

应用红外彩色航空像片估算区域现状风蚀量的研究*

——以科尔沁草原南部大青沟地区为例
史培军
(北京师范大学地理系)

前言

内蒙古大草原上分布有呼伦贝尔沙地、科尔沁沙地、小腾格里沙地和毛乌素沙地等沙区。目前, 这些沙区地表风蚀正在加速。由于对沙区的草场资源利用不合理, 可资利用的草场资源日趋蚕食, 草地生态系统的环境条件遭到破坏, 区域内天然草场生产力逐年下降。这是一场无声无息的危机, 一场还没有为人们广泛认识的危机。它所牵涉到的不仅仅是土壤的退化、可资土地资源的丧失, 而是人类生活本身质量下降的问题。不难想见, 开展此项工作的重要性。

对于风蚀的研究, 国内外远远不及对水蚀研究广泛而深入。仅有的风蚀工作又集中于对农田风蚀的研究^[1]。我国此方面的工作所见更少, 仅在呼伦贝尔、科尔沁、乌兰察布草原, 新疆南疆部分地区开展了此项工作^{[2][3][4][5]}。至于利用遥感技术对区域现状风蚀量进行估算, 工作做得就更不多。除国外做了可数的工作外^[6], 我国到目前为止, 还没有公开发表的有关工作论文。有鉴于此, 本文试图以科尔沁草原南部大青沟地区为例, 利用国产红外彩色航空像片(1981, 1/3万), 通过目视解译, 辅之地面所进行的“样测样方”工作, 对区域风蚀量进行了估算。

一、方法与步骤

(一) 基本资料

我们选用了1/5万地形图; 国产1981年研究区红外彩色航空像片(1/3万), 1975年、1958年研究区黑白航空像片(1/), 研究区地面实地考察、观测资料(1983年)。

