

马湖水资源的初步分析

季江 胡文英*

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

提要 详细阐述了马湖的地理位置、湖盆形态、流域水系特征及湖区自然概况。从研究水资源的角度出发, 实测了水下地形, 并进行了湖水的水量平衡分析计算。分析湖水的理化特性, 包括: 水色、透明度、温度、溶解性气体、pH 值、营养物质、矿化度和水型等, 并根据其水资源特点, 提出了开发和综合利用的措施。

关键词 马湖 水资源 水量平衡

马湖位于 $103^{\circ}47' - 103^{\circ}48'E$ 、 $28^{\circ}23' - 26'N$, 属四川省雷波县所辖。湖泊最大水深为 134.0 m, 在我国已知的深水湖中仅次于长白山天池、云南抚仙湖, 位居第三。1982 年 5 月 30 日—6 月 9 日对其水文气象要素及水质、水生生物、地质地貌进行了综合考察, 全湖共布设 17 个流动观测采样点, 2 个 24 h 定点连续观测点(图 1)。本文根据所观测的资料, 对其水资源现状及综合利用进行初步研究。

1 湖区自然地理概况

马湖系第四纪全新世地震陷落崩塌作用堵塞而成的断陷堰塞湖。东、南、西三面环山, 北面为湖口, 是一由大小不等的玄武岩碎石块堆积而成的石坝堵塞口。湖盆形态特征见表 1。

表 1 湖盆形态特征
Tab. 1 Lake morphology of Mahu Lake

面积(km ²)	容积(10 ⁸ m ³)	岸线长度(km)	平均宽度(km)	平均水深(m)	最大水深(m)	KT 值*
7.32	4.81	17.3	1.3	65.7	134.0	3.16

* KT 值=面积/水深×岸线长。

该湖区处在北亚热带气候区, 年平均气温为 $13.6^{\circ}C$, 最热月均温为 $22.9^{\circ}C$, 最冷月均温为 $2.6^{\circ}C$, 湖水终年不冻结^①。降水丰沛, 年平均降水量为 1086.0 mm, 多年平均降雨日为 219.9 天, 降水主要集中在 4—10 月份, 占全年降水量的 85.9%。平均年蒸发量为 503.8 mm, 干燥度为 0.84, 属湿润带气候。

马湖属金沙江水系, 湖水靠湖面降水和东、西两岸沟溪汇水和区间坡面漫流补给, 主要的流域来水通过湖泊南端海脑坝的东大河、西大河和额子沟三条河流注入。湖水外泄主要为

* 参加野外工作的有高礼存、庄大栋、潘红玺、杨留法、陈以华等同志; 本文编写过程中承蒙濮培民、王苏民、袁静秀、王银珠等同志提出宝贵意见, 张辉玉清绘插图。在此一并致谢。

