

控制艾比湖干涸湖底风蚀的合理水面估算与效果监测

包安明^{①②} 穆桂金^① 章毅^③ 冯先伟^{①②} 常存^{①②} 尹小君^{①②}

(①中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; ②新疆遥感与地理信息系统应用重点实验室, 乌鲁木齐 830011;

③新疆水利厅规划设计管理局, 乌鲁木齐 830011. E-mail: baoam@ms.xjb.ac.cn)

摘要 通过分析艾比湖目前主要生态问题, 干涸湖底沉积物的颗粒组成与粉尘关系, 利用水平衡方程分析改善艾比湖生态的合理水面面积和入湖水量, 并对近年生态效果进行了监测和探讨. 结论认为控制艾比湖干涸湖底风蚀的有效水域面积至少为 800 km^2 , 入湖地表水和地下水总量应保持在 $7.92 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上.

关键词 艾比湖 干涸湖底 合理水面 生态与环境

艾比湖位于新疆博尔塔拉蒙古自治州境内, 是新疆西部边境著名的咸水湖, 在自然演化过程中, 受人口、耕地、植被、入湖水量等因素变化的影响, 西北部产生了 1500 km^2 干涸湖底, 其中 107.4 km^2 的松散沉积物裸露区, 该区沉淀物质颗粒细小, 是新疆沙尘暴和浮尘天气的物质来源. 根据精河县气象局资料统计结果, 年内大风日数 164 天, 最多天数为 188 天, 最大风速 46 m/s .

平均每年被大风吹走的湖底盐漠粉尘约 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$, 含可溶性盐类 52.3%, 危害极大^[1]. 盐漠粉尘受阿拉山口大风主通道作用, 向东南快速性扩展, 沿天山北坡直逼乌鲁木齐及以远地区, 并影响到中国北方其他地区.

艾比湖生态用水不足是艾比湖生态恶化的主要原因. 艾比湖生态恶化主要表现特征是沙尘暴日、扬尘日和浮尘日天数日趋增多. 沙尘主要来源于沙化土地和裸露湖底, 湖滨沙丘活化其动力是阿拉山口大风, 尘源是裸露湖底疏松的盐漠粉尘.

湖面缩小带来的生态与环境问题主要包括: (1) 严重威胁生物多样性. 20 世纪 50 年代初湖滨植被较为茂盛, 有 $5.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 胡杨林, $4.67 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 沼泽草甸, $4.8 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 梭梭林, $12 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 草甸草场, 由于湖面水位的急剧下降, 加之过度樵采以及毁林开荒, 目前近 60% 的湖滨植被已经衰亡, 生物量锐减^[2]; (2) 沙尘天气增多, 引起的工农业生产受损及人群健康问题. 1990~1996 年均风沙危害造成全州工商业年平均直接经济损失 1020 万元, 间接经济损失 1073 万元; 1996~1998 年全州平均农业受灾面积 $3.53 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 直接经济损失 7950 万元, 间接经济损失 21814 万元^[3]. 1998 年 11 月, 精和县防疫站对该县芒

丁乡 40 岁以上农民随机抽取 100 人进行体检, 发现尘肺 7 例, 矽肺 8 例, 结核 19 例, 慢性支气管炎 26 例, 肺气肿 12 例, 共 72 例. 40 至 50 岁发病率为 42.2%, 50 岁以上达 100%.

因此, 增加艾比湖入湖水量并增大有效湖面, 是解决生态恶化和控制北疆沙尘灾害影响的关键.

1 湖底主要沉积物质与降尘关系

根据艾比湖湿地的自然地理特征, 包括地貌部位及形态、物质组成、地表与地下水文条件、土壤、植被等; 生物特征, 包括生物群落、数量等及湿地生态系统功能, 可将艾比湖湿地划分为湖泊水域、湖滨风浪作用带、间歇性干涸湖底和沿岸沼泽平原等 4 个部分. 其中, 湖泊水域为湖体; 湖滨风浪作用带为裸露的平地, 地下水位接近地表, 地表经常保持湿润和盐结皮, 不适宜于植被发育; 沿岸沼泽平原是天然绿洲的组成部分. 这三部分不是艾比湖的主要尘源, 主要沙尘来自间歇性干涸湖底.