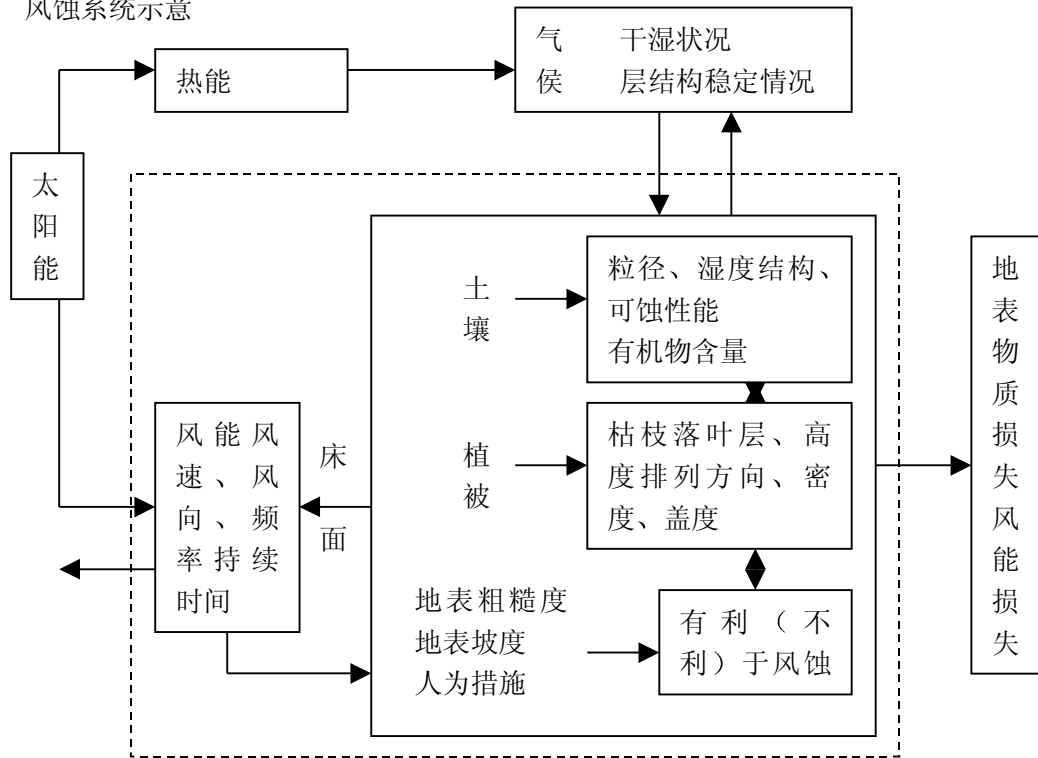
(二) 研究区范围及其环境特征

我们选择了以科尔沁草原南部大青沟自然保护区为核心, 面积334.1Km²的试验区, 在行政区划上属科左后旗和库伦旗。研究区具有如下特征^[3]: ①疏松的地面组成物质, 主要为风成沙和河、湖相沉积物, 在地表0—50厘米内物理性沙粒平均达95%以上。②干旱多风的气候, 该区正处在半湿润气候向半干旱气候区的过渡地带, 虽然历年干燥度平均为1.38, 但波动甚大, 最大可达2.64, 最小为0.91, 历年平均风速4.3米/秒, 最大达5.0米/秒, 最小为3.5米/秒, 沙暴年平均3.6天, 大风日数年平均26.1天, 二者的年际变化都很大, 而且大风日数与风速的波动相一致, 大都在干旱少雨季节。③起伏程度不同的坨、甸地貌组合, 随海拔高度的增加依次为平沙地、微起伏波状固定沙地和缓起

* 作者于1983—1984年参加了中国科学院兰州沙漠研究所《科尔沁草原南部沙漠化的生态变化(含历史过程和物理过程)及其整治最佳方案的可行性典型研究》课题, 此后又参加了《遥感在内蒙古草场资源调查中应用研究项目》课题, 本文就是与这两项课题有关工作的一部分内容总结。在此本人对有关该课题野外考察、观测的同行, 表示衷心的感谢。

伏梁窝状固定沙丘。此外,植被以疏林草原为主,甸子地则为草甸草原,土壤以灰沙土和沙质浅色草甸土为主。沙多、风频、雨量变幅大,加之过度的土地利用,从而构成了脆弱的沙质草原生态系统,逐渐形成了“加速”的地表(包括土壤)风蚀系统(图 1)它也是由风蚀 $\leftrightarrow$ 床面相互作用为主体的过程响应的反馈系统。正是由于风蚀系统具有这些特征,从而为我们建立区域现状风蚀强度等级的红外彩色航片上组构影像目视解译标志,提供了依据。

图 1 风蚀系统示意



(三) 研究区风蚀程度现状图的编绘

1. 编图原则、分级指标及分类系统

(1) 原则

我们在编绘研究区风蚀程度现状图时,主要考虑了两个原则:

第一、目视解译可能性原则。这是由于该技术和目视解译(肉眼识别)能力所决定的。基于此,我们将研究区现状风蚀程度划分了 5 级。

第二、综合影像识别与主导因子(景观特征)影像识别相结合的原则。这是由于对不同的风蚀程度来说,其表现出的景观特征亦不相同,在综合考虑风蚀造成的景观影像显示同时,识别各级风蚀类别的主导(显性强的)因子—风成床面特征,是确定各级类型界线的主要指征。遵循这一原则,对我们拟定各级风蚀类型划分指标、指征很有益处。

根据以上两个原则,我们拟定了研究区区域风力侵蚀分级指标和指征及分类系统,同时经野外实地点线面考察,观测验证,建立了相应各级风力侵蚀程度的红外彩色航空像片文理结构影像解译标志。

(2) 分级指标、指征及分类系统(指标程式)

地表(床面)指征:风成床面形态的发育,往往可以表征现状风力侵蚀过程发育强弱。根据研究区属坨、甸交错的沙地地貌特征,为此划分 5 级指征如下:

