

文章编号: 1001-4675(2008)04-0574-09

中国北方沙区湖泊(水库)风沙灾害危险度 评价与安全对策 ——以内蒙古沙区为例

岳耀杰^{1,2}, 王静爱^{1,3}, 邹学勇⁴, 史培军³

(1 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2 北京师范大学 区域地理研究重点实验室, 北京 100875; 3 北京师范大学 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875; 4 北京师范大学 中国沙漠研究中心, 北京 100875)

摘要: 保障沙区湖泊(水库)安全对构建生态安全的土地利用格局和可持续水系统具有积极意义。根据灾害系统理论,分析沙区湖泊风沙灾害系统结构与功能体系,构建区域评价指标体系及分级标准,归纳出局地致灾因子(植被)-湖泊位置距离模式,提出综合评价模型。对内蒙古沙区湖泊风沙灾害危险度进行评价,结果表明:安全湖泊占7.3%,轻度危险占22.5%,中度危险占24.7%,重度危险占25.4%,强度危险占9.1%,极度危险占11%,湖泊安全形势严峻。在此基础上提出防治湖泊风沙灾害的“工程治理圈-围封繁育圈-自然恢复圈”结构的“三圈”模式与安全对策。该研究可为我国北方沙区湖泊风沙灾害防治与生态友好型土地利用规划提供科学依据。

关键词: 湖泊; 水库; 风沙灾害; 危险度; “三圈”模式; 内蒙古; 中国

中图分类号: S424 **文献标识码:** A

沙区人地关系具有极端脆弱性和风险性^[1]。截至2004年,中国沙漠化土地面积为 1.74×10^6 km²,占国土总面积的18.12%,北方沙区(新疆、内蒙古、青海、甘肃、河北、陕西、宁夏)占全国沙漠化土地总面积的83.82%^①。该区域气候干旱,降水稀少,水资源极为宝贵,水资源能否高效利用、有效保护和合理配置是关系到区域生态安全和可持续发展的战略问题^[2]。沙区湖泊(包括人工水库)作为水资源,对维护沙区人地关系稳定、生物多样性及生态安全极为重要。中国北方沙区的湖泊面积近 2×10^4 km²,占全国湖泊面积的25%、储水量的30%左右^[3]。它们除具有供水、盐业、渔业、旅游功能外,对调节区域气候和保护生物多样性具有独特意义。但它们时刻受到风沙灾害的威胁,如青海湖入湖风沙为 8.87×10^6 t/a,形成的沙堤隔绝海湾造成湖面萎缩^[4]。龙羊峡水库上风向流沙带每年入库流沙 $1.23 \times 10^7 \sim 2.84 \times 10^7$ m³,对水库容积及发电设备造成损害^[5]。风沙入侵还压占湖泊湿地,影响到区域生态安全。所以,评价沙区湖泊风沙灾害危险度,找出防治风沙入侵的安全对策,维护湖泊及其湿地

的生态功能,对保证沙区生产与生态用水,构建生态安全的土地利用格局和可持续水系统具有积极意义。

对我国北方沙区的沙漠化及风沙灾害的危险度评价已有一些研究。董玉祥对我国北方的沙漠化灾害危险度进行了分区评价,其评价沿用FAO和UNEP荒漠化评价指标与标准^[6],并加入社会经济因子,具有一定理论与实践意义^[7]。但其评价结果反映的是区域沙漠化的危险程度,不能代表沙漠化伴生灾害-风沙灾害对特定受害对象的具体影响。王静爱等采用2000年风沙灾害案例数据库,分析了我国风沙灾害的时空格局,并用致灾灾次和承灾体指数评价了危险性^[8]。徐海量等则采用38年的风沙灾害次数对塔里木盆地风沙灾害的危险性进行了评价^[9]。这种方法基于历史风沙灾害数据,较好地反映了风沙灾害发生和分布的规律,但在风沙灾害记录缺乏地区,其评价结果难免与实际有差距,而且这种“后置评价”缺乏对灾害的预测能力。总体来看,上述研究均属于区域评价范畴,没有考虑具体承灾体风沙灾害形成的局部特点,由于所用指标、数据与方法的缺陷,这类评价的结果对重点设防对象的风

收稿日期: 2007-04-27; 修订日期: 2007-05-14

基金项目: 国家科技攻关项目(2005BA517A06); 国家重点基础研究发展规划项目(2006CB400505)

作者简介: 岳耀杰(1975-),男,山东济宁人,博士研究生,主要从事土地利用与生态安全研究。E-mail: yaojie_yue@163.com

通讯作者: 王静爱。E-mail: sqq@bnu.edu.cn

① 国家林业局. 中国荒漠化和沙化状况公报. 北京: 国家林业局, 2005.

沙灾害治理指导性较差。对重点设防对象风沙灾害的研究,目前集中于居民点与交通设施的风沙灾害危险评价与治理措施,在风沙灾害测量、评价模型、工程防沙技术参数与生物防治措施配置等方面进行了定点研究,相关成果已获得成功应用^[10-15]。这些定点研究对风沙灾害危险度的评价,集中体现在挟沙风输沙强度及其影响因子方面,针对性强,但缺乏区域间的对比研究,面对我国沙区面广量大的类似地点(地区),基于一点的评价指标、模型与防治措施的普适性较低。一些综合研究,如赵存玉等详细介绍了风沙灾害防治的途径与措施,但在风沙灾害定量评价方面仍缺乏深入研究^[5]。需要指出的是,沙区湖泊作为生产与防沙治沙工程的重要水源和具有高度生态价值的载体,业已受到风沙灾害的威胁。然而无论区域还是重点设防对象的风沙灾害危险度评价,均没有把沙区湖泊提到相应的重视程度,个别研究案例^[4-5]也只是计算了入湖沙量,没有上升到区域灾害系统的水平,对防治对策的研究就更少了。

