

40-46

青海湖入湖沙质物的计算  
与水下沙堤的形成

PP41.78

赵鸿斌 何东宁 张登山 年奎 王彬

(青海省农林科学院林业科学研究所, 西宁 810016)

(青海省林业局)

**提要** 青海湖流域沙漠以环湖分布为特点, 又以ENE为集中。这一状态使多方向的风沙流入湖, 而实际上入湖沙量是以W、N、E三个方向的流沙为主。根据入湖风沙公式计算, 入湖风沙量为 $887.08 \times 10^4 \text{t/a}$ , 并推算出河流泥沙入湖为 $35.77 \times 10^4 \text{t/a}$ , 空中降尘为 $30.36 \times 10^4 \text{t/a}$ 。

入湖后的沙质物在湖流、波浪的作用下, 由西向东运移, 堆积成水下沙堤, 逐渐增高加宽露出水面, 分隔成子湖。同时在干燥的气候作用下, 导致湖面收缩, 生态环境恶化。

**关键词** 青海湖, 风沙流, 水下沙堤

关于青海湖流域沙漠化的问题, 已引起众多的关注<sup>[1,2]</sup>。本文较全面地研究了青海湖流域沙漠化成因、现状、危害与防治技术措施等。同时对入湖风沙、河流泥沙及空中降尘也进行了专门探讨。根据入湖后的沙质物运动规律, 分析了水下积沙形成沙堤(沙坝)的过程。通过沙岛湖、海晏湾的形成与子湖的呈现, 可以看出随着湖面收缩, 青海湖生态环境受风沙危害的程度。

## 一、自然地理环境

青海湖是我国最大的内陆半咸水湖, 面积达 $4304.5 \text{km}^2$ (1986), 流域面积为 $29661 \text{km}^2$ 。位于青藏高原东北部( $36^\circ 32' - 37^\circ 15' \text{N}$ ,  $99^\circ 36' - 100^\circ 47' \text{E}$ ), 海拔 $3193.8 \text{m}$ , EW长 $109 \text{km}$ , SN宽约 $65 \text{km}$ , 呈WNW—ESE走向。年平均气温 $-0.6^\circ \text{C}$ (刚察)— $1.0^\circ \text{C}$ (江西沟)。年平均降雨量 $324.7 \text{mm}$ (天峻)— $397.4 \text{mm}$ (海晏)。年平均蒸发量 $1422.5 - 2066.2 \text{mm}$ 。年平均风速 $3.2 - 4.4 \text{m/s}$ , 沙暴日数在48天以上, 最长达78天。湖水每年11月至翌年3月为结冰期。

从山地向湖边依次是山前冲积扇、湖积平原和湖滨。颗粒由粗到细至湖边为细沙。湖北一般宽 $5 - 15 \text{km}$ , 以哈尔盖洪积扇为最大; 湖东宽 $3 - 6 \text{km}$ , 上覆大面积风成沙; 湖南宽为 $2 - 8 \text{km}$ , 以砂砾石为主; 西北以布哈河为主体, 是湖区风沙、入湖泥沙主要源地之一。湖周的土壤为淡栗钙土、灰钙土、风砂土及湖滨草甸土。

本文于1992年3月11日收到, 1992年9月23日改回。

旱生植物群落以芨芨草(*Achnatherum splendens*)、沙生冰草(*Agropyron desertorum*)为建群植物;半旱生植物群落有早熟禾(*Poa annua*)、赖草(*Leymus secalinus*)群落;湿生植物群落植物有天山报春(*Primula sibirica*)、西伯利亚蓼(*Polygala sibirica*);湿润植物群落有水麦冬(*Triglochin palustre*)、海韭菜(*T. maritimum*)。

木本植物中,疏林植物有祁连园柏(*Sabina przewalskii*)、青海云杉(*Picea crassifolia*);灌丛植物有助果沙棘(*Hippophae neurocarpa*)、具鳞水柏枝(*Myricaria squamosa*);沙生植物有沙地柏(*Sabina vulgaris*)、中麻黄(*Ephedra intermedia*),还有形成防风屏障的天山花楸(*Sorbus tianschnica*)等。