弱度(风力侵蚀不明显)风力侵蚀(E_1):固定沙丘、固定沙地,已开垦作为水浇地的高(干)甸子地、人工片林区、果园、苗圃等,记这些为 sb_1

轻度风力侵蚀区(E_2):固定半固定沙丘(地),极浅层点状风蚀地,固定半固定弃耕

地。记为 sb_2

中度风力侵蚀区 (E_3): 半流动半固定沙丘 (地), 浅层斑点状风蚀地 (风蚀坑穴)、半流动半固定弃耕地。记为 sb_3

强度风力侵蚀区 (E_4): 半流动流动沙丘 (地)、中层块状风蚀地 (风蚀窝、风蚀浅槽)。记为 sb_4

严重风力侵蚀区 (E_5): 流动半流动沙丘 (地)、深层片状风蚀地 (风蚀洼地、风蚀深槽)。记为 sb_5

现状风力侵蚀面积 (包括风蚀风积面积) 占制图单元的面积百分比: 由于制图综合

表 1 现状风力侵蚀面积比分级表

风力侵蚀等级	现状风力侵蚀面积占制图图斑面积百分比 (%)
E_1	<5 (S_1)
E_2	5—10 (S_2)
E_3	10—25 (S_3)
E_4	25—50 (S_4)
E_5	>50 (S_5)

的原因, 我们决不可能按 1: 1 的比例尺将各种侵蚀类型不加任何综合而表现在图上。而实际上, 我们必须始终贯穿综合制图的思想, 即把相对面积比较小的类型, 归并在相邻一级所占面积较大的类型中去。对研究区来说, 沙坨、甸地上不同程度的风蚀风积地在红外彩色航空像片上多呈小麻点似满天星斗分布在其中, 若单独划分出来, 则图斑太小, 难以制图表示; 若不表示, 其对草场危害又较严重。因此, 可采取其所占面积百分比进行评价。此外, 由风沙物理研究表明, 在特定地区, 规定制图图斑面积下, 风力侵蚀地所占面积的大小往往与其侵蚀程度成正相关关系。有鉴于上述, 我们拟定了各级指标 (表 1):

现状相对风蚀深度、风积厚度: 考虑到研究区耕作层的一般厚度 (25 厘米)、土壤各层厚度 (一般该区为 50—100 厘米)、草本或灌木地上平均高度 (一般 50—100 厘米, 个别 200—400 厘米), 草本植物根系平均分布深度 (一般多集中在 50 厘米内)、对农作物、农田及牧草埋压危害程度等指标, 我们拟定了各级指标如下 (见表 2):

表 2、现状风力侵蚀相对风蚀 (积) 深度分级表

风力侵蚀等级	相对现状风力侵蚀深度 (cm)	相对现状风力堆积厚度 (cm)
E_1	<2 (Re_1)	<2 (Rs_1)
E_1	2-25 (Re_2)	2-25 (Rs_2)
E_1	25-50 (Re_3)	25-50 (Rs_3)
E_1	50-100 (Re_4)	50-100 (Rs_4)
E_1	>100 (Re_5)	>100 (Rs_5)

植被覆盖指标: 这是在红外彩色航片上确定各级风力侵蚀类型的一个重要指标, 据野外测定, 我们拟定各级指标如下 (见表 3):

表 3、现状风力侵蚀植被覆盖程度分级表

风力侵蚀等级	植被覆盖度 (%)	风力侵蚀等级	植被覆盖度 (%)
E_1	>50(P_1)	E_4	10-5(P_4)
E_2	50-25(P_2)	E_5	<5(P_5)
E_3	25-10(P_3)		

根据上述, 我们拟定各级风力侵蚀指标程式如下:

$$E_1 = Sb_1 US_1 UP_1 UR_{e1} UR_{s1} ; \quad E_2 = Sb_2 US_2 UP_2 UR_{e2} UR_{s2} ; \quad E_3 = Sb_3 US_3 UP_3 UR_{e3} UR_{s3} ;$$

$$E_4 = Sb_4 US_4 UP_4 UR_{e4} UR_{s4} ; \quad E_5 = Sb_5 US_5 UP_5 UR_{e5} UR_{s5} ;$$