本文根据灾害系统理论,立足沙区湖泊风沙灾害的区域影响因子和承灾体的局地特点,建立了危险度评价的指标体系与模型,并提出沙区湖泊防治风沙灾害的安全对策。希望该研究为我国北方沙区湖泊风沙灾害防治与国土资源利用规划提供依据。

1 数据与方法

1.1 数据处理

研究使用的数据有中国沙漠与沙漠化图^[16];中华人民共和国土壤图空间数据库^②;中国湖泊数据库^③;全国1951-2000年多年平均风速数据集^③;中国县级行政区划图^③;中国降水量带图^②;TM影像(2002-2003年)。

数据处理平台为ARC/GIS 9.0,数据处理分4步进行。①多源数据集成:把中国沙漠与沙漠化图扫描数字化,生成沙区空间数据库,并与湖泊、土壤、风速、政区、降水空间数据一起通过格式转换与投影变换,统一到ARC/GIS 9.0 Coverage格式与Ablers投影下;②数据提取、更新与实地观测:将研究区行政范围内的沙区、湖泊、土壤、风速、降水数据提取出来,作为风沙灾害危险度评价的数据。基于提取的湖泊空间数据,参照文献[3]和TM影像,对湖泊空间数据进行了更新,将原空间数据库中没有的192个湖泊和水库添加到数据库中,并在毛乌素沙地巴

图湾水库(内蒙古乌审旗)进行了风沙实地调查;③构建基于湖泊单元的评价数据集:以湖泊为基图,将其他数据与之叠加得到基于湖泊单元的多要素评价数据集;④指标分类分级与模型运算,进行评价。

1.2 评价方法

1.2.1 灾害系统分析 依据灾害系统理论^[16-20],由孕灾环境、致灾因子、承灾体复合组成了区域灾害系统的结构体系(D_s);由孕灾环境稳定性、致灾因子风险性和承灾体脆弱性共同构成了区域灾害系统的功能体系(D_f);灾害具有链状特征。沙区湖泊风沙灾害系统中,孕灾环境(E)包括干燥、多风和沙源丰富的区域自然条件(E_A),还有湖泊与袭来风沙的位置关系、输移距离和植被状况等局地因素(E_L)。致灾因子(H)包括风沙流与浮尘,承灾体(S)就是湖泊,灾情(D_E)是水资源损失和生态破坏。沙区湖泊风沙灾害系统功能体系中,孕灾环境稳定性(E_s)由 E_A, E_L 综合作用而成,决定了致灾因子危险性(R)的总体程度。其中, E_A 是 R 的充分条件,而 E_L 起到加强或减弱 R 的作用,引起灾情(D_E)放大或缩小。 R 表现为 H 的强度,它形成于不稳定的孕灾环境。理论上, R 应基于 H 的实测数据,在广大沙区对每个湖泊进行风沙观测是很难做到的,所以用 E_A 和 E_L 综合作用结果代表 R 是一种比较符合实际的做法。这和Mileti把 H 和 E 均归为环境体系是一致的^[21]。承灾体脆弱性(V)是 S 对 H 的敏感程度。 R 和 V 共同作用导致 D_E ,即有效容积的侵占与周边湿地的压占。

为了弄清沙区湖泊风沙灾害发生发展的过程,识别各种因子对灾害形成的影响机制,需要进一步进行灾害链的分析,这对选择评价指标与构建模型十分重要。重点分析灾害链中 E_A, E_L 的因子构成及对 $H(R)$ 的影响。 E_A 的一个关键因子是地面提供的沙尘物质多少,它由裸露地表的面积和地表可蚀性物质的丰寡决定。前者与不同程度的沙漠化类型土地直接相关,沙漠化类型及其程度的重要标志是植被盖度^[5],反之就是地表裸露的程度;后者则与土壤类型直接相关,土壤的机械组成(质地)是决定地表可蚀性物质多少的决定因素。 H 一旦在 E_A 中形成,其作用于 S 之前要经历一个输移过程,这个过程也就是 E_L 对 R 的影响。其影响程度取决于 H 与

② 中国科学院科学数据库提供, <http://www.sdb.ac.cn>

③ 国家科学数据共享工程——地球系统科学数据共享网提供, www.geodata.cn

S 间的位置距离关系,如 H 源于上风向毗邻区和下风向远离区的 D_E 完全不同;其次是输移下垫面植被状况,包括植被盖度和植被与 S 的位置距离关系,

如 S 上风向毗邻区有较多植被可以削弱 R ,反之则无此效能。沙区湖泊风沙灾害系统和灾害链可用图 1 表示。

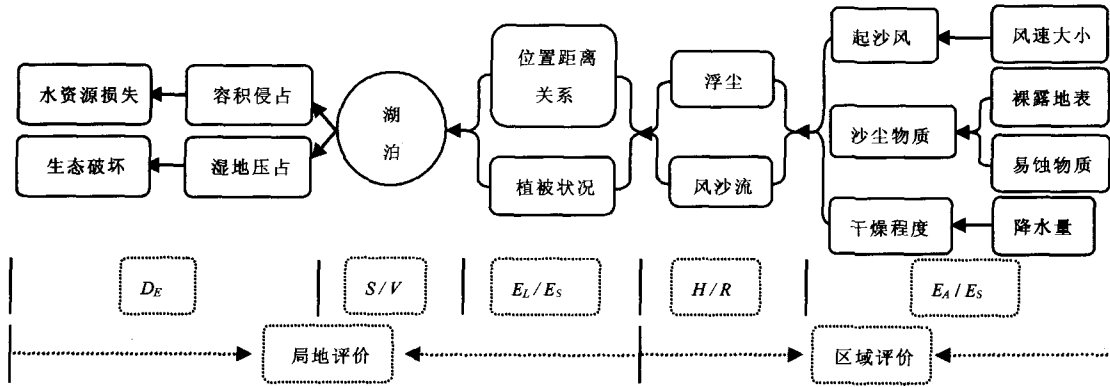


图 1 沙区湖泊风沙灾害系统

Fig. 1 Aeolian sand disasters around the lakes in sandy areas

显然,湖泊风沙灾害危险度决定于区域自然环境条件,并受局地因素影响,应包括区域评价与局地评价两个层次。这体现了湖泊风沙灾害的区域控制规律,有利于区域间的比较分析,同时突出了个体湖泊的特点,有利于提出针对性强的防治措施。通过灾害链分析,突出了主导因子并把诸多因子按其隶属关系区别开来,按其影响机制划归不同层次,有利于指导评价指标的选择与权重的确定,提高评价模型精度。