① 马湖引水工程管理站乔华山、吴成甫、高正荣、张官江等提供。

收稿日期: 1992 年 11 月 19 日; 接受日期: 1993 年 4 月 2 日。

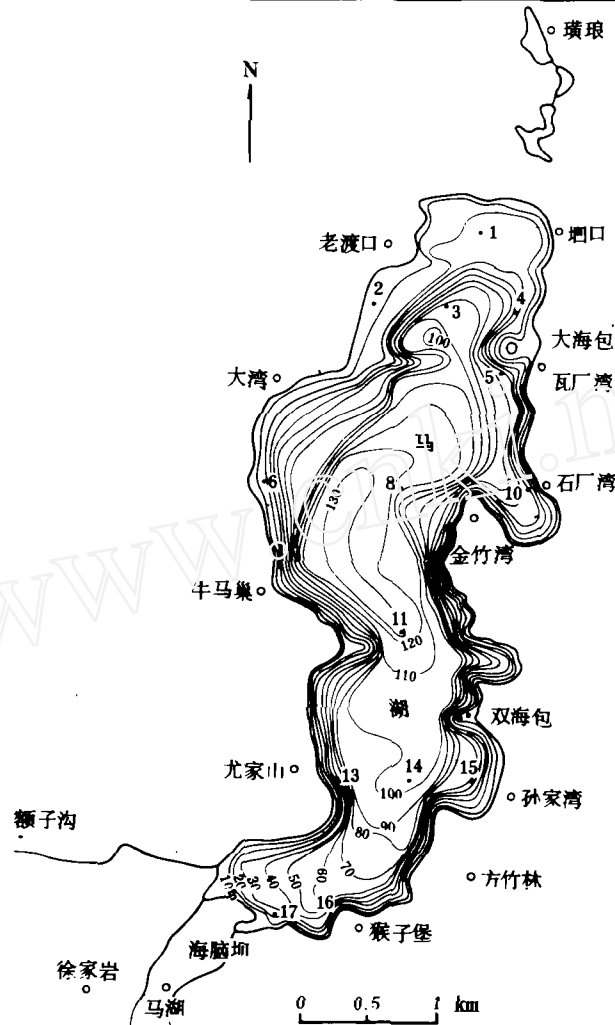


图1 马湖流域水系、测点分布及湖底地形图

Fig. 1 Watershed system and bottom topography of Mabu Lake and distribution of sampling points

地下渗漏,故原为一微流通的半封闭型湖泊。1978年人工控制闸建成后,利用湖水灌溉和发电,湖水流入金沙江。

流域自然景观垂直差异明显。流域内最高海拔2400 m,湖面高程为1100.01 m。湖区内海拔1800 m以上的森林地区系常绿阔叶林,植被复盖度在80%以上;海拔在1800 m以下为次生草木,植被复盖度也在80%以上,良好的植被条件对径流具有巨大的调节能力。

2 水位和水量平衡

2.1 水位

调查期间,水面海拔高程为1100.01 m^①(相当于现用的假设高程986.51 m)。在引水工

① 马湖引水工程管理站高义甸同志提供实测高程。

程建成之前,水位最大年变幅为7—8 m,一般为4—5 m,小水年为2—3 m。随着雨季的到来,5—8月水位变化频繁,最高水位出现在多雨的7月,最低水位出现在放少雨的2月。

在引水工程建成之后(1979—1983年资料),月平均水位最大年变幅为3.73 m(1979年),最小年变幅为1.21 m(1980年),平均年变幅为1.78 m,最高水位出现在雨季后11月份,最低水位出现在水灌溉季节的6—8月份(每年放水灌溉期为4—8月份),月平均最低水位出现在7月份(图2)。水位年变化主要取决于流域降水量、湖周石灰岩地层的漏水和人工控制等因素。

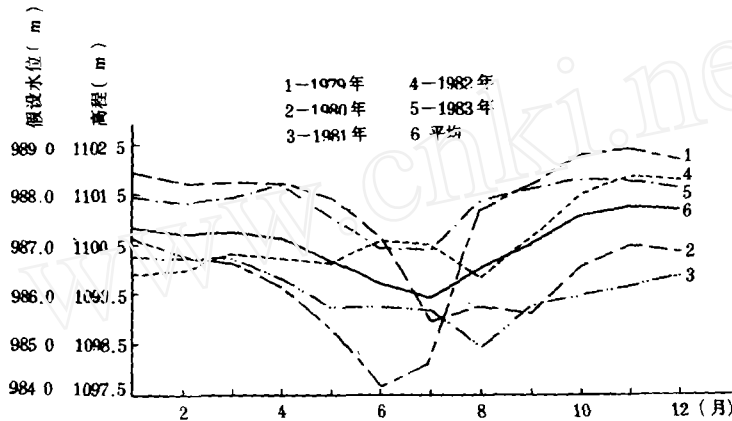


图2 月平均湖水位年过程

Fig. 2 Mean monthly level by year in Mahu Lake

2.2 水量平衡

1982年6月1日,采用回声测深仪和深度、温度(BT)计两种仪器,对水下地形进行了测量,共获得19条剖面(剖面合计长度为23.7 km)和22个点的测深资料。实测最大水深134.0 m(当时水位1100.01 m),平均水深65.7 m。深度大于50 m的面积为4.50 km²,占湖面面积的61%;深度超过100 m的面积为1.96 km²,占湖面面积的26.8%。该湖的总容积为4.81×10⁹ m³(图1、图3),是四川省境内水资源蕴藏量较丰富的天然湖泊之一。其水量平衡方程式可简写成:

$$Q_p + Q_i = Q_e + Q_o - Q_z \pm Q_w \quad (1)$$

式中: Q_p ——湖面降水量; Q_i ——地表入湖径流量; Q_e ——湖面蒸发量; Q_o ——地表出湖径流量; Q_z ——地下出湖径流量; $\pm Q_w$ ——计算时段内的湖水增减量。