上列各式中 U 为并集符号。

2. 各级风力侵蚀强度的红外彩色航空像片纹理结构影像目视解译标志

表 4 研究区各级风力侵蚀强度的红外彩色航片纹理结构影象目视解译一览表

地貌单元 标志 等级	沙坨子 (微起伏波状固定沙地缓起伏梁窝状固定沙丘)	沙甸子 (干甸子、平沙地)
E ₁	在像片上呈现出具有成片、块状的原疏林草地的质地影象,反映出不同色度的红色调系列,具有明显的立体感且纹影“梁窝状形”清楚易判。	呈现质地均一湿草地红色调系列,不具影象纹理且成片出现,往往与积水湖泊、沼泽相毗连。
E ₂	在 E ₁ 的质地影象上,镶嵌有零星椭圆状浅色点,其密度较小,一般在 5%—10 % 之间,且这些星点多分布在沙坨子的迎风坡上。	在 E ₁ 的质地影象上,点缀零星白色点,多分布在开垦耕地,弃耕地的上风侧,其所占面积也在 5—10% 之间。白色点在空间上多呈线性展布。
E ₃	基本色调呈绿、浅绿色,像片上多出现斑点画面。被风吹扬的沙坨子形成灌丛沙堆,其影象呈淡黄色斑点,其间夹有小红点(榆树疏林),呈片状的白色斑点,一般在 10—25% 之间,原质地影象已有所破坏。	在红色斑状质地影象上,成斑状分布有片沙影象,组成稀疏花斑纹理结构影象,白色调一般在 10—25 之间,并成平行线状排列,重复交替再现,并略显弃耕地几何纹影。
E ₄	基本色调是浅绿—黄色,原始均一色调下的影象纹理破坏严重,组成了新的影象纹理结构,一般阳面色偏黄,阴面色调偏绿,沙丘迎背风坡地也是类似的色调差,白色调立体感较强。整个图面显得比较杂乱,迎风侧大型风蚀洼地和背风侧大片流沙,因沙物质反光,色调较四周草灌丛地更浅,而流沙地比风蚀洼地色调略深且边界不及风蚀洼地清楚。白色调所占面积一般在 25—50% 之间。	基本色调呈浅绿与斑块状红色调交错分布。已略有风蚀、风积地组成的影象纹理结构一条状重叠纹影,白色调线性延伸明显,可识别风蚀浅槽的立体感。白色调所占面积在 25—50% 之间。质地影象多呈狭窄带状出现。
E ₅	色调基本是淡黄色—白色,可见到多种风积沙丘类型的影象纹影结构,沙丘两坡色差明显。丘间低地若系风蚀洼地色调偏亮且有环形纹理;若系被流沙埋压的原始丘间地,则色调偏暗,无环形纹影,整个图面结构呈现一幅有规律的“水波”纹理。大块连片白色调所占面积均在 50% 以上。质地影像彻底破坏	名调以淡黄色为主,民积沙丘形成明显的“波捷”纹理结构,立体感明显风蚀槽袭白色调与淡黄—浅绿色调重复性强,全部浅色调所占面积达 50% 以上,原始均一质地影像保存甚少,多呈线性、断续分布。

我们根据室内判断及野外实地校正,建立了研究区各级风力侵蚀强度的航片纹理结构影像目视解译标志(表 4)。

根据前述工作,我们绘制了研究区 1/3 万红外彩色航片像片风力侵蚀程度现状解译图,并将此转绘到相应地区 1/5 万的地形图上,作为作者原图(参看图 2),也是我们进行区域风蚀量估算有关各类风力侵蚀面积数据获取的信息源,到此,我们只能定性评价区域风蚀程度,还难以给出量的概念。这也是目视解译较难完成的工作。虽然航空像片可以借助立体镜观测高度、深度,但因起伏程度小,难以迅速而准确的确定。基于此,我们从上述图中,选取了四块“详测样方”,进行了较为详细的地面观测,从而建立与作者原图中有关风力侵蚀风及相关的数量指标,即每一种风力侵蚀等级下,平均现状风蚀量的测定。