间歇性干涸湖底长时间干涸后, 湖底沉积物地理特征发生变化. 根据物质组成和地面物理、化学性状, 还可以分为龟裂带、浮土带、淤泥带及浪凸起带等. 其中龟裂带和浮土带为艾比湖地区粉尘及盐尘的重要源区, 龟裂带受边缘地带物质组成特性的影响风蚀强烈, 浮土带和淤泥带接受大量来自龟裂带风蚀的物质, 而浮土带具备二次启动粉尘及盐尘的条件并大量输出粉尘及盐尘. 间歇性干涸湖底面积约 107.4 km^2 , 物质组分为疏松的盐漠裸土. 每年从间歇性干涸湖底被大风吹走大量的含盐沙尘, 形成沙尘天气多年平均 44.5 天, 1997 年浮尘天气多达 110 次 (图 1).

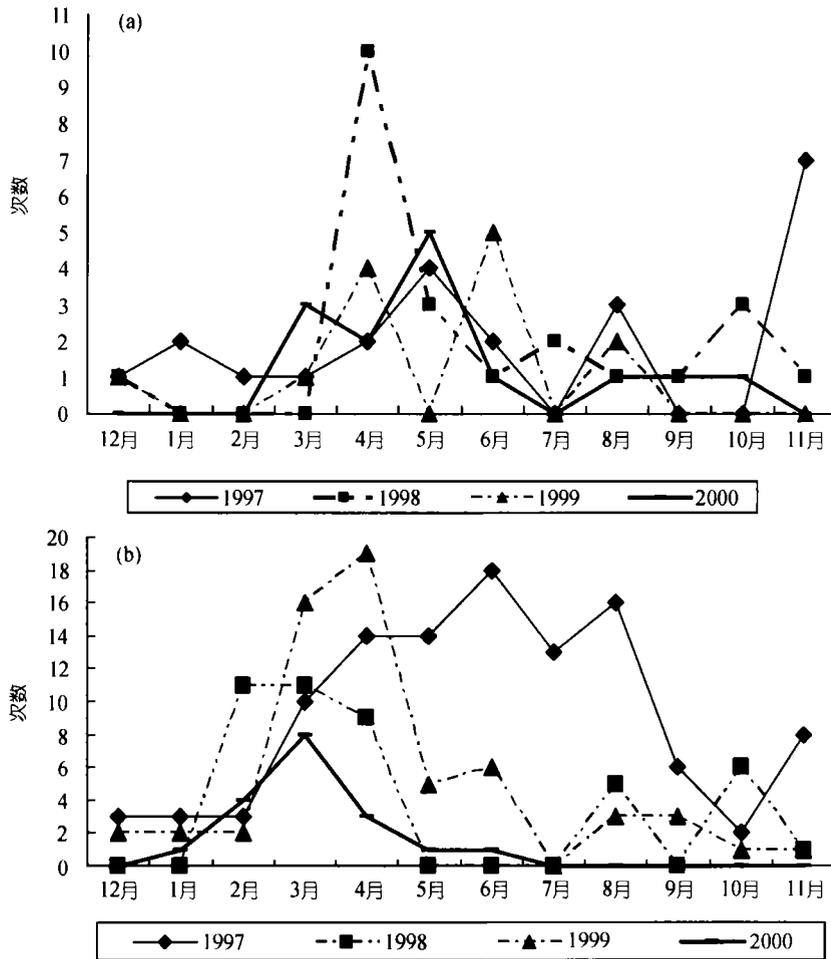


图 1 精河气象站 1997~2000 年大风(a)与浮尘(b)天气频次

博州环境监测站测定位于大风通道的地区降尘量明显大于其他地区, 距离艾比湖近的地区降尘量强于远的地区. 如 1989~1999 年博乐市平均降尘量 72.15 t/km^2 ; 精河县 288.65 t/km^2 , 82 团场 360.2 t/km^2 , 91 团场 83.83 t/km^2 . 1991 年 5 月 3 日, 博乐市测得空气中总悬浮颗粒物(TSP)浓度为 13.3 mg/m^3 , 降尘中可溶性盐分达 52.38%. 1999 年 4 月 22 日测得精河县 TSP 浓度值为 16.5 mg/m^3 .

分别在艾比湖干涸湖底采集表层土壤样品, 在精河、博乐、托托三地利用集尘器采集粉尘样品, 并进行了颗粒物质的分析(图 2), 分析仪器采用英国 Malvern 公司 MS2000 激光粒度仪, 仪器测量精度 $0.02\sim 2000 \mu\text{m}$. 结果表明干涸湖底全部物质组成均为粉尘和泥沙, 颗粒物粒径在 $4 \mu\text{m}$ 以下的占 70%, 直径在 10 以下的占 84%. 3 个粉尘的物质组成同样大部分为泥沙和粉尘颗粒^[4]. 空气中粉尘颗粒, 直径在 $5 \mu\text{m}$ 以下的占 65.12%, 在 $10 \mu\text{m}$ 以下的占 79.07%^[5],