青海湖流域地跨 4 县 29 个乡,草原面积有 19349.44km<sup>2</sup>(其中疏林和灌丛草场面积 530.13km<sup>2</sup>,天然草场和人工草场分别为 18746.27km<sup>2</sup>和 73.03km<sup>2</sup>)。流域现有人口 9.046 万。各类牲畜总头数 247.89 万(1987),耕地面积 224.21km<sup>2</sup>,沼泽地 781.4km<sup>2</sup>,特用地 58.53km<sup>2</sup>,裸露地 4103.93km<sup>2</sup>(包括裸土地 780.0km<sup>2</sup>),河流、冰川面积 82.44km<sup>2</sup>。沙漠主要分布在克土、大小占岭至倒淌河一线和杂海至甘子河、沙陀寺至天棚以及布哈河流域、鸟岛至石乃亥、江西沟到耳海;总面积 756.56km<sup>2</sup>,1986 年比 1956 年沙漠面积扩大了 67.06%,30 年平均以 10.12km<sup>2</sup> 速度扩大,严重地威胁着青海湖的生态环境。

## 二、研究方法

半个世纪以来,国内外学者非常重视青海湖的兴衰问题,但湖区沙漠化的研究文献却十分有限,尤其是有关沙漠化土地整治的更少。三年来我们采用航片及卫星图片调绘沙漠分布图,通过野外调查核实不同类型沙漠化土地;进行同步观测搜集风沙流资料;采取风洞模拟实验获得不同风级、风向、起沙风速等有效数据,建立适合该区的风沙流入湖经验公式,并计算入湖风沙量;根据各河流含沙量、流量推算出入湖总泥沙量;在环湖地区的主要风沙线设置四个口径为 23cm 的玻璃缸收集全年入湖空中尘埃量,并计算出年入湖降尘量。最后应用计算机数据处理。

## 三、研究结果与分析

### (一)环湖风沙流运动路线的分析

环湖各片流沙都有以风沙流形式入湖的可能,但因其所处位置的不同,主风方向的偏离以及季节性的变化,其入湖沙量也有所差异。为正确计算入湖沙量,确定风沙运行路线尤为重要。

根据风信资料及输沙量公式算出不同方位年平均风沙的迁移总量,即可绘制出风沙流迁移玫瑰图(图 1)。从图 1 可以看出结冰期引起风沙流的主要风向区间在 WNW、西偏南也占有一定的比重,而融冰期主要风向区间在 NW,其次是 NE。由此可以断定融冰期风沙流入湖路线主要在鸟岛北侧、西北侧和杂海、甘子河一线;而冰封期则主要从沙陀寺到天棚一带,集中在布哈河流域及其河口三角洲的流沙地段。海心山与泉湾地区草甸土呈东西一线,

因而结冰期没有形成多少风沙流沿冰面移动堆积在海心山上。由于布哈河谷及两岸潜在和发展中的沙漠化土地近似呈东西一线,因此在海西皮的西北方向有明显的积沙。

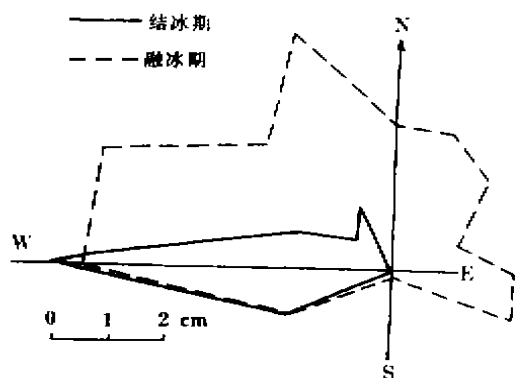


图 1 风沙流玫瑰图

Fig. 1 The rose map of sand flow in freezing and melting period

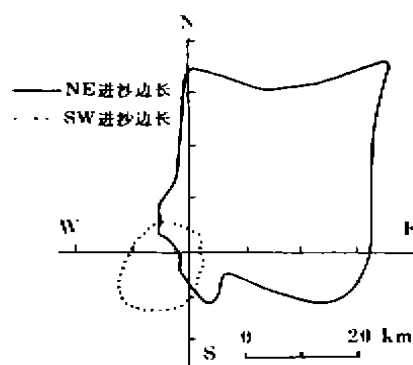


图 2 湖周各片流沙在各方位有效投影长度图

Fig. 2 The available cast shadow length of unfixed sand from every directions around the Lake