(四) 各级风力侵蚀“样测样方”内风力侵蚀量的计算。

考虑弱度风力侵蚀区(E₁)造成的侵蚀和堆积都不很明显,我们在野外风沙物理观测

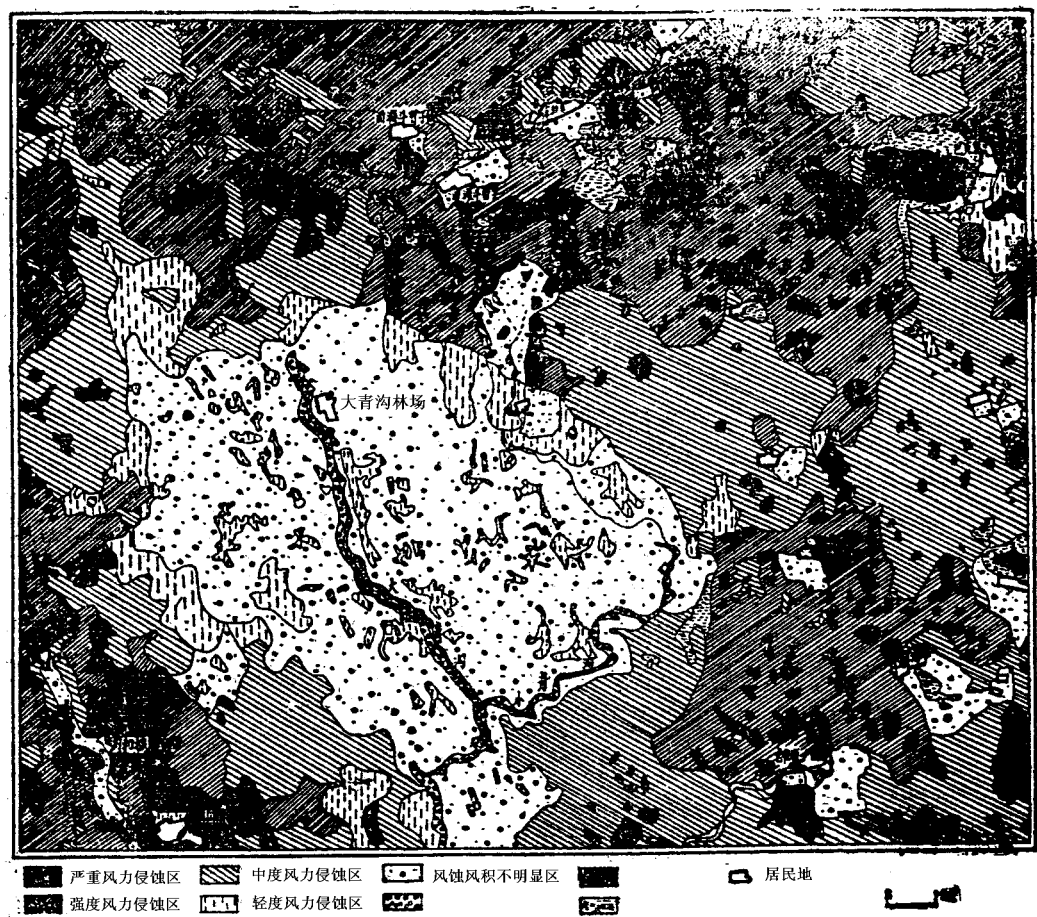


图2 科尔沁草原南部大青沟地区风力侵蚀程度类型图

中，没有测到明显的输沙量，故这一类型没有建立“样测样方”，忽略其风力侵蚀量，也可理解为“自然正常状况”下的风力侵蚀量。其余4级均选取了面积为0.42Km²的“样测样方”，我们利用大平板仪，详细测定了测区内所有的现状风蚀地面积和深度，风蚀地的面积和厚度，然后根据所测得的草图，按前述分类指标，分别编绘了风力侵蚀E₂—E₅四级“样测样方区”1:2500的风力侵蚀程度图（图3）。在此图上分别用称重法量算了各类风蚀地的面积（表5）然后计算了每一种风蚀、风积类型在“详测样方”区的平均风蚀深度和风力厚度（表6）。

