东部平原湖区相比,属于旱半干旱的蒙新湖区存在湖泊萎缩、湖泊咸化、水质恶化、水生生物种群结构变化等众多问题.而我国关于蒙新高原湖区的研究明显滞后,缺乏系统认识.在蒙新湖区众多湖泊中,真正进行长期系列的水文观测的湖泊寥寥无几,本文结合湖泊的区位特征、富营养化状态、现有调查数据的考证及与人类生产活动关系的密切性程度,选取乌梁素海、呼伦湖、博斯腾湖、柴窝堡湖及艾比湖为典型湖泊,较为系统地分析和探讨了蒙新湖区独特的水资源、水环境、水生态特征与过程以及在新的自然和人为干扰下的湖泊响应,而这种响应对整个湖区而言,具有一定的相似性和差异性;这种特殊性和特有性不同于中国乃至世界上其他区域的湖泊,对其开展研究可以丰富湖沼学研究及湖泊管理的研究体系和案例库,可为蒙新湖区重点湖泊的水污染控制与治理提供理论依据.

## 1 蒙新高原湖区概况

蒙新高原湖区<sup>[1]</sup>是指分布在内蒙古自治区、河北省西北部及新疆维吾尔自治区所辖范围内的一些湖泊.区内湖泊大致以黑河为界,黑河以西多构造湖,以东多小型风蚀湖,亦有部分构造湖.该区湖泊面积为 9411 km<sup>2</sup>,占全国湖泊总面积的 13.2%.区内面积大于 1 km<sup>2</sup>的湖泊共 772 个,大于 10 km<sup>2</sup>的湖泊共 107 个,大于 50 km<sup>2</sup>的有 50 余个.

蒙新高原地处内陆,远离海洋,气候干旱,年降水量一般在 400 mm 以下,多数低于 250 mm;但河流与潜水易向江水洼地的中心积聚,所以亦能发育众多的湖泊.其中大型湖泊多为彼此孤立的内陆盆地水系的最后归宿,成为汇水中心或河流的尾间.因区内蒸发强度较大,年蒸发量多达 2000 - 3000 mm (φ20 cm 蒸发皿),蒸发量超过湖水的补给量,导致湖水不断浓缩,遂发育成闭流性的咸水湖或盐湖;而发育在沙漠地区的风成湖,具有面积小、湖水浅、补给量少、湖水易浓缩等特点.常随水源的多少而变化,雨季成湖,旱季干涸,盛产盐、碱、芒硝和石膏等化工原料.

本区湖泊多为内陆水系的最后归宿地,入湖河流易于改道,致使有些湖泊兼具游移性质.受高山融雪补给的湖泊,水位较稳定,多发育为咸水湖;而分布在沙丘、戈壁地区的湖泊,只靠少量的降水或地下水补给,由于蒸发量大大超过补给量,湖水浓缩,湖面缩小,水深极浅,大多发育成咸水湖或盐湖.新疆地区的湖泊水体化学组成丰富,水体阳离子涵盖了钙、镁和钠离子型,水体阴离子为碳酸盐和硫酸盐型;内蒙古地区湖泊水体化学组成相对单一,阳离子为钠型,阴离子为氯化物型<sup>[2]</sup>,矿化度一般在 1 - 200 g/L 之间.

## 2 水环境主要问题及原因分析

对于蒙新高原湖区的湖泊,由于太阳辐射强,降雨稀少,蒸发强烈,干湿期差异大,并且经常出现大风和多风天气,特别是秋末冬初,冷空气活动和寒潮天气过程比较频繁,因此,不同于东部平原湖区,属于旱半干旱的蒙新湖区在气候变化及湖泊自然演化背景下,水环境问题有其特殊性.特别是近年来强烈的人类活动,更加速了水环境质量恶化趋势.对于内陆封闭型湖泊的变化而言,1950s 是一个重要界线,这之前由于缺乏机械性设备,人类活动对湖泊变化的影响甚微.而 1950s 以来,机械化程度的迅速提高及组织规模的扩大,大量围垦和拦截地表水流等人类活动致使湖泊水环境特征发生了剧烈变化.水环境问题具体体现在以下几个方面.