2.2.1 入湖水量 (1)湖面降水量 流域内没有一个气候观测哨和一个气象观测站,湖南端的雷马坪农场马湖分场气候哨(海拔1319.00 m, 1959—1979年资料)多年平均降雨量为1128.8 mm;湖北端的引水工程管理站气象观测站(设在高出水面十多米的人工控制闸边上,资料年代为1979—1988年),年平均降雨量为1043.2 mm,折合水量为795.9×10⁴ m³。

(2)入湖径流量 在确定地表入湖径流量之前,必须先确定流域降雨量。如上所述,马湖管理站气象观测站地处流域下游,此资料不宜代表流域降雨量,又因该流域处于西宁多雨中心边缘(多年平均降雨量1348.0 mm)。故取马湖分场气候哨降雨量1128.8 mm代表流域降雨量较合理。

从《四川省水文手册》(1979年10月版)附图2—4查得,流域内多年平均年径流系数处

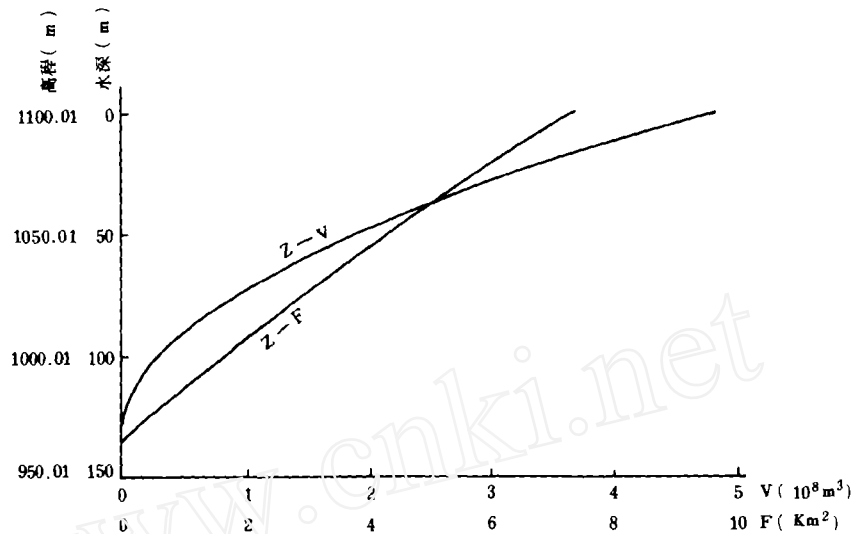


图 3 水位-面积、水位-容积曲线

Fig. 3 The curves of level-area and stage-volume in Mahu Lake

于 0.8 等值线范围内,径流深在 800 mm 左右,且径流变差系数小于 0.2。影响径流系数大小的因子,主要有天气、降水和流域内的下垫面条件。而该湖正处于立体气候较强的横断山地区,年降雨日 219.9 天,年平均相对湿度超过 85%,这在平原地区是少见的,年降雨量较大,蒸发量较小,流域内相对高程差达 1300 m。气候多变,入湖径流又以坡面漫流为主,流域下垫面条件较好,植被覆盖率达 80% 以上,有利于入湖径流的产生。考虑该流域的特殊条件,径流系数取 0.65,径流深则为 734 mm 是较合理的。据此求得入湖地面年总径流量为 $6956 \times 10^4 \text{ m}^3$,或年均径流量为 $2.21 \text{ m}^3/\text{s}$ 。因此可得,马湖湖水多年平均总收入量为 $7751 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

2.2.2 出湖水量 1978 年前,出水口人工控制闸未建成时,出湖水量主要是湖东、北岸石灰岩地层的地下渗漏水量和水面蒸发量。1978 年之后,除以上两项外,又增加了人工控制的地面出湖径流量。