1.2.2 指标体系与分级 根据灾害系统分析,野外调查和已有成果^[6-7],构建了沙区湖泊风沙灾害危险度评价指标系统。风沙灾害的区域评价(E_A)包括 4 个指标:年平均风速(W)、沙漠化类型(D)、土壤类型(S_0)、年平均降水(P);9 个二级指标和 14 个三级指标。风沙灾害的局地评价(E_L)包括 3 个指标: H 与湖泊位置距离关系(H_L)、植被盖度(V_C)、植被与湖泊的位置距离关系(V_L)。湖泊作为承灾体,它在风沙灾害中暴露面积越大,则造成的灾情就越严重,所以用湖泊面积(A_L)作为承灾体脆弱性指标更具实践意义。上述指标将区域与局地因子相结合,突出因子主导性和层次性,构成完整的沙区湖泊风沙灾害评价指标体系。

评价指标分级除参考已有分级标准^[6],尽量使用最新定量研究成果。采用年起风沙日数作为评价指标是比较理想的,限于条件,本文使用了多年平均风速。尽管尚不清楚年平均风速与起风沙日数的关系,但 1951-2000 年多年平均风速数据与中国北方

沙区全年风沙频度图^[5]叠加分析,平均风速与风沙日数在空间与强度上有较高一致性($R^2 = 0.8047$),灰色聚类法算出平均风速与沙漠化程度也存在定量关系^[5],用多年平均风速作为指标是可行的。不同沙漠化类型产沙能力^[22]定量研究表明,从固定、半固定、半流动到流动的沙质地表,固定程度每降低一级,输沙率在同等级风力条件下大致增加 1~2 个数量级。但在黑河盆地风蚀输沙率却出现了干湖盆 > 退化草地 > 沙漠 > 戈壁的排序^[23]。不过两者并不矛盾,前者测量的是近地表 (< 60 cm) 风沙流输沙率,而后者测的是高度 > 65 cm 的粉尘悬浮质,服务于沙尘暴源区的测定。在风沙地区,呈悬浮态搬运的粉尘量一般小于 5%,风沙流占风沙搬运过程的主导地位^[22],是造成湖泊风沙灾害的主要危险源。同时,植被盖度增加,起动风速也要增大,因此,低固定程度、低植被盖度对应着更高的风沙灾害频率,所以用沙漠化类型作为 E_A 的评价指标是合适的,根据不同类型的产沙能力进行定量分级是可行的。Chepil 发现黏粒含量越高,砂粒含量越低,土壤的可蚀性越差^[24],Liu 等用中国农牧交错带 5 种主要土壤类型的风洞实验证实了这一点^[25],因此,根据不同土壤类型机械组成和实验结果可对土壤可蚀性分级。实测与模拟得到的防治风蚀有效植被盖度水平^[26],以及植被盖度与地表稳定性的关系^[27]为植被盖度分级提供了标准。土壤湿度^[28]与风蚀强度的定量关系也渐已清晰。 E_L 的获取则基于 TM 影像与实地调查,以单个湖泊为中心,提取半径 5

km 范围内的植被盖度;通过判读流沙移动方向,测量距离,归纳出 H_L 和湖泊的 3 种位置模式(图 2)与 3 个距离尺度(图 3), V_L 与湖泊也有相似关系;在计算 H_L 和 V_L 时,先按位置模式打分,然后再根据距离远近判定影响系数,从而得到不同位置距离情况下的影响分值(表 1)。 E_A, E_L 和 S 采用百分制,用专家打分和 AHP 方法^[29] 确定各层指标的影响权重,得到各参评指标的影响分值(表 1~2)。

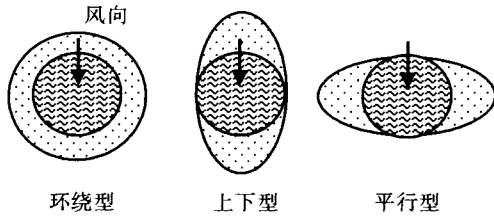


图 2 致灾因子与湖泊位置模式

Fig. 2 Location mode of disaster-formative factors and lake

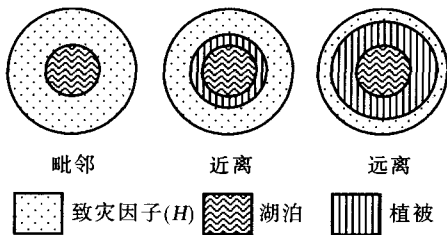


图 3 致灾因子与湖泊距离关系

Fig. 3 Distance relationship between the disaster-formative factors and the lake

表 1 局地因子权重与分值

Tab. 1 Weights and values of the local factors

| 评价指标 (权重) | 影响因素(权重) | 评价分值 | | | |
|--------------------|----------------|-------------|--------------|-------------|-----|
| | | 毗邻 ≤1 km | 近离 1~3 km | 远离 ≥3 km | |
| H_L (0.5) | 位置模式(权重) | | | | |
| | 环绕(0.5) | 17.5 | 5 | 2.5 | |
| | 上风(0.4) | 14 | 4 | 2 | |
| | 平行(0.05) | 1.75 | 0.5 | 0.25 | |
| | 下风(0.05) | 1.75 | 0.5 | 0.25 | |
| E_L (100) | V_L (0.2) | 位置模式(权重) | | | |
| | | 环绕(0.05) | 0.1 | 0.2 | 0.7 |
| | 上风(0.1) | 0.2 | 0.4 | 1.4 | |
| | 平行(0.35) | 0.7 | 1.4 | 4.9 | |
| | 下风(0.5) | 1 | 2 | 7 | |
| $V_C, \%$ (0.3) | 分级标准(权重) | | | 分值 | |
| | <10(0.4) | | | 12 | |
| | 10~20(0.3) | | | 9 | |
| | 20~40(0.15) | | | 4.5 | |
| | 40~60(0.1) | | | 3 | |
| | 60~90(0.05) | | | 1.5 | |