### 2.1 湖泊萎缩,水量锐减

据近年的调查,蒙新高原湖区面积共减少 6989 km<sup>2</sup>,占全国湖泊面积减少数的 56%. 1950s 新疆境内

5 km<sup>2</sup>以上湖泊总面积为 9700 km<sup>2</sup>, 至 1980s 初仅为 4628 km<sup>2</sup>, 缩减了一半多, 相应的水量减少了约  $50 \times 10^8$  m<sup>3</sup>; 1950s 初内蒙古全区 1 km<sup>2</sup>以上湖泊总面积为 5261 km<sup>2</sup> (中蒙界贝尔湖未统计在内), 1980s 缩减为 4244 km<sup>2</sup>, 减少了近 1/5<sup>[1]</sup>. 从选定的典型湖泊(乌梁素海、呼伦湖、博斯腾湖及艾比湖)的湖面面积、湖容、平均水深、水量及水位等指标的发展态势来看(表 1), 这些指标均显示出不同幅度的下降趋势. 1999-2006 年呼伦湖面积缩小了 373.6 km<sup>2</sup> 以上, 萎缩率高达 537.76 km<sup>2</sup>/10a, 水位连续下降了 2.9 m, 下降率为 4.24 m/10a, 水量减少约  $54 \times 10^8$  m<sup>3</sup>; 而 1980s 艾比湖的面积较 1950s 缩减了近一半, 容积减少了  $30 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 水位也相应剧降 3 m. 与历史湖泊调查数据<sup>[3]</sup>相比, 近 30 年来, 全国消失面积在 100.0-500.0 km<sup>2</sup> 的湖泊有 4 个, 分别是新疆的曲曲克苏湖、青格力克湖、加依多拜湖和乌尊布拉克湖, 消失面积在 1000.0 km<sup>2</sup> 以上的为新疆的罗布泊<sup>[4]</sup>, 湖泊的消亡对当地居民的水源渠道及生产生活等造成永久性的损失和严重影响.

表 1 蒙新高原湖区典型湖泊物理性状趋势变化<sup>[1,5,10-13]</sup>

Tab. 1 Trend variation of physical property of typical lakes in Inner Mongolia-Xinjiang Plateau

湖泊	时间	面积(km <sup>2</sup> )	平均水深(m)	容积( $\times 10^8$ m <sup>3</sup> )	水量( $\times 10^8$ m <sup>3</sup> )	水位(m)
乌梁素海	1950s	466.7	—	—	—	—
	1960s	282.8	—	—	—	1095
	1980s	233	1.5	—	3.5	—
	2004 年	293	1	2.75	—	1018.5
呼伦湖	1960s	2073.4	—	132.5	—	545.1
	1980s	2061	3.4	125.3	—	542.9
	2002-2003 年	—	—	88.54	—	543.06
博斯腾湖	1950s	1070	—	81.76	30	1048.17
	1960s	984.96	6	76.71	—	1047.67
	1980s	930.19	1.8	60.76	9.4	1046.05
	1990s	950.65	—	65.31	—	1046.7
	2005 年	1210.5	7.5	90	—	1048.5
艾比湖	1950s	1070	8.15	82	—	1048.34
	1960s	823	7.76	—	—	1047.67
	1980s	540	6.57	52.2	68	1046.01
	2003 年	835	1.4	—	—	—

对于蒙新湖区来说, 湖泊萎缩, 水量锐减主要是由气候因素决定的, 而近几十年以来, 人为因素则从另一侧面加速了这个过程. 典型湖泊气候变化的时间序列分析表明<sup>[6-7]</sup>, 受冰川融水和降水同时补给的蒙新湖泊, 降水和气温均对湖泊变化影响较大. 有气候记录表明<sup>[8]</sup>, 中亚地区气温有升高的趋势, 但降水反而略显下降, 这种降水减少很可能与该地区因冬季趋暖而影响西风带位置, 致使冬季降水减少有关. 而降水减少, 反过来又促使人类引水拦蓄等活动加剧, 造成径流进一步减少, 加速湖泊水位下降与面积收缩. 以暖干为主要特征的气候背景是造成湖面蒸发量超过湖面降水量与入湖径流量之和, 因而导致湖水均衡亏水量累计值递增、湖泊水位下降、湖面退缩的结果. 而伴随着西北地区大规模开发及愈加快速的经济的发展, 强烈的人为活动引起湖泊水源补给量减少, 即上游不合理的节流蓄水、高耗水的农田灌溉、上游植被的乱砍滥伐、草场的过度开发等都造成了土地含水、保水能力减小, 瞬间径流量增大, 湖泊水源入不抵支, 湖体自净容量缩小. 居延海的消亡, 就是典型的实例<sup>[9]</sup>.

## 2.2 水质咸化、矿化度上升

据不完全统计, 蒙新湖区 30 余个主要湖泊, 除喀纳斯湖以外, 均已处于咸水湖和盐湖阶段. 从统计数据所得的典型湖泊矿化度提高百分率来看(表 2), 矿化度呈迅猛递增之势. 以博斯腾湖为例, 1950s 矿化度尚

处于 0.5 g/L 以下,到了 1980s 中期,矿化度已升至 1.8 g/L 左右,目前某些水域水质的年平均矿化度已超过 3.0 g/L,较 1950s 增加了 5 倍之多,远远超出了生活用水和非盐碱地地区灌溉用水国家标准;据悉,1980 - 1989 年乌梁素海湖水矿化度为 1.916 g/L,1990 - 1999 年为 2.414 g/L,2000 - 2008 年增至 4.604 g/L<sup>[14]</sup>,翻了一倍多(1980 - 1999 年为环保资料,2000 - 2008 年为水文站乌梁素海东湖水质站点监测资料);而艾比湖更是从 70 g/L 增至 122.67 g/L 之多,矿化度增长速度之迅猛充分体现了蒙新湖区在盐化态势上的共性特征。