表 2 多年平均年渗漏损失量

单位 m^3/s

Tab. 2 Year-to-year mean seepage loss change in Mahu Lake

漏水位置	建 闸 前				建 闸 后			
	2—5 月	7—10 月	6、11—1 月	年平均	2—4、9 月	5—8 月	10—1 月	年平均
堤 坝 下	0.2	3.50	1.20	1.64	1.20	0.40	2.30	1.30
石 厂 弯	0.10	0.20	0.10	0.14	0.10	0.10	0.20	0.13
合 计	0.30	3.70	1.30	1.80	1.30	0.50	2.50	1.43

(1) 地下出湖径流量^① 地下出湖径流量是水量平衡中不可忽略的一项。地下出湖径流主要集中在湖泊北端的天然堆石坝,有五处漏水入坝下小海子。调查期间的出流量约为 $1.00 \text{ m}^3/\text{s}$ (当时湖水位为 1100.01 m)。此外,在湖东岸石厂弯的石灰岩层地段,尚有小量的

① 参考四川省水利电力厅水利勘测设计院《雷波县马湖水利资源查勘报告》,19。

漏水,通过头道沟及二道沟入金沙江,其流量约 $0.1-0.2\text{ m}^3/\text{s}$ 。另外,它与水位关系较密切,水位高,渗漏量大,水位低,渗漏量小。引水控制闸建成后,改变了以往的汛期水位高、枯水水位低(图2),以及湖水自然渗漏的现象。4月下旬—8月,正是引水灌溉的季节,使原来的高水位变成了相应的低水位,地下出湖径流量也由原来的 $3.70\text{ m}^3/\text{s}$,减少到 $0.5\text{ m}^3/\text{s}$ 左右,而9月份至翌年的4月份水位则相应较高,出湖地下径流量则相应增大(表2)。从表2中可知,地下出湖径流量为 $1.43\text{ m}^3/\text{s}$,折合 $4510\times 10^4\text{ m}^3$ 。

(2) 地表出湖水量 湖泊的地表出湖径流完全由人工控制,进行灌溉和发电。其放水期为4—8月份,年放水日120天左右,放水流量为 $2.50-3.00\text{ m}^3/\text{s}$,现按放水期的平均流量 $2.75\text{ m}^3/\text{s}$ 计算,折合水量为 $2851\times 10^4\text{ m}^3$ 。

(3) 湖面蒸发量 湖面蒸发量,拟采用马湖分场气候站的蒸发资料, $E_{20}=839.7\text{ mm}$ 。参考重庆蒸发试验场的资料,考虑到马湖的特殊气候条件,折算系数为0.50。计算得出湖面蒸发深 $E=503.8\text{ mm}$,多年平均年蒸发量为 $369\times 10^4\text{ m}^3$,或 $0.12\text{ m}^3/\text{s}$ 。由此,得出的多年平均出湖水量为 $7730\times 10^4\text{ m}^3$,或 $2.45\text{ m}^3/\text{s}$ 。

2.2.3 水量平衡表 根据方程式(1)得出的水量平衡表如表3所示。出入湖水量目前基本是平衡的(稍有结余,可能是地下出湖径流估计不足的误差)。年平均来水量为 $2.46\text{ m}^3/\text{s}$,但出湖水量也很大,其中地下自然渗漏出湖水量为 $1.43\text{ m}^3/\text{s}$,占总出湖水量的54.6%,而地表出湖水量仅为 $0.90\text{ m}^3/\text{s}$,占总出湖水量的36.7%。

表3 马湖多年平均水量平衡表

Tab.3 Year-to-year mean water balance in Mahu Lake

入湖	面积(km ²)	水量			出湖	面积(km ²)	水量		
		(m)	(10 ⁴ m ³)	(m ³ /s)			(m)	(10 ⁴ m ³)	(m ³ /s)
湖面降水	7.32	1.09	795	0.25	湖面蒸发	7.32	0.50	369	0.12
地表入湖	94.78	9.52	6956	2.21	地表出湖		3.89	2851	0.90
					地下出湖		6.16	4510	1.43
合计		10.61	7751	2.46	合计		10.55	7730	2.45