表 2 区域评价指标体系、分级标准和权重

Tab. 2 Criteria and weights of regional assessment index system

| 评价指标(权重) | 类型、分级标准(权重) | 分值 | |
|----------------------------|--------------------------------|--|--|
| 沙漠化 类型 (D) (0.3) | 沙漠与沙地 (0.5) | 流动沙丘(0.5) 7.5 半固定沙丘(0.4) 6 固定沙丘(0.1) 1.5 | |
| | 戈壁(0.15) | 4.5 | |
| | 风蚀地(0.1) | 3 | |
| | 沙漠化土地 (0.2) | 重度(0.5) 3 中度(0.4) 2.4 轻度(0.1) 0.6 | |
| | 绿洲(0.05) | 1.5 | |
| | 区域 评价 (E_A) (100) | 风沙土壤(0.5) | 流动(0.5) 5 半固定(0.4) 4 固定(0.1) 1 |
| | | 土壤类型 (S_0) | 棕漠土(0.5) 3 |
| | | 荒漠土壤(0.3) | 灰棕漠土(0.3) 1.8 灰漠土(0.2) 1.2 |
| | | 荒漠草原性土壤 (0.2) | 灰钙土(0.6) 2.4 棕钙土(0.4) 1.6 |
| | | 多年平 均风速 (W, m/s) (0.4) | ≥6(0.3) 12 4~6(0.25) 10 3~4(0.2) 8 2~3(0.15) 6 <2(0.1) 4 |
| 降水量 (P, mm) (0.1) | | 400~600(0.1) 1 200~400(0.2) 2 100~200(0.3) 3 0~100(0.4) 4 | |
| 承灾 体脆弱性 (S) (100) | | ≥10(0.3) 30 湖泊 8~10(0.25) 25 面积 6~8(0.2) 20 4~6(0.175) 17.5 2~4(0.05) 5 <2(0.025) 2.5 | |

1.2.3 评价模型 如前所述,危险度是致灾因子危险性、孕灾环境不稳定性和承灾体脆弱性综合作用的表征,即 $D = H \cap E \cap S$ 。由于 H 是灾害产生的充分条件, S 是放大或缩小灾害的必要条件,在实际应用中, D 多由致灾因子危险性 H (或能表达致灾危险性的变量)与承灾体脆弱性 S (或表达承灾体脆弱性的变量)的乘积获得,即 $D = H \times S$ ^[7-9]。就本例而言,前已说明 $H = f_x(E_A, E_L)$, E_A, E_L 共同作用决定 H 造成的灾情,故模型为:

$$D = \left(\frac{E_A + E_L}{2} \right) \times S \quad (1)$$

式中: D 为危险度; S 为承灾体脆弱性分值。其中, E_A, E_L 的通用计算模型为:

$$E = 100 \sum_{j=1}^m \prod_{i=1}^n W_i$$

$$n \in (1, \infty); m \in (1, \infty) \quad (2)$$

式中: W_i 为某指标相对于其上一层评价指标的权重; i 为指标层次; j 为导致某个湖泊风沙灾害的因子个数。危险度算出后, 进行评分标准化并通过标准偏差方法进行分级, 划分为6个危险度级别: 安全 (D_1 : 0 ~ 15)、轻度危险 (D_2 : 15 ~ 30)、中度危险 (D_3 : 30 ~ 50)、重度危险 (D_4 : 50 ~ 70)、强度危险 (D_5 : 70 ~ 85)、极度危险 (D_6 : 85 ~ 100)。

2 内蒙古沙区湖泊风沙灾害危险度评价与安全对策

2.1 湖泊风沙灾害危险度评价

内蒙古位于中国的北部边疆, 面积 1.18×10^6

km²。境内沙漠及沙漠化土地占总面积的近50%, 分布有大小湖泊近千个, 面积大于1 km² 以上的有636个, 其中有409个分布在沙区内, 分别占内蒙古湖泊总数、总面积的64.3%和58%。根据前述方法, 有409个湖泊参与评价, 编制了湖泊风沙灾害危险度评价图。结果表明: D_1 级有30个, 占参评湖泊总数的7.3%; D_2 级92个, 占22.5%; D_3 级101个, 占24.7%; D_4 级104个, 占25.4%; D_5 级37个, 占9.1%; D_6 级45个, 占11%。总之, 近70%的湖泊受风沙危害, 意味着湖泊普遍面临风沙灾害威胁, 重度危险以上湖泊达45.5%, 有大量湖泊面临严峻的风沙灾害危险形势, 亟待采取安全防护措施。

2.2 湖泊风沙灾害危险度地域差异

表3给出内蒙古4大沙地和4大沙漠的湖泊按面积等级统计的各危险度等级的湖泊数量。

表3 主要沙地与沙漠不同面积和危险度湖泊数量

Tab. 3 Number of the lakes in different areas under different disaster degrees in the main sandy lands and deserts

| 沙地与沙漠 | 呼伦贝尔沙地 | | | 科尔沁沙地 | | | 浑善达克沙地 | | | 毛乌素沙地 | | | 腾巴乌库沙漠* | | | |
|------------|--------------------|----|-----|-------|----|-----|--------|----|-----|-------|----|-----|---------|----|-----|----|
| | 面积/km ² | ≤2 | 2~8 | >8 | ≤2 | 2~8 | >8 | ≤2 | 2~8 | >8 | ≤2 | 2~8 | >8 | ≤2 | 2~8 | >8 |
| 安全 D_1 | | 4 | 3 | 1 | 6 | 2 | 2 | 6 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 轻度危险 D_2 | | 41 | 15 | 2 | 9 | 4 | 1 | 9 | 4 | 1 | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 中度危险 D_3 | | 13 | 4 | 2 | 13 | 21 | 2 | 9 | 9 | 2 | 8 | 9 | 1 | 5 | 1 | 2 |
| 重度危险 D_4 | | 8 | 2 | 0 | 5 | 11 | 6 | 23 | 11 | 3 | 11 | 10 | 0 | 4 | 2 | 8 |
| 强度危险 D_5 | | 1 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 5 | 0 | 4 | 2 | 1 |
| 极度危险 D_6 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 13 | 0 | 13 | 5 | 6 |