表 2 蒙新高原湖区典型湖泊矿化度趋势变化<sup>[1,5,10-11,20]</sup>

Tab. 2 Trend variation of mineralization degree of typical lakes in Inner Mongolia-Xinjiang Plateau

湖泊	矿化度(g/L)					
	1950s	1960s	1970s	1980s	1990s	2000 - 2008 年 (取多年平均值)
乌梁素海	—	—	—	1.916	2.414	4.604
呼伦湖	—	0.99	1.034	1.24	—	1.466
博斯腾湖	0.385	0.445	1.44	1.85	1.475	1.253
艾比湖	70	—	88.7	109.7	100 - 115	122.67

如果盐湖处于硫酸盐或氯化物沉积阶段,那么碳酸盐含量高指示了湖泊水体淡化,湖泊处于逆向演化阶段;含量低则指示了湖泊正向演化,湖水正不断浓缩,演化过程加剧<sup>[15]</sup>. 这些结论与蒙新湖泊的实际情况完全相符. 蒙新湖区水质咸化,矿化度升高的原因有二,一是气候因素,二是人类活动. 在百年尺度上,蒙新气候具有冷湿暖干配置的气候演变模式. 1950s - 1980s 水位持续下降,主要是由于这一时期湖区气候处于暖干化<sup>[16]</sup>. 气候变化引起降水量的变化,从而影响径流量的丰枯. 1990s 以前,气温波动上升,降水基本不变或略显减小,但水面蒸发呈减小趋势. 而 1990s 之后,降水有所增加,蒸发旺盛,而总体湖泊水量收支呈负值,湖泊萎缩,日益咸化. 有关研究人员分析从 1950s 以来湖面面积与湖水矿化度的关系,得出此间艾比湖水面积变化和湖水含盐量之间有着直接的负相关关系<sup>[17]</sup>. 其次,人类活动<sup>[16,18-19]</sup>打破了自然状况下湖泊的水量平衡和水盐平衡;其中补给水对湖泊水质有显著的直接影响,由于蒙新湖区地广人稀的特征,农业发展占据着非常重要的地位,如把大量矿化度较高的农田排水不断泄入湖内,是引起湖水矿化度增加的直接原因之一;周边区域分布着盐土、荒漠土和干旱土,诸如上游植被的乱砍滥伐和草场的过度开发等垦荒行为会引起水土流失,这种土壤的易溶盐分随降水和地表径流进入湖中,对湖水的矿化度上升起到了促进作用;另外,出于经济生产的需要,人为截取入湖水量,使入湖淡水水量减少,湖水循环缓慢,影响湖泊生态系统中的生物地球化学循环,这也是引起湖水矿化度增高的主要原因。

### 2.3 水质恶化

2.3.1 有机污染与重金属污染 湖泊有机物质主要来源于生活污水、生产废水、湖面养殖投饵、降水降尘以及地表径流,还包括旅游、底泥释放等途径. 由于沙漠化和草场退化,水分的下渗程度明显增加,这样使得地表径流减少,从而导致湖泊面积和蓄水量减少,使得湖泊的自净能力减弱. 同时,水土流失和草场退化加剧,使得进入到水体中营养物质和污染物的浓度增加,会更进一步加剧湖泊水环境系统的恶化. 具体水质指标如表 3 所示. 据评价结果显示,新疆湖库污染类型为有机污染,首要污染物为化学需氧量(COD)和总磷(TP),其中博斯腾湖和乌伦古湖两个大型湖泊受到了有机污染,水质已达 V 类,而位于乌鲁木齐市郊的柴窝堡湖受到工业废水的污染,水质已劣于 V 类;乌梁素海水水质化学污染严重,目前全年水质为劣 V 类,主要为有机污染,其中,氨氮、总氮(TN)、总磷、COD、五日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)和氟化物均超过地表水 III 类水质标准, COD、BOD<sub>5</sub>、氟化物超过地表水 V 类水质标准<sup>[21-22]</sup>.

有毒有机物污染也是地表水的一个非常突出的环境问题. 湖泊水体中的有毒污染物,除来自工业废水、废渣等点污染源和使用农药排水外,城市污水处理厂的出水及污泥、大气降水、垃圾场渗滤水也是普遍而重要的来源. 而有些微量有机物即使不超标,它们的协同作用亦会使人体无法承受. 虽然在蒙新湖区中有毒有害物质尚未形成普遍性污染,但应加强对其预防及效应机理的研究.