说明 3 个地区空气中的粉尘与干涸湖底沉积物组成相近, 是影响空气质量的主要尘源.

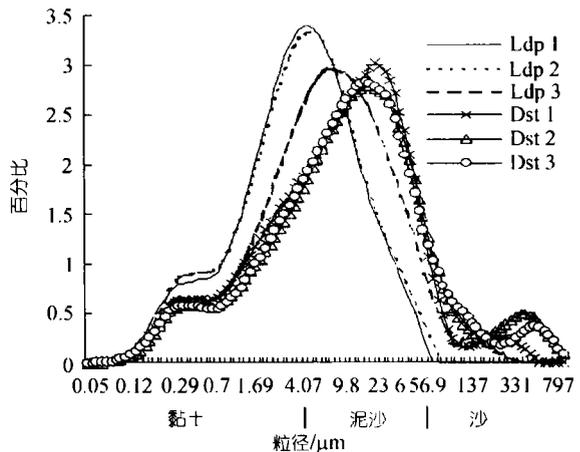


图 2 艾比湖干涸湖底颗粒物质和粉尘颗粒组成
Ldp1 至 Ldp3 为干涸湖底表层样品, Dst1 至 Dst3 为精河、博乐和托托的粉尘沉积样品

2 控制艾比湖干涸湖底风蚀的合理水面估算

2.1 控制艾比湖干涸湖底风蚀的合理范围

由湖积堤测年得到的结果,早在第四纪更新世时,湖水面积接近 3000 km²,湖水深度 40 m 左右,湖水总贮量为 700~1000 × 10⁸ m³,为良好水质的淡水湖,也是艾比湖的鼎盛期。到了二十世纪 40 年代,湖水总面积缩小一半多,只有 1200 km²,湖水总贮量只有 20~30 × 10⁸ m³,湖水矿化度达到 80~120 g/L,增加了近 100 倍,成了一个典型的盐湖^[6-8]。20 世纪 50 年代以来,古尔图河、四棵树河、奎屯河 3 条河流被彻底堵截,近 20 年来已基本无地表径流入湖。精河、大河沿子河、博尔塔拉河 3 条河也只有冬闲水及部分洪水进入湖中。湖水面积 20 世纪 50 年代初为 1070 km²,1959 年为 824 km²,1977 年为 522 km²。1985~1987 年艾比湖流域各河流连续为枯水年,湖水面积只有 500 km²。而 1998~1999 年艾比湖流域各河连续丰水年,2000 年湖水面积增加到 756 km²。湖水面积的变化,随着入湖水量变化而变化,20 世纪 60 年代至 2000 年前湖水面积一般保持在 550 km² 左右(图 3)。因此,20 世纪 90 年代的流域规划中认为 522 km² 是维持艾比湖动态平衡的理论面积。根据近年实际观测资料,522 km² 的水面完全不能覆盖西北部干涸湖底,无法解决沙尘对下游的影响,显然 522 km² 的水面是不合理的。