* 腾格里、巴丹吉林、乌兰布和、库布齐沙漠。

湖泊风沙灾害危险度空间分异明显, 危险度水平由东北向西南渐次升高, 这与由东北向西南沙漠、沙地流动性增加、降水量减少的规律是一致的。呼伦贝尔沙地湖泊以中小型为主, 以轻、中度危险居多; 这与该沙地气候相对冷湿、植被盖度较高、人口密度较小、垦殖相对不活跃以及流沙数量较少有很大关系。科尔沁沙地湖泊以中小型为主, 以轻、中、重度危险居多(图4); 该沙地年积温较高且雨热同季, 属半干旱亚湿润农牧交错偏农区, 人口多, 垦殖活跃, 加上过牧, 造成湖泊周边流沙增加而影响安全。浑善达克沙地湖泊以中小型为主, 以轻、中、重度危险居多; 该沙地处半干旱区, 随着人口增加, 尤其是1949年兴起的草原垦殖高潮, 导致地质历史时期固定沙丘活化, 给湖泊造成危险。毛乌素沙地湖泊以中小型为主, 以中、重、强、极度危险居多; 该沙地处季风尾间, 属半干旱偏旱的农牧交错区, 人口较多, 历史上草原垦荒, 过度放牧造成植被破坏, 流沙增加, 对湖泊安全影响很大。腾格里、巴丹吉林、

乌兰布和与库布齐沙漠的湖泊以中小型为主, 大型湖泊数量较其他沙地稍多, 以重、强、极度危险居多; 由于沙漠湖泊大多为盐湖, 风沙灾害对盐业生产影响很大。

2.3 “三圈”模式与区域安全对策

已有研究^[10-15, 26]表明, 在风速一定的情况下, 改变湖泊毗邻区尤其是上风向土地利用/覆盖, 增加植被盖度或提高地表粗糙度, 是降低湖泊风沙灾害危险度的关键措施。综合西北地区水资源配置与生态恢复^[30]、工程防沙治沙^[10-15]、亚洲沙区土地利用结构优化^[32]方面的研究成果, 引入协调土地利用与生态恢复^④的规划理念, 提出沙区湖泊风沙灾害防治的“三圈”模式。即以湖泊为中心, 逆常年主风向依次布置3个防护圈层: 工程治理圈、围封繁育圈和自然恢复圈, 根据生物气候条件综合采取工程、植

④ 史培军. 协调土地利用与生态环境建设研究——全国土地利用总体规划修编重大专题研究之七. 北京: 国土资源部, 2006.

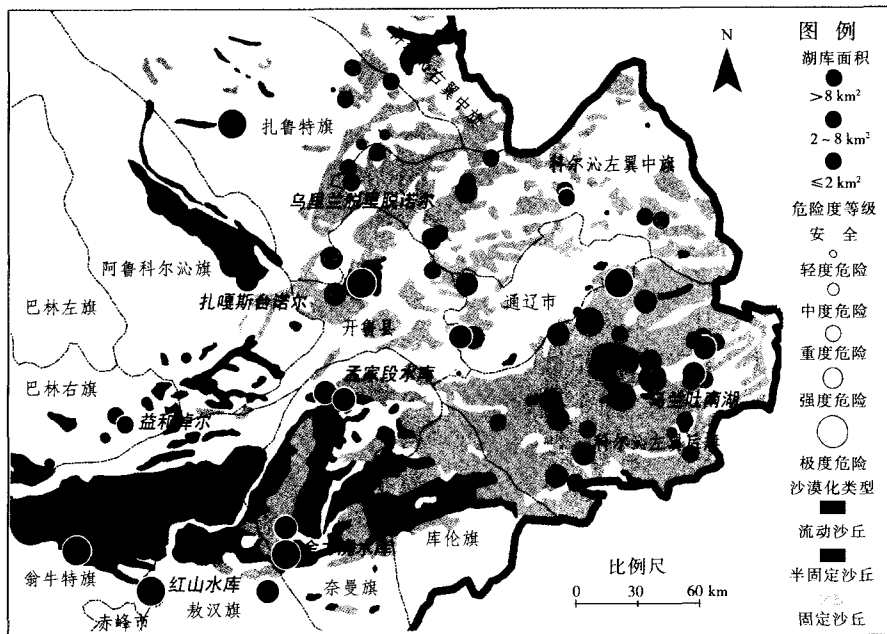


图 4 科尔沁沙地湖库风沙灾害危险度评价

Fig. 4 Evaluated result of aeolian sand disasters in the lake area in Horqin Sandy Land