3 湖水的理化特征

3.1 物理性质

3.1.1 水色、透明度 马湖系深水湖,湖水清澈透明。透明度,一般为 $2.0-2.5\text{ m}$,最高可达 3.8 m 。水色在9—12号之间。由四川省水文手册得知,该流域的年输沙量为 $800\text{ t}/\text{km}^2$ 左右,而雨后测得入湖河口的悬移质含量则较低,仅为 $90.7\text{ g}/\text{m}^3$ 。但对湖水透明度和水色的平面分布仍有一定影响,在河流入口附近的南部水域,悬移质含量相对较大($2-5\text{ g}/\text{m}^3$),透明度较小(2.0 m 左右),水色较低(10—15号)。北部水域悬移质含量较小($1-2\text{ g}/\text{m}^3$),透明度较大(3.0 m 以上),水色号较高(7—9号)。

3.1.2 水温 随着太阳辐射的日变化,湖水表层温度与气温一样有明显的日变化过程。但

水温的日变幅较气温小得多,水温的特征值比气温滞后 1—2 h。其最高值出现在 12:00—14:00 时,最低值出现在 5:00—7:00(图 4)。敞水区比近岸带的日变幅小得多,表明近岸浅水区受湖岸和湖床影响较大,易于增温和冷却。

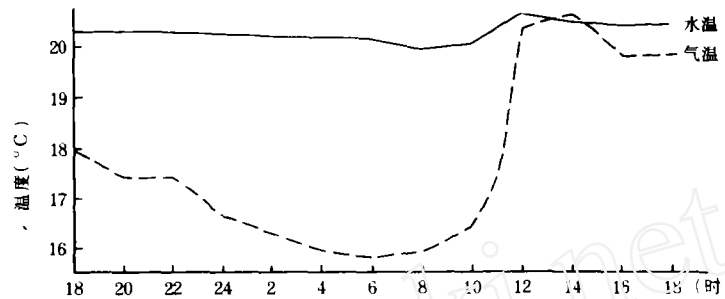


图 4 水温和气温度日变化过程线(1982年6月4—5日)

Fig. 4 The daily variation of the water temperature and the air temperature from 4 to 5 June, 1982 in Mahu Lake

根据引水工程管理处 1982—1984 年的水温观测资料(表 4),月平均最高水温出现在 8 月(24.4℃),最低水温出现在 2 月(7.3℃)。每年的 3—8 月为湖水的增温季节,9 月至 2 月为湖水的降温季节。年平均水温为 15.9℃,最高水温为 27.8℃,最低水温为 6.6℃,平均年变幅为 21.2℃。全年水温均大于 4.0℃,为不冰冻湖。

表 4 月平均水温

单位:℃

Tab. 4 The monthly mean water temperature in Mahu Lake

年份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年均	最高(出现时间)	最低(出现时间)
1982							22.4	24.8	21.0	18.2	15.0	10.3		26.9(8月8日)	
1983	7.9	7.7	8.2	13.9	18.8	21.5	23.1	24.1	22.3	18.4	15.2	11.5	16.1	26.2(8月16日)	7.3(2月1日)
1984	7.8	7.0	8.7	14.1	19.1	21.9	23.6	24.3	20.4	16.7	14.4	10.9	15.7	27.8(8月3日)	6.6(2月25日)

3.1.3 温跃层 夏季的垂线水温呈明显的正温层分布,水温随深度的增加而递减,且在不同的点位、时间、天气状况下存在着不同强度和厚度的温跃层(图 5)。温跃层以上的水层称为湖上层,受太阳辐射和动力混合作用影响较大,水温较高,垂线变化不明显,温度梯度很小,调查期间水温一般在 21.5—22.5℃之间,水层厚度只有 2—6 m。温跃层一般出现在 3—18 m,上界温度在 21.2—22.2℃,下界温度在 8.5—9.5℃。温跃层平均厚度为 14.6 m,温度梯度一般为 0.7—1.6℃/m,最大为 4.7℃/m。温跃层以下水层称为湖下层,一般在 18 m 以下直到湖底,水温为 7.7—9.0℃,温度随深度的变化极小,50 m 以下水体几乎为同温层。温跃层受天气和水动力作用影响明显,在风平浪静的晴天,由于表层水温剧烈上升,温跃层位置会上移到 2 m 的水层。但在阴雨天和大风的情况下,水体混合作用增强,温跃层梯度逐渐减小,温跃层位置逐渐下沉,下界深度可沉至 20—25 m。