### (二) 环湖流沙的有效投影长度

青海湖流域沙漠环湖分布,以致任何方向的风沙都有可能进入湖内。但主风方向在 NW 区间,因此不同方向的进沙量是不同的。

根据 1972 年地形图和 1986 年沙漠分布图,量算了湖周各片流沙在不同方位上的有效投影长度(表 1,图 2)。

### (三) 风洞实验及经验公式的建立

前人根据理论推导出一些输沙公式,但都具明显的地域性特点,且由于某些物理量不易直接测定,很难直接应用。青海湖往往在某地段沙物质的成因相同,具有机械组成相近的特征,因而可建立适合该区特点的经验公式:

$$Q = K(V - V_0)^2$$

式中:  $Q$ ——输沙量,  $K$ ——系数,  $V$ ——风速,  $V_0$ ——起沙风速。

环湖沙漠类型多样,然而近于湖边基本都是平缓沙地地貌,则入湖风沙流最终都转为平沙地运动形式。据风洞实验粗、细沙起沙风速分别为 5.45m/s、3.63m/s。根据起沙风速与测风高度可以换算出 10.0m 高处的起沙风速分别为 7.4m/s 和 5.2m/s。可取得各种不同风速下的输沙量(表 2),再取样进行中值粒径分析,结果粗沙为 0.5554mm,细沙为 0.1070mm。将输沙量和风速绘制成图 3,发现二者呈幂函数关系。

表 1 各方位有效投影长度

Tab. 1 Sand flow of available cast shadow length from different direction 单位: km

方位	N	NNE	NE	NEE	E	SEE	SE	SSE	S	SSW	SW	SWW	W	NWW	NW	NNW
湖西	3.8	3.4	2.55	1.85	0.7	1.65	2.6	4.35	9.2	12.05	14.2	13.2	10.95	8.95	7.55	5.55
湖东	34.75	31.95	50.0	34.45	32.1	26.7	6.8	11.2	6.0	4.45	1.5	1.5	4.25	5.6	9.5	11.4
合计	38.55	35.35	52.55	36.3	32.8	28.35	9.4	15.55	15.2	16.5	15.7	14.7	15.2	14.55	17.05	16.95

经计算机处理建立如下经验公式:

细沙:  $Q = 0.272709(V - V_0)^{2.987}$

粗沙:  $Q = 74.2056(V - V_0)^{2.3399}$

表 2 部分风洞实验数据

Tab. 2 The date of wind tunnel experiment

风速(m/s)	4.28	5.16	5.49	5.78	6.03	6.53	8.24	8.73	9.22	9.31	9.39	9.57
时间(min)	3	3	3	2	2	1	1	1	0.5	0.67	0.5	0.5
输沙量(g/min)	4.056	5.621	5.656	6.798	7.142	4.809	21.625	27.571	55.894	76.532	52.571	57.372

(四)年入湖沙物质的计算

1. 风沙量的计算 从环湖沙漠分布特征看,入湖沙量实际上是由湖 W、N、E 三方面流沙构成。根据风信资料、输沙量公式:  $Q = 0.272709(V - V_0)^{2.987}$  和年各方位有效进沙投影长度,算出年各方位入湖风沙总量为  $887.0808 \times 10^4 t/a$ (表 3)。

2. 空中降尘量的计算 为了收集空中降尘,环湖设四个口径为 23.0cm 的降尘缸<sup>①</sup>。平均全年采收尘埃量 2.93g,按湖面积 4304.5km<sup>2</sup> 计算入湖尘埃量为  $30.36 \times 10^4 t/a$ 。

3. 入湖泥沙量计算 进入青海湖的物质除了以风营力搬运的风沙流和吹扬的尘埃外,还有以水动力搬运的河流泥沙。河流泥沙由各条入湖河流所携带,其数量的大小由河流径流强度及流域内水土流失程度决定。青海湖周围有 40 多条河流,然而大部分干涸或成为季节性河流,湖水补给河流主要有布哈河、沙柳河、巴哈乌兰河、哈尔盖河及倒淌河、黑马河等。由于各河流地貌、土壤、坡降、水土流失不同,其携带泥