表3 蒙新高原湖区典型湖泊水质污染情况<sup>[1,5,12,25-31]</sup>

Tab. 3 Water pollution situation of typical lakes in Inner Mongolia-Xinjiang Plateau

湖泊	年份	TN (mg/L)	TP (mg/L)	溶解氧 (mg/L)	COD (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	pH	透明度 (m)	叶绿素 a (μg/L)	重金属 (mg/L)
乌梁素海	1980s	1.778	0.067	6.43	6.44	1.86	7.6	1.21	5.95	Cu(0.0113)
	2001年	2.03	0.38	9.4	100.7	35.7	8.19	—	—	—
	2005-2007年	5.25	0.16	5.01	92.92	—	8.82	0.77	37.03	—
呼伦湖	1980s	1.98	0.105	9.19	13.36	1.41	8.9	0.47	1.23	—
	1998年	0.806	0.117	8.86	8.57	2.28	8.95	—	—	Cr <sup>6+</sup> (0.0136) As(0.0207)
	2002-2004年	1.92	0.156	8.83	18.7	4.67	9.05	—	—	—
博斯腾湖	1980s	0.91	0.017	7.30	6.37	1.14	8.7	1.44	4.45	—
	1990s	0.68	0.014	7.25	4.52	0.98	8.59	1.93	—	—
	2009年	1.154	0.229	6.86	—	—	8.52	3.00	1.46	—
柴窝堡湖	1980s	5.93	0.099	7.76	5.21	1.58	8.8	0.27	—	—
	1990s	2.052	0.124	—	6.07	—	—	0.24	12.77	—
	2009年	1.154	0.229	6.86	—	—	8.52	0.15	23.60	—

重金属类污染物一旦进入湖泊水体,很快会在水体各要素(如水质、沉积物(包括悬浮物)和生物相)之间发生一系列的物理化学变化以及生化反应,对湖泊水质、水生生物产生污染.金属被水体中的悬浮物吸附并最终沉积到湖泊水体表层的沉积物中;在水-沉积物界面一系列生物地球化学过程的作用下,污染物又可重新进入上覆水体.水体沉积物中的重金属还可通过生物富集和放大作用,对生态系统构成直接和间接的威胁.评价结果表明,艾比湖和柴窝堡湖出现砷超标<sup>[23]</sup>;呼伦湖表层沉积物中重金属的潜在生态危害程度为轻微-中等水平,具有潜在影响的重金属元素主要是Cd和As<sup>[24]</sup>.

2.3.2 富营养化加剧 湖泊富营养化如今已成为世界范围内主要的湖泊环境问题,也是世界级亟需解决的一大难题.它不仅降低了湖泊水体的使用功能,而且造成环境灾害和经济损失.表3中关于引发富营养化的原因变量和反应变量等一系列指标充分显示了形势的严峻.如呼伦湖,目前已达富营养化状态,这主要由草原上大量含营养盐的径流、干草入湖引起的;乌梁素海成为世界上十分典型的重度富营养化的草型湖泊;博斯腾湖、乌伦古湖、赛里木湖也已达中富营养状态.这些湖泊饱受农田退水、工业废水和城市生活污水的污染危害,造成有机废物和营养盐在湖泊水体和沉积物中不断富集,并导致各湖泊不同程度地受到富营养化的危害.

湖泊富营养发展的最直接原因是大量N、P等营养盐输入的增加和积蓄,此外,湖泊所处的地理位置、湖区环境条件、湖盆成因演变、湖泊形态、湖水的补给与排泄方式等因素都对湖泊富营养化的形成和发展产生影响.因此,不同湖泊的富营养化发展过程各有不同.湖泊富营养化是一个动态演变的过程.在此过程中,湖泊水体营养水平的升高可导致初级生产力的上升,这些信息在沉积物中留下相应的沉积记录<sup>[32]</sup>,反映出湖泊富营养化进程.湖泊沉积物是湖泊营养盐的重要蓄积库,在一定条件下,沉积物中的营养盐可能成为湖泊富营养化的主导因子,即在湖泊环境发生变化时(如:入湖营养盐负荷量减少或完全截污后),沉积物中的营养盐会逐步释放出来,补充湖水中的营养盐.

## 2.4 荒漠化

蒙新湖区过度放牧与垦地,引起草场退化、水土流失等严重的生态环境问题.由于沙漠化和草场退化,水分的下渗程度增加,使得地表径流减少,从而使进入到水体中营养物质和污染物的浓度增加,更进一步加剧了湖泊水环境系统的恶化.而气候干旱化、草场退化和超载过牧之间是相互影响的,气候干旱化造成草场退化,草地生产力下降,使草场载畜能力下降,导致超载过牧;而超载过牧进一步加剧畜草矛盾和草场退化,使草地植被群体结构发生变化,盖度、密度下降,直至下垫面状况出现重大变化,影响到地表与大气间的物质

和能量的交换,加剧气候的干旱化趋势<sup>[33]</sup>。有研究认为湖泊干枯的湖底盐漠面积与该流域沙尘总日数之间存在密切关系,悬浮天数与湖面面积具有显著负相关关系,湖泊水域的伸缩而引发的荒漠化环境变化是造成该流域沙尘天气的主要因素<sup>[34-35]</sup>,而风沙天气也反向促进了荒漠化的发展,并且严重影响了人类的生产生活活动。