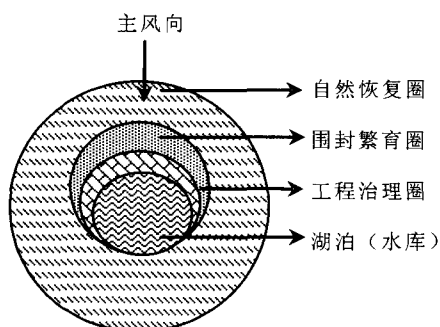
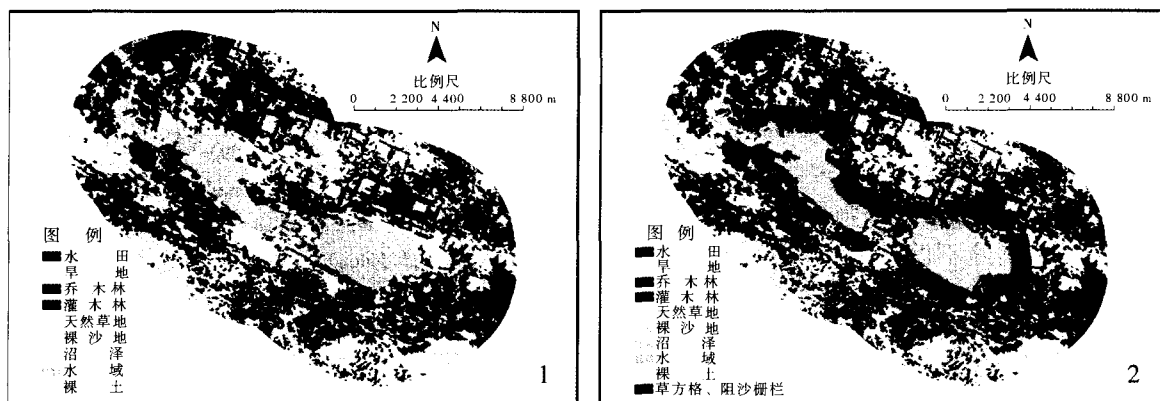


图 5 沙区湖库风沙灾害“三圈”防治模式

Fig. 5 The “three circle” mode of controlling aeolian sand disasters around a lake in sandy land

被、土地利用规划和水资源利用措施(图 5)。具体来说,在干旱沙区(降水低于 200 mm)采用内圈草方格沙障、阻沙栅栏应急工程,总宽度 100 m;中圈围封引湖(在保证湖泊生态用水的前提下)育草、建设灌木防风阻沙林带,总宽度 1 km;外圈生态预留地自然恢复,宽度 3~4 km。通过实施上述三圈措施,一方面可以迅速减少上风方向流沙入侵,同时建立中、外圈稳定植被带,进而形成自维护生物保护圈。在半干旱沙区(降水 200~400 mm)采用内圈应急草方格、阻沙栅栏工程(如果上风方向有流沙面临)(100 m),或者采用草、灌木林护岸工程(500 m);中圈围封建设灌、乔木防风防沙防护林(1 km);外圈



(a. 前优化方案;b. 按“三圈”模式再优化)

图 6 科尔沁沙地孟家段水库“三圈”模式

Fig. 6 The “three circle” mode of controlling aeolian sand disasters around the Mengjiaduan Reservoir in Horqin Sandy Land

自然恢复生态预留地(3~4 km)。半干旱亚湿润沙区(降水 400~600 mm)采用内圈草方格、阻沙栅栏应急工程(如果上风向有流沙毗邻)(100 m),或者建设灌、乔木防护林(0.5~1 km);中圈围封引湖建设人工草地发展舍养畜牧业(1 km);外圈天然草地生态预留地(2~3 km)。之所以在中圈建设人工草地,是因为这类沙区自然降水较多,内圈灌、乔木防护林可以达到防治风沙的密度,中圈发展人工草地促进舍养畜牧业,恰好可以减少畜牧对内圈植被啃食的压力。选择科尔沁沙地孟家段水库,在土地利用优化基础上^[32],模拟了湖泊区风沙灾害防治的“三圈”模式(半干旱沙区,5 km 半径)土地利用情景(图 6),情景显示,现方案更利于构建湖泊区生态安全的土地格局和水系统。

3 结论与讨论

3.1 结论

构建了基于灾害系统理论沙区湖泊风沙灾害危险度评价区域指标体系与分类分级标准,归纳出局地致灾因子和湖泊(植被)位置模式与距离关系,建立了区域与局地相结合的评价模型和以遥感、地理信息系统为支撑的技术体系。这一理论、方法与技术体系有利于准确、快速、动态地对沙区湖泊风沙灾害危险度进行评价。

内蒙古沙区 409 个参评湖泊中,安全湖泊有 30 个,占 7.3%;轻、中度危险湖泊 193 个,占 47.2%;重度危险以上湖泊 186 个,占 45.5%。加上非沙区湖泊,只有近 40% 的湖泊是安全的,而大量湖泊受到风沙灾害威胁,更有 45.5% 的湖泊面临严峻的风沙灾害危险形势,亟待采取安全防护措施。湖泊风沙灾害危险度空间分异明显,危险度水平由东北向西南呈渐次升高之势。

提出了湖泊风沙灾害防治的“三圈”模式与不同生物气候带沙区“三圈”安全对策,“三圈”模式综合运用工程、生物防沙措施,协调水资源、土地利用与生态恢复,它的实施不仅可以降低湖泊风沙灾害危险度,而且也有益于构建区域生态安全的土地格局与可持续水系统,促进生态友好型土地规划制度的建立。

3.2 讨论

本文从灾害系统角度提出了评价指标体系,并尽量按照定量标准对其分级,但由于风沙灾害系统

各部分关系复杂,所以指标还要进一步筛选,定量分级标准还需更多实地观测与实验来完善。

其次,在评价湖泊承灾体的脆弱性时只考虑了其暴露面积。下一步需对湖泊综合形态因子(如面积、容积、深度、长轴走向)、脆弱性的影响进行深入分析,以利于全面评价湖泊的脆弱性。而且,在全球变化背景下,湖泊面积等因子处于动态变化中,因此,必须加强不同等级水体的变化研究。

最后,湖泊风沙灾害防治的“三圈”模式在不同生物气候区的实施应考虑可行性,如在极端干旱区,自然恢复的可能性很小,但并不意味着自然恢复圈就不需要,应把它作为生态恢复预留地加以保护,土地利用规划手段来减轻人为扰动对湖区生态破坏的重要措施。不过,“三圈”模式具体宽度及其配置还需要通过深入研究与实践来确定,最终找出适用不同沙区与不同湖泊的区域“三圈”模式。

致谢:北京师范大学资源学院李小雁教授在论文写作与修改过程中提出的建议。

参考文献(References):