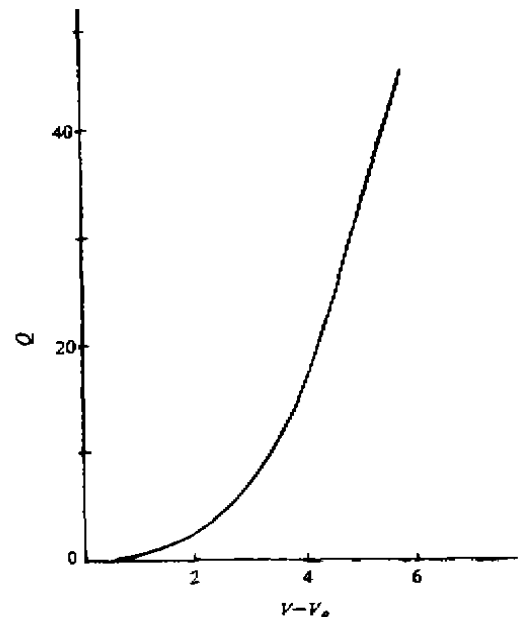


图 3  $V_0 = 3.63m/s$  时风速  $(V - V_0)$  与输沙量  $(V_0, Q)$  的关系

Fig. 3 The relationship between wind velocity and sand discharge

① 青海省环保局设置,青海省农林科学院林业研究所计算。

沙的能力也不相同。如布哈河年径流量是  $7.85 \times 10^9 \text{m}^3$ , 占环湖各条河流总径流量的 48.7%, 年入湖沙量为  $35.766 \times 10^4 \text{t}$ ; 沙柳河年径流总量是  $2.45 \times 10^9 \text{m}^3$ , 年入湖沙量为  $7.479 \times 10^4 \text{t}$ 。由此推算其它河流年径流量为  $5.81 \times 10^9 \text{m}^3$ , 而且主要集中在湖北, 径流条件与沙柳河相似。推算的前提是这些河流所携带的泥沙能力与沙柳河相似。经计算, 其余河流年入湖泥沙量为  $17.57 \times 10^4 \text{t}$ 。至此环湖全部河流入湖泥沙总量为  $60.815 \times 10^4 \text{t/a}$ 。

综上所述, 年入湖风沙量为  $887.0808 \times 10^4 \text{t}$ , 空中降尘量为  $30.36 \times 10^4 \text{t}$ , 河流泥沙入湖量为  $60.815 \times 10^4 \text{t}$ 。即年入湖总沙量为  $978.2558 \times 10^4 \text{t}$ 。风沙、河流泥沙、空中降尘入湖后占据一定的湖体。因此, 每年入湖的沙物质相当于  $299.5762 \times 10^4 \text{m}^3$  的水上溢。也即青海湖底每年沉积约 1.6mm 厚的泥沙(干沙)。

表 3 年入湖、过湖风沙量

Tab. 3 Sand discharge entering and passing through the Lake

单位:  $10^4 \text{t}$ 

方 位	融冰期入湖沙量	结冰期过湖沙量
N	106.4606	8.7245
NNE	99.9716	0.0982
NE	79.7028	0.9003
NEE	47.6498	2.3887
E	70.0987	5.5670
SEE	66.0689	2.2686
SE	5.5949	0.0783
SSE	1.3500	0
S	1.3332	0.0844
SSW	2.0827	0.1375
SW	1.9644	1.1435
SWW	32.8837	30.5239
W	83.9887	26.3776(过湖) 67.9610(入湖)
NWW	82.4744	25.0344
NW	55.2201	12.7819
NNW	82.2753	22.8116
合计	887.0808	138.9204

#### 四、水下沙堤的形成与水动力作用

环湖沙漠及潜在沙漠化土地和各河流三角洲区是入湖风沙、泥沙的主要来源地。进入湖中的沙质, 一般在水动力作用下以不同形式搬运输送和沉积。

青海湖最大的湖流是由 W、NW 风向推压作用形成的, 布哈河自西向东注入喷流。浪流的大小取决于风的能量。在湖流、浪流动力作用下, 入湖沙物质沿湖岸以推移形式运动向东搬运。沙岛、海晏湾的水下沙堤便是以这种搬运方式形成的。根据粒度对比分析布哈河、巴哈乌兰河口与海晏湾水下沙样的组分相近也是有利的佐证。

入湖沙质物, 在强劲的湖流、浪流作用下向东推移。在岸线的转折处, 例如大湖湾或岬角

处首先停积,形成沙滩、沙堤、沙嘴。这种沙堤逐渐向外延伸进入开阔水域,并最终出露水面(图4)。由于波浪在湖湾浅水的折射作用,沉积物在沙岬端附近受到沿岸漂流的搬运,于是沙岬逐渐向陆弯曲增大,形成湾口沙坝。由于青海湖水位下降,又因西风波浪反复作用使沙岛、海晏湾口的水下沙堤增高加长露出水面,形成沙坝—泻湖体系。根据地形图和卫星照片判读,沙岛东边的新沙岛及海晏湾口的沙堤 1972 年还在水下,1980 年已露出水面。1972 年海晏湾口沙堤距下巴台沙嘴最少还有 500m,到 1986 年只有 300m。1980 年新沙岛还没有与沙岛相接,到 1986 年已相接,形成沙岛湖。为此沙坝进一步发展将与主湖隔离形成子湖。