## 2.5 水生生物种群结构变化

水生生物是湖泊生态系统的重要组成部分,它们对环境条件的要求和适应能力不同,尤其是浮游动植物和底栖生物。综合考虑浮游动植物的种类、密度和多样性指数,可以对水体的富营养化状态和污染情况进行较为客观的评价<sup>[36-37]</sup>。底栖动物是淡水生态系统的重要组成部分,它们对环境污染的反应较灵敏,能较直观反应水质的变化,是常用的水体状况指示生物<sup>[38-40]</sup>。近年来,在不合理的人类经济活动和气候暖干化的共同作用下,蒙新湖区湖水水域面积萎缩、水位大幅度下降,湖周边大面积芦苇和湿地消失,湖滨沼泽干枯,部分湖底裸露,表面覆盖的松散沙砾已成为沙源,并快速向外扩展,生物多样性遭到破坏。如乌梁素海,浮游植物种类从1980s的8门79属降至2005年的7门58属,以蓝藻、绿藻、硅藻为优势种;1980s高等水生植物中芦苇占湖面积的1/2,沉水植物以菹齿眼子菜、轮藻、狐尾藻为主;挺水植物主要为芦苇和香蒲,2002年沉水植物中增加了菹草、大茨藻等耐污种,且以适应微咸水质的芦苇和龙须眼子菜为优势种;鱼类从1980s的4目7科21种降至2002年的7.8种,青鱼、草鱼、瓦氏雅罗鱼等19种水产品均已绝种,出现了大量的草虾、泥鳅、麦穗等沼泽化鱼种。2004-2006年鱼产量主要以小型的鲫鱼为主,目前只剩下耐污染较强的鲫鱼和泥鳅,其他的鱼类已很难觅其踪影<sup>[1,5,41-42]</sup>。又如呼伦湖,浮游植物种类已由1988年调查的181种属减少到目前的142种属;浮游动物生物量由1998年4.1 mg/L下降到目前的1.7 mg/L;底栖动物生物量由1988年的0.408 mg/m<sup>2</sup>下降到目前的0.339 mg/m<sup>2</sup>,并已经出现耐低盐种类。与此同时,野生鱼类数量和质量也明显下降,1960s大中型经济鱼类(如鲤、鲫、鲃、鲶)占鱼类资源量的80%左右,水生生态群落结构稳定,至1980s中期,湖泊大中型经济鱼类产量只占20%-30%,进入1990s大中型经济鱼类产量已不足10%,2003年大中型经济鱼类(鲤、鲫)仅占全年渔获物的2.4%;不少特有渔业资源濒临枯竭,红鳍鲃、细鳞鱼、哲罗鱼已濒临绝迹<sup>[4]</sup>。1970s博斯腾湖有浮游植物54属,1980s增加数十种,并从1981年的8门88属增至1988年的8门187种属,绿藻、裸藻、隐藻的种类增多。到了2004年,全年以飞燕角甲藻为主要的优势种类,微囊藻是次优势藻;浮游动物从1980s的54属104种降至2005年的48属104种;1991-1992年,博斯腾湖有大型水生维管束植物12种,主要优势种为芦苇、香蒲等挺水植物,而2008年则只发现3种,主要优势种为芦苇和菹齿眼子菜;1965年前博斯腾湖鱼类主要由扁吻鱼和塔里木裂腹鱼等4种土著鱼类组成,1967年从福海渔场移植了贝加尔雅罗鱼等多种鱼类,使湖中鱼类达到24种。1980s扁吻鱼和塔里木裂腹鱼几近绝迹,引入的赤鲈比例很高。2001年扁吻鱼和塔里木裂腹鱼在博斯腾湖水域已经绝迹,鲫鱼、鲤鱼、贝尔加雅罗鱼(白条)、赤鲈(五道黑)成为湖中主要的经济鱼类。目前红鳍鲃、细鳞鱼、哲罗鱼已绝迹消亡,野杂鱼类数量有所增加,而且低龄化现象严重,鱼虾存量急剧下降。蒙新高原湖区生态环境极度脆弱,水生生物种群的演替及单一化趋势显著,表明生态环境已严重退化。

## 3 对策

### 3.1 重视和加强蒙新湖区的科学研究

党的十五届四中全会上,中央做出了实施“西部大开发”战略的重大决策,对平衡中国各区域间的发展位差以及提高整个国家的经济实力具有重要的战略意义。然而,西部地区脆弱的生态环境决定了西部大开发中要以生态保护优先的环境保护政策为切入点和立足点,坚持经济大开发与可持续发展有机结合,以提高整个西部区域的整体竞争力<sup>[47-48]</sup>。因此,重视和加强蒙新湖区的科学研究显得尤其必要和迫切,目前,中国蒙新湖区的研究大多集中在个体湖泊研究水平上,十分薄弱,建议未来在该湖区应着重在以下领域进行深入研究:一是由于气候变化对于干旱半干旱湖区水资源、水环境造成很大影响,因此研究气候变化条件下蒙新高原湖区湖泊水环境质量演变规律和发展趋势不仅对制定该区湖泊营养物基准指标具有重要意义,而且能对全球气候演变方面的研究起到一定的指示作用。二是水利工程可通过维持湖泊生态水位、减少湖库泥沙淤积及降低湖库发生水质恶化及富营养化的风险,使湖泊湿地的演化达到动态平衡状态。因而,结合典型