3.2 化学性质

3.2.1 溶解性气体和 pH 值 该湖水深,加上温跃层的屏障作用较强,使表底层湖水交换受阻,化学成层现象明显。湖上层由于直接与空气接触,加上生物光合作用的影响,湖水溶解

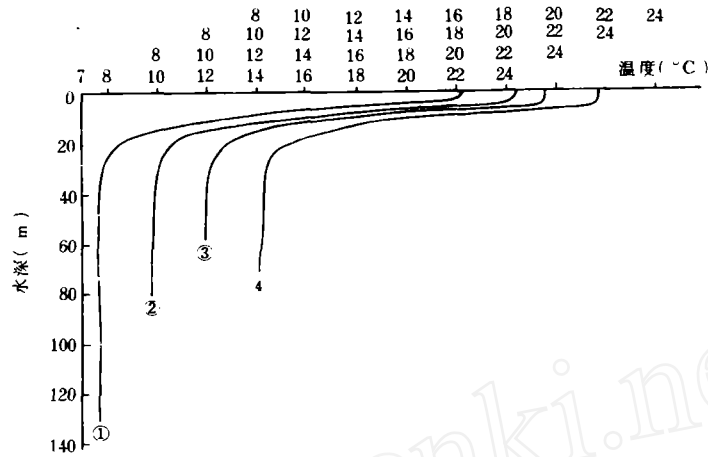


图 5 水温的垂直分布

1——8号点;2——7号点;3——13号点;4——16号点

Fig. 5 The vertical distribution of water temperature in Mahu Lake

氧含量丰富,为 7.13—9.17 mg/L,饱和度为 92.63 %—105.77 %。游离二氧化碳含量较低,为 0.44—1.36 mg/L。pH 值为 7.2—8.15,呈微碱性。氧化还原电位 E_{h7} 值为 420—500 mV,呈氧化状态。中层系指 10—50 m,溶解氧变幅大,为 1.0—7.5 mg/L,游离二氧化碳为 1.3—2.5 mg/L,pH 为 6.9—7.55,呈中性。氧化还原电位 E_{h7} 值为 350—450 mV。下层即水深 50 m 以下的水体,50—100 m 水层含有少量溶解氧为 0.12—2.0 mg/L,100 m 以下水层为无氧区,游离二氧化碳含量高,达 2.64—4.62 mg/L,pH 值为 6.0—6.95,呈酸性,氧化还原电位 E_{h7} 值低于 300 mV。

3.2.2 营养物质 马湖营养物质比较贫乏。氮、磷、硅元素的含量普遍较低,铁未检出。以实测平均值计,硅的含量最高,无机氮总量次之,磷含量最低(表 5)。无机氮的存在形态,表层以硝酸态氮为主,占无机氮总量的 56%,底层以氨态氮为主,占无机氮总量的 58.3%。湖水中有机物质耗氧量,总硬度均较低。营养物质的垂直分层现象也很明显,除铁、磷及亚硝酸态氮外,其它物质底层均高于表层。

3.2.3 矿化度和水型 该湖属弱矿化淡水湖,实测全湖平均值表层为 75.31 mg/L,底层为 89.08 mg/L。平面分布差异较小,各测点间最大差值为 51.9 mg/L,最小差值不足 1 mg/L。垂直差异明显,最小差值为 6.59 mg/L,最大差值可达 16.98 mg/L。反映出马湖面积小,湖水深的特点。

表 5 湖水中营养物质的含量

单位:mg/L

Tab. 5 The water macronutrient content in Mahu Lake

层 次	Fe	NH_4^+-N	$NO_3^- -N$	$NO_2^- -N$	$PO_4^{3-} -P$	SiO_2	COD	TH *
表(湖面下 0.5m 水层)	0.00	0.09	0.15	0.03	0.008	1.32	2.07	23
底(湖底上 0.5m 水层)	0.00	0.20	0.14	0.003	0.003	2.96	2.59	27

* TH 以 CaO 计。

主要离子的绝对和相对含量均以重碳酸根、钙离子为主(表 6)。按 O. A. 阿列金分类法,马湖湖水应属重碳酸盐类钙组 I 型水,即 $C_{16}^{0.07\%}$ 型。