分析艾比湖近 50 年的变化及其周边的环境响应。当湖面收缩,湖水矿化度上升,直接反应的是水生态系统及湿地生态系统规模的缩小和部分退化,然后是风沙活动增强。当艾湖面在 800 km² 上下时,艾比

湖及其周边地区可以保持生态完整性,环境表现为适宜状态,湿地(包括水域)保障了生物多样性的发展。湖面缩小到 800 km² 以下即出现一系列环境变化,生态完整性呈现非安全状态。湖面缩小到 600 km² 以下,区域环境显著劣变,生态恶化。当湖面接近 500 km² 时,生态系统的核心受到侵袭,原有湿地的完整性被破坏,整个生态系统面临安全危机。

一些专家曾经对艾比湖萎缩引起的环境问题,特别是湖底风蚀引起的粉尘及盐尘危害问题提出过物理覆盖、化学覆盖、水覆盖和植被覆盖等多种治理方案,但是都因认识不足和各种缺陷而无法实施。首先,过去的各种方案都基于 522 km² 的湖面背景。湖面经过退缩之后在 522 km² 达到动态平衡,但因湖面变化引起的环境变化并没有因湖面稳定而稳定,还是继续劣变。所以 522 km² 湖面并不是重新构建生态完整性的合理范围,更不是改善艾比湖流域环境的基础。其次,这些方案都是针对局部问题提出的工程措施,一方面不能从根本上解决资源共享的矛盾,另一方面都因自身的技术难点而难以实施。此外,任何失去自然过程支撑的人工系统都是极不稳定的,所以建立在人工系统中的环境将是十分脆弱的。解决艾比湖环境问题的办法之一是通过节水工程,增加生态用水量,使入湖水量在维持 522 km² 水面水量的基础上有所增加,覆盖干涸湖底。

1997 年为特枯水年,年降水量较多年平均值减少 1/3,大风次数为 23 次,浮尘天气为 110 天,当年艾比湖水面积平均为 491 km²;1999 年为丰水年,入湖径流量大增,湖水面达到了 709 km²,水面将 107.4 km² 裸露的湖底大部分覆盖,使得 2000 年春季虽然大风天气有 10 天,但浮尘天气仅出现了 12 次,

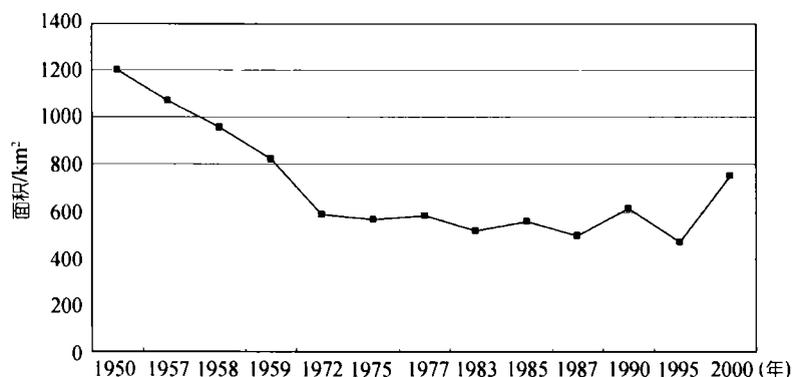


图 3 艾比湖湖面历史变化情况

这说明风沙天气与艾比湖水面面积具有密切的关系. 根据干涸湖底风蚀范围的遥感判定, 控制风蚀危害需要将湖面增大到 800 km² 以上. 因此, 根本控制艾比湖沙尘源的湖面面积应该接近 800km² 比较合理.