湖泊示范区,通过研究水利调度导致的特征水位调整对区域水动力条件、污染物输移过程的影响及评估水利调度对湖泊重要环境因子的影响作用具有重要意义.三是选定蒙新湖区重要的理化环境的特征因子,如矿化度,通过现场和室内模拟实验研究矿化度对水生生物的影响作用及其对水体富营养化是否具有指示作用,进一步探索该区水质恶化和富营养化的形成机理.四是研究发展适应于干旱半干旱地区气候影响和抗盐化的生态修复技术,包括自然处理技术,土壤生物工程技术和植物工程技术等,为干旱半干旱地区湖泊的生态恢复储备技术.

### 3.2 湖泊污染控制与治理措施

3.2.1 合理调配水资源 蒙新湖区水资源时空分布不均,加之许多生态环境恶化现象,突显实现水资源合理配置及可持续发展的迫切性.利用水利工程既能在一定程度上满足供水、防洪、发电、灌溉、航运、渔业以及旅游等方面的需求,又能改善环境、补偿生态,对于确保经济发展和西部边疆稳定具有十分重要的意义<sup>[49]</sup>.统一管理、保护、开发和调配水资源是实施西部大开发战略的重要保证,因此,实施从康巴地区开始的大规模调西南之水济西北之土的工程是西部大开发的核心战略.

3.2.2 控制点源污染,提高工业和城镇生活污水处理率 由于蒙新地区属资源型兼水质型缺水,水环境自净能力相对较差,城市排水和污水处理设施又严重不足,导致了水生态环境极为脆弱.例如,新疆库尔勒有老城区和东城区-西尼尔两个污水处理厂,其中老城区目前实际处理能力为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,处理率很低.因而,城镇污水及工业废水的再生利用,将成为促进西北地区经济发展、保障水资源供给的根本保证.应主要结合当地污水水质及经济条件,合理引进先进、实用、适用的污水处理工艺和再生水利用技术.此外,蒙新湖区相对于东部地区,可利用的土地资源较为丰富,因而可提倡采用自然生物净化工艺处理生活污水.

3.2.3 控制面源污染 蒙新湖区地处河流末端的尾间湖泊受到人为活动的强烈影响,已引起了一系列生态环境问题.因此,干旱半干旱区湖泊受损生态系统重建恢复、湖泊环境治理和保护与可持续利用已成为亟待研究和解决的问题.生态修复工程是通过减少或避免人类活动对湖泊生态脆弱区的干扰,利用大自然的力量,发挥生态的自我繁衍和修复能力,从而达到大面积、快速防治湖泊生态功能退化的系统工程<sup>[50]</sup>.常见的湖泊生态修复技术有:人工湿地修复技术、湖滨湿地的构建、底泥生态疏浚、引水稀释、深水曝气技术、水生动植物修复技术、生态膜技术、生态浮床技术等.在西北干旱半干旱地区湖泊的生态修复中,应根据当地湖泊的实际情况,找出目前环境条件的限制性因素,并对各种技术进行综合比较集成应用,实现生态修复所期望达到的生态-社会-经济效益.以博斯腾湖为例,鉴于其特有的自然地理、水文特征、生物及社会经济状况的特征,应充分挖掘其现有的自然资源,如水体、植物、地形地势等湿地的主要组成部分,将人工湿地修复技术作为其水环境修复的关键技术之一,构建表面流人工湿地处理系统<sup>[51]</sup>.

### 3.3 完善湖泊管理

湖泊流域的土壤、植被和工农业发达程度是湖泊输入的径流量、营养负荷和污染物质浓度的决定因素.只有通过改变湖泊的输入与输出,调整湖泊物质流与能量流的传递,使之平衡,才能保持湖泊生态健康.而改变湖泊的输入,显然必须从流域管理入手,需要妥善协调湖泊水源保护与流域经济发展和环境质量的关系,应将水源保护任务纳入流域生产发展规划,逐步实现全流域范围的综合治理和管理.有效的水环境管理对缓解干旱地区的缺水问题至关重要<sup>[52]</sup>.现行的流域管理多采取分散管理,不同的资源类型隶属不同的业务部门管理,完整的生态环境被划分给不同的行政辖区管理,因此造成了流域管理职能和权限的脱节,并割裂了流域内水文特征、生态系统固有的完整性<sup>[53-54]</sup>.应统筹流域,政府、企业和公众共同参与,应用行政、市场、法律手段,对流域实行协调、有计划、可持续的管理,促使流域可持续发展与生态健康<sup>[55]</sup>.建议应建立统一的流域水资源和水环境管理机构,将治理、开发与保护等作为一个完整的系统,统一协调管理.在管理体制方面,倡导法律支持下的以流域机构为主导、有公众参与的流域统一管理,确立有公众参与下的以法律形式确认的流域水资源开发、利用和水环境保护规划;其次,在机制方面,借鉴其他国家的管理经验,可探索中国水权交易方面的新路子,把水资源开发和水环境保护使用纳入市场经济范畴,采取调整水价格的办法来解决整体用水情况,使水资源能在相对缺水的区域产生更大价值,并确保水环境的健康和可持续利用<sup>[56-59]</sup>.