- [1] 史培军,王静爱,陈婧,等.当代地理学之人地相互作用研究的趋向——全球变化人类行为计划(IHDP)第六届开放会议透视[J].地理学报,2006,61(2):115-126. [Shi Peijun, Wang Jing'ai, Chen Jing, et al. The future of human-environment interaction research in geography: Lessons from the 6th open meeting of IHDP[J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(2): 115-126.]
- [2] 陈志恺,王浩,汪克敏.西北地区水资源配置生态环境建设和可持续发展战略研究:水资源卷[M].北京:科学出版社,2004. [Chen Zhikai, Wang Hao, Wang Dangxian. Strategic Research of Environment Construction and Sustainable Development on Water Resources Scheming in Northwest China: Volume of Water Resources [M]. Beijing: Science Press, 2004.]
- [3] 王苏民,窦鸿身.中国湖泊志[M].北京:科学出版社,1998. [Wang Shumin, Dou Hongshen. Records of Lake in China [M]. Beijing: Science Press, 2004.]
- [4] 赵鸿斌,何东宁,张登山,等.青海湖入湖沙物质的计算与水下沙堤的形成[J].湖泊科学,1993,5(1):40-46. [Zhao Hongbin, He Dongning, Zhang Dengshan, et al. The calculation of sand discharge entering Qinghai Lake and formation of submerged barriers [J]. Journal of Lake Sciences, 1993, 5(1): 40-46.]
- [5] 王涛.中国沙漠与沙漠化[M].石家庄:河北科学技术出版社,2002:777. [Wang Tao. Desert and Desertification in China [M]. Shijiazhuang: Hebei Science and Technology Publishing House, 2002: 777.]
- [6] Fao, Unep. Provisional Methodology for Assessment and Mapping of Desertification [M]. Roma: FAO, 1984.
- [7] 董玉祥.中国北方沙漠化灾害危险度分区评价[J].地理学报,

- 1997,52(2):146-153. [Dong Yuxiang. Assessment on the regionalization of hazard degree of sandy desertification disaster in Northern China[J]. Acta Geographica Sinica,1997,52(2):146-153.]
- [8] 王静爱,徐伟,史培军,等.2000年中国风沙灾害的时空格局与危险性评价[J].自然灾害学报,2000,10(4):1-7. [Wang Jing'ai, Xu Wei, Shi Peijun, et al. Spatio-temporal pattern and risk assessment of wind sand disaster in China in 2000 [J]. Journal of Natural Disasters, 2000,10(4):1-7.]
- [9] 徐海量,陈亚宁.塔里木盆地风沙灾害危险性评价[J].自然灾害学报,2003,12(2):35-39. [Xu Hailing, Chen Yaning. Hazard assessment of wind sand disaster in Tarim Basin [J]. Journal of Natureal Disaster,2003,12(2):35-39.]
- [10] 张春来,邹学勇,靳鹤龄,等.狮泉河盆地第二期风沙危害整治研究[J].中国沙漠,2001,21(2):157-163. [Zhang Chunlai, Zou Xueyong, Jin Heling, et al. Study on the second-phase wind-sand control in Shiquanhe Basin[J]. Journal of Desert Research, 2001,21(2):157-163.]
- [11] 张春来,邹学勇,刘玉璋,等.狮泉河盆地风沙灾害成因及其防治[J].自然灾害学报,2006,15(2):1-9. [Zhang Chunlai, Zou Xueyong, Liu Yuzhang, et al. Cause of wind-blown sand disaster in Shiquanhe Basin and its control[J]. Journal of Natural Disasters,2006,15(2):1-9.]
- [12] 董治宝,陈广庭,韩致文,等.塔里木沙漠石油公路风沙危害[J].环境科学,1997,18(1):4-10. [Dong Zhibao, Chen Guangting, Han Zhiwen, et al. The blown sand disaster along Tarim desert oil-transportation highway[J]. Chinese Journal of Environmental Science,1997,18(1):4-10.]
- [13] 韩致文,王涛,孙庆伟,等.塔克拉玛沙漠公路风沙危害与防治[J].地理学报,2003,58(2):201-208. [Han Zhiwen, Wang Tao, Sun Qingwei, et al. Sand harm in Taklimakan desert highway and sand control[J]. Acta Geographica Sinica,2003,58(2):201-208.]
- [14] 邹学勇,刘玉璋,张春来,等.西藏八一镇——邛多江公路沙害成因与治理[J].自然灾害学报,2004,13(6):15-24. [Zou Xueyong, Liu Yuzhang, Zhang Chunlai, et al. Formation cause and typical sections control of blown sand disasters along highway from Bayi Town to Qiongdujiang in Tibet [J]. Journal of Natural Disasters,2004,13(6):15-24.]
- [15] 韩致文,王涛,董治宝,等.风沙危害防治的主要工程措施及其机理[J].地理科学进展,2004,23(1):13-21. [Han Zhiwen, Wang Tao, Dong Zhibao, et al. Main engineering measurements and mechanism of blown sand hazard control[J]. Progress in Geography,2004,23(1):13-21.]
- [16] 王涛,薛娴,陈广庭.中国沙漠与沙漠化图[M].北京:中国地图出版社,2005. [Wang Tao, Xue Xian, Chen Guangting. Map of the Desert and Aeolian Desertification in China[M]. Beijing: SinoMaps Press, 2005.]
- [17] 史培军.灾害研究的理论与实践[J].南京大学学报:自然科学版,1991,自然灾害研究专集. [Shi Peijun. On the theory of disaster research and its Practice[J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences, 1991, Special edition on Natural Disaster Research.]
- [18] 史培军.再论灾害研究的理论与实践[J].自然灾害学报,1996,5(4):6-17. [Shi Peijun. Theory and practice of disaster study[J]. Journal of Natural Disasters,1996,5(4):6-17.]
- [19] 史培军.三论灾害研究的理论与实践[J].自然灾害学报,2002,11(3):1-9. [Shi Peijun. Theory on disaster science and disaster dynamics [J]. Journal of Natural Disasters,2002,11(3):1-9.]
- [20] 史培军.四论灾害系统研究的理论与实践[J].自然灾害学报,2005,14(6):1-7. [Shi Peijun. Theory and practice on disaster system research in a fourth time[J]. Journal of Natural Disasters, 2005,14(6):1-7.]
- [21] Mileti D S. Natural Hazards and Disasters-Disaster by Design [M]. Washington: Joseph Henry Press, 1999.
- [22] 刘连友.区域风沙蚀积量和蚀积强度初步研究——以晋陕蒙接壤区为例[J].地理学报,1999,54(1):59-68. [Liu Lianyou. The quantify and intensity of regional aeolian sand erosion and deposition: The case of Shanxi-Shaanxi-Neimonggol region [J]. Acta Geographica Sinica,1999,54(1):59-68.]
- [23] Wang Genxu, Tuo Wanquan, Du Mingyuan. Flux and composition of wind-eroded dust from different landscapes of an arid inland river basin in north-western China[J]. Journal of Arid Environments, 2004,58:373-385.
- [24] Chepil W S. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind I. Sand, silt and clay[J]. Soil Science,1955,80:155-162.
- [25] Liu L-Y, Li X-Y, Shi P-J, et al. Wind erodibility of major soils in the farming-pastoral ecotone of China[J]. Journal of Arid Environments, 2007,68:611-623.
- [26] 黄富祥,牛海山,王明星,等.毛乌素沙地植被覆盖率与风蚀输沙率定量关系[J].地理学报,2001,56(6):700-710. [Huang Fuxiang, Niu Haishan, Wang Mingxing, et al. The relationship between vegetation cover and sand transport flux at Mu Us sandland[J]. Acta Geographica Sinica,2001,56(6):700-710.]
- [27] 丁国栋.区域荒漠化评价中植被的指示性及盖度分级标准研究——以毛乌素沙区为例[J].水土保持学报,2004,18(1):158-168. [Ding Guodong. Study on indicative feature and cover classification of vegetation in regional desertification assessment: Taking Mu Us sandland as an example [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2004,18(1):158-168.]
- [28] 海春兴,刘宝元,赵焱.土壤湿度和植被盖度对土壤风蚀的影响[J].应用生态学报,2002,13(8):1057-1058. [Hai Chunxing, Liu Baoyuan, Zhao Ye. Influence of soil humidity and vegetation coverage on wind erosion [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2002,13(8):1057-1058.]
- [29] 康国定,冯学智,吴薇,等.中国北方农牧交错区沙质荒漠化灾害监测评价模型[J].南京大学学报:自然科学,2003,39(1):97-105. [Kang Guoding, Feng Xuezhi, Wu Wei, et al. Monitoring and evaluation model of sandy desertification hazard in the agro-pastoral region in northern China[J]. Journal of Nanjing Univer-