2.2 控制干涸湖底风蚀理论水量

艾比湖三面环山, 是一封闭性流域集水湖盆, 主要受湖区降水和四周地表水及地下水补给. 而湖水只消耗于水面蒸发. 因湖底沉积着巨厚的细沙和淤泥, 湖水又很浅, 湖底渗漏甚微, 地下水同外界的交流可忽略不计^[9]. 因此, 采用如下方程湖泊水量平衡计算:

$$\Delta W = W_S + W_G + W_P - W_E \quad (1)$$

式中, ΔW 为平衡计算时段内湖泊储水量的变化; W_S 为地表水入湖总水量; W_G 为地下水入湖总水量; W_P

为湖面降水总量; W_E 为湖面蒸发总量.

根据艾比湖多年湖面面积的观测, 艾比湖湖面自 20 世纪 80 年代到 90 年代末平均稳定在 522 km² 左右, 基本达到动态平衡. 以水量平衡方程为依据, 假设在艾比湖在多年平均降水量 188.6 mm 不变的情况下, 艾比湖湖面 522 km² 时达到动态平衡, $\Delta W_1=0$, 则

$$W_P = S_1 \times W_{P_0} = 522 \times 106 \times 0.1886 = 1.041 \times 10^8 (\text{m}^3).$$

据博河、精河流域规划办公室委托有关单位在湖区的实测湖水矿化度平均为 112.4 g/L, 波美度平均 8.5, 显然艾比湖湖面蒸发量应小于淡水水面蒸发量. 艾比湖湖区淡水蒸发量采用周边气象站观测的多年平均值为 1388 mm, 比蒸发系数平均为 0.85, 则