#### 4 参考文献

- [1] 金相灿. 中国湖泊环境(第一册). 北京: 海洋出版社, 1995: 17-26.
- [2] 曾海鳌, 吴敬祿. 蒙新高原湖泊水质状况及变化特征. 湖泊科学, 2010, **22**(6): 882-887.
- [3] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志. 北京: 科学出版社, 1998.
- [4] 杨桂山, 马荣华, 张路等. 中国湖泊现状及面临的重大问题与保护策略. 湖泊科学, 2010, **22**(6): 799-810.
- [5] 金相灿. 中国湖泊环境(第二册). 北京: 海洋出版社, 1995: 326-494.
- [6] 丁永建, 刘时银, 叶柏生等. 近 50a 中国寒区与旱区湖泊变化的气候因素分析. 冰川冻土, 2006, **28**(5): 623-632.
- [7] 马丽娟, 赵景峰, 张宏俊等. 气候变化背景下冰川积雪融水对博斯腾湖水位变化的影响. 干旱区地理, 2010, **33**(2): 210-216.
- [8] 秦伯强. 近百年来亚洲中部内陆湖泊演变及其原因分析. 湖泊科学, 1999, **11**(1): 11-18.
- [9] 李亚威, 韩天成. 内蒙古湖泊水资源及主要环境问题. 内蒙古环境保护, 2000, **12**(2): 17-21.
- [10] 李钟, 马巍, 史晓新等. 呼伦湖水位、盐度变化(1961-2002年). 湖泊科学, 2006, **18**(1): 13-20.
- [11] 谭荒, 王亚俊, 宁建忠. 新疆博斯腾湖水生态环境变化分析. 干旱区研究, 2004, **21**(1): 7-10.
- [12] 娄广艳. 新疆博斯腾湖调水量优化研究[学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2005.
- [13] 刘文军, 张鹏, 李丽华等. 新疆艾比湖湖面面积变化分析. 干旱区研究, 2010, **27**(1): 64-67.
- [14] 李建雯. 乌梁素海水环境状况及保护措施. 内蒙古水利, 2009, **5**: 79-80.
- [15] 陈忠, 马海洲, 曹广超等. 尕斯库勒湖 DG03 孔碳酸盐含量及其环境意义. 盐湖研究, 2007, **15**(2): 6-7.
- [16] 胡安焱. 流域气候变化和人类活动对内陆湖泊影响的分析. 干旱区资源与环境, 2007, **21**(5): 1-5.
- [17] 肖开提, 阿不都热木, 汤世珍. 新疆艾比湖水矿化度变化过程及原因分析. 水资源保护, 2010, **26**(4): 35-38.
- [18] 王树基. 近四十年来人类活动对我国干旱区湖泊的影响. 干旱区地理, 1989, **12**(1): 2-5.
- [19] 温跨达. 近 40 年新疆沙漠化与人类活动. 灾害学, 1991, **6**(2): 54-58.
- [20] 陈志军. 艾比湖水盐变化原因及影响研究. 盐湖研究, 2007, **15**(2): 1-5.
- [21] 张功强, 王开云, 任檀. 乌梁素海的环境现状及其污染原因初探. 内蒙古水利, 2008, (1): 5-6.
- [22] 李新贤, 党新成, 李红等. 新疆主要湖泊、水库的水质综合评价模式及营养状态分析. 干旱区地理, 2005, **28**(5): 588-591.
- [23] 杨春, 马超, 古丽娜孜·穆合塔尔等. 新疆地表水水质现状分析. 干旱环境监测, 2009, **23**(4): 214-219.
- [24] 张晓晶, 李畅游, 张生等. 呼伦湖沉积物重金属分布特征及生态风险评价. 农业环境科学学报, 2010, **29**(1): 157-162.
- [25] 史小红, 李畅游, 贾克力. 乌梁素海污染现状及驱动因子分析. 环境科学与技术, 2007, **30**(4): 37-38.
- [26] 尚士友, 杜健民, 厚福祥等. 乌梁素海生态恢复机理与工程技术的研究. 干旱区资源与环境, 2003, **17**(6): 50-53.
- [27] 韩向红, 杨持. 呼伦湖自净功能及其在区域环境保护中的作用分析. 自然资源学报, 2002, **17**(6): 684-688.
- [28] 代进锋. 博斯腾湖生态修复技术的研究[学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [29] 吴新敏, 孙建国. 柴窝堡湖富营养化水平评价. 干旱环境监测, 2004, **18**(1): 26-28.
- [30] 王雪冬, 刘彦林, 邢健. 柴窝堡湖水质污染与控制. 干旱环境监测, 2003, **17**(4): 225-226.
- [31] 吕春玲, 祁士华, 龚香宜. 新疆柴窝堡湖水质污染控制与恢复方案的研究. 环境科学与技术, 2006, **29**(8): 15-17.
- [32] 贾国东, 彭平安, 傅家谟. 珠江口近百年来富营养化加剧的沉积记录. 第四纪研究, 2002, **22**(2): 158-165.
- [33] 张旭萍. 环湖盆地气候及其变化特征对生态环境的影响分析. 青海气象, 2003, (1): 30-33.
- [34] 杨青, 何清, 李红军等. 艾比湖流域沙尘气候变化趋势及其突变研究. 中国沙漠, 2003, **23**(5): 503-505.
- [35] 高翔, 黄宗亮. 艾比湖湖面萎缩与流域生态环境恶化之间的关系. 新疆师范大学学报, 2006, **25**(1): 83-86.
- [36] 孟伟, 杨荣金, 舒俭民等. 突发环境污染事件对湖泊浮游动物的影响. 环境科学研究, 2007, **20**(4): 87-91.
- [37] 王丽珍, 刘永定, 陈旭东等. 滇池马村湾、海东湾底栖无脊椎动物群落结构及其水质评价. 水利渔业, 2003, **23**(2): 47-50.
- [38] 虞左明. 青山水库底栖动物群落初步研究. 环境污染与防治, 2001, **23**(5): 229-231.