表 6 湖水主要离子含量
Tab. 6 The content of principal ion in Mahu Lake

离子种类		K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
含量	(mg/L)	1.14	2.74	12.09	2.62	1.05	2.69	52.10	0
	(%) [*]	2.98	12.31	62.05	22.16	3.10	5.84	89.63	0

* 摩尔百分比。

矿化度和重碳酸根、钙、镁离子的垂直分布比较明显,即随湖水深度的增加而增高。钾、钠、氯根、硫酸根含量各水层差异较小,有时甚至完全相同。

4 综合利用意见

马湖蓄水量为 $4.81 \times 10^6 \text{ m}^3$,是四川省宝贵的水资源。为综合利用其水资源,最大限度地发挥其经济效益,特提出下列意见供有关部门参考。

4.1 开发水电资源

1978年人工控制闸建成后,立即利用天然落差开发水利水电资源,目前已建成和投入使用的水电为 310 kw。但据水量平衡计算结果可以看出,马湖出湖水量中地下渗漏损失水量占出湖水量的 54.6%,而目前利用的水量仅占出湖水量的 36.7%。要增加水力发电量,就应尽量减少损失水量,提高出湖水量的利用率,可采取下列措施:

(1) 加强漏水岩层的防漏工程措施,尽量减少湖水渗漏量;

(2) 根据目前高水位渗漏快,低水位渗漏慢的特点,应采取高水位发电对策以获取更多电能;

(3) 在控制人工放水量不变的情况下,在其下游应充分利用水位落差(距金沙江 8 km,高程差 650 m)增设发电机组,分级发电,使有限的水资源发挥更大的效益。

4.2 发展渔业生产

马湖上层水温终年变化在 $6.6 - 27.8^\circ\text{C}$,为不冻结湖。湖水清澈透明,悬移质含量不高。湖水中溶解氧充沛,pH 值、氧化还原电位高,有机物耗氧量低,还原性物质少,为未遭受污染的清洁水,这些均有利于工农业生产,对发展湖区渔业生产也较适宜。但必须注意其温跃层和化学成层现象明显。湖中层及下层水的理化性质对多数生物都是不太适合的,特别是下层水体中严重的缺氧状态,会使鱼类和多数生物窒息而亡。因此,渔业生产应考虑上述的不利因素,充分利用上层水体有利的理化环境及饵料基础,放养上层鱼类,捕捞工具也应以捕捞上层鱼类的网具为主,以达到鱼类增殖和提高经济效益的目的。

4.3 发展林业生产

根据湖区垂直分带自然景观明显的特点以及沿湖山地水源林遭受破坏的实际情况,应尽快因地制宜地恢复和发展水源林,可达到增加林业收入、防止水土流失的目的。这一措施对保护马湖水资源,发展湖区渔业生产也是十分重要的,一方面可以减少流域内携入湖水中悬移质的含量,另一方面又可增加湖水中营养物质的来源,使湖泊的营养状况有所改善。

参 考 文 献

- 1 任美镔等. 中国自然地理纲要. 北京: 商务印书馆, 1980.
- 2 施成熙. 陆地水文学(上册). 北京: 科学出版社, 1959.
- 3 L. W. 高莱. 湖泊学. 北京: 科学出版社, 1959.
- 4 季 江、范云崎. 泸沽湖水文特征的初步分析. 见: 青藏高原研究横断山考察专集 1. 北京: 中国科学技术出版社, 1983.
- 5 季 江、范云崎. 程海的水文状况及水量平衡. 见: 青藏高原研究横断山考察专集 2. 北京: 科学出版社, 1986.

PRELIMINARY ANALYSIS
OF WATER RESOURCES ON MAHU LAKE

Ji Jiang

Hu Wenying

(Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Abstract

The geographical position, lake basin shape, features of watershed system, and natural general conditions about Mahu Lake are detailed in this paper. For the sake of water resources study, the authors surveyed the lake topography, analyzed the volume balance of lake water, observed the water colour, transparency, water temperature, dissoluble gas, pH value, macronutrient, mineralization, and water type, etc. in Mahu Lake. According to the water resources characteristic of Mahu Lake, the authors attach the importance to its exploitation and utilization.

Key Words Mahu Lake, water resources, balance of lake water