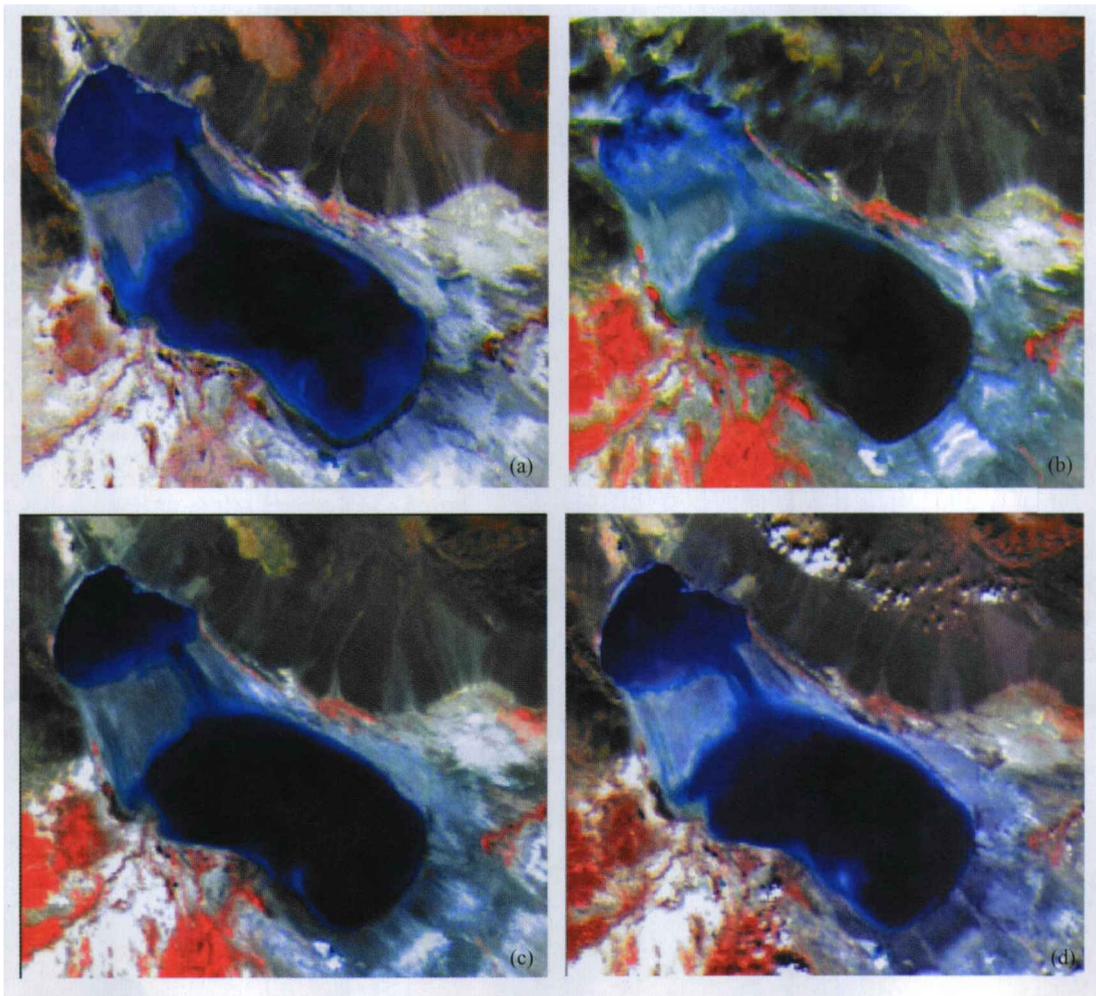


图 4 艾比湖 2002 年典型月份水面变化
(a) 5 月 23 日; (b) 7 月 17 日; (c) 9 月 21 日; (d) 10 月 23 日

$$W_{E_1} = S_1 \times W_{E_0} = 522 \times 10^6 \times 1.388 \times 0.85 = 6.159 \times 10^8 (\text{m}^3),$$

$$W_{S_1} + W_{G_1} = W_{E_1} - W_{P_1} = 5.11 \times 10^8 (\text{m}^3).$$

此时流入艾比湖的地表水与地下水水量之和应达到 $5.11 \times 10^8 \text{m}^3$ 时, 能维持 522km^2 湖面面积的动态平衡.

同样, 假设艾比湖湖面 800km^2 时达到动态平衡, $\Delta W_2=0$, 则

$$W_{P_2} = S_2 \times W_{P_0} = 800 \times 10^6 \times 0.1886 = 1.509 \times 10^8 (\text{m}^3),$$

$$W_{E_2} = S_2 \times W_{E_0} = 800 \times 10^6 \times 1.388 \times 0.85 = 9.438 \times 10^8 (\text{m}^3),$$

$$W_{S_2} + W_{G_2} = W_{E_2} - W_{P_2} = 7.92 \times 10^8 (\text{m}^3).$$

即艾比湖的地表水与地下水水量之和达到 $7.92 \times 10^8 \text{m}^3$ 时, 能维持 800km^2 湖面的动态平衡.

每年在 $5.11 \times 10^8 \text{m}^3$ 基础上增加 $2.81 \times 10^8 \text{m}^3$ 入湖水量时, 将会使湖面从 522km^2 扩展到 800km^2 , 并覆盖 107.4km^2 干涸湖底, 从而有效地控制干涸湖底的风蚀危害.

3 水面覆盖实际效果监测

根据博乐市水文局 1979~2000 年观测博尔塔拉河和精河入湖水量资料, 22 年间平均地表水入湖量为 $4.90 \times 10^8 \text{m}^3$. 1999 年博河、精河入湖的总水量为 $6.93 \times 10^8 \text{m}^3$, 较多年平均入湖水量增加 $2.03 \times 10^8 \text{m}^3$. 艾比湖水面面积为 709km^2 , 已经覆盖了艾比湖裸露湖底大部分地区. 1999 年和 2000 年大风季节, 精河县沙尘天气明显减少.