- [39] 赵怡冰, 许武德, 郭宇欣. 生物的指示作用与水环境. 水资源保护, 2002, (2): 11-13.
- [40] 蒋小欣, 严以新. 苏州市养殖类湖泊现状生态系统的调查分析. 水资源保护, 2008, 24(2): 57-59.
- [41] 李畅游, 武国正, 李卫平等. 乌梁素海浮游植物调查与营养状况评价. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊): 283-287.
- [42] 井 瑾, 郭玉华, 乌吉模等. 乌梁素海环境质量现状及特征分析. 2003 年内蒙古自治区自然科学学术年会优秀论文集, 2003.
- [43] 罗崇富. 博斯腾湖富营养化状态水平调查. 干旱环境检测, 1991, 5(2): 98-102.
- [44] 闰晓燕. 博斯腾湖浮游植物种群结构初步评价. 干旱区研究, 1992, 9(1): 47-52.
- [45] 赖 英. 博斯腾湖浮游植物季节变化的研究. 水生态学杂志, 2009, 2(5): 103-105.
- [46] 兰策介, 沈 元, 王备新等. 蒙新高原湖泊高等水生植物和大型底栖无脊椎动物调查. 湖泊科学, 2010, 22(6): 888-893.
- [47] 王树义. 论西部大开发中的环境保护对策. 中国软科学, 2001, (2): 28-32.
- [48] 严力蛟, 陈国林. 试论西部大开发中的生态环境保护. 水土保持通报, 2002, 22(1): 63-67.
- [49] 禹雪中, 杨志峰, 廖文根. 水利工程生态与环境调度初步研究. 水利水电技术, 2005, 36(11): 20-22.
- [50] Duncan A. A review: Limnological management and biomani polation in the Lond on reservoirs. *Hydrobiologia*, 1990, 200/201: 541-548.
- [51] 李艳霞. 博斯腾湖生态修复技术的研究[学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2007.
- [52] Alam M. Water resources in the Middle-East and the North-Africa regions. *Water International*, 1989, 14: 122-127.
- [53] 刘 永, 郭怀成. 湖泊-流域生态系统管理研究. 北京: 科学出版社, 2008.
- [54] 刘 永, 郭怀成, 黄 凯等. 湖泊-流域生态系统管理的内容与方法. 生态学报, 2007, 27(12): 5352-5360.
- [55] 陈宜瑜, 王 毅, 李利锋. 中国流域综合管理战略研究. 北京: 科学出版社, 2007.
- [56] 张仁慧. 西部干旱半干旱地区水资源合理利用问题探讨. 水土保持通报, 2003, 23(5): 79-81.
- [57] 张振克, 杨达源. 中国西北干旱区湖泊水资源-环境问题与对策. 干旱区资源与环境, 2001, 15(2): 7-10.
- [58] 翁白莎, 严登华. 变化环境下中国干旱综合应对措施探讨. 资源科学, 2010, 32(2): 309-316.
- [59] 康绍忠, 蔡焕杰, 冯绍元. 现代农业与生态节水的技术创新与未来研究重点. 农业工程学报, 2004, 20(1): 1-5.