- sity; Natural Sciences, 2003, 39(1): 97 - 105.]
- [30] 刘昌明, 王礼先, 夏军. 西北地区水资源配置生态环境建设和可持续发展战略研究: 生态环境卷 [M]. 北京: 科学出版社, 2004. [Liu Changming, Wang Lixian, Xia Jun. Strategic Research of Environment Construction and Sustainable Development on Water Resources Scheming in Northwest China: Volume of Environment [M]. Beijing: Science Press, 2004.]
- [31] 岳耀杰, 周洪建, 王静爱, 等. 生态安全条件下亚洲沙区土地利用结构研究 [J]. 地球科学进展, 2006, 21(2): 131 - 137. [Yue Yaojie, Zhou Hongjian, Wang Jing'ai, et al. Research on the land use structure of Asian desert regions at ecological security level [J]. Advance in Earth Sciences, 2006, 21(2): 131 - 137.]
- [32] Yue Yaojie, Wang Jing'ai, Lv Hongfeng, et al. Land use optimization at ecological security level in desert regions—A case study of Horqin sandy land [C]//Li Shengcai, Wang Yajun, Huang Ping. Progress in Safety Science and Technology: Vol. V (Part B). Beijing: Science Press, 2005: 2 111 - 2 116.

Assessment on the Risk of Aeolian Sand Disasters around the Lakes and Reservoirs in Sandy Lands in North China and Some Security Measures —A Case Study in a Sandy Land in Inner Mongolia

YUE Yao-jie^{1,2}, WANG Jing-ai^{1,3}, ZOU Xue-yong⁴, SHI Pei-jun³

(1. College of Geography and Remote Sensing Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Key Laboratory of Regional Geography Research, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster Research of Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

4. China Desert Research Center, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: It has positive significance to ensure the security of lakes and reservoirs in sandy lands for constructing the land use patterns and the sustainable water system under ecological security. Based on disaster system theory, in this paper the integrated assessment on the risk of aeolian sand disasters around the lakes and reservoirs in sandy lands is carried out, an assessment map is charted by developing the regional hazard assessment index system and the classification standards and summarizing the mode of local disaster-formative factor (vegetation)—the distance between lakes and aeolian sand disasters, and an integrated assessment model is developed. On which the risk of aeolian sand disasters around the lakes and reservoirs in sandy lands in Inner Mongolia is assessed. The results show that 30 lakes and reservoirs are safe and occupy 7.3% of the total; 92 are in slight risk of aeolian sand disaster and occupy 22.5%; 101 are in moderate risk and occupy 24.7%; 104 are in heavy risk and occupy 25.4%; 37 are in serious risk and occupy 9.1%; and 45 are in extremely serious risk and occupy 11%, respectively. The “three circle” mode, i. e. the engineering maintenance zone, enclosure zone and natural restoration zone, is put forward for preventing and controlling aeolian sand disasters around the lakes and reservoirs in the study area. The research results will be beneficial to combatting aeolian sand disasters around the lakes and reservoirs in north China and programming the environment-friendly land use patterns.

Key words: north China, sandy area; Inner Mongolia; lake and reservoir; risk of aeolian sand disaster; “three circle” mode.