风力侵蚀 统计值(cm, 等级 类型 % M ²)	E ₁		E ₂		E ₃		E ₄		E ₅	
	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%
E(s)≤2(Re ₁ 或Rs ₁)			398750	95.00	74375	17.70				
2<E≤25(Re ₂)			2500	0.60	15625	3.70	20625	4.90	1250	0.03
25<E≤50(Re ₃)			10625	2.50	26250	6.30	1250	0.30	1250	0.30
50<E≤100(Re ₄)			1250	0.30	9375	2.20	7500	1.80	41875	10.60
E>100(Re ₅)					38750	9.20	73125	17.40	31875	7.60
2<S≤25(Re ₂)			2500	0.6	76875	18.30	40625	9.70	57500	13.70
25<S≤50(Re ₃)			4375	1.0	121875	29.10	71875	17.10	122500	29.20
50<S≤100(Re ₄)					31250	7.40	141875	33.80	147500	35.10
S>100(Re ₅)					25625	6.10	63125	15.00	13125	3.10
非风蚀(沼泽)区									3125	0.70
水域										

注：表中E相对风蚀深度（cm）；S相对风积厚度（cm）

表 6 详测样方各类风力侵蚀平均值

项目	风力侵蚀等级	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅
	统计值(cm)					
风 蚀 区	2<E≤25 (Re ₂)		19	10	20	
	25<E≤50 (Re ₃)		32	38	49	46
	50<E≤100 (Re ₄)		80	83	72	75
	E>100 (Re ₅)			176	177	215
风 积 区	2<S≤25 (Rs ₂)		6	9	7	8
	25<S≤50 (Rs ₃)		26	32	26	27
	50<S≤100 (Rs ₄)			54	59	61
	S>100 (Rs ₅)			100	122	139