利用 EOS/MODIS 卫星接收站接收的中高分辨率遥感数据, 进行了 2002 年艾比湖湖面面积变化的监测(图 4). 监测结果表明, 艾比湖水面 2002 年均均在 960km^2 以上, 其中湖面最大监测结果为 1085.89km^2 , 从 7 月份开始水面面积已经超过 1000km^2 (表 1).

表 1 艾比湖 2002 年湖面面积 MODIS 监测结果

监测日期	湖泊面积/ km^2	监测日期	湖泊面积/ km^2
2001 年 11 月 29 日	666.7	2002 年 8 月 27 日	1038.26
2002 年 5 月 23 日	962.31	2002 年 9 月 19 日	1057.67
2002 年 6 月 18 日	982.71	2002 年 10 月 7 日	1065.23
2002 年 7 月 17 日	1005.37	2002 年 10 月 23 日	1076.29
2002 年 8 月 19 日	1032.29	2002 年 11 月 7 日	1085.89

博州水文局提供的观测资料, 2002 年入湖水量为 $12.11 \times 10^8 \text{m}^3$, 按照公式(1)反推计算. 假设此时湖面基本达到动态平衡, 在艾比湖在多年平均降水量 188.6mm 不变的情况下, 湖区淡水蒸发量采用周边气象站观测的多年平均值为 1388mm , 比蒸发系数平均为 0.85 , $\Delta W_0=0$, 则此时水面面积为:

$$S_3 = \frac{W_3}{W_{E_0} - W_{P_0}} = \frac{12.11 \times 10^8}{1.388 \times 0.85 - 0.1886} = 12.218 \times 10^8 (\text{m}^2).$$

理论湖水面积应该为 1221.8km^2 , 实际观测结果基本维持在 1000km^2 以上. 从而证实了艾比湖干涸裸露湖底的理论需水量计算结果是合理的, 制订的 800km^2 水面指标可以达到彻底根治沙尘源起沙扬尘的目的.

致谢 本工作为中国科学院知识创新项目(INF105-SDB-1-29, KZXC3-SW-327)资助.

参 考 文 献

- 李遐龄. 艾比湖生态环境综合治理和经济可持续发展的研究. 干旱区资源与环境, 1997, 11(2): 27—36
- 闫顺. 艾比湖及周边地区环境演变. 干旱区资源与环境, 1996, 10(1): 31—37
- 苏颖君, 张振海, 包安明. 艾比湖生态环境恶化及防治对策. 干旱区地理, 2002, 25(4): 143—148
- Mu Guijin, Yan Shun, Jilil, et al. Wind erosion of dry-out lake bottom of Aiby Lake, a case study on the source of air dust. Chinese Science, Ser D, 2002, 49 (supp): 157—164
- 吉力力·阿不都万里, 穆桂金. 艾比湖干涸湖底尘暴及其灾害分析. 干旱区地理, 2002, 25(4): 149—154
- 吴敬禄, 沈吉, 王苏民, 等. 新疆艾比湖地区湖泊沉积记录的早全新世气候环境特征. 中国科学, D 辑, 2003, 33(6): 570—575
- 吴敬禄. 新疆艾比湖全新世沉积特征及古环境演变. 地理科学, 1995, 15(1): 39—46
- 柏春广, 穆桂金. 艾比湖湖岸地貌及其反映的湖面变化. 干旱区地理, 1999, 22(1): 34—40
- 杨川德, 朱英民. 艾比湖水量平衡计算与分析. 干旱区地理, 1990, 13(4): 15—21

(2005-07-20 收稿, 2006-01-16 收修改稿)