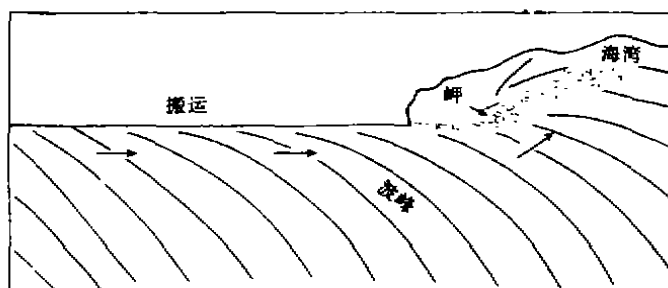


图 4 湖沿岸漂移沙到达弯口形成沙岬示意图

Fig. 4 Flow sand shifts along lake shore and forming spits at bay mouth

和卫星照片判读,沙岛东边的新沙岛及海晏湾口的沙堤 1972 年还在水下,1980 年已露出水面。1972 年海晏湾口沙堤距下巴台沙嘴最少还有 500m,到 1986 年只有 300m。1980 年新沙岛还没有与沙岛相接,到 1986 年已相接,形成沙岛湖。为此沙坝进一步发展将与主湖隔离形成子湖。

## 五、结 论

1. 通过风信资料的分析、观测、风洞试验的计算及河流泥沙、降尘的验算,每年进入青海湖的沙量为  $978.2558 \times 10^4 \text{t}$ 。其中风沙量为  $887.08 \times 10^4 \text{t}$ ,空中降尘量  $30.36 \times 10^4 \text{t}$ ,河流泥沙  $60.815 \times 10^4 \text{t}$ 。这些沙质物可使  $299.57 \times 10^4 \text{m}^3$  水上溢。

2. 随着沙漠化过程的发展,植被盖度降低,加速了地面风成沙的扩展。沙丘趋于密集、高大,使“脆弱”的生态环境愈益恶化。增加风沙流入湖的宽度,将使入湖风沙量成正比提高。目前青海湖流域潜在沙漠化土地和正在发展中的沙漠化土地就有  $1669.3 \text{km}^2$ 。与此同时,土壤瘠薄,草场退化,生物量下降,可利用土地资源丧失,所有这些环境功能的退化都是土地沙漠化的指征。

3. 青海湖流域风沙、河流泥沙入湖后在自西向东的湖流和西北风造成的浪流作用下,于东部浅水带形成水下沙堤。露出水面后又接受风沙堆积,促使湖中沙堤增长加高、隔断海湾,进而发展为成子湖。历史上形成的耳海,杂海和近代形成的沙岛湖及即将濒临隔绝的海晏湾都是环湖风沙运动的结果,导致青海湖生态环境的恶性循环。

## 参 考 文 献

- [1] 徐叔鹰等. 青海湖东岸风沙堆积. 中国沙漠, 1983, (3), 11-17.  
[2] 陈克造等. 青海湖综合考察报告. 北京, 科学出版社, 1979.  
[3] 钱宁、万兆惠著. 泥沙运动力学. 北京, 科学出版社, 1983.

## THE CALCULATION OF SAND DISCHARGE ENTERING QINGHAI LAKE AND FORMATION OF SUBMERGED BARRIES

Zhao Hongbing He Dongning Zhang Dengshan Nian Kui

(*Qinghai Academy of Agriculture and Forestry, Xining 8100016*)

Wang Bing

(*Qinghai Forest Bureau, Xining 810007*)

### Abstract

The distribution of sand dune in Qinghai Lake Basin is characterized by a surrounding lake specially concentration at EEN shore. Therefore, the wind sand can enter the lake from difference directions, in fact, max. quantity of sand comes fom east, west and north directions. According to the calculation by the formula, the wind drift sand discharge of eatering the lake is about  $88.708 \times 10^5 \text{t/a}$ , the silt discharge of emptying the lake by rivers about  $3.577 \times 10^5 \text{t/a}$ , and the falling dust discharge from air about  $3.036 \times 10^5 \text{t/a}$ . The sandy materials entering the lake were transported by the lake wave and currents from west to east, forming the subaqueous barriers. The sandy barriers gradually became higher and wider, and emerged from the water by which lagoons were insolated from the lake. At the same time, owing to strong evaporation, the lake began to shrink and its ecological environments to get deteriorated.

**Key words** Qinghai Lake, wind sand flow, submerged barrier