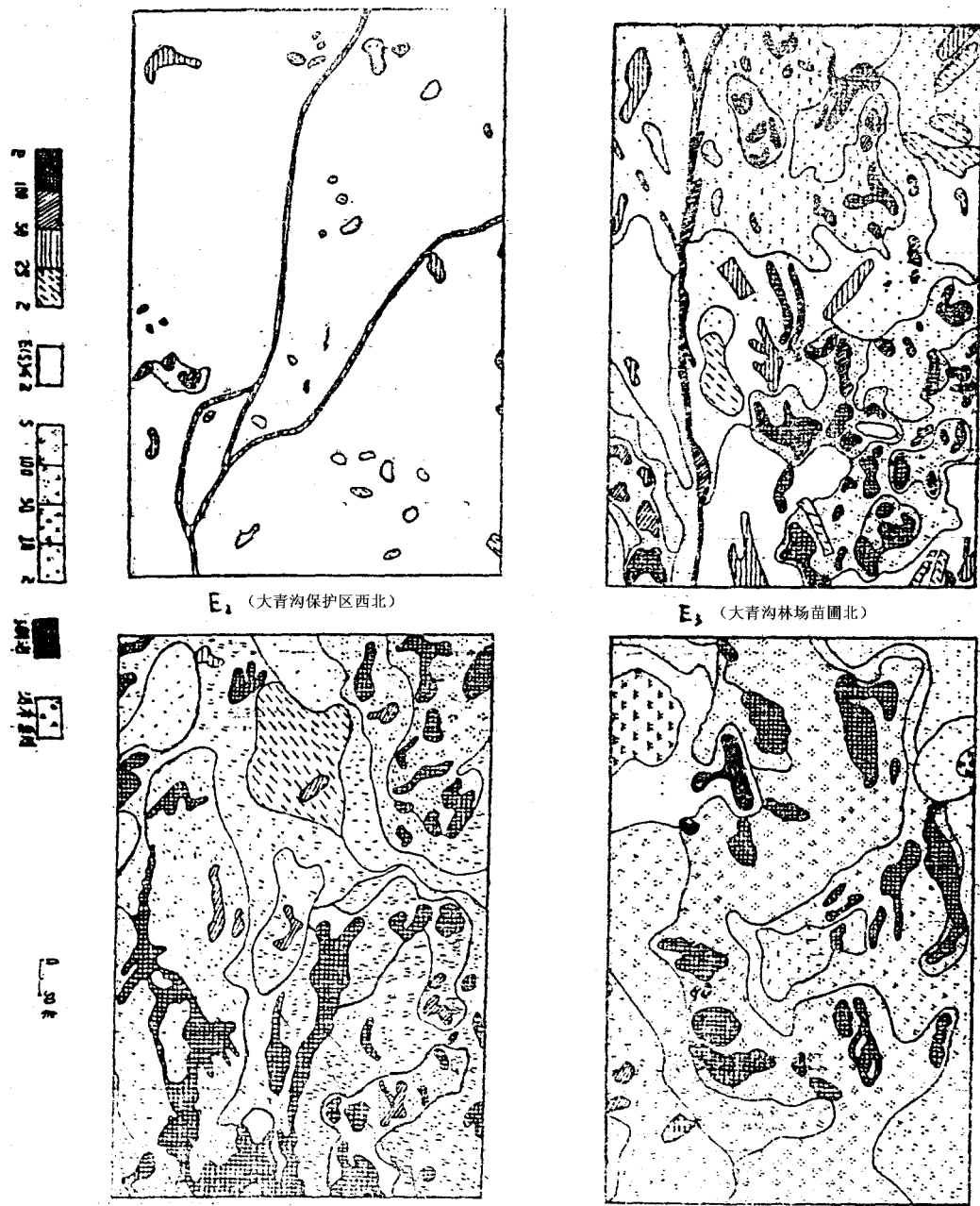


图 3 详测样方区风力侵蚀程度图

二、研究区现状风蚀量的估算结果及其分析

<一>估算过程、结果及其精度分析

1. 估算过程及其结果

表 7 研究区各级风力侵蚀面积及现状风力侵蚀量古估算一览表（1981）

风力侵蚀等级		E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	其他
项目							
面积(km ²)		67.98	26.01	90.31	98.43	37.39	7.78
占研究区百分比(%)		20.35	7.79	27.03	29.46	11.19	4.18
据表所得比例相对风蚀、相对风积面积(km ²)	Re ₂		0.16	3.34			
	Re ₃		0.65	5.69	4.82	0.11	
	Re ₄		0.08	1.99	0.30	0.11	
	Re ₅			8.31	1.77	3.96	
	Rs ₂		0.16	16.53	17.13	2.84	
	Rs ₃		0.26	26.27	9.55	5.12	
	Rs ₄			6.68	16.83	10.92	
	Rs ₅			5.51	33.26	13.12	
风力侵蚀不明显区	R(S)		24.70	15.99	14.77		
据表所得各级风力侵蚀区现状风蚀量(M ³)	Re ₂		30400	334000			
	Re ₃		208000	2162200	2361800	50600	
	Re ₄		64000	1651700	216000	82500	
	Re ₅			14925600	313200	8514000	
	合计		302400	18773500	5710700	86471000	
总风蚀量(M ³)		33433700(合 50150550 吨)					
风蚀区每 km ² 风蚀量(吨)(M ³)		1068510.71(M ³)或 1602766.06(吨)					

首先根据前述研究区定稿的 1 / 5 万作者原图,利用称重法求得各级风力侵蚀的面积(表 7) 并可根据“样测样方”有关数值计算得到研究区现状风蚀量,计为 1602766. 06 吨 / 风蚀区每平方公里。既每平方公里风蚀区现状风蚀深度平均为 106. 85 厘米。

2. 估算结果精度分析

①根据我们在大青沟林场北 4 公里处建立的定位实测结果,各风蚀洼地(包括弃耕地上的风蚀地),年风蚀量为 1. 62 厘米(表 8)。②我们在研究区野外考察随机测得各

表 8、大青沟地区年风蚀深度实测信其表

观测期间起沙风总时数	观测期间总风蚀深度	起沙风期间每小时风蚀深度	大青沟地区历年起沙风平均总时数	年风蚀深度
50. 5小时	12毫米	0. 0797毫米	202. 7小时	16. 2毫米

类风蚀地平均深度为 93 厘米^[3],据访问当地居民及从地名普查资料看,这里人为加速“自然正常”风蚀过程主要是近 80 年来,特别是近 40 年来进行的,如按此估算,该区年风蚀深度约 1. 16—2. 33 厘米,平均为 1. 55 厘米。③若同样依据时间尺度 80 年计,我们利用红外彩色航片估测得研究区风蚀地段现状风蚀深度平均为 106. 85 厘米,则年风蚀深度约为 1. 34 厘米— 2. 67 厘米,平均为 1. 78 厘米,由此可见,我们的估算值比实测值相差不大,结果令人满意。

<二>估算结果分析

从表 7 的估算结果,我们不难看出,若就研究区风蚀地段来说,风蚀强度达到 1. 78 厘米 / 年,已超出每年正常风蚀量(0. 2~0. 3 毫米)约 70 多倍,足以造成对沙地草场的危害。然后,就从研究区总面积 334. 1km² 来评价,则上述风蚀量相当于从研究区每年每平方公里面积上损失 2501. 8 吨物质,约 1. 7mm / 年表层物质被侵蚀,就此来看,该区并不像有些研究者所述的那样,即该区风力侵蚀严重,而其仅属轻度—中度侵蚀。这与本区降水条件稍好有直接的关系。此外,我们这里所指的风力侵蚀既包括风蚀也表征着风积,实际上这两个过程是一个统一相关的风沙物理过程,在此由于篇幅所限,有关内容可参阅文献[3]中的论述。

从表 7 中,我们还可看出,研究区各类风力侵蚀面积中,风蚀面积小而平均深度大,而且风积面积大而平均厚度小。这主要取决风成过程的性质、床面特征等。

三、几点认识

1. 利用短期地面观察、观测资料,通过航空像片的目视解译,估算区域现状地表风蚀

量是可行的，而且可节约大量资金。这对目前地面风蚀工作还不很深入的地方有重要的现实意义。

2. 研究区虽然在人为干扰下，地表风蚀盛行，强度较大，但由于区域降水条件的优越性，从而，使这一过程程度不等地得到控制。有鉴于此，我们认为，今日而言防止土壤风蚀沙化，关键在于减弱人类土地利用强度，使其得以恢复。除极个别地段需投放附加能量、采取一些工程和生物措施，绝大多数的地方，加速的地表风蚀完全会自行逆转和控制的。就我们野外所见，研究区不少风力侵蚀严重地方，围封三—五年，就基本可以得以控制。正是这样，国家不宜在这一地区投入更多的人力和物力及财力，更重要的在于说服、教育当地土地经营者，尊重自然规律，用地养地相结合，改过去广种薄收之恶习多在建立一个结构合理、高功能的大农业经营人工生态系统上下功夫，目标只有两个，获得最大经济效益的同时，求取最好的生态效益。

我们的工作虽然是初步的，但开展此项研究意义重大，希望有更多的研究人员从事此项研究工作，以期取得更好的成果，为沙区的经济振兴服务！

主要参考文献

- [1]史培军，略论风蚀过程及遥感技术在区域风蚀评价中住应用研究，《内蒙古内陆河流土壤侵蚀遥感图培训班讲义》，1982. 2。
- [2]马玉堂拿：呼伦贝尔草原土壤风蚀的研究，《中国草原》，1981 年，第三期。
- [3]史培军，试论科尔沁南部大青沟地区沙漠化土地的地表形态特征及其发育过程，《内蒙古师大学报（自然科学版）》，1986 年，第一期。
- [4]林儒耕：内蒙古乌盟后山地区农田沙化现象的初步研究，《内蒙古师范学院学报（自然科学版）》，1977 年，第一期。
- [5]朱震达等：《塔克拉玛干沙漠风沙地貌的研究》，科学出版社，1981 年。
- [6]D·w·Fryrear 等，贺大良译，用航片法评价风蚀，《世界沙漠研究》，1984 年，第四期。
- [7]V·A·KOVDA 张继贤译：土壤耕作与尘暴的关系，《世界沙漠研究》1982 年，第二期。